

多年冻土及盐渍土地区道路工程研究丛书

Application Technology of Special Subgrade
Engineering Measures in Permafrost Regions

多年冻土地区特殊路基 工程措施应用技术

房建宏 李东庆 徐安花 童长江 编著



兰州大学出版社
LANZHOU UNIVERSITY PRESS

多年冻土及盐渍土地区道路工程研究丛书

Application Technology of Special Subgrade
Engineering Measures in Permafrost Regions

多年冻土地区特殊路基 工程措施应用技术

房建宏 李东庆 徐安花 童长江 编著

青海省交通科学研究院

中国科学院寒区旱区环境与工程研究所冻土工程国家重点实验室

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



兰州大学出版社
LANZHOU UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

多年冻土地区特殊路基工程措施应用技术 / 房建宏,
李东庆,徐安花,童长江编著. —兰州:兰州大学出版社,
2016.3

ISBN 978-7-311-04823-5

I. ①多… II. ①房… ②李… ③徐… ④童… III. ①多
年冻土—冻土区—公路路基—路基工程 IV. ①U416.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 244187 号

责任编辑 魏春玲 雷鸿昌

封面设计 张友乾

书 名	多年冻土地区特殊路基工程措施应用技术
作 者	房建宏 李东庆 徐安花 童长江 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	15
字 数	304 千
版 次	2016 年 3 月第 1 版
印 次	2016 年 3 月第 1 次印刷
书 号	ISBN 978-7-311-04823-5
定 价	86.00 元

(图书若有破损、缺页、掉页可随时与本社联系)



致 谢

在本书的撰写和出版过程中得到了以下单位和项目的资助，作者谨致谢忱。

青海省科学技术学术著作出版资金

国家重点基础研究发展计划项目（973 项目）（No.2012CB026102）

国家自然科学基金面上项目（No.41271080）

青海省交通科学研究院

序

青海省位于青藏高原的东北部,多年冻土广泛分布。省内的西部及中部昆仑山、可可西里延至南部的唐古拉山都是青藏高原多年冻土发育的地带,北部阿尔金山、祁连山广泛分布有片状和岛状多年冻土,东部巴颜喀拉山等存在高山多年冻土,省内多年冻土分布面积占到青藏高原多年冻土分布总面积的36%。国道109线、214线和227线都穿越省内千余公里的多年冻土地带。

多年冻土区进行公路交通建设都遇到许多的冻土工程问题,造成不少的经济损失。青海省交通科研工作紧紧地围绕全省的交通建设和运输生产中提出的问题开展研究,在一些重大技术研究方面取得了较大的进展和突破,解决了许多技术问题,取得了较好的经济和社会效益。为进一步提高青海省多年冻土区的公路建设水平,依托青海省共和至玉树高速公路建设,建立了“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”,继续开展多年冻土研究和工程措施的效果观测。

随着国家经济建设的西部大开发纵深发展,青海省将迎来大规模的建设高潮,多年冻土区的公路交通基础设施势必成为先行而重要的建设任务。此书总结了我国多年冻土区的科研成果和工程实践证明行之有效的工程措施,将对省内多年冻土区公路建设的设计、施工和运营管理起到积极有效的指导作用,推动青海省的社会、经济 and 环境的可持续发展。

前 言

我国多年冻土主要分布于东北大小兴安岭、青藏高原和西部高山区,占我国领土面积的22.3%。随着国家经济发展,冻土区的工程建设不断地发展起来,20世纪50年代大小兴安岭多年冻土区的林业和铁路建设,以及青藏公路的修筑,各项工程建筑中出现了许多冻土工程问题。为此,各个部门都陆续地开展了冻土专门研究,做了大量调查、科学研究和工程措施防治效果观测,积累了丰富的冻土研究和工程措施的经验与资料。青藏公路、214国道和青藏铁路建设的大量研究成果和工程措施的应用,取得了许多行之有效的工程措施。

