

废弃隧道空腔对新建隧道施工安全的影响及处理方法

郑国光

中铁十局集团第四工程有限公司 江苏 南京 210046

【摘要】：伴随着铁路路网、城市轨道交通以及地下空间的不断深入开发，新建隧道近距离穿越既有的废弃隧道的情况越来越频繁。废弃隧道长时间闲置所产生的空腔结构，由于年代久远、资料缺乏，存在着围岩失稳、结构坍塌、突水涌泥等诸多安全隐患，直接危害着新建隧道的施工安全和周围环境的安全。本文通过复杂围岩区青林隧道穿越废弃下湾隧道工程实践，从废土隧道空腔对新建隧道施工的影响入手，给出相应的处置原则及处理办法，总结工程应用效益。实践证明该套处理方法可以很好地控制施工风险，大大缩短工期，具有较好的工程推广价值。

【关键词】：废弃隧道空腔；新建隧道；施工安全控制

DOI:10.12417/2811-0722.26.04.096

1 引言

目前我国交通基础设施建设不断加深，山岭隧道、城市地铁隧道等地下工程不断加密，新建隧道和既有废弃隧道相交、近距离穿越的情况越来越普遍。废弃隧道由于建于较早时期，缺少原建设施工的相关资料，造成衬砌结构损坏严重、空洞较大、四周环境状况不清，为新修隧道工程所带来的一项重要隐患。传统的处理方式大多用全断面混凝土封堵，工序串行、工期长、成本高，不能满足高效施工的要求。复杂的地质条件使废弃隧道的空腔破坏原有的地层应力平衡，加大了围岩变形和结构失稳的风险，如果处理不好，很容易引起坍塌、突水涌泥等安全事故，还会危及周边既有构筑物及运营线路的安全。为解决工程中的工程难题，根据金温货线下湾隧道加固工程青林隧道穿过废弃隧道施工的经验，研制出有针对性的安全控制施工技术，全面消除空腔带来的安全隐患，给类似工程提供借鉴。

2 废弃隧道空腔对新建隧道施工安全的核心影响

2.1 围岩稳定性失衡，诱发地层大变形

隧道周边围岩原来就处于相对稳定应力平衡的状态，而废弃隧道空腔的产生使围岩失去原有的支撑结构，应力重新分布，形成了局部应力集中的地方。复杂围岩区岩体破碎、节理裂隙发育，空腔周边围岩自稳能力很差，新建隧道开挖加剧地层扰动，造成围岩松弛变形加快、拱顶沉降和水平收敛超限等后果，严重时还会导致围岩剥落、掉块，直接危及掌子面和初期支护结构的安全。

2.2 废弃结构失稳，引发坍塌事故

既有废弃隧道衬砌长时间处在地下水侵蚀以及围岩压力的共同影响下，常常表现出开裂、破坏、脱落等病害症状，结构承载能力大大减弱。空腔无填充支撑的条件下，衬砌结构自身的稳定性差，新建隧道爆破开挖、机械施工所产生的振动会加重衬砌结构的损伤，造成局部或者整体的失稳坍塌。坍塌物不但会造成新建隧道施工通道被堵塞，而且会引起连锁性的地

层塌陷，对洞内的施工人员和设备构成威胁。

2.3 水文地质条件恶化，突水涌泥风险剧增

废弃隧道空腔会成为地下水的汇集地和渗流通道，积水久了就会使周围围岩软化，减弱岩体强度，并且会冲刷裂隙填充物，形成隐蔽的渗流通道。新建隧道开挖揭穿含水层或者渗流通道之后，空腔内部的积水和松散填充物会很快涌入洞内，造成突水涌泥灾害。该类灾害突然来势凶猛，破坏性大，不但会造成施工设备和工期的损失，还会造成重大安全事故和环境污染。

2.4 爆破扰动叠加，放大施工振动危害

新建隧道穿越段大多采取爆破开挖方式，爆破产生的振动波会经由地层传送到废弃隧道空腔里，空腔结构会加大振动影响，从而加重对既有衬砌及周围围岩的扰动。一方面会造成废弃隧道结构坍塌，另一方面会使围岩裂隙变大，地下水渗流量增大，造成一个“振动、结构损坏、围岩失稳”的恶性循环。如果振动控制不好，还会对周围运营的铁路、民用建筑等造成影响。

2.5 打乱施工工序，造成工期与成本失控

废弃隧道空腔隐蔽性、不确定性大，施工前不能完全掌握风险点，施工中容易出现突发险情，造成施工中断、抢险处置等情况，直接打乱原有的施工工序。传统的全断面封堵处理方式需要将施工过程中的封堵、养护工序都完成之后才可进行新建隧道的开挖工作，因此工序完全串行，大大延长了施工工期；抢险及返工还会导致材料、人工、机械等各项费用的上涨，进而造成项目的经济效益降低，严重阻碍项目进度的安排。

