

中华人民共和国国家标准

# 渠道防渗工程技术规范

**GB/T 50600 - 2010**

条文说明

## 制 定 说 明

《渠道防渗工程技术规范》GB/T 50600—2010,经住房和城乡建设部 2010 年 7 月 15 日以第 666 号公告批准发布。

为了便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本规范时能正确理解和执行条文规定,编制组按章、节、条顺序编制了本规范的条文说明,对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是,本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力,仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

## 目 次

1	总 则 .....	(117)
3	防渗工程规划 .....	(118)
4	防渗材料与防渗结构 .....	(120)
4.1	防渗材料 .....	(120)
4.2	防渗结构 .....	(123)
5	渠道防渗设计 .....	(124)
5.1	一般规定 .....	(124)
5.2	渠道断面形式 .....	(124)
5.3	水力计算 .....	(125)
5.4	砌石防渗 .....	(130)
5.5	混凝土防渗 .....	(130)
5.6	沥青混凝土防渗 .....	(136)
5.7	膜料防渗 .....	(138)
5.8	伸缩缝、砌筑缝及堤顶 .....	(145)
6	渠基与渠坡的稳定 .....	(145)
6.1	一般规定 .....	(145)
6.2	渠坡的安全坡比 .....	(146)
6.3	黄土渠道 .....	(146)
6.4	膨胀土渠道 .....	(148)
6.5	分散性土渠道 .....	(149)
6.6	盐渍土渠道 .....	(150)
6.7	冻胀性土渠道 .....	(151)
6.8	沙漠渠道 .....	(153)
6.9	其他情况 .....	(154)

7	施    工 .....	(155)
7.1	一般规定 .....	(155)
7.2	填筑和开挖 .....	(155)
7.4	砌石防渗 .....	(156)
7.5	混凝土防渗 .....	(157)
7.6	沥青混凝土防渗 .....	(158)
7.7	膜料防渗 .....	(161)
7.8	填充伸缩缝 .....	(162)
8	施工质量的控制与验收 .....	(163)
8.1	施工质量的控制与检查 .....	(163)
8.2	工程验收 .....	(163)
9	测    验 .....	(164)
9.1	一般规定 .....	(164)
9.2	静水法测渗 .....	(164)
9.3	动水法测渗 .....	(167)
9.4	变形测验 .....	(167)
9.5	冻胀测验 .....	(168)
10	工程管理 .....	(169)

# 1 总 则

**1.0.1、1.0.2** 制定本规范的目的主要是为了满足农田灌溉、发电引水、供水等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,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建设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和新材料,从而为补充和完善本规范提供依据。

**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灌溉排水、发电引水、供水、排污等渠道工程现行的国家和行业技术标准。

### 3 防渗工程规划

**3.0.2** 基本资料是进行渠道防渗工程建设的基础。本条规定了规划设计时应掌握的基本资料的范围、内容、要求。一般渠道防渗工程应收集和整理相关气象、水文工程地质、工程地形及渠系布置和冰情等资料。如果缺少水文气象实测资料,可采用水文比拟法,移用临近条件相似的水文、气象站(台)的资料;如果资料历史较短,可采用临近条件相似的水文、气象站(台)的资料进行插补延长;渠道沿线的工程地质和水文地质资料应由具有水利勘察资质的单位通过地质勘察及试验得到,直接引用相关地质资料必须经有关部门审查或鉴定后才能使用。冰情资料主要包括封冻日期、解冻日期、流冰历时等,有冰期输水任务的渠道,还应包括冰块尺寸、冰流量、流冰总量等,上述指标可根据当地或冰情相似河流的观测资料确定。同时,对不同类型的工程尚应掌握各自所需资料。

**3.0.5** 强调了渠道防渗规划与综合规划的关系,规划方案应经多方案比选,做到技术先进、经济合理、效益显著。

**3.0.6** 渠道防渗工程建设涉及经济、社会、生态环境等方面,应结合水源、渠道布置、农田规划、防护林带及交通道路建设等全面规划。

**3.0.7** 针对灌溉渠道防渗工程规划,提出对线路较长、输水损失大、输水效率低的骨干渠道,提水灌区渠道,井灌区固定渠道进行优先防渗的规划原则。

**3.0.8** 渠道防渗工程规划应首先分析论证渠道防渗的必要性。渠道防渗的必要性的论证应从当地的自然条件、社会经济条件、水资源短缺状况以及渠道所承担的任务(灌溉、供水、排污)等多方面分别进行。

**3.0.10** 确定防渗形式时应考虑经济发展水平、管理单位与用户的综合素质和对防渗技术的接受程度。规划分区是为了做到因地制宜,降低工程投资,更好地发挥效益。

**3.0.13** 渠道防渗工程建设对生态环境产生不利影响时,应采取补救措施,尽量减少对周边生态环境的影响。

**3.0.15** 综合评价是对渠道防渗工程经济上的合理性、可行性作出明确结论,对财务自立能力做出定性评价,分析对社会、生态环境的影响,为项目决策提供参考。

**3.0.16** 维护和改善渠道防渗区域的生态环境,是实行可持续发展战略的要求,规划中应高度重视渠道防渗的生态影响问题。

## 4 防渗材料与防渗结构

### 4.1 防渗材料

**4.1.1** 各种防渗材料的技术特点、防渗效果、运用条件不同,实际工程中应根据拟建渠道的基本条件和地区气候等具体情况,本着因地制宜、就地取材并且料源充足的原则,选用防渗材料。

**4.1.3** 本条规定了砂料选择的原则。在质优、经济、就地取材的原则下,可分别选择天然砂或人工砂。混凝土对砂料的技术要求,参照现行行业标准《水工混凝土施工规范》DL/T 5144—2001 中的有关规定,沥青混凝土对砂料的技术要求,参照现行行业标准《水工碾压式沥青混凝土施工规范》DL/T 5363—2006 中的有关规定。砂料应测试其颗粒级配、含泥量、泥块含量、石粉含量、坚固性、表观密度、轻物质含量、硫化物及硫酸盐含量、有机质含量等。混凝土用砂料的测试方法按现行行业标准《水工混凝土砂石骨料试验规程》DL/T 5151—2001 的规定进行,沥青混凝土用砂料的测试方法按现行行业标准《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》JTJ 052—2000 和现行行业标准《水工混凝土砂石骨料试验规程》DL/T 5151—2001 的有关规定进行。

**4.1.5** 本条规定了选择石料的原则。混凝土对石料(粗骨料)的技术要求,参照现行行业标准《水工混凝土施工规范》DL/T 5144—2001 中的有关规定。石料应测试其颗粒级配、含泥量、泥块含量、坚固性、表观密度、硫化物及硫酸盐含量、有机质含量、针片状颗粒含量、超、逊径含量、吸水率等,测试方法按现行行业标准《水工混凝土砂石骨料试验规程》DL/T 5151—2001 的规定进行。

沥青混凝土对石料的技术要求,参照现行行业标准《水工碾压



式沥青混凝土施工规范》DL/T 5363—2006 中的有关规定。石料应测试其坚固性、吸水率、表观密度、超逊径含量、针片状颗粒含量、含泥量、有机质含量、与沥青的黏附性等,测试方法按现行行业标准《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》JTJ 052—2000 和《水工混凝土砂石骨料试验规程》DL/T 5151—2001 的有关规定进行。沥青混凝土中,碱性骨料与沥青的黏附力高,具有良好的水稳性,建议采用碱性碎石。

