

# Solution to insufficient fine particles of natural sand in concrete mix design for the lower section of Shuikou Dam

Honghong Huang

Sinohydro Bureau 16 Co., Ltd., Fuzhou, Fujian, 350003, China

## Abstract

The Shuikouba Lower Water Level Management and Navigation Improvement Project, a key water conservancy initiative, relies on natural Min River sand for its main concrete construction. However, the sand's insufficient fine particle content caused imbalance in concrete particle gradation, leading to severe bleeding and poor workability. The initial "fly ash substitution" solution, intended to replenish fine particles and suppress aggregate alkali activity, paradoxically worsened poor cohesion and water retention due to excessive fly ash usage, compromising on-site pouring quality. To resolve this, the project optimized critical raw materials while retaining

## Keywords

gravel material; Particle size distribution; Fineness modulus; Workability; Bleeding; mix ratio

# 水口坝下工程混凝土配合比中天然砂细颗粒不足的解决措施

黄虹虹

中国水利水电第十六工程局有限公司, 中国 · 福建 福州 350003

## 摘 要

水口坝下水位治理与通航改善工程为水利重点项目, 主体混凝土施工依赖闽江天然砂, 但该天然砂细颗粒含量不足, 导致混凝土颗粒级配失衡, 出现泌水严重、和易性差等问题。初期尝试的“灰替砂”方案, 虽旨在补充细颗粒并抑制骨料碱活性, 却因粉煤灰用量过高, 反而加剧了混凝土粘聚性、保水性不佳的情况, 影响现场浇筑质量。为解决此问题, 项目在保留原合格水泥与粗骨料的基础上, 针对性优化关键原材料: 更换为性能更优的粉煤灰与低泌水率减水剂, 提升混凝土保水及工作性能; 对细骨料采用机械整形的方式, 补充细颗粒以优化级配。

## 关键词

砂砾料; 颗粒级配; 细度模数; 和易性; 泌水; 配合比

## 1 工程概况

水口坝下水位治理与通航改善工程主要建筑物包括挡水建筑物泄洪消能建筑物和通航建筑物等组成。

本工程主体工程混凝土用砂为中砂, 采自闽江的天然砂, 根据天然砂大量检验结果, 天然砂 0.315mm 以下细颗粒偏少, 据统计, 0.315mm 筛累计筛余量除个别检验批次小于 92% 外, 其余大部分批次均超过 95%, 大于规范要求 70% ~ 92%; 拟通过配合比的调整解决这一问题。

## 2 优化前混凝土原材料品质及存在问题

### 2.1 水泥

采用福建三明南方水泥有限公司生产的“虎球”P.O42.5 水泥, 根据检测结果, 水泥各项技术指标符合要求。

### 2.2 粉煤灰

采用华能 F 类二级粉煤灰, 其主要技术指标检测结果见图表 2。从表可知: 该粉煤灰各技术指标都符合要求, 但烧失量和需水量比稍大, 混凝土的用水量增大, 由于吸附作用, 对外加剂的减水和引气性能有不利的影响。

### 2.3 粗骨料

本工程采用卵石和回轧卵石混合料。粒径分别为 5 mm ~ 20mm, 20mm ~ 40mm, 40 mm ~ 80mm, 其品质符合要求。

### 2.4 细骨料:

细骨料采用福建闽江天然砂, 其颗粒级配见图表 5

从上述检测结果可知: 天然砂潜在碱-硅活性, 同时天然砂颗粒级配不连续, 0.315mm 以上的颗粒含量较多, 0.315mm 累计筛余为 98.3%, 远超 II 区中砂不大于 92% 要求, 甚至超过了 I 区粗砂不大于 95% 要求。小于 0.315mm 以上的颗粒含量仅为 1.7%。故浇筑的混凝土泌水严重。

### 2.5 混凝土外加剂

采用石家庄长安育才碱材有限公司生产的 GK-4A 萘系

【作者简介】黄虹虹 (1993-) 女, 中国福建莆田人, 本科, 工程师, 从事水利水电项目施工研究。

缓凝高效减水剂（粉剂），其主要技术指标检测结果见下列 图表。

图 表 2 “华能” II 级粉煤灰物理力学性能检测结果

检测项目		密度 (g/cm <sup>3</sup> )	细度 (%)	需水量比 (%)	含水量 (%)	烧失量 (%)	SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	活性指数 (%)	
								7d	28d
检测结果		2.22	19.7	102	0.3	3.30	88.41	64	71
GB/T1596-2017	I 级	≤2.60	≤12	≤95	≤1.0		≥70	/	≥70
	II 级	≤2.60	≤30	≤105	≤1.0		≥70	/	≥70
	III 级	≤2.60	≤45	≤115	≤1.0		≥70	/	≥70

