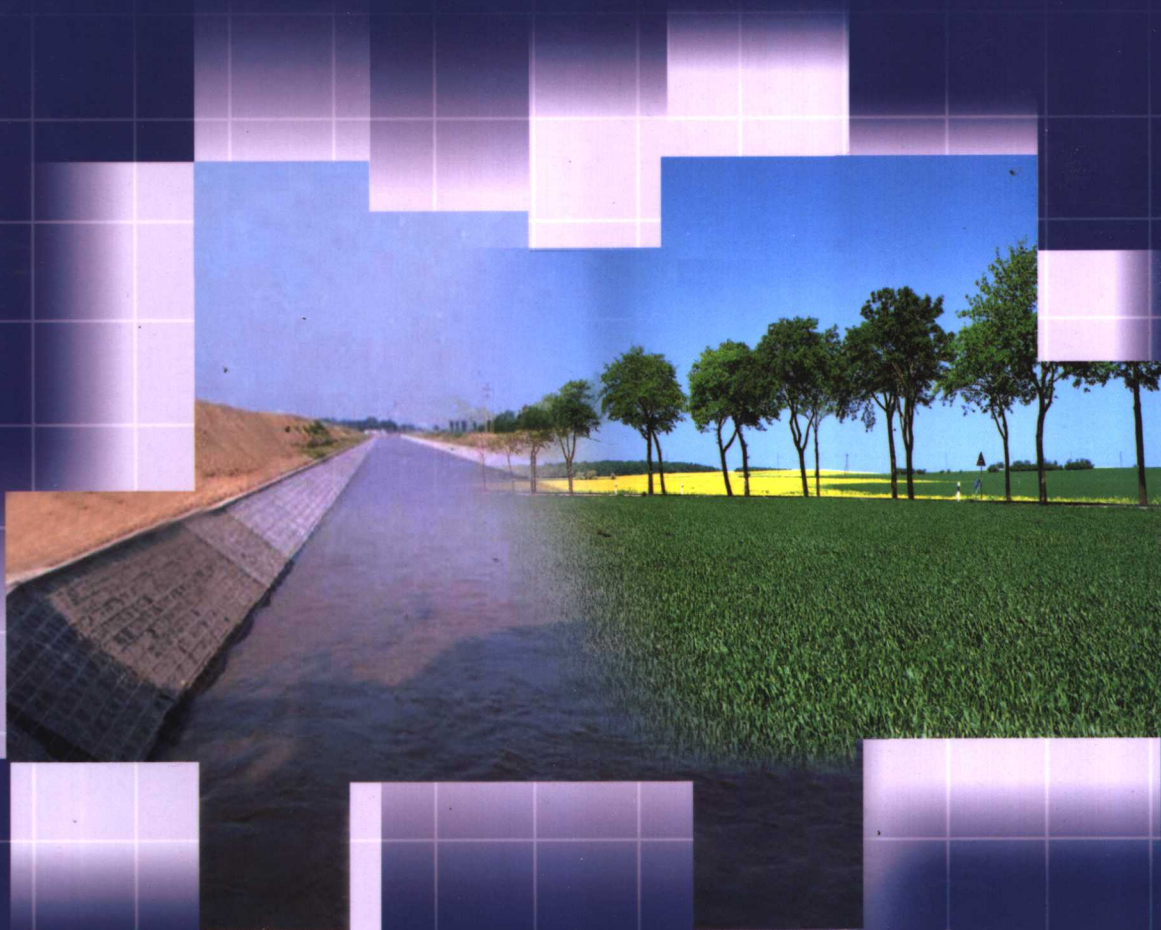


现代渠道与管网高效输水

新材料及新技术

邢义川 李远华 何武全 刘群昌 曲 强 高 峰 著



黄河水利出版社

现代渠道与管网高效输水 新材料及新技术

邢义川 李远华 何武全 著
刘群昌 曲 强 高 峰

黄河水利出版社

内 容 提 要

本书是在国家高技术研究发展计划(863 计划)“现代渠道、管网高效输水技术及新产品”课题研究成果的基础上,经过总结、提炼、深化后编撰而成的。全书共 10 章,涉及渠道防渗新材料新技术、渠道新型抗冻胀结构形式与新材料、渠灌区渠道和管网相结合的输水新技术三方面研究,主要包括纳米微粉对混凝土抗渗抗冻性能影响的试验研究、特殊土渠道防渗技术、渠道防渗抗冻胀新材料及新型结构形式、渠道防渗防冻胀技术、渠道量水新技术、渠灌区管网输水系统水力计算及模拟仿真技术、渠灌区管道输水系统防淤堵技术等。

本书可供广大水利科技、给水排水、灌区管理人员和大中专院校相关专业师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代渠道与管网高效输水新材料及新技术/邢义川等
著. — 郑州:黄河水利出版社,2006.4
ISBN 7-80734-055-X

