

# 钢波板在隧道加固施工中的应用及质量控制研究

方自冰<sup>1</sup>, 骆建刚<sup>2</sup>

1. 云南云岭高速公路工程咨询有限公司, 云南 昆明 650214

2. 云南交投集团昆明东管理处, 云南 昆明 650214

DOI:10.61369/ETQM.2025110011

**摘 要 :** 在未来,我国高速公路以及高铁建设里程呈现高速增长。随着隧道因施工中的质量缺陷以、隧道老化以及地震等自然灾害的影响。导致隧道出现质量缺陷而需要进行维修加固。传统的隧道加固技术已经不能完全满足相应的技术要求。采用传统的施工技术比如更换二衬,则工艺复杂,工期长且必须进行交通管制甚至是交通中断。但新材料、新工艺的出现弥补了传统技术的不足。比如钢波板具有较强的刚性、质量轻、可机械化加工从而缩短工期的优势,应用将越来越广泛。本次就讨论钢波板在隧道加固中的施工应用以及质量检验。

**关 键 词 :** 隧道加固; 钢波板施工; 质量控制

## Research on the Application and Quality Control of Steel Corrugated Plates in Tunnel Reinforcement Construction

Fang Zibing<sup>1</sup>, Luo Jiangang<sup>2</sup>

1.Yunnan Yunling Expressway Engineering Consulting Co., LTD., Kunming, Yunnan 650214

2.Yunnan Transportation Investment Group Kunming East Management Office, Kunming, Yunnan 650214

**Abstract :** In the future, China will witness rapid growth in the construction mileage of expressways and high-speed railways. Tunnels may develop quality defects due to construction flaws, aging, or natural disasters such as earthquakes, necessitating repair and reinforcement. Traditional tunnel reinforcement techniques can no longer fully meet the corresponding technical requirements. Traditional construction methods, such as replacing the secondary lining, involve complex processes, long durations, and often require traffic control or even traffic interruption. However, the emergence of new materials and processes has compensated for the shortcomings of traditional techniques. For instance, steel corrugated plates offer advantages such as high rigidity, light weight, and mechanized processing, which can shorten construction periods and will find increasingly wider applications. This paper discusses the construction application and quality inspection of steel corrugated plates in tunnel reinforcement.

**Keywords :** tunnel reinforcement; steel corrugated plate construction; quality control

### 引言

工程概况: 玉元高速路线由峨山境内小甸中村后整体式路基 K127+986.61 分幅进入隧道, 穿过小甸中村后山脊, 从石屏境内的上骆子箐沟头出隧道, 出隧道后下、上行继续分幅行驶。该隧道下、上行线隧道测中线间的平距玉溪端约为 186 米, 元江端约为 126 米。K128+668 ~ K128+690 段(养护里程)左拱腰位置二次衬砌混凝土存在一处带状空隙、起层、剥落、开裂等综合性病害, 纵向开裂位置裂缝宽度 0.5 ~ 2.0cm。通过隧道病害的检查, 不进行相应的处置, 任由病害发展, 裂缝继续发展, 可能导致二次衬砌混凝土脱落, 影响行车安全。而本隧道作为昆曼高速大通道的一部分, 将影响整个大通道的道路营运安全节点, 对云南交通及经济影响较大。

### 一、隧道施工过程中存在的质量问题

要对隧病害进行处置, 就要有的放矢, 解决主要问题, 找到病害形成原因, 做出正确的处置技术方案。通过分析, 主要原因分析: 结合《专项检测报告》及现场调查情况,

K128+668 ~ K128+690 段纵向贯通裂缝应是隧道在施工时, 衬砌混凝土两次浇筑形成的施工冷缝逐步发展形成的。混凝土浇筑初期, 在混凝土结合面就已形成施工冷缝等细小裂缝, 混凝土间因结合面黏结强度较低, 在强度形成过程中, 由于混凝土的自重及混凝土的收缩徐变, 前、后浇筑的混凝土在结合面薄弱位置逐

