

金银台航电工程 HF 混凝土的设计与施工

陈丽萍, 周建文

(中国水利水电第五工程局 五分局, 四川 成都 610066)

摘 要: 金银台航电枢纽工程在抗冲磨混凝土的施工中, 不断优化调整配合比设计, 严格按照 HF 混凝土技术要求施工, 不仅节约了工程造价, 加快了施工进度, 并且保证了施工质量, 具有借鉴意义。

关键词: HF 混凝土; 配合比设计; 施工方法; 质量控制; 金银台航电工程

中图分类号: TV544.92

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(2005)05-0038-04

1 前 言

HF 混凝土是高强耐磨粉煤灰混凝土的简称, 出现于 20 世纪 90 年代后期, 随着其逐渐应用的成熟, 大有取代目前工程中应用较多的硅粉混凝土的趋势。其作用机理是: 利用 HF 混凝土外加剂激发粉煤灰的活性, 使粉煤灰可以起到与硅粉一样的作用, 即显著提高混凝土的整体强度并使混凝土中的胶凝产物致密、坚硬、耐磨, 使混凝土中的胶凝产物接近或达到骨料的强度和硬度, 使混凝土形成一个较均匀的整体, 从而提高混凝土的抗冲耐磨强度。由于 HF 混凝土除具有与硅粉混凝土相当的强度和抗冲性能, 并且克服了硅粉混凝土施工和易性差、易裂、难以作面、硅粉采购困难、造价高等特点, 近年来, HF 混凝土在工程中得到了较快的推广应用, 目前已在国内外 20 几个工程中使用, 其抗冲磨性能经受住了实际工程的考验, 使用效果也受到各工程的设计、监理、施工和业主单位的好评和肯定。1993 年 3 月 1 日, 水利部正式颁发并实施的《混凝土坝养护修理规程》SL230-98 中, 推荐的几种常用抗冲耐磨修补材料中, 高强耐磨粉煤灰混凝土就是其中之一。2001 年 5 月颁布的《水闸设计规范》中, 在抗冲耐磨材料的条文说明中, 也特别提到了 HF 高强耐磨粉煤灰混凝土是一种在实际工程中应用效果比较好的材料。现将四川嘉陵江金银台航电枢纽 HF 混凝土的施工加以总结于后。

2 工程概况

金银台航电枢纽工程位于四川阆中境内的嘉陵江干流上。工程由发电厂房、泄洪闸、冲沙闸、左

右岸挡水坝及船闸等组成, 装机 3 台, 单机容量 40 MW, 电站总装机容量为 120 MW。枢纽建筑物为 III 级, 其导流建筑物为 IV 级, 一、二期围堰挡水标准均按 10 年一遇 11 月~翌年 4 月洪水设计。

坝址地处四川盆地, 属亚热带季风气候, 多年平均气温为 17℃, 极端最高气温为 39℃, 极端最低气温为 -4.1℃, 区内雨量多集中在 5~10 月, 占全年降雨量的 80% 左右, 多年平均降雨量为 1028.3 mm, 1~4 月最大风速为 14.3 m/s, 多年平均相对湿度为 76%。

枢纽工程中, 闸底板等过流表面有抗冲磨的要求, 在闸室底板面层 40 cm、闸墩底部 1.2 m 高、护坦顶部面层 40 cm、护坦消力墩、消力坎等其它高速水流区易磨蚀部分的工程施工中采用了 HF 混凝土。

3 HF 混凝土配合比设计

3.1 试验用原材料的优选

(1) 水泥的选用。根据招投标文件及合同条款, 抗冲磨混凝土水泥采用川东水泥厂生产的 P.O42.5 袋装水泥。强度检验结果见表 1。水泥强度富裕约 15%。

表 1 水泥强度检验结果表

水泥 品种	抗压强度 /MPa		抗折强度 /MPa	
	3 d	28 d	3 d	28 d
川东 P.O42.5R 袋装水泥	25.4	48.7	5.4	8.4

