

# Research on the Application of Subgrade Grouting Combined with Prestressed Anchor Cable Anchoring in the Emergency Repair of Small Displacement of Retaining Walls

Wei Zhang Mengyang Li Bainan Li

Southwest Transportation Construction Group Co., Ltd., Yunnan, Kunming, 650500, China

## Abstract

In mountainous areas of China, gravity retaining walls of highways frequently deform due to continuous rainfall and changes in groundwater. The traditional method of demolition and reconstruction has limitations such as long construction period, high cost, and significant impact on traffic. Based on the practice of the K88+600 section of the Yueman Expressway for relocating the old road, this paper addresses the small displacement hazard of the gravity retaining wall from GK0+086 to GK0+131, and proposes the “unload - grouting - anchoring” combined reinforcement technology. This technology reduces the soil pressure behind the wall by road unloading, improves the compactness and shear strength of the soil by using subgrade grouting, and forms a rigid protective system by combining prestressed anchor cables for anchoring, achieving effective control of the displacement of the retaining wall.

## Keywords

Small displacement of retaining wall; Roadbed grouting; Prestressed anchor cable; Emergency rescue and rep

# 路基注浆联合预应力锚索锚固在挡墙小移位抢险中的应用研究

张伟 李孟阳 李柏楠

西南交通建设集团股份有限公司, 中国·云南昆明 650500

## 摘要

我国山区公路重力式挡墙因持续降雨、地下水变化等因素导致变形频发, 传统拆除重建方式存在工期长、成本高、交通影响大等局限性。本文基于元蔓高速K88+600段改移老路工程实践, 针对GK0+086~GK0+131段重力式路肩墙小移位险情, 提出“卸载-注浆-锚固”联合加固技术。该技术通过道路卸载降低墙后土压力, 采用路基注浆提高土体密实度和抗剪强度, 配合预应力锚索锚固形成刚性防护体系, 实现挡墙位移的有效控制。

## 关键词

挡墙小移位; 路基注浆; 预应力锚索; 应急抢险

## 1 引言

### 1.1 研究背景与意义

我国山区公路建设中, 重力式挡墙作为常用的路基支挡结构, 广泛应用于路肩、路堤和路堑边坡的防护。然而, 受持续降雨、地下水变化、地基承载力不足等因素影响, 挡墙变形病害频发, 严重威胁道路通行安全。

传统挡墙病害处理方式以拆除重建为主, 但该方法存在明显局限性: 一是施工周期长, 通常需要 30~60 天, 严重影响道路通行; 二是工程造价高, 拆除、重建的材料和人工费用巨大; 三是交通影响大, 施工期间需全封闭或长时间

半封闭道路, 造成严重的交通拥堵和经济损失。因此, 研究快速、经济、有效的挡墙小移位应急抢险技术具有重要的工程价值和社会意义。

### 1.2 国内外研究现状

挡墙加固技术经历了从单一支挡到复合加固的发展历史。重力式挡墙、锚杆挡墙、加筋土挡墙等传统结构形式在工程中得到广泛应用。许振涛研究了路基悬锚式挡土墙的优化设计与现场修筑技术, 为锚固技术在挡墙工程中的应用提供了理论支撑<sup>[1]</sup>。

注浆加固技术在公路路基加固中的应用研究也取得了显著进展。刘延敏系统阐述了注浆技术的机理, 指出浆液通过填充、扩散、胶结作用可显著提高土体强度。

### 1.3 研究内容与技术路线

本文以元蔓高速 K88+600 段改移老路挡墙应急抢险工

【作者简介】张伟 (1978—), 男, 中国云南个旧人, 本科, 工程师, 从事交通工程公路板块研究。

程为研究对象,系统研究路基注浆联合预应力锚索锚固技术在挡墙小移位抢险中的应用。主要研究内容包括:(1)分析挡墙小移位的病害成因与抢险技术难点;(2)阐述“卸载-注浆-锚固”联合加固技术原理;(3)详细介绍施工工艺与关键技术要点;(4)验证工程应用效果并进行效益分析。技术路线为:工程实践→技术总结→效果验证→推广应用。