图 表 4 天然砂颗粒级配检测结果

筛孔尺寸 公称粒径 (mm)		5.00	2.50	1.25	0.630	0.315	0.160	< 0.160	细度模数 (F · M)
筛余率 (%)		5.6	7.6	22.0	35.0	28.1	1.0	0.7	3.05
累计筛余 (%)		5.6	13.2	35.2	70.2	98.3	99.3	100.0	
DL/T5144-2015 JGJ52-2006	I 区	10 ~ 0	35 ~ 5	65 ~ 35	85 ~ 71	95 ~ 80	100 ~ 90	/	
	II 区	10 ~ 0	25 ~ 0	50 ~ 10	70 ~ 41	92 ~ 70	100 ~ 90		
	III 区	10 ~ 0	15 ~ 0	25 ~ 0	40 ~ 16	85 ~ 55	100 ~ 90		

图 表 5 掺用外加剂（碎石）混凝土物理、力学性能试验成果表

序号	外加剂名称及掺量	减水率 (%)	1h 经时变化量		含气量 (%)	泌水率 比 (%)	凝结时间差 (min)		抗压强度比 (%)			
			含气量 (%)	坍落度 mm			初凝	终凝	1d	3d	7d	28d
1	GK-4A 缓凝高效减水剂 (掺量 0.6%)	22	/	/	2.2	88	663	746	/	/	149	126
2	GK-9A 引气剂 (掺量 0.006 %)	9	0.4	/	4.6	65	7	15	/	/	96	88
DL/T5100-2014	缓凝高效减水剂	≥15	/	/	≤3.0	≤100	≥ + 120	/	≥125	≥125	≥120	
	引气剂	≥6.0	— 1.5~ + 1.5	/	4.5~5.5	≤70	— 90~ + 120	/	≥90	≥90	≥85	

注：基准混凝土用水量 210Kg，凝结时间：初凝为 305min，终凝为 509min，泌水率为 8.77 %。

图 表 6 掺用外加剂（卵石）混凝土物理、力学性能试验成果表

序号	外加剂名称及掺量	减水率 (%)	1h 经时变化量		含气量 (%)	泌水率 比 (%)	凝结时间差 (min)		抗压强度比 (%)			
			含气量 (%)	坍落度 mm			初凝	终凝	1d	3d	7d	28d
1	GK-4A 缓凝高效减水剂 (掺量 0.6%)	19	/	/	2.3	73	579	629	/	/	142	125
2	GK-9A 引气剂 (掺量 0.006 %)	9	0.7	/	4.8	61	8	15	/	/	97	90
DL/T5100-2014	缓凝高效减水剂	≥15	/	/	≤3.0	≤100	≥ + 120	/	≥125	≥125	≥120	
	引气剂	≥6.0	— 1.5~ + 1.5	/	4.5~5.5	≤70	— 90~ + 120	/	≥90	≥90	≥85	

注：基准混凝土用水量 175Kg，凝结时间：初凝为 321in，终凝为 531min，泌水率为 6.74%。

该减水剂各项性能皆符合要求，但泌水率稍大，不同情况下平均泌水率为 7.76%，对混凝土的泌水有一定的影响。

2.6 优化前现场浇筑的混凝土情况

本工程主体工程混凝土用砂为中砂，采自闽江的天然砂，根据天然砂大量检验结果，天然砂颗粒级配不连续，天然砂 0.315mm 以下细颗粒偏少，为解决天然砂细颗粒料缺失的问题，初步确定采取的解决措施为“灰替砂”方案，即补充粉煤灰的用量作为天然砂细颗粒的替代品。一来解决了天然砂细颗粒不足的问题；二来掺加粉煤灰亦可有效抑制骨料碱活性。但为抑制骨料碱活性和补充天然砂细颗粒，增加了粉煤灰掺量，从而导致了混凝土粘聚性、保水性和和易性等施工性能变差，实施过程中混凝土出现的问题包括：局部仓面混凝土泌水现象严重、混凝土结构成型后局部表面出现鱼鳞纹。

3 优化后混凝土原材料选用

优化前的水泥、粗骨料品质符合要求，故继续沿用，仅对粉煤灰、细骨料（天然砂）、减水剂的品种或质量进行优化。

3.1 粉煤灰

采用大唐 F 类二级粉煤灰，其主要指标检测结果见图

图 7 “大唐” II 级粉煤灰物理力学性能检测结果

检测项目		密度 (g/cm <sup>3</sup> )	细度 (%)	需水量比 (%)	含水量 (%)	活性指数 (%)	
						7d	28d
检测结果		2.19	21.8	98	0.2	65	73
GB/T1596-2017	I 级	≤2.6	≤12	≤95	≤1.0	/	≥70
	II 级	≤2.6	≤30	≤105	≤1.0	/	≥70
	III 级	≤2.6	≤45	≤115	≤1.0	/	≥70

