

二滩水电工程拱坝 混凝土生产系统运行及质量控制

曹驾云

(四川二滩国际工程咨询有限责任公司, 四川 成都 610072)

摘要: 二滩水电工程拱坝混凝土的生产采取了全过程的质量控制系统, 从混凝土的原材料开始到现场混凝土生产过程中各个环节的质量控制及其运行情况拟作全面阐述。

关键词: 二滩水电工程; 拱坝混凝土; 生产; 质量控制

中图分类号: O213.1; F406.3

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(2000)增-0093-04

1 概述

二滩水电工程拱坝混凝土从1995年2月23日开始浇筑, 至1998年8月31日已累计完成416.5万 m^3 , 完成总量的99.2%。在拱坝混凝土持续高强度施工的3年半时间内, 混凝土生产系统以其先进的设备和施工工艺、优质的管理措施和日臻完善的质量控制体系为拱坝混凝土优良的质量打下了坚实的基础。

2 原材料

2.1 水泥和粉煤灰

2.1.1 水泥的供货运输及储存

大坝所用水泥为攀枝花渡口水泥厂生产的525号中热硅酸盐水泥。水泥的运输包括渡口水泥厂到桐子林火车站之间的铁路运输、渡口水泥厂直接到现场的公路运输、桐子林火车站到现场的公路运输。铁路运输方面, 业主有26辆60t气卸散装水泥车, 其运行计划列入火车时刻表, 运距54km。渡口水泥厂到现场的公路运输采用8t的水泥罐车。桐子林火车站到现场的公路运输使用8辆载重量为40t的大型水泥罐车, 运距为18km, 每次循环时间为3h, 每天的运输能力达1800t以上。

水泥的储存包括桐子林转运站和现场的储存。业主在桐子林转运站安装了6个1500t的水泥罐, 承包商也有2个1000t的水泥罐。承包商在现场拌和楼上方1235m高程平台安装了4个1500t的大坝水泥储料罐, 在拌和楼附近安装了一个600t的普通水泥储料罐。

2.1.2 水泥质量控制

按照技术规范的要求, 每批400t水泥发货时都应附有合格证即出厂试验报告。同时工程师有权

在工作的任何时间对承包商使用的水泥进行抽样测试。通过水泥厂合格证、承包商实验室和工程师实验室三方抽样测试统计分析(见表1), 其质量满足GB 200-89的要求。从使用情况看, 1995年至今已累计使用中热硅酸盐水泥89万t。在连续4年的使用过程中未发现水泥异常的情况, 用525号中热硅酸盐水泥生产的大坝混凝土质量优良。

表1 水泥抽样测试统计分析结果表

检测单位	时段	细度 /%	抗压强度 MPa			抗折强度 MPa		
			3d	7d	28d	3d	7d	28d
渡口水泥厂	199502~199705	4.50	28.33	40.16	59.61	5.55	6.55	8.15
承包商实验室	199511~199705	5.26	26.30	37.40	57.70	5.10	6.20	7.90
工程师实验室	199610~199706	4.34	31.53	42.91	60.44	6.48	7.49	9.17
GB 200-89		≥12	≥20.6	≥31.4	≥52.5	≥4.1	≥5.3	≥7.1

2.1.3 粉煤灰的供货运输及储存

粉煤灰主要为攀枝花市河门口(504)电厂电收尘灰。粉煤灰运输采用公路运输的方式由攀枝花运输公司的小型罐车从河门口电厂运至桐子林转运站或直接运至现场。桐子林转运站到现场的运输承包商则根据混凝土生产的需要使用1~3辆载重量为40t的罐车。承包商在桐子林安装了1个1000t的粉煤灰储料罐, 在现场拌和楼上方1235m高程平台安装了2个1500t的粉煤灰储料罐。

2.1.4 粉煤灰质量控制

粉煤灰的质量控制与水泥基本相同。通过其出厂合格证, 承包商实验室和工程师实验室抽样测试的统计分析(见表2), 除细度外, 其它各项技术指标均能满足合同文件技术规范6.9.5A的要求和GBJ 146-90标准的I级粉煤灰的要求。

