

跨流域调水工程

相关技术及水价政策

中国水利学会调水专业委员会 编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

跨流域调水工程 相关技术及水价政策

中国水利学会调水专业委员会 编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书为中国水利学会调水专业委员会 2014 年学术研讨会议文集。书中收录了跨流域调水工程相关技术和水价政策方面的部分技术成果,以期为广大读者提供有益的借鉴和参考,促进跨流域调水专业领域的学术交流、技术进步与制度创新,更好地服务于新时期跨流域调水工程建设。

本书可供从事水利工程规划设计、工程技术、建设管理等相关人员参考,也可作为水利院校相关专业的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

跨流域调水工程相关技术及水价政策 / 中国水利学会调水专业委员会编. — 北京:中国水利水电出版社, 2014. 10

ISBN 978-7-5170-2604-4

I. ①跨… II. ①中… III. ①跨流域引水—调水工程—工程技术—文集②水价—物价政策—中国—文集 IV. ①TV68-53②F426.9-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第229341号

书 名	跨流域调水工程相关技术及水价政策
作 者	中国水利学会调水专业委员会 编
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn
经 售	电话: (010) 68367658 (发行部) 北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京三原色工作室
印 刷	北京纪元彩艺印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 12.5印张 296千字
版 次	2014年10月第1版 2014年10月第1次印刷
定 价	48.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换
版权所有·侵权必究

《跨流域调水工程相关技术及水价政策》

编 委 会

主 任：祝瑞祥

副 主 任：尹宏伟 金 旻

编委会成员：严汝文 杜 梅 彭 祥

徐 岩 姚建文 牛万军

阎庆胜

前 言

人多水少，水资源时空分布不均，是我国的基本国情和水情。随着我国经济社会的快速发展，对水资源的需求不断增加，部分地区水资源短缺的问题日渐凸显。在大力加强节水和水污染防治的基础上，科学规划建设跨流域调水工程是实现区域水资源合理配置、提高区域水资源承载能力、解决缺水地区水资源供需矛盾的重要途径。跨流域调水工程是水利基础设施体系的重要组成部分，在保障国家水安全和促进区域经济社会发展中处于极其重要的地位，具有十分重要的作用。

自新中国成立以来，我国陆续实施了一大批跨流域调水工程，为受水区经济社会发展提供了重要的水资源保障。跨流域调水工程建设需要先进的理念和技术支撑，而针对工程自身特点，制定科学合理的水价政策是维持工程持续良性运行的重要制度保证，也是发挥市场对资源配置作用的重要体现。多年来，国内已建的许多大型跨流域调水工程在工程规划设计、运行调度技术以及水价政策制定、执行等诸多方面进行了积极的实践和探索，积累了大量的研究成果和实践经验。党的十八大提出要大力推进生态文明建设，对新时期的水利工作提出了更高的要求。在新的形势下，跨流域调水工程的规划论证、建设实施和运行管理，必须要全面贯彻“节水优先、空间均衡，系统治理、两手发力”的治水思路和“确有必要、生态安全、可以持续”的原则。

值此中国水利学会调水专业委员会 2014 年会召开之际，我们组织编撰本书，收录了跨流域调水工程相关技术和水价政策方面的部分技术成果，以期为广大读者提供有益的借鉴和参考，促进跨流域调水专业领域的学术交流、技术进步与制度创新，更好地服务于新时期跨流域调水工程建设。

参与供稿、编辑和审核的有关工程技术人员及专家对本书的编辑出版工作给予了大力支持，在此一并表示诚挚谢意！书稿虽经过认真校审，但由于受时间和编者水平所限，难免存有疏漏之处，敬请读者谅解和指正。

