

ICS
P
备案号：

SL

中华人民共和国水利行业标准

SL 18-2004
替代 SL 18-91

渠道防渗工程技术规范

**Standard for engineering technique
of seepage prevention on canal**

2004 - 12 - 8 发布

2005 - 2 - 1 实施

中华人民共和国水利部 发布

中华人民共和国水利部

关于批准发布《渠道防渗工程技术规范》
SL/18—2004 的通知

水国科[2004]590 号

根据水利部水利水电技术标准制定、修订计划，由农村水利司主持，以中国灌溉排水发展中心为主编单位修订的《渠道防渗工程技术规范》，经审查批准为水利行业标准，并予发布。标准编号为：SL/T × × —2004，代替原 SL18—91。

本标准自 2004 年 × 月 1 日起实施。在实施过程中，请各单位注意总结经验，如有问题请函告主持部门，并由其负责解释。

标准文本由中国水利水电出版社出版发行。

2004 年 12 月 8 日

前 言

本规范是根据水利部国际合作与科技司制定、修订水利行业标准的计划要求和《水利技术标准编写规定》(SL 1-2002)修订的。

《渠道防渗工程技术规范》(SL18—91)颁布 12 年来,对我国渠道防渗工程建设发挥了重大的作用。随着我国渠道防渗工程建设和科技进步,有必要对原规范进行修订。

本规范共 14 章、40 节、223 条和 8 个附录。主要技术内容有: 1、总则; 2、引用标准; 3、符号和代号; 4、基本资料; 5、防渗材料和防渗结构; 6、防渗渠道设计; 7、渠基稳定; 8、防渗结构设计; 9、渠道基槽施工; 10、防渗结构施工; 11、施工质量的控制与检查; 12、渠道防渗方案技术经济比较; 13、测验; 14、管理等。

本规范修订的主要内容有:

- 1、对原规范框架、结构进行了调整;
- 2、总则内容进行了调整、修改,补充了特大型渠道应进行专项研究;
- 3、增加了引用标准,符号和代号,基本资料,渠基稳定,施工质量的控制与检查,渠道防渗方案技术经济比较等章;
- 4、协调、统一了原规范渠道防渗工程规模(大、中、小型)与《灌溉与排水设计规范》(GB50288-99)渠道工程级别的划分标准;
- 5、增加了防渗渠道流量计算,弧形坡脚梯形断面尺寸水力计算,对伸缩缝的形式、间距和填缝材料以及砌筑缝材料等作了部分修改,对渠堤顶宽作了规定;
- 6、删去了防渗渠道的冻胀防治一章,在第 7 章中增加了冻胀性土基,规定了进行防冻胀设计的工程环境条件和防冻胀措施;
- 7、增加了附录:防渗材料性能测试方法,推求渠道流量的正向递推水量平衡法,弧形底梯形渠道实用经济断面计算方法,膜料接缝的方法和质量检查等;
- 8、原规范附录一、二的内容进行修改、补充、并入防渗材料和防渗结构一章,原附录三的内容进行修改、补充、并入防渗渠道

设计一章,删去了浸水预沉法处理弱湿陷性地基和新建过沟填方渠道的规定以及原附录四和附录八的内容;

9、增加了沥青混合料保温运输的规定,适当提高了混凝土的性能指标和膜料的厚度指标;

10、更正了原规范公式、图表和文字中的错误。

本规范所替代规范的历次版本为:SL18—91。

本规范批准部门:中华人民共和国水利部

本规范主持机构:水利部农村水利司

本规范解释单位:水利部农村水利司

本规范主编单位:中国灌溉排水发展中心

本规范参编单位:北京中灌绿源灌排工程咨询有限公司

西北农林科技大学

辽宁省水利水电科学研究院

山西省水利厅

河北省大清河河务管理处

本规范出版、发行单位:中国水利水电出版社

本规范主要起草人:李安国 曲强 张海燕 杨万志 荣丰涛
张金凯 李书民

本规范审查会议技术负责人:徐乾清、许志方

本规范体例格式审查人:窦以松

目 次

1	总则.....	1
2	引用标准.....	2
3	符号和代号.....	4
4	基本资料.....	9
4.1	水文气象、地质和地形条件.....	9
4.2	建筑材料和施工条件.....	9
4.3	其他资料.....	10
5	防渗材料和防渗结构.....	11
5.1	防渗主要原材料.....	11
5.2	防渗结构的技术要求.....	17
5.3	防渗结构的选定.....	20
6	防渗渠道设计.....	21
6.1	一般规定.....	21
6.2	流量计算.....	21
6.3	断面形式.....	23
6.4	断面参数.....	25
6.5	断面尺寸水力计算.....	28
6.6	伸缩缝、砌筑缝及堤顶.....	33
7	渠基稳定.....	36
7.1	一般规定.....	36
7.2	湿陷性土基.....	36
7.3	分散性土基.....	36
7.4	膨胀土基.....	37
7.5	盐胀土基.....	37
7.6	冻胀性土基.....	37
7.7	其它情况.....	39
8	防渗结构设计.....	41
8.1	土料防渗.....	41
8.2	水泥土防渗.....	42
8.3	砌石防渗.....	43
8.4	混凝土防渗.....	44

8.5	膜料防渗.....	49
8.6	沥青混凝土防渗.....	52
9	渠道基槽施工.....	54
9.1	填筑和开挖.....	54
9.2	基槽处理和排水设施的施工.....	55
10	防渗结构施工.....	57
10.1	土料防渗.....	57
10.2	水泥土防渗.....	57
10.3	砌石防渗.....	58
10.4	混凝土防渗.....	60
10.5	膜料防渗.....	62
10.6	沥青混凝土防渗.....	63
10.7	填充伸缩缝.....	65
11	施工质量的控制与检查.....	66
12	渠道防渗方案技术经济比较.....	70
12.1	一般规定.....	70
12.2	方案比较.....	70
12.3	技术经济指标.....	70
13	测验.....	72
13.1	渗漏测验.....	72
13.2	变形测验.....	74
13.3	冻胀测验.....	75
14	管理.....	77
附录 A	防渗材料性能测试方法.....	79
附录 B	推求渠道流量的正向递推水量平衡法.....	81
附录 C	膜料防渗渠道土保护层边坡稳定计算.....	84
附录 D	弧形底梯形渠道实用经济断面计算方法.....	88
附录 E	渠基的排水设施.....	92
附录 F	伸缩缝填料和裂缝处理材料的配合比、制作及 施工方法.....	95
附录 G	膜料接缝的方法和质量检查.....	97
附录 H	渠道渗漏的静水法测验段设置和成果整理.....	100
	规范用词说明.....	117
	条文说明.....	118

1 总 则

1.0.1 为统一渠道防渗工程的技术标准，提高建设质量、管理水平和输水效率，充分发挥工程效益，特制定本规范。

1.0.2 本规范适用于农田灌溉、发电引水、供水等渠道防渗工程的设计、施工、测验和管理。

1.0.3 渠道防渗工程设计和施工，应严格执行国家规定的基本建设程序，并与渠道其它工程项目同步进行。

1.0.4 渠道防渗工程应贯彻因地制宜、就地取材的原则。并满足如下技术要求：

1 渠道防渗工程设计，应通过工程地质勘测，查清渠基床的工程地质和水文地质条件，并掌握渠道的基本情况、收集有关技术资料，通过论证，达到技术先进、经济合理、经久耐用、运用安全、管理方便。

2 渠道防渗工程建设应满足防渗设计要求，保证施工质量。

3 渠道防渗工程宜采用先进技术进行渗漏、变形和冻胀等测验，取得工程运用成果。

4 渠道防渗工程应加强管理，保证设计使用年限，提高效益。

5 特大型防渗渠道应进行专项研究。

1.0.5 渠道防渗工程建设和管理除应执行本规范外，还应符合家现行有关标准的规定。

2 引用标准

- 《硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥》(GB175—1999)
《水泥化学分析方法》(GB/T176—1996)
《沥青防水卷材试验方法—浸涂材料含量》(GB328.2—89)
《沥青防水卷材试验方法—不透水性》(GB328.3—89)
《沥青防水卷材试验方法—吸水性》(GB328.4—89)
《沥青防水卷材试验方法—耐热度》(GB328.5—89)
《沥青防水卷材试验方法—拉力》(GB328.6—89)
《沥青防水卷材试验方法—柔度》(GB328.7—89)
《矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥及粉煤灰硅酸盐水泥》(GB1344—1999)
《水泥细度检验方法(80um 筛筛析法)》(GB/T1345—1991)
《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》(GB/T1346—1989)
《绝热用挤塑聚苯乙烯泡沫塑料(XPS)》(GB10801.2—2000)
《土工合成材料—聚乙烯土工膜》(GB/T 17643—1998)
《水泥胶砂强度检验方法(ISO 法)》(GB/T17671—1999)
《土工合成材料—聚氯乙烯土工膜》(GB/T 17688—1999)
《高分子防水材料》(GB18173.1—2000)
《灌溉与排水工程设计规范》(GB50288—99)
《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》(SL 62—94)
《水利建设项目经济评价规范》(SL 72—94)
《水工建筑物抗冰冻设计规范》(SL 211)
《降雨量观测规范》(SL21—90)
《土工合成材料测试规程》(SL/T235—1999)
《灌溉与排水工程工程技术管理规程》SL/T 246—1999
《土石坝沥青混凝土面板和心墙设计准则》(SLJ01-88)
《土坝坝体灌浆技术规范》(SD 266—88)
《土石坝碾压式沥青混凝土防渗墙施工规范》(试行)(SD220—87)
《水面蒸发观测规范》(SD265—88)
《水工混凝土掺用粉煤灰技术规范》(DL/T 5055—1996)

《水工混凝土外加剂技术规程》(DL/T5100—1999)
《水工混凝土施工规范》(DL/T 5144—2001)
《水工混凝土试验规程》(DL/T5150—2001)
《水工混凝土砂石骨料试验规程》(DL/T5151—2001)
《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ 052—2000)

3 符号和代号

3.0.1 几何参数

- A —渠道防渗面积
 α —实用经济断面与水力最佳断面的过水断面面积之比
 α_i —土条垂直坡面的分力与铅垂线的夹角
 B —渠道或暗渠的水面宽
 B_1 —渠道堤顶口宽
 B_w —静水法测验中渠段的水面宽度
 b —渠底宽或弧形底梯形渠道的弧形底的弦长
 b_i —土条分条的宽度
 b_0 —弧形底梯形渠道的水力最佳断面弧形底的弦长
 b_1 —弧形坡脚梯形渠道的渠底水平段宽
 b_2 —暗渠宽
 d_{50} —通过砂砾石重 50%的筛孔直径
 e_0 —暗渠水面以上净空高度
 G —集水管末端距渠底垫层的深度
 g —集水管首端距渠底垫层的深度
 H_g —暗渠断面总高度
 H_1 —暗渠直墙段高
 H_3 —暗渠底部圆弧矢高
 h_{i1} 、 h_{i2} 、 h_{i3} —相应于 r 、 r' 、 r_m 的土柱高度
 i —渠道比降

i_g —集水管底比降

K_r — 弧形底梯形渠道实用经济断面的渠底圆弧半径 r 与水深 H 之比

L —渠道长度

L_f —防渗渠道总长度

L_i —土条分条的顶底斜长

L_1 、 L_2 —集水管的长度

m —渠道的边坡系数

r —渠底圆弧半径

r_0 —水力最佳断面渠底圆弧半径

r_1 —暗渠底部圆弧半径

r_2 —暗渠顶部圆弧半径

Z_n —置换深度

Z_w —地下水位埋深

θ —圆弧的圆心角

θ_1 —暗渠底部圆弧的圆心角

θ_2 —暗渠水面宽圆弧的圆心角

ω — 渠道过水断面面积

ω_0 —渠道水力最佳断面的过水断面面积
—防渗结构厚度

3.0.2 物理参数

E —渠段单位长度水面蒸发量

e —观测时段内平均水面蒸发强度

H —渠道断面水深

H_0 —渠道水力最佳断面水深
 H_2 —暗渠顶部圆弧段水深
 h —测验段水深
 h_1 —测验段首端水深
 h_2 —测验段末端水深
 I —渠段单位长度降雨量
 K_a —渠道防渗护面的渗漏量
 n —渠道糙率
 n_1 —初渗阶段的观测时段数
 n_2 —初渗阶段总加水时段数
 p —平均降雨强度
 Q —渠道设计流量
 Q_d —渠道末端断面流量
 Q_u —渠道起始断面流量
 \bar{Q} —静水法测渗的平均渗漏强度
 Q_{\max} —静水法测渗的最大渗漏强度
 Q_{\min} —静水法测渗的最小渗漏强度
 Q_I —恒水位测验初渗阶段的渗漏强度
 Q_{FI} —恒水位测验的稳渗强度
 Q_F —变水位测验的稳渗强度
 Q_{li} —第 i 个观测时段的渗漏强度
 Q_{lj} —初渗阶段第 j 个加水时段的渗漏强度
 Q_0 —多分水口渠道的渠首总引水流量
 q —渠道渗漏损失流量
 R —渠道水力半径

R_i —多分水口渠道各分水口的引水流量比值

W_E —初渗超额量

—渠床置换比

χ —渠道湿周

χ_0 —渠道水力最佳断面湿周

$\bar{\chi}$ —渠道平均湿周

η —渠道水利用系数

Δh —静水法测验中,观测时段水深变化量

Δt —观测时段长度

Δt_i —第 i 个观测时段的长度

Δt_j —第 j 个加水时段长度

ΔW_{BI} —恒水位测验中,单位渠段水体变化量

ΔW_{BF} —变水位测验中,单位渠段水体变化量

ΔW_I —恒水位测验渠段单位长度稳定渗漏量

ΔW_F —变水位测验渠段单位长度稳定渗漏量

3.0.3 作用及作用效应

α —温度收缩系数

C_i —滑动面上土或土与膜料间的凝聚力

E_t —沥青混凝土平均变形模量

F —沥青混凝土的极限抗拉强度

F_s —边坡稳定安全系数

H_f —冻深(冻土层厚度内的冻前土层厚度)

R' —层间约束系数

W_i' —按湿重度和浮重度计算的土条重力

W_i'' —按湿重度、饱和重度和浮重度计算的土条重力

Z_d —设计冻深

γ 、 γ' 、 γ_m —土条的湿重度、浮重度和饱和重度

σ_t —温度应力

μ —轴向拉伸波桑比

ϕ_i —滑动面上土或土与膜料间的内摩擦角

η_f —冻胀率

h_f —冻胀量

T —沥青混凝土板面任意点的温差

3.0.4 其他

APP—塑性体改性沥青防水卷材[Atactic Polypropylene (APP) modified bituminous sheet materials]

C 、 D —稳渗回归系数

G_J —渠道防渗工程建设总用工数

G_{JM} —渠道防渗工程建设每米用工指标

K —渠道防渗工程总投资

k_m —单位防渗面积投资

L_m —每米防渗渠道投资

SBS—弹性体改性沥青防水卷材[Styrene Butadiene Styrene(SBS) modified bituminous sheet materials]

T_y —允许工期

T_s —设计工期

4 基本资料

4.1 水文气象、地质和地形条件

4.1.1 渠道防渗工程建设，除应取得与渠道工程有关的工程总体设计资料外，还应根据地区特点、工程规模、等级要求取得水源的有关水位、流量、泥沙、水质、冰情以及工程地点的降水、蒸发、气温、负气温指数、冻融期、冻土深度、风向、风速等水文气象资料。可采用条件相似的邻近水文、气象站（台）的多年资料平均值及极值，其资料系列不宜少于 20a。

4.1.2 渠道沿线应进行必要的地质勘测，取得岩土分类、地质构造和工程地质隐患等资料，以及土的颗粒组成、含水量、干密度、孔隙率、液塑限、有机质、可溶盐、冻胀性、湿陷系数、渗透系数和抗剪强度等物理、力学、化学性质资料。对特殊地质问题应进行专题研究。

4.1.3 地下水埋深小于 5m 的渠道，应取得地下水类型、埋深、动态、流向、补给和排泄条件、水质与污染源等水文地质资料。

4.1.4 应具有下列地形图及工程布置图：

1 项目区总体布置图，比例尺可采用 1/25000 ~ 1/100000。

2 渠系平面布置图，比例尺可采用 1/5000 ~ 1/10000。

3 典型田间渠系布置图，比例尺可采用 1/500 ~ 1/2000。

4 沿渠线带状地形图，比例尺可采用 1/1000 ~ 1/2000。带状图宽度，视地形、工程规模和施工布置等条件而定。

5 渠道纵断面图，比例尺可采用：水平 1/1000 ~ 1/25000，垂直 1/100 ~ 1/200；横断面图，比例尺可采用 1/100 ~ 1/200。横断面的间距：地形平坦区为 100m ~ 500m；地形复杂区为 20m ~ 100m。地形变化处应加测横断面。

4.2 建筑材料和施工条件

4.2.1 渠道防渗工程建设，应取得工程邻近地区的水泥、石灰、砂、石、膜料、沥青等建筑材料的产源、产（储）量、质量、开采与运输条件、单价等资料。

4.2.2 渠道防渗工程建设应具备施工机械、设备、施工用水、电

源、交通、通讯、工期要求和技术人员、劳力供给等施工条件。

4.3 其它资料

4.3.1 扩建、改建工程,应对渠道渗漏情况和工程病害进行调查,取得原渠道的水力要素、渗漏量以及渠床土质和水分状况等资料。

4.3.2 应取得建设单位对工程运用的要求,搜集当地或类似已建成渠道防渗工程的设计与施工资料、管理运用经验、试验研究成果和竣工验收等资料。

5 防渗材料和防渗结构

5.1 防渗主要原材料

5.1.1 渠道防渗工程采用的土料，应符合表 5.1.1 规定。

表 5.1.1 土料的技术要求

项 目	粘性土、粘砂混合土 防 渗	灰土、三合土、 四合土 防 渗	膜料防渗 土保护层 及过渡层	水 泥 土 防 渗
粘粒含量 (%)	20 ~ 30	15 ~ 30	3 ~ 30	8 ~ 12
砂粒含量 (%)	10 ~ 60	10 ~ 60	10 ~ 60	50 ~ 80
塑性指数 I_p	10 ~ 17	7 ~ 17	1 ~ 17	—
土料最大粒径 (mm)	< 5	< 5	< 5	< 5
有 机 质 含 量 (%)	< 3.0	< 1.0	—	< 2.0
可 溶 盐 含 量 (%)	< 2.0	< 2.0	< 2.0	< 2.5
钙质结核、树 根、草根含量	不允许	不允许	不允许	不允许
注：经过论证，采用风化砂和页岩渣配制水泥土时，可不受表中土料最大粒径的限制。				

5.1.2 石灰中氧化钙和氧化镁的总含量（按干重计）不应小于 75%；贝灰中氧化钙含量不应小于 45%。

5.1.3 砂料宜采用天然级配的天然砂或人工砂。天然砂的细度模数宜为 2.2 ~ 3.0，人工砂的细度模数宜为 2.4 ~ 2.8，人工砂饱和面干含水率不宜超过 6%。混凝土可采用中、粗砂，砂浆可采用中、细砂，其技术要求可按混凝土用砂。在缺乏中、粗砂地区，渠道流速小于 3m/s 时，可采用细砂或特细砂。砂的质量应符合表 5.1.3 规定。砂料中有活性骨料时，应进行专门试验论证。

5.1.4 砂砾料用作膜料防渗保护层时，砂砾料的级配宜符合图 5.1.4 推荐的范围。砂砾料的最大粒径宜为 75mm ~ 150mm。

5.1.5 石料应洁净、坚硬、无裂纹，并应符合下列要求：

1 四合土防渗结构,宜采用粒径为 10mm~20mm 的碎石或卵石。

2 砌石防渗结构,宜采用外形方正、表面凸凹不大于 10mm 的料石;上下面平整、无尖角薄边、块重不小于 20kg 的块石;长径不小于 20cm 的卵石;矩形、表面平整、厚度不小于 30mm 的石板等。

3 混凝土防渗结构或膜料防渗的混凝土保护层,应采用最大粒径不大于混凝土板厚度的 $1/3 \sim 1/2$ (钢筋混凝土应采用不大于钢筋净间距的 $2/3$,板厚的 $1/4$),抗压强度为混凝土强度 1.5 倍的石料。温暖地区中、小型渠道的混凝土防渗结构,当没有合格石料时,允许采用抗压强度大于 10.0MPa 的石料,拌制抗压强度为 7.5MPa~10.0MPa 的混凝土。当选用含有活性成分的石料时,应进行专门试验论证。其他质量技术要求应符合表 5.1.5—1 规定。

4 沥青混凝土防渗结构,宜采用碱性的碎石,并符合表 5.1.5—2 的技术要求。如采用酸性石料,应作改性处理,并符合表 5.1.5—2 规定。当用天然卵石加工碎石时,卵石的粒径宜为碎石最大粒径的 3 倍以上。若用小卵石和砾石作粗骨料,应通过试验充分论证。

表 5.1.3 砂料的技术要求

项目		沥青混凝土用砂		混凝土用砂	
		天然砂	人工砂	天然砂	人工砂
含泥量 (%)	C ₉₀ 30 和有抗冻要求的混凝土	2.0	2.0	3	—
	< C ₉₀ 30			5	
泥块含量		不允许	不允许	不允许	不允许
石粉含量 (%)		—	<5	—	6~18
坚固性 (%)	有抗冻要求的混凝土	10	10	8	8
	无抗冻要求的混凝土	15	15	10	10
云母含量 (%)		2	—	2	2
表观密度 (kg/m ³)		2500	2500	2500	2500
轻物质含量 (%)		1	—	1	—
硫化物及硫酸盐含量 (%) (折算成 SO ₃ , 按质量计)		—	—	1	1
有机质含量		不允许	不允许	浅于标准色	不允许
水稳定等级		4 级	4 级	—	—

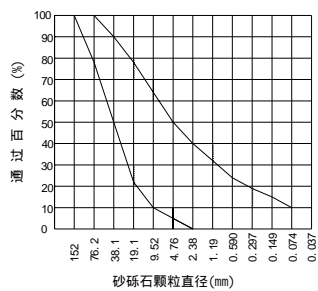


图5.1.4 砂砾石保护层的级配

表 5.1.5—1 粗骨料的质量技术要求

项目		指标	备注
含泥量 (%)	D ₂₀ 、D ₄₀ 粒径级	1	
	D ₈₀ 、D ₁₅₀ (D ₁₂₀) 粒径级	0.5	
坚固性 (%)		5 12	有抗冻要求的混凝土 无抗冻要求的混凝土
泥块含量		不允许	
硫酸盐及硫化物含量 (%)		0.5	折算成 SO ₃ ，按质量计
有机质含量		浅于标准色	如深于标准色，应进行混凝土强度对比试验，抗压强度比不应低于 0.95
表观密度 (kg/m ³)		2550	—
吸水率 (%)		2.5	—
针片状颗粒含量 (%)		15	碎石经试验论证，可以放宽到 25%
各级骨料的超、逊径含量 (%)		超径小于 5； 逊径小于 10	以原孔筛检验

表 5.1.5—2 沥青混凝土选用石料的技术要求

项 目	技 术 指 标
坚固性 (%) (硫酸钠法)	< 12.0
吸水率 (%)	3.0
表观密度 (kg/m ³)	2500
超逊径 (%) (原孔筛)	超径小于 5 ; 逊径小于 10
针片状颗粒 (%)	10
含泥量 (%)	0.5
有机质含量	无
与沥青的粘附性	> 4 级

5.1.6 沥青混凝土或填缝材料所用的矿粉，应采用碱性岩石加工的粉状材料，也可采用硅酸盐水泥或滑石粉等。矿粉的质量应符合表 5.1.6 规定。

表 5.1.6 矿粉的技术要求

项目	细度 (在下列孔径下通过%)			含水率 (%)	亲水系数	泥土及有机质含量 (%)
	0.600 (mm)	0.150 (mm)	0.074 (mm)			
技术指标	100	> 90	> 70	< 0.5	1.0	不允许

5.1.7 水泥品质应符合《硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥》(GB175—1999) 或《矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥及粉煤灰硅酸盐水泥》(GB1344—1999) 的要求。

5.1.8 粉煤灰宜用作混凝土掺合料或焦油塑料胶泥的填料，其品质应符合表 5.1.8 规定。

表 5.1.8 粉煤灰的技术要求

项目		45um 方孔筛筛余量 (%)	烧失量 (%)	含水率 (%)	三氧化硫含量 (%)	需水量比 (%)
技术指标	级	12	5	1.0	3.0	95
	级	20	8	1.0	3.0	105
注：三氧化硫含量为水泥和粉煤灰总重的百分数。						

5.1.9 外加剂品质应符合《水工混凝土外加剂技术规程》(DL/T5100—1999)的规定。

5.1.10 拌和及养护用水应采用清洁水。

5.1.11 沥青混凝土可采用 60 甲或 100 甲道路石油沥青,其品质应符合表 5.1.11 规定。填缝材料采用的 3 号煤焦油,其粘度为 $C_{30}^{10} 5 \sim 20s_0$ 。

表 5.1.11 石油沥青的技术要求

试 验 项 目		标 号			
		A-100 甲	A-100 乙	A-60 甲	A-60 乙
针入度 (25 , 100G, 5s) (1/10mm)		90 ~ 120	80 ~ 120	50 ~ 80	40 ~ 80
延度 (25 , 5cm/min) (cm)		> 90	> 60	> 70	> 40
软化点 (环球法) ()		42 ~ 52	42 ~ 52	45 ~ 55	45 ~ 55
溶解度 (三氯乙烯) (%)		> 99.0	> 99.0	> 99.0	> 99.0
闪点 (COC) ()		230	230	230	230
蒸发损失 试验 (163 , 5h)	质量损失 (%)	1	1	1	1
	针入度比 (%)	65	65	70	70

5.1.12 渠道防渗结构采用的聚乙烯、聚氯乙烯及其改性塑膜,其物理力学性能应符合表 5.1.12—1 规定;采用的沥青玻璃纤维布油毡 (简称油毡),应厚度均匀,无漏涂、划痕、折裂、气泡及针孔,在气温 0 ~ 40 下易于展开,其物理力学性能应符合表 5.1.12—2 规定。

采用的复合土工膜和线性低密度聚乙烯等其它塑膜,弹性体改性沥青防水卷材 (SBS)、塑性体改性沥青防水卷材 (APP) 等多种类型的改性沥青及高分子防水卷材。其性能应符合国家现行有关技术标准的规定。

表 5.1.12—1 塑膜的技术要求

技术项目	聚乙烯	聚氯乙烯
密度 (kg/m ³)	900	1250 ~ 1350
断裂拉伸强度 (MPa)	12	纵 15, 横 13
断裂伸长率 (%)	300	纵 220, 横 200
撕裂强度 (kN/m)	40	40
渗透系数 (cm/s)	$< 10^{-11}$	$< 10^{-11}$
低温弯折性	-35 无裂纹	-20 无裂纹
-70 低温冲击脆化性能	通过	—

表 5.1.12—2 油毡的技术要求

项目	技术指标
单位面积涂盖材料重量 (g/m ²)	500
不透水性 (动水压法, 保持 15min) (MPa)	0.3
吸水性 (24 h, 18±2) (g/100 cm ²)	0.1
耐热度 (80 , 加热 5h)	涂盖无滑动, 不起泡
抗剥离性 (剥离面积)	2/3
柔度 (0 下, 绕直径 20 mm 圆棒)	无裂纹
拉力 (18±2 下的纵向拉力) (kg/2.5 cm)	54.0

5.1.13 在寒冷地区, 高分子防渗保温卷材用作渠道防渗、保温防冻材料, 其品质应符合表 5.1.13—1 规定。聚苯乙烯泡沫塑料板用作渠基土的保温防冻材料, 其品质应符合表 5.1.13—2 规定。也可采用膨胀珍珠岩板和矿渣棉板等, 其性能应符合国家现行的有关技术标准的规定。

表 5.1.13—1 高分子防渗保温卷材的技术要求

项目		技术指标
密度 (kg/m ³)		40 ~ 60
吸水率, 浸水 96h (体积百分数, %)		< 1.0
不透水性, 30min 无渗漏 (MPa)		0.6
断裂拉伸强度 (kN/m)		3.0 (厚度为 1cm)
断裂伸长率 (%)		100
CBR 顶破强度 (N)		300
刺破强度 (N)		30
压缩强度 (压缩 10%) (kPa)		30
压缩恢复率 (压缩 10%) (%)		98
尺寸稳定性 (%)	- 40 ~ + 70	± 1.5
冻融 200 次循环	强度保持率 (%)	95
	伸长率保持率 (%)	
导热系数 [W/(m.K)]		0.04

表 5.1.13—2 聚苯乙烯泡沫塑料板物理力学性能

密度 (kg/m ³)	吸水率, 浸水 96 h (体积 百分数, %)	压缩 强度 (压缩 10%) (kPa)	弯曲 强度 (kPa)	尺寸稳定性 - 40 ~ + 70 (%)	导热系数 [W/(m.K)]
20	< 2.0	50	180	± 1.5	0.04

5.2 防渗结构的技术要求

5.2.1 渠道防渗结构的厚度宜按表 5.2.1 确定。渠道水流含推移质较多、且粒径较大时, 宜按表列数值加厚 10% ~ 20%。

表 5.2.1 渠道防渗结构的适宜厚度

单位: cm

防渗结构类别		厚度
土料	粘土(夯实)	30
	灰土、三合土	10~20
水泥土		6~10
砌石	干砌卵石(挂淤)	10~30
	浆砌块石	20~30
	浆砌料石	15~25
	浆砌石板	>3
埋铺式膜料 (土料保护层)	塑料薄膜	0.02~0.06
	膜料下垫层 (粘土、砂、灰土)	3~5
	膜料上土料保护层 (夯实)	40~70
沥青混凝土	现场浇筑	5~10
	预制铺砌	5~8
混凝土	现场浇筑(未配置钢筋)	6~12
	现场浇筑(配置钢筋)	6~10
	预制铺砌	4~10
	喷射法施工	4~8

5.2.2 防渗衬砌结构的允许最大渗漏量、适用条件、使用年限可按表 5.2.2 确定。

表 5.2.2 渠道防渗结构的允许最大渗漏量及适用条件

防渗衬砌结构类别		主要原材料	允许最大渗漏量 [m ³ /(m ² ·d)]	使用年限(a)	适用条件
土料	粘性土 粘砂混合土	粘质土、砂、石、石灰等	0.07 ~ 0.17	5 ~ 15	就地取材,施工简便,造价低,但抗冻性、耐久性较差,工程量大,质量不易保证。可用于气候温和地区的中、小型渠道防渗衬砌
	灰土 三合土 四合土			10 ~ 25	
水泥土	干硬性水泥土 塑性水泥土	壤土、砂壤土、水泥等	0.06 ~ 0.17	8 ~ 30	就地取材,施工较简便,造价较低,但抗冻性较差。可用于气候温和地区,附近有壤土或砂壤土的渠道衬砌
石料	干砌卵石(挂淤)	卵石、块石、料石、石板、水泥、砂等	0.20 ~ 0.40	25 ~ 40	抗冻、抗冲、抗磨和耐久性好,施工简便,但防渗效果一般不易保证。可用于石料来源丰富、有抗冻、抗冲、耐磨要求的渠道衬砌
	浆砌块石 浆砌卵石 浆砌料石 浆砌石板		0.09 ~ 0.25		
埋铺式膜料	土料保护层 刚性保护层	膜料、土料、砂、石、水泥等	0.04 ~ 0.08	20 ~ 30	防渗效果好,重量轻,运输量小,当采用土料保护层时,造价较低,但占地多,允许流速小。可用于中、小型渠道衬砌;采用刚性保护层时,造价较高,可用于各级渠道衬砌
沥青混凝土	现场浇筑 预制铺砌	沥青、砂、石、矿粉等	0.04 ~ 0.14	20 ~ 30	防渗效果好,适应地基变形能力较强,造价与混凝土防渗衬砌结构相近。可用于有冻害地区、且沥青料来源有保证的各级渠道衬砌
混凝土	现场浇筑	砂、石、水泥、速凝剂等	0.04 ~ 0.14	30 ~ 50	防渗效果、抗冲性和耐久性好。可用于各类地区和各种运用条件下的各级渠道衬砌;喷射法施工宜用于岩基、风化岩基以及深挖方或高填方渠道衬砌
	预制铺砌		0.06 ~ 0.17	20 ~ 30	
	喷射法施工		0.05 ~ 0.16	25 ~ 35	

5.3 防渗结构的选定

5.3.1 防渗结构应根据当地的气候、地形、土质、地下水位等自然条件，渠道大小、输水方式、防渗标准、耐久性等工程要求，水资源条件、地表水和地下水结合运用情况，土地利用、材料来源、劳力、能源及机械设备供应情况等社会经济和生态环境因素，按照本规范 5.2.1 和 5.2.2 规定，进行技术经济论证选定。

5.3.2 选定防渗结构应贯彻因地制宜、就地取材的原则。并应满足下列要求：

- 1 防渗效果好,最大渗漏量能满足工程要求。
- 2 经久耐用，使用寿命较长。
- 3 输水能力和防淤抗冲能力高。
- 4 施工简易，质量容易保证。
- 5 管理维修方便，价格合理。

6 防渗渠道设计

6.1 一般规定

6.1.1 防渗渠道设计应根据灌区的水土平衡、水资源可持续利用的要求,通过分析计算、技术经济比较,优选合理方案,提高渠道水利利用系数。

6.1.2 防渗渠道设计应做好前期的调研及资料收集工作。资料的收集按本规范 4.1~4.3 执行。

6.1.3 防渗渠道设计应按照渠道工程级别或规模、不同设计阶段的要求,遵照包括本规范在内的国家有关规范,结合当地实际情况进行。渠道工程级别和规模的划分见表 6.1.3。

表 6.1.3 防渗渠道工程级别和规模划分标准

工程级别	1	2	3	4	5	
规模	特大型	大型		中型		小型
渠道设计流量 Q (m^3/s)	$Q > 300$	$300 > Q > 100$	$100 > Q > 20$	$20 > Q > 5$	$5 > Q > 2$	$Q > 2$

6.1.4 防渗渠道设计应符合防渗和渠基稳定的要求,并将防渗、防冻胀、防冲刷、防淤积、防盐胀、防扬压力、防腐蚀、防侵蚀和防止渠道附近土壤盐渍化等进行综合分析研究。新建的渠道选线时,宜避开分散性土、膨胀性土、盐胀性土、冻胀性土地基以及有可溶盐类、裂隙、溶洞、滑坡体和地下水位高的不良地段。

6.2 流量计算

6.2.1 防渗渠道设计流量的计算应按本规范相应规定进行。加大流量和最小流量的计算应按《灌溉与排水工程设计规范》(GB50288-99)有关规定执行。

6.2.2 没有分水口的渠道,当不计及渠道水面蒸发损失和管理损失时,其渠道起始断面流量应为渠道末端断面流量与渠道的渗漏损失流量之和。

$$Q_u = Q_d + q \quad (6.2.2)$$

式中 Q_u —渠道起始断面流量, m^3/s ;

Q_d —渠道末端断面流量, m^3/s ;

q —渠道渗漏损失流量, m^3/s 。

6.2.3 渠道渗漏损失流量应按下列规定进行计算:

1 有类似条件的防渗渠道实测资料时,渠道渗漏损失流量应按实测资料确定的渗漏规律进行计算。

2 无实测资料时,防渗渠道的渗漏损失流量可按公式(6.2.3-1)进行估算;当已知湿周时,可用公式(6.2.3-2)估算。

$$q = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon' \cdot K \cdot Q_d^{1-m} \cdot L / 100 \quad (6.2.3-1)$$

式中 ε_0 、 ε' 、 K 、 m —计算参数,根据渠床土质特性、渠道当地的地下水埋深状况、防渗护面的类型,按 GB50288-99,3.1.9 的规定选用;

L —渠道长度, km。

$$q = K_a \cdot \bar{\chi} \cdot L / 86.4 \quad (6.2.3-2)$$

式中 K_a —渠道防渗护面的渗漏量, $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,其取值可参照表 5.2.2 的允许最大渗漏量选定。防渗护面质量良好者取小值,质量差者取大值;

$\bar{\chi}$ —渠道在设计流量下的平均湿周, m。

3 部分渠段有防渗护面,部分渠段没有防渗护面的渠道,无护面渠段的渗漏损失流量可按当地的实测资料或 GB50288-99 规定的方法进行计算。

6.2.4 有多个分水口的渠道,其流量计算可按逆向递推和正向递推两种方法进行:

1 逆向递推法。适用于已知各分水口的流量时,求渠首流量。通过计算各渠段的渗漏损失流量,从渠尾逆水流向逐渠段递推,求

出渠首流量。

2 正向递推法。适用于已知渠首流量及各分水口分水流量比例，求各分水口的分水流量。渠首流量、各渠段渗漏损失流量、各分水口的分水流量应符合水量平衡条件。计算时，从渠首顺水流方向，逐渠段递推，通过试算，求出各分水口的分水流量。参见附录 B 进行计算。

6.3 断面形式

6.3.1 防渗明渠可供选择的断面形式有梯形、弧形底梯形、弧形坡脚梯形、复合形、U 形、矩形，无压防渗暗渠的断面形式可选用城门洞形、箱形、正反拱形和圆形，详见图 6.3.1。

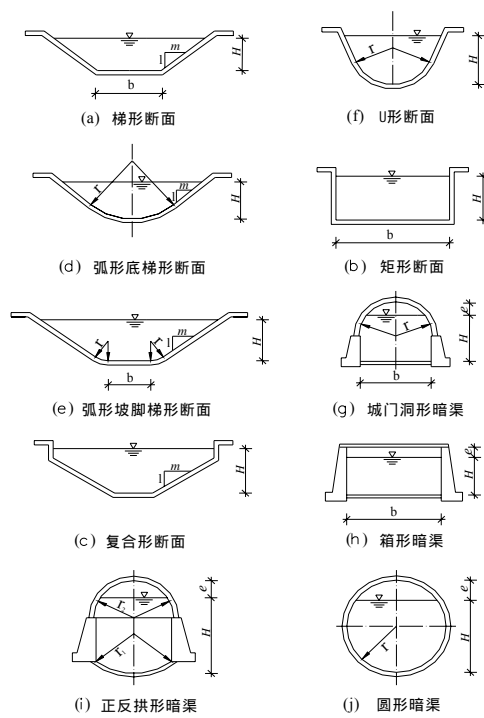


图 6.3.1 防渗渠道断面形式

6.3.2 防渗渠道断面形式的选择应结合防渗结构的选择一并进行。不同防渗结构适用的断面形式可按表 6.3.2 选定。

表 6.3.2 不同防渗结构适用的断面形式

防渗结构类别	明 渠					暗 渠				
	梯形	矩形	复合形	弧形底梯形	弧形坡脚梯形	U形	城门洞形	箱形	正反拱形	圆形
粘性土										
灰土										
粘砂混合土										
膨润混合土										
三合土										
四合土										
塑性水泥土										
干硬性水泥土										
料 石										
块 石										
卵 石										
石 板										
土保护层膜料										
沥青混凝土										
混凝土										
刚性保护层膜料										

6.4 断面参数

6.4.1 防渗渠道的边坡系数，应按下列要求计算或选定。

1 堤高超过 3m 或地质条件复杂的填方渠道；堤岸为高边坡的深挖方渠道；大型的粘性土、粘砂混合土防渗渠道的最小边坡系数，应通过边坡稳定计算确定。

2 土保护层膜料防渗渠道的最小边坡系数可按表 6.4.1-1 选定；大、中型渠道的边坡系数宜按附录 C 通过分析计算确定。

表 6.4.1—1 土保护层膜料防渗的最小边坡系数

保护层土质类别	渠道设计流量 (m ³ /s)			
	< 2	2 ~ 5	5 ~ 20	> 20
粘土、重壤土、中壤土	1.50	1.50 ~ 1.75	1.75 ~ 2.00	2.25
轻 壤 土	1.50	1.75 ~ 2.00	2.00 ~ 2.25	2.50
砂 壤 土	1.75	2.00 ~ 2.25	2.25 ~ 2.50	2.75

