

叶尔羌河西岸总干渠垫层的设计和应用

罗文忠

(叶尔羌河流域管理局勘测设计院, 新疆 喀什 844700)

摘要 叶尔羌河西岸总干渠抗冻设计采用了砂砾石垫层换填,设计时从抗冻性、渗透稳定性、保砂性、不分离性、度汛可靠性等方面进行了分析,指出渠道垫层设计应尽量满足面板坝垫层设计的要求以及渠道经济性的要求,并就垫层设计中应该考虑到的因素进行了分析。

关键词 天然砂砾石 渠道垫层 西岸总干渠

中图分类号 :TU753

文献标识码 :B

文章编号 :1006-7647(2008)S1-0114-03

叶尔羌河西岸输水总干渠(以下简称西岸输水总干渠)位于新疆喀什地区莎车县境内,是塔里木河流域综合治理常规节水工程中的重要工程之一。西岸输水总干渠从塔里木河四大源流之一叶尔羌河的喀群渠首引水,自喀群渠首西岸进水闸到苏库恰克水库入库闸为止全长 91.32 km,地理坐标为东经 $76^{\circ}54' \sim 77^{\circ}15'$,北纬 $37^{\circ}59' \sim 38^{\circ}45'$ 。总干渠控制灌溉面积可达 18.2 km^2 ,年引水量 22 亿 m^3 ,设计流量为 $65 \sim 100 \text{ m}^3/\text{s}$,是叶尔羌河最大的输水系统。

西岸输水总干渠于 2000 年被列入塔里木河综合治理常规节水工程,对其中的 35.09 km 进行节水改造,其中 $0+294 \sim 10+800$ 和 $28+100 \sim 35+350$ 渠道采用浆砌石护砌方案,浆砌石护面下设 30 cm 厚的砂砾石垫层,垫层要求最大粒径小于 8 cm,含砂量小于 20%,含泥量小于 5%。这一要求的实质是参考面板坝的设计要求给出的,下面就垫层的设计和应用做简单的总结。

1 垫层设计

1.1 垫层设计的基本要求

渠道衬砌体下设砂砾石垫层最初多是从渠道的抗冻胀角度考虑的,渠道采用非冻胀性砂砾石置换一定深度的渠基土,一般要求砂砾石中粒径小于 0.075 mm 的颗粒质量分数小于 10%^[1-3]。随着渠道垫层设计的实际应用和发展,对渠道护砌体下面的垫层提出了更高的要求,不再是简单地从渠道抗冻胀置换的角度出发,而是逐渐认识了垫层区在渠道中阻渗、抗渗和稳定渠道边坡上的重要作用,对渠道

垫层设计指标也提出了更高的要求。

垫层料必须选用质地新鲜、坚硬且具有较好耐久性的石料。可以用经过加工的开采石料,也可用天然砂砾石料,或者由两者混合掺配。结合面板坝垫层设计的思想,渠道垫层应该遵循垫层设计的共性,主要有以下几个方面^[4-6]:

a. 非冻胀性。垫层料一般要求粒径小于 0.075 mm 的颗粒质量分数小于 10%。

b. 渗透和渗透稳定性。垫层料必须具有半透水性(较小的渗透系数),一般要求渗透系数为 $10^{-3} \sim 10^{-4} \text{ cm/s}$,以限制渠水因渠道砌体分缝或裂缝而进入渠基产生较大渗漏。同时垫层料自身应有足够的抗渗强度,其抗渗比降应能满足所承受工作水头作用下渗透稳定性的要求,对于填方渠道,渗流将使垫层承受较高的比降。为此要求垫层必须具有一定的抗渗强度。

c. 保砂性。由于地下水位比较高,往往因地下水的渗流作用把渠基的细颗粒土带到抗冻垫层,导致垫层变成冻胀土体,抗冻效果下降,所以垫层必须具备反滤作用,阻止渠基的细颗粒土进入砂砾石垫层。

d. 可压实不分离性。由于渠道垫层厚度在 30 ~ 50 cm 之间,施工中采用平板振动洒水压实的方法,施工时垫层料颗粒不分离、不滚动,垫层的表面斜坡易于整平,可以保证垫层料填筑均匀,避免垫层因分离而产生集中渗流,减少渠道边坡护面板施工时因斜坡表面不平而超填的混凝土量,避免渠道衬砌板厚度的过度不均匀,使垫层级配均匀不易分离,