**4.1.6** 在混凝土中掺入品种适宜的外加剂,能改善混凝土的和易性、可调节凝结时间、提高强度和耐久性,我国水利工程中已普遍掺用外加剂,成为混凝土优化设计的一项重要措施。因此,本条规定了混凝土中宜掺加适量的外加剂。

**4.1.7** 拌和及养护用水不应影响防渗层的性能产生有害作用,一般要求应用符合国家标准的饮用水。混凝土的拌和及养护用水应符合现行行业标准《水工混凝土施工规范》DL/T 5144—2001 的相关规定。

**4.1.8** 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。碱性矿料与沥青的黏附力强,因此,宜选用石灰岩和白云岩等碱性矿料。

**4.1.9** 参照现行行业标准《水工混凝土施工规范》DL/T 5144—2001 中的规定,粉煤灰掺和料宜选用Ⅰ级或Ⅱ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。由干排法获得的粉煤灰,其含水率(%)不大于 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,本标准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。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。试验方法按现行行业标准《水工混凝土掺用粉煤灰技术规范》DL/T 5055—2007 中有关条款进行。

**4.1.11** 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/T 231—98 选定;聚氯乙烯各项技术指标参考现行国家标准《土工合成材料 聚氯乙烯土工膜》GB/T 17688—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;膨润土防水毯(GCL)各项技术指标参考现行行业标准《钠基膨润土防水毯》JG/T 193—2006 选定。

**4.1.12** 原行业标准中 5.6.1 条伸缩缝的填充材料焦油塑料胶泥,其主要成分为煤焦油,煤焦油中含有大量蒽、萘、酚类易挥发物质,严重污染环境和危害人体健康。随着人们对环保要求的不断提高,焦油塑料胶泥被淘汰已是大势所趋。石油沥青聚氨酯接缝材料(PTN)是西北农林科技大学研制开发的一种新型渠道伸缩缝密封材料,其性能优于焦油塑料胶泥,且卫生性能检验结果符合国家标准《生活饮用水输配水设备及防护材料的安全性评价标准》GB/T 17219—1998 规定的各项技术指标要求,无毒、无环境污染。

**4.1.13** 聚苯乙烯泡沫塑料板已广泛用于防止地基冻胀和其他结构物的保温。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/T 10801.2—2002 的有关规定进行。高分子防渗保温材料用作渠道防渗、保温防冻材料时,应进行专门试验论证,其密度、拉伸强度、伸长率、CBR 顶破强度、刺破强度的测试方法按《土工合成材料测试规程》SL/T 235—1999 的有关规定进行,吸水率、尺寸稳定性、导热系数、压缩强度、压缩恢复率的测试方法按《绝热用挤塑聚苯乙烯泡沫塑料(XPS)》GB 10801.2—2002

的有关规定进行,不透水性的测试方法按《高分子防水材料 第一部分:片材》GB 18173.1—2000 的有关规定进行。

## **4.2 防 渗 结 构**

**4.2.2** 本条中所述的自然条件包括当地的气候、地形、土壤、水源和地下水位等;生产条件包括防渗材料来源、劳力供给、动力及机械设备供应情况等;社会经济条件包括土地利用、经济条件、水利及农业发展情况等;工程技术要求包括渠道大小、输水方式、防渗标准、耐久性等。

**4.2.4** 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,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。

## 5 渠道防渗设计

### 5.1 一般规定

**5.1.1~5.1.3** 规定了渠道防渗设计的内容,主要包括断面形式,选定断面参数,进行水力计算和防渗结构、伸缩缝、砌筑缝及堤顶等,提出了设计中应遵循的基本规定,列出了设计中应重点考虑的工程问题。

### 5.2 渠道断面形式

**5.2.1、5.2.2** 防渗渠道的断面形式有多种,可根据不同的地区、环境、土质、使用条件和防渗结构,合理选用。梯形断面施工简便、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,平均约为 $0.18^{\circ}$ ,而梯形渠道平底折角变形平均约为 $4.5^{\circ}$ 。弧形底断面可以大大减轻冻胀开裂及消融时的滑塌破坏。根据试验证实,弧形坡脚梯形渠道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(自治区、直辖市)的小型渠道上得到较普遍的应用,其主要优点是:①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;②在冻胀性和湿陷性地基上适应地基变形的能力较强;③渠口窄,节省土地,减少挖填方量;④整体性强,防渗效果优于梯形渠道;⑤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,在有强冻胀、土地资源紧缺地区或渠道通过

集镇等人口密集时,可考虑采用。

### 5.3 水力计算

**5.3.1** 条文中给出的式(5.3.1-2)和式(5.3.1-3)是渗漏损失流量的估算公式,也是目前文献上常见的写法,估算结果的优劣取决于式中参数  $K_a$ 、 $\epsilon_0$ 、 $\epsilon'$ 、 $K$  和  $m$  的选取是否妥当。目前也有利用积分形式导出的计算公式,这种导出公式理论上是正确的。将现行公式(5.3.1-2)与之进行比较,渠道越长相差越大。用现行公式计算,相对误差小于 5% 时的最大允许渠长列为表 1,供使用式(5.3.1-2)时参考。由于是一个估算公式,而公式中参数  $\epsilon_0$ 、 $\epsilon'$ 、 $K$ 、 $m$  值的选定是否合适,比公式的形式更为重要,故未做改动。

至于式(5.2.1-3),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未作进一步深入推导。

对于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。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,要求在各渠段的起始断面流量、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,也要做到水量平衡。

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,即各引水口的引水量记录值  $W_i$  其绝对值不可信,但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,并取得可信的结果。

表 1 用现行公式计算渠道渗漏损失相对误差小于 5% 时的最大允许渠长 (km)

K	m	$\epsilon_0$	$Q_{\text{净}} (\text{m}^3/\text{s})$				
			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

续表 1

K	m	$\epsilon_0$	$Q_p$ ( $m^3/s$ )				
			0.5	1.0	2.0	5.0	10.0
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

**5.3.2** 本条文对防渗渠道的边坡系数、渠道糙率、允许不冲流速等断面参数的计算或选定作了规定。

**1** 边坡系数:见 6.2 节的相关规定,由于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。大型、中型渠道宜按附录 B 计算确定。无条件时,可参照表 6.2.4 选用。表 6.2.4 中的数值是根据我国经验(见表 2)及国外资料制定的。

**2** 渠道糙率:表 5.3.2-1 中的糙率值是在《小型水利水电工程设计图集渠道防渗分册》、《渠道防渗》、《U 形渠道》、《灌溉渠道衬砌》、《灌溉排水渠系设计规范》SDJ 217—84 等标准、资料的基础上,结合工程实际经验,通过适当调整提出的。

式(5.3.2)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。

**3** 允许不冲流速:表 5.3.2-2 所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 3、表 4)及国外资料综合分析

后拟定的。

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冲刷或渠系建筑物上下游流速流态的变化引起的。为了安全,结合各地经验和有关资料,提出了表 5.3.2-2 土保护层的不冲流速值。且规定其限值为小于  $0.45\text{m/s}$ 。

