

寒区隧道工程

Tunnel Engineering in Cold Regions

吴紫汪 赖远明 藏恩穆 等著

大坂山隧道



海洋出版社

寒区隧道工程

Tunnel Engineering in Cold Regions

吴紫汪 赖远明 臧恩穆 等著

江苏工业学院图书馆
藏书章

海洋出版社

2003年·北京

内 容 提 要

本书总结了我国 50 年来寒区隧道工程冻害防治的实际经验和理论研究成果。全书分三大部分:第一部分阐述了寒区隧道的特殊性,提出了寒区隧道的分区和分类,在工程现场实测数据的基础上建立了隧道内空气与围岩的对流换热和固体导热的综合模型、温度场与渗流场耦合问题模型、隧道衬砌-正冻围岩系统的冻胀力计算公式、温度场渗流场应力场耦合问题模型。初步研究了寒区隧道的地震响应,计算了寒区挡土墙在水平冻胀力作用下的倾覆安全系数,提出了寒区挡土墙的温度场、渗流场、应力场耦合问题模型和计算公式。第二部分列举了寒区隧道工程的各种冻害,分析了冻害发生的机制,提出了“防水、排水、防冻胀”的综合治理冻害的原则和方法。第三部分提出了寒区隧道勘测、设计、施工之要点,并以大坂山隧道工程为例,详述了寒区隧道的设计与施工经验。

本书可供从事寒区环境研究的科研人员、工程建设的工程技术人员以及相关专业的的大专院校师生参阅。

图书在版编目(CIP)数据

寒区隧道工程/吴紫汪等著. —北京:海洋出版社,2003. 11
ISBN 7-5027-5987-5

I. 寒… II. 吴… III. 冻土区-隧道病害-防冻-研究 IV. U457

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 096161 号

责任编辑:金 炯

责任印制:王兴新

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)

兰州中科印刷厂印刷 新华书店经销

2003 年 11 月第 1 版 2003 年 11 月兰州第 1 次印刷

开本:787 mm×1092 mm 1/16 印张:11.25

字数:260 千字 印数:1~700 册

定价(精装):55.00 元

海洋版图书印、装错误可随时退换

前 言

我国有一半以上的国土面积属于寒区,即土层年冻结深度大于80 cm的地区。寒区隧道工程是基础建设中的一项特殊工程。由于寒冷环境导致的一系列病害,不但给工程设计与施工提出许多新问题,也给隧道运行管理带来困难,并往往造成很大的经济损失。对寒冷环境中反复冻融作用引起的隧道病害—冻害的形成机理的研究是不足的,也缺乏一套防治冻害的相应技术。20世纪90年代初,连接青海省省会西宁至甘肃省河西重镇张掖227国道的关键工程——跨越祁连山的大坂山隧道工程开始筹建。这是一座有相当代表性的寒区隧道,位于海拔3800 m处,年平均气温在-3℃左右,年降水量达800 mm以上。隧道顶部有多年冻土岛分布,隧道围岩较破碎而且含水。青海省交通厅和中国科学院冻土工程国家重点实验室共同提出以此隧道为依托,开展高海拔寒区隧道冻害防治技术研究,得到有关方面的大力支持,成立了以臧恩穆、吴紫汪为组长的联合科技攻关研究组。青海省交通厅负责研究课题的组织与协调,并承担部分现场技术试验研究;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承担隧道冻害机理、水热力动态特征及全部现场与室内试验观测任务;陕西省公路勘察设计院承担隧道防冻抗冻技术设计研究;铁道部第十六工程局承担隧道施工技术研究。前后历经8年,至2000年按计划完成课题研究任务,取得了一系列成果。这是业主、设计、施工与科研部门紧密协作、共同努力的结果,是集体智慧的结晶。其成果不但对大坂山隧道的成功建成起到了重要的指导作用,而且积累了寒区隧道防冻害设计和施工的宝贵经验,推动了我国寒区隧道防冻害技术的进步,其中部分技术已在青藏铁路隧道等的建设中得到应用,社会效益是显著的。为了使本成果得到进一步推广应用,在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的资助下,将其编辑出版。

本书各章节撰写者:第一章:吴紫汪,第二章第一节:朱林楠,第二、三、四节:何春雄、吴紫汪,第五、六节:赖远明、吴紫汪,第三章第一节:吴紫汪,第二节:盛煜,第三、四、五节:赖远明、吴紫汪,第四章第一节:令峰,第二节:赖远明,第五章第一节:朱林楠,第二、三节:邓友生、吴紫汪,第六章:吴紫汪、臧恩穆,第七章第一节:朱林楠,第二节:郭兴民,第三节:李永福、刘文浩,第四节:刘国玉,第八章:吴紫汪、臧恩穆,第九章:李刚,第十章:刘国玉。附录一、二照片由郭兴民、邓友生等提供。

