

深竖井二期混凝土可升降操作平台施工技术研究

王 强

中国水利水电第十一工程局有限公司, 河南 郑州 450001

[摘要]依托抽水蓄能电站深竖井工程,提出基于可升降操作平台的二期混凝土施工技术。系统阐述操作平台结构设计、卷扬提升系统、安全防护装置及分层浇筑工艺,形成“平台就位→模板安装→分层浇筑→平台提升”循环作业工法。工程实践表明,该技术有效解决了深竖井二期混凝土施工难题。

[关键词]可升降平台;二期混凝土;施工工艺;深竖井

DOI: 10.33142/aem.v8i5.19919

中图分类号: TU758

文献标识码: A

Research on Construction Technology of Secondary Concrete in Deep Shaft Using Elevatable Operation Platform

WANG Qiang

Sinohydro Bureau 11 Co., Ltd., Zhengzhou, He'nan, 450001, China

Abstract: Based on the deep shaft project of pumped storage power stations, a secondary concrete construction technology based on a lifting operation platform is proposed. The system elaborates on the structural design of the operating platform, the hoisting system, safety protection devices, and the layered pouring process, forming a cyclic operation method of "platform positioning → formwork installation → layered pouring → platform lifting". Engineering practice has shown that this technology effectively solves the problem of concrete construction in the secondary of deep shaft.

Keywords: elevatable platform; secondary concrete; construction technology; deep shaft

引言

随着我国抽水蓄能电站建设规模的不断扩大,地下厂房及输水系统常涉及大深度竖井结构。在水电工程中,竖井作为连接地下厂房与地表的重要通道,其施工质量直接关系到整个工程的安全运行。在竖井一期混凝土衬砌完成后,往往需要进行门槽、轨道等预留部位的二期混凝土浇筑。该工序面临空间受限、垂直运输距离长、模板加固困难、安全风险突出等技术挑战。

目前,国内外对于竖井混凝土施工主要采用吊罐入仓、泵送入仓及溜管入仓等工艺。吊罐入仓方式具有设备通用性强、适用性广、成本相对较低等优点,在交通行业超深竖井中已有成功应用案例。然而,对于抽水蓄能电站狭窄的矩形竖井门槽二期混凝土施工,常规的施工方法难以满足精度要求和安全要求,需要开发专用的可升降操作平台配合施工。

本文依托河北抚宁抽水蓄能电站尾水闸门井工程,重点研究基于可升降操作平台的二期混凝土施工工艺,以期同类工程提供技术参考。

1 工程概况

河北抚宁抽水蓄能电站位于河北省秦皇岛市抚宁区,电站装机容量 1200MW,安装 4 台单机容量 300MW 的可逆式水泵水轮机组。电站下水库进/出水口共设 4 座闸门井,布置于下水库后门沟与黑沟之间的山梁上。

闸门井为矩形竖井结构,平台高程 EL232m,底板顶高程 EL179.38m,竖井高度 52.62m。目前一期混凝土及门楣以下二期混凝土已浇筑完成,需进行门楣以上二期混凝土施工(EL179.36~EL232)。

单孔门槽二期混凝土截面尺寸为 0.6m×0.65m,横向间距 4.5m,纵向间距 1.1m。混凝土标号为 C35W6F300,具有高抗渗(W6)、高抗冻(F300)的技术要求。门井基座底坎采用二期混凝土浇筑,上游侧截面尺寸为 0.8m×0.5m,下游侧底坎中心线与检修闸门槽中心线间距 426mm。

施工技术难点主要包括:①垂直运输距离大,52.62m 深井内混凝土及材料需垂直输送,对提升设备要求高;②作业空间受限,二期混凝土最小截面仅 0.6m×0.65m,模

板加固和振捣操作困难;③安全风险突出,深井作业存在高处坠落、物体打击等多重风险;④质量要求严格,混凝土抗渗等级 W6、抗冻等级 F300,需严格控制浇筑质量。

2 可升降操作平台设计

2.1 设计原则

操作平台设计遵循以下原则:①结构安全可靠,强度、刚度和稳定性满足施工荷载要求;②重量轻便,便于加工、运输和安装;③操作方便,满足混凝土入仓、模板安装、振捣等作业需求;④防护齐全,确保作业人员安全。