表 2 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 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	土质	边坡 系数	水深(m)
资 料 来 源	新疆生产建设兵团农 7 师奎 电水库泄水渠	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
	新疆生产建设兵团农 7 师车排子东干渠	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
	新疆生产建设兵团农 2 师铁干里总干渠	16.0	重壤土	1.75	
	新疆生产建设兵团农 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 3 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 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	纵坡	流速 ( $\text{m/s}$ )	备注
新疆维吾尔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	40.0	1/16 6	6.00	
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	1/12 0	6.00	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	1/17 0	5.20	每 20m 设防冲截墙
新疆维吾尔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	1/22 0	3.60	
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	4.70	每 20m 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	1/11 0	4.95	

表 4 干砌卵石挂淤渠道的不冲流速 ( $\text{m/s}$ )

砌筑状况	水力半径 $R(\text{m})$	卵石平均尺寸 ( $\text{m}$ )		
		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

**5.3.3 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**  $K_r = \frac{r}{H} = 1$ 。这一条件可由本标准中计算过水断面面积  $\omega$  和

湿周  $\chi$  的式(5.3.3-2)以及式(5.3.3-3)通过  $\frac{d\omega}{dK_r} = 0$  和  $\frac{d\chi}{dK_r} = 0$  联合求解得出。若根据工程具体条件,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 C 提供的实用经济断面计算方法进行分析和比选。

弧形坡脚梯形渠道水力最佳断面及实用经济断面是在已拟定  $K_r$  的条件下,用类似于弧形底梯形渠道的方法进行计算的,具体见附录 D。

## 5.4 砌石防渗

**5.4.2 根据观测,砌石防渗渠道(尤其是干砌石防渗渠道)的效果并不理想,主要是由于砌石体自身不够密实,水流穿过砌筑缝隙冲刷渠基造成渗漏甚至破坏。国内大部分浆砌石防渗渠道没有设置垫层,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 厚的砂料或低强度等级的砂浆作垫层。为提高砌石的防渗效果,还应在砌石下面加铺黏土、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砌石防渗渠道中采用。**

## 5.5 混凝土防渗

**5.5.1 混凝土配合比设计应遵守的基本原则为: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方面要求,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)按现行行业标准《水工混凝土施工规范》DL/T 5144—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,计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、抗冻与和易性均满足设计要求的混凝土配合比。

2 现行行业标准《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 $\text{N}/\text{mm}^2$ 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,故也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 现行行业标准《水工建筑物抗冰冻设计规范》SL 211—

2006 将气候分区分分为严寒、寒冷、温和三个类别,严寒为最冷月平均气温低于 $-10^{\circ}\text{C}$ ,寒冷为最冷月平均气温为 $-10\sim-3^{\circ}\text{C}$ ,温和为最冷月平均气温高于 $-3^{\circ}\text{C}$ 。现行行业标准《水工混凝土施工规范》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,在原行业标准基础上缩小了 0.05。

5 根据渠道防渗工程调查,混凝土坍落度大多为 3cm~5cm (人工)或 2cm~3cm(机械),多在表 5.5.1-3 中所列范围。

6、7 混凝土的最小水泥用量和用水量,是参照《水工混凝土结构设计规范》名 SL/T 191—96 并考虑混凝土衬砌的主要目的是防渗,且属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  $225\text{kg}/\text{m}^3$ ,用水量和砂率多能符合本款规定。

8 本款规定是从保证原材料品质,便于施工管理和混凝土的性能出发。

12 本款是根据现行国家标准《锚杆喷射混凝土支护技术规范》GB 50086—2001 的规定和《混凝土实用手册》,并借鉴工程的经验,经总结确定的。普通硅酸盐水泥因掺有适量的磨细石膏,含有较多的铝酸三钙( $\text{C}_3\text{A}$ )和硅酸三钙( $\text{C}_3\text{S}$ ),凝结时间较快,且与速凝剂有较好的相容性,故应选用普通硅酸盐水泥。为保证混凝土的强度,减少混凝土的收缩,并减少粉尘,宜采用中砂、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。

### 5.5.2 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。我国北方部分省(自治区、直辖市),为防止混凝土防渗层的冻胀破坏,提出了一些新型的结构形式,主要有:

(1)用于边坡的楔形板和中部加厚板。是在冻胀作用较强的

部位适当增加板厚,在渠的上口将板的厚度减小。为了减少工程量,渠道的阴、阳坡还可区别对待,这种结构形式在陕西和新疆等地有采用,其减小工程量和抗冻的效果较好。

(2)肋梁板。这种结构形式,可减小面板的厚度,尤其是断面较大的渠道,效果明显。肋梁式板有平板和弧形板两种。肋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,还有采用喷射混凝土施工的肋梁板。此外,在较大的 U 形渠道中也可采用肋梁弧形板。

(3)Ⅱ形板。利用了其板下空间的保温作用,该空间还使板与土基脱离接触,以及板肋的加强作用,增强了抗冻胀能力和稳定性。

(4)整体预制的 U 形和矩形渠槽。在陕西、山西、甘肃、江苏等地的小型渠道上普遍采用,在中型渠道上也有采用,在甘肃等省湿陷性较强的黄土地基上还较广泛地应用钢筋混凝土 U 形槽。

上述的各种防渗层结构形式,以及防渗层的施工,是采用整体现浇还是预制装配,可根据渠道防渗工程的具体条件(包括气象、渠槽土质、渠道流量、施工机械、工程经验等)选用。

2 在美国、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 5.5.2 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(自治区、直辖市)寒冷和温和地区,共 60 多条渠道(见表 5 及表 6)的平均防渗层厚度而拟定的。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 7)拟定的。

表 5 我国渠道混凝土防渗结构厚度统计(cm)

地区	流 量( $\text{m}^3/\text{s}$ )				
	<2.0	2.0~5.0	5.0~20.0	20.0~100.0	>100.0
温和地区	5.0	6.0	7.5	—	8.0
寒冷地区	5.0	7.0	9.4	11.3	—

表 6 渠道混凝土防渗工程实例

省(自治区)	渠道名称	防渗层结构形式	流量 (m <sup>3</sup> /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	50.0	C10	8~12
	宝鸡峡干渠	肋梁板	8.0~25.0	C10	6~10
	宝鸡峡斗渠	现混平板	<1.0	C10	6
	泾惠渠干渠	肋梁板及平板	12.0~24.0	C10	8~10
	冯家山干渠	肋梁板	4.0~22.0	C10	6~10
甘肃	民勤县总干、干渠	预制平板	5.0~25.0	C10	6~8
新疆	呼图壁河干渠	现浇平板	3.8	C15	10
山西	汾河一坝东支渠	现浇平板	5.0	C10~C15	10
辽宁	刘大总干渠	现浇平板	12.0	C15	15
河南	人民胜利总干渠	现浇平板	101.0	C10	10
江西	上游水库总干渠	预制平板	20.0	C15	8~15
湖南	韶山支渠	预制平板	<1.0	C10	5
广东	松涛总干渠	现浇平板	103.0	C10	5~6
	青年运河	现浇平板、纵向肋梁	120.0	C15	5~6
	雷社唐电站渠	现浇平板	1.5	C10	4

表 7 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 <sup>3</sup> /s)	纵坡	流速 (m/s)	备注
新疆维吾尔自治区 金沟引水渠中段	弧底 梯形	底部砌石厚 30cm, 边 坡预制混凝土厚 10cm	40	1/166	6.00	—
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	6.00	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	5.20	
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	4.70	
	梯形	现浇混凝土底厚 15cm, 边坡厚 10cm	30	1/110	4.95	—