I. 现… II. 邢… III. ①灌溉渠道—渠道防渗—材料—新技术 ②灌溉渠道—防冻—材料—新技术③灌溉渠道—给水管道—管网—新技术 IV. S274

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 015257 号

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940 传真:0371-66022620

E-mail:yrp@public.zz.ha.cn

承印单位:河南省第二新华印刷厂

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:12

字数:277 千字

印数:1—2 000

版次:2006 年 4 月第 1 版

印次:2006 年 4 月第 1 次印刷

书号:ISBN 7-80734-055-X/S·78

定价:30.00 元

序

随着全球淡水资源危机的加剧,合理利用水资源问题引起了联合国等国际组织、许多国家政府和众多科技工作者愈来愈多的关注,提出并采用了多种对策措施。在解决用水供需矛盾的综合措施中,除了蓄水、引水、调水等开源措施外,更重要的是改进和加强水资源管理,大力推行节约用水,提高水的利用率,防止水的污染等。美国、日本、俄罗斯等国家针对农业灌溉用水浪费严重,特别是土渠输水渗漏损失大的问题,在渠道防渗和管道输水工程技术等方面进行了许多研究,取得了显著的经济、社会效益。渠道防渗和管道输水技术已成为许多发达国家进行灌区技术改造的一个方向性措施。

我国对农业节水也非常重视。《中国节水技术政策大纲》指出,农业是我国第一用水大户,发展高效节水型农业是国家的基本战略,农业用水输配过程中的水量损失所占比重很大,提高输水效率是农业节水的主要内容。目前,我国渠系水利用系数平均仅为 0.5 左右,也就是说,约一半的灌溉水在输送过程中就损失掉了。虽然国外在高效输水方面进行了大量的研究和开发工作,新技术、新材料得到广泛应用,但许多东西不完全适合我国国情。过去几十年,我国在这方面也做了不少研究,取得了大量成果,但仍存在诸多亟待解决的问题,如渠道防渗材料的适用性、耐久性等,难以满足我国特殊地域与环境的需要,尤其在渠道的防渗抗冻胀技术与材料方面发展滞后,新材料的集成应用不足,现有技术综合性能差,材料造价高,设备性价比差,渠灌区管网量配水、调压、防淤堵及运行管理等技术水平低等。这些问题在一定程度上制约了我国农业节水的发展。

鉴于以上原因,科技部“十五”期间在国家高技术研究发展计划(863 计划)中设立了“现代渠道、管网高效输水技术及新产品”课题。课题针对目前我国灌区输配水工程技术单一、系统性差、输水效率低等问题,重点对渠道防渗新材料和新技术、新型渠道抗冻胀结构形式与新材料、渠灌区渠道和管网相结合的输水新技术等内容,从技术、材料、结构形式、设备等方面进行了综合、系统的研究,取得了大量成果。其中特殊土的渠道防渗技术、渠道防渗抗冻胀技术、渠道与管网连接技术、管网防淤堵技术、管网水力计算模拟仿真技术等成果具有创新意义,不仅能大大提高我国防渗渠道和管网工程建设的技术水平,并且对提高工程质量、降低工程造价、加快工程建设速度,以及加快渠道防

渗和管网工程发展具有重要的意义。部分成果已被编入《渠道防渗工程技术规范》(SL 18—2004)中。研究成果先后在河北、陕西、广西、北京、宁夏、内蒙古、云南和贵州等省(市、区)的工程中进行了应用,取得了显著的经济效益和社会效益。

目前,我国正在实施大中型灌区续建配套与节水改造工程,小型灌区续建配套与节水改造工程规划业已编制,正在进行试点,渠道防渗和管道输水是这些项目中的重点。因此,本课题的研究成果具有广阔的推广应用前景。

中国灌区协会会长
教授级高级工程师



2005年6月

前 言

渠道防渗和管道输水是我国目前应用最广泛的节水工程技术措施,它可以极大地减少农业灌溉用水的浪费,节水潜力巨大。农业是我国的用水大户,据统计,1999 年我国农业年用水总量为 3 860 亿 m^3 , 约占全国用水总量的 69%, 其中农田灌溉用水量为 3 560 亿 m^3 , 占农业总用水量的 92%, 占全国总用水量的 64%。我国灌溉用水浪费现象十分严重,输水渠道渗漏损失是灌溉用水浪费的主要方面,目前,我国渠系水利用系数平均仅为 0.5 左右,也就是说,约一半的灌溉水在渠道输送过程中就损失掉了,我国每年由灌溉输水渠道损失的水量占总用水量的 1/3, 占农业总用水量的 45%, 灌溉用水浪费相当惊人。由此可见,渠道防渗和管道输水技术是节约用水、实现节水型农业的关键技术措施。

