

水布垭高面板堆石坝中挤压边墙及其变形监测

朱福余

(中国葛洲坝集团公司清江施工局,湖北 宜昌 443002)

摘要:在对水布垭面板堆石坝中的边墙混凝土配合比进行反复调整并验算原材料掺合量的基础上,确定了既方便施工又满足设计要求的最佳混凝土配合比。配合比中用小区料作骨料,能减少骨料分离,提高边墙混凝土密实性及表面平整度。实践证明施工中用击实法、无侧限抗压静力压实法、挖坑灌砂法及核子密度仪分别检测出的边墙混凝土抗压强度、弹性模量、渗透系数和密实度值均满足设计要求,边墙混凝土配合比合理。用能够满足精度要求的前方交会法与解析三角高程测量法结合的方法对边墙表面变形进行监测,结果表明,边墙平面位移和垂直位移均较小,大坝填筑和边墙施工质量可靠。

关键词:面板堆石坝;挤压式混凝土边墙;边墙变形监测;水布垭面板堆石坝

中图分类号:TV641.4 文献标识码:B 文章编号:1006-764X(2007)02-0045-05

Extrusion type side-wall and deformation monitoring of Shuibuya CFRD//ZHU Fu-yu (Qingjiang Construction Bureau of China Gezhouba Group Corporation, Yichang 443002, China)

Abstract: The optimal mixing proportion of concrete, which is convenient for construction and satisfies the design requirement, is determined for the project of Shuibuya CFRD by adjustment and calculation of the amount of raw materials. The adoption of fine aggregates can reduce the separation of aggregates and improve the compactness and surface smoothness of concrete of the side-wall. Practices show that the compressive strength, the modulus of elasticity, the permeability coefficient and the compactness of concrete obtained respectively by the compaction method, the unconfined compression static compaction method, the sand trenching and filling method, and nuclear densimeters meet the requirement of design, and the mixing proportion of concrete of the side-wall is reasonable. The surface deformation monitoring of the side-wall by combination of the forward intersection method with the analytical trigonometric elevation measurement demonstrates that the plane deformation and vertical deformation of the side-wall are small, and the quality of dam filling and side-wall construction is satisfactory.

Key words: CFRD; extrusion type concrete side-wall; deformation monitoring of side-wall; Shuibuya CFRD

1 工程概况

水布垭面板堆石坝是目前世界上在建的最高的混凝土面板堆石坝,最大坝高 233 m,坝顶宽 12 m,坝轴线长 660 m,坝底最大纵断面长 600 m。坝体分 6 期填筑,共 7 个填筑区,从上游到下游依次为盖重区(盖重料)、粉细砂铺盖区(铺盖料)、垫层区(垫层料)、过渡区(过渡料)、主堆石区(主堆石料)、次堆石区(次堆石料)和下游堆石区(下游堆石料),上游坡比 1:1.4,面积 31 500 m²。大坝填筑量约 1 563.74 万 m³。

2 挤压式混凝土边墙的特点

挤压式混凝土边墙(以下简称挤压边墙)是采用挤压式机在坝前坡面制作出一个梯形的半透水混凝土小墙(断面尺寸见图 1),其主要特点如下:①替代

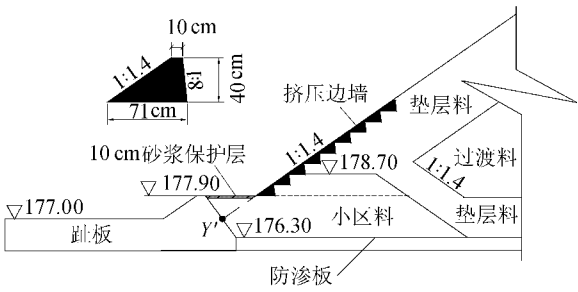


图 1 挤压边墙布置

了传统大坝前区的超填、削坡、斜坡碾压、坡面防护等施工方法,减少了上游坡面削坡、斜坡碾压等多种作业工序,有利于大坝在填筑期间坝前趾板区固结灌浆、帷幕灌浆的施工。②边墙与大坝同步上升并保护坝前坡面,可快速提供一个抗冲刷的防护面,有利于安全度汛,适应于山区河流陡涨陡落的度汛要求。