## 2 工程概况与病害特征

### 2.1 工程背景

元蔓高速K88+600改移老路工程位于云南省红河州境内,属于西南多雨山区。GK0+086~GK0+131段挡墙为重力式路肩墙,原设计墙高5.5m,实际测量最高约7.5m,墙身采用M7.5浆砌片石砌筑。该路段为既有公路改移工程,交通流量较大,对施工期间的交通组织要求较高。

### 2.2 病害成因分析

2024年雨季期间,该路段挡墙出现明显变形病害。经现场勘察分析,病害成因主要包括以下方面:(1)持续降雨导致墙后填土饱和,土体重度增加,主动土压力显著增大;(2)雨水下渗使地基土含水量增加,抗剪强度降低,地基抗滑能力减弱;(3)挡墙排水系统不畅,墙后积水无法及时排出,形成静水压力。

病害主要表现为:墙体向路基外侧位移,墙顶最大位移约15cm;路面出现纵向裂缝,裂缝宽度2~5cm;局部路段路面下沉,最大沉降约8cm。病害发展较快,若不及时处置,可能导致挡墙失稳甚至坍塌,严重威胁行车安全。

### 2.3 抢险技术难点

本工程抢险面临以下技术难点:(1)时间压力大,需在最短时间内完成抢险并恢复通行;(2)小移位状态下加固技术要求高,需在挡墙尚未完全失稳的情况下实施有效加固;(3)多雨地区施工环境限制,雨季施工需考虑降雨对施工质量和进度的影响;(4)交通组织复杂,需保障施工期间的半幅通行能力。

## 3 联合加固技术原理

### 3.1 技术总体思路

本工法基于“卸荷减载+加固补强+整体稳定”的核心思路,通过道路卸载、路基注浆、锚索锚固三重技术的协同作用,实现挡墙抢险加固。三种技术按特定时序配合,形成多重受力体系,确保加固后的挡墙具有足够的抗滑、抗倾覆稳定性。

### 3.2 道路卸载原理

道路卸载是抢险的第一道工序,通过挖除路面及表层路基土方(设计挖除深度1.5m),降低挡墙上部荷载,减少墙后土压力。根据库仑土压力理论,墙后填土高度降低可显著减小主动土压力,为挡墙复位和后续加固创造有利条件。卸载后,挡墙所受土压力可降低约25%~30%,有效缓解了挡墙的变形趋势。

### 3.3 路基注浆密实原理

路基注浆通过向土体注入水泥浆液,利用浆液的填充、

渗透、胶结作用改善土体工程性质。浆液在压力作用下填充土体孔隙,取代孔隙中的水分和空气,经凝结硬化后与土颗粒形成整体,提高路基土的密实度和抗剪强度。注浆加固后,路基土的黏聚力和内摩擦角可提高30%~50%,整体承载能力显著增强。

### 3.4 预应力锚索锚固原理

预应力锚索锚固是本工法的核心加固措施。通过钻孔将预应力锚索( $\varnothing 15.2\text{mm}$ 钢绞线)植入深层稳定土体,利用锚索提供的抗拔力平衡墙后土压力,限制挡墙水平位移。锚索与钢筋混凝土面板和地梁形成刚性防护体系,将挡墙与稳定地层连成整体,显著提升挡墙的抗滑、抗倾覆能力。

### 3.5 联合加固的协同效应

三种加固技术按“先卸载、再注浆、后锚固”的时序配合,形成协同加固效应:卸载降低土压力,为注浆和锚固施工创造条件;注浆提高路基土强度,增强锚索锚固效果;锚索提供主动支护力,与注浆加固后的土体共同形成稳定体系。

## 4 施工工艺与关键技术

### 4.1 总体工艺流程

本工法采用“卸载-注浆-锚固-恢复”四阶段施工流程,主要工序包括:施工准备→安全防护与交通疏导→道路卸载→路基注浆→钢筋混凝土面板施工→锚索地梁施工→路基回填→路面恢复→验收放行。各工序紧密衔接,总工期控制在15~20天。

