

抑制碱活性与混凝土配合比优化相结合的思路分析

王雷, 娄鑫

(中国水利水电第七工程局有限公司, 四川成都 610213)

摘要:固增水电站 EPC 工程项目骨料场位于距固增乡 3 km 附近的莫冲村, 骨料场的砂岩全部存在碱活性问题, 若不加以处理, 在未来的 5~20 a 内, 已施工的混凝土极可能出现不同程度的膨胀裂缝而产生巨大的安全隐患。为解决这一问题, 通常采用高掺粉煤灰的传统技术, 但高掺粉煤灰会导致混凝土早期强度低或成本增加较多, 因此, 解决骨料碱活性问题成为该工程成败的关键。阐述了将混凝土中的粉煤灰掺量提高到 30%, 变更混凝土龄期从 28 d 到 90 d, 不但解决了混凝土的碱骨料反应膨胀问题、提高了混凝土的早期强度, 还降低了混凝土的水化热和配料成本。

关键词:骨料碱活性; 潜在碱活性; 90 d 龄期强度; 高掺粉煤灰; 固增水电站

中图分类号: TV7; TV41; TV43; TV544

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(2021)06-0020-04

Analysis on the Idea of Combining Inhibition of Alkali Activity and Optimization of Concrete Mix Design

WANG Lei, LOU Xin

(Sinohydro Bureau 7 Co., LTD, Chengdu, Sichuan, 611730)

Abstract: Aggregate yard of Guzeng Hydropower Project is located at Mochong village which is 3 km away from Guzeng Township. Sandstone in the aggregate yard is with alkali activity, if not being treated, in the coming 5—20 years, the concrete will probably have expansion cracks of varying degrees, which will cause huge safety hazards. The traditional way of solving this problem is to increase the content of fly ash, however, high fly ash content will lead to low early strength or increase the cost of concrete. Therefore, solving the problem of aggregate alkali activity without increasing the cost of concrete is the key to the success of the project. This paper describes the engineering practice of solving the problem of alkali aggregate reaction, improving the early strength of concrete, meanwhile reducing the hydration heat and batching cost of concrete through increasing the content of fly ash to 30% and changing the age of concrete from 28 days to 90 days.

Key words: alkaline reaction aggregate; potential alkaline reaction; age strength of 90 days; high content of fly ash; Guzeng Hydropower Station

1 概述

凉山州木里河固增水电站工程采用引水式开发, 工程主要包括首部枢纽、引水隧洞、调压室、压力管道、厂房及其他建筑物。该项目主体工程混凝土工程量约为 31.79 万 m³, 高峰月强度约为 2.4 万 m³。混凝土设计强度为 28 d 龄期抗压强度。

固增水电站混凝土生产用骨料的料源为洞室开挖洞渣及料场山体爆破的岩石。在骨料加工生产前, 项目部委托成都院及水电七局试验检测研究院对骨料料源的碱骨料潜在危害性进行了试

验。试验结果表明: 固增水电站采用的骨料料源存在潜在碱骨料危害性。试验室按照《水工混凝土砂石骨料试验规程》DL/T5151—2014^[1]中快速砂浆棒法进行的测试结果表明: 28 d 膨胀率为 0.632%, 不满足规范要求的小于 0.2% 的要求。

按照以往经验, 掺加粉煤灰可以抑制碱骨料存在的潜在危害性。但随着粉煤灰掺量提高, 水泥用量减低, 容易引起混凝土早期强度过低, 对拆模时间有影响, 尤其是隧洞衬砌混凝土过长的拆模等待时间会影响到施工进度; 若粉煤灰掺量提高, 水泥用量不降低, 则会引起成本大

收稿日期: 2021-03-16

幅度增加。

因此,如何解决这一问题成为该工程的关键点,亦成为项目管理的关键点。对解决该问题的具体过程进行了详述。

2 试验研究

2.1 试验材料

(1)水泥。本工程选用的水泥为 PO42.5 水泥,PO42.5 水泥物理力学性能检验报告见表 1。

表 1 PO42.5 水泥物理力学性能检验报告表

检测项目	标准及检测结果		检测值
	《通用硅酸盐水泥》 GB175—2007 ^[2] 技术要求		
标准稠度 / %	—		26.8
比表面积 / $\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$	≥ 300		358
安定性 / mm	合格		1.5
密度 / $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	—		3.06
凝结时间 / min	初凝	≥ 45	181
	终凝	≤ 600	243
抗折强度 / MPa	3 d	≥ 3.5	6.8
	28 d	≥ 6.5	7.7
抗压强度 / MPa	3 d	≥ 17	27.3
	28 d	≥ 42.5	47.2
检验结论	该批水泥所检指标符合国家标准《通用硅酸盐水泥》GB175—2007 规定的技术要求		

