

# 富水冰碛体中水工隧洞水平旋喷桩预支护施工技术

骆红兵

(中国水利水电第五工程局有限公司 第三分局, 四川 成都 610066)

**摘要:**在水电站引水隧洞施工过程中,针对富水冰碛体特殊地层采用了水平旋喷桩预支护技术,即在隧洞拱顶及周边形成封闭的水平旋喷帷幕体,利用水平旋喷桩的阻水效应和土体改良加强效应起到对拱顶围岩超前预加固作用。该项技术在布伦口~公格尔水电站引水隧洞第四系冰碛体地层中的成功应用,拓展了水利水电工程特殊地质条件下地下工程施工技术领域,可为类似工程施工提供借鉴。

**关键词:**富水冰碛体;水工隧洞;水平旋喷桩;预支护;布伦口~公格尔水电站

中图分类号:TV7;TV52;TV554

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2014)03-0004-03

## 1 概述

布伦口~公格尔水电站工程位于新疆克州阿克陶县境内的盖孜河上,坝址枢纽区距喀什市153 km,发电厂房位于坝址枢纽区下游约19 km。工程区沿线有314国道(中巴公路)通过。该工程引水隧洞长18.04 km,为4.82 m×5 m马蹄形开挖断面。隧洞沿线需穿越10余条长大冲沟,水文地质条件复杂。盖孜河两岸高山终年积雪,引水洞沿线穿过的断层及构造裂隙受高山区冰雪融水渗入影响会出现突水、突泥、断层涌水和裂隙渗水现象。第四系冰碛层( $Q_1^g$ )在工程区盖孜河两岸呈片状分布,结构密实,半胶结碎石主要为黄褐色石英片岩,灰绿色、灰色、黑色云母绿泥石片岩颗粒为主的大厚度互层,透水率为3~5 Lu,对洞室稳定有较大影响。4#号冲沟洞段长约245 m(桩号9+201~9+446),其中位于冲沟底部洞段长约128 m(桩号9+215~9+343),洞室埋深92~128 m。因地下水发育,施工中最大透水量达200 m<sup>3</sup>/h,开挖揭露后岩体迅速泥化成泥石流。

该段隧洞开挖初期按照水工隧洞的常规方法,采用超前小导管或超前锚杆注浆+“喷锚网”+型钢拱架结构进行支护,并结合预留核心土法突击支护,但由于其地下水丰富,半胶结冰碛层岩石颗粒遇水迅速泥化成泥石流,自稳时间极短、塌方频繁、工程进展缓慢。经对比分析,业主、设计、监理审查后决定采用水平旋喷桩预支护技术,在隧洞拱顶及周边形成了封闭的水平旋喷帷幕体,

阻断地下水于开挖断面外,保障了掌子面足够的自稳支护时间,确保了工程顺利实施。

## 2 技术方案的提出

### 2.1 施工过程

工程前期是按照V类围岩支护方法采用超前小导管或超前锚杆+“喷锚网”+型钢拱架结构、预留核心土以及长大管棚等方法施工,在其实施过程中,细颗粒泥石流从钢管或锚杆缝隙中流出继而形成较大塌方。经监理、设计、业主现场多次踏勘,商定采用小导管注浆和密集自进式注浆锚杆的方式进行处理。实施中仍出现了多次大规模的泥石流塌方,每次塌方均需多次小导管注浆和待强,分台阶人工开挖,导致隧洞开挖工期严重滞后。

### 2.2 原因分析

2012年7月,经业主、设计院、监理、施工方隧洞专家共同查看现场后,在布伦口~公格尔水电站土建Ⅱ标项目部召开了塌方处理方案专题会,分析认为产生塌方的原因有以下几点:

(1)隧洞经过的洞段为不良地质第四系冰碛层( $Q_1^g$ )以及处于IV号冲沟的地下水发育是诱发频繁塌方的主要原因。

(2)设计文件中虽勘探明确了冲沟位置及规模,但对于此段遇水迅速泥化的第四系冰碛层产状及地下水情况估计不足,故采用超前注浆小导管或大管棚进行支护已不能满足施工进度要求。

(3)受季节性高山雪融水影响,该地段地下裂隙水丰富,掌子面顶部及前方岩体已局部扰动、

收稿日期:2014-05-08

侵蚀、软化,渗水通道不明,注浆固结不能从根本上解决阻水及排水问题。

(4)历次塌方发生后,在对塌方体处理尚未达到预期固结效果的情况下,便急促地往前掘进抢进度,地下水沿掌子面移动使前方岩体遭到侵蚀,开挖揭露过程中导致了塌方体的继续发展与扩大。

