

HF 混凝土在古瓦水电站导流洞施工中的应用

王 波，邵 芳，王 玲

(中国水利水电第十工程局有限公司,四川 都江堰 611830)

摘 要: HF 混凝土具有抗冲刷、耐磨性能好的特点,适用于导流放空洞底板与边墙混凝土具有抵抗高速水流破坏要求的抗冲刷耐磨护面。古瓦水电站导流放空洞在抗冲刷耐磨混凝土施工中不断优化混凝土配合比,经过骨料级配及坍落度调整,不仅降低了混凝土造价,而且避免了裂缝的产生,取得了较好的效果,具有一定的借鉴意义。

关键词: HF 混凝土;导流放空洞;高流速;抗冲刷耐磨;古瓦水电站

中图分类号: TV7;TV52;TV554 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-2184(2019)04-0036-04

Application of HF Concrete in Diversion Tunnel Construction of Guwa Hydropower Station

WANG Bo, SHAO Fang, WANG Ling

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

Abstract: HF concrete has the characteristics of good erosion resistance and wear resistance which are suitable for the protective surface where bottom slab and side wall concrete of diversion tunnel need with the requirements to resist high-speed flow damage. The diversion tunnel of Guwa Hydropower Station optimizes the mix proportion of concrete continuously for erosion resistance and wear resistance concrete construction. After the adjustment for aggregate gradation and slump, it not only reduces the cost of concrete, but also avoids the occurrence of cracks, and achieves good results, which has certain reference significance.

Key words: HF concrete; diversion tunnel; high-speed flow; erosion resistance and wear resistance; Guwa Hydropower Station

1 概 述

古瓦水电站首部枢导流放空洞全长 894.24 m,流速为 32 m/s。其中圆形断面洞段长 425 m,圆形开挖半径为 4.15~4.35 m,衬砌厚度为 50 cm、60 cm 两种,布置双层钢筋,衬后半径为 3.6 m;0+000~0+010 为方变圆,0+010~0+098 为圆型段,0+098~0+108 为检修竖井前渐变段,0+108~0+121.25 为检修闸门竖井段,0+121.25~0+131.25 为检修闸门竖井后渐变段,0+131.25~0+425 为圆形段;0+175.65~0+266.65(91 m)为弯段,转弯半径 $R=100\text{ m}$,0+425~0+435 为渐变段,由圆变城门洞型,衬砌厚度为 60 cm,布置双层钢筋。0+457~0+894.24 (437.24 m)为城门洞型段,衬砌厚度为 50 cm、60 cm,布置双层钢筋,衬砌后净空尺寸为 5.5 m×6.5 m(宽×高)。

根据招标文件要求,导流放空洞的混凝土为

抗冲刷耐磨混凝土,其混凝土骨料级配为二级配,设计强度等级为 C40,坍落度为 12~16 cm,抗冲刷耐磨指标为 $1\text{ h/kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 。在施工过程中,项目部根据古瓦水电站现场实际情况,为加快施工进度,将原设计方案中的硅粉抗冲刷耐磨混凝土改为施工更为方便的 HF 抗冲刷耐磨混凝土。HF 高强耐磨粉煤灰混凝土具有水泥用量低、抗冲刷耐磨性能好的特点,适用于抵抗高速水流破坏的抗冲刷耐磨护面。古瓦水电站导流放空洞为高流速隧洞,隧洞边顶拱与底板混凝土有抗冲刷耐磨要求,故对导流放空洞混凝土采用了 60 cm 厚的 HF 抗冲刷耐磨混凝土。

2 抗冲刷耐磨混凝土原材料

2.1 水 泥

水泥采用普通硅酸盐低碱 P.O.42.5 水泥,其物理力学性能见表 1。从检测结果看,其各项性能均符合规范和设计要求^[1]。

2.2 砂石骨料

收稿日期:2019-06-10

表 1 水泥性能检测表

标准稠度 /%	细度 /%	安定性	凝结时间 /min		抗折强度 /MPa		抗压强度 /MPa	
			初凝	终凝	3 d	28 d	3 d	28 d
27.6	1.2	合格	108	262	5.1	9.4	24.5	51.2

细骨料选用产自拉玛隆砂石料场的中粗砂,其含泥量为 2.5%(标准值为≤3%),细度模数为 3.15,石粉含量为 10.3%,泵送混凝土粗骨料级配为:中石:小石=50:50。^[2]选用中粗砂比采用细砂拌制的混凝土用水量减少,从而减少了水泥用量,使水泥水化热减少,降低了混凝土温升,减少了混凝土收缩。

