

冻土地基与工程建筑

吴紫汪 刘永智 著



海洋出版社

中国科学院冻土工程国家重点实验室 资助
中国科学院寒区旱区环境与工程研究所

冻土地基与工程建筑

Frozen Subsoil and Engineering

吴紫汪 刘永智 著



海洋出版社

2005年·北京

内 容 提 要

作者将从事冻土研究数十年获得的研究成果与所积累的资料和经验结合起来,详细阐述了冻土地基的特殊性及其与各类工程建筑 and 环境的相互关系,并从工程实践出发,列举了建筑物的各种冻害,揭示了造成冻害的原因,提出了行之有效的防治冻害的措施。最后,指出了保护脆弱的冻土区环境的迫切性。

本书可供寒区研究与工程技术人员及有关专业师生参阅。

图书在版编目(CIP)数据

冻土地基与工程建筑/吴紫汪,刘永智著. —北京:
海洋出版社,2005. 10
ISBN 7-5027-6449-6

I. 冻… II. ①吴…②刘… III. 冻土地基—关系
—建筑工程 IV. ①TU471.7②TU752

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 108218 号

责任编辑:金 炯

责任印制:严国晋

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

(100081 北京市海淀区大慧寺路 8 号)

兰州中科印务有限责任公司印制 新华书店经销

2005 年 10 月第 1 版 2005 年 10 月兰州第 1 次印刷

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:22.75

字数:704.7 千字 印数:1~1 200 册

定价:120.00 元

海洋版图书印、装错误可随时退换



(作者吴紫汪、刘永智合影,摄于楚马尔河高平原青藏公路上)

作 者 简 介

吴紫汪,1961年起从事冻土研究,研究员,国家级中青年有突出贡献专家。

刘永智,1975年起从事冻土研究与技术工作,研究员,现负责主持中国科学院寒区旱区环境与工程研究所青藏高原研究基地与铁路、公路沿线冻土工程动态监测观测与研究。

两位作者自1975年开始合作,先后负责、主持与以主要骨干参加“青藏铁路建设中冻土问题研究”、“青藏公路多年冻土区道路修筑技术问题的研究”、“西宁—张掖227国道冻土路基工程地质与修筑技术研究”、“青康公路冻土路基与修筑技术研究”、“格尔木—拉萨冻土区通信光缆埋设工程技术研究”、“冻土现场调查与非破坏勘探技术研究”、“冻土强度与流变性研究”、“冻土力学光弹模拟研究”、“冻土工程国家重点实验室建设”等工作。

由作者主持、负责课题先后有22项获国家、中国科学院、有关省部委科技成果奖,其中一、二等奖15项,出版专著8册,发表论文(含合作)190余篇。

两位作者一生均在冻土研究与技术工作中度过,为我国青藏高原冻土区的公路工程、铁路工程、输油管道工程、通信光缆工程、环境工程以及人工冻结凿井工程、冻土的物理力学性质与过程、高原冻土与工程温度动态特征研究、冻土工程国家重点实验室基础建设等努力勤奋工作。



1962 年摄于不冻泉。右者为我国冻土学研究
奠基人之一周幼吾研究员,后者为铁道部西
北研究所苏长伟先生,左为作者吴紫汪



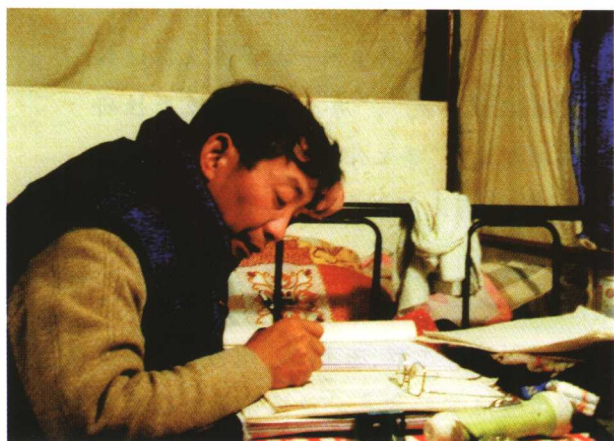
1985 年摄于美国寒区研究与工程实验室内



2001 年摄于青海省西宁市



1981 年摄于青藏公路那曲温泉开采现场



2002 年摄于青藏铁路北麓河中国科学院
铁路综合研究站内



2003 年摄于俄罗斯勒拿河畔

序 言

写本书的初衷是想把自己几十年来在冻土调查、勘探、观测、试验以及国外考察访问中积累的点点滴滴资料通俗直观地整理出来,希望它能对从事冻土区工程地质和工程设计工作的人员、寒区科学与工程专业的师生有所裨益。同时,也想引起人们对广袤冻土区的关注,大家都来关爱它、呵护它。

但由于本书只是总结自身的工作实践,鉴于这种实践的局限性,本书难免有些片面和缺乏系统性,因此,读者就权且把它作为 20 世纪后半叶冻土研究的一个侧面来看待吧!