### 2.3 传统处理方案

按照洞室传统的开挖方法,为确保持续稳步推进,首先要解决地下水问题,在渗水量大且洞顶渗水面集中的部位,结合型钢拱架位置,增设了φ50排水孔,孔深3 m,然后在安装好的钢拱架上方打了两排小导管孔,环向间距20 cm,花管(φ48钢管)内均插一根φ25的钢筋,在安装好的花管内进行高压灌浆,水泥浆液水灰比为1:0.5~1:0.8,灌浆压力为0.2~0.5 MPa。灌浆结束、待强24 h后,进行塌方渣料的清除。根据情况分半拱施工,安装间距50 cm的I16钢拱架,用φ25钢筋进行纵向连接、加固,再进行挂网、喷30 cm厚的C25混凝土,待其达到一定强度后,进行下一循环的作业。此种方法虽能进尺,但后续循环保障性较差,当再次遭遇到较多不明渗水通道时,难以保障注浆咬合固结效果,便会出现较大的塌方。

### 2.4 水平旋喷桩处理方案

经过几次大塌方后,考虑到地质条件的复杂性,对于后续长达120 m的过沟段能否平稳、安全通过存在疑虑,为确保工程发电工期目标,经多渠道探索分析,邀请了设计、监理、业主和专业公司的专家亲临现场商讨,通过对小导管注浆、长大管棚注浆、水平高压旋喷灌浆、全断面固结等超前预加固方案进行对比分析,经业主、设计、监理审查,决定采用水平高压旋喷预支护方案,在隧洞拱顶及周边形成封闭的水平旋喷帷幕体,利用水平旋喷桩的阻水和土体改良加强效应,起到对拱顶围岩超前预加固的作用。

## 3 水平旋喷桩方案的实施

### 3.1 方案的实施

按照多方研究决定的方案,2012年8月,项目部对班组长以上的施工人员、现场技术人员进行了水平旋喷桩施工技术交底,首先对坍塌的渣体坡面采用袋装干水泥垒砌小台阶并喷射20 cm厚的混凝土封堵以形成止浆墙。根据现场的工程

地质及水文地质条件,为加固隧洞拱顶的软弱围岩,在隧洞拱顶施工水平高压旋喷桩,以起到阻水、固结作用。

施工时,在隧洞拱部180°范围形成了长30 m、直径500 mm的水平旋喷柱,循环搭接长度为8 m(含工作室)。采用HTG-100型管棚钻机打设水平孔,钻进至设计深度后,拔出钻杆且同时通过钻杆、喷嘴(直径2.7 mm)以大于35~40 MPa的压力把配制好的浆液(水泥水玻璃浆液的水灰比为0.8:1~1:1)喷射到岩体内,借助流体的冲击力切削软弱岩层,使喷流射程内的软弱岩体遭受破坏;与此同时,钻杆一面以一定的速度(20 r/min)旋转,一面低速(15~30 cm/min)徐徐外拔,使土体与水泥浆充分搅拌混合、胶结硬化后形成直径比较均匀、具有一定强度(0.5~8 MPa)的桩体,从而使地层得到加固;当旋喷桩相互咬接后,便以同心圆的形式在隧洞拱顶及周边形成封闭的水平旋喷帷幕体,水平旋喷桩具有阻水效应和土体改良加强效应,能够起到防流沙、抗滑移、防渗透的作用,进而保证隧洞掘进的安全。至9月18日,除仰拱外,共用30 d,顺利、安全地通过了扰动塌方段。

### 3.2 施工要点

根据观测资料,隧洞的稳定收敛变形满足要求,洞壁干燥、无滴水。通过多个循环,完成了第四系冰碛层( $Q_4^d$ )不良地质洞段的开挖。主要施工要点如下:

(1)在塌方下来的渣堆上,采用码砌编织袋的方式对塌方体坡脚进行防护,堆码成台阶状并对塌滑体实施喷浆防护处理,以防止灌浆时塌方体流动而不能增压,从而影响灌浆效果。对于局部渗水或集中渗水,埋设φ50的排水管将其集中引排至封闭面外并安装球阀,以便冒浆时能随时关闭。

(2)水平旋喷灌浆施工时,第一循环向上倾13%~15%钻进15 m,第二循环向上倾1%~3%钻进30 m,第三循环向上倾13%~15%钻进15 m。中心间距35 cm左右,相邻桩咬合15 cm。钻孔完毕开始实施旋喷灌浆,水灰比为1:1,注浆压力为35~40 MPa。进行高压喷浆前,应检查高压注浆泵,查看泵压读数是否达到设计要求(35~40 MPa),待泵压达到设计要求时才能开始喷浆,

在孔底高压喷浆时应停留一定时间,然后再缓慢外拔钻杆,钻杆每向外拔出0.6 m应回拖0.3 m钻杆,同时高压喷浆;当钻杆拔至孔口1 m时停止注浆,关闭浆液通道,再缓慢拔出钻杆,进行封孔作业。

