

中华人民共和国行业标准

水运工程水工建筑物检测与评估技术规范

JTS 304—2019

主编单位：交通运输部天津水运工程科学研究院

中交四航工程研究院有限公司

批准部门：中华人民共和国交通运输部

施行日期：2019年5月15日

人民交通出版社股份有限公司

2019·北京

中华人民共和国行业标准

书 名：水运工程水工建筑物检测与评估技术规范

著 作 者：交通运输部天津水运工程科学研究所

中交四航工程研究院有限公司

责任编辑：董 方

责任校对：尹 静

责任印制：张 凯

出版发行：人民交通出版社股份有限公司

地 址：(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址：<http://www.chinasybook.com>

销售电话：(010)64981400, 59757915

总 经 销：北京交实文化发展有限公司

印 刷：北京鑫正大印刷有限公司

开 本：880×1230 1/16

印 张：6.5

字 数：146千

版 次：2018年4月 第1版

印 次：2018年4月 第1次印刷

统一书号：15114·3045

定 价：80.00元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

交通运输部关于发布《水运工程水工建筑物 检测与评估技术规范》的公告

2019年第17号

《水运工程水工建筑物检测与评估技术规范》为水运工程强制性行业标准，标准代码为JTS 304—2019，自2019年5月15日起施行，由交通运输部水运局负责管理和解释。《港口水工建筑物检测与评估技术规范》（JTJ 302—2006）同时废止。

特此公告。

中华人民共和国交通运输部

2019年4月9日

制定说明

本规范是根据《交通运输部关于下达2012年度水运工程建设标准编制计划的通知》（交水发〔2012〕582号）的要求，由交通运输部水运局组织有关单位，在《港口水工建筑物检测与评估技术规范》（JTJ 302—2006）的基础上，通过调查研究和总结大量水运工程水工建筑物检测与评估经验，结合我国水运工程水工建筑物检测与评估现状和技术发展趋势，借鉴国内外相关行业标准，经广泛征求意见编制而成。

《港口水工建筑物检测与评估技术规范》（JTJ 302—2006）自2007年5月1日实施以来，对指导开展港口工程水工建筑物检测与评估工作，规范检测与评估活动发挥了很好的作用，为该时期码头的升级改造工作做出了重要贡献。近年来，随着国家战略对交通水运行业发展的新要求，水运工程水工建筑物检测与评估的服务范围扩大和技术方法不断创新等，该规范的部分内容已不能很好地适应水运行业发展的新需求。为此，结合我国多年来开展水运工程检测评估工作积累的实践经验，以及我国水运工程行业检测评估技术现状与发展趋势，制定了《水运工程水工建筑物检测与评估技术规范》。

本规范共分12章7个附录，并附条文说明。主要包括混凝土结构耐久性检测与评估、钢结构耐久性检测与评估、防腐蚀措施检测与评估、码头检测与评估、防波堤检测与评估、港口护岸检测与评估、通航建筑物检测与评估、航道整治建筑物检测与评估、船厂水工建筑物检测与评估等技术内容。

本规范主编单位为交通运输部天津水运工程科学研究院和中交四航工程研究院有限公司，参编单位为中交天津港湾工程研究院有限公司、天津水运工程勘察设计院、长江航道规划设计研究院、苏交科集团股份有限公司、中交武汉港湾工程设计研究院有限公司、南京水利科学研究院、中交第一航务工程勘察设计院有限公司。本规范编写人员分工如下：

- 1 总则：郑锋勇 徐满意
- 2 术语：张 强 苏林王 熊荣军
- 3 基本规定：张 强 苏林王 李越松 张宝华 陈浩宇 熊荣军
- 4 混凝土结构耐久性检测与评估：苏林王 熊建波 陈浩宇 陈 龙 应宗权
张 强 李越松
- 5 钢结构耐久性检测与评估：陈 龙 苏林王 徐 宁 应宗权 张宝华 孟 静
陈浩宇
- 6 防腐蚀措施检测与评估：熊建波 徐 宁 陈 龙 应宗权 陈浩宇
- 7 码头检测与评估：李越松 刘现鹏 应宗权 陈浩宇 张宝华 居炎飞 曹胜敏
徐 宁

- 8 防波堤检测与评估：安小龙 吴晓明 李越松 张 强
- 9 港口护岸检测与评估：熊荣军 张 强 吴晓明 曹胜敏
- 10 通航建筑物检测与评估：徐满意 孟 静 刘思国 孙百顺
- 11 航道整治建筑物检测与评估：孙爱国 熊荣军 孙百顺 张宝华
- 12 船厂水工建筑物检测与评估：刘思国 李越松 孟 静 郑锋勇
- 附录A：苏林王 张 强 熊建波
- 附录B：郑锋勇 熊建波 苏林王
- 附录C：苏林王 熊建波
- 附录D：张 强 李越松 孟 静
- 附录E：陈 龙 苏林王
- 附录F：熊建波 徐 宁
- 附录G：郑锋勇

本规范于2018年3月30日通过部审，2019年4月9日发布，自2019年5月15日起施行。

本规范由交通运输部水运局负责管理和解释。请各有关单位在使用本规范过程中，将发现的问题和意见及时函告交通运输部水运局（地址：北京市建国门内大街11号，交通运输部水运局技术管理处，邮政编码：100736）和本规范管理组（地址：天津市滨海新区塘沽新港二号路2618号，交通运输部天津水运工程科学研究院，邮政编码：300456），以便修订时参考。

目次

1	总则	(1)
2	术语	(2)
3	基本规定	(4)
4	混凝土结构耐久性检测与评估	(7)
4.1	腐蚀介质及工程情况的调查	(7)
4.2	氯盐引起钢筋锈蚀劣化耐久性检测	(7)
4.3	混凝土碳化引起钢筋锈蚀劣化耐久性检测	(7)
4.4	混凝土冻融劣化耐久性检测	(8)
4.5	氯盐引起钢筋锈蚀劣化耐久性评估	(8)
4.6	混凝土碳化引起钢筋锈蚀劣化耐久性评估	(12)
4.7	混凝土冻融劣化耐久性评估	(13)
5	钢结构耐久性检测与评估	(15)
5.1	腐蚀介质及工程情况的调查	(15)
5.2	检测	(15)
5.3	评估	(15)
6	防腐蚀措施检测与评估	(17)
6.1	腐蚀介质及工程情况的调查	(17)
6.2	混凝土表面涂层劣化检测与评估	(17)
6.3	混凝土表面硅烷浸渍劣化检测与评估	(18)
6.4	环氧涂层钢筋与不锈钢钢筋劣化检测与评估	(18)
6.5	混凝土结构外加电流阴极保护效果检测与评估	(18)
6.6	钢结构涂层及金属热喷涂劣化检测与评估	(19)
6.7	钢结构牺牲阳极阴极保护效果检测与评估	(20)
6.8	钢结构外加电流阴极保护效果检测与评估	(20)
7	码头检测与评估	(21)
7.1	一般规定	(21)
7.2	重力式码头检测与评估	(22)
7.3	板桩码头检测与评估	(23)
7.4	高桩码头检测与评估	(24)
7.5	斜坡码头、浮码头检测与评估	(26)

8 防波堤检测与评估	(28)
8.1 检测	(28)
8.2 评估	(29)
9 港口护岸检测与评估	(31)
9.1 检测	(31)
9.2 评估	(32)
10 通航建筑物检测与评估	(34)
10.1 一般规定	(34)
10.2 船闸检测与评估	(34)
10.3 升船机检测与评估	(36)
11 航道整治建筑物检测与评估	(38)
11.1 一般规定	(38)
11.2 航道护岸检测与评估	(38)
11.3 护底护滩检测与评估	(40)
11.4 坝体检测与评估	(41)
12 船厂水工建筑物检测与评估	(43)
12.1 一般规定	(43)
12.2 干船坞检测与评估	(43)
12.3 船台、滑道检测与评估	(44)
附录A 腐蚀后钢筋混凝土构件承载能力验算	(46)
附录B 检测与评估报告编写要求	(49)
附录C 混凝土结构钢筋锈蚀劣化耐久性检测方法	(51)
C.1 锈蚀劣化外观检测	(51)
C.2 钢筋锈蚀劣化耐久性专项检测	(52)
附录D 混凝土结构冻融劣化耐久性检测方法	(55)
D.1 冻融劣化外观检测	(55)
D.2 冻融劣化专项检测	(55)
附录E 钢结构锈蚀检测方法	(57)
E.1 构件外观检测	(57)
E.2 构件厚度检测	(57)
附录F 防腐蚀措施检测方法	(58)
F.1 涂层劣化检测	(58)
F.2 钢结构电位检测	(58)
F.3 试片腐蚀情况检测	(58)
F.4 牺牲阳极检测	(59)
F.5 直流电源装置的运行状况检测	(59)
附录G 本规范用词说明	(61)

引用标准名录	(62)
附加说明 本规范主编单位、参编单位、主要起草人、主要审查人、总校人员 和管理组人员名单	(63)
《港口水工建筑物检测与评估技术规范》(JTJ 302—2006) 主编单位、 参编单位、主要起草人名单	(65)
条文说明	(67)

1 总 则

1.0.1 为统一水运工程水工建筑物检测与评估技术要求，保障检测与评估质量，适应水运工程水工建筑物维护管理需要，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于港口、航道、修造船水工建筑物的检测与评估。

1.0.3 水运工程水工建筑物的检测与评估除应符合本规范规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 检测与评估 Detection and Assessment

为检验结构在未来使用中的可靠性而开展的一系列活动。

2.0.2 评估单元 Assessment Unit

被评估建筑物可划分成一个或若干个能对其独立进行评估的区段，如结构分段或结构分部、分项工程。

2.0.3 子单元 Subunits

评估单元中细分的单元。

2.0.4 基本单元 Basic Unit

子单元中细分的单元。

2.0.5 主要构件 Main Component

自身失效将导致相关构件失效，并危及承重结构系统工作的构件。

2.0.6 一般构件 General Component

自身失效不会导致主要构件失效的构件。

2.0.7 子单元检测评估项目 the Subunit Detection Assessment Items

针对影响子单元可靠性的因素所确定的检测评估项目。

2.0.8 构件检测评估项目 Component Detection Assessment Items

针对影响构件可靠性的因素所确定的检测评估项目。

2.0.9 安全性 Safety

结构在正常使用条件下，承受可能出现的各种作用的能力，以及在偶然事件发生时和发生后，仍保持必要的整体稳定性的能力。

2.0.10 适用性 Serviceability

结构在正常使用条件下，满足预定使用功能要求的能力。

2.0.11 耐久性 Durability

结构在正常使用和维护条件下，随时间变化而仍能满足预定功能要求的能力。

2.0.12 结构使用年限 Structure Service Life

结构的安全性、适用性、耐久性等各种性能均能满足使用要求的年限。

2.0.13 结构剩余使用年限 Structural Remaining Service Life

结构或构件使用若干年后，在规定的使用条件和正常维护条件下，无须采取修补措施继续保持其预定功能的时间。

2.0.14 耐久性损伤 Durability Damage

由化学、物理等因素作用造成结构功能随时间退化的累积损伤。

2.0.15 耐久性极限状态 Durability Limit State

结构或构件因耐久性损伤造成某项性能降低或丧失而不能满足要求的极限状态。

2.0.16 劣化度 Deteriorative Degree

结构或材料在物理或化学作用下，其性能下降的程度。

2.0.17 自然腐蚀电位 Free Corrosion Potential

没有净电流从研究金属表面流入或流出时的腐蚀电位。

2.0.18 瞬时断电电位 Instant-off Potential

为消除电流流经电解质时由电解质电阻所造成的电压降引起的测量误差，在停止通电瞬时测得的电位。

3 基本规定

3.0.1 水运工程水工建筑检测与评估的目的、范围和内容应根据评估对象的具体情况和要求经初步调查后确定。

3.0.2 检测与评估前的初步调查应包括下列内容：

- (1) 原勘察设计文件和竣工资料；
- (2) 建筑物的历史；
- (3) 建筑物检查和维护资料；
- (4) 现场考察。

3.0.3 水运工程水工建筑物检测与评估应编制工作大纲。检测与评估工作大纲应根据要求和初步调查结果制定，检测方法应符合国家现行有关标准的规定。

3.0.4 评估可分为安全性评估、适用性评估和耐久性评估，并应符合下列规定。

3.0.4.1 在下列情况下，应对水运工程水工建筑物进行安全性、适用性和耐久性评估：

- (1) 建筑物达到设计使用年限需继续使用；
- (2) 改变建筑物的功能或使用条件；
- (3) 受地震、台风、海啸、洪水、爆炸等重大灾害影响致建筑物出现损伤。

3.0.4.2 在下列情况下，应对水运工程水工建筑物进行安全性和适用性评估：

- (1) 建筑物出现影响其安全使用的变形、位移、裂缝、破损和耐久性损伤等；
- (2) 偶发事故影响导致建筑物局部受损。

3.0.4.3 在下列情况下，应对水运工程水工建筑物进行耐久性评估：

- (1) 钢材锈蚀或混凝土劣化导致结构明显损坏；
- (2) 建筑物的防腐蚀措施达到设计保护年限。

3.0.5 水运工程水工建筑物安全性、适用性和耐久性评估分级及处理要求应符合表 3.0.5-1~表 3.0.5-3 的规定。

表 3.0.5-1 水运工程水工建筑物安全性评估分级标准及处理要求

等级	分 级 标 准	处 理 要 求
A	安全性符合国家有关标准要求，具有足够的承载能力	不必采取措施
B	安全性略低于国家有关标准要求，尚不显著影响承载能力	宜加强检测，视情况采取维护措施
C	安全性不符合国家有关标准要求，显著影响承载能力	及时进行修复、补强，视条件和要求恢复到 A 级或 B 级标准
D	安全性严重不符合国家有关标准要求，已严重影响承载能力	立即进行修复、补强，视条件和要求恢复到 B 级标准或报废

表 3.0.5-2 水运工程水工建筑物适用性评估分级标准及处理要求

等级	分 级 标 准	处 理 要 求
A	建筑物整体完好，变形、位移均在设计允许范围内	不必采取措施
B	建筑物整体完好，变形、位移略超出设计允许范围，但不影响正常使用	宜加强监测，视情况采取维护措施
C	建筑物整体破损明显，变形、位移明显超出设计允许范围，影响正常使用	及时进行修复、补强，视条件和要求恢复到 A 级或 B 级标准
D	建筑物整体破损严重，变形、位移过大，显著影响安全性和整体使用功能	立即进行修复、补强，视条件和要求恢复到 B 级标准或报废

表 3.0.5-3 水运工程水工建筑物混凝土结构耐久性评估分级标准及处理要求

等级	分 级 标 准	处 理 要 求
A	材料劣化度符合 A 级标准规定，耐久性满足设计使用年限要求	不必采取措施
B	材料劣化度符合 B 级标准规定，耐久性基本满足设计使用年限要求，结构损伤尚不影响承载能力	及时采取修复措施
C	材料劣化度符合 C 级标准规定，耐久性不满足设计使用年限要求，结构损伤已影响承载能力	立即采取修复、补强措施
D	材料劣化度符合 D 级标准规定，耐久性不满足设计使用年限要求，结构严重损坏	视条件采取修复、补强措施或报废

3.0.6 检测与评估单元划分及评估分级应按下列规定进行。

3.0.6.1 检测评估单元的划分应满足下列要求：

- (1) 根据结构特点选择一个或若干个有代表性的区段作为评估单元；
- (2) 按地基、基础和结构将评估单元划分为若干个子单元；
- (3) 按构件类别将子单元划分为若干个基本单元。

3.0.6.2 检测和验算的项目及内容应根据影响地基、基础、结构或构件安全性、适用性和耐久性的因素确定。

3.0.6.3 评估分级应从基本单元、子单元和评估单元依次进行，并符合下列规定：

- (1) 根据检测项目的评估结果确定基本单元等级；
- (2) 根据基本单元或子单元检测项目评估结果确定子单元等级；
- (3) 根据子单元的评估结果，确定评估单元等级。

3.0.7 材料劣化和地基沉降的检测宜采取定期检查和专项检测相结合的方式，对地震、台风等自然灾害或偶发事故造成的变化应以专项检测为主。

3.0.8 安全性评估应根据承载能力极限状态验算的结果进行。承载能力极限状态验算应符合下列规定。

3.0.8.1 结构构件验算方法应符合国家现行有关标准的规定。

3.0.8.2 结构构件验算的计算模型应符合实际受力和构造状态。

3.0.8.3 结构上的作用应经调查或检测核实，并按现行行业有关标准的规定确定，同时应考虑因用途变更或结构的改动所引起作用的变化。

3.0.8.4 材料强度标准值宜通过现场检测，并按现行国家标准《港口工程结构可靠性设计统一标准》(GB 50158) 等的有关规定确定。当结构无明显功能性退化和施工缺陷时，构件材料强度标准值可按国家现行有关标准采用。

3.0.8.5 结构或构件几何参数应采用实测值，并应计入材料劣化、局部缺陷等影响。钢筋混凝土构件计算应考虑锈蚀钢筋截面面积减小、屈服强度降低及钢筋与混凝土间握裹力减小等因素。

3.0.8.6 锈蚀钢筋混凝土构件承载能力验算可按附录 A 的规定进行。

3.0.8.7 通过荷载试验确定结构构件承载能力时，试验方法应符合国家现行有关标准的规定。

3.0.9 耐久性评估应根据材料劣化度和不同的耐久性极限状态进行。

3.0.10 耐久性损伤导致安全性、适用性功能明显退化时，尚应按承载能力极限状态或正常使用极限状态进行安全性或适用性评估。

3.0.11 检测与评估的单位应具有相应的资质和能力。

3.0.12 检测前，制定的检测方案应符合相关的要求。

3.0.13 检测与评估的报告格式及内容可参照附录 B。

4 混凝土结构耐久性检测与评估

4.1 腐蚀介质及工程情况的调查

4.1.1 腐蚀介质调查内容宜包括潮汐、温度、湿度、pH值、水污染情况和其他侵蚀介质等，海水环境混凝土结构腐蚀介质调查内容还应包括海水中氯离子含量。

4.1.2 工程情况的调查内容除应包括第3.0.2条规定的内容外，还应包括耐久性检查检测记录。

4.2 氯盐引起钢筋锈蚀劣化耐久性检测

4.2.1 氯盐引起钢筋锈蚀劣化外观检测应包括下列内容：

- (1) 混凝土表面蜂窝、麻面和露石等原始缺陷；
- (2) 钢筋锈蚀引起的锈迹、裂缝、空鼓、剥落和露筋等的位置、数量、宽度、长度和面积。

4.2.2 氯盐引起钢筋锈蚀劣化耐久性专项检测应包括下列内容：

- (1) 混凝土物理力学性能；
- (2) 混凝土保护层厚度；
- (3) 混凝土碳化深度；
- (4) 锈蚀钢筋断面损失；
- (5) 海水环境下混凝土中氯离子渗透扩散情况；
- (6) 海水环境下钢筋腐蚀电位。

4.2.3 氯盐引起钢筋锈蚀劣化耐久性检测方法应符合附录C的有关规定。

4.3 混凝土碳化引起钢筋锈蚀劣化耐久性检测

4.3.1 钢筋锈蚀劣化外观检测应包括下列内容：

- (1) 混凝土表面蜂窝、麻面和露石等原始缺陷；
- (2) 钢筋锈蚀引起的锈迹、裂缝、起鼓、剥落和露筋等的位置、数量、宽度、长度和面积。

4.3.2 混凝土碳化引起钢筋锈蚀劣化耐久性专项检测应包括下列内容：

- (1) 混凝土物理力学性能；
- (2) 混凝土保护层厚度；
- (3) 混凝土碳化深度；
- (4) 锈蚀钢筋断面损失；

(5) 钢筋腐蚀电位。

4.3.3 混凝土碳化引起钢筋锈蚀劣化耐久性检测方法应按附录C的有关规定执行。

4.4 混凝土冻融劣化耐久性检测

4.4.1 冻融劣化外观检测应包括下列内容：

- (1) 混凝土表面蜂窝、麻面和露石等原始缺陷；
- (2) 混凝土冻融引起的剥落、露筋、冻胀裂缝、掉角、洞穴和崩溃等。

4.4.2 冻融劣化专项检测应包括下列内容：

- (1) 混凝土物理力学性能；
- (2) 混凝土保护层厚度；
- (3) 混凝土碳化深度；
- (4) 混凝土剩余冻融循环次数。

4.4.3 冻融劣化耐久性检测方法应符合附录D的有关规定。

4.5 氯盐引起钢筋锈蚀劣化耐久性评估

4.5.1 氯盐引起钢筋锈蚀劣化耐久性评估应包括混凝土结构外观劣化度评估和结构使用年限预测。

4.5.2 外观劣化度评估应根据外观检测结果按不同构件种类进行，外观劣化度分级标准应符合表4.5.2的规定。

表4.5.2 外观劣化度分级标准

构 件		等 级			
类别	检测项目	A	B	C	D
板	钢筋锈蚀	无	混凝土表面可见局部锈迹	锈迹较多，钢筋锈蚀范围较广	锈迹普遍，钢筋表面部分或全部锈蚀，钢筋截面面积明显减小
	裂缝	无	局部有微小锈蚀裂缝，裂缝宽度小于0.3mm	锈蚀裂缝较多或呈网状，裂缝宽度在0.3mm~1.0mm之间	大面积锈蚀裂缝呈网状，裂缝宽度大于1.0mm
	剥离剥落	无	局部小面积空鼓和剥落，空鼓和剥落面积小于区域面积的10%	局部有剥落，空鼓和剥落面积小于区域面积的30%	大面积剥落，空鼓和剥落面积达到区域面积的30%
梁	钢筋锈蚀	无	混凝土表面可见局部锈迹	锈迹较多，钢筋锈蚀范围较广	锈迹普遍，钢筋表面大部分或全部锈蚀，钢筋截面面积明显减小
	裂缝	无	局部有微小锈蚀裂缝，裂缝宽度小于0.3mm	裂缝较多，部分为顺筋连续裂缝，裂缝宽度在0.3mm~3.0mm之间	大面积顺筋连续裂缝，裂缝宽度大于3.0mm
	剥离剥落	无	局部剥落，剥落长度小于构件长度的5%	局部剥落，剥落长度小于构件长度的10%	剥落长度大于构件长度的10%

