

地学卷

冻土试验与冻害调查

张喜发 杨风学 冷毅飞 薛远峰 等 著



科学出版社

冻土试验与冻害调查

张喜发 杨风学 冷毅飞 薛远峰 等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书对作者在冻土勘察测试方面的研究成果和实践经验进行了较为系统的总结。全书分上下两篇,共8章:上篇着重介绍中俄原油管道沿线多年冻土勘察测试成果,内容包括多年冻土地温观测资料、冻土未冻水含量的经验确定方法、估计冻土融沉性指标的经验公式和冻土热学指标数据资料等;下篇主要介绍季冻区公路路基冻害钻探调查和现场观测数据资料、土的冻胀敏感性试验资料以及估计毛细水上升高度的经验公式。书中原创资料丰富,同时将其与现有规范文献进行分析比较。

本书可供工程建设各部门勘察、设计技术人员和大专院校工程地质、岩土工程、道路工程等专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

冻土试验与冻害调查/张喜发等著. —北京:科学出版社,2013.3

ISBN 978-7-03-037118-8

I. ①冻… II. ①张… III. ①冻土-试验 ②冻害-调查 IV. ①P642.14
②S426

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 049257 号

责任编辑:朱海燕 李秋艳 李 静 / 责任校对:刘亚琦

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:王 浩

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

骏杰印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013年3月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2013年3月第一次印刷 印张:14 3/4

字数:350 000

定价:79.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

我国冻土分布面积广,其中多年冻土区面积约占国土面积的 $1/5$,主要分布在青藏高原和东北大小兴安岭地区;中深度季节冻土($>1\text{m}$)面积约占国土面积的 $1/3$,集中分布在东北、华北和西北这三北地区。各类结构物的冻害一直是困扰这些地区工程建设的一个重要问题,特别是随着冻土区工程建设数量规模不断增大和全球气候变暖,深入开展冻害及其防治研究的重要性就愈加突出。

作者自 1998 年开始从事冻土方面的勘察和科研工作,主要包括中俄原油管道漠河—大庆段沿线多年冻土工程勘察;吉林省季节冻土区高速公路路基冻害调查与试验观测研究;公路路基土冻胀敏感性和水分迁移模拟试验研究等。以这些在实践活动中所获得的原始数据资料为基础,实时提交了若干相关生产和研究报告,陆续完成了许多研究生学位论文,并先后在《岩土工程学报》、《岩土力学》、《吉林大学学报(地球科学版)》、《哈尔滨工业大学学报》、《冰川冻土》、《工程勘察》和《公路》等期刊上发表了一批学术论文。现主要用统计学方法和分析比较方法对这些数据资料重新加工提炼,并加以系统化地汇集成书,以实现更好地与同行交流切磋、共同促进冻土物理与工程学科前行之目的。

全书分两篇。上篇着重阐释中俄原油管道沿线多年冻土勘察测试成果,主要内容包括:①管道沿线多年冻土带中地温观测数据资料;②根据混合量热法测试数据资料所总结出的估计冻土未冻水含量的经验方法;③根据大量冻土原状样融沉压缩试验数据资料而统计归纳出的估计冻土融沉性指标(融沉系数和体积压缩系数)的经验方程式,冻土融沉分级含水量界限值及其与有关规范比较;④冻土原状样和扰动样热学指标(导温系数、导热系数、骨架比热)测试数据资料及其分析比较等。下篇主要介绍季冻区公路路基冻害调查和防治研究工作成果,主要内容包括:①吉林省高速公路路基冻害钻探调查和现场观测取得的数据资料,以及在路基冻胀和水分迁移等方面总结出的一些规律性认识;②公路路基土冻胀敏感性试验数据资料及其分析比较;③预测毛细水稳定上升高度和有害上升高度的经验公式。

各章作者:第 1 章,张喜发、薛远峰、义忠贞;第 2 章,矫清先、姜龙;第 3 章,冷毅飞、赵意民、葛广林;第 4 章,杨风学、姜龙、吕玉兰;第 5 章,张喜发、杨风学、刘焕宝;第 6 章,张喜发、辛德刚;第 7 章,冷毅飞、薛远峰;第 8 章,张冬

