

# 宝珠寺水电站混凝土质量控制分析

李晨华

(宝珠寺水电建设管理局, 四川 广元 628003)

摘要: 宝珠寺水电站大坝为混凝土重力坝, 坝体混凝土约 200 万 m<sup>3</sup>, 厂房混凝土约 10 万 m<sup>3</sup>。如何保证混凝土质量, 减少水泥用量是降低工程成本的关键。文章从原材料分析着手, 对拌和楼称量系统混凝土原材料、混凝土和易性、抗渗性以及混凝土强度作了较详细的阐述, 并总结了所存在的问题。

关键词: 混凝土; 原材料; 称量系统; 强度; 质量

中图分类号: TV 4; TV 43

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(1999)增-0040-03

## 1 概述

通过对混凝土各项指标的检测来控制混凝土的施工质量, 使其能达到设计要求, 控制混凝土的施工质量, 在节约水泥和大坝防裂方面都起着重要的作用。混凝土生产质量控制的主要内容是控制原材料的质量和保证配料称量准确。

宝珠寺水电站工程混凝土质量控制的依据是《水工混凝土施工规范》(SDJ-82)、《水工混凝土试验规程》(CSD 105-82)、设计图纸、修改通知及有关混凝土生产和质量控制方面的规定以及技术措施等。

## 2 原材料控制

### 2.1 水泥和粉煤灰

宝珠寺水电站工程采用江油大坝 525 号中热水泥和少量略阳低热微膨胀水泥, 应用江油电厂的粉煤灰等原材料。对水泥、粉煤灰等外购材料, 除按国家规定要求有出厂报告进行核收外, 还在水泥及粉煤灰罐出口处进行抽样检查, 以便进行物理、化学指标的检验。从这些资料分析看: 江油大坝 525 号中热水泥的细度、安定性、比重、凝结时间、水化热等均符合国家标准。水泥强度检测结果见表 1。

略阳低热微膨胀 425 号水泥的细度、安定性、强度、凝结时间等均符合标准。但在 1992 年以前该水泥初凝时间不够, 后来通知厂家修改后, 情况变好。

宝珠寺电站主要使用江油电厂的粉煤灰, 辅以少量豆坝灰和宝鸡电厂的粉煤灰, 粉煤灰性能分析

结果, 见表 2。

表 1 江油大坝 525 号水泥强度检测结果表

年份 /年	抗压强度/MPa			抗折强度/MPa		
	3 d	7 d	28 d	3 d	7 d	28 d
1993	20.6	31.4	51.5	4.1	5.3	7.1
1994	30.8	41.3	58	5.65	6.7	8.54
1995	30.9	41.5	58.7	5.7	6.1	8.5
1996	30.9	41	58.5	5.7	6.0	8.52
1997	30.8	41.2	58	5.62	6.3	8.53

表 2 江油电厂粉煤灰性能表

年份/年	细度	烧失量/%	需水比/%	SO <sub>3</sub> 含量	比重
1993	33.53~67.77	0.45~5.46	101.2~104.0	0.21~0.38	2.1
1994	20.7~87.32	0.67~2.2	27.7~103.6	0.34~1.63	2.3
1995	37.6~93.5	/	99.4~104.7	/	2.2
1996	44.1~91.4	/	100~106.7	/	2.4
1997	40.5~90.4	/	101.3~108.4	/	2.3

从表 2 中得知, 江油灰按国际标准被评为三级灰, 该灰 SO<sub>3</sub> 含量及烧失量指标偏小, 有利于混凝土强度及耐久性的提高, 对工程质量有利。

### 2.2 拌和用水

混凝土拌和用水使用白龙江江水(经中国水利水电第五工程局水厂处理), 经 1995 年化验分析, 结果如表 3 所示。

表 3 白龙江水化验分析结果表

取样日期	取样地点	分析日期	PH 值	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /mg·L <sup>-1</sup>	Cl <sup>-</sup> /mg·L <sup>-1</sup>	溶解性固形物含量 /mg·L <sup>-1</sup>
03-20	左拌	03-21	8.45	21	15	208
06-22	左拌	06-23	8.8	39.1	21.29	208
09-26	左拌	09-27	8.7	41.57	32.9	233.5
12-19	左拌	12-20	8.8	43.2	27.1	70.5

