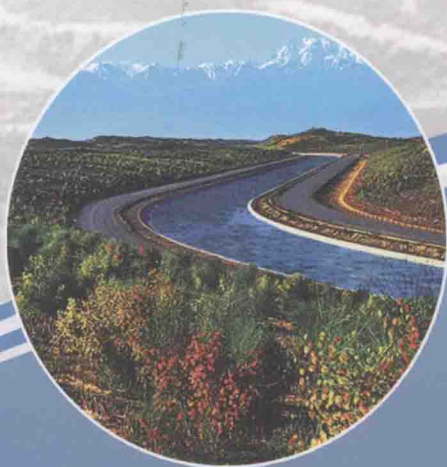


咸寒区渠道冻害 评估与处治技术

蔡正银 黄英豪 编著



科学出版社

咸寒区渠道冻害评估与处治技术

蔡正银 黄英豪 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书针对我国新疆北疆等咸寒地区的输水渠道冻胀问题,通过现场调研总结了渠道冻害的主要破坏形式,明确了渠道冻害的主要影响因素;通过大量室内试验研究了咸寒区冻结渠基土的变形特性和强度特性,研发了可模拟渠道冻胀的离心模型试验系统;通过大型离心物理模型试验,对渠道冻胀进行了定量研究,提出了渠道冻胀的自动化监测与预警系统;通过室内试验和现场研究,提出了渠道冻害的防护和修复技术;介绍了咸寒区渠道冻害的处治技术实例,并总结了渠道冻害的处治模式;最后介绍了目前长距离调水工程在冬季运行的一些基本概念和解决对策。

本书可供从事渠道冻害防护研究的科研工作者参考使用,对于指导我国咸寒地区输水渠道的盐冻胀问题具有重要指导参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

咸寒区渠道冻害评估与处治技术/蔡正银,黄英豪编著. —北京:科学出版社, 2015.4

ISBN 978-7-03-043929-1

I. ①咸… II. ①蔡… ②黄… III. ①渠道流动-冻害-评估-中国 ②渠道流动-冻害-处理-中国 IV. ①TV133

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 055642 号

责任编辑:杨 琪 程心珂/责任校对:朱光兰

责任印制:赵 博/封面设计:许 瑞

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>

文林印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015 年 3 月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2015 年 3 月第一次印刷 印张:14 1/4

字数:290 000

定价:79.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

水是生命之源、生产之要、生态之基，在各种资源中，水资源是各种资源中不可替代的一种重要资源。我国水资源严重短缺，人均占有量仅为世界人均值的1/4。2010年我国农业总用水量为3691亿 m^3 ，占当年总用水量的61.3%，其中农田灌溉用水量又占农业总用水量的90%。渠道输水是我国农业灌溉的主要手段，要保证农田灌溉的顺利进行和水资源的充分利用，农田灌溉渠道工程是农业建设不可或缺的。目前，我国渠系水利用系数约0.51，也就是说有49%的灌溉水在渠道输水过程中损失掉了。如何节约用水、合理配置水资源、提高渠系水利用系数是我国农田水利工程建设要解决的重要问题。

在我国新疆等高寒地区，冬季气候寒冷，极端气温可达 -40°C ，加之部分地区地下水为咸水，属于典型的咸寒区。冻胀和盐胀是导致该地区输水渠道破坏的最主要原因，每年都要耗费大量的人力、物力、财力进行渠道维修，据统计，每年用于处治损坏渠道的费用超过总维修费的50%，严重影响了渠道的正常运行。近年来，随着国家对大型灌区续建配套和节水改造工程的实施，渠道防渗防冻胀的新技术、新材料不断涌现，并逐渐被应用在新建设的渠道工程中。尽管如此，由于渠道冻害的发生和土、水、温三大因素密切相关，而土质、水分、温度条件具有区域差异性，需要针对新疆等咸寒地区输水渠道冻害问题进行专门调查和研究。

本书共分六章，第一章主要总结了咸寒区渠道冻害破坏的主要形式，配有大量渠道冻害破坏的调研图片；第二章选取咸寒区典型渠道工程的渠基土，通过大量室内试验，较系统地研究了该地区土体冻结后的变形特性和强度特性；第三章重点介绍了渠道冻胀离心模型试验设备的研制和应用，这是国内外首次采用离心模型试验的手段进行渠道冻胀问题的研究，然后对渠道冻害的自动化监测技术进行了实例分析；第四章简明地论述了渠道冻害的防护和修复技术，列举了渠道衬砌机械化施工成套设备；第五章选择了典型灌区的渠道节水改造工程，说明了渠道冻害处治技术的应用模式；第六章针对当前高寒区渠道冬季输水的迫切需求，提出了冰期输水模式和冬季安全运行的对策。