3 混凝土、沥青混凝土、砌石、水泥土等刚性材料防渗渠道，以及用这些材料作保护层的膜料防渗渠道的最小边坡系数，可按表 6.4.1-2 选用。

表 6.4.1—2 刚性材料防渗渠道的最小边坡系数

防渗结构类别	渠基土质类别	渠道设计水深(m)											
		< 1			1 ~ 2			2 ~ 3			> 3		
		挖方		填方	挖方		填方	挖方		填方	挖方		填方
		内坡	内坡	外坡	内坡	内坡	外坡	内坡	内坡	外坡	内坡	内坡	外坡
混凝土、砌石、水泥土、灰土、三合土、四合土、以及上述材料作为保护层的膜料防渗	稍胶结的卵石	0.75	-	-	1.00	-	-	1.25	-	-	1.50	-	-
	夹砂的卵石或砂土	1.00	-	-	1.25	-	-	1.50	-	-	1.75	-	-
	粘土、重壤土、中壤土	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.25	1.25	1.00	1.50	1.50	1.25
	轻壤土	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.25	1.25	1.25	1.50	1.50	1.50
	砂壤土	1.25	1.25	1.25	1.25	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.75	1.75	1.50

6.4.2 防渗渠道的糙率应根据防渗结构类别、施工工艺、养护情况合理选用，并应符合下列要求：

- 1 不同防渗结构渠道糙率可按表 6.4.2 选定。
- 2 砂砾石保护层膜料防渗渠道的糙率可按公式(6.4.2)计算确定。

$$n = 0.028 \cdot d_{50}^{0.1667} \quad (6.4.2)$$

式中 n — 砂砾石保护层的糙率；

d_{50} — 通过砂砾石重 50% 的筛孔直径，mm。

3 渠道护面采用几种不同材料的综合糙率，当最大糙率与最小糙率的比值小于 1.5 时，可按湿周加权平均计算。

4 有条件者，宜用类似条件下的实测值予以核定。

6.4.3 埋铺式膜料防渗渠道可不设防渗层超高，其它材料防渗层超高和渠堤超高应执行 GB50288—99 的规定。

6.4.4 防渗渠道的允许不冲流速，可按表 6.4.4 选用。

6.4.5 防渗渠道的不淤流速可按适宜于当地条件的经验公式计算。黄土地区渠道的不淤流速可按 GB50288—99 附录 G 确定。

表 6.4.2 不同材料防渗渠道糙率

防渗结构类别	防渗渠道表面特征	糙 率
粘性土、粘砂混合土	平整顺直，养护良好	0.0225
	平整顺直，养护一般	0.0250
	平整顺直，养护较差	0.0275
灰土、三合土、四合土	平整，表面光滑	0.0150 ~ 0.0170
	平整，表面较粗糙	0.0180 ~ 0.0200
水泥土	平整，表面光滑	0.0140 ~ 0.0160
	平整，表面粗糙	0.0160 ~ 0.0180
砌 石	浆砌料石、石板	0.0150 ~ 0.0230
	浆砌块石	0.0200 ~ 0.0300
	干砌块石	0.0300 ~ 0.0330
	浆砌卵石	0.0250 ~ 0.0275
	干砌卵石，砌工良好	0.0275 ~ 0.0325
	干砌卵石，砌工一般	0.0325 ~ 0.0375
	干砌卵石，砌工粗糙	0.0375 ~ 0.0425
	抹光的水泥砂浆面	0.0120 ~ 0.0130
混凝土	金属模板浇筑，平整顺直，表面光滑	0.0120 ~ 0.0140
	刨光木模板浇筑。表面一般	0.0150
	表面粗糙，缝口不齐	0.0170
	修整及养护较差	0.0180
	预制板砌筑	0.0160 ~ 0.0180
	预制渠槽	0.0120 ~ 0.0160
	平整的喷浆面	0.0150 ~ 0.0160
	不平整的喷浆面	0.0170 ~ 0.0180
	波状断面的喷浆面	0.0180 ~ 0.0250
	机械现场浇筑，表面光滑	0.0120 ~ 0.0140
沥青混凝土	机械现场浇筑，表面粗糙	0.0150 ~ 0.0170
	预制板砌筑	0.0160 ~ 0.0180

表 6.4.4 防渗渠道的允许不冲流速

防渗结构类别	防渗材料名称及施工情况	允许不冲流速 (m/s)
土料	轻 壤 土	0.60 ~ 0.80
	中 壤 土	0.65 ~ 0.85
	重 壤 土	0.70 ~ 1.00
	粘土、粘砂混合土	0.75 ~ 0.95
	灰土、三合土、四合土	< 1.00
土保护层膜料	砂壤土、轻壤土	< 0.45
	中 壤 土	< 0.60
	重 壤 土	< 0.65
	粘 土	< 0.70
	砂 砾 料	< 0.90
水泥土	现场浇筑施工	< 2.50
	预制铺砌施工	< 2.00
沥青混凝土	现场浇筑施工	< 3.00
	预制铺砌施工	< 2.00
砌石	浆砌料石	4.00 ~ 6.00
	浆砌块石	3.00 ~ 5.00
	浆砌卵石	3.00 ~ 5.00
	干砌卵石挂淤	2.50 ~ 4.00
	浆砌石板	< 2.50
混凝土	现场浇筑施工	3.00 ~ 5.00
	预制铺砌施工	< 2.50

注：表中土料防渗及土保护层膜料防渗的允许不冲流速为水力半径 $R=1\text{m}$ 时的情况。当 $R \neq 1\text{m}$ 时，表中的数值应乘以 R 。砂砾石、卵石、疏松的砂壤土和粘土 $=1/3 \sim 1/4$ ；中等密实的砂壤土、壤土和粘土 $=1/4 \sim 1/5$ 。

6.5 断面尺寸水力计算

6.5.1 防渗渠道断面尺寸应按公式(6.5.1)进行计算。断面尺寸确定后应校核其平均流速，满足不冲不淤要求。

$$Q = \omega \cdot \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot i^{\frac{1}{2}} \quad (6.5.1)$$

式中 Q — 渠道设计流量， m^3/s ；
 ω — 过水断面面积， m^2 ；

n — 渠道糙率；

R — 渠道水力半径，m；

i — 渠道比降。

6.5.2 梯形防渗渠道水力最佳断面及实用经济断面的水力计算，应按 GB50288—99 规定的方法进行。

6.5.3 弧形底梯形防渗渠道断面见图 6.5.3，其断面尺寸的计算应按下列方法进行：

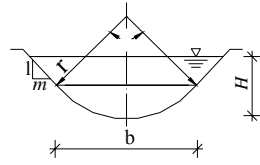


图 6.5.3 弧形底梯形断面

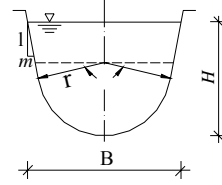


图 6.5.4 U形断面

1 断面尺寸的各项主要指标按公式 (6.5.3-1) ~ (6.5.3-4) 进行计算：

$$\omega = \left(\frac{\theta}{2} + 2m - 2\sqrt{1+m^2} \right) K_r^2 H^2 + 2 \left(\sqrt{1+m^2} - m \right) K_r H^2 + m H^2 \quad (6.5.3-1)$$

$$\chi = 2 \left(\frac{\theta}{2} + m - \sqrt{1+m^2} \right) K_r H + 2\sqrt{1+m^2} \cdot H \quad (6.5.3-2)$$

$$K_r = r/H \quad (6.5.3-3)$$

$$b = \frac{2r}{\sqrt{1+m^2}} \quad (6.5.3-4)$$

式中 χ — 湿周，m；

b — 弧形底的弦长, m;
 r — 渠底圆弧半径, m;
 H — 断面水深, m;
 θ — 渠底圆弧的圆心角, rad;

m — 渠道上部直线段的边坡系数, $m = \cot \frac{\theta}{2}$ 。

2 水力最佳断面和实用经济断面的计算见附录 D。

6.5.4 U形防渗渠道断面见图 6.5.4,其断面尺寸的水力计算应按公式 (6.5.1) 及 (6.5.3-1) ~ (6.5.3-4) 进行。 K_r 的取值如下:

1 渠顶以上挖深不超过 1.5m, 边坡系数 $m = 0.3$, 渠线经过耕地时, K_r 值可按表 6.5.4 选用。

表 6.5.4 U形渠道的 K_r 值

m	0	0.1	0.2	0.3	0.4
(°)	180	168.6	157.4	146.6	136.4
K_r	0.65~0.72	0.62~0.68	0.56~0.63	0.49~0.56	0.39~0.47

注:挖深大、土质好、土地价值高时取小值。

2 填方断面或渠顶以上挖深很小(接近 0)土质差时, K_r 取 1.0~0.8。

6.5.5 弧形坡脚梯形防渗渠道断面见图 6.5.5,其断面的宽深比可参照梯形渠道的宽深比经过比较后确定。断面尺寸应按公式 (6.5.1) 及公式 (6.5.5-1) ~ (6.5.5-4) 进行水力学计算:

$$\omega = (\theta + 2m - 2\sqrt{1+m^2})K_r^2 \cdot H^2 + 2(\sqrt{1+m^2} - m)K_r H^2 + mH^2 + b_1 H \quad (6.5.5-1)$$

$$\chi = 2(\theta + m - \sqrt{1+m^2})K_r H + 2\sqrt{1+m^2} \cdot H + b_1 \quad (6.5.5-2)$$

$$K_r = r/H \quad (6.5.5-3)$$

$$B = 2m(H - r) + 2r\sqrt{1 + m^2} + b_1 \quad (6.5.5-4)$$

式中 θ — 弧形坡脚的圆心角, rad ;

b_1 — 渠底水平段宽, m ;

B — 水面宽, m ;

m — 渠道上部直线段边坡系数, $m = \cot \theta$ 。

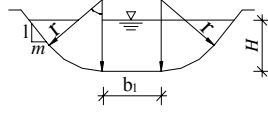


图 6.5.5 弧形坡脚梯形断面

6.5.6 暗渠防渗断面中的箱形 (图 6.5.6-a) \ 城门洞形 (图 6.5.6-b) \ 正反拱形 (图 6.5.6-c), 其宽深比应按施工要求通过经济比较选定, 宜用窄深式, 其水面以上的净空高度 e_0 :

城门洞形及正反拱形可用 $e_0 \geq \frac{1}{4}H_g$ (H_g 为暗渠断面总高度), 箱形

可采用 $e_0 \geq \frac{1}{6}H_g$ 。断面尺寸应通过水力计算确定。

1 城门洞形断面按公式 (6.5.1) 及公式 (6.5.6-1) ~ (6.5.6-4) 进行计算:

$$\omega = H_1 b_2 + \frac{1}{2} [r_2^2 (\pi - \theta_2) + B H_2] \quad (6.5.6-1)$$

$$\chi = b_2 + 2H_1 + (\pi r_2 - r_2 \theta_2) \quad (6.5.6-2)$$

$$B = 2\sqrt{r_2^2 - H_2^2} \quad (6.5.6-3)$$

$$\theta_2 = 2 \cdot \arctan \left(\frac{\sqrt{r_2^2 - H_2^2}}{H_2} \right) \quad (6.5.6-4)$$

式中 H_1 —暗渠直墙段高, m;
 H_2 —顶部圆弧段水深, m;
 b_2 —暗渠宽, m;
 B —水面宽, m;
 r_2 —顶部圆弧半径, m;
 θ_2 —水面宽圆弧圆心角, rad。

2 正反拱形断面应按公式 (6.5.1) 及公式 (6.5.6-5) ~ (6.5.6-9) 进行计算:

$$\omega = b_2 H_1 + \frac{1}{2} [r_1^2 \theta_1 - b_2 (r_1 - H_3) + r_2^2 (\pi - \theta_2) + B H_2] \quad (6.5.6-5)$$

$$\chi = 2H_1 + r_1 \theta_1 + r_2 (\pi - \theta_2) \quad (6.5.6-6)$$

$$\theta_1 = 2 \arctan \left(\frac{\sqrt{r_1^2 - (r_1 - H_3)^2}}{r_1 - H_3} \right) \quad (6.5.6-7)$$

$$\theta_2 = 2 \arctan \left(\frac{\sqrt{r_2^2 - H_2^2}}{H_2} \right) \quad (6.5.6-8)$$

$$B = 2\sqrt{r_2^2 - H_2^2} \quad (6.5.6-9)$$

式中 H_3 —底部圆弧矢高, m;
 θ_1 —底部圆弧圆心角, rad;
 r_1 —底部圆弧半径, m。

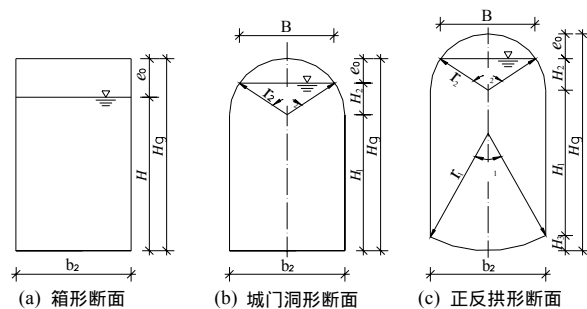


图 6.5.6 暗渠断面

6.6 伸缩缝、砌筑缝及堤顶

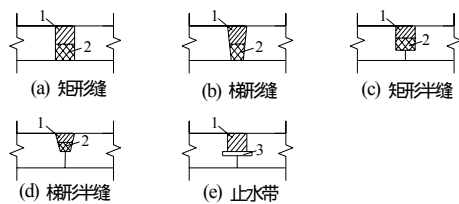
6.6.1 刚性材料渠道防渗结构应设置伸缩缝。伸缩缝的间距应依据渠基情况、防渗材料和施工方式按表 6.6.1 选用；伸缩缝的形式见图 6.6.1；伸缩缝的宽度应根据缝的间距、气温变幅、填料性能和施工要求等因素，采用 2cm ~ 3cm。伸缩缝宜采用粘结力强、变形性能大、耐老化、在当地最高气温下不流淌、最低气温下仍具柔性的弹塑性止水材料，如焦油塑料胶泥填筑，或缝下部填焦油塑料胶泥、上部用沥青砂浆封盖，还可用制品型焦油塑料胶泥填筑。有特殊要求的伸缩缝宜采用高分子止水带或止水管等。伸缩缝填料的配合比和制作方法见附录 F。

表 6.6.1 防渗渠道的伸缩缝间距

防渗结构	防渗材料和施工方式	纵缝间距 (m)	横缝间距 (m)
土 料	灰土，现场填筑	4 ~ 5	3 ~ 5
	三合土或四合土，现场填筑	6 ~ 8	4 ~ 6
水 泥 土	塑性水泥石，现场填筑	3 ~ 4	2 ~ 4
	干硬性水泥石，现场填筑	3 ~ 5	3 ~ 5
砌 石	浆 砌 石	只设置沉降缝	
沥青混凝土	沥青混凝土，现场浇筑	6 ~ 8	4 ~ 6
混 凝 土	钢筋混凝土，现场浇筑	4 ~ 8	4 ~ 8
	混凝土，现场浇筑	3 ~ 5	3 ~ 5
	混凝土，预制铺砌	4 ~ 8	6 ~ 8

注 1：膜料防渗不同材料保护层的伸缩缝间距同本表。

注 2：当渠道为软基或地基承载力明显变化时，浆砌石防渗结构宜设置沉降缝。



1. 封盖材料 2. 弹塑性胶泥 3. 止水带

图6.6.1 刚性材料防渗层中构造缝形式

6.6.2 水泥石、混凝土预制板（槽）和浆砌石，应用水泥砂浆或水泥混合砂浆砌筑，水泥砂浆勾缝。混凝土U形槽也可用高分子止水带及其专用胶安砌，不需勾缝。浆砌石还可用细粒混凝土砌筑。砌筑和勾缝砂浆的强度等级可按表6.6.2选定；细粒混凝土强度等级不低于C15，最大粒径不大于10mm。沥青混凝土预制板宜采用沥青砂浆或沥青玛王帝脂砌筑。砌筑缝宜采用梯形或矩形缝，缝宽1.5cm~2.5cm。

表6.6.2 砂浆的强度等级 单位：MPa

防渗结构	砌 筑 砂 浆		勾 缝 砂 浆	
	温和地区	严寒和寒冷地区	温和地区	严寒和寒冷地区
水泥石预制板	5.0		7.5~10.0	
混凝土预制板	7.5~10.0	10.0~20.0	10.0~15.0	15.0~20.0
料 石	7.5~10.0	10.0~15.0	10.0~15.0	15.0~20.0
块 石	5.0~7.5	7.5~10.0	7.5~10.0	10.0~15.0
卵 石	5.0~7.5	7.5~10.0	7.5~10.0	10.0~15.0
石 板	7.5~10.0	10.0~15.0	10.0~15.0	15.0~20.0

6.6.3 防渗渠道在边坡防渗结构顶部应设置水平封顶板，其宽度为15 cm~30cm。当防渗结构下有砂砾石置换层时，封顶板宽度应大于防渗结构与置换层的水平向厚度10cm，当防渗结构高度小于渠深时，应将封顶板嵌入渠堤。

6.6.4 防渗渠道堤顶宽度可按表6.6.4选用，渠堤兼做公路时，应

按道路要求确定。U 形和矩形渠道，公路边缘宜距渠口边缘 0.5m ~ 1.0m。堤顶应作成向外倾斜 1/100 ~ 2/100 的斜坡。

表 6.6.4 防渗渠道的堤顶宽度

渠道设计流量 (m^3/s)	< 2	2 ~ 5	5 ~ 20	> 20
堤顶宽度 (m)	0.5 ~ 1.0	1.0 ~ 2.0	2.0 ~ 2.5	2.5 ~ 4.0

7 渠基稳定

7.1 一般规定

7.1.1 当防渗渠段系湿陷性黄土、软弱土、沙土、分散性土、膨胀土、盐胀土、冻胀土渠基,或具有裂隙、断层、滑坡体、溶(空)洞,以及地下水位较高时,应采取工程措施确保渠基稳定。

7.1.2 满足渠基稳定要求,可采用适应基土变形的渠道断面和防渗结构或处理渠基,以及二者相结合的方法。

7.1.3 渠基处理方案应根据工程要求、气象、工程地质和水文地质条件,并考虑防渗结构和渠基的共同作用、地形地貌、环境情况和对邻近工程的影响等因素,进行综合分析,经过技术经济比较确定。

7.1.4 大型渠道,应在有代表性的渠段上,对已选定的渠基处理方法,进行相应的现场试验或试验性施工,并进行必要的测试,检验设计参数和处理效果。如达不到设计要求,应查明原因,修改设计参数或调整渠基处理方法。

7.2 湿陷性土基

7.2.1 弱湿陷性土基和新建过沟填方渠道,宜采用适应基土变形的渠道断面和防渗结构。

7.2.2 强湿陷性土基,宜采用深翻回填渠基、设置灰土夯实层、打孔浸水重锤夯压或强力夯实等方法处理。处理深度应根据当地情况,经试验确定。

7.3 分散性土基

7.3.1 高、中分散性土渠床的迎水面和堤顶(或戕台),宜用灰土压实处理。灰土中掺生石灰 3%~5%,处理厚度 20cm,干密度不应小于 1.60g/cm^3 。堤顶(戕台)灰土层上应覆盖 10cm 厚的非分散性土。

7.3.2 低分散性土(或中间状态土)渠道的迎水面和堤顶(或戕台),宜用土工膜防渗。迎水面与渠道膜料防渗结构应一致;堤顶膜上应覆盖 40cm~50cm 厚的当地土,并压实。

7.3.3 渠道外坡或挖方渠道戕台以上的渠坡,当坡高小于 4m 时,宜换土 15cm~20cm,种植草皮;当坡高大于或等于 4m 时,宜设

置 10cm 厚的混凝土格栅或土工格栅 ,种植草皮 ;并每隔 10m ~ 20m 设置纵、横向混凝土排水明沟系统。

7.4 膨胀土基

7.4.1 弱膨胀土渠道,宜采用适应基土变形的渠道断面和膜料防渗结构,堤顶膜层上应覆盖 40cm ~ 50cm 厚的当地土,并压实。

7.4.2 在强膨胀土或裂隙多的中膨胀土上的输水渠道,其迎水面和堤顶(或戕台),宜用石灰掺量为 4% ~ 8% 的灰土压实处理。其厚度为 20cm ~ 30cm,干密度不小于 1.55g/cm^3 。堤顶(或戕台)灰土层上覆盖 10cm 厚的非膨胀土。

7.4.3 渠道外坡及挖方渠道戕台以上的内坡,当坡高小于 4m 时,宜换土 20cm ~ 30cm,种植草皮;当坡高大于或等于 4m 时,宜设置 10cm 厚的混凝土格栅或土工格栅 ,种植草皮 ;并每隔 10m ~ 20m 设置纵、横向混凝土排水明沟系统。

7.5 盐胀土基

7.5.1 盐渍土渠道,应测定盐渍土中易溶盐的成分和含量。氯化钠盐土,可不进行处理;碳酸钠盐土,宜采用适应基土变形的渠道断面和防渗结构;硫酸钠盐土,当硫酸钠含量大于 2% 时,应进行处理。

7.5.2 盐胀土渠道,可用砂砾石或灰土等非盐胀土置换盐胀土,也可用化学添加剂 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 NaCl 、 CaCl_2 、 BaCl_2 等进行化学处理,使盐胀土转化为非盐胀土。化学添加剂的最优掺量,应根据盐土中易溶盐的成分和含量,通过试验确定。盐胀土的处理深度可等于设计冻深,但堤顶(戕台)应大于 0.5m,迎水面应大于 1.0m。

7.5.3 渠道外坡或挖方渠道戕台以上的渠坡,按本规范 7.3.3 的规定执行。

7.6 冻胀性土基

7.6.1 渠道防渗工程环境同时具备下列 3 个条件时,应进行防冻胀设计:

1 土质:土中粒径小于 0.05mm 的土粒含量按重量比大于总土重的 6%;

2 冻深:标准冻深(邻近工程地点气温条件相近的气象站近

期观测系列不短于 20 年的历年最大冻深平均值) 大于 0.1m;

3 水分: 冻结初期土的含水量大于 0.9 倍塑限含水量; 或地下水位至渠底的埋深小于土的毛管水上升高度加设计冻深。

7.6.2 渠基土的设计冻深、冻胀量和冻胀性级别, 应按《水工建筑物抗冰冻设计规范》(SL 211) 中规定的方法确定。

7.6.3 当渠基土的冻胀性属 、 级时, 宜按渠道大小等情况分别采用下列不同的渠道断面和防渗结构:

1 小型渠道采用整体式混凝土 U 形槽衬砌。

2 中型渠道采用弧形断面或弧形底梯形断面, 板膜复合防渗结构。

3 大型 (或宽浅) 渠道采用弧形坡脚梯形断面, 板膜复合防渗结构。并适当增设纵向伸缩缝, 适应冻胀变形。

4 梯形混凝土衬砌渠道, 可采用架空梁板式 (预制 形板) 或预制空心板式防渗结构。

7.6.4 当渠基土的冻胀性属 、 、 级时, 宜按渠道大小和形式等情况分别采用下列不同的渠道断面和防渗结构:

1 小型渠道采用地表式整体混凝土 U 形槽或矩形槽。槽底应按本规范 7.6.5 要求设置保温层或非冻胀性土置换层, 槽侧回填土高度应小于槽深的 1/3。也可采用暗渠或暗管输水, 其顶面的埋深应不小于设计冻深。

2 渠深不超过 1.5m 的宽浅渠道, 宜采用矩形断面, 渠岸用挡土墙式结构, 渠底用平板结构, 墙与板连接处设冻胀变形缝。

3 大、中型渠道, 应结合本规范 7.6.5 中措施, 采用 7.6.3 中的渠道断面和防渗结构。

4 深挖方渠道, 可采用明涵或隧洞输水。

7.6.5 冻胀土基处理措施应符合下列规定:

1 在防渗结构下设置保温层 (如聚苯乙烯泡沫塑料板、高分子防渗保温卷材等)。保温层在强度、压缩系数、吸水率、耐久性等方面应满足工程设计要求。大型渠道的保温层厚度, 应通过热工计算确定; 中、小型渠道, 采用聚苯乙烯泡沫塑料板或高分子防渗保温卷材保温时, 其厚度可取地下水影响系数为 1.0 的设计冻深的 1/10 ~ 1/15。

2 当地或附近有较丰富和适宜的非冻胀性土时 (土中粒径小于 0.05mm 的土粒含量不大于总土重的 6%), 可采用非冻胀性土

置换渠床冻胀性土。渠床各部位的置换深度 Z_n 可按表 7.6.5 取值。当置换层有被淤塞危险时,应设置反滤层或土工织物保护;当置换材料饱水时,必须保证冻结期置换体有排水出路。

表 7.6.5 渠床置换比 值表

地下水位埋深 Z_w (m)	土质	置换比 (%)	
		坡面上部	坡面下部, 渠底
$Z_w \geq Z_d + 2.0$	粘土, 粉质粘土	50 ~ 70	70 ~ 80
$Z_w \geq Z_d + 1.5$	重、中壤土		
$Z_w \geq Z_d + 1.0$	轻壤土, 砂壤土	40 ~ 50	
Z_w 小于上述值	粘土, 重、中壤土	60 ~ 80	80 ~ 100
	轻壤土, 砂壤土	50 ~ 60	60 ~ 80

注: 置换比 是防渗结构厚度 与置换深度 Z_n 之和同设计冻深 Z_d 之比, 用百分数% 表示。

注:置换比 是防渗结构厚度 与置换深度 Z_n 之和同设计冻深 Z_d 之比,用百分数% 表示。

3 设置排水系统,降低地下水位和土中水分。设置方法可按下列不同情况分别确定。

- 1) 当冻结层或置换层以下不透水层或弱透水层厚度小于 10m,深层地下水埋深距设计冻深大于 3m 时,可在渠底每隔 10 m ~ 20m 设一眼盲井,使冻结层或置换层与透水层联通。
- 2) 当渠床的冻结深度内有排水出路时,可在设计冻深底部设置纵、横向暗排系统,把渠床冻结层中的重力水或渠道傍渗水排出渠外。
- 3) 对于冬季输水的防渗渠道,当渠侧有傍渗水补给渠床时,可在最低水位以上设置反滤排水体,必要时设置逆止阀。排水口及逆止阀设在最低行水位处,将傍渗水排入渠内。
- 4 用压实或强夯法提高渠床土的密度,应同时满足压实度不低于 0.98,干密度不低于 $1.60\text{g}/\text{cm}^3$ 且不小于天然干密度的 1.05 倍的要求,压实深度不应小于渠床置换深度。

7.7 其它情况

7.7.1 软弱土基,可采用置换法处理。换填砂砾石时,压实系数不应小于 0.93 ;换填土料时,大、中型渠道压实系数不应小于 0.95 ,小型渠道不应小于 0.93。

7.7.2 沙土基,宜先振动压实后开挖,挖好的渠床应立刻喷射 1cm

厚的水泥浆或涂抹 1cm ~ 2cm 厚的水泥砂浆固沙层。

7.7.3 傍山、塬边渠道，可采用灌浆法填堵裂缝、孔隙和小洞穴。灌浆材料可用粘土浆或水泥粘土浆。灌浆的各项技术参数宜经过试验确定。对浅层窑洞、墓穴和大孔洞，可采用开挖回填法处理。

7.7.4 膜料、沥青混凝土防渗渠道，必要时，应在渠基土中加入灭草剂进行处理，并回填、夯实、修整成型后，方可铺砌。

7.7.5 改建的防渗渠道基土，应特别注意渠坡新、老土的结合。填筑时，应将原渠坡挖成台阶状，再在上面夯填新土，整修成设计要求的渠道断面。

7.7.6 地下水位高于渠底的刚性材料防渗渠道和埋铺式膜料防渗渠道，应按附录 E 规定在渠基设置排水设施，并保证排水出口畅通。

8 防渗结构设计

8.1 土料防渗

8.1.1 粘性土的选用和粘砂混合土、灰土、三合土、四合土等混合土料的配合比，应按下列步骤和要求确定：

1 通过试验确定粘性土、不同配合比混合土料的夯实最大干密度和最优含水率。

2 按不同粘性土和不同配合比混合土料的最优含水率、最大干密度制备试件，进行强度和渗透试验。根据最大强度、最小渗透系数选用粘性土和确定混合土料的最优配合比。

3 粘性土和粘砂混合土还应进行泡水试验。若试验发现试体崩解或呈浑浊液时，应改换粘性土和调整粘砂混合土的配合比。

8.1.2 无条件进行试验时，混合土的配合比可按以下要求选定：

1 灰土的配合比应根据石灰的质量、土的性质和工程要求选定。可采用石灰与土之比为 1:3 ~ 1:9。使用时，石灰用量还应根据石灰储放期的长短适量增减，其变动范围宜控制在 $\pm 10\%$ 以内。

2 三合土的配合比宜采用石灰与土砂总重之比为 1:4 ~ 1:9。其中，土重宜为土砂总重的 30% ~ 60%；高液限粘质土，土重不宜超过土砂总重的 50%。

3 采用四合土时，可在三合土配合比的基础上加入 25% ~ 35%的卵石或碎石。

4 粘砂混合土中，高液限粘质土与砂石总重之比宜为 1:1。

8.1.3 无条件进行试验时，灰土、三合土等土料的最优含水率，可按以下要求选定：

1 灰土可采用 20% ~ 30%。

2 三合土、四合土可采用 15% ~ 20%。

3 粘性土、粘砂混合土宜控制在塑限 $\pm 4\%$ 范围内，并可参见表 8.1.3 选用。

表 8.1.3 粘性土、粘砂混合土的最优含水率

土 质	最优含水率 (%)
低液限粘质土	12 ~ 15
中液限粘质土	15 ~ 25
高液限粘质土	23 ~ 28
黄 土	15 ~ 19
注：土质轻的宜选用小值，土质重的宜选用大值。	

8.1.4 土料防渗结构的厚度应根据防渗要求通过试验确定。中、小型渠道可参照表 8.1.4 选用。

表 8.1.4 土料防渗结构的厚度 单位：cm

土料种类	渠 底	渠 坡	侧 墙
高液限粘质土	20 ~ 40	20 ~ 40	—
中液限粘质土	30 ~ 40	30 ~ 60	—
灰 土	10 ~ 20	10 ~ 20	—
三 合 土	10 ~ 20	10 ~ 20	20 ~ 30
四 合 土	15 ~ 20	15 ~ 25	20 ~ 40

8.2 水泥土防渗

8.2.1 水泥土配合比应通过试验确定，并应符合下列要求：

1 气候温和地区水泥土的抗冻等级不宜低于 F12；抗压强度允许最小值应满足表 8.2.1—1 的要求；干密度允许最小值应满足表 8.2.1—2 的要求。水泥用量宜为 8% ~ 12%。

2 水泥土的渗透系数不应大于 1×10^{-6} cm/s。

3 水泥土的含水率应按下列方法确定：

1) 干硬性水泥土用击实法或强度试验法确定。当土料为细粒土时，水泥土的含水率宜为 12% ~ 16%。

2) 塑性水泥土应按施工要求经过试验确定。当土料为微含细粒土砂和页岩风化料时，水泥土的含水率宜为 20% ~ 30%。当为细粒土时，水泥土的含水率宜为 25% ~ 35%。

表 8.2.1—1 水泥土抗压强度允许最小值 单位：MPa

水泥土种类	渠道运行条件	28d 抗压强度
干硬性水泥土	常年输水	2.5
	季节性输水	4.5
塑性水泥土	常年输水	2.0
	季节性输水	3.5

表 8.2.1—2 水泥土干密度允许最小值 单位：g/cm³

水泥土种类	含砾土	砂土	壤土	风化页岩渣
干硬性水泥土	1.9	1.8	1.7	1.8
塑性水泥土	1.7	1.5	1.4	1.5

8.2.2 水泥土防渗结构的厚度，宜采用 8cm～10cm；小型渠道不应小于 5cm。水泥土预制板的尺寸，应根据制板机、压实功能、运输条件和渠道断面尺寸等因素确定，每块预制板的重量不宜超过 50kg。

8.2.3 耐久性要求高的明渠水泥土防渗结构，宜用塑性水泥土铺筑，表面用水泥砂浆、混凝土预制板、石板等材料作保护层。水泥土 28d 的抗压强度不应低于 1.5MPa。

8.3 砌石防渗

8.3.1 砌石防渗结构设计，应符合下列规定：

1 浆砌料石、浆砌块石挡土墙式防渗结构的厚度，应根据使用要求确定。护面式防渗结构的厚度，浆砌料石宜采用 15cm～25cm；浆砌块石宜采用 20cm～30cm；浆砌石板的厚度不宜小于 3cm（寒区浆砌石板厚度不宜小于 4cm）。

2 浆砌卵石、干砌卵石挂淤护面式防渗结构的厚度，应根据使用要求和当地料源情况确定，可采用 15cm～30cm。

8.3.2 防止渠基淘刷，提高防渗效果，宜采用下列措施：

1 干砌卵石挂淤渠道，可在砌体下面设置砂砾石垫层，或铺设复合土工膜料层。

2 浆砌石板防渗层下，可铺设厚度为 2cm～3cm 的砂料，或低标号水泥砂浆作垫层。

3 对防渗要求高的大、中型渠道，可在砌石层下加铺粘土、

三合土、塑性水泥土或塑膜层。

8.3.3 护面式浆砌石防渗结构，可不设伸缩缝；软基上挡土墙式浆砌石防渗结构宜设沉陷缝，缝距可采用 10m~15m。砌石防渗层与建筑物连接处，应按伸缩缝结构要求处理。

8.4 混凝土防渗

8.4.1 混凝土性能及配合比设计，应符合下列规定：

1 大、中型渠道防渗工程混凝土的配合比，应按《水工混凝土试验规程》(DL/T5150—2001)进行试验确定，其选用配合比应满足强度、抗渗、抗冻和和易性的设计要求。小型渠道混凝土的配合比，可参照当地类似工程的经验采用。

2 混凝土的性能指标不应低于表 8.4.1—1 中的数值。严寒和寒冷地区的冬季过水渠道，抗冻等级应比表内数值提高一级。

表 8.4.1—1 混凝土性能的允许最小值

工程规模	混凝土性能	严寒地区	寒冷地区	温和地区
小型	强度 (C)	10	10	10
	抗冻 (F)	50	50	—
	抗渗 (W)	4	4	4
中型	强度 (C)	15	15	10
	抗冻 (F)	100	50	50
	抗渗 (W)	6	6	6
大型	强度 (C)	20	15	10
	抗冻 (F)	200	150	50
	抗渗 (W)	6	6	6
注 1：强度等级的单位为 MPa。				
注 2：抗冻等级的单位为冻融循环次数。				
注 3：抗渗等级的单位为 0.1MPa。				
注 4：严寒地区为最冷月平均气温低于-10 ⁰ C；寒冷地区为最冷月平均气温高于或等于-10 ⁰ C 但低于或等于-3 ⁰ C；温和地区为最冷月平均气温高于-3 ⁰ C。				

3 渠道流速大于 3m/s，或水流中挟带推移质泥沙时，混凝土的抗压强度不应低于 15MPa。

4 混凝土的水胶比，应为砂石料在饱和面干状态下的单位用水量与胶凝材料的比值，其允许最大值可参照表 8.4.1—2 选用。

表 8.4.1—2 混凝土水胶比的允许最大值

运用情况	严寒地区	寒冷地区	温和地区
一般情况	0.50	0.55	0.60
受水流冲刷部位	0.45	0.50	0.50

5 混凝土的坍落度，可参照表 8.4.1—3 选定。

表 8.4.1—3 不同浇筑部位混凝土的坍落度 单位:cm

混凝土类别	部 位		机械捣固	人工捣固
混凝土	渠 底		1 ~ 3	3 ~ 5
	渠 坡	有外模板	1 ~ 3	3 ~ 5
		无外模板	1 ~ 2	—
钢筋混凝土	渠 底		2 ~ 4	3 ~ 5
	渠 坡	有外模板	2 ~ 4	5 ~ 7
		无外模板	1 ~ 3	—
注 1：低温季节施工时，坍落度宜适当减小； 高温季节施工时，宜适当增大。				
注 2：采用衬砌机施工时，坍落度不大于 2cm。				

6 大、中型渠道所用的混凝土，其胶凝材料的最小用量不宜少于 225kg/m^3 ；严寒地区不宜少于 275kg/m^3 。用人工捣固时，应增加 25kg/m^3 ；当掺用外加剂时，可减少 25kg/m^3 。

7 混凝土的用水量及砂率可分别按表 8.4.1—4 及表 8.4.1—5 选用。

表 8.4.1—4 混凝土用水量 单位：kg/m³

坍落度 (cm)	石料最大粒径 (mm)		
	20	40	80
1~3	155~165	135~145	110~120
3~5	160~170	140~150	115~125
5~7	165~175	145~155	120~130
注 1：表中值适用于卵石、中砂和普通硅酸盐水泥拌制的混凝土。 注 2：用火山灰水泥时，用水量宜增加 15 kg/m ³ ~20kg/m ³ 。 注 3：用细砂时，用水量宜增加 5 kg/m ³ ~10kg/m ³ 。 注 4：用碎石时，用水量宜增加 10 kg/m ³ ~20kg/m ³ 。 注 5：用减水剂时，用水量宜减少 10 kg/m ³ ~20kg/m ³ 。			

表 8.4.1—5 混凝土的砂率

石料最大粒径 (mm)	水胶比	砂率 (%)	
		碎石	卵石
40	0.4	26~32	24~30
40	0.5	30~35	28~33
40	0.6	33~38	31~36
注：石料常用两级配，即粒径 5mm~20mm 的占 40%~45%，20mm~40mm 的占 55%~60%。			

8 渠道防渗工程所用水泥品种以 1~2 种为宜，并应固定厂家。当混凝土有抗冻要求时，应优先选择普通硅酸盐水泥；当环境水对混凝土有硫酸盐侵蚀时，应优先选择抗硫酸盐水泥。

9 粉煤灰等掺和料的掺量，大、中型渠道应按《水工混凝土掺用粉煤灰技术规范》(DL/T 5055—1996)通过试验确定；小型渠道混凝土的粉煤灰掺量，可按表 8.4.1—6 选定。

表 8.4.1—6 粉煤灰掺量

水泥等级	混凝土性能指标		粉煤灰掺量 (%)
	强度	抗冻	
32.5	C10	F50	20~40
32.5	C15	F50	30
32.5	C20	F50	25

10 混凝土应根据需要掺入适量外加剂，其掺量应通过试验确

定。

11 设计细砂、特细砂混凝土配合比时，应符合下列要求：

- 1) 水泥用量较中、粗砂混凝土宜增加 $20 \text{ kg/m}^3 \sim 30 \text{ kg/m}^3$ ，并宜掺加塑化剂，严格控制水胶比。
- 2) 砂率较中砂混凝土减少 $15\% \sim 30\%$ 。
- 3) 砂、石的允许含泥量，应符合本规范 5.1.3 和 5.1.5 的规定。
- 4) 采用低流态或半干硬性混凝土时，坍落度不应大于 3cm ，工作度不应大于 30s 。

12 喷射混凝土的配合比可参照下列要求，并通过试验确定：

- 1) 水泥、砂和石料的重量比，宜为水泥：砂：石子 = $1 : (2 \sim 2.5) : (2 \sim 2.5)$
- 2) 宜采用中、粗砂。砂率宜为 $45\% \sim 55\%$ ，砂的含水率宜为 $5\% \sim 7\%$ 。
- 3) 石料最大粒径不宜大于 15mm 。
- 4) 水胶比宜为 $0.4 \sim 0.5$ 。
- 5) 宜选用普通硅酸盐水泥，其用量为 $375\text{kg/m}^3 \sim 400\text{kg/m}^3$ 。
- 6) 速凝剂的掺量宜为水泥用量的 $2\% \sim 4\%$ 。

8.4.2 防渗结构设计，应符合下列规定：

1 混凝土防渗结构型式见图 8.4.2，应按下列要求选定：

- 1) 宜采用等厚板。
- 2) 当渠基有较大膨胀、沉陷等变形时，除采取必要的地基处理措施外，对大型渠道宜采用楔形板、肋梁板、中部加厚板或形板。
- 3) 小型渠道应采用整体式 U 形或矩形渠槽，槽长不宜小于 1.0m 。
- 4) 特种土基宜采用板膜复合式结构。

2 渠道流速小于 3m/s 时，梯形渠道混凝土等厚板的最小厚度，应符合表 8.4.2 的规定；流速为 $3\text{m/s} \sim 4\text{m/s}$ 时，最小厚度宜为 10cm ；流速为 $4\text{m/s} \sim 5\text{m/s}$ 时，最小厚度宜为 12cm 。水流中含有砾石类推移质时，渠底板的最小厚度宜为 12cm 。渠道超高部分的厚度可适当减小，但不应小于 4cm 。

