

山岭隧道初支侵限原因及换拱技术

李红君^{1,2,3}, 朱兴前^{1,4}, 李祝文^{2,3}, 袁青⁵, 郑世杰⁶

(1. 中交文山高速公路建设发展有限公司, 云南 文山 663000; 2. 中交武汉港湾工程设计研究院有限公司;
3. 海工结构新材料及维护加固技术湖北省重点实验室; 4. 中交第二航务工程局有限公司 昆明分公司;
5. 中交第二航务工程局有限公司; 6. 文山州交通运输工程造价管理站)

摘要: 大法郎隧道洞内初期支护下沉量较大, 下沉速率较快, 为保证隧道二衬厚度满足设计要求, 必须对初支侵限段进行换拱处理。该文阐述了初支侵限原因, 从施工工艺、支护体系、监控量测 3 个方面探讨了换拱施工方案, 并结合监控量测数据证实了方案的合理性。

关键词: 初支侵限; 换拱施工; 支护体系; 监控量测

初支换拱是在隧道围岩发生变形时, 破坏初支受力体系, 使围岩压力适度释放后再次进行支护施工的一种施工方法, 其目的为确保足够的二衬空间, 是隧道施工中最为常见的情形。但是, 初支换拱技术难度大, 潜在风险高, 引起了许多学者和专家的重视。黄俊平和胡尚均以隧道初支换拱方案为例, 在介绍初支变形具体原因的基础上, 提出了较为合适的换拱方案; 王书涛则依据桦皮岭隧道换拱技术的处理措施, 探讨了施工控制的要点; 陈敬松采用有限单元法计算了隧道破碎带围岩的基本参数, 然后代入界牌垌隧道二维弹塑性有限元模型, 通过数值模拟对初支换拱施工过程进行了研究; 杨志强和覃唯等结合工程现场量测数据及施工方案, 建立数值模型, 对隧道换拱方案进行不同工况、不同工序下的施工过程模拟, 与现场具体施工量测进行比对, 确定合理的支护方式、支护参数。通过上述研究成果, 可将初支换拱技术总结为两个方面: ① 依据现场工程地质条件分析初支变形原因、结合监控数据提炼施工工艺参数及提供换拱施工方案等; ② 采用有限单元法计算和数值模拟软件对围岩形态进行分析, 并将分析结果与实际工程案例对比, 从而提供工艺参数。该文在前人的实践经验和理论研究基础上, 以大法郎隧道施工初期支护侵限为依托工程, 分析初支侵限原因及换拱技术方案, 为后续山岭地区隧道初支换拱提供借鉴。

1 工程概况

大法郎隧道位于西畴县莲花塘乡附近, 属于云南

省文山州至麻栗坡高速公路第三合同段, 距省道 S210 约 1 km, 采用分离式设置, 呈曲线布置, 文山端采用削竹式洞门, 麻栗坡端采用端墙式洞门。隧道左线桩号为 ZK42+330~ZK45+720, 长度为 3 390 m, 右线桩号为 K42+355~K45+730, 长度为 3 375 m, 属于特长隧道。隧道洞口段岩体全部为 V 级围岩, 洞身段局部为 IV 级围岩, 目前已施工完成段及初支侵限范围均为 V 级围岩, V 级围岩采用新奥法三台阶开挖, 并预留核心土。

2 初支侵限原因分析

2.1 侵限情况简介

大法郎隧道于 2018 年 8 月 29 日掘进至 ZK42+360 段时, 洞顶大面积塌陷, 掌子面出现溜塌, 初期支护均出现沉降变形和环向裂缝, 仰拱段初期支护与拱脚连接部位出现纵向裂缝, 钢拱架外侧混凝土局部脱落, 经现场观测, 纵向及环向裂缝一直发展, 裂缝最大宽度达到 16 cm。鉴于以上情况, 现场及时采取了增设临时仰拱 C25 喷射混凝土锚喷封闭、增加临时钢支撑和超前小导管注浆支护、施做护拱并使用连接筋进行连接及调整预留变形量等一系列措施, 虽然上述临时处置方法在一定程度上有效遏制了环向裂缝的扩展和混凝土脱落现象, 保证了隧道施工的安全, 但根据现场监控量测数据, 大法郎隧道洞内初期下沉量仍较大, 下沉速率较快, 隧道围岩及边墙钢拱架变形严重, 日最大下沉量为 34 cm, 累计下沉量最大值达 228 cm。因