除撰写者外,参加试验研究主要人员还有马忠英、龚尧君、刘洪金、潘秉武、朱国才、张学珍、李海鹏。

全书由吴紫汪统稿,刘经仁负责编辑与校对工作。

在此特别感谢青海省交通厅在7~8年连续现场工作中为我冻土工程国家重点实验室提供了全部后勤保证,铁道部第十六工程局为我们提供很好的现场试验、观测环境与条件;《中国沙漠》编辑部的金炯编审和孙良英、郝美玲女士为本书的出版,在编审、排版、制图和校对等方面付出的辛勤劳动。

吴紫汪

2002年9月

目 次

上篇 寒区隧道工程的分区分类与热力计算

第一章 寒区隧道的分区与分类	(3)
第一节 寒区隧道工程的特殊性	(3)
第二节 寒区隧道分区	(9)
第三节 寒区隧道分类	(14)
第二章 寒区隧道温度场和渗流场	(21)
第一节 大坂山隧道围岩冻融过程温度场观测	(21)
第二节 大坂山隧道围岩冻融状况的变化趋势	(27)
第三节 寒区隧道围岩冻融状况分析的导热与对流(层流)换热模型	(34)
第四节 寒区隧道围岩冻融状况分析的导热与对流(紊流)换热模型	(40)
第五节 寒区隧道温度场和渗流场耦合问题的非线性分析	(46)
第六节 寒区圆形截面隧道温度场的解析解	(52)
第三章 寒区隧道应力场	(58)
第一节 大坂山隧道围岩冻胀力观测	(58)
第二节 寒区隧道围岩冻胀力的弹性解	(61)
第三节 寒区隧道围岩冻胀力的粘弹性解析解及对衬砌层的作用	(65)
第四节 寒区隧道围岩冻胀力和渗流力对衬砌层的综合作用	(70)
第五节 寒区隧道地震响应的弹粘塑性分析	(77)
第四章 寒区隧道洞口路堑挡土墙稳定性分析	(85)
第一节 寒区隧道进出口路堑边坡刚性挡土墙稳定性分析	(85)
第二节 寒区挡土墙温度场、渗流场和应力场耦合问题的非线性分析	(88)

中篇 寒区隧道冻害防治——以大坂山隧道为例

第五章 大坂山隧道的地质、冻土与地下水	(99)
第一节 大坂山隧道的地层与岩性	(99)
第二节 大坂山隧道的冻土	(103)
第三节 大坂山隧道的地下水	(104)

第六章 寒区隧道的冻害及其防治·····	(108)
第一节 寒区隧道的冻害·····	(108)
第二节 寒区隧道的冻害防治·····	(109)
第七章 大坂山隧道的若干冻害防治措施·····	(113)
第一节 防寒保温门·····	(113)
第二节 防雪保温大棚·····	(115)
第三节 衬砌保温层·····	(121)
第四节 围岩渗水堵漏·····	(123)
下篇 寒区隧道工程勘测、设计、施工	
第八章 寒区隧道工程勘测、设计、施工要点·····	(127)
第一节 寒区隧道工程勘测·····	(127)
第二节 寒区隧道工程设计·····	(127)
第三节 寒区隧道工程的若干特殊施工工艺·····	(133)
第九章 寒区隧道工程设计——以大坂山隧道工程设计为例·····	(136)
第一节 工程概况·····	(136)
第二节 沿线自然条件·····	(137)
第三节 路线与路基、路面设计·····	(138)
第四节 隧道设计·····	(140)
第五节 环境保护·····	(143)
第六节 设计体会·····	(143)
第十章 寒区隧道工程施工——以大坂山隧道工程施工为例·····	(145)
第一节 开挖技术·····	(145)
第二节 防水、排水、保温系统施工方案·····	(146)
第三节 防水、排水、保温系统施工·····	(147)
第四节 防冻、通风、供水、钻孔设施·····	(152)
第五节 施工体会·····	(156)
结束语·····	(159)
参考文献·····	(161)
附录一 大坂山隧道景观照片·····	(164)
附录二 寒区隧道冻害照片·····	(167)

Contents

Part I Partition, classification and thermodynamical computation for tunnels in cold regions