### 4.2 道路卸载施工技术

道路卸载采用挖掘机分层挖除路面结构层及路基土方,挖除深度1.5m。施工要点:(1)从病害区域两端向中间推进,避免一次性大面积开挖;(2)严格控制开挖边界,避免机械碰撞原有挡墙;(3)挖除土方分类堆放,合格土方预留用于回填;(4)开挖完成后对基坑边坡进行临时防护,采用彩条布覆盖或喷射混凝土封闭。

### 4.3 路基注浆施工技术

注浆孔按梅花形布置,孔距1.5m,孔深根据路基厚度确定,一般深入原状土层0.5m。浆液采用P.O42.5级普通硅酸盐水泥配制,水灰比0.5~0.6,可掺入适量减水剂改善流动性。注浆采用分段注浆工艺,从下至上逐段进行,注浆压力控制在0.5~1.0MPa。注浆过程中观察注浆量和返浆情况,当注浆量达到设计要求或出现明显返浆时停止注浆。注浆完成后养护不少于7天,待浆液达到设计强度后方可进行下道工序。

### 4.4 钢筋混凝土面板施工技术

挡墙外侧墙面处理是确保面板与挡墙协同工作的关键。首先清理墙面松动块体和杂物,然后采用风镐凿毛处理,增强混凝土与浆砌片石的粘结力。钢筋网片采用HRB400级钢筋,主筋C16,间距200mm,分布筋C12,间距250mm。模板采用组合钢模板,支设前涂刷脱模剂,确保混凝土表面质量。混凝土采用C30商品混凝土,插入式振捣器振捣密实,表面抹平压光。浇筑完成后及时覆盖养护,养护期不少于7天。

#### 4.5 锚索地梁施工技术

锚索地梁施工是本工法的核心工序，施工质量直接影响加固效果。

钻孔：采用地质钻机按设计角度（俯角 $15^{\circ} \sim 20^{\circ}$ ）钻孔，孔径 $\Delta 130\text{mm}$ ，孔深根据锚固段长度确定，一般 $25\sim 30\text{m}$ 。钻孔精度控制要求：孔位偏差 $\leq 5\text{cm}$ ，孔深偏差 $\leq 10\text{cm}$ ，垂直度偏差 $\leq 1\%$ 。

清孔：钻孔完成后，用高压风或清水冲洗孔道，清除孔内泥土、岩屑，确保孔道干净通畅。

锚索安装：预应力锚索采用 $\varnothing 15.2\text{mm}$ 高强度低松弛钢绞线，按设计长度组装锚索体，包括锚固段、自由段和张拉段。锚索缓慢放入孔道，采用定位支架确保锚索居中，端部预留足够张拉长度（ $\geq 50\text{cm}$ ）。

孔道注浆：采用纯水泥浆注浆，水灰比 $0.4\sim 0.5$ ，注浆压力 $0.3\sim 0.5\text{MPa}$ ，确保浆液填充密实。

地梁施工：地梁截面尺寸 $60\text{cm} \times 60\text{cm}$ ，主筋 $4\text{C}20$ ，箍筋 $\text{C}10@200\text{mm}$ 。地梁与钢筋混凝土面板连成整体，形成刚性支承体系。

张拉锁定：待注浆体和地梁混凝土达到设计强度（不低于 $75\%$ ）后，采用张拉设备分级张拉锚索。张拉采用“双控”法，以张拉应力控制为主，伸长量校核为辅。达到设计预应力值后锁定，记录张拉数据。

#### 4.6 路基回填与路面恢复技术

路基回填采用预留的合格土方分层回填，每层厚度不超过 $30\text{cm}$ ，采用压路机分层压实，压实度 $\geq 95\%$ 。路面结构层按原设计恢复： $15\text{cm}$ 级配碎石底基层+ $25\text{cm}$ 水泥稳定碎石基层+ $6\text{cmAC-20}$ 中粒式沥青混凝土下面层+ $4\text{cmAC-13}$ 细粒式沥青混凝土上面层。各结构层施工严格遵循公路路面施工规范，控制压实度、平整度、厚度等指标，确保与原有路面衔接平顺<sup>[2]</sup>。

#### 4.7 关键工序控制要点

(1) 锚索施工质量控制：严格控制钻孔角度、深度及注浆质量，张拉过程中分级加载，避免预应力损失；(2) 注浆施工质量控制：确保注浆孔布设均匀，浆液配合比准确，注浆压力稳定，保证路基密实度；(3) 路面恢复质量控制：各结构层压实度、平整度必须达标，防止后期出现路面沉降开裂。

