

UDC

中华人民共和国国家标准



P

GB 50324 – 2014

冻土工程地质勘察规范

Code for engineering geological investigation of frozen ground

2014 – 12 – 02 发布

2015 – 08 – 01 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部
中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局

联合发布

中华人民共和国国家标准

冻土工程地质勘察规范

Code for engineering geological investigation of frozen ground

GB 50324-2014

主编部门:国 家 林 业 局

批准部门:中 华 人 民 共 和 国 住 房 和 城 乡 建 设 部

施行日期:2 0 1 5 年 8 月 1 日

中国计划出版社

2014 北 京

中华人民共和国国家标准
冻土工程地质勘察规范

GB 50324-2014

☆

中国计划出版社出版

网址: www.jhpress.com

地址: 北京市西城区木樨地北里甲 11 号国宏大厦 C 座 3 层

邮政编码: 100038 电话: (010) 63906433 (发行部)

新华书店北京发行所发行

北京市科星印刷有限责任公司印刷

850mm×1168mm 1/32 8.25 印张 209 千字

2015 年 6 月第 1 版 2015 年 6 月第 1 次印刷

☆

统一书号: 1580242·655

定价: 46.00 元

版权所有 侵权必究

侵权举报电话: (010) 63906404

如有印装质量问题, 请寄本社出版部调换

中华人民共和国住房和城乡建设部公告

第 596 号

住房城乡建设部关于发布国家标准 《冻土工程地质勘察规范》的公告

现批准《冻土工程地质勘察规范》为国家标准，编号为 GB 50324—2014，自 2015 年 8 月 1 日起实施。其中，第 4.1.11、8.4.6、8.4.8、8.4.9（1、2、3）、8.4.12、9.2.5、9.4.5（6）、10.4.5、10.4.8、10.5.5、13.4.4 条（款）为强制性条文，必须严格执行。原国家标准《冻土工程地质勘察规范》GB 50324—2001 同时废止。

本规范由我部标准定额研究所组织中国计划出版社出版发行。

中华人民共和国住房和城乡建设部

2014 年 12 月 2 日

前 言

本规范是根据住房城乡建设部《关于印发 2012 年工程建设标准规范制订修订计划的通知》(建标〔2012〕5 号)的要求,由内蒙古筑业工程勘察设计有限公司、中国科学院寒区旱区环境与工程研究所会同有关单位在原国家标准《冻土工程地质勘察规范》GB 50324—2001的基础上修订完成的。

本规范在修订过程中,编制组经广泛调查研究,认真总结工程建设经验,参考相关国际标准,与国内相关标准协调,并在广泛征求意见的基础上,最后经审查定稿。

本规范共分 13 章和 14 个附录,主要技术内容包括:总则;术语和符号;冻土分类和冻胀、融沉性分级;冻土工程地质勘察基本要求;冻土工程地质调查与测绘;冻土工程地质勘探与取样;冻土试验与观测;建筑冻土工程地质勘察;铁路冻土工程地质勘察;公路冻土工程地质勘察;水利水电冻土工程地质勘察;管道冻土工程地质勘察;架空送电线路冻土工程地质勘察等。

本规范本次修订的主要技术内容是:

1. 增加了季节冻土与季节融化层内粗颗粒土在饱和条件下的冻胀性分类;
2. 调整了冻土工程地质勘察工程重要性等级分类、场地复杂程度等级分类;
3. 增加了地基复杂程度等级分类和冻土工程地质勘察等级分类;
4. 增加了地温观测的要求;
5. 明确了冻土工程地质调查与测绘的要求;
6. 增加了冻土工程地质勘察地下水水位的测量与采取水样的

要求；

7. 调整了勘探点间距及深度；
8. 将原铁路与公路冻土工程地质勘察分为两章；
9. 增加了铁路、公路工程地质选线内容；
10. 增加了铁路施工和运营阶段勘察内容；
11. 细化了水利水电工程地质测绘比例尺的要求；
12. 增加了储罐工程的勘察内容，细化了管道的勘察要求；
13. 调整了附录 L 冻土地温特征参数的计算方法；
14. 增加了“附录 J 冻土地温观测”、“附录 N 冻土地球物理勘探方法要点”和“附录 P 冻土室内单轴压缩试验要点”。

本规范中以黑体字标志的条文为强制性条文，必须严格执行。

本规范由住房城乡建设部负责管理和对强制性条文的解释，由国家林业局负责日常管理工作，由内蒙古筑业工程勘察设计有限公司负责具体技术内容的解释。本规范在执行过程中，如发现需要修改和补充之处，请将意见和建议寄送内蒙古筑业工程勘察设计有限公司（地址：内蒙古自治区牙克石市林城路 73 号，邮政编码：022150），以供今后修订时参考。

本规范主编单位、参编单位、主要起草人和主要审查人：

主 编 单 位：内蒙古筑业工程勘察设计有限公司

中国科学院寒区旱区环境与工程研究所

参 编 单 位：中铁西北科学研究院有限公司

黑龙江省寒地建筑科学研究院

哈尔滨工业大学

铁道第三勘察设计院集团有限公司

中交第一公路勘察设计院有限公司

中水东北勘测设计研究有限责任公司

大庆油田工程有限公司

中国电力工程顾问集团东北电力设计院

中铁第一勘察设计院集团有限公司

主要起草人:	信立晨	马 巍	许再良	徐学燕	王吉良
	丁靖康	章金钊	吴青柏	张建明	熊治文
	杨广君	甄庆廷	刘录君	齐 迪	杨风学
	路 勋	胡力学	韩龙武	韩华光	童长江
	钱秀杰	于景宗	温瑞勇		
主要审查人:	闫春丽	王宏伟	刘厚健	刘建坤	原喜忠
	王公山	马 平	李万有	郭书太	曲祥民
	任宝东	吴云生	闫玫晶	姜 龙	

目 次

1	总 则	(1)
2	术语和符号	(2)
2.1	术语	(2)
2.2	符号	(4)
3	冻土分类和冻胀、融沉性分级	(6)
3.1	冻土分类和定名	(6)
3.2	土的冻胀和多年冻土融沉性分级	(8)
4	冻土工程地质勘察基本要求	(12)
4.1	一般规定	(12)
4.2	冻土工程地质勘察的任务	(15)
4.3	冻土工程地质区划原则	(16)
4.4	冻土工程地质评价	(17)
4.5	冻土工程地质勘察报告	(18)
5	冻土工程地质调查与测绘	(20)
5.1	一般规定	(20)
5.2	冻土现象调查与测绘	(21)
6	冻土工程地质勘探与取样	(26)
6.1	一般规定	(26)
6.2	钻探	(26)
6.3	坑探、槽探	(27)
6.4	地球物理勘探	(28)
6.5	冻土取样与运送	(28)
7	冻土试验与观测	(30)
7.1	一般规定	(30)

7.2	室内试验	(30)
7.3	原位测试	(32)
7.4	观测	(33)
8	建筑冻土工程地质勘察	(35)
8.1	一般规定	(35)
8.2	可行性研究勘察	(35)
8.3	初步勘察	(36)
8.4	详细勘察	(39)
9	铁路冻土工程地质勘察	(44)
9.1	一般规定	(44)
9.2	工程地质选线	(44)
9.3	踏勘阶段勘察	(45)
9.4	初测阶段勘察	(46)
9.5	定测阶段勘察	(49)
9.6	施工阶段勘察	(52)
9.7	运营阶段勘察	(52)
10	公路冻土工程地质勘察	(54)
10.1	一般规定	(54)
10.2	工程地质选线	(55)
10.3	可行性研究勘察	(56)
10.4	初步勘察	(58)
10.5	详细勘察	(64)
11	水利水电冻土工程地质勘察	(67)
11.1	一般规定	(67)
11.2	规划阶段勘察	(67)
11.3	可行性和初步设计阶段勘察	(70)
11.4	招标设计和施工详图设计阶段勘察	(73)
12	管道冻土工程地质勘察	(74)
12.1	一般规定	(74)

12.2	可行性研究(选线)勘察	(75)
12.3	初步勘察	(75)
12.4	详细勘察	(79)
12.5	施工勘察	(83)
13	架空送电线路冻土工程地质勘察	(85)
13.1	一般规定	(85)
13.2	可研勘察	(85)
13.3	初步勘察	(86)
13.4	施工图勘察	(86)
附录 A	中国冻土类型及分布	(88)
附录 B	冻土的含冰特征与定名	(89)
附录 C	冻土物理力学参数	(90)
附录 D	土的季节融化与冻结深度	(107)
附录 E	冻土构造及融沉性的野外鉴别	(109)
附录 F	冻土融化压缩试验要点	(113)
附录 G	冻土力学指标原位试验要点	(116)
附录 H	冻土地基静载荷试验要点	(118)
附录 J	冻土地温观测	(119)
附录 K	多年冻土上限的确定	(121)
附录 L	冻土地温特征参数计算	(123)
附录 M	冻土钻探方法要点	(125)
附录 N	冻土地球物理勘探方法要点	(126)
附录 P	冻土室内单轴压缩试验要点	(128)
	本规范用词说明	(130)
	引用标准名录	(131)
	附:条文说明	(133)

Contents

1	General provisions	(1)
2	Terms and symbols	(2)
2.1	Terms	(2)
2.2	Symbols	(4)
3	Classification of frozen ground, gradation of frost heave and thaw settlement	(6)
3.1	Classification and designation of frozen ground	(6)
3.2	Gradation of frost heave and thaw settlement for permafrost	(8)
4	Basic requirement for engineering geological investigation of frozen ground	(12)
4.1	General requirements	(12)
4.2	Tasks of engineering geological investigation for frozen ground	(15)
4.3	Zonation principle for engineering geology of frozen ground	(16)
4.4	Evaluation for engineering geology for frozen ground	(17)
4.5	Report on engineering geological investigation of frozen ground	(18)
5	Survey and mapping of engineering geology for frozen ground	(20)
5.1	General requirements	(20)
5.2	Survey and mapping of features related to frozen ground	(21)

6	Exploration and sampling of engineering geology of frozen ground	(26)
6.1	General requirements	(26)
6.2	Drilling	(26)
6.3	Pit prospecting and trenching	(27)
6.4	Geophysical exploration	(28)
6.5	Sampling and transportation of frozen ground	(28)
7	Testing and observing of frozen ground	(30)
7.1	General requirements	(30)
7.2	Laboratory testing	(30)
7.3	In-situ testing	(32)
7.4	Observing	(33)
8	Engineering geological investigation of frozen ground for building	(35)
8.1	General requirements	(35)
8.2	Investigation for feasibility study	(35)
8.3	Preliminary investigation	(36)
8.4	Detailed investigation	(39)
9	Engineering geological investigation of frozen ground in railway engineering	(44)
9.1	General requirements	(44)
9.2	Route selection according to engineering geology	(44)
9.3	Investigation in reconnaissance stage	(45)
9.4	Investigation in primary survey stage	(46)
9.5	Investigation in final survey stage	(49)
9.6	Investigation in construction stage	(52)
9.7	Investigation in operation stage	(52)
10	Engineering geological investigation of frozen ground in highway engineering	(54)

10.1	General requirements	(54)
10.2	Route selection according to engineering geology	(55)
10.3	Investigation for feasibility study	(56)
10.4	Primary investigation	(58)
10.5	Detailed investigation	(64)
11	Engineering geological investigation of frozen ground in water conservancy and hydropower engineering	(67)
11.1	General requirements	(67)
11.2	Investigation in programming stage	(67)
11.3	Investigation in feasibility study and preliminary design stage	(70)
11.4	Investigation in tender design and construction blueprint design stage	(73)
12	Engineering geological investigation of frozen ground in pipeline engineering	(74)
12.1	General requirements	(74)
12.2	Investigation for feasibility study	(75)
12.3	Preliminary investigation	(75)
12.4	Detailed investigation	(79)
12.5	Investigation for construction	(83)
13	Engineering geological investigation of frozen ground for power transmission lines	(85)
13.1	General requirements	(85)
13.2	Investigation for feasibility study	(85)
13.3	Preliminary investigation	(86)
13.4	Investigation for construction blueprint	(86)
Appendix A	Type and distribution of frozen ground in China	(88)

Appendix B	Ice feature and designation of frozen ground	(89)
Appendix C	Physical and mechanical parameters of frozen ground	(90)
Appendix D	Seasonal frost and thaw depth of frozen ground	(107)
Appendix E	Field identificatin for structure and thaw settlement of frozen ground	(109)
Appendix F	Outlines for thaw consolidation test of frozen ground	(113)
Appendix G	Outlines for in-situ test of mechanical index of frozen ground	(116)
Appendix H	Outlines for load test of frozen ground	(118)
Appendix J	Guidelines for observation of frozen ground temperature	(119)
Appendix K	Determination of permafrost table	(121)
Appendix L	Calculation of characteristic parameters of frozen ground temperature	(123)
Appendix M	Outlines for the exploration method of frozen ground	(125)
Appendix N	Outlines for the geophysical exploration methods of frozen ground	(126)
Appendix P	Outlines for laboratory experiment on uniaxial compression of frozen ground	(128)
	Explanation of wording in this code	(130)
	List of quoted standards	(131)
	Addition:Explanation of provisions	(133)

1 总 则

1.0.1 为在冻土地区工程地质勘察中贯彻国家有关技术经济政策,保证勘察质量,做到安全适用、技术先进、经济合理、保护环境,制定本规范。

1.0.2 本规范适用于冻土地区建筑、铁路、公路、水利水电、管道和架空送电线路工程的冻土工程地质勘察。

1.0.3 冻土工程地质勘察,除应符合本规范外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 冻土 frozen ground soil

具有负温或零温度并含有冰的土(岩)。

2.1.2 季节冻土 seasonally frozen ground

地壳表层寒季冻结,暖季又全部融化的土(岩)。

2.1.3 隔年冻土 pereletok

寒季冻结,翌年暖季未融化的冻土。

2.1.4 多年冻土 permafrost

冻结状态持续时间 2 年或 2 年以上的冻土。

2.1.5 多年冻土上限 permafrost table

多年冻土层的顶面。

2.1.6 多年冻土下限 permafrost base

多年冻土层的底面。

2.1.7 季节冻结层 seasonal freezing layer

每年寒季冻结、暖季融化的地壳表层,其下卧层为融土层或不衔接多年冻土层。

2.1.8 季节融化层 seasonal thawing layer

每年寒季冻结、暖季融化的地壳表层,其下卧层为多年冻土层。

2.1.9 相对含冰率 relative ice content

冻土中冰的质量与全部水的质量之比。

2.1.10 总含水率 water content in frozen soil

冻土中所含冰和未冻水的总质量与干土质量之比。

2.1.11 未冻含水率 unfrozen-water content

在一定负温条件下,冻土中未冻水质量与干土质量之比。

2.1.12 地温年变化深度 depth of zero annual amplitude of ground temperature

地表以下,地温在一年内变化不超过 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 的深度,也称年零较差深度。

2.1.13 年平均地温 mean annual ground temperature

地温年变化深度处的地温。

2.1.14 冻土地温特征参数 characteristic parameters of ground temperature

冻土年平均地温,地温年变化深度,活动层底面以下的冻土地温年平均值、年最高值和年最低值的总称。

2.1.15 融化下沉系数 thaw-settlement coefficient

冻土融化过程中,在自重作用下产生的相对融化下沉量。

2.1.16 融化压缩系数 thaw compressibility coefficient

冻土融化后,在单位荷重下产生的相对压缩变形量。

2.1.17 冻胀量 amount of frost-heaving

土体在冻结过程中的冻胀变形增量。

2.1.18 冻胀率 frost heaving ratio

单位冻结深度的冻胀量。

2.1.19 冻胀力 frost-heaving forces

土的冻胀受到约束时产生的力。

2.1.20 冻土盐渍度 salinity of frozen soil

冻土中易溶盐的质量与土骨架质量之比。

2.1.21 泥炭化程度 degree of peatification

冻土中植物残渣和泥炭的质量与土骨架质量之比。

2.1.22 冻土现象 features related to frozen ground

土体中水的冻结和融化作用所产生的新形成物和中小型地形,如冰椎、冻胀丘、融冻泥流和热融滑塌等冻土现象。

2.2 符 号

2.2.1 冻土物理特性指标:

- ω ——冻土总含水率;
- ω_u ——冻土未冻含水率;
- i_c ——冻土相对含冰率;
- ω_0 ——冻土起始融沉含水率;
- ρ_0 ——冻土起始融沉干密度;
- ρ_d ——冻土干密度;
- ζ ——盐渍化冻土的盐渍度;
- ξ ——泥炭化冻土的泥炭化程度。

2.2.2 冻土热学特性指标:

- λ_f, λ_u ——冻土、未冻土导热系数;
- b_f, b_u ——冻土、未冻土比热;
- α_f, α_u ——冻土、未冻土导温系数;
- C_f, C_u ——冻土、未冻土容积热容量。

2.2.3 冻土力学特性指标:

- E ——冻土变形模量;
- G ——剪切变形模量;
- τ_d ——切向冻胀力;
- σ_h ——水平冻胀力;
- σ_f ——法向冻胀力;
- f_a ——冻土地基承载力特征值;
- q_{fpa} ——桩端冻土端阻力特征值;
- f_c ——冻土抗剪强度;
- f_{ca} ——冻土与基础间的冻结强度特征值。

2.2.4 土的季节冻结与融化参数:

- Z_0, Z_d ——土的季节冻结深度标准值和设计值;
- Z_0^m, Z_d^m ——土的季节融化深度标准值和设计值;

Z_n, Z_a ——多年冻土的天然上限和人为上限；

η ——冻土层的平均冻胀率；

T_{cp} ——多年冻土年平均地温；

H_{cp} ——地温年变化深度；

m_v ——冻土融化后体积压缩系数；

δ_0 ——冻土融化下沉系数。

2.2.5 其他：

I_L ——土的液性指数；

I_P ——土的塑性指数；

ΣT_m ——土的融化指数；

α_{t_0} ——冻土体积压缩系数；

Ψ_z ——冻结深度影响系数；

Ψ_z^m ——融化深度影响系数；

Ψ_τ ——切向冻胀力影响系数。

3 冻土分类和冻胀、融沉性分级

3.1 冻土分类和定名

3.1.1 寒区冻土应按下列要求进行分类：

1 应按冻结状态的持续时间，分为多年冻土、隔年冻土和季节冻土，并应符合本规范第 A.0.1 条规定；

2 应根据多年冻土形成和存在的自然条件，分为高纬度多年冻土和高海拔多年冻土；

3 应根据多年冻土分布的连续程度，分为大片多年冻土、岛状融区多年冻土和岛状多年冻土。

3.1.2 寒区冻土应按冻土冻融活动层与下卧土层关系，分为季节冻结层(季节冻土区)和季节融化层(多年冻土区)，并应符合本规范第 A.0.3 条规定。

3.1.3 多年冻土应按下列要求进行分类：

1 可按冻土的含冰量及特征分为少冰冻土、多冰冻土、富冰冻土、饱冰冻土和含土冰层五种冻土工程类型，含冰特征描述应符合本规范附录 B 的规定；其中少冰冻土、多冰冻土应划分为低含冰量冻土，富冰冻土、饱冰冻土和含土冰层应划分为高含冰量冻土；

2 当冰层厚度大于 25mm，且其中不含土时，应定名为纯冰层(ICE)；

3 可根据多年冻土的年平均地温分为高温冻土和低温冻土；其中高温冻土年平均地温不应低于 -1.0°C ，低温冻土年平均地温应低于 -1.0°C ；

4 可按体积压缩系数(α_{10})或总含水率(ω)划分为坚硬冻土、塑性冻土和松散冻土；其中坚硬冻土体积压缩系数 α_{10} 不应大于

0.01MPa⁻¹,塑性冻土体积压缩系数 α_{f0} 应大于 0.01MPa⁻¹,松散冻土总含水率 ω 不应大于 3%。

3.1.4 土类名称应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021的规定。

3.1.5 根据冻土中的易溶盐含量或泥炭化程度划分为盐渍化冻土和泥炭化冻土时,应符合下列规定:

1 冻土中易溶盐含量超过表 3.1.5-1 中数值时,应称为盐渍化冻土,并应符合下列规定:

表 3.1.5-1 盐渍化冻土的盐渍度界限值

土 类	碎石类土、砂类土	粉 土	粉质黏土	黏 土
盐渍度(%)	0.10	0.15	0.20	0.25

1)盐渍化冻土的盐渍度(ζ)应按下列式计算:

$$\zeta = \frac{m_g}{g_d} \times 100(\%) \quad (3.1.5-1)$$

式中: m_g ——冻土中含易溶盐的质量(g);

g_d ——土骨架质量(g)。

2)盐渍化冻土的强度指标,应以实测数据为准,当无实测数据时,可按本规范表 C.0.3-3 和表 C.0.3-6 取值。

2 冻土中的泥炭化程度超过表 3.1.5-2 中数值时,应称为泥炭化冻土,并应符合下列规定:

表 3.1.5-2 泥炭化冻土的泥炭化程度界限值

土 类	碎石类土、砂类土	粉土、黏性土
泥炭化程度(%)	3	5

1)泥炭化冻土的泥炭化程度(ξ),应按下列式计算:

$$\xi = \frac{m_p}{g_d} \times 100(\%) \quad (3.1.4-2)$$

式中: m_p ——冻土中含植物残渣和泥炭的质量(g);

g_d ——土骨架质量(g)。

2)泥炭化冻土的强度指标,应以实测数据为准,当无实测资料时,可按本规范表 C. 0. 3-4 和 C. 0. 3-7 取值。

3.2 土的冻胀和多年冻土融沉性分级

3.2.1 季节冻土和季节融化层土的冻胀性分级,应根据土层的平均冻胀率 η 的大小划分为不冻胀、弱冻胀、冻胀、强冻胀和特强冻胀五级,并应符合表 3.2.1 的规定。冻土层的平均冻胀率 η 应按下列式计算:

$$\eta = \frac{\Delta_z}{h - \Delta_z} \times 100(\%) \quad (3.2.1)$$

式中: Δ_z ——地表冻胀量(mm);

h ——冻结层厚度(mm)。

表 3.2.1 季节冻土与季节融化层土的冻胀性分级

土的名称及代号	冻前天然含水率 $\omega(\%)$	冻前地下水位距设计冻深的最小距离 $h_w(m)$	平均冻胀率 $\eta(\%)$	冻胀等级	冻胀类别
碎(卵)石,砾砂、粗砂、中砂(粒径小于 0.075mm 颗粒含量均不大于 15%),细砂(粒径小于 0.075mm 颗粒含量不大于 10%)	不饱和	不考虑	$\eta \leq 1$	I	不冻胀
	饱和含水	无隔水层时	$1 < \eta \leq 3.5$	II	弱冻胀
	饱和含水	有隔水层时	$\eta > 3.5$	III	冻胀
碎(卵)石,砾砂、粗砂、中砂(粒径小于 0.075mm 颗粒含量均大于 15%),细砂(粒径小于 0.075mm 颗粒含量大于 10%)	$\omega \leq 12$	> 1.0	$\eta \leq 1$	I	不冻胀
		≤ 1.0	$1 < \eta \leq 3.5$	II	弱冻胀
	$12 < \omega \leq 18$	> 1.0			
		≤ 1.0	$3.5 < \eta \leq 6$	III	冻胀
	$\omega > 18$	> 0.5			
		≤ 0.5	$6 < \eta \leq 12$	IV	强冻胀

续表 3.2.1

土的名称及代号	冻前天然含水率 ω (%)	冻前地下水位距设计冻深的最小距离 h_w (m)	平均冻胀率 η (%)	冻胀等级	冻胀类别
粉砂	$\omega \leq 14$	>1.0	$\eta \leq 1$	I	不冻胀
		≤ 1.0	$1 < \eta \leq 3.5$	II	弱冻胀
	$14 < \omega \leq 19$	>1.0			
		≤ 1.0	$3.5 < \eta \leq 6$	III	冻胀
	$19 < \omega \leq 23$	>1.0			
		≤ 1.0	$6 < \eta \leq 12$	IV	强冻胀
	$\omega > 23$	不考虑	$\eta > 12$	V	特强冻胀
粉土	$\omega \leq 19$	>1.5	$\eta \leq 1$	I	不冻胀
		≤ 1.5	$1 < \eta \leq 3.5$	II	弱冻胀
	$19 < \omega \leq 22$	>1.5			
		≤ 1.5	$3.5 < \eta \leq 6$	III	冻胀
	$22 < \omega \leq 26$	>1.5			
		≤ 1.5	$6 < \eta \leq 12$	IV	强冻胀
	$26 < \omega \leq 30$	>1.5			
		≤ 1.5	$\eta > 12$	V	特强冻胀
黏性土	$\omega \leq \omega_p + 2$	>2.0	$\eta \leq 1$	I	不冻胀
		≤ 2.0	$1 < \eta \leq 3.5$	II	弱冻胀
	$\omega_p + 2 < \omega \leq \omega_p + 5$	>2.0			
		≤ 2.0	$3.5 < \eta \leq 6$	III	冻胀
	$\omega_p + 5 < \omega \leq \omega_p + 9$	>2.0			
		≤ 2.0	$6 < \eta \leq 12$	IV	强冻胀
	$\omega_p + 9 < \omega \leq \omega_p + 15$	>2.0			
		≤ 2.0	$\eta > 12$	V	特强冻胀
	$\omega > \omega_p + 15$	不考虑			

注:1 ω_p 为塑限, ω 为冻前天然含水率在冻层内的平均值(%)。

2 盐渍化冻土不在表列。

3 塑性指数大于 22 时,冻胀性降低一级。

4 小于 0.005mm 粒径含量大于 60% 时,为不冻胀土。

5 当碎石类土的填充物大于全部质量的 40% 时,其冻胀性按填充物土的类别判定。

6 隔水层指季节冻结、季节融化活动层内的隔水层。

7 对冻胀变形敏感的工程尚应分析冻胀类别为“不冻胀”土的微冻胀性对工程的影响。

8 表中设计冻深 Z_d 按本规范附录 D 计算。

3.2.2 多年冻土的融化下沉性分级,应根据冻土的融化下沉系数 δ_0 的大小划分为不融沉、弱融沉、融沉、强融沉和融陷五级,并应符合表 3.2.2 的规定。冻土层的平均融化下沉系数 δ_0 应按式计算:

$$\delta_0 = \frac{h_1 - h_2}{h_1} = \frac{e_1 - e_2}{1 + e_1} \times 100(\%) \quad (3.2.2)$$

式中: h_1 、 e_1 ——分别为冻土试样融化前的高度和孔隙比;

h_2 、 e_2 ——分别为冻土试样融化后的高度和孔隙比。

表 3.2.2 多年冻土的融沉性分级

土的名称	总含水率 $\omega(\%)$	平均融化下沉系数 $\delta_0(\%)$	融沉等级	融沉类别
碎(卵)石,砾砂、粗砂、中砂(粒径小于 0.075mm 颗粒含量均不大于 15%)	$\omega < 10$	$\delta_0 \leq 1$	I	不融沉
	$\omega \geq 10$	$1 < \delta_0 \leq 3$	II	弱融沉
碎(卵)石,砾砂、粗砂、中砂(粒径小于 0.075mm 颗粒含量均大于 15%)	$\omega < 12$	$\delta_0 \leq 1$	I	不融沉
	$12 \leq \omega < 15$	$1 < \delta_0 \leq 3$	II	弱融沉
	$15 \leq \omega < 25$	$3 < \delta_0 \leq 10$	III	融沉
	$\omega \geq 25$	$10 < \delta_0 \leq 25$	IV	强融沉
粉、细砂	$\omega < 14$	$\delta_0 \leq 1$	I	不融沉
	$14 \leq \omega < 18$	$1 < \delta_0 \leq 3$	II	弱融沉
	$18 \leq \omega < 28$	$3 < \delta_0 \leq 10$	III	融沉
	$\omega \geq 28$	$10 < \delta_0 \leq 25$	IV	强融沉
粉土	$\omega < 17$	$\delta_0 \leq 1$	I	不融沉
	$17 \leq \omega < 21$	$1 < \delta_0 \leq 3$	II	弱融沉
	$21 \leq \omega < 32$	$3 < \delta_0 \leq 10$	III	融沉
	$\omega \geq 32$	$10 < \delta_0 \leq 25$	IV	强融沉

续表 3.2.2

土的名称	总含水率 ω (%)	平均融化下沉系数 δ_0 (%)	融沉等级	融沉类别
黏性土	$\omega < \omega_p$	$\delta_0 \leq 1$	I	不融沉
	$\omega_p \leq \omega < \omega_p + 4$	$1 < \delta_0 \leq 3$	II	弱融沉
	$\omega_p + 4 \leq \omega < \omega_p + 15$	$3 < \delta_0 \leq 10$	III	融沉
	$\omega_p + 15 \leq \omega < \omega_p + 35$	$10 < \delta_0 \leq 25$	IV	强融沉
含土冰层	$\omega \geq \omega_p + 35$	$\delta_0 > 25$	V	融陷

注:1 ω 为总含水率(%),包括冰和未冻水; ω_p 为塑限。

2 盐渍化冻土、泥炭化冻土、腐殖土、高塑性黏土不在表列。

3 粗颗粒土用起始融化下沉含水率代替塑限 ω_p 。

4 冻土工程地质勘察基本要求

4.1 一般规定

4.1.1 冻土工程地质勘察应包括冻土工程地质调查与测绘、勘探、冻土取样、室内试验和原位测试、观测,以及冻土工程地质条件评价、预测。

4.1.2 冻土工程地质勘察工作应包括下列内容:

1 搜集建设工程项目的规模及建筑的类别,地基基础设计、施工的特殊要求及设计参数;

2 搜集、整理与分析有关勘察报告、航卫片、室内外试验结果及科学研究文献报告,根据冻土的非均质性及随时间、人为活动的可能变化,确定勘察方法和工作量;

3 通过搜集资料、踏勘、调查与测绘,初步了解建筑场地冻土工程地质条件的复杂程度,主要的冻土工程地质问题;

4 应用搜集或勘察的资料,结合工程经验的判断和分析,对冻土工程地质条件作出评价,对设计、施工、防治处理及环境保护方案提出建议,并对建筑后的冻土工程地质条件变化作出预测。

4.1.3 工程重要性等级可根据冻土地区建设工程的重要性及冻土工程地质问题造成工程破坏后果的严重性,按下列规定分级:

1 重要工程且破坏后果很严重,应为一级工程;

2 一般工程且破坏后果严重,应为二级工程;

3 次要工程且破坏后果不严重,应为三级工程。

4.1.4 冻土地区建设工程场地的复杂程度可按下列规定分级:

1 符合下列条件之一应为一级场地(复杂场地):

1)冻土现象强烈发育;

2)对建设工程抗震危险地段、不利地段;

- 3)不良地质作用强烈发育;
- 4)冻土生态环境遭到严重破坏;
- 5)地形地貌复杂。

2 符合下列条件之一应为二级场地(中等复杂场地):

- 1)冻土现象一般发育;
- 2)对建设工程抗震一般地段;
- 3)不良地质作用一般发育;
- 4)冻土生态环境遭到破坏;
- 5)地形地貌较复杂。

3 符合下列条件之一应为三级场地(简单场地):

- 1)冻土现象不发育;
- 2)对建设工程抗震有利地段;
- 3)不良地质作用不发育;
- 4)冻土生态环境未遭到破坏;
- 5)地形地貌简单。

4.1.5 地基等级可根据冻土地区建设工程地基的复杂程度,按下列规定分级:

1 符合下列条件之一应为一级地基(复杂地基):

- 1)岩土种类多,性质变化大,冻土层上水、层间水发育;
- 2)厚层地下冰发育;
- 3)冻土工程类型属含土冰层或饱冰冻土;
- 4)岛状多年冻土地段;
- 5)冻土温度高于 -1.0°C 。

2 符合下列条件之一应为二级地基(中等复杂地基):

- 1)岩土种类较多,性质变化较大,冻土层上水、层间水较发育;
- 2)地下冰较发育;
- 3)冻土工程类型属富冰冻土或多冰冻土;
- 4)冻土温度为 $-1.0^{\circ}\text{C}\sim-2.0^{\circ}\text{C}$ 。

3 符合下列条件之一应为三级地基(简单地基):

- 1)岩土种类单一,性质变化不大;**
- 2)地下冰不发育;**
- 3)冻土工程类型属少冰冻土;**
- 4)冻土温度低于 -2.0°C 。**

4.1.6 冻土工程地质勘察等级可根据冻土地区工程重要性等级、场地复杂程度等级和地基复杂程度等级,按下列规定划分:

1 在冻土地区工程重要性等级、场地复杂程度等级、地基复杂程度等级中有一项为二级或二级以上的冻土工程地质勘察项目,应为甲级勘察;

2 在冻土地区工程重要性等级、场地复杂程度等级、地基复杂程度等级均为三级的冻土工程地质勘察项目,应为乙级勘察。

4.1.7 冻土工程地质勘察宜分阶段进行,勘察阶段应与设计阶段相适应。

4.1.8 勘探点可分为一般性勘探点和控制性勘探点,控制性勘探点的数量不应少于勘探点总数的 $1/3$ 。勘探线和勘探点间距应根据不同行业、勘察阶段及地基复杂程度等级确定。

4.1.9 冻土的描述内容应包括颜色、有机质含量、泥炭化程度、盐渍化程度、颗粒组成、冻土构造、冻结程度、分凝冰的肉眼可见程度及大小等,其中冻土构造野外鉴别描述应符合本规范附录 E 规定。

4.1.10 冻土工程地质勘察可按勘察阶段要求进行原位测试和室内试验,其测试、试验方法应按本规范附录 F、附录 G、附录 H 及现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123 规定执行。

4.1.11 多年冻土地区工程地质勘察应设地温观测孔,并应进行地温观测。

4.1.12 地温观测应按本规范附录 J 要求执行。

4.1.13 对于工程重要性等级、场地复杂程度等级和地基复杂程度等级均为一级的工程项目,应设定位观测点。观测内容宜包括多年冻土地温、地基土的冻胀与融沉特性,以及人为工程活动、自

然条件变化引起的相关现象和变化过程。

4.2 冻土工程地质勘察的任务

4.2.1 多年冻土地区工程地质勘察应包括下列工作内容：

- 1 查明多年冻土类型、分布范围和特征，及其与地质—地理环境的相互关系；**
- 2 查明季节融化深度与多年冻土层厚度，及其空间分布特征；**
- 3 查明多年冻土层的物质成分、含冰率及冻土工程类型、冻土构造类型、地下冰层的厚度及分布特征；**
- 4 查明多年冻土层年平均地温、地温年变化深度；**
- 5 查明多年冻土层物理力学及热学性质、冻土融化下沉特性，提供设计所需参数；**
- 6 查明多年冻土区内融区的成因、分布特征，及其与冻土条件、自然因素和人为工程活动的关系；**
- 7 查明地表水及地下水的贮运条件，及其与多年冻土层的相互关系和作用；**
- 8 查明冻土现象类型、特征和发育规律及其对工程的影响与危害；**
- 9 对冻土工程地质条件作出评价，预测工程建设及运营期间冻土—工程—环境条件的变化和相互影响，提出合理的措施与建议。**

4.2.2 季节冻土地区工程地质勘察宜包括下列工作内容：

- 1 查明季节冻结深度和特征及其与地质—地理环境的相互关系；**
- 2 查明季节冻结层的含冰特征及其空间分布和变化；**
- 3 查明季节冻结层的物质成分与含水特征；**
- 4 查明季节冻结层岩土的物理力学及热学性质，土的冻胀特性，提供设计所需参数；**
- 5 查明地下水补给、径流、排泄条件及与地表水的关系；**
- 6 查明场地冻土现象类型、成因、分布，评价场地和地基稳定性及其发展趋势。**

4.3 冻土工程地质区划原则

4.3.1 冻土工程地质区划应反映冻土工程地质条件,并应根据不同建设项目的勘察阶段的相应要求,提出冻土工程地质评价。

4.3.2 冻土工程地质区划原则,应符合下列规定:

1 第一级分区应按多年冻土或季节冻土分布的区域性和地带性特征划分;

2 第二级分区应在第一级分区的基础上,按冻土地温、地质构造、地貌特征划分;

3 第三级分区应在第二级分区的基础上,按冻土工程地质条件、主要物理力学及热学特征、地下冰、冻土现象的分布划分。

4.3.3 各级分区应包括第一级分区、第二级分区和第三级分区,并应符合下列规定:

1 第一级分区应包括下列内容:

1)多年冻土类型、分布、范围与厚度;

2)地貌单元;

3)多年冻土的年平均地温;

4)冻结沉积物的成因类型;

5)主要冻土现象及主要冻土工程问题等。

2 第二级分区除应包括本条第1款的内容外,还应包括下列内容:

1)冻土地温带,划分应符合表4.3.3的规定;

4.3.3 多年冻土地温带划分

多年冻土地温分带	多年冻土年平均地温 T_{cp} (°C)
稳定带	$T_{cp} < -2.0$
基本稳定带	$-2.0 \leq T_{cp} < -1.0$
不稳定带	$-1.0 \leq T_{cp} < -0.5$
极不稳定带	$T_{cp} \geq -0.5$

- 2)冻土的成分、冰包裹体的性质、分布及其所决定的冻土构造和埋藏条件;
- 3)多年冻土及融区的分布面积、厚度及其连续性;
- 4)季节冻结层及其与下卧多年冻土层的衔接关系;
- 5)表明各地带的冻土现象、年平均气温、地下水、雪盖及植被等基本特征。

3 第三级分区除应包括本条第 1、2 款的内容外,还应包括下列内容:

- 1)各建筑地段冻土的含冰程度及冻土工程类型、物理力学和热学性质;
- 2)按冻土工程地质条件及其物理力学参数,划出不同的冻土工程地质分区地段,并作出评价。

4.4 冻土工程地质评价

4.4.1 冻土工程地质评价应包括冻土工程地质条件评价和自然条件变化、人类活动影响所引起的冻土工程地质条件及环境变化的评价。

4.4.2 冻土工程地质条件评价应包括下列内容:

- 1 冻土类型及分布、成分、构造、性质、厚度评价;
- 2 冻土现象的类型、规模、动态变化及其发育规律;
- 3 冻土温度状况的评价,包括可能由地表积雪、植被、水体、沼泽化、大气降水渗透作用、土壤含水率、地形等因素所引起的变化;
- 4 季节冻结与季节融化深度;
- 5 冻土物理力学及热学性质;
- 6 冻土工程地质条件因外界环境因素变化的预测及评价。

4.4.3 对冻土工程地质环境变化的影响,其评价应包括下列内容:

- 1 自然条件改变对冻土工程地质环境所造成的影响;

- 2 人类工程活动对多年冻土工程地质环境所造成的影响；
 - 3 冻土现象类型及其变化特点；
 - 4 冻土工程地质条件变化状况；
 - 5 工程建设及运营期间冻土工程地质条件的变化情况；
 - 6 冻土工程地质环境因外界因素变化的预测及评价。
- 4.4.4 冻土工程地质评价应提出地基土的利用原则及其相应的保护和防治措施的建议。

4.5 冻土工程地质勘察报告

4.5.1 冻土工程地质勘察成果报告应在搜集、调查、测绘、勘探、测试、试验等资料的基础上进行整理、分析和编制。

4.5.2 冻土工程地质勘察成果报告应包括下列内容：

- 1 拟建工程概述；
- 2 勘察目的、要求和任务；
- 3 勘察方法和勘察工作布置及工作量；
- 4 场地地形地貌、地层岩性、地质构造、不良地质及特殊岩土、冻土特征、冻土现象、物理力学性质、热学性质；
- 5 冻土试验参数的分析与选用；
- 6 冻土工程地质条件、水文地质条件及环境变化影响评价；
- 7 场地稳定性和适用性的评价；
- 8 地基冻胀性和融沉性评价；
- 9 场地利用、整治、改造方案及地基基础设计原则的建议；
- 10 工程建设和运营期间可能发生的冻土工程地质问题的预测、监控、预防措施的建议。

4.5.3 冻土工程地质勘察报告可包括下列图件：

- 1 勘探和试验点平面布置图；
- 2 冻土工程地质平面分区图；
- 3 冻土工程地质剖面图(纵、横剖面)；
- 4 冻土工程地质柱状图(包括冻土工程地质综合柱状图)；

- 5 室内试验资料及图表；
 - 6 原位测试及地温观测图表；
 - 7 冻土利用、整治、改造方案的有关图表；
 - 8 冻土工程计算图表；
 - 9 其他有关资料(包括素描、照片和图件)等。
- 4.5.4** 除冻土工程地质勘察报告外,可根据任务要求,提交单项报告。

5 冻土工程地质调查与测绘

5.1 一般规定

5.1.1 冻土工程地质调查与测绘,应符合下列规定:

- 1 可行性研究勘察阶段,应收集航片、卫片、区域地质、区域冻土和地区性建设经验等有关资料,并应进行现场踏勘;
- 2 初步勘察阶段,对一般场地应进行冻土工程地质调查,对冻土工程地质条件复杂的场地,应进行冻土工程地质调查与测绘;
- 3 详细勘察阶段,应在初步勘察工作的基础上,结合拟建工程特性对专门的冻土工程地质问题进行补充调查;
- 4 大范围和长距离线性工程,宜结合遥感解译进行。

5.1.2 冻土工程地质调查与测绘的范围与比例尺,应符合下列规定:

- 1 冻土工程地质调查与测绘范围应结合区域地质构造、多年冻土特征、水文地质条件、冻土现象分布特征、拟建工程特性等因素综合确定;
- 2 测绘比例尺,可结合勘察阶段选用,对冻土工程地质条件复杂的场地和对工程安全影响严重的冻土现象,其测绘比例尺和范围宜放大。

5.1.3 冻土工程地质调查与测绘,应包括下列内容:

- 1 地层岩性、地质构造、抗震设防烈度、地震动参数、地形地貌特征;
- 2 多年冻土的类型、厚度、含冰程度及冻土工程类型、上(下)限埋深、分布特点、多年冻土年平均地温及地温年变化深度,其中冻土上限埋深可结合本规范附录 K 确定,地温年变化深度等参数可按本规范附录 L 计算;

- 3 多年冻土及活动层的岩性成分；
 - 4 地表植被的类型、分布特点及覆盖度；
 - 5 地表水体的类型、分布及补给、排泄条件；
 - 6 地下水的类型、水位埋深、补给、径流、排泄条件；
 - 7 冻土现象的类型、分布、发生发展规律及对工程建设和运营的影响；
 - 8 融区的类型、规模、分布及其对工程建设和运营的影响；
 - 9 多年冻土环境的特点、变化特征；
 - 10 收集气温、降水量等工程设计所需气象资料,评价建筑场地的地表排水条件；
 - 11 收集已有冻土工程建筑经验的冻土地基类型、建筑基础形式、人为上限、工程措施及有效性、环境保护措施等相关资料。
- 5.1.4 冻土工程地质调查与测绘提交的资料,应包括下列内容:**
- 1 调查、测绘说明书；
 - 2 冻土工程地质测绘实际材料图；
 - 3 综合冻土工程地质图或分区图；
 - 4 冻土工程地质剖面图；
 - 5 综合地质柱状图；
 - 6 各种素描图、照片、录像资料等。

5.2 冻土现象调查与测绘

5.2.1 在多年冻土地区,应对危害工程的冰椎、冻胀丘、厚层地下冰、融冻泥流、热融滑塌、热融湖塘、热融洼地、冻土沼泽、冻土湿地等冻土现象进行调查与测绘。

5.2.2 冻土现象的调查与测绘的工作深度应根据工程类型和勘察阶段确定。测绘可采用目测法、半仪器法或仪器法进行。在冻土工程地质条件复杂地段,对工程有重大影响的冻土现象,应设观测点进行观测。

5.2.3 冻土现象的调查与测绘提交的资料,应包括下列内容:

- 1 调查与测绘说明书；
- 2 综合冻土工程地质图；
- 3 冻土工程地质剖面图；
- 4 勘探、观测、试验及影像资料等。

5.2.4 冰椎、冻胀丘的调查与测绘，应符合下列规定：

1 调查与测绘时，应区分季节性和多年生冰椎、冻胀丘，遇下列情况时，应按冰椎与冻胀丘地段进行工作：

- 1) 泉水出露的斜坡地段；
- 2) 存在较大范围的土丘或鼓丘痕迹地带；
- 3) 有冰椎及冻胀丘活动纪录的地点。

2 调查、测绘范围应包括冰椎、冻胀丘分布区及对冰椎、冻胀丘发育过程有明显影响的相邻地段。

3 冰椎、冻胀丘的调查应包括下列内容：

- 1) 冰椎与冻胀丘分布区的气温、季节冻结与季节融化深度、多年冻土特征及地温状况；
- 2) 冰椎、冻胀丘的成因、规模、发育状况、变化规律与分布范围；
- 3) 冰椎、冻胀丘分布地段的地形地貌、植被、地层岩性、地质构造与水文地质条件；
- 4) 根据工程设计需要采取代表性土样、水样进行有关试验。

4 冰椎、冻胀丘的调查宜在其发育期每年的 1 月～4 月进行，可采用钻探与地球物理勘探相结合的方法，勘探点和剖面的布置数量应能查明该地段地层结构、岩性成分、水文地质条件，钻孔的深度应大于季节冻结深度或多年冻土上限以下 2.0m。

5.2.5 厚层地下冰的调查与测绘应符合下列规定：

1 当冻土中冰层厚度大于 300mm 或间隔 20mm～30mm 冰层累计厚度大于 300mm 时，应按厚层地下冰进行勘察；

2 调查、测绘范围应包括厚层地下冰分布地段和对厚层地下冰发育有明显影响的相邻地段；

3 厚层地下冰调查应包括下列内容：

- 1)分布区的气候、地形地貌、植被；
- 2)地下冰的成因、类型及其发育状况；
- 3)地下冰的围岩性质及其与冻土特征、地温及厚度的关系；
- 4)分布区的水文地质特征；
- 5)分布区的人类活动状况；
- 6)采集代表性土样、水样、冰样进行有关试验。

4 厚层地下冰的调查,可采用坑探、钻探与地球物理勘探相结合的方法进行,勘探点及剖面数量应能查明厚层地下冰的分布和厚度,应选择代表性勘探孔进行地温观测。

5.2.6 融冻泥流、热融滑塌的调查与测绘应符合下列规定：

1 多年冻土区遇下列地形地貌时,应按融冻泥流与热融滑塌地段进行工作：

- 1)斜坡地表有蠕动或滑动痕迹的地带；
- 2)斜坡坡度大于 5° 的厚层地下冰发育且地表有破坏迹象的地段；
- 3)地表面破坏前缘有泉水、湿地或泥流的地段；
- 4)有产生融冻泥流及热融滑塌纪录的地带。

2 融冻泥流、热融滑塌调查与测绘的范围,应包括整个滑动发育区及两侧各不小于 20m 的宽度范围,必要时,可扩大到滑体堆积区；

3 融冻泥流、热融滑塌的调查,应包括下列内容：

- 1)滑动区地面坡度、植被、地层结构、岩性成分；
- 2)调查区的年平均气温、地温、年降水量、气温冻结指数及气温融化指数；
- 3)分布区的地形地貌、土的性质、颗粒成分及其含水率；
- 4)分布区的季节融化深度、地下冰、多年冻土分布特征；
- 5)分布区山坡坡度、地表水排泄条件和土的渗透性；
- 6)分布区土的冻胀性与融滑后的流动性；

7)分布区人为活动对其植被和地面的破坏状况及融冻泥流或热融滑塌的形成原因;

8)采集代表性土样、水样、冰样进行有关试验。

4 融冻泥流、热融滑塌的调查,宜在其发育期每年的7月~9月进行,可采用钻探、坑探、地球物理勘探相结合的方法,钻孔的深度应超过滑动面以下2.0m。

5.2.7 热融湖塘、热融洼地的调查与测绘,应符合下列规定:

1 多年冻土地区遇有下列地形地貌时,应按热融湖塘或热融洼地进行工作:

1)湖状积水洼地;

2)坡度不大于 5° 的厚层地下冰发育地段地表破坏形成的低洼处;

3)干涸湖形凹地。

2 热融湖塘和热融洼地调查与测绘的范围,应包括热融湖塘和热融洼地的分布区及其可能扩大的周围地段;

3 热融湖塘和热融洼地的调查与测绘,应包括下列内容:

1)热融湖塘与热融洼地的成因、发育阶段,湖塘、洼地的形状和分布范围;

2)热融湖塘和热融洼地分布地段的地形地貌、地表植被类型与覆盖度;

3)调查区的年平均气温、年降水量、地温;

4)热融湖塘与热融洼地的地层结构、岩性成分、多年冻土的工程类型、分布情况及天然上限埋深、年平均地温;

5)热融湖塘、热融洼地中水的深度和聚集、排泄条件,热融湖塘分布地段地下水类型及其与湖塘水的补给关系;

6)采取湖塘地表水试样、地下水试样、融土及冻土试样进行有关试验;

7)热融湖塘湖底融区的发育特征,评价热融湖塘边岸的稳定性;

8)评价热融湖塘和热融洼地的发展趋势及对拟建工程的影响。

4 热融湖塘、热融洼地的调查,可采用钻探与地球物理勘探相结合的方法进行,钻孔深度不应小于 15m,应选择有代表性钻孔进行地温观测。

5.2.8 冻土沼泽、冻土湿地的调查与测绘,应符合下列规定:

1 多年冻土区,遇有地表潮湿、富水、植被茂密、分布较厚的泥炭层的平川、沟谷、山前坡地、山间洼地等情况时,应按冻土沼泽、冻土湿地进行工作;

2 冻土沼泽、冻土湿地调查与测绘的范围,应根据建设工程的需要而定,且应大于工程分布区 200m;

3 冻土沼泽、冻土湿地的调查与测绘,应包括下列内容:

1)冻土沼泽、冻土湿地分布地段的地形地貌、地表植被类型、分布区的年平均气温和年降水量;

2)冻土沼泽、冻土湿地的分布范围、汇水面积、地表径流条件、水的来源及其变化情况;

3)冻土沼泽、冻土湿地的地层结构、岩性成分、泥炭层(草炭层)和软弱地层的厚度及分布特征、多年冻土类型、天然上限埋深、年平均地温及地温年变化深度;

4)冻土沼泽、冻土湿地分布地段地下水的类型、补给、排泄条件及其与沼泽、湿地地表水体的关系;

5)根据工程需要采集地表水、地下水、泥炭(草炭)土、冻土试样进行有关试验;

6)钻孔深度不应小于 15m,并进行地温观测;