2.2 平台主体结构

平台采用轻型桁架梁整体框架结构,材质选用 Q235 角钢(75×75×7mm)。选择桁架结构的原因在于其受力合理、自重轻、刚度大,能够在承载较大荷载的同时保持

较小的自重。Q235 钢材具有良好的焊接性能和塑性变形能力,屈服强度不低于 235MPa,满足施工要求。

平台共设置上下两层,上下层加工参数一致,层间采用角钢焊接连接。双层结构的设计优点在于:上层可作为材料临时堆放平台和主要操作面,下层可作为检查维护通道,功能分区明确,互不干扰。上下层之间净空高度为 1.8m,确保人员通行便利。

盘面采用 30mm 厚木板铺设密实,木板与骨架之间采用 12 号铁丝绑扎牢固,每块木板至少绑扎 3 道。木板铺设时严格控制板间缝隙,缝隙宽度不得超过 5mm,防止小型工具或材料掉落。

平台主要技术参数如下:结构形式为双层桁架式,材质为 Q235 角钢(75×75×7mm),面板为 30mm 厚木板,平台自重约 1.0t,使用高程范围 EL179.38m~EL231.00m。

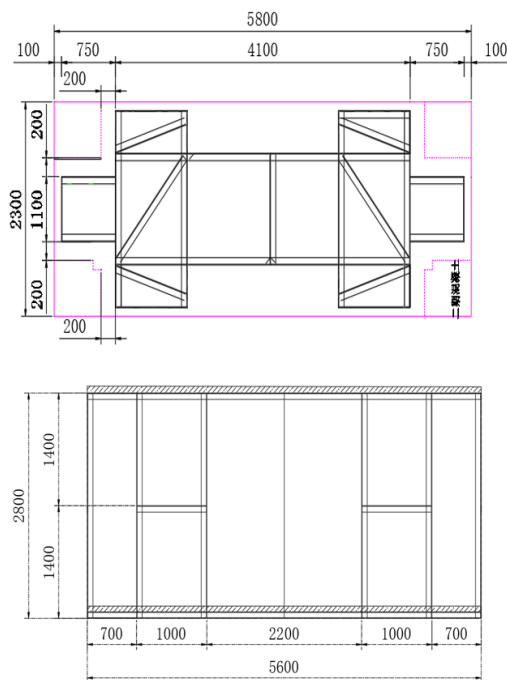


图 1 二期混凝土操作平台加工示意图

2.3 提升系统设计

(1) 卷扬机选型与布置

综合考虑平台自重(1.0t)、施工荷载及动载系数(取 2.0),选用 2 台 5t 卷扬机作为提升动力设备。卷扬机采用 KT14-5T 型,额定拉力 5t,钢丝绳速度可调(0~10m/min),电动机功率 7.5kW,制动器为电磁制动式。

卷扬机布置于井口距离边缘 3m 处,位于门槽中心线上。两台卷扬机采用多通道遥控器实现同步控制,遥控器具备至少两个独立控制通道,可分别控制上升、下降及速度调节。

(2) 卷扬机固定

单台卷扬机采用 4 根 $\phi 20$ 圆钢作为地锚进行固定。地锚采用 Q235 圆钢,直径 20mm,入岩深度 2m,外露长度 0.5m。地锚施工工艺流程为:定位放线→钻孔→清孔→安放地锚→灌注 M30 水泥砂浆→养护→安装卷扬机。钻孔直径不小于 40mm,钻孔深度不小于 2.1m,养护时间不少于 7 天。

