

拉哇水电站泄洪和溢洪洞衬砌镜面混凝土施工技术

余建国, 衣志勇, 杨红富

(四川二滩国际工程咨询有限责任公司, 四川 成都 611130)

摘要:笔者以拉哇水电站泄洪、溢洪洞洞身边墙衬砌为研究对象,通过工艺性试验对比了不同模板材质、不同振捣参数及不同脱模剂条件下对镜面混凝土外观质量的影响,结果表明:使用单面抛光钢板或复合钢板为模板,以色拉油作为脱模剂,并按初振 60 s、复振 45 s、间隔 20 min 的振捣参数下能有效提升镜面混凝土的外观质量,优化振捣工艺,加强施工过程质量控制对镜面混凝土外观质量起到了关键性作用。

关键词:镜面混凝土;振捣参数;模板材质

中图分类号:TV554+.14

文献标志码:B

文章编号:1001-2184(2024)03-0129-05

Construction Technology for Mirror Concrete Lining of Flood Discharge and Spillway Tunnel of Lawa Hydropower Station

YU Jianguo, YI Zhiyong, YANG Hongfu

(Sichuan Ertan International Engineering Consulting Co., Ltd., Chengdu Sichuan 611130)

Abstract: In this paper, the wall lining around the flood discharge and spillway tunnel of Lawa Hydropower Station was taken as the research object. Through technological tests, the influence of different formwork materials, different vibration parameters and different release agents were compared on the appearance quality of mirrored concrete. The results show that: The appearance quality of mirror concrete can be effectively improved by using single-sided polished steel plate or composite steel plate as template, using salad oil as release agent, and using vibration parameters of 60 s for initial vibration, 45 s for re-vibration, and 20 min interval. Optimizing vibration process and strengthening quality control during construction play a key role in the appearance quality of mirror concrete.

Keywords: Mirror concrete; Vibration parameter; Template material

1 工程概况

拉哇水电站位于金沙江上游,左岸为四川省甘孜藏族自治州巴塘县拉哇乡,右岸为西藏昌都市芒康县朱巴龙乡,是金沙江上游 13 级开发方案中的第 8 级,上游为叶巴滩水电站,下游为巴塘水电站。拉哇水电站泄洪系统布置于右岸,包括 2 条溢洪洞、1 条泄洪洞。溢洪洞由进水渠、控制段、无压洞段及出口挑坎段组成,无压洞段洞身为城门洞形断面,隧洞纵坡采用龙落尾型式,上平段纵坡 1.5%,与龙落尾(陡坡)段之间由掺气坎连接,龙落尾(陡坡)段坡比 1:2.8,下游段与出口之间采用反弧连接,单洞最大泄量 4 488.19 m³/s。泄洪洞布置于①号溢洪洞左侧,采用有压接无压隧洞的型式,有压洞段采用圆形断面,洞径 12 m,

底坡 1.136%;无压洞段为城门洞型断面,断面尺寸 11.0 m×19.0 m(宽×高),底板综合纵坡 7.4%。泄洪、溢洪洞洞身全断面采用钢筋混凝土衬砌,设计衬砌厚度有 2.5、2.0、1.5、1.2 m 四种规格,泄洪洞无压段边墙、底板,溢洪洞洞身段边墙及底板均使用抗冲耐磨混凝土浇筑,混凝土设计指标为 C₉₀40W8F150、C₉₀50W8F150 二级配常态混凝土,边墙上部 2 m 及顶拱采用二级配(C30W8F150)泵送混凝土。根据合同文件要求,边墙及底板衬砌需达到镜面混凝土标准,镜面混凝土是指混凝土表面达到玻璃镜效果的混凝土,即混凝土表面要求致密、颜色均匀、表面缺陷尽量少^[1]。

2 工程特点及施工难点

2.1 工程特点

(1)洞身轴线长。①号溢洪洞洞身段结构总

收稿日期:2024-03-15

长度为1 346 m,②号溢洪洞洞身段结构总长度1 431 m,属于国内较长的溢洪洞之一。

(2)断面尺寸大。①、②号溢洪洞衬砌后净断面尺寸为15.0 m×24.0 m(宽×高),断面面积341.16 m²,属于国内断面尺寸较大的溢洪洞之一。

2.2 施工重难点

(1)洞室边墙和底板采用抗冲耐磨混凝土,边墙容易出现水气泡,边墙、底板容易出现裂缝,要实现混凝土表面的镜面效果,需保证混凝土密实度、表面平整度和光滑度,最大限度地减少气泡和裂缝的产生,故施工过程质量控制是该工程重点。