袋装水泥运至右岸拌和站后, 人工拆包后倒入水泥车罐, 在转入 300 t 水泥罐中。用 300 t 水泥罐储存 P.O42.5。

(2) 粉煤灰的优选。根据抗冲磨混凝土要求和

配合比试验所用原材料,采用江油Ⅱ级粉煤灰(袋装),细度 $45\mu\text{m}$ 筛余 17.6% ,烧失量 1.9% , SO_3 含量、含水量等指标均符合GB1596-91规定的Ⅱ级灰标准。试验室同时采用沱牌粉煤灰与江油粉煤灰进行对比。沱牌粉煤灰细度: $45\mu\text{m}$ 筛余 20.03% ,烧失量 8% ,需水量比 105% ,基本可满足Ⅱ级灰标准。江油Ⅱ级粉煤灰在厂家拆包,运至工地后,装入拌和站的 300t 粉煤灰罐中。

(3)HF外加剂。抗冲磨混凝土采用兰州甘肃巨才电力技术有限公司生产的HF粉(袋装),在拌和站附近专设HF粉仓库。人工拆包后,根据其掺量称量后直接转入上料皮带,进入拌和站的暂存料罐。

(4)骨料。采用右岸砂石骨料系统生产的骨料。其中砂子的细度模数为 1.71 ,总含水量为 1.01% ,饱和面干吸水率为 1.23% 。中石和小石为工地天然河卵石,饱和面干吸水率分别为 0.3% 和 0.5% 。

(5)水。采用普通的自来水。

3.2 C_{35} HF混凝土配合比的优化与调整

根据投标文件,金银台航电枢纽工程浇筑的HF混凝土为 C_{35} 强度等级。金银台 C_{35} HF混凝土配合比依据试验规程《水工混凝土试验规程》SD105-82中的“混凝土配合比设计方法”,采用金银台工地砂石骨料和胶材,进行了HF混凝土配合比试验,有关参数的确定方法如下:

(1)混凝土的保证强度 $R_{\text{保}}$ 。

混凝土的保证强度 $R_{\text{保}}=R_{\text{标}}+t\sigma$ (其中 $R_{\text{保}}$ 为保证强度; $R_{\text{标}}$ 为设计强度; t 为概率系数; σ 为混凝土的强度均方差。在初步计算时,可根据施工控制水平选用,待工程有了实测值后再调整)。试验中,根据设计要求的保证率 95% , t 取 1.645 , σ 值先按无施工控制资料考虑,取 $\sigma=5\text{MPa}$,后按施工控制水平所对应的标准差改为 $\sigma=3\text{MPa}$ 。

按照 $\sigma=3\text{MPa}$ 提供的HF混凝土配合比,经过施工取样验证,实际的 $\sigma=2.61\text{MPa}$,小于 3MPa 。根据《施工混凝土施工规范》DL/T5144-2001,对大于和等于 C_{90} 级的混凝土,在实际取样计算的 σ 小于 3MPa 时, σ 取 3MPa 。因此,在配合比设计中, σ 采用 3MPa 是符合规范要求的,但在实际施工中,根据多次混凝土配合比试验的结果,结合工地混凝土试拌调整结果,并考虑当水泥强度降低到 42.5MPa 的情况下,采用的混凝土配合比必须满足设计要求。所以最终确定:按 95% 保证率,施工混凝土强度标准差为 5.0MPa , $C_{35}W_6F_{50}$ HF混凝土配合比的配制强度为 $R_{28}=42.3\text{MPa}$ 。

(2)水灰比的确定。根据规范,先选用 $3\sim 5$ 个水灰比,采用原材料进行试验后建立混凝土强度与水灰比之间的回归方程。根据强度与水灰比的关系,选择相应于保证强度的水灰比。经过试验,建立了水灰比与强度的回归曲线,得出水灰比为 0.38 。

(3)砂率的确定。

混凝土配合比中的砂率确定:按照《水工混凝土试验规程》SD105-82,混凝土配合比的砂率应根据混凝土试拌确定,经试拌,当混凝土的坍落度较小时,砂率采用 20% 即可。但随着混凝土坍落度的增大,应适当增加砂率。金银台HF混凝土配合比采用 25% 的砂率,主要是考虑了成都院研究所就特细砂所进行的专题研究报告中谈及普通混凝土的砂率在采用特细砂时,砂率均在 $18\%\sim 19\%$ 。考虑到在一般情况下,专题研究报告比单项试验具有更好的代表性,根据和易性要求,对混凝土的砂率进行了适当的调整,以满足施工需要。最终确定的 $C_{35}W_6F_{50}$ 强度保证率 95% 的二级配HF混凝土配合比见表2。

