

渠道衬砌与防渗工程 技术手册

何武全 刘群昌 邢义川 姜宗科 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

渠道衬砌与防渗工程 技术手册

何武全 刘群昌 邢义川 姜宗科 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书结合国家“十二五”科技支撑计划课题,在总结已有先进经验和科学实践的基础上,依据国家和水利行业现行相关规范,对渠道衬砌与防渗工程材料、设计、施工、测验和管理等作了系统的、较为详尽的阐述,补充了渠道衬砌与防渗新材料、新技术和新工艺等方面的最新成果,并提供了几个渠道衬砌与防渗工程设计实例。全书共分四篇:材料、设计、施工、测验与管理。

本书可供水利技术人员使用,也可供水利大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

渠道衬砌与防渗工程技术手册 / 何武全等编著. --
北京:中国水利水电出版社, 2015.1
ISBN 978-7-5170-2933-5

I. ①渠… II. ①何… III. ①渠道—衬砌—技术手册
②渠道防渗—技术手册 IV. ①TV67-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第026040号

书 名	渠道衬砌与防渗工程技术手册
作 者	何武全 刘群昌 邢义川 娄宗科 编著
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 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	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	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	三河市鑫金马印装有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 27.25印张 646千字
版 次	2015年1月第1版 2015年1月第1次印刷
印 数	0001—1000册
定 价	96.00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

编审人员名单

主 编：何武全（西北农林科技大学）

刘群昌（中国水利水电科学研究院）

邢义川（中国水利水电科学研究院）

娄宗科（西北农林科技大学）

编 者：（按姓氏笔画排序）

王增红（西北农林科技大学）

白美健（中国水利水电科学研究院）

安 鹏（中国水利水电科学研究院）

孙水来（陕西省石头河水库管理局）

李雪静（陕西省泾惠渠管理局）

李少斌（西北农林科技大学）

张爱军（西北农林科技大学）

张 华（陕西省渭南市石堡川水库灌溉管理局）

张宇峰（杨凌职业技术学院）

何欣烨（西北农林科技大学）

杨永振（山东水利职业学院）

柳改霞（陕西省泾惠渠管理局）

赵向军（陕西省宝鸡峡引渭灌溉管理局）

蔡明科（西北农林科技大学）

主 审：李安国（西北农林科技大学）

前 言

水资源是人类生产和生活不可缺少的自然资源，也是生物赖以生存的环境资源，随着水资源危机的加剧和水环境质量的不断恶化，水资源短缺已成为世界备受关注的资源环境问题之一。我国是一个干旱缺水严重的国家，水资源总量约为 2.8 万亿 m^3 ，人均水资源占有量为 2210m^3 ，仅为世界人均占有量的 $1/3$ ，耕地单位面积水资源占有量仅为世界平均水平的 $1/2$ 。目前，我国农业用水所占比例大。据统计，2011 年全国总用水量为 6107.2 亿 m^3 ，其中农业用水量为 3743.5 亿 m^3 ，占总用水量的 61.3%。农业用水普遍存在灌溉效率低和用水浪费严重的现象，农业灌溉水利用系数仅为 0.51，渠系水利用系数平均 0.55 左右，输水渠道渗漏是灌溉用水浪费的主要方面。

渠道衬砌防渗可以极大地减少渠道输水过程中的渗漏损失，是目前世界各国应用最广泛的节水灌溉工程技术措施之一。近年来，我国实施了大中型灌区续建配套与节水改造、小型农田水利重点县建设、土地整理和农业综合开发等项目，均涉及渠道工程建设。为了促进我国渠道衬砌与防渗工程技术的发展，结合国家“十二五”科技支撑计划课题，在总结已有先进经验和科学实践的基础上，补充了渠道衬砌与防渗新材料、新技术和新工艺，依据国家和水利行业现行相关规范，对渠道衬砌与防渗工程材料、设计、施工、测验和管理等作了系统的、较为详尽的介绍，并归纳总结了几个渠道衬砌与防渗工程设计实例，可为读者提供渠道衬砌与防渗技术方面的实用性指导。

