

# 锦屏二级水电站4#引水隧洞边顶拱先行 混凝土施工管理

高红松

(四川二滩国际工程咨询有限责任公司,四川成都 611130)

**摘要:**在锦屏二级水电站引水隧洞工程施工中,隧洞群开挖与衬砌均处在关键线路上,占用直线工期。在实际施工中,往往由于各种因素影响造成工期紧张,不得已而采取超常规的施工方案。为此,经研究,在锦屏二级水电站4#引水隧洞工程中部分洞段采用先边顶拱、后底拱的衬砌施工方案,并对边顶拱先行产生的反缝及裂缝进行处理,从而实现了引水隧洞开挖与衬砌平行作业,加快了施工进度,确保了工程建设总工期。对锦屏二级水电站4#引水隧洞先边顶拱、后底拱的混凝土衬砌施工管理进行了总结。

**关键词:**引水隧洞工程;混凝土衬砌施工管理;边顶拱先行;反缝;裂缝;锦屏二级水电站

**中图分类号:**TV7;TV554;TV523;TV51

**文献标识码:** B

**文章编号:**1001-2184(2015)增2-0052-03

## 1 工程概述

锦屏二级水电站四条引水隧洞平行布置,横穿跨越锦屏山,隧洞中心距60 m。其中4#引水隧洞主要采用钻爆法开挖施工,开挖断面为马蹄形断面,尺寸宽为(13~13.8 m),高为(12.8~14.3)m,边顶拱衬砌厚度为60~100 cm,底板厚60~150 cm,衬砌后除集渣坑洞段为城门洞型外,其余衬砌断面均为近似马蹄形,衬砌后断面尺寸高度为11.2~11.6 m,宽度为11.2~11.8 m。衬砌施工主要采用先底板(底拱)、后边顶拱施工顺序,其中有长约4 km为先浇筑边顶拱、后浇筑底板洞段。

## 2 采用边顶拱先行浇筑的缘由

锦屏二级水电站四条引水隧洞平行施工,工程量巨大,施工强度极高,工种交叉,交通通行压力和干扰较大。为满足工期、质量、安全、文明施工等方面的规定和要求,对现场施工实施动态管理,合理安排各工序的施工,其中重要的一条措施就是将4#引水隧洞部分洞段作为其他三条引水隧洞公用交通通道使用,导致该洞段的底板混凝土不能及时展开浇筑。如果继续按常规混凝土衬砌施工工艺(先底拱、后边顶拱衬砌施工工艺),则4#引水隧洞公共交通洞段无法按期实现充水目标。经研究,对选定的公共交通洞段在保持交通通行的情况下,采用边顶拱钢模台车提前开始

边顶拱浇筑,后期不再承担公共交通任务后底板采用快速连续浇筑,以保证4#引水隧洞充水目标的实现。

## 3 边顶拱先行浇筑的混凝土工作特性

边顶拱先行段施工顺序为:边顶拱→底板→小边墙。相对正常衬砌施工工艺,增加了边顶拱底模及小边墙的施工。边顶拱底模设置在离底板高度98.8 cm的位置,与水平成45°,采用厂家定制的边顶拱衬砌台车进行边顶拱混凝土衬砌作业。同时,由于边顶拱先行施工对于本工程而言属于反序施工,纵向施工缝因重力作用及干缩等因素存在质量不确定性,这些施工缝成了全断面衬砌的最薄弱环节——反缝,处理不好将会影响隧洞的可靠运行。

引(4)13+485.1~16+300段边顶拱先行于2008年12月至2011年7月施工,2012年8月开始施工底板及小边墙。边顶拱先行段衬砌混凝土施工与底板间隔时间长,未能及时形成完整拱圈,加之前期使用早强水泥,早期强度高,部分洞段为富水洞段,汛期存在较高的外水压力,4#引水隧洞尾端风速较大,富水洞段存在反复干、湿,易产生混凝土干缩,造成此段边顶拱裂缝明显多于正常衬砌施工洞段及后期引(4)9+969.8~11+016.1边顶拱先行洞段。经统计,前期先边顶拱后底板段修补完成2 041.4 m,裂缝12 315.97 m,每延米裂缝6.03 m;而先底板后边顶拱(含后期

