

HF 抗冲耐磨混凝土在水电工程中的应用

雷 维 岳， 范 春 艳， 丁 俊

(中国水利水电第十工程局有限公司,四川 成都 611830)

摘 要:四川某水电站高速导流放空洞全长 894.24 m,设计要求的衬砌混凝土为 C40F300W6。原设计的硅粉抗冲耐磨混凝土存在表面易干缩龟裂、施工难度大等缺点。经多方讨论和论证,最终将其更换为 HF 抗冲耐磨混凝土,即在混凝土中加入适量的 HF 外加剂,有效地改善了混凝土拌合物的性能,提高了混凝土的抗冲耐磨性能,并具有水泥用量低、易于施工等特点,取得了较好的效果。

关键词: HF 混凝土;抗冲磨;水电工程

中图分类号: TV7;TV544;TV52;TV42 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-2184(2021)04-0049-04

Study on Application of HF Abrasion-resistant Concrete in Hydropower Engineering

LEI Weiyue, FAN Chunyan, DING Jun

(Sinohydro Bureau 10 Co., LTD, Dujiangyan, Sichuan,611830)

Abstract: The length of the high-speed diversion flood discharge vent of one hydropower station in Sichuan is 894.24 m and the designed lining concrete is C40F300W6. The original design of silica abrasion-resistant concrete has some shortcomings, such as surface shrinkage cracking, difficult in construction and so on. After rounds of discussion and demonstration, HF abrasion-resistant concrete is introduced to replace the original design by adding HF additives, which effectively improves the performance of the concrete mixture and its abrasion-resistant performance. HF abrasion-resistant concrete has the characteristics of low consumption of cement, easy construction and so on. Good results are achieved applying HF abrasion-resistant concrete.

Key words: HF concrete; abrasion resistant; hydropower engineering

1 概 述

随着 HF 混凝土技术的日益完善和成熟,其工程使用效果逐步显现,越来越多的大中型工程从原来的选择硅粉混凝土、纤维混凝土、高性能混凝土等传统抗冲耐磨混凝土逐步改变为选择 HF 混凝土,使抗冲耐磨防空蚀问题从单一的材料选择转到选择一整套护面技术——HF 混凝土技术。HF 混凝土是由 HF 外加剂、优质粉煤灰(或其它掺合料如磨细矿渣、硅粉等)、符合要求的砂石骨料和胶凝材料组成,并按规定的要求进行设计、按照要求的施工工艺和质量控制方法组织浇筑并完成的混凝土^[1]。

某水电站位于四川省甘孜藏族自治州乡城县境内,其高流速导流放空洞全长 894 m,衬砌厚度分别为 50 cm 和 60 cm,设计流速为 35 m/s,混凝土设计要求为 C40F300W6。原设计方案选用的

硅粉抗冲耐磨混凝土存在表面易干缩龟裂、施工难度大等缺点。经多方讨论和论证,最终将其更换为 HF 抗冲耐磨混凝土。HF 抗冲耐磨混凝土的使用有效地避免了硅粉抗冲耐磨混凝土表面干缩龟裂通病的产生,其还具有水泥用量低、抗冲耐磨性能好、易于施工等特点。

2 HF 高强耐磨混凝土

在混凝土配合比设计阶段,应综合考虑混凝土的和易性、强度、耐久性、经济性等方面,在此基础上,优先选用品质优良的胶凝材料及骨料、外加剂,以使成品 HF 混凝土的施工和易性及其他各项性能指标更为优良^[2]。

2.1 原材料

(1)水泥:选用祥云县建材有限责任公司生产的小湾 P. MH 42.5 水泥,其比表面积为 278 m²/kg,密度为 3.11 g/cm³,初终凝时间分别为 156 min 和 226 min,其 28 d 抗压强度为 47.6 MPa ,

抗折强度为 7.6 MPa,安定性合格。

(2)粉煤灰:采用成都博磊资源循环开发有限公司生产的 II 级粉煤灰,其细度为 5%,烧失量为 6.6%,需水量比为 96%,密度为 2.31 g/cm³。

(3)细骨料:采用拉玛隆砂石料厂生产的的机制砂。细度模数为 2.52;表观密度为 2.63 g/cm³,堆积密度为 1.48 g/cm³,吸水率为 2.4%,含泥量为 2.5%,超逊径合规。

(4)粗骨料:采用拉玛隆砂石料厂生产的的碎石。采用粒径为 5~20 mm、20~40 mm 碎石组成的合成级配,分别占比为 50%时,振实容重较优,为 1.75 g/cm³,吸水率为 0.62%,超逊径合规。