实践表明,在贯彻“预防为主,保护优先,开发与保护并重”的原则下,采用块碎石路堤、通风路基、热棒路基等降温冷却和隔热保温层路基的阻隔热量的工程措施都可用于解决工程建筑中的冻土工程问题,利用它们各自优点构成的块碎石-通风管复合路基、热棒-隔热保温层复合路基更具有显著的效果。这些都构成了多年冻土区特殊的路基结构形式。

作者在收集和总结大量工程实践与科学研究成果的基础上,编写这本《多年冻土地区特殊路基工程措施应用技术》,旨在于总结经验和指导工程设计、施工。由于时间仓促及作者的水平所限,书中难免存在疏漏,敬请读者批评指正。

本书在编写过程中得到了许多同行们的大力支持,并得到了青海省科学技术学术著作出版资金、国家重点基础研究发展计划项目(973项目)、国家自然科学基金面上项目和青海省交通科学研究所的资助。对此,作者表示衷心的感谢。

作者

二〇一六年三月

青海省交通科学研究所

中国科学院寒区旱区环境与工程研究所冻土工程国家重点实验室

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

目 录

1 总则	1
2 术语、符号	2
2.1 术语	2
2.2 符号	3
条文说明 // 2 术语、符号	4
3 块石路基	25
3.1 一般规定	25
3.2 原理及适用条件	25
3.3 设计参数	25
3.4 施工技术及方法	26
3.5 检测与评定标准	30
条文说明 // 3 块石路基	32
4 通风管路基	52
4.1 一般规定	52
4.2 原理及适用条件	52
4.3 设计参数指标	52
4.4 施工技术及方法	55
4.5 检测与评定标准	56
条文说明 // 4 通风管路基	58

5	热棒路基	76
5.1	一般规定	76
5.2	原理及适用条件	76
5.3	设计参数指标	76
5.4	施工技术方法及方法	79
5.5	检测与评定标准	81
条文说明 // 5 热棒路基		83
6	隔热层路基	107
6.1	一般规定	107
6.2	原理及适用条件	107
6.3	设计参数指标	107
6.4	施工技术方法及方法	109
6.5	检测与评定标准	111
条文说明 // 6 隔热层路基		114
7	块石通风管复合路基	135
7.1	一般规定	135
7.2	原理及适用条件	135
7.3	设计参数指标	135
7.4	施工技术方法及方法	136
7.5	检测与评定标准	137
条文说明 // 7 块石通风管复合路基		138
8	热棒隔热层复合路基	144
8.1	一般规定	144
8.2	原理及适用条件	144
8.3	设计参数指标	144
8.4	施工技术方法及方法	145
8.5	检测与评定标准	146
条文说明 // 8 热棒隔热层复合路基		147
9	路堤块(碎)石护坡与护道	154
9.1	一般规定	154
9.2	原理及适用条件	154
9.3	设计参数指标	154
9.4	施工技术方法及方法	155

9.5 检测与评定标准	156
条文说明 // 9 路堤块(碎)石护坡与护道	157
10 附录	175
附录 1 冻土物理力学参数	175
附录 2 冻结深度及融化指数分布图	189
附录 3 土的季节融化与冻结深度	193
附录 4 多年冻土上限的确定	195
附录 5 冻土地温特征参数计算	196
附录 6 冻土地温观测	198
附录 7 热桩、热棒基础计算	199
条文说明 // 附录 7 热桩、热棒基础计算	203
附录 8 反射率及热量平衡	212
附录 9 冻土环境保护与景观生态	215
附录 10 公路冻土工程地质勘察要点(据《冻土工程地质勘察规范》GB50324 节录)	217
附录 11 测量基准点设置	223
参考文献	224

1 总则

1.0.1 随着全球气候转暖,我国大多数地区的多年冻土都存在逐渐升温 and 退化,多年冻土上限逐年地下降,在路基临界和合理高度仍不能满足时,需特地采取本“技术”所述的“冷却、调控路基温度”的特殊工程措施进行工程设计与施工。

