

农田水利工程技术培训教材

水利部农村水利司 组编
中国灌溉排水发展中心

渠道衬砌与防渗工程技术

主 编 何武全
副主编 孔 东

黄河水利出版社
· 郑州 ·

前 言

我国是一个水资源严重短缺的国家，水资源总量约为 28 000 亿 m^3 ，人均水资源占有量仅为世界人均占有量的 1/4，耕地单位面积水资源占有量不足世界平均水平的 1/2。据统计，2008 年我国农业总用水量为 3 664 亿 m^3 ，约占当年总用水量的 62.0%，其中农田灌溉用水量 3 306 亿 m^3 ，约占农业总用水量的 90%。同时，我国农业灌溉仍然存在灌溉效率低和用水浪费严重的现象，灌溉水的利用率仅为 48% 左右，具有很大的节水潜力。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平均为 0.51 左右，也就是说 49% 的灌溉水在渠道输水过程中就损失掉了。渠道衬砌与防渗技术是我国目前应用最广泛的节水灌溉工程技术措施，渠道衬砌与防渗以后，可以极大地减少农业灌溉用水的浪费，具有显著的节水效益。

近十多年来，我国渠道衬砌与防渗工程技术发展较快，自 1998 年起对大型灌区进行了以节水为中心的续建配套与节水改造，在渠道衬砌与防渗工程技术方面，研究开发了许多新技术、新工艺和新材料。为了及时总结我国渠道衬砌与防渗工程技术的经验和成果，适应即将颁布实施的国家标准《渠道防渗工程技术规范》，满足渠道衬砌与防渗工程建设的需要，推动渠道衬砌与防渗工程技术的发展，水利部农村水利司和中国灌溉排水发展中心组织有关单位，在 1998 年编写的《渠道防渗工程技术》基础上，总结了近年来渠道衬砌与防渗工程技术的经验和成果，依据新的技术规范，补充了渠道衬砌与防渗新材料和新技术，增加了渠道衬砌与防渗工程规划、渠基与渠坡的稳定和工程实例等内容，使新编的《渠道衬砌与防渗工程技术》更加系统、科学和实用。

本书共十章，包括概述、渠道衬砌与防渗工程规划、渠道衬砌与防渗材料及结构、渠道衬砌与防渗工程设计、渠基及渠坡的稳定、渠道衬砌与防渗工程的冻害防治、渠道衬砌与防渗工程施工、渠道衬砌与防渗工程的测验、渠道衬砌与防渗工程的管理和工程实例及六个附录，内容涵盖了渠道衬砌与防渗工程的规划、设计、施工、测验和管理等各个方面。

本书各章编写分工如下：第一章由何武全、王晓玲、杜秀文编写，第二章由蔡明科、潘云生编写，第三章由娄宗科编写，第四章由杨鼎久编写，第五章由邢义川、孔东编写，第六章由阎存立、何武全、孔东编写，第七章由何武全、蔡明科编写，第八章由孔东、谭翼编写，第九章由冯保清编写，第十章由何武全、杜秀文、蔡明科编写，附录由杜秀文、何武全编写。本书由何武全任主编，由孔东任副主编。

本书由冯广志任主审，由刘长余任副主审。在编写过程中得到有关专家和领导的支持与帮助，在此一并表示衷心的感谢。本书在编写过程中参考和引用了许多国内外文

献，在此对这些文献的作者表示衷心的感谢！

由于编者水平所限，书中缺点和疏漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

2011年3月

目 录

加强农田水利技术培训 增强服务“三农”工作本领	陈 雷
前 言	
第一章 概 述	(1)
第一节 渠道衬砌与防渗的重要性和作用	(1)
第二节 渠道衬砌与防渗工程技术发展概况	(7)
第三节 我国渠道衬砌与防渗工程技术发展趋势	(11)
第二章 渠道衬砌与防渗工程规划	(18)
第一节 规划原则与内容	(18)
第二节 基本资料的收集和整理分析	(21)
第三节 渠道渗漏损失的计算	(22)
第四节 选择衬砌与防渗技术措施应考虑的因素	(27)
第五节 渠道衬砌与防渗工程布局	(29)
第六节 生态环境与安全设施规划	(32)
第三章 渠道衬砌与防渗材料及结构	(36)
第一节 渠道衬砌与防渗材料	(36)
第二节 渠道衬砌与防渗结构	(56)
第四章 渠道衬砌与防渗工程设计	(62)
第一节 一般要求	(62)
第二节 设计参数的确定	(62)
第三节 渠道断面设计	(70)
第四节 渠基排水设施设计	(78)
第五节 混凝土衬砌	(82)
第六节 砌石衬砌	(92)
第七节 膜料防渗	(96)
第八节 沥青混凝土防渗	(100)
第五章 渠基及渠坡的稳定	(106)
第一节 一般要求	(106)
第二节 渠道边坡的安全坡比	(107)
第三节 黄土渠道	(113)
第四节 膨胀土渠道	(121)
第五节 分散性土渠道	(127)
第六节 盐渍土渠道	(132)
第七节 沙漠渠道	(135)

第六章 渠道衬砌与防渗工程的冻害防治	(138)
第一节 渠道冻害及破坏形式	(138)
第二节 渠道冻害成因及特征	(142)
第三节 防治渠道冻胀破坏的措施	(146)
第四节 渠道防冻胀设计方法	(152)
第七章 渠道衬砌与防渗工程施工	(164)
第一节 施工准备	(164)
第二节 渠道基槽的填筑与开挖	(165)
第三节 渠基排水设施的施工	(169)
第四节 混凝土衬砌渠道施工	(170)
第五节 砌石衬砌渠道施工	(182)
第六节 膜料防渗渠道施工	(188)
第七节 沥青混凝土防渗渠道施工	(192)
第八节 伸缩缝的填充	(197)
第九节 施工质量的控制与验收	(199)
第八章 渠道衬砌与防渗工程的测验	(201)
第一节 测验的目的、原则及内容	(201)
第二节 渗漏测验	(202)
第三节 变形测验	(211)
第四节 冻胀测验	(216)
第九章 渠道衬砌与防渗工程的管理	(226)
第一节 管理措施	(226)
第二节 维修措施	(227)
第十章 工程实例	(233)
附录 A 埋铺式膜料防渗渠道土料保护层边坡稳定计算	(243)
附录 B 弧形底梯形渠道水力最佳断面及实用经济断面的计算方法	(245)
附录 C 弧形坡脚梯形渠道水力最佳断面及实用经济断面的计算方法	(248)
附录 D 渠道纵断面设计	(251)
附录 E 渠道静水法测渗的观测记录及计算表	(254)
附录 F 渠道动水法测渗的流量、标准差及随机不确定度的计算	(259)
参考文献	(262)

