

公路工程水泥混凝土 外加剂与掺合料应用技术指南

交通部公路科学研究院 主编

人民交通出版社

China Communications Press

中华人民共和国交通部

交公便字[2006]02号

关于公布《公路工程抗冻设计与施工技术指南》、《公路工程水泥混凝土外加剂与掺合料应用技术指南》与《公路土钉支护技术指南》的函

各有关单位：

为提高公路工程质量及耐久性，促进新技术、新材料、新工艺在公路建设中的应用，及时指导工程实践，我司组织编制了《公路工程抗冻设计与施工技术指南》、《公路工程水泥混凝土外加剂与掺合料应用技术指南》与《公路土钉支护技术指南》，作为公路工程技术指南，予以公布。

指南作为参考性的技术资料，为相关工程技术人员提供技术参考。各地参考使用时，要本着对工程质量负责的原则，结合当地实际情况，灵活运用。

《公路工程抗冻设计与施工技术指南》、《公路工程水泥混凝土外加剂与掺合料应用技术指南》、《公路土钉支护技术指南》分别由吉林省交通厅、交通部公路科学研究院、长沙理工大学主编和解释，如有问题，请与各主编单位联系，联系方式如下：

吉林省交通厅：长春市解放大路 2518 号，130021，电话：0431-5917293。

交通部公路科学研究院：北京市西土城路 8 号，100088，电话：010-62079687。

长沙理工大学：长沙市天心区赤岭路 45 号，410076，电话：0731-5219011。

特此函告。

交通部公路司
二〇〇六年一月五日

前 言

随着我国公路基础设施建设的加快,对应用于公路工程中的水泥混凝土提出了更高的要求。为适应这一要求,目前在公路工程的水泥混凝土中已大量使用混凝土外加剂与掺合料。为指导混凝土外加剂与掺合料的工程应用,提高公路工程使用外加剂与掺合料的技术水平,根据交通部公路司(交公路发[1999]739号)《关于下达1999年度公路建设标准、规范、定额等编制、修订工作计划的通知》,编制《公路工程水泥混凝土外加剂与掺合料应用技术规范》,又依据交通部公路司(交公便字[2002]125号)《关于印发(公路工程水泥混凝土外加剂与掺合料应用技术规范)审查会议纪要的函》,将规范改称为指南,并由中国工程建设标准化协会公路工程委员会颁布,作为推荐性行业标准。

本指南结合公路混凝土工程的特点,总结以往公路工程实践中使用外加剂与掺合料的成功经验,对最常用的10类19种外加剂和4类掺合料,从主要品种、适用范围、性能指标、施工注意事项、检验要求、质量监控各环节做出了必要的规定,使混凝土工程在设计、施工、监理、监督各环节均有章可循。目的在于防止外加剂和掺合料应用不当而导致公路混凝土工程出现质量事故和返工,有效地提高和保障公路水泥混凝土、钢筋混凝土、预应力混凝土结构工程的质量。

本指南为首次编制,使用时应结合当地具体情况,不断总结经验,研究出现的问题,注意吸收国内外最新的成果和经验,使这项应用技术得以不断完善、进步和发展。对本指南在使用过程中发现的问题和修改建议,请随时函告交通部公路科学研究院(地址:北京西土城路8号,邮政编码:100088),以便今后修订时参考。

主编单位:交通部公路科学研究院

参编单位:南京水利科学研究院

主要起草人:傅智 张子华 张劲泉 林宝玉 赵尚传 罗翥 王大鹏 杜天玲

总校人员:曾沛霖 顾敏浩 廉慧珍

目 录

1 总则.....	1
2 术语.....	5
2.1 外加剂.....	5
2.2 基本术语.....	7
2.3 性能术语.....	8
2.4 掺合料	10
2.5 水泥及混凝土	12
3 基本规定	15
4 外加剂	21
4.1 一般规定	21
4.2 普通减水剂及高效减水剂	32
4.3 引气剂、引气减水剂、引气高效减水剂及引气缓凝高效减水剂	36
4.4 缓凝剂、高温缓凝剂、缓凝减水剂及缓凝高效减水剂	43
4.5 早强剂、早强减水剂及早强高效减水剂	46
4.6 防冻剂	52
4.7 泵送剂	61
4.8 防水剂	69
4.9 速凝剂	79
4.10 阻锈剂	90
4.11 水中抗分离剂	97
5 掺合料.....	102
5.1 粉煤灰.....	102
5.2 硅灰.....	109
5.3 磨细矿渣.....	112
5.4 膨胀剂.....	114
附录 A 混凝土碱总量计算和外加剂碱含量测定方法.....	122
附录 B 混凝土外加剂试验方法和检验规则.....	126
附录 C 外加剂性能检验用基准水泥技术条件.....	133
附录 D 外加剂对水泥的适应性检验方法.....	135
附录 E 钢筋锈蚀快速试验方法.....	137
附录 F 掺外加剂、掺合料混凝土配合比设计附录.....	142
附录 G 防冻剂试验方法.....	148
附录 H 泵送剂试验方法.....	151
附录 I 泵送混凝土.....	154
附录 J 防水剂试验方法.....	158
附录 K 喷射混凝土及其试验方法.....	163
附录 L 阻锈剂防锈性能试验方法.....	170
附录 M 水中抗分离剂试验方法.....	176
附录 P 粉煤灰检验方法.....	180
附录 Q 矿物掺合料胶砂需水量比及活性指数检测方法	183
附录 R 掺膨胀剂混凝土试验方法.....	185
附录 S 本指南用词说明.....	189

1 总则

1.0.1 目的

为在公路工程水泥混凝土结构中合理选择和正确使用各类化学外加剂(以下简称外加剂)和活性矿物掺合料(以下简称掺合料),改善混凝土的施工、力学和耐久等性能,达到设计的预期使用效果,提高公路混凝土结构工程建造质量,保障其安全可靠、经济合理,制订本指南。

1.0.2 适用范围

本指南适用于各等级公路新建、改建或修补的公路混凝土结构工程中各种外加剂与掺合料的使用。

1.0.3 技术内容

本指南规定了以下外加剂与掺合料的种类、化学组成、性能指标、质量检验和工程应用等内容:

1 外加剂:普通减水剂、高效减水剂;引气剂、引气减水剂、引气高效减水剂、引气缓凝高效减水剂;缓凝剂、高温缓凝剂、缓凝减水剂、缓凝高效减水剂;早强剂、早强减水剂、早强高效减水剂;防冻剂;泵送剂;防水剂;速凝剂;阻锈剂;水中抗分离剂(絮凝剂)。

2 掺合料:粉煤灰;硅灰;磨细矿渣;膨胀剂。

1.0.4 相关产品技术标准

公路工程中使用的混凝土外加剂与掺合料产品除应符合本指南的规定外,尚应符合下列国家或建材行业现行最新标准的规定:

- 《混凝土外加剂分类、命名与定义》(GB 8075-2005);
- 《混凝土外加剂》(GB 8076—1997);
- 《混凝土外加剂匀质性试验方法》(GB/T 8077-2000);
- 《混凝土泵送剂》(JC 473-2001);
- 《砂浆、混凝土防水剂》(JC 474-1999);
- 《水泥基渗透结晶型防水材料》(GB 18445-2001);
- 《混凝土防冻剂》(JC 475-2004);
- 《喷射混凝土用速凝剂》(JC 477-2005);
- 《高强高性能混凝土用矿物外加剂》(GB / T 18736-2002);
- 《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》(GB / T 1596—2005);
- 《硅酸盐建筑制品用粉煤灰》(JC / T 409—2001);
- 《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》(GB / T 18046-2000);
- 《混凝土膨胀剂》(JC 476-2001);
- 《混凝土外加剂中释放氨的限量》(GB 18588-2001);
- 《建筑材料放射性核素限量》(GB 6566-2001);
- 《硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥》(GB 175-1999);
- 《道路硅酸盐水泥》(GB 13693-2005);
- 《矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥及粉煤灰硅酸盐水泥》(GB 1344-1999);
- 《砌筑水泥》(GB / T 3183-2003)等。

1.0.5 相关技术规范

掺外加剂与掺合料混凝土的制作与应用,除应符合本指南外,尚应符合下列国家和相关行业现行最新(强制性)标准、规范、规程的规定。

- 《混凝土外加剂应用技术规范》(GB 50119-2003);
- 《公路水泥混凝土路面施工技术规范》(JTG F30-2003);
- 《公路桥涵施工技术规范》(JTJ 041-2004);
- 《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》(JTG E30-2005);
- 《混凝土泵送施工技术规范》(JGJ / T 10-95);
- 《锚杆喷射混凝土支护技术规范》(GB 50086-2001);
- 《喷射混凝土加固技术规范》(CECS 161: 2004);
- 《钢筋阻锈剂使用技术规范》(YB / T 9231);
- 《混凝土结构工程施工质量验收规范》(GB 50204-2002);

《混凝土结构设计规范》(GB 50010-2002);
《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ 55-2000);
《混凝土质量控制标准》(GB 50164-92);
《建筑工程冬季施工规程》(JGJ 104-97);
《地下防水工程质量验收规范》(GB 50208-2002) 等。

说明

1. 0. 1 目的

混凝土外加剂和掺合料可改善新拌混凝土的和易性、调节凝结时间、改善可泵性、改变硬化混凝土强度发展速率、提高耐久性、增强抗裂性、保证结构动载特性等。但选择和使用不当也有可能带来施工困难或造成工程质量问题,为在公路水泥混凝土工程中正确选择外加剂与掺合料,并能达到预期效果,制订本指南。

我国公路水泥混凝土工程建设规模很大,发展迅速,水泥混凝土路面、钢筋混凝土桥梁、涵洞、隧道、挡土墙、排水沟管、防护工程、收费站、服务区、地下灌浆等工程使用的混凝土和水泥(砂)浆数量巨大,并又其混凝土强度等级、耐久性和质量要求越来越高,所使用的施工工艺和设备越来越先进和复杂。例如,截止 2004 年底全国已经建成各级公路水泥混凝土路面 25.7125 万公里,当年建成水泥混凝土路面 6.5 万公里,公路工程中的混凝土年使用量超过 20 万立方米。随着公路工程对水泥混凝土材料的强度及混凝土工程结构的质量要求的逐步提高,混凝土中越来越多地使用“双掺技术”,即在混凝土中掺用化学外加剂与矿物掺合料来改善拌合物的工作性能,提高混凝土的物理力学性能和耐久性,保障工程质量,节约水泥,降低成本。“双掺技术”是国际公认制备高性能混凝土的必备手段,外加剂与掺合料已是高性能混凝土不可缺少的重要组成部分。

在国际上,“外加剂”包括化学外加剂和矿物外加剂两类材料,在我国习惯上将其分为外加剂与掺合料两类。国际上用统计外加剂与掺合料在混凝土中的使用比例,来衡量一个国家混凝土技术水平的高低。发达国家中,有 75%~90%的混凝土都使用了外加剂,而在我国公路工程中估计不超过 35%。按现代高性能混凝土材料科学的观点,要求使用寿命 30~50 年以上的混凝土结构工程,必须同时使用外加剂与掺合料。

一般而言,当要求混凝土抗压强度高于 30MPa、弯拉强度高于 5.0MPa 时,不使用外加剂制作就相当困难。例如,滑模摊铺水泥混凝土路面施工不使用外加剂不可能达到弯拉强度大于等于 5.6MPa。大跨度桥梁工程中的预应力梁、板、柱不使用外加剂就无法达到混凝土所要求的较高强度等级、较轻质量和耐久性;桥梁工程中下部的大体积混凝土结构,不同时使用外加剂与掺合料,就无法实现对温度裂缝的有效控制,也无法达到所要求的工作性;特大型桥梁工程或钢管混凝土拱桥中使用的泵送混凝土,如果没有外加剂也无法实现泵送施工工艺;箱形、T 形预应力梁板和涵管等制品的预制生产,也离不开外加剂。在我国三北地区的混凝土路面和桥涵工程,均要求具有抗冻性和抗盐冻性。如果没有引气剂和防冻剂等的使用,其抗冰冻和抗盐冻耐久性技术要求就无法满足。

目前,我国在质量要求较高的桥、隧、涵和路面工程结构混凝土中,外加剂与掺合料的应用已相当广泛。但是,由于在公路混凝土工程领域没有外加剂与掺合料的应用技术指南,大多数工程技术人员对此比较陌生。由于外加剂使用不当而导致混凝土路面及桥涵结构的质量事故时有发生,造成了不应有的损失。有人将外加剂称为“害人剂”或“苏丹红”,这个问题具有全国普遍性。鉴于混凝土材料和结构质量是影响整个公路工程质量的最关键部分、外加剂与掺合料是最容易引发质量事故的重要技术环节,我国公路行业急需一个外加剂与掺合料的应用技术指南来进行指导和规范,防止并尽量杜绝因其应用不当带来的工程质量事故和经济损失。

我国现有外加剂与掺合料的标准和规范从对公路工程特殊适用性、齐全性、产品质量、现场检验、施工质量控制技术诸方面来看,远远不能适应公路建设和越来越高的质量控制需要,很有必要新编制一部满足各等级公路混凝土结构工程特殊使用要求的应用技术指南。

1. 0. 3 技术内容

本指南着重编写了公路混凝土工程常用的 10 类 19 种外加剂和 4 种掺合料的应用技术内容。它参考并综合了建筑、水利、建材、冶金、电力等行业所编制的有关混凝土外加剂及掺合料的 30 余本最新标准、规范和规程的相关内容,并认真总结了我国公路行业多年来在水泥混凝土路面、

钢筋混凝土桥梁、涵洞、隧道等混凝土结构工程使用的成功经验和教训。为全面控制掺入外加剂与掺合料的公路混凝土工程的质量提供了可靠的保证。在编制中，凡与国家、行业现行标准、规范、规程不同的内容均有研究、试验和工程施工验证作为基础。对我国公路工程施工中必须使用的，但尚无技术标准规范的外加剂如阻锈剂、水中抗分离剂等，参照了国内其他行业规范和国外有关标准，并结合我国在工程中发现的问题和应用技术经验，进行编写。

通过对本指南的执行，将有效地提高我国公路混凝土工程特别是高等级公路混凝土结构工程的质量、施工工艺水平和混凝土结构的耐久性品质，推进我国公路工程水泥混凝土外加剂与掺合料的应用，并使混凝土施工技术水平迈上新的台阶。

本指南编入的外加剂与掺合料种类，并未包括各种已有应用技术规范的、已知的或处在研究中的混凝土辅助材料的全部，如：外加剂中的超塑化剂、超缓凝剂、减缩剂、促凝剂、保水剂、减缩剂、增稠剂、保塑剂、消泡剂、防湿剂、着色剂、防霉剂、抗菌剂、减阻剂、碱集料反应抑制剂、硫酸盐反应抑制剂、掺合料中的天然沸石粉、高活性的磷、铝、镍、锂、稀土金属等尾矿粉及矿渣等内容。外加剂与掺合料是一个非常庞大的家族，几乎所有混凝土要求改进的特殊品质均有相应的辅助材料。

在选择编写进本指南的外加剂与掺合料种类时，遵循了下述原则：

①在本指南的编制中贯彻高性能混凝土“双掺”技术的指导思想。

②绝大多数混凝土辅助材料在满足其应用广泛性、技术成熟性和可靠性要求的前提下，对这些材料的性能指标和应用技术更加规范化，以防止出现使用不当造成工程质量和返工等事故。

③对某些公路行业使用范围目前还不普及、积累的应用经验并不充分，但在特殊施工工艺条件下保障工程质量和耐久性又必不可少的材料，参照了国外或国内其他行业标准纳入本指南中，如泵送剂、速凝剂、阻锈剂、水中抗分离剂、膨胀剂、硅灰等外加剂和掺合料。

1.0.4~1.0.5 相关产品标准和技术规范

本指南所列相关产品标准和技术规范并不齐全，如遇到国家标准、规范及建材行业相应标准与本指南不一致的，除非公路行业特别指明，如外加剂应使用一等品等，应首先满足国家标准规范、建材行业规定的规定。

本指南所列标准规范如有新颁布的，应执行最新颁布的标准规范。

2 术语

2.1 外加剂

2.1.1 混凝土外加剂 Concrete admixtures

一种在混凝土搅拌之前或拌制过程中加入的、用以改善新拌混凝土和 / 或硬化混凝土性能的材料。其掺量应不大于水泥质量的 5%。

2.1.2 普通减水剂 water reducing admixtures

在混凝土坍落度基本相同的条件下,能减少 8% 以上拌和用水量的外加剂。

2.1.3 引气剂 air entraining admixtures

在搅拌水泥混凝土过程中能引入大量均匀分布、稳定而封闭的微小气泡且能保留在硬化混凝土中的外加剂。

2.1.4 引气减水剂 air entraining and water reducing admixtures

兼有引气和减水功能的外加剂。

2.1.5 高效减水剂 Superplasticizer

在混凝土坍落度基本相同的条件下,能大幅度减少拌和用水量(不小于 15%)的外加剂。

2.1.6 引气高效减水剂 air entraining admixtures and superplasticizer

兼有引气和高效减水功能的外加剂。

2.1.7 缓凝剂 set retarder

延长混凝土凝结时间的外加剂。

2.1.8 高温缓凝剂 set retarder in high temperature

在气温大于等于 $35^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度小于等于 $60\% \pm 5\%$ 条件下,能延长混凝土凝结时间的外加剂。

2.1.9 缓凝减水剂 retarding and water reducing admixtures

兼有缓凝和减水功能的外加剂。

2.1.10 缓凝高效减水剂 retarding and superplasticizer

兼有缓凝和高效减水功能的外加剂。

2.1.11 引气缓凝高效减水剂 air entraining admixtures and retarding superplasticizer

兼有引气、缓凝和高效减水功能的外加剂。

2.1.12 早强剂 hardning accelerating admixture

加速混凝土早期强度发展的外加剂。

2.1.13 早强减水剂 hardning accelerator and water-reducing admixture

兼有早强和减水功能的外加剂。

2.1.14 早强高效减水剂 hardning accelerator and superplasticizer

兼有早强与高效减水功能的外加剂。

2.1.15 防水剂 water-repellent admixture

能提高水泥砂浆、混凝土抗渗性能的外加剂。

2.1.16 阻锈剂 anti-corrosion admixture

能抑制或减轻混凝土中钢筋或其他金属预埋件锈蚀的外加剂。

2.1.17 防冻剂 anti-freezing admixture

能使混凝土在负温下硬化,并在规定养护条件下达到预期性能的外加剂

2.1.18 无氯防冻剂 chloride free anti-freezing admixture

氯离子含量不大于 0.1% 的防冻剂。

2.1.19 速凝剂 flash setting admixture

用于喷射混凝土中,能使混凝土迅速凝结硬化的外加剂。

2.1.20 泵送剂 pumping aid

能改善混凝土拌合物泵送性能的外加剂。

2.1.21 水中抗分离剂(絮凝剂) flocculating agent

在水中施工时,能增强混凝土粘聚性,抗水泥和集料分离的外加剂,又称絮凝剂、水中不分离

剂、水下不分离剂。

2. 1. 22 增稠剂 viscosity enhancing agent
能提高混凝土拌合物粘度的外加剂。

2. 1. 23 促凝剂 set accelerating admixture
能缩短混凝土拌合物凝结时间的外加剂。

2. 1. 24 保塑剂 plastic retaining agent
在一定时间内，减少混凝土坍落度损失的外加剂。

2. 1. 25 减缩剂 shrinkage reducing agent
减少混凝土收缩的外加剂。

2. 1. 26 保水剂 water retaining admixture
能减少混凝土或砂浆失水的外加剂。

2. 1. 27 标准型外加剂 standard-type admixture
不改变混凝土凝结时间和早期硬化速度的外加剂。

2. 2 基本术语

2. 2. 1 基准水泥 reference cement
专门用于检验混凝土外加剂性能、指定矿物成分及其含量的水泥。

2. 2. 2 基准混凝土 reference concrete
符合相关标准试验条件规定的、未掺有外加剂和 / 或掺合料的混凝土。

2. 2. 3 受检混凝土 tested concrete
符合相关标准试验条件规定的、掺有外加剂和 / 或掺合料的混凝土。

2. 2. 4 多功能外加剂 multifunction admixture
能改善新拌和 / 或硬化混凝土两种或两种以上性能的外加剂。

2. 2. 5 主要功能 Primary function
多功能外加剂中起主导作用的一种功能。

2. 2. 6 次要功能 secondary function
多功能外加剂除主要功能以外的功能。

2. 2. 7 基准砂浆 reference mortar
符合相关标准试验条件规定的、未掺有外加剂和 / 或掺合料的砂浆。

2. 2. 8 受检砂浆 tested mortar
符合相关标准试验条件规定的、掺有外加剂和 / 或掺合料的砂浆。

2. 3 性能术语

2. 3. 1 减水率 water reducing rate
在混凝土坍落度基本相同时，基准混凝土和受检混凝土单位用水量之差与基准混凝土单位用水量之比的百分数。

2. 3. 2 外加剂掺量 dosage of admixture
以外加剂占水泥或总胶凝材料质量百分数表示的使用量。

2. 3. 3 推荐掺量范围 recommended range of dosage
由外加剂生产企业根据试验结果确定的、推荐给使用方的外加剂掺量范围。

2. 3. 4 适宜掺量 compliance dosage
满足相应外加剂标准要求时的外加剂掺量，由外加剂企业说明，适宜掺量应在推荐掺量的范围之内。

2. 3. 5 最大推荐掺量 maximum recommended dosage
推荐掺量范围的上限。

2. 3. 6 凝结时间 setting time
混凝土由塑性状态过渡到硬化状态所需的时间。

2. 3. 7 初凝时间 initial setting time
混凝土从加水开始到贯入阻力达到 3. 5MPa 所需的时间。

2. 3. 8 终凝时间 final setting time
混凝土从加水开始到贯入阻力达到 28MPa 所需的时间。
2. 3. 9 凝结时间差 difference in setting time
受检混凝土与基准混凝土凝结时间的差值。
2. 3. 10 抗压强度比 ratio of compressive strength
受检混凝土与基准混凝土同龄期抗压强度之比。
2. 3. 11 收缩率比 ratio of shrinkage
受检混凝土与基准混凝土同龄期收缩率之比。
2. 3. 12 钢筋锈蚀试验 test of corrosion of reinforced steel bar
用来判定外加剂对钢筋有无锈蚀危害的试验，用新拌或硬化砂浆阳极极化曲线测试
2. 3. 13 初始坍落度 initial slump
混凝土搅拌出机后，立刻测定的坍落度。
2. 3. 14 坍落度保留值 slump retain value
混凝土拌合物按规定条件存放一定时间后的坍落度值。
2. 3. 15 坍落度损失 slump loss
混凝土初始坍落度与某一特定时间坍落度保留值的差值。
2. 3. 16 抗渗压力比 ratio of penetration pressure
受检混凝土抗渗压力与基准混凝土抗渗压力之比。
2. 3. 17 抗渗高度比 ratio of penetration height
受检混凝土抗渗高度与基准混凝土抗渗高度之比。
2. 3. 18 限制膨胀率 expansion rate in restrict condition
掺有膨胀剂的试件在规定的纵向限制器具限制下的膨胀率。
2. 3. 19 吸水量比 ratio of absorption
受检砂浆的吸水量与基准砂浆的吸水量之比。
2. 3. 20 需水量比 ratio of water demand
受检砂浆的流动度达到基准砂浆相同的流动度时，两者单位用水量之比。
2. 3. 21 总碱量 total alkali content
外加剂中以氧化钠当量百分数表示的氧化钠和氧化钾的总和 ($\text{Na}_2\text{O}+0.658\text{K}_2\text{O}$)
2. 3. 22 活性指数 index of activity
受检砂浆和基准砂浆试件标准养生至相同规定龄期的抗压强度之比。
2. 3. 23 相对耐久性指数 index of relative durability
受检混凝土经快速冻融 200 次后动弹性模量的保留值，用百分数来表示。
2. 3. 24 冻融循环次数 freezing and drawing number
受检混凝土相对动弹模值为 80%、质量损失 5% 时的最大冻融循环次数。
2. 3. 25 含固量 solid content
液体外加剂中的固体物质含量。
2. 3. 26 含水率 moisture content
固体外加剂在规定温度下烘干失水质量外加剂质量之比。
2. 3. 27 水泥净浆流动度 fluidity of cement paste
在规定的试验条件下，水泥浆体在玻璃平面上自由流淌的直径。
2. 3. 28 泌水 bleeding
- 1 泌水：混凝土拌合物产生的水分析出现象。
 - 2 泌水率：单位质量的混凝土泌出水量与其用水量之比的百分数。
 - 3 压力泌水率：在规定压力作用下，从混凝土拌合物测得的泌水率。

说明

本指南中各种类混凝土外加剂术语均按《混凝土外加剂分类、命名与定义》(GB 8075—2005)编写。

2.4 掺合料

2.4.1 掺合料 mineral admixture

在拌制水泥混凝土过程中掺入的、具有一定细度和水硬活性的、用以改善混凝土拌合物和硬化混凝土性能(特别是耐久性)的某些工业排放回收或经处理的矿物产品。

2.4.2 粉煤灰 fly ash

- 1 粉煤灰: 由煤粉炉发电的电厂排放出的烟道灰。
- 2 高钙(粉煤)灰: 氧化钙含量较高(不小于8%)、自身具有水硬活性的粉煤灰。
- 3 低钙(粉煤)灰: 氧化钙含量小于8%、与硅酸盐类水泥混合后具有水硬活性的粉煤灰。
- 4 磨细粉煤灰: 干燥粉煤灰经粉磨达到规定细度的产品。
- 5 超细粉煤灰: 使用超细磨方式粉磨后的粉煤灰微粉。
- 6 复合粉煤灰(微)粉: 当以粉煤灰为主要成分, 复合其他掺合料共同(超)磨细后, 得到的微粉。

2.4.3 硅灰 silica fume

在冶炼硅铁合金或工业硅时, 通过烟道排出的硅蒸气氧化后, 经收尘器收集得到的以无定形二氧化硅为主要成分的超细粉末产品。

2.4.4 矿渣 slag

- 1 矿渣: 炼铁高炉排出的熔渣、经水淬处理而成的粒状矿渣。
- 2 磨细矿渣: 粒化高炉矿渣经干燥、粉磨等工艺达到规定细度的产品。
- 3 超细矿渣: 使用超细磨方式粉磨后的矿渣微粉。
- 4 复合矿渣(微)粉: 当以矿渣为主要成分, 复合其他掺合料共同(超)磨细后, 得到的微粉。

2.4.5 复合矿物掺合料 compound mineral admixture

由两种或两种以上的矿物掺合料复合而成的产品。

2.4.6 膨胀剂 expanding admixture

在混凝土硬化过程中因化学作用能使硬化混凝土产生一定体积膨胀的矿物掺合料。

说明

混凝土掺合料按《高强高性能混凝土用矿物外加剂》(GB/T 18736)、《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣》(GB/T 203)、《粉煤灰混凝土应用技术规范》(GBJ 146)等编写。与国标不同的是, 本指南将国内混凝土界习惯上归类在外加剂中的膨胀剂归入掺合料中。首先, 按照 2.1.1 条混凝土外加剂术语定义, 掺量不大于水泥质量的 5% 称为外加剂, 但膨胀剂掺量即使在用量最少的补偿收缩混凝土中, 也必须掺到 10% 左右, 膨胀混凝土的掺量更大, 不符合外加剂的基本定义。其次, 膨胀剂实质上是硫铝酸盐水泥如 UEA 或石灰。膨胀剂遇水后本身具有自水化反应及凝结硬化能力, 但所有的外加剂不具备这种自水化反应活性。从化学本质上讲, 膨胀剂不具备外加剂的基本化学特征, 它不属于外加剂范畴。从膨胀剂具有的自水化反应活性和掺量很大这两方面看, 它与磨细矿渣等自水化的高活性掺合料相近, 所以应归为掺合料大类中。

2.5 水泥及混凝土

2.5.1 抗渗(防水)混凝土 impermeable concrete

抗渗等级达到 S6 级以上的混凝土。

2.5.2 抗冻混凝土 frost resistant concrete

能抵抗冻融循环次数不小于 100 次的混凝土。

2.5.3 受冻临界强度 frost resistant critical strength

冬期浇筑的混凝土在受冻前必须达到的最低抗压强度(一般为 5.0MPa)。

2.5.4 高强混凝土 high-strength concrete

1 高抗压强度混凝土: 使用 42.5 级以上水泥、优质砂石料、高效减水剂、较低水灰比配制而成的抗压强度等级不小于 60.0MPa 的混凝土。

2 高弯拉强度混凝土: 使用抗折强度不小于 7.5MPa 的水泥、优质砂石料、(缓凝)引气高效减水剂、掺合料、较低水灰(胶)比配制而成的弯拉强度等级不小于 6.0MPa 的混凝土。

2. 5. 5 高性能混凝土 high-Performance concrete

1 高性能混凝土：采用优质原材料、低水胶比，掺加适宜的掺合料和高效外加剂，保证耐久性、工作性、适用性、强度及体积稳定性的混凝土。

2 高性能道路混凝土：满足道路工程施工和使用所要求的摊铺工作性、高弯拉强度、小变形性能、抗动载能力、耐疲劳、耐磨损、抗(盐)冻性等耐久性优良的混凝土。

2. 5. 6 泵送混凝土 pumping concrete

使用泵送剂、减水剂或掺合料及适宜的配合比，配制而成的拌合物坍落度不小于 100mm，适用于机械泵输送的混凝土。

2. 5. 7 大体积混凝土 mass concrete

指混凝土结构中实体尺寸大到在混凝土凝结硬化过程中产生的内部水化热温升足以使混凝土结构某个部位达到开裂程度的混凝土。

2. 5. 8 喷射混凝土 shotcrete

干拌或湿拌水泥砂石混合料，使用速凝剂在喷射机喷射过程中与水混合，并能在附着体上 3~8min 内快速凝结硬化的混凝土。

2. 5. 9 膨胀混凝土 expansive concrete

使用膨胀剂配制的具有一定膨胀量的混凝土。

2. 5. 10 补偿收缩混凝土 shrinkage-compensating concrete

使用膨胀剂补偿混凝土自身体积收缩的混凝土，在约束条件下，能产生 0.2~0.7MPa 自应力的混凝土。

2. 5. 11 自应力混凝土 self-stress concrete

在约束条件下，由于膨胀剂的作用，内部能产生 2.0~8.0MPa 化学自应力的混凝土。

2. 5. 12 灌浆用膨胀砂浆(混凝土)expansive grouting mortar(concrete)

由于膨胀剂的作用，使自生体积变形始终保持膨胀，专用于填充空隙或空洞的水泥砂浆(混凝土)。

2. 5. 13 耐蚀系数 erosion resistance coefficient

水泥净浆、砂浆或混凝土在侵蚀水中标准养护条件下浸泡 6 个月的弯拉强度与饮用水中同条件浸泡 6 个月的弯拉强度之比。

2. 5. 14 水中抗分离混凝土 resistant dispersion concrete in water

使用水中抗分离剂，使混凝土拌合物直接在水下浇筑时，水泥浆与砂石料不易被水冲刷分散、离析，靠自重作用易于自流平、自密实的混凝土。

2. 5. 15 粉煤灰混凝土 concrete with fly ash

掺有粉煤灰掺合料的水泥混凝土。

2. 5. 16 硅灰混凝土 concrete with silica fume

掺有硅灰掺合料的水泥混凝土。

2. 5. 17 碾压混凝土 roller compacted concrete

以适宜稠度的混凝土拌合物，经薄层机械摊铺，通过振动碾压密实的混凝土。

2. 5. 18 清水混凝土 surface non-decorative concrete

构件表面无任何装饰或装修，保持均匀的混凝土原色，结构外观无施工缺陷的混凝土。又称表面无装饰混凝土。

2. 5. 19 护筋混凝土 rust-proof concrete

使用阻锈剂、高效减水剂和矿渣等外加剂与掺合料，按防水混凝土配合比制作的高密实、高抗渗和高抗裂的混凝土，用于保护钢筋不被锈蚀或大幅度延缓锈蚀的混凝土。

2. 5. 20 后浇带 after-pouring band

混凝土结构之间要求后续二次浇筑混凝土的带状区域。

3 基本规定

3.0.1 原材料与试配技术要求

掺人外加剂和 / 或掺合料的公路工程各种混凝土所用的原材料：水泥、粗、细集料、拌合水、外加剂、掺合料均应符合国家和公路行业现行标准、规范的规定。掺外加剂和 / 或掺合料的混凝土应经过试配检验，并采用与工程中相同的原材料，检测项目应根据工程设计和施工要求确定，检测条件应与施工条件相同，当工程所用的原材料和混凝土性能要求发生变化时，应重新试配检验。

3.0.2 产品技术要求

各类外加剂与掺合料的产品供应商除应向建设、施工和监理单位的(中心) 试验室提供足够混凝土室内配合比、性能检验的试验样品及质量复检样品外，还应提供下述文件：

- 1 该产品质量说明书，说明产品的主要组成、出厂检验报告、推荐掺量的范围等；
- 2 国家规定具有正规资质的地区级以上质检单位或外加剂检测机构提供的外加剂或掺合料产品质量等级证书、产品匀质性检测报告和掺外加剂或掺合料混凝土基本物理力学性能检验报告；
- 3 地区级以上科研管理部门提供的新产品鉴定证书或国家专利局或省专利机构提供的新产品专利证书；
- 4 必要时提供该产品的类似工程应用实例；
- 5 重要的大型工程尚应提供该产品供货保证性文件。

3.0.3 选用原则

外加剂和 / 或掺合料品种的选用应根据各类公路工程混凝土结构的设计、特定施工工艺要求、使用的主要目的和质量控制目标，通过试验和技术经济比较确定。

3.0.4 防止危害

严禁使用对人体产生危害、对环境造成污染的外加剂与掺合料。混凝土中天然放射性核素镭-226、钍-232、钾-40 的外照射指数 $I_r \leq 1.00^*$ 。

★ 依据《建筑材料放射性核素限量》(GB 6566—2001) 制定。

3.0.5 计量

外加剂或掺合料掺量均应以胶凝材料总量的百分率表示，液体外加剂可以用每公斤胶凝材料掺入多少毫升液体外加剂原液 (mL/kg) 表示。各原材料搅拌时的计量精确度应符合表 3.0.5 的规定。

表 3.0.5 原材料的计量精确度 (%)

使用条件	水泥	细集料	粗集料	水	外加剂	掺合料
混凝土不大于 C25，每盘	±2	±2	±3	±2	±2	±2
混凝土大于 C25，每盘	±1	±2	±2	±1	±1	±1
累计计量或连续计量 1 车 微机控制搅拌楼	±1	±1	±2	±1	±1	±1

3.0.6 适用水泥品种

掺外加剂与掺合料的路面混凝土，其适用的水泥品种有：道路硅酸盐水泥、硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥；中、轻交通等级的路面混凝土可使用矿渣硅酸盐水泥，但其中不宜再掺入磨细矿渣。

桥隧钢筋混凝土和预应力钢筋混凝土，其外加剂与掺合料适用的水泥品种有：硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥。

大体积混凝土应采用中热硅酸盐水泥或低热矿渣硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥，矿渣硅酸盐水泥。粉煤灰硅酸盐水泥不宜再掺入粉煤灰。

有特殊要求者，可使用相应的特种水泥品种。如有防硫酸盐腐蚀的工程可采用抗硫酸盐水泥；海中桥梁等结构可采用抗海水水泥或矿渣硅酸盐水泥等。

3.0.7 含碱量

当集料具有碱活性时，由外加剂带入的碱含量 ($Na_2O+0.658K_2O$) 不宜超过 $1.0kg/m^3$ ，由外加剂及掺合料、水泥带人混凝土总含碱量不应超过 $3.0kg/m^3$ 。混凝土中碱总量计算方法及外加剂碱含量的测定方法见附录 A。处于海水、盐碱水等腐蚀环境中的公路工程混凝土，不得使用具有碱活性

的集料。

外加剂与掺合料产品应有碱含量标识。

3.0.8 拌和要求

大、中型公路结构工程掺入各种外加剂和 / 或掺合料的混凝土应采用有计算机自动控制的强制式搅拌楼拌和，混凝土搅拌楼应符合《混凝土搅拌站(楼)分类》(GB10171)、《混凝土搅拌站(楼)技术条件》(GB10172)的规定。对于混凝土方量较少的小型公路工程结构，允许使用具备所有原材料称量装置的强制式搅拌机拌和，但应延长搅拌时间 10~30s。严禁使用手工拌制掺外加剂和 / 或掺合料的混凝土。

3.0.9 氯离子限量

掺用外加剂与掺合料的混凝土拌合物中氯化物(以 Cl^- 计)总含量的最高限量不应超过表 3.0.9 的规定。外加剂或掺合料单独带入混凝土拌合物中的氯离子含量宜按总氯离子含量的 1/3 进行控制。氯离子含量的检测方法应按《水泥原料中氯的化学分析方法》(JC / T 420)进行。

表 3.0.9 混凝土拌合物中氯化物(以 Cl^- 计, %)总含量的最高限量

结构种类及环境条件	预应力混凝土及腐蚀环境中的钢筋混凝土	潮湿但不合氯离子环境中的钢筋混凝土	干燥环境或有防潮措施钢筋混凝土	素混凝土
外加剂或掺合料带入 Cl^- 占水泥用量(%)	0.02	0.10	0.33	—
总 Cl^- 占水泥用量(%)	0.06	0.30	1.00	1.80

说明

基本规定是针对外加剂与掺合料两大类产品的应用提出的共同要求。

3.0.1 原材料与试配技术要求

通过严格控制原材料与配合比，确保掺入外加剂和 / 或掺合料的公路工程各种混凝土材料的质量。

3.0.2 使用技术要求

鉴于外加剂产品市场和应用领域比较混乱，指南首先规定了外加剂或掺合料产品进入公路混凝土工程的技术要求。这对于遏制该领域中杂乱无章的状况、保障公路重大工程混凝土结构的安全性和可靠性是必不可少的。同时，也是根据本指南，使用好外加剂的物质基础。

规定了生产单位应提交的 5 种产品质量和技术文件，并提交试验样品。5 种文件的规定要求与《水工混凝土外加剂技术规程》(DL / T 5100)相同。

《混凝土外加剂应用技术规范》(GB 50119)对选用的外加剂应由供货单位提供的技术文件的规定如下：

- 1 产品说明书，并应标明产品主要成分；
- 2 出厂检验报告及合格证；
- 3 掺外加剂混凝土性能检验报告。

本指南的要求比国标略严，新产品的鉴定证书或专利证书规定是技术进步的需要；必要时，提供类似工程应用实例是该外加剂满足工程应用可靠性的要求；供货保证性文件是指该产品的生产能力、月产量或供应强度等，保证施工时不中断供货的需要。

3.0.3 选用原则

选择外加剂和 / 或掺合料的品种原则是：应根据公路混凝土工程设计、施工工艺、使用的主要目的和质量控制目标，并不对耐久性 & 长期性能产生不利影响(不增加收缩、不降低长期强度)，通过试验和技术经济比较确定。各种外加剂都有其特性，如改善和易性、泵送性，调节凝结时间、提高强度、改进耐久性，防止开裂、增强抗动载性能等。使用者应根据外加剂的特点，结合使用目的，如节约水泥、改善混凝土性能、加快模板周转等技术经济综合指标来优选外加剂和 / 或掺合料的品种。

3.0.4 防止危害

外加剂或掺合料组成材料有的是工业副产品或废料，其产生危害主要指两个方面：一是产品

在使用过程中不得对人体产生毒害或渗在的毒性；二是掺入混凝土中不得对周围环境如土壤、水源或动植物产生危害或滞留毒性。在附录 B. 3. 1 包装中强调了对外加剂“应明确注明……毒性、腐蚀性、易燃状况、……”。外加剂的生产厂商历来对此问题讳莫如深，极少提及或承认目前使用的个别外加剂具有毒性，例如早强剂和防冻剂中的亚硝酸钠、六价铬盐、重铬酸钠、硝酸铵、碳铵、硫氰酸盐等，其抗冻和早强效果不错，使用亦比较广泛，但若使用管理不当，亚硝酸盐等致人死的剂量只有 2g。又如以尿素为主要成分的防冻剂，在混凝土中有氨气选出，在通风不良建筑物、隧道、涵洞或封闭洞室内危害人体健康。所以，本指南强调对此类有剧毒、有毒或有害气体的外加剂必须加强管理，严禁其毒性对使用者带来伤害。此条在《混凝土外加剂应用技术规范》(GB 50119) 中为强制性条款。

根据《建筑材料放射性核素限量》(GB 6566—2001) 的规定，混凝土中天然放射性核素镭-226、钍-232、钾-40 的放射性比活度满足外照射指数 $I_r \leq 1.0$ 时，其产销和使用范围不受限制。外照射指数计算公式：

$$I_r = \frac{C_{Ra}}{370} + \frac{C_{Th}}{260} + \frac{C_k}{4200} \quad (3.0.4-1)$$

式中： I_r — 外照射指数；

C_{Ra} 、 C_{Th} 、 C_k — 分别为材料中天然放射性核素镭-226、钍-232、钾-40 的放射性比活度，单位为贝可 / 千克 (Bq / kg)；

370、260、420— 分别为仅考虑外照射情况下，天然放射性核素镭-226、钍-232、钾-40 在其各自单独存在时的规定限量，单位为贝可 / 千克 (Bq / kg)。

放射性核素的射线对人体危害是人所共知的，也是最严重、最重要的一类污染。因此，公路工程混凝土材料根据自身工程的使用特点，仅考虑外照射，不考虑内照射。即对外照射对人体的危害按国标规定加以限制。

3.0.5 计量

外加剂掺量应以胶凝材料重量的百分率表示，随着高性能混凝土“双掺技术”的推行和普及，水泥与掺合料均被视为胶凝材料，掺合料对某些外加剂掺量的影响很大，因此，外加剂的掺量应考虑掺合料对外加剂掺加效果的影响。表 3.0.5 的规定，原则上强度等级高、累计和连续计量允许误差要求较高，反之，则与常规相同。

3.0.6 适用水泥品种

规定掺外加剂与掺合料的混凝土所用水泥品种的要求。各类水泥均必须与所用外加剂相适用；掺合料不宜加入有同种混合材的水泥中，并应同时计入水泥中与混凝土中掺入的掺合料总量。如粉煤灰不宜加入粉煤灰水泥中，磨细矿渣不宜加入矿渣水泥中等。

3.0.7 含碱量

即使使用低碱水泥，当水分能够渗入混凝土时，也能导致碱集料破坏反应，因此规定处于与水接触环境中的混凝土，不得使用碱活性集料。当集料具有碱活性时，应严格控制外加剂带入混凝土的碱量不应超过 $1.0 \text{ kg} / \text{m}^3$ 。有些外加剂含有一定数量 Na_2SO_4 或其他形式的碱。根据推算，早强剂及早强减水剂的碱含量约 20%~40%；速凝剂约 15%~20%；膨胀剂约 0.4%~3%；高浓度萘系高效减水剂约 5%~10%，低浓度萘系高效减水剂约 15%~20%。使用这些外加剂时萘含碱量均有所增加。因此，在产品说明书中应有明确的含碱量标识。

混凝土中产生碱集料反应有三个必备条件：集料具有碱活性、混凝土中有不小于 $3.0 \text{ kg} / \text{m}^3$ 的总含碱量、有足够的湿度环境。三者共同遭遇在结构中，会发生碱集料反应，要特别引起重视，严加控制，甚至夹杂少量碱集料(5%)也不允许。严格防止公路混凝土结构或构件因夹杂碱集料反应造成的局部崩裂破坏，这是公路混凝土结构或构件要求抗动载冲击、振动、耐疲劳等特性所决定的。

规定水泥、外加剂及掺合料带入混凝土总碱含量不宜超过 $3.0 \text{ kg} / \text{m}^3$ ，(国外重要的工程控制 $2.5 \text{ kg} / \text{m}^3$) 是防止碱集料反应所采取的措施，是一个重要的临界控制指标。应注意：混凝土总碱含量不宜超过 $2.5 \sim 3.0 \text{ kg} / \text{m}^3$ 是相当严格和一般不易做到的规定，假设工程所使用的是低碱水泥，碱度为 0.5%，总含碱量还与单位水泥用量有关，如果此时外加剂带入的碱含量为 $1.0 \text{ kg} / \text{m}^3$ ，单位水泥用量不能大于 $400 \text{ kg} / \text{m}^3$ ，否则，即使是使用了碱度为 0.5% 的低碱水泥，在未计入

掺合料带进的碱度时，混凝土中的总碱含量也将超过 3.0 kg/m^3 的规定。因此，控制水泥、外加剂和掺合料中的总含碱量临界指标在较高强和高强混凝土中，当水泥用量或胶凝材料总量偏大时，外加剂的绝对用量也大，有相当的难度，不使用碱活性集料将是最有效防止碱集料反应的办法。

3.0.8 拌和要求

大量的工程实践反复证明：掺外加剂与掺合料的混凝土，若没有强制式搅拌机(楼)进行拌和，手工是无论如何也不可能将掺量极小或较小的外加剂与掺合料在拌合物中拌和均匀的。因此，国内外的规范均规定必须是机械搅拌。实践还表明：手工是拌和不出强度等级大于 C30 以上混凝土的。所以即使是不掺外加剂与掺合料的 C25 以上的混凝土均应严禁手工拌和生产。在高速公路桥面上，目前最典型的是手工拌和防水找平层混凝土和伸缩缝钢纤维混凝土。无论设计厚度如何，手工是拌和不出规定的 C40 级混凝土强度等级和匀质性来，手工拌和方式，在很短的时间内，将出现快速损坏。所以，无论混凝土量多寡，均应准确称量，机械强制拌和。特大、大、中型公路混凝土路面、桥梁、隧道工程掺各种减水剂和 / 或掺合料的混凝土应采用有计算机自动控制的强制式搅拌机搅拌，以保障这些重大混凝土结构工程的混凝土拌和质量、匀质性和稳定性。

3.0.9 氯离子限量

本规定摘自《预拌混凝土》(GB14902)。据世界权威机构的统计，目前全世界的各种混凝土结构物，在耐久性问题中，钢筋锈蚀引起的损坏比例最大，特别是在公路、铁路桥梁结构中，所造成的损失占全部耐久性损失的 $3/4$ 。例如，在我国公路上处在海水中的、海风环境(距海岸线 10km 范围内)的、冬季洒除冰盐的、处在盐碱地腐蚀区内的桥梁，均有严重的钢筋锈蚀破坏问题，粗略估计占国土面积的 $2/3$ 。钢筋锈蚀破坏将成为我国未来钢筋混凝土桥梁和其他混凝土结构物的主要耐久性损坏问题，应引起高度重视。

鉴于此，本指南对外加剂、掺合料单独掺用时带入混凝土拌合物氯离子含量提出了较严的要求。其原因是组成混凝土的主要原材料：水泥、水和集料也会带入氯离子。所以，规定外加剂与掺合料单独带入混凝土拌合物中的氯离子含量，宜按总氯离子含量的 $1/3$ 进行控制。表 3.0.9 的规定是参照国内外有关资料制定的，表中规定与欧盟国家的规定相同。首先，目前国际上所称无氯外加剂是指氯离子含量不大于 $0.1\%C$ (C 为水泥质量)，但不适用于预应力钢筋混凝土结构；可用于潮湿环境钢筋混凝土。预应力混凝土和腐蚀环境中的钢筋混凝土氯离子含量不大于 $0.02\%C$ ，事实上难于做到。这两种条件下，应采取其他措施。防止钢筋锈蚀的技术措施，常用的有使用高效减水剂减小水胶比、采用高性能高密实度混凝土、在混凝土中掺用钢筋阻锈剂，使用防锈蚀钢筋、环氧树脂涂层钢筋、电化学防护等适宜的技术措施。当今我国正处在大规模公路建设时期，不高度重视并切实做好公路混凝土结构和构件的钢筋防锈蚀工作，在不久的将来，必须用巨额资金对大量的公路桥梁或其他结构物的腐蚀破坏进行修复。

4 外加剂

4.1 一般规定

4.1.1 适应性检验

各种公路混凝土工程使用的外加剂，必须首先进行外加剂与水泥适应性检验，不适应的外加剂不得使用。适应性检测方法见附录 D。当水泥品种、强度、等级、生产厂变动，或混凝土性能出现变化时，应重新检验外加剂对水泥的适应性。

4.1.2 品种与化学成分

公路混凝土结构工程所选定的各种外加剂品种和主要化学成分，应符合本指南本章各节外加剂品种和主要化学成分的规定。本指南中没有规定的外加剂品种，须经充分试验研究或专家论证后方可使用。

4.1.3 性能指标

掺常用外加剂混凝土的性能指标要求应符合表 4.1.3 的规定。其试验方法和检验规则应符合附录 B 的规定。检验掺外加剂混凝土性能所采用的基准水泥应符合附录 C 的规定。钢筋锈蚀快速试验方法应符合附录 L 的规定。

4.1.4 匀质性

各种外加剂产品的匀质性检验指标应符合表 4.1.4 的规定。匀质性检验应按《混凝土外加剂匀质性试验方法》(GB/T 8077)进行。

4.1.5 技术经济优选

在选用外加剂时，应使用施工原材料，通过不少于三种外加剂产品性能的对比试验，按性能价格比最优，经技术经济综合优选，确定一种为使用产品，另一种为备用产品。

4.1.6 掺量

外加剂掺量应根据工程的施工和使用要求、当地原材料、施工气温和环境条件等因素，并参考厂家的推荐掺量，最佳掺量应通过混凝土试配，按其检验的剂量适应性确定，在满足工程的各项使用和技术要求时，可使用等于或略小于饱和掺量，除特殊情况外，不应大于饱和掺量。

表 4.1.3 掺常用外加剂混凝土的性能要求

外加剂种类 试验项目	普通 减水剂	高效 减水剂	引气剂	引气 减水剂	引气 高效 减水剂	缓凝剂	高温 缓凝剂	缓凝 减水剂	缓凝 高效 减水剂	引气缓 凝高效 减水剂	早强剂	早强 减水剂	泵送剂	
减水率 (%), ≥	8	15	6	12	18	—	6	8	15	18	—	8	坍落度增加不小于 100mm*	
泌水率 (%), ≤	95	90	70	70	70	100	95	100	100	70	100	95	常压及压力泌水率不大于 90	
含气量 (%)	≤3.0	≤3.0	≥3.0	≥3.0	≥3.0	—	≤2.5	≤4.5	≤5.5	≥3.0	—	≤3.0	≤4.5	
凝结时间 差 (min)	初凝	-90~	-90~	-90~	-90~	-60~	>+90	^{+300~+480}	>+90	>+90	>+90	-90~	-90~	坍落度 保留值
	终凝	+120	+120	+120	+120	+90	—	≤+720	—	—	—	+90	+90	
抗压强度 比 (%), ≥	1d	—	140	—	—	—	—	—	—	—	135	140	—	
	3d	115	130	95	115	120	90	—	100	125	115	130	130	90
	7d	115	125	95	110	115	95	90	110	125	110	110	115	90
	28d	110	120	90	100	105	100	100	110	120	105	100	105	90
弯拉强度 比 (%), ≥	7d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	105	110	—	
	28d	105	115	100	110	115	100	100	105	115	115	100	105	90
收缩率比 (%), ≤	28d	125	125	120	120	120	125	125	125	125	120	130	130	125
磨耗量 (kg/m ²), ≤	28d	2.0	2.0	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	—
冻融循环次数, ≥	100	100	200	200	200	—	—	—	100	200	100	100	100	
碱含量	测定值 (以混凝土每立方米总碱量不超过 3.0 kg 控制)													
对钢筋锈蚀作用	应说明对钢筋有无锈蚀危害													

- 注：1. 表中所列减水率、泌水率比，凝结时间差、抗压强度比、弯拉强度比、收缩率比的数据为掺加剂受检混凝土与基准混凝土差值比值。
 2. 冻融循环次数：满足相对动弹性模量值不小于 80%时的最大循环次数。有抗冻要求时，应检冻融循环次数；无抗冻性要求，此项免检。
 3. 凝结时间指标“—”表示提前，“+”表示延缓。
 4. 弯拉强度比、磨耗量为路面混凝土要求检项。
 5. 泵送剂基准混凝土坍落度为(80±10)mm。受检混凝土坍落度为(180±10)mm。

表 4.1.4 混凝土外加剂产品的匀质性检验指标

项次	试验项目	匀质性指标
1	含固量或含水量	(1)对液体外加剂,应在生产厂控制值相对量的3%之内; (2)对粉状固体外加剂,应在生产厂控制值相对量的5%之内
2	密度	液体外加剂,应在厂家所控制值的 $\pm 0.02\text{g/cm}^3$ 之内
3	氯离子含量	应在生产控制值相对量的5%之内
4	细度	通过0.30mm的方孔筛,筛余量应小于10%
5	PH值	应在生产控制值 ± 1 之内
6	表面张力	应在生产控制值 ± 1.5 之内
7	还原糖	应在生产控制值 $\pm 3\%$ 之内
8	总碱量($\text{Na}_2\text{O}+0.658\text{K}_2\text{O}$)	应在生产控制值相对量的5%之内
9	硫酸钠	应在生产控制值相对量的5%之内
10	泡沫性能	应在生产控制值相对量的5%之内
11	不溶物含量	应在生产控制值相对量的 $\pm 3\%$ 之内
12	水泥净浆流动度	应不小于生产控制值的95%
13	砂浆减水率	应在生产控制值 $\pm 1.5\%$ 之内

注:以尿素为主要成分的防冻剂,含固量和含水量测定时恒温温度可为 $80\sim 85^\circ\text{C}$ 。

4.1.7 掺加方法

可溶解的外加剂应提前1d配制成均匀一致的溶液。不同剂种的外加剂复合使用时,应检验其互溶性,满足要求后,方可共溶。减水剂与其他外加剂共同配制在一种溶液内时,如产生絮凝或沉淀等不相溶现象时,不得复配在同一溶液中使用,应更换为可互溶的外加剂,或分别配制溶液分别加入。需二次添加外加剂时,应通过试验确定,拌合物搅拌均匀方可出料。必需用粉剂掺加的外加剂,宜通过准确称量后,与水泥或水一起加入,再拌和均匀,其搅拌时间应比液体外加剂延长30s。

4.1.8 配合比设计

掺外加剂混凝土的配合比设计应按附录F.1的规定执行。试配掺外加剂的混凝土时,应采用施工用原材料及与工地相同的环境条件。检测指标应根据设计和施工要求确定,主要检测项目有:含气量、减水率、坍落度及其损失、温度、凝结时间、抗压强度、弯拉强度、收缩率、膨胀率、抗(盐)冻性等。

4.1.9 储存

外加剂产品的储存期不宜超过半年。不得使用超过储存期限或在储存期内变质、结硬、污染和混杂的外加剂。各种外加剂应按不同供货单位、不同品种、不同牌号分类储存在专用仓库内,并设明显标志。在储存期内应防止日晒、受冻、污染、受潮、混杂或蒸发。粉状外加剂在有效期内受潮结块,经性能检验符合一等品要求者,应粉碎至全部通过0.30mm方孔筛,方可使用;液体外加剂在有效期内发生沉淀时,若沉淀能够全部搅拌均匀、无结块,经性能检验符合一等品要求者,允许将其搅拌均匀后使用。

4.1.10 外加剂的取样及质检

1 批量和取样要求:运到工地的外加剂产品,每20t为一批,总量不足20t亦为一批。每一批应于16个不同点取样,每点取样250g,共4000g,将试样充分混合均匀,分为四等份,其中一份做试验检验,另一份密封保存三年,以备有疑问时,交国家规定的检验机构进行复检或仲裁。

2 质量检验:质量检验的试验项目及所需数量应符合表4.1.10的规定,试验结果应符合表4.1.3的性能要求(一等品质量指标),两次或多次检验的误差应符合表4.1.4匀质性指标。

表 4.1.10 外加剂质量检验的试验项目及所需数量

试验项目	外加剂类别	试验类别	试验所需数量				
			混凝土拌和批数	每批取样数目	掺外加剂混凝土总取样数目	基准混凝土总取样数目	
安定性	防水剂	净浆	3	1 次	3 次	3 次	
减水率	除早强剂、缓凝剂、速凝剂和防水剂外	混凝土拌合物	3	1 次	3 次	3 次	
坍落度	各种外加剂		3	1 次	3 次	3 次	
含气量			3	1 个	3 个	3 个	
凝结时间差			3	1 个	3 个	3 个	
泌水率比			3	1 个	3 个	3 个	
压力泌水率比			泵送剂	3	1 块	3 块	3 块
悬浊物含量	水中抗分离剂		3	1 次	3 次	3 次	
抗压强度比	各种外加剂	硬化混凝土	3	12 块	27 或 36 块	27 或 36 (9 块)	
弯拉强度比			3	1 或 2 块	3 或 6 块	3 或 6 块	
磨耗量			3	1 块	3 块	—	
收缩率比			3	1 块	3 块	3 块	
钢筋锈蚀			3	1 块	3 块	3 块	
吸水量比			防水剂	3	1 块	3 块	3 块
抗渗压力比 (或水头比)			防水剂 防冻剂	3	2 块	6 块	6 块
冻融循环次数	除缓凝剂与高温缓凝剂外	3	1 块	3 块	—		
50 次冻融强度损失率比	防冻剂	1	6 块	6 块	6 块		
钢筋锈蚀	各种外加剂	新拌或硬化砂浆	3	1 块	3 块	—	

注：1. 试验时，检验一种外加剂的三批混凝土应在同一天内完成。

2. 试验龄期参照表 4.1.3 试验项目栏。

3. 防冻剂抗压强度比受检混凝土 36 块；基准混凝土 9 块。

4. 混凝土中总碱量通过各种原材料含碱量实测值和单位体积用量计算得到。

4.1.11 施工过程中外加剂的质量检验

1 入库检验：同厂家同品种批量 5t 或一车为一批，应检验项目：粉状外加剂细度、含水量、饱和溶解量、不溶物含量、颜色一致性和内部结块；液体外加剂浓度、pH 值；色泽均匀性、沉淀和表面结皮；并应有外加剂质量一等品检验合格证书、厂家和生产日期等，满足要求方可入库。

2 施工过程中检验：批量 5t 或一车为一批，检验项目：粉状外加剂不溶物含量或含水量；烘干法检测液体外加剂含固量；外加剂加入搅拌机时溶液浓度的 PH 值；水泥净浆流动度和砂浆减水率其中一项；粉状外加剂 500kg 一批检验细度；每一桶或 100kg 液体外加剂应使用比重计测浓度。检测结果应符合该产品质量合格证书中的数据，两次或多次检验误差应符合表 4.1.4 匀质性指标要求。监理应按施工自检频率 25% 抽检，并至少抽检一次。外加剂进货应与试配时使用的一致，方可使用。若发现不一致时，应立即停止使用。

4.1.12 匀质性检验

在公路混凝土工程中，当使用的外加剂为分批生产或需多池均化稀释时，均应进行匀质性检验。不同品种外加剂的匀质性检验项目应符合表 4.1.12 的规定。匀质性试验方法按《混凝土外加剂匀质性试验方法》(GB / T 8077) 的规定进行。

表 4.1.12 外加剂匀质性检验项目

外加剂 项目	普通 减水剂	缓凝 减水剂	早强 减水剂	引气 减水剂	高效 减水剂	引气 高效 减水剂	引气 缓凝 高效 减水剂	缓凝 高效 减水剂	缓凝 剂	早强 剂	引气 剂	泵送 剂	高温 缓凝 剂	防水 剂	防冻 剂	水中 抗分 离剂	备 注
含固量	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	
氯离子含量	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	
PH 值	√	√	√	√	√	√	√	√			√		√	√		√	
表面张力				√	√	√	√	√			√			√			
泡沫性能				√		√	√				√					√	
还原糖	√	√						√	√	√			√				木质素磺酸类减水剂必测
总碱量	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	
硫酸钠			√		√	√	√	√		√							含硫酸钠必测
水泥净浆 流动度	√	√	√	√	√	√	√	√				√				√	两项中可任测一项
水泥砂浆 流动度	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√		√	√				
密 度	液体外加剂必测																
细 度	粉状外加剂必测																
不溶物	粉状及液体外加剂必测																