青、张喜发。

应该强调,本书的原始数据资料大都是在恶劣环境和非常艰苦条件下取得的,周国龙、雷华阳、杜学玲、刘辉、许晖、程永辉、陈继、郭改梅、朱明双、汪雪瑞、杜兆成、朱春鹏、于元峰、姜龙、范家骅、姚华、张以晨、李雨浓、陈义民、孙振华、董斌、尹飞、逯兰、王伟、王英杰和蓝文魁等莘莘学子和专业技术人员都曾为此付出十分辛勤的劳动。

欢迎对本书中的一些试验观测数据资料加以使用乃至重新加工提炼,并希望注明其来源。

由于本书内容涉及面较广,作者水平有限,难免存在不足,恳请读者批评指正。

在开展冻土研究以及本书出版的过程中,得到了作者单位大庆油田工程有限公司(原大庆油田建设设计研究院)、黑龙江省电力设计院、吉林省交通厅和吉林大学建设工程学院的有关领导和同仁的大力支持,在此致以衷心的感谢。

张喜发

2012年10月于吉林大学

目 录

前言

上篇 冻土及其物理力学性质试验

第 1 章 冻土概述	3
1.1 冻土分布	3
1.2 冻土地温	4
1.3 冻土组成和构造	13
1.4 冻土中水的形态种类	17
1.5 土中孔隙水的冻结特征	18
1.6 冻土中未冻水和冰的动态平衡	21
1.7 土冻结过程的水分迁移和冻胀	25
第 2 章 冻土基本物理指标和土质分类	27
2.1 基本物理指标	27
2.2 土质分类定名	29
第 3 章 未冻水测试	32
3.1 量热法测试原理和仪器设备	32
3.2 试验结果和影响因素分析	33
3.3 确定未冻水含量的经验公式	37
3.4 量热法确定未冻水含量的其他经验公式	39
3.5 未冻水含量的其他测试方法简介	40
3.6 测温法原理及其分析	45
3.7 量热法与测温法试验结果对比分析	47
第 4 章 冻土融沉压缩性及分类	52
4.1 冻土的融化下沉和计算公式	52
4.2 冻土融化压缩试验	53
4.3 冻土融沉系数的经验确定方法	55
4.4 确定融沉系数有关经验方法间的比较	58
4.5 确定体积压缩系数的经验方法	61
4.6 多年冻土融沉性分类	64
第 5 章 冻土的热学性质	70
5.1 冻土的导热性质及经验值	70
5.2 冻土导热系数测试方法综述	80
5.3 典型土料热流计法模拟试验结果	83

5.4 典型土料热线法模拟试验·····	87
5.5 正规状态法测量冻土原状样导温系数·····	89
5.6 冻土骨架比热容测试·····	95
参考文献·····	98

下篇 季节冻土区公路路基冻害调查和试验观测研究

第6章 高速公路路基冻害钻探调查和现场观测·····	103
6.1 野外调查和现场观测研究工作概况·····	103
6.2 路基变形破坏状况和因素分析·····	110
6.3 道路冻深·····	117
6.4 路基冻胀变形·····	125
6.5 冻土融沉系数及其应用·····	141
6.6 路基土中的水分迁移变化·····	147
第7章 土的冻胀敏感性和分类·····	153
7.1 国内有关研究文献·····	153
7.2 试验工作概况·····	159
7.3 细粒土冻胀敏感性和分类·····	163
7.4 粗粒土冻胀试验数据和回归分析·····	178
7.5 粗粒土冻胀性分类·····	187
7.6 土质条件对砂土冻胀性的影响·····	190
7.7 原状样的冻胀性·····	197
7.8 细粒土法向冻胀力·····	201
第8章 毛细水上升高度试验研究·····	208
8.1 毛细水作用机理·····	208
8.2 综合性试验研究工作概况·····	210
8.3 试验曲线特性及影响因素·····	212
8.4 毛细水稳定上升高度经验公式·····	216
8.5 毛细水有害上升高度的确定·····	221
参考文献·····	227