地锚与卷扬机金属结构机座采用双面角焊缝焊接,焊脚高度不小于 8mm。卷扬机安装后应进行水平度调整,水平度偏差不大于 1/1000。

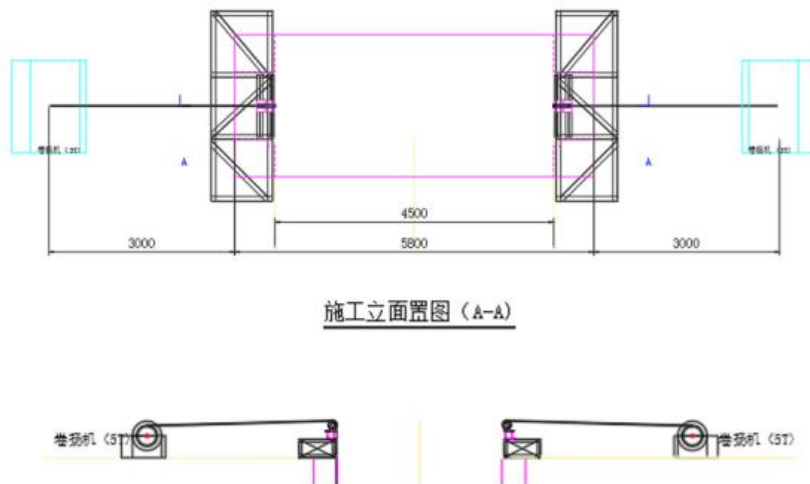


图2 卷扬系统位置布置示意图

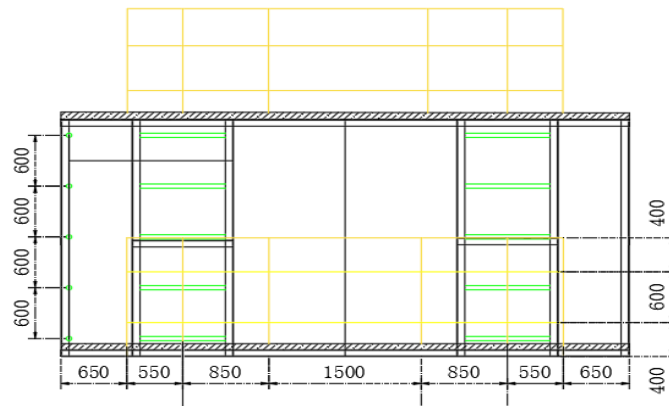


图3 楼梯及安全护栏安装示意图

(3) 定滑轮安装

在井口对应卷扬机中心线位置，设置由75角钢焊接而成的钢桁架。钢桁架尺寸为长3.08m、宽1m、高0.5m，采用平面桁架形式，上弦杆、下弦杆和腹杆均采用75×75×7mm角钢，节点采用焊接连接。钢桁架的承载能力按不小于10t设计，安全系数不低于2.0。

定滑轮安装于钢桁架上，固定于靠井口侧中心线位置。定滑轮首先焊接在两根I20工字钢上，工字钢与钢桁架焊接固定。定滑轮采用5t~10t座轮，滑轮槽形状与钢丝绳直径匹配。钢桁架两侧采用4根 $\phi 20$ 圆钢进行固定，防止使用过程中发生位移或倾覆。

2.4 安全防护系统设计

(1) 三重防坠保护

卷扬系统采用“工作绳+安全绳+防坠器”三重防坠保护机制。工作绳承担平台及施工荷载的全部拉力，选用 $\phi 20\text{mm}$ 钢丝绳（6×37+FC，1770MPa），最小破断拉力234kN，共4根。安全绳采用 $\phi 20\text{mm}$ 钢丝绳，独立锚固

于直径28mm的地锚，锚固点独立于工作绳支架。安全绳与工作绳平行布置，间距不小于2倍绳径。防坠器安装于操作平台与安全绳之间，当平台失控坠落时自动锁止，锁止距离不大于0.2m，额定锁止荷载不低于10t。

(2) 行程限位装置

在上止点和下止点各约10cm处各安装一只行程限位器，采用LX19-111型，动作精度 $\pm 5\text{mm}$ 。当操作平台运行至限位位置时，限位器动作，自动切断卷扬机电源，同时发出声光报警信号。行程限位器每周检查一次。

(3) 平台防护设施

操作平台上下两侧采用 $\phi 48 \times 3.5\text{mm}$ 钢管设置安全防护栏杆。立杆间距不大于2m，上横杆高度1.2m，中横杆高度0.6m，底部设高度180mm的踢脚板（3mm厚钢板）。防护栏杆涂刷红白相间警示漆。

平台内设置爬梯供人员上下移动，爬梯宽度不小于50cm，每隔60cm焊接 $\phi 25$ 钢筋作为踏步，踏步钢筋做防滑处理，两侧设扶手（高度0.9m）。

2.5 吊耳设计

平台上设置 4 处吊耳, 对称布置于四角。吊耳参数: 吊索方向角 30° , 板厚 20mm, 吊孔直径 40mm, 顺受力方向吊孔边距 80mm, 两侧边缘与吊孔边缘净距 100mm, 底部宽度 150mm, 材质 Q235B。吊耳板采用整板切割成型, 吊孔边缘倒圆角 ($R \geq 3\text{mm}$)。吊耳板与平台主梁之间采用双面角焊缝连接, 焊脚高度不小于 8mm。