写作过程中受到新、老同事的热情鼓励,周幼吾、朱林楠、俞祁浩、盛煜、牛富俊、郭兴民等同事为本书提供了部分照片,这里一并表示感谢。最后要特别感谢的是:在本书拟题、编写、审阅、出版过程中一直受到中国科学院冻土工程国家重点实验室的领导和同事门的大力支持和帮助,并在出版经费上,与中国科学院寒区旱区环境与工程研究所共同予以资助。

本书出版之际,正值我国建立专门冻土研究机构并开始开创性冻土研究四十五周年之时,特在此向我国冻土学科的开创者和奠基人表示衷心的祝贺。同时还要感谢中国科学院寒区旱区环境与工程研究所编辑出版部的金炯编审,孙良英、郝美玲、祝国存、梁红女士为本书的编辑出版所付出的辛勤劳动!

作 者

2005 年 7 月

目 次

第一章 一种特殊的地基——冻土地基	(1)
第一节 冻土地基冻融过程、温度和强度的反复性与可逆性	(1)
第二节 冻土地基含水量大且分布不均匀	(2)
第三节 冻土地基的积累性温度变化与突发性冻融变形	(4)
第四节 冻土地基的双重物性	(5)
第二章 地下冰与冻土构造	(7)
第一节 地下冰分类	(7)
第二节 冻土构造	(27)
第三章 冻土区的冻胀现象	(37)
第一节 冻融草丘	(37)
第二节 冻胀丘	(44)
第三节 冰椎	(54)
第四节 冻胀丘遗迹和假冻胀丘	(61)
第五节 影响冻胀的主要因素	(63)
第六节 冻结过程中土对构筑物的冻胀力	(68)
第四章 冻土区的热融现象	(72)
第一节 俄罗斯西伯利亚冻土区的自然热融现象若干例	(72)
第二节 青藏高原多年冻土区的自然热融现象若干例	(79)
第三节 影响融化下沉的主要因素与融沉量的确定	(84)
第五章 冻土的强度与变形	(91)
第一节 冻土的单轴强度特性	(91)
第二节 冻土的三轴强度特性	(97)
第三节 冻土流变性	(102)
第四节 冻土承载力的现场原位测定	(110)
第五节 基础与冻土间冻结强度	(114)
第六节 冻土的残余强度	(121)
第六章 冻土工程分类	(124)
第一节 冻土分类概况	(124)
第二节 冻土按温度分类	(125)
第三节 冻土的工程分类	(126)
第七章 冻土区工程地质调查与勘探	(134)

第一节 多年冻土工程地质条件的特点	(134)
第二节 冻土工程地质调查	(135)
第三节 冻土工程地质勘探	(136)
第四节 冻土温度、地下水的现场观测	(138)
第五节 物理、热物理和力学参数试验	(139)
第八章 冻土路基	(142)
第一节 冻土路基的若干特点	(142)
第二节 路基冻害类型	(143)
第三节 路基冻害防治	(176)
第四节 路基冻害的监测与突发事件的应对	(203)
第九章 冻土区桥梁工程	(204)
第一节 冻土区桥梁工程的若干特点	(204)
第二节 桥梁的冻害	(204)
第三节 桥梁冻害防治	(217)
第四节 青藏公路的桥梁范例与建设中的青藏铁路桥梁	(219)
第十章 冻土区涵洞工程	(224)
第一节 涵洞的常见冻害	(224)
第二节 涵洞冻害防治	(232)
第十一章 冻土区隧道工程	(242)
第一节 冻土区隧道的分区与分类	(242)
第二节 隧道的冻害	(247)
第三节 隧道的冻害防治	(248)
第十二章 冻土区房建工程	(266)
第一节 冻土区房屋地基基础的特殊性	(266)
第二节 冻土区房屋基础	(266)
第三节 冻土区房屋冻害与防治	(273)
第四节 俄罗斯冻土区城镇建设范例	(288)
第十三章 冻土区管线工程	(292)
第一节 管线工程的主要冻害	(292)
第二节 管线工程冻害防治	(294)
第十四章 冻土区环境保护	(301)
第一节 冻土区环境现状	(311)
第二节 冻土区环境保护中的几个措施	(340)
主要参考文献	(350)

Frozen Subsoil and Engineering

Chapter 1 A kind of particular subsoil—frozen subsoil	(1)
1. Repeatability and reversibility of freeze – thaw action、temperature and strength of frozen subsoil	··· (1)
2. High and nonuniform moisture in frozen subsoil	····· (2)
3. Accumulation of temperature change and sudden change of deformation in frozen subsoil	····· (4)
4. Double physical properties of frozen subsoil	····· (5)
Chapter 2 Ground ice and cryostructure	(7)
1. Classification for ground ice	····· (7)
2. Cryostructure	····· (27)
Chapter 3 Frost heaving phenomena in permafrost regions	(37)
1. Earth hummocks	····· (37)
2. Frost mound	····· (44)
3. Icing	····· (54)
4. Pingo remnant and pseudopingo	····· (61)
5. Impact factors on frost heaving	····· (63)
6. Frost – heave forces by soil on structure	····· (68)
Chapter 4 Thaw phenomena in permafrost regions	(72)
1. Natural thaw topography in the Siberia, Russia	····· (72)
2. Natural thaw topography in the Tibetan Plateau	····· (79)
3. Impact factors on thaw settlement	····· (84)
Chapter 5 Strength and deformation of frozen soil	(91)
1. Uniaxial strength behaviour of frozen soil	····· (91)
2. Triaxial strength behaviour of frozen soil	····· (97)
3. Rheological properties of frozen soil	····· (102)
4. Field determination for bearing capacity of frozen soil	····· (110)
5. Freezing strength between foundation and frozen soil	····· (114)
6. Residual strength of frozen soil	····· (121)
Chapter 6 Frozen soil classification for engineering	(124)
1. General situation of frozen soil classification	····· (124)
2. Frozen soil classification based on temperature	····· (125)
3. Frozen soil classification for engineering	····· (126)
Chapter 7 Engineering geological survey and exploration in permafrost region	(134)