作者简介: 方自冰(1977.02—), 男, 汉族, 云南陆良人, 本科, 中级工程师, 研究方向: 路面桥梁隧道养护加固。

渐分离,随着时间的发展慢慢分层,形成近期发现的病害情况。由于该隧道位于昆曼国际大通道上,交通路流量较大,采用更换二衬,需要中断交通,会导致交通拥堵及交大的社会负面影响,就要求能够工期短、不中断交通且能处置效果好的处置方案(如图1所示)。

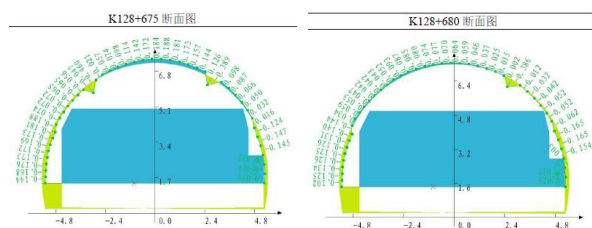


图1 实测衬砌轮廓与设计轮廓、建筑限界对比图

## 二、结合主要原因的分析，提出主要处治措施

1. 针对 K128+630~K128+720 段发现的裂缝病害, 对裂缝进行表面封闭处理, 或灌浆注浆胶封闭裂缝处理, 提高衬砌结构耐久性;

2. 针对 K128+668~K128+690 段病害严重段落, 对分层、开裂混凝土灌注环氧树脂胶进行填充密实, 局部凿除破碎、松散混凝土, 采用环氧砂浆修补、打磨、找平后, 再在 K128+664 ~ K128+694 段衬砌内增设钢波纹板对原衬砌结构进行补强<sup>[1]</sup>。

3. 针对局部发现的拱顶空洞病害, 采用拱顶注浆填充方式对脱空进行处理。

4. 针对局部衬砌表面空响部位, 对表面松散混凝土凿除后, 采用环氧砂浆进行修补处理。对于隧道裂缝处置都是遵循相应的隧道加固处理方案的基本原则<sup>[2]</sup>。对于采用钢波纹板对原衬砌结构进行补强进行讨论。

因本项目设计年代久远,运营 20 多年,施工时谨慎施工核对检查,不造成大的扰动,未对结构造成破坏。处治施工前对其认真检查、复核,数量会存在偏差,实际发生量及时签证。

### 三、施工前需要确定的主要施工过程中的控制重点

波纹管片安装前应结合照明及消防设计图等预先切割出照明灯具出线孔（仅在出线位置预留圆形孔洞，环向线槽不留孔槽）及消防箱安设孔等。在对 K128+668 ~ K128+690 段衬砌分层、松散、破碎混凝土进行凿除及灌注环氧树脂胶施工时，分段局部施工，分段长度不宜过大，严禁大面积凿除。凿除时根据现场情况在凿除范围两侧设置临时支撑，必要时两侧增加临时钢支撑，临时钢支撑紧贴二衬沿环向设置，其纵向间距为 60cm，以保证衬砌结构的安全稳定。灌注环氧树脂胶液时，应合理控制注胶压力，在保证注胶密实的前提下，严禁对衬砌混凝土造成进一步损伤。病害处治时会将局部防火涂层及两侧瓷砖镶面、砂浆垫层铲除。混凝土修补、重新浇筑等新老混凝土结合的，新老混凝土结

合面凿毛 5 ~ 6mm, 形成凸凹不平的结合面, 并将结合面清理干净、干燥后再进行下一步施工, 以保证新老混凝土结合面的强度。由于小甸中隧道施工时采用的是小模板施工, 施工后的衬砌断面轮廓、曲线形式 与原设计存在偏差, 在波纹板施工前, 现场实测衬砌断面轮廓, 并放样, 获取精准断面尺寸, 核实无误后, 进行相关采购、下料工作, 避免造成材料废置。装钢波纹板前, 对衬砌表面进行凿毛处理, 并保证表面干燥、清洁, 钢波纹板与衬砌表面间的空隙, 应用环氧胶泥灌注密实, 以保证两者密贴形成一个整体, 共同受力。在衬砌表面植入高强螺栓时, 保证螺栓植入可靠稳固的混凝土中, 保障螺栓连接质量; 钢波纹板施工时在具备工作面后, 及时凿毛、植筋、清洁、安装钢波纹板并灌注环氧胶泥, 分段进行, 保证衬砌结构整体的安全性和稳定性。拱部空洞注浆施工时应控制好注浆压力, 必要时增设临时支护措施并加强观测衬砌变形及周围裂缝发展情况, 发现异常应及时停止注浆<sup>[3]</sup>。