3 本款系经参照陕西、甘肃、北京等地一些已建工程的经验后确定。

4 国内已建成的大量 U 形和矩形混凝土防渗渠槽, 一般厚度仅 5cm~10cm, 运用效果良好。在黏性土地基中, 渠深较小时, 土边坡能够自稳, 对 U 形和矩形的边墙没有或仅有很小的外压力。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 5.5.2 选用; 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, 计算的荷载有自重、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,应考虑撑竿的支撑作用。

5 预制混凝土板的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主要原因是勾缝砂浆的黏结失效甚至脱落。预制混凝土板砌筑时,一定要注意勾缝的施工质量和勾缝砂浆的养护。施工时可在勾缝砂浆中掺入膨胀剂或增强纤维等材料。

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) 整体浇筑箱形暗渠,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,应按现行行业标准《水工混凝土结构设计规范》SL 191—2008 的要求,进行裂缝宽度验算。

## 5.6 沥青混凝土防渗

### 5.6.1 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,热稳定性越差。孔隙率不大于4%时,抗渗性及热稳定性均可以满足要求。沥青混凝土的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,本款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0.8mm,



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,故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,对低温抗裂具有实际意义,其强度必须满足设计要求。

**2 整平胶结层**,是为防渗层提供一个较平整的浇筑基面。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地排走。故要求整平胶结层以开级配沥青混凝土铺筑,其渗透系数不小于  $1 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ ,热稳定系数小于 4.5。

**5.6.2 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、青海省、甘肃省、山东省和国外资料,以及现行行业标准《土石坝沥青混凝土面板和心墙设计规范》DL/T 5411 中,对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。在国内已建的沥青混凝土防渗渠道中,石料最大粒径均小于防渗层厚度的  $1/3 \sim 1/2$ 。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  $1/3$ 。为保证质量要求,作本条规定。

整平胶结层的石料最大粒径范围可以放宽,但宜不大于一次压实层厚度的  $1/2$ 。

### **5.6.3 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 5.6.3(a)和图 5.6.3(b)两种,应根据工程实际情况采用。

2 封闭层主要是为了密封沥青混凝土表面残留的孔隙,以提高沥青混凝土的防渗能力和抗老化能力,同时还可减少水流中的推移质对防渗层的磨损。为使防渗层正常工作,应保证其在高温下的热稳定性及低温下的抗裂性能。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 20 世纪 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,可采用 8cm~10cm。

4 整平胶结层主要作用是防渗层铺筑在岩石基面上找平,故作本款规定。

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。根据对青海省已建成渠道两个寒季的观测,在元月份平均气温为 $-10^{\circ}\text{C}$ 以下,负气温极值为 $-24^{\circ}\text{C}$ ~ $-26^{\circ}\text{C}$ 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。式(5.6.3-2)中, $\Delta T$ 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,宜设伸缩缝。

7 本款规定预制沥青混凝土板的边长应根据安装、搬运条件确定。同时规定预制板密度应大于  $2.30\text{g}/\text{cm}^3$ ,以保证其密实和防渗效果良好。

## 5.7 膜料防渗

### 5.7.1 本条说明如下:

1 埋铺式较明铺式膜料防渗结构,不易破坏,寿命长。因此本标准规定采用埋铺式膜料防渗结构。

2 为保证在施工中防渗膜料不被破坏,要求应在岩石、砂砾石基槽上或采用可能破坏膜料的保护层时,在基槽与膜层之间、保护层与膜层之间设置过渡层。土渠基和用黏性土做保护层的则可不设过渡层。

**5.7.2** 膜料防渗层的铺设范围,有全铺式、半铺式和底铺式三种形式。全铺式为渠坡、渠底均铺设,渠坡的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  $1/3 \sim 1/2$ ;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;半铺式膜料防渗渠道,在原渠改建时用得较多,根据测验,半铺式的防渗效果可达到全铺式的 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。

**5.7.3** 为增加土保护层边坡的稳定性,我国从 20 世纪 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。自 20 世纪 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,多采用梯形、弧形底梯形、弧形坡脚梯形等铺膜基槽断面形式。

**5.7.5** 本条规定了选用防渗膜料的原则。

1 聚乙烯膜可用于  $-50^{\circ}\text{C}$  的环境,聚氯乙烯膜仅用于  $-15^{\circ}\text{C}$  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或膨润土防水毯。膨润土防水毯是一种新型防水防渗膜料,具有柔性好、能自愈、易修补、耐冻融等特点,在低温、芦苇丛生等地区具有很强的适应性。

2 膜料太薄时在施工中易为外力破坏,容易老化,寿命短。

针对水资源缺乏日趋严重的现象和社会经济状况的改善,要求提高工程的防渗效果和耐久性。结合我国的实际情况,工程级别为1级、2级和3级的特大型、大型渠道,防渗塑膜宜选用厚度为0.3mm~0.6mm;工程级别为4级、5级的中小型渠道,宜选用厚度为0.18mm~0.22mm的塑膜,或0.60mm~0.65mm的无碱或中碱玻璃纤维布机制的油毡。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瑙脂压制而成。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。故为了提高沥青玻璃布油毡抗老化的能力,延长工程寿命,本款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。由于深色膜料的透明度差,能抑制膜料下面的芦苇及其他杂草的生长,在同样保护层下,深色膜较浅色膜吸热量大,还可提高地温,有利于防止冻害,故本款推荐使用。

**5.7.6 设置过渡层**是为了避免损伤膜料防渗层,并能保证膜料下部的积水顺利排除。

1 作过渡层的材料很多,各地亦有多种做法,可因地制宜地选用。如灰土、砂浆、草泥灰、土、砂及复合土工膜等。各地的运行实践证实:灰土、砂浆作过渡层,具有一定强度和整体性,造价也较低,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,应优先选用灰土、砂浆作过渡层。如采用土、砂料作过渡层,则应采取防止淘刷的措施。

膜下过渡层的材料宜是透水材料,以排除透过膜料的水和地基内部的渗流水,避免膜下水压力过大,顶托防渗膜。

2 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,故其厚度不需太大,根据经验,一般灰土、砂浆2cm~3cm

即可,土、砂 3cm~5cm 即可。

**5.7.7** 从各地调查中发现,当土料保护层厚度太小时,因受冻融等因素的影响,膜料层会发生裸露,而导致老化破坏。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 35cm,寒冷地区采用大值。

表 5.7.7 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 8,我国的调查资料见表 9 和表 10。

**表 8 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 9 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
新疆农二师卡拉干渠	重粉质壤土	40.0	50.0
新疆农七师奎屯水库东世水渠	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
新疆农七师车排子东支干渠	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
新疆农二师铁干里总干渠	重壤土	50.0	50.0
新疆农二师 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 10 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)
新疆农七师 123 团西 1 支渠 3 斗渠	草泥	30.0
新疆农七师 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

**5.7.8** 目前我国土料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。根据试验资料,浸水泡实法施工的干密度可达到  $1.39\text{g}/\text{cm}^3 \sim 1.47\text{g}/\text{cm}^3$  以上。因此,在本条规定了浸水泡实法施工的干密度,宜为  $1.40\text{g}/\text{cm}^3 \sim 1.45\text{g}/\text{cm}^3$ 。