1. Particular engineering geological condition of permafrost	(134)
2. Engineering geological survey for permafrost	(135)
3. Engineering geological exploration for permafrost	(136)
4. Field observations on frozen soil temperature and underground water	(138)
5. Tests on physical, thermophysical and mechanical parameters	(139)
Chapter 8 Frozen roadbed	(142)
1. Particularity of frozen roadbed	(142)
2. Types of frost damage to roadbed	(143)
3. Frost damage prevention for roadbed	(176)
4. Monitoring of frost damage to roadbed and measures for eventualities	(203)
Chapter 9 Bridge engineering in permafrost regions	(204)
1. Particularity of bridge engineering in permafrost regions	(204)
2. Frost damage to bridge	(204)
3. Frost damage prevention for bridge	(217)
4. Bridges on Qinghai – Xizang highway, and bridges on Qinghai – Tibet railway under construction	(219)
Chapter 10 Culvert engineering in permafrost regions	(224)
1. Common frost damage to culvert	(224)
2. Frost damage prevention for culvert	(232)
Chapter 11 Tunnel engineering in permafrost regions	(242)
1. Partition and classification for tunnel engineering in permafrost regions	(242)
2. Frost damage to tunnel	(247)
3. Frost damage prevention for tunnels	(248)
Chapter 12 Building engineering in permafrost regions	(266)
1. Particularity of building subsoil and foundation in permafrost regions	(266)
2. Building foundation in permafrost regions	(266)
3. Frost damage and its prevention for building	(273)
4. The examples of city constructions in permafrost regions of Russia	(288)
Chapter 13 Pipe line and mains engineering in permafrost regions	(292)
1. Main frost damage to pipe line and mains	(292)
2. Frost damage prevention for pipe line and mains	(294)
Chapter 14 Environmental protection in permafrost regions	(301)
1. Current environmental situation of permafrost regions	(311)
2. Measures for environmental protection in permafrost regions	(340)
References	(350)

第一章 一种特殊的地基——冻土地基

冻土是一种含冰的负温地质体,季节冻土遭受反复冻融作用,多年冻土多年保持冻结状态。用冻土作为建筑物地基时,由于含冰与反复的冻融作用,一方面使地基情况更为复杂,增大了地基的不稳定性,一般认为冻土地基属不良地基类型,但保持冻结的地基既是阻止水渗透的屏障又为建筑物提供强度保证。

第一节 冻土地基冻融过程、温度和强度的反复性与可逆性

(1) 多年冻土上部的活动层每年发生的冻融作用与过程大致相同,每年的冻结期与融化期基本相近,一般差值仅在 20 天左右。每年最大融化深度约相差 3~4 cm。活动层的融化期,自表面往下逐渐缩短。平年活动层最下部的 10% 深度处的融化期仅为上部 10% 深度处的 1/3。

在冻融作用下,活动层解冻过程中均发生融化下沉变形,而回冻过程则发生冻胀变形。在天然条件下,地基土每年的总变形幅度很小,限于几厘米,地面高程基本不变。但是在地基与建筑物相互作用时,由于水热条件与力学条件的改变,一般情况下,被干扰的地基土冻融过程与冻融变形特点发生很大改变,或者使地基吸热升温,此时发生的融化下沉变形会大于冻胀变形;或者使地基吸水而呈饱和状态,此时发生的冻胀变形会大于融化变形。于是原处于基本平衡状态的冻融变形失去了平衡,出现这种情况,则意味着基础可能发生病害。冻融过程总变形幅度越小或越接近平衡状态,地基基础就越稳定。

(2) 冻土温度在年变化深度范围内反复波动,这个深度大致为 13~15 m,在此深度内地温每年呈规律性波动(近似正弦波动,图 1-1),冻土学者在近百年前对此就作了深入研究^①。在青藏高原上,地面层几厘米之内地温波动幅度一般大于 25℃,1 m 深度处约为 10℃,5 m 深度约为 3~4℃,10 m 深度处波动幅度小于