3.3 试验方法

表2 $C_{35}W_6F_{50}$ 强度保证率 95% 的二级配HF混凝土配合比表

编号	配合比					单 m^3 材料用量 / $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$						容重 / $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	塌落度 / cm	
	水灰比	砂率	粉煤灰	HF	胶材	水泥	水	粉煤灰	砂	小石	中石			HF
江油Ⅱ级灰	0.38	0.25	0.15	0.02	284	242	108	43	518	699	855	6.3	2 470	3~5
江油Ⅱ级灰	0.38	0.25	0.15	0.02	295	251	112	44	514	694	848	6.5	2 470	5~7
沱牌Ⅱ级灰	0.38	0.25	0.15	0.02	303	257	115	45	511	690	844	6.7	2 470	3~5
沱牌Ⅱ级灰	0.38	0.25	0.15	0.02	316	268	120	47	507	684	836	6.9	2 470	5~7

注:表中混凝土配合比的塌落度为 $3\sim 5\text{cm}$ 和 $5\sim 7\text{cm}$ 。

试验严格按照《水工混凝土试验规程》

SD105-82执行。

(1)抗冻试验。采用美国进口的快速冻融试验机,按照快冻法进行试验。

(2)抗磨试验。采用水砂冲刷试验仪,测定混凝土在含砂水流冲刷下的抗冲磨强度。

3.4 混凝土配合比试验及其结果

根据以往试验研究和工程应用的经验,在HF混凝土配合比中,按照混凝土的耐磨性能与价格比即性价比比较优的原则,配合比中粉煤灰的掺量取15%。当使用I、II级粉煤灰时,HF外加剂的掺量取2%。根据试拌情况,砂率取25%,试拌中同时拌和成型了21%、23%两个砂率,以对比特细砂砂率对混凝土性能的影响。

从拌和情况看,当采用25%砂率,用水量适量,塌落度3~5cm的情况下,HF混凝土和易性好,不易产生泌水。在采用江油II级粉煤灰,用水量

105 kg/m³的情况下,混凝土的塌落度可满足3~5cm的要求。当采用沱牌II级粉煤灰时,混凝土用水量较江油II级粉煤灰有所增加,混凝土的塌落度3~5cm时,对应的用水量为105 kg/m³。对水胶比相当的几个配合比,分别采用21%、23%和25%几个不同的砂率得出:砂率较小时,混凝土用水量可有所减少,相应的水泥用量可适当减小;但随着砂率的减小,混凝土成型较为困难。在较小的砂率条件下,成型时尽管也能有足够的砂浆保证混凝土密实,但操作及抹面难度较大,且插捣较困难。考虑抗冲耐磨混凝土一般都有作面要求,在塌落度3~5cm的配合比中,砂率取25%为合适,中石和小石之比为50:50较好。混凝土配合比及其抗压强度和抗磨试验结果见表3。

混凝土的抗冻试验结果见表4。经50次循环

表3 HF混凝土配合比及试验成果表

编号	配合比				单 m ³ 材料用量 /kg · m ⁻³						容重 塌落度 抗压强度 /MPa 抗磨强度						
	灰水比	砂率	粉煤灰	HF	胶材	水泥	水	粉煤灰	砂	小石	中石	HF	/kg · m ⁻³	/cm	R ₇	R ₂₈	/(h · m ²)kg ⁻¹ R ₂₈
J10	0.315	0.24	0.15	0.02	339	288	107	51	485	769	769	6.8	2 476	4	49.3	58.5	/
J11	0.36	0.25	0.15	0.02	311	264	112	47	513	693	846	6.2	2 481	10	37.8	51.3	1.58
J12	0.39	0.25	0.15	0.02	287	244	112	43	519	701	857	5.7	2 482	15	35.3	44.3	/
J13	0.33	0.25	0.15	0.02	333	283	110	50	508	761	761	6.7	2 480	2	45.5	51.8	/
J14	0.34	0.23	0.15	0.02	311	264	106	47	472	790	790	6.2	2 475	2.5	43.8	53.2	/
J15	0.35	0.21	0.15	0.02	297	252	103	44	435	818	818	5.9	2 476	3	45.1	54	1.67
J16	0.36	0.25	0.15	0.02	301	256	108	45	514	770	770	6.0	2 469	0	40.4	49.4	1.51
J17	0.43	0.25	0.15	0.02	272	232	118	41	521	782	782	5.4	2 481	3	27.5	36.4	/