编者

2014年9月28日

目 录

前言

跨流域调水工程相关技术

创新调水理念 拓展蓄水功能——论胶东调水工程的蓄水功能	
.....郑瑞家 马吉刚 高月奎 张伟	(3)
季节冻土区跨流域调水工程明渠衬砌结构型式探讨	7)
南水北调西线一期工程方案比选模型建设研究	程冀 魏洪涛 张祎 靖娟 (12)
强膨胀土(岩)渠坡的加固技术方案分析	冷星火 王磊 黄炜 刘祖强 (21)
北京市南水北调配套工程南干渠段运行风险分析与预防措施	
.....曹海深 王金鹏 田坤 刘磊	(25)
南水北调东线一期工程水量调度评价模型研究	王慧杰 程冀 李克飞 胡德祥 (31)
北京市南水北调水质安全社会监督体系研究	
.....顾华 于磊 李垒 靖立玲 马翔宇 袁博宇	(39)
膨胀土挖方渠道渠底变形研究	王磊 冷星火 郑敏 胡刚 (45)
北京市南水北调水质监测站网布设研究	于磊 顾华 李垒 楼春华 袁博宇 (51)
南水北调西线工程调水区设计径流分析方法研究	雷鸣 (58)
引黄河水入张家口坝上地区规划方案分析	武智宏 周慧 (63)
南水北调西线工程调水区径流特性分析	雷鸣 (70)
无锡市城区调水引流效益分析与优化建议	薛路阳 (76)
关于南水北调东线梯级泵站调度运行管理的探讨	杨承明 (82)
南水北调中线工程唐河倒虹吸进口渐变段设计优化	陈新桥 (87)
浅析引调水工程等别确定	孙月 牛万军 (92)

跨流域调水工程水价政策

南水北调工程水价政策研究	祝瑞祥 徐岩 (101)
关于长距离引调水工程水价成本费用分摊问题的探讨	张若虎 王岩 (108)
南水北调信息公开与北京市居民用水支付意愿 研究及政策建言	何俊 李焕宏 王琛 石侨 昌敦虎 (110)
南水北调东线一期工程通水后山东省水价制度的探讨	张立国 张军 刘国印 (121)
水资源费征收标准调整对江西省经济社会影响研究	邓 坤 张璇 王敬斌 成静清 (127)
南水北调中线工程运行初期供水水价政策建议	张艳红 王策 (133)
对南水北调中线年度水量转让机制的思考	张郁 (140)
含国家补贴调水项目财务指标测算方法的探讨	吴红峰 (144)
南水北调西线一期工程水价问题初步探讨	崔洋 邢琳 郭飞 (148)
论跨流域调水工程的水价政策	张白利 (154)
南水北调中线通水初期河北省可受纳水量及对应水价分析	李兵 王策 张振林 (161)
南水北调中线骨干工程水价合理标准与收费制度研究	王晓贞 (167)
跨流域调水工程水价改革实践初步探讨	靳佩琛 (176)
跨流域调水工程的水价制定与实施情况分析	王彤彤 (179)
几个已建成典型调水工程水价政策浅析	高媛媛 殷小琳 (187)

跨流域调水工程相关技术

创新调水理念 拓展蓄水功能

——论胶东调水工程的蓄水功能

郑瑞家 马吉刚 高月奎 张伟

(山东省胶东调水局)

摘 要: 本文阐述了传统调水工程仅为城市及沿线区域供水的单一属性,提出调水工程输水渠及相关河道常年蓄水,调蓄并举,实现调水工程蓄水常态化的理念,以利于保护水资源、涵养水源及工程养护等。在此基础上,论述了调水工程扩展蓄水功能,实现单一功能为复合功能,并提出了调水工程拓展蓄水功能合理化发展建议。

关键词: 调水工程; 蓄水功能; 蓄调并举; 建议

1 胶东调水工程概况

胶东调水工程是山东省“T”形骨干水网的重要组成部分,包括引黄济青工程和胶东地区引黄调水工程。

引黄济青工程自滨州市博兴县黄河打渔张闸引水,通过高低输沙渠将水引至长 6km 宽 600m 的渠首沉沙后,经由滨州、东营、潍坊、青岛四个地级市 10 个县(市、区),采用明渠输水方式输水至青岛市棘洪滩水库,渠道全长 252.5km,建有 4 级提水泵站、434 座倒虹吸、涵闸、桥梁等建筑物。渠首设计引水流量 $41\text{m}^3/\text{s}$,渠末设计输水流量 $23\text{m}^3/\text{s}$ 。工程于 1986 年开工建设,1989 年建成通水,至今已运行 25 年,为青岛市及工程沿线地区经济社会的可持续发展提供了可靠的水源保证。

