

施工支洞与特大断面隧洞相交三岔口采用的开挖施工方法

吴 桃， 赵 云 龙， 刘 胜 虎

(中国水利水电第十工程局有限公司,四川 成都 610036)

摘 要:某水电站引水隧洞为特大断面隧洞,其施工支洞与引水隧洞主洞相交处的三岔口具有跨度大、应力集中、围岩情况不确定、自稳能力差等特点,同时,施工中需要进行挑顶扩挖导致工序转换复杂、对围岩扰动大、应力急剧变化、极易产生掉块、坍塌事故,需要根据不同的围岩类别采取相应的支护措施并加强隧洞安全监测以确保施工安全。阐述了对三岔口部位开挖采用的施工方法进行的研究。

关键词:水电站引水隧洞;特大断面隧洞;施工支洞;三岔口;监测;支护措施;施工方法

中图分类号:TV7;TV52;TV554

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2023)04-0014-05

Construction Method for Excavation of Intersection of the Adits and Extra-large Section Tunnel

WU Tao, ZHAO Yunlong, LIU Shenghu

(Sinohydro Bureau 10 Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610036)

Abstract: The headrace tunnel of a hydropower station has an extra-large section, and the intersection of the construction adits and the main tunnel of the headrace tunnel has the characteristics of large span, concentrated stress, uncertain surrounding rock conditions and poor self-stability ability. At the same time, the expanding excavation of the roof during the construction leads to complex process conversion, large disturbance to surrounding rock, rapid stress changes, and easy to cause falling blocks and collapse. According to different types of surrounding rocks, corresponding supporting measures should be taken to strengthen safety monitoring and ensure construction safety. The paper introduces the research on the construction method adopted for the excavation of intersection.

Key words: Headrace tunnel of a hydropower station; Extra-large section tunnel; Construction adits; Intersection; Monitoring; Supporting measures; Construction method

1 概 述

近年来,随着普通中型、所有小型水电站全面停止核准建设^[1],四川省大型水电站建设中的引水隧洞多以大断面、特大断面长隧洞为主。考虑到施工工期及安全性等因素,大多数引水隧洞需要增设施工支洞,而施工支洞进入引水隧洞主洞时的三岔口跨度大、应力集中、围岩自稳能力差,往往容易出现安全事故,因此,这一部位的开挖支护尤为重要。

某大(二)型水电站引水隧洞工程标全长 4 715 m,引水隧洞为圆型断面,其Ⅱ、Ⅲ类围岩开挖断面的直径为 14.0 m、Ⅳ类围岩开挖断面的直径为 12.9 m、Ⅴ类围岩开挖断面的直径为 13.4 m,

属于特大断面隧洞。该引水隧洞主洞的开挖采用分层开挖方式,先施工上半洞,待上半洞施工完成后施工下半洞,其中Ⅱ、Ⅲ类围岩上半洞的开挖高度为 9.1 m,Ⅳ类围岩上半洞的开挖高度为 7.65 m,Ⅴ类围岩上半洞的开挖高度为 7.9 m。

施工支洞断面为城门洞型,其开挖断面尺寸:Ⅲ类围岩为 7.10 m×6.55 m(宽×高)、Ⅳ类围岩为 7.20 m×6.60 m(宽×高)、Ⅴ类围岩为 8.70 m×7.35 m(宽×高),其中 3 号施工支洞的长度为 424.286 m。引水隧洞与 3 号施工支洞的相交点桩号为(隧)5+072.007,引水隧洞底板的开挖高程为 2 872.85 m,引水隧洞主洞与 3 号施工支洞呈 90°相交。施工支洞与主洞相交三岔口处距离下游 Fx1 断层影响破碎带约 100 m。