7)分析冻土沼泽、冻土湿地基底发生融沉的可能性,评价建设工程的稳定性,提出相应的措施建议。

6 冻土工程地质勘探与取样

6.1 一般规定

- 6.1.1** 多年冻土地区勘探宜根据冻土环境条件采用钻探、坑探、槽探、地球物理勘探相结合的综合勘探方法。
- 6.1.2** 冻土工程地质勘探应结合多年冻土特点、工程类型、勘探目的、交通条件、机具设备和勘探对自然环境的影响等选择在适宜的时间内进行。
- 6.1.3** 勘探点的布置应在冻土工程地质调查与测绘、遥感解译和地球物理勘探等工作的基础上确定。
- 6.1.4** 钻探应采用干钻或单动双管岩芯管低温冲洗液钻进。
- 6.1.5** 当遇地表水、多层地下水时,应分层测定地下水水位、采取水样。

6.2 钻 探

- 6.2.1** 根据冻土层类别选择钻探方法时,应符合下列规定:
- 1 冻土层为第四系低含冰量松散地层时,宜采取低速钻进方法,回次进尺宜为 0.20m~0.50m;
 - 2 冻土层为高含冰量黏性土时,可采取快速钻进方法,回次进尺不宜大于 0.80m;
 - 3 冻结的碎石类土和基岩,宜采用低温冲洗液钻进方法,回次进尺宜为 0.15m~0.30m。
- 6.2.2** 在冻土地区进行钻探时,应符合本规范附录 M 的规定。
- 6.2.3** 冻土钻探的成孔口径,应符合下列要求:
- 1 冻土钻探的开孔直径不应小于 130mm,终孔直径不宜小于 110mm;

2 对于取不出完整冻结土样的岩土,可按常规钻探的有关规定执行。

6.2.4 冻土钻探工作应符合下列规定:

- 1 应设置护口管及套管封水或采取其他止水措施;
- 2 取得土的最大冻结与融化深度资料,应在地表开始融化或冻结前进行钻探;
- 3 在钻探和测温期间,应减少对场地地表植被的破坏,已破坏的应在任务完成后,进行植被的恢复;
- 4 对需要保留的观测孔和测温孔,应按勘察阶段要求处理,工作完成后应及时回填封孔。

6.2.5 钻探记录和编录应符合下列规定:

- 1 钻探记录应按钻进回次逐段填写,岩芯应及时准确鉴定;
- 2 冻土的描述和定名可按本规范附录 B、附录 E 进行;
- 3 钻探成果可用钻孔柱状图表示,冻结岩、土芯样可拍彩照,并应纳入成果资料。

6.3 坑探、槽探

6.3.1 冻土的浅部土层勘探,可采用坑探、槽探和小螺旋钻等简易勘探方法进行,并应符合下列规定:

- 1 在无人烟的冻土地区进行坑、槽探时,亦可采用爆破法;
- 2 对于泥炭沼泽或黏性土中的厚层地下冰地段,可采用钎探和小螺旋钻进行勘探,并应取得季节融化深度资料;
- 3 各地貌单元分界线处的季节融化深度和地层变化情况,可采用坑探、槽探方法完成。

6.3.2 探坑和探槽的深度、长度和断面尺寸,应按勘探要求确定。探坑、探槽的开挖应根据深度和冻土融化情况,采取加固措施。

6.3.3 坑探、槽探工作完成后应及时回填,并应恢复地表自然状态。

6.3.4 坑探、槽探应做好岩性描述记录、影像记录,并应提交坑探展开图、槽探槽壁纵断面图等图件。

6.4 地球物理勘探

6.4.1 在冻土工程地质勘察中,可选用地球物理勘探方法,地球物理勘探成果宜与钻探资料相互印证。地球物理勘探方法要点应符合本规范附录 N 的规定。

6.4.2 冻土地区地球物理勘探方法应根据冻土的物理特性和场地条件,通过试验研究确定地球物理勘探方法。

6.4.3 场地条件对地球物理勘探的适宜性,可按下列因素判定:

- 1 冻土体的埋藏条件及其与周围介质的物理性质的差异;
- 2 地表起伏变化,地表层土冻融的不均匀性及影响地球物理勘探工作的地面障碍物;
- 3 场地附近有无对冻土地球物理勘探工作造成干扰的因素。

6.4.4 地球物理勘探时应取得场地的冻土地球物理勘探参数,当资料缺乏时还应实测其地球物理勘探参数。

6.4.5 冻土地区地球物理勘探成果应包括下列内容:

- 1 冻土的类型及其分布特征;
- 2 季节融化层深度及多年冻土的上、下限;
- 3 厚层地下冰的分布特征;
- 4 多年冻土地区地下水及其赋存条件;
- 5 多年冻土的波速、动弹性模量。

6.4.6 进行地球物理勘探成果解译时,应分析不同地质因素引起的物理现象异常的多解性,并应区分有用信息和干扰信号,进行综合解译,必要时应布置钻孔取得资料进行验证。

6.5 冻土取样与运送

6.5.1 冻土试样可按表 6.5.1 的规定分级。

表 6.5.1 冻土试样等级划分

级别	冻融及扰动程度	试 验 内 容
I	保持冻结状态	土类定名、冻土物理力学及热学性质试验
II	保持含水率并允许融化	土类定名、含水率、密度
III	不受冻融影响并已扰动	土类定名、含水率

6.5.2 冻土取样方法应符合下列规定：

1 测定冻土基本物理指标的试样，应由地表以下 0.5m 开始逐层采取，取样间距应根据工程规模、工程特点及冻土工程地质性质确定，一般取样间距不宜大于 1.0m；

2 测定冻土力学及热学指标时，冻土取样应按工程需要采取；

3 不得从爆破的碎土块中取样，应从原状岩芯、探坑或探槽壁上采取。测定冻土天然含水率的取样，宜采用刻槽法。

6.5.3 根据土样等级运送土样时，应符合下列规定：

1 I 级土样，应就近进行试验。现场试验无条件时，应采取封闭措施并及时送至试验室，土样搬运中应保持冻结状态条件，不得融化和扰动；

2 II 级土样，应在取样后立即进行妥善密封、编号和称重，并应在运输过程中避免振动。对于融化后易振动液化和水分离析的土样，宜在现场进行试验；

3 III 级土样，其运送和试验要求，应按现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 规定执行。

7 冻土试验与观测

7.1 一般规定

7.1.1 本章适用于土在冻结状态下各种性能的测试方法、仪器设备和操作步骤。

7.1.2 土在融化状态下各种性能的测试方法、仪器设备和操作步骤,应符合现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123 的规定。

7.1.3 原位测试试验项目应根据冻土特性和工程性质选定。冻土观测应包括在勘察阶段的观测和施工阶段、运营阶段的监测。

7.1.4 无统一试验标准的特种试验项目,在提出试验数据时,应同时说明试验方法、仪器和试验步骤。

7.2 室内试验

7.2.1 冻土试验项目应根据需要进行总含水率、未冻含水率、冻结温度、导热系数、冻胀率、融化压缩等项目的试验;对盐渍化多年冻土和泥炭化多年冻土,应分别测定易溶盐含量和有机质含量。

7.2.2 冻土室内试验应包括下列内容:

1 冻土物理性质试验应包括下列内容:

- 1) 颗粒分析;
- 2) 总含水率;
- 3) 液限、塑限;
- 4) 比重;
- 5) 天然密度;
- 6) 未冻含水率;

7)盐渍度；

8)有机质含量。

2 冻土热学性质试验应包括下列内容：

1)土的骨架比热；

2)土在冻结状态下的导热系数；

3)土在融化状态下的导热系数；

4)起始冻结温度。

3 冻土中水化学性质试验应包括下列内容：

1)冻土中的冰的化学成分；

2)冻土区地下水的化学成分。

4 冻土力学性质试验应包括下列内容：

1)冻胀力；

2)土的冻结强度；

3)抗剪强度；

4)抗压强度；

5)冻胀率；

6)冻土的融化下沉系数；

7)冻土融化后体积压缩系数。

7.2.3 冻土试验的项目，可根据各工程在不同勘察阶段的实际需要按表 7.2.3 选定。

表 7.2.3 冻土室内分析测试项目

序号	测试项目	可研勘察阶段		初步勘察阶段		详细勘察阶段	
		土 类					
		粗粒土	细粒土	粗粒土	细粒土	粗粒土	细粒土
1	颗粒分析	+	+	+	+	+	+
2	总含水率	+	+	+	+	+	+
3	液、塑限	—	+	—	+	—	+
4	比重	+	+	+	+	+	+

续表 7.2.3

序号	测试项目	可研勘察阶段		初步勘察阶段		详细勘察阶段	
		土 类					
		粗粒土	细粒土	粗粒土	细粒土	粗粒土	细粒土
5	天然密度	+	+	+	+	+	+
6	未冻含水率	—	—	⊙	⊙	+	+
7	盐渍度	—	+	—	+	+	+
8	有机质含量	+	+	+	+	+	+
9	土的骨架比热	⊙	⊙	⊙	⊙	+	+
10	导热系数	⊙	⊙	⊙	⊙	+	+
11	起始冻结温度	+	+	+	+	+	+
12	冻胀率	—	—	+	+	+	+
13	渗透系数	—	—	+	+	+	+
14	冻土中的冰和地下水化学成分	—	—	+	—	+	—
15	切向冻胀力	⊙	⊙	⊙	⊙	+, ⊙	+, ⊙
16	水平冻胀力	⊙	⊙	⊙	⊙	+, ⊙	+, ⊙
17	抗压强度	⊙	⊙	⊙	⊙	+, ⊙	+, ⊙
18	抗剪强度	⊙	⊙	⊙	⊙	+, ⊙	+, ⊙
19	融化下沉系数	⊙	⊙	⊙	⊙	+, ⊙	+, ⊙
20	融化后体积压缩系数	⊙	⊙	⊙	⊙	+, ⊙	+, ⊙

注：+表示测定；—表示不测定；⊙表示测试困难时查表确定。

7.2.4 单轴压缩试验应符合本规范附录 P 的规定。

7.2.5 在无条件进行实测的情况下，土的热学、强度和变形特性可根据土的物理特性按本规范附录 C 取值。

7.3 原位测试

7.3.1 原位测试应根据工程需要与室内试验、模型试验配合使用。

7.3.2 遇下列情况之一应进行原位测试：

- 1 重要性等级为一、二级的建设工程；
- 2 当室内试验条件与工程实际相差较大时；
- 3 当基础的受力状态比较复杂，计算不准确又无成熟经验时。

7.3.3 原位测试宜包括下列内容：

1 地温、地下水位、多年冻土上限深度、下限深度、季节冻结深度、季节融化深度、季节冻土层的分层冻胀以及冻融过程等；

2 载荷试验、桩基静载试验、波速试验、动力触探试验、融化压缩试验、冻土与基础间冻结强度试验、锚杆与锚索抗拔试验以及冻胀力试验等。

7.3.4 进行原位测试时应与工程实际保持一致。在多年冻土地基中试验应随时监测地基温度场，在季节冻土地基中应与水分场一致。

7.3.5 原位模型试验结果可用于实际工程的设计中，对小尺寸、短时间的试验结果应根据边界条件的不同、尺寸与时间效应因素以及冻土流变特性等因素进行修正。

7.3.6 原位测试操作应符合本规范附录 F、附录 G、附录 H 的相关规定。

7.4 观 测

7.4.1 冻土地区的重要工程以及对冻土环境影响较大的建筑等，宜从勘察工作开始设置观测站(点)。

7.4.2 多年冻土地温观测孔的深度不宜小于 20m。

7.4.3 观测应包括下列内容：

1 气温、冻土地温、冻土上限、季节冻结深度、地下水位、融化下沉量及冻胀量、冻土现象的变化特征等；

2 工程建设和运营期间，建筑变形监测；

3 建筑物地基周围及其整个建筑场区地温场的变化特点与稳定状态；

4 已建建筑物下的冻土地基及建筑场区内在人为活动影响下冻土环境变化情况；

5 所采用各种防止冻胀、消除融沉措施的适用性及效果。

8 建筑冻土工程地质勘察

8.1 一般规定

8.1.1 本章适用于多年冻土地区建筑的工程地质勘察。

8.1.2 勘察阶段的划分,应与设计阶段相适应,宜分为可行性研究勘察、初步勘察和详细勘察三个阶段。可行性研究勘察应符合确定场地方案的要求,初步勘察应符合初步设计或扩大初步设计的要求,详细勘察应符合施工图设计要求。当冻土工程地质条件复杂或有特殊施工要求的工程,尚应进行施工勘察。场地复杂程度等级、地基复杂程度等级、工程重要性等级均为三级的场区或已有充分的冻土资料、建筑经验的其他场区,可简化勘察阶段。

8.2 可行性研究勘察

8.2.1 可行性研究勘察,除应对拟选场址的稳定性、适宜性以及技术经济的可行性进行论证外,尚应进行下列工作:

1 搜集区域地质、地形地貌、地震、矿产和附近地区的冻土工程地质资料,了解当地的建筑经验;

2 了解场地地形地貌、地质构造、冻土特征、岩土性质、冻土现象及地下水情况;

3 当已有资料和踏勘不能满足要求时,应进行工程地质调查与测绘及必要的勘探和测试工作。

8.2.2 选择场址时宜避开下列地段:

1 冻土现象发育并对建筑物有直接危害或潜在威胁的地段;

2 地基土为强融沉、融陷的不稳定地段;

3 冻土地区非岩质的高边坡危害影响地段。

8.2.3 可行性研究勘察阶段报告的内容,应重点阐明场地稳定

性和适宜性问题,并应根据搜集的资料和必要的勘察工作,对场地地形地貌、地质构造、冻土特征、冻土现象、地层岩性和地下水条件等基本概况进行综合评价,同时应提出设计方案比选意见和建议。

8.2.4 冻土工程地质可行性研究勘察报告可包括下列图件:

- 1 不同方案勘探点平面布置图;
- 2 不同方案场地冻土工程地质分区平面图,比例尺 1:5000~1:10000;
- 3 冻土工程地质剖面图(纵、横剖面);
- 4 地质柱状图、综合地质柱状图;
- 5 原位测试及地温观测图表;
- 6 室内试验图表。

8.3 初步勘察

8.3.1 初步勘察应对场地内拟建建筑地段的稳定性作出评价,并应对建筑总平面布置方案、冻土地基的设计原则、基础方案、冻土现象的防治及建筑场地地质环境保护与恢复措施提出建议。

8.3.2 初步勘察阶段,应进行下列工作:

- 1 搜集选址阶段的勘察、建筑区范围内地形、建筑区工程的性质及规模等资料;
- 2 初步查明地层结构、冻土特征及分布规律,以及冻土现象的类型、成因和对场地稳定性的影响程度,并初步预测在建筑使用期间冻土工程地质条件可能发生的变化;
- 3 初步查明冻土区地下水类型、地下水埋藏条件、相互关系,及其对冻土构造与工程建筑的影响;
- 4 对抗震设防烈度等于或大于 6 度的建筑场地,应对场地和地基的地震效应做出初步评价;
- 5 查明构造地质、环境地质条件;
- 6 初步判定水和土对建筑材料的腐蚀性;

7 冻土地区高层建筑初步勘察时,应对冻土地基设计原则、基础类型、基坑开挖与支护及地下水治理进行初步分析评价并提出建议。

8.3.3 初步勘察阶段,勘探线、点、网的布置,应符合下列规定:

- 1 勘探线应垂直地貌单元边界线、地质构造线及地层界线;
- 2 勘探点应布置在每个地貌单元类型的地貌交接部位,在微地貌或冻土现象发育地段应增加勘探点的数量;
- 3 在同一地貌单元,地形平坦、冻土工程性质较均一、分布面积较大的场地,勘探点可按方格网布置;
- 4 初步勘察勘探线、勘探点间距可根据冻土地基复杂程度等级按表 8.3.3 确定。

表 8.3.3 初步勘察勘探线、点间距(m)

冻土地基 复杂程度等级 \ 间 距	线 距	点 距
一级(复杂地基)	50~75	20~40
二级(中等复杂地基)	75~150	40~60
三级(简单地基)	150~200	60~100

8.3.4 初步勘察勘探点可分一般性勘探点和控制性勘探点两种,其深度可根据工程重要性等级,按表 8.3.4 确定。

表 8.3.4 初步勘察勘探孔深度(m)

工程重要性等级 \ 勘探孔类别	一般性勘探孔	控制性勘探孔
一级	≥ 20	> 30
二级	> 15	> 25
三级	> 10	> 20

注:1 勘探孔包括钻孔、原位测试孔及探井等;

2 控制性勘探点数量不小于勘探点总数的 1/3,每个地貌单元或每个主要建筑地段应有控制性勘探点。

8.3.5 当存在下列情形之一时,应增减勘探孔深度:

1 在预定深度内遇基岩时,除控制性勘探孔仍应钻入基岩适当深度外,其他勘探孔达到确认的基岩后即可终止钻进;

2 在预定深度遇到饱冰冻土、含土冰层或纯冰层时,应加深或穿透该层;

3 遇到岛状冻土,控制孔深度应超过冻土下限不小于 3m。

8.3.6 初步勘察阶段取土、水试样和原位测试工作,应符合下列规定:

1 初步勘察取土样和进行原位测试的勘探点数量,不应少于勘探点总数的 1/3;

2 取土样和原位测试的竖向间距,应按地层的特点和冻土的均匀程度确定;各层土均应取样或进行原位测试,其有效数据不应少于 6 件(组);

3 当地下水对地基基础有影响时,应采取水试样进行试验,评价其对建筑材料的腐蚀性时,每个场地不应少于 2 处,每处不应少于 1 件;

4 地温测试点,在平面上宜均匀分布,当场地跨越不同地貌单元的场地时,应在不同地貌单元设置有地温观测点,地温观测点数量不宜少于控制性勘探点数量的 1/3,且每个场地不应少于 3 个,测试深度不应小于 20m,竖向测试间距不应大于 2m;

5 测试土层剪切波速可在控制性勘探孔中进行,每个场地波速测试孔数量不宜少于 3 个。

8.3.7 冻土工程地质初步勘察报告应包括下列内容:

1 工程性质、任务要求及勘察工作情况;

2 场地位置、地形地貌、地层岩性、地质构造、冻土分布规律、地下水类型、埋藏条件等;

3 冻土物理力学及热学参数的分析与选用;

4 冻土现象的分布及发育程度;

5 场地和地基的地震效应评价;

- 6 地下水和土对建筑材料腐蚀性评价；
 - 7 评价各层土的冻土类型、冻胀性、融沉性,判定冻土盐渍度及冻土泥炭化程度；
 - 8 评价拟建场地建筑地段的适宜性和地基的稳定性；
 - 9 对冻土地基的设计原则、基础形式、冻土现象的防治、建筑场地地质环境保护与恢复措施提出建议。
- 8.3.8** 冻土工程地质初步勘察报告所附图表,应按本规范第4.5.3条执行。

8.4 详细勘察

8.4.1 冻土工程地质详细勘察,应按不同建筑物或建筑群提出详细的冻土工程地质资料和设计所需的冻土技术参数。

8.4.2 冻土工程地质详细勘察应进行下列工作：

- 1 取得附有坐标及地形的建筑物总平面布置图、各建筑物的整平标高、性质、规模、荷载、上部结构特点、基础形式、埋置深度、地基允许变形、地下设施、有特殊要求的地基基础设计、施工方案等资料；
- 2 查明建筑物范围内的冻土工程类型、构造、厚度、温度、工程性质,并分析和评价地基的承载力与稳定性；
- 3 查明冻土现象的成因、类型、分布范围、发展趋势及危害程度,并提出整治所需冻土技术参数和整治方案的建议；
- 4 查明地下水类型、埋藏条件、变化幅度、地层的渗透性、冻土层上水、层间水、层下水及其相互作用,评价对地基冻胀与融沉的影响；
- 5 查明不良地质作用的类型、成因、分布范围、发展趋势和危害程度,提出整治所需技术参数和治理方案的建议；
- 6 判定冻土的盐渍化和泥炭化程度,判定水和土对建筑材料的腐蚀性；
- 7 对需要进行沉降计算的建筑物,应提供地基变形计算参

数,预测建筑物的变形特征;

8 工程重要性等级为一、二级的建筑物利用塑性冻土作为地基时,应做静载荷试验。

8.4.3 冻土工程地质详细勘察勘探点的布置,应按冻土地基复杂程度等级确定,并应符合下列规定:

1 勘探点宜按建筑物周边线和角点布置,对无特殊要求的其他建筑物或建筑群可按其范围布置;

2 对重大设备基础应单独布置勘探点;对重大的动力机器基础,勘探点不宜少于 3 个;

3 对高耸建筑物,勘探点的数量应结合高度、荷载大小、冻土条件等情况确定,不宜少于 3 个;

4 冻土工程地质详细勘察勘探点可分为一般性勘探点和控制性勘探点,控制性勘探点数量不应少于勘探点总数的 1/3。

8.4.4 冻土工程地质详细勘察的勘探点间距可按表 8.4.4 确定。

表 8.4.4 详细勘察勘探点间距(m)

冻土地基复杂程度等级	一级(复杂地基)	二级(中等复杂地基)	三级(简单地基)
勘探点间距	10~15	15~25	25~40

注:1 为查清多年冻土平面分布界线时可加密勘探点。

2 遇冻土工程特性差异过大时可适当加密勘探点。

3 遇含土冰层或纯冰层,为查清其界线可适当加密勘探点。

8.4.5 冻土工程地质详细勘察勘探孔深度,应符合下列规定:

1 岛状(不连续)多年冻土区一般性勘探孔深度应大于预计融化盘最大融深 5m,且不应小于 15m;控制性勘探孔深度不应小于 20m,且每个场区不少于 2 个钻孔应穿透冻土下限,进入稳定地层不应小于 5m;

2 大片(连续)多年冻土区一般性勘探孔深度应大于预计融化盘最大融深 5m,且不应小于 13m,控制性勘探孔深度不应小于 20m;

3 地温观测孔深度不应小于 20m;

4 波速测试钻孔深度应满足确定覆盖层厚度及土层等效剪切波速计算深度的需要；

5 当钻孔达到预计深度遇有饱冰冻土或厚层地下冰时，应加深勘探孔深度或穿透该层；

6 对需要进行变形验算的地基控制性勘探孔的深度应大于地基压缩层计算深度 5m；

7 在预计深度内遇有基岩或不融沉的稳定碎石土时勘探孔深度可减少。

8.4.6 冻土工程地质详细勘察取样和测试工作，应符合下列规定：

1 取土样和进行原位测试的勘探点数量应按冻土工程地质条件和设计要求确定，不应少于勘探点总数的 2/3，且每幢建筑物不得少于 4 个；

2 取土样和原位测试点的竖向间距，每个场地或每幢建筑物在地基主要受力层内应为 1m~2m，受力层以下取样间距不应大于 3m，每一个主要土层的原状土数量或原位测试数据不应少于 6 件(组)；

3 地温观测孔应根据拟建场地规模及设计要求确定，数量不应少于勘探点总数的 1/10，单幢建筑物不得少于 2 个；

4 地温观测孔内测温点竖向间距，在季节融化层内不应大于 0.5m，多年冻土层内应为 0.5m~2m；

5 高层建筑群测试剪切波速钻孔数量每幢不应少于 1 个，单幢高层建筑不应少于 2 个。

8.4.7 桩基冻土工程地质勘察除应完成本规范第 8.4.2 条规定的工作内容外，尚应完成下列工作：

1 提供桩基设计所需的技术参数，评价成桩的可能性、桩的施工条件及其对周围环境的影响；

2 当采用基岩作为桩基持力层时，应查明基岩的岩性、构造、岩面变化、风化程度，确定其坚硬程度、完整程度和基本质量等级。

8.4.8 桩基冻土工程地质勘察勘探点布置应符合下列规定：

1 勘探点的布置应按建筑物的周边、角点或柱列线布置，勘探点间距不应大于 20m；

2 当持力层层面坡度大于 10%或冻土工程性质变化较大时，应加密勘探点；当冻土地基复杂程度等级为一级时，大口径桩或墩应加密勘探点；复杂地基一柱一桩工程应每柱设置勘探点；

3 控制性勘探点数量不应少于勘探点总数的 1/3。

8.4.9 桩基冻土工程地质勘察勘探点的深度应符合下列规定：

1 一般性勘探孔深度应超过预计桩端以下不应少于 3m，且不应小于 20m；

2 控制性勘探孔深度应满足下卧层验算需要，对需验算沉降的桩基，应超过地基变形计算深度，且不应小于 25m；

3 当达到预定深度遇有厚层地下冰或饱冰冻土时，应穿透该层；

4 在预定深度内遇有基岩或不融沉的稳定碎石类土时勘探孔深度可减少；

5 在预定深度内查明多年冻土下限时，一般性勘探孔深度穿过冻土下限后可减小。

8.4.10 桩基冻土工程地质勘察应做冻土物理力学及热学指标试验，并应符合下列规定：

1 季节冻土地区，对于冻胀性土地基或缺乏桩基建筑经验的地方，宜进行冻胀性试验；

2 多年冻土地区，对工程地基基础设计等级为甲、乙级或缺少桩基建筑经验的地区，应建议进行静荷载试验，每个场地试桩数量不应少于 3 根，对承受较大水平荷载的桩或墩，应建议进行水平荷载试验，对承受上拔力的桩或墩，应建议进行抗拔试验；

3 有建筑经验的地区，地基基础设计等级为丙级的建筑物可利用原位测试和室内试验资料结合工程经验提出有关桩基设计参数，必要时应估算单桩承载力。

8.4.11 冻土地区工程地质勘察在施工阶段可根据需要进行下列工作：

- 1 冻土工程基坑(槽)开挖至设计标高应进行施工验槽；
- 2 当基坑(槽)开挖后发现冻土工程地质条件与原勘察资料不符时,应进行补充勘察,必要时可进行施工勘察；
- 3 在基坑、桩基及地基处理施工中,需进行冻土工程检验与监测工作；
- 4 地基范围内厚层地下冰发育或施工过程中出现边坡失稳迹象时,应进一步查明地下冰的分布范围,分析边坡失稳原因,提出处理建议。

8.4.12 冻土工程地质详细勘察报告应包括下列内容：

- 1 拟建工程概况；
- 2 勘察目的、任务要求、依据的技术标准；
- 3 地基基础设计等级、勘察等级、勘察方法、任务完成情况；
- 4 场地地形地貌、地质构造、地层岩性、岩土性质及其均匀性；
- 5 水文地质特征及其对地基冻胀与融沉的影响；
- 6 冻土类型与特征；
- 7 不同设计原则条件下相对应的冻土承载力建议值、桩基设计参数、地基基础方案建议；
- 8 水、土对建筑材料的腐蚀性；
- 9 场地和地基的地震效应评价；
- 10 不良地质作用、冻土现象及其对工程危害程度评价,防治措施的建议；
- 11 场地稳定性、适宜性评价,地基冻胀性、融沉性评价；
- 12 工程施工和运营期间冻土地质环境变化防治措施的建议。

8.4.13 冻土工程地质详细勘察报告所附图表应按本规范第4.5.3条执行,并宜提供融沉性分区图。

9 铁路冻土工程地质勘察

9.1 一般规定

9.1.1 本章适用于多年冻土地地区新建、改建铁路的冻土工程地质勘察。多年冻土地地区的高速铁路(含客运专线)及时速 200km 客货共线铁路,应专门研究。

9.1.2 铁路冻土工程地质勘察应划分为踏勘阶段(预可行性研究阶段)、初测阶段(可行性研究阶段)和定测阶段(初步设计阶段),必要时应进行施工阶段和运营阶段勘察。

9.1.3 调查与测绘宽度应满足线路方案选择和工程设计要求,宜为路基中线两侧各 200m;对于冻土条件复杂的地段,应根据冻土现象的类型、发生、发展和影响范围以及冻土工程地质条件分析评价的需要予以扩大。地质观测点的设置、密度应结合工作阶段、成图比例、地质及冻土条件复杂程度等确定。

9.1.4 改建和增建二线铁路的冻土工程地质勘察阶段划分、任务要求,应按新建铁路冻土工程地质勘察要求进行。改建铁路的冻土工程地质勘察,应查明已建工程修建后冻土工程地质条件及环境的变化;还应查明已有建筑物多年冻土地基利用原则和采取措施的适宜性、沿线冻土现象的类型、危害程度及防治效果。

9.1.5 多年冻土地地区建筑材料的勘察除应查明材料的质量和储量、料场的多年冻土条件外,还应评价料场开采及弃方堆放对多年冻土环境的影响,提出相应的环境保护措施。

9.2 工程地质选线

9.2.1 线路宜选择在地表干燥、少冰平缓地带通过,并应避免挖方、零断面及低填方;无法避免时,应减少挖方、零断面及低填方地

段的长度。

9.2.2 山前线路应选择在融冻泥流、热融滑塌发育地段外缘的下方以路堤或桥通过,缓坡地段应在融冻泥流、热融滑塌上方通过;线路走向沿大河河谷时,宜选择在高阶地或台地上,应绕避大河融区及其附近的不稳定地带;在多年冻土不稳定地带线路宜以最短距离通过。

9.2.3 线路应绕避各种冻土现象发育地带、含土冰层地带、富冰、饱冰冻土地带,不能绕避时,宜从地势平缓、冻土现象分布较窄、冰层较薄地带通过,并应符合下列规定:

1 线路应以路堤或桥梁通过多年冻土沼泽、热融湖塘地段,路堤高度应高出暖季后积水水位以上不小于 1.0m;

2 斜坡上方具有冰椎、冻胀丘及泉水露头的地下水发育地段,线路不宜设置路堑,并应留足路堤高度。

9.2.4 桥址应避开河流融区边缘的多年冻土不稳定地带,同一座桥的墩台不得分别设在融土和多年冻土两种不同的地基上;桥址宜绕避冰椎发育地段。

9.2.5 隧道口应避开冻土现象发育地段;洞身应避开地下冰及地下水发育地带。

9.2.6 大型车站应选择在地形平坦、地层为基岩或粗颗粒土的地段,不应设在富冰冻土、饱冰冻土、含土冰层、厚层地下冰及冻土现象发育和多年冻土不稳定地段。

9.2.7 路基工程不宜高填、深挖,并应防止取弃土位置不当引起次生冻土环境地质问题。

9.3 踏勘阶段勘察

9.3.1 踏勘阶段冻土地区的工程地质勘察,应符合下列规定:

1 应搜集和研究线路通过区的区域地质、冻土地质、遥感图像、地震、工程地质、水文地质、气象、水文及既有工程使用情况等资料;

2 应了解线路通过区的地层结构、地质构造、冻土分布、冻土现象,以及影响线路方案的冻土类型、范围及其发生、发展和危害程度;

3 应了解控制线路方案的越岭地段、重点隧道、大河桥渡、地质复杂的斜坡地段冻土工程地质条件,并应提出线路方案的比选意见。

9.3.2 踏勘阶段冻土地区资料应包括下列内容:

1 预可行性研究报告工程地质素材;

2 全线工程地质图,比例尺为 1:10000~1:200000;

3 推荐方案及主要比选方案线路平面图,比例尺为 1:10000~1:50000。

9.3.3 当线路通过区地形地质条件特别复杂、冻土现象发育、线路方案多、比选范围大时,应在预可行性研究报告中提出安排“加深地质工作”要求的意见。

9.4 初测阶段勘察

9.4.1 初测阶段的勘察工作应在踏勘阶段工作的基础上,做好线路方案和各类重点工程设置方案的比选工作。

9.4.2 初测阶段的勘察工作应初步查明线路通过区的冻土区域地质、工程地质和水文地质条件,并应对线路通过区的冻土工程地质条件作出评价;应初步查明对线路起控制作用的冻土现象的性质、特征和范围;应根据冻土工程地质条件,优选线路方案。

9.4.3 初测阶段冻土地区的工程地质调查与测绘的基本内容,除应符合本规范第 5 章规定外,尚应重点调查下列内容:

1 初步查明沿线地层岩性、地质构造、多年冻土区及融区的分布范围及特征;初步查明沿线地表水和地下水的类型、分布及特征;重点查明冻土现象和高含冰量多年冻土的分布及特征,评价其对线路及各类工程的危害程度;提出各线路方案冻土工程地质条件和水文地质条件的比选意见;

2 初步查明控制线路方案的重大路基工程、桥梁、隧道、铁路区段站及以上大站和集中房屋建筑场地等的冻土工程地质及水文地质条件,提供多年冻土地基的物理力学及热学参数、隧道围岩分级、岩土施工工程分级等;

3 调查沿线既有工程、大型取弃土场地的工程地质条件、使用情况、病害情况及治理经验等。

9.4.4 初测阶段应根据沿线重点工程和地貌单元布置代表性观测孔,建立长期地温观测站、点,开展地温、气温的定期观测。

9.4.5 初测阶段冻土地区的地质勘探应符合下列规定:

1 地质勘探应根据冻土条件采用地球物理勘探、钻探、坑探、槽探、轻便勘探、原位测试等相结合的综合勘探方法,并应根据气候变化特点和勘探目的,选择适宜的季节进行;

2 勘探点的数量和深度应根据工程类型、设计原则及冻土地区工程地质条件的复杂程度确定,应重点勘探控制线路方案的地段、冻土现象分布地段和重点工程地段;

3 一般路基地段,勘探点宜按地貌单元布设,间距不宜大于500m;当冻土工程地质条件复杂,地层变化较大时,宜配合地球物理勘探查明多年冻土分布特点;

4 在多年冻土区边缘地带及高温不稳定区,应布设查明多年冻土下限的钻孔;

5 勘探孔深度应根据工程类别、冻土工程地质条件的复杂程度确定,不应小于8m,且不得小于2倍的天然上限深度;

6 初测阶段勘察应在代表性多年冻土地段及重点工程地段布置地温长期观测孔,观测孔应满足工程地质分区的需要,并按地貌单元布设。

9.4.6 路基工程应符合下列规定:

1 应初步查明沿线多年冻土上限、季节融化层的冻胀性、地面植被的覆盖程度;

2 应初步查明一般路基基底以下2倍上限深度范围内多年

冻土的特征；

3 应初步查明沿线冻土现象的类型、分布、特征及对路基工程的影响；

4 应确定取、弃土场的位置。

9.4.7 桥涵工程应符合下列规定：

1 应初步查明多年冻土的类型、分布、物理力学及热学特征，多年冻土上限，季节融化层的冻胀性，融区的分布及特点；

2 应初步查明冻土现象类型、分布、特征及对桥涵工程的影响；

3 应初步查明水文地质特征及对桥涵基础施工、运营的影响。

9.4.8 隧道工程应符合下列规定：

1 应初步查明隧道通过地段多年冻土的分布、特征及水文地质条件；

2 应初步查明隧道口及洞身浅埋地段冻土现象的类型、分布、特征及对隧道工程的影响；

3 长大隧道宜进行地温、地下水和简易气象等项目的观测；

4 当地层为基岩时，勘探孔深度应至路肩设计高程以下 4m~5m，当地层为第四系松散堆积层时，勘探孔深度应至路肩设计高程以下不小于 8m，并不应小于路肩设计高程以下相当于 2 倍天然上限深度，冻土条件复杂时应适当加深。

9.4.9 初测阶段冻土地区的综合资料，应包括下列内容：

1 工程地质勘察报告；

2 全线工程地质图，比例尺为 1：10000~1：200000；

3 详细工程地质图，可与线路平面图合并，比例尺为 1：2000~1：5000；

4 工程地质纵断面图，比例尺为横 1：10000，竖 1：100~1：1000；

5 沿线工程地质分段说明，按地形地貌或不同的冻土工程地

质条件分段编写；

6 勘探试验资料；

7 其他原始资料。

9.4.10 初测阶段路基、桥梁、隧道、站场工程等代表性设计工点资料,应包括下列内容:

1 工程地质勘察报告;

2 工程地质图,比例尺 1:500~1:2000;

3 工程地质纵、横剖面图,比例尺为横 1:200~1:5000,竖 1:50~1:500;

4 勘探、测试、试验、地温观测等资料。

9.5 定测阶段勘察

9.5.1 定测阶段的勘察工作,应在初测工作的基础上,详细查明沿线冻土工程地质和水文地质条件,进行局部线路方案比选。

9.5.2 定测阶段冻土地区的工程地质调查与测绘的基本内容,除应符合本规范第 5 章规定外,尚应符合下列规定:

1 应查明沿线地层岩性、地质构造、多年冻土类型、分布范围、物理和力学性质,以及查明沿线地表水、地下水的类型、分布、特征及其对工程的影响;

2 应比较局部线路方案,并应提出冻土工程地质条件评价及方案比选意见;受冻土工程地质条件控制的地段,应根据地质纵横断面及工程设置条件合理确定线路位置;

3 对冻土现象分布地段,应按本规范第 5.2 节的要求进行详细调查与勘探,应查明其成因、分布、特征及对工程的影响,并应提出相应的工程措施意见;

4 应查明沿线天然建筑材料场地多年冻土特征、岩土性质、等级和储量及取土对周围环境的影响;

5 应预测工程建设及运营对场地冻土工程地质条件 and 环境变化的影响,并应提出工程措施意见;

6 应调查既有工程的设计、施工、使用、病害及治理情况、多年冻土环境的变化等。

9.5.3 路基工程应符合下列规定：

1 应查明沿线多年冻土的上限、季节融化层的冻胀性、地表植被的覆盖程度，并应评价自然边坡及基底的稳定性；

2 应查明沿线冻土现象的分布和特征及其对路基工程的影响；

3 应详细调查沿线建筑材料、取弃土场的地质条件；

4 代表性多年冻土地段，应设置地温观测孔，每公里不应少于 1 个，每工点不应少于 2 个；重大工程应设置长期地温观测孔；

5 勘探点的间距应根据冻土工程地质条件的复杂程度和冻土现象的性质以及工程类型确定，一般路基地段的勘探点间距应为 200m~300m；

6 勘探孔深度，不应小于 8m，且不得小于天然上限的 2 倍；饱冰冻土、含土冰层地段的部分勘探点应予以加深或穿透；

7 多年冻土路堑及有地下水的路堑的勘探深度，不应小于路肩以下最大季节融化深度加 2.5m。

9.5.4 桥涵工程应符合下列规定：

1 应查明多年冻土的分布、特征、水文地质条件、地层的物理力学及热学性质；

2 应查明冰椎、热融湖塘、河流融区等冻土现象的成因、分布、特征及其对桥涵工程的危害程度；

3 桥梁工程应逐墩勘探，高墩大跨桥梁或冻土工程地质条件复杂的桥梁勘探点应予以加密；

4 涵洞工程应逐个布置勘探点，长轴涵洞或涵洞地质条件复杂时，应进行轴向断面勘探；

5 桥梁墩台工程的基础采用保持冻结的设计原则时，勘探深度应至设计人为上限以下不少于 2.5m，涵洞不应少于 1.0m；设计人为上限不确定的大中桥勘探孔深度应大于 3.5 倍天然上限，且

不得小于 20m;小桥涵应大于 2 倍天然上限,且不得小于 12m;当遇有饱冰冻土或含土冰层时,应加深,必要时应穿透;采用容许融化的设计原则时,部分融化时的勘探深度不应小于容许融化的人为上限深度;全部融化时可按非多年冻土地区的勘探要求执行。

9.5.5 隧道工程应符合下列规定:

1 应查明多年冻土的分布及特征,地下水的类型、补给、径流、排泄条件及动态特征,以及多年冻土的下限深度及其洞身的冻土工程地质条件;

2 应查明洞口及其附近冻土现象的类型、分布及危害程度;

3 洞口及浅埋地段应有钻孔控制,洞身应根据地质条件的复杂程度布置钻孔;

4 勘探深度应至洞底融化圈以下 1m~2m,基底地层软弱时应予以加深;有地下水的隧道,其勘探深度应至设计泄水洞基础以下 4m~5m;

5 特长隧道、地质条件复杂隧道,宜根据需要进行地温、地下水 and 气温等项目的观测。

9.5.6 岩、土物理力学指标的测试工作应能满足各类建筑物设计的需要;冻土试验项目除应符合本规范第 7 章有关规定外,当多年冻土按保持冻结状态的原则用作地基时,应确定年平均地温、压缩层设计深度范围内的地温分布、冻土的抗剪强度和抗压强度以及季节融化层土的冻胀性;当多年冻土按逐渐融化状态的原则用作地基时,应确定不同深度(不浅于建筑物下融化带范围内)冻土的融化下沉系数、融化压缩系数,融土的压缩系数、抗剪强度和抗压强度以及季节融化层土的冻胀性。

9.5.7 定测阶段多年冻土地区的工程地质综合资料,应包括下列内容:

1 工程地质勘察报告;

2 全线工程地质图,比例尺为 1:10000~1:200000;

3 详细工程地质图,比例尺为 1:2000~1:5000;

4 工程地质纵断面图,可与线路详细纵断面合并或单独绘制,比例尺为横 1:10000,竖 1:100~1:1000。

9.5.8 定测阶段冻土工程地质勘察完成后,各类建筑物、冻土现象分布工点,应按本规范第 9.4.9 条规定编制单独工点资料。

9.6 施工阶段勘察

9.6.1 施工阶段多年冻土地区的工程地质勘察应包括下列内容:

1 研究多年冻土地区的工程地质资料,掌握多年冻土工点的特点及加固处理措施,预测施工中可能发生的工程地质问题,提出施工注意事项;

2 验证各类工点的工程地质资料,当发现冻土上限和下限变化较大时应补充勘察,验证勘察期间确定地质条件的适宜性及设计的合理性;

3 施工验槽中发现多年冻土的含冰率明显变化时应补充勘察,确定变化范围,分析含冰率变化的原因及原有工程措施的适宜性;

4 勘察期间预留的地温观测孔,应继续进行观测。

9.6.2 施工阶段多年冻土工程地质资料,应包括下列内容:

1 工程地质说明,应说明施工中多年冻土工点发生的工程地质变更问题,变更设计的范围、性质和原因、处理经过、措施和效果等;

2 工程地质纵横断面图,可利用设计文件中的相应图件修正、补充。

9.7 运营阶段勘察

9.7.1 运营阶段多年冻土地区的工程地质勘察,应包括下列内容:

1 运营期间应根据环境地质条件的变化、气温升高或地下水位变化的趋势,对重要建筑物及高温极不稳定区和不稳定区的地

基,进行气温、地温变化和地基沉降、建筑变形的监测,评价其对工程的影响,及时提出预防或加固处理的措施建议;

2 继续监测勘察、施工期间在重点工程附近设置的地温观测孔,预报地温的变化情况,根据监测成果提出工程预防或处理措施建议;

3 多年冻土病害整治工点的勘察应利用既有资料,按本规范第 9.5 节的有关要求执行。

9.7.2 运营阶段多年冻土地区的资料,应符合下列规定:

1 各项监测资料应按统一格式,绘制有关图表,进行分析研究,提出意见建议;

2 病害整治工点的勘察资料编制,应按本规范第 9.4.9 条的要求执行。

10 公路冻土工程地质勘察

10.1 一般规定

10.1.1 本章适用于多年冻土地区一、二、三级新建、改建公路的工程地质勘察。四级及农村公路勘察工作量可减少,高速公路冻土工程地质勘察应专门研究。

10.1.2 公路冻土工程地质勘察可分为可行性研究勘察、初步勘察、详细勘察三个阶段,其中可行性研究勘察可分为预可勘察和工可勘察。可行性研究勘察应符合工程可行性研究的要求,初步勘察应符合初步设计的要求,详细勘察应符合施工图设计的要求。

10.1.3 公路冻土工程地质勘察应根据公路基本建设程序各阶段要求开展工作,并应结合现场冻土工程地质条件、工程结构设置以及不同勘察手段综合确定勘察方法及勘察工作量,查明建设地区的冻土工程地质条件,同时应提出冻土地质环境保护及恢复的措施。

10.1.4 公路冻土工程地质勘察勘探点、测试点、观测点布置应结合工作阶段、成图比例、露头情况、冻土地质条件复杂程度等确定,选点应具有代表性,应能判明重要地质界线和查明冻土工程地质特征,数量应能控制重要地质界线和冻土区域特征,并应能说明冻土工程地质条件。

10.1.5 既有线改造的冻土工程地质勘察,应查明工程修建后冻土工程地质条件及环境的变化、既有建筑物多年冻土地基利用原则和采用措施的正确性,以及查明沿线冻土现象的类型、危害程度及病害防治效果。

10.1.6 多年冻土地区料场的勘察除应查明料场及工程用水的分

布和储量外,还应查明料场的多年冻土特征,应评价料场开采及废方堆放对多年冻土环境的影响,并应提出相应的环境保护措施。

10.2 工程地质选线

10.2.1 路线宜选择在地表干燥、平缓、向阳地带。在积雪地区通过时,应将线位选择在积雪轻微的山坡上。

10.2.2 线路通过山岳、丘陵的融冻坡积层时,宜选择在缓坡上部;线路走向沿大河河谷时,宜选择在高阶地上;在多年冻土不稳定地段线路宜按最短距离通过,宜避免顺着大河融区附近的多年冻土不稳定地段定线。

10.2.3 线路应采用填方路基,应避免挖方,并应减少零断面及高度小于 1.0m 的低填方,同时宜避免采用高度大于 3.0m 的填方。

10.2.4 线路通过多年冻土发育路段时,应根据太阳辐射、风向等气象特征选择路线走向。

10.2.5 线路通过冻土现象发育地段时,应予以绕避。如必须通过时,线路走向和位置的确定应符合下列规定:

1 线路宜从厚层地下冰分布区的较窄和较薄的地方通过;

2 线路宜从热融滑塌、冻胀丘、冰椎等冻土不良地质体外缘下方以路堤通过;

3 线路宜用路堤穿过热融湖塘和冻土沼泽,在热融湖塘地段应根据最高水位、波浪侵袭高度及路堤填筑后的壅水高度等因素确定路基高度;

4 不宜在厚层地下冰、冰椎、冻胀丘等冻土现象发育的地段挖方通过。

10.2.6 服务区、收费站等沿线设施场址应选择在基岩和粗颗粒土等对建筑有利的地段,场址不应选在高含冰量分布地段。

10.2.7 桥址选择时应避开冻胀丘、冰椎、热融滑塌等冻土现象发育地段。同一座桥的墩台不得分别设在融土和多年冻土两种不同的地基上。

10.2.8 在地下水发育地段不宜设隧道,洞口不应设在冻土现象发育的地段。

10.3 可行性研究勘察

10.3.1 预可勘察阶段应了解公路建设项目所处区域的冻土工程地质条件及存在的冻土工程地质问题。

10.3.2 预可勘察阶段应充分收集区域地质、区域冻土地质条件、地震、气象和水文、工程地质与水文地质、采矿、灾害防治与评估等资料,并应采用资料分析、遥感工程地质解译、现场踏勘调查等方法,对线路走廊带的冻土工程地质条件进行研究,并应完成下列工作内容:

- 1 了解冻土工程类型、分布范围、发育规律和冻土现象;
- 2 了解线路走廊带的地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质条件、地震动参数;
- 3 评估各线路走廊带或通道的冻土工程地质条件及主要冻土工程地质问题;
- 4 了解当地建筑材料的分布状况和采购运输条件;
- 5 编制预可行性研究阶段工程地质报告。

10.3.3 预可勘察阶段应了解线路通过地区控制线路方案的越岭地段和重大工程地段的冻土工程地质条件。

10.3.4 预可勘察阶段冻土工程地质勘察报告应提供下列资料:

1 冻土工程地质总说明书,应对拟建工程项目的冻土工程地质条件、存在的冻土工程地质问题等进行说明,对各路线走廊带的冻土工程地质条件进行评估,并对下一阶段的冻土工程地质勘察工作提出意见和建议;

2 全线冻土工程地质平面图,比例尺应为 1 : 50000 ~ 1 : 100000;

3 推荐方案及主要比较方案,路线工程地质平面图及附图、附表、照片等,平面图比例尺应为 1 : 10000 ~ 1 : 50000;

4 控制线路方案的越岭地段、重大工程的冻土工程地质平面图和冻土工程地质剖面图,比例尺应为 1 : 5000~1 : 10000。

10.3.5 工可勘察阶段应初步查明公路建设项目所处区域的冻土工程地质条件和对公路建设规模有影响的冻土工程地质问题。

10.3.6 工可勘察阶段应以资料收集和工程地质调绘为主,必要时应辅以勘探手段对项目建设各工程方案的冻土工程地质条件进行研究,并应完成下列工作内容:

1 初步查明冻土的类型、特征、分布范围、冻土现象的发育规律等内容;

2 初步查明线路走廊带的地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质条件、地震动参数;

3 初步查明重大工程场址的地层岩性、地质构造、岸坡稳定性、冻土工程地质条件;

4 初步查明控制路线方案的越岭地段的地层岩性、地质构造、水文地质条件、冻土工程地质条件;

5 初步查明沿线建筑材料的分布、开采、运输条件以及工程用水的水质、水源情况;

6 评价各线路走廊带或通道的冻土工程地质条件及冻土工程地质问题;

7 编制工程可行性研究阶段工程地质报告。

10.3.7 工可勘察阶段工程地质调绘应符合下列规定:

1 应对区域地质、水文地质、冻土类型、范围、发育规模及冻土现象等进行实地踏勘、调查,并应做好记录;

2 工程地质调绘的比例尺应为 1 : 10000~1 : 50000,调绘范围应包括各路线走廊所处的带状区域;对于冻土条件复杂的路段,应根据冻土现象的发生、发展和影响范围以及冻土工程地质条件分析评价的需要予以扩大。

10.3.8 工可勘察阶段工程地质调绘应初步查明线路通过地区的冻土工程地质条件。

10.3.9 工可勘察阶段应初步查明控制线路方案的越岭地段、重大工程地段的冻土工程地质条件,并应提出越岭方案、重大工程适宜性的比选意见。

10.3.10 遇到下列情况,当通过资料收集、工程地质调绘不能初步查明其冻土工程地质条件时,应进行工程地质勘探:

1 无区域冻土资料且通过地质调绘无法确定冻土发育情况的路段;

2 控制路线及工程方案的冻土工程地质条件复杂、冻土现象发育路段;

3 控制路线方案的越岭路段。

10.3.11 工可勘察阶段冻土工程地质勘察报告应提供下列资料:

1 冻土工程地质总说明书,应对拟建线路沿线的地形地貌、地质构造、水文地质条件、新构造运动、地震动参数等基本地质条件进行说明;阐明冻土及冻土现象的类型、分布范围、发育规律及其对公路工程的影响和绕避的可能性;对线路方案有重大影响的冻土工程地质问题进行论证、评价;对重大工程应结合工程方案的论证、比选,对工程地质条件进行说明、评价;提供工程方案论证、比选所需的参数;

2 全线冻土工程地质平面图和工程地质纵断面图,比例尺应为 1:10000~1:50000;

3 控制线路方案的越岭地段、重点控制性工程的冻土工程地质平面图和冻土工程地质剖面图、附图、附表等,平面图、剖面图比例尺应为 1:2000~1:10000;

4 勘探、试验及冻土工程地质照片等资料。

10.4 初步勘察

10.4.1 初步勘察阶段应基本查明公路沿线区域地质条件、区域冻土条件、水文地质条件,并应对线路通过区域及各类构筑物建设场地的冻土工程地质条件作出评价;应基本查明对线路起控制作