续表 4.5.2

构 件		等 级			
类别	检测项目	A	B	C	D
桩与桩帽	钢筋锈蚀	无	混凝土表面可见局部锈迹	锈迹较多, 钢筋锈蚀范围较广	锈迹普遍, 钢筋表面大部分或全部锈蚀, 钢筋截面面积明显减小
	裂缝	无	局部有微小锈蚀裂缝, 裂缝宽度小于0.3mm	裂缝较多, 部分为顺筋连续裂缝, 裂缝宽度在0.3mm~3.0mm之间	大面积顺筋连续裂缝, 裂缝宽度大于3.0mm
	剥离剥落	无	局部剥落, 剥落长度小于构件长度的5%	局部剥落, 剥落长度小于构件长度的10%	剥落长度大于构件长度的10%

4.5.3 外观劣化度评估等级为C级或D级的构件应进行安全性和适用性评估。

4.5.4 氯盐引起混凝土构件劣化进程应分为钢筋开始锈蚀、保护层锈胀开裂和功能明显退化等阶段, 各阶段时间的确定应符合下列规定。

4.5.4.1 钢筋开始锈蚀阶段所经历的时间可按式(4.5.4-1)和式(4.5.4-2)计算, 并满足下列要求:

$$t_i = \left(\frac{c}{k_{Cl}} \right)^2 \quad (4.5.4-1)$$

$$k_{Cl} = 2\sqrt{D} \operatorname{erf}^{-1} \left(1 - \frac{c_t}{c_s \gamma} \right) \quad (4.5.4-2)$$

式中 t_i ——从混凝土浇筑到钢筋开始锈蚀所经历的时间(a);

c ——混凝土保护层厚度(mm);

k_{Cl} ——氯离子侵蚀系数($\text{mm}/\sqrt{\text{a}}$);

D ——混凝土有效扩散系数(mm^2/a);

erf ——误差函数;

c_t ——引起混凝土中钢筋发生腐蚀的氯离子含量临界值(%), 以占胶凝材料质量百分比计;

c_s ——混凝土表面氯离子含量(%), 以占胶凝材料质量百分比计;

γ ——氯离子双向渗透系数, 角部区取1.2, 非角部区取1.0。

(1) 混凝土有效扩散系数当结构使用年限达10年及以上时按实测值选取, 当结构使用年限小于10年时按式(4.5.4-3)计算:

$$D = D_t \left(\frac{t}{10} \right)^m \quad (4.5.4-3)$$

式中 D ——混凝土有效扩散系数(mm^2/a);

D_t ——结构使用时间 t 时的实测扩散系数(mm^2/a);

t ——结构使用时间(a);

m ——扩散系数衰减系数, 按表4.5.4-1选取;

表 4.5.4-1 扩散系数衰减值

混凝土类型	扩散系数衰减值 m
普通硅酸盐混凝土、掺加硅灰的混凝土	0.20
掺加粉煤灰或粒化高炉矿渣粉的混凝土	$0.20+4(F/5+K/7)$

注：F、K 分别为粉煤灰和粒化高炉矿渣粉掺量占胶凝材料总量的百分比。

(2) 氯盐引起混凝土中钢筋发生腐蚀的氯离子含量临界值根据建筑物所处实际环境条件和工程调查资料确定，在无上述可靠资料的情况下按表 4.5.4-2 选取；

表 4.5.4-2 引起混凝土中钢筋腐蚀的氯离子含量临界值

大气区	浪 溅 区			水位变动区
	$0.4 < W/B \leq 0.45$	$0.35 < W/B \leq 0.40$	$W/B \leq 0.35$	
0.55	0.35	0.40	0.45	0.55

注：① W/B 为混凝土的水胶比；

② 表中氯离子含量临界值按占胶凝材料质量的百分比计；

(3) 混凝土表面氯离子含量当结构使用年限达 10 年及以上时按实测值选，当结构使用年限小于 10 年时按表 4.5.4-3 选取。

表 4.5.4-3 混凝土表面氯离子含量

水位变动区	浪 溅 区	大 气 区
5.0	4.5	3.0

注：表中氯离子含量按占胶凝材料质量的百分比计。

4.5.4.2 保护层锈胀开裂阶段所经历的时间可按式 (4.5.4-4) 计算，保护层开裂时钢筋临界锈蚀深度可按式 (4.5.4-5) 计算，保护层开裂前钢筋平均腐蚀速度按式 (4.5.4-6) 计算。

$$t_c = \delta_{cr} / \lambda_1 \quad (4.5.4-4)$$

$$\delta_{cr} = 0.012c/d + 0.00084f_{cu,k} + 0.018 \quad (4.5.4-5)$$

$$\lambda_1 = 0.0116i \quad (4.5.4-6)$$

式中 t_c ——自钢筋开始锈蚀至保护层开裂所经历的时间 (a)；

δ_{cr} ——保护层开裂时钢筋临界锈蚀深度 (mm)；

λ_1 ——保护层开裂前钢筋平均腐蚀速度 (mm/a)；

c ——混凝土保护层厚度 (mm)；

d ——钢筋原始直径 (mm)；

$f_{cu,k}$ ——混凝土立方体抗压强度标准值 (MPa)；

i ——钢筋的腐蚀电流密度 ($\mu A/cm^2$)，按表 4.5.4-4 选取。

表 4.5.4-4 保护层开裂前钢筋的腐蚀电流密度 ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)

混凝土品种	浪 溅 区	水位变动区	大 气 区
普通混凝土	1.00	0.50	0.50
高性能混凝土	0.50	0.25	0.25

4.5.4.3 功能明显退化阶段所经历的时间可按式 (4.5.4-7) 计算:

$$t_d = \left(1 - \frac{3}{\sqrt{10}}\right) \frac{d}{2\lambda_2} \quad (4.5.4-7)$$

式中 t_d ——自保护层开裂到钢筋截面面积减小至原截面 90% 所经历的时间 (a);

d ——钢筋原始直径 (mm);

λ_2 ——保护层开裂后钢筋平均腐蚀速度 (mm/a), 按表 4.5.4-5 选取。

表 4.5.4-5 钢筋平均腐蚀速度 (mm/a)

浪 溅 区	水位变动区	大 气 区
0.20	0.06	0.05

注: 浪溅区钢筋混凝土构件的钢筋平均腐蚀速度取 0.05mm/a。

4.5.5 氯盐引起钢筋锈蚀劣化的钢筋混凝土结构使用年限预测应符合下列规定。

4.5.5.1 钢筋混凝土结构使用年限预测应按式 (4.5.5-1) 计算:

$$t_e = t_1 + t_c + t_d \quad (4.5.5-1)$$

式中 t_e ——钢筋混凝土结构使用年限 (a);

t_1 ——从混凝土浇筑到钢筋开始锈蚀所经历的时间 (a);

t_c ——自钢筋开始锈蚀至保护层开裂所经历的时间 (a);

t_d ——自保护层开裂到钢筋截面面积减小至原截面 90% 所经历的时间 (a)。

4.5.5.2 预应力筋为钢筋的预应力混凝土结构使用年限预测应按式 (4.5.5-2) 计算:

$$t_e = t_1 + t_c \quad (4.5.5-2)$$

式中 t_e ——钢筋混凝土结构使用年限 (a);

t_1 ——从混凝土浇筑到钢筋开始锈蚀所经历的时间 (a);

t_c ——自钢筋开始锈蚀至保护层开裂所经历的时间 (a)。

4.5.5.3 预应力筋为高强钢丝、钢绞线的预应力混凝土结构使用年限预测应按式 (4.5.5-3) 计算:

$$t_e = t_1 \quad (4.5.5-3)$$

式中 t_e ——钢筋混凝土结构使用年限 (a);

t_1 ——从混凝土浇筑到预应力筋开始锈蚀所经历的时间 (a)。

4.5.6 氯盐引起钢筋锈蚀劣化的钢筋混凝土结构剩余使用年限可按式 (4.5.6) 计算:

$$t_{re} = t_e - t_0 \quad (4.5.6)$$

式中 t_{re} ——混凝土结构剩余使用年限 (a);

t_e ——混凝土结构使用年限 (a);

t_0 ——混凝土结构自建成至检测时已使用的时间 (a)。

4.5.7 氯盐引起钢筋混凝土构件腐蚀劣化耐久性评估分级标准及处理要求应符合第3.0.5条的规定。

4.6 混凝土碳化引起钢筋锈蚀劣化耐久性评估

4.6.1 混凝土碳化引起钢筋锈蚀劣化耐久性评估应包括混凝土结构外观劣化度评估和结构使用年限预测。

4.6.2 外观劣化度评估应按第4.5.2条的规定执行。

4.6.3 外观劣化度评估等级为C级或D级的构件应进行安全性和适用性评估。

4.6.4 混凝土碳化引起钢筋锈蚀劣化的结构使用年限预测应为自检测时刻起至钢筋开始锈蚀的剩余年限或自检测时刻起至钢筋具备锈蚀条件的剩余年限。

4.6.5 混凝土碳化引起钢筋锈蚀劣化的结构使用年限预测可采用已有碳化模型、校准碳化模型或实测碳化模型的方法进行推定。

4.6.6 利用已有碳化模型和校准碳化模型的方法时,均应检测构件混凝土实际碳化深度并确定构件混凝土实际碳化时间。

4.6.7 已有碳化模型的验证应符合下列规定。

4.6.7.1 混凝土碳化深度应根据混凝土实际碳化时间、混凝土参数及环境实际参数按选定的碳化模型进行计算。

4.6.7.2 实测碳化深度与计算碳化深度之差的绝对值应按式(4.6.7)计算:

$$\Delta_D = |D_0 - D_{cal}| \quad (4.6.7)$$

式中 Δ_D ——实测碳化深度与计算碳化深度之差的绝对值(mm),精确至0.1mm;

D_0 ——实测碳化深度(mm),精确至0.5mm;

D_{cal} ——计算碳化深度(mm),精确至0.1mm。

4.6.7.3 当满足 Δ_D 不大于2mm或 Δ_D 不大于 $0.1D_0$ 时,可利用该模型推定碳化剩余使用年限;当两个条件均不能满足时,应采取校准碳化模型的方法。

4.6.8 利用已有碳化模型进行混凝土碳化引起钢筋锈蚀劣化的钢筋混凝土结构使用年限预测可按下列步骤进行:

(1) 将钢筋的实际保护层厚度代入选定的碳化模型,计算碳化达到钢筋表面所需的时间;

(2) 碳化达到钢筋表面的剩余时间按式(4.6.8)计算:

$$t_s = t_p - t_0 \quad (4.6.8)$$

式中 t_s ——碳化达到钢筋表面的剩余时间(a);

t_p ——碳化达到钢筋表面的时间(a);

t_0 ——混凝土结构自建成至检测时已使用的时间(a);

(3) 对于干湿交替环境或室外环境,以 t_s 作为钢筋开始锈蚀的剩余年限;对于干燥环境,以 t_s 作为钢筋具备锈蚀条件的剩余年限。

4.6.9 选定校准碳化模型应按下列步骤进行:

(1) 将碳化模型所有参数实测值或经验值代入选定碳化模型计算碳化深度;

(2) 将计算碳化深度与实测碳化深度进行比较, 确定应调整的参数、参数的系数或参数在碳化模型的函数关系;

(3) 采用调整后的模型计算 D_{cal} , 直至满足第4.6.7.3款的要求。

4.6.10 利用校准碳化模型进行混凝土碳化引起钢筋锈蚀劣化的钢筋混凝土结构使用年限预测应采用校正后的碳化模型按第4.6.8条的规定进行推定。

4.6.11 实测碳化模型的确定应按下列步骤进行:

(1) 实测不少于20个碳化深度数据;

(2) 计算碳化深度均值推定区间;

(3) 当均值推定区间上限值与下限值的差值不大于其均值的10%时, 以均值作为该批混凝土碳化深度的代表值;

(4) 当均值推定区间上限值与下限值的差值大于其均值的10%时, 增加样本容量, 进行补充检测, 直至满足本条第(3)项的规定;

(5) 按式(4.6.11-1)计算碳化系数:

$$k_c = D_m / \sqrt{t_0} \quad (4.6.11-1)$$

式中 k_c ——碳化系数 (mm^2/a);

D_m ——该批混凝土碳化深度的代表值 (mm);

t_0 ——已经碳化的时间 (a);

(6) 实测碳化模型用式(4.6.11-2)表示:

$$D' = k_c \sqrt{t'} \quad (4.6.11-2)$$

式中 D' ——实测碳化深度 (mm);

k_c ——碳化系数 (mm^2/a);

t' ——时间 (a)。

4.6.12 利用实测碳化模型进行混凝土碳化引起钢筋锈蚀劣化的钢筋混凝土结构使用年限预测应符合第4.6.8条的规定。

4.7 混凝土冻融劣化耐久性评估

4.7.1 混凝土冻融劣化耐久性评估应根据混凝土冻融劣化外观检测结果进行, 混凝土冻融劣化度评估分级标准应符合表4.7.1的规定。

表4.7.1 混凝土冻融劣化度评估分级标准

等 级	分 级 标 准
A	整体结构完好, 表面平整, 棱角俱在
B	表面出现麻面或脱皮现象, 局部石子外露, 棱角变圆, 松顶现象明显
C	棱角棱线消失, 石子脱落较多, 局部钢筋外露, 表面破坏面积小于40%, 松顶破坏严重
D	边缘及棱角全部破坏, 大面积钢筋外露, 表面破坏面积达40%以上, 局部穿洞或呈洞穴状, 表面疏松

4.7.2 冻融劣化度为A级或B级的混凝土构件宜通过现场取样进行混凝土抗冻融试验

确定其剩余抗冻融循环次数。

4.7.3 冻融劣化度为B级或C级的钢筋混凝土结构应进行钢筋锈蚀耐久性检测与评估。

4.7.4 冻融劣化度为C级或D级的钢筋混凝土结构应进行安全性和适用性评估。

4.7.5 混凝土构件冻融劣化耐久性评估分级标准及处理要求应符合第3.0.5条的规定。

5 钢结构耐久性检测与评估

5.1 腐蚀介质及工程情况的调查

5.1.1 腐蚀介质调查内容宜包括潮汐、温度、湿度、含盐量、pH值、电阻率、水污染情况和其他侵蚀介质等，海水环境钢结构腐蚀介质调查内容还应包括海水中氯离子含量。

5.1.2 工程情况的调查内容除应包括第3.0.2条规定的内容外，还应包括腐蚀情况的检查检测记录。

5.2 检 测

5.2.1 淡水环境钢结构外观检测应针对水上区和水下区等不同部位分别检测，海水环境钢结构外观检测应针对大气区、浪溅区、水位变动区和水下区等不同部位分别检测，检测应包括下列内容：

- (1) 锈蚀发生的位置、面积和分布情况；
- (2) 钢结构表面集中锈蚀、点蚀或穿孔情况；
- (3) 外力作用引起的损伤情况等。

5.2.2 钢结构构件厚度检测应根据外观检测结果选择腐蚀严重和应力大的部位。

5.2.3 钢结构的锈蚀检测方法应符合附录E的规定。

5.3 评 估

5.3.1 钢结构耐久性评估验算应符合下列规定。

5.3.1.1 验算断面的选取应综合考虑钢材腐蚀状况和结构应力分布状况等不利因素。

5.3.1.2 验算断面尺寸宜采用调查结果的平均值，并应考虑坑蚀程度的影响。

5.3.1.3 腐蚀速度的计算应按下列情况分别进行：

- (1) 无防腐蚀措施的钢结构腐蚀速度按式(5.3.1-1)计算：

$$V_0 = \frac{D_i - D_f}{t_s} \quad (5.3.1-1)$$

式中 V_0 ——钢结构腐蚀速度 (mm/a)；

D_i ——钢结构原始厚度 (mm)；

D_f ——检测时钢结构的平均厚度 (mm)；

t_s ——检测时钢结构已使用的时间 (a)；

- (2) 有防腐蚀措施的钢结构，腐蚀速度按式(5.3.1-2)计算：

$$V_1 = \frac{D_i - D_f}{(1 - \beta)t_{s1} + t_{s2}} \quad (5.3.1-2)$$

式中 V_1 ——钢结构腐蚀速度 (mm/a);
 D_i ——钢结构原始厚度 (mm);
 D_f ——检测时钢结构平均厚度 (mm);
 β ——防腐蚀措施防腐效率, 对涂层防腐或涂层与阴极保护联合防腐取 0.5~0.95, 对阴极保护防腐按表 5.3.1 选取;
 t_{s1} ——防腐蚀措施有效工作时间 (a);
 t_{s2} ——防腐蚀措施失效后至调查时的时间 (a)。

表 5.3.1 阴极保护防腐蚀措施防腐效率

水位变动区	水下区
$0.2 \leq \beta < 0.9$	$\beta \geq 0.9$

5.3.2 钢结构使用年限应根据腐蚀情况检测结果按式 (5.3.2) 计算:

$$t_e = t_s + \frac{D_f - D_t}{V} \quad (5.3.2)$$

式中 t_e ——钢结构使用年限 (a);
 t_s ——检测时钢结构已使用的时间 (a);
 D_f ——检测时钢结构的平均厚度 (mm);
 D_t ——按承载能力极限状态计算得出的钢结构厚度 (mm);
 V ——钢结构腐蚀速度 (mm/a)。

5.3.3 钢结构耐久性评估分级标准应符合表 5.3.3 的规定。

表 5.3.3 钢结构耐久性评估分级标准及处理要求

等级	分 级 标 准	处 理 要 求
A	具有足够的承载能力, 耐久性满足设计使用年限要求	不必采取措施
B	腐蚀尚不显著影响承载能力, 耐久性不满足设计使用年限要求	及时采取修复措施
C	腐蚀已显著影响承载能力, 耐久性不满足设计使用年限要求	立即采取修复、补强措施
D	腐蚀已严重影响承载能力, 耐久性不满足设计使用年限要求	视情况采取修复、补强措施或报废

6 防腐蚀措施检测与评估

6.1 腐蚀介质及工程情况的调查

6.1.1 腐蚀介质调查内容宜包括潮汐、温度、湿度、含盐量、pH值、电阻率、水污染情况和其他侵蚀介质等，海水环境腐蚀介质调查内容还应包括海水中氯离子含量。

6.1.2 工程情况调查内容除应包括第3.0.2条的内容外，还应包括腐蚀情况和防腐蚀措施的设计、施工情况与检测记录等。

6.2 混凝土表面涂层劣化检测与评估

6.2.1 涂层劣化检测应包括下列内容：

- (1) 涂层的粉化、变色、裂纹、起泡和脱落等外观变化情况；
- (2) 涂层干膜厚度；
- (3) 涂层与构件混凝土间的粘结力。

6.2.2 检测方法应符合附录F的有关规定。

6.2.3 涂层劣化评估分级标准及处理要求应符合表6.2.3的规定。

表 6.2.3 涂层劣化评估分级标准及处理要求

等 级	分 级 标 准	处 理 要 求
A	同时符合下列条件时： (1) 无粉化变色或轻微粉化变色，无裂纹、起泡和脱落； (2) 涂层干膜厚度不小于原设计厚度的90%； (3) 涂层粘结力不小于1.5MPa	不必采取措施
B	符合下列任一条件时： (1) 明显粉化变色，分散的裂纹、起泡和脱落面积不大于0.3%； (2) 涂层干膜厚度小于原设计厚度的90%且不小于原设计厚度的75%； (3) 涂层粘结力小于1.5MPa且不小于1.0MPa	及时进行局部修补
C	符合下列任一条件时： (1) 较严重粉化变色，裂纹、起泡和脱落面积大于0.3%且不大于1.0%； (2) 涂层干膜厚度小于原设计厚度的75%； (3) 涂层粘结力小于1.0MPa	立即进行修补
D	符合下列任一条件时： (1) 严重粉化变色，大范围的裂纹、起泡和脱落面积大于1.0%； (2) 涂层干膜厚度小于原设计厚度的75%； (3) 刀刮容易剥离	立即进行全面修补

6.3 混凝土表面硅烷浸渍劣化检测与评估

6.3.1 混凝土表面硅烷浸渍劣化检测应包括下列内容：

- (1) 吸水率；
- (2) 硅烷浸渍深度；
- (3) 氯化物吸收量降低效果。

6.3.2 检测方法应符合现行行业标准《水运工程结构耐久性设计标准》(JTS 153) 和《水运工程混凝土结构实体检测技术规程》(JTS 239) 的有关规定。

6.3.3 混凝土表面硅烷浸渍劣化评估分级标准及处理要求应符合表 6.3.3 的规定。

表 6.3.3 混凝土表面硅烷浸渍劣化评估分级标准及处理要求

等 级	分 级 标 准	处 理 要 求
A	同时符合下列条件时： (1) 吸水率不大于 $0.01 \text{ mm}/\sqrt{\text{min}}$ ； (2) 普通混凝土浸渍深度不应小于 3mm，高性能混凝土浸渍深度不应小于 2mm	不必采取措施
B	符合下列任一条件时： (1) 吸水率大于 $0.01 \text{ mm}/\sqrt{\text{min}}$ ； (2) 普通混凝土浸渍深度小于 3mm，高性能混凝土浸渍深度小于 2mm	及时采取相应措施