本书第一篇第一、二、三、四、五、六、七章由娄宗科编写；第二篇第一章由蔡明科编写，第二、三、四章和第七章第一节由何武全、张宇峰、何欣烨、张华、孙水来编写，第五章由邢义川编写，第六章由李少斌编写，第七章第二节由柳改霞、赵向军、李雪静编写，第七章第三节由王增红编写；第三篇第一、二、三、四、五、六、七、八章由刘群昌、白美健、杨永振编写；第四篇第一、二、三、四章由邢义川、张爱军、安鹏编写。全书由何武

全、刘群昌统稿并修改。

本书由李安国主审。在编写过程中还得到有关专家和领导的支持和帮助，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！

由于编者水平有限，书中不妥之处，恳请读者批评指正。

编者

2013年12月

目 录

前言

第一篇 材 料

第一章 砌石衬砌材料	3
第一节 砌石衬砌原材料的质量要求	3
第二节 砂浆配合比	5
第二章 混凝土衬砌材料	9
第一节 混凝土原材料	9
第二节 混凝土性能指标及配合比	24
第三节 混凝土预制构件	31
第三章 沥青混凝土防渗材料	32
第一节 沥青混凝土的组成材料	32
第二节 沥青混凝土配合比	35
第三节 沥青混凝土技术要求	40
第四章 膜料防渗材料	42
第一节 防渗膜料	42
第二节 过渡层材料	44
第三节 保护层材料	45
第五章 保温防冻胀材料	47
第一节 泡沫塑料保温材料	47
第二节 高分子防渗保温卷材	48
第六章 填缝材料	49
第一节 填缝材料基本要求	49
第二节 石油沥青聚氨酯渠道接缝材料	49
第三节 氯化聚乙烯止水管(带)	50
第七章 其他防渗材料	52
第一节 土料防渗	52
第二节 水泥土	55

第三节 人工挂淤防渗	56
------------------	----

第二篇 设计

第一章 基本资料	59
第一节 资料分类	59
第二节 气象资料	61
第三节 地形与地貌资料	65
第四节 地质及水文地质资料	66
第五节 土壤与植被资料	67
第六节 作物与灌溉资料	70
第二章 渠道断面设计	72
第一节 渠道流量的推算	72
第二节 渠道横断面尺寸设计	79
第三节 渠道纵断面设计	100
第三章 渠道衬砌与防渗结构设计	104
第一节 渠道衬砌与防渗结构	104
第二节 砌石衬砌渠道设计	106
第三节 混凝土衬砌渠道设计	108
第四节 膜料防渗渠道设计	111
第五节 沥青混凝土防渗渠道设计	116
第四章 渠道防冻胀设计	120
第一节 渠道冻胀破坏成因及形式	120
第二节 渠道冻胀破坏的影响因素与特征	124
第三节 渠道防冻胀设计	127
第四节 渠道防冻胀结构及措施	139
第五章 渠坡与渠基设计	147
第一节 渠坡与渠基设计的一般要求	147
第二节 渠道边坡的安全坡比	148
第三节 黄土渠道	154
第四节 膨胀土渠道	163
第五节 分散性土渠道	172
第六节 盐渍土渠道	176
第七节 沙漠渠道	180
第六章 渠系建筑物设计	183
第一节 水闸	183
第二节 渡槽	192

第三节	倒虹吸管	194
第四节	涵洞	198
第五节	水工隧洞	200
第六节	跌水与陡坡	203
第七节	量水设施	205
第七章	工程设计实例	211
第一节	小型 U 形混凝土衬砌渠道工程设计	211
第二节	弧底梯形混凝土衬砌渠道工程设计	220
第三节	弧形坡脚梯形混凝土衬砌渠道工程设计	230

