

冻土

中国科学院兰州冰川冻土沙漠研究所 著

科学出版社

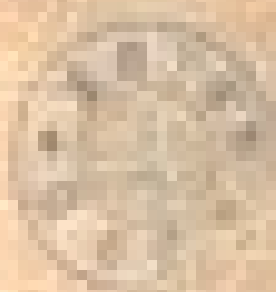
中国书画函授大学

中国书画函授大学
中国书画函授大学

冻土

中国书画函授大学中国书画函授大学

中国书画函授大学
中国书画函授大学



中国书画函授大学

冻 土

中国科学院兰州冰川冻土沙漠研究所 著

科 学 出 版 社

1 9 7 5

内 容 简 介

本书介绍冻土及冻害的一般常识。全书共分四章：第一章通俗地讲述了几种主要的冻土现象及其对工程建筑物的危害；第二章概要地介绍了冻土的形成及分布，并较详细地说明了冻土分布和各种自然因素的关系；第三章比较深入地分析了建筑物产生冻害的原因；第四章是关于建筑物冻害的防治措施。书中有较多的图、表和数据，便于读者应用参考。

本书是应用科普读物。可供在冻土地区工作的具有初中文化程度的工农兵群众和干部阅读，也可供有关工程技术人员、科研和教学人员参考。

冻 土

中国科学院兰州冰川冻土沙漠研究所 著

*

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街137号

中 国 科 学 院 印 刷 厂 印 刷

新华书店北京发行所发行；各地新华书店经售

*

1975年6月第一版 开本：787×1092 1/32

1975年6月第一次印刷 印张：4 插页：1

印数：0001—7,950 字数：90,000

统一书号：13031·292

本社书号：456·13—12

定 价： 0.35 元

前 言

多年冻土约占世界大陆面积的四分之一。在我国，多年冻土约占全国总面积的五分之一，季节冻土分布的面积更大。

冻土地区，由于土中水的冻结和融化，使地表土层反复的冻胀和融沉，这就往往造成房屋破坏，道路变形，管道折断等一系列的冻害现象，威胁着工矿和交通的安全。

我国冻土地区有着丰富的矿藏资源。解放前，由于反动政府的统治，冻土地区不可能得到开发利用。解放后，在中国共产党和毛主席的英明领导下，随着社会主义革命和社会主义建设的蓬勃发展，冻土地区广大工农兵和工程技术人员坚持“自力更生”、“艰苦奋斗”的革命精神，斗严寒、战冻土，创造和积累了许多防治冻害、变害为利的好经验。革命和生产的需要推动了科学研究工作的发展，许多科研和生产部门都先后设立了专门的冻土研究机构，开展了冻土的研究工作，并初步取得了一些成绩，解决了和正在解决生产提出的一系列冻土问题，从而改变了过去我国冻土工作的空白面貌。

为了普及有关冻土和冻害防治的基本知识，以利于冻土地区社会主义建设事业的发展，我们学习了广大工农兵群众和兄弟单位与冻土斗争的经验，总结了自己工作中的体会，编写了这本小册子，供战斗在冻土地区的工农兵群众、领导干部和工程技术人员参考。由于我们水平有限，经验不足，一定有不妥和错误之处，热忱地欢迎读者批评指正。

本书经我所冻土研究室集体讨论，由程国栋、陈肖柏、郭东信、童伯良等同志编写，周幼吾同志参加修改。

目 录

前言

第一章 冻土现象	1
第一节 与冻结作用有关的冻土现象	2
第二节 与融化作用有关的冻土现象	10
第三节 常见的几种工程建筑物特有的冻害	16
第二章 冻土的分布及其形成	19
第一节 我国冻土的分布	19
第二节 多年冻土是怎样形成的	23
第三节 冻土与地区条件的关系	26
第四节 多年冻土区的地下水	57
第三章 建筑物冻害的原因	59
第一节 建筑物的冻胀破坏	59
第二节 建筑物的融沉破坏	75
第三节 地基土中的热力过程	84
第四节 冻土地基的承载力	95
第四章 建筑物冻害的防治措施	103
第一节 合理选址（选线）与冻土工程地质勘测	104
第二节 正确选择建筑原则	107
第三节 冻胀的防治措施	108
第四节 融化下沉的防治措施	116
第五节 常见的几种工程建筑物特有的冻害防治措施	121