注：表中“√”为必测项目。

4. 1. 13 包装、出厂、储存及退货

外加剂的包装、出厂、储存及退货应符合附录 B. 3 的规定。

说明

一般规定指本指南所列各类外加剂使用时均应遵循的共同要求。

4. 1. 1 适应性检验

外加剂与水泥的适应性是一个复杂问题。以减水剂为例，不同减水剂品种对水泥的分散、减水、增强效果不同；对同一种减水剂而言，由于水泥的矿物组成、温度、细度、含碱量、石膏品种和掺量、掺合料品种和掺量等不同，减水剂的增强效果差别很大。我们将其分为化学定性不适应和剂量定量不适应两类。目前所知，外加剂与水泥的化学定性不适应主要来自水泥调凝剂中所使用的除二水石膏以外的各种石膏变种，如硬石膏、半水石膏、脱水石膏、氟石膏、萤石膏、磷石膏、工业废渣石膏等。采用标准稠度的水泥净浆即可定性检验外加剂与所用水泥的化学适应性，其检验方法见附录 D。如化学不适应的减水剂，不减水反而增水，显然不能使用。外加剂与水泥的剂量不适应主要取决于如下因素：水泥中的铝酸三钙含量高、碱含量偏高、细度偏细，拌和时水泥温度过高，则剂量适应性变差。剂量不适应表现在相同掺量减水剂的减水率远低于或大于使用基准水泥检验得到的减水率。大于基准水泥检验的减水率有利于工程使用，但需要调整掺量或工作性。如要求的减水率较低，减水剂的减水率很高，则可减少减水剂掺量，否则，水泥浆过稀，浆体会从集料中流失。在远低于基准水泥的减水率时，则应视减水剂饱和掺量的减水率是否满足工程使用要求，在小于等于饱和掺量条件能够满足使用要求时，可将掺量加大到饱和掺量来使用；在使用饱和掺量仍不能满足使用要求时，则必须更换减水剂或水泥品种。

以掺早强剂、防冻剂的混凝土来说，应优先采用早期强度发展快的水泥，以便提早达到抗冻所要求的临界强度。对于掺膨胀剂的混凝土而言，同一掺量、同一种膨胀剂，膨胀率随水泥中铝

酸盐矿物、三氧化硫含量的提高而增大。

综上所述，公路混凝土工程选用外加剂时，首先应做适应性检验，并根据工程材料及施工条件，通过试验优选和确定外加剂品种和适宜掺量。同时规定当条件变化时，重新进行试验优选。

4. 1. 2 品种与化学成分

本规定是针对目前我国外加剂市场上流行对产品主要化学成分和配方保密的做法，绝大多数只表明英文代号，名为保护知识产权，实际上对工程使用带来极大的困难和混乱，造成了不应有的工程隐患或使工程返工。为了杜绝此类问题的发生，本指南规定外加剂生产商必须标明主要化学成分，配方可以保密，但使用者必须有主导化学成分的知情权。否则，掺量极有可能用错，不同化学成分功能相同的减水剂掺量可以相差 10 倍甚至 100 倍，当使用者了解其主要化学成分时，将有效减少使用中出現差错的可能性。

4. 1. 3 性能目标

表 4. 1. 3 中规定的掺常用外加剂混凝土的性能要求与《混凝土外加剂》(GB 8076)相比，有如下公路混凝土结构工程的特殊规定：

①规定用于所有等级公路混凝土结构工程的各种外加剂产品质量必须首先满足《混凝土外加剂》(GB 8076)一等品的各项技术指标规定。表 4. 1. 3 中仅有一等品技术指标，合格品未列入，这与《水工混凝土外加剂技术规程》(DL / T 5100)的规定相同。由于目前市场中不少标注合格的外加剂产品存在相当数量的不合格品，其使用将有损于公路混凝土动载结构工程质量和长期使用特性，因此，本指南规定只允许使用一等品。

②参照我国电力行业规范《水工混凝土外加剂技术规程》(DL / T 5100)，对高效减水剂的减水率的要求比《混凝土外加剂》(GB 8076)略高，由 12%提高到 15%。常用的普通减水剂也多可达到这一要求。而几乎所有高效减水剂均可达到或超过 15%减水率。本指南还将引气减水剂的减水率由 10%提高到 12%，这是由于普通减水剂要求有大于 8%的减水率，加上引气剂要求能提供 6%的复合减水率，引气减水剂至少能保证 12%的减水率。同样，高效减水剂 15%减水率加上引气剂 6%减水率，引气高效减水剂和引气缓凝高效减水剂减水率提高到 18%，实测表明亦无问题。

注意此处所讲的减水率是用基准水泥并按基准混凝土配合比的检测结果，与实际工程所使用的水泥和减水剂测得的减水率有差别。这是由于实际工程的混凝土采用的原材料和配合比与检验时的材料 and 环境不同。检验外加剂产品等级时，使用的是基准水泥、原材料和基准配合比(见附录 B 的规定)，此时测得的减水率为产品减水率；按实际工程原材料和配合比测得的减水率是工程实际减水率。外加剂在化学适应的前提下，其产品的减水率经常不代表实际减水率，这里还有剂量适应性问题。实际减水率远小于产品减水率的外加剂存在与工程使用的水泥剂量适应性不佳问题。

③《混凝土外加剂》(GB 8076)中规定的掺外加剂的混凝土 28d 收缩率比不大于 135%；《水工混凝土外加剂技术规程》(DL / T 5100)规定的 28d 收缩率比不大于 125%；本指南规定引气型减水剂 28d 收缩率比不大于 120%，非引气型减水剂 28d 收缩率比不大于 125%，早强剂与早强减水剂 28d 收缩率比不大于 130%。经实测，这些要求优质外加剂均可达到，在已经颁布的《公路水泥混凝土路面施工技术规范》(JTG F30)中要求所有外加剂 28d 收缩率比不大于 120%，这对早强剂与早强减水剂达不到，这里根据实测结果进行了必要的修改，工程应用时，请按本指南的最新要求进行控制。据了解，国际上有的国家要求 28d 收缩率比不大于 120%~135%，有的国家按绝对收缩差值规定为不大于 1×10^{-4} 。本指南的规定针对的是公路混凝土结构。在公路工程混凝土结构和构件中有两个与其他基建行业显著不同的特点：

一是以混凝土薄壁结构占主导地位，例如 T 梁、箱梁、板梁、薄壁桥墩、薄壁挡土墙、涵(管)洞、隧道衬砌、路面、桥面铺装层等，薄壁结构混凝土的抗裂问题始终是困扰公路行业的一大难题。而《混凝土外加剂》(GB 8076)的规定对薄壁结构而言是过火的，不可接受，135%的 28d 收缩率比导致公路工程中常见的现象：不用外加剂不裂，一用就裂。因为如掺用了外加剂后的混凝土比不掺相同配合对比混凝土 28d 收缩量大 35%。因此，该项技术指标要求必须按公路薄壁混凝土结构修改为 120%~125%，工程实测表明，最好的引气型减水剂 28d 收缩率比仅有 108%，一般为 115%左右，最大的不大于 120%。非引气型减水剂 28d 收缩率比一般可小于 125%，这样可以有效地减少和降低薄壁混凝土结构在施工和使用期间的干缩开裂。

实测表明：早强剂与早强减水剂 28d 收缩率比做不到不大于 125%，更难做到不大于 120%，因此规定为 28d 收缩率比不大于 130%。所以，要求抗裂的公路工程薄壁混凝土结构应尽量避免使

用早强剂与早强减水剂，不仅如此，早强混凝土构件表面容易泛白，构件的外观色泽也难于控制。

二是公路工程混凝土结构是承受动载为主的结构，目前我国公路车辆动载有三个特征：a) 超载严重导致剧烈的振动；b) 冲击作用强：因路面的不平整和破损维修不及时，可能产生静荷载的 2~3 倍的冲击应力；c) 反复疲劳荷载：我国公路不少路段存在超饱和的交通流量，混凝土材料的疲劳强度仅有静载强度的一半。在这样的使用条件下，施工期就出现了裂缝的结构，一旦遭遇超载、振动、冲击和超饱和交通流，结构裂缝将快速扩展，混凝土结构在短期内就可能发生破坏。因此减小外加剂带来的干缩，是从原材料角度进行裂缝控制的重要措施之一。

掺外加剂的水泥水化机理研究表明：外加剂特别是减水剂有利于水泥的水化更完全、更彻底，但增大了混凝土的收缩量，水化越充分的水泥石中会生成更多的水化硅酸钙凝胶，在其贡献更高强度的同时，也会产生更大的干缩，混凝土的干缩主要来源于水化硅酸钙凝胶的层间结构脱水。减缩型减水剂是外加剂开发的一个重要方向。尽管外加剂有增大干缩导致混凝土结构开裂的不利方面，但其有利方面更多、更大。同时，外加剂引起开裂仅仅是可能造成结构开裂的原因之一。只要外加剂造成的收缩足够小，并采取抗裂的混凝土配合比设计、积极有效的保湿养生措施等，是能够有效地防治和抑制住薄壁混凝土结构早期干缩开裂的。

④鉴于公路混凝土结构抗冻问题的重要性，本指南与《水工混凝土外加剂技术规程》(DL/T 5100) 规定相同，以快冻法相对动弹性模量不小于 80% 时的最大循环次数为抗冻性控制指标，凡引气型减水剂均规定冻融循环次数不小于 200 次，缓凝剂和缓凝减水剂不要求冻融循环次数。其他各类减水剂和早强剂不小于 100 次。表明缓凝剂和缓凝减水剂不得用于早期 (28d) 有抗 (盐) 冻性的公路混凝土结构中。

⑤按照碱集料反应控制的要求，增补碱含量测定值，以便在有碱集料反应控制要求的公路混凝土结构工程中，将每立方米混凝土中的总碱量控制在 3kg 以内。总碱量的构成主要是两部分：一是水泥中的碱量：为单位水泥用量乘以其实测含碱量；二是外加剂中的碱量：为碱含量测定值乘以外加剂用量再乘以单位水泥用量。如果拌合水中不含碱，总碱量为上述两项之和；若拌合水中含碱，则为三项之和。

⑥由于在公路混凝土结构中，水泥混凝土路面是非常重要的一大类抗弯和表面磨损的结构，本指南与《混凝土外加剂》(GB 8076) 和《公路水泥混凝土路面施工技术规范》(JTG F30) 不同的是：路面要求检测掺外加剂混凝土的 28d 弯拉强度比和磨耗量，早强剂和早强减水剂有 7d 弯拉强度比的规定。磨耗量除引气型外加剂规定 $2.5\text{kg}/\text{m}^3$ 外，其他外加剂均规定不大于 $2.0\text{kg}/\text{m}^3$ 。说明引气剂产生的气泡在相同水灰比时，对耐磨性略有不利影响，但可通过提高减水率进行补偿。路面所使用的外加剂应按本指南规定增加 28d 弯拉强度比和磨耗量两项指标；桥面按 28d 抗压强度比和磨耗量进行控制。

4.1.4 匀质性

外加剂产品的匀质性，实质上是对产品质量稳定性的规定，这在使用中经常会遇到。若外加剂的匀质性达不到表 4.1.4 的要求，即使施工条件相同，混凝土强度的统计偏差 C_v 值会增大，强度保证率变差，进而导致混凝土结构可靠度不足而引发质量问题。表 4.1.4 的匀质性规定与《混凝土外加剂》(GB 8076) 表 2 相比有两点不同：一是粉剂的细度要求是通过 0.30mm 方孔筛，筛余量不大于 10%，否则，应将筛余的大块重新粉碎，过筛后再用；二是本指南增加了不溶物含量，主要指粉剂喷雾干燥中形成的焦化颗粒，液体外加剂中的结皮、絮凝块等，它是含固量中无法溶解的颗粒、片状或絮凝块，严重影响外加剂的匀质性，是有害无益的物质，也是外加剂沉淀的主要来源。它不能拌进混凝土中，必须每天清除丢弃的外加剂残渣。表 4.1.4 的匀质性规定与国外的要求相比是相当低的，兼顾了目前国内多数外加剂厂商实际生产的工艺稳定水平。

4.1.5 技术经济优选

本指南对选定外加剂时使用的技术经济综合优选进行了规定。优选应贯彻性能价格比最优的原则，优选外加剂的方法和程序如下：

①首先应进行不少于 3 种外加剂的混凝土性能对比试验，其技术指标应满足表 4.1.3 相应品种外加剂的规定，并选用其指标最优或较优者；

②进行 3 种外加剂的经济性对比，外加剂的经济性绝非仅取决于销售单价，同时与掺量有关，外加剂价格 = 单位水泥用量 × 实际掺量 × 单价，单价虽高，但掺量较小的外加剂同样具备优良的经济性；

③重要公路工程按性能价格比优选外加剂时必须在选定一种使用产品的同时确定另一种为备用品。这是为防止因外加剂缺货或供应不上而中断施工所采取的措施。

4. 1. 6 掺量

饱和掺量为试验得到的外加剂掺量与减水率实测曲线的峰值时的掺量，详见《公路水泥混凝土路面滑模施工技术规程》(JTJ / T 037. 1)中的图 5. 1. 7。如外加剂掺量大于饱和掺量，会引发较多的副作用甚至是有害作用。例如：普通缓凝减水剂当掺量较大时，会降低早期强度；当掺量过大时，会导致拌合物几天都不凝固，虽然最终混凝土也会凝固，但早期强度不足，抗裂性变差，28d 强度可能达不到设计强度，甚至导致工程返工。

最佳掺量为通过各项性能试验优选出的满足具体工程全部使用要求的掺量，一般不大于该外加剂的饱和掺量。最佳掺量既非厂家推荐掺量，也非饱和掺量。最佳掺量是在厂家推荐掺量的范围内，按照本工程结构的具体要求，通过不同掺量的对比试验得出的适合本工程施工环境、工艺、原材料、配合比和结构类型等条件的外加剂掺量，当条件改变时，最佳掺量应另行试验优选。

4. 1. 7 掺加方法

这条规定与新修订《混凝土外加剂应用技术规范》(GB 50119)中的规定相同，有溶液法、后掺法和干掺法三种，本指南推荐公路工程混凝土应采用第一种溶液法。为了提高流动性和强度，减少坍落度损失，在搅拌运输车运送拌合物时，可采用后掺法，在卸料前 2min 将外加剂加入罐内，快速拌和均匀后出料浇筑。干掺法仅限于某些不得不采用粉剂掺加的外加剂剂种。其目的是保证混凝土拌和均化的更充分，这里有三个问题需要说明：

①两种单独可溶解的外加剂，可否混溶在一起，这是液体外加剂的互溶性问题，主要的原因是在混合溶液中产生了离子交换反应，产生了更加稳定的絮凝物或沉淀物，导致了两种或其中一种外加剂功能削弱乃至完全失效。所以，不能共混的外加剂是不能强行复配在同一溶液中使用的，达不到使用外加剂的多重预定目标。若没有替代办法，非使用不可时，应单独配制各自的溶液，分别加入混凝土中拌和，阻止电解质溶液中离子交换反应的进行，同时，使外加剂能够发挥各自的作用。

②外加剂的使用者往往不知道外加剂原材料的化学组成，因此，自行将几种外加剂复合使用时，会发生某些组分超出规定的允许范围，因外加剂应用不当而引起工程的质量问题，所以，必须通过试验，以确保混凝土质量。

③某些外加剂剂量较大，溶解不充分，如速凝剂、泵送剂、早强剂、防冻剂中的某些品种，不能使用溶液复配；还有些外加剂因工艺限制只能使用粉剂单独掺用，如喷射混凝土所使用的速凝剂等。这些特殊外加剂允许以粉剂掺入，粉剂可通过水泥称量口准确称量加入或准确称量后先与砂石料搅拌均匀再拌和。所有掺粉剂拌合物的搅拌时间均应比掺液体外加剂的延长 30s，以保证其均化。

凡是可溶的、在工艺上允许溶解使用的外加剂均必须将其完全溶解稀释后，掺入混凝土中施工。外加剂多是表面活性剂，其遇水后，表面形成渗透缓慢的包裹层，中间还是干粉，无法与水接触，延长搅拌时间也很难将其打开，混凝土中包含有外加剂彩色或白色析晶的干粉团块，如果是缓凝型外加剂，团块的周围将长期不能凝固和提供强度，易磨损成坑，会产生有害作用。一般应提前 24h 配制成充分溶解、形成无团块的外加剂溶液后，再加入混凝土中拌匀。

4. 1. 8 配合比设计

配合比设计最主要的是应提前测得外加剂减水率；其次是液体外加剂溶液水应从加水量中扣除；粉状外加剂的载体和不溶残渣不计其减水率。

4. 1. 9 储存

保证外加剂在工地妥善保管，是避免外加剂结块、失效、用混或用错的基本条件。对粉状外加剂在有效期内受潮结块者，提出了比《混凝土外加剂》(GB 8076)和《混凝土外加剂应用技术规范》(GB 50119)更严格的要求。《混凝土外加剂应用技术规范》(GB 50119)提出全部通过 0. 63mm 的筛，《混凝土外加剂》(GB 8076)在细度中规定通过 0. 30mm 筛的筛余量应小于 15%。水剂外加剂方可提供最好的掺加效果。结块过大的外加剂对混凝土性能有害，混凝土表面局部将形成黄、棕色斑点。如果是缓凝剂团块(斑点)，附近混凝土将长时间不凝固，并降低局部强度。本指南要求不得使用大于 0. 30mm 以上的结块外加剂。

如液体外加剂沉淀已经硬化结块、有效成分严重降低或某些复配有挥发性组分的复合外加剂，

其中一项组分已经挥发损失，性能已经发生了变化，则不得再使用。

4. 1. 10 取样及质检

本指南对外加剂在工程使用前，取样要求及质量检验进行了更详细而明确的规定，实现取样和质检的科学化、程式化，增加了在施工各个环节中和不同质量管理部门的质检频率，目的在于切实保证重大公路混凝土工程所使用的外加剂质量稳定性，有效地保障公路工程结构混凝土强度保证率和结构可靠度。这些规定是以往没有的，施工中缺乏有效的质量监控办法，补救措施往往是亡羊补牢。这些规定是防止出现施工差错和返工浪费的基本措施，也是提高外加剂应用技术水平的必要条件。

4. 1. 11 施工过程中的质量检验

施工过程中的质量检验包括：入库检验、施工单位自检验和监理检验。实际上是在产品准入和混凝土试配检验满足要求的基础上，对进入工地库房的外加剂提出的再检验把关要求，是保证工程使用过程中的外加剂质量稳定性、匀质性和正确使用的第三道防线。由于一方面入库检验是在产品技术条件和试配检验满足质量技术要求的基础上进行的再检验；另一方面，这些外加剂马上就要入库或投入使用，不可能也不需要进行全面检验，因此仅规定了一些对外加剂质量稳定影响最大的又便于快速检验个别指标，例如，粉状外加剂细度和含水量、饱和溶解量、不溶物含量、颜色一致性和内部结块；液体外加剂浓度、pH 值；色泽均匀性、沉淀和表面结皮等。此道防线的规定在实际工程中是很有必要的，通过此条规定，可以杜绝外加剂在有效成分、浓度或载体等的明显不一致现象，做到公路混凝土工程实际使用的产品与试验样品真正一致。

4. 1. 12 匀质性检验

规定在公路混凝土工程中，当外加剂的总用量超过一次生产批量(掺量不小于 1%的外加剂为 100t，掺量小于 1%的外加剂为 50t)，或需多池均化稀释时，均应进行所用外加剂匀质性检验。不同品种的外加剂测定匀质性检验项目的全部或一部分，见表 4. 1. 12 的规定。表 4. 1. 12 的规定与《混凝土外加剂》(GB 8076)不同之处是增加了不溶物含量，其理由与 4. 1. 4 条说明相同。

对外加剂匀质性有重要影响的是外加剂原材料的均匀性、同一性、化学合成的工艺参数的稳定性及控制精度水平等。一般而言，同样原材料用相同工艺合成的同一批母液或粉状外加剂；在同一均化稀释池中复配的液体外加剂，产品的匀质性有保障。但不同批量的产品，特别是合成原材料变化、工艺参数调整或在不同均化稀释池复配液体外加剂时，其产品的稳定性和匀质性将有所变化。此时，不仅生产厂家，而又使用单位均必须专门强制规定检验匀质性。目前我国公路混凝土结构工程统一要求使用可靠度设计理论，保证结构的可靠度不仅要提高施工质量控制水平，而又要保障所有施工原材料的匀质性和稳定性。特别对混凝土质量影响相当敏感的外加剂应提出更高的匀质性要求。

4. 1. 13 包装、出厂、储存及退货

外加剂的包装规定与《混凝土外加剂》(GB 8076)不同之处是增加了推荐掺量范围、毒性、腐蚀性、易燃性、安全使用注意事项。目的是为了给公路建设、施工、监理和质检单位提供更高的外加剂使用安全性。

附录 B. 3 规定外加剂使用者在遇到下列三种情形之一时可拒绝验收和退货：性能和匀质性不符合本指南的规定；包装质量或浓度与出厂文件不符；出厂文件不齐全者，《混凝土外加剂》(GB 8076)规定生产商应接受退货或协商补足。特别对第一款没有协商解决的余地，必须退货。对不满足第二、三款的方可按《混凝土外加剂》(GB 8076)的规定供需双方进行协商和补足。公路建设、施工、监理和质检单位等应详细了解外加剂拒绝、退货及协商补足的有关规定。

4. 2 普通减水剂及高效减水剂

4. 2. 1 主要品种

1 普通减水剂

(1) 木质素磺酸盐类：木质素磺酸钙、木质素磺酸钠、木质素磺酸镁及丹宁(常用掺量范围 0. 15%~0. 3%)；

(2) 糖蜜类：如糖蜜、糖钙、糖钠(常用掺量范围 0. 1%~0. 3%)。

2 高效减水剂

(1) 多环芳香族磺酸盐类：萘和萘的同系磺化物与甲醛缩合物盐类、氨基磺酸盐(常用掺量范

围 0.3%~1.5%);

(2) 水溶性树脂磺酸盐类: 磺化三聚氰胺树脂、磺化古码隆树脂(常用掺量范围 0.2%~1.5%);

(3) 脂肪族类: 聚羧酸盐类、聚丙烯酸盐类、脂肪族羟甲基磺酸盐高缩聚物(常用掺量范围 0.2%~1.2%);

(4) 其他: 改性木质素磺酸钙、改性丹宁(常用掺量范围 0.2%~1.2%)。

3 复合减水剂类 上述两类的复配产品。

4.2.2 适用范围

1 普通减水剂和高效减水剂可用于公路工程混凝土、钢筋混凝土及预应力钢筋混凝土结构或构件,也可用于钢筋密集、截面复杂、空间狭小、不易振捣,但强度要求中等或较高的高流态混凝土。

2 普通减水剂宜用于日最低气温 5℃以上施工的混凝土结构,不宜单独用于蒸养混凝土构件。当掺用含有木质素磺酸盐类和糖蜜类物质的普通减水剂时应先做水泥适应性检验,合格后方可使用。

3 高效减水剂宜用于日最低气温 0℃以上施工的混凝土结构,适用于制备高流态混凝土、高强混凝土、高弯拉强度混凝土、高性能混凝土及蒸养混凝土构件。

4.2.3 施工

1 普通减水剂、高效减水剂应根据供货商推荐掺量、气温高低、设计强度、结构类型、施工工艺要求等,按 4.1.6 条规定优选出最佳掺量使用。施工中需二次添加减水剂时,添加量和工艺应经过试验确定。

2 减水剂应配制并搅拌成均匀溶液使用,未能溶解的固体沉淀物,应及时清除。外加剂溶液中水量应从拌和用水量中扣除。

3 根据公路工程的需要,普通减水剂和高效减水剂可与其他外加剂复配使用,复配应满足互溶性的要求,复合减水剂掺量应根据试验确定。

4 在气温大于等于 25℃的环境中使用高效减水剂时,应检测掺高效减水剂拌合物的坍落度经时损失。当运输、浇筑、振捣和成形时间较长时,可采取下述措施:

(1) 在高效减水剂中掺加与水泥相适应的缓凝剂、高温缓凝剂、保塑剂或缓凝减水剂,减少坍落度损失;

(2) 用搅拌车或罐车运输混凝土时,在浇筑现场可二次加入高效减水剂,经快速搅拌均匀后出料,但不得多加水,并快速完成浇筑、振捣、饰面等;

(3) 使用缓释型的高效减水剂。

5 掺普通减水剂、高效减水剂的公路工程结构混凝土,应加强并尽早进行保温保湿养生,并应防止养生方式不当或天气骤变冷冲击造成薄壁结构的温差、湿差开裂。不同气温时的养生时间应符合表 4.2.3 的规定。混凝土结构拆模后,易被风干的棱角部位应继续保湿覆盖养生,并比表 4.2.3 规定值延长 7d。

表 4.2.3 不同气温时的保温保湿养生时间

气温(°C)	0~10	10~15	15~20	20~25	25 以上
养生天数(d)	28	21	14	10	7

6 掺高效减水剂的钢筋混凝土构件采用蒸养时,混凝土应具备必要的结构强度才能升温,蒸养工艺应通过试验确定。

7 掺普通减水剂、高效减水剂的预应力钢筋混凝土结构或构件的张拉或放张工艺应通过试验确定。

说明

4.2.1 主要品种

本条规定与国标《混凝土外加剂应用技术规范》(GBJ 119—2003)基本一致。没有在此条中列出的主要化学成分、品种的减水剂,除非经过鉴定或专家论证原则上是不允许使用的。主要原因:

一是缺乏使用经验；二是新品种的减水剂观测期限不长，其副作用可能还未认识清楚。必须保证重大公路结构工程不致因减水剂的使用不当而带来质量问题。

减水剂和高效减水剂的掺量范围是经验值，供参考。有的高效减水剂减少掺量使用也能达到普通减水剂的减水率。普通减水剂仅在非常独特的适应性条件下可达到或接近高效减水剂的减水率。

4. 2. 2 适用范围

1 普通减水剂和高效减水剂一般不含氯盐，因此适用于素混凝土、钢筋混凝土和预应力混凝土结构和构件。对密集钢筋骨架条件下使用的高流态混凝土和自流平必须使用高效或超高效减水剂。

2 温度对掺入减水剂混凝土凝结时间的影响在 20℃ 以下较为显著，在 10℃ 时，掺高效减水剂和普通减水剂的混凝土凝结时间比不掺的略有延缓。低温养生时，掺普通减水剂的混凝土早期强度仅为不掺减水剂混凝土强度的 70%~80%，因此，有早强要求的混凝土应考虑温度影响，不宜单独使用普通减水剂。

普通减水剂不得用于蒸养混凝土构件的原因：一是木钙类与糖蜜类的普通减水剂含气量高，缓凝性很强，浇筑后需要较长时间才能形成一定的结构强度，构件静停时段长，既不利于构件厂提高生产效率，又不利于预应力构件的张拉；二是其化学成分均为不耐高温的有机物，在蒸养高温条件下会焦化或分解失效，对强度、耐久性等性能产生不利影响；三是蒸养水泥的水化生成物细观结构粗大，易产生微裂缝，表面酥松、起鼓及肿胀等质量问题，对耐久性、抗冻性及抗腐蚀性性能等有长期不利影响。

用非二水石膏作调凝剂的水泥，在掺用含有木质素磺酸盐类和糖蜜类物质的普通减水剂时，会引起异常凝结，必需先做水泥适应性检验。

3 掺高效减水剂的混凝土早期强度尽管也随着温度降低而降低，但在大于等于 5℃ 养生条件下，3d 强度增长率仍然很高，因此，高效减水剂可用于日最低温度 0℃ 以上施工的混凝土。高效减水剂可用于蒸养，且比不掺高效减水剂混凝土可缩短蒸养时间 1/2 以上。高效减水剂是目前制作高抗压强度、高弯拉强度混凝土的基本材料，也是制备高性能混凝土的必备外加剂之一。

4. 2. 3 施工

1 规定普通减水剂、高效减水剂的最佳掺量，包括了控制坍落度损失进行的二次添加。决定外加剂最佳掺量的因素较多，但均应服从满足工程环境条件下的设计强度、工作性能、耐久性、经济性等性能要求的试验结果。缓凝型的木质素磺酸盐系列及糖蜜系列的减水剂，当其掺量大于规定用量的 2~3 倍时，所配制的混凝土长期强度就将急剧下降，无法满足混凝土结构设计强度的要求。高效减水剂超量掺入会造成混凝土严重泌水，和易性较差，这样的混凝土水泥浆会大量流失，导致密实度不足而影响强度和耐久性。因此，必须正确优选最佳掺量。掺量过小，减水作用很小或没有，因工作性很差而影响强度与耐久性；掺量超限，强度与耐久性亦达不到要求。使用当中必须通过试配找到最佳掺量，并按最佳掺量使用。

2 规定减水剂应配制均匀的溶液，储存外加剂溶液也应设置搅拌设备，以便在搅拌混凝土时将溶液加入搅拌机(楼)中。不得使用含有沉淀或分层离析的减水剂。实际工程中曾经出现搅拌楼外加剂吸管直接吸取含有沉淀的高浓度缓凝减水剂溶液，造成了混凝土结构 3d 以上不凝结、28d 强度严重不足，造成工程返工的情况。外加剂沉淀的有害作用，与外加剂掺量超量过大基本相同。因此，要求每天清除一次外加剂溶液中的沉淀物。扣除溶液中的水分是为了保持水灰比和单位用水量不变，这是达到预期设计强度的必要条件。

3 本款关于复配外加剂的互溶性问题的解释详见 4. 1. 7 条说明的第一款。

4 本款提出高温环境中施工时，减小掺高效减水剂混凝土的坍落度损失的三项解决办法。从施工效果和使用数量来看，第一项措施是最便捷有效，使用最广泛。其他两项也有使用，但相对较少，通过这些措施能够完全控制高温时的拌合物坍落度损失。特别是保塑剂的应用，使多年困扰高效减水剂施工的难题得到了有效解决。坍落度损失除了温度外，还与水泥品种(铝酸三钙含量、细度)、水灰比及掺入时间等有关。水泥中的铝酸三钙含量高、细度细，水灰比小、外加剂掺入时间早，则混凝土的坍落度损失大。显然，R 型水泥坍落度损失更快、更大，公路工程应尽量避免使用早强的 R 型水泥。

以前在水泥混凝土路面的滑模施工中，主张使用缓凝减水剂，不主张使用高效减水剂，主要

是缺乏解决高效减水剂的热天坍落度损失的有效技术措施，目前这个问题已经突破，为近年来用滑模摊铺技术施工高性能道路混凝土，特别是高弯拉强度的混凝土提供了方便和可能。我国近年来，已经使用引气缓凝高效减水剂和 I、II 级粉煤灰摊铺了 1000km 高弯拉强度 (6.5~7.5MPa) 的滑模摊铺高速公路水泥混凝土路面。它能够在有限面板厚度的前提下，为水泥混凝土路面提供足够大的设计安全储备来抵抗超重载破坏。当然也可对热天施工的公路桥涵、隧道工程中的高性能混凝土，特别是能对高抗压强度的混凝土提供良好的工作性。

5 养生要求：一是尽早养生；二是养生方式正确；三是天气骤变时，防止冷冲击开裂；四是按施工气温详细规定了最少养生时间，比一般建筑业的要求偏严、养生时间也 longer，养生工序是保证混凝土结构不产生裂缝和微裂缝的关键施工环节。所谓养生方式不当是指结构 (拆模后) 混凝土温度较高时在表面喷洒冷水；天气骤变冷冲击指热天突然降雨或刮大风造成混凝土结构表面迅速降温，形成薄壁结构冷冲击微裂缝或开裂。对公路路面、桥梁等承受强冲击、应力变化大和超载作用的混凝土薄壁结构，要求有良好的耐疲劳性能的结构，对养生不足或不恰当养生工序引起的裂缝及微裂缝的敏感程度很高，对动载结构混凝土性能的养生要求应比静载结构要求更严格，因此相应的规定需更详细更严密。例如结构拆模后的棱角易开裂部位除满足表 4.2.3 的规定外，应至少再保湿养生 1 周。

6 蒸养多用于涵管、桥梁预制构件，要明确掺某些普通减水剂的混凝土构件不适宜使用蒸养，特别是缓凝型减水剂，必须使混凝土形成一定的结构强度后，方可蒸养，否则，蒸养后的混凝土很容易产生微裂缝、表面疏松、起鼓及肿胀等质量缺陷。掺高效减水剂的混凝土构件可使用蒸养。合理的蒸养工艺必须保证构件不开裂。公路工程大构件控制在 100°C 以内的常压蒸养已经足够。但在混凝土制品行业中，也有使用蒸压养生的，如涵管的预制。蒸压养生构件的内应力更大，更容易开裂。在蒸汽养生和蒸压养生过程中，水泥的水化产物形态会发生较大的变化，其耐久性会受到一定程度的影响。用于公路动载结构的混凝土构件不仅要保证无宏观裂缝，而又对微裂缝亦应严加限制，养生工艺是控制其不产生或少发生微裂缝的重要环节。

7 对公路桥梁中的预应力混凝土结构或构件，预应力混凝土的设计强度和等级较高，几乎都要求掺用外加剂，高效减水剂使用得最普遍。无论采用先张法、后张法或预应力与非预应力的组合结构，其张拉、放张和孔道灌浆技术等施工细节都应处理好。否则，放张后应力集中最突出的梁端容易产生开裂，以及后张法的孔道浆体灌不满或不密实等问题，这是造成预应力结构质量隐患乃至工程返工的最多、最主要的原因，必须高度重视。掺高效减水剂的公路工程预应力钢筋混凝土结构或构件张拉或放张时，混凝土应满足规定的张拉或放张结构强度才能实施，预应力混凝土结构必须通过试验来确定张拉和放张工艺过程。

4.3 引气剂、引气减水剂、引气高效减水剂及引气缓凝高效减水剂

4.3.1 主要品种

1 引气剂

- (1) 松香树脂类：松香热聚物、文松树脂、松脂皂类 (常用掺量范围 0.003%~0.015%)。
- (2) 皂甙类：三萜皂甙 (常用掺量范围 0.10%~0.25%)。
- (3) 脂肪醇磺酸盐类：脂肪醇聚氧乙烯醚、脂肪醇聚氧乙烯磺酸钠、脂肪醇硫酸钠 (常用掺量范围 0.005%~0.02%)。
- (4) 其他：甜菜碱、蛋白质盐、石油磺酸盐 (常用掺量范围 0.2%~0.4%)。

2 引气复合减水剂等配制的引气型外加剂

- (1) 由各类引气剂与普通减水剂和高效减水剂复配的引气减水剂和引气高效减水剂。
- (2) 由引气剂与缓凝剂、高效减水剂复配制得的引气缓凝高效减水剂。
- (3) 由引气剂与早强剂、防冻剂、高效减水剂复配制得的引气早强高效减水剂，引气防冻高效减水剂。

4.3.2 适用范围

1 公路水泥混凝土路面、路缘石、泄水槽等表面结构应使用引气剂、引气减水剂、引气高效减水剂和引气缓凝高效减水剂 (以下简称引气型外加剂)。引气型外加剂适用于有抗冰冻、抗盐冻、防渗、防泌水要求的混凝土与钢筋混凝土；可用于有饰面要求的公路工程混凝土、机制砂混凝土、高性能混凝土、贫混凝土、轻集料混凝土、钢筋混凝土结构和构件。

2 引气高效减水剂适用于在严寒和寒冷地区，有抗冰(盐)冻要求且强度较高的预应力混凝土、钢筋混凝土结构和构件中，但在预应力结构或构件设计时，应考虑弹性模量的下降(折减系数约 0.9~0.95)。

3 引气型外加剂不宜用于蒸养混凝土结构和构件。

4.3.3 施工

1 引气剂应选用表面张力降低值大、在水泥稀浆中起泡容量多而细密、泡沫稳定时间长、不溶残渣少的产品。两种或两种以上外加剂复配为一种复合外加剂溶液时，应满足互溶性要求；同时应满足与所用水泥化学适应性 4.1.1 条和剂量适应性 4.1.7 条检验的规定。

2 路面和桥面引气混凝土含气量及其允许误差应根据粗集料最大粒径、有无抗冻性要求、有无抗盐冻性要求参照表 4.3.3-1 采用。

表 4.3.3-1 路面和桥面混凝土适宜含气量推荐值

粗集料最大公称粒径(mm)	16	19	26.5	31.5
无抗冻性要求(%)	5.0 ± 1	4.5 ± 1	4.0 ± 1	3.5 ± 1
有抗冰冻性要求(%)	6.0 ± 0.5	5.5 ± 0.5	5.0 ± 0.5	4.5 ± 0.5
有抗盐冻要求(%)	7.0 ± 0.5	6.5 ± 0.5	6.0 ± 0.5	5.5 ± 0.5

3 引气高效减水剂或引气缓凝高效减水剂适用于处于严寒和寒冷地区淡水、地下水、冻土区内有高抗冰冻性要求；处于海水、海风环境(离海岸线 10km 范围内)、盐碱水、冬季洒除冰盐有高抗盐冻性要求的公路工程混凝土结构。一般抗冻性要求的混凝土结构和构件可掺用引气剂、引气减水剂。其掺量和品种应根据满足混凝土结构抗(盐)冻性要求的含气量，达到抗压强度要求的减水率，满足施工工艺要求的工作性等条件，通过试验确定。有抗冰冻、抗盐冻和抗海水冻要求的混凝土含气量及其允许误差应根据粗集料最大粒径分别符合表 4.3.3-2 的规定。

表 4.3.3-2 掺引气型外加剂混凝土的含气量

粗集料最大公称粒径(mm)	16	19	26.5	31.5	37.5	45	63
抗冰冻要求的含气量(%)	6.0 ± 0.5	5.0 ± 0.5	5.0 ± 0.5	4.0 ± 0.5	4.0 ± 0.5	4.0 ± 0.5	3.0 ± 0.5
抗盐冻、抗海水冻含气量(%)	7.0 ± 0.5	6.0 ± 0.5	6.0 ± 0.5	5.5 ± 0.5	5.0 ± 0.5	4.5 ± 0.5	4.0 ± 0.5

4 严寒和寒冷地区有抗冰冻和抗盐冻性要求，特别是在 60d 龄期后很快会受到冰冻或盐冻的混凝土结构和构件，宜在掺入引气型高效减水剂的同时，加入符合第 5 章要求的掺合料，降低混凝土内的水胶比，提高混凝土的抗渗性和密实度。

5 冬季日平均气温高于-5℃或极限最低气温高于-10℃施工的混凝土及钢筋混凝土结构和构件，宜使用引气剂、引气减水剂、引气高效减水剂、引气早强高效减水剂。其掺量应根据表 4.3.3-2 中抗冰冻要求的含气量进行控制，通过试验确定。

6 引气混凝土配合比设计时，应计入引气剂引入含气量所占的体积，并考虑含气量对视密度的影响，但配合比中的水泥用量或胶材总量不得减少，砂率可比不掺引气剂时降低 2%~3%。

7 各种引气型外加剂均应以溶解均匀的溶液掺入混凝土中，低温下不易溶解的引气剂可使用温水充分溶解后使用。溶液中的水量应从拌和用水量中扣除。

8 引气型外加剂可根据公路工程要求及环境气温与缓凝剂、早强剂、防冻剂等复合使用，如复配溶液产生絮凝或沉淀现象，应分别配制，分别加入。

9 当原材料、配合比、搅拌时间、运输距离、气温等条件变化时，应微调引气型外加剂的掺量，保证混凝土含气量基本稳定。拌合物应始终保持良好的工作性和可操作性，以满足规定的密实度要求及外观质量。

10 新拌引气混凝土的含气量，应在搅拌机口取样现场检测，并应考虑在运输和振捣过程中的损失。对混凝土路面工程应每半天测两次，其他公路混凝土结构或构件应每 20m³检测一次。

11 引气混凝土结构抗冻性的评价应采用钻芯切片，用气孔显微镜测定硬化混凝土的上、下两个表面的平均气泡间距系数，其最大值不宜超过表 4.3.3-3 的规定数值。

表 4.3.3-3 公路混凝土结构最大平均气泡间距系数(μm)及钻芯测定深度

环境	条件	高速公路、一级公路		其他公路	
		路面、桥面	桥墩, 桥台, 桥柱	路面、桥面	桥墩, 桥台, 桥柱
严寒地区	冰冻	250	275	300	325
	盐冻	200	225	250	275
寒冷地区	冰冻	300	325	350	375
	盐冻	250	275	300	325
测定深度(mm)		路面: 0~50	桥面: 0~30	桥柱: 0~80	桥墩, 桥台: 0~100

注: 1. 现场取芯法测定混凝土抗冻性的试验方法见《公路水泥混凝土路面施工技术规范》(JTG F30)附录 F。

2. 处在水位变动区或冰冻深度内的桥墩、桥台等部位的混凝土结构含气量应按相应等级公路路面、桥面从严控制。

12 掺引气剂、引气减水剂、引气高效减水剂和引气缓凝高效减水剂的混凝土, 必须采用机械拌和, 大型工程应采用计算机自动计量的强制式搅拌机拌和, 装料量不宜超过额定容量的 85%。总拌和时间应选定在含气量最大时的 3~5min 比较适当。运输和浇筑时间不宜过长。采用插入式振捣时, 振捣时间不宜超过 20s。形状复杂或钢筋密布的混凝土结构和构件, 振捣时间可适当延长, 但不宜超过 35s。

13 引气混凝土养生时间要求应与表 4.2.3 相同。

说明

4.3.1 主要品种

1 本款列举的引气剂主要化学种类较多, 但品质并不相同。美国等国家推荐使用文松树脂(松香类), 国内外试验和我国工程实践表明皂甙类(有效成分为三萜皂甙)效果和品质与文松树脂相当, 是优良的引气剂。而我国使用较多的是松香热聚物、松香皂类引气剂, 效果一般。凡无法用常温水溶解的引气剂, 则质量较差。评价引气剂优劣的指标除本指南编入的项目外, 还有: 气泡尺寸、分布、级配及其在水泥浆中的稳定性即气泡破灭持续时间的长短等。引气剂引入混凝土中的气泡尺寸大致在 30~250 μm 之间, 是眼睛不可见的气泡, 只有在光学显微镜下放大 500 倍以上才能看到, 所以又称微沫剂。气泡尺寸、分布、级配可通过混凝土切片用气孔显微镜进行测量比较得出, 气泡稳定性可通过在水泥浆中的摇泡试验来检测。

引气剂的使用效果与引气剂的化学成分有密切关系, 实践证明: 烷基和烷基芳烃磺酸盐类的引气剂如十二烷基磺酸盐、烷基苯磺酸盐、烷基苯酚聚氧乙烯醚(洗衣粉的主要成分), 在混凝土中所引气泡尺寸过大, 气泡级配较差, 在混凝土中的引气效果较差, 得到的引气混凝土的各项性能也不好, 尽管《混凝土外加剂应用技术规范》(GB 50119) 中规定可用, 本指南将此类引气剂删除了, 即认为不宜采用在公路工程混凝土中。

引气剂与加气剂有重大的不同, 加气剂在与水泥或水反应后产生的是肉眼可见的宏观大气泡, 气泡中一般为反应后的氢气或其他气体, 直径在 2~15mm, 两种外加剂产生的气泡的直径相差 100 倍以上。加气剂用于制作保温隔热的轻质混凝土砌块, 它并不提高抗冻性, 且强度较低。而引气剂产生的气泡不由化学反应产生, 活性的表面膜在拌和过程中引入空气, 在混凝土中形成微气泡并能使混凝土结构具有良好的抗冻性、抗渗性、较高弯拉强度、低收缩性和优良的抗裂性。

2 在公路混凝土工程中, 可使用由引气剂复配其他外加剂制得的引气减水剂、引气高效减水剂和引气缓凝高效减水剂, 引气早强高效减水剂, 引气防冻高效减水剂, 通称引气型外加剂。引气剂本身同时又是普通减水剂, 本指南规定其最小减水率为 6%, 一般引气剂减水率可达 8% 左右, 当其单独使用能满足施工和结构强度等级需要时, 可以单独使用; 不满足时可复配减水剂、高效减水剂; 高温环境施工时高弯拉强度的混凝土路面, 应使用引气缓凝高效减水剂。在南方, 水泥混凝土路面工程冬季施工时可仅使用引气剂, 在北方低温时, 应分别掺入复配的引气早强高效减水剂, 引气防冻高效减水剂。

4.3.2 适用范围

1 引气剂应在所有水泥路面工程中使用的规定始于《公路水泥混凝土路面滑模施工技术规

程》(JTJ/T 037.1),有改善可摊铺性,从而保证路面平整度和外观,提高路面混凝土弯拉强度、降低刚度和弹性模量,减小变形及保障耐侯性等效果。本指南要求,即使在非抗冻地区,为了改善混凝土的工作性、提高弯拉强度、降低弹性模量、减小因温差、干缩引起的接缝收缩变形量和内应力、提高路面混凝土的抗长期风化能力,也应使用引气剂。引气剂是目前提高抗(盐)冻性最常用和最有效的方法。但在不同的环境中含气量的要求是不相同的。抗(盐)冻所要求的含气量较高。有饰面要求的公路工程各种混凝土中一般不宜使用与早强剂、防冻剂复配的引气型外加剂,因为早强剂、防冻剂对清水混凝土表面的色泽有影响,又易析出白色结晶。掺入引气剂的混凝土由于和易性好,易于抹面,能使表面更光洁,因此,有饰面要求的混凝土也宜掺引气剂。掺引气剂的混凝土可提高抗渗性、抗硫酸盐和抗海水侵蚀能力。由于引气剂所引的气泡只能存在于水泥净浆中,可使净浆的总体积大大增加,使贫水泥浆混凝土变为富水泥浆混凝土,所以,引气剂能经济有效地改善和易性及粘聚力,特别是对水泥用量少或集料表面粗糙的混凝土效果更显著,如贫混凝土、机制砂混凝土和轻集料混凝土等。

2 在有高抗冻要求的严寒和寒冷地区,对设计标号较高的预应力混凝土、钢筋混凝土结构和构件,不宜采用减水率较低的引气剂和引气减水剂,因为含气量过大的混凝土会引起结构内的预应力和强度损失、弹性模量降低,应掺入引气类高效减水剂,提高抗冻性。引气造成的抗压强度损失,可通过保持水泥用量不变,掺高效减水剂,降低水灰比进行补偿。同时,设计中应考虑其弹性模量折减0.9~0.95,修正材料的弹性模量,更符合引气混凝土结构的应力和应变关系。在桥梁上当弹性模量减小时,荷载挠度会增大。由变形刚度控制设计的桥梁,应考虑弹性模量的折减。

3 引气剂、引气减水剂、引气高效减水剂和引气缓凝高效减水剂用于蒸养混凝土时,引气剂所引的气泡会膨胀,导致混凝土产生裂缝或崩裂破坏,对公路混凝土结构抵抗动载十分不利,因此需要明确加以限制。

4.3.3 施工

1 高碱度水泥稀浆与水的pH值差别很大,在不同碱度溶液中的摇泡试验产生的气泡数量、直径和稳定性等气泡特性不同。但在水泥稀浆中的气泡特性与混凝土中的比较相近。本指南推荐在水泥稀浆中进行摇泡试验。

2 表4.3.3-1的规定详见《公路水泥混凝土路面滑模施工技术规范》(JTJ/T 037.1)条文说明。

3 本款是针对淡水、海水、盐碱水及水位变动区及其岩土中的公路桥梁下部结构:桥墩、桥台、桥桩、桥柱、护岸,处在冻土深度范围内的地下洞室、隧道挡土墙及涵洞等提出的抗冻和抗盐冻掺引气型复合高效减水剂的规定。引气剂的掺量通过搅拌机口含气量检测结果进行反向控制。要求此类承重结构使用引气剂后,不能降低强度,同时要求提高抗(盐)冻性,两者兼顾的最好办法是根据气温环境条件、结构类型、施工工艺等使用复配的引气型高效减水剂。

在混凝土结构中使用引气型外加剂还能提高混凝土的其他品质:可以有效地提高混凝土的弯拉强度及抗拉强度,减小干缩和温度收缩变形量,有利于结构改善抗裂性,减少微裂缝的数量;同时能有效地改善混凝土的匀质性和提高抗渗性。引气剂所引出的微气泡均匀分布在混凝土的浆液中,除了提高抗渗性外,还改善了结构表面外观和密实度。在相同配合比条件下,掺入引气型外加剂的混凝土可提高2~4级抗渗等级,有效改善处于除冰盐腐蚀、海水和水环境中的混凝土结构抗冰冻性及抗盐冻性能。特别是结构表面混凝土的密实度、抗渗性的提高和微裂缝数量的减少,对提高其抗冻性及抗动载性能起到非常重要的作用。

4 对于寒冷和高寒地区的混凝土结构,施工时间处在正常气温下,规定除掺引气型外加剂外,可使用符合本指南第5章规定的掺合料,并降低水胶比,其目的是提高混凝土密实性、抗渗性。混凝土龄期60d时,水泥的水化反应基本完成,掺合料大部分已完成水化反应。在确保水泥及掺合料水化反应的前提下,抗(盐)冻性主要取决于混凝土表面的密实度和抗渗性,在潮湿和饱水环境中,渗透深度以内的混凝土易受冻害。密实度越高,渗透深度越浅,混凝土结构的抗冻性越高。在龄期小于60d就遭受冻害的混凝土,由于掺合料的水化反应还未完成,混凝土抵抗冻坏的能力较弱,此时应少掺入或不掺入掺合料。

5 针对负温混凝土施工环境时,掺引气型外加剂能提高混凝土的抗冻性能。改善早期混凝土抗冻性,可以采取两方面的措施。一是加快早期水泥的水化反应,尽快使混凝土达到受冻临界强度,如使用早强剂、防冻剂或高效减水剂,使用R型水泥等措施,但不宜加入降低早期强度的掺

合料。掺合料的二次水化反应速度过慢，不利于尽早达到受冻临界强度。二是掺用引气剂，引入抵抗冻胀破坏的缓冲微气泡体系。两方面兼顾的最好办法是使用引气高效减水剂、引气早强高效减水剂或引气防冻高效减水剂。这种不加热原材料的蓄热保温方式，仅能用于日平均气温不低于 -5°C 或极限最低气温不低于 -10°C 的冬季负温施工。更低的负温施工应采用其他加热原材料、保温蓬、加热养生等特殊措施。

6 对掺引气型外加剂的混凝土配合比设计要求：应计入含气量所占体积，并考虑含气量对视密度的影响。在调整配合比时，其砂率可比不掺的降低 $2\%\sim 3\%$ ，但水泥用量或胶材总量不得减少。如果希望同时改善结构表面混凝土的密实度、抗渗性和提高抗拉强度、减小温度、湿度变形量，进而减少微裂缝数量，原配合比设计选用的砂率不宜降低。按照防水抗渗混凝土的要求，可使用较大的砂率和较富裕的水泥净浆，形成粗集料的悬浮密实结构以达到抗渗防水的目的。

7 在使用引气型外加剂时，由于引气剂的掺量与其他外加剂相比非常小，松香类和烷基芳烃磺酸盐类的引气剂仅有万分之一左右；皂甙类或甜菜碱类的引气剂也不超过 $0.2\%\sim 0.3\%$ ，所以，使用前必须精确稀释或与其他外加剂复配成水溶液后，才能掺用。某些低温或常温水中的不易溶解的引气剂可用部分热水或温水充分溶解后使用。但是无论哪种引气剂，如常水中不能充分溶解的，表明其引气剂质量不佳。所以，一般应使用溶解性较好的化学成分的引气剂品种。

8 关于引气剂复配其他外加剂时的互溶性的解释详见 4.1.7 条说明的第一款。再补充说明：若引气剂与其他外加剂复配时一旦产生了沉淀和絮凝现象，由于引气剂复配量极小，失效的往往是引气剂，而引气剂的作用又很关键和重要。此种情况下，可更换复配所用的引气剂或外加剂的化学品种，挑选互溶性能好的种类进行复配。无条件更改时，也必需各自单独配制溶液，分别掺用，由于其在拌和过程中仍会遭遇并反应致使引气剂降低作用或部分失效，因此，建议尽量不采用或少采用此种方式。

9 混凝土结构施工中影响含气量的因素很多，其中原材料对混凝土含气量的影响是决定性的。水泥品种的影响较强；粉煤灰、矿渣、火山灰水泥比普通水泥、硅酸盐水泥含气量小，高碱水泥含气量大；水泥用量增大，含气量增大。如同时掺粉煤灰掺合料时，引气剂掺量需成倍增大，方可达到规定含气量。粉煤灰中影响最大的是烧失量，由于(焦)碳的强吸附性，烧失量越大，粉煤灰等级越低，引气剂掺量应越大。矿渣掺合料也明显降低含气量，但没有粉煤灰显著。关于原材料、配合比等因素对含气量的影响和施工过程中控制含气量措施，可参阅《道路混凝土掺引气剂研究》和《道路水泥混凝土路面含气量控制研究》(公路，1998 2~4 期)。

10~11 搅拌机口和实际结构的含气量存在差异，机口拌合物的含气量不代表已施工完成的结构混凝土含气量，而且它随着气温、运距、浇筑、振捣、饰面等工艺环节的变化而改变着，混凝土实际含气量应为入模经振捣后的含气量，混凝土经过运输、浇筑、振捣等工艺环节后，含气量将减少 $1/4\sim 1/3$ 。引气剂所改善的混凝土的所有性能取决于施工完成后的结构混凝土实际含气量而不是机口含气量。所以根据施工条件的微调引气剂掺量有较大的难度，对要求高抗(盐)冻性的高寒地区公路工程使用的高含气量混凝土结构抗(盐)冻性及其评价也变得不太确切。为解决这个矛盾，本指南首次提出了表 4.3.3-3，作为推荐值，这是从实际已硬化的结构上钻芯取一定深度的切片，用气孔显微镜测定硬化混凝土的上下两个表面的平均气泡间距系数，控制其最大平均气泡间距系数的方法，作为高寒和寒冷地区对已施工完成的混凝土实际结构抗(盐)冻性的评价方法。

从实际公路结构混凝土的冰冻和盐冻破坏来看，水、海水或盐碱水会从表面渗透并饱和到某一深度，这个深度以上混凝土易产生表层砂浆脱落型冻害，这与表层混凝土的含气量、抗渗密实性和冻融循环次数密切相关。所以应通过在公路结构中重点检测表层混凝土含气量，可通过控制表面一定深度最大平均气泡间距系数确定混凝土结构和构件的抗冻耐久性。表 4.3.3-3 中的最大平均气泡间距系数(τ)的控制数据，来源于中国水利水电科学研究院“九五”国家科技攻关项目《混凝土抗冻性的定量化设计》研究报告。该报告按道路、桥梁抗冻安全运行年限 30~50 年，提出的冻融循环次数为东北、西北 F300；华北 F200~F300(对应此冻融循环次数的 $\tau \leq 350 \mu\text{m}$)；华东 F50~F150；华南 F50(对应此冻融循环次数的 $\tau \leq 400 \mu\text{m}$)。但表 4.3.3-3 还需要在今后的实际工程中积累更多的实际验证统计数据来补充和完善。

对有限的表层切片实测最大平均气泡间距系数的结果表明：对路面和桥面等上表面有抗冻性要求的结构，其含气量用表 4.3.3-1 或 4.3.3-2 来控制完全能够满足表 4.3.3-3 中最大平均气泡间距系数值的规定。施工振捣等过程时带来的气泡损失是其在拌合物中上浮、合并并排除的过程，

因此，只要不超振捣，表层有气泡聚集数量会多于中间和下层混凝土，恰好满足路面、桥面等对表层较大、较多含气量抵抗冻损的需要。但在结构要求高冻融循环次数的侧立面上，需要仔细按 12 款的规定控制运输、浇筑和振捣时间不过长，不使侧立面表层含气量损失过大而不利于结构抗冻性。

12 规定掺入引气型外加剂混凝土，必须机械拌和，其一盘搅拌的装料量不宜超过额定搅拌容量的 85%。因为混凝土拌合物的含气量不是自生的，是在搅拌过程中，通过引气剂这种表面活性剂将空气裹携进拌合物中的。因此，当搅拌机装料量满载时将不能提供足够的裹携气泡空间，则不能引进足够的含气量。

掺引气剂混凝土的含气量随搅拌时间的加长，开始 1~2min 是上升的，至 3~5min 时增至含气量最大值，再延长搅拌时间，含气量反而会略下降，所以，总拌和时间应选定在含气量最大时，一般控制在 3~5min 内比较适当。在含气量基本已不再增大时，应停止搅拌。

混凝土的含气量随着振捣时间的延长而降低，用振动台或平板式振捣器，含气量损失小；用插入式振捣棒振动，含气量损失大，并随着振动频率提高或振捣时间的延长而损失增大。高频插入式振捣棒比普通振捣棒含气量损失较大，所以规定引气剂混凝土的振捣时间不宜超过 20s，但同时要保证混凝土的密实度。既不能过振使含气量损失过大；又不能欠振，以保证混凝土的密实。对形状复杂或钢筋密布的结构，若采用不超过 20s 的振捣时间，有可能久振，所以可适当延长振捣时间，但不宜超过 35s。这些规定，对桥梁下部结构有高抗冻要求的侧立面的施工至关重要。

4. 4 缓凝剂、高温缓凝剂、缓凝减水剂及缓凝高效减水剂

4. 4. 1 主要品种

1 缓凝剂、高温缓凝剂和缓凝减水剂

- (1) 糖类缓凝剂*：葡萄糖酸盐、糖蜜、蔗糖、糖钙、糖钠、糖镁等。
- (2) 羟基羧酸(盐)类缓凝剂*：酒石酸、柠檬酸、乳酸、水杨酸、醋酸、酒石酸钾钠等。
- (3) 无机盐类高温缓凝剂：硼酸盐、磷酸盐、氟硅酸盐、亚硫酸钠、硫酸亚铁、锌盐等。
- (4) 木质素磺酸盐类缓凝减水剂：木质素磺酸钙、木质素磺酸钠、木质素磺酸镁等。
- (5) 其他：多元醇、胺盐及其衍生物、纤维素、纤维素醚等缓凝剂。

2 复合缓凝高效减水剂

采用上述缓凝剂与高效减水剂复配制成的复合缓凝高效减水剂。

★ 糖类及羟基羧酸类缓凝剂在掺量低时为缓凝剂，掺量大时，可用作高温缓凝剂

4. 4. 2 适用范围

1 缓凝剂、高温缓凝剂、缓凝减水剂、缓凝高效减水剂(以下简称缓凝型外加剂)适用于下述混凝土。

(1) 炎热气候条件下，需较长时间停放、较长距离运输或输送，为减少和控制坍落度损失的混凝土。

(2) 为缓解水化热温度裂缝和减少温控费用的大体积混凝土。

(3) 隧道衬砌、桥(涵)面铺装、碾压混凝土、路面等薄壁混凝土。

(4) 连续浇筑避免出现冷缝的混凝土结构、大跨混凝土桥梁构件混凝土。

(5) 自流平免振混凝土、泵送混凝土、钢管混凝土、预拌商品混凝土、预填集料混凝土、滑模混凝土、拉模施工的混凝土及其他需要延缓凝结时间的混凝土。

(6) 缓凝高效减水剂可制备高性能混凝土以及高性能路面混凝土。

2 缓凝型外加剂不宜用于日最低气温 5℃(日平均气温 10℃)以下低温施工的混凝土，不宜单独用于有早强要求的混凝土、钢筋混凝土、预应力钢筋混凝土及蒸养混凝土构件。

3 羟基羧酸类缓凝剂不宜单独用于公路工程水泥用量很低、水灰比较大的贫混凝土。

4. 4. 3 施工

1 掺用含有糖类及木质素磺酸盐类物质的缓凝型减水剂混凝土施工前，应检验与所用水泥在该气温下的适应性，合格后方可采用。

2 使用缓凝型外加剂施工时，应根据现场气温或混凝土拌合物温度、凝结时间、运距、停放时间、强度等选择适宜的品种，并确定最佳掺量，满足公路工程混凝土结构各项技术要求后方可使用。使用缓凝型外加剂的计量必须正确。施工中当气温变化、运距和运输时间变动时，可微调

其掺量，应始终保持混凝土拌合物具备良好的施工操作性，并能达到规定的密实度及外观质量要求。

3 缓凝型外加剂应将溶液与拌合水同时掺入拌合物中，溶液中的水量应从拌合水中扣除；粉剂在现场配制溶液时，应提前一天配好，使其充分溶解，搅拌均匀后使用。溶液中的缓凝型外加剂固体沉淀物，必须及时清除。严禁使用分层或已沉淀的缓凝型外加剂溶液拌制混凝土。难溶、不溶物含量较多或常温溶解度较低的缓凝剂可采用干掺法，并延长搅拌时间 30s。

4 缓凝型外加剂可与其他外加剂如引气剂、泵送剂、防水剂等复合使用。若复配溶液产生絮凝或沉淀现象，应分别配制，分别加入。

5 当气候炎热及风力较大时，掺缓凝剂的混凝土浇筑、振捣后应及时多遍抹压，并应在混凝土表面触干或变色前立即喷雾或喷洒养生剂保湿养生，混凝土终凝后应立即开始浇水养生；当气温较低时，在保湿养生的同时，应加强保温养生，可覆盖保温保湿养生膜、深(黑)色塑料薄膜和吸(蓄)热保温材料。不同气温时的养生天数要求应比 4.2.3 条第 6 款的规定延长 3~5d，气温 20℃ 以上最少养生天数不应少于 14d。

