

# 长引水电站技施阶段引水隧洞洞轴线动态设计

——以玉瓦水电站为例

胡 帅, 原先凡

(中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司, 四川 成都 610072)

**摘 要:** 针对长引水隧洞施工中遇到的围岩不稳定问题, 很多工程采用的都是工程处理措施, 极少有采用改变洞线的做法。以玉瓦水电站为例, 探讨了技施阶段开挖遇与洞轴线小夹角的破碎带时, 通过对地表调查、开挖揭示资料进行分析以及采用一些物探手段, 在进一步查明隧洞区地质条件的基础上对洞轴线开展动态设计的可行性。

**关键词:** 长引水隧洞; 轴线布置; 动态设计; 技施阶段; 地表调查; 玉瓦水电站

**中图分类号:** TV7; TV554; TV22; TV222

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1001-2184(2017)增1-0030-03

施工中长引水隧洞常会遇到围岩不稳定问题, 如裂隙的不利组合、岩体破碎、大规模断层、地下水等, 有些不稳定问题在隧洞布置阶段可以查明并成功预测; 而受前期勘察工作量、工作手段的限制, 许多洞室的不稳定问题是在开挖过程中逐渐被揭露出来的。很多工程对开挖揭示的不稳定问题强调的是地质预报和及时采取工程处理措施, 很少采用改变洞线的作法<sup>[1]</sup>。也有一些工程, 如姜射坝水电站、玉瓦水电站等, 在特定的条件下, 通过对技施阶段的地质调查、开挖揭示资料进行分析并采用一些物探手段, 进一步查明了隧洞区地质条件, 在此基础上对洞轴线开展了动态设计, 节约了工程投资, 缩短了工程工期, 取得了很好的效果。笔者以玉瓦水电站引水隧洞4#、5#施工支洞间洞轴线的调整为例, 探讨了技施阶段洞线动态设计的可能。

## 1 概 述

玉瓦水电站引水隧洞布置于黑河右岸山体内, 沿线有双沟、绕纳沟、头道沟和水口坝沟, 隧洞在平面上设置了8个转弯点, 转弯半径为200 m, 从进水口至调压室全长约14 km。进水口底板高程2 007.5 m, 至调压室处底板高程降为1 965 m, 引水隧洞沿线承受的内水压力为0.14~0.69 MPa, 采用城门洞形断面, 开挖断面跨度为4~5 m, 洞内流速为2.34 m/s。

引水隧洞区总体呈斜纵向谷, 地形较完整, 山顶高程为2 500~2 800 m, 拔河高差500~800 m,

收稿日期: 2017-04-25

属中高山峡谷型地貌, 隧洞垂直埋深一般为300~400 m, 最大达700 m。出露基岩地层为二叠系下统黑河组上段浅变质岩系, 岩性为一套滨、浅海交互相沉积的碎屑岩和碳酸岩。以灰色薄板状灰岩、条纹状灰岩为主, 夹中~厚层长石石英砂岩、板岩及少量千枚岩。引水隧洞位于大录-陵江背斜北东翼, 地层挤压褶皱强烈, 次级褶曲发育, 但总体表现为单斜构造, 岩层产状为 $N50^{\circ} \sim 60^{\circ} W/NE \angle 60^{\circ} \sim 70^{\circ}$ 。沿线无区域性大断裂通过。区内地下水活动存在一定差异, 断层破碎带、挤压破碎带、节理密集带含水相对较丰富。

## 2 开挖揭示的围岩稳定问题

4#施工支洞开挖揭示围岩为薄层状砂质灰岩, 由于岩层陡倾、洞向与岩层走向呈大角度相交, 施工支洞开挖后对岩面进行了喷混凝土封闭, 洞室基本稳定, 围岩稳定问题不突出。

进入引水隧洞后, 岩层走向与洞轴线夹角变小, 仅为 $5^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 。在向下游掘进过程中, 开始出现边墙岩体的弯折破坏、喷层开裂等现象; 掘进230 m后, 有板岩条带出露, 岩体完整性变差并伴随着线状流水, 洞室开挖后顶拱和边墙均有不同程度的掉块; 掘进260 m后, 岩体破碎, 地下水多呈线状~股状流水, 围岩稳定性极差, 右侧边墙及顶拱持续发生小规模掉块, 其中(引)9+254~(引)9+256段右侧边墙塌腔深度约7 m(表1)。

