

涿天河 1#泄洪洞龙落尾施工技术研究

徐申飞

中国水利水电第十一工程局有限公司, 河南 郑州 450000

[摘要]涿天河 1#泄洪洞龙落尾段通过零挖进洞, 大管棚超前支护, 围岩预固结灌浆, 边坡抗滑桩和预应力锚杆(索)等综合技术手段有效的解决了在破碎岩体浅埋偏压大断面隧洞施工的难题, 该工程的成功给后续类似工程施工也积累了成功经验, 提供了参考依据。同时该工程与大学科研单位进行合作, 采用内外安全监测数据, 利用大型三维计算模型演算对处理措施进行变形预测, 从而指导施工的方法, 也值得类似工程应用和推广。

[关键词]三维计算模型; 裂缝; 安全监测; 大型管棚

DOI: 10.33142/ec.v6i11.9883

中图分类号: TV7

文献标识码: A

Research on the Construction Technology of Longluo Tail of Centian River 1 # Flood Discharge Tunnel

XU Shenfei

Sinohydro Bureau 11 Co., Ltd., Zhengzhou, He'nan, 450000, China

Abstract: The Longluo tail section of the 1 # flood discharge tunnel in the Centian River has effectively solved the problem of shallow buried and eccentric large cross-section tunnel construction in fractured rock mass through comprehensive technical measures such as zero excavation, advanced support of large pipe sheds, pre consolidation grouting of surrounding rock, slope anti-skid piles, and prestressed anchor rods (cables). The success of this project has also accumulated successful experience and provided reference basis for similar engineering construction in the future. At the same time, this project collaborates with university research units, using internal and external safety monitoring data, and using large-scale three-dimensional computational models to predict deformation of treatment measures, which guiding construction methods and is also worth applying and promoting in similar projects.

Keywords: 3D computational model; cracks; safety monitoring; large pipe shed

1 工程概况

涿天河水库扩建工程坝址位于潇水上游涿天河峡谷出口处, 永州市江华瑶族自治县东田镇境内。本工程设计两条泄洪洞, 平行布置, 间距 40m, 其中 1# 泄洪洞全长 580m, 为城门洞型, 上平洞长 515m 设计纵坡 3.5%, 出口龙落尾, 长 65m, 纵坡 20%。洞室开挖断面 12.5~12.9m × 15.2~15.9m (宽×高), 其中掺气坎部位断面为 12.4 × 19m (宽×高)。

2 施工方案确定

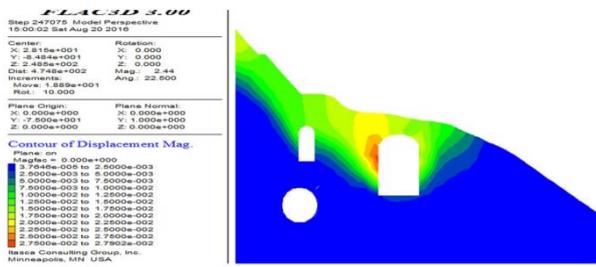
2.1 施工条件

1#泄洪洞龙落尾位于 15#、16#冲沟之间, 范围内有 F₁₀₆、F₂₄₄、F₆、F₂₄₅、F₂₄₃ 和 F₂₃₁ 等 6 条断层穿过, 岩层走向与洞线夹角 42°。右侧为顺向坡, 受节理裂隙、断层切割后, 存在较为突出的顺层滑动问题。龙落尾段围岩岩体十分破碎, 为镶嵌碎裂结构和散体结构, 沿节理、断层等构造面上多夹泥或附泥, 围岩属 V 类。龙落尾段最小埋深 2.4m。1#泄洪洞龙落尾周围 40m 范围布置有 2#泄洪洞、1#、2#泄洪洞施工支洞, 引水发电洞和调压井等 5 条隧洞。这些隧洞与 1#泄洪洞龙落尾段或平行、或交叉、或交错, 地下布置复杂。