上篇 冻土及其物理 力学性质试验

第 1 章 冻土概述

1.1 冻土分布

我国多年冻土主要分布在青藏高原和东北大小兴安岭地区。季节冻土分布面积很广,其中中重度季节冻土(冻深 $>1.0\text{m}$)主要分布在东北、华北和西北这三个地区。

东北大兴安岭多年冻土的形成和存在依赖于特定的自然地理条件,并呈现出相应的基本特征。

1. 大兴安岭自然地理条件

大兴安岭主山脉呈 NNE-SSW 走向,长约 1400km 。其北段主支脉伊勒呼里山近东西向延伸约 230km 。北部山地海拔多在 1000m 左右^[1]。

大兴安岭北段属于寒温带。该区受内陆及海上高低压与季风交替影响,总的表现为冬季漫长而干燥、严寒,夏季短促而温湿,年平均气温低,气温年较差大,属于大陆性季风气候。由南向北、自东向西年均气温递降,降水量亦逐渐减小^[1]。年均气温低是该区能发育和保存多年冻土的基本条件。

由于受西伯利亚-蒙古高压控制,该区冬季(11月中至翌年2月底)沟谷地带广泛分布着逆温层(气温随高度增加而升高的现象),这是该区气候的另一特点。冬季逆温层广泛稳定的存在对多年冻土的形成和发育过程有重要影响。

中俄石油管道漠河—大庆段和沿石油管道修建的我国多年冻土区第一条高等级公路加格达奇—漠河一级公路(以下简称加漠公路)沿线所涉及的较大河流有额木尔河、盘古河、大西尔根气河、呼玛河、塔河、多布库尔河和甘河。这些大河流河床底下都没有多年冻土^[2]。

区内绝大部分地面被森林、灌木丛、塔头草、苔藓层所覆盖。茂密的森林植被减少了到达地面的太阳辐射,阻碍了地温升高,对多年冻土发育及保护具有重要作用。

2. 大兴安岭多年冻土分布基本特征

根据周幼吾等^[1]研究,大兴安岭现存多年冻土层在 $51^{\circ}\sim 52^{\circ}\text{N}$ 以北地区,系晚更新世冰河期和晚全新世寒冷期所形成的冻土层叠加产物,而以南地区的冻土层是晚更新世寒冷期形成的。

我国经多年的冻土工程地质调查和长期地温观测,编制了冻土分布区划图,并将东北大小兴安岭多年冻土按冻土区和融土区各自所占比例关系划为三个冻土带或区^[1,2]:大片多年冻土带(后来称为不连续多年冻土带)、大片-岛状多年冻土带和零星岛状多年冻土带。中俄石油管道暨加漠公路沿线多年冻土属于后两个多年冻土带。

大兴安岭多年冻土分布具有如下三个主要特点：

(1) 主要受纬度地带性制约。不同于青藏高原海拔型冻土,该地区冻土属于高纬度冻土。最北部冻土层最厚,已有实测到的冻土最大厚度达 120m。由北向南,随年平均气温升高,多年冻土所占面积比减小,由大片分布转变为大片-岛状分布以至零星岛状分布,年平均地温逐渐升高,多年冻土厚度减小(表 1.1-1)。

表 1.1-1 中国东北多年冻土的分布特征^[1]

多年冻土层分区	年平均气温/℃	年平均地温/℃	多年冻土所占面积/%	多年冻土厚度/m
大片分布	<-5	-4~0	70~80	50~100
大片-岛状分布	-3~-5	-1.5~2	30~70	20~50
零星岛状分布	0~-3	-1~3~4	5~30	5~20

(2) 海拔影响。大兴安岭北部海拔 1000 多米,高于周围地区。在该地区多年冻土的发育中,尤其是大片多年冻土的出现,显然是海拔起了重要作用。

(3) 沟谷低洼地带冻土发育,特别是沟谷切割较深的沼泽发育地段冻土最厚。沟谷中冬季逆温层(沟底气温比分水岭一带低)的存在是产生这一现象的决定性因素。

由于气候变化和人为因素影响,大兴安岭多年冻土正处于退化之中^[2,3]。2007 年沿石油管道埋设的地温观测孔资料也可以证实这一点。

1.2 冻土地温

1.2.1 年平均地温及在冻土分类中的应用

1. 基本概念

多年冻土地温一般以年平均地温值高低加以表征。年平均地温是个兼有冻土科学研究意义和工程实用目的的重要指标,能较好地综合反映冻土形成历史、分布、厚度、稳定状态、变化趋势以及物理力学性质等特性,并作为工程结构物设计施工的重要依据。

