

基于对混凝土配合比设计与试验成果的研究

Research on Concrete Mix Design and Experimental Results

戴东

Dong Dai

中国葛洲坝集团第二工程有限公司 中国·湖北宜昌 443002

China Gezhouba Group No.2 Engineering Co., Ltd., Yichang, Hubei, 443002, China

摘要: 受中国葛洲坝集团股份有限公司亭子口灌区一期工程EPC第IV标项目部委托(委托编号: WT2023001), 湖北省宜昌市鼎诚工程技术服务有限公司亭子口灌区一期工程EPC第IV标工地试验室依据委托方提供的技术要求及有关规程规范, 对亭子口灌区一期工程EPC第IV标所用C15/C20/C25/C30常态混凝土配合比进行了室内设计与试验。现根据28d试验成果, 提供最终成果报告如下。

Abstract: Entrusted by the Project Department of Lot IV EPC of Tingzikou Irrigation Area Phase I Project of China Gezhouba Group No.2 Engineering Co., Ltd. (Entrustment number: WT2023001), the construction site laboratory of Lot IV EPC of Tingzikou Irrigation Area Phase I Project of Yichang Dingcheng Engineering Technical Services Co., Ltd., in accordance with the technical requirements and relevant regulations provided by the entrusting party, Indoor design and testing were conducted on the C15/C20/C25/C30 normal concrete mix ratio used in the EPC Section IV of the Tingzikou Irrigation Area Phase I Project. Based on the results of the 28d experiment, the final result report is provided as follows.

关键词: 混凝土配合比; 设计与实验; 缓凝型高性能减水剂

Keyword: concrete mix proportion; design and experimentation; delayed setting high-performance water reducing agent

DOI: 10.12346/etr.v6i3.9223

1 混凝土设计强度等级及技术指标要求

混凝土配合比设计和试验依据工程设计文件, 施工图纸及国家现行规程、规范进行, 混凝土强度等级及技术指标归纳分类见表1。

2 混凝土原材料选择与试验

2.1 水泥

水泥采用广安昌兴台泥水泥。水泥检测成果见表2。

检测成果表明: 所检项目满足GB 175—2007/XG3—

表1 混凝土强度等级及技术指标表

序号	砂浆强度等级	施工部位	级配	坍落度(mm)	水泥品种标号
1	C15	1. 渣场截排水沟 2. 挡土墙 3. 沉砂池	二级配	70~90	P.O42.5
2	C20	1. 管理公路截排水沟 2. 路面	二级配	70~90	P.O42.5
3	C25	1. 管理公路标志牌基础 2. 波形护栏基础 3. 管节、帽石、管涵基础	二级配	70~90	P.O42.5
4	C30	1. 管理公路管节、帽石、管涵基础	二级配	70~90	P.O42.5

【作者简介】戴东(1969-), 男, 中国江苏仪征人, 本科, 工程师, 从事工程混凝土研究。

2018《通用硅酸盐水泥》标准中 P.O42.5 级水泥技术要求。

成果见表 6。

2.2 砂

砂采用渠县生产的人工砂。颗粒级配检测成果见表 3，砂的品质检测结果见表 4。

检测结果表明：碎石所检各项指标满足《水工混凝土施工规范》SL 677—2014 标准中对粗骨料的品质要求。从表 6 可以看出，二级配小石与中石的比例为 55 : 45 时组合容重最大。

2.3 粗骨料

粗骨料采用渠县生产的碎石，碎石分级为 5~20mm、20~40mm。其中，碎石品质检测成果见表 5，组合容重试验

2.4 减水剂

混凝土配合比设计与试验时，采用了山西铁力建材有限公司生产的 TL-AH-1 型聚羧酸缓凝型高性能减水剂进行试验，掺减水剂混凝土性能检测及品质检测成果见表 7。

表 2 广安昌兴水泥 P.O42.5 级水泥检验成果表

检测项目	密度 (kg/m ³)	标准稠度用水量 (%)	安定性雷氏夹法 (mm)	比表面积 (m ² /kg)	凝结时间 (min)		抗折强度 (MPa)		抗压强度 (MPa)	
					初凝	终凝	3d	28d	3d	28d
检验结果	3070	27.5	1.0	340	218	273	5.0	8.5	29.7	44.6
标准要求	—	—	≤ 5	≥ 300	≥ 45	≤ 600	≥ 3.5	≥ 6.5	≥ 17.0	≥ 42.5
检测依据	GB 175—2007/XG3—2018、GB/T 17671—2021、GB/T 1346—2011、GB/T 208—2014									