**5.7.9** 刚性材料保护层的厚度小于防渗层的原因,是保护层主要起保护膜料的作用,而不用考虑它的防渗作用。

组合式保护层是为了提高保护层的抗冲耐磨能力,又降低工程造价而采取的一种措施。根据新疆,有采用砌石渠底、混凝土渠坡的组合式保护层的形式,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。对弯道凹岸或渠水位变动区,宜局部或全部采用砂砾石与粘性土组合式保护层。

**5.7.11** 本条说明如下:

1 防渗层与渠系建筑物的连接不好是膜料防渗渠道破坏的原因之一。在国内,就有混凝土保护层膜料防渗渠道,因与渠系建筑物连接失效,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。

2 以土料作保护层的膜料防渗渠道,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,易引起边坡滑塌等事故。因此,在建筑物的上、下游应改用石料或混凝土保护层。

## 5.8 伸缩缝、砌筑缝及堤顶

**5.8.1** 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。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。

**5.8.2** 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强度等级的高低和砌筑质量。由于砌筑是施工质量较难控制的工序,故砂浆的强度等级应予适当提高,才有

利于与其他材料粘接牢固。如需要勾缝,勾缝砂浆的强度等级应高于砌筑砂浆的强度等级。

砌筑缝以矩形缝最为常用,企口缝在板材制作和安砌上均不如矩形、梯形缝简单方便,但砌筑后整体性好,尤其应用于渠坡的水平缝,能有效地防止因渠基变形、冻胀等引起的预制板错位。



## 6 渠基与渠坡的稳定

### 6.1 一般规定

**6.1.2** 渠道工程的稳定,包括渠基和渠坡的稳定。渠基指渠道防渗衬砌层下面的渠道地基,渠坡指渠道的内坡(迎水面边坡)、外坡(背水面边坡)以及渠堤以上影响渠道稳定的山体边坡。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 with 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  $\Pi$  形板、预制空心板式结构)等。

**6.1.3** 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,要求渠床土坚实平整、渠坡安全稳定。为此,渠道选线时,应尽量避免开湿陷性黄土、膨胀土、分散性土、盐胀土、冻胀土等特殊土地段,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,对不良地基和边坡应采取工程措施,确保渠道稳定。

**6.1.4** 渠道防渗工程量大面广,防渗结构层薄,影响因素复杂,因此,本条规定 1、2、3 级渠道,应在有代表性的渠段上,对已选定的渠基及渠坡处理方法,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。

## 6.2 渠坡的安全坡比

**6.2.1** 渠坡的安全坡比是衡量渠道边坡稳定性的一个综合技术指标。一般都是依据地质条件、渠道运行特点、岩土工程性质,通过边坡稳定分析确定。但是对于小型渠道也可根据已建工程经验采用工程类比法确定。

**6.2.2** 边坡稳定分析方法很多,有极限平衡法、有限元法、概率统计法等,就极限平衡法大类中还有许多方法,这里根据实践经验,渠坡特点,参考现行行业标准《水利水电工程边坡设计规范》SL 386—2007,对渠坡稳定分析作出规定供选用。

## 6.3 黄土渠道

**6.3.1** 本条说明如下:

1 湿陷性黄土地区的湿陷等级划分,可参考现行国家标准《湿陷性黄土地区建筑规范》GB 50025—2004。

2 工程实践证明,采用适应变形的渠道断面和防渗结构,对弱湿陷性黄土渠基应用效果很好。因此对弱湿陷性黄土渠基可直接采用适应变形的渠道断面和防渗结构。

3 对中、强湿陷性黄土渠基的处理,可采用表 6.3.1 中所列方法,可以选择其中一种,也可几种方法联合使用。

垫层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  $1.45\text{g}/\text{cm}^3$  以上;渗透系数约为  $5.8 \times 10^{-6}\text{cm}/\text{s}$ 。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  $1.1\text{g}/\text{cm}^3 \sim 1.3\text{g}/\text{cm}^3$ ,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次~12次;在机压过沟填方上,落距为8m~10m,击实8次~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 $1.42\text{g}/\text{cm}^3 \sim 1.83\text{g}/\text{cm}^3$ ;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,未发现明显的沉降和裂缝。该法节省人力、物力,降低工程费用,效果较好。

预浸水法作用机理是通过放水预浸,破坏湿陷性黄土的大孔结构,消除土的自重湿陷性,减少工程建设后的沉降量。预浸水法是一个古老的方法,方法简单,成功实例较多。

深翻回填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1.0m~1.5m,三场塬电灌干渠翻夯深度最大达4m。夯实干密度要求 $1.55\text{g}/\text{cm}^3 \sim 1.68\text{g}/\text{cm}^3$ 。据试验,干密度从 $1.4\text{g}/\text{cm}^3$ 提高到 $1.6\text{g}/\text{cm}^3$ ,渗透系数从 $2.4 \times 10^{-4}\text{cm}/\text{s}$ 降低为 $9 \times 10^{-5}\text{cm}/\text{s}$ ,而且能消除较大的垂直裂缝,使渗漏均匀。但该法工程量大。

**6.3.2 黄土渠道高边坡的稳定性**是黄土塬边渠道安全的主要因素,在西北地区具有普遍性。如陕西省宝鸡峡引渭工程总干渠有98km黄土塬边渠道,渠道以上坡高约30m以上。根据多年治理经验和运行实际认为:第一,一般在坡高的1/2或稍高处设6m~12m宽的大平台,较一坡到顶或小平台的坡型,既经济又安全。第二,为了防止黄土渠坡由于雨水作用产生的坡面冲刷、坡顶陷穴或溶洞,进而造成渠坡失稳,采用坡面排水系统非常必要,排水系统一般由天沟、侧沟、平台排水沟和吊沟组成。第三,黄土高边坡的坡脚是应力集中带,受到应力松弛和剥落、冲刷的交替作用,为了防止由于这些作用而逐渐降低边坡稳定性导致渠坡整体破坏现象,常在坡脚处采用砂浆块石护坡或采用喷锚支护稳锚措施。

## 6.4 膨胀土渠道

**6.4.2** 膨胀土是一种水敏性土,具有胀缩性、超固结性、裂隙性和强度衰减特性,在渠道边坡破坏形成中多表现出牵引性、结构性、浅层性、多次滑动性以及时间规律性。由于膨胀土复杂的性质和渠坡破坏复杂的表现形式,使边坡稳定分析非常复杂,不同于一般粘土边坡稳定分析。差别主要体现在地质条件、破坏面和强度参数选取。在破坏面确定方面,在一定条件下,对裂隙进行数理统计分析,根据裂隙产状变化规律、裂隙密度、充填物性质等,判断出可能的破坏面;在强度参数选取方面,一般情况下膨胀土的峰值抗剪强度是相当高的,但是从失稳的膨胀土边坡反算出的抗剪强度却远远低于其峰值强度。在膨胀土边坡稳定分析中,强度参数选取,由于其复杂性,就显得更加重要。滑面上强度参数取值要根据不同土层结构特点、地质条件、地下水情况由土工试验确定。强度参数试验宜采用三轴压缩试验,残余强度参数宜采用反复剪切试验确定;膨胀土渠坡的稳定性,实际是一个非饱和土工程问题,对于特大型和大Ⅰ型渠道边坡稳定分析一定要考虑非饱和土的性质,可采用相应的稳定分析方法和选取相应的强度参数。

