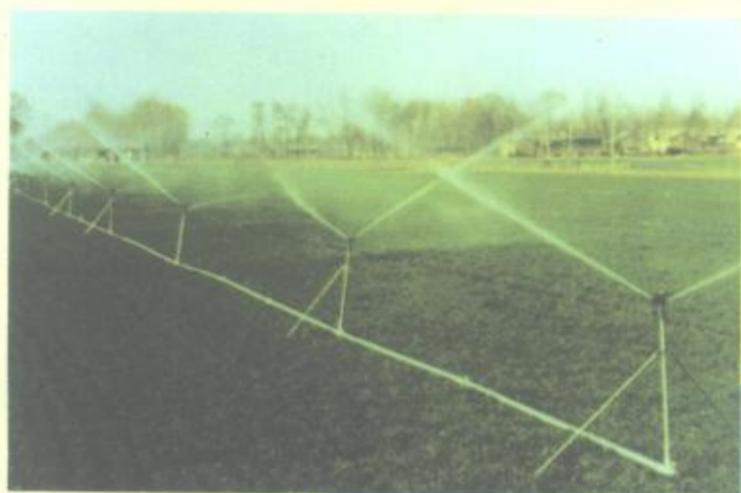


节水灌溉技术培训教材

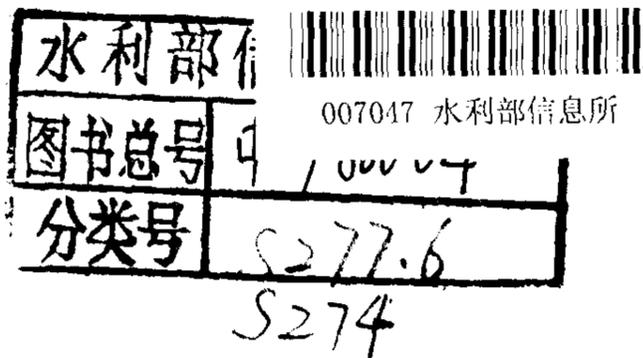
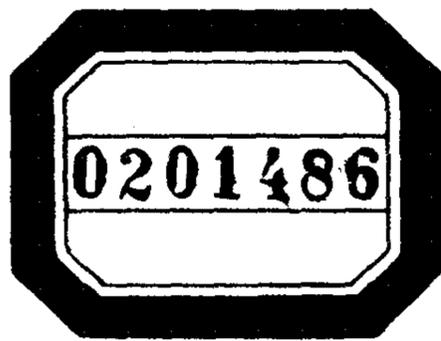
渠道防渗工程技术

水利部农村水利司

中国灌溉排水技术开发培训中心



 中国水利水电出版社



节水灌溉技术培训教材

渠道防渗工程技术

李安国 建功 曲强 编著

中国水利水电出版社

内 容 提 要

本书系《节水灌溉技术培训教材》的一个分册，全书针对我国实际情况、综合国内外成功技术经验、依据水利水电行业标准撰写的。较系统地介绍了渠道防渗的作用及防渗工程技术的发展趋势，渠道渗漏损失的测定和计算方法，土料、水泥土、砌石、膜料、混凝土、沥青混凝土等防渗工程的设计、施工和管理维修，渠道防渗工程的冻害及其原因、防冻胀设计和试验观测技术等知识。对暗渠的设计、施工和管理维修也作了简要介绍。

本书主要供全国各地培训水利技术人员，推广节水灌溉技术工作使用，亦可供有关专业学校师生参考。

ZWB/06

图书在版编目 (CIP) 数据

渠道防渗工程技术/水利部农村水利司，中国灌溉排水技术开发培训中心编著. —北京：中国水利水电出版社，1998

节水灌溉技术培训教材

ISBN 7-80124-640-3

I. 渠… I. ①水… ②中… III. 渠道防渗-技术培训-教材 IV. S274.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 00878 号

书 名	节水灌溉技术培训教材 渠道防渗工程技术
作 者	水利部农村水利司 中国灌溉排水技术开发培训中心
出版、发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044)
经 售	全国各地新华书店
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市朝阳区小红门印刷厂
规 格	787×1092 毫米 16 开本 13.75 印张 310 千字
版 次	1998 年 3 月第一版 1998 年 3 月北京第一次印刷
印 数	0001—4600 册
定 价	26.00 元