表 3 人工砂颗粒级配检测成果表

筛孔尺寸 (mm)		5.0	2.5	1.25	0.63	0.315	0.16	检验结果	
累计筛余 (%)	标准范围	细砂	10~0	15~0	25~0	40~16	85~55	100~90	细度模数 FM=2.80
		中砂	10~0	25~0	50~10	70~41	92~70	100~90	
		粗砂	10~0	35~5	65~35	85~71	95~80	100~90	
	实测值	3.5	19.1	37.5	55.6	79.9	94.2	砂级配属中砂	

表 4 人工砂品质检测结果表

检测项目	饱和面干表观密度 (kg/m ³)	有机质含量	泥块含量 (%)	石粉含量 (≤ 0.16mm) (%)	吸水率 (%)
检测结果	2630	0.0	0.0	8.8	0.84
规范要求	—	不允许	不允许	6.0~18.0	—
检测依据	SL/T 352—2020、SL 677—2014				

表 5 粗骨料品质检测成果表

检测项目		饱和面干观密度 (kg/m ³)	超径含量 (%)	逊径含量 (%)	中径筛筛余量 (%)	含泥量 (%)	泥块含量 (%)	针片状颗粒含量 (%)	压碎指标值 (%)	吸水率 (%)
检测结果	5~20mm	2630	0	0	68	0.9	0.0	6	7.2	0.67
	20~40mm	2620	0	4	66	0.7	0.0	3	—	0.50
规范要求	—		≤ 5	≤ 10	40~70	D20、D40 ≤ 1	不允许	≤ 15	≤ 10	≤ 1.5
检测依据	SL/T 352—2020、SL 677—2014									

表 6 碎石组合容重试验成果表

骨料比例 (小石 : 中石)	60 : 40	55 : 45	50 : 50	45 : 55
振实容重 (kg/m ³)	1670	1700	1670	1680

表 7 缓凝型高性能减水剂品质及性能检测成果表

减水剂名称	掺量 (%)	减水率 (%)	含气量 (%)	泌水率比 (%)	凝结时间差 (min)		抗压强度比 (%)			固含量 (%)
					初凝	终凝	3d	7d	28d	
TL-AH-1	1.0	30	2.7	5	+105	+100	—	168	149	25.38
规范要求	—	≥ 25	≤ 6.0	≤ 70	> +90	—	—	≥ 140	≥ 130	25 ± 2.5
检测依据	GB 8076—2008									

检测结果表明：山西铁力 TL-AH-1 型聚羧酸缓凝型高性能减水剂所检指标均满足 GB 8076—2008《混凝土外加剂》标准中聚羧酸缓凝型高性能减水剂性能指标要求。

2.5 拌和用水

室内配合比设计与试验拌和用水为生活用水。

2.6 砂率

本次试验使用水胶比 0.5 进行最优砂率试验，具体见表 8。

表 8 砂率试验

砂率 (%)	37	38	39	40	41	42	43
塌落度 (mm)	71	73	81	88	80	72	70

从表 8 所示可以看出，本次最优砂率为 40%。

3 混凝土配合比设计及试验

3.1 混凝土配制强度

混凝土配合比室内设计时，强度保证率按 95%，相应概率度系数 $t=1.645$ ，混凝土配制强度按以下公式计算：

$$f_{cu,0} = f_{cu,k} + 1.645\sigma$$

式中： $f_{cu,0}$ ——混凝土配制强度 (MPa)；

$f_{cu,k}$ ——混凝土设计强度等级标准值 (MPa)；

σ ——混凝土强度标准差 (MPa)。

依据 SL/T 352—2020《水工混凝土试验规程》选用普通混凝土强度标准差并计算混凝土配制强度，计算结果见表 9。

表 9 混凝土强度标准差及相应配制强度表

强度等级	标准差 σ	计算配制抗压强度 (MPa)
C15 常态混凝土	3.5	20.8
C20 常态混凝土	4.0	26.6
C25 常态混凝土	4.0	31.6
C30 常态混凝土	4.5	37.4

其中，TL-AH-1 聚羧酸高性能减水剂厂家推荐掺量为 1.0%，配合比中拟采用 1.0%。

3.2 混凝土配合比设计计算

混凝土配合比设计计算采用体积法，按骨料饱和面干状

态计算，单位用水量通过试拌确定。

3.3 混凝土配合比设计试验方案

混凝土配合比用水量通过试拌确定，混凝土配合比设计分别按照三个不同的水胶比进行试验。混凝土配合比用水量通过试拌确定，混凝土配合比设计分别按照三个不同的水胶比进行试验。根据 SL/T 352—2020《水工混凝土试验规程》水胶比的计算： $W/B=0.6$ ，依据 SL677—2014《水工混凝土施工规范》要求，混凝土最大水胶比允许值为 0.6，所以本次混凝土配合比选用的水胶比为 0.6~0.45 之间，混凝土配合比设计分别按照四个和三个不同的水胶比进行试验^[1]。依据 SL/T 352—2020《水工混凝土试验规程》查表混凝土初选用水量为 $170\text{kg}/\text{m}^3$ ，采用人工细骨料，用水量增加 $10\text{kg}/\text{m}^3$ ，外加剂的减水率为 30%，初选单位用水量调整为 $126\text{kg}/\text{m}^3$ ，配合比设计试验基本参数见表 10。

