

# 富含云母岩体隧洞开挖爆破技术

段会平<sup>1</sup>, 王志强<sup>2</sup>

(1. 中国水利水电第七工程局有限公司, 四川 成都 611730; 2. 四川大学 水利水电学院, 四川 成都 610065)

**摘要:**吉牛水电站引水隧洞位于四川省甘孜州丹巴县革什扎河左岸, 全长约 22.377 km, 隧洞断面为城门洞形, 其围岩大多为二云母片岩, 节理发育且呈无规律分布。通过试验与分析, 掌握了引水隧洞的围岩物理力学特性; 结合现场试验, 优化了富含云母隧洞开挖爆破参数和开挖方案, 并对富含云母的围岩进行了初步分类, 分别制定出合理的开挖方式和爆破设计, 可供同类工程参考。

**关键词:**吉牛水电站; 富含云母; 隧洞; 开挖; 爆破

**中图分类号:**

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1001-2184(2013)06-0008-03

## 1 概述

随着我国水电资源的相继开发, 地质条件也趋向复杂化, 各种条件地质结构建设水电站的技术要求也提高了许多。目前针对处于富含云母岩体条件下的物理力学特性和开挖施工技术的研究非常少, 大量学者主要集中在对云母片岩成因的分析<sup>[1-3]</sup>及一些软弱地质条件下的隧洞开挖研究<sup>[4-6]</sup>。笔者依托吉牛水电站, 对其引水隧洞富含云母岩体的开挖爆破施工进行了研究。

吉牛水电站位于四川省甘孜州丹巴县革什扎河干流上, 是革什扎河“一库四级”水电开发方案中的第四个梯级, 为低闸引水式电站。水库正常蓄水位高程 2 378 m, 总库容 197.5 万 m<sup>3</sup>, 具有日调节性能。引水线路全长 22.377 km, 隧洞进口

底板高程 2 361 m, 隧洞断面为城门洞形, 额定引流量 60.28 m<sup>3</sup>/s。本工程规模为中型, 工程等级为Ⅲ等。挡水建筑物、引水系统和厂房等主要建筑物按 3 级设计, 次要建筑物按 4 级设计。革什扎吉牛水电站水工隧洞围岩大多为二云母片岩, 节理发育且呈无规律分布, 其爆破参数难以掌握。针对此问题, 在现场试验的基础上, 对富含云母隧洞开挖爆破设计和参数优化进行了相应的研究。

## 2 富含云母岩石的物理力学性质研究

### 2.1 引水隧洞围岩物理力学性能试验

对革什扎吉牛水电站引水隧洞各特征部位围岩现场取样进行室内物理力学性质测试, 共完成 8 组单轴抗压全过程试验, 测试结果见表 1。

表 1 吉牛水电站引水隧洞围岩室内力学性质测试结果表(单轴抗压强度)

试件编号	尺寸/mm	质量/g	面积/mm <sup>2</sup>	单轴抗压强度/MPa	E <sub>30</sub> /GPa
2-1	50.62 × 102.67	567.06	2 011.47	50.45	12.65
4-1	50.6 × 101.69	564.07	2 009.88	38.31	8.44
4-2	45.86 × 46.73 × 98.74	588.29	2 143.04	29.15	3.66
4-3	46.2 × 46.93 × 101.14	591.89	2 168.17	28.84	3.58
10-1	47.11 × 46.48 × 97.97	551.74	2 189.67	22.42	5.36
10-2	46.81 × 46.73 × 94.72	546.1	2 187.43	25.42	8.52
压-1	45.96 × 46.05 × 100.08	575.92	2 116.46	22.71	5.85
压-2	46.5 × 46.5 × 97.66	562.24	2 162.25	13.67	4.62

### 2.2 引水隧洞围岩云母含量测定

针对吉牛水电站引水隧洞岩石进行了现场取样及云母含量的测定, 在实验室进行了矿物成分检测, 共完成 1 组云母含量测试。结合现场实际情况, 取样部位为岩石单轴抗压强度相对较低的