此,需对初期支护变形侵限原因进行分析。

2.2 初支侵限原因分析

隧道主要为强风化泥质页岩,岩石风化较严重,岩芯破碎,围岩等级较差,进洞岩层破碎且薄弱,风化裂隙与次生构造裂隙极发育。洞顶上方为农田,常年含水,旱季以渗水为主,雨季可呈涌流状渗出,且右线进口段原地形为一条冲沟,冲沟下方岩层渗水严重且岩层极为破碎,呈可塑状,隧道拱脚由于浸水冲刷而脱空,导致洞内岩体开挖后潮湿、已支护好的初支局部有渗水、流水状,围岩遇水又有膨胀性质,多方面原因引起初支开裂、变形沉降及侵限。

施工对围岩的扰动很大,主要是由于围岩自稳差,洞顶土块剥落,施工中出现冒顶、塌陷,拱顶上方产生空洞,而开挖前山体处于相对平衡状态,开挖后围岩失去支撑,平衡状态发生变化,产生应力集中,表现为掌子面应力向二衬端集中,加大了初支应力。

由上可见,大法郎隧道初支侵限的主要原因为工程及水文地质条件差,加上施工对围岩的扰动,产生应力集中,导致掌子面发生溜塌,洞顶形成空洞,需要设计一套合理的施工技术方案,适用于大法郎隧道这种独特的工程地质和施工环境。

3 初支换拱施工方案

换拱过程中要注意施工安全,施工过程中应遵循“少扰动、快加固、勤量测、早封闭”的原则。真正地落实好“超前预报、超前加固、超前支护、工法选择到位、支护措施到位、快速封闭到位、衬砌跟进到位、强化量测”的理念,可将换拱思路总结为以下3个方面:

- (1) 在隧道初支侵限范围内进行套拱施工,在套拱拱脚进行斜向支撑,并对套拱进行锁脚加强和径向注浆。
- (2) 确定换拱范围,然后进行二衬施工,并加强换拱段监控量测,在沉降数据发生较大预警时,要求二衬强度达到75%后再开始该段初支的换拱施工。每次换拱段二衬施工长度为6 m,由小里程向大里程逐段进行。
- (3) 对于存在临时仰拱的里程段,在沉降变形稳定后,及时进行换拱及永久仰拱的施工,为防水板台车创造空间平台,沉降变形预警时,对隧道初支增加斜撑,以便控制变形。