2.2 施工方案确定

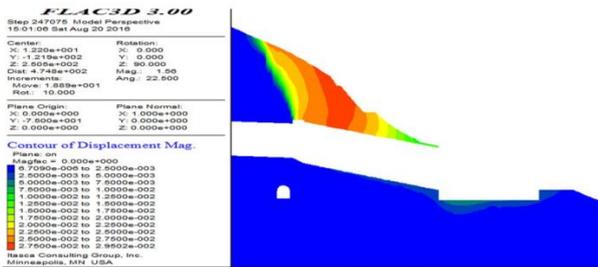
2015 年 11 月初在龙落尾段上半洞贯通后, 洞内右侧

拱肩与边墙部位发现了向洞口呈 45 度左右的多条裂缝, 裂缝延伸到拱肩以上大概 4m 的位置; 同时在洞顶山坡也发现了多条裂缝, 裂缝向洞口方向呈“簸箕”状分布。加密监测显示洞室的变形在持续, 山坡也在向洞口蠕动, 裂缝也在逐步增多, 出于安全考虑, 暂停了龙落尾的施工。经分析裂缝产生的原因是由于近期连续降雨, 山体趋于饱, 洞室偏压加剧, 围岩自身抗剪能力降低, 现有支护体系偏弱造成。1#泄洪洞龙落尾段具有开挖断面大、围岩风化程度高、洞口偏压严重、埋深浅、采空率高等不利施工条件。国内可借鉴的类似工程经验也不多。为确保后续施工安全和工程运行安全, 项目和长沙理工大学水利工程学院合作, 通过建立能反映真实施工过程的大型三维计算模型, 利用初期变形监测数据, 和预采取的处理措施, 对围岩的变形参数进行初步估计, 并预测隧洞出口下半洞及出口明渠基础开挖产生的变形情况, 预判安全形势, 以指导现场施工。经过对多种方案的计算比较, 1#泄洪洞龙落尾段最终采取零挖进洞, 大管棚超前支护, 围岩预固结灌浆, 边坡抗滑桩和预应力锚杆(索)等综合技术方案处理。采取洞内洞外联合施工, 分层开挖支护, 间隔衬砌的施工顺序。下图为龙落尾段下切开挖完毕计算模拟预测第八级(560#剖面)和纵剖面位移增量图。



第八级开挖(560#剖面)位移增量图

图1 第八级开挖(560#剖面)位移增量图



第八级开挖(纵剖面)位移增量图

图2 第八级开挖(纵剖面)位移增量图

3 主要施工方案简述

3.1 浅埋暗挖施工技术

1#泄洪洞出口龙落尾段受地形和周边构筑物限制,不具备放坡开挖条件。进洞采用“零挖进洞”的方式。在洞口设置5m长的厚80cm的钢筋混凝土明拱导向墙,在洞室顶拱120°范围设置2级35m长的 $\phi 108$ 的大管棚,管棚间距50cm,向外扩散 2.19° ,管棚搭接长度3.0m,对龙落尾全段进行超前支护。洞内采用I18钢拱架和挂网喷锚支护,钢拱架间距0.5m。上半洞开挖采用预留核心土方式,边挖边支护,开挖手段为振动锤,局部坚固岩石采用小药量爆破。下卧开挖分层进行,每次下卧高度控制在2.5~3.0m,采取控制爆破,周边采用光爆技术。下卧时机根据观测数据和三维计算模型演算结果确定。

