

挡土墙加固及 施工技术

北京科技大学土木与环境工程学院

二零零三年五月

概 述

■ 挡土墙的作用

挡土墙是各类工程建设中常见的支挡结构形式，它具有结构简单、占地少、施工方便和造价低廉等诸多优点。目前，不仅广泛应用于公路、铁路、城市建设，同时应用于水坝建设、河床整治、港口工程、水土保持、土地规划、山体滑坡防治等领域。

概 述

■ 挡土墙的分类

挡土墙的种类很多，按照其结构特点可以分为：

- (1) 重力式挡土墙；
- (2) 悬臂式挡土墙；
- (3) 扶臂式挡土墙；
- (4) 支撑式挡土墙；
- (5) 锚定板挡土墙；
- (6) 板桩墙挡土墙；
- (7) 加筋土挡土墙。

概 述

■ 挡土墙存在问题

挡土墙的主要载荷是土压力和相关的外来载荷，随着其使用时间的增长，挡土墙的稳定性就会减弱，甚至会出现不同程度的失稳现象。尤其是在频繁的外部载荷和地震、水灾等自然因素作用下，挡土墙的失稳现象表现的更加突出。在公路交通建设中，几乎所有的跨线大桥，山区公路均建有挡土墙。在动载荷下挡土墙的失稳日趋严重，如：

概 述

- ❖ 始建于80年代的滨州黄河大桥南北接线的挡土墙，墙高6m，从1991年开始，挡土墙逐渐开始发生变形，墙体外倾，到1997年墙体的最大变形达280mm，其中南接线西侧甚至发生过坍塌事故，严重威胁到整座大桥的交通安全。

概 述

- ❖ 建成于1990年前后的104国道界河立交桥，自建成初期即发生轻微的墙体外移现象。从1997年开始，墙体的外鼓变形加剧，到2000年6月份，墙体最大的位移量达到100mm，绝对位移量超过200mm，路面局部发生纵向开裂，墙体的顶部面板开始脱落，墙体整体失稳，并有进一步加剧的趋势。

概 述

❖ 位于山东省淄博市境内的辛店大桥，纵向长度600m的挡土墙均出现不同程度的外倾和外鼓现象，局部的外鼓达150mm之多，从而严重威胁到了公路运输的安全。

概 述

- ❖ 2001年9月27日，洛阳-三门峡高速公路K104+940-K105+100段坡间挡土墙，突然随坡体下滑，塌方量达12万 m^3 以上，半幅路基平均下陷深度为5m，致使原定通车时间滞后3个多月。
- ❖ 京沪高速公路（化临段）挡土墙在建设过程中即发生不同程度的侧滑现象，不得不重新设计和加固。

概 述



图1 失稳的加筋土挡土墙

概 述



图2 失稳的坡间挡土墙

概 述



图3 垮塌的重力式挡墙

概述



图4 垮塌的护坡挡墙

概 述



图5 洛三线垮塌的坡间挡墙

概 述

由此可见，挡土墙的失稳问题不是个例，而是带有普遍性。仅山东省境内就有不少于20座各类挡土墙发生不同程度的失稳现象。国内类似工程有几百处，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，如何在设计和施工阶段采用有效的工程措施，以消除挡土墙失稳的事故隐患是事关交通安全的重大工程技术难题。

概 述

■ 失稳挡土墙的加固方法

主要有预应力锚固、重力式翼墙、后踝式扶臂墙、喷射混凝土和预应力锚杆联合加固以及加筋喷射混凝土和预应力锚杆联合加固等。

概 述

在实际工程中，由于挡土墙所承受的外部载荷环境不同、回填土性质以及挡土墙的类型不同，因而，结构失稳的原因和所采用的加固方法以及同一种方法所选用的加固参数也不尽相同，所以，问题的研究必须有针对性。即针对某一类型的挡土墙的失稳情况，从实际出发进行比较系统的研究，了解它的失稳机理并选择一种切实可行的加固方法，从理论和实践中加以证明其可行性并进而推广应用。

加筋土挡土墙失稳的基本特征 及原因分析

■ 失稳特征

据调查，加筋土挡土墙虽然建设的年代、应用对象甚至具体的设计参数不尽相同，但由于基本结构是相似的，因此其失稳现象都有着共同的特征：

1、**墙体外鼓**。这种现象约占70%，主要有以下两种表现形式：

加筋土挡土墙失稳的基本特征 及原因分析

- ❖ (a) 弧形外鼓(图6a)。调查发现，全国现有的加筋土挡土墙运行5年以上的，都不同程度地出现了墙体外鼓，路面两侧护栏内倾，且墙体越高，外鼓现象越严重，外鼓位移最大处一般发生在离地面高度的 $2/3$ 处。
- ❖ (b) S形外鼓(图6b)。这种现象不是孤立存在的，一般伴随着弧形外鼓出现(例如G104界河立交桥)，其主要特征是：总体仍属弧形外鼓，但在墙体中下部又出现另一外鼓现象。