说明

4.4.1 主要品种

1 本节列出了在公路混凝土工程中可使用的缓凝剂、高温缓凝剂、缓凝减水剂、缓凝高效减水剂主要化学成分和种类。由于水泥浆的 PH 值在 13.5 左右，硅酸盐类水泥的水化反应必须在 PH 不小于 13 的高碱度条件下，方可正常进行，所有能降低其 pH 值的酸类和糖类均是缓凝剂，无机盐类缓凝剂多是在溶液中离子状态的较强酸根。糖类及羟基羧酸类的缓凝剂在掺量低时为一般缓凝剂，在掺量较大时，可作为高温缓凝剂。高温缓凝剂是在常温情况下的超缓凝剂。木质素磺酸盐类和糖类外加剂既是普通减水剂又是缓凝剂。使用糖类缓凝剂时应注意防止混凝土表面开裂。缓凝型外加剂不仅能使混凝土的凝结时间延长，而且还能降低混凝土早期水化热，降低混凝土最高温升，这对于大体积及大面积结构减少温度裂缝、减少温控费用、降低工程造价、提高公路混凝土结构的抗动载性能和保证工程质量都有显著的作用。

2 在公路混凝土工程中，可采用缓凝剂、高温缓凝剂与高效减水剂复配制成的缓凝高效减水剂。

4.4.2 适用范围

1 缓凝型外加剂主要用于解决热天施工、连续浇筑、降低水化热、泵送、滑模等特殊机械工艺下的施工难题，在公路混凝土结构工程中使用相当广泛。例如，钢管拱桥的泵送混凝土热天压力灌注，水泥混凝土路面的热天滑模摊铺，都需掺入缓凝型外加剂。否则，按照水泥水化动力学，当拌合物温度由 10℃ 提高到 20℃ 时，水泥的水化反应将加快一倍，混凝土硬化得很快，泵送不动、压力灌注不了，滑模摊铺时，螺旋布料器分布不动拌合物，工程施工质量无法保证。

缓凝剂掺入混凝土中主要对水泥中的 C₃A 和 C₃S 水化起抑制作用，从而使水泥的水化放热峰推迟，能降低其早期水化热，延缓混凝土凝结时间。缓凝剂对水泥水化的抑制作用与水泥矿物组成有关，C₃A 含量低、碱含量低的水泥缓凝效果较好。在推荐掺量范围内，柠檬酸延缓混凝土凝结时间一般约为 8~19h；氯化锌延缓 10~12h；糖蜜延缓 2~4h；木钙延缓 2~3h。

制备高性能混凝土以及高性能路面混凝土可使用缓凝高效减水剂，一是可使减水率足够高，降低水灰(胶)比和单位用水量，使混凝土具有工程所需要的抗压强度或弯拉强度；二是仅掺高效减水剂的低水灰比混凝土坍落度损失很快也很大，用复配缓凝剂来减少坍落度损失量，并延缓坍落度损失速率，使混凝土在所需时间内具有良好的流动性和可泵性，以利于提高浇筑、泵送或摊铺混凝土结构的密实性、平整度及外观质量；三是可延长混凝土凝结时间，降低硬化过程中水泥水化时的放热速度，避免温度应力引发的混凝土裂缝，具有较好的抗裂性，从而具有较好的抵抗动载能力。掺缓凝剂或缓凝高效减水剂的混凝土结构或构件在大风天、炎热干燥地区，蒸发率较大时，需要特别注意尽早提前开始养生，以防止已施工完成但尚未终凝的混凝土表面因失水过大而产生塑性干缩和自收缩裂缝。

2 缓凝型外加剂不宜用于低温施工的混凝土，因为在低温条件下，混凝土的凝结时间本身就较长或很长，按照水泥水化动力学，当拌合物温度降低 10℃ 时，水泥的水化反应将减慢一倍。因此，缓凝型外加剂仅适用于热天和常温施工条件，不适用于低温或负温条件下的施工，也不适用

于有早强要求的结构及蒸养混凝土构件。这是由于缓凝混凝土早期强度增长慢，达到蒸养所需结构强度的静停时间长。

3 羟基羧酸类缓凝剂(如柠檬酸、酒石酸钾钠等)用于水泥用量很低、水灰比较大的贫混凝土时，除了缓凝作用外，同时也增大贫混凝土泌水、离析现象，和易性、粘聚性降低，水泥浆的流失较严重，导致其密实度不足，抗渗性和强度下降。因此，在贫混凝土中不宜单独使用。

4.4.3 施工

1 实测表明：含有糖类及木质素磺酸盐类物质的外加剂在所用水泥中不是二水石膏而是其他石膏变种时，其化学适应性很差，一是不减水反而增水；二是有的不缓凝反而促凝。因此，本指南要求应先做水泥的适应性检验，合格后方可采用。

2 施工时应根据气温、混凝土拌合物温度、凝结时间、运距、停放时间、强度等选择适宜的缓凝型品种并确定其最佳掺量，满足公路工程混凝土结构各项技术要求首先是指满足当时气温和工艺条件下公路混凝土结构的可摊铺性能和可施工的工作性能，其次是满足其规定龄期的强度指标、耐磨性与抗(盐)冻性等耐久性、公路薄壁动载结构的抗裂性及动载特性等要求。

施工中首先要求缓凝剂必须准确称量，缓凝剂称量变化直接影响强度匀质性、稳定性和抗裂性，严重时会导致施工冷缝或开裂。其次要求根据施工和环境条件的变化微调缓凝型外加剂掺量，其目的是始终保持拌合物具备优良的施工可操作性，达到所要求的密实度及外观质量。在远距离运输时，有些地区一天内早、中、晚的温差较大，满足早、晚可能不满足中午的施工需要，因此，微调是必要的，但不允许大幅度调整，这会影响混凝土质量。微调的目的是更加接近基准配合比。掺缓凝剂的混凝土，由于凝结延缓，早期强度有所降低(特别是3d)，但28d强度会有所提高，微调不会影响28d强度和混凝土强度等级。

3 缓凝型外加剂溶液的均化和浓度控制相当重要，本指南规定提前1d配制外加剂溶液，并对未能溶解在溶液中的缓凝剂和缓凝减水剂固体沉淀物，及时清除，即每天至少清除一次。严禁使用含有各类缓凝组分分层、高浓或沉淀的缓凝型外加剂溶液拌制混凝土。防止超缓凝对公路混凝土结构带来有损力学强度和动载性能的不利影响。在三种不得已的条件下：难溶、不溶物含量较多或常温溶解度较低的缓凝剂，允许采用干掺法，但要求延长搅拌时间30s。

4 缓凝型外加剂复配其他外加剂时互溶性的解释详见4.1.7条说明第一款。

5 掺缓凝型外加剂的混凝土保持在塑性状态的时间较长，表面水分蒸发时间长，在气候炎热、风力较大或蒸发率较大时，更容易产生塑性收缩开裂，低水胶比的高性能混凝土还易产生自身体积收缩裂缝，需要特别注意提前到塑性阶段就开始养生(混凝土表面塑性阶段养生不损伤表面的方式是喷洒养生剂)。当气温较低时，尚应保温保湿覆盖，并适当延长养生天数。

4.5 早强剂、早强减水剂及早强高效减水剂

4.5.1 主要品种

1 早强剂

- (1) 强电解质无机盐类：硫酸盐、硫酸复盐、硝酸盐、亚硝酸盐、碳酸盐、硅酸盐、氯盐等。
- (2) 水溶性有机物：三乙醇胺、甲酸盐、乙酸盐、丙酸盐等。
- (3) 其他：有机化学成分、无机盐复合物等。

2 复配制得的早强减水剂和早强高效减水剂

采用上述各类早强剂与普通减水剂、高效减水剂复配制得的早强减水剂和早强高效减水剂。

4.5.2 适用范围

1 早强剂、早强减水剂和早强高效减水剂适用于公路工程需要快速形成强度的快通混凝土结构；蒸养混凝土构件；最低温度不低于-5℃环境中施工的有早强要求的混凝土、钢筋混凝土及需要提前张拉和放张的预应力混凝土结构和构件。炎热环境条件下不宜使用早强型外加剂。

2 掺入混凝土后对人体产生危害或对环境产生污染的化学物质严禁用作早强剂。含有六价铬盐、亚硝酸盐等有害成分的早强剂严禁用于饮水工程及与食物相接触的工程。硝铵类及其他易挥发的早强剂严禁用于办公、居住、洞室等密闭工程。

3 氯盐类早强剂及其与氯盐复配的早强减水剂和早强高效减水剂严禁用于下列公路工程混凝土结构：

- (1) 预应力钢筋混凝土结构和构件；

- (2) 相对湿度大于 80%环境中使用的露天、水淋、水冲刷、水位变动区的钢筋混凝土结构和构件，暴露在海浪浪溅区和水位变动区、处于海风环境范围内的钢筋混凝土结构和构件；
- (3) 大体积混凝土和钢筋混凝土结构；
- (4) 直接接触酸、碱或其他腐蚀性介质的混凝土和钢筋混凝土结构；
- (5) 经常处在使用温度 60℃以上的混凝土和钢筋混凝土结构，需经蒸养的钢筋混凝土预制构件；
- (6) 表面有装饰、有金属装饰要求或要求色彩一致混凝土、钢筋混凝土结构和构件；
- (7) 薄壁钢筋混凝土结构，桥梁上部主梁钢筋混凝土结构，承受中、重、特重交通量的桥梁下部钢筋混凝土结构；
- (8) 使用冷拉钢筋或冷拔低碳钢丝的钢筋混凝土结构；
- (9) 集料具有碱活性的混凝土结构。

4 含有强电解质无机盐类的早强剂、早强减水剂和早强高效减水剂严禁用于下列公路工程混凝土结构中：

(1) 有照明和排风设施的隧道钢筋混凝土衬砌；使用阴极防护措施的桥梁钢筋混凝土结构；埋置照明线路、使用直流电以及距离直流电源 100m 以内钢筋混凝土结构。

(2) 有镀锌钢材或铝铁相接触部位的结构、以及有外露钢筋预埋铁件而无防护措施的结构。

(3) 海水、卤水及地下含有酸、碱腐蚀介质中的墩、桥墩、桩、桥桩、系梁等钢筋混凝土结构。

5 含钾、钠离子的早强剂及其复合早强剂，用于与水接触或潮湿环境中公路工程混凝土结构时，应符合 3.0.7 条的规定。

6 含三乙醇胺类的早强剂、早强减水剂和早强高效减水剂不宜用于蒸汽养生或干热养生的混凝土预制构件，其他早强剂可用于蒸汽养生或干热养生的混凝土预制构件。

4.5.3 施工

1 早强型减水剂进入工地或搅拌站的检验项目除满足 4.1.11 条的规定外，尚应包括密度或细度，1d、3d 抗压强度或弯拉强度及对钢筋锈蚀作用的说明。早强减水剂和早强高效减水剂应增测减水率。有饰面要求的混凝土或对表面色差有要求的清水混凝土还应观测硬化后的混凝土表面是否析盐。符合要求后方可入库、使用。

2 常用早强剂掺量限值应符合表 4.5.3-1 的规定，最佳掺量应根据试验确定。

3 液态早强剂混凝土的搅拌时间宜适当延长。粉剂早强剂直接掺入公路工程混凝土时，应先与水泥、集料干拌均匀后，再加水，加水后的搅拌时间应延长 30s。

4 各类早强剂中的含碱量应折算为 (Na₂O+0.658K₂O) 氧化钠当量，由早强剂带入每立方米混凝土含碱量，可参照表 4.5.3-2 给出的常用无机盐类早强剂每千克含碱量乘以其每立方米混凝土外加剂用量 (kg) 计算得出。

表 4.5.3-1 常用早强剂掺量限值

混凝土种类	使用环境	早强剂成分	掺量(水泥重量%)，不大于
预应力混凝土	干燥环境	硫酸钠	1.0
		三乙醇胺	0.05
钢筋混凝土	干燥环境	氯离子(Cl ⁻)	0.6
		硫酸钠	2.0
		与缓凝剂减水剂复合的硫酸钠	3.0
		三乙醇胺	0.05
		硫酸钠	1.5
	潮湿环境	三乙醇胺	0.05
		硫酸钠	0.8
有饰面要求的混凝土		硫酸钠	0.8
素混凝土		氯离子(Cl ⁻)	1.8

5 公路工程预应力钢筋混凝土结构或构件使用早强剂时，其张拉工艺应按试验确定。公路工程快通混凝土结构的开放交通时间，应按达到设计强度 90%以上的试验确定。

6 使用早强剂的混凝土结构应加强早期保温保湿养生，终凝后立即浇水养生，并应使用保湿膜、土工毡等覆盖养生或喷洒养生剂。掺早强剂混凝土的养生天数可比表 4.2.3 规定缩短 3~5d。

最低气温在 0℃左右时，应使用保温材料覆盖，且最少养生天数不少于 25d。

7 使用早强剂、早强减水剂和早强高效减水剂并有饰面要求的现浇混凝土和蒸养混凝土构件，其养生工艺和蒸养制度应根据早强剂、水泥品种、浇筑温度等条件通过试验确定。

表 4.5.3-2 常用无机盐类早强剂及防冻剂的含碱量

类别	名称	化学式	每千克物质的含碱量(kg)	备注
早强剂	硫酸钠	Na ₂ SO ₄	0.436	
早强剂、防冻剂	亚硝酸钠	NaNO ₂	0.449	
早强剂、防冻剂	碳酸钾	K ₂ CO ₃	0.448	
早强剂、防冻剂	硝酸钠	NaNO ₃	0.365	
早强剂	硫代硫酸钠	Na ₂ SO ₃	0.291	
早强剂、防冻剂	氯化钠+硫酸钠	NaCl+ Na ₂ SO ₄	0.464	质量比 1: 1
早强剂、防冻剂	氯化钠+亚硝酸钠	NaCl + NaNO ₂	0.486	质量比 1: 1

说明

4.5.1 主要品种

1 列举在公路混凝土工程中可使用的早强剂、早强减水剂和早强高效减水剂主要化学成分种类。其中可溶性无机盐类是公路工程混凝土结构中使用较广泛的类型，但因其有氯离子、硫酸根离子和亚硝酸钠等，在钢筋混凝土和预应力结构中受到较多的限制。目前以氯离子为主要成分的早强剂已基本不再采用。水溶性有机物类在混凝土中没有副作用，但有的品种易挥发。

4.5.2 适用范围

1 早强剂、早强减水剂和早强高效减水剂(通称早强型外加剂)在常温和低温条件下均能显著提高混凝土的早期强度，主要用于公路工程常温施工时有快通早强要求的混凝土、钢筋混凝土结构和构件；极限低温-5℃以上(混凝土表面水结冰温度为-3℃，表面有覆盖就不会受冻)，昼夜平均气温 0℃以上低温施工的混凝土、钢筋混凝土结构(低于此规定气温为负温施工，应采用防冻剂)；提高生产效率和加快模板周转的蒸养混凝土、钢筋混凝土构件；需要提前张拉和放张的预应力混凝土结构和构件。炎热环境条件下，混凝土凝结硬化得太快，不应使用早强型外加剂，而应采用缓凝型外加剂。

2 对人体产生危害或对环境产生污染的化学物质严禁用作早强剂的说明详见 3.0.4 条。含有六价铬盐、亚硝酸盐、硫氰酸盐等有害成分的早强剂严禁用于饮水工程及与食物相接触的工程是严防入口中毒的规定。铵盐、硝铵类或尿素等遇碱释出氨气或易挥发出有害气体的早强剂严禁用于办公、居住、洞室等密闭工程是为了防止有害气体危害人体健康。

3 对氯盐类早强型外加剂，从防止钢筋锈蚀、酸碱腐蚀、碱集料反应、动载疲劳裂纹扩展或为外表美观等提出的限制规定。在蒸养混凝土构件和 60℃以上结构中的限制是为了防止钢筋加速锈蚀。在冷拉钢筋或冷拔低碳钢丝的钢筋混凝土结构中的限制是为了防止冷拔钢筋与钢丝的应力加速腐蚀。

4 主要是为了严防强电解质无机盐类的早强型外加剂造成钢筋锈蚀。因为公路混凝土结构是处在车轮冲击、振动和疲劳动载或超载作用下的结构物，疲劳应力和瞬间冲击振动应力值很高，对钢筋、钢丝的应力腐蚀和锈蚀造成的混凝土微裂缝、裂缝及截面损失极其敏感，会加速结构的破坏。此规定与国标《混凝土外加剂应用技术规范》(GB 50119)规定是一致的。

5 含钾、钠离子的早强剂是强碱，为了防止碱集料反应，在潮湿环境中的混凝土结构必须限制碱含量，同时不得使用碱活性集料。

6 含三乙醇胺类的早强型外加剂不宜用于蒸汽养生和干热养生混凝土预制构件。原因是干热和蒸养条件下，三乙醇胺类早强剂将很快分解或挥发损失掉，丧失其早强作用；若静停时间过短，蒸养温度过高或温升过快时，混凝土会产生爆皮现象，影响混凝土构件的质量，因此要加以限制。其他早强剂适宜蒸养。

4.5.3 施工

1 早强型减水剂进入工地或搅拌站的检验项目有：水剂：密度、pH 值、底部沉淀、表面结皮；

粉剂的细度、含水量、饱和溶解量、结块；水剂和粉剂共同的项目：色泽均匀性、1d、3d 抗压强度或弯拉强度、对钢筋的锈蚀作用说明、一等品检验合格证书。早强减水剂和高效减水剂应增测减水率是降低水灰比，减少单位用水量，保证结构强度的措施。

在掺早强型外加剂的混凝土中，当硫酸钠(纯度不小于 98%)掺量超过 0.8%即会有表面析晶现象，必须用水冲洗表面，方可装饰表面，否则极易脱落。掺早强型外加剂使清水混凝土表面析晶部位呈白色，不析晶部位呈黑青色，导致表面色差增大。因此有饰面要求的混凝土或对表面色差有要求的清水混凝土需要事先了解硬化后混凝土表面是否析盐。析盐时，可更换早强剂的品种来满足工程要求。

掺早强型外加剂的混凝土应注意长期强度的倒缩和防止混凝土开裂，一般采用的技术措施是在配合比设计时，使用较大的配制强度放大系数。施工中使用早强高效减水剂，降低水灰(胶)比，以利补偿长期强度的倒缩和防裂。不宜采用增大水泥用量的方法，此法虽能提高强度，但不利于抗裂。

2 表 4.5.3-1 中的早强剂化学种类不全，仅为使用了多年、有相当使用经验的早强剂建议掺量。早强剂最佳掺量应根据厂家推荐掺量并由试验最终确定。这不仅指表 4.5.3-1 中列入的早强剂，而又包括未列入该表的早强剂。

这里，着重说明表 4.5.3-1 中对硫酸钠掺量作了限制性的规定，硫酸钠是我国早强剂的主要原料，也是复合早强剂的重要组分。硫酸钠在水泥中与水泥水化生成的氢氧化钙反应，生成氢氧化钠和硫酸钙，硫酸钙颗粒很细，活性比石膏还高，快速与铝酸三钙反应生成水化硫铝酸钙，同时氢氧化钠亦加速这一反应的速度，水化硫铝酸钙是促使早强提高的关键。但这一反应必须在适宜掺量下，确保其在硬化前发生，如果掺量过大，硬化后还在继续反应，会因其继续膨胀，导致混凝土开裂、强度和耐久性降低，动载特性严重损失。所以干燥环境下的硫酸钠的掺量不得大于 2%；当掺入缓凝剂时，推迟了混凝土的凝结硬化时间，水化硫铝酸钙将有较长反应生成时间处在塑性阶段，不至于引起有害的内应力，同时掺缓凝剂时，在干燥环境下，硫酸钠掺量最大可增至 3%。为了确保其水化硫铝酸钙造成的混凝土自生内应力不至过大，预应力混凝土硫酸钠掺量不得大于 1%。

3 规定粉剂早强型外加剂直接掺入混凝土干料中时应先与水泥、粗细集料干拌基本均匀后，再加水，并延长加水后搅拌时间 30s。这是保证粉剂早强剂在混凝土中均匀分布的措施。早强剂可使用粉剂，原因一是其掺量较大，可达到或接近 5%，二是大多数早强剂常温下溶解度较低，使用全部拌和用水量都不能将其溶解，不得不使用粉剂干掺。但对于某些本身是溶液或溶解度高可全溶的早强剂，仍应使用其溶液，溶液比干粉拌和的匀质性及其使用效果均强得多。

4 为防止碱集料反应而对早强型外加剂的含碱量限制见 3.0.7 条的说明。表 4.5.3-2 给出了常用无机盐类早强剂每千克含碱量，用于计算每立方米混凝土外加剂含碱量(kg)。处在淡水、海水及潮湿环境中的混凝土，硫酸钠掺量过大时，会残存在硬化混凝土中，在长期潮湿条件下，除了碱集料反应问题外，会继续反应生成膨胀性的水化硫铝酸钙，不仅产生较大的内应力，而且严重时会导致混凝土局部剥落和开裂，因此，在水下或潮湿环境中的预应力钢筋混凝土、钢筋混凝土硫酸钠掺量必须符合表 4.5.3-1 的规定。

5 使用早强型外加剂的预应力钢筋混凝土现浇结构或预制构件，其张拉和放张时间及程序等与不使用早强剂的不同，应按同时浇筑相同混凝土制作和养生的试件抗压强度发展试验确定。公路工程快通混凝土结构的开放交通时间，应按与结构相同养生条件下，掺早强剂混凝土试件达到设计强度的 90%以上的试验确定。例如混凝土路面，如设计弯拉强度 5.0MPa，90%是 4.5MPa，高于弯拉强度评定方法中规定的一组最小值 85%的要求，又留有一定强度储备，使快通无快速破损的问题。其他结构混凝土在抗压强度上，均应留有一定的安全储备。

6 规定用早强型外加剂公路工程混凝土结构应加强保温保湿养生的措施。常温条件下养生时间可缩短 3~5d；最低气温 0℃左右时的最少保温保湿养生天数不少于 25d，在最低气温接近或达到 -5℃时，早强剂已不足以防止冻害和保证强度增长，应改用防冻剂施工。

7 掺硫酸钠早强剂的混凝土在蒸养及失水量较大情况下，溶解于混凝土水中的硫酸钠会随水分蒸发向外扩散，在混凝土结构表面析出泛白晶体，在湿度较低，风力较大时，最易发生，这层白霜会影响表面装饰层及与底层的粘结，因此，有饰面要求和蒸养混凝土构件，应注意表面饱水覆盖，避免构件内水分大量蒸发析晶，发生析晶时，一般通过限制硫酸钠掺量在 0.8%以内或更换

早强剂品种加以解决。

4.6 防冻剂

4.6.1 主要品种

1 防冻剂

(1) 强电解质无机盐类

——氯盐类：以氯化钠、氯化钙等为防冻组分的防冻剂；

——氯盐阻锈类：含有阻锈组分，并以氯盐为防冻组分的复合防冻剂；

——无氯盐类：以硫酸钠、硫代硫酸钠、亚硝酸盐、硝酸盐、碳酸钾等无机盐为防冻组分的防冻剂。

(2) 水溶性有机化学成分类

以尿素、氨水、三乙醇胺、甲醇、醋酸钠等有机化学成分为防冻组分的防冻剂。

(3) 上述有机化学成分与无机盐类复合防冻剂。

2 早强防冻剂

(1) 由无机盐防冻剂与早强剂复配制成的早强防冻剂；

(2) 由有机化学成分防冻剂与早强剂复配制成的早强防冻剂。

3 复合型防冻剂

采用各类引气剂和引气(高效)减水剂复配制成的复合型防冻剂。

4.6.2 性能指标

1 掺防冻剂混凝土的性能要求应符合表 4.6.2-1 的规定。检验项目及数量应符合表 4.1.10 的规定；防冻剂的试验方法应按附录 G 进行。

表 4.6.2-1 掺防冻剂混凝土的性能要求

试验项目		性能指标		
减水率, %, \geq		10		
泌水率比, %, \leq		80		
含气量, %, \geq		2.5		
凝结时间差 (min)	初凝	-150 (提早)		
	终凝	+150 (推迟)		
规定温度(°C)		-5	-10	-15
抗压强度比, %, \geq	R ₇	20	12	10
	R ₂₈	100		95
	R ₇₊₂₈	95	90	85
	R ₇₊₅₆	100		
28d 收缩率比, %, \leq		130		
渗透高度比, % \leq		100		
50 次冻融强度损失率比, %, \leq		100		
对钢筋锈蚀作用		应说明对钢筋有无锈蚀作用		
碱含量		应给出测定值		

注：1. 按本表规定温度下检验合格的防冻剂，可在比规定最低温度低 5°C 的条件下使用。

2. R₇ 为规定负温养生 7d 的抗压强度与标准养生 28d 的基准混凝土抗压强度之比；R₂₈ 为标准养生 28d 的受检混凝土抗压强度与标养 28d 的基准混凝土抗压强度之比；R₇₊₂₈₍₅₆₎ 为规定负温养生 7d，脱模后，再转标准养生 28d(56d) 的受检混凝土抗压强度与标准养生 28d 的基准混凝土抗压强度之比。

2 防冻剂产品匀质性检验的技术指标及检验项目应符合表 4.6.2-2 的规定，匀质性检验应按《混凝土外加剂匀质性试验方法》(GB/T 8077) 进行。防冻剂产品的取样及施工过程中的检验应符合 4.1.10、4.1.11 条的规定。

表 4.6.2-2 防冻剂匀质性指标*

检验项目	匀质性指标
含固量, %	液体防冻剂: 含固量不小于 20%, 允许偏差± 5%; 含固量小于 20%, 允许偏差± 10%
含水率, %	粉状防冻剂: 含水率不小于 5%, 允许偏差± 10%; 含水率小于 5%, 允许偏差± 20%
密度 (cm ³ /g)	密度大于 1.1, 允许偏差± 3%; 密度不大于 1.1, 允许偏差± 2%
氯离子含量, %	无氯盐防冻剂: 不大于 0.1% (质量百分比)
	其他防冻剂: 不超过生产厂控制值
含碱量, %	不超过生产厂提供的最大值
水泥净浆流动度, mm	应不小于生产厂控制值的 95%
细度, %	粉状防冻剂不应超过生产厂提供的最大值

注: 1. 以尿素为主要成分的防冻剂, 含固量和含水量测定时恒温温度可为 80~85℃。

2. 防冻剂中氯离子含量不大于 0.1% 时, 可认为是无氯外加剂。

★ 防冻剂性能指标引自《混凝土防冻剂》(JC 475--2004)。

3 室内、地下洞室或封闭空间混凝土工程含有氨或氨基类的防冻剂释放氨量应符合 GB 18588 规定的限值。

4.6.3 复合型防冻剂的复配要求

1 复配各种防冻剂前, 应测定各组剂的有效成分、水分及不溶物的含量, 复配时应按各组剂的有效固体含量计算。相同化学成分的防冻剂不得复配。

2 配制复合防冻剂溶液时, 应搅拌均匀, 复配溶液中不得有结晶、沉淀、悬浮物及絮凝物。

3 防冻剂复配引气剂、减水剂、高效减水剂、早强剂等外加剂时, 应进行复合外加剂与水泥的适应性检验, 合格后方可使用。

4.6.4 适用范围

1 承受动载作用的公路主体露天工程, 如桥梁、涵洞和混凝土路面在负温条件下施工时不得掺用防冻剂。防冻剂适用于负温条件下施工的公路附属的露天混凝土工程、隧道、洞室内有保温措施的混凝土衬砌等。各种防冻剂使用前应通过试验确定其品种和掺量。

2 适用于负温施工有抗(盐)冻要求水泥混凝土路面、钢筋混凝土桥(涵)面铺装层、混凝土缘石、混凝土护栏、水位变动区的桥梁下部结构和涵洞应在使用防冻剂的同时, 掺入引气剂或复合制成的引气防冻剂、引气(高效)减水防冻剂。其混凝土含气量应符合表 4.3.3-1 和表 4.3.3-2 规定。

3 公路桥梁、路面、隧道、挡土墙等混凝土结构中使用的防冻剂品种及其掺量, 应根据环境负温、混凝土表面冰点温度、施工条件等, 通过试验优选确定。并应符合下述规定:

(1) 含强电解质无机盐防冻剂用于混凝土中, 应符合 4.5.2 条第 3 款、第 4 款的规定。

(2) 含钾、钠离子的防冻剂应符合 4.5.2 条第 5 款的规定, 其掺量应符合表 4.5.3-1 的规定。

(3) 含亚硝酸盐、碳酸盐的防冻剂严禁用于预应力混凝土结构和构件。

(4) 有机化学成分的防冻剂可用于公路工程中的素混凝土、钢筋混凝土及预应力混凝土结构和构件。

(5) 含有六价铬盐、亚硝酸盐等有毒成分的防冻剂, 严禁误食, 严禁用于饮水工程和公路工程表面和地下向河流、湖泊、地下水排水部位或对环保有特殊要求地域的混凝土结构。使用过程中, 对施工人员应采取有效的安全防护措施。

(6) 含有硝铵、尿素、甲醇等刺激性气味成分的防冻剂, 不得用于隧道及地下结构衬砌混凝土中, 也不得用于办公、居住等建筑结构。

(7) 有机化合物与无机盐复合防冻剂及复合型防冻剂可用于素混凝土、钢筋混凝土及预应力混凝土结构和构件; 并应符合本指南本款上列 6 项的规定。

4.6.5 施工

1 防冻剂的选用应符合下列规定:

(1)当日最低气温为 $0\sim-5^{\circ}\text{C}$ ，混凝土采用塑料薄膜和保温材料覆盖养生时，可掺用早强型外加剂；

(2)在日最低气温为 $-5\sim-10^{\circ}\text{C}$ 、 $-10\sim-15^{\circ}\text{C}$ 、 $-15\sim-20^{\circ}\text{C}$ ，应分别采用规定温度 -5°C 、 -10°C 、 -15°C 的防冻剂；

(3)防冻剂的规定温度系按《混凝土防冻剂》(JC 475)规定的试验条件成型的试件，在恒负温条件下养生的温度。施工使用的最低温度可比规定温度低 5°C 。

2 负温施工掺防冻剂混凝土的原材料，除应满足国家有关规定外，尚应符合下列要求:

(1)应选用硅酸盐水泥、道路硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、硫铝酸盐水泥，并应优先使用 R 型水泥；不宜使用矿渣硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥，火山灰硅酸盐水泥；严禁使用高铝水泥；水泥强度等级不应低于 32.5 级。大体积混凝土不应使用硫铝酸盐水泥或 R 型水泥。

(2)粗、细集料不得含有冰、雪等冻结物及易冻裂的物质。

(3)当集料具有碱活性时，由防冻剂带入的碱含量、混凝土中的总碱含量，应符合第 3.0.7 条的规定。

(4)储存液体防冻剂的设备应有保温措施。

3 防冻混凝土的配合比设计

(1)引气防冻混凝土的砂率可比普通混凝土降低 $2\%\sim3\%$ ，同时有抗渗性要求的混凝土，不应降低砂率。配合比计算时应计入含气量体积及其对混凝土容重的影响，但水泥用量不得减少。

(2)有抗冰冻或抗盐冻性要求时，除含气量应符合表 4.3.3-1 和表 4.3.3-2 规定外，水灰比宜分别不超过 0.50、0.45；最小水泥用量不宜低于 $300\text{kg}/\text{m}^3$ ，路面和桥面混凝土最小水泥用量不宜低于 $360\text{kg}/\text{m}^3$ ，桥梁等承重结构、挡土墙等薄壁结构水泥用量可增加 $5\%\sim10\%$ 。C40 以上混凝土，若掺入掺合料时，最小水泥用量不宜低于 $340\text{kg}/\text{m}^3$ 。大体积混凝土的最小水泥用量应根据实际情况而定。

4 防冻混凝土应根据不同负温环境，采用下列措施进行施工:

(1)气温在 $-5\sim-10^{\circ}\text{C}$ 时，可用热水拌和混凝土；水温高于 65°C 时，热水应先与集料拌和，再加入水泥拌和。

(2)气温在 $-10\sim-20^{\circ}\text{C}$ 时，水泥应移进暖棚保温，集料可移入暖棚并采取加热措施。集料冻结成块时必须加热，加热温度不得高于 65°C ，并应避免灼烧，可用蒸汽加热集料，蒸汽带进集料的水分，应从拌合水中扣除。

(3)气温低于 -20°C 时，除极特殊情况或紧急抢修工程外，必须停止公路工程所有混凝土结构的施工。

5 防冻混凝土搅拌

(1)严格控制防冻剂掺量，误差不应大于 $\pm 1\%$ ，搅拌机械、拌和要求应符合 3.0.8 条的规定。

(2)严格控制水灰比及单位用水量，由集料带人的水分及防冻剂溶液中的水分，应从拌合水中扣除。

(3)混凝土搅拌前，应用热水或蒸汽冲洗搅拌锅，并对搅拌锅采取保温措施，搅拌时间应比常温延长 $20\sim30\text{s}$ 。

(4)防冻混凝土拌合物的出机温度：严寒地区不得低于 15°C ；寒冷地区不得低于 10°C 。浇筑温度：严寒地区不得低于 10°C ；寒冷地区不得低于 5°C 。

6 防冻混凝土运输及浇筑

(1)浇筑前应清除模板和钢筋上的冰雪和污垢。运输和浇筑防冻混凝土用的容器应有保温措施。不得用蒸汽直接融化冰雪，避免再度结冰。

(2)掺防冻剂的预拌商品混凝土或运距较远的防冻混凝土，应在车辆罐体上包裹保温外套；使用翻斗车运输时，应在混凝土上包覆保温材料。

(3)混凝土的浇筑应在 15min 内完成，并及时用塑料薄膜和保温材料对混凝土结构表面覆盖养生。

7 防冻混凝土负温养生

(1)在负温条件下养生，不得仅浇水或洒水，表面必须用塑料薄膜及保温材料覆盖，严寒地区

可用泡沫塑料垫或保温垫覆盖、电磁加热(模)养生、红外养生、蒸汽养生等加强保温措施；重要的结构或部位，可采用暖棚养生。

(2) 负温条件下初期养生混凝土表面的温度不得低于 5℃；不同气温条件下的负温混凝土抗冻临界抗压强度及最短保温保湿养生时间应符合表 4.6.5-1 的规定。未达到抗冻临界抗压强度时，不得停止保温(覆盖)养生，严禁混凝土受冻。

表 4.6.5-1 负温混凝土抗冻临界抗压强度及最短保温保湿养生时间

混凝土施工温度(℃)	-5 ~ -10	-10 ~ -15	-15 ~ -20	低于-20
抗冻临界抗压强度(帆)	3.5	4.0	5.0	除非特殊情况或紧急抢修工程，严禁施工
最短养生时间(d)	21	28	35	

(3) 负温施工的混凝土结构必须达到拆模强度后，方可拆模；拆模所需的混凝土强度应符合表 4.6.5-2 的规定，拆除承重模板的养生时间，应满足拆模强度比的要求；非承重模板的拆模时间，必须达到受冻临界强度，并应在保温覆盖不少于 21d 以后，施工条件允许时，保温层和模板可于春融后拆除。

表 4.6.5-2 拆模所需的混凝土强度比(%)

结构或构件类别	实际荷载与设计荷载之比(%)		
	50	75	100
预应力结构或构件	80	80	80
梁、结点、跨度大于 4.5m 桥板	60	70	100
柱、跨度小于 4.5m 的桥板、盖板涵	50	60	90
挡土墙、剪力墙、路面、桥面	40	50	80

(4) 拆模后混凝土表面温度与环境温度之差大于 20℃时，应采用保温材料继续覆盖养生。

8 负温条件下采用硫铝酸盐水泥或快速修复施工时，应符合下述规定：

(1) 硫铝酸盐水泥中，应使用亚硝酸盐(掺量不超过 3.0%水泥质量)、氯化锂(掺量不超过 0.04%水泥质量)防冻剂，实用掺量应通过试验优选。

(2) 硫铝酸盐水泥在运输、保管和使用过程中必须与其他品种的水泥分开，不得混杂。

(3) 硫铝酸盐水泥的最低用量不少于 280 kg / m³；水灰比不大于 0.60；坍落度应比其他水泥混凝土大 10~20mm。

(4) 热拌时，水温不应超过 60℃，热水不得直接与水泥接触，出机温度不宜低于 5℃，入模温度不应低于 2℃，一般宜控制在 5~15℃之间。

(5) 当硫铝酸盐水泥用量高于 350kg / m³时，宜先加石子与一半水搅拌 30s，再加另一半水、全部砂和水泥，并搅拌均匀出料。

(6) 硫铝酸盐水泥混凝土的搅拌、运输、浇筑、振捣和抹面等施工操作工序应加速作业，并宜在 30~40min 内完成，然后覆盖一层塑料薄膜，再盖保温材料养生。

(7) 硫铝酸盐水泥混凝土不得采用电磁加热和高温蒸汽养生，抢修工程终凝后可采用热水养生。

4.6.6 防冻混凝土的质量控制

1 混凝土浇筑后，在结构最薄弱和易冻的部位，应加强保温防冻措施，并应布置测温点测定混凝土的温度。测温探头埋入混凝土深度应为 100~150mm，也可为板厚的 1/2。在达到受冻临界强度前，每隔 2h 测温一次，以后每隔 6h 测温一次，并应同时测定环境温度。

2 防冻混凝土的质量应满足设计要求，并应符合下列规定：

(1) 在浇筑地点制作一定数量混凝土试件进行强度试验。其中一组试件应在标准条件下养生，其余放在现场养生。除按规定龄期试压外，在达到受冻临界强度时，拆模前及拆除支撑前与工程同条件养生 28d、再标准养生 28d 均应进行试压。试件不得在冻结状态下试压，边长 150mm 的立方体或 150 mm×150mm×550mm 的棱柱体试件，应在 15~20℃室内解冻 5~6h 或浸入 10~15℃的水中解冻 6h；边长 100mm 的立方体或 100mm×100 mm×400mm 的棱柱体试件，应在 15~20℃室内解

冻 3~4h 或浸入 10~15℃ 的水中解冻 3h, 试件擦干后试压。

(2) 检验抗冻、抗渗所用的试件, 应在现场养生 28d, 再标准养生 28d 后进行抗冻或抗渗试验。

(3) 防冻引气混凝土拌合物应在搅拌机口每工班检测 2 次含气量, 含气量应符合表 4.3.3-1 和表 4.3.3-2 规定。凝结时间检验应在现场温度环境下进行, 每工班检测 1 次, 初、终凝时间分别不得晚于 5h、10h。

说明

4.6.1 主要品种

本节列出了在公路混凝土工程中, 可采用的无机盐类、有机化学成分类防冻剂的主要化学品种类及两者复合的防冻剂、复配的早强防冻剂、引气防冻剂、引气(高效)减水防冻剂。亚硝酸盐有阻锈作用, 可与氯盐类防冻剂复合用于钢筋混凝土结构, 但掺量和复配比例应严格限制。亚硝酸盐防冻剂单独可使用在-15℃的气温下。碳酸钾的冰点较低, 可在-20℃条件下使用, 但有促凝作用, 应加入适量缓凝剂加以抑制。尿素防冻剂在负温下单独使用, 有明显的缓凝作用, 应同时加入适宜的早强剂, 促使混凝土在负温下硬化。尿素可用在-10℃以上的混凝土防冻。尿素与硫酸钠均会使混凝土表面析出晶盐, 气温越低越严重, 应注意初期保水养生。

常用防冻剂的最大掺量参考值如下: 氯盐类防冻剂掺量不得大于拌和用水量的 7%; 无氯盐类防冻剂的掺量不得大于拌和用水量的 20%, 其中碳酸钾防冻剂掺量不得大于水泥用量的 10%; 亚硝酸钠、硝酸钠掺量不得大于水泥用量的 8%; 亚硝酸钙、硝酸钙掺量不应大于水泥用量的 4%; 尿素掺量不得大于水泥用量的 4%。

4.6.2 性能指标

1 表 4.6.2-1 中所规定的指标是《混凝土防冻剂》(JC 475—2004)表 1 中一等品的性能指标, 未采用其中的合格品数据。在公路混凝土工程中不允许使用市场上标注为“合格品”的防冻剂, 与《水工混凝土外加剂技术规程》(DL / T 5100)的规定相同。

2 防冻剂产品的匀质性要求表 4.6.2-2 的规定与《混凝土防冻剂》(JC 475—2004)表 2 的规定相同。防冻剂的取样、施工过程中的检验要求应符合 4.1.10~4.1.11 条的规定。防冻剂试验方法参见附录 G。

4.6.3 复合型防冻剂的复配要求

1 化工产品均含有杂质, 配量应按有效固含量计算, 化学成分相同或相近防冻剂不得复配。

2 复配液体中不得有结晶、沉淀、悬浮物及絮凝物, 防冻剂结晶与水温有直接关系, 某些防冻剂的溶解度对水温很敏感, 一般常温不析晶沉淀, 低温会析出结晶或沉淀。在使用温度下要求为不析晶沉淀的液体, 否则由于结晶或沉淀, 溶液浓度降低较多。悬浮物及絮凝物是复配防冻剂或外加剂不能互溶, 或在溶液中发生离子交换反应的结果, 导致外加剂性能失效, 这些情况均应加以避免。

3 防冻剂复配引气剂、高效减水剂等外加剂时应进行与水泥的适应性检验。防止出现复合外加剂对水泥不适应。

4.6.4 适用范围

1 由于公路工程主体结构工程大多承受动荷载或超载冲击、振动和疲劳作用, 对施工期间的微裂纹、裂缝很敏感, 受冻后有微裂纹和裂缝的结构不仅耐久性大为缩短, 而且极大地减少其承载能力和服务年限, 因此本指南规定: 承受动载作用的公路主体露天工程如桥梁、涵洞和混凝土路面在负温环境下施工不得掺用防冻剂。即连续 5 昼夜平均气温 0℃ 以下, 夜间最低气温-5℃ 以下, 必须停止主体混凝土结构的冬季负温施工。在公路混凝土工程中, 露天负温条件下仅允许掺用防冻剂施工低档墙、低护坡、水沟、路缘石等附属工程及隧道、洞室内有保温措施或遮避档设施, 但施工期间偶尔可能受冻的混凝土衬砌、混凝土路面和地面工程等。使用前应通过试验确定防冻剂的品种和掺量, 这是确保质量和耐久性的措施。

2 针对国内高寒和寒冷地区高等级公路水泥路面、路缘石及路肩石冰冻和盐冻破损相当严重、且数量很大的情况, 公路混凝土暴露结构表面除施工期抗冻外, 还应有长期抗冻耐久性要求。强调在施工期间在掺用防冻剂的同时加引气剂; 即使正常施工季节, 可不掺用防冻剂, 也应掺入引气剂来抵御营运期抗冻害, 提高混凝土结构和构件抗冻耐久性。

3 除防冻剂掺量应根据施工现场条件进行优选外, 本指南规定了下述防止钢筋、预应力筋遭

受氯盐和电化学锈蚀所采取的限制措施：

(1) 强电解质防冻剂应符合 4.5.2 条第 3 款、第 4 款的规定是防止氯盐及电化学锈蚀的措施。

(2) 该项规定是防止钢筋、预应力筋电化学锈蚀以及碱集料反应所采取的限制措施。

(3) 无氯盐防冻剂对钢筋无锈蚀作用，因此适用于钢筋混凝土，但也有一定使用剂量与范围，高剂量的亚硝酸盐会引起应力腐蚀和晶格腐蚀，欧洲 RILEM 混凝土冬季施工委员会和《混凝土外加剂应用技术规范》(GB 50119) 强制性条款规定：含亚硝酸盐、碳酸盐的防冻剂严禁用于预应力混凝土结构和构件。

(4) 有机化学成分的防冻剂对钢筋无锈蚀作用，也不存在应力腐蚀等问题，故可用于公路工程中的混凝土、钢筋混凝土及预应力混凝土结构和构件。

(5) 此项的说明见 3.0.4 条。

(6) 挥发性防冻剂在通风不良的封闭洞室和建筑上的使用限制，是为防止对人身健康带来不良影响。

(7) 有机化合物及复合型防冻剂是无氯盐或非电解质防冻剂，无锈蚀之虞，因此可用于公路工程素混凝土、钢筋混凝土及预应力混凝土结构和构件。

4.6.5 施工

1 公路混凝土工程中防冻剂的选用应按规定负温的三个区间使用：在日最低气温为 $-5\sim-10^{\circ}\text{C}$ 、 $-10\sim-15^{\circ}\text{C}$ 、 $-15\sim-20^{\circ}\text{C}$ ，应分别采用规定温度 -5°C 、 -10°C 、 -15°C 防冻剂。同时，必须采取有效的保温蓄热养生措施。

目前冬季施工用防冻剂普遍由减水组分、早强组分、引气组分和防冻组分复合而成，以发挥更好的综合效果，单一组分防冻剂效果并不好。减水组分作用是减少拌合物用水量，从而减小混凝土中的冻胀应力，并能改善集料的界面结构，减少界面冰水聚集，减小界面区的破坏应力。早强组分为混凝土有液相条件下加速水泥水化，提高早期强度，尽快获得足够的受冻临界强度；引气组分在负温条件下对冻胀应力有缓冲作用，保证耐候性、耐久性和抗裂性；防冻组分别是保证混凝土液相在规定负温条件下不冻结或少结冰，使混凝土中始终有液相存在，为负温下的水泥水化创造条件和可能。这么多的组分混合在一起，需要对防冻剂的配方进行认真设计，同时，防冻剂的品种也相当多，在不同的负温环境下需要不同的品种、搭配和掺量。选择余地很大，也较复杂，无配制防冻剂经验的施工单位不必自己配制防冻剂，只要搞清楚施工的负温区间，结构类型，并符合本指南限定的品种范围，请专业人士和专门厂家配制防冻剂并提供适宜的掺量。

2 负温施工掺防冻剂混凝土所用的原材料，应符合下列要求：

(1) 负温施工的混凝土应优先选用发热量大、水化反应快、早强高的水泥品种或型号。严禁使用高铝水泥是由于其在负温和低温下生成的水化产物结晶形态与常温下不同，强度较低，又后期强度倒缩严重。矿渣水泥、粉煤灰水泥、火山灰水泥、混合水泥早期强度增长缓慢、初期强度偏低，易遭受冻害，因此不宜使用。水泥等级不应低于 32.5 级。大体积混凝土不应使用硫铝酸盐水泥和 R 型水泥是由于这两种水泥的水化热过高过集中，会引起大体积混凝土的温差开裂。

(2)~(3) 含有冻雪和冻结在一起的粗、细集料会降低拌合物的温度，增加用水量而降低强度，其清洁程度、坚固性和碱活性集料应符合现行国标和公路行业标准对砂石材料的规定。

(4) 为了防止液体防冻剂在储存过程低温结晶析出、分层、沉淀，要求储存应有保温措施。

3 防冻剂混凝土的配合比设计

(1) 规定掺引气组分防冻剂混凝土的砂率，由于引气剂增大了砂浆总体积，因此可比不掺的混凝土砂率降低 2%~3%；配合比计算时应计入含气量体积及其对混凝土容重的影响；由于抗渗要求混凝土砂率较高，所以同时有抗渗性要求，不应降低砂率。

(2) 对有抗冰冻和抗盐冻要求公路混凝土重要结构规定使用引气型防冻剂，并达到表 4.3.3-1、表 4.3.3-2 规定含气量。同时规定了抗冰冻性和抗盐冻要求时的最大水灰比。规定不同的公路工程结构混凝土的最大水灰比和最小水泥用量。

4 掺防冻剂混凝土应根据不同天气负温，采用的一系列保温、加热原材料的施工措施。一般公路工程附属混凝土结构在气温 -15°C 以下不宜施工， -20°C 以下，所有公路工程结构必须强制停工。

5 防冻剂混凝土搅拌时，应满足防冻剂掺量、水灰比和单位用水量的误差控制规定；以及保温措施、拌合物出机温度和浇筑温度的要求，拌合料的浇筑温度是保证混凝土强度发展，尽快达

到抗冻临界抗压强度的必要条件。

6 掺防冻剂混凝土的运输及浇筑除应满足一般混凝土运输、浇筑的要求外，还应能符合清除冰雪、保温和快速浇筑的三项规定。

7 掺防冻剂混凝土负温养生应符合的各项规定是防止早期受冻所必需的，在冬季负温施工时是极其重要的工艺环节，这些规定以热工计算为基础，加上长期冬季施工积累的丰富经验，应严格遵循。

8 规定负温条件下采用硫铝酸盐水泥施工或快速修复时，应符合的施工要求和技术规定。硫铝酸盐水泥多用于冬季抢修工程，其独具的特点有：

(1) 硫铝酸盐水泥所能够使用的防冻剂与硅酸盐类水泥不同，应使用亚硝酸盐(掺量不超过 3.0%水泥质量)、氯化锂(掺量不超过 0.04%水泥质量)防冻剂，实用掺量应通过试验确定。

(2) 硫铝酸盐水泥在运输、保管和使用过程中必须与其他品种的水泥、石灰分开，不得混杂。否则会闪凝或快凝，无法正常施工。

(3) 硫铝酸盐水泥属于快凝早强型水泥，出机坍落度要求比硅酸盐类水泥大一些。

(4) 硫铝酸盐水泥的水化发热量大而集中，有利于蓄热，出机和浇筑温度要求可比硅酸盐类水泥略低，但一般也需要控制在 5~15℃之间，才有利于其水化和强度发展。

(5)~(6) 硫铝酸盐水泥混凝土水泥用量高于 350kg/m³，宜采用水泥裹砂石工艺，它是属于快凝早强水泥，施工各工艺环节须在 30~40min 内完成。

(7) 为防止硫铝酸盐水泥混凝土热养生或高温养生产生的强度倒缩现象，不允许热养生或高温养生。可使用热水表面养生。但应注意撤出养生时的降温速率不得过快，防止其开裂。

4.6.6 掺防冻剂混凝土的质量控制

加强混凝土温度监测，了解保温防冻措施的效果，目的是严防混凝土未达到抗冻临界抗压强度时的受冻破坏。掺防冻剂混凝土的质量，最主要是监测含气量、凝结时间、28d 标养强度、不同龄期工程结构的受冻临界强度、拆模强度、28d 强度、恢复正温后的长期强度等应满足设计和施工要求。

4.7 泵送剂

4.7.1 在公路混凝土工程中，下列外加剂可用作泵送剂：

1 保水增稠剂

(1) 水溶性树脂类：如聚乙烯醇、纤维素醚、水溶性淀粉等；

(2) 聚合物电解质类：如碱性聚乙烯吡啶等；

(3) 丙烯酸类：酸性聚甲基丙烯酸盐、聚丙烯酸盐；

(4) 纤维素类：羧甲基羟乙基纤维素、羧甲基纤维素等；

(5) 蛋白质类：两性水解蛋白质、明胶等。

2 助泵剂：高细度矿物掺合料，如硅灰、(超)磨细粉煤灰和磨细矿粉等。

3 减水剂、高效减水剂、缓凝剂、引气剂。

4 上述保水增稠剂、助泵剂、减水剂、高效减水剂、缓凝剂、引气剂复配的泵送剂

4.7.2 性能指标*

1 掺泵送剂混凝土的技术指标应符合表 4.1.3 的规定。抽样方法及施工过程中的质量检验应符合 4.1.10 条和 4.1.11 条的规定，泵送剂检验项目及所需数量应符合表 4.7.2-1 的规定，泵送剂试验方法应符合附录 H 的规定。

表 4.7.2-1 泵送剂质量检验的试验项目及所需数量

试验项目	试验类别	试验所需数量			
		混凝土拌和批数	每批取样数目	掺外加剂混凝土总取样数目	基准混凝土总取样数目
坍落度增加值	混凝土拌合物	3	1 次	3 次	3 次
常压泌水率比					
压力泌水率比					
含气量					

坍落度保留值				
抗压强度比	硬化混凝土		9 块	27 块
收缩率比				27 块
冻融循环次数★			1 块	3 块
钢筋锈蚀	新拌或硬化砂浆	1 块		

注：1. 试验时，检验一种外加剂的两批混凝土应在同一天内完成。

2. 冻融循环次数在有抗冻要求时检验。

★ 引自《混凝土泵送剂》(JC 473-2001)。

2 泵送剂的匀质性检验项目应满足表 4.1.12 的要求，相应匀质性指标应符合表 4.7.2-2 的规定。

表 4.7.2-2 混凝土泵送剂产品的匀质性指标

项次	试验项目	匀质性指标
1	含固量	液体泵送剂，应在生产厂控制值相对量的 6% 之内
2	含水量	粉状固体外加剂，应在生产厂控制值相对量的 10% 之内
3	密度	液体外加剂，应在厂家所控制值的 $\pm 0.02\text{g/cm}^3$ 之内
4	氯离子含量	应在生产控制值相对量的 5% 之内
5	细度	粉状泵送剂：通过 0.315mm 筛筛余应小于 10%
6	总碱量($\text{Na}_2\text{O}+0.658\text{K}_2\text{O}$)	应在生产控制值相对量的 5% 之内
7	水泥净浆流动度	应不小于生产控制值的 95%

4.7.3 适用范围

泵送剂适用于使用混凝土泵输送的下述混凝土：

——商品混凝土、现场搅拌混凝土，钢筋混凝土和预应力混凝土。

——挡土墙、桥涵结构混凝土、钢管混凝土、隧道衬砌混凝土、大体积混凝土。

——公路工程中的特种混凝土，如膨胀混凝土、护筋混凝土、补偿收缩混凝土等。

4.7.4 泵送混凝土原材料和配合比

1 原材料

(1) 水泥的凝结时间必须符合《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》(GB / T 1346) 的规定。

(2) 粗集料应符合《建筑用卵石、碎石》(GB / T 14685) 的规定，并应采用连续级配，其最大粒径应符合表 4.7.4-1 的规定。不同最大粒径的最佳级配可按附录图 I.1-1-图 I.1-4 选用，管径与粗集料最大粒径的关系见附录表 I.4-2，针片状颗粒含量不得大于 10%；常用混凝土输送管规格见附录表 I.4-1。

表 4.7.4-1 泵送混凝土粗集料最大粒径

泵送高度 (m)	最大粒径与输送管径之比	最大粒径 (mm)
<50	碎石不宜大于 1: 3	不得大于 31.5
	卵石不宜大于 1: 2.5	不得大于 37.5
50~100	碎石不宜大于 1: 4	不得大于 26.5
	卵石不宜大于 1: 3	不得大于 31.5
>100	碎石不宜大于 1: 5	不得大于 19.0
	卵石不宜大于 1: 4	不得大于 26.5

(3) 细集料应符合《建筑用砂》(GB / T 14684) 的规定，并应采用中砂，通过 0.30mm 筛孔砂含量不宜少于 15%，且不大于 30%，通过 0.15mm 筛孔砂含量不宜少于 5%。其最佳级配可按附录 I.1 中图 I.1-5 选用。

(4) 泵送混凝土宜掺适量粉煤灰，粉煤灰的品质应符合 I、II 级灰技术要求，粉煤灰掺量应通过泵送混凝土试拌和泵送试验确定。

2 配合比

(1) 配合比除应满足混凝土设计强度和耐久性要求外，必须满足可泵性要求。可泵性的控制应采用附录 H 中的压力泌水试验结合泵送经验进行，一般 10s 时的相对压力泌水率不宜超过 40%。

(2) 泵送剂品种及掺量的优选应根据试拌试泵确定。泵送混凝土坍落度和可泵性应根据运输距离、泵送机械、输送管径、泵送距离、气温等现场试泵确定。

(3) 泵送坍落度应按不同的泵送高度参照表 4.7.4-2 选用。最小坍落度不宜小于 100mm。掺粉煤灰和木质素磺酸钙减水剂的坍落度经时损失值宜参照表 4.7.4-3 确定。

表 4.7.4-2 不同泵送高度入泵时混凝土坍落度选用值

泵送高度 (m)	30 以下	30~60	60~100	100 以上
坍落度 (mm)	100~140	140~160	160~180	180~200

表 4.7.4-3 泵送混凝土坍落度经时损失值

大气温度 (°C)	10~20	20~30	30~35
1h 坍落度损失值* (mm) (掺粉煤灰和木质素磺酸钙)	5~25	25~35	35~50

注：掺粉煤灰与其他外加剂时，坍落度经时损失值应通过试验确定，但不宜大于本表的规定值。

(4) 最小胶材总量不宜小于 300kg / m³，有抗(盐)冻性要求的混凝土结构不宜小于 320kg / m³。

(5) 适宜水灰(胶)比应控制在 0.45~0.60 之间。有抗(盐)冻性要求时，水灰(胶)比一般不宜大于 0.50。

(6) 砂率宜为 35%~45%。公路工程薄壁结构宜取保证泵送性能的偏低砂率。

(7) 泵送混凝土不宜进行负温施工，低温泵送的混凝土，应选用硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥，水泥强度等级不宜低于 32.5 级，除使用泵送剂外，宜同时掺引气剂、早强剂，其掺量应根据当时气温下的试泵优选确定。

4.7.5 施工

1 拌和及供应

(1) 现场拌和及要求及搅拌设备应符合 3.0.8 条规定，可采用预拌商品混凝土。

(2) 泵送混凝土的供应。应根据施工进度编制供应计划，并加强通讯联络和生产调度，确保连续均匀供料。低温和负温施工时，应采取有效的保温措施。

(3) 液体泵送剂可直接掺入混凝土或以稀释溶液加入，水溶性粉状泵送剂宜用水溶解均匀后掺入，溶液中的水量应从拌和水量中扣除，不溶于水的粉状泵送剂可直接掺入混凝土中，但应将搅拌时间延长 30s，总拌和时间不宜少于 1min。

(4) 搅拌楼拌和泵送混凝土的最短纯拌和时间应根据拌合物的匀质性和可泵性确定。

2 运输及输送

(1) 泵送混凝土应采用罐车运送，不应使用翻斗车运输。

(2) 当混凝土泵连续作业时，每台泵所需配备的车辆数，可按式(4.7.5-1)计算确定，也可根据满足不中断泵送的供给试验确定。

$$N = \frac{Q \left(60 \frac{L}{S} + T \right)}{60V} \quad (4.7.5-1)$$

式中：N—混凝土搅拌运输车台数(台)；

Q—每台混凝土泵的实际平均输出量(m³/h)，按式(4.7.5-2)计算；

L—混凝土搅拌运输车往返距离(km)；

S—混凝土搅拌运输车平均行车速度(km/h)；

T—每台混凝土搅拌运输车总计停歇时间(min)；

V—每台混凝土搅拌运输车容量(m³)。

(3) 运输延续时间：应符合表 4.7.5 的规定；高温施工时，泵送混凝土的温度不应高于 35℃，并应加缓凝剂或缓凝减水剂；低温、负温施工时，泵送混凝土的温度不应低于 10℃，并应掺早强剂或防冻剂。

表 4.7.5 泵送混凝土运输延续时间

混凝土出机温度(°C)	5~25	25~35
运输延续时间(min)	60~90	50~60

(4) 混凝土泵最大水平输送距离可按附录 I.2 计算，钢管混凝土结构中的钢管应视同泵送配管。每台泵的实际平均输出量，可根据泵的最大输出量、配管情况和作业效率，按式(4.7.5-2)计算：

$$Q=Q_m \cdot \alpha \cdot \eta \quad (4.7.5-2)$$

式中：Q—每台混凝土泵的实际平均输出量(m³/h)；

Q_m—每台混凝土泵的最大输出量(m³/h)；

α—配管条件系数，可取 0.8~0.9；

η—作业效率，一般取 0.5~0.7 可根据车辆向混凝土泵供料的间隔时间、拆装输送管和浇筑间歇等情况选取。

3 泵送设备及管道

泵送设备及管道应按《混凝土泵送施工技术规范》(JGJ/T 10)的规定选取，泵送管道布置及其组配宜通过计算确定。

4 泵送与浇筑

(1) 用于大跨径桥梁、大自重等结构的模板和支架应具有足够的强度、刚度和稳定性，模板侧压力可按附录 1.3 计算确定。

(2) 泵与泵管接通后，应进行全面检查。泵送前，应先泵水湿润，再泵送水泥净浆或砂浆润管。

(3) 混凝土泵送速度应先慢后快，正常后，活塞应保持最大行程运转，并以稳定速度泵送。

(4) 当混凝土泵出现压力升高且不稳定、输送管出现明显振动等现象而泵送困难时，不得强行泵送，应立即查明原因，采取措施排除；可先用木槌敲击弯管、锥形管等部位，并进行慢速泵送或反泵，防止堵塞。

(5) 当输送管被堵塞时，应反泵吸出混凝土，并采用敲击法松动混凝土，查明堵塞位置，卸压拆除堵塞泵管，排除堵塞物后，再接管重新泵送。中断泵送时间不宜超过 1h。

(6) 浇筑顺序应先远后近、先竖向后水平、先低后高；分层连续浇筑时，分层厚度宜为 300~500mm，超过时可按 1:6~1:10 斜坡浇筑。管口与侧模间的距离不宜小于 200mm，且不得直冲侧模和钢筋。水平浇筑时，应在 2~3m 内移动管口，不得在一处持续浇筑；浇筑区域之间或上下层之间的浇筑间歇时间，不得超过混凝土的初凝时间。