《节水灌溉技术培训教材》

编 委 会

主任委员： 陈 雷

副主任委员： 冯广志 乔玉成 许红波

高尔坤 周卫平 赵竞成

委 员： (按姓氏笔画为序)

王晓玲 史 群 祁建华 曲 强

任晓力 沈秀英 李龙昌 李安国

李英能 张汉松 张祖新 郑耀泉

林性粹 顾宇平 彭世彰 彭建明

序

我国是一个水资源严重短缺的国家,人均水资源占有量排在世界第109位,仅为世界平均水平的1/4。随着经济的发展、人口的增加、社会的进步、工业和城市用水量的激增,农业用水量占全国总用水量的比重已从80年代初的80%降到目前的70%左右。农业用水供需矛盾日益突出,干旱缺水成为制约我国农业发展的主要因素之一。一方面农业缺水,另一方面用水浪费现象又普遍存在。有效利用率只有30%~40%,而先进国家达到70%~80%以上。我国单方水粮食生产能力只有1kg左右,而先进国家为2kg,以色列达2.35kg。我国目前采用喷、微灌等先进节水措施的灌溉面积仅占总灌溉面积的2%,而有些发达国家占灌溉面积的80%以上,美国的喷、滴灌面积为1.65亿亩,占灌溉面积的一半。我国目前已建的防渗渠道工程为55万多km,仅占渠道总长的18%。从国外和我国各地的实践经验看,凡采用先进的节水灌溉技术,都可获得十分显著的节水增产效果。农业灌溉节水潜力巨大,通过普及节水灌溉技术,提高灌溉水的利用率和水分生产率,无疑是解决农业用水危机,缓解我国水资源供需矛盾的有效途径。

党的十五大报告中指出要“大力推进科教兴农,发展高产、优质、高效农业和节水农业”,国务院决定在“九五”期间建设300个节水增产重点县和一批节水型井灌区,以推动我国节水灌溉工作的全面发展。在党中央的领导下,一个亿万农民群众参加的大搞农业节水灌溉的热潮已在全国各地蓬勃兴起。

为了配合节水灌溉技术的推广和普及,近年来,我们陆续举办了一系列培训班,请高等院校、科研单位、生产管理部门的有关专家讲课,并编写教材。在此基础上,充实修改,编写出节水灌溉系列培训教材,包括《水资源评价与节水灌溉规划》、《喷灌与微灌设备》、《渠道防渗工程技术》、《管道输水工程技术》、《喷灌工程技术》、《微灌工程技术》、《地面灌溉节水技术》、《雨水集蓄工程技术》、《水稻节水灌溉技术》九个分册。该教材主要面向县、乡两级基层水利技术人员,回答普及节水灌溉工作中的基本技术知识和常见问题,强调适用性,使读者在学到节水灌溉工程技术的同时也了解了水资源开发利用,节水管理技术及节水农艺措施等方面的知识,并能够结合当地情况选择适宜本地区节水灌溉的技术路线,掌握节水灌溉技术的实施步骤、设备选择、工程设计、施工、质量控制和运行管理等技术方法。

这套教材可用以对基层水利人员实施“继续工程教育”和“蓝色证书”的培训，也可作为基层水利技术人员实施节水灌溉工程的参考资料。相信这套教材的出版发行，会对推动基层水利职工培训，节水灌溉的普及和技术水平的提高，灌溉管理水平的提高起到有益的作用。

由于节水灌溉技术内容丰富、发展迅速，有待进一步研究的内容很多，加之编写时间仓促，本书的不足和错误之处，诚恳希望读者提出补充、修改意见。我们向所有对这项工作给予支持的各位领导、有关单位和参与编写、审稿工作的同志表示衷心的感谢。

水利部农村水利司

冯广志

1997年12月22日

前 言

我国是水资源相对短缺的国家，人均水资源占有量排在世界第 109 位，仅为世界平均水平的 1/4。亩均占有水资源量为 1400m³，为世界平均水平的 59.3%，且水资源的时空、地域分布不均，污染严重。随着经济的发展，人口的增加，工业和城市用水量的激增，农业用水的供需矛盾日益突出，干旱缺水已成为制约我国农业乃至国民经济发展的主要因素之一。大力普及推广节水灌溉技术，提高灌溉水的利用率和利用效率是进一步改善农业生产条件，加强农业基础设施建设，缓解我国水资源供需矛盾的有效途径。