加筋土挡土墙失稳的基本特征 及原因分析

2、墙体外倾(图6c)。这种现象约占30%，主要特征是：墙体整体外倾、路边护栏外倾（如滨州黄河大桥北接线东侧墙体）。

3、路面开裂。所有出现失稳现象的加筋土挡土墙，一般都伴随着路面纵向开裂，严重者裂缝宽度达5—20mm，路面有无裂缝，是判别墙体是否整体失稳的最主要的特征。

4、拉筋与面板脱离，造成墙体面板局部单块滑落。

加筋土挡土墙失稳的基本特征 及原因分析

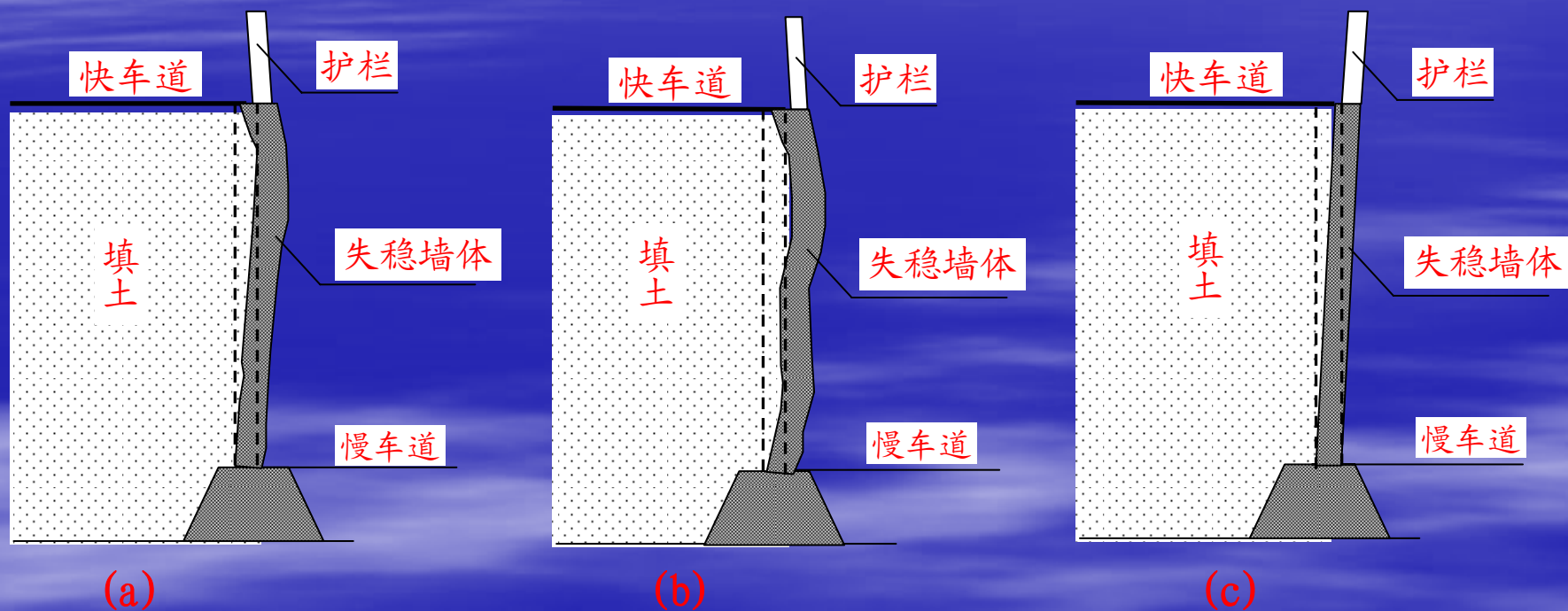


图6 加筋土挡土墙失稳特征示意图

加筋土挡土墙失稳的基本特征 及原因分析

■ 原因分析

加筋土挡土墙是国内外已广泛应用的成熟技术，我国也制定了相应的设计与施工规范（JTJ015-90）。但为什么加筋土挡土墙在建成初期或运行一定时期后却相继发生了轻微变形以至发展成严重失稳变形呢？经综合分析，其存在着外在和内在两方面的原因：

加筋土挡土墙失稳的基本特征 及原因分析

1、外在原因

(a) 我国大规模建设加筋土挡土墙时期，交通流量远不及现在大。例如：滨州黄河大桥81年以前日交通量平均为3085辆，到2000年已增至14890辆；山东省G104界河立交桥建成初期（1989年），日均交通量为2168辆，至2000年达到7645辆，且大型运输车辆增多，超载严重（最大车货总量超过100吨），直接导致路面动荷载剧增，超过了原设计路基的承载能力。

加筋土挡土墙失稳的基本特征 及原因分析

(b) 对于一般车流量很大，动荷载相对较高的路段，墙体变形一般主要受动荷载的影响，出现严重的外倾失稳，造成顶层拉筋断裂、面板脱落。

(c) 施工质量不高，尤其初期填方不实，拉筋松弛或拉筋材料选材不适当甚至不合格也是造成加筋土挡土墙失稳的不可忽视的外在原因。

加筋土挡土墙失稳的基本特征 及原因分析

2、内在原因

(a) 车辆动荷载所引起的侧压力沿垂直方向遵从布西涅斯克解，即在弹性半空间体上作用一压力，其应力分布是上大下小，而主动土压力是上小下大，二者作用的迭合，即在离地面高度的 $2/3$ 处形成最大的外推力。因此，墙体外鼓是必然的。但外鼓不一定失稳，只要外推力不超过拉筋的抗拉强度，墙体仍可保持相对稳定，而判别挡土墙是否失稳的最明确的外在标准是路面是否开裂及面板是否脱落。

加筋土挡土墙失稳的基本特征 及原因分析

(b) 加筋土挡土墙的加筋材料为增阻迟缓的柔塑性体，在动荷载作用下增阻速度滞后，不能及时提供阻力以抵御动载对土体的破坏作用。在许多情况下，拉筋失效并非是本身强度不够，而是增阻速度不及动载的增载加速，土体因瞬间变形超限而破坏，从而导致墙体填方失稳。

加筋土挡土墙失稳的基本特征 及原因分析

(c) 墙体内的填土本身强度很低，建成之时存在着初始塑性变形区，动荷载剧增即可诱发原有塑性区的进一步扩大和发展，随着时间的积累和变形的叠加，即可能在挡土墙内部出现整体和永久性的破坏。

实 例

界河立交桥加筋土挡土墙失稳加固处理

界河立交桥加筋土挡土墙 失稳加固处理

■ 工程背景

界河立交桥建成于1990年，自建成初期即发生轻微墙体外倾现象。从1997年开始，外鼓变形逐渐加剧，至2000年6月，最大位移量相对值达100mm，绝对值超过200mm，路面局部发生纵向开裂，两侧护栏内倾，顶部面板局部脱落，墙体整体失稳，并有进一步加剧的明显趋势。

界河立交桥加筋土挡土墙 失稳加固处理



图7 加固前的失稳加筋土挡土墙

界河立交桥加筋土挡土墙 失稳加固处理

■ 工程对策

1、必须满足的前提条件

对于失稳加筋土挡土墙，最简单的处理方法是在墙体外侧压土或附加一个重力挡墙作为外支撑，但这将直接导致加筋土挡土墙的主要优越性的丧失，不但工程量巨大，又需要重新征地，除非紧急抢险，此方案不能采用。任何拟采用的加固方案必须满足以下条件：

界河立交桥加筋土挡土墙 失稳加固处理

- ❖ (a) 不能破坏原工程的基本结构，所实施的加固方案既能完全保留加筋土挡土墙的既有优越性，又能保证不影响其使用功能。
- ❖ (b) 在不影响主路面安全运行的前提下能正常进行加固施工。
- ❖ (c) 施工工艺要相对简单，工程造价及施工工期不能高于其它加固方案。

界河立交桥加筋土挡土墙 失稳加固处理

2、可采用的工程方案

经反复分析比较，能同时满足上述条件的方案其实范围很小：首先，其必须是常规技术；其二，它能有效抑制或减小墙体变形；其三，它具有可靠的有效性和持久性。如何选择并确定这样一个由多项常规技术构成又非常规的有效技术组合，是解决失稳加筋土挡土墙加固问题的最大难题。

界河立交桥加筋土挡土墙 失稳加固处理

❖ (a) 主要方案

- 理想的方案是通过一种特殊的工艺，将墙体对应面板凿穿，穿上钢筋，对拉锁定，完全取代原有的拉筋(图8a)。
- 由于国内目前凿孔设备及技术所限，对穿凿孔不易实现，可改由两侧分别凿孔，并安装预应力锚杆以代替对拉钢筋，这样凿孔问题易解决，同时又保持了前者的技术精髓，是可实施的技术方案(图8b)。