Chapter 1 Partition and classification of cold region tunnels (3)

1. Particularity of tunnel engineering in cold regions (3)

2. Partition for cold region tunnels (9)

3. Classification for cold region tunnels (14)

Chapter 2 Temperature and seepage fields in cold region tunnels (21)

1. Temperature observations for rocks surrounding the Dabanshan tunnel (21)

2. Change trends of freeze-thaw conditions in rocks surrounding the Dabanshan tunnel (27)

3. Convection-conduction model (laminar flow model) for analyses of freeze-thaw conditions in rocks surrounding tunnel in cold regions (34)

4. Convection-conduction model (turbulent flow model) for analyses of freeze-thaw conditions in rocks surrounding tunnels in cold regions (40)

5. Nonlinear analyses for coupled problem of temperature and seepage fields in cold region tunnels (46)

6. Analytical solution of temperature field for circular tunnel in cold regions (52)

Chapter 3 Stress field in cold region tunnels (58)

1. Frost force observations in rocks surrounding the Dabanshan tunnel (58)

2. Analytical solution for frost force in rocks surrounding cold region tunnels (61)

3. Analytical visco-elastic solution for frost force in cold region tunnels (65)

4. Synthetic impact of frost forces and seepage forces in rocks surrounding cold region tunnels on lining (70)

5. Elastic visco-plastic analyses for earthquake response of tunnels in cold regions (77)

Chapter 4 Retaining wall stability analyses for tunnel portals cutting in cold regions (85)

1. Rigid retaining wall stability analyses for tunnel portals cutting slope in cold regions (85)

2. Nonlinear analyses for coupled problem of temperature, seepage and stress fields in cold region retaining wall (88)

Part II Frost damage control for tunnels in cold regions—A case of the Dabanshan tunnel

Chapter 5 Geology, permafrost and underground water for the Dabanshan tunnel

.....	(99)
1. Geology for the Dabanshan tunnel	(99)
2. Permafrost for the Dabanshan tunnel	(103)
3. Underground water for the Dabanshan tunnel	(104)
Chapter 6 Frost damage and its prevention for cold region tunnels	(108)
1. Frost damage for cold region tunnels	(108)
2. Frost damage prevention for cold region tunnels	(109)
Chapter 7 Frost damage prevention for the Dabanshan tunnel	(113)
1. Thermal insulation door	(113)
2. Snow-proof shed	(115)
3. Thermal insulation lining	(121)
4. Seepage-proof	(123)
Part III Exploration, design and construction for tunnel engineering in cold regions	
Chapter 8 Essentialites on exploration, design and construction for tunnel engineering in cold regions	(127)
1. Exploration for tunnel engineering in cold regions	(127)
2. Design for tunnel engineering in cold regions	(127)
3. Constructing technology for tunnel engineering in cold regions	(133)
Chapter 9 A design example for tunnel engineering in cold regions	(136)
1. Generality of the Dabanshan tunnel engineering	(136)
2. Natural condition for the Dabanshan tunnel	(137)
3. Design for line, embankment and pavement	(138)
4. Design for the tunnel	(140)
5. Environmental protection	(143)
6. Experiences on design of the Dabanshan tunnel	(143)
Chapter 10 A constructing example for tunnel engineering in cold regions	(145)
1. Excavation	(145)
2. Plan on water-proof, drainage and thermal insulation systems	(146)
3. Constructing technology of water-proof, drainage and thermal insulation systems	(147)
4. Anti-freezing, ventilation, water supply and drilling in constructing process	(152)
5. Experiences on construction	(157)
Conclusion	(159)
References	(161)
Appendix 1 The landscape of the Dabanshan tunnel	(164)
Appendix 2 Photos on the frost damage of a cold region tunnel	(167)

上 篇

寒区隧道的分区分类
和热力计算

第一章 寒区隧道的分区与分类

第一节 寒区隧道工程的特殊性

寒区隧道工程作为一个重要研究课题被提到日程,是因为它具有系列非冻土区所没有的特点与问题,或者一些问题虽具有共性,但在寒区中反映更为深刻,因此寒区隧道工程特殊性所带来的问题早已引起寒区国家工程界的普遍重视。

一、寒区隧道内气温及围岩温度变化较大

隧道工程首先改变了太阳直接照射的辐射条件,再由于隧道贯通与车流影响,大大增强了对流换热作用。洞内的温度变化主要表现在:

(1) 沿隧道进深不同段落气温普遍降低。天然条件下,隧道开挖时,洞中与围岩温度均高于相应地点的地表温度与气温。而隧道贯通后,洞中年平均气温、围岩表(界)面温度一般低于、等于相应地点的地表温度与气温。天然条件下同一地点气温低于相应的地表温度,这是具有普遍性的规律,就全国而言,同一地区年平均地面温度高于年平均气温 1~4℃,在青藏高原地区,前者普遍高于后者 3~3.5℃或更高。而在隧洞内,气温与围岩(衬砌层)界面的温度,是较为接近的(表 1-1)。

表 1-1 大坂山隧道内气温与洞壁温度*

地段里程	观测时间	洞中	洞壁温度(℃)						
		气温 (℃)	西边墙 下部	西边墙 中部	西顶拱	正顶拱	东顶拱	东边墙 中部	东边墙 下部
K105+320	1999-09-19*	0	0	0	0	0	0	0	0
	1999-09-26	2	2	2	2	2	2	2	2
	1999-09-28	0	0	0	0	0	0	0	0
K105+705	1999-09-19*	2	2	2	2	2	2	2	2
	1999-09-26	2	2	2	2	2	2	2	2
	1999-09-28	1	1	1	1	1	1	1	1
K106+450	1999-09-19*	0	0	0	0	0	0	0	0
	1999-09-26	1	1	1	1	1	1	1	1
	1999-09-28	0	0	0	0	0	0	0	0

* 手提红外辐射测温仪

(2) 自然条件下地面温度是随气温变化而变的,基本是同步的,一年四季均表现为地面温度高于相应气温,仅是其差值不同。而隧道内气温与围岩界面(衬砌层)温度虽然也

是同步变化的,但隧洞内不同进深段落的气温与壁面温度在一年四季中则可高于或低于洞外气温,即暖季洞内温度多低于洞外气温,寒季洞内温度高于洞外气温,即所谓洞内“冬暖夏凉”(图 1-1)。根据乜凤鸣(1983)报道,大兴安岭西罗奇隧道中各段落的年平均温度均低于隧洞外的年平均气温,洞外年平均气温 -3.5°C ,而洞内均低于 -6°C 。

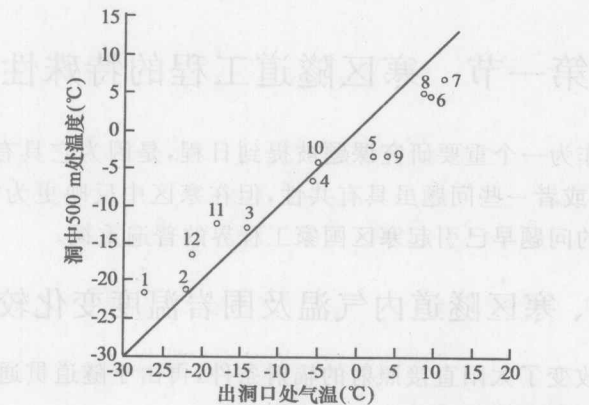


图 1-1 大兴安岭西罗奇隧道中月平均温度与出口处气温的关系(据乜凤鸣)

(3) 寒区隧道中温度沿进深变化呈一定规律性,大致呈抛物线型分布,暖季为中间段低;寒季相反,中间高,进出口段低(图 1-2 至图 1-5)。但是隧道内不同地段的温度差值受隧道长度制约,隧道愈长则洞外 $\rightarrow$ 洞口 $\rightarrow$ 洞中的温度差值愈大。表 1-2 为年气温最低的 1 月,洞外气温与洞内最高气温之差值,这个差值,一般是最冷月份最大,其次是最热月份,4、5 月与 9、10 月差值最小(图 1-6)。这个特点对不同进深围岩的冻融深度有很大影响。

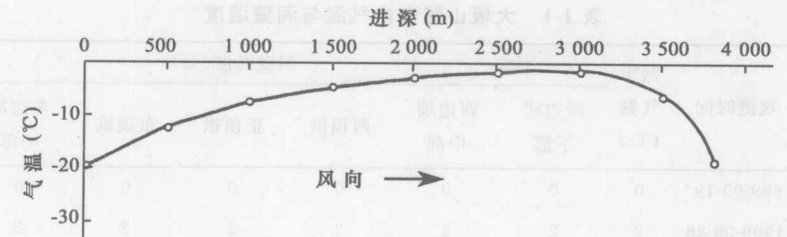


图 1-2 小兴安岭杜草隧道(3 849 m 长)内气温分布(1979-01-28)(据乜凤鸣)