3 废弃隧道空腔处置核心原则与总体思路

根据废弃隧道空腔的安全隐患多，结合复杂围岩区施工特点，确定了先探明后加固、弱扰动强支护、严监测为处置原则的废弃隧道空腔处理方法，并摒弃传统的全断面封堵方式，采用了预支护或者预加固、开挖、回填的工序。该思路主要依靠精细化探测及早找到空腔的位置、结构状况和地质情况，按照

风险高低实行分区分类差异化预加固,主动加强废弃结构和周边围岩的稳定,开挖过程使用微扰动技术,最大程度减少施工对既有结构造成的扰动,施工全过程展开动态监测,及时反馈信息并作出施工参数的调节,新建隧道结构形成之后,对废弃空腔实施标准化回填封堵,彻底根除后续可能存在的安全隐患。相比于传统的方法而言,这一种思路把预加固和主体开挖工序紧密穿插在一起,保证施工安全,解决工期瓶颈的问题,适配复杂围岩区的高风险施工要求。

4 废弃隧道空腔专项处理施工技术

4.1 精细化超前地质探测技术

超前探测是管控空腔风险的前提,采用长短结合、物探与钻探结合的综合探测方式,对新建隧道与废弃隧道交叉段前后30至50米范围进行全面探查,精准掌握废弃隧道空腔位置、衬砌厚度、围岩裂隙发育程度、水文条件及内部填充物状态。

具体实施中,掌子面每开挖一次开展一次地质素描,直观记录围岩特性;沿隧道纵向每隔30米进行一次地质雷达探测,探测段搭接长度不小于5米,快速定位空腔与结构异常区域;每隔30米实施超前水平钻探,钻孔搭接长度不小于5米,直观验证地质与水文情况;每隔100米采用弹性波反射法进行长距离预报,段间搭接长度不小于10米。多种探测手段相互补充、相互验证,确保探测结果精准可靠,为后续处置方案提供核心依据。

4.2 分区分级主动预加固技术

根据废弃隧道与新建隧道的净距、开挖轮廓包络关系及围岩风险等级,实施差异化预加固,杜绝盲目加固,提升处置针对性与高效性。对于两隧道结构净距小于2米且新建隧道开挖轮廓未完全包络废弃隧道隧底的区段,在废弃隧道内结合新建隧道开挖轮廓施作型钢护拱防护;护拱采用I18型钢拱架,纵向间距50厘米,钢架间设置C22纵向连接筋,环向间距50厘米,钢架两端设置长2.5米的砂浆锚杆固定,内外两侧铺设双层钢筋网,喷射C25混凝土形成整体护拱结构,有效抵御施工扰动。对于新建隧道开挖轮廓完全包络废弃隧道隧底的区段,在废弃隧道衬砌外侧施作长4.5米的 $\phi 25$ 中空锚杆,锚杆按1米乘1米梅花型布置,通过锚杆加固提升衬砌与围岩的整体性,形成稳定承载结构。预加固施工优先开展,待加固结构达到设计强度后,再进行新建隧道开挖,从源头消除结构失稳风险。



图1 钢护拱加固图片

2 锚杆注浆加固图片

4.3 微扰动开挖与初期支护技术

交叉段开挖严格遵循短进尺、弱爆破、强支护、快封闭的原则,III级、IV级、V级围岩均采用台阶法开挖,上台阶一次进尺不超过2榀拱架,下台阶一次进尺不超过3榀拱架,严控单次开挖扰动范围。拱架间距不大于0.8米,V级围岩采用I20工字钢,III级、IV级围岩采用I18工字钢,拱架施作双排锁脚锚杆,提升拱架承载力与整体稳定性。爆破开挖采用微震控制爆破技术,优化爆破参数,采用多打孔、多分段、逐孔起爆的方式,严格控制单段起爆药量,降低爆破振动速度。掏槽眼采用单孔一响,时间间隔50毫秒;掘进眼、辅助眼等采用逐孔起爆,时间间隔50至100毫秒;周边眼采用2至3孔一段,时间间隔200至300毫秒,最大限度减少爆破对废弃结构与围岩的扰动。开挖后立即初喷混凝土封闭围岩,及时安装钢架、挂网、施作锚杆,复喷至设计厚度,尽早实现支护结构封闭成环。



图3 初支钢架施工图片

4.4 全过程动态监控量测技术

建立全方位自动化监测系统,对交叉段施工实施全过程动态监控,监测内容包括拱顶沉降、水平收敛、既有结构接缝变化、爆破振动速度及衬砌结构内力。交叉段监测断面按纵向5米间隔加密布设,监测频次加密至每6小时一次,实现数据实时采集、实时传输。

监控量测实行三级管理机制,根据实测位移值划分正常施工、加强监测、工程处置三个等级,位移超标时立即启动对应处置措施。爆破施工时,沿废弃隧道每隔50米布设振速监测点,每隔30米布设应力计,将爆破振速控制值设定为2厘米