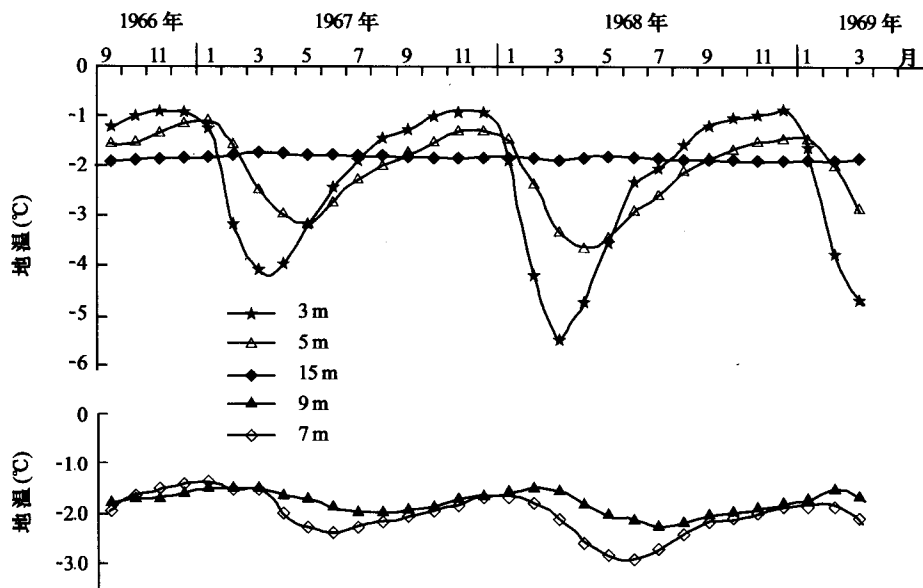


图 1-1 祁连山木里盆地区 3 号观测孔地温变化过程线
(15 m 深度以内年地温呈规律性波动)

① 俄国 М. И. 苏姆金等。

1.0℃,地温的周期性波动极大地影响着冻土的水-热状况与强度性质。

(3) 冻土地基土强度呈周期性变化。影响冻土强度因素是多方面的,但温度是最重要因素,冻土强度随温度降低而增大。因冻土温度呈周期性变化,所以冻土强度也存在相同的变化规律。冻土地基强度受“负温强度”的制约,这是将冻土强度按一个受力层来考虑,不是仅考虑一点一面。因为,承受建筑物基础和上部建筑荷载的不仅是基础底面以下一个受力层,而且还包括整个基础埋深范围,这就是基础侧面与冻土间的冻结力。在研究地温变化规律时,利用了地温负温指数。所谓地温负温指数,是指自地表面至上限和上限以下的任一期剖面土上(这里取8 m深)的平均负温值,即

$$\bar{t}_h = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n}$$

式中: $\bar{t}_h$ 为负温指数; t_i 为同一时间不同深度的地温; n 为测温点的数目(测温点要等距离)。

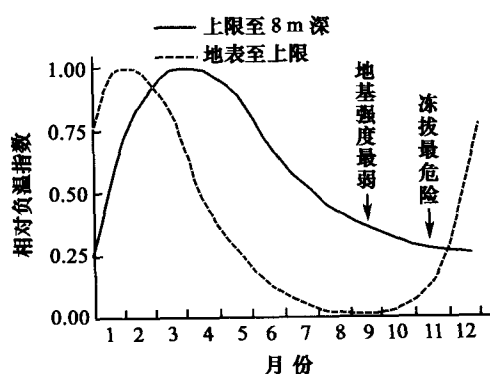


图 1-2 地基土中负温指数随时间的变化

从地基土中负温指数随时间的变化图(图 1-2)可知,9~10 月间建筑物地基承载力最低,但 10 月份浅层土开始降温冻结,冻结强度增大,冻胀力也随之产生,在冻胀力的顶托下基础由不稳定状态(危险期)转入相对稳定期。

(4) 冻土地基土的损伤自愈。在天然状态下冻结地基土受力损伤破裂,甚至丧失承载力,但经一个温度变化周期,水热状态会获得新的平衡,因而基本能恢复原来的强度性质。

冻土地基,特别是桩基础,因承载、超载、桩与地基土界面发生剪切破裂,使其丧失承载力,但当卸荷后或严冬上部土层冻结后,经一定冻结周期,桩基可以恢复与侧向土层的

冻结力,因而恢复承载力。

保持冻土地基冻融过程、温度和强度的正常可逆状态,有利于维持建筑物基础的稳定性,从而保证建筑物的安全营运,若破坏这种正常可逆状态,则将威胁基础的稳定性,导致建筑物发生病害。

第二节 冻土地基含水量大且分布不均匀

(1) 冻土地基含水量普遍很大,在松散层与强化风冻结层中,水分(冰)多处于饱和与过饱和状态,一般含水量远超过流限含水量。冻土上限至 3~5 m 深度广泛分布地下冰层,即冻结土层所含冰的体积已大于其矿物颗粒所占体积,矿物颗粒悬浮于冰中,这在黏性土缓坡积带及泥质岩强风化带是很常见的。早年祁连山木里地区含水量分布图,有相当代表性(图 1-3)。由图可见,在山前缓坡和高阶地多年冻土上限附近含水(冰)量一般大于 40%,最大达 300% 以上,普遍大于 60%。在一般情况下,含水量沿深度减小,至坚硬基岩层,含水量一般不超过 10%。

