

掺用低热硅酸盐水泥的混凝土分析成果

张阳峰 方伟
中国水利水电第七工程局有限公司第五分局
DOI:10.32629/hwr.v4i1.2682

[摘 要] 低热硅酸盐水泥现阶段运用并不广泛,在国内水电工程中,乌东德与白鹤滩率先在全工程使用低热水泥,并取得了良好的经验与社会效果。本文通过笔者拌和系统使用的低热水泥质量控制措施,比较掺用中热、低热水泥混凝土的检测成果,得出掺用低热水泥混凝土的优点。
[关键词] 掺用; 低热水泥; 混凝土; 成果分析

1 项目概况

乌东德水电站位于云南省禄劝县和四川省会东县交界的金沙江下游河道上,是金沙江下游河段四个水电梯级中的最上游梯级,电站装机总容量1020万千瓦,装机规模中国第四、世界第七。坝址控制流域面积40.61万km²,多年平均流量3830m³/s,多年平均径流量1207亿m³,主要任务以发电为主,兼顾长江中下游防洪,并具有改善库区及下游航运条件、拦沙等综合利用效益。

工程项目为下白滩砂石加工系统、880混凝土生产系统和850混凝土生产系统组成,项目主要承担乌东德水电站导流工程、水垫塘、二道坝、地下电站、泄洪洞、下游护岸、渗控及金坪子滑坡治理等分项工程450.4万m³混凝土及其所需粗、细骨料的生产任务,共需生产成品骨料约1015万t。

2 低热硅酸盐水泥控制指标

低热硅酸盐水泥现阶段运用并不广泛,在国内水电工程中,乌东德与白鹤滩率先在全工程使用低热水泥,并取得了良好的经验与社会效果。与中热、普硅水泥相比,低热硅酸盐水泥具有具有长期水化热低、耐久性好、混凝土性能优良、综合温控防裂性能好等特点,其低热水泥其控制指标详见表1、表2:

表1 低热水泥熟料矿物组成及成分要求

序号	矿物组成与化学成分	控制指标	
		Q/CTG(企业标准)	GB200(国家标准)
1	硅酸二钙	≥40	≥40
2	铝酸三钙	≤4.0	≤6.0
3	铁铝酸四钙	≥15	/

表2 低热水泥品质检测指标

序号	矿物组成与化学成分	控制指标	
		Q/CTG(企业标准)	GB200(国家标准)
1	比表面积(m ² /kg)	≤340	≥250
2	氧化镁含量(%)	4.0~5.0	≤5.0
3	碱含量(%)	≤0.50	≤0.6
4	SO ₃ 含量(%)	≤2.5	≤3.5
5	凝结时间	初凝	≥60
		终凝	≤720
6	烧失量(%)	≤3.0	≤3.0
7	安定性	合格	合格
8	抗压强度(MPa)	7d	≥13.0
		28d	47.0±3.5
9	抗折强度(MPa)	7d	≥3.5
		28d	≥7.0
10	水化热(kJ/kg)	3d	≤220
		7d	≤250

3 低热硅酸盐水泥质量控制重点

通过表1可以看出,相对于国家标准而言,内部控制指标主要有:

(1)控制铝酸三钙含量,为了降低混凝土的温升,规定铝酸三钙含量不大于4.0%;(2)控制铁铝酸四钙含量,为了提高混凝土抗裂性、抗折强度和抗冲磨性能,规定铁铝酸四钙含量不小于15%;(3)控制游离氧化钙,为了提高水泥质量,确保水泥的安定性合格,规定游离CaO含量不大于0.8%;(4)规定比表面积上限值,水泥比表面积大,水化热大,早期发热快,不利于温控。因此,规定了低热水泥比表面积不宜大于340m²/kg。如果出现超过340m²/kg时,应控制大于340m²/kg的批次不超过15%,且最大值不超过350m²/kg,每20个批次评定一次;(5)增加氧化镁含量下限值,利用方镁石的后期微膨胀,补偿水工混凝土的温降收缩;为了利用MgO的微膨胀特性,提出了低热水泥MgO含量的控制范围为4.0%~5.0%的要求;(6)控制碱含量,拱坝工程的重要性和耐久性,规定了水泥碱含量不得超过0.55%。部分工程可能存在碱活性骨料,规定了视工程具体情况,有碱活性骨料时水泥碱含量不得超过0.50%;(7)增加比表面积上限值,降低水化热限值,以限制水工混凝土早期放热速度和放热量;(8)限定28d抗压强度区间,以保证混凝土强度稳定性和均匀性,规定28d抗压强度宜控制在(47±3.5)MPa,超出范围的批次不超过10%,最小值≥42.5MPa,每20个批次评定一次。为了提高混凝土的抗裂性,规定了28d抗折强度不小于7.0MPa;(9)规定水化热上限值,为了减少混凝土水化热温升,利于温控,规定了3d水化热不大于220kJ/kg、7d水化热不大于250kJ/kg。