本书是作者选取所负责的水利部公益性行业科研专项“咸寒区灌渠冻害评估预报与处治技术”（编号：201201037）的部分研究成果并整合其他学者的研究编撰而成。本项目的实施和本书的编写得到了新疆水利厅邓铭江副厅长、关静主任，新疆水利水电科学研究院何建村院长、张江辉书记，新疆额尔齐斯河流域开发工程建设管理局周小兵书记等的关心和指导；封面中的照片由新疆额尔齐斯河流域

开发工程建设管理局的杨长征和林锋拍摄；第三章的成果得到了水文水资源与水利工程科学国家重点实验室专项基金“北疆输水渠道劣化的现场试验研究”的资助。本书的出版得到了南京水利科学研究院出版基金的支持，图文的编写参阅了大量国内外同行的文献和著作并加以引用，尤其是本书第五章的编写，主要参考了中国灌溉排水发展中心的渠道防渗防冻技术应用网上技术讲座。在此，谨致以衷心的感谢！

南京水利科学研究院关云飞、徐光明、高长胜、曹培、徐惠、曹永勇、吴志强、张晨、李东兵、武颖利、徐锴等参与了本书第二章、第三章和第六章的编写；新疆水利水电科学研究院贺传卿、王怀义、杨桂权、李鑫、邓丽娟、武英杰、王显旭、刘玉甫、孙金龙、金龙、沙吉达、吐尔洪等参与了第三章和第五章的编写；新疆额尔齐斯河流域开发工程建设管理局石泉、苏珊、罗伟林、张惠兰、徐元禄、万连宾等参与了第一章和第四章的编写。全书由蔡正银和黄英豪组织、修改并定稿。

咸寒区渠道冻害的问题，涉及多学科交叉，本书的出版仅为抛砖引玉，希望更多的科研工作者参与到该项研究工作中。由于作者水平有限，书中肯定存在许多不足和错误之处，引用文献也可能存在挂一漏万的问题，恳请各位读者不吝斧正。

作 者

2015年1月

于南京清凉山

目 录

第一章 咸寒区渠道冻害状况	1
1.1 我国冻土及冻害概述	1
1.2 咸寒区渠道冻害类型	3
1.3 咸寒区渠道冻害破坏形式	5
1.3.1 混凝土衬砌渠道	5
1.3.2 砌石衬砌渠道	12
1.3.3 沥青混凝土防渗渠道	13
1.3.4 膜料防渗渠道	14
1.4 咸寒区渠道冻害的主要影响因素	15
1.4.1 渠基土自身的性质	15
1.4.2 温度条件	20
1.4.3 水分条件	21
1.4.4 渠道的走向	23
1.4.5 荷载压力	24
第二章 咸寒区渠基土冻结力学特性	25
2.1 渠基土盐冻胀变形特性	25
2.1.1 试验方法和方案	25
2.1.2 干密度对冻胀变形的影响	31
2.1.3 硫酸钠含量对冻胀变形的影响	35
2.1.4 含水率对冻胀变形的影响	39
2.1.5 饱和土体的冻胀变形	42
2.2 冻结渠基土强度特性	44
2.2.1 试验方法和方案	44
2.2.2 温度对渠基土单轴抗压强度的影响	48
2.2.3 干密度对渠基土单轴抗压强度的影响	52
2.2.4 含水率对渠基土单轴抗压强度的影响	54
2.2.5 硫酸钠含量对渠基土单轴抗压强度的影响	56
2.2.6 渠基土三轴抗压强度特性	60
第三章 渠道冻害的离心模型试验和现场监测	64
3.1 土工离心模型试验概述	64

3.1.1	土工离心模拟的基本原理	64
3.1.2	离心模拟的相似比概述	65
3.1.3	离心模型试验的设备	65
3.2	渠道冻胀离心模型试验装置的研制	68
3.2.1	研制的背景	68
3.2.2	岩土低温离心模拟试验的研究现状	69
3.2.3	适合渠道冻胀离心模型试验的制冷方式	72
3.2.4	渠道冻胀离心模型试验装置	73
3.3	渠道冻胀的离心模型试验	83
3.3.1	渠道冻胀离心模型装置的调试	83
3.3.2	渠道冻胀离心模型的离心模型试验	89
3.4	渠道冻害的现场监测技术	99
3.4.1	渠道冻害的监测技术现状	99
3.4.2	渠道冻害的自动化监测技术实例	105
第四章	渠道冻害的防护和修复技术	127
4.1	渠道冻害的防护技术	127
4.1.1	回避冻胀	127
4.1.2	削减冻胀	128
4.1.3	渠道防渗防冻胀新材料	136
4.1.4	管理措施	141
4.2	渠道冻害的修复技术	142
4.2.1	渠基维修	142
4.2.2	混凝土衬砌层的维修	143
4.2.3	膜料防渗渠道的维修	146
4.2.4	渠道运行中的抢修	146
4.3	渠道衬砌的机械化施工技术	147
4.3.1	渠道衬砌施工技术现状	147
4.3.2	渠道衬砌的施工方法	148
4.3.3	渠道衬砌机械化施工的主要设备	160
第五章	渠道冻害处治技术应用实例	167
5.1	新疆北屯灌区渠道冻害处治技术	167
5.1.1	北屯灌区概况	167
5.1.2	渠道防渗防冻胀技术措施	168
5.1.3	渠道防渗防冻胀技术应用效果	171
5.2	内蒙古河套灌区渠道冻害处治技术	172