1.0.2 多年冻土的路基设计应通过路基传热分析确定路基临界高度。在低温冻土区按保护冻土设计原则设计时,可依据《公路路基设计规范》(JTG D30)给出的公式确定:

下临界路基高度:

$$\text{砂石路面} \quad h_{\text{下}} = 1.41 - 0.31h_{\text{天}} \quad (1-1)$$

$$\text{沥青路面} \quad h_{\text{下}} = 2.88 - 0.42h_{\text{天}} \quad (1-2)$$

上临界路基高度:

$$\text{砂石路面} \quad h_{\text{上}} = 7.17 - 1.76h_{\text{天}} \quad (1-3)$$

$$\text{沥青路面} \quad h_{\text{上}} = 5.03 - 0.81h_{\text{天}} \quad (1-4)$$

式中 $h_{\text{天}}$ ——多年冻土天然上限深度, m。

当路堤高度在上、下临界路基高度之外时,应进行特殊路基设计

1.0.3 为提高多年冻土地区公路工程设计与施工技术质量和水平,保障公路工程设计、施工符合安全、适用、技术先进、经济合理的要求,编制多年冻土地区特殊路基工程措施应用技术。

1.0.4 本技术宗旨,意在总结国内外多年冻土地区道路工程中整治、处理各种冻土灾害的设计、施工和管理经验基础上,归纳出卓有成效的特殊路基工程措施,供多年冻土地区新建、改(扩)建的各级公路工程设计、施工参考。

1.0.5 多年冻土地区进行公路工程设计、施工时,应充分考虑特殊的气候、冻土工程地质条件和工程与冻土间的相互影响,确定合理的设计和保护原则,有效的先进技术及新材料、新工艺和方法。

1.0.6 根据多年冻土地区的冻土特征、气候变化、环境效应,采用主动保护、积极预防、综合治理的原则,遵循导(输)冷、阻热、减少辐射、增强对流散热的方法。

1.0.7 在符合国家和行业的相关标准、规范和规程的基础上,参考本技术进行公路工程设计和施工,将有助于减少或消除多年冻土区工程病害,保障道路安全。

2 术语、符号

2.1 术语

2.1.1 冻土 frozen ground(soil rock)

具有负温或零温度并含有冰的土(岩)。

2.1.2 季节冻土 seasonally frozen ground

地壳表层冬季冻结而在夏季又全部融化的土(岩)。

2.1.3 多年冻土 perennially frozen ground(permafrost)

指持续冻结时间在2年或2年以上的土(岩)。

2.1.4 季节冻结层 seasonal freezing layer

每年寒季冻结,暖季融化,其年平均地温 $>0^{\circ}\text{C}$ 的地壳表层,其下卧层为非冻土层或不衔接多年冻土层。

2.1.5 季节融化层 seasonal thawed layer

每年寒季冻结,暖季融化,其年平均地温 $<0^{\circ}\text{C}$ 的地壳表层,其下卧层为多年冻土层。

2.1.6 多年冻土上限 Permafrost table

多年冻土层的顶面。

2.1.7 地温年变化深度 depth of zero annual amplitude of ground temperature

地表以下,地温在一年内相对不变的深度,亦称年零度较差深度。

2.1.8 年平均地温 mean annual ground temperature

地温年变化深度处的地温。

2.1.9 冻土含水率(冻土总含水率) water content in frozen soil

冻土中所含冰和未冻水的总质量与土骨架质量之比,用百分数或小数表示。

未冻水含水率(ω_u):在一定负温条件下,冻土中未冻水质量与干土质量之比。

相对含冰率(i_r):冻土中冰的质量与总含水率之比。

体积含冰率(i_v):冻土中冰的体积与试样体积之比。

冰包裹体含冰率(i_B):冻土中肉眼可见冰体的体积与试样体积之比。

冻土湿密度(ρ_0):原状构造冻土单位体积的质量,

冻土干密度(ρ_d):原状构造冻土单位体积的干土质量。

2.1.10 冻胀率(frost heaving ratio),冻胀力(frost-heaving forces)

