

我国渠道防渗技术研究与进展

周维博¹ 李立新³ 何武权² 吕洪光³

(1. 长安大学环境科学与工程学院 陕西 西安 710054 ; 2. 西北农林科技大学 陕西 杨凌 712100 ;
3. 杨凌航天节水科技股份有限公司 陕西 西安 710100)

摘要 :论述渠道防渗在我国节水农业中的作用 , 阐述我国渠道防渗在防渗材料、防冻胀措施、衬砌结构形式与施工技术等方面的发展状况 , 并与国外进行了对照 , 指出存在的问题 , 阐述了需要继续深化研究渠道防渗在抗冻胀新材料、新型复合土工膜材料和新型保温复合材料、渠道防渗衬砌设备研制等方面的内容 .

关键词 渠道防渗 防渗材料 衬砌结构

中图分类号 :S27 文献标识码 :A 文章编号 :1006-764X(2004)05-0060-04

1 渠道防渗在节水农业中的重要性和作用

目前我国农业年用水量为 3 860 亿 m³ , 约占全国总用水量的 70% 左右 , 其中灌溉用水量为 3 560 亿 m³ , 占农业总用水量的 92% , 占全国总用水量的 64% . 全国灌溉水利用系数约为 0.43 , 远低于欧洲和以色列 0.70 ~ 0.80 的水平^[1] . 全国渠系水利用系数平均不到 0.5 , 低于其它国家(美国为 0.78 , 日本为 0.61 , 前苏联为 0.6 ~ 0.7 , 巴基斯坦为 0.58) . 据统计 , 全国渠系年输水损失为 1 730 亿 m³ 左右^[2] , 为农业总用水量的 45% , 为全国总用水量的 33% . 目前全国已建防渗渠道 55 万 km , 仅占渠道总长的 18% , 80% 以上的渠道没有采取防渗措施^[3] , 仍然是土渠输水 , 水的渗漏损失很大 . 与土渠相比 , 浆砌石防渗可减少渗漏损失 50% ~ 60% ; 混凝土防渗可减少渗漏损失 60% ~ 70% ; 塑料薄膜防渗可减少渗漏损失 70% ~ 80% . 陕西、甘肃等地的试验资料表明^[4] , 渠道防渗可使渠系水利用率提高 20% ~ 40% , 减少渠道渗漏损失 50% ~ 90% . 据资料介绍^[5] , 山东省 1999 年可供水量为 277.97 亿 m³ , 而社会各业需水量却达 310.89 亿 m³ , 缺口高达 32.92 亿 m³ . 如果全省现有灌溉面积中有 70% 的农田实现了衬砌渠道或管道输水 , 使灌溉水利用系数由现状的 0.45 提高到 0.55 ~ 0.60 , 则全省可节约灌溉用水 31.8 亿 m³/a . 由此可见 , 渠道防渗的节水潜力巨大 .

渠道防渗是诸多农田灌溉节水措施中经济合理、技术可行的主要节水措施之一 , 也是我国目前应

用最广泛的节水工程技术措施 .

渠道防渗的作用不仅可以显著提高渠系水利用系数 , 减少渠道渗漏 , 较多地节约灌溉用水 , 而且可以提高渠道输水安全保证率 , 提高渠道抗冲击能力 , 提高输水、输沙能力 , 在多泥沙水源灌区可以减少渠道淤积 . 渠道衬砌后 , 渠道中水的流速一般较土渠高 1/3 左右 , 渠道引水能力一般较土渠增加 50% 左右 . 渠道防渗还具有调控地下水位、防止土壤次生盐碱化 , 以及减少渠道管理养护费用和减少渠道与渠系建筑物尺寸等多种效益 .

2 我国渠道防渗技术发展现状

2.1 防渗材料

目前我国渠道防渗常用材料主要为土料、水泥土、砌石、混凝土、沥青混凝土、膜料等 .

2.1.1 土料

土料防渗一般是指以黏性土、黏砂混合土、灰土、三合土和四合土等为材料的防渗措施 . 土料防渗是我国沿用已久的防渗措施 . 该材料能就地取材 , 料源丰富 , 技术简单 , 造价低廉 , 可以利用碾压设备 , 因此在我国采用得较为广泛 , 特别是在一些资金缺乏的中、小型渠道上应用更多 . 但由于土料防渗的渠道允许流速较低 , 抗冻性差 , 随着各种防渗新材料的不断问世 , 传统的土料防渗措施正在逐年减少 .