(5)外加剂:采用甘肃巨才电力技术有限责任公司生产的 HF 混凝土专用 HF 外加剂,其 pH 值为 13,细度为 2.2%,含水量为 2.4%,水泥胶砂流动度为 168 mm;采用攀枝花市吉源科技有限

表 1 HF 混凝土外加剂掺量效应试验成果表

水灰比	用水量 /kg·m ⁻³	砂率 /%	外掺物 /%			和易性				含气量 /%	坍落度 /mm
			粉煤灰	HF 剂	引气剂	棍度	黏聚性	含砂	析水		
0.35	142	37	25	2.5	0.008	中上	较好	中	无	4.9	128
0.35	139	37	25	2.6	0.008	中上	较好	中	无	5.1	132
0.35	135	37	25	2.7	0.008	上	好	中	无	5.1	130
0.35	133	37	25	2.8	0.008	上	较好	中	微量	4.8	132
0.35	132	37	25	2.9	0.008	上	较好	中	微量	5	131

从表 1 中的试验结果可以看出:混凝土的用水量随外加剂掺量的增加而减少,但掺量增加超过 2.7%后用水量减少的趋势减缓,同时,混凝土的和易性变得稍差,因此可以认为:HF 混凝土抗冲剂的最佳掺量为 2.7%。

2.3 耐久性试验

(1)混凝土抗冻抗渗试验:选取 0.4、0.35、0.3 水胶比成型混凝土试块进行抗冻抗渗试验。抗冻性能试验结果表明:在冻融循环 300 次的条件下,其相对动弹模量、质量损失率均能达到相关要求。抗渗性能亦能达到 W6 抗渗要求。

(2)混凝土抗冲耐磨性试验:选取 0.4、0.35、0.3 水胶比成型混凝土试块,使用水下钢球法进行抗冲耐磨试验,所取得的试验结果见表 2。

2.4 配合比设计

在满足设计强度和耐久性等要求的前提下,根据施工图纸设计总说明和相关规范要求初步选定配合比中的试拌水胶比^[4]。随后选用固定水胶

公司生产的 JY-Y 引气剂,掺量为 0.008%,减水率为 6.5%,含气量为 4.8%,凝结时间差为初凝+15 min,终凝+45 min,3 d、7 d、28 d 抗压强度比分别为 95%、92%、87%,均符合相关要求。

(6)水:符合要求的饮用水。

2.2 掺量选择

(1)粉煤灰掺量:此次选用 II 级粉煤灰。因低热硅酸盐水泥混凝土的粉煤灰最大掺量与硅酸盐水泥混凝土相同,故选取 25%的掺量作为此次抗磨混凝土配合比掺量^[3]。

(2)HF 混凝土抗冲耐磨剂掺量:本次试验采用的水胶比为 0.35,骨料二级配(比例 50:50),对 HF 混凝土抗冲耐磨剂和 JY-Y 引气剂分别进行了外加剂掺量效应试验;混凝土坍落度按 100~140 mm 控制,含气量为 4.5%~6.5%。HF 混凝土外加剂掺量效应试验成果见表 1。

表 2 HF 混凝土抗冲耐磨试验结果表

序号	水胶比	抗冲磨强度 <i>h</i> /kg·m ⁻²	磨损率 /%
1	0.4	2.9	10.2
2	0.35	4.4	6.6
3	0.3	7.6	3.8

比 0.35,在使用单位用水量的前提下变动砂率,测定混凝土坍落度、强度并观察混凝土拌合物的和易性,从而选出水胶比的最佳砂率。最后,通过试拌找到水胶比与混凝土单位用水量、砂率及抗压强度之间的变化关系。建立了混凝土 28 d 抗压强度与胶水比的关系,并对其进行了线性分析,28 d 常态 HF 混凝土抗压强度与胶水比的关系曲线见图 1,回归方程表明抗压强度与胶水比相关性较好。

