

铁路隧道三台阶临时仰拱法施工技术

刘德锡

泰国格乐大学 泰国曼谷 10220

摘要: 铁路隧道施工中软弱围岩占有较大比例, 施工过程中由于工法不当、组织单一、措施不到位等因素, 易造成隧道部分变形侵限换拱而导致隧道整体施工进度推进缓慢。文章分析了软岩隧道变形特点, 结合工程实践, 从工艺原理、工法特点、工艺流程及施工控制要点、施工技术要求等方面系统阐述了铁路隧道洞口段三台阶临时仰拱施工技术。依托梅州至潮汕铁路, 对洞口段软弱围岩进行施工工法优化研究, 现场施工过程中依据软弱地层大断面隧道三台阶七步法与临时仰拱法的适应性分析, 提出了采用三台阶预留核心土+临时仰拱施工方法为洞口段施工工法, 很大程度上降低了全风化花岗岩遇水崩解而产生的围岩变形风险, 解决开挖进尺与洞身安全稳定的问题, 为相似软弱围岩环境下更好地确定地下工程施工方法提供参考。

关键词: 客专; 隧道; 不良地质; 施工; 工法

Construction technique of temporary invert method for three steps of railway tunnel

Dexi Liu

Glak University, Bangkok 10220, Thailand

Abstract: In railway tunnel construction, weak surrounding rock occupies a large proportion. Due to improper construction method, single organization, inadequate measures and other factors in the construction process, it is easy to cause partial deformation of the tunnel, limit invasion and arch replacement, resulting in slow progress of the overall construction of the tunnel. This paper analyzes the deformation characteristics of soft rock tunnel, and expounds the construction technology of three-step temporary invert in the entrance section of railway tunnel from the aspects of process principle, construction method characteristics, process flow, key points of construction control and construction technical requirements. Based on the Meizhou to Chaoshan Railway, the construction method optimization of the soft surrounding rock of the cave entrance section was studied. According to the adaptability analysis of the three-step seven-step method and the temporary invert method of the large-section tunnel in the weak stratum during the field construction, the construction method of the cave entrance section was proposed using the three-step reserved core soil and the temporary invert method. To a great extent, it reduces the risk of surrounding rock deformation caused by water collapse of completely weathered granite, solves the problem of excavation footage and hole body safety and stability, and provides a reference for better determination of underground engineering construction methods under similar soft surrounding rock environment.

Keywords: Guest design; Tunnels; Bad geology; Construction; Construction method

1 工程背景

本文结合梅汕客专埔田隧道(起止里程为DK95+415~DK96+331, 全长916m, 为双线隧道, 隧道整体埋深较浅, 最大埋深约70m)、玉林隧道(起止里程为DK96+863~DK97+494, 全长631m, 为双线隧道, 隧道整体埋深较浅, 最大埋深约50m)。因工程所处粤东潮汕地区地形地貌和围岩水文地质情况复杂多变, 平原区为海相冲积, 丘陵区大部分为全风化富水花岗岩, 以及自然气候条件的差异

常年阴雨, 围岩破碎、裂隙水发育, 均为IV、V、VI级全风化花岗岩遇水容易崩解, 且夹有孤石需要爆破开挖, 给施工造成很大难度。

1.1 埔田隧道工程概况

埔田隧道起止里程为DK95+415~DK96+331, 全长916m, 为双线隧道。进出口内轨顶面设计高程42.679m, 37.769m, 隧道整体埋深较浅, 最大埋深约70m。

1.2 玉林隧道工程概况

玉林隧道起止里程为DK96+863~DK97+494, 全长631m, 为双线隧道。进出口内轨顶面设计高程37.63m, 39.52m, 隧道整体埋深较浅, 最大埋深约50m。

该工程软弱围岩隧道占比大, 且大部分地段还存在围岩破碎和岩层富水等不利因素, 其施工安全质量问题较为突出, 控制不当极易发生过大变形收敛、拱顶收敛、塌方、冒顶及突水突泥事故发生, 处置不当将会造成巨大人员及经济损失, 因此加强软弱围岩隧道洞身施工工法控制尤为重要。本文就结合梅汕客专埔田隧道、玉林隧道软弱富水全风化花岗岩施工实际情况对软弱围岩隧道采用“三台阶预留核心土+临时仰拱”“初期支护采用双层(AB套拱)工字钢支护体系(A套拱为外层I20a, B套拱内侧I18)”施工方法工艺进行总结。

