

# 长期运营隧道加固改造综合施工技术研究

李庭荟

(中铁十四局集团第五工程有限公司, 山东 济宁 272100)

**摘要:** 既有隧道病害综合治理已成为当下热点研究领域之一。本文以宁夏六盘山隧道加固改造工程为依托, 通过拱顶空腔回填衬砌背后空洞处置、原有衬砌劣化处置技术关键点进行综合治理, 加固后的隧道恢复了使用功能和安全性, 取得了良好的效果, 为今后类似工程提供了重要参考。

**关键词:** 公路隧道; 加固改造; 施工技术

**中图分类号:** U457.3 **文献标识码:** B

近年来, 公路隧道病害问题日益突出, 严重渗水、结构涂层腐蚀开裂等重大病害形式, 给隧道后续运营带来了严重隐患<sup>[1-4]</sup>。由于新建隧道成本高、工期长等诸多因素, 导致对隧道的改造和综合治理成为热点问题, 引起诸多研究人员的关注。贾建波等<sup>[5]</sup>提出高黎贡山隧道大规模突涌综合治理技术。张海强<sup>[6]</sup>对铁路隧道浅埋段渗水综合治理施工技术进行了研究。尽管目前针对既有隧道的综合治理已有相关研究, 但针对目前西北地区控制性公路隧道工程项目案例研究仍待补充, 同时由于不同地质条件下改造技术的差异巨大, 因此需要针对相关工程开展具体研究。本文以宁夏六盘山隧道加固改造工程为例, 针对隧道渗水、结构衬里的腐蚀裂解损伤等具体病害, 提出了结构置换补强措施和隧道排水防护措施综合运用, 恢复加固的隧道使用功能和安全性, 供今后类似工程参考。

## 1 工程概况

### 1.1 工程概况

宁夏六盘山隧道加固改造工程为国道312线西安至兰州段的重要工程之一, 隧道设计为单洞双向两车道, 总长2385m, 进口设计高程为2335.30m, 出口设计高程为2392.54m。本次加固改造主要涵盖隧道土建、 $\phi$  机电设施改造及洞外配电房等施工。土建工程改造主要采用套拱施工, 先对既有临时钢拱架和无临时拱架处的衬砌进行锁脚, 再进行病害综合处置, 沿原衬砌表面增设防排水、钢筋混凝土套拱, 套拱与原二衬之间设置完善的防排水系统。为确保建筑限界净高, 降低既有路面高度55cm, 同时, 由于隧址区地下水水质类型为硫酸钙型水, 对混凝土具有结晶性侵蚀, 所以在重新施作衬砌结构时均采用C40高抗硫酸盐混凝土, 确保结构耐久稳定性<sup>[1]</sup>。

### 1.2 工程特点与难点

(1) 难度大: 该隧道始建于1991年, 1997年

正式通车, 曾发生地下水穿透隔水层的情况, 形成特大涌水, 造成局部衬砌破坏。经过20多年的运营, 已于2002年、2012年及2014年分别进行三次加固维修, 但隧道病害未得到根本治理。

(2) 风险高: 此次加固改造, 必须完成对原有衬砌背后填充、衬砌背后虚材的注浆注入、对衬砌劣化和裂纹严重段落局部置换等具体病害处置。

(3) 工期紧: 本项目要求半年内完成所有施工任务, 恢复交通。同时, 项目所在地进入冬季后温度较低, 有效工期时间较短, 项目部需要合理安排, 认真组织施工。

## 2 加固改造关键施工技术

### 2.1 衬砌锁加固施工技术

由于本隧道已经运行20多年, 原有衬砌在运营过程中, 病害层出不断, 已分别于2012年和2014年两次对衬砌增设临时钢拱架加固。这些临时钢拱架多数起到了安全储备的作用, 少数拱架已经处于受力状态。为彻底解决病害, 且保证处置施工过程中的安全, 需要在进行隧底开挖前, 在拱墙打入钢管锁脚对原衬砌和临时钢拱架进行注浆加固。锁脚注浆管设置示意图如图1所示。