5.2.1 河套灌区概况·····	172
5.2.2 渠道防渗防冻胀技术措施·····	173
5.2.3 渠道防渗防冻胀技术应用效果·····	174
5.3 甘肃景电灌区渠道冻害处治技术·····	184
5.3.1 景电灌区概况·····	184
5.3.2 渠道防渗防冻胀技术措施·····	185
5.3.3 渠道防渗防冻胀技术应用效果·····	188
5.4 渠道冻害处治技术应用模式·····	190
5.4.1 基土置换技术的应用模式·····	190
5.4.2 渠道保温技术的应用模式·····	191
5.4.3 渠道排水技术的应用模式·····	192
5.4.4 防冻胀结构形式的应用模式·····	193
5.4.5 渠道冻害综合处治技术的应用模式·····	194
第六章 渠道的冬季输水·····	197
6.1 渠道冬季输水面临的冰问题·····	197
6.1.1 河流冰问题·····	197
6.1.2 渠道输水中的冰塞和冰坝问题·····	199
6.2 冰期输水模式·····	200
6.2.1 冰期输水特性·····	200
6.2.2 冰期输水模式·····	202
6.2.3 冰盖的分类·····	204
6.2.4 动态冰盖形成模式·····	204
6.2.5 平封冰盖运行方式·····	205
6.3 冬季安全运行对策·····	206
6.3.1 工程措施·····	206
6.3.2 管理措施·····	210
6.4 国内外调水工程冬季运行经验·····	211
6.4.1 国内调水工程冬季运行经验·····	211
6.4.2 国外调水工程冬季运行经验·····	214
参考文献·····	215

第一章 咸寒区渠道冻害状况

1.1 我国冻土及冻害概述

冻土是指温度在 0°C 或 0°C 以下并含有冰的各种土壤和岩石（陈肖柏等，2006）。根据冻土存在时间长短，地球上主要分布着两种冻土：一种称为多年冻土，或者称为永久冻土，指两年以上处于冻结状态的冻土，它可以分为两层，表层几米的土层处于夏融冬冻的状态，称为季节活动层或季节融化层，下层常年处于冻结状态，称为永冻层或多年冻层；另一种称为季节冻土，只在地表几米范围内冬季冻结，夏季消融，该层也称作季节冻结层或季节活动层。

地球陆地上多年冻土的分布面积占 $1/5$ ，大致北纬 48° 附近是多年冻土的南界，主要分布在俄罗斯、加拿大、中国和美国的阿拉斯加等地。我国的多年冻土分布面积约占世界多年冻土分布面积的 $1/10$ ，排世界第三位，主要分布在我国青藏高原、大兴安岭、小兴安岭、祁连山、天山和阿尔泰山等高山和高纬度地区，面积约 215 万 km^2 ，占我国陆地国土面积的 22.4% 。其中大兴安岭、小兴安岭的多年冻土为高纬度多年冻土，其余地区的多年冻土为高山多年冻土。

仅地表层冬季冻结、春秋季融化的季节冻土区，分布在多年冻土的外围地区，遍布长江流域以北的广大疆域。季节性冻土区以北纬 30° 以北地区最为突出，特别是我国北方各省区，冻土问题严重，对工程的危害也十分严重。我国冻土分布简图见图 1-1。

在寒冷地区，当土的温度低于 0°C 时，土中部分水冻结成冰，在冻结过程中，由于土中原有的水分和外界补给冻层的水分冻结成冰使其体积增大，从而引起土体体积膨胀，这就是土的“冻胀”。同时，当气温升高冻土融化时，由于土中冰的融化，造成土体结构的破坏和强度的急剧减弱，使土体在自重下就会产生下沉，即通常所指的“融沉”（Chamberlin and Gow, 1979; Peter, 1998）。