(2)粉煤灰。本工程选用的粉煤灰为 II 级 F 类粉煤,II 级 F 类粉煤灰品质检验报告见表 2。

表 2 II 级 F 类粉煤灰品质检验报告表

检测项目	标准及检测结果		检测值
	技术要求		
细度 / %	≤ 25		24.8
烧失量 / %	≤ 8		3.78
含水率 / %	≤ 1		0.5
需水量比 / %	≤ 105		103
密度 / $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	/		2.48
三氧化硫 / %	≤ 3		/
安定性	合格		/
游离氧化钙 / %	F 类粉煤灰	≤ 1	/
	C 类粉煤灰	≤ 4	/
检验结论	该批粉煤灰所检指标符合《水工混凝土掺用粉煤灰技术规范》DL/T5055—2007 ^[3] 规定的技术要求		

此类粉煤灰亦被称为“吹灰”或“烧灰”。

与之相对应的是一种被称之为“磨灰”或“磨细灰”的粉煤灰。该类粉煤灰掺入混凝土中并不

能起到传统粉煤灰增加混凝土后期强度、减少部分水泥用量和抑制碱骨料反应的效果,只能起到调节混凝土和易性的作用,因此,在选择粉煤灰时,一定要注意这两类粉煤灰的区别。

(3)减水剂。本工程选用的减水剂为 GK—3000 高性能减水剂,GK—3000 高性能减水剂品质检验报告见表 3。

表 3 GK—3000 高性能减水剂品质检验报告表

检验项目	性能指标	检测值	
减水率 / %	≥ 25	29.4	
含气量 / %	≤ 2.5	1.8	
泌水率比 / %	≤ 60	16.4	
坍落度 1 h 经时变化量 / mm	≤ 80	10	
凝结时间差 / min	初凝	$-90 \sim +120$	+45
	终凝		+70
抗压强度比 / %	1 d	≥ 170	188
	3 d	≥ 160	178
	7 d	≥ 150	163
28 d	≥ 140	151	
	含固量 / %	S>25%时,应控制在 0.95~1.05 S; S≤25%时,应控制在 0.9~1.1 S	
检验结论	该批减水剂所检指标符合《水工混凝土外加剂技术规程》DL/T5100—2014 规定的技术要求		

注:检验依据为《水工混凝土外加剂技术规程》DL/T5100—2014^[4]。减水剂掺量为 1%,水泥品种及强度等级为 P·O42.5。

2.2 试验方法

(1)理论依据。《水工混凝土结构设计规范》DL/T 5057—2009^[5]中的 6.1.5 款规定:在混凝土结构构件设计中,不宜利用混凝土的后期强度,但经过充分论证后,也可根据建筑物的型式、所在地区的气候条件以及开始承受荷载的时间采用 60 d 或 90 d 龄期的抗压强度。

根据此条款内容得知:在特定的条件下,经过充分论证后亦可考虑利用 60 d 或 90 d 龄期的抗压强度。

(2)确定方案。为了解决混凝土骨料的碱活性,需要在混凝土配料时提高粉煤灰的掺量比例。而提高“吹灰”粉煤灰的掺量比例势必会导致混凝土后期强度的提高,若对这部分后期强度不加以利用,实质上是对工程质量的过度投入。加之粉煤灰掺量增大后,还会降低混凝土的水化热,对大坝、厂房结构物大体积混凝土抗裂十分有利。

根据该工程前期混凝土配合比试验总结出以下结论:与“磨灰”相比,使用“吹灰”拌制混凝土

时,在混凝土 28 d 强度一致时,能够减少水泥的掺量,且“吹灰”混凝土早期强度更高。

由于粉煤灰的市场价格一般低于水泥的价格,所以,多掺粉煤灰可以在一定程度上减少水泥的掺量,进而达到节约成本的目的。

综上所述,总承包部决定研究使用高掺“吹灰”粉煤灰,同时推动工程将混凝土 28 d 龄期强度改为 90 d 龄期强度的设计变更,既可解决骨料的碱活性问题,又可以利用抑制碱活性材料(粉煤灰)提高混凝土强度。

