

# 横跨高速公路零沉降顶管施工技术研究

谢旭智

(中国水利水电第七工程局有限公司,四川成都 610213)

**摘要:**近年来,随着我国城市化进程的进一步加快,市政工程的发展速度持续快速增长,而在进行市政给水工程与电力通信综合管廊工程施工时,使用横跨高速公路零沉降顶管施工技术能够带来直接的经济效益。结合某市政项目给水工程、电力通信综合管廊工程施工横跨高速公路的工程实践,对比了几种目前施工中常见的顶管施工方法在复杂环境下的可行性,具体介绍了该市政工程横跨高速公路零沉降顶管施工在该项目中具有的优势与技术标准、施工流程,切实解决了横跨高速公路给水工程施工与电力通信综合管廊工程施工对高速公路产生的沉降问题,有效加快了施工进度,取得了良好的社会效益和经济效益。阐述了对横跨高速公路零沉降顶管施工技术进行的研究过程。

**关键词:**市政给水工程;电力通信综合管廊工程;横跨高速公路;零沉降;顶管;施工技术

**中图分类号:**U455;U453;U458

**文献标志码:** B

**文章编号:**1001-2184(2023)05-0022-05

## Research on Zero-settlement Pipe Jacking Construction Technology of the Crossing Highways

XIE Xuzhi

(Sinohydro Bureau 7 Co., LTD., Chengdu Sichuan 610213)

**Abstract:** In recent years, with the further acceleration of the urbanization process of China, the development speed of municipal engineering continues to grow rapidly. The use of zero-settlement pipe jacking construction technology of the crossing highways in the construction of municipal water supply engineering and power communication comprehensive pipe gallery engineering can bring direct economic benefits. Based on the engineering practice of a certain municipal project's water supply engineering and power communication comprehensive pipe gallery construction of the crossing highways, this paper compares the feasibility of several common pipe jacking construction methods in complex environmental conditions, and specifically introduces the advantages, technical standards, and construction process of zero-settlement pipe jacking construction of the crossing highways, solving the problem of settlement caused by the construction of water supply engineering and power communication comprehensive pipe gallery engineering of the crossing highways, effectively accelerating the construction progress, and achieving good social and economic benefits. This describes the research process on zero-settlement pipe jacking construction technology of the crossing highways.

**Key words:** Municipal water supply project; Power communication integrated pipe corridor project construction; Crossing highway; Zero-settlement; Pipe jacking; Construction

### 1 概述

在市政工程横跨高速公路等结构物的给水工程与电力管廊工程建设过程中,顶管施工技术在实际施工中具有特别重要的意义。但因顶管施工技术的特殊性及其专业性,在其应用过程中对其技术的专业性、技术性要求较高。因此,如何正确做

好顶管施工并进一步改善其使用效果,使顶管施工技术具备普遍的适应性和可操作性,就需要以工程实际和该施工方法的特点为出发点,对施工中的各个环节进行标准化作业,精细化控制,方能使顶管施工技术的特点得到充分发挥和提升,达到将横跨高速公路的给排水工程、电力通信综合管廊工程对高速公路的影响降到最小的目的。

收稿日期:2023-05-10

笔者结合某市政项目横跨高速公路零沉降要求着重介绍了泥水平衡顶管法的具体运用过程。

某市政项目跨高速公路段的新建给水管总长度为150 m,管材选用Ⅲ型钢筋混凝土管,管径为800 mm;新建缆线管廊(电力通信)的总长度为

133 m,管材选用Ⅲ型钢筋混凝土管,管径为1 500 mm。顶管井采用井坑法施工,其中新建Φ6 000 mm雨水顶管工作井2座,缆线管廊工作井2座,Φ4 000 mm顶管接收井2座,新建缆线管廊接收井2座。其典型横断面见图1。