第一章 冻土现象

凡温度为负温或零温，并且含有冰的各种土均称为冻土。冬季冻结，夏季全部融化的土层为季节冻土；冬季冻结，一、两年内不融化的土层为隔年冻土；冻结状态持续三年或三年以上的土层为多年冻土。

多年冻土地区的表土层，夏季融化，冬季冻结，所以是季节冻土。根据其和下伏多年冻土的关系又可分为：季节冻结层——夏季融化、冬季冻结时不与多年冻土层衔接或其下为融土的土层；季节融化层——夏季融化、冬季冻结时与多年冻土完全衔接的土层(图1)。

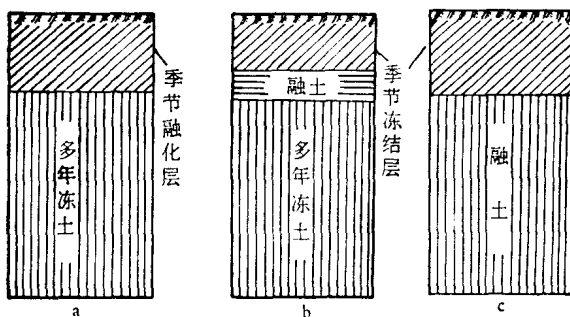


图1 季节融化层和季节冻结层

a. 季节融化层 b. 多年冻土区的季节冻结层 c. 季节冻土区的季节冻结层

地球上，多年冻土约占据了陆地面积的 26%。

在冻土地区，伴随着土中水的冻结和融化，发生着一系列奇异而独特的冻土现象。这些冻土现象严重地威胁着工程建

筑物的稳定和安全。

第一节 与冻结作用有关的冻土现象

一、冻 胀 丘

在多年冻土地区，有时冰冻着的大地会自行喷水爆炸。有人曾目击过这种“水火山”的爆发。在唐古拉山北麓，曾有一直径2—3米、高1米、顶部有辐射状裂缝的椭圆形隆丘，于某年8月的一天，隆丘顶部突然向外喷出高1米左右、直径约2厘米的水柱。4、5分钟后隆丘忽然爆炸，其声如雷，炸起之冻土块、石块最大直径达半米，其中直径10厘米的石块被炸起7米，水平抛出70米。爆炸后隆丘大量出水，同时有许多气泡冒出，几小时后方始平息，爆炸处形成一个不大的土坑。几天内，在相距此土坑7—32米的距离内，又有三座“水火山”相继爆发，蔚成奇观。这种“水火山”叫作爆炸性冻胀丘，是一种特殊类型的冻胀丘。

一般的冻胀丘是在每年的最冷月份（1—2月）隆起，而在夏季融化消失，叫做季节性冻胀丘。它的形成是由于冬季土层由上而下冻结时，缩小了地下潜水的过水断面，使地下水承压。同时在冻结过程中水向冻结面转移¹⁾，形成地下冰层。我们知道，水冻成冰时体积增大，产生很大的膨胀力。随着冻结深度的增加，当冰层的膨胀力和水的压力增加到大干上覆土层的强度时，地表就发生隆起，形成冻胀丘。

图2是东北某地一冻胀丘的示意剖面图。此冻胀丘长26米、宽12米、高2.7米。丘顶有裂缝，绿色的苔藓层下为黑色的泥炭层，往下晶莹的冰层形成拱形的壳顶，空洞下的含水层

1) 冻结时水分向冻结面转移的现象叫作水分迁移，其形成机理见第二章第三节。

中有清澈的水缓缓流动，冰水辉映，别有洞天。

在冻土地区的河漫滩、阶地、沼泽地及平缓山坡和山麓地带

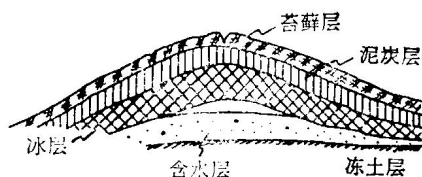
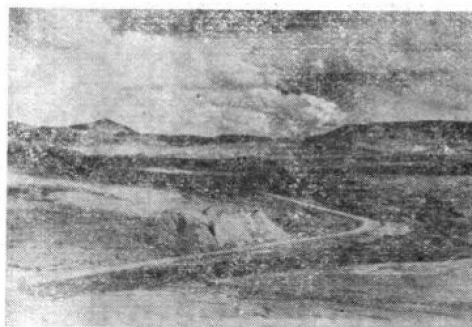


