



T/CECS G××××: 20××

中国工程建设标准化协会标准

Standard of China Association for Engineering Construction Standardization

公路膨胀土边坡微型桩加固技术规程

Technical Code for micro-pile reinforcement of highway expansive

soil slope

(征求意见稿)

中国工程建设标准化协会 发布

Issued by China Association for Engineering Construction Standardization

征求意见稿

公路膨胀土边坡微型桩加固技术规程

Technical Code for micro-pile reinforcement of highway expansive soil

主编单位：广西交投集团有限公司、上海交通大学

批准部门：中国工程建设标准化协会

实施日期：2024 年××月××日

人民交通出版社股份有限公司

北 京

征求意见稿

前 言

根据中国工程建设标准化协会关于印发《2021 年第一批协会标准制订、修订计划》的通知（建标协字[2021]19 号）的要求，规程编制组在广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国际标准和国外先进标准，并广泛征求意见基础上，制定本规程。

本规程的主要内容包括：1 总则；2 术语和符号；3 勘察；4 设计；5 施工；6 质量控制。

请注意本标准的某些内容可能直接或间接涉及专利，本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程由中国工程建设标准化协会公路分会归口管理，由广西交投集团有限公司负责具体技术内容的解释，在执行过程中如有意见或建议，请寄至解释单位（地址：

广西壮族自治区南宁市高新区新康西路158号 邮编：530007）。

主 编 单 位：广西交投集团有限公司、上海交通大学

参 编 单 位：长沙学院

湖南工程学院

长沙理工大学

桂林电子科技大学

广西交通设计集团有限公司

广东鸿高建设集团有限公司

上海工程技术大学

湖南科技大学

中国十七冶集团有限公司

湖南三匠工程科技有限公司

中交二公局第七工程有限公司

重庆交通大学

武汉大学

中南大学

长安大学
中科院武汉岩土力学研究所
上海大学

主 编：徐永福、张红日
主要参编人员 常锦、李盛南、汪磊、唐咸远、肖杰、陈冠一、李崛、兰天、林京松、叶琼瑶、韩仲、黄金坤、林宇亮、邹维列、张双成、杨济铭、司永明、杨德欢、马田田、王叶娇

主 审：张留俊
参加审查人员：

参 加 人 员：

征求意见稿

目次

1 总则	1
2 术语和符号	1
2.1 术语	1
2.2 符号	2
3 勘察	5
4 设计	7
4.1 一般规定	7
4.3 微型灌注桩选型与布置	10
4.4 微型注浆钢管桩抗弯承载力计算	12
4.5 微型灌注桩抗拉承载力计算	13
4.6 微型桩内注浆量计算	17
4.7 微型桩加固膨胀土路基稳定性验算	18
5 施工	20
5.1 施工准备	20
5.2 微型注浆钢管桩施工	20
5.3 微型灌注桩施工	22
6 质量控制	25
6.1 一般规定	25
7 监测	27
本规程用词说明	28
引用标准名录	29

征求意见稿

1 总则

1.0.1 为在微型桩加固公路膨胀土边坡设计与施工中贯彻执行国家的技术经济政策，做到安全适用、技术先进、经济合理、确保质量、保护环境，制定本规程。

1.0.2 本规范适用于公路膨胀土边坡浅层变形失稳的加固工程，包括计算、设计、施工、养护、质量控制与验收。

条文说明

公路膨胀土边坡浅层变形失稳的滑动范围通常在大气影响急剧层深度层内（一般距离地表 3m 以内），微型桩适用于此类边坡变形失稳的预防性加固与坍滑后的加固修复。

1.0.3 微型桩加固方案应与其它加固形式进行技术、经济和方案比选。

1.0.4 微型桩加固膨胀土边坡工程应积极采用成熟可靠的新技术、新结构、新材料和新工艺，满足经济节约、资源节省、环境友好、防腐蚀、使用寿命长、成本低的特点。

1.0.5 微型桩加固膨胀土边坡的勘察、设计、施工、验收和维护管理，除应符合本规范外，尚应符合现行有关国家标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 膨胀土 expansive soil