(2)项目地处高原,海拔高程为2 500.00~3 300.00 m,冬季时间长、气温低,雨季集中在6~9月,自然条件恶劣,昼夜温差大,大风天气多,温度控制难度大。

3 工艺性实验

工艺性试验从2023年4月9日至2023年5月28日,共进行5个场次,旨在通过试验确定泄

洪、溢洪洞镜面混凝土模板选材及振捣工艺参数。针对掺纤维和不掺纤维、不同模板材质及脱模剂等不同工况,开展混凝土振捣工艺试验,在试验过程中发现可能影响混凝土浇筑质量的因素,以便在正式施工前优化混凝土浇筑工艺及相应施工参数。研究抗冲耐磨混凝土中掺纤维对镜面效果的影响,优化模板选材并明确不同工况下的最优振捣工艺参数。

3.1 原材料及配合比

试验混凝土标号为C₉₀40W8F150、C₉₀50W8F150,坍落度采用70~90 mm。水泥采用乐山嘉华低热低碱P.LH42.5水泥,粉煤灰采用四川琪县电厂F类I级灰,减水剂采用江苏苏博特新材料有限公司生产的PCA-I型聚羧酸高新能标准型减水剂,引气剂采用江苏苏博特新材料有限公司生产的GYQ-I型引气剂,砂、碎石及拌和用水由项目所在地料场、水厂提供,试验采用配合比见表1。

表1 工艺性试验混凝土配合比

配合比编号	混凝土标号	单位材料用量 (/kg·m ⁻³)							
		水	水泥	粉煤灰	砂	小石	中石	减水剂	引气剂
KCMLS-22	C ₉₀ 40W8F150	120	246	62	632	717	722	2.772	0.055 4
KCMLS-24	C ₉₀ 50W8F150	124	320	80	565	703	708	4.000	0.076 0

3.2 模板选材对比

为确定钢模台车面板的选材,确定最优钢模台车面板材质,试验分别选择10 mm厚普通钢板、10 mm厚普通钢板(单面抛光)、“10 mm普通钢板+2 mm不锈钢复合钢板”、不锈钢钢板和钢化玻璃(仅用于观测)五种模板开展镜面混凝土的振捣工艺试验。

整个试验共进行5个场次,浇筑试块18个,试块尺寸主要为2.8 m×1.0 m×1.5 m(长×宽×高)、2.0 m×2.0 m×1.5 m(长×宽×高)两种。立模前对所有模板进行打磨、涂刷色拉油,模板加固采用对拉螺杆、井字架及钢管三角撑的方式。底部与试验场地混凝土相接处铺塑料薄膜隔离,模板底口采用砂浆沟缝,保证密封性。不同模板拆模后外观质量有所差异,选取代表性试块进行对比分析,结果如下:

(1)1号试块采用普通钢板,混凝土外表面光洁度一般,洒水后镜面效果较明显。平整度好,存在大于2 mm以上水气泡,气泡最大直径约5 mm,

最大深度3 mm,拆模后分层印记明显,5~7 d后逐渐变淡。

(2)2号试块采用抛光钢板,混凝土外表面光洁度较好手感顺滑,洒水后镜面效果明显,平整度好,存在2 mm以上水气泡,气泡最大直径约5 mm,最大深度3 mm,层间部位结合较好,拆模进分层印记不明显,色差小。

(3)3号试块采用普通钢板加不锈钢复合面板,混凝土外表面光洁度较好,洒水后镜面效果较明显,平整度好,存在2 mm以上水气泡,气泡最大直径约4 mm,最大深度3 mm,层间结合好,拆模进分层印记色差较明显。

(4)4号试块采用普通不锈钢板,混凝土外表面光洁度一般,洒水后镜面效果较明显,平整度好,存在2 mm以上水气泡,气泡最大直径约4 mm,最大深度3 mm。第一、二坯层层间结合差,拆模进分层印记明显,色差大。第一、二坯层层间结合好,拆模进分层印记不明显,色差小。

试验验证抛光钢模、复合钢模光洁度、平整度

均能满足抗冲磨混凝土“镜面”效果要求。普通钢板、不锈钢板混凝土外表面光洁度一般,建议模板材质为单面抛光钢板或者“10 mm 普通钢板+2 mm 不锈钢复合钢板”。