作者简介:朱福余(1965—),男,江苏泰兴人,工程师,从事水利工程施工管理工作。E-mail:zjx5746@tom.com

③边墙在坝前形成一道规则、坚实的支撑面 ,表面平整美观。④挤压边墙一次成型 ,操作简单 ,施工方便。

3 挤压边墙的相关试验

通过课题组成员 5 个月的努力 ,对水布垭挤压边墙共进行了 16 个配合比试验、3 种试验方法的比较试验 ,以及对混凝土原材料、配合比、施工工艺、挤压机具、变形、垫层区的碾压质量、边墙层间结合、渗透性能和破坏性等研究和试验 ,共完成试验 920 组 ,取得了大量试验数据。

3.1 原材料试验

根据挤压边墙混凝土的特性 ,主要对砂石料、水泥和外加剂进行了试验研究。

a. 砂石料 :室内、室外试验比较发现 ,砂石料采用人工生产的 II A 料或 II AA 料较为合理、经济、方便。在坝体填筑过程中 ,II A 料的粒径较大 ,含粉量偏少 ,试验过程中骨料分离较严重 ,不利于挤压边墙成型 ,且外观平整度差 ,人工修整量大 ;而 II AA 料级配较好 ,含粉量较多 ,挤压边墙外表美观 ,质量可靠。综合比较 ,砂石料采用小区料(II AA 料)。

b. 水泥 :由于墙体要求低强度、低弹模 ,并且要求质量稳定可靠 ,高标号水泥不适合墙体配比要求。经比较采用三峡 P.O 32.5 级水泥。

c. 外加剂 :速凝剂采用巩义 8604 液态速凝剂 ,减水剂采用葛洲坝 NF-21 粉状早强减水剂。

3.2 配合比设计

配合比设计主要考虑 2 个因素 :①挤压机挤压力的大小 ,即挤压出的混凝土密实度能满足渗透要求 ,且尽可能与垫层料一致 ;②挤压混凝土的强度和弹性模量能满足设计要求 ,其强度要低 ,能适应垫层料的变形 ,且能承受一定的荷载和冲击。

由于挤压机对混凝土配合比较敏感 ,湿的混凝土行进速度快 ,干的混凝土行进速度慢 ,因此墙体混

凝土按干硬性混凝土配合比设计 ,坍落度为 0 cm ,水泥用量 60 ~ 70 kg/m³ ,用水量 80 ~ 100 kg/m³ ,水灰比 1.30 ~ 1.35。28 d 混凝土抗压强度为 5 MPa 左右 ,渗透系数在 10⁻⁴ ~ 10⁻³ cm/s 范围内。混凝土用 HSZ900 强制式拌和机拌制 ,用罐车运输至浇筑现场。

上述配合比在现场反复使用、调整、验算 ,最终确定挤压边墙混凝土最佳施工配合比如下 :水 91 kg/m³ ,水泥 70 kg/m³ ,II AA 料 2 144 kg/m³ ,NF-21 早强减水剂 0.8% ,8604 速凝剂 4%。

3.3 挤压边墙混凝土试验与检测

3.3.1 室内试验与检测

由于目前没有挤压边墙混凝土的标准试验方法 ,在二期挤压边墙施工过程中 ,参照 SL 48—94《水工碾压混凝土试验规程》^[1] ,干密度采用蜡封法、抗压强度和弹性模量采用击实法、渗透系数采用无侧限抗压静力压实法进行了一系列的试验。挤压边墙混凝土模成型按 2 次加压振动和 1 次振动成型 ,2 次实验室成型检测出的混凝土强度均偏高。室内检测成果见表 1。

3.3.2 现场试验与检测

为了正确反映现场挤压成型混凝土的性能 ,在现场对挤压边墙混凝土密度进行检测 ,采用挖坑灌砂法及核子密度仪检测 ,共检测 12 组 ,平均密度均在 2.10 g/cm³ 以上。现场试验检测成果见表 2。