本课题针对渠道防渗新材料新技术、渠道新型抗冻胀结构形式与新材料、渠灌区渠道和管网相结合的输水新技术中存在的 key 技术问题开展研究,研究开发成本低、质量好的渠道防渗和管道输水新材料与新技术。在渠道防渗新材料及新技术方面,通过改性、复合等技术,研制出了纳米基混凝土改性剂,使混凝土的抗渗性提高 30% 以上,抗冻性提高 50% 以上,并显著改善混凝土耐久性;研制的新型土壤添加剂是利用工业废液加工而成的,防渗效果好,原料来源容易,生产成本较低,不扰动渠床土,施工简易,可大大加快我国渠道防渗建设速度,促进节水产业化发展,并给工业废液的利用找到了一条出路;针对混凝土衬砌防渗渠道接缝渗漏严重及施工复杂等问题,研制开发了氯化聚乙烯(CPE)止水带和止水管,止水效果好,施工简单,造价低;特殊土渠道防渗技术方面研究了特殊土对渠基的危害机理,提出了特殊土渠道防渗工程设计方法和设计参数及防止危害的技术措施。在渠道新型抗冻胀结构形式与新材料方面,提出了刚柔相济、适应冻胀变形性能好的新型渠道连锁板衬砌结构形式,并进行了现场观测试验;研制开发了具有防渗、保温双重功能的新型卷材(SDM),与传统材料(塑膜和聚苯乙烯泡沫板)相比,其防渗、保温效果好,运输、施工方便,工程综合造价低,还可与无纺布复合,使其具有防渗、保温和平面导水等综合功能;针对目前我国 U 形渠槽预制构件机只能生产 0.5 m 长的预制渠槽、生产效率低、渠道接缝多、防渗效果差、施工速度慢、不利于机械化施工等问题,研制了新型的能制成 1 m 长混凝土 U 形槽或 1 m^2 平板构件的 U 形渠槽预制机。渠灌区渠道和管网相结合的输水新技术方面,进行了渠灌区管网输水系统水力计算及模拟仿真技术研究,研制开发了多功能分水调节设施、多功能调压与分水控制装置和 XN-1 型出水口及保护防冲设施,并在管道输水系统防淤堵技术和渠道与管网连接技术方面进行了大量的研究。同时,积极进行研究成果的产业化及推广应用。在渠道防渗抗冻胀新技术与新材料方面,与西安市三联防水材料有限公司合作,建成了新型防渗保温复合材料、氯化聚乙烯止水带和止水管生产线并开始生产,先后在河北、陕西、广西、北京、云南和贵州等省(市、区)的工程中进行了应用;在渠灌区管道输水灌溉技术研究方面,将渠灌区管道防淤堵技术和渠道与管网连接技术在宝鸡峡灌区节水灌溉示范工程中进行了示范推广应用。研究成果的推广应用,产

生了显著的经济效益、社会效益和生态效益。

本课题取得的特殊土渠道防渗技术、渠道防渗防冻胀技术、渠道与管网连接技术、管网防淤堵技术和水力计算及模拟仿真技术等科技成果,不仅可以提高防渗渠道和管网工程建设的技术水平,并且对工程质量的提高、工程造价的降低、工程建设速度的加快,以及渠道防渗和管网工程的发展具有重要意义。该研究成果已应用于节水农业工程,取得了显著的经济效益、社会效益和生态效益,同时,该成果还可应用于交通、工民建等行业,市场前景广阔。

通过本课题的研究,在渠道防渗新材料新技术、渠道新型抗冻胀结构形式与新材料、渠灌区渠道和管网相结合的输水新技术方面取得系统成果,对我国渠道防渗技术和管道输水灌溉技术的进一步发展提供了技术保证,对相关研发工作的开展以及本学科及相关学科发展具有重要的作用和影响,对我国渠道防渗及管道输水灌溉技术的发展和进一步推广应用具有重要的意义。

由于水平有限,书中难免有不妥之处,恳请读者批评指正。

作者

2005年6月

本课题承担单位及人员

课题名称 现代渠道、管网高效输水技术及新产品
(2001AA242071)

所属主题/重大专项 现代农业技术

所属领域 生物及现代农业技术

依托单位 西北农林科技大学

参加单位 中国灌溉排水发展中心
中国水利水电科学研究院
水利部农田灌溉研究所
西安三联防水材料有限公司
北京工业大学
扬州大学

课题负责人 邢义川 李远华

主要完成人 邢义川 李远华 何武全 刘群昌 曲 强
高 峰 张英普 丁昆仑 杜应吉 周遂宝
李书民 刘文朝 韩苏建 张爱军 骆亚生
蔡明科 吉庆丰 王玉宝 李国富 王韶华
刘丽艳 党 平 成兴广 刘祥臻 倪文进
张玉欣 姚常平

报告执笔人 邢义川 何武全

参加统稿人 蔡明科 王玉宝

国家高技术研究发展计划(863 计划)课题 现代渠道、管网高效输水技术及新产品

研究内容一览表

序号	名 称	完成单位	负责人
01	利用纳米技术改进混凝土 防渗材料性能的试验研究	西北农林科技大学	杜应吉
02	特殊土渠道防渗技术研究	西北农林科技大学	邢义川 张爱军
03	新型防渗抗冻胀结构研究	中国水利水电科学研究院	刘文朝
04	渠灌区管网输水系统水力 计算及模拟仿真技术研究	中国水利水电科学研究院 北京工业大学	刘群昌 王韶华
05	渠灌区管道输水系统 防水击技术研究	中国水利水电科学研究院	丁昆仑
06	渠灌区管道防淤堵技术研究	西北农林科技大学	张英普
07	渠道与管网连接技术研究	水利部农田灌溉研究所 扬州大学	高 峰 吉庆丰
08	新型土壤添加剂的研究	中国灌溉排水发展中心 西安三联防水材料有限公司	曲 强 姚常平
09	新型复合土工膜料的研究	中国灌溉排水发展中心 西安三联防水材料有限公司	张玉欣 周遂宝
10	新型填缝止水材料的研究	中国灌溉排水发展中心 西安三联防水材料有限公司	倪文进 周遂宝
11	渠道防渗防冻胀技术研究	河北大学 中国灌溉排水发展中心 河北省石津灌区管理局	李书民 党 平
12	中、小型渠道防渗施工机械的 完善、配套与定型	中国灌溉排水发展中心	曲 强 刘丽艳