3.3 振捣参数

试验下料坯层厚度 40、45、50 cm,下料厚度

用角钢标尺控制,平仓后达到设计层厚即停止下料。振捣器选用 A100 型硬轴振捣棒和 A70 型软轴振捣棒,振捣点阵间距 30 cm×30 cm,插入上浇筑一坯层深度按 5~10 cm 进行控制,试验振捣参数见表 2。

通过试验得出,A100型硬轴振棒初振60s、

表 2 振捣参数表

编号	坯层厚度 /cm	初振振捣棒 /mm	振捣时间 /s	复振间隔时间 /min	复振振捣棒 /mm	复振振捣时间 /s
1	50	100	60/45	30	100	60
2	50	100	45/30	30	100	45
3	50	100	60	20	100	60
4	50	100	45	20	100	45
5	50	100	45	20	100	45
6	45	100	45	20	70	45
7	45	100	45	20	70	60
8	45	70	60	20	70	45
9	45	70	60	20	70	60
10	45	100	70	20	100	60
11	40	100	60	20	100	60
12	40	100	45	20	100	45

A70 型软轴振棒复振 45 s 对混凝土密实性较好。振捣时间过长会造成过振现象,致使骨料下沉。

坯层间隔时间宜控制在 60 min 内,复振间隔时间为 20 min(从初振第一点计时),此范围层间结合较好,拆模后层间结合印记不明显,超过 90 min 拆模后层间结合印记较明显。外露面复振时,“快插慢拔”是必要措施,特别是最上层,振捣棒拔出一半时,停留 10~15 s,能更好排除上层混凝土气泡。振捣过程中大约每 10 s 上下来回插拔振捣棒并在振捣棒拔出时在坯层结合处加强振捣 10~15 s,能有效排出混凝土内部气泡。

控制振捣棒与模板边最大间距是保证混凝土外观质量重要参数。因受设计钢筋保护层及钢筋网厚度限制,振捣棒距模板边最小距离控制在 25.7 cm,初振、复振点阵间距为 30 cm×30 cm。

3.4 掺纤维的影响

结合工程以往经验,混凝土掺用纤维可提高混凝土的韧性及抗裂能力,抑制微细裂缝的产生和发展。纤维选用深圳维特耐有限公司维克聚乙烯醇(PVA-12 mm),试验表明:所用纤维物理性能均满足用于混凝土的合成纤维技术指标要

求。第一、二场次试验均掺纤维,结果反映坍落度并不理想,个别批次混凝土坍落度超出设计范围,并存在泌水、轻微骨料分离现象;第三~五场次不掺纤维,混凝土总体和易性较好,在卸料、集料、皮带机运送、反铲下料过程中没有发现明显骨料分离现象。

第一、二场次纤维在混凝土中分布较均匀,没有发现结团现象,但第一场次纤维在混凝土分布不明显,第二场次分布较明显。掺加纤维对混凝土流动性、含气量不足有一定影响,增加了混凝土振捣排水、排气难度,通过玻璃试验块观测,部分水气泡与纤维附着在模板上,振动时难以排出,建议正式浇筑时不掺纤维。

3.5 脱模剂对比

通过试验对比,拆模后试验证明色拉油、皂化油、干粉三种脱模剂均有着较好的脱模效果,色差较小。机油污染仓面镀膜速度慢,施工难度大且膜易破损,一旦破损需整个更换,不经济,脱模效果一般。因色拉油脱模剂“镜面”效果最为明显且具有附着性强、不易流失的优点,脱模效果好,在模板打磨干净条件下无明显色差,且无化学污染,

建议选用色拉油作为脱模剂。

4 镜面混凝土施工

镜面混凝土成功应用其评价标准为镜面效果长时间维持以及结构的安全稳定,影响镜面混凝土外观质量的因素很多,其中混凝土振捣以及施工过程质量控制是两个重要因素^[2]。抗冲耐磨混凝土要达到镜面效果,应最大限度地减少外观缺陷,保证其表面的光洁度及平整度,且体型不得侵占净空断面。