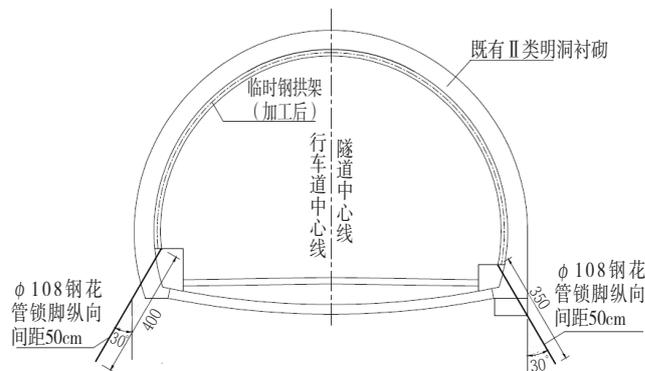


图1 锁脚注浆管设置示意图

### 2.1.1 注浆准备

注浆管技术参数：锁脚注浆管采用 $\phi 108$ 、壁厚6mm热轧无缝钢管，长度为4m和3.5m。管口段1m范围钢管不开孔，其余部分按15cm间距交错设置注浆孔，孔径为20mm。注浆孔斜向下打设，并与垂直方向成 $30^\circ$ 角。注浆材料及配比：原材料为普通硅酸盐水泥，强度等级42.5；浆液配合比为 $W:C=(0.8\sim 1):1$ 。注浆结束标准：注浆过程中，压力逐渐上升，流量逐渐下降，当注浆压力达到设计终压并稳压10min后，即可结束该孔注浆。注浆结束时的进浆量小于10L/min。

### 2.1.2 施工流程

主要施工流程为钻孔→钢管制作安装→焊接→注浆。

(1) 钻孔：锁脚钢管施工前先标识出需钻孔的位置，孔脚为 $30^\circ$ 进行钻孔，位置位于既有衬砌及钢拱架拱脚处，钻孔深度大于钢管锚固长度的95%，但超长值不大于10cm。(2) 钢管制作安装：采用 $\phi 108$ 、壁厚6mm热轧无缝钢管，安装时用凿岩机直接将钢管打入孔中。(3) 焊接：钢管与拱架采用搭接焊， $\phi 22$ L形卡筋焊接固定，要求卡筋与钢管搭接 $10d$  ( $d=22\text{cm}$ )单面焊接，且与钢架双面焊接。焊接须饱满，严禁采用点焊，焊渣要及时清除。钢管安装位置居中，使水泥浆均匀包裹杆体四周，在孔口可用止浆塞封固，既可固定钢管位置，也可防止大量浆液外溢。(4) 注浆、注浆孔一次钻到设计全深，使用止浆塞由孔底分段向外注浆。在设计终压条件下，注浆孔停止吸浆，稳压5min结束注浆<sup>[2]</sup>。

## 2.2 衬砌背后空洞处置施工技术

六盘山隧道曾发生拱腰处局部混凝土塌落，揭露一不规则空洞，如图2所示。为保证运营期的行车安全，拱顶空腔处置成为项目施工重难点工序之一。技术人员依据设计图纸及现场施工情况，最终确定了施工方案并认真执行，工艺流程如图3所示。



图2 衬砌背后小空洞

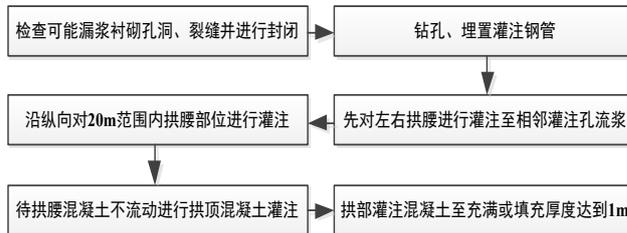


图3 衬砌背后空洞处置施工工艺流程

### 2.2.1 裂缝封闭

沿裂缝凿出宽15mm、深15mm的V形槽，V形槽的长度和裂缝长度一致，粘贴注胶底座，并采用环氧树脂类改性环氧砂浆材料封闭V形槽。然后注入环氧树脂类裂缝补胶，进行裂缝补强<sup>[3]</sup>。