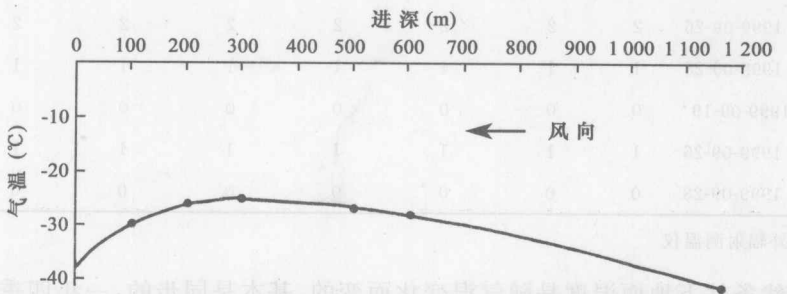


图 1-3 大兴安岭西罗奇 2 号隧道(1 160 m 长)内气温分布(1979-01)(据乜凤鸣)

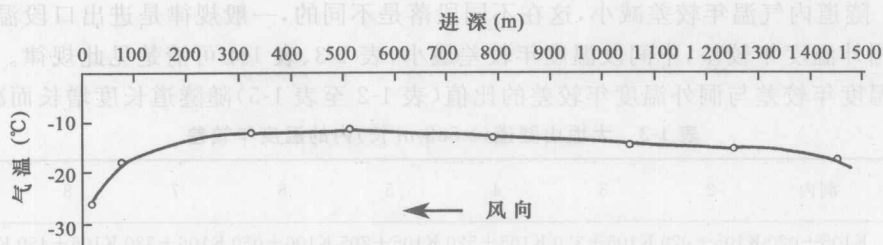


图 1-4 青海大坂山隧道(1 553 m 长)内气温分布(2000-01)

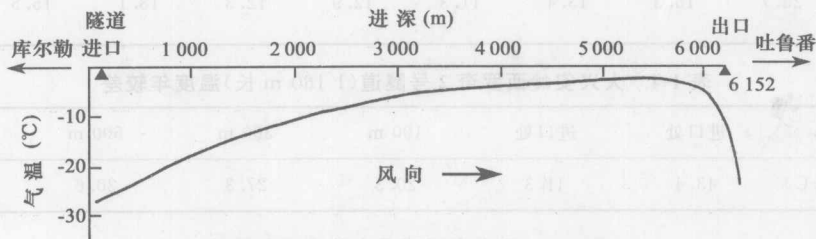


图 1-5 奎先大坂隧道(6 152 m 长)内气温分布(1979-01-28)
(根据乌鲁木齐铁路局工务段)

表 1-2 寒区隧道 1 月份洞内外温度差值与隧道长度的关系

隧道名称	隧道长度(m)	由洞口至洞中 1 月最大的日温度差值(℃)
新疆天山奎先大坂隧道	6 150	24
大兴安岭杜草隧道	3 849	18
大兴安岭西罗奇 2 号隧道(包凤鸣,1988)	1 160	15
青海大坂山隧道*	1 530	15
大兴安岭翠岭 2 号隧道(田庆丰,1982)	420	5

* 加设保温门。

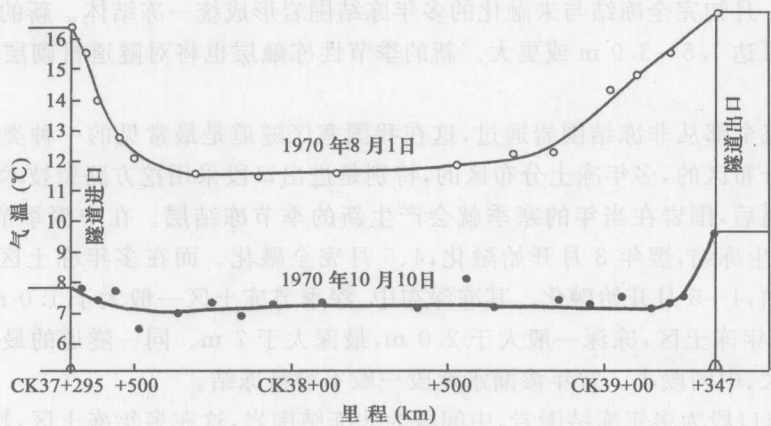


图 1-6 石汝线贺兰山隧道(2 095 m 长)测温曲线
(根据呼和浩特铁路分局)