用的冻土现象的类型、范围、性质和特征；应依据冻土工程地质条件，做好地质选线工作。

10.4.2 初步勘察阶段应采用遥感解译、工程地质调绘、钻探、地球物理勘探、原位测试等相结合的综合勘察方法。

10.4.3 初步勘察阶段应对工程建设可能诱发的冻土地质灾害和冻土环境工程地质问题进行分析、预测，评价其对冻土区公路工程 and 冻土环境的影响。

10.4.4 初步勘察阶段勘察基本内容除应符合本规范第4章规定外，尚应重点查明下列内容：

1 沿线冻土区地貌的成因、类型、分布、形态特征、地表的物质组成和植被情况；

2 沿线多年冻土的形成、发展与变化趋势以及融区的分布情况；

3 沿线冻土的分布、类型、厚度、含水率、地温、地层结构、土质及其物理力学和热学性质，并应重点查明对工程影响较大的富冰冻土、饱冰冻土和含土冰层的发育特征；

4 多年冻土上限、季节性冻土最大冻结深度、冻土的融沉性和冻胀性；

5 冻土沼泽、冻胀丘、冰椎、热融湖塘、热融滑塌、融冻泥流等冻土现象的分布、规模、特征及其发展和变化情况；

6 地表水和地下水的发育情况及其与冻土的关系；

7 沿线筑路材料、工程用水和生活用水的分布情况；

8 充分分析评价既有道路和工程建筑物的使用情况及其与冻土的相互作用；

9 线路各构筑物场址的冻土工程地质条件。

10.4.5 初步勘察阶段在沿线重大工程地段和大的地貌单元应建立长期地温观测点，并应进行地温观测，观测孔深度不应小于地温年变化深度。

10.4.6 初步勘察阶段冻土工程地质调绘应符合下列规定：

1 调绘宜与卫片、航片及遥感工程地质解译相结合,应确定调绘重点,并应辅以坑探、槽探和地球物理勘探方式进行核对、修改、补充解译内容;

2 地貌单元边界、冻土界线、冻土现象发育区域、融区、构造异常区域、泉眼等路段,应加密布置调绘点;

3 工程地质图应在野外实地填绘,对线路方案和工程有影响的地质界线、地质点,应采用仪器测绘;

4 调绘比例尺应为 1:2000~1:10000,调绘范围应为线路中线两侧 200m~500m。

10.4.7 初步勘察阶段冻土工程地质勘探应符合下列规定:

1 应根据冻土条件采用钻探、坑探、槽探、地球物理勘探、原位测试等手段进行综合勘探;

2 多年冻土地区进行路线及构筑物勘探时,宜根据冻土条件采用地震、电法、地质雷达等地球物理勘探手段;

3 查明多年冻土地区冻土现象季节性变化特点及最大冻结深度的勘探宜在每年 2 月~5 月进行,查明多年冻土上限深度的勘探宜在每年 9 月~10 月进行;

4 在多年冻土不稳定的边缘地段应有查明多年冻土下限的钻孔;在多年冻土稳定地段,应结合工程需要,布置查明多年冻土下限的钻孔。

10.4.8 初步勘察阶段冻土工程地质勘察勘探点的数量、深度,应根据工程类别及冻土工程地质条件的复杂程度确定,并应符合下列规定:

1 路基工程应符合下列规定:

1) 每公里勘探点不应少于 2 个,勘探深度不应小于 8m,且不应小于 2 倍~3 倍天然上限,其位置应选在地形特征点处,若遇高含冰量冻土时,应予以加深或穿透该层;

2) 当冻土工程地质条件复杂,地层差异较大时,应增加布设横断面;

3)路堑工程应选择代表性位置布置横向断面,每段深挖路堑断面数量不应少于1条,勘探点数量不应少于2个,勘探深度应达到路肩设计高程以下不小于8m,且不应小于2倍~3倍天然上限。

2 支挡工程应符合下列规定:

- 1)勘探点数量不应少于1个;
- 2)当采用保护冻土原则设计时,勘探深度应至持力层以下的稳定地层中不小于3m,且应大于设计的人为上限以下2.5m或大于2倍天然上限,且不得小于12m;遇有饱冰冻土或含土冰层时,应予以加深或穿透该层;
- 3)当采用容许融化原则设计时,勘探深度应至持力层以下稳定地层中不小于3m,且应大于容许融化的人为上限深度以下2m;遇有饱冰冻土或含土冰层时,应予以加深或穿透该层。

3 小桥、涵洞工程应符合下列规定:

- 1)勘探点数量不应少于1个;
- 2)当采用保护冻土原则设计时,勘探深度应至持力层以下的稳定地层中不小于3m,且应大于设计的人为上限以下2.5m或大于2倍天然上限,且不得小于12m;遇有饱冰冻土或含土冰层时,应予以加深或穿透该层;
- 3)当采用容许融化原则设计时,勘探深度应至持力层以下稳定地层中不小于3m,且应大于容许融化的人为上限深度以下2m;遇有饱冰冻土或含土冰层时,应予以加深或穿透该层。

4 中桥、大桥、特大桥工程应符合下列规定:

- 1)勘探点数量,中桥不应少于3个,大桥不应少于5个,特大桥不应少于7个;
- 2)当采用保护冻土原则设计时,勘探深度应至持力层以下的稳定地层中不小于3m,且应大于设计的人为上限以下

2.5m 或大于 3.5 倍天然上限,且不得小于 20m;

3)当采用容许融化原则设计时,勘探深度应至持力层以下稳定地层中不小于 3m,且应大于容许融化的人为上限深度以下 2m;遇有饱冰冻土或含土冰层时,应予以加深或穿透该层。

5 隧道工程应符合下列规定:

1)进出口应布置钻孔,洞身段勘探点数量应根据地质条件的复杂程度确定;

2)勘探深度应至洞底设计高程以下不小于 5m,且不应小于 2 倍天然上限。地下水发育的隧道,应至泄水洞基础底面以下不小于 5m。

6 需要进行变形计算的构筑物,勘探深度应按压缩层影响深度确定。

10.4.9 路基工程冻土工程地质初步勘察阶段勘察除应符合本规范第 4 章的规定外,尚应重点查明下列内容:

1 沿线多年冻土上限的分布,季节融化层的成分及冻胀性,地面植被的覆盖程度;

2 路基基底以下 8m 且不小于 2 倍~3 倍上限深度范围内多年冻土的特征,重点查明高含冰量冻土的埋藏深度;

3 沿线冻土现象的分布及对路基工程的影响;

4 确定取土、弃土位置。

10.4.10 支挡工程冻土工程地质初步勘察阶段勘察除应符合本规范第 4 章的规定外,尚应重点查明下列内容:

1 场址多年冻土的分布、发育及物理力学及热学性质;季节融化层的冻胀性;

2 冻土现象类型、分布、规模及危害程度。

10.4.11 涵洞、桥梁工程冻土工程地质初步勘察阶段勘察除应符合本规范第 10.4.4 条的规定外,尚应重点查明下列内容:

1 桥位区多年冻土的分布、发育及物理力学及热学性质;季

节融化层的冻胀性；

2 桥位区融区的分布及特点；

3 桥位区冻土现象类型、分布、规模及危害程度。

10.4.12 隧道冻土工程地质初步勘察阶段勘察除应符合本规范第 10.4.4 条的规定外,尚应重点查明下列内容:

1 查明隧道通过地段多年冻土的分布、特征以及地下水的类型、补给、径流、排泄条件及动态特征；

2 隧道进、出口处冻土现象的类型、分布、规模及危害程度；

3 隧道宜进行地温、地下水和简易气象等项目的观测；

4 勘探孔深度应达到隧道路肩设计高程以下 5m,如冻土条件复杂时应予以加深。

10.4.13 服务区、收费站等沿线设施冻土工程地质初步勘察阶段勘察的内容和要求,除应按本规范第 8 章的有关规定执行外,应查明活动层的厚度、成分及冻胀性,地下冰以及高含冰量冻土的特征及分布范围,冻土现象的类型、分布及危害程度。

10.4.14 初步勘察阶段冻土工程地质勘察报告应提供下列资料:

1 全线冻土工程地质总说明书,对工程建设场地适宜性进行分析、评价,并提出工程地质建议；

2 全线冻土工程地质平面图、纵断面图,比例尺 1 : 2000 ~ 1 : 10000；

3 重点地段冻土工程地质平面图、剖面图,比例尺 1 : 2000 ~ 1 : 5000；

4 沿线冻土工程地质分段说明书,按地形地貌或不同冻土工程地质条件分段编写,重点评价冻土类型、冻胀类型、冻胀等级、融沉等级,多年冻土上限、季节冻结(融化)深度等内容；

5 对工点冻土工程地质条件进行说明,应根据工点类型提供下列资料:

1)比例尺 1 : 2000 工程地质平面图、纵断面图；

2)比例尺 1 : 100 ~ 1 : 500 工程地质横断面图、比例尺

1:50~1:200 钻(挖)探柱状图、地温测试资料、水质分析资料、地球物理勘探解译成果、岩土物理力学指标汇总表以及其他测试资料、附图、附表、照片等。

10.5 详细勘察

10.5.1 详细勘察应查明确定线位及构筑物位置的冻土工程地质条件、水文地质条件,并应为路线和各类工程构筑物的施工图设计提供冻土工程地质资料。

10.5.2 详细勘察应采用以钻探、地球物理勘探、测试为主,以地质调绘、简易勘探等手段为辅的综合勘察方法。

10.5.3 详细勘察应分析冻土与工程的相互作用,应对工程建设可能诱发的冻土地质灾害和冻土环境工程地质问题及冻土条件改变对工程所造成的影响进行评价、预测,并应提出相应的防治措施。

10.5.4 详细勘察在确定的线位及构筑物位置上进一步进行勘探测试,应包括下列内容:

1 在初勘基础上,分段进行详勘工作,对初勘资料进行复核、补充和修改,提供详细冻土工程地质资料;

2 对冻土现象分布地段,应按本规范第5章的要求进行详细调查与勘探,查明其成因、分布、范围、规模、发生发展规律及对路基和其他建筑物稳定的影响,提出相应的工程措施意见;

3 应根据初步设计所采用的取土方案进行路基取土调查,查明沿线集中取土点和线外大型取土场的多年冻土特征,岩、土的物理力学性质,可供取土的数量;

4 路基、桥梁、涵洞、支挡工程、隧道、沿线设施等应按本规范第10.4.6、10.4.7条有关要求进行详细的调绘、勘察,查明各类建筑物冻土工程地质条件、水文地质条件,提供施工设计所需的岩、土物理力学参数;

5 高等级公路和铺筑高级路面的其他等级公路路基工程的

勘察,除查明黑色路面对路基下多年冻土的热影响外,还应查明厚层地下冰地段活动层的厚度、发育深度、成分、物理力学性质等因素;

6 在冻土工程地质详细勘察基础上提出冻土工程地质条件变化的预测,应包括下列内容:

- 1)土的季节融化和季节冻结深度的变化;
- 2)在工程影响下以及清除雪盖和植被后,多年冻土的人为上限深度的变化;
- 3)公路施工和运营中冻土与工程地质的相互作用。

10.5.5 详细勘察阶段冻土工程地质勘察应在确定的线位及构筑物位置上进行勘探、测试,勘探点的数量、深度应满足各类工程施工图设计时对冻土工程地质资料的需要,勘探点的间距应根据冻土工程地质条件的复杂程度和冻土现象的性质以及建筑物类型确定。除应符合初勘要求外,尚应符合下列规定:

1 多年冻土地地区路基工程的勘探每公里勘探点不应少于 4 个;多年冻土边缘地带、冻土现象发育路段及地质条件复杂路段,应采用地球物理勘探、钻探进行综合勘探。

2 多年冻土地地区涵洞工程勘探点数量不应少于 1 个,当地质条件复杂时应予增加。

3 多年冻土地地区桥梁工程应根据桥梁类型、规模、冻土工程地质条件、确定勘探点数量和位置,每个墩台勘探点的数量不得少于 1 个;地质条件复杂时,应予增加。

4 隧道工程进出口必须布置勘探钻孔,同时应利用钻孔进行地温测试,洞身段勘探点数量应根据地质条件的复杂程度确定。

10.5.6 岩、土物理力学数据的测试工作应能满足各类建筑物施工图设计的需要。冻土试验项目除应符合本规范第 7 章有关规定外,当多年冻土按保护冻土的原则用作地基时,应确定年平均地温、压缩层设计深度范围内的地温分布、冻土的抗剪强度和抗压强度以及季节融化层土的冻胀性;当多年冻土按允许逐渐融化状态

的原则用作地基时,应确定融化带内不同深度冻土的融化下沉系数、融化压缩系数,融土的压缩系数、抗剪强度和抗压强度以及季节融化层土的冻胀性。

10.5.7 冻土工程地质详细勘察完成后应按本规范第 10.4.14 条的规定提供资料。

11 水利水电冻土工程地质勘察

11.1 一般规定

11.1.1 本章适用于多年冻土地地区大、中型及冻土工程地质条件复杂的小型水利水电工程。

11.1.2 水利水电工程的附属建筑、对外交通、管道、架空送线路工程的冻土工程地质勘察,应分别按本规范的第 8、10、12、13 章的规定执行。

11.1.3 水利水电冻土工程地质勘察应分为规划阶段、可行性研究阶段、初步设计阶段、招标设计阶段、施工详图设计阶段等五个勘察阶段。

11.2 规划阶段勘察

11.2.1 规划阶段的冻土工程地质勘察应对规划方案和拟建工程选址进行地质论证,并应提供冻土工程地质资料。

11.2.2 规划阶段冻土工程地质勘察基本任务应包括下列内容:

- 1 初步了解规划区域内的冻土工程地质条件;
- 2 进行冻土分区;
- 3 初步了解规划河流、河段区域内的冻土工程地质条件,且应重点调查拟建工程的冻土工程地质条件。

11.2.3 规划阶段的冻土工程地质勘察工作应分为准备工作和工程地质勘察工作两部分,并应符合下列规定:

- 1 准备工作应包括资料的搜集和整理、工作地区的现场踏勘、编写工程地质勘察工作大纲;
- 2 工程地质勘察工作应包括了解规划河流、河段、渠线、灌区的冻土工程地质条件,并应重点了解拟建工程的冻土工程地质条

件;应了解梯级坝址及水库的冻土工程地质条件和主要冻土工程地质问题,并应论证梯级兴建工程的冻土工程地质条件。

11.2.4 资料搜集应包括下列内容:

- 1 规划区的区域地质、地形地貌;
- 2 规划区的水文气象资料;
- 3 规划设计的初步方案;
- 4 规划区的冻土研究资料;
- 5 区域开发程度、自然与人类活动的资料;
- 6 工程地质和水文地质的基本资料;
- 7 其他资料,如冻深图、卫片、航片等。

11.2.5 通过对搜集的资料进行整理分析和现场踏勘工作,应编写规划区内的冻土工程地质条件说明书。

11.2.6 冻土工程地质勘察工作大纲应根据规划阶段的设计工作大纲和勘测任务书的总体要求,结合冻土工程地质勘察具体要求进行编制。勘察工作大纲应包括规划区冻土勘察和枢纽区冻土勘察两部分。

11.2.7 规划区冻土工程地质勘察宜采用控制地段法进行,并应符合下列规定:

1 应选择在气候、地质结构、地形地貌等方面典型的控制地段,该控制地段对规划区冻土条件应具有代表性,应能说明规划水利枢纽的冻土条件;

2 控制地段应根据资料整理分析和踏勘后对规划区冻土条件得出的初步分区进行选择。控制地段应与规划水利枢纽相结合;控制地段的数量应根据规划区冻土研究的详细程度、河流大小、规划水利枢纽的多少、冻土条件的变化程度和地形地质条件等确定,宜选 3 个~5 个;

3 控制地段的范围不宜小于 5km~10km,冻土工程地质测绘比例尺可选用 1:50000~1:100000;

4 规划区冻土工程地质勘察应采用现场踏勘,并应辅以调

绘、浅井和小型钻探等综合勘探方法。

11.2.8 规划区的冻土工程地质勘察应了解多年冻土的分布、多年冻土的厚度及其上、下限的深度、季节融化深度、冻土的含水率和融化压缩性质以及各种冻土现象,对季节冻土还应了解季节冻结深度、土的冻胀性和地下水位变化情况。

11.2.9 枢纽区冻土工程地质测绘比例尺,峡谷区可选用 1 : 5000 ~ 1 : 10000,丘陵平原区可选用 1 : 10000 ~ 1 : 50000。冻土工程地质勘探可采用坑探、槽探、地球物理勘探、钻探等方法。沿坝址代表性轴线宜布置 1 个 ~ 3 个钻孔,河床较为开阔的坝址,河床钻孔数量可相应增加。近期开发工程坝址或地质条件较为复杂的坝址宜布置 3 个 ~ 5 个钻孔,其中两岸应至少各有 1 个钻孔。钻孔的深度应超过地温年变化深度。

11.2.10 引调水工程线路应进行冻土工程地质测绘,比例尺可选用 1 : 10000 ~ 1 : 50000,测绘范围宜包括各比选线路两侧各 0.5km ~ 1.0km。应重点调查了解沿线及主要渠系建筑物的冻土工程地质条件和主要冻土工程地质问题。

11.2.11 防洪排涝工程冻土工程地质测绘比例尺可选用 1 : 10000 ~ 1 : 50000,测绘范围应包括线路两侧各 0.5km ~ 1.0km。

11.2.12 灌区工程冻土工程地质测绘比例尺可选用 1 : 10000 ~ 1 : 50000。灌排渠道及渠系建筑物测绘范围宜包括各比选线路两侧各 0.5km ~ 1.0km;灌区冻土水文地质测绘范围应根据灌区规划面积和所处的水文地质单元确定。

11.2.13 河道整治工程冻土工程地质测绘比例尺可选用 1 : 10000 ~ 1 : 50000,测绘范围应包括河道整治地段内的所有工程建筑物,并应满足规划方案的需要。

11.2.14 对规划工程所需的天然建筑材料料场区应进行季节冻结深度、季节融化深度和多年冻土厚度调查。

11.2.15 规划阶段勘察应编制规划区的冻土工程地质勘察报告、冻土分区图,冻土分区图比例尺可采用 1 : 50000,大型河流可采

用 1 : 100000。

11.3 可行性和初步设计阶段勘察

11.3.1 冻土工程地质勘察的主要任务应为冻土工程地质调查与测绘,并应作出冻土工程地质条件及其变化对周围环境影响的评价。工作范围应包括坝址区、引调水工程区、堤防区、水库区、天然建筑材料料场区等。

11.3.2 坝址区冻土工程地质测绘范围应包括各比选坝址、导流工程和枢纽建筑物等有关布置地段;测绘比例尺选择应根据拟建工程的重要性、规模、类型和冻土条件的复杂程度确定,冻土条件复杂地区可采用 1 : 1000,中等复杂地区可采用 1 : 2000,较单一的地区可采用 1 : 5000。当比选地段相距超过 2km 时,可分段进行冻土工程地质测绘,其中间地段应进行较小比例尺的测绘。

11.3.3 坝址区冻土工程地质勘察应符合下列规定:

- 1 应收集当地气象、水文、地温资料;
- 2 应查明冻土及融土的平面分布规律、冻土的类型和温度、冻土层的厚度、土的季节冻结与季节融化深度、冻土构造特征、冻土现象、季节冻土和季节融化层土的冻胀性、冻结前及冻结期间地下水位变化、冻土的物理力学和热学性质;
- 3 应对建筑物地基和接头部位冻土融化后强度的变化、渗透性的变化作出评价,并应提出冻土融化预防与整治方案的建议,对冻土条件复杂地段应作专门研究;
- 4 除应利用规划阶段的钻孔外,尚应根据冻土分布的复杂程度确定是否增加钻孔或补充一部分浅孔和坑探、槽探。多年冻土地基勘探点间距应符合表 11.3.3-1 的规定,控制性勘探点数量不应少于勘探点总数的 1/3。多年冻土地基勘探钻孔深度应符合表 11.3.3-2 的规定;
- 5 应重点调查建筑物边坡可能出现冻融和其他外力作用而

产生滑坡和融陷地段。

表 11.3.3-1 多年冻土地基勘探点间距

冻土分布类型	钻孔间距(m)	
	可行性研究阶段	初步设计阶段
岛状(不连续)多年冻土区	30~40	15~25
大片(连续)多年冻土区	40~60	25~40

注:为查明多年冻土平面分界线时可加密勘探点。

表 11.3.3-2 多年冻土地基勘探钻孔深度

冻土分布类型	钻 孔 类 型	钻 孔 深 度
岛状(不连续) 多年冻土区	控制性钻孔	穿透下限进入稳定地层 不小于 5m,且孔深不小于 20m
	一般性钻孔	穿透下限,且孔深不小 于 15m
大片(连续)多年冻土区	控制性钻孔	一般场地大于 15m;复 杂场地大于 25m
	一般性钻孔	一般场地大于 10m;复 杂场地大于 20m

注:在钻探深度内遇到基岩时可减少钻孔深度。

11.3.4 引调水工程、堤防等长线路工程冻土工程地质测绘范围
沿线两侧不应小于 500m,测绘比例尺选择应根据冻土条件的复杂程度确定,可采用 1:1000~1:5000。

11.3.5 引调水工程、堤防等长线路冻土工程地质勘察应符合下列规定:

- 1 应收集工程沿线气象、水文、地温资料;
- 2 应查明沿线地貌单元、冻土及融土的平面分布规律、冻土层的厚度及其垂直结构、土的季节冻结与季节融化深度、冻土类型、冻土温度、冻土构造特征、冻土现象、季节冻土和季节融化层土的冻胀性、冻土的物理力学和热学性质;

3 应查明沿线井、泉的分布及地下水等情况；

4 应对沿线冻土按冻胀性和融沉性进行分类；

5 应根据冻土分布类型确定勘探点间距，岛状(不连续)多年冻土区勘探点间距不应大于 50m，大片(连续)多年冻土区不应大于 100m，钻孔深度根据工程需要及冻土条件确定。

11.3.6 水库区的冻土工程地质勘察应重点调查因冻土融化可能出现的大型滑坡、崩塌、危岩体及潜在不稳定岸坡的分布位置，并应评价其在天然情况及水库运行后的稳定性；冻土工程地质测绘的比例尺可与工程地质测绘的比例尺要求一致。

11.3.7 对于存在滑坡、渗透破坏性大、膨胀土和分散性土等冻土工程地质条件复杂地段，应作专门研究。

11.3.8 料场的冻土温度、季节融化与冻结深度和总含水率，可利用调查或钻孔测试资料确定，并应评价料场开采对冻土环境的影响。

11.3.9 冻土工程地质勘察报告应包括正文和附图两部分，并应符合下列规定：

1 正文应包括下列内容：

1) 工作过程；

2) 水工建筑物主体工程和附属建筑物、引调水工程、水库区等工程部位冻土的分布、厚度、温度等；

3) 季节冻结和季节融化深度，冻土的物理力学和热学指标；

4) 冻土条件对工程建筑的影响；

5) 工程建筑对冻土环境影响的评价以及对设计的建议等。

2 附图应包括下列内容：

1) 坝址、引调水线路或其他建筑物区冻土工程地质图和剖面图；

2) 冻土综合柱状图；

3) 冻土试验及地温观测图表；

4) 专门性问题的冻土工程地质图和典型断面的冻土剖面图；

5)冻土现象的分布图。

3 附图的比例尺宜与相应的冻土工程地质图比例尺相同,冻土条件简单的可互相合并。

11.4 招标设计和施工详图设计阶段勘察

11.4.1 招标设计和施工详图设计阶段的冻土工程地质勘察应在审查批准的初步设计报告基础上,复核、检验、核定前期勘察的地质资料,查明遗留的工程地质问题,补充论证专门性工程地质问题。

11.4.2 在主体建筑物区内,尚需查证和专门研究的地段应布置钻孔或坑探、槽探,并应取样做专门的补充试验。

11.4.3 冻土工程地质勘探钻孔和坑探、槽探的数量、间距、深度,应根据勘察任务和冻土条件的复杂程度确定。

11.4.4 冻土工程地质勘探应着重对地基和接头部位的冻土条件、冻土融化压缩性和渗透性作更详细的查证。

11.4.5 对水工建筑物区内及库区可能的滑坡、坍岸地段应继续进行观测和必要的补充勘察,并应对设计的防护工程冻土工程地质条件作出评价。

11.4.6 对土石坝特别是土心墙、斜墙的填筑过程中因冻胀、冻缩可能产生的裂缝、沉陷及其他现象,应提出处理措施的建议。

11.4.7 在施工过程中应对主要工程施工地段进行冻土稳定状况的监测。

11.4.8 施工结束后应编写施工中的冻土监测报告。

12 管道冻土工程地质勘察

12.1 一般规定

12.1.1 本章适用于多年冻土地地区输油、气、水管道线路及其穿跨越工程、站场、储罐的冻土工程地质勘察。

12.1.2 管道工程的冻土工程地质勘察可分为可行性研究(选线)勘察、初步勘察及详细勘察三个阶段。在冻土工程地质条件复杂地段,必要时应进行施工勘察,在条件简单或有建筑经验的地区,可简化勘察阶段。

12.1.3 管道工程的冻土工程地质勘察工作应沿管道中线进行,勘察范围应为中线两侧各 100m,遇冻土现象发育地段时应加宽。

12.1.4 管道工程的冻土工程地质勘察应根据不同工程勘察阶段开展冻土工程地质调查与测绘、勘探、取样、试验、观测等工作。

12.1.5 多年冻土地地区工程地质勘察应符合下列规定:

1 勘察前应充分收集管道通过地段的自然条件、管道施工和运行条件等基本资料;

2 应根据工程要求制定勘察方案,合理安排各勘察阶段的季节和时间,逐步查清多年冻土的工程地质条件和对管道工程有影响的冻土现象、成因、发展规律,并应评价其对管道工程的影响,对多年冻土地地区管道工程建设方案应提出建议或意见;

3 宜采用钻探、坑探、槽探、地球物理勘探等综合勘探方法;

4 设计、施工所需要的各项参数,宜通过不同的测试方法综合测定,必要时可根据实际情况进行原位测试、模型试验和实体工程试验;

5 应对勘察场地的冻土工程地质条件进行评价,并应对多年冻土地地区管道工程设计、施工提出建议。

12.1.6 站场、阀室等建、构筑物工程地质勘察应按本规范第 8 章的规定执行。

12.2 可行性研究(选线)勘察

12.2.1 选线勘察阶段,应通过搜集资料、调查与测绘,对线路方案的冻土工程地质条件及拟选穿跨越地段的地基稳定性和适宜性作出评价,并应选择地形地质条件较好、冻土现象不发育、地基处理容易和安全经济的线路方案。

12.2.2 选线勘察工作应符合下列规定:

1 应调查沿线的地形地貌、地质构造、地层岩性、冻土类型和特征、水文地质条件等,并应提供线路比选方案的冻土工程地质条件;

2 越岭地段应重点调查各方案通过地段的地质构造、地层岩性、冻土特征、水文地质和冻土现象等,并应根据地质条件的比选结论推荐线路越岭方案;

3 河流大中型穿跨越地段,应了解河流的冻结特征、冰汛以及有关冻土的物理力学参数和其对构筑物稳定性的影响;

4 线路穿过的湖泊地段,应调查水位波动淹没范围、冻结和湖底融蚀变化以及地下水埋藏深度等,并应对线路影响方案作出评价。

12.2.3 选线阶段勘察报告应说明线路各方案冻土工程地质条件及其对线路的影响,并应提出线路方案的推荐意见。

12.2.4 多年冻土地地区管道的站场、阀室等建、构筑物场址选择,宜避开高含冰量冻土地段、冻土现象发育地段以及对工程有直接危害或潜在威胁的地段。

12.3 初步勘察

12.3.1 线路初步勘察阶段,冻土工程地质勘察工作应包括下列内容:

1 在可行性研究勘察资料的基础上,补充搜集管道通过地段的冻土工程地质及水文地质等资料;

2 在分析、研究可行性研究阶段冻土工程地质分区资料的基础上,按不同的冻土工程地质分区和复杂程度、地貌单元和管道线路工程设计要求,布置勘探孔和冻土地温观测孔;

3 初步查明管道沿线的多年冻土工程类型、分布范围及工程特性;对沿线多年冻土进行初步分区;

4 初步查明管道沿线冻土现象类型、分布、成因与特征,评价其对管道工程的影响和危害;

5 初步查明管道沿线地表水和地下水的类型、分布特征;

6 应进行多年冻土地温观测,查明沿线多年冻土年平均地温特征,结合现场调查、勘探资料分析研究冻土工程地质条件,进行冻土工程地质地温分区;

7 初步查明控制管道走向的冻土特殊地段、河流大中型穿越地段、越岭地段等的冻土工程地质条件;

8 提供评价管道线路工程多年冻土工程地质条件所需的冻土试验成果和勘探资料。

12.3.2 线路初步勘察阶段的冻土工程地质勘探与测试应符合下列规定:

1 勘探点的间距和深度应按表 12.3.2 的规定布置,且每一地貌单元不应少于一个勘探点;

2 在预定勘探深度内遇见基岩时,应穿透强风化层至中等风化层内 2m~3m;

3 代表性多年冻土地段,应设置地温观测孔,地温长期观测孔应按地貌单元布置,其数量应根据冻土工程地质条件的复杂程度和冻土工程地质分区的需要确定,每 5km~10km 宜布置一个,深度应为 15m~20m;

4 每个勘探孔宜现场测定冻土上限。不同冻土工程地质地段应采取代表性土样、水样,相关的物理力学、热学试验和水质分

析应按本规范表 7.2.3 选定。

表 12.3.2 线路工程初步勘察阶段勘探点间距及深度

地基复杂程度	间 距	孔 深
一级(复杂地基)	300m~500m	不小于 8m
二级(中等复杂)	500m~1000m	不小于 8m 或 2 倍的多年冻土区天然上限深度
三级(简单地基)	按地貌单元	多年冻土区天然上限以下 1m~3m

12.3.3 穿越工程初步勘察阶段冻土工程地质勘探、测试应符合下列规定：

- 1 应采用综合勘探方法,划分河流融区与多年冻土的界线;
- 2 勘探点应布置在拟定的穿越中线位置的上游 15m~20m 处,勘探点间距应根据穿越工程地段的冻土工程地质条件的复杂性确定,宜为 100m~200m,每一个方案不应少于 3 个,控制性勘探点数量不宜少于勘探点总数的 1/3;
- 3 勘探孔的深度应根据设计要求确定,一般性勘探孔深度自河底起算应为 10m~20m,控制性勘探孔深度自河底起算应为 20m~30m;当遇有高含冰量多年冻土层时,应加深或穿透;
- 4 应采取岩样、土样进行冻土物理力学及热学性质分析试验;
- 5 应采取地表水、地下水水样进行水质分析。

12.3.4 隧道工程初步勘察阶段的冻土工程地质勘探、测试应符合下列规定：

- 1 应查明隧道通过地段多年冻土的分布、特征以及地下水的类型、补给、径流、排泄条件及动态特征;
- 2 洞口及浅埋地段应有钻孔控制,洞身应根据地质条件的复杂程度布置钻孔;陆上隧道勘探点间距宜为 400m~600m,水下隧道勘探点间距宜为 100m~300m,地质条件复杂隧道不宜少于 3 个勘探点;

3 陆上隧道勘探孔深度应达到隧道底板以下 3m~10m,水下隧道勘探孔深度应达到隧道底板以下 10m~20m,冻土条件复杂时可加深;

4 长大隧道、地质条件复杂隧道,可根据需要进行地温、地下水 and 气温等项目的观测。

12.3.5 跨越工程初步勘察阶段的冻土工程地质勘探、测试应符合下列规定:

1 勘探点在拟定的跨越中线布置,间距应为 100m~200m,每个方案不应少于 2 个勘探点,冻土条件复杂或沟谷较宽时,不应少于 3 个勘探点,控制性勘探点数量不应少于勘探点总数的 1/3;

2 勘探点深度应按工程需要确定,并应符合本规范表 8.3.4 的规定;

3 应根据工程需要测定冻土总含水率、密度及物理力学及热学性质,并应采取水样进行水质分析。

12.3.6 储罐工程场地多年冻土初步勘察勘探点的间距可按表 12.3.6 确定,局部异常地段应予以加密。

表 12.3.6 储罐工程初步勘察阶段勘探点间距

地基复杂程度等级	勘探点间距(m)
一级(复杂地基)	50~100
二级(中等复杂地基)	75~150
三级(简单地基)	100~200

注:控制性勘探点数量不宜少于勘探点总数的 1/5,每个地貌单元均应有控制性勘探点,且每个场地不应少于 3 个。

12.3.7 储罐工程多年冻土初步勘察勘探孔的深度,宜按表 12.3.7 确定。

表 12.3.7 储罐工程初步勘察阶段勘探孔深度

储罐直径 D (m)	勘探孔深度(m)
$D < 20$	$1.0D \sim 1.5D$
$20 \leq D < 30$	$0.8D \sim 1.4D$

续表 12.3.7

储罐直径 $D(\text{m})$	勘探孔深度 (m)
$30 \leq D < 46$	$0.7D \sim 1.2D$
$46 \leq D < 60$	$0.6D \sim 1.1D$
$60 \leq D < 80$	$0.5D \sim 1.0D$
$80 \leq D < 100$	$0.5D \sim 0.9D$
$D \geq 100$	$0.5D \sim 0.9D$

注:1 控制性钻孔采用大值,一般性钻孔采用小值;遇富冰冻土、饱冰冻土、含土冰层高含冰量冻土或纯冰层取大值。

2 在预定深度内遇基岩时,控制性孔应钻入中等风化层不少于 3m,其他勘探孔达到中等风化层后即可终止钻进。

3 当预定深度有饱冰冻土、含土冰层、纯冰层时,勘探孔深度应增加。

12.3.8 冻土初步勘察资料宜包括下列内容:

1 文字部分应包括下列内容:

- 1)工程概况和勘察工作概况;
- 2)多年冻土分布和冻土工程地质条件;
- 3)各类冻土的主要物理力学及热学参数;
- 4)对冻土工程地质条件复杂地段和冻土现象发育地段提出建议和评价;
- 5)提出下一步勘察中应解决的冻土工程问题。

2 图表部分应包括下列内容:

- 1)冻土工程地质分区图;
- 2)线路冻土工程地质纵断面图;
- 3)勘探、测试、观测及影像资料等。

12.4 详细勘察

12.4.1 线路详细勘察应在已确定的线路中线上进行,应详细查明沿线的冻土工程地质、水文地质条件和冻土现象,并应评价冻土工程地质条件,同时应提供设计所需要的冻土参数,应提出工程措施建议。

12.4.2 线路详细勘察阶段应包括下列内容:

1 查明多年冻土的类型、分布范围及上限深度,必要时还应查明下限深度;

2 查明多年冻土工程类型、厚度、总含水率、构造特征、物理力学和热学性质;

3 查明多年冻土层上水、层间水和层下水的赋存形式、相互关系及其对工程的影响;

4 查明多年冻土的融沉性分级和季节融化层土的冻胀性分级;

5 查明冻土现象的形态特征、形成条件、分布范围、发生发展规律及其对工程的影响和危害程度;

6 设立地温观测点,进行地温观测,查明多年冻土的年平均地温。

12.4.3 线路详细勘察阶段冻土工程地质勘察工作应符合下列规定:

1 详细勘察阶段可采用钻探、坑探、槽探、地球物理勘探等综合勘探方法,勘探点间距及深度应能控制沿线地层和冻土分布,线路工程详细勘察阶段勘探点间距及深度可按表 12.4.3 确定;

2 应在分析沿线多年冻土特征和冻土工程地质条件、分区情况的基础上,根据工程需要在高含冰量冻土区、冻土现象发育区段布置地温观测孔,孔深宜为 15m~20m,并应进行长期地温观测;

3 应采取各类冻土的代表性土样、水样进行试验,对冻土工程地质条件复杂地段,宜在现场进行冻土参数测定。

表 12.4.3 线路工程详细勘察阶段勘探点间距及深度(m)

地基复杂程度	孔 间 距	孔 深
一级(复杂地基)	200~300	10~15
二级(中等复杂)	300~400	8~10
三级(简单地基)	400~500	8(或 2 倍天然上限深度)

注:在预计勘探深度内遇基岩,钻孔深度宜进入中等风化岩层 2m~3m。

12.4.4 穿越工程详细勘察阶段勘探点间距及深度应能控制沿线地层和冻土分布,冻土工程地质条件复杂地段应加密,勘探、取样

和测试应符合下列规定：

1 对于开挖穿越方式,勘探点应布置在穿越管道的中线上,偏离中心线不应大于 3m,勘探点间距宜为 30m~100m,勘探点深度宜钻至管道埋置深度以下 3m~5m;

2 对于非开挖的穿越方式,应在穿越管道的中线两侧 15m~20m 处各布置一条勘探线,两条勘探线上的勘探点应交错布置,勘探点投影到管道中线的间距宜为 30m~100m,对地基复杂程度等级为一级时应取小值,三级时应取大值,勘探点深度宜钻至设计深度以下 3m~5m,顶管穿越在竖井处应单独布置勘探点;

3 采取冻土试样和原位测试的勘探点数量,宜占勘探孔总数的 $1/2 \sim 2/3$ 。其取样竖向间距视冻土(岩)层结构、冻结地基土的均匀性确定,每个场地每一主要土层的试样或原位测试数据不应少于 6 件(组)。

12.4.5 隧道工程详细勘察,应符合下列规定:

1 应查明隧道通过地段多年冻土工程地质条件、分布特征,以及地下水的类型、补给、排泄条件及动态特征,必要时查明多年冻土的下限深度;

2 隧道工程进出口应布置勘探点,洞身应根据地质条件的复杂程度布置勘探点,陆上隧道勘探点间距应为 200m~400m,水下隧道勘探点间距应为 50m~200m,每一隧道不应少于 3 个勘探点;

3 勘探孔应布设于隧道两侧 6m~8m 处,对水下隧道勘探孔应布设于隧道两侧 15m~20m 处,并按左右交错布置;

4 陆上隧道勘探孔深度应超过隧道底板以下 3m~10m,水下隧道勘探孔深度应超过隧道底板以下 10m~20m,冻土条件复杂时可加深;

5 长大隧道、地质条件复杂隧道,应根据工程需要进行地温、地下水和气温等项目的观测。

12.4.6 跨越工程详细勘察可采用综合勘探方法进行,勘探点的数量应按表 12.4.6 确定。

表 12.4.6 跨越工程详细勘察阶段勘探点数量

地基复杂程度等级	管墩/塔架基础(个)	锚固墩(个)
一级(复杂地基)	4	2
二级(中等复杂)	3	1
三级(简单地基)	2	1

12.4.7 跨越工程详细勘察阶段勘探点的深度应符合下列规定:

1 天然地基,勘探点深度应达到基础底面以下 2 倍~3 倍的基础宽度,且不应小于 8m 或 2 倍的多年冻土上限深度;

2 桩基勘探点深度宜达到桩端以下 5m,遇有含土冰层、软弱土层、高含冰量土层时,应穿透该层,并应进入低含冰量冻土层深度不小于 3m;

3 当遇到基岩时,应钻入中等风化层内 2m~3m,当强风化层很厚时,进入深度不应小于 10m。

12.4.8 储罐工程详细勘察应查明每个储罐地基压缩层计算深度内的岩土分布及其物理力学性质,影响地基稳定的不良地质作用,以及地下水成因、类型、补给排泄条件和腐蚀性等。

12.4.9 储罐工程详细勘察的勘探工作,在低含冰量冻土地区且土层较薄地段勘探点的数量、间距应满足表 12.4.9 的规定;对冻土层厚度较大或高含冰量冻土地区储罐直径大于 40m 时,工程勘察应根据设计要求进行专项研究。

表 12.4.9 储罐工程详细勘察阶段勘探点数量及布置方式

储罐直径 D (m)	勘探点数量(个)	勘探点布置方式
$D < 20$	1~3	可布置在罐中心或沿周边布置
$20 \leq D < 30$	3~5	储罐中心 1 个,其余沿储罐周边均布
$30 \leq D < 46$	5~7	
$46 \leq D < 60$	7~9	

续表 12.4.9

储罐直径 $D(\text{m})$	勘探点数量(个)	勘探点布置方式
$60 \leq D < 80$	9~13	储罐中心 1 个,其余按同心圆均布
$80 \leq D < 100$	13~17	
$D \geq 100$	≥ 23	

注:1 地质条件复杂时,表中勘探点数量宜增加一级。

2 表中同一级别下储罐直径大勘探点数量取大值,储罐直径小勘探点数量取小值。

12.4.10 储罐工程勘探孔深度应满足变形计算要求;在预计深度内当冻土层下伏为基岩时,应穿透冻土层,且应进入中等风化基岩 2m~3m。

12.4.11 冻土详细勘察报告,应包括下列内容:

1 文字部分应包括重点论述冻土和融区分布、特征,冻土工程类型和冻土构造,地下冰层分布特点,冻土物理力学性质,地基处理方案建议等内容;

2 图表部分应包括修正完善全线的线路冻土工程地质分区图、冻土工程地质纵断面图、冻土工程地质横断面图及冻土工程地质柱状图,比例尺根据工程需要确定,勘探、测试、试验、地温观测等资料及其他有关图表。

12.5 施 工 勘 察

12.5.1 在工程施工期间,发现新的冻土工程地质问题时,应进行施工勘察。

12.5.2 施工阶段的勘察宜包括下列内容:

1 分析初勘、详勘资料,掌握沿线冻土工程地质条件及冻土现象,预测施工中可能遇到的冻土工程问题和冻土环境问题;

2 根据施工中所遇到和发生的冻土工程问题,进行补充勘察,提出变更设计、工程处理措施的建议和施工注意事项;

3 在工程施工期间,对预测到可能发生的冻土融沉、边坡滑

塌等现象,应进行监测,并对冻土环境影响进行评价。

12.5.3 施工勘察阶段的资料应包括下列内容:

1 文字部分应包括施工勘察报告包括施工勘察说明、施工中遇到的冻土工程问题、勘察过程及成果、处理措施、运营期间注意事项、监测布设情况等;

2 图表部分应包括修正、补充线路多年冻土工程地质纵断面图和其他相关图表。

13 架空送电线路冻土工程地质勘察

13.1 一般规定

13.1.1 本章适用于多年冻土地区 110kV 及以上的高压架空送电线路等的冻土工程地质勘察。

13.1.2 架空送电线路的冻土工程地质勘察可分为可研勘察、初步勘察与施工图勘察三个阶段。

13.1.3 架空送电线路的冻土工程地质勘察应根据勘察阶段、线路复杂程度和勘察作业条件等因素采用综合性的勘察方法。

13.1.4 架空送电线路沿线冻土条件特别复杂,且通过常规勘察工作无法查明塔基岩土条件时,应开展施工勘察工作。

13.1.5 架空送电线路塔基的基础形式应结合沿线冻土工程地质条件、杆塔基础施工条件、杆塔类型及冻土地基的设计原则等因素综合确定。

13.1.6 冻土区架空线路工程的基础施工应做好基槽的检验工作,必要时应开展补充勘察工作。

13.2 可研勘察

13.2.1 可研勘察应调查了解线路走廊的冻土工程地质条件,并应论证拟选路径可行性与适宜性。

13.2.2 可研勘察阶段应进行下列工作:

1 搜集各路径沿线区域冻土资料,包括冻土分布、类型、基本特征等;

2 调查了解各路径沿线地形地貌、地质构造、地层岩性、水文地质条件等;

3 调查了解各路径沿线冻土现象的类型、分布规律、发展趋势

势以及对拟建工程的影响；

4 搜集各路径沿线地区冻土地基处理与设计等工程建设经验。

13.2.3 可研阶段勘察方法应是搜集资料和现场踏勘，内容应包括对路径方案进行比选分析，提出各路径的主要冻土工程问题，论证路径方案的适宜性和提出下阶段勘察工作建议。

13.3 初步勘察

13.3.1 初步勘察应确定线路重要跨越地段及塔基的初步基础方案。

13.3.2 勘察方法应以补充搜集资料结合现场踏勘调查为主，对于特殊设计的大跨越地段以及冻土现象发育地段，当上述工作不能满足要求时，可进行必要的工程地质测绘或适量的勘探工作。

13.3.3 初步勘察应包括下列内容：

1 搜集标有线路路径方案的 1：10000～1：50000 比例尺地形图；

2 调查地形地貌、多年冻土厚度、年平均地温、冻土工程类型、水文地质条件、冻土现象和冻土微地貌特征、季节冻结与季节融化深度等，并进行综合评价；

3 对特殊设计的跨越大型沟谷、河流等地段，应查明两岸冻土地基在自然条件下的稳定性，并提出最优跨越方案。

13.3.4 选择架空送电线路路径及其大跨越地段时，应综合考虑气象、地形地貌、冻土分布状况、施工与交通条件、河流岸坡地带的地基稳定性等因素。

13.3.5 初步勘察报告应按地貌单元分区段论述各方案冻土工程地质条件，评价冻土现象的发育程度及其危害性，并应提出避让或整治措施建议，以及推荐最优线路路径方案。

13.4 施工图勘察

13.4.1 施工图勘察应在初步勘察的基础上进行线路定位勘察。

13.4.2 施工图勘察前应包括下列资料：

- 1 勘察任务书,内容宜包括塔型、塔高、档距及对勘察的特殊要求等；
- 2 设计部门编制的定位手册或有关文件；
- 3 前期勘察报告、相关的勘察报告及其他相关资料。

13.4.3 施工图勘察对架空线路工程中的转角塔、耐张塔、终端塔及大跨越塔等重要塔基及冻土工程地质条件复杂地段,应逐基勘探,对直线塔和冻土工程地质条件简单的地段可隔 1 基~2 基布置一个勘探点,并应符合下列规定：

- 1 应查明塔基及其附近冻土工程类型、冻土现象、地下冰埋藏条件、冻融深度、水文地质和地表水情况,并应进行冻土的物理力学特性指标试验；
- 2 应查明多年冻土地区内融区分布、成因及其与冻土条件、人类活动的关系；
- 3 应查明多年冻土的年平均地温。

13.4.4 架空线路施工图勘察阶段应按地貌单元布置地温长期观测孔,并应进行地温观测,观测孔深度不应小于地温年变化深度。

13.4.5 施工图勘察的勘探孔深度应根据杆塔的受力性质、基础型式和冻土工程地质条件综合确定,并应符合下列规定：

- 1 宜为基础埋深以下 1 倍~1.5 倍基础底面宽度,且不应小于 2 倍~3 倍的天然上限,遇高含冰量冻土时应予以加深或穿透；
- 2 对于桩基础应超过桩端下 2.0m；
- 3 测量地温钻孔深度应为 16.0m~20.0m。

13.4.6 施工图勘察报告应论述各个塔位的冻土工程地质条件,并应提出冻土地基的利用原则、测试报告、计算成果、钻孔柱状图、推荐的基础方案和施工时所采取的 necessary 措施等。

附录 A 中国冻土类型及分布

A.0.1 冻土可根据冻土冻结状态持续时间的长短按表 A.0.1 划分。

表 A.0.1 冻土按冻结状态持续时间分类

类型	冻结状态持续时间(T)	地面温度($^{\circ}\text{C}$)特征	冻融特征
多年冻土	$T \geq 2$ 年	年平均地面温度 ≤ 0	季节融化
隔年冻土	$1 \text{ 年} \leq T < 2 \text{ 年}$	最低月平均地面温度 ≤ 0	季节冻结
季节冻土	$T < 1$ 年	最低月平均地面温度 ≤ 0	季节冻结

A.0.2 多年冻土的类型和分布可按其形成和存在的自然条件不同,分为高纬度多年冻土和高海拔多年冻土。

A.0.3 在多年冻土地区可根据活动层与下卧土层的类别及其衔接关系,按表 A.0.3 的规定划分。

表 A.0.3 季节活动层的类型和分布

类型	年平均地温($^{\circ}\text{C}$)	最大厚度(m)	下卧土层	分布地区
季节冻结层	> 0	2~3(或更厚)	融土层或不衔接的多年冻土层	多年冻土区的融区地带
季节融化层	< 0	2~3(或更厚)	衔接的多年冻土层	多年冻土区的大片多年冻土地带

附录 B 冻土的含冰特征与定名

表 B 冻土的含冰特征与定名

土类	含冰特征		冻土定名
未冻土	处于非冻结状态的土(岩)	按现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 进行定名	—
冻土	肉眼看不见分凝冰的冻土(N)	胶结性差,易碎的冻土(N_f)	少冰冻土(S)
		无过剩冰的冻土(N_{bn})	
		胶结性良好的冻土(N_b)	
		有过剩冰的冻土(N_{bc})	
	肉眼可见分凝冰,但冰层厚度小于 25mm 的冻土(V)	单个冰晶体或冰包裹体的冻土(V_x)	多冰冻土(D)
		在颗粒周围有冰膜的冻土(V_c)	
		不规则走向的冰条带冻土(V_r)	
		层状或明显定向的冰条带冻土(V_s)	
厚层冰	冰厚度大于 25mm 的含土冰层或纯冰层(ICE)	含土冰层(ICE+土类符号)	含土冰层(H)
		纯冰层(ICE)	纯冰层(ICE)

附录 C 冻土物理力学参数

C.0.1 冻土物理力学参数应由试验确定。当无试验条件时,可按本规范第 C.0.3 条选用。

C.0.2 冻土、未冻土热物理指标计算应符合下列规定:

1 冻土和未冻土的容积热容量、导热系数和导温系数可按土类、天然含水率及干密度测定数值,可分别按表 C.0.2-1~表 C.0.2-4 取值。高含水(冰)率土的导热系数在无实测资料时,可按表 C.0.2-5 取值。表列数值可线性插值。

2 相变热可按下式计算:

$$Q = \theta \times \rho_d (\omega - \omega_u) \quad (\text{C.0.2-1})$$

式中: Q ——相变热;

θ ——水的结晶或冰的融化潜热,一般热工计算中,取 334.56kJ/kg;

ρ_d ——土的干密度;

ω ——土的天然含水率(总含水率);

ω_u ——冻土中的未冻含水率。

3 冻土中的未冻含水率,宜通过试验确定,无试验条件时,无外荷状态下可用下列公式估算:

黏性土:

$$\omega_u = \omega_p k(T) \quad (\text{C.0.2-2})$$

砂土:

$$\omega_u = \omega [1 - i(T)] \quad (\text{C.0.2-3})$$

式中: ω_p ——塑限,以小数计;

k ——温度修正系数,以小数计,查表 C.0.2-6;

i ——含冰率(冰质量与总水质量之比),以小数计,查表

C. 0. 2-6;

T ——温度($^{\circ}\text{C}$)。

表 C. 0. 2-1 草炭粉质黏土计算热参数取值

ρ_d (kg/m^3)	ω (%)	$\text{kJ}/(\text{m}^3 \cdot ^{\circ}\text{C})$		$\text{W}/(\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C})$		m^2/h	
		C_u	C_f	λ_u	λ_f	a_u	a_f
400	30	903.3	710.9	0.13	0.13	0.00050	0.00062
	50	1237.9	878.2	0.19	0.22	0.00052	0.00092
	70	1572.4	1045.5	0.23	0.37	0.00054	0.00126
	90	1907.0	1212.8	0.29	0.53	0.00056	0.00159
	110	2241.6	1380.1	0.35	0.72	0.00057	0.00187
	130	2576.1	1547.3	0.41	0.88	0.00057	0.00206
500	30	1129.1	890.8	0.17	0.17	0.00054	0.00069
	50	1547.3	1099.9	0.24	0.31	0.00056	0.00130
	70	1965.5	1309.0	0.32	0.51	0.00059	0.00140
	90	2383.7	1518.1	0.41	0.74	0.00061	0.00176
	110	2801.9	1727.2	0.49	1.00	0.00062	0.00208
	130	3220.1	1936.3	0.56	1.24	0.00063	0.00231
600	30	1355.0	1066.4	0.22	0.22	0.00057	0.00076
	50	1856.6	1317.3	0.31	0.42	0.00061	0.00115
	70	2358.6	1568.3	0.42	0.68	0.00064	0.00156
	90	2860.5	1819.2	0.53	0.99	0.00067	0.00196
	110	3362.3	2070.1	0.63	1.32	0.00068	0.00229
	130	3864.2	2321.0	0.75	1.61	0.00068	0.00251
700	30	1580.8	1246.2	0.27	0.30	0.00061	0.00087
	50	2166.3	1539.0	0.39	0.56	0.00066	0.00130
	70	2375.4	1831.7	0.53	0.88	0.00070	0.00174
	90	3337.2	2124.5	0.66	1.26	0.00071	0.00214
	110	3922.7	2417.2	0.79	1.67	0.00073	0.00250
	130	4508.2	2709.9	0.92	2.01	0.00073	0.00277

续表 C.0.2-1

ρ_d (kg/m ³)	ω (%)	kJ/(m ³ · °C)		W/(m · °C)		m ² /h	
		C_u	C_f	λ_u	λ_f	a_u	a_f
800	30	1806.6	1421.9	0.32	0.37	0.00065	0.00094
	50	2475.7	1756.4	0.48	0.68	0.00070	0.00141
	70	3144.9	2091.0	0.64	1.09	0.00073	0.00187
	90	3814.0	2425.6	0.80	1.55	0.00076	0.00232
	110	4483.1	2760.1	0.96	2.05	0.00077	0.00268
	130	5152.2	3094.7	1.10	2.47	0.00078	0.00288
900	30	1171.0	1342.4	0.38	0.46	0.00068	0.00103
	50	2785.2	1978.1	0.57	0.85	0.00073	0.00153
	70	3538.0	2354.5	0.75	1.32	0.00077	0.00203
	90	4290.7	2370.8	0.95	1.63	0.00080	0.00249
	110	5043.5	3107.2	1.14	2.46	0.00082	0.00286
	130	5796.3	3483.6	1.32	2.92	0.00082	0.00302

注: ρ_d 为干密度; ω 为含水率; λ 为导热系数; a 为导温系数; C 为容积热容量; 脚标 u 为未冻土、 f 为冻土。

表 C.0.2-2 粉土、粉质黏土计算热参数取值

ρ_d (kg/m ³)	ω (%)	kJ/(m ³ · °C)		W/(m · °C)		m ² /h	
		C_u	C_f	λ_u	λ_f	a_u	a_f
1200	5	1254.6	1179.3	0.26	0.26	0.00073	0.00076
	10	1505.5	1405.2	0.43	0.41	0.00102	0.00104
	15	1756.4	1530.6	0.58	0.58	0.00119	0.00137
	20	2007.4	1656.1	0.67	0.79	0.00121	0.00171
	25	2258.3	1781.5	0.72	1.04	0.00114	0.00210
	30	2509.2	1907.0	0.79	1.28	0.00113	0.00240
	35	2760.1	2032.5	0.86	1.45	0.00112	0.00257

续表 C.0.2-2

ρ_d (kg/m ³)	ω (%)	kJ/(m ³ · °C)		W/(m · °C)		m ² /h	
		C_u	C_f	λ_u	λ_f	a_u	a_f
1300	5	1359.2	1279.7	0.30	0.29	0.00080	0.00080
	10	1631.0	1522.2	0.50	0.48	0.00111	0.00112
	15	1902.8	1660.3	0.71	0.71	0.00133	0.00147
	20	2174.6	1794.0	0.79	0.92	0.00131	0.00185
	25	2446.5	1932.1	0.84	1.21	0.00123	0.00225
	30	2718.3	2065.9	0.90	1.46	0.00119	0.00255
	35	2990.1	2203.9	0.97	1.67	0.00118	0.00274
1400	5	1463.7	1375.9	0.36	0.35	0.00087	0.00090
	10	1756.4	1639.3	0.59	0.57	0.00122	0.00122
	15	2049.8	1785.7	0.84	0.79	0.00146	0.00158
	20	2341.9	1932.1	0.94	1.06	0.00144	0.00196
	25	2634.7	2496.7	0.97	1.39	0.00133	0.00241
	30	2927.4	2224.8	1.06	1.68	0.00132	0.00273
	35	3220.1	2371.2	1.18	1.93	0.00132	0.00292
1500	5	1568.3	1476.2	0.41	0.41	0.00093	0.00098
	10	1881.9	1756.4	0.67	0.65	0.00128	0.00132
	15	2191.4	1907.0	0.96	0.91	0.00158	0.00171
	20	2509.2	2070.1	1.09	1.22	0.00157	0.00212
	25	2822.9	2229.0	1.13	1.58	0.00144	0.00255
	30	3136.5	2383.7	1.24	1.89	0.00143	0.00285
	35	3450.2	2542.7	1.36	2.12	0.00142	0.00301
1600	5	1672.8	1572.4	0.46	0.46	0.00101	0.00105
	10	2425.6	1873.5	0.78	0.74	0.00140	0.00142
	15	2541.9	2040.8	1.11	1.02	0.00172	0.00181
	20	2676.5	2208.1	1.24	1.38	0.00167	0.00225
	25	3011.0	2375.4	1.28	1.80	0.00152	0.00273
	30	3345.6	2542.7	1.42	2.12	0.00152	0.00301
	35	3680.2	2709.9	1.54	2.40	0.00151	0.00320

表 C.0.2-3 含碎石粉质黏土计算热参数取值

ρ_d (kg/m ³)	ω (%)	kJ/(m ³ · °C)		W/(m · °C)		m ² /h	
		C_u	C_f	λ_u	λ_f	a_u	a_f
1200	3	1154.2	1053.9	0.23	0.22	0.00072	0.00077
	7	1355.0	1154.2	0.34	0.37	0.00091	0.00115
	10	1505.5	1229.5	0.43	0.52	0.00103	0.00152
	13	1656.1	1304.8	0.53	0.71	0.00116	0.00196
	15	1756.4	1355.0	0.59	0.85	0.00121	0.00226
	17	1856.8	1405.2	0.60	0.94	0.00126	0.00242
1400	3	1346.6	1229.5	0.34	0.32	0.00089	0.00097
	7	1580.8	1346.6	0.50	0.53	0.00115	0.00144
	10	1756.4	1434.4	0.65	0.74	0.00133	0.00186
	13	1932.1	1522.2	0.79	0.97	0.00148	0.00230
	15	2049.2	1580.8	0.88	1.14	0.00155	0.00259
	17	2166.3	1639.3	0.92	1.24	0.00153	0.00273
1600	3	1539.0	1405.2	0.46	0.45	0.00107	0.00117
	7	1806.6	1539.0	0.68	0.74	0.00138	0.00173
	10	2007.4	1639.3	0.89	1.00	0.00161	0.00220
	13	2208.1	1739.7	1.10	1.29	0.00180	0.00266
	15	2341.9	1806.6	1.28	1.45	0.00187	0.00290
	17	2475.7	1873.5	1.42	1.57	0.00196	0.00302
1800	3	1731.3	1580.8	0.60	0.60	0.00125	0.00238
	7	2032.5	1731.3	0.92	0.97	0.00162	0.00243
	10	2258.3	1844.3	1.17	1.31	0.00187	0.00256
	13	2484.1	1957.2	1.45	1.65	0.00210	0.00303
	15	2634.7	2032.5	1.60	1.82	0.00219	0.00323
	17	2785.2	2107.7	1.71	1.93	0.00221	0.00328

表 C. 0. 2-4 砾砂计算热参数取值

ρ_d (kg/m ³)	ω (%)	kJ/(m ³ · °C)		W/(m · °C)		m ² /h	
		C_u	C_f	λ_u	λ_f	a_u	a_f
1400	2	1229.5	1083.1	0.42	0.49	0.00123	0.00162
	6	1463.7	1200.2	0.96	1.14	0.00236	0.00342
	10	1697.9	1317.3	1.17	1.43	0.00240	0.00341
	14	1932.1	1434.4	1.29	1.67	0.00240	0.00420
	18	2166.3	1555.5	1.39	1.86	0.00227	0.00431
1500	2	1317.3	1162.6	0.50	0.59	0.00136	0.00184
	6	1568.3	1288.1	1.09	1.32	0.00251	0.00370
	10	1819.2	1413.5	1.30	1.60	0.00258	0.00408
	14	2070.1	1539.0	1.44	1.87	0.00251	0.00438
	18	2321.0	1664.4	1.52	2.08	0.00237	0.00450
1600	2	1405.2	1237.9	0.61	0.73	0.00156	0.00213
	6	1672.8	1371.7	1.28	1.60	0.00174	0.00421
	10	1940.4	1505.5	1.48	1.86	0.00275	0.00444
	14	2208.1	1639.3	1.64	2.15	0.00267	0.00472
	18	2468.4	1773.2	1.69	2.35	0.00247	0.00479
1700	2	1493.0	1317.3	0.77	0.94	0.00185	0.00252
	6	1777.4	1459.5	1.47	1.91	0.00299	0.00473
	10	2061.7	1601.7	1.68	2.20	0.00294	0.00496
	14	2346.1	1743.9	1.84	2.48	0.00284	0.00513
	18	2630.5	1886.1	1.95	2.69	0.00266	0.00514
1800	2	1580.8	1392.6	0.95	1.19	0.00217	0.00309
	6	1882.7	1543.2	1.71	2.27	0.00327	0.00531
	10	2183.0	1693.7	1.91	2.61	0.00317	0.00556
	14	2484.1	1844.3	2.09	2.85	0.00302	0.00558
	18	2785.2	1994.8	2.18	3.05	0.00285	0.00551

表 C.0.2-5 高含水(冰)率土的导热系数

红色粉质黏土				黄色粉土							
青海风火山				兰州							
ρ_d (kg/m ³)	ω (%)	W/(m·℃)		ρ_d (kg/m ³)	ω (%)	W/(m·℃)					
		λ_u	λ_f			λ_u	λ_f				
380	202.4	0.73	2.15	400	200.0	—	2.13				
680	109.2	0.94	2.06	700	100.0	—	2.08				
900	78.2	1.03	1.97	1000	55.8	—	2.05				
1000	60.0	1.08	1.95	1200	40.0	1.94	2.02				
1100	50.0	1.08	1.95	1400	35.0	1.86	1.91				
1200	44.9	1.09	1.88	1400	30.0	1.72	1.81				
1200	34.3	1.09	1.67	—	—	—	—				
草炭粉土		草根(皮)			草炭粉质黏土						
西藏两道河		西藏两道河			东北满归						
ρ_d (kg/ m ³)	ω (%)	W/ (m·℃)		ρ_d (kg/ m ³)	ω (%)	W/ (m·℃)		ρ_d (kg/ m ³)	ω (%)	W/ (m·℃)	
		λ_u	λ_f			λ_u	λ_f			λ_u	λ_f
100	960.0	—	1.86	100	840	—	1.62	100	884.0	—	1.68
200	428.8	—	2.16	200	400	0.68	1.86	200	423.2	—	1.91
300	300.0	—	2.25	200	300	0.57	1.32	300	260.3	0.51	1.90
300	284.4	—	1.98	200	250	0.46	0.86	350	213.5	0.45	1.46
400	180.8	—	2.03	200	200	0.39	0.65	350	200.0	0.43	1.30
500	143.3	—	2.06	200	150	0.27	0.46	350	119.3	0.31	0.57
700	138.1	—	2.13	200	100	0.23	0.26	400	175.2	0.55	1.58
—	—	—	—	300	250	0.65	1.65	400	100.0	0.36	0.80
—	—	—	—	300	180	0.45	1.07	—	—	—	—
—	—	—	—	300	150	0.41	0.93	—	—	—	—
—	—	—	—	300	130	0.36	0.68				
—	—	—	—	300	110	0.36	0.57				

表 C.0.2-6 不同温度下的修正系数和结冰率数值表

土名	塑性指数	i, k	温度 $T(^{\circ}\text{C})$						
			-0.2	-0.5	-1.0	-2.0	-3.0	-5.0	-10
砂土	—	i	0.65	0.78	0.85	0.92	0.93	0.95	0.98
粉土	$I_p \leq 10$	k	0.7	0.50	0.30	0.20	0.15	0.15	0.10
粉质	$10 < I_p \leq 13$	k	0.9	0.65	0.50	0.40	0.35	0.30	0.25
黏土	$13 < I_p \leq 17$	k	1.0	0.80	0.70	0.60	0.50	0.45	0.40
黏土	$17 < I_p$	k	1.1	0.90	0.80	0.70	0.60	0.55	0.50
泥炭粉 质黏土	$15 < I_p \leq 17$	k	0.5	0.40	0.35	0.30	0.25	0.25	0.20

注：表中粉质黏土 $I_p > 13$ 及黏土 $I_p > 17$ 两档数据仅供参考。

C.0.3 冻土强度指标应符合下列规定：

1 冻土地基承载能力，可根据规范规定的建筑物安全等级要求进行试验确定。不能进行原位试验确定时，冻土承载力特征值可按表 C.0.3-1 确定。

表 C.0.3-1 冻土承载力特征值 f_a (kPa)

地温($^{\circ}\text{C}$) 土 名	-0.5	-1.0	-1.5	-2.0	-2.5	-3.0
碎砾石类土	800	1000	1200	1400	1600	1800
砾砂、粗砂	650	800	950	1100	1250	1400
中砂、细砂、粉砂	500	650	800	950	1100	1250
黏土、粉质黏土、粉土	400	500	600	700	800	900
含土冰层	100	150	200	250	300	350

注：1 冻土“极限承载力”按表数值乘以 2。

2 表中数值适用于本规范“多年冻土的融沉性分级表 3.2.2”中 I、II、III 类的冻土工程类型。

3 冻土含水率属于本规范表 3.2.2 中 IV 类时，黏性土取值乘以 0.8~0.6，含水率接近 III 类取值乘以 0.8，接近 V 类取值乘以 0.6，中间取中值。块卵石土、碎砾石土和砂土取值乘以 0.6~0.4，含水率接近 III 类取值乘以 0.6，接近 V 类取值乘以 0.4，中间取中值。

4 含土冰层指包裹冰含率为 0.4~0.6。

5 当含水率小于或等于未冻水率，按不冻土取值。

6 表中温度是使用期间基础底面下的最高地温。

7 本表不适用于盐渍化冻土、冻结泥炭化土。

2 在无试验资料的情况下,桩端冻土承载力值应按表 C.0.3-2确定,盐渍化冻土应按表 C.0.3-3 确定,冻结泥炭化土应按表 C.0.3-4 确定。

表 C.0.3-2 桩端冻土端阻力特征值 q_{tpa} (kPa)

土 名		桩沉入深度 (m)	不同温度(℃)时的承载特征值(kPa)					
			—1.0	—1.5	—2.0	—2.5	—3.0	—3.5
土含 冰量 ＜0.2	碎石土	任意深度	3500	4000	4300	4500	4800	5300
	粗砂、中砂	任意深度	2100	2400	2500	2700	2800	3100
	细砂、 粉砂	3～5	1400	1500	1700	1900	1900	2000
		10	1650	1750	2000	2100	2200	2300
		15 及 15 以上	1800	1900	2200	2300	2400	2500
	粉土	3～5	1100	1200	1300	1400	1500	1700
		10	1250	1350	1450	1600	1700	1900
		15 及 15 以上	1400	1500	1600	1800	1900	2100
	粉质黏土 及黏土	3～5	850	950	1100	1200	1300	1400
		10	950	1100	1250	1350	1450	1600
		15 及 15 以上	1100	1250	1400	1500	1600	1800
	土含 冰量 0.2～ 0.4	上述各类土	3～5	600	750	850	950	1000
10			700	800	900	1000	1050	1150
15 及 15 以上			750	850	950	1050	1100	1300

表 C.0.3-3 桩端盐渍化冻土端阻力特征值 q_{tpa} (kPa)

土的 盐渍度 (%)	不同温度(℃)时的承载特征值(kPa)											
	—1			—2			—3			—4		
	桩沉入深度(m)											
	3~5	10	≥15	3~5	10	≥15	3~5	10	≥15	3~5	10	≥15
细砂和中砂												
0.10	500	600	850	650	850	950	800	950	1050	900	1150	1250
0.20	150	250	350	250	350	450	350	450	600	500	600	750
0.30	—	—	—	150	200	300	250	350	450	350	450	550
0.50	—	—	—	—	—	—	150	200	300	250	300	400

续表 C. 0. 3-3

土的 盐渍度 (%)	不同温度(℃)时的承载特征值(kPa)											
	—1			—2			—3			—4		
	桩沉入深度(m)											
	3~5	10	≥15	3~5	10	≥15	3~5	10	≥15	3~5	10	≥15
粉 土												
0.15	550	650	750	800	950	1050	1050	1200	1350	1350	1550	1700
0.30	300	350	450	550	650	800	750	900	1050	1000	1150	1300
0.50	—	—	—	300	350	450	500	550	650	650	750	900
1.00	—	—	—	—	—	—	200	250	350	350	450	550
粉 质 黏 土												
0.20	450	500	650	700	800	950	900	1050	1200	1150	1300	1400
0.50	150	250	450	350	450	550	550	650	750	750	850	1000
0.75	—	—	—	200	250	350	350	450	550	500	600	750
1.00	—	—	—	150	200	300	300	350	450	400	500	650

注:1 表列设计值适用于包裹冰含冰率小于 0.2 的盐渍化冻土。

2 柱式基础底面的设计值允许按本表桩沉入深度 3m~5m 采用。

表 C. 0. 3-4 含植物残渣和泥炭混合物

(冻结泥炭化土)端阻力特征值 q_{fpa} (kPa)

土的泥炭化程度 ξ	不同温度(℃)时的承载特征值(kPa)					
	-1	-2	-3	-4	-6	-8
砂 土						
$0.03 < \xi \leq 0.10$	250	550	900	1200	1500	1700
$0.10 < \xi \leq 0.25$	190	430	800	860	1000	1150
$0.25 < \xi \leq 0.60$	130	310	460	650	750	850

续表 C. 0. 3-4

土的泥炭化程度 ξ	不同温度(°C)时的承载特征值(kPa)					
	-1	-2	-3	-4	-6	-8
粉土、黏性土						
$0.05 < \xi \leq 0.10$	200	480	700	1000	1160	1330
$0.10 < \xi \leq 0.25$	150	350	540	700	820	940
$0.25 < \xi \leq 0.60$	100	280	430	570	670	760
$\xi > 0.60$	60	220	320	450	520	590

3 冻土和基础间的冻结强度应在现场进行原位测定,或在专门试验设备条件下进行试验测定。若无试验资料时,可按冻结地基土的土质、冻土含水率和地温指标由表 C. 0. 3-5 确定。地基土的分类应按本规范表 3. 2. 2 确定。盐渍化冻土与基础间的冻结强度特征值可按表 C. 0. 3-6 确定。含植物残渣和泥炭混合物的冻结泥炭化土与基础间的冻结强度特征值可按表 C. 0. 3-7 确定。表 C. 0. 3-5~表 C. 0. 3-7 可用于混凝土或钢筋混凝土基础。不同材料的基础与冻土间的冻结强度,可按表 C. 0. 3-8 进行修正,其不同材质基础表面状态修正系数可按表 C. 0. 3-8 确定。

表 C. 0. 3-5 冻土和基础间的冻结强度特征值 f_{ca} (kPa)

类别	不同温度(°C)时的承载特征值(kPa)				
	-1.0	-1.5	-2.0	-2.5	-3.0
粉土、黏性土					
Ⅲ	85	115	145	170	200
Ⅱ	60	80	100	120	140
I、Ⅳ	40	60	70	85	100
V	30	40	50	55	65
砂 土					
Ⅲ	100	130	165	200	230
Ⅱ	80	100	130	155	200
I、Ⅳ	50	70	85	100	115
V	30	35	40	50	60

续表 C. 0. 3-5

类别	不同温度(℃)时的承载特征值(kPa)				
	—1.0	—1.5	—2.0	—2.5	—3.0
砾石土(<0.075mm)粒径含量(≤10%)					
Ⅲ	80	100	130	155	180
Ⅱ	60	80	100	120	135
I、Ⅳ	50	60	70	85	95
V	30	40	45	55	65
砾石土(<0.075mm)粒径含量(>10%)					
Ⅲ	85	115	150	170	200
Ⅱ	70	90	115	140	160
I、Ⅳ	50	70	85	95	115
V	30	35	45	55	60

注:1 I、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、V类含水率的判别可按本规范表 3.2.2 确定。

2 插入桩侧面冻结强度按Ⅳ类土取值。

表 C. 0. 3-6 盐渍化冻土与基础间的冻结强度特征值 f_{ca} (kPa)

土的盐渍度 (%)	不同温度(℃)时的承载特征值(kPa)			
	—1	—2	—3	—4
细砂、中砂				
0.10	70	110	150	190
0.20	50	80	110	140
0.30	40	70	90	120
0.50	—	50	80	100
粉 土				
0.15	80	120	160	210
0.30	60	90	130	170
0.50	30	60	100	130
1.00	—	—	50	80

续表 C. 0. 3-6

土的盐渍度 (%)	不同温度(℃)时的承载特征值(kPa)			
	—1	—2	—3	—4
粉 质 黏 土				
0. 20	60	100	130	180
0. 50	30	50	90	120
0. 75	—	—	80	110
1. 00	—	—	70	100

表 C. 0. 3-7 含植物残渣和泥炭混合物的冻结泥炭化土与基础间的冻结强度特征值 f_{ca} (kPa)

土的泥炭化程度 ξ	不同温度(℃)时的承载特征值(kPa)					
	—1	—2	—3	—4	—6	—8
砂 土						
$0.03 < \xi \leq 0.10$	90	130	160	210	250	280
$0.10 < \xi \leq 0.25$	50	90	120	160	185	210
$0.25 < \xi \leq 0.60$	35	70	95	130	150	170
粉 质 黏 土						
$0.05 < \xi \leq 0.10$	60	100	130	180	210	240
$0.10 < \xi \leq 0.25$	35	60	90	120	140	160
$0.25 < \xi \leq 0.60$	25	50	80	105	125	140
$\xi > 0.60$	20	40	75	95	110	125

表 C. 0. 3-8 不同材质基础表面状态修正系数

基础材质 及表面 状况	木质	金属 (表面未处理)	金属或混凝土表面涂工业凡士林或渣油	金属或混凝土增大表面粗糙度	预制混凝土
修正系数	0. 90	0. 66	0. 40	1. 20	1. 00

4 冻胀力作用下基础稳定性验算的冻胀力值应由试验确定, 在无条件时, 切向冻胀力标准值可按表 C. 0. 3-9 选用, 水平冻胀力标准值可按表 C. 0. 3-10 选用。

表 C. 0. 3-9 切向冻胀力标准值 τ_d (kPa)

冻胀类别	弱冻胀	冻胀	强冻胀	特强冻胀
单位切向冻胀力	$30 \leq \tau_d \leq 60$	$60 < \tau_d \leq 80$	$80 < \tau_d \leq 120$	$120 < \tau_d \leq 150$

表 C. 0. 3-10 水平冻胀力标准值 σ_h (kPa)

冻胀等级	不冻胀	弱冻胀	冻胀	强冻胀	特强冻胀
冻胀率 η (%)	$\eta \leq 1$	$1 < \eta \leq 3.5$	$3.5 < \eta \leq 6$	$6 < \eta \leq 12$	$\eta > 12$
水平冻胀力	$\sigma_h < 15$	$15 \leq \sigma_h < 70$	$70 \leq \sigma_h < 120$	$120 \leq \sigma_h < 200$	$\sigma_h \geq 200$

C. 0. 4 冻土融化和压缩指标应符合下列规定：

1 冻土地基融化时沉降计算中的融化下沉系数和压缩指标，应以试验确定。对均质的冻结细粒土可在试验室条件下，用专门的试验装置确定。

2 如没有试验条件和资料时，冻土融化下沉系数 δ_0 可依据冻结地基土的土质、物理力学性质，按下列公式计算：

1) 按本规范表 3. 2. 2 中地基土含水率判别的 I、II、III、IV 类土，冻土融化下沉系数 δ_0 应按下式计算：

$$\delta_0 = a_1 (\omega - \omega_0) (\%) \quad (\text{C. 0. 4-1})$$

式中： a_1 ——系数，按表 C. 0. 4-1 确定；

ω_0 ——起始冻土融化下沉含水率，可按表 C. 0. 4-1 确定。

表 C. 0. 4-1 a_1 、 ω_0 值

土质	砾石、碎石土	砂类土	粉土、粉质黏土	黏土
a_1	0.5	0.6	0.7	0.6
ω_0 (%)	11.0	14.0	18.0	23.0

注：1 对于粉黏粒含量小于 15% 时 a_1 取 0.4。

2 黏性土 ω_0 按式 C. 0. 4-2 计算值与表 C. 0. 4-1 所列值不同时，取小值。

2) 对于黏性土，其塑限含水率 ω_p ，可按下式进行计算：

$$\omega_0 = 5 + 0.8\omega_p (\%) \quad (\text{C. 0. 4-2})$$

3)按本规范表 3.2.2 中地基土含水率判别为 V 类土,其融化下沉系数 δ_0 应按下列公式计算:

$$\delta_0 = 3 \sqrt{\omega - \omega_c} + \delta'_0 \quad (\text{C. 0. 4-3})$$

$$\omega_c = \omega_p + 35 \quad (\text{C. 0. 4-4})$$

式中: ω_c ——对于粗颗粒土可用 ω_0 代替 ω_p ,无试验资料时,可按表 C. 0. 4-2 取值;

δ'_0 ——对应于 $\omega = \omega_c$ 时的 δ_0 值可按公式(C. 0. 4-1)计算,无试验资料时,可按表 C. 0. 4-2 取值。

表 C. 0. 4-2 ω_c 、 δ'_0 值

土质	砾石、碎石土	砂类土	粉土、粉质黏土	黏土
ω_c (%)	46	49	52	58
δ'_0 (%)	18	20	25	20

注:对于粉黏粒含量小于 15%时, ω_c 直线段至曲线段的拐点含水率,取 44%, δ'_0 可取 14%。

4)按本规范表 3.2.2 中地基土含水率判别为 I、II、III、IV 类土,其融化下沉系数 δ_0 与冻土干密度 ρ_d 关系,可按下列式确定:

$$\delta_0 = a_2 (\rho_{d0} - \rho_d) / \rho_d \quad (\text{C. 0. 4-5})$$

式中: a_2 ——系数,按表 C. 0. 4-3 确定;

ρ_{d0} ——起始融沉干密度,大致相当于或略大于最佳干密度。
无试验资料时,可按表 C. 0. 4-3 取值。

表 C. 0. 4-3 a_2 、 ρ_{d0} 值

土质	砾石、碎石土	砂类土	粉土、粉质黏土	黏土
a_2	25	30	40	50
ρ_{d0} (t/m ³)	1.95	1.80	1.70	1.65

注:对于粉黏粒含量小于 15%时, a_2 取 20, ρ_{d0} 可取 2.0t/m³。

5)按本规范表 3.2.2 中地基土含水率判别为 V 类土,其融化下沉系数 δ_0 与冻土干密度 ρ_d 关系,可按下列式确定:

$$\delta_0 = 60(\rho_{dc} - \rho_d) + \delta'_0 \quad (\text{C. 0. 4-6})$$

式中： ρ_{dc} ——对应于 $\omega = \omega_c$ 的冻土干密度，无试验资料时，按表 C. 0. 4-4 取值。

表 C. 0. 4-4 ρ_{dc} 值

土质	砾石、碎石土	砂类土	粉土、粉质黏土	黏土
$\rho_{dc} (\text{t/m}^3)$	1. 16	1. 10	1. 05	1. 00

注：对于粉黏粒含量小于 15% 时， ρ_{dc} 可取 $1. 2 \text{t/m}^3$ 。

3 要求现场测定冻土含水率 ω 及干密度 ρ_{dc} ，分别计算冻土融化下沉系数 δ_0 值，应取大值作为设计值。

4 冻土融化后的体积压缩系数 m_v 可按表 C. 0. 4-5 确定。

表 C. 0. 4-5 各类冻土融化后体积压缩系数 $m_v (\text{MPa}^{-1})$

$m_v (\text{MPa}^{-1})$ 冻土 $\rho_d (\text{t/m}^3)$	土质及压力 (kPa)	砾石、碎石土 $P_0 = 10 \sim 110$	砂类土 $P_0 = 10 \sim 210$	黏性土 $P_0 = 10 \sim 210$	草皮 $P_0 = 10 \sim 210$
2. 10		0. 00	—	—	—
2. 00		0. 10	—	—	—
1. 90		0. 20	0. 00	0. 00	—
1. 80		0. 30	0. 12	0. 15	—
1. 70		0. 30	0. 24	0. 30	—
1. 60		0. 40	0. 36	0. 45	—
1. 50		0. 40	0. 48	0. 60	—
1. 40		0. 40	0. 48	0. 75	—
1. 30		—	0. 48	0. 75	0. 40
1. 20		—	0. 48	0. 75	0. 45
1. 10		—	—	0. 75	0. 60
1. 00		—	—	—	0. 75

续表 C.0.4-5

$m_v(\text{MPa}^{-1})$ $\rho_d(\text{t/m}^3)$	土质及压力 (kPa)	砾石、碎石土 $P_0 = 10 \sim 110$	砂类土 $P_0 = 10 \sim 210$	黏性土 $P_0 = 10 \sim 210$	草皮 $P_0 = 10 \sim 210$
0.90		—	—	—	0.90
0.80		—	—	—	1.05
0.70		—	—	—	1.20
0.60		—	—	—	1.30
0.50		—	—	—	1.50
0.40		—	—	—	1.65

附录 D 土的季节融化与冻结深度

D. 0. 1 土的季节融化深度应符合下列规定：

1 标准融深 Z_0^m ，应以当地实测资料为准；无实测资料时，可按下列公式计算：

对高海拔多年冻土区(青藏高原)：

$$Z_0^m = 0.195 \sqrt{\sum T_m} + 0.882(\text{m}) \quad (\text{D. 0. 1-1})$$

对高纬度多年冻土区(东北地区)：

$$Z_0^m = 0.134 \sqrt{\sum T_m} + 0.882(\text{m}) \quad (\text{D. 0. 1-2})$$

2 融化指数的标准值 $\sum T_m$ (度·月)应以当地实测资料为准，对无实测资料的山区可按下列公式计算：

东北地区：

$$\sum T_{m1} = (7532.8 - 90.96L - 93.57H)/30 \quad (\text{D. 0. 1-3})$$

青海境内：

$$\sum T_{m2} = (10722.7 - 141.25L - 114.00H)/30 \quad (\text{D. 0. 1-4})$$

西藏地区：

$$\sum T_{m3} = (9757.7 - 71.81L - 140.48H)/30 \quad (\text{D. 0. 1-5})$$

式中： L ——纬度(度)；

H ——海拔(100m)。

3 设计融深 Z_d^m 可按下列式计算：

$$Z_d^m = Z_0^m \cdot \Psi_s^m \cdot \Psi_w^m \cdot \Psi_c^m \cdot \Psi_{t0}^m \quad (\text{D. 0. 1-6})$$

式中： Ψ_s^m 、 Ψ_w^m 、 Ψ_c^m 、 Ψ_{t0}^m ——各融深影响系数，可按表D. 0. 1取值。

D. 0. 2 土的季节冻结深度应符合下列规定：

1 标准冻深 Z_0 应以当地不少于 10 年实测最大冻深平均值为准；

2 设计冻深 Z_d 可按下列式计算：

$$Z_d = Z_0 \cdot \Psi_{zs} \cdot \Psi_{zw} \cdot \Psi_{zc} \cdot \Psi_{zt0} \quad (D.0.2-1)$$

式中： Ψ_{zs} 、 Ψ_{zw} 、 Ψ_{zc} 、 Ψ_{zt0} ——各冻深影响系数，按表D.0.2查取。

表 D.0.1 融深影响系数

项目	1				2					3			4
	Ψ_s^m				Ψ_w^m					Ψ_t^m			Ψ_c^m
	土质(岩性)影响				湿度(融沉性)影响					地形影响			
内容	黏性土	细砂、粉砂、粉土	中砂、粗砂、砾砂	碎石土	不融沉	弱融沉	融沉	强融沉	融陷	平坦	阴坡	阳坡	地表草炭覆盖
Ψ	1.00	1.20	1.30	1.40	1.00	0.95	0.90	0.85	0.80	1.00	0.90	1.10	0.70

表 D.0.2 冻深影响系数

项目	1				2					3			4		
	Ψ_{zs}				Ψ_{zw}					Ψ_{zc}			Ψ_{zt0}		
	土质(岩性)影响				湿度(冻胀性)影响					周围环境			地形影响		
内容	黏性土	细砂、粉砂、粉土	中砂、粗砂、砾砂	碎石土	不冻胀	弱冻胀	冻胀	强冻胀	特强冻胀	村镇旷野	城市近郊	城市市区	平坦	阳坡	阴坡
Ψ	1.00	1.20	1.30	1.40	1.00	0.95	0.90	0.85	0.80	1.00	0.95	0.90	1.00	0.90	1.10

注:1 土的湿度(冻胀性)影响一项,按本规范表 3.2.1 的土冻胀性分级进行判别。

2 周围环境影响一项,城市市区人口为 20 万~50 万人,只考虑城市市区的影响;50 万~100 万人,应考虑 5km~10km 的近郊范围;大于 100 万人,尚应考虑 10km~20km 的近郊范围。

附录 E 冻土构造及融沉性的野外鉴别

E.0.1 冻土构造野外鉴别应符合表 E.0.1 的规定。

表 E.0.1 冻土构造野外鉴别

构造类别	冰的产状	岩性与地貌条件	冻结特征	融化特征
整体构造	晶粒状	1. 多存在于为细颗粒土中,砂砾石土冻结亦可产生此种构造; 2. 一般分布在长草或幼树的阶地和缓坡地带及其他地带; 3. 土稍湿,含水率 $\omega < \omega_p$	1. 粗颗粒土冻结,结构较紧密,孔隙中有冰晶,可用放大镜观察到; 2. 细颗粒土冻结,呈整体状; 3. 冻结强度一般,可用锤子击碎	1. 融化后原土结构不产生变化; 2. 无渗水现象; 3. 融化后,不产生融沉现象
层状构造	微层状 (冰厚一般可达 1mm ~ 5mm)	1. 多存在于粉砂土或黏性土中; 2. 多分布在冲—洪积扇及阶地其他地带,地被物较茂密; 3. 土湿,含水率 $\omega_p \leq \omega < \omega_p + 7$	1. 粗颗粒土孔隙被较多冰晶充填,偶尔可见薄冰层; 2. 细颗粒土呈微层状构造,可见薄冰层或薄透镜体冰; 3. 冻结强度很高,不易击碎	1. 融化后原土体积缩小现象不明显; 2. 有少量水分渗出; 3. 融化后,产生弱融沉现象

续表 E.0.1

构造类别	冰的产状	岩性与地貌条件	冻结特征	融化特征
层状构造	层状 (冰厚一般可达 5mm ~ 10mm)	1. 多存在于粉砂土或黏性土中; 2. 一般分布在阶地或塔头沼泽地带; 3. 有一定的水源补给条件; 4. 土很湿, 含水率 $\omega_p + 7 \leq \omega < \omega_p + 15$	1. 粗颗粒土如砾石被冰分离, 可见到较多冰透镜体; 2. 细颗粒土冻结, 可见到层状冰; 3. 冻结强度高, 极难击碎	1. 融化后土体积缩小; 2. 有较多水分渗出; 3. 融化后产生融沉现象
网状构造	网状 (冰厚一般可达 10mm ~ 25mm)	1. 多存在于细颗粒土中; 2. 一般分布在塔头沼泽与低洼地带; 3. 土饱和, 含水率 $\omega_p + 15 \leq \omega < \omega_p + 35$	1. 颗粒土冻结, 有大量冰层或冰透镜体存在; 2. 细颗粒土冻结, 冻土互层; 3. 冻结强度偏低, 易击碎	1. 融化后土体积明显缩小, 水土界限分明, 并可成流动状态; 2. 融化后产生融沉现象
	厚层网状 (冰厚一般可达 25mm 以上)	1. 多存在于细颗粒土中; 2. 分布在低洼积水地带, 植被以塔头、苔藓、灌丛为主; 3. 土超饱和, 含水率 $\omega > \omega_p + 35$	1. 以中厚层状构造为主; 2. 冰体积大于土体积; 3. 冻结强度很低, 极易击碎	1. 融化后水土分离现象极其明显, 可成流动体; 2. 融化后产生融陷现象

E.0.2 多年冻土融沉性分级的野外鉴别应符合表 E.0.2 的规定。

表 E. 0. 2 多年冻土融沉性分级的野外鉴别

融沉分类	融沉等级	粗颗粒类土		黏性土		冻土工程类型
		冻结状态特征	融化状态特征	冻结状态特征	融化状态特征	
不融沉	I	结构较为紧密,仅在孔隙中有冰晶存在	融化过程土层结构上没有变化,不产生颗粒重分布现象	整体状冻土构造,冻土中肉眼看不到冰层,多数小冰晶在放大镜下可见	融化过程原土层结构不发生变化,没有发生矿物颗粒重分布现象,没有渗水现象	少冰冻土
弱融沉	II	有较多冰晶充填其孔隙,偶尔可见薄层冰及冰包裹体	融化后土体产生小的密实作用,但结构外形基本不变,有明显的渗水现象	以整体状冻土构造为主,偶尔可见微冰透镜体或小的粒状冰	融化过程土体原结构状态基本不变,但可见体积有缩小现象并有少量渗水现象	多冰冻土
融沉	III	除孔隙被冰充满外,可见冰晶将矿物颗粒包裹,使卵砾石相互隔离或可见较多的土冰冰透镜体	融化过程土体发生明显颗粒重排列作用,并有大量水分外渗,土表面可见水层	以层状、网状冻土构造为主,冻土中可见分布不均匀的冰透镜体和薄冰层	融化过程土体发生明显的矿物重分布作用,有较多水分外渗	富冰冻土
强融沉	IV	卵砾石颗粒基本为冰晶所包裹或存在大量的冰土透镜体和冰透镜体	融化过程使冻土构造受破坏,水土(石)产生密实作用,最后水土(石)界限分明	以层状网状冻土构造为主,在空间上,冰土普遍相隔分布	融化后土体即失去原来结构形状成崩塌现象和流动状态,在容器中融化,最后水土界限分明	饱冰冻土

续表 E.0.2

融沉分类	融沉等级	粗颗粒类土		黏性土		冻土工程类型
		冻结状态特征	融化状态特征	冻结状态特征	融化状态特征	
融陷	V	冰体积大于土颗粒体积	融化后,水土(石)分离,上部可见水层	中厚层状构造为主,冰体积大于土体积	融化后土体完全呈流动体	含土冰层

附录 F 冻土融化压缩试验要点

F.0.1 本试验可用于测定冻土的融化下沉系数(融沉系数) δ_0 和冻土融化后体积压缩系数 m_v 。

F.0.2 本试验的室内试验可用于各种冻结黏性土和粒径小于 2mm 的冻结砂类土,原位测定可用于各种类型的冻土。试验步骤应按现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123 的有关规定进行。

F.0.3 室内试验所用的融化压缩仪,可采用土壤的固结试验仪,原位试验可采用地基的静荷载试验设备,并应在试验过程中确保冻土试样或持力层地基土均匀缓慢融化。

F.0.4 传压板上应安放加热的循环装置及消散孔隙水的透水装置。

F.0.5 在室内进行试验时,应在试样上施加 1kPa 压力,接通循环热水,冻土开始融沉时,应启动秒表计时,并应分别记录 1min、2min、5min、10min、30min、60min 的变形量,以后每隔 2h 应记录一次,并应直至达到冻土试样全部融化。当变形量在 2h 内小于 0.05mm(细颗粒土)或 0.2mm(粗粒土)时,应终止冻土融化试验过程,求得融化下沉系数 δ_0 。当冻土融沉稳定后,应停止热水循环,并应开始进行压缩试验,方法可按非冻土的常规固结试验方法进行,并应求得冻土融化后的体积压缩系数 m_v 。

F.0.6 原位试验应在设备自重作用下,冻土地基融化开始前读取初始读数,接通循环热水,冻土开始融化时,应启动计时器开始计时,并应分别记录 10min、20min、30min 的变形量,以后每 1h 应进行观测和记录一次。当变形量在 1h 内小于

0.05mm(细颗粒土)或0.2mm(粗粒土)时,应终止冻土融化试验过程,求得本层融化下沉系数 δ_0 。融沉稳定后,应停止加热循环,并应开始进行压缩试验,方法可按非冻土固结试验方法进行,求得本层冻土融化后的体积压缩系数 m_v 。试验结束后,应按本条的试验方法和要求重复下一土层的冻土融化和压缩试验。

F.0.7 室内试验应按下列公式计算融化下沉系数和融化后体积压缩系数:

1 融化下沉系数 δ_0 应按下式计算:

$$\delta_0 = \frac{\Delta H_i}{H_i} \times 100\% \quad (\text{F.0.7-1})$$

式中: ΔH_i ——冻土试样融化下沉量(mm);

H_i ——冻土试样的高度(mm)。

2 融化后体积压缩系数 m_v 应按下式计算:

$$m_v = \frac{S_{i+1} - S_i}{P_{i+1} - P_i} \quad (\text{F.0.7-2})$$

式中: m_v ——融化后体积压缩系数(MPa^{-1});

P_i ——第*i*级的压力值(MPa);

S_i ——在 P_i 级压力下的沉降量(mm)。

F.0.8 原位试验应按下列公式计算融化下沉系数和融化后体积压缩系数:

1 融化下沉系数 δ_0 应按下式计算:

$$\delta_0 = \frac{S_0}{H_0} \quad (\text{F.0.8-1})$$

式中: S_0 ——冻土融化($P \approx 0$)阶段的沉降量(mm);

H_0 ——试验结束后测定的土层融化深度(mm)。

2 融化后体积压缩系数 m_v 应按下式计算:

$$m_v = \frac{\Delta S}{\Delta P} K \quad (\text{F.0.8-2})$$

式中: ΔS ——相应于某一压力范围(ΔP)的相对沉降;

K ——系数,黏土为 1.0,粉质黏土为 1.2,砂土为 1.3,巨粒土为 1.35。

F.0.9 同一土层参加统计的试验点不应少于三点,各系数试验值之极差不得超过平均值的 30%,应取平均值为该系数 δ_0 或 m_v 的值。

附录 G 冻土力学指标原位试验要点

G.0.1 冻胀率试验应符合下列规定：

- 1 冻胀率应为单位土体在冻结过程中的冻胀变形量；
- 2 分层冻胀量测量应采用精密水准仪进行测量，当精度要求不高时，可采用分层冻胀仪进行测量；
- 3 当采用叠合式或单独式分层冻胀仪测量冻胀量时，应将中间测杆深埋，并应锚固于土中作为基准杆，同时应确保基准杆在土层冻胀时保持不动，在基准杆周围应埋设各规定深度的冻胀量测杆，杆身应外露于地面上，测杆的上抬量与中间基准杆对比，可求出不同深度上的冻胀量大小；分层冻胀仪可用木质，亦可用金属制作；需多年连续观测时，应重新埋设或重新校核；
- 4 当采用精密水准仪测量冻胀量时，应将倒 T 型测杆分别埋设于不同深度的土层上，用精密水准仪测量各土层外露测杆高度的变化，可求得任何时刻、任何深度上土层的冻胀量；
- 5 在布设冻胀率试验的同时，应进行冻结深度的观测；
- 6 冻胀量与冻结深度应同时观测，可算出某冻深范围内的冻胀量及分层冻胀量和冻胀率。

G.0.2 冻结强度试验应符合下列规定：

- 1 现场冻结强度的原位试验，应在多年冻土地基中布设试验桩，并应在桩周土回冻后再做抗拉或抗压试验；
- 2 冻结强度试验中应符合下列规定：
 - 1) 试验时间应选在该地区平均地温（沿垂直方向）最高值时，无法满足要求时，应进行温度修正；
 - 2) 试验过程中应采取保持冻土地温稳定的措施；
 - 3) 试验开始前，桩周地基土中的温度场应达到基本回冻的

状态；

4) 长期冻结强度试验,应按冻土强度长期试验的稳定标准执行；

5) 长期冻结强度试验,在某一级荷载作用下连续 24h 的变形量不超过 0.5mm(砂土)或 1.0mm(黏性土)时,可认为稳定,并可施加下一级荷载;连续 10d 达不到稳定标准时,应定为破坏。

G.0.3 切向冻胀力试验应符合下列规定：

1 切向冻胀力试验可采用锚桩横梁法,锚桩的抗拔强度和横梁的刚度,应满足预估最大切向冻胀力的设计要求；

2 标准测力计应经过率定,并按温度进行修正；

3 锚桩之间、锚桩与试验基础之间的距离,应按周边冻土在冻胀时对试验基础不产生影响的距离确定；

4 在安装测力计时,应紧密接触,并应读取测力计的初始读数；

5 试验期间,试验基础范围应及时消除积雪和其他覆盖物；

6 在试验场范围内应埋设冻深器,并应随时观测冻深发展情况,同时应定期对锚桩和横梁进行水准测量；

7 观测频次应按试验要求确定,时间间隔不宜大于 5d,当冻深达到最大值时可终止试验观测。

附录 H 冻土地基静载荷试验要点

H. 0.1 试验前冻土层应保持原状结构和天然湿度。在承压板底部应铺以厚度为 20mm 的粗、中砂找平层。整个试验期间应保持冻土层的原始天然温度状态。

H. 0.2 承压板面积不应小于 0.25m^2 。

H. 0.3 加荷等级不应少于 8 级,初级应为预估极限荷载的 15%~30%,以后每级宜按预估极限荷载的 10%递增。

H. 0.4 每级加载后均应随即测读承压板沉降量一次,以后每 1h 测读一次,当 24h 累计沉降量,砂土不大于 0.5mm 或黏性土不大于 1.0mm 时,地基处于第一蠕变阶段(蠕变速率减少阶段),可认为下沉稳定阶段,并可加下一级荷载。

H. 0.5 测读沉降同时,应测承压板宽度的 1 倍~1.5 倍范围内冻土温度。

H. 0.6 加载后连续 10d 沉降量,砂土大于或等于 0.5mm、黏性土大于或等于 1.0mm,或总沉降量 $s > 0.06b$,可认为地基达到冻土的稳定流与渐进流(蠕变速率增加阶段)的界线,应终止试验,对应的前级荷载应为极限荷载。

H. 0.7 冻土地基承载力特征值应符合下列规定:

1 当 $P-S$ 曲线上有明确的比例极限时,应取该比例极限所对应的荷载;

2 当极限荷载能确定时,应取极限荷载的 1/2;

3 当同时能取得比例极限和 1/2 极限荷载数值时,应取低值。

H. 0.8 同一土层参加统计的试验点不应少于三点,当实测值极差不得超过平均值的 30%,应取此平均值作为该冻土层的地基承载力特征值。

附录 J 冻土地温观测

J. 0. 1 冻土层地温观测应包括各深度冻土层温度, 以及随时间与环境变化过程。根据冻土地温观测结果可用于计算土的季节冻结和季节融化深度、冻土地温年变化深度、冻土年平均地温、冻土下限等冻土层地温特征参数。

J. 0. 2 冻土层地温观测孔应设置在典型的自然环境条件和地貌单元中, 或监测区域范围内未受人为和工程干扰的天然场地。

J. 0. 3 冻土层地温观测孔深度应超过地温年变化深度以下 3m。作为地域控制性长期监测孔的观测深度, 宜超过多年冻土下限以下 5m。

J. 0. 4 观测孔应采用钻探成孔, 终孔直径不宜小于 $\Phi 90\text{mm}$, 孔中应插入测温管, 管径宜为 $\Phi 60\text{mm}$, 材质宜为铝塑管、普通钢管或不锈钢管, 测温管底部及管接处应密封。钻孔壁与测温管间隙应用粒径为 $0.5\text{mm} \sim 2.0\text{mm}$ 的砂与水混合物振动回填。

J. 0. 5 地温观测元件宜采用热敏电阻或铂电阻温度感应器, 观测温度精度应为 0.05°C , 量测仪表应采用不小于 4 位半的数字万用表或数据采集仪, 输出电流应小于 $10\mu\text{A}$ 。

J. 0. 6 冻土层地温测点布置应符合下列要求:

- 1 观测深度不应小于地温年变化深度以下 1.0m ;
- 2 温度传感器测点应根据工程需要布设, 从地面起算 5m 以上深度范围内宜按 0.5m 间隔布设, 5m 以下宜按 1.0m 间隔布设。

J. 0. 7 冻土地温观测时间应符合下列要求:

- 1 地温观测可在成孔后进行, 年平均地温应以地温恢复稳定后测得的读数为准;

2 地温观测时间,半年内每月不应少 3 次,半年至一年每月不应少于 1 次;

3 一年以上的长期地温观测孔,观测频次应根据工程需要设定;

4 最大季节融化深度观测时间宜在 9 月~11 月,最大季节冻结深度观测时间宜在 3 月~5 月。

J.0.8 冻土地温观测资料整理,宜以水平坐标为冻土地温,垂直坐标为深度,绘制不同观测时间的冻土地温沿深度的分布曲线。地温曲线与垂直坐标相交点的深度数值应确定为多年冻土上限。

J.0.9 冻土地温观测可按表 J.0.9 记录。

表 J.0.9 冻土地温观测记录表

观测孔位置:_____ 钻孔编号:_____

坐标:N _____ ° ' " E _____ ° ' "

天气状况:_____ 气温:_____ °C 观测日期:____年__月__日

深度(m)	观测值	温度值	深度(m)	观测值	温度值
备注					

观测者:_____ 计算者:_____ 校核者:_____ 页码:

附录 K 多年冻土上限的确定

K. 0. 1 融化进程图应根据当地气象台站多年观测资料进行编制。当无气象资料时,可用图 K. 0. 1 进行冻土融化深度的估算。

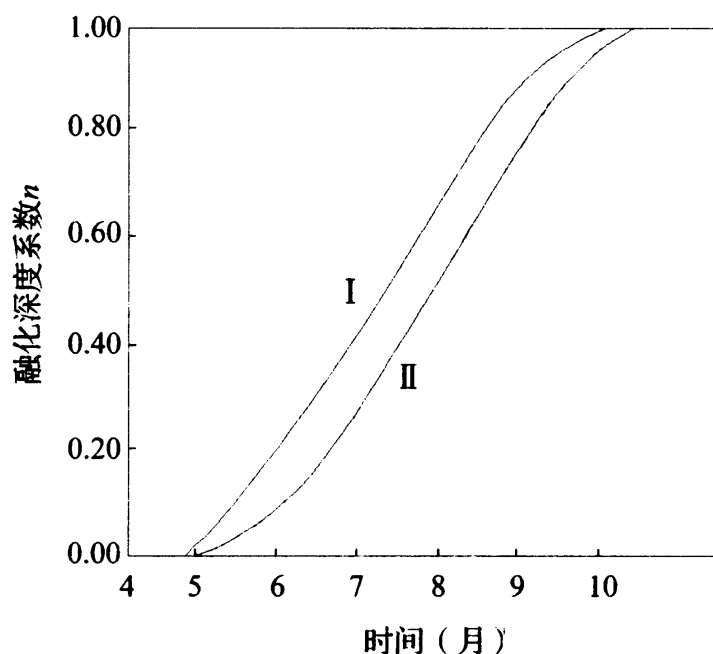


图 K. 0. 1 融化进程图

I 线——地表无植被或植被稀疏、浅层土中含有少量草炭的地区；

II 线——地表沼泽化、植被繁茂，浅层土中草炭含量及厚度大的地区

K. 0. 2 野外勘探时的融化深度 ΔZ 可用触探法、描述法或测温法确定。

K. 0. 3 融化深度系数 n 应按野外勘探时间,在 K. 0. 1 融化进程图上选择相应条件的曲线查得。

K. 0. 4 多年冻土最大融化深度,可按下式计算：

$$Z_n = \frac{\Delta Z}{n} \quad (\text{K. 0. 4})$$

式中： Z_n ——多年冻土最大融化深度(m)；

ΔZ ——勘察时的融化深度(m)；

n ——融化深度系数。

附录 L 冻土地温特征参数计算

L. 0. 1 常用的冻土地温特征参数应包括下列内容:

- 1 多年冻土的年平均地温值;
- 2 多年冻土上限处地温的年平均值、最高值、最低值;
- 3 建筑物基础底面埋深处冻土地温的年平均值、最高值、最低值等。

L. 0. 2 地温特征参数可根据现场钻孔一次性测温资料,按下列公式计算:

- 1 地温梯度 ξ 可按下列公式计算:

$$\xi = \frac{t_d - t_L}{L} \quad (\text{L. 0. 2-1})$$

式中: t_d ——测温钻孔底深度 d 处多年冻土的地温;

t_L ——距离孔底 3m~5m 处的地温;

L ——孔底至计算深度处的距离(m)。

- 2 上限处地温年平均值 t_z 、最高值 $t_{z\max}$ 、最低值 $t_{z\min}$,可按下列公式计算:

$$t_z = t_d - \xi \times (d - h_z) \quad (\text{L. 0. 2-2})$$

$$t_{z\max} = 0 \quad (\text{L. 0. 2-3})$$

$$t_{z\min} = -2t_z \quad (\text{L. 0. 2-4})$$

式中: h_z ——多年冻土上限埋深的多年平均值。

- 3 自上限起算的地温年变化深度 H 可按下列公式计算:

$$H = \sqrt{\frac{\alpha\tau}{\pi}} \times \ln\left(\frac{t_z}{A_0}\right) \quad (\text{L. 0. 2-5})$$

式中: A_0 ——年变化带底部地温的年振幅,采用 0.1°C ;

α ——多年冻土导温系数的平均值, m^2/h ;根据多年冻土的

岩性成分、物理性质,按本规范附录 C 查得,经加权平均计算确定;

τ ——年周期(8760h)。

4 多年冻土年平均地温 t_{cp} 可按下式计算:

$$t_{cp} = t_d - \xi \times (d - H - h_z) \quad (\text{L. 0. 2-6})$$

5 上限以下任意深度(自地面起算) h_x 处地温的年平均值 t_x 、最高值 $t_{x\max}$ 、最低值 $t_{x\min}$,可按下列公式计算:

$$t_x = t_d - \xi \times (d - h_x) \quad (\text{L. 0. 2-7})$$

$$t_{x\max} = t_x + A_x \quad (\text{L. 0. 2-8})$$

$$t_{x\min} = t_x - A_x \quad (\text{L. 0. 2-9})$$

$$A_x = A_u \times e^{(-H \times \sqrt{\pi/af})} \quad (\text{L. 0. 2-10})$$

式中: A_x ——基础底面埋深(自上限起算) H ($H = h_x - h_z$)处地温的年振幅($^{\circ}\text{C}$)。

A_u ——上限处地温的年振幅,数值上等于上限处年平均地温的绝对值。

L. 0. 3 按本规范第 L. 0. 2 条进行地温特征参数计算时,应符合下列规定:

1 多年冻土上限处地温的年振幅应等于年平均地温的绝对值;

2 不同深度的年平均地温随深度应按线性变化,地温年振幅随深度增加应按指数规律衰减;

3 计算时不应计及土中水分无相变引起的地温变化。

4 地温梯度应按本规范公式(L. 0. 2-1)计算,应采用地温年变化带以下的地温。采用的地温计算的地温年变化带深度大于投入运算点的埋深时,应重新选点进行计算;

5 多年冻土上限埋深的多年平均值 h_z 应根据实际勘探和调查资料确定;

6 在 5m 深度内钻孔测温点间距可为 0. 5m,5m 深度以下测温点间距宜为 1. 0m。

附录 M 冻土钻探方法要点

M. 0. 1 钻探前应确认和核对钻孔位置、深度,并应按钻探目的、要求,搜集有关冻土工程地质资料,同时应做好钻探机具、设备等的准备工作。

M. 0. 2 钻探设备的选择,在满足工程技术要求的前提下,应根据施钻地区的交通条件和运输工具确定,交通困难地区应轻装。

M. 0. 3 冻土钻探的岩芯管接头应带弹子或适宜的代用品。提钻前应瞬时加压,当提钻发现岩芯脱落时,可改用直径小一级的岩芯管钻进取芯,所取岩芯直径应满足试验要求。

M. 0. 4 岩芯管中取芯,宜使用锤击钻头、热水舜间加温岩芯管外壁、空蹲岩芯管及缓慢泵压退芯等方法。取出的岩芯应自上而下按顺序摆放,并应标记好回次进尺、深度。

M. 0. 5 钻孔应设置护孔管及套管,并应保持冻土层孔壁的稳定。护孔管及套管应固定在地表。起拔冻土钻孔内的套管,宜采用振动拔管或用热水对套管外壁加温法,也可在原孔四周加钻小口径钻孔辅以振动拔管。

M. 0. 6 因故不能连续钻探时,应将钻具及时提出。

M. 0. 7 冻土分层取样送验,应符合本规范第 6 章的要求。

附录 N 冻土地球物理勘探方法要点

- N. 0. 1** 地球物理勘探工作前应充分搜集该场地相关的冻土、地质资料及岩土物性参数,当资料缺乏时,应实测该地区冻土地球物理勘探岩土物性参数,并应分析研究冻土与周围岩土体之间物性差异。
- N. 0. 2** 冻土地区地球物理勘探应选择适宜冻土地区勘探的物探仪器,并应做好仪器、设备的标定、检测、调试等工作。
- N. 0. 3** 冻土地区地球物理勘探应根据冻土类型和场地地球物理条件,选择地球物理勘探方法。当采用单一的地球物理勘探方法无法达到勘探目的时,应采用综合地球物理勘探方法开展工作。
- N. 0. 4** 地球物理勘探的探测深度范围应根据勘探目的确定,地球物理勘探深度的范围应大于勘探任务要求的深度范围。
- N. 0. 5** 地球物理勘探测线、测点的布设,应根据冻土勘探的任务目的、精度要求,结合场地条件、岩土特性和地球物理勘探方法的特点综合确定,在微地貌变化、地层、冻土现象发育及冻土条件变化较大的地段应予以加密。
- N. 0. 6** 外业勘探过程中应详细了解场地地形、地物、地貌、植被、冻土特征、岩土性质、冻土现象和地下水情况,并应对场地附近影响地球物理勘探工作的因素进行详细记录。
- N. 0. 7** 在高寒、高海拔地区进行冻土地球物理勘探时,应选择适应该地气压气候条件的性能稳定的仪器,工作期间还应对所使用的仪器定期标定,发现问题应及时检测、调试。
- N. 0. 8** 冬季地表冻结时,地球物理勘探作业宜选择无须接地或

对接地条件要求不高的方法。

N. 0. 9 对所取得的地球物理勘探资料应结合场地条件、冻土特征、冻土发育情况及场地干扰等因素综合解译,必要时应采用挖探、钻探等手段验证。

附录 P 冻土室内单轴压缩试验要点

P. 0. 1 施加的应变速率应采用 0.1%/分和 1.0%/分恒应变速率。只用一种试验速率时,应采用 1.0%/分。

P. 0. 2 试验的加荷,可按表 P. 0. 2 给出的四种恒载荷进行,并应连续试验直到出现破坏,或到试样应变达 20%;在低应力情况下进行蠕变试验,应直到应变速率接近于零。

表 P. 0. 2 蠕变试验的恒载荷量

试验号	1	2	3	4
应力水平	0.7 q	0.5 q	0.3 q	0.1 q

注: q 为以 1%/分的恒应变速率(按试样初始高度计)进行单轴压缩试验确定的压缩强度。

P. 0. 3 试验温度应符合下列规定:

1 非盐渍化冻土试样的试验温度应为 -2°C 、 -5°C 和 -10°C ;

2 盐渍化冻土的试验温度应采用 -5°C 或更低的温度;

3 当土的试验温度低于 -2°C 时,试验温度的变化应小于 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$;当土的试验温度等于或高于 -2°C 时,试验温度变化应小于 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 。

P. 0. 4 试验的试样应为圆柱体,高径比不应小于 2,试样的最小直径不应小于试样中最大颗粒尺寸的 10 倍。

P. 0. 5 冻土无侧限压缩试验的试样端部应采用润滑载板,并应在试验方法中对载板润滑方法及尺寸予以说明。应变仪应附设在试样上直接测量试样的轴向应变。蠕变试验也应采用润滑载板。

P. 0. 6 试验系统刚度与试样刚度比不应小于或等于 5,可直接在试样上测变形量。

P. 0.7 试验报告应包括下列内容：

1 土的物理性质参数,应包括冻土的类别、描述、颗粒成分、液限、塑限、含冰率、含水率、干密度、土颗粒比重、饱和度和盐渍度等。

2 试样制备,应包括原状与重塑土样的制备。原状土样应记录直径、长度和天然密度;重塑土样应记录压实方法、保水方法和冻结条件等。

3 试验条件,应包括试验温度、试样端部条件和加载条件。试验温度应记录平均温度、温度波动范围和温度变化过程;试样端部条件应记录试样端部修整平直情况、润滑或不润滑类型、材料和尺寸等;加载条件应记录加载设备和端帽的柔量校正、加载设备的刚度、外加恒应变速率、应力水平和达到最大应力水平的时间周期等。

4 计算结果,应包括应力、荷载、轴向应变、径向应变、单轴压缩蠕变参数和蠕变曲线等。

本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

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”,反面词采用“不宜”;

4)表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为:“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

《岩土工程勘察规范》GB 50021

《土工试验方法标准》GB/T 50123

中华人民共和国国家标准

冻土工程地质勘察规范

GB 50324-2014

条 文 说 明

修 订 说 明

《冻土工程地质勘察规范》GB 50324—2014 经住房和城乡建设部 2014 年 12 月 2 日以第 596 号公告批准、发布。

本规范是在《冻土工程地质勘察规范》GB 50324—2001 的基础上修订而成的,上一版的主编单位是内蒙古大兴安岭林业设计院,参编单位是中国科学院寒区旱区环境与工程研究所冻土工程国家重点实验室、哈尔滨工业大学、中铁西北科学研究院、黑龙江省寒地建筑科学研究院、铁道第三勘测设计院、水利部东北勘测设计院科研所、中交第一公路勘察设计研究院,主要起草人员是鲁国威、徐敦祖、童长江、丁靖康、刘鸿绪、王正秋、徐伯孟、李恩英、喻文学、金应镐、王岐。

本规范修订过程中,编制组结合工程实例对冻土地地区工程地质勘察现状与发展进行了调查研究,总结了冻土工程地质勘察的实践经验,充分考虑了近十年来工程建设发展以及国家相关法律法规情况,体现了现阶段冻土地地区建筑、铁路、公路、水利水电、管道、架空送电线路等建设项目的勘察技术水平,并使规范更具有科学性、可操作性和适用性。

为便于勘察、设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本规范时能正确理解和执行条文规定,《冻土工程地质勘察规范》编制组按章、节、条顺序编制了本规范的条文说明,对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明,还着重对强制性条文的强制性理由作了解释。但是,本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力,仅供使用者作为理解和把握本规范规定时的参考。

目 次

1	总 则	(141)
2	术语和符号	(142)
3	冻土分类和冻胀、融沉性分级	(143)
3.1	冻土分类和定名	(143)
3.2	土的冻胀和多年冻土融沉性分级	(145)
4	冻土工程地质勘察基本要求	(153)
4.1	一般规定	(153)
4.2	冻土工程地质勘察的任务	(156)
4.3	冻土工程地质区划原则	(157)
4.4	冻土工程地质评价	(160)
4.5	冻土工程地质勘察报告	(162)
5	冻土工程地质调查与测绘	(164)
5.1	一般规定	(164)
5.2	冻土现象调查与测绘	(165)
6	冻土工程地质勘探与取样	(169)
6.1	一般规定	(169)
6.2	钻探	(169)
6.3	坑探、槽探	(170)
6.4	地球物理勘探	(171)
6.5	冻土取样与运送	(172)
7	冻土试验与观测	(173)
7.1	一般规定	(173)
7.2	室内试验	(173)
7.3	原位测试	(174)

7.4	观测	(175)
8	建筑冻土工程地质勘察	(177)
8.1	一般规定	(177)
8.2	可行性研究勘察	(177)
8.3	初步勘察	(177)
8.4	详细勘察	(178)
9	铁路冻土工程地质勘察	(182)
9.1	一般规定	(182)
9.2	工程地质选线	(183)
9.3	踏勘阶段勘察	(184)
9.4	初测阶段勘察	(184)
9.5	定测阶段勘察	(187)
9.6	施工阶段勘察	(188)
9.7	运营阶段勘察	(188)
10	公路冻土工程地质勘察	(190)
10.1	一般规定	(190)
10.2	工程地质选线	(191)
10.3	可行性研究勘察	(192)
10.4	初步勘察	(194)
10.5	详细勘察	(196)
11	水利水电冻土工程地质勘察	(198)
11.1	一般规定	(198)
11.2	规划阶段勘察	(199)
11.3	可行性和初步设计阶段勘察	(201)
11.4	招标设计和施工详图设计阶段勘察	(202)
12	管道冻土工程地质勘察	(203)
12.1	一般规定	(203)
12.2	可行性研究(选线)勘察	(204)
12.3	初步勘察	(205)

12.4	详细勘察	(207)
12.5	施工勘察	(210)
13	架空送电线路冻土工程地质勘察	(212)
13.1	一般规定	(212)
13.2	可研勘察	(213)
13.3	初步勘察	(213)
13.4	施工图勘察	(214)
附录 A	中国冻土类型及分布	(216)
附录 D	土的季节融化与冻结深度	(218)
附录 F	冻土融化压缩试验要点	(223)
附录 G	冻土力学指标原位试验要点	(228)
附录 H	冻土地基静载荷试验要点	(231)
附录 J	冻土地温观测	(236)
附录 K	多年冻土上限的确定	(242)
附录 L	冻土地温特征参数计算	(243)
附录 N	冻土地球物理勘探方法要点	(245)

1 总 则

1.0.1 本规范是在《冻土工程地质勘察规范》GB 50324—2001 基础上修订而成的。本次修订基本保持了原规范的基本框架和适用范围,对适用范围进行了局部修订。本次修订是在我国国民经济发展的总方针指导下,充分体现了国家的技术与经济政策,从生产实践出发,认真总结经验,广泛采用有关科学研究成果,借鉴国外先进技术标准基础上,为适应基本建设的需要,提高勘察质量和经济效益,达到安全适用、技术先进、经济合理、保护环境的目的,不断促使冻土工程地质勘察事业进一步发展而修订的。

1.0.3 在季节冻土和多年冻土地地区,由于地基在冻结与融化两种不同状态下,其力学性质、强度指标、变形特点与构造的热稳定性相差悬殊,并且从冻结状态过渡到融化状态时,在一般情况下将发生强度由大到小,变形则由小到大的巨大突变。因此,本规范规定,在进行各类建筑冻土工程地质勘察时,除应符合本规范的规定外,尚应符合国家现行有关标准、规范的规定,以确保工程安全与稳定。

2 术语和符号

根据需要增加了四条常用术语,分别是多年冻土下限、总含水率、冻土地温特征参数和冻胀量;调整了两个术语,原相对含冰量更名为相对含冰率,原未冻含水量更名为未冻含水率。

3 冻土分类和冻胀、融沉性分级

3.1 冻土分类和定名

3.1.1 根据加拿大学者 R. J. E. 布朗(1974)编的“多年冻土术语”叙述,多年冻土术语中一个主要的语义学上的问题是“冻结”一词的使用。有两个不同的学派,一派认为“冻结”应该用于指温度低于 0°C 的土岩,而不管其中是否有冰(固态和可能为液态)存在,另一派则认为只有含有冰的土岩才能认为是“冻结”的。从工程角度出发,我们认为有些土,诸如:寒土、含盐土,其温度虽然低于 0°C ,但由于含水率小或含盐量高而不含冰晶,其物理力学性质与含冰晶土的性质差异甚大,同时其中的物理过程也绝然不同。为突出冻土与未冻土在性质上的差别,应取后者作为冻土的定义。

本次修订按自然环境对寒区冻土进行了系统的分类:按冻结状态的持续时间分为多年冻土、隔年冻土和季节冻土;根据多年冻土形成和存在的自然条件,分为高纬度多年冻土和高海拔多年冻土;根据多年冻土分布的连续程度,分为大片多年冻土、岛状融区多年冻土和岛状多年冻土。

多年冻土分类,就目前国际上来看,均以多年冻土分布的连续性划分,分为连续多年冻土、岛状多年冻土。据新资料,将原附录 A 中表 A. 0. 2 换为周幼吾等《中国冻土》(2000 年)的资料。我国东北高纬度多年冻土分为大片分布(或连续分布)多年冻土(多年冻土所占面积比例大于 $70\% \sim 80\%$)、大片-岛状分布多年冻土(多年冻土所占面积比例 $30\% \sim 70\%$)及岛状与稀疏及零星分布多年冻土(多年冻土所占面积比例 $5\% \sim 30\%$)。由于多年冻土分布与纬度、海拔高程、地质、地形地貌、气候等条件有关,面积的大小很难给出一定的范围。

3.1.2 冻土地区,不论是多年冻土区还是季节冻土区,地壳表层在每年的寒季都要发生冻结,暖季期间也都会出现融化,人们把这层称为“活动层”。为了区别多年冻土区和季节冻土区,按冻融活动层与下卧土层关系,分为季节冻结层和季节融化层。在多年冻土区,将该活动层称为“季节融化层”,其下卧土层属于多年冻结的冻结土层。在季节冻土区,将该活动层称为“季节冻结层”,其下卧土层属于非冻结的土层。

3.1.3 根据工程的病害调查,多年冻土地基的融化下沉性大小取决于多年冻土层的含冰程度。当冻土中肉眼看不见有分凝冰,只是在土体孔隙中见有细小的冰晶,冻土块融化时,土层的结构和体积不发生变化,也未见有渗水现象;当冻土中见有大量的分凝冰体,呈层状或网状构造,融化后见有许多水分渗出,出现流动状态时,土层完全失去原有的结构和构造,体积大幅缩小;随着冻土层中含有厚层或巨厚层的冰层,融化后冻土地基就会产生突陷。因此,根据冻土的含冰量多少及其融化后的工程特性,将多年冻土层分为五工程类别:少冰冻土、多冰冻土、富冰冻土、饱冰冻土和含土冰层。

青藏公路沿线病害调查表明,相同的含冰程度冻土层,当多年冻土的年平均地温低于 -1.5°C 的地区,路基病害率较低或基本完好,而年平均地温高于 -1.5°C 的地区,路基病害率明显增加,且路基变形较大。多年冻土年平均地温表现出冻土对外界温度影响的敏感性,反映出多年冻土的稳定性,因而工程界又依据多年冻土的年平均地温,分为高温冻土和低温冻土,其划分界限,根据不同工程的要求确定,如青藏公路以年平均地温 -1.5°C 为界限,而青藏铁路则以 -1.0°C 为界限。

为此,多年冻土地区工程设计时,不仅要考虑多年冻土的含冰程度(即冻土工程分类),且要考虑多年冻土的年平均地温。

3.1.5 冻土中的易溶盐含量和泥炭化程度的界限值超过本规范表 3.1.5-1 和表 3.1.5-2 中的数值时,将会强烈的影响冻土的强度特性。这是因为,由于地基土中的易溶盐类被水溶解成不同浓

度时,则可降低土的起始冻结温度,其未冻水量比一般冻土大得多,因此使盐渍化冻土的强度明显降低。例如,当盐渍度为 0.5% 时,单独基础与桩尖的承载力降低 $1/5 \sim 1/3$,基础侧向表面的冻结强度降低 $1/4 \sim 1/3$ (见表 1)。同样,泥炭化冻土的强度指标,在冻土工程地质勘察时,亦应慎重地按规定取值或专门进行原位测试确定(见表 2)。

3.2 土的冻胀和多年冻土融沉性分级

3.2.2 关于土的冻胀性分级问题,我国多年来进行了大量实测和理论研究工作。本规范经分析研究,采用现行行业标准《冻土地区建筑地基基础设计规范》JGJ 118 中的地基土冻胀性分级。

研究表明:地基土冻胀,除与气温条件有关外,主要与土的类别、冻前含水率和地下水位有关。粗颗粒土中当粉、黏土颗粒增多时,土的冻胀性显著增大。土中含水率超过起始冻胀含水率时,在没有地下水补给的情况下,土层仍有水分迁移现象存在,含水率发生重分布,并产生冻胀。细颗粒土中,小于 0.005mm 粒径的颗粒含量大于 60% 时为不冻胀土,其塑性指数大于 22 时,冻胀性降低一级。本规范表 3.2.1 中的“不冻胀”的划分标准为平均冻胀率 $\eta < 1\%$,说明此条件下仍具有微弱的冻胀量,高速铁路等工程因对地基变形具有高度敏感性的建筑物,此分类就不适用,应进行专门研究,再细划分。

影响地基土冻胀的地下水深度主要是有关各类土毛细水高度的临界深度;黏土、粉质黏土为 1.2m~2.0m,粉土为 1.0m~1.5m,砂土为 0.50m。当地下水位低于临界深度时,可不考虑地下水对冻胀的影响,仅考虑土中含水率的影响,属封闭系统情况。当地下水位高于临界深度时,可按开敞系统考虑,即考虑土中含水率和地下水补给的影响。如多年冻土活动层黏性土冻胀问题可按封闭系统处理,即在没有地下水补给的条件下,土中含水率和冻胀率间的关系为:

表 1 不同盐渍度冻土强度指标的降低

强度类别		基侧土冻结强度 (kPa)						桩端阻力 (kPa)					
盐渍度 ζ (%)		0.2		0.5		1.0		0.2		0.5		1.0	
土类	土温(°C)	-1		-2		-1		-1		-2		-1	
	土温(°C)	50	80	—	—	—	—	150	—	250	—	—	—
砂类土	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
粉质黏土	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
盐渍化冻土/一般冻土	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
一般冻土	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
土温(°C)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
一般冻土	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
砂类土	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
粉质黏土	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注: 3m~5m 深处桩端。

表 2 不同泥炭化程度冻土强度指标的降低

强度类别		基侧土冻结强度(kPa)						桩端阻力(kPa)					
泥炭化程度 ξ		$0.03 < \xi \leq 0.10$		$0.10 < \xi \leq 0.25$		$0.25 < \xi \leq 0.60$		$0.03 < \xi \leq 0.10$		$0.10 < \xi \leq 0.25$		$0.25 < \xi \leq 0.60$	
土温($^{\circ}\text{C}$)		-1		-2		-1		-1		-1		-1	
土类	砂类土	90	-	130	-	50	-	90	-	35	-	70	-
	粉质黏土	-	60	-	100	-	35	-	60	-	25	-	50
冻结泥炭化土/ 一般冻土		0.69	0.60	0.65	0.67	0.38	0.35	0.45	0.40	0.27	0.18	0.33	0.18
一般冻土		-1		-2		-2		-1		-2		-1	
土温($^{\circ}\text{C}$)		-1		-2		-2		-1		-2		-1	
一般冻土		130		200		1400		1700		850		1100	
土温($^{\circ}\text{C}$)		-1		-2		-2		-1		-2		-1	
一般冻土		90		130		50		90		35		70	
土温($^{\circ}\text{C}$)		-1		-2		-2		-1		-2		-1	
一般冻土		130		200		1400		1700		850		1100	

注: 3m~5m 深处桩端。

$$\eta = \frac{1.09\rho_d}{2\rho_w}(\omega - \omega_p) \approx 0.8(\omega - \omega_p) \tag{1}$$

式中： η ——冻胀率(%)；
 ρ_d ——土的干密度，取 1.5g/cm³；
 ρ_w ——水的密度，取 1.0g/cm³；
 ω ——总含水率(%)；
 ω_p ——塑限含水率(%)。

但是，当季节冻土的冻胀性问题按开敞系统考虑时，即在有地下水补给情况下，冻胀性将会提高，如表 3.2.1 中当 ω 大于 $\omega_p + 15$ 时为特强冻胀。

近十几年内各有关单位对季节冻土层地下水补给高度的研究做了很多工作，见表 3、表 4、表 5 和表 6。

表 3 土中毛细管水上升高度与冻深、冻胀的比较

土壤类别 \ 项目	毛细管水上升高度 (mm)	冻深速率变化点 距地下水位的高度 (mm)	明显冻胀层 距地下水位的高度 (mm)
重壤土	1500~2000	1300	1200
轻壤土	1000~1500	1000	1000
细砂	<500	—	400

资料来源：王希尧. 不同地下水埋深和不同土壤条件下冻结和冻胀试验研究[J].
《冰川冻土》. 1980,2(3):40 - 45.

表 4 无冻胀层距离潜水位的高度

土壤类别	重壤	轻壤	细砂	粗砂
无冻胀层距离 潜水位的高度 (mm)	1600	1200	600	400

资料来源：王希尧. 浅潜水对冻胀及其层次分布的影响[J].《冰川冻土》. 1982,4
(2):55 - 61.

表 5 地下水位对冻胀影响程度

土类	地下水距冻结线的距离 z (m)				
亚黏土	$z > 2.5$	$2 < z \leq 2.5$	$1.5 < z \leq 2.0$	$1.2 < z \leq 1.5$	$z \leq 1.2$
亚砂土	$z > 2.0$	$1.5 < z \leq 2.0$	$1.0 < z \leq 1.5$	$0.5 < z \leq 1.0$	$z \leq 0.5$
砂性土	$z > 1.0$	$0.7 < z \leq 1.0$	$0.5 < z \leq 0.7$	$z \leq 0.5$	—
粗 砂	$z > 1.0$	$0.5 < z \leq 1.0$	$z \leq 0.5$	—	—
冻胀类别	不冻胀	弱冻胀	冻胀	强冻胀	特强冻胀

资料来源:童长江.切向冻胀力的设计[R].中国科学研究院冰川冻土研究所.大庆油田设计院.1986.

表 6 冻胀分类地下水界线值

土的冻胀性分类		不冻胀	弱冻胀	冻胀	强冻胀	特强冻胀
土名	地下水位(m)					
黏性土	计算值	1.87	1.21	0.93	0.45	< 0.45
	推荐值	> 2.0	> 1.5	> 1.0	> 0.5	≤ 0.5
细砂	计算值	0.87	0.54	0.33	0.06	< 0.06
	推荐值	> 1.0	> 0.6	> 0.4	> 0.1	≤ 0.1

资料来源:戴惠民,王兴隆.季冻区公路桥涵地基土冻胀与基础埋深的研究[R].黑龙江省交通科学研究所.1989.

根据上述研究成果,以及专题研究“黏性土地基冻胀性判别的可靠性”,将季节冻土的冻胀性分类表中冻结期间地下水位距冻结面的最小距离 h_w 作了部分调整,其中粉砂由 1.5m 改为 1.0m;粉土由 2.0m 改为 1.5m;黏性土中当 ω 大于 $\omega_p + 9$ 后,而改成大于 $\omega_p + 15$ 为特强冻胀土;

本次修订对表 3.2.1 做了适当修改。

(1)将“冻结期间地下水位距冻结面的最小距离”一栏修改为“冻前地下水位距设计冻深的最小距离”。

“冻结期间地下水位距冻结面的最小距离”的要求给实际勘察带来很大困难,一方面,什么时期地下水位距离冻结面最近难以预

测,另一方面,该指标的勘察确定与冻前含水率的勘察也必然存在季节上的不一致,造成勘察困难。因此,建议将该指标修改为“冻前地下水位距设计冻深的最小距离”,表中对应的取值保持不变。设计冻深应该视为冻结期间的最大冻深,如果冻前地下水位距离设计冻深的距离大于表中取值,且在冻结期间地下水位不上升,则满足修订后的“冻前地下水位距设计冻深的最小距离”,也一定满足修订前的“冻结期间地下水位距冻结面的最小距离”。

(2)对于表中第一种土类“碎(卵)石,砾砂、粗砂、中砂(这些粗砾类土中粒径小于 0.075mm 的颗粒含量均不大于 15%),细砂(粒径小于 0.075mm 的颗粒含量不大于 10%)”,原规范中对地下水位不做考虑。本次修订讨论中,设计单位提出:当此类土下部存在隔水层,且地下水位很高使得该土层呈饱和含水状态时,会出现较强的冻胀。中科院寒旱所的一些路基填土(碎石土、卵石土)在饱和含水条件下的封闭冻胀实验也出现过产生一定程度冻胀的现象,此种冻胀主要源于水相变为冰的体积膨胀。粗砾类土的冻胀性不仅取决于土中的粉黏颗粒的含量,还决定于冻结过程土中水分能否排除。因此,在该类土中,又针对含水状况、隔水层等划分为两种情况处理。

(3)对于冻胀变形敏感的工程(如高速铁路)应考虑土层平均冻胀率 $\eta \leq 1$ 时产生的微冻胀对工程的影响,特殊情况根据需要做专门研究。

冻结深度与冻层厚度两个概念容易混淆,对不冻胀土二者相同,但对冻胀土,尤其强冻胀以上的土,二者相差颇大。冻层厚度的自然地面是随冻胀率的加大而逐渐上抬的,设计基础埋深时所需的冻深值是自冻前原自然地面算起的,它等于冻层厚度减去冻胀量,特此强调提出,引起注意。

3.2.2 关于多年冻土的融沉性分级问题,我国的生产教学和科研部门做了大量工作,取得了可喜的成果。如 1984 年前将多年冻土的融沉性,主要以土的类别、总含水率和融化后的潮湿程度为依据

划分为:不融沉、弱融沉、融沉、强融沉四级。但是,随着生产发展和科学研究工作的深入,已经证明,多年冻土的融沉性应以融沉系数为指标进行分级的做法是正确的,因为这在一定程度上反映了冻土的构造和力学特性(见表 7),并与设计原则有密切联系。为此,本规范采用了现行行业标准《冻土地区建筑地基基础设计规范》JGJ 118 中多年冻土的融沉性分级(见本规范表 3.2.2)。本规范此次修订之后与现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 多年冻土融沉性分级取得一致。

表 7 冻土的融沉性与冻土强度及构造的对应关系

级 别		I	II	III	IV	V
融沉评价	名称	不融沉	弱融沉	融沉	强融沉	融陷
	融沉系数 δ_0	$\delta_0 < 1$	$1 \leq \delta_0 < 3$	$3 \leq \delta_0 < 10$	$10 \leq \delta_0 < 25$	$\delta_0 \geq 25$
强度评价	名称	少冰冻土	多—富冰冻土		饱冰冻土	含水冰层
	相对强度值	< 1.0	1.0		0.8~0.4	< 0.4
冷生构造		整体构造	微层微网状构造	层状构造	斑状构造	基底状构造
界限含水率 ω (%)	黏性土	$\omega < \omega_p$	$\omega_p \leq \omega < \omega_p + 4$	$\omega_p + 4 \leq \omega < \omega_p + 15$	$\omega_p + 15 \leq \omega < \omega_p + 35$	$\omega \geq \omega_p + 35$
	砂土粉土	$\omega < 14$	$14 \leq \omega < 21$	$21 \leq \omega < 32$	$32 \leq \omega < 65$	≥ 65
	碎、砾石土	$\omega < 10$	$10 \leq \omega < 15$	$15 \leq \omega < 25$	$25 \leq \omega < 44$	≥ 44

资料来源:吴紫汪. 冻土工程分类[J].《冰川冻土》,1982,4(4):43—48.

当Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ级融沉土的融沉量超过建筑的容许变形值时,对建筑物而言则必须采取相应的设计原则、适当的基础型式以及能适应不均匀沉降的柔性结构等特殊措施;对线型建筑物而言,除采用保持冻结状态的设计原则外,还必须保证有一个合理的路基最小填土高度,注意环境保护以及路基排水等措施是至关重要的。经多年研究和本规范的专题研究“大兴安岭北部多年冻土地地区路

基沉陷问题的研究”工作表明,高含冰冻土,即包括富冰冻土、饱冰冻土和含土冰层地段的路基沉陷,当工程影响下的季节融化深度大于多年冻土天然上限时,其融沉特点是:

(1)沉陷值较大(莫尔道嘎—激流河公路测试路段达 $0.29\text{m} \sim 0.51\text{m}$)。有时产生突陷,沉陷量可达 $1\text{m} \sim 2\text{m}$ 。

(2)不均匀沉陷。因为相邻断面或同一横断面上的不同位置其沉陷量不同。

(3)沉陷量过程曲线无收敛趋势。这在饱冰冻土和含土冰层的路基地段,特别突出。

由以上可知,第Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ融沉性土,从冻结至融化状态时的变形,是建筑设计、施工和使用过程中,都需要认真对待的问题。为此,应注意采取以下几点措施:

(1)加强选址工作;

(2)根据冻土的冻结与融化状态,确定地基设计原则;

(3)提出地基土融沉变形不超过建筑物允许变形值的相应措施,或符合设计原则的其他正确措施。

4 冻土工程地质勘察基本要求

4.1 一般规定

4.1.1 冻土工程地质的研究对象是冻结的岩土体系,它的研究内容除了具有常规岩土的基本性质的研究、整治、改造和利用问题之外,还有其独特的性质;岩土体内水分的相变,温度的变化以及未冻水的动态变化都不断地改变着冻结岩土的工程性质。因此,它比非冻结土的“岩土工程勘察”要复杂得多。它包含了冻土区的工程地质调查、测绘、勘探、取样、定位观测、原位测试和室内试验等内容。各个程序及其内容都具有特殊的要求,更重要的是对建筑场地的冻土工程地质条件作出评价和预报。这是由于冻土工程地质条件对人类工程活动的干扰具有特别的敏感性和脆弱性所致。本条规定主要侧重考虑:冻结岩土具有特殊性和复杂性,非同一般;在设计和施工中必须以建筑场地冻结岩土的实际状况作标准;勘察成果评价中应该考虑到人类工程活动对冻土工程地质条件变化的预测及环境保护的方案;强调对重大工程必须进行观测,特别注意冻土工程地质条件的变化,以保证建筑物的安全与稳定。

4.1.2 冻土工程地质勘察的工作内容,主要取决于冻土工程地质条件的复杂程度、地基基础的特殊要求及人类工程活动(包括建筑物修建后)对冻土工程地质条件的影响。这三个因素不但对确定冻土工程地质勘察工作内容和工作量有关系,而且也影响着工作方法的选择和程序化。因此,在进行冻土工程地质勘察之前,应该比非冻结土的“岩土工程勘察”花费更多精力去搜集勘察区及邻近地区的有关资料,它包括区域性的气象及冻土资料、科研文献和勘察试验方法。编制工作大纲时,应明确该勘察区的主要冻土工程地质问题,确定取样部位及应测试的参数,给出试验参数的温度和

环境条件。因为冻土工程地质问题及设计参数受冻土温度和环境条件的影响,且变化较大,在勘察报告中应特别说明。

4.1.3 冻土地区工程重要性等级主要依据冻土工程地质问题造成工程破坏后果的严重程度划分。

4.1.4、4.1.5 本次修订,增加了冻土地地区地基的复杂程度分级,将冻土工程地质勘察中各类建设工程场地、地基的复杂程度分别划分为三个等级。等级的划分应从一级开始,向二级、三级推定,以最先满足的为准;场地复杂程度等级划分主要考虑危害建筑物的场地抗震地段、不良地质作用的发育程度、冻土现象发育程度、地形地貌复杂程度。对建筑抗震危险、不利、一般和有利地段的划分,应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定确定。地基复杂程度等级划分时,除了根据地质及岩土等因素之外,应特别注意冻土条件(包括冻土工程类型及分布,季节冻结与季节融化深度、冻土的含冰量与温度状态、地表植被和雪覆盖状态等)的破坏情况,因为它们的存在及变化都直接影响着冻土工程地质条件的变化。因此,主要考虑冻土工程地质条件,其中多年冻土的年平均地温直接影响和决定着多年冻土工程地质条件的稳定状态。按我国多年冻土年平均地温可分为四级:极不稳定状态(年平均地温高于 -0.5°C),不稳定状态(年平均地温为 $-0.5^{\circ}\text{C} \sim -1.0^{\circ}\text{C}$)、基本稳定状态(年平均地温为 $-1^{\circ}\text{C} \sim -2^{\circ}\text{C}$)和稳定状态(年平均地温低于 -2°C)。各种状态下的冻土工程地质条件稳定性相差甚大,它们对气候、地质、生态环境及人类工程活动的反应各不相同。不稳定状态下的多年冻土的反应极其敏感,以致完全改变冻土工程地质的全部性质,出现大量的冻土工程地质问题。所以,冻土地地区的地基复杂程度等级划分主要取决于冻土的含冰条件及年平均地温。

剪切波速应按冻土地基基础设计原则分别提供,按保持冻结状态设计原则进行设计时,需提供现场实测剪切波速;按允许融化状态设计原则进行设计时,需提供融化后地基土剪切波速,应符合

现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 规定。

4.1.6 本次修订增加了冻土地区岩土工程地质勘察等级的划分,依据冻土地区工程重要性等级、场地复杂程度等级和地基复杂程度等级划分为甲、乙两个等级。目的是进一步明确冻土工程勘察的任务,细化勘察工作内容。

4.1.8 为了确保冻土地区岩土工程勘察质量,明确了控制性勘探点的最少数量及勘探点、线的布置基本要求。

4.1.9 本条原为本规范第3章第3.1节内容,现调整至本章。

4.1.10 冻土物理力学与热学性质的试验与测试是冻土工程地质勘察工作主要内容之一。在可行性研究阶段勘察,通常只简单地测定冻土的几个物理参数,如含水率、干密度及其颗粒成分等,在初勘与详勘阶段还应做一些原位的力学参数测定与试验。由于各种原因无法获得实测资料时,可按本规范附录C确定冻土的物理力学与热学参数。虽然根据土的物理指标选取计算冻土物理力学与热学参数是一种简捷近似的方法,但因地基土的矿物成分、有机质含量、粒度和结构构造及水分含量的差异,就可能造成有 $\pm 5\%$ ~ $\pm 11\%$ 的均方差。同时,选用土物理指标的代表性和可靠性,直接影响计算与选用参数的正确性。有关土物理指标的选用问题应注意以下几点:

(1)在计算场地和地基土天然冻结或融化深度、温度场和力学强度等指标,应注意总含水率的瞬时测定值与平均值的关系,特别是地表以下0.5m深度内含水率变化很大时,瞬时值不能代表平均值;

(2)计算相变时所用的总含水率指标,应以春融前的测定值为准;未冻水量的计算应以冻结期土体达到的最低温度为准;

(3)在确定冻土地基强度所需的温度值均以基础下持力层范围内建筑物使用期间的最高温度为准;

(4)在计算冻土地基的融化下沉时所需的含水率及容重,应以基础下持力层范围内土体冻结期达到最低温度时的冻土含水率及

干密度为准；

(5)在确定衔接多年冻土区采暖建筑的基础埋置深度时,应考虑冻土融化后土体结构破坏(如多冰地段冻土融化后一般呈饱和或过饱和状态)；

(6)在确定保温层厚度时,应考虑选用的保温材料(如干草碳砌块或炉渣等)长期使用后受潮的可能性。同时还应注意选用大孔隙保温材料时,由于对流和辐射热交换对热参数的影响。

4.1.11 本条为强制性条文,必须严格执行。在冻土地区岩土工程勘察地温是个非常重要指标,各行业在冻土地区勘察过程中必须设置地温观测孔,进行地温测量,取得地温资料,因为不同的冻土年平均地温表示着冻土受外界因素(气候、人为)热干扰时的稳定性,地温越低,冻土受外界热干扰性越小。正确评价冻土工程类型、划分冻土稳定带,为冻土工程建筑地基设计原则提供可靠依据,否则将造成设计原则上的失误。近年来,在多年冻土地区工程建设过程中,因勘察未布设低温观测孔提供详实的地温观测资料,导致工程事故的案例时有发生,危及生命安全,造成严重的经济损失。

4.1.13 冻土地区场地与地基条件的复杂性主要反映在厚层地下冰分布以及冻土年平均地温的稳定地段。建筑物修建后改变着冻土工程地质条件、温度及水分的迁移,导致冻结地基土发生冻胀与融化下沉等现象的产生和发展,影响建筑物的稳定性,甚至破坏。所以,在重要建筑中必须设立定位观测点,以监测和掌握建筑物下冻土工程地质条件及冻土年平均地温的变化状况和过程,以便及时采取措施,保持建筑物的稳定性。

4.2 冻土工程地质勘察的任务

4.2.1 多年冻土区的冻土工程地质勘察工作内容除了常规工程地质勘察要求外,特别在本条规定了九项内容。因为多年冻土及其分布特征决定着建筑物的设计原则、基础埋置深度、地基土的工

程性质和冻土的稳定性;工程建筑的施工和运营都可能改变冻土工程地质条件与冻土环境,甚至可导致与原冻土工程地质条件相差巨大的变化。因此,冻土工程地质勘察的要求与内容就远比常规岩土工程勘察复杂,特别是本条规定的前四款都直接涉及建筑物的安全和稳定性。由于未能了解上述内容而导致建筑物破坏的事例较多,本条规定的勘察内容可按勘察阶段及工程的特殊要求选择和确定各项工作深度和广度。在进行冻土工程地质勘察时,可通过搜集资料,踏勘、现场的详细冻土测绘及勘探等方法来获得。

季节融化深度,当无实测资料时,可按本规范附录 D 和附录 K 计算确定;冻土构造类型可按本规范附录 E 描述;地温年变化深度,当无实测资料时,可按本规范附录 L 计算确定。

4.2.2 季节冻土地区的冻土工程地质勘察工作在常规岩土工程勘察的基础上,加强对季节冻结土层厚度、含水及含冰特征、地下水位及其变化、冻土现象等内容的勘察与有关资料的搜集工作。同时,对地基土的冻胀性作出评价。如果采用浅基础设计方案时,必须对季节冻土的融化下沉特性作出评价。因为,季节冻土地区的主要冻土工程地质问题是地基土的冻胀性,浅基础设计时还有冻结地基土的融沉性。这些冻土工程地质问题及与气候、水文地质、地质-地理环境有着密切的关系。所以,季节冻土地区进行工程地质勘察时宜查明本规定的六项内容。

4.3 冻土工程地质区划原则

4.3.2 冻土工程地质区划首先应反映勘察区内多年冻土或季节冻土分布的区域性和地带性特征;其次,在常规工程地质区划原则的基础上,按地质构造、地貌特征、结合冻土地温的地带性和主要基本特征,进行分区;再次,依据冻土工程地质条件、主要物理力学热学特征,地下冰及冻土现象的分布,进一步分区。该分区原则在通常情况下可按三级进行冻土工程地质区划。不论何级区划,各

区划单元都必须充分地反映冻土的基本特征与主要自然环境因素的生存关系,同时应考虑不同建筑项目的要求和勘察阶段,便于工程设计时使用,其比例尺可由工程项目要求及勘察阶段和所反映的区划内容决定。

4.3.3 冻土工程地质区划应分三级进行。原则上,可行性研究及规划阶段可给出一级分区,初步勘察作出二级分区,详细勘察阶段应该进行三级分区。特殊情况下,应按工程要求增减各级区划的内容。

本区划内容主要用于第四纪沉积物(包括基岩的强风化带)的冻土工程地质分类,对于冻结的完整坚硬基岩,其工程地质性质取决于基岩本身的性质。

地貌单元(如分水岭、山坡与河谷等)的多年冻土类型,表征它的形成条件和现阶段的存在条件。每一种地貌都反映了一定气候和地质条件下,土的共生或后生冻结、多年冻土的形成与厚度变化、多年冻土的冷生组构、气候转暖和变冷时多年冻土的局部或全部消融与冻结等特征。

冻结沉积物的成因决定了沉积物的成分、空间分布的不均匀性、组构、埋藏条件及石化程度,也决定着沉积物的共生或后生冻结类型及相应的冷生组构。

土的粒度成分决定着冻土工程地质性质及冻结过程的重要特征。

冰包裹体的性质及分布决定着冻土的冷生组构。各种成因和构造不仅可以评价冻土的工程性质,还可以表征冻土融化时的状况和热融下沉量、冻土的强度特征及冻结过程中的有关现象。

显然,表征冻土稳定性的最重要的指标是多年冻土的年平均地温(T_{cp}),它决定了土的热交换动态,以及冻结过程的特点,并影响冻土的物理力学和热学性质。按多年冻土地温的稳定状态可分为四种类型:

(1)稳定型多年冻土: $T_{cp} < -2.0^{\circ}\text{C}$,其热状态较为稳定,水分

迁移过程较弱,冰包裹体具有明显的脆性,冻土强度很高;

(2)基本稳定型多年冻土: $-2.0^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{cp}} < -1.0^{\circ}\text{C}$,其热状态属稳定,工程性质介于稳定和不稳定型多年冻土之间;

(3)不稳定型多年冻土: $-1.0^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{cp}} < -0.5^{\circ}\text{C}$,属于高温冻土,其热状态不稳定,含有较多的未冻水,冻土强度较低,具有半塑性;

(4)极不稳定型多年冻土: $T_{\text{cp}} \geq -0.5^{\circ}\text{C}$,属于高温冻土,含有大量的未冻水,在一年和多年的地温动态影响下,冻土中未冻水分会发生强烈的相变和迁移,存在的冰包裹体具有极大的塑性,它的热状态极不稳定,在气温变暖及人类工程活动影响下冰包裹体极易融化,具有较低的冻土强度。

冻土厚度不仅要考虑冻土地带所特有的厚度变化范围,而且要考虑建筑物热作用下的变化特点,厚度为 20m 以内的多年冻土,在一般建筑物的热影响下,往往可在 5 年~10 年内全部融化;厚度为 20m~50m 的多年冻土,在大型散热建筑物或建筑群的影响下,可能产生相当大的融化,但通常情况下冻土可以保存下来;厚度为 50m~100m 的多年冻土,在水工建筑物影响下会出现明显的融化,但不会影响冻土的存在;厚度大于 100m 以上的多年冻土,可以保持不变,仅出现自上而下的局部融化。可见,冻土厚度的变化与冻土地带是相适应的。

冻土的埋藏条件,反映在 20m 深度内有无融化夹层、融区及季节融化层与下卧多年冻土层的衔接关系。如无融化夹层时可视为冻结地基,若不衔接和局部融区的多年冻土可视为冻结或融化地基。这取决于剖面上冻土与融土的比例、冻土含冰量与性质及所采取的施工方法和技术措施。

由此可见,冻土工程地质区划的内容必须反映冻土工程地质的基本特征,它是在常规工程地质区划的基础上突出了冻土特征,其相应的内容更明确、更具体。有关冻土的物理力学及热学性质,往往在图上难以表示时,应列表叙述。

4.4 冻土工程地质评价

4.4.1 冻土对自然条件改变、地表扰动、温度变化、地表水流侵蚀以及人类活动等影响表现出强烈的敏感性和脆弱性,其赋存环境受到外界因素的显著制约和影响,表现出工程不稳定性和环境不稳定性。诸多工程实践经验表明,原始的冻土工程地质条件可能比较稳定,但在建筑物修建和运营期间,冻土工程地质性质则发生明显的甚至很大的改变,甚至恶化,导致建筑物的破坏。因此,冻土工程地质及其环境评价除了按照建筑物设计所需要的冻土工程地质条件及设计参数作出评价外,还应对由于人类活动或自然因素改变对冻土工程地质条件可能产生的影响作出评价。为此,在冻土工程地质评价中必须提出相应的保护冻土工程地质条件以及预测其变化时应作出的及时或超前的防治措施。

4.4.2 冻土工程地质条件评价的内容必须与冻土工程地质区划的内容相对应,这是由于冻土的特殊性所要求的。依据以往许多工程事故与教训的总结,本条所列出的内容与冻土工程地质条件是密切相关的。因此,如果对本条的内容都能作出较详细评价,不少的冻土工程地质条件变化是可以预见的,工程病害也可以减少。

4.4.3 冻土环境评价是冻土工程地质评价的重要组成部分。多年冻土发育的冷生过程直接影响着地表景观的稳定性。如地表的植被和雪盖的铲除、沙漠化、地表的开挖和再沉积作用、岩体的破坏、水文及水文地质条件的扰动等方面的变化都直接影响着多年冻土地区环境工程地质条件的稳定性。因此,冻土工程地质环境调查不仅应把它看成是环境保护的问题,更应看作是冻土工程地质资源的合理利用问题。在冻土工程地质勘察过程中必须按照工程设计阶段,了解比选方案范围内的环境地质-冻土的现状,充分而合理地利用冻土工程地质资源,避免引起不良的后果。所以,各项工程建筑物的地基土和冻土工程地质条件等都应该看成是工程