6.4 环氧涂层钢筋与不锈钢钢筋劣化检测与评估

6.4.1 环氧涂层钢筋与不锈钢钢筋劣化检测应测量钢筋的自然腐蚀电位。

6.4.2 检测方法应符合附录 C 的有关规定。

6.4.3 环氧涂层钢筋与不锈钢钢筋劣化评估分级标准及处理要求应符合表 6.4.3 的规定。

表 6.4.3 环氧涂层钢筋与不锈钢钢筋劣化评估分级标准及处理要求

等 级	分 级 标 准	处 理 要 求
A	腐蚀电位正向大于 -200mV	不必采取措施
B	腐蚀电位在 -200mV~-350mV 之间	进行全面检测
C	腐蚀电位负向大于 -350mV	及时采取相应措施

注：腐蚀电位为相对于 Cu/饱和 CuSO_4 参比电极测得的电位。

6.5 混凝土结构外加电流阴极保护效果检测与评估

6.5.1 混凝土结构外加电流阴极保护效果检测应包括下列内容：

- (1) 瞬时断电电位；
- (2) 电位衰减；
- (3) 直流电源装置的输出电压和输出电流；
- (4) 每个保护单元的输出电压和电流；
- (5) 线路的绝缘阻抗。

6.5.2 混凝土外加电流阴极保护瞬时断电电位的测量和电位衰减的测量，每个保护单元应至少随机测试10个点。

6.5.3 直流电源装置的运行状况检测方法应符合附录F的有关规定。

6.5.4 混凝土外加电流阴极保护效果评估分级标准及处理要求应符合表6.5.4的规定。

表6.5.4 混凝土外加电流阴极保护效果评估分级标准及处理要求

等 级	分 级 标 准	处 理 要 求
A	断开电源后0.1s~1s测得的瞬时断电电位负于-720mV或瞬时断电电位在断电后24h内电位衰减不小于100mV	不必采取措施
B	瞬时断电电位在断电后24h内电位衰减小于100mV	查明原因并及时采取措施
C	普通混凝土中钢筋瞬时断电电位负于-1100mV，预应力混凝土中钢筋瞬时断电电位负于-900mV	查明原因并及时采取措施

注：混凝土外加电流阴极保护电位为相对于Ag/AgCl/0.5mol/L KCl参比电极测得的电位。

6.6 钢结构涂层及金属热喷涂劣化检测与评估

6.6.1 钢结构水下区以上部位涂层劣化检测应包括下列内容：

- (1) 涂层的粉化、变色、裂纹、起泡和脱落生锈等外观变化情况；
- (2) 涂层干膜厚度；
- (3) 涂层与钢结构间的粘结力。

6.6.2 检测方法应符合附录F的有关规定。

6.6.3 钢结构水下区以上部位涂层劣化评估分级标准及处理要求应符合表6.6.3的规定。

表6.6.3 钢结构水下区以上部位涂层劣化评估分级标准及处理要求

等 级	分 级 标 准	处 理 要 求
A	同时符合下列条件时： (1) 无粉化变色或轻微粉化变色，无裂纹、起泡和脱落生锈； (2) 涂层干膜厚度不小于原设计厚度的90%； (3) 涂层粘结力不小于5.0MPa	不必采取措施
B	符合下列任一条件时： (1) 明显粉化变色，分散的裂纹、起泡和脱落生锈面积不大于0.3%； (2) 涂层干膜厚度小于原设计厚度的90%且不小于原设计厚度的75%； (3) 涂层粘结力小于5.0MPa且不小于4.0MPa	及时进行局部修补
C	符合下列任一条件时： (1) 较严重粉化变色，裂纹、起泡和脱落生锈面积大于0.3%且不大于1.0%； (2) 涂层干膜厚度小于原设计厚度的75%； (3) 涂层粘结力小于4.0MPa	立即进行修补
D	符合下列任一条件时： (1) 严重粉化变色，大范围的裂纹、起泡和脱落生锈面积大于1.0%； (2) 涂层干膜厚度小于原设计厚度的75%； (3) 刀刮容易剥离	立即进行全面修补

注：对于构件水下部位达到B、C、D级的处理措施应根据设计和使用要求确定。

6.7 钢结构牺牲阳极阴极保护效果检测与评估

6.7.1 钢结构牺牲阳极阴极保护检测应包括下列内容：

- (1) 保护电位；
- (2) 牺牲阳极的安装状况、输出电流、阳极残余尺寸及消耗量；
- (3) 预先安置的试片腐蚀情况；
- (4) 防腐蚀系统运行不正常时被保护钢结构的厚度。

6.7.2 检测方法应符合附录F的有关规定。

6.7.3 牺牲阳极阴极保护效果评估分级标准及处理要求应符合表 6.7.3 的规定。

表 6.7.3 牺牲阳极阴极保护效果评估分级标准及处理要求

等 级	分 级 标 准	处 理 要 求
A	保护电位在 $-1.10\text{V} \sim -0.85\text{V}$ 之间，阳极的剩余保护年限可满足设计使用年限要求	不必采取措施
B	保护电位在 $-1.10\text{V} \sim -0.85\text{V}$ 之间，阳极的剩余保护年限不满足设计使用年限要求	查明原因并及时采取措施
	保护电位在 $-0.85\text{V} \sim \varphi_0$ 之间	
C	保护电位为 φ_0	查明原因并立即采取措施

注：① 保护电位为相对于 Cu/饱和 CuSO_4 电极测得的电位；

② φ_0 是钢结构的自然腐蚀电位；

③ 牺牲阳极阴极保护措施的处理要求应综合考虑防腐蚀系统的完整性，当检测确认阳极有脱落、阳极连接件松动或输出电流异常时，应查明原因并及时采取维修措施。

6.8 钢结构外加电流阴极保护效果检测与评估

6.8.1 外加电流阴极保护检测应包括下列内容：

- (1) 保护电位；
- (2) 直流电源装置的输出电压和输出电流；
- (3) 辅助阳极的输出电流；
- (4) 线路的绝缘阻抗；
- (5) 预先安置的试片腐蚀情况；
- (6) 防腐蚀系统运行不正常时被保护钢结构的厚度。

6.8.2 检测方法应符合附录F的有关规定。

6.8.3 外加电流阴极保护效果评估分级标准及处理要求应符合表 6.8.3 的规定。

表 6.8.3 外加电流阴极保护效果评估分级标准及处理要求

等 级	分 级 标 准	处 理 要 求
A	保护电位在 $-1.10\text{V} \sim -0.87\text{V}$ 之间	不必采取措施
B	保护电位在 $-0.87\text{V} \sim \varphi_0$ 之间	查明原因并及时采取措施
C	保护电位为 φ_0 或小于 -1.10V	查明原因并立即采取措施

注：① 保护电位为相对于 Cu/饱和 CuSO_4 电极测得的电位；

② φ_0 是钢结构的自然腐蚀电位；

③ 外加电流阴极保护措施的处理要求应综合考虑防腐蚀系统的完整性，当检测确认直流电源装置出现异常或工作运行状态下满足设计要求时，应查明原因并及时采取维修措施。

7 码头检测与评估

7.1 一般规定

7.1.1 码头检测与评估主要针对重力式、板桩、高桩、斜坡式与浮码头等结构型式的码头。码头检测应包括下列内容：

- (1) 环境条件调查；
- (2) 结构基本情况调查；
- (3) 结构构件破损检测；
- (4) 结构位移与变形检测；
- (5) 混凝土结构耐久性检测；
- (6) 结构防腐蚀措施检测；
- (7) 必要时进行结构的荷载试验、动力性能测试。

7.1.2 码头环境条件的调查应包括下列内容：

- (1) 码头水域的波浪、潮流、冰情等水文条件；
- (2) 风况等气象条件；
- (3) 工程地质条件；
- (4) 地震情况；
- (5) 码头水域水质情况；
- (6) 码头前沿水深及冲淤变化；
- (7) 荷载情况。

7.1.3 检测方法应符合附录C~附录E和现行行业有关标准的规定。

7.1.4 码头评估内容包括安全性、适用性和耐久性评估，评估内容应符合第3.0.4条的规定。

7.1.5 码头的结构构件适用性评估应符合表7.1.5的规定，取最低一级作为该构件适用性评估等级。

表 7.1.5 码头结构构件适用性评估分级标准

项 目	等 级			
	A	B	C	D
钢筋混凝土结构或钢结构最大挠度	$r \geq 1.00$	$0.95 \leq r < 1.00$	$0.90 \leq r < 0.95$	$r < 0.90$
钢筋混凝土结构最大裂缝宽度	$r \geq 1.00$	$0.80 \leq r < 1.00$	$0.70 \leq r < 0.80$	$r < 0.70$
预应力混凝土拉应力限值	$r \geq 1.00$	$0.95 \leq r < 1.00$	$0.90 \leq r < 0.95$	$r < 0.90$

注：r表示规范限值与实测值或验算值的比值。

7.1.6 码头的适用性评估应以现场调查和检测结果为基本依据，当检测只能取得部分数据或改变建筑物使用条件时，尚应按正常使用极限状态进行验算，并应符合第3.0.8条和现行行业有关标准的规定。

7.1.7 码头耐久性评估应按第4章~第6章的规定执行。

7.2 重力式码头检测与评估

7.2.1 码头破损检测应包括下列内容：

- (1) 基床和基础的冲刷和淘空情况；
- (2) 墙身的破损；
- (3) 胸墙、卸荷板等构件的破损；
- (4) 梁板构件的破损。

7.2.2 位移与变形的检测应包括下列内容：

- (1) 码头的横向水平位移、沉降和倾斜；
- (2) 码头后方陆域地表局部沉降的位置、范围及沉降量；
- (3) 梁板和轨道的变形。

7.2.3 码头宜检测倒滤层破坏和回填料的漏失情况。

7.2.4 码头安全性评估应按下列规定执行。

7.2.4.1 安全性评估的复核验算应包括下列内容：

- (1) 对墙底面和墙身各水平缝及齿缝计算面前趾的抗倾稳定性；
- (2) 沿墙底面和墙身各水平缝的抗滑稳定性；
- (3) 沿基床底面的抗滑稳定性；
- (4) 整体稳定性；
- (5) 基床和地基承载能力；
- (6) 结构构件的承载能力。

7.2.4.2 复核验算应符合现行行业标准《码头结构设计规范》(JTS 167) 等的有关规定。

7.2.4.3 码头安全性评估应符合表7.2.4的规定，取最低一级作为该评估单元的安全性评估等级。

表 7.2.4 重力式码头安全性评估分级标准

项 目	等 级			
	A	B	C	D
抗倾稳定性	$R_d(\gamma_0 S_d) \geq 1.00$	$0.95 \leq R_d(\gamma_0 S_d) < 1.00$	$0.90 \leq R_d(\gamma_0 S_d) < 0.95$	$R_d(\gamma_0 S_d) < 0.90$
抗滑稳定性				
整体稳定性				
基床和地基承载能力				

续表 7.2.4

项 目		等 级			
		A	B	C	D
结构 构件的 承载能 力	卸荷板、 沉箱、扶 壁、空心方 块、圆筒、 梁板	$R_d/(\gamma_0 S_d) \geq 1.00$	$0.95 \leq R_d/(\gamma_0 S_d) < 1.00$	$0.90 \leq R_d/(\gamma_0 S_d) < 0.95$	$R_d/(\gamma_0 S_d) < 0.90$
	天然地基 的轨道梁、 胸墙、胸墙 垫板、胸墙 块体	$R_d/(\gamma_0 S_d) \geq 1.00$	$0.90 \leq R_d/(\gamma_0 S_d) < 1.00$	$0.85 \leq R_d/(\gamma_0 S_d) < 0.90$	$R_d/(\gamma_0 S_d) < 0.85$

注：① R_d 、 S_d 分别为结构构件的抗力和作用效应组合设计值；

② γ_0 为结构重要性系数，取值根据结构安全等级选取为：

一级： $\gamma_0=1.1$ ，

二级： $\gamma_0=1.0$ ，

三级：除整体稳定性验算取 $\gamma_0=1.0$ 外，其他验算项目均取 $\gamma_0=0.9$ ；

③ 整体稳定性评定为B级的结构应及时采取措施。

7.3 板桩码头检测与评估

7.3.1 码头破损检测应包括下列内容：

- (1) 前墙、导梁、帽梁、胸墙、锚碇结构和轨道梁等的损坏；
- (2) 钢板桩及锁口的损坏；
- (3) 钢拉杆及防腐层的完整；
- (4) 墙身排水孔的有效性；
- (5) 码头面的沉降及破损。

7.3.2 位移与变形的检测应包括下列内容：

- (1) 码头前沿线的位移；
- (2) 码头面的变形；
- (3) 前墙的变形；
- (4) 锚碇结构的位移；
- (5) 拉杆及其连接构件的变形；
- (6) 斜拉桩或斜顶桩的位移；
- (7) 轨道的变形。

7.3.3 码头宜检测倒滤层破坏和回填料的漏失情况。

7.3.4 码头安全性评估应按下列规定执行。

7.3.4.1 安全性评估的复核验算应包括下列内容：

- (1) 板桩码头的整体稳定性;
- (2) 前墙和锚碇结构的稳定性;
- (3) 前墙和锚碇结构的承载能力;
- (4) 拉杆的承载能力;
- (5) 导梁、帽梁、胸墙和轨道梁的承载能力。

7.3.4.2 复核算应符合现行行业标准《码头结构设计规范》(JTS 167)等的有关规定。

7.3.4.3 码头安全性评估应符合表 7.3.4 的规定,取最低一级作为该评估单元的安全性评估等级。

表 7.3.4 板桩码头安全性评估分级标准

项 目	等 级			
	A	B	C	D
码头整体稳定性	$R_d/(\gamma_0 S_d) \geq 1.00$	$0.95 \leq R_d/(\gamma_0 S_d) < 1.00$	$0.90 \leq R_d/(\gamma_0 S_d) < 0.95$	$R_d/(\gamma_0 S_d) < 0.90$
前墙和锚碇结构的稳定性				
前墙和锚碇结构承载能力				
拉杆的承载能力				
导梁、帽梁、胸墙和轨道梁的承载能力	$R_d/(\gamma_0 S_d) \geq 1.00$	$0.90 \leq R_d/(\gamma_0 S_d) < 1.00$	$0.85 \leq R_d/(\gamma_0 S_d) < 0.90$	$R_d/(\gamma_0 S_d) < 0.85$

注: ① R_d 、 S_d 分别为结构构件的抗力和作用效应组合设计值;

② γ_0 为结构重要性系数,取值根据结构安全等级选取为:

一级: $\gamma_0=1.1$,

二级: $\gamma_0=1.0$,

三级: 除整体稳定性验算取 $\gamma_0=1.0$ 外,其他验算项目均取 $\gamma_0=0.9$;

③ 整体稳定性评定为 B 级的结构应及时采取措施。

7.4 高桩码头检测与评估

7.4.1 码头破损检测应包括下列内容:

- (1) 梁、板等上部结构构件锈蚀、裂缝、剥离剥落、缺失等破损;
- (2) 基桩及桩帽等构件锈蚀破损;
- (3) 接岸结构破损;
- (4) 轨道锈蚀等破损。

7.4.2 位移与变形的检测应包括下列内容:

- (1) 码头位移和沉降;
- (2) 码头接岸结构的倾斜、位移和沉降;

- (3) 码头岸坡的变化;
- (4) 码头上部构件的变形;
- (5) 桩基的倾斜;
- (6) 轨道变形。

7.4.3 码头安全性评估应按下列规定执行。

7.4.3.1 安全性评估复核验算应包括下列内容:

- (1) 上部结构构件的承载能力;
- (2) 桩基的承载能力;
- (3) 接岸结构的承载能力和稳定性;
- (4) 岸坡稳定。

7.4.3.2 复核验算应符合现行行业标准《码头结构设计规范》(JTS 167)等的有关规定。

7.4.3.3 码头安全性评估应符合表 7.4.3 的规定,取最低一级作为该评估单元的安全性评估等级。

表 7.4.3 高桩码头安全性评估分级标准

项 目		等 级			
		A	B	C	D
上部结构构件的承载能力	主要构件	$R_d/(\gamma_0 S_d) \geq 1.00$	$0.95 \leq R_d/(\gamma_0 S_d) < 1.00$	$0.90 \leq R_d/(\gamma_0 S_d) < 0.95$	$R_d/(\gamma_0 S_d) < 0.90$
	一般构件	$R_d/(\gamma_0 S_d) \geq 1.00$	$0.90 \leq R_d/(\gamma_0 S_d) < 1.00$	$0.85 \leq R_d/(\gamma_0 S_d) < 0.90$	$R_d/(\gamma_0 S_d) < 0.85$
桩基承载能力		$R_d/(\gamma_0 S_d) \geq 1.00$	$0.95 \leq R_d/(\gamma_0 S_d) < 1.00$	$0.90 \leq R_d/(\gamma_0 S_d) < 0.95$	$R_d/(\gamma_0 S_d) < 0.90$
接岸结构的承载能力和稳定性	重力式结构	按第 7.2 节的有关规定执行			
	板桩结构	按第 7.3 节的有关规定执行			
岸坡整体稳定性		$R_d/(\gamma_0 S_d) \geq 1.00$	$0.95 \leq R_d/(\gamma_0 S_d) < 1.00$	$0.90 \leq R_d/(\gamma_0 S_d) < 0.95$	$R_d/(\gamma_0 S_d) < 0.90$

注: ① R_d 、 S_d 分别为结构构件的抗力和作用效应组合设计值;
② γ_0 为结构重要性系数, 取值根据结构安全等级选取为:
一级: $\gamma_0=1.1$,
二级: $\gamma_0=1.0$,
三级: 除整体稳定性验算取 $\gamma_0=1.0$ 外, 其他验算项目均取 $\gamma_0=0.9$;
③ 整体稳定性评定为 B 级的结构应及时采取措施。

7.5 斜坡码头、浮码头检测与评估

7.5.1 码头破损检测应包括下列内容：

- (1) 系船柱、系船块体、定位墩导桩、撑杆墩及撑杆和锚链等趸船系留设施的损坏；
- (2) 斜坡码头路面、轨道、轨道梁或轨枕、梁板、桩柱等结构构件的损坏；
- (3) 浮码头升降架、梁板、桩柱、墩台等结构构件的损坏；
- (4) 钢引桥及其连接部件的损坏。

7.5.2 位移与变形检测应包括下列内容：

- (1) 系船块体、定位墩导桩、撑杆墩及撑杆、锚块等趸船系留设施的位移与变形；
- (2) 钢引桥的位移与变形；
- (3) 斜坡码头路面、轨道、轨道梁或枕轨、梁板、桩柱、墩台或挡土墙的位移与变形；
- (4) 浮码头升降架、固定引桥面、梁板、桩柱、墩台或挡土墙的位移与变形。

7.5.3 趸船及升降架中的升降设备应由专门机构另行检测和评估。

7.5.4 地基及基础、后方回填、挡土墙结构、岸坡及轨道检测可参照第7.2节和第7.4节的有关规定。

7.5.5 码头的安全性评估应按下列规定执行。

7.5.5.1 安全性评估的复核验算应包括下列内容：

- (1) 系船柱、系船块体、定位墩导桩、撑杆墩及撑杆、锚链等趸船系留设施的承载能力；
- (2) 斜坡码头轨道梁或枕轨、桩柱和墩台等结构构件的承载能力；
- (3) 浮码头升降架和固定引桥的梁板、桩柱和墩台等结构构件的承载能力；
- (4) 钢引桥主桁架或主梁、桥面系及其连接部件的承载能力；
- (5) 斜坡道、引桥桥墩、坡顶挡土墙、桥台以及岸坡等的稳定性。

7.5.5.2 复核验算方法应符合现行行业标准《码头结构设计规范》(JTS 167)等的有关规定。

7.5.5.3 码头的安全性评估应符合表7.5.5的规定，取最低的一级作为该评估单元的安全性评估等级。

表7.5.5 斜坡码头、浮码头安全性评估分级标准

项 目		等 级			
		A	B	C	D
趸船系留设施的承载能力； 斜坡码头、 浮码头结构构件的承载能力； 钢引桥的承载能力	主要构件	$R_d/(\gamma_0 S_d) \geq 1.00$	$0.95 \leq R_d/(\gamma_0 S_d) < 1.00$	$0.90 \leq R_d/(\gamma_0 S_d) < 0.95$	$R_d/(\gamma_0 S_d) < 0.90$
	一般构件	$R_d/(\gamma_0 S_d) \geq 1.00$	$0.90 \leq R_d/(\gamma_0 S_d) < 1.00$	$0.85 \leq R_d/(\gamma_0 S_d) < 0.90$	$R_d/(\gamma_0 S_d) < 0.85$

续表 7.5.5

项 目	等 级			
	A	B	C	D
岸坡整体稳定性	$R_d/(\gamma_0 S_d) \geq 1.00$	$0.95 \leq R_d/(\gamma_0 S_d) < 1.00$	$0.90 \leq R_d/(\gamma_0 S_d) < 0.95$	$R_d/(\gamma_0 S_d) < 0.90$

