

多年冻土及盐渍土地区道路工程研究丛书

Technology for Highway Engineering
in Permafrost and Saline Soil Regions

多年冻土及盐渍土地区 公路工程技术

房建宏 霍 明 章金钊 李东庆 编著



兰州大学出版社

多年冻土及盐渍土地区道路工程研究丛书

Technology for Highway Engineering
in Permafrost and Saline Soil Regions

多年冻土及盐渍土地区 公路工程技术

房建宏 霍 明 章金钊 李东庆 编著



青海省交通科学研究所

中交第一公路勘察设计研究院有限公司

中国科学院寒区旱区环境与工程研究所

多年冻土区公路建设与养护技术交通行业重点实验室青海研究观测基地

冻土工程国家重点实验室



兰州大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

多年冻土及盐渍土地区公路工程技术/房建宏,霍明,章金钊,李东庆
编著. —兰州:兰州大学出版社,2011.12

ISBN 978-7-311-03733-8

I. ①多… II. ①房…②霍…③章…④李… III. ①多年冻土—冻
土区—道路工程—指南②盐渍土地区—道路工程—指南 IV. ①U41-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第218300号

责任编辑 魏春玲 雷鸿昌

封面设计 张友乾

书 名	多年冻土及盐渍土地区公路工程技术
作 者	房建宏 霍 明 章金钊 李东庆 编著
出版发行	兰州大学出版社 (地址:兰州市天水南路222号 730000)
电 话	0931-8912613(总编办公室) 0931-8617156(营销中心) 0931-8914298(读者服务部)
网 址	http://www.onbook.com.cn
电子信箱	press@lzu.edu.cn
印 刷	兰州人民印刷厂
开 本	787 mm × 1092 mm 1/16
印 张	12.5
字 数	259 千
版 次	2011年12月第1版
印 次	2011年12月第1次印刷
书 号	ISBN 978-7-311-03733-8
定 价	46.00 元

(图书若有破损、缺页、掉页可随时与本社联系)

序

青海省交通厅厅长

杨伯江

001

青海省位于青藏高原的东北部,自然条件恶劣,地质条件复杂。公路作为长达数十至数百公里的带状构造物,跨河湖沼泽,经过不同的地层、地质构造单元和地震带,易受各种地质灾害及潜在致灾因素的影响。随着青海省公路建设的不断发展,在公路建设中面临的地质环境等问题越来越多。作为青海省广泛分布的多年冻土、盐渍土等特殊地质灾害,成为影响和制约青海省公路建设的主要地质灾害,做好其防治工作,对不断提高公路工程的经济效益、社会效益和环境效益,具有重要的现实意义。

青海高原多年冻土分布广泛,西、中部昆仑山—可可西里为我国高原多年冻土发育中心,北部阿尔金山、祁连山片状—岛状多年冻土断续分布,东部巴颜喀拉山高山冻土岛占据山顶山岭,南部唐古拉山大片连续多年冻土连绵分布。青海省多年冻土分布面积约占青藏高原多年冻土分布总面积的 36%,为我国多年冻土分布第二大省。国道 109 线、214 线、227 线在青海省内穿越多年冻土区千余公里,还有多条省道也与多年冻土相伴。

青海柴达木盆地是我国内陆盐渍土主要地区之一,在面积约 24 万平方公里的柴达木盆地,盐渍土区有近千公里的干线公路。215 线举世闻名的“万丈盐桥”段,是典型的干胀盐渍土和过湿盐渍土地段,表层含盐量达 20% 以上,由于盐渍土特殊的工程性质,导致该地区公路地质灾害屡屡发生,盐渍土与岩盐公路的主要病害有盐胀、松散、裂缝、沉降和降水后发生溶淋而泥泞,造成路面坎坷不平。