4.1 振捣过程控制

根据工艺性试验结果,正式浇筑时,初振采用 A100 型硬轴振棒,复振采用 A70 型软轴振棒,初振时间为 60 s,复振时间 45 s,间隔时间 20 min,插入点采用正方形或梅花布置,间排距为 30 cm×30 cm。钢筋密集、狭窄区域采用 $\phi 70$ 振捣棒振捣,并需不断调整插入角度,保证不留死角,以防漏振。振捣过程中应快插、慢拔,为使上下层混凝土振捣密实均匀,可将振捣棒上下抽动,抽动幅度为 5~10 cm。靠模板侧使用 A70 振捣棒,振捣棒斜插,尽量平行模板,以消减气泡。混凝土振捣执行“定人、定机、定量、定责”,每班安排专人盯仓,按坏层记录振捣方式、振捣时间,为后续振捣工艺调整及改进提供基础数据。在预埋件(止水、冷却水管、监测仪器等)附近应小心振捣,不得直接接触模板,振捣应及时连续,确保混凝土振捣密实。混凝土在保证振捣密实的情况下,不宜长时间振捣和重复振捣,以免造成混凝土分层离析,致使脱模后混凝土表面颜色不一致。

4.2 施工过程质量控制

4.2.1 钢筋安装

钢筋原材料必须有生产厂家的出厂合格证明和检验报告,并按规定进行抽检。在运输过程中应按料牌、分型号、隔离、捆绑等方法,防止钢筋型号无法辨识、窜号,钢筋变形、混乱、松脱及污染。材料进场后,应堆放整齐、支垫牢靠,作好防雨、防潮工作。对所有加工完成的钢筋按批次、分部位进行出厂验收,并用颜色醒目的油漆进行标记、区分,以防混用,验收合格后方可投入使用。对于采用套筒连接方式安装的钢筋,两端丝口均使用保护帽进行保护。钢筋安装完成后,目视结合测量工具进行检查,对于钢筋间距不均匀、绑扎不牢固、外观不平顺的仓面,严禁进入下道工序施工。

4.2.2 模板施工

为避免边墙与底板结合处约束区产生裂缝,泄洪洞无压段、溢洪洞洞身段混凝土衬砌采用“边墙—顶拱—底板”的施工顺序,边墙、顶拱采用液压式钢模台车一次浇筑成型。

台车面板到场后进行外观检查、平整度检测,组装前进行打磨、除锈处理。拼装完成后,再次用 2 m 靠尺加塞尺进行检查,模板平整度控制在 2 mm 以内,若不满足要求,则重新进行校正。模板在使用前须对其表面认真进行清理打磨,模板上残留的灰浆、铁锈必须彻底清除,冲洗干净,在结构钢筋绑扎完成,钢模台车就位后,均匀涂抹脱模剂,以减少振捣过程中模板表面对“水汽泡”的阻滞作用。脱模剂有效期控制在 2 d 以内,如果超过 2 d 则应进行补刷。在涂抹脱模剂的过程中,如果有滴落现象,立即用干净的棉布擦去多余的脱模剂,以防脱模剂污染仓面和钢筋。台车面板与堵头模板接触位置,应做好封堵措施,加固牢靠,浇筑过程中安排人员,对出现异常部位及时进行加固,防止漏浆。

4.2.3 混凝土浇筑

(1)混凝土运输保障。根据抗冲耐磨混凝土坍落度低、温差变化小的要求,采用平板运输车改装的方案,车厢顶部加装移动式顶棚,车厢内底部和棱角以及凹凸处采用厚橡胶板铺设,便于卸料^[3]。

(2)浇筑过程控制。常态混凝土坍落度小,不宜久置,应缩短运输时间,快速入仓。除了运输距离等不可改变的客观因素,入仓方法及设备尤为重要。结合双江口泄洪洞衬砌施工经验,该项目采用“中转料斗+扒渣机+上料皮带机+转料皮带机+布料机+串筒”组成的布料系统作为入仓方式,相比于其他方式,在一定程度上缩短了运料车候车时间,减少因运料车现场等待时间较长对混凝土坍落度及和易性的影响,保证了混凝土的入仓质量。

下料坏层厚度按 45 cm 控制,坏层线用红色油漆进行标识,下料时优先向基岩面侧布料,避免骨料冲击模板或在模板内侧造成骨料集中现象。下料过程中溜桶来回摆动,保证下料均匀,混凝土应随浇随平仓,不得使用振捣棒振捣的方式代替平仓。若产生骨料堆积时,应人工将其铲至砂浆