10#支洞段引水隧洞, 室内云母检测结果见表 2, 现场围岩云母含量情况见图 1 和图 2。

表 2 吉牛水电站引水隧洞围岩云母含量检测结果表

试件编号	尺寸/mm	质量/g	云母含量/%
10-1#	50.43 × 101.03	561.23	25

收稿日期: 2013-10-25

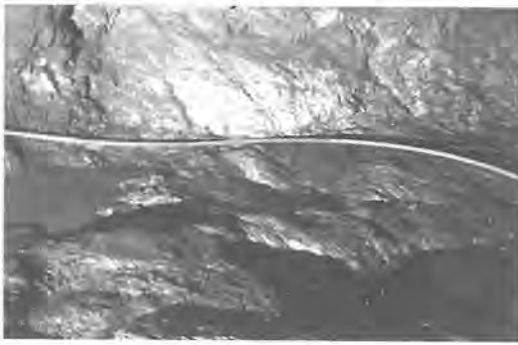


图1 富含云母的岩石图

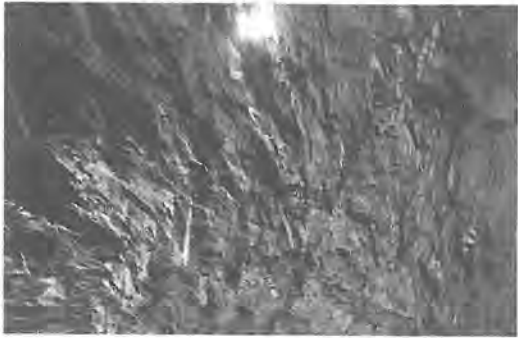


图2 成薄层状富含云母的岩石图

室内物理力学性质测试和云母含量测定结果表明,各部位岩体物理力学性质差异较大,引水隧洞坚硬岩石部位抗压强度达到 50 MPa,弹性模量超过 10 GPa;而富含云母岩石抗压强度均低于 30 MPa,且部分岩石样本抗压强度低于 10 MPa,符合典型的软岩特征,富含云母岩石的 10#支洞对应的引水隧洞岩石试样云母含量达到 25%。

### 3 富含云母隧洞开挖方案和爆破参数优化

#### 3.1 富含云母隧洞开挖爆破的初步设计

物理力学性能和云母含量检测试验结果表明:4#、10#支洞段对应的引水隧洞岩石云母含量较高,因此,根据现场实际情况,将爆破试验的部位选定在压力管道所在的引水隧洞支洞段。

对于革什扎吉牛水电站压力管道所在部位的岩体,根据招标文件中的地质资料以及进行的声波检测结果看,基本属于中硬岩,按照其开挖断面并参考类似岩石参数条件下的爆破参数,对于Ⅲ类围岩洞段,单耗应在 1.1 ~ 1.2 kg/m<sup>3</sup> 左右,Ⅳ类围岩应可控制在 1 kg/m<sup>3</sup> 以下。

基于以上认识,在开挖初期进行了相应的试爆,但是结果与估计的相去比较远。对于Ⅳ类围岩,单耗均超过了 2.67 kg/m<sup>3</sup>,设计 3 m 的爆破进尺,实际进尺只有 1.75 m 左右,爆破效率为

55%;对于Ⅲ类围岩,单耗均超过了 2.7 kg/m<sup>3</sup>,设计 2.8 m 的爆破进尺,实际进尺只有 1.7 m 左右,爆破效率为 61%,并且个别场次爆破的残孔非常明显,炮孔只在炸药作用下扩大,但是岩石并没有崩开,导致爆破效果非常差(图 3、4)。



图3 初期爆破进尺短、效果差示意图



图4 开挖初期质量较差示意图

#### 3.2 富含云母隧洞开挖爆破参数优化

在前期支洞段的开挖和爆破试验过程中,发现制约隧洞开挖爆破效率的关键在于掏槽部分,因此,重点针对掏槽布孔方式和装药进行了优化设计。优化后的革什扎吉牛水电站压力管道施工主洞开挖爆破布孔情况见图 5、6。