保证施工时垫层碾压密实。

综上所述,渠道垫层必须具备非冻胀性、渗透和渗透稳定性、保砂性以及施工不易分离性等条件,这些对垫层的性质和要求最终均体现为选用合理的砂砾石垫层料的级配。渠道垫层设计的主要任务就是选用合理级配的垫层以及满足抗冻置换深度所需垫层的厚度。

1.2 垫层料的级配及适用性分析

垫层的级配主要是依据谢腊德提出的垫层建议范围(表1),谢腊德所建议的级配具有较高的阻渗性及抗渗稳定性,只要所选垫层料的级配曲线落在谢腊德所建议的垫层范围之内,且基本平行于包络线,即可满足要求。

表1 谢腊德垫层料理想颗粒级配

粒径/ mm	谢腊德级配小于 某粒径的百分数/%	粒径/ mm	谢腊德级配小于 某粒径的百分数/%
75	90~100	4.76	35~55
37	70~95	0.6	8~30
19	55~80	0.075	2~12

西岸输水总干渠垫层所使用的垫层料主要来自勿甫渠首处叶尔羌河河床,颗粒各粒径的百分数列于表2。在筛分获得的粒径小于80mm的河床砂砾石料中,缺少粒径为0.5~20mm的颗粒,属于不连续级配,勿甫料场垫层料与谢腊德垫层料理想颗粒级配曲线如图1所示,可以看出垫层料粒径与谢腊德建议级配要求相差比较大,大于0.6mm颗粒砂砾石的粒径基本在谢腊德建议级配线之下,小于0.6mm颗粒砂砾石的粒径与建议粒径基本吻合。

表2 西岸输水总干渠垫层料筛分成果

粒径/ mm	小于某粒径 的土粒含量/%	粒径/ mm	小于某粒径 的土粒含量/%	粒径/ mm	小于某粒径 的土粒含量/%
>80	8.48	2.5	1.73	0.150	11.52
40	27.12	1.2	0.24	0.075	3.48
20	26.36	0.6	0.61	<0.075	
5	13.79	0.3	6.67		

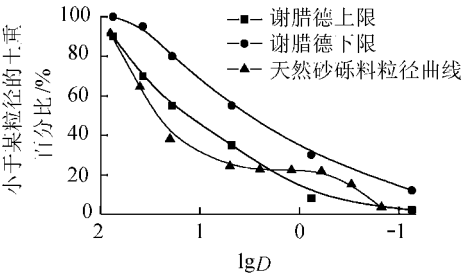


图1 西岸输水总干渠垫层颗粒级配

1.2.1 垫层非冻胀性方面的分析

一般要求粒径小于0.075mm的颗粒质量分数小于10%,冻层距离地下水位大于5cm时,砂砾石材料的含泥量为10%;冻层距离地下水位小于5cm

时,砂砾石材料的含泥量为5%,实践证明只要对含泥量加以控制,粒径为0.17mm左右的风积砂也可以有效地防止冻胀,同时考虑到抗冻的要求,大颗粒应多一些。从图1可以看出所选料颗粒均大于0.1mm,显然满足非冻胀土的要求,粒径大于40mm的颗粒占有36%以上,可见抗冻能力应该比谢腊德建议的级配要强一些,这也是基于北方地区抗冻要求所必须具备的。

1.2.2 垫层的透水性及抗渗稳定性分析

垫层料的渗透系数是人们普遍关心的问题,目前渗透系数值多在 $10^{-2} \sim 10^{-4}$ cm/s之间,具有半透水性。严寒地区选择垫层料,要求其渗透系数大些,一般认为垫层料渗透系数大于 10^{-3} cm/s时,它就能自由排水。

为保证垫层的渗透性,一般采用较粗级配,垫层级配料偏细,垫层内存在大量的毛细水,这在北方高寒地区容易发生冻胀现象。另外在渠道水位骤降时,垫层排水不畅,将对渠道面板产生浮托力,不利于边坡的稳定。