注：① R_d 、 S_d 分别为结构构件的抗力和作用效应组合设计值；

② γ_0 为结构重要性系数，取值根据结构安全等级选取为：

一级： $\gamma_0=1.1$ ，

二级： $\gamma_0=1.0$ ，

三级：除整体稳定性验算取 $\gamma_0=1.0$ 外，其他验算项目均取 $\gamma_0=0.9$ ；

③ 整体稳定性评定为B级的结构应及时采取措施。

8 防波堤检测与评估

8.1 检 测

8.1.1 防波堤检测应包括下列内容:

- (1) 环境条件调查;
- (2) 结构基本情况调查;
- (3) 结构构件破损检测;
- (4) 结构位移与变形检测;
- (5) 混凝土结构耐久性检测;
- (6) 结构防腐蚀措施检测;
- (7) 必要时开展结构动力性能测试。

8.1.2 防波堤环境条件调查宜包括下列内容:

- (1) 波浪、潮流、冰情等水文条件;
- (2) 风况等气象条件;
- (3) 工程地质条件;
- (4) 堤前地形和水深情况。

8.1.3 防波堤结构基本情况调查应满足第3.0.2条的规定。

8.1.4 斜坡式防波堤结构构件破损的检测应包括胸墙和护面块体等重要结构构件的开裂、露石、露筋、冻融破损,以及缺失情况。

8.1.5 直立式防波堤结构构件破损的检测应包括上部结构、堤身和护面块体等重要结构构件的开裂、露石、露筋、冻融破损,以及护面块体缺失情况。

8.1.6 斜坡式防波堤结构位移与变形的检测应包括下列内容:

- (1) 胸墙的水平位移、沉降和倾斜;
- (2) 堤身的沉降;
- (3) 护面块体及浆砌块石的分布、位移和高程;
- (4) 护脚块体和抛石棱体的位移、棱体宽度;
- (5) 护底结构的变化情况;
- (6) 临水坡面坡度、坡面线、肩台宽度和高程。

8.1.7 直立式防波堤位移与变形的检测应包括下列内容:

- (1) 上部结构水平位移、沉降与倾斜;
- (2) 堤身位移及倾斜;
- (3) 护面块体的分布、水平位移和沉降;

- (4) 护脚块体水平位移和沉降;
- (5) 抛石基床冲刷变形;
- (6) 护底结构的变化情况。

8.1.8 防波堤混凝土结构耐久性检测应按第4章的有关规定执行。

8.1.9 桩基透空式防波堤的检测可参照第7.4节的有关规定进行,半圆体型、沉箱墩透空式等其他结构型式的防波堤检测可参照第8.1.4条~第8.1.7条的规定进行。

8.1.10 防波堤断面及冲淤变化检测方法应符合现行行业标准《水运工程测量规范》(JTS 131)等的有关规定。

8.2 评 估

8.2.1 防波堤安全性、适用性和耐久性评估的确定应按第3.0.4条的规定执行。

8.2.2 防波堤安全性评估应按下列规定执行。

8.2.2.1 安全性评估的复核验算应包括下列内容:

- (1) 斜坡式防波堤护面栅栏板的承载能力、胸墙的承载能力和整体稳定性。
- (2) 直立式防波堤沿堤底和堤身各水平缝的抗滑稳定性、沿堤底和堤身各水平缝及齿缝的抗倾稳定性、沿基床底面的抗滑稳定性、构件承载能力、基床和地基的承载能力和整体稳定性。

8.2.2.2 复核验算的断面应按实际情况选择控制性断面,计算方法应符合现行行业标准《防波堤与护岸设计规范》(JTS 154)等的有关规定。

8.2.2.3 防波堤安全性评估应符合表8.2.2的规定,取最低一级作为该评估单元的安全性评估等级。

表8.2.2 防波堤安全性评估分级标准

项 目			等 级			
			A	B	C	D
斜 坡 式	栅栏板的承载能力		$R_d/(\gamma_0 S_d) \geq 1.00$	$0.90 \leq R_d/(\gamma_0 S_d) < 1.00$	$0.85 \leq R_d/(\gamma_0 S_d) < 0.90$	$R_d/(\gamma_0 S_d) < 0.85$
	胸墙的承载能力					
	整体稳定性		$R_d/(\gamma_0 S_d) \geq 1.00$	$0.95 \leq R_d/(\gamma_0 S_d) < 1.00$	$0.90 \leq R_d/(\gamma_0 S_d) < 0.95$	$R_d/(\gamma_0 S_d) < 0.90$
直 立 式	抗倾稳定性		$R_d/(\gamma_0 S_d) \geq 1.00$	$0.95 \leq R_d/(\gamma_0 S_d) < 1.00$	$0.90 \leq R_d/(\gamma_0 S_d) < 0.95$	$R_d/(\gamma_0 S_d) < 0.90$
	抗滑稳定性		$R_d/(\gamma_0 S_d) \geq 1.00$	$0.95 \leq R_d/(\gamma_0 S_d) < 1.00$	$0.90 \leq R_d/(\gamma_0 S_d) < 0.95$	$R_d/(\gamma_0 S_d) < 0.90$
	构件的承载能力	上部结构	$R_d/(\gamma_0 S_d) \geq 1.00$	$0.90 \leq R_d/(\gamma_0 S_d) < 1.00$	$0.85 \leq R_d/(\gamma_0 S_d) < 0.90$	$R_d/(\gamma_0 S_d) < 0.85$
		沉箱、扶壁、方块、圆筒	$R_d/(\gamma_0 S_d) \geq 1.00$	$0.95 \leq R_d/(\gamma_0 S_d) < 1.00$	$0.90 \leq R_d/(\gamma_0 S_d) < 0.95$	$R_d/(\gamma_0 S_d) < 0.90$

续表 8.2.2

项 目		等 级			
		A	B	C	D
直立 式	基床和地基 承载能力	$R_d/(\gamma_0 S_d) \geq 1.00$	$0.95 \leq R_d/(\gamma_0 S_d) < 1.00$	$0.90 \leq R_d/(\gamma_0 S_d) < 0.95$	$R_d/(\gamma_0 S_d) < 0.90$
	整体稳定性	$R_d/(\gamma_0 S_d) \geq 1.00$	$0.95 \leq R_d/(\gamma_0 S_d) < 1.00$	$0.90 \leq R_d/(\gamma_0 S_d) < 0.95$	$R_d/(\gamma_0 S_d) < 0.90$

注：① R_d 、 S_d 分别为结构构件的抗力和作用效应组合设计值；

② γ_0 为结构重要性系数，取值根据结构安全等级选取为：

一级： $\gamma_0=1.1$ ，

二级： $\gamma_0=1.0$ ，

三级：除整体稳定性验算取 $\gamma_0=1.0$ 外，其他验算项目均取 $\gamma_0=0.9$ ；

③ 整体稳定性评定为 B 级的结构应及时采取措施。

8.2.3 防波堤的适用性应根据检测结果按表 8.2.3 的规定进行评估。

表 8.2.3 防波堤适用性评估分级标准

等级	A	B	C	D
分级标准	防波堤断面无变化 或变化不大，对港内 泊稳没影响	防波堤断面略有变 化，对港内泊稳略有影 响	防波堤断面变化较 大，对港内泊稳影响较 大	防波堤断面变化很 大，对港内泊稳影响 很大

8.2.4 防波堤混凝土结构耐久性评估应按第 4 章的有关规定执行。

9 港口护岸检测与评估

9.1 检 测

9.1.1 港口护岸结构检测应包括下列内容：

- (1) 环境条件调查；
- (2) 结构基本情况调查；
- (3) 结构构件破损检测；
- (4) 结构位移与变形检测；
- (5) 混凝土结构耐久性检测；
- (6) 结构防腐蚀措施检测。

9.1.2 港口护岸环境条件调查应包含下列内容：

- (1) 波浪、潮流、冰情等水文条件；
- (2) 工程地质条件；
- (3) 堤前冲淤变化情况。

9.1.3 斜坡式护岸结构构件破损检测的内容应包括胸墙、护面块体等主要结构构件的裂缝、露石、露筋、冻融等破损和缺失情况。

9.1.4 直立式护岸结构构件破损检测的内容应包括胸墙、堤身等主要结构构件的裂缝、露石、露筋、冻融等破损。

9.1.5 斜坡式护岸的位移与变形检测应包括下列内容：

- (1) 胸墙的水平位移、沉降和倾斜；
- (2) 护面块体的散乱、水平位移和下沉；
- (3) 坡顶沉降情况；
- (4) 临水面坡度、肩台宽度和沉降情况；
- (5) 护脚块体和抛石棱体的水平位移、下沉，棱体宽度的变化；
- (6) 护底结构层的变化情况。

9.1.6 直立式护岸的位移与变形检测应包括下列内容：

- (1) 上部结构的位移和倾斜；
- (2) 堤身的水平位移、沉降和倾斜；
- (3) 护面块体的散乱、沉降和水平位移情况；
- (4) 护脚块体及抛石的散乱、水平位移、下沉和范围；
- (5) 抛石基床的散乱和下沉；
- (6) 脚结构的变化情况。

9.1.7 护岸混凝土结构耐久性检测应按第4章的有关规定执行。

9.1.8 港口护岸变形及冲淤变化检测方法应符合现行行业标准《水运工程测量规范》(JTS 131)等的有关规定。

9.2 评 估

9.2.1 港口护岸结构评估内容包括安全性、适用性和耐久性评估,评估内容的确定应按第3.0.4条的规定执行。

9.2.2 港口护岸评估应符合下列要求。

9.2.2.1 护岸安全性评估的复核验算应包括下列内容:

(1) 斜坡式护岸栅栏板的承载能力、胸墙的承载能力和整体稳定性;

(2) 直立式护岸沿堤底和堤身各水平缝的抗滑稳定性、沿堤底和堤身各水平缝及齿缝的抗倾稳定性、沿基床底面的抗滑稳定性、构件承载能力、基床和地基的承载能力和整体稳定性。

9.2.2.2 复核验算的断面应按实际情况选择控制性断面,计算方法应符合现行行业标准《防波堤与护岸设计规范》(JTS 154)等的有关规定。

9.2.2.3 护岸安全性评估应符合表9.2.2的规定,取最低一级作为护岸的安全性评估等级。

表 9.2.2 港口护岸安全性评估分级标准

项 目		等 级			
		A	B	C	D
斜坡式	栅栏板的承载能力	$R_d/(\gamma_0 S_d) \geq 1.00$	$0.90 \leq R_d/(\gamma_0 S_d) < 1.00$	$0.85 \leq R_d/(\gamma_0 S_d) < 0.90$	$R_d/(\gamma_0 S_d) < 0.85$
	胸墙的承载能力				
	整体稳定性				
直立式	抗倾斜、抗滑和整体稳定性	$R_d/(\gamma_0 S_d) \geq 1.00$	$0.95 \leq R_d/(\gamma_0 S_d) < 1.00$	$0.90 \leq R_d/(\gamma_0 S_d) < 0.95$	$R_d/(\gamma_0 S_d) < 0.90$
	承载能力	上部结构	$R_d/(\gamma_0 S_d) \geq 1.00$	$0.90 \leq R_d/(\gamma_0 S_d) < 1.00$	$0.85 \leq R_d/(\gamma_0 S_d) < 0.90$
		沉箱、扶壁、方块、圆筒、基床和地基	$R_d/(\gamma_0 S_d) \geq 1.00$	$0.95 \leq R_d/(\gamma_0 S_d) < 1.00$	$0.90 \leq R_d/(\gamma_0 S_d) < 0.95$

注:① R_d 、 S_d 分别为结构构件的抗力和作用效应组合设计值;

② γ_0 为结构重要性系数,取值根据结构安全等级选取为:

一级: $\gamma_0=1.1$,

二级: $\gamma_0=1.0$,

三级:除整体稳定性验算取 $\gamma_0=1.0$ 外,其他验算项目均取 $\gamma_0=0.9$;

③ 整体稳定性评定为B级的结构应及时采取措施。

9.2.3 港口护岸的适用性应根据检测结果按表 9.2.3 的规定进行评估。

表 9.2.3 港口护岸适用性评估分级标准

等级	A	B	C	D
分级标准	护岸断面无变化或变化不大, 对使用没影响	护岸断面略有变化, 对使用略有影响	护岸断面变化较大, 对使用影响较大	护岸断面变化很大, 对使用影响很大

9.2.4 港口护岸混凝土结构耐久性评估应按第4章的有关规定执行。

10 通航建筑物检测与评估

10.1 一般规定

10.1.1 船闸、升船机通航建筑物检测应包括下列内容：

- (1) 环境条件调查；
- (2) 结构基本情况调查；
- (3) 变形、位移和外观变化；
- (4) 混凝土结构耐久性检测；
- (5) 钢结构耐久性检测。

10.1.2 通航建筑物环境条件调查应包括下列内容：

- (1) 上下游水位变化情况；
- (2) 闸室内外水深、水位情况；
- (3) 水质变化情况；
- (4) 气温、水温、冰情变化情况；
- (5) 工程地质条件。

10.1.3 通航建筑物评估内容包括安全性、适用性和耐久性评估，评估内容的确定应按第3.0.4条的规定执行。

10.1.4 通航建筑物的结构构件适用性评估应符合表10.1.4的规定，取最低一级作为该构件适用性评估等级。

表 10.1.4 通航建筑物结构构件适用性评估分级标准

项 目	等 级			
	A	B	C	D
钢筋混凝土结构或钢结构最大挠度	$r \geq 1.00$	$0.95 \leq r < 1.00$	$0.90 \leq r < 0.95$	$r < 0.90$
钢筋混凝土结构最大裂缝宽度	$r \geq 1.00$	$0.80 \leq r < 1.00$	$0.70 \leq r < 0.80$	$r < 0.70$

注：r表示规范限值与实测值或验算值的比值。

10.1.5 通航建筑物的适用性评估应以现场调查和检测结果为基本依据。当检测只能取得部分数据或改变建筑物使用条件时，尚应按正常使用极限状态进行验算，并应符合第3.0.8条和现行行业有关标准的规定。

10.2 船闸检测与评估

10.2.1 船闸检测应包括下列内容：

- (1) 结构基本情况调查;
- (2) 结构构件破损情况及外观检查;
- (3) 结构变形检测;
- (4) 闸阀门及启闭机检测;
- (5) 附属设施检测。

10.2.2 船闸基本情况调查内容可按第3.0.2条执行。

10.2.3 船闸结构构件破损及外观检查应符合下列要求。

10.2.3.1 外观检查应按第4章~第6章的有关规定进行水工建筑物锈蚀劣化、冻融劣化外观检查和水下探摸。

10.2.3.2 结构构件水下探摸宜结合水下录像的方法进行检查。

10.2.3.3 外观检查应记录下列内容:

- (1) 裂缝的位置、走向、宽度、深度、长度、数量等;
- (2) 混凝土构件露石、露筋、剥落、缺损的区域位置和破损程度, 以及结构渗漏情况等;
- (3) 钢构件损伤的区域位置和破损程度等;
- (4) 钢筋、钢构件锈蚀情况;
- (5) 砌石结构的表面损伤。

10.2.4 船闸水工结构变形检测应包括上闸首、下闸首、闸室墙、导航墙和靠船墩等建筑物的水平位移、沉降和倾斜, 并应符合现行行业标准《水运工程测量规范》(JTS 131) 的有关规定。

10.2.5 钢筋混凝土结构耐久性检测应符合第4章的有关规定; 钢结构检测应符合第5章的有关规定。砌石结构的砌筑砂浆强度检测应符合现行国家标准《砌体工程现场检测技术标准》(GB/T 50315) 的有关规定。

10.2.6 船闸闸阀门及启闭机检测应包括外形尺寸及变形观测、防腐蚀措施及锈蚀检测、运行状态检查、运转件耐磨与腐蚀检测、裂缝检测、焊缝、铆接与螺栓连接的检验与测试、材料特性检测等内容, 并应符合现行行业标准《水工钢闸门和启闭机安全检测技术规程》(SL 101) 等的有关规定。

10.2.7 船闸安全性评估应按下列规定执行。

10.2.7.1 评估单元宜按闸首、闸室、导航墙、靠船建筑物、岸坡、闸门及附属设施等进行划分。

10.2.7.2 安全性评估复核算应包括下列内容:

- (1) 闸首、闸室的渗流及整体稳定性;
- (2) 导航墙、靠船建筑物、岸坡整体稳定性;
- (3) 工作及检修闸阀门的强度和刚度;
- (4) 闸首闸室结构验算。

10.2.7.3 附属设施的安全性评估应在调查和检测的基础上进行。

10.2.7.4 船闸安全性复核算时, 应考虑基础条件的现状、材料强度、几何参数等

方面的影响,并应符合有关现行行业标准《船闸水工建筑物设计规范》(JTJ 307) 等的有关规定。

10.2.8 船闸水工结构适用性评估应按第10.1.4条、第10.1.5条的规定执行,结构适用性相关复核算应符合有关现行行业标准的有关规定。

10.2.9 船闸水工结构耐久性评估应按第4章~第6章的有关规定执行。

10.3 升船机检测与评估

10.3.1 升船机检测应包括下列内容:

- (1) 结构基本情况调查;
- (2) 结构构件破损情况及外观检查;
- (3) 结构变形检测;
- (4) 附属设施检测。

10.3.2 升船机水工结构基本情况调查内容可按第3.0.2条执行。

10.3.3 结构构件破损及外观检查应符合下列要求。

10.3.3.1 外观检查应按第4章~第6章的有关规定进行上闸首、下闸首、闸门、承船厢室段、斜坡道、机房与控制室、导航墙、靠船墩等结构构件锈蚀劣化、冻融劣化的检查。

10.3.3.2 结构构件水下探摸宜结合水下录像的方法进行检查。

10.3.3.3 外观检查应记录下列内容:

- (1) 裂缝的位置、走向、宽度、深度、长度、数量等;
- (2) 混凝土构件露石、露筋、剥落、缺损的区域位置和破损程度,以及结构渗漏情况等;
- (3) 钢构件损伤的区域位置和破损程度等;
- (4) 钢筋、钢构件锈蚀情况。

10.3.4 结构变形检测应包括上下闸首、闸门、承船厢室段、斜坡道、机房与控制室、导航墙、靠船墩等建筑物的水平位移、沉降和倾斜,并应符合现行行业标准《水运工程测量规范》(JTS 131) 的有关规定。

10.3.5 混凝土结构耐久性检测应符合第4章的有关规定;钢结构耐久性检测应符合第5章的有关规定。

10.3.6 升船机安全性评估应按下列规定执行。

10.3.6.1 评估单元宜按上下闸首、闸门、承船厢室段、导航墙、斜坡道及其他附属设施等进行划分。

10.3.6.2 安全性评估复核算应包括下列内容:

- (1) 闸首和承船厢室段的渗流及整体稳定性;
- (2) 斜坡道承载能力及稳定性;
- (3) 导航墙的整体稳定性;
- (4) 闸门的强度和刚度;

(5) 闸首闸室结构验算。

10.3.6.3 附属设施的安全性评估应在调查和检测的基础上进行。

10.3.6.4 升船机水工结构安全性评估复核验算时,应考虑基础、承重结构的现状、材料强度、几何参数等方面的影响,并按现行行业标准《升船机设计规范》(SL 660)等的有关规定执行。

10.3.7 升船机水工结构适用性评估应按第10.1.4条、第10.1.5条的规定执行,结构适用性相关复核验算应符合现行行业标准《升船机设计规范》(SL 660)等的有关规定。

10.3.8 升船机水工结构耐久性评估应按第4章~第6章的有关规定执行。

11 航道整治建筑物检测与评估

11.1 一般规定

- 11.1.1 航道整治建筑物检测应包括下列内容：
- (1) 环境条件调查；
 - (2) 航道整治建筑物基本情况调查；
 - (3) 整治建筑物变形、位移和外观变化；
 - (4) 重要结构损毁情况，包括损毁数量、部位、外形尺寸等；
 - (5) 航道整治建筑材料耐久性检测。
- 11.1.2 航道整治建筑物环境条件调查宜包括下列内容：
- (1) 水位、水流、泥沙等水文要素变化情况；
 - (2) 河床、边滩、岸坡变化情况；
 - (3) 通航保证率、通航安全情况；
 - (4) 周边人为活动情况。
- 11.1.3 航道整治建筑物评估内容包括安全性、适用性和耐久性评估，评估内容的确定应按第3.0.4条的规定执行。
- 11.1.4 航道整治建筑物适用性评估等级及处理要求应符合表11.1.4的规定。

表 11.1.4 航道整治建筑物适用性评估分级标准及处理要求

等 级	分 级 标 准	处 理 要 求
A	建筑物整体完好，变形、位移均在设计允许范围内，整治功能发挥正常	不必采取措施
B	建筑物整体完好，变形、位移略超出设计允许范围，但不影响其稳定和整治功能的发挥	跟踪观测和分析，视具体情况制定并实施维修工程计划
C	建筑物整体破损明显，变形、位移明显超出设计允许范围，尚能发挥整治功能，影响正常使用	及时进行修复，视条件和要求恢复到A级或B级标准
D	建筑物整体破损严重，变形、位移过大，已经或即将失去整治功能，显著影响安全性和整体使用功能	立即进行修复，视条件和要求恢复到B级标准或报废

