

青藏公路沿线 (小南川—安多) 冻土工程地质图 (1:20万) 的编制原则和方法

王 绍 令

(中国科学院兰州冰川冻土研究所)

提 要

本图编制的主要依据是冰土、地下冰的分布及土层含冰量的大小。采用三级区划原则,共分出三个冻土工程地质区,15个冻土工程地质亚区和43个不同类型的冻土工程地质地段。

一、编图目的和原则

图件是为了反映区内冻土工程地质条件的区域性规律及各地段的特征,为大型工程的选址、经济开发的总体布局等提供依据,也为进一步开展冻土预报和环境保护提供了基础的图件。

冻土工程地质图主要是反映冻土和地下冰的分布规律及其有关的冻土工程地质条件,在此基础上进行冻土工程地质区划及工程地质条件评价,并进行变化趋势的预报。冻土工程地质条件是指各种自然因素在冻融作用下对工程建筑物影响的综合和概括。

本区地势高、气候严寒、构造活动强烈,致使本区具有独特的冻土工程地质条件。控制区域性规律的主导因素是海拔高度、区域性构造格局和大地貌单元,这些因素制约着本区冻土和地下冰的区域性分布规律;局部的因素包括岩性、冻土层温度和厚度、上限埋深、冻土中含水量和含冰量、地表植被类型及覆盖度和不良冻土现象等。冻土与非冻土的工程地质性质有着本质上的差别,根本原因是冻土中含有冰。因此冻土层的含冰(水)量是决定该层土工程地质性质的关键性指标。

二、表示的内容和方法

在平面图上用三级区划的方法表示冻土工程地质条件的基本规律。

冻土工程地质区划是在综合分析影响冻土工程地质条件的各种因素的基础上,主要考虑区域性或地段性冻土和地下冰分布特征、冻土层中的含冰量及其物理力学性质,并参考不良冻土现象的发育程度进行划分,考虑到比例尺的要求和现有资料的精度可划分三级:冻土工程地质区、亚区和地段。

一级区划系统—冻土工程地质区 主要依据冻

土类型的差异分为:

I. 季节冻土区 该区主要包括编图区北端的小南川和西大滩东段,除个别部位有深层的冻胀翻浆外,大多数地段的冻土工程地质条件均比较简单。

II. 岛状多年冻土区 在编图区北部海拔4200—4560米地段为岛状多年冻土区,区内冻土工程地质条件较复杂,尤其在冻土岛地段,多年冻土层薄、地温高,冻土层厚度及热状况易发生变化。

III. 大片连续多年冻土区 从惊仙谷北口海拔4560米处至安多全长约550公里的范围内为大片连续多年冻土区,该区多年冻土在平面上的分布面积约占总面积的81%^[1],多年冻土层厚度的变化从几米至十几米,个别地段可超过100米以上;在地下冰发育地段,冻土现象极其发育,冻胀及融沉作用强烈,各类建筑物遭到严重的破坏;但区内也有少量冻土工程地质条件较好的地段,如融区及第四纪松散层很薄和地下冰不发育的地段。该区冻土工程地质条件相当复杂,因此在勘测、选址、设计和施工过程中应慎重考虑冻土问题。

二级区划系统—冻土工程地质亚区 在一级区划的基础上根据各大地貌单元冻土和地下冰分布的差异性,并考虑区域性构造分成15个亚区:

I₁. 小南川断陷谷地季节冻土亚区; I₂. 西大滩东段季节冻土亚区;

II₁. 西大滩西段岛状多年冻土亚区;

III₁. 昆仑山亚区; III₂. 唐古拉山亚区; III₃. 可可西里低山丘陵亚区; III₄. 风火山亚区; III₅. 开心岭低山丘陵亚区; III₆. 桃尔九低山丘陵亚区; III₇. 楚玛尔河高平原亚区; III₈. 北麓河河谷平原亚区; III₉. 沱沱河河谷平原亚区; III₁₀. 通天河河谷平原亚区; III₁₁. 布曲河河谷亚区; III₁₂. 温泉断陷谷地亚区。

三级区划系统—冻土工程地质地段 是本图基本的区划单位,主要是按照冻土层的物理力学性质及工程地质条件的差异性来划分,这种差异性取决于松散岩层的岩性、厚度、含冰量、含水量、冻土结构和不良冻土现象的发育程度等因素,并考虑到工程上需

