

UDC

中华人民共和国国家标准



P

GB 50324—2001

# 冻土工程地质勘察规范

Code for engineering geological investigation of frozen ground

2001—09—28 发布

2001—12—01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局

中华人民共和国建设部

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

**GB 50324-2001**

条文说明

主编部门：国家林业局

批准部门：中华人民共和国建设部

施行日期：2001 年 12 月 1 日

中国建筑资讯网

2001 北 京

## 目 次

1 总 则 .....	4
3 冻土分类和冻胀、融沉性分级 .....	5
4 冻土工程地质勘察基本要求 .....	10
5 冻土工程地质调查与测绘 .....	18
6 冻土工程地质勘探与取样 .....	22
7 冻土试验与观测 .....	25
8 工业与民用建筑冻土工程地质勘察 .....	27
9 铁路与公路冻土工程地质勘察 .....	34
10 水利水电冻土工程地质勘察 .....	40
11 管道冻土工程地质勘察 .....	44
12 架空线路冻土工程地质勘察 .....	48
附录 D 土的季节融化与冻结深度 .....	51
附录 F 冻土融化压缩试验要点 .....	55
附录 G 冻土力学指标原位试验要点 .....	59
附录 H 冻土地基静载荷试验要点 .....	61
附录 L 冻土地温特征值计算 .....	65

## 1 总 则

**1.0.1** 《冻土工程地质勘察规范》是在我国国民经济发展的总方针指导下，充分体现国家的技术与经济政策，适应基本建设的需要，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，为提高勘察质量和经济效益，不断促使冻土工程地质勘察事业进一步发展而制定的。

**1.0.2** 由于本规范系首次进行编制，对于季节冻土和多年冻土地区那些专业性较强，在技术上有特殊性要求的工程(如高温建筑、地下建筑和大型采矿工程等)，还未能编入本规范。因此，本规范只适用于工业与民用建筑、铁路、公路、水利、水电、管道和架空线路工程的冻土工程地质勘察，并以这些工程建设项目为基础，待本规范进行修订时，就可不断的将那些条件成熟的特殊工程项目编入本规范。

**1.0.3** 在季节冻土和多年冻土地区，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，并且从一种状态过渡到另一种状态时，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，在进行建(构)筑物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。

### 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  $0^{\circ}\text{C}$  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  $0^{\circ}\text{C}$ ,但由于含水量小或含盐量高而不含冰晶,结果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。突出冻土与未冻土在性质上的差别,应取后者为冻土的定义。

我们将上述定义归纳成按冻土冻结状态持续时间,把我国冻土分为多年冻土、隔年冻土和季节冻土三大类(详见附录 A)。从工程目的出发,冻土勘察的重点应为多年冻土和冻深 $>0.5\text{m}$ 的季节冻土。而隔年冻土则是一种过渡类型的冻土,可视情况按多年冻土或季节冻土进行处理。

**3.1.2** 按冻土基本物理性质的冻土分类和定名,对各工种及冻土学理论研究均适用。为了加强国际间冻土资料的可比性,1988年在英国诺丁汉召开的第五届国际地层冻结会议上,由美国、加拿大、意大利、联邦德国、日本和前苏联等六国共八名国际知名冻土专家组成的“人工冻土分类实验室试验”国际编写小组,联名提出把 Pihlainen 和 Johnston(1963),Linell 和 Kaplar(1966)的冻土分类系统用于人工冻土分类的建议。为了使我国新编制的“冻土工程地质勘察规范”尽可能向国际标准靠近,采用了该分类,并对该分类表进行了简化(附录 B 表 B.0.1),在此基础上进行冻土的描述和定名。

为便于表 B.0.1 的推广和使用,表 1 列举了典型野外调查中关于冻土描述和定名的例子。冻土描述和定名资料的图示、推荐步骤包括列举土的类型所用的符号及其冻结条件,随后是对土和包裹冰的特性进行描述,冰层也可进行类似鉴别和描述。为了简化冻结层位的鉴别,可在表 1 之左框边上画一条宽带。

典型野外调查中冻土描述和定名举例

表 1

深度 <sup>①</sup> (cm)	符号	土的描述	含冰特性
0.0	OL	含有机质、砂质粉土、未冻	无
0.15	GW	棕色、级配良好砂砾石、中密、潮湿、未冻	无
0.55	GW N <sub>f</sub>	棕色、级配良好砂砾石、冻结、强胶结	未见分凝冰、砾石上略有薄冰膜，且含大孔隙
0.13	GW N <sub>bn</sub>	棕色、级配良好砂砾石、冻结、强胶结	未见分凝冰
1.65	ML V <sub>s</sub>	黑色、层状、砂质粉土、冻结	水平层状冰透镜体：平均 10cm 长、发丝至 6mm 厚，间距 12~18mm，可见过剩冰约占总体积的 20%。冰透镜体硬、清洁、无色
2.35			
2.77	ICE	冰	硬、略浊、无色、含少量粉砂包裹体
		黑棕色泥炭、冻结、强胶结、饱和度高	约 5%可见冰
3.20	MH V <sub>r</sub>	浅棕色粉土、冻结	网格状不规则定向冰透镜体、厚 6~18mm。间距 7.5~10cm，可见冰约占总体积的 10%。冰软、多孔，呈灰白色
4.36			
4.88	// ≈≈≈ ///	基岩、层状由页岩顶部风化↓ 勘探底部	至 4.88m 的裂隙中有 1.5mm 厚的冰透镜体，以下未冻

注：①为地面标高 293.6m。

**3.1.3** 冻土中的易溶盐含量和泥炭化程度的限界值超过本规范表 3.1.3-1 和表 3.1.3-2 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 1/5~1/3，基础侧向表面的冻结强度降低 1/4~1/3。同样，泥炭化冻土的强度指标，在冻土工程地质勘察时，亦应慎重的按规定取值或专门进行原位测试确定。

**3.1.4** 坚硬冻土在荷载作用下，表现出脆性破坏和不可压缩性，这时坚硬冻土的温度界限对分散度不高的粘性土为-1.5℃，对分散度很高的粘性土为-5~-7℃。但是，对于塑性冻土来说其负温值高于坚硬冻土，在外荷作用下具有很高的压缩性。因此，无论是压缩系数  $m_v \geq 0.001 \text{MPa}^{-1}$  并为冰和水完全饱和的高压缩性冻土，或者是饱和度小于 0.8 的高温低压缩性冻土( $m_v \approx 0.01 \sim 0.001 \text{MPa}^{-1}$ )，都可以使地基基础产生明

显沉降。所以，在冻土工程地质勘察时，应按本规范附录 F 的规定进行冻土融化压缩性试验。如无条件取得试验资料时，可按本规范附录 K 的 K.0.3 条有关规定处理。

### 3.2 土的冻胀和多年冻土融沉性分级

**3.2.1** 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。有关工程部门根据冻胀对工程安全的危害程度，早在 1973 年就提出了土的冻胀性分级(中铁西北科学研究院、铁道第一勘测设计院和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共同编写的《青藏高原多年冻土地区铁路勘测设计细则》)。1982 年吴紫汪研究员提出了综合冻土工程分类被铁路建筑规范采用。1989 年《建筑地基基础设计规范》GBJ17-89 在 1974 年《地基基础设计规范》TJ7—74 的基础上，按冻胀率提出了四个地基土冻胀性等级。1991 年水利水电行业标准《渠系工程抗冻设计规范》SL23—91，按在具体工程条件下可能产生的冻胀量为指标，提出了五个地基土冻胀性等级。《冻土地区建筑地基基础设计规范》JGJ118—98 在《建筑地基基础设计规范》GBJ17—89 的基础上与《公路桥涵地基与基础设计规范》TJ024—85 相一致，并以冻胀率为指标将地基土冻胀性分为五个等级。因此，本规范经分析研究，采用《冻土地区建筑地基基础设计规范》JGJ118—98 中的地基土冻胀性分级。

为了使地基土冻胀性分级更为合理，本规范编制组进行了“粘性土地基冻胀性判别的可靠性”专题研究。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。当粉、粘土颗粒增多时，土的冻胀性显著增大。如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，土层仍有水份迁移现象存在，含水率发生重分布，并产生冻胀。

影响地基土冻胀的地下水主要深度是各类土毛细水高度有关的临界深度；粘土、粉质粘土为 1.2~2.0m，粉土为 1.0~1.5m，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。如多年冻土活动层粘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：

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

式中  $\eta$ —冻胀率(%);



$\rho_d$ —土的干密度，取  $1.5\text{g/cm}^3$ ；

$\rho_w$ —水的密度，取  $1.0\text{g/cm}^3$ ；

$\omega$ 、 $\omega_p$ —分别为含水率和塑限含水率(%)。

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  $\omega$  大于  $\omega_p+15$  时为特强冻胀。

**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作了大量工作，取得了可喜成果。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(《工程地质试验手册》——中国铁道出版社 1984)。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 2)，并与设计原则有密切联系。为此，本规范采用了《冻土地区建筑地基基础设计规范》JGJ118——98 中多年冻土的融沉性分级(见本规范表 3.2.1)。这也是本规范与国标《岩土工程勘察规范》GB50021—94 附录九多年冻土融沉性分级未能取得一致的原因。

**冻土的融沉性与冻土强度及构造的对应关系**

**表 2**

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 $\delta_0$	$<1$	$1 \leq \delta_0 < 3$	$3 \leq \delta_0 < 10$	$10 \leq \delta_0 < 25$	$\delta_0 \geq 25$
强度评价	名称	少冰冻土	多—富冰冻土		饱冰冻土	含土冰层
	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
界限含水量 (粘性土) $\omega$ (%)		$\omega < \omega_p$	$\omega_p \leq \omega < \omega_p + 4$	$\omega_p + 4 \leq \omega < \omega_p + 15$	$\omega_p + 15 \leq \omega < +35$	$\omega \geq \omega_p + 35$