第三篇 施 工

第一章	施工准备	247
第一节	编制施工组织设计	247
第二节	施工准备工作	252
第二章	渠道基槽的填筑与开挖	254
第一节	前期工作及技术要求	254
第二节	渠道基槽的填筑	255
第三节	渠道基槽的开挖	257
第四节	渠基处理	259
第五节	渠基排水	260
第三章	砌石衬砌渠道施工	261
第一节	技术要求	261
第二节	施工工艺	262
第四章	混凝土衬砌渠道施工	269
第一节	现场浇筑法施工	269
第二节	预制装配法施工	279
第三节	冬季、夏季及雨季施工	281
第四节	伸缩缝的填充	285
第五节	混凝土施工质量控制与缺陷的防治	286
第五章	膜料防渗渠道施工	291
第一节	膜料加工	291
第二节	膜料铺设	293
第三节	保护层的填筑	294
第六章	沥青混凝土防渗渠道施工	296
第一节	沥青混合料的制备	296
第二节	沥青混凝土施工	299

第七章 渠系建筑物施工	304
第一节 装配式渡槽吊装	304
第二节 混凝土涵管施工	306
第三节 水闸施工	316
第八章 施工质量控制与验收	327
第一节 基本要求	327
第二节 施工质量控制	328
第三节 工程验收	337

第四篇 测验与管理

第一章 渗漏测验	341
第一节 渠道渗漏及其损失计算	343
第二节 静水测定法	348
第三节 动水测定法	365
第四节 渗漏测验的其他方法	372
第五节 渗漏测验误差的分析	373
第二章 变形测验	379
第一节 位移变形测验	379
第二节 裂缝观测	388
第三节 伸缩缝观测	390
第四节 渠坡土体应力测验	392
第三章 冻胀测验	396
第一节 冻胀测验的基本要求	396
第二节 气温和降水量观测	397
第三节 地温观测	398
第四节 冻深观测	403
第五节 基土含水率观测	405
第六节 土壤冻融过程的微波辐射计观测	407
第七节 地下水位观测	409
第八节 冻胀量观测	410
第九节 渠道冻胀变形观测	414
第四章 管理与维护	415
第一节 管理措施	415
第二节 维修措施	416
主要参考文献	422

第一篇 材 料

第一章 砌石衬砌材料

第一节 砌石衬砌原材料的质量要求

一、石材

(一) 石材规格和分类

采石场开采出的石块可直接使用，也可加工后使用。天然石料按其形状分为毛石、块石和料石三种。

1. 毛石

毛石指在采石场将岩石经爆破等方法直接得到的形状不规则、单块质量大于 25kg、中间厚度不小于 150mm 的石块。

2. 块石

块石上下两面大致平整，无尖角，块厚宜大于 200mm。

3. 料石

料石（条石）指人工或机械加工而成的、形状比较规则的六面体形石材，块高宜大于 250mm，长度宜大于 500mm，长厚比不大于 3.0。料石按加工平整度有毛料石、粗料石、细料石之分。毛料石表面平整度差，凹凸深度较大，叠砌面凹入深度不大于 25mm；粗料石表面平整度一般，叠砌面凹入深度不大于 20mm。细料石表面较平整，叠砌面凹入深度不大于 10mm。

(二) 石材的技术要求

渠道衬砌选用的石料，应洁净、坚硬、无风化剥落和裂纹，符合下列要求：

(1) 料石应外形方正、六面平整，表面凸凹不大于 10mm。

(2) 块石应上下面大致平整、无尖角薄边，块重不小于 20kg，厚度不小于 200mm。

(3) 卵石以矩形为最好，其后依次为椭圆形、锥形，最后为扁平形。球形的卵石，一方面运输不便且不易砌紧，另一方面易受水流冲动，故不宜选用。卵石的长径大小与防渗层厚度及料源情况有关，一般不小于 200mm。