收稿日期:2023-03-30

该段隧洞岩体为燕山早期中粒黑云母二长花岗岩。隧洞围岩的划分主要依据隧洞沿线的地形地貌、隧洞埋深、构造裂隙的发育程度、风化夹层的分布密度、优势结构面走向与隧洞轴线的夹角以及地下水活动状态等工程地质条件,隧洞上覆岩体的厚度一般为160~350 m,围岩以灰白色中粒黑云母二长花岗岩为主,次为青灰色中细粒黑云母二长花岗岩,岩质坚硬,该洞段岩体风化夹层分布的几率总体较低。而分布于火烧坝2号沟上游的Fx1断层规模较大,断层带宽约10~15 m,影响带的宽度约为25 m,产状为N30°~40°W/SW(NE)∠75°~85°。此外,小断层、挤压破碎带等软弱结构面时有出露,但其规模均较小,破碎带宽度一般<1 m,产状与Fx1断层基本相同,走向与洞轴线夹角较大。该洞段岩体风化卸荷微弱,节理面一般新鲜,闭合无充填,裂隙间距多大于40 cm,岩体较完整,呈块状-次块状结构,围岩以Ⅲ类岩体为主,Ⅳ、Ⅱ类次之,少量为Ⅴ类,成洞条件较好,但局部发育的断层、挤压破碎带、风化夹层等

软弱结构面强度较低,主要为Ⅳ类或Ⅴ类围岩,稳定性差。

该段隧洞穿越Fx1断层破碎带及火烧坝2号沟,断层破碎带及影响带岩体以全、强风化为上主,多呈碎块~碎裂结构,地下水活跃,岩体稳定性差,围岩以Ⅴ类岩体为主,Ⅳ类次之;过沟段因地表常年流水导致地下水相对丰富,围岩以Ⅳ类岩体为主。过沟段与断层破碎带地下水相对较活跃,其余洞段地下水活动相对轻微。针对上述实际情况,最终确定了以下施工方法。

2 主要施工方法

3号施工支洞交主洞三岔口部位采用的开挖支护主要施工工序为:3号施工支洞加强支护段开挖及支护→超前支护→主洞三岔口段上部平洞开挖支护→改拱→主洞三岔口段下部开挖支护→主洞下游30 m段的开挖支护→主洞上游30 m段的开挖及支护→具备条件后上下游同时开挖施工。3号施工支洞交引水隧洞主洞三岔口处的施工布置情况见图1。

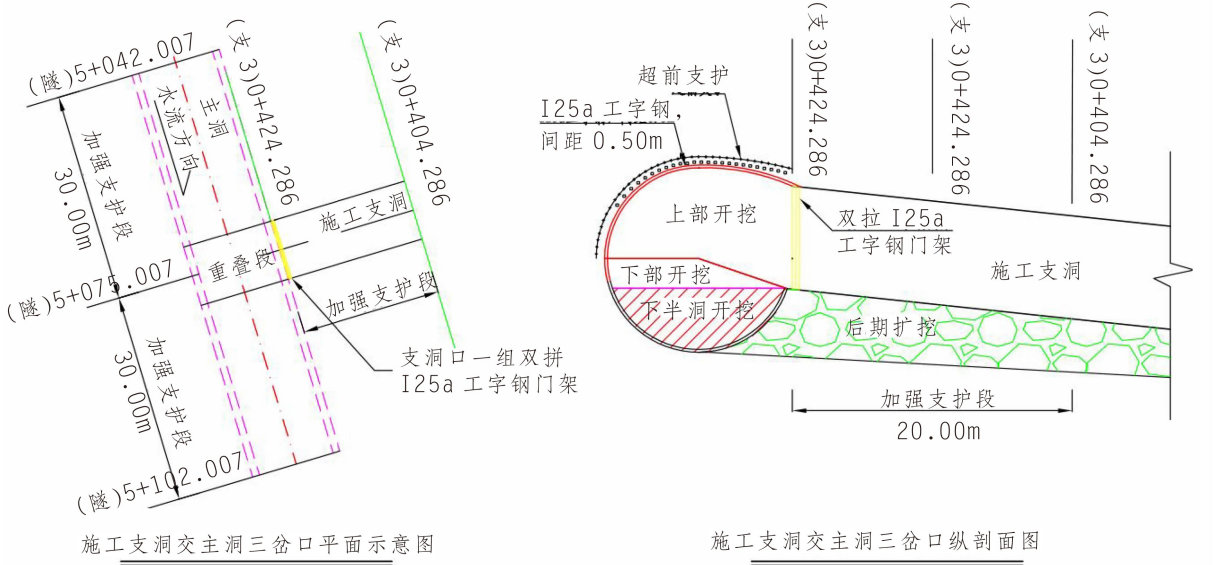


图1 3号施工支洞交引水隧洞主洞三岔口处的施工布置图

2.1 3号施工支洞加强支护段施工

3号施工支洞开挖至(支3)0+295桩号时按10.6%的坡度向上爬坡开挖。由于无法确定3号施工支洞交主洞三岔口的围岩类别,3号施工支洞(支3)0+404.286~(支3)0+424.286段按Ⅴ类围岩断面开挖并进行加强支护,在距主洞与支洞交接位置10 m范围内((支3)0+414.286~

