

某水电站抗冲耐磨混凝土配合比设计研究

孟 昕

中水东北勘测设计研究有限责任公司 吉林长春 130061

摘 要: 某水电站由于泄洪消能设施受到破坏, 需要对相关消能建筑物进行改造, 本项目主要对改造工程涉及的不同部位混凝土进行配合比设计, 通过掺加硅粉、外加剂等方式, 提高混凝土抗冲耐磨等性能, 制备出满足要求的配合比。

关键词: 抗冲耐磨; 配合比; 改造工程; 混凝土

引言

某水电站位于吉林省中东部, 是一座以发电为主的中型电站, 始建于80年代初期, 总装机200MW。大坝为混凝土重力坝, 最大坝高46m, 大坝包括溢流坝段、厂房坝段和挡水坝段。溢流坝布置在右岸主河床部位, 原溢流坝的消能形式为戽流消能, 因经历多次泄洪冲刷, 消力戽及混凝土纵向围堰产生较大破坏, 部分破坏为结构破坏, 影响泄洪效果, 并对挑坎后冲刷坑的冲刷进一步加剧, 影响大坝基础尾部岩体稳定, 危及大坝的稳定和安全。鉴于以上情况, 相关部门决定对该工程大坝泄洪消能设施进行彻底改造, 将戽流消能改为底流消能二级池, 二级池后设置护坦与尾水渠相连, 同时, 对两侧边墙进行表面凿除, 重新浇筑混凝土。

本次试验主要对泄洪建筑物改造进行混凝土配合比

设计, 因本次需改造的泄洪消能设施需承受长期的水流甚至含泥沙水流的冲刷, 对抗冲耐磨性等性能具有较高要求, 且需要与原混凝土具有一定的结合性能, 因此, 本次配合比设计既需要满足强度等常规性能要求, 同时需要具有抗冲耐磨强度大等特殊要求, 同时应与现场的老混凝土具有一定的相容性, 以保证新老混凝土之间结合良好, 针对以上几项要求, 开展本次配合比设计研究。

一、混凝土技术要求及配合比设计思路

(一) 混凝土技术要求

本次主要进行一级池底板表层混凝土、一级池边墙下部及尾坎表面所用的抗冲耐磨混凝土进行混凝土配合比设计研究, 混凝土技术要求见表1。

表1 混凝土技术指标

混凝土设计强度等级	级配	工程部位	特殊性能要求	水泥品种	混凝土施工工艺	坍落度 (cm)
C35F300W6	三	一级池底板表层、一级池边墙下部、尾坎表层	抗冲耐磨性能好	中热 42.5	常态	入仓坍落度 4cm~6cm

备注: 混凝土强度设计龄期为28天。

(二) 配合比设计思路

硅粉是一种由玻璃体含量很高的及其微小颗粒构成、具有高活性的火山灰质材料。基于此原因, 硅粉加入混凝土中, 非常微小的颗粒可以高度分散在其内部, 填充于水泥颗粒之间, 使混凝土更加密实, 提高混凝土强度。

混凝土中掺入硅粉还能降低其泌水、防止水分在集料下表面凝聚, 从而提高界面过渡区的密实度和减小界面过渡区的厚度, 提高水泥浆体与集料之间的粘结强度, 增强混凝土的抗冲耐磨性能。

同时由于硅粉颗粒较细, 可增加混凝土粘结性能, 有利于增强新老混凝土之间粘合力。

但硅粉作为抗冲耐磨材料也存在一定弊端, 如掺硅粉混凝土易产生收缩裂缝, 如表面早期塑性干缩而龟裂^[1], 考虑新老混凝土的有效结合及硅粉混凝土自身收缩大的特点, 抗冲耐磨混凝土配合比设计时应进行防裂措施研究, 一般通过掺入膨胀剂、粉煤灰等来改善硅粉混凝土收缩大的缺陷, 从而达到防裂的目的。