**6.4.3** 膨胀土边坡破坏表现出多种性质,应采取针对措施以增强渠坡的稳定性。长期工程实践,积累了丰富的经验,提出很多好的膨胀土地基和边坡处理方法,供应用时参考。

换土措施是将膨胀土部分挖除,用非膨胀土或粗粒土置换。换土的厚度要考虑因降雨引起土体含水量急剧变化带的深度。如河南南阳刁南灌渠北干1<sup>#</sup>跃水闸下游渠段、换土厚度1.5m,断面坡度1:2.0,运行几十年,渠坡未发生破坏迹象。南水北调中线工程线路长1427.17km,其中穿越膨胀岩土渠段累计长约340km,处理的主要措施还是换土方案,强、中膨胀土的换土厚度分别为2.5m、2.0m。

土性改良措施主要有石灰固化作用 and 水泥固化作用。膨胀土

掺石灰的主要作用是使膨胀土的液限与膨胀量降低,增大强度。水泥固化作用是由于钙酸和铝的水化物和颗粒相互的胶结作用,胶结物逐渐脱水和新生矿物的结晶作用,从而降低了液限和体变,增大了缩限和抗剪强度。

坡面防护措施在膨胀土渠坡上应用较多,大多是应用于渠道外坡和衬砌以上渠坡,主要种植草皮,设置坡面排水系统。

坡体排水措施是采用排渗措施将膨胀土渠坡内部积水排出体外,以增强渠坡的稳定性。安徽省驷马山引江工程渠坡治理曾采用竖井结合水平孔排渗设施,经过多年运行,渠坡没有发生滑塌。

加筋土措施是将土工合成材料在渠坡内不同高度分层铺设,与土体共同作用来增强渠坡的稳定性,加筋材料有纤维、土工织物、土工格栅等,对于渠道边坡土工格栅效果更佳。土工格栅选型、土工格栅自由段长度、锚固长度、分层填土厚度等技术数据,应根据工程需要和渠坡稳定分析确定。

## 6.5 分散性土渠道

**6.5.1~6.5.4** 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严重,但只要通过试验,鉴别其分散性,采取有效措施,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,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,在堤顶和内坡面用 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;在外坡换土 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。对过渡性土渠段,堤顶和内坡面用土工膜防渗,内坡面土工膜上覆盖 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;在外坡换土 20cm,种植草皮。经过这样

处理后,工程运用情况良好。

渠道外坡或挖方渠道戗台以上的渠坡,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。

试验证明反滤砂或土工布设置在分散性土渠道外坡治理分散性土的冲蚀破坏效果非常明显,此种方法曾用于黑龙江省南部引嫩工程,在对分散性土边坡运行效果的调查中发现,在南引渠道分散性土段,采用砂反滤混凝土板护砌和土工布反滤混凝土护砌处理的渠段,运行效果良好。

## 6.6 盐渍土渠道

**6.6.1** 根据研究,公路、铁路和水利部门多年经验,盐渍土填方地基的稳定性优于挖方地基,在选线时尽量考虑采用填方地基。新疆引额济乌平原明渠工程硫酸(亚硫酸)盐渍土地区设计时就曾尽量采用填方渠道。

**6.6.2** 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。

用砂砾石或灰土等非盐胀性土置换盐胀性土,可从根本上治理盐胀性土渠基,但其工程造价较高,施工量大。用化学添加剂 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 $\text{NaCl}$ 、 $\text{CaCl}_2$ 、 $\text{BaCl}_2$ 进行化学处理,使盐胀性土转化为非盐胀性土,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。盐胀性土的处理深度,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,内坡面应大于1.0m。

## 6.7 冻胀性土渠道

**6.7.1** 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。土质和冻深标准参照现行行业标准《水工建筑物抗冰冻设计规范》SL 211—98 的规定,水分标准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(自治区)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 11 取值。

表 11 土的毛水管上升高度  $Z_0$  值

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

**6.7.3** 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。

1 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 适应冻胀变形为主的渠道断面和防渗结构措施。

3 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。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,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,沿渠周方向间隔 1m~4m 设置纵向缝。

4 利用空气保温以削减渠基土冻胀量的防渗结构措施。

**6.7.4** 渠基土的冻胀性属于 III、IV、V 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。

1 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 适应冻胀变形为主的防渗结构措施。

3 考虑大、中型渠道较重要而提出的综合性措施。

4 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。

**6.7.5 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、高分子防渗保温材料等),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,可减少 100mm~150mm 冻深估算。

2 用非冻胀性土置换冻胀性土是削减渠基土冻胀的良好措施,但渠线长,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排水不畅而导致冻胀。

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。采用此法的关键是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。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  $1.58\text{g}/\text{cm}^3$  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  $1.6\text{g}/\text{cm}^3$ ,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。



## 6.8 沙漠渠道

**6.8.1** 沙漠渠道边坡的稳定计算方法与其他土类边坡稳定计算方法一样,先通过土工试验确定沙土设计密度和沙土的强度参数,然后用极限平衡法进行计算,再考虑施工的特殊性确定沙漠渠道的安全坡比。新疆引额济乌工程沙漠渠道曾取沙漠明渠内边坡系数  $m=2.5$ ,沙漠明渠填方外坡边坡系数  $n=3$ 。通过几年的运行,选定的边坡系数是合适的。

**6.8.2** 新疆引额济乌工程沙漠明渠采用条带布置方案,典型剖面见图1。施工过程是:①利用大型推土机和振动碾碾压54m~64m宽的条带(平台);②在条带成型一段后及时修建两侧巡渠施工道路;③利用道路再进行外土坡治理区域草方格防护、物资运输,分段有序进行;④利用各段道路分别进行渠道开挖或填筑;⑤整修后再进行渠道防渗衬砌工程施工。

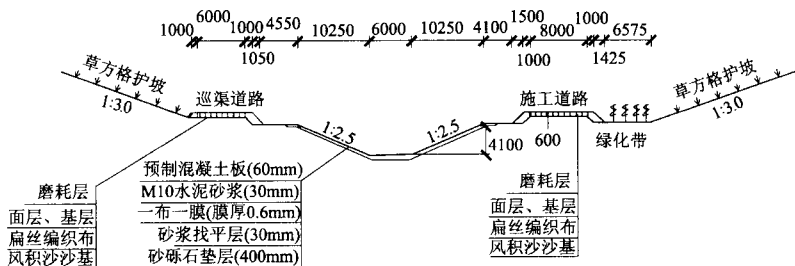


图1 沙漠明渠典型结构布置(单位:mm)

**6.8.4** 为沙漠渠道的长治久安,必须采取人工辅助措施进行生态绿化和固沙防护,形成临时措施和永久措施、工程措施和生物措施相结合的防风固沙体系。新疆引额济乌工程沙漠明渠治理的具体做法通过多年的运行检验较为成功,可以借鉴。具体做法:①在沙漠渠道两侧施工扰动的裸露沙面上采用芦苇草方格进行防风固沙,使得起沙风速增大,减少入渠积沙量;②通水后在草方格内种植林灌草进行生物固沙,改善沙漠渠道沿线气候和生态环境;③对

沙垄顶部流动和半流动沙丘也应进行防治,达到减弱沙漠化程度,增强抗风蚀能力的综合治理目的,以确保明渠输水安全运行。

## 6.9 其他情况

**6.9.3** 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),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地基深层时,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(湿陷性黄土)、滑塌(傍山、塍边渠道)等事故,应区别不同情况,按附录 E 方法设置排水设施。