(4) 石板应选用矩形，表面平整且厚度不小于 30mm。

二、水泥

砂浆可采用普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥、火山灰硅酸盐水泥及复合水泥等通用水泥和砌筑水泥。水泥强度等级应与砂浆强度等级相适应，一般为砂浆强度等级的 4~5 倍较为适宜，配制水泥砂浆时，水泥强度等级不宜大于 32.5 级；配制水泥混合砂浆时，不宜大于 42.5 级。为了合理利用资源、节约材料，在配制砂浆时要尽

量采用低强度的水泥和砌筑水泥。有抗冻要求时，选用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥；环境水有硫酸盐侵蚀时，选用抗硫酸盐侵蚀水泥。水泥的技术指标要求见本篇第二章。

三、掺加料

为了改善砂浆的和易性和节约水泥，可在水泥砂浆中掺入适量的石灰膏、磨细生石灰、粉煤灰或黏土膏等无机材料制成混合砂浆，掺加料应符合下列要求。

(一) 石灰膏

1. 生石灰质量要求

水泥石灰混合砂浆应采用煅烧适度、色白质纯的新鲜石灰，石灰中氧化钙和氧化镁的总含量（按干重计）不应小于 75%，其质量要求应符合表 1-1-1 的规定。

表 1-1-1 生石灰的质量要求

项 目	钙质生石灰			镁质生石灰		
	优等品	一等品	合格品	优等品	一等品	合格品
(CaO+MgO) 含量 (%), \geq	90	85	80	85	80	75
未消化残渣含量 (5mm 圆孔筛筛余量) (%), \leq	5	10	15	5	10	15
二氧化碳含量 (%), \leq	5	7	9	6	8	10
产浆量 (L/kg), \geq	2.8	2.3	2.0	2.8	2.3	2.0

块状生石灰在放置过程中，会缓慢吸收空气中的水分而自动熟化成消石灰粉，再与空气中的二氧化碳作用生成碳酸钙，失去胶结能力。因此，要求使用新鲜的石灰，并应注意防潮，储存期不宜过久。石灰运到工地立即熟化成石灰膏，把储存期变成陈伏期。由于石灰熟化过程中，放出大量的热并伴随着体积膨胀，因此储存和运输生石灰时应注意安全。

2. 石灰膏质量要求

石灰膏可由生石灰、磨细生石灰及电石渣制得。

(1) 生石灰熟化成石灰膏时，应用孔径不大于 3mm×3mm 的网过滤，熟化时间不得小于 7d，磨细生石灰粉的熟化时间不得小于 2d，即应得到充分“陈伏”。沉淀池中贮存的石灰膏，应采取措施防止干燥、冻结和污染。严禁使用脱水硬化的石灰膏。

(2) 制作电石灰膏的电石渣应用孔径不大于 3mm×3mm 的网过滤，检验时应加热至 70℃并保持 20min，没有乙炔气味后，方可使用。

(3) 消石灰粉是未充分熟化的石灰，颗粒太粗，起不到改善和易性的作用，不得直接使用。磨细生石灰粉必须熟化成石灰膏后使用。严寒地区磨细生石灰粉直接加入砌筑砂浆中属冬季施工措施。

(二) 黏土膏

采用黏土或亚黏土制备黏土膏时，宜用搅拌机加水搅拌，通过孔径不大于 3mm×3mm 的网过筛，用比色法鉴定黏土中的有机物含量（标准为浅于标准色）。

此外，粉煤灰、磨细生石灰的品质指标应符合国家标准的有关要求。使用高钙粉煤灰

时，必须检验安定性指标是否合格。

四、细骨料（砂料）

砂浆用砂与普通混凝土用砂的技术要求相同，且因砂浆层较薄，还应对砂子最大粒径有所限制。毛石砌体宜选用粗砂，其最大粒径不超过灰缝厚度的 $1/4 \sim 1/5$ 。

