

文章编号: 1002-0268 (2005) 04-0027-04

# 非稳定边坡坡间挡土墙双锚建造技术研究

高永涛<sup>1</sup>, 成子桥<sup>2</sup>, 吴顺川<sup>1</sup>, 金爱兵<sup>1</sup>, 孙金海<sup>1</sup>

(1. 北京科技大学, 北京 100083; 2. 河南省高速公路发展有限责任公司, 河南 郑州 450052)

**摘要:** 在非稳定边坡上修筑可以长期稳定的挡土墙是长期困扰国内外公路、铁路建设的重大技术难题。本文以山东栖霞—莱阳高速公路 K59+470~630 段工程为背景, 对坡间挡土墙的设计方法和施工技术进行了系统深入的研究, 首次提出并成功实施了集护坡与挡土为一体的支挡结构, 将预应力锚杆和锚定板技术进行有效组合, 经理论探讨和工程实践形成了一项适用于坡间挡土墙建造的新技术——双锚支挡建造技术, 成功地解决了这一难题。

**关键词:** 公路边坡; 铁路边坡; 挡土墙; 加固; 锚固

中图分类号: U417.1

文献标识码: A

## Study of Double Anchor Constructing Technique and Its Application in Unstable Slope Retaining Wall

GAO Yong-tao<sup>1</sup>, CHENG Zi-qiao<sup>2</sup>, WU Shun-chuan<sup>1</sup>, JIN Ai-bing<sup>1</sup>, SUN Jin-hai<sup>1</sup>

(1. University of Science & Technology of Beijing, Beijing 100083, China;

2. The Highway Development Limited Company of Henan Province, Henan Zhengzhou 450052, China)

**Abstract:** How to build stable retaining wall on unstable slope is a question puzzling highway and railway constructors for a long time. This paper thoroughly study the design method and construction technique of building stable retaining wall on slope according to the practical engineering of Qixia-Laiyang expressway in Shandong province. In this paper the authois bring forward for the first time and successfully implement a bracing structure with double anchor technique which integrates supporting slope and blocking soil technique. This technique effectively combines pre-stress anchor with bolted plate technique and verified by theoretical research and engineering practice. By using the double anchor support technique it is possible to solve the difficult problem of building stable retaining wall on unstable slope.

**Key words:** Highway slope; Railway slope; Retaining wall; Reinforcement; Anchoring

采用挡土墙作为高填方路基段的支挡结构是公路及铁路建设中常见的结构形式, 坡间挡土墙是其中难度最大、结构最复杂, 也是最易失稳的结构形式之一。许多工程投入使用一段时间以后 (个别的甚至在建设过程中), 经常出现不同程度的失稳现象: 墙体开裂、路面下沉, 严重者甚至有可能酿成墙体倾覆、交通中断、人员伤亡的严重事故。因此, 如何从研究、设计和施工阶段即采取有效的技术措施, 消除此类挡土墙失稳的事故隐患, 是关系到交通安全的重大