### 2.2.2 钻孔、埋置注浆钢管

(1) 按设计要求确定钻孔的位置、数量。(2) 在标记钻孔处用钻机进行钻眼，钻透衬砌结构后，注浆管进入衬砌背后空洞长度满足设计要求。(3) 施工时结合钻孔情况核查空洞位置，经设计代表同意后可调整注浆孔分布。注浆时临近的上方注浆孔可作为排气孔和检查孔<sup>[4]</sup>。

### 2.2.3 浆液配制

泡沫混凝土为B06级配，干密度为 $531\sim 630\text{kg}/\text{m}^3$ ，平均抗压强度不小于2.5MPa，最小抗压强度不小于2.0MPa。

### 2.2.4 灌注泡沫混凝土施工

(1) 灌注之前，连接注浆管路，并对管路进行试压，提前消除漏浆和空载压力等问题。(2) 注浆泵的技术性能应与混凝土(浆液)的类型、浓度相适应，灌注压力不大于0.3MPa。(3) 施工按由下向上、由少水处向多水处、先两端后中间顺序施工；地下水富集、有水压的段落，先设置泄水孔排水，再进行灌注。(4) 钻进过程中易塌孔时，采用跟管钻进工艺。(5) 灌注过程中应加强监测，必要时加强临时支撑。(6) 灌注结束标准以灌注压力和灌注时间、灌注量综合判定。灌注完成后，灌注孔应采用防水砂浆进行封闭<sup>[5]</sup>。

### 2.2.5 注浆结束标志

灌注过程中稳压慢注，灌注压力不大于0.3MPa，灌注至顶部泡沫混凝土的填充厚度至2m。

## 2.3 衬砌劣化处置技术

(1) 裂缝：衬砌设置钢架、拱部挂网对裂缝调查影响较大，部分细微裂缝被遮挡，对比2014年专项检查，抽取部分段落对可见裂缝进行对比检查。检查结果显示原有裂缝仍继续发展，缝宽变宽，同时有新增裂缝。

(2) 渗水：检查发现渗水干渍40处，渗水湿渍30处，渗水干渍面积较大，局部湿渍处有表面滴漏现象。

(3) 局部置换及劣化处置施工工艺。  
K1861+858—K1861+930段严重变形开裂、错台,需要对原衬砌进行置换。

#### ① $\phi 50$ 小导管预支护施工方法

在原衬砌面采用 $\phi 50$ 小导管预加固,钢管采用 $\phi 45$ 的热轧无缝钢管。钢管长度为4.5m,隧道轴向间距为0.5m,环向间距为1m,梅花形布置。加工小导管时,在管壁每隔15cm环向交错钻4排 $\phi 8$ 的注浆孔。为防漏浆,管后端无孔部分长1m,管前端锻成铁尖,尾端焊上 $\phi 10$ 钢筋做加劲箍,作为与注浆机输送管连接的卡环。对置换部位进行初次喷射混凝土,喷层厚度与原衬砌面顺接。

#### ② 型钢支撑施工方法

局部置换部位采用I 20a型工字钢拱架。根据设计尺寸通过工厂加工焊制,按设计单元,通过化学锚栓与原衬砌面联结,加工时做到尺寸准确、弧形圆顺,拱架节点焊接长度满足规范要求;拱架堆放和运输时不得损坏和变形。