冻胀率——单位冻结深度的冻胀量。

冻胀力——土体冻胀受到约束时产生的力。

2.1.11 融化下沉系数(thaw-settlement coefficient)和融化压缩系数(thaw compressibility coefficient)

融化下沉系数指冻土融化过程中,在自重作用下产生的相对融化下沉量。

融化压缩系数指冻土融化后,在单位荷重下产生的相对压缩变形量。

2.1.12 冻土现象 features related to frozen ground

指土体中水的冻结和融化作用所产生的新形成物和中小型地形。如冰锥、冻胀丘、融冻泥流和热融滑塌等冻土现象。

2.2 符号

2.2.1 冻土物理特性

ω ——冻土总含水率；

ω_0 ——起始冻胀含水率；

ω_u ——冻土的未冻含水率；

ω_p ——土的塑限含水率；

I_L ——土的液性指数

i_c ——冻土相对含冰率；

ρ_d ——冻土的干密度；

2.2.2 冻土力学特性

σ_τ ——切向冻胀力；

σ_n ——法向冻胀力；

σ_h ——水平冻胀力；

E ——冻土变形模量；

G ——剪切变形模量；

f_a ——冻土地基承载力；

q_{fpa} ——桩端冻土承载力；

f_τ ——冻土抗剪强度；

f_{ca} ——冻土与基础间的冻结强度。

2.2.3 土的季节冻结与融化参数

η ——土的冻胀率；

A_0 ——冻土的融化下沉系数；

T_{ep} ——多年冻土年平均地温；

H_{ep} ——地温年变化深度

z_0 、 z_d ——土的季节冻结深度标准值和设计值；

z_0^m 、 z_d^m ——土的季节融化深度标准值和设计值；

z_n 、 z_a ——多年冻土的天然上限和人为上限；

条文说明 // 2 术语、符号

2.1 术语

2.1.1 冻土 frozen ground(soil rock)

具有负温或零温度并含有冰的土(岩)。

冻土,一般是指温度在 0°C 或 0°C 以下,并含有冰的各种岩土和土壤。温度在 0°C 或 0°C 以下,但不含冰的岩土和土壤,称作寒土。寒土又可分成不含冰和重力水的干寒土,及不含冰但含负温盐水或卤水的湿寒土。在自然界中,作为冻土层或冻土区整体来说,既包含有冻土,也包含有寒土。所以,冻土区是泛指岩土温度在 0°C 或 0°C 以下的那部分地壳,不论岩土中是否含有冰,是否有水的相成分存在。作为地基土来说,冻土和寒土的工程地质性质具有本质的差别,因土中冰的胶结和存在,冻土(岩)可随着温度场、应力场和水分场的变化直接改变冻土的承载力、融化下沉性等物理力学性质,改变着冻土的工程地质性质,可具有似混凝土的强度,亦可呈似软土、淤泥的特性。而寒土则不然。因而,工程界和规范中所指的冻土,即具有负温和冰的岩土。

反之,正温的岩土,称之为非冻土。当它曾经是处于冻结状态,而后融化的岩土称为融土。

按土的冻结状态保持时间的长短,冻土一般可分为短时冻土(数小时、数日以致半月)、季节冻土(1月至数月)和多年冻土(数年至数万年以上)。

2.1.2 季节冻土 seasonally frozen ground

地壳表层冬季冻结而在夏季又全部融化的土(岩)。

季节冻土即指地壳表层的岩土在一个循环年之际,冬季(一般为9、10月至翌年4、5月)冻结,夏季(4、5月至9、10月)又全部融化(图2-1)。季节冻土即人们所称的季节冻土区,是多年冻土区以外,地表层具有冬季冻结,夏季全部融化的广大地区,靠寒季负温条件下通过地表的热交换而形成。季节冻结层底面的年平均温度(T_{ep})大于 0°C ,下卧的土层均属于非冻土。