土工构筑物或各种建筑物地基土，因冻结及随后的融化过程所引起的构、建筑物的破坏，称为土冻结作用灾害，简称为工程冻害。寒冷地区的工程冻害通常指的是由于气候的正负交替变化，或人为因素的干扰，改变了原来的环境或地基土的温度状态，造成地基土或土工构筑物冻结时形成冻胀变形灾害；或多冰地基融化，在上覆动静荷载作用下出现沉降或滑塌，从而使构、建筑物的不均匀变形超过其极限允许值而出现破坏的现象。当冻结深度超过 0.4m 时，即会呈现出明显

的冻结与融化灾害。



图 1-1 我国冻土分布示意图

在我国新疆、内蒙古、东北、青海等寒冷地区，广泛分布着盐渍土，其地下水为咸水，在低温下土壤溶液中盐分的重结晶作用（Powers, 1949; Zchncler and Arnold, 1989），使土层孔隙度增大，出现土体的松胀现象，称为盐胀。它使地上的建筑物发生变形，甚至破坏，这就是寒冷盐渍土地区特殊的盐胀灾害（Benavente, 2007）。我国冻土灾害和盐胀灾害的分布简图见图 1-2。

大地在季节冻结及融化过程中，将发生一系列热学、物理化学和力学性质的变化。冻胀和融沉给北方寒冷地区各类工程及其建筑物造成很大的危害，使其受到各种动力作用而产生不同部位、不同形式和不同程度的破坏。冻胀破坏涉及公路工程、铁路工程、建筑工程、水利工程、港口工程、机场工程、矿山工程、能源工程等建设领域。受地基土冻胀作用而破坏的各类建筑物中，水利工程中的渠道构筑物和衬砌渠道的冻害最为普遍和严重，而其中又以裂缝、沉降、结构断裂、滑坡等造成的渠道、水闸、涵洞、渡槽、桥梁、挡土墙、土坝护坡、水库溢洪道和各类建筑物进出口护坡等破坏最为突出，冻害造成了难以估量的重大经济损失。

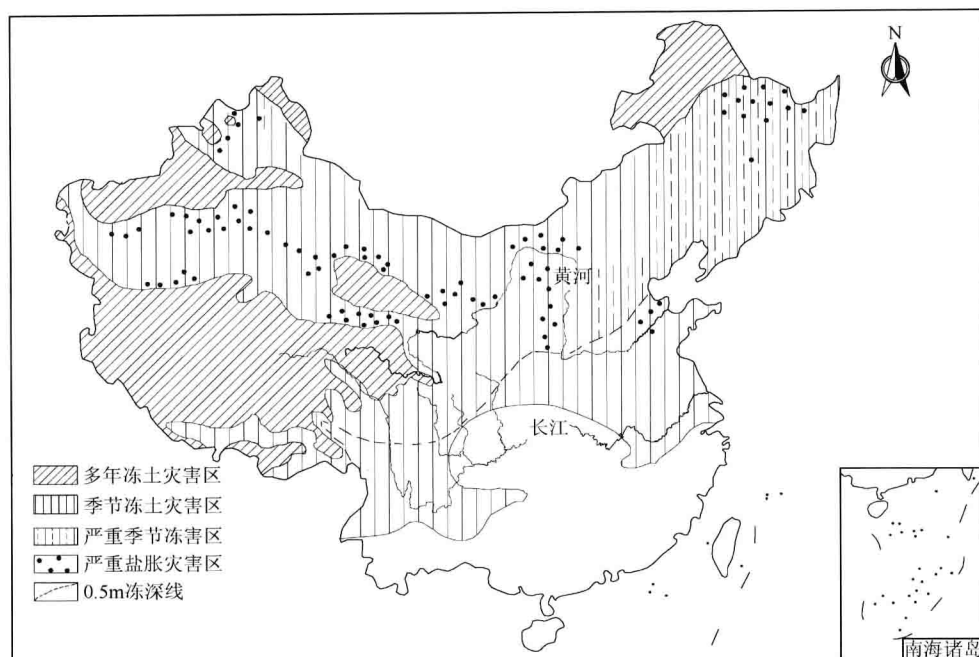


图 1-2 我国冻害及盐害区域分布示意图

1.2 咸寒区渠道冻害类型

我国是一个水资源严重短缺的国家，水资源总量约为 2.8 万亿 m^3 ，人均水资源占有量为 2210 m^3 ，仅为世界人均水资源占有量的 1/4，耕地单位面积水资源占用不足世界平均水平的 1/2。农业用水是我国的第一大用水大户，2008 年，全国农业总用水量为 3664 亿 m^3 ，占当年总用水量的 62%，其中农田灌溉用水量为 3306 亿 m^3 ，占农业总用水量的 90%。

