

粉煤灰代砂技术的工程应用

于立新 付英杰 林新平 梁春光

(工程总承包事业部)

[摘要] 为解决黄藏寺水利枢纽工程中人工砂产能不足、实际石粉含量波动大影响大坝碾压混凝土供应问题,提出解决技术措施,即充分利用筛分出来的天然砂代替部分人工砂,并提出粉煤灰代砂方案。试验研究表明,采用 40%天然砂代替人工砂及 3%粉煤灰代砂方案,三级配碾压混凝土 C9015F50W4 拌和物和易性良好,满足大坝碾压混凝土施工碾压技术要求。

[关键词] 碾压混凝土(RCC) 粉煤灰代砂 细骨料 产能

1 工程概况

黄藏寺水利枢纽坝址位于黑河上游东西两岔交汇处以下 11 km 的黑河干流上,距青海省祁连县约 19 km,祁连县现有公路与宁~张公路(227 国道)相连,至西宁市距离约 299 km、至张掖市距离约 223 km;该枢纽对外交通条件较为便利。

黄藏寺水库开发任务为:合理调配中下游生态和经济社会用水,提高黑河水资源综合管理能力,兼顾发电等综合利用。

黄藏寺水利枢纽工程由碾压混凝土重力坝及坝后式电站等组成,为满足工程的开发任务,碾压混凝土重力坝坝身布置了放水、泄洪及发电引水建筑物。坝顶高程 2631.00 m,最大坝高 123.0 m,坝顶长度 210.0 m,共分 9 个坝段,从左岸到右岸依次为左岸挡水坝段(1#~3#)、溢流坝段(4#)、泄流底孔和小机组发电引水坝段(5#)、大机组发电引水坝段

(6#)、右岸挡水坝段(7#~9#)。

2 基本配合比和技术要求

黄藏寺工程地处青藏高原东北侧的祁连山系中,海拔在 2500 m 以上,坝址地势高峻,为高寒半干旱气候,冬季漫长、昼夜温差大,多风、蒸发量大,干燥寒冷,全年无霜期为 40~110 d,对碾压混凝土施工十分不利。为此,碾压混凝土配合比试验遵循“三低两高两掺”的技术路线,即低水胶比、低用水量、低 VC 值,高掺粉煤灰和高石粉含量,掺缓凝高效减水剂和引气剂技术路线,保证混凝土抗冻等级达到设计要求。

针对黄藏寺的气候特点,根据不同时段温度气候条件,VC 值采用动态控制,达到有效改善碾压混凝土工作性的目的;同时,在配制碾压混凝土时,控制砂石粉含量 18%~22%,以提高浆砂比。所采用碾压混凝土相应基准配比见表 1。

表 1 碾压混凝土基准配合比

序号	设计指标	级配	混凝土类别	要求 VC 值(s)	水胶比	粉煤灰掺量(%)	砂率	减水剂(%)	引气剂(/万)
1	C ₉₀ 15w4F50	三	碾压	0~5	0.57	60	33	1.0	15.0
2	C ₉₀ 20w8F300	二	碾压	0~5	0.45	50	36	1.0	16.0

3 现场施工存在的问题

在黄藏寺大坝浇筑过程中,根据 2019 年 7 月以来进行的碾压混凝土配合比设计使用的细骨料要求,为了提高混凝土质量,增加碾压混凝土的可碾性,经技术经济分析,将碾压混凝土细骨料由最初的

天然砂:人工砂=2:1 改为 100%人工砂。碾压混凝土采用的细骨料改掺部分天然砂为全部采用人工砂。但受林地征迁影响、人工砂成品料仓受到限制、冬季骨料生产时间短及人工砂堆存场地改造等因素影响,冬季人工砂备料库存严重不足。本年度对混凝土生产系统产能进行了提升改造施工,系统实际

作者简介:于立新(1966—),山东省栖霞人,教授级高工,从事水利水电工程结构设计及项目管理工作。

生产能力达到 240 m³/h 生产水平。人工砂加工系统生产能力仅为 1000 m³/d,且由于检修、维护、管理诸多因素的影响,每天有效生产时间难以保证,与混凝土生产系统生产能力不匹配。

为按计划完成年度混凝土浇筑任务,需采取临时技术措施解决人工砂产能与混凝土生产系统产能不匹配导致碾压混凝土供应影响大坝碾压混凝土浇筑施工进度问题,重点是三级配碾压混凝土的细骨料供应问题。