从冻土学定义说,季节冻土包含着短时(瞬时)冻结和季节冻结地区。

工程界所指的季节冻土区是对工程建筑的稳定性具有一定程度影响的地区,其重要的标志是地基土具有冻胀性。目前我国将每年最大的季节冻结深度超过 0.5 m 的地区划为季节冻土区(见附录2),大致为西安-石家庄连线的广大西北、华北和东北地区,在这些地区内的工程建筑物都会受到地基土冻结而产生冻胀破坏,如宝鸡、延安等地的渠系、排水沟等建筑物都可能遭受到冻胀破坏。道路翻浆、地面和边坡的覆冰亦是季节冻土区主要病害的例证。

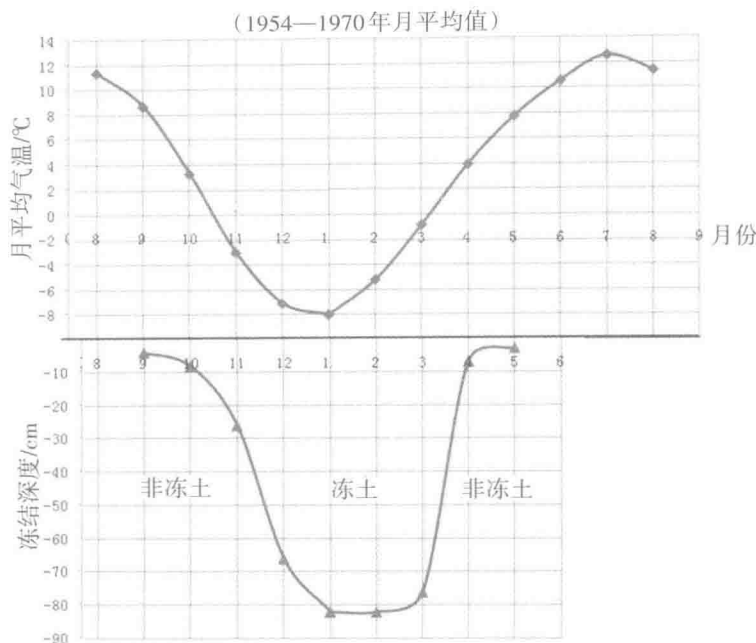


图2-1 青海省玉树地区月平均气温与季节冻结深度曲线(1956~1980年)

2.1.3 多年冻土 perennially frozen ground(permafrost)

指持续冻结时间在2年或2年以上的土(岩)。

地质历史的长河中,岩石圈-土壤-大气圈的系统,不断地进行着热质交换,冻土就是这个系统热交换过程的形成物。自然界许多地理地质因素都参与了这一过程,影响和决定着冻土的形成和发展。气候就是其中对冻土形成起着重要作用的因素。

多年冻土的形成与地表面的辐射-热量交换有关^[1]。年内辐射-热量平衡方程一般用下式表示:

$$Q_d = (Q_i + Q_s)(1 - \alpha) - Q_e = LE + P + A \quad (2-1)$$

式中: Q_d 为地面辐射平衡(辐射差额); Q_i 、 Q_s 分别为太阳直接辐射和散射辐射; α 为地面反射率; Q_e 为地面长波有效辐射; LE 为蒸发耗热; P 为湍流交换耗热; A 为通过地面的热流(热通量)。

对于地球上具有固体降水的寒冷地区,地表面热量平衡应在(2-1)式的右边增加一项融雪耗热(ΔW)。

辐射-热量平衡的结构对冻土的形成和动态有决定性作用。将(2-1)分开冬、夏半年来看。夏季,有效辐射(Q_e)总是大大小于吸收辐射($(Q_i + Q_s)(1 - \alpha)$),所以 Q_d 为正值,达到很大值,主要用于 LE 、 P 和 A 。而到冬季,太阳总辐射较弱,加上雪盖的反射率大,吸收辐射小于有效辐射, Q_d 出现负值,当地面温度转至 0°C 以下, LE 和 P 两项热交换近于0。

