

# 吉牛水电站引水隧洞底板超挖原因与处理分析

石东诚, 符爱华, 张裕江

(四川革什扎水电开发有限责任公司, 四川 丹巴 626302)

**摘要:**吉牛水电站引水隧洞围岩以二云英片岩和二云片岩为主,在潮湿环境经出渣车辆碾压后,底板形成了大量的不良地质超挖。对超挖原因进行了分析,并从技术和商务角度出发提出了处理方法。

**关键词:**二云英片岩;底板;超挖;处理;吉牛水电站;引水隧洞

**中图分类号:**TV7;TV52;TV544

**文献标识码:** B

**文章编号:**1001-2184(2014)01-0023-04

## 1 概述

吉牛水电站位于四川省甘孜州丹巴县境内,是大金川河一级支流革什扎河水电规划“一库四级”开发方案的最末一个梯级电站。电站闸址位于独狼沟口下游0.6 km的革什扎河上,厂址位于革什扎河与大金川河交汇口附近。

电站采用拦河闸长隧洞引水至左岸地面厂房发电,正常蓄水位高程2 378 m,总库容197.5万m<sup>3</sup>。最大闸高23 m,左岸引水隧洞长22.377 km,设计水头506.5 m,引用流量60.28 m<sup>3</sup>/s,机组为冲击式,装机2台,总容量240 MW,年发电量为12.142亿kW·h。

引水隧洞断面为城门洞形,开挖断面(5.9~

6.8)m×(5.95~6.8)m(宽×高),Ⅱ、Ⅲ类围岩底板浇筑素混凝土,边顶拱锚喷支护,Ⅳ、Ⅴ类围岩采用钢筋混凝土衬砌,衬砌后成型断面为5.6 m×5.6 m。

工程建筑区地层主要由一套震旦系至三叠系变质的海相碎屑岩、泥质岩及碳酸盐岩组成。其中引水系统为志留系茂县群二云英片岩、二云片岩及少量石英岩和大理岩。引水隧洞穿越的地层岩性为震旦系厚~巨厚层变粒岩、志留系茂县群第1~4岩组中~厚层二云英片岩、大理岩、石英岩及中~薄层二云片岩等。引水隧洞岩石主要物理力学性质如表1所示。

## 2 开挖方案及效果

表1 引水隧洞岩石主要物理力学性质表

岩性	比重 G <sub>s</sub>	弹性模量 (平均值) E/GPa	泊松比 μ	干抗压强度 (平均值) R <sub>d</sub> /MPa	湿抗压强度 (平均值) R <sub>s</sub> /MPa	软化系数
二云片岩 (弱风化)	2.8	15.4	0.305	28.4	18.8	0.66
二云片岩 (微新)	2.81	12.3	0.28	38.83	26.8	0.69
二云英片岩 (弱风化)	2.78	30.8	0.24	65.5	47.2	0.72
	2.75	25.25	0.26	93.22	70.5	0.75

### 2.1 常规开挖方案

#### (1) 开挖方案。

引水隧洞Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ类围岩洞段在投标及实施阶段的开挖方案均为全断面一次性开挖成型。采用YT28气腿钻在自制钻爆台车上钻孔装药爆破,楔形掏槽、周边光面爆破、非电毫秒微差起爆,侧翻装载机装渣,10 t自卸汽车出渣。对于Ⅱ、Ⅲ类围岩开挖后,进行简单的临时支护或不支

护;Ⅳ、Ⅴ类围岩属于不良地质情况,采取“短进尺、弱爆破、强支护”的施工方法,开挖后四方在现场确定支护方式进行临时支护。

#### (2) 开挖效果。

引水隧洞开挖完成后,经四方联合验收,洞挖成型控制较好,底板未发现有明显的超挖,完整的岩体边顶拱半孔率能够达到85%以上,较完整和较破碎的岩体能够达到60%以上,破碎的岩体能够达到20%以上。

收稿日期:2013-01-13

(3) 底板超挖。

在底板混凝土浇筑前的基础验收时发现存在基岩面低于设计高程 0.2~0.5 m 的现象。经分析得知,底板超挖是由于出渣车辆碾压、软化层清除后所致。底板典型断面情况如图 1 所示。