### （一）施工过程及质量控制

1. 施工前质量控制。严格按照施工程序报批施工保通方案，在交警路政同意批复后上路。在监理人、业主、路政、交警、施工单位五方对保通设施进行检查确认签收后施工。对主要施工材料裂缝填充胶、密封胶钢筋、注射胶、钢筋、钢波纹板等产品样品合格证，产品质量检验报告进行抽检。合格后进行采购。2. 密封检查：密封剂采用气密检查法。达到强度后，沿接缝涂抹一层肥皂水，用螺栓（用原材料胶带包裹）将中间灌浆孔堵在1000~200mm的距离处，并让空气从灌浆口进入。如果密封接头上有气泡，则应再次密封零件。当接头较长时，可分段进行气体测试。在检查测试过程中，根据未密封接缝处的空气泄漏大小，判断裂缝大小及深度。漏气严重且深度较浅，增加泥浆粘度，并采用减压和延迟的方法持续填充。3. 灌浆后的视觉效果可通过水压法或者气压法进行行检查。根据注入水量、水压，测吸水率，检查灌浆前后的防渗效果。主要看接缝处渗漏大小，灌浆前渗漏裂缝灌浆后应无渗漏即达到相应的防渗漏效果。采用气压法时，只需渗透率，渗透率小即可<sup>[4-6]</sup>。

(二) 空洞、破损露筋处治 采用环氧砂浆, 对空洞、露筋及局部破损的混凝土构件进行修复

处治步骤：1.构件锈胀、破损露筋调查 对构件锈胀、破损露筋面积进行检查统计。2.表面处理构件锈胀、破损露筋表面处理 凿除构件锈胀、破损露筋部位周围松散、破碎混凝土，凿除范围以露出崭新、密实混凝土为宜，清除表面浮浆，吹去灰层，并用清水将空洞部位清洗干净，晾干，并对外露钢筋用除锈剂进行除锈处理。3.涂阻锈剂滚涂或者喷涂在混凝土表面；喷涂两遍，第一遍喷涂 6 ~ 8h 后涂刷第二遍。4.缺陷修复对构件锈胀、破损露筋部位采用环氧砂浆进行修补。注意混凝土接合面的结合质量，防止脱空下坠。当修复面厚度超过 20mm 时，分层嵌补，每层控制在 10 到 15mm，一次修复面积控制不大于  $1.5 \times 3\text{m}$ 。5.控制新旧混凝土粘结。主要保持旧混凝土表面的粗糙度；达到结合表面的完整性、粘结表面的清洁度等。新老混凝土表面处理施工可采用高压水喷射法、钢丝刷或人工凿毛法。将旧混凝土表面上的粗

骨料和细骨料暴露在外，形成粗糙不平的表面。表面处理的质量要求旧混凝土凿出的界面应完全暴露于主体混凝土粗骨料应暴露50%，表面粗糙度不应小于6mm。接缝表面应、连续浇水至少3至6小时，然后用湿麻袋覆盖，直到旧混凝土和粘结表面上没有清水，在保湿12至24小时后才能浇筑新混凝土<sup>[7]</sup>。