为保证渗透的稳定性,一般要求垫层级配要有连续性,粒径小于5mm颗粒的质量分数应达到35%~45%,同时其垫层料的颗粒形状对其渗透稳定性也有一定的影响,天然冲积砂砾料其颗粒磨圆度较好,但其抗分离能力和抗冲蚀能力均较低。谢腊德的试验资料表明,当垫层级配良好时,就具有很高的抗渗强度,其水力比降可达200~400,并且只要垫层料中粒径小于0.1mm颗粒质量分数不超过14%,它的渗透稳定性是可靠的。

西岸输水总干渠所选垫层砂砾石垫层料粒径小于5mm颗粒的质量分数为24.25%,垫层的渗透性比较大,为 1.7×10^{-2} cm/s。对砂砾石进行渗透破坏试验,不均匀系数为13.75,相对密度为0.65,临界坡降为0.65,破坏坡降为1.63。可以看出由于粒径不连续,缺乏0.5~20mm粒径的颗粒,渠道垫层的渗透稳定性明显比较低,考虑到渠道设置垫层的渠段渠堤基本与地面同高,且渠道护面为刚性浆砌石护砌,而上述试验数据为天然状况下的渗透破坏情况的数据,渠道施工时应尽量压实垫层增加抗渗透变形的能力,因此仍采用天然级配的砂砾石作为垫层。

1.2.3 垫层的保砂性分析

当垫层料具有半透水性时,其级配自然满足对堵缝材料的反滤作用。根据当地垫层料室内试验资料表明,当粒径小于5mm颗粒的质量分数为35%~55%时,它对粉土有反滤作用;当粒径小于5mm颗粒的质量分数为12%时,尽管此时垫层料的渗透系

数已远大于 10^{-3} cm/s 粉质颗粒在渗流的作用下进入了垫层,但并未被带出。

西岸输水总干渠沿线地面以下 3 m 为粉土层,粉土层以下为砂卵石层,是典型的地貌二元结构。粉土层的渗透系数为 3.0×10^{-4} cm/s,干密度为 1.48 g/cm³,砂卵石层渗透系数为 0.42 cm/s,干密度为 2.1 g/cm³。垫层粒径小于 5 mm 的颗粒质量分数为 24.25%,可以看出所采用的砂砾石垫层的反滤作用并不大,考虑到渠道 3m 以下为砂砾石地层,地下水垂直渗漏比较大,而侧向渗透作用比较小,由于地下水反渗透携带泥沙可能堵塞垫层,降低垫层的抗冻作用,因此对垫层反滤功能要求的条件可以适当放宽,同时也是从工程造价来考虑,仍然采用天然级配的砂砾石垫层。

1.2.4 可压实不分离性分析

砂砾石的压实,指砂砾石在机械作用下颗粒排列至密集,使密实度提高的过程。砂砾石孔隙尺寸大,渗透性大,一般为自由排水体。因此,砂砾石的压实不同于黏性土,不存在孔隙气或孔隙水的排出,而仅仅是克服颗粒之间摩擦阻力之后的颗粒密集化过程。但是,砂砾石的压实却伴有颗粒破碎、级配不断变化的特征。压实性质还同料的最大粒径有关。具有不同最大粒径但级配相似的砂砾石料压实的密度随最大粒径的增大而提高。

砂砾石加水使颗粒表面润湿,可减小彼此间的摩擦力,使其在压实、运输机械的作用下产生相对位移并彼此挤紧,对软化系数较小的岩石,还可使岩块及棱角易于压碎,从而达到较高的密实度。当粒径小于 0.1 mm 的颗粒质量分数大于 8% ~ 10% 时,砂砾石压实时对含水量的大小非常敏感,容易产生“橡皮土”现象,不易压实。因此,一般要求当砂砾石中粒径小于 5 mm 的颗粒质量分数超过 30% 且含泥量大于 5% 时,应按试验严格控制加水量。但是,对于新鲜坚硬的岩石,加水压实的效果却甚微。