界河立交桥加筋土挡土墙 失稳加固处理

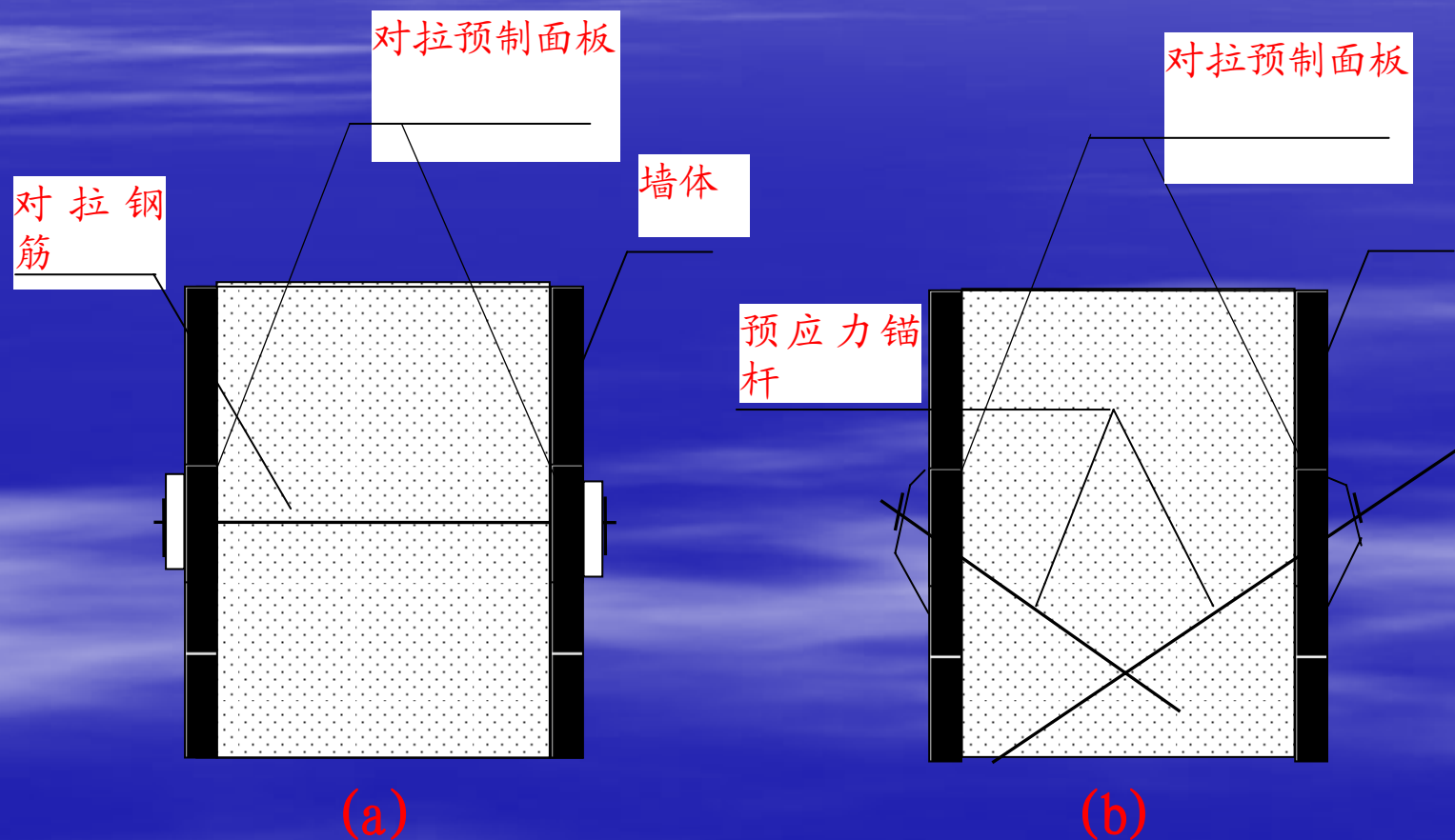


图8 主要方案示意图

界河立交桥加筋土挡土墙 失稳加固处理

❖ (b) 选定方案

- 在墙表面喷射一层砵(加锚网), 使分散的面板预制块由单体变成整体, 这样可保证在墙表面任何一点加力都能将力分布在“一片”而不是“一块”上, 整个喷层相当于一个大承力垫板, 整个外墙成为一个整体, 可大大提高其抗弯、抗剪和整体承载能力。

界河立交桥加筋土挡土墙 失稳加固处理

- 在墙体两侧墙面对打1—3排预应力锚杆，以此来有效抑制墙体的变形。
- 锚杆安装过程中，采用“分层多次高压注浆预应力锚固技术”，实施多次分层注浆，既能通过对土体的改性加固墙体本身，又可提高预应力锚杆的承载力，一举两得。

界河立交桥加筋土挡土墙 失稳加固处理

3、需要克服的主要技术难题

- ❖ (a) 凿孔问题。由于路基填土为非原状土，而是由土石组成的杂填土，在这样的杂土层中钻孔十分困难，能否正常成孔是选定方案正常实施的关键和前提。
- ❖ (b) 预应力锚杆。虽然在岩石层中或在原状土层中安装永久预应力锚杆在国内外已是常规技术，而在人工杂填土层中实施该项技术却有许多没有解决而又必须解决的技术难题：

界河立交桥加筋土挡土墙 失稳加固处理

- 预应力锚杆预应力值的衰减特征如何，最终稳定的预应力值是多少。
- 采用何种技术手段能提高并能永久保持设计预应力值。
- 如何确定预应力锚杆的设计参数(如锚杆的长度、直径、密度等)。

界河立交桥加筋土挡土墙 失稳加固处理

- ❖ (c) 锚喷网。按方案，锚喷层是作为其与面板间的结合体而设计的，预期效果能否实现，如何实现？
- ❖ (d) 注浆。在填土中进行注浆，浆液能否按预想的在设计范围内分层并有效扩散；如何在保证不破坏路面和墙体本身的前提下确定注浆参数，实施高压注浆；注浆对最终加固效果影响有多大，作用如何等等。所有这些问题必须通过实验和现场工程实践来回答。

界河立交桥加筋土挡土墙 失稳加固处理

■ 施工过程

本项目确定的加筋土挡土墙加固方案主要由三项常规技术——锚喷、注浆和预应力锚固构成。这三项技术在国内岩土工程领域已得到广泛应用，但应用于加固加筋土挡土墙，在国内尚属首次。由于加固对象的特殊性，所以，要达到设计要求，保证完美的加固效果。

界河立交桥加筋土挡土墙 失稳加固处理

1、墙面锚喷网加固

在挡土墙外墙面铺设一层钢筋网，主筋采用 $\phi 10$ 钢筋，网度为 $1000\text{mm} \times 1000\text{mm}$ ，辅筋采用 $\phi 6.5$ 钢筋，网度为 $150\text{mm} \times 150\text{mm}$ 。