吊耳与 2 钢丝绳之间采用 D 型卸扣连接 (额定荷载不低于 5t)。钢丝绳末端通过绳夹形成绳环, 绳夹数量不少于 3 个, 相邻绳夹中心距不小于 6 倍钢丝绳直径。

3 操作平台安装与调试

3.1 平台加工与组装

操作平台按照设计图纸在专业加工厂加工制作。角钢下料采用机械切割, 切割面平整度偏差不大于 1.5mm。焊接采用 E43 系列焊条, 焊工持有特种作业操作证。构件加工完成后进行厂内预拼装, 检查尺寸匹配情况。

操作平台在高程 EL179.38m 平台进行组装, 组装精度控制标准为: 主梁中线偏差 $\leq 2\text{mm}$, 连接梁、横梁中线

偏差 $\leq 5\text{mm}$, 操作盘平整度 $\leq 10\text{mm}$ 。

3.2 卷扬系统调试

调试前检查卷扬机机械结构、电气设备状态及同步控制系统参数。调试内容包括: 单机空载测试 (分别以低速 2m/min、中速 5m/min、高速 10m/min 各运行 10min)、同步空载运行 (低速同步运行 5min)、负载同步试验 (施加 30%~70% 额定负载, 分阶段测试)、长时间运行测试 (70% 额定负载持续运行 30min)。

采用多通道遥控器同时控制两台卷扬机运行, 接收器响应时间不大于 0.1s。

3.3 平台验收

平台安装调试完成后组织验收, 验收内容包括: 焊缝外观检查 (无裂纹、夹渣、未焊透)、防护设施检查 (栏杆高度、踢脚板符合要求)、静载试验 (1.25 倍设计荷载持续 4h)、动载试验 (1.1 倍设计荷载模拟作业)、电气系统检查 (绝缘良好, 漏电保护器动作可靠)。验收合格后张贴验收牌, 注明验收日期、验收人员、允许荷载等信息。

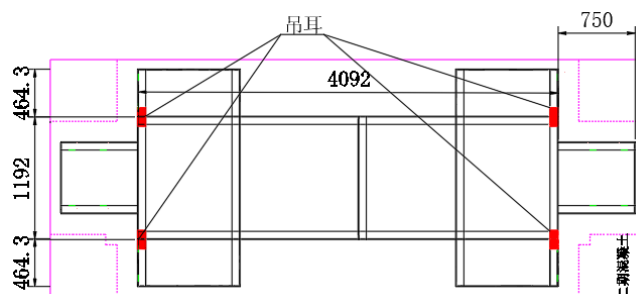


图 4 吊耳布置图

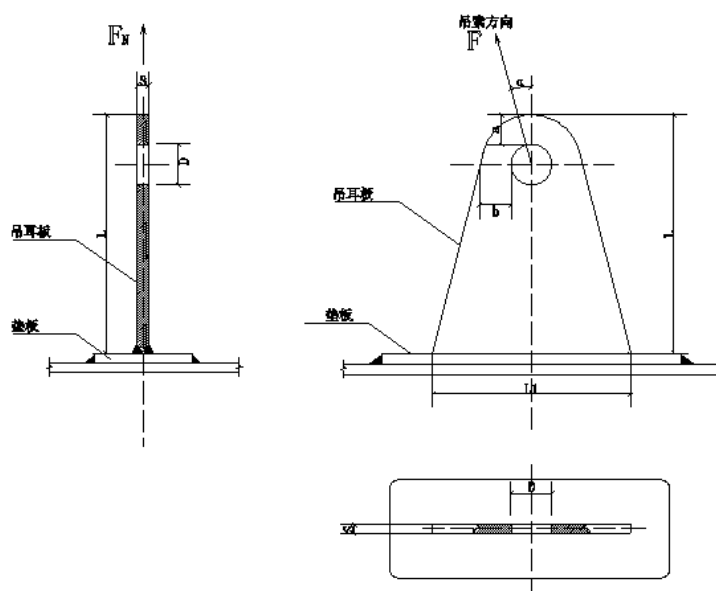


图 5 吊耳结构示意图

4 基于操作平台的二期混凝土施工工艺

4.1 总体工艺流程

二期混凝土施工总体工艺流程为：一期、二期结合面处理→测量放线→操作平台就位→模板安装及加固→混凝土运输与入仓→分层浇筑与振捣→平台提升→下一循环→模板拆除→成品养护。