(3)由于水平旋喷桩施工完成后在顶拱形成了封闭面,上部山体渗水越积越多,形成了较大的水压力,对已开挖支护的洞段极为不利。因此,如何排水亦成为一个关键问题。工程中,采用钻设长、大排水孔的方式集中排水泄压。根据水平旋喷桩施工过程中钻孔的渗水记录,在出水较大的孔位上方钻设20 m长的排水孔并埋设花管(Φ108钢管),以利排水。

(4)根据排水孔出水情况,在水量较大且集中的部位采用小导管加强注浆固结,以避免水平旋喷桩出现断桩,从而确保拱顶水平帷幕阻水的质量。结合安装好的钢拱架,在其上方打小导管、外插角度15°~20°钻进,长度均为6 m,间距25 cm左右,梅花型布置。打好孔后,安装灌浆花管

(Φ48钢管),为保证管棚的承载力,在每根花管内均插一根Φ25的钢筋并注浆,现场根据钻孔情况进行适当的调整。在安装好的花管内进行高压灌浆,水泥浆液比为1:0.5~1:0.8,将注浆压力控制在3~5 MPa。灌浆待强24 h后进行小药量控制爆破开挖。

#### (5)富水冰碛体引发的泥石流处理。

在水平旋喷桩穿越冰碛层塌方体过程中,成桩效果是无法直接检验的,因此,如何保证塌腔处的成桩质量控制是关键。该方案中,先施工水平旋喷桩,形成旋喷桩帷幕,在该帷幕下再施工大管棚。帷幕有效地固结了富水冰碛体围岩,为大管棚施工创造了条件,大管棚在下部作为骨架,有效地支撑了水平旋喷桩帷幕,管棚水泥浆液充填了拱顶塌腔并固结了裂隙,加强了帷幕的强度,确保了成桩质量,两者互补,起到了良好的受力及堵漏阻水效果。通过纯水平旋喷桩和水平旋喷桩+大管棚(同心圆分层布置,见图1)两者相结合的施工布置,取得了良好的预支护及堵漏效果。

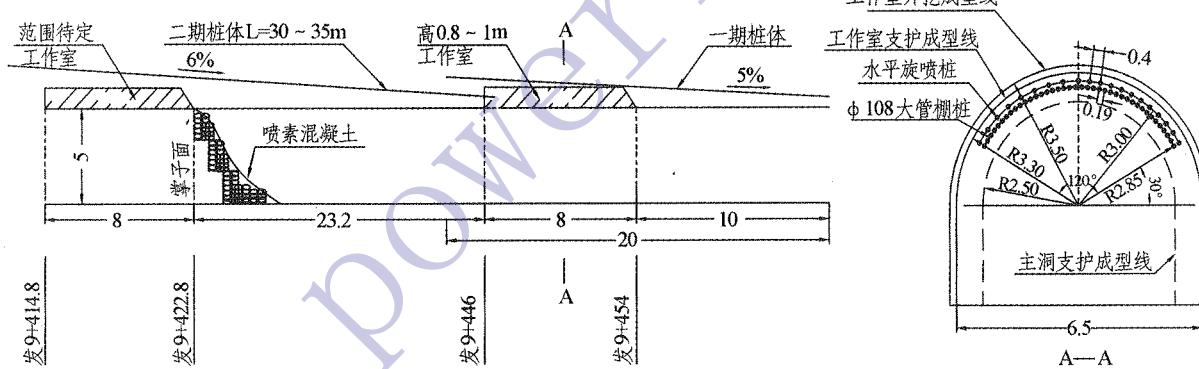


图1 水平高压旋喷桩+大管棚(同心圆分层)循环布置图

(6)处理完成后,继续钻进开挖。在不影响正常开挖的情况下,再对该段塌方处进行钻孔埋设回填灌浆管施工。

(7)加强对塌方洞段及附近洞段围岩的监控量测,发现险情及时排除。

#### 4 结语

在新疆克州盖孜河流域布伦口~公格尔水电站引水隧洞施工中,成功地应用了水平旋喷桩预支护施工技术穿越了富水冰碛体,确保了工程进度。笔者总结了以下几点经验,供参考。

(1)当水电站引水隧洞施工中遇到实际地质

情况与勘探资料有出入时要及时报告并停止开挖,经多方共同研究,调整施工支护参数,选择合适的支护方法后再进行施工开挖。

(2)无论含水是采用双液灌浆或单液灌浆预加固塌渣体或周围饱和含水岩层时,必须先阻(排)水后再注浆,才能达到预期效果。

(3)在水利水电工程引水隧洞工程施工中,针对富水冰碛体采用水平旋喷桩施工技术是科学、可行的。

(4)采用水平高压旋喷桩,结合大管棚超前  
(下转第16页)