收稿日期: 1999-10-06

### 2.3 砂石骨料

采用飞鹅峡人工骨料。在砂石料场工地,质控人员每班检测一次骨料的含泥量,超逊径以及砂子的含水量、石粉含量、细度模数等指标。同时对生产过程的状态进行监督,以控制骨料生产质量。

在拌和楼出机口,质控人员按规定对混凝土生产进行监控。对砂子的含水量、细度模数、小石的含水量和超逊径等物理因子每班检测一次,根据以上测定指标来计算配合比,以便随时调整混凝土生产,控制质量。

对成品骨料抽样检查,每年统计结果如表 4~表 6。

表 4 粗骨料超逊径平均值表

年份 年	小石		中石		大石		特大石	
	超径 /%	逊径 /%	超径 /%	逊径 /%	超径 /%	逊径 /%	超径 /%	逊径 /%
1993	4.6	4.4	1.8	1.28	0.525	21.2	0	3.05
1994	6.87	2.39	4.02	5.67	0.85	23	0	26.76
1995	6.89	2.94	1.5	14.8	0.36	18.7	0.3	19.6
1996	1.5	3.8	1.48	3.6	1.74	5.68	1.78	6.2
1997	1.8	3.6	1.66	4.2	1.93	6.2	2.12	4.72

表 5 砂石骨料含泥量表

骨 料	年				
	1993	1994	1995	1996	1997
	含 泥 量 /%				
特大石	0.14	0.04	0.03	0.337	0.33
大石	0.196	0.1	0.046	0.376	0.32
中石	0.187	0.377	0.1	0.318	0.317
小石	0.24	0.276	0.18	0.34	0.31
砂	1.925	1.44	2.0	1.9	1.8

表 6 砂子细度模数抽查结果表

年份/年	抽查次数	最大值	最小值	平均值
1993	52	3.38	2.18	2.57
1994	71	3.1	2.38	2.67
1995	59	3.1	2.57	2.81
1996	88	3	2.66	2.8
1997	86	2.91	2.62	2.81

从表 4~表 6 分析,得到以下几点结论:

(1) 骨料为石灰质白云岩、白云质灰岩人工骨料,密度大,无有害成份。虽然开采区表层风化、溶蚀严重,但经加大水量冲洗和加大水压等措施处理后,骨料的含泥量能够达到合格标准。

(2) 砂子的细度模数年平均值在 2.5~2.8 之间波动,而且砂中小于 0.6 mm 的颗粒含量最大,占 55% 左右,说明砂子的质量好,而且稳定。

(3) 成品骨料中的中石、大石和特大石的逊径都超过了标准。其主要原因有:筛分场和储料仓成品料堆卸料落差大,大于 5 m,骨料从皮带机向料堆卸料时,破碎严重。虽然安装了缓降器,但由于粗骨料不断地冲击螺旋式缓降器的挡板,使缓降器遭到破坏而未得到及时修补,致使粗骨料逊径增加。骨料运转次数多,运距远,宝珠寺工地骨料运输路径是从骨料筛分场到地垄,从地垄经过皮带运输机到储料场,从储料场又经过皮带机到拌和楼。加之骨料筛分场到现场地垄距离约为 3 km,从地垄到储料场、储料场到拌和楼距离远,皮带运输机数量多,使骨料跌撞破碎也相应增加,从而逊径也随之增加。