该文根据施工思路,从施工工艺、支护体系、监控量测3个方面探讨换拱施工方案。

3.1 施工工艺

隧道换拱施工工艺如图1所示,中间关键环节主要为护拱施工、护拱连接、径向注浆、超前注浆和换拱施工5个部分。

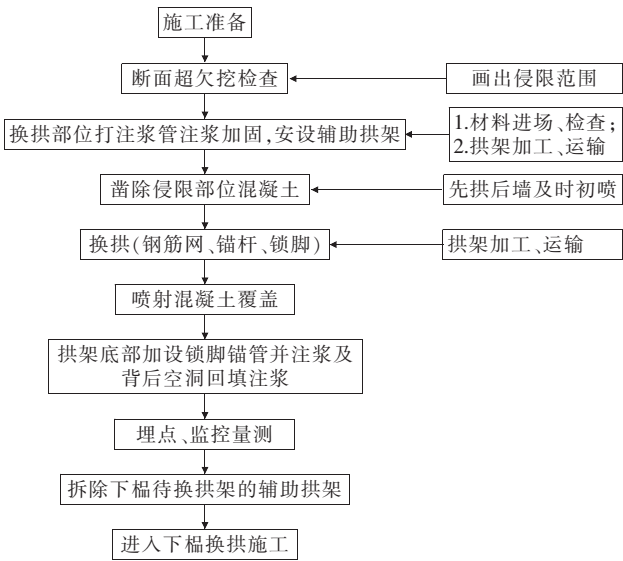


图1 施工工艺图

护拱和斜撑均设置在仰拱二衬混凝土上,但大法郎隧道K42+422.6~K42+433段无仰拱,需增加临时仰拱,故护拱施工可分为有仰拱段落和无仰拱临时仰拱段落施工。护拱与仰拱之间采用纵向连接筋进行连接,护拱与护拱之间采用锁脚进行连接。护拱施工完成后需对每榭拱架进行径向注浆,并对锁脚导管进行注浆,同时在换拱段进行超前支护,自拱部打入单层超前小导管,加固换拱段前方围岩,并对超前导管进行注浆,注浆配备止浆阀。

当护拱和注浆做好,监控量测数据趋于稳定后,便可开始进行换拱施工。应首先确定二次衬砌厚度不能满足设计段落为换拱段落,采用锁脚加强初支拱架;然后按照先拱后墙的原则拆除初支混凝土,即先拆除拱部混凝土,之后拆除变形严重处边墙混凝土;最后扩挖至设计轮廓线,预留沉降量为20 cm,扩挖后对岩体表面进行混凝土初喷,对未侵限位置拱脚处拱架位置进行切割,并在切割段焊接钢板,在换拱段架设型钢钢架。换拱施工完毕后再次喷射混凝土并进行加固,C25网喷射混凝土厚按照S5a设计施工,设计初支厚度为26 cm。

3.2 支护体系

护拱选用I20a型钢加工制作,纵向连接筋选用 $\phi 22$ 钢筋,锁脚选用4.5 m长 $\phi 42$ 小导管,注浆选

用双液浆,注浆压力为 0.8~2.0 MPa;钢筋网片选用 $\phi 8$ 钢筋,网格尺寸 20 cm \times 20 cm。护拱用于控制变形,监控量测数据趋于稳定后,对凡侵入二次衬砌净空且二次衬砌厚度不能满足设计的采取换拱处理,并在隧道内标注换拱部,故换拱部位位于护拱中间。

3.3 分析与讨论

换拱之前,先按照设计要求施工临时支撑,确保结构安全,然后将侵限部位清除到位,杜绝二次侵限;锁脚导管需打设牢固,发挥连接筋、超前小导管、钢筋网片对拱架的锁固连接作用,同时通过这些支护体系,将护拱、仰拱、钢拱架成为一个整体,如图 2 所示,有利于提高整体稳定性。

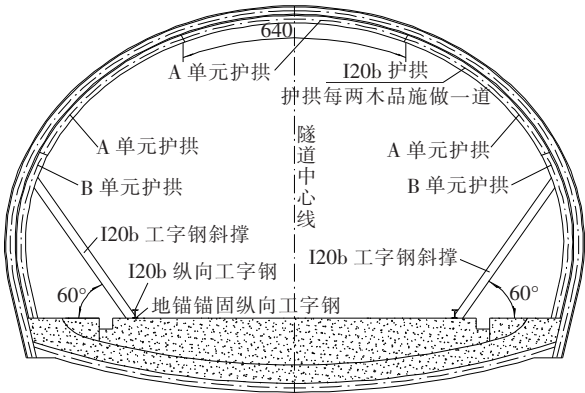


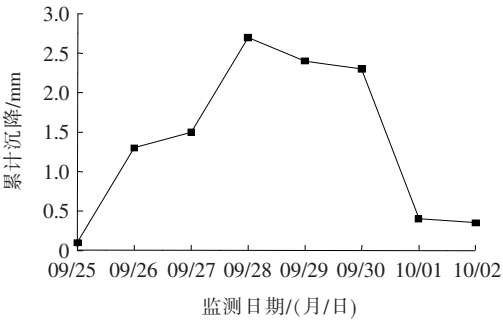
图 2 换拱施工断面图

换拱过程中,应加强拱架环向连接质量,根据变形情况实时调整下步拱架的连接钢板角度,确保螺栓连接牢固。同时,加强初喷施工质量管理、避免钢拱架背后产生间隙或空洞,通过初支锁脚的有效处理增大锁脚锚固作用,但要充分利用拱架纵向连接作用。

