

复杂地质条件下遇水软化围岩的公路隧道边坡治理

周奎, 曾雅颖, 祝文

(上海理工大学 环境与建筑学院, 上海 200093)

摘要: 结合一个具体工程实例, 针对复杂地质条件下的公路隧道进/出洞口边坡工程施工, 探讨了有效减小雨水渗流, 降低滑坡风险的边坡防护和加固处理的方法; 在实施过程中对坡面沉降和爆破震动进行了监测, 及时反馈信息并对施工工艺进行优化调整, 为同类工程提供了可借鉴的经验。

关键词: 公路隧道; 边坡加固; 网格梁; 边坡监测

中图分类号: TV223; U457.3

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2012)06-0104-03

Slope treatment of highway tunnel with water – softening surrounding rock under complex geological conditions

ZHOU Kui, ZENG Yaying, ZHU Wen

(School of Environment and Architecture, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: In accordance with an engineering project, aimed at the slope construction of highway tunnel at the entry or exit location under complex geological conditions, a slope protecting and strengthening method which can reduce rainwater seepage and decrease the risk of landslide effectively was discussed in the paper. The subsidence of the slope and the blasting shock were monitored in the process of slope excavation, and the information of monitoring was fed back timely to optimize the construction process. The method can provide a useful experience for similar projects.

Key words: highway tunnel; slope strengthening; grid beams; slope monitoring.

0 引言

随着我国国民经济和城市建设的发展, 交通压力不断增大, 对交通路网建设的需求也不断增加, 由此出现了越来越多的城市交通隧道工程。对于穿越山体的隧道, 采用钻爆法是较为常见和经济的施工方法^[1-2], 但爆破施工使围岩结构发生破坏, 承载能力下降; 另外, 雨期施工会使边坡围岩遇水软化、崩解, 强度急剧降低, 而爆破震动的影响使边坡更容易出现滑坡和局部坍塌。因此, 在隧道进/出洞口采用合理的爆破参数和施工工艺, 防止雨水渗入边坡以及对边坡进行加固处理是保证隧道安全施工的关键。本文结合一个具体工程实例, 探讨穿山人防隧道出洞口施工时边坡防护处理的方法, 对于今后同类工程的施工具有一定的参考价值。

1 工程概述

杭州市萧山区新城路长山公路隧道工程位于萧山区新塘街道与新街镇, 南起新城路北伸一期工程

终点, 北至104国道引线, 为新城路北伸二期兼作人防工程的重要节点。工程从2009年12月开工, 至2011年8月竣工, 历时20个月。该工程的顺利贯通, 进一步缓解了城区交通压力, 为加快城市东扩步伐打下了基础。隧道工程区块为长山山体, 长山海拔标高152.14 m, 山体大致呈东西走向, 隧道线穿越处最高达144 m, 南侧山体坡度达30°~40°, 北侧山体下部坡度达20°~30°、上部坡度达25°~35°。

南侧洞口为原采矿坑, 高差达到55 m, 岩体陡立, 外侧主要为两家塑业和羽绒制品公司的厂区, 南侧为农产品批发市场, 地面较为平坦。北侧洞口两侧为采矿坑, 为现状地质灾害治理点, 其中东侧采矿坑已进行地质灾害治理, 西侧进行初步的地质灾害处理, 洞口外侧为农居和一家制品公司。

该隧道工程全长500 m, 其中隧道长410 m, 两端接线长90 m。隧道明洞长10 m, 暗洞长400 m (其中Ⅲ级围岩195 m, Ⅳ级75 m, Ⅴ级140 m), 为双洞连拱三车道隧道, 跨度约为30 m, 净高5 m, 单洞净宽14.25 m, 净断面为三心圆 (净面积 $A =$

收稿日期: 2012-07-20

作者简介: 周奎 (1970-), 男, 安徽人, 博士, 副教授, 从事工程结构监测与损伤识别研究。

90.18 m²)(隧道北出口见图1^[9]),连拱隧道断面左右线以中隔墙分开。明洞结构为现浇钢筋混凝土衬砌结构,暗洞衬砌结构采用复合式衬砌,由初期支护和二次衬砌及中间防水层组合而成。初期支护采用喷射混凝土、锚杆、钢筋网和钢拱架等形式组合使用,二次衬砌采用模注钢筋混凝土结构^[9]。沿线勘探深度以浅地下水按埋藏和赋存条件可分为第四系松散岩类孔隙潜水和基岩裂隙水,对混凝土及其结构中的钢筋无腐蚀性。