3.3.3 设计技术指标

2003 年 3 月召开的水布垭面板堆石坝挤压边墙应用技术研讨会提出了水布垭工程大坝挤压边墙设计技术指标如下 :干密度大于 2.25 g/cm³ ,渗透系数在 10⁻³ ~ 10⁻⁴ cm/s 范围内 ,弹性模量在 5 000 ~ 7 000 MPa 范围内 ,抗压强度大于 5 MPa。

在大坝一期挤压边墙施工过程中 ,共取样 68 组进行检测 ,结果表明 :挤压边墙的渗透系数为 5.0 × 10⁻⁴ ~ 4.0 × 10⁻³ cm/s ,平均干密度为 2.00 g/cm³ ,平均抗压强度为 2.8 MPa ,平均弹性模量

表 1 挤压边墙混凝土室内试验检测成果统计

骨料规格	水泥用量/ (kg · m ⁻³)	成型方法	28 d 抗压强度				弹性模量		渗透系数	
			<i>n</i>	<i>x</i> /MPa	<i>x</i> _{min} /MPa	<i>x</i> _{max} /MPa	<i>n</i>	<i>x</i> /MPa	<i>n</i>	<i>x</i> (cm · s ⁻¹)
II A	62	2 次振捣	6	6.5	4.7	7.7				
II AA	62	1 次振捣	3	4.3	3.8	5.0	3	1 152	3	4.75 × 10 ⁻⁴
II AA	62	计量锤击	5	2.0	1.2	2.5	3	1 152	3	4.75 × 10 ⁻⁴
II AA	70	2 次振捣	1	7.9	7.9	7.9	1	1 787	1	4.49 × 10 ⁻³

注 :*n* 为检测次数 ,*x* 为平均值。

表 2 挤压边墙混凝土现场试验成果

编号	水泥品种	水泥用量/ (kg · m ⁻³)	砂石料	减水剂		速凝剂		抗压强度/ MPa	干密度/ (g · cm ⁻³)	弹性模量/ MPa	渗透系数/ (cm · s ⁻¹)
				型号	掺量/%	型号	掺量/%				
1	三峡 42.5 级	65	一级料			D-2	6	2.4	2.15	5 095	6.77 × 10 ⁻⁴
2	巴东 32.5 级	85	II A 料	NF-21	1	D-2	6	0.4	2.15	4 805	4.73 × 10 ⁻³
3	三峡 42.5 级	80	II AA 料	NF-21	1	巩义 8604	1.5	3.7	2.24	5 436	7.71 × 10 ⁻³
4	三峡 32.5 级	80	II A 料	NF-21	1	巩义 8604	6.7	3.5	2.18	5 000	5.70 × 10 ⁻³

为 1787 MPa_a。可见除渗透系数满足设计要求外,其余结果均小于设计指标。

根据一期挤压边墙混凝土设计指标偏小的实际情况,在一期挤压边墙试验成果的基础上对挤压边墙设计指标进行了适当调整。调整后的挤压边墙设计指标如下:干密度大于 2.15 g/cm³,渗透系数为 10⁻⁴ ~ 10⁻³ cm/s,弹性模量为 3000 ~ 5000 MPa,抗压强度为 3 ~ 5 MPa_a。

3.3.4 挤压边墙二期试验

2003 年 11 月就大坝二期填筑是否继续采用挤压边墙施工技术召开了研讨会,分析了一期挤压边墙的特点及优缺点,决定将大坝二期填筑前 10 m 层高范围作为二期挤压边墙试验阶段,并进行相应的试验研究。

在大坝一期挤压边墙成果的基础上,葛洲坝集团清江施工局又从挤压机型式、配重、行走速度、骨料、水泥掺量等方面进行了 25 组现场生产性试验,并进行了总结分析,试验成果见表 3。