我国农业灌溉普遍存在灌溉效率低和用水浪费严重的现象，我国渠道输水灌溉的比例很大，输水渠道渗漏是灌溉用水浪费的主要方面。目前，我国渠系水利用系数约为 0.51，也就是说 49% 左右的灌溉水在从水源到田间的渠道输水过程中损失掉了，渗漏损失水量相当惊人，提高输水效率是农业节水的重要内容，同时，我国的基本国情决定了现在及今后很长时间内农业灌溉仍然主要采用渠道输水形式。

目前，我国灌溉渠道总长约 450 万 km，其中 20% 为已衬砌渠道，由于已衬砌渠道的冻胀和未衬砌渠道的渗漏，导致灌溉水在输水过程中发生渗漏，其中渠道冻胀破坏是导致渗漏的主要原因之一。据黑龙江省某大型灌区支渠以上的骨干工程调查表明，受到不同程度冻胀破坏的就有 93 座，占调查工程数的 83%；吉林省大型灌区

支渠以上的骨干工程调查表明,受到不同程度冻胀破坏的占 39.4%;新疆维吾尔自治区的北疆渠道工程有半数以上的混凝土干、支渠均因冻胀受到不同程度的破坏(李方和李万杰, 2005; 毛文明, 2011; 李双喜等, 2012)。冻胀破坏不仅直接影响渠系水利用系数和渠道的安全运行,而且大大增加了工程维修费用和运行管理难度。

寒冷地区,冻结气温降到零摄氏度以下,负温对混凝土衬砌防渗渠道有一定的破坏作用。根据负温造成各种破坏作用的性质,冻害可分为冻胀破坏、冻融破坏和冰冻破坏三种类型(何武全等, 2012)。

1) 冻胀破坏

冻胀破坏指渠道基土冻胀和融沉对混凝土衬砌结构的破坏。当渠道基土为冻胀性土,且含水量大于起始冻胀含水量时,在冬季负温的作用下,由于渠道基土中的水冻结后体积增大,造成土体膨胀,使衬砌结构隆起(刘西拉和唐光普, 2007)。当冻胀变形超过衬砌结构的允许变形时,或因冻胀而产生的冻胀力超过衬砌结构的抗裂、抗拉强度时,衬砌结构就会开裂甚至折断(王晓魏等, 2009)。如不及时维修和处理,并继续输水运行,其冻害将逐渐加剧,直至破坏渠道。在渠基土冻结期间,如果地下水位较高,或有其他水源流入渠基,将会有大量的水向冻结锋面转移和结冰,其产生的基土冻胀变形加大,从而使冻害破坏更加严重。在春季消融时又造成渠床表层过湿,使土体失去强度和稳定性,最终导致衬砌体的滑塌(李钦, 2011)。

2) 冻融破坏

冻融破坏指混凝土衬砌材料内部孔隙水的冻融造成的衬砌板破坏(Chambrelain, 1989; Othman, 1993)。混凝土衬砌材料具有一定的吸水性,又经常处于有水环境中,因此材料内总是含有一定的水分,这些水分在负温作用下冻结成冰,体积会发生膨胀,比原体积增大 9%。当这种膨胀作用引起的应力超过材料的强度时,材料就会产生裂缝。在第二个负温周期中,其吸水性增大,结冰膨胀破坏的作用更为剧烈,经过多个冻融循环应力的反复作用,最终导致衬砌材料的冻融破坏。常见的有混凝土衬砌板表层剥落、冻酥等。

3) 冰冻破坏

冰冻破坏指冬季输水渠道水体结冰对衬砌结构的破坏。我国寒冷地区大部分灌溉渠道在冬季停止输水,但少数渠道要进行发电供水、工业供水、城市供水等,在负温期间供水时,渠道里的水体常常会结冰,产生冰冻破坏。渠水结冰时,起初只是形成岸冰,在特别寒冷或严寒条件下,岸冰逐渐向渠道中心扩大,逐渐连成一片,最后表面完全封冻。此后,冰冻层逐渐加厚,对渠道衬砌体产生冰压力,造成衬砌体的位移和破坏,或在冰压力和渠基土冻胀力的作用下鼓胀,发生破坏变形。该冻胀破坏的特点是冻胀量大,鼓得高。鼓起的衬砌板下,冬季输水阶段是冰和冻土,春季消融后是稀泥和空洞。同时,当渠水面封冻后,上游漂浮的冰块或冰屑团,部分钻到冰面以下,当来冰量大于排冰能力时,冰块及冰屑就将在

某个断面的冰面下积累,减小过水断面,逐渐演变到断面完全被封堵,形成冰坝,即会造成渠水满溢,甚至溃渠事故。

1.3 咸寒区渠道冻害破坏形式

我国渠道衬砌与防渗工程常采用混凝土、石料、膜料和沥青混凝土等建立衬砌防渗层,或利用上述材料构成复合结构,达到衬砌防渗的目的。通过对我国典型咸寒区渠道的冻害进行详细调研,总结出渠道冻害主要有以下类型的破坏形式。