渠道防渗工程技术，是节水灌溉各个环节中的重要一环，目前我国已建渠道防渗工程 55 万多 km，仅占渠道总长的 18%，80% 以上的渠道没有防渗，渠系水的利用系数平均不到 0.5，即从渠首引进的水有 50% 以上是无效损失。每年灌溉渠系输水损失的水量达 1734.62 亿 m³，为我国总用水量的 33%，为农业总用水量的 45%，浪费水量之大，确实惊人，与世界发达国家相比，有很大差距。

本书是按照水利部农村水利司关于大力普及节水灌溉技术，配合全国 300 个节水增产重点县建设，对县、乡两级水利技术人员进行系统培训的要求；针对我国实际情况，综合国内外成功的技术经验；依据水利水电行业标准 SL18—91《渠道防渗工程技术规范》、SL23—91《渠系工程抗冻胀设计规范》编写而成的。

本书由李安国主编，并撰写第二、七、八、十、十一、十三章；建功撰写第一、三、四、五、六、九章；曲强撰写第一、十二章。全书由乔玉成主审。

本教材的主要内容曾在中国灌溉排水技术开发培训中心组织的多期培训班上试用，效果很好，并广泛吸取了学员意见，作了进一步修改补充。

由于渠道防渗工程技术发展迅速，涉及面广，我们的认识水平和经验有限，书中难免有许多不足和错误，热忱希望读者提出批评和建议。

编 者

1997 年 11 月 22 日

目 录

序

前 言

第一章 概述	(1)
第一节 渠道防渗的重要性和作用	(1)
第二节 国内外渠道防渗工程技术概况及其发展趋势	(4)
第二章 渠道渗漏损失的计算和测定方法	(13)
第一节 渠道渗漏及其损失计算	(13)
第二节 渠道渗漏损失的测定方法	(17)
第三节 实例	(20)
第三章 渠道防渗工程设计和施工的基本规定	(22)
第一节 渠道防渗工程建设应收集的基本资料	(22)
第二节 设计总则	(22)
第三节 选择防渗技术措施应考虑的因素	(23)
第四节 防渗渠道的设计	(25)
第五节 渠基要求	(36)
第六节 防渗渠道经济效益的分析方法	(40)
第七节 防渗渠道施工	(43)
第八节 施工质量的控制与检查	(48)
第四章 土料防渗	(50)
第一节 土料防渗的特点及技术要求	(50)
第二节 土料防渗配合比设计	(53)
第三节 土料防渗层厚度设计	(57)
第四节 土料防渗工程施工	(58)
第五章 水泥石防渗	(61)
第一节 水泥石防渗的特点及技术要求	(61)
第二节 水泥石配合比设计	(64)
第三节 水泥石防渗层的厚度及结构设计	(69)
第四节 水泥石防渗工程施工	(69)

第六章	砌石防渗	(71)
第一节	砌石防渗的特点及技术要求	(71)
第二节	砂浆和细粒混凝土配合比设计	(73)
第三节	砌石防渗层的厚度及结构设计	(75)
第四节	干砌卵石防渗工程施工	(75)
第五节	干砌块石防渗工程施工	(77)
第六节	浆砌石防渗工程施工	(78)
第七章	膜料防渗	(81)
第一节	膜料防渗的特点	(81)
第二节	防渗结构的材料性能要求	(83)
第三节	膜料防渗工程设计	(85)
第四节	膜料防渗工程施工	(89)
第八章	混凝土防渗	(93)
第一节	混凝土防渗的特点及结构形式	(93)
第二节	混凝土的组成材料	(94)
第三节	混凝土强度等级及配合比设计	(99)
第四节	防渗层结构形式和尺寸设计	(110)
第五节	混凝土防渗渠道的施工	(113)
第九章	沥青混凝土防渗	(129)
第一节	沥青混凝土的特点及技术要求	(129)
第二节	沥青混凝土配合比设计	(135)
第三节	沥青混凝土防渗体的结构设计	(139)
第四节	沥青混凝土防渗工程的施工	(140)
第十章	暗渠 (管)	(144)
第一节	暗渠的规划布置	(144)
第二节	暗渠的设计	(147)
第三节	暗渠的施工	(155)
第十一章	渠道防渗工程的冻害防治	(162)
第一节	渠道防渗工程的冻害及原因	(162)
第二节	防治冻害的措施	(169)
第三节	防冻胀设计方法	(174)
第十二章	渠道防渗工程的管理和维修	(187)