较多的部位,避免产生蜂窝、麻面。平仓时应及时将集中大骨料均匀分散到未振捣的富浆混凝土上,不得将集中大骨料覆盖到已振捣的混凝土表面上,也不得用水泥砂浆覆盖骨料集中区,应特别注意将模板、止水片和钢筋密集部位的大骨料分散到其他部位,而各种埋件位置、预留槽等狭小空间位置应采用人工平仓,遇到超径石应清理至仓外^[4]。浇筑过程中应做到左、右两侧边墙位置对称均匀下料,两侧边墙位置的混凝土升高差控制在 1 m 以内。混凝土浇筑过程中严禁加水,不合格的混凝土严禁入仓。如因故终止并超过允许间隔时间且初凝时,应按施工缝处理,若能重塑者,仍可继续浇筑混凝土。

(3)模板污染处理。仓内采用溜桶进行下料,但骨料下落高度大,在下一坯层进行布料时,粗骨料与上一坯层混凝土发生碰撞造成浆液飞溅污染模板,对脱模后的外观质量造成影响,为此,采用土工布对台车模板进行覆盖,并随浇筑高度上升逐步提升,能有效防止浇筑过程中对模板面的污染。

(4)现场检测。每班浇筑施工时,现场配置 1 名试验检测人员,对含气量、坍落度、温度进行检测,对于不满足要求的退回拌和楼,坚决不允许入仓。

(5)钢、木模结合处理。边墙与底板结合部位采用木模进行封堵,在实际施工过程中发现,钢模底部受侧压力较大,容易出现胀模现象,且底板两侧底角钢筋较密,木模穿孔处易造成漏浆,导致边墙底部出现错台、烂根等外观缺陷。针对此情况,在钢模底角处加设对撑横杆,平衡两侧模板所受的侧压力,最大限度减小面板形变带来的影响,木模孔洞使用橡胶塞+土工布封堵,防止振捣过程中漏浆。

5 温控措施

泄洪、溢洪洞均为大体积混凝土,温控难度大、要求高,是防止混凝土表面产生裂缝的关键,也是保证镜面混凝土外观质量的重要步骤,应控制好出机口温度、运输过程温度、浇筑温度及通水冷却温度。

(1)出机口温度。出机口温度应尽量降低,但低温季节不低于 5℃,高温季节不得高于 16℃,当混凝土温度值低于设计要求($\leq 5^{\circ}\text{C}$)时,应考虑采用热水拌制混凝土;混凝土温度值高于设计

要求($\geq 16^{\circ}\text{C}$)时,采用预冷混凝土,在混凝土拌和系统使用风冷骨料和加冰拌和的方式生产预冷混凝土。

(2)运输过程温度。主要采用自卸汽车及混凝土搅拌车运输混凝土。对于自卸汽车,在车厢墙板外粘贴保温板,在车厢顶部设移动式帆布遮阳棚;对于混凝土搅拌运输车,在罐体外面采用阻燃型保温被覆盖,减少运输过程中混凝土热量散失和倒灌;采用自卸汽车运输混凝土时应尽量少在明线段停留,尽量减少倒运次数和尽可能缩短混凝土运输时间,减少混凝土在运输过程中的水分损失、热量散失和倒灌。

(3)浇筑温度。浇筑混凝土前,切实做好备仓工作,施工人员、设备、保温隔热材料到位,冷却水加热和制冷设施工作正常。高温季节宜尽量避免高温时段浇筑混凝土,应充分利用早晚及夜间气温低的时段浇筑。冬季气温低时,脱模后立即覆盖等效热交换系数 $\beta \leq 7.2 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C})$ 的保温材料,保温材料应紧贴被保护面。在洞室各进出口、直通外部的各支洞口采取挡风帘或封闭措施,若仍不能满足要求,考虑在洞内浇筑仓面附近设置电暖风机。混凝土浇筑温度见表 3。

表 3 混凝土浇筑温度表 /℃

月份	5~9 月	3 月、4 月、10 月	11 月~次年 2 月
浇筑温度	$t \leq 18$	$t \leq 15$	$5 \leq t \leq 12$

(4)通水冷却温度。冷却水管平行于水流方向布置,埋设在衬砌中间。衬砌厚度不大于 1.5 m 时,冷却水管单排布置,水管间距为 0.75~1.00 m;衬砌厚度为 2.0 m 及以上时,冷却水管 2 排布置,水管间排距 0.75~1.00 m。混凝土冷却水管采用高密度聚乙烯冷却水管,水管外直径 $\phi 32 \text{ mm}$,壁厚 2 mm,导热系数 $\geq 1 \text{ kJ}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C})$ 。混凝土浇筑前,冷却水管中应通以不低于 0.2 MPa 压力的循环水检查。应用压力表及流量计同时指示管内的阻力情况。水管应细心地加以保护,在混凝土浇筑或混凝土浇筑后的水管通水检查试验等其他工作中,防止冷却水管移位或破坏,伸出混凝土的管头应加帽覆盖的方法等予以保护。与各条冷却水管之间的联结应随时有效,并能快速安装和拆除,同时要能可靠控制某条水管的水流而不影响其他冷却水管的循环水,所