为了保证砂浆的质量，尤其在配制高强度砂浆时，要选用洁净的砂。砂浆强度等级不小于 M5 的，砂中含泥量不大于 5%；砂浆强度等级小于 M5 的，砂中含泥量可不大于 10%。

五、外加剂

为改善砂浆的和易性，除石灰膏、黏土膏等之外，还可采用外加剂。砌筑砂浆中掺入的外加剂，应符合有关国家标准，并经砂浆性能试验合格后，方可使用。

（一）塑化剂

普通混凝土中采用的引气剂和减水剂对砂浆也有增塑作用。目前，我国生产的砂浆微沫剂，是由松香和纯碱熬制而成的一种憎水性表面活性剂，称为皂化松香。它吸附在水泥颗粒表面，形成皂膜增加水泥分散性，可降低水的表面张力，使砂浆产生大量微小气泡，水泥颗粒之间摩擦阻力减小，砂浆流动性、和易性得到改善。微沫剂掺量应由经验确定，一般为水泥用量的 $0.5/10000 \sim 1.0/10000$ 。配制微沫砂浆以中砂、细砂或细砂加中砂混合使用效果较好。

（二）保水剂

常用的保水剂有甲基纤维素、硅藻土等，能减少砂浆泌水，防止离析，改善砂浆和易性。

第二节 砂浆配合比

一、砂浆技术性能要求

(1) 砌筑砂浆的强度等级宜采用 M15~M7.5，勾缝砂浆的强度等级宜采用 M20~M10。

(2) 水泥砂浆拌和物的密度不宜小于 $1900\text{kg}/\text{m}^3$ ，水泥混合砂浆拌和物的密度不宜小于 $1800\text{kg}/\text{m}^3$ 。

(3) 砌筑砂浆的稠度宜在 30~50mm 范围内，砌筑砂浆的分层度不应大于 30mm。

二、砂浆配合比设计

砂浆配合比设计方法有试验法和经验法两种，大、中型工程及有试验条件的情况下，应采用试验法，小型工程可采用经验法。

（一）试验法

1. 砂浆配制强度的确定

砂浆配制抗压强度按式 (1-1-1) 计算：

$$f_{m,0} = f_{m,k} + t\sigma \quad (1-1-1)$$

式中 $f_{m,0}$ ——砂浆配制抗压强度, MPa;

$f_{m,k}$ ——砂浆设计龄期设计抗压强度, MPa;

t ——保证率系数, 由给定的保证率 P 选定, 其值按表 1-2-18 选用;

σ ——砂浆立方体抗压强度标准差, MPa。

砂浆抗压强度标准差, 宜按同品种砂浆抗压强度统计资料确定。要求统计时, 砂浆抗压强度试件总数应不少于 25 组; 根据近期相同抗压强度、生产工艺和配合比基本相同的砂浆抗压强度资料, 砂浆抗压强度标准差按式 (1-1-2) 计算:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_{m,i}^2 - nm_{f_m}^2}{n-1}} \quad (1-1-2)$$

式中 σ ——砂浆抗压强度的标准差;

$f_{m,i}$ ——第 i 组试件抗压强度, MPa;

m_{f_m} —— n 组试件抗压强度的平均值, MPa;

n ——试件组数。

当无近期同品种砂浆抗压强度统计资料时, σ 值可按表 1-1-2 取用。施工中应根据现场施工时段抗压强度的统计结果调整 σ 值。

表 1-1-2

砂浆标准差 σ 选用值

单位: MPa

设计龄期砂浆抗压强度标准值	≤ 10	15	≥ 20
砂浆抗压强度标准差	3.5	4.0	4.5

2. 砂浆配合比计算

(1) 确定水胶比。可选择与其接触的混凝土的水胶比作为砂浆的初选水胶比, 也可按式 (1-1-3) 计算。用于黏结吸水性较小、密实的底面材料 (如石材) 的砂浆, 其强度取决于水泥强度和水灰比, 与混凝土类似, 计算公式如下:

$$f_{m,0} = 0.29 f_{ce} \left(\frac{c}{w} - 0.4 \right) \quad (1-1-3)$$

式中 $f_{m,0}$ ——砂浆 28d 试配抗压强度 (试件用有底试模成型), MPa;

f_{ce} ——水泥 28d 的实测抗压强度, MPa;