地质资源和自然环境资源的范畴,形成一个“工程建筑-地质环境”系统。

冻土现象对自然环境和人类工程活动干扰的反应表现极为敏感,因而应对冻土现象的形态、分布、形成与发育历史、原因和过程等作出详细调查。同时,对因工程修建后改变冻土工程地质条件引起新生冻土现象做出预测和评价,并提出相应的环境保护措施建议。大量的工程实践证明,工程建筑物修建后完全或局部地改变了原地的冻土工程地质条件和水文地质条件,形成大量的冻胀丘、冰椎、热融滑塌和融冻泥流等次生灾害,这都是由于在冻土工程地质勘察和设计时未能够就自然与人类工程活动的影响提出正确评价及环境保护措施的结果。

引起冻土工程地质条件变化的最敏感部分是地形、植被及雪盖的扰动情况,与此相关联的因素还有冻土类型、分布特征、冻土的地温稳定性、地下冰与埋藏特点。因此,冻土工程地质环境调查应与冻土工程地质勘察工作密切结合,这样可以减少许多重复工作。人类活动可能加剧了地表破坏和冻土地温的扰动,所以本条要求对建筑物修建后的冻土工程地质环境变化作出预测和评价,也是冻土工程地质环境调查比一般环境调查要求更高的原因。

4.4.4 冻土是在综合自然因素作用下生存与发展的。自然综合体是各种自然因素之间有着复杂相互关联的体系,一些因素的变化会引起另一些因素的变化。因此,由于工程作用造成的破坏,其结果是导致冻土生存的破坏,特别是清除自然覆盖物或改变覆盖物的性质如清除植被、洼地积水或疏干和排除地表积水、平整地形、清除或换填上部土层和建筑物的热作用等,都可能改变冻土的存在条件,使地温升高,季节融化深度增大,冰包裹体融化等,进而引起地基下沉,山坡坍塌以及融冻泥流等现象出现。因此本条强调对冻土环境保护作专门评价和预测,以指导工程建设并制定相应的防范措施。

冻土地基的利用原则应根据冻土的自然条件及变化后的冻土条件而定,局部因素的改变可以按合理的技术经济评价,提出利用和保护措施。对建筑物而言,应该根据建筑物的重要性、场地冻土条件(特别是冻土的温度条件)、建筑物的热作用及冻土环境条件的变化等综合考虑,提出冻土地基的利用原则。

4.5 冻土工程地质勘察报告

4.5.1 由于冻土工程地质条件比较复杂和不均匀,加强原始资料的编录工作是保证勘察成果报告质量的基本条件,也是冻土工程地质分析和编写成果报告的基础。本条强调对冻土工程地质分析所依据的一切原始资料,均应进行整理、检查、分析、鉴定,确认无误后方可使用。

4.5.2、4.5.3 所列的冻土工程地质勘察成果报告的基本内容是各个工程勘察报告所必需的,与常规的工程地质勘察成果报告相比,突出和增加了下列内容:

- (1)突出冻土特征及其工程性质、冻土现象的描述和评价;
- (2)地基土冻胀性、融沉性评价及场地稳定性和适用性评价;
- (3)冻土参数的分析与选用;
- (4)场地的利用、整治、改造方案和建筑设计原则;
- (5)工程施工和运营期间可能发生的冻土工程地质问题的预测、监控和预防措施的建议;
- (6)在图件中增加冻土工程地质区划、冻土地温观测、增加冻土利用整治改造、冻土工程计算简图及计算成果等有关图表;
- (7)为工程设计提供冻土物理力学及热学指标。

但是,由于工程要求、勘察阶段不同,图件比例尺的要求也不相同,无法制定一个统一的图件比例尺。所以,本条只规定勘察成果报告应附的基本图件,其比例尺应根据工程要求、工程特点和勘察阶段来确定。

多年冻土地基基础设计原则详见《冻土地区建筑地基基础设

计规范》JGJ 118 第 4 章。

4.5.4 本条提出,除综合性的冻土工程地质勘察报告外,尚可根据任务要求,提交某一专题性的单项报告,如工程沉降观测报告、验槽报告、冻土融沉或承载力试验报告以及场地冻土环境工程地质评价等。

5 冻土工程地质调查与测绘

5.1 一般规定

5.1.1 冻土工程地质勘察的任务是查明建设区的冻土工程地质条件,为拟建工程设计、施工提供必要的依据。冻土工程地质条件包括的内容很多,对于不同的工程,不同的勘察阶段,需要提供的冻土工程地质资料是不同的。因此,冻土工程地质勘察的调查与测绘应贯彻“循序渐进,逐步深入”的原则,即:“先区域特征,后局部性质”,逐步查清和提出拟建工程设计、施工所需要的多年冻土环境资料和地基冻土工程地质资料。本条列出的不同勘察阶段冻土工程地质调查与测绘的基本要求,在制定各勘察阶段冻土工程地质调查与测绘计划时,应根据拟建工程特性和建设地区的具体情况贯彻执行。

5.1.2 关于冻土工程地质调查与测绘的范围,因本规范包括的专业较多,这里仅将铁路、公路、架空送电线路和管道等线性工程的调查与测绘范围作了一般规定。至于水利水电工程和建筑工程的调查与测绘范围,除建筑场地外,还应包括对建筑物可能产生潜在热、力不利影响的相邻地带。冻土工程地质勘察时,具体的调查、测绘范围应根据拟建冻土工程的特性和特殊要求确定。

关于测绘比例尺,由于各专业性质不同,不能作统一规定,只能根据专业设计各阶段的需要提出要求。在一般情况下,冻土工程地质测绘的比例尺应根据建筑物的性质和重要性、勘察阶段、区域冻土和场地冻土工程地质条件的复杂程度综合考虑确定。

5.1.3 评价冻土工程地质条件需要调查的项目很多。本条列出的调查项目是冻土工程地质条件整体框架的基本内容。冻土工程地质调查与测绘应查明的项目依据拟建工程类型不同而有所区

别,并非任何冻土工程都需要完成所列调查内容。具体应调查那些项目应根据拟建工程特性、勘察阶段和区域冻土特征而定。但是,不论何种冻土工程,地基基础设计都需要的冻土工程地质资料是:①多年冻土的空间分布特征,即多年冻土在平面和剖面上的分布界线;②多年冻土的基本特征,即多年冻土的年平均地温、地温年变化深度,多年冻土的厚度和上限埋深,多年冻土的岩性成分和工程类别;③季节融化层的工程特性。

因此,在制定冻土工程地质调查与测绘计划时,应重点、优先安排上述项目的调查。

多年冻土区工程变形破坏的原因大多与季节融化层冻融循环过程的热、力作用和冻土现象的影响有关。多年冻土区的微地形、微地貌是指示冻土现象活动的标志。因此,在冻土工程地质测绘时,应注意微地形、微地貌的测绘。查清各类冻土现象的出现位置、发育规模和分布范围,是正确评价建筑场地的冻土工程地质条件、确定建筑物的平面和剖面布局以及冻土地基利用原则的基础。

5.1.4 本条列出的冻土工程地质调查与测绘应提交资料的内容是指一般情况下应包括的,具体应提交哪些资料应根据工程类别、勘察阶段等确定。

5.2 冻土现象调查与测绘

5.2.1 冻土现象的调查与测绘是冻土工程地质勘察的一项重要内容。查明建设区域对工程存在直接威胁和潜在危险的冻土现象类型、分布范围、发生发展规律,评价其对拟建工程稳定性的影响程度,提出防治对策和设计、施工注意事项,是冻土现象调查与测绘的重要任务。

5.2.4 冰椎、冻胀丘是多年冻土地地区冬季常见的对工程构成严重威胁的冻土现象。

冬季多年冻土地地区地表冻结后,因承压作用,地下水从薄弱处挤出地表冻结,形成的椎状、草帽状冰体称为冰椎。冰椎一般可分

成河水冰椎和泉水冰椎。河水冰椎是河面封冻后,承压河水在冰层薄弱处挤破冰层流出,在冰层表面冻结而成,它多分布在河床及漫滩。泉水冰椎是地下水流出地面冻结而成,它多分布在阶地、山间洼地和山前洪积扇的边缘地带。

在一定地层结构和冻结条件下,地下水在地面下某处冻结,形成冰凸镜体,产生聚冰膨胀,将地表抬升、鼓起呈丘状,称为冻胀丘或冰丘。冻胀丘多分布在河漫滩、阶地、沼泽湿地、平缓山坡和山前地带。

冰椎、冻胀丘在发育过程中如果遇到阻碍,可产生巨大膨胀力,可使建筑物产生严重变形甚至破坏。因此,在一般情况下,冻土工程选址应尽量避免冰椎、冻胀丘发育地段。如果无法避开时,应查明建筑地带的水文地质条件,采用有效防止冰椎、冻胀丘在建筑物附近出现的工程措施和确保建筑物安全的特殊结构。

5.2.5 厚层地下冰是指埋藏于地下,厚度较大的冰层。按其成因,厚层地下冰可划分为:分凝冰、埋藏冰和裂隙脉冰。分凝冰是多年冻土地区常见的厚层地下冰。在山前堆积斜坡地段,由于地表层冻融循环过程的重复分凝析冰作用,在多年冻土上限附近,往往形成巨厚的冰层。在我国冻土工程界,把厚度大于 0.3m 的冰层称为厚层地下冰(俄罗斯定义为 0.5m)。这种冰层的纯度很高,其体积含冰量可达 80% 以上。厚层地下冰的分布有如下特点:

(1)在低山丘陵区,植被覆盖良好、坡度小于 9° 、由黏性土组成的平缓山坡均有分布。 $9^{\circ}\sim 16^{\circ}$ 的类似山坡可能也有厚层地下冰发育;

(2)由黏性土组成的河流阶地、河床和热融湖(塘)下,大多有厚层地下冰分布。

、厚层地下冰的调查与测绘范围应包括厚层地下冰分布地段和一定宽度的相邻地带,可采用钻探和地球物理勘探相结合的调查方法,查明厚层地下冰的空间分布特征。为保护多年冻土环境,厚层地下冰调查时,不得采用破坏地表植被暴露地下冰的调查方法。

5.2.6 热融滑塌和热融沉陷是厚层地下冰分布地段常见的病害。热融滑塌的产生是由于山坡坡脚破坏,厚层地下冰暴露融化而引起。热融滑塌的发育过程具有溯源(向高处)发展的特点。发育成熟的热融滑塌可划分出坍塌区、滑溜区和堆积区。只要有厚层地下冰存在,斜坡的坍塌—滑溜—堆积过程就会一直进行下去,直至斜坡上部无厚层地下冰分布的地段,热融滑塌才停止发展,进入消亡阶段。热融滑塌的发育规模和影响范围可以是很大的,可使斜坡上的建筑产生严重变形甚至破坏,可掩埋下方的道路和其他建筑。

根据热融滑塌病害随时间而发展的特点,其整治宜尽早进行,以减小其影响。

热融沉陷的产生是厚层地下冰的上覆盖层被破坏,厚层地下冰融化而引起。其规模和影响范围取决于厚层地下冰的融化范围和融化数量。及早恢复厚层地下冰上覆盖层的热阻,防止厚层地下冰的继续融化,是整治热融沉陷病害的正确方法。

5.2.7 热融湖塘是高含冰量多年冻土分布地段常见的一种冻土景观,其形成是由于地表或地下热干扰,使高含冰多年冻土融化(热卡斯特现象)而引起。热融湖(塘)的直径一般数十米至数百米。可分为常年积水和季节性积水两种。

热融湖塘的发育过程可划分为发生、发展和消亡三个阶段。热融湖塘的调查应重点查明其现时所处的发育阶段。

处于发展阶段的热融湖塘可引起影响范围内建筑物地基多年冻土的升温 and 融化,使建筑物产生变形和破坏。

改善热融湖塘地段的热平衡条件,提高地基多年冻土的热稳定性,是维持热融湖塘地段工程稳定性的基本对策。

在青藏高原多年冻土区,低温多年冻土的地温年变化深度基本在 8m~12m 之间,高温多年冻土的地温年变化深度在 10m~15m 之间;而在东北多年冻土区,地温年变化深度则在 12m~18m 之间。对于因热干扰导致的高含冰量多年冻土融化而形成的热融

湖塘和热融洼地来说,当地温年变化深度大于 15m 时,多年冻土基本已处于退化状态,较难存在稳定的地温年变化深度。因此,在对热融湖塘和热融洼地进行调查钻探和测温时,调查勘探深度按不小于 15m 来考虑已基本能够满足对其下多年冻土的了解。对于 5.2.8 条中冻土沼泽、冻土湿地调查勘探深度的确定亦是如此。

5.2.8 冻土沼泽、冻土湿地是多年冻土地区常见的一种现象。在多年冻土区的山前平缓斜坡地段以及山间洼地,由于多年冻土层(或黏土层)的隔水作用,使地表层土体含水丰富,植被生长茂盛,季节融化层表面温度降低,热阻增大,多年冻土上限上升,导致地表排水性能降低而沼泽化,形成冻土沼泽、冻土湿地。

冻土沼泽多分布在河漫滩、阶地或台地上。按其分布位置,可划分为低位、中位和高位三种类型沼泽。在东北多年冻土地区,三种类型沼泽均有分布,且具有分布面积大、季节融化深度小和泥炭层厚度较大等特点。在青藏高原多年冻土区,仅有低位型泥炭沼泽分布。

冻土沼泽的调查与测绘宜在冬、春季节进行。调查可采用钻探和地球物理勘探相结合的调查方法,不得采用破坏地表植被和泥炭层、暴露多年冻土的调查方法。

6 冻土工程地质勘探与取样

6.1 一般规定

6.1.1、6.1.2 冻土工程地质勘探的手段和方法,可因工程类别和勘察阶段的不同而不尽相同。另外,勘探区的冻土特征、交通条件、气候变化以及地质地理环境等因素,都会影响勘探方法的选择和应用。

钻探及钻孔测温是冻土区常用的冻土勘探方法。随着地球物理勘探新技术发展,地质雷达勘探已广泛应用,冻土勘探应最大可能发挥地球物理勘探作用。地球物理勘探作为勘探主要辅助手段,指导钻探工作,可起到提高勘探质量、缩短勘探周期、节省勘探费用的作用。挖探对环境破坏较大,不建议大量使用。

6.1.3 通过室内遥感解译、现场验证以及地质调查测绘和地球物理勘探工作,在初步了解冻土分布特征和各种冻土现象的基础上,根据工程需要布置勘探点,以达到勘探量满足冻土工程地质勘察要求。

6.1.4 在冻土地区勘探,采用干钻钻进或单动双管岩芯管低温冲洗液钻进,目的是取得完整的冻土岩芯,准确获得冻土上(下)限、冻土构造、冰层厚度等相关资料,确保勘探质量。其他钻探方法在冻土地区勘探不适合。冻土地层采用单动双管钻具钻进,可减少岩芯管与岩芯的摩擦生热,低温冲洗液能达到更好冷却钻头保护冻土作用。低温冲洗液指温度接近于 0℃ 的液体。

6.2 钻 探

6.2.1 根据经验冻土钻探回次进尺随含冰量的增加、土温降低可以加大。但对含卵砾石较多的土层应少钻勤提,以避免冻土全部

融化。对于富冰冻土、饱冰冻土和含土冰层冻土钻探的回次进尺可为 0.8m。对卵砾石含量较多的土层钻进 0.1m~0.2m 即需提钻。在冻土钻进过程中,当土温较高或近似塑性冻土,或为了判定是否多年冻土及钻探取样较困难时,采用击入法取样可取得较好效果。当冻土中含有碎(卵)石时,钻进时间过长,取出冻土样品困难,可加少量水取出。钻探回次进尺可根据具体情况确定。

6.2.3 钻孔开孔直径宜按钻机性能和冻土取样的需要采用最大口径,如 100 型钻机一般开孔直径为 146mm。为满足柱状土样直径 80mm 的要求,终孔直径不宜小于 110mm。

6.2.4 在冻土层钻探过程中,钻探所产生的热量破坏了原来冻土温度的平衡条件,引起冻土融化,孔壁坍塌或掉块,妨碍了正常钻探。为此,除采用泥浆护孔外,在冻土中采用金属套管下入孔内,防止孔壁坍塌或掉块现象是较适宜的措施。护壁套管必须超过孔口一定高度,以防止地表水或钻探用水流入孔内。

钻探期间对场地植被的破坏,都将引起冻土工程地质环境条件的变化。因此,及时恢复破坏了的植被自然状态,保护冻土工程地质环境条件是极其重要的。

6.3 坑探、槽探

6.3.1、6.3.2 冻土层的浅部土层勘探,包括坑探、槽探、钎探和小螺旋钻等方法,其目的是为了查明地质构造线的产状、属性和形态,断面破碎带的宽度、充填情况,岩性分界、冻土上限、冻土含冰情况,以及季节融化与冻结深度等内容。坑探、槽探一般使用人力、机械或爆破法进行。但是,必须采取适宜措施,保证勘探工作安全,并及时恢复自然环境状态。

在勘探期间利用坑探、槽探方法是查明季节冻结与融化深度的最好方法。另外除用直接观测方法(如 A·H·丹尼林冻土器)或间接观测方法(如利用钻孔测地温)确定天然季节融化与冻结深度外,还可以利用钎探即用钢钎打入融土层中(适用于黏性土等),

直到冻土硬界面为止,再用专门工具将其拔出,这是实测季节融化深度最简单和最省力的方法,其效果也很好。钎探方法特别是在沼泽及泥炭化发育地段实测季节融化深度更为灵活。在未饱水的细颗粒土层中使用钎探时,可把塑性冻结状态的土层穿过直至坚硬冻土界面深度处。

虽然利用坑探、槽探方法可以直观冻土层中有无冰夹层、土层的胶结程度及其颜色的变化以确定季节冻结与融化深度,不过利用坑探、槽探方法、应注意适宜的挖探季节。一般在7、8月份进行最大季节融化深度的勘探,3、4月份进行最大季节冻结深度的勘探,这对工程建设是有用的主要数据之一。

6.4 地球物理勘探

6.4.1 地球物理勘探是冻土工程地质勘察的重要方法,配合测绘工作可迅速探测冻土状况,为布置勘探工作提供依据。地球物理勘探和钻探应紧密相结合,及时地用少量而适宜的钻探成果验证地球物理勘探方法的有效性。

6.4.2 除被探测对象的物理特性十分明显,可采用单一的地球物理勘探方法外,一般应采用多种地球物理勘探方法,互相验证和补充,以克服条件性、多解性和地区性等不利因素的影响。重点工程和复杂的建筑宜采用综合地球物理勘探工作,以提高勘探质量与经济效益。

6.4.4 冻土地球物理勘探参数是保证地球物理勘探质量的关键因素,该资料是进行内业解译的重要依据,必须收集有关不同方法实测的冻土物理参数。当该资料缺乏时,应在测区实测,以满足工作需要。

6.4.5 根据冻土的物理特性及场地条件,合理选用电法勘探、震法勘探或地质雷达等方法,并紧密结合钻探工作以探测多年冻土的分布范围、上限、下限、波速及动弹性模量等。同时,对厚层地下冰和地下水的贮存条件等方面的内容亦可进行地球物理勘探工作。

6.4.6 由于测区冻土的自然环境不同,一般对不同环境中形成的多种物理现象(异常)的解译(除少数情况外),难以得出单一的结论而形成多解性。因此,应采用多种地球物理勘探方法,进行综合解译,以取得较好效果。对影响工程设计和安全的冻土问题,还必须进行钻探验证。

6.5 冻土取样与运送

6.5.1~6.5.3 在冻土工程地质勘察中,采取保持天然冻结状态土(岩)样,供试验室分析试验,是勘探工作的主要目的之一,也是对冻土地基作出正确工程地质评价的基础。按工程要求和现场条件,还可采取保持天然含水率并允许融化的冻结土样以及不受冻融影响的扰动土样。

工程规模大、取土钻孔多、冻土层变化不大的场地可适当增加取样间距,冻土上限附近及含冰量变化大时适当减少取样间距。

保持天然冻结状态的土样采取,主要取决于钻进方法、取样方法以及取土工具三个环节。为取得保持天然冻结状态的土样,应避免孔底待取土样因不适当的钻进方法受到扰动或压力作用所产生的热影响。要求取样前应使孔底待取土样有恢复天然温度状态的时间(最好测量钻孔底部土壤温度),然后在接近取样深度时控制每一回次的进尺(深度视土层情况决定),以保证取出的土样仍保持冻结状态(粗颗粒土及大块碎石土除外)。取出的冻结土样应及时装入具有保温性能的容器或专门的冷藏车内送验,如不能及时送验时,应在现场测定土样在冻结状态时的密度。

7 冻土试验与观测

7.1 一般规定

7.1.1 冻土的室内试验包括原状土和重塑土试验。冻土试验和观测的目的是为确定建筑物地基的冻土物理力学和热学性质及其变化,为建筑场地的选择、建筑的布局、地基基础计算和工程措施的选择、周围地质环境恢复与保护措施的提出以及建筑物施工及运营期间可能变化的预测,提供定量依据。

7.1.2、7.1.3 有关冻土动力学特性等试验目前尚无统一试验标准,如工程需要进行诸如此类试验时,应详细说明试验方法及试验结果整理方法。

7.2 室内试验

7.2.2 冻土物理力学与热学性质的试验与测试是冻土工程地质勘察工作主要内容之一。勘察期间首先应开展冻土物理性质试验,进行冻土分类。同时,为随后开展其他试验积累基本资料。季节冻土区宜对土冻胀敏感性作出评价,随后根据需要,分别测定土的切向或法向冻胀力;多年冻土区则应根据设计原则(如保持地基土处于冻结状态或允许地基土融化等),选定有关试验项目。按保护多年冻土原则设计时,应侧重选择与冻土的温度状况、长期强度和蠕变性能有关的试验项目。按允许冻土融化原则设计时,应侧重选择与冻土融化时的变形特性和融后强度特性有关的试验项目。

室内试验项目应根据不同勘察阶段进行选取。如:在铁路冻土工程地质勘察中,踏勘阶段,通常只简单地测定冻土的几个物理参数,如含水率、干密度及其颗粒成分等;在初测阶段,应根据选线

(址)和典型工点的设计需要分段取样进行代表性试验和测定;到定测阶段则应按工点取代表性土样进行试验,并应做一些原位力学参数测定与试验。

7.2.4 单轴压缩试验是确定冻土强度的主要试验方法。本规范附录 P 系根据《人工冻土分类和实验室试验》国际编写小组的建议提出,为加强试验方法的统一性及试验资料的可比性和通用性,本规范力图向国际标准靠近,采用了其中单轴压缩试验的有关建议。因此,若现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123 与国际编写小组的建议有矛盾时,建议按后者执行。

7.3 原位测试

7.3.1 “原位”系指在冻土内所处的原来位置,包括基本上原位状态和原位应力条件。原位测试已成为工程勘察中广为应用的重要测试手段。由于它在较大冻结岩土体的原位状态和原位应力条件下进行试验,因此测试结果更接近于冻结岩土体的实际情况。一般认为取土供室内试验及分析,会受到各种人为因素的扰动与影响,大多数原位测试也有其不同程度的扰动问题,同样存在一些不定因素,如应力条件、应变条件、时间条件、排水条件以及边界条件等。但总的来说,原位测试的结果与取样进行室内试验相比,更接近实际。

7.3.2、7.3.3 有些单指标或单参数的原位测试比较简单和容易,可广泛应用。但有些项目虽然并不复杂,要求的时间周期却很长,如地基土的冻胀率、冻胀力和年平均地温等,取得一个数据需连续观测一个冬季,而年平均地温则需时一年。由于冻土地基的承载力高,需要施加大量荷重,又由于其强烈的流变性,稳定时间需要很久,所以荷载试验做起来费时、费工还费材料,一般很难大量进行,尤其是已建建筑物基础的原位载荷试验更加困难,只有在万不得已的情况下才进行。但桩基础的静载荷试验却相对容易。有些单指标、单参数的原位测试虽然在道理上讲完全可以从未冻土中

移植过来,由于受到仪器设备的强度、容量、量程等的限制,还不能适应冻土强度高、变形小的特性,要想达到实用阶段尚需做大量试验对比工作。

7.3.4 进行原位测试最主要的一条即强调一个“原”字,也就是说原状地基土、原应力场、原温度场、原水分场,其试验荷载的性质尽量接近实际情况,否则失去了原位测试的意义。

7.3.5 冻土原位模型试验是冻土区采用最多的原位试验方法。例如冻胀力试验,冻结强度试验以及桩的现场模型试验等。采用原位模型试验所测得的力学参数是最接近工程运营条件下的受力状态的。因此,原位模型试验所测得的参数可直接用于工程设计。但是,模型试验并非模拟实验,所得参数不能用简单的倍数转换而变成设计参数。也就是说,在模型和实体工程系统中的物理过程,虽然可用同一关系方程来描述,但其单位量并不全部相似。因此,由这些单位量组成的判据是不相等的。例如,我们可将实体工程按一定比例缩小成模型,工程系统中物理过程经历的时间也可按比例缩小。然而,工程周围的介质条件(颗粒粒径及含水率、密度等)却无法按相同比例来缩小。所以,原位模型试验所得参数必须进行下列修正,方可用于设计。

(1)尺寸修正:找出模型尺寸对物理过程的影响,并对模型试验所得参数进行尺寸修正;

(2)时间修正:由于冻土的强烈流变性,因而力学参数是时间的函数,找出试验时间对物理过程的影响,并对模型试验所得参数进行时间修正;

(3)温度修正:如果试验时的温度场与运营条件下的温度场不同,则应对模型试验所得参数进行温度修正。

7.4 观 测

7.4.1~7.4.3 观测的目的有两个,其一,是对重要建筑物观察其使用情况,对复杂地基或特殊建筑监测其质量情况;其二是为全面

了解其地基土性状、作用,以及拟采取的新措施、新设计、新试验的有效性,应建立观测站。前者是工程结束后开始建立,而后者则是从选址定点后即可开始。观测大纲应由设计单位根据其对设计的成熟性、把握程度以及要取得何种数据与资料统一在设计文件中确定,否则观测很难立项和进行。

观测站的观测时间,应根据观测内容的不同而有所区别,有的可能很短时间即可完成,观测冻胀、冻胀力则需一个冬季,考虑其变异性一般需连续三年。观测融化盘,当建筑物跨度稍大时,达到稳定的延续时间少则七八年,多则十几年才可获得一个数据。又由于冻土的强烈流变性,其沉降观测没有几年时间也不说明问题。为了积累资料,指导今后勘察设计工作更好地进行,其观测报告应留给勘察、设计单位参考。而建设单位保存则是作为说明工程质量情况的基本证明材料。

8 建筑冻土工程地质勘察

8.1 一般规定

8.1.1 本章适用于多年冻土地区建筑的工程地质勘察,多年冻土地区的融土地段除应按本规范执行外,尚应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 或其他规范的有关规定。

8.1.2 勘察阶段的划分,应与设计阶段相适应,一般分为可行性研究勘察、初步勘察和详细勘察三个阶段。施工勘察不作为一个固定阶段,只在特殊情况下进行施工勘察。对冻土工程地质条件简单并且具有建筑经验的场地,可适当简化勘察阶段。

8.2 可行性研究勘察

8.2.1、8.2.2 这两条内容是可行性研究勘察应做的冻土工程地质勘察工作,其中第 8.2.2 条列出了建筑场址选择时应避开的地段。场址应选择在对工程建筑有利的地段,如:融区面积大、第四纪砂砾石层透水性好,基岩埋藏浅的地段,碎石类土厚度大、分布广泛、多为少冰冻土地段,冻土工程地质条件均匀稳定的地段。

8.2.3 可行性研究阶段工程地质勘察报告的内容,应在收集资料和调查研究的基础上,结合必要的勘察和测试工作,对拟选场址的稳定性和适宜性进行技术经济论证,提出设计方案比选意见和建议。

8.3 初步勘察

8.3.3 初步勘察阶段勘探线、点间距的布置依据冻土地基复杂程度等级来确定更为合理。

8.3.4 初步勘察阶段勘探孔深度主要依据工程重要性等级来确定。

8.3.6 初步勘察阶段不同地貌单元应设立地温观测孔,地温观测孔深度应大于地温年变化深度值,该深度在大兴安岭地区约为8m~20m,青藏高原则为10m~15m。本次修订规定测试深度不小于20m。

8.3.7 初步勘察报告的内容中,多年冻土地基利用原则有下列三种:

原则Ⅰ——多年冻土以冻结状态用作地基。在建筑物施工和使用期间地基始终保持冻结状态,适用于多年冻土年平均地温低于 -1°C 的场地或地基土处于坚硬冻结状态的场地。

原则Ⅱ——多年冻土以逐渐融化状态用作地基。在建筑物施工和使用期间地基土处于逐渐融化状态,适用于多年冻土年平均地温 $-0.5^{\circ}\text{C}\sim-1.0^{\circ}\text{C}$ 的场地、地基土处于塑性冻结状态或在最大融化深度范围内的地基土为变形所容许的弱融沉土。

原则Ⅲ——多年冻土以预先融化状态用作地基。在建筑物施工之前使地基土融化至计算深度或全部融化,适用于多年冻土年平均地温不低于 -0.5°C 的场地、地基土处于塑性冻结状态及在最大融化深度范围内的地基土为融沉、强融沉或融陷土。若冻土层全部融化,可按国家现行标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 执行,进行工程地质勘察。

8.4 详细勘察

8.4.2 详细勘察应进行的工作共有八款,内容较多,要求较细,特别是在塑性冻土地区,预测建筑物沉降、差异沉降或整体倾斜十分必要。静载荷试验要点内容详见本规范附录 H,确定工程重要性等级按本规范第 4.1.3 条执行。

8.4.4 本次修订对勘探点间距确定原则进行了调整,以冻土地基复杂程度等级为依据,与现行国家标准《岩土工程勘察规

范》GB 50021 协调一致,更为合理。

8.4.5 详细勘察勘探孔的深度应考虑冻土类别和工程性质,对面积小荷重大的高耸建筑物(如烟囟、水塔等)应适当加深。另外对热影响较大的建筑物(如热电站、锅炉房等),如其融化盘较深,或者冻土层变化较大时,可适当增加勘探孔的深度。

地基土融化深度受采暖温度、冻土土质类型、冻土温度等因素的影响,而且是一个三维不稳定的温度场。其中热源是起主导作用的,由于建筑物在使用过程中热量传导作用,地基土融化是持续的,直到吸热和散热相对平衡,使得融深稳定在最大值,称稳定融化盘。

融化盘深度计算公式详见现行行业标准《冻土地区建筑地基基础设计规范》JGJ 118—2011 附录 B。

对于塑性冻土以融化状态用作地基时,必须进行变形验算,既考虑融化盘的深度,又要满足冻土融化后计算基础沉降的需要。所以一定数量的勘探孔深度应达到计算的压缩层深度以下。

在塑性冻土区工程重要性等级为一、二级的建筑物,如采用箱形基础和筏式基础时,控制性勘探孔深度应大于地基压缩层的计算深度,一般性勘探孔深度应能控制主要受力层。

8.4.6 本条为强制性条文,必须严格执行。本条内容主要是对详细勘察取样和测试工作的要求。对重要工程建筑物或缺乏建筑经验的场地应进行观测,对有特殊要求的工程,应在建筑物施工和使用期间进行。观测温度场的变化、融化盘的稳定情况、地基土融化下沉性状,预测建筑物地基基础的稳定性及周围地质环境变化的影响。对冻土试验与观测按本规范第 7 章执行。

8.4.8 桩基勘察勘探点间距、布置方式、勘探孔类型,本条是强制性条文,是必须严格执行的,否则不能满足桩基设计要求且存在安全隐患。

8.4.9 桩基勘察时勘探点深度要求,既考虑融化盘深度计算和基础沉降的需要,又要考虑桩尖平面算起压缩层深度的需要:

1 勘探点深度的确定原则,除满足设计、施工要求外,尚应考虑不同建筑场地特点和桩尖平面以下冻土变化情况。对于基岩持力层,控制性勘探点的深度应深入微风化带 3m~5m。一般性勘探孔应深入持力层 1m~2m,查清基岩顶面起伏变化情况。

2 对塑性冻土按融化状态原则设计,控制性勘探孔深度应超过融化盘底面 3m~5m,一般孔应等于融化盘深度。对需要进行变形验算的地基控制性勘探点深度应超过桩尖平面算起的压缩层深度,在实际工作中二者可进行比较验证。

8.4.10 地基基础设计等级详见现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007—2011 第 3 章。

冻土地区桩基勘察、原位测试和室内试验工作,为桩基设计提供物理力学及热学参数。其中原位测试的主要内容为:季节冻层的分层冻胀与冻融过程以及桩基静载荷试验、融化压缩试验与冻胀力试验等。原位测试可根据地区经验、冻土条件和工程需要选择适宜的测试手段。室内试验应满足下列要求:为验算基础在切向冻胀力作用下的稳定性和强度,应做冻结强度的试验,以代替原位试验或补充原位试验的不足;为测定冻土融沉系数和融化压缩系数,应作冻土融化压缩试验;为验算冻土地基和边坡稳定性,应进行冻土抗剪强度试验;室内试验和原位试验可互相验证和补充,但对于部分物理试验项目,如冻土天然密度、冻土总含水率等,为减轻运送上的困难,可在野外直接试验。除了对常规的物理力学试验要求外,又强调了以下试验项目:

1 季节冻土地区的建筑物桩基应根据实际需要进行冻胀稳定性试验,冻胀稳定性试验包括切向冻胀力试验和冻结强度试验。因为,地基土冻结过程中,土中水部分转变成冰,土体膨胀(冻胀),产生切向和法向冻胀力,导致基桩产生水平和垂直方向的位移(趋势)。试验方法为现场原位测试和室内模拟试验。一般现场原位测试数据比较可靠,但周期长、难度大、费用也较高。室内模拟试验,到目前为止,尚未得到统一认识。各地区应在实际勘察工作

中,积极积累经验,建立本地区的试验模型、试验要点,本规范不做统一规定。无经验地区在试验过程中可按本规范附录 G 中第 G.0.2、第 G.0.3 条执行。

2 多年冻土地基中桩的承载能力由两部分组成,即桩侧冻结力和桩端反力。在桩的施工中,桩周的天然温度场受到干扰和破坏,桩侧冻结力还没有形成,不能承载。只有在桩周土体回冻后,桩才能承载。回冻时在相同回冻方法下,时间的长短与桩的种类和冻土条件有关,可参照有关地区的桩基试验确定其回冻时间。

试桩时间宜选在夏末或冬初,因为此时多年冻土温度受到大气影响,使冻土抗压强度和冻结强度均达最小值。如试桩选在这个时候进行试验,则可以找出桩的最小承载力。

加载方法可采用慢速维持荷载法。

3 有建筑经验是指通过本地区已有的冻土工程勘察实践掌握了地基土类别、工程性质、地温参数、冻土总含水率、天然密度等物理特性。

8.4.11 施工勘察不是一个固定的勘察阶段,主要解决与施工有关的工程地质问题,共有四款,遇有其中之一的问题,就需进行补充工程地质勘察工作。

8.4.12 本条为强制性条文,必须严格执行。冻土工程地质勘察是冻土地区工程建设中非常重要的环节,勘察报告内容的详实程度,直接影响工程建设质量与安全。如不能满足本条规定的内容,将会使工程存在极大的安全隐患,危及生命财产安全。

9 铁路冻土工程地质勘察

9.1 一般规定

9.1.1 铁路作为国民经济大动脉、国家重要基础设施和大众化交通工具,在我国经济社会发展中的地位和作用至关重要。根据《中长期铁路网规划》(2008 年调整)，“十一五”期间,路网建设取得新成就,以“四纵四横”为骨架的快速铁路网基本形成,长三角、珠三角、环渤海等地区城际铁路开工建设,京津、武广、郑西、沪宁、沪杭等高速铁路建成运营。“十二五”期间,需进一步完善铁路运输网络,重点建设快速铁路、区际干线、煤运通道等。高速铁路(含客运专线)和时速 200km 客货共线铁路对沉降和轨道平顺性要求很高,目前尚无在多年冻土区建设高速铁路(含客运专线)和时速 200km 客货混铁路的经验和规划,需进一步研究,逐步积累勘察设计和建设经验。

9.1.2 根据铁道部关于《铁路建设项目预可行性研究、可行性研究和设计文件编制办法》的规定,铁路工程地质勘察按踏勘、初测、定测、补定测开展工作,分别与铁路大中型项目决策阶段的预可行性研究、可行性研究和设计阶段的初步设计、施工图四个阶段相适应。工程简单、设计原则明确的小型项目,经主管部门同意可按一次性初定测开展地质勘察工作,按施工图阶段开展设计。

9.1.3 冻土工程地质图上地质观测点的数量和要求,应随工程的性质和冻土工程地质条件的不同而异。因为铁路工程属条带状工程,在一段图幅内,冻土工程地质条件是不相同的。在条件简单的地段,可能需用复杂工程(如深挖、桥、隧)通过;而在条件复杂的地段,可能采用简易工程(如填方、浅挖、小桥涵)通过。因此,硬性规

定地质点的密度,而不结合工程考虑,显然是不合理的。故在本条仅作了原则规定。

9.2 工程地质选线

9.2.1~9.2.7 多年冻土地区有其特有的冻土现象,而冻土本身又有其特殊的物理力学性质。因此在铁路选线中应在了解冻土分布特点、工程性质的基础上,对其特有的冻土现象和冻土本身特殊的物理力学性质间的关系特别加以注意,使选择的线路尽量绕避和缩短通过冻土现象分布地段。本条均为东北大小兴安岭及青藏高原多年冻土铁路勘察的经验总结。特别是通过东北大小兴安岭、牙林和嫩林铁路、青藏铁路从勘察设计、施工、运营至今的实践检验,给我们提供了大量宝贵的经验与教训。例如规定尽量避免或减少浅挖、低填、零断面地段的长度,是因为这些地段的路基容易产生冻胀、融沉等病害,而且一般均较路堤病害严重,不容易根治,所以在多年冻土地区选线中要多填少挖,尽量避免或减少挖方、低填浅挖及零断面地段的长度,绕避和缩短具有多年冻土现象的地段,把线路选择在良好的地基上。同时充分考虑斜坡不对称路堤热条件的改变对路基稳定的影响。

山前区的冻融坡积层,在其缓坡部分往往有较厚的地下冰层存在。当坡脚被破坏时,往往产生热融滑塌而使山坡失去稳定。故选线时,最好将线路布设在缓坡上部。当线路通过热融滑塌区时,应从滑塌体下方通过。这是因为热融滑塌是溯源发展的,滑塌体下方山坡是稳定的,不受滑塌过程的影响。

河谷地带的高阶地一般地下水不发育,地质条件较好,冻土现象不多见,多年冻土较稳定,故河谷线应选择在高阶地上。

多年冻土不稳定地段系指多年冻土边缘地带、融区和多年冻土区的过渡带以及高温多年冻土带。这些地带的共同特点是年平均地温较高,多年冻土处于不稳定状态。稍有热干扰,多年冻土就

产生退化,从而引起一系列冻土工程地质问题。对路基和其他建筑物将产生不利影响。因此,线路经过这些地带时,应以最短距离通过,以减少不稳定多年冻土带对铁路工程的危害。

冻土地基和融土地基的物理力学性能有着巨大差别,尤其在压缩下沉特性方面。因此,多年冻土区桥址选择时应查明桥渡区多年冻土的分布特点,力求保证桥梁地基的均匀性,避免将同一座桥的墩台设置在不同设计原则的地基上,以确保桥梁建筑的稳定。

9.3 踏勘阶段勘察

9.3.1 冻土地质资料是指科研、勘察、设计单位有关多年冻土的科研报告、专题论述、技术总结等。通过上述资料了解研究多年冻土的分布、成分、结构、年平均地温、地温年变化深度,融区的形态和成因,季节融化层和季节冻结层的成分、性质和深度,冻土现象的产生过程和成因,多年冻土分布地区的地质构造等。

影响线路方案的主要冻土工程地质问题系指冻土现象的危害、多年冻土边缘地带和高温冻土带的退化、高含冰量冻土分布地区的热融下沉及地基基础严重冻胀等。

9.4 初测阶段勘察

9.4.4 多年冻土的温度状况和变化特性是多年冻土稳定与否的判断标志。地温年变化深度是一般工程建筑的热力影响深度。因此,了解和掌握年变化深度内多年冻土的温度状况和变化规律,对于评价多年冻土的稳定性是极其重要的。地温观测孔的深度不小于地温年变化深度的规定就是基于上述理由提出的。15m~20m的规定是根据东北和青藏高原多年冻土区地温年变化带深度值而提出的,必要时应在现场实测地温年变化深度。

在专门的地温观测孔钻探时,钻具旋转切削所做的功有相当部分转变为热能,从而使多年冻土的温度状况破坏。当钻孔达到

预定深度后,建议立即进行首次地温观测,以了解地温逐渐恢复平衡的全过程和评价冻土的稳定性。

9.4.5 电法勘探、地震勘探和电磁波法勘探等具有速度快、精度高、使用操作方便等特点。例如:地质雷达的探测深度可达20m~30m,分辨率达0.1m~0.2m。用它在最大融化季节探测多年冻土上限是十分理想的。与钻探配合可查清多年冻土成分、构造以及多年冻土上限在平面和剖面上的分布。大地电磁法探测深度大,可用来探测多年冻土上限和下限。

多年冻土的工程性质除取决于其岩性成分外,更重要的还取决于其含冰率、冷生构造和温度。因此,从工程角度看,多年冻土在平面和剖面上的变化较非多年冻土要复杂得多。为了查明多年冻土条件及其对工程的影响,其勘探孔(点)的数量和深度较之一般地区要大。路基勘探孔、地温观测孔以及房屋工程钻孔的数量和深度便是基于上述理由和多年来的实践提出的。

冻土地温的变化,直接影响着冻土工程性质,为此在代表性的典型和重点工程地段布设冻土地温长期观测孔,监测冻土地温变化,取得冻土地温变化资料,预测冻土地温变化趋势,及时采取工程安全措施,预防冻土工程事故发生,保障生命财产安全。

9.4.6 多年冻土地区的一般路基是指不需作特殊处理的路基,或仅设保温护道处理的路堤,及路堤地面以下、路堑路基面以下的冻土即使融化,对其稳定也不会产生很大影响的路基。这里提出的2倍天然上限深度是为了给路基工程勘察和地基处理确定一个范围。青藏公路多年冻土区的工程实践表明:公路路基工程对多年冻土的热影响深度一般在1.0倍~3.0倍上限深度范围内。考虑有砟轨道铁路路基上部有0.5m的碎石道砟,具有良好的通风散热性能,所以本规范提出铁路路基工程调查勘探深度为路基基底以下2倍上限深度范围也是合适的。

多年冻土区地面覆盖的完整性是保证多年冻土稳定的重要条

件。在多年冻土上限附近,常常有高含冰量冻土和厚层地下冰层存在。地面覆盖的破坏,导致多年冻土融化,产生地面下沉、塌陷,形成热融洼地、热融湖塘等。因此,在多年冻土地区应严禁铲取草皮作保温材料。取土和弃土应从保护冻土环境出发,合理布置,严格控制。

9.4.7 多年冻土区的大河,一般均有融区存在。融区按贯通多年冻土层的情况和形态可分为贯通融区和非贯通融区。贯通融区是指融区已贯通多年冻土层,与多年冻土层下的融土连在一起。非贯通融区是指融区下仍有多多年冻土存在。若为贯通融区或融区厚度很大的非贯通融区,桥梁的设计可按季节冻土区或一般地区考虑。但桥头引线设计应注意冻土向融土地段的过渡。若为一般非贯通融区,则应根据融区的厚度和其下多年冻土的特性确定桥梁基础的类型、结构以及埋置深度,并采取措施确保地基基础的稳定。

9.4.8 隧道通过地段的多年冻土及其水文地质条件是隧道工程地质调查与测绘的重点,据多年冻土地区已有隧道工程建筑的经验,处理好地下水是保证多年冻土区隧道工程稳定的关键。从大兴安岭已通车的隧道病害情况看,地下水危害是主要的。由于地下水浸入隧道,造成衬砌开裂、掉落、洞顶挂冰、轨面积冰等。如牙林线(牙克石—满归)岭顶隧道,由于修建时未注意对地下水的处理,致使衬砌大量开裂,洞内积水挂冰无法通车。在查明地下水情况后,在隧道下方修建了泄水洞,消除了病害。又如嫩林线(嫩江—西林吉)西罗奇2号隧道和呼中支线翠岭2号隧道,都是由于地下水未处理好,致使洞内积水,衬砌开裂,严重妨碍行车。与此相反,在没有地下水时,多年冻土区隧道一般都没有病害。所以,在进行隧道工程地质调查时,应着重查明多年冻土及其水文地质条件,以便考虑是否改移线路位置或采取相应的防水措施。

9.4.10 沿线工程地质分段说明是对详细冻土工程地质图(比例为1:2000~1:5000)的说明,是为了不需编制单独工点资料

的地段,提供设计所需的工程地质资料。同时,也是进行方案局部改动的依据。所以应按初测里程,根据地形地貌或不同冻土工程地质条件分段认真编写。

9.5 定测阶段勘察

9.5.1~9.5.6 多年冻土地区冻土工程地质性质比较复杂,线性工程勘察过程中勘探孔间距应比非冻土区大幅度缩小,勘探孔深度应加深,尤其在桥、涵、隧道工程关键地段,否则无法查清多年冻土工程性质,为工程建设留下隐患,造成工程事故,危及生命财产安全。

多年冻土地区的建筑物宜采用柔性结构,以适应冻胀和下沉的不均匀性。多年冻土地基的利用原则一般可分为两种。

原则一:在建筑物施工和整个运营期间都保持地基土处于冻结状态。

原则二:允许地基土在施工和使用过程中逐渐融化或施工前预先融化。

地基土利用原则应根据地基多年冻土的特点,经过经济技术比较确定。如果保持地基土处于冻结状态的措施是经济合理的,则可采用原则一。通常在坚硬冻土地区按原则一利用多年冻土。当地基中存在石质土或者其他低压缩性土,融化时其变形不超过建筑物的允许值,且从建筑物的技术和结构特性以及冻土条件看,采用保持地基冻结措施并不能保证要求的建筑可信度水平时,应采用第二种原则。

土的热改良措施包括:人工冷却地基措施和无源冷冻技术。前者指机械制冷系统、液氮冷冻和机械通风措施等,后者是指热桩热棒冷冻技术、自然通风措施等。

冻土地质环境的保护要给予足够重视,冻土地区地质环境是地质历史时期的产物,保护好地质环境就保护了多年冻土,从而保障多年冻土上建筑的稳定。若在多年冻土区取土,即减少

了地面覆盖的热阻,通过地面传入地中的热量增加,多年冻土将产生退化。如果在含冰冻土或厚层地下冰分布地段取土,多年冻土的融化将引起严重的地面下沉,并可能形成热融洼地或热融湖塘,这对建筑和生态环境将产生不利影响。因此,多年冻土区的取土和弃土都要从保护冻土地质环境出发,合理布置,严格控制。

在多年冻土区,取土坑可供取土的最大厚度一般为活动层厚度。为了减少对多年冻土的热干扰,保护冻土的地质环境,建议集中取土。取土场远离线路,在取土场调查时,要查明取土地点多年冻土的特征,而后确定取土范围和深度。地质环境恢复和保护措施包括:现场的恢复;交通管制;地表、地下排水的处理;取土控制等。

9.6 施工阶段勘察

9.6.1 施工冻土工程地质勘察工作应把重点放在冻土现象发育地段、冻土条件复杂地段和重点工程上。应特别注意开挖过程中,冻土工程地质条件和水文地质条件的变化及其对建筑场地稳定的影响。施工冻土工程地质工作的具体任务有以下两点:

(1)根据开挖暴露的冻土地质情况,推断和预测冻土工程地质条件的变化,及时预测和指出施工过程中可能出现的冻土工程地质问题;

(2)根据开挖出来的实际冻土地质情况,修改和补充冻土工程地质资料。编制竣工图件中的冻土工程地质图件和说明,供运营、养护或改建、扩建使用。

9.7 运营阶段勘察

9.7.1 铁路运营期间冻土地质环境变化和冻土现象发生、发展过程的监测,是认识病害发生、发展规律,及时采取有效措施的基础。运营期间的系统监测资料是既有线改造和增建第二线时评价冻土

工程地质条件的依据。运营阶段铁路冻土工程地质勘察工作的具体任务如下：

(1)对沿线地质病害工点进行监测,做好病害工点履历登记,为维修养护及改建、扩建积累资料;

(2)对新产生的地质病害工点做到及早发现、及时调查、勘测,为病害整治设计提供必要的资料;

(3)对各项地质资料进行整理归档。

10 公路冻土工程地质勘察

10.1 一般规定

10.1.2 本条公路冻土工程地质勘察阶段的划分与《公路工程地质勘察规范》JTG C20 是一致的。公路冻土工程地质勘察工作应配合公路工程设计阶段所对应的深度和内容,循序渐进查明冻土工程地质问题。

10.1.5 公路改建的冻土工程地质勘察阶段划分、任务和要求与新建公路的冻土工程地质勘察相同。改建公路绕行线地段的冻土工程地质勘察按新建线路对待。公路改建的冻土工程地质勘察具有如下特点:

(1)线路方向明确,冻土工程地质勘察沿旧线进行;

(2)既有工程建筑物多年冻土地基利用原则和工程建筑措施可以借鉴;

(3)既有线路的冻土工程地质资料可以充分利用。

改建工程冻土工程地质勘察原则上应依据新建线路的要求进行。但既有线路已经多年运营,各种工程设计的合理性已得到实践论证,因此在改建工程中,采用和既有线路相同的冻土地基利用原则、基础类型和埋置深度,一般来说是合理的。但由于冻土地基的复杂性和运营期间冻土条件的变化,完全按既有线路的条件进行设计显然是不合理的。因此,改建工程的勘察可在充分利用已有资料的基础上,根据实际情况综合确定。

10.1.6 料场开采对多年冻土区环境的影响主要是指开采可能引起的多年冻土退化、热融作用等导致的地面下沉、热融滑塌、沼泽化等次生灾害问题。对这些影响如果重视不够,将可能危及工程安全、给工程运营留下后患。

多年冻土地地区地面覆盖的完整性是保证多年冻土稳定的重要条件。在多年冻土上限附近,常常有高含冰量冻土和冰层存在。地面覆盖的破坏,导致多年冻土融化,产生地面下沉、塌陷,形成热融洼地、热融湖塘等。因此,多年冻土地地区的取土是受到严格限制的。在多年冻土区料场勘察时,应从保护多年冻土出发,确定取土位置和数量。