目 录

序

冯广志

前 言

第一章 渠道防渗与管道输水技术发展概况	(1)
第一节 渠道防渗技术发展概况	(1)
第二节 管道输水技术发展概况	(7)
第二章 纳米微粉对混凝土抗渗抗冻性能影响的试验研究	(10)
第一节 纳米材料与纳米技术	(10)
第二节 混凝土耐久性改性机理	(11)
第三节 纳米微粉对混凝土物理力学性能影响的试验研究	(14)
第四节 纳米微粉对混凝土抗渗抗冻性能影响的试验研究	(34)
第五节 纳米基混凝土改性剂技术经济指标	(37)
第三章 特殊土渠道防渗技术	(39)
第一节 非饱和黄土湿陷过程的孔压、变形和有效应力	(39)
第二节 黄土增湿湿陷过程的三维有效应力分析	(44)
第三节 膨胀土特性及膨胀土渠基与渠道衬砌结构相互作用研究	(49)
第四节 特殊土渠道防渗设计	(61)
第四章 渠道防渗抗冻胀新材料、新型结构形式及新设备	(68)
第一节 高分子防渗保温卷材(SDM)	(68)
第二节 新型填缝止水材料	(74)
第三节 新型土壤添加剂	(78)
第四节 新型防渗抗冻胀衬砌结构	(87)
第五节 混凝土 U 形槽和平板预制构件机	(92)
第五章 渠道防渗防冻胀技术研究	(96)
第一节 渠道的冻深与冻胀量预报	(96)
第二节 渠道防渗防冻胀结构	(101)
第六章 渠道量水新技术研究	(110)
第一节 数字式长喉道量水计的结构	(110)
第二节 长喉道量水槽的测流理论	(113)
第三节 长喉道量水槽的现场试验	(117)
第四节 流量积算仪的率定试验	(121)
第五节 数字式长喉道量水计的现场试验	(130)
第七章 渠灌区管网输水系统水力计算及模拟仿真技术研究	(138)
第一节 国内外管网计算理论的发展状况	(138)

第二节	渠灌区管网输水系统的水力学计算模型的建立·····	(139)
第三节	系统设计·····	(144)
第四节	基于 GIS 技术的管网仿真模拟软件 ·····	(146)
第五节	应用实例·····	(151)
第八章	渠灌区管道输水系统防淤堵技术研究·····	(154)
第一节	管道输水系统水沙运动规律试验·····	(154)
第二节	管道淤堵机理及管道系统防淤堵技术·····	(168)
第三节	田间工程试验·····	(170)
第九章	结 论·····	(175)
	参考文献·····	(177)

第一章 渠道防渗与管道输水技术发展概况

第一节 渠道防渗技术发展概况

一、渠道防渗的重要性

渠道防渗是目前应用最广泛的节水灌溉工程技术措施,它可以极大地减少农业灌溉用水的浪费,节水潜力巨大。农业是我国的用水大户,据统计,1999年我国农业用水总量为3860亿 m^3 ,约占全国总用水量的69%,其中农田灌溉用水量为3560亿 m^3 ,占农业总用水量的92%,占全国总用水量的64%。同时,农田灌溉用水浪费现象十分严重,灌溉水的利用率仅为43%,输水渠道渗漏是灌溉用水浪费的主要方面。目前,我国已衬砌防渗的渠道仅占渠道总长的1/4~1/3,没有防渗措施的渠道仍占很大比例,渠系水的利用系数平均仅为0.5左右,远低于发达国家的水平,如美国为0.78,日本为0.61,苏联为0.6~0.7,也就是说,50%以上的灌溉水在渠道输水过程中就损失掉了,每年由灌溉渠道损失的水量高达1734.62亿 m^3 ,为我国总用水量的1/3,为农业总用水量的45%,灌溉用水浪费相当惊人。采用渠道防渗技术,可以减少渗漏损失的70%~90%,极大地提高灌溉渠系水的利用系数,如按我国渠系水的有效利用系数提高0.1计算,则每年可节约用水量344.5亿 m^3 ,由此可见,渠道防渗的节水效益十分显著。

渠道采取防渗措施后,可以提高灌溉水的利用率,缓解农业用水供需矛盾,节约的水可扩大灌溉面积,进一步促进农业生产的发展;可以减少渠道占地面积,防止渠道冲刷、淤积及坍塌,节约运行管理费用,有利于灌区的管理;可以降低地下水位,防止土壤盐碱化及沼泽化,有利于生态环境和农业现代化建设。渠道防渗是节约用水、实现节水型农业的重要内容。因此,进一步研究推广渠道防渗技术,对缓解我国水资源供需矛盾和国民经济持续稳定发展具有重要的意义。