表2 粉煤灰抽样测试统计分析结果表

检测单位	时段	细度 /%	需水量 比/%	抗压强度 比 A_{30/A_0}	烧失量 /%	SO_3 含量	
						/%	/%
河门口电厂	199501~199706	8.35	92.92	78.77	3.51	0.40	0.05
承包商实验室	199511~199709	12.33	92.50	75.90	3.71	0.35	0.06
工程师实验室	199610~199706	10.30	94.12	96.33	3.94	0.31	0.05
二滩技术规范要求		≤8	≤105	≤75	≤8	≤3	≤1

2.2 骨料

2.2.1 料场开采

承包商选用金龙沟右侧的正长岩 I 区高程 1 555.0 m ~ 1 320.0 m 的料场, 储量约为 470 万 m^3 ; 覆盖层平均厚度为 10~15 m, 方量约为 30 万 m^3 。剥离料部分用于金龙沟的集料平台回填, 其余作为弃渣运至阿布朗当沟指定弃渣场。料场开采为每 12.5 m 1 个台阶, 开挖边坡坡度为 75°; 永久开挖边坡采用预裂爆破的方式, 预裂孔间距 0.8 m, 孔径 $\Phi 6$ mm, 爆破后的石料由挖掘机或装载机配合 30 t 的 PERLIN I 自卸汽车运料到集料口上方卸料, 料沿边坡溜至集料平台, 同时, 在装料工作面配备推土机辅助集料。开挖边坡采用喷锚支护方式进行处理。

2.2.2 骨料生产

骨料加工厂主要由初预碎车间、二次破碎筛分车间、三次破碎筛分车间、四次破碎筛分车间、细砂处理塔、粗砂处理塔、细砂棒磨车间等几部分组成。

初预碎车间主要由颚式破碎机、旋回式初碎机以及布置在地下洞室内的宽 1 800 mm、长 400 m、平均坡度为 9.0% 的皮带机等组成。料场开采的料由自卸汽车直接倒入料场下方的金龙沟集料平台, 颚式破碎机由安装在与金龙沟集料平台下方的振动喂料机经 40 m 高、 $\Phi 8.0$ m 的竖井供料, 破碎后的料由皮带机运输至旋回式初碎机喂料口。当颚式破碎机出现故障时, 为了不影响骨料的生产, 料场开采的料或合格的开挖料也可直接由自卸汽车运至旋回式初碎机喂料口。

从二次破碎筛分车间开始到成品骨料进入储料罐为一闭路循环系统, 纵观该系统有以下几个特点:

(1) 布置合理紧凑, 充分利用地形条件。二碎及其以后的砂石生产系统分别布置在 3 个几乎平行的平均宽度 50.0 m, 局部最大宽度 67.0 m, 最大长度约为 150.0 m 的开挖平台上。其中, 主喂料斗、棒磨机、砂处理塔、粗砂制冰厂以及粗砂储料竖井的井顶布置在高程 1 320.0 m 的平台上, 二次破碎筛分楼、三次筛分楼和砂子脱水机布置于高程 1 311.0~1 312.0

m 的开挖平台上, 三碎和四碎、4 个粗骨料储料竖井的井顶以及喷混凝土料筛分塔布置在高程 1 304.5 m 的平台上。(2) 工艺新颖。人工砂石生产系统一般均分三级破碎, 而二滩拱坝标的人工砂石加工系统在原有四级破碎基础上, 后新增 1 台颚式破碎机作为预初碎, 相当于五级破碎。而且二碎、三碎、四碎均设有闭路循环, 使各级料的生产可以任意调节。除粗骨料按规定要求分级外, 人工砂分为两级: 即粗砂 (1.2~4.8 mm) 和细砂 (0.074~1.2 mm), 砂子分级对砂的级配、细度模数和含水率等的控制及混凝土配合比的调整都十分有益。(3) 设备先进。系统的所有设备包括皮带机均从国外进口, 代表了目前国际上先进的砂石加工机械, 尤其是圆盘式细碎机、静态砂处理塔、真空干砂机等设备。(4) 满荷开机。通常为了避免电动机被烧坏, 皮带机系统均在空载时启动, 而二滩拱坝标人工砂石生产系统的皮带机多数情况下满荷停、开机。(5) 骨料生产均衡。骨料生产均衡也是二滩人工砂石生产系统的特点之一, 拱坝标混凝土 1996、1997 持续 2 年高峰生产, 混凝土日产量平均在 7 000 m^3 以上, 最高日产量达 9 000 m^3 。实际统计资料显示, 骨料实际生产能力能满足混凝土生产强度要求且均衡生产。