图2 冻胀丘示意剖面图

均可能分布有这种季节性的冻胀丘。其外部呈丘形、椭圆形，表面有纵横交叉的裂缝，直径由几米至几十米，高由几十厘米至2、3米，呈单个或成串分布。当冻胀丘上有树木时，树木就东倒西歪，形成所谓“醉林”。

在融化季节，当气温上升很快，上部冻层迅速融化，因而强度很快降低，而冻胀丘内部应力又足够大时，冻胀丘就有可能喷水爆炸，形成爆炸性冻胀丘。

在青藏高原上还可见到一种由冻结层下水¹⁾补给而形成的多年生冻胀丘，其规模远较季节冻胀丘为大，而且终年存在。如昆仑山口洪积扇前缘沟口处，平地突起一高20米、长

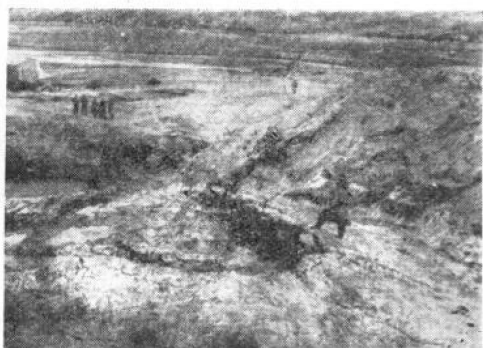


40—50米、宽20余米的隆丘，此隆丘即为一多年生冻胀丘(照片1)。隆丘表面为灰色亚粘土层，1.2米以下即为拱形的纯冰层，冰下有空洞，常年流水。此冻胀丘被人工炸开后，丘中心

照片1 多年生冻胀丘

(即公路上方土堆，土堆顶部已被人工炸开)

1) 冻结层下水即位于多年冻土层以下的地下水。



照片2 多年冻胀丘中次生的小冻胀丘已融陷

(即照片中凹陷处)

每年都发育有小冻胀丘和冰堆(照片2)。

当有人为活动影响时,还能形成一种春季隆胀丘。

东北某线段,在某年的4月春融时分,路基上方的地表不断隆胀、臃起。

到5月中旬,隆起

高度达1.2米,并使铁路两股轨道的高差达到70—100毫米,严重危及行车安全。在隆起部位下挖,挖到1米见到冻层,挖至1.35米有水流出,两分钟后,突如霹雳声响,一股直径约0.7米的水柱喷出地面0.6—0.7米高,顿时水花飞溅,汹涌外溢,遍地漫流(照片3)。同时隆丘附近的路基急剧下沉,半小时后水柱下落,一小时后恢复常态,而隆丘下沉1.2米,铁路轨



照片3 春季隆胀丘喷水情况

面则已下沉了 710 毫米。

这个春季隆胀丘的形成是与路堤的修筑有关的。路堤一般对下面的土层起保温作用,使融深减少;另外火车振动荷载的反覆作用,使堤下土体压密,因而起了阻水作用,使上方土体内的冻结层上水难于排出。冬季地表开始冻结,使冻结层上水承受压力,冻结深度越大静水压力也越大。由于上部已冻结的土层有足够的强度,所以水压力不足以把土顶起,直到春融季节表层融化,土的强度减低以至水压力足以将土顶起,

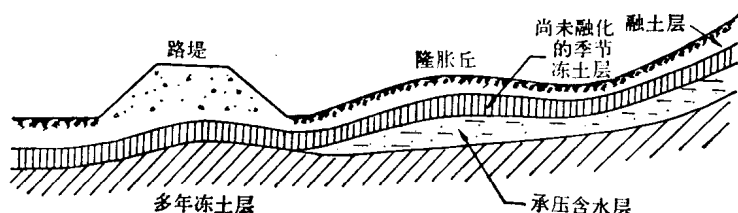


图 3 春融隆胀丘形成示意图

于是就形成了春季隆胀丘(图 3)。由于下挖在上覆土层中制造了薄弱口,因而承压水冲出,路基变形。

二、冰 堆

在冻土地区的山间洼地、河床、河漫滩、阶地及山麓洪积扇边缘地带,有时,我们老远就可以看到一些洁白耀眼的冰体,这就是冰堆。

冰堆的大小、形态很不一样。有的冰堆直径仅 1—2 米,而有的可达 1—2 公里;有的呈丘形、椭圆形,有的呈长条形和喇叭形(见照片 4、5);有的单个分布,有的则成串分布,形成冰堆群。