$\frac{c}{w}$ ——灰水比。

(2) 确定用水量。砂浆配合比设计时用水量可按表 1-1-3 确定。

表 1-1-3

砂浆用水量参考表 (稠度 40~60mm)

水泥品种	砂子细度	用水量 (kg/m ³)	水泥品种	砂子细度	用水量 (kg/m ³)
普通硅酸盐 水泥	粗砂	270	矿渣硅酸盐 水泥	粗砂	275
	中砂	280		中砂	285
	细砂	310		细砂	315
稠度 ± 10 mm	用水量 $\pm (8 \sim 10)$ kg/m ³				

(3) 砂浆的胶凝材料用量 $(m_c + m_p)$ 、水泥用量 m_c 和掺和料用量 m_p 分别按式 (1-1-4)、式 (1-1-5) 和式 (1-1-6) 计算:

$$m_c + m_p = \frac{m_w}{w/(c+p)} \quad (1-1-4)$$

$$m_c = (1 - P_m)(m_c + m_p) \quad (1-1-5)$$

$$m_p = P_m(m_c + m_p) \quad (1-1-6)$$

以上式中 m_c ——每立方米砂浆水泥用量, kg;
 m_p ——每立方米砂浆掺和料用量, kg;
 m_w ——每立方米砂浆用水量, kg;
 P_m ——掺和料掺量;

$w/(c+p)$ ——水胶比。

(4) 砂料用量计算。砂料的用量由已确定的用水量、胶凝材料用量, 根据体积法按式 (1-1-7) 和式 (1-1-8) 计算:

$$V_s = 1 - \left[\frac{m_w}{\rho_w} + \frac{m_c}{\rho_c} + \frac{m_p}{\rho_p} + \alpha \right] \quad (1-1-7)$$

$$m_s = V_s \rho_s \quad (1-1-8)$$

式中 V_s ——砂的绝对体积, m^3 ;
 m_w ——每立方米砂浆用水量, kg;
 m_c ——每立方米砂浆水泥用量, kg;
 m_p ——每立方米砂浆掺和料用量, kg;
 α ——含气量, 一般取为 7%~9%;
 ρ_w ——水的密度, kg/m^3 ;
 ρ_c ——水泥的密度, kg/m^3 ;
 ρ_p ——掺和料的密度, kg/m^3 ;
 ρ_s ——砂料饱和面干表观密度, kg/m^3 ;
 m_s ——每立方米砂浆砂料用量, kg。

(5) 列出砂浆各组成材料的计算用量和比例。根据以上计算的结果, 列出砂浆各组成材料的计算用量和比例, 作为所设计的砂浆配合比进行试配的基本依据。

3. 砂浆配合比的试配、调整和确定

(1) 按计算出的配合比中各项材料的用量进行试配, 固定水胶比, 调整用水量, 直至达到设计要求的稠度。再由调整后的用水量得出砂浆抗压强度试验配合比。

(2) 砂浆抗压强度试验至少应采用 3 个不同的配合比, 其中一个应为按上述方法确定的配合比, 其他配合比的用水量不变, 水胶比依次增减, 变化幅度宜为 0.05。当不同水胶比的砂浆稠度不能满足设计要求时, 可通过增减用水量进行调整。

(3) 测定满足设计要求的稠度时每立方米砂浆的质量、含气量及抗压强度, 根据 28d 龄期抗压强度试验结果, 绘出抗压强度与水胶比关系曲线, 用作图法或计算法求出与砂浆配制强度 $f_{m,0}$ 相对应的水胶比。

(4) 最终计算出每立方米砂浆中各组成材料用量及比例, 并经试拌确定最终配合比。