(7) 泵送混凝土振捣时，振捣棒移动间距宜为 400mm 左右，振捣时间应视振捣棒的振动频率大小和混凝土振捣密实状况控制在 10~30s，隔 20~30min 应进行第二次复振，以确保钢筋过密部位振捣密实。表面抹压饰面应进行两遍以上。

(8) 泵送混凝土应加强保湿养生，不同气温条件下的湿养生天数应比 4.2.3 条第 5 款的规定适当延长。

4.7.6 质量控制

1 泵送剂的称量应准确并及时标定，泵送剂称量允许偏差应符合表 3.0.5 的规定。泵送混凝土入泵时的坍落度不应小于 100mm，误差不宜大于 ±20mm。

2 采用罐车时，泵送剂可后添加，必须快速旋罐搅拌均匀，且测定坍落度满足泵送要求后，方可使用。后添加的泵送剂数量应预先试验确定，并应在加水量中扣除后加溶液的水量，严禁往罐内混凝土中随意加水。

3 当出现可泵性差、泌水、离析，难以泵送时，应立即对配合比、泵送剂、混凝土泵、配管、泵送工艺进行检查，并采取有效的改进措施。

说明

4.7.1 主要品种

列举在公路混凝土工程中,可使用泵送剂主要化学成分和品种,其中除了保水剂、助泵剂外,(高效)减水剂、缓凝剂和引气剂等亦可用于泵送剂。

泵送剂首要的是应具备良好的可泵送性,就是混凝土拌合物具有顺利通过输送管道、不堵塞、不离析、粘塑性良好的性能。泵送剂必须在较长的时间内保持拌合物具有较高的坍落度和润滑性,具备足够的缓凝时间以利于泵送。

4.7.2 性能指标

1 与其他外加剂相同的是在《混凝土泵送剂》(JC 473—2001)中,泵送剂质量有一等品和合格品之分,本指南规定公路工程只能使用一等品,这与《水工混凝土外加剂技术规程》(DL/T 5100—199)规定相同。

2 为保证泵送剂产品在使用过程中均匀一致性,对泵送剂匀质性指标和检验项目进行了规定。

4.7.3 适用范围

泵送剂是为适应快速、文明施工的混凝土泵输送工艺而使用的一种专用外加剂。掺用泵送剂的混凝土拌合物不离析泌水,粘聚性、和易性和可泵性好,并具有一定含气量和缓凝性能的大坍落度混凝土。只要使用混凝土泵工艺浇筑的公路工程桥梁、隧道、交通工程设施混凝土;钢管混凝土、钢筋混凝土和预应力混凝土结构及构件,大体积混凝土、水下灌注桩混凝土等都适用。

其中公路钢管拱桥的压力泵送,是一种特殊情况,钢管既是泵送管又是永久结构,要使大型拱桥钢管内混凝土灌满灌实,除了应使用泵送剂外,还需同时掺用减水剂、(超)缓凝剂、膨胀剂或粉煤灰等。所以,钢管的泵送除了满足本节规定外,一般需要通过专门的试验论证。

泵送轻集料混凝土时,由于轻集料的上浮离析,较难泵送,它有特殊要求,因此,本指南所规定的泵送剂条款,不包括轻集料混凝土,但可作为参考。

由于泵送混凝土流动性要求很大,坍落度高,难于压低水灰比,一般仅适用于 C60 以下的混凝土等级,C60 以上的高强混凝土泵送,需要超塑化剂及优质掺合料等配合使用。

目前的泵送剂,氯离子含量大都在 0.5%~1.0%之间,很小。因此泵送剂适用于钢筋混凝土和预应力混凝土结构和构件。混凝土中氯离子总含量最高限制应符合表 3.0.9 的规定。

4.7.4 泵送混凝土原材料和配合比

泵送混凝土的原材料技术要求和配合比设计是泵送混凝土关键技术。混凝土能够顺畅地泵送的核心问题是对拌合物在泵内工作原理及管道内输送机理的正确理解和认识,混凝土泵的工作是间歇式往复压力推进方式,逆止阀在开启时压送混凝土,关闭时,阻止混凝土回流,逆止阀在泵送混凝土时,在不断开闭往复运动当中,这里的关键问题是逆止阀的开启、闭合运动不能被混凝土集料所卡住。混凝土拌合物在泵管中被压力输送时,是中心无相对运动的混凝土核心,周壁被水泥浆或砂浆润滑层包裹着的柱塞流动体。

1 原材料

(1) 泵送混凝土必须是缓凝的混凝土,水泥绝不可硬化在泵及管道内,所以能够使水泥促凝和闪凝的硬石膏、半水石膏、脱水石膏、氟石膏、萤石膏、工业废渣石膏等不可作为调凝剂,至少应保证混凝土具有正常的凝结时间。在较高施工气温时应在泵送混凝土中掺用缓凝剂。

(2) 泵送混凝土管径必须与粗集料最大粒径相适应,特别是在弯管处及逆止阀内,不能卡管或卡泵。即应严格控制泵送混凝土最大粒径与管径之比,防止泵送混凝土时管道被堵塞。泵送高度和粗集料最大粒径应符合表 4.7.4-1 的规定。管径与最大粒径的关系见附录表 I.4-2。针片状颗粒直接影响逆止阀的运动,对可泵性影响很大,故控制其不宜大于 10%。粗集料应尽量采用最佳连续级配。混凝土泵送的换算压力损失见附录表 I.2-1,输送管水平换算长度见附录表 I.2-2。

(3) 泵送混凝土要保证在泵管内流动起来,必须提供可润滑管内壁的砂浆,细集料应采用最适宜泵送的中砂,通过 0.30mm 筛孔的粉细砂份量不应少于 15%;细集料的级配要好,可按附录 I.1 中图 I.1-5 选用。

(4) 泵送混凝土流动起来,需要足够数量的水泥浆提供润滑性,但不能因泵送混凝土工艺而使用过大的水泥用量,一种有效的解决办法是掺适量的粉煤灰,I、II 级粉煤灰具有较多的微珠玻璃

球，掺入泵送混凝土中能增大其流动性。III级灰含碳量过高，吸水量大，坍落度损失快，不利于泵送，一般不得使用。泵送混凝土使用“双掺”技术，不仅有利于泵送，而且能通过掺粉煤灰节省水泥。粉煤灰掺量应满足混凝土设计强度和施工要求，并应通过泵送混凝土试拌和泵送试验确定。

2 配合比

(1) 泵送混凝土是有压流体，其配合比必须满足混凝土可泵性工艺要求。这是泵送混凝土与其他混凝土配合比的显著区别。保证泵送混凝土的可泵性，就是要求在压力输送过程中不离析、泌水率小，流动性良好。压力泌水率必须测量(见附录II的压力泌水试验)，一般10s时的相对压力泌水率不宜超过40%。

(2) 泵送混凝土配合比可泵与否与泵机选择、管道配置关系重大，现场试泵是混凝土配合比最终可泵性评判依据，应通过工程施工现场实地试泵送最终确定满足泵送要求的混凝土配合比。

(3) 入泵时过低的坍落度及其过快的损失，都将使拌合物流动性劣化，造成泵送困难，并有堵塞泵管的风险，最终导致无法泵送。因此，必须规定不同的泵送高度与入泵输送时的最小坍落度，又不宜小于100mm(对普通泵的规定，目前开发的高性能泵，可以泵送坍落度仅50mm的混凝土。)应按环境气温，规定泵送混凝土坍落度最大经时损失值。(见表4.7.4-2、表4.7.4-3规定)。

(4) 过小的胶材总量，粗细集料表面包裹不住，则拌合物过于粗涩，用于润滑管壁的浆体不足，流动不畅，难于泵送。因此，泵送混凝土的最小胶材总量不宜小于 $300\text{kg}/\text{m}^3$ ；同时有抗(盐)冻性要求的混凝土结构不宜小于 $320\text{kg}/\text{m}^3$ 。若因工程结构的强度要求，非泵送胶材很低的混凝土时，必须仔细研究其配合比和泵送工艺，根据目前国内外的泵送工程实践， $250\text{kg}/\text{m}^3$ 是极限最小胶材总量。

(5) 实践证明：方便泵送的混凝土水灰(胶)比经验值在0.45~0.60之间，小于0.45，泵送压力急剧上升；大于0.60，混凝土易离析，可泵性差。有抗(盐)冻性要求时，宜选偏小值。从泵送混凝土原理上讲，适宜泵送的混凝土流动度只有合适稠度的水泥浆才能提供。最小0.45的水灰(胶)比，对高性能混凝土而言是偏大的。这是在使用普通缓凝型减水剂基础上得出的结论，若使用缓凝高效减水剂或缓凝引气高效减水剂时，满足泵送流动性的水泥浆稠度，水灰(胶)比可以再压低，按目前高性能混凝土的工程实践，水灰(胶)比0.35基本是现有外加剂的极限最小值。

(6) 泵送混凝土配合比最显著的特征是满足泵送流动性必须使用高砂率，按泵机和输送管道的工作原理，是靠饱和水泥浆和足够数量的砂浆提供粘聚性和管壁润滑，因此，砂率宜为35%~45%。保持足够高的砂率，特别是砂中小于0.30mm颗粒的含量，是保证顺利泵送的重要措施。但是，高砂率的混凝土，尽管满足了泵送的需要，其材料结构必定是粗集料的悬浮密实结构，这种结构的混凝土防水抗渗性很高，但是其抗压强度偏低，特别是干缩性变大，抗裂性严重不足，在公路工程大量使用的薄壁结构当中，保湿养生略为疏忽，则结构开裂的几率很高。所以，在保证正常泵送条件下公路薄壁结构尽可能取偏低砂率，才能有效克服泵送混凝土收缩大，结构易开裂的缺点。这是公路工程薄壁结构必须高度重视的问题。

(7) 泵送混凝土的冬季低温施工，宜用发热量大，又强度等级较高的硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，水泥强度等级不宜低于32.5级，是尽快满足受冻临界强度的要求，宜将泵送剂与引气剂、早强剂复配使用。

4.7.5 施工

1 泵送混凝土的拌制和供应最重要的是不能停顿，确保连续均匀供料，特别是用顶压灌注钢管混凝土拱时，泵送停顿或阻塞将造成重大质量事故，必须要作充分完备的泵送前的准备，使用产量配套、质量优良的计算机自动控制的强制式搅拌机(楼)；特别是加水量应准确计量，搅拌时间应足够泵送混凝土拌合物的搅拌，仅满足均匀性还不够，一定要达到足够的熟度，即要搅拌出优良的拌合物粘聚性，料虽均匀，但偏松散，是不利于泵送混凝土施工的。这里规定的泵送剂干粉应延长搅拌时间30s，最短纯搅拌时间不少于60s，其目的就在于此。

2 使用各种泵送剂或外加剂时，可按实际配合比和施工气温测定混凝土的初凝时间，运输允许延续时间不宜超过实测混凝土初凝时间的1/2。

3 为泵送设备、泵管及其组配的要求。

4 规定混凝土泵送与浇筑施工细节，着重强调如下几点：

(1) 泵送混凝土的模板承受的侧压力大，应通过计算确定，确保安全。

(2) 泵与泵管接通后，应进行全面检查，符合要求后，方可开机。泵送混凝土前，应先泵水湿润所有与混凝土接触部位，再泵送水泥净浆或砂浆润管。

(3) 开始泵送时，混凝土泵送速度应先慢后快，待运转正常后，方可使用正常速度泵送混凝土；活塞应保持最大行程运转。

(4) 为防止混凝土泵堵塞措施。

(5) 当输送管被堵塞时的处理办法。

(6) 为泵送混凝土的浇筑规定：顺序应先远后近、先竖向后水平，先低后高；分层连续浇筑，分层厚度宜为 300~500mm。区域之间、上下层之间浇筑间歇时间，不得超过混凝土的初凝时间。

(7) 泵送混凝土振捣规定。泵送混凝土由于泵送工艺的要求，胶材总量和砂率很大，配制成了悬浮密实材料结构，在薄壁结构上易出现施工裂缝。二次复振和多次抹压表面均为有效的施工防裂措施。

(8) 泵送混凝土养生规定。长期保湿、防风、防晒养生是保证其不开裂的关键施工措施。

4.7.6 质量控制

泵送混凝土施工，应建立完备质量控制制度，进行有效的管理，着重阐述两点：

- 1 为泵送剂称量标定和泵送剂掺量允许偏差做了规定。
- 2 规定可使用泵送剂二次添加法，但要求先做试验，并不增大水灰(胶)比和单位用水量。

4.8 防水剂

4.8.1 主要品种

- 1 无机化学分类 氯化铁、三氯化铝、水玻璃、硅灰、钴化学成分等。
- 2 有机化学分类 脂肪酸及其盐类、有机硅表面活性剂(甲基硅醇钠、乙基硅醇钠、聚乙基硅氧烷)石蜡、地沥青、橡胶及水溶性树脂乳液、聚合物乳液等。
- 3 渗透结晶类防水剂
- 4 混合物类 无机类混合物、有机类混合物、有机与无机混合物等。
- 5 复合类 上述各类与引气剂、减水剂、调凝剂等外加剂复配的复合型防水剂。

4.8.2 性能指标

1 掺防水剂混凝土和砂浆的性能应符合表 4.8.2-1 的规定。使用渗透结晶型防水剂和防水涂料的混凝土性能应符合表 4.8.2-2 的规定。防水剂试验方法可参照附录 J 进行。

表 4.8.2-1 掺防水剂砂浆和混凝土性能指标*

试验项目		混凝土	砂 浆	
		一等品	一等品	合格品
净浆安定性		合格	合格	合格
泌水率比(%)		≤50	—	—
凝结时间	初凝(min)	初凝时差, ≥-90	≥45	≥45
	终凝(h)	—	≤10	≤10
抗压强度比不小于(%)	3d	100	—	—
	7d	110	100	85
	28d	100	90	80
透水率比不小于(%)		渗透高度比不大于 30%	≥300	≥200
48h 吸水量比不大于(%)		65	65	75
28d 收缩率比不大于(%)		120	125	135
对钢筋锈蚀作用		应说明对钢筋有无锈蚀作用		

注：1. 除凝结时间、安定性为净浆的试验结果外，表中砂浆所列数据均为受检砂浆与基准砂浆的比值。

★引目《砂浆、混凝土防水剂》(JC 474—1999)

表 4.8.2-2 使用水泥基渗透结晶型防水剂和防水涂料混凝土性能指标*

试验项目	掺防水剂混凝土		涂防水涂料混凝土	
	一等品		I 型	II 型
净浆安定性	合格		合格	合格
减水率(%)	≥10		—	—
泌水率比(%)	≤70		—	—
含气量(%)	≤4		—	—
凝结时间	初凝(min)	初凝时差, ≥-90	≥20	
	终凝(h)	—	≤24	
抗压强度(MPa)	7d	≥120 抗压强度比	≥12 MPa	
	28d	≥120 抗压强度比	≥18 MPa	
弯拉强度(MPa)	7d	—	≥2.8 MPa	
	28d	—	≥3.5 MPa	
湿基面粘结强度(MPa)		—	≥1.0	
28d 抗渗压力(MPa)		—	≥0.8	≥1.2
28d 渗透压力比(%)		≥200	—	—
56d 第二次抗渗压力, 不小于(%)		0.6	0.6	1.8
28d 收缩率比(%)		≤120	—	—
对钢筋锈蚀作用		应说明对钢筋有无锈蚀作用		

注: 第二次抗渗压力是将第一次 6 个抗渗试件压至全部透水, 然后, 浸水养生 28d, 再进行渗透试验, 至第 3 个试件透水为止, 记录此时压力减去 0.1 MPa。

★引自《水泥基渗透结晶型防水材料》(GB 18445—2001)。

2 砂浆防水剂性能检验的试验项目及所需数量应符合表 4.8.2-3 的规定。混凝土防水剂性能检验试验项目和所需试件数量应符合表 4.1.10 的规定。

表 4.8.2-3 砂浆防水剂性能检验的试验项目及所需数量

试验项目	试验类别	试验所需数量			
		砂浆(净浆)拌和次数	每次取样数	基准砂浆取样数	受检砂浆取样数
安定性	净浆	3	1 次	3 次	3 次
凝结时间			6 块	18 块	18 块
抗压强度比	2 块		6 块	6 块	
透水压力比	硬化砂浆		1 块	3 块	3 块
吸水量比					
收缩率比			—		
钢筋锈蚀					

注: 1. 试验时, 检验一种外加剂的两批砂浆或净浆应在同一天内完成。

3 混凝土防水剂的匀质性指标应符合表 4.1.4 的规定, 匀质性的检验项目应符合表 4.1.12 的规定, 入库及现场检验项目、批量应符合 4.1.10 条的规定。

4.8.3 适用范围

1 防水剂可用于公路工程中有防水抗渗要求混凝土结构及表面或中间薄层防水砂浆。

2 含氯盐的防水剂不得用于钢筋混凝土结构，严禁用于预应力混凝土结构，电解质类防水剂不得用于有杂散电流的钢筋混凝土、预应力混凝土结构，不宜用于重要的薄壁结构，不宜用于少筋厚大混凝土结构，并应符合 4.5.2 条第 3、4、5 款的规定；其掺量应符合 4.5.3 条第 2 款的规定。

3 掺防水剂的混凝土不得单独用于耐蚀系数小于 0.8 的受侵蚀防水工程。处在酸、碱、盐等腐蚀性介质中的防水混凝土，当耐蚀系数小于 0.8 时，应采取可靠的防腐蚀措施。

4.8.4 防水混凝土的抗渗等级、设防高度和种类

1 设计抗渗等级

防水混凝土的设计抗渗等级应根据混凝土工程埋置深度按表 4.8.4-1 确定抗渗等级。防水混凝土最低设计抗渗等级 S 应不小于 6 级，抗渗压力不小于 0.6MPa。

表 4.8.4-1 防水混凝土设计抗渗等级的选择

工程埋置深度(m)	<10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60
设计抗渗等级	S6	S8	S10	S12	S14	S16

注：1. 本表适用于IV、V级围岩(土层及软弱围岩)。

2. 隧道防水混凝土的设计抗渗等级可按公路隧道的有关规范执行。

2 防水设防高度

公路防水混凝土工程的设防高度应根据结构物周围的土质和地下水情况参照表 4.8.4-2 确定。

表 4.8.4-2 防水混凝土设防高度

土壤性质	地下水情况	设防高度
强透水性地基，渗透系数大于 $1 \times 10^{-5} \text{m/s}$ 及有裂隙的坚硬岩石层	潜水位较高，结构在潜水位以下	取潜水位以上 1m，毛细管区上部
	潜水位较低，结构基础在潜水位以上	毛细管区上部设置防潮层
弱透水性地基，渗透系数小于 $1 \times 10^{-8} \text{m/s}$ 的粘土、重粘土及密实块状岩石	有潜水或滞水	防水高度设至地面
一般透水性地基，渗透系数 $1 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-8} \text{m/s}$ 粘土、亚粘土及裂隙小的岩石	有潜水或滞水	防水高度设至地面

3 优选防水混凝土

根据防水混凝土实际达到的密实度、抗渗等级和可能开裂情况，优选下述适宜的防水混凝土种类：

(1) 普通防水混凝土抗渗等级较低，适用于一般防水混凝土结构。

(2) 引气剂防水混凝土抗渗等级中等，适用于严寒和寒冷地区中等防水混凝土结构。

(3) 减水剂类(普通减水剂、高效减水剂、早强减水剂、早强高效减水剂、缓凝减水剂、缓凝高效减水剂等)防水混凝土抗渗等级较高，适用于钢筋密集或振捣困难的薄壁防水结构以及对凝结时间和流动性有特殊要求的混凝土结构。

(4) 膨胀剂防水抗裂混凝土抗渗等级很高，适用于地下工程、隧道、洞室及结构后浇带。

(5) 防水剂防水混凝土抗渗等级很高，分别适用于下述不同情况：

——三乙醇胺早强防水混凝土，适用于工期紧迫，需早强抗渗的混凝土结构；

——氯化铁防水混凝土，适用于水中、地下无筋、少筋厚大混凝土结构，砂浆修补抹面；

——渗透结晶型防水混凝土，适用于薄壁且抗渗性要求较高的钢筋混凝土结构。

4. 8. 5 防水混凝土原材料

1 防水混凝土所用的水泥应符合下列规定：

(1) 水泥的强度等级不应低于 32.5 级。掺防水剂的混凝土应选择与所用水泥适应性好的防水剂。

(2) 在不受侵蚀介质和冻融作用时，宜采用硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、火山灰硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥，使用矿渣硅酸盐水泥应掺用高效减水剂。

(3) 在受侵蚀介质作用时，应按侵蚀介质的性质选用相应的水泥。如有抗硫酸盐要求时，可选用抗硫酸盐水泥。

(4) 在受冻融作用时，应优先选用硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥，不宜采用火山灰硅酸盐水泥和粉煤灰硅酸盐水泥。

(5) 不得使用过期或受潮结块的水泥，并不得将不同品种或强度等级的水泥混合使用。

2 防水混凝土所用的粗集料最大粒径不宜大于 26.5mm，宜采用 4.75~26.5mm 连续级配的粗集料。大体积混凝土使用的粗集料可按温控的要求确定。泵送时其最大公称粒径应为输送管径的 1/4；吸水率不应大于 1.5%；不得使用碱活性集料。粗集料级配宜符合《公路水泥混凝土路面施工技术规范》(JTG F30—2003) 的规定；其他技术要求应符合《建筑用卵石、碎石》(GB/T 14685) 的规定。

3 防水混凝土所用的细集料宜采用中砂，并应含一定量粉细砂，其技术要求应符合《建筑用砂》(GB/T 14684) 的规定。

4. 8. 6 掺防水剂混凝土配合比设计

1 防水混凝土的施工试配抗渗等级 S 应比设计值提高一级 (0.2MPa)。

2 防水混凝土中除掺用防水剂外，可按工程的需要掺入减水剂、膨胀剂、引气剂复合型外加剂等，其品种和掺量应经过试验确定。

3 防水混凝土可根据工程的抗裂需要掺入钢纤维或合成纤维。

4 防水混凝土最小水泥用量不应少于 320kg/m³。可掺用一定数量的粉煤灰、磨细矿渣或硅灰掺合料。粉煤灰级别不应低于 II 级，掺合料的掺量应通过试验优选确定。使用掺合料时，最小基准胶材总量不应少于 280kg/m³。

5 砂率宜为 35%~40%，泵送时可增至 45%。引气剂防水混凝土的砂率宜为 28%—35%。灰砂比宜为 1:2~1:2.5，且应经过试验。在保障结构抗渗等级的前提下，公路工程防水薄壁结构宜采用偏低的砂率。

6 防水混凝土水灰比不得大于 0.55。各抗渗等级的最大水灰(胶)比应符合表 4.8.6 的规定。当最大水灰(胶)比不满足要求时，应掺减水剂或高效减水剂。

表 4.8.6 防水混凝土最大水灰(胶)比

抗渗等级	最大水灰(胶)比	
	C20~C30 混凝土	C30 以上混凝土
S6	—	0.55
S8~S12	0.55	0.50
S12~S14	0.50	0.45
S14~S16	0.45	0.40

7 普通防水混凝土坍落度不宜大于 50mm。采用预拌防水混凝土时，入泵坍落度宜控制在 (120±20)mm，入泵前每小时损失值不应大于 30mm，坍落度总损失值不应大于 60mm。

8 掺引气剂或引气型外加剂时，引气剂防水混凝土拌合物的含气量及其允许误差应根据粗集料最大公称粒径分别符合表 4.3.3-2 的规定。

9 采用预拌防水混凝土时，缓凝时间宜为 6~8h。

4. 8. 7 掺防水剂混凝土施工

1 防水剂品种及掺量应按混凝土结构所要求的防水性能、参考厂家的推荐掺量，通过试配优选确定。

2 防水剂应准确称量，不得使用体积法计量。防水剂、水、水泥、掺合料计量允许误差不应大于±1%；粗、细集料计量允许误差不应大于±2%。

3 拌和应符合 3.0.8 条的规定，可溶性防水剂及其他外加剂均应以溶液加入，并从用水量中扣除其溶解水量。

4 防水混凝土拌合物必须采用机械拌和，搅拌时间不应小于 2min。掺防水剂等外加剂时，应根据外加剂的技术要求通过试拌确定适宜的搅拌时间。

5 防水混凝土拌合物在运输后如出现离析，必须进行二次搅拌。当坍落度损失后不能满足施工要求时，应二次掺加外加剂进行拌和；无抗裂要求时，可加入原水灰比的水泥浆，严禁直接加水。

6 浇筑宜连续一次完成，防水混凝土应使用高频机械振捣密实，振捣时间宜为 10~30s，以混凝土泛浆和不冒气泡为准，应避免漏振、欠振和超振。掺引气剂或引气型外加剂时，应采用高频插入式振捣器振捣。防水混凝土的迎水面必须振捣密实，严禁出现欠密实情况。

7 应加强早期保湿养生，不同气温条件下的湿养生天数应比 4.2.3 条第 5 款的规定适当延长，掺氯化铁、引气剂、膨胀剂的防水混凝土养生温度不宜低于 15℃，也不宜高于 80℃。拆模时的混凝土温度与环境气温差不宜大于 15℃，混凝土温度大于环境温度 15℃时，应洒水降温，达到允许温差后再拆模，并在拆模后继续覆盖保温保湿养生。

8 防水混凝土所处环境的耐蚀系数大于 0.8 时，应根据腐蚀类别采取相应的防腐蚀措施。

9 公路工程防水混凝土不宜进行低温施工，不得进行负温施工。

4.8.8 防水砂浆

1 聚合物防水砂浆宜使用于承受冲击和振动荷载作用的地上和地下公路防水工程及承受腐蚀或冻融破坏的公路砌体结构。

2 防水水泥砂浆适用于不因结构沉降、温度、湿度变化及受振动等产生裂缝厚度较薄的公路工程地上和地下防水结构。

3 水泥砂浆防水层的原材料、设计和施工技术要求应符合《地下工程防水技术规范》(GB 50108) 第 4.2 节的规定。

4 防水砂浆宜掺入外加剂、掺合料、聚合物等进行改性，改性防水砂浆的性能应符合表 4.8.8 的规定。

表 4.8.8 改性防水砂浆的主要性能

改性剂种类	粘接强度 (MPa)	抗渗等级	弯拉强度 (MPa)	干缩率 (%)	吸水率 (%)	冻融循环 (次)	耐碱性	耐水性 (%)
外加剂、掺合料	>0.5	≥56	同一般砂浆	同一般砂浆	≤3	>50	10%NaOH 溶液浸泡	—
聚合物	>1.0	≥S12	≥7.0	≤0.15	≤4	>50	14d 无变化	≥80

说明

4.8.1 主要品种

无机盐类的防水剂主要是能够增大混凝土密实度或增强憎水性的化学成分。有机类的防水剂主要是一些憎水性表面活性剂、聚合物乳液或水溶性树脂等，其防水效果较好，使用时应注意对强度的影响和氯离子含量对钢筋锈蚀的影响。复合引气剂组分的防水剂由于引气剂能引入大量的微细气泡，隔断毛细管通道，减少泌水，减少收缩和沉降，从而减少渗水通道，提高了防水性。渗透结晶型防水剂是刚性防水剂，可以用作涂层或直接作防水剂掺入混凝土中以增强其抗渗性能。其作用机理是材料中含有的活性化学物质向混凝土内部渗透，在混凝土中形成不溶于水的结晶体，堵塞毛细孔道，从而使混凝土致密、防水。聚合物及树脂防水剂的防水性能和效果较其他防水剂优越。特别应注意憎水型防水剂如石蜡、沥青等对强度及其增长有较大影响，使用在结构混凝土中时，应注意在保障强度的前提下掺用，石蜡、沥青等材料一般只能作为防水涂层来使用。

4.8.2 性能指标

用于公路工程结构中的混凝土防水剂应满足一等品的技术指标，但非结构内部本体、仅在迎水面使用的砂浆防水剂优先使用一等品，可使用合格品。但公路工程重要结构的内部和中间防水

层砂浆，如桥面中间防水找平层砂浆等，只允许使用一等品。表 4.8.2-1 与 4.8.2-2 来源于《砂浆、混凝土防水剂》(JC 474—1999)、《水泥基渗透结晶型防水材料》(GB 18445—2001)一等品的规定。

4.8.3 适用范围

防水混凝土防潮防水，但不耐腐蚀，因此，掺防水剂的混凝土不得单独用于耐蚀系数小于 0.8 的受侵蚀防水工程，当在耐蚀系数小于 0.8 和地下有酸、碱、盐等腐蚀性介质时，除使用防水剂外，应同时采取可靠的防腐蚀措施。含氯盐、强电解质及钾钠离子防水剂的说明见 4.5.2 条第 3、4、5 款和 4.5.3 条第 2 款。本适用范围参考了《混凝土外加剂应用技术规范》(GB 50119—2003)，结合公路防水工程的具体情况编写。

4.8.4 防水混凝土的抗渗等级、设防高度和种类

1 设计抗渗等级：防水混凝土的设计抗渗等级是根据工程埋置深度确定的。防水混凝土的抗渗等级是根据素混凝土路面试件试验测得，而地下工程结构主体中钢筋密布，将对混凝土的抗渗性有不利影响，为确保地下工程结构主体的防水效果，故将其最低抗渗等级定为不小于 S6。即抗渗压力不小于 0.6MPa。

2 防水设防高度：公路防水混凝土工程的设防高度由地下水和周围的土质根据工程经验确定，表 4.8.4-2 用于设计参考。

3 防水混凝土种类：公路工程防水混凝土应根据实际工程的使用环境、防水抗裂要求、原材料供应、施工密实度、抗渗等级等情况，根据一般施工技术水平下，可达到的抗渗等级，优选下述适宜的防水混凝土种类：普通防水混凝土；引气剂防水混凝土；减水剂防水混凝土；膨胀剂防水抗裂混凝土；防水剂防水混凝土。

4.8.5 防水混凝土原材料

该条引自《地下工程防水技术规范》(GB 50108)，根据公路防水混凝土的要求和薄壁结构的防水抗裂施工经验进行了必要的增补。

1 规定不同环境条件下防水混凝土所用水泥的强度等级、品种、防水剂与水泥的适应性、使用细节。使用防水剂时，应选择与防水剂适应性好的水泥品种，并且水泥等级不宜小于 32.5 级，既保障强度，又保证抗渗性。硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥的早期强度高，泌水少，干缩也较小，所以防水混凝土应优先采用。但其抗水性和抗硫酸盐侵蚀能力不如火山灰硅酸盐水泥。火山灰硅酸盐水泥抗水性好，水化热低，抗硫酸盐侵蚀能力较好，但早期强度低，干缩大，抗冻性较差。矿渣硅酸盐水泥水化热较低，抗硫酸盐侵蚀能力好，但泌水多、干缩大，抗渗性差。

2 这里从公路行业薄壁防水结构多的特点，减小了公路工程防水混凝土所用的粗集料最大公称粒径，本指南与《地下工程防水技术规范》(GB 50108)相比，粗集料最大公称粒径由不宜大于 40mm 减小到 26.5mm。首先，从混凝土结构的防水原理讲，粗集料最大粒径越大，越不利。这是由于越大集料的界面，不密实的水囊越宽大，由界面透水的几率越大，从而使防水混凝土抗渗性变差。同时，大体积混凝土温差开裂趋势增大。其次，从公路实际工程的防水混凝土最大粒径来看，绝大多数已经控制在 26.5mm 以内，同时规定大体积混凝土使用的粗集料可按温控的要求确定最大公称粒径，以防开裂。如大坝，显然有抗渗性要求，但从降低水化热、抗裂出发，使用最大粒径达 80mm。

泵送时粗集料最大公称粒径控制为输送管径的 1/4 是防止堵管的要求。

吸水率不应大于 1.5% 是满足防水混凝土抗冻性及施工中坍落度不致损失过大、过快的要求。

防水混凝土是在渗透水头作用下内部有渗透水的混凝土，水分供给充足，为防止此条件下发生碱集料反应规定不得使用碱活性集料。

为了保证防水混凝土的密实度，要求粗集料级配优良，《建筑用卵石、碎石》(GB/T 14685)规定的级配过宽松，因此规定粗集料级配宜符合《公路水泥混凝土路面施工技术规范》(JTG F30—2003)的规定。

3 防水混凝土细集料除规定宜采用中砂外，还规定应含一定量粉细砂，是为了提高密实性，保证其抗渗性。

4.8.6 掺防水剂混凝土配合比设计

做好防水混凝土的前提是必须充分了解和认识其防水原理，所谓防水，就是要能够在一定的水压力下不渗透。即水泥浆和砂浆较饱满使粗集料被密实结构包裹才不透水，特别是保证结构

物迎水面的密实度、无微裂缝才能防止水分渗透。如果混凝土材料结构和档水工程结构的表面一定厚度切实保证了其密实度和无微裂缝，即使不掺防水剂的普通混凝土，也具有相当高的抗渗性，达到 S10 没有问题。此时，再掺用防水剂等外加剂，将达到更高的抗渗等级。但是若防水混凝土原材料、配合比和结构方面的密实度没有做到，掺再好的防水剂也与事无补。从混凝土防水原理讲，以下配合比要点须特别强调：

1 防水混凝土适配抗渗等级应比设计值提高一级，即抗渗压力比设计要求高 0.2MPa。是因为抗渗压力是试验室得出的数据，而施工现场条件比试验室差，其影响混凝土抗渗性的因素有些难以控制。

2 为了达到工程所要求的防水混凝土抗渗性，在其中掺用外加剂是必需的，在钢筋密布情况下需要掺入减水剂和高效减水剂，制成减水剂防水混凝土；在同时有抗(盐)冻性要求时，宜掺引气剂或引气型外加剂，制作引气防水混凝土；在同时有抗裂性要求时，可掺膨胀剂制成抗裂防水混凝土等，但其品种和掺量应经过试配试验确定。

3 要求抗裂的防水混凝土除了掺膨胀剂外，可根据工程的抗裂需要掺入钢纤维或合成纤维，制成纤维防水混凝土。在公路工程重要的或动载作用下的防水混凝土中使用纤维防水混凝土，例如，承受动载的桥面防水找平层或桥面铺装层。

4 达到足够高抗渗性要求的防水混凝土必须是富浆混凝土，因此规定仅适用水泥，不加掺合料时，最小水泥用量不应少于 $320\text{kg}/\text{m}^3$ 。但水泥用量过大不利于控制温升，为防止温差开裂，此时，需要掺用一定数量的粉煤灰、磨细矿渣或硅灰掺合料。粉煤灰级别应为 I、II 级，III 级粉煤灰干缩增大，为了防止干缩开裂不应在防水混凝土中使用。粉煤灰掺量一般不宜大于 20%，特殊情况下既要保证强度和防水要求，又能防止开裂时，可使用较大的粉煤灰掺量。掺合料的掺量应通过试验优选确定。使用掺合料时，为了达到防水混凝土结构的强度要求，规定最小基准胶材总量不应少于 $280\text{kg}/\text{m}^3$ 。

5 防水同时要求混凝土砂率足够高，砂浆的体积率应足够，因此要求砂率为 35%~40%，一般不宜小于 35%。泵送防水混凝土要满足防水和泵送两项要求，其砂率可增至 45%。引气型防水混凝土有利于提高抗渗性，其砂率视含气量大小可略低，宜为 28%~35%，防水混凝土灰砂比宜为 1:2~1:2.5(必须验证)。高胶材、大砂率富砂浆的混凝土，防水抗渗性提高了，但变形却增大了，抗裂性变差。混凝土结构一旦开裂，即使是微裂缝，防水性及强度等性能将严重劣化，因此，防水混凝土必须同时考虑抗裂性。特别是公路工程中大量使用的薄壁防水结构，应将结构的抗裂性摆在重要位置。因此规定：在保障结构抗渗等级要求前提下，公路工程的防水薄壁结构宜采用偏低的砂率。

6 最大水灰(胶)比应符合表 4.8.6 的规定，适宜的水灰(胶)比在 0.45~0.55 之间。水灰(胶)比与抗渗性及强度是反比关系。要提高混凝土的防水性能，水灰(胶)比越小、越好。满足低水灰(胶)比要求，需掺减水剂或高效减水剂。实际工程对防水混凝土的要求是防水和强度同时满足，当强度有富裕时，也不得提高水灰(胶)比，亦不得降低单位水泥用量。

7 为普通防水混凝土、泵送预拌防水混凝土的坍落度及坍落度损失要求。这些施工工艺要求是配合比设计中必不可少的拌合物工作性参数。

8 规定防水混凝土拌合物的含气量控制值及允许误差。它是引气剂防水混凝土配合比设计中必要的拌合物参数。

9 预拌防水混凝土规定缓凝时间宜为 6~8h，需掺适宜的缓凝剂进行控制，以满足混凝土运输和浇筑施工时间的要求。

4.8.7 掺防水剂混凝土施工

从混凝土防水原理提出防水混凝土施工要点，保障满足抗渗性及其他质量性能。

1 有些防水剂，如皂类防水剂，脂肪族防水剂超量参加时，引气量大，会形成较多气泡的拌合物，反而影响强度与防水效果，防水混凝土应通过试配试验优选确定防水剂品种和掺量。超过推荐掺量时必须通过试验。

2 防水混凝土配料不得使用体积法称量；防水剂、水、水泥、掺合料计量误差均不应不大于 $\pm 1\%$ 。粗、细集料计量允许误差不应大于 $\pm 2\%$ 。

3 氯盐类如氯化铁、三氯化铝防水剂等可溶性防水剂及其他外加剂均应以溶液加入，并从用水量中扣除其溶解水量，确保单位用水量和灰水比不增大。

4 为保证防水混凝土拌合物的匀质性，要求必须采用机械拌和，搅拌时间不应小于 2min。掺防水剂等外加剂时，应通过试拌确定适宜的搅拌时间。

5 防水混凝土拌合物运输离析时，必须进行二次搅拌的规定是匀质性保证措施。外加剂二次掺加与无抗裂要求加原水灰比的水泥浆，是为了在坍落度损失后还能满足施工要求。任何情况下，防水混凝土拌合物中严禁直接加水，丢失强度和抗渗性。

6 防水混凝土不得欠振、漏振，振捣不密实，势必无法达到防水要求，迎水面的密实性最重要。

8 耐蚀系数大于 0.8 时应采取适当的防腐蚀措施。

9 根据公路工程防水混凝土结构施工经验，规定防水混凝土不宜进行低温施工，不得进行负温施工。确有冬季负温施工需要时，宜采用暖棚保温施工。

4.8.8 防水砂浆

1 用于承受冲击、振动、疲劳荷载的地上和地下的公路工程防水砂浆，受腐蚀和冻融循环的公路砌体结构中的防水剂，首推聚合物改性水泥防水砂浆。其性能除应符合表 4.8.8 的规定外，配合比可参考表 4.8.8-1。

表 4.8.8-1 聚合物水泥防水砂浆的配合比

用途	质量配合比			涂层厚度 (mm)
	水泥	砂	聚合物	
防水层	1	1.5~3	0.3~0.5	5~20
桥(涵)面防水层	1	3	0.3~0.5	10~15
防腐层	1	1~2	0.2~0.5	15~25
粘结材料	1	0~2	0.2~0.5	
新旧混凝土或砂浆接缝材料	1	0~2	0.2 以上	
修补裂缝材料	1	0~3	0.2 以上	

2 防水砂浆厚度有限，不适用于因结构沉降、温度、湿度变化及受振动等导致表面砂浆开裂或脱落的公路工程。

3~4 水泥砂浆防水层的原材料、设计和施工与改性防水砂浆的性能要求引自《地下工程防水技术规范》(GB 50108)。

4.9 速凝剂

4.9.1 主要品种

1 粉状速凝剂 以铝酸盐、碳酸盐、硫铝酸盐等为主要成分的无机盐混合物。

2 液体速凝剂 以偏硅酸钠、硫酸铝胶、水玻璃等为主要成分，或与其他无机盐：重铬酸钾、亚硝酸钠、三乙醇胺等复合制剂。

4.9.2 性能指标*

1 速凝剂、掺速凝剂砂浆的性能应符合表 4.9.2-1 的规定。速凝剂进场除应有质量证明书外，还应进行质量检验报告。掺速凝剂砂浆抗压强度比试验方法应按附录 K.7 进行。速凝剂质量和性能检验批量 20t 为一批，检验项目应符合表 4.9.2-1 的规定，检验所需数量应符合表 4.1.10 的规定。

2 速凝剂施工过程中的检验项目有：凝结时间、细度、含水率、1d 抗压强度，每 5t 为一批，不足 5t 按一批检验。

表 4.9.2-1 掺速凝剂净浆及硬化砂浆的性能要求

净浆		砂浆	
初凝时间 (min)	终凝时间 (min)	1d 抗压强度 (MPa)	抗压强度比 (%)
≤3	≤8	≥7.0	≥75

注：1. 28d 抗压强度比为掺与不掺速凝剂砂浆的抗压强度比。

2. 速凝剂抗压强度试验方法参见本指南附录 K. 7；速凝剂的凝结时间试验方法参见本指南附录 K. 8

3 速凝剂匀质性指标应符合表 4.9.2-2 的规定。

表 4.9.2-2 速凝剂匀质性指标

试验项目	指 标	
	液体	粉状
密度	应在生产厂所控制值的±0.02g/cm ³ 之内	—
氯离子含量	应小于生产厂最大控制值	应小于生产厂最大控制值
总碱量	应小于生产厂最大控制值	应小于生产厂最大控制值
PH 值	应小于生产厂控制值±1 之内	—
细度	—	80μm 筛余应小于 15%
含水量	—	≤2.0%
含固量	应小于生产厂最小控制值	—

★ 性能引自《喷射混凝土用速凝剂》(JC477—如晒)。

4.9.3 适用范围

速凝剂专用于公路工程中隧道、地下洞室、边坡防护、水池、薄壳、修复加固等喷射或喷锚混凝土结构，也可用于需要速凝堵漏的混凝土或砂浆中。

4.9.4 喷射混凝土原材料与配合比*

1 喷射混凝土原材料要求

(1) 应采用符合质量要求的外加剂，掺速凝剂后的喷射混凝土性能必须满足设计要求。应选用与水泥适应性好、凝结硬化快、28d 强度损失少、较低掺量的速凝剂品种。在使用速凝剂前，应做与水泥的适应性试验及水泥净浆凝结效果试验，初凝时间不应大于 5min；终凝时间不应大于 10min。粉状速凝剂在运输和储存中，应保持干燥。不得使用储存期超过三个月和受潮、结块、变质的速凝剂。在采用其他类型的外加剂或几种外加剂复合使用时，也应做相应的性能试验和使用效果试验。

(2) 优先采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，也可采用矿渣硅酸盐水泥或火山灰质硅酸盐水泥，不得使用过期结块的水泥。水泥强度等级不应低于 32.5MPa；有防腐或其他特殊要求时，可采用相应的特种水泥。

(3) 应采用坚硬耐久的卵石或碎石，粗集料最大粒径不宜大于 15mm。使用纤维喷射混凝土时，粗集料最大粒径不宜大于 10mm。当使用碱性速凝剂时，严禁使用或夹杂碱活性集料。

(4) 细集料应采用坚硬耐久的粗砂或中砂，细度模数宜大于 2.5，干法喷射时，砂的含水率宜控制在 5%~7%；当采用防粘料喷射机时，砂含水率可为 7%~10%。粗、细集料组合级配应符合表 4.9.4 的规定。喷射混凝土用粗、细集料技术要求应符合附录表 K.2-1 的规定。

表 4.9.4 喷射混凝土粗、细集料通过各筛径的累计质量百分数(%)

筛孔径(mm)	0.15	0.3	0.6	1.20	2.50	5.00	10.00	15.00
优	5~7	10~15	17~22	23~31	34~43	50~60	78~82	100
良	4~8	5~22	13~31	18~41	26~54	40~70	62~90	100

注：表中采用圆孔筛。

(5) 喷射混凝土用水应符合《混凝土拌合用水标准》(JGJ 63)的规定。水中不应含有影响水泥正常凝结与硬化的有害杂质，不得使用污水、PH 值小于 5 的酸性水、硫酸盐按 SO₄²⁻含量计大于水重 1%的水和海水。

2 喷射混凝土配合比要求

(1) 配合比设计基本要求

①强度应符合设计要求；

- ②工作性：易于喷射、回弹脱落量少、粘附性好，湿法喷射混凝土坍落度宜在 80~120mm 之间；
- ③耐久性：满足工程需要的抗冻性和抗渗性；
- ④经济性：尽量节约水泥。

喷射混凝土配合比应通过试喷试验或根据经验最终确定。

(2)干法喷射水泥与砂石材料的质量比宜为 1: 4.0~1: 4.5；水灰比宜为 0.40~0.45；砂率宜控制在 45%~55%。

(3)湿法喷射水泥与砂石材料的质量比宜为 1: 3.5~1: 4.0；水灰比宜为 0.42~0.50；砂率宜控制在 50%~60%。

(4)喷射混凝土一般水泥用量宜为 400kg / m³左右。

(5)速凝剂掺量宜为水泥质量的 2%~8%，最优掺量应通过试验和试喷确定。

(6)当喷射混凝土掺入纤维时，其掺量和配合比应通过试配试喷确定。

★喷射混凝土原材料、配合比及施工摘自《锚杆喷射混凝土支护技术规范》(GB 50086—2001)。

4. 9. 5 喷射混凝土施工

1 喷射方法选择

喷射混凝土有干喷和湿喷两种工艺和施工设备，在公路隧道、封闭洞室中应采用湿喷法；边坡防护等露天工程可采用干喷法。

2 机械设备

对选定的喷射方法，可参考附录表 K. 1-1 选取机械设备。

(1)喷射机要求密封性良好、输料连续均匀；干法生产能力为 3~5m³/h；输料水平距离不小于 100m，垂直不小于 30m。湿法喷射机生产率大于 5m³/h；水平不小于 30m，垂直不小于 20m；机旁粉尘小于 10mg/m³。

(2)拌制喷射混合料宜采用强制式搅拌机，可采用自落式或滚筒式搅拌机，严禁使用手工拌和。采用容量小于 1L 强制式搅拌机时，搅拌时间不得少于 60s；采用自落式或滚筒式搅拌机时，搅拌时间不得少于 120s；当掺有外加剂掺合料或纤维时，搅拌时间应适当延长。

(3)喷射中需配备专用空压机时，应符合下述要求：

——单台空压机的排风量不应小于 9m³/min，风压应稳定，波动值不宜大于 0.01MPa；

——空压机至喷射机送风管的耐压强度不应小于 0.8MPa，送风管接头应牢固、耐磨、可靠。

(4)干法喷射时，向喷头供水设施应保证喷头处的水压力宜为 0.15~0.20MPa。

(5)输料软管应采用耐磨耐压，其耐压强度不应小于 0.8MPa。

3 混合料拌制与运输

(1)原材料的称量允许误差应符合表 3.0.5 的规定。

(2)无论干喷或湿喷，混合料均应随拌随用，不掺速凝剂时，存放时间不宜超过 2h；掺速凝剂的干混合料，存放时间不应超过 20min；在运输和存放过程中，应严防雨淋、滴水或混杂大块石；装进喷射机之前应过筛。

4 喷射作业

(1)喷射作业应分段、分片、自下而上依次进行。喷射混凝土的回弹率，当水平喷射时不应大于 15%；垂直喷射时不应大于 25%；喷射中若发现干燥松散、下坠滑移或拉裂时，应及时清除，并进行补喷。喷射混凝土与岩石及旧混凝土表面粘结强度试验方法应按附录 K.4 进行。

(2)素喷混凝土一次喷射厚度应符合表 4.9.5 的规定。后一层喷射必须在前一层混凝土终凝后进行；若终凝后 1h 再喷射，应先喷水湿润喷层表面。喷射混凝土粉尘的测定和技术要求应符合附录 K.5 的规定。喷射作业紧跟开挖作业面时，混凝土终凝到下一循环放炮时间，不应小于 3h。

表 4.9.5 素喷混凝土一次喷射厚度(mm)

喷射方式	部位	掺速凝剂	不掺速凝剂
干 法	边墙	70~100	50~70
	拱部	50~60	30~40
湿 法	边墙	80~150	—
	拱部	60~100	—

(3)喷射机工作风压应满足喷头处的压力在 0.1MPa 左右。

(4)喷射手的操作要求

①喷射作业开始前，应对喷射机、风、水管路、输料管路、电缆线路进行全面检查和试运转；应检查喷头与输料管的连接是否紧密，防止连接处漏水。作业开始，应先送风，后开机，再给料；结束时，应待料喷完后，再关风。

②坚硬岩面喷射前应使用高压风水冲洗受喷面；遇水易潮解、风化的岩层应使用高压风清扫岩面；土层表面不得用高压风清扫。喷射作业时，向喷射机供料应连续均匀；正常运转时，料斗内应保持足够的存料。料流出口与受喷表面宜垂直，并应保持 0.6~1.0m 的距离，喷头应按直径 30mm 的螺旋形轨迹一圈压半园地移动；喷射的混凝土表面应呈潮湿光泽，无干斑或滑移流淌现象。

③因堵管、停风、输料中断或喷射作业完毕后，应立即关闭喷头水阀，必须将喷射机和输料管内的积料清除干净，并应将喷头朝下放置，严防水分倒流进输料管中，并应将喷头内的水环清洗干净。

5 喷射钢筋网混凝土

(1)喷射混凝土中钢筋网的铺设应遵循下列规定：

① 钢筋使用前应清除污锈；

②钢筋网宜在岩面喷射一层混凝土后铺设，钢筋网与壁面的距离宜为 30mm，网格尺寸不宜小于 150mm；

③采用双层钢筋网时，第二层钢筋网应在第一层钢筋网被混凝土覆盖后再铺设；

④钢筋网应与锚杆或其他锚定装置联结牢固，喷射时不得晃动。

(2)钢筋网喷射混凝土作业除应符合本节规定外，还应符合下列规定：

①开始喷射时，应减少喷头至受喷面的距离，并调节喷射角度，以保证钢筋与壁面之间混凝土的密实性；

②喷射中如有脱落的混凝土被钢筋网架住，应及时清除。

6 喷射钢纤维混凝土

(1)喷射钢纤维混凝土原材料除应符合本节规定外，还应符合下列规定：

①钢纤维长度公称偏差不应超过公称值的 5%；

②钢纤维不得有明显锈蚀、油迹及其他妨碍钢纤维粘接的杂质；钢纤维内含有粘接片、铁屑及杂质总量不应超过钢纤维质量的 1%。

(2)喷射钢纤维混凝土施工除应符合本节规定外，还应符合下列规定：

①宜采用钢纤维播料机往混合料中添加钢纤维，搅拌时间不宜小于 180s。

②钢纤维在混合料中应分布均匀，不得成团。

③在钢纤维喷射混凝土表面宜再喷射一层厚度为 10mm 的水泥砂浆，其强度等级不应低于钢纤维喷射混凝土的强度等级。

7 喷射混凝土低温施工

低温施工时，喷射混凝土的温度不应低于 5℃，低于 5℃，应停止施工，并不得喷水养护；喷射混凝土强度在未达到下列数值前，不得受冻：

(1)普通硅酸盐水泥配制的喷射混凝土低于设计强度的 30%时；

(2)矿渣硅酸盐水泥配制的喷射混凝土低于设计强度的 40%时。

8 喷射混凝土养生

喷射混凝土终凝后 2h 应开始喷水养生。一般工程养生时间不得少于 7d；重要工程不得少于 14d；每天喷水养生次数，应由表面的潮湿状态是否达到相对湿度不小于 90%确定。

4.9.6 喷射混凝土质量控制

1 强度控制

(1)重要工程的喷射混凝土施工，宜根据喷射混凝土现场 28d 龄期抗压强度的试验结果，按本规范附录 K.6 的格式绘制抗压强度质量图，控制喷射混凝土抗压强度。

(2)喷射混凝土施工中应达到的平均抗压强度可按下列公式计算：

$$f_{ck} = f_c + S \quad (4.9.6)$$

式中： f_{ck} —施工阶段混凝土应达到的平均抗压强度 (MPa)；

f_c —喷射混凝土抗压强度设计值(MPa)；

S—标准差(MPa)。

2 匀质性控制

喷射混凝土的匀质性，可以现场 28d 龄期喷射混凝土抗压强度的标准差和变异系数，按表 4.9.6 的控制水平表示。

4.9.7 喷射混凝土施工安全与防尘

1 安全技术

(1) 施工前，应认真检查和处理锚喷支护作业区的危石，施工机具应布置在安全地带。

(2) 在 IV、V 级围岩中进行锚喷支护施工时，应遵守下列规定：

表 4.9.6 喷射混凝土的匀质性指标

施工控制水平		优	良	及格	差
标准差 (MPa)	母体的离散	<4.5	4.5~5.5	>5.5~6.5	>6.5
	一次试验的离散	<2.2	2.2~2.7	>2.7~3.2	>3.2
变异系数 (MPa)	母体的离散	<15	15~20	>20~25	>25
	一次试验的离散	<7	7~9	>9~11	>11

锚喷支护必须紧跟开挖工作面；应先喷后锚，喷射混凝土厚度不应小于 50mm；喷射作业中，应有人随时观察围岩变化情况；锚杆施工宜在喷射混凝土终凝 3h 后进行。

(3) 施工中，应定期检查电源线路和设备的电器部件，确保用电安全。

(4) 喷射机、水箱、风包、注浆罐等应进行密封性能和耐压试验，合格后方可使用。喷射混凝土施工作业中，要经常检查出料弯头、输料管和管路接头等有无磨薄、击穿或松脱现象，发现问题，应及时处理。

(5) 处理机械故障时，必须使设备断电、停风。向施工设备送电、送风前，应通知有关人员。

(6) 喷射作业中处理堵管时，应将输料管顺直，必须紧按喷头，疏通管路的工作风压不得超过 0.4MPa。

(7) 喷射混凝土施工用的工作台架应牢固可靠，并应设置安全栏杆。

(8) 向锚杆孔注浆时，注浆罐内应保持一定数量的砂浆，以防罐体放空，砂浆喷出伤人。处理管路堵塞前，应消除罐内压力。

(9) 非操作人员不得进入正进行施工的作业区。施工中，喷头和注浆管前方严禁站人。

(10) 施工操作人员的皮肤应避免与速凝剂、树脂胶泥直接接触，严禁树脂卷接触明火。

(11) 钢纤维喷射混凝土施工中，应采取措，防止钢纤维扎伤操作人员。

2 防尘

(1) 采用干法喷射施工时，宜采取下列综合防尘措施：

- ① 在保证顺利喷射的条件下，增加集料含水率；
- ② 在距喷头 3~4m 处增加一个水环，用双水环加水；
- ③ 在喷射机或混合料搅拌处，设置集尘器或除尘器；
- ④ 在粉尘浓度较高地段，设置除尘水幕；
- ⑤ 加强作业区的局部通风；
- ⑥ 采用增粘剂等外加剂。

(2) 喷射作业区的粉尘浓度不应大于 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 。施工中应按本指南附录 K.5 的技术要求测定粉尘浓度。测定次数：每半个月至少一次。

(3) 喷射混凝土作业区人员，应采用个人防尘用具。

说明

4.9.1 主要品种

速凝剂实质上一种专门为喷射混凝土施工特制的一种超快硬早强的促凝剂。初凝时间不超过 3min，3~5min 就具备了喷射混凝土抵抗自重脱落的能力。

掺用速凝剂虽 1d 抗压强度极高,但有些品种的速凝剂可能导致喷射混凝土 28d 抗压强度比不掺的倒缩 10%~20%。对于重要的公路工程喷射混凝土,应在满足强度要求的前提下掺用,如果速凝剂导致喷射混凝土强度倒缩,应按倒缩后的强度使用。

4.9.2 性能指标

用于公路工程的速凝剂必须满足国标速凝剂一等品的各项性能指标及匀质性要求,这些指标引自《喷射混凝土用速凝剂》(JC 477—2005);与《水工混凝土外加剂技术规程》(DL / 5100—1999)的规定相同。否则,不得使用。

4.9.3 适用范围

指明适用于公路工程中的结构类型:隧道、洞室或边坡防护等结构。

4.9.4 喷射混凝土原材料与配合比

1 喷射混凝土原材料要求

(1)掺速凝剂后的喷射混凝土性能必须满足设计要求。常用粉状速凝剂极易吸湿变质,在运输和储存中应保持干燥,并不得损坏包装,防止其受潮、结块、变质。

(2)优先采用硅酸盐水泥和普通水泥是减少脱落和保证喷混凝土快速凝结是提高 1d 内强度的需要。

(3)规定喷射混凝土和喷射钢纤维混凝土粗集料最大粒径,由于速凝剂中往往具有高碱性,低碱性速凝剂较难达到初凝时间小于 3min 的要求,对速凝剂碱度不得不适当放宽的条件下,严禁使用(或夹杂)碱活性集料,以防发生碱集料反应。

(4)规定砂的细度模数,喷射混凝土适宜的砂细度模数宜控制在 2.5~3.5 之间,表 4.9.4 规定了喷射混凝土粗、细集料组合级配,是为了减少粉尘和喷射回弹量,降低喷射混凝土硬化收缩。

(5)为喷射混凝土用水的规定。喷射混凝土属于超快硬一类特种混凝土,初凝时间不到 3min,它对小 pH 值的酸性水最敏感,国标 GB 50086—2001 与 CECS 161:2004 均定为 pH 值不小于 4,根据我们的验证试验,pH 值必须大于 5,才能在较低速凝剂掺量条件下,不影响喷射混凝土的初凝时间、终凝时间与 1d 抗压强度。pH 值对 28d 抗压强度几乎无影响。

2 喷射混凝土的配合比要求

(1)配合比基本性能要求:①达到设计强度;②满足易喷又不脱落的工作性;③耐久性:需要的抗冻性、抗渗性;④经济性:尽量节约水泥。最终需要经过试喷和试验确定配合比。

(2)给出干法喷射混凝土的经验灰骨比、水灰比和砂率。干法喷射混凝土的水灰比是由喷射手凭经验控制的,不可能做到均匀一致,要求在喷射时粉尘和脱落较少,喷射混凝土表面基本平整,呈水亮光泽,无干斑和滑移流淌现象。一般条件下,水灰比的大致范围在 0.40~0.45 之间。

(3)给出湿法喷射混凝土的经验灰骨比、水灰比和砂率。干法与湿法喷射混凝土相比,后者的灰骨比略小,水灰比和砂率略大。

(4)喷射混凝土在刚喷射到附着体上时,主要依靠水泥浆和砂浆本身提供的粘聚性,因此,水泥用量不可偏少,砂率要求很大。所以,规定一般水泥用量宜为 400kg/m³左右;砂率宜控制在 45%~60%之间。很高砂率的喷射混凝土在边坡风大、干燥和曝晒环境下,极易开裂,因此,重要公路工程在恶劣环境下的喷射混凝土,要同时兼顾回弹率和防裂的要求,在不增大回弹率的前提下,选用较偏低的砂率。

(5)速凝剂视其种类不同,掺量范围在水泥质量 2%~8%之间,最优掺量应通过试喷试验确定。

(6)喷射纤维混凝土中的纤维品种有:钢纤维、聚丙烯纤维、聚丙烯晴纤维等,除钢纤维具有提高抗拉强度等作用外,一般有机纤维仅具有防裂作用,只提供防裂性能的纤维掺量较小,因此,纤维的品种及其掺量的选择,在明确设计意图的条件下,由试喷试验确定。

4.9.5 喷射混凝土施工

1 喷射方法选择

干喷与湿喷法相比,湿喷粉尘少,回弹量少,混凝土强度高,又质量更稳定。所以在公路隧道和封闭洞室喷锚支护中,应优先采用。但干喷法发展较早,技术较为成熟,设备投资较省,允许在露天边坡工程中使用。

2 机械设备

(1)喷射机是喷混凝土的主导设备,选择的要点是能够减少喷射中的回弹率;降低作业面空气中的粉尘浓度;提高喷射作业效率;保证工程质量;降低造价。给出了干法喷射与湿法喷射两种

设备的生产能力、垂直与水平输送距离等，当施工现场的距离不足时，应搭建工作台架，以满足喷射输送距离的要求。

(2) 拌制喷射干、湿混合料均应采用强制式搅拌机，可采用自落式搅拌机，严禁使用手工拌和混合料，是保证干拌和料匀质性，减少粉尘飞扬、水泥散失和减少脱落的重要环节。

(3) 喷射中配备空压机时，实践证明其排风量不应小于 $9\text{m}^3/\text{min}$ ，风压和风量不足，易产生堵管，削弱喷射时的冲击捣实力，影响密实度；风压波动过大，既影响料流速度，也造成喷口水灰比难于控制，喷射混凝土将干湿不匀、质量低劣。规定风压应稳定，波动值不大于 0.01MPa 。