2.2.3 质量控制

粗细骨料常规检查项目包括骨料的级配、砂子的细度模数和含水率等。为保证试验的准确性, 骨料的取样是在后筛分楼与拌和楼之间的皮带机上进行, 每天 1 次。砂子取样是在拌和楼料罐内进行, 细度模数检测频率与骨料相同, 含水率测定则根据混凝土生产的要求每小时测试 1 次。如果发现砂子的含水率不稳定, 将加大测试频率。非常规检查项目包括骨料坚固性和耐磨性试验则根据工程师的具体要求, 指定具体的取样地点, 进行取样和检测。通过施工过程中的检测资料分析, 粗细骨料的质量能够满足《水工混凝土技术规范》SDJ 207-82 和 ASTM C33 的要求 (见表 3)。

2.2.4 骨料预冷

求较严的特点, 除全部采用了上述措施外, 还增加了国内水电工程从未使用过的粗砂冰冷工艺。

(1) 骨料水冷。骨料的水冷是在骨料运输廊道内

表 3 粗、细骨料抽样测试统计分析结果表

检测部门	时段	细度模数 M	粒径/%			含水率/%		
			> 5 mm	< 0.15 mm	< 0.08 mm	0/1.2 mm	1.2/4.8 mm	4.8/19 mm
承包商实验室	199501~199706	2.85	0.00	4.62	4.3	8.8	3.7	2.65
		2.58/3.17		4.2/5.4	2.6/7.6	7.3/11.0	2.7/4.2	2.2/3.2
工程师实验室	199610~199706	2.69		13.77	4.57	10.83	5.18	2.73
		2.48/2.88	2.24/9.32	7.41/16.29	3.06/6.04	6.78/15.31	2.62/6.46	1.01/3.26
ASTM C33		2.3~3.1			≤ 7.0			

目前, 我国通常采用的混凝土预冷措施主要有: 骨料水冷、储料仓风冷和混凝土拌和时加冰及冷却水。二滩工程根据拱坝混凝土出机口温度控制要

的皮带机上进行。骨料预冷廊道分为上下2层,全长280m。粗细骨料自成品竖井储料罐,采用重力卸料的方式卸至皮带机上。皮带机的运行速度以及断面面积都是根据骨料实际需求量和预冷效果计算出的。

(2)粗砂冰冷。粗砂冰冷在我国尚属首次。其方法是在粗砂进入储料罐之前的皮带机上加-5℃的片冰,两者均匀混合后进入储料仓,使得粗砂的温度从20℃以上降至15℃左右。粗砂冰冷对降低混凝土出机口温度效果明显,但如何有效地控制粗砂冰冷时含水率的增大将是粗砂冰冷工艺得以发展的关键。

(3)储料仓风冷。储料仓内骨料风冷系统相当于1个空调系统,目的是为防止经水冷及二次筛分后的骨料进入拌和楼储料层后温度回升。采用4个循环冷风使4.8~19mm的骨料维持在7℃,同时使19~152mm 3个级配的骨料继续预冷至6℃。

2.3 外加剂

2.3.1 减水剂

混凝土生产使用的减水剂为浙江龙游县混凝土外加剂厂生产的ZB-1高效减水剂,其质量满足中国标准GB 8076-87一等品的要求,其减水率高达20%以上。从实际应用情况来看,其性能稳定,无论是承包商实验室还是工程师实验室试验,其减水率均稳定在20%~23%之间。

2.3.2 引气剂

使用的引气剂为中日合资上海麦斯特建材有限公司生产的AEA 202高效引气剂,其质量满足国标GB 8076-87和美国ASTM C494的要求。

2.4 水

混凝土拌和用水取自雅砻江或阿布朗当沟,1994年7月洪水季节分别取样送攀枝花钢铁公司产品质量监督检验站进行测试,其结果均满足中国建设标准JGJ 63-89的要求,测试结果见表4。

表4 混凝土拌和用水测试分析结果表

项 目	水源		JGJ 63-89		
	阿不郎当沟	雅砻江	预应力混凝土	钢筋混凝土	素混凝土
PH 值	8.0	7.5	> 4	> 4	> 4
不溶物容量 $m g/L$	280	350	< 2 000	< 2 000	< 5 000
可溶物容量 $m g/L$	126	102	< 2 000	< 1 500	< 12 000
氯化物容量 $m g/L$	1.0	1.0	< 350	< 1 200	< 3 500
硫酸盐容量 $m g/L$	5.2	5.2	< 600	< 2 700	< 2 700