注:J10~J15使用的是江油II级灰;J16~J17使用的是沱牌II级灰。由试验结果可以看出:两种粉煤灰相比,以江油灰较优,两种粉煤灰拌制的混凝土在相同水胶比的情况下,强度相当。

后,混凝土的相对弹模损失均在规范要求的范围之内,即相对动弹模量大于60%,重量损失小于5%。因此,混凝土的抗冻标号可满足设计要求的F50的抗冻等级;抗渗试验结果:混凝土的抗渗标号大于W6。所以,金银台航电枢纽工程HF混凝土选用了江油II级粉煤灰。

表4 混凝土抗冻试验结果表

编号	0次		50次		相对弹模 /%	重量损失 /%	
	弹模	重量	弹模	重量			
J12	1	51	10	50.8	10	99.6	0
	2	49.5	10.1	49.4	10.07	99.8	0.03
J17	1	49.2	10.1	49.1	10.05	99.8	0.05
	2	48.2	10.03	48.3	10	100.2	0.03

3.5 金银台航电工程C₃₅HF混凝土强度统计

截止目前,金银台航电枢纽工程HF混凝土共取样119组,其中冲砂闸取样15组,泄洪闸取样104组,平均强度 $f_{cu}=40.7$ MPa,标准差 $\sigma=3.00$,概率系数 $t=1.9$,强度保证率为97.1%。现场混凝土生产质量达到优秀。

4 HF混凝土的施工技术要求与质量控制

4.1 进料次序及搅拌时间的确定

按小石、砂子、水泥、粉煤灰、HF外加剂、中石的次序投料,拌匀后加水搅拌。HF混凝土的拌和时间比普通混凝土的拌和时间延长90s或总拌和时间控制为不少于180s。

4.2 入仓机械的布置

根据工程情况,采用了以门机为主,自卸车及其他设备为辅的布置方案,两台门机依坝轴线方向分期布置,分别布置在坝0~10.5m和坝0+45.0m处,按顺序为1~2号门机,其中1号门机为MQ540/30门机吊3m³卧罐,2号门机为MQ600/30门机吊3m³卧罐。门机布置见图1。