(4) 喷头供水压力适宜，是保证干混合料与水均匀混合的重要条件，混合水的最低压力应比喷口处料流压力大 0.05MPa 左右，才能保证压力水穿透料流与混合料均匀掺和。喷头料流的压力一般在 0.1MPa 左右，因此规定：向喷头供水设施应保证喷头处的水压力应在 $0.15\sim 0.20\text{MPa}$ 之间。

(5) 空压机至喷射机送风管耐压强度不应小于 0.8MPa ，送风管接头应牢固可靠，这是料流输送过程中，管路不破裂要求。

3 混合料拌制与运输

(1) 配料称量误差：水泥和速凝剂允许偏差 $\pm 2\%$ ；砂石允许偏差 $\pm 3\%$ 。

(2) 干混合料如被雨水、滴水淋湿，则其中水泥在喷射前将产生预水化反应，而且，在干混合料中，为了防止粉尘，已经使用了具有一定含水量的砂石料，所以规定干湿混合料均应随拌随用，不掺速凝剂时，存放时间不宜超过 2h ；掺速凝剂时，存放时间不宜超过 20min 。装进喷射机之前应过筛是防止混进大石料产生堵管，提高施工效率。

4 喷射作业

(1) 按划定的区段进行喷射混凝土作业，有利于控制喷层厚度，减少回弹，提高混凝土强度。要求喷射顺序自下而上依次进行，是为了避免松散的回弹物料粘结在尚未喷射的壁面上，如不及时清理，将影响密实度与强度；同时，下部已经喷射的喷层可对上部喷层起支托作用，可减少回弹率，防止喷层的拉裂与坠落。规定喷射中若发现干燥松散、下坠滑移或拉裂时，应及时清除，进行补喷。否则会给混凝土结构埋下隐患。

(2) 工程实践表明：只有当壁面上形成 10mm 左右厚度的塑性层后，粗集料方可嵌入。因此，一次喷射的厚度不宜过薄；喷层过厚，会因自重太大而拉裂或脱落，所以，有分层喷射混凝土时，一次喷射最大厚度不宜大于表 4.9.5 规定值；后一层喷射必须在前一层混凝土终凝后进行；若终凝后 1h 再喷射，应先用水湿润喷层表面。这是因为上下两层间隔时间过长，会有灰尘污染表面，影响两层间粘结力。施工实践表明，喷射混凝土终凝后 3h ，紧跟喷射作业面放炮时，混凝土粘聚力及其与壁面的粘结强度达到了 1.0MPa 左右，足以抵抗爆破力振动而不导致喷射混凝土离鼓、开裂或脱落。

(3) 当进风管内径为 50mm ，输料管长度在 200m 以内时，工作风压可参照下列经验公式计算喷射风压：

水平输料时，喷射机压力宜为：

$$P_0 = 0.001 \times L \quad (4.9.5-1)$$

$$P = 0.1 + 0.0013 \times L \quad (4.9.5-2)$$

式中： P_0 —空载压力(MPa)；

P —工作压力(MPa)；

L —输料管长度(m)。

垂直向上输料时，每增高 10m ，工作风压应比水平输料时增大 $0.02\sim 0.03\text{MPa}$ 。

(4) 喷射手的操作要求

——喷射作业前检查和岩面要求是保证能够正常喷射施工的条件和加强喷射混凝土与原表面粘结牢固的措施。

——喷射作业时，料流出口与受喷表面的距离要求和螺旋形喷射方式是保证粗集料能够嵌入塑性喷层之中，料流的冲击力适宜，回弹降低，粉尘减少，喷层表面平整的基本条件。

——喷射作业有故障和结束时的注意事项。

5 喷射钢筋网混凝土

(1) 喷射混凝土中钢筋网的铺设

钢筋网喷射混凝土施工的关键环节一是钢筋网不可锈迹斑斑，影响与混凝土的粘接；二是钢筋网与壁面的距离和网格尺寸要求，距离过大，网格过密，钢筋背面形成空洞的几率增大，因钢筋阻隔造成的回弹率增大。三是岩面上喷射混凝土时，钢筋网宜在喷射一层后铺设，双层钢筋网，应在第一层钢筋网被喷射覆盖后，再铺设第二层，避免由于钢筋阻挡，形成很大的回弹率。四是钢筋网应固定牢固，喷射时不得晃动。钢筋网晃动会扰动刚喷射的混凝土内部结构，造成施工缺陷，易于脱落。

(2) 钢筋网喷射混凝土作业

开始喷射时，适当减少喷头至受喷面的距离到 60~80cm，并调节喷射角度，提高料流的冲击力，迫使喷射混凝土挤入钢筋背面，以保证钢筋被混凝土包裹和混凝土喷层的密实性。

钢筋网的反弹往往导致回弹脱落量增大，应及时清除喷射中脱落的混凝土。

6 喷射钢纤维混凝土

(1) 喷射钢纤维混凝土原材料

①过长的钢纤维易成团，过短钢纤维影响其抗裂能力和抗拉强度，因此，规定长度公称偏差不应超过公称值的 5%。对比《混凝土用钢纤维》(YB/T 151—1999)规定：长度公称偏差不应超过公称值的±10%。可见喷射混凝土对钢纤维长度偏差的要求比其他钢纤维混凝土结构会高一倍。

②钢纤维不得有明显锈蚀、油迹及其他妨碍钢纤维粘接的杂质；钢纤维内含有粘接片、铁屑及杂质总量不应超过钢纤维质量的 1%。此项要求与《公路水泥混凝土纤维材料：钢纤维》(JT/T 524—2004)的要求相同。

(2) 喷射钢纤维混凝土施工

①为了保证钢纤维在喷射混凝土中的分布均匀性，推荐采用钢纤维播料机在输料皮带上均匀往混合料中添加钢纤维，并延长搅拌时间到 180s 以上。

②无论采用哪种方式搅拌喷射钢纤维混凝土，其基本要求是保证钢纤维在混合料中应分布均匀，并不得成团。

③在钢纤维喷射混凝土表面宜再喷射一层厚度为 10mm 的水泥砂浆，其强度等级不应低于钢纤维喷射混凝土的强度等级。此项要求是保证钢纤维在表面不裸露锈蚀的耐久性规定。

7 喷射混凝土低温施工

为喷射混凝土低温施工要求，并按水泥品种不同，提出了不同的抗冻临界抗压强度。

8 喷射混凝土养生

喷射混凝土水泥用量和砂率都很大，表面蒸发率较大或很大时，加强养生是其防裂的关键措施之一。一般要求喷射混凝土终凝后 2h，即应开始喷水养生。养生时间：一般工程不得少于 7d；重要工程不得少于 14d；每天喷水养生的次数，以始终保持表面 90%相对湿度为宜。始终处于潮湿状态的隧道、洞室或地下、地上封闭环境中的喷射混凝土，可酌情减少喷水养生次数。

4.9.6 喷射混凝土质量控制

喷射混凝土的密实性与抗压强度变异比普通混凝土大，但隧道喷锚混凝土支护结构的重要性及可靠性要求也相当高，因此需要按下述要求强化质量控制：

- 1 按强度质量控制图进行抗压强度控制；
- 2 按表 4.9.6 的规定进行匀质性控制。

4.9.7 喷射混凝土施工安全与防尘

1 安全技术

(1)清除作业区的危石，施工机具应布置在安全地带，防止出现工伤事故。

(2)在围岩稳定性较差情况下进行锚喷施工，隧道开挖后自稳时间很短，易发生安全事故，开挖后应及时支护，缩短空顶时间及其距离，利用支撑效应，减少对开挖工作面附近围岩的扰动，保证作业区的安全。

采用应先喷后锚，喷射混凝土厚度不应小于 50mm；可及时封闭围岩，防止小石脱落，保护作业人员的安全。同时，作业中要随时观察围岩变化特别是开裂垮塌情况。

锚杆施工在喷射混凝土终凝 3h 后进行，此时抗压强度达到 1.0MPa 左右，可保证锚杆施工安全。

(3) 确保用电安全。

(4) 喷射混凝土施工中，喷射机、水箱、风包和注浆罐等都是承压设备，需要进行承压试验，经常检查出料弯头、输料管和管路接头等有无磨薄、击穿或松脱现象，应及时紧固和更换，防止出现安全事故。

(5) 对于处理机械故障时，必须使设备断电、停风。送电、送风前，应告知警示。

(6) 喷射作业中处理堵管时，应尽可能采取敲击法疏通，并将输料管顺直，必须紧按喷头，疏通管路的工作风压不得超过 0.4MPa。这是防止爆管的措施。

(7) 喷射混凝土施工用的工作台架应牢固可靠，台架既应有面板也应设栏杆。

(8) 向锚杆孔注浆时，注浆罐内应保持一定数量的砂浆，以防罐体放空，砂浆喷出伤人。处理管路堵塞前，应消除罐内压力，防止伤人。

(9) 施工中，喷头和注浆管前方严禁站人。非操作人员不得进入正进行施工的作业区，严防伤人。

(10) 速凝剂和树脂具有较强的碱性，对人体皮肤、眼睛、手臂等有腐蚀作用，易烧伤皮肤。应避免直接接触，树脂是可燃物质，故规定禁止树脂接触明火。

(11) 采取措施防止操作中钢纤维扎伤人员。

2 防尘

(1) 规定采用干法喷射施工时，采取下列综合防尘措施。

(2) 喷射作业区的粉尘主要是飞散的水泥粉，参照国内、外粉尘浓度标准及其现场检测，定为粉尘浓度不大于 10mg/m³。

(3) 喷射混凝土作业区人员，应采用个人防护用具。

4. 10 阻 锈 剂

4. 10. 1 主要品种

1 无机盐类

亚硝酸钙、氯化亚锡、铬酸钾、硫代硫酸钠、氟铝酸钠、氟磷酸钠、氟硅酸钠、锌酸盐、钼酸盐等。

2 有机物类

胺基醇类、羧酸盐类、苯甲酸钠、草酸钠等。

3 有机无机复合类

由上述有机类与无机类复配制剂。

4. 10. 2 性能指标

阻锈剂质量指标和基本性能，应符合下述规定：

1 阻锈剂的基本性能应符合表 4. 10. 2 的规定。防锈性试验按附录 E、L 进行。

表 4. 10. 2 阻锈剂的基本性能

性 能	试验项目	规定指标	
		粉剂型	水剂型
防锈性	钢筋在盐水中的浸泡试验	无锈，电位 0~250mV	无锈，电位 0~250mV
	掺与不掺阻锈剂钢筋混凝土 盐水浸烘试验(8次)	钢筋的腐蚀失重率减少 60%以上	钢筋的腐蚀失重率减少 60%以上
	电化学综合试验	合格	合格
对混凝土性能影响试验	掺与不掺阻锈剂的混凝土抗 压强度比(%)	≥90%	≥90%
	掺与不掺阻锈剂的混凝土抗 氯离子渗透性	不降低	不降低
	掺与不掺阻锈剂的水泥初凝 时间差与终凝时间差(min)	均在±120min内	均在±120min内

2 阻锈剂性能检验项目及指标应符合表 4.10.2 的规定。入库及施工过程中的检验项目：粉剂型为外观、pH 值、细度；水剂型为外观、pH 值、密度。阻锈剂上述项目的匀质性要求应符合表 4.1.4 的规定。施工现场的质量检验、批量等要求应符合 4.1.11 条的规定。

3 粉剂型阻锈剂在运输、储存过程中，应避免暴晒、雨淋、受潮，同时远离明火和易燃易爆物，不得随地散洒和赤手触摸。粉剂型阻锈剂储存期为 1 年；水剂型阻锈剂储存期为 2 年。

4.10.3 适用范围

阻锈剂适用于下述环境和条件下的混凝土结构物：

- 1 处于海洋环境：海水潮位变动区、浪溅区及海洋大气区的公路钢筋混凝土桥梁、配筋混凝土路面、钢筋混凝土护栏等；
- 2 使用海砂或海水的预应力混凝土及钢筋混凝土桥梁、路面和桥面；
- 3 使用除冰盐、融雪剂的钢筋混凝土桥(涵)面、钢筋混凝土路面、钢筋混凝土护栏等；
- 4 地下水和土壤中含有氯盐的桥梁下部结构及隧道、涵洞、地下洞室等以防氯盐腐蚀为基本要求的公路钢筋混凝土结构；
- 5 采用低碱度水泥或低碱掺合料，处在强氯盐锈蚀环境中的公路钢筋混凝土结构；
- 6 氯离子含量大于表 3.0.9 最高限量的预应力混凝土和钢筋混凝土结构；
- 7 有氯盐腐蚀现象的钢筋混凝土结构修复；
- 8 预埋件或钢制品在混凝土中需加强锈蚀防护的场合。因条件限制，混凝土构件保护层偏薄者。

4.10.4 施工

1 阻锈剂的用量取决于设计基准期内腐蚀介质进入混凝土中的量，在氯盐为主的情况下，阻锈剂掺量应符合下述质量比例：对于粉剂型，阻锈剂用量与氯盐质量之比不小于 1.2；对于水剂型，阻锈剂用量与氯盐质量之比不小于 3。在设计基准期内进入混凝土中的氯盐量不明确时，可按表 4.10.4-1 选定阻锈剂掺量。

表 4.10.4-1 每立方米混凝土的阻锈剂掺量(kg/m³)

环境条件		类 型	
		粉剂型	水剂型
使用海砂(非海洋环境)		2~3	3~5
海洋环境	浪溅区	9~13	26~36
	非浪溅区	5~9	12~26
修复工程		6~13	
盐碱地		6~15	
低碱度水泥		4~8	
使用除冰(雪)盐		9~15	26~36

注：在修复工程、盐碱地、低碱度水泥和除冰(雪)盐条件下，应使用不同型号的粉剂阻锈剂。

2 浓度 30%的亚硝酸钙阻锈剂溶液的推荐掺量可按表 4.10.4-2 选取。所选定的亚硝酸钙掺量应符合本指南盐水浸烘试验的质量合格标准。其他阻锈剂的掺量应按生产厂家建议值和预期的氯化物含量，通过盐水浸烘试验确定。

表 4.10.4-2 浓度 30%亚硝酸钙阻锈剂溶液的推荐指量

钢筋周围混凝土酸溶性氯化物含量预期值(kg/m ³)	1.2	2.4	3.6	4.8	5.9	7.2
阻锈剂掺量(L/m ³)	5	10	15	20	25	30

3 护筋混凝土中应掺粉煤灰、磨细矿渣或硅灰，当其掺加方法与最大掺量符合表 4.10.4-3 的规定时，阻锈剂掺量可酌减。

表 4.10.4-3 护筋混凝土掺三种掺台料的方法与最大掺量(%)

使用条件		粉煤灰		磨细矿渣	硅灰
		I 级	II 级		
水泥品种	硅酸盐水泥	≤30	≤25	≥50	≤10
	普通硅酸盐水泥	≤25	≤20	≥40	
	矿渣硅酸盐水泥	≤15	≤10		
高性能混凝土*适宜掺量		25~50		50~80	5~10
掺加方法		超掺系数 1.1~1.4	超掺系数 1.3~1.7	等量掺	等量掺

注：高性能混凝土水胶比不大于 0.35；胶材总量不小于 400kg/m³；坍落度不小于 120mm；强度等级不小于 C45；抗氯离子渗透性不大于 1000C。

4 水剂型阻锈剂宜稀释使用，粉剂型阻锈剂宜配成溶液使用，并在加水量中将溶液水扣除。拌合物的搅拌时间应延长 1min。

5 阻锈剂可分为掺入拌和型和表面涂覆渗透型。新建工程防腐蚀宜采用掺入拌和型阻锈剂，可同时采用涂覆渗透型阻锈剂；防腐蚀修复加固工程应采用表面涂覆渗透型阻锈剂，并在修复混凝土中同时掺入拌和型阻锈剂。

6 掺阻锈剂的混凝土应按护筋混凝土的要求制作，抗渗等级不应低于 S8。28d 收缩应变不宜大于 1×10⁻¹。海水环境中的预应力混凝土、钢筋混凝土最大水灰比、最小水泥用量应符合表 4.10.4-4 的规定。

表 4.10.4-4 海水环境预应力混凝土、钢筋混凝土最大水灰比及最小水泥用量

环境条件		抗冻标号	最大水灰比		最小水泥用量(kg/m ³)	
			北方	南方	北方	南方
大气区			0.55	0.50	320	360
浪溅区			0.50	0.40	360	400
水位变动区	严重受冻	F350	0.45	—	400	360
	受冻	F300	0.50	—	360	
	微冻	F250	0.55	—	340	
	偶冻、不冻	F200	—	0.50	320	
水下区	不受水头作用		0.60	0.60	320	320
	受水头作用	最大水头与壁厚之比小于 5	0.6			
		最大水头与壁厚之比 5~10	0.55			
		最大水头与壁厚之比大于 10	0.50			

7 海中桥梁预应力混凝土、钢筋混凝土构件的最小保护层厚度和最低强度等级应符合表 4.10.4-5 的规定。

8 南方海中桥梁浪溅区构件混凝土，按附录 L.3 规定方法测定的抗氯离子渗透性不应大于 2000C(C 为 20℃时的电导)。

9 掺阻锈剂混凝土结构的施工缝不应设在浪溅区、水位变动区。浇筑应连续，并保证均匀性和密实性，不得出现露筋、空洞、冷缝、夹渣松顶等现象。护筋混凝土养生应使用淡水，预应力结构不得使用海水养生，缺乏淡水时，应包裹塑料薄膜或喷涂养生剂，潮湿养生时间不应少于 21d。

10 处在腐蚀环境中混凝土结构的模板应采用外部固定或悬模架设方式，不得从结构中引出钢筋架设固定。拆模后，结构表面不得裸露螺栓、钢筋、拉杆、铁钉、预埋件等。

表 4. 10. 4-5 海中桥梁墩应力混凝土、钢筋混凝土构件的最小保护层厚度和最低强度等级

环境条件	钢筋混凝土最小保护层厚度(mm)		预应力混凝土最小保护层厚度(mm)	最低强度等级	
	北方	南方		北方	南方
大气区	50	50	75	C30	C30
浪溅区	50	65	90	C35	G40
水位变动区	50	50	75	C30	C30
水下区	30	30	75	C25	C25

11 掺阻锈剂的护筋混凝土可与高性能混凝土、环氧涂层钢筋、表面涂层、硅烷浸渍等联合使用。

12 恶劣环境中的重要工程，其浪溅区和水位变动区，应使用高性能混凝土，其技术指标应符合表 4. 10. 4-6 的规定。

表 4. 10. 4-6 高性能混凝土的技术指标

混凝土拌合物			硬化混凝土	
水胶比	胶凝物质总量(kg/m ³)	坍落度(mm)	强度等级	抗氯离子渗透性(C)
≤0. 35	≥400	≥120	≥C45	≤1000

说明

4. 10. 1 主要品种

在此列出了目前国内外可在公路工程中使用的各类无机盐类、有机物类、有机与无机复合类阻锈剂的主要化学成分。阻锈剂是一种通过抑制阳极、阴极的阴阳极电离反应，防止或延缓混凝土中钢筋锈蚀，并能在锈蚀发生后阻止和延缓锈蚀继续扩张速率的混凝土化学外加剂。注意亚硝酸钠会引起碱集料反应，在公路混凝土工程中不允许使用亚硝酸钠，但允许使用亚硝酸钙做阻锈剂。

4. 10. 2 性能指标

阻锈剂的基本性能应符合表 4. 10. 2 的规定。表中的技术指标主要参考《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTJ 275)和冶金部《钢筋阻锈剂使用技术规程》(YB / T 9231)。其中最主要的是阻锈性指标，第一项为钢筋在盐水中的浸泡试验，此试验对于定性确定阻锈剂的有效性有一定作用，但是由于试验时采用的是盐水，而不是混凝土，因此盐水浸泡试验对于混凝土构件表面裸露的钢筋锈蚀更直接有效。而在混凝土中是一个 pH 值达 13.5 的高碱性环境，与含 1. 15%NaCl 的饱和 Ca(OH)₂ 溶液完全不同，因此，只做此单项试验无法确认阻锈剂在混凝土或砂浆环境中的有效性。但是此方法简便直观，在国内外的阻锈剂标准中都有，都将其作为定性鉴别阻锈剂的指标。第二项指标掺与不掺阻锈剂钢筋混凝土盐水浸烘 8 次试验，经南京水利科学研究院验证，是很有效的试验方法，已经编入《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTJ 275)，比《钢筋阻锈剂使用技术规程》(YB / T 9231)中规定的干湿冷热 60 次更快速明确。第三项指标是电化学综合试验，即附录 E 中的新拌砂浆法、硬化砂浆法和附录 M 中的钢筋在混凝土中的宏观电池腐蚀试验，两种砂浆法都是阳极极化点时间法。这三种方法均属于专门定量锈蚀试验方法，技术要求较高，但是实践证明仅采用一种方法有可能误判，因此国内外多数专家推荐采用综合法评判。实际使用时至少应采用其中两种方法。

表 4. 10. 2 中规定的 8 次掺与不掺阻锈剂钢筋混凝土盐水浸烘试验钢筋的腐蚀失重率减少 60% 以上。比《钢筋阻锈剂使用技术规程》(YB / T 9231)40% 高 10%。此项指标根据南京水利科学研究院的试验进行了修改，在普通水泥混凝土中增加水泥用量 80kg/m³，钢筋腐蚀失重率可减少 59%；保护层厚度增加 20mm，钢筋腐蚀失重率可减少 86%；混凝土中掺入硅灰，可显著降低钢筋腐蚀失重率。国外大部分阻锈剂产品均可达到钢筋腐蚀失重率 60% 的要求。

对混凝土性能影响的三种试验方法中，氯离子渗透试验最为重要，它影响到氯盐浸入混凝土中时氯离子的迁移速度，在很大程度上影响钢筋锈蚀速率。在无法做此项试验时，工程使用中可做水抗渗试验，因为氯离子是随水分而迁移的，《钢筋阻锈剂使用技术规程》(YB / T 9231)中规定的是抗渗试验，而《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTJ 275)中规定的是氯离子渗透试验，

本指南采用了更直接的后一种试验方法。抗压强度的降低值，本指南采用《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTJ 275)和日本标准《钢筋混凝土用防锈剂》(JISA 6205)的规定：掺用阻锈剂后，与不掺的基准样对比，抗压强度允许降低 10%。《钢筋阻锈剂使用技术规程》(YB / T 9231)中规定抗压强度不降低，试验表明，对大多数阻锈剂而言过于苛刻，掺阻锈剂的混凝土即使抗压强度有所降低，也可掺高效减水剂、降低水胶比来补偿。这样一来，掺与不掺阻锈剂就不是相同配合比了。应强调的是大多数阻锈剂对混凝土抗压强度有不良影响，要在相同工作性前提下保持相同强度，则护筋混凝土在掺阻锈剂的同时应使用高效减水剂。单独采用阻锈剂时，混凝土强度必须有足够的富余量，并应同时掺高效减水剂使混凝土强度不显著降低。护筋混凝土凝结时间变化可通过掺用本指南中规定的缓凝剂或促凝剂来调整。

4. 10. 3 适用范围

钢筋阻锈剂主要用于防止以氯盐为主引起的钢筋锈蚀的环境中，按用途的差异可使用不同的品种。某些阻锈剂可用在防止硫酸盐的腐蚀环境中。海水、卤水、地下含有酸、碱、盐腐蚀介质和洒除冰盐的氯盐腐蚀环境，粗略估计占我国国土面积约 2/3，氯盐对钢筋的腐蚀是地处海中、海洋大气、冬季洒除冰盐及西北盐碱地环境中的公路工程钢筋混凝土和预应力混凝土结构诱发病害的主要因素。从我国公路工程结构的钢筋被氯盐腐蚀速度的现状来看，南方高温地区，若不采取任何防锈措施，3~4 年，钢筋保护层就会崩裂，钢筋锈蚀到相当深度；北方低温地区，4~5 年锈蚀就比较严重了。应在腐蚀环境下的新建公路混凝土结构的设计、施工、材料选用和养生等方面予以高度重视。已建工程发生了钢筋锈蚀破坏后，不仅其检测、修补、加固难度很大，而又会造成巨大经济损失与交通阻碍。

我国公路行业钢筋混凝土结构中使用阻锈剂的相对较少，为了在大规模建设期间，防止后患，减少将来大量的锈蚀修复，参照我国冶金、海港等行业的规定，在本指南中提出使用阻锈剂的规定。钢筋防锈有多种方式：使用环氧涂层钢筋、不锈钢筋、电化学防护、阴极保护、结构表面涂层等均有积极的效果，但在混凝土中加入钢筋阻锈剂是其中较为便捷的防锈方式之一。不锈钢筋、电化学及阴极防护的费用过高，且需要专门技术，一般适用于海水中的特大型桥梁，不是一般大、中、小桥和涵洞均能使用的。即使目前逐渐推广的环氧涂层钢筋，其生产厂较少，现场涂不均匀，而螺纹钢绑扎和运输当中，螺纹尖端环氧易磨损，也可能造成锈蚀更集中、速度更快、更严重的后果。

低碱水泥和低碱掺合料是防止碱集料反应的措施，但与抵抗钢筋锈蚀有矛盾。低碱水泥等引起钢筋保护层的碳化速度加快，深度加深，保护层碳化即中性化。在强氯盐锈蚀的情况下，钢筋锈蚀速度将加快，对防止钢筋锈蚀不利，因此要求掺无钾钠离子的阻锈剂。此外，结构表面涂防止氯盐侵入的涂层可能是解决这一矛盾的方式之一。

阻锈剂的使用有拌和法与涂层法两种，本指南着重强调的是在混凝土和修复砂浆中使用的拌和法。涂层使用的阻锈剂应是渗透迁移型的阻锈剂，否则，实际使用价值并不大。混凝土防锈涂层的使用应符合《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTJ 275)规定，使用环氧树脂漆、丙烯酸树脂漆、聚氨脂漆、氯化橡胶漆或煤焦油沥青漆，分为底层、(中间层)、面层 2~3 层，各层厚度一般应在 0.2~0.5mm；总厚度不应小于 0.5mm，一般应在 0.5~1.0mm。表面阻锈涂层已超出本指南的范畴，正文中未出现阻锈涂层的技术要求，将其编写在此处，供参考。

4. 10. 4 施工

1 表 4. 10. 4-1 为冶金部建筑研究院研制的阻锈剂掺量，其他阻锈剂掺量应根据厂家推荐掺量使用。表 4. 10. 4-1 来源于冶金部颁《钢筋阻锈剂使用技术规程》(YB/T 9231)，阻锈剂的用量取决于设计寿命内腐蚀介质进入混凝土中的量，在氯盐为主的情况下，从研究试验结果来看，粉剂阻锈剂用量与氯盐质量之比不小于 0.8，已有显著阻锈效果，水剂阻锈剂用量与氯盐质量之比不小于 1.0，可保持钢筋长期不锈蚀。为更安全、更可靠计，用阻锈剂用量与氯盐质量之比不小于 1.2；水剂型则应阻锈剂用量与氯盐质量之比不小于 3.0(水剂溶液中的有效成分含量较低，给出更大的安全系数)。使用表 4. 10. 4-1 中的推荐阻锈剂掺量时，应注意：某些型号的阻锈剂含 Na^+ 、 K^+ ，应尽量少掺用，特别是在有(或夹杂)碱集料环境中慎用。按部分专家意见，亚硝酸钙一般应复配其他成分的阻锈剂、(高效)减水剂制成复合阻锈剂，复合阻锈剂的阻锈效果比单独掺用亚硝酸钙好。

研究与实践表明，钢筋周围的 Cl^- 累积量达到 $1\text{kg}/\text{m}^3$ 时，钢筋锈蚀可导致混凝土开裂，掺加

足量的阻锈剂可不发生钢筋锈蚀破坏，如设计基准期 40 年，钢筋周围的 Cl^- 累积量达到 $6.3\text{kg}/\text{m}^3$ 时，按比例应加入 $7.53\text{kg}/\text{m}^3$ 阻锈剂，可保证 40 年耐锈蚀寿命。

2 表 4.10.4-2 源自《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTJ 275)。

3 护筋混凝土中应掺粉煤灰、磨细矿渣或硅灰，国内外研究和工程实践都表明，对于抵抗钢筋锈蚀而言、硅酸盐水泥和普通水泥的阻锈效果远不及矿渣水泥或使用掺合料的水泥，其次掺合料有利于提高混凝土密实性和工作性。但应注意的是在三种掺合料中，减小变形和抗裂效果最好的是 I、II 级粉煤灰，硅灰和磨细矿渣均增大干缩，硅灰还增大自身体积收缩，硅灰对提高抗压强度很有效，但对抗裂极为不利。其掺加方法与最大掺量应符合表 4.10.4-3 的规定。表 4.10.4-3 源自《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTJ 275)，为简洁清楚起见，将其文字转述为表格。

4 为阻锈剂的使用和拌和要求，为了保证阻锈剂在混凝土中分布的匀质性，要求水剂和粉剂均配制成溶液使用。

5 近年来，阻锈剂技术发展很快，有掺入拌和型和表面涂覆渗透型两种，新建工程防腐蚀宜采用掺入拌和型阻锈剂，可采用渗透涂覆型阻锈剂；防腐蚀修复加固工程应采用表面渗透涂覆型阻锈剂先涂覆凿后的表面，再使用拌和型阻锈剂配制的砂浆修复；未凿的老混凝土表面只能使用渗透涂覆型阻锈剂。

6 本指南要求掺阻锈剂的混凝土按护筋混凝土要求制作。护筋混凝土是一种高密实度的防水抗渗、尺寸稳定的抗裂混凝土，除掺阻锈剂外，还要求达到 S8 的抗水渗透能力，且 28d 收缩值不应大于 1×10^{-4} 。表 4.10.4-4 中海水环境预应力、钢筋混凝土最大水灰比和最小水泥用量的允许值来源于《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTJ 275)，将其中最低水泥用量由 $300\text{kg}/\text{m}^3$ 调整到 $320\text{kg}/\text{m}^3$ 。 $300\text{kg}/\text{m}^3$ 水泥用量即使在大气区和水下区均过低，无法达到应有的密实度及护筋效果。护筋混凝土的配合比中，水泥用量(或胶材总量)较高，砂率较大，水灰(胶)比较低，因此，需要同时使用阻锈剂、高效减水剂或防水剂保证达到表 4.10.4-4 的要求。

7 表 4.10.4-5 规定的海中桥梁预应力、钢筋混凝土构件的最小保护层厚度和最低强度等级是将《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTJ 275)的表 4.2.8 和表 5.2.4 合并而成。本指南所指海中桥梁的各项要求对于中等和强腐蚀环境的其他公路混凝土桥梁和结构同样适用。

8 本款源自《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTJ 275)的 5.2.6 条。南方气温较高，持续时间长，钢筋锈蚀更快、更严重，提出了更严格的要求：检测混凝土抗氯离子渗透性，不应大于 2000C。

9 本款来源于《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTJ 275)的 5.6.3、5.6.8~5.6.11 条施工注意事项和技术要求。

10 规定模板架设方式和不允许表面露筋，露筋的结构会给氯离子提供进入通道，必定加速锈蚀。此项要求是非常必要的。

11 护筋混凝土只是防锈蚀的一种手段，再辅以其他防腐蚀手段，防锈蚀效果会更好。在公路重要的桥梁等钢筋混凝土、预应力混凝土工程中，宜至少采用两种以上双重或多重防锈蚀技术措施。

12 高性能混凝土的技术要求摘自《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTJ 275)的 6.2.1 条。高性能护筋混凝土是编者提出的一个新概念，参见《桥梁护筋混凝土的研究》(公路，2002 年 3 月第 3 期)。护筋混凝土是满足结构强度要求、工作性优良、高密实度、高抗氧气、水分、氯离子渗透性、体积稳定、抗开裂的高性能混凝土。护筋混凝土的制备必须掺用阻锈剂、高效减水剂和活性掺合料，是使用适宜水泥品种、较高胶材总量、尽量小水胶比和较高砂率精心制备的一种高性能混凝土。

4.11 水中抗分离剂

4.11.1 主要品种

- 1 聚丙烯系：以聚丙烯酰胺和丙烯酸钠等为主要成分。
- 2 纤维素系：以甲基、乙基、羟甲基、羟乙基、羟丙基、羟丁基纤维素等为主要成分。
- 3 聚乙烯醇、聚氧化乙烯等为主要成分。

4.11.2 性能指标

- 1 水中抗分离混凝土性能应符合表 4.11.2 的规定。水中抗分离混凝土试验方法按附录 M 进

行。

表 4.11.2 水中抗分离混凝土的性能要求

项目 种类	凝结时间(h)		水气抗压强度比 (%)		泌水率 (%)	含气量 (%)	水中 PH 值	水中悬浊物含量* (mg / L)	坍落度损失 (mm)	
	初凝	终凝	7d	28d					30min	120 min
普通型	>5	<24	>60	>70	<0.5	<4.5	<12	90	<20	
缓凝型	>12	<36	>60	>70	<0.5	<4.5	<12	85	<20	<50

注：1. 水气抗压强度比为水 F 500DM 一次投料装模与空气中按标准试验同温度同龄朋养生抗压强度之比，试验方法见附录 M。

2. 无条件测悬浊物含量时，可测定水中透明度，其指标均为大于 85%。

2 水中抗分离剂的匀质性指标应符合表 4.1.4 的规定。匀质性检验项目应符合表 4.1.12 的规定。取样及质量检验应符合 4.1.10 条的规定。现场质量检验应符合 4.1.11 条的规定。

4.11.3 适用范围

水中抗分离混凝土适用于下列结构：

- 1 水中或地下水位以下浇筑的混凝土、钢筋混凝土结构。
- 2 高等级公路水下构筑物；水下浇筑施工地下洞室混凝土、钢筋混凝土结构。
- 3 需要抢险救灾的公路工程水下构筑物；挡水和拦水工程的补强加固、堵漏等修复混凝土、钢筋混凝土结构。
- 4 要求防止水质污染的水下构筑物。
- 5 难以用普通混凝土进行水下施工的构筑物。

水中抗分离混凝土不适用于水下浇筑的预应力钢筋混凝土结构。

4.11.4 水中抗分离混凝土的原材料和配合比

1 应采用强度等级 32.5 级以上硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，水泥用量宜在 400~500kg / m³ 之间。

2 水灰比宜为 0.45~0.60；有抗冻性要求时，水灰比不宜大于 0.50，并宜掺引气高效减水剂。

3 粗集料最大粒径不宜超过 31.5mm，且不得大于结构断面尺寸的 1/6 和钢筋间距的 3/5。

4 宜采用中砂或粗砂，细度模数宜为 2.5~3.3，砂率宜为 35%~40%。

5 水中抗分离剂的掺量范围一般宜为 2.5~3.5kg / m³，水中抗分离剂最优掺量应根据工程设计、施工要求和现场环境，参照供应商提供的掺量范围，通过试验优选确定。

4.11.5 水中抗分离混凝土的施工

1 应严格按照经试验优选和现场试拌调整后的配合比进行施工，各组分计量误差应符合表 3.0.5 中强度等级大于 C25 的规定。

2 必须使用强制式搅拌机拌和，搅拌时间不应少于 3min。严禁手工拌和。

3 拌合物的流动性以坍扩度来衡量，按施工方式不同，坍扩度宜在表 4.11.5 的推荐范围内取值。坍扩度的试验方法应符合附录 H.3.1 条第 1 款的规定。

表 4.11.5 水中抗分离混凝土坍扩度的推荐范围(mm)

施工方式	水下滑道施工	导管施工	混凝土泵施工	必须极好流动性时
坍扩度范围	300~400	360~450	450~600	>600

4 运输方式宜采用罐车、混凝土泵、吊罐输送；近距离也可采用带式输送机、溜槽输送。

5 浇筑宜保持在静水中进行，水中浇筑的拌合物自由落差宜为 300~500mm。浇筑时拌合物水平流动距离宜为 3~6m。应使用导管式混凝土泵浇筑，导管直径应大于最大粒径的 8 倍以上；使用泵送混凝土时，混凝土流速宜控制在 0.3~0.5m/s 之间，且应满足 4.7 节的各项规定。

6 无约束水中结构应架设可靠的水中模板或采用有效措施保护；对水位变动区暴露在空气中的部位应进行养生。

说明

4. 11. 1 主要品种

水中抗分离剂又称水下不分散剂、增稠剂、增粘剂或水中抗分离剂，本指南所使用的名称与技术规定等主要参照《水工混凝土外加剂技术规程》(DL/T 5100)编制。

4. 11. 2 性能指标

水中抗分离混凝土的浇筑工艺是直接将拌合物倒入水深不大于 500mm 的水中自由落下，或通过导管穿过深水层浇筑水下混凝土结构，其关键特性是尽可能减少粗集料与水泥浆或砂浆的洗涤分离，降低水泥被水冲洗掉的份量，从而保证水下浇筑的混凝土具有足够的水泥和砂浆来提供强度。因此，水中抗分离性是这种外加剂首要性能，本指南与《水工混凝土外加剂技术规程》(DL/T 5100)一致，采用了表 4. 11. 2 中的 pH 值和悬浊物含量这两项指标衡量，在无条件检测悬浊物含量时，可采用测浇筑水透明度评价。上述三项指标均为检测拌合物分离性的，实际上有两项参照检测已足够。除此之外，分离性还可以用砂浆流失量来检测，这里不细述。为了使公路工程最终确定抗分离性的最简捷有效的评价指标和方法，方便施工单位选择和对比，将三种试验方法一并列在附录 M 中。按本指南的要求：目前，前两个指标和方法为水中抗分离性的必测指标及规定方法；后一种指标和检测方法可作为水中抗分离性参照的对比指标和检测方法。表 4. 11. 2 注 2 规定无条件测悬浊物含量时，可测定水中透明度。另外有的水中抗分离剂添加了高比表面积的保水材料，与普通混凝土相比其悬浊物含量有所增加，但水下强度却提高了。实际上透明度更能反映不分散性能，建议把透明度作为选测指标。

pH 值之所以能够用来评价抗分离性是由于水泥的碱度很高，可达 13.5 左右，如果水泥被水冲洗下来，水中的 pH 值必定升高。冲洗掉的水泥越多，pH 值越高。悬浊物含量的检测是使用过滤方法测定悬浮在水中水泥颗粒的方法，被水冲洗下来的水泥越多，悬浊物含量越高。而且，检测比较方便，所使用的试验设备也较简单，一般试验室均可做。砂浆流失量检测也较简便，但与实际水中浇筑有一定差别，而且，提升 5 次的速度对结果有一定影响，不同的人检测结果有人为差异。国外有将此方法作为法定水中抗分离性检测方法的。测透明度使用专门的红外分光光度计，是一种简单而不贵的仪器，检测速度比测悬浊物快，只要把水样放入仪器即可读出透明度。

水中抗分离性硬化混凝土的评价标准应是水、气抗压强度比，其试件制作和试验方法见附录 M。工程实践表明，若将无水中抗分离剂的混凝土直接倒入水中浇筑，所得到的混凝土抗压强度：7d 仅 10%；28d 仅 30%，远远不能满足水中混凝土结构强度要求。掺水中抗分离剂后的混凝土直接倒在水中浇筑的混凝土水气强度比可达到的试验结果为 75%~91%，本指南规定 7d 不小于 60%；28d 不小于 70%。这样就可以采用提高空气中抗压强度 30% 的混凝土拌合物，直接采用水中浇筑的方式来施工水中混凝土结构。

水中抗分离剂其他性能还有缓凝要求、泌水率、含气量和坍落度损失，并分为普通型和缓凝型两类，缓凝性能对于水下混凝土连续浇筑、新老混凝土的粘结和免振自流平、自密实很重要，即使是普通型的也应具有一定的缓凝性能。含气量是为满足水下混凝土抗冻性和粘聚性的需要。坍落度损失也是保证水中抗分离混凝土免振自流平、自密实的较重要指标，从出搅拌机到浇筑时的坍落度损失不应大于 20mm。不掺水中抗分离剂的混凝土泌水率很大，掺入水中抗分离剂的混凝土泌水率极低。泌水率是作为对比及判别指标而编入水中抗分离混凝土性能要求的。

在没有水中抗分离剂之前，浇筑水下混凝土的方法是靠隔离水的方式，如袋装迭置法、开底容器法、泵压法、预填集料法或导管法。其中导管法是使用最多的方法，但只适用于水深大于 1.5m，而且导管口埋入混凝土深度必须大于 1m，导管随混凝土面的升高逐渐上提，不能左右前后移动，所施工的混凝土表面强度仅有设计强度的 50% 左右，需凿除表面低强度的混凝土。公路桥梁工程中遇到的水下灌注桩数量很多，而又深度有的很深，可达 100m 以上，即使在陆地上修建立交桥，桩处在地下水水位以下的深度往往可达数十米。在这些水下结构混凝土中使用水中抗分离剂是简化施工、保证混凝土强度的必要技术措施。

4. 11. 3 适用范围

1~3 指出水中抗分离剂适用于公路工程(海)水中、(海)水下或地下水水位以下浇筑的结构类型、补强加固或修复的结构类型。主要有桥梁工程的下部结构：桥墩、桥桩、桥柱、桥台；水工结构的护坡、护岸、档水、拦水工程；地下连续墙及地下洞室等水下混凝土、钢筋混凝土结构。

不适用于(海)水下浇筑的预应力钢筋混凝土结构。

4. 11. 4 水中抗分离剂混凝土的原材料和配合比

1 水下浇筑混凝土宜采用 32.5 级以上硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥；水泥用量一般宜在 400~500kg/m³ 范围之内，因为要考虑到直接在水中浇筑的过程中，水泥的冲刷流失和混凝土的强度允许损失不大于 30% 的要求。

2 因为当混凝土直接倒入水中时，水灰比会有所增大，水下浇筑的混凝土水灰比必须压低，水灰比在 0.45~0.60 才能保证强度；在水位变动区或水下结构有抗冻性要求时，要使水灰比不大于 0.50，一是应引气，掺引气剂(含气量满足表 4.3.3-2 规定值)，二是要同时减水，只有掺用引气高效减水剂，才能做到既达到 0.5 的水灰比，保证强度和抗冻性，又满足了浇筑时的工作性要求。

3 规定粗集料的最大粒径不宜超过 31.5mm(同时不得大于结构断面尺寸的 1/6 和钢筋间距的 3/5)，在水工规范中规定的最大粒径是 37.5mm，本指南降低了最大粒径，期望减小拌合物团块在水中的降落速度，减少被冲刷掉的水泥和砂浆数量，从而提高强度；另一方面，最大粒径越大，水中混凝土下落的冲击力越大，水下混凝土结构密实度相对较高，因此，水下混凝土的粗集料最大粒径也不宜过小。但是，水下混凝土的密实度基本不靠冲击力来保障，而靠高流动性带来的自填充性。最重要的问题是一般公路水下混凝土的强度和等级要求较高，结构断面尺寸与水工结构相比较小，配筋相对较密，在此条件下，满足其抗压强度要求是首位的。日本《水中不分散混凝土设计与施工指南》规定砾石最大粒径 26.5mm，碎石可使用最大粒径 26.5mm 和 37.5mm 两种粒径。我们制订的碎石和砾石两种粗集料的最大粒径 31.5mm 对公路较高抗压强度和等级要求的水下混凝土是适宜的。也与公路工程绝大部分掺外加剂的混凝土粗集料最大粒径的规定相统一。

4 由于中、粗砂配制的混凝土抗压强度较高，水中抗分离剂混凝土用砂宜采用中砂和粗砂，细度模数宜为 2.5~3.3；考虑到砂浆在水中浇筑过程中的损失，砂率宜取 35%~40%。

5 水中抗分离剂一般掺量宜为 2.5~3.5kg/m³，此掺量是经验值，不同种类的水中抗分离剂有较大差别，最大可达到水泥用量的 10%。所以，强调掺量应通过试验优选确定。

4. 11. 5 水中抗分离混凝土的施工

1 水中抗分离混凝土除应严格按照经试验优选和现场试拌调整后的配合比进行施工外，各组分计量误差应符合表 3.0.5 中强度等级大于 C25 的规定，即各组分计量误差除水泥、水和水下不分离剂应小于±1.0%以外，其他均应小于±2.0%。

2 水中抗分离混凝土必须使用强制式拌和机搅拌，纯搅拌时间不少于 3min，利用长时间拌和，将水泥遇水形成的高浓包裹层打开，提高拌合物的粘聚性。手工拌和无论如何做不到这样好的粘聚性，要加以严格限制。这些规定是保证拌合物具有足够粘聚性和抗水分离性的要求。

3 水中抗分离混凝土实质上是在水下浇筑时可自流平、自填充和免振自密实的超高流动性的混凝土，坍落度一般不小于 180mm，由于掺入水中抗分离剂，混凝土拌合物相当粘稠，并富于塑性，其自流平、自填充和自密实运动需要经过一定时间才能逐渐完成。因此，使用瞬时流动性指标坍落度难于反映其动态缓慢的自流动平整性、自填充和自密实运动，加之过大的坍落度，坍落度测量误差较大，所以掺用水中抗分离剂混凝土应以坍扩度来衡量，按水下混凝土浇筑的施工方式不同，坍扩度宜在表 4.11.5 的推荐范围内取值。坍扩度的试验方法应符合附录 H.3.1 条第 1 款的规定。

4 超高流动性的混凝土即使使用了水中抗分离剂，水泥浆和砂浆的体积含量很高，由于运输颠簸引起的粗集料下沉和砂浆上浮的离析现象较为严重，原则上不得使用如翻斗车或其他能导致离析的运送方式输送这种超高流动性的水下混凝土。

5 水中抗分离混凝土的浇筑宜在静水中进行，水中浇筑的拌合物自由落差宜为 300~500mm 以内，水深较大时应采用导管插入水中来满足浇筑落差的要求。浇筑时的拌合物水平流动距离宜为 3~6m；浇筑应使用端部加阀门的导管、混凝土泵或开底容器，水中抗分离混凝土应保持连续不间断作业；使用导管浇筑时，其直径应大于最大粒径的 8 倍以上；使用泵送混凝土时应满足 4.7 节相应条款的规定。

6 为防止水中抗分离混凝土受动水、波浪淘刷作用和流失，保持结构外形，除有边界约束的水下结构外，应设置模板或采取其他保护措施。水下混凝土结构无需养生，但在水位变动区，浇筑时在水下，对养生期可能暴露在空气中的部位应进行养生。水中抗分离混凝土在空气中的抗裂性较差，养生的主要目的是防止水中抗分离混凝土暴露在空气中开裂。

5 掺合料

5.1 粉煤灰

5.1.1 性能指标

粉煤灰分为低钙灰和高钙灰两种，公路工程动载结构中不得使用高钙灰，本节的规定仅适用于低钙灰。粉煤灰质量等级可分三级，公路工程混凝土结构与构件中使用的应为 I、II 级粉煤灰；在贫混凝土基层和半刚性基层中可使用 III 级粉煤灰。各级粉煤灰的质量指标应符合表 5.1.1 的规定。包括满足表 5.1.1 规定的原状干排粉煤灰、磨细粉煤灰以及粉煤灰为主的复合矿粉。

表 5.1.1 粉煤灰分级和质量指标*

粉煤灰等级	细度(45 μm , 筛余量)(%)	比表面积(m^2/kg)	烧失量(%)	需水量比(%)	含水率(%)	Cl^- (%)	SO_3 (%)	混合砂浆活性指数	
								7d	28d
I	≤ 12	≥ 600	≤ 5	≤ 95	≤ 1.0	< 0.02	≤ 3	≥ 80	≥ 90
II	≤ 25	≥ 400	≤ 8	≤ 105	≤ 1.0	< 0.02	≤ 3	≥ 75	≥ 85
III	≤ 45	≥ 150	≤ 15	≤ 115	≤ 1.0	—	≤ 3	—	—

粉煤灰应测定总碱量，并于性能指标中注明测定数值

注：1. 活性指数的检验方法按附录 Q 进行；需水量比的检验方法按附录 P 进行。

2. 烧失量、含水率和 SO_3 含量按《水泥化学分析方法》(GB/T 176) 进行。

3. Cl^- 按《水泥原料中氯的化学分析方法》(JC/T 420) 进行。

4. 总碱量的检验方法按附录 A. 1 进行。

5. 45 μm 气流筛的筛余量换算为 80 μm 水泥筛的筛余量换算系数约为 1.9~2.4 倍。

6. 比表面采用激光粒度分析仪测定其粒度分布，并按仪器说明书给定的方法计算出比表面积。比表面积与 45 μm 筛余量有出入时，按比表面积定级。

★ 引自《高强高性能混凝土用矿物外加剂》(GB/T 18736—2002)。

5.1.2 检验规则

1 按同级批号取样，以 120t 为一取样单位，不足 120t 者按 120t 计，取样应有代表性，可以连续取样，也可在 15 个不同部位取等量样品，每份 1kg 左右，合计不少于 12kg，混匀试样，按四分法缩取比试验用量多一倍的试样。

2 同一货源为一批检验时，应按表 5.1.1 项目全检，以后每批应测含水量、需水量比、筛余量、烧失量和混合砂浆活性指数，每 5 批加测一次三氧化硫和氯离子含量。

5.1.3 适用范围

1 粉煤灰用于公路混凝土工程，应根据粉煤灰等级、混凝土强度等级和耐久性等要求，按下列规定使用。

(1) I 级灰适用于有抗冻、防腐蚀等要求的钢筋混凝土和预应力混凝土结构和构件。预应力张拉和放张前，粉煤灰混凝土强度应通过试验，达到设计规定的张拉、放张强度等级，且不得小于 20MPa。

(2) II 级灰适用于钢筋混凝土和素混凝土结构。不宜用于预应力混凝土结构或构件。对于有抗冻、防腐蚀等耐久性要求的混凝土，采用的 II 级灰需水量比不宜大于 100%。

(3) III 级灰可用于强度等级 C20 以下的素混凝土结构、贫混凝土基层、水泥粉煤灰或石灰粉煤灰稳定粒料基层等，不得用于强度等级 C20 及其以上的素混凝土、钢筋混凝土及预应力混凝土结构。

2 粉煤灰适用于配制泵送混凝土、大体积混凝土、抗渗防水混凝土、蒸养混凝土、轻集料混凝土、地下工程混凝土、压浆混凝土、碾压混凝土、隧道衬砌混凝土、水中抗分离混凝土，抗硫酸盐、抗酸雨、抗软水侵蚀或需要抑制碱集料反应的混凝土。

3 根据公路工程结构功能和施工条件的不同要求，粉煤灰可与本指南中的各类外加剂同时使用。粉煤灰混凝土外加剂掺量应以水泥加粉煤灰的胶凝材料总量百分率表示。外加剂的适应性和最优掺量应由试验确定。

4 粉煤灰用于下列公路工程混凝土应采取措施：

(1)有抗冰冻、抗盐冻要求的粉煤灰混凝土，应掺引气剂，但需加大引气剂掺量，使其满足表 4.3.3-1、表 4.3.3-2 含气量要求。

(2)低温或负温施工的粉煤灰混凝土，应掺入适宜的早强剂或防冻剂，并应加强保温保湿养生。

(3)早期脱模、提前负荷的粉煤灰混凝土，应掺用高效减水剂、早强剂等外加剂，并应降低水胶比。

5 粉煤灰不宜用于下列公路混凝土工程：

(1)有提前通车要求的混凝土、钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构，要求提前张拉或放张的预应力钢筋混凝土结构。

(2)长时间养生温度和湿度条件无保障、易干缩开裂的薄壁混凝土结构。

(3)低温施工时，易温缩开裂的薄壁混凝土结构；负温施工 7d 内达不到受冻临界强度的一般混凝土结构；长期养生温度和湿度条件无保证，冰冻深度范围内及表面混凝土结构。

5.1.4 粉煤灰混凝土配合比设计

1 设计强度的龄期：地面以上工程应取 28d，地下工程宜取 60d，大体积混凝土可取 90d。

2 混凝土中掺用粉煤灰的方法有等量取代法、超量取代法和外加法；除 I 级灰外，一般不宜采用等量取代法。当混凝土超强较大或配制大体积混凝土时，可采用等量取代法。使用超量取代法时，超量系数可按表 5.1.4 选用。薄壁混凝土结构应取较低限；一般结构宜取低限；大体积结构可取中、高限；重要公路工程结构的粉煤灰超量系数应通过试验确定。以改善拌合物工作性为主时，可采用外加法。三种掺用粉煤灰的方法均必须经过试验，满足要求后，方可在实际公路工程结构中使用。

表 5.1.4 粉煤灰等级与对应的超量系数

粉煤灰等级	I	II	III
粉煤灰超量系数	1.1~1.4	1.3~1.7	1.5~2.0

3 配合比计算方法应按附录 F.2 进行。

5.1.5 粉煤灰混凝土施工

1 粉煤灰在各种混凝土中取代水泥最大掺量应符合表 5.1.5 的规定。当钢筋混凝土、预应力混凝土结构中钢筋保护层厚度小于 50mm 时，其最大掺量宜比表 5.1.5 规定减少 5%。

2 重要公路工程粉煤灰实际掺量及取代水泥量，应通过试验确定。

3 粉煤灰应以干粉掺入混凝土，并应单独计量，计量误差：对于预应力混凝土、钢筋混凝土和路面混凝土不宜超过总用量的 $\pm 1\%$ ，其他混凝土不得超过 $\pm 2\%$ 。

表 5.1.5 粉煤灰最大掺量(以质量百分比计, %)

混凝土种类	硅酸盐水泥	道路水泥	普通水泥
预应力钢筋混凝土	25		15
路面混凝土	30	25	15
钢筋混凝土 高强混凝土 抗冻混凝土	25	20	15
中、低强度混凝土 泵送混凝土 大体积混凝土 水下混凝土 地下混凝土 压浆混凝土	40	35	30
碾压混凝土	50	45	40

注：使用粉煤灰必须相应降低水胶比。

4 粉煤灰混凝土拌合物必须使用强制式搅拌机搅拌均匀，其搅拌时间应通过试拌确定，纯拌和时间宜比基准混凝土延长 10~30s。当环境温度较高或从搅拌至浇筑完成历时较长时，损失后的坍落度值应满足浇筑要求。

5 粉煤灰混凝土浇筑时，应振捣密实，不得漏振、欠振或过振。振捣后的混凝土表面不得出现明显的粉煤灰浮浆层。终饰抹面作业应在泌水结束、终凝之前进行。

6 粉煤灰混凝土结构应加强养生，并始终保持表面处于潮湿状态，薄壁结构的湿养生时间不得少于 28d，干燥或炎热气候条件下暴露面的湿养生时间不得少于 21d。

7 粉煤灰混凝土一般不宜低温施工，大体积粉煤灰混凝土必须低温施工时，应加强表面保温保湿覆盖，表面最低温度不得低于 5℃。寒潮袭击，日降温幅度大于 10℃时，应加强保温覆盖，并适当延长拆模时间。

5.1.6 粉煤灰混凝土质量检验

粉煤灰混凝土施工质量的检验频率和允许误差应符合表 5.1.6 的规定。并应预留 90d 长龄期试件备查。

表 5.1.6 粉煤灰混凝土的施工质量的检验频率和允许误差

检验项目	坍落度或工作度	抗压或弯拉强度	含气量	凝结时间	现场气温
检验频率	每班不少于 2 次	每班 2~4 组	每班不少于 2 次	冷热天每班不少于 1 次	冷热天每班不少于 1 次
允许误差	±7.5mm	±15%	±0.5%	±20℃	±2℃

说明

5. 1. 1 性能指标

本指南规定采用的粉煤灰是其氧化钙含量小于 8%，游离氧化钙含量不大于 1%，以氧化硅和氧化铝为主要活性成分，不具备自硬化特性的低钙粉煤灰，符合表 5. 1. 1 规定的电收尘 3~4 级电场的原状干排粉煤灰、磨细粉煤灰以及粉煤灰为主要成分与其他掺合料和外加剂复合制成的复合粉煤灰矿粉。

结构混凝土中掺用高质量粉煤灰等掺合料及适宜外加剂的“双掺”技术，是制作现代高性能混凝土的重要手段之一。在结构混凝土中单纯使用水泥，不掺用粉煤灰等掺合料时，则不具有高性能混凝土的品质，其主要原因是单纯水泥水化硬化后，水泥的水化反应生成物有水化硅酸钙、水化铝(铁)酸钙、氢氧化钙和水化硫铝酸钙等，其中的氢氧化钙和水化铝酸钙是导致水泥混凝土耐久性差的根源，特别是氢氧化钙大片状结晶，在有(压)水渗透的条件下，首先被软水溶出，造成软水侵蚀，同时导致混凝土的孔隙率增大，抗渗性、耐水性及抗氯盐渗透性变差，更容易发生冰冻、盐冻、碱集料反应和钢筋锈蚀等破坏；当同时发生硫酸盐侵蚀时，硫酸根将与氢氧化钙和水化铝酸钙一起，在硬化混凝土中，生成高硫型水化硫铝酸钙，这就是俗称的“水泥杆菌”。如果要使混凝土配制成将耐久性视为重要基本特征的高性能混凝土，在其水泥水化产物中，就必须设法减少或消除氢氧化钙这种有损强度、耐久性的大结晶体。粉煤灰等活性掺合料具有与水泥水化生成的氢氧化钙反应的特性，活性掺合料与氢氧化钙发生的反应比水泥水化滞后，称作“二次反应”，粉煤灰等活性掺合料的主要成分是氧化硅和氧化铝，二次反应的生成物依然是水化硅酸钙和水化铝酸钙凝胶体，水化硅酸钙和水化铝酸钙是水泥石中提供强度的主要矿物来源。这就不仅使耐久性改善，而又使混凝土强度提高。由于二次反应造成了掺粉煤灰的水泥混凝土凝结较慢，缓凝 0.5~1h，水化热低，更适用于大体积混凝土；早期强度略偏低，不利于预应力混凝土的张拉和放张，在保湿养生良好的条件下，后期强度增长率大，长龄期强度高，强度提高后，抗渗性、抗磨性等耐久性就好。由于减少了氢氧化钙晶体，水泥石中的细观裂纹尖端少，干缩变形小，不仅使粉煤灰水泥混凝土的抗(微)裂性提高，而又使掺粉煤灰的公路工程混凝土结构抗冲击、耐疲劳荷载特性得以改善。

高品质粉煤灰的形态多数是空心微珠玻璃球，由于“微珠”效应，使掺用粉煤灰的水泥混凝土施工所需要的流变性、粘聚性、饰面性等工作性良好，易于泵送、修饰，平整度高，结构外形缺陷少，更美观，更平整，且更密实，有利于提高防水抗渗性。其次，优质粉煤灰的“微珠”效应同时使硬化混凝土的干缩变形减小，抗裂性能提高。

配制水泥混凝土和砂浆时，作掺合料的粉煤灰质量分三级，其质量应满足表 5. 1. 1 的规定，其中数据摘自《高强高性能混凝土用矿物外加剂》(GB / T18736)中(磨细)粉煤灰的规定。试验研究表明，掺粉煤灰混凝土的性能与所用的粉煤灰品质和等级有直接关系，例如，I 级粉煤灰是减小干缩的，但烧失量(合碳量)很高的 III 级粉煤灰反而是增大干缩的，由于细度偏大和含碳量过高，III 级粉煤灰的活性和后期强度均不高。而又由于 III 级灰需水量大，坍落度损失较快，不利于降低水灰比，提高强度；不利于泵送施工工艺；同时，也不利于防水性、抗渗性、抗冻性、耐磨性等耐久性。所以，规定公路工程中重要的混凝土结构物应优先使用 I 级粉煤灰，可使用 II 级灰，除非经过论证，不得使用 III 级粉煤灰。C20 以下低强度公路工程贫混凝土其他结构，允许使用 III 级粉煤灰，如粉煤灰水泥稳定粒料基层可使用湿排灰，含水量不宜超过 30%，如 %粉煤灰通过 0.30mm 筛。

《高强高性能混凝土用矿物外加剂》(GB / T 18736)中规定磨细粉煤灰的细度是采用激光粒度分析仪测定的,工程实际中经常没有此仪器,作为过渡,可采用 45 μm 的气流筛作为过渡标准。连气流筛也没有的工地,可采用 80 μm 的水泥方孔筛,作为初步评价。粉煤灰最终确定等级或三种方法有争议时,应以表 5.1.1 中确定的比表面积和检验方法为准。

表 5.1.1 的规定与《粉煤灰混凝土应用技术规范》(GBJ 146)相比,增加了混合砂浆 28d 活性指数和氯离子含量,这样就弥补了我国对粉煤灰化学成分一直没有规定的缺陷,利用粉煤灰活性来提高长期强度,必须了解混合砂浆 28d 活性指数。氯离子含量是为了防止钢筋混凝土结构中钢筋锈蚀的规定,无钢筋和钢纤维的混凝土结构不需要此项限制。表 5.1.1 中规定的混合砂浆 28d 活性指数,适用于 C40 以上的较高抗压强度的混凝土,当配制的粉煤灰混凝土强度等级不大于 C40 时,非磨细粉煤灰 I 级可采用活性指数不小于 75%; II 级灰不小于 65%。