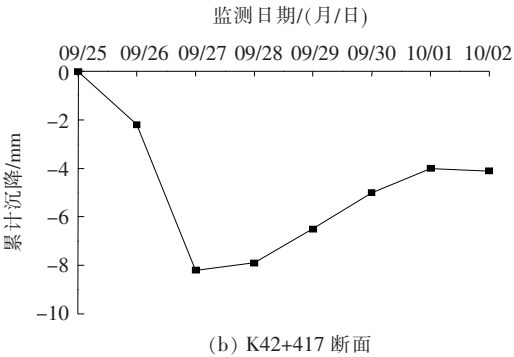
初支侵限处治控制重点在衬砌、换拱、落底、封闭成环 4 个方面,换拱过程是最为危险的施工阶段,监控量测点的布设要与换拱作业同步进行,量测断面间距不大于 5 m,需及时整理数据,分析反馈,依据数据分析结果指导施工,总结变形发生的时间,调整临时仰拱实施的部位,有效控制围岩变形发展,如结果显示存在突变,可立即停止换拱作业,并对已换拱段增加临时支撑,避免施工过程中发生危险。由此可见,监控量测是安全施工的保障,在换拱施工过程中,项目部测量人员和第三方隧道监测人员轮流值班,实行 24 h 无间断测量,且业主代表及监理人员驻地进行监督,确保监控量测数据的及时性和有效性。在监控量测过程中,还需增加围岩压力、工字钢应力、二衬应力等洞内选测项目的监测,确保护拱及临时仰拱的施工安全。

换拱施工完成后,对换拱段落地质围岩较差断面

监控量测数据进行了分析,结果如图 3 所示。



(a) K42+412 断面



(b) K42+417 断面

图 3 拱顶累计沉降监控量测数据

由图 3 可知:K42+412 和 K42+417 断面一周内累计沉降值呈现先增大后减小趋势,累计沉降趋于稳定,最大值为-8 mm,远小于预警值 120 mm,说明换拱施工方案有效地解决了初支侵限问题,使二衬施工厚度符合相关标准规范要求。

综上所述,大法郎隧道优化施工工艺,采用监控量测与换拱施工同步作业方式,依据量测数据预判变形发生时间,及时调整临时仰拱施工部位,有利于减小开挖扰动次数,同时结合护拱、纵向连接筋、注浆液、锁脚等坚固的支护体系,使得护拱、仰拱、钢拱架成为一个整体,大大降低了不良水文地质对软弱围岩的弱化作用。

4 结论

(1) 大法郎隧道掌子面为风化泥质页岩,且裂隙水发育,水文地质条件差,开挖过程对围岩产生扰动,导致应力集中,独特的水文地质条件和施工扰动是初支侵限发生的主要原因。

(2) 大法郎隧道优化施工工艺,采用监控量测与换拱施工同步作业方式,依据量测数据预判变形发生时间,及时调整临时仰拱施工部位,有利于减小开挖扰动次数,同时结合护拱、纵向连接筋、注浆液、锁脚等坚固的支护体系,使得护拱、仰拱、钢拱架成为一个整体,

大直径盾构隧道近距离穿越桩基的方案比选

宋玉芹,林永亮*

(上海大学 土木工程系,上海市 200072)