## 7 施 工

### 7.1 一 般 规 定

**7.1.1** 施工前应认真阅读工程设计文件,包括设计说明书、设计图纸等,以便掌握工程的特点和关键技术,明确工程的重点和难点,为组织施工做好准备。施工现场踏勘的目的在于了解施工现场的具体情况和条件,为编制施工组织设计做好准备。施工组织设计是研究施工条件、选择施工方案、对工程施工全过程实施组织和管理的指导性文件,对保证工程施工的顺利进行具有重要的作用。

**7.1.2** 材料设备应选用符合国家现行有关标准的定型产品,按照设计要求的规格、数量、型号采购。现场验收包括数量和质量两个方面。材料设备的保管应根据不同品种、规格、型号,分类存放,水泥应有防雨、防潮设施,如入库存放、搭建防雨棚,码放水泥的底部应垫高且铺放塑料膜。

**7.1.3** 气温稳定具体指在降温的低温季节连续 5d 通过某一温度,之后很难再恢复这一温度。砌石防渗工程的低温施工措施参照《建筑工程冬季施工规程》JGJ 104—1997 的规定;混凝土防渗工程的低温施工措施参照《水工混凝土施工规范》DL/T 5144—2001 的规定;沥青混凝土防渗工程的低温施工措施参照《水工碾压式沥青混凝土施工规范》DL/T 5363—2006 的规定。

### 7.2 填筑和开挖

**7.2.1** 无论何种材料防渗,在铺设防渗层以前,都应该验收检查渠道基槽是否符合设计要求,严格控制渠道基槽断面的高程、尺寸和平整度。

**7.2.2** 新建填方渠道和已建渠改建防渗渠道,填筑前应清除填筑

范围内的草皮、树根、淤泥、腐殖土和污物,以避免填筑渠基与原土基间形成软弱层,影响渠基稳定。

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。

**7.2.4** 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。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,除按第 7.2.2 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。

**7.2.5** 本条对挖方渠槽、填方渠槽和改建渠道工程中渠槽填筑满顶时渠槽的开挖作了规定。当采用机械开挖法施工时,机械开挖以后,仍应辅以人工检查及修复,直至符合设计要求。

**7.2.6** 新建半挖半填渠道基槽的开挖应与填方施工结合进行,即开挖基槽挖方部分的土,填筑渠道两岸填方部分至设计高程,然后修整渠槽,包括挖方和填方部分,直至达到设计要求。

**7.2.9** 如果渠基为易穿透防渗层的杂草地段,采用膜料及沥青混凝土防渗时,渠道基槽应进行清草处理,以防止杂草穿透破坏防渗层,影响工程质量。

## **7.4 砌石防渗**

**7.4.1** 本条对砌石砂浆的拌制和允许间歇时间作了规定。砌石砂浆的配合比应根据设计选用的原材料通过室内试验确定。小型砌石防渗工程或无条件进行试验时,可参照有关砂浆配合比手册选用。

**7.4.2** 本条规定是为了提高砌石防渗渠道的防渗效果和防止渠

基淘刷。

**7.4.3** 采用浆砌石防渗结构的梯形渠道,一般应先砌渠底后砌渠坡。但是,对于矩形渠道,砌筑时,为了避免人踩、石料砸碰砌体,影响砌筑质量,一般应先砌两边侧墙,后砌渠底。不管采取何种砌筑顺序,都应尽量减少外力对未凝固砌体的破坏,必要时可采取保护措施。

**7.4.4** 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,其优点是:①渠底与渠坡衔接较好;②渠坡砌石对渠底有挤压作用,使渠底砌石更紧密;③渠底较渠坡容易被冲坏,先砌底便于选择较大、较优质的卵石用于底部;④从上向下运石方便。因此,本款规定“按先渠底后渠坡的顺序砌筑”。

## **7.5 混凝土防渗**

**7.5.1** 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。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。

**7.5.3** 本条规定了配合比的严肃性,可避免因不严格遵守混凝土配合比而造成的混乱现象,从而有利于保证混凝土拌和物的质量。本条还增加了审核配合比的内容,在现行工程建设体制下,试验部门确定的配合比应经监理工程师审核。

**7.5.4** 本条规定了混凝土的拌和时间。拌和时间是指从原材料全部投入拌和筒到开始卸出时所用的时间。

**7.5.7** 参照现行行业标准《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 $20^{\circ}\text{C}\sim 30^{\circ}\text{C}$ 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。

**7.5.8** 对混凝土浇筑的振捣进行了全面规定。使用表面式振动器时,在振动器不能靠近的部位,应采用手持式振捣器振捣,或辅以人工捣固,振捣器不应直接碰撞模板、钢筋及预埋件。目前国内使用的 U 形混凝土衬砌机有多种形式,如绞盘牵引衬砌机、柴油机动力衬砌机、轨道式液压自行衬砌机、CU4 型气动切缝衬砌机、QJ 型小拖拉机动力衬砌机等。

**7.5.9** 喷射混凝土适用于各种断面的渠道,过去已有在 U 形和梯形渠道上施工的实例。该施工方法速度快、质量好,不用模板,而且由于干料和水都是通过胶管压力输送,不受道路限制,减少了深挖方、高填方渠道混凝土运输的困难。

**7.5.10** 收面工作是混凝土浇筑中重要的工序,做好渠道衬砌混凝土的收面工作,可以降低糙率,提高过水能力,增强防渗效果,延长使用时间。收面应在混凝土浇筑完后,立即用原浆收面,不得另拌砂浆上面。实践证明,另拌砂浆上面,往往与原混凝土结合不好,冬季受冻后,容易造成表层大量脱落,影响工程质量。

**7.5.11** 混凝土预制板(槽)一般结构较薄,故在运输和堆放时应立码挤紧,装车、卸车应特别小心,不宜剧烈震动和碰撞,以防止损坏。

**7.5.14** 混凝土的养护是保证和提高质量的重要环节。对于渠道混凝土衬砌板,一般外露面积大,养护工作尤为重要,故应有专人负责,切实做好。

## **7.6 沥青混凝土防渗**

**7.6.1** 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。

**7.6.2** 运输沥青混合料的基本要求为热量损失少,不离析。要使沥青混合料铺面充分压实,必须在碾压时保持适当的温度。沥青混合料的出机温度是根据碾压温度要求、运输和摊铺过程的热量

损失确定的。因此,减少运输过程的热量损失甚为重要。

**7.6.3** 本条主要保证防渗层达到设计要求的厚度、压实度和相对密度。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,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,确定铺筑厚度、碾压温度、碾压遍数和压实系数等施工参数。

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。

**7.6.4** 沥青如长期受高温影响,会产生老化现象。其黏度提高,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 12),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  $160^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ ,恒温时间应小于 6h。

表 12 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 (0.1mm)	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

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℃。参照我国坝工沥青混凝土碾压温度的控制标准(见表 13),选定了渠道沥青混凝土防渗层的压实温度。

表 13 沥青混合料的碾压温度

项 目	针入度(0.1mm)		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。

根据西北水科所的资料,斜坡上最有效的碾压工具是 0.5t~2.0t 的振动碾。在无条件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/cm<sup>3</sup> 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等。