可见, LE 和 P 对形成地面正温有重要意义, Q_e 对形成地面负温有主要影响。土的冻结作用发生在有效辐射大于吸收辐射的期间,即辐射平衡具有稳定负值的时间,地面温度在此期间降至 0°C 以下。 Q_d 负值存在时间长短,对土的冻结作用有重要意义。

Q_0 正、负值延续时间长短的对比关系,决定地面年平均温度的符号。

在我国,辐射平衡年总量的变化,东北大兴安岭地区(47° 、 48°N)小于 1675 MJ/m^2 ,在此以南为 $1675\sim 2095 \text{ MJ/m}^2$,自南而北随着纬度增加而逐渐减小。西部自东向西随海拔高度增加而下降至负值,且自北而南随纬度降低,出现负值的海拔高度在升高,如天山冰川覆盖的北坡,海拔 $3800\sim 4000 \text{ m}$ 处辐射平衡年总量出现负值,至珠穆朗玛地区为 $5900\sim 6000 \text{ m}$ 才出现负值。

土壤热交换量是连接气候与冻土层上部热状况的纽带,对冻土的形成和发展起着重要作用。《中国物理气候图集》^[2]表明,从9月份开始我国大部分地区的土壤热交换量转为负值,10月至翌年1月全国均为负值,负值随纬度和海拔高度增高而加大。在祁连山的木里地区约 4000 m 就出现负值。尽管土壤热交换量年内正负值的差值很小,但在地质年代的历史长河中不断变化,在岩石圈表层可积蓄巨大的热力循环值(热通量),足以形成几百米厚的冻土层。

据分析^[1],多年冻土层的发展(进化或退化,即冻土层厚度增大或减小,冻土层形成或完全消失等)决定于夏半年土壤热交换量(A_s)与冬半年土壤热交换量(A_w)的对比关系以及地中热流(q)的变化方向。当 $A_s = A_w$ 时,多年冻土层处于稳定;当 $A_s > A_w$ 时,冻土层年平均温度逐年升高,冻土层自上而下退化;当 $A_s < A_w$ 时,冻土层年平均温度降低,冻土在进化。

气候变化会导致多年冻土形成和退化。据大量的第四纪地质、古气候、古环境,以及古冻土遗迹的资料认为,我国在晚更新世以前历次冰期形成冻土,经历冰期和间冰期的气候变化,多年冻土经历着生成与消退。但在晚更新世冰盛阶段(指距今 $3.2\sim 1.1$ 万年期间),我国北方大部分地区进入干冷荒凉的气候环境,形成多年冻土带南界比现今更南。在晚更新世末期(距今 $1.1\sim 2.5$ 万年前)高原面海拔达到 $4000\sim 4700 \text{ m}$ 。晚更新世冰盛期降临青藏高原,形成了现今存在的多年冻土层主体^[1]。进入全新世以来,气温回升导致前期形成的多年冻土大幅度向北退缩,高原多年冻土下界海拔高度抬升。大约17世纪前后我国大部分地区又处于一个寒冷时期,大兴安岭地区融化的冻土层又重新冻结,青藏高原地区达到极冷,直到17~18世纪新冻土的发展达到高峰阶段^[1]。

中西伯利亚高原、远东山地的东北大陆是北半球最冷气团的发源地。冬季受西伯利亚、蒙古高压控制,较强的冷空气长驱直入,大兴安岭地区气温大幅下降,为全国最寒冷的地方,使欧亚大陆多年冻土南界进入我国。