众所周知,气温在一年中是逐月变化的,自然在地下一定深度以上的多年冻土层中的温度也是逐月变化的。通常把某深度处地温一年中变化幅度的一半称为地温年较差,图 1.2-1 中 A_1 和 A_2 分别表示 Z_1 和 Z_2 深度处的地温年较差。地温年较差在地表最大,随深度增加而减小,至某一深度其值为零,该深度称为地温年变化深度 h_2 。该深度以下的地温一年中不发生变化,而是受长期气候波动和深处地中热流影响而进行年际变化。

地温多年变化深度处的地温值称为年平均地温,常用 T_{cp} 表示。多年冻土的 T_{cp} 为负值,其值越低,表明多年冻土稳定性越大,冻土厚度越厚。

实际上,地温年变化深度值大小,除取决于地面温度年较差、年平均地温 T_{cp} 和岩土导温率等因素外,还和地温测量精度大小有关^[4]。

2. 中俄石油管道地温观测点年平均地温

2007 年春,结合中俄石油管道漠河—大庆段工程地质初步勘察工作,在近 400km 管

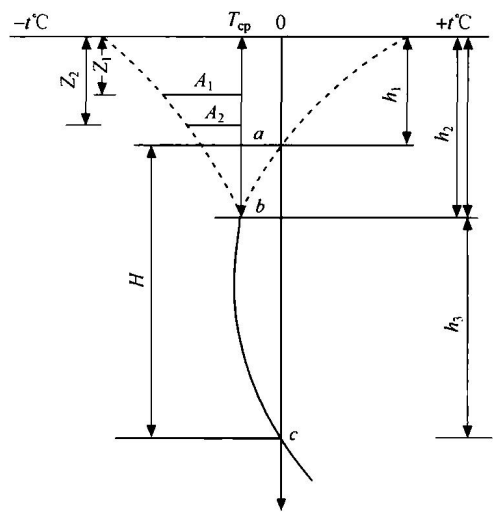


图 1.2-1 地温变化示意图

道沿线多年冻土带中埋设了 14 个固定式地温观测点,进行长期观测,每半月一次。根据观测数据,绘制地温-深度变化曲线,如图 1.2-2 所示。再根据各孔地温数据表和曲线束向下收敛情况,确定各观测点年平均地温 T_{cp} 值,结果见表 1.2-1。