工业与民用建筑、铁路、公路和水利等工程对冻土地基的融沉性适应程度是不相同的。一般对第 I、II 级融沉( $1 \leq \delta_0 < 3$ )，建(构)筑物结构设计时，无须考虑多年冻土地基融沉影响。因为一般建(构)筑物的主要承重结构在设计和使用过程中都容许有一定变形量，以适应地基的融沉性。但是，当 III、IV、V 级融沉土的融沉量超过建(构)筑物的容许变形值时，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。对线性建筑物而言，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,如果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(莫激公路测试路段达 0.29~0.51m)。有时产生突陷,沉陷量可达 1~2m;

(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(构)筑物设计、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，它比非冻结的“岩土工程地质勘察”要复杂的多。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：①冻结岩土具有特殊性和复杂性，非同一般；②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；③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；④强调对重大工程必须进行监测，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。

**4.1.4** 建筑场地复杂程度等级划分，除了根据地形、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，场地复杂程度等级划分时，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 $-0.5^{\circ}\text{C}$ )、不稳定状态(年平均地温为 $0.5\sim 1.0^{\circ}\text{C}$ )、基本稳定状态(年平均地温为 $-1\sim -2^{\circ}\text{C}$ )和稳定状态(年平均地温低于 $-2^{\circ}\text{C}$ 以下)。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,冻土地区的场地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。

**4.1.6、4.1.7** 勘探点、线、网的布置是在常规工程地质勘探要求的基础上特别考虑和注意冻土及地下冰的分布特点,尤其是在岛状多年冻土地区和地下水分布不均匀的地段,可适当地加密勘探点、线间距和加深勘探孔的深度。目的是要获得建筑场地各个重要部位的冻土工程地质条件 and 设计参数。由于建筑物与冻结地基土相互作用的下界面是设计中沉降计算所必须考虑的深度,在控制孔地段增加钻孔的深度是为充分了解建筑物地基的冻土工程地质条件,以便正确地评价建筑场地的适宜性和稳定性。

**4.1.8** 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,在初勘与详勘阶段就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 K 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 $\pm 5\%\sim 11\%$ 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 $0.5\text{m}$ 深度内含水率变化甚大时,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。

**4.1.9** 冻土地区场地与地基条件的复杂性主要反应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及温度和水的扰动，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(构)筑物中必须设立定位观测点，以监视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。通常的观测项目应包括多年冻土地温、地基土的冻胀和融沉特性、人类工程活动及自然条件变化而引起的有关现象和变化过程，可按本规范有关规定执行。

## 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，特别在本条规定了十项内容。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地质勘察复杂，更重要的是本条规定的项目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各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。

**4.2.2** 季节冻土区的冻土工程地质勘察工作在常规岩土工程地质勘察的基础上，加强对季节冻结土层厚度、含水与含冰特征、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，季节冻土区进行工程地质勘察时必须查明本规定的六项内容。

### 4.3 冻土工程地质区划原则

**4.3.1** 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，在常规岩土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，再作分区；第三，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，再进一步分区。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，便于工程建筑设计时使用，其比例尺可由工程项目要求及勘察阶段和所反应的区划内容决定。

**4.3.2** 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： $T_{cp}$  低于 $-2.0^{\circ}\text{C}$ ，它的热状态较为稳定，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： $T_{cp}$  为 $-1.0^{\circ}\text{C}$ 至 $-2.0^{\circ}\text{C}$ 之间。它的热状态属稳定，它的工



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: $T_{cp}$  为 $-0.5\sim 1.0^{\circ}\text{C}$ ，属于高温冻土。它的热状态不稳定，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: $T_{cp}$  高于 $-0.5^{\circ}\text{C}$ ，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 之内的多年冻土，在一般建筑物的热影响下，往往可在 5~10 年内全部融化；厚度为 20~50m 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，通常情况下冻土可以保存下来；厚度为 50~100m 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，必须列表叙述。

#### 4.4 冻土工程地质及其环境评价

**4.4.1** 冻土工程地质及其环境评价除了按照建筑物设计所需的冻土工程地质条件及设计参数作出评价外。本条提出，由于人类工程活动或自然因素对冻土工程地质条件可能产生影响也要作出评价。实践经验表明，原始的冻土工程地质条件可能比较良好，但在建筑物修建和运营期间，冻土工程地质则发生明显的、乃至很大的改变，甚至恶化，导致建筑物破坏。这是由于冻土对自然条件、地表扰动、温度变化、地表水流的侵蚀和人类工程活动等影响都具有特别的敏感和表现出它的脆弱性。为此，第 4.4.5 条特别提出，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超前或及时的防治措施。

**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，如对本条的内容都能作出较详细评价的话，不少的冻土工程地质条件变化是可以预见的，工程事故也可以减少。因此，本规范超出《岩土工程勘察规范》GB50021-94 的要求，这样严格的要求是出自于以往的教训。

**4.4.3、4.4.4** 冻土带是地圈表层的重要组成部分之一，多年冻土带内部发育的冷生过程直接影响着地表和景观的稳定性。如地表的植被和雪盖被铲除、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仅应把它看成是环境保护的问题，更应当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，用来布局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、原因和过程等作详细调查。同时，因工程修建后改变冻土工程地质条件引起新生的冻土现象作出预测和评价，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、融冻滑塌和融冻泥流等等，这都是由于在冻土工程地质勘察和设计时未能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。人类工程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。

**4.4.5** 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的相互关联体系，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，从而引起地基下沉、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。

冻土地基的利用原则应该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性，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。过去在冻土地区的工程地质勘察测试工作做得不少，但多数都是按常规工程地质的勘察要求进行的，未能对冻土的特殊性加以注意，例如冻土中地下冰的分布情况、多年冻土上限的确定、冻土的地温变化、水文地质条件与冻土存在和发育的关系等等，因而不能如实地反映实际情况，导致分析评价的失误，造成建筑物失稳和破坏。因此，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** 鉴于冻土地区的工程建设规模大小各不相同，各工程特点、勘察阶段、目的要求亦不尽一样，冻土区的自然条件和工程地质条件相关甚大，因而冻土工程地质勘察成果报告内容的详细程度也应该随着任务要求、勘察阶段而定。

**4.5.3、4.5.4** 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须的，与常规的工程地质勘察成果报告相比，它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、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)在图件中增加冻土地温观测，冻土利用、整治、改造方案，冻土工程计算简图及计算成果等有关图表。

但是，由于各工程要求、勘察阶段不同，图件比例尺的要求也各不相同，无法

制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应附的基本图件，其比例尺应由各工程要求和勘察阶段来规定。

**4.5.5** 本条提出，除综合性的冻土工程地质勘察成果报告外，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，浅埋基础设计，以及场地冻土环境工程地质评价等等。

## 5 冻土工程地质调查与测绘

### 5.1 一般规定

**5.1.1** 冻土工程地质调查与测绘是冻土工程地质勘察的基础工作，它的任务是查明对工程建设有较严重影响的各种冻土现象和场地的冻土工程地质条件，并为勘探、试验和专门性冻土工程地质问题进行必要的补充勘探提供依据。因此，冻土工程地质调查与测绘工作必须在可行性研究勘察和初步勘察阶段之前进行。然后对某些专门性的冻土工程地质问题(如厚层地下冰、热融滑塌和冻土沼泽等)，在详细勘察阶段进行必要的补充工作。

**5.1.2** 关于冻土工程地质调查与测绘的范围，因本规范包括专业较多，所以仅将铁路、公路、架空线路和管道工程等线性工程的调查与测绘范围作了统一规定。对水利水电工程和工业与民用建筑工程的测绘与调查范围，除应包括建筑场地，我们把对该场地可能产生不利影响的地段(如融冻泥流地段等)也列入在调查与测绘的范围之内。

关于测绘所用地形图的比例尺，由于上述各专业性质不同，不能作统一规定，只能在各专业内按勘察阶段提出相应要求。由此可知，冻土工程地质测绘所选用地形图的比例尺，不仅取决于建(构)筑物的性质和重要性，而且还与勘察阶段、区域冻土和场地冻土工程地质条件的复杂程度密切相关。所以，本条特别规定，对冻土工程地质条件较复杂的场地和对工程安全影响较严重的冻土现象，比例尺可适当放大。

**5.1.3** 冻土工程地质调查与测绘的主要内容，本条首先列出了地貌、地貌与第四纪地质、岩性、构造、地表水、地下水和冻土现象的关系。因为这是划分地貌单元、评价冻土工程地质条件以及论证建筑物稳定性等方面的重要依据。

还应该强调的是在调查与测绘的内容上，必须将冻土的分布特征作为重要问题进行研究，这样才能达到除了常规性的调查与测绘目的外，查明冻土的区域自然条件及其相互关系，才能为建(构)筑物提出合理的设计原则、适宜的技术措施和建筑物在施工及其使用期间的稳定性预报，以便提高冻土工程地质勘察的水平。

### 5.2 冻土现象调查与测绘

**5.2.1~5.2.3** 冻土现象是冻土工程地质调查与测绘的主要内容之一。因为，在冻土地区由于土中水的冻结和融化，不断的发生着因冻融作用而形成的中、小型地形。

这些冻土现象直接威胁着工程建筑物的安全,如冰椎和冻胀丘是冻土区最为引人注目的冻土现象。它可造成房屋裂缝、道路变形、桥涵破坏等现象,给工程建设带来极大损失。因此,可根据冻土现象对工程的危害性和地质条件的复杂程度,决定所采用的标测方法:

(1)目测法:该法一般在可行性研究勘察阶段,对冰椎、冻胀丘、融冻滑塌等冻土现象以目估或步量其规模的大小。

(2)半仪器法:在初步勘察阶段可借助罗盘仪、气压计和步数计(或测绳)等简便仪器设备测定冻土现象的方位、高度和距离。

(3)仪器法:在详细勘察阶段对专门性的地质问题如厚层地下冰和冻土沼泽等冻土现象进行补充测绘时,可使用经纬仪、水准仪等精密的仪器测定其位置和高程,如需了解和掌握地质资料,还可用适宜类型的钻机进行勘探。

**5.2.4** 冰椎是由河水或地下水在冬季流至冰面或地面上随流随冻而形成的。它多分布在冻土区的山间洼地、河床、漫滩、阶地以及山麓的洪积扇边缘地带。但是,与冰椎相反,冻胀丘则是土层自上而下冻结时,地下水向冻结锋面迁移并不断形成冰层,使地表面隆胀为丘状体的现象。它多分布在冻土区的河漫滩、阶地、沼泽地、平缓山坡以及山麓地带。

但是,由于冰椎或冻胀丘的形成与分布具有独特的地质地貌条件,所以在进行调查与测绘时,其气象、植被、水文地质、工程地质以及对建筑物的危害性等方面,都应列为主要因素。为了给工程勘察设计和施工提出最佳方案和可靠勘察资料,提出冰椎或冻胀丘的调查与测绘的范围和要求,是十分必要的。因为,工程建设在冰椎或冻胀丘的形成区范围以外进行,则是经济和安全的。如果工程建设必须设置在冰椎或冻胀丘的形成区范围以内,则必须采取相应的有效措施,其安全才会有保证。

**5.2.5** 在冻土地区地表面以下的任何一种冰,不论其成因或埋藏条件如何,统称地下冰。地下冰按其形成原因可分为构造冰、脉冰和埋藏冰等三种类型。随着科学技术的发展,地下冰还有其他一些分类方法。但是,厚层地下冰(冰层厚度大于 0.3m)一旦融化,对工程建设的影响是极其严重的。因此,厚层地下冰是进行工程地质调查与测绘的主要对象。

地下冰形成和存在的特殊性,决定了进行其调查与测绘的范围,即除了厚层地下冰分布的具体地段外,其围岩部分也是调查与测绘的主要地带。要有效的在上述范围进行调查与测绘,应以钻探和物探相配合进行勘探,并进行钻孔测温和取冰样

试验其物理化学指标，以评价厚层地下冰的稳定性与对工程的侵蚀性。

地下冰调查与测绘的内容与重点，最重要的是分凝冰、侵入冰以及埋藏冰等类型的厚层地下冰的埋藏深度、冰层厚度、温度和分布面积等主要因素。因为这些因素要求建筑物结构和技术条件有一定的适应性。

**5.2.6** 缓坡上的季节融化层(细颗粒土)，在夏季融化至一定深度时，土中水分不能下渗，土壤呈饱和或流动状态时，沿着山坡向下蠕动，这种现象称为融冻泥流现象。表层泥流具有分布广、规模较小、流动较快的特点。深层泥流多呈阶梯状缓慢向下移动，其发生规模较大，对建筑物危害性强。但是热融滑塌现象常常发生在厚层地下冰分布的斜坡上，其原因可由气候转暖或人为活动因素所造成。与融冻泥流相反，热融滑塌现象是自下往上发展的，滑体多呈舌状或簸箕状。热融滑塌物常常流过路基、堵塞桥涵孔道，危害交通。

融冻泥流(滑塌)调查与测绘，除应查明融冻泥流或热融滑塌发生与发展的场地条件，及其发生原因和类型外，还应特别注意的是深层泥流的移动速度比较缓慢，肉眼不易观察，随着时间的推移，可能使建筑物遭到严重破坏。所以，应适当的布置融冻泥流或热融滑塌的移动标志，并定期进行观测，以便采取相应的防治措施。

融冻泥流或热融滑塌调查与测绘，应着重提出其形成区的季节融化特点、土颗粒成分、土壤渗透性以及冻土和地下冰的分布等方面的工程地质资料。另外还须对气候和人为活动条件的变化，以及融冻泥流或热融滑塌的移动速度提出预报。

**5.2.7** 热融湖塘(洼地)现象主要发生在塔头和沼泽等低洼积水地段，其原因是气候转暖或人为破坏地表植被，加大季节融化深度导致地下冰或高含冰量多年冻土局部融化所造成的结果。因此，进行热融湖塘(洼地)调查与测绘时，应将其形成区的地质地貌、水文地质条件、气候变化和人为活动内容作为重点进行工作。

对热融湖塘(洼地)进行调查与测绘时，将其形成区及其影响范围包括进去是适宜的。同时，在勘探方面钻孔深度必须穿过多年冻土上限 1~2m，主要是为了查清其分布范围、观测地温和评价其稳定性，以便为工程提供正确的设计原则和可靠措施。

热融湖塘(洼地)由于地表景观明显，调查与测绘范围比较直观，所以其调查与测绘的工作重点可放在勘探、观测以及预报等方面，以便为工程建设确定设计原则和应采取的安全措施创造条件。

**5.2.8** 冻土沼泽现象是在多年冻土区适宜的水热环境条件下形成的。同时冻土沼泽的发育又促进冻土层形成。它可分为低位、中位和高位三种类型。在东北冻土区的泥炭沼泽多数由于下卧多年冻土或地下冰层的存在而形成，由于地面积水的温度很



低，多生长塔头(苔草墩)和少量幼松等植物。但落叶松(幼体)常常因营养不良、生理干旱和低温而死亡。冻土沼泽现象在东北从低位到高位型均具有分布面积较大、季节融化深度小和泥炭层较厚等特点。相反在青藏高原冻土区仅形成类型单一的低位型泥炭沼泽。

冻土沼泽的调查与测绘应在冬、春季进行地质钻探和挖探工作，在夏季可以钎探获得季节融化深度资料。但是必须注意冻土沼泽形成区的多年冻土或地下冰和季节融化层的热平衡状况，以避免在人为条件下演变成为热融湖塘现象。为此，应进行地温观测，并及时地进行预报。

冻土沼泽现象多分布在河漫滩、阶地或台地上，与公路、铁路、桥梁等建(构)筑物的关系十分密切。因此，其调查与测绘的重点应突出冻土沼泽分布特征、地质勘探、试验和原位测试等方面。

## 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、坑探是冻土区常用的冻土勘探方法。物探作为勘探工程的辅助手段，指导配合钻探工作，可起到提高勘探质量、缩短勘探周期、节省费用以及顺利完成任务的作用。

**6.1.3** 通过室内遥感判释、现场验证以及地质调查测绘和物探工作，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，以达到使勘探工作量满足冻土工程地质勘察要求。

**6.1.4** 勘探工作量的多少应视不同工程的需要而定，本规范第 8~12 章对此均有明确规定，应遵照执行。

### 6.2 钻 探

**6.2.1** 冻土钻探回次进尺在《铁路地质钻探技术规则》中定为 5min，但不超过 0.3m。根据经验冻土钻探进尺随含冰量的增加，土温降低而加大。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。实际上过去的冻土钻探对于富冰冻土、饱冰冻土和含土冰层回次进尺可达 1.0m。对卵砾石含量较多的土层钻进 0.1~0.2m 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。

**6.2.2** 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 型钻机一般为 130mm。为满足柱状土样直径 80mm 的要求，终孔直径应不小于 91mm，以采用 110mm 为宜。

**6.2.3** 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。但是，必须有一定的孔口标高，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,这关系到建筑物选择适宜的设计原则和基础类型及其结构形式等措施。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;岩性分界以及冻土上限、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,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挖探,3、4 月份进行最大季节冻结深度的挖探,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** 物探是冻土工程地质勘察的重要方法。它配合测绘工作可迅速的探测冻土状况,为其布置勘探工作提供依据。在各勘察阶段的物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物探方法的有效性。随着勘察阶段的提高,以钻探为主,物探则作为勘探工程的辅助手段了。

**6.4.2** 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、波速及动弹性模量等。同时,对厚层地下冰和地下水的类型、贮存条件与变化规律等方面的内容亦可进行物探工作。

**6.4.3** 除被探测对象的物理特性十分明显,可采用单一的物探方法外,一般应采用

多种物探方法，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。对重点工程和复杂的建筑应采用综合物探工作，以提高勘探与经济效益。

**6.4.5** 冻土物探参数是保证物探质量的关键因素，该资料是进行内业解释的重要依据，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。

**6.4.6** 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)的解释(除少数情况外)，难以得出单一的结论而形成多解性。因此，应采用多种物探方法，进行综合判释，以取得较好效果。对工程具有重要意义的地质问题，还必须进行钻探验证解释工作。

## 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，供试验室分析试验的土样，是钻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。但是，按工程要求和现场条件，还可采取保持天然含水量并允许融化的冻结土样以及不受冻融影响的扰动土样。

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，必须保证孔底待取土样，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，野外现场试验指原位试验。

**7.1.2** 为了加强试验资料的可比性和通用性，地层冻结会议国际编写小组已提出《人工冻土的分类与实验室试验》的推荐意见，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《土工试验方法标准》GB/T50123—1999 部颁试行标准与国际编写小组的建议有矛盾时，建议按后者执行。

**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的试验时，应详细说明试验方法。

### 7.2 室内试验

**7.2.2** 勘察期间首先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。季节冻土区应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。