最终确定的该项目 HF 高强度抗冲耐磨混凝土配合比见表 3。

3 HF 混凝土施工

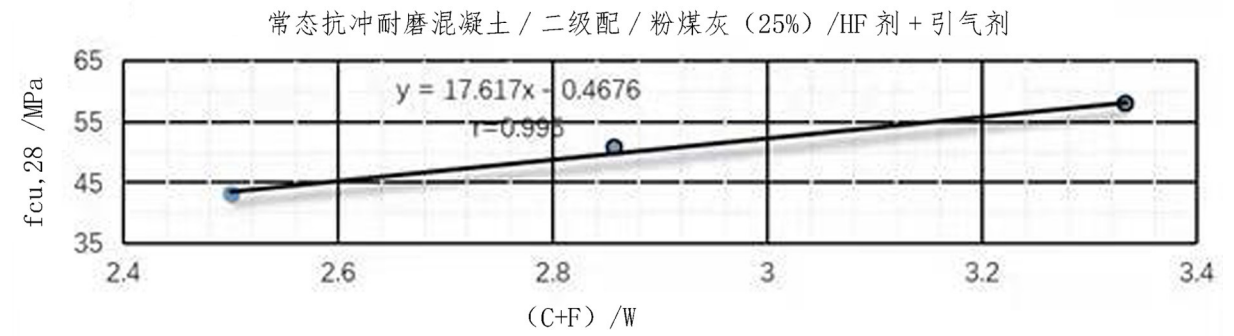


图 1 常态 HF 混凝土 28 d 抗压强度与胶水比关系曲线图

表 3 高速导流放空洞常态 HF C40W6F300 混凝土配合比表

水胶比	砂率 / %	级配	坍落度 / mm	每 m ³ 混凝土原材料用量 / kg									
				水泥	粉煤灰	砂	小石	中石	水	HF 剂		JY-Y 引气剂	
										掺量 / %	用量	掺量 / %	用量
0.36	37	二	100~140	281	94	658	575	575	135	2.7	10.13	0.008	0.03
0.36	39	二	140~180	292	97	684	549	549	140	2.7	10.5	0.008	0.03

3.1 施工工艺流程

该水电站高流速导流放空洞高强耐磨 HF 混凝土的施工工艺流程为:混凝土试验复核→测量放线与验收→钢筋绑扎与台车就位→拌和投料搅拌→运输与混凝土入仓→振捣与抹面→养护→HF 混凝土缺陷修补。

3.2 各环节的注意事项

3.2.1 施工前的试验复核

施工前,对 HF 混凝土配合比进行现场复核试验,试验段为底板及边墙两种试验段。底板试验块厚度为 0.4 m,长、宽各 1 m,无配筋;边墙试验块浇筑高度为 1.2 m,长 2 m,宽 0.4 m,无配筋。底板采用 100~140 mm 坍落度混凝土罐车直接入仓,边墙采用 140~180 mm 坍落度混凝土泵车泵送入仓。

试验取得的主要结论:设计得到的 HF 混凝土配合比能满足现场施工时对混凝土和易性的要求。黏聚性优良,无骨料离析现象。混凝土入仓后,采用立即振捣和静置 20~30 min 后振捣两种方法,两种方法对混凝土收面的影响均不大。混凝土振捣后,混凝土收面时较为容易,与普通混凝土收面差别不大。混凝土拆模后,边墙表面有少许气泡,且气泡多集中在边墙顶部,需注意加强振捣^[5]。

3.2.2 测量放线与验收

(1)测量放线。在对仓号基础进行清洁后再

进行测量放线,放出关键控制点并作好醒目标志。

(2)仓号验收。混凝土浇筑前,确保仓号干净整洁,无浮土、杂物、积水等。

3.2.3 钢筋绑扎与台车就位

(1)安装钢筋。安装钢筋前,应以测量放点确定安装位置,严格按施工图纸和相关规范要求进行安装。

(2)台车就位。钢模台车在出口涵洞段底板上安装完成后行走至衬砌工作面。

3.2.4 HF 混凝土的投料顺序及搅拌要求。

拌和时的投料顺序为:粒径 5~20 mm 的小石、砂、水泥、粉煤灰、HF 外加剂、引气剂;粒径 20~40 mm 的中石。HF 混凝土的干料全部按顺序投入到拌和机内,先进行干料搅拌,搅拌均匀后加水搅拌,总拌和时间不少于 180 s。