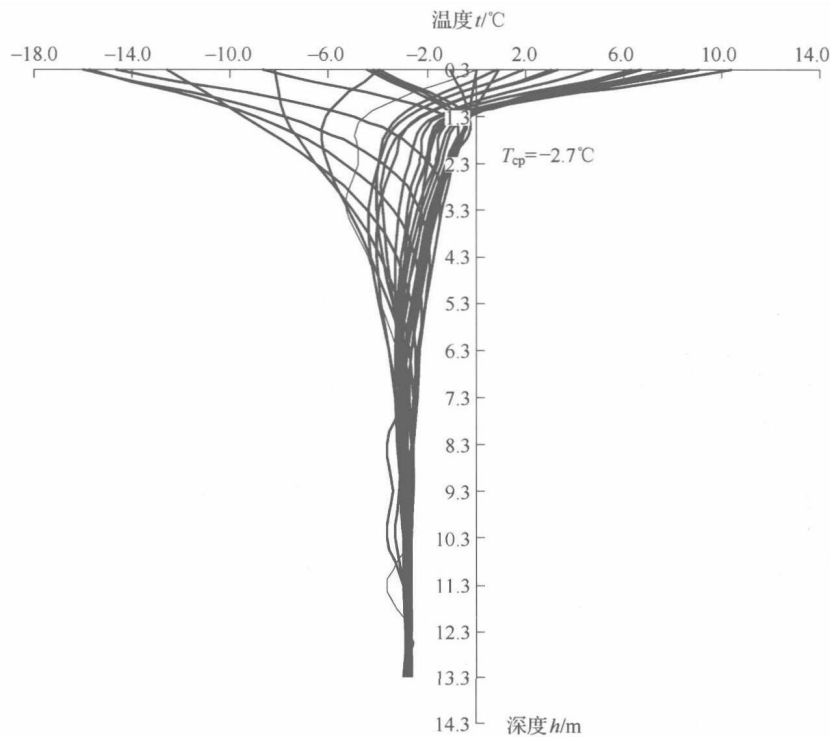


图 1.2-2 CW10 观测点温度变化曲线

表 1.2-1 沿线各观测点年平均地温值

观测 孔号	地点	坐标	海拔/m	微地貌单元	年平均地温 $T_{\varphi}/^{\circ}\text{C}$	年变化深度 h_2/m
CW01	兴安镇 二十五站	X0565208 Y5911886	255.5	额木尔河高漫滩,地势开阔,沼泽发育,杂草塔头发育,偶灌木丛	-1.7	12
CW03	二十二站	X0606304 Y5874575	308.3	山前缓坡,乔木发育	不足-0.1 (-0.05)	12
CW04	瓦拉干 2-3 支线	X0602233 Y5847158	423.4	簸箕形山间洼地,地势较开阔,乔灌木发育	+1.9	14~15
CW05	瓦拉干镇南	X0606916 Y5824803	438.0	沟谷内沼泽地,杂草塔头发育,灌木丛,靠阴面	-1.8	13~14
CW06	塔河北	加漠公路 275~ 276km 拐弯处	378.0	山间洼地,地势较开阔,乔木发育	-0.8	13
CW07	翠岗西北	X0613584 Y5771363	411.0	山间洼地,地势较开阔,乔灌木丛发育	-0.7	12
CW08	大乌苏	X0605197 Y5743558	477.0	簸箕形山间洼地,地势较开阔,乔木发育	不足-0.5 (-0.47)	11
CW09	新林北	X0596287 Y5730350	496.0	沼泽地,塔头高	-1.3	13
CW10	塔源北	X0588549 Y5705218	598.0	狭窄沟谷内,塔头草高,灌木丛	-2.7	13
CW11	新天南	加漠公路 103km 处	530	沼泽地,塔头较高	-1.4	10.5
CW12	小扬气镇南	X0592533 Y5619662	401	松树林	+1.9	14
CW13	加格达奇北	X0586028 Y5593408	338	坡脚与沼泽地交界附近,塔头不高	+3.0	14
CW14	东山村桥	G111 公路 2004km	318	杂草茂密,小水沟旁	+4.0	14
CW15	大杨树镇北	G111 公路 附近	290	塔头草高	+2.3	13

3. 多年冻土按地温分类

吴紫旺和刘永智提出的冻土温度分类见表 1.2-2^[5]。极高温冻土的地表年平均地温已处在正负交替变化之中;在人为因素影响下冻土的变化基本上是不可逆的。中短期内冻土即可较大地升温,人为上限明显下降,甚至冻土消失。低温冻土温度状态可长时期保持基本不变;受到短期因素干扰能在短期内恢复(1~2 年);当人为因素引起冻土融沉时,

采取一般措施可复原。中温冻土是种过渡类型,地温和冻土上限变化缓慢,可较长时期在某一数值和位置上波动。

表 1.2-2 多年冻土按温度的分类

冻土名称	低温冻土	中温冻土	高温冻土	极高温冻土
冻土年平均地温/℃	$<-2.0(-1.8)$	$-2.0\sim-1.0$	$-1.0\sim-0.5$	$\geq-0.5(-0.3)$
多年冻土厚度/m	$>70\sim80$	$50\sim70$	$30\sim50$	<30
对应气温/℃	<-5.5	$-5.5\sim-4.5$	$-4.5\sim-4.0$	≥-4.0

按吴紫旺和刘永智分类标准,表 1.2-1 中存在多年冻土层的 9 个观测点的冻土类型如表 1.2-3 所示。对 CW03,考虑到土的起始冻结温度影响,该点实际上已经完全退化为融土状态。