西部高山区的气候在纬度、经度和海拔高度三度空间的环境下,海拔高度成为控制气温的主要因素,具备了多年冻土形成和保存的必要条件(非充分条件):年平均地表温度 $\leq 0^\circ\text{C}$,加上土质、植被、地温梯度、雪盖等等适宜条件,就形成和保存了多年冻土。

2.1.4 季节冻结层 seasonal freezing layer

每年寒季冻结,暖季融化,其年平均地温 $>0^\circ\text{C}$ 的地壳表层,其下卧层为非冻土层或不衔接多年冻土层。

季节冻结就是岩土的温度年平均值高于其冻结温度的冻结。季节冻土区的下伏岩土总是非冻结。通常季节冻结层的厚度总是小于夏季的融化深度,在夏季期间,季

节冻结层都被完全融化的。

由图2-1可以看出,季节冻土区的大部分地区,每年的9、10月,气温月平均值都降至负温,地表层开始冻结,一般在翌年1、2月间,土层的冻结深度达到最大值,随后在下卧非冻土层的热流影响下,逐步地由下而上地融化冻土层,气温升高地表也由上而下地使冻土层融化,在双向热流作用下,直至翌年的4、5月全部融化完。冻土界将这层冻土层称为季节冻结层,这段负温时间统称寒季,将此后气温月平均值均为正温的季节统称为暖季。

在没有多年冻土情况下,季节冻结层是垫在非冻土层之上。当存在岛状多年冻土、不衔接多年冻土或多年冻土区中融区情况下,季节冻结层与岛状多年冻土间为厚度较大的融化土层所隔开,季节冻结层就垫在融化层或融土之上。在多少年内,无论是在冻结部分或下伏的融化层中,其年平均温度都是正的。

假如负温时的热周转全部消耗于季节冻结土层的冻结,称作潜在季节冻结。实际上,总有部分热周转是在土层冻结后,用于使这冻结层内土层的进一步冷却,并不能使土层达到最大冻结。这个温度年变化的土层厚度决定于这层波动阻尼的厚度。在短期气候变化和人类活动影响结果,土中热周转值可以发生变化,季节冻结深度可变化到1.5~2倍。多年内周期性地重复达到的最大季节冻结深度,对工程建筑物具有很大的实践意义。

为了编图和比较方便,人为地设置标准冻结深度,即非冻胀黏性土,地表平坦、裸露、城市之外的空旷场地中,不少于10年实测最大冻结深度的平均值。实际上,全国气象站都难于达到这种标准的条件,在使用过程中,应根据工况进行土的类别、冻胀性(水分)、周围环境和地形对冻结深度影响系数(见附录3)的修正而确定设计所需的季节冻结深度值。

由附录2的季节冻土标准冻结深度等值线图可以看出,大致35°N与100°E交点和40°N与120°E交点的连线以北,随着纬度增加和海拔高度升高,季节冻结层(深度)逐渐增大。在相同条件下,地基土季节冻结深度增加,对工程建筑物破坏性也增大。

2.1.5 季节融化层 seasonal thawed layer

指每年寒季冻结,暖季融化,其年平均地温 $<0^{\circ}\text{C}$ 的地壳表层,其下卧层为多年冻土层。

季节融化就是岩土的温度年平均值低于其冻结温度的冻土层出现融化。季节融化层的下伏岩土层是冻土层。一般说季节融化层的厚度都小于寒季的季节冻结深度。只有在多年冻土南界地区才存在等于或大于季节冻结深度。

季节融化的先决条件是冻结岩土的地表部分,在每年暖季的正气温影响下发生融化。无论是地表的融化层,还是下伏的多年冻土层,在多年的时间内,其年平均地温都是负的(图2-2)。季节融化作用仅受土壤热量平衡的收入部分所控制。

由图2-2可以看出,多年冻土分布地区,每年的4、5月(部分地区可提前至3月),气温月平均值都升至正温,地表层开始融化,一般到9、10月间,冻土层的融化深度达到最大值。此时,地表又开始进入冻结期,随后在地表的冻结和下伏多年冻土层的热流影响下,由上而下和由下而上地使融化层冻结。在双向冻结作用下,直至翌年的1、