主筋的每个节点处，打一根连接锚杆。连接锚杆采用 $\phi 16$ 螺纹钢，锚固深度为 500mm ，并与主筋焊连。

在整个外墙面喷射一层 80mm 厚的砼，标号 C25。

界河立交桥加筋土挡土墙 失稳加固处理

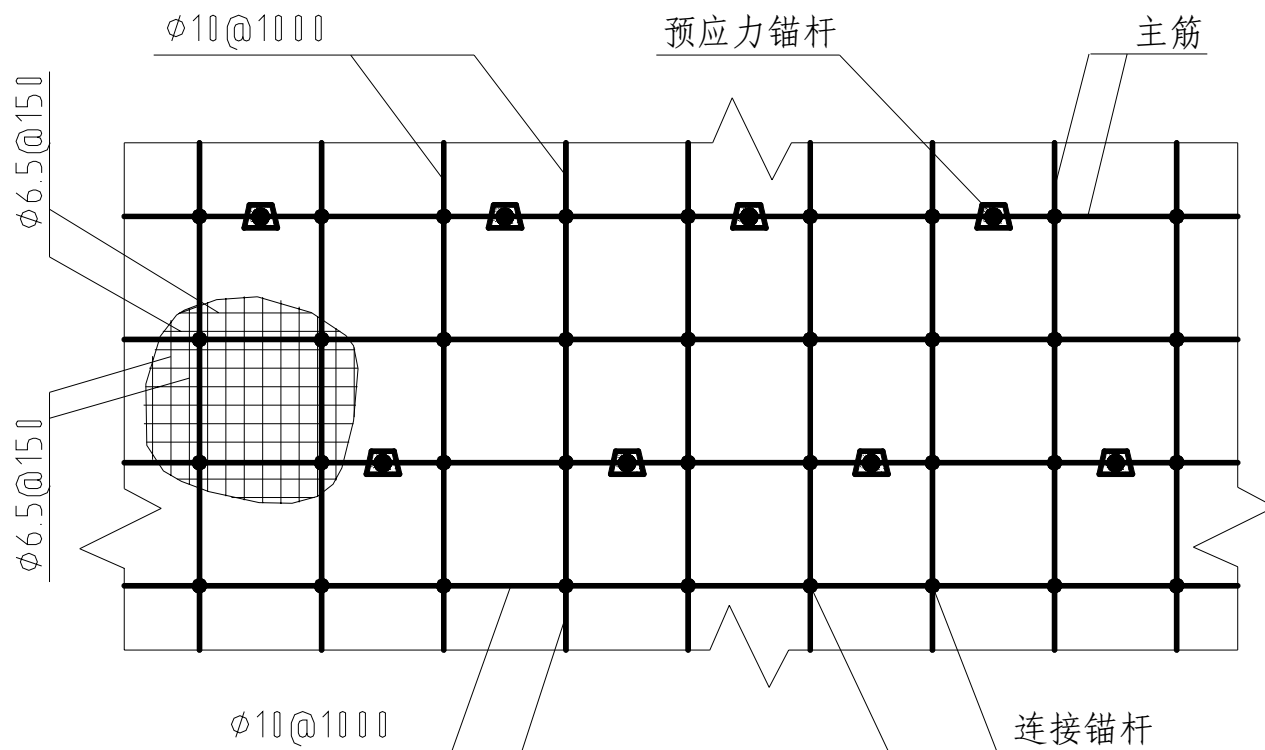


图9 墙面喷射钢筋混凝土设计图

界河立交桥加筋土挡土墙 失稳加固处理

2、工程对策

针对上述问题，首先进行了理论分析，基本弄清了出现问题的内在原因，根据不同情况，设计了多项不同的试验，从根本上解决了这些问题：

- ❖ (a) 合理配比。通过现场喷射试验，确定了最适合于喷射对象的喷射材料配合比，即水泥：砂：石子：水：速凝剂=1:2:2:0.4:0.025（重量比）。

界河立交桥加筋土挡土墙 失稳加固处理

- ❖ (b) 分层湿喷。试验发现，单次喷层厚度不大于40mm，则喷层就不会脱离墙面。超过40mm，个别地段出现轻微离层的迹象。
- ❖ (c) 局部增厚。在每根预应力锚杆锚固墩周围增加了一道加强钢筋网，参数与单层相同。经过试验，在每个锚固墩周围1m²范围内，喷层增至150mm（双层钢筋网），即可完全消除由于局部承载而引起的喷层裂纹现象。

界河立交桥加筋土挡土墙 失稳加固处理



图10 挂网与喷浆

界河立交桥加筋土挡土墙 失稳加固处理

- ❖ (d) 分期养护。每次喷射完成后，即进行一次养护（喷水），墙面强度增至设计值的40%时，再进行下一循环喷射和养护，直至达到要求的厚度再进行最终养护。试验证明，分层喷射、分期养护，可彻底消除由于养护原因而带来的喷层裂纹问题。

界河立交桥加筋土挡土墙 失稳加固处理

3、其他常规工程措施

❖ (a) 连接锚杆安装

- 采用7655型气腿凿岩机钻孔，孔径50mm，孔深500mm，钻孔垂直于墙面。
- 向钻孔内注入水泥砂浆。首先向孔内插入注浆管至孔底，随砂浆的注入缓慢地将注浆管拔出，保证砂浆注入饱满。
- 注完浆后，立即将连接锚杆插入，连接锚杆用 $\phi 16$ 螺纹钢预制，外露端带弯钩，以备与主筋交叉相连。

界河立交桥加筋土挡土墙 失稳加固处理

❖ (b) 布设钢筋网

- **主筋的布设：**按 $1000\text{mm} \times 1000\text{mm}$ 的网度编主钢筋网，在钢筋网的交叉点处及锚钉与钢筋网接触点采用焊连，焊接点位置与墙面的距离为 $30 \sim 50\text{mm}$ 。在准备布设预应力锚杆的位置，预留孔位并采用塑料套管保护，以便于下一步预应力锚杆的施工。

界河立交桥加筋土挡土墙 失稳加固处理

- **辅筋的布设：**按 $150\text{mm} \times 150\text{mm}$ 的网度编辅筋钢筋网，在钢筋网的交叉点及辅筋与主筋的交叉处，采用 $\phi 2$ 铁丝绑扎牢固，将辅筋钢筋网与主筋固定在一起。在辅筋布置的同时，定点埋设控制喷射混凝土厚度的标志，以确保混凝土喷射的厚度。
- 在预留的预应力锚杆钻孔孔口周围，布设 1.0m^2 的加强钢筋网，两层网间距为 50mm 。

界河立交桥加筋土挡土墙 失稳加固处理

❖ (c) 喷射混凝土

- 首先将光滑的墙面凿毛，然后用高压风、水将墙面冲净，以保证首次喷层与墙面的良好粘合。
- 第一层喷射厚度40mm，喷头与喷面垂直，间距为0.6~1.0m，第二次喷射砼在第一次喷射养护24小时后进行，必须保证喷射厚度和表面平整。

界河立交桥加筋土挡土墙 失稳加固处理

❖ (d) 养护

- 每次喷射完成，喷层初凝后立即进行养护，当最后一次喷射的混凝土终凝2小时后，进行正常养护，每天至少喷水4次。养护时间一般不得少于7天。
- 每层喷完后第一次喷水养护时，采用低压喷水，以防止冲坏喷射混凝土表面。
- 在养护过程中凡发现剥落、外鼓、裂纹、局部潮湿、色泽不均等不良现象，均及时分析原因、采取措施进行修补，以防后患。