表 10 混凝土配合比设计试验基本参数表

强度等级	砼品种	水泥品种、强度等级	骨料种类	级配	坍落度 (mm)	减水剂 (%)	水胶比	砂率 (%)	单位用水量 (kg/m^3)
C15/ C20/ C25	常态	P.O42.5	人工砂碎石	二	70~90	1.0	0.65	43	126
							0.60	42	126
							0.55	41	126
							0.50	40	126
C30	常态	P.O42.5	人工砂碎石	二	70~90	1.0	0.55	41	126
							0.50	40	126
							0.45	39	126

3.4 C15、C20、C25、C30 混凝土配合比设计试验成果

常态混凝土配合比设计试验单位用水量通过试拌确定，经室内试拌，单位用水量为 $140\text{kg}/\text{m}^3$ ，坍落度按 70~90mm 控制；混凝土配合比设计按照不同的水胶比进行试验，试验成果见表 11。

通过回归分析，C15、C20、C25 常态混凝土，28d 强度与胶水比关系式如图 1 所示。

表 11 常态混凝土配合比设计试验成果表

强度等级	水泥品种	骨料种类	级配	设计坍落度 (mm)	减水剂 (%)	水胶比	砂率 (%)	每 m^3 材料用量 (kg/m^3)					实测坍落度 (mm)	抗压强度 (MPa)	
								水	水泥	砂	石			7d	28d
											5-20	20-40			
C15/ C20/ C25	台泥 P.O42.5	人工砂碎石	二	70~90	1.0	0.65	43	140	215	882	702	468	89	11.2	20.3
						0.60	42	140	233	855	709	472	88	14.9	24.8
						0.55	41	140	255	827	714	476	81	16.6	29.5
						0.50	40	140	280	799	719	479	73	20.7	37.0
C30	台泥 P.O42.5	人工砂碎石	二	70~90	1.0	0.55	41	140	255	827	714	476	81	16.6	29.5
						0.50	40	140	280	799	719	479	73	20.7	37.0
						0.45	39	140	311	768	721	481	71	26.3	42.6

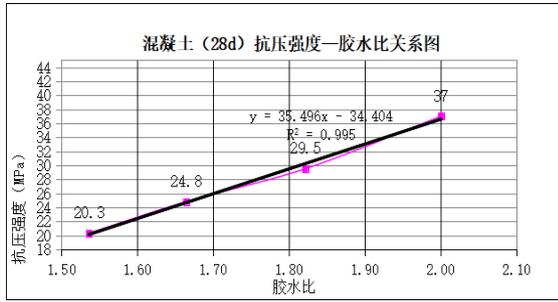


图 1 C15、C20、C25 混凝土抗压强度与胶灰比关系图

C15、C20、C25 强度等级混凝土 (坍落度 70~90mm) : P.O42.5 水泥。

$$y=35.496x-34.404$$

$$R^2=0.995$$

通过回归分析, C30 常态混凝土, 28d 强度与胶灰比关系式如图 2 所示。

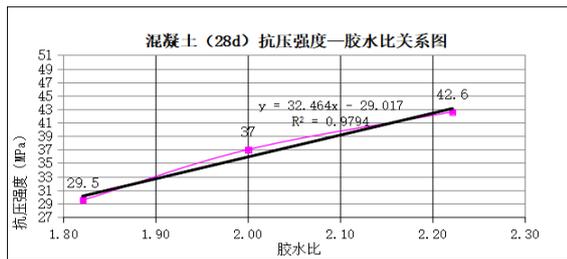


图 2 C30 混凝土抗压强度与胶灰比关系图

C30 强度等级混凝土 (坍落度 70~90mm) : P.O42.5 水泥。

$$y=32.464x-29.017$$

$$R^2=0.9794$$

4 推荐部分混凝土配合比

本次混凝土配合比室内设计试验时使用广安昌兴水泥有限公司水泥, 各项性能指标必须符合 GB 175—2007/XG3—2018《通用硅酸盐水泥》标准中 P.O42.5 级水泥的技术要求 [2]。