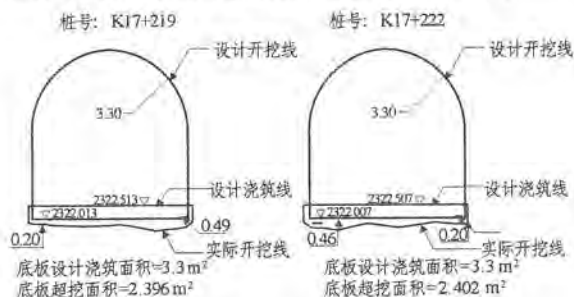


图 1 引水隧洞底板验收典型断面图

根据对已经完成的底板混凝土进行统计,底板设计面以下平均回填混凝土厚度约为 40 cm。已完成底板浇筑混凝土量如表 2 所示。

表 2 截止 2012 年 12 月 31 日底板混凝土浇筑量统计表

序号	标段	浇筑长度 /m	混凝土浇筑量 /m³		
			设计量	实际量	超填量
1	引水隧洞 I 标	276	994	1 865	871
2	引水隧洞 II 标	1 583	3 429	8 718	5 289
3	引水隧洞 III 标	937	2 621	4 565	1 944
4	引水隧洞 IV 标	1 100	2 578	4 771	2 193
5	调压井及压力管道标	692	2 223	3 731	1 508
6	合计	4 588	11 845	23 650	11 805

2.2 预留保护层开挖方案

(1) 开挖方案。

在进行光面爆破的基础上,隧洞开挖时底板预留 0.3~0.5 m 保护层。

(2) 开挖效果。

隧洞开挖后成型控制较好,边顶拱半孔率较高。

(3) 底板欠挖处理量大。

引水隧洞底板经出渣车辆碾压后呈现“W”状,车轮碾压部位呈深槽,中间凸起部分为松散体,边墙处底板保护层呈原状态,保护层需进行欠挖处理,局部欠挖需要进行二次钻孔爆破,欠挖处理严重影响到底板混凝土的浇筑进度。因此,该方案未被推广。

3 底板超挖原因分析

(1) 岩石特性引起超挖。

引水隧洞的围岩主要由中~薄层二云英片岩、二云片岩构成,岩性一般软硬相间,总体呈互

层状结构,中下游洞段岩层挤压揉皱极为强烈,层间挤压破碎带及小断层发育。

经查阅相关研究资料,干燥二云英片岩的裂纹起始应力在垂直片理面(// = 90°)、平行片理面(// = 0°)和与片理面斜交(// = 30°)加载条件下分别为对应峰值强度的 41%, 24% 和 41%,破坏应力分别为对应峰值强度的 71%, 33% 和 46%。同时,试验结果还表明:3 种加载方向的长期强度为对应单轴抗压强度的 0.6~0.7 倍。

吉牛水电站引水隧洞围岩是典型的二云英片岩且层间挤压、揉皱强烈,软化系数普遍在 0.75 以下,加载后存在软化现象。二云英片岩物理力学性质如表 3 所示。

表 3 二云英片岩物理力学性质检测表

取样部位	加载方向	干抗压强度 /MPa	湿抗压强度 /MPa	弹性模量 /GPa	软化系数
上游洞段	垂直层理	39.7	30	13.2	0.75
	平行层理	25.8	19	17.5	0.74
中下游洞段	垂直层理	21	15.4	6.5	0.73
	平行层理	13.9	10.3	8.5	0.74
下游洞段	垂直层理	24.9	17.8	7.2	0.71
	平行层理	16.4	14.4	9.5	0.69

(2) 施工环境引起超挖。

引水隧洞沿线范围内分别发育有简历沟、绕拉沟、东方红沟、大水沟、大雪沟、柯尔金沟等冲沟,各沟一般常年流水,除简历沟规模相对较大、切割较深,沟内第四系松散堆积物深厚外,其余各条冲沟规模较小,切割较浅。因此,开挖后的洞内 II、III、IV 类围岩常年存在湿润~滴水状态, V 类围岩地下水发育,有线状流水,局部股状涌水,流量约为 0.5 L/s。此外,施工用水及洞内排水不能达到干燥环境的要求,底板长期处于潮湿环境中,湿抗压强度明显降低干抗压强度。

(3) 车辆反复碾压加载引起超挖。

根据初设施工组织设计,引水隧洞布置了 10 条施工支洞,后期又增加了 2 条岔洞,开挖共 22 个工作面,单工作面控制长度为 188~1 674 m,平均长度为 1.02 km,按开挖单循环 2 m 计算,底板被出渣车反复碾压,最多达 10 200 次以上,这是造成软化的直接原因。