界河立交桥加筋土挡土墙 失稳加固处理



图11 喷层养护图

界河立交桥加筋土挡土墙 失稳加固处理



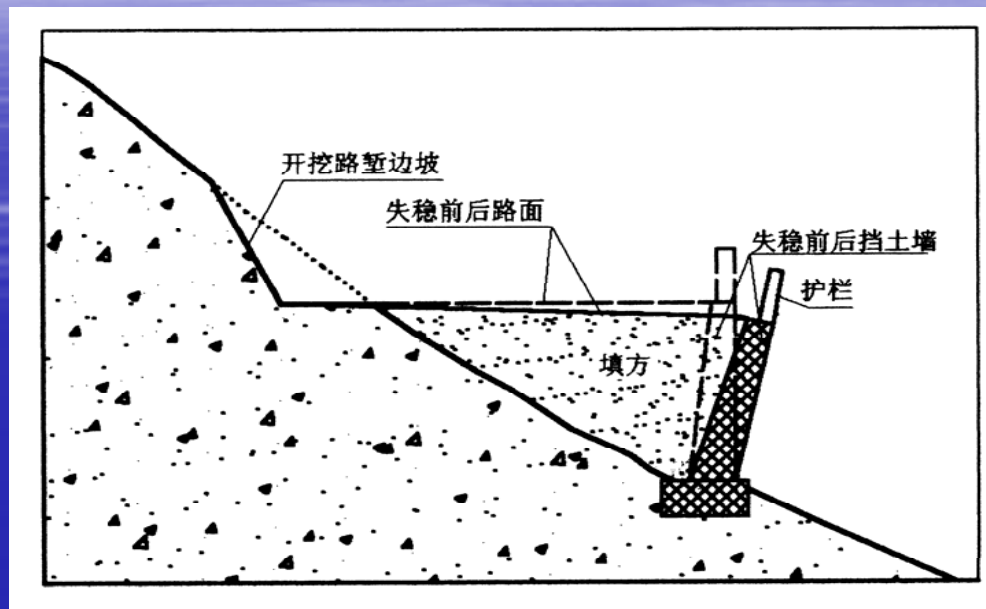
图12 加固后加筋土挡土墙

坡间挡土墙失稳的类型及原因分析

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形式中难度最大、结构最复杂，也是最易失稳的结构形式。

■ 失稳类型

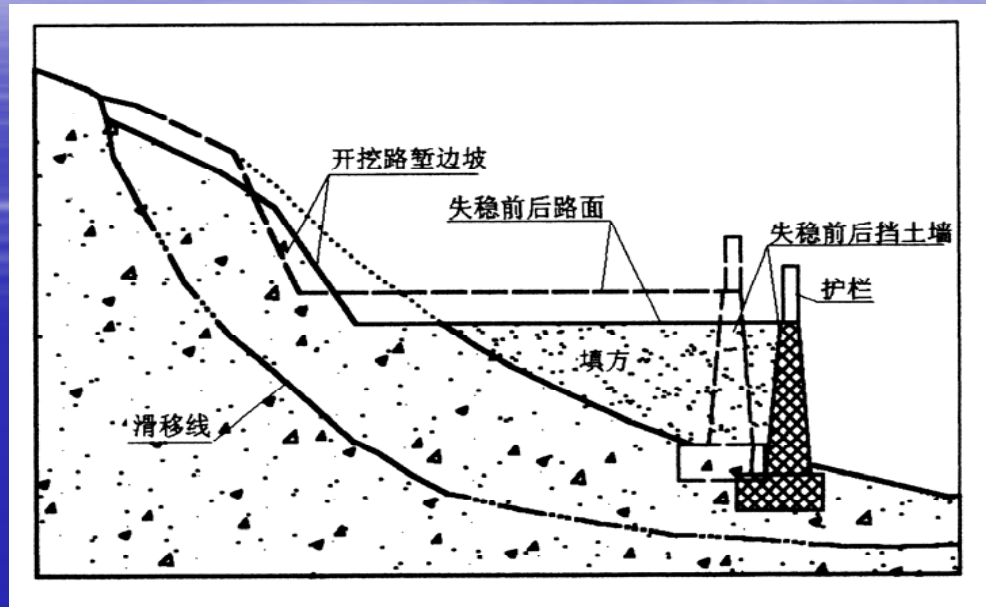
坡间挡土墙失稳的类型及原因分析



❖(a).单纯失稳

所谓单纯失稳是指由于填方质量不好，墙体支挡能力不够，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。

坡间挡土墙失稳的类型及原因分析



❖ (b). 间接失稳

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事故，这是所有挡土墙事故中最严重的情况。

坡间挡土墙失稳的类型及原因分析

■ 坡间挡土墙失稳的主要特征

坡间挡土墙间接失稳的主要特征表现在以下三点：

❖ (a) 坡体滑动

这是此类坡间挡土墙失稳的根源。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。

坡间挡土墙失稳的类型及原因分析

❖ (b) 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。

坡间挡土墙失稳的类型及原因分析

❖ (c) 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（不超过一个月）发展成墙体倾覆、交通中断的严重事故，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。

坡间挡土墙失稳的类型及原因分析

■ 失稳原因分析

1、自然原因

- ❖ (a) 坡体本身不稳定，即使不扰动，也可能滑塌；
- ❖ (b) 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。

坡间挡土墙失稳的类型及原因分析

2、人为原因

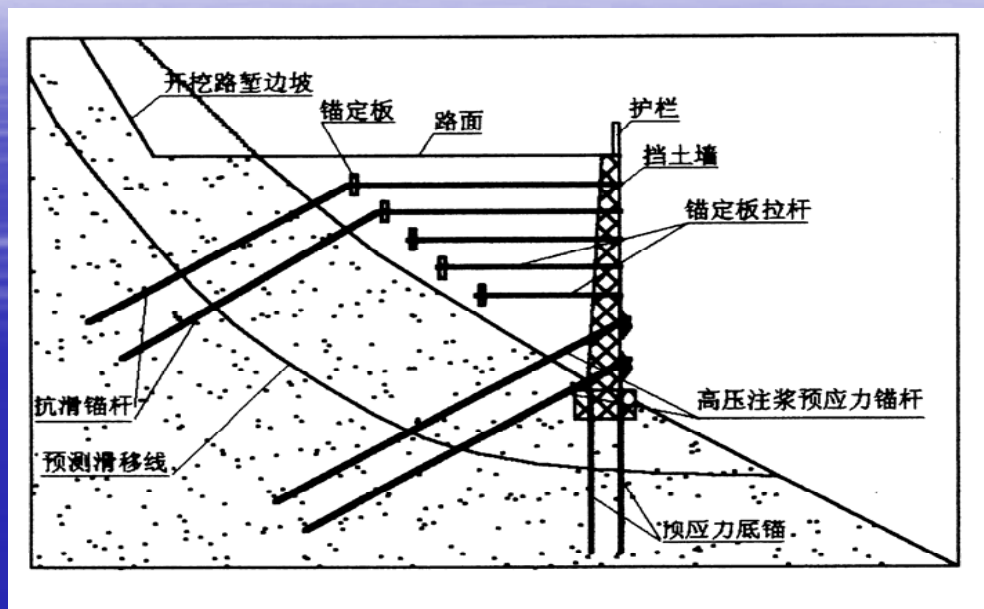
- ❖ (a) 经过人工挖填后，打破了原来坡体的自然平衡，开挖揭露面可能导致雨水的大量渗入，改变了边坡岩土体的力学特性
- ❖ (b) 支挡措施单一。现行的规范一般只是采用单一的设计形式，没有根据坡间挡土墙的失稳特点，将挡土墙的施工当作边坡加固的组成部分，常常是单纯失稳避免了，而更为严重的间接失稳却发生了。