4 具体技术措施

4.1 实施方案

本工程 1#天然砂石料场天然砂占比达 32.3%,具体级配统计见表 2。为解决人工砂产能不足、实际石粉含量波动大问题,考虑充分利用多余的天然砂代替部分人工砂,并提出粉煤灰代砂方案。

水工混凝土施工规范对于粉煤灰代细骨料用以改善和易性的品质没有做任何限制,但现有的工程

都已证明了其可行性。向家坝水电站二期为补偿混凝土浆砂比,朱昌河水库大坝枢纽工程未解决人工砂石粉含量不足问题都在原配合比的基础上提出了粉煤灰代砂方案。同时技术上也是可行的,从颗粒组成来看,粉煤灰代砂后作为一种可激发的活性骨料,常温下和蒸养条件下都可以与水泥水化后析出的氢氧化钙反应生成水硬性胶凝物质,可以大大提高混凝土的强度,可以调整混合料的级配,改善混凝土的密实性,提高混凝土的耐久性。

与此同时在经济上能够减少外购人工砂的成本,并充分利用施工现场囤积的不能被使用的天然砂。

因此决定在此工程中采取粉煤灰代砂技术措施,所用天然砂和人工砂均为大坝上游河道的天然骨料或加工的人工砂,细骨料岩性没有改变。但人工砂+河砂后其石粉含量应满足《水工碾压混凝土施工规范》(DL/T5112-2009)的要求,即不低于 12%。

表 2 1#天然砂石料场砂砾石级配统计表

类别	粒 径						可用粒径 总量%
	蛮石 >150	极粗砾 150-80	粗砾 80-40	中砾 40-20	细砾 20-5	砂 <5	
	累计含量(%)						
浅井	13.71	29.95	50.22	63.91	77.31	100	65.62
深井	18.86	38.82	54.02	65.5	80.24	100	
平均	16.29	34.39	52.12	64.71	78.78	100	
分计	16.29	18.10	17.74	12.59	14.07	21.23	
可用粒径各级占比%			27.0	19.2	21.4	32.3	

4.2 试验验证

根据国内外工程经验,从碾压混凝土的抗分离性和均匀性综合考虑,碾压混凝土粗骨料采用级配为:二级配,小石:中石=45:55;三级配,小石:中石:大石=30:40:30。二级配混凝土含气量按 5.0%~6.0%控制,三级配控制湿筛混凝土含气量 3.5%~5.0%,配合比所使用的水泥采用中热 P. MH42.5,要求抗压强度控制在 47.5±2.5 MPa,比表面积≤320 m²/kg,其熟料中 MgO

含量控制在 3.0%~5.0%,碱含量≤0.6%;粉煤灰采用Ⅰ级灰,其细度、需水量比、烧失量、三氧化硫等指标应满足 F 类Ⅰ级灰要求;外加剂采用萘系缓凝高效减水剂,其减水率不小于 18%。

具体方案为:利用工地加工的人工砂,在保证浆砂比 PV 值不低于 0.42 条件下,同时 3%的细骨料采用粉煤灰代替,以保证碾压混凝土可碾性,达到有效提高碾压混凝土全面泛浆效果的目的。具体参数见表 3。

表 3 三级配碾压混凝土粉煤灰代砂试验配合比参数

试验编号	级配	设计指标	配合比参数					
			水胶比	粉煤灰 (%)	砂率 (%)	粉煤灰代砂 (%)	用水量 (kg/m ³)	减水剂 (%)
F1	三	C ₉₀ 15w4F50	0.57	60	32	3	85	0.8

4.3 试验结果分析

掺 40%天然砂与人工砂混合后的细骨料细度

模数分别为 2.62,骨料级配在Ⅱ区范围内,属中砂,石粉含量为 15.3%。具体见表 4,图 1。

表 4 掺 40%天然砂后细骨料颗粒级配

粒径(mm)	10.0	5.0	2.5	1.25	0.63	0.315	0.16	0.08
过筛(%)	100.0	99.2	83.6	65.5	45.2	26.8	15.	7.1
累计筛余(%)	0.0	0.8	16.4	34.5	54.8	73.2	84.7	92.9