含亲水性矿物并具有明显吸水膨胀和失水收缩两种变形特性的高塑性黏性土。

2.1.2 大气影响层深度 depth of climate influenced layer

在自然气候影响下，由降雨、蒸发和温度等因素引起地基土胀缩变形的有效深度。

2.1.3 大气影响急剧层深度 climate influenced markedly layer

在自然气候影响下，由降雨、蒸发和温度等因素引起地基土胀缩显著变形的深度。

2.1.4 微型桩 micropile

桩径 100mm~300mm，长细比大于 30，采用钻孔、强配筋和压力注浆施工工艺的灌注桩，本规程又将其分为微型灌注桩和微型注浆钢管桩。

2.1.5 微型灌注桩 micro cast-in-place pile

采用地质钻机或其它成孔方式在公路边坡中钻孔，放入钢筋或钢筋笼，采用压力通过注浆管向孔中注入水泥浆或水泥砂浆，形成直径不大于 300mm 的微型桩。

2.1.6 微型注浆钢管桩 post grouting steel micropile

采用地质钻机或其它成孔方式在公路边坡中钻孔，下入钢管，通过压力使灌注的水泥浆扩散至桩周土体并填充钢管内腔形成的微型桩。

2.2 符号

2.2.1 作用和作用效应

F_k ——抗滑力的总和 (kN)；

F_h ——下滑力的总和 (kN)；

J ——作用于微型注浆钢管桩的弯矩标准值 (N·mm)；

q ——上覆荷载 (kPa)。

2.2.2 材料性能和抗力

α_2 ——滑动力作用方向与水平线所成的角度 (°)；

c_i ——第 i 土条滑面所在土层的粘聚力 (kPa)；

D_j ——无缝钢管计算剪力处以上毛截面对中和轴的面积矩 (mm³)；

e 、 e' ——注浆前、后土体的孔隙比；

E_j ——无缝钢管沿弯矩作用方向的截面模量 (mm³)；

f_y ——钢筋的抗拉强度设计值 (N/cm²)；

n ——孔隙率 (%)；

P_i ——第 i 根微型灌注桩上作用的土压力 (kN)；

P_R ——为避免发生圆弧滑动需增加的抵抗力 (kN/m)；

R_a ——无缝钢管沿弯矩作用方向的毛截面惯性矩 (mm⁴)；

R_t ——微型灌注桩的抗拉破坏强度 (kPa)；

S_1 ——单位宽度 1m 范围内的微型灌注桩根数 (根)；

t_v ——无缝钢管的抗弯强度设计值 (N/mm²)；

T_m ——每根微型灌注桩上作用的拉力 (kN)；

V_k ——作用于微型注浆钢管桩的剪力标准值 (N)；

W_i ——第 i 土条的重力标准值 (kN/m) ;

η ——膨胀土边坡抗滑力折减系数;

τ_v ——无缝钢管的抗剪强度设计值 (N/mm²) ;

φ_i ——第 i 土条滑面所在土层的内摩擦角 (°) ;

τ_1 ——浆体的抗剪强度设计值 (kPa) ;

τ_2 ——注浆钢管的抗剪强度设计值 (kPa) ;

τ_{s0} ——钢筋与粘土间的粘着力强度设计值 (N/cm²) ;

τ_{m0} ——钢筋与压顶梁的粘着力强度设计值 (N/cm²) ;

σ_{st} ——钢筋的拉应力 (N/cm²) 。

2.2.3 几何参数

A_a ——钢筋的截面面积 (cm²) ;

ΔB ——微型灌注桩的横向间距 (m) ;

D ——微型灌注桩的直径 (cm) ;

d_3 ——钢筋的直径 (cm) ;

d_b ——无缝钢管的壁厚 (mm) ;

d ——微型钢管桩的直径 (m) ;

d_1 ——注浆钢管的外径 (m) ;

d_2 ——注浆钢管的内径 (m) ;

G ——每孔注入量 (m³) ;

H_j ——注浆有效孔深 (m) ;

H_{ym} ——膨胀土地区大气影响急剧层深度的最大值;

H_i ——由上覆荷载作用面至第 i 根微型灌注桩的距离 (m) ;

ΔH ——微型灌注桩的纵向间距 (m) ;

l_i ——第 i 个土条的宽度 (m) ;

L ——微型灌注桩的设计长度 (m) ;