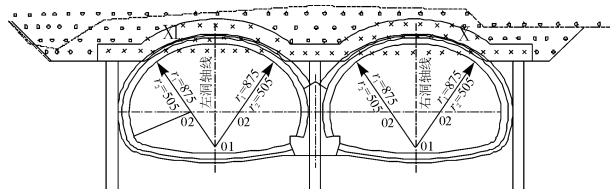


图1 长山隧道北出口截面示意图

本工程隧道开挖采用光面爆破作业,用非电毫秒雷管起爆。主洞Ⅳ、Ⅴ级围岩采用导洞超前、留核心土环形分部开挖,Ⅲ级围岩采用台阶开挖。中导洞采用全断面开挖。进排风口采用台阶法开挖。根据本工程围岩的实际情况、工期要求和机械能力综合考虑,隧道Ⅴ级围岩洞段每循环进尺控制在1.5 m左右,进/出洞口段和特别破碎段控制在1 m左右;Ⅳ级围岩洞段每循环进尺控制在2 m左右,特别破碎段控制在1 m左右;Ⅲ级围岩洞段每循环进尺控制在3 m左右。

2 施工中出现的问题

新城路长山隧道北出口仰坡开挖后,揭露的岩体主要为砖红色泥质粉砂岩,风化严重,遇水软化,地质情况较差。加之该隧道横向开挖宽度大,初期边坡防护不到位,在2010年5-6月遭遇持续降雨,地表水大量下渗,出现文献[3]报道的相似情况。下渗的地表水沿不透水的泥岩层面汇集、运动,使泥砂岩层面软化,大大降低层面强度,增加了岩体自重,同时在砂岩裂隙中充水形成较大的裂隙水压力,在上述各种因素作用下,导致开挖的第一级平台边坡中部外臃,且在第一级平台坡顶及截水沟均产生裂缝,宽度约3 cm,截水沟裂缝宽度0.3 cm,第二级平台坡顶裂缝横向贯通,宽度约1~3 cm(见图2、图3),并有继续扩展的趋势。鉴于此种情况,边坡产生滑坡的危险性极高,施工单位立即停止施工,并在得到有关方面认可后,采取了初步应急措施:①对已产生的裂缝进行灌注纯水泥浆封闭,并对整个开挖坡面进行遮盖防护;②反压回填已开挖的第一级边

坡,至第一级坡顶2 m;③加强监控测量,尤其是地表沉降观测,并及时反馈信息;④对下一步边坡防护和开挖方案进行研究和论证。

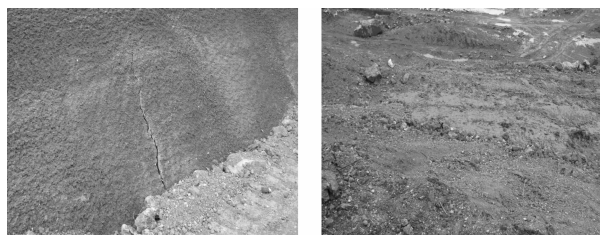


图2 第一级平台边坡回填及坡底揭露的砖红色泥质粉砂岩

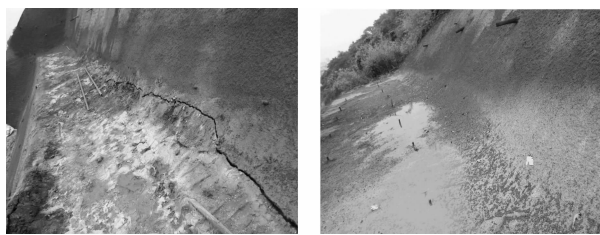


图3 第二级平台边坡开裂,坡面渗水

3 北出洞口仰坡处理

在北侧出洞口仰坡开挖过程中,由于实际地质情况较差,出现仰坡开裂外臃,根据应急措施处理后,边坡暂时没有进一步外臃,坡面沉降监测表明边坡变形趋缓。参考类似工程经验^[3-8]并进行地质补孔勘探后,对原设计^[9]进行了修改,重新设计了北侧出洞口的施工方案并对仰坡进行了加固处理。方案要求尽量降低开挖高度,减少开挖裸露面,结合前期的反压回填层,首先由Φ89×6 mm的钢管注浆稳定仰坡,再通过Φ120 cm钢筋混凝土桩基支承拱,纵向长度10 m,然后进行拱背M7.5浆砌片石反压回填,待双层管棚施作完成后,回填部分土石,以达到降低仰坡高度,保护仰坡的目的。具体加固和防护措施如下(见图4):