(支3)0+424.286)设置了I20a工字钢拱架,间距0.5 m,其中最后一榀拱架采用一组双拼I25a门架,开挖断面由原Ⅴ类围岩断面渐变至平洞并进行加强支护。(支3)0+404.286~(支3)0+414.286段加强支护的参数为:

(1)此加强支护段为Ⅲ类围岩时,系统锚杆采用Φ22 mm,长度L=4.5 m,间排距1.5 m×1.5

m 梅花型布置, 喷 10 cm 厚 C20 混凝土, 挂网钢筋为 $\Phi 8\text{ mm}@20\text{ cm}\times 20\text{ cm}$ 。

(2) 此加强支护段为Ⅳ类围岩时, 系统锚杆采用 $\Phi 22\text{ mm}$, $L=4.5\text{ m}$, 间排距 $1.5\text{ m}\times 1.5\text{ m}$ 梅花型布置, 喷 15 cm 厚 C20 混凝土, 挂网钢筋为 $\Phi 8\text{ mm}@20\text{ cm}\times 20\text{ cm}$, 钢拱架采用 I20a 型工字钢, 间距 1 m。

(3) 此加强支护段为Ⅴ类围岩时及(支 3)0+404.286~(支 3)0+424.286 段中的围岩为Ⅴ类围岩时, 系统锚杆采用 $\Phi 22\text{ mm}$, $L=4.5\text{ m}$, 间排距为 $1.5\text{ m}\times 1.5\text{ m}$ 梅花型布置, 喷 15 cm 厚 C20 混凝土, 挂网钢筋为 $\Phi 8\text{ mm}@20\text{ cm}\times 20\text{ cm}$, 钢拱架采用 I20a 型工字钢, 间距 0.5 m, 顶拱 180° 范围设置超前小导管, $L=5\text{ m}$, 入岩深度为 4.5 m, 外漏长度为 0.5 m, 环向间距为 0.3~0.4 m, 搭接长度为 2 m。

(4) 在主洞与支洞交接处设置了一组工字钢门架, 工字钢采用双拼 I25a 工字钢, 两榀工字钢双拼为一榀, 双拼 I25a 工字钢与支洞工字钢采用 I18a 工字钢连接, 间距 1.5 m。由于需要安装工字钢门架以加强支护, 因此在安装门架处需将其开挖成平洞, 开挖断面由原Ⅴ类围岩断面渐变为平洞, 渐变段长度为 6 m(可根据现场实际情况调整, 但调整后的渐变段长度不宜小于 5 m)。门架及平洞开挖结构断面情况见图 2。

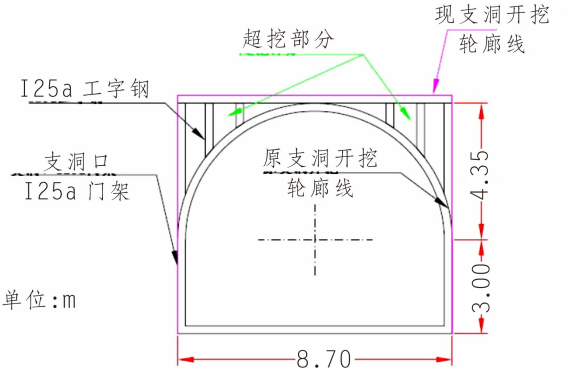


图 2 门架及平洞开挖结构断面示意图

2.2 超前支护

支洞与主洞交叉口双拼 I25a 工字钢门架施工完成后, 按照与主洞轴线垂直的方向进行弧面挑顶开挖, 挑顶的开挖按平洞形式进行, 开挖前需设置超前支护。对于Ⅲ、Ⅳ类围岩, 在门架上方设置 $\Phi 25\text{ mm}$ 超前锚杆, $L=4.5\text{ m}$, 入岩深度为 4

m, 外漏长度为 0.5 m, 环向间距为 0.3~0.4 m, 其与开挖轮廓线的切线成 $5^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 的仰角。如果遇到顶拱围岩完整性较差的Ⅳ类围岩和Ⅴ类围岩, 可在门架上方设置超前注浆小导管进行超前支护, 超前小导管长度 $L=5\text{ m}$, 入岩深度为 4.5 m, 外漏长度为 0.5 m, 环向间距为 0.3~0.4 m, 搭接长度为 2 m。