## 3 称量误差的抽查结果

### 3.1 材料的称量合格率分析

宝珠寺工地有 4 座拌和楼,右岸拌和系统安装两座郑州水工厂生产的拌和楼,左岸拌和系统有富春江水工厂生产的拌和楼和从美国引进的拌和楼。1995 年以后美国拌和楼停止使用。在混凝土生产过程中,质控人员每班对称量误差进行抽查,现统计 1991~1997 年的抽查资料,得到不同类型的材料的称量合格率,列入表 7~表 8。

表 7 砂石骨料的称量合格率表

拌和楼 编号	年 份 /年						
	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
	称 量 合 格 率 /%						
右 1 号	61.92	42.7	62	65	71	70	73
右 2 号	35.6	56.7	59	61.2	64.3	62.3	66

表 8 胶凝材料的称量合格率表

拌和楼 编号	年 份 /年						
	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
	称 量 合 格 率 /%						
右 1 号	17	31.4	46.3	58.4	59.3	60	57.3
右 2 号	22.3	18.9	53.2	52.7	56.2	57	58

从上表分析,得到以下几点结论:

(1) 砂石骨料的称量合格率在 1991 年、1992 年较差,1993 年以后能达到 60% 以上。根据以前的资料分析,中石和大石欠秤严重。在 1992 年的统计中,中石欠秤率在 47.9%~60.9%,大石为 39.4%~48.9%,因此,对混凝土的和易性和强度有一定的影响。

(2) 胶凝材料的称量合格率基本上在 60% 以下,根据以前的抽查检查分析,水泥超秤发生率高达 36%~46%。欠秤率发生最大达 5%,因此在混凝土拌和时,增加了水泥用量,这是混凝土产生“超强”的

主要原因。

(3) 从 1992 年统计的称量误差的直方图分析可以看出, 称量误差不完全靠称量系统本身的自动操作, 而且还牵涉到相当多的人为因素。

(4) 要使称量误差减小, 必须改进称量系统, 减少人为因素, 改换电子秤和传感器, 增设精配程序, 实现自动化配料。

### 3.2 混凝土和易性的控制和坍落度的测定分析

#### 3.2.1 和易性的控制方法

本工程主要采用常规混凝土, 和易性的控制主要靠质控人员在出机口对拌出的混凝土随时随机抽样检查, 测定其坍落度。对每盘混凝土, 目估和易性是否满足要求, 如砂率是否合适, 骨料是否严重离析, 再根据测出的坍落度值进行判断。若不理想时, 先调整用水量, 根据经验, 每增减坍落度 1 cm, 相应地增减 1% ~ 1.5% 的混凝土单位用水量, 增加的水量不能超过允许值。如仍不能满足要求, 则进行混凝土配合比调整。在混凝土拌和生产过程中, 掌握骨料含水量, 及时调整拌和用水, 是保证混凝土和易性及其质量的关键。

#### 3.2.2 坍落度的测定

坍落度是最简单、最快速, 还能代表混凝土强度的拌和质量控制指标, 在出机口和现场都应经常测定。现将 1993~ 1997 年出机口所测坍落度的合格率列入表 9。

表 9 坍落度测定表

测试地点	年 份 / 年				
	1993	1994	1995	1996	1997
右岸 1 号	84.6	89	91.9	98.8	97
右岸 2 号	87.2	88.3	91.6	98.7	98.2
左 岸	74.6	68.1	75	65.6	68.3

从表 8 分析得到, 右岸拌和系统混凝土拌和质量较好, 且逐年提高; 左岸拌和系统的控制质量一般, 合格率小于 80%。

由于运输过程中水份和浆液的损失, 时间的延续, 气象条件的影响等因素, 在浇筑现场所测的坍落度必然波动较大, 合格率低于出机口所测定的结果。

## 4 混凝土强度测定结果及质量评价

按《水工混凝土施工规范》规定, 以出机口成型标准养护试件的抗压强度作为混凝土质量评定的依据。本工程在 1991~ 1997 年共作抗压强度试件近 7 400 组, 不同标号的混凝土总体强度统计结果如表 10 所示, 所统计的数据采用 1991~ 1997 年不同标

号的混凝土强度资料。从资料分析得到:

(1) 设计龄期为 28 d 的混凝土(除  $R_{28}150$  外)强度保证率均小于 85%, 根据试验室配比试验, 混凝土 90 d 强度会有较大的增长, 可达 28 d 强度的 1.4 倍左右。

表 10 不同标号混凝土强度统计结果表

混凝土种类	混凝土标号	组数	平均强度 / MPa	均方差	离差系数	强度保证率 / %
常 规 混 凝 土	$R_{28}150$	304	32.47	6.44	0.198	98.7
	$R_{28}200$	1 552	24.65	6.29	0.255	76.5
	$R_{28}250$	797	28.37	5.84	0.21	71.6
	$R_{28}300$	775	33.32	6.02	0.18	70.6
	$R_{90}150$	1 385	28.77	5.65	0.196	98.5
	$R_{90}200$	727	29.22	6.55	0.224	91.8
	$R_{90}250$	1 650	32.47	6.44	0.198	87.4
	$R_{90}300$	7	37.44	2.7	0.1	99
	$R_{90}400$	36	47.93	5.9	0.12	90.68
	膨 胀 混 凝 土	$R_{28}200$	50	28.95	6.61	0.23
$R_{28}300$		9	33.17	4.9	0.15	74
$R_{90}200$		20	37.52	7.2	0.192	99.2
$R_{90}250$		24	35.5	4.24	0.12	99.3

(2) 设计龄期为 90 d 的混凝土强度, 保证率均达 85% 以上, 但离差系数较大, 强度均匀性差。

(3) 按照《水工混凝土施工规范》和《单元工程评定标准》, 大部分混凝土均属较差水平。

(4) 混凝土离差系数偏大的主要原因有: 水灰比的变化。由于用水量控制不严, 骨料含水量波动过大, 加之外加剂性能的影响等因素, 从而引起水灰比的变化。骨料级配, 由于粗骨料中, 中石、大石和特大石逊径大, 小石数量增多, 骨料表面积增大, 则充填在其表面的水泥砂浆必须增多, 才能保证其和易性, 从而使混凝土强度增大。称量过程中的称量误差。水泥超秤远大于欠秤, 同时中石等骨料欠秤严重, 这些是混凝土产生“超强”的原因之一。在试验过程中, 由于浇模不均匀, 振捣成型过程中的差异, 养护条件的差异, 破型技术不严等, 也是混凝土离差系数偏大的原因之一。

## 5 混凝土抗渗标号的测试结果

对有抗渗要求的混凝土, 必须测定设计龄期的抗渗标号。抽查 1994 年作过的混凝土抗渗试验 30

(下转第 49 页)

孔,最大 30 L/m in; 10~ 20 L/m in 的有 4 个孔; 5~ 10 L/m in 的有 4 个孔; 小于 5 L/m in 的 7 个孔,平均渗水量 8.45 L/m in。

1998 年 8 月 7 日观测的 16 号坝段主排 7 个孔,出水量大于 20 L/m in 的有 2 个孔; 10~ 20 L/m in 的有 3 个孔,小于 5 L/m in 的有 2 个孔,平均渗水量 15.39 L/m in。

1998 年 11 月 7 日观测的 16 号坝段主排 7 个孔,出水量大于 20 L/m in 的有 2 个孔,10~ 20 L/m in 的有 3 个孔,小于 5 L/m in 的有 2 个孔,平均渗水量 21.56 L/m in。

以上观测资料表明,16 号~ 18 号坝段坝基渗流量还较大,并且 16 号坝段排水孔排水量随着库水位的升高有明显的增大,从而也说明排水孔与库水有着较好的连通性。综合分析化灌及排水孔情况,有必要对 11 号~ 18 号坝段,特别是 15 号~ 18 号坝段坝基加强观测。根据观测情况再决定是否增加帷幕灌浆。若需增加帷幕灌浆,可在 A、B 排普通水泥灌浆帷幕之间增加一排灌浆帷幕,重点灌注 F4 断层及其上下盘影响带,防止其发生变形,产生管涌。丙烯酸类灌浆材料虽然具有粘度低、可灌性好、胶凝体无毒等优点,但价格较贵。原材料具有一定毒性,对操作人员有害,耐久性问题还有许多不明之处,并存在灌浆程序较繁琐等缺点,不易大范围施