而膨胀剂掺入过多也易引发混凝土裂缝, 故本次配合比设计掺入适量低碱低掺量型膨胀剂, 可以缓解硅粉收缩产生裂缝, 同时可避免混凝土过度膨胀产生膨胀裂缝。

综上, 本次配合比研究主要采用硅粉作为混凝土掺和料, 并掺加膨胀剂以降低混凝土引起的混凝土收缩,

通过配合比试验制备出抗冲耐磨混凝土等其他几种满足设计及施工要求的混凝土配合比。

二、混凝土用原材料检验

(一) 水泥

本次试验水泥采用抚顺水泥有限公司生产的浑河牌P·MH42.5级水泥水泥的物理力学性能检验结果见表2。

(二) 细骨料

研究表明，级配良好的中粗砂混凝土较细砂或特细砂混凝土抗冲磨强度增大^[2]，因而本次配合比设计经前期比选，选择细度模数较大的当地河沙。

细骨料检测结果见表3及图1，可见，其细度模数为3.33，属粗砂，颗粒级配良好。

表2 中热水泥物理力学性能检验结果

名称	比表面积 (m ² /kg)	密度 (g/cm ³)	标准稠度用 水量 (%)	安定性	凝结时间 (h: min)		抗折强度 (MPa)			抗压强度 (MPa)		
					初凝	终凝	3d	7d	28d	3d	7d	28d
抚顺P·MH42.5	330	3.18	24.8	合格	3: 30	4: 10	4.6	7.5	9.3	16.2	37.3	57.4

表3 天然砂品质检验结果

饱和面干表观 密度 (kg/m ³)	松散堆积密度 (kg/m ³)	饱和面干吸水 率 (%)	细度模数	坚固性 (%)	轻物质 (%)	含泥量 (%)	泥块含量 (%)	SO ₃ (%)	有机质检验
2620	1580	2.3	3.33	3	0.1	1.8	无	0.20	浅于标准色

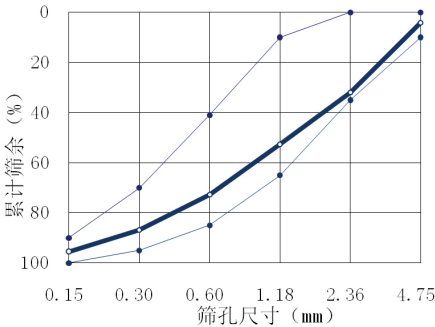


图1 砂颗粒级配曲线

(三) 粗骨料

粗骨料为当地产卵石碎石混合料，分为5mm ~ 20mm，20mm~40mm，40mm~80mm三种粒径。

其性能检验结果见表4。

(四) 硅粉

经比选，本次采用挪威埃肯集团材料公司生产的粉状微硅粉，其检测结果见表5。

(五) 膨胀剂

本次试验采用天津豹鸣股份有限公司生产的低碱UEA型膨胀剂。膨胀剂主要检测性能结果见表6、表7。

(六) 外加剂

为提高混凝土质量，改进混凝土性能，工程中常根据需要掺用不同类型的外加剂。本次试验选用了由长春东勘新型建筑材料有限责任公司生产的SKY高效引气减水剂及SK引气减水剂。检测结果见表8。

表4 粗骨料品质检验结果

骨料种类 (mm)	饱和面干表观 密度 (kg/m ³)	松散堆积密 度 (kg/m ³)	吸水率 (%)	针片状含 量 (%)	坚固性 (%)	压碎指标 (%)	含泥量 (%)	泥块含量 (%)	SO ₃ (%)	空隙率 (%)	有机质检验
5 ~ 20	2700	1640	1.84	11.8	1	3.6	0.6	无	0.12	39	浅于标准色
20 ~ 40	2760	1540	1.43				0.4			44	
40 ~ 80	2700	1350	1.00				0.2			50	

表5 硅粉性能检验结果

名称	密度 (g/cm ³)	含水率 (%)	烧失量 (%)	Cl ⁻ (%)	SiO ₂ (%)	碱含量 (%)
埃肯微硅粉	2.17	0.37	1.84	0.014	94.07	0.73

表6 膨胀剂物理力学性能检验结果

名称	细度 (%) 1.18mm筛余	限制膨胀率 (%)		凝结时间 (h: min)		抗折强度 (MPa)		抗压强度 (MPa)	
		水中7d	空气中21d	初凝	终凝	7d	28d	7d	28d
低碱UEA	0.0	0.027	-0.005	3: 15	4: 20	6.1	9.0	31.8	53.1

表7 膨胀剂化学性能检验结果

名称	MgO (%)	Cl ⁻ (%)	K ₂ O	Na ₂ O	碱含量 (%)
低碱UEA	3.30	0.005	0.57	0.19	0.57

表8 外加剂混凝土性能检测 results 表

编号	减水率 (%)	含气量 (%)	泌水率比 (%)	凝结时间差 (min)		抗压强度比 (%)			28d 收缩率 比 (%)	相对耐久 性 (%)
				初凝	终凝	3d	7d	28d		
SK1	16	5.3	42	+55	+60	120	113	112	115	95.4
SK2	15	4.6	48	+45	+55	125	119	116	125	93.3
SKY	18	4.0	56	+80	+85	152	156	150	105	94.6