第一节 管理措施	(187)
第二节 维修技术	(188)
第十三章 渠道防渗工程的原型观测	(192)
第一节 观测的目的、原则及内容	(192)
第二节 变形观测与裂缝和伸缩缝观测	(193)
第三节 冻胀观测	(195)
第四节 渠道防渗工程的观察	(205)
参考文献	(206)

第一章 概述

第一节 渠道防渗的重要性和作用

一、渠道防渗的重要性

渠道防渗的重要性日益为人们所认识，其重要性主要表现在以下几方面。

(1) 输水渠道渗漏是浪费水的主要方面。要节约用水，首先应抓住用水量最大的用户。农业用水量占我国总用水量的 73%，因此必须从农业用水抓起，首先实行节水型农业。

发展节水型农业行之有效的节水技术有：渠道防渗、低压管道输水、改进地面灌溉技术、发展喷灌与微灌、实行节水灌溉制度等。这些节水技术无疑均是重要的和必须的。但节水效益最大的技术则是渠道防渗。这是因为灌溉用水量为 3445 亿 m^3 ，占农业用水量的 90%，占我国总用水量的 65.6%，又是农业用水中的大户。目前我国已建渠道防渗工程 55 万多 km，仅占渠道总长的 18%，80% 以上的渠道没有防渗，渠系水的利用系数很低，平均不到 0.50，低于其他国家（美国为 0.78，前苏联为 0.6~0.7，日本为 0.61，巴基斯坦为 0.58 等）。也就是说，从渠首引进的水有 50% 以上损失掉了。每年由灌溉渠道损失的水量为 1734.62 亿 m^3 ，为我国总用水量的 33%，为农业总用水量的 45%。浪费水量之大，确实惊人。又据河南省人民胜利渠的小冀灌区实测，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、灌水技术不良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%。从而清楚地说明渠道渗漏浪费的水量是最大的。例如，甘肃省河西走廊有些渠道，在未采取防渗措施以前，渠道渗漏损失约占总引水量的 60%~70%。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掉的水量共 3 亿余 m^3 （见表 1-1），相当于一个大型水库的容量。又据山西省的估算，全省每年从渠道渗漏掉的水量约为 20 亿 m^3 。新疆每年由渠道渗漏的水量约为 100 亿 m^3 。河北省每年渠道渗漏的水量约 30 亿 m^3 。由于渠道渗漏浪费的水量很大，我国粮食作物的水分生产效率仅为 $1kg/m^3$

表 1-1 陕西省三个灌区各级渠道输水渗漏损失统计表

灌区名称	渠首引水量 (万 m^3)	渗漏损失总量 (万 m^3)	渗漏损失占总引水量 (%)	干渠渗漏损失占总 渗漏损失 (%)	支渠渗漏损失占总 渗漏损失 (%)	斗渠渗漏损失占总 渗漏损失 (%)	农、毛渠渗漏损失 占总渗漏损失 (%)	统计时间
泾惠渠	24565	10210.4	41.5	14.0	31.4	28.1	26.5	1955~1959 年平均
渭惠渠	33544	21755	65.0	34.8	27.7	(包括斗以下) 37.5		1962 年
洛惠渠	12067.1	4917	40.7	37.46	23.90	26.17	12.47	1961~1963 年平均

左右，而以色列高达 $2.32\text{kg}/\text{m}^3$ 。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 344.5 亿 m^3 。因此，必须首先做好渠道防渗工程，堵住这个浪费水的大洞，提高渠系水的利用率。这才是抓住了节约用水的关键环节。