按照冰堆的补给水源,可将冰堆分为河冰堆和泉冰堆两种。冬季当河水上层结冰以后,过水断面变小,河水流动受限



照片 4 河漫滩上的椭圆形冰椎(风火山)



照片 5 山间沟谷中的长条形冰椎(西大滩)

制而渐具承压性。上部冰结得越厚,下部流水受压越甚,当压力增加到一定程度时,就冲破上覆冰层的薄弱点外溢,外溢的水冻结后就形成了河冰椎。河冰椎一般分布在河漫滩和河床上。同样道理,地下水受承压作用溢出地面冻结后就形成了泉冰椎。泉冰椎多分布在山麓洪积扇边缘、洼地和坡脚等处。

绝大部分冰椎是一年生的,每年 1—4 月为冰椎的主要发展时期,4 月下旬以后冰椎停止增长。此时冰面上出现裂缝、



照片 6 冰堆消融时形成的沟渠(风火山)

沟渠(照片 6)并逐渐破碎,至 8—9 月融完消失。

值得注意的是,铁路沿线或其它工程建筑物附近的冰堆,大部分是在工程建筑以后才产生的。这往往是由于工程建筑物拦截了地下水的通路,而又未处理好其排泄通道所引起的。如路基填方取土,有时取土坑破坏了地下水的渗流通道,地下水便从取土坑边上流出,冬季随流随冻形成冰堆,冰体扩大后,漫延而盖过路面造成危害。又如路堑挖方拦截地下水后,地下水就从路堑边坡上流出,冻结后形成路堑挂冰,甚至淹没路轨。

冰堆对各类建筑物的危害很大。有时因冰堆的生长,铁路路面会隆起数厘米,甚至 2—3 米,严重阻塞交通。兴安岭铁路线某段,线路上侧的丘陵缓坡上长有茂密的塔头草,长年积水形成沼泽,线路下侧为河流。冬季地面冻结后,原来在地面畅流无阻的上侧水流转入地下,在线路附近受阻而承压。压力增至一定值时,突破上覆冻土喷出地表,喷出的水流有时高出地面达 2 米,破口随气温下降和压力的减小逐渐冻结,一定时期以后,承压水的压力增大,水又从新的突破口喷出,整个冬季如此循环往复,涌出的大量地下水冻结形成冰堆,覆盖

在长达 500 米的线路上及其附近。有时线路一昼夜单股冻起几十毫米甚至 100—200 毫米。原来 0.5 米高的低路堤，经过一个冬季就变成了冰筑路堑。

三、寒 冻 石 流

在描写严寒逼人时，人们常常用到“冰刀霜剑”这个词，其实，冰和霜甚至比刀和剑更“锋利”，它们可以把坚硬的岩石劈成碎块。

大家知道，裸露的基岩是由不同的矿物组成的。由于不同的矿物有着不同的膨胀系数，所以随着温度的升降，其热胀冷缩的程度也不一样。这样就在岩石内部产生了不均匀的应力，使岩石产生裂隙。雨水、雪水渗入这些裂隙以后，因冻结而体积膨胀，产生极大的膨胀力。这种膨胀力足以使任何坚硬岩石的裂隙扩大，扩大以后的裂隙内能进入更多的水，反复冻胀的结果就使裂隙不断扩大，以至最后把岩石劈成大量的碎石、岩块。由于这种寒冻风化作用而形成的碎石、岩块，在重力和流水作用下搬运并堆积在不同的地形部位。位于山顶



照片 7 高山顶部的石海(大兴安岭)

的碎石场为石海(照片 7); 位于山坡、山沟形如小河的为石流或石河(照片 8); 位于山脚或沟口呈扇形或锥形的为倒石锥。

这些碎石、岩块沿山坡向下移动时，往往给工程建筑造成很大的危害。大兴安岭某处有一岩石风化山，高 100

米、宽 200 米，坡度 30—40 度，表面已生长树木和青苔。设计时误认为是稳定的，线路设计以挖方通过。施工挖方时，这一片石海全部滑塌下来，迫使线路改线。所以，在勘测设计时必须对此有足够的重视。