(4) 隧道内气温年较差减小,这在不同段落是不同的,一般规律是进出口段温度年较差小于洞外温度年较差,中间段温度年较差最小,表 1-3、表 1-4 可清楚见此规律。初步分析洞内温度年较差与洞外温度年较差的比值(表 1-2 至表 1-5)随隧道长度增长而减小。

表 1-3 大坂山隧道(1 553 m 长)内的温度年较差

测点号	洞内	2	3	4	5	6	7	8	出口
里程	K105+020	K105+070	K105+320	K105+520	K105+705	K106+050	K106+320	K106+450	K106+500
温度年较差 (℃)	23.7	15.3	13.4	11.3	12.9	12.3	13.1	15.5	23.1

表 1-4 大兴安岭西罗奇 2 号隧道(1 160 m 长)温度年较差

位置	进口处	进口处	100 m	300 m	500 m	出口处
温度年较差(℃)	43.4	41.3	20.3	27.3	20.6	38.5

表 1-5 几个寒区隧道内外温度年较差

隧道名称	洞外温度年较差 (℃)	洞内中间段温度年较差 (℃)	比 值 (%)
大坂山隧道	23.7	11.3	0.40
西罗奇隧道	43.4	27.3	0.62
翠岭隧道	44.0	32.0	0.70

二、寒区隧道围岩形成新的冻土层

- 不论是多年冻土围岩或非冻结围岩,隧道贯通后围岩一般会形成新的冻土层。
- (1) 隧道全部穿越于多年冻土层之中,隧道原多年冻结的围岩则要发生融化,变为季节融化层,根据我国多年冻土的分布条件,此类隧道围岩每年从 4 月开始融化,9 月末开始回冻,到 11 月初完全冻结与未融化的多年冻结围岩形成统一冻结体。新的冻融层的最大融化深度可达 1.5~3.0 m 或更大。新的季节性冻融层也将对隧道衬砌层产生明显作用。
- (2) 隧道全部从非冻结围岩通过,这在我国寒区隧道是最常见的一种类型,包括中、深季节冻土分布区的,多年冻土分布区的,特别是进出口段采用挖方路堑技术的隧道。这类隧道在贯通后,围岩在当年的寒季就会产生新的季节冻结层。在中深季节冻土区,10 月中、下旬发生冻结,翌年 3 月开始融化,4、5 月完全融化。而在多年冻土区,一般在 10 月初开始冻结,4~5 月开始融化。其冻深在中、深季节冻土区一般大于 1.0 m,最深大于 3.0 m。在多年冻土区,冻深一般大于 2.0 m,最深大于 7 m。同一隧道的最大季节冻深是进出口段大、中间段小。常年渗漏水地段一般不容易冻结。
- (3) 进出口段为多年冻结围岩,中间段为非冻结围岩,这在多年冻土区,特别是中、低温多年冻土分布区是常见的一种隧道。这类隧道进出口段多年冻结围岩将产生新的季节冻融层,在非冻结围岩段则将形成新的季节冻土,甚至逐步发展为新的多年冻土。

新的季节融化层或季节冻结层对隧道衬砌层稳定性均是极不利的因素。

三、寒区隧道围岩与衬砌层要遭受反复的冻融作用,造成强度损失

寒区隧道冻结期在 100~210 d 以上,如上面所述,其围岩反复冻融深度至少为 1.0 m,一般冻深均穿越衬砌层,强度损失不但是衬砌层,而且包括围岩。

混凝土,特别是饱水混凝土衬砌层的强度损失是比较大的。围岩也是不可忽视的,特别是风化围岩,例如片岩、页岩等粘土质围岩强度损失是很大的(表 1-6)。由表可见,经 23 次冻融循环作用,最大强度损失达 50%,一般在 20% 以上。这种地层在寒区尤其是青藏高原的分布是很普遍的。

表 1-6 大坂山隧道围岩冻融后的强度损失

编 号 No	容重 (g/cm ³)	天然脱水条件 下的抗压强度 δ_1 (MPa)	天然风干后 的抗压强度 δ_2 (MPa)	经冻融循环 的抗压强度 δ_3 (MPa)	抗冻系数 δ_3/δ_2	资料来源
大坂山—1 [#]	2.73	—	103.05	54.48 ^①	0.53	本课题 现场取样
	2.77					
大坂山—2 [#]	2.80	—	116.10	58.72 ^①	0.51	
	2.74					
大坂山—3 [#]	2.75	—	121.60	59.72 ^①	0.49	
	2.82					
ZK—1	2.744	39.7	—	33.3 ^②	0.84	
ZK—5	3.019	40.8	—	19.6 ^②	0.48	
LS	2.832	54.6	—	42.2 ^②	0.77	
S(L)gp	2.828	12.10	—	9.2 ^②	0.76	
ZP	2.066	33.6	—	26.5 ^②	0.79	
T ₆	2.014	95.9	—	73.5 ^②	0.77	
Q ₆	2.918	90.3	—	68.6 ^②	0.76	