关于 C15、C20、C25、C30 混凝土配合比的确定。本次混凝土 (28d) 配合比确定是在此次室内试验成果的基础上, 依据设计强度指标和技术参数确定, 考虑到现场用水泥强度波动和原材料性质变化, 故实际混凝土配制强度略高于设计混凝土配制强度。本次配比在试验成果的基础上留有一定强度富余, 推荐混凝土配合比。单位用水量、砂率、减水剂掺量等参数均通过试验结果确定。混凝土配合比参数见表 12, 推荐混凝土配比见表 13。

5 混凝土施工配合比的调整

混凝土施工配合比确定后, 由于原材料性质波动和施工参数的改变, 必须对现场混凝土施工配合比进行有效调整, 这是保证混凝土拌和质量必不可少的环节, 根据规范和经验归纳为以下几点。

表 12 混凝土配合比参数

强度等级	水泥品种、规格	骨料级配	保证率 (%)	t	σ (MPa)	28d 配制强度 (MPa)	计算水胶比	最小胶凝材料用量 (kg/m ³)	选用水胶比
C15	广安昌兴合泥 P.O42.5	二	95	1.645	3.5	20.8	0.64	—	0.60
C20	广安昌兴合泥 P.O42.5	二	95	1.645	4.0	26.6	0.58	—	0.56
C25	广安昌兴合泥 P.O42.5	二	95	1.645	4.0	31.6	0.54	—	0.52
C30	广安昌兴合泥 P.O42.5	二	95	1.645	4.5	37.4	0.49	—	0.47

表 13 推荐混凝土配比

配合比编号	强度等级	水泥品种、强度等级	骨料品种	坍落度 (mm)	水胶比	砂率 (%)	外加剂掺量 (%)	混凝土材料用量 (kg/m ³)					
								水	水泥	砂	石		TL-AH-1
											5-20	20-40	
PB-TZK-0003	C15	广安昌兴合泥 P.O42.5	人工砂碎石	70~90	0.60	42	1	140	233	855	709	472	2.33
PB-TZK-0004	C20	广安昌兴合泥 P.O42.5	人工砂碎石	70~90	0.56	41	1	140	250	829	716	477	2.50
PB-TZK-0005	C25	广安昌兴合泥 P.O42.5	人工砂碎石	70~90	0.52	40	1	140	269	802	722	481	2.69
PB-TZK-0006	C30	广安昌兴合泥 P.O42.5	人工砂碎石	70~90	0.47	39	1	140	298	773	725	483	2.98

5.1 砂率的调整

混凝土配合比设计时, 试验用砂为人工砂, 细度模数为 2.80, 施工过程中可根据砂细度模数适当调整砂率, 一般规定砂细度模数变化 ± 0.2 , 调整砂率 $\pm 1\%$, 即每立方米增加或减少 20kg 砂, 相应调整减少或增加 20kg 石子, 实践证明这种调整方法是有效的^[3]。

5.2 砂石含水量调整

施工过程中应及时根据砂、石含水量对混凝土用水量进行调整。

5.3 坍落度调整

施工过程中因施工条件变化, 混凝土坍落度不能满足施工要求时, 可保持原水灰比不变, 采取调整外加剂掺量或单位用水量来满足, 一般以坍落度 $\pm 1\text{cm}$, 用水量 $\pm 2\sim 3\text{kg/m}^3$ 调整, 并适当调整砂率通过室内试拌确定。

6 结语

水泥混凝土是近现代最广泛使用的人造建筑材料之一,

进入 20 世纪以来, 以混凝土为建筑材料的工程结构物得到飞速发展, 与其他建筑材料相比, 混凝土以其良好的综合性能已成为各行业基础设施建设现代化标志的首选材料。混凝土配合比技术研究是国际工程界普遍关注的课题。

通过本次配合比试验, 验证了混凝土配合比在试验过程中, 通过原材料的选择, 及各种材料的组合, 使混凝土的工作性及经济性达到最优状态, 在一定的范围之内调整配合比参数, 使混凝土现场拌和更具可操作性。

参考文献

- [1] 徐向成. 正交试验法在萧山机场道面混凝土配合比设计中的应用[J]. 广东建材, 2021, 37(6): 14-16.
- [2] 孙健, 李平, 姚田跃, 等. 浩口水电站大坝碾压混凝土配合比设计及原材料试验[J]. 云南水力发电, 2019, 35(S2): 100-106.
- [3] 王锡伟, 朱朝艳, 刘晓凤. 自密实混凝土配合比设计方法的对比试验研究[J]. 山西建筑, 2014, 40(32): 108-110.