2 施工技术原理及操作要点

2.1 工艺原理

因受全风化富水花岗岩VI级围岩带有围岩遇水软化, 呈流塑状, 强度低, 易坍塌, 自稳能力差; 通过增加 $\Phi 50$ 超前小导管超前支护加固开挖前方地层, 三台阶预留核心土+临时仰拱稳定掌子面, 片石反压+钢板桩防护稳定中下台阶核心土, 对已初支段落周边进行径向注浆加固周边围岩, 仰拱基底软弱层采用混凝土换填或 $\Phi 89$ 钢花管注浆加固基底。对施工过程中围岩变形监测结果分析, 此施工工法可以有效控制洞口段浅埋及软弱地质条件下围岩的变形, 保障隧道施工的顺利进行。

2.2 操作要点

2.2.1 施工准备

根据施工方案进场挖掘机、装载机、自卸车、水泥、钢管、片石、钢板桩等机械以及材料, 准备好水泵、焊接、切割机、注浆机等设备。

2.2.2 超前支护措施

在洞口 $\Phi 108$ 长管棚超前支护基础上增加III型超前小导管注浆加强超前支护。 $\Phi 50$ 超前小导管规格: 热轧无缝钢花管, 单根长5.0m, 外径50mm, 壁厚5mm。孔径10mm, 孔间距15cm, 呈梅花形布置, 尾部不钻孔长度不小于150cm, 作为止浆段。长度5米, 每3米一环, 环向间距30cm, $10^\circ \sim 40^\circ$ 交错打设。

2.2.3 洞身开挖

①开挖工法采用三台阶预留核心土+临时仰拱横向支撑加强支护。②对掌子面及核心土进行喷浆, 喷浆厚度为5cm, 对其变形进行临时约束; 对开挖部分进行钢筋网和工

字钢布设后喷浆; 预留100mm大小的超前泄水孔, 将开挖过程中出现的地下水集中引流排出。③临时仰拱安装在上台阶核心土上。临时仰拱支护参数: I18工字钢, 喷射C25混凝土, 厚度25cm, 钢架间采用 $\Phi 22$ 钢筋纵向连接, 连接筋间距1.0m, 施工过程中及时对拱顶沉降变形及时的监测, 沉降速率连续超过预警值, 必要时可增设竖撑和斜撑。④各部位每循环开挖支护1榀钢架, 开挖后快速支护。⑤中下台阶核心土软弱层进行片石反压, 防止流塌。⑥各部位钢架锁脚加设2组进行补强, 锁脚采用 $\Phi 50$ mm钢管, 斜向下 $30 \sim 45$ 度角打设, 采用L型钢筋与钢架连接固定拱脚。

2.2.4 仰拱施工

仰拱开挖前方采用片石反压+钢板桩防护, 每循环开挖支护2.4米, 及时进行仰拱施工。仰拱基底软弱层厚度小于1.5米时采用C20片石混凝土换填, 软弱层厚度大于1.5米时仰拱基底以下6米采用 $\Phi 89$ 钢花管注浆加固处理, 钢花管间距 1.5×1.5 m, 梅花形布置。

2.2.5 排水措施

由于软弱围岩遇水容易软化, 所以在施工过程中应加强防水排水处理。在掌子面采用PVC排水管引水, 汇水至中下台阶中心线处铺设1m宽防水板作为引水板将水集中引排至中心水沟排出。

2.2.6 监控量测

洞内监控量测控制点加密布置, 每3米一处, 加强量测频率2次/d。及时关注围岩收敛及地表沉降情况, 及时动态调整优化施工措施。监测布置如图2.10所示。当拱顶沉降或者水平收敛速率大于4mm/d时, 进行黄色警报, 监测频率为每天两次; 当速率小于4mm/d时每天量测一次, 如果连续三天监测得到变形速率小于0.2mm/d, 则认为围岩基本收敛完成, 形成自稳, 可以进行二次衬砌。

3 三台阶预留核心土+临时仰拱工法应用实例及效益分析

梅汕铁路埔田隧道、玉林隧道洞口及不良地质段开挖工法根据现场实际情况采用三台阶预留核心土+临时仰拱。洞口钻孔桩施工完毕后, 进洞前首先将正洞断面划分为3个台阶施工: 第1个台阶高度3.7m, 核心土高度2m, 核心土至拱顶1.7m, 为避免大型机械振动对围岩的扰动, 采用小型挖掘机配合人工开挖, 核心土平台便于喷射混凝土作业, 有利于及时封闭成环, 在上台阶核心土前端加设临时仰拱横撑; 第2个台阶高3.6m, 小型挖掘机配合人工开挖, 施工时左右边墙开挖错开3m(5榀钢架); 第3个台阶高度3m, 主