(1)为封闭雨水渗入仰坡内,整个坡面先采用挂网喷锚处理;待先期的反压回填土层稳定后,在天气晴好的情况下施工第二、第三级仰坡锚杆网格梁防护,砂浆锚杆采用12 m长,Φ25 二级螺纹钢筋。锚杆网格梁^[5]是加固边坡较经济适用的方法,根据计算^[10]确定采用2 m×2 m的网格,网格梁截面30 cm×30 cm(C25混凝土,受力钢筋8B18,箍筋A8@250)。

(2)自上而下分部开挖回填面,先施工第一级平台上两排Φ89×6 mm注浆钢管,再边开挖边施作其余注浆管,施工时分区域逐根逐次施工,钢管长度15 m,间距1.2 m×1.2 m,水平打入,确保进入中风化层。注浆采用纯水泥浆液,水灰比1:0.8,必要时

掺入速凝剂,注浆压力 0.5 ~ 1.0 MPa,注浆结束后,管体灌注 C30 水泥砂浆封闭。

(3) 待仰坡先期四排 $\Phi 89 \times 6$ mm 注浆钢管施工完成,注浆结束并使仰坡稳定后,施作护拱左侧拱脚及中墙处桩基础,共 8 根 $\Phi 120$ cm 钢筋混凝土钻孔灌注桩;然后现浇左半部分 C25 混凝土护拱,与仰坡顶紧,并预留连接钢筋。

(4) 接下来待仰坡右半部分防护施工结束并稳定后,施作护拱右侧拱脚桩基础,共 4 根 $\Phi 120$ cm 钢筋混凝土钻孔灌注桩;现浇余下右半部分 C25 混凝土护拱,与仰坡顶紧,确保与左半部分护拱连接紧密。

(5) 等护拱达到设计强度后,反压回填 3 m M7.5 浆砌片石,施工时两侧同时进行,防止对护拱产生偏压;施作双层管棚并注浆,分层、左右对称回填部分土石,待管棚范围土体固结后,再进行出洞口位置的明洞暗作施工。

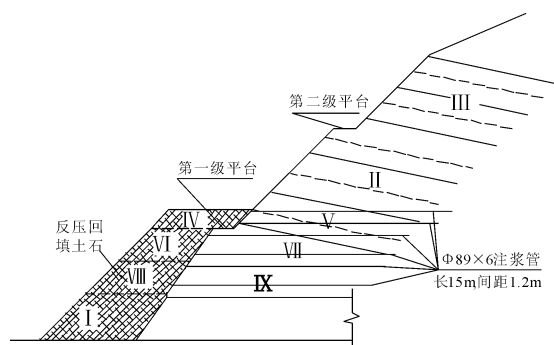


图 4 北出口仰坡加固处理顺序

北侧洞口仰坡于 2010 年 4 月 20 日开始进行机械降坡,于 2010 年 7 月 1 日开始仰坡加固处理,到 2010 年 12 月 30 日仰坡加固、桩基、护拱及管棚完成,历时 6 个月。由于北洞口仰坡的加固处理较为

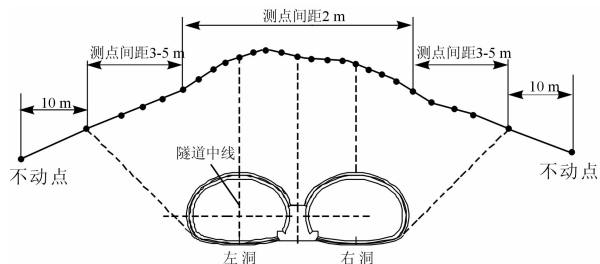


图 5 隧道北出口仰坡监测点布设图(同时监测沉降和爆破振动速度)