表 3 二期挤压边墙试验成果

编号	水泥用量/ (kg·m ⁻³)	砂石料	28 d 抗压 强度/MPa	挤压机 配重/kg	干密度/ (g·cm ⁻³)
1	70	一级料	2.60	200	1.99
2	75	Ⅱ AA 料	2.30	200	2.05
3	75	Ⅱ AA 料	3.20	300	2.12
4	70	Ⅱ AA 料	3.20	300	2.15

注 采用三峡 32.5 级水泥,NF-21 减水剂掺量为 0.8%,巩义 8604 速凝剂掺量为 4%。

大坝二期挤压边墙生产性试验研究表明:增加挤压机的配重,有助于增强边墙混凝土的干密度,减少水泥用量,对边墙混凝土的强度影响较小,采用小区料作骨料,有利于提高边墙混凝土的密实性和表面平整度。

4 挤压边墙施工及质量控制

4.1 施工准备

4.1.1 施工场地平整

在施工前用垫层料将靠近趾板两侧端部的三角槽填平,挤压边墙从趾板一侧端部开始挤压。在每一层混凝土边墙挤压前及垫层料填筑之后,必须对垫层料平台进行检查、修补和人工平整,3 m 范围内平整度不超过 ± 2 cm^[2],保证边墙挤压机水平直线行走的施工要求。

由于施工现场控制平整度较难,故在挤压边墙顶部横向放置 1 块长 150 cm、宽 10 cm、高 5 cm 的普通钢模板,内侧铺填Ⅱ A 料,其松铺顶部与模板顶齐平,然后采用 18 t 自行式振动碾铺以 BW-75S 小型手扶式振动碾碾压密实,这样有利于保证平整度满足

设计要求。

4.1.2 测量放线

在每一层边墙挤压前进行精确放线,标出边墙的下边线和挤压机的轨迹线,采用平头铁钉打入垫层料中标识,间距 10 m,外露 1 cm。沿铁钉采用细钢丝或塑料线拉紧,使挤压机行走时标识线不移位,以控制边墙的精度。

4.1.3 挤压机就位

边墙挤压施工前,采用人工推移或直接吊运的方式将挤压机运至作业地点。①要保证机身处于水平状态,利用水准尺对挤压机进行机身调节,将水准尺置于料斗平台上,对其进行垂直方向和平行机身方向的水平调节。②混凝土边墙高度由挤压机后轮轮高决定,挤压施工前须对其进行调节校核。另外,为避免混凝土边墙挤压成型后其坡角出现松动现象,应将挤压机外坡刀片贴近前一层边墙坡顶^[2]。

挤压边墙表面的平整度很大程度上取决于边墙挤压机的行走是否为直线。为此,在挤压机靠扶手侧的侧板上设置定位针或定位线,挤压机行走时,保证标识线始终与定位线一致,以控制挤压机直线行走。

4.2 施工工艺流程及施工方法

挤压边墙的施工工艺流程为:拌和楼强制式拌和机拌制混凝土→搅拌车运至现场→卸料入边墙挤压机→挤压混凝土→直线度和平整度等项目检测→表面修补。

4.2.1 混凝土拌和及运输

按施工配合比在拌和楼采用 HSZ90 强制式搅拌机拌制混凝土,6 m³ 搅拌车运至大坝施工现场。根据现场试验成果和实际施工条件,混凝土拌和时,减水剂在拌和楼添加,速凝剂在施工现场由挤压机设置的外加剂罐边行进边向进料口添加。

4.2.2 边墙挤压

一切准备工作就绪后,启动 BJY-40 型挤压机,待机器运转正常即开始混凝土边墙挤压作业施工。挤压时由专人控制挤压机行走方向,挤压机水平行走精度控制在 ± 5 cm,行走速度与搅拌车运行速度保持同步,方向保持一致。搅拌车向挤压机料斗送料要均匀,而且出料速度适中,使挤压机的挤压速度控制在 45 ~ 60 m/h 左右。

由于混凝土坍落度为零,搅拌车卸料初可能产生骨料分离。因此,搅拌车刚卸料时应去除部分粗骨料,待均匀卸料后再卸入挤压机受料斗内。在挤压机行走过程中,操作人员必须熟练、准确地控制挤压机的前进方向。成型后的边墙需立即进行人工修整,一般采用 50 cm 长的木抹子轻拍表面收光,并可适当洒水,保证边墙表面的平整度和美观。