表5 A、B、C 混凝土配合比一览表

部 位	设计强度 $M Pa(180 d)$	水胶比 $W/C + F$	用水量 $/k_e \cdot m^{-3}$	胶凝材料 $/k_e \cdot m^{-3}$		砂 $/k_e \cdot m^{-3}$	骨料 $/k_e \cdot m^{-3}$	引气剂 $/k_e \cdot m^{-3}$	减水剂 $/k_e \cdot m^{-3}$
				水泥	粉煤灰				
A 区	35.0	0.447	85	131	59	571	1 711	0.023	0.330
B 区	30.0	0.467	85	127	55	593	1 678	0.022	0.270
C 区	25.0	0.486	85	123	52	618	1 670	0.021	1.230

承包商定期对称量系统进行校核和率定。此外,如果

2.5 硅粉

硅粉是一种灰白色的超细粉末。拱坝标所用硅粉为贵阳遵义铁合金厂生产的,其比重为2.23,比表面积为 $21 100 m^2/kg$, SiO_2 含量为92%以上,用这种硅粉另掺高效减水剂1.5%(RH 1 000 C)和引气剂0.124%(CPC-II)后,3 d、7 d和28 d的抗压强度分别达43.3 MPa、69.0 MPa、和101.5 MPa。硅粉混凝土(588.6 MPa)主要用于水垫塘顶板和边墙以及由承包商自行设计的临时导流底孔等抗冲、抗气蚀部位。

2.6 氧化镁(MgO)

氧化镁主要用于生产封堵探洞的混凝土。氧化镁的供货商为辽宁海城市东方滑镁公司, MgO 含量90%, $CaO < 2%$,活性指标 $240 \pm 40 s$,细度(0.08 mm 筛孔)1.5%, $SiO_2 < 4%$,烧失量4%,筛余量 $< 3%$ 。

3 混凝土生产

2座意大利CIFA公司制造的 $4 \times 4.5 m^3$ 拌和楼布置在左岸8号公路1205 m高程平台,每座拌和楼铭牌小时生产能力为 $360 m^3/h$ 。拌和楼分储料层、配料层、拌和层及卸料层。2座拌和楼有各自独立的操作室,配料操作是在操作室计算机上进行。整个拌和楼外面使用绝热材料包围,以维持内部温度。

3.1 拌和机拌和时间确定

按二滩技术规范规定,对于容积大于 $3.0 m^3$ 的拌和机,其拌和时间由承包商经试验确定并经监理工程师批准。根据美国混凝土手册E26规定,经现场试验,对4级配掺粉煤灰低温混凝土,其拌和时间确定为180 s。

3.2 混凝土配合比

根据技术规范要求,混凝土的配合比由承包商进行设计和试验,并由工程师审核和批准。经工程师批准后的各种混凝土配方,全部输入拌和楼操作室的电脑内锁定,未经工程师同意,任何人不得更改(见表5)。

3.3 称量系统校核

在拌和楼正式投入运行之前,工程师已按照技术规范要求对所有项目进行了详细检查,特别是称量精度的校核。拌和楼正式投入运行后,工程师要求

发现某级料或多级料的称量误差超出合同中规定的

要求,那么,工程师指示承包商对其称量设备进行校核和率定。

3.4 拌和机性能测试

拌和机的性能测试是根据美国混凝土手册 E26 规定进行的。拌和机出料先后的砂浆容量与其平均容重之误差 $\leq 0.8\%$;骨料的重量误差 $\leq 5.0\%$ 。