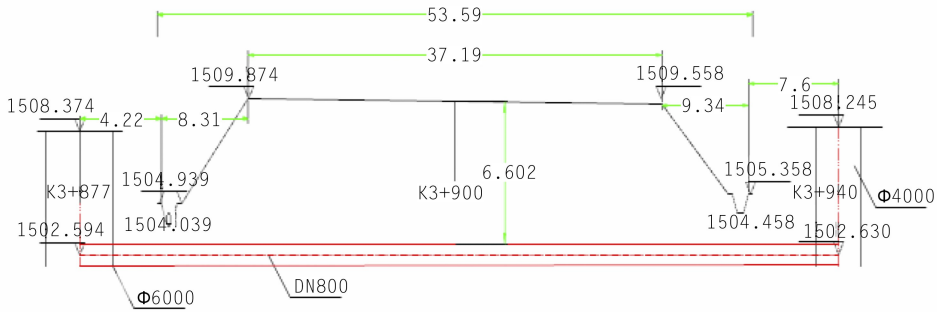


图1 典型横断面图

## 2 施工方案比选

### 2.1 施工方案的初步拟定

该顶管施工条件受外部环境制约多,主要表现在工作井、接收井紧贴沪黄高速,顶管横穿高速公路,施工时会对高速公路基础造成不利影响。受以上因素限制,项目部初步拟定了两种方案。两种施工方案之施工工艺对比情况见表1。

表1 两种施工方案之施工工艺对比表

方案	施工方法	施工工艺
方案1	泥水平衡顶管	施工准备→设备安装与调试→洞口处理,机头进洞→管道顶进→泥浆循环→顶进完成→管道接口处理
方案2	手掘式顶管	施工准备→顶管初始顶进、人工开挖→顶管持续顶进、人工开挖和出渣→砂土装车、外运→测量顶管头的偏位、记录、纠偏→顶铁吊装→拆开各管路、管节吊装、各管路的安装

### 2.2 两种施工方案的分析与对比

方案1采用的施工方法为泥水平衡顶管,即工作井和接收井需要开挖、管道不进行明挖的技术进行地下管线的铺设施工。通过工作井将需要铺设的管线利用设备顶入地下管线中的设计位置并能曲线穿行以绕开一些地下管线或障碍物。

方案2采用的施工方法为手掘式顶管,即工作井和接收井施工完成后在工作井浇筑底板的同时布设导轨,并在井中安装起重设备以供出土用,利用人工边挖土、边出土的方法<sup>[1]</sup>。

两种施工方案具有的优缺点对比情况见表2。

表2 两种施工方案具有的优缺点对比情况表

施工方法	优点	缺点
泥水平衡顶管	(1)施工效率高; (2)劳动力成本低; (3)安全性高; (4)顶进质量可靠、不会产生弯曲	(1)成本相对较高; (2)由于机械作业容易对未探明的地下管线造成损坏
手掘式顶管	(1)施工成本低; (2)工作井、接收井占用场地小; (3)容易发现地下管线,能够防止出现不必要的损失; (4)施工过程简单	(1)施工距离短; (2)安全隐患大,顶进时因空间有限易造成安全事故; (3)施工精度不高,开挖过程中存在管道周围土质不夯实、位置有偏差; (4)管径受限制; (5)地面沉降不受控制

### 2.3 施工方案的确定

项目部技术人员对以上两种方案进行了对比分析,结合该项目的现场实际情况,将最优方案选择为方案1,其原因为:

(1)由于两段顶管皆需下穿高速公路且其最深的覆土厚度仅为6.9 m,且其最小的覆土厚度仅为1 m;而手掘式顶管施工对高速公路造成的沉降影响过大。因此,为保障高速公路正常运行,避免由于顶管施工对高速公路造成的影响最终选择了泥水平衡顶管施工方案。