表 1.2-3 观测点多年冻土按地温分类

孔号	地点	年平均地温/℃	冻土类型
CW01	兴安镇二十五站	-1.7	中温冻土
CW03	二十二站	-0.05	极高温冻土
CW05	瓦拉干镇南	-1.8	中温冻土
CW06	塔河北	-0.8	高温冻土
CW07	翠岗西北	-0.7	高温冻土
CW08	大乌苏	-0.47	极高温冻土
CW09	新林北	-1.3	中温冻土
CW10	塔源北	-2.7	低温冻土
CW11	新天南	-1.4	中温冻土

汪双杰等提出的公路工程多年冻土分类方案见表 1.2-4^[6]。针对表中不同类型冻土,采用不同的冻土路基设计原则:①对融沉稳定型冻土,可以采取允许自由融化的设计原则;②对热稳定型冻土,应采取保护冻土的设计原则;③对不稳定型冻土,须采取主动冷却冻土地基、控制多年冻土融化速率的原则。

表 1.2-4 公路工程多年冻土分类方法

年平均地温		低含冰量冻土		高含冰量冻土		
		少冰冻土	多冰冻土	富冰冻土	饱冰冻土	含土冰层
高温冻土	$\geq-1.5^{\circ}\text{C}$	融沉稳定型冻土		不稳定型冻土		
低温冻土	$<-1.5^{\circ}\text{C}$			热稳定型冻土		

1.2.2 地温随深度和季节的变化

1. 基本概念

在多年冻土地区,通常把每年夏季融化、冬季冻结的接近地表的土层称为活动层(季节融化层和季节冻结层)。

从剖面构造看,季节冻土层与下伏多年冻土层相连的多年冻土称为衔接多年冻土,不与下伏多年冻土层相连的多年冻土称为非衔接多年冻土。

衔接多年冻土的融化从地表进行,而冻结从上下两个方向进行。非衔接多年冻土的冻结从地表进行,而融化从上下两个方向进行。

季节融化层达到最大深度的时间各地有差异。大兴安岭一般在9月中下旬至10月初。此时地表正开始回冻,融化过程仅靠在夏季积累的热量进行。

2. 石油管道地温观测点深度-温度-时间关系

在中俄石油管道沿线布置的14个地温观测点中,9个有多年冻土层,另5个是季节冻土或融区。

1) 多年冻土观测点地温等值线及冻土上限

典型的观测点深度-温度-时间剖面如图1.2-3所示。

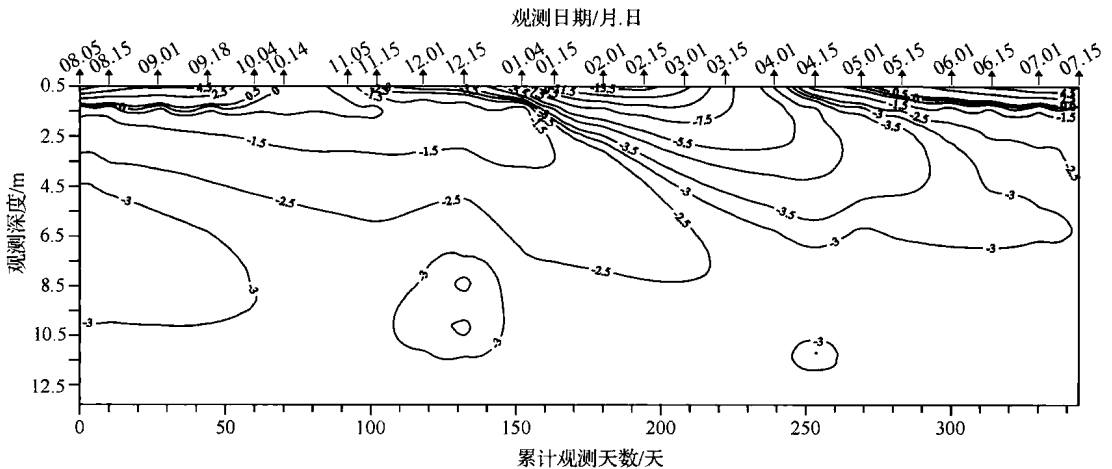


图 1.2-3 CW10 孔地温随深度和时间的变化

按各观测点等值线图和各孔地温观测数据确定的最大季节融化深度出现的时间、全部回冻时间和最大融化深度值(冻土上限)列于表1.2-5。可以看出年平均地温极小的CW03孔,长期间跨年度融化,冻土上限最大。年平均地温低的CW10孔和CW05孔,最大融化深度最浅。