西岸输水总干渠的垫层由于级配不连续,缺乏中间粒径,施工中出現分离现象是比较明显的。在填筑时为了使垫层的压实不分离,渠道边坡设计为 1:2 的稍缓坡,并用洒水和平板振动方式结合碾压密实,相对密度达到 0.85,垫层比较密实。

1.2.5 度汛可靠性分析

对于大型渠道工程应考虑度汛的可靠性。在施工时由于垫层的铺垫先于渠道衬砌护面的砌筑,如果砂砾石铺筑完后渠道衬砌护面没有及时砌筑,那么渠道度汛时水流中含有的大量泥沙会使渠道垫层含泥量超标而造成渠道的冻胀。为了避免垫层的度汛,西岸输水总干渠垫层的施工是在 3 月初进行的,

在枯水期施工,垫层的铺筑比浆砌石的浇筑提前半个月进行,避开了垫层填筑后作为渠道护面度汛的可能性,保证了渠道垫层的技术要求。

由上述分析可知,垫层料抗冻胀是渠道垫层设计中首先要满足的指标,其他设计指标应通过施工方法尽量满足。但要求垫层料最大粒径不超过 80 ~ 100 mm,具有连续级配,粒径小于 5 mm 的颗粒质量分数大于 25% ~ 40% (包括粒径小于 0.1 mm 颗粒的质量分数为 5% ~ 10%),能填满粗料孔隙,达到较高压实密度和模量,并避免施工时的分离。

1.3 垫层的厚度

垫层尺寸的设计主要是选择合适的厚度,垫层厚度的控制主要依据抗冻设计。西岸输水总干渠的设计采用了 30 cm 厚度的垫层,便于平板振动器压实,太薄了不易摊铺垫层,太厚了又不容易采用设备压实。渠道垫层一般都是小断面斜坡面铺筑垫层,采用人工铺筑、平板振动器压实的方法,所以设计的厚度一定要有利于压实设备的工作。

2 垫层的制备

垫层料料源及其制备方法有以下几种:①人工轧制掺配。一般与混凝土人工骨料结合,分级按比例掺混。②天然砂砾料筛选。用河滩天然砂砾料筛除粒径 100 mm 以上的大颗粒后用作垫层料。③采用风积砂。

西岸输水总干渠使用砂卵石垫层的 0 + 000 ~ 10 + 800 段以及 28 + 100 ~ 35 + 350 段,主要采用的是上述第二种方法制备的垫层料。采用叶尔羌河卡群渠首至勿甫渠首河段河床的天然砂砾料,级配基本符合要求,只是要剔除粒径大于 80 mm 的颗粒。在料场用 74 kW 推土机将料场无效层推运 40 m,无效层厚度为 50 cm,直接用 1.5 m³ 反铲挖掘机装入 5 t 自卸汽车拉运至工地。在 5 t 自卸汽车上安装特制滤筛,直接滤除粒径大于 80 mm 的颗粒,大大节省了工程投资。

3 结 语

a. 当天然冲积砂砾石级配良好,有较高抗剪强度和压缩模量,在高水头作用下具有良好的渗透稳定性时,可用于制备垫层料。因其便于开采、施工,因此具有很好的经济性。

b. 所选垫层料的级配曲线尽量在谢腊德建议的垫层范围之内,且基本平行建议包络线,如果不能满足可分析后适当放宽要求。

c. 严格控制粒径小于 5 mm 的颗粒含量和级配,这不仅仅是为了避免施工分离(下转第 123 页)

放样和立模板的技术要求较高。

荣勋挡墙“搭积木式”施工,简单方便,无需技术工人,荣勋挡排砌块砌体全部作业可以在填土一侧完成,工作面小,施工速度迅速,每延米挡墙是块石挡墙的5倍,劳动强度是块石挡墙的1/5,大大节约了劳动力、缩短了工期、降低了劳动强度。

5.2 施工质量

荣勋挡排砌块是工业化产品,并且砌体是外露结构,施工中不能偷工减料,有利于保证施工质量。

5.3 多功能效果

荣勋挡墙河道中,水生动物出入于生态孔中,密度明显高于现浇混凝土挡墙和浆砌块石挡墙的河道,生态孔中野生植物已在自然生长,生态、绿化效果优于干砌块石挡墙。荣勋挡墙攀爬方便,可以上下河道实施亲水活动,万一有人不慎落水,也可以沿荣勋挡墙攀爬自救。该工程很好地满足了绿化、休闲、水环境、景观等多功能需要。