(2) 冻土含水量不仅普遍较大,而且其分布的不均匀性也极为突出。在同一地貌单元中,相距几十厘米的水平位置,其含水量可以相差几倍至十余倍。以木里为例,同在 2.2 m 深的一探坑中,一侧含水(冰)量为 18%,另一侧含水(冰)量则为 220%。不同地貌单元含水量分布的不均匀性也很明显。通常是山前缓坡黏性土分布区含水量最大;其次是湖盆黏性土分布区、平缓地带强风化泥质岩分布区;然后是高阶地、山前洪积带的中下端。低河漫滩阶地含水量一般较低,非风化基岩露头含水量最低。以木里为例,缓坡地带含水量最高,其次是二级阶地,最小是一级阶地、河漫滩。

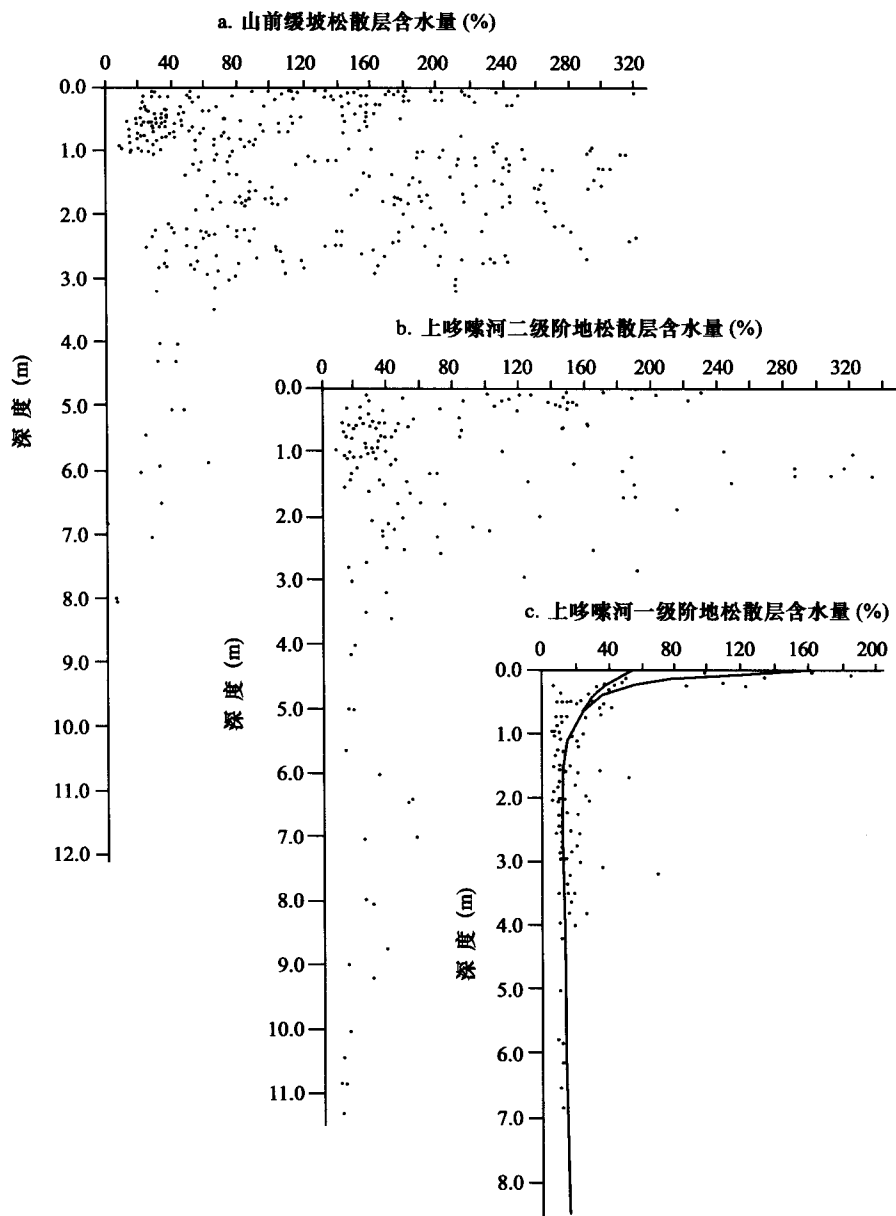


图 1-3 木里地区冻土地基的含水量垂直空间分布

冻结地基土含水量分布的不均匀也反映在垂直剖面上(图 1-3)。在青藏高原地区,自地表面至 5~6 m 或更深深度范围,往往分布着以黏性土为主的细颗粒土,或含砾较多的黏性土,或强风化泥质岩。在 10 m 或更深处常见坚硬基岩。因此,冻结地基土高含冰(水)量带主要集中在 5~6 m 以上深度范围,而且含冰量一般是自上而下地减小。冻土上限至基岩面可按含水量划分为几个带:多年冻土上部反复聚冰的富冰带(含冰量最大);富冰过渡带;中等含冰量带;冻结基岩带(含冰量最小)。应指出,在沉降区厚度较大的松散层中和强风化泥质岩中,在 10 m 或 10 m 以上处仍有厚层地下冰分布。