表 7、图表 8。

从图表 7 可知，大唐 F 类二级粉煤灰需水量比为 98%。与原粉煤灰相比降低了 4%，按混凝土中粉煤灰掺量 30% 计，则可降低混凝土用水量 3kg/m<sup>3</sup> ~ 4kg/m<sup>3</sup>。同时烧失量较低，仅为 1.28%，由于吸附量降低，可提高减水剂及引气剂性能。

3.2 减水剂

采用 HLC-IX(A) 聚羧酸高性能减水剂（液体），其主要技术技术指标见图表 12

从图表 12 可知，该减水剂的泌水率很小，可有效缓解混凝土浇筑严重泌水情况。

3.3 细骨料

细骨料优化采取两种方式：一种为粉煤灰等体积替代天然砂方案，另一种为对天然砂进行整形。

3.3.1 粉煤灰等体积替代砂方式

细骨料优化前期采用等体积粉煤灰替代天然砂，以增加天然砂的细颗粒含量，其等体积替代天然砂的颗粒级配见下列图表。

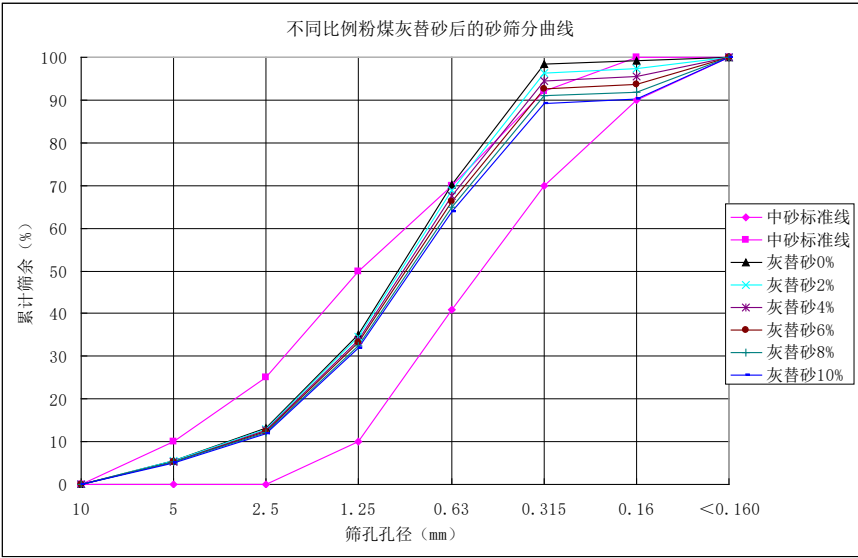
从上述图表可知，当粉煤灰等体积替代 8% 天然砂时，级配曲线落入中砂范围，颗粒级配连续，故采用 8% 粉煤灰等体积替砂方案。

图 12 掺用（卵石）外加剂混凝土物理、力学性能试验成果表

序号	外加剂名称及掺量	减水率 (%)	1h 经时变化量		含气量 (%)	泌水率比 (%)	凝结时间差 (min)		抗压强度比 (%)			
			含气量 (%)	坍落度 mm			初凝	终凝	1d	3d	7d	28d
1	HLC-IX(A) 高性能减水剂（掺量 1.0%）	26	/	20	1.9	41	+23	+29	/	165	183	150
2	HLC-IX(A) 高性能减水剂（掺量 0.7%）	18	/	/	1.8	0	+7	+6	/	132	136	130
3	GK-9A 引气剂（掺量 0.01 %）	7	/	/	4.6	61	-10	-32	/	98	97	93
DL/T5100-2014	缓凝高效减水剂	≥15	/	/	≤3.0	≤100	≥ + 120		/	≥125	≥125	≥120
	高性能减水剂	≥25	/	≤80	≤2.5	≤60	- 90~ + 120		/	≥160	≥150	≥140
	引气剂	≥6.0	- 1.5~ + 1.5	/	4.5~5.5	≤70	- 90~ + 120		/	≥90	≥90	≥85