应该指出,受土的起始冻结温度影响,表1.2-5中按零度线确定的达最大融化深度时间和全部回冻时间肯定要比实际早一些。

同样,由于土的起始冻结温度往往小于 0°C ,致使表1.2-5中按 0°C 线确定的冻土上限比用冻土器观测或用挖钻法确定的冻土上限要小一些。这种差别与活动层起始冻结温度和导热率大小有关。一般当颗粒较粗和含水量较大时,用地温-深度-时间剖面图中 0°C 线确定融化深度,与用开挖法或冻土器确定的深度可能比较接近;而当地层含水量小、颗粒细、塑性大时,用地温观测 0°C 线确定融化深度,将产生较大误差。另外,在地中热平衡时间较长即 0°C 线长时间在某深度停滞的情况下,也不适于用 0°C 线确定冻土上限^[4]。

表 1.2-5 多年冻土活动层融化期和最大融化深度(按 0℃ 线)

观测点 编号	地点	年平均地温/℃	达最大融化 深度时间	全部回冻时间	最大融化 深度/m
CW01	兴安镇二十五站	-1.7	8 月末	10 月末	1.4
CW03	二十二站	不足-0.1	翌年 3 月中旬	翌年 4 月中下旬	9.5
CW05	瓦拉干镇南	-1.8	9 月下旬	10 月末	1.2
CW06	塔河北	-0.8	9 月中旬	10 月末	1.8
CW07	翠岗西北	-0.7	9 月中旬	12 月中旬	2.7
CW08	大乌苏	不足-0.5	10 月初		2.9
CW09	新林北	-1.3	9 月中旬	10 月末	1.6
CW10	塔源北	-2.7	9 月中旬	10 月末	1.2
CW11	新天南	-1.4	9 月上旬	11 月上旬	2.1

2) 季节冻土观测点地温等值线及冻结深度

典型的多年冻土中融区观测点深度-地温-时间剖面如图 1.2-4 所示。按各观测点等值线图和各孔地温观测数据确定的最大季节冻结深度出现的时间、全部化通时间和最大冻结深度列于表 1.2-6。

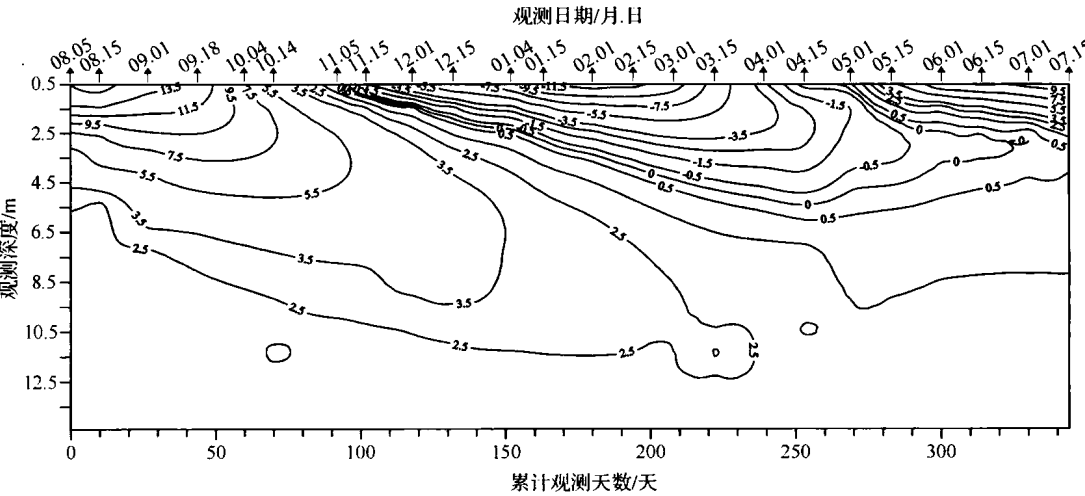


图 1.2-4 CW04 孔地温随深度和时间的变化

表 1.2-6 季节性冻土冻结期和最大冻结深度(按 0℃ 线)