第一章 概述

第一节 渠道衬砌与防渗的重要作用和作用

一、渠道衬砌与防渗的重要性

随着全球水资源供需矛盾的日益加剧,合理利用水资源,提高水的利用率越来越成为世界各国重要而迫切的问题。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2 210 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有量不足世界平均水平的1/2。预计到21世纪30年代,我国人口达到16亿高峰时,在降水总量不减少的情况下,人均水资源占有量将下降到1 760 m^3 ,逼近国际公认的1 700 m^3 的严重缺水警戒线。同时,我国水资源时空分布不均,水土资源不匹配,用水效率不高,用水浪费和水污染严重,更加剧了水资源的短缺。由于受季风气候的影响,降水过分集中,全国大部分地区每年汛期(6~9月)降水量占到全年降水量的60%~80%,不但容易发生春旱夏涝,而且水资源总量中约有2/3是洪水径流量,水资源可利用量仅为8 548亿 m^3 ,而且开发难度越来越大。全国81%的水资源分布在长江及长江以南地区,但该地区耕地仅占全国的35%,而占全国耕地65%的长江以北地区,水资源却仅占全国的19%,这对农业生产十分不利。近年来,全国正常年份缺水量约为400亿 m^3 ,其中农业缺水量约为300亿 m^3 ,干旱缺水已成为我国农业生产的主要制约因素。由于水资源短缺,部分地区江河断流,地下水位持续下降,生态环境日益恶化;部分地区工业与城市生活、农业生产及生态环境争水矛盾突出。

节约用水、高效用水是缓解我国水资源供需矛盾的根本途径,发展高效节水型农业是我国的基本战略。这不仅是我国国民经济和社会可持续发展所要求的,也是我国农业资源,尤其是水资源短缺、水土资源配置失衡等严峻形势所决定的,对保障国家水安全、粮食安全和生态安全,实现水资源高效可持续利用,推动经济社会可持续发展,具有重要的战略地位和作用。农业用水是我国的第一用水大户。据统计,2008年,全国农业总用水量为3 664亿 m^3 ,占当年总用水量的62.0%,其中农田灌溉用水量为3 306亿 m^3 ,占农业总用水量的90%。同时,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,灌溉水的利用率仅为48%左右,单方水粮食生产率只有1 kg左右,大大低于以色列和欧洲一些国家灌溉水利用率70%~80%、单方水粮食生产率2 kg以上的水平,具有很大的节水潜力。发展节水型农业行之有效的节水技术有渠道防渗衬砌、低压管道输水、地面灌溉技术、喷灌与微灌、节水灌溉制度等。这些节水技术都十分重要,但是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%左右的灌溉水在渠道输水过程中就

损失掉了，渗漏损失水量之大相当惊人。2005年4月发布的《中国节水技术政策大纲》指出，农业用水输配水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主要采用渠道输水形式。因此，积极推广渠道衬砌与防渗技术势在必行，对缓解我国水资源供需矛盾和农业经济持续稳定发展具有重要的意义。

二、渠道衬砌与防渗的含义和作用

（一）渠道衬砌与防渗的含义

关于渠道防渗的含义：《农村水利技术术语》（SL 56—2005）中的定义是，减少渠道输水渗漏损失的技术措施；《中国水利百科全书·灌溉与排水分册》中的定义是，减少渠道输水渗漏损失，提高渠系水利用系数的工程技术措施，并指出渠道防渗的措施包括改变渠床土壤透水性的措施、防渗护面措施和化学材料防渗措施等，渠道防渗护面的材料有刚性材料、膜料及复合材料等，其中刚性材料包括混凝土、沥青混凝土、砖、石等，膜料包括塑料薄膜、合成橡胶膜、沥青膜等，复合材料包括灰土、水泥土、止水剂土、复合土工膜等。这种分类方法存在许多问题，如化学材料防渗应属于改变渠床土壤透水性措施，沥青混凝土不属于刚性材料，复合土工膜属于膜料，水泥土属于刚性材料等。关于渠道衬砌，目前尚无明确的定义，一般认为是渠道防渗措施的一种，两者没有严格区分。因此，形成了两种错误的观点：一是认为只有在水资源紧缺的情况下，为了减少渠道渗漏损失，提高渠系水利用系数，才有必要进行渠道衬砌；二是认为渠道衬砌和渠道防渗没有区别，造成两个概念混淆，许多专著、文章等表述混乱，如混凝土防渗、混凝土衬砌、混凝土衬砌防渗、混凝土防渗衬砌等。产生上述问题的主要原因是渠道衬砌与防渗的含义没有区分清楚，对于渠道工程而言，渠道防渗是指减少渠道输水渗漏损失的工程技术措施，渠道衬砌是指在渠道表面浇筑或砌筑刚性材料护面层的工程技术措施。渠道衬砌和防渗既有联系又有区别，渠道衬砌可以减少渠道渗漏损失，本身具有防渗的作用，但不是只有防渗才能采取衬砌措施，如渠道纵坡比降较大为了减小冲刷危害，水源含泥沙较多为了提高渠道水流挟沙能力，渠道内杂草丛生为了美化环境等情况下也需要采取衬砌措施；相反，也不是只有衬砌才能防渗，如采用膜料或渗透系数较小的土料等也可以起到防渗作用。在节水灌溉工程技术中，为了表达明确、一致，建议统称为渠道衬砌与防渗技术。采用刚性材料时称为衬砌，如混凝土衬砌、砌石衬砌等；采用其他材料时称为防渗，如膜料防渗、沥青混凝土防渗、土料防渗等。但应注意的是，采用刚性材料衬砌时，要区分防渗（主要为了减少渠道渗漏）和砌护（主要为了减小冲刷、提高流速、美化环境等）不同要求时其技术措施的区别。