(2) 建好渠道防渗工程，是节约用水、实现节水型农业的重要内容。我国灌溉渠系水的利用系数很低，因渠道渗漏而损失掉的水量很大。因此必须建好防渗工程，节约用水。大量工程实践证明，采取渠道防渗措施以后，可以减少渗漏损失 $70\% \sim 90\%$ ，管道输水可以减少 95% 以上（美国加利福尼亚圣华金河灌区 370 万亩土地，采用管道输水，渠系水利用系数为 0.97 ）。如以减少渗漏损失 80% 计算，每年就可以节水 1387.2 亿 m^3 。如按我国目前每亩灌溉用水量 660m^3 计算，可以扩大灌溉面积 2.1 亿亩。各地的事例很多，例如陕西省泾惠渠，四级渠道防渗后，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电灌站 12km 长的干渠，砌石防渗后，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，防渗后，渠道水利用系数由 0.3 提高到 0.68 ，灌溉面积不仅由原来的 10 万亩提高到设计灌溉面积（ 18 万亩），而且扩大了灌溉面积 3 万多亩。因此建好渠道防渗工程是提高现有水利工程的效益、提高渠系水利用系数、节约用水的费省效宏、时效较快的重要途径。显然渠道防渗的重要性是非常明显的。

二、渠道防渗的作用

渠道防渗的作用主要有以下几个方面。

1. 提高渠系水的利用系数

前边已介绍了全国以及部分地区渠道渗漏损失的情况，如果采取渠道防渗措施，这些水大部分可以保留。例如陕西省宝鸡峡灌区 98km 总干渠，防渗前每公里输水损失为 0.425% ，用混凝土防渗衬砌以后，每公里输水损失降为 0.017% ，减少输水损失 96% ，使原来 98km 干渠输水损失水量由 $19\text{m}^3/\text{s}$ 降为 $0.76\text{m}^3/\text{s}$ ，每年可减少渗漏水量达（ $2.4 \sim 2.9$ ）亿 m^3 ；广东省青年运河，防渗前渠系水利用系数为 0.40 ，衬砌防渗后提高了 12.0% ，为 0.52 ，使灌溉面积由 117 万亩扩大到 158 万亩；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 10 万亩；近 10 年来该灌区又改三合土防渗为混凝土防渗，防渗效果又有提高；四川省巴中县化成水库灌区，渠道防渗后，灌溉面积扩大 67.0% ；江苏省沛县井灌区，衬砌前每眼井一般只灌 $40 \sim 50$ 亩，防渗后，每眼井可灌地 $80 \sim 100$ 亩，增加 1 倍。国外的资料也认为不防渗渠道损失的水量，大约有 $60\% \sim 80\%$ 可借刚性护面防渗保留下来。在不防渗渠道中，水内露出的或潜生的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 $50\% \sim 100\%$ 。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。但用刚性材料防渗以后，可以防止杂草生长，从而可以保住杂草所耗去的水量。

2. 节约投资和运行费用

我国经济建设的方针是“坚决把建设的重点切实转到现有企业的技术改造和改建扩建上来，走内涵为主的扩大再生产的路子”。而渠道防渗工程建设，正是改造现有工程，搞好配套，充分挖潜的内涵型的扩大再生产，所以完全符合国家的建设方针，可以充分发挥现有工程的效益。据新疆的经验，渠道采用防渗措施后，用其节省的水灌溉，每亩地的投资

约为建库蓄水灌溉每亩地投资的 $1/3$ 。据河北省的经验，1979 年全省防渗配套的总投资为 1462.5 万元，节约水量 6110 万 m^3 ，每立方米投资 0.24 元，可以扩大或改善灌溉面积 100 多万亩；若建一座库容为 6000 多万 m^3 的中型水库，需投资 2000 万元，每立方米水投资 0.33 元，前者较后者节约投资。湖南省渠道防渗节省每立方米水平均投资 0.2~0.25 元，而建库引水每立方米水需投资 0.5~0.8 元。

从国外看，如前苏联、印度、美国、塞浦路斯、伊朗、墨西哥、阿尔及利亚等都很重视防渗工作，而且事实证明它是经济的。例如塞浦路斯修了三条防渗渠道，每年减少渗漏水 136 万 m^3 ，可以增加柑桔、柠檬等种植面积 2400 亩，一年增加的收入除全部偿还防渗工程的投资外还有节余；美国一些灌区的防渗渠道，由于扩大了灌溉面积，其灌水的成本只相当于一般不防渗渠道的 69%~84%。