2.3 相关试验

(1)抑制碱活性试验。在上述理论基础上进行了不同粉煤灰掺量下的碱骨料抑制试验,所取得的碱骨料抑制试验成果见表 4。

表 4 碱骨料抑制试验成果表

粉煤灰 厂家	粉煤灰 等级	样品 描述	粉煤灰掺量 / %		
			20	25	30
四川喜德 瑞博	II 级 F 类	土黄色	0.358	0.222	0.095

注:依据为《水工混凝土砂石骨料试验规程》DL/T5151-2014。

从碱骨料抑制试验成果表(表 4)可以看出:粉煤灰掺量在 30% 时的抑制效果满足规范要求小于等于 0.1% 的要求。

(2)粉煤灰掺量对照试验。上述试验结果表明:目前固增水电站的粉煤灰掺量不应低于 30%。在该前提条件下,试验室开展了相关试验,所取得的粉煤灰不同掺量砂浆强度试验成果见表 5。

表 5 粉煤灰不同掺量砂浆强度试验成果表

项 目	粉煤灰掺量 / %			
	0	30	35	40
3 d 抗压强度 / MPa	29.2	22.5	21.8	16.7
3 d 活性指数 / %	/	77	75	57
7 d 抗压强度 / MPa	38.8	31.3	30.8	26.4
7 d 活性指数 / %	/	81	79	68
28 d 抗压强度 / MPa	46.4	49.5	48.8	45.7
28 d 活性指数 / %	/	107	99	94
90 d 抗压强度 / MPa	52.4	59.2	60.3	57.9
90 d 活性指数 / %	/	113	115	110

从表 5 中的试验数据可以看出:

①参加粉煤灰的混凝土在 28 d 龄期时,30%、35% 掺量的抗压强度均大于不参加粉煤灰的混凝土抗压强度;

②参加粉煤灰的混凝土在 90 d 龄期时,30%、35% 掺量的抗压强度较不参加粉煤灰的混

凝土抗压强度增长较多;

③当粉煤灰掺量超过 35% 时,混凝土的前期抗压强度出现了明显的下降,且其 90 d 的抗压强度较 30%、35% 粉煤灰掺量的混凝土强度出现了一定程度的下降;

④粉煤灰掺量为 30%、35% 时,其 90 d 的抗压强度是 28 d 抗压强度的 1.2 倍以上,该水胶比时 90 d 抗压强度较 28 d 抗压强度增长了 10 MPa。

从表 5 中的检测数据及结论可以看出:28 d 后混凝土强度会因为粉煤灰的二次反应增长明显。如果将设计龄期从 28 d 更改至 90 d,将会在一定程度上降低后期强度的浪费。

(3)配合比设计。根据设计图纸,对混凝土的设计要求见表 6。

表 6 混凝土设计要表

部位	混凝土 标号	级 配	设计含气 量 / %	限制 水胶比
闸室、进水口等	C ₉₀ 25W4F50	—	4~6	0.55
引水隧洞、调压室 岔管支管外包混凝土	C ₉₀ 25W6F50	二	3.5~5.5	0.58
主厂房下部大体积混凝土、主厂房现浇板梁柱	C ₉₀ 25W4F150	二	3.5~5.5	0.55

注:设计龄期为 90 d,强度保证率为 95%。

经过多次试验优化和调整,最终采用的调整后的混凝土配合比见表 7。

2.4 应用实例

水电工程建设的施工技术发展已有百年历史。在查阅了近 30 a 修建的水电站相关资料发现,在大体积混凝土及结构前期对强度要求不高的工程混凝土施工当中多数采用 90 d 或更长的混凝土设计龄期;对于所参加的粉煤灰,其掺量从 20%~40% 不等。当粉煤灰掺量超过 25% 时,混凝土的设计龄期多为 90 d(90 d 及以上)。90 d 设计龄期混凝土引用实例见表 8。