表 8.4.2 混凝土防渗层的最小厚度 单位：cm

工程规模	温和地区			寒冷地区		
	钢筋混凝土	混凝土	喷射混凝土	钢筋混凝土	混凝土	喷射混凝土
小型		4	4		6	5
中型	7	6	5	8	8	7
大型	7	8	7	9	10	8

3 肋梁板和 形板的厚度，比等厚板可适当减小，但不应小于 4cm。肋高宜为板厚的 2~3 倍。楔形板在坡脚处的厚度，比中部宜增加 2cm~4cm。中部加厚板加厚部位的厚度，宜为 10cm~14cm。板膜复合式结构的混凝土板厚度可适当减小，但不应小于 4cm。

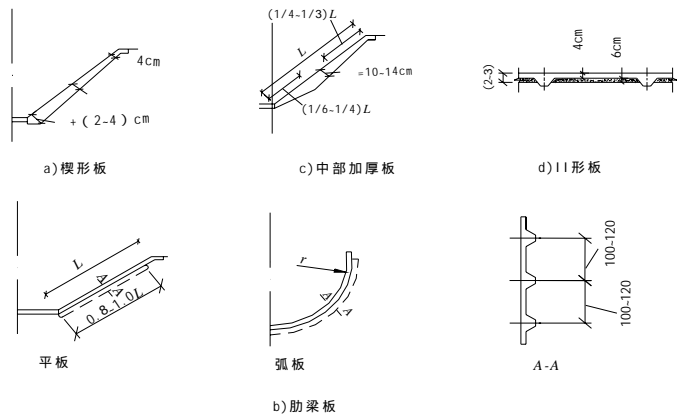


图8.4.2 混凝土防渗结构型式

4 渠基土稳定且无外压力时，U形渠和矩形渠防渗层的最小厚度，应按表 8.4.2 选用；渠基土不稳定或存在较大外压力时，U形渠和矩形渠宜采用钢筋混凝土结构，并根据外荷载进行结构强度、稳定性及裂缝宽度验算。

5 预制混凝土板的尺寸，应根据安装、搬运条件确定。砌筑

缝的形式及填筑材料可按本规范 6.6.2 的规定设计。

6 钢筋混凝土无压暗渠的设计荷载，应包括自重、内外水压力、垂直和水平土压力、地面活荷载和地基反力等。

8.5 膜料防渗

8.5.1 膜料防渗层应采用埋铺式。其结构见图 8.5.1。无过渡层的防渗结构见图 8.5.1a) 宜用于土渠基和用粘性土、水泥土作保护层的防渗工程；有过渡层的防渗结构见图 8.5.1b)，宜用于岩石、砂砾石、土渠基和用石料、砂砾石、现浇碎石混凝土或预制混凝土作保护层的防渗工程。

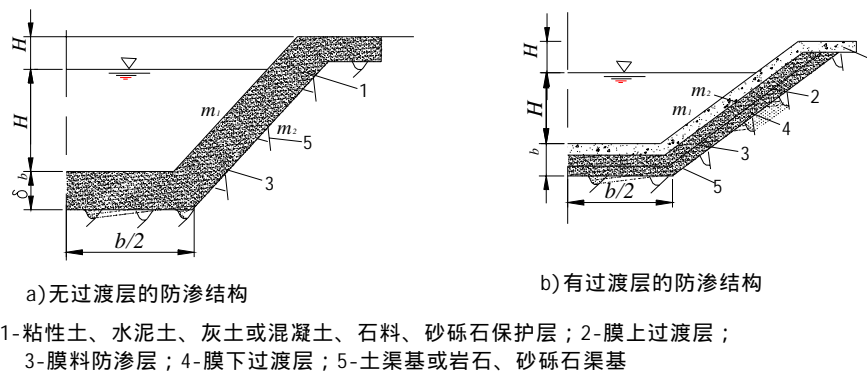


图8.5.1埋铺式膜料防渗结构

8.5.2 膜料防渗层的铺设范围，有全铺式、半铺式和底铺式三种。半铺式和底铺式可用于宽浅渠道，或渠坡有树木的改建渠道。

8.5.3 土渠基膜料防渗层铺膜基槽断面形式，应根据土基稳定性、防渗、防冻要求与施工条件合理选定，可采用梯形、弧底梯形、弧形坡脚梯形等断面形式。

8.5.4 膜层顶部，宜按图 8.5.4 铺设。

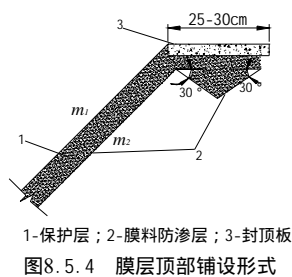


图8.5.4 膜层顶部铺设形式

8.5.5 膜料包括土工膜、复合土工膜等，宜按下列原则选用：

1 在寒冷和严寒地区，可优先采用聚乙烯膜；在芦苇等穿透性植物丛生地区，可优先采用聚氯乙烯膜。

2 中、小型渠道宜用厚度为 0.18mm ~ 0.22mm 的深色塑膜，或厚度为 0.60mm ~ 0.65mm 用无碱或中碱玻璃纤维布机制的油毡。大型渠道宜用厚度为 0.3mm ~ 0.6mm 的深色塑膜。

3 特种土基，应结合基土处理情况采用厚度 0.2mm ~ 0.6mm 的深色塑膜。

4 有特殊要求的渠基，宜采用复合土工膜。

8.5.6 过渡层宜按下列要求确定：

1 过渡层材料，在温和地区可采用灰土或水泥土；在严寒和寒冷地区宜采用水泥砂浆。采用土及砂料作过渡层时，应采取防止淘刷的措施。

2 过渡层的厚度宜按表 8.5.6 选用。

表 8.5.6 过渡层的厚度

单位：cm

过渡层材料	厚度
灰土、塑性水泥土、砂浆	2 ~ 3
土、砂	3 ~ 5

8.5.7 土保护层的厚度，根据渠道流量大小和保护层土质情况，可按表 8.5.7 采用。

表 8.5.7 土保护层的厚度

单位：cm

保护层土质	渠道设计流量 (m^3/s)			
	< 2	2 ~ 5	5 ~ 20	> 20
砂壤土、轻壤土	45 ~ 50	50 ~ 60	60 ~ 70	70 ~ 75
中壤土	40 ~ 45	45 ~ 55	55 ~ 60	60 ~ 65
重壤土、粘土	35 ~ 40	40 ~ 50	50 ~ 55	55 ~ 60

8.5.8 土保护层的设计干密度，应经过试验确定。无试验条件时，采用压实法施工，砂壤土和壤土的干密度不应小于 $1.50\text{g}/\text{cm}^3$ ；砂壤土、轻壤土、中壤土采用浸水泡实法施工时，其干密度宜为 $1.40\text{g}/\text{cm}^3 \sim 1.45\text{g}/\text{cm}^3$ 。

8.5.9 水泥土、石料、砂砾料和混凝土保护层的厚度，可按表 8.5.9 选用。在渠底、渠坡或不同渠段，可采用具有不同抗冲能力、不同材料的组合式保护层。

表 8.5.9 不同材料保护层的厚度

单位：cm

保护层材料	水泥土	块石、卵石	砂砾石	石板	混凝土	
					现浇	预制
保护层厚度	4 ~ 6	20 ~ 30	25 ~ 40	3	4 ~ 10	4 ~ 8

8.5.10 水泥土、石料、混凝土等刚性材料保护层应分别符合本规范 8.2，8.3，8.4 的规定。

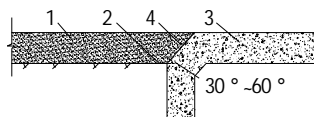
8.5.11 防渗结构与建筑物的连接，应符合下列要求：

1 膜料防渗层应按图 8.5.11 用粘结剂与建筑物粘结牢固。

2 土保护层与跌水、闸、桥连接时，应在建筑物上、下游改用石料、水泥土、混凝土保护层。

3 水泥土、石料和混凝土保护层与建筑物连接应按本规范

6.6.1 要求设置伸缩缝。



1-保护层；2-膜料防渗层；3-建筑物；4-膜料与建筑物粘结面

图8.5.11 膜料防渗层与建筑物的连接

8.6 沥青混凝土防渗

8.6.1 沥青混凝土应满足下列技术要求：

1 防渗层沥青混凝土：

- 1) 孔隙率不大于 4%。
- 2) 渗透系数不大于 $1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ 。
- 3) 斜坡流淌值小于 0.80cm。
- 4) 水稳定系数大于 0.90。
- 5) 低温下不得开裂。

2 整平胶结层沥青混凝土：

- 1) 渗透系数不小于 $1 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ 。
- 2) 热稳定系数小于 4.5。

8.6.2 沥青混凝土配合比应根据技术要求，经过室内试验和现场试铺筑确定。亦可参照《土石坝沥青混凝土面板和心墙设计准则》(SLJ01-88)(试行)选用。防渗层沥青含量应为 6%~9%；整平胶结层沥青含量应为 4%~6%。石料最大粒径，防渗层不得超过压实厚度的 $1/3 \sim 1/2$ ；整平胶结层不得超过压实厚度的 $1/2$ 。

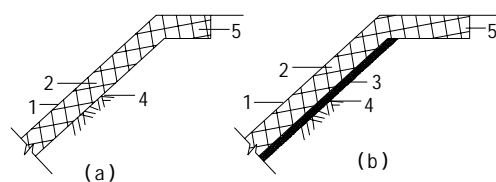
8.6.3 防渗结构设计，应符合下列规定：

1 沥青混凝土防渗结构的构造见图 8.6.3。无整平胶结层断面宜用于土质地基；有整平胶结层断面宜用于岩石地基。

2 封闭层用沥青玛蹄脂涂刷，厚度应为 2mm~3mm。沥青玛蹄脂配合比应满足高温下不流淌、低温下不脆裂的要求。

3 沥青混凝土防渗层宜为等厚断面，其厚度宜采用 5cm~10cm。有抗冻要求的地区，渠坡防渗层可采用上薄下厚的断面，坡顶厚度可采用 5cm~6cm，坡底厚度可采用 8cm~10cm。

4 整平胶结层采用等厚断面，其厚度应按能填平岩石基面的原则确定。



(a)无整平胶结层的防渗结构；(b)有整平胶结层的防渗结构
1-封闭层；2-防渗层；3-整平胶结层；4-土(石)渠基；5-封顶板

图8.6.3 沥青混凝土渠道防渗结构形式

5 寒冷地区沥青混凝土防渗层的低温抗裂性能，可按公式 (8.6.3-1) 及(8.6.3-2)进行验算：

$$F > \sigma_t \quad (8.6.3-1)$$

$$\sigma_t = \frac{E_t}{1-\mu} \Delta T \cdot R' \cdot \alpha_t \quad (8.6.3-2)$$

式中： F —沥青混凝土的极限抗拉强度，MPa；

σ_t —温度应力，MPa；

E_t —沥青混凝土平均变形模量，MPa；

μ —轴向拉伸波桑比；

T —沥青混凝土板面任意点的温差， $^{\circ}\text{C}$ ；

R' —层间约束系数，宜为 0.8；

α_t —温度收缩系数。

6 当防渗层沥青混凝土不能满足低温抗裂性能的要求时，可掺用高分子聚合物材料进行改性，其掺量应经过试验确定。如改性沥青混凝土仍不能满足抗裂要求时，可按本规范 6.6.1 的规定设置伸缩缝。

7 沥青混凝土预制板的边长不宜大于 1m；厚度宜采用 5cm~8cm；密度应大于 2.30g/cm³。预制板宜用沥青砂浆或沥青玛王帝脂砌筑；在地基有较大变形时，也可采用焦油塑料胶泥填筑。填缝材料的配合比见附录 F。

9 渠道基槽施工

9.1 填筑和开挖

9.1.1 渠道防渗工程施工前,应进行施工组织设计,并作好如下准备工作:

1 应根据设计选好防渗材料和施工方法;做好堆料场、拌和场和预制场等施工场地的布置;以及风、水、电、道路和机具设备的准备工作。

2 应对试验和施工的设备进行检测与试运转。如不符合要求,应予更换或调整。

3 应先做好永久性排水设施和必要的临时性排洪、排水设施,防止洪水等流入基槽。

9.1.2 渠道基槽应根据设计测量放线,进行挖、填和修整。并应严格控制渠道基槽断面的高程、尺寸和平整度,其偏差值应符合表 9.1.2 的要求。

表 9.1.2 渠槽断面的允许偏差值 单位:cm

项目	土渠	石渠
渠底高程	$\pm (2 \sim 3)$	$\pm (3 \sim 5)$
渠道中心线	2~3	3~5
渠底宽度	+ (3~5)	+ (5~10)
堤顶高程	+ (2~3)	+ (5~10)
渠槽上口宽度	+ (4~8)	+ (5~10)
渠底及内边坡平整度 (用 2m 直尺检查)	$\pm (2 \sim 3)$	凸不大于 3 凹不大于 10
注:大、中型渠道取大值,小型渠道取小值。		

9.1.3 新建填方渠道,填筑前应清除填筑范围内的草皮、树根、淤泥、腐殖土和污物,刨松基土表面,适当洒水湿润,然后摊铺选定的土料,分层压实。每层铺土厚度,机械压实时,不应大于 30cm;人工夯实时,不应大于 20cm。土料含水量应按最优含水量控制。小型渠道或无条件试验时,可按表 9.1.3 选用最优含水量。

表 9.1.3 土料最优含水量

单位：%

土壤名称	砂壤土	轻壤土	黄土	中壤土	重壤土	粘土
含水量	12 ~ 15	15 ~ 17	15 ~ 21	21 ~ 23	22 ~ 25	25 ~ 28

9.1.4 新建半挖半填渠道的填筑部位，应利用挖方土料按本规范 9.1.3 要求进行填筑，达到密实、稳定。在开挖和填筑施工中，应避免扰动挖方基槽土的结构。

9.1.5 已建渠道改建为防渗渠道时，其基槽的填筑，应提前停水，使土风干，或采用抽排、翻晒等方法降低基土含水量。应清除杂草、泥土淤积等杂物。小型渠道，宜将全渠填满至设计高程后，再按设计开挖至防渗层铺设断面。大、中型渠道，宜采用局部填筑补齐的方法进行填筑。填筑面宽度应较设计尺寸加宽 50cm，将原渠坡挖成台阶状，再填筑新土，新老土应结合紧密。

9.1.6 挖方渠槽、填方渠槽和已建渠道改建工程中将原渠槽填筑到设计高程时，应按设计定好渠线中心桩，测量好高程，定好两侧开挖线。采用机械或人工开挖法施工时，先粗略开挖至接近渠底，再将中心桩移至渠底，重新测量高程后挖完剩下的土方。然后每隔 5m ~ 10m 挖出标准断面，在两个标准断面间拉紧横线，按横线从上至下边挖边刷坡，并用断面样板逐段检查，反复修整，直至符合设计要求。

9.1.7 半挖半填渠道基槽的开挖，应先开挖基槽并按设计预留足够厚度的土层，再将渠道两岸填方部分填筑至设计高程，然后整修渠槽达到设计要求。

9.1.8 已建渠道改建为防渗渠道时，采用局部填筑补齐法填筑的渠道基槽的开挖，仅挖去填筑时加宽 50cm 的部分土体，然后修整渠道基槽达到设计要求。

9.1.9 石质渠基槽宜用人工开挖。开挖时应采取微量爆破等措施，不要造成渠基裂缝或稳定性下降。开挖好的渠道基槽，应尺寸准确，满足设计要求。

9.2 基槽处理和排水设施施工

9.2.1 采用深翻回填法处理湿陷性土基，应先按设计要求开挖，然后用就地挖出的土料，按本规范 9.1.3，9.1.5，9.1.6 规定分层

回填夯实，并开挖、修整渠槽。

9.2.2 采用打孔浸水重锤夯压或强力夯实方法处理湿陷性土基，其浸水孔布置、孔径、深度、砂砾填料及注水量应符合设计要求；夯锤重量、夯点距、落距、击实次数，应以夯实后渠基土干密度满足设计要求为准，并经现场试验确定。

9.2.3 采用石灰土压实法处理湿陷性土基、分散性土基、膨胀土基、盐胀土基，应先按设计要求开挖渠槽，再根据石灰土设计配比和本规范 10.1.2，10.1.3 有关规定进行配料填筑。

9.2.4 采用置换法处理盐胀土基、冻胀性土基和软弱土基，应按设计置换断面开挖渠槽，再按本规范 9.1.3，10.5.6 的有关规定填筑。

9.2.5 用灌浆法处理渠基，应参照《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》(SL 62—94)、《土坝坝体灌浆技术规范》(SD 266—88)的规定进行。用开挖回填法处理浅层窖洞、墓穴和大孔洞，应按本规范 9.1.3 的规定施工。

9.2.6 渠基灭草处理，在开挖好的基槽表面应先按要求喷洒灭草剂，翻动掺混二到三遍，使灭草剂与土掺混均匀，再按本规范 9.1.3 规定压实，并修整成铺膜基槽。

9.2.7 渠基排水设施宜按下列要求进行施工：

- 1 在验收合格的渠道基槽上，应按设计进行排水沟、集水井、集（排）水管的基槽和排水暗沟等的开挖。开挖断面应尺寸准确、平整，并控制好比降。

- 2 在沟、井、槽中，应按要求填好卵石或块石，并做好反滤层。

- 3 在集（排）水管基槽中安装集（排）水管，应控制好比降，做好管段之间的接头和管道周围的反滤层。

- 4 应做好排水系统中沟、井、管之间的连接，保证排水畅通。

- 5 逆止阀的安装宜与防渗层施工结合进行，应使逆止阀的周边与防渗层紧密联接，不透水。

10 防渗结构施工

10.1 土料防渗

10.1.1 土料的原材料应进行粉碎加工。加工后的粒径,粘性土不应大于 2.0cm,石灰不应大于 0.5cm。

10.1.2 混合土应按设计配比称量,其拌和应符合下列要求:

1 粘砂混合土宜将砂石洒水润湿后,与粉碎过筛的土拌和,再加水拌和均匀。

2 灰土应先将石灰消解过筛,加水稀释成石灰浆,洒在粉碎过筛的土上,拌和至色泽均匀,并闷料 1d~3d。如其中有见水崩解的土料,可先将土在水中崩解,然后加入消解的石灰拌和均匀。

3 三合土、四合土宜先拌石灰和土,然后加入砂、石干拌,最后洒水拌和均匀,并闷料 1d~3d。

4 贝灰混合土宜干拌后过孔径为 10mm~12mm 的筛,然后洒水拌和均匀,闷料 24h。

10.1.3 土料防渗结构铺筑,应符合下列要求:

1 灰土、三合土、四合土宜按先渠坡后渠底的顺序施工;粘性土、粘砂混合土宜按先渠底后渠坡的顺序施工。

2 防渗结构厚度大于 15cm 时,应分层铺筑。压实时,虚土每层铺料厚度,人工夯实时,不宜大于 20cm;机械夯压时,不宜大于 30cm。层面间应刨毛洒水。

3 应边铺料边夯压,直至达到设计干密度,不应漏夯。

4 土料防渗结构夯实后,厚度应略大于设计厚度,并修整成设计的过水渠道断面。

10.1.4 增强防渗结构的表面强度,可采用下列方法:

1 根据渠道流量大小,分别采用 1:4~1:5 的水泥砂浆、1:3:8 的水泥石灰砂浆或 1:1 的贝灰砂浆抹面。抹面厚度宜为 0.5cm~1.0cm。

2 在灰土、三合土和四合土表面,宜涂刷一层 1:10~1:15 的硫酸亚铁溶液。

10.2 水泥土防渗

10.2.1 土料应风干、粉碎,并过 5mm 孔径的筛;水泥应采取防

雨、防潮措施。

10.2.2 水泥土防渗结构现场铺筑，应按下列步骤进行：

1 按设计配合比配料，其称量允许偏差值应符合表 11.0.5 的规定。水泥土拌料与铺筑，或装模成型的时间不得大于 60min。

2 拌和水泥土时，宜先干拌，再湿拌均匀。

3 铺筑塑性水泥土前，应先洒水润湿渠基，安设伸缩缝模板，然后按先渠坡后渠底的顺序铺筑。水泥土料应摊铺均匀，浇捣拍实。初步抹平后，宜在表面撒一层厚度 1mm~2mm 的水泥，随即揉压抹光。应连续铺筑，每次拌和料从加水至铺筑宜在 1.5h 内完成。

4 铺筑干硬性水泥土，应先立模，后分层铺料夯实。每层铺料厚度宜为 10 cm~15cm，层面间应刨毛、洒水。

5 铺设保护层的塑性水泥土，其保护层应在塑性水泥土初凝前铺设完毕。

10.2.3 水泥土预制板的生产和铺砌，应按下列步骤进行：

1 按本规范 10.2.2 的 1、2 款拌制水泥土。

2 将水泥土料装入模具中，压实后拆模，放在阴凉处静置 24h 后，洒水养护。

3 将渠基修整后，按设计要求铺砌预制板。板间应用水泥砂浆挤压、填平，并及时勾缝与养护。

10.3 砌石防渗

10.3.1 砌石砂浆应按设计配合比拌制均匀，随拌随用，自出料到用完，其允许间歇时间不应超过 1.5h。

10.3.2 砌石防渗结构施工时，应先洒水润湿渠基，然后在渠基或垫层上铺一层厚度 2cm~5cm 的低标号混合砂浆，再铺砌石料。

10.3.3 浆砌石防渗结构的施工，应符合下列要求：

1 砌筑顺序：

1) 梯形明渠，宜先砌渠底后砌渠坡。砌渠坡时，应从坡脚开始，由下而上分层砌筑；U 形和弧形明渠、拱形暗渠，应从渠底中线开始，向两边对称砌筑。

2) 矩形明渠，可先砌两边侧墙，后砌渠底；拱形和箱形暗渠，可先砌侧墙和渠底，后砌顶拱或加盖板。

3) 各种明渠，渠底和渠坡砌完后，应及时砌好封顶石。

2 石料安放：

- 1) 浆砌块石应花砌、大面朝外、错缝交接，并选择较大、较规整的块石砌在渠底和渠坡下部。
 - 2) 浆砌料石和石板，在渠坡应纵砌（料石或石板长边平行水流方向）；在渠底应横砌（料石或石板长边垂直水流方向）。料石错缝距离宜为料石长的 $1/2$ 。
 - 3) 浆砌卵石，相邻两排应错开茬口，并选择较大的卵石砌于渠底和渠坡下部，大头朝下，挤紧靠实。
 - 4) 浆砌块石挡土墙式防渗结构，应先砌面石，后砌腹石，面石与腹石应交错连接；浆砌料石挡土墙式防渗结构，面石中应有足量的丁石与腹石相连。
- 3 石料砌筑：
- 1) 砌筑前应洒水润湿，石料应冲洗干净。
 - 2) 浆砌料石和块石，应干摆试放分层砌筑，座浆饱满。每层铺水泥砂浆厚度，料石宜为 $2\text{cm} \sim 3\text{cm}$ ；块石宜为 $3\text{cm} \sim 5\text{cm}$ 。随铺浆随砌石。块石缝宽超过 5cm 时，应填塞小片石。
 - 3) 卵石可采用挤浆砌筑，也可干砌后用水泥砂浆或细砾混凝土灌缝。
 - 4) 浆砌石板应保持砌缝密实平整，石板接缝间的不平整度不应超过 1cm 。
- 4 勾缝：
- 浆砌料石、块石、卵石和石板，宜在砌筑砂浆初凝前勾缝。勾缝应自上而下用砂浆充填、压实和抹光。浆砌料石、块石和石板宜勾平缝；浆砌卵石宜勾凹缝，缝面宜低于砌石面 $1\text{cm} \sim 2\text{cm}$ 。
- 10.3.4 干砌卵石挂淤防渗结构的施工，应符合下列要求：
- 1 砌筑顺序：
 - 1) 应按先渠底后渠坡的顺序砌筑。
 - 2) 砌渠底时，平渠底宜从渠坡脚的一边砌向另一边；弧形渠底应从渠中线开始向两边砌筑。
 - 3) 渠坡应从下而上逐排砌筑。
 - 4) 如卵石下设膜料层，应将过渡层土料铺在膜料上，边铺膜，边压土，边砌石。
 - 2 砌筑：
 - 1) 卵石长边应垂直于渠底或渠坡立砌，不应前俯后仰，左

- 右倾斜。卵石的较宽侧面应垂直于水流方向。
- 2) 每排卵石应厚薄相近,大头朝下,错开茬口,挤紧砌实。
 - 3) 渠底两边和渠坡脚的第一排卵石,应比其他卵石大 8cm ~ 12cm。
 - 4) 卵石砌筑后,应先用小石填缝至缝深的一半,再用片状石块卡缝。
 - 5) 应用较大的卵石水平砌筑封顶石。

10.4 混凝土防渗

10.4.1 应根据设计图和选定的施工方法制作稳定坚固、经济合理的模板。模板制作的允许偏差值,应符合表 10.4.1 规定。现浇混凝土模板安装净距,沿渠道纵向的允许偏差值为 $\pm 10\text{mm}$,沿宽度方向的允许偏差值为 $\pm 30\text{mm}$ 。预制混凝土板框架模板两对角线长度差的允许偏差值为 7mm。

表 10.4.1 模板制作的允许偏差值

单位: mm

偏差名称	木模	钢模
与现浇边坡混凝土板设计斜长和表面模板设计长度相应尺寸的偏差	+20	+10
与混凝土板设计厚度和伸缩缝设计深度、宽度相应尺寸的偏差	± 3	± 2
模板面局部不平整度(用 2m 直尺检查)	± 3	± 2
拼接的相邻两板面高度差	± 1	
拼接板的缝隙	± 1	
连接配件的孔眼位置		± 1

10.4.2 钢筋的加工、接头、安装要求和模板的其它要求,应符合《水工混凝土施工规范》(DL/T 5144—2001)的规定。

10.4.3 应按试验确定的混凝土配合比进行配料,不应擅自更改。水泥、砂、石、掺和料均应以重量计,水及外加剂可折算成体积加入。小型渠道可将砂、石用量折算成体积配料。

10.4.4 现场浇筑混凝土,宜采用分块跳仓法施工。同一浇筑块应连续浇筑。因故间歇时间超过 60min~90min 时,应按本规范 10.4.7 的规定处理。用衬砌机浇筑时,宜连续施工。

10.4.5 混凝土应采用机械拌和。拌和时间不应少于 2min。掺用掺和料、减水剂、引气剂的混凝土及细砂、特细砂混凝土用机械拌和的时间，应较中、粗砂混凝土延长 1min~2min。

10.4.6 混凝土应随拌、随运、随用。因故发生分离、漏浆、严重泌水和坍落度降低等问题时，应在浇筑地点重新拌和。若混凝土初凝，应按废料处理。

10.4.7 浇筑混凝土前，土渠基应先洒水浸润；在岩石渠基上浇筑混凝土，或需要与早期混凝土结合时，应将基岩或早期混凝土凿毛并刷洗干净，铺一层厚度为 1cm~2cm 的水泥砂浆。水泥砂浆的水胶比，应较混凝土小 0.03~0.05。

10.4.8 混凝土应采用机械振捣，并应符合下列要求：

1 使用表面式振动器时，振板行距宜重叠 5 cm ~10cm。振捣边坡时，应上行振动，下行不振动。

2 使用小型插入式振捣器，或人工捣固边坡混凝土时，入仓厚度每层不应大于 25cm，并插入下层混凝土 5cm 左右。

3 振捣器不要直接碰撞模板、钢筋及预埋件。

4 使用插入式振捣器捣固时，边角部位及钢筋预埋件周围应辅以人工捣固。

5 机械和人工捣固的时间，应以混凝土开始泛浆时为准。

6 衬砌机的振动时间和行进速度，宜经过试验确定。

10.4.9 采用喷射法施工时，应按下列步骤和要求进行：

1 先送风、水，后送干料。掺有速凝剂的干拌和料的存放时间，不得超过 20min。

2 喷头处的压力应控制在 0.1MPa 左右，水压不应小于 0.2MPa。

3 一次喷射的厚度，掺有速凝剂时，宜为 7 cm ~10cm；不掺速凝剂时，宜为 5 cm ~7cm。

4 分层喷射时，表面一层的水胶比宜稍大。

5 喷射每层混凝土的间隔时间，掺有速凝剂时，宜为 15 min ~20min；不掺速凝剂时，应根据混凝土的初凝时间确定。

6 喷射作业完毕，应先将喷射机和管道中的干料清除干净，再停水、风。因故不能继续作业时，应及时将喷射机和管道中的积料清除干净。

10.4.10 现场浇筑混凝土完毕，应及时收面。细砂和特细砂混凝

土还应进行二次收面。收面后，混凝土表面应密实、平整、光滑，且无石子外露。

10.4.11 混凝土预制板（槽）初凝后即可拆模。强度达到设计强度的 70%以上时方可运输，并按设计要求和本规范 6.6.2 的规定砌筑。砌筑应平整、稳固，砌筑缝的砂浆应填满、捣实、压平和抹光。

10.4.12 混凝土伸缩缝应按设计要求施工。采用衬砌机浇筑混凝土时，可用切缝机或人工切制半缝形的伸缩缝，并按本规范 10.7 的规定填充。

10.4.13 低温季节混凝土的施工方法应参照(DL/T5144—2001)的规定进行。

10.4.14 混凝土浇筑完毕后，应及时养护。

10.5 膜料防渗

10.5.1 采用附录 G 的方法，根据渠道大小将膜料加工成大幅备用，也可在现场边铺边连接。

10.5.2 岩石或砂砾石基槽，宜用适宜的材料（砂浆、水泥土和砂等）整平，并铺设过渡层。

10.5.3 膜料铺设应符合下列要求：

1 按先下游后上游的顺序，上游幅压下游幅，接缝垂直于水流方向铺设膜层。

2 先将膜料下游端与已铺膜料或原建筑物焊接（或粘接）牢固，再向上游拉展铺开。

3 膜层不要拉的太紧，并平贴渠基，膜下空气应完全排出。

4 按本规范 8.5.4 规定铺埋膜层顶部，并焊接好大、小膜幅间的连接缝。

5 检查并粘补已铺膜层的破孔。粘补膜应超出破孔周边 10cm~20cm。

10.5.4 填筑过渡层或保护层的施工速度应与铺膜速度相配合，避免膜层裸露时间过长。

10.5.5 土保护层施工除应符合本规范 10.1 的规定外，还应满足下列要求：

1 填筑保护层的土料，不得含石块、树根、草根等杂物。

2 采用压实法填筑保护层时，禁止使用羊脚碾。

3 中、小型渠道采用浸水泡实法填筑砂壤土、轻壤土和中壤

土保护层时，应一次性填好保护层，填筑断面尺寸宜留 10%~15% 的沉陷量。待反复浸水沉陷稳定后，缓慢泄水，填筑裂缝，并拍实、整修成设计断面。

10.5.6 砂砾料保护层的施工，应先铺膜面过渡层，再铺符合级配要求的砂砾料保护层，并逐层振压密实。压实度不应小于 0.93；渠道断面应符合设计要求。

10.5.7 刚性材料保护层的施工，应符合本规范 10.2、10.3、10.4 的有关规定。并注意铺好膜面过渡层，防止刚性材料撞破膜层。发现膜层孔洞，应立刻按本规范 10.5.3 第 5 款规定修补。

10.5.8 膜料铺设及过渡层、保护层施工人员应穿胶底鞋或软底鞋，谨慎施工。

10.6 沥青混凝土防渗

10.6.1 沥青混合料的拌制应根据选定的沥青混凝土配合比，按下列步骤进行：

1 沥青熔化脱水。在加热容器中，加料的数量应控制在容器的 60%~70%。脱水后恒温时间不得超过 6h。在加热中，应边搅拌边清除杂质。

2 宜用烘干机加热骨料。当用炒盘加热骨料时，应加强搅拌，防止局部过热。

3 沥青混合料拌和。采用强制式搅拌机或人工拌和时，应先将骨料与矿粉拌和均匀，再倒入沥青拌和，直至不出现花白料为止。

10.6.2 现场铺筑施工，应符合下列规定：

1 有整平胶结层的防渗结构，可先铺筑整平胶结层，再铺筑防渗层。

2 沥青混合料的运输工具应采取保温措施，保持沥青混合料到达摊铺现场温度不低于摊铺温度。

3 铺筑防渗层，应按现场试验选定的摊铺厚度均匀摊铺。压实系数宜通过试验确定，可采用 1.2~1.5。沥青混合料摊铺和压实的温度控制标准见表 10.6.2。

表 10.6.2 防渗层施工温度控制标准

施 工 项 目	沥青脱水及加热	粗细骨料加热	混合料拌和	摊 铺	开始压实	终止压实
温度控制标准 ()	(160±10)	170~190	160~180	130~150	120~140	85~120
注：整平胶结层压实温度可较防渗层降低 20 。						

4 宜采用振动碾压实沥青混合料。可先静压 1~2 遍，再振动压实。压实渠道边坡时，上行振动，下行不振动。小型渠道可采用静压或平面振动器压实。应按试验选定的压实温度和遍数进行压实，不应漏压。

5 防渗层与建筑物连接处和机械难以压实的部位，应辅以人工压实。

6 沥青混凝土防渗层应连续铺筑，减少冷接缝。

7 采用双层铺筑时，结合面应干燥、洁净，并均匀涂刷一薄层热沥青或稀释沥青。其涂刷量不超过 $1\text{kg}/\text{m}^2$ 。上、下层冷接缝的位置应错开。

8 施工过程中，应采取适当措施，避免混合料离析和降温过大。

10.6.3 铺砌沥青混凝土预制板，应符合下列要求：

1 沥青混凝土预制板的制作宜采用钢模板。预制板应振压密实、尺寸准确、六面平整光滑、无缺角、无石子外露等缺陷。

2 预制板振实后，即可拆模。降温后方可搬动，平放码垛。垛高不应高于 0.50m，不要立放码垛。高温季节，码垛工作宜在早晚进行。

3 沥青混凝土预制板应按本规范 6.6.2 规定砌筑，做到平整稳固。

10.6.4 封闭层的涂刷应符合下列要求：

1 在洁净、干燥的防渗层面上涂刷沥青玛王帝脂，涂层应厚薄均匀。涂刷量宜为 $2\text{kg}/\text{m}^2 \sim 3\text{kg}/\text{m}^2$ 。涂刷时，沥青玛王帝脂的温度不应低于 160 。

2 涂刷后禁止人、畜和机械通行。

10.6.5 施工中,应备有防火设备及必备的劳保用品,防止火灾和工伤事故。

10.7 填充伸缩缝

10.7.1 伸缩缝填充前,应将缝内杂物、粉尘清除干净,并保持缝壁干燥。

10.7.2 伸缩缝宜用弹塑性止水材料,如焦油塑料胶泥填筑,或缝下部填焦油塑料胶泥,上部用沥青砂浆填筑。伸缩缝填料的配合比、制作及施工方法见附录 F。有特殊要求的伸缩缝,宜用高分子止水管(带)等材料,高分子止水管配用专用胶填塞入缝内,与缝壁挤紧粘牢;高分子止水带在防渗结构现场浇筑时,按设计要求浇筑于缝壁内。

10.7.3 伸缩缝填充施工中,应做到缝形整齐、尺寸合格、填充紧密、表面平整。

11 施工质量的控制与检查

11.0.1 大、中型工程应设立工地质量控制和检查试验室,备好仪器设备,固定质检人员。小型工程亦应有负责质检的人员和必要的质检仪器。

11.0.2 应根据设计确定的内容和方法,编制质检工作手册,对质检人员进行必要的培训。接受培训人员应能熟练掌握质检的理论和方法。

11.0.3 渠道基槽填筑时,应控制土的含水量和干密度,使干密度满足设计要求,其离差系数应小于 0.15。开挖时应严格控制渠道基槽断面的高程尺寸和平整度。开挖好的渠道基槽,应尺寸准确、平整、密实,其断面偏差值应满足表 9.1.2 的要求。

11.0.4 大、中型渠道防渗工程施工前,应进行试验性施工。按设计配合比称料拌和,检验配合比;进行铺筑试验,确定铺筑厚度和机具振压等的有关施工工艺参数。

11.0.5 施工过程中,对原材料应分期分批取样检验。使用材料的配合比,应随时抽检复查。施工中的各道工序,均应严格检查并验收,前一工序未验收合格,不得进行下一工序。施工中各种材料的称量偏差值,应满足表 11.0.5 的要求。

表 11.0.5 材料称量的允许偏差值

材料类别及名称	土料、水泥土、砂浆、混凝土							沥青砂浆、沥青玛帝脂、 沥青混凝土			
	水	外加剂	石灰	土	水泥	砂	石	沥青	矿粉	细骨料	粗骨料
称量允许偏差值(%)	±2.0	±1.0	±3.0	±5.0	±2.0	±3.0	±3.0	±0.5	±1.0	±2.0	±2.0

11.0.6 对灰土、三合土、水泥土、浆砌石、砂浆、混凝土等材料的防渗工程,应分别采用洒水、盖湿草帘或喷涂塑料养护剂等方法进行养护。养护期宜为 14d~28d。

11.0.7 渠道防渗工程宜在温暖季节施工。温和地区日平均气温低于-3℃,寒冷地区日平均气温稳定在 5℃以下或最低气温稳定在-3℃以下时,防渗工程施工应参照(DL/T 5144—2001)规定的低温季

节施工要求进行。

11.0.8 各种防渗结构在施工中，应分别控制和检查下列内容：

1 土料及水泥土防渗：

- 1) 加工后的土料粒径，粘性土不大于 2.0cm，石灰不大于 0.5cm。
- 2) 混合土的配比其称量允许偏差应符合本规范表 11.0.5 的规定；拌和后，含水率与最优含水率的偏差值应在 $\pm 1\%$ 以内；夯实后，干密度不应小于设计干密度，其离差系数应小于 0.15。
- 3) 重要渠段应测验渗透系数，其值应满足设计要求。

2 砌石防渗：

- 1) 石料的尺寸、材质应满足设计要求，对不符合设计要求的材料，不允许使用。
- 2) 应检查砌石厚度和平整度以及砌筑质量和密实性，并按设计要求进行控制。
- 3) 砌筑砂浆每 100m 渠段应取一组试样进行抗压试验。

3 混凝土防渗：

- 1) 施工前，应对原材料抽样检测，其性能应满足设计要求。
- 2) 在配合比合理的基础上，应检查混凝土拌和的均匀性、坍落度、振捣的密实性。每 100m 渠段应取一组试样，进行混凝土强度试验，必要时还应进行抗渗、抗冻试验。
- 3) 砂石料的含水率、外加剂的配用量、混凝土的拌和时间和含气量，应每台班检查一次。含气量的变化范围应控制在 $\pm 5\%$ 以内。
- 4) 钢筋架设的位置、间距、保护层厚度及各部位钢筋尺寸，都应符合设计要求。在混凝土浇筑过程中应有专人随时检查，防止钢筋变形、错位。
- 5) 混凝土拆模后，应检查其外观质量，发现问题应及时处理。

4 膜料防渗：

- 1) 防渗渠道所用膜料应进行检测，并应符合本规范 5.1.12 的规定。

- 2) 膜料防渗工程应检测渠基平整度,膜料接缝,膜料损伤等情况。如有损伤应进行修补,修补合格后再进行下一工序。
- 3) 控制膜层与保护层施工进度。膜层铺好后,及时进行过渡层和保护层的施工。
- 5 沥青混凝土防渗:
 - 1) 防渗渠道所用的沥青材料,其质量应符合本规范 5.1.11 的规定。
 - 2) 沥青混凝土所用碎石、矿粉、粉煤灰的技术要求应符合本规范 5.1.5, 5.1.6 和 5.1.8 的规定。
 - 3) 沥青混凝土原材料加热、混合料拌和、摊铺、碾压的温度控制,应符合本规范 10.6.2 的规定。
 - 4) 沥青混合料的制备质量,应符合表 11.0.8 的规定。

表 11.0.8 沥青混合料制备质量标准

检测项目	取样地点	检测内容	质量标准	取样数量
原材料	拌合机 称重系统 (允许偏差)	沥青(%)	± 0.30	每日一次
		粗骨料(%)	± 2	
		细骨料(%)	± 2	
		矿粉(%)	± 1	
沥青混合料	出机口	外观检查	色泽均匀,稀稠一致,无花白料、黄烟及异常现象。	每单元 5 次以上
		温度	正常 165 ~ 180 盛夏最低 145 ,冬季最低 155 ,最高不大于 185 。	
	配合比抽样 (允许偏差)	沥青(%)	± 0.30	每单元 一次
		粗骨料(%)	± 5	
		细骨料(%)	± 4	
		矿粉(%)	± 1	