超前注浆小导管施工工艺流程见图 3。

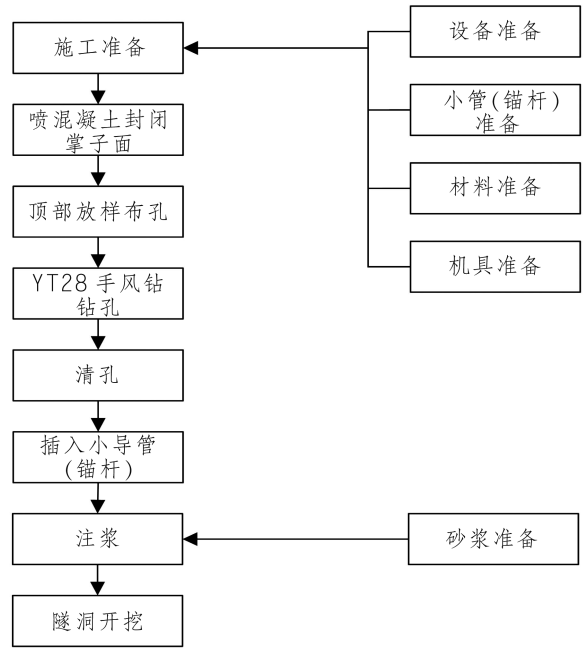


图 3 超前注浆小导管施工工艺流程图

小导管采用外径为 48 mm、壁厚 4 mm、长度为 5 m 的无缝钢管(花管), 管周注浆孔径为 6~8 mm, 孔间距为 20~30 cm, 梅花型布置, 管前端呈锥形, 长度为 10 cm, 尾部长度为 100 cm。作为不钻注浆孔的止浆段在其尾端焊接直径为 6~8 mm 的钢筋箍。小导管沿开挖面顶部设置, 与开挖轮廓线的切线成 $5^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 的仰角, 入岩深度为 4.5 m, 外露 0.5 m, 环向间距为 0.3~0.4 m(可根据现场围岩情况调整), 搭接长度为 2.5 m。

2.3 主洞段三岔口上部平洞的开挖与支护

考虑到钻孔支护台车的操作空间, 施工超前支护完成后按 8.7 m(宽) $\times$ (3.05~7.84)m(高)的矩形断面放样并核实其顶部高程。由于顶部开挖需要进行两次拱架支护, 开挖时需要留出门架安装的空间, 因此, 顶拱开挖位置会出现因开挖断面调整引起的扩挖。

为确保施工安全及施工质量, 在其顶部根据

外轮廓线的位置、以一定的倾角钻孔,钻孔深度为1.2~1.55 m,进尺不超过1 m,并将周边孔间距控制在50 cm以内,采用光面弱爆破^[2],每个炮孔采用不耦合装药以减小爆破对围岩的影响。3号施工支洞与引水隧洞交叉段的开挖采用分层开挖,上部开挖高度为8.6 m,待上部开挖支护完成后进行下部开挖,下部开挖的高度为2.2 m,边开挖、边支护。钻孔爆破采用人工手持YT-28手风钻钻孔、“新奥法”^[3]钻孔爆破,遵循“弱爆破、少扰动、短进尺、强支护、勤量测”的原则施工。开挖完成后及时进行支护施工并需保证支护施工的质量。采用减震爆破、浅孔密布的方式,同时加强围岩监测。施工过程中必须加强超前地质预报及监控量测工作。

在进行主洞三岔口段与支洞重叠段上半部开挖时采用边开挖、边支护的方式,对于Ⅱ类、Ⅲ类、Ⅳ类、Ⅴ类围岩均采用“ I20a 工字钢棚架+系统锚杆+Φ8 mm 钢筋网”及“喷 C20 混凝土+超前锚杆(Ⅲ类、Ⅳ类围岩)或超前小导管(Ⅳ类围岩顶拱破碎、Ⅴ类)”做临时支护,其中工字钢的高度随开挖高度的变化而变化。三岔口重叠段上部Ⅱ类、Ⅲ类、Ⅳ类、Ⅴ类围岩的支护情况见图4。