## 3 补充进行的地质工作

引水隧洞开挖至(引)9+216以后, 往下游方向围岩稳定问题日益突出, 严重影响了施工安全

表 1 引水隧洞 4#施工支洞及下游洞室稳定问题简表

部 位	岩层走向与洞向夹角	岩 性	岩体完整性	地下水	洞室稳定性	围岩类别	塌方变形情况
4#施工支洞	大交角	薄层砂质灰岩夹少量中厚层砂质灰岩	完整性差	干燥~渗滴水	局部稳定性差	Ⅲ	无
引水隧洞	0~230 m		较破碎	线状流水	不稳定	Ⅳ	边墙弯折破坏
下游	230~260 m	5°~15°	破碎	线状~股状流水	极不稳定	Ⅴ	掉块
	260 m以后						掉块形成空腔

和开挖进度,地质专业开展了地表地质调查分析并对开挖揭示的情况进行了分析,对下游掌子面进行了 TRT 物探测试,进一步查明了该段引水隧洞的地质条件。

### 3.1 地质资料的收集与分析

对 4#施工支洞、5#施工支洞、引水隧洞 4#支洞下游和 5#支洞上游已开挖揭示洞段的地层岩性、构造、地下水、围岩类别等地质条件进行了综合整理分析,分析洞长共计为 1 740 m。

分析后得出的结论:(1)岩性以砂质灰岩夹板岩为主,产状稳定,层厚变化较大,其中 4#支洞及 4#下以薄层状为主,而 5#支洞及 5#上以中厚层为主;(2)总体上构造不发育,以小规模挤压带、揉皱为主,对围岩类别及稳定性不构成控制影响,但随机分布的较大规模断层则影响或控制着隧洞围岩类别及其稳定性(如 4#下);(3)一般以渗滴水为主,局部呈线状水,较大规模构造发育部位可能出现股状水、涌水;(4)岩层层厚是决定围岩类别的基本因素,而地下水、一定规模随机分布的构造则进一步恶化围岩稳定性,对施工影响较大。

### 3.2 地表调查

进一步开展地表调查,重点调查了地貌形态、地层岩性、地质构造、软弱岩带等制约隧洞围岩稳定的因素;通过卫星地图查看地形地貌,以调查推测软弱岩带、断层以及 4#、5#之间剩余洞段的地质条件为目的,制定现场调查线路 11.68 km,并于现场地质定点 31 个。

根据对地表调查资料进行综合分析,得到以下认识:(1)推测断层、软弱岩带位置未见明显的层位、产状及岩性差异,判断 4#~5#之间洞段并无推测的断层和软弱岩带分布;(2)调查区域内未见大的断裂、褶皱分布,偶见小规模断层或错动带、揉皱等,影响局部岩体的产状及完整性,但其影响范围有限;(3)地下水一般以渗滴水为主,

局部为线状水,较大规模构造发育部位可能出现股状水、涌水;(4)根据地层岩性、层厚特征推测剩余洞段的地质条件。

### 3.3 TRT 地质超前预报

在对该不良地质洞段进行大量的资料分析和现场勘测的同时,还采用了 TRT 物探测试手段对隧洞 4#支洞下游(引)9+282 掌子面进行了地质超前预报,预测长度为 100 m。物探成果显示:4#支洞下游掌子面至(引)9+385(原洞轴线)围岩地质条件未有明显变好的迹象,与开挖揭示和地质调查结果基本吻合。

综合上述结论可以得出:4#下游主洞围岩稳定性差,主要受岩层单层厚度、顺层构造和地下水影响且影响段较长。基于上述情况,地质专业提出了洞轴线调整建议,以减少穿越破碎带的洞长。

## 4 动态设计及取得的结果

### 4.1 动态设计

在地表调查、地质分析的基础上,根据开挖揭示的地质条件和 TRT 物探成果,采用动态设计的原则对 4#支洞下游引水隧洞洞轴线进行了调整。洞轴线在(引)9+287 处向山内侧偏转 45°,转弯半径为 40 m。洞轴线调整后,迅速穿过了破碎岩带进入Ⅲ类围岩。根据地表调查成果,掌子面前方仍有一段真实厚度约为 40 余 m 的薄层灰岩夹板岩,预计围岩类别以Ⅳ类为主。若洞轴线马上回调,在穿过该段地层时仍将有较长洞段(约 200 m)存在围岩不稳定问题,经综合分析后决定以调整后的洞向大角度穿过该地层后,再在中厚层灰岩地层中回调洞轴线,调整后该段隧洞长度增加了 52 m。

### 4.2 动态设计取得的结果

洞轴线调整后的开挖情况揭示围岩类别与所预测的情况基本一致。本次引水隧洞洞轴线动态设计在关键线路施工过程中起到了非常重要的作用,对施工安全、进度和投资都有明显的正面效