2.1.2 水泥土

水泥土是一种便于就地取材、防渗性能较好、施工简便的低强度防渗材料 . 我国水利工程上研究和

基金项目 :国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(2002AA2Z4131)
作者简介 :周维博(1956—)男 , 陕西乾县人 , 教授 , 博士 , 从事水资源与环境及节水灌溉方面的教学和科研工作 .

试用水泥土材料始于 20 世纪 70 年代的湖北长江荆江大堤护岸工程、内蒙古红领巾水库灌区、河北房涿灌区等渠道防渗。20 世纪 80 年代以来,水利部门对水泥土材料更为重视,全国有 20 多个省(区)先后开展了水泥土的试验和应用。但由于水泥土的早期强度低以及抗冻性差,因而水泥土防渗宜用于气候温和的无冻害地区。水泥土这一缺点已成为此种材料大面积推广的障碍。

2.1.3 砌石

砌石防渗按结构形式分,有护面式、挡土墙式两种。按材料及砌筑方法分,有干砌卵石、干砌块石、浆砌料石、浆砌块石、浆砌石板等多种。浆砌石衬砌具有能就地取材、抗流速大、耐磨能力强、抗冻和防冻害能力强,并具有较好的防渗效果和较强的稳定性等优点,是我国采用最早、应用较广泛的渠道防渗措施。近 10 多年来,虽已修建了混凝土、膜料等新材料防渗渠道,但砌石防渗渠道仍占很大比重^[6]。砌石防渗的缺点是不易机械化施工,故施工质量难于控制;造价不一定低,采用时应进行经济技术论证。

2.1.4 混凝土

混凝土防渗具有防渗效果好、糙率低、强度高、便于管理等优点,已使其成为目前我国广泛采用的一种渠道防渗技术措施。它的应用在我国已有 40 多年的历史。近年来,随着混凝土渠道防渗技术的提高与发展,加之混凝土与防渗膜复合式防渗结构形式的快速发展,已使其成为目前我国渠道防渗技术采用最广泛的材料之一。其缺点是适应变形的能力差,在缺乏砂石料的地区造价较高。

2.1.5 沥青混凝土

沥青混凝土防渗材料,属黏弹性材料。它具有良好的不透水性、耐久性和柔性等优点,国外在土石坝和渠道防渗工程中早有较多的应用。我国于 1951 年首次在甘肃省河西地区的武威黄羊河干渠进行了沥青混凝土渠道防渗^[7]。随后原西北水利科学研究所山东打渔张灌区也开展了沥青混凝土渠道防渗试验研究。陕西、青海、新疆、山东等省区,在中小型渠道上进行了现浇和预制法施工试验,并在生产中推广应用。但该材料应用发展较慢,究其原因,主要是存在料源不足、植物穿透和施工工艺严格等问题。

2.1.6 膜料

膜料防渗是用不透水的土工织物(即土工膜)做渠道防渗工程来减少或防止渠道渗漏的技术措施。土工膜料的品种很多,有聚乙烯(PE)、聚氯乙烯(PVC)等。一般常用的膜料有聚乙烯和聚氯乙烯两种。膜料防渗在国外研究应用较早,20 世纪 50 年代开始,膜料就先后被美国、前苏联等国家用于渠道防

渗。20 世纪 60 年代开始,我国先后在河南省人民胜利渠、陕西省渭高干渠和北京的京密引水和东北旺等渠道上采用膜料防渗,试验了塑膜用于渠道防渗工程的施工工艺、耐久性和植物穿透等有关问题^[8]。南方各省于 20 世纪 90 年代初开始推广应用^[9,10]。从研究和应用的情况来看,该材料具有防渗性能好(可减少渗漏损失达 90%~95% 以上)、适应变形能力强、质量轻、用量少、运输量小、施工简便、工期短、耐腐蚀性强、造价低(相当于混凝土防渗的 1/10~1/5,浆砌卵石防渗的 1/10~1/4 左右)等优点。但由于土工膜较薄,在施工和运行管理期易被刺破,使得其防渗性能大大降低。

2.1.7 新型固化土防渗材料

土壤固化剂是 20 世纪中期出现的一种新型固化土防渗材料,它具有其它传统防渗材料所不具备的一些特点。该材料能与各类土壤发生化学或生物作用,改变土的性质,如土的结构、亲水性等,形成具有一定承载能力、抗渗能力和耐久性的固化土。目前我国关于土壤固化剂的应用刚刚起步,20 世纪 90 年代应用于渠道防渗工程中,取得了较好的防渗效果。陕西省宝鸡峡灌区和山东省葛沟灌区在全国大型灌区节水改造中进行了土壤固化剂防渗渠道的试验应用,证明该材料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、防渗效果较好等优点,但存在抗冻性不稳定、耐久性差等缺点。因此,提高土壤的抗冻性和水稳性是今后研究的方向。