- 5) 应检测拌和的均匀性,摊铺厚度和压实后防渗层的密度和厚度。90%以上的密度应达到设计密度,最小厚度不应小于设计厚度的 90%。必要时,应在现场按《土工坝

碾压式沥青混凝土防渗墙施工规范》(SD220-87)(试行)中的沥青混凝土面板渗气检验方法,每50m渠长,测定渠底和渠坡防渗层的密实性和渗透系数各一次。渗透系数应符合本规范8.6.1的要求。

- 11.0.9 从施工开始到工程竣工,所有施工质量控制和检查的资料,应随时记录在案,登记造册,整理归档,妥善保管。
- 11.0.10 渠道防渗工程竣工后,应按有关工程验收的规程、规范进行竣工验收。施工质量应满足设计要求,渠道平整度和尺寸的允许偏差值应符合表11.0.10中规定。最大渗漏量应满足本规范表5.2.2的要求。

表 11.0.10 防渗渠道断面尺寸和防渗结构尺寸的允许偏差值

项 目		允许偏差值 (cm)	
		土基	石基
渠底高程		± (1~3)	± (1~2)
渠道中心线		± (1~3)	± (1~2)
渠底宽度		+ (2~4)	+ (3~5)
断面上口宽度		+ (3~5)	+ (4~6)
平整度		± (1~2)	± (1~2)
伸缩缝间距	现场浇筑施工	± 2	± 2
	预制铺砌施工	± 5	-
边坡防渗结构斜长度		+ (1~2)	+ (1~2)
现浇施工,渠坡、渠底防渗结构纵向分块长度		± (0.5~1)	± (0.5~1)
现浇施工,渠坡、渠底防渗结构横向分块长度		+ (3~5)	+ (1~6)
预制板两对角线长度差值		± 0.7	-
防渗结构厚度	现场浇筑施工	± 5%	-5%~15%
	砌石防渗及预制铺砌施工	± (5%~10%)	-
注:大、中型渠道取大值;小型渠道取小值。			

12 渠道防渗方案技术经济比较

12.1 一般规定

12.1.1 渠道防渗工程应提出几种可能方案,经技术经济比较,合理选定。

12.1.2 渠道防渗工程方案技术经济比较应从实际出发,重视调查研究。采用的基本资料应准确。计算内容应包括总投资、年费用和效益。

12.1.3 进行方案比较时,除对各方案的总投资、费用和效益进行比较外,还应对各单项技术经济指标进行综合分析。

12.2 方案比较

12.2.1 渠道防渗工程投资应为建成工程所需的一次或分次投入的全部建设资金。

12.2.2 费用应包括折旧费和年运行费两部分。折旧费应参照本规范表 5.2.2 的折旧年限计算确定;年运行费应包括维修费、管理费和其他经常性支出的费用。

12.2.3 渠道防渗效益应包括节水、节省占地、减少渠系建筑物工程量、加快输水速度、减少土壤盐碱(渍)化、生态环境等效益。

12.2.4 方案比较可采用内部收益率法、净现值法、净年值法、效益费用比法等方法,按《水利建设项目经济评价规范》(SL 72—94)的规定执行。

12.3 技术经济指标

12.3.1 投资指标应包括下列各项:

1 单位防渗面积投资:

$$K_m = \frac{K}{A} \quad (12.3.1-1)$$

式中 K_m —单位防渗面积投资,元/ m^2 ;

K —渠道防渗工程总投资,元;

A —渠道防渗面积, m^2 。

2 单位渠道长度投资:对不同级别的渠道分别计算:

$$L_m = \frac{K}{L_f} \quad (12.3.1-2)$$

式中 L_m — 每米防渗渠道投资, 元/m;

L_f — 防渗渠道总长度, m。

12.3.2 渠道防渗工程用工指标应按下式计算:

$$G_{JM} = \frac{G_J}{L_f} \quad (12.3.2)$$

式中 G_{JM} — 渠道防渗工程建设每米用工指标, h/m;

G_J — 渠道防渗工程建设总用工数, h。

12.3.3 渠道水利用系数指标应按下式计算:

$$\eta = \frac{Q_d}{Q_u} \quad (12.3.3)$$

式中 η — 渠道水利用系数;

Q_u — 渠道首端流量, m³/s;

Q_d — 渠道末端流量, m³/s。

12.3.4 工期指标应符合下列要求:

$$T_y > T_s \quad (12.3.4)$$

式中 T_y — 允许工期, d;

T_s — 设计工期, d。

13 测验

13.1 渗漏测验

13.1.1 渠道有以下要求时，应测验渠道的渗漏损失：

- 1 对比各种渠道的渗漏损失，论证采用防渗措施的必要性。
- 2 检验渠道防渗效果，对施工质量进行评价。
- 3 推算渠系（渠道）水利用系数。
- 4 监测渠道渗漏损失随使用时间的变化。
- 5 测验渠道从初渗到稳渗的全过程，或测验渗漏强度与水深

的关系。

13.1.2 渠道渗漏损失，应采用静水法或动水法进行测验。静水法测验精度较高，单段渗漏测验的总极限相对误差为渗漏损失的 $\pm 7\%$ ，本规范规定采用静水法。

13.1.3 测验前应进行渠道调查。在调查的基础上，每类渠道可选择具有代表性、渠段顺直与完整、断面规则、具备水源与交通条件，并有暂时停水测验可能的 2~3 处测验段。

13.1.4 测验段可按附录 H.1 的要求和步骤设置。

13.1.5 观测前应按下列要求检验横隔堤和加水系统：

1 横隔堤。向两个渗漏平衡区注水至接近测验水位，应无漏水、沉陷及裂缝。

2 加水系统。根据渗漏平衡区的最大渗漏强度，估计测验段的渗漏强度。加水系统的供水能力，应大于测验段最大渗漏强度的 1.5 倍。

13.1.6 现场渗漏观测，宜按下列步骤进行：

- 1 向测验段注水。
- 2 恒水位观测。
- 3 变水位观测。
- 4 在恒水位、变水位观测时，宜同时进行降雨量和蒸发量观测。

13.1.7 测验段应按下列要求注水：

1 测初渗量时，应尽快地连续注水。加水后水位应等于测验水位加 1/2 加水前、后水位的差值。

2 刚停止输水的渠道，待渠道干涸，地下水位恢复正常后，

方可进行初渗量测验。

3 向土渠测验段注水时，应防止渠面冲刷。

4 应同时向测验段及渗漏平衡区注水，并使两侧水位基本相同。

13.1.8 恒水位观测：断面规则的较大流量渠道和渗漏量大的渠道，宜采用水位下降法；对于小流量或渗漏量小的渠道，宜采用称量法。两种观测方法应分别符合各自要求：

1 水位下降法测验：

1) 应使加水前水位和加水后水位的平均值等于测验水位。

2) 观测时段的长度，可根据加水前、后水位差的大小确定。加水前、后水位差值，可在 5%~10%测验水深间选用。

3) 向测验段加水。当水位已平稳，且达到规定的加水后水位时，方可将此时间及相应水位记入附录 H 表 H.3。随后，待水位下降到规定的加水前水位时，将其时间及相应水位记入同一表格中。同时迅速将水位加至规定的加水后水位（该加水历时称为加水时段），再重复作下一时段观测。

4) 观测水位应准确。水面平稳时，三只水尺读数相差不得超过 2mm。

2 称量法测验：

1) 应使每个观测时段加水前、后水位的平均值等于测验水位。加水前、后水位差值，可同于水位下降法规定值。

2) 每一观测时段的起、止水位应相同，并等于加水后水位。待水位降至加水前水位，再迅速加水至加水后水位。准确测读加水前、后水位，并称量每一观测时段的加水量，记入附录 H 表 H.4。

3) 加水时间应包括在各观测时段内。每次水位达到加水后水位的时间，即为上一观测时段的结束时间，也是本观测时段的开始时间。两观测时段间不应有间隔。

13.1.9 恒水位测验时，连续出现 10 次以上观测时段相同，渗漏量接近，渗漏强度的最大、最小值差满足公式（13.1.9）时，方可认为渗漏稳定，恒水位渗漏测验完成。

$$\frac{Q_{\text{Imax}} - Q_{\text{Imin}}}{\bar{Q}} \times 100\% \leq 10\% \quad (13.1.9)$$

式中 Q_{Imax} —同一时间连续 10 次测验的最大渗漏强度, L/(m²·h);
 Q_{Imin} —同一时间连续 10 次测验的最小渗漏强度, L/(m²·h);
 \bar{Q} —同一时间连续 10 次测验的渗漏强度平均值, L/(m²·h)。

13.1.10 变水位测验。恒水位测验结束后,应紧接着进行变水位测验。只作变水位测验时,应先注水至测验水位加 1/2 加水前、后水位差值处,泡渠 2d~4d,并满足式(13.1.9)时,方可进行观测。变水位观测可按下列要求进行:

1 采用水位下降法时,可用等水位降落差值测至最低水位,也可用等时段观测。观测结果记入附录 H 表 H.7。

2 采用称量法时,应从最高测验水位加 1/2 加水前、后水位差值处开始,至每个欲测验水位结束,记录各测试水位起止时间和所加水量,同一水位应重复测验 2~3 次,记录表格见附录 H 表 H.8。

13.1.11 降雨量和蒸发量观测,应符合下列要求:

1 降雨量观测,应与渗漏量观测同步进行。观测结果记入附录 H 表 H.1。

2 渗漏量很小的渠道,和同一时段蒸发量占蒸发与渗漏总量的 2%以上时,蒸发量观测应与渗漏量观测同步进行。观测结果记入附录 H 表 H.2。

3 其观测方法应按《降雨量观测规范》(SL21—90)和《水面蒸发观测规范》(SD265—88)的要求进行。

13.1.12 测验的成果应按附录 H 的规定进行计算和整理。

13.2 变形测验

13.2.1 为监测渠道防渗工程的稳定性,保证运用安全,对高填方、特种土渠基、地下水位高的重要渠段,应进行变形测验。

13.2.2 变形测验,应选择有代表性的断面,在横断面上和堤顶设置固定标点,观测其垂直与水平变形值。

13.2.3 垂直与水平变形的观测基点,应设置在两岸便于观测的基岩、坚实土基或建筑物基座上,保持坚固稳定。

13.2.4 观测基点埋深宜为 60cm~70cm。严寒和寒冷地区,应埋

入冻结线以下 1~1.5 倍冻深，并采用防冻拔措施。观测标点宜在表面布置。

13.2.5 应采用水准仪按三等水准测量法观测垂直变形值；采用经纬仪按视准线法或小角度法观测水平变形值。观测次数和时间可按需要确定。渠道防渗工程运用初期和渠水位发生骤降时，应适当增加观测次数。其观测精度应满足下列要求：

1 水准仪测垂直变形值：

- 1) 由水准基点引测，校测起测基点，其往返闭合差不应大于 $\pm 0.36\sqrt{n} \sim \pm 0.72\sqrt{n}$ (mm) (n 为测点数，下同)；
- 2) 由起测基点观测标点，其往返闭合差不应大于 $\pm 0.72\sqrt{n} \sim \pm 1.4\sqrt{n}$ (mm)。

2 视准线法测水平变形值，其观测误差不应大于 2mm~4mm。

3 小角度法测水平变形值：

- 1) 望远镜照准一目标，水平度盘对经分划线应重合两次，测微器两次重合读数差不应超过 0.4 ；
- 2) 一个测回中，两个半测回小角值较差不应超过 3 ；
- 3) 同一测点，各测点小角值较差不应超过 2 。

13.2.6 观测资料应作好记录，并及时分析整理。如发现问题，应及时复测。

13.2.7 应根据观测资料，绘制某一测点的垂直、水平变形值图，或绘制同一时间的某一渠道横断面上不同测点的垂直、水平变形值图。

13.3 冻胀测验

13.3.1 为了解渠道防渗工程冻胀防治措施的性能，监测工程安全，在严寒和寒冷地区应进行冻胀测验。

13.3.2 同一防冻措施，不同地下水位、不同渠基类型宜分别设置测验断面；不同防冻措施，也宜分别设置测验断面。

13.3.3 测验内容及其采用的仪器设备，应符合下列规定：

- 1 气象。可按小型气象站的要求设置百叶箱、雨量器等设备，观测气温和降雨量。
- 2 冻深。可采用冻土器或其它设备观测。
- 3 冻胀量。可采用冻胀仪等，观测渠基的冻胀量。

4 土壤水分。可在观测断面上预留可启闭的观测孔，采取土样，用烘干法等，测定土壤含水率。

5 地下水位。可布设观测井，用绳测法观测。

6 渠基土质。可采样在室内试验土的颗粒级配、抗剪强度等物理力学性能指标。

13.3.4 观测点的布置，应符合下列规定：

1 地温、冻深、冻胀量和水分观测点，应沿渠道横断面分别设置。观测点的数量，可根据渠道断面大小确定。

2 观测设备穿过防渗层时，应注意交界处的密封和夯实工作，严防渠水渗入渠基。

3 观测设施埋设应垂直渠道横断面。

4 冻土器乳胶管内的水应采用当地地下水。

5 宜在测验段附近设置气象观测点。

6 应在渠堤外设置地下水位观测井。

13.3.5 观测工作宜按下列要求进行：

1 观测前应检查校正好仪器设备。

2 观测项目应同步进行。观测时间与次数，可在全面了解和析冻胀全过程的前提下具体确定。

3 在观测过程中，宜随时观测渠道外观的变化及裂缝等情况。

4 应作好观测记录，并及时整理分析，发现问题，应及时复测纠正。

13.3.6 观测资料计算整理，应符合下列规定：

1 宜用公式（13.3.6）计算冻胀率。

$$\eta_f = \frac{\Delta h_f}{H_f} \times 100\% \quad (13.3.6)$$

式中 η_f —冻胀率，%；

h_f —冻深为 H_f 时的冻胀量，cm；

H_f —冻深（冻土层厚度内的冻结前土层厚度），cm。

2 整理绘制某一观测点的冻胀量与冻深的关系曲线。

3 整理绘制某一观测点的观测时间与冻深、冻胀量、气温、含水量的关系曲线。

4 整理绘制测验段沿渠道横断面不同位置的最大冻胀量、冻胀率与相应的气温、地下水位等的关系曲线。

14 管理

14.0.1 渠道防渗工程应按本规范 11.0.10 的规定验收合格后，方可交付管理。

14.0.2 管理单位应结合渠道防渗工程的特点，按照《中华人民共和国水法》的规定和《灌溉与排水工程技术管理规程》(SL/T246—1999)，制定本工程的管理细则，落实责任，认真执行。

14.0.3 渠道防渗工程正常运行期间的水位不应超过设计水位，特殊情况下不应超过校核水位。防渗渠道，特别是土料防渗渠道和土保护层膜料防渗渠道的渠水位不宜骤涨骤落，1h 和 24h 的变幅分别不宜超过 0.15m 和 0.5m。

14.0.4 渠道防渗工程在通水前、暴雨后，应进行全面检查。针对存在的问题，制定计划，认真地进行维修。维修工作应达到下列要求：

- 1 排洪设施完好、通畅。渠堤顶无积水，雨水和融雪水不应流入防渗结构背后。
- 2 防渗结构封顶板稳固、完好，周围无空穴、裂缝。
- 3 伸缩缝和砌筑缝完好，不漏水。
- 4 地下水的排水设施完好、通畅。
- 5 渠内无淤积、杂草；渠堤无陷穴、冲坑、裂缝和滑坡等。
- 6 渠堤顶和渠岸道路保持设计宽度。渠边的防护设施和标志完好。
- 7 各种观测设施完好。

14.0.5 防渗结构发生裂缝，应及时查明原因，并分别按下列方法处理：

- 1 土料和水泥土防渗结构，宜采用粘性土、灰土、水泥土或水泥砂浆等材料，分别回填夯实、填筑抹平或灌浆处理。
- 2 砌石防渗结构，宜凿开，用水泥砂浆填实抹平。
- 3 沥青混凝土防渗结构，小裂缝可用喷灯或红外线加热器加热缝面，用铁锤沿缝面锤击，闭合粘牢裂缝；裂缝较宽时，可先洗净缝口，加热缝面，用沥青砂浆填实抹平。
- 4 混凝土防渗结构，可参照附录 F 进行裂缝处理。

14.0.6 管理单位应坚持进行渠道防渗工程的测验。大型渠道每隔 3a~5a 测验渠道渗漏量一次，对比防渗效果的变化；定期进行变形

观测，发现问题，及时处理。

14.0.7 不允许在渠堤垦殖、取土、采石、放牧、堆放杂物和违章修筑建筑物；不允许向渠内倾倒垃圾、排污、抛掷砖石、擅自开口和埋管取水；渠道内坡不应植树，外坡植树距防渗结构应有一定距离；不允许人畜在土料、水泥土防渗渠道和土料、水泥土保护层膜料防渗渠道内踩踏。

14.0.8 严寒和寒冷地区渠道防渗工程的管理，还应满足以下要求：

1 冬季不过水渠道，宜在日平均气温稳定小于 0℃ 前停水，在日平均气温稳定超过 0℃ 后通水。冬季行水渠道，在负温期宜连续行水，并保持在冬季最低水位以上运行。与挖方渠道相邻的农田及林带，宜在气温降低至负温前 15d~30d 结束灌水。

2 渠道防渗结构的裂缝，每年在春灌或秋灌前，应进行修补。

3 渠道内和渠堤外冬季不应积水。

4 大型渠道防渗工程，应选择不同防渗类型和自然条件的断面，按本规范 13.3 的规定进行冻胀观测。

14.0.9 应建立健全技术档案，对工程的设计、施工、验收、测验和管理运用的工程问题与经验等资料，均应存档备查。

附录 A 防渗材料性能测试方法

A.0.1 土料应测试其粘粒含量、砂粒含量、塑性指数 I_p 、最大粒径、有机质含量、可溶盐含量和渗透系数等，测试方法宜按《土工试验规程》(SL237—1999)的有关规定执行。

A.0.2 石灰中 CaO 、 MgO 含量的测定宜按《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》(JTJ057—94)的有关规定进行。

A.0.3 砂料应测试其颗粒级配、含泥量、泥块含量、表观密度、有机质含量、轻物质含量、坚固性、硫化物及硫酸盐含量等；石料应测试其颗粒级配、含泥量、泥块含量、表观密度、有机质含量、坚固性、硫化物及硫酸盐含量、针片状颗粒含量、超、逊径含量、吸水率等。测试方法宜按《水工混凝土砂石骨料试验规程》(DL/T5151—2001)的规定执行。沥青混凝土用的砂、石料与沥青的粘附性试验宜按《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ 052—2000)的规定进行，耐久性试验宜按(DL/T5151—2001)的有关规定进行。

A.0.4 砂砾料颗粒级配筛分试验宜按(SL237—1999)的有关规定进行。

A.0.5 硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥其细度测试应按《水泥细度检验方法(80 μm 筛筛析法)》(GB/T1345—1991)的规定进行；其烧失量、氧化镁含量、三氧化硫含量、不溶物和碱的测试应按《水泥化学分析方法》(GB/T176—1996)的规定进行；其标准稠度用水量、凝结时间和安定性应按《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》(GB/T1346—1989)的规定进行测试；强度测试应按《水泥胶砂强度检验方法(ISO 法)》(GB/T17671—1999)的规定进行。

A.0.6 粉煤灰应测试细度、烧失量、含水率、三氧化硫含量、需水量比等。试验方法宜按《水工混凝土掺用粉煤灰技术规范》(DL/T 5055—1996)中有关条款执行。

A.0.7 沥青应测试针入度、延度、软化点、溶解度、蒸发损失、闪点等，宜按《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ 052—2000)的规定进行。

A.0.8 土工膜或复合土工膜应测试其密度、断裂拉伸强度、断裂

伸长率、撕裂强度、渗透系数、低温弯折性、-70℃低温冲击脆化性能等，前五项指标宜按《土工合成材料测试规程》(SL/T235—1999)的规定进行测试，低温弯折性宜按《土工合成材料—聚氯乙烯土工膜》(GB/T 17688—1999)的规定进行测试，-70℃低温冲击脆化性能宜按《土工合成材料—聚乙烯土工膜》(GB/T 17643—1998)的规定进行测试。油毡应测试单位面积涂盖材料重量、不透水性、吸水性、耐热度、柔度、拉力等，宜分别按《沥青防水卷材试验方法—浸涂材料含量》(GB328.2—89)、《沥青防水卷材试验方法—不透水性》(GB328.3—89)、《沥青防水卷材试验方法—吸水性》(GB328.4—89)、《沥青防水卷材试验方法—耐热度》(GB328.5—89)、《沥青防水卷材试验方法—柔度》(GB328.7—89)、《沥青防水卷材试验方法—拉力》(GB328.6—89)的规定进行测试。

A.0.9 土料和水泥土防渗结构应测试其干密度、抗压强度、渗透系数等，测试方法宜按(SL237—1999)的规定进行。

A.0.10 混凝土防渗结构应测试其抗压强度、抗冻等级、抗渗等级等。砂浆应测试强度指标。宜按《水工混凝土试验规程》(DL/T5150—2001)的有关规定进行。

A.0.11 沥青砂浆、沥青混凝土应测试孔隙率、水稳定性、热稳定性、抗压强度、线收缩系数、渗透系数等，前5项指标宜按《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ 052—2000)的有关规定进行，渗透系数可按《水工混凝土试验规程》(DL/T5150—2001)的有关规定进行。

A.0.12 高分子防渗保温材料应测试的密度、拉伸强度、伸长率、CBR 顶破强度、刺破强度，可按《土工合成材料测试规程》(SL/T235—1999)的有关规定进行；应测试的吸水率、尺寸稳定性、导热系数、压缩强度、压缩恢复率，可按《绝热用挤塑聚苯乙烯泡沫塑料(XPS)》(GB10801.2—2002)的有关规定进行；应测试的不透水性，可按《高分子防水材料》(GB18173.1—2000)的有关规定进行。

A.0.13 聚苯乙烯泡沫塑料板应测试其密度、吸水率、压缩强度、弯曲强度、尺寸稳定性和导热系数等，可按《绝热用挤塑聚苯乙烯泡沫塑料(XPS)》(GB/T10801.2—2002)的有关规定进行。

附录 B 推求渠道流量的正向递推水量平衡法

B.0.1 计算基本公式：

一条具有多个分水口的渠道（见图 B.0.1-1），被 n 个分水口分为 n 个渠段，渠首的总引水流量为 Q_0 已知，各分水口的引水流量为 Q_i ($i=1, 2, \dots, n$) 未知，仅知它们之间的相对比值，求 Q_i 时，应从渠首开始，顺水流方向，逐个渠段递推求解。求解时应在每个渠段满足公式 (B.0.1-1)，并应在每个分水口满足公式 (B.0.1-2)，达到水量平衡。（见图 B.0.1-2）

$$Q_{di} = Q_{ui} - q_i \quad (\text{B.0.1-1})$$

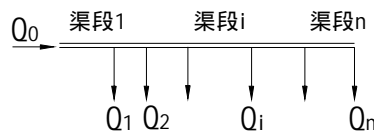
$$Q_{u,i+1} = Q_{di} - Q_i \quad (\text{B.0.1-2})$$

式中 Q_{ui} —渠段 i 的起始断面流量， m^3/s ；

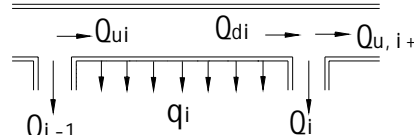
$Q_{u,i+1}$ —渠段 $i+1$ 的起始断面流量， m^3/s ；

Q_{di} —渠段 i 的末端断面流量， m^3/s ；

q_i —渠段 i 的渗漏损失流量， m^3/s 。



图B.0.1-1 多分水口渠道分段图



图B.0.1-2 渠段i流量分布图

B.0.2 计算需要的已知条件

- 1 渠道的几何尺寸，各渠段的渗漏损失规律。

2 渠首的总引水流量 Q_0 。

3 各分水口的引水流量比值, $R_i = \frac{Q_i}{Q_1}$ ($i = 1, 2 \dots n$)

B.0.3 计算步骤

1 假定各分水口的引水流量 Q_i , 使之符合由 R_i 确定的比值关系。

2 从渠首顺水方向逐个渠段计算渗漏损失流量 q_i 并按公式 (B.0.1-1)(B.0.1-2) 推算本渠段的末端断面流量 Q_{di} 及下一渠段的起始断面流量 $Q_{u,i+1}$ 。

3 每计算出一个 Q_{di} 后, 在尚未达到该渠道最末端的分水口 n 时, 应与 Q_i 进行比较。

若 $Q_{di} > Q_i$, 则应按步骤 2 的方法继续向下个渠段推算;

若 $Q_{di} \leq Q_i$, 则应按公式 (B.0.3-1)(B.0.3-2) 进行各分水口流量的修正, 得出修正的流量系列 Q'_i , 返回步骤 2, 从渠首开始重新计算。

$$DQ = Q_{di} - \sum_i^n Q_i \quad (\text{B.0.3-1})$$

$$Q'_i = Q_i + DQ \cdot \frac{R_i}{\sum_{i=1}^n R_i} \quad (\text{B.0.3-2})$$

4 当计算已达到该渠道最末端分水口, 即 $i = n$ 时, 比较 Q_{dn} 与 Q_n

$$\text{若 } \left| \frac{Q_{dn} - Q_n}{Q_n} \right| \leq E \% \quad (E \text{ 为规定的计算误差})$$

则计算结束，计算采用的 Q_i 即为所求结果。

若不满足规定的计算误差要求，则应按公式 (B.0.3-3) 计算出流量修正值 DQ ，再按公式 (B.0.3-2) 求出修正后的流量系列 Q'_i ，返回渠首，按步骤 2 重新计算。

$$DQ = Q_{dn} - Q_n \quad (\text{B.0.3-3})$$

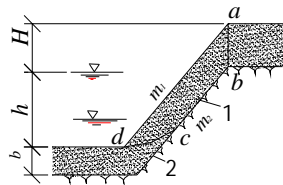
附录 C 膜料防渗渠道土保护层边坡稳定计算

C.0.1 适用范围:

适用于埋铺式膜料防渗渠道土保护层边坡的稳定分析计算。

C.0.2 计算条件:

1 土保护层失稳时,假定沿图 C.0.2 所示的 $abcd$ 线滑动,对粘性土 ab 、 bc 为直线, cd 为弧线;对非粘性土 ab 、 bc 及 cd 为直线。 c 点为最小安全系数时,降落后水位的水平延长线与膜层的交点,通过试算决定。



1--粘性土保护层

2--膜料防渗层

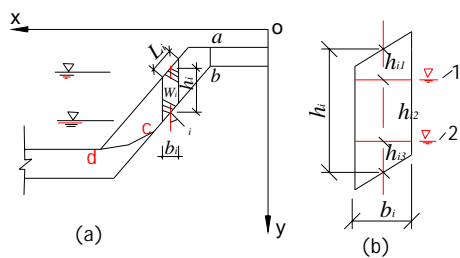
图C.0.2 土保护层失稳示意图

2 土保护层边坡稳定分析的控制时期为渠水位骤降期。

3 采用简化法计算渗透压力,即:最高水位以上的土重按湿重度计算;计算滑动力时,最高水位至骤降后的水位间的土重按饱和重度计算,骤降水位以下的土重按浮重度计算;计算抗滑力时,最高水位以下的土重均按浮重度计算。

C.0.3 计算方法:

1 计算方法:宜采用简化简布法,亦称圆弧普遍分条法。参见图 C.0.3。分析计算公式如下:



1--最高水位
2--骤降后水位
图C.0.3 简化简布法计算图

$$F_s = \frac{\sum (C_i b_i + W_i' \tan \phi_i) \frac{\sec^2 \alpha_i}{1 + \tan \phi_i \tan \alpha_i / F_s}}{\sum W_i'' \tan \alpha_i} \quad (C.0.3-1)$$

或

$$F_s = \frac{\sum [C_i b_i + b_i (h_{i1} \gamma + h_{i2} \gamma' + h_{i3} \gamma') \tan \phi_i] \frac{\sec^2 \alpha_i}{1 + \tan \phi_i \tan \alpha_i / F_s}}{\sum b_i (h_{i1} \gamma + h_{i2} \gamma_m + h_{i3} \gamma') \tan \alpha_i} \quad (C.0.3-2)$$

式中 b_i —土条分条的宽度 ($b_i = L_i \cos \alpha_i$), m ;
 α_i —土条垂直坡面的分力与铅垂线的夹角 ($^\circ$) ;
 ϕ_i —滑动面上土或土与膜料间的内摩擦角, ($^\circ$) ;
 C_i —滑动面上土或土与膜料间的凝聚力, kPa ;
 W_i' —按湿重度和浮重度计算的土条重力, kN ;

W_i —按湿重度、饱和重度和浮重度计算的土条重力, kN;

F_s —边坡稳定安全系数;

L_i —土条分条的顶底斜长, m;

γ 、 γ' 、 γ_m —土条的湿重度、浮重度和饱和重度, kN/m³;

h_{i1} 、 h_{i2} 、 h_{i3} —相应于 γ 、 γ' 、 γ_m 的土柱高度, m。

2 计算中抗剪强度指标(ϕ 、 C 值)的选用:

(1) ϕ 、 C 值的选用, 应与采用有效应力法, 或总应力法的计算方法相对应。即采用有效应力法简化简布法计算时, 应采用有效应力情况下实测的 ϕ 、 C 值(采用直剪仪试验时, 应采用饱和慢剪法测定; 采用三轴仪试验时, 应采用饱和不排水剪, 同时测孔隙水压力, 确定有效应力下的 ϕ 、 C 值); 如采用总应力法计算时, 应采用总应力下实测的 ϕ 、 C 值(用直剪仪试验时, 采用饱和快剪法测定; 用三轴仪试验时, 采用饱和不排水剪法测定)。

(2) 计算中, 滑动面的 ab 和 cd 段应采用土的 ϕ 、 C 值; 在 bc 段应采用土与膜料之间的 ϕ 、 C 值。因 ab 段很小, 且土体在滑动前, 往往先在 ab 处产生裂缝, 所以计算时, 略去 ab 段的抗滑力。

(3) 土与膜料之间 ϕ 、 C 值的测定方法:

- 1) 用直剪仪试验。可将膜料夹在剪切面部位, 在相应设计密度下, 采用前述相应方法试验。
- 2) 用三轴仪试验。根据不同土质和不同密度可按表 C 选用膜料在试样中近似的置放夹角(α)。将膜料放入试样中, 在相应密度及方法下测定 ϕ 、 C 值。因在极限平衡条件下, $\alpha = 45 + \phi/2$, 因此如采用近似 α 角求得的 ϕ 值与前式相差过大时, 可改变 α 角, 重新试验和测定 ϕ 、 C 值。

表 C 膜料在三轴试验试样中的夹角 α (°)

土壤类别	土壤干密度 (g/cm ³)		
	1.35	1.5	1.7
砂壤土	52	55	56
壤土	46	47	48
粘土	45	46	47

C. 0. 4 膜料防渗渠道土保护层边坡稳定的最小安全系数 , 3、4、5 级渠道采用 1. 2 , 1、2 级渠道采用 1. 3。

附录 D 弧形底梯形渠道实用经济断面计算方法

D.0.1 弧形底梯形渠道的水力最佳断面按以下各式计算:

$$H_0 = 1.542 \left(\frac{Q \cdot n}{\sqrt{i}(\theta + 2m)} \right)^{\frac{3}{8}} \quad (\text{D.0.1-1})$$

$$r_0 = H_0 \quad (\text{D.0.1-2})$$

$$b_0 = \frac{2H_0}{\sqrt{1+m^2}} \quad (\text{D.0.1-3})$$

$$\omega_0 = \left(\frac{\theta}{2} + m \right) H_0^2 \quad (\text{D.0.1-4})$$

$$\chi_0 = (\theta + 2 \cdot m) H_0 \quad (\text{D.0.1-5})$$

式中 H_0 —水力最佳断面水深, m;

r_0 —水力最佳断面渠底圆弧半径, m;

b_0 —水力最佳断面弧形底的弦长, m;

ω_0 —水力最佳断面的过水断面面积, m^2 ;

χ_0 —水力最佳断面湿周, m。

D.0.2 弧形底梯形渠道水力最佳断面及实用经济断面之间应符合下列各式:

$$\alpha = \frac{\omega}{\omega_0} = \left(\frac{R_0}{R} \right)^{\frac{2}{3}} = \left(\frac{\omega_0 \chi}{\omega \chi_0} \right)^{\frac{2}{3}} = \left(\frac{1}{\alpha} \frac{\chi}{\chi_0} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (\text{D.0.2-1})$$

$$AK_r^2 + BK_r + C = 0 \quad (\text{D.0.2-2})$$

$$A = (2m - 2\sqrt{1+m^2} + \theta)^2 - 2\alpha^4(2m + \theta)\left(\frac{\theta}{2} + 2m - \sqrt{1+m^2}\right) \quad (\text{D.0.2-3})$$

$$B = 4\sqrt{1+m^2}(2m - 2\sqrt{1+m^2} + \theta) - 4\alpha^4(2m + \theta)(\sqrt{1+m^2} - m) \quad (\text{D.0.2-4})$$

$$C = 4(1+m^2) - 2\alpha^4(2m + \theta) \cdot m \quad (\text{D.0.2-5})$$

式中 ω - 实用经济断面的过水断面面积, m^2 ;

χ - 实用经济断面的湿周, m ;

K_r - 实用经济断面的渠底圆弧半径 r 与水深 H 之比;

α - 实用经济断面与水力最佳断面的过水断面面积之比。

D.0.3 实用经济断面计算步骤:

1 在已知渠道流量 Q 、渠道比降 i 、糙率 n 的条件下, 选定渠道边坡系数 m , 并计算水力最佳断面的水深 H_0 、过水断面面积 ω_0 、湿周 χ_0 。

2 选择几种拟采用进行比较的 α 值。

3 针对每种 α 值按公式(D.0.2-2)、(D.0.2-3)、(D.0.2-4)及(D.0.2-5)计算出相应的渠底圆弧半径与水深之比值

$$K_r = r/H。$$

4 按以下各式计算出相应于不同 α 值的各项实用经济断面指标。

$$H = \frac{(2m + \theta) \cdot \alpha^{\frac{5}{2}}}{(2m - 2\sqrt{1+m^2} + \theta)K_r + 2\sqrt{1+m^2}} \cdot H_0 \quad (\text{D.0.3-1})$$

$$r = K_r \cdot H \quad (\text{D.0.3-2})$$

$$b = \frac{2 \cdot r}{\sqrt{1+m^2}} \quad (\text{D.0.3-3})$$

$$\omega = \alpha \cdot \omega_0 \quad (\text{D.0.3-4})$$

$$\chi = (\alpha)^{\frac{5}{2}} \cdot \chi_0 \quad (\text{D.0.3-5})$$

式中： H —实用经济断面水深，m；

r —实用经济断面渠底圆弧半径，m；

b —实用经济断面弧形底的弦长，m。

5 对不同 α 值的实用经济断面进行综合比较后确定选用方案。

D.0.4 各种不同 α 值相应的 K_r 、 $\frac{H_0}{H}$ 、 $\frac{b}{H}$ 、 $\frac{\chi}{\chi_0}$ 也可由表

D.0.4-1、D.0.4-2、D.0.4-3、D.0.4-4 查出。

表 D.0.4-1 实用经济断面 K_r 值

α	边坡系数 m					
	0.50	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00
1.01	1.555	1.904	2.146	2.436	2.776	3.166
1.02	1.832	2.365	2.734	3.176	3.693	4.287
1.03	2.063	2.757	3.235	3.809	4.479	5.248
1.04	2.271	3.114	3.694	4.388	5.200	6.132

表 D.0.4-2 水力最佳断面与实用经济断面水深比值 $\frac{H_0}{H}$

α	边坡系数 m					
	0.50	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00
1.01	1.140	1.159	1.164	1.167	1.169	1.171
1.02	1.193	1.222	1.229	1.235	1.238	1.241
1.03	1.229	1.268	1.278	1.285	1.290	1.293
1.04	1.257	1.305	1.318	1.326	1.332	1.336

表 D.0.4-3 实用经济断面的 $\frac{b}{H}$ 值

α	边坡系数 m					
	0.50	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00
1.00	1.789	1.414	1.249	1.109	0.992	0.894
1.01	2.782	2.693	2.681	2.703	2.754	2.832
1.02	3.277	3.345	3.416	3.523	3.665	3.834
1.03	3.691	3.899	4.042	4.225	4.444	4.694
1.04	4.063	4.404	4.615	4.868	5.160	5.488

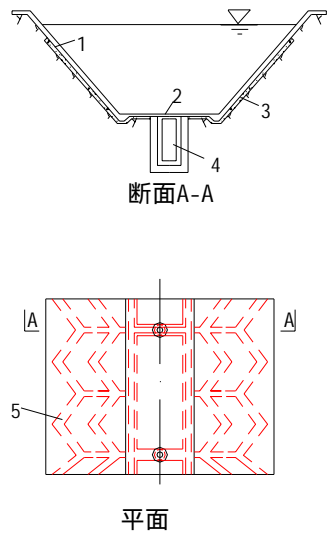
表 D.0.4-4 实用经济断面与水力最佳断面湿周比值 $\frac{\chi}{\chi_0}$

α	1.00	1.01	1.02	1.03	1.04
$\frac{\chi}{\chi_0}$	1.000	1.025	1.050	1.077	1.103

附录 E 渠基的排水设施

E.0.1 当渠基未设砂、砾石置换层，且附近又无洼地时，可采取下列两种排水设施排水入渠。

1 由排水沟与渠底集水井组成的排水设施，见图 E.0.1—1。排水沟中可填砾石、碎石。集水井上设逆止阀，其周围作反滤处理。



1-混凝土防渗板；2-塑料逆止阀；3-碎石卵石过滤层；
4-集水井；5-引水沟

图E. 0. 1-1 排水沟与集水井组合式排水

2 由排水管、排水沟与渠坡渠底排水阀组成的排水设施，见图 E.0.1—2。逆止阀及排水沟（管）埋设的数量，可参照表 E.0.1 选用。

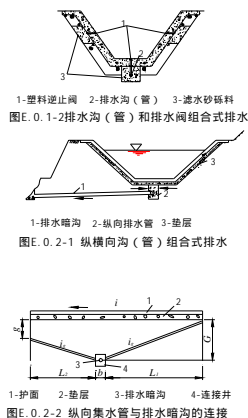


表 E.0.1 排水管及底部排水沟的设置

边坡高度 H (m)	地下水高的透水性地基	地下水高的不透性地基
$H < 2.5$	设或不设底部排水沟	
$2.5 < H < 5.0$	设 1 层 ~ 2 层排水管和底部排水沟	设 1 层 ~ 2 层排水管
$H > 5.0$	设 2 层 ~ 3 层排水管和底部排水沟	设 2 层 ~ 3 层排水管及底部排水沟

E.0.2 当渠基设有砂砾石换填层，且附近有低洼地时，可采取纵向集水管和横向排水暗沟组成的排水设施（见图 E.0.2—1）。集水管采用带孔石棉水泥管、塑料管或混凝土管等。其管径根据排水量大小确定，但不宜小于 15cm。纵比降不应小于 0.001 ~ 0.002。集水管周围应采取反滤措施。集水管宜设置在渠底中部，或分设两边坡脚。

为减少横向排水沟的数量，可将纵向集水管从两个方向引向排水暗沟(图 E.0.2—2)。

纵向集水管的长度可按公式（E.0.2—1）和公式（E.0.2—2）

计算：

1 集水管与渠底比降方向相同时

$$L_1 = \frac{G - g}{i_g - i} \quad (\text{E.0.2—1})$$

2 集水管与渠底比降方向相反时

$$L_2 = \frac{G - g}{i_g + i} \quad (\text{E.0.2—2})$$

式中 L_1 、 L_2 —集水管的长度，m；

G 、 g —集水管末端、首端距渠底垫层的深度，m；

i —渠底比降；

i_g —集水管底比降。

附录 F 伸缩缝填料和裂缝处理材料的配合比、制作及施工方法

F.0.1 刚性材料防渗结构伸缩缝填料和裂缝处理材料的配合比、制作方法见表 F.0.1。

F.0.2 施工方法：

- 1 填筑伸缩缝，宜按下列步骤进行：
 - 1) 清除缝内的泥土、杂物，使缝壁清洁、干燥；
 - 2) 在缝壁涂刷冷底子油（沥青:柴油=1:10~3:10）；
 - 3) 将制好并保持 110 的焦油塑料胶泥灌入缝内，迅速用小铁铲或木棒向封壁抹压，使胶泥与缝壁充分粘结。填塞渠坡伸缩缝时，可用充水的橡胶管（管径稍大于缝宽）堵住封口，从顶部灌注；