(3) 冻土的骨架容重与含水量关系密切,随含水量增大而减小,因此冻土骨架容重小,分布也不均匀(表 1-1)。

表 1-1 祁连山木里地区土层的密度(骨架容重)分布

地点	深度(m)	容重(g/cm ³)	说明
一级阶地	0.4~1.5	1.5~2.18	1.6~1.8 m 以下为多年冻土
	1.5~2.1	1.1~2.10	
	2.1~4.0	1.6~2.10	
	4.0 以下	1.4~2.00	
二级阶地	0.4~1.1	1.0~1.45	1.2~1.3 m 以下为多年冻土
	1.1~1.6	0.35~1.30	
	1.6~3.0	0.6~1.2	
	3.0 以下	1.5~1.8	
山前缓坡	0.5~1.0	0.8~1.1	1.0~1.3 m 以下为多年冻土
	1.0~1.4	0.3~1.25	
	1.4~2.4	0.15~0.5	
	2.4~4.0	0.4~0.8	
	4.0 以下	1.4~1.7	

第三节 冻土地基的积累性温度变化与突发性冻融变形

天然条件下,冻土温度受气温变化影响是较缓和的,并且有逐渐积累的性质。据青藏公路沿线观测资料,受全球气候转暖的影响,从 20 世纪 60 年代起至 21 世纪初,多年冻土边缘的冻土岛在 12 m 深度上温度上升 0.3℃,在广阔中、低温冻土区内,冻土升温一般小于 0.2℃。这种温度变化使得冻土天然上限在此期间约下移 10~30 cm。植被发育地段冻土上限变化最小,上限最大的波动发生于较干燥的少冰和多冰冻土地基,而高含冰地基土冻土上限约下降 10 cm。暖季气温的上升,即暖夏对地基土融化深度影响尤甚。地温变化的缓和性与积累性,使冻土上限也逐渐积累地发生变化。因此,从总体上看,冻土地基变形也具有逐渐积累的特征。多数情况下,冻土地基基础变形是有先兆的,是可预报的。

冻土地基的突变指发生破坏性的突发变形。主要表现为:

(1) 突发性隆胀。在地下水丰富的融区,由于正常的地下水通道被施工填土压密而阻塞,于是冻结时期地基可能突然发生隆胀。或者,当年降水充沛,地下水径流量增大,于是在外界某一因素诱发之下,例如 3~4 月气温突升,冻结层强度减弱,在强大的冻胀应力作用下,上覆土体可能抬起。若 12 月至翌年 1 月间气温大幅下降,土层冻结速度加快,含水层突然受到强大的冻结应力作用,也会在薄弱之处迅速隆起。这种隆胀常造成路基在短时间内突然变形,甚至引起突发性爆炸。青藏公路沿线在 20 世纪后半叶曾发生过 3 次以上的突然隆起爆炸事件。20 世纪末桃儿九段隆起爆炸时,冻土块被抛起 30 余米远。爆炸后形成深约 3 m、直径大于 6 m 的陷坑。

(2) 突发性融陷。这主要发生于暖季末高含冰量土分布区,由于各种原因,土中形成热融夹层,且融化夹层呈流体、半流体状。若受到某种振动或超常荷载作用,液体流出,突发固结,形成凹陷。此时,曾使停留机车头和行驶汽车掉入陷坑。

(3) 含水隧道围岩冻结过程中产生的冻胀力致使衬砌层破裂,承压地下水喷涌而出。低温水在低气温环境中很快冻结成冰,形成冰漫,进而阻塞隧道。

(4) 高含冰量边坡的融化坍塌。大多发生于 8~9 月份,此时融化边坡的融化深度接近年最大融化深度,冻融界面下盘高含冰量,界面强度迅速降低,若受某种因素诱发(地表水大量渗入,荷载作用于坡顶,人工挖掘坡脚或坡脚被水浸泡等),即沿冻融界面突然坍塌。

第四节 冻土地基的双重物性

冻土地基的双重物性表现在以下几个方面：

- (1) 冻土地基任一空间无论升温或降温过程,其冻土组分均能发生体胀与体缩。降温时,矿物颗粒均发生体缩,已冻冰也发生体缩,但正在冻结的水由于成冰作用而发生体胀;升温过程则相反。这就是冻土的变温效应,即冻土的体胀与体缩双重性。
- (2) 在荷载作用下冻土应力集中处会产生压融、脱水,而水分向小应力区迁移,发生聚冰(水)。这就是冻土的荷载效应,即冻土的脱水与聚冰双重性。在一定温度梯度与水分梯度作用下,也同样会同时发生脱水与聚水作用。
- (3) 在同一剖面的冻土同时存在升温与降温作用。升温的冻土强度降低,降温的冻土强度增大,这就是冻土强度的双重性(图 1-4)。