工程技术难题。本文结合具体的工程实践, 为解决这一难题作了成功的探索。

### 1 坡间挡土墙失稳的基本类型及原因分析

#### 1.1 失稳类型

所谓坡间挡土墙是指半填半挖段的路基挡土墙, 一般位于自然边坡的坡面上。它是所有挡土墙结构中难度最大、结构最复杂也是最易失稳的结构形式。主要有两种失稳类型。

收稿日期: 2004-10-20

作者简介: 高永涛(1962—), 男, 山东乳山人, 教授, 博士生导师, 第八届中国青年科技奖获得者, 主要从事岩土工程、土木工程、采矿工程研究。

### 1.1.1 单纯失稳(图1(a))

所谓单纯失稳是指由于填方质量不好, 墙体支撑能力不够, 路面荷载过大而引起墙体本身的失稳, 常见的各类挡土墙失稳大多属于此类情况。

### 1.1.2 间接失稳(图1(b))

此类失稳是指由于坡体滑移导致的墙体基础外移, 容易诱发整个墙体倾覆的严重工程事故, 这是所有挡土墙事故中最严重的情形, 也是本文研究的重点所在。

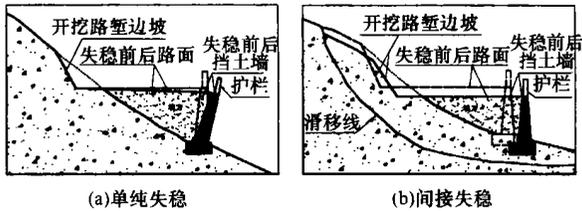


图1 坡间挡土墙失稳类型

## 1.2 坡间挡土墙间接失稳的主要特征

(1) 坡体滑动 这是此类失稳的根源。其特点是由于挡土墙所在原坡体发生滑动, 进而导致整个墙体外移失稳。

(2) 路面开裂 墙体失稳后, 首先可察觉的迹象是路面产生纵向裂纹, 严重者甚至可在路面的横断面上形成阶梯状。

(3) 发展迅速 上述两个特征与单纯失稳的特征类似, 其最大的不同点在于此类失稳发展十分迅速。一般情况下, 只要出现迹象, 即会在短时间内(不超过1个月)发展成墙体倾覆、交通断绝的严重事故, 没有足够的后续加固治理时间。对此类事故处治的重点应是预先防止而不是事后治理。

## 1.3 原因分析

### 1.3.1 自然原因

(1) 原坡体本身不稳定, 即使不扰动, 也可能滑塌, 又由于勘察工作不详细, 没能预先采取有效的预防措施, 发生事故是必然和不可避免的; (2) 由于雨水渗透、采空区的存在及地震等原因也可能诱发坡体滑动。

### 1.3.2 人为原因

(1) 经过人工挖填后, 打破了原来坡体的自然平衡, 开挖揭露面可能导致雨水的大量渗入, 改变了边坡岩土体的力学特性。(2) 支撑措施单一, 现行的规范, 没有对坡间挡土墙提出专门的设计要求, 一般只是采用一种单一的设计形式(或加筋土, 或锚定板, 或重力式), 没有根据坡间挡土墙的失稳特点, 将挡土墙的施工当作边坡加固的组成部分, 常常是单纯侧

滑失稳避免了, 而更为严重的间接侧滑却发生了。

## 2 主要的工程对策

### 2.1 基本思路

(1) 将边坡加固与挡土墙的建设融为一体。把挡土墙的建设当作边坡加固的组成部分, 在挡土墙施工的同时即实施对边坡的加固, 反过来又稳定了挡土墙本身。

(2) 将锚定板、预应力锚杆等已在岩土工程界广泛应用的成熟技术进行科学的组合, 针对研究对象所在边坡的工程地质情况和其本身的结构特点, 探索出一种新的、有效的并且适用于坡间挡土墙建造的新的技术组合。

(3) 结合具体工程, 深入研究不同锁定方式的适用范围、工艺要求及组合特点, 创造出一种具有广泛应用推广价值的理论及工程成果。

### 2.2 可采用的工程方案

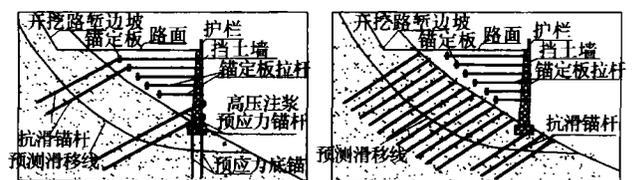
坡间挡土墙的建造方案可根据所在边坡坡体的稳定情况分为两类: (1) 坡体稳定时, 可采用常规标准方案建造; (2) 坡体不稳定时, 应采用边坡加固与挡土墙建造相结合的方案。由此可见, 判定边坡坡体的稳定性是初步设计选择方案时必须考虑的首要问题。

#### (1) 方案1: 固坡与建墙相结合

见图2(a)。该方案的要点是在墙体的中下部, 运用墙体作为承载体, 打下向预应力锚杆, 使其起到稳定墙体本身和加固边坡的双重作用。墙体上部一般根据墙体内侧面离边坡坡面的距离不同, 分别采用不同规格的锚定板作为支撑手段以稳定墙体本身, 此方案适用于各类坡间挡土墙的建造, 墙体一般采用肋柱式钢筋混凝土结构。