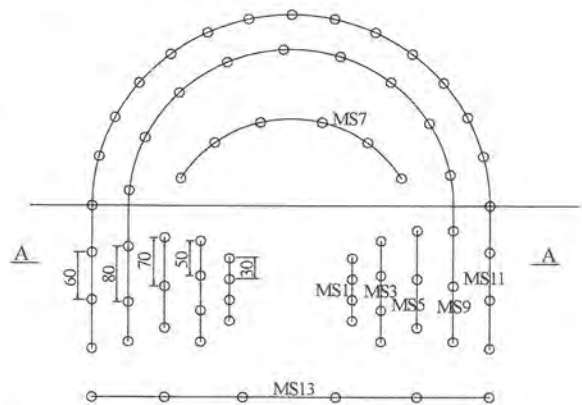


图5 主洞Ⅳ、Ⅴ类洞段优化爆破设计布孔图

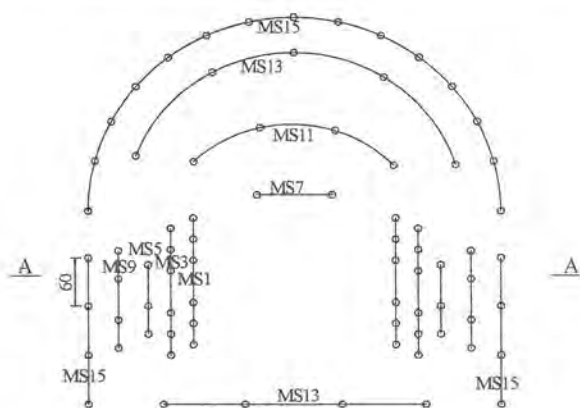


图6 主洞II、III类洞段优化爆破设计布孔图

通过爆破参数优化,隧洞开挖的爆破效率得到了一定的提升:IV、V类围岩洞段每个循环造孔长度为3 m,实际爆破长度为2.4 m,单耗为1.64 kg/m<sup>3</sup>; II、III类围岩洞段循环造孔长度为2.8 m,实际爆破长度为2.3 m,单耗为1.6 kg/m<sup>3</sup>。另外,对施工主洞的周边孔使用了空气间隔装药技术<sup>[7]</sup>,孔底装药,使用非电雷管起爆,开挖爆破效果较好,同时节约了成本,提高了工作效率。

### 3.3 富含云母隧洞开挖施工方案优化

结合开挖爆破试验和施工,在富含云母洞段开挖过程中,对开挖施工方案进行了一定的优化:

(1)在前期施工中,对富含云母岩石的特性有了一定的了解,该类岩石成薄层状,虽然整体强度尚可,但是局部片岩的强度较低,开挖后有很大部分成粉末状。施工支洞底板岩石在运输车辆多次碾压或遇水浸泡后即形成很厚的一层岩粉。针对这种情况,在富含云母洞段开挖过程中,不进行全断面开挖,在底板部位预留了20~50 cm厚的保护层,避免了由于运输车辆碾压形成的底板超挖;也可采用自行式钢栈桥进行底板混凝土浇筑,既可避免底板超挖,同时亦改善了洞内交通环境。

(2)进行分区开挖。先进行1.7 m×1.7 m断面的导洞的开挖,钻深度为2.5 m的炮孔,单循环进尺2 m。在导洞开挖两个循环后再进行扩挖,钻深度为4 m的炮孔,进尺4 m,爆破分区及布孔情况见图7。该技术方案的实施,很大程度上加快了施工进度。

根据富含云母隧洞围岩的物理力学性质、云母含量情况和现场声波检测等结果,在充分了解现场围岩施工特性的基础上,对富含云母围岩按

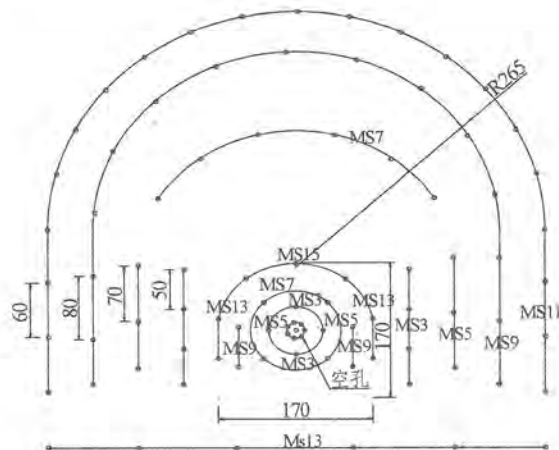


图7 富含云母洞段分区开挖爆破布孔图

云母含量和抗压强度等分为两类,各类围岩的合理开挖方式和爆破设计成果见表3,优化方案后的隧洞开挖效果见图8、9。

表3 富含云母隧洞开挖方案和爆破参数优化成果表

分类	云母含量/%	强度/MPa	开挖方式	爆破设计参考
1	≤20	≥20	全断面开挖	图5和6
2	>20	<20	中导洞开挖	图7



图8 优化后的引水隧洞开挖效果图



图9 优化后的调压上室开挖效果图

## 4 结 语

(下转第32页)

偏差为 10 mm,宽度为 0 ~ +15 mm,顶面高程为 ±3 mm,根据前面的分析,CP II 控制点距离控制在 300 m 时,在最不利的情况下,半测回定向角误差仍取 6 s 时,其相对于仪器方向的线横向偏移 ≈9 mm,纵向偏移 ≈2.4 mm,能够满足底座板、支承层的测设精度要求。这样,在底座板、支承层施工时就没有必要耗费巨大的人力和物力建设 CP III 网,而且在底座板、支承层施工完成、桥梁二期恒载基本稳定后再进行 CP III 网的建立,对 CP III 网的稳定性也是有保证的,尤其对大跨连续梁或其他钢结构的桥梁,宜在较短的时间内测量并投入使用。