1.3.1 混凝土衬砌渠道

普通混凝土是以水泥为胶凝材料,以砂、石为骨料加水拌和,经浇筑成型、凝结硬化形成的人造石材。其中,水泥和水构成的水泥浆包裹在骨料表面并填充砂的空隙形成砂浆,砂浆包裹石子颗粒并填充石子的空隙形成混凝土。混凝土属于刚性衬砌材料,具有较高的抗压强度,但抗拉强度较低,并且衬砌板厚度较薄,适应拉伸变形或不均匀变形的能力较差,在冻胀力或热应力的作用下容易破坏,其破坏形式大致总结如下。

1.3.1.1 鼓胀及裂缝

在冬季负温作用下,混凝土衬砌板与渠道基土冻结成一个整体,承受着冻结力、冻胀力及混凝土板本身收缩产生的拉应力等,当这些应力大于混凝土板在低温下的极限应力时,混凝土板就会发生破坏。混凝土衬砌板的冻胀裂缝多出现在渠道坡脚以上 $1/4 \sim 3/4$ 坡长范围和渠底中部,裂缝一般出现在渠道混凝土板水位线附近。我国新疆某大型引水渠道的鼓胀裂缝情况如图 1-3 所示。

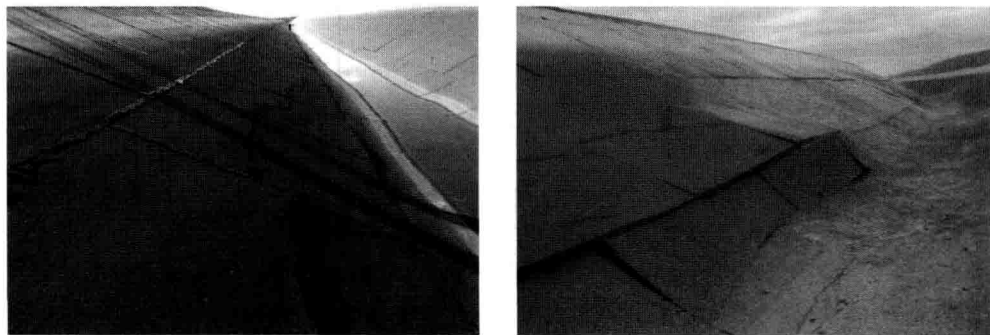


图 1-3 我国新疆某大型引水渠道鼓胀裂缝图

冻胀裂缝宽度与基土的冻胀性及其不均匀程度有关。基土冻胀性弱，裂缝窄；基土冻胀性强，裂缝宽，而且将发展成更严重的其他形式的破坏。温度裂缝和拉裂缝一般呈发射状，但这些裂缝往往都与土的冻胀同时发生，因而缝宽亦随之扩大，特别是其中的纵向裂缝常常成为冻胀缝。

不论上述哪种形式的裂缝，一旦出现，就难于或不可能在基土融化时完全复原，甚至由于裂缝块间相互挤顶而留下宽缝或局部挤碎。裂缝的出现，不但造成渠道漏水，而且由于泥沙通过裂缝被带入板下，污染垫层，加剧土的冻胀。在逐年冻融循环作用下，裂缝宽度和冻胀累积发展，导致衬砌体破坏越来越严重。

1.3.1.2 隆起架空

对于地下水位较高的渠道，渠道基土距离地下水较近，冻胀量较大，而渠道顶部冻胀量较小，造成混凝土衬砌板大幅度隆起、架空，一般出现在坡脚或水面0.5~1.5m 坡体处和渠底中部。渠道的隆起、架空破坏示意图见图 1-4。

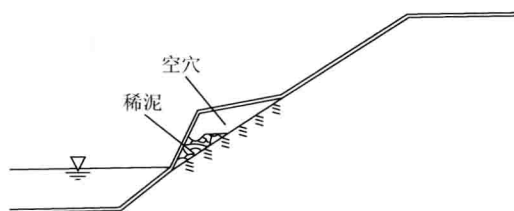


图 1-4 渠道因冻胀引起的混凝土衬砌隆起、架空示意图

冬季行水渠道水位线以下的土体无冻胀，混凝土衬砌板无变位，水位线以上部分则暴露在大气中，在负温作用下，渠基土冻结膨胀，使衬砌板隆起，春季消融时很难复位，形成架空。图 1-5 为混凝土衬砌隆起、架空的照片。