（二）渠道衬砌与防渗的作用

渠道衬砌与防渗技术是我国目前应用最广泛的节水工程技术措施，几乎适用于所有的灌溉渠道。渠道衬砌与防渗的作用主要有以下几个方面。

1. 减少渠道渗漏损失，提高渠系水利用系数

利用渠道将灌溉水由水源输送到田间是农田灌溉的主要输水方式，灌溉渠道在输水过程中只有一部分水量通过各级渠道输送到田间为作物所利用，而另一部分却从渠底、

渠坡的土壤孔隙中渗漏到沿渠的土壤中,不能进入农田为作物所利用,这就是渠道渗漏损失。根据联合国粮农组织调查,无防渗措施的灌溉渠道,其输水损失占总引水量的30%~50%,有的甚至达到60%。渠道防渗衬砌后,一般可以减少渗漏损失3/4以上,使渠系水利用系数达到0.7~0.8,并且节约的水可扩大灌溉面积,进一步促进农业生产的发展。

目前,我国灌溉渠道总长约为450万km,采取防渗衬砌措施的渠道总长约75万km,仅占渠道总长的1/6,渠系水的利用系数约为0.51,远低于其他国家,如美国为0.78,日本为0.61,巴基斯坦为0.58等。大量宝贵的灌溉水资源在输水过程中损失掉了,十分可惜。据河南省人民胜利渠小冀灌区的实测资料,渠道渗漏损失的水量占灌溉水总损失量的80%,其他因管理不善、灌水技术落后造成的田间损失,以及泄水、决口跑水等占18.5%,蒸发损失占1.5%。甘肃省河西走廊有些渠道,在未采取防渗措施以前,渠道渗漏损失占总引水量的60%~70%。河南省鸭河口灌区,渠道多为土渠,渗漏损失严重,仅白桐干渠以下王庄以上15km渠段为砂砾石渠床,渠道衬砌前每年渗漏损失就达到7200万 m^3 。陕西省泾惠、渭惠、洛惠三个灌区,据1955~1963年的资料,每年从各级渠道渗漏损失的水量分别达到10210.4万 m^3 、21755万 m^3 、4917万 m^3 ,分别占总引水量的41.5%、64.9%、40.7%。内蒙古河套灌区,渠系水利用系数现为0.42,以年引黄河水量52亿 m^3 计,大约有30亿 m^3 的水在渠道输水过程中渗漏损失掉了,并且还导致地下水位升高,土壤盐碱化程度加重。因此,进行渠道防渗衬砌,减少渠道渗漏损失,是灌区节约用水的关键环节。

实践证明,渠道防渗衬砌可以减少渗漏损失的60%~90%。例如:陕西省泾惠渠,四级渠道防渗衬砌后,渠系水利用系数由0.59提高到0.85;福建晋江县晋南电灌站永和二级站12km长的干渠,采用砌石衬砌后,渠道水利用系数由0.55提高到0.8;湖南涟源县白马水库灌区62km长的干渠,防渗衬砌后,渠道水利用系数由0.3提高到0.68,并且灌溉面积由原来的0.67万 hm^2 提高到1.4万 hm^2 ,不仅达到了原设计灌溉面积,而且扩大了灌溉面积0.2万 hm^2 (该灌区设计灌溉面积约为1.2万 hm^2);陕西省宝鸡峡灌区98km总干渠,防渗前每千米输水损失为0.425%,用混凝土衬砌以后,每千米输水损失降为0.017%,减少输水损失96%,使原来98km干渠输水损失水量由19 m^3/s 降为0.76 m^3/s ,每年可减少渗漏量达2.4亿~2.9亿 m^3 ;广东省青年运河,防渗前渠系水利用系数为0.40,防渗衬砌后,提高到0.52,使灌溉面积由7.8万 hm^2 扩大到10.53万 hm^2 ;湖南韶山灌区用三合土防渗后,减少渗漏损失86%,已防渗的100多km渠道每年可节水8075万 m^3 ,可扩大双季稻灌溉面积0.67万 hm^2 ;内蒙古河套灌区永刚分干渠西济支渠,灌溉面积2867 hm^2 ,对分干、支、斗、农渠防渗衬砌后,四级渠系水利用系数由原来的0.504提高到0.889,灌溉用水量由7185 m^3/hm^2 下降到5385 m^3/hm^2 ,平均节水1800 m^3/hm^2 ,1999年共节水448万 m^3 ,节约水费17.9万元,具有显著的节水效益。另外,没有衬砌防渗的渠道中,杂草等植物能摄取大量水分,并通过蒸发作用散发到空气中。根据观测,某些亲水天然植物的耗水量比多数大田作物高出50%~100%。据美国1948年调查,在垦务局管辖下的22600km渠道上,每

年约有 1.85 亿 m^3 的水被杂草消耗掉, 采用刚性材料衬砌以后, 可以防止杂草生长, 从而节约了杂草所消耗的水量。

我国自 1998 年起对 400 多个大型灌区进行了以节水为中心的续建配套改造和节水改造, 到 2008 年, 累计完成骨干渠道衬砌长度 33 596 km, 衬砌面积 30 359 万 m^2 , 配套改造渠(沟)道建筑物共 94 152 座。新增、恢复灌溉面积 1 397 万亩, 改善灌溉面积 6 135 万亩, 增加粮食综合生产能力 120 多亿 kg, 增加输水能力 1 324 m^3/s , 渠系水利用率平均提高 17%, 年节水约 110 亿 m^3 , 取得了显著的节水效益。大量工程实践证明, 采用渠道防渗衬砌技术, 可以减少渗漏损失的 70% ~ 90%, 极大地提高了渠系水利用系数, 如果我国灌溉渠系水的有效利用系数提高 0.10, 则每年可节约用水量 322.7 亿 m^3 , 按我国目前每公顷灌溉用水量 6 750 m^3 计算, 可以扩大灌溉面积 478.1 万 hm^2 。由此可见, 渠道防渗衬砌的节水效益十分显著。