4.3 合理分层

根据泄洪闸、冲沙闸抗冲磨混凝土结构体形特点、混凝土入仓强度要求以及施工方便确定了泄洪闸、冲沙闸混凝土施工分层分块。闸室底板及

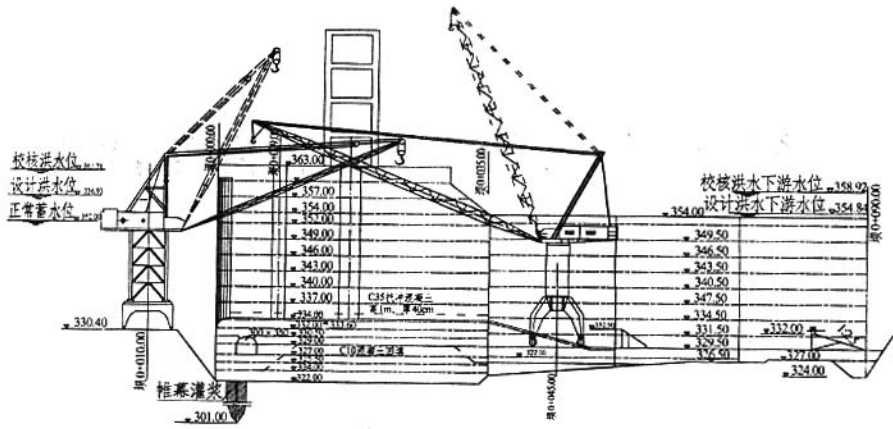


图 1 冲沙泄洪闸门机布置图

护坦混凝土均为 40 cm 厚,可一层施工完成;闸墩底部 1.2 m 高抗冲磨混凝土在闸墩施工分层时考虑;护坦消力坎及消力墩分两层施工。一枯期间施工 6 号~14 号泄洪闸和一孔冲沙闸闸室底板面层 40 cm;闸墩底部 1.2 m 高;护坦顶部面层 40 cm;护坦消力墩、消力坎的抗冲磨混凝土的第一层浇至 331.85 m(328.85 m)高程,时间截止到 2003 年 3 月底。二枯再施工护坦消力墩、消力坎的抗冲磨混凝土的第二层浇至设计高程。三枯主要施工 1 号~5 号泄洪闸闸室底板面层 40 cm、闸墩底部 1.2 m 高、护坦顶部面层 40 cm、护坦消力墩、消力坎的抗冲磨混凝土。

4.4 施工工序的严格控制

模板工程:根据抗冲磨混凝土的结构体型,结合施工工艺,选用了组合钢模板。

钢筋工程:钢筋在钢筋加工场内按设计图纸进行加工,采用现场手工绑扎。绑扎时,按设计图纸和测量点线进行搭接、分距、绑扎和固定。在钢筋架设安装之后,及时加以固定保护,以避免发生错动和变形。各种型号的钢筋主要采用搭接手工电弧焊,钢筋的焊接长度应满足规范要求。

平仓及振捣:HF 混凝土的平仓与振捣不论采用何种入仓方式,都应采取措施,以防止发生混凝土骨料集中现象,并应加强平仓,使混凝土骨料均匀分布于砂浆中,平仓后应及时振捣密实,防止漏振与过振。主要采用振捣器配合人工平仓,在靠近模板和钢筋较密地方,平仓后应及时振捣,以防止漏振和过振。

护坦和闸室底板顶部抗冲磨混凝土振捣时采用电动高频插入式 $\varphi 50$ 型振捣器,上部预留 20~30 cm 厚时,采用平板振捣器振捣,以保证仓面的

平整度。闸墩抗冲磨混凝土采用 $\varphi 100$ 型电动高频插入式振捣器振捣。

4.5 混凝土表面的保护

在仓内采用 6 in(15.2 cm)钢管焊高程控制样架,在样架上绷线人工进行收面;最后采用 6 m 长的 6 in(15.2 cm)镀锌焊缝钢管在混凝土面上进行平顺。收面时,应采取措施遮阳、防风,以免混凝土表面水分蒸发过快,影响收面甚至引起混凝土表面龟裂。收面后,采用塑膜覆盖,或用不沥水草袋覆盖混凝土表面,覆盖时应小心,以免在混凝土表面造成压痕。时间最好在早上 10:00 以前、下午 4:00 以后或夜间浇筑混凝土。混凝土终凝后,即须开始洒水养护不少于 28 d,洒水间隔时间以能保证混凝土表面湿润为宜。在气温较高时,从每日早 10:00~下午 5:00,应增加洒水次数降温,避免混凝土表面温升太高。对于大体积混凝土,表面的养护应符合混凝土的温控要求。

6 结 语

综上所述,金银台航电枢纽工程 HF 混凝土的配合比在经过设计调整后,不仅减少了混凝土的造价,降低了混凝土的温升,并且提高了混凝土的抗冲耐磨性能。由于严格按照 HF 混凝土技术要求施工,创造了较好的施工速度,不仅满足了工程进度要求,质量也能得到保证,受到了业主、监理单位的一致好评。

作者简介:

陈丽萍(1980-),女,江西南丰人,中国水利水电第五工程局五分局助理工程师,从事水利水电工程施工技术工作;
周建文(1979-),男,湖南新化人,中国水利水电第五工程局助理工程师,从事水利水电工程质量检验和质量管理工作。

(责任编辑:李燕辉)