收稿日期:2015-07-20

先边顶拱后底板段)修补完成 9 490.1 m, 裂缝长度为 11 982.84 m, 每延米裂缝长度为 1.27 m。

#### 4 监理工程师采取的管控措施

##### 4.1 组织措施

针对边顶拱先行施工不同于正常衬砌施工的特殊性, 监理部设立了东段 1、2 二个组负责现场施工监督管理工作, 同时设立了试验与技术专业组, 负责与监理工程师的试验、技术咨询服务和管理工作, 特别是针对混凝土性能及技术难点给予支持。

总监理工程师组织专业监理工程师针对边顶拱先行的施工特点, 编制了边顶拱先行的混凝土监理实施细则、边顶拱先行段施工安全生产监理实施细则等专业监理实施细则, 并在监理部内部组织学习, 进行相关培训交底工作, 以便于各级监理人员更准确、清晰、深入的认识, 掌握边顶拱先行施工的工作流程, 指导现场施工监督管理工作。

##### 4.2 技术管控措施

要求承包商上报边顶拱先行的专项技术方案、底板及小边墙施工方案、质量保证措施、进度计划保证措施、安全文明施工保证措施等, 并进行审核批复后施工。

##### 4.3 合同管控措施

边顶拱先行施工属于超常规的施工方法, 在施工过程中, 监理工程师应将现场施工情况进行详细记录, 保留影像资料, 针对不同于正常边顶拱施工所增加的施工项目, 要求承包商以正式文函提交确认报告, 监理工程师进行批复确认后报送发包人, 以便后续合同处理。

##### 4.4 重点部位、工序控制

###### 4.4.1 模板

因锦屏二级水电站引水隧洞开挖断面尺寸跨度较大, 边顶拱衬砌台车需厂家定制, 监理工程师需进行跟踪验收; 边顶拱衬砌台车就位后, 因其底部处于悬空, 需现场增加底模承受边顶拱混凝土的压力, 所以必须支撑牢固, 保持线型平顺。浇筑时, 避免边顶拱衬砌台车偏移、底模下沉, 要求承包商混凝土入仓必须两侧均匀分层、控制下料速度, 测量人员必须全程跟踪监测, 同时, 监理工程师进行全程旁站监督。

###### 4.4.2 预留钢筋的处理

边顶拱浇筑完成后, 要求承包商做好底板预

留钢筋的保护工作, 避免后续底板及小边墙基础清理造成破坏及污染。小边墙浇筑前对已变形的钢筋严禁采用氧气、乙炔等热烤的方式进行调校, 必须采用冷弯进行调直, 局部洞段必要时采取现场帮条加强。

###### 4.4.3 小边墙

小边墙浇筑模板采用厂家定制的定型钢模, 每块模板顶部居中预留 20 cm × 100 cm 喇叭口用于进料和插入振捣。在混凝土浇筑时, 浇筑顺序必须从下游向上游进行施工并加强振捣, 确保反缝位置混凝土回填密实。混凝土浇筑完成、待强后尽快拆除模板, 采用人工手持小型钢钎凿除喇叭口部位凸出的混凝土, 最后采用手持式砂轮机进行表面磨光处理; 对于局部表面破损无法打磨平整的部位, 采用预缩砂浆或环氧胶泥修补平整。

###### 4.4.4 反缝

小边墙浇筑时, 在反缝处增设了一条止水, 但止水易有死角而造成混凝土浇筑不满, 形成漏水通道, 故在混凝土浇筑完成后, 针对反缝必须采用化学灌浆的施工工艺进行补强及加固。反缝化灌浆开工前必须编制详细的施工措施计划报监理工程师批准。措施中包括施工布置、设备和材料、工艺和程序、质量保证措施、作业人员配置、施工进度计划等内容; 按照批准的措施计划组织实施, 明确质量控制点和控制办法、标准。施工程序: 混凝土表面清理 → 清理反缝、描述 → 凿槽; 布孔、开孔 → 注浆嘴安装 → 孔口封闭 → 通风检查 → 灌浆 → 表面修饰(刻槽封闭修饰) → 质量检查。施工过程中严格执行准灌证制度, 在每一单元施工前, 施工准备完毕, 具备施工条件时, 必须经“三检”检查合格, 向监理工程师申请开工。在施工中, 对灌浆压力及浆液比重应随时进行量测并做好记录, 进行全程跟踪旁站。灌浆完成后 28 d 进行钻芯取样, 芯样劈拉试验平均抗拉强度不小于 1.5 MPa。对反缝进行压水试验检查, 压水试验压力在 0.5 MPa 下透水率小于 0.1 Lu。