(2)该项目总体工期短,工期较为紧张。而手掘式顶管效率低,工期长;泥水平衡顶管施工效率高,工期短。为满足施工进度要求,最终选择了泥水平衡顶管施工方案。

(3)考虑到顶管的内径仅为800 mm,手握式顶管实际施工难度较大且其安全系数较低。为保证施工人员安全,最终选择了泥水平衡顶管施工方案。

### 3 施工工艺

#### 3.1 施工要求

(1)顶管施工前,应在顶管施工周围设置观测点,用以监测建筑物的位移沉降、倾斜和裂缝,施工时如因排水量过大而出现沉降,应及时通知相关单位采取处理措施<sup>[2]</sup>。

(2)顶管管材必须符合相应的规范及设计要求。对于管道覆土厚度超过Ⅲ级管最大允许厚度的管段,订货时应向制管厂申明,要求制管厂根据管道的设计覆土厚度对管壁进行加强;顶管采用泥水平衡顶管法施工并采取有效防止地面隆起的措施。

(3)在顶管顶进过程中,必须严格控制顶管轴线上所有点的偏差:①纠偏过程应有记录;②施工过程应绘制工具管偏差轨迹;③竣工资料中应有竣工管轴线实测图。

(4)顶管顶进过程中,必须加触变泥浆进行减阻,触变泥浆的配比应根据现场图纸、地下水水质适配情况确定。在顶管顶进过程中,工具管的压浆应超前于顶进,管外的泥浆不能倒流,应保持泥浆套的压力,对中长距离的顶管全线应设补浆孔。

(5)顶管顶进过程中,施工单位应依据工程情况确定顶力,对中长距离的顶管应根据现场实际情况安装中继环。

(6)顶管施工过程中,应加强对周边建筑物沉降和水平位移的观测,及时分析并整理观测结果,若发现异常应立即停止施工并及时报告业主、设计及监理单位,以便及时采取处理措施。该项监测工作应安排专人24 h不间断进行。

(7)为保护顶管位置其他地下管线的安全,施工时应“低速顶进、压住机头、克服上翘、防止地面隆起”。

#### 3.2 泥水平衡顶管施工工艺流程

##### 3.2.1 顶管井施工

测量放线完成后进行工作井、接收井坑的开挖及混凝土施工。

(1)施工流程。顶管井混凝土施工采用循环

作业,按照设计要求逐层开挖并浇筑混凝土。施工流程为:开挖→钢筋制安→模板施工→混凝土浇筑→拆模→下一层施工<sup>[3]</sup>

(2)开挖。开挖前,由测量放线人员根据图纸尺寸进行桩位测放,经校核无误后用红砖砌出200 m高、240 mm厚的桩护圈,并用醒目的坐标标记物呈三角形布置,在护圈上标出桩心十字型线后方可进行土方的开挖施工。采用人工从上至下逐层用镐、锹挖土,挖土顺序为先中间、后周边,其尺寸的允许偏差不得超过规定的数值。按定位出的中心采用十字吊线检查孔中心的坐标和孔径,然后按工序进行施工,依次循环作业至设计要求的深度<sup>[4]</sup>。

对于开挖出的渣土使用吊桶提升至井外,并用小斗车运至渣土堆放场地,最后统一运至指定区域存放。

(3)钢筋制安。井壁钢筋在钢筋加工厂预先下料加工完成后拉至现场进行安装绑扎。钢筋的绑扎必须按照设计图纸的要求进行,保护层预留3 cm。钢筋安装完成后,经点位校核并由现场监理工程师检查验收后方可进行模板的安装。

(4)模板施工。井壁模板采用钢模板并按井径分块拼装。安装前应涂刷脱模剂,安装时使用专用扣件连接并固定,沿模板底打短插筋进行加固,拼装中留一道接缝夹一根钢管以便于拆模;采用钢管加固、支撑对顶。模板的安装按照设计结构边线进行控制并需保证结构的尺寸。

(5)混凝土浇筑。井壁混凝土采用C30抗渗混凝土,厚度为200 mm。混凝土由吊送装置下送,采用圆形防护板或专用平台作布料台;应对称浇筑,防止模板侧移或跑位;应按要求振捣密实,每次浇筑时按分层厚浇筑,防止漏捣、过振。首节井壁混凝土拆模后放出中心线及标高。