#### (2) 方案2: 固坡与建墙相分离

见图2(b)。该方案主要特点是采取必要的工程措施先将边坡加固, 以保证挡土墙有一个可靠并且稳定的基础。挡土墙可选用加筋土、锚定板、重力式等多种常规标准方案。此类方案一般适用于边坡滑移特征明显、无法进行挡土墙基础开挖的地段。



(a) 固坡与建墙相结合

(b) 固坡与建墙相分离

图2 固坡与建墙加固方案

### (3) 方案比较

两个方案均是在首先稳定边坡的基础上实现所建挡土墙的稳定, 其中前者是间接加固边坡, 后者为直接加固边坡, 二者目标一致。

方案1实施后, 将边坡加固与墙体结构的支挡结合成一个整体, 将墙体作为预应力锚杆的承载结构, 挡土墙成为边坡加固支挡结构的组成部分, 二者紧密结合, 互为整体, 是坡间挡土墙加固的最理想方案, 也是本文研究的重点。

方案2实施后, 可保证施工过程中边坡的稳定, 但由于在坡面上直接加固, 无法形成固坡与建墙为一体的承力结构, 工程量大。此方案只适用于无法开挖挡土墙基础的极端情况。

### 2.3 技术要点

方案1将预应力锚固和锚定板这两种原本相对独立的专门技术相结合成一新的技术组合——双锚支护技术, 其实施要点为:

(1) 凡墙体内壁与原坡面(清表压实后)相距小于4m者, 预打(也可事后打)下向斜孔, 安装预应力锚杆, 在墙体外侧肋柱上张拉锁定。所有预应力锚杆深度应超过计算滑移面5m。

(2) 凡墙体内壁与原坡面(清表压实后)相距大于4m者, 采用锚定板方案, 拉杆延至肋柱上施加预应力锁定(锁定方式根据实际情况另定), 其基本设计参数可参照规范或手册。

(3) 特殊情况下, 在挡墙的基础部位打下向垂直孔, 安装预应力底锚以将基础锁定, 锚固深度应超过计算滑移面6m, 既可稳定挡土墙基础, 又加固了边坡。

(4) 根据需要采用不同的注浆方式, 利用锚定板和锚杆孔预埋注浆管, 分别对坡体和填方体进行注浆加固, 进一步提高其稳定性和承载能力。

## 3 理论计算

为验证双锚方案的可靠性, 我们以方案1为基础, 采用FLAC<sup>2D</sup>软件, 建立了计算模型, 将其与普通锚定板挡土墙方案进行了比较, 计算结果表明: 采用双锚方案后, 建成后的坡间挡土墙的稳定性的提高, 从理论上证明了方案1的可靠性。

### 3.1 动荷载影响

图3表明: 在路面动荷载的影响下, 墙体表面位移量有明显差异, 这种差异采用一般加固措施难以消除, 只有采用预应力锚固措施才能消除, 而双锚加固则是应采用的有效技术手段。

### 3.2 原始坡角影响

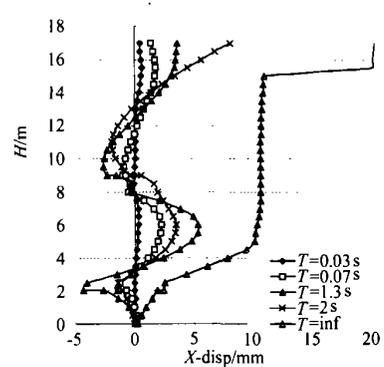


图3 动荷载作用下挡土墙墙面不同位置处的水平变形量

图4表示在不同原始坡角下, 挡土墙墙体表面的垂直变形曲线, 很明显, 墙体表面变形量随着原始坡角的增大而明显增大, 在原始坡角大于20°以上, 这种变形量发生突变, 必须进行有效加固。