4.2.3 边墙两端头的处理与施工

在边墙与两岸岸坡趾板接头处的起始端和终止端采用人工立模浇筑边墙,所用混凝土材料与边墙混凝土相同。模板采用普通钢模板或者定型模板均可,人工采用钢钎插捣密实。

4.2.4 挤压边墙层间结合处理

边墙挤压成型后,立即对接坡间出现明显的台阶、边墙坍塌等混凝土缺陷采用同种混凝土进行人工修补处理,并用木抹子拍平整,以保证上下层间平顺接合,外表美观。

4.2.5 监测仪器埋设

在边墙施工过程中应设置施工期变形观测点进行位移观测,掌握施工期坝体变形对挤压边墙的影响。因此,在挤压边墙施工时,每 20 m 高设置一层观测点,埋设“+”形金属标点,水平间距 20 m。

施工过程中的变形监测每月进行 1 次,并进行统计、总结和分析。

4.2.6 垫层料填筑碾压

边墙混凝土施工后 2~3 h 即进行垫层料的摊铺和碾压。垫层料厚 40 cm,采用 18 t 自行式振动碾碾压密实,靠近边墙 20~30 cm 区域内采用 BW-75S 小型手扶式振动碾碾压或手扶式夯板夯实。

4.3 挤压边墙质量检测

为了进一步验证挤压边墙各项性能指标是否符合设计要求,在挤压边墙施工过程中,每 10 层(4 m 高)进行 1 组干密度和强度检测,每 20 层(8 m 高)进行 1 组弹性模量、渗透性检测。检测结果表明:干密度平均值为 2.13 g/cm³,弹性模量在 1800~3200 MPa 之间,平均强度为 3.52 MPa,渗透系数在 10⁻⁴~10⁻³ cm/s 之间。

5 挤压边墙施工期间变形监测

5.1 监测方案选择

表面变形测量原拟采用视准的方法,由于地形条件限制,难以建立视准线基点,因此改选前方交会法测量监测点的平面位移,采用解析三角高程测量法测量监测点的垂直位移。误差分析结果表明,所选方法合理可行。

5.2 变形监测点布置

一期挤压边墙共有 3 层头,水平方向设 3 个断面,顺流向设 6 个断面。二期挤压边墙水平方向设 4 个断面,顺流向设 5 个断面。观测基点分别为 2 组控制点 TN01、TN02 及 TN03、TN13,其中高程 215.00 m 以下监测点由第 1 组基准监测,高程 215.00 m 以上监测点由第 2 组基准监测。监测点布置点见图 2。监测点布置高程见表 4。

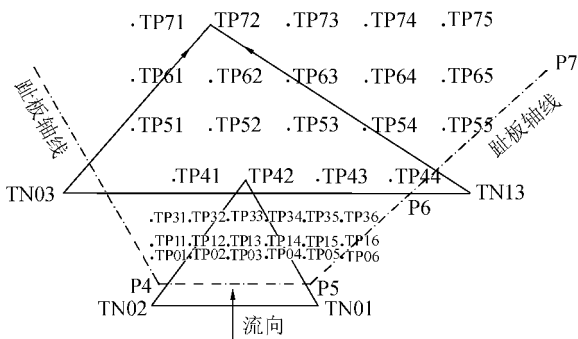


图 2 水布垭大坝高程 288.00 m 以下上游坝坡变形监测平面布置

表 4 监测点布置高程

监测点号	概略高程/m	挤压边墙分期
TP01 ~ TP06	184.90	一期
TP11 ~ TP16	189.80	一期
TP31 ~ TP36	199.20	一期
TP41 ~ TP44	214.80	二期
TP51 ~ TP55	234.50	二期
TP61 ~ TP65	253.30	二期
TP71 ~ TP75	274.90	二期