- 11.1.5 航道整治建筑物混凝土结构耐久性评估应按第4章的规定执行。

11.2 航道护岸检测与评估

- 11.2.1 航道护岸检测应符合下列要求。
- 11.2.1.1 斜坡式护岸检测应包括下列内容：

- (1) 岸坡的位移与变形;
- (2) 坡顶沉降;
- (3) 枯水平台宽度和沉降;
- (4) 排水设施的变形、破损情况;
- (5) 护面结构的变形、破损情况。

11.2.1.2 直立式护岸检测应包括下列内容:

- (1) 上部结构的倾斜和变形;
- (2) 堤身的位移、变形与倾斜;
- (3) 护面块体的散乱、位移、破损情况。

11.2.1.3 护脚的检测应包括下列内容:

- (1) 护脚块体及抛石的散乱情况和范围;
- (2) 护脚坡比;
- (3) 护脚结构层的位移、变形及宽度变化;
- (4) 护脚冲刷情况。

11.2.1.4 采用砌(铺)石、预制块体等型式的块体护岸检测还应包括下列内容:

- (1) 护面块体的散乱情况;
- (2) 护面块体的破损情况;
- (3) 预制块体混凝土强度及耐久性劣化;
- (4) 岩石风化及强度。

11.2.1.5 采用钢丝石笼垫、模袋混凝土、生态护坡等连续性型式的护岸检测还应包括下列内容:

- (1) 结构物破损情况;
- (2) 结构物变形、错缝;
- (3) 钢丝网石笼垫填充情况;
- (4) 混凝土结构裂缝;
- (5) 金属材料、土工合成材料及其他材料的劣化;
- (6) 混凝土厚度、强度及耐久性劣化。

11.2.1.6 采用浆砌块石、混凝土挡墙、加筋土挡墙、生态袋挡墙、自嵌式挡墙、钢丝网石笼挡墙、钢筋混凝土板桩等型式建造的直立式挡墙护岸检测还应包括下列内容:

- (1) 结构物破损情况;
- (2) 混凝土结构裂缝的数量、位置、走向、长度、宽度、深度及裂缝是否贯穿等情况;
- (3) 混凝土强度及耐久性劣化情况;
- (4) 岩石风化及强度情况。

11.2.1.7 护岸检测方法可参照现行行业标准《内河航道维护技术规范》(JTJ 287)的有关规定执行,混凝土结构耐久性检测应符合第4章的有关规定。

11.2.2 航道护岸评估应符合下列要求。

11.2.2.1 护岸安全性评估应包括下列内容:

- (1) 结构整体稳定性验算；
- (2) 地基沉降验算；
- (3) 直立式挡墙护岸结构抗滑稳定性验算。

11.2.2.2 复核验算的断面应按实际情况选择控制性断面，计算方法应符合现行行业标准《防波堤与护岸设计规范》(JTS 154)等的有关规定。

11.2.2.3 护岸的安全性评估应符合表 11.2.2 的规定，取验算所得最低一级作为护岸的安全性评估等级。

表 11.2.2 护岸安全性评估分级标准

项 目	等 级			
	A	B	C	D
抗滑稳定性	$R_d/(\gamma_0 S_d) \geq 1.00$	$0.95 \leq R_d/(\gamma_0 S_d) < 1.00$	$0.90 \leq R_d/(\gamma_0 S_d) < 0.95$	$R_d/(\gamma_0 S_d) < 0.90$
整体稳定性				
地基沉降				

注：① R_d 、 S_d 分别为结构构件的抗力和作用效应组合设计值；

② γ_0 为结构重要性系数，取值根据结构安全等级选取为：

一级： $\gamma_0=1.1$ ，

二级： $\gamma_0=1.0$ ，

三级：除整体稳定性验算取 $\gamma_0=1.0$ 外，其他验算项目均取 $\gamma_0=0.9$ ；

③ 整体稳定性评定为 B 级的结构应及时采取措施。

11.2.2.4 护岸的适用性评估应根据检测结果按第 11.1.4 条的规定进行。

11.3 护底护滩检测与评估

11.3.1 护底护滩检测应符合下列要求。

11.3.1.1 护底护滩检测应包括下列内容：

- (1) 护底护滩块体散乱情况；
- (2) 护底护滩区域结构物变形；
- (3) 护底护滩冲淤变化；
- (4) 护底护滩范围变化情况。

11.3.1.2 护底的检测还应包括下列内容：

- (1) 护底范围地形变化；
- (2) 护底范围流态；
- (3) 排体整体质量情况。

11.3.1.3 护滩的检测还应包括下列内容：

- (1) 滩面完好情况；
- (2) 边缘变形及坡比；
- (3) 排布破损及排体搭接或连接情况；
- (4) 压载体松动或脱离情况；

- (5) 排体外露及劣化情况；
- (6) 混凝土块体抛投密度和破损情况；
- (7) 抛投块体散乱、位移情况和范围；
- (8) 护滩结构位移、变形和破损情况；
- (9) 促淤结构破损、散乱、位移情况和范围；
- (10) 金属材料、土工合成材料及其他材料的劣化情况；
- (11) 岩石风化及强度情况。

11.3.1.4 护底护滩检测方法可参照现行行业标准《内河航道维护技术规范》(JTJ 287)的有关规定执行，混凝土结构耐久性检测应符合第4章的有关规定。

11.3.2 护底护滩评估应符合下列要求。

11.3.2.1 护底护滩安全评估应包括下列内容：

- (1) 结构抗滑、抗冲稳定性验算；
- (2) 地基沉降验算。

11.3.2.2 护底护滩的安全性复核验算时，应符合现行行业标准《水运工程土工合成材料应用技术规范》(JTJ 239)等有关规范的有关规定。

11.3.2.3 护底护滩的适用性评估应根据检测结果按第11.1.4条的规定进行。

11.4 坝体检测与评估

11.4.1 坝体整治建筑物检测应符合下列要求。

11.4.1.1 坝体检测应包含下列内容：

- (1) 坝头受损塌陷情况；
- (2) 坝头附近冲刷坑情况；
- (3) 坝根接岸区域变形或损毁；
- (4) 坝面塌陷变形；
- (5) 背水坡、迎水坡淘刷或空洞情况；
- (6) 背水坡、迎水坡坡比；
- (7) 坝体附近流态；
- (8) 坝顶位移；
- (9) 护底块体散乱情况；
- (10) 护底范围变化情况。

11.4.1.2 块石坝检测还应包括下列内容：

- (1) 石料散乱情况；
- (2) 石料粒径；
- (3) 岩石风化及强度。

11.4.1.3 充填袋坝检测还应包括下列内容：

- (1) 充填袋填充情况；
- (2) 充填袋破损、外露情况；

(3) 充填袋耐久性劣化情况。

11.4.1.4 钢丝石笼坝检测还应包括下列内容：

- (1) 钢丝石笼破损；
- (2) 钢丝石笼变形、错缝；
- (3) 钢丝网石笼垫填充情况；
- (4) 金属材料、土工合成材料及其他材料耐久性劣化情况。

11.4.1.5 沉箱、半圆体、齿形构件、透水空心方块等混凝土构件的坝体检测应包括下列内容：

- (1) 变形和沉降情况；
- (2) 构件混凝土破损；
- (3) 构件混凝土裂缝的数量、位置、走向、长度、宽度、深度及裂缝是否贯穿等；
- (4) 有充填压载要求的结构的填充饱满情况和充填孔封堵情况；
- (5) 相邻块体水平错位、顶面高差、接缝宽度；
- (6) 构件混凝土强度及耐久性劣化。

11.4.1.6 采用现浇混凝土、模袋混凝土等混凝土坝的检测还应包括下列内容：

- (1) 坝面混凝土破损；
- (2) 坝面混凝土裂缝；
- (3) 坝面混凝土伸缩缝缝宽；
- (4) 坝面混凝土强度及耐久性劣化。

11.4.1.7 坝体检测方法可参照现行行业标准《内河航道维护技术规范》(JTJ 287) 的有关规定执行，混凝土结构耐久性检测应符合第4章的有关规定。

11.4.2 坝体整治建筑物评估应符合下列要求。

11.4.2.1 坝体安全性评估验算应包括下列内容：

- (1) 坝体整体稳定性；
- (2) 坝体抗滑稳定性；
- (3) 地基沉降。

11.4.2.2 坝体的安全性复核验算时，应符合现行行业标准《航道工程设计规范》(JTS 181) 等有关规范的有关规定。

11.4.2.3 坝体的适用性评估应根据检测结果按第11.1.4条的规定进行。

12 船厂水工建筑物检测与评估

12.1 一般规定

12.1.1 船厂水工建筑物的检测应包括下列内容：

- (1) 环境条件调查；
- (2) 船厂水工建筑结构基本情况调查；
- (3) 船厂水工建筑物沉降、位移和外观变化；
- (4) 混凝土结构耐久性检测；
- (5) 钢结构耐久性检测。

12.1.2 船厂水工建筑物环境条件调查应包括下列内容：

- (1) 水位变化情况；
- (2) 水深情况；
- (3) 地下水位；
- (4) 环境温度；
- (5) 工程地质条件；
- (6) 渗水情况。

12.1.3 船厂水工建筑物评估内容包括安全性、适用性和耐久性评估，评估内容的确定应按第3.0.4条的规定执行。

12.1.4 对码头类船厂水工建筑物的检测与评估应符合第7章的有关规定。

12.1.5 干船坞坞门、船台与滑道、闸门的检测与评估应符合第10章的有关规定。

12.2 干船坞检测与评估

12.2.1 干船坞检测应包括下列内容：

- (1) 结构外观检查；
- (2) 结构变形与位移检测；
- (3) 轨道检测；
- (4) 停靠船及防护设施检查；
- (5) 干船坞渗水量检测。

12.2.2 结构的外观检查应包括下列内容：

- (1) 坞墙、坞底板裂缝的数量、位置、走向、宽度、深度、长度等；
- (2) 坞墙、坞底板混凝土剥落的位置、区域、程度等；
- (3) 钢构件损伤的位置、区域和程度等；

(4) 钢筋、钢构件锈蚀情况。

12.2.3 结构变形与位移检测应包括下列内容：

- (1) 侧墙、坞口和坞尾墙的水平位移、沉降和倾斜；
- (2) 坞底板的沉降；
- (3) 坞门的挠度、扭曲变形。

12.2.4 钢筋混凝土耐久性检测应符合第4章的规定，钢结构耐久性检测应符合第5章的规定。

12.2.5 轨道的检测应包括轨道的外观检查、轨距测量、轨顶高程和同一截面两轨高差测量。

12.2.6 停靠船及防护设施检查应符合现行行业标准《港口设施维护技术规范》(JTS 310)等的有关规定。

12.2.7 干船坞安全性评估复核算应包括下列内容：

- (1) 坞室和坞口的抗浮稳定性；
- (2) 坞口及分离式坞墙的抗滑和抗倾稳定性；
- (3) 坞墙、底板的内力和强度；
- (4) 坞墙、底板、坞口门墩基底应力和地基承载力；
- (5) 黏性土地基上分离式坞墙和坞口门墩的地基沉降；
- (6) 地基土的抗渗稳定；
- (7) 排水减压式、锚拉式和浮箱式等结构型式进行专门计算。

12.2.8 干船坞适用性评估应进行钢筋混凝土构件的裂缝宽度验算或抗裂验算。

12.2.9 干船坞安全性和适用性复核算应符合现行行业标准《船厂水工工程设计规范》(JTS 190)等的有关规定。

12.2.10 干船坞耐久性评估应按第4章~第6章的有关规定执行。

12.3 船台、滑道检测与评估

12.3.1 船台与滑道检测应包括下列内容：

- (1) 结构外观检查；
- (2) 变形与位移；
- (3) 轨道检测；
- (4) 水深和冲淤变化情况；
- (5) 地基及基础。

12.3.2 结构的外观检查应包括下列内容：

- (1) 结构构件裂缝的数量、位置、走向、宽度、深度、长度等；
- (2) 结构构件混凝土剥落的位置、区域、程度等；
- (3) 钢轨损伤的位置、区域和程度等；
- (4) 钢筋、钢构件锈蚀情况。

12.3.3 变形与位移检测应包括下列内容：

- (1) 基床与基础的冲刷变化情况;
- (2) 船台及轨道梁的位移和沉降;
- (3) 滑道轨道梁或轨道板的位移和沉降;
- (4) 轨枕道砟基础的位移和沉降。

12.3.4 钢筋混凝土结构耐久性检测应符合第4章的规定, 钢结构耐久性检测应符合第5章的规定。

12.3.5 轨道检测应包括轨道的外观检查、轨距测量、轨顶高程测量、同一截面两轨高差测量及同一轨道纵倾测量。

12.3.6 船台与滑道安全性评估复核算应包括下列内容:

- (1) 结构的整体稳定性;
- (2) 挡土结构抗倾和抗滑稳定性;
- (3) 岸坡稳定性;
- (4) 构件的受弯、受剪、受冲切、受压、受拉、受扭;
- (5) 桩和柱的压屈稳定;
- (6) 基床及地基承载力;
- (7) 桩的承载能力。

12.3.7 船台与滑道适用性评估应进行钢筋混凝土构件的裂缝宽度验算和地基沉降验算。

12.3.8 船台与滑道安全性和适用性复核算应符合现行行业标准《水运工程混凝土结构设计规范》(JTS 151) 等的有关规定。

12.3.9 船台与滑道耐久性评估应按第4章~第6章的规定执行。

附录 A 腐蚀后钢筋混凝土构件承载能力验算

A. 0.1 腐蚀后钢筋混凝土构件承载能力验算可按现行行业标准《水运工程混凝土结构设计规范》(JTS 151) 的规定执行。腐蚀钢筋的抗力可按式 (A. 0.1) 计算:

$$p_{yc} = \alpha_s f_{yc} A_{sc} \quad (\text{A. 0.1})$$

式中 p_{yc} ——腐蚀钢筋的抗力(kN);

α_s ——腐蚀后钢筋强度利用系数;

f_{yc} ——腐蚀后钢筋强度设计值(MPa);

A_{sc} ——腐蚀后钢筋截面面积(mm²)。

A. 0.2 腐蚀后钢筋强度设计值的确定应符合下列规定。

A. 0.2.1 截面损失率不大于5%且腐蚀比较均匀的钢筋, 腐蚀后钢筋强度设计值可按原钢筋强度设计值取用。

A. 0.2.2 截面损失率大于5%且不大于10%的钢筋, 或截面损失率不大于5%且腐蚀不均匀的钢筋, 腐蚀后钢筋强度设计值可按式 (A. 0.2) 计算:

$$f_{yc} = \frac{1 - 1.077\eta_s}{1 - \eta_s} f_y \quad (\text{A. 0.2})$$

式中 f_{yc} ——腐蚀后钢筋强度设计值(MPa);

η_s ——腐蚀后钢筋截面损失率;

f_y ——原钢筋强度设计值(MPa)。

A. 0.2.3 截面损失率大于10%时, 腐蚀后钢筋强度设计值可通过试验或按经验值确定。

A. 0.3 腐蚀后钢筋强度利用系数的确定应符合下列规定。

A. 0.3.1 受拉钢筋腐蚀后强度利用系数可按下列规定选取:

(1) 腐蚀后配筋指标按式 (A. 0.3-1) 计算:

$$q_0 = \frac{A_{sc} f_{yc}}{f_c b h_0} \quad (\text{A. 0.3-1})$$

式中 q_0 ——腐蚀后配筋指标;

A_{sc} ——腐蚀后钢筋截面面积(mm²);

f_{yc} ——腐蚀后钢筋强度设计值(MPa);

f_c ——混凝土原轴心抗压强度设计值(MPa);

b ——腐蚀后构件截面宽度(mm);

h_0 ——腐蚀后构件截面高度(mm);

(2) 保护层未出现锈胀裂缝或腐蚀后配筋指标不大于0.246时, 腐蚀后强度利用系

数取 1.0；

(3) 保护层开裂，钢筋腐蚀深度小于 0.3mm，且腐蚀后配筋指标大于 0.246 时，腐蚀后钢筋强度利用系数按式 (A. 0. 3-2) 计算：

$$\alpha_s = \begin{cases} 1.0 + (0.449 - 1.822q_0)\delta/0.3 & (0.246 < q_0 \leq 0.444) \\ 1.0 - (0.078 + 0.634q_0)\delta/0.3 & (q_0 > 0.444) \end{cases} \quad (\text{A. 0. 3-2})$$

式中 α_s ——腐蚀后钢筋强度利用系数；

q_0 ——腐蚀后配筋指标；

δ ——钢筋腐蚀深度(mm)；

(4) 保护层开裂，钢筋腐蚀深度小于 0.3mm，且腐蚀后配筋指标大于 0.246 时，构件受拉区的损伤长度小于梁跨的 1/3 时，腐蚀后钢筋强度利用系数取 1.0；

(5) 保护层开裂，钢筋腐蚀深度不小于 0.3mm，且腐蚀后配筋指标大于 0.246 时，腐蚀后钢筋强度利用系数按式 (A. 0. 3-3) 计算：

$$\alpha_s = \begin{cases} 1.449 - 1.822q_0 & (0.246 < q_0 \leq 0.444) \\ 0.922 - 0.634q_0 & (q_0 > 0.444) \end{cases} \quad (\text{A. 0. 3-3})$$

式中 α_s ——腐蚀后钢筋强度利用系数；

q_0 ——腐蚀后配筋指标。

A. 0. 3. 2 受压钢筋腐蚀后强度利用系数可取 1.0。

A. 0. 4 受压混凝土构件计算应采用等效截面，等效截面尺寸可按下列公式计算：

$$h_e = h - \sum_{i=1}^2 \alpha_{cc} c_i \quad (\text{A. 0. 4-1})$$

$$b_e = b - \sum_{i=1}^2 \alpha_{cc} c_i \quad (\text{A. 0. 4-2})$$

式中 h_e ——等效截面的高度(mm)；

h ——构件原截面的高度(mm)；

α_{cc} ——保护层损伤系数；

c_i ——某一侧的保护层厚度(mm)；

b_e ——等效截面的宽度(mm)；

b ——构件原截面的宽度(mm)。

A. 0. 5 保护层损伤系数可按表 A. 0. 5 确定。

表 A. 0. 5 保护层损伤系数

构 件 类 型	裂缝宽度 w (mm)	保护层损伤系数 α_{cc}
轴心受压构件	$w \leq 2$	$\alpha_{cc} = 0.3w$
	$2 < w \leq 3$	$\alpha_{cc} = 0.3w + (1 - 0.3w)(w - 2)$
	$w > 3$	$\alpha_{cc} = 1$

续表 A. 0. 5

构 件 类 型	裂缝宽度 w (mm)	保护层损伤系数 α_{cc}
小偏心受压构件	$w \leq 2$	$\alpha_{cc}=0.25w$
	$2 < w \leq 3$	$\alpha_{cc}=0.25w+(1-0.25w)(w-2)$
	$w > 3$	$\alpha_{cc}=1$
大偏心受压构件	$w \leq 3$	$\alpha_{cc}=0.15w$
	$w > 3$	$\alpha_{cc}=1$

附录B 检测与评估报告编写要求

B.0.1 检测报告的编写应符合下列规定。

B.0.1.1 检测报告应主要包括下列内容：

- (1) 检测报告的标题；
- (2) 检测单位名称、地址、联系人和联系方式；
- (3) 检测报告唯一性标识（编号）；
- (4) 检测单位的资格能力证明；
- (5) 项目负责人、检测人员、报告编写人、审核人、批准人；
- (6) 检测项目的概况，主要包括工程名称、地点、规模、结构型式、修建年代、检测目的和检测日期等；
- (7) 检测依据，主要包括检测项目合同、相关的现行国家或行业标准、设计图纸、竣工资料和其他有关的技术文件名称；
- (8) 检测内容和方法；
- (9) 检测所用的仪器设备，主要包括仪器设备名称、型号、唯一性（编号）标识、主要性能指标及有效状态；
- (10) 检测结果；
- (11) 检测结论。

B.0.1.2 检测报告应由检测人员编写；提交的报告应经审核人的审查核实和批准人的审查批准，并应有编写人、审核人和批准人的签字确认。

B.0.1.3 检测报告的编写人、审核人和批准人应是具有相应资格能力的试验检测技术人员。

B.0.2 评估报告的编写应符合下列规定。

B.0.2.1 评估报告应主要包括下列内容：

- (1) 评估报告的标题；
- (2) 评估单位名称、地址、联系人和联系方式；
- (3) 评估报告唯一性标识（编号）；
- (4) 评估单位的资格能力证明；
- (5) 项目组成员、报告编写人、审核人和批准人；
- (6) 评估项目的现况，主要包括工程名称、地点、设计与施工概况、自然条件、总平面布置、结构型式、运营情况等；
- (7) 评估依据；
- (8) 评估内容和方法；