**7.2.3** 本条规定系根据《人工冻土分类和实验室试验》国际编写小组的建议提出，以加强试验方法的统一性及试验资料的可比性。

### 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，均会受到各种人为因素的扰动与影响。岂不知绝大多数原位测试也都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，如地基土的冻胀量、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、费工与费材料，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、7.3.5** 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，否则失去原位的意义。

试验过程中对小尺寸、短时间的试验结果应考虑边界条件的不同，尺寸效应、时间效应、温度参数等的修正。

## 7.4 定位观测

**7.4.1~7.4.3** 定位观测的目的有两个，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视其质量情况；对所采用的新技术，为全面了解其地基土性状、作用，周围有无成熟经验可以借鉴以及拟采取的新措施、新设计、新试验的有效性，应建立定位观测站。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。定位观测及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，否则定位观测很难立项和观测。

定位观测站的观测时间，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 工业与民用建筑冻土工程地质勘察

### 8.1 一般规定

**8.1.1** 本章适用于冻土地区工业与民用建筑的冻土工程地质勘察。但对冻土地区的融土地段除应按本规范执行外，尚应符合《岩土工程勘察规范》GB50021—94 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(选址勘察)、初步勘察和详细勘察三个阶段。施工勘察不作为一固定阶段，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又具有建筑经验的场地，可适当简化勘察阶段。

**8.1.3** 冻土工程地质勘察工作应符合各勘察阶段的技术要求，并在明确工程特点及任务要求的情况下，对综合考虑的几个因素，要求作定量的冻土工程分析和预测，提出冻土工程设计参数以及冻土地基基础设计原则和设计方案的建议。

### 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(选择场址勘察)应做的冻土工程地质工作。其中第 8.2.2 条对场址选择应尽量避免那些对建筑物有害的地段。场址方案应选择在对工程建筑有利，特别是融区面积大、第四纪砂砾石层透水性好以及前第四纪(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，以及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

**8.3.4、8.3.5** 勘探孔的数量与深度应根据建筑场地冻土工程地质条件复杂程度和工程要求适当增减。

关于冻土场地类型，表 8.3.4 划分三级：一级(复杂场地)是指冻土现象强烈发育，地层变化复杂，地下冰分布普遍为极不稳定场地，直接威胁着工程安全；二级(一般场地)是指冻土现象较发育，冻土含冰量较高，以富冰冻土和饱冰冻土为主，对工程



安全影响不严重;三级(简单场地)指冻土现象不发育,岩土种类比较单一,地基土含冰量低,以少冰冻土为主,对工程无影响。

**8.3.7** 初步勘察阶段不同地貌单元应设立地温观测孔,地温观测孔数量不应少于一个,但对于每个重要建筑场地不应少于两个。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8~20m,青藏高原则为10~15m左右。

**8.3.9** 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 $-1^{\circ}\text{C}$ 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 $-0.5^{\circ}\text{C}$ ~ $-1.0^{\circ}\text{C}$ 的场地或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 $-0.5^{\circ}\text{C}$ 的场地或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融沉、强融沉或融陷土。若冻土层全部融化,可按《岩土工程勘察规范》GB50021—94 规定,进行工程地质勘察。

## 8.4 详细勘察

**8.4.3** 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,预测施工运营期间地质环境可能发生的变化或影响,提出预防措施和建议方面。

**8.4.4、8.4.5** 详细勘察阶段对勘探点布置要求和勘探点间距应按冻土地场的复杂程度和建筑等级确定。冻土建筑物场地复杂程度除了地震、动力地质、地质环境等不稳定因素外,主要指冻土现象发育程度,在第8.3.4条已有说明。冻土地场条件和地基土质条件二者相互影响,如饱冰冻土、含土冰层直接威胁场地的安全,所以将两个条件综合起来划分冻土地场类型,考虑同一类型场地建筑物等级不能相同,因此每一场地分别列入三个建筑物安全等级。

**8.4.6** 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(如烟囱、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。在实

践工作中多年冻土年平均地温低于 $-0.5^{\circ}\text{C}$ 时，多利用多年冻土作为地基，所以在制定表 8.4.6-1 时，参阅了国内外有关规范，特别是前苏联、加拿大、美国冻土规范的规定，以基础荷重不同确定勘探孔深度，尽量少破坏地表，保护周围环境，避免温度场有大的变化或破坏。

对于塑性冻土以融化状态用作地基时，可按《岩土工程勘察规范》GB50021—94 第 3.1.15 款执行，但必须进行变形验算，即考虑融化盘的深度，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。在采用箱形基础或筏式基础时，弱融沉土和融沉土的地基上可采用经验公式(2)确定勘探孔深度：

$$Z=d+m_c+b \quad (2)$$

式中  $Z$ —勘探孔深度(m)；

$d$ —箱基或筏基的埋置深度(m)；

$m_c$ —与土的压缩性有关的经验系数，与土的类别有关，按表 8.4.6-2 取值；

$b$ —箱基或筏基基础底面宽度(m)。

压缩层的深度和经验公式以及融化盘的深度不是决定勘探孔深度的唯一依据，当钻孔达到预定深度遇有厚层地下冰时应适当加深或钻穿。

**8.4.7** 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定位观测，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，预报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。

采暖房屋地基融化深度的计算是一个复杂的课题，国外冻土学者早就在进行试验研究，并提出了许多计算方法，但都有局限性。我国从 70 年代中期开始研究，也提出了一些计算公式，这些计算公式有待于今后实践中验证。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。这里仅推荐《冻土地区建筑地基基础设计规范》JGJ118—98 中建筑物地基最大融化深度的计算公式：

$$H_{\max} = \psi_J \frac{\lambda_u T_b}{\lambda_u T_b - \lambda_f T_{cp}} \bullet B + \psi_c h_c - \psi_{\Delta} \bullet \Delta h$$



式中  $\Psi_J$ —综合影响系数，由图 1 查取；  
 $\lambda_u$ —融土(包括地板及保温层)导热系数；  
 $\lambda_f$ —冻土的导热系数；  
 $T_b$ —室内地面温度；  
 $T_{cp}$ —多年冻土年平均地温；  
 $B$ —房屋宽度；  
 $\Psi_c$ —土质系数，由图 2 查取；  
 $h_c$ —计算融深内粗粒土层厚度；  
 $\Delta h$ —室内外高差；  
 $\Psi_{\Delta}$ —室内外高差影响系数，由图 3 查取。

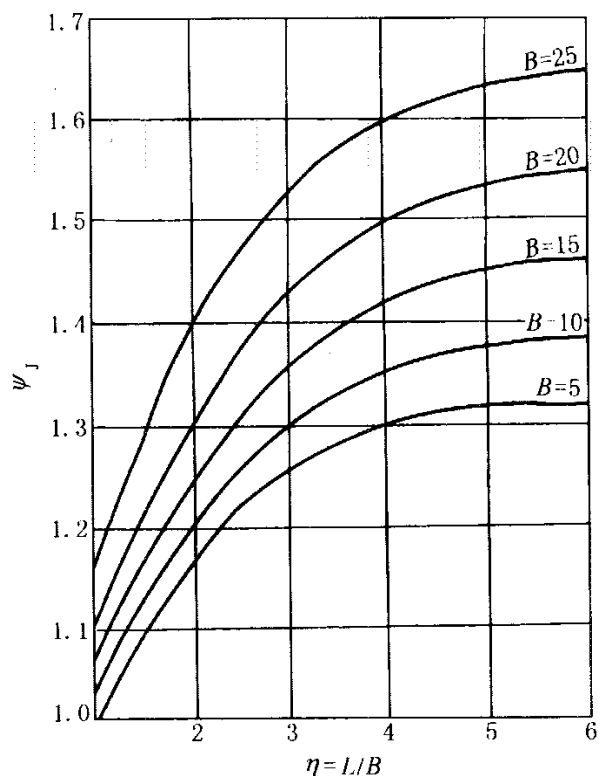


图 1 土综合影响系数  $\Psi_J$  图  
 $B$ —房屋宽度(cm);  $L$ —房屋长度(m)