坡间挡土墙失稳的类型及原因分析

■ 加固方法

- ❖ (a). 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，既实现了对边坡的加固，又稳定了挡土墙本身。
- ❖ (b). 针对研究对象所在边坡的工程地质情况及其本身的结构特点，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。

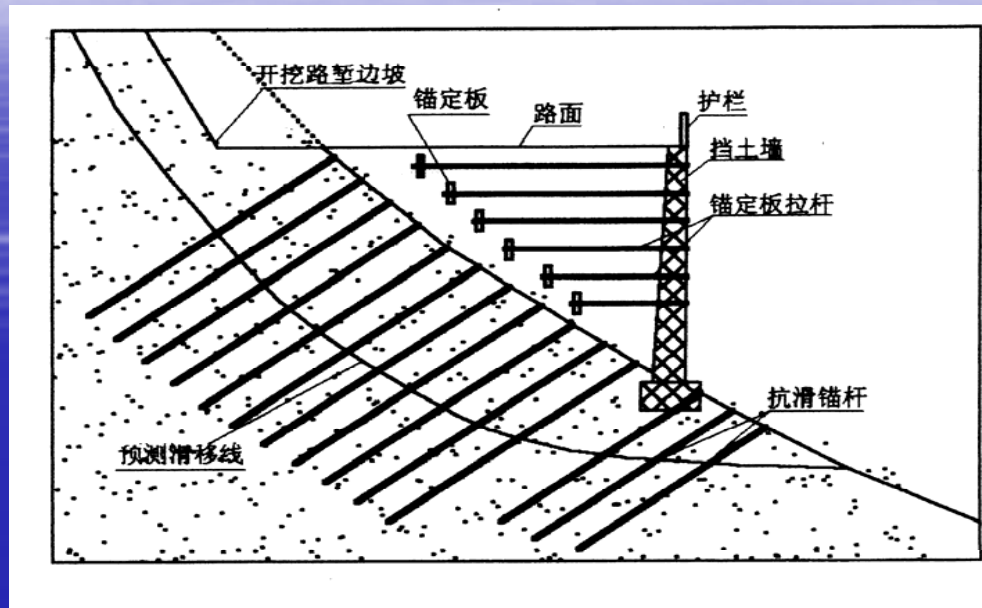
坡间挡土墙失稳的类型及原因分析



方案1——固坡与建墙相结合

该方案的要点是在墙体的上部，锚定板与护坡锚杆相连接，并施加预应力；在墙体的中下部，运用墙体作为承载体，打下向预应力锚杆。此方案能起到稳定墙体本身和加固边坡的双重作用，适用于各类坡间挡土墙的建造。

坡间挡土墙失稳的类型及原因分析



方案2——固坡与建墙分离

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。此类方案适用于边坡坡角大、滑移特征明显、无法进行挡土墙基础开挖的地段。

实 例

栖霞路坡间挡土墙失稳加固处理

栖霞路坡间挡土墙失稳加固处理

■ 工程背景

栖霞高速K59+480—K59+630段坡间挡土墙由于处在不稳定的边坡体上，墙体高(大于17m)，地形复杂，在同类构造物中建造难度较大，具有一定的代表性。

栖霞路坡间挡土墙失稳加固处理

■ 需要克服的主要技术难题

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，运用于坡间挡土墙的建造是本项目的发明创造，没有现成的规范和成熟的经验可循，具体研究过程中有大量亟需克服的技术难题：