- (9) 结构检测结果;
- (10) 结构安全性、适用性和耐久性评估;
- (11) 评估结论, 主要包括结构评估等级、存在的问题等;
- (12) 建议。

B. 0. 2. 2 评估报告应由具备相关技术能力的专业技术人员编写; 提交的报告应经审核人的审查核实和批准人的审查批准, 并应有编写人、审核人和批准人的签字确认。

B. 0. 2. 3 审核人和批准人应是具有相应资格能力的专业技术人员。

B. 0. 3 检测与评估报告应用词规范, 各物理量和有效数值的计量单位应采用中华人民共和国法定计量单位, 报告结论应明确。

附录C 混凝土结构钢筋锈蚀劣化耐久性检测方法

C.1 锈蚀劣化外观检测

- C.1.1 混凝土结构钢筋锈蚀劣化外观检测方法可采取目测、尺量、锤击、摄影和录像等。
- C.1.2 混凝土结构钢筋锈蚀劣化外观检测器具可采用照相机、摄像机、钢尺、读数显微镜和小锤等。
- C.1.3 混凝土表面原始缺陷宜在构件表面示意图上标出其位置、尺寸和面积。
- C.1.4 钢筋锈蚀引起的锈迹、裂缝、起鼓、剥落和露筋的位置、数量、宽度、长度和面积等宜测量和记录，并绘制在构件表面示意图上。
- C.1.5 混凝土锈蚀裂缝应检查并记录下列内容：
- (1) 裂缝的数量、位置、走向和长度；
 - (2) 裂缝的宽度和深度；
 - (3) 裂缝变化过程；
 - (4) 裂缝缝隙内的积物情况等。
- C.1.6 混凝土锈迹应检查并记录下列内容：
- (1) 锈迹的数量和位置；
 - (2) 锈迹的面积。
- C.1.7 混凝土的剥落应检查并记录下列内容：
- (1) 混凝土剥落的数量和面积；
 - (2) 混凝土剥落处钢筋的保护层厚度。
- C.1.8 混凝土起鼓应检查并记录起鼓的数量和面积。
- C.1.9 外露钢筋的锈蚀应检查并记录下列内容：
- (1) 外露钢筋的数量和位置；
 - (2) 外露钢筋锈蚀程度。
- C.1.10 裂缝宽度检测的方法和要求应符合下列规定。
- C.1.10.1 裂缝宽度检测可选用裂缝测宽仪、读数显微镜等测量。
- C.1.10.2 对于较宽的裂缝可用卡尺或钢尺测量，测点应设在裂缝两侧边沿上，测点连线应垂直于裂缝走向。
- C.1.10.3 测量时，应将仪器探头垂直跨越于缝隙的两个边缘读取测试值。

C. 1. 10. 4 在同一条裂缝上测得的裂缝宽度最大值应作为裂缝宽度代表值，在同一条裂缝上测得的裂缝深度最大值应作为裂缝深度代表值。

C. 1. 10. 5 宽度变化较大的裂缝应测量并标出裂缝宽度特征点的位置和测值。

C. 1. 10. 6 检测记录应注明检测日期并附必要的说明和照片资料。

C. 2 钢筋锈蚀劣化耐久性专项检测

C. 2. 1 混凝土物理力学性能检测应测定混凝土的抗压强度，必要时还应测定混凝土的弹性模量和抗拉强度。混凝土抗压强度检测方法应符合下列规定。

C. 2. 1. 1 混凝土抗压强度检测宜采用回弹法或超声-回弹综合法，也可采用取芯法，并应符合现行行业标准《水运工程混凝土结构实体检测技术规程》（JTS 239）的有关规定。

C. 2. 1. 2 采用回弹法或超声-回弹综合法检测时，梁、板、桩和桩帽等主要构件应各抽取构件总数的2%且不少于5个构件进行检测；沉箱、扶壁、圆筒、闸墙、坞墙和挡墙等构件应各抽取构件数量的5%~10%且不少于5个构件进行检测。

C. 2. 1. 3 采用取芯法检测应在抽取的每个样本上至少钻取一组芯样，每组芯样试件的直径和数量应符合表C. 2. 1的规定。

表C. 2. 1 单组芯样试件数量

芯样直径（mm）	100	75~65	60~50
数量（个）	1	3	5

C. 2. 1. 4 取芯钻头直径不应小于粗骨料最大粒径的2倍。每个代表性的部位取芯数量不得少于3个，取芯位置应满足下列要求：

- （1）不同区域、不同构件混凝土质量具有代表性的部位；
- （2）受力较小部位；
- （3）避开主筋、预埋铁件和管线位置；
- （4）需要修正非破损检测结果时，在取得非破损推定值的邻近测区钻取芯样。

C. 2. 1. 5 芯样混凝土强度代表值计算和混凝土强度推定应符合现行行业标准《水运工程混凝土结构实体检测技术规程》（JTS 239）的有关规定。

C. 2. 1. 6 钻芯后留下的孔洞应及时修补。

C. 2. 2 混凝土保护层厚度检测方法应符合下列规定。

C. 2. 2. 1 测点位置应根据构件的重要性程度，选择在不同区域、不同构件具有代表性的部位。

C. 2. 2. 2 梁、板、桩和桩帽等构件应各抽取构件数量的2%且不少于5个构件进行检测。

C. 2. 2. 3 对选定的梁、桩、桩帽等构件，应对全部受力钢筋的保护层厚度进行检测；对选定的板类构件，应抽取不少于6根受力钢筋的保护层进行检测。每根钢筋在有代表性的部位应至少测量3点。

C. 2. 2. 4 混凝土保护层厚度可采用混凝土保护层厚度测定仪检测，必要时可用局部

破损的方法对测定仪测量结果进行校核。测定仪校准时的检测误差应满足表 C. 2. 2 的要求。

表 C. 2. 2 仪器校准检测允许误差

保护层厚度 c (mm)	$c < 50$	$50 \leq c < 60$	$c \geq 60$
允许误差(mm)	± 1	± 2	± 3

C. 2. 2. 5 保护层厚度检测应按照现行行业标准《水运工程混凝土结构实体检测技术规程》(JTS 239) 规定的方法执行。

C. 2. 3 混凝土碳化深度检测方法应符合下列规定。

C. 2. 3. 1 测点位置应选择在不同区域、不同构件具有代表性的部位。

C. 2. 3. 2 不同区域应各抽取构件数量的 2% 且不少于 5 个构件进行检测。每个构件有代表性的部位应至少测量 3 点。需确定实测碳化模型时, 应实测不少于 20 个碳化深度数据。

C. 2. 3. 3 碳化深度宜采用钻孔法测定, 并应符合下列规定:

(1) 采用电动冲击锤或钻芯机等工具在测区表面测点位置钻孔, 形成直径约 15mm、孔深大于混凝土碳化深度的孔洞, 将孔内表面粉末清理干净, 且禁用水擦洗;

(2) 将 1%~2% 的酚酞酒精溶液滴在孔洞内壁的边缘处, 当已碳化与未碳化界线清晰时, 再用碳化深度测量仪测量已碳化与未碳化混凝土交界线处到混凝土表面的垂直距离;

(3) 测量时避开粗骨料颗粒, 每个孔测量 3 个深度值, 读数精确至 0.25mm, 取其算术平均值作为一个测点的碳化深度测定值, 精确至 0.5mm;

(4) 所有测点碳化值的平均值为该样本每测区的碳化深度值, 精确至 0.5mm; 当碳化深度值极差大于 2.0mm 时, 需在每一测区测量碳化深度值。

C. 2. 4 钢筋腐蚀截面面积损失检测方法应符合下列规定。

C. 2. 4. 1 测点位置应选择在不同区域、不同构件具有代表性的部位。

C. 2. 4. 2 不同区域应各抽取不少于 3 个腐蚀严重的构件、每构件选择 2 根腐蚀严重的钢筋进行检测。

C. 2. 4. 3 钢筋腐蚀截面面积损失检测应凿除钢筋周围混凝土, 除去钢筋表面的锈层, 用卡尺直接测量钢筋的直径, 测量精度不应小于 0.1mm。

C. 2. 4. 4 钢筋截面面积损失率可按式 (C. 2. 4) 计算:

$$\eta_s = \frac{R_i^2 - R_f^2}{R_i^2} \times 100\% \quad (\text{C. 2. 4})$$

式中 η_s ——钢筋截面面积损失率;

R_i ——未锈蚀钢筋的平均截面直径(mm);

R_f ——锈蚀钢筋的平均截面直径(mm)。

C. 2. 5 钢筋腐蚀电位检测方法应符合下列规定。

C. 2. 5. 1 测点位置应选择在不同区域、不同构件具有代表性的部位。

C.2.5.2 不同区域应各抽取构件数量的5%且不少于10个构件进行全部钢筋腐蚀电位的检测。

C.2.5.3 采用钢筋腐蚀测定仪测定腐蚀电位宜按下列步骤进行：

(1) 在构件表面以网格形式布置测点，测点纵、横向间距为100mm~300mm，当相邻两测点测值差超过150mV时，适当缩小测点间距；

(2) 测量前对待测定钢筋的混凝土表面用喷淋的方法预湿；

(3) 凿除待测构件混凝土保护层，对待测钢筋除锈、擦光；

(4) 钢筋腐蚀测定仪正极连接已除锈钢筋，负极连接铜/饱和硫酸铜参比电极，并保持电连接良好；

(5) 开启钢筋腐蚀测定仪，读取并记录腐蚀电位测定值；

(6) 按测量结果绘制构件表面腐蚀电位图。

C.2.5.4 钢筋腐蚀情况应根据检测数据按下列规定判定：

(1) 腐蚀电位正向大于-200mV，则此区域发生钢筋腐蚀概率小于10%；

(2) 腐蚀电位负向大于-350mV，则此区域发生钢筋腐蚀概率大于90%；

(3) 腐蚀电位在-200mV~-350mV之间，则此区域钢筋腐蚀概率为50%。

C.2.6 混凝土中氯离子渗透扩散情况检测应符合下列规定。

C.2.6.1 测点位置应选择在不同区域、不同构件具有代表性的部位。

C.2.6.2 不同区域应各抽取构件数量的5%且不少于10个构件进行检验。

C.2.6.3 取样位置应选择在主筋附近，并避开混凝土裂缝和明显缺陷，芯样直径应不小于混凝土粗骨料最大粒径的4倍。

C.2.6.4 混凝土粉样应分层取样，每一取样点不得少于5层，各层粉样不得相混。取粉的最大范围为以芯体的中心为圆心，以小于芯体半径5mm的一个圆为最大的范围，随着取样深度的加大，可根据不同的取样工具而逐渐降低取样的最大半径范围，但每次取样的有效范围应大于粗骨料最大粒径的3倍。

C.2.6.5 取样点相邻位置相同深度段的粉样可混合为一个试样。

C.2.6.6 混凝土中氯离子含量测定应按现行行业标准《水运工程混凝土试验检测技术规范》(JTS/T 236)的有关规定进行。

C.2.6.7 混凝土氯离子扩散系数和混凝土表面氯离子含量可按式(C.2.6)计算：

$$C_{x,t} = C_i + (C_s - C_i) \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{\sqrt{4D_t t}} \right) \right] \quad (\text{C.2.6})$$

式中 $C_{x,t}$ ——龄期 t 时不同深度处的氯离子含量(%)；

C_i ——混凝土中原始氯离子含量(%)；

C_s ——混凝土表面氯离子含量(%)；

erf ——误差函数；

x ——距离混凝土表面的深度(cm)；

D_t ——氯离子扩散系数(cm^2/s)；

t ——混凝土暴露于环境中经过的时间(s)。

附录D 混凝土结构冻融劣化耐久性检测方法

D.1 冻融劣化外观检测

D.1.1 冻融劣化外观检测方法可参照现行行业标准《水运工程水工建筑物原型观测技术规范》(JTS 235)的规定执行。

D.2 冻融劣化专项检测

D.2.1 混凝土物理力学性能、保护层厚度和碳化深度的检测可参照附录C的有关规定执行。

D.2.2 混凝土剩余冻融循环次数检测应符合下列规定。

D.2.2.1 混凝土剩余冻融循环次数可采取取样比对冻融试验的方法推定。

D.2.2.2 取样及试样的加工应符合下列要求：

(1) 在受到相同冻融影响的构件上钻取混凝土芯样，芯样数量不少于6个，芯样直径不小于100mm，长度不小于200mm，所有芯样均带有受冻影响层；

(2) 将同组的6个芯样编号，并将每个芯样锯切成两个试件，试件的高度不小于100mm，其中带有受冻融影响表面的芯样作为测试试件，未受冻融影响的芯样作为比对试件。

D.2.2.3 对同组的6个测试试件和6个比对试件应同时进行冻融试验，冻融试验应按现行行业标准《水运工程混凝土试验检测技术规范》(JTS/T 236)的有关规定进行。

D.2.2.4 冻融试验和相关参数的确定可按下列步骤进行：

(1) 将12个试样浸泡4h~5h，晾至表面干燥，检测试件表面的里氏硬度值，测试试件检测面为遭受冻融影响的表面，测试结果用 $LH_{c,i}$ 表示；比对试件的检测面为与测试试件最接近的表面，测试结果用 $LH_{b,i}$ 表示；

(2) 称量所有试件的质量并分别予以记录；

(3) 按现行行业标准《水运工程混凝土试验检测技术规范》(JTS/T 236)等的有关规定对12个试件进行冻融循环试验；

(4) 对于测试试件，每次冻融循环观察试样的损伤情况，并称取试件的质量；当试样的质量损失率达到5%或冻融循环超过300次时停止试验，记录试件经受的冻融循环次数 $N_{d,i}$ ；

(5) 对于比对试件，每次冻融循环后将试件取出，晾至表面干燥，检测受冻融检测面的里氏硬度 $LH_{b,i}$ ，当 $LH_{b,i}$ 大于 $LH_{c,i}$ 时，继续试验至比对试件满足 $LH_{b,i}$ 等于 $LH_{c,i}$ 时停止试验，记录该试件经历的冻融循环次数 $N_{d,i0}$ 。

D. 2. 3 取样比对冻融检验方法的检验结果可按下列方法计算。

D. 2. 3. 1 试件年当量冻融循环次数可按式 (D. 2. 3-1) 计算:

$$N_{\text{cal},i} = N_{\text{d},i0} / t_0 \quad (\text{D. 2. 3-1})$$

式中 $N_{\text{cal},i}$ ——试件年当量冻融循环次数计算值;

$N_{\text{d},i0}$ ——比对试件表面硬度降至与测试试件表面硬度值相当时所经历的标准冻融循环次数;

t_0 ——已经冻融的时间 (a)。

D. 2. 3. 2 测试试件出现表面损伤时的换算年数可按 (D. 2. 3-2) 计算:

$$t_{\text{cal},i} = N_{\text{d},i} / N_{\text{cal},i} \quad (\text{D. 2. 3-2})$$

式中 $t_{\text{cal},i}$ ——测试试件出现表面损伤时的换算年数;

$N_{\text{d},i}$ ——测试试件停止试验时所经历的冻融循环次数;

$N_{\text{cal},i}$ ——试件年当量冻融循环次数计算值。

D. 2. 4 结构混凝土冻融损伤剩余年限 t_e 可按下列方法推定。

D. 2. 4. 1 当6个测试试件均为超过规定的冻融循环次数而停止冻融试验时, 可取换算年数中的最小值作为 t_e 。

D. 2. 4. 2 当6个测试试件部分为超过规定的冻融循环次数而停止冻融试验时, 可将这部分数据舍弃, 取剩余换算年数中的最大值作为 t_e 。

D. 2. 4. 3 当6个测试试件均为质量损失达到限值而停止试验时, 可计算换算年数的算术平均值 $t_{\text{cal},m}$ 和换算年数的最小值 $t_{\text{cal},\min}$, 以 $t_{\text{cal},\min} \sim t_{\text{cal},m}$ 作为 t_e 的推定区间。

附录E 钢结构锈蚀检测方法

E. 1 构件外观检测

- E. 1. 1 构件外观检测应对水上部位和水下部位分别进行，并重点选择腐蚀严重的部位。
- E. 1. 2 外观检测方法可采取目测、尺量、锤击、摄影和录像等，水下部位外观检测宜由潜水员进行。
- E. 1. 3 当局部腐蚀深度在3mm以上时宜采用深度计测定腐蚀深度。
- E. 1. 4 锈蚀情况应记录并绘制在构件表面展开图上。

E. 2 构件厚度检测

- E. 2. 1 构件厚度测点位置应选择在不同区域、不同构件具有代表性的部位。
- E. 2. 2 钢管桩厚度检测宜抽取构件数量的5%且不少于10个构件进行，同一构件代表性部位的测点数量不应少于3点。
- E. 2. 3 钢板桩厚度检测宜沿码头岸线不大于30m选取一组构件，取有代表性的部位进行厚度测定。
- E. 2. 4 构件厚度检测可采用钢结构水下超声波厚度测定仪，并应满足下列要求：
- (1) 钢结构水下超声波厚度测定仪测量允许偏差为 $\pm 0.2\text{mm}$ ；
 - (2) 壁厚测定前除去钢结构表层的附着生物和浮锈等；
 - (3) 对各代表性区域的测值用数理统计方法计算钢结构厚度的最大值、最小值、平均值和标准差。

- E. 2. 5 钢结构腐蚀速率可按式 (E. 2. 5) 计算：

$$P = \frac{D_i - D_f}{t} \quad (\text{E. 2. 5})$$

- 式中 P ——钢结构腐蚀速率(mm/a)；
- D_i ——钢结构原始厚度(mm)；
- D_f ——钢结构实测厚度(mm)；
- t ——钢结构暴露于环境中经历的时间(a)。

附录F 防腐蚀措施检测方法

F.1 涂层劣化检测

F.1.1 涂层劣化外观检测可采用目测、读数显微镜测量、锤击、摄影和录像等方法。

F.1.2 涂层劣化检测前应清除检测部位的附着物。

F.1.3 涂层劣化检测测点应根据涂层外观整体变化情况,布置在有代表性的结构部位,并应符合下列规定。

F.1.3.1 高桩码头宜按每1跨~2跨选择检测部位,其他结构形式宜按码头前沿线每20m~30m选择检测部位,并应按大气区、浪溅区和潮差区分别设置测点。

F.1.3.2 板桩结构同一测点处应分别对凹桩和凸桩进行检测。

F.1.3.3 异常部位或构件应适当增加测点。

F.1.4 涂层干膜厚度和粘结力检测方法可参照现行行业标准《海港工程钢结构防腐蚀技术规范》(JTS 153—3) 和《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTJ 275) 的规定执行。

F.2 钢结构电位检测

F.2.1 电位测定可采用内部阻抗为1MΩ/V以上的直流电压计、银/氯化银参比电极或饱和甘汞参比电极、电位测定装置。

F.2.2 电位测定的测点布置沿水工建筑物纵向方向间隔不宜大于20m,在水中深度方向间隔不宜大于3m,并在离阳极最近和最远处均应有测点。

F.2.3 检测时电压计的正极应与参比电极相连,负极应与电位测定装置相连。

F.3 试片腐蚀情况检测

F.3.1 将试片取出经处理称重后,应按式(F.3.1)计算腐蚀速度:

$$V = \frac{G_1}{st\rho} \quad (\text{F.3.1})$$

式中 V ——腐蚀速度(mm/a);

G_1 ——腐蚀引起的失重量(g);

s ——试片表面积(mm²);

t ——试片腐蚀情况检测时距离初始放置试片的时间(a);

ρ ——试片密度(g/mm³)。

F.3.2 防腐效率可按式(F.3.2)计算:

$$\mu = \frac{G_b - G_e}{G_e} \times 100\% \quad (\text{F. 3. 2})$$

式中 μ ——防腐效率；
 G_b ——不通电试片失重量(g)；
 G_e ——通电试片失重量(g)。

F. 4 牺牲阳极检测

F. 4. 1 阳极的安装状况检测应由潜水员检查阳极数量、安装连接状态和阳极溶解消耗情况，水下录像或水下摄影检查的阳极数量不得少于阳极总数的5%。

F. 4. 2 阳极残余尺寸应由潜水员水下测量，检测数量应随机选取阳极总数的5%~10%，必要时应取出适量阳极进行称重校核。

F. 4. 3 阳极尺寸测量时应除去附着在阳极表面的腐蚀生成物，并测量阳极两端距端部各10cm处的周长、阳极中部周长和阳极的长度。

F. 4. 4 阳极的剩余重量可按式(F. 4. 4)计算：

$$Q_e = \left[\left(\frac{D_1 + D_2 + D_3}{12} \right)^2 L - V \right] \rho \quad (\text{F. 4. 4})$$

式中 Q_e ——阳极的剩余重量(kg)；
 D_1 、 D_3 ——剩余阳极两端各10cm处的周长(mm)；
 D_2 ——剩余阳极中部的外周长(mm)；
 L ——剩余阳极的长度(mm)；
 V ——芯棒体积(mm³)；
 ρ ——阳极密度(kg/mm³)。

F. 4. 5 阳极剩余年限可按式(F. 4. 5)计算：

$$t_e = \frac{Q_e}{Q_0 - Q_e} t \quad (\text{F. 4. 5})$$

式中 t_e ——阳极剩余年限(a)；
 Q_e ——阳极的剩余重量(kg)；
 Q_0 ——阳极的初始重量(kg)；
 t ——阳极使用年数(a)。

F. 5 直流电源装置的运行状况检测

F. 5. 1 直流电源装置的运行状况检测应将检测结果与规定值和前次检测结果作比较。当输出电压和电流值不符合规定值或与前次检测结果有较大差异时，应对电路进行详细检查。

F. 5. 2 在电压调节器上切换电压时，应检查变压器、整流器、开关、接头等直流电源装置是否有异常温升，并应对直流电源装置接地和回路的绝缘性进行检查。

F. 5. 3 检查辅助阳极应测定各电极的电流。当电流值不符合设计规定值时，应通过目视检查同一回路内电极并测定通电电流，查明故障部位及原因并及时进行处理。

F. 5. 4 直流电源装置的运行状况检测应测定线路的绝缘阻抗，绝缘不良的部位应查明原因并及时进行处理。

附录 G 本规范用词说明

为便于在执行本规范条文时区别对待，对要求严格程度的用词说明如下：

- (1) 表示很严格，非这样做不可的，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，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，正面词采用“宜”或“可”，反面词采用“不宜”；
- (4) 表示允许选择，在一定条件下可以这样做的采用“可”。