**（三）拱部脱空注浆 首先根据检测情况，明确需注浆加固的范围和数量**

注浆施工工艺按下列流程进行：钻孔——埋管——制浆——注浆——检测——清理 施工要点：（1）钻孔：找出空洞位置并进行标记，在空洞部位布设注浆压注空及排气孔，钻孔时应严格注意钻孔深度，严禁钻破防水板。（2）埋管：打孔完成之后埋设Φ42 注浆管，主要注重灌浆钢管与孔洞之间的缝隙应采用水泥砂浆等相应材料密封，要保证密封料的强度（3）制浆：采用42.5的普通硅酸盐水泥，浆液注意保持水灰比为0.5:1~1:1。（4）灌浆：灌浆检查管道的密封性。顺序从低到高。保持灌浆压力0.1~0.3MPa。（5）检测：用电锤钻孔检测灌浆效果通过。主要检查指标密实度和泌水率。（6）清理：检查孔后，附着物进行打磨、清理，并进行清理。灌浆管嵌入钻孔时，管口与围岩之间应留有5~10cm的间隙，以便浆液顺利流出。（7）灌浆管要加固牢靠。注意灌注压力适中，压力大时候，停顿5~10分钟，使浆料顺利扩散。待灌浆具有一定的自稳能力后，再拆除并及时封堵灌浆口<sup>[8~9]</sup>。

**（四）种植钢筋**

种植钢筋工艺流程：钻孔—— 清洁钻孔—— 灌胶 —— 插入锚杆—— 注胶。施工注意事项（1）植筋焊接点与粘接面距离不小于10cm；（2）采取冷却措施，（3）采用环形焊接施工的方法，即逐点逐根焊接一批焊接钢筋<sup>[10]</sup>。

**四、结束语**

通过采用钢波板高强螺栓及环氧砂浆填充的加固方式，从结构上分析，未破坏原隧道的整体结构，通过树胶材料填缝，是整个加固形成一个整体结构，加强原有结构的刚度，增加了隧道的使用寿命。从经济上看使用钢波板加固，对比二衬及钢架更换的加固方式，不使用二衬台车及模板及圬工材料，节约投资15%~25%。质量控制方面看，通过钢波板的在加工厂制作，现场安装，保证了制作品质。从工期对比看需要混凝土养护，通过移动门架结构的工作平台，无需中断交通也可施工，保障了交通正常运营且工期减少20%。当然钢波板加固也存在表面反光到至眩晕的问题。需通过表面涂装油漆改善反光特性的缺陷，保证运营交通安全。

**参考文献**

[1] 卢傲, 余顺新, 夏飞, 等. 波纹钢管桥涵标准化设计与应用 [Z]. 中交第二公路勘察设计研究院有限公司. 2015.  
[2] 李地红, 夏嫒, 王艳君, 等. 镶嵌式混凝土构件加固、补强、修复技术研究 [J]. 材料导报, 2019, 33(z1): 225-228.  
[3] 张连新. 桥梁隧道施工中的常见问题及质量控制对策 [J]. 工程技术研究, 2022, 7(6): 153-155.  
[4] 陈明奎, 张钰, 姚晓励, 等. 高山地区斜坡地形下波纹钢管明挖隧道力学特性研究 [J]. 隧道建设 (中英文), 2021, 41(z2): 290-298.  
[5] 战福军. 一种高填方波纹钢管涵洞的施工方法 [J]. 科技风, 2018(24): 95, 100.  
[6] 沈阳建筑大学. 一种装配式波纹钢-充填层复合隧道支护体系及其施工方法 :CN202110613226.9[P]. 2025-01-28.  
[7] 广州金土岩土工程有限公司. 一种应用于隧道掘进施工的劲性水泥土施工系统 :CN202011291041.2[P]. 2024-12-20.  
[8] 王静. 波纹钢管涵在生态脆弱区公路工程中的应用 [J]. 技术与市场, 2021, (7).  
[9] 徐平, 罗小祺, 郭玉娟, 等. 高填方区域的波纹钢管涵洞施工技术研究 [J]. 建筑技术, 2020, (10).  
[10] 李祝龙, 李鹏飞, 梁养辉, 等. 波纹钢管用作隧道逃生管道时的模拟分析 [J]. 公路交通科技, 2017, 34(8): 105-113.