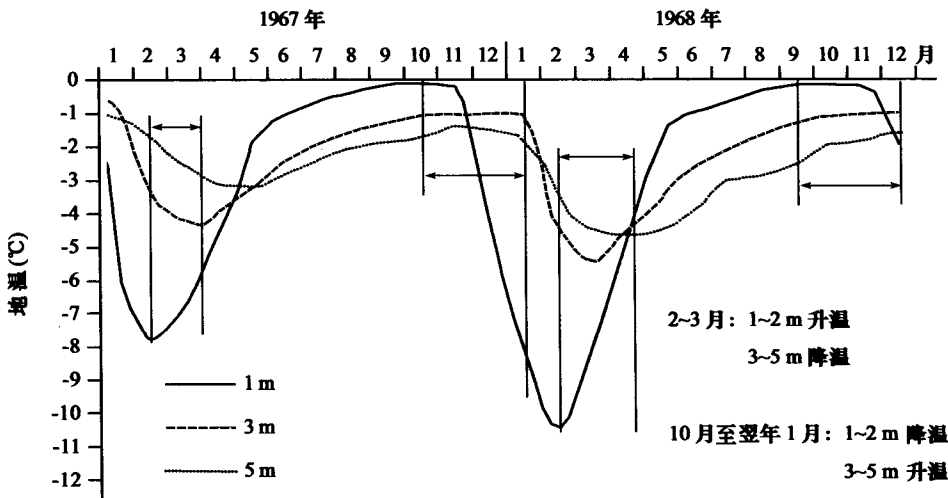


图 1-4 木里盆地 3 号观测孔 1 m、3 m、5 m 深度地温变化

冻土地基的双重性受外界诸多因素的影响,其中主要有：

- (1) 暖季降水(雪)一般有利于降低地面温度,减小冻土融化深度。而寒季降雪则起着保温作用,阻碍冻土层降温,影响多年冻土的发育。
在深季冻土区,夏秋降水多,一般会加剧冬季冻土层的冻胀。相反,冬季降雪多,形成保温层,则起着减少冻深的作用。
- (2) 退化中的冻土区,特别是地表年平均温度接近 0℃或稍高于 0℃的冻土下界地段,岛状冻土区,植被起着重要保护多年冻土的作用,可减缓多年冻土温度的上升与退化。而对于冻土腹部地区,植被则阻碍温度快速下降,影响多年冻土的快速发展。冻土退化区沼泽植被下常有多年冻土分布,而冻土发育区(中温冻土区),裸露地面下多年冻土温度往往更低,厚度更大。
- (3) 沼泽湿地利于降低地面温度,减缓冻土退化速度,而常流水沟槽常加剧冻土升温,引起热融。
- (4) 粗颗粒砂砾土暖季地面温度远高于细颗粒土,而寒季粗颗粒土表面温度一般要低于细颗粒土(图 1-5)。粗颗粒土可以减轻冻胀,但增加融深与冻深;而细颗粒土可以减少冻深与融深,但易发生冻胀。
- (5) 同一地区不同地段的气温能够升降并存。这使得在同一时段,热源地基(降温)与冷源地基(升温)

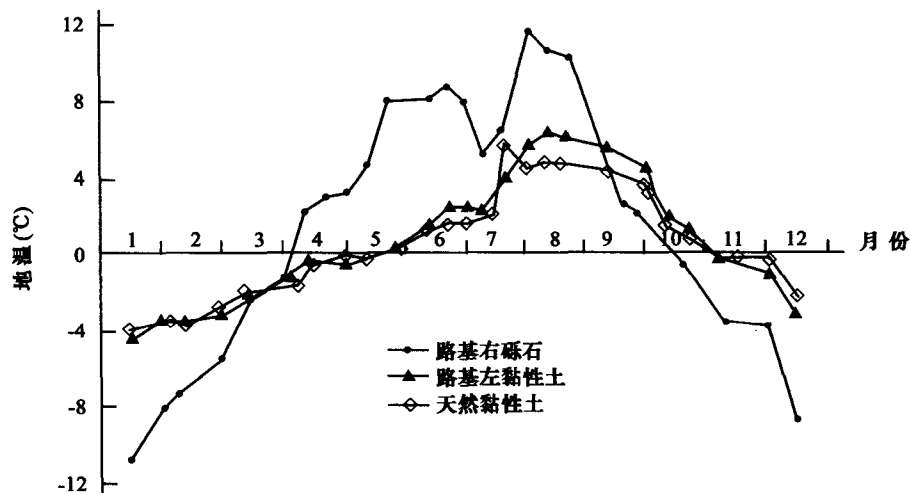


图 1-5 粗细颗粒土温度的变化(214 国道花石峡地区)