2.1.8 玻璃钢

玻璃钢是一种强度高、重量轻、耐腐蚀和抗微生物性能好的防渗材料。玻璃钢防渗渠道具有如下优点^[11]:① 防渗性能好(每千米渠道输水损失小于 0.1%);② 使用寿命长(可达 20 a);③ 过流条件好(与混凝土渠相比,过流能力提高 50%);④ 造价低廉(比混凝土渠节省投资 10%~20%);⑤ 减少占地(比混凝土渠减少占地 30%)。玻璃钢防渗渠与目前普遍使用的混凝土防渗渠相比,具有广泛的优越性。由于玻璃钢防渗渠尚处于试验研究阶段,还有一些技术问题有待完善和提高^[12]。

2.2 防冻胀措施

在我国东北、西北、华北寒冷地区,渠道防渗工程普遍存在着严重的冻害问题。20 世纪 70 年代以来,陕西、山西、山东、甘肃等省水利科研单位开展了大量的渠道防渗工程冻害机理和防治冻害措施的试验研究工作,提出了一些计算冻结深度和冻胀量的公式。在防冻害措施方面提出的“适应削减冻胀”的指导思想,改变了以往“抗冻胀”的设计观点,并按冻胀量划分等级,分别采取相应的适应和削减冻胀的

目前,我国采取的一些渠道防渗防冻胀措施可归纳为两个方面:一是处理渠道地基,对特种土基渠道,如湿陷性黄土、盐渍土、软弱土、膨胀土、冻胀土的渠道,进行土的置换或进行强夯处理。二是在防渗衬砌的结构形式上选择合理的断面形式和衬砌结构。如采用圆弧形底的梯形断面及中小型 U 形断面渠道。甘肃、陕西、辽宁等地研究证明,把梯形坡角改成弧形,能较好地适应冻胀变形。采用混凝土和膜料复合衬砌结构以减少渠道水渗漏,从而达到防治冻胀的目的是多年来我国渠道防冻胀试验的一个中心课题。采用隔热材料或特殊衬砌结构对基土进行保温,以消除或减少冻深是一项有效防治冻胀的措施。近年来,国内外研究用高分子聚合物来制造不同的防冻胀材料,如聚苯泡沫板、植物布膜等,并用其作铺垫、保温以及排水导滤等。采用衬砌体下铺设聚苯乙烯泡沫塑料板保温层进行防冻胀措施,我国在南水北调中线输水工程^[13]、甘肃黑河流域渠道工程^[14]和陕西泾惠渠灌区^[15]等地渠道防渗工程中已经成功使用。

我国渠道衬砌防冻胀虽已取得了很大进展,但仍存在一些需要解决的问题。目前在冻深与冻胀预报上仍然比较粗糙,防治措施还比较单一。因此,开发成本低、保温性能好的渠道防冻胀专用的保温材料是今后的发展方向。

2.3 衬砌结构形式及施工技术

2.3.1 衬砌结构形式

我国目前渠道衬砌的断面形式有矩形、梯形、包括弧形底梯形、弧形坡角梯形、U 形和复合形^[16]。梯形断面的渠道虽然衬砌施工简单,但水流条件不好,抗冻性能差。U 形、弧形底梯形、弧形坡角梯形断面的渠道,具有防渗效果好、水流条件佳、挟沙能力强、占地少、结构稳定性好、适应冻胀变形能力强、投资较小、寿命较长等优点。U 形适用于小型渠道,弧形底梯形适用于中型渠道,弧形坡角梯形适用于地下水位浅埋地区的大、中型渠道。实践证明,采用单一的防渗材料很难达到理想的防渗抗冻胀效果和耐久性。近年来,国内外都趋于向复合结构衬砌形式发展。例如,利用土工膜料或塑性水泥土等做防渗层,用混凝土等刚性材料或土料做保护层,为了防冻害还可以增加保温层和排水层形成复合结构的防渗形式。这种防渗形式目前国内许多灌区已有应用,其防渗效果明显优于单一混凝土衬砌防渗,因此今后渠道衬砌将会更多地采用这种衬砌结构形式。