3.2 洞室交叉口处理技术

2#泄洪洞的施工支洞从龙落尾段底板穿过,1#泄洪洞上平洞的施工支洞从龙落尾段右侧进入洞室。两条隧洞均在龙落尾段的掺气坎部位交汇,在此形成了 $16.4 \times 19.6\text{m}$ (宽 \times 高)超大断面。为确保该部位的施工安全,对于2#泄洪洞支洞与龙落尾交汇洞段,采用I14的钢拱架和钢筋混凝土衬砌处理,衬砌长度以“龙落尾”水平投影向两边各延伸5.0m,衬砌厚度1.2m。1#泄洪洞上平洞的施工支洞与“龙落尾”上半洞交汇处理,采用I14的钢拱架和钢筋混凝土衬砌处理,衬砌长度从交汇口向支洞方向延伸5.0m,厚度50cm。对龙落尾段掺气坎扩大断面部位,将钢拱架支撑直接焊接在支洞衬砌混凝土的拱架之上。并在扩大断面向外两侧5.0m的范围增设12m的锚筋桩,顺水流方向采用I14工字钢将锚筋桩和I18钢拱架焊接在一起,使其形成格栅支护系统,来稳定洞壁。

3.3 洞室偏压处理技术

龙落尾段上半洞贯通后,洞室变形比较严重,项目同长沙理工大学合作,建立了大型三维计算模型,根据现有监测资料,经反复计算和参数敏感性分析,反演能反映边坡及洞室现有特征的岩土体物理力学参数,并进行了现状反演与后续开挖、支护施工预测计算。为有效处理洞室偏压,在1#泄洪洞龙落尾段下半洞开挖前,先对洞身及底板进行超前固结,以提高围岩自身的抗剪能力,对已开挖的上半洞侧壁两侧各布置三排孔固结灌浆,固灌孔间距3m,深度10m。下半洞左右侧壁及底板各布置5排固结灌浆孔,固灌孔间距3m,侧壁固结灌浆范围为开挖面以外10m,灌浆深度6.8~13m,底板灌浆深度6m。在超前固结加固措施实施后下半洞采取分层开挖、隔层衬砌以保证龙落尾施工安全。同时在龙落尾洞身右侧壁0+534.5-0+576.5段增加三排共计41根预应力锚杆,间排距3.0m,采用直径32mm的精轧螺纹钢,锚杆入岩有效长度21m,预应力锚杆设计吨位50T。

3.4 洞口边坡偏压处理技术

在出口明渠右侧增加12根9~25深抗滑桩,阻止1#滑坡体(1#泄洪洞出口边坡)滑动。抗滑桩直径3.0m,采用人工挖孔桩。为了减小出口明渠开挖对龙落尾洞段左侧山体稳定带来的不利影响,充分利用现状地形及岩体阻滑,在出口左侧增加12根抗滑桩,采用钻孔灌注桩,桩身 $\text{C}30$,灌注桩直径1.2m,间距1.5m,桩长25m,在1#泄洪洞出口洞顶边坡上增设16根200T预应力锚索对1#滑坡体岩体进行锚固。

3.5 龙落尾安全监测布置

为了有效监测龙落尾段及出口边坡的变形,根据工程需要,1#泄洪洞龙落尾洞身及出口边坡先后布置了多点位移计、抗滑桩钢筋计、边坡深部测斜仪、锚杆应力计和表明位移观测等,埋设时间自2015年11月开始。通过内部检测和外部检测相结合的方式,时刻掌握隧洞围岩内外的变化情况,并及时将观测数据反馈给长沙理工大学,利用大型三维计算模型反演,预测后续施工洞室的变形情况,给现场施工提出指导意见。

4 实施效果

至2016年8月15日,龙落尾洞身开挖完成,9月12日,出口明渠下卧开挖完成。从现场监测结果看1#泄洪洞龙落尾趋于稳定。现场安全监测数据与三维计算模型预测,基本趋势与量级是一致的,能够有效指导现场施工。

4.1 安全监测结果

(1) 1#泄洪洞龙落尾洞身段0+560右边墙多点位移计M3-2及出口边R0+328m EL261m平台多点位移计M3-3孔口最大变形分别为20.71mm、21.10mm,岩体变形主要发生在“龙落尾”洞身段及出口明渠开挖施工过程中,随着龙落尾段的开挖完成,岩体变形已趋缓;(2) 1#泄洪洞出口边坡抗滑桩在龙落尾段出口明渠开挖期间,部分测点