2. 防止渠道冲刷、淤积及坍塌, 保证输水安全

渠道衬砌后, 不仅具有防渗作用, 而且还具有防止冲刷、淤积及坍塌, 稳定渠道, 保证输水安全的作用。我国新疆、甘肃等省(区), 灌区地形坡度大, 对渠道进行衬砌, 既防冲又防渗, 还缩小了渠道断面, 减少了渠道开挖方量和跌水、陡坡等建筑物。例如, 新疆头屯河灌区, 灌溉面积 3.5 万 hm^2 , 位于天山中段北麓, 准葛尔盆地南缘, 地形南高北低, 地形坡度较大, 其中: 总干渠采用浆砌卵石后浇灌水泥砂浆衬砌, 比降为 1:250, 设计最大输水流量为 35 m^3/s 、最大流速为 2.67 m/s ; 西干渠采用干砌卵石, 比降为 1:500, 设计最大输水流量为 15 m^3/s 、最大流速为 2.27 m/s ; 东干渠渠底采用浆砌卵石, 渠坡采用混凝土衬砌, 比降为 1:65、1:170、1:500, 设计最大输水流量为 15 m^3/s , 衬砌后渠内流速分别为 4.17 m/s 、2.94 m/s 、1.88 m/s , 这么大的流速, 如果渠道不衬砌肯定是行不通的。引黄等北方高含沙水源灌区, 因水的含沙量大、比降小、流速小, 故一般土质渠道容易淤积, 每年不仅清淤工作量很大, 而且影响正常的灌溉, 不能充分发挥工程效益。但采用混凝土等材料衬砌以后, 由于糙率降低, 流速提高, 渠道挟沙能力增大, 不仅不再淤积, 而且有利于引高含沙水灌溉。例如, 山西省尊村引黄灌区, 设计引水流量 46.5 m^3/s , 设计灌溉面积 11.07 万 hm^2 , 由于渠道糙率大, 比降小, 输水输沙能力差, 而水源含沙量大, 导致渠道严重淤积, 厚度达到 2 ~ 3 m, 实际过水能力不足设计引水流量的 30%, 渠系水利用系数仅为 0.38, 有的渠道甚至因淤积而报废, 严重制约了灌溉效益的正常发挥。灌区在续建配套和节水改造时, 在加强沉沙设施建设的同时, 对渠道采用混凝土衬砌, 干渠、分干渠、支渠分别选用弧形坡脚梯形、弧形底梯形和 U 形断面, 水流条件好, 流速大, 提高了渠道的输水输沙能力, 已改造渠道年清淤费用减少了 90%。

渠道衬砌后, 渠坡崩塌、渠床杂草丛生等现象得到控制, 渠道规则、流畅, 输水能力大为提高, 灌水周期缩短, 及时有效地满足作物的需水要求, 达到增产增收的效果。衬砌渠道的糙率小、流速大, 输水时间可以缩短 30% ~ 50%。根据大型灌区中期评估结果, 通过对灌区渠道险工险段及渠系建筑物的配套与改造, 使渠道输水能力显著提高, 项目受益区灌溉周期平均缩短 21.1%。四川省大型灌区配套改造项目受益区, 渠

道输水能力和输水效率显著提高,平均灌水周期从 38 d 缩短为 33 d,增强了抗御极端旱灾的能力;湖南省长沙县乌川水库灌区的渠首段 31 km 衬砌后,输水时间由以前的 28 h 缩短为 16 h,时间缩短了 43%;福建省莆田县东圳水库灌区 46 km 干渠衬砌后,输水时间由以前的 21 h 缩短为 13 h,时间缩短了 38%。大型灌区续建配套和节水改造工程实施以后,灌水周期平均缩短了 6 d,这对于大型灌区以及干旱季节的灌溉,其意义尤为重要。

另外,塍边或傍山渠道,往往渠线长,地质复杂,裂隙发育,渠床不稳定,土渠输水灌溉中经常发生决口、滑坡等事故,造成人民生命财产的巨大损失。渠道衬砌防渗以后,可以防止这类事故的发生。根据大型灌区中期评估结果,项目受益区灾害损失下降率达 20% 以上的灌区占 90.6%,灾害损失估算减少 32 亿元;灌区改造后,渠道事故发生率明显降低,事故损失下降率达 50% 以上的灌区占评估灌区总数的 67.8%。湖南长沙县乌川水库灌区北干渠 31 km 渠段,衬砌防渗以前,年平均溃渠 4 次;涟源县的白马灌区,干渠长 62 km,衬砌防渗前,年平均溃渠 10 次以上。但采用砌石等方法衬砌以后,一直安全行水。陕西省宝鸡峡总干渠,渠床为湿陷性的黄土滑坡体,修建前人们曾担心渠道行水的稳定问题。但由于采取了较好的渠道防渗衬砌措施,竣工运用至今仍安然无恙。同时,通过灌区配套改造,旱灾损失值下降了 56.9%,险工险段工程事故损失下降了 59.7%。