5 结 语

(1) 施工控制网加密测量是高速铁路测量的一部分,加密网应根据工程进度的需要进行测量,这样将更好地满足施工放样的需要。加密网基本上都是为线下工程施工测量服务的,测量精度能满足线下工程放样即可,而不必人为地追求过高的精度,造成不必要的浪费。

(2) 沉降观测是无砟轨道铺设的依据。通过 (上接第 10 页)

吉牛水电站富含云母岩体洞室开挖过程中,通过理论和试验研究,揭示了富含云母岩体的物理力学特性及其云母含量。通过现场试验,对富含云母隧洞开挖爆破参数进行了优化,针对制约隧洞开挖爆破效率的掏槽部分,重点对其布孔方式和装药进行了优化设计;在充分了解现场围岩施工特性的基础上,对富含云母的围岩进行了分类,分别总结出合理的开挖方式和爆破设计。吉牛水电站富含云母岩体洞室开挖爆破施工技术的顺利实施,加快了施工进度,提高施工效率约三分之一。

参考文献:

[1] 张修政,董永胜,施建荣,王生云. 羌塘中部龙木错——双湖缝合带中硬玉石榴石二云母片岩的成因及意义[J]. 地质前缘,2010,17(1):93-103.
[2] 陈 燕,魏春景,张景森,初 航. 大别山南部高压——超

沉降观测预测工后沉降和过渡段的差异沉降,评估主体工程是否满足无砟轨道铺设条件。鉴于主体工程施工完成后的沉降更能反应工后沉降的趋势,因此,桥梁承台的沉降观测是没有必要的。

(3) 轨道控制网测量是高速铁路测量的重点,对于底座板、支承层放样精度不高的问题,采用加密点就能满足要求,没有必要在底座板、支承层施工前就建立轨道控制网。底座板作为桥梁二期恒载的重要组成部分,对梁体变形还是有一定的影响,在桥梁二期恒载基本稳定后再进行轨道控制网的测设,对保证控制网的精度是有必要的。

参考文献:

[1] 高速铁路工程测量规范, TB10601-2009[S].

作者简介:

李正云(1971-),男,四川丹棱人,工程师,从事铁路工程施工测量技术及管理工作;
何跃宝(1982-),男,云南昆明人,助理工程师,从事铁路工程施工测量技术及管理工作;
安晓燕(1986-),女,宁夏平罗人,助理工程师,从事铁路工程施工测量技术及管理工作.

(责任编辑:李燕辉)

高压变质体中云母片岩和片麻岩的相平衡研究[J]. 岩石学报, 2005,21(6):1657-1668.

[3] 陈 斌. 福建平潭——东山变质带夕线石榴云母片岩中两期变质作用的岩相学证据及其构造意义[J]. 岩石学报, 1997,13(3):380-394.
[4] 胡子建,周 勇,朱建群,姜晓日. 隧道开挖过程中软弱围岩的爆破技术研究[J]. 河北工程大学学报,2012,29(3):73-76.
[5] 张桂松,杨华舒,陈 锐,陈 刚,刘海波,李祥俊. 软弱围岩中光面爆破掏槽孔方案研究[J]. 云南水力发电,2009,25(6):80-82.
[6] 朱荣华,林 云,徐学勇,程 康. 空气间隔装药光面爆破技术探讨[J]. 爆破,2004,3(21):32-33.

作者简介:

段会平(1978-),男,甘肃镇原人,工程师,从事水电工程施工技术与管理工作;
王志强(1990-),男,四川成都人,工程师,工程硕士,从事水电工程结构及工程爆破方面的研究. (责任编辑:李燕辉)

平鲁白玉山 20 万千瓦风电项目获核准

近日,山西省发展改革委下发《关于大唐新能源朔州平鲁风力发电有限公司平鲁白玉山 20 万千瓦风力发电项目核准的批复》文件,标志着大唐新能源山西公司又一 20 万千瓦装机容量风电项目获得核准。这也是今年以来国家能源项目审批放权后,由山西省人民政府核准的首批大型风电整装项目之一。平鲁白玉山二期项目拟安装 133 台单机容量 1 500 千瓦的风力发电机组,总装机容量为 199.5 兆瓦,工程建设期 24 个月。项目建成后,预计每年可为电网提供清洁电量 4.5 亿千瓦时,为国家节省标煤 15.82 万吨,相应减少二氧化碳、二氧化硫、粉尘、废水等的排放,有利于缓解环境保护压力,实现经济与环境的协调发展,节能和环保效益十分显著。