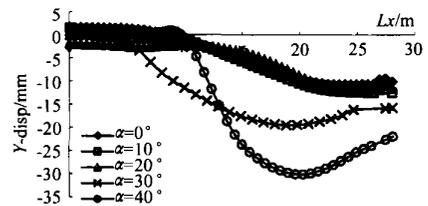


图4 不同原始坡角下路面的垂直变形曲线

### 3.3 方案比较

计算表明: 采用双锚技术加固后, 建成后的挡土墙的整体稳定性明显优于普通锚定板挡土墙, 路面下沉量显著减小, 且原始坡角越大效果越明显(见图5)。

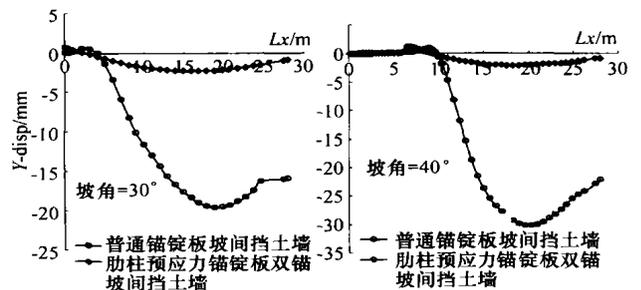


图5 不同坡角、不同加固方案建造挡土墙的路面下沉曲线

### 3.4 基本结论

除上, 我们还对双锚技术的其它工艺环节进行了计算分析, 结果均表明: 在原始坡角超过25°以上的非稳定边坡上建造坡间挡土墙, 采用以双锚加固技术为基础的建造方案是最佳的技术选择。

## 4 工程实践

1999年初, 同三高速公路栖霞—莱阳段K59+470~630路基需要半填半挖建造在一岩石边坡上, 路

基经过处边坡倾角为  $42^\circ$ ，由于路基下边坡倾角较陡（大于  $45^\circ$ ），难以建造填方路基。前期工程地质调查发现：此段边坡岩体破碎，属于非稳定边坡，经充分前期研究论证，决定采用双锚技术建造该挡土墙。

#### 4.1 需要克服的工程难题

(1) 填土和双锚互相影响和干扰，如何保证各自的施工质量？采取何种填土顺序保证墙体的建造质量？

(2) 预应力锚固（侧锚和底锚）是本项目能否成功的关键和核心，预应力锚杆如何安装？何时安装？如何达到稳定墙体和加固边坡的双重目的？

(3) 锚定板施工过程中实施高压注浆是本项目的发明创造，没有先例可鉴。这套设想的工艺能否实现，如何实现？

(4) 工艺复杂、工序繁多，需要确定并落实一套科学的且适用于本工程试验的实验和检测手段，以对施工过程中非常规工艺中的质量进行有效的管理和控制。如此等等，所有工艺问题均需在实践中探索解决。

#### 4.2 确定施工顺序

由于整个施工环节较多，工艺比较复杂，不确定科学的施工顺序就难以保证工程的顺利完成，为此，我们编制了详细的施工框图（图6），严格规定了不同工艺环节的具体工艺要求，为整个工程的顺利完成奠定了基础。