胶东地区引黄调水工程利用现有引黄济青工程输水至昌邑县宋庄镇,新建宋庄分水闸分水,并新辟输水明渠至龙口市黄水河泵站,再经压力管道、任家沟隧洞、村里隧洞及清洋河暗渠输水至烟台市门楼水库,在清洋河暗渠末端新建高瞳泵站分水,沿门楼水库北岸、烟台市南外环、烟威公路铺设压力管道输水,穿卧龙隧洞等至威海市米山水库。新辟输水线路 309.5km(其中明渠 159km,管道 102km,暗渠 30km,隧洞 15km),设 7 级提水泵站、5 座隧洞、6 座大型渡槽,其它水闸、倒虹吸、桥梁等建筑物 411 座。工程以黄河水和长江水为水源,兼引当地河流雨洪水资源。胶东调水工程全长 562km,建有 11 级泵站,建水工建筑物 800 多座,近期调引黄河水 2.525 亿 m^3 ,远期调引黄河及长江水 4.86 亿 m^3 。

胶东调水工程在构建山东省河湖相连、河库相连、库库相连、河河相连的现代水网中起重要作用,具有重要战略地位。

2 胶东调水工程蓄水能力

胶东调水工程调度运行沿用传统水利工程设计运行模式,输水工程将水输送到棘洪滩、门楼、米山水库调蓄水库储存,输水工程和蓄水工程功能相互分割,非运行期,整个输水工程干涸,输水河裸露在空中,功能单一,其蓄水潜力得不到有效发挥。

为扩大调水工程有效利用,充分发挥现有水利工程的作用,在非调水时期,增加调水工程的蓄水功能,挖掘调水工程能蓄水、多存水功能。经初步估算,在现状情况下,胶东调水工程可蓄水 4430 万 m^3 ,相当于一个中型水库。其中,渠首沉沙池 950 万 m^3 ;小清河子槽、引黄济青工程输水河道经改扩建后蓄水能力在 2000 万 ~ 4000 万 m^3 ,平均为 3000 万 m^3 ;胶东地区引黄调水工程从宋庄分水闸至米山水库新建渠道约 310km,根据工程设计,在渠道正常设计水位下可蓄水 480 万 m^3 。如果沉沙池及小清河子槽清淤,整条渠道可蓄水 5080 万 m^3 ,也是相当于一个中型水库。按当前物价指数测算,在目前情况下建设一座兴利库容为 5000 万 m^3 的平原水库需要占地 1.1 万亩,投资 8.1 亿元。

3 山东境内调水工程蓄水能力

按照上述思路,山东省南水北调工程、大型灌区及区域调水工程,应当实行调蓄并举,充分发挥输水河渠蓄水功能,实现常年蓄水。按照最新水利普查资料,全省现有上述工程输水渠长达 15000km,按设计正常蓄水位蓄水,匡算可蓄水 2.25 亿 m^3 (按设计水深 1.5m,渠宽 10m 计),在不增加投资的情况下,相当于兴建了 6 座中型水库。按寿光双王城水库规模比算,可节省各级政府投资近 50 亿元,减少占地 7 万亩左右。如果按这个理念在全国范围内实施,其效益将是巨大的。创新理念可以为我们带来巨大的经济、生态与社会效益。

4 胶东调水工程调蓄并举的效益分析

4.1 补充地下水资源

根据 25 年运行资料分析,胶东调水输水工程蓄水后,每年可补充地下水 5912 万 m^3 。其中渠首工程补充 1576 万 m^3 ,输水河补充 799 万 m^3 ,棘洪滩水库补充 1179 万 m^3 ,门楼、米山水库补充地下水 2358 万 m^3 。可有效提高工程沿线区域内的地下水位,补充地下水资源,解决当地人畜吃水和农业灌溉用水,有效改善青岛地区 150 km^2 及胶东半岛地下漏斗区状况。

山东省除南水北调工程外,全省共有跨流域引调水工程 7 处,设计引水量 155.99 m^3/s ,设计年引水量 7.30 亿 m^3 ,输水干线总长度 1029.06km,按胶东调水工程输水干线长度补

充地下水量估算,全省7处跨流域调水工程每年可补充地下水2.40亿 m^3 ,若含南水北调工程估计每年可补充地下水约4.00亿 m^3 ,对地下水位的提高,涵养地下水源,改善土壤结构,环境生态修复,意义重大。