**8.4.8** 桩基是多年冻土地区主要基础形式之一，根据沉桩方式分为:钻孔打入桩、钻孔插入桩与钻孔灌注桩。桩基必须采取架空通风地面保温措施，不破坏地表。桩基勘察内容包括:

(1)查明桩侧以及桩端以下压缩层计算深度范围内各类冻土埋藏条件、物理力学性质、热学性质，包括室内试验和原位测试的各项指标和参数，以满足桩基础设计

和施工需要为原则。

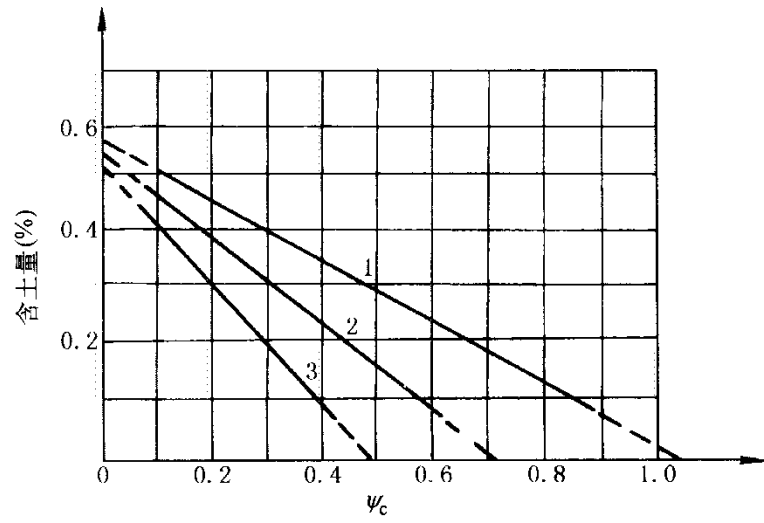


图 2 土质系数  $\Psi_c$  图

1—卵石;2—碎石;3—砂砾

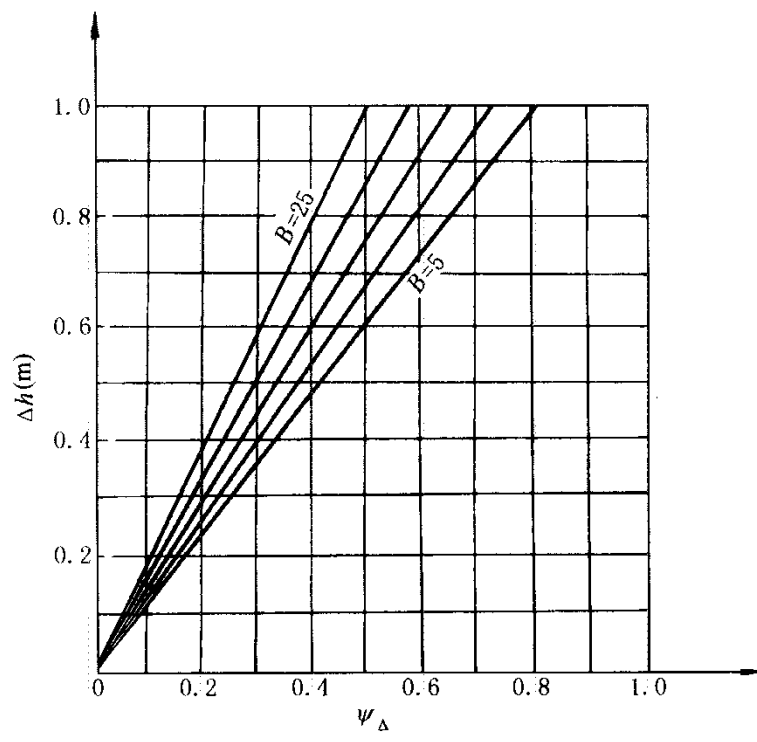


图 3 室内外高差影响系数  $\Psi_\Delta$  图

(2)通过钻探、坑探、地球物理勘探、定位观测，掌握冻土地温年变化状态与季节融化层变化规律。

(3)查明地下水类型、埋藏条件、水位变化幅度、渗透性能，判别地下水对桩基材料的腐蚀性和对工程建筑的影响程度。

(4)查明基岩的顶板埋深,风化程度,特别是强风化带冻土发育情况,基岩构造、断裂、裂隙发育程度,破碎带的宽度和充填物等。

**8.4.9** 桩基础作为多年冻土地区建筑物基础,通过多年来在我国多年冻土地区基本建设中的实践,取得很多宝贵经验。因此只有符合冻土地基的客观规律,才能保证建筑物的安全和正常使用。桩基勘察工作量应满足设计与施工要求:

(1)勘探点的布置和间距应以查明建筑物范围内冻土分布规律为主。勘探点应布置在柱列线位置,对群桩基础应布置在建筑物中心、角点和周边的位置上。

(2)勘探点间距应根据场地冻土条件的复杂程度,持力层面和持力层厚度变化的情况,一般采用 12~30m,不宜大于 30m。

(3)大口径桩、墩( $\geq 800\text{mm}$ )承载力较高,当冻土条件复杂时,宜按每个桩(墩)布置一个勘探点。

(4)勘探点总数中应有  $1/3 \sim 1/2$  为控制点。

**8.4.10** 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 3~5m。一般性勘探孔应深入持力层 1~2m,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 3~5m,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。

**8.4.11** 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、热学、力学技术参数。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,应作冻结强度的试验,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、冻土总含水量等,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性试验。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)，基础侧面就产生了切向冻胀力作用，从而导致不均匀变形、上拔、冻裂或破坏。因此必须验算切向冻胀力作用下桩基稳定性及强度。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。

(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。

试桩时间应选在夏末或冬初，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。

试载方法可采用慢速维持荷载法。近年来，为了缩短试验时间，在美国和前苏联采用快速维持荷载法。

(3)对有建筑经验的冻土地区，利用适当的原位测试和室内试验，系指掌握地基土类别及工程性质、地温观测、冻土总含水量及天然密度等物理特性，按本规范附录 K 查取冻土热学和强度指标。本款主要适用于二、三级冻土工程。

**8.4.12** 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，共有三款，遇有其中之一的问题，就需进行补充工程地质勘察工作。

## 9 铁路与公路冻土工程地质勘察

### 9.1 一般规定

**9.1.4** 冻土工程地质图上地质点的数量和要求,应随工程的性质和冻土工程地质条件的不同而异。因为道路工程建筑有它的特点:即是一条线,同时又是一个狭长的面。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。

**9.1.5** 施工冻土工程地质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。及时预报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。

**9.1.6** 铁路、公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。运营铁路和公路冻土工程地质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。

**9.1.7** 目前,我国基本建设工程的设计大体分为三种情况:即三阶段设计、两阶段设计和一阶段设计。

三阶段设计为初步设计、技术设计和施工图设计。

两阶段设计为扩大初步设计和施工图设计。扩大初步设计可参照三阶段设计的

初步设计和技术设计内容编制设计文件。

一阶段设计可参照三阶段设计的初步设计和施工图设计的内容结合具体情况编制设计文件。

铁路、公路冻土工程地质工作应与设计阶段相适应。这里指的是不论采取哪种情况设计,均应按初测和定测进行。当采用三阶段设计时,为满足施工图设计,可以进行必要的“补充定测”工作。采用两阶段设计 and 一阶段设计时,冻土工程地质工作必须在初测的基础上,搞好方案比选。在确定了方案的前提下,再为施工图设计搜集地质资料。

**9.1.11** 多年冻土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剖面。保持现有形态和现存地热平衡条件,则地基是稳定的。当这种平衡破坏时,则产生一系列冻土工程地质问题,如热融下沉和热融滑塌等。在多年冻土区进行工程建设,不可避免地要引出许多冻土工程地质问题。我们在多年冻土区进行建筑的原则是:利用冷生过程的有利方面;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建筑;避开冻土现象发育地段;采用合适的建筑结构;减少和防止冻土现象的产生。

多年冻土区的建筑实践表明: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。多年冻土上限将下降,路基将严重热融下沉。而高于 1.0m 的路堤,可使其下多年冻土上限保持不变或上升。从而可消除多年冻土融化而引起的下沉,保持多年冻土地基的稳定。故在本条中提出“线路应避免挖方,并应减少零断面及高度小于 1.0m 的低填方”。

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道路工程的危害。



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。

**9.1.13** 旧线改造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)既有线的冻土工程地质资料可以充分利用。

旧线改造冻土工程地质调查测绘的宽度可根据横断面轮廓、取土场位置及顶排水范围确定。冻土工程地质条件复杂地段,应根据需要加宽。在铁路增建第二线时,测绘的重点应放在增建第二线一侧。对冻土工程地质条件复杂,影响方案选择的地段,应进行较大面积的测绘和必要的勘探,为方案比选提供依据。

旧线改造的勘探、测试工作,原则上应比照新线冻土工程地质勘探和测试要求进行。但既有线已经多年运营考验,各种工程设计是否合理已为实践证明。旧线改造设计中,采用和既有线相同的冻土地基利用原则、基础类型和埋置深度,一般说是合理的。但由于冻土地基的复杂性和运营期间冻土条件的变化,完全按既有线的条件进行设计显然是不合理的。因此,旧线改造的勘探和测试工作量可在充分利用已有资料的基础上,根据实际情况确定。

**9.1.14** 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。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。

多年冻土区的特殊水文地质条件,决定了多年冻土区地表、地下水的数量和质量均较小且差。在料场勘察中,应注意合格工程及生活用水的调查。

## **9.2 工程可行性研究(踏勘)阶段勘察**

**9.2.1** 区域冻土地质条件系指多年冻土分布、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。

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冻土退化;高含冰量冻土分布地区的热融下沉以及地基基础严重冻胀等。

### 9.3 初测阶段勘察

**9.3.3** 地温年变化带多年冻土的温度状况和变化特性是多年冻土稳定与否的标志。年变化带深度是一般工程建筑的热力影响深度。因此,了解和掌握年变化带内多年冻土温度的状况和变化规律,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带深度的规定就是基于上述理由提出的。10~20m 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。

在地温孔钻探时,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。当钻孔成孔后,应立即进行地温观测,以了解地温逐渐恢复平衡的全过程和评价冻土的稳定性。地温恢复大概时间除按现场资料外,可参照俄罗斯联邦建设委员会多年冻土地区建筑工程地质勘察规范的有关规定。

**9.3.5** 电法勘探、地震勘探和地质雷达等是近年发展起来的地质勘探新技术。它具有速度快、精度高、使用操作方便等特点。据介绍:地质雷达的探测深度可达 20~30m,分辨率达 10~20cm。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。

多年冻土的工程性质除取决于它的岩性成分外,更重要的还取决于它的含冰量、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。

**9.3.6** 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 1.0~3.0 倍上限深度范围内。所以,在这里提出路基工程地质调查时,应查明路基基底下 1.0~3.0 倍上限深度范围内的多年冻土特征,以满足路基设计需要。

冻土地质环境的保护应给予足够重视,冻土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工程建筑的稳定。在多年

冻土区取土,减少了地面覆盖的热阻,因而通过地面传入地中的热量增加,多年冻土将产生退化。如果在高含冰冻土或厚层地下冰分布地段取土,多年冻土融化将引起地面严重下沉,并可能形成热融洼地或热融湖塘,这对工程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应从保护冻土地质环境出发,合理布置,严格控制。