四、建筑物的冻胀

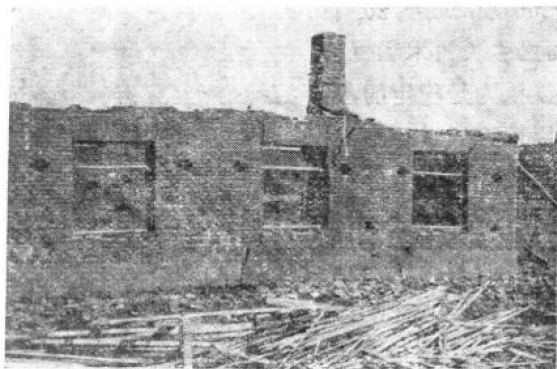
地基土中的水冻结时体积膨胀，当建筑物及其上的外荷载不足以克服地基土层冻结的膨胀力时，基础便被抬起。当建筑物各侧基础的不均匀抬升超过允许值后，建筑物就要产生裂缝、倾斜，甚至倒塌。



照片 8 山坡上的石流(风火山)

我国一些季节冻结深度较大的地区和多年冻土区，不少房屋由于建筑在冻胀性较强的地基上，同时又没有采取有效的防冻胀措施，因而每到冬季，由于地基土冻胀而使基础产生不均匀变形，结果引起墙壁裂缝、门窗歪斜、山墙外倾及台阶冻起等冻害现象。照片 9 即为某地房屋遭受冻胀破坏的情况。冻胀是季节冻结深度较大的地区房屋建筑冻害的主要原因。

铁路路基冻胀主要发生在浅挖的细颗粒土质路堑和修筑在塔头草沼泽积水地段的低路堤上。这些地段的土质一般均系亚砂土或亚粘土，往往富含水分，冻结时极易导致路轨的不均匀隆起，影响通车。



照片 9 某地房屋遭受冻胀破坏的情况

冻土地区的桥涵建筑中,木桥普遍有冻胀现象,可以说冻胀是木桥最主要的冻害形式。涵管在地基土不均匀冻胀作用下,往往造成管身脱节、错牙,端翼墙外倾、断裂。图 4 为某地段涵洞端翼墙断裂情况。

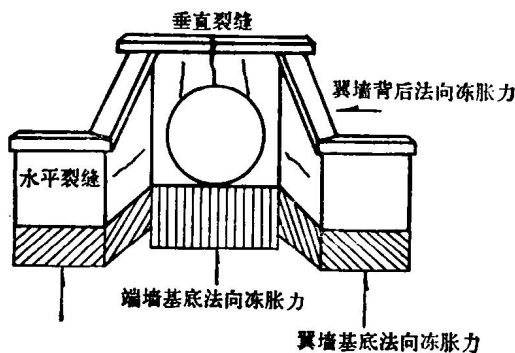
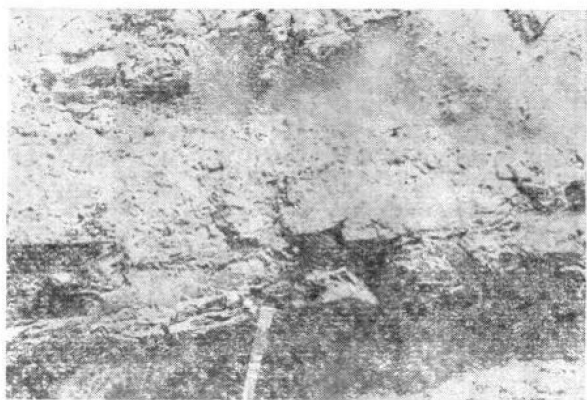


图 4 涵洞端翼墙断裂情况

第二节 与融化作用有关的冻土现象

多年冻土中分布有各种类型的地下冰。

在含水量较大的粘性土地区，多年冻土的上部一般均分布有一种厚层的地下冰，这种厚层地下冰或则由纯冰构成，或则其中夹有碎石和土块，其厚度由几十厘米至4—5米不等，冰层上部与季节融化层相互衔接，下部与多年冻土连成一体。冰层一般呈透镜状或层状分布（照片10），其延伸往往与地



照片10 冰层与泥灰岩互层

表起伏大体一致。由于这种厚层地下冰埋藏较浅，因而极易受自然或人为因素的影响而融化，伴随着地下冰的融化就产生了融冻滑塌、融冻泥流、热融沉陷等一系列冻土现象，对工程建筑物的危害极大。

一、融冻滑塌

在青藏高原风火山，人们为了取土曾在坡脚下挖了一个小坑。短短几个月中，这个小坑竟变成了一条几十米长的大沟。三年以后大沟更长、更宽，一直发展到了山顶，将山体弄得破烂不堪，真可谓“蝼蚁之穴，可溃长堤”。这种现象就是融冻滑塌。它是怎样形成的呢？

原来小坑开挖以后，坑壁地下冰暴露，在融化季节暴露的