4.2 改善局域气候

按胶东调水棘洪滩水库长期观测数据,青岛棘洪滩水库地区年蒸发量为785mm。据此推算,胶东调水工程常年蓄水后,蒸发水量为4676万 m^3 (含门楼、米山水库),其中渠首沉沙池蒸发水量330万 m^3 ,输水河蒸发水量809万 m^3 ,青岛棘洪滩水库、烟台门楼水库、威海米山水库蒸发水量3537万 m^3 。

胶东调水工程按环境温度 15°C ,相对湿度60%环境条件测算,每年可为35966亿 m^3 空气相对湿度提高10%。

山东省7处跨流域调水工程输水干线总长度按环境温度 15°C ,相对湿度60%推算,每年可为79033亿 m^3 空气提高相对湿度10%。

由此可见输水工程常年蓄水后可以改善区域气候,降低粉尘及 $\text{PM}_{2.5}$ 等危害,促进局域气候良性循环。

4.3 促进生态修复

工程沿线水系生态得到改善。引黄济青工程通水运行25年来,一方面回补地下,抬高了地下水位,部分地段地下水位上升非常明显;另一方面,渗水压制了咸水的入侵,改善了渠道两侧的土地状况,保护了生态环境,尤其是昌邑、寒亭、寿光等北部沿海咸水地区受益明显。

调度运行前期分水可恢复和改善沿线河道生态环境。引黄济青工程在每年的运行过程中,通过科学调度,把冲刷渠道的黄河水进行合理利用,通过泄水闸向周边河道分水,截至2013年底,共分水6.27亿 m^3 。大量回灌了地下水,较好地改善了当地河道的生态环境。

5 发挥调水工程调蓄并举的几点建议

(1) 拓宽规划设计思路,增加调水工程的蓄水功能。因地制宜,充分利用湖泊、湿地、河流等水利工程,传统跨流域调水工程在规划设计上,调水工程水体与穿越的河湖湿地等当地水体实行立交,目的是防止调水工程的水体污染。笔者认为应当充分利用这些河湖湿地等天然和已建水利工程,利用它们蓄水功能,在规划设计调水工程阶段,应充分挖掘现有水工程作用,充分利用调水工程沿线湖泊、湿地、河流等水利工程,扩大调水工程蓄水功能,合理处理好调水工程与现有水工程间的功能兼顾问题。最终实现调水工程调水和蓄水功能并举,拓展调水工程的蓄水功能。

(2) 有关主管部门立项专门研究。跨流域调水工程挖掘蓄水潜力,发挥调水工程的蓄水功能,实行调、蓄、供并举,可以节省建设调蓄水库的资金,充分发挥现有水利工程潜能。建议有关主管部门,将此列为水利行业宏观发展科研课题,深入研究其可行性、关键技术问题及对策措施。在深入细致研究确定可行基础上建议上升为水利建设的重要内

容，通过跨流域调水工程建设，实现调水工程“调蓄并举”，达到水工程综合治理，充分发挥工程综合效益。

（3）相关部门制定优惠政策。政府相关部门安排专项经费用于调水工程蓄水功能开发与政策研究，组织技术人员对现有调水工程进行调研，提出可行技术方案。在此基础上，按照先行先试原则，在有条件地区推广应用，充分发挥调水工程现有蓄水功能，拓宽调水工程综合功能。

季节冻土区跨流域调水工程明渠衬砌结构型式探讨

谢成玉 王国志

(黑龙江省引嫩工程管理处)

摘 要:我国多年冻土和冬季冻土面积占国土面积的 75%,其中冻结深度大于 0.5m 的地区约占全国总面积的一半。北方季节冻土区大多干旱缺水,修建跨流域调水工程是必然选择。我国已建和在建的跨流域调水工程绝大多数采用明渠输水方式,输水渠道是跨流域调水工程的重要组成部分,合理选择渠道衬砌型式,确保输水明渠边坡稳定,既是工程建设期决定投资的重要因素,更是制约工程建成后运行安全、工程维修养护费用的关键因素。本文首次将渠基划分为主冻胀区和副冻胀区,从季节冻土区明渠衬砌的工程实践方面探讨了构建季节冻土区柔性护坡的衬砌体系。