碎石选用拉玛隆砂石料场的碎石,其含泥量为 0.5%(标准值为≤1%),针片状颗粒含量为 2%(标准值为≤15%),针片状颗粒较少且级配良好,能够改善混凝土拌和物的和易性,减少用水量和水泥用量,进而降低了混凝土温升。拌和用水采用工地生活用水。

2.3 粉煤灰

为改善混凝土的施工性能和耐久性,选用掺加Ⅰ级粉煤灰。掺入一定量的粉煤灰对降低水化热、改善混凝土和易性有利,粉煤灰在混凝土中的掺量为 22%^[3,4]。

2.4 高效减水剂

外加剂选用四川吉龙化学建材有限公司生产

的 XL-BN 缓凝高效减水剂,减水剂能够有效改善混凝土和易性,减少拌和用水,降低水泥水化热,同时对混凝土收缩有补偿作用。

2.5 HF 外加剂

在混凝土中掺入适量的 HF 外加剂能够改善混凝土拌和物及其硬化后的性能,提高混凝土的抗冲耐磨性。古瓦水电站导流放空洞所用的 HF 粉由甘肃省电力技术有限公司生产。通过现场试验检测得知:HF 外加剂和该工程所用的水泥有较好的相容性,可用于导流放空洞混凝土施工。HF 外加剂最佳掺量的选择采用厂家推荐的最佳掺量并通过现场试验后确定,二级配泵送混凝土 HF 外加剂掺量为 2.5%,三级配底板混凝土 HF 外加剂掺量为 2%。

2.6 施工配合比

施工前对 HF 混凝土进行了现场复核试验,底板试验块浇筑厚度为 0.8 m,边墙试验块浇筑高度为 2 m,厚 0.5 m。浇筑试验均未布置钢筋,试验配合比见表 2。

试验得到的主要结论:①HF 混凝土和易性

表 2 HF 抗冲耐磨混凝土施工配合比表

技术要求	级配	坍落度 /cm	水胶比	砂率 /%	每 m ³ 混凝土材料用量 /kg							
					水	水泥	粉煤灰	砂子	小石	中石	HF	水泥标号
C40HF	二	12~16	0.35	37	159	354	100	606	423	634	9.09	42.5

较好,在入仓过程中混凝土粘结性较好,没有出现骨料分离现象;②混凝土入仓后,采取静置 30~40 min 后振捣和入仓后立即振捣两种方法进行试验,振捣后混凝土表面有少量的泌水,静置一段时间后再进行混凝土收面;③ HF 混凝土收面较容易,与普通混凝土收面差别不大;④混凝土拆模后边墙表面有少量气泡且气泡多集中在边墙顶部,需要注意加强振捣,拆模后的混凝土没有发现裂缝。

3 HF 混凝土施工

3.1 测量放线

基础清理干净后进行测量放线,放出模板、钢筋等的控制点并作好明显的标识;对于钢筋密集

和钢筋复杂部位,在安装钢筋之前,测量人员在架立筋上打出各层钢筋的高程,以便控制钢筋绑扎及立模高程,在最终验收前进行最后一次检查。

3.2 清仓验收

混凝土浇筑前,因地制宜采取堵、排措施,确保混凝土在旱地施工;对无法排出仓外的混凝土泌水可以在混凝土浇筑过程中边浇筑、边及时排出。

混凝土开仓前,对隐蔽工程的岩面及仓面进行验收。由作业班组自检,作业队二检,项目部质检人员进行三检,并按照监理工程师批准的有关表格内容(基础、模板、钢筋)如实填写,然后会同监理工程师进行终检验收,合格后下发开仓证。

3.3 钢筋的加工与绑扎

钢筋加工分两个地方布置,城门洞型的钢筋布置于导流洞出口下游台地,圆型洞段的钢筋布置于拌和楼附近;钢筋由现场技术员严格按照设计图纸下料,加工前对部分锈蚀的钢筋用钢刷除锈,确保用于施工的钢筋不带锈;钢筋加工采用钢筋切割机、断筋机和钢筋弯曲机;钢筋加工完并经检查验收合格后根据其使用部位的不同分别编号、分类并挂牌堆置在仓库(棚)内。

3.4 钢筋绑扎要求

钢筋安装前,先进行测量放点以控制高程和安装位置,钢筋的安装采用人工架设。钢筋安装的位置、间距、保护层及各部分钢筋的大小尺寸严格按施工图纸进行;钢筋绑扎遵循“先外后内,先曲后直,先竖后横,先主后分布,由下而上,层层叠加(指体形转角部位)”的原则。绑扎钢筋时应注意错开接头。