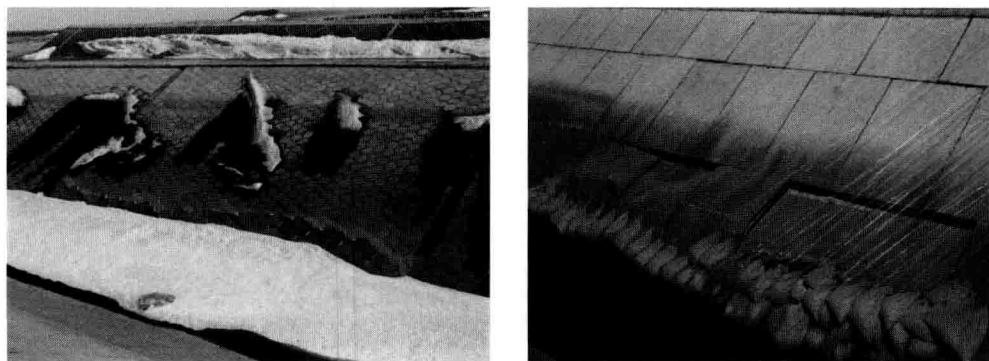


图 1-5 冻胀引起的混凝土衬砌隆起、架空

1.3.1.3 错位及坍塌

渠道混凝土衬砌板的冻融滑塌有两种形式。一是由于冻胀隆起、架空，使得坡脚支承受破坏，衬砌板垫层失去稳定平衡，因而基土融化时，上部板块顺坡向下滑移、错位、互相穿插、迭叠，其破坏形式如图 1-6 所示；二是渠坡基土冻胀隆起，融化期大面积滑坡，渠坡滑塌，导致坡脚混凝土板被推开，上部衬砌板塌落下滑，其破坏形式如图 1-7 所示。图 1-8 为渠坡基土冻融滑坡导致预制混凝土板滑塌破坏的照片。

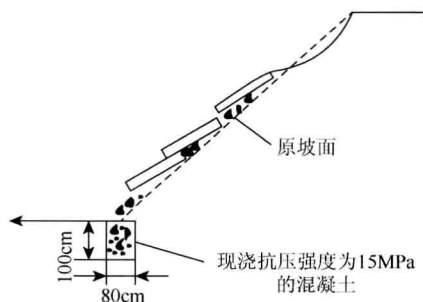


图 1-6 渠道坡脚混凝土板冻胀导致整个护坡破坏

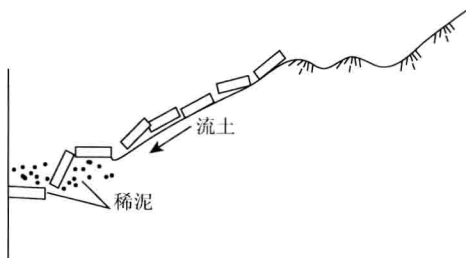


图 1-7 渠坡基土冻融滑坡导致混凝土板滑塌破坏



图 1-8 渠道衬砌板滑塌破坏情况

1.3.1.4 整体上抬或下沉

衬砌体结构整体性好、面积较小的渠道，渠道基土冻胀较为均匀的衬砌体可能发生整体顺坡向上推移，如小型混凝土 U 形渠道，如图 1-9 所示。渠坡长度较

小，衬砌体下没有垫层的梯形渠道，如果地下水位较深，冻胀量较小的情况下，衬砌体可能发生整体顺坡向上推移，如图 1-10 所示。

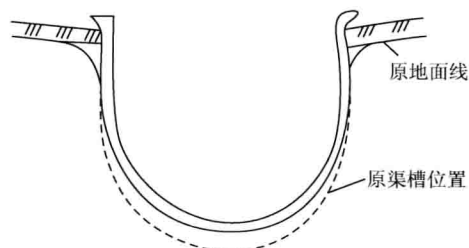


图 1-9 小型混凝土 U 形渠槽发生整体上抬情况

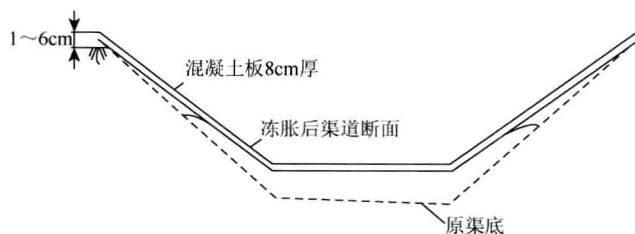


图 1-10 混凝土衬砌整体顺坡向上推移

整体上抬的渠道衬砌体，融化期亦可能由于不均匀沉陷和不能恢复原位，以及通水时水流作用导致裂缝和淘刷、错位和塌陷等破坏，在逐年反复冻融作用下，特别是在衬砌体整体性较差时，如上述后一种衬砌板整体上抬的情况下，这种破坏将变得更加严重。内蒙古灌区某小型 U 形渠道在渠基土反复冻融后造成的破坏情况如图 1-11 所示。