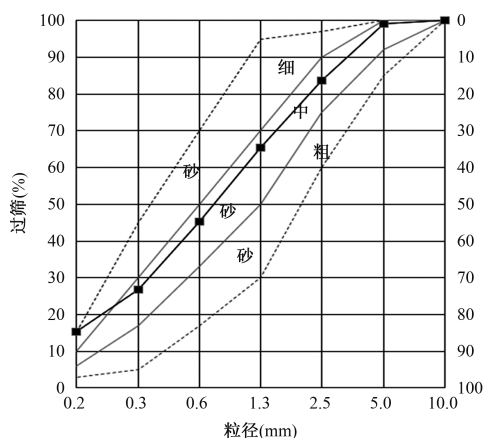


图1 掺40%天然砂细骨料颗粒级配曲线图

具体试拌结果见表5-7,通过试拌分析,采用40%天然砂代替人工砂及3%粉煤灰代砂方案,三级

配碾压混凝土 C9015F50W4 拌和物和易性良好,满足现场施工碾压要求。采用此方案生产每方混凝土少用人工砂约 275 kg,同时增加粉煤灰约 21 kg,成本略有增加。同时,将碾压混凝土日可生产能力从 $1000\text{ m}^3/(706/1.5)=2125\text{ m}^3$ 提高到 $1000\text{ m}^3/(409/1.5)=3667\text{ m}^3$,大大提高了碾压混凝土日可浇筑能力,此方案切实可行,能够降低了人工砂的使用需求用量,可解决短期内人工砂不足的问题,避免大坝混凝土浇筑中断,解决了大坝连续施工的难题。

生产碾压混凝土,细骨料无论是采用 100% 人工砂,或采用人工砂+河砂及粉煤灰代砂,两种措施在技术上均可行,在水利工程上已有应用。至于采用哪种措施,取决于经济分析以及施工环境条件。有时即便不经济,也可作为应急措施。

表5 碾压混凝土粉煤灰代砂拌和物试验及抗压强度结果

试验 编号	拌合物性能				抗压强度 (MPa)		劈裂抗拉强度 (MPa)
	VC 值(s)		含气量 (%)	拌合物性能情况描述	28 d	90 d	90 d
	出机	1 h					
F1	0.2	3.8	4.0	液化泛浆好,骨料包裹好,试件表面较密实、光滑,无析水现象	14.2	22.7	1.89

表6 碾压混凝土粉煤灰代砂拌和物抗冻性能试验结果

试验编号	含气量 (%)	N 次相对动弹性模量 (%) / 质量损失率 (%)		实测抗冻等级
		25 次	50 次	
F1	4.0	93.02/0.13	90.35/0.24	>F50

表7 碾压混凝土粉煤灰代砂拌和物抗渗性能试验结果

试验编号	龄期	设计等级	试验水压 (MPa)	渗水情况	实测抗渗等级
F1	90d	W4	0.6	所有试件表面均无渗水	>W4

5 结语与反思

黄藏寺大坝主体工程,三级配碾压混凝土用量大,采用人工砂+河砂及粉煤灰代砂技术措施降低了人工砂的使用需求用量,解决了黄藏寺大坝的人工砂不足问题,保证了主体工程的施工进度,顺利完成了工程的年度目标。并得出以下结论:

(1)粉煤灰代砂碾压混凝土配合比在工程的实际应用过程中,拌和物出机口各项性能均满足规程规范、设计要求,混凝土表面泛浆效果良好,可以保证碾压混凝土可碾性及层间粘结强度。早期强度没有减弱,后期强度有所增长,砼的抗冻性、抗渗性、耐钢筋腐蚀性等性能也可大大改善,说明技术上切实可行。

(2)粉煤灰代砂节省细集料生产费用,成本有所增加,但解决了项目上人工砂短缺的问题,提高了

混凝土的密实性,有利于发挥火山灰效应,提高混凝土强度。工区天然河砂较多,可充分做到就地取材,变废为宝,能发挥其更大的技术经济效果。

(3)在人工砂供应不是太紧张的情况下,宜降低或不掺天然砂,以提高经济效益。由于人工砂石粉含量波动大,粉煤灰砂代率需根据掺配后的细骨料石粉含量以及施工现场碾压混凝土可碾性进行选择。

(4)在方案实施过程中,应保证粉煤灰的质量,要加强材质检验对砂料石粉含量情况要勤检测,每仓开仓前进行施工配比调整时,必须依据现场砂料实测石粉含量情况合理计算确定粉煤灰的基准掺量。

(5)粉煤灰代砂技术符合国家大量用粉煤灰的政策,是一条节省自然资源,大量利用粉煤灰的新途径,绿色环保施工的新手段。