对前方的围岩地质情况进行了探明,探测数据显示,DK182+883~DK182+898段为塌方体的影响段,平均波速 $V_p=3\,980\text{ m/s}$ , $V_s=2\,350\text{ m/s}$ ,泊松比为0.29~0.31,动态杨氏模量为26~28GPa,节理裂隙发育,围岩破碎。为确保施工安全,采用加强支护的方式,将该段围岩由原设计的Ⅲa变更为Vc,按照三台阶七步法进行开挖施工。

### 3.5 监控量测

为确保隧道施工安全,在开挖后12 h内按照4 m一个断面埋设监控量测反光贴测点,每个量测断面各布置一个拱顶下沉点和两条净空水平收敛测线,每隔4 h用徕卡TS06红外线全站仪进行

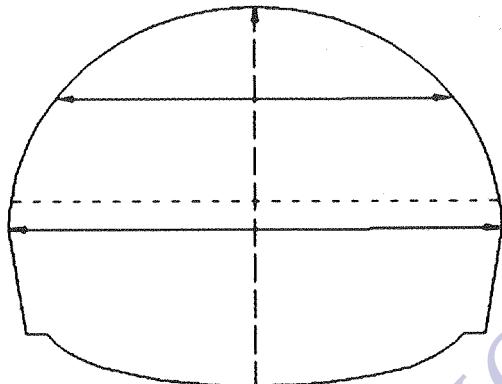


图7 测点布设方式示意图

(上接第6页)

预支护的方法,有利于提高水平旋喷桩的成桩质量,保证隧洞开挖安全的可靠性。

(5)在类似小型水工隧洞中施工大管棚或水平旋喷桩,宜将桩体长度控制在20 m以内;若过长,两桩末端的左右距离将增大,且上下角度偏差

一次测量。测得的具体数据为:拱顶最大下沉值为30.3 mm,最大下沉速率为16.4 mm/d,水平收敛最大变化速率为11.2 mm/d。根据监控量测数据分析、判断,施工中所采取的支护类型和支护参数是有效的,无需调整施工方法和支护参数。监控量测点布设方式如图7所示。

### 4 经验与教训

本次塌方的整个处理过程为32 d,造成直接经济损失42万元。通过此事件,项目部各级管理人员充分认识到:在隧道开挖施工中,要随时观察围岩变化情况,一旦出现异常情况,要及时将人员、设备撤离至安全地带,避免造成人员伤亡;应高度重视超前地质预报资料,根据所揭示的围岩稳定情况及时采取相应的支护方案,特别是在围岩软硬交替、有较大变化处更要小心谨慎,不可盲目追求施工进度而生硬采用既有的施工方法,施工现场在发现围岩地质条件与设计情况不符、存在安全隐患的情况下,要及时与设计院等相关单位联系,确定变更方案,确保施工安全。

#### 参考文献:

- [1] 铁路隧道工程施工安全技术规程,TB10304-2009[S].

#### 作者简介:

江海燕(1980-),女,陕西宝鸡人,工程师,从事水电及铁路工程施

工技术与管理工作;

杨永海(1980-),男,四川广元人,项目总工程师,工程师,从事水  
电及铁路工程施工技术与管理工作.

(责任编辑:李燕辉)

大,末端咬合质量难以保证。在条件允许的情况下,建议掌子面封堵采用加筋混凝土墙体,方能获得良好的堵浆效果。

#### 作者简介:

骆红兵(1982-),男,四川简阳人,项目副经理,工程师,学士,从事  
水利水电工程土建施工技术与管理工作.

## 四川水利职业技术学院举行“第二届‘一战到底’水利水电科普知识大赛”

2014年5月16日,四川水利职业技术学院“第二届‘一战到底’水利水电科普知识大赛”总决赛在该学院崇州校区图书馆演讲厅隆重举行。来自学院各专业的代表以及省水电学会科普专委会的专家、教授参加、观摩了总决赛。本届总决赛通过视频关键词抢答、必答题、不定项选择题和冲刺大奖等四个环节进行角逐,最后评选出获胜者的名次并由学院领导刘建明等以及省水电学会武康定副理事长向获奖选手颁奖。获奖选手与领导、专家们合影留念以纪念这次颇有意义的经历。总决赛后,由学院张智涌主任主持,四川省水利科学研究院副院长刘双美教授级高级工程师为与会同学做了题为《水利水电工程质量控制》的专题学术讲座,受到与会代表的好评。此次总决赛与讲座的举行,必将激发出四川水利职业技术学院广大学生刻苦学习、立志投身水电事业的积极性。四川水利职业技术学院于1957年建校,已毕业人数达40 000多人,该校于2003年升为高职院校,现有学生9 000多人,教职员500多名,设立七系一部,以为水利水电行业培养高素质技术骨干和管理人才为办学宗旨,桃李遍布四川全境乃至全国。此次学术交流活动的举行,将为活跃学院学术氛围起到积极的作用。