#### ③ 钢筋网施工方法

钢筋网在加工场制作成半成品网片。钢筋采用 $\phi 6$ 钢筋网(15cm $\times$ 15cm),现场人工拼接铺挂,以加快挂网速度,有钢架的地段,网片的宽度按钢架的间距加工。钢筋网片使用前清污除锈,在围岩表面喷射一层混凝土后,随受喷面起伏铺挂。挂好网片后,将网片之间的接头以及钢架焊接牢固,避免钢筋网外露和喷混凝土时网片晃动,钢筋网最小保护层厚度大于2.5cm。

#### ④ 劣化处置

局部置换段为衬砌严重劣化,表面混凝土疏松、剥离、剥落等情况。置换深度为平均值(50cm),施工时有劣化严重段落凿至围岩后再处置,并预留 $\phi 50$ 引水管,引水管进水口采用土工布包裹。引水管设置于边墙时,倾角不小于 $10^\circ$ ,纵向间距为1m,视情况可适当加密,每处不少于一根。

### 3 效益评价

#### 3.1 经济效益

(1) 项目技术人员在既满足抗压强度要求又保证回填高度的前提下,对泡沫混凝土配合比及施工工艺进行反复研究、试验,尽量减少水泥及泡沫剂的使用量。通过现场大量试验得以实现,节约施工成本10万元<sup>[6]</sup>。

(2) 施工过程中精密地测量和放样,对原有衬砌结构侵限进行较为准确的处理,减少机械返工作业情况,同时严格控制铣挖量,减少后续衬

砌施工混凝土的使用量,全隧道预计节约施工成本28.6万元。

(3) 使用大型钻孔设备,平均每孔减少作业时间20min,加快了总体工期,同时减少作业工人数量,预计创造9.1万元经济价值。

#### 3.2 社会效益

六盘山隧道加固改造工程为宁夏地区的重要民生工程,同时凭借高标准、严要求的管理模式,该项目为当地标准化施工标杆单位,受到宁夏地区社会各界的广泛关注。在G312线六盘山隧道加固改造施工过程中,技术人员对隧道病害处置技术的研究日臻成熟,各项施工技术灵活运用,取得了良好的效果。对拱顶空腔回填衬砌背后空洞处置施工、原有衬砌劣化处置施工的方案谨慎周详,操作工艺应用熟练,施工组织有条不紊,可操作性强;施工过程中安全监督到位,安全可靠,便于控制施工质量;在保证各项施工质量的前提下节约了成本,在以后类似工程施工中具有重要的借鉴意义,应用前景广阔。

### 4 结束语

G312线六盘山隧道加固改造过程中,应用综合施工技术通过拱顶空腔回填衬砌背后空洞处置、原有衬砌劣化处置技术关键点进行攻关,将旧隧道病害一一进行攻克。施工中,项目投入专业技术力量与大型机械设备,提高了施工效率,确保了施工安全,取得了良好的效果,在现场安全管理及现场施工组织方面也取得了丰富的实践经验,便于今后类似工程参考借鉴。

#### 参考文献

- [1] 刘永超,袁振宇,程雪松等.不同注浆材料对隧道漏水漏砂封堵效果试验研究[J].岩土工程学报,2021,43(S2):249-252.
- [2] 郑邦友,刘济遥,雷明锋等.隧道漏水诱发的地层水位降深计算方法与工程应用[J].现代隧道技术,2020,57(6):86-92.
- [3] 刘学增,段俊铭,郭乔堃.侧向荷载作用下公路隧道衬砌损伤演化分析[J].地下空间与工程学报,2021,17(5):1529-1536,1605.
- [4] 赵志刚.寒区老旧铁路隧道改造方案研究[J].铁道标准设计,2019,63(4):122-127.
- [5] 贾建波,高广义,温兴明.高黎贡山隧道大规模突涌综合治理技术[J].隧道建设(中英文),2021,41(S1):394-400.
- [6] 张海强.铁路隧道浅埋段渗水综合治理施工技术[J].建筑技术开发,2021,48(9):65-66.