5.1.2 检验规则

规定粉煤灰的质量检验和验收的目的是在使用过程中确保粉煤灰品质的稳定性和一致性措施。

5.1.3 适用范围

1 按上述粉煤灰水泥混凝土的特性与品级直接有关的叙述,公路混凝土工程中掺用时,应根据粉煤灰等级,有选择地在适宜结构中掺用。首先给出 I 级灰适用于钢筋混凝土、预应力钢筋混凝土,实际上, I 级灰可以使用在公路工程中的几乎任何混凝土中; II 级灰在非预应力混凝土结构均可使用,如钢筋混凝土路面、素混凝土路面、路缘石、护栏、桥墩等 III 级灰可使用在 C20 以下的低等级混凝土、贫混凝土基层中。

2 粉煤灰可使用在公路工程需要大流动性的泵送混凝土、水中抗分离混凝土、压浆混凝土;需要较低水化热的大体积混凝土、地下工程混凝土、隧道衬砌混凝土;需要水泥(砂)浆含量较高的抗渗防水混凝土和碾压混凝土;需要抗硫酸盐、抗软水侵蚀和抑制碱集料反应混凝土等。

3~4 为了降低水胶比,粉煤灰可与本指南各类外加剂同时(复合)使用,有抗冰冻、抗盐冻要求的混凝土时,必须掺入引气剂;在低温或负温条件下施工时,应掺入早强剂或防冻剂;用于早期脱模、提前负荷的混凝土时,应掺用高效减水剂、早强剂等外加剂。外加剂掺量应以水泥加粉煤灰的胶凝材料总量为基数计算;外加剂的适应性和优选掺量应由试验确定。

5 粉煤灰不宜用于下列公路混凝土工程:

(1)掺粉煤灰的水泥混凝土早期强度偏低,因此,要求提前通车公路混凝土、钢筋混凝土结构如路面、匝道、桥涵、立交桥;要求提前张拉或放张的预应力钢筋混凝土结构使用粉煤灰时应慎重,经过试验验证。

(2)粉煤灰的二次反应必须在有水分的情况下才能进行,从而提供后期强度。长期温度和湿度条件无保障时,易干缩开裂的薄壁混凝土结构:如薄腹 T 梁、薄壁箱梁、桥涵面铺装层,薄壁桥墩(台)、露天喷射混凝土边坡防护等,规定不宜使用。

(3)低温条件(连续 5 昼夜平均气温低于 5 $^{\circ}\text{C}$;夜间最低气温低于-3 $^{\circ}\text{C}$)下,水泥水化反应很慢,粉煤灰二次水化更慢,后期强度增长缓慢且较低,除非大体积混凝土,一般混凝土结构不得使用粉煤灰。冬季负温施工时,长期温度和养生温度条件无保障、温度和湿度条件不足以保障粉煤灰持续长期水化的冻土、冰冻深度范围内及表面混凝土结构,易温缩开裂的薄壁混凝土,如混凝土路面、钢筋混凝土路面、桥梁、墩柱、桥台、板桥、护栏等,或在 7d 内达不到受冻临界强度,10d 内达不到拆模强度的一般混凝土结构均规定不宜使用。

在本指南前几稿中，此处均规定的不得使用粉煤灰，最终稿改为不宜使用，原因一是高性能混凝土应使用掺合料，才能得到其高耐久性、高抗裂性和优良的动荷载性能；二是在不利条件下可选用各种高效减水剂、较高的粉煤灰等级、较少的粉煤灰掺量，良好的保温保湿养生，将粉煤灰混凝土早期强度较低的不利影响降低到最小程度；三是粉煤灰混凝土的经济性好，环保效益突出。

5. 1. 4 粉煤灰混凝土配合比设计

1 地下和大体积混凝土结构允许利用粉煤灰混凝土后期(60d 或 90d)较高的强度。地面以上结构由于长期保湿养生条件差及结构早强、抗腐蚀、耐磨性等要求高，仍应使用 28d 龄期。

2 混凝土中掺用粉煤灰可采用等量取代法、超量取代法和外加法。一般 I 级粉煤灰才能使用等量取代法，II 级及其以下粉煤灰应采用超量取代法，粉煤灰掺量应先根据表 5. 1. 4 规定的范围初选，最终应通过试验确定。当主要为改善和易性时，可采用外加法，如泵送混凝土、水中抗分离混凝土等，这些场合粉煤灰是当做泵送剂及水中抗分离剂来使用的。

3 配合比计算方法应按附录 F. 2 进行。

5. 1. 5 粉煤灰混凝土施工

1 正确使用粉煤灰混凝土的另一关键问题，是根据不同的工程结构和粉煤灰等级，使用正确而适宜的粉煤灰掺量。优选掺量的核心是是否要求粉煤灰贡献活性和在结构设计中利用其后期强度，如果要利用粉煤灰贡献的活性和强度，按胶凝材料学关于水泥和粉煤灰胶凝体系的原理，粉煤灰的二次反应一是必须等待水泥中释放出的氢氧化钙；二是要求其贡献强度时，代替水泥的粉煤灰掺量必须与水泥最终可能释放出的氢氧化钙量有一个水化反应的最优配伍关系，绝非掺量多少都可以贡献强度的。这个水化反应的最优配伍关系通过国内外数十年研究，已经得出了公认的结论，优质粉煤灰能够完全反应的总量为硅酸盐水泥的 28%。所以，在硅酸盐水泥中，I、II 级粉煤灰替代水泥的最大掺量是 30%；普通硅酸盐水泥是 30% 减去已经掺入水泥中的掺合料数量，一般普通水泥中掺了 15% 掺合料，在混凝土中再加的掺量不应大于 15%。如果不考虑贡献强度，只要能够保证粉煤灰混凝土性能符合设计要求，防止结构不开裂，耐久性等不劣化，则掺量将不受粉煤灰全部水化反应的最优配伍关系的限制。根据上述粉煤灰水泥体系的胶凝材料学原理，规定粉煤灰在各种混凝土中取代水泥的最大限量(以质量百分比计)，应符合表 5. 1. 5 的规定。

由于掺粉煤灰能够导致混凝土的碱度降低，使保护层碳化(中性化)，钢筋较易锈蚀，因此，规定当钢筋混凝土中钢筋保护层厚度小于 50mm 时，其最大限量应比表 5. 1. 5 的规定减少 5%。在钢筋保护层厚度偏薄时，减少粉煤灰用量，以提高碱度，减缓碳化和钢筋的锈蚀速率。

2 在采用超量取代法或专门用于改善拌合物工作性时，粉煤灰的实际掺量可比表 5. 1. 5 取代水泥最大限量的规定适度放宽。粉煤灰的实际掺量与所配制的混凝土等级和所要求的其他性能有关，最大限量仅用于低强度等级的混凝土，对中、高强度等级的混凝土和同时有其他性能要求时，应满足粉煤灰全部水化反应贡献强度的最优配伍关系要求，因此，中、高强度等级混凝土实际掺量宜取最大限量的 2/3，并应通过试验或工程经验确定。这里规定了较宽的选择余地，是由于要使粉煤灰贡献强度，还与施工时气温、湿度、工艺方式、结构混凝土的保温保湿养生等条件有关。

3 对粉煤灰使用时的形态规定。公路工程混凝土结构中使用的粉煤灰应以干粉通过水泥储罐掺入混凝土，不得使用湿排灰和 / 或结块粉煤灰，只能使用符合表 5. 1. 1 规定的原状干排粉煤灰、磨细粉煤灰以及粉煤灰为主的复合矿粉。说明见《公路水泥混凝土路面施工技术规范》(JTG F30)。

4 粉煤灰混凝土拌合物必须使用强制式搅拌机搅拌，其搅拌时间比基准混凝土延长 10~30s，

以保证粉煤灰在混凝土中的分散均匀度。当环境温度较高或搅拌至浇筑间隔时间较长，应通过试验确定粉煤灰混凝土的坍落度经时损失。

5 粉煤灰混凝土浇筑与普通不掺粉煤灰的混凝土相近，相同坍落度更易于振实，但粉煤灰混凝土应严防过振，以免使较轻的粉煤灰集中在表层浮浆中，粉煤灰浮浆强度很低，极不耐磨，色泽较差。粉煤灰混凝土的泌水减少，更便于终饰抹面作业，但应在泌水结束、终凝之前进行。

6 粉煤灰混凝土结构必须加强保湿保温养生，应始终保持表面处于潮湿状态。薄壁结构潮湿养生时间应延长，不得少于 28d，干燥或炎热气候条件下暴露面潮湿养生时间不得少于 21d。

7 规定粉煤灰混凝土低温和负温条件下的保温保湿养生措施。

5.1.6 粉煤灰混凝土的质量检验

为了切实保证粉煤灰混凝土的质量，规定粉煤灰混凝土的施工质量的检验频率和误差应符合表 5.1.6 的规定。并预留 90d 长龄期试件，一方面，当粉煤灰混凝土强度有问题时，便于查询；另一方面，为了确切了解其长龄期强度的增长幅度。

5.2 硅灰

5.2.1 性能指标

在公路重要的路面、桥面、桥隧结构中生产制备使用高弯拉强度、高抗压强度、高抗腐蚀性等高性能混凝土时，可使用硅灰或以硅灰为主的复合矿粉。硅灰及其复合硅灰制剂的质量指标应符合表 5.2.1 的规定。

表 5.2.1 硅灰的质量指标*

物理性能		化学性能			混合砂浆性能	
比表面积 (m ² /kg)	含水率 (%)	烧失量 (%)	SiO ₂ (%)	Cl ⁻ (%)	需水量比 (%)	28d 活性指数 (%)
≥15000	≤3	≤6	≥85	≤0.02	≤125	≥85

注：1. 硅灰的比表面积按 BET 氮吸附法测定。

2. 活性指数和需水量比试验方法按附录 Q 进行。

3. 烧失量、SiO₂和含水率按《水泥化学分析方法》(GB/T176)进行。

4. Cl⁻按《水泥原料中氯的化学分析方法》(JC/T420)进行。

5. 硅灰应测定总碱量，并于性能指标中注明测定数值，总碱量的检验方法按附录 A.1 进行。

6. 作为定性辨别参考指标：硅灰的松散密度在 20~300kg/m³之间；外观为浅灰色极细粉末，白度为 40~50。

★ 引自《高强高性能混凝土用矿物外加剂》(GB/T 18736—2002)。

5.2.2 适用范围

1 硅灰和复合硅灰制剂适用于高强、早强混凝土和对开放交通有紧迫要求的新建或修复公路混凝土结构和构件，适用于对抗(盐)冻性、抗渗性、抗海水及盐碱腐蚀、抑制碱集料反应、抗冲磨性要求很高的混凝土结构和构件，适用于低温或负温施工的混凝土结构。

2 硅灰用于热天施工、干燥条件下的高、中强度混凝土结构时，应采取有效措施控制温升、干缩和自收缩，并加强降温 and 保湿养生，避免温缩、干缩和自收缩裂缝。

5.2.3 硅灰混凝土施工

1 硅灰掺用方法应为多代水泥法和等代水泥法，掺量应根据其水化反应速度、发热量、工作

性、强度等由试验确定，一般宜为 3%~10% 的水泥用量，称量应准确，允许误差不超过 ±1%。

2 硅灰的细度极细，需水量很大，在**高强混凝土**中掺用硅灰应同时使用各类高效减水剂降低单位用水量。有抗冰冻、盐冻要求时，可掺用引气剂。当水胶比很低时，可同时掺减缩剂、膨胀剂对其自收缩进行补偿。硅灰和外加剂的最佳掺量应通过试验确定。

3 硅灰混凝土应在满足增强效果的同时，满足施工操作时段内的工作性要求，宜复配保塑剂或缓凝剂进行坍落度损失控制。

4 硅灰混凝土的搅拌时间应延长 20~30s，并应定时清洗搅拌锅；运输、输送、浇筑时间应尽量缩短。

5 硅灰混凝土应适当延长振捣时间，缩小振捣间距，振捣密实后，应立即进行表面修整和抹面。硅灰混凝土施工每道工序操作和间隔时间应尽量缩短，总施工时间不应超过 1.5h。

6 硅灰混凝土抹面修整后，表面出现变干即应喷雾养生，并应加强散热和保湿。宜采用水管喷淋、蓄水、浇水养生或覆盖保湿膜、土工毡、麻袋、草袋洒水保湿及散热养生方式。硅灰混凝土的最短养生时间不应少于 7d。

说明

5.2.1 性能指标

表 5.2.1 技术指标按照《**高强高性能混凝土用矿物外加剂**》(GB/T 18736)编写。以硅灰为主要成分的复合硅灰制剂的性能亦应满足表 5.2.1 指标规定。

硅灰是在硅铁合金厂的烟道中反吹风冷凝收集得来的细度极大的灰白色超轻粉末，硅灰的平均粒径是水泥的百分之一，容重很小，单位质量的体积很大，又活性氧化硅含量很高，是目前已知掺合料中活性最高的掺合料。可以迅速地与水泥水化释放出的氢氧化钙反应生成水化硅酸钙，因此，是目前配制**高强与超高强高性能混凝土**不可缺少的掺合料，同时，由于其细度极细，比容很大，需水量很高，必须与高效减水剂或超塑化剂共同掺用，在一般施工气温和工艺条件下均要求保塑和减少坍落度损失，应使用保塑高效减水剂或缓凝高效减水剂。

目前硅灰在混凝土中的应用要特别注意两个问题：首先，掺硅灰**高强和超高强高性能混凝土**和其他**高强高性能混凝土**一样，由于水胶比很小，总胶凝材料用量高，水化热高，要控制温升，防止温差裂缝；其次，硅灰的自干性会使自生体积收缩量增大，自生体积收缩量已经达到与干缩量相同，板易出现干缩和自收缩施工裂缝。必须注重降温保湿养生。在使用中宜与粉煤灰或磨细矿粉共用，掺加减缩剂或复配膨胀剂，补偿其自生收缩。国内外均有这方面的研究成果和成功的工程应用实例。

5.2.2 适用范围

1 由于硅灰具有超细度、超高活性，硅灰混凝土强度发展迅速，且具备相当高的强度，因此，硅灰适用于**高强、早强混凝土**和对开放交通有紧迫要求的新建或修复公路混凝土结构和构件；硅灰与二氧化硅的快速反应特性、高密实度和高耐久性适用于对抗(盐)冻性、抗渗性、抗海水和盐碱腐蚀、抑制碱集料反应和抗冲磨性要求很高的公路混凝土结构和构件；适用于冬季低温和负温施工要求高早强混凝土结构。

2 硅灰用于热天施工、干燥条件**高强混凝土**或大体积**中强混凝土**结构时，可采取下述控制温升、干缩和自收缩开裂的有效措施：

(1)施工时都应进行水化温升监控，以避免温度裂缝。

(2)中、低强度大体积混凝土中，为降低水泥用量，可降低绝热温升可使用多代水泥法，1kg

硅灰取代 3~5kg 水泥，与增加水泥用量相比，达到同强度要求，硅灰多代水泥的混凝土水化热会降低。

(3) 通过早期喷雾、及时洒水、保湿覆盖等强化养生措施，解决硅灰高强高性能混凝土的自收缩与干缩偏大的问题。实践证明可以做到不裂。

(4) 干旱地区应特别注重保湿养生，避免混凝土结构表面干燥发白，防止开裂。

5.2.3 硅灰混凝土施工

1 用于公路工程的硅灰可等量取代或多代替水泥。在配制高强高性能混凝土时，宜与粉煤灰、磨细矿渣粉共掺，同时需适当加大高效减水剂、保塑剂或缓凝剂的用量。

2 高强高性能混凝土掺用硅灰应同时掺用高效减水剂或增大其掺量，可在规定工作性条件下减低单位用水量；有抗冰冻、盐冻要求时可掺用引气剂，其含气量要求可适当减小。由于掺用硅灰、高效减水剂，并大幅度降低用水量，会导致较大的自干燥收缩，在配合比设计时应考虑补偿措施。例如掺减缩剂、膨胀剂等。国内已有多项工程实例说明这些措施的可行性。

3 掺用硅灰的高强高性能混凝土如发现坍落度损失较大、较快时，应更换外加剂，例如氨基磺酸盐、聚羧酸盐类外加剂对掺硅灰混凝土坍落度损失要小于萘磺酸系列的。当只有萘磺酸盐外加剂时，可考虑复合缓凝剂和保塑剂改善坍落度损失。

4 硅灰的细度大，搅拌均匀须适当延长时间 20~30s，并应及时清洗搅拌锅，防止其在锅内粘附并快速硬化；运输、输送、浇筑时间应尽量缩短，减小坍落度损失对结构密实度带来的不利影响。

5 硅灰混凝土较粘稠，达到相同密实度的振捣时间应适当延长，并缩小振捣间距。硅灰混凝土施工每道工序操作和间隔时间应尽量缩短，总施工时间超过 1.5h 将无法振捣密实。

6 掺硅灰混凝土由于水胶比小，发热量大、需水量大，又具有自干性，表面泌水少，容易出现初凝前的塑性收缩引起的早期裂缝，故必须十分重视终凝前的保湿养生。美国 ACI 夏季施工委员会关于混凝土表面水分蒸发速度 0.5~1.0kg/m²时就需喷雾养生的规定可供参考。在终凝后即可覆盖保湿膜、湿麻袋、湿草袋等或蓄水、喷淋浇水养生，最少至 7d。这是保证强度、耐久性和满足防裂的要求。

5.3 磨细矿渣

5.3.1 性能指标

在公路工程强度等级小于 C50 的混凝土、钢筋混凝土、预应力混凝土结构中，可使用符合表 5.3.1-1 规定的磨细(铁)粒化高炉矿渣(简称矿渣)或以矿渣为主要成分的复合矿粉。

表 5.3.1-1 普通混凝土用磨细矿渣的分级和质量指标*

指标等级	混合砂浆活性指数		流动度比 (%)	密度 (g/cm ³)	比表面积 (m ² /kg)	含水率 (%)	SO ₃ (%)	烧失量② (%)	Cl ⁻ ② (%)
	7d	28d							
S105	95	105	85	2.8	350	1.0	4.0	3.0	0.02
S95	75	95	90						
S75	55①	75	95						

注：密度检测方法按 GB/T208 进行；流动度比的检测方法按 GB/T 18046 进行；其他各指标的检测方法同表 5.3.1-2 注。

★引自《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》(GB/T 18046—2000)。

可根据用户要求协商提高。

选择性检验指标，当用户有要求时，供货方应提供矿渣粉的氯离子和烧失量数据。

在公路工程混凝土、钢筋混凝土、预应力混凝土结构中，当混凝土强度等级大于等于 C50 时，可使用符合表 5.3.1-2 规定的磨细矿渣或以矿渣为主要成分的复合矿粉。

表 5.3.1-2 高强高性能混凝土用磨细矿渣的分级和质量指标*

指标等级	需水量比 (%)	混合砂浆活性指数			比表面积 (m ² /kg)	含水率 (%)	烧失量 (%)	MgO (%)	Cl ⁻ (%)	SO ₃ (%)
		3d	7d	28d						
I	≤105	≥85	≥100	≥115	≥750	≤1.0	≤3.0	≤14.0	≤0.02	≤4.0
II	≤100	≥70	≥85	≥105	≥550					
III	—	≥55	≥75	≥100	≥350					

注：1. 磨细矿渣的活性指数与需水量比检测方法应符合附录 Q 的规定。

2. 比表面积采用激光粒度分析仪测定其粒度分布，并按仪器说明书给定的方法计算比表面积。

3. 烧失量、MgO、含水率、三氧化硫含量的检测方法均按《水泥化学分析方法》(GB/T 176)进行。

4. Cl⁻按《水泥原料中氯的化学分析方法》(JC/T 420)进行。

5. 各级磨细矿渣均应测定总碱量，并于性能指标中注明测定数值，总碱量检测方法按附录 A.1 进行。

★引自《高强高性能混凝土用矿物外加剂》(GB/T 18736—2002)。

5.3.2 适用范围

磨细矿渣及其复合矿粉适用于下列场合：

1 用于配制高强、高性能混凝土及大体积混凝土，以降低水泥用量，减少水化热温升，提高其抗裂性。

2 用于海水、酸雨、盐、碱等环境中的混凝土结构，提高抗海水、酸雨、氯离子、硫酸盐等化学侵蚀性。

3 用于仅有较高碱度水泥情况下需要抑制碱集料反应的混凝土结构。

4 用于水泥用量偏少，施工要求增大流动性、可泵性，又缺乏粉煤灰时。

5 可用于硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥和高抗硫酸盐水泥配制的混凝土中，不得用于矿渣水泥混凝土中，不宜用于粉煤灰水泥、火山灰水泥和复合水泥配制的混凝土中。

5.3.3 矿渣混凝土的施工

1 磨细矿渣替代水泥量占水泥加磨细矿渣总量的百分数称为置换率，在结构混凝土中的最大置换率不应超过 60%；当仅用于改善和易性时，最大置换率不应超过 70%，实际使用的置换率应通过试验确定。

2 在搅拌磨细矿渣混凝土时，应将其与水泥分别储存在各自罐仓中，分别称量，称量误差为 ±1%，拌和时间宜延长 10~30s。

3 施工时，矿渣混凝土的施工气温不应低于 10℃，覆盖保湿养生时间不得少于 21d，并应避免早期干燥和低温寒潮袭击。硬化过程中，应防止海水、硫酸盐介质等的侵蚀。

说明

5.3.1 性能指标

此节磨细粒化高炉矿渣或以矿渣为主要成分的复合矿渣粉技术指标及附录按照《高强高性能混凝土用矿物外加剂》(GB/T 18736)编写。该标准中不仅包括磨细矿渣,还包括磨细粉煤灰、硅灰及磨细天然沸石粉。由于磨细天然沸石粉在公路工程中使用得很少,缺乏使用经验,按照指南技术成熟性的要求,未编入。

从炼铁高炉生产的矿渣,称铁矿渣,从炼钢高炉中排出的矿渣,称钢渣,钢渣与铁渣矿物成分和性能有差别,所以,国内有矿渣水泥和钢渣水泥两个品种,无论铁渣、钢渣,都必须在水中急冷,使其矿物处于无定形的玻璃态时,才具有水化活性,准确称为磨细粒化高炉铁矿渣。本指南磨细矿渣不包括钢渣,特指磨细粒化高炉铁矿渣。

5.3.2 适用范围

磨细矿渣的矿物成分与水泥较接近,在有足够碱度条件下自身与水能够产生水化反应而提供强度,属于具有自水硬化性能的活性掺合料。因此,在我国矿渣水泥中矿渣最大掺量和磨细矿渣的最高置换率高达70%。矿渣的矿物成分与水泥熟料相比,钙含量偏低,生成水化硅酸钙和水化铝酸钙时,由于其缺钙,需要由水泥水化提供氢氧化钙补给,因此,掺矿渣或矿渣水泥的混凝土具有比硅酸盐水泥和普通水泥更高的抗海水、酸雨等化学及电化学腐蚀耐久性;另外,掺矿渣的混凝土水化反应速度略慢一些,在低温条件,对早强要求高的快通及要求快速张拉和放张的预应力混凝土结构和构件中使用,应通过试验,选用比表面积较大,满足强度的磨细矿渣使用。但掺矿渣后,混凝土水化热较低,有利于控制大体积混凝土温升。

根据矿渣的上述特性,磨细矿渣及其复合矿粉适用于有下列要求的场合:

- 1 用于配制高强、高性能混凝土及大体积混凝土,以降低水泥用量,减少水化热温升,提高其抗裂性;
- 2 用于有提高抗海水、酸雨、氯离子、硫酸盐等化学侵蚀性要求的混凝土结构;
- 3 在混凝土中掺用矿渣后,矿渣与碱矿物发生了水化反应,混凝土的碱度将有所降低,在只有高碱度水泥情况下,可用于抑制碱集料反应的混凝土结构;
- 4 在水泥用量偏少,但要求离析小、流动性大的泵送混凝土,又缺乏粉煤灰的条件下,可用磨细矿渣来代替粉煤灰提供较大流动性。磨细矿渣或矿粉颗粒级配与性能要优于矿渣和矿渣水泥。
- 5 磨细矿渣不得用于矿渣水泥配制的混凝土,这样几乎没有水泥熟料提供生成水化产物的氧化钙。磨细矿渣不宜用于粉煤灰水泥、火山灰水泥、复合水泥配制的混凝土中,由于在这些水泥中,掺合料已经掺到足量,再掺用的矿渣将没有水化反应的氧化钙条件,提供不出强度。但是不同种类的掺合料有超叠加作用,当磨细矿渣掺量不大时,并非绝对不允许,此时应按实测结果达到工程的技术要求来使用。

5.3.3 矿渣混凝土的施工

1 磨细矿渣可部分替代水泥(熟料),替代部分的量占水泥加磨细矿渣总量百分数称为置换率。因为在混凝土中掺用矿渣远不及在水泥磨细时,共同粉磨的矿渣均匀性好,所以,在结构混凝土中使用的最大置换率不应超过60%,只用于改善和易性时,最大置换率不应超过70%,最大置换率与市场销售的矿渣硅酸盐水泥相同。实际使用的置换率应通过试验确定。

- 2 磨细矿渣的使用、称量及拌和等与粉煤灰掺合料相同。

3 施工时，矿渣混凝土的施工气温不应低于 10℃，覆盖保湿养生时间不得少于 21d，并应避免早期干燥和低温寒潮袭击，这是防裂要求。硬化过程中，不应受海水、硫酸盐介质等侵蚀。虽然硬化后的矿渣混凝土抗侵蚀性优于不掺的，但在硬化过程中遭受侵蚀也将加速破坏，因此要求防止。

5.4 膨胀剂

5.4.1 主要品种

硫铝酸钙类：明矾石膨胀剂、硫铝酸钙膨胀剂、硫酸钙(石膏)膨胀剂及铝酸钙膨胀剂，其与水泥和水拌和，经水化反应生成钙矾石膨胀组分。

5.4.2 性能指标

1 膨胀剂的性能：膨胀剂及其混凝土性能指标应符合表 5.4.2-1 的规定。氧化镁、含水率、总碱量的试验方法应按《水泥化学分析方法》(GB/T 176)进行；氯离子含量检测方法应按《水泥原料中氯的化学分析方法》(JC/T 420)进行。细度及混凝土凝结时间、抗压强度、弯拉强度试验方法应按《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》(JTG E30—2005)进行。

表 5.4.2-1 膨胀剂及其混凝土的性能指标*

项 目			指标值	
化学成分	氧化镁(%)		≤5.0	
	含水率(%)		≤3.0	
	总碱量(%)		≤0.75	
	氯离子(%)		≤0.05	
物理力学性能	细度*	比表面积(m ² /kg)	≥250	
		0.08mm 筛筛余(%)	≤10	
		1.25mm 筛筛余(%)	≤0.5	
	凝结时间	初凝(min)		≥45
		终凝(h)		≤10
	限制膨胀率(%)	水中	7d	≥0.025
			28d	≤0.1
		空气中	28d	≥-0.020
	抗压强度(MPa)	7d		≥25.0
		28d		≥45.0
弯拉强度(MPa)	7d		≥4.5	
	28d		≥6.5	

注：细度用比表面积和 1.25mm 筛筛余或 0.08mm 筛筛余表示，仲裁检验采用比表面积和 1.25mm 筛筛余。

★引自《混凝土膨胀剂》(JC 476—2001)。

2 补偿收缩混凝土的性能应符合表 5.4.2-2 的规定，限制膨胀率与限制干缩率的检验方法应按附录 R.1 进行；抗压强度的检验方法应按《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》(JTG E30-2005)进行。

表 5.4.2-2 补偿收缩混凝土的性能

项 目	限制膨胀率($\times 10^{-4}$)	限制干缩率($\times 10^{-4}$)	抗压强度(MPa)
龄 期	水中 14d	水中 14d、空气中 28d	28d
性能指标	≥ 1.5	≤ 3.0	≥ 25

3 填充膨胀混凝土的性能应符合表 5.4.2-3 规定,其限制膨胀率和限制干缩率的检验方法,应按附录 R.2 进行;抗压强度的试件成型后第 3d 拆模,抗压强度试验方法应按《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》(JTG E30-2005)进行。

表 5.4.2-3 填充膨胀混凝土的性能

项 目	限制膨胀率($\times 10^{-4}$)	限制干缩率($\times 10^{-4}$)	抗压强度(MPa)
龄 期	水中 14d	水中 14d、空气中 28d	28d
性能指标	≥ 2.5	≤ 3.0	≥ 30

4 灌浆用膨胀砂浆的性能应符合表 5.4.2-4 的规定,灌浆用膨胀砂浆用水量按砂浆流动度(250 \pm 10)mm 的用水量控制。抗压强度采用无振动成型,拆模、养生和强度检验应按《水泥胶砂强度检验方法》(GB/T 17671)进行。竖向膨胀率的测定方法应按附录 R.2 进行。

表 5.4.2-4 灌浆用膨胀砂浆的性能

流动度 (mm)	竖向膨胀率($\times 10^{-4}$)		抗压强度(MPa)		
	3d	7d	1d	3d	28d
≥ 250	≥ 10	≥ 20	≥ 30	≥ 40	≥ 60

5.4.3 适用范围

1 膨胀剂的适用范围应符合表 5.4.3 的规定。

表 5.4.3 膨胀剂的适用范围

用 途	适用范围
补偿收缩混凝土	地下、水中、海中、隧道等构筑物,大体积混凝土(除大坝外),钢筋混凝土路面、屋面及排水沟防水、构件补强、渗漏修补、预应力混凝土结构和构件等
填充膨胀混凝土	结构后浇缝带、隧道堵头、管线联接构筑物、管线与排水沟连接构造物、倒吸虹、钢管与隧道之间的填充等
灌浆用膨胀砂浆	机械设备底座灌浆、地脚螺栓固定、梁柱接头、构件补强、加固等
自应力混凝土	仅用于常温下使用的自应力钢筋混凝土压力涵管

2 掺膨胀剂的混凝土适用于有边界、结构或钢筋约束条件下的混凝土结构和填充性混凝土结构,不适用于可自由伸缩的混凝土结构。在结构开口、变截面和出入口部位当防裂构造钢筋不足时,应适量增加附加钢筋。

3 桥面、台背、挡土墙等露天结构后浇缝的最大间距不宜超过 50m;地下室、底板或隧道衬砌等相对封闭结构后浇缝的最大间距不宜超过 60m。后浇缝回填时间不应少于 28d。

5.4.4 施工

1 水泥和膨胀剂的要求

(1)水泥:不得使用硫铝酸盐水泥、铁铝酸盐水泥和高铝水泥。

(2) 膨胀剂：应符合《混凝土膨胀剂》(JC 476)的规定；膨胀剂运至工地或搅拌站应进行限制膨胀率检验，合格后方可入库、使用。由各类膨胀剂带入每立方米混凝土的含碱量，可参照表 5.4.4-1 给出的膨胀剂含碱量(%)乘以其膨胀剂掺量(kg/m^3)计算确定。其含碱量应符合本指南 3.0.7 条的规定。

表 5.4.4-1 各种膨胀剂的含碱量

膨胀剂品种	主要原材料	标准掺量(%)	含碱量(%)
U—I 型膨胀剂	硫铝酸盐水泥熟料、明矾石、石膏	12	1.0~1.5
U—II 型膨胀剂	硫酸铝熟料、石膏、明矾石	12	1.7~2.0
UEA—III 型膨胀剂	硅铝酸盐熟料、石膏、明矾石	12	0.5~0.75
铝酸钙膨胀剂	高铝水泥熟料、石膏、明矾石	10	0.57~0.70
CEA 复合膨胀剂	石灰系熟料、明矾石、石膏	10	0.4~0.7
明矾石膨胀剂	石膏、明矾石	10	2.55~3.0
UEA—H(ZY) 膨胀剂	铝酸钙—硫铝酸钙、熟料、石膏	8	0.3~0.5

2 掺膨胀剂混凝土的配合比设计

(1) 应符合《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ/T 55)的相关规定及表 5.4.2-2、表 5.4.2-3 中限制膨胀率和限制于缩率的规定。

(2) 水泥强度等级不应低于 32.5 级，最小水泥用量和常用掺量应符合表 5.4.4-2 的规定。

表 5.4.4-2 膨胀混凝土(砂浆)的最小水泥用量和常用掺量

膨胀混凝土(砂浆)种类	最小水泥用量(kg/m^3)	常用掺量范围(%)
补偿收缩混凝土	300	7~12
补偿收缩砂浆	550	7~12
填充膨胀混凝土	350	10~15
灌浆用膨胀砂浆	550	10~15
自应力混凝土	500	15~25

注：1. 膨胀剂常用掺量范围与膨胀剂品种有关，本掺量仅指硫铝酸钙类膨胀剂，氧化钙类膨胀剂掺量一般仅为 3%~5%。

2. 用于抗渗的补偿收缩混凝土最小水泥用量不宜小于 $320\text{kg}/\text{m}^3$ ；掺粉煤灰时最小水泥用量不宜小于 $280\text{kg}/\text{m}^3$ 。

(3) 水胶比不宜大于 0.50。

(4) 膨胀剂应等量取代水泥，并按等量取代法计算掺量。膨胀剂的实用掺量通过试验优选确定。膨胀剂掺量除满足设计强度等级、抗渗等级外，必须符合表 5.4.2-2、表 5.4.2-3 中限制膨胀率和干缩率的规定。

(5) 掺膨胀剂的泵送混凝土和高性能混凝土，可掺入其他掺合料。掺合料用量的确定方法：水泥、膨胀剂和掺合料作为胶凝材料总量，以此总量按等量取代法或超量取代法计算其他掺合料掺量。膨胀混凝土中掺合料掺量应酌减，并通过试验确定。

(6) 膨胀剂可与外加剂复合使用，但必须具备良好的适应性，并不得使用氯盐类外加剂。膨胀剂与防冻剂复合使用时宜慎重。膨胀混凝土使用的外加剂品种和掺量应通过试验优选确定。

3 膨胀混凝土拌和

(1) 搅拌机械和要求应满足 3.0.8 规定, 膨胀剂应以粉状拌和使用, 拌和时间比普通混凝土应延长 20~30s。

(2) 掺膨胀剂的混凝土坍落度损失略快, 必要时可采用适应的缓凝型或保塑型外加剂进行调整。

4 膨胀混凝土浇筑

(1) 在计划浇筑段内应连续浇筑, 不得中断。

(2) 浇筑应阶梯式推进, 浇筑间隔时间不得超过混凝土的初凝时间。

(3) 振捣应密实, 不得漏振、欠振或过振。

(4) 为防止沉缩裂缝和新老混凝土结合开裂, 终凝前, 应采用机械或人工多次抹压表面。

5 膨胀混凝土的养生

(1) 对于大体积混凝土和大面积混凝土, 宜采用有效的保湿措施, 养生时间不应少于 14d。

(2) 对于挡土墙、薄壁桥墩、箱梁、T 梁等不易保湿养生的结构, 宜从顶部安装水管喷淋, 拆模时间不应早于 10d, 拆模后宜喷洒养生剂或包裹保湿膜或塑料薄膜, 养生天数应根据膨胀混凝土达到设计强度的 80% 确定。

(3) 低温施工, 应采用塑料薄膜和保温材料覆盖保温保湿养生, 养生期最短不应少于 14d。对于挡土墙、薄壁桥墩、桥台等带模养生期最短不应少于 21d。负温施工时的养生, 应符合 4.6.5 条第 7 款的规定。

6 灌浆用膨胀砂浆施工应符合下述规定:

(1) 灌浆用膨胀砂浆的水料(胶凝材料 4 砂)比应为 0.14~0.16, 拌和时间不宜少于 3min。

(2) 灌浆用膨胀砂浆可使用人工或机械填充方式, 浇筑时可用竹条或钢筋往复拉动疏导, 不得使用机械振捣, 必须从一侧灌浆, 另一侧应预留排气孔或抽真空。

(3) 膨胀砂浆宜使用覆盖洒水养生, 养生期不应少于 7d。养生期间, 当最低气温低于 5°C 时, 应采取保湿及保温覆盖养生措施。

5.4.5 膨胀混凝土质量检验

1 掺膨胀剂的混凝土应以实测抗压强度、限制膨胀率和限制干缩率为质量检验指标。有抗渗性和抗冻性要求时, 还应做抗渗性和抗冻性检验。检验批量按满足膨胀混凝土质量控制要求确定, 一般检验批量 20m³ 混凝土为一批。

2 限制膨胀率和限制干缩率试验方法应按附录 R.1 进行, 抗压强度、抗渗性和抗冻性试验方法应按《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》(JTG E30-2005) 的规定进行。

3 膨胀剂的称量允许误差为±1%, 膨胀混凝土其他原材料称量精度应符合表 3.0.5 的规定。

说明

5.4.1 主要品种

列举公路混凝土工程可采用的膨胀剂品种和主要化学成分。此外, 氧化钙、氧化镁及铝酸钙也可用作膨胀剂, 但使用较少, 且出现的问题较多, 如氧化钙类膨胀剂在海水和硫酸盐侵蚀环境中会产生后期钙矾石酥化混凝土的可能。按专家意见, 本指南在公路工程中, 仅允许使用硫铝酸钙类膨胀剂。

本指南将膨胀剂归为掺合料大类中, 理由见 2.4 说明。

5.4.2 性能指标

表 5.4.2-1 摘引自《混凝土膨胀剂》(JC 476—2001)。表 5.4.2-1 至表 5.4.2-4 规定与国标

《混凝土外加剂应用技术规范》(GB 50119—2003)中表 8.3.1 和表 8.3.2 相同。

我国使用的膨胀剂大多是属于钙矾石系列膨胀剂,包括 UEA、明矾石、铝酸盐膨胀剂等。这类膨胀剂的膨胀组分是钙矾石,能够减小混凝土孔隙率,改善孔分布,使混凝土获得较好的致密性,从而提高抗渗性和强度。在结构变形受限制条件下,膨胀剂能够产生 0.2~0.7MPa 的预压自应力,推迟和减少了各种收缩裂缝的产生。

加膨胀剂混凝土的含气量稍有增加,泌水率降低 10%~70%,因此,膨胀剂混凝土的密实度高,抗渗性可提高 2~4 倍,抗冻性可大于 150 次冻融循环。

明矾石膨胀剂的含碱量较高,达到相同膨胀量的掺量最高,膨胀发展缓慢,坍落度损失较小,水化热低,有利于在大体积混凝土中使用。铝酸盐膨胀剂的含碱量较低,水化热低,膨胀能量大,膨胀快而稳定,收缩落差小,有利于使用在大体积混凝土中。UEA 膨胀剂的水化需水量较高,凝结时间缩短 45~60min,收缩大,坍落度损失快,水化热较高,适用于一般结构后浇带等,不宜用于大体积混凝土。

5.4.3 适用范围

1 膨胀剂的适用范围表 5.4.3 的规定,取决于膨胀剂的上述特性。

2 必须明确,无约束自由膨胀的混凝土,即使加膨胀剂也不可能提高抗裂性,并且强度比不掺的要低 10%左右。在受变形限制时,强度反而可提高 10%~30%。这是使用好膨胀剂的关键环节,如果结构上没有变形约束或限制条件,或约束很弱,加膨胀剂反而不如不加,不仅照样开裂,而又强度和等级受到不良影响,使用膨胀剂出问题往往根源于此。应谨慎对待。特别是在结构开口、变截面和出入口部位,当所配的构造钢筋数量不足以防止开裂时,应适量增加附加钢筋。

掺膨胀剂变形受约束的补偿收缩混凝土有防渗抗裂作用,最有利于结构自防水。

3 填充性膨胀混凝土主要用于后浇带、回填槽等处,可减少新老混凝土间的开裂并延长混凝土结构伸缩缝的间距。本指南同时给出了暴露结构与封闭结构防止后浇缝开裂的最大间距和最晚回填时间两项控制数值。

5.4.4 施工

1 掺膨胀剂混凝土对原材料的规定,最重要的一条是膨胀剂不得用于硫铝酸盐水泥和铁铝酸盐水泥,这是因为膨胀剂本身就是硫铝酸盐水泥,其矿物成分一致或接近,膨胀剂只为硅酸盐类的七种水泥(硅酸盐水泥、道路水泥、普通水泥、矿渣水泥、粉煤灰水泥、火山灰水泥、复合水泥)而专门制造的。高铝水泥中氧化钙含量不足,生成不了水化硫铝酸钙,无膨胀作用;高铝水泥自身具备一定的膨胀性能;高铝水泥与膨胀剂混合后,有时会出现闪凝现象。因此,亦不得使用膨胀剂。表 5.4.4-1 是为计算膨胀剂中的含碱量用。

2 膨胀混凝土的配合比设计

(1)在公路混凝土结构中,一是所使用的水泥等级较高;二是限制膨胀率难于控制,一般不得使用超量取代水泥法,膨胀剂应等量取代水泥,等量取代时掺量(%)=膨胀剂/(水泥+膨胀剂)×100。膨胀剂掺量除满足设计强度等级、抗渗等级外,必须达到表 5.4.2-2、表 5.4.2-3 中限制膨胀率和限制干缩率的规定。

(2)膨胀剂取代水泥时,由于膨胀剂水化不释放氢氧化钙,可提供氢氧化钙的 C₃S、C₂S 等矿物减少,掺合料取代水泥量应适当减少,其掺量应通过试验确定。

(3)使用膨胀剂的公路混凝土结构,若性能要求同时使用减水剂、引气剂、缓凝剂等外加剂时,

此时适应膨胀剂的外加剂化学成分种类与硅酸盐类水泥有较大差异，并非为常规外加剂，是仅适用于硫铝酸盐水泥的特殊类型，所以规定必须具备良好的适应性，品种和掺量应试验优选。

3 膨胀剂本质上是硫铝酸盐水泥，因此必须且只能使用粉剂，粉状膨胀剂掺量大，与其他材料一起投入搅拌机，均化拌和时间比普通混凝土延长 20~30s。

4 为膨胀混凝土连续浇筑、避免冷缝和欠密实、防止开裂的浇筑、振捣、抹面措施。

5 必须加强膨胀混凝土的养生，所有生成钙矾石的膨胀剂需水量比水泥大得多，钙矾石化学名称为高硫型水化硫铝酸钙，生成它需要 32 个结晶水，是所有水泥水化产物中结晶水量最高的，因此，它具有很强的自干燥性质，养生当中，必须提供足够的水分及湿度条件，才不至于使快速生成的钙矾石夺取水泥其他水化产物所需要的化合水，从而影响水化硅酸钙、铝的生成和强度。因此规定在任何条件下的保温养生最短时间不应少于 14d。对于挡土墙、薄壁桥墩、桥台等浇水或带模养生，最短不少于 21d。

6 灌浆用膨胀砂浆施工比较特殊，但使用较多，保证其施工质量应符合本款各项规定。

5.4.5 膨胀混凝土的品质检验

这是保证膨胀混凝土质量的基本措施。一般检验批量 20m^3 混凝土为一批。由于膨胀混凝土一次使用量较少，检验频率较高，在质量得到有效控制的条件下，一批混凝土方量允许酌情增大。

附录 A 混凝土碱总量计算和外加剂碱含量测定方法

A. 1 混凝土碱总量计算方法

混凝土中的总含碱量对公路工程混凝土结构抵抗碱集料反应的耐久性有重大影响，特别是存在碱活性集料的情况下，对公路的桥梁、涵洞、隧道、路面等结构的使用年限有致命的危害。因此，为了保证结构的安全使用，必须同时对碱活性集料及混凝土中的碱含量加以严格限制。混凝土中的碱含量来源于水泥、掺合料、水、外加剂特别是早强剂和防冻剂。下面分别规定其碱含量的计算方法及在外加剂中的测定方法。*

A. 1. 1 水泥

水泥的碱含量应按 $\text{Na}_2\text{O}+0.658\text{K}_2\text{O}$ 计算值表示，并以实测平均碱含量计，每立方米混凝土水泥用量以实际用量计，水泥提供的碱可按式(A.1.1)计算：

$$A_c = W_c K_c \quad (\text{kg} / \text{m}^3) \quad (\text{A.1.1})$$

式中： A_c —水泥用量(kg / m^3)；
 K_c —水泥平均碱含量(%)。

A. 1. 2 掺合料

掺合料提供的碱可按式(A.1.2)计算：

$$A_{ma} = \beta \gamma W_c K_{ma} \quad (\text{kg} / \text{m}^3) \quad (\text{A.1.2})$$

式中： β —掺合料有效碱含量占掺合料碱含量的百分率(%)；
 γ —掺合料对水泥的重量置换率(%)；
 K_{ma} —掺合料碱含量(%)。

对于矿渣、粉煤灰和硅灰， A 值分别为 50%、15%和 50%。

A. 1. 3 集料和拌合水

如果骨料为受到海水作用的砂石和拌合水为海水，则由集料和拌合水引入混凝土中的碱可按式(A.1.3)计算：

$$A_{aw} = 0.76(W_a P_{ac} + W_w P_{wc}) \quad (\text{kg} / \text{m}^3) \quad (\text{A.1.3})$$

式中： P_{ac} —集料的氯离子含量(%)；
 P_{wc} —拌合水的氯离子含量(%)；
 W_a —集料用量(kg / m^3)；
 W_w —拌合水用量(kg / m^3)。

A. 1. 4 化学外加剂

在化学外加剂的掺量以水泥重量的百分数表示时，外加剂引入混凝土的碱可按式(A.1.4)计算：

$$A_{ca} = \alpha W_c W_a K_{ca} \quad (\text{kg} / \text{m}^3) \quad (\text{A.1.4})$$

式中： α —将钠或钾盐的重量折算成等当量 Na_2O 重量的系数；

W_a —外加剂掺量(%)；
 K_{ca} —外加剂中钠(钾)盐含量(%)。

常用钾或钠盐的折算系数按表 A.1.4 取值。

表 A.1.4 钠或钾盐的重量折算成等当量 Na_2O 重量的系数

钠、钾盐	NaNO_3	NaCl	Na_2SO_4	Na_2CO_3	NaNO_3	K_2SO_4	K_2CO_3	KCl
α	0.45	0.53	0.44	0.58	0.36	0.36	0.45	0.42

A. 1. 5 混凝土

混凝土的碱总量 A 可按下列式计算:

$$A = A_c + A_{ca} + A_{ma} + A_{aw} \quad (\text{kg} / \text{m}^3) \quad (\text{A.1.5})$$

★该方法摘自《水泥化学分析方法》(GB / T 176—1996)(ISO 680.1991, CECS 53: 93), 氧化钠、氧化钾的测定和计算摘自《硅酸盐水泥, 普通硅酸盐水泥标准》(GB 175—1999)。

A. 2 混凝土外加剂中含碱量的测定方法。(火焰光度法)

A. 2. 1 适用范围

矿物质的混凝土外加剂, 如膨胀剂等, 不在此范围之内。

A. 2. 2 方法提要

试样用约 80℃ 的热水溶解, 以氨水分离铁、铝; 以碳酸钙分离钙、镁。滤液中的碱(钾和钠), 采用相应的滤光片, 用火焰光度计进行测定。

A. 2. 3 试剂与仪器

- 1 水: 本方法所涉及的水为蒸馏水或同等纯度的水。
- 2 试剂: 本方法所涉及的化学试剂除特别注明外, 均为分析纯化学试剂。
- 3 氧化钾、氧化钠标准溶液: 精确称取已在 130~150℃ 烘过 2h 的氯化钾(光谱纯)0.792 0g 及氯化钠(光谱纯)0.943 0g, 置于烧杯中, 加水溶解后, 移入 1000mL 容量瓶中, 用水稀释至标线, 摇匀, 转移至干燥的带盖的塑料瓶中。此标准溶液每毫升相当于氧化钾及氧化钠 0.5mg。
- 4 盐酸 (1+1)。
- 5 氨水 (1+1)。
- 6 碳酸铵溶液 [10%(W/V)]。
- 7 甲基红指示剂 {[0.2%(W/V)]乙醇溶液}。
- 8 火焰光度计。

A. 2. 4 工作曲线的绘制

分别向 100mL 的容量瓶中注入 0.00mL; 1.00mL; 2.00mL ; 4.00mL; 8.00mL; 12.00mL 的氧化钾、氧化钠标准溶液(分别相当于氧化钾、氧化钠各 0.00mg; 0.50mg; 1.00mg; 2.00mg; 4.00mg; 6.00mg), 用水稀释至标线, 摇匀, 分别于火焰光度计上按仪器使用规程进行测定, 根据测得的检流计读数与溶液的浓度关系, 分别绘制氧化钾及氧化钠的工作曲线。

A. 2. 5 分析步骤

准确称取一定量的试样置于 150mL 的瓷蒸发皿中, 用 80℃ 左右的热热水润湿并稀释至 30mL, 置于电热板上加热蒸发, 保持微沸 5min 后取下, 冷却加 1 滴甲基红指示剂, {[0.2%(W/V)]乙醇溶液}, 滴加氨水(1+1), 使溶液呈黄色, 加入 10mL 碳酸铵溶液[10%(W/V)], 搅拌, 置于电热板上加热并保持微沸 10min, 用中速滤纸过滤, 以热水洗涤, 滤液及洗液盛于容量瓶中, 冷却至室温, 以盐酸(1+1)中和至溶液呈红色, 然后用水稀释至标线, 摇匀, 以火焰光度计按仪器使用规程进行测定。称样量及稀释倍数见表 A.2.5。

表 A.2.5 称样量及稀释倍数

总碱量(%)	称样量(g)	稀释体积(mL)	稀释倍数 n
1.0	0.20	100	1
1.0~1.5	0.10	250	2.5
5.0~10.0	0.05	250 或 500	2.5 或 5.0
10.0	0.05	500 或 1000	5.0 或 10.0

A. 2. 6 氧化钾与氧化钠含量计算

氧化钾百分含量(X₁)及氧化钠百分含量(X₂) 分别按式和式(A.2.6-2)计算:

$$X_1(\%) = \frac{C_1 \times n}{G \times 1000} \times 100 \quad (\text{A.2.6-1})$$

$$X_2(\%) = \frac{C_2 \times n}{G \times 1000} \times 100 \quad (\text{A.2.6-2})$$

式中： C_1 —在工作曲线上查得每 100mL 被测定液中氧化钾的含量(mg)；
 C_2 —在工作曲线上查得每 100m 被测定液中氧化钠的含量(mg)；
 n —被测溶液的稀释倍数；
 G —试样质量(g)。

A. 2. 7 含碱量

外加剂含碱量控式(A.2.7)计算：

$$\text{含碱量}(\%) = 0.658 \times X_1 + X_2 \quad (\text{A.2.7})$$

式中： X_1 —氧化钾含量(%)；
 X_2 —氧化钠含量(%)。

A. 2. 8 分析结果的允许误差范围

分析结果的允许误差范围见表 A.2.8。

表 A.2.8 分析结果的允许误差范围

含碱量(%)	室内允许误差(%)	室间允许误差(%)
1.0	0.10	0.15
1.0~5.0	0.20	0.30
5.0~10.0	0.30	0.50
10.0	0.50	0.80

A. 2. 9 含碱量的测定

含碱量的测定亦可采用原子吸收光谱法，参见《水泥化学分析方法》(GB / T 176)中 3.11.2。

★ 摘自《混凝土外加剂》(GB 8076—1997)附录 D。

附录 B 混凝土外加剂试验方法和检验规则*

B. 1 试验方法

B. 1. 1 材料

1 水泥

采用本指南附录 C 规定的基准水泥。在因故得不到基准水泥时, 允许采用 C_3A 含量 6%~8%, 总碱量($Na_2O+0.658K_2O$)不大于 1%的熟料和二水石膏、矿渣共同磨制的标号大于(含)42.5 级普通硅酸盐水泥。但仲裁仍需用基准水泥。

2 砂

符合《建筑用砂》(GB / T14684)要求的细度模数为 2.6~2.9 的中砂。

3 粗集料

符合《建筑用卵石、碎石》(GB / T 14685)规定的质地坚硬、清洁及级配良好的砾石或碎石, 粒径为 5~20mm(圆孔筛), 采用二级配, 其中 5~10mm 占 45%, 10~20mm 占 55%。如有争议, 以砾石试验结果为准。

4 水

符合《混凝土拌合用水标准》(JGJ 63)(或饮用水)要求。

5 外加剂

需要检测的外加剂。

B. 1. 2 配合比

基准混凝土配合比应按《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ/T 55)进行设计。掺非引气型外加剂混凝土和基准混凝土的水泥、砂、石的比例不变。配合比设计应符合以下规定:

1 水泥用量: 采用卵石时, $(310\pm 5)kg/m^3$; 采用碎石时, $(330\pm 5)kg/m^3$ 。

2 砂率: 基准混凝土和掺外加剂混凝土砂率均为 36%~40%, 但掺引气减水剂和引气剂等的混凝土砂率应比基准混凝土低 1%~3%。

3 外加剂掺量: 按科研单位或生产厂推荐的掺量。

4 用水量: 应使混凝土坍落度达 $(80\sim 10)mm$ 。

B. 1. 3 混凝土搅拌

采用 60L 强制式卧轴搅拌机, 全部材料及外加剂一次投入, 拌合量应不少于 15L, 不大于 45L, 搅拌 3min, 出料后在铁板上用人工翻拌 2~3 次再行试验。

各种混凝土材料及试验环境温度均应保持在 $(20\pm 3)^\circ C$ 。

B. 1. 4 试件制作及试验所需试件数量

1 试件制作: 混凝土试件制作及养护按《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》(JTG E30)中 T 0551 进行, 但混凝土预养温度为 $(20\pm 3)^\circ C$ 。

2 试验项目及所需数量详见本指南表 4. 1. 10。

B. 1. 5 混凝土拌合物

1 坍落度测量

坍落度按照《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》(JTG E30--2005)中 T 0522 规定进行试验。结果以三次试验的平均值表示, 精确到 1mm。

2 减水率测定

减水率为坍落度基本相同时基准混凝土和掺外加剂混凝土单位用水量之差与基准混凝土单位用水量之比。坍落度按《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》(JTG E30)中 T 0522 测定。减水率按式(B. 1. 5-1)计算:

$$W_R = \frac{W_0 - W_1}{W_0} \times 100 \quad (B. 1. 5-1)$$

式中: W_R —减水率(%);

W_0 —基准混凝土单位用水量(kg/m^3);

W_1 —掺外加剂混凝土单位用水量(kg/m^3)。

W_R 以三批试验的算术平均值计, 精确到小数点后一位。若三批试验的最大值或最小值中有一个与中间值之差超过中间值的 15%时, 则把最大值与最小值一并舍去, 取中间值作为该组试验的减水率。

若有两个测值与中间值之差均超过 15% 时，则该批试验结果无效，应该重做。

3 泌水率比测定

泌水率比按式 (B. 1. 5-2) 计算，精确到小数点后一位数。

$$B_R = \frac{B_t}{B_c} \times 100 \quad (\text{B. 1. 5-2})$$

式中： B_R —泌水率之比(%)；

B_t —掺外加剂混凝土泌水率(%)；

B_c —基准混凝土泌水率(%)。

(常压)泌水率的测定和计算方法如下

先用湿布润湿容积为 5L 的带盖筒(内径为 185mm，高 200mm)，将混凝土拌合物一次装入，在振动台上振动 20s，然后用抹刀轻轻抹平，加盖以防水分蒸发。试样表面应比筒口边低约 20mm。自抹面开始计算时间，在前 60min，每隔 10min 用吸液管吸出泌水一次，以后每隔 20min 吸水一次，直至连续三次无泌水为止。每次吸水前 5min，应将筒底一侧垫高约 20mm，使筒倾斜，以便于吸水。吸水后，将筒轻轻放平盖好。将每次吸出的水都注入带塞的量筒，最后计算出总的泌水量，准确至 1g，并按式 (B. 1. 5-3)、(B. 1. 5-4) 计算泌水率：

$$B = \frac{V_w}{(W/G)G_w} \times 100 \quad (\text{B. 1. 5-3})$$

$$G_w = G_T - G_0 \quad (\text{B. 1. 5-4})$$

式中： B —泌水率(%)；

V_w —泌水总质量(g)；

W —混凝土拌合物的用水量(g)；

G —混凝土拌合物的总质量(g)；

G_w —试样质量(g)；

G_t —筒及试样质量(g)；

G_0 —筒质量(g)。

试验时，每批混凝土拌合物取一个试样，泌水率取三个试样的算术平均值。若三个试样的最大值或最小值中有一个与中间值之差大于中间值的 15%，则把最大值与最小值一并舍去，取中间值作为该组试验的泌水率，如果最大与最小值与中间值之差均大于中间值的 15% 时，则应重做。

4 含气量测定

按《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》(JTG E300--2005)中 T 0526(混合式气压法)规定的含气量测定仪，并按该仪器说明进行操作。

试验时，每批混凝土拌合物取一个试样，含气量以三个试样测值的算术平均值来表示。若三个试样中的最大值或最小值中有一个与中间值之差超过 0.5% 时，将最大值与最小值一并舍去，取中间值作为该批的试验结果，如果最大值与最小值均超过 0.5%，则应重做。

5 凝结时间差测定

凝结时间差按式 (B. 1. 5-5) 计算

$$\Delta T = T_T - T_C \quad (\text{B. 1. 5-5})$$

式中： ΔT —凝结时间之差(min)；

T_T —掺外加剂混凝土的初凝或终凝时间(min)；

T_C —基准混凝土的初凝或终凝时间(min)。

凝结时间采用《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》(JTG E30--2005)中 T 0527 方法规定贯入阻力仪测定，仪器精度为 5N，凝结时间测定方法如下：

将混凝土拌合物用 5mm(圆孔筛)振动筛筛出砂浆，拌匀后装入上口内径为 160mm，下口内径为 150mm，净高 150mm 的刚性不渗水的金属圆筒，试样表面应低于筒口约 10mm，用振动台振实(约 3~5s)，置于(20±3)℃的环境中，容器加盖。一般基准混凝土在成型后 3~4h，掺早强剂的在成型后 1~3h，掺缓凝剂的在成型后 4~6h 开始测定，以后每 0.5h 或 1h 测定一次，但在临近初、终凝时，可以缩短测定间隔时间。每次测点应避开前一次测孔，其净距为试针直径的 2 倍，但至少不小于 15mm，试针与

容器边缘之距离不小于 25mm。测定初凝时间用截面积为 100mm²的试针，测定终凝时间用 20mm²的试针。贯入阻力按式(B. 1. 5-6)计算：

$$R = \frac{P}{A} \quad (\text{B. 1. 5-6})$$

式中：R—贯入阻力值(MPa)；

P—贯入深度达 25mm 时所需的净压力(N)；

A—贯入仪试针的截面积(mm²)。

根据计算结果，以贯入阻力值为纵坐标，测试时间为横坐标，绘制贯入阻力值与时间关系曲线，求出贯入阻力值达 3. 5MPa 时对应的时间作为初凝时间及阻力值达 28MPa 时对应的时间作为终凝时间。凝结时间从水泥与水接触时开始计算。

试验时，每批混凝土拌合物取一个试样，凝结时间取三个试样的平均值。若三批试验的最大值或最小值之中有一个与中间值之差超过 30min 时，则把最大值与最小值一并舍去，取中间值作为该组试验的凝结时间。若两测值与中间值之差均超过 30min 时，该组试验结果无效，则应重做。

B. 1. 6 硬化混凝土

1 抗压强度比测定

抗压强度比以掺外加剂混凝土与基准混凝土同龄期抗压强度之比表示，按式计算：

$$R_s = \frac{S_t}{S_c} \times 100 \quad (\text{B. 1. 6-1})$$

式中：R_s—抗压强度比(%)；

S_t—掺外加剂混凝土的抗压强度(MPa)；

S_c—基准混凝土的抗压强度(MPa)。

掺外加剂与基准混凝土的抗压强度按《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》(JTG E30—2005)中 T 0553 进行试验和计算。试件用振动台振动 15~20s，用插入式高频振捣器(φ 25mm, 14000 次/min)振捣时间为 8~12s。试件预养温度为(20 ± 3)℃。试验结果以三批试验测值的平均值表示，若三批试验中有一批的最大值或最小值与中间值的差值超过中间值的 15%，则把最大及最小值一并舍去，取中间值作为该批的试验结果，如有两批测值与中间值的差均超过中间值的 15%，则试验结果无效，应该重做。

2 收缩率比测定

收缩率比以龄期 28d 掺外加剂混凝土与基准混凝土比值表示，按(B. 1. 6-2)式计算：

$$R_t = \frac{\varepsilon_t}{\varepsilon_c} \times 100 \quad (\text{B. 1. 6-2})$$