上述控制指标的规定使适应于水工混凝土的低热水泥具有水化热更低、放热速度更慢、收缩更小、抗裂性更高的特性,同时优化了低热水泥的矿物组成成分:

(1)基于水泥熟料中各种矿物对水泥强度、水化热的影响规律,揭示了高硅酸二钙C₂S水泥具有低水化放热速度、低水化放热总量的特点。(2)若控制水泥水化热,应控制水泥熟料中C₃A和C₃S的含量。(3)C₂S矿物水化放热速率小、水化热放热总量低等特点,使高C₂S含量水泥(即低热硅酸盐水泥)较其他硅酸盐系列水泥(C₃A和C₃S的含量较高)具有明显的优势。(4)基于水泥脆性系数与开裂时间试验,探明了矿物组成对水泥抗裂性的影响规律。硬化水泥浆体的脆性系数随C₃S+C₃A含量增加呈增大的趋势,随C₄AF含量的增加呈降低的趋势,当C₂S含量在30%~45%范围时,水泥石的脆性系数可达到最小。在比表面积相差不大的情况下,C₂S含量越高,水泥净浆开裂时间有逐渐延长的趋势,这表明C₂S含量高对提高水泥的抗裂性最有利;C₃A含量每增加0.2%,水泥开裂时间大约可缩短200min;基于低热水泥的高C₂S、低C₃A的矿物设计,可见低热水泥的抗裂性优于其他类型硅酸盐系列水泥。通过降低硅酸三钙C₃S、铝酸三钙C₃A,提高硅酸二钙C₂S,确定了水工混凝土低热水泥硅酸盐矿物和熔剂矿物的合理匹配及其最佳控制范围。

4 拌和系统使用低热硅酸盐水泥质量控制

4.1进场质量控制

(1)进场的水泥必须提供“产品出厂合格证”和“产品出厂检验报告”。

(2)不符合有关标准的水泥,不得入罐,并及时清退出场。(3)运到工地的水泥,应按标明的品种、强度等级、生产厂家和出厂批号,分别储存到有明显标志的储罐或水泥仓库中,不得混装。(4)发现水泥有质量问题时,应立即封存取样复验,并送样到国家认证的检验机关进行复检或仲裁,严禁使用不合格产品。(5)水泥入罐温度应 $<65^{\circ}\text{C}$,拌制预冷混凝土时新来水泥不得直接入拌和楼,一定要储存降温至 $<60^{\circ}\text{C}$ 时再输入拌和楼罐中。(6)水泥储存过程中应防水防潮,已受潮结块的水泥应经处理并检验合格方可使用。储罐水泥宜一个月倒罐一次。(7)先出厂的水泥应先用。散装水泥超过6个月,使用前应重新检验。(8)防品种混仓,要有输送记录。

4.2拌制过程质量控制

(1)拌和机。掺用低热水泥的混凝土,使用自落式与强制式拌和机均可,但推荐使用强制式拌和机。(2)拌和时间。掺用低热水泥的混凝土,为确保出口混凝土均匀性,拌和时间与投料顺序应通过试验确定。(3)衡量误差。称量系统必须满足规范要求,为避免配合比参数的改变,影响混凝土和易性及强度,尽量采用高精度的称量系统。

5 低热水泥的使用成果

5.1配合比

与中热硅酸盐水泥相比,掺用低热硅酸盐水泥混凝土用水量降低约3kg,减水剂掺量降低约0.1%,砂率与粗骨料组合基本相同,详细统计结果见表3:

表3 中热、低热水泥典型混凝土配合比比较

水泥品种	混凝土强度等级	级配	坍落度 (mm)	水胶比	用水量 (kg/m ³)	砂率 (%)	粉煤灰 (%)	减水剂 (%)	胶材总量 (kg/m ³)
中热水泥	C ₃₀ W10F150($\varepsilon_s\geq$)	二	160~180	0.45	140	40	25	0.7	311
低热水泥	90 $\times 10^{-6}$, 90d	二	160~180	0.45	137	40	25	0.6	304

5.2混凝土拌和物

根据对出口混凝土拌和物检测,掺用中热、低热水泥的混凝土坍落度、含气量等检测指标均满足设计要求,混凝土和易性好,满足现场施工需求。

5.3强度检测

选用表3中的配合比进行强度统计分析,掺用中热、低热硅酸盐水泥的混凝土强度均能满足设计要求。但与掺用中热水泥相比,掺用低热硅酸盐水泥混凝土28天抗压强度基本一致,但90天龄期后低热水泥混凝土强度较中热水泥混凝土高约5MPa,详细统计结果见表4:

表4 中热、低热水泥混凝土抗压强度比较

水泥品种与强度等	试验项目	龄期 d	组数 n	最大值 MPa	最小值 MPa	平均值 MPa	极差 MPa	标准差 MPa	变异系数	保证率%
C ₃₀ 掺用中热水泥	抗压	7	256	27.3	15.3	22.8	12	/	/	/
	抗压	28	1262	36.8	21.6	33.5	15.2	3.44	0.103	/
	抗压	90	1262	47.7	32.6	43.7	15.1	3.85	0.088	99.9
C ₃₀ 掺用低热水泥	抗压	7	441	25.2	10.8	19.1	14.4	/	/	/
	抗压	28	2384	37.2	22.5	34.3	14.7	3.72	0.108	/
	抗压	90	2381	50.2	33.3	48.1	16.9	3.76	0.078	99.9

5.4混凝土全面性能

选用表3中掺用低热水泥配合比,对混凝土全面性能进行统计,混凝土

抗冻、抗渗、极限拉伸、弹性模量等检测指标均能满足设计要求,详细统计结果见表5:

表5 低热水泥混凝土全面性能检测结果

坍落度 mm	含气量 %	抗压强度 (MPa)		劈拉强度 (MPa)		抗冻检测			抗渗检测		极限拉伸值 ($\times 10^{-6}$)	抗拉弹性模量 ($\times 10^4$ MPa)	轴心抗压强度 (MPa)	抗压弹性模量 ($\times 10^4$ MPa)
		28d	90d	90d	冻融次数	相对动弹模量 (%)	质量损失率 (%)		最大水压力 (MPa)	渗水高度 (mm)	90d	90d	90d	90d
165	4.3	34.8	51.7	/	150	82.7	0.10		1.1	25	116	4.18	41.1	4.13
180	5.0	30.5	47.6	3.98	150	87.7	0.80		1.1	30	129	3.96	27.7	4.07
180	4.4	37.8	52.2	4.47	150	77.3	2.12		1.1	22	123	4.92	49.1	4.72
183	5.3	28.9	45.1	4.05	150	92.7	1.58		1.1	19	112	4.38	/	/

5.5绝热温升

选取掺用低热、中热硅酸盐水泥的混凝土进行绝热温升试验,其绝热温升曲线见图1,通过图1可以明显的得出,掺用低热水泥的混凝土绝热温升增长速度慢,早期降热效果显著,3d绝热温升降低约8 $^{\circ}\text{C}$,28d绝热温升降低约6 $^{\circ}\text{C}$,最终绝热温升降低约5 $^{\circ}\text{C}$ 。因此,在大体积混凝土浇筑中,可以有效的避免因温度引起的裂缝。

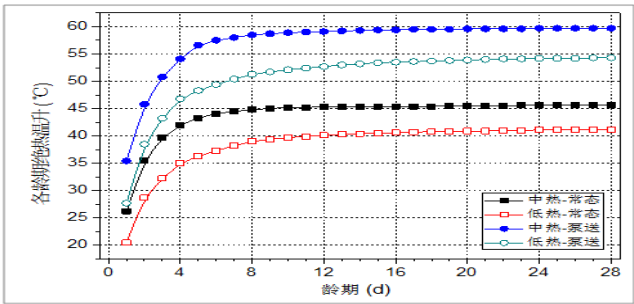


图1 中热、低热混凝土绝热温升比较

6 结论

(1)掺用低热水泥的混凝土单位用水量较中热水泥降低约3kg,胶材用量也显著性的减少,经济效益显著。(2)掺用低热水泥的混凝土前期强度与中热水泥较一致,但90d龄期后低热水泥混凝土强度超过中热水泥混凝土。(3)掺用低热水泥的混凝土绝热温升增长速度慢,早期降热效果显著,在大体积混凝土浇筑中,可以有效的避免因温度引起的裂缝。(4)掺用低热水泥混凝土抗冻、抗渗、极限拉伸、弹性模量等与中热水泥相当,满足设计要求。

[参考文献]

[1]张守全.浅析混凝土裂缝成因及防治措施[J].工程建设与设计,2019(3):237-238+241.
[2]赵静.混凝土强度检测与评定[J].工程建设与设计,2019(18):158-159.
[3]兰浩.混凝土耐久性的提升措施分析[J].中小企业管理与科技,2016(12):172-173.

作者简介:

张阳峰(1983--),男,四川乐山人,汉族,本科,高级工程师,长期从事水利水电工程施工管理工作。