二、渠道防渗技术发展概况

(一)国外渠道防渗技术概况

世界各国,如美国、日本、印度、苏联、巴基斯坦、伊朗、加拿大等,由于渠道渗漏损失的水量很大,均非常重视并积极研究推广渠道防渗工程技术。

在渠道防渗材料方面,发达国家多采用砌石、混凝土、塑膜等。美国认为混凝土防渗具有防渗性能好、能适应高流速、占地少、清淤及管理费用低和寿命长等优点,故目前多采用此种材料,塑膜等新型材料目前正在研究推广中,膜料防渗多采用砂砾料作为保护层,或下层为土料,表面为砂砾料,在无砂砾料地区,亦有采用现浇或喷射混凝土作为保护层的。日本渠道防渗采用的材料有硬质类(包括混凝土、钢筋混凝土、钢丝网喷射混凝土、沥

青混凝土、砂浆、沥青砂浆、水泥加固土、砌石等)、薄膜类(包括塑料薄膜、沥青膜、合成橡胶膜、膨润土膜)和土料类等。为了提高软弱基础渠道的承载力,多采用钢板桩、混凝土桩或木桩加固。近年来,随着日本经济的高度发展,在改造旧渠道或新建渠道中多采用钢筋混凝土材料,从而提高了衬砌渠道的坚固耐久性,减少了维修费用,保证了行水安全。

在渠道防渗的断面结构形式方面,混凝土防渗多采用梯形、矩形、U形或弧形坡脚梯形断面等。美国混凝土防渗多采用梯形或弧形坡脚梯形断面,压实土及膜料防渗多采用梯形断面,膜料防渗层的结构为复合形式,即膜料上有不同材料(多为砂砾石)的保护层,当采用混凝土作保护层时,膜料与混凝土的层间一般夹一层土工织物;日本目前防渗渠道的断面结构形式有明渠及暗管两大类,不同材料明渠防渗的断面结构形式有梯形、矩形和U形三种;暗渠、暗管的断面结构形式有圆形、方形和马蹄形三种。

在渠道防渗工程的冻害防治方面,美国采用的防冻措施是在有冻害地区采用压实土防渗,不采用冻胀敏感的混凝土材料;渠基设排水设施;无冬灌习惯,且在冻结前一个月渠道停止输水。日本北部有严重的冻害问题,对渠道冻害机理和防治措施的研究较多,采用防冻胀方法有回避法(埋设法、置槽法、梯形法)、置换法(一般置换法、特殊置换法)和隔热法(一般隔热法、特殊隔热法、完全隔热法)三类。发达国家近年来采用“抵抗”冻胀的新技术措施,将混凝土改为钢筋混凝土,同时将防渗层下的土层用砂砾料换填,在砂砾料和混凝土防渗层之间铺一层塑膜,防止混凝土向底层基土中渗浆。采用这种防冻害措施,效果好,但投资过大。

在渠道防渗工程施工技术方面,机械化程度较高,施工质量好,进度快。美国混凝土现浇法施工,多采用全断面(小型渠道)或半断面(大型渠道)系列机械一次浇筑成渠,压实土防渗采用碾压机,塑膜防渗采用铺膜机等;日本目前普遍采用的是L形预制混凝土矩形防渗渠道,边坡预制件在工厂机械化生产,底部为现浇混凝土,施工速度快,质量高。

(二)国内渠道防渗技术概况

我国很早就有采用黏土、灰土、三合土夯实,黏土锤打,砌砖,砌石等进行渠道防渗的记载,20世纪50年代甘肃及新疆就开始因地制宜地采用卵石防渗渠道,并试验采用沥青混凝土作防渗渠道,60年代陕西、山西、河北、河南等省开展了混凝土防渗的试验研究和推广工作,1976年在水利部的组织和领导下,全国26个省(市、区)开展了渠道防渗科技协作攻关活动,成立了全国渠道防渗科技协调组和全国渠道防渗科技情报网,有组织地进行了大量的试验研究工作,有力地促进了渠道防渗技术的发展,大大推动了防渗工程建设。

在渠道防渗材料方面,研究证明灰土除有气硬性外,还有一定的水硬性,为了提高灰土早期强度及减少缩裂缝,应在灰土中分别掺入砂、砾石、炭渣等。为了提高水泥土的抗冻及抗裂性,应选用砂粒含量为70%、黏粒含量为3%~10%的土料,密度应在 1.8 g/cm^3 以上,适当提高水泥的掺量,施工中应严格控制含水量,加强早期养护。为了提高砌石防渗的效果,除保证施工质量外,应在砌体下设不同材料的防渗层,或采用灌浆及表面作防渗处理等方法。对于混凝土防渗,在性能满足工程要求的前提下,成功地采用细砂、页岩及泥岩拌制混凝土,并利用外加剂改善混凝土性能,减少水泥用量,降低工程造价。20世纪80年代以来,经过室内外试验,成功地采用和推广了薄膜等新型防渗材料和新型复合