4.2 结合面处理

采用人工对一期混凝土表面进行凿毛处理，凿毛深度3~5mm，凿毛密度每平方米不少于500点，露出新鲜混凝土面。清除混凝土碎块及粉尘，将预留插筋调直。采用高压水（压力不小于10MPa）冲洗干净，排干积水。

4.3 测量放线

采用全站仪（精度2"）对门槽安装后的主要控制点进行测量复核，与金属结构安装单位的测量成果比对，偏差不大于2mm时方可进行后续施工。

4.4 模板安装及加固

采用1.5cm厚胶合木模板，表面涂刷脱模剂，拼缝处粘贴海绵条防止漏浆。利用一期预留插筋作为锚点，采用 $\phi 12$ 拉筋内拉固定，间距60cm×60cm（竖向×水平向）。拉筋与插筋采用双面焊接，焊缝长度不小于60mm。

采取边浇筑边立模方法，模板每隔1.5~2m设振捣窗口（300×300mm），浇筑至相应高程时关闭窗口并加固。

4.5 混凝土垂直运输与入仓

混凝土由拌合站集中拌制，通过8m³运输车运至井口。采用25t汽车吊将0.5m³吊罐提升至操作平台，通过溜槽或悬挂 $\phi 20$ cm溜筒入仓，自由倾落高度不超过2m。采用对称多点下料方式，单侧下料速度控制在0.2~0.3m³/min。

4.6 分层浇筑与振捣

分层厚度300mm，采用 $\phi 50$ 或 $\phi 30$ 软管插入式振捣器。振捣遵循“快插慢拔”原则，插入下层混凝土约5cm，振捣点间距不大于400mm。每点振捣时间20~30s，以混凝土不再下沉、不出现气泡、表面泛浆为止。已开仓混凝土必须连续浇筑完成，不得出现冷缝，严禁仓内加水。

4.7 平台提升

混凝土初凝后2~4h，待混凝土达到一定强度，所有施工人员撤离至井口平台后，通过遥控器同步控制两台卷扬机，以2m/min速度平稳提升平台300mm至下一施工层位。提升过程中同步误差控制在10mm以内，平台倾斜度不超过1/200。

4.8 模板拆除与养护

不承重模板在混凝土浇筑后24~48h（夏季）或48~72h（冬季）拆除。拆除后对拉杆头进行切除（距表面5~10mm），发现缺陷及时处理。混凝土浇筑结束后12h内开始洒水养护，养护时间不少于28d。