工程实践表明：在纵比降、渠底宽及水深相同时，防渗渠道的流量大于不防渗渠道的流量。如为同一流量时，因为防渗渠道的流速较大，故渠道底宽小的多，从而防渗渠道较土渠湿周小得多，渠口宽小，建筑物的尺寸因而也小，故降低了工程投资、节约了资金。不仅如此，而且由于防渗渠道断面缩小，可以节省大量的占地面积。据河北省的经验，混凝土防渗渠道较土渠少占地 40%。据江苏省淮阴地区资料，防渗的斗、农渠较土渠少占土地 52%。据徐州的资料，渠道防渗后每万亩耕地可少占耕地 224 亩，占耕地面积的 2% 左右。暗渠较衬砌明渠所占的土地面积还可减少一半。据北京市永乐店的经验，暗管可节约耕地 4%。由于我国人均耕地面积少，土地资源尤为宝贵，故防渗渠道减少占地的意义更大。

对于电灌区，渠道防渗后不仅可以节水，还可节油、节电，降低灌水成本。据山西省调查，提水灌区，每平方米渠道防渗工程，每年可节电 2.7kW·h 或节油 1.2kg；井灌区每平方米渠道防渗工程，每年可节电 5.6kW·h 或节油 3.0kg。福建省晋江县永和二级电灌站资料，渠道防渗前，浇 1 亩地负担水费 2.4 元，防渗后，浇 1 亩地负担水费 1.3 元，减少了 46%。

渠道防渗对管理费用的节约也是显而易见的。据国外资料：美国用刚性材料防渗后，可以减少管理养护费用 70%；印度养护劳力可以节约 50%，类似混凝土防渗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渠道比不防渗渠道每年可节约养护工日 0.34 个。我国情况与国外基本类似。

3. 防止土壤盐碱化及沼泽化

渠道不采用防渗措施，不仅因渗漏而损失大量的水，而且提高了地下水位，导致灌区盐碱化、沼泽化。在我国南方地区则出现了冷浸田、反酸田、洋湖田等，造成了严重的减产，甚至弃耕。更有甚者，引起房倒屋塌，威胁附近工业与民用建筑的安全。例如，我国华北某些灌区，开始灌溉时，地下水位每年平均上升 1~2m。1958 年修建的引黄灌区，开始没有采取防渗及排水措施，不到两年的时间，因地下水位上升，使渠道两岸几千万亩耕地盐碱化；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 20m 宽的农田，因受渠道渗漏的影响，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。

同样，美国西部一灌溉工程，灌地约 8500 hm^2 ，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。美国蒙大拿州

米克尔河工程，原先渠道渗漏严重，靠河一侧渠岸淘陷塌滑，威胁附近铁路安全。渠道防渗后，这些现象便告消失；前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。

另外，渠道防渗以后，也免去或减少了排水工程所需要的投资。

4. 防止渠道冲刷、淤积及坍塌

渠道防渗工程，除防渗作用外，还有防冲、防淤、防坍塌，稳定渠道，保证输水安全的作用。例如我国新疆、甘肃河西等地区，在戈壁滩上修渠引水，采用卵石砌渠，既防冲又防渗，既缩小了渠道断面，减少了渠道开挖方量，又省去了陡坡、跌水等连接建筑物；引黄等北方浑水灌区，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，而且往往限制了浑水的灌溉，不能充分发挥工程效益。但在采用混凝土等材料防渗以后，由于糙率较土渠为低，从而提高了流速，不仅不再淤积，而且有利于引高含沙水灌溉。

正由于防渗渠道糙率小、流速大，故输水时间可以缩短 30%~50%。例如，湖南省长沙县乌川水库的渠首段 31km 防渗后，输水时间由以前的 28h 缩短为 16h，时间缩短了 43%。福建省莆田县东圳水库 46km 干渠防渗后，输水时间由以前 21h 缩短为 13h 时间缩短了 38%。这对于大型灌区以及干旱季节，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，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。例如湖南长沙县乌川水库北干渠 31km 渠段，防渗以前，年平均溃渠 4 次；涟源县的白马灌区，干渠长 62km，防渗前，年平均溃渠 10 次以上。但在采用砌石等方法防渗以后，一直安全行水。陕西省宝鸡峡总干渠，渠床为湿陷性的黄土古滑坡体，修建前人们曾担心渠道行水的稳定问题。但由于采用了较好的渠道防渗措施，竣工运用至今，安然无恙。