在青藏公路改建工程中,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,这样的实例在青藏公路多年冻土区路段是很多的。各主要多年冻土国家的工程实践都证明:保护好冻土地质环境是多年冻土区工程稳定的先决条件。

**9.3.7** 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。

**9.3.8** 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。

**9.3.10** 沿线冻土工程地质说明是指对详细冻土工程地质图(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。所以应根据导线里程或纸上定线里程,按地形地貌或不同冻土工程地质条件分段认真编写。

## 9.4 定测阶段勘察

**9.4.1** 受冻土工程地质条件控制的地段,应根据地质纵、横断面及其他定线原则,综合确定线路位置。这里的其他定线原则是指第 9.1.1 条的规定和一般地区的定线要求。

多年冻土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活动层厚度。活动层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,保护冻土地质环境,取土厚度一般不宜超过  $2/3$  活动层深度。当取土坑下多年冻土为少冰冻土时,在不影响周围冻土地质环境的前提下,允许取土深度达活动层底部。在含土冰层和厚层地下冰分布地段,不允许取土。因此,在路基取土坑调查时,应查明取土地点多年冻土的特性,而后确定取土范围和深度。

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,后者是指热桩冷冻技术、自然通风措施等。

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。

定位观测内容包括:多年冻土温度;季节融化和季节冻结动态;冷生地层的发育情况及其形成物的观测等。

## 10 水利水电冻土工程地质勘察

### 10.1 一般规定

**10.1.1** 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等级进行冻土勘察。一、二级和主体工程地段冻土条件复杂的三等水利水电工程均应按本章规定进行冻土工程地质勘察。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要求。

**10.1.2** 大中型水利水电工程，除水利枢纽工程外，还有内外交通区段和管线工程以及工业与民用建筑工程。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(规范)的规定。

### 10.2 规划阶段勘察

**10.2.1** 规划工作可以是整条河流的规划，也可能是先进行最有开发意义的河段，故冻土勘察亦在规划任务确定的河段的范围内进行。

**10.2.2** 规划阶段的冻土工程地质勘察工作要为制定梯级工程开发方案，选出第一期开发的水利枢纽服务。它是水利水电冻土工程地质勘察工作重要和工作量很大的阶段。因此，对河段的冻土条件作出总体评价，进行冻土分区和查明第一期地基冻土的主要问题是本阶段工程冻土勘察的主要任务。

**10.2.3~10.2.6** 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工作大纲。第二步是现场实现调查与勘察。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，重点应进行第一期开发工程的勘察工作。

**10.2.7~10.2.9** 河流规划的范围很大，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 5~10km 为宜，制图的比例尺以不小于 1:500000 为宜。

**10.2.10** 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过冻土层下限，用于计算或直接取得冻土层厚度。对于规划中的一般水利枢纽，钻孔数量根据冻土条件可取 1 个或数个，对于第一期开发工程应不少于 2 个，以便较详细地研究冻土状态。同时可配合布置一些浅孔和坑探，其中第一期开发工程中的数量亦应较其他规划工程相对增多。

**10.2.11** 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。

**10.2.12** 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 1:1000000，对于个别大河，可取 1:2500000。

### 10.3 可行性研究和初步设计阶段勘察

**10.3.1~10.3.3** 本阶段的冻土工程地质勘察工作内容、数量和详细程度是在已确定的具体水利水电工程中进行的最主要的勘察阶段，其基本任务是要对最终设计方案的确定提供冻土工程地质依据。这几条是对本阶段工作任务和基本内容的规定。

**10.3.4** 各类建筑物地基与两岸接头的冻土条件是关系建筑物稳定、选择建筑原则和确定处理方法的主要依据。其中特别是修筑建筑物后冻土融化引起的沉陷和渗透性变化。因此，对本阶段的冻土勘察应给予特别的注意。



**10.3.5** 可行性和初步设计阶段的冻土勘察中，由于冻土测绘比例尺较前一阶段加大，勘察数量相应增加。因此，钻孔和坑探数量一般都要增加。但在冻土条件较单一或在少冰冻土情况下，可考虑只补充一些坑探或浅孔勘察工作量。

**10.3.6** 建筑物上下游的岸坡，特别是坡度较陡的情况下的稳定，修筑建筑物后可能发生变化。当岸坡处于多年冻结状态时，水库蓄水后可能因水的热量使坡脚融化而引起滑塌；当岸坡虽然不处于多年冻结状态，但由于水库蓄水影响含水量增大，在多次冻融和冻胀状态下引起滑坡。这些现象，特别是在进出水口区内，将严重影响建筑物的安全和正常进行。因此，应对这些部位的冻结条件进行调查和作出评价。

**10.3.7、10.3.8** 水库库区的工程冻土勘察主要是查明出现大型滑坡从而对周围环境造成影响的地段，应根据滑坡的危害程度进行具体的勘察和观测，必要时进行专门研究，为滑坡的治理提供依据。因此，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。冻土测绘的比例尺亦可与非冻土工程地质勘察一致。这样，在工作量和经济上也是合理的。

**10.3.9** 引水渠道开挖后可能因冻土融化出现滑坡、融陷等现象，影响渠道衬砌结构的稳定和正常运行。由于渠道各地段的冻胀性不同，因此应着重查明这些现象，并按冻胀和融沉性分段。

**10.3.10** 由于冻土(岩)的滑坡和渗透稳定问题较复杂，特别是冻土条件复杂的地段，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，滑坡和渗透破坏性大和后果严重时应进行专门研究。

## 10.4 技术设计和施工图设计阶段勘察

**10.4.1~10.4.5** 技术设计和施工图设计阶段冻土工程地质勘察工作主要是在前二个阶段已进行的工作基础上，对所取得的主要资料和所作的主要结论作进一步查证，对未解决的问题作进一步的补充勘察或专门研究。施工过程中的地质工作主要是进行施工地质监理，根据施工过程，特别是地基开挖中发现的新问题进行补充勘察或专门研究。对发现的问题和及时处理过程作出详细记录，以备今后建筑物运行过程中必要时查核之用。

**10.4.6** 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。

**10.4.7** 冻土温度的变化有一个过程,而建筑物运行和水库蓄水对冻土温度将产生强烈影响。因此,在施工结束后应将原有的观测孔全部或部分保留,并移交给工程管理部门继续进行观测,用以长期监测冻土状态的变化及其对建筑物可能性的影响。

**10.4.9** 冻土工程地质工作是工程地质工作的一部分,但具有它本身的特殊性和要求。因此,在施工结束后应编写专门的冻土施工地质报告,并作为施工地质报告的一部分。

## 11 管道冻土工程地质勘察

### 11.1 一般规定

**11.1.1** 本章适用于冻土地区的输油、水、气管道线路及其穿、跨越工程的冻土工程地质勘察。其他如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,采用热虹吸管作为管道的桩、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路堤式。

(3)地下式:即埋入式。我国青藏高原的格尔木至拉萨的输油管道即采用埋入式。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。

**11.1.2** 本条勘察阶段的划分原则是参考行业标准《油气管道工程地质勘察规范》(SYJ53—89)确定的。勘察阶段的划分应与设计阶段相适应。

**11.1.3** 冻土区的管道冻土工程地质勘察应着重调查的内容是: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。因为冻土中的厚层地下冰一旦产生融化,往往很难制止,需要成倍乃至几十倍的耗资去治理。因此,勘察工作中首先应特别注意冻土特征的调查。

### 11.2 可行性研究(选线)勘察

**11.2.1** 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(例如大中型河流穿、跨越点)进行踏勘调查,一般可不进行勘察工作,由于冻土区的冻土工程地质条件的复杂性要比非冻土区大的多,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，乃至是厚层地下冰；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，例如地表的扰动、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。所以，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。

**11.2.2** 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。

**11.2.3** 本条第 11.2.3.3 款中提出应按第 4.2 节的规定进行冻土工程地质勘察工作，这是由于冻土的工程地质条件比较复杂，调查的内容较多，而这些要求又是作为冻土工程地质勘察工作所必需的，不同建筑物工程的等级和设计阶段的要求深度各不相同。但它们的勘察内容基本相同，只是其详细程度有所差别，只有对这些内容的充分了解，才能作出评价和预测它们的变化。第 11.2.3.4 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。

**11.2.4** 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。

## 11.3 初步勘察

**11.3.1、11.3.2** 初步勘察工作，主要是在选线勘察的基础上，进一步搜集资料，现场踏勘，进行冻土工程地质调查与测绘，对拟选线路方案的冻土工程地质条件作出初步评价，协同设计人员选出最优的线路方案。这一阶段的工作主要是进行冻土工程地质调查与测绘，其范围可限制在拟选线路两侧各 100m。一方面是通过地貌及第四纪沉积物的调查，了解一般的地质和冻土工程地质条件，另一方面则要在不同的地貌单元和不同的沉积物类型地段进行坑探及少量的钻探工作。通常情况下，勘探点的间距和深度应按表 11.4.3 规定执行。

**11.3.3** 初步勘察的冻土工程地质勘察内容，主要是初步查明沿线路地段的冻土工程类型、分布及特征，地下冰的分布及含量，测定几个必要的设计参数，如冻土密度、含水量等；河流与沟谷中冻土特征，冰情等；冻土现象及井、泉与地下水情况等。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。

**11.3.4** 穿、跨越工程的初步勘察工作，也是以搜集、踏勘、调查为主。由于河流、沟谷地段的冻土工程地质条件较为复杂，应进行少量的钻探工作，勘探的间距和深度应按表 11.4.3 规定执行。当钻探手段难以控制时，可采用物探方法，以达到初步查明河、沟的冻土工程地质条件。