栖霞路坡间挡土墙失稳加固处理

- ❖ (a) 坡体稳定性判定问题
- ❖ (b) “双锚”组合问题
- ❖ (c) 预应力锚固技术实施方式问题

栖霞路坡间挡土墙失稳加固处理

■ 施工工艺

本项目所确定的以“双锚”支护为基础的挡土墙建造方案，是一个崭新的技术命题，要实现设计要求，必须在施工过程中解决一系列工艺性难题：

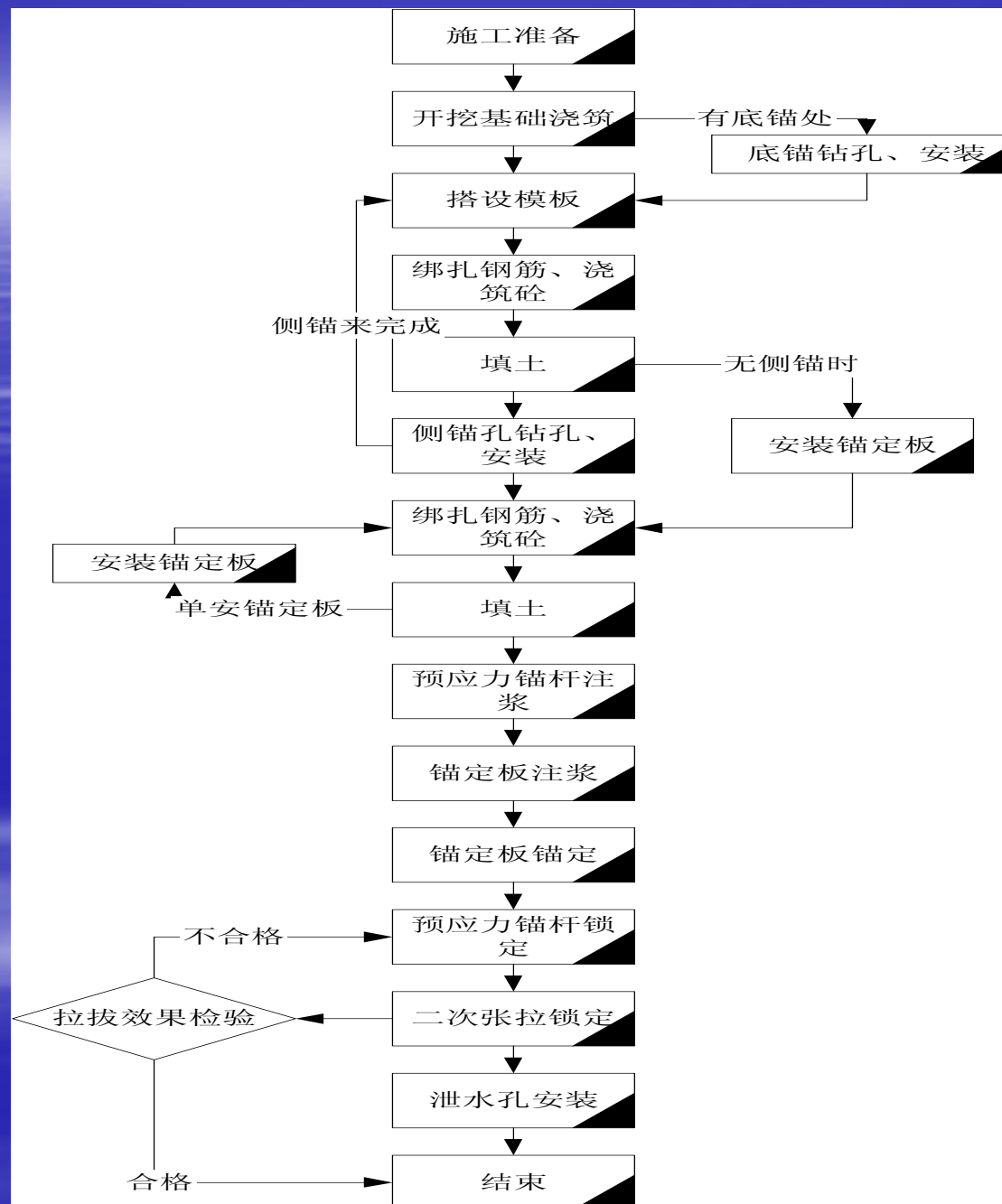
栖霞路坡间挡土墙失稳加固处理

- ❖ (a) 填土和“双锚”相互影响和干扰，如何排除干扰以保证填土质量；
- ❖ (b) 预应力锚固是研究能否成功的关键和核心，如何确定锚固顺序、时机和方式才能达到稳定墙体和固坡的双重目的；
- ❖ (c) 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？

栖霞路坡间挡土墙失稳加固处理

1、施工顺序

根据设计要求，施工前确定了详细的施工顺序，实践证明确定的施工顺序是合理的。



栖霞路坡间挡土墙失稳加固处理

2、施工技术

❖ (a) 分段多次高压注浆预应力锚固技术

➤ 实施要点

※ 安装锚杆时，同时安装三根以上的注浆管；

※ 锚杆孔外端部（穿过墙体部分）用止浆塞封孔；

栖霞路坡间挡土墙失稳加固处理

※ **分段** 针对注浆的受体—填土层、表土层和深部岩土层，根据不同的承压条件，分段对其实施注浆，最终在深部岩土层注浆压力达到4—5Mpa以上，实现高压注浆的目的。

※ **多次** 每根注浆管注一次注浆，有几根注几次，所谓“多次”即指此意。

栖霞路坡间挡土墙失稳加固处理

➤ 实施过程

※ 注浆管加工

根据注浆的不同深度和部位，加工不同长度的注浆管，以保证浆液在设定部位有效扩散。

栖霞路坡间挡土墙失稳加固处理

※ 注浆

一次注浆 利用一次注浆管将浆液注入孔底，至孔口溢浆为止，随后将注浆管拔出，并用止浆塞密封孔口，止浆塞长度与墙体厚度相同。

栖霞路坡间挡土墙失稳加固处理

二次注浆 在一次注浆结束18h后，开始进行二次注浆，注浆压力为1.5MPa，注浆压力的大小与填土厚度有关。如果上部填土厚度超过4m，注浆压力可提高到2.0MPa，如发现填方表面隆起或跑浆，则应立即停止注浆。

栖霞路坡间挡土墙失稳加固处理

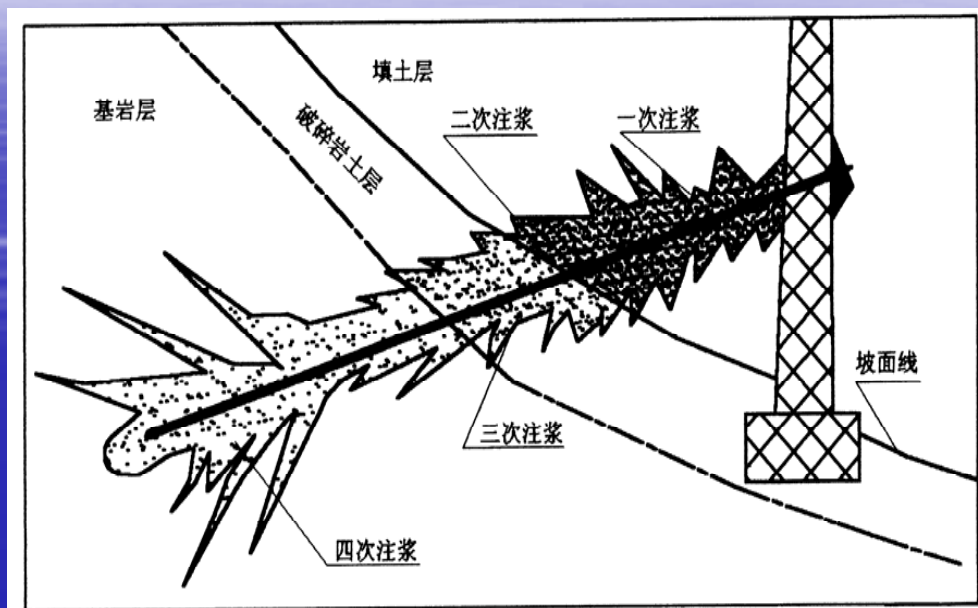
三次注浆 在二次注浆结束3h进行，注浆压力为3MPa，注浆时要密切关注填方体的变化。