引用标准名录

1. 《港口工程结构可靠性设计统一标准》(GB 50158)
2. 《砌体工程现场检测技术标准》(GB/T 50315)
3. 《水运工程测量规范》(JTS 131)
4. 《水运工程混凝土结构设计规范》(JTS 151)
5. 《水运工程结构耐久性设计标准》(JTS 153)
6. 《海港工程钢结构防腐蚀技术规范》(JTS 153—3)
7. 《防波堤与护岸设计规范》(JTS 154)
8. 《码头结构设计规范》(JTS 167)
9. 《航道工程设计规范》(JTS 181)
10. 《船厂水工工程设计规范》(JTS 190)
11. 《水运工程水工建筑物原型观测技术规范》(JTS 235)
12. 《水运工程混凝土结构实体检测技术规程》(JTS 239)
13. 《港口设施维护技术规范》(JTS 310)
14. 《水运工程土工合成材料应用技术规范》(JTJ 239)
15. 《水运工程混凝土试验检测技术规范》(JTS/T 236)
16. 《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTJ 275)
17. 《内河航道维护技术规范》(JTJ 287)
18. 《船闸水工建筑物设计规范》(JTJ 307)
19. 《水工钢闸门和启闭机安全检测技术规程》(SL 101)
20. 《升船机设计规范》(SL 660)

附加说明

本规范主编单位、参编单位、主要起草人、 主要审查人、总校人员和管理组人员名单

主 编 单 位：交通运输部天津水运工程科学研究院

中交四航工程研究院有限公司

参 编 单 位：中交天津港湾工程研究院有限公司

天津水运工程勘察设计院

长江航道规划设计研究院

中交武汉港湾工程设计研究院有限公司

苏交科集团股份有限公司

南京水利科学研究院

中交第一航务工程勘察设计院有限公司

主要起草人：郑锋勇（交通运输部天津水运工程科学研究院）

张 强（交通运输部天津水运工程科学研究院）

徐满意（交通运输部天津水运工程科学研究院）

苏林王（中交四航工程研究院有限公司）

（以下按姓氏笔画为序）

安小龙（苏交科集团股份有限公司）

刘现鹏（天津水运工程勘察设计院）

刘思国（中交天津港湾工程研究院有限公司）

孙百顺（交通运输部天津水运工程科学研究院）

孙爱国（长江航道规划设计研究院）

李越松（交通运输部天津水运工程科学研究院）

应宗权（中交四航工程研究院有限公司）

张宝华（交通运输部天津水运工程科学研究院）

陈 龙（中交四航工程研究院有限公司）

陈浩宇（中交天津港湾工程研究院有限公司）

吴晓明 (苏交科集团股份有限公司)

居炎飞 (中交武汉港湾工程设计研究院有限公司)

孟 静 (交通运输部天津水运工程科学研究院)

徐 宁 (南京水利科学研究院)

曹胜敏 (中交第一航务工程勘察设计院有限公司)

熊建波 (中交四航工程研究院有限公司)

熊荣军 (长江航道规划设计研究院)

主要审查人：仇伯强

(以下按姓氏笔画为序)

王大斌、王元战、朱子平、司炳君、张天华、张树仁

赵立鹏、胡家顺、顾春光

总 校 人 员：刘国辉、李荣庆、吴敦龙、董 方、郑锋勇、徐满意

孟 静、陈 龙、刘思国、孙爱国、安小龙、居炎飞

管理组人员：赵洪波 (交通运输部天津水运工程科学研究院)

张 强 (交通运输部天津水运工程科学研究院)

孟 静 (交通运输部天津水运工程科学研究院)

李越松 (交通运输部天津水运工程科学研究院)

《港口水工建筑物检测与评估技术规范》 (JTJ 302—2006) 主编单位、参编单位、 主要起草人名单

主 编 单 位：中交四航工程研究院有限公司

参 编 单 位：中交第一航务工程勘察设计院有限公司

中交第二航务工程勘察设计院有限公司

中交第三航务工程勘察设计院有限公司

中交四航局港湾工程设计院有限公司

交通部天津水运工程科学研究所

中交上海港湾工程设计院有限公司

主要起草人：潘德强、王胜年

(以下按姓氏笔画为序)

王永平、王笑难、吕卫清、朱崇诚、陆旭峰、杨丽民、

吴荔丹、张黎明、钟相尧

中华人民共和国行业标准

水运工程水工建筑物检测与评估技术规范

JTS 304—2019

条文说明

目 次

1 总则	(71)
3 基本规定	(72)
4 混凝土结构耐久性检测与评估	(73)
4.2 氯盐引起钢筋锈蚀劣化耐久性检测	(73)
4.5 氯盐引起钢筋锈蚀劣化耐久性评估	(73)
4.6 混凝土碳化引起钢筋锈蚀劣化耐久性评估	(77)
5 钢结构耐久性检测与评估	(78)
5.1 腐蚀介质及工程情况的调查	(78)
5.2 检测	(78)
5.3 评估	(78)
6 防腐蚀措施检测与评估	(79)
6.2 混凝土表面涂层劣化检测与评估	(79)
6.3 混凝土表面硅烷浸渍劣化检测与评估	(79)
6.4 环氧涂层钢筋与不锈钢钢筋劣化检测与评估	(79)
6.6 钢结构涂层及金属热喷涂劣化检测与评估	(79)
6.7 钢结构牺牲阳极阴极保护效果检测与评估	(80)
6.8 钢结构外加电流阴极保护效果检测与评估	(80)
7 码头检测与评估	(81)
7.1 一般规定	(81)
7.2 重力式码头检测与评估	(82)
7.3 板桩码头检测与评估	(82)
7.4 高桩码头检测与评估	(82)
7.5 斜坡码头、浮码头检测与评估	(82)
8 防波堤检测与评估	(84)
8.1 检测	(84)
8.2 评估	(84)
9 港口护岸检测与评估	(85)
9.1 检测	(85)
9.2 评估	(85)
10 通航建筑物检测与评估	(86)
10.2 船闸检测与评估	(86)

10.3	升船机检测与评估	(86)
11	航道整治建筑物检测与评估	(87)
11.1	一般规定	(87)
11.2	航道护岸检测与评估	(87)
11.3	护底护滩检测与评估	(87)
11.4	坝体检测与评估	(87)
12	船厂水工建筑物检测与评估	(89)
12.1	一般规定	(89)
12.2	干船坞检测与评估	(89)
12.3	船台、滑道检测与评估	(89)
附录 A	腐蚀后钢筋混凝土构件承载能力验算	(90)
附录 B	检测与评估报告编写要求	(91)
附录 C	混凝土结构钢筋锈蚀劣化耐久性检测方法	(92)
C.2	钢筋锈蚀劣化耐久性专项检测	(92)
附录 D	混凝土结构冻融劣化耐久性检测方法	(93)
D.2	冻融劣化专项检测	(93)
附录 E	钢结构锈蚀检测方法	(94)
E.2	构件厚度检测	(94)

1 总 则

1.0.2 航道水工建筑物包括通航水工建筑物和航道整治水工建筑物。修造船水工建筑物主要包括干船坞、船台与滑道等水工建筑物。

3 基本规定

3.0.2 原勘察设计文件和竣工资料是指工程地质勘察报告、设计计算书、设计变更记录、施工图、施工及施工变更记录、竣工图、竣工质量检查及验收文件等；建筑物的历史是指建筑物始建、投产、改建、用途变更、使用条件改变及受灾、事故等情况；建筑物检查和维护资料是指检查内容、频率、时间及材料劣化、地基沉降等随时间发展的变化情况；现场考察是指对实际工程按资料进行核对、调查工程项目的实际使用条件、内外环境及水文气象资料、查看已发现的问题等。

3.0.6 水运工程水工建筑物的特点是，不仅结构复杂，构件相互关连，而且作用于结构物的外部因素多种多样。由于所处环境条件恶劣，因而其变化的机理极其复杂，各种变化都有可能发生，如对所有变化都要进行检测与评估，既太费工费时，也不现实。因此，检测与评估时需要将结构物划分成评估单元、子单元和基本单元。

3.0.7 水运工程水工建筑物使用过程中发生的许多变化是随着时间的推移导致结构物或构件的某些功能有规律地下降。混凝土结构由于氯离子的渗入引起的钢筋腐蚀破坏、在反复冻融作用下产生的冻融破坏、钢结构发生的钢材腐蚀以及地基沉降等，这些变化与时间的关系不可能凭一次特定的检测结果就能得出正确的判断，因此规定采取定期检查与专项检测相结合的方式。

3.0.8 对已建水运工程水工建筑物按承载能力极限状态验算时，首先需要考虑如何确定符合实际情况的作用（荷载）。由于已建建筑物与新建建筑物不同，不能单纯按现行行业标准《港口工程荷载规范》（JTS 144—1—2010）取值，还需要对结构物上的作用通过调查核实，再按《港口工程荷载规范》（JTS 144—1—2010）规定的原则确定。

对已建水工建筑物的结构进行承载能力验算，另一重点问题是如何为计算抗力提供符合现有构件材料的实际强度标准值。考虑到要确定建筑物构件材料实际的强度标准值需要大量取样检测确定，因此本规范规定，验算时构件材料的标准值可采用现行规范规定的标准值，当结构有明显功能性退化和施工缺陷或对材料强度有怀疑时，才进行现场检测并按现行国家标准《港口工程结构可靠性设计统一标准》（GB 50158—2010）、《工程结构可靠性设计统一标准》（GB 50153—2008）规定的原则确定。

3.0.11 检测与评估单位的资质主要指营业执照或法人证书、水运工程试验检测等级证书、计量认证证书等。

3.0.12 相关要求是指现行行业有关标准对检测内容、检测数量、检测方法的要求和委托方对检测评估的要求。

4 混凝土结构耐久性检测与评估

4.2 氯盐引起钢筋锈蚀劣化耐久性检测

4.2.2 氯离子是极强的去钝化剂。当钢筋混凝土结构处于氯盐环境下，氯离子会通过液相扩散或毛细管结构深入混凝土中，游离的氯离子与水形成盐酸，并与混凝土中的氢氧化钙发生反应，使水泥石水化产物发生分解，降低混凝土的密实性。当氯离子渗透至钢筋表面时，会对钢筋表面的钝化膜产生完全或部分的破坏，造成预埋钢筋的严重腐蚀和开裂。钢筋锈蚀的氧化物体积会膨胀4倍，会在混凝土内部产生内应力，导致混凝土进一步开裂，使钢筋与混凝土的握裹力降低，从而影响混凝土结构的承载能力和使用寿命。海洋环境下的钢筋混凝土结构腐蚀多为这种情况。故此在海水环境条件下，需要对混凝土中氯离子渗透扩散情况和钢筋腐蚀电位进行检测。

4.5 氯盐引起钢筋锈蚀劣化耐久性评估

4.5.3 当混凝土结构外观劣化度评估为C、D级时，由于混凝土保护层出现了许多较宽的锈胀裂缝或剥离剥落，对构件的承载能力和适用性将产生较大的影响，因此要按承载能力极限状态和正常使用极限状态进行安全性或适用性评估。

4.5.4 国家标准《港口工程结构可靠性设计统一标准》(GB 50158—2010)未对耐久性极限状态给出明确的定义，本规范参照行业协会标准《混凝土结构耐久性评定标准》(CECS 220；2007)中对耐久性极限状态的定义，按海水环境下混凝土结构钢筋腐蚀破坏过程，将耐久性划分为钢筋开始锈蚀、保护层锈胀开裂和功能明显退化三阶段分段进行评估。

(1) 钢筋开始锈蚀 t_i 是指混凝土结构暴露于海水环境至氯离子渗入到钢筋周围达到引起钢筋腐蚀的临界含量所经历的时间。 t_i 的计算模型采用国内外学者基本公认的费克第二定律为基础的计算模式。由于一些参数，如：混凝土有效扩散系数 D_t 、混凝土表面氯离子含量 c_s 、引起混凝土中钢筋发生腐蚀的氯离子临界含量 c_l 等受到暴露环境、暴露时间等各种极为复杂因素的影响，存在着较大的不确定性，为了尽可能准确，原则上都以对实际混凝土构件上检测的数据为主。

① 混凝土有效扩散系数 D 的确定：

混凝土有效扩散系数 D 是随时间不断衰减的，美国Life-365预测暴露于氯离子环境下钢筋混凝土的使用年限和生命周期费用预测软件建议按式(4.5.4)确定：

$$D_t = D_{ref} \left(\frac{t_{ref}}{t} \right)^m \quad (4.5.4)$$

式中 D_t ——结构使用时间 t 时的扩散系数 (mm^2/a) ;
 D_{ref} ——在某一参考时间的扩散系数 (mm^2/a) ;
 t_{ref} ——某一参考时间 (a), 在 Life-365 软件中使用 28 天作为参考时间;
 t ——建筑物使用时间 (a) ;
 m ——与混凝土配合比有关的常量, 其取值与水胶比、掺合料的品种及掺量等有关。

Life-365 建立的扩散系数随时间衰减的关系式, 其基本思路是可行的, 但未考虑实际暴露环境的影响, 用该式来估算时可能误差很大。因此, 本规范考虑到已建工程的耐久性评估一般都有 10 年以上的历史, 10 年以后 D_t 的衰减幅度已比较小, 故此规定当建筑物使用时间 $t \geq 10$ 年时, D 按实际测值选取, 今后 D 随时间进一步地衰减作为安全储备; 若调查评估时建筑物使用时间 $t < 10$ 年, 则按 Life-365 建议的公式及 m 值按 10 年使用期计算有效扩散系数 D 。无条件实测时, 参照美国 Life-365 对氯离子扩散系数衰减系数的计算式 $m=0.2+0.4(FA/0.5+SG/0.7)$, 并用我国实测数据验证, 对普通硅酸盐混凝土可取 $m=0.2$, 对有掺合料的混凝土我国尚缺乏足够的的数据, 参考国外资料, m 值多在 0.4~0.6 范围内变化。因此, 按本规范规定检测评估的 t_0 值一般偏小, 也就是偏保守或安全。

② 混凝土表面氯离子含量 c_s 取值:

c_s 值的大小与暴露条件、混凝土结构物所处的暴露位置 (高程) 及时间长短有关, 通常 c_s 随混凝土暴露于海水环境的时间的增加而增大。国外一些资料认为, 当暴露年限超过 10 年后认为基本恒定。因此本规范规定, 当结构物使用时间 $t \geq 10$ 年时, c_s 按实测值选取, 当结构物使用时间 $t < 10$ 年时按条文中的表 4.5.4-3 取值。

由于我国缺乏海港工程混凝土表面氯离子含量 c_s 值的统计分析资料, 条文的表 4.5.4-3 中 c_s 规定值是借鉴美国混凝土学会 Life-365 (表 4.1)、英国 Bamforth 建议用于设计的混凝土表面氯离子含量 (表 4.2)、日本土木学会标准 (表 4.3) 和欧洲 Duracrete 关于 c_s 取值的规定 (表 4.4) 综合分析确定。

表 4.1 美国 Life-365 近海大气区混凝土表面的氯离子含量 (按混凝土质量百分比计)

环境	每年增加速度	最终定值	环境	每年增加速度	最终定值
潮汐浪溅区	瞬时到定值	0.8%	离海岸 800m 内	0.04%	0.6%
海上盐雾区	0.10%	1.0%	离海岸 1.5km 内	0.02%	0.6%

表 4.2 英国 Bamforth 用于设计的表面氯离子含量 (按混凝土质量百分比计)

环境	海洋浪溅区	海洋浪雾区	海洋大气区
硅酸盐水泥混凝土	0.75%(4.5%)	0.5%(3%)	0.25%(1.5%)
加有掺合料的水泥混凝土	0.9%(5.4%)	0.6%(3.6%)	0.3%(1.8%)

表 4.3 日本土木学会近海大气区混凝土表面的氯离子含量（按混凝土质量百分比计）

浪溅区	离海岸距离				
	岸线附近	0.1km	0.25km	0.5km	1.0km
0.65%	0.45%	0.225%	0.15%	0.1%	0.075%

表 4.4 欧洲 Duracrete 混凝土表面氯离子含量（按混凝土质量百分比计）

	大气区		浪溅区			水位变动区	
水胶比	0.55	0.50	0.50	0.40	0.35	0.45	0.50
c_s	0.18%	0.20%	0.61%	0.54%	0.51%	0.60%	0.61%

表 4.4 是依据 Duracrete 对混凝土表面氯离子含量取值规定（Duracrete 规定潮汐浪溅区 $c_s = 7.76 \times (W/B) \times 100\% \times$ 胶凝材料重量，大气区 $c_s = 2.57 \times (W/B) \times 100\% \times$ 胶凝材料重量）和我国《海港混凝土结构防腐蚀技术规范》（JTJ 275—2000）规定的浪溅区、水位变动区、大气区的最大水灰比和最低水泥用量，按混凝土重度为 2300kg/m^3 计算得出的结果。

③ 关于钢筋腐蚀氯离子临界含量 c_l 取值：

引起混凝土中开始腐蚀的氯离子含量临界值受到混凝土孔隙液中 $[\text{Cl}^-]/[\text{OH}^-]$ 比值大小、环境条件等许多因素的影响，综合有关资料，氯离子含量临界值变动范围在 0.17%~2.5% 之间（以全部氯离子占胶凝材料质量百分数计），目前比较公认的范围为 0.2%~0.6%，本规范对处于浪溅区的混凝土构件取氯离子含量临界值 c_l 为 0.35%~0.45%。基于位于水位变动区的混凝土常处于饱水状态，由于缺氧，氯离子含量临界值大大提高，甚至可达胶凝材料质量的 1.0%，位于大气区的混凝土结构相对干燥，电阻率会大大提高，阳极与阴极间的离子传导相对困难，因此将水位变动区、大气区氯离子含量临界浓度定为 0.55%。

各国标准对 c_l 的取值规定差异很大，以浪溅区为例，欧洲 Durecrete 规定为 0.5%~0.9%（与水灰比有关），英国 Bamforth 为 0.4%~1.5%（与保水程度和水灰比有关），美国 life-365 为 0.3%，日本土木学会规定为 0.3%，本标准 c_l 取值与美、日标准接近。

（2）关于混凝土结构从钢筋开始锈蚀至保护层开裂时间 t_c 的确定。

本规范计算 t_c 的公式引自行业协会标准《混凝土结构耐久性评定标准》（CECS 220：2007）附录 C。按该式计算，处于浪溅区的钢筋混凝土构件，对于普通混凝土 t_c 为 5 年~7 年，高性能混凝土为 13 年~16 年，基本与实际情况相符。

钢筋从开始腐蚀到使混凝土保护层胀裂的时间与混凝土的强度、保护层厚度与钢筋直径的比值有极大关系。由于混凝土中钢筋发生锈蚀时，其锈蚀产物会发生膨胀，体积一般可比钢材体积增大 3 倍~4 倍，当体积膨胀产生的拉应力超过混凝土自身的抗拉强度时就会产生顺筋裂缝。因此，混凝土强度越高或水胶比越低的混凝土在相同条件下导致混凝土发生顺筋开裂的时间越长。当混凝土保护层相同时，钢筋越粗，混凝土保护层厚度 c 与钢筋直径 d 的比值越小， t_c 也就越短，国外一些研究强调， c/d 值和混凝土立方

体抗压强度标准值 $f_{\text{cu,k}}$ 是影响 t_c 的主要参数, t_c 值随着 c/d 值和 $f_{\text{cu,k}}$ 增大而增大。

此外,钢筋从开始腐蚀到使混凝土保护层胀裂的时间与钢筋腐蚀速度有关,钢筋腐蚀速度可按照条文的式(4.5.4-6)由腐蚀电流密度得出,而钢筋腐蚀电流密度与环境温度、混凝土电阻率、钢筋周围氯离子含量等有关。条文的表4.5.4-4的腐蚀电流密度是根据 Andrade 室内试验和现场实际结构检测结果对钢筋腐蚀等级划分的建议,并结合海港工程环境条件和混凝土质量制定的。Andrade 等对钢筋腐蚀等级划分建议见表4.5。

表4.5 Andrade 等对钢筋腐蚀等级划分建议

钢筋的腐蚀电流密度 ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	钢筋腐蚀等级	混凝土电阻率 ($\text{k}\Omega\cdot\text{cm}$)
<0.1	可忽略不计	$>100\sim200$
$0.1\sim0.5$	低	
$0.5\sim1.0$	中	$10\sim100$
>1.0	高	

(3) 关于混凝土结构功能明显退化时间 t_d 的确定:

国内外大量试验结果表明:当混凝土中钢筋发生顺筋锈胀开裂,在截面损失率小于5%的范围内,只要结构细部设计考虑了箍筋长度和抗剪切性能,一般不会发生钢筋/混凝土的粘结破坏,对钢筋延伸率、钢筋屈服强度和抗拉极限强度都无明显影响,按极限承载力计算时仅考虑截面的折减。当截面损失率在5%~10%的范围内,由于腐蚀不均匀,钢筋屈服强度、抗拉强度及延伸率开始降低,但锈胀后钢筋混凝土受弯构件截面的平均应变分布仍基本符合平截面假定。因此,计算模型与未锈胀构件相同,但计算时需考虑钢筋截面面积减小、钢筋屈服强度降低以及钢筋与混凝土间粘结性能退化引起钢筋混凝土协同工作能力降低对承载能力的影响。当截面损失率在10%~60%范围内时,钢筋屈服点已不明显,钢筋的各项力学性能严重下降。因此,将钢筋混凝土结构自构件出现顺筋开裂至钢筋截面因锈蚀减少至原截面的90%的时间作为功能明显退化时间 t_d 。