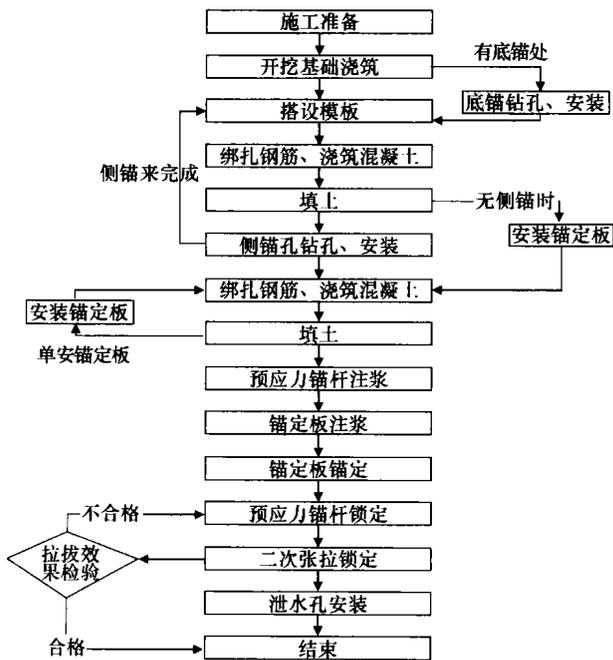


图6 主要施工顺序框图

#### 4.3 创新注浆工艺

##### 4.3.1 预应力锚固注浆

由于边坡岩土体破碎，设计要求在锚杆安装的同时实施高压注浆，以期实现对填方土体和填方岩土体的改性，但面对不同的注浆受体，如何实现注浆确非易事：(1) 可能出现四处跑浆现象，根本实现不了高压注浆；(2) 可能引起填方土体的隆起；(3) 可能诱发边坡体的崩塌。此三条中任何一条发生，都无法达到设计要求，也就无法保证最终的工程效果。为此现场进行了反复实验，创造并成功运用了一项注浆新工艺——分段多次注浆技术，成功地克服了上述困难（见图7）。

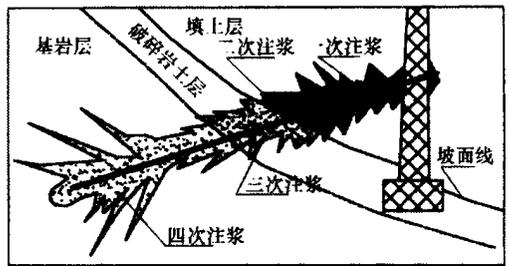


图7 分段多次高压注浆浆液扩散原理图

第1次注浆，浆液全部约束在注浆孔范围内，其初凝后便成为各段注浆的“隔离塞”，其可以保证浆液在设定的部位有效扩散。

第2次注浆，浆液在填方体中扩散，既实现了对填方体的改性，同时又为在边坡浅层土体中实现高压注浆创造了条件。

第3次注浆，浆液约束在边坡表土层中扩散，保证了该层的改性效果。

第4次注浆，浆液在边坡深部岩土层中扩散，此次注浆可完全达到设计注浆压力，实现了对边坡深层岩土体的改性。同时又由于其位于锚杆的锚固段，可大幅度提高锚杆的整体承载力（实测为20%）。

##### 4.3.2 锚定板锚固注浆

在锚定板安装过程中实施注浆，国内外尚无应用先例，如何达到设计目的，尚有许多工艺问题需要在实践中摸索，其中如下两项尤为重要：(1) 如何采用适当的注浆参数以保证浆液的均匀扩散，既能实现填方体改性的目的，又能防止由于浆液扩散的不均匀而可能导致的路面不均匀沉降。(2) 由于上部填方的厚度对注浆压力的确定有直接影响，如何确定不同部位锚定板注浆的时机、方式和注入压力，以达到最佳的注浆效果。

施工初期，专门选择一个弃土场模拟挡土墙的填方条件，设计了一组注浆试验，最终确定采用分层分段的注浆工艺，成功解决了上述难题。(1) 同层上分段，即指在同一水平层上的锚定板，（下转第34页）

缩总率,用浸水 CBR 膨胀率作为控制指标来判别压实 膨胀土。用于路基填料土的膨胀性判别见表 4。

表 4 路基填料用土膨胀性工程特性分类

分类	野外地质特征	主要粘土矿物特征	> 0.002 粘粒含量 / %	自由膨胀率 / %	CBR 膨胀量 / %
强膨胀土	灰白色、灰绿色,粘土细腻,滑感特强,网状裂隙极发育,有蜡面,易风化呈细粒状、鳞片状。	蒙脱石 伊利石	> 50	> 90	> 13
中等膨胀土	以棕、红、灰色为主,粘土中含有少量粉砂,滑感较强,裂隙较发育,易风化呈碎粒状,含钙质结核。	蒙脱石 伊利石	35~50	65~90	8~13
弱膨胀土	黄褐色为主,粘土中含较多粉砂,有滑感,裂隙发育,易风化呈碎粒状,含较多钙质或铁锰结核。	蒙脱石 伊利石 高岭石	< 35	40~65	5~8