四次注浆 在三次注浆结束后8h进行，注浆压力为4—5MPa，只要达到设计压力则立即停止注浆。

栖霞路坡间挡土墙失稳加固处理

上述四次注浆是对坡体实现高压注浆的必要过程，实际施工过程中可根据实际情况加以调整。

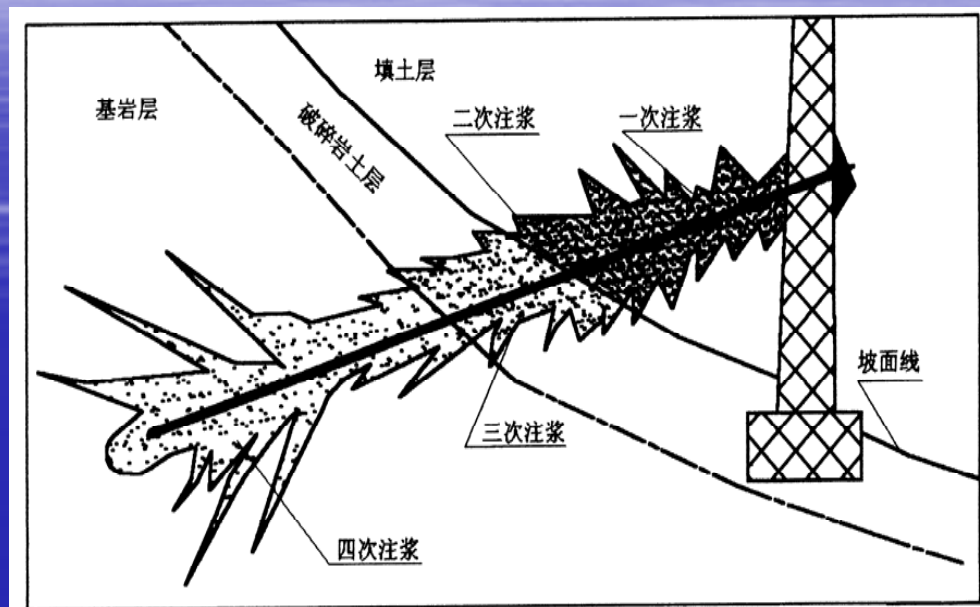
栖霞路坡间挡土墙失稳加固处理



► 机理分析

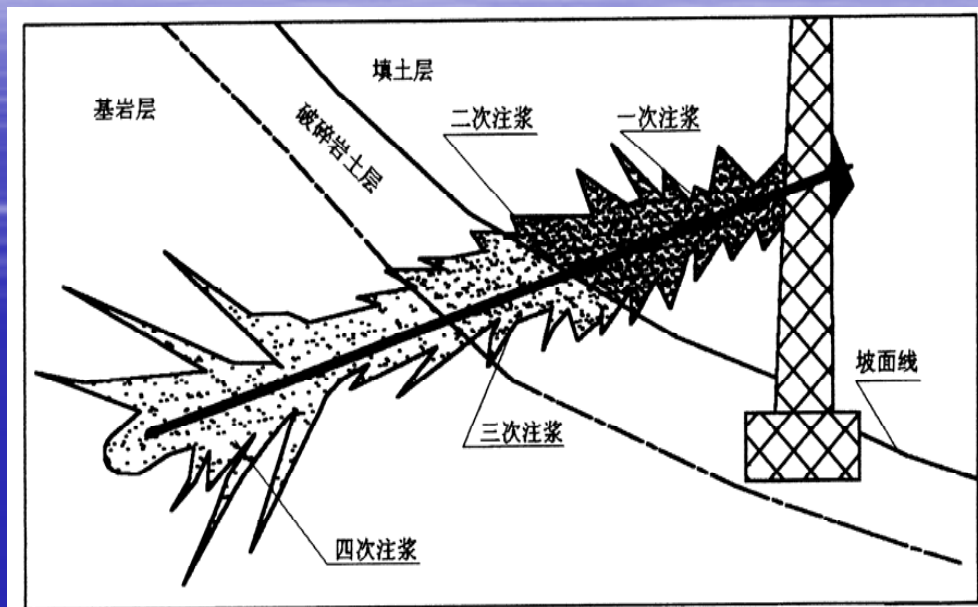
第一次注浆 浆液全部约束在注浆孔范围内，其初凝后便成为各段注浆的“隔离塞”，其可以保证浆液在设定的部位有效扩散。

栖霞路坡间挡土墙失稳加固处理



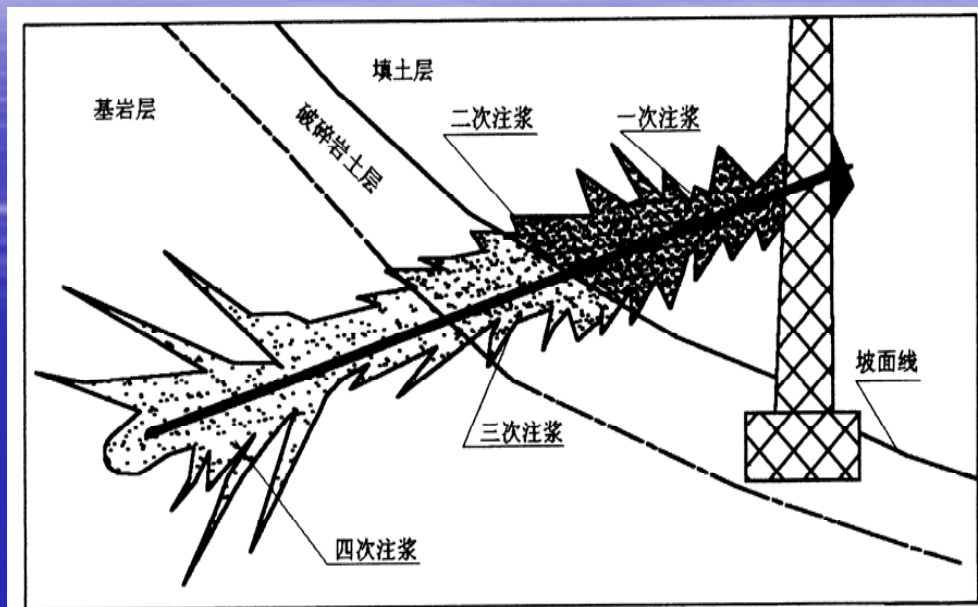
第二次注浆 浆液在填方体中扩散，既实现了对填方体的改性，同时又为在边坡浅层土体中实现高压注浆创造了条件。

栖霞路坡间挡土墙失稳加固处理



第三次注浆 浆液约束在边坡表土层中扩散，保证了该层的改性效果。

栖霞路坡间挡土墙失稳加固处理



第四次注浆 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，可提高锚杆的承载力20%以上。

栖霞路坡间挡土墙失稳加固处理

❖ (b) 锚定板注浆

➤ 难题

在锚定板安装过程中实施注浆，国内外尚无先例，要达到设计目的，需要解决两大难题：

栖霞路坡间挡土墙失稳加固处理

※采用何种注浆参数既能保证浆液的均匀扩散，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；

※填方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、方式和注浆压力，才能达到最佳注浆效果。

栖霞路坡间挡土墙失稳加固处理

➤选择工艺

经大量的现场实验，最终确定并采用“分层分段”的注浆工艺，成功地解决了以上难题。

栖霞路坡间挡土墙失稳加固处理

➤ 实施要点

※同层上分段 即指在同一水平层上的锚定板，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。

※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。

栖霞路坡间挡土墙失稳加固处理

❖ (c) 其它常规工艺

研究过程中还分别对墙体建造、填土与夯实、锚定板安装等常规工艺进行了工艺性改进，保证了施工质量。

栖霞路坡间挡土墙失稳加固处理

■ 现场实验与监测

将“双锚”支护技术运用于非稳定边坡坡间挡土墙建造国内外尚无先例，没有成熟的经验可循，仅靠设计和模拟计算是远远不够的，必须通过做大量的现场实验、监测和检测工作，来保证每一个工艺环节的顺利完成。这一原则贯彻于整个研究过程始终。

栖霞路坡间挡土墙失稳加固处理

1. 投入大量实验经费

仅购买仪器、安装测点投入经费达17万元;

2. 获得大量实测数据

研究过程中先后对各个新的工艺环节预先进行了现场实验, 并做了详细记录, 先后获得了10多万个实测数据;

栖霞路坡间挡土墙失稳加固处理

3. 长期监测

挡墙建成后，在墙体内部和表面安装了20多个观测点进行观测至今，所获得的数据可作为挡墙稳定性的重要判据。

栖霞路坡间挡土墙失稳加固处理



图13建成后坡间挡土墙

栖霞路坡间挡土墙失稳加固处理

■ 结论

本项目所创造的将固坡与挡土为一体的坡间挡土墙建造新技术——“双锚”支护技术, 实现了固坡与挡土的统一; 所取得的理论及工程成果, 可作为类似工程设计与施工的范例, 具有重要的推广意义。