观测点 编号	地点	年平均 地温/℃	达最大冻结 深度时间	全部化通 时间	最大冻结 深度/m	备注
CW04	瓦拉干 2-3 支线	1.9	4 月中旬	6 月下旬	5.0	多年冻土带中融区
CW12	小杨气镇南	1.9	3 月中旬	8 月份	3.5	
CW13	加格达奇北	3.0	3 月中旬	6 月上旬	2.4	
CW14	东山村桥	4.0	4 月中旬	5 月下旬	2.6	
CW15	大杨树镇北	2.3	3 月上旬	4 月上旬	1.9	

同样应该指出,由于土的起始冻结温度影响,表 1. 2-6 中所列达最大冻结深度时间和全部化通时间要比实际晚些,最大冻结深度要比实际大。

1. 2. 3 影响地温变化的因素和冻土退化标志

气候、大山脉、小地形、地表植被、岩土组成、雪盖、河流和人为活动等都是影响地温变化的因素。

仅就中俄石油管道沿线地温观测来说,位于近东西走向的伊勒呼里山脉的 CW09, CW10 和 CW11 三个孔的地温都比较低(表 1. 2-1)。特别是塔源镇 CW10 孔,位于塔河发源地不远,海拔高,沟谷切割即深又窄,且该处谷底沼泽发育,塔头最高近 80cm,结果观测年平均地温低达 -2.7°C 。

在本次 CW01~CW11 观测到的多年冻土区范围内,地温比较低的观测孔都位于沼泽发育地段,如 CW01, CW05, CW09, CW10 和 CW11,所在地形一般比较狭窄。CW01 孔虽然地势较开阔,并且附近有大河流额木尔河流过,但其位于离岸边较远的高河漫滩上,地表塔头高,积雪厚,近地表有 1.75m 厚泥炭和泥炭化地层(图 1. 2-5),结果观测到年平均地温为 -1.7°C 。

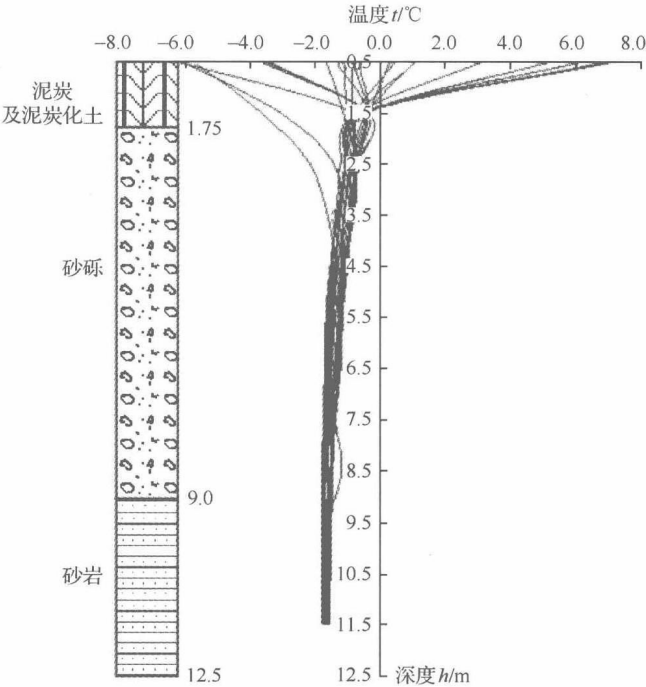


图 1. 2-5 CW01 地层岩性和地温曲线

相反,位于地势比较开阔的洼地和缓坡地段、沼泽不发育、松树等乔木茂盛地段的观测孔,地温都比较高,如 CW03, CW06, CW07 和 CW08(表 1. 2-1),有的是典型融区,如 CW04(图 1. 2-6)。

多年冻土退化的最明显和最主要的证据是多年冻土层消失和分布面积减少。大杨树