近年来,青海省交通科技研究紧紧围绕全省交通建设和运输生产中的关键技术问

题开展工作,使多年困扰交通发展的一些重大技术问题得到解决,产生了较好的社会效益和经济效益。在交通运输部的支持下,围绕青海高原多年冻土和盐渍土地地区公路建设和养护中存在的技术问题,青海省交通科学研究所、中交第一公路勘察设计院有限公司、中国科学院寒区旱区环境与工程研究所、北京交通大学、同济大学等单位开展了“多年冻土地地区公路工程地质研究”、“多年冻土地地区公路病害和机理研究”、“水、热、力耦合效应与路基路面温度场变化规律的研究”、“多年冻土地地区路基稳定性技术研究”、“多年冻土地地区路面设计与施工技术研究”、“多年冻土地地区桥涵工程技术研究”、“多年冻土地地区生态环境保护与评价技术研究”、“多年冻土地地区公路养护与维修技术研究”、“重盐碱地区公路翻浆处治技术、材料及工艺的研究”、“青海万丈盐桥处治技术研究”、“盐渍土地地区公路桥涵及构造物防腐蚀技术研究”等项目研究,取得了不少突破性的成果。这些研究项目所获得的科研成果,在实践中得到了广泛的推广和应用,也是编写《多年冻土及盐渍土地地区公路工程技术》的基础。

《青海省国民经济和社会发展的第十二个五年规划纲要》提出,要完善交通运输网络,提高通畅水平和通达深度,建设综合运输大通道和综合交通枢纽,优化各种运输方式的衔接,全面提高交通运输能力和效率。加强国道、省道干线公路、出省通道和资源开发、旅游、农村公路建设,增加密度,提高等级,构建“六纵九横二十联”公路网。力争到 2015 年全省公路通车里程突破 70 000 公里,高等级公路突破 9 000 公里,其中高速公路达到 3 000 公里。

交通发展,科技先行。要完成“十二五”提出的交通发展目标,必须以科技创新为支撑,以技术突破为引领,而《多年冻土及盐渍土地地区公路工程技术》一书正是对近年来青海高原多年冻土及盐渍土地地区公路建设和养护中所取得的科技创新成果的总结,它代表了目前国内该领域技术研究的最高水平,在“十二五”开局之年出版此书,可谓恰逢其时,必将为技术成果转化为现实生产力提供有力借鉴。

随着国家经济建设重心向中西部倾斜,青海省的大规模开发已势在必行,多年冻土和盐渍土地地区的公路交通基础设施建设是重中之重,任重而道远。广大交通科研工作者正沿着实践、认识、再实践、再认识的路线前行,为实现多年冻土和盐渍土地地区公路建设和养护工作的新进展、新突破而不懈努力着。此书的出版必将对青海省多年冻土和盐渍土地地区公路的规划、设计、施工和管理起到有力的支撑作用,使青海省的公路建设水平迈上新的台阶,从而产生巨大的社会、经济和环境效益,对推动青海省社会、经济 and 环境的可持续发展,意义重大,影响深远。

二〇一一年十二月

前 言

近年来,青海省的公路交通建设和养护技术快速发展,多年冻土、盐渍土地地区公路建设和养护技术研究取得了很大的成就,其总体研究水平达到国际先进水平。为系统总结多年冻土、盐渍土地地区公路建设和养护技术研究成果,加快科学技术成果转化,以便为未来工程建设提供技术支撑,在青海省交通厅的大力支持下,青海省交通科学研究所、中交第一公路勘察设计研究院有限公司、中国科学院寒区旱区环境与工程研究所、多年冻土区公路建设与养护技术交通行业重点实验室青海研究观测基地和冻土工程国家重点实验室共同组织编写了《多年冻土及盐渍土地地区公路工程技术》。

《多年冻土及盐渍土地地区公路工程技术》是集体智慧的结晶,凝聚着所有参与其中的科技工作者实践、探索、再实践、再探索的辛勤劳动。多年来广大交通科技工作者立足青海高原,为青海高原的公路建设和养护技术的发展,坚持不懈,努力拼搏,为青海省交通事业的蓬勃发展做出了较大贡献。

“多年冻土地地区公路勘察技术”在中交第一公路勘察设计研究院有限公司、中国科学院寒区旱区环境与工程研究所、中铁第一勘察设计院等单位完成的交通部西部交通建设科技项目“多年冻土地地区公路工程地质研究”成果的基础上,由霍明、路勋负责编写。