#### 5 边顶拱先行洞段裂缝发展情况

前期引(4)13 + 485.1 ~ 16 + 300 洞段在开挖一年即开始边顶拱浇筑, 然后在 3 ~ 4 a 后才完成底板浇筑。这部分边顶拱先行衬砌混凝土裂缝产生较多, 超过普通先底板后边顶拱衬砌洞段两倍以上, 且 80% 以上为环向贯穿裂缝。初步分析,

相比较于一般洞段,边顶拱洞段主要存以下特点:包括(1)引(4)13+485.1~16+300洞段最早开始浇筑,前期浇筑混凝土配合比还不够成熟,水泥采用了早强水泥,粗骨料裹粉较严重。(2)在进行混凝土浇筑时,周边洞段还在进行开挖施工,不可避免地会产生一些爆破震动;同时,作为公共通道,重型机械通行频繁,引起震动,这些均可能会诱发裂缝的产生与发展。(3)开挖完成12个月后才开始浇筑混凝土,围岩的变形收敛还没有完成,也可能造成裂缝的发展。(4)边顶拱先行没有形成完整的混凝土衬砌拱圈,边顶拱混凝土自身重力荷载加速裂缝的发展。

在后期引(4)9+969.8~11+016.1段边顶拱先行衬砌混凝土施工时,要求承包商将底板及小边墙混凝土施工及时跟上,形成完整的拱圈。

(上接第41页)

(3)三角高程计算,考虑球差、气差对高差的影响。

(4)平面坐标计算。

(5)水准高程计算。既可以用专业程序计算,也可以采用计算器、Excel电子表格等计算。

### 5.9 确定计算结果

“间隔时段2倍控制测量方法”测量计算的两组导线独立坐标值的较差不得大于导线端点横向中误差的 $2\sqrt{2}$ ,mm;合格后取两组坐标的平均值

同时,开挖完成时间长,周边其他施工基本完成,相应的裂缝发展水平同普通洞段相近并略小。

## 6 结语

在锦屏二级水电站4#引水隧洞衬砌施工中,对于先边顶拱后底板施工这一浇筑顺序,采取合理的管控措施,针对重点部位、工序进行加强控制后,可以确保工程质量。同时,在边顶拱混凝土施工过程中,也能解决交通通行问题,对工程施工组织管理提供了解决交通的新方案,既保证了整个引水隧洞群施工组织的正常进行,同时也保证了4#引水隧洞按期实现充水目标。

作者简介:

高红松(1986-),男,四川眉山人,助理工程师,从事水利水电工程建设监理工作。

(责任编辑:李燕辉)

为最终成果。高程成果的取用原则上以水准高程为主,三角高程检核;三角高程取间隔时段两次测量结果的算术平均值作为最终计算结果。

## 6 “间隔时段2倍控制测量方法”在锦屏二级水电站中运用得到的结论

锦屏二级水电站引水隧洞开挖的控制测量,从2008年9月下旬开始实践运用“间隔时段2倍控制测量方法”,至2011年11月下旬1~4#引水隧洞开挖的全线贯通,取得了较好的贯通效果,实测贯通误差数据见表8。

表8 实测贯通误差值表

隧洞号	1#引水隧洞			2#引水隧洞			3#引水隧洞			4#引水隧洞			贯通导线全长/km
	横向/mm	纵向/mm	竖向/mm	横向/mm	纵向/mm	竖向/mm	横向/mm	纵向/mm	竖向/mm	横向/mm	纵向/mm	竖向/mm	
1#	197	96	31										18.2
2#				210	65	44							18.2
3#							168	52	13				18.1
4#										136	29	16	18.1

由表8可见,实测的1#、2#、3#、4#引水隧洞开挖贯通误差值全部满足锦屏二级水电站合同对引水隧洞开挖贯通精度的要求(合同要求见表1)。因此,实践运用验证了“间隔时段2倍控制测量方法”对超长大型引水隧洞开挖控制测量的适用性和可靠性。

尽管“间隔时段2倍控制测量方法”在锦屏

二级水电站超长大型引水隧洞开挖的控制测量中取得了成功,其操作细则与技术规范仍有待进一步提高与完善。

作者简介:

李兵(1963-),男,四川成都人,工程师,从事水利水电工程建设监理工作。

(责任编辑:李燕辉)