为保证保护层的厚度,在非过流面部位钢筋和模板之间设置强度不低于设计强度、预埋有铁丝的混凝土垫块并与钢筋扎紧;过流面部位在钢筋和模板之间安装临时保护层垫块;在混凝土分层铺筑至临时垫块位置时再将垫块取出,以保证保护层的厚度。安装后的钢筋应加固牢靠且在浇筑过程中安排专人看护、经常检查,防止钢筋移位和变形。

3.5 HF 混凝土的搅拌要求

HF(粉)外加剂在施工前按每次拌和需要称重分别装袋备用,将 HF 干粉与水泥或粉煤灰一起加入到混凝土搅拌机中,但应避免直接加入到无料或搅拌机中仅有拌和用水的料仓内。混凝土所用原材料的称量误差应满足《水工混凝土施工规范》的要求。

3.6 投料顺序

HF 混凝土拌和时的投料顺序为:小石、砂子、水泥、粉煤灰(含 HF 外加剂)、中石,干料在拌和机中拌匀后加水搅拌,搅拌时间不少于 180 s。混凝土坍落度在保证混凝土泵顺利输送的工况下尽量采用较小的坍落度值。如需调大坍落度,须由现场试验人员调整配合比的用水量、水泥用量和砂率,使坍落度与和易性满足施工要求,严禁施工现场单纯加水用以改变混凝土坍落度。

3.7 运输和入仓

(1)混凝土运输。混凝土拌和后卸入罐车,由罐车将混凝土运输至浇筑工作面,运输道路应尽量平整,以减少混凝土在运输过程中的颠簸,防止 HF 混凝土产生离析。

(2)混凝土输送方式。对于洞内边墙与顶拱的 HF 混凝土衬砌由 HBT-60/HBT-90 型混凝土泵入仓。混凝土入仓前,在底板处利用作业窗口先均匀摊铺一层富浆混凝土,再分层下混凝土料,下料时由人工平仓、振捣。

(3)混凝土下料要求。城门洞型洞段及全圆洞段边顶拱混凝土浇筑应对称均匀下料,浇筑开始时选择对称的窗口泵送混凝土料,将下料高度控制在 1.5 m。卸料时严禁混凝土入仓直接冲击模板;隧洞顶拱混凝土浇筑时,应在泵管前端安装橡胶布料管,由人工调节出料位置和方向,以保证边墙两侧均匀下料,防止因下料不均匀而产生模板变形,甚至跑模。严禁由拱顶的浇筑口直接浇筑。

(4)封堵送料口。边顶拱混凝土采用退管法或冲天管法封拱,下料点根据实际下料情况均匀布置。混凝土面应均匀水平上升,要求钢模台车前后的混凝土高度差不超过 60 cm,左右混凝土高度差不超过 50 cm。

(5)混凝土浇筑方法。混凝土的浇筑采用平铺法施工,按一定的厚度、次序、方向分层进行。混凝土浇筑的每层厚度为 30~50 cm,对入仓的混凝土应及时平仓振捣,不能堆积。在倾斜面上浇筑混凝土时应从低处开始,浇筑面应尽量保持水平。混凝土振捣采用 $\varphi 50$ 插入式振捣器振捣密实。

(6)HF 混凝土振捣。将 HF 混凝土每层的平仓厚度控制在 30 cm 以内,严禁混凝土料堆积过厚,防止粗、细骨料发生离析。振捣采用插入式振捣器,底板浇筑采用 $\varphi 75 \sim 100$ 振捣棒,隧洞边墙浇筑采用 $\varphi 50$ 振捣棒。振捣时间以混凝土不再显著下沉、不出现气泡混凝土且开始泛浆为准,严格防止振捣过度。使用钢模台车衬砌混凝土时在台车上布置附着式振捣器,以加强对混凝土表面的振捣。

(7)振捣时须注意以下事项:

①每一振点的振捣延续时间应使混凝土表面呈现浮浆无气泡排出、不再下沉;②振捣器的移动间距应不大于振捣器作用半径的 1.5 倍;③振捣器与模板的距离应小于或等于其作用半径的 0.5 倍,并避免碰撞钢筋、模板、预埋件等。振捣器插入下层混凝土内的深度不小于 50 mm。

(8)隧洞底板混凝土收面。隧洞底板混凝土浇筑后的收面采用刮轨及长 3 m 的木刮尺配合平板振捣器人工大致找平,然后采用平板振捣器振捣、用刮尺刮平大面后人工立即用钢抹子收面、压平抹光,保证一次抹面成功。