关键词:季节冻土区;跨流域调水;明渠;衬砌结构型式

1 跨流域调水工程明渠衬砌结构应用型式及主要问题

1.1 现状情况

所谓明渠衬砌结构就其功能而言包括两个方面:一方面是防渗作用,提高渠道水利用效率;另一方面是护坡作用,防止渠道坡面冲蚀,保持坡体稳定。

跨流域调水工程输水明渠工程规模较大,要求标准较高。目前已建和在建的大多数跨流域调水工程为减少渠道渗漏损失,提高渠道抗冲能力和输水能力,衬砌结构都采用了混凝土板衬砌和土工膜防渗相结合的类型。这种衬砌式防渗效果好,抗冲性能佳、耐久性强、糙率小,可以极大地减小输水断面面积,从而减少占地和工程量,其施工工艺成熟、工效高,是目前我国跨流域调水工程应用最广泛的明渠衬砌型式。南水北调中线工程总干渠采用全断面混凝土衬砌,渠坡衬砌厚度 10cm,渠底 8cm,其下为土工膜和垫层以及防冻和排水等设施。

尽管混凝土板衬砌和土工膜防渗相结合的衬砌型式得到了广泛的应用,但该结构是一种较为脆弱的薄壁结构,抵抗地基变形、浮托力和冻胀等外力破坏能力较低,若加大混凝土结构厚度及采取换填、保温等抗冻胀措施又对工程投资影响较大。特别是在北方深季节冻土区,因渠基上反复冻融、膨胀隆起、融化沉降,常常造成衬砌板开裂、接缝错位、滑坡坍塌,影响渠坡稳定和防渗效果。季节冻土区采取的抗冻胀结构要么造价太高、要么冻

害现象时常发生。据辽宁省有关部门观测,大块现浇混凝土板在冻胀量超过 2cm 时就会出现冻胀裂缝,冻胀量大于 10cm 时预制混凝土板会产生冻融滑塌。据笔者多年的观察,深季节冻土区填方及砂砾石渠基混凝土板衬砌 10 年以上没有变化,平原区挖方渠道、挖填结合渠道及丘陵区地表起伏较大渠段的混凝土衬砌结构在 3~5 年内有程度不同的位移和破坏,在河滩地段及渠堤外地势低洼渠段衬砌结构不到 3 年就严重脱坡、滑塌。

吉林省哈达山输水干渠曾采取混凝土铰接块结合长丝土工布,30cm 厚格宾网垫结合长丝土工布、12cm 厚铰链式模袋混凝土结合长丝土工布等试验措施。2010 年黑龙江省北部引嫩工程结合工程扩建在总干渠进行了格宾网垫护坡(厚 17cm)、预制混凝土板加 PU 保温苯板护坡、加筋麦克垫护坡、混凝土铰接块(厚 15cm)结合长丝土工布护坡,铰接块内填充卵石等项试验,目前看混凝土铰接块结合长丝土工布方案效果较好,但施工复杂,造价最高。还有些地方采用模袋混凝土,土工格室等新型复合材料,基本都是尝试采用柔性结构,没有考虑降低糙率。

1.2 存在的主要问题

目前我国渠道衬砌防冻胀设计采用“允许一定冻胀位移量”的工程设计标准和“回避、适应、削减或消除冻胀”的防冻害原则和技术措施。设计依据是《调水工程设计导则》(SL 430—2008)、《渠系工程抗冻胀设计规范》(SL 23—2006),规范执行中存在以下问题。

(1) 采取“回避措施”越来越难。《调水工程设计导则》(SL 430—2008)规定:总干渠(明渠)布置一般要求地面起伏小,高程适中,穿越地形起伏较大的不平坦或丘陵区、线路应大致沿等高线布置,尽量避免深挖和高填。《渠系工程抗冻胀设计规划》(SL 23—2006)规定:有条件时,衬砌渠道的线路宜避开强冻胀性土和地下水埋渠较浅的地段,宜采用填方渠道并使渠底高于地下水水位的距离不小于 (Z_0+Z_d) 。上述规定要求渠道选线时要尽量避开渠坡、渠基复杂产生强冻胀地段,但在工程占地约束越来越紧的条件下很难实施。