益:(1)洞线调整后,围岩条件与模型所反映的地质情况基本一致,围岩类别很快由 V、IV 类变成 III 类。由于围岩条件的好转,洞室稳定性变好,施工安全风险大大降低;(2)隧洞开挖进尺由原来的 0.5 m/d 上升至 4~5.5 m/d,极大地提升了施工进度,初步估算 4# 下游开挖工期缩短了约 5 个月,为按时完工提供了有力支撑;(3)由于洞轴线的调整,隧洞长度虽然有所增加,但 V、IV 类围岩减少,开挖支护费用经估算节约 186 万元,节约了工程投资(图 1、表 2)。

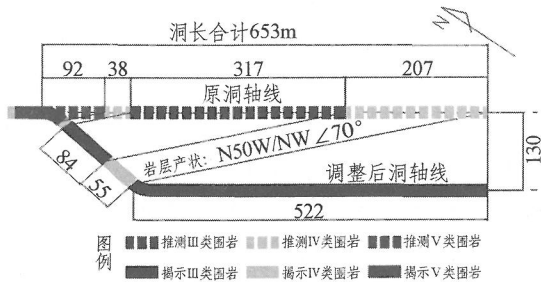


图 1 4# 下游洞轴线调整前后围岩类别对比图

表 2 4# 下游洞轴线调整前后工期及投资对比表

项目	V 类 /m	IV 类 /m	III 类 /m	洞长 合计	开挖工期 /月	投资 /万元
原洞线	92	245	316	653	13.7	639
新洞线	34	65	606	705	8.6	453
变化量	-58	-180	+290	+52	-5.1	-186

注:开挖强度及投资按不同围岩类别已完成段实际情况类比估算。

### 5 结 语

(1)开挖揭示的与洞线小交角破碎带、软弱岩带沿洞轴线出露的距离较长,洞室稳定问题突出,给施工带来了较大困难,造成工程投资大幅度增加,工期延误,宜开展技施阶段洞轴线布置的动态设计工作。

(2)技施阶段隧洞轴线的动态设计需在查清地质条件的基础上,综合围岩稳定、施工工期、工程投资、运行安全等进行技术比较论证;同时,这种动态设计需要现场地质人员对所揭示出的地质问题保持敏锐的嗅觉,设计单位要快速响应、及时决策。

(3)玉瓦水电站洞轴线调整经开挖证实是成功的,节约了工程投资,减少了施工工期,取得了较好的效果,其技施阶段根据开挖揭示的地质条件进行补充地质调查、开展洞轴线动态设计的工作方法可供类似工程参考。

#### 参考文献:

[1] SL279-2016, 水工隧洞设计规范[S].

#### 作者简介:

胡 帅(1978-),男,湖北黄梅人,高级工程师,从事水电工程地质工作;

原先凡(1988-),男,河南焦作人,工程师,从事水电工程地质及岩土工程方面的技术工作。

(责任编辑:李燕辉)

(上接第 26 页)

品由监理进行取样互检,如 CI 标隧洞喷混凝土强度检测由分包商试验室进行自检,监理人员对此类样品按检验批进行取样并委托 CII 标试验室进行平行抽检试验,监理或总承包项目部试验管理人员对试验过程进行全过程监督,以复核 CI 标试验成果。

### 3.4 委托检测以保证试验检测成果的全面性

由于分包商试验室受检测设备、人员的限制,对一些样品指标不能实施现场检测,对此,总承包项目部要求分包商对此类样品委托第三方检测机构进行检测,以保证试验检测的全面性。如 CI 标承包商对外加剂、砂石骨料(主要为化学试验指标)、橡胶止水及金属止水等样品进行了委托试验。

### 4 结 语

采取 EPC 模式建设的小型水电站工程受投资规模限制,承包商的试验设备、人员配置无法与大型工程相比。然而,试验检测作为 EPC 项目质量管理中一个重要的组成部分,是对工程质量管理的重要途径。为有效加强试验管理,玉瓦水电站总承包项目部采用动态管理、标段交叉互检等方式对项目试验进行管理的经验,对类似工程项目的试验管理具有一定的参考作用。

#### 作者简介:

周孝华(1989-),男,四川自贡人,助理工程师,学士,从事水电工程施工技术与项目管理工作;

邓建华(1981-),男,四川峨眉人,高级工程师,从事水电工程施工技术与项目管理工作。

(责任编辑:李燕辉)