材料防渗结构形式,取得了显著的经济和社会效益。

在渠道防渗断面形式方面,70年代中期以来,研究并推广了小型U形断面刚性材料防渗渠道,对大中型渠道,也研究提出了弧形坡脚梯形断面和弧形底梯形断面渠道。这种渠道将逐渐代替我国沿用已久的梯形断面渠道,具有重要的意义。

在渠道防冻胀技术措施方面,我国经过多年的研究实践,提出了“允许一定冻胀位移量”的设计标准,采用“适应削减冻胀”的防冻害原则和技术措施,大大降低了工程造价。目前对影响冻害的因素,例如土质、水分气温、渠道走向、断面形状、地下水位等,已研究和掌握了它们影响冻害的规律,并从定性的认识发展到定量的研究成果。

在施工技术方面,小型U形衬砌渠道,我国研制了系列的渠道基槽开挖机、混凝土现浇衬砌机和混凝土构件成型机等施工机械,施工速度快,施工质量高,并已得到大面积推广应用。大、中型渠道衬砌,研究开发了混凝土滑模施工技术和喷射混凝土防渗技术,但缺乏机械化和自动化程度高的衬砌机械,施工技术也亟待提高。

三、渠道防渗新材料与新技术

(一)渠道防渗新材料

渠道防渗常用土料、水泥土、面料、膜料、混凝土和沥青混凝土等材料建立渠道防渗层,以达到防渗目的。选用防渗材料时,应根据渠道大小、防渗效果和使用年限等工程要求,结合当地的地形、土质、气候、地下水位等工程环境条件和社会经济情况,并注意施工简易、造价低廉、便于管理维修等因素,按照因地制宜、就地取材的原则,合理确定。经过多年的研究和实践证明,渠道防渗采用单一的防渗材料和结构形式很难达到理想的防渗、抗冻和耐久性效果,并且投资较大。20世纪80年代以后,随着世界各国淡水资源的紧缺,渠道防渗技术引起普遍重视并得到迅速发展,在防渗新材料、防渗断面及结构形式等方面取得了许多研究成果。

1. 膜料防渗

膜料防渗是用不透水的土工织物(即土工膜)来减小或防止渠道渗漏损失的技术措施。土工膜是一种薄型、连续、柔软的防渗材料,具有防渗性能好、适应变形能力强、施工方便、工期短和造价低等优点。但是,土工膜较薄,在施工、运行期易被刺穿,使得防渗能力大大降低,国外20世纪30年代开始研究膜料防渗技术,随后开始广泛应用。我国于60年代中期将膜料用于渠道防渗,并针对其抗穿刺能力差、与土的摩擦系数小、易老化等缺点,进行了大量试验研究,不断改进材料性能,在衬砌结构形式、垫层和保护层设置以及铺膜接头处理等方面取得了一些好经验,使膜料在渠道防渗工程中得到广泛应用。目前应用的有PE、PVC及其改性膜和PVC复合防渗布及沥青玻璃丝布油毡等。

2. 土工合成材料黏土垫(GCL)

土工合成材料黏土垫(Geosynthetic Clay Liner,简称GCL),是一种新型的复合土工合成材料,它是在压实性黏土衬垫(Compacted Clay Liner,简称CCL)的基础上发展而来的。GCL最早应用于工程是在1986年,用于美国的一座垃圾填埋场衬垫系统中。大约在同一时期,德国也研究应用了另一种GCL产品,并成功地应用于渠道防渗、运河衬垫系统、垃圾填埋场衬垫系统等,均取得较好的防渗漏效果。

GCL 的结构组成是通过两层土工合成材料之间夹封膨润土末(或膨润土粒),通过针刺、缝合或黏合而成,也有的 GCL 产品只有一层土工膜,其上有用黏合剂黏合的一层薄薄的膨润土。GCL 是利用膨润土的膨胀性防渗、利用土工织物来承载和护面的结构形式,它与土工膜同属土工合成材料,在渠道防渗应用中除具有土工膜的所有优点外,还具有以下优点:①柔性好,抗张应变的能力强,在张应变达 20% 的情况下,其渗透率不增大;②自愈合功能强,由于膨润土具有遇水膨胀性,它会在土工织物刺破处自动愈合,同时上下层土工织物在针刺或缝合纤维的作用下约束了膨润土的迁移,进一步提高了其自愈合能力;③抗干湿循环和抗冻融循环的能力强,GCL 受热后会出现干缩现象,但复水后出现的裂缝会自动闭合,且渗透系数不变,经冻融试验,其抗冻能力也较强;④比土工膜搭接方便,安装简单,施工速度快。

3. 土壤固化剂

土壤固化剂是 20 世纪发展起来的新型材料,将其加入土壤中,可增强土体憎水性或降低土体水的冰点,阻止或减弱土体冻结时的水分迁移,从而减轻或消除冻胀,提高了土体的抗渗抗冻性能。土壤固化剂应用于渠道防渗工程上,具有可就地取材、工程造价低、施工简单方便、防渗抗冻效果较好等优点,近年来在国内外得到广泛的研究和应用。