### 5 工程应用效果与效益分析

#### 5.1 工程实例概况

元蔓高速 $\text{K}88+600$ 段改移老路 $\text{GK}0+086\sim\text{GK}0+131$ 段挡墙应急抢险工程采用本工法实施加固。主要工程量包括：挖除土方 $360\text{m}^3$ ，路基注浆 $1200\text{m}$ （钻孔总长）， $30\text{cm}$ 厚钢筋混凝土面板 $180\text{m}^2$ ， $60\text{cm} \times 60\text{cm}$ 钢筋混凝土梁 $10$ 道， $\varnothing 15.2\text{mm}$ 预应力锚索 $20$ 道（单道长 $25\text{m}$ ），路基回填 $360\text{m}^3$ ，沥青路面恢复 $400\text{m}^2$ 。总工期 $18$ 天，较原计划拆除重建方案缩短工期约 $40\%$ 。

#### 5.2 加固效果检测

施工完成后，对加固效果进行了全面检测：(1) 挡墙

位移监测显示，加固后挡墙位移量控制在设计允许范围内，墙顶最大位移由 $15\text{cm}$ 减小至 $3\text{cm}$ 以内，且趋于稳定；(2) 路面沉降和开裂问题彻底解决，路面平整度符合规范要求；(3) 路基压实度检测合格率达到 $100\%$ ，混凝土强度满足设计要求；(4) 结构长期稳定性监测 $6$ 个月，未发现异常变形<sup>[3]</sup>。

#### 5.3 经济效益分析

与拆除重建方案对比，本工法具有显著的经济效益：(1) 直接成本节约约 $30\%$ ，主要节省拆除、重建的材料和人工费用；(2) 工期缩短约 $40\%$ ，减少施工期间的间接费用；(3) 快速恢复通行，避免因道路长期封闭造成的交通拥堵损失，间接经济效益显著。以本工程为例，采用联合加固技术较拆除重建方案节约造价约 $45$ 万元。

#### 5.4 社会效益评价

本工法的应用产生了良好的社会效益：(1) 应急抢险效率高，能快速消除挡墙安全隐患，保障过往车辆和行人安全；(2) 施工过程对周边环境扰动小，交通疏导有序，减少了对沿线居民生产生活的影响；(3) 为类似挡墙小移位应急抢险提供了成熟的技术方案，具有良好的推广应用价值。

### 6 结论与展望

#### 6.1 主要结论

(1) 路基注浆联合预应力锚索锚固技术可有效处置挡墙小移位险情，通过“卸载-注浆-锚固”组合工艺实现快速抢险和有效加固；(2) 该技术具有抢险效率高、加固效果稳、适用性强的特点，特别适用于多雨地区重力式挡墙小移位应急抢险；(3) 工程实践验证了该技术的可靠性与经济性，相比拆除重建方案节省造价约 $30\%$ 、缩短工期约 $40\%$ 。

#### 6.2 创新点

(1) 针对小移位状态的应急抢险技术集成，形成了完整的“卸载-注浆-锚固”联合加固工法；(2) 适应多雨地区施工环境的快速施工技术，解决了雨季抢险施工难题；(3) 无需大规模拆除的加固理念，最大限度保留原有结构，节约资源、保护环境。

#### 6.3 研究展望

(1) 开展不同地质条件下技术参数的优化研究，建立更完善的设计计算方法；(2) 加强长期监测数据积累，开展加固结构耐久性评估；(3) 结合智能化监测与预警系统，实现挡墙病害的早期发现和及时处置；(4) 推进技术标准化，编制相应的施工技术规范，促进技术的推广应用。

#### 参考文献

- [1] 许振涛. 路基悬锚式挡土墙优化设计与现场修筑技术研究[D]. 长安大学, 2011.
- [2] 张常洲. 预应力锚板墙支护技术研究与应用[D]. 重庆大学, 2006.
- [3] 刘延敏. 注浆加固技术在公路路基加固中的研究与应用[J]. 交通世界, 2022.