(4) 清基方案引起超挖。

投标施工组织设计及实施过程中,掌子面开挖后危岩排险及浇筑前底板清基机械均采用斗容 1 m³ 反铲。但是,由于对二云英片岩特性认识不

足,采用此类大型机械清理碾压后的基岩容易造成底板的二次开挖。

#### 4 对底板超挖采取的应对措施

##### 4.1 预留保护层开挖方案

底孔造孔时,适当将底孔位置上移,预留30~50 cm作为爆破保护层,车辆碾压掉保护层后,达到设计高程。

该方案的有利因素是超挖量明显减少。采用该方案的引水隧洞桩号K9+986~K10+094段试验性开挖数据表明,全断面开挖与留保护层开挖的超填量/设计量比例由122%降低至29%。验收数据对比情况如表4所示。

该方案的不利因素是由于未碾压部位需进行欠挖处理,甚至二次造孔爆破,从而严重影响到底板的清基效率,导致进度受到影响。

因此,预留保护层开挖工艺在本工程未普遍实施。

##### 4.2 开挖后随即覆盖的方案

引水隧洞开挖后随即采用洞渣将底板覆盖或者用成品骨料换填,以减轻底板碾压的破坏程度。

用洞渣料覆盖底板,其有利因素是减少出渣量(爆破后的部分岩块直接用于覆盖底板),短期可以改善运输条件;不利因素是岩块被碾压后迅速软化、泥化,长期下去反而影响洞内交通。骨料换填是将底板的虚渣简单清除,用人工骨料或筛分后的天然骨料回填,其有利因素是底板保护快速有效,不影响直线工期;不利因素是增加了二次清基并增加了投资。

因此,开挖后采用成品骨料换填是可行的,本工程多数洞段实施此方案以保护底板。

##### 4.3 皮带机运输方案

皮带机运输方案是通过在隧洞边墙上架设0.8~1 m宽的皮带运输系统,将开挖的洞渣运出洞内的措施。

该方案的有利因素是取消了出渣车辆,避免了开挖后底板被碾压破坏;不利因素是皮带机架设后与边顶拱钢模台车相互干扰非常大,无法实现洞内平行作业。

因此,本工程未采用该方案。

##### 4.4 限制使用清基机械

针对反铲清基时造成的二次开挖,本工程限制使用大斗容反铲而改用斗容0.3 m<sup>3</sup>的小反铲

表4 引水隧洞标典型断面验收统计值表

序号	桩号	围岩	混凝土浇筑量/m <sup>3</sup>			备注
			实际量	设计量	超填量	
1	K9+801~K9+813	III	66.5	14.2	52.4	全断面开挖
2	K9+854~K9+866	IV	72.8	39.6	33.2	
3	K9+866~K9+878	IV	75.8	39.6	36.2	
4	K9+902~K9+914	IV	94.7	39.6	55.1	
5	K9+914~K9+926	IV	81.0	39.6	41.4	
6	K9+926~K9+938	IV	81.2	39.6	41.6	
7	K9+986~K9+998	IV	47.6	39.6	8.0	
8	K9+998~K10+010	IV	50.9	39.6	11.3	
9	K10+010~K10+022	IV	67.7	39.6	28.1	
10	K10+022~K10+034	IV	51.1	39.6	11.5	
11	K10+034~K10+046	IV	51	39.6	11.4	
12	K10+046~K10+058	IV	47.7	39.6	8.1	
13	K10+0058~K10+070	IV	46	39.6	6.4	
14	K10+070~K10+082	IV	48	39.6	8.4	
15	K10+082~K10+094	IV	48.9	39.6	9.3	

配合人工进行清基。

该方案减少了清基造成的二次开挖,但增加了人工清基量。本工程采用该方案,对控制底板超挖发挥了较好的作用。

#### 5 底板超挖后采取的技术处理方案

##### 5.1 降低混凝土底板设计高程方案

###### (1) 技术方案。

根据已经浇筑的底板混凝土工程量统计数据,平均回填厚度为40 cm,如果将底板设计高程降低40 cm,既能保证底板设计厚度,又能减少不良地质部位混凝土的回填量。设计单位经过结构稳定计算后,对引水隧洞衬砌结构尺寸进行了优化,将其调整为:“底板高程适当下卧,最大不得大于40 cm,II/III类的边墙挂网钢筋及喷混凝土、IV/V类围岩衬砌边墙钢筋混凝土相应延伸至底板,永久衬砌(支护)底板间以不陡于1:5的斜坡连接。”

###### (2) 利弊分析。

有利因素为:结构断面调整后,底板回填混凝土C20减少了17 640 m<sup>3</sup>,II、III类围岩洞段增加了喷混凝土886 m<sup>3</sup>,IV、V类围岩洞段增加边墙衬砌混凝土3 164 m<sup>3</sup>,挂网钢筋31 t,边墙衬砌钢筋283 t,初步估算节约投资380万元。