## 11.4 详细勘察

**11.4.1** 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。一般情况下，勘探点的密度应按表 11.4.3 执行，为地基基础设计、地基处理加固、冻土现象的防治与工程设计提供可靠的冻土工程地质资料。

**11.4.2、11.4.3** 勘探点的间距与孔深，按表 11.4.3 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，乃至 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℃，管壁温度较差为 50℃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 2~3m 的冻土工程地质条件，才能确保管道的安全和稳定性。

**11.4.4** 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 and 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，每层冻土必须保证具有六项试验项目的数量。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 架空线路冻土工程地质勘察

### 12.1 一般规定

**12.1.2** 由于架空线路工程的设计分初步设计和施工图设计两个阶段,所以勘察阶段其相应也分为初步勘察(初勘选线)与详细勘察(终勘定位)两个阶段,但一般的小型线路工程可简化勘察阶段,进行一阶段勘察。

**12.1.3** 根据冻土工程地质及水文地质条件、年平均地温、施工条件以及上部结构形式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,与其他桩基础相比只需一台钻孔机,不用吊车,不用打桩机,不必运输,不必吊装,勿须更多的构造钢筋和较高强度等级的混凝土。但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。

### 12.2 初步勘察

**12.2.1~12.2.3** 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和沿线的冻土现象,对各路径方案沿线地貌、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。

当已有资料不能满足要求,尚应作适量的勘探与测试工作。

**12.2.4** 线路路径方案的选择是冻土地质工程师的重要职责之一,线路应力求顺直,以缩短线路长度,这对节约投资和管理费用具有重要意义。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。河流的跨越点选得是否合理，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。

## 12.3 详细勘察

**12.3.1、12.3.2** 详细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。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锥、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验测资料(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。

**12.3.3** 对季节冻土地基而言，其基础的型式与非冻土地基所考虑的内容差不多，所不同的是季节冻土的冻胀性问题。对不冻胀土可完全不必考虑，对冻胀性土则应计算法向、切向与水平冻胀力对基础的作用，并应进行“冻胀性土地基上基础的稳定性计算(验算)”。在满足各种要求之后，基础应尽量浅埋。

对多年冻土地基，可用装配式基础，因装配式基础不用施工机械，不必用专门的运输工具，比较简单、经济。由于施工时必须大开挖，所以对地基的热干扰大，宜在气温低于地温时施工，但又不在深冬，这样不但避免挖掘大量的冻土土方，也不会将热量传入地基中。

钻孔灌注桩，在施工中需加入混凝土防冻剂，混凝土桩身的养生需要较长的时间，但它比预制桩节省大量钢材，而且也不需要运输与安装，但施工时的施工热与混凝土的水化热较大，不宜在高温冻土中使用。

钻孔插入桩，由于是预制桩插入泥浆中，回冻时间较短，承载力也不低，一般

多被采用。

热桩、热棒基础是一种比较合理而有发展前途的基础型式，它可增加地基土的冻结稳定性，而一劳永逸(在热桩的寿命范围之内)。但直到目前，由于成本较高还不能普遍应用，仅适用于重点工程。

## 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。

象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)的粘性土，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粘性土的大，因粗颗粒土的导热系数比细颗粒土的大。土的含水量越大消耗于相变的热量就越多，虽然导热系数随含水量的增加而增大，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 3)。

坡向对融深的影响系数  $\psi_{to}^m$

表 3

数据来源	坡向	融深(cm)	$\psi_{to}^m$
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》2.2 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 4。

土的类别(岩性)对融深的影响系数 $\psi_s^m$  表 4

青藏铁路勘测设计细则	粘性土	粉土、细、粉砂	中、粗、砾砂	大块碎石
影响系数 $\psi_s^m$	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 $\psi_s^m$	1.00	1.00	2.03	1.44
本规范推荐值	粘性土	粉土、细、粉砂	中、粗、砾砂	大块碎石
$\psi_s^m$	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 的非冻胀粘性土，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，砂类土的冻深比粘性土的大。我国对这方面问题的实测数据不多，不系统，前苏联 74 和 83《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。

土的含水量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(见本规范土的冻胀性分级表, 表 3.2.1)。水分(湿度)对冻深的影响系数见表 5。因土中水在相变时要放出大量的潜热, 所以含水量越多, 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。

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, 现仅参照前苏联《普遍冻土学》中坡向对融化深度的影响系数。

水分对冻深的影响系数(含水量、地下水位) $\psi_{\omega}^m$ 

表 5

资料出处	不冻胀	弱冻胀	冻胀	强冻胀	特强冻胀
黑龙江低温 (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
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: 土壤的含水量与地下水位深度都含在土的冻胀性表中, 参见土的冻胀性分级表 3.2.1。

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 6 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:20~50 万人口的城市(市区)，只考虑市区 0.90 的影响系数；50~100 万人口的市区，可考虑 5~10km 范围内的近郊区 0.95。大于 100 万人口的市区，可扩大考虑 10~20km 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。

**“热岛效应”对冻深的影响** **表 6**

城 市	北京	兰州	沈阳	乌鲁木齐
市区冻深 远郊冻深	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 概述。

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。而当土融化时,由于土中冰的融化和一部分水从土中排出,使土体仅在土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。

目前我国常以融沉系数(融化下沉系数)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,其具体内容和要求为:

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 $-0.5\sim-1.0^{\circ}\text{C}$ 为好。因为土温太低往往造成脆性破碎,太高时,即土温接近 $0^{\circ}\text{C}$ 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、含水量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 5cm, 对于不均匀层状和网状构造的粘性土,  $h/d = 1/3 \sim 1/5$ 。国内曾采用的容器面积为 45、78cm<sup>2</sup> 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。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。至于原位试验可用面积为 2500cm<sup>2</sup> 的热压模板, 试样土体高为 20~25cm。其比值大约亦为 1:2。

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, 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, 土体常产生崩解现象, 土颗粒与水分一起挤出, 使试验失败或  $\delta_0$  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 40~50℃, 现场原位试验水温不超过 80℃为好。加热时应注意由低逐渐升高, 当土层含冰(水)量大时, 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 20~25cm 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、含砾粘土及富冰土层。

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 4。



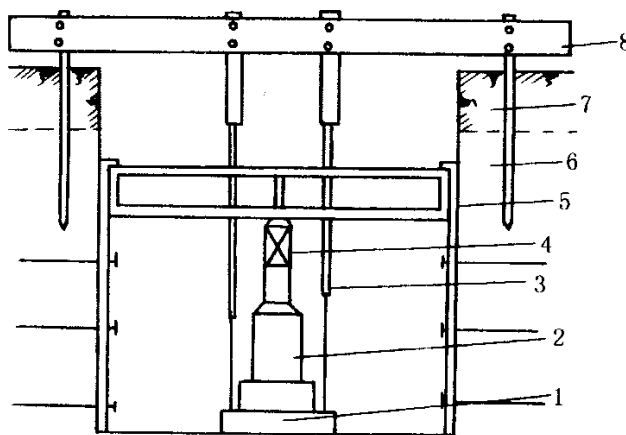


图4 现场原位融化压缩试验示意图

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

热压板的面积一般为  $2500 \sim 5000 \text{cm}^2$ ，用金属制成圆形或方形的空腔板，下部具有透水孔，见图5。

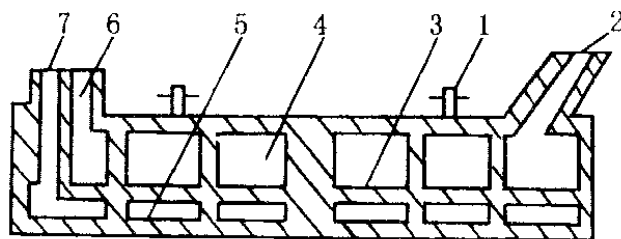


图5 热压模板示意图

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—排水孔；7—加水孔

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  $1 \sim 2 \text{cm}$  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  $10 \text{kPa}$  (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导致压模板受热不均使试验土层产生不均匀融化沉陷的缺点，应加注意。

试样融沉开始时，可按 5、15、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，当相隔两小时变形量小于  $0.5 \text{mm}$  (对于细颗粒土) 或  $0.2 \text{mm}$  (对于粗颗粒土) 时，即可认为达到稳定。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量、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 冻胀量试验。

冻胀量是判别地基冻胀性, 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如果采用木质制做应经过浸油(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, 距离拉得不可过大, 应相对集中在一起, 代表 1 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为定时观测, 如每 10 天或一星期观测一次; ②每一定冻深观测一次, 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, 每一定冻深观测的时间不确定。

为了分析冻胀量最好同时观测地下水位的变化。

### G.0.2 冻结强度试验。

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/T50123—1999, 冻结强度试验执行。

### G.0.3 切向冻胀力试验。

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

验基础上先加少许荷载,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,即刻继续加荷少许,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。这种方法不是太好,因为等到发现失衡,基础已经上抬一定量了,加荷劳动强度不小,还不能保证不出偏心,这样发展到最后,累计上抬量是不小的位移值,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)就可定时观测了,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,在于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 6(a)为单轴应力状态和恒温条件下冻土典型蠕变曲线，图 6(b)表示相应的蠕变速率时间的关系。图中 0A 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粘塑流动之中，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。