3. 有利于控制地下水位,防止土壤盐碱化及沼泽化

渠道若不采取防渗衬砌措施,会因渗漏而补给地下水,不但造成输水损失,而且提高了地下水位,在我国北方会导致灌区盐碱化、沼泽化,在南方则会形成冷浸田、反酸田、洋湖田等,造成严重减产,甚至弃耕。更有甚者,引发房屋倒塌,威胁附近工业与民用建筑和人身安全。例如,我国华北平原 1956~1961 年,大量引黄河水灌溉,没有采取渠道防渗及灌区排水措施,灌溉水的大量渗漏,引起了地下水位升高,导致大面积土壤盐碱化,据调查当时几处大型引黄灌区,次生盐碱化面积竟达到实际灌溉面积的 1/3。1958 年兴建的三义寨引黄灌区,也是由于没有采取渠道防渗及灌区排水措施,开灌仅 2 年,引起地下水位普遍升高,产生大面积土壤盐碱化,被迫于 1961 年停灌。根据江苏省淮阴县水利科学研究所对淮阴地区调查,砂土渠道两侧约 20 m 宽的农田,由于渠道渗漏的影响,处于饱和状态,一般旱作物减产 5%~20%。但上述灌区在采取了防渗措施以后,土壤盐碱化得到制止和改善,农业生产得到恢复和发展。内蒙古河套灌区隆胜 2 800 hm² 以渠道防渗为主要节水措施的节水改造示范区,实施节水改造 3 年后,地下水位动态与节水改造工程实施前相比,无论灌溉期、秋浇期和冻融期均呈下降趋势,地下水位降幅为 0.28~0.59 m。土壤盐分年内变化比较稳定,总的趋势呈脱盐过程,与节水改造前相比,土层脱盐率在土层 0~20 cm、0~60 cm、0~100 cm 深度分别为 34.4%、28.9%、18.7%。

同样,美国西部一灌溉工程,灌溉面积约 8 500 hm²,由于干、支渠道的大量渗漏,土地浸渍严重,被迫弃耕。但对干、支渠防渗后,减少了渗漏,土地又恢复了种植。苏联中亚一带及巴基斯坦的旁遮普省首府拉合尔市周围等地,由于未采取渠道防渗措施,

渠道渗漏水造成了灌区的盐碱化,后采用混凝土、装配式钢筋混凝土和沥青等材料防渗以后,土地盐碱化问题才得到控制和改善。

总之,在地下水位较高的灌区,渠道采取防渗措施后,由于大幅度减少了渗漏,避免了因渗漏水而抬高输水渠道沿线地下水位,对已建灌区可控制或改善土壤盐碱化及沼泽化,对新建灌区则可防止产生土壤盐碱化及沼泽化。另外,渠道防渗衬砌以后,也可免去或减少排水工程所需要的投资。

4. 减少渠道占地面积,降低运行管理费用

渠道防渗衬砌后,可以减少输水损失,与土渠输水相比,从水源引等量的水可以灌溉更多的农田,即如果灌溉同等数量的耕地,渠道防渗衬砌所需建设水源工程的投资比土渠少得多。据新疆的经验,渠道采取防渗衬砌措施后,用其节省下来的水灌溉,每亩^①地的投资约为建水库蓄水灌溉每亩地投资的1/3。从国外看,如印度、美国、塞浦路斯、伊朗、墨西哥、阿尔及利亚等都很重视渠道防渗衬砌工作,而且事实证明它是经济的。例如,塞浦路斯修了3条防渗衬砌渠道,每年减少渗漏量136万 m^3 ,可以增加柑橘、柠檬等种植面积160 hm^2 ,一年增加的收入除全部偿还防渗衬砌工程的投资外还有节余;美国一些灌区的防渗衬砌渠道,由于扩大了灌溉面积,其灌水的成本只相当于一一般土渠的69%~84%。

工程实践表明,当渠道比降、渠底宽及水深相同时,防渗衬砌渠道的流量大于土渠的流量。当为同一流量时,因为防渗衬砌渠道的流速较大,故渠道断面比土渠的小,可以节省渠道占地面积,特别是U形混凝土衬砌渠道,渠口窄,渠道占地面积仅为梯形渠道的1/2~1/4,节地效果更为显著。据河北省资料,混凝土衬砌防渗渠道较土渠少占土地40%;据江苏省淮阴地区资料,防渗衬砌的斗、农渠较土渠少占土地52%;据黑龙江省资料,大、中型灌区渠道衬砌后,支渠和干渠的宽度比衬砌前分别减小1~2m,渠道占地平均节省30%~40%,1km支渠和干渠分别可节约耕地0.1 hm^2 和0.2 hm^2 ,以庆安县和平灌区为例,该灌区2000年衬砌8km渠道,在缩小原渠道断面后,可为农民增加宝贵的耕地0.71 hm^2 。对于我国土地资源紧缺、人均耕地面积不足0.1 hm^2 的现实来说,防渗衬砌渠道减少占地的意义更大。

对于提水灌区,渠道防渗衬砌后不仅可以节水,还可节能,降低灌水成本。据陕西省宝鸡峡灌区抽水管理站资料,每平方米渠道防渗衬砌工程,每年可节约电量1.9kWh。据山西省调查,提水灌区,每平方米渠道防渗衬砌工程,每年可节约电量2.7kWh或节油1.2kg;井灌区,每平方米渠道防渗衬砌工程,每年可节约电量5.6kWh或节油3.0kg。据福建省晋江县永和二级电灌站资料,渠道防渗衬砌前后,灌溉水费减少了46%。对于高扬程提水灌区,其节能效益更为可观。如山西省尊村灌区,从黄河提水,总扬程158.5m,总装机容量6.14万kW,近年来实施续建配套和节水改造工程,衬砌干、支渠104.8km,每年减少渗漏损失650万 m^3 ,节约电费45万元,节能效益十分显著。