表 F.0.1 填料和裂缝处理材料的配合比及制作方法

用途	材料名称	配合比（重量比）	制作方法
填筑伸缩缝	沥青砂浆	沥青：水泥：砂=1：1：4	按配比将沥青在锅内加热至 180 ，另一锅将水泥与砂边搅边加热至 160 ，然后将沥青徐徐加入水泥与砂的锅内，边倒边搅拌，直至颜色均匀一致，即可使用
	焦油塑料胶泥（聚氯乙烯胶泥）	煤焦油：废聚氯乙烯薄膜：癸二酸二辛脂（或 T50）：粉煤灰=100：（15~20）：2（T50 为 4）：30	按配比将脱水煤焦油加热至 110 ~ 120 ，加入废聚氯乙烯薄膜碎片、癸二酸二辛脂（或 T50），边加边搅拌约 30min。待材料全部溶化后，加粉煤灰继续加热搅拌，温度达到 110 即可使用
处理裂缝	过氯乙烯胶液涂料	过氯乙烯：轻油=1：5	按配比将过氯乙烯加入轻油中，溶化 24h 即可使用

	煤焦油沥青填料	煤焦油:30号沥青: 石棉绒:滑石粉=3: 1:0.5:0.5或3: 0.5:0.8:0.8	按配比将沥青加入煤焦油中,加热至120~130。待全部溶化后,加入石棉绒和滑石粉,搅拌均匀后,即可使用
<p>注1:煤焦油宜采用煤3或煤5,优先采用煤3。</p> <p>注2:制作焦油塑料胶泥所用的废聚氯乙烯薄膜,应洗净、晾干、撕碎后再用。如制作聚氯乙烯胶泥,仅用新鲜的聚氯乙烯粉代替废聚氯乙烯膜即可。前者价低,宜优先选用。</p> <p>注3:制作中应防火,注意安全。</p>			

- 4) 如缝下部为焦油塑料胶泥,上部为沥青砂浆填筑时,下部填好的填料冷却后,将制好的沥青砂浆,温度控制在120~130,填入上部缝隙,填满压实。最后用热烙铁沿缝口压烙,使表面光滑平整与缝壁粘牢。
- 2 裂缝处理宜在晴天按下列方法进行:
 - 1) 缝宽较大的渠道,宜采用填筑法处理。其具体方法可按填筑伸缩缝的步骤进行。
 - 2) 缝宽较大的大型渠道,可按下列填塞与粘补相结合的方法处理:
 - (1) 清除缝内、缝壁及缝口两边的泥土、杂物,使清洁、干燥;
 - (2) 缝壁涂刷冷底子油;
 - (3) 将煤焦油沥青填料或焦油塑料胶泥填入缝内,填压压实,使表面平整光滑;
 - (4) 填好缝1d~2d后,沿缝口两边各宽5cm涂刷过氯乙烯涂料一层,随即沿缝口两边各宽3cm~4cm粘贴玻璃纤维布一层,再涂刷涂料一层,贴第二层玻璃纤维布。最后涂一层涂料即完成。涂料要涂刷均匀,玻璃纤维布要粘平贴紧,不能有气泡;
 - (5) 如缝宽很小,可只用涂料粘贴玻璃纤维布处理。

附录 G 膜料接缝的方法和质量检查

G.1 膜料接缝方法

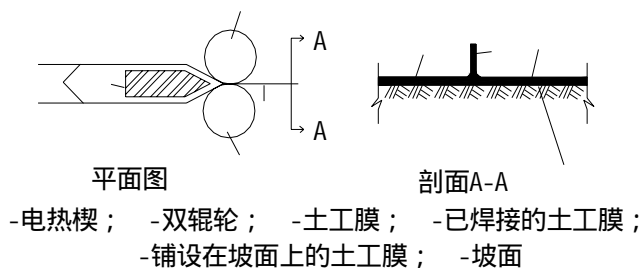
G.1.1 搭接法：

可用于大块膜料施工中的现场连接，或小型的膜料防渗渠道。搭接宽度 20cm。应膜层平整，层间洁净，上游一幅压下游一幅，缝口吻合紧密。

G.1.2 聚氯乙烯、氯化聚乙烯、低密度聚乙烯、高密度聚乙烯等土工膜宜用热元件焊接法，下列两种方法可供选用。

1 电热楔焊接法

电热楔夹在两层被焊土工膜之间将膜加热，热楔向前移动时，两辊轮一起向前移动将两膜压合在一起，见图 G.1.2。



图G.1.2 电热楔焊接法示意图

两膜叠合宽度约 1.5cm，焊缝宽为 1.0cm~1.2cm。可焊接 0.2mm~2mm 的聚乙烯膜或聚氯乙烯膜，焊缝抗拉强度为 12MPa 以上。焊接工效为 100m/h 左右。

当膜片厚度为 0.2mm~1.0mm 时，可用 ZPR 型焊接机，其优点是操作简单，体积小、便于携带，价格较低。

2 电烙铁焊接法

把膜搭接 50mm ~60mm，下垫木板或钢板，用电烙铁焊机沿缝移动，机中电烙铁将膜加热熔化，滚筒随着施压，使搭接的两片膜熔接成一体。焊接温度和移动速度视被焊膜的种类和厚度而定。宜用较为先进的自动调温热焊机。

G.1.3 聚氯乙烯膜可用聚氯乙烯胶或聚胺酯类胶（铁锚 101 胶或 902 胶）进行粘接。其方法是将聚氯乙烯膜边宽 5cm~8cm 用砂布打毛揩净，将铁锚 101 胶的甲、乙两组胶以 10:1~10:5 调和均匀，在刷毛的膜上涂布二遍，待第一遍胶稍干，再涂第二遍胶，呈风干状态时立即粘合，用滚筒压两遍，固化 24h。

G.1.4 复合式土工膜中的聚氯乙烯膜可用 G.1.3 方法粘接，两面的丙纶土工布可用 LDJ246 氯丁橡胶粘接。将土工布表面尘屑除干净，并用酒精擦拭后，涂布 LDJ246 胶两遍，待第一遍胶稍干，再涂第二遍胶，呈风干状态时立即粘合，然后滚压两遍，固化 12 h。

G.1.5 聚乙烯膜可用 KS 热熔胶粘接。方法是将胶水现场加热，膜下垫一块平木板，用一金属刮片将胶水涂抹在膜片上，然后用橡胶锤子敲击膜面，使两胶面充分结合。

G.1.6 油毡宜用热沥青或沥青玛瑙脂粘接。其粘接工艺与塑膜类同。沥青玛瑙脂的配合比为沥青:矿粉=1:1~1:1.4。

G.2 膜料接缝的质量检查

G.2.1 外观检查：焊缝应清晰、透明（呈玻璃态），无夹渣、气泡，无漏点、熔点、焊缝跑边。粘接缝透明，无两边相通的水晕状的胶水粘结痕。

G.2.2 双焊线充气加压检测。接缝为双焊线时，可向双焊线之间的空腔充气。充气压力约为 200KPa，充气长度为 50m~60m。充气后 10min ~20min，压力无明显下降，表明焊缝不漏气，在此气压下，焊缝未脱开，表明焊缝强度合格。如漏气脱缝，则需补焊。

G.2.3 双焊线注水加压检测。用 0.05MPa 压力水针在焊接双缝间注入彩色水，不漏为质量合格。

G.2.4 火花试验。焊接时将金属丝放在缝内或放在其背后，试验用的金属刷充高压电流（15 KV ~30KV），将此金属刷沿焊缝移动，在焊缝漏焊处，金属丝无土工膜焊接材料包裹，与空气连接，则与金属刷之间发生火花。此种试验仪器可记录发生火花的位置，以便按位置补焊。

G. 2. 5 超声波探测。超声波发射仪沿焊缝发射超声波，脉冲从土工膜底部反射回来，用传感器测得发射波与反射波的时差，如果焊缝有漏焊，则反射波返回快，时差缩短，仪器的荧光屏上显示反射波，借以测定时差，探明漏焊部位以便补焊。

附录 H 渠道渗漏的静水法测验段设置和成果整理

H.1 测验段的设置

H.1.1 测验段长度确定，宜考虑注水条件、渠道大小及其纵坡与渗漏情况等因素，应能代表测验渠道渗漏特性。测验段长度宜为 30m ~ 50m，渠道断面越大，测验段越长。

为使纵坡陡于 1/100 的渠道，和引洪灌溉的宽浅式渠道测验段中的水深，能接近实际过水水深和实际渗漏情况，测验段长度还应满足公式 (H.1.1) 的要求：

$$\frac{2(h_2 - h_1)}{h_2 + h_1} \times 100\% \leq 10\% \quad (\text{H.1.1})$$

式中 h_1 —测验段首端水深，m；

h_2 —测验段末端水深，m。

H.1.2 测验水位确定，应能反映渠道实际过水情况。

1 恒水位观测时，宜采用渠道设计水位。渠道流量经常偏离设计流量时，可采用经常过流水位作为测验水位。

2 变水位观测时，从渠道设计水位或经常过流水位开始，到水位降至 1/6~1/8 测验段中间水深时停测。

H.1.3 测验段整修应符合下列要求：

1 清除渠道内的淤积物、杂物及草木等。但运行多年的渠道，不影响渠道运行的淤积层，可不清除。

2 保持渠道断面、纵坡及边坡规则、平整、均匀一致。

3 渠堤顶排水良好，不允许雨水流入测验段。

H.1.4 横隔堤及渗漏平衡区，见图 H.1.4，应按下列要求修建：

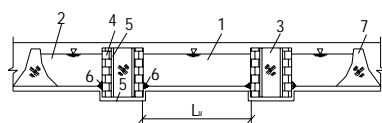
1 横隔堤应稳固、严密止水和不允许渗漏变形，邻测验段一侧表面应竖直。对砌石、混凝土等防渗渠道，横隔堤应切断防渗层，插入土基 20cm ~ 40cm，并与防渗层间作止水连接。对土渠，横隔堤应插入渠底和边坡土层 30cm ~ 50cm，横隔堤与土层的接缝用粘土填塞夯实。

2 横隔堤顶应高于测验水位 10cm ~ 15cm。

3 横隔堤可采用双砖墙内铺塑膜，中间夯填土作夹层。夹层

厚度按不发生渗漏变形的允许水头坡降确定，并不小于 1.0m。

4 渗漏平衡区外侧隔堤可用粘土夯筑，高度应高于最高测验水位。每个渗漏平衡区的长度不应小于 5 倍测验渠道水深。



1-渗漏测验段；2-渗漏平衡区；3-横隔堤；4-砖墙；
5-塑膜；6-止水；7-外侧隔堤

图H.1.4 测验段纵断面图

H.1.5 测验段测量及描述，应符合下列要求：

1 渠宽测量。将测验段由上游向下游分为 10 等份。并以测验段中间水深为准，将渠坡按水深分成几层（边坡变化的渠道，可在变坡点处增加一层）等高等距点，分别测量各高程各等距点的渠道宽度（读至 mm），求出渠道各高程的平均宽度。

2 测验段长度测量。丈量两端隔堤间相同高程对应位置点的距离（读至 mm），至少量左、中、右三点，求出各高程的平均长度。

3 绘制测验段水位和容积变化关系曲线或表格。

4 测验段描述按表 H.10 填写。

H.1.6 设置水位测量设备和称水、量水器具以及降雨、蒸发观测设备，应符合下列要求：

1 在测验段两端及中间，应分别设置水位测尺、测针或其它水位测量仪器。水位测尺最小刻度至毫米，并应校核无误。

2 测验段两端的水尺，应紧靠横隔堤垂直安设。测验段中间的水尺，与水平面成一定夹角倾斜安设，水尺零点一端固定在渠底上，另一端固定在横跨渠道的刚性梁上。中间水尺安设的夹角可选用 14.5° 或 30°。斜尺上水位变化数乘以 0.25 或 0.50，即为水位垂直变化数。

3 水尺的底座和固定物应稳固，保证测验期间水尺不下沉、不移位、不摆动。

4 水面不平稳，不能保证水位尺读数至毫米时，应设置观测

井。观测井与测验段用连通管连通，测井的面积约为 0.1m^2 。连通管截面积不小于测井面积的 10%。测井水位用水位尺和测针配合测定，或采用垂直置于测验段中的水位观测筒测量。水位观测筒采用直径不小于 30cm、设有透水孔、无底的筒做成。

5 观测降雨量可用口径 20cm 的自记雨量计或雨量器。自记雨量计按仪器说明书要求安设；雨量器应安设牢固，器口水平，离地面高 70cm。

6 降雨观测场应和渠道测验段放在一起，或放在与测验段受雨条件相似的地方。

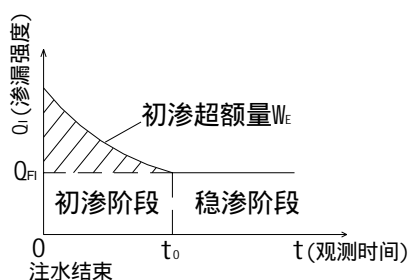
7 观测水面蒸发量宜采用改进后的 E - 601 型蒸发器，也可用口径 80cm 带套盆的蒸发器，或口径 20cm 的蒸发皿。

8 蒸发器（皿）宜安置在测验段或渗漏平衡区漂浮水面的木筏上。具体方法应按(SD265—88)的规定执行。

H. 2 测验成果的整理

H. 2. 1 渠道的渗漏过程，可按渗漏强度随时间的变化划分为初渗和稳渗两个阶段。渠道充水以后到渗漏强度稳定以前的时段为初渗阶段；渗漏强度达到某一稳定值（即稳渗强度）以后的时段为稳渗阶段。见图 H.2.1。

恒水位测验，应求出设计水位或经常过流水位时的稳渗强度和初渗阶段的初渗超额量。变水位测验，应求出稳渗强度随水深的变化规律。



图H. 2. 1 渗漏阶段划分

H. 2. 2 观测时段内，测验段单位长度水体的变化量计算：

1 恒水位测验。如采用水位下降法进行观测时，可用公式（H.2.2 - 1）计算。

$$\Delta W_{BI} = B_w \Delta h \quad (\text{H.2.2 - 1})$$

式中 ΔW_{BI} —恒水位测验中测验段单位长度水体的变化量，L/m；

B_w —测验段的水面宽度，取渠道水面宽度的多点测量平均值，m；

Δh —观测时段水深变化量，即加水前、后水位差值，mm。

如采用称量法计算时，测验段各观测时段所添加的水量除以测验段长度，得出各个观测时段单位长度水体的变化量 ΔW_{BI} 。

2 变水位测验。采用水位下降法时，可用公式（H.2.2 - 2）计算。

$$\Delta W_{BF} = B_w \Delta h \quad (\text{H.2.2 - 2})$$

式中 ΔW_{BF} —变水位测验中观测段单位长度水体变化量，L/m；

B_w —测验段的水面宽度，取观测时段开始和终止相应的渠道水面平均宽度，m。

采用称量法时，计算方法同恒水位称量法。

H. 2. 3 观测时段进入测验段的降雨量和蒸发量计算：

1 小雨渠坡不产生径流时，可按公式（H.2.3—1）计算。

$$I = p \Delta t B_w \quad (\text{H.2.3—1})$$

式中 I —测验段单位长度的降雨量，L/m；

p —平均降雨强度，mm/h；

Δt —观测时段长度，h。

2 中雨和大雨时，应计入由渠坡流入的水量，可按公式（H.2.3—2）计算。

$$I = p \Delta t B \quad (\text{H.2.3—2})$$

式中 B —测验段渠道堤顶口宽，m；

3 观测时段内，测验段单位长度水面的蒸发量，可按公式（H.2.3—3）计算。

$$E = e\Delta t B_w \quad (\text{H.2.3—3})$$

式中 E —测验段单位长度水面蒸发量, L/m;
 e —观测时段内平均水面蒸发强度, mm/h。

H. 2. 4 观测时段中测验段的渗漏量计算:

1 恒水位测验, 应采用式(H.2.4—1)计算。

$$\Delta W_I = \Delta W_{BI} + I - E \quad (\text{H.2.4—1})$$

式中 ΔW_I —测验段单位长度的稳定渗漏量, L/m。

2 变水位测验, 应采用式(H.2.4—2)计算。

$$\Delta W_F = \Delta W_{BF} + I - E \quad (\text{H.2.4—2})$$

式中 ΔW_F —测验段单位长度稳定渗漏量, L/m。

H. 2. 5 恒水位测验各观测时段的渗漏强度计算:

1 初渗阶段时渗漏强度应采用(H.2.5—1)计算。

$$Q_I = \frac{\Delta W_I}{\chi \Delta t} \quad (\text{H.2.5—1})$$

式中 Q_I —初渗阶段各观测时段在恒水位时的渗漏强度,
 L/(m² · h)。

χ —测验水位相应的渠道湿周, m。

2 当测验段入渗稳定后, 稳渗强度应采用式(H.2.5—2)计算。

$$Q_{FI} = \frac{\sum_{i=1}^{10} Q_{Fi}}{10} \quad (\text{H.2.5—2})$$

式中 Q_{FI} —恒水位测验的稳渗强度, L/(m² · h);

Q_{Fi} —测验段入渗稳定后, 连续 10 次观测满足本规范 13.1.9
 规定的第 i 次渗漏强度, L/(m² · h)。

H. 2. 6 变水位测验, 各观测时段的稳渗强度计算:

$$Q_F = \frac{\Delta W_F}{\chi \Delta t} \quad (\text{H.2.6})$$

式中 Q_F —测验段在不同水深时的稳渗强度, L/(m² · h);

χ —测验时段开始和终止时的渠道平均湿周, m。

H. 2. 7 初渗超额量的计算：

1 采用称量法观测时，可按公式（H.2.7—1）计算。

$$W_E = \sum_{i=1}^{n_1} (Q_{fi} - Q_{FI}) \Delta t_i \quad (\text{H.2.7—1})$$

式中 W_E —初渗超额量， L/m^2 ；

Q_{fi} —初渗阶段第 i 个观测时段的渗漏强度， $\text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ；

Δt_i —第 i 个观测时段的长度， h ；

n_1 —初渗阶段的观测时段数。

2 采用水位下降法观测时，可按公式（H.2.7—2）计算。

$$W_E = \sum_{i=1}^{n_1} (Q_{fi} - Q_{FI}) \Delta t_i + \sum_{j=1}^{n_2} (Q_{fj} - Q_{FI}) \Delta t_j \quad (\text{H.2.7—2})$$

式中 Q_{fj} —初渗阶段第 j 个加水时段的渗漏强度，取该次加水时段前后相邻两个观测时段渗漏强度的平均值， $\text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ；

Δt_j —第 j 个加水时段长度， h ；

n_2 —初渗阶段总加水时段数。

H. 2. 8 成果的回归检验：

1 测验段在各个观测时段所得出的各种稳渗强度，和相应平均水深，应按式（H.2.8）进行回归计算，求出稳渗强度随渠道水深变化的规律。

$$Q_F = Ch^D \quad (\text{H.2.8})$$

式中 Q_F —稳渗强度值， $\text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ；

h —测验段水深， m ；

C 、 D —稳渗回归系数。

2 对渠道防渗结构形式、质量状况、几何尺寸和地质情况基本相同的渠道，在同一时期测出不同测段的变水位测验数据，可放在一起进行回归计算，得出该类型渠道渗漏规律的相关关系式。

3 回归所得相关关系式，应进行相关检验。单个测验段的测验数据回归计算的相关检验置信度可取 0.95，相关检验如不能满足数理统计要求时，可以研究采用分段回归，同时对相关的合理性进

行分析。不同测段的测验数据进行回归的置信度可取 0.90，能满足相关检验要求时，可代表该类型渠道的渗漏规律。

表 H.1 降雨量观测记录表

日期	渠名			测验段编号			降雨强度 p (mm/h)	备注
	起	止	时段 (h)	初测	复测	平均		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)=[(5)+(6)]/2	(8)=(7)/(4)	(9)

观测人

表 H.2 蒸发量观测记录表

渠名		测验段编号		测验日期		
皿内原状水		经蒸发后 剩余水量		皿内水量 差 值 (mm)	观测时段 (h)	蒸发强度 (mm/h)
加水 时间	水深 (mm)	观测 时间	水深 (mm)			
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)=(2)-(4)	(6)=(3)-(1)	(7)=(5)/(6)

观测人

表 H. 3 恒水位水位下降法记录表

渠名				测验段编号				测验日期				测验水深计 算值 $h(\text{mm})$	每米渠长水 体变化量 W_{Bl} (L)
(观测时段开始)加水后 水深				(观测时段结束)加水前 水深				水深变化量 h					
观测 时间	斜尺 (mm)	首尺 (mm)	末尺 (mm)	观测 时间	斜尺 (mm)	首尺 (mm)	末尺 (mm)	斜尺 (mm)	首尺 (mm)	末尺 (mm)	变化 量 (mm)		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)=[(2)-(6)] × K	(10)=(3)-(7)	(11)=(4)-(8)	(12)	(13)=[(2)+(6)] × K/2	(14)=(12) × 水面宽
注 1：下一观测时段开始时间[第 (1) 栏]，减上一观测时段结束时间[第 (5) 栏]即为加水时段； 注 2：第 (12) 栏变化量计算值在水面平静时可采用 (9) 栏斜尺水位。(9) 栏中 K 值当斜尺倾角为 14.5 ° 时取 0.25；30 ° 时取 0.5； 在水面波动或风天测尺差值超过 2mm 时，采用三尺水深变化量平均值 (12) =[(11) + (9) + (10)]/3； 注 3：第 (13) 栏测验水深 h 应等于加水后水深和加水前水深平均值，并应等于恒水位的水深。每次加水前后水深变化量应保持相等。													

观测人

表 H. 4 恒水位称量法记录表

渠名				测验段编号						测验日期		
加水后水深				加水前水深			补加水重			加水前后水深变化量 h (mm)	测验水深 计算值 h (mm)	每米渠长水体 变化量 W_{Bl} (kg)
观测 时间	斜尺 (mm)	首尺 (mm)	末尺 (mm)	斜尺 (mm)	首尺 (mm)	末尺 (mm)	加水次 数	每次水 重 (kg)	加水 总重 (kg)			
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)=[(2)-(5)] × K	(12)=[(2)+(5)] × K/2	(13)=(10)/测 段长度
注 1：第（1）栏每格是上一观测时段结束时间，也是本观测时段开始时间。加水时段包括在观测时段之中，加水前水深相应的时间，为加水开始时间，无需进行记录； 注 2：第（2）栏中 K 值，当斜尺倾角为 14.5° 取 0.25；30° 取 0.5。读数以斜尺为准，首尺、末尺读数供校核使用； 注 3：第（12）栏测验水深计算 h 应等于加水后水深和加水前水深的平均值，并应与恒水位的水深相等。每次加水前后水深变化量 h 值，应保持相等。												

观测人

表 H. 5 恒水位初渗及稳渗强度计算表

渠名			测验段编号				测验日期		
观测时间	观测时段 t_i (h)	加水时段 t_j (h)	每米渠长水体变化量 W_{BI} (L)	每米渠长降雨量 I (L)	每米渠长蒸发量 E (L)	每米渠长渗漏量 $\Delta W_I = \Delta W_{BI} + I - E$ (L)	相应于测验水深的湿周 x (m)	观测时段渗漏强度 Q_{Ii} [L/(m ² · h)]	加水时段渗漏强度 Q_{Ij} [L/(m ² · h)]
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)=(4)+(5)-(6)	(8)	(9)=(7)/[(2) × (8)]	(10)
注 1：第（1）栏对于水位下降法，应依次取自表 H.3 第（1）栏和第（5）栏；对于称量法取自表 H.4 第（1）栏； 注 2：对于水位下降法，应分别按观测时段与加水时段计算。对于加水时段 t_j 第（4）栏 W_{BI} 无观测值。加水时段渗漏强度 Q_{Ij} ，取与其相邻的两次观测时段渗漏强度 Q_{Ii} 的平均值； 注 3：第（4）栏 W_{BI} 取自表 H.3 或表 H.4；第（5）栏根据表 H.1 计算得到；第（6）栏根据表 H.2 计算得到。									
观测人					计算人				

表 H. 6 初渗超额量计算表

渠名	测验段编号		测验日期	
观测时间	观测时段的 Q_{li} 或加水时段的 Q_{lj} [L/(m ² · h)]	观测时段 t_i 或加水时段 t_j (h)	恒水位稳渗强度 Q_{FI} [L/(m ² · h)]	单位面积初渗超额量 W_E (L/m ²)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)=[(2)-(4)] × (3)
注 1： Q_{FI} 为恒水位稳渗强度。取恒水位进入稳渗后，连续 10 次渗漏强度的平均值； 注 2：第（2）栏取自表 H.5 第(9)栏与第（10）栏。第（3）栏取自表 H.5 第(2)栏与第（3）栏。				
观测人			计算人	

表 H. 7 变水位水位下降法记录及计算表

渠名					测验段编号								测验日期																		
观测时间	水尺读数				测验水深计算值 (mm)	相应于测验水深计算值的水面宽 (m)	相邻两水深平均值 h (mm)	相邻两水面宽度平均值 B_w (m)	相邻两水深变化量 h (mm)	每米渠长水体变化量 W_{BF} (L)	每米渠长降雨量 I (L)	每米渠长蒸发量 E (L)	每米渠长稳渗量 $\Delta W_F = \Delta W_{BF} + I - E$ (L)	观测时段 t (h)	相邻两水深相应的平均湿周 $\bar{\chi}$ (m)	变水位稳渗强度 $Q_F = \Delta W_F / (\Delta t \cdot \bar{\chi})$ [L/(m ² · h)]	备注														
	斜尺 (mm)	折算斜尺水深 (mm)	首尺水深 (mm)	末尺水深 (mm)																											
	(1)	(2)	(3)	(4)														(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)=(9) × (10)	(12)	(13)	(14)=(11)+(12) - (13)	(15)	(16)	(17)=(14)/[(15) × (16)]	(18)
注 1：每米渠长降雨量 I 和蒸发量 E 的计算见表 H.5 注 3； 注 2：第（6）栏水深计算值在水面平静时可采用斜尺水深；在水面波动或风天测尺差值超过 2mm 时，采用三尺平均数。																															
观测人										计算人																					

表 H. 8 变水位称量法记录及计算表

观测 时间	渠名				测试段编号			测试日期		
	加水前（加水后）水尺读数				加水前(加水后)水深计算值 $h(\text{mm})$	加水前后水深平均值 $h(\text{mm})$	相 应 于 水 深 平 均 值 的 水 面 宽 $B_w(\text{m})$	补加水量		
	斜尺 (mm)	折算斜尺 水深 (mm)	首 尺 水 深 (mm)	末尺水深 (mm)				加水 次数	每次 水重 (kg)	加水总重 (kg)
(1)	(2)	(3)=(2) × K	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)=(9) × (10)
注 1：测验水位应等于加水前后水深的平均值 h ； 注 2：第（3）栏中的 K 值当斜尺倾角为 14.5° 时为 0.25，当斜尺倾角为 30° 时为 0.5； 注 3：第（6）栏水深计算值采用三尺平均数； 注 4：每米渠长降雨量 I 和蒸发量 E 计算所用水面宽度应采用第（8）栏数值。										

观测人

计算人

表 H. 8 变水位称量法记录及计算表(续表)

每米渠长水体变化量 W_{BF} (kg)	每米渠长降雨量 I (kg)	每米渠长蒸发量 E (kg)	每米渠长稳渗量 $\Delta W_F = \Delta W_{BF} + I - E$ (kg)	观测时段 t (h)	相应于水深平均值的湿周 χ (m)	变水位稳渗强度 $Q_F = \Delta W_F / (\Delta t \cdot \chi)$ [kg/(m ² · h)]
(12)=(11)/试段长度	(13)	(14)	(15)=(12)+(13) - (14)	(16)	(17)	(18)=(15)/[(16) × (17)]

观测人

计算人

表 H. 9 变水位稳渗强度曲线回归计算表

渠名			测验段编号					测验日期
序号	h (m)	$T=\lg h$	T^2	Q_F [L/(m ² ·h)]	$M=\lg Q_F$	M^2	$M \cdot T$	$\bar{T} = \frac{\sum T}{n}$ $\bar{M} = \frac{\sum M}{n}$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	
								$Q_F = Ch^D$ 式中 $C = 10^{(\bar{M} - D\bar{T})}$ $D = \frac{\sum(M \cdot T) - \frac{1}{n} \sum M \cdot \sum T}{\sum T^2 - \frac{1}{n} (\sum T)^2}$ 相关系数 R $R = \frac{\sum(M \cdot T) - \frac{1}{n} \sum M \cdot \sum T}{\sqrt{\left[\sum T^2 - \frac{1}{n} (\sum T)^2\right] \cdot \left[\sum M^2 - \frac{1}{n} (\sum M)^2\right]}}$
注 1：第 (2) 栏、第 (5) 栏取自表 H.7、H.8； 注 2：n 为数组数，R 为回归相关系数。								

计算人

表 H. 10 静水法测验渠道渗漏成果汇总

测验段情况		渠道防渗情况				渠道情况		其他情况
渠名		防渗形式				流量(m ³ /s)		1. 测验中有无降雨 2. 代表何类渠道 3. 测验方法 (水位下降法或称量法)
测验段号		防渗质量类别				地下水埋深(m)		
测验时间		测验段几何尺寸				渠基土类		
测验负责人		长度(m)	底宽(m)	纵坡	其他说明	渠基土壤干密度(g/cm ³)		
测验人员						渠基土壤含水率(%)		
恒水位测验水深(m)	恒水位稳渗强度 $Q_{FI} [L/(m^2 \cdot h)]$	单位面积初渗超额量 $W_E(L/m^2)$				稳渗强度 Q_F 和水深 h 的回归关系		
测验人员对测验过程的简述：						测验段及测验段周围地貌描述：		

规范用词说明

规范用词	在特殊情况下的等效表述	要求严格程度
应	有必要、要求、要、只有……才允许	要求
不应	不允许、不许可、不要	
宜	推荐、建议	推荐
不宜	不推荐、不建议	
可	允许、许可、准许	允许
不必	不需要、不要求	
除非在特定情况下。一般不使用“必须”、“严禁”。		

中华人民共和国水利行业标准

渠道防渗工程技术规范

SL × × -2004。

条 文 说 明

（报批稿）

目 次

1	总则.....	120
4	基本资料.....	122
4.1	水文气象、地质和地形条件.....	122
4.2	建筑材料和施工条件.....	122
4.3	其他资料.....	122
5	防渗材料和防渗结构.....	124
5.1	防渗主要原材料.....	124
5.2	防渗结构的技术要求.....	126
5.3	防渗结构的选定.....	127
6	防渗渠道设计.....	131
6.2	流量计算.....	131
6.3	断面形式.....	133
6.4	断面参数.....	134
6.5	断面尺寸水力计算.....	137
6.6	伸缩缝、砌筑缝及堤顶.....	138
7	渠基稳定.....	139
7.1	一般规定.....	139
7.2	湿陷性土基.....	139
7.3	分散性土基.....	140
7.4	膨胀土基.....	141
7.5	盐胀土基.....	142
7.6	冻胀性土基.....	142
7.7	其它情况.....	145
8	防渗结构设计.....	146
8.1	土料防渗.....	146
8.2	水泥土防渗.....	150
8.3	砌石防渗.....	151
8.4	混凝土防渗.....	152
8.5	膜料防渗.....	157
8.6	沥青混凝土防渗.....	162

9	渠道基槽施工.....	165
9.1	填筑和开挖.....	165
9.2	基槽处理和排水设施的施工.....	165
10	防渗结构施工.....	167
10.1	土料防渗.....	167
10.2	水泥土防渗.....	168
10.3	砌石防渗.....	169
10.4	混凝土防渗.....	169
10.5	膜料防渗.....	170
10.6	沥青混凝土防渗.....	171
11	施工质量的控制与检查.....	174
13	测验.....	176
13.1	渗漏测验.....	176
13.2	变形测验.....	180
13.3	冻胀测验.....	181
14	管理.....	182

1 总 则

1.0.1 渠道防渗工程技术就是杜绝或减少由渠道渗入渠床而流失水量的各种工程技术和方法。制定本规范的目的主要是为了满足输配水渠道防渗工程设计、施工、测验和管理的需要，提高其技术水平，保证工程建设质量和应有的寿命，达到持续高效输水，充分发挥工程效益。

1.0.3 渠道防渗工程建设，要力求技术先进、经济合理、经久耐用、运用安全，必须严格执行国家规定的基本建设程序。原渠道增建防渗工程，面广量大，效益显著。但因原渠道没有作防渗工程，增加了水量损失，有的还造成土壤盐渍化，又多占了土地。增建防渗工程以后，尽管效益显著，但原造成的损失已难以弥补。因此，本条规定采取防渗措施时，宜与渠道其它工程项目同时设计和施工，以节约投资，减少占地，提高效益。陕西省的宝鸡峡、冯家山、东雷抽黄和山西省的尊村抽黄等大型灌区，采用这一作法，均取得了显著的效益。

1.0.4 渠道防渗工程，形式简单，技术复杂，适用范围较广。因此，在本条中根据工程的特点规定了进行渠道防渗工程设计应遵循的基本原则和方法，力求技术先进，包括在执行本规范的同时还可结合具体工程条件进行科学试验，并在此基础上采用先进技术，从而为补充和完善本规范提供依据。百年大计，质量第一。任何技术先进、经济合理的渠道防渗工程设计，如无高质量的施工作保证，将会造成防渗效果低、工程寿命短和投资效益差等问题，所以施工中必须严把质量关，施工质量的控制，要贯彻在施工的全过程中，环环紧扣，一丝不苟，务使施工质量达到设计标准。渠道防渗工程受复杂的环境条件影响和各种外力作用，其状态随时都在变化，如设计、施工不够完善或管理运用不当，很容易出现病害。而管理运用中如不及时维修，则病害必将逐渐发展，影响渠道防渗工程的安全运行，严重者甚至会导致失事。实践表明，有些渠道虽然原来属于病险工程，但由于管理得当，及时采取了妥善的维修措施，因而保证了工程的正常运行。因此，为确保工程的安全和完整，延长工程使用寿命，充分发挥并扩大工程效益，必须加强管理，及时认真作好维修工作。

1.0.5 本规范只包括渠道有关防渗工程技术的要求,其他常规工程技术要求仍应遵守农田水利、发电引水、供水等渠道工程现行的国家和行业技术标准。由于这些现行技术标准对防渗工程技术的规定一般未作过专门研究,或不够周密、全面,因此,防渗工程技术部分应按本规范执行。

4 基本资料

4.1 水文气象、地质和地形条件

4.1.1 渠道防渗工程的设计、施工和管理应按本条要求搜集、整理水文气象资料。其中的冰情主要包括封冰(冻)日期、解冰(冻)日期、流冰历时、冰厚、冰块尺寸、冰流量、流冰总量、流冰种类和性质、武开江概率,应根据当地或冰情相似河流的观测资料确定。负气温指数是指一个冻结期内,日平均负气温值的累积值($\sum d$),其中不包括在冻结期内,特别是冻结初期和后期,由于气温回升而可能出现日平均气温为正值的日子。由于工程地点一般设有长期观测的水文气象资料,因此,本条规定可采用条件相似的邻近水文、气象站(台)的多年资料平均值。关于资料系列年限的规定,主要是考虑了我国水文、气象站的资料观测系列还不很长,同时也考虑了使统计值应满足一定的精度要求。

4.1.2, 4.1.3 全面搜集和分析研究渠道沿线的各项工程地质和水文地质资料是进行渠道防渗工程建设的基础。这些勘测试验所得的资料均必须经过有关部门的审查或鉴定以后才能使用。

4.1.4 地形条件是渠道防渗工程设计、施工必备的资料之一,往往是决定工程造价的重要因素。根据工程实践本条规定了工程建设所需的各种地形图,并在达到设计、施工要求的精度和使用方便的基础上,对各种地形图的比例尺也作出了规定。

4.2 建筑材料和施工条件

4.2.1 渠道防渗工程所需的材料量大,因此,就地取材是选择防渗结构的原则。料源应充足,质量优,运输条件好,单价低。

4.2.2 渠道防渗工程的施工条件是保证施工质量,达到工程预期效果的重要因素,应尽力创造良好的施工条件。

4.3 其它资料

4.3.1 扩建或改建渠道防渗工程,应对原渠道的基本情况和工程病害进行调查分析,取得渠床土质和水分状况、渠道水力要素和渗漏量等资料,系扩建或改建防渗工程设计、施工和管理的重要依据。

4.3.2 渠道防渗工程设计者应熟悉建设单位对工程运用的要求，并有当地已建成渠道防渗工程的设计与施工资料、管理运用经验、试验研究成果和竣工验收报告等资料为依据或参考。

5 防渗材料和防渗结构

5.1 防渗主要原材料

5.1.1 粘土和粘砂混合土防渗渠道，土料中粘粒含量多时，胶结力强、活性高，防渗层的强度和防渗性能都较好，所以，规定粘粒含量应大于总量的 20%。表 1 是广东省建材研究所的土料强度试验成果，从中可以看出粘粒含量对土料强度的影响。

表 1 土的颗粒分析和强度试验表

编号	密度 (kg/m ³)	土粒组成 (%)				抗压强度 (MPa)
		砾	砂粒	粉粒	粘粒	
1	2720	9	61	22	8	0.043
2	2720	8	40	32	20	0.048
3	2800	0.5	57.5	19	23	0.150

土的塑性指数与土的颗粒组成有密切的关系，一般说来，土的塑性指数愈高，土的颗粒也愈细，土料防渗的性能较好。对土料防渗渠道的抽样试验结果表明，防渗性能好的粘土和粘砂混合土防渗渠道，其塑性指数均大于 10。但对灰土和三合土防渗层，因为参加了石灰，土料的塑性指数可以低一些，但也应大于 7。因为塑性太低时，粘粒含量少，也影响石灰与土的结合力，使防渗能力大为降低。

土料中有机质的含量，对粘土和粘砂混合土防渗结构应控制其小于 3%；对灰土、三合土防渗结构应控制其小于 1%。这是因为有机质含量影响土的密实度和土料的防渗性能，也影响土的强度。特别是灰土和三合土，土中的有机质会延缓或阻止石灰与土粒间的结合和固结，影响灰土强度，甚至使灰土、三合土内部形成许多发丝状裂缝，降低其防渗能力。四川、湖南省水科所的试验资料表明，当土中有机质含量大于 0.6%时，对灰土的强度开始产生影响，大于 1%后影响明显增加，当其含量超过 3%时，对灰土强度影响很大，试件饱水后全部坍塌。

含盐量多的土遇水会膨胀，易被水溶解流失，从而导致防渗层失稳、滑塌和抗刷能力降低，故本条根据新疆的经验对土的含盐量作了应小于 2%的限制。

水泥土防渗渠道，土料中粘粒含量的多少，对水泥土的强度、

水泥用量、抗渗性、抗冻性及干缩性都有较大影响。土料中粘粒含量过少，则水泥土的抗渗性差；粘粒含量过多，则施工拌和困难、强度低、水泥用量大、抗冻性差、干缩大。为此，一般对其含量都作出了规定。如美国规定土料中小于 0.074mm 的土粒应在 10%～14%之间。印度规定小于 0.002mm 的土粒在 0～15%之间，原苏联 B.M.别兹鲁克等则认为小于 0.002mm 的土粒在 5%～12%之间最适宜。国内如山东、天津、内蒙、湖南、广东、江西、四川、浙江等省的实践，一般要求土料中粘粒含量在 7%～15%之间。综合以上经验，按水泥土防渗、强度、抗冻性能及施工等要求，本条规定，含粘粒量宜为 8%～12%。

砂是水泥土的重要骨料，良好级配的砂含量多，则能配制出强度较高和水泥用量经济的水泥土，但其含量也有一定的适宜范围，过多则不利于抗渗，过少则不经济。美国、前苏联提出砂的含量应在 60%～80%之间；印度为 35%～80%。我国工程实践证明，合理的砂含量也在上述范围，因此，本条中规定含砂量宜为 50%～80%。

5.1.2 生石灰或贝灰应煅烧适度、色白质纯。使用的石灰应有化学成份分析报告，其质量应符合 级生石灰的标准即氧化钙和氧化镁的总含量不应小于 75%；贝灰根据现有成果的综合分析，其氧化钙含量也不得低于 45%。表 2 是石灰质量标准表。