3.2.5 运输与混凝土入仓

(1)衬砌混凝土采用 8 m³ 混凝土搅拌车运输,衬砌混凝土的垂直运输采用泵车入仓。入仓方式采用多点卸料,人工摊铺。

(2)混凝土入仓前,应优先摊铺富浆混凝土于仓底,再分层下料,采用人工平仓、振捣。底板混凝土浇筑时,对靠近模板处要振捣密实,以防止出现气泡、麻面等。

(3)混凝土浇筑应对称均匀下料,浇筑开始时选择对称窗口泵送混凝土料,将下料高度控制在 2 m。

3.2.6 振捣与抹面

(1)振捣。振捣的持续时间以混凝土表面浮浆无气泡排出和不再下沉为佳。

(2)混凝土抹面。HF 混凝土在振捣完成后先用木抹子进行混凝土的毛面抹平,必须保证一次抹面成功,才能保证混凝土不产生裂缝。

3.2.7 脱模

钢模台车在浇完顶拱后 8~12 h、同条件养护混凝土试块强度满足要求后脱模,且应分段进行混凝土脱模。

3.2.8 养护

(1)HF 混凝土终凝后,对混凝土表面采用塑料薄膜覆盖,或用不沥水草口袋覆盖混凝土表面,并开始洒水养护混凝土,养护时间不少于 28 d。

(2)洒水时间。HF 混凝土的养护喷水间隔应以能保证混凝土表面湿润为优。当环境温度较高时,宜增加养护次数,以避免混凝土表面温度太高而出现裂缝。

3.2.9 HF 混凝土缺陷修补

(1)混凝土浇筑完成后,经过拆模、台车移位后对成型混凝土进行检查。对检查后发现的质量缺陷,如混凝土出现蜂窝、孔洞、错台、麻面等大于 5 mm 的缺陷,经人工用砂轮打磨后采用环氧砂浆进行补强处理。

(2)对混凝土表面的轻微麻面、气泡等小于 5

mm 的缺陷,采用环氧胶泥进行缺陷处理。对于宽度大于 2 mm 的混凝土裂缝,采用化学灌浆的方式进行处理。经过处理后的混凝土其表面不平整度应满足相关设计要求。

4 结 语

该水电站导流放空洞抗冲耐磨混凝土设计方量为 5 640 m³,全部采用 HF 抗冲耐磨混凝土进行施工,不仅保证了工程质量,而且在一定程度上缩短了工期,取得了良好的经济及社会效益,值得在今后类似项目推广使用。

参考文献:

[1] 支拴喜,支晓妮,江文静. HF 混凝土的性能和机理的试验研究及其工程应用[J]. 水力发电学报, 2008,26(3):60—64.
[2] 水工建筑物抗冲磨防空蚀混凝土技术规范,DL/T 5207—2005[S].
[3] 水工混凝土掺用粉煤灰技术规范,DL/T 5055—2007[S].
[4] 水工混凝土施工规范,DL/T 5144—2015[S].
[5] 王波,邵芳. HF 混凝土在古瓦水电站导流洞施工中的应用[J]. 四川水力发电,2019,38(4):36—39.

作者简介:

雷维岳(1983-),男,河南洛阳人,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工
范春艳(1976-),女,湖北洪湖人,工程师,从事水利水电工程施工技术与试验检测管理工作;
丁俊(1972-),女,四川自贡人,工程师,从事水利水电工程施工技术与试验检测管理工作。

(责任编辑:李燕辉)

(上接第 48 页)

注浆能够增强其与围岩的密贴程度、提高围岩的承载力和自稳力、能够在一定程度上控制隧道初期支护结构的沉降和变形。

3 结 语

在施工过程中,工程技术人员一直试图寻找到超前预处理过程中的工期要求和处理效果、处理效果和造价投入的平衡点,但隧道内的围岩随时在变化,需要施工方不断总结经验、做出正确的决策,才能最大限度地接近平衡点。

他白依隧道通过合理、适宜地注浆设计、引进专业化的注浆队伍、采用先进的注浆设备和材料,对一系列注浆施工方法进行改进创新,实现了钻孔注浆的快速施工,为隧道的快速掘进创造了条件,最大限度地接近了工期要求和处理效果、处理

效果和造价投入的平衡点,所取得的成果已得到参建各方的认可。

参考文献:

[1] 丁燕方. 他白依隧道突泥涌水处置方案分析[J]. 四川水力发电,2020,39(增 1):64—67.
[2] 张华清. 超前管棚注浆加固技术在斜井穿过中厚流砂层施工中的应用[J]. 建井技术,2013,34(3):5-6.
[3] 崔玖江. 隧道与地下工程修建技术[M]. 北京:科学出版社,2005.
[4] 霍金岗、霍文财. 超前小导管隧道施工[J]. 中国新技术新产品,2011,19(20):26.
[5] 公路隧道设计规范,JTG D70—2014[S].

作者简介:

祁海生(1985-),男,甘肃渭源人,工程师,从事道路施工技术与管理工
刘科(1981-),男,湖南安乡人,工程师,从事建筑工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)