① 1亩=1/15 hm^2 。

渠道防渗衬砌后还可大幅度节约管理养护费用,一般比土渠减少 70%。据国外资料:美国用刚性材料衬砌后,可以减少管理养护费 70%;印度混凝土衬砌渠道的管理养护费只为同流量土渠的 1/3;西班牙每平方米防渗衬砌渠道比土渠每年可节约养护工日 0.34 个。我国灌区渠道衬砌后,年维修费和管理费也大大降低。据河北省石津灌区资料,朱庄分干渠采用混凝土衬砌后,渠道淤积、坍塌及杂草大幅减少,每次清修渠道用工由原来的 300 个工日减少到 80 个工日,灌溉期间每日护渠人数由原来的 8 人减少到 4 人,灌溉一次减少用工 200 个工日;另外,分干渠为土渠时,每 3 年要大清修一次,其费用每次约 2 万元,衬砌后基本可省去这笔费用。据山西省尊村灌区资料,渠道衬砌后,年清淤费用比衬砌前可减少 90%。

综上所述,渠道衬砌与防渗的效益十分显著。为了节约用水,减少渠道占地,防止土壤次生盐碱化,降低工程维护管理费用,应积极开展渠道衬砌与防渗工程建设。

第二节 渠道衬砌与防渗工程技术发展概况

一、国外渠道衬砌与防渗工程技术概况

水资源短缺已成为一个全球性的问题。早在 1972 年联合国召开的人类环境会议和 1977 年召开的水事会议,就向全世界发出警告:水不久将成为一项严重的社会危机,继石油危机之后的下一个危机便是水。1995 年 8 月世界银行调查统计报告公布,目前拥有世界人口 40%,占世界陆地面积 60% 的 80 个国家正面临着水资源不足问题,使其农业、工业和人民生活受到威胁。联合国把 2003 年定为国际淡水年,就是希望提高人们对水危机的了解和重视,改变现行的、不可持续的做法和政策。近年来,世界各国都开始对水危机给予前所未有的重视,并采用了多种对策。

在解决水资源匮乏的对策中,除兴建必要的蓄水、引水、调水工程,扩大水源外,更重要的是节约用水,提高水的利用率,防止水的污染等。世界各国如美国、日本、印度、意大利、巴基斯坦、伊朗、加拿大等,由于渠道渗漏损失的水量很大,均非常重视并积极开展渠道防渗衬砌工程建设,因此渠道衬砌与防渗工程建设发展快、技术水平高、节水效果显著。其中,最具有代表性的是美国和日本。

(一) 美国渠道防渗衬砌工程技术概况

1. 美国渠道防渗衬砌工程的建设特点

美国把渠道防渗衬砌作为灌区提高渠道输水效率的主要措施。早在 1946 年就开始研究,到 1990 年美国共建防渗衬砌渠道 9 656 km。其建设的特点是:①已形成统一的设计和施工技术标准,工程质量好;②防渗效果要求高,对混凝土衬砌,要求其渗漏损失不能大于 $20 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$;③非常注意就地取材;④对防渗衬砌渠道的基础要求严格,如为土基,压实度要求达到 95% 以上;⑤对消除防渗层的扬压力非常重视,在管理工作中,要求渠水位下降速度不得大于 $15 \text{ cm}/\text{h}$ 或 $45 \text{ cm}/24 \text{ h}$,对地下水位较高或可能产生扬压力的渠基,要求必须设置排水设施;⑥施工机械化程度高,混凝土现浇法施工,多采用全断面(小型渠)或半断面(大型渠)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。因此, 施工质量好, 进度快。

2. 美国渠道防渗衬砌采用的技术措施

(1) 渠道防渗衬砌材料。主要包括刚性材料、土料和膜料三大类。刚性衬砌材料尤其是混凝土衬砌应用最为广泛, 混凝土衬砌渠道约占全部渠道长度的 52%。美国认为混凝土衬砌具有防渗性能好, 能适应高流速, 占地少, 清草、清淤及管护费用低和寿命长等优点, 故目前多用此种材料。为了防冻、节约投资和充分利用原有的土坝碾压机设备, 压实土防渗仍占 1/3 左右。膜料也是渠道防渗衬砌常用的材料, 膜料防渗的保护层材料多采用砂砾料, 或下层为土料、表面为砂砾料。在无砾料地区, 也有采用现浇或喷射混凝土做保护层的。近年来开始研究应用一种新型复合土工合成材料黏土垫 GCL (Geosynthetic Clay Liner), 该材料具有防渗性能优越、抗穿刺性能强、自愈合功能等特点。

(2) 渠道防渗衬砌的断面结构形式。混凝土衬砌多采用梯形断面或弧形坡脚梯形断面, 压实土及膜料防渗多采用梯形断面。梯形断面的宽深比因流量不同而改变。混凝土衬砌的宽深比, 在流量为 $0.014 \sim 566 \text{ m}^3/\text{s}$ 时, 为 $1.0 \sim 3.0$; 压实土防渗的宽深比, 在流量为 $1.4 \sim 566 \text{ m}^3/\text{s}$ 时, 为 $2.0 \sim 8.0$ 。宽深比一般较大, 亦即渠道较宽浅。膜料防渗层的结构为复合形式, 亦即膜料层上有不同材料 (砂砾石较多) 的保护层。当采用混凝土做保护层时, 膜料与混凝土的层间一般夹一层土工织物。

(3) 渠道防渗衬砌工程的冻害防治。美国部分地区虽有冻害, 但未投入较大力量进行研究。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。

(二) 日本渠道防渗衬砌工程技术概况

1. 日本渠道防渗衬砌工程的建设特点

日本十分重视渠道防渗衬砌, 现有干、支渠道已经全部衬砌, 田间渠道也已基本衬砌。其工程建设的特点是: ①大量使用钢筋混凝土预制构件衬砌, 便于工厂化、机械化生产, 提高质量, 加快进度, 现场施工也以机械施工为主; ②为了减少占用土地, 渠道多采用矩形断面, 并大力发展暗渠和管道输水; ③渠道普遍铺设砂砾石垫层和排水设施, 排除地下水, 减少冻胀, 同时普遍使用高强度钢筋混凝土材料, 以增加抗冻能力; ④渠道防渗衬砌工程标准高, 质量好, 经久耐用, 维护费用低, 管理使用方便。