试验证明,石灰中的活性氧化物随存放时间的增长而减少。煅烧的石灰露天堆放半个月,活性氧化物可降低 30%左右,堆放一个月,活性氧化物可减少 40%以上。所以，在施工的全过程中，包括水化、拌和、闷料、铺料和夯压过程，最好不要超过半个月，而且，要妥为堆放，最好随到随用。

表 2 石灰的质量标准

编号	项目		生石灰块			熟石灰块		
			级别			级别		
1	活性 CaO+MgO 含量（%，按干重计）不小于		90	75	60	70	60	50
2	未消解颗粒含量（%，0.6 筛孔以上）不超过		10	12	14	10	12	14
3	细度筛余量（%）不大于	900 孔/cm ²	—	—	—	3	5	7
		4900 孔/cm ²	—	—	—	10	15	20

5.1.3 沥青混凝土对砂料的技术要求，参照《土石坝碾压式沥青混凝土防渗墙施工规范》(SD220—87)中的有关规定，其中，砂料的水稳定等级是判断砂料与沥青粘附性能的指标。其检验方法是将砂粒与沥青拌和，使其表面包裹一层沥青膜，然后将它分别放入不同浓度的 Na_2CO_3 溶液中煮沸，找出沥青膜已剥落的砂粒含量为 50% 的溶液浓度，即可确定其水稳定等级。大量试验资料和工程实践经验表明，水稳定等级大于 4 级，沥青混凝土就具有足够的水稳定性。混凝土对砂料的技术要求，参照《水工混凝土施工规范》(DL/T5144—2001) 中的有关规定。

5.1.4 砂砾料的级配标准选用美国的规定，粒径大于 5mm 的含量为 50%~95%。辽宁水科所在开原县渠道防渗试验工程上采用的砂砾料，大于 5 mm 粒径的含量为 50%~80%。我国采用的标准在图 5.1.4 的范围以内。因此，采用此标准是适宜的。砂砾料的最大粒径是根据美国垦务局 C.W. 琼斯著“美国柔性薄膜防渗渠道砂砾料和土料保护层的特性”一文的建议，选用 75mm~150mm。

5.1.5 混凝土粗骨料的技术要求，系参照 DL/T5144—2001 作出的规定；沥青混凝土石料的技术要求，参照 SD220—87 作的规定。

沥青混凝土中，碱性骨料与沥青的粘附力高，具有良好的水稳定性，建议采用碱性碎石。由于渠道防渗工程一般线路长，所需骨料应尽量就地取材，如当地石料为酸性时，根据坝工和渠道沥青混凝土防渗工程的经验，在酸性石料中掺入石灰或水泥，可明显提高酸性石料与沥青的粘附能力，水稳定性能好，且施工简单，成本较低，易于推广。用卵石拌制的沥青混凝土，卵石与沥青的接触面小，强度较低，建议尽量采用碎石。如果采用天然卵石加工碎石时，宜用大卵石，以增大卵石的破碎面。实践表明，其粒径比应在 3 倍以上。用小卵石作粗骨料，粘附力、胶合力均小，应有充分的技术经济论证。吸水率大的石料，质地疏松，易受水浸湿，易残存水分，从而降低石料与沥青的粘附性能，故对其含量加以限制；石料应有洁净的表面，如为粘土等杂质污染，将降低与沥青的粘附力，故对含泥量加以限制；若粗骨料形状接近立方体，受力条件较好，而针片状颗粒受力后易被折断，故限制了含量。工程实践表明，石料与沥青的粘附性达到四级，可满足工程要求。

5.1.6 矿粉是粒径小于 0.074mm 的矿质材料，其主要作用是填充粗、细骨料的空隙，提高沥青混凝土的密实性、强度和抗渗性能。

因碱性矿料与沥青的粘附力强，宜选用石灰岩和白云岩等碱性矿物。用普通硅酸盐水泥代替矿粉，在青海湟海渠沥青混凝土防渗工程中收到良好的效果，同时，水泥尚兼有酸性石料改性的功能，在缺乏碱性矿粉时，采用硅酸盐水泥代替矿粉，无论在经济或技术上都是合理的。用滑石粉代替矿粉，其性能和效果也是良好的，但成本较高，使其推广受到限制。

矿粉粒径越小，其比表面积越大，从而与沥青混合形成的沥青膏的粘附能力和各种性能越好，沥青混凝土性能得到改善，本条根据国内外有关资料，规定矿粉 100%通过 0.6mm 筛，70%以上通过 0.074mm 筛。这与日本水工沥青混凝土混合料对矿粉的要求接近。

水分含量的限制，目的在于控制矿粉不结成团，易于分散。我国《公路沥青路面施工技术规范》规定矿粉的水分应小于 1%，日本《水利沥青工程设计基准》要求水分不超过 0.5%。本规范规定为 0.5%以下。

亲水系数是评定矿粉亲水性的指标。将相同数量的矿粉，分别放入盛水和盛煤油的量筒中，矿粉在水中沉积的体积与在煤油中沉积的体积之比就是亲水系数，比值越小，亲水性越小。亲水性材料（如石英等）在干燥状态下，虽然其表面也能吸附沥青，但吸附性程度比憎水性材料差，特别在潮湿状态下，沥青与矿物颗粒表面的粘合程度将更减弱。实践证明：使用亲水材料制成的矿粉，不能获得良好的沥青混凝土。因此要求沥青混凝土所用矿粉的亲水系数应小于 1.0。

5.1.8 DL/T5144—2001 中规定水工混凝土粉煤灰掺合料宜选用Ⅱ级或Ⅲ级粉煤灰。烧失量大，主要表现为含碳量多，对混凝土各种性能都有不利影响，因此，规定烧失量作为评定粉煤灰质量主要指标之一。由于干排法获得的粉煤灰，其含水率（%）≤1.0；湿排法获得的粉煤灰，其含水率不宜大于 15%，其质量应均匀。统计我国各电厂 151 个粉煤灰样品，其三氧化硫含量均在 0.1%~1.8%范围内，本规范规定三氧化硫含量不大于 3.0%。需水量比是评定粉煤灰质量的一项重要指标，需水量比，反映了粉煤灰需水量的大小，粉煤灰需水量又与细度、含碳量有关，最终影响到混凝土的强度、施工和易性及耐久性，国内外粉煤灰标准中都规定了对需水量比的要求。

5.1.11 随着石油沥青的发展,我国山东、青海、新疆等地先后采用道路石油沥青修建了沥青混凝土渠道防渗工程,收到了很好的效果。同时,我国在土石坝沥青混凝土防渗工程中也成功的采用了道路石油沥青,从而为沥青混凝土渠道防渗工程采用道路石油沥青提供了成功的经验。渠道防渗工程应采用软化点 45 ~ 60 ,延度大于 60cm,针入度 40 ~ 100 的沥青,因为我国沥青符合上述要求的甚少,规范建议采用 60 甲或 100 甲道路石油沥青。表 5.1.11 系参考中、轻交通量道路石油沥青技术要求所得。

5.1.12 聚乙烯各项技术指标参考《聚乙烯(PE)土工膜防渗工程技术规范》(SL/T231—98)选定;聚氯乙烯各项技术指标参考《土工合成材料 聚氯乙烯土工膜》(GB/T17688—1999)中单层聚氯乙烯土工膜的物理力学性能要求选定;沥青玻璃纤维布油毡是采用玻璃纤维布作基材,以改性沥青作浸涂层,经压制而成的防水卷材。70 年代由西北水科所与青海水科所协作开发并经防渗工程试验取得成功。

5.1.13 高分子防渗保温卷材是西安三联防水材料有限公司最新研制的具有防渗、保温双重性能的新型材料。具有良好的隔热性、抗渗性、抗撕裂、无毒性等优点,且施工工艺简单。表 5.1.13—1 中的技术指标是参照西北水利科学研究所试验成果、GB/T10801.2—2002 和工程实践提出的。

聚苯乙烯板已广泛用于防止地基冻胀和其他结构物的保温。

表 5.1.13—2 是根据《聚苯乙烯泡沫塑料板》(SG232—81)和渠道防渗结构的要求提出的。

5.2 防渗结构的技术要求

5.2.1 本条是按原规范中各种防渗结构的适宜厚度,结合近年来一些渠道防渗工程实践,并参照《灌溉与排水工程设计规范》(GB50288—99)制定的。由于影响渠道防渗结构厚度的因素很多,如渠道断面形状、流量的大小等等,特别是矩形断面渠道,在休灌时,防渗结构受到基土的侧向压力作用,其厚度就要相应加大些。此外,在渠道水面变化区,防渗结构干湿交替,表层易产生剥蚀,厚度也要相应加大些。防渗结构厚度太薄不能满足渠道防渗要求,太厚又不经济,应通过试验研究慎重确定。表 5.2.1 给出防渗结构的适宜厚度,对一般条件下的防渗结构设计是适用的。

5.2.2 防渗结构的允许最大渗漏量、适用条件、使用年限等是参考 D.B.克拉茨著的《灌溉渠道衬砌》和陕西省水利科学研究所编写的《渠道防渗》，并根据我国实际情况，结合渠道防渗工程的大量实验资料经分析研究后拟定的。允许最大渗漏量在原规范中是防渗效果，参照《灌溉与排水工程设计规范》(GB50288—99)，对原名作了较合理的修改。

5.3 防渗结构的选定

5.3.1 气候条件是渠道防渗工程设计和施工应考虑的基本因素，对防渗结构的耐久性和施工方法具有决定性作用。

地形条件往往是决定渠道防渗工程造价的重要因素。在各种防渗结构中，压力管道受地形影响最小，但太贵；低压管道、输水槽及混凝土等防渗结构，较能适应地形的变化；而土料及埋铺式膜料（土保护层）防渗结构，因允许流速小，只能用于较平坦地区。

基土的渗透性是决定有无防渗必要和采用哪种防渗结构的关键，土的冻胀敏感性和抗压强度等都是工程设计应考虑的主要性能。

地下水位高于渠底时，防渗结构存在承受扬压力的问题，需在防渗层下设排水设施。在寒冷地区，地下水位的高低，是防渗工程进行防冻胀设计时需要考虑的。

选定防渗结构时，应考虑土地利用、渠道大小和输水方式。为减少占地，在城郊及人口密集地区，应采用暗渠（管）、输水槽或边坡较陡的 U 形、矩形断面等刚性材料防渗渠道。为了改善旧有灌溉系统和输水方式，如合并地块，改连续输水为轮流输水，改变种植作物等，都应考虑采用刚性材料防渗，使配水渠系占地最小。同时也使轮流输水的渠系能更好地满足配水要求。

选定防渗结构时，应考虑防渗标准。在水费很高的地区，或渗漏水有可能引起渠基失稳，影响正常运行的渠道，防渗标准应提高。宜采用下铺膜料，上用混凝土板作保护层的结构。据国外有关经验，厚 10cm 的混凝土防渗渠道，平均渗漏量为 $21\text{L}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ ，如在混凝土板下加铺聚氯乙烯薄膜，可减少渗漏量 95%。只要持续 12 年，节约的水量，就足以抵偿塑膜增加的投资。

渠道衬砌的耐久性取决于衬砌形式、衬砌材料的质量、渠道的管理养护等。使用年限，对计算工程的经济效益，影响很大，设计

时应慎重确定。

选定防渗结构时，应考虑劳力、能源及机械设备供应情况。在劳力较多、工资较低的地区，宜采用能充分利用劳动力的防渗结构。如采用预制陶瓷板及混凝土板安砌和压实土料防渗等。如压实厚度超过 0.5m 或用现浇混凝土防渗时，则可采用推土机、铲运机、羊足碾及浇筑机等设备，以保证施工质量，加快施工进度，使防渗工程早日受益。

5.3.2 我国幅员广大，渠道防渗结构种类很多，各地应根据具体条件因地制宜选择。表 5.3.2 列出了各种防渗结构的主要技术指标及适用条件，是选择防渗结构时的依据。渠道防渗工程所需材料量大，因此，应就地取材。所选用的防渗结构，要求应达到：防渗效果好，最大渗漏量能满足工程要求；经久耐用，使用寿命较长；渠道的输水能力和防淤抗冲能力提高，渠道断面尺寸减小，施工简易，质量容易保证；管理维修方便，价格合理。

6 防渗渠道设计

6.2 流量计算

6.2.3 条文中给出的式(6.2.3-1)和式(6.2.3-2)是渗漏损失流量的估算公式。估算结果的优劣取决于式中参数 k_a 、 ε_0 、 ε' 、 k 、 m 的选取是否妥当,当然公式的形式也有不够完善之处。如式(6.2.3-1)是目前文献上常见的写法。但门宝辉于《中国农村水利水电》2000年第2期“渠道流量损失及水利用系数公式探讨”一文中指出该式不妥之处在于式中假定单位渠道长度损失流量 $\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{km})$ 是沿渠道全长不变,实际上由于该值沿渠长是变化的,因而,渠道越长按目前公式算的结果误差越大。他利用积分形式导出了一段长度为 L 的渠道,若损失参数为 k 、 m ,其渠首的毛流量 $Q_{\text{毛}}$ 和渠末的净流量 $Q_{\text{净}}$ 之间的关系是:

$$Q_{\text{毛}}^m - Q_{\text{净}}^m = k \cdot m \cdot L / 100 \quad (1)$$

并认为应该用上式取代目前的通用公式

$$Q_{\text{毛}} - Q_{\text{净}} = k \cdot Q_{\text{净}}^{1-m} \cdot L / 100 \quad (2)$$

按照这一思路,式(6.2.3-1)应该用下式取代:

$$q = (Q_d^m + \varepsilon_0 \cdot \varepsilon' \cdot k \cdot m \cdot L / 100)^{1/m} - Q_d \quad (3)$$

式(3)在理论上比式(6.2.3-1)正确这是应当肯定的。但是用式(6.2.3-1)计算时误差究竟有多大应予以复核。经计算当用式(6.2.3-1)代替(3)相对误差小于5%时的允许最大渠长(km)见表3。表中的数字可供使用式(6.2.3-1)参考。本规范之所以未用式(3)替代式(6.2.3-1),其原因除目前一些文献仍采用的是式(6.2.3-1)的形式外,更重要的原因在于它仅是一个粗略估算公式,而公式参数 ε_0 、 ε' 、 k 、 m 值的选定是否合适,比公式的形式更为重要。

至于式(6.2.3-2),也由于参数 k_a 的合理选定对计算结果影响更大,因而对于式中湿周的选取也不作进一步深入推导。

表 3 用现行公式计算渠道渗漏损失相对误差小于 5%时的允许最大渠长
单位：km

k	m	ε_0	$Q_{\text{净}} \text{ (m}^3/\text{s)}$				
			0.5	1.0	2.0	5.0	10.0
0.70	0.3	0.05	342.2	421.3	518.7	682.8	840.6
		0.10	171.1	210.6	259.3	341.4	420.3
		0.15	114.0	140.4	172.9	227.6	280.2
		0.20	85.5	105.3	129.6	170.7	210.1
		1.00	17.1	21.0	25.9	34.1	42.0
1.30	0.35	0.05	192.4	245.2	312.5	430.7	549.0
		0.10	96.2	122.6	156.2	215.3	274.5
		0.15	64.1	81.7	104.1	143.5	183.0
		0.20	48.1	61.3	78.1	107.6	137.2
		1.00	9.6	12.2	15.6	21.5	27.4
1.90	0.40	0.05	138.3	182.5	240.9	347.5	342.2
		0.10	69.1	91.2	120.4	173.7	171.1
		0.15	46.1	60.8	80.3	115.8	114.0
		0.20	34.6	45.6	60.2	86.9	85.5
		1.00	6.9	9.1	12.0	22.9	17.1
2.65	0.45	0.05	105.0	143.5	196.1	296.1	404.5
		0.10	52.5	71.7	98.0	148.0	202.2
		0.15	35.0	47.8	65.3	98.7	134.8
		0.20	26.2	35.8	49.0	74.0	101.1
		1.00	5.2	7.1	9.8	14.8	20.2
3.40	0.50	0.05	87.5	123.8	175.1	276.9	391.6
		0.10	43.7	61.9	87.5	138.4	195.8
		0.15	29.1	41.2	58.3	92.3	130.5
		0.20	21.9	30.9	43.7	69.2	97.9
		1.00	4.3	6.2	8.7	13.8	19.5

6.2.4 对于一条有多个分水口的渠道流量的计算，本条文提出了逆向递推和正向递推两大类计算问题。逆向递推指的是由渠尾向渠首逐段渠道考虑渗漏损失流量后，叠加上分水口流量推出渠首的流量。这种计算方法是人所共知的。然而，在生产工作实际中，还会遇到另一种情况，即已知渠首的总引水流量，需要通过逐段渠道的渗漏损失流量计算，得出各分水口的引水流量，而这些分水口的流量并不是任意的，它们之间具有一定的相对比值关系。此时的计算是顺水流方向推算的，故称之为正向递推法。

正向递推法和逆向递推法一样，要求在各个渠段中的起始断面流量、渠尾断面流量、渠段渗漏损失流量之间满足水量平衡的要求。同样，在各个分水口处，渠道流量和分水口流量之间，也要作到水量平衡。

正向递推方法，可以用来推算在某一特定频率年份的全年或年内某一时段的渠道水利用系数。此时，该年份的全年或年内某一时段的渠首实际总引水量 W_0 (或总平均引水流量 Q_0) 是有记录的，各分水口在相应时段的引水量 W_i (或平均引水流量 Q_i)， $i=1, 2, \dots, n$ ，也是有量水记录的。可是由于各分水口的量水方式具有一定的误差，往往会发现利用 $W_0 - \sum_{i=1}^n W_i$ 作为该渠道总水量的渗漏损失是不合理的，这也就是说各引水口的引水量记录值 W_i 其绝对值是不可信的，但是由于各分水口的水量测量方法大致相同，可认为它们之间的相对数量比值是可信的。基于这种认识，可采用正向递推方法求解。1987 年和 2002 年，此方法曾在山西省重点灌区渠系水利用系数的测试和推算中采用，取得可信的结果。

6.3 断面形式

6.3.1 梯形断面渠道施工简便、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 形渠道等，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，在我国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，弧形底梯形渠道的弧形底部因不均匀冻胀变形造成的折角变形，平均为 0.18° ，而梯形渠道平底折角变形平均为 4.5° 。弧形底断面可以大大减轻冻胀开裂及消融时的滑塌破坏。弧形坡脚梯形渠道曾在甘肃省武威西营总干渠上采用，原西北水科所也在山东打渔张五干渠上进行过试验，实践表明，其适应冻胀变形的能力优于梯形渠道。U 形渠道从 1975 年开始在陕西省大量应用，目前在全国各省、市的小型渠道上得到较普遍的应用，其主要优点是：水力条件好，近似水力最佳断面，可以减少衬砌工程量，输沙能力强，有利于引高含沙水流；在冻胀性和湿陷性地基上适应地基变形的能力较强；渠口窄，节省土地，减少挖填方量；整体性强，防渗效果优于梯形渠道；便于机械化施工。

暗渠不占土地，安全性能高，水流不易污染，在强冻胀地区，可避免冻胀破坏，因此在强冻胀或土地资源紧缺地区，可考虑采用。

6.4 断面参数

6.4.1 渠道堤高超过 3m 或渠道地质条件复杂的防渗渠道的最小边坡系数应采用土坝边坡稳定分析计算办法 ,并考虑防渗渠道的特点 , 经过计算确定。

土保护层膜料防渗渠道的边坡经常出现滑塌事故 , 应慎重对待。大、中型渠道宜按附录 C 计算确定。无条件时 ,可参照表 6. 4. 1-1 选用。

表 6. 4. 1-1 中的数值是根据我国经验 (见表 4) 及国外资料制定的。表 6. 4. 1-2 中的数值是参照国内资料 (见表 5) 制定的。

表 4 我国部分地区土保护层膜料防渗渠道的边坡系数

项 目		设计流量 (m ³ /s)	土质	边坡 系数	水深 (m)
资 料 来 源	新疆建设兵团农 7 师奎屯水库泄水渠	25.0	重粉质壤土	2.5	3.43
	河北省石津总干 4 干 3 分干渠	10.6		2.0	
	河北省石津总干 4 干 1 分干渠	8.2		2.0	1.54
	河北省石津总干 4 干 1 分干渠	6.0		2.0	1.55
	新疆建设兵团农 7 师车排子东支干渠	8.0	重粉质壤土	2.0	1.84
	河北省石津总干 4 干 3 分干渠	4.7		2.0	1.45
	河北省石津总干南 3 支渠	0.4		1.5	0.7
	新疆建设兵团农 2 师铁干里总干渠	16.0	重壤土	1.75	
	新疆建设兵团农 2 师卡拉干渠	10.5	重粉质壤土	1.75	1.50
	辽宁省沈阳沈抚排污干渠	8.0	重壤土	1.75	1.40

表 5 我国刚性材料防渗渠道的边坡系数

渠基土质	设计流量(m^3/s)			
	< 10	10 ~ 30	30 ~ 100	> 100
粘土	0.5 ~ 1.0	1.0 ~ 1.5		
中壤土	0.5 ~ 1.0	1.0 ~ 1.25	1.25 ~ 1.5	1.75
砂壤土	0.5 ~ 1.5			
粉砂或砂土	1.5	1.5 ~ 2.0		
砂卵石	1.5	1.25 ~ 1.5		

6.4.2 防渗渠道糙率值是根据《小型水利水电工程设计图集》中的渠道防渗分册、《渠道防渗》、《U 形渠道》、《灌溉渠道衬砌》、《灌溉排水渠系设计规范》(SDJ217-84)等规范、资料和国内调查资料提出的。本规范中表 6.4.2 中的糙率值是在原《渠道防渗工程技术规范》(SL18-91)给定数值的基础上将其中数值偏小的砌石类防渗渠道糙率进行了一些调整而成的。

式(6.4.2)来源于 W. R. 毛里森及 J. G. 斯塔勃克“塑膜衬砌渠道的性能”一文,计算前应作出砂砾料颗粒级配曲线。

6.4.4 表 6.4.4 给出的防渗渠道的允许不冲流速值是根据我国的调查资料(见表 6、表 7、表 8)及国外资料综合分析后拟定的。

1 在调查中发现,膜料防渗渠道许多粘性土保护层的破坏,不是由于边坡抗滑力小,而是由于流速过大,水位变化区波浪的冲击淘刷或渠系建筑物上下游流速流态的变化引起的。根据新疆建设兵团农 7 师的实测,粘性土保护层的允许流速应比土渠的允许流速小 10%~20%。为了安全,结合各地经验和有关资料,提出了表 6.4.4 土保护层的不冲流速值。另据国外有关资料介绍,粘性土保护层的不冲流速为 0.3 m/s~1.0m/s,有的资料认为不能超过 0.9 m/s,因此,本条规定其下限为小于 0.45 m/s。

2 混凝土等刚性材料本身的耐冲流速很高,但渠道防渗一般为薄板结构,流速太大时,在脉动水压力作用下,容易失去稳定。根据统计,我国各地混凝土防渗渠道的流速一般在 3 m/s 以下。位于新疆、甘肃山前冲积扇上的混凝土防渗渠道,流速有在 3 m/s 以上的,个别达到 5 m/s~6 m/s,但这类渠道,底部大多用浆砌卵石或细粒混凝土砌卵石,边坡混凝土厚度大多超过 0.15m,有的

还沿渠道每 20m 设置了一道厚 0.4 m~0.6m、深 0.8 m~1.2m 的防冲截墙。美国垦务局建议，混凝土渠道流速不得超过 3 m/s。根据上述情况，本条对混凝土渠道设计的允许不冲流速作了规定。

3 石料的抗冲耐磨性能良好，在高流速渠道多采用石料衬砌渠底。从国内调查资料得知，浆砌料石和卵石的抗冲性能好，但宜适当提高砌筑砂浆的标号。干砌卵石挂淤后也可承受较高流速。表 7 是新疆的实测数据。

4 水泥土虽然试验测得的抗冲流速较大（见表 8），但由于缺乏工程论证，对照混凝土，适当降低了水泥土的允许不冲流速。

表 6 我国部分防渗渠道的不冲流速

资料来源	渠道断面形式	防渗层结构及形式	流量 (m ³ /s)	纵坡	流速 (m/s)	备注
新疆自治区金沟河引水渠中段	弧底梯形	底部砌石厚 30cm，边坡预制混凝土厚 10cm	40	1/166	6	
甘肃省西金输水干渠	弧底梯形	底部砌石厚 35cm，边坡预制混凝土厚 15cm	72	1/120	6	每 20 m 设防冲截墙
甘肃西金输水干渠	弧底梯形	预制混凝土厚 15cm	49.2	1/170	5.2	每 20 m 设防冲截墙
新疆自治区安集海引水渠	弧底梯形	底部砌石厚 30cm，边坡为空箱结构	22	1/220	3.6	
甘肃省昌马新总干渠	梯形	底部砌石厚 25cm，边坡现浇混凝土厚 10cm	30	1/90	4.7	每 20 m 设防冲截墙
甘肃省昌马新总干渠	梯形	现浇混凝土底厚 15cm，边坡厚 10cm	30	1/110	4.95	
湖南省韶山灌区	梯形	灰土、三合土	0.42		0.531	
广东省连县奎池渠	梯形	灰土			0.742	
宝鸡峡渠下北干 4 斗渠	暗渠	灰土			0.916	
广东水科所试验渠		三合土	0.065~0.077		0.66~0.75	
长办室内试验	平冲 斜(45°) 冲	水泥土 水泥土			6.0~10.0 3.0~8.0	水泥含量 4%~16%
四川省水科所试验	平冲 斜(45°) 冲	水泥土 水泥土			>14.0 10.0~13.9	

表 7 干砌卵石挂淤渠道的不冲流速 单位：m/s

砌筑状况	水力半径 R (m)	卵石平均尺寸 (m)		
		0.2	0.25	0.3
平面形卵石, 砌筑仔细并表面修整	0.6	3.5	3.8	4.0
	1.0	3.8	4.2	4.4
	2.0	4.0	4.5	5.0
平面形卵石, 砌筑一般	0.6	2.8	3.0	3.1
	1.0	3.1	3.3	3.5
	2.0	3.5	4.0	4.2
非平面形卵石, 砌筑一般	0.6	2.4	2.6	2.7
	1.0	2.7	2.9	3.1
	2.0	3.0	3.5	3.7

表 8 原长江流域规划办公室测得的水泥土抗冲流速

水泥含量(占干土重) (%)		4	7	10	13	16
流速 (m/s)	平冲	6~6.8	6~8.4	> 10.6	> 10.6	> 10
	斜冲	3~6	3~6	6~8.9	6~10.2	6~10

6.5 断面尺寸水力计算

6.5.3 弧形底梯形渠道断面处于水力最佳状况下所应遵循的条件

是 $k_r = \frac{r}{H} = 1$ 。这一条件可由本规范中过水断面面积 及湿周 χ 的公式 (6.5.3-1) 和 (6.5.3-2) 通过 $\frac{d\omega}{dk_r} = 0$ 及 $\frac{d\chi}{dk_r} = 0$ 联合解出。

当从工程各种具体条件判定，需要对计算出的水力最佳断面尺寸进行修改 ,使得在采用的过水断面面积与水力最佳断面面积相差不大，而渠道的宽深比有更多可供选择的方案时，应按附录 D 提供的实用经济断面计算方法进行分析和比选。

弧形底梯形渠道的实用经济断面的公式和表格数据是根据实用经济断面与水力最佳断面通过的流量相同而其断面面积与水力最佳断面面积相比可以稍作变化的条件，按照基本方程

$$\alpha = \frac{\omega}{\omega_0} = \left(\frac{R_0}{R} \right)^{2/3} = \left(\frac{\omega_0 \chi}{\omega \chi_0} \right)^{2/3} = \left(\frac{1}{\alpha} \frac{\chi}{\chi_0} \right)^{2/3} \quad \text{求解得出的, 基本}$$

方程中 ω 、 R 、 χ 是实用经济断面的过水断面面积、水力半径、湿周, ω_0 、 R_0 、 χ_0 是水力最佳断面的过水断面面积、水力半径、

湿周。具体求解时, 将 ω 、 ω_0 、 χ_0 代入 $\alpha = \left(\frac{1}{\alpha} \frac{\chi}{\chi_0} \right)^{2/3}$ 式中,

即可联解出附录 D 中之各式。

6.5.4 本条系根据陕西省 U 形渠道的工程实践经验总结出来的。

6.6 伸缩缝、砌筑缝及堤顶

6.6.1 伸缩缝间距是根据调查资料及国外有关资料分析整理后确定的。缝型是根据我国混凝土防渗渠道的经验提出的。这些缝型与美国、日本采用的近似。具体选择时, 应根据渠道规模、对防渗的要求、地基有无冻胀性或湿陷性及施工条件等因素确定。

关于浆砌石防渗结构是否设伸缩缝, 看法不一。一般认为浆砌石水泥用量很小, 收缩不大, 即使砌体有些微小裂缝, 也没有多大影响; 同时, 伸缩缝如处理不好, 会造成人为的渗漏通道。所以, 一般不要求专设伸缩缝, 只设沉降缝。

伸缩缝、沉降缝的止水材料目前已有很多新品种, 如聚胺脂、聚硫密封膏、树脂油膏、BW 密封自粘胶泥、高压聚乙烯闭孔泡沫塑料、制品型遇水膨胀止水条、橡胶止水带、制品型焦油塑料胶泥、高分子止水带和止水管等。这些材料, 因有的价格较高, 工程应用年限也还较短, 所以, 条文中仅增列了制品型焦油塑料胶泥和高分子止水带和止水管。

6.6.2 水泥土与混凝土预制板和浆砌石防渗渠道的防渗效果的好坏, 很大程度上取决于采用砂浆标号的高低和砌筑质量。由于砌筑是施工质量较难控制的工序, 故砂浆标号应当提高, 才有利于与其他材料粘接牢固。如需要勾缝, 勾缝砂浆的标号应高于砌筑砂浆的标号。

7 渠基稳定

7.1 一般规定

7.1.1 渠道防渗结构多为表面式、薄层结构，本身的强度有限，必须铺设在坚实、稳定的基土上，才能发挥作用。因此，要求渠床土坚实、稳定、平整。为此，渠道选线时，应尽量避免开湿陷性黄土、软弱土、砂土、分散性土、膨胀土、盐胀土、冻胀土，或具有裂隙、断层、滑坡体、溶（空）洞，以及地下水位较高的不良地段，当无法避开时，对不良地基应采取工程措施，确保渠基稳定。

7.1.2 工程实践证明，保持渠道防渗结构的地基稳定，应考虑防渗结构与渠基的共同作用，当基土变形值不大于 5cm 时，可采用适应基土变形的渠道断面和防渗结构；当基土变形值大于 5cm 时，应采用处理渠基的方法；或处理渠基与适应基土变形的渠道断面和防渗结构相结合的方法。适应基土变形的渠道断面有 U 形、弧形、弧形底梯形、弧形坡脚梯形、宽浅矩形等；防渗结构有柔性结构，柔性与刚性复合结构（混凝土板与塑膜复合式），形式改善的刚性结构（架空梁板式—预制 形板、预制空心板式结构）等。

7.1.3 设计渠基处理方案时，应注意考虑防渗结构与渠基的共同作用。各种不良地基多因水分的增加而产生较大变形，导致工程破坏，因此，应优先采用加强防渗、适应变形的防渗结构和渠堤表面防水、排水的措施，尽量减少或杜绝水分渗入渠基，削减或消除处理深度，以降低工程造价。

7.1.4 渠道防渗工程量大面广，防渗结构层薄，影响因素复杂，渠基处理方法又系初次列入本规范，因此，本条规定，1、2、3 级渠道，应在有代表性的渠段上，对已选定的渠基处理方法，进行相应的现场试验或试验性施工，并进行必要的观测，以检验设计参数和处理效果。并在此基础上采用先进技术，从而也可为补充和完善本规范提供依据。

7.2 湿陷性土基

7.2.1 适应基土变形的渠道断面和防渗结构，参见本规范条文说明 7.1.2。工程实践证明，浸水预沉法处理弱湿陷性土基和新建过

沟填方渠道,所需时间较长,工作量大,而效果不大;采用适应变形的渠道断面和防渗结构,不需浸水预沉法处理就能适应基土变形,效果很好。所以,本条文删去了原规范中用浸水预沉法处理弱湿陷性土基和新建过沟填方渠床的规定。直接采用适应变形的渠道断面和防渗结构。

7.2.2 深翻回填渠基法曾在甘肃省靖会灌区等大、中型渠道工程上广泛采用。翻夯深度一般不小于 1.0 m~1.5m,三场塬电灌干渠翻夯深度最大达 4m。夯实干密度要求 $1.55 \text{ g/cm}^3 \sim 1.68 \text{ g/cm}^3$ 。据试验,干密度从 1.4 g/cm^3 提高到 1.6 g/cm^3 ,渗透系数从 $2.4 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ 降低为 $9 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$,而且能消除较大的垂直裂缝,使渗漏均匀。但该法工程量大。

灰土夯实法曾在甘肃省许多黄土地区渠道上采用。灰土体积比采用 3:7 或 2:8;夯实层厚度不小于 30cm;干密度 1.45 g/cm^3 以上;渗透系数约为 $5.8 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ 。甘肃省白银工农渠为 U 形断面现浇混凝土渠道,基础用厚 50cm 的灰土夯实层,行水两个月后,挖坑检查,灰土层下未见渗水,多年来工程运行正常。

打孔浸水重锤夯压或强力夯实法,1985 年曾在甘肃省靖远三场塬电灌干渠上进行了试验。该干渠土壤湿陷系数为 0.052~0.127,自然干密度为 $1.1 \text{ g/cm}^3 \sim 1.3 \text{ g/cm}^3$,自然含水率为 6%~10%。浸水孔用洛阳铲人工造孔,孔径 6cm~8cm,深 4m,孔距 70cm。孔内填粒径小于 3cm 的砂砾石。灌水量按土壤含水率达到 14%~16%而计算确定。落距及击实次数,在原状土上,落距为 10m~12m,击实 9~12 次;在机压过沟填方上,落距为 8m~10m,击实 8~10 次。夯点距 2.5m,梅花形布设。夯后锤底面以下 4m 范围的土壤密度有不同程度提高。其中,2m 范围内效果理想,干密度最大达 1.83 g/cm^3 ;3m 以下干密度为 $1.35 \text{ g/cm}^3 \sim 1.42 \text{ g/cm}^3$;4m 以下因未浸水,土壤干密度无变化。该段工程长 200m,经多年运行,未发现明显的沉陷和裂缝。该法节省人力、物力,降低工程费用,效果较好。

7.3 分散性土基

7.3.1, 7.3.2 分散性土具有易被水冲蚀的特性,容易被雨水淋蚀产生冲蚀孔洞和被渗流水冲蚀出现管涌破坏。分散性土对渠道工程的破坏是严重的、迅速的,但只要通过碎块试验、针孔试验、双比

重计试验和孔隙水可溶盐试验等方法鉴别出来以后,采取合适的措施,在分散性土基上修建渠道防渗工程是安全可行的。

黑龙江省中部引嫩工程 1993 年在扩建中查明,沿渠线基本上都是分散性土,而嫩江又是低含盐量的水流,曾引起北部引嫩渠堤和其它工程的渗流破坏,所以,中部引嫩渠堤以防渗流冲蚀破坏为主,兼顾雨水淋蚀破坏。根据各渠段分散性土的分散程度及渠道填方高度,采取了分别对待、综合治理的措施:对分散性土及高填方渠段,在堤顶和迎水面用 20cm 厚的灰土防水冲蚀,中间加土工膜防渗,灰土中掺生石灰 4%,灰土上面覆盖 20cm 厚的非分散性粘土,种植草皮;在背水坡换土 20cm,种植草皮。对分散性土及填方高 1.5m~2.0m 的渠段,采用灰土方案,中间不加土工膜。对中间状态土(低分散性土)渠段,,在堤顶和迎水面用土工膜防渗,迎水面土工膜上覆盖 80cm 当地土,碾压密实,其上再加 20cm 非分散性土,种植草皮;堤顶土工膜上覆盖 50cm 当地土,碾压密实;在背水坡换土 20cm,种植草皮。经过这样处理后,工程运用情况良好。

新疆引额工程总干渠,多是风化的泥质砂岩或砂质泥岩,属中间状态土(或低分散性土),渠床用 0.6mm 厚的土工膜防渗,其上加 2cm~3cm 水泥砂浆过渡层,再衬砌 6cm 厚混凝土板保护层。工程尚未验收,渠道还未通水,由于堤顶未及时处理,经一次 20min 的大雨,有的渠段水从堤顶沿膜下渗入,发生泥水顶托,导致渠坡防渗结构严重破坏。

根据黑龙江省引嫩工程和新疆自治区引额总干渠工程的实践情况,作出了这两条规定。

7.3.3 渠道外坡或挖方渠道戽台以上的渠坡,主要是防雨水淋蚀破坏,应根据当地的降雨强度和雨量以及土的分散程度、坡高等,设计防水设施和排水系统。本条规定系参照黑龙江省引嫩工程和新疆引额工程的实践情况而作出的。

7.4 膨胀土基

7.4.1, 7.4.2 在我国已建的膨胀土渠道中,诸如,南水北调中线工程陶岔渠首与刁南灌渠、河南信阳南湾灌渠、湖北漳河总干渠,四川东风灌渠、黑龙江引嫩工程等,为预防膨胀土渠道滑坡,保证渠基稳定,曾采用换土、湿度控制、化学固化、土工织物及支挡结

构等方法。根据因地制宜、就地取材、经济合理、施工方便的原则，在此，以防雨水和地表水渗入土体、引起强度大幅度衰减、产生滑塌破坏为主，并兼顾雨水淋蚀破坏。

弱膨胀土渠道，宜采用适应基土变形的渠道断面和膜料防渗结构，堤顶膜层上覆盖 40cm ~ 50cm 厚的当地压实土。强、中膨胀土渠道，其迎水面和堤顶宜用石灰掺量为 4% ~ 8% 的灰土压实 20cm ~ 30cm，其干密度不小于 1.55T/m^3 。在灰土层上，迎水面衬砌防渗结构，堤顶覆盖 10cm 厚的非膨胀土。

7.4.3 渠道外坡及挖方渠戗台以上的内坡，需防雨水淋蚀和下渗而导致滑坡，应设置渠坡防护和排水设施。根据我国已有工程实践经验，作出了本条规定。

7.5 盐胀土基

7.5.1 根据原中国科学院兰州冰川冻土研究所对土体盐胀机理的试验研究，含氯化钠盐土随温度降低出现冷缩现象，盐胀率低于 1%。含碳酸钠盐土当降温速度为 3 /h 时，盐胀率为零；当降温速度为 1 /h 时，盐胀率可达 2%。含硫酸钠盐土，盐胀率可达 6% ~ 8.4%，并主要出现在 20 ~ 5 温度区间。可见，氯化钠盐土可不进行处理，碳酸钠盐土采用适应基土变形的渠道断面和防渗结构即可，硫酸钠盐土应进行处理。

7.5.2 工程实践证明，用砂砾石或灰土等非盐胀土置换盐胀土，可从根本上治理盐胀土渠基，但其工程造价较高，施工量大。用化学添加剂 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 NaCl 、 CaCl_2 、 BaCl_2 进行化学处理，使盐胀土转化为非盐胀土，工程量小，造价低，应用前景广泛，但其最优掺量，应根据盐土中易溶盐的成分和含量，通过试验确定。盐胀土的处理深度，应综合考虑防盐胀和防冻胀的要求，可等于设计冻深，但堤顶（戗台）应大于 0.5m，迎水面应大于 1.0m。新疆玛纳斯河灌区混凝土防渗渠道、甘肃省疏勒河流域安西干渠和新疆自治区引额济克干渠已有的盐胀土（硫酸钠盐土）治理经验，可供借鉴。

7.6 冻胀性土基

7.6.1 我国北方地区多年的工程试验和实践证明，渠道防渗工程的环境同时具备本条中的土质、冻深、水分等 3 款条件时，渠基

土冻胀，可能导致防渗结构破坏，应进行防冻胀设计。土质和冻深标准系参照《水工建筑物抗冰冻设计规范》SL211—98 的规定，水分标准系综合了水利部西北水利科学研究所和甘肃、辽宁、新疆、黑龙江等省区水利科研单位关于冻胀量的试验研究成果。土的毛水管上升高度可按表 9 取值。