每秒, 预警值设定为 1.7 厘米每秒, 振速超标立即停止施工, 调整爆破参数并经试爆合格后恢复施工, 确保施工振动始终处于可控范围。

4.5 废弃空腔标准化回填封堵技术

新建隧道二次衬砌施工完成后, 对废弃隧道空腔采用 FC20 泡沫混凝土进行回填封堵, 该材料轻质、流动性好, 可实现空腔密实填充, 避免后期沉降隐患。回填前先清理空腔底部松散杂物与积水, 在回填段落两端施作 30 厘米厚的 C30 混凝土止浆墙, 防止浆液流窜, 止浆墙顶部预留灌注管与排气管, 排气管延伸至空腔最高点, 保障排气顺畅、填充密实。回填采用泵送浇筑方式, 从低处向高处连续施工, 通过排气管出浆情况判断填充密实度, 养护完成后采用地质雷达扫描或钻孔取芯抽查回填质量, 确保空腔完全填充、无空洞缝隙, 彻底消除废弃空腔带来的长期安全隐患。

5 工程实践应用

本套处理技术成功应用于新建衢州至丽水铁路松阳至丽水段青林隧道工程, 该隧道在 DK60+593 至 DK61+010 段与既有废弃下湾隧道交叉, 处于复杂围岩区, 两隧道净距最小不足 2 米, 原设计采用 C20 混凝土全断面封堵, 工期长、成本高。施工中采用上述成套处理技术, 先通过综合超前探测精准锁定废弃隧道空腔状态, 分区域实施型钢护拱与锚杆预加固, 开挖阶段采用微扰动台阶法与控制爆破, 全过程落实动态监测, 后期完成泡沫混凝土空腔回填。工程实施期间, 未发生任何坍塌、突水涌泥等安全事故, 围岩变形与爆破振动均控制在允许范围内, 施工质量达标。相较于原设计方案, 直接节省工期约 2 个月, 节约施工成本 60 万元, 圆满完成穿越施工任务, 同时保障了邻近既有运营铁路的正常通行。

6 工程效益分析

6.1 经济效益

本技术通过精细化探测与分区分级加固, 避免了传统全断面封堵的盲目材料投入与冗长养护时间, 实现加固与开挖工序

并行, 大幅压缩施工工期, 减少人工、机械台班投入。同时, 有效规避了坍塌、突水涌泥等重大安全事故, 省去抢险、返工、工期延误赔偿等额外费用, 综合经济效益显著, 单项目节约成本 60 万元, 大幅提升项目盈利水平。

6.2 社会效益

成套技术有效管控施工风险, 保障了洞内作业人员安全与周边既有运营铁路、建构筑物的正常使用, 避免了施工扰动引发的公共安全事件, 维护了社会稳定。施工过程中严格落实环保要求, 控制爆破噪声与粉尘, 妥善处理施工废水与弃渣, 减少对周边生态环境的破坏, 树立了良好的工程建设形象, 具备广泛的社会推广价值。

6.3 资源节约效益

通过精准探测与动态优化, 避免盲目加固与超挖现象, 减少工字钢、混凝土、锚杆等材料浪费; 微扰动爆破降低围岩损伤, 减少弃渣产出量; 泡沫混凝土轻质回填, 节约水泥等主材消耗; 施工废水经处理后循环用于降尘、养护, 实现水资源高效利用, 契合绿色施工、资源节约的工程建设理念。

7 结论

废弃隧道空腔会破坏地层应力平衡、降低既有结构稳定性、放大施工扰动危害, 是复杂围岩区新建隧道施工的重大风险源, 易引发坍塌、突水涌泥等安全事故, 同时影响施工进度与成本控制, 必须采取针对性处置措施。“先探明、后加固、弱扰动、强支护、严监测”的处置原则, 以及“先预支护或预加固, 后开挖, 再回填”的工序思路, 可有效适配废弃隧道空腔施工场景, 实现安全与效率的双重保障, 优于传统全断面封堵方法。精细化超前探测、分区分级预加固、微扰动开挖、全过程动态监测、标准化空腔回填的成套技术, 在青林隧道工程中应用效果显著, 安全可控、工期与成本优势突出, 可广泛应用于山岭隧道、城市地铁、综合管廊等穿越既有废弃隧道的同类工程。后续可进一步优化探测精度与加固工艺, 结合智能化监测技术, 提升废弃隧道空腔处置的自动化与精细化水平, 适配更复杂的地质与工程工况。

参考文献:

- [1] 唐祖传. 紫金山隧道穿越旧煤洞巷道及空腔处治措施探讨[J]. 福建建设科技, 2025, (04): 76-78.
- [2] 李程, 黄有波. 隧道顶部式太阳能烟囱空腔截面比对通风与火灾排烟性能影响研究[J]. 制冷与空调(四川), 2024, 38(06): 753-759.
- [3] 张洁, 王雨舸, 韩帅, 等. 空腔结构对高速磁浮隧道压力波的影响研究[J]. 铁道科学与工程学报, 2023, 20(05): 1555-1564.
- [4] 杜映辉. 高速公路隧道初支背后空腔治理技术研究[J]. 黑龙江交通科技, 2020, 43(07): 162-164.
- [5] 黄鹏, 王丽君. 近接岩溶空腔对台阶法施工公路隧道围岩稳定性影响研究[J]. 水电站设计, 2021, 37(01): 44-47.