(6)拆模。井壁混凝土终凝8 h后或强度达到拆模要求后方可拆除支撑。拆模时,先拆除钢管等外部加固件,再拆除模板;对于拆下的模板应及时进行清洁,堆放规整;对于变形的模板,应及时修整或更换,然后进行下一节护壁的施工。

##### 3.2.2 泥水平衡顶进施工方案及施工工艺

泥水平衡式顶管是一种全断面切削土体、以泥水压力平衡土压力和地下水压力、以泥水作为输送弃土介质的机械自动化顶管施工方法。其基

本原理是将置于工作井中的顶管掘进机通过主顶油缸向前推进至止水圈后,由电动机提供能量转动掘进机头刀盘切削土层、粉碎石块,并使之进入泥水舱与泥浆混合,然后由泥浆系统的排泥管泵送至地面;与此同时,机头连同管道在持续顶进力的作用下最终穿过土层到达接收井。在挖掘过程中,采用泥水平衡装置维持水土平衡,使顶进的管道始终处于主动与被动土压之间,以达到消除地面的沉降和隆起的效果。

根据设计文件并结合现场实际情况,雨水顶管及管廊顶管均采用泥水平衡顶进的方式施工,采取分段独立作业的方法,即待部分顶进段工作井和接收井施工完成后根据现场具备顶进条件的顶管段进行顶进施工,分段作业以确保其按计划完成施工任务。

### 3.2.3 设备选型

根据工程地质勘察资料及设计图纸要求,该工程顶管施工区域的土质主要为素填土。因此,对顶管机型的选择最终为偏心破碎泥水平衡顶管机。泥水平衡式顶管机顶管施工形象见图2。

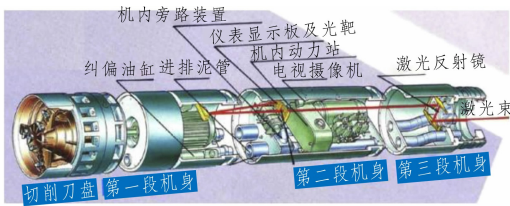


图2 泥水平衡式顶管机顶管施工形象示意图

### 3.2.4 管材与接口

根据该工程的实际情况,顶管采用 DN800 和 DN1500 III 型钢筋混凝土管。

管节的接口主要由外部套环(钢质套环)、软木衬垫、密封胶圈和弹性密封填料组成。外部钢质套环采用成品,运输与吊装过程中应注意对成品进行保护,避免其变形与接口损坏,以确保管节在对接过程中密封胶圈不跑位、不翻口,确保管节的密封性和有效性。

### 3.2.5 顶管测量

根据井位的坐标利用全站仪放出顶进轴线的方向及高程,将轴线放样于工作井井壁的顶面和地面的适当位置。

利用水准仪放出洞口处的点,并通过点划一

条水平的横线。安装并调整激光发射器,将激光束打在通过点的水平横线安装经纬仪并对中 M 点。瞄准标杆(通常设在接收井处),倒镜观察标靶,然后重新整平和对中经纬仪,锁定水平度盘。设备安装与测量情况见图3。

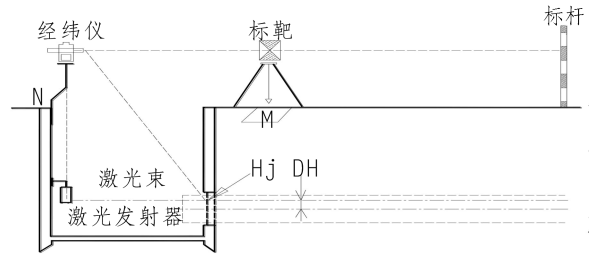


图3 设备安装与测量示意图

在顶管顶进过程中,可能会因为外部原因造成激光发射器偏向或产生大的误差,因此,需要在顶进过程中经常检查激光束的方向是否发生错误或偏差过大。

### 3.2.6 施工机械的安装

(1)设备下井。顶管机头采用吊车吊装到位,包括顶进设备的装拆、顶进管道的吊放和顶铁的装拆、材料的垂直运输。考虑到大直径的顶管机机头重量较大,在机头吊装过程中选用 50 t 汽车起重吊车进行安装。