(2) “削减措施”不易把握渠道衬砌厚度小、自重轻,对冻胀作用十分敏感。混凝土板衬砌渠道对冻胀变形量最敏感,其最大允许位移值为 3cm,对应的冻深仅为 10~20cm 之间。“削减措施”主要有换填法、保温法、隔水排水法。换填法应严格保证置换土料的非冻胀性和防止使用期间受细颗粒淤塞,在冻结期不饱水或者有排水出路,这在较长工况下很难保证。保温法存在施工质量不好控制和保温板厚度较难选择的问题。如果保温板的接缝处理不好产生冷桥就等于没做保温措施。衬砌渠道是一种线路性工程,沿渠土质、水分补给条件和渠道走向有很大变化,影响冻深的因素很多,地下水位埋深以及地表接受的日照和遮阴程度、表面积雪和基土土质都影响冻深,因此保温板厚度的选择有局限性。隔水排水法一是要保证隔水材料在施工期及运行期不被破坏,二是要保证纵、横向排水管在运行期不淤塞,这在持久工况下也很能保证。

众多的不确定因素组合在一起就构成不可靠事件。

(3) 糙率问题。《调水工程设计导则》(SL 430—2008)规定:人工输水渠道衬砌方案应根据当地气候、环境、地质等自然条件,结合渠道断面设计、过水能力、工程投资和运

行维护等要求比较选定。提高糙率势必加大渠道断面面积进而增加工程占地和投资,这是十分明确的,而衬砌结构的可靠程度及运行期增加多大的维护费用是未知的,因此在设计阶段衬砌结构是降糙为主还是确保可靠为先是个矛盾。

2 季节冻土区跨流域调水工程渠道衬砌破坏成因及防治措施

2.1 破坏成因

根据笔者多年对黑龙江省北部引嫩工程的观察,渠道衬砌破坏成因有以下几点:

(1) 混凝土表面剥蚀破坏,衬砌体强度降低导致进一步破坏,主要是混凝土抗冻标号不够。

(2) 渠坡坡顶防护不够,强降雨时渠坡面冲蚀形成雨冲沟破坏坡肩,坡体土质流失而导致衬砌体失稳塌陷。在湿陷性土、膨胀土、分散土渠段以及有地形起伏、面蚀突出地段较为严重。

(3) 预制混凝土板衬砌在渠基土冻胀力作用下上抬、隆起,春季气温回升冻土消融、土体融沉,由于土体冻胀和融沉不是简单的可逆过程,在土体融沉和砌体复位时总留有残余变形,逐年累积导致砌体错位下滑。最大冻胀量一般产生在距渠底垂直高度 1~1.5m 渠坡范围内。

(4) 现浇混凝土板衬砌在冻结作用的约束下,以及渠基不均匀法向冻胀力、不均匀融沉作用下,当混凝土结构的抗折强度抵抗不了冻胀力时产生断裂、施工缝错位,受破坏结构变位下滑,渠坡塌陷。最大冻胀量一般产生在距渠底垂直高度 1~1.5m 渠坡范围内。

(5) 坡底固脚及接近坡底处混凝土板衬砌破坏。主要原因是渠道在进入冬季排空不彻底,静冰压力及冰凌作用推动固脚移位、砌体变形,另一因素是反滤体失效,渠坡土质流失、衬砌塌陷。

(6) 挖方及挖填结合渠道处于河滩地段,以及渠堤外侧地势低洼易存地表水段产生流塑变形,整体脱坡。主要是淤泥质土抗剪强度极低,水分逸出难,加之入冬后冻结面更加阻滞了水分逸出,在渗透压力作用下导致坡体整体滑动。

(7) 挖方及挖填结合渠道冬季地下水补给充分渠段在坡顶距坡肩 0.5~1.0m 位置在春季出现纵向裂隙,如不及时处理雨水进入坡体内导致坡体沉陷,衬砌塌陷。主要原因是强冻胀性土的冻结作用使水分向冻结锋迁移形成冰核,同时降低冰核周围土的抗剪强度和保水能力,冰核融化后产生裂隙。

2.2 防治措施

实践证明,采用单一材料和单一结构是很难达到理想的衬砌效果的。近年来国内外都趋向复合结构衬砌型式发展,利用土工膜料或塑性水泥做防渗层,用混凝土等刚性材料做保温层。跨流域调水工程渠道规模大,工程标准要求高,在季节冻土区道衬砌应满足以下几点:

(1) 可靠性:结构耐久、使用寿命长,坡面抗冻融剥蚀,坡体稳定,防渗效果好。