通过混凝土试拌，标号为 C35W6F300 的混凝土采用 SKY 高效引气减水剂，其掺量为胶凝材料总量的 1.0%。

四、混凝土配合比设计

(一) 混凝土配制强度

按式 (1) 计算混凝土配制强度：

$$f_{cu, o} = f_{cu, k} + t \sigma_c \quad (1)$$

式中： $f_{cu, o}$ —混凝土配制强度 (MPa)；

$f_{cu, k}$ —混凝土设计龄期立方体抗压强度标准值 (MPa)；

σ_c —混凝土立方体抗压强度标准差 (MPa)。

保证率 P 为 90% 时对应的概率度系数 t 为 1.28，对 C35 抗磨蚀混凝土取 $\sigma_c = 5\text{MPa}$ ，由此计算出的设计强度为 C35 混凝土配制强度为 41.4MPa。

(二) 骨料最优级配

骨料级配对混凝土的和易性、强度和耐久性等都有较大的影响，合理的石子级配应是在相同体积条件下，混合料的比表面积小、空隙率小、水泥砂子用量少、密实度和强度高的级配。

本次抗冲耐磨混凝土为三级配混凝土，即骨料由小石 (5mm~20mm)、中石 (20~40mm)、大石 (40mm~80mm) 组成，采用最大容重法测定骨料紧密堆积密度并经混凝土试拌调整，最终确定骨料最优级配选取比例为小石：中石：大石=25：25：50。

(三) 砂率选择

砂率是砂子占砂石总体积的百分率，最佳砂率是在满足和易性条件下，用水量最小时所对应的砂率。

最佳砂率选择则是在选定的骨料级配比例和水胶比的前提下，固定水泥用量，变换砂率进行混凝土试拌，在满足混凝土和易性的前提下，用水量最小时所

应的砂率即为最佳砂率。

在本次配合比设计中，通过试拌选择砂率范围为 27% ~ 33%。

(四) 硅粉掺量确定

本次配合比设计试验根据以往工程经验，内掺 8% 微硅粉，以等量替代水泥质量。

(五) 外加剂掺量确定

本次试验采用天津豹鸣股份有限公司生产的低碱 UEA 型膨胀剂，根据试拌情况及以往工程经验，混凝土配合比试验均内掺 5% 的低碱 UEA 膨胀剂，以等量替代水泥质量。

(六) 混凝土水胶比及最优用水量的选择

混凝土水胶比的选择，应同时兼顾混凝土的各项性能指标，既要参考《水工混凝土施工规范》对最大水灰比限值的规定，又要参考类似工程经验，本次试验三级配水胶比范围为 0.36 ~ 0.54。

混凝土最优用水量的选择是指通过混凝土试拌，确定满足坍落度要求的最小用水量。试拌时根据混凝土坍落度检测结果，调整用水量。本次试验选定的混凝土单方用水量为 $101\text{kg/m}^3 \sim 105\text{kg/m}^3$ 。

(七) 搅拌时间确定

根据选定的各参数进行混凝土成型、养护及各项性能试验。需要指出的是掺有微硅粉及膨胀剂的混凝土搅拌时间应延长 30s。

(八) 配合比确定

根据试拌情况，确定抗冲耐磨混凝土配合比如表 9 所示。

五、混凝土性能及分析

(一) 混凝土拌和物性能

混凝土拌和物性能结果如表 10 所示。

表9 混凝土配合比

配合比 标号	水灰 (胶) 比	外加剂名称 及掺量 (%)	砂率 (%)	膨胀剂掺 量 (%)	硅粉掺量 (%)	混凝土材料用量 (kg/m^3)						
						水泥	水	膨胀剂	硅粉	胶凝材料总量	砂	石
G-1	0.40	SKY1.0	28	5	8	226	104	13	21	260	565	1509
G-2	0.38		27	5	8	238	104	14	22	274	540	1517
G-3	0.36		26	5	8	251	104	15	23	289	516	1524