(2)顶进机械的组装。该工程设备的组装主要包含顶管机、主顶系统、泥水处理系统的安装,其设备安装的要点必须符合设备使用要求。

### 3.2.7 顶进施工

(1)顶进施工前的检查。工作井内的设备安装完毕必须按照操作规程进行检查,看其是否满足相关要求;对于未达到要求的应及时进行调整,检查动力、信号、液压、纠偏、注浆、工作井旁通装置等,确认各系统连接正常并处于良好状态后方可开动机头进行二次检查确认及试机。

由测量工程师检查激光经纬仪系统,查看仪器是否能够正常使用及其测量误差是否控制在允许范围内。若不在允许范围内,应立即更换经仪器检定中心检定合格的仪器。

(2)顶进施工。泥水平衡顶管工法见图4。

①顶进工艺。有条件顶进施工时宜采用全自动顶进设备施工,各相关机械操作主要通过该系统集中控制台控制相关参数。

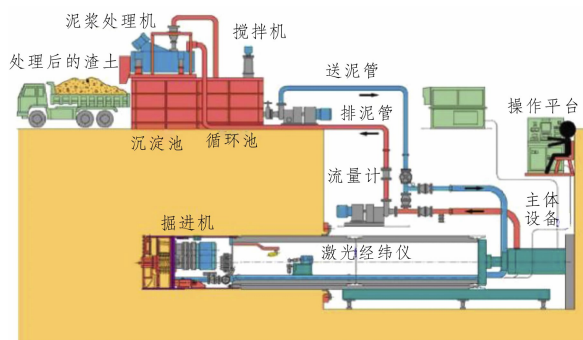


图 4 泥水平衡顶管工法示意图

②泥水平衡施工。顶进千斤顶,观察工作仓中的土压力表,调节渣浆泵的流量使其达到工作仓的泥水平衡。当进泥和吸泥泵稳定工作时,调节进泥和吸泥的泵量,使工作仓内保持一定的压力,其仓内的泥水压力应与地下水压力相平衡。泥水压力过大地面将隆起;泥水压力过小地面将沉陷,故控制顶进与出泥的速度非常关键。然后操作油缸进行顶进,直到顶进一节管。拆除供水、排泥管路,采用吊车将下一节套管安装到作业坑内。在套管的接口位置设置止水胶圈。在为减小应力集中套管接触位置沿套管对接位置安装缓冲垫片,重新安装好排泥和供水管路,检查机具、设备正常后启动顶管机机头和千斤顶继续顶进,重复以上步骤,直至顶管完成。

③泥渣处理。对于施工中产生的泥水通过吸泥泵排到井上泥浆沉淀池或直接将其抽排至泥浆运输车、运输至指定场地进行处理。

#### 4 横跨高速公路顶管施工的质量保证措施

(1)顶管的顶进主要分为初始或起始顶进和正常顶进。从破洞开始一直到第三节混凝土管全部推入土中的全过程称之为初始顶进。在顶管施工过程中,初始顶进是一个至关重要的阶段,其成败将决定整个顶管过程的成败及施工是否顺利。

初始顶进分为以下几个步骤:

①开洞。开洞前,洞口必须要有防止土体、砂层等上方土体塌方的措施。该工程采用的是砖墙+米字型支撑封堵洞口,待井坑下沉到位、顶管之前应拆除米字型支撑及砖墙封门。

②顶管机入土。封门破除后,启动顶管机刀盘,用主顶油缸缓缓将顶管机推入土中。这一过程应注意防止刀盘嵌入砂土中不转而顶管机壳体

旋转,同时观测其在顶入过程中是否存在异常情况,在出洞入土过程中采取控制顶进速度和在顶管机左右两侧加设角撑的办法防止其旋转。

③将机头后方的混凝土管与机头管连接使其形成一个整体,用来控制顶进段的高程和中线在设计的要求之内,至此,初始推进工作完成。此时应停止作业、进行一次全面的测量数据收集并将测量数据绘成曲线以便于分析。

(2)刀盘转速和扭矩的控制。顶进过程中,应根据实际地质情况和顶进施工效果进行刀盘转速和扭矩的控制与调整,待刀盘电流(或油压)平稳后再按照正常速度顶进。

(3)顶进设备的操作要点。顶进设备的操作应按前方顶进反馈效果的控制信息要求实施。应尽量控制顶进速度平稳,尤其要避免出现顶速突然加大、突进的现象。

(4)泥水控制。在泥水平衡顶管中对泥水的管理特别重要。正式顶进前应进行必要的计算以确定泥水的主要技术参数。泥水管理包括对流量、流速、压力、相对密度等进行管理<sup>[5]</sup>。

①流速和流量。流速太小,泥砂会在管内沉淀、堆积,可能会引起管道的堵塞;排水泥砂中含有较大的颗粒,当其粒径大于排泥管内径 1/3 时其排出有困难。为了不造成管道堵塞,其流速必须大于一定值以满足顶进需要,同时又不堵管,从而达到有效的平衡。

②泥水压力。泥水压力主要由排泥管的总长度和挖掘面地下水压力共同决定。鉴于理论计算出的泥水压力与现场实际情况相差较大,故工程对泥水压力的控制主要根据作业队伍以往的施工经验及顶进过程中路面的监测情况确定合理的压力,若监测过程中路面隆起开裂或下沉超过允许值或路面周围出现异常,必须立即停止作业,同时调整泥水压力。

③泥水浓度。根据实际地质情况,渗透系数较小的土层其泥水比重一般在 1.05 以下;对于渗透系数适中的土层其泥水比重宜控制在 1.05~1.10 之间。除须含一定比例的黏土外,还须加入一定比例的膨润土等以保持泥水稳定;对于渗透系数较大的土层其泥水比重应控制在 1.10~1.20 之间。而泥水的循环利用会损失一些黏土,此时

(下转第 52 页)

究[J]. 土工基础, 2022, 36(1): 21-24.

- [3] 李奇涛, 田野, 董海洲, 等. 基于示踪连通试验和流速测试的地下连续墙渗漏研究[J]. 现代城市轨道交通, 2022, 19(3): 44-48.
- [4] Nikolai Fahrmeier, Nadine Goeppert, Nico Goldscheider. Comparative application and optimization of different single-borehole dilution test techniques[J]. Hydrogeology Journal, 2021, 29(1): 199-211.
- [5] Prodeo Yao Agbotui, Landis Jared West, Simon Henry Bottrell. Characterisation of fractured carbonate aquifers using ambient borehole dilution tests[J]. Journal of Hydrology, 2020, 589(3): 1-14.
- [6] L. Piccinini, P. Fabbri, M. Pola. Point dilution tests to

calculate groundwater velocity: an example in a porous aquifer in northeast Italy[J]. Hydrological Sciences Journal/ Journal Des Sciences Hydrologiques, 2016, 61(8): 1512-1523.

- [7] 胡琳君. 稀释法明渠自动测流系统的研究[D]. 太原理工大学, 2021.