(下转第 140 页)

问题,设计因地制宜,该工程堆石坝坝体结构分区、开挖料利用及料源参数设计、大坝基础振冲桩加固处理、心墙基座接触面连接方式、心墙沥青混凝土设计参数等方面提出了一些有益的设计方案,目前工程应用效果良好,相关设计成果可为后续类似工程建设提供一些参考。

参考文献:

[1] 中国水力发电工程学会水工及水电站建筑物专业委员会. 2002 年水工专委会学术交流会议学术论文集[C]. 2002 年 5 月 11-13. 丽江, 中国.

[2] 何顺宾,胡永胜,刘吉祥. 冶勒水电站沥青混凝土心墙堆石坝设计[J]. 水电站设计, 2006, 22(2): 46-53.

[3] 索丽生, 李宁, 高安泽, 等. 水工设计手册(第 6 卷): 土石坝[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2014.

(上接第 133 页)

有水管的进、出端均应作好清晰的标记以保证整个冷却过程中冷却水能按正确的方向流动。总管的布置应使管头的位置易于调换冷却水管中水流方向^[5]。

混凝土入仓时即可开始通水冷却,通水时间 7~10 d 左右。混凝土温度与水温之差不超过 20~25℃,冷却水温度控制在 10~15℃;通水开始至出现混凝土最高温度后 1 d,通水流量宜为 1.5~2.0 m³/h;出现最高温度 1 d 后,通水流量不宜超过 1.5 m³/h;泄洪洞、溢洪洞现场采用每 24 h 调整一次冷却水进出水方向,混凝土日降温幅度不超过 1℃。

6 结 语

高流速、大泄量的泄洪洞、溢洪洞抗冲耐磨混凝土要想达到镜面混凝土标准,工艺性试验的开展是必不可少的,通过试验确定模板材质、最佳振捣参数及脱模剂,可在一定程度上提高实现镜面混凝土目标的概率。温度控制措施是防止混凝土结构表面裂缝产生的重中之重,需严格执行温控要求。施工过程的质量控制是镜面混凝土实现的

[4] 土石坝沥青混凝土面板和心墙设计规范:NB/T1 1015-2022[S].

[5] 碾压式土石坝设计规范:NB/T 10872-2021[S].

[6] 水电工程边坡设计规范:NB/T 10512-2021[S].

作者简介:

柏俊磊(1988-),男,湖北十堰人,高级工程师,硕士,从事水工设计及项目管理相关工作;

张华明(1967-),男,陕西汉中,人,正高级工程师,学士,从事水工设计及项目管理相关工作;

李天宇(1981-),男,辽宁本溪人,高级工程师,硕士,从事水工设计及项目管理相关工作;

李 进(1984-),男,湖北南漳人,工程师,硕士,从事水电工程建设管理工作。

(编辑:吴永红)

基础,应做好事前、事中控制,严格执行质量标准要求。纤维的掺加虽能改善混凝土的物理力学性能,但可能对混凝土外观质量不利,最终影响混凝土的镜面效果。

参考文献:

[1] 黄必虎. 水工“镜面”混凝土施工技术[J]. 建设机械技术与管理, 2008(5): 111-113.

[2] 杜新国. 镜面混凝土质量影响因素及结构稳定性研究[J]. 铁道建筑技术, 2022(10): 27-31.

[3] 于洋. 浅谈水利水电隧道施工“镜面混凝土”保障措施[J]. 铁路采购与物流, 2023, 18(6): 59-61.

[4] 王丰,赵希平,陈伟民. 溪洛渡水电站泄洪洞抗冲耐磨混凝土施工技术[J]. 水利水电技术(中英文), 2013(4): 34-37.

[5] 杨士彬. 水电站泄洪洞工程温控技术研究[J]. 科技传播, 2012(10): 144, 149.

作者简介:

余建国(1994-),男,四川西昌人,工程师,工学学士,从事水利水电工程施工工作;

衣志勇(1989-),男,黑龙江哈尔滨人,工程师,本科,从事水利水电工程施工工作;

杨红富(1994-),男,云南大理人,助理工程师,本科,从事水利水电工程施工工作。

(编辑:吴永红)