5.4 造价低

与其他挡墙的河段相比,荣勋挡墙的河段实际造价较小,可降低造价10%。

6 结 语

a. 海潮河尾段的荣勋挡墙实现了绿化、休闲、

(上接第116页)而是为了使垫层满足阻渗及抗渗性要求,粒径小于5mm的颗粒质量分数是垫层设计的核心要求,尤其是粒径小于0.1mm的颗粒质量分数的要求在垫层设计中非常重要。

d. 垫层料应能对渠基土起到反滤保护作用,以防止淤堵垫层,造成垫层抗冻作用的失效。

e. 渠道垫层的设计要求与面板坝垫层有诸多不同之处,基于渠道的低水位、动水条件、断面小等情况下的垫层设计是一个值得研究的课题。从实际应用情况可以看出,渠道垫层的要求比面板坝垫层宽泛得多。

参考文献:

[1] 张展羽,吴玉柏.渠系改造[M].北京:中国水利水电出版社,2004:264-266.
[2] 蒋国澄,傅志安,凤家骥.混凝土面板坝工程[M].湖北:湖北科学技术出版社,1996:78-105.
[3] 金正浩,党连文,于振全,等.寒冷地区混凝土面板坝设计与施工[M].北京:中国水利水电出版社,1998:33-35.
[4] 宋永杰,袁辉.黑泉混凝土砂砾石坝设计[J].西北水电,1997(1):41-43.

水环境、景观等多种功能,是生态丽水建设中打造河道挡墙生态的成功实践,荣勋挡墙还体现了施工便捷、节省造价等许多优点,较之现有其他挡墙技术有明显的优越性,河道整治值得推广应用。

b. 荣勋挡墙一年的观测结果表明,挡墙安全可靠,说明设计是正确的。建议继续进行位移和沉降监测,为推广应用荣勋挡墙积累更多经验。

c. 在流速较大或有船形波冲刷的河道上,应采用荣勋挡墙中的进一步反滤保土方案,基脚设计要考虑防冲刷要求。

参考文献:

[1] 张庆明.土工格栅加筋设计强度的确定[C]//全国土工合成材料应用技术规范与产品质量研讨会论文集,http://www.cnhydro.com/hc/jswk/2004-01-08-06.htm.
[2] 汪荣勋.荣勋挡排砌块(RXP)及其挡土墙[J].建筑砌块与砌块建筑,2005(5):51-55.
[3] 章晓桦,孙从炎,汪荣勋.生态柔性挡墙现场检测及其结果分析[J].新型建筑材料,2005(11):50-52.
[4] 汪荣勋.荣勋生态挡墙设计和施工技术导则[J].深圳水务科技,2005.
[5] 汪荣勋.荣勋挡墙设计和施工技术[J].新型建筑材料,2005(12):12-14.

(收稿日期:2007-00-00 编辑:方宇彤)

[5] 杨得勇,雍莉.混凝土面板坝砂砾石垫层料过渡料渗流及渗透稳定性试验研究[J].西北水电,2005(1):47-50.

[6] 宋永杰.黑泉面板坝垫层设计[J].西北水电,1998(4):6-9.

(收稿日期:2007-10-10 编辑:方宇彤)

(上接第89页)

5 结 语

水布垭右岸防淘墙护岸工程量大,地质条件差,施工难度大,施工单位相互之间干扰大,通过采取有效的组织管理,不断地改进施工方案和施工技术措施,能确保工程顺利实施,实践证明其设计施工方案是可行的,尤其所采用的混凝土施工方案对今后类似工程施工具有很好的借鉴意义。

参考文献:

[1] 徐瑞春.水布垭水利枢纽可行性研究:第三篇工程地质[R].武汉:水利部长江水利委员会清江地质大队,1998.
[2] 张建辉.湖北清江水布垭水电站防淘墙施工专题研究[R].武汉:水利部长江水利委员会长江勘测规划设计研究院,2005.

(收稿日期:2007-11-23 编辑:高建群)