2.3.2 施工技术

在渠道防渗施工技术方面,国外发达国家以机

械化施工为主,我国目前仍以人工施工为主,与国外差距较大,但已逐渐向半机械化和机械化施工方向发展。在 U 形渠道工程施工机械方面,陕西宝鸡峡灌溉管理局、陕西省水电工程局研制的 KU—50, KU—80, KU—100 开渠机,是 U 形渠道土基开挖的机械设备,可与 D40, D60, D80U 形渠混凝土浇筑机配套使用。原西北水利科学研究所研制的 D40, D60, D80, D100, D120 等系列小型 U 形渠混凝土浇筑机,一次浇筑成直径 40~120 cm 的 U 形渠道,断面尺寸准确,混凝土密实,施工速度快,一般为人工施工的 4.5 倍,价格较低,应用较广泛。

各地在推广引进小型 U 形渠混凝土浇筑机过程中,也研制出一些各具特色的衬砌机具。如宁夏海原县水电局研制的 QJ30—85 系列可变断面(U 形、矩形、梯形)混凝土浇筑机(适于流量 $1\text{ m}^3/\text{s}$ 以下渠道)^[17]。浙江省义乌市水电局研制的卷板式 U 形混凝土渠道浇筑机,对不同断面尺寸的 U 形渠有较大的适应性,便于混凝土 U 形渠槽的工厂化和系列化生产。原西北水利科学研究所等单位,对大 U 形混凝土防渗渠道,采用两侧壁预制吊装和渠底现浇相结合的施工方法^[18]。该方法施工质量好、速度快、机械化程度高。山东省高密亚盛公司生产的 LZYP—1 全“U”形构件成型机与国内不同类型混凝土预制件(板)成型设备相比较,具有施工方便、成型效果好、生产成本低等优点^[19]。山西等地最近研制出一种弧形底梯形渠现浇混凝土防渗施工机械^[20],并对其相应的施工技术进行了初步研究。

3 渠道防渗技术需要研究的几个问题

3.1 渠道防渗抗冻胀新材料

a. 新型土壤固化剂。在分析现用于渠道防渗的石灰土、水泥土、三合土的基础上,采用水泥改性、纤维加筋、材料复合等技术研制一种渠道防渗专用的新型土壤固化剂。研究新型土壤固化剂与不同粒径土料、不同液、塑限土料以不同配比的固化土其防渗性能、强度性能、变形性能、抗冻性能、抗冲刷性能和干湿交替变化性能。新型土壤固化剂研究的技术难点在于提高土壤固化剂的抗冻性与水稳定性,以及解决土壤固化剂对不同土料的适应性。

b. 新型填缝止水新材料。针对渠道衬砌伸缩缝要求黏结性能和伸缩性强的特点,研制具有橡胶腻子型施工方便,又有橡胶制品型的弹性密封性和遇水膨胀特性的新型弹性橡塑质填缝止水材料;针对工作缝要求膨胀性强和黏结性强的特点,通过膨胀剂与高效减水剂的联合掺用,探求补偿收缩能力强、黏结强度高、抗渗性能好、用于填筑工作缝的膨胀混

凝土最佳配比,并研究工作缝的缝型与伸缩缝的合理间距.填缝止水材料的技术难点是解决冷施工技术,提高填缝材料的黏结性和低温下的变形性能.

c. 特殊土渠道防渗专用新材料.通过对盐渍土、膨胀土等特殊土的土性特性的深入研究,揭示其对防渗渠道的破坏机理,探索研究适用于特殊土渠道基础防渗的专用材料,同时,研究采用特殊土的改性措施和其它工程措施,提高防渗渠道的稳定性,延长特殊土基防渗渠道的使用年限.提出施工简单、成本低廉、适合于特殊土渠道防渗工程的新材料和特殊土改性及加固措施.

d. 环保型混凝土及其防渗漏强新材料.该材料是通过工业废渣类材料(如粉煤灰、磨细矿渣材料)掺和改性技术或通过有机材料增塑改性技术,并充分考虑利用当地废砂、石料资源,制备在强度、抗渗、抗冻、抗冲磨、抗化学侵蚀等性能上适合渠道防渗的、在不显著提高混凝土成本前提下的环保型混凝土及其防渗漏强新材料.