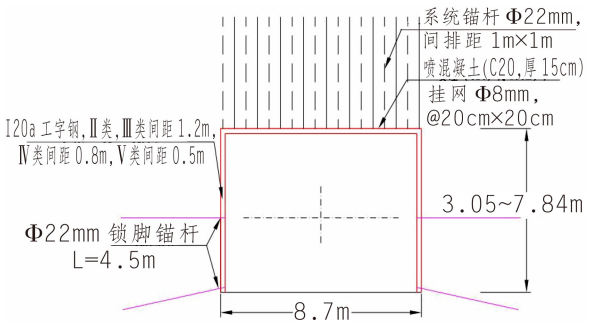


图4 三岔口重叠段上部Ⅱ类、Ⅲ类、Ⅳ类、Ⅴ类围岩支护图

三岔口上部在每一循环开挖后及时施作临时支护。围岩的支护顺序为:超前支护→开挖→初喷3~5 cm厚的C20混凝土→工字钢棚架的安装→顶部锚杆施工→顶部挂网→复喷。

2.4 改拱

当引水隧洞主洞三岔口段的上部开挖支护完成后,及时对引水隧洞边顶拱部位进行初期支护。由于三岔口跨度大、应力急剧变化,极易产生掉块、坍塌事故,因此,对于该段Ⅲ类、Ⅳ类、Ⅴ类围

岩均采用 I25a 工字钢拱架进行支护,其间距为0.5 m,挂网钢筋 Φ8 mm@20 cm×20 cm,喷射25 cm厚C20混凝土覆盖工字钢拱架。该段工字钢的一侧立在主洞基岩上,另一侧与支洞口门架焊接连接,主洞拱架与支洞口门架的布置情况见图5。

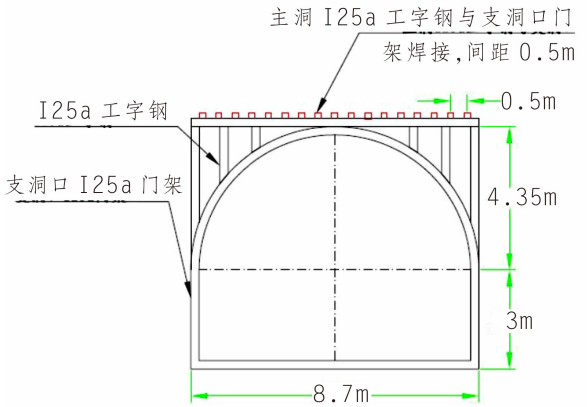


图5 主洞拱架与支洞口门架布置图

2.5 主洞段三岔口部位的下部施工

改拱完成后方可进行主洞三岔口段下半洞的开挖与支护,三岔口段下半洞的开挖采用钻爆法开挖,将进尺控制在2 m,采用YT-28手风钻钻孔,人工填装乳化炸药、分段电毫秒雷管微差爆破,人工间隔装药。

对于三岔口段的下部在每循环开挖完成后及时进行支护,对主洞掌子面部位喷5 cm厚C20混凝土作为初期支护。下部开挖完成后对主洞边墙部位根据围岩类别进行支护,Ⅱ类、Ⅲ类围岩挂网钢筋 Φ8 mm@20 cm×20 cm,设置 Φ22 mm系统锚杆,长4.5 m,间排距为1.5 m×1.5 m,梅花型布置,将主洞上下游各2榀锁口工字钢拱架接长至下部开挖基岩面,喷15 cm厚C20 mm混凝土;Ⅳ类、Ⅴ类围岩挂网钢筋 Φ8 mm@20 cm×20 cm,设置 Φ22 mm系统锚杆,长4.5 m,间排距为1 m×1 m,梅花型布置,及时对其上部支护的 I25a 型钢拱架接长支撑于下部开挖基岩面并喷25 cm厚C20混凝土。