2. 日本渠道防渗衬砌采取的技术措施

(1) 渠道防渗衬砌材料。日本渠道防渗衬砌所用的材料有硬质类 (包括混凝土、钢筋混凝土、钢丝网喷射混凝土、砂浆、沥青混凝土、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、膨润土膜等) 和土料类等。为了提高软弱基础渠道的承载力, 常采用钢板桩、混凝土桩或木桩加固。

渠道防渗衬砌材料的选择与渠道规模、重要性、衬砌形式等有关, 尤其与日本的经济水平密切相关。例如, 第二次世界大战后, 日本的经济水平较低, 当时多采用薄型素混凝土板、沥青膜及土料衬砌渠道。随着经济的高度发展, 近年来, 旧渠道的改造或新建渠道多采用钢筋混凝土材料, 从而提高了衬砌渠道的耐久性, 减少了维修费用, 保证了行水安全。

日本对渠道衬砌结构的接缝止水材料非常重视,除采用类似我国的塑料或橡胶止水带外,在止水带的上下尚采用填充性浸沥青的泡沫塑料板,或全部缝隙采用工厂生产的管装密封胶,这种胶经多年运用,与混凝土衬砌板黏结牢固,无缝隙,止水效果好。

(2) 渠道防渗衬砌的断面结构形式。日本防渗衬砌渠道的断面结构形式有明渠及暗渠(管)两大类。不同材料明渠防渗衬砌的断面结构形式有梯形、矩形和U形三种,暗渠(管)的断面结构形式有圆形、方形和马蹄形三种。目前,普遍采用的是L形预制混凝土矩形衬砌渠道。边坡预制件可以在工厂机械化生产,施工速度快,质量高,底部为现浇混凝土,渠道断面可以根据需要变宽或变窄,适用范围较广。

混凝土衬砌的厚度根据流量大小而定。一般钢筋混凝土矩形渠道的厚度为10~20 cm;预制板梯形渠道的厚度为10 cm左右;在特殊情况下,现浇混凝土衬砌渠道的厚度达到30~40 cm。

(3) 渠道防渗衬砌工程的冻害防治。日本北部有严重的冻害问题,从1972年就开始进行冻害机理和防治措施的研究,1980年提出了《渠系建筑物冻害防治措施研究报告》(综合报告)。根据冻胀的机理,防冻胀的技术措施是本着回避、消除、减轻冻胀影响或与冻胀抗衡的原则制订的。从经济性、耐久性和施工条件考虑,日本目前采用的防冻胀方法有回避法、置换法和隔热法三类。

回避法包括埋设法、置槽法和梯形法。埋设法是将明渠改为暗渠埋在冻土层以下,这种方法能完全避免冻胀,但造价高,受水头的限制。置槽法使侧墙外填土高度降低,避免冻胀,一般填土高度不大于槽深的1/3和侧墙厚度的3倍。这种方法投资低,但受地形限制,因此仅用于平原地区渠宽1 m左右的中、小型渠道上。梯形法是将渠道做成梯形,积雪面积大,利用积雪保温防冻。日本目前多采用矩形渠道,该方法已不再使用。

置换法包括一般置换法和特殊置换法。一般置换法是将冻胀层用能控制冻胀的砂、砾石和碎石置换,以减轻冻胀,但仍有冻胀,因而在设计刚性大、容许变形小的混凝土渠槽时仍必须考虑冻胀力,这是日本目前采用最多的一种方法。特殊置换法是用筛分的材料置换,使之不发生冻胀,较一般置换法可靠,但冻深相应增大,置换厚度从而增加,且要有防细粒侵入的措施,故造价很高,除特殊情况外,已不多采用。置换材料的质量,以含粒径小于0.074 mm颗粒的多少来控制。

隔热法包括一般隔热法、特殊隔热法和完全隔热法。一般隔热法是用聚苯乙烯泡沫板等保温隔热材料代替砂砾料置换层。特殊隔热法及完全隔热法是加厚这种保温置换层,减轻或消除冻胀。这类材料价格高,除特殊需要的情况外,多不采用。目前,正在探寻性能好且造价低的保温材料。

近年来,日本采取“抵抗”冻胀的技术措施,将混凝土改为钢筋混凝土,同时将衬砌层下的土层用砂砾料换填,在砂砾料和混凝土衬砌层之间铺一层塑膜,防止混凝土向底层基土中渗浆。采取这种防冻害措施,效果好,但投资过大。

二、我国渠道衬砌与防渗工程技术概况

我国古代就有采用黏土、灰土、三合土夯实,黏土锤打、砌砖、砌石等进行渠道防

渗衬砌的记载。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衬砌渠道,并试验采用沥青混凝土做防渗渠道。20世纪60年代,陕西、山西、河北、河南等省开展了混凝土防渗衬砌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(区、市)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衬砌技术的发展,大大推动了防渗工程建设。从1998年起国家发展计划委员会和水利部开始实施以节水改造为中心的大型灌区骨干工程续建配套和节水改造,到2008年,衬砌干、支渠道3.36万km,衬砌面积达到3.04亿m²,项目灌区渠系水利利用系数由改造前的0.49提高到0.52,新增节水能力105亿m³,极大地促进了我国渠道衬砌与防渗工程建设的发展。

在渠道衬砌与防渗材料方面,常采用混凝土、砌石、沥青混凝土、膜料、土料和水泥土等。20世纪60~70年代,在土料和水泥土防渗方面做了大量研究和推广工作,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性及抗裂性,应选用砂粒含量为70%、黏粒含量为3%~10%的土料,密度应在1.8g/cm³以上,适当提高水泥的掺量,施工中严格控制含水量,加强早期养护等;为了提高砌石防渗的效果,除保证施工质量外,还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塑料薄膜、复合膜料(一布一膜、两布一膜)等新型防渗材料。近年来,随着防渗膜料的发展,采用了复合材料防渗的结构形式,即采用柔性膜料(塑膜、沥青玻璃布油毡或复合膜料等)做防渗层,主要起防渗作用,在膜料防渗层上,再用混凝土等刚性材料或土料做保护层,保护膜料不被外力所破坏,防止老化,延长工程寿命。两种材料互相扬长避短,显示了明显的经济技术性能,是目前渠道防渗衬砌的发展趋势。