土壤固化剂按照其固化土壤的原理可分为电离子类土壤固化剂和水化类土壤固化剂。电离子类土壤固化剂是由多种强离子化学剂组成的水溶性材料,其与土壤混合后,通过电离子交换,改变了土壤中水分子和土颗粒电离子特性,破坏了孔隙毛细结构,在压力作用下,孔隙中游离的水分子、气分子被挤出,使土颗粒黏结,从而提高土体的抗压强度和抗渗、抗冻性能,这类固化剂适用于颗粒较细的壤性土。水化类土壤固化剂多为固体粉末水物质,加入土体后经过压实,固化剂与土壤中水分子发生水化作用,实现水硬性反应,提高了土体的强度和抗渗、抗冻性能。这类土壤固化剂适用于砂石类土壤。

固化土的物理力学性能随土壤性能、固化剂类别及掺量、含水量、施工条件等有所不同,一般强度为 $1 \sim 10 \text{ MPa}$,渗透系数为 $1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-8} \text{ cm/s}$ 。固化剂用于渠道防渗,其抗压强度和抗渗性较好,但抗冻性较低,直接用于北方地区,其耐久性较差。为了提高其抗冻性和耐久性,我国已开始研究固化土复合防渗结构,它是利用土壤固化剂对渠基土进行处理,达到阻隔渠道内渗水、地面降水、地下水毛细管水等补给,并形成具有一定厚度的保温体,减弱基土的冻胀,再利用混凝土等刚性材料作为保护层,组成防渗、耐冲、抗冻胀、耐久性好的复合防渗衬砌结构。

4. 聚氨基甲酸酯/土工织物复合材料

聚氨基甲酸酯/土工织物复合材料是美国 IPC 公司(Innovative Process Corporation)研制的防渗新材料,它由两层土工织物内嵌柔性固体材料聚氨基甲酸酯橡胶制成。土工织物为聚丙烯或聚酯土工织物,聚氨基甲酸酯橡胶由异氰酸盐和多元醇液体在 $0 \sim 48.8^\circ\text{C}$ 的温度下按一定的配比混合而成。该复合材料与土工膜的主要区别是:它由几种材料现场制作而成,混合后的聚氨基甲酸酯最初为液态,能将土工织物锚固到混凝土衬砌板或其他下部垫层上,两小时内,聚氨基甲酸酯由液态转化为柔性固态,并根据渠道断面轮廓来调节自己的形状,而且搭接部分黏附能力极强。它与土工膜相比,除具有柔性好、防渗效果强等优点外,还具有以下优点:①较强的抗刺穿能力;②能与下部接触面黏附成一个

整体,抗冲刷能力强;③能根据渠道断面自动调节自己的形状;④施工方便,速度快。

(二)防渗渠道的断面形式

防渗渠道分为明渠和无压暗渠两种形式。明渠防渗的断面形式分为矩形、梯形(包括弧形底梯形、弧形坡脚梯形)、U形和复合形;无压暗渠的断面形式分为城门洞形、箱形、正反拱形和圆形。

梯形断面施工简便,边坡稳定,在地形、地质无特殊问题的地区可普遍采用。弧形底梯形、弧形坡脚梯形、U形断面等渠道,由于适应冻胀变形的能力强,能在一定程度上减轻冻胀变形的不均匀性,在北方地区得到了推广应用。根据甘肃省靖会电灌总干渠试验段的观测,弧形底部因不均匀冻胀变形造成的折角变形平均为 0.18° ,梯形平底折角变形平均为 4.5° ,弧形底断面可大大减轻冻胀开裂及消融时的滑塌破坏;弧形坡脚梯形在甘肃武威西营总干渠和山东省打渔张五干渠上的应用试验证明,其适应冻胀变形的能力优于梯形渠。U形渠从1975年开始在陕西省大量应用,目前在全国10多个省(市)的中、小流量的渠道上得到普遍的使用。

暗渠具有占地少、在城镇区安全性能高、水流不易污染等优点,在冻土地区,暗渠可避免冻胀破坏。因此,在土地资源紧缺地区和冻胀地区应用较多。

(三)防治冻害的技术措施

防渗工程是否产生冻胀破坏,其破坏程度如何,取决于土冻结时水分迁移和冻胀作用,而这些作用又与当时当地的土质、土的含水量、负温度及工程结构等因素有关。若采取措施消除或改善其中一个因素,就有可能防止防渗工程的冻胀破坏。但是,渠道防渗工程多处于黏、粉质土壤上,渠水易于补给基土,衬砌体重量轻、抗冻胀能力弱,某些渠段无法避免自然和人为的不利条件,易于遭受冻害。实际上,采取单一措施防治冻胀是难以做到的。实践证明,防治衬砌工程的冻害,要针对产生冻胀的因素,根据工程具体条件采取综合措施,即从渠系规划布置、渠床处理、排水、保温、衬砌的结构形式、材料、施工质量和维修等方面着手,全面考虑,采用适宜的防冻害措施。我国在防治渠道衬砌冻胀破坏的实践中,提出了“允许一定冻胀位移量”的新观点和采用“适应削减冻胀”的防冻害原则及技术措施,总结了一些防渗、防冻胀较好的断面和结构形式。断面形式如弧形坡脚梯形、弧形底梯形和U形等。结构形式方面对刚性衬砌要求合理分缝,适应冻胀变形,采用柔性结构或柔性膜料防渗加刚性保护层复合衬砌形式,可有效防止渗漏,减轻冻害。