摘要:以上海长江西路越江隧道近距离穿越逸仙路高架桩基工程为背景,采用数值计算方法,针对大直径盾构近距离往返穿越高架桥桩基,探讨了不同MJS加固方案对桩基与地表沉降的影响。计算结果表明:在数值分析工况中,沿群桩外侧全长施做桩径1.2 m的MJS桩对地表最大沉降的控制效果优于门式加固;沿群桩外侧全长施做MJS桩加固方式中,当加固桩直径 $b \leq 1.5$ m时,地表最大沉降随着加固桩直径的增大而减小,当加固桩直径 $b \geq 1.8$ m时,增大加固桩直径对地表最大沉降的控制效果相差不大;沿群桩外侧全长施做MJS桩的加固方式中,桩顶水平位移随着加固桩直径 b 的增大而减小,桩基轴力增量随着加固桩直径 b 的增大而增大;MJS加固桩直径对桩身弯矩增量的影响规律沿着桩身的变化而不同;比选得出沿群桩外侧全长施做直径1.2 m的MJS加固桩对逸仙路高架桩基的保护可行性较高。

关键词:盾构隧道;MJS加固桩比选;数值分析;高架桩基;近距离穿越施工

1 前言

在城市地铁和道路隧道建设中,特别在高灵敏度软土土层中,由于盾构法施工具有机械化程度高、掘进速度快、对周围设施影响小、能适用于多种地层等特点,目前已经成为地铁隧道最常用的施工方式。地铁隧道往往修建在人口比较密集的地区,其沿线不可避

免地近距离穿越大量的地上敏感建筑物和城市地下生命线工程,必然扰动建筑物周围土体,进而影响邻近建筑物的变形和受力,降低建筑构件承载力。因此有必要在盾构掘进施工时对邻近建筑物采取有效的保护措施,以控制建筑物的变形及受力状态,确保安全。

目前国内外许多学者针对盾构推进施工对桩基影响进行了一定的研究。文献[3—5]运用有限元数值模拟方法研究了盾构掘进施工引起邻近桩基础的内力及

大大降低了水文地质对软弱围岩的弱化作用。

(3) 大法郎隧道依据独特的水文地质条件和施工工艺,制定了适应于该种环境的初支换拱施工方案,并结合安全施工方法,有效地解决了初支侵限问题,使得二衬施工厚度符合相关标准规范要求。

参考文献:

- [1] 韩鑫,叶飞,徐长鑫,等.钢筋混凝土套拱加固病害隧道安全评价研究[J].中外公路,2019(3).
- [2] 李贤,蔡林真.某软岩隧道变形规律和二衬最佳支护时机选择研究[J].中外公路,2019(3).
- [3] 王鹏,杜文涛,汤明,等.复杂岩溶区特大断面小净距隧道洞口塌方处治技术[J].中外公路,2019(2).
- [4] 李军.软岩偏压隧道中夹岩施工扰动效应及控制技术研究[J].中外公路,2020(2).

- [5] 林海山,张彦龙.公路隧道病害快速检测技术发展和应用现状[J].中外公路,2020(1).
- [6] 刘艳明.石牛岭隧道地表坍塌原因分析及处理方案探讨[J].中外公路,2018(3).
- [7] 黄俊平.不同地质条件下的隧道初支换拱施工技术及应用[J].福建交通科技,2019(2).
- [8] 胡尚.盐田隧道初期支护结构侵限的处理[J].中国新技术新产品,2010(19).
- [9] 王书涛,李光辉.桦皮岭隧道初支侵限段换拱施工技术研究[J].公路交通科技(应用技术版),2016(1).
- [10] 王嵩,左双英,季永新.隧道围岩动态损伤劣化的累进性破坏数值模拟[J].中外公路,2019(6).
- [11] 陈敬松,李永盛.浅埋连拱隧道围岩参数反演及施工数值模拟[J].地下空间与工程学报,2007(6).
- [12] 覃维.隧道支护侵限机理分析及换拱方案优化研究[D].长安大学硕士学位论文,2013.

收稿日期:2020-07-20(修改稿)

作者简介:宋玉芹,女,硕士研究生. E-mail:13120966996@163.com

* 通信作者:林永亮,男,博士(后),副教授. E-mail:Lin-yiliang@163.com