图表 14 不同比例粉煤灰替砂（体积比）后砂颗粒级配

粉煤灰替砂率(%)	筛孔尺寸 公称粒径(mm)	5.00	2.50	1.25	0.630	0.315	0.160	< 0.160	细度模数 (F · M)
0	筛余率 (%)	5.60	7.60	22.00	35.00	28.10	1.00	0.70	3.05
	累计筛余 (%)	5.60	13.20	35.20	70.20	98.30	99.30	100.00	
1	筛余率 (%)	5.55	7.54	21.81	34.70	27.86	0.99	1.55	3.03
	累计筛余 (%)	5.55	13.09	34.90	69.60	97.46	98.45	100.00	
2	筛余率 (%)	5.50	7.47	21.62	34.40	27.62	0.98	2.40	3.00
	累计筛余 (%)	5.50	12.97	34.60	69.00	96.62	97.60	100.00	
3	筛余率 (%)	5.46	7.40	21.43	34.10	27.38	0.97	3.25	2.97
	累计筛余 (%)	5.46	12.86	34.29	68.39	95.77	96.75	100.00	
4	筛余率 (%)	5.41	7.34	21.24	33.80	27.13	0.97	4.11	2.94
	累计筛余 (%)	5.41	12.75	33.99	67.79	94.92	95.89	100.00	
5	筛余率 (%)	5.36	7.27	21.05	33.49	26.89	0.96	4.97	2.91
	累计筛余 (%)	5.36	12.63	33.69	67.18	94.07	95.03	100.00	
6	筛余率 (%)	5.31	7.21	20.86	33.19	26.65	0.95	5.83	2.89
	累计筛余 (%)	5.31	12.52	33.38	66.57	93.22	94.17	100.00	
7	筛余率 (%)	5.26	7.14	20.67	32.89	26.40	0.94	6.70	2.86
	累计筛余 (%)	5.26	12.40	33.07	65.96	92.36	93.30	100.00	
8	筛余率 (%)	5.21	7.07	20.48	32.58	26.16	0.93	7.56	2.83
	累计筛余 (%)	5.21	12.29	32.77	65.35	91.51	92.44	100.00	
9	筛余率 (%)	5.16	7.01	20.29	32.27	25.91	0.92	8.43	2.80
	累计筛余 (%)	5.16	12.17	32.46	64.73	90.65	91.57	100.00	
10	筛余率 (%)	5.11	6.94	20.09	31.97	25.67	0.91	9.30	2.77
	累计筛余 (%)	5.11	12.06	32.15	64.12	89.78	90.70	100.00	
DL/T5144-2015 JGJ52-2006 累计筛余 (%)		I 区	10 ~ 0	35 ~ 5	65 ~ 35	85 ~ 71	95 ~ 80	100 ~ 90	F · M=2.2-3.0
		II 区	10 ~ 0	25 ~ 0	50 ~ 10	70 ~ 41	92 ~ 70	100 ~ 90	
		III 区	10 ~ 0	15 ~ 0	25 ~ 0	40 ~ 16	85 ~ 55	100 ~ 90	



图表 15 不同比例粉煤灰替砂（体积比）后的筛分曲线

采用该方案浇筑的混凝土无泌水情况，混凝土和易性良好。同时替代 8% 的粉煤灰约相当于水泥用量的 25% ~ 30%，可有效抑制细骨料潜在的碱 - 硅活性。

3.3.2 天然砂整形增粉方式

由于采用粉煤灰等体积替代天然砂所需的粉煤灰费用较高，故后期的细骨料采用天然砂机械整形以增加天然砂中小于

0.315mm 颗粒的含量。整形后的细骨料颗粒级配见下列图表。

从图表 18 可知，整形后的细骨料细颗粒含量符合要求，颗粒级配良好，浇筑的混凝土无泌水现象。

3.4 混凝土原材料优化后现场浇筑的混凝土表观质量

混凝土原材料优化后现场浇筑混凝土表观质量良好。

图表 18 细骨料颗粒级配检测结果

筛孔尺寸 公称粒径 (mm)		5.00	2.50	1.25	0.630	0.315	0.160	< 0.160	细度模数 (F · M)
筛余率 (%)		0.1	4.9	16.5	28.5	35.9	6.6	7.5	2.55
累计筛余 (%)		0.1	5.0	21.5	50.0	85.9	92.5	100	
DL/T5112-2009 JGJ52-2006	I 区	10 ~ 0	35 ~ 5	65 ~ 35	85 ~ 71	95 ~ 80	100 ~ 90	/	
	II 区	10 ~ 0	25 ~ 0	50 ~ 10	70 ~ 41	92 ~ 70	100 ~ 90		
	III 区	10 ~ 0	15 ~ 0	25 ~ 0	40 ~ 16	85 ~ 55	100 ~ 90		

4 结语

在工程的建设过程中，混凝土原材料应尽可能的利用现有资源，保证其经济性，在现有资源不能满足要求的情况下，应合理利用现有施工设备对原材料特性进行调整，并通过科学的试验，解决生产过程中问题，本文通过对水口坝下工程中配合比优化的工程实例，为我们今后解决类似问题提供了良好的借鉴。

参考文献

[1] 王玉乾，Serina Ng，刘磊，Mirko Cruber，王进春.不同机制砂对混凝土工作性能的影响及改善措施[J].科技风，2022（20）：76-78+124

[2] 谭小军，乔小龙，何升泽.江习高速公路混凝土配合比优化设计[J].四川水力发电，2021，40（S1）：10-13+34

[3] 杨胜飞.混合砂混凝土配合比优化设计[J].当代化工研究，2024（02）：171-173