① 样品直径 5 cm、高度 10 cm,冻融循环 23 次,样品取自洞内。

② 样品大小为 5 cm×5 cm×5 cm,冻融循环 20 次。

四、隧道衬砌层将反复遭受冻胀力的作用

隧道衬砌层后面的围岩,一般情况下每年均要发生冻结,若是含水围岩,则冻结后就要产生冻胀,当冻胀受到衬砌层与围岩自身的约束就要发生冻胀力。研究实践表明:在相似含水条件与冻结条件下,冻胀力随围岩与衬砌层的刚度增大而增大;在其他条件相似时,冻胀力随围岩的冻结深度增大而增大。按大坂山的围岩性质,当冻结深度由 1 m 增至 4 m,其冻胀力要增加 4~5 倍;冻结围岩的含水量对冻胀力影响极大,冻胀力值几乎以

等同于围岩含水率所增加的倍数而增加；总体来看，围岩含水且呈封闭、半封闭状态时，其冻结时的冻胀力是较大的，可以大于一至十几个兆帕或更大。虽然多数隧道围岩属于岩质，孔隙度小于松散土质，但是冻结时发生的冻胀力仍是很大的，这也是寒区含水围岩衬砌层大量遭受破坏的原因，因为隧道属地下工程，均在一定深度上穿越，含水围岩多具一定水头压力，再加上混凝土衬砌圈的封闭作用，因此含水围岩中的地下水一般呈封闭、半封闭状态，特别在隧道上覆地层为多年冻土或深季节冻土时，产生后封闭作用，因此，隧道围岩中地下水呈承压状态是普遍存在的现象。据报道，在封闭且刚度大的容器或孔隙裂隙中的水冻结成冰时，其冻胀力可大于 50 MPa(崔托维奇, 1985)。隧道含水围岩冻结与此相类似，这就可以较好地解释一些良好岩质含水围岩上的衬砌层因冻胀力作用而大量发生破裂的现象。

五、寒区隧道围岩所含水分的温度较低

寒区隧道围岩含水层水温普遍较低，在中季节冻土区一般围岩含水层水温为 6~8℃，在深季节冻土区为 4~6℃，而多年冻土分布区一般为 0~4℃。低温为渗入隧道或集于排泄水沟的水发生冻结提供了有利条件。

寒区隧道围岩地下水水温在时间上的变化有一定规律，沿隧道不同进深围岩地下水水温一般具暖季高、寒季低的特点，从大兴安岭白卡尔隧道与青海大坂山隧道(图 1-7、图 1-8)中均可见到围岩地下水最高温度出现在 7~8 月间，而最低温度出现于 3~4 月，整个非冻结期的水温相对稳定，这显然是受到暖季高温降水渗入补给的滞后影响。而冻结期，水温则受所处岩土温度的制约。隧道围岩地下水水温相对稳定，青海大坂山隧道内一处水温年变化小于 1.6℃，大兴安岭的白卡尔隧道水温年变化幅度也小于 1.7℃。

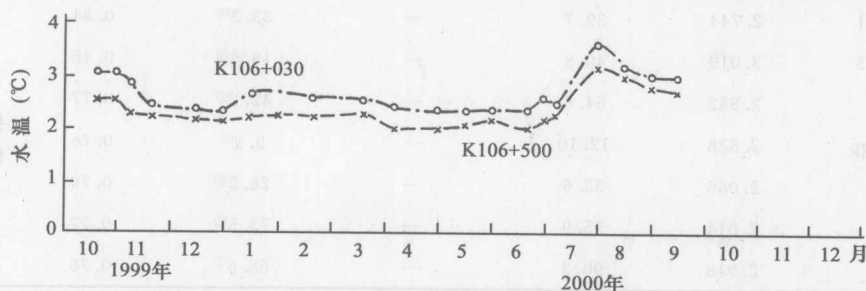


图 1-7 大坂山隧道泄水洞 K106+030、K106+500 处流水温度

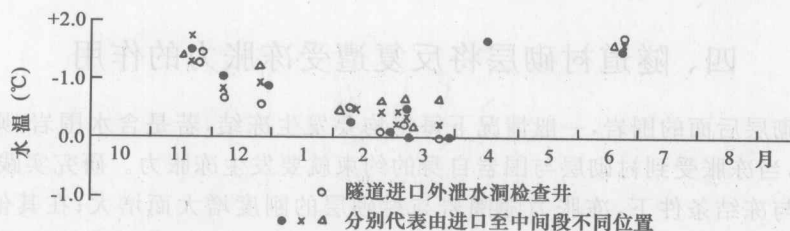


图 1-8 大兴安岭白卡尔隧道泄水洞内水温(非多年冻土隧道)(据乜凤鸣)