多年冻土地地区的特殊水文地质条件,决定了多年冻土区地表水、地下水的水量较小且水质较差。在料场勘察中,应注意工程及生活用水的调查。

10.2 工程地质选线

10.2.1~10.2.8 多年冻土地地区现存的地表形态和地面覆盖是地质历史时期的产物,是一相对稳定的热平衡状态。保持现有形态和现存地热平衡条件,则地基是稳定的。当这种平衡被破坏时,则产生一系列冻土工程地质问题,如热融下沉、热融滑塌等。在多年冻土地地区进行公路建设,不可避免地要形成许多冻土工程地质问题。因此,在多年冻土地地区进行公路建设的原则是:利用冷生过程有利的方面;尽量减少对多年冻土的热干扰;选择冻土条件良好的地段进行修筑;避开冻土现象发育地段;采用合理的建筑结构;减少和防止冻土现象的产生。

多年冻土地地区的公路实践表明:挖方、零断面和高度小于1.0m的路堤,将对地基多年冻土带来严重干扰,造成多年冻土上限下降,使得路基产生融沉。近年来的调查研究表明,过高的填方路基容易形成“阴阳坡”效应,使得基底上限形态不对称,造成路基纵向裂缝、不均匀沉降等病害,同时在高温高含冰量多年冻土地地区,过高的路基填方造成塑性高温冻土的压缩形成路基沉降量过大的问题,因此对于路基填方应控制其在合理的高度范围之内,保持多年冻土地地基的稳定。故在第10.2.3条中提出“避免挖方,并应减少零断面及高度小于1.0m的低填方,同时宜避免采用高度

大于 3m 的填方”。

山岳、丘陵区冻融坡积层,在其缓坡部分往往有较厚的地下冰存在。当坡脚被破坏时,往往产生热融滑塌而使山坡失去稳定。故选线时,最好将线路布设在缓坡上部。当线路通过热融滑塌区时,应从滑塌体下方通过。这是因为热融滑塌是溯源发展的。滑塌体下方山坡是稳定的,不受滑塌过程的影响。

河谷地带的高阶地一般地下水不发育,地质条件良好,冻土现象不多见,多年冻土较稳定,故河谷线路应选择在高阶地上。

多年冻土不稳定地段是指多年冻土边缘地带、融区和多年冻土区的过渡带、高温多年冻土带和岛状多年冻土地带,这些地带的共同特点是年平均地温较高,多年冻土处于不稳定状态。稍有热干扰,多年冻土就产生退化,从而引起一系列冻土工程地质问题。对路基和其他构筑物将产生不利影响。因此,线路经过这些地带时,应以最短距离通过,以减少不稳定多年冻土带对公路工程的危害。

冻土地基和融土地基的物理力学性质差别巨大,尤其在压缩下沉特性方面。因此,多年冻土区桥址选择时应查明桥址区多年冻土的分布特点,力求保证桥梁地基的均匀性,避免将同一座桥梁的墩台设置在不同设计原则的地基上,以保证桥梁建筑的稳定性。

近年来,随着对路基病害的调查研究,发现多年冻土地区因线路走向造成的路基“阴阳坡”效应较为显著,诸如路基纵向裂缝、不均匀沉降等问题均与此有较为密切的关系,尤其是在高含冰量地区,病害发生的频率较高,线路走向作为造成“阴阳坡”效应的重要因素,应该得到重视,因此本条提出“线路通过多年冻土发育路段时,应根据太阳辐射、风向等气象特征合理选择路线走向”。

10.3 可行性研究勘察

10.3.1、10.3.2 预可行性研究是公路建设项目前期工作的重要组成部分,是建设项目立项和决策的重要依据。该阶段重点是研

究项目建设的必要性、初步确定建设项目的通道或走廊带,并对项目的建设规模、技术标准、建设资金、经济效益等进行分析论证。因此,预可行性研究阶段勘察应主要采用资料收集与分析、遥感图像解译和现场踏勘方法对线路走廊带的冻土工程地质条件、冻土现象进行研究,其目的主要为掌握项目建设区域宏观的冻土工程地质条件,以满足公路建设项目预可行性研究工作。

区域冻土地质条件是指多年冻土分布、成分、冷生构造、年平均地温、地温年变化深度,融区的形态和成因;季节融化层和季节冻结层的成分、性质和深度;冷生过程和成因;多年冻土分布地区的地质构造等。

10.3.6~10.3.9 公路工程可行性研究要求进行充分的调查,通过必要的测量和地质勘察,对可能的建设方案从技术、经济、安全、环境等方面进行综合比选论证,提出推荐方案,明确公路建设的规模、技术标准,估算项目投资。因此,在工程可行性研究阶段,对公路沿线冻土工程地质条件的勘察较预可阶段勘察有所加深,但是勘察深度是初步的,总体依然侧重于对宏观冻土工程地质条件的把握。

工可勘察以工程地质调绘为主,辅以必要的勘探手段进行,其勘察深度与工程可行性研究相适应。在工可阶段勘察应采用与通道或走廊方案研究相同或更大比例尺的地形图进行路线工程地质调绘,除查明一般的地质条件外,应重点对控制线路方案的越岭路段、影响路线方案的主要冻土工程地质问题,如冻土现象发育路段、高含冰量冻土发育路段、多年冻土边缘地带、高温冻土退化地带、高含冰量冻土分布区的融沉以及地基基础严重冻胀路段等进行调查研究。同时对技术复杂的大桥、特大桥、长隧道、特长隧道等重大工程场址也应重点调查分析其冻土工程地质条件和水文地质条件,在工程地质调绘不能初步查明场址工程地质条件时应采用必要的勘探测试手段,查明构筑物场址的冻土工程地质条件,为方案设计提供必要的地质资料。

10.4 初步勘察

10.4.2 公路工程作为线性工程,涉及范围较广,往往跨越多个不同的地质地貌单元,同时冻土分布具有强烈的空间分异性,造成其遇到的地质问题较为复杂,采用单一的手段往往难以取得各类工程方案比选、设计所需的地质资料。因此,在初步设计阶段,应结合路线及各类构筑物的工程方案设计,根据现场的冻土地质条件,采用综合勘察方法进行勘察。

10.4.3 公路工程是在特定的地质环境中进行建设的,公路工程的施工、运营必然会对地质环境造成影响,并受到地质环境的制约和作用。在进行公路建设的过程中,改变多年冻土的赋存环境,造成多年冻土地质条件的变化,影响公路稳定。因此,本条提出评估冻土公路工程和冻土环境的问题。

10.4.4 本条提出了冻土工程地质初步勘察阶段勘察的内容,除对一般地质条件进行勘察外还需重点查明与冻土过程相关的各类工程地质条件、评价冻土与工程的相互作用。值得注意的是,多年冻土地温作为特殊内容,一方面表征了多年冻土的热稳定性,另一方面也决定了工程设计的原则。因此在沿线重大工程地段和大的地貌单元进行地温观测是必要的。地温年变化深度是工程建筑热力影响深度,根据东北和青藏高原多年冻土地温变化带深度范围来看,该深度一般在10m~20m左右。对于地温观测应不小于地温年变化深度,对地温的监测应在成孔后即可进行,便于了解地温逐渐恢复平衡的过程和变化规律。观测周期应根据测温设置原则而定,一般对于地温恢复过程监测应选取较短的周期进行,对于运营期的监测可选取相对较长的周期进行。

10.4.5 本条为强制性条文,必须严格执行。设置地温观测孔目的是取得可靠的地温资料,划分冻土稳定带,为公路冻土地基设计原则提供可靠依据。冻土地温的变化,直接影响着冻土工程性质,为此在沿线重大工程地段和大的地貌单元布设冻土地温长期观测

孔,监测冻土地温变化,取得冻土地温变化资料,预测冻土地温变化趋势,及时采取工程安全措施,预防冻土工程事故发生,保障生命财产安全。

10.4.7 冻土地区单一的勘探手段难以达到勘察目的,应采用综合勘探手段查明场地的地质条件,特别是冻土的发育情况。

多年冻土的分布具有强烈的空间分异性,高含冰量往往呈透镜状分布,平面和剖面分布变化较大,钻探、挖探等手段尽管直观准确,但难以获取连续地质剖面信息,而地球物理勘探方法则可以弥补因分散点勘探造成的地质信息缺失的情况,适用于多年冻土上限判别、含冰量判别、发育厚度判别等方面,并可以结合钻探、挖探资料形成准确的连续剖面。近年来电法勘探、地震勘探和地质雷达等地球物理勘探手段在多年冻土地区的勘察中取得了良好的效果,具有速度快、精度高、使用操作方便等特点,对多年冻土地区勘探起到了积极的作用。因此,本条提出了“多年冻土地区进行路线及构筑物勘探时宜根据冻土条件充分采用地震、电法、地质雷达等地球物理勘探手段”。根据多年的实践经验,工程地质勘察中宜结合现场条件,选择两种或两种以上的方法进行综合地球物理勘探,取得的解译资料可以相互验证,互为补充,提高地球物理勘探资料的解译精度和可靠性。

10.4.8 本条为强制性条文,必须严格执行。勘探点的数量、深度应与冻土工程地质条件的复杂程度、公路工程路线及构筑物设计需求相结合,以满足设计要求为目的。但多年冻土的发育情况往往分异性强烈,空间分布不规律,同时多年冻土的工程性质除了取决于它的岩性成分外,更重要的是取决于它的含冰量、冻土构造以及冻土温度,使得多年冻土的工程地质性质较差,这对公路工程的稳定性潜在危害较大。因此,针对各工程类型也进行了勘探点数量和深度的规定。为了查明多年冻土条件及其对工程的影响,其勘探点较一般地区的数量多、深度大。

10.4.9 多年冻土区的工程实践表明:路基工程对多年冻土的热

影响深度一般在 3 倍上限深度范围内。所以这里提出路基工程地质勘察时,应查明路基基底以下 2 倍~3 倍上限深度范围内的多年冻土特征,以满足路基设计需要。

在青藏公路、青康公路改建工程中,由于在路基两侧取土,造成多年冻土融化,地面下沉,路基两侧积水,从而引起路基下沉破坏。许多国家的冻土工程实践都证明:保护好冻土地质环境是多年冻土区工程稳定的先决条件。

10.4.12 隧道通过地段的多年冻土及其水文地质条件是隧道工程地质勘察的重点,据多年冻土地区已有的隧道工程建筑的经验,处理好地下水是保证多年冻土区隧道工程稳定的关键。从已通车的冻土区隧道病害情况来看,地下水的危害是主要的。由于地下水浸入隧道,造成衬砌开裂、掉落、洞顶挂冰、路面积冰等。与此相反,在没有地下水时,多年冻土区隧道一般都没有病害。另外,多年冻土区开挖在洞口附近显著的改变了多年冻土的赋存环境,使得多年冻土退化,在隧道衬砌后一定范围内形成了新的冻融圈,季节冻融作用对隧道衬砌形成破坏,造成隧道病害。所以,在进行隧道工程地质调查时,应着重查明多年冻土及其水文地质条件,以及洞口的地温情况,以便考虑是否改移路线位置或采取相应的防水、保温措施。

10.5 详细勘察

10.5.4 多年冻土地地区沿线取土坑的取土与一般地区不同。在多年冻土区,取土坑可供取土的最大厚度一般为季节融化层厚度,其下的多年冻土一般不宜作为路基填料。为了减少对多年冻土的热干扰,保护多年冻土地质环境,在含土冰层和厚层地下冰分布地段,不允许取土,以免造成冻土环境破坏,引发次生的冻土环境灾害。一般取土场地选择在取土坑下多年冻土为低含冰量(少冰冻土、多冰冻土)冻土地地区,并且取土后对周围冻土地质环境影响较小的区域。取土厚度一般不宜超过 $2/3$ 季节融化层深度。因此,

在路基取土调查时,应查明取土场地多年冻土的特性,而后确定取土范围和深度。

多年冻土具有热融蚀敏感性和热不稳定性,不论是外在自然条件的改变还是人类工程活动作用都将影响到多年冻土的生存和发展,进而影响到公路工程的稳定性,这是一个不可避免的过程。冻土与公路工程的相互作用从建设期到运营期始终存在,并相互影响。因此应该在冻土工程地质详细勘察的基础上对冻土工程地质条件变化进行预测和评价,来分析冻土和工程的相互作用。

10.5.5 本条为强制性条文,必须严格执行。详细勘察阶段,公路工程冻土工程地质勘察必须符合本条的四款要求,否则不能满足设计要求,给工程建设带来安全隐患,危及生命财产安全。

11 水利水电冻土工程地质勘察

11.1 一般规定

11.1.1 多年冻土地区水利水电工程的冻土工程地质勘察是冻土工程地质勘察中的一个重要而特殊的组成部分。多年冻土的存在对工程地质条件和工程方案的选择具有不同程度的甚至是重大的影响。因此,在这样的地区进行工程地质勘察时,除应按常规要求外,还必须按不同的工程规模进行冻土勘察。原规范本章的适用范围为一、二级工程,鉴于中型水利水电工程,特别是冻土地区的中型工程仍具有的重要性,严寒地区水工建筑物冻害又较为严重,同时为了能与相关规范相协调,本次修改为“本章适用于多年冻土地区大、中型及冻土工程地质条件复杂的小型水利水电工程”。对于季节冻土地区水利水电工程的冻土工程地质勘察应主要解决土的冻胀性问题。因此,勘察工作应满足水利水电工程的稳定和变形设计的要求。

11.1.2 大中型水利水电工程,除水利枢纽工程外,还有对外交通、管道、架空送电线路工程以及其他建筑工程。所以,水利水电冻土工程地质勘察除应符合本规范外,尚应符合现行国家有关标准的规定。

11.1.3 本条为新增加条文。明确了冻土工程地质勘察的工作阶段。按照现行国家标准《水利水电工程地质勘察规范》GB 50487的规定,水利水电工程地质勘察分为规划阶段、可行性研究阶段、初步设计阶段、招标设计阶段、施工详图设计阶段五个勘察阶段。按照现行国家标准《水力发电工程地质勘察规范》GB 50287 的规定,水力发电工程地质勘察分为规划阶段、预可行性研究阶段、可行设计阶段、招标设计阶段、施工详图设计阶段等五个勘察阶段。

冻土工程地质勘察阶段划分按照现行国家标准《水利水电工程地质勘察规范》GB 50487 的相关规定执行,水力发电工程冻土工程地质各勘察阶段可与之依次对应。

11.2 规划阶段勘察

11.2.1 规划工作可以是整条河流的多个梯级工程河段规划,也可能是先进行最有开发意义的拟建工程河段,故冻土勘察亦在规划任务确定的河段的范围内进行。

11.2.2 规划阶段的冻土工程地质勘察工作要为制订梯级工程开发方案、选出拟建水利枢纽工程服务。它是水利水电冻土工程地质勘察工作重要阶段。因此,初步了解规划区域内的冻土工程地质条件,进行冻土分区和了解拟建工程地基冻土的主要问题是本阶段工程冻土勘察的主要任务。

11.2.3~11.2.6 规划阶段冻土工程地质勘察的基本目的是为制定规划方案提供所需的冻土分区和坝址区冻土资料。一般多年冻土分区图的制定主要是根据已有实际资料,在充分考虑气候分区的条件下依据地质构造、地貌和景观分区。但仅此还不能达到上述工程规划的要求。因此,在进行本阶段的冻土工程地质勘察时,要分为两步进行。第一步是收集已有资料,进行综合整理分析,然后作出综合评价的报告,以便对河段冻土条件有一定基本的总体概念,并制定出进一步实际勘察的冻土工程地质勘察工作大纲。第二步是现场实地调查与勘察。在进行规划河段范围内和预选坝址的冻土一般性勘察的同时,明确“重点了解拟建工程的冻土工程地质条件”。

11.2.7、11.2.8 河流规划区的范围很大,特别是大河流可达数十万平方公里,河段长达数千公里。因此,在进行冻土分区的勘察时,一般以采用控制地段,并在河谷及其相邻的一定范围内进行一般性的冻土勘察和调查相结合的方法。

控制地段的选择应体现根据气候、地形地貌、河谷形态、河流

特性等方面在总体上具有代表性的原则。这样,可以将控制地段的冻土勘察结果推行到同类地区。

控制地段应尽可能布置在已规划的水利枢纽区,这样既可以最充分和有效地利用工程地质勘察的钻孔和坑槽探,又能最直接和详细地说明水利枢纽的冻土条件。这对规划阶段制图比例尺较小的情况更是合理的。

由于水利枢纽范围较大,而且控制地段可包括几个地貌单元,加之规划阶段的测量比例尺较小,因此,提出控制地段的范围一般以不小于 5km~10km 为宜,制图的比例尺以不小于 1:100000 为宜。

11.2.9 本次修改增加了枢纽区冻土工程地质测绘内容,明确了峡谷区和丘陵平原区坝址区冻土工程地质测绘比例尺。规划阶段勘察方法以坑探、槽探、地球物理勘探为主,钻孔数量一般较少,冻土工程地质勘察和普通工程地质勘察一般应同步进行。冻土工程地质勘察应“结合普通工程地质勘察”。对于规划中的一般水利枢纽工程,钻孔数量根据工程重要性冻土工程地质条件复杂条件确定。近期开发工程中的钻孔数量亦应较一般水利枢纽工程相对增多。对于近期开发工程坝址或地质条件较为复杂的坝址宜布置 3 个~5 个钻孔,其中两岸至少各有 1 个钻孔。同时可配合布置一些浅孔和坑探,以便较详细地研究冻土状态。枢纽区冻土的厚度和年平均地温是冻土状态和类型的代表性指标。因此,钻孔深度应超过地温年变化深度,并宜有一个以上钻孔穿透冻土层下限,用于计算或直接取得冻土层厚度。

11.2.10~11.2.13 这四条为新增加条文。为了与现行国家标准《水利水电工程地质勘察规范》GB 50487 内容相协调,明确了引调水工程、防洪排涝工程、灌区工程、河道整治工程冻土工程地质测绘比例尺及测绘范围。考虑到规划阶段方案变化较大,测绘范围大一些有利于方案比选。

11.2.14 建筑材料是工程地质勘察的重要组成部分。当料场位

于多年冻土地带时,建筑材料的填筑性和开挖条件都将受到影响。因此,在冻土勘察中应确定其冻土层的厚度和季节冻结和融化深度,以及冻结材料的物理力学性质,以便研究开采方法、开采的程序和时间、预计开挖可能出现的其他困难。

11.2.15 冻土分区图应根据实际掌握的资料和按补充调查勘察的资料编制,确定其比例尺。根据我国多年冻土地地区的情况,冻土分区图的比例尺一般可取 1 : 50000,对于个别大河,可取 1 : 100000。为了与冻土工程地质测绘比例尺一致,冻土分区图的比例尺在本次规范修编中进行了修改。

11.3 可行性研究和初步设计阶段勘察

11.3.1 本次修改明确了水利水电各建筑物具体工程部位的冻土工程地质勘察主要任务。

11.3.2 结合现行国家标准《水利水电工程地质勘察规范》GB 50487 中可行性研究和初步设计阶段坝址区工程地质测绘比例尺的具体要求,将冻土工程地质测绘比例尺按照冻土条件复杂地区、中等复杂地区、较单一的地区进行了修改。

11.3.3 规定了坝址区冻土勘察工作内容、精度及原则。考虑到冻土地地区工程地质条件的复杂性,对多年冻土地基勘探点间距和钻孔深度参照现行行业标准《冻土地地区建筑地基基础设计规范》JGJ 118 中的相关内容做了具体规定。可结合工程部位,根据实际情况对勘探点间距和钻孔深度适当调整,冻土条件较单一或在少冰冻土情况下,可适当减少勘察工作量。

11.3.4、11.3.5 这两条为新增条文。规定了引调水工程、堤防等长线路工程冻土勘察工作内容、精度及原则。此类工程线路长、地貌单元多、冻土类别多,勘察时宜结合工程部位区分对待,并按冻胀和融沉性进行分段。

11.3.6 水库区范围较大,应重点勘察冻土环境改变后影响水库运行安全的大型滑坡、崩塌、危岩体及潜在不稳定岸坡。库区的冻

土勘察可结合非冻土工程地质勘察和调查工作并利用其钻孔及坑探进行,一般可不作专门的冻土勘察工作。

11.3.7 由于滑坡、渗透稳定、膨胀土和分散性土冻土问题较复杂,一般冻土工程地质勘察工作往往不能完全查清和提供可靠的处理措施。因此,对冻土条件复杂地段应进行专门研究。

11.4 招标设计和施工详图设计阶段勘察

11.4.1~11.4.6 根据现行国家标准《水利水电工程地质勘察规范》GB 50487,招标设计属于施工准备阶段的一项工作内容。招标设计的前提是初步设计报告已经批准。通过招标设计阶段工程地质勘察,进一步复核工程地质结论,查明遗留的冻土工程地质问题,为完善和优化设计以及落实招标合同有关的问题提供地质资料。

由于勘察阶段的调整,原“技施设计阶段”改为“施工详图设计阶段”。由于自然界地质环境的复杂性和其他原因,在前期勘察中可能会遗留(漏)某些工程地质问题,在施工和水库蓄水过程中,可能会出现新的工程地质问题。对这些工程地质问题进行专门勘察是施工详图设计阶段勘察的主要内容之一。通过施工详图设计阶段工程地质勘察,可以检验、核定前期勘察成果质量,进一步提高勘察成果精度,并配合施工开挖开展施工地质工作,为施工详图设计、优化设计、建设实施、竣工验收等提供工程地质资料。

11.4.7 冻土温度的变化是决定冻土动态的主要因素。在建筑物施工过程中,由于地基开挖、人类活动等的影响,冻土状态可能发生较大的变化。因此,在施工过程中对冻土温度的观测,并根据温度观测结果对冻土的稳定性进行检查评价是施工地质工作的重要内容。

12 管道冻土工程地质勘察

12.1 一般规定

12.1.1 本章适用于多年冻土地区的输油、气、水管道线路及其穿越工程、站场、储罐的冻土工程地质勘察。其他管道、地下电缆线路等有关工程亦可参照执行。

冻土地区的管道敷设方式有三种：

(1)地上式：主要用于多年冻土中热敏感性很强的富冰、饱冰和含土冰层地带。美国的阿拉斯加输油管道即采用地上式管道，它采用柱、桩基础把管道架空起来，它涉及的问题是基础与冻土间的热交换计算、管道的保温层厚度、基础的冻胀与融沉变形等。为了减少油管热量通过桩、柱基础向冻土传热，采用热桩作为管道的桩、柱基础，使冻土地基始终保持冻结状态，保证构筑物的稳定性。

(2)地面式：为地面平铺、路堤式。它所涉及的问题有：地基与管道间的热交换计算、管道保温层厚度，底垫层的隔热保温材料、地基土的热物理特性、堤高的确定及地基的冻胀与热融下沉等。东北大兴安岭地区的许多输水管道都是采用地面平铺式。

(3)地下式：即埋入式。我国中俄原油管道和青藏高原的格尔木至拉萨的输油管道均采用埋入式。它所涉及的问题：冻土与管道之间的热交换计算、管道的保温层厚度计算、地基土的热物理参数、地形、季节冻结与季节融化深度(即多年冻土上限)的确定、管道的埋置深度、跨沟建筑物及管道周围土体的冻胀与融化下沉等。

12.1.2 本条勘察阶段的划分原则是参考现行国家标准《油气田及管道岩土工程勘察规范》GB 50568 确定的。勘察阶段的划分应与设计阶段相适应。

12.1.3 对于一般冻土地段管道冻土工程，需要钻探、坑探勘察

时,勘探点的布置应沿管道中线进行,同时要调查中线两侧各100m范围内是否有危及管道安全的冻土现象,如遇冻土现象发育地段,考虑到追溯冻土现象产生原因、分布范围以及工程治理的需要,应适当加宽勘察范围。

12.1.4、12.1.5 冻土区的管道冻土工程地质勘察首先应强调分阶段开展冻土工程地质调查,调查内容如下:冻土的工程类型、分布、地下冰的埋藏与分布、冻土地基的融化下沉与地基土的冻胀性、冻土现象等。这些都是冻土区影响管道安全运营的主要问题。因此,勘察工作中首先应特别注意冻土特征的调查。多年冻土区工程地质勘察不同于其他地区的工程地质勘察就是受季节性影响明显,必须合理安排各勘察阶段的季节和时间。例如,对于冻土上限的勘察一般选择秋季,对于冻土现象的调查一般选择在春夏季节。根据季节合理安排各勘察阶段,逐步查清多年冻土的工程地质条件和对管道工程有影响的冻土现象的成因、发展规律,并评价其对管道工程的影响。

12.1.6 站场、阀室及小型储罐等建筑物基础对地基的要求与一般建筑物基础对地基的要求相同,地基只要满足强度(承载力)要求与变形要求即可,故勘察按本规范第8章有关规定执行。

12.2 可行性研究(选线)勘察

12.2.1 可行性研究勘察主要是搜集和分析已有的有关资料,对主要的线路控制点(如大中型河流穿跨越点)进行踏勘调查,一般可不进行钻探工作。首先,由于冻土区的冻土工程地质条件要比非冻土区复杂得多,冻土中地下冰的存在使得冻土工程地质条件变得更为复杂,地下冰的含量、分布及其工程类型往往是千变万化,它在垂向或水平方向上的空间分布都是极不均匀的,特别是在多年冻土上限地带存在着大量的地下冰层,甚至是厚层地下冰;其次,多年冻土的年平均地温往往受各种自然地理—地质因素影响与控制,因而各个地段的冻土地温类型与稳定性不同;第三,多年

冻土的环境工程地质稳定性将受自然条件和人类工程活动的强烈影响,如地表的扰动、地表水与地下水的侵蚀作用、场地的挖掘和植被的破坏、外来温度的热侵蚀作用等;第四,冻土现象的产生与发展将随着自然条件的变化和人类工程活动而变化,通常情况下都会加剧。例如,地基土的冻胀和冻土的融化下沉、融冻泥流和热融滑塌等。一旦这些冻土现象出现,往往不易整治,即使要整治,则耗资很大。以上因素决定选线勘察是一个重要的勘察阶段,千万不可忽视,应有岩土工程人员参加选线工作。

选择线路的路径,除了一般的要求外,本条强调应从冻土工程地质条件出发,选择冻土类型为少冰冻土、多冰冻土及粗颗粒冻土的地段通过较好,因为这些地段的含冰量较少,即便产生融化,其融化下沉量也较少,而且这些地区的冻胀性也较弱,地基处理较为容易。但是,应特别注意具有强、弱融沉的两种冻土工程类型和强、弱冻胀性地基土交界处的沉降与冻胀变形对管道的影 响。进行多种方案的比较,才能选择最佳的线路方案。

12.2.2 本条第3款提出要了解河流的冻土特征和冰情,这是由于多年冻土区的大河流中,往往存在有贯穿或非贯穿融区,而中、小河流则通常是非贯穿融区,它对线路方案的选择以及管道的稳定和安全有直接影响。

12.2.3 线路路径方案的选择是冻土工程地质勘察工作的重要内容之一。本条中对各比选方案的冻土工程地质条件作出评价和分析。冻土地区影响线路选择的因素是复杂的,除应考虑节约投资和材料外,还要考虑安全和施工、管理的方便,在技术合理、安全经济的前提下,线路应尽可能地沿公路、铁路和交通方便的地方行进,以利于施工和管理。

12.3 初步勘察

12.3.1 主要是初步查明沿线的冻土工程类型、分布及特征,地下冰的分布及含量,测定必要的设计参数,如冻土密度、含水率等;沿

线经过的河流与沟谷中冻土特征,冰情等;沿线冻土现象及井、泉与地下水情况等。进行冻土工程地质分区、初步查明管道沿线的多年冻土工程类型确定其分界线,在初步查明这些冻土特征的基础上作出冻土工程地质条件的评价。

12.3.2 本条第3款地温观测孔应按地貌单元布置,其数量应根据冻土工程地质条件的复杂程度和冻土工程地质分区的需要确定,地温观测孔一般布置在多年冻土发育地段(冻土沼泽、河漫滩、高含冰量冻土区等),观测孔位置应处在交通较便利地区,方便长期地温观测的需要。在长输管道中一般每5km~10km宜布置一个,避免观测区间跨度太大,两个观测孔所取得的观测数据不能代表该区段地温变化。地温观测孔深度应为15m~20m,主要是考虑到随深度的增加地温年变化幅度有逐渐减弱的趋势,另一方面随多年冻土距离管道中线距离增加对管线的影响也逐渐减弱。

12.3.3 本条规定了穿越工程初步勘察阶段,冻土工程地质勘察工作方法、布点原则、勘探孔深度、岩(土)分析要求等。冻土地区单一的勘探手段难以达到勘察目的,应采用综合勘探手段(高密度电法等地球物理勘探方法)探明场地的地质条件,特别是冻土的发育情况、多年冻土的分布具有强烈的空间分异性,高含冰量往往呈透镜体状分布,平面和剖面分布变化较大。钻探前可采用两种或两种以上的方法进行综合地球物理勘探,取得的解译资料可以相互验证,互为补充,根据地球物理勘探资料有针对性布置钻探点。在拟定的穿越中线位置的上游15m~20m处布置勘探点,主要基于防止钻孔对施工阶段带来的隐患,在初步勘察阶段穿越方式尚未确定,布点偏离轴线15m~20m是为了当穿越方式采用定向钻、隧道等时因钻孔封堵问题给施工带来隐患;勘探点间距100m~200m,主要是对穿越距离较长的宽浅河流考虑,同时规定了每一个方案不应少于3个钻探点,这是考虑河床内至少应有1个钻探点。

12.3.4 本条规定了隧道穿越工程多年冻土区初步勘察布点原

则、勘探孔深度等。根据大兴安岭地区已有的铁路隧道和呼玛河原油管道钻爆隧道工程建筑经验,处理好地下水是保证多年冻土区隧道工程稳定的关键。在进行隧道工程地质勘察时,应着重查明穿越区高含冰量冻土类型、分布及水文地质条件等,以便考虑是否改线或采取相应的防水措施等。长大隧道、地质条件复杂隧道,根据工程或设计需要宜进行地温、地下水和气温等项目的观测,积累资料为设计和管线后期的运营管理提供服务。

12.3.6 在初步勘察阶段,储罐平面布置尚未确定,该阶段勘探点一般按方格网布置,勘探点间距依据地基复杂程度等级综合确定。

12.3.7 勘探孔的深度,根据以往经验结合部分实测资料和理论计算,一般性土采用小值;遇富冰冻土、饱冰冻土、含土冰层等高含冰量冻土取大值,遇碎石类土勘探深度应结合其密实度适当减小,遇岩质地基控制性孔应钻入较完整的中等风化岩体内不少于 3m。

12.3.8 所列的冻土工程地质勘察报告的基本内容是各个工程勘察报告所需的,与常规工程地质勘察成果报告相比,增加了下列内容:

- (1)突出冻土特性及其工程性质、冻土现象的描述和评价;
- (2)为便于设计计算提供场地内各类冻土的主要物理力学及热学参数;
- (3)对地基土冻胀性、融沉性、稳定性和适用性评价;
- (4)对拟建场区内冻土现象进行评价,提出工程措施建议。

由于各工程要求不同,图件的比例尺要求也各不相同,无法确定一个统一的适用于每个工程的图件比例尺。所以本条只规定勘察成果报告中应附的基本图件,其比例尺由各工程特点来确定。

12.4 详细勘察

12.4.1 线路详细勘察的任务是在初步勘察工作的基础上进一步具体化的对各段冻土工程地质问题进行详细勘察。为线路设计、施工、冻土现象的防治提供可靠的冻土工程地质资料。

12.4.2 线路详勘主要是细化管道沿线多年冻土工程地质分区,重点查明高温、高含冰量多年冻土、融区、岛状多年冻土的界限,沿线附近的冻土现象及水文地质条件。对管道沿线的冻胀丘、冰椎、冰丘、厚层地下冰、热融滑塌、热融湖塘、融冻泥流、冻土沼泽等分析评价,判断其形态特征、形成条件、分布范围、发生发展规律及其对工程的影响和危害程度,必要时应进行专项的冻土研究。根据已发现的管道沿线附近冻土现象,结合地形地貌、地层岩性、地下水赋存形式,判断管道开挖后因地下水径流条件发生变化,对管线附近的冻胀丘、冰椎、热融湖塘等冻土现象的影响,预判其发展趋势及是否对管道产生新的危害。通过多年冻土样的分析为设计提供相应的冻土物理力学及热学参数。根据工程需要设立地温观测点,进行地温观测。

12.4.3 本条第1款勘探点的间距与孔深,按表12.4.3规定执行,通常情况下是可以满足的。但是,在含土冰层、饱冰冻土及富冰冻土地段,由于地下冰分布极不均匀,应予加密至每隔100m一个孔,对于少冰与多冰冻土地段,视地形与地质情况可适当放宽。

采用地上架空式的敷设方法时,由于桩、柱基础的间距及其受力原因,勘探点间距应加密。

勘探孔深度的确定,主要是根据冻土上限及附近富含地下冰层的特点,当管道的埋置深度处于上限附近时,必须考虑到由于管道的散热影响。根据原苏联库德里雅夫采夫的资料计算,年平均温度为 10°C ,管壁温度差为 50°C 的情况下,管道散热影响的融化深度可达2.0m左右,且得出结论,随着管道直径的增大,直径对融化深度的影响则减少。因此,只有了解管壁以下2m~3m的冻土工程地质条件,才能确保管道的安全性和稳定性。

取样与试验工作,这是详细勘察阶段中必须进行的工作。由于冻土中地下冰的水平和垂直方向分布具有极不均匀性,所以取样要比较密。通常情况下,每层冻土必须保证不少于六组试样,并进行室内试验。为了解冻土地下冰的垂直变化,起码应该高于一

般情况下的非冻土区的工程地质勘察要求。

12.4.4 穿越工程详细勘察根据穿越方式不同,勘探点布置方法也不尽相同。对于开挖穿越方式,勘探点布置在穿越管道的中线上,最大限度查明穿越段地层岩性。对于非开挖的穿越方式(定向钻、顶管、盾构等),应在穿越管道的中线两侧 15m~20m 处各布置一条勘探线,两条勘探线上的勘探点交错布置,主要基于防止钻孔对施工阶段带来的隐患考虑。

12.4.5 本条第 5 款,对于一般冻土区隧道工程,由于输油气管道隧道截面小,对美观、防水的要求低,可充分利用硐室的自稳并加以喷锚支护进行处理,以降低造价,输油气管道隧道修建后硐门封闭,水下隧道管道安装完灌水回注,因此低温对隧道岩体影响较小,一般可不进行地温、气温等项目的观测,因此本条规定只有对长大隧道、地质条件复杂隧道,才根据需要进行地温、地下水和气温等项目的观测。

12.4.6 跨越工程勘察工作应在已确定的管墩及锚固墩位置进行。本条提出的综合勘探方法包括坑探、钻探、动探、地球物理勘探,勘探方法可根据河床及两岸冻土地质条件的复杂程度采取不同的勘察手段;表 12.4.6 对管墩和锚固墩勘探点的数量是根据《油气田及管道岩土工程勘察规范》GB 50568—2010 表 4.4.12,按冻土地基复杂程度等级的不同进行了综合确定,以确保勘探工作量的合理性。

12.4.7 本条规定了冻土地区跨越勘探点的深度。在满足勘探点深度达到基础底面以下 2 倍~3 倍的基础宽度的基础上,还需满足“勘探点深度满足不小于 8m”或“2 倍的多年冻土上限”二者之一,勘察中应严格执行。

12.4.9、12.4.10 储罐工程多年冻土区详细勘察,在低含冰量冻土区且冻土层较薄时,勘探点的布置方式与布置原则如下:一般在储罐中心布置勘探点 1 个,其余勘探点宜以储罐中心为原点,以同心圆方式均匀布置,以便于储罐的地基变形计算(一般储罐周边沉

降差每 10m 不超过 25mm), 勘探点数量是根据以往工程经验, 与《油气田及管道岩土工程勘察规范》GB 50568—2010 表 4.6.11 保持一致。这也是参照英国壳牌《SITE INVESTIGATIONS》DEP34.11.00.10—Gen 1999.12 和现行行业标准《石油化工钢储罐地基与基础设计规范》SH/T 3068 综合确定的。

对冻土层厚度较大或高含冰量冻土地区储罐直径大于 40m 时, 目前国内尚无工程实例和可借鉴的工程经验, 应根据设计要求进行专项试验研究, 以满足工程建设需要。

12.5 施 工 勘 察

12.5.1 由于冻土地层的地质条件复杂多样以及冻土现象的季节变化性, 许多冻土工程地质问题由于勘察季节、勘察手段以及勘察技术的局限性, 施工前的各勘察阶段很难解决所有的冻土工程地质问题。施工勘察是冻土地区工程勘察中一个重要的勘察阶段, 是前段勘察工作的继续和深入。漠河—大庆原油管道工程实践表明: 尽管施工前的地质勘察做得很仔细, 管线开挖时总会发现遗漏而出现各种冻土工程地质问题, 需要地质人员通过施工勘察加以解决。所以, 在冻土地区, 既不应认为完成了详细勘察阶段就算完成了全部勘察工作, 也不能把施工勘察仅仅看成是一种一般性的技术服务。冻土地区施工勘察与施工前的各阶段勘察相比有很大的不同, 主要特点是针对施工过程中不断出现的冻土工程地质问题而进行的勘察工作, 随时按勘察成果提出工程处理建议。

12.5.2 施工勘察的内容与资料要求是依据在工程施工期间, 发现新的冻土工程问题提出的。因此, 施工阶段的勘察内容对揭露冻土的工程地质特性而言最丰富、最具体、最直观。其勘察目的就是为了解决施工中已经出现的或者即将遇到的冻土工程问题和冻土环境问题。

12.5.3 在施工期间所进行的资料整理与分析内容, 一方面是工程施工地质存档资料, 另一方面是整个冻土工程特殊地质条件的

总结。这个总结主要是为今后的冻土地区勘察工作积累资料 and 提供经验。其三是对运营期间应注意的事项、监测布设情况所作的规定,本条对施工勘察阶段的资料从勘察报告文字部分与图表部分进行了规定,施工勘察必须认真执行。

13 架空送电线路冻土工程地质勘察

13.1 一般规定

13.1.1 架空送电线路工程的等级通常划分为低压(220kV 及以下)、高压(330kV~750kV)和特高压(± 800 kV 直流、1000kV 及以上)三个电压等级。国内目前投运的穿越冻土区的架空线路在高纬度地区(大、小兴安岭地区)以 220kV 和 500kV 为主,高海拔地区(青海、西藏等地)主要以 110kV、220kV 及 330kV 为主。对于冻土地区特高压线路目前还没有勘察设计经验,应开展专项研究后进行设计施工。因此本次修编电压等级仍定位在 110kV 及以上架空送电线路工程勘察。

13.1.2 架空送电线路工程勘察阶段应与设计阶段相适应,目前设计阶段划分为可行性研究、初步设计和施工图设计三个设计阶段。可研勘察应符合工程可行性研究的要求,初步勘察应符合初步设计的要求,详细勘察应符合施工图设计的要求。

13.1.4 施工勘察不包括在施工图设计阶段勘察之内,一般在送电线路工程施工过程中进行。施工勘察不是一个固定的勘察阶段,是否进行施工勘察应视工程地质条件的复杂程度和工程需要而定。对于厚度较大的饱冰冻土、岛状多年冻土边缘、冻土现象发育等复杂地段,由于条件复杂,在施工图设计阶段勘察期间按照常规勘探不能查明其具体的岩土工程技术条件,宜在施工过程中根据具体的基础型式、基础位置和尺寸,结合基坑开挖情况,有针对性地进行勘探、分析和评价,并提出勘察报告。对于某些有特殊要求的杆塔,如需要对基桩进行长期应力应变监测的杆塔等,施工图设计阶段勘察成果也难以满足特殊要求的需要,在施工期间,也应针对具体的要求进行勘探、监测、分析、评价。

13.1.5 根据冻土工程地质及水文地质条件、年平均地温、施工条件以及杆塔类型(直线、耐张、转角等)等因素综合考虑确定基础型式。在季节冻土地区除考虑常规设计外,尚应验算在冻胀力作用下基础的稳定性,若不满足要求,或改变基础型式或采取相应的防冻害措施。在多年冻土地基中应考虑由于气温的改变、人为活动的影响而导致地温的变化,有无过大融沉的可能性。现浇基础,由于施工带入的热量较多(其中包括材料热量及水泥水化热),对冻土地基的热干扰大,同时混凝土硬化所需时间较长;钻孔灌注桩基础对地基土的热干扰大,混凝土的养生时间长,适用于坚硬冻土地基的冬期施工;钻孔插入桩基础,在多年冻土地基中应用广泛。

13.2 可 研 勘 察

13.2.1、13.2.2 本阶段主要任务是论证拟建线路的可行性,对线路路径影响较大的冻土问题予以初步查明。目前我国电网输电工程投资是按限额设计控制执行,因此本阶段要求对工程投资影响较大的不良地质作用、地质灾害以及跨越河流、低谷等提出合理避让或初步整治措施、冻土地基的处理方案建议等,以便合理确定投资估算。

近年来随着一些铁路、公路、输电、输油管线等穿越冻土区大型项目的建设,积累了一定的工程经验和教训,对冻土工程问题进行了大量的研究,对其工程特性也有了更深入的了解和认识。因此通过搜集相关的研究成果及工程资料基本可满足本阶段勘察需求。但对于高海拔地区冻土现象比较发育地段,应进行详细的现场调查工作。现场调查应注意不同类型冻土现象不同季节的发育规律(比如融期的热溶湖塘、热融滑塌等,冻期的冻胀丘、冰椎等)。

13.3 初 步 勘 察

13.3.1~13.3.3 为了选择地质、地貌条件较好,路径短、经济、交通便利、施工方便的线路路径方案,应按不同地质及水文地质条件

评价其稳定性,并推荐最优线路路径方案。冻土区的岩土工程师应参加选线组进行线路路径踏勘,重点是调查研究路径方案、跨河地段的冻土工程条件、沿线的冻土现象和高含冻量冻土分布及特征,对拟选路径方案沿线地貌、冻土性质、融沉等级、地温分布、水文地质情况,季节冻结层的冻胀性等应有新了解,以便正确划分地段,并结合有关文献资料归纳整理。对特殊设计的大跨越地段和主要塔基,应做详细的调查研究。

本阶段仍以调查和搜集资料为主,当线路沿线冻土条件比较复杂,已有资料不能满足初步设计和编制概算需求情况下,可进行适量的勘探与测试工作。

13.3.4 线路路径方案的选择是由勘测和设计各专业人员共同现场确定,线路应力求顺直,以缩短线路长度,这对确定工程概算有重要意义。但影响线路选择的因素是复杂的,除经济之外还要考虑安全和施工管理的方便。因此,在技术合理、安全经济的前提下,应尽量沿着公路、铁路和交通方便的地方选线;应力求减少同天然和人工障碍的交叉;线路选线应协同穿越大、中型河流的跨越点选择相结合,避开不利的地形地貌和地质条件,要尽量少占和不占农田好地。河流的跨越点选择的合理性,是关系到设计、施工和管理的关键问题。所以,在确定跨越点以前应进行必要的选址勘察工作,通过认真的调查研究工作,选出最佳的跨越方案。

13.4 施工图勘察

13.4.3 施工图勘察是在已选线路沿线进行塔位冻土工程地质调查、勘探与测试,以及必要的计算工作,并提出合理的地基基础方案及施工方法等。

根据呼辽(呼伦贝尔—辽宁)直流输电线路及青藏(格尔木—拉萨)直流并网输电线路等工程勘察经验,工程规模长达几百乃至上千公里,要穿越季节冻土、多年冻土、多年冻土融区及岛状冻土等所有冻土类型,在塔位确定时进行分别对待:季节性冻土定位与

常规一致;多年冻土区塔位尽量避开厚层地下冰及冻土现象发育地段;岛状冻土地带塔位不宜立在冻土岛上。同时冻土地区不同微地貌单元所具有的光照、岩性、含水量不同,冻土条件及性质差异较大。因此塔位选择及勘察工作量布置应结合冻土类型及地貌情况确定。各勘察地段的具体要求为:

(1)平原地区勘察应明确规定转角、耐张、跨越和终端塔等重要塔基和复杂地段进行逐基勘探。对简单地段的直线塔基可酌情放宽。

(2)线路经过丘陵与山区,要围绕稳定性并以此为重点来进行勘察工作。主要查明塔基及其附近是否有冰椎、冻胀丘、热融滑塌等冻土现象及其对塔基稳定性的影响。

(3)跨越河流、湖沼勘察,对跨越地段的杆塔位置选择,应与有关专业共同确定。对于岸边和河中立塔,尚应根据水文调查和实验观测资料(包括洪水、淹没、冲刷及河床演变)结合塔位冻土工程地质条件,对杆塔地基的稳定性作出评价。为跨越河流或湖沼,宜选择在跨距较短、冻土工程地质条件较好的地点而布设杆塔。对跨越的塔基宜布置在两岸地势较高,地层为坚硬冻土,或不融沉与弱融沉性土地段。

鉴于多年冻土地地区年平均地温易受气候及人为因素的影响,在不同地貌单元布设长期冻土地温观测孔,监测冻土地温变化是必需的,否则难以保障杆塔基础的稳定及架空线路工程的安全运行。

13.4.4 本条为强制性条文,必须严格执行。勘探孔深度的确定根据塔型、荷载状况、基础型式、基础埋深、塔位冻土工程地质等因素综合考虑。对于季节冻土以及以粗颗粒为主的岛状冻土区,参照 500kV 架空线路钻探深度可满足设计要求;对于分布稳定且厚度较大的多年冻土区(如青藏高原部分地区),钻孔过深没有实际意义。对于研究资料缺乏的冻土地地区一般要进行地温观测,根据青藏(格尔木—拉萨)直流并网输电线路工程资料可知,冻土一般在 16.0m~20.0m 深度基本达到恒温层。

附录 A 中国冻土类型及分布

A.0.2 多年冻土的类型和分布可按其形成和存在的自然条件不同,分为高纬度多年冻土和高海拔多年冻土。高纬度多年冻土主要分布在大小兴安岭,高海拔多年冻土分布在青藏高原和东西部高山山区。见表 8、表 9。

表 8 中国东北多年冻土的分布特征

多年冻土区	年平均气温 (℃)	年平均地温 (℃)	多年冻土 所占面积比例 (%)	多年冻土厚度 (m)
大片分布 (或连续分布)	< -5	$-4 \sim 0$	70~80	50~100
大片— 岛状分布	$-3 \sim -5$	$-1.5 \sim 2$	30~70	20~50
岛状与稀疏岛状 及零星分布	$0 \sim -3$	$-1 \sim 4$	5~30	5~20

表 9 中国西部多年冻土的分布特征

分布地区	峰顶海拔 高度 (m)	多年冻土 面积 (10^4 km^2)	多年冻土 下界海拔 高度 (m)	年平均 气温 (℃)	年平均 地温 (℃)	多年冻土 厚度 (m)
阿尔泰山	4374	1.1	2200~2800	< -5.4	$0 \sim -5.0$	—
天山	3963~7435	6.3	2700~3100	< -2.0	$-0.1 \sim -4.9$	16~200
祁连山	3616~5808	9.5	3500~3900	< -2.0	$-0.1 \sim -2.3$	5~140

续表 9

分布地区	峰顶海拔 高度 (m)	多年冻土 面积 (10^4 km^2)	多年冻土 下界海拔 高度 (m)	年平均 气温 ($^{\circ}\text{C}$)	年平均 地温 ($^{\circ}\text{C}$)	多年冻土 厚度 (m)
昆仑山	6488~7723	150.0	3900~4200	< -2.5	$-0.2 \sim -3.5$	60~120
喀喇 昆仑山	8611		4400	—	$(-23.4)^{\text{①}}$	$(750)^{\text{②}}$
昆仑山— 唐古拉山 北坡丘陵	4700~6305		—	< -5.0	$-1.5 \sim -3.5$	60~130
高平原及 河谷	4500~4650		—	$-4.0 \sim -5.0$	$0 \sim -1.5$	0~60
唐古拉 山南坡	4500~4780		4600~4700	$-2.0 \sim -5.5$	$0 \sim -2.0$	< 20 30~60
巴颜喀 拉山—阿 尼玛卿山	5202~6282		4150~4400	—	$(-4.7 \sim -11.1)^{\text{①}}$	$(160 \sim 370)^{\text{②}}$
冈底斯 山—念青 唐古拉山	6656~7111		4800~5000	—	$(-8.1 \sim -10.6)^{\text{①}}$	$(270 \sim 350)^{\text{②}}$
喜马拉 雅山	7060~8848	8.5	4900~5300	< -2.5	$(-8.0 \sim -17.6)^{\text{①}}$	$(270 \sim 570)^{\text{②}}$
横断山	6168~7556	0.7	4600~4900	< -3.2	$(-7.5 \sim -13.2)^{\text{①}}$	$(250 \sim 420)^{\text{②}}$

注:①峰顶活动层底部年平均温度计算值;

②峰顶最大厚度计算值;

资料来源:周幼吾等. 中国冻土[M]. 北京:科学出版社,2000 年.