影响钢筋腐蚀速度的因素十分复杂,条文中的表4.5.4-5是按裸露于海水环境中钢筋腐蚀平均速度的下限取值,这是基于 t_d 这段时间并不都处于裸露状态,对处于浪溅区的钢筋混凝土板,基于板一般不会出现顺筋开裂, t_{d2} 这段时间钢筋腐蚀的通氧条件比顺筋开裂的要差很多,故钢筋腐蚀速度取值为 0.05mm/a 。按上述原则计算,处于浪溅区发生顺筋开裂的构件 t_d 为2年~4年,板为8年~10年,计算值与实际调查结果较为接近。

4.5.5 对于普通钢筋混凝土结构,一般设计使用寿命取 $t_e=t_i+t_c+t_d$ 。对于预应力混凝土结构,当采用高强钢丝或钢绞线作为预应力筋时,因预应力筋应力高、较脆,即使腐蚀轻微,由于本身断面小,断面损失率已较大,而且对应力腐蚀和预应力腐蚀疲劳很敏感,因此对采用高强钢丝或钢绞线作为预应力筋的预应力构件,规定其设计使用寿命为 $t_e=t_i$,当采用粗钢筋作为预应力筋时,腐蚀对预应力筋断面损失较小,应力腐蚀及预应力腐蚀疲劳敏感相对较小,一旦出现开裂对承载能力影响不大,因此规定采用粗钢筋作为预应力筋时,其设计使用寿命为 $t_e=t_i+t_c$ 。

4.6 混凝土碳化引起钢筋锈蚀劣化耐久性评估

4.6.4~4.6.12 引用自国家标准《混凝土结构现场检测技术标准》(GB/T 50784—2013)第11.2节的规定。

5 钢结构耐久性检测与评估

5.1 腐蚀介质及工程情况的调查

5.1.1 影响钢结构耐久性的主要原是环境的腐蚀作用。环境不同，腐蚀作用机理和腐蚀速率也有所不同。另外，钢结构所处的环境往往会随着时间以及周边环境的影响而变化。因此，在钢结构耐久性检测与评估之前需要对腐蚀介质进行全面调查，以使钢结构的耐久性检测与评估更为合理、可靠。

5.2 检 测

5.2.1 水运工程钢结构所处环境复杂，各个部位的腐蚀速度有很大的差别，因此钢结构的外观检测需要针对不同部位进行。

5.2.2 钢结构的局部腐蚀速度远大于平均腐蚀速度，这种局部腐蚀会造成结构物腐蚀穿孔或应力集中，成为结构的安全隐患。因此，需要对局部腐蚀严重的区域进行检测。

5.3 评 估

5.3.1 由于不同的防腐蚀措施对钢结构的保护效果有所不同，所以针对钢结构无防腐蚀措施和有防腐蚀措施的腐蚀速度计算进行了规定。

5.3.2 钢结构腐蚀的形式是钢材锈蚀，同时截面尺寸相对较小，即使采取了防腐蚀措施，钢材也会发生不同程度的腐蚀。因此，钢结构设计时，一般都根据结构所处环境、所采取的防腐蚀措施及保护年限，合理地设计适当的腐蚀裕量作为腐蚀安全储备。当钢构件腐蚀平均截面损失达到腐蚀裕量时，虽不至于影响结构承载能力，但由于无腐蚀安全储备，继续腐蚀则会带来承载能力不足影响安全使用的风险。因此，对于钢结构来讲，以钢构件腐蚀平均截面面积损失达到腐蚀裕量时的状态为耐久性极限状态。

6 防腐蚀措施检测与评估

6.2 混凝土表面涂层劣化检测与评估

6.2.3 参考日本《港湾结构物的维护与修补指南》有关涂层劣化的评级标准和行业标准《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTJ 275—2000)有关涂层质量的规定,以涂层裂纹、起泡、脱落、涂层干膜厚度和涂层粘结力等来综合评估混凝土结构涂层的劣化情况。

6.3 混凝土表面硅烷浸渍劣化检测与评估

6.3.3 行业标准《水运工程结构耐久性设计标准》(JTS 153—2015)第5.3.3条规定的混凝土硅烷浸渍保护性指标为:普通混凝土和高性能混凝土的吸水率不大于0.01mm/min,普通混凝土硅烷浸渍渗透深度不小于3mm,高性能混凝土硅烷浸渍渗透深度不小于2mm。

6.4 环氧涂层钢筋与不锈钢钢筋劣化检测与评估

6.4.3 腐蚀电位指的是所检测的自然腐蚀电位。

6.6 钢结构涂层及金属热喷涂劣化检测与评估

6.6.1 根据行业标准《水运工程结构耐久性设计标准》(JTS 153—2015),对于海水环境,钢结构水下区以上部位包括大气区、浪溅区和水位变动区三部分;对于淡水环境,钢结构水下区以上部位,指设计高水位以上的水上区部位。

对于钢结构水下区涂层,由于厚度和粘结力难以检测,通常仅需要对其外观有无脱落进行检测。对于涂层和阴极保护联合保护的钢结构,主要检测其阴极保护运行的效果。

6.6.3 对钢结构涂层劣化,除表现在粉化、变色、裂纹、起泡和脱落生锈等外观变化外,涂层厚度和粘结力也直接影响到涂层的保护效果。日本《港湾结构物的维护与修补指南》参考美国ASTM-D610标准,以涂层生锈、膨大和剥落等的面积率来评定油漆类涂层的劣化度,并按小于0.03%、0.03%~0.1%、0.1%~0.3%、大于0.3%划分为四个等级。本规范参考了日本《港湾结构物的维护与修补指南》和行业标准《海港工程钢结构防腐蚀技术规范》(JTS 153—3—2007)有关涂层质量的评级标准,以涂层裂纹、起泡、脱落生锈、涂层干膜厚度和涂层粘结力等来综合评估钢结构涂层的劣化情况。

根据行业标准《水运工程结构耐久性设计标准》(JTS 153—2015)和现场检测经

7 码头检测与评估

7.1 一般规定

7.1.2 环境条件检测内容中码头前沿水深、冲淤等变化情况的检测，主要是查明码头前沿当前的水深情况，与原设计及竣工时的水深相比是否发生了变化，是否有冲淤现象发生；查明是否由于港池或航道水深变化、新水工建筑物的建设、气候变化、新的径流、排污入海等使码头水域的波浪、水位、流速、流向等水文条件及水质发生变化，使码头前沿的泊稳条件与原设计不符。环境条件的检测，为结构的损坏性检测、变形检测、耐久性检测及其评估分析奠定基础。

7.1.3 有关现行行业标准主要包括《水运工程水工建筑物原型观测技术规范》(JTS 235)、《港口设施维护技术规范》(JTS 310)、《水运工程结构实体检测技术规范》(JTS 239)、《水运工程测量规范》(JTS 131)、《内河航道维护技术规范》(JTJ 287)等。

7.1.5~7.1.6 水运工程水工建筑物适用性评估是按正常使用极限状态进行，主要针对荷载作用下影响正常使用或影响外观的过大变形（挠度）、裂缝等。在本规范中，混凝土结构因钢筋锈蚀产生的顺筋裂缝或因冻融产生的损伤属耐久性评估范畴。基于港口附属设施属于港口管理部门正常维护内容，本规范不包涵对港口附属设施的适用性评估。

适用性评估分级是以实测值或验算值与现行规范规定的限值的比值进行划分，划分的基本原则类同安全性评估分级标准，将结构的目标可靠指标作为设计要求目标，将目标可靠指标减0.25作为不得低于规定的质量下限。基于目前规范规定的裂缝宽度限值主要从防止侵蚀介质的侵入引起钢筋发生腐蚀的最小宽度，我国行业标准《水运工程混凝土结构设计规范》(JTS 151—2011)和《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTJ 275—2000)将浪溅区、大气区最大裂缝限值定为0.2mm，水位变动区定为0.25mm。但目前许多研究成果认为，方向垂直钢筋的裂缝宽度不大于0.3mm，对钢筋腐蚀不会产生不利影响，因此混凝土的允许裂缝宽度可以放宽到0.3mm，或按混凝土保护层厚度的0.004倍控制，目前国外不少规范也按此作了相应的规定，如国际结构混凝土学会(FIB)、日本土木工程学会的混凝土结构设计标准规定为保护层厚度的0.004倍或0.3mm。因此，本规范将规范值/实测值或验算值划分为B级时定为 ≥ 0.8 且 < 1.00 ，C级标准定为 ≥ 0.7 且 < 0.8 ，即使这样，B级或C级允许的实测值或验算值仍控制在0.3mm以内。

7.2 重力式码头检测与评估

7.2.4.2 有关现行行业标准主要包括《水运工程混凝土结构设计规范》(JTS 151)、《水运工程钢结构设计规范》(JTS 152)、《水运工程地基设计规范》(JTS 147)等。

7.2.4.3 本规范规定的工程结构按承载能力分级标准是以国家标准《港口工程结构可靠性设计统一标准》(GB 50158—2010)规定的可靠指标为基础来确定安全等级的界限。并参考国家标准《民用建筑可靠性鉴定标准》(GB 50292—2015)的分级原则,将结构的目标可靠指标作为设计要求目标,将目标可靠指标减0.25作为不得低于规定的质量下限,这是基于目标可靠指标系根据我国港口工程材料和构件性能统计参数的平均值校准得到的。因此它所代表的水平相当于全国平均水平,实际的材料和构件性能可能在此质量水平上下波动。因此规定将目标可靠指标减0.25作为工程质量的下限,此值相当于其失效概率运算值上升半个数量级。

基于以上考虑并计入结构重要性系数 γ_0 ,本规范将结构构件安全性评估按承载能力分为4级。

7.3 板桩码头检测与评估

7.3.1~7.3.2 由于门机梁、锚碇墙或锚碇桩、拉杆及其连接构件等属于隐蔽结构构件,对其开展检查比较困难,并会对码头作业造成较大影响,因此,在对板桩码头进行例行检查时,可根据码头的使用情况确定是否需要对其进行检测;而在码头升级使用改造或改变其用途时,则需要对其进行专项检测。

7.3.4.2 有关现行行业标准主要包括《水运工程混凝土结构设计规范》(JTS 151)、《水运工程钢结构设计规范》(JTS 152)、《水运工程地基设计规范》(JTS 147)等。

7.4 高桩码头检测与评估

7.4.1 码头的上部结构构件分为主要构件和一般构件。高桩码头包括板梁式码头、桁架式码头、无梁板式码头、墩式码头等多种形式,码头上部结构的主要构件和一般构件的区分由评估人员根据构件在码头结构中所起的作用确定。

7.4.3.2 有关现行行业标准主要包括《水运工程混凝土结构设计规范》(JTS 151)、《水运工程钢结构设计规范》(JTS 152)、《码头结构设计规范》(JTS 167)、《水运工程地基设计规范》(JTS 147)等。

7.5 斜坡码头、浮码头检测与评估

7.5.3 趸船及升降架中的升降设备属于船舶和机电类,需要由具有相应检验检测资质的机构对其进行检测评估。

7.5.5 安全性等级评估标准表中按一般情况将各部结构分成了两类构件:主要构件和一般构件,且其分级标准对前者要求较高。评估时根据具体构件的重要性区分其属性。

斜坡码头主要构件包括:桩基、盖梁、轨道梁、立柱、面板、钢引桥、接岸结

构等。

浮码头主要构件包括：桩基、盖梁、升降架、立柱、面板、钢引桥、撑杆、撑杆墩、接岸结构等。

7.5.5.2 有关行业标准主要包括《水运工程混凝土结构设计规范》(JTS 151—2011)、《水运工程钢结构设计规范》(JTS 152—2012)、《码头结构设计规范》(JTS 167)、《水运工程地基设计规范》(JTS 147—2017)等。

8 防波堤检测与评估

8.1 检 测

8.1.2 堤前地形和水深情况是指当前的地形是否由于冲刷或淤积而与设计时地形和水深条件不同；波浪和水流变化情况是指由于水深的变化、附近有新建筑物或新开挖航道以及其他条件改变等而发生的变化。

8.2 评 估

8.2.2.2 有关现行行业标准主要包括《防波堤与护岸设计规范》(JTS 154)、《水运工程地基设计规范》(JTS 147) 和《水运工程混凝土结构设计规范》(JTS 151) 等。

8.2.3 防波堤适用性评估主要以满足其使用功能为标准。防波堤的主要功能是防浪，为港内提供良好的泊稳条件；护岸的功能是形成港区陆域，使码头能正常作业，只要满足上述要求即可。因此，分级标准分别以港内泊稳条件和使用影响作为主要依据。

9 港口护岸检测与评估

9.1 检 测

9.1.8 有关现行行业标准主要包括《水运工程测量规范》(JTS 131)、《水运工程水工建筑物原型观测技术规范》(JTS 235)、《防波堤与护岸设计规范》(JTS 154)等。

9.2 评 估

9.2.2.2 有关现行行业标准主要包括《水运工程地基设计规范》(JTS 147)、《水运工程混凝土结构设计规范》(JTS151)等。

9.2.3 护岸适用性评估主要以满足其使用功能为标准。护岸的功能是形成港区陆域,使码头能正常作业,只要满足上述要求即可。因此,分级标准以对护岸和使用功能的影响作为主要依据。

10 通航建筑物检测与评估

10.2 船闸检测与评估

10.2.6 行业标准《水工钢闸门和启闭机安全检测技术规程》(SL 101—2014) 和《三峡船闸设施安全检测技术规程》(JTS 196—5—2009) 对船闸闸阀门及启闭机检测有相关规定。

10.2.7.4 有关现行行业标准主要有《船闸闸阀门设计规范》(JTJ 308)、《水运工程混凝土结构设计规范》(JTS 151)、《水运工程钢结构设计规范》(JTS 152) 等。

10.2.8 有关现行行业标准主要有《船闸水工建筑物设计规范》(JTJ 307)、《船闸闸阀门设计规范》(JTJ 308)、《水运工程混凝土结构设计规范》(JTS 151)、《水运工程钢结构设计规范》(JTS 152) 等。

10.3 升船机检测与评估

10.3.3.1 承船厢室段主要包括承重结构、顶部机房、承船厢结构。

10.3.6.4 有关规范主要指现行行业标准《船闸闸阀门设计规范》(JTJ 308)、《水运工程混凝土结构设计规范》(JTS 151)、《水运工程钢结构设计规范》(JTS 152)。

10.3.7 有关规范主要指现行行业标准《水运工程混凝土结构设计规范》(JTS 151)、《水运工程钢结构设计规范》(JTS 152)、《船闸闸阀门设计规范》(JTJ 308)。

11 航道整治建筑物检测与评估

11.1 一般规定

11.1.1 航道整治建筑物检测评估也包括对过渡性航道整治建筑物和应急水毁情况下的航道整治建筑物开展的检测评估。

11.1.2 环境条件调查针对的是工程所在区域及周边受其影响的区域。由于航道整治工程主要用于航道治理，确保船舶的通过，因此，在进行航道整治建筑物检测与评估前，需搜集诸如通航设计水深、实际水深及最小水深等基本水深数据，搜集近年来的通航保证率、出现的通航事故、河床变化以及人为挖填活动等情况，作为最基本的调查资料。

11.1.4 航道整治建筑物维修处理要求和具体措施在行业标准《内河航道维护技术规范》(JTJ 287—2005)、《航道工程设计规范》(JTS 181—2016)中有规定。

11.2 航道护岸检测与评估

11.2.1.4 岩石风化程度是风化作用对岩体的破坏程度，它包括岩体的解体和变化程度及风化深度。岩石的解体和变化程度一般划分成：未风化、微风化、中等风化、强风化和全风化。岩石风化程度划分在《水运工程岩土勘察规范》(JTS 133—2013)中有规定。

11.2.2.2 有关现行行业标准主要有《内河航道维护技术规范》(JTJ 287)、《航道工程设计规范》(JTS 181)、《水运工程地基设计规范》(JTS 147)、《水运工程混凝土结构设计规范》(JTS 151)。

11.3 护底护滩检测与评估

11.3.2.2 有关现行行业标准主要有《水利水电工程土工合成材料应用技术规范》(SL/T 225)、《航道工程设计规范》(JTS 181)、《水运工程混凝土结构设计规范》(JTS 151)、《水运工程地基设计规范》(JTS 147)。

11.4 坝体检测与评估

11.4.1 坝体整治建筑物主要是指丁坝、顺坝和锁坝。

11.4.2.1 行业标准《航道工程设计规范》(JTS 181—2016)第10.1.5条规定：受力复杂、河床松软或工程量大的整治建筑物，应进行稳定性计算和地基沉降计算。整治建筑物稳定计算应包括块石粒径、坝体整体稳定、护岸抗滑稳定和锁坝抗滑稳定等。

11.4.2.2 有关现行行业标准主要有《水运工程地基设计规范》(JTS 147) 和《水运工程混凝土结构设计规范》(JTS 151)。

11.4.2.3 坝体的适用性评估时, 按平行坝体及垂直坝体 (即横、纵向) 划分断面, 通过断面的变化情况并结合坝体的使用效果来对其适用性进行评估分级。

12 船厂水工建筑物检测与评估

12.1 一般规定

12.1.1 船厂水工建筑物按功能划分为上墩下水建筑物和码头两大类。上墩下水建筑物按工作原理又划分为：干船坞类、船台与滑道类、浮船坞类、升降机类四种类型。

12.2 干船坞检测与评估

12.2.9 有关现行行业标准主要有《水运工程混凝土结构设计规范》(JTS 151)、《水运工程钢结构设计规范》(JTS 152)、《水运工程地基设计规范》(JTS 147)。

12.3 船台、滑道检测与评估

12.3.8 有关现行行业标准主要有《水运工程钢结构设计规范》(JTS 152)、《水运工程地基设计规范》(JTS 147)、《码头结构设计规范》(JTS 167)、《纵向倾斜船台及滑道设计规范》(CB/T 8502)。

附录 A 腐蚀后钢筋混凝土构件承载能力验算

腐蚀后钢筋混凝土构件承载能力验算有关规定是依据现行行业标准《水运工程混凝土结构设计规范》(JTS 151—2011) 和协会标准《混凝土结构耐久性评定标准》(CECS 220 : 2007) 制定的。

附录B 检测与评估报告编写要求

B.0.1.2 审核人审查核实的内容主要包括检测报告的规范性、数据的正确性、前后的一致性、内容的完整性、依据的准确性；批准人主要检查报告的合法性、结论的正确性和客观性、客户的可接受性、试验检测机构可能承受的风险性等。

B.0.1.3 具有相应资格能力的试验检测技术人员是指取得水运工程试验检测资格证书和相应专业技术职称的人员。

B.0.2.2 专业技术人员是指从事水运工程试验检测或设计的人员。审核人审查核实的内容主要包括评估验算项目的完整性，计算过程正确性，评估方法与结果的科学性，判定结论的准确性和客观性；批准人主要审查报告的合法性，客户的可接受性，机构可能承受的风险性等。

B.0.2.3 具有相应资格能力的专业技术人员是指中级专业技术职称以上的人员。

附录C 混凝土结构钢筋锈蚀劣化 耐久性检测方法

C.2 钢筋锈蚀劣化耐久性专项检测

C.2.2.4 该规定引自现行行业标准《水运工程混凝土结构实体检测技术规程》(JTS 239) 第7.1.3条,但引用时取消了保护层厚度小于80mm的情况。因为在行业标准《水运工程结构耐久性设计标准》(JTS 153—2015) 第4.3节规定的海水环境下浪溅区的预应力筋混凝土保护层最小厚度为80mm,这是所规定的各类区段保护层最小厚度值中最大的,对于保护层厚度超过60mm的情况,没必要再设80mm上限,因此,本条文表C.2.2中只给出了保护层厚度 $c \geq 60\text{mm}$ 的测值偏差规定。

C.2.6.7 混凝土氯离子含量均是以占胶凝材料质量百分比计。

附录D 混凝土结构冻融劣化 耐久性检测方法

D.2 冻融劣化专项检测

D.2.2.1 取样比对冻融试验方法的基本原理是从结构中选择具有代表性的部位钻取遭受冻融影响和未遭受冻融影响试样进行冻融试验，通过比较推定混凝土剩余冻融循环次数。

D.2.2.4 冻融损伤最终表现为混凝土强度降低。由于混凝土强度与硬度存在一定关系，可用硬度变化来反映强度变化。选用里氏硬度值的目的是避免测定硬度时对试件的损伤。

D.2.3 通过年当量冻融循环次数把标准冻融试验条件与实际的环境作用联系起来。混凝土冻融损伤是一个累计效应，实际环境下的冻融作用与标准冻融循环制度相差很多，年当量冻融循环次数是平均效应。

D.2.4 国家标准《普通混凝土长期性能与耐久性能试验方法标准》（GB/T 50082—2009）中规定，终止冻融试验的条件之一是试件质量损失率达到5%。因此，推断冻融损伤剩余使用年限时以质量损失率达到5%作为结构混凝土冻融损伤的极限状态。

附录E 钢结构锈蚀检测方法

E.2 构件厚度检测

E.2.3 钢板桩有凹面和凸面，钢板桩测厚所取的有代表性部位需要包括这两种表面。