表 9 土的毛水管上升高度 Z_0 值表

土类	粘土	重、中壤土	轻壤土、砂壤土	砂
Z_0 (m)	2.0	1.5	1.0	0.5

7.6.3 我国渠道防渗工程实践证明,当渠基土的冻胀性属Ⅰ、Ⅱ级时，按本条规定的渠道断面和防渗结构，即可满足防冻胀的要求。本条中的 1 款是利用结构受力特点,兼有抵御和适应冻胀变形能力的防渗结构措施；2 款和 3 款是以适应冻胀变形为主的渠道断面和防渗结构措施；4 款是利用空气保温以削减渠基土冻胀量的防渗结构措施。

沿渠道断面分缝是刚性材料防渗结构适应、削减冻胀变形的关键措施。渠道衬砌板（块）的隆起架空是冻胀破坏的主要形式之一。已有的工程试验观测发现，渠道边坡在冻胀时发生坡长缩短是产生这种现象的原因。因此，要求沿渠道周边的分缝要有一定的宽度和适当的间距，以便通过缝宽的调整满足缩短量，防止板块间相顶而造成的隆起架空现象。根据国内外工程实践经验，沿渠线方向每隔 3m～5m 设置一横向缝，缝形可用矩形或梯形，缝宽 20mm～30mm。沿渠周方向间隔 1m～4m 设置纵向缝，缝形可采用铰形、梯形或矩形，缝宽 20mm～40mm。纵向缝数可参照纵缝间距和缝宽尺寸范围，依据渠周冻胀后的几何缩短量按公式(4)试算确定，渠周冻胀后的几何缩短量可根据渠道断面尺寸和冻胀量分布情况通过计算求得。水利部西北水科所提供估算纵缝数的经验式（4），据此确定缝距的方法，可供参考。

$$n = L / (b - 15) \tag{4}$$

式中 n —纵缝数；
 L —渠周几何缩短量，mm；
 b —缝宽，mm。
 变形缝内填充粘接力强、变形性能大，在当地最高气温下不流

淌、最低气温下仍具柔性，能适应上述渠坡长度冻胀变化时缝宽的伸缩变化的弹塑性止水材料。

7.6.4 渠基土的冻胀性属于Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ级时，基土的冻胀量基本上都超过防渗结构的允许位移值，因此，对防冻胀的要求较高，所以，对防渗结构形式和削减冻胀方面作出规定。其中1款是削减渠底冻胀作用，限制槽侧回填土高度，兼具削减和回避冻胀作用的防渗结构措施；2款是适应冻胀变形为主的防渗结构措施；3款是考虑大、中型渠道较重要而提出的综合性措施；4款是属于回避冻胀的措施，可彻底消除冻胀，但工程量大，造价高，宜慎用。

7.6.5 冻胀土基的处理，主要是从冻胀三要素温、土、水方面分别采用了下列方法：

1 在防渗结构下设保温层（如聚苯乙烯泡沫塑料板、高分子防渗保温卷材等），削减或消除渠基土冻胀，具有施工简易，效果明显等特点。保温层的厚度，大型渠道应通过热工计算确定。对于中、小型渠道，可按10mm厚的保温板（其性能满足工程要求）可减少100mm~150mm冻深估算，这个比例是通过热工计算和实际工程验证过的，可满足工程实用要求。

2 用非冻胀土置换冻胀性土是削减渠基土冻胀的良好措施，但渠道线长，置换工程量大，因此，从经济上考虑，这种方法一般只适用于当地或附近有较丰富的非冻胀土条件，而且应保证置换层在冻结期不饱水或有排水出路和防止在使用期间受细颗粒淤塞而导致冻胀。

3 设置排水系统，降低地下水位和土中水分，是削减渠基土冻胀的措施，也是保证置换层能有排水出路的方法。采用此法的关键是彻底掌握当地的水文地质资料，搞好排水设施（盲井、暗管、反滤体等）的设计，并能保证其长期正常工作。

4 用压实法或强夯法提高渠基土密度以削减冻胀量的方法是最简单易行的措施。大量的室内外试验成果表明：当饱和度一定时，土的冻胀量随土体密度的增加而减小。有些单位还分别建立了封闭系统和开敞系统冻结时，密度与冻胀量间的定量关系。实测资料证明，在较小的荷载作用下，当压实度为0.95、干密度不小于 1.58T/m^3 时，土的冻胀量已很小。鉴于渠道防渗结构体薄自重轻，为避免发生严重的冻胀积累，压实土的密度逐年降低，所以，规定压实度不低于0.98，干密度不低于 1.6T/m^3 ，且不小于天然干密度

的 1.05 倍。压实深度不应小于渠床置换深度。

7.7 其它情况

7.7.2 根据新疆自治区引额济乌干渠和宁夏扬黄工程的经验,砂土基宜先振动压实后开挖,挖好的渠床应立即喷射水泥浆或石灰浆等固砂层。

7.7.3 开挖回填处理窑洞、墓穴法,在陕西省宝鸡峡塬下北干渠等工程上应用,取得较好效果。1979 年,陕西省石堡川灌区采用灌泥浆,或灌注掺 10%~30%水泥的泥浆,处理了 10 处出现沉陷、裂缝、洞穴的填方段。至 1982 年,灌入泥浆量折合干土 4104.7m^3 ,为 10 处填方总土量的 0.4%,加固了填方,保证了安全输水。灌浆标准是将灌浆总压力控制在 $0.03\text{MPa} \sim 0.04\text{MPa}$,持续 $10\text{min} \sim 20\text{min}$,当单位吸浆率降到 0.5L/min 时封孔。填方工程的灌浆应在填方运用 3 年之后进行,并宜进行多次。新建填方一般没有固结,几乎不吸浆,因此不宜采用灌浆法。

7.7.6 对地下水位高于渠底(要考虑汛期和灌溉后地下水上升的情况)的;或地下水位虽不很高,但渠基土透水性差,渠道的渗漏水和浸入渠基的雨水不能很快渗入基层深处时,为了消释地下水对刚性材料和膜料防渗结构的浮托力,减少基土水分,防止冻胀(冻胀性土)、湿陷(大孔性黄土)、滑塌(傍山、塬边渠道)等事故,应区别不同情况,按附录 E 方法设置排水设施。

8 防渗结构设计

8.1 土料防渗

8.1.1 土料防渗结构应满足防渗性能好和强度较高的要求。土料的配合比，因其成团粒结构存在，无法根据土的级配好坏选择，只能以最大密实度去选择。

8.1.2 表 10 和表 11 是各地现场铺筑或试验的灰土、三合土配合比。归纳各地生产和试验的配合比，提出配合比的适宜范围如下：

表 10 我国各地灰土的配合比

资料来源	配合比（重量比） 石灰:土	备 注
四川省、江苏省	1 : 5~1 : 9	根据各种土类试验结果，上限 1 : 5， 下限 1 : 9，活性土壤最优配合比为 1 : 9
湖南省株洲市	1 : 6	
陕西省水科所	1 : 3~1 : 6	黄土，用于暗渠，用灰量宜为 25.0%~14.3%
贵州省红枫电灌 站	1 : 3~1 : 4	认为 1 : 1~1 : 3 为好，可以采用较 薄厚度
山西省	1 : 6	黄土
浙江省	1 : 5~1 : 10	
广东省连县、汕头 市	1 : 6 1 : 5~1 : 9	汕头为贝灰，认为最优配合比为 1 : 5
《渠道防渗》一书 介绍： 北方多采用 南方多采用	1 : 3~1 : 6 1 : 2~1 : 6	

表 11 我国各地三合土的配合比

资料来源	配合比 (重量比) 石灰 : 土 : 砂	土与砂百分比 (%)	备 注
四川省	1 : 9 : 10	48 : 52	
	1 : 9 : 5	65 : 35	
	1 : 5 : 3	62 : 38	
	1 : 5 : 6	46 : 54	
湖南省 (韶山灌 区)	1 : 2 : 3	40 : 60	
	1 : 2.7 : 6.3	30 : 70	
	1 : 4.5 : 4.5	50 : 50	
	1 : 4.95 : 4.05	55 : 45	
	1 : 1 : 2	30 : 70	
	1 : 1 : 5	20 : 80	
	1 : 3 : 7	30 : 70	
山东省冶源	1 : 2 : 6	25 : 75	
	1 : 2.5 : 1.5	60 : 40	
	1 : 2 : 3	40 : 60	
贵州省	1 : 2 : 2	50 : 50	
福建省菱溪	1 : 2 : 3	40 : 60	
陕西省	1 : 1 : 6	14 : 86	
	1 : 6 : 1	86 : 14	
广西自治区来宾	1 : 4 : 1	80 : 20	
	1 : 6 : 1	86 : 14	
海南省翁龙	1 : 1 : 3	25 : 75	
	1 : 1.2 : 2.8	30 : 70	
	1 : 1.6 : 2.4	40 : 60	
广东省英德长湖	1 : 2 : 4	30 : 70	贝灰三合土
广东省	1 : 1 : 4	20 : 80	
汕头市	1 : 1 : 3	25 : 75	

1 灰土的适宜范围是灰与土之比为 1 : 3~1 : 9 (重量比,下同)。灰土配合比应根据石灰质量和土的性质选取。如石灰质优,土的活性成分多、塑性指数高时,石灰用量可适当减少,宜选用 1 : 6~1 : 9。相反应采用 1 : 3~1 : 5。广东省水科所做的灰土强度试验,土质为重壤土,小于 0.005mm 的粘粒含量占总重的 28.5%,塑性指数为 11,二氧化硅为 57.73%,三氧化二物为 31.65%,石灰的氧化钙含量为 67.97%,氧化镁为 1.18%,试验了 1 : 3~1 : 9 七个配

合比。试验结果表明：在自然空气中养护 28d 的强度，以 1：3 时最高，见图 1。

另外，根据湖南省韶山灌区经验，选用配合比时，还可根据石灰质量的好坏增减石灰的用量。在原来 200kg 的基础上可减至 175kg，或增至 225kg。根据这一经验，规定了增减石灰用量的范围为 $\pm 10\%$ 。

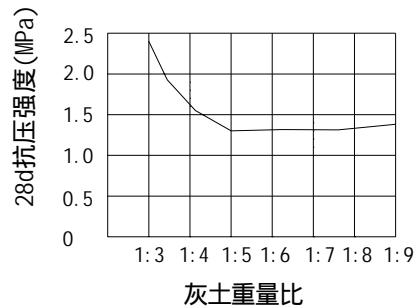


图1 灰土强度与配合比关系曲线

2 三合土配合比的适应范围，是石灰与土加砂之比为 1：4~1：9。其中，土与砂的比例，由于各地使用的土和砂的颗粒级配不同，情况较为复杂。据统计，一般土重占土砂总重的比例为 30%~70%。根据湖南省韶山灌区的经验，认为粘土最高含量不宜超过 50%。粘土含量过高时，三合土的强度和抗冻融剥蚀的能力将明显降低。因此，本条规定土占 30%~60%，砂占 40%~70%。实际使用时，应由试验确定。

8.1.3 在灰土和三合土中，水不仅参与化学反应，而且含水率的多少对夯实的密度有很大影响。土料含水率太少，土粒间的内聚力和摩擦力很大，很难压实；土料含水率太多，水妨碍了土粒的接近，压实时，出现橡皮土现象，难以达到最大密实度；土料为最优含水率时，在一定压实功能下，才能得到最大密实度。因此，最优含水率应按标准击实实验法选取。无条件试验时，本条提供了最优含水率的范围，供选定。

8.1.4 渗漏量随防渗结构薄厚而变。在土料组成、施工质量和水深相同的情况下，渗漏水量随着防渗结构厚度的加大而减少。如贵

州省水科所在红枫电灌区的试验表明，配合比为 1：4 的灰土，厚度 20cm 和厚度 10cm 的相比，每年可减少渗水量 45800m³。但太厚不经济，太薄又不能满足防渗要求。多厚才合适，要通过试验确定。我国一些地区渠道土料防渗结构的厚度见表 12。

表 12 我国一些地区渠道土料防渗结构厚度

地区	厚 度 (cm)			备 注
	渠底	侧墙	渠坡	
河北省房涿灌区干渠	20		15	粘土层夯实,属垫层
山西省汾河水库干渠	30		30	黄土人工夯实
福建省	30~50		30~50	粘土夯实
湖南省韶山灌区支头架	20	20		三合土夯实
株州醴陵北干渠	8		8	三合土夯实
贵州省利民水库工程渠道	5~10		5~10	三合土夯实
红枫电灌总干渠	10~20		10~20	三合土夯实
山西省汾河水库干渠	20~40		20~40	黄土三合土夯实
广东省汕头地都灌区渠道	10	14~20		贝灰三合土夯实
湖阳龙溪东干渠	10		10	三合土夯实
湖阳龙溪东干渠	10	25		三合土夯实
惠阳惠来石榴潭干渠	15		15	三合土夯实
韶关英德长湖引水渠	5~7		5~7	三合土夯实
官坡电站引水渠	20			四合土夯实
连县池奎引水渠	10~15		10~15	灰土、三合土夯实
江苏省 暗渠	5~15	20~25	拱顶 25~30	灰土人工夯实,一般采用土模
陕西省 暗渠	20	20	拱顶 20	灰土人工夯实
四川省 暗渠	15	15	拱顶 15	灰土人工夯实
山东省白浪河涵洞	30	30		三合土夯实

影响防渗结构厚度的因素是多方面的。如流量的大小、边坡的陡缓。特别是矩形渠道，在休灌时受土的侧向压力作用，其厚度要相应加大。实践证明，不但冻蚀对护面有影响，时干时湿同样能使灰土表层逐渐剥落，在水面波动范围尤为严重。另外，灰土过薄，也易与土基分离。例如，广东省长湖引水干渠灰土防渗工程厚度只有 5 cm~7cm，现已全部剥落。根据我国现有土料防渗工程的使用情况，规定厚度不得小于 10cm 是可行的。

表 8.1.4 中所列数值，是根据各地工程实例，并参考有关国外资料，综合分析后制定的。

8.2 水泥土防渗

8.2.1

1 目前国内对水泥土配合比的表示方法主要有以下三种：

1) 用水泥与干土重的比值表示。如水泥土配合比为 1:8，即表示 1 份水泥，配合 8 份干土料。

2) 用水泥掺量表示。如某工程水泥土的水泥掺量为 12%，即表示每 100 份水泥土干料中掺 12 份水泥。

3) 用水泥、干土料、水各占水泥土混合物干重的百分数表示。如某工程水泥土配合比为 15:85，含水率为 13%，即表示每 100 份水泥土干料中，水泥占 15 份，干土料占 85 份，水（包括拌和时的加水量与土料中所含水量之和）为水泥土干料重的 13%。

上述三种表示方法，第一、第二种表示方法便于施工时计算材料用量，但不如第三种方法概念清晰，本规范采用第三种表示方法。

2 根据浙江、江西、四川、广西、山东、广东、云南等省、自治区的试验，水泥土的渗透系数与土料性质及水泥土干密度关系密切。水泥土的 K 值一般为 $A \times 10^{-6} \text{cm/s}$ ($1 < A < 10$)。当土料中粘粒含量较多时，K 值为 $A \times 10^{-6} \text{cm/s} \sim A \times 10^{-8} \text{cm/s}$ ；反之 K 值较大。在实际应用中，有相当一部分水泥土防渗工程的 K 值为 $A \times 10^{-5} \text{cm/s}$ ，仍有良好的防渗效果。

3 水泥土的适宜含水率随土料种类及水泥用量不同而异。条文中所推荐的数值是山东、四川、浙江、广西、湖南、江西、云南等省、自治区多项工程实际采用数据的统计结果。

8.2.2 根据《灌溉渠道衬砌》一书介绍，美国等国家，水泥土防渗结构的厚度为 7.5 cm~15cm。据国内各省、自治区资料统计，水

泥土防渗结构的厚度一般为 8 cm~10cm ,最厚为 15cm ,最薄为 5cm (多为流量 $<0.5\text{m}^3/\text{s}$ 的渠道)。

8.2.3 “对耐久性要求高的明渠水泥土防渗结构”,是指大型渠道及工作条件差的渠道。据四川省升钟水库定水支渠、四川省安岳县书房坝水库左干渠的试验及应用证实,在塑性水泥土表面铺设刚性保护层的防渗方式,既发挥了水泥土的防渗效果好、施工简易、造价低廉之长,又弥补了其强度低、耐久性较差之短,是一种有实用价值的防渗方式。表 13 是升钟水库、书房坝水库采用的刚性保护层材料及有关尺寸。铺设保护层后,塑性水泥土防渗结构厚为 4cm~6cm。据静水法测验结果,当采用塑性水泥土防渗结构厚 6cm、50 号水泥砂浆保护层厚 2cm 的防渗方式时,稳定入渗强度为 $0.159\text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,为同条件浆砌石防渗结构入渗量的 $1/43.3$,为现场浇筑混凝土(厚 8cm)防渗结构入渗量的 $1/2\sim 1/6$ 。铺设刚性保护层的水泥土防渗,每平方米造价比浆砌石低 40%~50%,比混凝土低 20%~50%。而且由于保护层是在塑性水泥土初凝前铺设的,保护层与塑性水泥土结合得很好,在上述 10 多 km 长的渠段上,未发现有任何分离迹象。

表 13 刚性保护层材料及有关尺寸

保护层材料名称	保护层厚度 (cm)	保护层材料性质	保护层横向伸缩缝 间距(m)
水泥砂浆	2	M5 砂浆	3~5
混凝土预制板	3~4	C10 混凝土	
石板	3~5	朱罗系红色砂岩石板	

8.3 砌石防渗

8.3.2 国内大部分浆砌石防渗渠道没有设垫层,直接砌筑在渠基上,因石板较薄,为使其与渠基紧密结合,应铺一层 2cm~3cm 厚的砂料或低标号砂浆作垫层。为提高砌石的防渗效果,应在砌石下面加铺粘土、三合土、塑性水泥土或塑料薄膜层,这些附加措施宜在防渗要求较高的大中型防渗渠道中采用。

8.4 混凝土防渗

8.4.1 混凝土配合比设计的基本原则为：(1) 最小单位用水量；(2) 最大石子粒径和最多石子用量；(3) 最佳骨料级配；(4) 经济合理地选择水泥品种和强度等级。

在配合比选定中，应满足混凝土设计强度、抗渗性、抗冻性和施工和易性等要求，同时应综合分析比较，合理地降低水泥用量。

1 确定混凝土的配合比可按如下步骤进行：

- 1) 按工程规模、水文气象与地质条件和防渗要求确定混凝土性能（强度等级、抗渗等级、抗冻等级）。
- 2) 按原材料的质量要求，选择原材料。
- 3) 按《水工混凝土施工规范》(DL/T5144—2001) 中的规定，计算混凝土的配制强度。
- 4) 按强度和耐久性要求选择水灰比、掺和料和外加剂用量。
- 5) 按防渗结构厚度选择石料的最大粒径，按设计要求的坍落度，确定单位用水量，并计算出每立方米混凝土的水泥用量。
- 6) 按石料的最大粒径、级配及水灰比选定砂率。
- 7) 按绝对体积法或假定容重法，算出每立方米混凝土的砂石料用量。
- 8) 通过试验和必要调整，选用强度、抗渗、抗冻和和易性均满足设计要求的混凝土配合比。

2 《水工混凝土结构设计规范》(SL/T 191—96) 已将混凝土性能表示为：混凝土强度等级，按标准方法制作养护的边长为 150mm 的立方体试件，在 28d 龄期，用标准试验方法测得的具有 95% 保证率的抗压强度标准值确定，并用符号 C 和抗压强度标准值 (以 N/mm^2 计) 表示；混凝土抗冻等级，将 28d 龄期的标准试件用快冻试验方法测定，并用符号 F 和冻融循环次数表示；混凝土抗渗等级，将 28d 龄期的标准试件用抗渗试验法测定，并用符号 W 和水压力表示。

渠道防渗用混凝土水灰比多在 0.5 ~ 0.6，只要级配合理，都能满足 W6 的抗渗要求，故提高了混凝土的抗渗等级。

(SL/T 191—96) 中关于混凝土抗冻等级的规定，在无抗冻要求地区的混凝土抗冻等级不宜低于 F50。目前在北方的渠道防渗工程中混凝土抗冻等级一般采用 F100、F150，故提高了混凝土的抗冻等级。

3 根据新疆、甘肃等省、自治区防渗渠道的设计及运用经验,为保证混凝土防渗工程的使用寿命,特作本款规定。

4 《水工建筑物抗冰冻设计规范》(SL 211—96)将气候分区分为严寒、寒冷、温和三个类别,严寒为最冷月平均气温低于 -10°C ,寒冷为最冷月平均气温 $-10^{\circ}\text{C} \sim -3^{\circ}\text{C}$,温和为最冷月平均气温高于 -3°C 。(DL/T 5144—2001)按此三个分区对混凝土水胶比最大允许值进行了调整,所以在原标准基础上缩小 0.05。

5 根据渠道防渗工程调查,混凝土坍落度大多为 $3\text{cm} \sim 5\text{cm}$ (人工)或 $2\text{cm} \sim 3\text{cm}$ (机械),因此对 SL 18—91 中的坍落度规定进行了调整。

6,7 混凝土的最小水泥用量和用水量,是参照 SL/T 191—96 并考虑混凝土衬砌的主要目的是防渗,又是薄板结构这些具体条件确定的。据统计,一般防渗工程混凝土的实际水泥用量,都超过 $225\text{kg}/\text{m}^3$,多能符合本款规定。

8 水泥有硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥和抗硫酸盐硅酸盐水泥等十几个品种。当混凝土有抗冻要求时,应优先选用普通硅酸盐水泥,当环境水对混凝土有硫酸盐侵蚀时,应优先选用抗硫酸盐水泥。

12 本款是根据《锚杆喷射混凝土支护技术规范》(GBJ86-85)的规定和《混凝土实用手册》以及陕西省冯家山水库灌溉管理局、陕西省宝鸡峡灌溉管理局在干、支渠上的经验,总结确定的。

根据 GBJ86-85 的规定,鉴于普通硅酸盐水泥掺有适量的磨细石膏,含有较多的 C_3A 和 C_3S ,凝结时间较快,与速凝剂有较好的相容性,因此,应选用普通硅酸盐水泥。为了保证混凝土的强度,减少混凝土的收缩,并减少粉尘,宜采用中、粗砂。为了减少拌和时水泥的飞扬损失,降低粉尘,也有利于水泥充分水化,要求砂的含水率为 $5\% \sim 7\%$ 。根据以往经验,为减少回弹和管路堵塞,石料的最大粒径不宜大于 15mm 。

8.4.2 防渗结构设计

1 等厚板因施工方便、质量易控制而得到普遍应用。在没有特殊地质问题的地基上,只要施工得当,完全可以满足防渗和安全运行的要求。我国部分省、自治区,主要是北方省、自治区,为防止混凝土防渗层的冻胀破坏,发展了一些新型的结构型式,主要有:

(1) 用于边坡的楔形板。在冻胀作用较强的坡脚增加板厚;渠上

口厚度减小。陕西省宝鸡峡塬下北干渠、泾惠渠灌区的一些渠道以及新疆等地均有采用，效果较好。(2) 肋梁板。陕西省宝鸡峡塬边总干渠中有 75km，塬上总干渠有 72km，冯家山北干渠有 42km 以及其它一些渠道采用，效果良好。梁与板一般一次现浇，或者肋梁采用预制钢筋混凝土，板为现浇的，如泾惠渠南干渠等，还有采用喷射混凝土施工的肋梁板，如宝鸡峡塬下南干渠等。此外陕西省的 U 形渠道大量采用了肋梁弧形板，其中宝鸡峡塬下北干渠有一试验段，流量 $25.8\text{m}^3/\text{s}$ ，渠口宽 6.9m，板厚仅 6cm，梁间距为 1.0m。冯家山在总干渠流量为 $58\text{m}^3/\text{s}$ 的退水渠和流量为 $2.4\text{m}^3/\text{s}$ 的北干 8 支渠上，也采用了 U 形肋梁板。上述渠道多年来都运行良好。(3) 中部加厚板。在冯家山总干渠(流量 $43\text{m}^3/\text{s}$)及南干渠(流量 $9\text{m}^3/\text{s}$)共 53km 上采用。(4) 形板。在北京京密引水渠(设计流量 $40\text{m}^3/\text{s}$)和甘肃安西总干渠采用，其稳定性较好，在板下的空间兼有保温作用。(5) 整体预制的 U 型和矩形渠槽。在陕西、山西、甘肃等地的小型渠道，及个别中型流量渠道上也有采用，钢筋混凝土 U 形槽在甘肃等省湿陷性较强的黄土地基上有较广泛的应用。上述防渗层结构型式，可根据渠道防渗工程的具体条件选用。

我国混凝土防渗渠道目前采用整体现浇混凝土的多，原因为现浇混凝土成本低于预制混凝土板，使用寿命比预制混凝土板长，防渗效果好。

2 美国、日本等国混凝土渠道防渗层的厚度，是根据流量大小确定的，一般为 6cm~12cm，特殊条件下可达 30cm~40cm。表 8.4.2 中的数据，是统计了新疆、甘肃、陕西、山西、北京、辽宁、河南、江西、湖南、广东等省、市、自治区，寒冷和温和地区，共 60 多条渠道的平均防渗层厚度（见表 14 及表 16）而拟定的。

高流速和有砾石类推移质渠道混凝土防渗层的最小厚度，是参照国内现有工程实例（表 15）拟定的。

表 14 我国渠道混凝土防渗结构厚度统计 单位：cm

地区	流量 (m^3/s)				
	2	2~5	5~20	20~100	100
温和地区	5	6	7.5		8
寒冷地区	5.5	7	9.4	11.3	

表 15 我国部分高流速渠道防渗工程的情况

渠道名称	断面形式	防渗层结构形式	流量 (m^3/s)	纵坡	流速 (m/s)	备注
新疆金沟河引水渠中段	弧底梯形	底部砌石厚 30cm, 边坡预制混凝土厚 10cm	40	1/166	6	
甘肃省西金输水干渠	弧底梯形	底部砌石厚 35cm, 边坡预制混凝土厚 15cm	72	1/120	6	每 20m 设防冲截墙
甘肃省西金输水干渠	弧底梯形	预制混凝土厚 15cm	49.2	1/170	5.2	
甘肃省昌马新总干渠	梯形	底部砌石厚 25cm, 边坡现浇混凝土厚 10cm	30	1/90	4.7	
	梯形	现浇混凝土底厚 15cm, 边坡厚 10cm	30	1/110	4.95	

表 16 渠道混凝土防渗工程实例

省份	渠道名称	防渗层结构型式	流量 (m^3/s)	混凝土 强度等级	防渗层 厚度 (cm)
陕西	宝鸡峡总干渠	现浇肋梁板	50	C10	8~12
	宝鸡峡干渠	肋梁板	8~25	C10	6~10
	宝鸡峡斗渠	现浇平板	<1	C10	6
	泾惠渠干渠	肋梁板及平板	12~24	C10	8~10
	冯家山干渠	肋梁板	4~22	C10	6~10
甘肃	民勤县总干、干渠	预制平板	5~25	C10	6~8
新疆	呼图壁河支渠	现浇平板	3.8	C15	10
山西	汾河一坝东干渠	现浇平板	5	C10~C15	10
辽宁	刘大总干渠	现浇平板	12	C15	15
河南	人民胜利总干渠	现浇平板	101	C10	10
江西	上游水库总干渠	预制平板	20	C15	8~15
湖南	韶山支渠	预制平板	<1	C10	5
广东	松涛总干渠	现浇平板	103	C10	5~6

	青年运河	现浇平板、纵向 肋梁	120	C15	5~6
	雷社唐电站渠	现浇平板	1.5	C10	4

3 本款是参照陕西、甘肃、北京一些已建工程的经验确定的。陕西省宝鸡峡塬边总干渠、冯家山北干渠等所采用的肋梁板，肋梁间距为 1.0m~1.2m，边坡厚为 8cm~12cm 的楔形板，肋高（不包括板厚）为 20cm，肋长由正常水位控制；北京市京密引水渠和陕西省冯家山北干渠以及甘肃省安西总干渠的预制形板，板厚 4cm~6cm，边缘高 8cm~15cm（包括板厚），板下空隙 4cm~9cm，短边肋宽 4cm~15cm；冯家山总干渠和南干渠采用中部加厚板衬砌，坡脚厚 10cm~12cm，坡中厚 12cm~15cm，渠口处厚 8cm，加厚的下部起点为板长的 1/5，上部终点为板长的 1/3。

4 国内已建成的大量 U 形和矩形混凝土防渗渠道，一般厚度仅 6cm~10cm，运用中未发现裂缝。这说明，在粘性土地基中，渠深较小时，土边坡能够自稳，对 U 形和矩形的边墙没有或有很小的外压力。据验算，黄土直立高度不大于 3m 时，可以自稳。防渗结构只起表面护砌作用，不承受外压。鉴于以上情况，本款规定，U 形和矩形断面渠道，可先对土坡进行滑动稳定分析。如果稳定时，U 形或矩形防渗层的最小厚度可按表 8.4.2 采用；如土坡不稳定，或有较大外压力时，宜采用钢筋混凝土结构。U 形和矩形渠的侧墙，应根据承受的荷载，进行结构验算。

验算时，计算的载荷有自重、内外水压力、水平土压力、冻胀压力、渠岸活荷载和地基反力等。计算图形可简化为平面矩形或拱形框架。当顶端有撑杆时，应考虑撑杆的支撑作用。

5 预制混凝土板砌筑是预制混凝土板衬砌防渗的关键，目前影响预制混凝土板衬砌防渗应用的原因是勾缝砂浆脱落。黑龙江省木兰县香磨山灌区在勾缝砂浆中掺入聚丙烯纤维，山西、河北等地在勾缝砂浆中掺入膨胀剂。预制混凝土板砌筑，一定要注意砂浆的养护。

6 钢筋混凝土无压暗渠的结构计算可按下列方法进行：

- 1) 预制盖板式暗渠的盖板，可按简支梁计算。
- 2) 整体式底板，将侧墙与底板作为整体结构计算。
- 3) 分离式底板，侧墙按挡土墙计算，也可考虑盖板和底板的

支撑作用。

4)箱形暗渠,可按整体框架计算。

5)城门洞形暗渠的拱圈,根据与侧墙连接方式的不同,可按无铰拱或二铰拱计算。计算侧墙时,应考虑拱顶的推力。

6)水下部分的钢筋混凝土,应进行裂缝宽度验算。

8.5 膜料防渗

8.5.1

1 埋铺式较明铺式膜料防渗结构,不易破坏,寿命长。因此,本规范规定采用埋铺式膜料防渗结构。

2 为保证膜料在施工中不被破坏,在岩石、砂砾石基槽面上或采用可能破坏膜料的保护层时,在基槽与膜层之间、保护层与膜层之间应设过渡层。

8.5.2 膜料防渗层的铺设范围,有全铺式、半铺式和底铺式三种。全铺式为渠坡、渠底全铺,渠坡铺膜高度与渠道正常水位齐平或高于正常高水位;半铺式为渠底全铺,渠坡铺膜高度为渠道正常水深的 $1/2 \sim 1/3$;底铺式仅铺渠底。

据美国等国外资料,底铺式膜料防渗渠道,可减少渗漏量50%左右。为降低造价、减少防渗工程量,我国一些地区采用底铺式,如京密引水渠($Q=40\text{m}^3/\text{s}$)和石津灌区总干渠($Q=60\text{m}^3/\text{s}$);半铺式膜料防渗渠道,在原渠改建时用的很多,如新疆建设兵团农一师的一些干支渠,在改建时为了保留渠堤上的树木而采用半铺式。根据新疆水科所的静水法测验,半铺式的防渗效果,一般达到全铺式的87.7%~92.0%。从全国范围看,采用较多的是全铺式塑膜防渗渠道,如奎屯水库东泄水渠($Q=25\text{m}^3/\text{s}$)、铁干里总干渠($Q=18\text{m}^3/\text{s}$)等。

8.5.3 为增加土保护层边坡的稳定性,我国从60,70年代的工程实践中摸索出了多种铺膜基槽断面形式。如梯形、台阶形、锯齿形和五边形等。90年代以来,随着对节水要求不断提高和各种防渗性能好、抗滑能力强的高性能新型防渗膜料相继问世。原来膜料防渗土保护层防渗结构所采用的台阶形、锯齿形和五边形等铺膜基槽等已不再采用,经常采用的为梯形、弧形底梯形、弧形坡脚梯形等。因此,对(SL18-91)中的此条文进行了修改。

8.5.5 本条文中,对膜料厚度的选择进行了修改,维持了原规范

(SL18—91) 中在寒冷、严寒地区和芦苇丛生渠段对膜料颜色、材质的选择规定。

1 寒冷和严寒地区气温较低，塑膜虽然埋在保护层下，但其地温也在 0℃ 以下。因聚乙烯膜可用于 -50℃ 的环境，聚氯乙烯膜仅用于 -15℃ 的环境，在寒冷和严寒地区应优先选用聚乙烯膜。聚乙烯膜抗拉强度较聚氯乙烯膜低，易被芦苇穿透，在芦苇丛生的地区宜优先选用聚氯乙烯膜。

2 膜料太薄时在施工中易为外力破坏，容易老化，寿命短。原规范结合我国当时的塑膜生产情况，认为选用塑膜厚度为 0.18mm ~ 0.22mm 较经济适用，并且，对于小型渠道，或流量小的季节性引水渠道，可选用厚度不小于 0.12mm 的塑膜。但随着国民经济的发展，工农业生产及人民生活用水量的不断增长，水资源缺乏的现象日趋严重，对输水渠道的防渗要求越来越高。膜料生产能力与技术水平的提高，以及社会经济状况的改善，在防渗渠道的建设上，不断向提高防渗效果和耐久性的方向发展。美国垦务局从 20 世纪 60 年代就开始利用厚度为 0.25mm 的 PVC 膜防止渠道渗漏。到 80 年代，他们总结近 20 年的经验，建议把厚度增加到 0.5mm。厚度虽然增加了一倍，而投资只增加 15%，防渗效果与耐久性却提高很多。我国新疆引额总干渠采用 0.6mm 厚的聚乙烯膜。所以，根据国内外工程经验和实际需要，本款规定 1、2、3 级渠道，选用厚度为 0.3 ~ 0.6mm 的塑膜；4、5 级渠道选用厚度为 0.18 ~ 0.22mm 的塑膜，或 0.60 ~ 0.65mm 的无碱或中碱玻璃纤维布机制的油毡。

塑膜与油毡比较，各有优缺点。塑膜的变形性能好、质轻、运输量小，宜优先选用。

油毡是在玻璃纤维布上涂沥青玛蹄脂压制而成。玻璃纤维布有无碱、有碱、中碱及抗碱之分。玻璃纤维很细，比表面积很大。如玻璃成分中含有碱金属，遇水后易溶解，会使其强度和耐久性降低，加速老化。为了提高沥青玻璃布油毡抗老化的能力，延长工程寿命，本条文规定应选用无碱或中碱（含碱金属量小于 12%）玻璃纤维布制作的油毡。

深色膜料的透明度差，能抑制膜料下面的芦苇及其它杂草的生长；在同样保护层下，深色膜较浅色膜吸热量大，可提高地温，利于防止冻害。

3 特种土渠基，基土水分的增加会造成渠基发生较大的变形，

因此,为保证渠基的稳定,提高工程的耐久性,应加大塑膜的厚度,以提高防渗效果。本款提出的采用 0.2~0.6mm 的厚度,包含了大、中、小型渠道的取值范围。

8.5.6 为了避免损伤膜料防渗层,应设过渡层。作过渡层的材料很多,各地可因地制宜地选用。如新疆建设兵团的安集海总干渠,采用砂浆作过渡层;148 团的干、支渠采用砂料、土、砂浆作过渡层;甘肃省的民勤总干渠采用平均粒径为 0.13mm~0.17mm 的风积砂作过渡层;靖会电灌工程采用草泥灰作过渡层;辽宁省沈抚灌区的干渠上,采用复合土工膜替代过渡层;湖南、江苏等省采用水泥土、灰土作过渡层等。各地的运行实践证实:水泥土、灰土、砂浆作过渡层,具有一定强度和整体性,造价较低,适用范围广,效果好;土、砂过渡层,虽然造价低廉,但在砌缝较多的情况下,往往会被水流冲走或淘空,导致刚性保护层整体性破坏,或表面凹凸不平。因此,应选用灰土、水泥土、砂浆作过渡层。如采用土、砂料作过渡层,应采取防止淘刷的措施。

膜下过渡层的材料宜是透水材料,以排除透过土工膜的水和地基内部的渗流水,避免膜下水压力过大顶托土工膜。

过渡层主要保护防渗膜料不被损坏和膜料下部的积水顺利排除,故其厚度不需要太大,根据经验,一般水泥土、灰土、砂浆 2cm~3cm 即可,土、砂 3cm~5cm 即可。

8.5.7 从各地调查中发现,当土保护层厚度为 20cm 时,因受冻融等因素的影响,膜层裸露严重。例如新疆建设兵团 31 团和 102 团的一些膜料防渗渠道由于保护层太薄,就出现膜料层裸露;吉林省松前干渠的保护层厚度为 20cm,出现油毡裸露。国外如印度,通过试验认为,厚 30cm 即足以使保护膜层不被破坏;美国农业工程师协会建议,在可能遭受牲畜践踏和机械损坏的地方,最小覆盖层厚度为 23cm。考虑到我国南方和北方气温不同等因素,结合调查中了解到的各地经验,选定最小厚度为 30cm~35cm,寒冷地区采用大值。

土保护层的厚度亦可根据渠道水深计算,《灌溉渠道衬砌》一书提出如下计算公式:

$$\delta_b = \frac{h}{12} + 25.4 \quad (5)$$

此公式一般适用于温和地区,对寒冷或严寒地区,新疆建设兵

团根据工程应用实践提出如下公式：

$$\delta_b = \frac{h}{10} + 35.0 \quad (6)$$

式中： δ_b —土保护层厚度，cm；

h —渠道水深，cm。

表 8.5.7 是根据国内一些工程实践经验及美国的资料分析确定的。美国资料见表 17，我国的调查资料见表 18 和表 19。

表 17 美国埋铺式塑料防渗渠道土保护层的厚度

渠道名称	保护层材料	保护层厚度 (cm)
蒙大拿州海伦邦河谷渠	砂砾料	43.0
蒙大拿州东部阶地渠	砂砾料 (最大粒径 75mm)	38.0 ~ 41.0
蒙大拿州太阳河工程 H 支渠	土料加砾石	各 15.0，共 30.0
新墨西哥州麦克卡斯基支渠	土料	43.0 ~ 46.0
新墨西哥州尔马里洛渠	土料加砾石	60.5 ~ 41.0
内布拉斯加州幻影平原渠	砂性材料	35.0
内布拉斯加州法威尔灌区	黄土	35.0

表 18 我国埋铺式膜料防渗渠道土保护层的厚度

渠道名称	保护层材料	保护层厚度 (cm)	
		底	坡
新疆农 2 师卡拉干渠	重粉质壤土	40.0	50.0
新疆农 7 师奎屯水库东泄水渠	轻砂壤土	70.0	70.0
河北省深县 4 干 1 分干渠	轻壤土	50.0	80.0
河北省深县 4 干 3 分干渠	中粉质壤土	50.0	70.0
河北省深县南 3 支渠	中粉质壤土	50.0	60.0
新疆农 7 师车排子东支干渠	重粉质壤土	50.0	50.0
吉林省榆树松前干渠	重粉质壤土	20.0	20.0
新疆农 2 师铁干里总干渠	重壤土	50.0	50.0
新疆农 2 师 31 团 2 支干渠	重粉质壤土	40.0	35.0
辽宁省开原县城郊干渠	砂及砂砾石	40.0	40.0

山西省萧河南干 1 支渠	砂壤土	60.0	60.0
--------------	-----	------	------

表 19 我国埋铺式油毡防渗渠道保护层的厚度

渠名	保护层材料	保护层厚度（cm）
新疆农 7 师 123 团西 1 支渠 3 斗渠	草泥	30.0
新疆农 7 师 123 团西 3 支渠 3 斗渠	草泥及土	草泥 20.0，土 30.0
河南省人民胜利渠原 5 斗渠	草泥	25
山东省打渔张灌区	草泥	30
内蒙古自治区红领巾水库东干渠	土、砂砾石	15～20

8.5.8 目前我国土保护层施工有压实法和浸水泡实法。根据各地的设计、施工及运行经验，提出了压实法的干密度要求；浸水泡实法施工的密实性，主要靠浸水后土层的沉实。根据原中科院兰州冰川冻土研究所在甘肃疏勒河灌区的试验资料，浸水泡实法施工的干密度可达到 1.39g/cm³～1.40g/cm³；新疆建设兵团在支、斗渠及原渠改建工程的保护层施工中，采用浸水泡实法的干密度，一般可达到 1.47g/cm³以上。因此，在本条文中规定了浸水泡实法施工的干密度，宜为 1.4g/cm³～1.45g/cm³。