“多年冻土地地区公路路基设计技术”在中交第一公路勘察设计研究院有限公司、中国科学院寒区旱区环境与工程研究所、青海省公路科研勘测设计院、黑龙江省公路勘察设计院与绍兴文理学院完成的交通部西部交通建设科技项目“多年冻土地地区路基稳定性技术研究”成果的基础上,由霍明、章金钊负责编写。

“多年冻土地地区公路路面设计技术”在中交第一公路勘察设计研究院有限公司等多家单位 1973 年至 2007 年共同完成的“青藏公路多年冻土区黑色路面修筑技术”系列研究成果的基础上,由霍明、章金钊和台电仓负责编写。

“多年冻土地地区桥梁涵洞设计技术”是对中交第一公路勘察设计院有限公司等多家单位近 40 年研究成果的提炼与再创新,由章金钊、刘戈负责编写。

“多年冻土地地区公路病害防治技术”主要依托交通部西部交通建设科技项目“多年冻土地地区公路病害机理研究”成果编写,参加项目的主要研究人员有房建宏、盛煜、韩忠奎、温智、徐安花、周正德、黄波、陈继、黄世静、张海洲、辛海生、王建良、李焕青、马平安、薛兆峰、陈红,由房建宏、盛煜、徐安花、韩忠奎负责编写。

“多年冻土地地区公路养护与维修技术”主要依托交通部西部交通建设科技项目“多年冻土地地区公路养护与维修技术研究”成果编写,参加项目的主要研究人员有徐安花、韩继国、房建宏、时成林、李东庆、陈东丰、李焕青、王达亮、张有寿、黄波、孙延忠、马平安、崔雷、黄世静、盛煜、张学志、陈红、梁晶、薛兆峰、付秀英、曹淑霞,由徐安花、韩继国、房建宏、时成林、李东庆负责编写。

“盐渍土地地区道路翻浆处治技术”主要依托交通部西部交通建设科技项目“重盐碱地区公路翻浆处治技术、材料及工艺的研究”成果编写,参加项目的主要研究人员有房建宏、薛明、颜强、徐安花、黄彭、马平安、王小生、黄世静、朱立国、韩忠奎、常旭、曹淑霞、赵国华、付秀英,由房建宏、薛明、颜强、徐安花负责编写。

“盐渍土地地区公路桥涵及构筑物防腐蚀技术”主要依托交通部西部交通建设科技项目“盐渍土地地区公路桥涵及构造物防腐蚀技术研究”成果编写,参加项目的主要研究人员有徐安花、薛明、房建宏、钟世云、黄世静、张玲玲、李焕青、鲍明轩、黄波、曹黎明,由徐安花、房建宏、薛明负责编写。

《多年冻土及盐渍土地地区公路工程技术》所依托科技项目始终得到了交通运输部科技司、交通部西部交通建设科技项目管理中心、青海省交通厅的大力支持,借此机会表示衷心的感谢。

由于时间仓促及编者水平有限,书中难免存在疏漏,望广大读者批评指正。如有问题和建议请函告青海省交通科学研究所,以便修改完善。

青海省交通科学研究所

中交第一公路勘察设计院有限公司

中国科学院寒区旱区环境与工程研究所

多年冻土区公路建设与养护技术交通行业重点实验室青海研究观测基地

冻土工程国家重点实验室

二〇一一年十二月

导 引

第一部分 多年冻土地区公路勘察技术 / 001

针对多年冻土地区的工程地质分类,提出了多年冻土地质勘察内容、取样方法以及专项试验项目,论述了工程地质观测的技术要求,规范了工程阶段的资料整理和成果提交方式。旨在指导多年冻土地区公路工程地质勘察。

第二部分 多年冻土地区公路路基设计技术 / 033

针对多年冻土含冰量、地温特征,提出多年冻土地区公路路基设计时应遵循保护冻土、控制融化速率、预融的原则,同时采取主动降温与被动保护相结合、保护冻土路基与保护冻土环境相结合的具体工程措施和方法。