注: 1. CBR 试验制样控制标准宜采用湿法重型击实标准; 2. 条件允许时, 应进行重塑压实土的胀缩总率试验。

### 4 结论

- (1) 土的膨胀性判别是膨胀土地区工程建设中的一个关键技术问题。
- (2) 从实际工程出发, 结合高速公路的工程特点分析现行膨胀土的优缺点。
- (3) 路基填筑土的膨胀性可利用浸水 CBR 膨胀率来代替胀缩总率, 进行判别和分类。
- (4) 结合具体工程对膨胀土的性质进行分类和统计, 建立适合当地条件和工程特点的判别和分类标准, 对高速公路这一类大量利用土方的工程是非常必

要的。

### 参考文献:

- [1] 廖世文. 膨胀土与铁路工程 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 1984.
- [2] 中华人民共和国交通部. 公路土工试验规程 (JTJ051-93) [S]. 北京: 人民交通出版社, 1993.
- [3] 中华人民共和国建设部. 膨胀土地区建筑技术规范 (GBJ112-87) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1988.
- [4] 中华人民共和国铁道部. 铁路工程地质膨胀土勘测规则 (TB10042-95) [S]. 北京: 中国铁道出版社, 1995.
- [5] 刘特洪. 工程建设中的膨胀土问题 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997.

(上接第 30 页)

沿其拉杆从里到外, 每隔 4m 为一个注浆段, 采取同一设定的注浆压力, 分段逐次完成注浆。(2) 同段上分层, 即在垂直方向上, 不同水平层上的同一注浆段, 按不同的设定注浆压力实施注浆。

施工过程中, 我们还对墙体建造、填土与夯实、锚杆和锚定板的安装等诸多工艺进行了改进, 保证了工程的顺利完成, 鉴于篇幅有限, 本文不作详述。

### 5 结束语

2000 年 7 月该项工程全部结束, 至今已安全运行了近 4 年。经过 36 个月的连续观测, 整个边坡体及挡土墙本身呈完全稳定状态, 说明双锚技术用于非稳定边坡坡间挡土墙的建造是成功和可靠的, 该项目所取得的理论及技术成果可在类似工程中广泛推广和应用。

### 参考文献:

- [1] Jean-louis Briaud, Wiliam F Powers, David E Weatherby. Should

- Gouted Anchors Have Short Tendon Bond and Length? [J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering (ASCE), 1998, 124 (2): 110-118.
- [2] 高永涛, 张友葩, 吴顺川, 等. 滑移岩石边坡加固后的稳定性分析 [J]. 岩土力学与工程学报, 2002, 21 (增 2): 2562-2569.
- [3] Chungsik Yoo. Behaviour of Braced and Anchored Walls in Soils Overlying Rock [J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering (ASCE), 2001, 127 (3): 225-232.
- [4] 张友葩, 高永涛, 王杰林, 等. 动荷载下土质边坡的失稳分析 [J]. 北京科技大学学报, 1998, 25 (2): 110-117.
- [5] 高永涛, 张怀静, 等. 高填方路基单纯侧滑失稳治理的理论研究及工程应用 [J]. 公路交通科技, 2004, 21 (9): 9-12.
- [6] 张友葩, 高永涛, 等. 交通荷载下高岭铺公铁立交桥挡土墙失稳模拟 [J]. 有色金属, 2003, 50 (2): 96-100.
- [7] 高永涛, 张友葩, 等. 土质边坡抗滑桩机理分析 [J]. 北京科技大学学报, 2003, 25 (2): 117-123.
- [8] Wu Shunchuan, Zhang Youpa, Gao Yongtao Study on Range Interval Distance of Prestressed Anchor Bars Using Update Backpropagation Neural Network [J]. Journal of Coal Science & Engineering (China), 2003, 9 (2): 35-39.