7.6.6 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,防渗层必须洁净、干燥。

**7.6.7 沥青混凝土防渗工程施工中**,拌料、运输和铺筑时沥青混合料的温度较高,稀释沥青掺入的有机溶剂是液体燃料,容易挥发,闪点低,故应注意防止火灾和工伤事故。

## **7.7 膜料防渗**

**7.7.1** 岩石或砂砾石基槽铺设过渡层可以防止膜料擦破或刺破,常用水泥砂浆、灰土等。

**7.7.2** 本条说明如下:

1 根据渠道大小和铺设方法,采用附录 G 的方法,将膜料加工成大幅备用,可以提高施工速度。但是,大幅膜料的尺寸应以便于搬运和铺设为宜。

2 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。

3 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。

4 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。

5 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。

6 粘补破孔的粘补膜应超出破孔每边 10cm~20cm,目的是更好地达到粘补作用,避免漏补。

**7.7.3** 当天铺膜,当天填筑好保护层,以避免膜层裸露时间过长。

**7.7.4** 土料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。

## **7.8 填充伸缩缝**

**7.8.1** 伸缩缝如果潮湿或不干净,填充材料便不能与缝壁牢固粘结,因此,清缝非常重要,应在伸缩缝填充前,清除缝内杂物、粉尘,并设法使缝壁干燥。

## 8 施工质量的控制与验收

### 8.1 施工质量的控制与检查

**8.1.2** 本条规定了渠道防渗工程施工单位应建立必要的质量责任制度,对渠道防渗工程施工的质量管理体系提出了较全面要求,渠道防渗工程的质量控制应为全过程的控制。

**8.1.4** 渠道的基槽对工程的外观、稳定以及防渗效果等都有直接影响。除了尺寸、高程等应满足要求外,填筑时土的含水量和干密度应作为重要的质量指标,应严格控制,加强检查。检查方法应执行现行行业标准《土工试验规程》SL 237 的规定。保证离差系数应不大于 0.15,是为保持均匀一致,以满足设计要求。

**8.1.5** 施工过程中对原材料的检验,须依据不同材料相应的试验规程分批、分期进行。检验结果应予以及时反馈,以便在施工中作出调整部署。由于原材料的情况影响混合材料的配合比,进而影响其工程性能,所以除必须按规定做好原材料的检验外,还应重视配合比的抽检复查。

**8.1.6** 各种防渗结构施工质量控制和检查的内容,是根据砌石、混凝土、沥青混凝土和膜料等不同防渗结构施工质量的要求,分别作出的规定。

### 8.2 工程验收

**8.2.1~8.2.6** 主要规定了大、中型渠道防渗工程验收的基本要求、验收合格的条件以及验收程序等内容,小型渠道防渗工程可参照执行。

## 9 测 验

### 9.1 一 般 规 定

**9.1.2** 渠道渗漏检测常采用静水法和动水法。静水法精度高,适合于各类渠道,但测验工作较繁重,需在渠道停水后进行;动水法可在不影响渠道正常运行下进行,但测验精度比静水法差,一般适用于测量上下两测试断面间渠段的总体渗漏量,为满足测量精度的要求,宜在渗漏量大的渠道上进行,且要求测试渠段长,测试次数多。因此,生产实践中应根据测验目的进行比较选择。如检验渠道防渗效果,对施工质量进行评价,进行渠道防渗技术的试验研究与材料防渗性能检验等可优选静水法。

### 9.2 静水法测渗

**9.2.1** 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。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,或尽量利用渠道运行间歇进行。新建或改建渠道,可在正式使用前进行。

**9.2.4** 静水法测验某一水位渠道渗漏强度,使用水位下降法或称量法,都有一个水位下降变化幅度。开始加水水位,为水位变幅的上限,称为加水后水位。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,称为加水前水位。加水前水位和加水后水位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。

**9.2.5 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。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 2 所示。

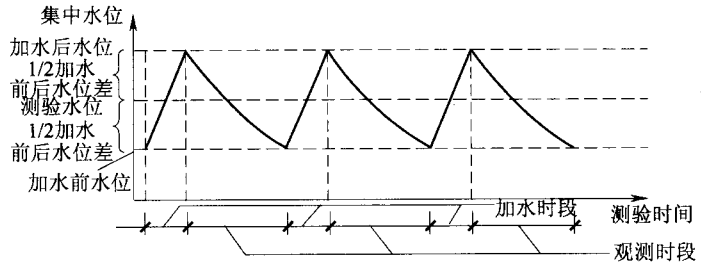


图 2 水位下降法时段划分

由图 2 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。

**9.2.6 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。称量法按图 2 所示的时段划分方法进行测验,并准确量测记录在每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

补加水时间等。由图 3 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。

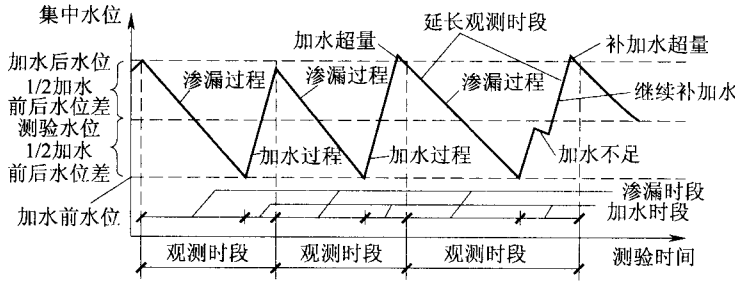


图 3 称量法时段划分

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量强度的误差消除,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。水位下降量选定后,观测时段的长短取决于渠道渗漏情况,一般在开始测验的第 1h 内,约 20min 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,主要取决于水位观测的准确度。因此,提出三只水位尺间的水位降落差值,最大不得超过 2mm。

**9.2.7** 从恒水位测验开始,到满足式(9.2.7)条件以前,为初渗阶段测验;到满足式(9.2.7)以后,为稳渗阶段测验。

**9.2.8** 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,要求测验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。

### 9.3 动水法测渗

**9.3.1~9.3.4** 渠道动水法测渗技术的关键问题在于如何保证测试精度。影响动水法测试精度的因素很多,如渠道的渗漏特性、单个测试断面流量测试参数的选择、测试渠段长度的大小和测试次数等。而实际中,要完成一次满足精度要求的成功测试也绝非易事,故本条提出实施测试前应认真进行可行性综合论证,选定最佳的测试方案。

### 9.4 变形测验

**9.4.3** 变形测验观测基点构造见图 4,观测标点的构造见图 5。

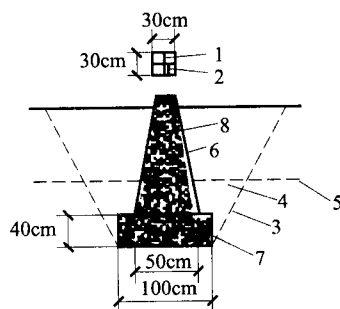


图 4 变形观测基点构造

1—十字线;2—标点头;3—开挖线;4—回填沙砾石;

5—冻结线;6—立柱;7—底板;8—涂沥青

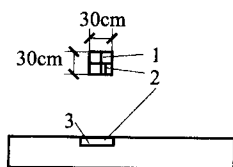


图 5 变形观测标点的构造

1—十字线；2—标点头；3—铁板

## 9.5 冻胀测验

**9.5.2** 土壤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。分层冻胀量和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。



## 10 工程 管理

**10.0.1** 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,如果管理主体明确,管理规范,养护得当,对渠道运行中出现的问题及时采取妥善的维修措施,工程就能长期正常运行。因此,为确保工程的安全和完整,延长工程使用寿命,充分发挥工程效益,必须加强管理,及时认真做好维护工作。

**10.0.4** 土料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。