寒区隧道地下水水温有随流程变化的特点,沿隧道进深,不同地段的水温是不同的。从青海大坂山隧道分析,不同地段水温主要受围岩地温的影响,图 1-9 反映寒季末期、暖季初期的情况,但由于此刻地温显然基本反映经寒季长期作用的结果,因此呈现进出口段水温低、中间段高的基本特征,与该处隧道的原始岩、水温度分布规律是相吻合的,而图 1-10 反映的是暖季长期间断性降水渗入补给与原始岩、水温度共同作用的结果,因此呈现出进口段(南坡)地温高、出口段(北坡)地温低的特点,这表明暖季外界水、气温影响是较大的。从最高水温出水点起算,至隧道出水口,水温降低 1.0℃以上,寒季降低幅度大于暖季。

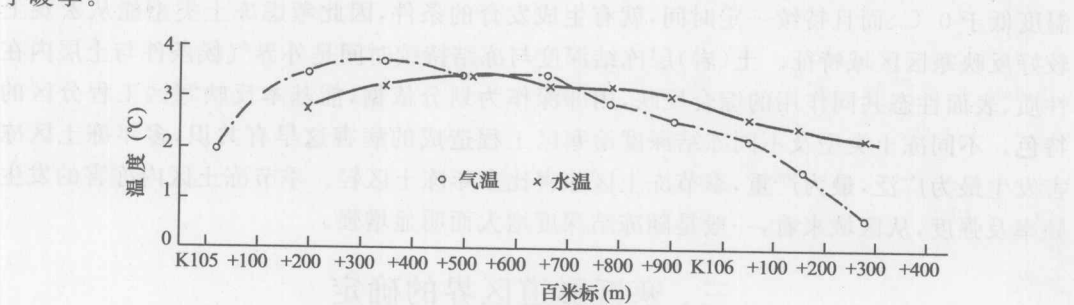


图 1-9 大坂山隧道泄水洞气温与水温(1999-04-17)

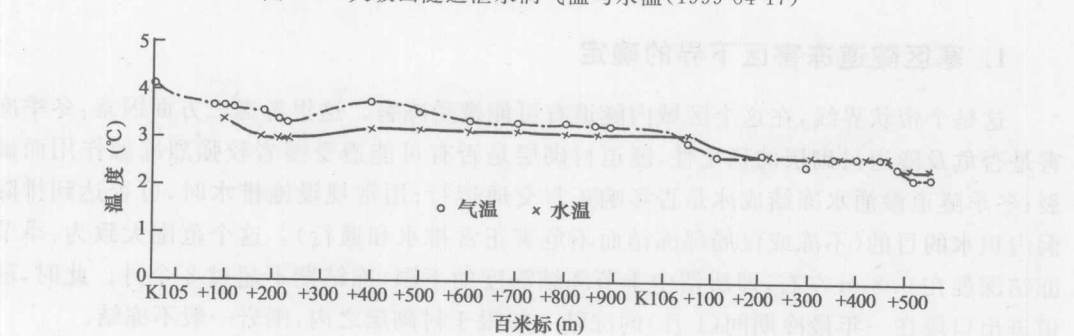


图 1-10 大坂山隧道泄水洞气温与水温(1999-10-04)

寒区隧道工程的上述特点常给隧道工程带来特殊的病害——冻害,从而对寒区隧道工程的勘测、设计和施工提出了新的要求。

第二节 寒区隧道分区

一、寒区隧道分区的一般原则

这是针对专门工程的分区,而且仅对“寒区”而言,分区要体现“寒区”给隧道工程带来的特殊问题——因冻融作用而给隧道造成的病害(冻害)。在各分区中要较好反映其冻害强度与冻害特征。

首先是确定寒区隧道工程分布的区域下限,而这个“下限”主要看它有否发生冻害的条件与隧道发生冻害的事实。凡具上述条件的区域即是我们讨论的范围。在此范围内,