表 10 混凝土拌和物性能结果

配合比标号	坍落度 (mm)	含气量 (%)
G-1	90	4.0
G-2	78	4.2
G-3	75	4.3

(二) 硬化混凝土性能

1. 混凝土抗压强度性能

混凝土抗压强度结果见表 11。

由表可见，配制的混凝土抗压强度随着水灰（胶）比的减小而增大，符合混凝土强度发展理论。

结果显示，配制的混凝土 7d 抗压强度已增长到 28d 抗压强度的 80% 左右，说明混凝土早期强度增长较快，混凝土内部水化热温升也相应较快，因此，施工过程中一定要加强混凝土早期潮湿养护，以防混凝土因失水干缩产生微裂缝。

2. 混凝土抗渗性

混凝土抗渗性是指混凝土抵抗压力水渗透的能力。混凝土的抗渗性主要取决于混凝土的配合比和密实度，只要配合比选择适当，混凝土振捣密实，就会减少混凝土毛细孔的数量，使混凝土抗渗性得以保证。本次试验采用逐级加压法进行，试验结果如表 11 所示，各相应混

凝土抗渗标号达到了 W6 的技术要求。

3. 混凝土的抗冻性

抗冻性能是衡量混凝土耐久性的重要指标，提高混凝土的抗冻性，是保证大坝安全运行的重要环节。混凝土抗冻性试验是采用 10cm × 10cm × 40cm 棱柱体试件，试件中心温度范围为 -17 ± 2℃ ~ 8 ± 2℃，2 小时 ~ 4 小时为一个冻融循环。其抗冻性以其相对动弹性模数降至 60% 和重量损失率不大于 5% 时，其所对应的混凝土冻融循环次数作为评价指标。抗冻结果见表 11。

试验结果显示，各混凝土抗冻等级均达到设计技术要求。

4. 混凝土抗冲耐磨性

根据抗压、抗渗及抗冻试验结果，G-2 为满足设计要求，且水灰比最大的配合比，从经济性考虑，初步选定这一配合比进行抗冲耐磨性能测试，测试结果见表 11。

六、推荐的混凝土配合比

通过对混凝土配合比性能试验成果的分析，在综合考虑《水工混凝土施工规范》不同施工部位水灰（胶）比的最大允许值的规定及满足混凝土抗压强度、抗渗性及抗冻性能指标的前提下，推荐的混凝土施工配合比如表 12 所示。

表 11 掺硅粉混凝土配合比各项性能试验成果表

试验编号	抗压强度 (MPa)		抗渗等级	冻融循环 300 次			抗冲耐磨性能 (72h)	
	7d	28d		相对动弹性模数 (%)	质量损失率 (%)	抗冻等级	抗冲磨强度 (h / (kg/m ²))	磨损率 (%)
G-1	30.4	37.7	—	—	—	—	—	—
G-2	34.5	42.0	W6	91.9	0.00	> F300	11.81	2.51
G-3	39.8	46.6	W6	94.7	0.00	> F300	—	—

表 12 推荐混凝土配合比

试验编号	技术标号	水灰 (胶) 比	外加剂名称及掺量 (%)	砂率 (%)	膨胀剂掺量 (%)	硅粉掺量 (%)	坍落度 (mm)	含气量 (%)	混凝土材料用量 (kg/m ³)								抗压强度 (MPa)	
									水泥	水	膨胀剂	微硅粉	胶凝材料总量	外加剂	砂	石	7d	28d
G-2	C35F300W6	0.38	SKY 1.0	27	5	8	78	4.2	238	104	14	22	274	2.740	540	1517	34.5	42.0

备注：现场施工时，含气量控制范围以 4%~6% 为宜。

结论

(1) 通过掺加硅粉及低碱膨胀剂，制备出了满足设计的抗压、抗渗、抗冻及抗冲耐磨要求的抗冲耐磨混凝土配合比，混凝土含气量应控制在 4% ~ 6% 范围内。

(2) 需要指出的是：掺有硅粉和膨胀剂的混凝土搅拌时间应延长 30s。混凝土早期强度增长较快，7d 混凝土抗压强度增长率已达 28d 强度的 80% 左右，因此，施工过程中一定要加强混凝土早期潮湿养护，以防混凝土因失水干缩产生微裂缝，建议掺硅粉混凝土养护时间按 3~4 周考虑。

(3) 施工单位在采用本报告推荐的混凝土施工配合比进行施工时，应根据现场用砂石骨料、水泥等原材料的质量变化情况进行适当调整。

参考文献

[1] 卓文仁. 高速水流溢流面抗冲耐磨新材料应用研究 [J]. 水利科技, 2011, (01): 53-55.
[2] 冯甲辰. 抗冲磨混凝土的应用研究 [J]. 科技创新导报, 2009, (07): 68.