5.3 表面变形观测分析

表面变形观测结果见表 5。变形观测结果表明:①一期挤压边墙监测点在一期施工过程中未产生明显变形,其在二期施工和后续观测过程中十分稳定。②二期挤压边墙监测点 TP41~TP44 以及 TP51~TP55 在二期施工和后续观测过程中,纵向稍向上游偏移,横向位移表现为两边向中间收缩,垂直位移表现出一定量沉陷。而 TP61~TP65 以及 TP71~TP75 监测点在二期施工和后续观测过程中,纵向位移明显偏向下游,横向位移表现为两边向中间收缩,垂直位移明显沉陷,且随着坝体填筑的不断上升,横向位移两边向中间收缩加快、增大,其中河床中心的最末次沉陷量比两侧大。③一期、二期挤压边墙表面变形布点均匀、数量多,如果在最上层 TP75 右侧增加一个观测点,会对观测分析更有利。

5.4 两种观测方法比较

为了掌握挤压边墙在施工过程中和成型后大坝上升阶段的变形情况,在坝前每 20 m 高埋设挤压边墙变形观测点,每周观测 1 次。观测采用前方交会法和解析三角高程测量方法。

坡面施工期平面与垂直变形观测精度为 ±5 mm。在整个观测过程中,用两测回不归零观测法(以下简称两法)和六测回归零观测法(以下简称六法)分别进行变形观测,观测成果见表 6。

两种方法的基本要求比较:常规方法要求 3 个工作基点,本项目采用 2 个工作基点;常规方法周期观测 6 个测回,本项目采用 2 个测回;常规方法用 3 个以上方向归零观测,本项目采用不归零观测,常规

表 5 变形监测点情况

监测点	纵向变形/ mm	横向变形/ mm	垂直变形/ mm	对应大坝 回填时期	监测点	纵向变形/ mm	横向变形/ mm	垂直变形/ mm	对应大坝 回填时期
TP01	± 5	± 5	± 5	一期	TP55	0 ~ - 12	0 ~ - 5	0 ~ 8	二期
	± 5	± 5	± 5	二期		0 ~ - 12	0 ~ - 5	0 ~ 8	二期以后
TP06	± 3	± 3	- 5	一期	TP61	0 ~ 11	0 ~ 14	0 ~ - 11	二期
	± 4	± 4	- 5 ~ - 2	二期		0 ~ 11	0 ~ 14	0 ~ - 11	二期以后
TP11	± 3	± 3	± 3	一期	TP62	0 ~ 5	0 ~ 16	0 ~ - 33	二期
	± 3	± 3	± 5	二期		0 ~ 5	0 ~ 16	0 ~ - 33	二期以后
	± 3	± 3	± 3	二期以后	TP63	0 ~ 10	0 ~ - 7	0 ~ - 58	二期
TP16	4 ~ - 4	4 ~ - 4	4 ~ - 4	一期		0 ~ 10	0 ~ - 7	0 ~ - 58	二期以后
	4 ~ - 4	4 ~ - 4	4 ~ - 4	二期	TP65	± 3	0 ~ - 16	0 ~ 21	二期
	4 ~ - 4	4 ~ - 4	4 ~ - 4	二期以后		± 3	0 ~ - 16	0 ~ 21	二期以后
TP31	0 ~ - 4	0 ~ - 4	0 ~ - 4	一期	TP71	0 ~ 15	0 ~ 30	0 ~ - 23	二期
	4 ~ 1	4	1 ~ - 2	二期		0 ~ 15	0 ~ 30	0 ~ - 23	二期以后
	4 ~ 1	4	1 ~ - 2	二期以后	TP72	0 ~ 31	0 ~ 28	0 ~ - 65	二期
TP36	0 ~ - 4	0 ~ - 4	0 ~ - 4	一期		0 ~ 31	0 ~ 28	0 ~ - 65	二期以后
	- 5	- 4	- 4 ~ - 7	二期	TP74	0 ~ 39	0 ~ - 10	0 ~ - 85	二期
	- 5	- 4	- 4 ~ - 7	二期以后		0 ~ 39	0 ~ - 10	0 ~ - 85	二期以后
TP41	5 ~ - 4	0 ~ 5	0 ~ - 6	二期	TP75	0 ~ 34	0 ~ - 25	0 ~ - 69	二期
	5 ~ - 4	0 ~ 5	0 ~ - 6	二期以后		0 ~ 34	0 ~ - 25	0 ~ - 69	二期以后
TP44	0 ~ - 11	0 ~ - 13	0 ~ - 13	二期					
	0 ~ - 11	0 ~ - 13	0 ~ - 13	二期以后					
TP51	0 ~ - 5	0 ~ 9	3 ~ - 5	二期					
	0 ~ - 5	0 ~ 9	3 ~ - 5	二期以后					