2.6 主洞段的开挖与支护

待主洞三岔口段开挖支护完成后进行主洞的开挖。主洞开挖前,先对之前三岔口段主洞掌子

面位置的门架进行拆除,拆除时利用液压破碎锤对已喷混凝土实施破碎,混凝土清理完成后,再对拱架及相应的钢筋网片等进行割除。

主洞开挖时,其上下游分别水平开挖 10 m,预留出机械设备的操作空间,再分别按一定的坡度向上下游开挖 30 m。上下游同时爆破开挖时需满足相关规范要求的安全距离。为确保开挖施工安全,对于主洞上下游各 30 m 范围应根据围岩类别情况提高一级进行加强支护。

2.7 支洞底板的扩挖及超挖回填

待所有主洞段开挖完成后、进入混凝土衬砌施工前,对 3 号施工支洞底板进行了扩挖,将底板扩挖上至与主洞三岔口,高程与主洞底板混凝土衬砌高程一致,其开挖长度根据支洞合理的坡度而定。开挖时,对于有拱架的部位需将拱架延伸至新开挖的基岩面上。

3 变形监测

监控量测是隧洞施工过程中必不可少的一道程序,是确保施工安全的重要手段。在隧洞施工过程中,通过对围岩支护体系稳定性状态进行监测和评价,可以为初期支护和二次衬砌设计参数的调整提供依据,从而达到确保施工及结构安全、指导施工顺序、便利施工管理的目的。在隧洞施工过程中,必须使用专用的仪器和工具对围岩和支护结构的变形以及它们之间的关系进行观测并对其稳定性、安全性进行评价,监控量测工作必须紧跟开挖、支护作业,应按设计要求进行布点和监测并根据现场施工情况及时调整量测项目和内容,对量测数据应及时进行分析处理,将结果反馈到施工过程中,并将监控量测作为施工的一个重要组成部分纳入施工工序,贯穿于施工的全过程,为施工管理及时提供围岩稳定性、支护结构的承载能力和安全信息等。

由于隧洞结构断面的跨度大,且其三岔口为应力最为集中的部位,为了掌握围岩在开挖过程中的动态信息和支护结构的稳定状态,提供有关隧洞施工全面、系统的信息资料,为评价和修改支护参数、力学分析及二次衬砌提供信息依据,确保施工安全及支护结构的稳定,在施工的全过程中进行全面、系统的监测工作至关重要。

根据该工程的具体情况,分别对施工支洞距三岔口 30 m 范围以及引水隧洞主洞距三岔口上下游 30 m 段和三岔口进行了安全监测,每 10 m 设置一个监测断面。监测项目以位移监测为主,将变形观测点主要布置在拱顶及腰线部位,分别进行了隧洞拱顶下沉量测及水平收敛量测^[4]。拱顶下沉及周边收敛量测频率情况^[5]见表 1。

表 1 拱顶下沉及周边收敛量测频率表

变形速度 /mm·d ⁻¹	量测断面距开挖面距离 /m	量测频率
10	0~13.4	1~2 次/d
5~10	13.4~26.8	1 次/d
1~5	26.8~67	1 次/2 d
<1	>67	1 次/周

4 结 语

施工支洞与引水隧洞主洞交汇处的三岔口是整个隧洞施工的重要部位,关系到整个隧洞后期施工的安全。施工前必须做好超前地质预报工作,根据超前地质预报提前做好施工准备。施工过程中严格遵循“弱爆破、少扰动、短进尺、强支护、勤量测”的原则,同时严格落实“三检制”,上道施工工序不合格不准进入下道工序,以确保各道工序的工程质量。加强变形监测并做好记录,确保三岔口施工安全顺利通过。

参考文献:

[1] 四川省人民政府. 关于进一步加强和规范水电建设管理的意见[Z]. 2016-10-10.

[2] 张运良,孙宇新,毛雨,等. 软弱夹层对隧道光面爆破效果影响机理研究[J]. 铁道科学与工程学报,2020,17(1):148-158.

[3] 贺宝桥. 新奥法设计施工的原理[J]. 中国水运,2008,8(6):197-198.

[4] 余振,陈新,申庆成. 某水电站引水隧洞施工期收敛变形监测[J]. 四川水利,2008,29(3):50-53.

[5] 水电水利工程施工安全监测技术规范,DL/T5308-2013[S].

作者简介:

吴 桃(1988-),男,四川成都人,工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工
赵云龙(1993-),男,河南内黄人,工程师,从事水利水电工程测量技术与管理工
刘胜虎(1986-),男,河南洛阳人,工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与安全管理工作.

(责任编辑:李燕辉)