综上所述，渠道防渗的作用显著。为了充分利用水源，渠道防渗工作应作为发展节水灌溉的重要内容，认真抓好。

第二节 国内外渠道防渗工程技术概况及其发展趋势

一、国外渠道防渗工程技术概况

早在 1972 年联合国召开的“人类环境”会议和 1977 年召开的“水”的会议上，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，下一个危机便是水。”1995 年 6 月，世界银行的报告说，目前拥有世界人口 40%，占世界陆地面积 60% 的 80 个国家正面临着水源不足问题，使其农业、工业和人民生活受到威胁。近年来全球性水危机引起了世界各国政府和科学家的高度重视，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、引水工程，扩大水源外，更重要是节约用水，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、前苏联、巴基斯坦、伊朗、加拿大等，由于渠道渗漏损失的水量很大，均非常重视并积极开展渠道防渗工程建设。例如，美国以往对渠道防渗工作认识不够，曾规定渠道一般不做防渗工程，如

要做，应进行技术经济论证。实践证明，渠道不防渗不仅因渗漏而损失了大量的水，加剧了水资源供需的矛盾，而且提高了地下水位，造成土壤盐碱化、农业减产等问题。因而美国将原来的规定改为：渠道一般均要做防渗工程，如不做，应进行技术经济论证。

由于各国对渠道防渗工作很重视，故渠道防渗工程建设发展快、技术水平高、节水效果显著。现以美国、日本为例，作简要介绍。

(一) 美国渠道防渗工程技术概况

1. 美国渠道防渗工程建设特点

美国把渠道防渗作为水利工程挖潜措施之一，早在 1946 年就开始研究。到 1962 年，经过 16 年的对比研究，其试验渠段总长达 4823km，其中混凝土防渗占 56%，压实土料占 19%，埋铺式膜料防渗不足 12%，且绝大部分为热沥青膜。1963~1986 年共建防渗渠道总长为 2253km，其中混凝土占 60%，压实土占 33%，塑膜为 7%。到 1990 年，美国垦务局共建防渗渠道 9656km。其建设的特点是：

- (1) 有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。对混凝土防渗，要求其渗漏损失不能大于 $20L/(m^2 \cdot 天)$ 。
- (3) 非常注意就地取材。
- (4) 对防渗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。除在管理工作中，要求渠水位下降速度不得大于 $15cm/h$ 或 $45cm/24h$ 外，对地下水位较高或可能产生扬压力的渠基，必须设置排水设施。
- (6) 渠道防渗工程施工机械化程度高。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；压实土防渗也采用碾压机；塑膜防渗也有铺膜机等。故施工质量好，进度快。

2. 美国渠道防渗采用的技术措施

(1) 渠道防渗材料。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，清草、清淤及管理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械设备，压实土防渗仍占 1/3 左右。塑膜等新型材料目前正在发展推广中。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。在无砂砾料地区，亦有采用现浇或喷射混凝土作保护层的。

(2) 渠道防渗的断面结构形式。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。梯形断面的宽深比因流量不同而改变。混凝土防渗的宽深比，在流量为 $0.014 \sim 566m^3/s$ 时，为 1.0~3.0 压实土防渗的宽深比，在流量为 $1.4 \sim 566m^3/s$ 时，为 2.0~8.0。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。当采用混凝土作保护层时，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，他们采用的防冻措施是：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；混凝土防渗层如产生裂缝，能及时修补和维护。

(二) 日本渠道防渗工程技术概况

1. 日本渠道防渗工程建设特点

日本十分重视渠道防渗，现有干、支渠道已经全部防渗，田间渠道也已基本防渗。防渗工程建设的特点是：

(1) 为了减少占用土地，便于工厂化、机械化生产，提高质量，加快进度，渠道已多采用矩形断面，并大力发展暗渠和管道输水。

(2) 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。

(3) 大量使用工厂化生产的钢筋混凝土预制构件，现场施工也以机械施工为主。

(4) 渠道防渗工程标准高，质量好，经久耐用，维护费用低，管理使用方便。

2. 日本渠道防渗采用的技术措施

(1) 渠道防渗材料。日本渠道防渗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，多采用钢板桩、混凝土桩或木桩加固。

渠道防渗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，当时就多采用薄型素混凝土板、沥青膜及土料衬砌渠道。近年来，随着经济的高度发展，改造旧有渠道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坚固耐久性，减少了维修费用，保证了行水安全。