2月全部回冻。冻土界将这层融化层称为季节融化层,这段正温的时间统称暖季。

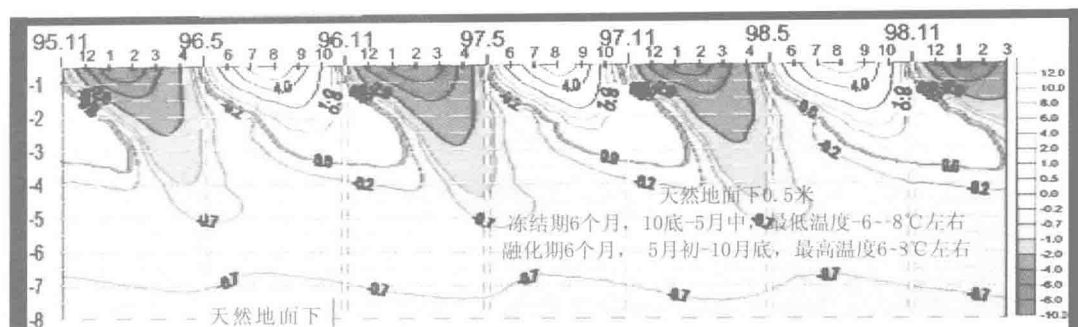


图2-2 青藏公路沿线高温冻土区的季节融化层内地温变化(据刘永智资料)

暖季期间,正气温的日平均值的累加总值称为融化指数(单位: $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$)。附录2.0.2绘制了我国融化指数标准值等值线图,其单位: $^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$ 。

在多年冻土分布区,融化作用表现得很充分,大量的冻土层被融化,冻结作用仅局限于地表季节融化层部分。当季节冻结作用能使年内的季节融化层全部冻结,使季节冻结层与下伏多年冻土层衔接,则称为衔接多年冻土层。当负气温大于正气温时,潜在的冻结作用能达到更厚的层次(超过年内的季节融化层厚度),多年冻土是处于发展。但当负气温小于正气温时,冻结作用就不能使季节融化层完全回冻,使季节冻结层与下伏多年冻土层间残留部分融化层,称为不衔接多年冻土层,这时的多年冻土可能处于逐渐退化。

冻土界中有将多年冻土区每年寒季冻结,暖季融化的地表层统称为活动层。活动层的最大厚度出现在地温年平均值为 0°C 地带(严格说应以岩土冻结温度为准),随着热量交换的上边界条件变化而变化,即随着地表月平均较差的增大而增大,反之亦然(见图2-3)。

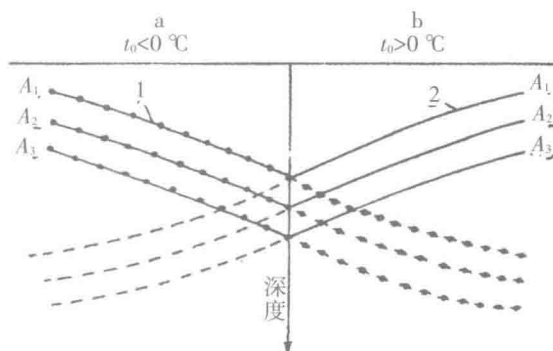


图2-3 季节冻结深度与季节融化深度的变化(引自[3])

a——地壳深层冻结区;b——地壳季节冻结区

1.实际的和可能的融化深度;2.实际的和可能的冻结深度;

实线——实际的冻结深度和融化深度;虚线——可能的冻结深度和融化深度; t_0 ——土温年平均值

A值为地表温度较差,应通过地壳外部因素来确定,实际上是与发生在岩土层本身的过程有关。这个指标包括冻结期和融化期的平均气温、持续时间和地表热平衡的各个分量。