附录 D 土的季节融化与冻结深度

D. 0. 1 土的季节融化深度。

像地基土的冻结深度一样,地基土的融化深度也需规定一个统一的标准条件,即在衔接的多年冻土地基中,土质为非融沉性(冻胀性)的黏性土,地表平坦,裸露的空旷场地,实测多年(>10年)融化深度的平均值为融深的标准值。

在没有实测资料时,按 $Z_0^m = 0.195 \sqrt{\sum T_m} + 0.882(\text{m})$ 计算,该公式适用于高海拔的青藏高原地区。 $Z_0^m = 0.134 \sqrt{\sum T_m} + 0.882(\text{m})$,该公式适用于高纬度的东北地区。由于高海拔多年冻土地区(青藏高原)与高纬度多年冻土地区(东北地区)的气候特点不同,例如,两个地区的年平均气温相同,则高纬度地区的融化深度与融化指数的关系就有显著的区别,所以提出两个公式分别计算高原和东北地区。

融化深度与冻结深度,都属于热的传导问题,因此,凡是影响冻结深度的因素同样也影响着融化深度,除了气温的影响之外尚有土质类别(岩性)不同的影响,土中含水程度的影响以及坡度的影响等。如前所述,当其他条件相同时,粗颗粒砂土的融化深度比黏性土的大,因粗颗粒土的导热系数比细颗粒土的大。土的含水率越大消耗于相变的热量就越多,虽然导热系数随含水率的增加而增大,但比相变耗热的增大缓慢得多,因此含水越多的土层融化深度相对越小。

坡向和坡度对土层的季节融化深度的影响也是很大的,在其他条件相同的情况下,地表接受的日照辐射总量也不同,所以向阳坡坡度越大,融化的深度越深(见表 10)。

表 10 坡向对融深的影响系数 Ψ_{θ}^m

数据来源	坡向	融深(cm)	Ψ_{θ}^m
苏联《普遍冻土学》 伊尔库特— 贝加尔地区	北坡	68.0	0.88
	—	77.5	1.00
	南坡	87.0	1.12
《公路工程地质》 杨润田、林凤桐资料 大兴安岭地区	阴坡	100.0	0.80
	—	125.0	1.00
	阳坡	150.0	1.20
规范推荐值	阴坡	—	0.90
	阳坡	—	1.10

根据中铁西北科学研究院、铁道第一勘测设计院、中国科学院寒区旱区环境与工程研究所等单位编制的《青藏高原多年冻土地区铁路勘测设计细则》和铁道第三勘测设计院编制的《东北多年冻土地区铁路勘测设计细则》对土质类别与融深的影响系数,经整理分析本规范提出了关于该系数的推荐值,土的类别对融深的影响系数见表 11。

表 11 土的类别(岩性)对融深的影响系数 Ψ_s^m

青藏铁路勘测 设计细则	黏性土	粉土、细、粉砂	中、粗、砾砂	大块碎石
影响系数 Ψ_s^m	1.00	1.12	1.20	1.45
东北铁路勘测 设计细则	粉土	砂砾	卵石	碎石
影响系数 Ψ_s^m	1.00	1.00	2.03	1.44
本规范推荐值	黏性土	粉土、细、粉砂	中、粗、砾砂	大块碎石
Ψ_s^m	1.00	1.20	1.30	1.40

D.0.2 土的季节冻结深度。影响冻深的因素很多,最主要的是气温,除此之外尚有季节冻结层附近的地质(岩性)条件、水分状况以及地貌特征等。在上述诸因素中,除山区外,只有气温属地理性

指标,其他一些因素,在平面分布上都是彼此独立的,带有随机性,各自的变化无规律和系统,有些地方的变化还是相当大,它们属局部性指标,局部性指标用小比例尺的全国分布图来表示是不合适的。

标准冻深的定义为地下水位与冻结锋面之间的距离大于 2m 的非冻胀黏性土,在地表平坦、裸露和城市之外的空旷场地中,多年实测(不少于 10 年)最大冻深的平均值。标准冻深一般不用于设计中。冻深的影响系数有土质系数、温度系数、环境系数和地形系数等。

土质对冻深的影响是众所周知的,因岩性不同其热物理参数也不同,粗颗粒土的导热系数比细颗粒土的大。因此,当其他条件一致时,粗颗粒土比细颗粒土的冻深大,砂类土的冻深比黏性土的大。我国对这方面问题的实测数据不多,不系统,苏联 1974 版和 1983 版《房屋及建筑物地基设计规范》中有明确规定,本规范采纳了他们的数据。

土的含水率和地下水位对冻深也有明显的影响,我国东北地区做了不少工作,这里将土中水分与地下水位都用土的冻胀性表示(见本规范表 3.2.1)。汇总黑龙江省寒地建筑科学研究院(原名:低温建筑研究所)等单位的研究资料有关水分(湿度)对冻深的影响系数(见表 12)。因土中水在相变时要放出大量的潜热,所以含水率越多,地下水位越高(冻结时向上迁移),参与相变的水量就越多,放出的潜热也就越多。由于冻胀土冻结的过程也是放热的过程,放热在某种程度上减缓了冻深的发展速度,因此冻深相对变浅。

表 12 水分对冻深的影响系数(含水率、地下水位) Ψ_w

资料出处	不冻胀	弱冻胀	冻胀	强冻胀	特强冻胀
黑龙江低温所(闫家岗站)	1.00	1.00	0.90	0.85	0.80
黑龙江低温所(龙凤站)	1.00	0.90	0.80	0.80	0.77
大庆油田设计院(让胡路站)	1.00	0.95	0.90	0.85	0.75

续表 12

资料出处	不冻胀	弱冻胀	冻胀	强冻胀	特强冻胀
黑龙江低温所(庆安站)	1.00	0.95	0.90	0.85	0.75
推荐值	1.00	0.95	0.90	0.85	0.80

注:表 12 中,土壤的含水率与地下水位深度都含在土的冻胀性表中,参见本规范表 3.2.1。

坡向对冻深也有一定的影响,因坡向不同,接收日照的时间有长有短,得到的辐射热有多有少,向阳坡的冻深最浅,背阴坡的冻深最大。坡度的大小也有很大关系,同是向阳坡,坡度大者阳光光线的入射角相对较小,单位面积上的光照强度变大,接受的辐射热量就多,但是有关这方面的定量实测资料很少,现仅参照苏联《普遍冻土学》中坡向对融化深度的影响系数。

城市的气温高于郊外,这种现象在气象学中称谓城市的“热岛效应”,城市里的辐射受热状况改变了(深色的沥青屋顶及路面吸收大量阳光),高耸的建筑物吸收更多的阳光,各种建筑材料的容量和传热量大于松土。据计算,城市接受的太阳辐射量比郊外高出 10%~30%,城市建筑物和路面传送热量的速度比郊外湿润的砂质土壤快 3 倍。工业设施排烟、放气、机动车辆排放尾气、人为活动等都放出很多热量,加之建筑群集中,风小对流差等,使周围气温升高。

目前无论国际还是国内对城市气候的研究越来越重视,该项研究已列为国家基金课题,对北京、上海、沈阳等十个城市进行了重点研究,已取得一批阶段成果。根据国家气象局气象科学研究院气候研究所和中国科学院、国家计委北京地理研究所气候室的专家提供的数据,经过整理列于表 13 中。“热岛效应”是一个比较复杂的问题,和城市人口数量、人口密度、年平均气温、风速、阴雨天气等诸多因素有关。根据观测资料与专家意见,作如下规定:20 万~50 万人口的城市(市区),只考虑市区 0.90 的影响系数;50 万~100 万人口的市区,可考虑 5km~10km 范围内的近郊区

0.95;大于100万人口的市区,可扩大考虑10km~20km范围内的近郊区。此处所说的城市(市区)是指市民居住集中的市区,不包括郊区和市属县、镇。

表 13 “热岛效应”对冻深的影响

城 市	北 京	兰 州	沈 阳	乌鲁木齐
$\frac{\text{市区冻深}}{\text{远郊冻深}} \times 100\%$	52%	80%	85%	93%
规范推荐值	市区 0.90	近郊 0.95		村镇 1.00

关于冻深的取值,尽量应用当地的实测资料,要注意个别年份,挖探一个、两个数据不能算实测数据,多年实测资料(不少于10年)的平均值才为实测数据(个体不能代表均值)。

附录 F 冻土融化压缩试验要点

F. 0. 1 冻土融化过程中在自重作用下产生的沉降为融化下沉, 其相对融沉量即为融化下沉系数 δ_0 。

冻土融透后, 在外荷载作用下所产生的压缩变形为融化压缩, 其单位荷重下的相对变形量即为融化后体积压缩系数 m_v 。

土冻结过程中由于水分迁移的结果, 形成分凝冰, 产生不同程度的冻胀变形。而当冻土融化时, 由于冻土中冰的融化和一部分水从土中排出, 使土体仅在土自重(试样自重)作用下就产生下沉。这种现象称之为冻土的热融沉陷, 简称为融化下沉, 这种融沉性往往是不均匀的, 具有突陷性质。

目前我国常以融化下沉系数 δ_0 (以往的论文和一些规范中采用 A_0 表示冻土融化下沉系数。本规范采用 δ_0 来表示融化下沉系数是为与现行行业标准《冻土地区建筑地基基础设计规范》JGJ 118 使用的符号保持一致, 避免同是冻土地区的规范出现两种符号) 来描述冻土的融沉性; 而以融化体积压缩系数 m_v 表示冻土融化后在外荷载作用下的压缩变形。实际上孔隙比的变化与外压力的关系是非线性的, 但在压力变化不大范围内, 可近似地看成直线关系, 而以融化体积压缩系数表示其压缩性的大小。

F. 0. 2~F. 0. 7 关于冻土的融沉和压缩试验方法, 有实验室试验及原位测定两种, 试验步骤应按现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123 进行。具体内容和要求为:

实验室所采用的冻土试样有两种: 即原状冻土及用扰动融土配制的冻土试样。一般应采用原状土。但没条件采取原状冻土时, 可从工程地点采取扰动土样, 根据冻土天然构造及物理指标(含水率、密度)进行制备。

原状冻土试样根据建筑物对冻土地基的要求,按不同深度采取。由于冻土具有明显的各向异性及分布不均匀性,一般都要求加密取样,并在土样上标明层位方向。冻土还具有较大强度,用常规的环刀法难以切取。为此,可采用专门的冻土取样器来切取试样。取样时,冻土土温一般控制在 $-0.5^{\circ}\text{C} \sim -1.0^{\circ}\text{C}$ 为好。因为土温太低往往造成脆性破碎,土温太高时,即土温接近 0°C 的冻土在取样时表面要发生局部融化。试样制备或取出后立即置于负温的保温瓶中,并送到负温恒温箱保存。根据与原状冻土相同的土质、含水率的扰动土制成的冻土试样进行对比试验说明,扰动冻土的融沉系数小于原状土的融沉系数,其差值一般均小于5%。因此,在没有条件采取原状冻土试样的情况下,采用扰动融土配制试样(人工回冻)进行融化压缩试验时,其 m_v 值应作适当的修正。

通过青藏高原、祁连山地区、东北大兴安岭地区和实验室试验所获得的大量资料发现,冻土的融沉性仅仅是冻土的固体颗粒、冰和未冻水之间的组合关系的函数,而与冻土分布地质、地理因素关系不大。

(1) 试验方法中几个问题的说明:

1) 为了模拟天然地基的融化过程,在试验过程中必须保持试样自上而下的单向融化。为此,实验室除用单向加热使试样产生自上而下融化外,还必须避免侧向传热而造成试样的侧向融化问题。

2) 国外的试样尺寸为高度 h 与直径 d 之比即 $h/d > 1/2$,最小直径采用50mm,对于不均匀层状和网状构造的黏性土, $h/d = 1/3 \sim 1/5$ 。国内曾采用的容器面积为 45cm^2 、 78cm^2 等面积,考虑到冻土融化压缩室内试验只适用粒径小于2mm的土,并考虑到试验仪器可以采用常规压缩仪改装,其试样及尺寸应尽量接近常规压缩仪(见图1)。因此,冻土试样直径采用8cm,高度采用4cm,高度与直径之比为1:2。原位试验的载板面积不宜小于 5000cm^2 的热压模板,试样土体高为25cm~30cm。其比值大约亦为1:2。

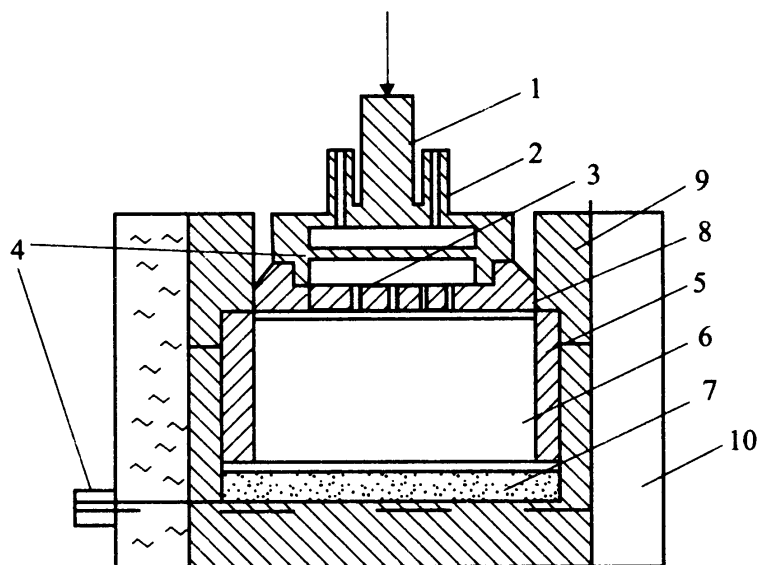


图 1 融化压缩仪示意图

1—加热传压板；2—热循环水进出口；3—透水板；4—上下排水孔；
5—试样环；6—试样；7—透水板；8—滤纸；9—导环；10—保温外套

3) 试验中当融化速度超过天然条件下的排水速度时，融化土层不能及时排水，会使融化下沉产生滞后现象。当遇到试验土层含冰(水)量较大时，融化速度过快，土体又常产生崩解现象，土颗粒与水分一起挤出，使试验失败或 δ_0 值偏大。不论室内或室外，融化速度均用水温来控制。一般情况下，实验室试验水温控制在 $40^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$ ，现场原位试验水温不超过 90°C 为宜。加热时应注意由低逐渐升高，当土层含冰(水)率大时，可以适当降低水温；试验环境温度较高时，水温也要适当降低。总之实验室内控制在 2h 内使 4cm 高的土层融化完；原位试验约在 8h 内融化深度达 25cm ~ 30cm 即可。

4) 测定 m_v 值时，规定预加荷载 10kPa，这主要考虑到土与仪器壁存在摩擦，冻土在融化过程中，有时单靠自重沉陷是困难的，所以施加很小的荷载后，融化固结能进行的较快些，而又不致对已经融化土骨架产生过大的压密，对 m_v 值影响甚微。

(2) 原位试验方法介绍：

原位测定方法与融土地区原位荷载试验方法相似，即开始挖试坑后采用热压模板进行逐级荷载试验。这种方法可以得

到各个土层的实际融沉系数及融化压缩系数,它可以适用于各种状态的冻土,但是由于此方法比较复杂,劳动强度也较大,一般仅用来测定实验室内难进行的冻结粗颗粒类土、含砾黏土及富冰土层。

原位试验装置是由带加热的压模板,加荷设备(千斤顶或荷重块)压力传感器(带压力表的千斤顶),变形测量设备(可用测针)和反压装置(横梁、锚固板等)组成,见图 2。

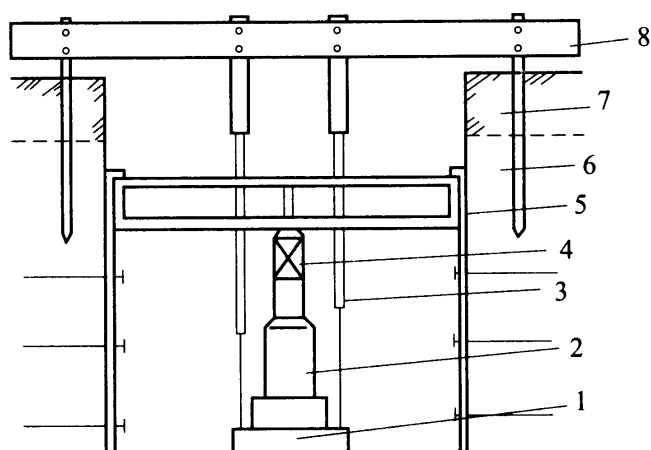


图 2 现场原位融化压缩试验示意图

1—热压模板;2—千斤顶;3—变位测针;4—压力传感器;

5—反压横梁;6—冻土;7—融土;8—测量支架

热压板的面积不小于 5000cm^2 ,用金属制成圆形或方形的空腔板,下部具有透水孔,见图 3。

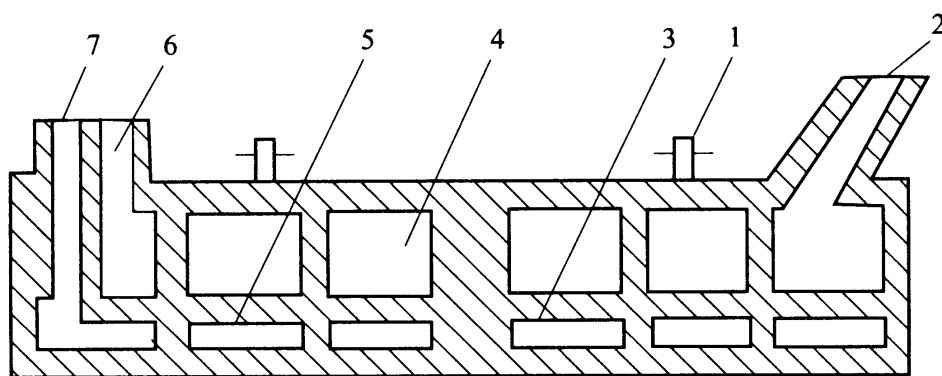


图 3 热压模板示意图

1—固定千斤顶螺丝;2—加热孔;3—热压模板;

4—储水腔;5—透水板;6—加水孔;7—排水孔

试验前应测定土层冻结状态时的含水率及密度。然后在土层表面铺上 1cm~2cm 厚的细砂再放置压模板,调整热压板处于水平。安装完毕后,施加预估可能出现的最大荷载,检查试验装置是否牢固。然后加荷,预压 10kPa(包括压模板、千斤顶的重量)调整变形测量装置,即可加热进行试验。

加热方法可根据试验地点的条件确定。采用电热器或喷灯加热,有因加热导致压模板受热不均使试验土层产生不均匀融化沉降的缺点,应加注意。

试样融沉开始时,可按 10min、20min、30min,此后每 30min 进行观测和记录。累计试验达 8h 后即可停止加热,但仍继续观测融化下沉变化。沉降稳定标准对于细颗粒土宜取 0.05mm/h,对砂、粗颗粒土宜取 0.1mm/h。然后按工程需要分级加荷进行压缩试验。试验结束后,拆除试样装置,描述融土状态,用探针测量试验土层各个部位的融化深度,取其平均值。同时测定融化土层的含水率、密度等。然后清除融化土层,用上述方法进行下一土层试验。

附录 G 冻土力学指标原位试验要点

G.0.1 本条是关于冻胀率试验的规定。

冻胀率是判别地基冻胀性,计算各种冻胀力最基本的指标之一,用途广泛,观测土层内各深度处的冻胀量可算出冻胀率沿冻深的分布规律。如果采用分层冻胀仪时要注意下述几点:①基准杆一定要稳固可靠,不得上下位移;②各测杆要消除切向冻胀力,避免由上层土的冻胀而上移,使数据不准;③如果采用木质制作应经过浸油(刷油)处理,以免吸水膨胀,造成过大误差;④应至少在开始冻结前一个月安装完毕,并回填达到原状密实程度;⑤要与冻深器配合使用,以了解冻深的准确进程,分层冻胀仪由于复位能力很差,翌年必须取出后重新埋设。各测点之距离可大可小,一般宜每隔 20cm 放置一个。

水准测量法要注意使用精密水准仪与铟钢尺,要选择可靠点为水准基点或专做水准基点。埋设各测点时,距离不可拉得过大,应相对集中在一起,代表一个点,如果间距太大,土质不均匀时,容易出现无法解释的反常现象。水准测量法同样需要埋设冻土器以掌握冻深进程。

观测时间有两种:①定时观测,如每 10 天或一星期观测一次;②每一定时冻深观测一次,如每 10cm 或 20cm。由于地基土的冻结速率随时间有所不同,所以定时观测的冻深间距有变化,每一定时冻深观测的时间不确定。

为了分析冻胀率最好同时观测冻结深度和地下水位的变化。冻结深度的观测方法是将被冻深器埋入地下,采取措施保证冻深器外套管在地基土冻结过程中稳定不动,在冻结器内的胶管中注入当地地下水,在冻深器内的所测冻深即为冻结深度,冻结深度加上

冻胀量即为该地的冻层厚度。

G. 0. 2 本条是关于冻结强度试验的规定。

冻结强度的原位试验实质上就是桩基础受压与抗拔摩擦桩的承载力试验,受压时桩端可悬空,也可埋设测试元件,在分析数据时扣除端承力,或用拔出法避免桩端的干扰。试验时一定要在施工完毕待周围冻土基本回冻后进行,最理想的是在地温最高季节,如果时间不允许,其结果应进行地温修正(修正带有一定的近似性)。在试验过程中桩附近地表铺设保温层,确保地温的相对稳定性。

试验开始之前在试验基础附近安设地温管测温,以监视地温场变化。试验加荷分级、稳定标准、测读时间、终止条件、结果处理可参照《土工试验方法标准》GB/T 50123,冻结强度试验执行。

G. 0. 3 本条是关于切向冻胀力试验的规定。

切向冻胀力的试验有两种方法:①荷载平衡法;②锚固梁法。荷载平衡法是在试验基础上先加少量荷载,待到冻深发展到一定程度,切向冻胀力增长到一定数值,就将基础抬起少许,这表示荷重与切向冻胀力失去平衡,即刻继续加荷少量,随着冻深的继续加深,切向冻胀力的增长,新的平衡又被破坏,基础上抬,这样平衡—失衡—新的平衡,继续到结束。这种方法有一定缺点,因为发现失衡时,基础已经上抬一定量,加荷劳动强度较大,且不能保证不出偏心,这样发展到结束,累计上抬量是较大的位移值,对切向冻胀力有一定的松弛作用,在整个冬季观测次数很多,需时刻监视,要求精度也较高,而且在融化时基础容易倾覆。

目前多用锚固梁法,即用锚桩、横梁,试验基础上安置荷重传感器。只要安装紧密(不留空隙)就可定时观测,传感器应事先必须经过率定,同时考虑温度波动的影响。

试验切向冻胀力时基础侧壁的回填土一定要用原土质,而且回填的密度尽量接近原状,并要及时清除积雪等地面覆盖物。

这种锚梁法与实际基础稍有不同,它在冻胀力出现之前地基

土除基础自重外别无其他,随着冻胀力的增长其反力才加在地基土中。实际基础上的受力是先由上部结构传下的荷重将地基土压实,其孔隙降低,含水率减少,因而冻胀性受到一定程度的削弱。这种因素对试验法向冻胀力影响较大,对切向冻胀力的试验也有或多或少的影响,但都是偏于安全的。

附录 H 冻土地基静载荷试验要点

H. 0. 1~H. 0. 8 冻土地基静载荷试验内容与要求:

(1)冻土是由固相(矿物颗粒、冰)、液相(未冻水)、气相(水气、空气)等介质所组成的多相体系。矿物颗粒间通过冰胶结在一起,从而产生较大的强度。由于冰和未冻水的存在,它在受荷下的变形具强烈流变特性。图 4(a)为单轴应力状态和恒温条件下冻土典型蠕变曲线,图 4(b)表示相应的蠕变速率—时间的关系。图中 OA 是瞬间应变,以后可以看到三个时间阶段,第 I 阶段 AB 为不稳定的蠕变阶段,应变速率是逐渐减小的;第 II 阶段 BC 为应变速率不变的稳定蠕变流,BC 段持续时间的长短,与应力大小有关;第 III 阶段为应变速率增加的渐进流,最后地基丧失稳定性。因此可以认为 C 点的出现是地基进入极限应力状态。这样,不同的荷载延续时间,对应于不同的抗剪强度。相应于冻土稳定流为无限长延续的长期强度,认为是土的标准强度,因为稳定蠕变阶段中,冻土是处于没有破坏而连续性的黏塑流动之中,只要转变到渐进流的时间超过建筑物的设计寿命以及总沉降量不超过建筑物地基容许值,则所确定的地基强度是可以接受的。

(2)冻土抗剪强度不仅取决于影响融化土抗剪强度的有关因素(如土的组成、含水率、结构等)还与冻土温度及外荷作用时间有关,其中负温度的影响是十分显著的。根据青藏高原风火山地区资料,在其他条件相同的情况下,冻土温度 -1.5°C 时的长期黏聚力 $C_1=82\text{kPa}$,而 -2.3°C 时 $C_1=134\text{kPa}$,相应的冻土极限荷载 P_u 为 420kPa 和 690kPa 。可见,在整个试验期间,保持冻土地基天然状态温度的重要性,并应在量测沉降同时,测读冻土地基在 $1b\sim 1.5b$ 深度范围内的温度(b 为基础宽度)。

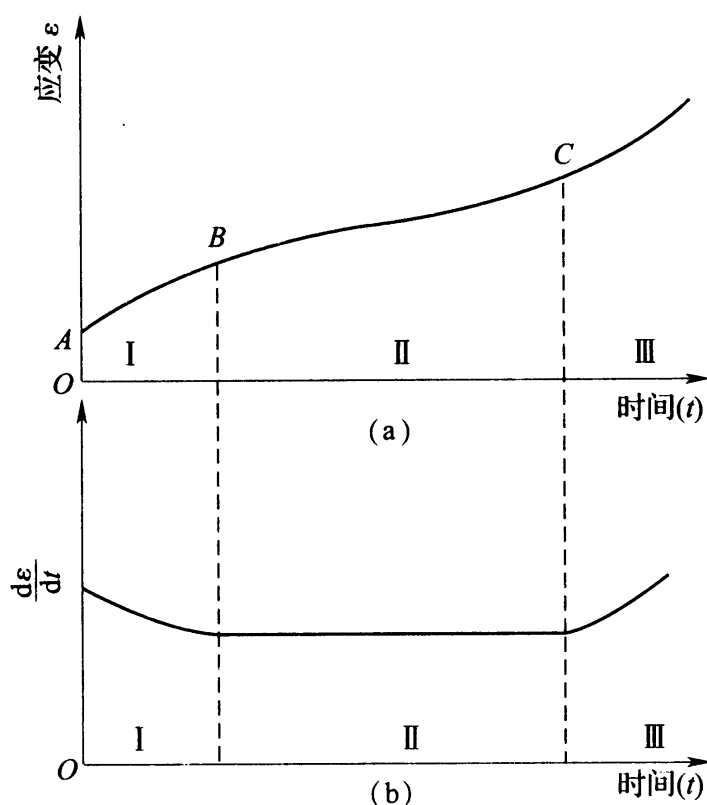


图4 冻土蠕变曲线示意图

(3)根据软土地区荷载试验资料,承压板宽度从 50cm 变化到 300cm,所得到的比例极限相同, $P_{0.02}$ 变化范围在 100kPa ~ 140kPa,说明土内摩擦角较小时,承压面积对地基承载力影响不大,冻土与软土一样,一般内摩擦角较小或接近零度。因而实用上也可忽略承压板面积大小对承载力的影响;另外冻土地基强度较高,增加承压板面积,使试验工作量增加。因此,本要点规定一般承压板面积为 0.25m^2 。

(4)冻土地基荷载下稳定条件可以从两方面考虑。其一是根据冻土第 I 蠕变阶段应变速率减小的变形特性,要点规定当后 4h 应变速率小于前 4h 的应变速率时认为在该级荷载下变形已经稳定,可以加下一荷载。规定 4h 的应变速率是兼顾了试验精度和缩短试验周期。其二是根据地基每昼夜累计变形值。

1)中国科学院寒区旱区环境与工程研究所吴紫汪等的研究,认为单轴应力下冻土应力—应变方程可写成:

$$\epsilon = d |T|^{-\gamma} t^{\beta} \sigma^{\alpha} \quad (2)$$

式中： d ——土质受荷条件系数，砂土 $d=10^{-3}$ ，黏性土 $d=(1.8 \sim 2.5) \times D$ ；

T ——冻土温度($^{\circ}\text{C}$)；

γ ——试验系数， $\gamma \approx 2$ ；

t ——荷载作用时间(min)；

β ——试验常数， $\beta=0.3$ ；

σ ——应力(kPa)；

α ——非线性系数，一般 $\alpha=1.5$ 。

半无限体三向应力作用时地基的应变 ϵ' 按弹性理论有：

$$\epsilon' = \epsilon \left(1 - \frac{2\mu^2}{1-\mu} \right) \omega \quad (3)$$

式中： μ ——冻土泊松比，取 $\mu=0.25$ ；

ω ——刚性承压板沉降系数，方形 $\omega=\frac{\sqrt{\pi}}{2}$ ，圆形 $\omega=\pi/4$ 。

近似地取 1.5 倍承压板宽度 b 作为载荷试验影响深度 h ，则承压板沉降值 s 为：

$$s = 0.8982 \cdot \epsilon' \cdot h \quad (4)$$

式中：0.8982 为考虑半无限体应力扩散后 $1.5b$ 范围内的平均应力系数，应力 σ 取预估极限荷载 P_u 的 $1/8$ 。

按式(3)、式(4)计算加载 24h 后的沉降值见表 14。

2) 美国陆军部冷区研究与工程实验室提供的计算第 I 蠕变阶段冻土地基蠕变变形经验公式为：

$$\epsilon = \left[\frac{\sigma T^{\lambda}}{\omega (\theta - 1)^K} \right]^{\frac{1}{m}} + \epsilon_0 \quad (5)$$

式中： ϵ_0 ——瞬时应变，预估时可不计；

θ ——温度低于水的冰点的度数($^{\circ}\text{F}$)；

σ ——土体应力，取预估极限荷载 P_u 的 $1/8$ ；

λ 、 m 、 K 、 ω ——取决于土性质常数，对表 15 中几种土查出 λ 、 m 、 K

和 ω 的典型值；

T ——时间(h)；

求得应变 ϵ 值后,仍用式(5)计算加载 24h 后冻土地基沉降 s 值计算结果见表 14。

表 14 荷载试验加载 24h 沉降值 s (mm)

土类 \ 温度(℃)	-0.5	-1.0	-2.5	-4.0	注
粗砂	27.7	10.3	3.1	1.6	按试(3)~(5)
细砂	12.9	5.0	1.8	0.9	—
粗砂(渥太华)	0.9	0.8	0.6	0.5	按试(5)~(6)
细砂(曼彻斯特)	0.6	0.5	0.4	0.3	—
黏土	23.2	8.1	2.6	1.0	按试(3)~(5)
含有机质黏土	15.0	5.8	2.1	1.4	—
黏土(苏菲尔德)	5.2	4.6	3.3	1.8	按试(5)~(6)
黏土(巴特拜奥斯)	2.5	1.9	1.7	1.0	—

分析上述两种预估冻土地基加载 24h 后的沉降值,对砂土取 0.5mm,对黏性土取 1.0mm 是能保证地基处于第 I 蠕变阶段工作。

表 15 对应于式(5)土性质常数典型值

土 类	λ	m	K	ω	注
粗砂(渥太华)	0.35	0.78	0.97	5500	—
细砂(曼彻斯特)	0.24	0.38	0.97	285	—
黏土(苏菲尔德)	0.14	0.42	1.0	93	—
黏土(巴特拜奥斯)	0.18	0.40	0.97	130	维亚洛夫(1962)资料

资料来源:美国陆军部冷区研究与工程实验室研究报告(252)[R]. 1974

附录 J 冻土地温观测

J. 0. 1、J. 0. 2 多年冻土区地温观测的主要目的是测量多年冻土的季节融化深度(即上限)和年平均地温。应采取高精度数字万用表(4 位半以上)的读数,换算为温度值。测温孔通常应选择在未受人为干扰的天然场地。多年冻土生存的基本条件可用温度作为判别指标。不论是在大小兴安岭,还是青藏高原,选择多年冻土的年平均地温作为描述冻土的地带性分布特征,不仅能反映多年冻土的地温、厚度和平面分布的连续性,还可反映多年冻土的热稳定状态(见表 16)。在评价全球气候转暖对多年冻土的影响,或者依据多年冻土受气候及人类活动影响程度进行冻土工程性质及工程稳定性影响分析时,均可按多年冻土年平均地温进行热稳定性评价,且以此确定冻土地基的设计原则。冻土地温越低,其工程性质越不易受外界热干扰。因此,在冻土工程地质勘察中应进行冻土地温观测。

表 16 多年冻土地温分带对比表

带名		年平均地温(℃)					分 布 地 带	
		程国栋 ^①	童长江 ^②	铁路规范 ^③	公路规范 ^④	本规范	大小兴安岭	青藏高原
I	极稳定带	< -5.0	< -5.0				高纬度 大片多年 冻土带, 阴坡, 沼泽化	高山地带
	稳定带	-3.0 ~ -5.0	-3.0 ~ -5.0	< -2.0	< -3.0	< -2.0		中高山地带

续表 16

带名			年平均地温(℃)					分 布 地 带	
			程国栋 ^①	童长江 ^②	铁路规范 ^③	公路规范 ^④	本规范	大小兴安岭	青藏高原
Ⅱ	亚稳定带	基本稳定带	-1.5 ~ -3.0	-1.5 ~ -3.0	-1.0 ~ -2.0	-1.5 ~ -3.0	-1.0 ~ -2.0	岛状融区 多年冻土带	低山及沼泽泥炭中
	-0.5 ~ -1.5		-1.0 ~ -1.5	高平原、 低山丘陵 及河谷地带					
Ⅲ	不稳定带		0.5 ~ -0.5	-0.5 ~ -1.0	-1.0 ~ -0.5	-0.5 ~ -1.5	-0.5 ~ -1.0	岛状冻土带	
	极不稳定带		0.5 ~ -0.5	≥-0.5	0~-0.5	≥-0.5	河谷及 岛状多年冻土地带		

资料来源:1 程国栋、王绍令. 试论中国高海拔多年冻土带的划分[J]. 冰川冻土,4(2):1-17,1982

2 童长江、吴青柏. 我国西部多年冻土地带与工程建筑物稳定性[J]. 冰川冻土,18(增刊):166-172,1996

3 铁道第一勘察设计院等. 青藏铁路高原多年冻土区工程设计暂行规定[S]. 西安:中铁第一勘察设计院集团有限公司,2001

4 中交第一公路勘察设计院有限公司等. 多年冻土地地区公路设计施工技术细则(送审稿)[S]. 西安:中交第一公路勘察设计院有限公司,2009

J.0.3 冻土地温观测孔的深度一般均需达到 15m~20m。因为,气温在一年之内是呈正弦波变化。在一定深度范围内,多年冻土层的温度是随气候而逐月地发生变化。将某一深度处的地温在一

年中变化幅度的一半称为地温年较差。地温年较差值在地表最大,随深度增加,地温的年变化逐渐减小,到某一深度其值减小至零,该深度即称为地温年变化深度,该处地温即为年平均地温。在此深度以上的冻土地温,一年中都是在变化的,此深度以下的冻土地温,在一年之中可认为是不发生变化的,它仅受长周期气候波动和来自地中深处的热流的影响(图 5)。我国多年冻土地区的地温观测资料表明,地温年变化深度均在 13m~20m 的范围(图 6)。因此,作为多年冻土地温观测的孔深应到达该深度。否则,所测出的地温,只能认为是某深度的地温值。

J. 0. 5 对于地温观测的温度感应元件,随着科学技术的发展,经过多年摸索认为采用热敏电阻或铂电阻较为稳定和经济,其读数可采用高精度数字万用表手动观测,也可采用数据采集仪自动观测。

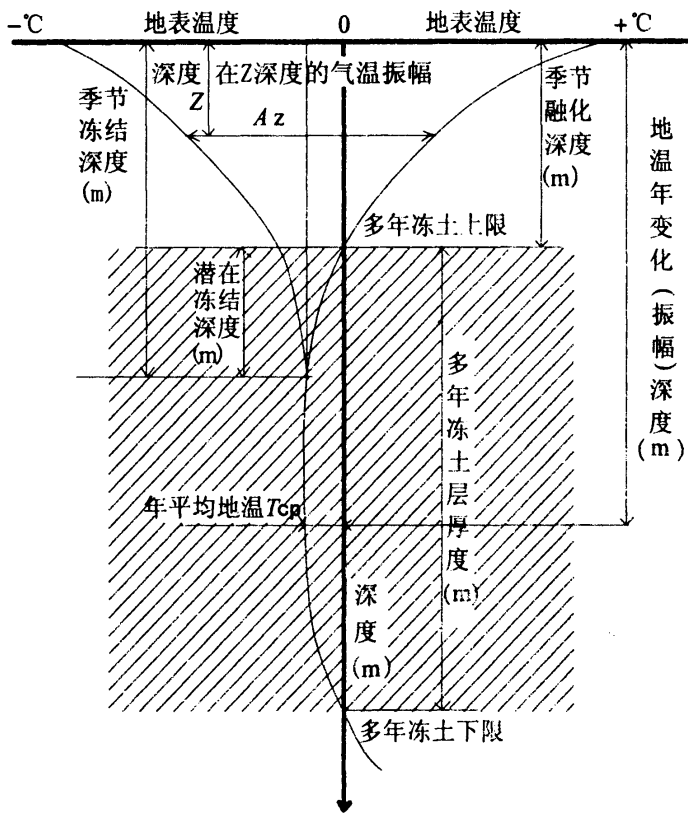
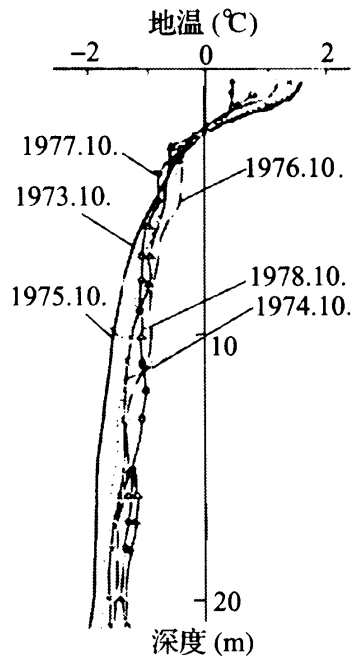
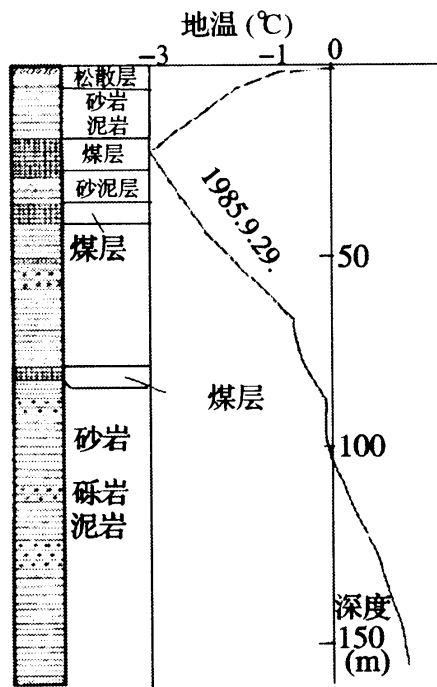


图 5 多年冻土地温变化曲线



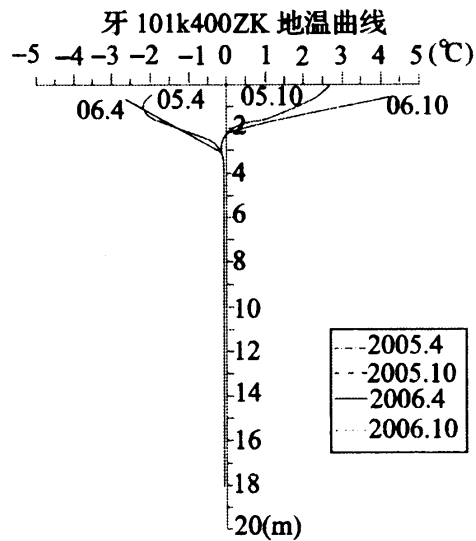
(a) 满归地温曲线

冻土上限约 $2.5\text{m}\pm$, 年变化深度约 $17\text{m}\pm$
年平均地温约 -2°C (1973 年)



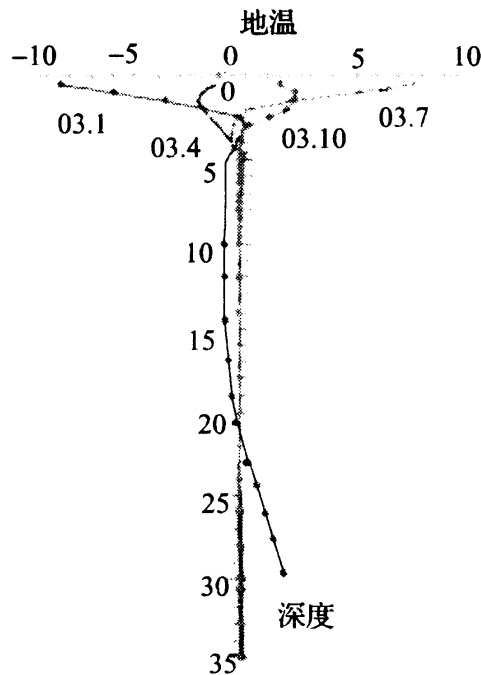
(b) 古莲地温曲线

冻土上限约 $1.6\text{m}\pm$, 年变化深度约 $16\text{m}\pm$
年平均地温约 -3°C , 多年冻土下限约 102m



(c) 东北乌尔其汉牙林铁路线地温曲线

冻土上限约 $2.2\text{m} \pm$, 最大冻结深度约 2.8m ,
年变化深度约 $15\text{m} \pm$, 年平均地温约 -0.2°C , 多年冻土下限约 20m



(d) 青藏高原楚玛尔河地温曲线

冻土上限约 2.5m , 年变化深度约 $15\text{m} \pm$,
年平均地温约 -0.5°C , 多年冻土下限约 23m

图 6 多年冻土地温曲线

J. 0. 6 地温观测的测点布置没有严格规定, 应根据项目要求确定。通常情况下, 在多年冻土上限深度附近, 测点间距可小一些,

能够较准确地确定上限深度。在接近多年冻土年变化深度处,地温变化较小,测点间距可大一些。本规定仅是起码的要求,否则,测到的地温较难计算确定多年冻土上限和年平均地温。

J. 0. 7 多年冻土地温观测的时间宜在 9 月~11 月,此时是季节融化深度达到最大的时节(图 6 及图 7)。当测温孔设置后,由于钻进过程中的热量,致使钻孔周围的冻土发生融化,当即观测的地温不能代表多年冻土的地温,一般情况需经历 30 天左右,冻土地温才能恢复。因此,测温孔应提前施工。

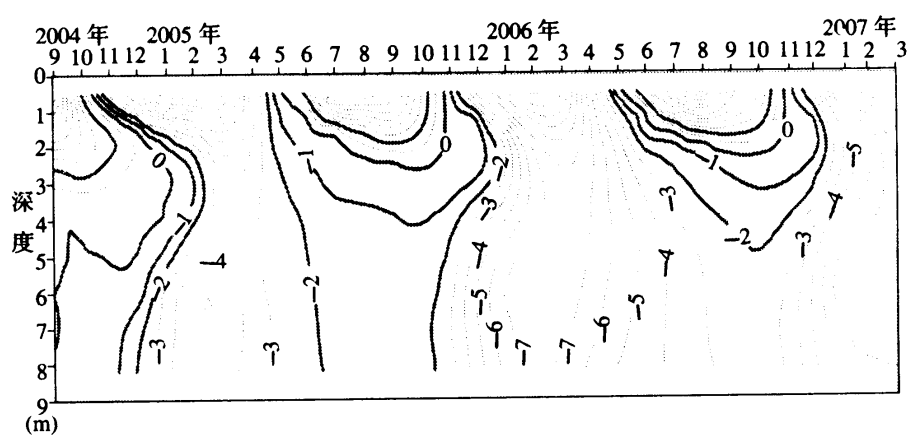


图 7 多年冻土区不同深度地温随时间变化过程

附录 K 多年冻土上限的确定

K. 0. 2 触探法是用钢钎插入土中,根据融土硬度小、冻土硬度大的原理判别当时的融化深度。描述法是根据融土颜色深、无冰晶和冻土颜色浅、含冰晶等特点判别当时融化深度。测温法是每隔一定间距用温度计测温后,绘制地温随深度变化曲线,线上通过零温轴的深度即为当时的融化深度。

附录 L 冻土地温特征参数计算

L. 0. 2、L. 0. 3 算例：

已知：内蒙古满归镇 3 号测温孔的多年冻土上限埋深为 2.3m；根据地质资料查（条文）附录 C，求得多年冻土的导温吸收的加权平均值为 $0.00551\text{m}^2/\text{h}$ ，1973 年 10 月实测地温数据如下：

深度 (m)	2.3	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	15.0	20.0
地温 (℃)	0.0	-0.7	-0.9	-1.1	-1.3	-1.4	-1.5	-1.6	-1.6	-1.7	-1.8	-1.8	-2.0

地温特征参数计算：

(1) 地温梯度计算：

$$\xi = \frac{t_d - t_L}{L} = (-2.0 + 1.8) / 5 = -0.04 (^\circ\text{C}/\text{m})$$

(2) 计算上限处地温年平均值 t_z 、最高值 $t_{z\max}$ 、最低值 $t_{z\min}$ ：

年平均值： $t_z = t_d - \xi \times (d - h_z)$

$$= -2.0 - (-0.04) \times (20 - 2.3)$$

$$= -1.3 (^\circ\text{C})$$

最高值： $t_{z\max} = -1.3 + 1.3 = 0$

最低值： $t_{z\min} = -2t_z = -2.6 (^\circ\text{C})$

(3) 计算自上限起算的地温年变化深度 H 。

$$\begin{aligned} H &= \sqrt{\frac{\alpha\tau}{\pi}} \times \ln\left(\frac{t_z}{A_0}\right) \\ &= \sqrt{0.00551 \times 8760 / 3.14} \times \ln(1.3 / 0.1) \\ &= 10.1 (\text{m}) \end{aligned}$$

故自地面起算的地温年变化深度为： $10.1 + 2.3 = 12.4 (\text{m})$ 。

(4) 计算多年冻土年平均地温:

$$\begin{aligned}t_{\text{ep}} &= t_d - \xi \times (d - H - h_z) \\&= -2.0 + 0.04 \times (20 - 10.1 - 2.3) \\&= -1.7(^{\circ}\text{C})\end{aligned}$$

(5) 计算上限以下任意深度(自地面起算) h_x 处地温的年平均
值 t_x 、最高值 $t_{x\text{max}}$ 、最低值 $t_{x\text{min}}$ 。

设: $h_x = 5\text{m}$,

1) 5m 深度处的地温年振幅:

$$\begin{aligned}A_x &= A_u \times e(-H \times \sqrt{\pi/\alpha t}) \\&= 1.3 \times e^{(-2.7 \sqrt{3.14/0.00551 \times 8760})} \\&= 0.7(^{\circ}\text{C})\end{aligned}$$

2) 地温年平均值:

$$\begin{aligned}t_x &= t_d - \xi \times (d - h_x) \\&= -2.0 + 0.04 \times (20 - 5) \\&= -1.4(^{\circ}\text{C})\end{aligned}$$

3) 地温最高值:

$$t_{x\text{max}} = t_x + A_x = -1.4 + 0.7 = -0.7(^{\circ}\text{C})$$

4) 地温最低值:

$$t_{x\text{min}} = t_x - A_x = -1.4 - 0.7 = -2.1(^{\circ}\text{C})$$

附录 N 冻土地球物理勘探方法要点

N.0.1 地球物理勘探是依据岩土体之间的密度、磁性、电性、弹性、放射性等物理性质的差异,选用不同的物理方法和物探仪器,测量场地的地球物理场的变化,确定地质体的空间展布范围(大小、形状、埋深等)及物性特征的一种勘探方法。岩土体之间存在的物性差异是场地开展地球物理勘探工作的前提条件。

资料的搜集与研究是做好地球物理勘探工作的基础。在开展地球物理勘探工作前应广泛搜集勘察区与冻土有关的基础资料和物性参数。一般情况下,冻土与周围介质之间存在较为明显电性或弹性差异,因此,可使用电法勘探、地震勘探和地质雷达等方法探测多年冻土的分布范围,上、下限,波速及动弹性模量,预判冻土类型等。

N.0.2 由于冻土一般分布在高寒、高海拔、高纬度或高山地区,地质、环境、气候、交通等条件比较差,因此,对地球物理勘探仪器的适宜性和稳定性要求较高。工作前应重视地球物理勘探仪器的选型、检测、调试工作。

N.0.3 在勘察区内选择有代表性的地段进行方法有效性试验,以此确定适宜、有效的地球物理勘探方法。有效性试验一般包括:

- (1)仪器稳定性和适应性;
- (2)数据采集的可靠性;
- (3)地球物理勘探方法及工作技术参数选择的合理性,适宜性及有效性;
- (4)资料处理技术的成熟性及正确性;
- (5)推断解译成果的符合性、有效性、正确性。

一般情况下,对于电性差异明显的场地,可采用电测深、高密

度电法、电剖面法、地质雷达、电磁法等方法;对于弹性波速差异明显的场地,可采用地震勘探、面波勘探等方法;单一地球物理勘探方法探测效果不明显的情况下,应采用综合地球物理勘探方法,以提高勘探质量和效果。

N. 0. 4 地球物理勘探的探测深度必须满足勘探目的要求,就探测的深度范围而言,最小探测深度宜不大于冻土上限最小埋深 $1/2$,最大探测深度宜不小于勘探任务要求深度的 1.5 倍。

N. 0. 5 地球物理勘探测线、测点应按勘探任务的要求布设。对于公路、铁路、管道等线状冻土勘察,测线宜平行线路布设,在地球物理勘探冻土异常地段或冻土条件变化较大的地段加密测线、测点,或增加垂直线路的横测线;对于建筑场地的冻土勘察,地球物理勘探测线宜与勘探线平行或重合布设。测线应尽量避免地面建筑、管道、高压线、振动源等其他干扰的影响。

N. 0. 6 地形起伏会使地质体的物理场在地表的分布发生畸变,地物也会影响测线的布置,而电、磁、振动、管道等干扰会造成观测数据误差。地球物理勘探资料的解译过程离不开对场地条件、地层、岩性、冻土特征及现场干扰因素的分析研究。因此,外业勘探过程中应重视场地条件与地质调查工作。

N. 0. 7 对于高纬度低海拔地区冻土勘探所使用的物探仪器一般无特殊要求,但在高寒高海拔地区工作时,由于受气压和温度剧烈变化的影响,部分物探仪器性能会发生一定的变化,出现性能不稳定甚至不工作的现象,导致测量结果出现一定程度的偏差或无法正常使用。因此,应选择具有防潮、抗震、绝缘性能良好,性能稳定和工作温度范围适宜勘察区气候条件的仪器,同时还应对所使用的仪器定期标定,发现问题及时检测、调试,确保测试数据的可靠。

N. 0. 8 冬季地球物理勘探施工时,由于地表冻结,表层土的电阻率相对较高,使用直流电法勘探常常会遇到电极布设困难,接地电阻过大,供电电流较小等因素的影响,导致勘探效果不佳。因此,应结合场地条件选择适宜、有效的地球物理勘探方法,如地质雷

达、瞬变电磁法、地震勘探等。

N. 0. 9 由于场地条件和冻土所处的地质环境不同,地球物理勘探资料的解释结果往往具有多解性。各种地球物理勘探方法的使用均具有一定的前提条件,因此冻土区地球物理勘探资料解释过程中应首先对由场地干扰因素(如地面建筑、管道、高压线、振动等)引起的歧变点或干扰异常加以剔除,然后结合已有勘探资料、场地条件、冻土特征及冻土发育情况等因素综合分析。对重点工程或冻土条件变化较大地段应布置钻孔验证。

S/N:1580242·655



9 158024 265507



统一书号: 1580242·655

定 价: 46.00元