为了防止冻害，多采用砂砾石作置换层，也采用聚苯乙烯泡沫塑料板作防冻保温层。目前正在探求性能好且造价低的保温材料。

日本对渠道防渗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的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，与混凝土衬砌板粘结牢固，无缝隙。

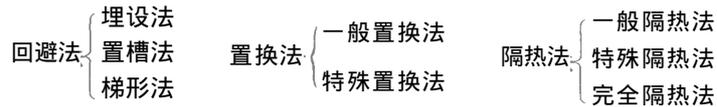
(2) 渠道防渗的断面结构形式。目前日本防渗渠道的断面结构形式有明渠及暗渠暗管两大类。不同材料明渠防渗的断面结构形式有梯形、矩形和 U 形三种；暗渠暗管的断面形式有圆形、方形和马蹄形三种。

普遍采用的是 L 形预制混凝土矩形防渗渠道。边坡预制件可以在工厂机械化生产，施工速度快，质量高，且底部为现浇混凝土，渠道断面可以根据需要变宽或变窄，适应范围较广。

混凝土防渗的厚度根据流量大小而定。一般钢筋混凝土矩形渠的厚度为 10~20cm；预制板梯形渠的厚度为 10cm 左右；特殊情况下，现浇混凝土防渗渠有厚至 30~40cm 的。

(3) 渠道防渗工程的冻害防治。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《渠系建筑物冻害防止措施研究报告》（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以下三类：



以上三类八种方法中，埋设法是将明渠改为暗渠埋在冻层以下（冬季不通水时埋在积雪冻结深度的 1.5 倍处，冬季通水时与一般上下水管道相同），这种方法是完善的，但造价高，受水头的控制。置槽法使侧墙外填土高度降低，避免冻胀。一般填土高度以不大于槽深的 1/3 和侧墙厚度的 3 倍为好。这种方法投资低，但受地形限制，且渠壁外露，容易风化，因此仅用于平原地区渠宽 1.0m 左右的中、小型渠道上。梯形法是将渠作成梯形，积雪面积大，利用积雪保温防冻。日本目前多采用矩形渠道，这个办法已不再使用。一般置换法是将冻胀层用能控制冻胀的砂、砾石和碎石换置，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，以含小于 0.074mm 颗粒的多少来控制。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。这类材料价高，除特殊需要的情况外，多不采用。

二、我国渠道防渗工程技术概况

我国人民很早就养成了兴修水利、节约用水、与干旱作斗争的良好习惯和传统。据《新疆图志》记载，光绪六年（1880 年）哈密县在修建石城子渠时，就采用毛毡防渗。可见渠道防渗工作，早就引起了人们的重视，曾先后采用粘土、灰土、三合土夯实，粘土锤打，砌砖，砌石等方法，修建了一些渠道防渗工程。新中国成立以后，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，渠道防渗工作的范围和规模越来越大，对渠道防渗意义的认识也越来越深入。中国水利学会于 1964 年在西安市专门召开了“提高灌溉水利用率学术讨论会”。会议交流和总结了建国十几年来渠道防渗工作的经验，巩固了成绩，奠定了基础，指明了方向，对以后渠道防渗工作的开展，起到了巨大的作用。

1976 年在水利部的重视、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。例如新疆截至 1986 年，共有各级渠道 23 万 km，采用各种防渗措施防渗的渠道为 2.3 万 km，占渠道总长的 10%。其中干支渠总长为 3.75 万 km，已防渗 1.0 万 km，为干支渠总长的 26.7%。在已防渗的 2.3 万 km 中，浆（干）砌石渠道为 1.1 万 km，混凝土渠道为 6500km，塑料薄膜渠道为 5000km，其他材料防渗的渠道 500km。

陕西省截至 1991 年，万亩以上灌区干、支、斗渠总长 29557.89km，已防渗 14756.92km，占干、支、斗渠总长的 49.9%。其中干渠总长共 4413km，已防渗 3325km，占干渠总长的 73.7%。支渠总长 6477km，已防渗 3581km，占支渠总长 55.3%。斗渠总长 18666.89km，已防渗 7924.6km，占斗渠总长 42.5%。据有关部门统计，全国已防渗衬砌渠道总长为 55.11 万 km，占渠道总长的 18%。其中干、支渠道防渗长度为 29.24 万 km，为