表 1 多年冻土分类

多年冻土类别 ^①	冻 土 总 含 水 量 (%)			相应的冻土 融沉系数 (%)	柱状图上 的符号
	碎、砾石土	砂土、砂性土 ^②	粉性土、粘性土		
少 冰 冻 土	<10	<12 (14)	<W _p	<1	SH
多 冰 冻 土	10—18	12 (14) —21	W _p <W<0.9W _L	1—5	D
富 冰 冻 土	18—25	21—28	0.9W _L <W<1.2W _L	5—10	F
饱 冰 冻 土	25—65	28—65 (70)	1.2W _L <W<70—80	10—25	B
含 土 冰 层	>65	>65 (70)	>70—80 ^③	>25	H

注：①土的分类按公路路基土的分类，其中砂性土包括粉质砂土、粗亚砂土、细亚砂土；粉性土包括粉质亚砂土、粉土、粉质轻亚粘土和粉质重亚粘土；粘性土包括轻亚粘土、重亚粘土和轻粘土。

②砂性土用括弧内数字。

③塑性指数<7的用70，>17的用80，中间者取中间值。

要处理的差异性，在亚区内综合划分出：良好的冻土工程地质地段、一般的冻土工程地质地段、不良的冻土工程地质地段、极差的冻土工程地质地段。

在多年冻土区内，划分地段时应考虑的因素较多，但采用多年冻土含冰量的类别这个定量指标基本上能综合反映出其主要的影响因素，因为土的冻胀和融沉主要是与土的性质和总含水量有密切关系，而多年冻土含冰量的类别恰好是按土中总含水量和岩性来确定的。目前多年冻土分类方案较多，为便于充分应用以往的资料，并考虑到工程上使用方便，编制该图时仍采用交通部青藏公路科研组勘测设计细则中所规定的冻土分类标准（表1）。

多年冻土层的融沉系统与土的性质和总含水量关系密切，研究表明不同类别的冻土有一定的含水量可相应于一定的融沉系数的规律，故以总含水量为主要依据划分出的多年冻土类别则相应有一定的融沉系数；而土的冻胀性、承载力又与总含水量有密切关系，因此冻土类别也可间接反映出土层的冻胀性和承载能力^[6]；同时由于冻土（特别是高含冰量冻土）具有强烈的流变性，其强度指标除决定于土的颗粒成分、含水量外，还与土的温度和荷载作用历时有密切关系，因此在确定冻土容许承载力时，除应考虑冻土的温度和建筑物使用特点等条件外还应根据不同土温时的长期强度指标确定其数值，而土温随时间是在不

表 2 季节冻结层冻害性评价*

土 的 名 称	天然含水量W (%)	湿度或稠度状态	冻结期间地下水位低于冻深的最小距离h _w (米)	冻胀性评价	冻 害 类 别
粉粘粒含量≤15% 的粗颗粒土	W≤12	潮 湿	不 考 虑	不 冻 胀	无 冻 害
	W>12	饱 和		弱 冻 胀	轻 微 冻 害
粉粘粒含量≥15% 的粗粒土、细砂、 粉砂	W≤12	稍 湿	h _w >1.5	不 冻 胀	无 冻 害
	12<W≤18	潮 湿		弱 冻 胀	轻 微 冻 害
	W>18	饱 和		冻 胀	严 重 冻 害
粘 性 土	W≤W _p	半 干 硬	h _w >2.0	不 冻 胀	无 冻 害
	W _p <W≤W _p +7	硬 塑		弱 冻 胀	轻 微 冻 害
	W _p +7<W≤W _p +15	软 塑		冻 胀	严 重 冻 害
	W>W _p +15	流 塑	不 考 虑	强 冻 胀	严 重 冻 害

* 本表参照《青藏高原多年冻土地区铁路勘测设计细则》中土冻胀性评价并略作修改。

断地变化,强度指标也随之而变化,因此很难给出定值,故在本文中给出融沉系数较为合适。

在非多年冻土区内,可根据季节冻结层及下伏松散层的岩性、厚度、季节冻结深度和地下水位等因素,并参照现有工程出现的冻害现象可分为无冻害、轻微冻害和严重冻害三类(表2)。