第三部分 多年冻土地区公路路面设计技术 / 059

多年冻土地区公路路面设计应满足其特殊的使用条件,合理选择各层材料及结构类型,综合考虑公路交通等级等因素,确定满足技术要求的沥青路面结构组合。

第四部分 多年冻土地区桥梁涵洞设计技术 / 071

多年冻土地区桥梁涵洞工程设计应根据其地基工程地质特征,合理选择结构类型,桥涵地基基础设计应遵循保持冻结或

容许融化的原则、桥涵附属工程应遵循多填少挖的原则,应考虑温度、水分、冻胀力对桥梁涵洞基础稳定性的影响,采取相应的工程措施。

第五部分 多年冻土地区公路病害防治技术 / 085

总结了多年冻土地区公路路基主要病害类型及其形成机理,并对冻土工程地质条件稳定性进行了评价,提出了冻土地区公路路基病害防治对策,确立了多年冻土地区路基设计的原则。

第六部分 多年冻土地区公路养护与维修技术 / 137

规范了多年冻土地区公路养护与维修的内容,针对公路病害类型与特征,提出了创新性的路基、路面、桥梁、涵洞等工程的养护与维修技术。

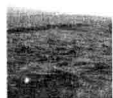
第七部分 盐渍土地区道路翻浆处治技术 / 165

针对盐渍土地区公路翻浆病害发生的机理,阐述了其判定与勘察方法,提出了换土法、设置隔断层、灌浆补强法等翻浆处治技术以及相关的新材料、新工艺。

第八部分 盐渍土地区公路桥涵及构筑物防腐蚀技术 / 181

针对盐渍土地区公路桥涵及构筑物的腐蚀病害机理,阐述了其判定与勘察方法,提出应采用自密实防腐水泥混凝土或普通水泥混凝土、防腐涂层、防腐砂浆、钢筋保护层等预防措施。

索引 / 191



第一部分

多年冻土地区公路勘察技术

目 录

- 1 总则 / 003
- 2 前期准备工作 / 003
- 3 多年冻土工程地质分类 / 004
- 4 多年冻土地质调查与测绘 / 007
- 5 多年冻土工程勘探与取样 / 008
- 6 多年冻土试验 / 014
- 7 工程地质观测 / 017
- 8 各工程阶段资料整理与提交的成果 / 019
- 附录 A 冻土物理参数 / 025
- 附录 B 冻融土的热物理参数 / 026
- 附录 C 冻土力学参数 / 031



第一部分

多年冻土地区公路勘察技术

目 录

- 1 总则 / 003
- 2 前期准备工作 / 003
- 3 多年冻土工程地质分类 / 004
- 4 多年冻土地质调查与测绘 / 007
- 5 多年冻土工程勘探与取样 / 008
- 6 多年冻土试验 / 014
- 7 工程地质观测 / 017
- 8 各工程阶段资料整理与提交的成果 / 019
- 附录 A 冻土物理参数 / 025
- 附录 B 冻融土的热物理参数 / 026
- 附录 C 冻土力学参数 / 031



1 总 则

1.1 为适应多年冻土地区公路工程建设需要,指导多年冻土地区公路工程地质勘察,保证勘察质量,制定“多年冻土地区公路勘察技术”。

1.2 本技术适用于多年冻土地区新建公路和改建公路的工程地质勘察。

1.3 多年冻土地区公路工程地质勘察,应查明多年冻土及季节活动层土体的成因、类别、分布范围、物理参数、力学参数,分析修建道路后多年冻土的发展趋势及其对道路可能产生的危害程度,评价多年冻土地区道路的工程地质稳定性,并提出有效的处理措施。

1.4 冻土工程地质勘察的任务是在充分收集、分析多年冻土地区道路工程已有的科研、勘察、设计、施工等有关资料的基础上,进一步查明沿线多年冻土以及冻土不良地质现象发育区段的冻土工程地质特征,分析和评价公路路基下多年冻土的动态变化和稳定条件,为施工设计提供详细的工程地质资料和所需的参数。

1.5 多年冻土地区公路工程地质勘察,除应符合本技术外,尚应符合国家和交通部颁发的现行有关标准、规范的规定。

2 前期准备工作

2.1 多年冻土地区公路工程地质勘察准备工作应广泛收集以下内容:

2.1.1 沿线气象、气候资料,包括气温、降水量、蒸发量、风向、风速、日照、辐射、地温覆盖厚度与密度,一年内暖季和寒季的起讫、持续时间,冻结、融化深度等。

2.1.2 沿线已有的地形、地貌、工程地质、水文地质、多年冻土以及环境保护等资料。

2.1.3 以往做过的相关区域多年冻土特征:多年冻土的分布范围、上限、厚度、成分、含冰量、冰冻构造、地温年变化深度、年平均地温;季节活动层的深度、冻融过程、土体性质;冻土的物理、热物理及力学性质以及用于评价冻土工程地质条件变化特征的原始资料等。

2.1.4 多年冻土地区道路及其他有关的科研、试验工程资料。

2.1.5 原有公路建设、改建工程的设计、施工及原有道路路况资料。

2.1.6 认真研究各有关方面的审批、评议和意见以及与建设工程有关的可资利用的资料。

2.2 在综合研究所收集的资料后,编制工作大纲,完成勘察、勘探、试验设备、仪器的准备和校验工作。

2.3 组织有关工程技术人员熟悉和核对现场情况,确定重点勘察路段,落实勘探(孔)位,补充、修正勘探大纲,要做到不缺项、不遗漏勘探内容。

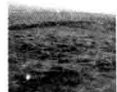
3 多年冻土工程地质分类

3.1 根据平面分布特征,多年冻土可分为连续多年冻土和岛状多年冻土;根据剖面分布特征,多年冻土可分为衔接多年冻土和不衔接多年冻土;根据含冰量,多年冻土的类别可分为少冰冻土、多冰冻土、富冰冻土、饱冰冻土、含土冰层;当冰层厚度大于 2.5cm 且其中不含土时应定名为纯冰层。依据多年冻土岩性、含水量及其特征对其进行综合冻土工程分类,见表 3-1。

表 3-1 综合冻土工程分类

冻土类别	岩土名称	总含水量	构造类型	融化后的潮湿程度
		$W(\%)$		
少冰冻土	碎(卵)石、砾、粗中砂(粒径 $<0.075\text{mm}$ 、含量 $\leq 15\%$)	$W<10$	整体状构造	潮湿
	碎(卵)石、砾、粗中砂(粒径 $<0.075\text{mm}$ 含量 $>15\%$)	$W<12$		稍湿
	粉、细砂	$W<14$		
	粉土	$W<17$		
	黏性土	$W<W_p$		坚硬
多冰冻土	碎(卵)石、砾、粗中砂(粒径 $<0.075\text{mm}$ 、含量 $\leq 15\%$)	$10\leq W<15$	微层状构造	饱和
	碎(卵)石、砾、粗中砂(粒径 $<0.075\text{mm}$ 、含量 $>15\%$)	$12\leq W<15$		潮湿
	粉、细砂	$14\leq W<18$		
	粉土	$17\leq W<21$		
	黏性土	$W_p\leq W<W_p+4$		硬塑
富冰冻土	碎(卵)石、砾、粗中砂(粒径 $<0.075\text{mm}$ 、含量 $\leq 15\%$)	$15\leq W<25$	层状、网状构造	饱和出水(出水量小于 10%)
	碎(卵)石、砾、粗中砂(粒径 $<0.075\text{mm}$ 含量 $>15\%$)	$15\leq W<25$		饱和
	粉、细砂	$18\leq W<28$		
	粉土	$21\leq W<32$		
	黏性土	$W_p+4\leq W<W_p+15$		软塑
饱冰冻土	碎(卵)石、砾、粗中砂(粒径 $<0.075\text{mm}$ 、含量 $\leq 15\%$)	$25\leq W<44$	层状构造	饱和大量出水(出水量为 10%~20%)
	碎(卵)石、砾、粗中砂(粒径 $<0.075\text{mm}$ 含量 $>15\%$)	$25\leq W<44$		饱和出水(出水量小于 10%)
	粉、细砂	$28\leq W<44$		
	粉土	$32\leq W<44$		
	黏性土	$W_p+15\leq W<W_p+35$		流塑
含土冰层	碎(卵)石、砾石、砂、粉土	$W\geq 44$	悬浮状构造	饱和大量出水(出水量为 10%~20%)
	含土冰层	$W\geq W_p+35$		流塑