4 混凝土性能测试

4.1 塑性混凝土

4.1.1 混凝土出机口温度、塌落度和含气量试验、检查及控制

二滩拱坝混凝土分 39 个施工坝段,1980 个浇筑块。每个浇筑块高 3m,分一般坝块和特殊坝块 2 种。一般坝块为垫层混凝土和主体混凝土 2 部分组成。垫层混凝土包括 23 号、73 号配方(1 级配),8 号配方(2 级配),13 号(3 级配)和 14 号配方(4 级配)等,主体混凝土为 68 号(A 区)、71 号(B 区)和 72 号(C 区)配方混凝土。特殊坝块如基础坝块、底孔、中孔、表孔坝块、有廊道竖井穿越的坝块等,9 号(2 级配混凝土)、15 号、16 号(预应力墩混凝土)等配方混凝土就是为这些特殊部位而设计的。对于每一个浇筑块的主体混凝土都必须进行取样和试验,而其它混凝土则根据需要随机取样。混凝土的取样和试验都是在工程师在场的情况下进行的。混凝土取样的地点靠近拌和楼,且试验场地采取了防雨和防晒措施,以保证试验的准确性。

根据技术规范对不同部位混凝土不同的浇筑温度要求控制出机口混凝土温度。根据长期实践,出机口混凝土的温度与浇筑温度差值随气温条件而不同,基本控制在 0.5~1.0 左右。为了保证混凝土温度测定的准确性,测试工作是在混凝土运输车上进行的,频率为每小时 1 次。如果发现混凝土温度偏高,工程师将立即通知承包商的质量控制人员进行调整,在此期间将要求对每车混凝土的温度进行测试,直到满足要求为止。

混凝土塌落度及含气量的测试是在混凝土经 38mm 方孔筛湿筛后进行的。不同配方的混凝土,其塌落度的要求也不相同。塌落度和含气量的测试频率及控制措施与温度相同。此外还要考虑天气情况对混凝土塌落度的影响。例如:6、7、8 月为雨季,塌落度就应比正常情况小些,相反,每年的 4、5、9、

10 月为干旱高温季节,混凝土塌落度损失较快,为便于施工,塌落度就应比正常情况大些。

无论是混凝土的温度、还是塌落度和含气量,如果超出其所要求的范围经过调整也无法满足时,工程师将令其停产直到经试拌检测合格为止。

4.1.2 拌和物水胶比及粉煤灰掺量抽查

混凝土拌和物各材料的用量都是由电脑进行控制,并且通过打印机打印出配料单。工程师根据配料单,随机抽查混凝土拌和物的水灰比及粉煤灰掺量。如果发现某配方混凝土拌和物的水胶比或粉煤灰掺量超出其规定范围,首先将检查电脑中锁定的配方是否正确,然后检查配料是否有误或者用水量和粉煤灰掺量是否超出规定的限值,或者砂的含水量测试结果是否有误,根据检查结果及导致上述情况发生的原因要求承包商及时调整和采取措施加以解决。

4.2 硬化混凝土

4.2.1 抽样抗压强度

在混凝土进行温度、塌落度和含气量取样试验的同时制作强度试件,试件在自然条件下终凝后运入标准养护室进行养护。表 6 中列出 180d A、B、C 区混凝土抗压强度等指标。

表 6 A、B、C 区混凝土抗压强度试验成果表

部位	设计强度 MPa(180d)	试验强度 MPa	离差系数 /Cv	强度保证率 /%
A 区	35	56.00	0.129	99
B 区	30	51.05	0.137	99
C 区	25	47.98	0.109	99

4.2.2 混凝土其它性能

混凝土抗压弹性模数为 180d 30.4MPa;180d 抗拉强度($Q_{15} \times 30$ cm 劈拉) > 4.0 MPa;绝热温度 < 27 ;混凝土自身体积变形 $20 \sim 25 \times 10^{-6}$;抗渗标号 $> S_{12}$ 。

5 结语

二滩水电工程拱坝混凝土浇筑已接近尾声。在混凝土浇筑过程中,监理工程师始终保持高度的责任心和使命感,积极与承包商混凝土质量控制人员配合,对混凝土质量进行严格的检测和控制,从而保证进入仓面的每一罐混凝土都是合格的。大坝混凝土质量优良,深得各方好评。

作者简介:

曹驾云(1972 年-),男,江苏丹徒人,四川二滩国际工程咨询有限责任公司,工程师,从事水电站、市政建设监理工作。

(上接第 92 页)

法、诚信、公正、科学”原则的前提下,真正做到“内强素质、外树形象、文明监理、廉洁自律”,适应现代化建设新形势的发展需要,更好地为我国的经济建设服务。

作者简介:

王大章(1964 年-),男,四川射洪人,四川二滩国际工程咨询有限责任公司项目总监,工程师,学士,从事水电工程监理工作。