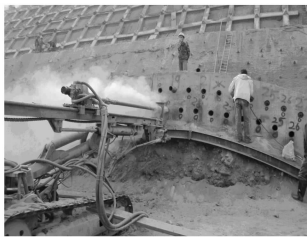


图 6 隧道北洞口管棚施工

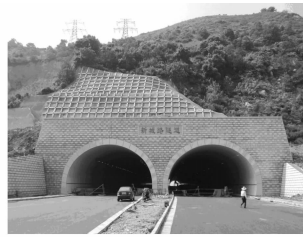


图 7 完工后的北洞口

4 结 语

本文结合杭州萧山区长山隧道北洞口施工时出现的问题,探讨了公路隧道进/出洞口的边坡防护和加固处理方法,并且在实施过程中进行了施工监测,得到以下结论与建议。

复杂且时间较长,为了保证隧道施工中北出口边坡的稳定,使得中导洞不能完全贯通,只能在洞顶局部开口贯通,不能进行材料与人员进出,给中隔墙施工带来了较大困难。为确保工程进度,中隔墙只能由南往北进行浇筑,材料、人员也只能从南侧进入,缺点是往洞内运输材料较为困难,大型机具不能直接到施工作业面。为此,在施工过程中针对中隔墙在 IV、V 级围岩处采用钢筋混凝土,而在 III 级围岩处采用素混凝土的做法,把南侧中隔墙的主要大件钢筋提前加工好并用机械运入洞内存放,然后采用先浇筑一定长度的中隔墙基础,再进行中隔墙墙身的施工,对于一些少量的附属材料则需用时通过人工从墙身与基础间的平台上运入。通过这些措施,在一定程度上保证了工作进度,减轻了劳动强度,同时也在一定程度上克服了因中导洞不能完全贯通而带来的施工困难。

根据本工程北出口地质的实际情况,主洞出洞口是关键,稍有不慎就容易出现洞顶坍塌与滑坡现象,造成重大质量安全事故。为此,施工中应坚持"中导洞在山北仰坡部位防护不好前不出洞,左洞在洞口护拱及护拱桩基、管棚没施工好前不出洞,右洞在左洞穿越山北仰坡段衬砌未完成前不出洞"的原则;同时为了对隧道钻爆施工进行监控,北出口仰坡上监测点布设见图 5。主要监测内容为爆破过程中坡面的振动速度和隧道施工过程中仰坡的沉降变形,发现振动速度或沉降超限及时报警和反馈,做到信息化施工,并对施工工艺和爆破进尺及装药量进行调整。实践表明,以上综合加固和监测的手段极大地保证了北出口仰坡的施工安全,效果十分明显(图 6、图 7 分别为北出口管棚施工和完工后的照片)。

(1) 对于条件复杂的公路隧道工程,施工难点和关键是进/出洞口的安全施工。当开挖高程处有全风化和强风化,且遇水膨胀并软化的泥质粉砂岩时,会产生较大的塑性变形,暴露后易发生滑坡。因设计路线规划的不可变更性,必须进行雨水疏导和

(下转第 110 页)

15~215 s 关闭至 90°。在该种关阀方式下,发生停泵水锤时管路沿程的最大压力为 1514.71 kPa,最大负压为 -17.65 kPa,水泵最大反转速度为 -1406.4 r/min,持续反转时间为 301.5 s。

4 结 语

高扬程长距离有压流输水系统中,泵后缓闭式液控蝶阀一般采用两阶段关阀方式。本文以某输水工程为例,针对泵后缓闭式液控蝶阀,设定 8 种不同关阀方式,研究突然停泵水时管路沿程压力变化、泵站出口处压力时间变化和水泵转速随时间变化。

(1) 采用两阶段关阀方式时,发生停泵水锤不同关阀方式下压力最值出现的位置相同。且慢关阶段时间越长沿程最大正压越小,快关阶段时间越短沿程最大负压越小。

(2) 泵站出口处压力随时间的变化主要由慢关阶段的时间决定:快关阶段时间不同、慢关阶段时间相同时,泵站出口处压力随时间变化相似。

(3) 慢关阶段的时间越长水泵的最大反转速度越小,关阀总时间越长水泵持续反转时间越长。

(4) 对于本文输水工况,综合比较沿程最大压力、水泵最大反转速度和水泵持续反转时间后,推荐

采用 15~200 s 的两阶段关阀方式。

参考文献:

- [1] 刘竹溪,刘光临. 泵站水锤及其防护[M]. 北京:水利电力出版社, 1988.
- [2] 中华人民共和国水利部. GB 50265-2010 泵站设计规范[S]. 北京:中国计划出版社, 2011.
- [3] 秦明海. 阀门过流特性对水击影响的分析[J]. 水力电力机械, 1997(5): 9-13.
- [4] 王文全,张立翔,闫妍. 压力供水管路事故停泵时缓闭蝶阀关闭方式的优化[J]. 北京理工大学学报, 2011, 31(10): 1135-1138.
- [5] 吴建华,魏茹生,赵海生,等. 缓闭式蝶阀消除水锤效果仿真及试验研究[J]. 系统仿真学报, 2008, 20(3): 586-592.
- [6] 陈培兴. 小舜江输水泵站液控蝶阀关阀时间及停泵方式改进[J]. 给水排水, 2012, 38(2): 105-106.
- [7] 蒋劲,赵红芳,张成波,等. 火电厂循环水系统事故停泵过渡过程的仿真研究[J]. 计算机仿真, 2004, 21(4): 129-131.
- [8] 贲岳,高学贞,韩磊,等. 电厂循环水供水系统事故水锤过程的仿真研究[J]. 供水技术, 2009, 3(5): 26-29.
- [9] 中国市政工程东北设计研究院,长安大学. CECS 193: 2005 城镇供水长距离输水管(渠)道工程技术规程[M]. 北京:中国计划出版社, 2005.

(上接第 104 页)

坡面防护,并对边坡采用适当的加固方法,有效减小雨水渗流,降低施工中产生滑坡的可行性。

(2) 在进行仰坡防护钢管及管棚施工时,围岩注浆十分关键。在按设计实施注浆前,必须先进行压浆试验,并根据试验效果调整注浆参数,保证最终注浆后的固结体强度应达到 5.0 MPa。

(3) 隧道北洞口仰坡出口部位的明洞暗作施工时,为了尽量减小施工影响,采用人工开挖,每循环进尺不大于 1 m,施工中等左洞暗挖及支护完成后,再进行右洞的施工。

(4) 在隧道出口仰坡加固处理过程中进行的坡面沉降和爆破震动监测,对坡面稳定和隧道的顺利通车都至关重要,及时反馈信息并对施工工艺进行优化调整,为同类工程提供了可借鉴的经验。

参考文献:

- [1] 齐景岳,刘正雄,张儒林,等. 隧道爆破现代技术[M]. 北京:中国铁道出版社, 1995.
- [2] 孙均. 地下工程设计理论与实践[M]. 上海:上海科学

技术出版社, 1996.

- [3] 张永安,李峰,陈军. 红层泥岩水岩作用特征研究[J]. 工程地质学报, 2008, 16(1): 22-26.
- [4] 郭华,顾启英. 北京市西六环路膨胀土路堑边坡及路基设计实践与研究[J]. 特种结构, 2010, 27(4): 22-25.
- [5] 赵志刚,曾智. 预应力锚杆网格梁联合加固既有挡墙的设计与施工[J]. 施工技术, 2007, 36(8): 22-24.
- [6] 海龙,梁冰. 考虑降雨入渗条件的土体边坡稳定性分析[J]. 水资源与水工程学报, 2010, 21(4): 46-50.
- [7] 王运永,高永涛,崔波,等. 基于自预应力锚固法的泥质软岩边坡加固设计与分析[J]. 中国矿业, 2008, 17(3): 82-84.
- [8] 赵占彪,申向东. 高速公路边坡滑动失稳机理分析与加固研究[J]. 内蒙古农业大学学报, 2007, 28(4): 159-162.
- [9] 浙江省交通规划设计研究院. 萧山区新城路人防一期工程施工图设计[R], 2010. 5.
- [10] 中华人民共和国国家标准. 建筑边坡工程技术规范(GB50330-2002)[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2002.