#### 作者简介:

周建(1990-), 男, 重庆合川人, 项目副总工程师, 工程师, 从事水利水电工程施工技术与管理工

作; 何英建(1994-), 男, 重庆荣昌人, 项目工程部主任, 助理工程师, 学士, 从事水利水电工程施工技术与管理工

作; 熊世强(1997-), 男, 四川资阳人, 助理工程师, 学士, 从事水利水电工程施工技术与管理工

(责任编辑: 李燕辉)

(上接第 26 页)

应不断地向循环水中添加黏土或膨润土进行补充, 同时及时通过仪器测定泥水比重。

(5) 纠偏操作。顶进过程中的纠偏是保证顶管质量的关键, 亦是保证顶管作业顺利进行的保障, 若操作不当可能会造成顶力骤升、管接口破损等质量问题, 严重时可能会造成管道无法顶进或施工的管道不满足要求, 甚至引发严重的安全、质量事故和重大经济损失, 尤其是在砂层中顶进, 管道极易因泥水过度冲刷而造成顶管机机头下沉、偏位。因此, 对于顶进过程的纠偏就显得尤为重要, 必须做到动态纠偏, 这也是保证顶管施工质量的重要措施之一。

## 5 结语

顶管施工作为一种常用的地下管线施工方法, 尤其是在下穿结构物等设施时, 具有对上部结构物无影响或者影响较小的特点, 同时其具有施工快速、不影响地面结构、经济、高效的优点。在

针对高速公路、铁路等重要设施施工管线时, 因其具有的特殊性和重要性, 对施工扰动要求特别高, 同时又不得影响其正常使用的功能, 因此, 选用顶管法施工是最科学的施工方案。在施工过程中, 通过加强施工管理、改进工艺工装、采用精细化作业等方式将其对高速公路的影响降低至最小。该方案的实施对于类似的下穿重要结构的顶管施工方法具有一定的借鉴意义。

#### 参考文献:

- [1] 建筑地基基础工程施工质量验收标准, GB50202-2018[S].
- [2] 顶管技术规程, DBJ/T15-106-2015[S].
- [3] 给水排水工程顶管技术规程, CSCS246-2008[S].
- [4] 地下工程防水技术规范, GB50108-2008[S].
- [5] 混凝土和钢筋混凝土排水管, GB/T11836-2009[S].

#### 作者简介:

谢旭智(1988-), 男, 四川射洪人, 项目常务副经理, 工程师, 学士, 从事建设工程施工技术、科研项目与质量管理工作。

(责任编辑: 李燕辉)

## 由水电七局一分局承担的硬梁包水电站闸坝混凝土浇筑到顶

自 2022 年 9 月 26 日转序浇筑二期工程混凝土以来, 硬梁包水电站项目部科学组织、精心安排, 全面推进工程建设, 2023 年 5 月 26 日提前完成了进水口闸门安装节点目标, 为硬梁包水电站防洪度汛提供了有力保障, 为实现首部三期分流目标奠定了坚实的基础。2023 年 6 月, 在承办甘孜州清洁能源发展大会及协供其他标段骨料的情况下, 混凝土浇筑单月突破 6 万立方米, 最高单班浇筑达到 1 500 立方米, 圆满完成了首部枢纽 6 月份的混凝土浇筑目标。这一目标的实现鼓舞了全体建设者的斗志和士气, 为工程实现三期分流提供了强有力的保障。

(水电七局 供稿)

## 叶巴滩水电站大坝工程圆满实现 2023 年上半年施工目标

水电七局一分局叶巴滩项目于 2023 年 2 月 28 日, 圆满实现了大坝混凝土转序以来首个冬季连续施工目标。尤其是 2023 年 3 月以来, 通过科学组织、精心安排, 快速掀起攻坚浪潮, 单班浇筑高峰达 1 766 立方米, 大坝混凝土浇筑实现“三连跳”, 3 月份混凝土浇筑量为 5 万立方米, 4 月份为 6 万立方米, 5 月和 6 月份均达 7 万立方米, 圆满完成了大坝工程上半年的施工目标, 这一目标的实现, 进一步鼓舞了全体建设者的斗志和士气, 为实现全年目标奠定了坚实的基础。

(水电七局 供稿)