混凝土终凝后采用塑料薄膜覆盖或用不沥水草袋覆盖混凝土表面,防止混凝土表面的水分蒸发,洒水养护的时间不少于 28 d。洒水的间隔时间以保证混凝土表面湿润为宜,当气温较高时,应增加洒水的次数给混凝土降温。边顶拱混凝土采用刷养护剂或设置水管洒水与喷雾进行养护。

(9)脱模。钢模台车在浇完顶拱 8~12 h 后进行脱模,脱模时应分块进行。先脱边墙模板,再脱顶拱模板,脱模应采用专用工具以减小脱模时对混凝土表面、边角的破坏,注意观察模板各连接处的混凝土缺陷情况,待模板全部脱完后方可移动台车。

(10)施工过程要求。混凝土浇筑应保持连续性,如因故中止且超过试验允许间歇时间时则按施工缝处理,即已浇的混凝土强度达到 1.5~2.5 MPa 后人工凿成毛面,清洗干净、排除积水后才能进行上一层混凝土的浇筑。如果面积不大,采用插入式振捣器振捣 30 s、周围 10 cm 以内的混凝土还能泛浆且不留孔洞时,仍可继续浇筑。

4 混凝土质量缺陷的修补

HF 混凝土浇筑完成后,经拆模、台车移位后对成型混凝土进行了检查,发现了以下质量缺陷:蜂窝、孔洞、错台、麻面等大于 5 mm 的缺陷,针对错台缺陷采用人工用砂轮打磨后用环氧砂浆进行

补强处理;对于混凝土表面的麻面(轻微)、气泡等小于 5 mm 的薄层缺陷采用环氧胶泥进行补强处理;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。处理后的混凝土缺陷其表面平整度应满足高流速隧洞的设计要求,并与周边混凝土面平顺衔接^[5]。

关于 HF 混凝土平整度问题,随着施工人员技术水平的提高、抹面速度的加快、施工工艺的改善,混凝土平整度问题可以得到很好的解决。

5 结 语

鉴于古瓦水电站导流放空洞工程运行期流速大,对 HF 混凝土抗冲耐磨的质量要求高。施工前,通过现场生产性试验掌握了 HF 混凝土施工特点,并在实际施工中优化了施工工艺,严格控制施工质量,强化质量检测。同时,HF 混凝土配合比经过骨料级配及坍落度调整,达到了降低混凝土造价、避免裂缝产生的目的,提高了混凝土的抗冲耐磨性能。

参考文献:

- [1] DL/5207—2005, 水工建筑物抗冲磨防空蚀混凝土技术规范[S].
- [2] 陈春晓,谢凯军,赵建明.HF 高强耐磨混凝土在湖南筱溪水电站中的应用研究[J].水利水电施工, 2008, 27(2): 64—67.
- [3] 侯建民,强桂芬,张丽君.水工建筑物抗气蚀耐磨损材料和工艺探讨[J].内蒙古科技与经济, 2004, 8(7): 62—66.
- [4] 杨春光,王正中,田江水,黄玉祥.抗冲磨混凝土的研究应用和发展[J].中国农村水利水电, 2006, 48(6): 97—99.
- [5] 肖培伟,雷厚斌.瀑布沟工程放空洞 HF 抗冲耐磨混凝土施工技术[J].水力发电, 2010, 36(6): 78—79.

作者简介:

王 波(1978-),男,四川都江堰人,工程师,从事水电工程施工技术与管理工作;

邵 芳(1984-),女,宁夏中宁人,工程师,从事建设工程施工技术与管理工作;

王 玲(1989-),女,黑龙江牡丹江人,助理工程师,从事建设工程经营与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)

水电七局三项群众性创新创效成果获奖

近日,中电建工会通报表彰了 2018 年度中国电建系统群众性创新创效活动优秀成果。经水电七局层层推选的各项群众性创新创效成果脱颖而出,一举斩获一二三等奖。其中由水电七局一分局申报的《综合管廊新型电动开启井盖》成果获得二等奖。水电七局一分局引导职工聚焦生产经营中的难点和关键环节,广泛开展技术攻关、技术革新、发明创造,群众性创新创效工作初见成绩、见团队、见业绩。自 2013 年起,一分局开始申报全国工会群众性经济技术创新成果奖和四川省总工会金点子合理化建议,累计申报 23 项,已获得省部级以上奖项 5 项。

(水电七局一分局 供稿)