式中：R_t—收缩率比(%)；

ε_t—掺外加剂的混凝土的收缩率(%)；

ε_c—基准混凝土的收缩率(%)。

掺外加剂及基准混凝土的收缩率按《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》(JTG E30—2005)中 T0566 测定和计算，试件用振动台成型，振动 15~20s，用插入式高频振捣器(φ 25mm, 14000 次/min)插捣 8~12s。每批混凝土拌合物取一个试样，以三个试样收缩率的算术平均值表示。

3 冻融循环试验

按《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》(JTG E30)中 T 0565(快冻法)规定进行，试件采用振动台成型，振动 15~20s，用插入式高频振捣器(φ 25mm, 14000 次/min)时，应距两端 120mm 各垂直插捣 8~12s。标准养护 28d 后进行冻融循环试验。

每批混凝土拌合物取一个试样，冻融循环次数以三个试件动弹性模量的算术平均值 P 表示。当 P ≤ 60% 或质量损失达 5% 时的冻融循环次数 n，即为试件冻融循环次数。

B. 1. 7 外加剂匀质性

外加剂匀质性试验按《混凝土外加剂匀质性能试验方法》(GB/T 8077)进行。外加剂含碱量按本规范附录 A 进行计算。

★ 该试验方法和检验规则摘自《混凝土外加剂》(GB 8076—1997)。

B. 2 检验规则

B. 2. 1 取样及编号

1 试样分点样和混合样。点样是在一次生产的产品所得试样，混合样是三个或更多的点样等量均匀混合而取得的试样。

2 生产厂应根据产量和生产设备条件，将产品分批编号，掺量大于1% (含1%) 同品种的外加剂每一编号为100t，掺量小于1%的外加剂每一编号为50t，不足100t或50t的也可按一个批量计，同一编号的产品必须混合均匀。

3 每一编号取样量不少于0.2t水泥所需用的外加剂量。

B. 2. 2 试样及留样

每一编号取得的试样应充分混匀，分为两等份，一份按本指南表4.1.12中规定(部分)项目进行试验。另一份要密封保存半年，以备有疑问时提交国家指定的检验机关进行复验或仲裁。

B. 2. 3 检验分类

1 出厂检验：每编号外加剂检验项目，根据其品种不同按本指南表4.1.12项目进行检验。

2 型式检验：型式检验项目包括本指南表4.1.4中匀质性及表4.1.3中新拌及硬化混凝土性能指标。有下列情况之一者，应进行型式检验：

- 1) 新产品或老产品转厂生产的试制定型鉴定；
- 2) 正式生产后，如材料、工艺有较大改变，可能影响产品性能时；
- 3) 正常生产时，一年至少进行一次检验；
- 4) 产品长期停产后，恢复生产时；
- 5) 出厂检验结果与上次型式检验有较大差异时；
- 6) 国家质量监督机构提出进行型式检验要求时。

B. 2. 4 判定规则

产品经检验，匀质性符合本指南表4.1.4的要求，各种类型的减水剂的减水率、缓凝型外加剂的凝结时间差、引气型外加剂的含气量及硬化混凝土的各项性能符合表4.1.3要求，则判定该编号外加剂相应等级的产品合格，如不符合上述要求时，则判该编号外加剂不合格。其他项目作为参考指标。

B. 2. 5 复验

复验以封存样进行。如使用单位要求现场取样，应事先在供货合同中规定，并在生产和使用单位人员在场情况下于现场取平均样，复验按照型式检验项目检验。

B. 3 包装、出厂、储存及退货

B. 3. 1 包装

粉状外加剂应采用有塑料袋衬里的编织袋，每袋重20~50kg。液体外加剂应采用塑料桶、金属桶包装或槽车运输。

所有包装的容器上均应在明显位置注明以下内容：产品名称、型号、净质量或体积(包括含量或浓度)、推荐掺量范围，毒性、腐蚀性、易燃性状况、生产厂名。生产日期及出厂编号应于产品合格证上予以说明。

B. 3. 2 产品出厂

凡有下列情况之一者，不得出厂：不合格品、技术文件不全(产品说明书、合格证、检验报告)、包装不符、质量不足、产品受潮变质，以及超过有效期限。

生产厂随货提供说明书内容应包括产品名称及型号、出厂日期、主要特性及成分、适用范围及推荐掺量、外加剂总碱量、氯离子含量、有无毒性(有毒性的应注明使用防护办法及禁忌)、易燃状况、储存条件及有效期、使用方法及注意事项。

B. 3. 3 储存

外加剂应存放在专用仓库或固定的场所妥善保管，以易于识别、便于检查和提货为原则。

B. 3. 4 退货

1 使用单位在规定的存放条件和有效期限内，经复验发现外加剂性能与本指南不符时，则应予退回或更换。

2 实际的质量、体积与规定的质量、体积(按固形物计)有2%的差异时，可以要求退货或补足。粉状的可取50包，液体的可取30桶(其他包装形式由双方协商)，称量取平均值计算。

3 凡无出厂或出厂技术文件不全，以及发现实物质量与出厂技术文件不符合，可退货。

附录 C 外加剂性能检验用基准水泥技术条件*

基准水泥是统一检验混凝土外加剂性能的材料，是由符合下列品质指标的硅酸盐水泥熟料与二水石膏共同粉磨而成的标号大于(含)525号的硅酸盐水泥。基准水泥必须由经中国水泥质量监督中心确认具备生产条件的工厂供给。

C. 1 品质指标

除满足 42.5 级硅酸盐水泥技术要求以外，尚应符合下列规定：

- C. 1. 1 铝酸三钙(C₃A)含量 6%~8%。
- C. 1. 2 硅酸三钙(C₃S)含量 50%~55%。
- C. 1. 3 游离氧化钙(f-CaO)含量不得超过 1.2%。
- C. 1. 4 碱(Na₂O+0.658K₂O)含量不得超过 10%。
- C. 1. 5 水泥比表面积(320±20)m²/kg。

C. 2 试验方法

C. 2. 1 游离氧化钙、氧化钾和氧化钠的测定，按《水泥化学分析方法》(GB/T 176)进行。

C. 2. 2 水泥比表面积的测定，按《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》(JTG E30)中 T 0504 进行。

C. 2. 3 铝酸三钙和硅酸三钙含量由熟料中氧化钙、二氧化硅、三氧化二铝和三氧化二铁含量，按下式计算：

$$C_3S=3.80 \cdot SiO_2(3KH-2) \quad (C. 2. 3-1)$$

$$C_3A=2.65 \cdot (Al_2O_3-0.64 \cdot Fe_2O_3) \quad (C. 2. 3-2)$$

$$KH = \frac{CaO - f-CaO - 1.65 \cdot Al_2O_3 - 0.35 \cdot Fe_2O_3}{2.80 \cdot SiO_2} \quad (C. 2. 3-3)$$

式中：C₃S、C₃A、SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃和 f-CaO 分别表示该成分在熟料中所占的质量百分数，KH 表示石灰保护系数。

C. 3 验收规则

C. 3. 1 基准水泥出厂一吨为一编号，每一编号应取三个有代表性的样品，分别测定比表面，测定结果均须符合规定。

C. 3. 2 凡不符合本技术条件 C. 1 中任何一项规定时，均不得出厂。

C. 4 包装及储运

包装袋应结实牢固和密封良好，采用金属桶装或加有塑料袋的纸袋包装。每袋净重 50kg。袋中须有合格证，生产日期、编号。有效储存期为半年。

★ 附录 C 摘引自《混凝土外加剂》(GB 8076—1997)附录 A。

附录 D 外加剂对水泥的适应性检验方法*

D. 1 使用范围

本检验方法适用于检测各类混凝土减水剂及与减水剂复合的各种外加剂对水泥的适应性，也可用于检验矿物掺合料的适应性。

D. 2 仪器设备

- D. 2. 1 水泥净浆搅拌机：符合 GB 3350.8 的要求。
- D. 2. 2 截锥形圆模：上口内径 36mm，下口内径 60mm，内壁光滑无接缝。
- D. 2. 3 玻璃板：400mm×400mm×5mm。
- D. 2. 4 刚直尺：300mm。
- D. 2. 5 刮刀。
- D. 2. 6 秒表，时钟。
- D. 2. 7 药物天平：称量 100g；分度值 1g。
- D. 2. 8 电子天平：称量 50g；分度值 0.05g。

D. 3 试验步骤

- D. 3. 1 将玻璃板放置在水平位置，用湿布将玻璃板、截锥圆模、搅拌器及搅拌锅均匀擦过，使其表面湿而不带水滴。
- D. 3. 2 将截锥圆模放在玻璃板中央，并用湿布覆盖待用。
- D. 3. 3 称取水泥 300g，倒入搅拌锅内。
- D. 3. 4 对某种水泥需选择外加剂时，几种外加剂应分别加入不同掺量；对某种外加剂选择水泥时，几种水泥应分别加入不同掺量的外加剂。
- D. 3. 5 加入 87g 或 105g 水，(外加剂为水剂时，应扣除其含水量)搅拌 4min。
- D. 3. 6 将拌好的净浆迅速注入截锥圆模内，用刮刀刮平，将截锥圆模按垂直方向提起，同时，开启秒表计时，至 30s 用直尺量取流淌水泥净浆互相垂直的两个方向的最大直径，取平均值作为水泥净浆流动度。
- D. 3. 7 将水泥净浆迅速放回搅拌锅内，加水后至 3、30、60min，分别测定相应时间的流动度。

D. 4 结果分析

- D. 4. 1 绘制以掺量为横坐标流动度为纵坐标的曲线。其中饱和点(外加剂掺量与水泥净浆流动度变化曲线的拐点)外加剂掺量低，流动度大、流动度经时损失小的外加剂对水泥的适应性好。
- D. 4. 2 需注明所用外加剂和水泥的品种、等级、生产厂，试验室温度、相对湿度等。如果水灰比(水胶比)与本规定不符，也需注明。

★ 该适应性检测方法摘引自《混凝土外加剂应用技术规范》(GB 50119—2003)附录 A。

附录 E 钢筋锈蚀快速试验方法★

E. 1 新拌砂浆法

E. 1. 1 仪器设备

1 恒电位仪

专用的符合本指南要求的钢筋锈蚀测量仪，或恒电位 / 恒电流仪，或恒电流仪，或恒电位仪（输出电流范围不小于 $0\sim 2000\mu\text{A}$ ，可连续变化 $0\sim 2\text{V}$ ，精度不大于 1%）；

2 甘汞电极；

3 定时钟；

4 电线：铜芯塑料线；

5 绝缘涂料（石蜡：松香=9：1）；

6 试模：兼有底活动模（尺寸 $40\text{mm}\times 100\text{mm}\times 150\text{mm}$ ）。

E. 1. 2 试验步骤

1 制作钢筋电极

将 I 级建筑钢筋加工制成直径 7mm，长度为 100mm，表面粗糙度 R_a 的最大允许值为 $1.6\mu\text{m}$ 的试件，用汽油、乙醇、丙酮依次浸擦除去油脂，并在一端焊上长 130~150mm 的导线，再用乙醇仔细擦去焊油，钢筋两端浸涂热熔石蜡松香绝缘涂料，使钢筋中间暴露长度为 80mm，计算其表面积。经过处理后的钢筋放入干燥器内备用，每组试件三根。

2 拌制新鲜砂浆

在无特定要求时，采用水灰比 0.50，灰砂比 1：2 配制砂浆，水为蒸馏水，砂为检验水泥强度用的标准砂，水泥为基准水泥，按试验要求的配合比配制。干拌 1min，湿拌 3min。检验外加剂时，外加剂按比例随拌合水加入。

3 砂浆及电极入模

把拌制好的砂浆浇入试模中，先浇一半（厚 20mm 左右）。将两根处理好经检查无锈痕的钢筋电极平行放在砂浆表面，间距 40mm，拉出导线，然后灌满砂浆抹平，并轻敲几下侧板，使其落实。

4 连接试验仪器

按图 E. 1. 2 连接试验装置，以一根钢筋作为阳极接仪器的“研究”与“*号”接线孔，另一根钢筋为阴极（即辅助电极）接仪器的“辅助”接线孔，再将甘汞电极的下端与钢筋阳极的正中位置对准，与新鲜砂浆表面接触，并垂直于砂浆表面。甘汞电极的导线接仪器的“参比”接线孔。在一些现代新型钢筋锈蚀测量仪或恒电位 / 恒电流仪上，电极输入导线通常为集束导线，只须按规定将三个夹子分别接阳极钢筋、阴极钢筋和甘汞电极即可。

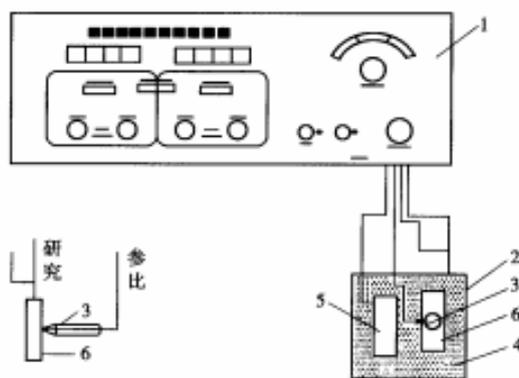


图 E. 1. 2 新鲜砂浆极化电位测试装置图

1-钢筋锈蚀测量仪或恒电位 / 恒电流仪；2-硬塑料模；3-甘汞电极；4-新拌砂浆；5-钢筋阴极；6-钢筋阳极

5 测试

1) 未通外加电流前，先读出阳极钢筋的自然电位 V （即钢筋阳极与甘汞电极之间的电位差值）。

2) 接通外加电流，并按电流密度 $50\times 10^{-2}\text{A}/\text{m}^2$ （即 $50\mu\text{A}/\text{cm}^2$ ）调整毫安表至需要值。同时，开始计算时间，依次按 2、4、6、8、10、15、20、25、30、60min，分别记录阳极极化电位值。

E. 1. 3 试验结果处理

1 以三个试验电极测量结果的平均值，作为钢筋阳极极化电位的测定值，以时间为横坐标，阳极极化电位为纵坐标，绘制电位。时间曲线（如图 E. 1. 3）。

2 根据电位-时间表线判断砂浆中的水泥、外加剂等对钢筋锈蚀的影响。

1) 电极通电后, 阳极钢筋电位迅速向正方向上升, 并在 1~5min 内达到析氧电位值, 经 30min 测试, 电位值无明显降低, 如图 E. 1. 3 中的曲线①, 则属钝化曲线。表明阳极钢筋表面钝化膜完好无损, 所测外加剂对钢筋是无害的。

2) 通电后, 阳极钢筋电位先向正方向上升, 随着又逐渐下降, 如图 E. 1. 3 中的曲线②, 说明钢筋表面钝化膜已部分受损。而图 E. 1. 3 中的曲线③属活化曲线, 说明钢筋表面钝化膜破坏严重。这两种情况均表明钢筋钝化膜已遭破坏。但这时对试验砂浆中所含的水泥、外加剂对钢筋锈蚀的影响仍不能作出明确的判断, 还必须再做硬化砂浆阳极极化电位的测量, 以进一步判别外加剂对钢筋有无锈蚀危害。

3) 通电后, 阳极钢筋电位随时间的变化有时会出现图 E. 1. 3 中曲线①和②之间的中间态情况, 即电位先向正方上升至较高电位值(例如不小于+600mV), 持续一段稳定时间, 然后渐呈下降趋势, 如电位值迅速下降, 则属第②项情况。如电位值缓降, 且变化不多, 则试验和记录电位的时间再延长 30min, 继续 35、40、45、50、55、60min 分别记录阳极极化电位值; 如果电位曲线保持稳定不再下降, 可认为钢筋表面尚能保持完好钝化膜, 所测外加剂对钢筋是无害的; 如果电位曲线继续持续下降, 可认为钢筋表面钝化膜已破损而转变为活化状态, 对于这种情况, 还必须再作硬化砂浆阳极极化电位的测量, 以进一步判别外加剂对钢筋有无锈蚀危害。

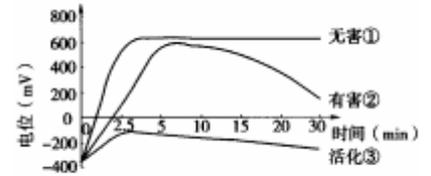


图 E. 1. 3 恒电流、电位-时间曲线分析图

E. 2 硬化砂浆法

E. 2. 1 仪器设备

1 恒电位仪: 专用的符合本指南要求的钢筋锈蚀测量仪或恒电位 / 恒电流仪, 或恒电流仪, 或恒电位仪(输出电流范围 0~2000 μ A, 可连续变化 0~2V, 精度不大于 1%);

2 不锈钢片电极;

3 甘汞电极(232 型或 222 型);

4 定时钟;

5 电线; 铜芯塑料线(型号 RV1x16 / 0.15mm);

6 绝缘涂料(石蜡: 松香=9: 1);

7 搅拌机、搅拌铲;

8 试模: 长 95mm, 宽和高均为 30mm 的棱柱体, 模板两端中心带有固定钢筋的凹孔, 其直径为 7.5mm, 深 2~3mm, 半通孔, 试模用 8mm 厚硬聚氯乙烯塑板制成。

E. 2. 2 试验步骤

1 制备埋有钢筋的砂浆电极

1) 制备钢筋

采用 I 级建筑钢筋经加工成直径 7mm, 长度 100mm, 表面粗糙度 R_a 的最大允许值为 $1.6 \mu\text{m}$ 的试件, 使用汽油、乙醇、丙酮依次浸擦除去油脂, 经检查无锈痕后放入干燥器中备用, 每组三根。

2) 成型砂浆电极

将钢筋插入试模两端的预留凹孔中, 位于正中。按配比拌制砂浆, 灰砂比为 1: 2. 5, 采用基准水泥、检验水泥强度用的标准砂、蒸馏水(用水量按砂浆稠度 50~70mm 时的加水量而定), 外加剂采用推荐掺量。将称好的材料放入搅拌锅内干拌 1min, 湿拌 3min。将拌匀的砂浆灌入预先安放好钢筋的试模内, 置检验水泥强度用的振动台上振 5~10s, 然后抹平。

3) 砂浆电极的养护及处理

试件成型后盖上玻璃板, 移入标准养护室养护, 24h 后脱模, 用水泥净浆将外露的钢筋两头覆盖, 继续标准养护 2d。取出试件, 除去端部的封闭净浆, 仔细擦净外露钢筋头的锈斑。在钢筋的一端焊上长 130~150mm 的导线, 用乙醇擦去焊油, 并在试件两端浸涂热石蜡松香绝缘, 使试件中间长 80mm, 如图 E. 2. 2-1 所示。

2 测试

1) 将处理好的硬化砂浆电极置于饱和氢氧化钙溶液中, 浸泡数小时, 直至浸透试件, 其表征为监测硬化砂浆电极在饱和氢氧化钙溶液中的自然电位至电位稳定且接近新拌砂浆中的自然电位, 由于存在欧姆电压降, 可能会

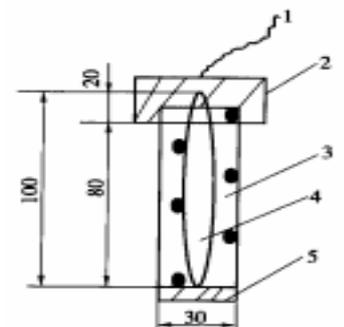


图 E. 2. 2-1 钢筋砂浆电极
(尺寸单位: mm)

1-导线; 2-石蜡; 3-砂浆; 4-钢筋

使两者之间有一个电位差。试验时应注意不同类型或不同掺量外加剂的试件不得放置在同一容器内浸泡，以防互相干扰。

2) 把一个浸泡后的砂浆电极移入盛有饱和氢氧化钙溶液的玻璃缸内，使电极浸入溶液的深度为80mm，以它作为阳极，以不锈钢片作为阴极(即辅助电极)，以甘汞电极作参比。按图 E. 2. 2-2 要求接好试验线路。

3) 未通外加电流前，先读出阳极(埋有钢筋的砂浆电极)的自然电位伊。

4) 接通外加电流，并按电流密度 $50 \times 10^{-2} \text{A} / \text{m}^2$ (即 $50 \mu\text{A} / \text{cm}^2$) 调整毫安表至需要值。同时，开始计算时间，依次按 2、4、6、8、10、15、20、25、30min，分别记录埋有钢筋的砂浆电极阳极极化电位值。

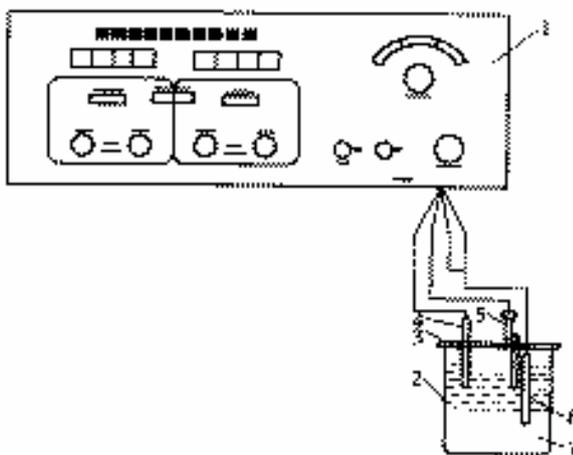


图 E. 2. 2-2 硬化砂浆极化电位测试装置图

- 1-钢筋锈蚀测量仪或恒电位 / 恒电流仪；2-烧杯 1000mL；
3-有机玻璃盖；4-不锈钢片(阴极)；5-甘汞电极；
6-硬化砂浆电极(阳极)；7-饱和氢氧化钙溶液

E. 2. 3 试验结果处理

1 取一组三个埋有钢筋的硬化砂浆电极极化电位的测量结果的平均值作为测定值，以阳极极化电位为纵坐标，时间为横坐标，绘制阳极极化电位-时间曲线。

2 根据电位-时间曲线判断砂浆中的水泥、外加剂等对钢筋锈蚀的影响。

1) 电极通电后，阳极钢筋电位迅速向正方向上升，并在 1~5min 内达到析氧电位值，经 30min 测试，电位值无明显降低，如图 E. 1. 3 中的曲线①，则属钝化曲线，表明阳极钢筋表面钝化膜完好无损，所测外加剂对钢筋是无害的。

2) 通电后，阳极钢筋电位先向正方向上升，随着又逐渐下降，如图 E. 1. 3 中的曲线②，说明钢筋表面钝化膜已部分受损。而图 E. 1. 3 中的曲线③活化曲线，说明钢筋表面钝化膜破坏严重。这两种情况均表明钢筋钝化膜已遭破坏，所测外加剂对钢筋是有锈蚀危害的。

★该试验方法摘引自《混凝土外加剂》(GB806—1997)附录 B。

附录 F 掺外加剂、掺合料混凝土配合比设计*

F. 1 掺外加剂混凝土配合比设计

F. 1. 1 配合比计算步骤

- 1 计算出所要求的配制强度 f_{cu0} ;
- 2 根据混凝土配制强度、工作性、耐久性和经济性要求, 确定水胶比、掺合料、外加剂的掺加比例、砂率和混凝土单位用水量等配合比参数;
- 3 计算出每立方米混凝土各原材料的用量, 定出供试配用的配合比。

F. 1. 2 基准混凝土配合比设计

不加外加剂或掺合料的基准混凝土配合比设计计算按《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ / T 55)、《水泥混凝土路面施工及验收规范》(GBJ 97—87)等进行。基准混凝土配合比设计计算结果表示为各种原材料用量为: C_0 、 W_0 、 S_0 、 G_0 。或表达为水泥用量的比 1: W_0/C_0 : S_0/C_0 : G_0/C_0 。

F. 1. 3 混凝土配制强度

混凝土配制强度(f_{cu0})应按下列式计算:

$$f_{cu0} \geq f_{cuk} + 1.645 \sigma \quad (F. 1. 3)$$

式中: f_{cu0} —混凝土配制强度 (MPa);

f_{cuk} —立方体抗压强度标准值 (MPa);

σ —混凝土强度标准差 (MPa);

混凝土强度标准差采用无偏估计值, 确定该值的强度试件组数不应小于 25 组。

当混凝土强度等级为 C20、C25 级, 其强度标准差计算值低于 2.5 MPa 时, 计算配制强度用的标准差应取用 2.5 MPa; 当混凝土强度等级等于或大于 C30 级, 其强度标准差计算值低于 3.0 MPa 时, 计算配制强度用的标准差应取用 3.0 MPa。

F. 1. 4 配合比参数的选用

1 每立方米混凝土用水量的确定

- 1) 根据本指南 4.1.5~4.1.6 条选定外加剂品种和掺量, 得出减水率 β 。
- 2) 按坍落度和表 F. 1. 4-1, 先确定每立方米普通混凝土用水量, 然后按式 (F. 1. 4-1), 求出掺外加剂混凝土用水量。

$$W_a = W_0 (1 - \beta) \quad (F. 1. 4-1)$$

式中: W_a —掺外加剂每立方米混凝土中的用水量 (kg);

W_0 —未掺外加剂每立方米混凝土中的用水量 (kg);

β —外加剂的减水率 (%)。

表 F. 1. 4-1 普通混凝土的用水量 (kg / m³)

拌合物稠度		卵石最大粒径 (mm)				碎石最大粒径 (mm)			
项目	指标	9.5	19.0	31.5	37.5	16.5	19.0	31.5	37.5
坍落度 (mm)	10~30	190	170	160	150	200	185	175	165
	30~50	200	180	170	160	210	195	185	175
	50~70	210	190	180	170	220	205	195	185
	70~90	215	195	185	175	230	215	205	195

- 注: 1. 本表用水量系采用中砂时的平均取值, 采用细砂或粗砂时, 用水量应分别增减 5~10kg。
2. 本表适用于水灰比 0.4~0.8 范围, 水灰比小于 0.4 及采用特殊成型工艺混凝土用水量应通过试验确定。
3. 大流动性混凝土的用水量, 以表中坍落度 90mm 为基础, 坍落度每增大 20mm, 用水量增加 5kg。
4. 掺用各种外加剂和掺合料时, 用水量应适当调整。

2 砂率的确定

当无历史资料可参考时，混凝土砂率的确定应符合下列规定：

1) 坍落度为 10~60mm 的混凝土砂率，可根据粗集料品种，最大粒径及水灰比按表 F. 1. 4-2 确定。

表 F. 1. 4-2 混凝土砂率选用表

水灰比 (W / C)	卵石最大粒径 (mm)			碎石最大粒径 (mm)		
	9.5	19.0	37.5	16.5	19.0	37.5
0.40	26~32	25~31	24~30	30~35	29~34	27~32
0.50	30~35	29~34	28~33	33~38	32~37	30~35
0.60	33~38	32~37	31~36	36~41	35~40	33~38
0.70	36~41	35~40	34~39	39~44	38~43	36~41

注：1. 本表数据系中砂的选用砂率，采用细砂或粗砂时，砂率可分别增大或减小。

2. 只用一个单粒级粗集料配制混凝土时，砂率应适当增大。

3. 对薄壁构件砂率取偏大值。

4. 本表中的砂率系指砂与集料总量的重量比。

5. 掺用各种外加剂和掺合料时，应适当调整砂率。

2) 坍落度大于 60mm 的混凝土砂率，可经试验确定，也可在表 F. 1. 4~2 的基础上，按坍落度每增大 20mm，砂率增大 1% 的幅度予以调整。

3) 坍落度小于 20mm 的混凝土，可按砂的细度模数及最大粒径选定砂率，也可经试验确定。

3 水泥、掺合料的数量及比例的确定

按混凝土配制强度、耐久性能和工作性能的要求，参照以往试验资料和原材料的复验结果，初步确定混凝土中水泥、掺合料的用量及掺加比例。水泥用量不应小于国家现行的《混凝土结构工程施工及验收规范》(GB 50204)、《公路水泥混凝土路面施工技术规范》(JTJ 037)，《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ / T 55) 中所规定的最小水泥用量值，且不宜大于 550kg / m³。掺合料的品质和掺量应满足有关规范的规定。

4 外加剂用量

使用粉状外加剂，按 (F. 1. 4-2) 式计算：

$$m_a = m_{ca} \times \beta_a \div \alpha_a \quad (\text{F. 1. 4-2})$$

式中： m_a — 每立方米混凝土中外加剂用量 (比)；

m_{ca} — 每立方米混凝土中水泥用量 (kg)；

β_a — 外加剂掺量 (%) (按外加剂中有效因形物计)；

α_a — 外加剂含因量 (%)。

使用液体外加剂时，修正混凝土用水量按式 (F. 1. 4-3) 计算

$$W'_a = W_a - m'_a \cdot (1 - \alpha_a) \quad (\text{F. 1. 4-3})$$

式中： W'_a — 修正后的每立方米混凝土用水量 (kg)；

m'_a — 每立方米混凝土中液体外加剂用量 (kg)。

F. 1. 5 计算粗细集料的用量

采用绝对体积法，用以下两式确定粗细集料用量。

$$\sum_{i=1}^n \frac{m_i}{\rho_i} + 0.01\alpha = 1 \quad (\text{F. 1. 5-1})$$

$$\beta_s = \frac{m_{Sa}}{m_{Sa} + m_{Ga}} \times 100 \quad (\text{F. 1. 5-2})$$

式中： m_i — 每立方米混凝土中第 i 种材料的用量 (kg)；

ρ_i — 第 i 种材料的表观密度 (kg / m³)；

α — 混凝土的含气量百分数，在不使用引气型外加剂时， α 可取为 1；

m_{sa} —每立方米混凝土中细集料用量(kg);

m_{ca} —每立方米混凝土中粗集料用量(kg);

β_s —砂率(%)。

F. 1. 6 试配

1 采用强制式搅拌机搅拌混凝土,拌合量不小于搅拌机额定搅拌量四分之一。试配最小搅拌量在粗集料最大粒径 31.5mm 及以下时为 15L,最大粒径 37.5mm 时为 25L。

2 试配时采用实际工程中使用的材料,粗、细集料的称量以风干状态为基准。

3 按以上确定的 1 组或多组配合比进行试拌,检定拌合物的工作性。若工作性不能满足要求时,可在保证水胶比不变的条件下调整用水、外加剂用量或砂率,直到符合要求为止。然后确定相应的混凝土基准配合比,并在基准配合比的基础上改变水胶比,计算得出 2 组以上的调整配合比。

4 对比配合比和 2 组以上调整配合比进行必要的工作性能、力学性能和耐久性试验。

F. 1. 7 配合比的确定

1 根据得出的 1 组对比配合比和 2 组以上调整配合比的试验结果,在混凝土的工作性能、力学性能或耐久性指标满足要求的前提下,可按经济合理的原则确定混凝土的配合比。

2 按实测的混凝土表观密度值校正混凝土的配合比。

F. 1. 8 掺不同种类外加剂的混凝土配合比设计要求

1 普通减水剂、高效减水剂

应进行减水剂与水泥相容性试验。可采用净浆流动度的方法评价减水剂与水泥相容性,相容性满足要求的减水剂可通过净浆流动度试验结果初步选定适宜掺量,再通过混凝土试拌确定减水剂掺量。

采用减水剂后改变用水量,水泥用量或含气量,可对混凝土配合比予以调整,可适当增加砂率或掺加掺合料。

2 引气剂、引气减水剂、引气高效减水剂及引气缓凝高效减水剂

引气剂混凝土的配合比与非引气混凝土的配合比相同,考虑到掺引气剂改善了和易性,从而可以降低用水量和细集料用量。

3 缓凝剂、高温缓凝剂、缓凝减水剂及缓凝高效减水剂

应针对实际施工采用的材料、气候条件和缓凝要求选择缓凝剂、高温缓凝剂、缓凝减水剂及缓凝高效减水剂品种和掺量。

4 早强剂及早强减水剂

掺早强剂的混凝土配合比与不掺的基本相同,配合比设计时注意不同应用混凝土,由早强剂带入的有害物质不超过本指南规定。

5 防冻剂

水泥应优先选用硅酸盐或普通硅酸盐水泥。水泥标号不应低于 425 号,水泥用量不宜少于 $300\text{kg}/\text{m}^3$,水灰比不应大于 0.50。

6 膨胀剂

膨胀剂可采用内掺或外掺法,采用掺合料的混凝土,膨胀剂宜用外掺法,掺膨胀剂混凝土除满足设计强度等级、抗渗等级外,必须达到规定的膨胀率和收缩率指标。

所采用的水泥标号,不应低于 425 号,水泥用量符合本指南表 5.4.4-2 的规定。

掺膨胀剂混凝土水胶比不宜大于 0.5,砂率宜为 34%~42%,混凝土含气量不宜大于 4%。

7 泵送剂

应进行泵送剂与水泥相容性试验。可采用净浆流动度的方法评价泵送剂与水泥相容性,相容性满足要求的泵送剂可通过净浆流动度试验结果初步选定适宜掺量,再通过混凝土试拌确定泵送剂量。

掺泵送剂配合比设计要保证具有足够的细颗粒组分,使流态混凝土不产生过量的泌水和离析。混凝土的砂率要作适当调整,也可增加水泥用量或掺加掺合料。

8 防水剂

掺防水剂的混凝土配合比与不掺的基本相同无需调整,配合比设计应符合普通混凝土配合比设计规程(JGJ/T 55)对抗渗混凝土的要求。

9 速凝剂

速凝剂主要用于喷射混凝土。喷射混凝土配合比设计水泥用量和砂率应稍大,水泥用量 $400\text{kg}/\text{m}^3$ 左右,砂率 50%左右较佳。混凝土粗集料最大粒径不宜大于 20mm,细集料宜采用中砂或粗砂。

F. 2 粉煤灰混凝土配合比计算方法[▲]

F. 2. 1 粉煤灰等量取代配合比计算方法

1 选定与基准混凝土相同或稍低的水灰比。

2 根据确定的粉煤灰等量取代水泥量($f\%$)和基准混凝土水泥用量(C_0),应按下式计算粉煤灰用量(F)和粉煤灰混凝土中的水泥量(C):

$$F = C_0 \cdot f(\%) \quad (\text{F. 2. 1-1})$$

$$C = C_0 - F \quad (\text{F. 2. 1-2})$$

3 粉煤灰混凝土的用水量(W),应按下式计算:

$$W = \frac{W}{C_0}(C + F) \quad (\text{F. 2. 1-3})$$

4 水泥和粉煤灰的浆体体积(V_p),应按下式计算:

$$V_p = \frac{C}{\gamma_0} + \frac{F}{\gamma_f} + W \quad (\text{F. 2. 1-4})$$

式中: γ_f —粉煤灰比重。

5 砂料和石料的总体积(V_A),应按下式计算:

$$V_A = 1000(1 - \alpha) - V_p \quad (\text{F. 2. 1-5})$$

式中: α —含气量。

6 选用与基准混凝土相同或稍低的砂率(β_s)、砂料(S)和石料(G)的重量,应按下式计算:

$$S = V_A \cdot \beta_s \cdot \gamma_s \quad (\text{F. 2. 1-6})$$

$$G = V_A \cdot (1 - \beta_s) \cdot \gamma_g \quad (\text{F. 2. 1-7})$$

7 等量取代法粉煤灰混凝土配合比各种材料用量为: C 、 F 、 W 、 S 、 G 。

F. 2. 2 粉煤灰超量取代法配合比计算方法

1 根据基准混凝土计算出的各种材料用量(C_0 、 W_0 、 S_0 、 G_0),选取粉煤灰取代水泥率($f\%$)和超量系数(K),见本指南表 5. 1. 4,对各种材料进行计算调整。

2 粉煤灰取代水泥量(F)、总掺量(F_t)及超量部分重量(F_e),应按下式计算:

$$F = C_0 \cdot f(\%) \quad (\text{F. 2. 2-1})$$

$$F_t = K \cdot F \quad (\text{F. 2. 2-2})$$

$$F_e = (K - 1) \cdot F \quad (\text{F. 2. 2-3})$$

3 水泥的重量(C),应按下式计算:

$$C = C_0 - F \quad (\text{F. 2. 2-4})$$

4 粉煤灰超量部分的体积应按下式计算,即在砂料中扣除同体积的砂重,求出调整后的砂重(S_F):

$$S_F = S_0 - \frac{F_e}{\gamma_f} \cdot \gamma \quad (\text{F. 2. 2-5})$$

5 超重取代粉煤灰混凝土的各种材料用量为 C 、 F_t 、 S_0 、 W_0 、 G_0 。

F. 2. 3 外加法配合比计算方法

1 根据基准混凝土计算出的各种材料用量(C_0 、 W_0 、 S_0 、 G_0)，选定外加粉煤灰掺入率($f\%$)，对各种材料进行计算调整。

2 外加粉煤灰的重量(F_m)，应按下式计算：

$$F_m = C_0 \cdot f(\%) \quad (\text{F. 2. 3-1})$$

3 外加粉煤灰的体积，应按下式计算，即在砂料中扣除同体积的砂重，求出调整后的砂重(S_m)：

$$S_m = S_0 - \frac{F_m}{\gamma_f} \cdot \gamma_s \quad (\text{F. 2. 3-2})$$

4 外加粉煤灰混凝土的各种材料用量为 C_0 、 F_m 、 S_m 、 W_0 、 G_0 。

★ 附录 F 摘引自《普通混凝土配合比规程》(JGJ 55—2000)设计

▲ 粉煤灰混凝土配合比设计方法摘引自《粉煤灰混凝土应用技术规范》(GBJ146—90)附录三。

附录 G 防冻剂试验方法*

G. 1 试验方法

G. 1. 1 材料、配合比及搅拌

符合本指南附录 B. 1. 1, B. 1. 2 和 B. 1. 3 条规定。混凝土坍落度控制为 70~90mm。

G. 1. 2 试验项目及试件数量

掺防冻剂混凝土的试验项目及试件数量应符合本指南表 4. 1. 10 的规定及表 4. 6. 2-2 的补充规定。

G. 2 混凝土拌合物性能

减水率、泌水率比、含气量和凝结时间差按本指南附录 B 进行测定和计算。坍落度试验应在混凝土出机后 5min 内完成。

G. 3 硬化混凝土性能

G. 3. 1 试件制作

基准混凝土试件和受检混凝土试件应同时制作。混凝土试件制作及养护参照《普通混凝土拌合物容重试验方法》(GB/T 50080) 进行, 但掺与不掺防冻剂混凝土坍落度为 (80±10)mm, 试件制作采用振动台振实, 振动时间为 10~15s, 掺防冻剂的受检混凝土试件在 (20±3)°C 环境温度下按照表 G. 3. 1 规定的时间预养后移入冰箱或冰室内, 并用塑料布覆盖试件, 其环境温度应在 3~4h 内均匀地降至规定温度, 养护 7d 后(从加水时间算起)脱模, 放置在 (20±3)°C 环境温度下解冻, 解冻时间按表 G. 3. 1 的规定。解冻后进行强度试验或转标准养护。

G. 3. 2 抗压强度比

表 G. 3. 1 不同规定温度下混凝土试件的预养和解冻时间

规定温度 T(°C)	预养时间 t(h)	度时积 M(°C·h)	解冻时间(h)
-5	6	180	6
-10	5	150	5
-15	4	120	4

注: 试件预养时间也可按 $M = \sum (T + 10) \Delta t$ 来控制。式中: M—度时积, T—温度, Δt —温度 T 的持续时间

以受检标养混凝土、受检负温混凝土与基准混凝土抗压强度之比表示:

$$R_{28} = \frac{R_{CA}}{R_C} \times 100 \quad (\text{G. 3. 1-1})$$

$$R_{-7} = \frac{R_{AT}}{R_C} \times 100 \quad (\text{G. 3. 1-2})$$

$$R_{-7+28} = \frac{R_{AT}}{R_C} \times 100 \quad (\text{G. 3. 1-3})$$

$$R_{-7+56} = \frac{R_{AT}}{R_C} \times 100 \quad (\text{G. 3. 1-4})$$

式中: R—不同条件下的混凝土抗压强度比(%);

R_{AT} —不同龄期(-7、-7+28d 或-7+56d)的受检混凝土抗压强度(MPa);

R_{CA} —标养 28d 受检混凝土的抗压强度(MPa);

R_C —标养 28d 基准混凝土抗压强度(MPa);

R_{-7} —受检负温混凝土负温养护 7d 抗压强度与标养 28d 基准混凝土抗压强度之比(%);

R_{-7+28} —受检负温混凝土负温养护 7d 再转标准养护 28d 抗压强度与标养 28d 基准混凝土抗压强度之比(%);

R₋₇₊₅₆—受检负温混凝土负温养护 7d 再转标准养护 56d 抗压强度抗压强度与标养 28d 基准混凝土抗压强度之比(%)。

受检和基准混凝土每组 3 块试件, 强度数据取值原则同《普通混凝土力学性能试验方法》(GB/T 50081)规定。受检和基准混凝土以 3 组试验结果强度的平均值计算抗压强度比, 精确到 1%。

G. 3. 3 收缩率比

收缩率参照《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法》(GBJ 82—1985), 基准混凝土试件应在 3d 龄期(从搅拌混凝土加水时算起)从标养室取出移入恒温恒湿室 3~4h 测定初始长度, 再经 28d 后测量其长度。受检负温混凝土, 在规定负温条件养护 7d, 拆模后先标养 3d, 从标养室取出后移入恒温恒湿室内 3~4h 测定初始长度, 再经 28d 后测量其长度。

以三个试件测值算术平均值作为该混凝土收缩率, 收缩率比可按式(G. 3. 3-1)计算, 精确至 1%:

$$S_T = \frac{\varepsilon_{AT}}{\varepsilon_e} \times 100 \quad (\text{G. 3. 3-1})$$

式中: S_T —收缩率之比(%);

ε_{AT} —受检负温混凝土的收缩率(%);

ε_e —基准混凝土的收缩率(%)。

G. 3. 4 抗渗高度比

参照《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法》(GBJ 82—1985)进行, 基准混凝土标养到 28d, 受检负温混凝土到-7+56d 进行抗渗试验。但按 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0MPa 加压, 每级恒压 8h, 加压到 1.0MPa 为止。取下试件, 将其劈开, 测定试件 10 个等分点透水高度的平均值, 以一组 6 个试件测值的平均值作为试验结果, 按式计算透水高度之比, 精确至 1%。

$$H_r = \frac{H_{AT}}{H_C} \times 100 \quad (\text{G. 3. 4-1})$$

式中: H_r —透水高度之比(%);

H_{AT} —受检负温混凝土 6 个试件测值的平均值(mm);

H_C —基准混凝土 6 个试件测值的平均值(mm)。

G. 3. 5 50 次冻融强度损失率比

参照《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》(JTG E30)中 T 0565(快冻法)进行抗冻试验并计算强度损失率。基准混凝土标养 28d 后进行冻融试验。受检负温混凝土在龄期为-7+28d 时进行冻融试验, 根据计算出的强度损失率, 再按式(G. 3. 5-1)计算受检负温混凝土与基准混凝土强度损失率之比, 计算精确到 1%。

$$D_r = \frac{f_{AT}}{f_C} \times 100 \quad (\text{G. 3. 5-1})$$

式中: D_r —50 次冻融强度损失率比(%);

f_{AT} —受检负温混凝土 50 次冻融强度损失率(%);

f_C —基准混凝土 50 次冻融强度损失率(%)。

G. 3. 6 钢筋锈蚀

试验采用钢筋在新拌和硬化砂浆中阳极极化曲线来测试, 测试方法见附录 E(GB 8076 附录 B、C)。

G. 3. 7 释放氨量

按 GB18588 规定的方法测试。

★ 该试验方法摘自《混凝土防冻剂》(JC 475—2004)。

附录 H 泵送剂试验方法★

H. 1 泵送剂的匀质性

泵送剂含固量或含水量、密度、氯离子含量、细度、水泥净浆流动度按照本指南 4.1.4 规定进行试验。

H. 2 试验步骤

H. 2.1 材料

混凝土所用材料应符合本指南附录 B.1.1 条规定。但砂为二区中砂，模数为 2.4~2.8，含水率小于 2%。

H. 2.2 配合比

基准混凝土配合比按《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ/T 55) 进行设计，受检混凝土配合比与基准混凝土相同。

1) 水泥用量：采用卵石时， $(350 \pm 5) \text{kg/m}^3$ ；采用碎石时 $(390 \pm 5) \text{kg/m}^3$ 。

2) 砂率：42%~45%，试配时调整砂率达到良好和易性为准；

3) 泵送剂掺量：按泵送剂生产单位推荐掺量的下限值；

4) 用水量：应使基准混凝土坍落度为 $(100 \pm 10) \text{mm}$ ，受检混凝土坍落度为 $(210 \pm 20) \text{mm}$ 。

H. 2.3 搅拌

应符合本指南附录 B.1.3 条的规定。

H. 2.4 成型与养护

各种混凝土材料及试验环境温度均应保持在 $(20 \pm 3) \text{℃}$ ，并在此温度下静停 $(24 \pm 2) \text{h}$ 脱模，如果为缓凝产品，可适当延长脱模时间，然后在 $(20 \pm 3) \text{℃}$ 、相对湿度大于 90% 的条件下养护至龄期。

H. 2.5 试样数量

应符合本指南表 4.8.2-1 的要求。

H. 3 受检混凝土的性能

H. 3.1 混凝土拌合物性能

1 坍扩度测量

坍扩度测定是在按 B.1.5 条第 1 款方法测定坍落度后，静置，直到混凝土流动停止，测混凝土坍扩最大值位置及其垂直方向的两个直径，取其平均值精确至 1mm。

2 坍落度增加值

坍落度按照《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》(JTG E30) 中 T 0522 进行试验。结果以三次试验的平均值表示，精确到 1mm。坍落度增加值以水灰比相同的受检混凝土与基准混凝土坍落度之差表示，精确至 1mm。

3 坍落度保留值

测定间隔 30min 和 60min 的坍落度的方法是按《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》(JTG E30) 中 T 0522 方法测定初始坍落度 SL_0 后，将全部拌合料装入铁桶或塑料桶内，用盖子或塑料布密封，存放 30min 后将桶内物料倒在拌料板上，用铁锹翻两遍，进行坍落度试验，得出坍落度保留值 SL_{30} ，再将全部混凝土料装入桶内，密封再存放 30min，再测定次得出 60min 坍落度保留值见 SL_{60} 。

4 常压泌水率比

按照本指南 B.1.5 条第 3 款进行试验和计算。

5 压力泌水率比

1) 仪器

压力泌水仪，主要由压力表、活节螺栓、筛网等部件构成，如图 H.3.1-1 所示。其工作活塞压强为 3.0MPa，工作活塞公称直径为 125mm，混凝土容积为 1.66L，筛网孔径为 0.335mm。

2) 试验步骤

将混凝土拌合物装入试料筒内，用捣棒由外围向中心均匀插捣 25 次，将仪器按规定安装完毕。称取混凝土质量 G_0 ，尽快给混凝土加压至 3.0MPa，立即打开泌水管阀门，同时开始计时，并保持恒压，泌出的水接入 1000mL 量筒内。加压 10s 后读取泌水量 V_{10} ，加压 140s 后读取泌水量 V_{140} 。

3) 结果计算与评定

(1) 压力泌水率按式(H.3.1-1)计算

$$B_p = \frac{V_{10}}{V_{140}} \times 100 \quad (\text{H. 3. 1-1})$$

式中： B_p —压力泌水率(%)；
 V_{10} —加压 10s 时的泌水量(mL)；
 V_{140} —加压 140s 时的泌水量(mL)。

结果以三次试验的平均值表示，精确到 1%。

(2) 压力泌水率比按式(H. 3. 1-2)计算，精确到 1%：

$$R_b = \frac{B_{pA}}{B_{p0}} \times 100 \quad (\text{H. 3. 1-2})$$

式中： R_b —压力泌水率比(%)；
 B_{p0} —基准混凝土压力泌水率(%)；
 B_{pA} —受检混凝土的压力泌水率(%)。

6 含气量

按照本指南附录 B. 1. 5 第 4 款进行试验。

7 凝结时间差按照本指南附录 B. 1. 5 第 5 款进行试验

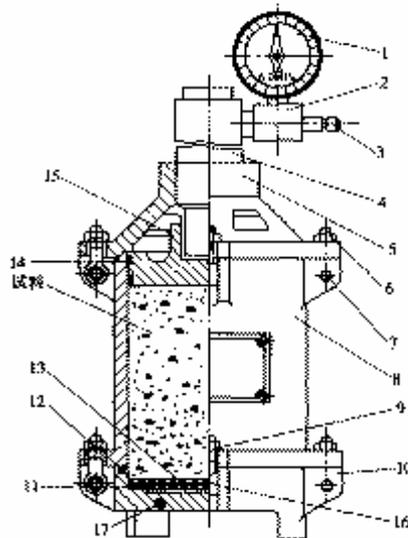


图 H. 3. 1-1 混凝土压力泌水仪

1-压力表；2-液压三通；3-(接手动油泵)快速接头；4-千斤顶；5-上盖；6-活节螺栓；7-螺栓销钉；
8-缸体；9-活节螺栓；10-底座；11-筛板；12-O 型密封圈；13-筛板；14-活塞密封固；15-活塞；
16-孔径为 0.335mm 筛网；17-泌水管阀门(M10×1t 水阀孔，接 DP-5 型放水阀)

H. 3. 2 硬化混凝土性能

- 1) 抗压强度比按照本指南附录 B. 1. 6 第 1 款进行试验。
- 2) 收缩率比按照本指南附录 B. 1. 6 第 2 款进行试验。
- 3) 抗冻标号按照本指南附录 B. 1. 6 第 3 款进行试验。
- 4) 钢筋锈蚀按照本指南附录 E 进行试验。

★该方法摘引自《混凝土泵送剂》(JC 473-2001)。

附录 I 泵送混凝土★

I.1 泵送混凝土粗、细集料最佳级配图(图 I.1-1~图 I.1-5)

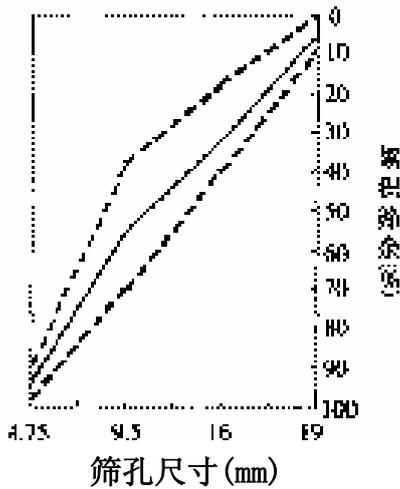


图 I.1-1 粗集料 4.75~19.0mm 最佳级配图

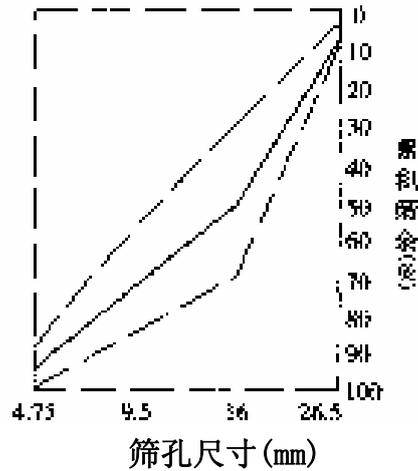


图 I.1-2 粗集料粗集料 4.75~26.5mm 最佳级配图

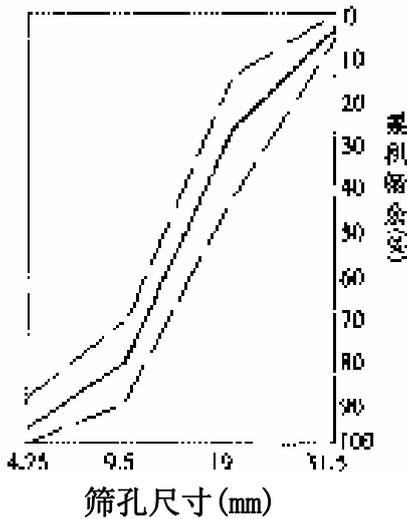


图 I.1-3 粗集料 4.75~31.5mm 最佳级配图

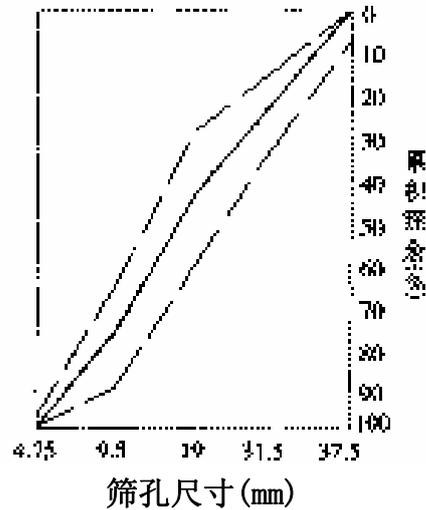


图 I.1-4 粗集料 4.75~37.5mm 最佳级配图

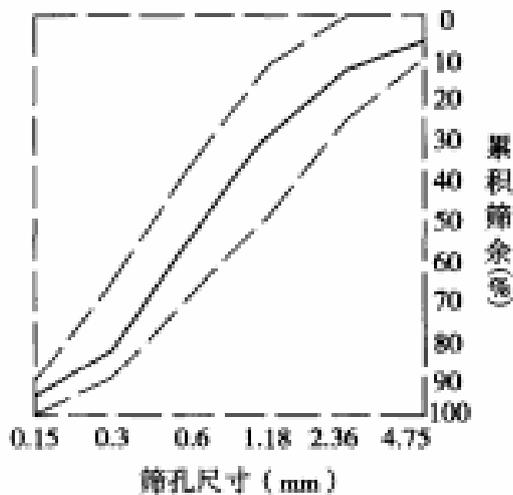


图 I.1-5 细集料最佳级配图

- 注：1. 粗实线为最佳级配线。
 2. 两条虚线之间区域为适宜泵送区。
 3. 粗、细集料最佳级配区宜尽可能接近两条虚线之间范围的中间区域。

I. 2 混凝土泵最大水平输送距离计算公式

I. 2. 1 混凝土泵送的换算压力损失，可查表 I. 2-1 确定。

表 I. 2-1 混凝土泵送的换算压力损失

管件名称	换算量	换算压力损失(Mpa)
水平管	每 20m	0.10
垂直管	每 5m	0.10
45°弯管	每只	0.05
90°弯管	每只	0.10
管道接环(管卡)	每只	0.10
管路截止阀	每个	0.80
3.5m 橡皮软管	每根	0.20

注：附属于泵体的换算压力损失：Y形管 175~125mm，0.05 Mpa；每个分配阀，0.80 Mpa；每台混凝土泵起动内耗，2.8 Mpa。

$$L_{\max} = P_{\max} / \Delta P_H \quad (\text{I. 2-1})$$

$$\Delta P_H = 2 a_2 [K_1 + K_2(1 + t_2/t_1) V_2] / \gamma_0 \quad (\text{I. 2-2})$$

$$K_1 = (3.00 - 0.1) \times 10^2 \quad (\text{I. 2-3})$$

$$K_2 = (4.00 - 0.1) \times 10^2 \quad (\text{I. 2-4})$$

式中： L_{\max} —混凝土泵的最大水平输送距离(m)；

P_{\max} —混凝土泵的最大出口压力(Pa)；

ΔP_H —混凝土的水平输送管内流动每米产生的压力损失(Pa/m)；

γ_0 —混凝土输送管半径(m)；

K_1 —粘着系数(Pa)；

K_2 —速度系数(Pa/m/s)；

t_2/t_1 —混凝土泵分配阀切换时间与活塞推压混凝土时间之比，一般取 0.3；

V_2 —混凝土拌合物在输送管内的平均流速(m/s)；

a_2 —径向压力与轴向压力之比，对普通混凝土取 0.90。

注： ΔP_H 值亦可用其他方法确定，且宜通过试验验证。

I. 2. 2 混凝土输送管的水平换算长度，可按表 I. 2-2 换算。

表 I. 2-2 混凝土输送管的水平换算长度

类 别	单 位	规 格	水平换算长度(m)
向上垂直管	每米	100mm	3
		125mm	4
		150mm	5
锥形管	每根	175~150mm	4
		150~125mm	8
		125~100mm	16
弯管	每根	R=0.5m	12
		R=1.0m	9
软管	每 5~8m 长的一根		20

注：1. R 为弯管的曲率半径；当弯曲角度小于 90°时，需将表中数值乘以该角度与角的比值。

2. 向下垂直管水平换算长度等于自身长度；斜向配管按其水平及垂直投影长度，分别按水平、垂直配管计算。

I. 2. 3 混凝土泵的最大水平输送距离，可参照泵的性能表确定。配管整体水平换算长度，不应超过混凝土泵实际最大水平输送距离，超过时，应选择压力更大的泵或在管路中增设接力泵。按表 I. 2-1 换算的总压力损失，应小于混凝土泵正常工作时的最大出口压力。重要工程混凝土泵所需台数，除满足计算要求外，宜有一台备用。

I. 3 模板最大侧压力计算公式

采用内部振捣器，新浇筑的混凝土作用于模板的最大侧压力，可按下列二式计算，并取二式中的较小值。

$$F=0.22 \gamma t_0 \beta_1 \beta_2 V^{1/2} \quad (1.3-1)$$

$$F=2.50H \quad (1.3-2)$$

式中：F—新浇筑混凝土对模板的最大侧压力(kN/m²)；

γ —混凝土重力密度(kN/m³)；

t_0 —新浇筑混凝土的初凝时间(h)，可按实测确定，当缺乏试验资料时，可采用

$$t_0 = \frac{200}{T+15} \text{ 计算}(T \text{ 为混凝土的温度，}^\circ\text{C})；$$

V—混凝土的浇筑速度(m/h)；

H—混凝土侧压力计算位置处至新浇混凝土顶面的总高度(m)；

β_1 —外加剂影响修正系数，不掺外加剂时取 1.0，掺具有缓凝作用的外加剂时取 1.2；

β_2 —混凝土坍落度修正系数，当坍落度小于 100mm 时，取 1.10，不小于 100mm 时，取 1.15。

I. 4 常用混凝土输送管规格和管径与粗集料最大粒径的关系

表 I. 4-1 常用混凝土输送管规格

混凝土输送管种类		管 径(mm)		
		100	125	150
有缝直管	外径	109.0	135.0	159.2
	内径	105.0	131.0	155.2
	壁厚	2.0	2.0	2.0
高压直管	外径	114.3	139.8	165.2
	内径	105.3	130.8	155.2
	壁厚	4.5	4.5	5.0

表 I. 4-2 混凝土输送管管径与粗集料最大粒径的关系

粗集料最大粒径(mm)		输送管最小管径(mm)
卵石	碎石	
26.5	19.0	100
31.5	26.5	120
37.5	31.5	150

★该附录来自《泵送混凝土施工技术规程》(JGJ/T 10)。

附录 J 防水剂试验方法★

J. 1 防水剂的匀质性

匀质性试验按《混凝土外加剂匀质性能试验方法》(GB/T 8077)进行。碱含量按本指南附录 A 进行,其中矿物膨胀型防水剂按《水泥化学分析方法》(GB/T 176)规定的方法进行。

J. 2 受检砂浆性能

J. 2. 1 试验用的材料

水泥、拌合水应符合本指南附录 B. 1. 1 规定,砂应为符合《水泥强度实验用标准砂》(GB 178)规定的标准砂。

J. 2. 2 配合比

- 1) 水泥与标准砂的质量比为 1: 3。
- 2) 用水量根据各项试验要求确定。
- 3) 防水剂掺量采用生产厂推荐的最佳掺量。

J. 2. 3 搅拌

应按本指南 B. 1. 3 规定搅拌。粉状防水剂掺入水泥中,液体或膏状防水剂掺入拌合水中。先将干物料干拌至基本均匀,再加入拌合水拌至均匀。

J. 2. 4 成型及养护条件

成型温度为 $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$,并在此温度下静停 $(24 \pm 2)\text{h}$ 脱模,如果是缓凝型产品,可适当延长脱模时间。然后在 $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$ 、相对湿度大于 90% 的条件下养护至龄期。

捣实采用振动频率为 $(50 \pm 3)\text{Hz}$,空载时振幅约为 0.5mm 的混凝土振动台,振动时间为 15s。

J. 2. 5 试验项目及数量

试验项目及数量符合本指南 4. 9. 2 条第 2 款的规定。

J. 2. 6 凝结时间、安定性

按照《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》(JTG E30)中 T 0505 规定进行试验。

J. 2. 7 抗压强度比

1 试验步骤

按照《水泥胶砂流动度测定方法》(GB 2419)确定基准砂浆和受检砂浆的用水量,但水泥与砂的比例为 1: 3,将两者流动度均控制在 $(140 \pm 5)\text{mm}$ 。

试验共进行 3 次,每次用有底试模成型 $70.7\text{mm} \times 70.7\text{mm} \times 70.7\text{mm}$ 的基准和受检试件各 2 组,每组 3 块,2 组的试件分别养护至 7d、28d,测定抗压强度。

2 结果计算

砂浆试件的抗压强度按式计算:

$$R_d = \frac{P}{A} \quad (\text{J. 2. 7})$$

式中: R_d —砂浆试件的抗压强度 (MPa);

P—破坏荷载 (N);