大量的勘测资料表明,沿砾多年冻土层中的地下冰多数集中于上限以下至5米以上的地层内,据统计该层的含冰量约占整个多年冻土层含冰总量的50—70%,个别地段可超过90%以上;一般建筑物的基础都埋置于该层内,因此本图主要是根据该层位的多年冻土类别,并参考上、下层的工程地质条件及地表不良冻土现象的发育程度等综合划分冻土工程地质地段,各类地段工程地质条件概括如下。

1. 良好的冻土工程地质地段 该类地段多集中于季节冻土区、岛状和大片连续多年冻土区内的融区部位及个别的多年冻土地段,岩性一般为坚硬、半坚硬及松散的粗碎石土类,含水量小,无冻害现象,多年冻土的少冰和多冰冻土类应划为该段。这类地段可按一般季节冻土地区设计,在工程上不需要进行特殊处理或保护冻土层。

2. 一般的冻土工程地质地段 包括多年冻土层中富冰冻土及非多年冻土区内轻微冻害的地段,在设计中应采用适当保护冻土层的措施,个别重要的工程需进行特殊处理。

3. 不良的冻土工程地质地段 包括多年冻土层中饱冰冻土类及非多年冻土区冻害严重的地段,地下水位埋藏浅,地表不良冰土现象发育。在设计中必须考虑保护冻土层,工程上需要进行特殊处理。

4. 极差的冻土工程地质地段 主要是多年冻土层的含土冰层类及厚层地下冰发育地段,地下水位埋藏浅,地表水充沛,不良冻土现象极为发育,冻土工程地质条件相当复杂,因此在设计中必须考虑严格保护多年冻土层,工程上需要作特殊处理或以避免为宜。

本图重点反映5米以上地层的冻土工程地质特征,因此本图所表示的内容可以和《1:60万青藏公路沿线多年冻土图》^[2]将地表剥去5米后所表示的内容相互弥补了不足之处。这种做法也不十分完善,即不能完全反映出所有松散层的冻土工程地质性质,但从工程上考虑这种划分区、亚区及地段的方案是偏于安全的。

在平面图上,各区、亚区分别用罗马字及不同颜色表示,大片连续多年冻土区用较深的颜色表示,岛状多年冻土及季节冻土区分别用较浅些颜色表示;在一亚区的不同地段采用同一色调深浅变化的方法来

表示,从良好地段至极差地段颜色应逐渐变深。

表层5米以上地层的岩性和松散层的成因是冻土工程地质条件基本因素之一,考虑到多年冻土的分类和物理力学性质的相似性,将该层岩性简化成四类:坚硬或半坚硬岩石、软弱类岩石、粗碎屑土和粘性土,各类的分布范围分别用不同线条表示,成因用符号表示。

为了表达各种大地貌单元上松散层的岩性、成因及地层年代、多年冻土厚度、上限埋深、冻土类别在垂直方向上的变化、冻土层与地形、地表水、地下水、地质构造等因素之间的关系,图上分别附加了剖面图和柱状图。

在编图区内,主要的不良冻土现象用非比例尺符号表示在平面图上以示其分布位置。

分区说明表中分别列出各区、亚区和地段的名称及相应的区段代号;对每个地段进行主要的冻土工程地质条件描述,提出相应的评价;并对冻土层的工程地质性质和条件的变化进行趋势性的预报。表中还指出工程修筑后可能会产生冻害(冻胀、融沉和翻浆等)的地段和可能出现的不良冻土现象(冻胀丘、冰椎、热喀斯特等);并提出了各区段的建筑原则及冻土区内水热改良、环境保护等措施。

按照三级区划编图区内共分成3个区、15个亚区、43个地段。根据公路所经过的长度各类地段统计于(表3)。

表3 青藏公路沿线(编图区内)冻土工程地质地段一览表

地段类型	共划出的地段数	公路所经过的长度(公里)	占总长度(%)
良好地段	7	91	15.4
一般地段	15	177	30.0
不良地段	12	199	33.7
极差地段	9	123	20.9

由表3所示,编图区内良好的和一般的冻土工程地质地段占总长度的45.4%,由此表明在冻土区内同样存在着很多较好的冻土工程地质地段。沿线许多工程建筑物经多年使用仍无破坏的事实证明在多年冻土区内修筑工程时,只要充分地认识和掌握冻土的分布规律及冻土层的工程地质特性,合理选址、精心设计和施工,就能减少或消除冻害,使工程经久耐用。

参加该项工作的还有程国枢、邢泽民、陈继良、李作福、尹承庆等同志,在此一并感谢。

参考文献(略)