注: W_p 为塑限。



3.2 多年冻土的地温是表征多年冻土热稳定性的重要指标,依据多年冻土年平均地温(指地温年较差为 0°C 深度处的地温)特征,其分类见表3-2。

表 3-2 多年冻土地温类型划分表

冻土地温类型及热稳定性	年平均地温(T_{q})
低温稳定多年冻土	$T_{\text{q}} < -2^{\circ}\text{C}$
低温基本稳定多年冻土	$-2^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{q}} < -1^{\circ}\text{C}$
高温不稳定多年冻土	$-1^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{q}} < -0.5^{\circ}\text{C}$
高温极不稳定多年冻土	$-0.5^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{q}} < 0^{\circ}\text{C}$

3.3 依据多年冻土岩性、含水量其融沉特性工程分类见表3-3。

表 3-3 多年冻土融沉等级分类表

冻土类别	岩土名称	总含水量	融沉系数	融沉等级	融沉类别
		$W(\%)$	δ		
少冰冻土	碎(卵)石、砾、粗中砂(粒径 $<0.075\text{mm}$ 、含量 $\leq 15\%$)	$W < 10$	$\delta < 1$	I	不融沉
	碎(卵)石、砾、粗中砂(粒径 $<0.075\text{mm}$ 、含量 $> 15\%$)	$W < 12$			
	粉、细砂	$W < 14$			
	粉土	$W < 17$			
	黏性土	$W < W_p$			
多冰冻土	碎(卵)石、砾、粗中砂(粒径 $<0.075\text{mm}$ 、含量 $\leq 15\%$)	$10 \leq W < 15$	$1 \leq \delta < 3$	II	弱融沉
	碎(卵)石、砾、粗中砂(粒径 $<0.075\text{mm}$ 、含量 $> 15\%$)	$12 \leq W < 15$			
	粉、细砂	$14 \leq W < 18$			
	粉土	$17 \leq W < 21$			
	黏性土	$W_p \leq W < W_p + 4$			
富冰冻土	碎(卵)石、砾、粗中砂(粒径 $<0.075\text{mm}$ 、含量 $\leq 15\%$)	$15 \leq W < 25$	$3 \leq \delta < 10$	III	融沉
	碎(卵)石、砾、粗中砂(粒径 $<0.075\text{mm}$ 、含量 $> 15\%$)	$15 \leq W < 25$			
	粉、细砂	$18 \leq W < 28$			
	粉土	$21 \leq W < 32$			
	黏性土	$W_p + 4 \leq W < W_p + 15$			
饱冰冻土	碎(卵)石、砾、粗中砂(粒径 $<0.075\text{mm}$ 、含量 $\leq 15\%$)	$25 \leq W < 44$	$10 \leq \delta < 25$	IV	强融沉
	碎(卵)石、砾、粗中砂(粒径 $<0.075\text{mm}$ 、含量 $> 15\%$)	$25 \leq W < 44$			
	粉、细砂	$28 \leq W < 44$			
	粉土	$32 \leq W < 44$			
	黏性土	$W_p + 15 \leq W < W_p + 35$			
含土冰层	碎(卵)石、砾石、砂、粉土	$W \geq 44$	$\delta \geq 25$	V	融陷
	含土冰层	$W \geq W_p + 35$			

3.4 依据多年冻土区季节融化层土体类别、冻结前含水量、冻结期间地下水距冻结面的最小距离,其冻胀特性工程分类见表 3-4.