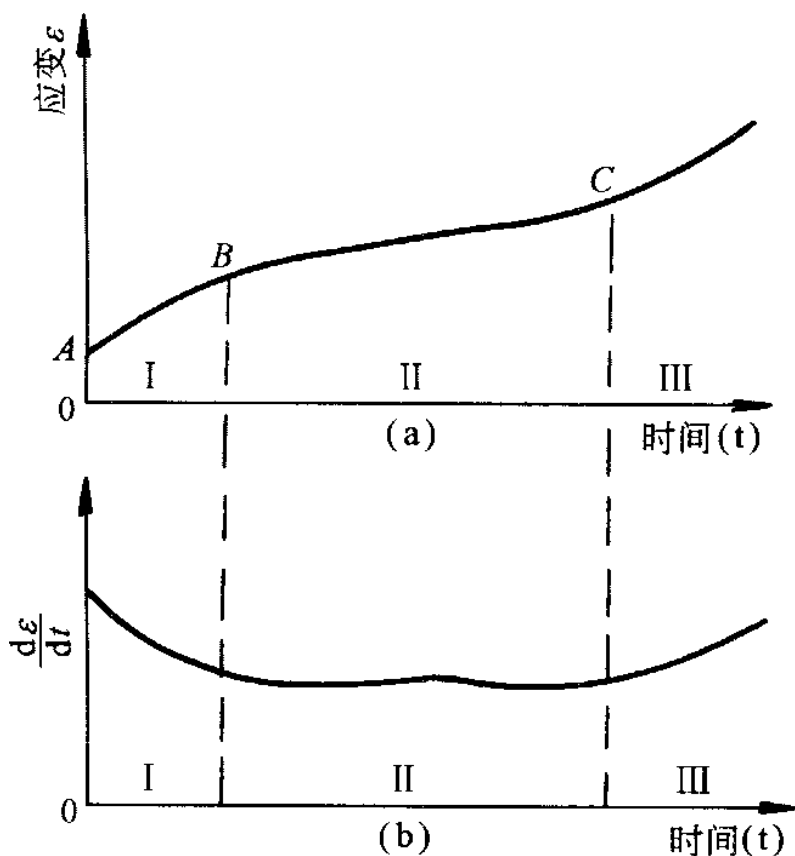


图 6 冻土蠕变曲线示意图

(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 $-1.5^{\circ}\text{C}$ 时的长期粘聚力  $C_1=82\text{kPa}$ ,而 $-2.3^{\circ}\text{C}$ 时  $C_1=134\text{kPa}$ ,相应的冻土极限荷载  $P_u$  为  $420\text{kPa}$  和  $690\text{kPa}$ 。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  $1\sim 1.5b$  深度范围内的温度( $b$  为基础宽度)。

(3)根据软土地区荷载试验资料,承压板宽度从  $50\text{cm}$  变化到  $300\text{cm}$ ,所得到的比例极限相同,  $P_{0.02}$  变化范围在  $100\sim 140\text{kPa}$ ,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  $0.25\text{m}^2$ 。

(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  $4\text{h}$  应变速率小于前  $4\text{h}$  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  $4\text{h}$  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:

$$\text{应变} \quad \varepsilon = d|T|^{-\gamma} t^{\beta} \sigma^{\alpha} \quad (3)$$

式中 **d**—土质受荷条件系数, 砂土  $d=10^{-3}$ , 粘性土  $d=(1.8\sim 2.5)\times 10^{-3}$ ;

**T**—冻土温度( $^{\circ}\text{C}$ );

$\gamma$ —试验系数,  $\gamma \approx 2$ ;

**t**—荷载作用时间(min);

$\beta$ —试验常数,  $\beta=0.3$ ;

$\sigma$ —应力(kPa);

$\alpha$ —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  $\varepsilon'$  按弹性理论有:

$$\varepsilon' = \varepsilon \left( 1 - \frac{2\mu^2}{1-\mu} \right) \omega \quad (4)$$

式中  $\mu$ —冻土泊松比, 取  $\mu=0.25$ ;

$\omega$ —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:

$$s = 0.8982 \cdot \varepsilon' \cdot h \quad (5)$$

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  $\sigma$  取预估极限荷载  $P_u$  的  $1/8$ 。

按式(4.5)计算加载 24h 后的沉降值见表 7。

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:

$$\text{应变} = \varepsilon = \left[ \frac{\sigma T^{\lambda}}{\omega(\theta-1)^K} \right]^{\frac{1}{m}} + \varepsilon_0 \quad (6)$$

式中  $\varepsilon_0$ —瞬时应变, 预估时可不计;

$\theta$ —温度低于水的冰点的度数( $^{\circ}\text{F}$ );

$\sigma$ —土体应力, 取预估极限荷载  $P_u$  的  $1/8$ 。

$\lambda$ 、 $m$ 、 $K$ 、 $\omega$ —取决于土性质常数, 对表 8 中几种土查出  $\lambda$ 、 $m$ 、 $K$ 、和  $\omega$  的典型

值。

T—时间(h)。

求得应变  $\varepsilon$  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 7。

荷载试验加载 24h 沉降值 s(mm) 表 7

土类 \ 温度(°C)	-0.5	-1.0	-2.5	-4.0	注
粗 砂	27.7	10.3	3.1	1.6	按式(3)~式(5)
细 砂	12.9	5.0	1.8	0.9	
粗砂(渥太华)	0.9	0.8	0.6	0.5	按式(5)~式(6)
细砂(曼彻斯特)	0.6	0.5	0.4	0.3	
粘 土	23.2	8.1	2.6	1.0	按式(3)~式(5)
含有机质粘土	15.0	5.8	2.1	1.4	
粘土(苏菲尔德)	5.2	4.6	3.3	1.8	按式(5)~式(6)
粘土(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，对粘性土取 1.0mm 是能保证地基处于第 I 蠕变阶段工作。

对应于式(6)土性质常数典型值 表 8

土 类	$\lambda$	m	K	w	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	—
粘土(苏菲尔德)	0.14	0.42	1.0	93	—
粘土(巴特拜奥斯)	0.18	0.40	0.97	130	维亚洛夫(1962)资料

## 附录 L 冻土地温特征值计算

**L.0.1** 根据傅利叶第一定律，在无内热源的均匀介质中，温度波的振幅随深度按指数规律衰减，并可按下式计算：

$$A_z = A_0 \exp(-z\sqrt{\pi/\alpha t}) \quad (7)$$

式中  $A_z$ —Z 深度处的温度波振幅(°C)；

$A_0$ —介质表面的温度振幅(°C)；

$\alpha$ —介质的导温系数(m<sup>2</sup>/h)；

$t$ —温度波动周期(h)。

将上式用于冻土地温特征值的计算是基于以下假设：

(1)土中水无相变，即不考虑土冻结融化引起的地温变化。

(2)土质均匀，不同深度的年平均地温随深度按线性变化，地温年振幅按指数规律衰减。

(3)活动层底面的年平均地温绝对值等于该深度处的地温年振幅。

### L.0.2、L.0.3 算例

已知：内蒙古满归镇 3 号测温孔多年冻土上限深度为 2.3m；根据地质资料查(条文)附录 K 求得冻土加权平均导温系数为 0.00551m<sup>2</sup>/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(°C)	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

计算步骤：

(1)计算上限处的地温特征

由本规范附录 L 中 L.0.2-2 式得

$$\begin{aligned} \Delta T_{2.3} &= (T_{20} - T_{15}) \times (20 - 2.3) / 5 \\ &= (-2.0 + 1.8) \times 17.7 / 5 = -0.7 \end{aligned}$$

由 L.0.2-3 式得

$$\Delta T_{2.3} = T_{20} - \Delta T_{2.3} = -2.0 - (-0.7) = -1.3^\circ\text{C}$$

根据假设(3)得

$$A_{2.3} = (T_{2.3}) = 1.3^\circ\text{C}$$

由 L.0.2-5 式得

$$T_{2.3\max} = T_{2.3} - A_{2.3} = -1.3 + 1.3 = 0^\circ\text{C}$$

由 L.0.2-6 式得

$$T_{2.3\min}=T_{2.3}-A_{2.3}=-1.3-1.3=-2.6^{\circ}\text{C}$$

(2)计算地温年变化深度和年平均地温

由 L.0.2-7 式得

$$\begin{aligned} H_2 &= \sqrt{\alpha t / \pi} \ln(A_{u(f)} / 0.1) \\ &= \sqrt{0.00551 \times 8760 / 3.14} \ln(1.3 / 0.1) \\ &= 10.1\text{m} \end{aligned}$$

$$H_3=H_2+h_{u(f)}=10.1+2.3=12.4\text{m}$$

由 L.0.2-2 式得

$$\begin{aligned} \Delta T_{12.4} &= (-2.0+1.8) \times (20-12.4)/5 \\ &= -0.2 \times 7.6/5 = -0.3^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

由 L.0.2-3 式得

$$\begin{aligned} T_{cp} &= T_{20} - T_{12.4} = -2.0 - (-0.3) \\ &= -1.7^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

(3)计算上限以下任意深度的地温特征值

例如:计算  $H_1=5\text{m}$  处的地温特征值

由 L.0.2-1 式得

$$H=H_1-h_{u(f)}=5-2.3=2.7\text{m}$$

由 L.0.2-2 式得

$$\begin{aligned} \Delta T_5 &= (T_{20} - \Delta T_{15}) \times (20-5)/5 \\ &= (-2.0+1.8) \times 15/5 = -0.6^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

由 L.0.2-3 式得

$$T_5=T_{20}-\Delta T_5=-2.0-(-0.6)=-1.4^{\circ}\text{C}$$

由 L.0.2-4 式得

$$\begin{aligned} A_5 &= 1.3 \exp(-2.7\sqrt{3.14/0.00551} \times 8760) \\ &= 0.7^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

由 L.0.2-5 式得

$$T_{5\max}=T_5+A_5=-1.4+0.7=-0.7^{\circ}\text{C}$$

由 L.0.2-6 式得

$$T_{2.3\min}=T_5-A_5=-1.4-0.7=-2.1^{\circ}\text{C}$$