在渠道防渗断面形式方面,20世纪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。

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、渠道走向及断面形状、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,我国仍以人工施工为主,与发达国家差距较大,但已逐渐向半机械化和机械化施工方面发展。小型U形混凝土衬砌渠道,已研制出了系列的渠道开槽机械、混凝土浇筑机械和混凝土构件成型机,使U形渠道得到大面积推广应用。大、中型渠道衬砌,研制开发了喷射混凝土防渗渠槽机、混凝土现浇衬砌机械和多种渠道衬砌预制块成型机。这些机械的研制与应用,促进了我国渠道衬砌与防渗工程施工向机械

化方向发展,并对提高工程质量、降低工程造价、加快工程建设速度起到了显著的作用。

“十五”期间,科技部首次将渠道高效输水技术列入“863计划”课题和“十五”重大专项,取得了一系列技术研究新成果。在渠道防渗新材料及新技术方面,通过改性、复合等技术,在提高渠道衬砌材料防渗性能的同时,重点提高其抗冻性和耐久性,研制出了纳米基混凝土改性剂,能够提高混凝土的抗渗性30%以上,并显著改善混凝土的抗冻性和耐久性;研制开发了改性沥青材料及渠道沥青混凝土衬砌成套技术,填补了国内空白,并已在工程中得到应用;研制的新型土壤添加剂是利用工业废液加工而成的,喷入渠床,防渗效果达60%~70%,成本较低,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,价格低。在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,研制开发了具有防渗保温双重功能的新型卷材(SDM),具有防渗保温双重功能,还容易与无纺布复合,具有防渗、保温、平面导水等三重功能。在渠道施工机械方面,设计研制了能生产1m U形渠槽的混凝土预制构件机和自走式渠道现浇衬砌机,研究成果在河北、陕西、新疆、广西、北京、宁夏、内蒙古、云南和贵州等省(区、市)的工程中进行了应用,取得了显著的经济效益和社会效益。

第三节 我国渠道衬砌与防渗工程技术发展趋势

一、我国渠道衬砌与防渗工程技术发展中存在的问题

我国在渠道衬砌与防渗工程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小,与发达国家相比还存在一定差距,特别在工程质量和施工机械化水平方面差距较大。主要表现为以下几个方面:

(1) 衬砌与防渗标准低,已经衬砌防渗的渠道损坏严重。国外发达国家渠道防渗衬砌标准较高,工程质量好。如日本针对冻胀破坏,近年来采用“抵抗”冻胀的原则,将混凝土改为钢筋混凝土,或架空渠槽、置换垫层等,效果很好。我国在渠道防冻胀技术措施方面,采用“适应、削减或消除冻胀”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%,严重影响了灌溉工程效益的发挥。

(2) 衬砌与防渗新材料、新技术的研究及应用方面还做得很不够。近年来,国外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许多新的进展,美国、德国研制了土工合成材料黏土垫GCL(Geosynthetic Clay Liner)、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、三合土夯实，砌石和混凝土衬砌防渗，近年来推广了塑料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；研制开发了类似 GCL 的膨润土防渗毯，并开始在渠道防渗工程中进行了应用，但目前尚无统一的技术标准，与发达国家相比还存在一定的差距。

(3) 施工机械化程度低，与国外发达国家相比差距较大。国外发达国家在渠道防渗工程施工技术方面，机械化程度较高。例如：美国混凝土衬砌渠道全部采用机械施工，膜料防渗从渠槽开挖、膜料铺设以及防护层施工，也全部实现机械化；日本多采用工厂化预制混凝土构件和现场浇筑相结合，也都采用机械施工，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向发展，但大中型渠道衬砌目前仍以人工施工为主，与国外差距较大。

二、我国渠道衬砌与防渗工程技术发展趋势

随着科学技术的不断发展和我国经济实力的提高，对渠道衬砌与防渗技术提出了更高的要求。目前，我国渠道衬砌与防渗技术由单一材料向复合材料，由单一结构向复合结构，由以人工施工为主向半机械化、机械化施工方向发展，并开始重视渠道衬砌与防渗对生态环境的影响。其发展趋势有以下几个方面。

(一) 衬砌与防渗新材料的研究和推广

1. 复合土工防渗材料

(1) 复合土工膜。用于渠道防渗的复合土工膜，有塑料薄膜与无纺布组合的复合土工膜（如一布一膜、两布一膜等），塑料薄膜、无纺布与沥青油膏组合的复合土工膜（如沥青柔毡），玻璃纤维布与改性沥青组合的复合土工膜（如沥青玻璃纤维布油毡）。目前，渠道防渗工程最常用的复合土工膜是以塑料薄膜作为防渗基材，与无纺布复合而成的土工防渗材料。塑料薄膜是一种高分子化学柔性材料，具有防渗性能好、质轻、延伸性强、适应变形能力高和造价低等优点，自 20 世纪 50 年代以来，在渠道防渗工程中得到从试验到推广应用。但是，塑料薄膜存在易被刺破，与土的摩擦系数小等缺点。国内外防渗应用的塑料薄膜，主要有聚氯乙烯（PVC）和聚乙烯（PE）。无纺布是一种高分子短纤维化学材料，通过针刺或热黏成型，具有较高的抗拉强度和延伸性，它与塑料薄膜结合后，不仅增大了塑料薄膜的抗拉强度和抗穿刺能力，而且由于无纺布表面粗糙，增大了接触面的摩擦系数，有利于复合土工膜及保护层的稳定，并具有竖向防渗、水平导水的性能。因此，这种复合土工膜很快成为较塑料薄膜更理想的渠道防渗材料。

(2) 新型防渗土工合成材料。钠基膨润土防水毯，学名为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 最早用于的工程是在 1986 年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