钢筋应力增长较快,其中其中钢筋计 R28(5#抗滑桩 5m深处)、R32(8#抗滑桩 5m深处)变化明显,期间变化幅度分别达 150.68MPa、111.06MPa,R28(5#抗滑桩 5m深处)在 2016 年 9 月 13 日达到最大值 116.13MPa;随着出口明渠的开挖基本完成,钢筋计应力增速趋缓。(3)1#泄洪洞出口边坡表面变形主要呈向河床和下游方向变化的趋势,高程整体呈下沉变化趋势,表面变形主要发生在开挖施工期,目前各测点表面变化速率均相对较小。

下图为截止至 2016 年 8 月 14 日,1#泄洪洞 0+560m 左右边墙多点位移计 M³-1、M³-2 和 1#泄洪洞出口边坡 EL261m 多点位移计 M³-3、M³-4 的监测结果。



图 3 1#泄洪洞 0+560m 左边墙多点位移计 M³-1



图 4 1#泄洪洞 0+560 右边墙多点位移计 M³-2



图 5 1#泄洪洞出口边坡 (EL261m) 多点位移计 M³-3



图 6 1#泄洪洞出口边坡 (EL261m) 多点位移计 M³-4

4.2 现场监测与模拟计算比较

根据 2016.9.20 日前,现场变形监测资料反映,多点位移计 M3-2(0+560 右边墙)最大值达 20.8mm,多点位移计 M3-3(EL261m 边坡)最大值达 20.2mm,多点位移计 M3-4(EL261m 边坡)最大值达 6mm。模拟计算预测成果反映,各级开挖完成后,多点位移计 M3-2 最大值达 28mm,多点位移计 M3-3(EL261m 边坡)最大值达 25mm,多点位移计 M3-4(EL261m 边坡)最大值达 9mm。对比结果表明,现场监测变形与计算预测变形的基本趋势与量级是一致的,当开挖至第五层期间,变形增量速率较大。

5 结语

随着我国后水电时代的到来,新建的水利水电项目将会越来越少,而改扩建项目将会逐步增多。受原有构筑物的限制,类似于 1#泄洪洞龙落尾段在复杂地质条件下进行大断面洞室群施工的情况会越来越多。事实证明涪天河 1#泄洪洞龙落尾段通过零挖进洞,大管棚超前支护,围岩预固结灌浆,边坡抗滑桩和预应力锚杆(索)等综合技术手段有效的解决了在破碎岩体浅埋偏压大断面隧洞施工的难题,该工程的成功给后续类似工程施工也积累了成功经验,提供了参考依据。同时该工程与大学科研单位进行合作,采用内外安全监测数据,利用大型三维计算模型演算对处理措施进行变形预测,从而指导施工的方法,也值得类似工程应用和推广。

[参考文献]

- [1] 国家安全生产监督管理总局. 爆破安全规程:GB6722-2011[S]. 北京:中国工程爆破协会,2011:2-3.
 - [2] 中华人民共和国水利部. 水工建筑物地下开挖工程施工规范:SL378-2007[S]. 北京:中国水利水电出版社,2007:3-4.
 - [3] 汪旭光. 爆破设计与施工[M]. 北京:冶金工业出版社,2011.
 - [4] 水利电力部水利水电建设总局. 水利水电工程施工组织设计手册(第一、二册):施工技术[M]. 北京:中国水利水电出版社,2008.
- 作者简介:徐申飞(1981.12—),毕业院校:华北水利水电大学,所学专业:水利水电工程,当前就职单位:中国水利水电第十一工程局有限公司,职务:项目经理,职称级别:高级工程师,研究方向:水利水电工程施工。