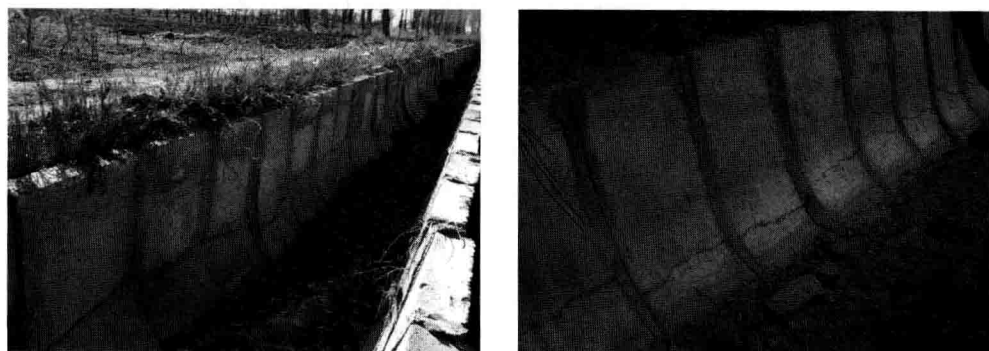


图 1-11 小型 U 形渠道渠基土冻融造成的整体破坏情况

1.3.1.5 衬砌板侵蚀剥落

混凝土在凝结硬化过程中会形成许多毛细孔隙,在冬季负温条件下,这些毛细孔隙中的水结冰后体积膨胀,当压力超过混凝土能承受的应力时,混凝土内部就会产生微裂缝,孔隙变大。经过年复一年的冻融循环,混凝土的损伤不断扩大、逐步积累,混凝土中的裂缝相互贯通,强度逐渐降低,造成混凝土破坏。抗冻标号达不到要求和拌制不良的混凝土常发生这种破坏,首先是混凝土表层酥松、剥落,然后向深部发展,以至完全破坏。混凝土衬砌板自身剥落和酥松见图 1-12。

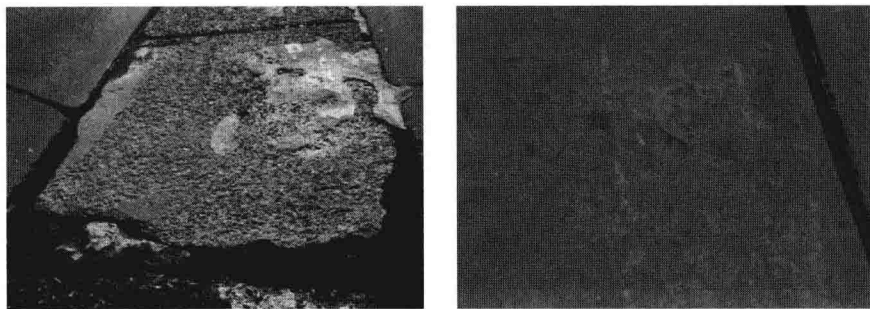


图 1-12 混凝土衬砌板的剥落和酥松

1.3.1.6 衬砌板填缝材料脱落

填缝材料脱落的现象在预制混凝土衬砌渠道和现场浇筑的混凝土渠道都能够看到,尤其是在早期修建的预制板衬砌渠道中,由于当时填缝材料主要为砂浆或沥青砂浆,在经受长时间的水流冲刷、日晒、冻融作用等自然条件的影响下,板缝和伸缩缝会逐渐出现脱落现象,填缝材料脱落会渠水下渗,造成衬砌板下积水,影响渠道安全运行。衬砌板填缝材料脱落见图 1-13。

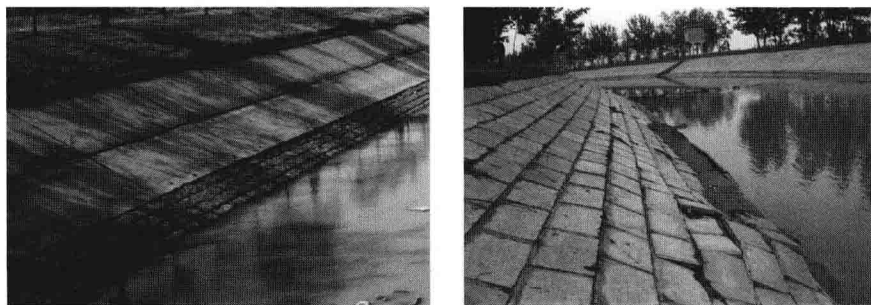


图 1-13 衬砌板填缝材料脱落