注 ① 为节省版面 ,表中仅列出部分测点的情况。② 变形值均为与首次值相比较的差值 ,纵向为上下游 ,向下游为正 ,横向为左右岸 ,向右岸为正 ,垂直上升为正。③ 测点位置 :TP01 ~ TP06 为第 1 层 ,TP11 ~ TP16 为第 2 层 ,TP31 ~ TP36 为第 3 层 ,TP41 ~ TP44 为第 4 层 ,TP51 ~ TP55 为第 5 层 ,TP61 ~ TP65 为第 6 层 ,TP71 ~ TP75 为第 7 层。

表 6 挤压边墙观测成果比对

监测点	纵向位移			横向位移			垂直位移		
	两法总量	六法总量	两法与六法 总量差	两法总量	六法总量	两法与六法 总量差	两法总量	六法总量	两法与六法 总量差
TP52	- 14.0	- 14.7	0.7	- 1.0	- 2.7	1.7	- 16.0	- 11.1	- 4.9
TP54	- 15.0	- 11.5	- 3.5	- 1.0	- 2.9	1.9	- 15.0	- 11.7	- 3.3
TP72	30.0	29.1	0.9	26.0	22.6	3.4	- 53.0	- 47.5	- 5.5
TP73	38.0	36.1	1.9	11.0	10.7	0.3	- 68.0	- 66.3	- 1.7
TP74	39.0	37.4	1.6	- 10.0	- 7.1	- 2.9			

注 :TP52T 和 TP54 的观测时间段为 2004 年 3 ~ 11 月 ,其余为 2004 年 5 ~ 11 月。

方法测回间方向值限差 13″、同方向测回间 2c 限差 8″ ,本项目采用测回间方向值限差 10″、同方向测回间 2c 限差 6″ ;常规方法用双边测量三角高程 ,本项目采用单边测量三角高程。

由以上对比可以看出 ,在平均边长较短、施工干扰小、观测成果精度要求适当的时候 ,使用两测回的测量方法 ,既可以满足精度要求 ,又能明显减少土建和观测工作量 ,还可实现对人或设备无法达到部位的外部变形监测。从已取得的成果分析 ,水平位移为向上游移动 5 mm 以内 ,垂直沉降在 3 ~ 5 mm 之间。可见 ,其水平位移和垂直位移变形均较小。

6 结 语

a. 水布垭面板堆石坝采用挤压混凝土边墙施工技术 ,简化了垫层坡面超填、坡面整修、斜坡碾压、

坡面防护等施工程序 ,减少了高边坡施工的高危作业危险源 ,提高了坝前区施工安全度。

b. 通过对坡面各测点的变形观测 ,分析每个检测点的纵向变形、横向变形和沉降变形曲线 ,能够较准确反映水布垭大坝填筑期间的坡面表面变形趋势及变形量 ,为大坝填筑、面板施工提供可靠的参照数据。

c. 挤压混凝土边墙作为一种新兴的施工方法 ,经过在水布垭工程中的实践应用 ,在理论上和施工上渐趋成熟 ,将成为今后混凝土面板堆石坝工程中的主要施工方法。

参考文献 :

[1] SL 48—94 ,水工碾压混凝土试验规程 [S]。
[2] 姜凤海 . 水布垭混凝土面板堆石坝挤压边墙施工技术 [R] . 武汉 :长江水利委员会设计院 , 2003 .

(收稿日期 2005 - 11 - 10 编辑 :高建群)