从应用实例可以看出:目前国内特大型、大型、中型水电站在混凝土浇筑过程中采用 90 d 及其以上的设计龄期较为普遍,且在结构投入运行后运行状态良好。

2.5 可能存在的问题

(1)由于引水隧洞混凝土施工作业循环周期短、混凝土前期抗压强度不能满足设计要求,可能存在安全隐患,因此,对于隧洞衬砌的脱模时间需要经过现场试验确定。

表7 调整后的配合比(参考)表

项目	隧洞混凝土	大坝混凝土	
强度等级	C ₉₀ 25W6F50	C ₉₀ 25W4F50	
级配	二		
设计坍落度/mm	140~160		
设计含气量/%	3.5~5.5		
配合比 参数	水胶比	0.48	0.48
	用水量 /kg·m ⁻³	138	137
	砂率/%	42	42
	湿容重 /kg·m ⁻³	2 420	2 420
	粉煤灰掺量/%	30	35
	粗骨料比例 (小石:中石)	60:40:00	60:40:00
	减水剂掺量/%	0.9	0.9
	引气剂掺量/‰	0.3	0.3
	水	138	137
	水泥	201	186
每 m ³ 材料 用量 /kg·m ⁻³	粉煤灰	86	100
	砂	838	839
	小石	694	695
	中石	463	463
	减水剂	2.583	2.574
引气剂	0.008 6	0.008 6	

表8 90 d 设计龄期混凝土引用实例表

工程名称	部位	设计标号
白鹤滩水电站 (低热水泥)	大坝工程(拱坝,坝高288 m)	C ₁₈₀ 30W ₉₀ 13F ₉₀ 250
	厂房工程(世界跨度最长)	C ₉₀ 30W10F100
	引水隧洞工程	C ₉₀ 30W10F100
	进水口工程	C ₉₀ 30W10F100
西藏果多水电站 (中热水泥)	大坝工程	C ₉₀ 20W8F300
	厂房工程	C ₉₀ 20W6F300
杨房沟水电站 (中热水泥)	大坝工程	C ₁₈₀ 25W10F300

(2)按照工期要求,2019年5月混凝土需浇筑至高程2 206 m以上,使1号、2号泄洪闸具备过流条件。根据具体的施工情况可能存在在汛期到来之时混凝土浇筑龄期过短给结构安全运行带来隐患。针对该问题,可以采用区别对待的方式:对于等强时间足够的混凝土,可以采用90 d龄期强度混凝土;对于不足等强时间的混凝土,则仍使用28 d龄期强度混凝土。

(3)由于部分厂房工程施工的现浇板梁柱结构对混凝土前期强度及施工工期要求较为严格,不适于采用长龄期混凝土浇筑。鉴于该工程厂房施工采用“先框架后机窝”的施工顺序,故其框架

板梁柱承受设计的外部荷载的时间普遍大于3个月,且厂房发电通水时间滞后首台机蜗壳、风罩混凝土亦超过了30 d,故厂房可以采用90 d设计龄期混凝土。

3 结 语

根据固增水电站混凝土的实际施工情况及配合比试验成果得出了以下结论:

(1)抑制碱骨料反应时,粉煤灰掺量不应低于30%。该掺量对于降低混凝土前期水化热、提高混凝土后期强度有益。因此,最终将设计龄期从28 d更改至90 d是有利的。

(2)将设计龄期从28 d更改至90 d对于其给部分现场混凝土结构运行安全带来的隐患可以通过调整配合比参数、调整施工作业工序、延续采用28 d设计龄期混凝土配合比进行解决与处理。

(3)根据规范内容:在混凝土结构构件设计中,不宜利用混凝土的后期强度。但在经过充分论证后,也可根据建筑物的型式、地区的气候条件以及开始承受荷载的时间采用60 d或90 d龄期的抗压强度。

在规范条文、混凝土配合比强度试验和等强工期分析全方位支撑下,固增水电站工程最终的混凝土设计龄期由28 d更改至90 d。

由于篇幅所限,文中未将上述可能存在的问题的论证过程和详细的配合比设计过程进行详细阐述,因此,新项目在计划借鉴本实例经验时应进行详细的论证,科学规划应用范围,利用理论知识为现场施工提供科学、合理、经济的建议。

经过成本测算得知:固增水电站混凝土配料的最终成本较之前降低了1 500万元,获得了良好的工程效益和经济效益。

参考文献:

- [1] 水工混凝土砂石骨料试验规程,DL/T5151-2014[S].
- [2] 通用硅酸盐水泥,GB175-2007[S].
- [3] 水工混凝土掺用粉煤灰技术规范,DL/T5055-2007[S].
- [4] 水工混凝土外加剂技术规程,DL/T5100-2014[S].
- [5] 水工混凝土结构设计规范,DL/T 5057-2009[S].

作者简介:

王 雷(1987-),男,四川达州人,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;

娄 鑫(1987-),男,河南新乡人,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)