8.5.9 水泥土等刚性材料保护层的厚度小于防渗层的原因，是保护层主要起到保护膜料的作用，不考虑它的防渗作用。

组合式保护层是为了提高保护层的抗冲耐磨能力，及降低工程造价而采取的一种措施。

根据新疆墨玉县等地的介绍，采用砌石渠底、混凝土渠坡的组合式保护层，既满足了抗冲耐磨的要求，又提高了工程安全性，延长了工程寿命，降低了维修费用。

对推移质不同和温和地区的渠道，宜采用砌石或混凝土渠底和水泥土渠坡组合式保护层。

对弯道凹岸或渠水位变化区，宜局部或全部采用砂砾石与粘性土组合式保护层。

8.5.11

1 膜料防渗渠道破坏的原因之一，往往是由于忽略了防渗层与渠系建筑物的连接。例如，新疆建设兵团农 2 师 18 团干渠混凝土保护层膜料防渗渠道，因与渠系建筑物连接不好，导致渠水进入，冲走了过渡层材料，引起保护层塌陷、表面凸凹不平，甚至板体错位下滑等。因此，设计和处理好连接工程非常重要。

2 土保护层膜料防渗渠道，在跌水、闸、桥等建筑物的上下游，因流速、流态的变化，及波浪的冲刷等影响，往往引起边坡滑塌等事故，因此，应在建筑物的上、下游改用石料、水泥石或混凝土保护层。

8.6 沥青混凝土防渗

8.6.1 沥青混凝土的技术要求：

1 沥青混凝土孔隙率的大小，反映了沥青混凝土施工质量的优劣。试验资料表明，沥青混凝土的孔隙率越小，抗渗性能越高；但沥青含量相对增加，斜坡流淌值变大，热稳定性较差。孔隙率不大于 4%时，抗渗性及热稳定性均可以满足要求。

沥青混凝土水稳定系数是指气温 20℃ 时，水饱和与干燥沥青混凝土试件抗压强度的比值。这项指标是衡量沥青混凝土在长期浸水条件下，其物理力学性能的稳定程度。为保证沥青混凝土物理力学性能的稳定，本条规定水稳定系数应大于 0.9。斜坡流淌值是在设计边坡和设计温度下沥青混凝土热稳定性的指标。流淌值小于 0.8cm，沥青混凝土不会因高温而发生流淌变形事故。

沥青混凝土渠道防渗层上部荷载一般不大，对强度可不提出过高要求，但在寒冷地区，沥青混凝土强度高时，对低温抗裂有实际意义，其强度必须满足设计要求。

2 设整平胶结层，是为防渗层创造良好的基础条件。它将保证防渗层各项技术性能的充分发挥。防渗层如有渗水，整平胶结层应能很快的排走。要求渗透系数不小于 $1 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ 和热稳定系数小于 4.5。

8.6.2 沥青混凝土的配合比应根据设计提出的性能要求和技术指标，经过室内试验和现场铺筑试验确定。采用的沥青混凝土配合比必须满足设计要求，同时应经济合理，施工性能良好。

在沥青混合料的矿料级配确定以后，沥青含量是沥青混凝土配合比设计中的一个重要环节。一般采用经验公式计算，也可参照以往工程经验，通过试验确定。本条对沥青混凝土防渗层沥青的含量规定，主要是参考陕西省宝鸡峡引渭渠(8%)、青海省湟海渠(8.2%)、甘肃省疏勒河昌马干渠(6.5%~8.4%)、山东省打渔张五千渠(7.0%)和国外资料(6.5%~8.5%)，以及碾压式沥青混凝土面板防渗层对

沥青含量的要求(7.5%~9.0%)确定的。

沥青混凝土渠道防渗层属薄层结构,以往多采用中粒径或细粒径沥青混凝土。石料最大粒径,疏勒河干渠为25mm,湟海渠为20mm,冯家山北干渠和打渔张五干渠为20mm,均小于防渗层厚度的 $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2}$ 。国内外在沥青混凝土面板坝设计中,石料最大粒径的选择也多小于压实层厚的 $\frac{1}{3}$ 。为保证质量要求,作了本条规定。

整平胶结层的石料最大粒径范围可以放宽,但不宜大于一次压实层厚度的 $\frac{1}{2}$ 。

8.6.3 防渗结构的设计

1 国内沥青混凝土渠道防渗结构的形式主要有图8.6.3-(a)和8.6.3-(b)两种。应根据工程实际情况采用。

2 封闭层是为了密封沥青混凝土表面残留的孔隙,提高沥青混凝土的防渗能力和抗老化能力,减少泥沙对防渗层的磨损。为保证防渗层正常工作,其高温下的热稳定性及低温下的抗裂性能应保证。封闭层厚度,是参照我国沥青混凝土面板坝的设计及应用经验提出的。

3 防渗层厚度的选择,国内50年代初期,在中、小型渠道上曾采用渠底为10cm、渠坡为5cm~8cm,此后多采用5cm~6cm。同时参考国外资料,在中、小型渠道上,防渗层在单层铺压时,可采用5cm~6cm;对大型渠道,参考了沥青混凝土面板坝的设计,在双层铺压时,厚度可采用8cm~10cm。

5 在我国北方地区,沥青混凝土渠道防渗层,常有裂缝发生。产生裂缝的原因是多方面的,如沥青品种、配合比设计及当地的负气温、降温速率、施工质量等。根据青海省湟海渠两个寒季的观测,元月份平均气温在-10℃以下,负气温极值为-24~-26℃时,防渗结构有裂缝产生。因此,沥青混凝土应作低温抗裂性能计算。公式(8.6.3—2)中, T 可按当地多年气温记录的1d~3d的最大温差选取。

6 根据国内外的试验资料,当沥青混凝土低温抗裂性能达不到设计要求时,可掺入变形性能好的聚合物材料(如橡胶等),其抗裂性能有明显提高,掺量应通过试验确定。

如改性沥青混凝土仍满足不了抗裂要求时,根据青海省湟海渠现浇沥青混凝土防渗渠的运行情况,宜设伸缩缝。该渠1980年建成后,每3m~5m出现一条横向裂缝、缝宽1cm~2cm。

7 我国沥青混凝土渠道防渗工程也有采用不同尺寸预制板衬砌的。如甘肃省疏勒河灌区、青海省湟海渠、山东省打渔张五干渠等，曾采用 $25\text{cm} \times 50\text{cm}$ 的预制沥青混凝土板做防渗层。因预制板砌缝较多，不如现浇的好。为探讨沥青混凝土预制板适宜尺寸，在湟海渠进行了 $0.50\text{m} \times 0.50\text{m}$ 、 $0.50\text{m} \times 1\text{m}$ 、 $0.50\text{m} \times 1.50\text{m}$ 三种板的试验。从施工运输、码垛、砌筑等工序比较后发现，边长大于 1m 时，板体变形、拆裂、掉角现象较多。因此，本条规定预制板边长不宜大于 1m ，预制板密度应大于 $2.30\text{g}/\text{cm}^3$ 。为适应渠基的变形及冻胀变形，预制板宜采用粘结性能和低温下变形性能良好的焦油塑料胶泥砌筑。

9 渠基施工

9.1 防渗渠道基槽的填筑和开挖

9.1.3 ~ 9.1.5

1 新建填方渠道和已建渠改建防渗渠道，填筑前清除填筑范围内的草皮、树根、淤泥、腐殖土和污物，以避免填筑渠基与原土基间形成软弱层，影响渠基稳定。

2 小型渠道填筑也可采用近似的方法确定最优含水量，即：用手将土捏成紧密的圆球后，挤不出水来，松手后土球仍能保持紧密圆球形状时的含水量，可近似地认为是此种土的最优含水量。

3 已建渠改建防渗渠道，为了保证填筑压实质量，应提前停水，使基土风干；或采取抽排、翻晒等方法降低其含水量。如仍无效时，则宜采用干土、湿土掺混的方法填筑。

4 已建土渠原为梯形断面，但经长期输水运用，在水面以下的断面均已变成弧形等不规则的断面；由于防渗渠道糙率较小，使其断面较原渠缩小。此两种情况均需进行基础填筑。填筑前，除按 9.1.3 条规定清除填筑范围内的草皮、树根、淤泥、砖块等杂物外，尚需把原渠坡挖成台阶状，然后上面填筑新土，并使填筑面较设计加宽 50cm，为渠道修整留有余地。

9.2 渠基处理和排水措施的施工

9.2.1 ~ 9.2.2 深翻回填处理湿陷性土基，在回填过程中应保证土料压碎夯实，彻底消除其湿陷性。

因不同渠道工程或不同渠段渠基湿陷性土层的厚度及其湿陷系数不同，当采用打孔浸水重锤夯压或强力夯实方法处理时，夯锤重量、夯点距、落距、击实次数等应经现场试验确定。

9.2.3 ~ 9.2.4 膨胀土具有遇水膨胀、失水收缩的胀缩性，在膨胀土渠基处理施工过程中，应避免渠基水分的剧烈变化。因此，在渠道基槽开挖时，应在设计基槽以上预留 0.5m 保护层，在进行防渗层施工或渠基处理时，再清除预留保护层，并且要快速施工。

采用砂砾料置换方法处理渠基，作反滤层或土工织物保护层时，应按有关要求施工。

软弱地基换填砂砾层时，先加一层砂，可使软弱土层内的水很快排除并避免砂砾料压入软弱土层中。

9.2.7 排水设施为地下工程，如发生工程质量问题，很难返工和修补。因此，必须精心施工，严格控制施工质量。

10 防渗结构施工

10.1 土料防渗

10.1.1 材料加工的好坏,直接影响土料防渗工程的质量,应特别重视。

土料应采用下列方法粉碎:(1)人工碎土。要注意土块的干湿度,含水率以30%左右为宜。(2)手扶拖拉机旋耕器碎土。质量较好,但需要一定的场地。(3)碎土机碎土。质量好,效率也高。每台碎土机每天工作8h,也碎土 $6.0 \times 10^4 \text{kg} \sim 7.5 \times 10^4 \text{kg}$ 。以上三种粉碎方法,除碎土机本身带有筛网外,(1)和(2)两种均应过10mm~20mm孔径的筛。

生石灰加工有两种方法:(1)用研磨机加工成粉。石灰利用率高,质量好,免去筛分。(2)人工分层加水消解。根据试验资料,石灰块加水量为石灰重量的30%~50%,充分熟化后应过5mm~10mm孔径的筛。如充分消解,也可以只把未熟化的石灰块剔除即可。

10.1.3 人工拌和时,使用生石灰粉或没有熟化透的石灰,其混合料除必须“三干三湿”拌匀外,还需堆放闷料1d~3d,让石灰充分熟化,使用时再拌一次,方能使用。否则,上渠后,会引起“龟裂”和“鼓泡”。灰土三合土的拌和方法是根据当地群众经验制定的。采用机械拌和时,洒水一定要细而匀,其量须控制在最优含水率范围。否则,过湿的灰土会粘在滚筒上,影响拌和质量 and 进度。

10.1.4 对边坡较缓的渠道,可不立模板填筑,铺料要由下而上。夯实后的厚度,应略大于设计厚度,以便削平拍实后能保证设计厚度。对边坡较陡的渠道,必须装设模板填筑。一般模板高0.5m,分三次上料夯实,然后上移模板夯筑第二层,层与层之间可预埋竹筋加强横向连系,逐次做到渠顶。

1 灰土、三合土等混合料的铺筑应先渠坡(或侧墙),后渠底,边铺边夯实,每层铺筑前应把表面刨毛。

2 粘性土铺筑要先渠底,后渠坡。摊铺后如土料过湿,要等土稍干后才能进行夯实。如发现粘夯现象,应撒一层干土粉;如出现裂缝,应反复夯打,直至裂缝消失为止。

施工质量的好坏，夯击密度是关键。一般小型土料防渗渠道，混合料上渠后，要用锄头、特制的木竿条和木拍子用力抽打拍实，反复 5~6 次，直至灰土、三合土表面平滑，不出现裂纹，拍打（锤打）出浆，指甲刻不入为止。还可以撒一层消解的熟石灰粉，以增强表面的强度和耐久性。

10.2 水泥土防渗

10.2.2 塑性水泥土的铺筑，从加水拌和至铺完，应在水泥初凝前完成。根据国家标准规定，水泥初凝时间不早于 45min，而一般硅酸盐水泥初凝时间多为 1~3h。各地施工经验多证明水泥土拌和料可在 1h 内铺筑和压实完毕。考虑到加水拌和时间及人工拌和铺筑的实际情况，条文中规定：每次拌和从加水至铺筑宜在 1.5h 内完成。

10.2.3 水泥土预制板的生产，根据山东省等地的经验，采用人工预制成型时，干密度很难达到 $1.7\text{g}/\text{cm}^3$ 。当用吊锤夯打，吊锤不得小于 50kg，锤距不低于 1m，锤击次数不少于 3 次，干密度虽能达到 $1.7\text{g}/\text{cm}^3$ 左右，但费工费时，效率极低。采用 400t 摩擦压力机改装的压块机生产 $31\text{cm} \times 31\text{cm} \times 8\text{cm}$ 的水泥土预制板，效率达到 15s 生产一块，干密度可达 $1.9\text{g}/\text{cm}^3 \sim 2.0\text{g}/\text{cm}^3$ 。如山东省打渔张五干渠和菏泽刘庄干渠采用 J53-300t 压块机预制的 $31\text{cm} \times 31\text{cm} \times 7\text{cm}$ 和 $31\text{cm} \times 15\text{cm} \times 7\text{cm}$ 两种水泥土板，干密度达到 $1.85\text{g}/\text{cm}^3 \sim 1.94\text{g}/\text{cm}^3$ 。湖南省田坪干渠用 DJQ-100 型（10.0MPa 压力）预制的 $32\text{cm} \times 32\text{cm} \times 5\text{cm}$ 水泥土预制板，干密度为 $1.75\text{g}/\text{cm}^3 \sim 1.90\text{g}/\text{cm}^3$ 。因此，当要求预制水泥土板的干密度在 $1.8\text{g}/\text{cm}^3$ 以上时，宜采用机械成型。水泥土预制板的生产工艺流程见图 2。

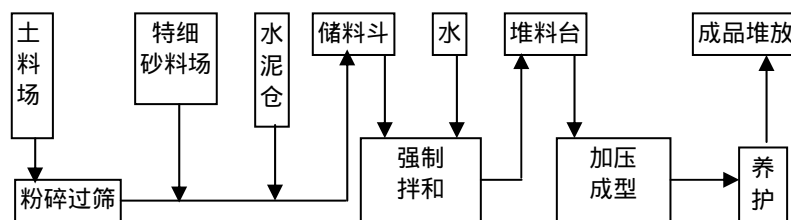


图 2 水泥土预制板生产工艺流程图

10.3 砌石防渗结构施工

10.3.4 干砌卵石防渗结构施工：

1 干砌卵石砌筑顺序，我国西北地区曾采用先砌渠坡后砌渠底，强调渠坡的重要性。新疆通过试验对比，发现先砌渠坡后砌渠底时，渠底卵石不易挤紧，影响工程质量；而渠底被冲坏时，渠坡随之破坏。后来改为先砌底后砌坡，优点是：(1)底与坡衔接较好；(2)坡石挤压先砌的渠底，使渠底卵石更紧密；(3)底较坡难砌紧，先砌底则便于选择较大、较优质的卵石用于底部；(4)从上向下运石方便。因此，本条规定“应先砌渠底后砌渠坡”。

2 卵石的砌法：

- 1) 卵石必须立砌，是根据各地长期实践经验规定的，这样砌既牢实又经济。卵石较宽的侧面应垂直水流方向，是因为卵石较宽侧面正是相邻卵石主要结合面，这个面垂直水流方向，就可以使其主要接缝免受水流正面冲刷，以提高防渗层抗冲能力。
- 2) 卵石大头朝下小头朝上有利于稳定和抗冲。个别大头朝上的须降低 2cm，主要是为了互相挤紧。相邻两排应错开茬口，也就是必须错缝。我国西北地区砌筑卵石经验丰富，他们将砌筑质量要求总结为“横成排，三角缝、六面靠，踢不动、拔不掉”。要求卵石间缝为三角缝，是因为三角缝比四角缝稳定，而且空隙小。六面靠就是要求每块卵石与相邻卵石相靠，必须有六个接触点（或面），这样才能形成三角缝。

10.4 混凝土防渗

10.4.1 现浇混凝土防渗层的模板除应有衬砌分块的两侧挡板、伸缩缝成型夹板及支架外，边坡混凝土浇筑时，一般应有外模。根据陕西省泾惠渠、宝鸡峡及国内一些防渗工程的施工经验，当边坡采用人工或小型插入式振捣器捣固时，应有表面活动模板，才能保证质量。有些工程的边坡混凝土，不设表面模板，不振捣，仅用人工拍实，往往不能保证混凝土的密实度和均匀性，不宜采用。表面活动模板一般用 4 块，总宽度 1.0m 左右，用法是 4 块模板浇筑完后，再将最下面一块模板移到最上面使用，依次交替浇筑。预制混凝土

板时,有的不用底模,以致底面高低不平,造成砌筑困难;且因水泥浆流失,底部混凝土质量很差。因此,本条规定,预制混凝土板的框架模板应设底模,或利用专门处理过的地坪,以降低造价。模板制作和安装的允许偏差值,是根据有关规范并参考宝鸡峡工程施工细则等经过修正后提出的。

10.4.4 参照《水工混凝土施工规范》DL/T 5144-2001 的规定,浇筑混凝土的允许间歇时间,当浇筑时气温为 20 ~30 °C 时,普通硅酸盐水泥为 90min。渠道混凝土防渗层为薄板结构,水分散失较快,因此将其允许间歇时间定为 60min~90min。气温偏高时用上限。

10.4.8 目前国内使用的 U 形混凝土衬砌机有:以电力或柴油机为振源动力的 D40、D60、D80、D100、D120 衬砌机(西北水科所、陕西省宝鸡峡灌溉管理局研制);D180 振动钢模车(陕西省泾惠渠管理局研制)等。这些机具已小批量生产。

10.4.9 喷射混凝土适用于各种断面的土、石基渠道。1978 年以来,冯家山水库灌区北干 8 支渠(流量 $2.4\text{m}^3/\text{s}$,长 354m)和阎家湾退水渠(流量 $58\text{m}^3/\text{s}$,长 320m)、宝鸡峡东 3 支渠(流量 $10\text{m}^3/\text{s}$,长 3000m)和塬下北干渠(流量 $25.8\text{m}^3/\text{s}$,长 1984m)等 U 形断面的渠段上,均采用了喷射混凝土的施工方法。在宝鸡峡塬下南干渠(流量 $8.4\text{m}^3/\text{s}$,长 55m)上,还进行了梯形断面的喷射法混凝土施工。这些工程运用均良好。该施工方法速度快,质量好,节省模板,而且由于干料和水都是通过胶管压力输送,不受道路限制,减缓了渠道深挖方、高填方混凝土运输的困难。

10.5 膜料防渗

10.5.3

1 按先下游后上游的顺序铺设,上游幅压下游幅,搭接缝方向垂直于水流方向,可使膜料在水流压力下,连接缝密合,提高防渗效果。

2 铺设时,先将膜料的一端与先铺好的膜料或原建筑物在现场焊接(或粘接)牢固,在提高防渗效果的同时,可使膜料一端固定,易于拉展铺开。

3 膜料铺设时留有小的褶皱,可适应保护层填筑时造成的局部变形;膜下空气完全排除,可避免在填筑时膜下空虚和产生局部压力,顶破膜料。

4 先埋好膜层顶端,可起到固定作用,避免在保护层的填筑过程中膜料下滑。膜料幅间的连接缝应按设计采用粘接、焊接或搭接。

5 粘补破孔的粘补膜应超出破孔每边 10cm~20cm,目的是更好的达到粘补作用,避免漏补。

10.5.4 当天铺膜,当天填筑好保护层,以避免膜层裸露时间过长。

10.5.5 土保护层施工一般采用压实法;如果保护层土料是砂土、湿陷性黄土等不易压实的土料,或中、小型渠道不易采用压实法时,可采用浸水泡实法。

10.6 沥青混凝土防渗

10.6.1 沥青混凝土原材料的性能及配合比的变化,对其强度、低温下柔性和热稳定性等影响很大。如青海省湟海渠,因施工中对配合比控制不严,阳坡在高温下发生了流淌变形。

沥青如长期受高温影响,会产生老化现象。其粘度提高,塑性降低,脆性增加。根据辽宁省水利建设工程局的试验结果(见表 20),沥青加热温度越高,恒温时间越长,沥青老化越严重,三大指标均有变化,以针入度变化最大。控制加热温度的上限,是抑制沥青老化的关键因素。如以针入度比值不小于 90%作为沥青老化的控制指标,则沥青适宜的加热温度为 160 ± 10 ,恒温时间应小于 6h。这个指标已在国内土石坝沥青混凝土防渗墙的施工中得到推广应用。本条据此作了规定,并在本规范表 10.6.2 中对沥青等材料在加热及碾压时的温度作了规定。

表 20 沥青不同加热温度及恒温时间对三大指标的影响

加热温度 ($^{\circ}\text{C}$)	160			190			210		
恒温时间(h)	标准	6	48	标准	6	48	标准	6	48
针入度 (1/10 mm)	77.20	73.00	36.00	93.00	79.60	26.30	88.80	77.80	24.80
针入度 比值 (%)	100	94.60	46.80	100	85.10	28.30	100	87.60	27.90
软化点 ($^{\circ}\text{C}$)	46.70	48.50	52.50	48.50	49.30	62.30	48.80	49.30	65.80
软化点 增加率 (%)	0	3.90	12.40	0	1.70	28.40	0	1.0	34.80
延伸值 (cm)	113	113	52.40	113	113	23.30	113	113	10.20

10.6.2 现场铺筑施工

沥青混凝土渠道防渗技术要求高，加之自然条件、渠道断面形式、采用的施工工艺不同等原因，规范中不可能提出统一的铺筑标准。应在铺筑之前，进行试验性施工，以检验材料配合比及施工场地布设的合理性和施工设备运转的完善性；培训施工队伍；确定铺筑厚度、碾压温度和碾压遍数等施工工艺参数。

沥青混合料压实温度的控制，是保证沥青混凝土施工质量的重要因素。国内外坝工沥青混凝土防渗墙的碾压温度，主要是根据沥青的针入度确定的。当沥青的针入度为 40~100 时，初次碾压的温度为 110~125，终结碾压温度为 85~100。青海省湟海渠采用的掺配沥青的针入度为 76.70，现场测定平面振动器压实的适宜温度为 110~130。当振压终结的温度低于 75 时，沥青混凝土表面较粗糙，甚至有石子外露现象。参照我国坝工沥青混凝土碾压温度的控制标准，见表 21，选定了渠道沥青混凝土防渗层的压实温度。

表 21 沥青混合料的碾压温度

项 目	针入度(1/10mm)		一般控制范围
	60 ~ 80	80 ~ 120	
最佳碾压温度()	150 ~ 145	135	
初次碾压温度()	125 ~ 120	110	140 ~ 110
二次碾压温度()	100 ~ 95	85	120 ~ 80

整平胶结层的压实温度,是根据坝工开级配沥青混合料压实温度较防渗层低 20 的规定确定的。

压实系数是沥青混合料的摊铺厚度与压实厚度之比,是确定摊铺厚度的主要参数。此系数因人工或机械摊铺而异。根据青海省湟海渠、陕西省冯家山灌区的试验资料,参考了我国坝工沥青混凝土施工的有关资料,选取了压实系数的具体标准为 1.2 ~ 1.5。

根据西北水科所编写的资料介绍,斜坡上最有效的碾压工具是 0.5t ~ 2.0t 的振动碾。在无条件的采用上述碾压工具时,也可以采用附着式平面振动器。在冯家山灌区、湟海渠试验中,采用重 24kg 和 38kg 两种平面振动器,先用轻型作初次振压,后用重型振压 8 次,沥青混凝土的密度可达 2.30g/cm³ 以上。可见采用平面振动器压实渠道沥青混凝土也是可行的。振动压实渠坡时,上行振动,下行不振动的规定,主要是为了避免产生横向裂缝。

施工接缝是沥青混凝土防渗渠道的薄弱环节,在北方地区是容易发生冻胀破坏的部位,因此,应尽量减少施工接缝。为保证施工接缝的填筑质量,缝面必须洁净,并涂刷一层热沥青或沥青玛蹄脂。

10.6.4 封闭层与防渗层粘结是否紧密,是封闭层作用能否发挥的关键。为使粘结牢固,防渗层面必须洁净,层面应有一定的热度。因此,其施工宜在高温季节进行;条件允许时,也可采取措施加热层面。

11 施工质量的控制与检查

11.0.1 渠道各种防渗工程,应进行施工质量控制与检查,保证施工质量达到设计要求。大、中型工程应设立工地质量控制和检测试验室,配备干密度、含水量、渗透系数、筛分、测温以及混凝土抗压强度等测试仪器和设备。

11.0.2 工程实践证明,编制质检工作手册,对质检人员进行质检要求和检测技术的培训,使其掌握质检技术的理论和方法。对控制工程施工质量和建立质量管理体系,实现软件管理和进行竣工验收,都可发挥很好的作用,是达到优质工程的基础保证。

11.0.4 大、中型渠道防渗工程,防渗结构的设计配合比,应根据施工用的石灰、水泥、沥青、砂、石料和水等材料,经现场试拌调整以获得实用的施工配合比,适宜的温度、铺筑厚度和机具振压的有关参数等,也需通过试验施工确定,因此,为取得工程施工经验,规定了施工前进行试验性施工。

11.0.6 灰土、三合土等土料夯实后养护多少天才能通水?一些资料认为灰土经过 14d~21d 养护后即可通水;另一些资料,如陕西省关于暗渠的总结、广东省汕头、海南省有关贝灰土的总结和浙江省水科所的试验,都认为灰土渠道养护 28d 才可通水。另外,也有不少资料说明,灰土在前 28d 的强度发展很快,以后则趋于缓慢增长。广东省建筑科研所的试验表明,软化系数为 0.55~0.6 左右,28d 才趋于稳定。为进一步探讨养护天数对灰土强度的影响广东省水科所进行了灰土的软化系数测定。试验证明,无论采用哪种配比,试件在室内自然条件下养护 14d,放入水中,不久都会开裂或崩塌;21d 泡水有微裂或崩角;28d 后泡水,所有试件均完整无损,没有裂纹。上述资料说明:如石灰质优,土的活性成分多,在较高的温度、湿度下养护,一般经过 14d~21d 后即可通水。如石灰质量中等,土的活性成分一般,只在自然空气中养护,则须经 28d 才能通水。

渠道边坡不滞水,洒水养护效果差,影响防渗工程质量。使用混凝土养护剂可以弥补这一缺陷。其优点是养护效果好,混凝土的平均强度比洒水养护提高 6%~23.6%;混凝土质量均匀性提高,强度离差系数 C_v 值比洒水养护小 35%~38%。

11.0.7 渠道防渗工程在温暖季节施工,是保证工程质量的一个重要条件,在低温条件下施工,难以达到施工质量要求。因此做了此条规定。

11.0.8 各种防渗结构施工质量的控制和检查,是根据土料,水泥土、砌石、混凝土、膜料和沥青混凝土等防渗结构施工质量要求而作出的规定。

11.0.9 施工质量检测记录与填写的资料,应按渠道防渗工程各施工工序及单元工程填写,整理归档,以备工程竣工验收的需要。

13 测验

13.1 渗漏测验

13.1.1、13.1.2 渠道渗漏测验常采用静水法和动水法。据调查，自 1985 年以来，静水法在山西全省 18 个重点万亩以上灌区（灌溉面积总计 20.26 万 hm^2 ，总引水量 7 亿 m^3 ）大规模使用，测验段共达 400 段以上，摸清了全省主要类型渠道的渗漏规律。河北省石津灌区（灌溉面积 16.67 万 hm^2 ）自 1975 年以来，坚持 14a 用静水法对各级渠道进行了渠道渗漏损失测验。北京、新疆、陕西、四川、湖南、贵州、江苏、辽宁等省、市、自治区，也都进行了渠道渗漏静水法测验。

根据国内、外的实践，静水法所采用的渠道渗漏水量（体积）测量法，是测量渠道渗漏量精度最高的方法之一。静水法不但可以测量渗漏量大的渠道，在渠道渗漏量相当小的情况下，也可以达到较高的精度。

采用静水法测渗，可以测验各种土、石质渠道，和各种型式防的防渗渠道，以便对是否需要防渗和对各种防渗方案进行分析对比。

采用静水法测渗，可测得渠道从初渗到稳渗的全过程。可进行变水位渠道渗漏量观测，得到渠道渗漏强度与水深关系式，推算灌区一个灌溉季节或全年的渠系（渠道）渗漏损失。这些都是不同于其他测渗方法的主要特点。但静水法测验工作较繁重，花费人力及经费多，又需在渠道停水后方能进行。

动水法测验，可在不影响渠道正常运行下进行。但测验的精度较差，因此在测验手段和技术方面，有待进一步研究。

鉴于以上诸情况，本规范暂选用静水法。在无条件的采用静水法时，也可采用动水法，但应尽量提高测验的精度。

关于静水法测验的相对误差限，现以变水位测验为例，且按测验过程中没有降雨，蒸发量很小，可以忽略的情况下，进行分析计算如下：

1 测验段单位渠长的水体稳定渗漏量 ΔW_F 误差

$$\Delta W_F = B_w \cdot \Delta h \quad (7)$$

式中 ΔW_F —忽略降雨、蒸发情况下测验段单位渠长的水体稳定渗漏量, L/m。

根据误差传递法, ΔW_F 的测验值标准差 σ_1 可表示如下:

$$\sigma_1 = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial \Delta W_F}{\partial B_W}\right)^2 \sigma_2^2 + \left(\frac{\partial \Delta W_F}{\partial \Delta h}\right)^2 \sigma_3^2} = \pm \sqrt{(\Delta h)^2 \sigma_2^2 + (B_W)^2 \sigma_3^2} \quad (8)$$

式中 σ_1 、 σ_2 、 σ_3 —分别为 ΔW_F 、 B_W 、 Δh 测量值的标准差。

$$\delta_1 = \pm \frac{2\sigma_1}{\Delta W_F} = \pm \sqrt{\delta_2^2 + \delta_3^2} \quad (9)$$

式中 δ_1 、 δ_2 、 δ_3 —分别为 ΔW_F 、 B_W 、 Δh 测量值的极限相对误差值(%)。

根据对大量实测资料的误差分析, 可取 $\delta_2 = \pm 2\%$, $\delta_3 = \pm 5\%$, 则

$$\delta_1 = \pm \sqrt{2^2 + 5^2} \% = \pm \sqrt{29} \% = \pm 5.4\% \quad (10)$$

2 测验段单位渠长湿周单位面积单位时间的稳渗强度 Q_F 误差

$$Q_F = \frac{\Delta W_F}{\chi \cdot \Delta t} = \frac{B_W \cdot \Delta h}{\chi \cdot \Delta t} \quad (11)$$

用误差传递法则可导出

$$\delta_4 = \pm \sqrt{\delta_2^2 + \delta_3^2 + \delta_5^2 + \delta_6^2} \quad (12)$$

式中 δ_4 、 δ_5 、 δ_6 —分别为 Q_F 、 Δt 、 χ 测量值的极限相对误差值(%)。

根据对大量实测资料误差分析的结果, 可取 $\delta_5 = \pm 3\%$, $\delta_6 = \pm 2\%$, 则

$$\delta_4 = \pm \sqrt{2^2 + 5^2 + 3^2 + 2^2} \% = \pm \sqrt{42} \% = \pm 6.5\% \quad (13)$$

根据以上误差分析结果, 规定渠道渗漏静水法测验单段的总极限相对误差限为 $\pm 7\%$ 。由于每公里防渗渠道渗漏流量损失值往

往小于渠道流量值的 1%，所以静水法测验的极限相对误差限，远小于动水法的总极限相对误差限。

13.1.3 静水法测验需要准确计算各测验水位下测验段的平均长度、宽度以及湿周面积，因此测验段应便于测量，以保证测验精度。采用静水法测验时，应进行连续观测。在测验时渠道应暂时停水，或尽量利用渠道过水间歇期间进行。新建或改建渠道，可在正式使用前进行。

13.1.7 静水法测验某一水位的渠道渗漏强度，使用水位下降法或称量法，都有一个水位下降变化幅度。刚加了水的水位，即水位变幅的上限，叫加水后水位。随着渗漏水位降到一定高度，又要加水使水位恢复到原加水后水位，这个未加水前的低水位，即水位变幅的下限水位，叫加水前水位。加水前水位和加水后水位，一个低，一个高，接受渗漏的湿周面积一个小，一个大，都不能代表测验水位的渗漏情况。只有加水前、后水位的平均值才能代表实际渗漏情况。为消除实际平均水位和测验水位不同引起的渗漏误差，要求加水前水位和加水后水位偏离测验水位的高差相等。因此，规定了加水后水位要等于测验水位加 1/2 加水前、后水位的差值。

同时，为了测到全部初渗量，应尽快地连续注水到加水后水位。

刚停水渠道土壤的饱和度高，不能反映渠道在长时间不通水情况下初渗阶段的入渗情况，因此，要待渠面干涸后再测验。

使测验段和渗漏平衡区水位接近，目的是使测验段渗漏成为平面渗漏问题，与渠道输水时渗漏情况相同。

13.1.8 渗漏测验的分类、方法、目的，见表 22。

表 22 渗漏测验的分类方法

渗漏测验分类	渗漏测验方法	渗漏测验目的
恒水位	水位下降法	测算出设计渠水位和经常过流水位下的初渗超额量和稳渗强度
	称量法	
变水位	水位下降法	测算出任一渠水位下的稳渗强度
	称量法(一般少用)	

称量法的要点是：观测时段开始和结束时，测验段内水位完全一致，并等于加水后水位，称为恒水位。准确量测记录在该时段

内向测验段补加的水量、加水时间，等待超量加水水位回落时间、以及加水不足补加水时间，均应记入观测时段，如图 3 所示。由图可看出，相邻两时段，前一时段的结束时间，就是下一时段的开始时间，中间无间隔时间。

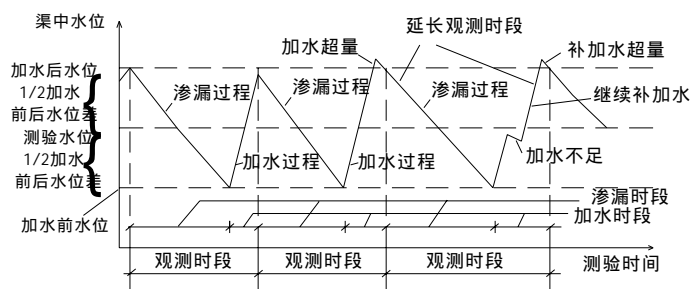


图3 称量法时段划分图

水位下降法的要点是：每一个观测时段开始和末了水位不同，有个差值。根据水位差计算该时段水位变化量。在观测时段内不给测验段加水，观测完毕集中所有加水工具，不计量地尽快向测验段中补加水，恢复到时段开始规定的加水后水位，即恒水位。然后开始下一段观测。因此，水位下降法的测验过程，是由渗漏观测时段和加水时段两部分组成，且交替重复进行。如图 4 所示。

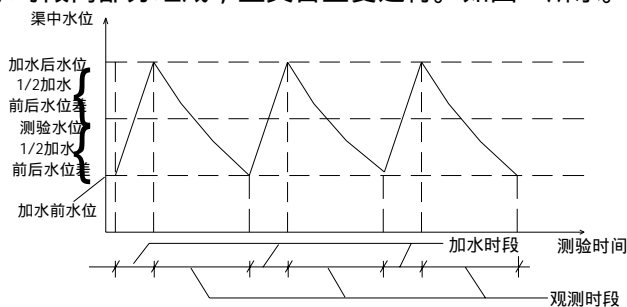


图4 水位下降法时段划分图

由图 4 可以看出，水位下降法的特点是：每个观测时段开始水位尽量相同，并等于加水后水位；加水时段不计入观测时段。

水位下降法，是在测验段中通过测定水位下降一个固定值所需要的时间，来推算渗漏量的方法，也可称为渠内量水法。

称量法是直接在测验段外称量每一时段维持时段始、末水位相同所添加的水量，也可称为渠外量水法。

为把水位下降引起的湿周变化对实际渗漏面积影响造成的计算渗漏强度的误差消除，要求加水前、后水位的平均值等于测验水位。为了控制水位变幅，规定了加水前水位和加水后水位的差值，可在 5%~10%测验水深间选用，渗漏量大的渠道和测验水深小于 1.0m 的渠道可取大值；反之，取小值。水位下降量选定以后，观测时段的长短取决于渠道渗漏情况，它可以是几个小时，也可以是十几分钟；可以是整数，也可以是分数。一般在开始测验的第 1h 内，约 20min 左右观测一次，随后 1h 观测一次；24h 后，每 2h 观测一次。

水位下降法的观测准确度，主要取定于水位观测的准确度，刻画至毫米的水尺观测精度为 1.0mm，因此，提出三只水位尺间的水位降落值差，最大不得超过 2mm。

13.1.9 从恒水位测验开始，到满足式（13.1.9）条件以前，为初渗阶段测验；满足式（13.1.9）以后，为稳渗阶段测验。

13.1.10 变水位观测的目的，是要测出渠道不同水位下的稳渗强度。在只要求测验设计水位的稳渗强度时，可不进行变水位测验；反之，要求测几个水位下渠道稳渗强度时，在恒水位测验之后，应紧接着作变水位测验，从而节省测验时间。

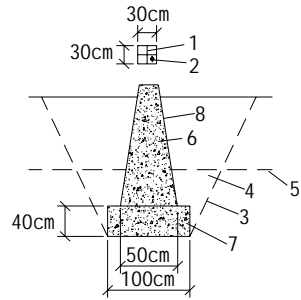
关于泡渠水位要达到测验水位加 1/2 加水前、后水位差值，目的是使测验水位变幅范围内都达到稳渗条件。

关于泡渠时间问题，河北省石津灌区规定从注水至变水位观测开始，分干渠不少于 4d，支渠不少于 3d，斗渠不少于 2d。山西省大多数渠道在充水 3d~7d 后，即可达到稳渗。考虑到各渠道的实际情况不同，所以提出了泡渠 2d~4d 后再按恒水位方法进行观测。

变水位每个测验时段的长度，根据水位下降量所需的时间确定。

13.2 变形测验

13.2.4 变形测验观测基点的构造见图 5 ,观测标点的构造见图 6。



- 1-十字线；2-标点头；3-开挖线； 1-十字线；2-标点头；3-铁板
4-回填砂砾石；5-冻结线；
6-立柱；7-底板；8-涂沥青

图5 变形观测基点的构造图

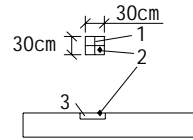


图6 变形观测标点的构造图

13.3 冻胀测验

13.3.3 土壤分层冻胀量和总冻胀量观测的仪器设备较多。一般情况下，渠道防渗工程不需要观测土壤分层冻胀量。分层冻胀量、总冻胀量均可采用单独式分层冻胀仪和圆台叠合式分层冻胀仪观测。

14 管 理

14.0.3 土料防渗渠道和土保护层膜料防渗渠道的水位，在 1h 和 24h 内的变幅，分别不得超过 0.15m 和 0.5m，是参考美国垦务局的经验，即分别不得超过 6in 和 18in 而拟定的。

14.0.7 关于渠堤植树问题，根据新疆、甘肃一些灌区的经验，树木有排水作用，树根对土壤能起加固和垫层作用，如柳树根能改变渠基土壤结构，可使强冻胀性的细粒土，改变为弱冻胀性或非冻胀性的有须根的网状土。特别是由于根系的生物排水作用，能改变渠基土壤含水率，在入冬前疏干渠基土壤或显著降低其含水率，从而能抑制渠基土壤冻胀对防渗层的破坏。但为了保持防渗层的完整性，本条规定，渠道内坡不得植树，外坡植树距防渗结构应有一定距离，以策安全。距离的大小同树的种类有关。根系不甚发达的杨树等，不应小于 1.0m；根系或须根较发达的泡桐、柳树等，不应小于 1.5m；其他树木的最小安全距离，应经调查研究确定。