工。建议使用超细水泥高压灌浆,孔距 1.5 m 浆液浓度采用水灰比 2:1,1:1,0.6:1 三个比级,可在浆液中加入适量的分散剂和非引气型减水剂,以解决超细水泥浆液粘度大、流动性差和扩散范围小;较稀浆液灌浆凝结过程中析水率大,结石不密实和灌浆施工中容易铸钻杆等缺点。灌浆时应采用灌浆自动记录仪和与施工单位结算时采用实际灌入量结算等方法,加强对帷幕灌浆质量的控制。

## 6 结 语

19 号~ 21 号坝段坝基通过化学灌浆,使 F4、F60 断层及其上下盘影响带部位的裂隙得到了有效的充填,达到了预期目的。化学灌浆施工技术工艺复杂,对原材料必须做到精确称量,对灌浆设备、管路等应经常保养和检查,以杜绝灌浆事故的发生。为节省浆材、降低成本,在吸浆量接近灌浆结束标准,而浆液又使用完毕的情况下,采用以水顶浆的技术措施是切实可行的,但需要在施工中精心操作,以保证灌浆工程质量。

作者简介:

王晓鸣(1962 年—),男,浙江义乌人,宝珠寺水电建设管理局工程管理部,助理工程师,现从事水工建筑工程监理工作。

(上接第 42 页)

组资料,结果如表 11 所示。

表 11 混凝土抗渗检测结果表

设计强度	设计抗渗标号	组数	实测抗渗标号/M Pa
R <sub>90</sub> 150	S <sub>4</sub>	16	> 0.4
		4	> 0.8
R <sub>90</sub> 200	S <sub>8</sub>	3	> 0.8
R <sub>90</sub> 250	S <sub>8</sub>	7	> 0.8

从上述资料得到大坝混凝土设计抗渗标号内部为 S<sub>4</sub>,其余为 S<sub>8</sub>。试验结果:90 d 龄期抗渗标号均大于 S<sub>8</sub>,从 28 d 到 90 d 龄期混凝土抗渗标号有较大的增长,抗渗标号的合格率为 100%。

## 6 混凝土质量评价及存在的问题

### 6.1 总体质量评价

根据以上的结果分析,按《水工混凝土施工规范》要求的标准,可以得出以下几点结论:

(1) 设计龄期为 28 d 的混凝土(除 R<sub>28</sub>150 外),强度保证率小于 80%,而未达到设计要求。

(2) 混凝土均匀性指标(离差系数)绝大部分属较差水平。

### 6.2 存在的主要问题及原因分析

(1) 混凝土原材料中水泥和粉煤灰、砂等的质量控制较好,但中石、大石、特大石的逊径严重,超过标准,因此,严重地影响了混凝土强度的均匀性。

(2) 水泥超秤量大于欠秤量,同时中石、大石的欠秤情况严重,这些是混凝土产生“超强”的主要原因之一,而且对大坝混凝土防裂有不利的影响。

(3) 拌和系统中电子秤存在问题较多,配料称量误差大,这也是混凝土质量不均匀的原因之一。

(4) 在质控过程中要减少人为因素的影响,而且混凝土质控人员对浇筑现场的取样重视不够,从而影响了工作的连贯性。

(5) 骨料的破碎和拌和系统的称量误差大,是混凝土质量不理想的主要原因之一。以后应加强这方面的管理,从而进一步地提高混凝土的质量水平。

作者简介:

李晨华(1968 年—),男,四川苍溪人,宝珠寺水电建设管理局工程管理部,工程师,学士,现从事水工建筑工程监理工作。