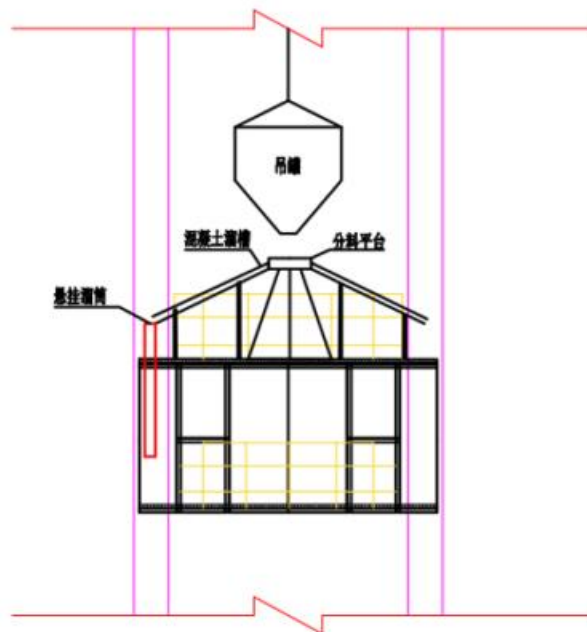


图6 二期混凝土入仓示意图

5 质量控制措施

5.1 原材料控制

水泥、粉煤灰、外加剂由指定厂家供应,每批次取样不少于3组进行复检,合格后方可使用。每季度对砂石骨料进行全分析试验,每日检测细度模数及含泥量,不合格品严禁使用。

5.2 浇筑过程控制

浇筑前检查钢筋位置及保护层厚度,垫块间距不大于800mm。下料自由倾落高度不超过2m,下料点距模板不小于500mm。模板变形位移时立即采取措施。

5.3 温控防裂措施

采用低热硅酸盐水泥(水化热 $\leq 250\text{kJ/kg}$),掺加I级粉煤灰(掺量15%~25%),选用高效减水剂(减水率 $\geq 20\%$)。骨料堆场喷水降温、搭设遮阳棚,拌和用水采用 2°C 冷却水,粗骨料预冷至 $0\sim 3^{\circ}\text{C}$,控制出机口温度 $\leq 20^{\circ}\text{C}$ 。混凝土罐车包裹保温材料,浇筑后覆盖土工布洒水养护,冬季覆盖保温被。

6 安全管理措施

6.1 平台操作要求

平台使用前须验收合格,每次使用前进行日常检查。平台提升前人员撤离至安全位置。定期检查钢丝绳(每周)、制动装置(每班)、限位器(每周)、防护栏杆(每班),发现问题立即整改。平台不得超载(最大荷载 $\leq 2\text{t}$),分叠堆载。

6.2 混凝土浇筑安全要求

振捣器使用前经电工检验(绝缘电阻 $\geq 0.5\text{M}\Omega$),开关箱装设漏电保护器(动作电流 $\leq 30\text{mA}$)。作业人员穿绝缘鞋、戴绝缘手套。平台照明采用36V低压电。患有高血压、心脏病等不适于高处作业的人员不得参加平台作业。

6.3 应急措施

如遇断电或制动失灵,启用手动释放装置缓慢降落平台。发现异常振动、异响立即停机检修。卷扬机断绳时安全绳及防坠器自动锁止。现场配备应急物资(担架2副、急救药箱1个、绝缘工具2套、应急灯具4套),与附近医院建立应急联动机制,每半年组织应急演练一次。

7 结语

本文依托河北抚宁抽水蓄能电站尾水闸门井工程,针对52.62m深竖井门楣以上段二期混凝土施工的技术难题,研究并实践了基于可升降操作平台的施工技术,形成以下结论:

(1)平台设计方面:设计的轻型桁架式双层操作平台(Q235角钢 $75\times 75\times 7\text{mm}$,自重1.0t),受力合理、刚度大、自重轻。配合双卷扬机同步提升系统(2台5t卷扬机,遥控同步控制),为狭窄空间内的二期混凝土施工提供了稳定、可靠的作业平台。

(2)安全保障方面:建立了“工作绳+安全绳+防坠器”三重防坠保护体系,配合行程限位装置和平台防护栏杆,形成了多层次、互为备份的安全防护系统,有效保障了深井作业的人员安全。

(3)施工工艺方面:形成了“平台就位→模板安装→分层浇筑→平台提升”的循环作业工法。通过控制自由倾落高度不超过2m,采用对称多点下料和分层振捣工艺,有效保证了混凝土的均匀性和密实性。

(4)质量控制方面:通过低热水泥、骨料预冷、冷却水拌和等措施控制混凝土温度,结合洒水养护和冬季保温覆盖,有效预防了温度裂缝的产生。

工程实践表明,该施工工艺运行平稳、安全可靠、质量优良,可有效指导同类深竖井二期混凝土工程的施工。

[参考文献]

- [1]任苇,陈锐睿,纪建林.抽水蓄能电站斜(竖)井工程设计与施工技术实践[M].北京:中国水利水电出版社,2025.
- [2]王明胜,等.软弱地层超深竖井的设计与施工[J].地下空间与工程学报,2008,4(4):714-716.
- [3]朱学鹏,刘衡,王秦阳等.一种用于竖井压力钢管安装作业的升降平台及施工方法:201910139022.9[P].2019-06-28.
- [4]侯晓斌,孟健,翁凯乐,等.某抽水蓄能电站调压井围岩与支护结构稳定性数值模拟[J].科技通报,2026(3):98-106.
- [5]侯海龙,付哲,李世斌.逆作法井口锁口在敦化电站竖井的应用[J].东北水利水电,2025(9):14-16.

作者简介:王强(1989—),男,汉族,河南济源人,工程师,本科,河南城建学院土木工程专业,现从事水利水电工程施工技术工作。