3.2 新型复合土工膜材料和新型保温复合材料

a. 新型防渗复合土工膜.复合土工膜是土工膜与土工织物热黏后形成的一种土工合成材料.土工膜一般由聚乙烯(PE)或聚氯乙烯(PVC)为原材料,膜表面光滑,与接触面的摩擦系数小,且易刺破.因此,必须在现有土工膜料研究的基础上,增加其它材料形成复合结构,提高其自身结构强度,改善其整体抗刺穿、抗滑等性能.加入硅烷偶联剂可提高其抗冻和抗老化性能.研究开发高密聚乙烯(HDPE)、超低密聚乙烯(VLDPE)复合土工膜,兼备HDPE土工膜的抗化学侵蚀力和VLDPE土工膜的耐久性.开发新的树脂材料和添加剂,以便土工膜具有更长的使用寿命和更好的稳定性.

b. 新型保温复合材料.通过改善聚苯板成分、结构和生产工艺,研制渠道防冻胀专用的新型聚苯板,研究其应用性能和施工工艺.

3.3 渠道防渗衬砌设备的研制

我国目前研制生产的渠道防渗施工机械品种较少,特别是大型渠道的衬砌施工机械设备更少.已有的机械性能单一,还不完善,有待于大力提高.因此,必须在现有渠道衬砌设备的基础上,针对U形渠道衬砌机一次成型差的弊端进行改进,并提高施工速度.

4 结 语

20世纪70年代初期以来,我国在渠道防渗技术及其工程应用方面已有长足的发展,无论是在防渗新材料的研制与开发还是渠道防渗衬砌结构形式

方面,以及防渗施工新技术方面均取得了一定的进展.随着我国大中型灌区节水改造任务的开展,必将大规模地采用渠道防渗工程手段,以提高水资源的利用率.因此,渠道防渗在我国节水农业方面起着核心和重要作用.在总结以往渠道防渗工作的基础上,将会有新的问题需要去研究.

参考文献:

- [1] 冯广志. 21 世纪初我国节水工作的思考[J]. 节水灌溉, 2000(1):1~4.
- [2] 李安国. 我国渠道防渗工程技术综述[J]. 防渗技术, 2000(1):1~4.
- [3] 李安国, 建功, 曲强. 渠道防渗工程技术[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1998.
- [4] 周维博. 西北地区的农业灌溉与节水途径[J]. 水利水电科技进展, 2001, 21(1):2~4.
- [5] 刘景华. 山东省农业灌溉现状及节水模式探讨[J]. 节水灌溉, 2000(3):37~38.
- [6] 建功. 旧砌石防渗渠道老化破坏的原因及其改造的措施[J]. 防渗技术, 1998, 4(4):1~5.
- [7] 陈发义, 建功. 沥青混凝土渠道防渗技术的探讨[J]. 防渗技术, 1991(1):8~16.
- [8] 建功. 膜料渠库防渗有关技术问题的探讨[J]. 防渗技术, 1995, 1(1):1~10.
- [9] 艾树衡, 陈清芬, 余祥全. 混凝土及膜料复合渠道防渗技术的研究[J]. 防渗技术, 1996, 2(3):9~12.
- [10] 肖振中, 陈发科. 膜料在广西渠道防渗中的应用[J]. 防渗技术, 1993(2):7~12.
- [11] 吴玉柏, 黄俊友, 王远. 玻璃钢防渗渠道的研制[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2002, 30(5):87~90.
- [12] 钱蕴璧, 李英能, 杨刚, 等. 节水农业新技术研究[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2002.
- [13] 梁海涛. 南水北调中线总干渠工程渠道衬砌技术现场试验总结[J]. 防渗技术, 2002, 8(2):16~19.
- [14] 张文智. 聚苯乙烯泡沫塑料板在渠道防冻胀中的应用[J]. 水利与建筑工程学报, 2003, 1(2):56~57.
- [15] 王沪学, 吴小宏. 泾惠渠渠道防渗工程防冻害问题的研究及建议[J]. 防渗技术, 2002, 8(4):39~40.
- [16] SL18-91 渠道防渗工程技术规范[S].
- [17] 袁进忠. QJ 系列渠道混凝土衬砌浇筑机的应用[J]. 防渗技术, 1993(1):51~54.
- [18] 任之忠, 建功, 孙竞武. 大 U 形混凝土防渗渠道新施工方法的试验研究[J]. 防渗技术, 1993(1):23~28.
- [19] 寇广潮. 临渭区混凝土渠道衬砌预制件成型设备的选择[J]. 防渗技术, 2001, 2(2):35~37.
- [20] 王介民, 孙新忠, 朱文魁. 弧形底梯形渠现浇混凝土防渗施工机械的研制[J]. 防渗技术, 2002, 8(2):20~22.

(收稿日期: 2004-04-09 编辑: 高建群)