四、我国渠道防渗技术发展中存在的问题与研究方向

(一)我国渠道防渗技术发展中存在的问题

我国在渠道防渗技术方面已做了大量的工作,取得了显著的成果,但目前已经防渗衬砌的渠道所占比例很小,与发达国家相比,还存在很大的差距:一是防渗衬砌标准低,已经防渗衬砌的渠道损坏严重。我国渠道防渗衬砌与发达国家相比标准较低,在渠道防冻胀技术措施方面,采用“适应削减冻胀”的防冻害原则,虽然降低了工程造价,但工程老化损坏严重。据调查,黄河上中游大型灌区干支渠道及建筑物老化损坏率为30%~40%,其中,冻胀破坏占30%~50%;针对渠井双灌区,美国在Ohio州的The Great Plains灌区进行了渠道防渗衬砌对灌区地下水的影响研究,以确定灌区的渠道防渗衬砌规模和标

准,我国近年来也开始了这方面的研究。二是在防渗抗冻新材料、新技术的研究开发及推广应用方面还做得很不够。近年来,发达国家在渠道防渗新材料、新技术的研究及应用方面取得了显著的成果,美国、德国研制了土工合成材料黏土垫 GCL、聚氨基甲酸酯/土工织物复合材料等防渗新材料,并成功地应用于渠道防渗、运河衬垫系统、垃圾填埋场衬垫系统等,均取得较好的防渗漏效果。我国过去多采用灰土及三合土夯实、砌石和混凝土防渗,近年来采用和推广了薄膜等新型防渗材料和新型复合材料防渗结构形式,取得了较好的防渗效果,但与发达国家相比还存在很大的差距。三是施工机械化程度还很低,与发达国家相比差距较大。发达国家在渠道防渗工程施工技术方面,机械化程度较高,施工质量好,进度快。我国小型 U 形混凝土衬砌渠道已逐渐向半机械化和机械化施工方面发展,但大中型渠道衬砌目前仍以人工施工为主,与发达国家差距较大。

(二)我国渠道防渗技术研究方向

1. 以提高渠道防渗、防冻和耐久性为重点,积极开展渠道改性防渗材料、新材料及应用技术研究

(1)改性混凝土防渗材料性能的研究。混凝土防渗是目前广泛采用的一种渠道防渗工程技术措施,具有防渗效果好、抗冲刷能力强等优点,但其抗冻性能不甚理想。国内外建筑业已开始利用纳米技术改进混凝土的性能研究,并应用于高速公路路面及路缘石施工中,结果表明可显著提高混凝土的耐久性,抗冻性能提高 20 倍。应积极开展利用纳米技术改进混凝土的防渗抗冻和耐久性的研究。

(2)新型固化土材料的研究。土壤固化剂是一种新型固化土防渗材料,具有其他传统防渗材料所不具备的一些特点,其作用对象是各类土壤,材料来源丰富,应用范围广,并且有很好的防渗效果,渗透系数一般为 $1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-8}$ cm/s,国外目前已广泛应用到各类工程中,我国从 20 世纪 80 年代开始引进这项技术,20 世纪 90 年代初应用于渠道防渗工程中,取得了较好的防渗效果。但土壤固化剂用于渠道防渗其抗冻性和耐久性较差,急需开展抗冻性和耐久性能好的新型土壤固化剂、固化土复合材料和复合结构形式等研究。

(3)新型复合土工膜的研究。我国从 20 世纪 60 年代以来开始采用塑膜做防渗材料,取得了较为理想的防渗效果,一般可减少渗漏量的 90% 以上,且塑膜埋入地下避免了紫外线照射和光的照射,延长了使用寿命,一般使用年限可达 20~30 年。近年来又研制出复合防渗膜料,但价格较高,渠道防渗应用较少。美国、德国已开始研究应用一种新型复合土工合成防渗材料 GCL,它是一种利用膨润土的遇水膨胀性防渗、利用土工织物来承载和护面的结构,防渗性能强,抗刺穿。研究具有 GCL 性能的低成本新型复合土工膜是我们今后研究的方向。

(4)特殊土渠道防渗技术研究。我国特殊土(如膨胀土、盐渍土及湿陷性黄土等)地区分布广泛,特殊土基对渠道工程的危害十分严重,我国在这方面也进行了大量的研究工作,针对不同的特殊土,提出了如浸水预沉法、化学添加剂处理法、置换法、固化法等技术措施,但均存在施工复杂、成本高等问题。因此,研究特殊土对渠基的危害机理,提出相应的防治危害的工程技术措施和适合我国国情的、经济合理的特殊土渠道防渗工程设计标准和设计方法具有重要的意义。