表 3-4 季节冻结层和季节融化层的冻胀性分类

土的名称	冻前天然含水量 $W(\%)$	地下水距冰结面的 最小距离 $h(m)$	冻胀率 (%)	冻胀等级	冻胀类别
碎(卵)石、砾、粗 中砂 (<0.074mm 粒径含量 $\leq 15\%$)	不考虑	不考虑	$\mu \leq 1$	I	不冻胀
碎(卵)石、砾、粗 中砂 (<0.074mm 粒径含量>15%)	$W \leq 12$	>1.0	$\mu \leq 1$	I	不冻胀
		≤ 1.0	$1 < \mu \leq 3.5$	II	弱冻胀
	$12 < W \leq 18$	>1.0			
		≤ 1.0	$6 < \mu \leq 12$	IV	强冻胀
	$W > 18$	>1.0			
		≤ 1.0	$1 < \mu \leq 3.5$	II	弱冻胀
粉砂、细砂	$W < 14$	>1.0			
		≤ 1.0	$3.5 < \mu \leq 6$	IV	强冻胀
	$14 \leq W < 19$	>1.0			
		≤ 1.0	$\mu > 12$	I	不冻胀
	$W > 19$	$0.5 < h < 1.0$			
		≤ 0.5	$3.5 < \mu < 6$	III	冻胀
粉土	$W \leq 19$	>1.5			
		≤ 1.5	$1 < \mu \leq 3.5$	II	弱冻胀
	$19 < W \leq 22$	>1.5			
		≤ 1.5	$6 < \mu \leq 12$	IV	强冻胀
	$W > 22$	>1.5			
		$0.5 < h < 1.5$	$\mu > 12$	I	不冻胀
黏性土	$W \leq W_p + 2$	>2.0			
		≤ 2.0	$1 < \mu \leq 3.5$	II	弱冻胀
	$W_p + 2 < W \leq W_p + 5$	>2.0			
		≤ 2.0	$6 < \mu \leq 12$	IV	强冻胀
	$W_p + 5 < W \leq W_p + 9$	>2.0			
		≤ 2.0	$\mu > 12$	I	不冻胀
	$W > W_p + 9$	>1.5			
		≤ 1.5	$3.5 < \mu < 6$	III	冻胀

3.5 以控制冻土路基稳定性的最大容许沉降量为指标,综合考虑多年冻土含冰类型、多年冻土年平均地温,以冻土路基稳定性为标准的公路工程多年冻土分类见表 3-5.

表 3-5 多年冻土类型与工程地质稳定性分类表

年平均地温 \ 含冰类型	少冰冻土	多冰冻土	富冰冻土	饱冰冻土	含土冰层
-0.0℃~-0.5℃	稳定	较稳定	不稳定	极不稳定	极不稳定
-0.5℃~-1.0℃	稳定	较稳定	不稳定	极不稳定	极不稳定
-1.0℃~-2.0℃	稳定	较稳定	不稳定	不稳定	不稳定
<-2.0℃	稳定	稳定	较稳定	不稳定	不稳定

4 多年冻土地质调查与测绘

4.1 多年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、定位观测以及冻土工程地质条件评价及其预报。

4.2 调查与测绘宽度应以能满足线路方案选择、工程设计和病害处理为原则,一般测绘宽度为路基中线两侧各 100m。对于冻土条件特别复杂的路段,为满足工程需要,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。

4.3 多年冻土工程地质勘察必须深入调查研究、查明建设地区的冻土工程地质条件,为选择线路方案、设计各类建筑物、制定施工方法、提出地质环境保护和恢复措施提供可靠依据。冻土工程地质调查,应包括下列主要内容:

4.3.1 查明地貌形态特征、分布情况和成因类型并划分地貌单元;查明地貌与第四纪地质、岩性、构造、地表水以及地下水等的关系。

4.3.2 查明冻土的分布、埋藏、成分、结构、地下冰类型及其与各种自然条件的关系。

4.3.3 查明季节冻结与季节融化层土体的成分、含水量、含冰量以及最大冻结与融化深度。

4.3.4 查明多年冻土的年平均地温、地表温度较差和多年冻土层的温度变化动态。

4.3.5 分析影响冻土分布的因素,包括地理纬度、海拔高度、地形、地貌、地表水体(湖塘、河流等)、植被、地质构造,岩土性质及其含水量等,用以分析其与冻土工程特征的关系。

4.3.6 查明高含冰量冻土的分布情况及分布规律。对复杂地段应进行详细工程地质调绘、勘察和相应的试验工作。

4.3.7 查明地下水位置、类别、活动情况、补给与排水条件以及地下水与地表水的联系。

4.3.8 调查现有道路及建筑物的状态及病害,评价冻土对道路及建筑物的影响程度,记录完好建筑物的结构形式及防护措施。

4.3.9 调查现有排水沟、挡水堆、截水沟等排水设施,记录好流水方向,以便系统设