并存,例如在唐南地区,这种情况已持续 5 年以上(图 1-6)。

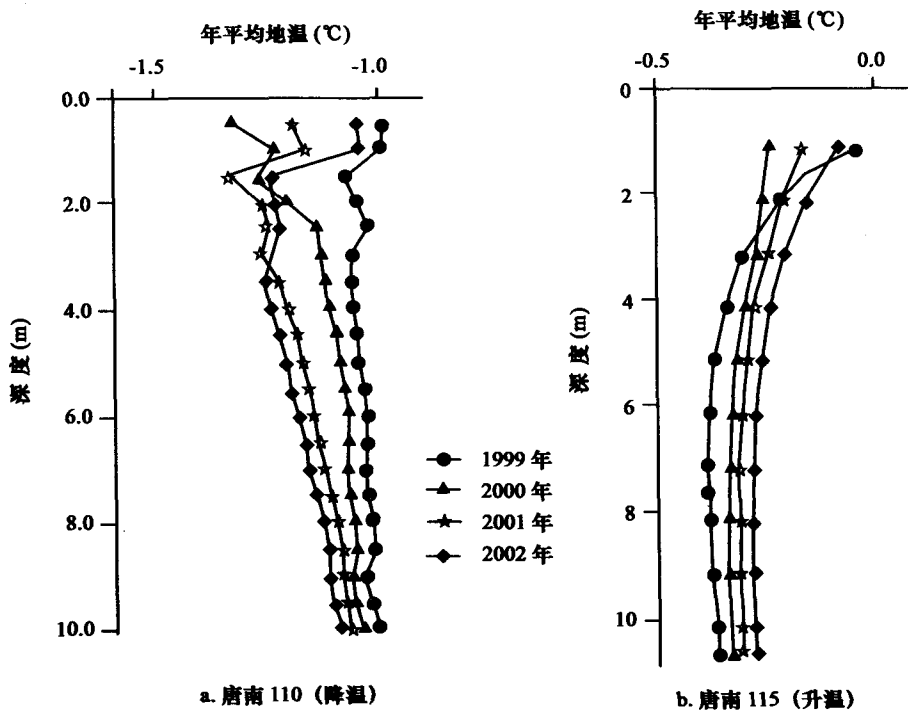


图 1-6 同一地区的放热(降温)、吸热(升温)地基

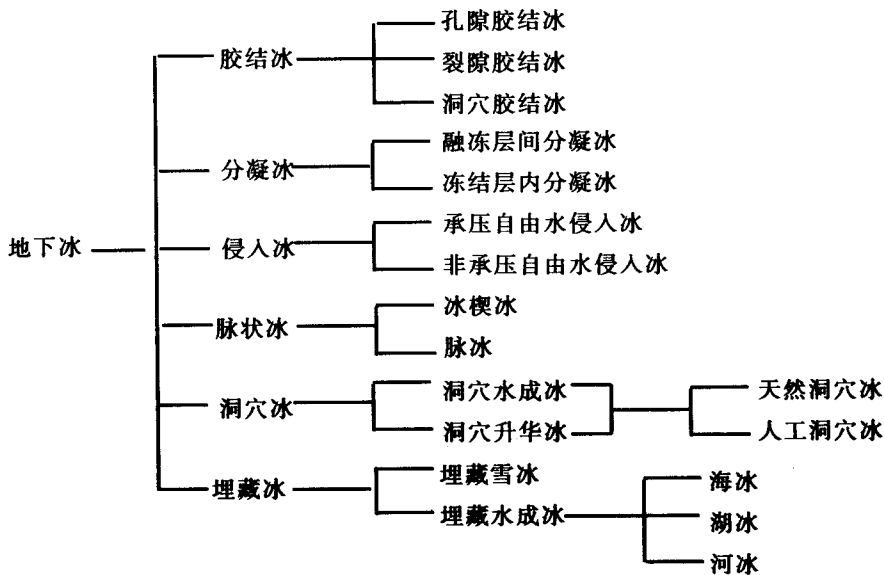
第二章 地下冰与冻土构造

地壳中的任何一种冰,不论其成因或埋藏条件如何,统称为地下冰。地下冰是冻土最重要的标志。

第一节 地下冰分类

一、地下冰分类

国内、外有多种地下冰分类,其中,俄罗斯学者提出的地下冰分类最为人们所认同。这里,在俄罗斯学者分类的基础上,作如下的地下冰类型划分:



现对各类冰分别予以叙述:

(1) 胶结冰。由岩土孔隙、裂隙、洞穴中自身原有水分冻结而成,仅在原孔裂隙内分布,不改变矿物颗粒位置。按照岩土、孔裂隙性状,胶结冰分为:①孔隙胶结冰,分布于黏性土、砂砾石,严重风化泥质岩中;②裂隙胶结冰,分布于所有基岩裂隙、松散土裂隙中;③洞穴胶结冰,分布于溶洞(岩溶溶洞、石膏溶溶洞等)、开放性构造破坏带等。实际上,所有的岩土在某一空间一旦发生冻结,自由水就不可避免从非冻结岩土处向冻结缘迁移,这种迁移水形成的冰即为分凝冰。因此,胶结冰中常有分凝冰参与。

(2) 分凝冰。冰体水源来自异地,即来自分凝冰体所在空间的四面八方,可来自非冻结岩土中的水分,也可来自已冻结岩土中未冻水分。研究证明,只要存在一定的温度、水分与应力梯度,土层中就会产生水分分凝作用。分凝冰形成之前应存在胶结冰,土岩局部空间中水分冻结成冰之后形成水分梯度,发生水分迁移,才得以产生分凝冰。它可以是瞬时、季节性的产物,也可以是地质时期的产物。正如许多学者指出的^①,多数分凝冰均是经历逐年重复的分凝作用而形成的。但是,是否逐年非间断地发生分凝,冰层厚薄如何振荡变化,都是有待研究的问题。

^① 周幼吾. 青藏公路沿线冻土考察. 北京:科学出版社,1965.1~19.