不利因素是由于隧洞底板超挖厚度不均衡,全洞段无法统一设计高程的降低标准,浇筑后的底板面将呈起伏状,给运行期检修、人行通过带来不便。

###### (3) 可行性判断。



初步分析该方案可行,引水隧洞Ⅱ、Ⅲ类围岩段仅增加两侧边墙各40 cm的挂网喷混凝土工程量,Ⅳ、Ⅴ类围岩段混凝土衬砌按照先浇筑底板、后边顶拱的顺序施工,底板降低后,将钢模台车行驶轨道适当垫高不影响边顶拱衬砌。

本工程将在后期结合底板清基情况予以实施。

## 5.2 在浮渣上浇筑底板混凝土方案

### (1) 技术方案。

在Ⅱ、Ⅲ类围岩洞段采用浮渣混凝土底板,保证底板设计厚度,增加混凝土底板及边墙排水孔施工。实施该方案需要通过现场原型试验(浮渣混凝土底板抗外水抬动试验)确定相关参数。

### (2) 利弊分析。

有利因素为:该方案简化了底板清理的施工工序,加快了进度,节约了投资,该方案2009年在四川某电站引水隧洞中成功应用浮渣混凝土底板洞段3 950 m,节约投资约400万元,技术可行,但质量尚未经过特殊工况及长期运行检验。

不利因素是吉牛水电站引水隧洞底板岩体富含云母,以软岩为主,在水环境下,不利于运行期间的安全稳定。

### (3) 可行性判断。

吉牛水电站引水隧洞由于特殊的岩石条件且为有压隧洞,不宜采用该方案。

## 6 底板超挖商务问题的处理

二云英片岩底板在潮湿环境下经出渣车辆碾压后严重软化的特性属不良地质原因,应由发包人承担风险责任,由此而实施的骨料换填保护措施及增加底板设计面以下回填混凝土均属于“追加为完成工程所需的任何额外工作”,应按照变更原则处理。

目前存在的问题是投资增加。初步估算,不

良地质洞段骨料换填约30 000 m<sup>3</sup>,增加投资450万元,此外,目前已经浇筑底板回填C20混凝土量为11 805 m<sup>3</sup>,增加投资470万元。

笔者建议:在今后类似地质环境中引水隧洞工程的招标设计及评标时,对底板保护措施应提出明确要求,避免变更与索赔。

## 7 结 语

(1)在吉牛水电站隧洞底板混凝土浇筑过程中,普遍存在设计高程以下不良地质清基量较大的情况,经分析,主要是由于岩石特性、洞内潮湿的施工环境、出渣车辆反复碾压、大型反铲清基等原因造成。

(2)引水隧洞开挖后采用成品骨料换填,可有效保护底板,提高施工效率。如果对二云英片岩特性有充分地认识,提前谋划,优化保护层开挖工艺,或者采用皮带机运输洞渣,都是可行的方案。

(3)在底板超挖洞段浇筑混凝土时,适当降低设计高程,能够方便施工,加快进度,节约投资。

(4)二云英片岩引水隧洞底板在潮湿环境中经出渣车辆碾压严重软化,属承包人不可预见的地质风险,应给予全额补偿(清基超挖除外),通过补偿,有利于工程建设,从而实现双赢。

### 参考文献:

- [1] 张晓平,王思敬,韩庚友,张兵.岩石单轴压缩条件下裂纹扩展试验研究——以片状岩石为例[J].岩石力学与工程学报,2011,30(9):1772-1781.

### 作者简介:

石东诚(1976-),男,湖南新邵人,副处长,工程师,学士,从事水电工程建设技术与管理工作;

符爱华(1974-),男,湖北仙桃人,处长助理,工程师,从事水电工程建设技术与管理工作;

张裕江(1966-),男,辽宁丹东人,主管工程师,从事水电工程建设技术与管理工作。(责任编辑:李燕辉)

## 国家能源局四川监管办公室挂牌成立

2013年12月16日,国家能源局四川监管办公室正式挂牌,开启了四川能源行业监管的新格局。新机构不仅监管企业,也要监管地方政府对能源规划的实施情况。同时明确监管电网和油气管网的公平开放,意味着油气管网有望向第三方开放。新机构由以前的四川省电监办更名而来。随着名字的变化,机构也有三个变化。一是以前的四川省电监办只是国家电力监管委员会的派出机构,现在成为了国家能源局的垂直机构。二是以前只负责电力监管,现在负责所辖区域内电力等能源的监督管理和行政执法工作以及电力安全监管工作。三是以前只是对企业进行监管,现在也要监管地方政府对能源规划的实施情况。