表1 两种工法对比

序号	对比项目	四步CD法	三台阶临时仰拱法
1	监控量测数据	洞内拱顶最大下沉量累计93mm，日最大下沉量27mm/d，洞内周边收敛最大累计收敛量132mm，日最大收敛量28mm/d。	洞内拱顶最大下沉量累计47mm，日最大下沉量6mm/d，洞内周边收敛最大累计收敛量52mm，日最大收敛量7mm/d。
2	施工操作性	较困难	简单
3	人工需用数量（人）	120人/天	70人/天
4	操作方便性	繁琐、时间长	简单、快捷
5	施工工期	120天	55天
6	综合费用对比	367万元	94.2万元

要是小型挖掘机配合人工开挖，台阶长度控制在3~5m，仰拱及填充每循环施工2~3m，初支仰拱分左右施工，减少基底暴露时间，快支快封闭。

三台阶预留核心土+临时仰拱施工方法主要应用在新建梅汕铁路埔田隧道、玉林隧道埋深较浅且围岩破碎并富水地段，埋设深度为5~40m，覆盖层较薄，围岩软弱，自稳能力差。前期进洞阶段采取四步CD法，围岩变形侵线经历了多次换拱处理，经过进行精心策划，科学编制施工组织方案，通过监控量测数据分析不断总结，采取三台阶留核心土+临时仰拱预施工方法，围岩变形得到有效控制，虽偶尔仍有变形，但径向注浆及时跟进后有效控制初支变形量，仰拱封闭，拱架整体稳定性好，后期未出现拱架因挤压变形而造成侵线换拱，该段施工安全顺利通过，取得了良好的社会效益和经济效益。

传统软弱围岩大断面隧道施工由于地质条件复杂、围岩强度低、支护措施不到位等因素导致围岩产生较大的变形，影响隧道正常施工。本工法采用三台阶预留核心土+临时仰拱的施工工法，其中三台阶开挖法的核心土有效约束掌子面的挤出，临时仰拱减少了各个开挖部之间的扰动，使得隧道在开挖过程中对围岩变形有较好的控制，极大地提高施工安全性和施工率。

为尽快完成DK96+891~950段软弱围岩施工，在保证安全情况下，缩短工期，研发了软弱围岩洞口段开挖及基底加固施工工法，该工法技术可靠，安全性高，操作方便，人员投入少，循环工序时间缩短，经济效益高。该工法应用于新建梅州至潮汕铁路玉林隧道，使玉林隧道减少工期2个月，节约成本272.8万元。

通过对比分析，传统的四步CD施工工法无论在经济效益、影响范围内都已无法形成竞争力。由此可以看出软弱围岩洞口段开挖及基底加固施工工法明显降低成本、节约工期，同时还具有很强的推广意义。若得到大规模的使用，不仅节约了工程本身的成本，同时也将施工工期大幅缩短。

4 结语

该方法具有施工安全、操作便捷、经济实用的特点，成功解决了软岩、流泥、涌水等难题，确保了工程质量和工期，在本工程施工中得到成功应用，攻克了东南沿海地区全风化富水花岗岩地质隧道施工的世界性技术难题，取得良好的经济效益和社会效益，为以后隧道施工积累了宝贵经验，经总结提炼形成本工法。

参考文献：

- [1] 《软弱围岩大断面隧道环形开挖预留核心土法相关参数研究[J]》，邓思远，杨其新，蒋雅君，马鹏远编著，城市轨道交通研究，2016，19(03):95-98+103.
- [2] 《软弱地层大断面隧道三台阶七步法与临时仰拱法适应性分析的对比研究[J]》，陈洁金，高超，晋婉晴，阳军生编著，工程力学，2020，37(S1):180-186.
- [3] 《铁路隧道设计规范：TB10003-2016[S]》，中国铁道出版社，2017.
- [4] 程川. 三台阶临时仰拱法在大法郎隧道滑石软弱地层下快速施工中的应用[J]. 运输经理世界, 2021(016): 109-111.