A—试件的受压面积 (mm^2)。

每组取 3 块试件试验结果的算术平均值 (0.1MPa) 作为该组砂浆的抗压强度值,3 个测值中的最大值或最小值中如有一个与中间值的差值超过中间值的 15%,则把最大及最小值一并舍去,取中间值作为该组试件的抗压强度值;如果两个测值与中间值相差均超过 15%,则此组试验结果无效。

砂浆抗压强度比可按附录 B. 1. 6 条第 1 款中式 (B. 1. 6-1) 计算,将混凝土换为砂浆,以 3 次试验的平均值作为抗压强度比值,计算精确到 1%。

J. 2. 8 渗透压力比

1 试验步骤

参照《水泥胶砂流动度测定方法》(GB2419)确定基准砂浆和受检浆的用水量,两者保持相同的流动度,并以基准砂浆在 0.3~0.4MPa 压力下透水为难,确定水灰比。

用上口直径 70mm,下口直径 80mm,高 30mm 的截头圆锥带底金属试模成型基准和受检试件,成型后用塑料布将试件盖好静停。脱模后放入 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ 的水中养护至 7d,取出待表面干燥后,用密封材料密封装入渗透仪中进行透水试验。

水压从 0.2MPa 开始, 恒压 2h, 增至 0.3MPa, 以后每隔 1h 增加水压 0.1MPa。当 6 个试件中有 3 个试件端面呈现渗水现象时, 即可停止试验, 记下当时水压。若加压至 1.5MPa, 恒压 1h 还未透水, 应停止升压。砂浆透水压力为每组 6 个试件中 4 个末出现渗水时的最大水压力。

2 结果计算

透水压力比按式(J. 2. 8)计算, 精确至 1%:

$$P_r = \frac{P_t}{P_c} \times 100 \quad (\text{J. 2. 8})$$

式中: P_r —渗水压力比(%);

P_t —受检砂浆(或混凝土)的透水压力(MPa);

P_c —基准砂浆(或混凝土)的透水压力(MPa)。

J. 2. 9 吸水量比

1 试验仪器

采用感量 1g, 最大称量范围为 1000g 的天平。

2 试验步骤

按抗压强度的成型和养护方法, 成型基准和受检试件, 养护 28d 后取出在 75~80℃温度下烘干(48±0.5)h, 称量后将试件放入水槽。放时试件的成型面朝下, 下部用两根 $\phi 10$ 的钢筋垫起, 试件浸入水中的高度为 35mm。要经常加水, 并在水槽上要求的水面高度处开溢水孔, 以保持水面恒定。水槽应加盖, 放入温度为(20±3)℃, 相对湿度 80%以上恒温室中, 但注意试件表面不得结露或滴上水。然后在(48±0.5)h 时取出, 用挤干的湿布擦去表面的水, 称量并记录。

3 结果计算

吸水量按式(J. 2. 9-1)计算:

$$W = M_1 - M_0 \quad (\text{J. 2. 9-1})$$

式中: W —吸水量(g);

M_1 —吸水后试件质量(g);

M_0 —干燥试件质量(g)。

结果以 3 块试件平均值表示, 精确至 1g。

吸水量比按式(J. 2. 9-2)计算, 精确至 1%;

$$W_r = \frac{W_t}{W_c} \times 100 \quad (\text{J. 2. 9-2})$$

式中 W_r —吸水量比(%);

W_t —受检砂浆(或混凝土)的吸水量(g);

W_c —基准砂浆(或混凝土)的吸水量(g)。

J. 2. 10 收缩率比

按照 J. 2. 7 条第 1 款确定的配合比、《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》(JTG E30)中 T 0566 试验方法测定基准和受检砂浆试件的收缩值, 但测定龄期为 28d。

砂浆收缩率比可按附录 B. 1. 6 条第 2 款中式(B. 1. 6-2)计算, 将混凝土换为砂浆, 精确至 1%。

J. 2. 11 钢筋锈蚀

测定方法按本指南附录 E 进行。

J. 2. 12 冻融循环次数

测定方法按照本指南附录 B. 1. 6 第 3 款进行。

J. 3 受检混凝土的性能

J. 3. 1 试验用原材料: 应符合本指南附录 B. 1. 1 的规定。

J. 3. 2 试验项目及数量: 符合本指南表 4. 1. 10 的规定。

J. 3. 3 配合比、搅拌

基准混凝土与受检混凝土的配合比设计、搅拌、防水剂掺量应符合本指南附录 B. 1. 2、B. 1. 3 规定, 但混凝土坍落度可以选择(80±10)mm 或(180±10)mm。当采用(180±10)mm 坍落度的混凝土时, 砂率宜为 38%~42%。

J. 3. 4 体积安定性

按照《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》(JTG E30)中 T 0505 规定进行试验。

J. 3. 5 泌水率比、凝结时间、收缩率比、抗压强度比

按照本指南附录 B. 1. 5、B. 1. 6 规定进行试验。

J. 3. 6 渗透高度比

1 试验步骤

渗透高度比试验的混凝土一律采用坍落度为(180±10)mm 的配合比。

参照《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法》(GBJ 82)规定的抗渗透性能试验方法,但初始压力为 0.4MPa。若基准混凝土在 1.2MPa 以下的某个压力透水,则受检混凝土也加到这个压力,并保持相同时间,然后劈开,在底边均匀取 10 点,测定平均渗透高度。若基准混凝土与受检混凝土在 1.2MPa 时都未透水,则停止升压,劈开,如上所述测定平均渗透高度。

2 结果计算

渗透高度比按式(J. 3. 6)计算,精确至 1%

$$H_r = \frac{H_t}{H_c} \times 100 \quad (\text{J. 3. 6})$$

式中: H_r —渗透高度比(%);

H_t —受检混凝土的渗透高度(mm);

H_c —基准混凝土的渗透高度(mm)。

J. 3. 7 吸水量比

1 试验仪器

采用感量 1g, 称量范围为 5Kg 的天平。

2 试验步骤

按本附录 J. 2 条第 9 款规定,仅将试件浸入水中的高度由 35mm 改为 50mm。

3 结果计算与公式(J. 2. 9-1)相同。

J. 3. 8 钢筋锈蚀

钢筋锈蚀测定方法按照本指南附录 E 进行。

★ 该试验方法摘引自《砂浆、混凝土防水剂》(JC 474—1999)。

附录 K 喷射混凝土及其试验方法

K. 1 常用混凝土喷射机技术性能^①

常用混凝土喷射机技术性能见表 K. 1。

K. 2 喷射混凝土用集料的技术要求^①

喷射混凝土用集料的技术要求见表 K. 2。

K. 3 喷射混凝土抗压强度标准试块制作方法^②

标准试块应采用从现场施工的喷射混凝土板件上切割成要求尺寸的方法制作。模具尺寸为 450 mm × 350 mm × 120 mm (长 × 宽 × 高), 其尺寸较小的一个边为敞开状。

标准试块的制作应符合下列步骤:

- 1 在喷射作业面附近, 将模具敞开一侧朝下, 以 80° (与水平夹角) 左右置于墙脚, 放置牢靠。
- 2 先在模具外的边墙上喷射, 待操作正常后, 将喷头移至模具位置, 由下而上逐层向木模内喷满混凝土。
- 3 将喷满混凝土模具小心移至安全地方, 用三角抹刀刮平混凝土表面。
- 4 在隧道内潮湿环境中 (冬天不得受冻) 养护 1d 后脱膜, 将混凝土大板移至试验室, 在标准条件下养护 7d, 用切割机切去周边和上表面 (底部可不切割) 后, 加工成边长为 100 mm 的立方体试块。立方体试块的允许偏差: 边长 ± 1 mm; 直角不大于 2° 。每个大板可加工立方体试块 6 个。
- 5 加工后的边长为 100 mm 立方体试块继续在标准条件下养护至 28d 龄期, 进行抗压强度试验。

K. 4 喷射混凝土粘结强度试验方法^②

K. 4. 1 喷射混凝土与围岩粘结强度试验方法

1 试验方法

喷射混凝土与围岩的粘结强度试验应在现场进行, 该试验可采用预留试件拉拔法或钻芯拉拔法。当条件不具备时, 亦可在试验室用岩块近似地测定其粘结强度。

2 预留试件拉拔法

试验应在边墙或拱部进行。试件应为圆柱体, 直径宜为 200~500 mm, 高可为 100 mm。试验应按下列步骤进行:

- (1) 在预定试验部位, 施工喷层厚度应在 100 mm 以上, 其表面宜平整;
- (2) 试件部位的混凝土喷射后, 应立即用铲刀沿试件轮廓挖出宽 50 mm 的槽, 试件与四周的喷射混凝土应完全脱离, 仅底部面与围岩粘结;
- (3) 试验前, 应将钢拉杆埋入试件中心, 并用环氧树脂砂胶粘结, 使用的钢拉杆, 应使其拉拔力大于喷射混凝土与岩石的粘结力;
- (4) 用适宜的拉拔设备将试件拉拔至破坏, 根据拉拔力和粘结面积, 进行拉拔强度的计算。

3 钻芯拉拔法

采用钻芯拉拔法应符合下列规定:

(1) 主要设备: 混凝土钻芯机、拉拔器和测力计。

(2) 试验步骤如下:

- ① 用金刚石钻机在工程欲测部位垂直钻进喷层并深入围岩数厘米, 形成芯样;
- ② 将卡套插入芯样与围岩的空隙中, 推压弹簧内套, 使卡套卡紧芯样;
- ③ 安装拉拔器与测力计;
- ④ 以每秒 20~40 N 的速度缓慢加力, 直到芯样断裂;
- ⑤ 按式 (K. 4. 1) 计算喷射混凝土与围岩的粘结强度:

表 K.1 常用混凝土喷射机技术性能

指 标	单 位	转盘式		转子式		双罐式	
		SP-2	HP ₂ -30B	ZP-IV	PH ₃₀ -74	HP-III	治建-65
生产能力	M ³ /h	4~5	3~5	4~5	2~6	4~5	4
工作风压	MPa	0.3~0.5	0.1~0.6	0.12~0.4	0.1~0.5	0.1~0.6	0.1~0.6
耗风量	M ³ /min	5~10	10	5~8	10	10	7~8
能喷射的粗集料最大公称粒径	mm	26.5	31.5	19.0	31.5	31.5	26.5
输料管内径	mm	50	50	50	50	50	50
电机容量	KW	4	4	3	7.5	5.15	2.8
最大水平输送距离	m	200	200	200	250	250	200
最大向上垂直输送距离	m	60	80	50	100	100	70
自 重	Kg	650	700	510	800	900	1100
外型尺寸(长×宽×高)	mm	1250×750×1435	1430×868×1375	1026×754×1167	1500×1000×1600	1500×800×1740	1600×850×1630

表 K.2 喷射混凝土用集料的技术要求

项 目		石子		砂子
		碎 石	卵 石	
强度	以岩石试块(边长不小于5cm的立方体)在饱和状态下的抗压强度与喷射混凝土设计强度之比(%), 不小于	200		
	软弱颗粒含量按重量计(%), 不大于		5	
	针状、片状颗粒含量按重量计(%), 不大于	15	15	
	泥土杂物含量(用冲洗法试验)按重量计(%), 不大于		1	3
	硫化物和硫酸盐含量(折算SO ₁)按重量计(%), 不大于	1	1	1
	有机质含量(用比色法试验)	颜色不深于标准色, 如深于标准色, 则以混凝土强度试验加以复核		

注: 1、有抗冻性要求的喷射混凝土所用的碎石和卵石, 除符合上述要求外应有足够的坚实性, 在硫酸钠溶液中浸至饱和又使其干燥循环, 试验 5 次后, 其重量损失不得超过 10%。

2、石子中不得混进锻烧过的白云或石灰石块。碎石中不宜含有石粉, 卵石中也不得含有粘土团块或冲洗不掉的粘土薄膜。

$$f_{cr} = \frac{P_c}{A_c} \cos \alpha \quad (\text{K. 4. 1})$$

式中： f_{cr} —喷射混凝土与岩石的粘结强度(MPa)；

P_c —芯样拉断时荷载(N)；

A_c —芯样断裂面积(mm²)；

α —断裂面与芯样横截面的交角(度)

4 喷射混凝土与岩石块的粘结强度试验应符合下列要求：

(1) 模板的规格与形式：模板尺寸为 450mm×350mm×120mm(长×宽×高)，其尺寸较小的一个边为敞开状。

(2) 试件制作应符合下列规定：

①在预定进行粘结强度试验的隧道区段，选择厚约 50mm，长宽尺寸略小于模板尺寸的岩块；

②将选择好的岩块置于模板内，在与实际结构相同的条件下喷上混凝土，喷射前，先用水冲洗岩块表面；

喷射后，在与实际结构物相同的条件下养护至 7d 龄期，用切割法去掉周边，加工成边长为 100mm 的立方体试块(其中岩石和混凝土的厚度各为 50mm 左右)，养护至 28d 龄期，在岩块与混凝土结合面处，用劈裂法求得喷射混凝土与岩面的粘结强度值。

K. 4. 2 喷射混凝土与旧混凝土表面的粘结强度试验^①

试块制作和试验方法同喷射混凝土与岩石表面粘结强度的试验。

旧混凝土用尺寸为 450mm×350mm×50mm 的现浇混凝土小板，其受喷面的状况与实际混凝土结构表面相同，喷射前混凝土板面要充分湿润。

K. 5 测定喷射混凝土粉尘的技术要求^②

K. 5. 1 测尘仪器

测尘采用滤膜称量法。采样器宜使用 DCH 型轻便式电动测尘仪。

K. 5. 2 采样点的位置

采样点的位置及取样数量应符合表 K. 5. 2 的要求。

表 K. 5. 2 喷射混凝土粉尘测点位置及取样数量

采样地点	位 置	采样数(个)
喷头附近	距喷头 5. 0m，离底板 1. 5m 处，下风向设点	3
喷射机附近	距喷射机 1. 0m，离底板 1. 5m 处，下风向设点	3
洞内拌料处	距拌料处 2. 0m，离底板 1. 5m 处，下风向设点	3
喷射作业区	隧洞跨中，离底板 1. 5m 处，作业区下风向设点	3

K. 5. 3 采样时间

粉尘采样应在喷射混凝土作业正常、粉尘浓度稳定(正常喷射约 15~30min)后进行。每个试样测取粉尘的时间，不得少于 3min。

K. 5. 4 粉尘浓度合格标准

80%测点试样的粉尘浓度应达到本指南规定的标准，其他试样不得超过 20mg/m³。

K. 6 喷射混凝土强度质量控制图的绘制[®]

K. 6.1 喷射混凝土施工中的强度质量控制图应包括单次试验强度图、平均强度动态图和平均极差动态图(图 K. 6.1)。

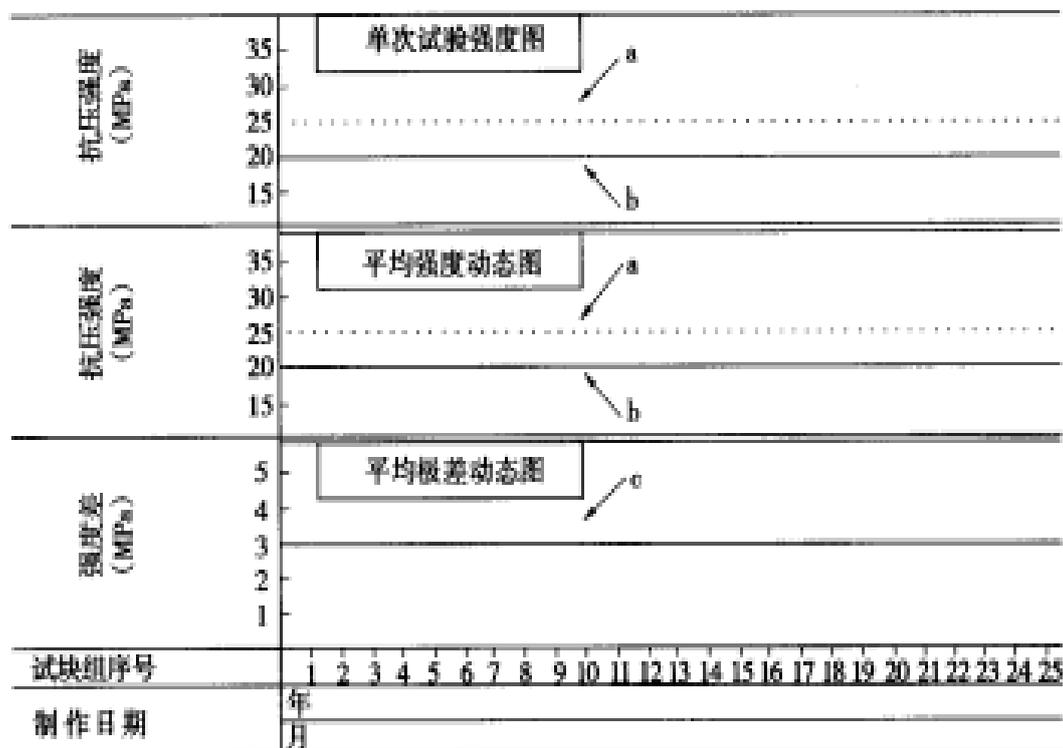


图 K. 6.1 喷射混凝土强度质量控制图

a-施工应达到的平均强度; b-设计强度等级; c-最大的平均差

K. 6.2 单次试验强度图绘制时, 应将全部强度试验结果, 控制取的先后顺序标点绘制, 图上有设计强度等级线和施工应达到的平均强度线作控制。

K. 6.3 平均强度动态图绘制中, 每个点所标绘的应是以前 5 组的平均强度, 并应以设计强度等级线作下限。

K. 6.4 平均级差动态图绘制时, 每个点所标绘的应是前 10 组的平均级差值, 并应以最大的平均级差作上限。

K. 7 速凝剂的强度试验[®]

K. 7.1 仪器设备

300kN 压力试验机; 胶砂振动台; 量程 5kg, 分度值 5g 的台秤; 量程 500g, 分度值 0.5g 的天平; 40mm×40mm×160mm 试模; 搅拌锅, 搅拌铲。

K. 7.2 配合比

水泥与标准砂的质量比为 1: 1.5, 水灰比为 0.5。

K. 7.3 试验步骤

在室温为 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ 的条件下, 称取基准水泥 900g, 标准砂 1350g。

粉状速凝剂: 将速凝剂按生产厂家推荐掺量加入胶砂中, 干拌均匀。加入 450mL 水, 人工迅速搅拌 40~50s。

液体速凝剂: 先计算推荐掺量速凝剂中的水量, 从总水量中扣除, 加入水后将胶砂搅拌至均匀, 再加入液体速凝剂人工迅速搅拌 40~50s。

然后装入 40mm×40mm×160mm 试模中, 立即在胶砂振动台上振动 30s, 刮去多于部分, 抹平。

同时成型速凝剂的试件两组, 不掺者一组, 每组三块。在温度为 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ 的室内放置, 脱模后立即测掺速凝剂试块的 1d 强度(从加水时计算时间)。测定 1d 强度的时间误差应为 $(24 \pm$

0.5)h。检测时先做抗折强度，再做抗压强度。其余试块置于温度为 $(20\pm 2)^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度 90% 以上的标准养护室养护，测其 28d 抗压强度，并求出抗压强度比。

K. 7. 4 结果计算与评定

1 砂浆试件的抗压强度可按式(J. 2. 7)计算。

2 砂浆抗压强度比可按附录 B. 1. 6 条第 1 款式(B. 1. 6-1)计算，将混凝土换为砂浆，外加剂换为速凝剂。

3 结果处理

每个龄期的三块试件可得出六个抗压强度值，其中与平均值相差超过 10% 的数据应予剔除，剩余数据少于三个时，必须重做试验。抗压强度及抗压强度比计算精确到 1%。

K. 8 速凝剂的凝结时间试验

K. 8. 1 仪器

量程 2000g，分度值 2g 的天平；量程 100g，分度值 0.1g 的天平；水泥净浆与凝结时间测定仪；秒表；温度计；200mL 量筒；直径 400mm 高 100mm 搅拌锅；直径 100mm 搅拌铲。

K. 8. 2 试验步骤

凝结时间的测定参照 GB/T 1346。试验室温度和材料温度应控制在 $(20\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 范围内。

粉状速凝剂：按推荐掺量将速凝剂加入 400g 水泥中，在拌和锅内干拌均匀(颜色一致)后，加入 160mL 水，迅速搅拌 25~30s，立即装入圆模，人工振动数次，削去多余的水泥浆，并用洁净的刮刀修平表面。从加水时算起操作时间不应超过 50s。

液体速凝剂：先将 400g 水泥与计算推荐加水量(160mL 水中减去速凝剂中的水量)搅拌至均匀后，再按推荐掺量加入液体速凝剂，迅速搅拌 25~30s，立即装入圆模，人工振动数次，削去多余的水泥浆，并用洁净的刮刀修平表面。从加入液体速凝剂算起操作时间不应超过 50s。

将装满水泥浆的试模放在水泥净浆标准稠度与凝结时间测定仪下，使针尖与水泥浆表面接触。迅速放松测定杆上的固定螺丝，针即自由插入水泥净浆中，观察指针读数，每隔 10s 测定一次，直到终凝为止。

粉状速凝剂由加水时起，液体速凝剂从加入速凝剂起至试针沉入净浆中距底板 $(4\pm 1)\text{mm}$ 时达到初凝；当试针沉入净浆中小于 0.5mm 时，为浆体达到终凝。

K. 8. 3 结果评定

每一试样，应进行两次试验。试验结果以两次结果的算术平均值表示。如两次试验结果的差值大于 30s 时，本次试验无效，应重新进行试验。

①摘引自《喷射混凝土施工技术规程》(YBJ 226)。

②摘引自《锚杆喷射混凝土支护技术规范》(GB 50086—2001)。

③速凝剂强度与凝结时间试验方法摘引自《喷射混凝土用速凝剂》(JC 477—2005)。

附录 L 阻锈剂防锈性能试验方法*

L. 1 盐水浸渍试验

L. 1. 1 试验准备

1 钢筋试样

Q235 钢车成直径为 10mm、长度为 50mm 的试棒，表面粗糙度达到及 $R_a 6.3 \mu\text{m}$ 。

2 试验溶液

含 1.15%NaCl 的饱和 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 溶液，含粉剂型阻锈剂为 0.8%，或含水剂型阻锈剂为 2.2%（重量比）。

3 试验容器

直径 40~50mm、高 50~60mm 的玻璃磨口瓶，每组 3 个。

4 高内阻电压表，饱和甘汞电极。

L. 1. 2 试验操作

1 配制好的溶液分别倒入 3 个玻璃磨口瓶内，溶液高度为 40mm，每个容器内放入两根钢筋试棒，全部浸入溶液中，将瓶盖盖紧。只有在进行电位测量时，才能打开瓶盖。测量时，将钢筋试棒的一端露出液面并触接电压表的正端，负端接甘汞电极。测量时间分别是 1h、2h、3h、6h、1d、3d、5d、7d。

2 测量时观察钢筋试棒表面有无锈蚀发生。

L. 1. 3 判断

7d 内钢筋试棒表面无锈蚀发生、钢筋自然电位在 0~-250mV 范围内，视为合格（可重复 2 次）。

L. 2 混凝土中钢筋腐蚀快速试验（海水）

L. 2. 1 目的和适用范围

比较海工混凝土防止钢筋腐蚀的性能。适用于浪溅区和水位变动区的钢筋混凝土。

L. 2. 2 试验基本原理

模拟海工浪溅区和水位变动区混凝土中钢筋的腐蚀环境，即海水干湿交替，并且用适当提高温度的方法，加速腐蚀速度。

L. 2. 3 试验设备和化学药品

电热鼓风机：101-4 型，鼓风与加热同步；

塑料箱：尺寸可采用 500mm×600mm×900mm（高×宽×长），带盖；

分析天平：称量 100g，感量 0.1mg；

试模：断面尺寸 100mm×100mm，长度 200~400mm；

化学药品：工业盐酸、碳酸钠、食盐等。

L. 2. 4 试验步骤

1 钢筋的准备

把直径 6mm 的未锈钢筋用木锤敲直，按每根 100mm 长剪断，挑选比较光滑平直的作为钢筋试样，然后进行酸洗。用细钢丝刷（或砂布）摩擦钢筋表面，使之光亮。在天平上称得钢筋初始重，最后移入干燥器中备用。

2 试件成型

每种技术条件制作 4 个试件（为了在试验过程中观察锈况，对比基准组一般多制 4~6 个）。试件尺寸为 100mm×100mm×200mm，分两次浇制（图 L. 2. 4）。先用混凝土浇制 100mm 长的中间段。浇制时，两头采用端点板和木楔固定钢筋，以保证钢筋的保护层（从试件底面到钢筋表面的距离）为 30mm 或 40mm（根据试验要求）。混凝土装入试模后，在振动台上振动至出浆。接着卸去木楔和端头板，在两头浇灌水灰比小于中间混凝土的富配比砂浆，用油灰刀插捣，使其密实。

注：粗集料的最大粒径与混凝土保护层厚度之比不得大于 3/4。

试件成型后，在 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ 的温度下盖湿布养护 24h，然后拆模。把试件放入标准养护室再养护 13d 后进行试验。

3 浸烘循环

试件养护后，放入烘箱，在 $(80 \pm 2)^\circ\text{C}$ 的温度下烘 4d。冷却后放入塑料箱中，用浓度为 3.5% 的食

盐水浸泡 24h 后取出，再放入烘箱，在 $(60 \pm 2)^\circ\text{C}$ 的温度下烘 13d。从开始泡盐水至烘毕，共历时 14d，为一次循环。以后照此循环不断往复。经过一定循环次数(4~5 次)后，劈开 1 块对比基准组试件，观察钢筋锈况，如未生锈，仍应继续进行浸烘循环；如已生锈(锈蚀率大于 15%)，则对试件进行检查。塑料箱中的食盐水浓度须经常检查使保持恒定。

4 检查项目

混凝土保护层厚度

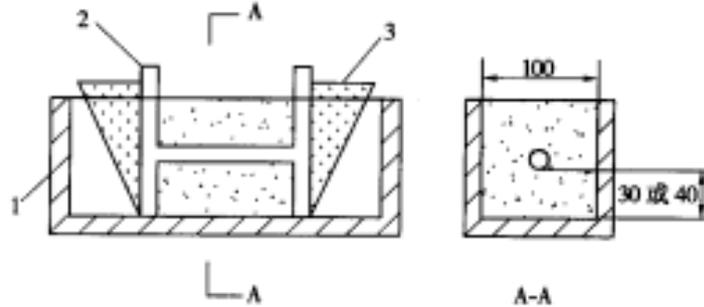


图 L. 2. 4 试件成型示意图(尺寸单位: mm)

1-试模; 2-端头板; 3-木楔

注: 比较水泥品种不同的混凝土时, 试件应养护至龄期 28d, 比较水泥品种相同的混凝土时, 试件可养护至 14d。

沿钢筋劈开试件, 用钢尺量测钢筋两端的混凝土保护层厚度(精确至 1mm), 取其平均值作为该试件的混凝土保护层厚度。

b) 锈蚀率

取出钢筋, 用玻璃纸描绘钢筋表面的锈蚀面积, 然后复印在方格纸上, 计算锈蚀面积。锈蚀率按式(L. 2. 4-1)计算:

$$P = \frac{S_n}{S_0} \times 100\% \quad (\text{L. 2. 4-1})$$

式中: P —钢筋锈蚀率(%);

S_n — n 次循环后钢筋锈蚀面积(mm^2);

S_0 —钢筋表面积(mm^2)。

c) 失重率

先用酸洗钢筋, 把腐蚀产物洗掉。酸洗时, 洗液中放入两根尺寸相同的同类无锈钢筋作空白校正。酸洗、烘干后称重。

钢筋失重率按式(L. 2. 4-2)计算:

$$M = \frac{W_0 - W - \frac{(W_{01} - W_1) + (W_{02} - W_2)}{2}}{W_0} \times 100\% \quad (\text{L. 2. 4-2})$$

式中: M —钢筋失重率(%);

W_{01} 、 W_{02} —分别为空白校正用的两根钢筋的初始重量(g);

W_1 、 W_2 —分别为空白校正用的两根钢筋酸洗后相应的重量(g);

W_0 —试验钢筋初始重量(g);

W —试验后钢筋重量(g)。

L. 2. 5 试验结果分析

混凝土保护层厚度小于原设计试件保护层厚度的 80%, 该试件作废。根据试验所得同组 4 个试件的钢筋锈蚀率、失重率平均值的大小, 比较各组试件防止钢筋腐蚀的性能。

L. 3 混凝土抗氯离子渗透快速试验[▲]

L. 3. 1 目的和适用范围

测定混凝土的相对氯离子扩散系数，以比较混凝土的抗氯离子渗透性能。适用于检验水灰比小于 0.60 的混凝土。相对氯离子扩散系数，不能直接用来推算混凝土的耐久性。

L. 3. 2 试验基本原理

氯离子在直流电压作用下，能透过混凝土试件向正极方向移动。测量流过混凝土的电荷量或电导，就能反映出透过混凝土的氯离子量。并根据 Nemst-Plank 方程式可以推算出氯离子的电迁移扩散系数。

L. 3. 3 试验设备

试验所用设备如图 L. 3. 3-1 所示。

频率为 1000Hz 的交流电桥：量程 1、10kΩ、精度 0.002 kΩ；

塑料试验槽两只：外型尺寸 152mm × 152mm × 50mm，内开深 35mm、直径 80mm 的凹槽；

铜网：网孔孔径为 0.16mm(120 目)；

氯化钠、氢氧化钠和氢氧化钙(化学纯)；

钢丝刷，由塑料管、钢板制成的φ100×60mm 三联试模(图 L. 3. 3-2)；

8 号医用乳胶手套；

带盖塑料桶：容积 10L；

螺旋加压器或压力机。

L. 3. 4 试验步骤

1 制作加φ100×60mm 的圆盘型混凝土试件。以三块试件为一组。

试件成型后，表面盖湿麻袋在室温为(20±5)℃条件下养护 24h 后拆模(保留与试件紧贴的塑料圈)。用钢丝刷刷毛两端面后，试件连塑料圈一起放在盛有(20±3)℃饱和氢氧化钙溶液塑料桶中养护 24h，取出，用螺旋加压器或压力机将试件顶出塑料圈。试件再在(20±3)℃饱和氢氧化钙溶液中养护 26d。

2 混凝土芯样，应切割成φ100×60mm 试件。测试前，进行真空饱水：把试件放入 1000mL 烧杯中，

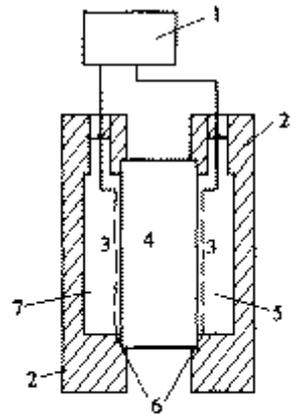


图 L. 3. 3-1 试验装置示意图
1-交流电桥; 2-试验槽; 3-铜网;
4-混凝土试件; 5-0.3 mol/L
NaOH 溶液; 6-橡皮垫圈; 7-3%
NaCl 溶液

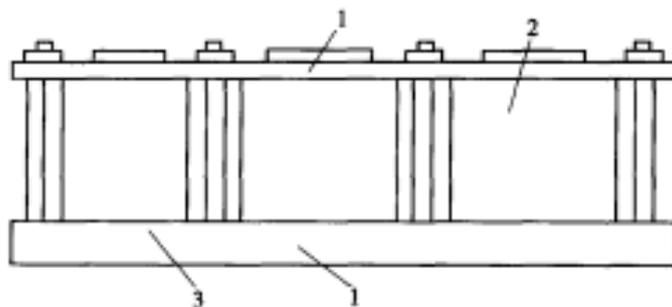


图 L. 3. 3-2 三联试模示意图

1-钢板; 2-塑料圈; 3-硬橡胶板

注：浇制试件时，模内尽量少涂机油。

然后一起放入真空干燥器开启真空泵，在数分钟内使真空干燥器内真空度达到 0.098MPa，维持 3h 再继续保持这一真空度时注入足够的蒸馏水至烧杯中，将试件浸泡 1h，恢复常压，再继续在水中浸泡 18h。

注：灌蒸馏水时，严禁空气通过阀门进入干燥器。

3 配制 3% NaCl 和 0.3mol / L(1.2%)NaOH 溶液，分别装瓶加盖后放在(20±3)℃条件中备用。

4 试验在室温(20±5)℃下进行。试件从氢氧化钙溶液中取出。每取出一试件，同时测量并记录氢氧化钙溶液的温度。用湿布擦去表面浮水。试件圆侧面和抹面面、底面的边缘(约 10mm 宽)用乳胶套(从医用手套上剪取)封闭后，装入塑料试验槽。用螺杆(或台钳)把两试验槽和试件夹紧(图 L. 3. 3-1)，试件两边试验槽内，分别注入 3% NaCl 和 0.3mol / L NaOH 溶液(试件抹面面接触 NaOH 溶液)。过 2min 后，按图 L. 3. 3-1 测量线路，用频率为 1000Hz 的交流电桥测量试件电阻。

L. 3. 5 试验结果计算

1 试件电导值按式(L. 3. 5-1)计算, 精确至 $0.01 \times 10^{-4} \text{s}$:

$$C_i = \frac{1}{R_i} \quad (\text{L. 3. 5-1})$$

式中: C_i —室温下试件的电导(s);

R_i —测得试件电阻(Ω)。

2 试件的电导值, 按式(L. 3. 5-2)进行温度校正:

$$C_{20} = e^{\alpha(1/T_i - 1/T_{20})} \cdot C_i \quad (\text{L. 3. 5-2})$$

式中: α —常数, 取 2130;

T_i —在试件测量时, 记录的饱和氢氧化钙溶液的温度, 以绝对温度计;

T_{20} —20°C时对应的绝对温度值, 等于 293;

C_i —室温下测得的试件的电导(s);

C_{20} —校正为 20°C时的电导(s)。

3 试件的相对氯离子扩散系数按下式计算, 精确至 $0.01 \times 10^{-6} \text{m}^2 / \text{s}$:

$$D = 0.235 \times 10^{-2} C_{20} \quad (\text{L. 3. 5-3})$$

取同组三个试件的相对氯离子渗透系数的平均值, 作为该组试件的相对氯离子渗透系数值。

L. 4 电化学试验

L. 4. 1 试样制作同 L. 2. 1, 试验方法见《冶金建设试验检验规程》(YBJ 222)。

L. 4. 2 试验溶液为 3%NaCl, 恒压 1400mV、72h, 电流小于 150 μ A 为合格。

★ 该方法摘自《钢筋阻锈剂使用技术规程》(YB/T 9231)。

▲ 该方法摘自《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTJ 275—2000)附录 B。

附录 M 水中抗分离剂试验方法*

M. 1 水中抗分离剂混凝土

M. 1. 1 材料

水泥、砂、石子、水应使用符合本指南附录 B. 1. 1 的规定。工地检验允许使用工程所使用的水泥、砂、石子、水进行现场检验。仲裁应使用本指南附录 B. 1. 1 的规定。外加剂：水中抗分离剂，符合本指南表 4. 11. 2 要求。掺量按生产厂推荐掺量的下限量。

M. 1. 2 受检混凝土配合比

- 1 水灰比不大于 0.60。水泥用量： $(410 \pm 5) \text{ kg/m}^3$ 。用水量：应使混凝土坍扩度达 $(500 \pm 50) \text{ mm}$ 。
- 2 含气量：不大于 4.5%。
- 3 砂率：38%~42%。

M. 1. 3 搅拌

符合本指南附录 B. 1. 3 的规定。

M. 2 水中分离度的测定方法

M. 2. 1 仪器设备

酸度计：PHS-2 型或相同性能的酸度计；红外分光光度计；pH 玻璃电极；甘汞电极；恒温干燥鼓风电热箱；干燥器： $\phi 200 \text{ mm}$ ；溜槽：自制(见图 M. 2. 2-1)；刮刀：自制(见图 M. 2. 2-2)；镊子：普通；表面皿： $\phi 70 \text{ mm}$ ；量筒：200 mL，500 mL；烧杯：100mL；天平：称量 1~2kg，感量 0.1g，称量 0.1g、感量 0.1mg；洗耳球或玻璃吸管；真空泵；布氏漏斗或相同性能的漏斗；玻璃纤维过滤纸或相同性能的滤纸；抽气瓶 1000 mL。

M. 2. 2 试验步骤

1 样品制备

- 1) 从刚拌好的混凝土拌合物中取出约 2000g 有代表性试验样品。
- 2) 在 1000 mL 烧杯中，放入 $(20 \pm 2) ^\circ \text{C}$ 的蒸馏水或离子交换水 800mL。
- 3) 从代表性样品中称取 500g，放入溜槽中，并分成 10 等份。然后用刮刀把每一份混凝土试样从贴近水面处缓慢地自由落下，全部试料在 20~30s 内落完。
- 4) 静置 3min 后，用洗耳球(或玻璃吸管)，在 1min 内从水面吸 600mL 的水(注意吸水时不能搅动)，作为试验样品。
- 5) 将吸出的 600mL 水混合均匀后再从中取出 200mL 供作 pH 试验的被检样品，其余的供作测悬浊物含量的样品。

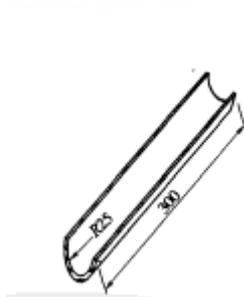


图 M. 2. 2-1 溜槽(PVC管 $\phi 50$ 分半)示意图(尺寸单位: mm)

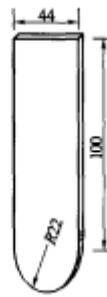


图 M. 2. 2-2 塑料刮刀示意图(尺寸单位: mm)

2 悬浊物含量测定

- 1) 把滤纸置于表面皿上，在 $105 \sim 110 ^\circ \text{C}$ 烘箱中干燥 1h，然后移至于干燥器中冷却，并称其质量 (m_0)。
- 2) 把被检水样混合均匀后，用量筒分取 300~400mL，并读取容积 (V)。
- 3) 在布氏漏斗上装好按上述 1) 项已称量过烘干后的玻璃纤维滤纸，使之密合，用蒸馏水或离子交换水湿润滤纸，使之贴紧布氏漏斗，然后把漏斗长颈装入事先已开好孔的吸滤瓶上的橡皮塞中，把吸滤瓶接到真空装置上，向漏斗中加入按上项所取得的被检样品进行真空抽滤，并用蒸馏水或离子交换水将附在量筒壁上的悬浊物冲洗干净。

4)用镊子小心地将滤纸从漏斗上取下放入表面皿中。在 105~110℃中干燥 2h, 冷却后称量(m_a)。

3 试验结果处理

悬浊物含量按式(M. 2. 2-1)计算(取整数值):

$$S=(m_a - m_b) \times 1000 \div V \quad (\text{M. 2. 2-1})$$

式中: S—悬浊物含量(mg / L);

m_a —含悬浊物的过滤纸和表面皿的质量(mg);

m_b —过滤纸和表面皿的质量(mg);

V—量筒所量取的被检水的容积(ml)。

以两次计算值的平均值作为试验结果。

4 透明度

将 1kg 的砂浆或混凝土倒入盛满水的 5L 容器中, 立即用滴管取离液面 5cm 深处的水样, 用红外分光光度计测定其相对于清水(100%)的透明度, 取 3 次试验的平均值作为测定结果, 精度 1%。若 3 次试验误差超过 10%, 则取中间值; 若 3 次试验误差超过 15% 则重新做试验。

无条件做悬浊物含量试验时, 可用透明度试验代表掺水中抗分离剂混凝土的抗水中分离度。有争议时, 应以悬浊物试验为准。

5 PH 值

按本条第 1 款方法取试样, 用 pH 试纸或 pHS-2 型酸度计测定其 pH 值。试验精度及取值与上款相同。

M. 3 水中抗分离混凝土抗压强度试件的制作方法

M. 3. 1 仪器设备

1 漏斗: 见图 M. 3. 1。

2 试模: 150mm×150mm×150mm 立方体钢或铸铁试模。

3 水槽: 高度 450mm, 长、宽不限, 以能放入试模为度。

4 混凝土成型的常规用具。

M. 3. 2 试验步骤

1 水中试件的制作

1)先向水槽中注满(20±3)℃的水, 水面高出试模底部 300mm, 然后将试模开口向上放入水槽中。

2)将漏斗出料口盖子盖严, 将拌好的混凝土试料装入漏斗的 2/3 高度, 然后将漏斗移至水面上, 出料口对准水中试模, 拉开漏斗出口盖, 使混凝土灌入试模中至试样上端形成小山形, 每只试模在 30~60s 内装完。

3)把装满混凝土的试模缓缓从水中取出, 放入大气中静置 15min, 把表面抹平、压光。

4)把抹光后的试模放入标准养护室, 2d 脱模。如缓凝型则 3d 或更长一些时间脱模然后继续养生至规定龄期。

2 空气中试件制作

除不把试模放入水中而是放入空气中成型外, 其他均与水中制作方法相同。

M. 3. 3 水气(抗压)强度比试验

相同原材料、配合比及同批搅拌的掺水中抗分离剂的混凝土, 按上条制作养生的试件与标准条件制作同龄期养生试件抗压强度之比的百分数。计算公式与本指南附录(B. 1. 6-1)相同。

M. 3. 4 抗渗性试验

水中抗分离剂混凝土抗渗性试验方法与《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》(JTG E30-2005)中 T 0568 相同。当需要评价水下浇筑混凝土的抗渗性时, 将抗渗试模置于水下, 水面高出试模底部 300mm 深处, 按 M. 3. 3 成型方法制作。

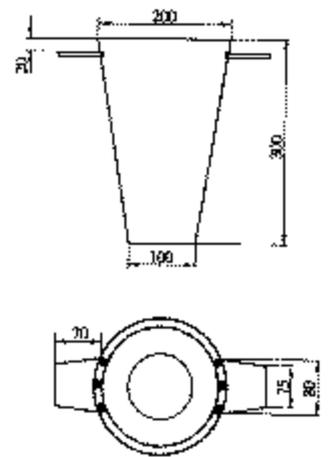


图 M. 3. 1 漏斗示意图
(尺寸单位: mm)

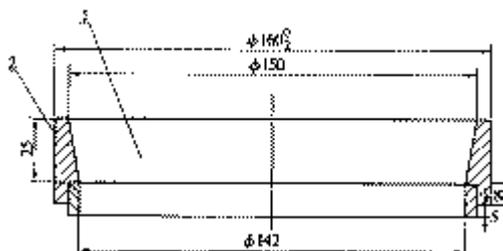
★ 试验方法摘自《水工混凝土外加剂技术规程》(DL / T 5100-1999)。

附录 P 粉煤灰检验方法★

P. 1 粉煤灰细度试验方法

P. 1. 1 仪器设备

负压筛析仪主要由 45 μm 方孔筛、筛座、真空源和收尘器等组成，其中 45 μm 方孔筛内径为 $\phi 150\text{mm}$ ，高度 25mm。45 μm 方孔筛及负压筛析仪筛座结构示意图如图 P. 1. 1-1、图 P. 1. 1-2 所示。



45 μm 方孔筛示意图 (尺寸单位: mm)

1-筛网; 2-筛框

P. 1. 2 试验步骤

- 1 将测试用粉煤灰样品置于温度为 105~110 $^{\circ}\text{C}$ 烘干箱内烘至恒重，取出放在干燥器中冷却至室温。
- 2 称取试样约 10g，准确至 0.01g，倒入 45 μm 方孔筛筛网上，将筛子置于筛座上，盖上筛盖。
- 3 接通电源，将定时开关固定在 3min，开始筛析。
- 4 开始工作后，观察负压表，使负压稳定在 4000~6000 Pa。若负压小于 4000 Pa，则应停机，清理收尘器中的积灰后再进行筛析。
- 5 在筛析过程中，可用轻质木棒或硬橡胶棒轻轻敲打筛盖，以防吸附。
- 6 3min 后筛析自动停止，观察筛余物，如出现颗粒成球、粘筛或有细颗粒沉积在筛框边缘，

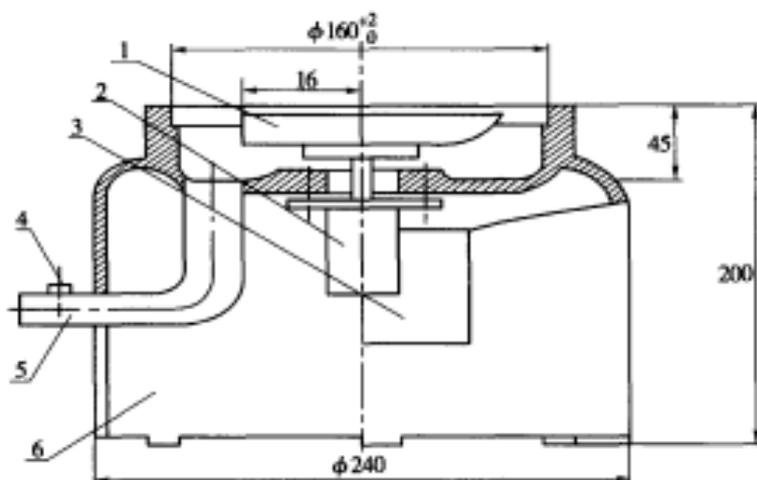


图 P. 1. 1-2 筛座示意图 (尺寸单位: mm)

1-喷气嘴; 2-微电机; 3-控制板开口; 4-负压表接口; 5-负压源及收尘器接口; 6-壳体
用毛刷将细颗粒轻轻刷开，将定时开关固定在手动位置，再筛析 1~3min 直至筛分彻底为止，将筛网内的筛余物收集并称量，准确至 0.01g。

P. 1. 3 试验结果处理

45 μm 方孔筛筛余，应按式 (P. 1. 3) 进行计算：

$$Y = (G_1 / G) \times 100 \quad (\text{P. 1. 3})$$

式中：Y—筛余(%)；
G₁—筛余物质量(g)；
G—称取试样质量(g)。

P. 1. 4 筛网的校正

筛网的校正采用粉煤灰细度标准样品或其他同等级标准样品，按 P. 1. 2 步骤测定标准样品的细度，筛网校正系数按式 (P. 1. 4) 计算：

$$K = m_0 / m$$

(P. 1. 4)

式中： K —筛网校正系数；
 M_0 —标准样品筛余标准值(%)；
 M —标准样品筛余实测值(%)。

计算至0.1。

注：1. 筛网校正系数范围为0.8~1.2。
 2. 筛析150个样品后进行筛网的校正。

P. 2 粉煤灰需水量比试验方法

P. 2. 1 仪器设备

1 胶砂搅拌机。

符合GB/T 17671—1999规定。

2 跳桌。

符合GB/T 2419规定。

P. 2. 2 试验步骤

1 胶砂配比按表P. 2. 2。

表 P. 2. 2 胶砂配比

胶砂种类	水泥(g)	粉煤灰(g)	标准砂(g)	加水量(mL)
对比胶砂	250	—	750	125
试验胶砂	175	75	750	按流动度达到130~140mm调整

2 试验胶砂按GB/T 17671规定进行搅拌。

3 搅拌后的试验胶砂按GB/T 2419测定流动度，当流动度在130~140mm范围内，记录此时的加水量；当流动度小于130mm或大于140mm时重新调整加水量，直至流动度达到130~140mm为止。

p. 2. 3 试验结果处理

粉煤灰需水量比，应按式计算：

$$P_w = (L_1 / 125) \times 100 \quad (\text{P. 2. 3})$$

式中： P_w —需水量比(%)；

L_1 —试验胶砂流动度达到130~140mm时的加水量(mL)

125—对比胶砂的加水量(mL)。

计算至1%。

★ 摘引自《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》(GB/TJ 1596—2005)。

附录 Q 矿物掺合料胶砂需水量比及活性指数检测方法*

Q. 1 适用范围

本附录规定了磨细矿渣、硅灰、粉煤灰、磨细天然沸石等及其复合的矿物外加剂胶砂需水量及活性指数的测试方法。

Q. 2 试验仪器

采用水泥胶砂强度检验方法 (ISO 法) 中所规定的试验仪器。

Q. 3 试验用材料

水泥: 采用本指南附录 C 规定的基准水泥。在因故得不到基准水泥时, 允许采用 C_3A 含量 6%~8%, 总碱量 ($Na_2O+0.658K_2O$) 不大于 1% 的熟料和二水石膏、矿渣共同磨制的标号大于 (含) 42.5 级普通硅酸盐水泥。但仲裁仍需用基准水泥。

砂: 符合中国 ISO 法要求的标准砂。

水: 采用自来水或蒸馏水。

矿物掺合料: 送检的矿物掺合料。

Q. 4 试验方法

Q. 4. 1 胶砂配合比: 见表 Q. 4. 1。

表 Q. 4. 1 胶砂配合比 (g)

材 料	基准胶砂	受检胶砂		
		粉煤灰	硅灰	磨细矿渣
水泥	450±2	315±1	405±1	225±1
矿物掺合料		135±1	45±1	225±1
ISO 砂	1350±5	1350±5	1350±5	1350±5
水	225±1	使受检胶砂流动度达到基准胶砂流动度值±5mm		

Q. 4. 2 搅拌

将水加入搅拌锅, 再加入预先混均的水泥和矿物掺合料, 将搅拌锅放置在固定架上, 上升至规定位置。然后按《水泥胶砂强度检验方法》(GB/T 17671-1999) 中 6.3 进行搅拌, 开机后, 低速拌和 30s 后, 在第二个 30s 开始时均匀地将砂加入。当各级砂是分装时, 从最粗级开始依次将所需的每级砂量加完。将机器转至高速再拌和 30s。停机 90s, 在第一个 15s 内用一个胶皮刮具将叶片和锅壁上的胶砂, 刮入锅中。在高速下继续拌和 60s。各拌和阶段, 时间误差宜控制在±1s 以内。

Q. 4. 3 试件制备

按《水泥胶砂强度检验方法》(GB/T 17671-1999) 中 7 进行。

Q. 4. 4 试件养护

1 试件脱模剂前处理和养护、脱模、水中养护按《水泥胶砂强度检验方法》(GB/T 17671-1999) 中 8.1、8.2 和 8.3 进行。

2 试件龄期: 从水泥加水拌和开始计时, 不同龄期的强度试验应在下列时间内进行: 3d: 72h±45min; 7d: 7d±2h; 28d: 28d±8h。

Q. 5 结果计算

Q. 5. 1 需水量比

根据表 Q. 4. 1 的配合比, 测得受检胶砂的需水量, 按式 (Q. 5. 1) 计算相应矿物掺合料的需水量比:

$$W_R = W_t \div 225 \times 100 \quad (\text{Q. 5. 1})$$

式中: W_R —受检胶砂的需水量比(%);

W_t —受检胶砂的用水量(g);

225—基准胶砂的用水量(g)。

计算结果取整数。

Q. 5. 2 矿物掺合料活性指数

在测得相应龄期基准胶砂和检验胶砂抗压强度后, 按式 (Q. 5. 2) 计算矿物掺合料相应龄期的活性指数:

$$A_i = R_{ti} / R_{0i} \times 100 \quad (\text{Q. 5. 2})$$

式中: A_i —矿物掺合料 id 的活性指数(%), (i=3, 7, 28);

R_{0i} —基准胶砂 id 抗压强度(MPa);

R_{ti} —受检胶砂 id 抗压强度(MPa)。

计算结果取整数。

★ 摘引自《高强高性能混凝土用矿物外加剂》(GB/T 18736—2002)附录 C。

附录 R 掺膨胀剂混凝土试验方法

R. 1 膨胀混凝土的纵向限制膨胀率及限制干缩率*

R. 1. 1 测定设备

测定膨胀混凝土的限制膨胀率和限制收缩率所用设备,应符合以下规定:

1 试验模型为 100mm×100mm×400mm。试件全长为 355mm,其中混凝土部分为 100mm×100mm×300mm,试件中间埋入一个纵向限制器具。

2 纵向限制器具装置(见图 R. 1. 1)所用的钢筋和钢板,应符合下列要求:

1) 钢筋采用《钢筋混凝土用热轧带肋钢筋》(GB 1499)中规定的钢筋,公称直径 10mm,公称横截面积 78.54mm²,钢筋两侧焊 12mm 厚的面状钢板,材质符合《碳素结构钢》(GB 700)技术要求,钢筋两端各点 7.5mm 范围内为黄铜,测头球形,半径为 3mm。

2) 钢板与钢筋焊接处的焊接强度,不应低于 260MPa。

3 测量仪器精度为 0.001mm 的专用测长仪器,图 R. 1. 2 是补偿收缩混凝土膨胀、收缩测量仪示意图。

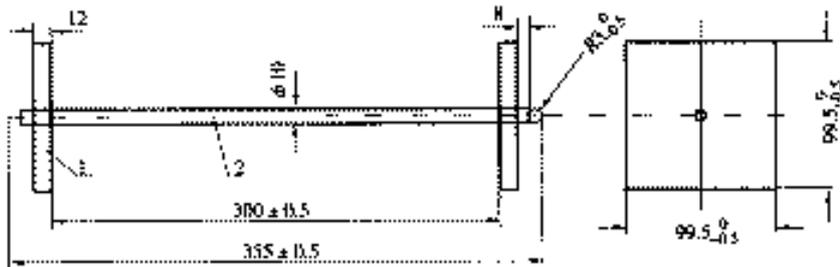


图 R. 1. 1 纵向限制器(尺寸单位: mm)

1—钢板; 2—钢筋

R. 1. 2 纵向限制膨胀率和纵向限制收缩率的试验

膨胀混凝土纵向限制膨胀和纵向限制收缩率的试验,可按下列步骤进行:

1 试件制作:先把纵向限制器具放入 100mm×100mm×400mm 的试模中,然后将膨胀混凝土一次装入试模,把试模放在振动台上振动至表面呈现水泥浆为止,刮去多余的混凝土并抹平。然后把试件置于温度为(20±2)℃的室内养护,试件表面用塑料布或湿布覆盖,以防止水分蒸发。

2 当膨胀混凝土抗压强度达到 3~5MPa 时拆模(一般为成型后的 12~16h),测量试件初始长度。

3 测量前 3h,将测长仪、标准杆放在测量室内,用标准杆校正测长仪。测量前,将试件测头及测量仪测头擦净。测量时,将记有编号的一面朝上,面向测量者,其方向和位置要固定一致,不得随意变动,使纵向限制器测头与测量仪测头正确接触,读数应精确到 0.001 mm。不同龄期的试件应在规定时间±1h 内测量。测量每个试件长度,应重复三次,取其稳定值。

4 将测定初始长度后的试件浸入(20±2)℃的水中养护,分别测定 3d、7d、14d 的长度,然后移入室温为(20±2)℃、相对湿度为(60±5)%的恒温恒湿箱或恒温恒湿室内养护,分别测定 28d、42d 的长度。上述测长龄期,一律从成型日算起。

5 每组成型三个试件,取其算术平均值作为长度变化,计算精确至小数点后第三位。

R. 1. 3 膨胀混凝土的限制膨胀率和限制干缩率计算

膨胀混凝土的限制膨胀率和限制干缩率按式(R. 1. 3)计算

$$\varepsilon_t = \frac{l_t - l_0}{l} \quad (\text{R. 1. 3})$$

式中: ε_t —试件在龄期 t 时的纵向膨胀率或纵向限制干缩率(%);

l—试件的基准长度(300mm);

l_0 —试件长度的初始读数(mm);

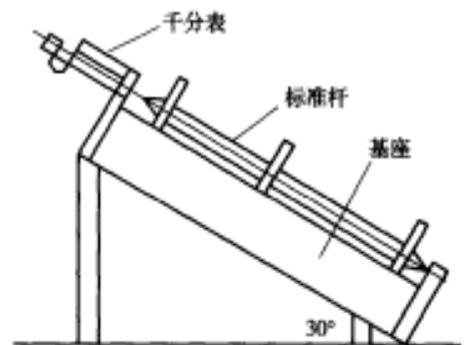


图 R. 1. 2 补偿收缩混凝土膨胀、收缩测量仪示意图

l_t —试件在龄期 t 时的长度读数 (mm)。

注：如需要测定膨胀混凝土的自由膨胀率或自由干缩率时，试件两端埋入不锈钢测头，试件尺寸为 $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 300\text{mm}$ 或 $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 500\text{mm}$ ，试件制作、养护方法、测量龄期及测量方法与纵向限制膨胀率试验相同。

R. 2 灌浆用膨胀混凝土(砂浆)竖向膨胀率的测定方法[▲]

R. 2. 1 测定设备

测定竖向膨胀率试验所用设备，应符合下列规定：

- 1 百分表：量程 10mm。
- 2 百分表架：磁力表架。
- 3 玻璃板：长 140mm×宽 80mm×厚 5mm。
- 4 试模规格为 $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 100\text{mm}$ 立方体，试模的拼装缝应填入黄油，不得漏水。
- 5 铲勺：宽 60mm，长 160mm。
- 6 捣板：可用钢锯条代用。
- 7 钢垫板：长 250mm×宽 250mm×厚 15mm 普通钢板。

R. 2. 2 仪表安装(图 R. 2. 2)应满足下列要求：

- 1 钢垫板：表面平整，水平放置在工作台，水平度不应超过 0.02。
- 2 试模：放置在钢垫板上，不可摇动。
- 3 玻璃板：平放在试模中间位置。其左右两边与试模内侧边留出 10mm 空隙。
- 4 百分表：百分表与百分表架卡头固定牢靠。但表杆能够自由升降。安装百分表时，要下压表头，使表针指到量程的 1/2 处左右。百分表不可前后左右倾斜。
- 5 百分表架固定在钢垫板上，尽量靠近试模，缩短横杆悬臂长度。

R. 2. 3 灌浆操作应按下列步骤进行：

- 1 灌浆料用水量按流动度为 $(250 \pm 10\text{mm})$ 的用水量。
- 2 灌浆料加水搅拌均匀后立即灌模。从玻璃板的一侧灌入。当灌到 50mm 左右高度时，用捣板在试模的每一侧插捣 6 次，中间部位也插捣 6 次。灌到 90mm 高度时，和前面相同再作插捣，尽量排出气体。最后一层灌浆料要一次灌至两侧流出灌浆料为止。要尽量减少灌浆料对玻璃板产生的向上冲浮作用。

3 玻璃板两侧灌浆料表面，用小刀轻轻抹成斜坡，斜坡的高边与玻璃相平。斜坡的底边与试模内侧顶面相平。抹斜坡的时间不应超过 30s。成型温度、养护温度均为 $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$ 。

- 4 做完斜坡，把百分表测量头垂放在玻璃板上，在 30s 内记录百分表读数 h_0 为初始读数。
- 5 测定初始读数 30s 内，玻璃板两侧灌浆料表面盖上两层湿棉布。
- 6 从测定初始读数起，每隔 2h 浇水一次。连续浇水 4 次。以后每隔 4h 浇水 1 次。保湿养护至要求龄期，测定 3d、7d 试件高度读数。
- 7 从测量初始读数开始，测量装置和试件应保持静止不动，并不受振动。

R. 2. 4 竖向膨胀率计算

竖向膨胀率可按式 (R. 2. 4) 进行计算：

$$\varepsilon_n (\%) = \frac{h_t - h_0}{h} \times 100 \quad (\text{R. 2. 4})$$

式中： ε_n —竖向膨胀率；

h_0 —试件高度的初始读数 (mm)；

h_t —试件龄期为 t 时的高度读数 (mm)；

h —试件的基准高度 100 (mm)。

试验结果取一组三个试件的算术平均值，计算精确到 10^{-2} 。

★摘引自《混凝土外加剂应用技术规范》(GB 50119—2003)附录 B。

▲摘引自《混凝土外加剂应用技术规范》(GB 50119—2003)附录 C。

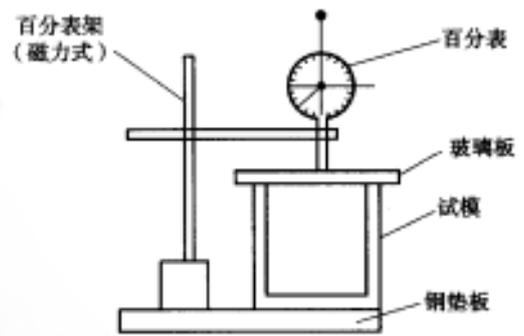


图 R. 2. 2 竖向膨胀率装置示意图

附录 S 本指南用词说明

S. 0. 1 对指南条文执行严格程度的用词，采用以下写法：

1 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”；反面词采用“严禁”。

2 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”；反面词采用“不应”或“不得”。

3 表示允许稍有选择，在条件许可时，首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”或“可”；反面词采用“不宜”。

S. 0. 2 条文中应按指定的其他有关标准、规范的规定执行，其写法为“应按……执行”或“应符合……要求(或规定)”。

如非必须按指定的其他有关标准、规范的规定执行，其写法为“可参照……”。