L_0 ——主动区内微型灌注桩的长度 (m) ;

L_{s0} ——微型灌注桩的锚固长度 (m) ;

L_{sm} ——钢筋与压顶梁的粘着长度 (m) ;

r ——注浆有效扩散半径 (m) ;

y ——桩间距 (m)；

α_i ——第 i 个土条底滑面的倾角 ($^\circ$)；

α_1 ——土压力作用方向与水平线所成的夹角 ($^\circ$)；

θ_H ——微型灌注桩布置方向与水平线所成的投影角 ($^\circ$)；

θ_B ——微型灌注桩水平方向的角度 ($^\circ$)；

$\Delta c'$ ——近似修正后的粘聚力增量 (kPa)；

θ ——推算所得土的拉伸变形方向与微型灌注桩布置方向所成的角度 ($^\circ$)；

θ_β ——微型灌注桩水平方向的角度 ($^\circ$)。

2.2.4 计算参数和计算系数

F_s ——膨胀土路基的安全系数；

F_j ——微型桩加固后膨胀土路基的安全系数；

F_{kz} ——微型注浆钢管桩提供的抗滑力 (kN/m)；

K_a ——主动土压力系数；

λ ——膨胀土的主动土压力修正系数；

Z_s ——浆液的损耗系数；

Z_t ——浆液的充填系数；

γ_{sat} ——土的饱和容重 (kN/m³)；

Δc ——粘聚力的增量 (kPa)。

灌注桩的长度 (m)；

L_{s0} ——微型灌注桩的锚固长度 (m)；

L_{sm} ——钢筋与压顶梁的粘着长度 (m)；

r ——注浆有效扩散半径 (m)；

y ——桩间距 (m)；

α_i ——第 i 个土条底滑面的倾角 ($^\circ$)；

α_1 ——土压力作用方向与水平线所成的夹角 ($^\circ$)；

θ_H ——微型灌注桩布置方向与水平线所成的投影角 ($^\circ$)；

θ_B ——微型灌注桩水平方向的角度 ($^\circ$)；

$\Delta c'$ ——近似修正后的粘聚力增量 (kPa)；

θ ——推算所得土的拉伸变形方向与微型灌注桩布置方向所成的角度 ($^\circ$)；

θ_β ——微型灌注桩水平方向的角度 ($^\circ$)。

3 勘察

3.0.1 微型桩加固膨胀土边坡设计前应进行岩土工程勘察，岩土工程勘察成果资料应满足公路路基设计、施工及验收要求，并进行稳定性计算。

3.0.2 膨胀土地区公路工程地质勘察应符合下列要求：

- (1) 收集当地区域地质、水文地质、工程地质、气象及水文资料；
- (2) 查明膨胀土的成因、类型、地质时代、分布范围；
- (3) 查明膨胀土矿物成分、物理力学性质、膨胀与收缩性质、膨胀等级；
- (4) 查明膨胀土的裂隙发育程度和大气影响急剧层深度；
- (5) 查明膨胀土下伏地层及软弱结构面发育情况；
- (6) 查明地表水的汇集与排泄条件，地下水的类型、埋深和水位变化幅度及趋势；
- (7) 查明滑坡、溜塌、地裂等不良地质的分布、规模；
- (8) 调查既有建筑物的使用情况及当地工程经验。

条文说明

岩土工程勘察资料应提供边坡加固设计所需要的膨胀土层的基本物理、力学性质指标和胀缩特性指标。对于膨胀土的胀缩特性指标，应按照《膨胀土地区建筑技术规范》（GB 50112）的相关规定取原状膨胀土土样进行膨胀力和不同上覆压力下的膨胀率等试验。

3.0.3 膨胀土地区应采用挖探、钻探、物探等原位测试和室内试验相结合的综合勘探方法。

3.0.4 膨胀土地区勘探及取样深度应大于大气影响层深度，大气影响层深度的确定应符合《膨胀土地区建筑技术规范》（GB 50112）的规定。当膨胀土的厚度较薄时，钻孔或探坑的深度应穿过膨胀土至下伏非膨胀土地层；膨胀土厚度较大时，填方路基的勘探深度应达地表以下不小于 5.0m，挖方路基的勘探深度应达设计高程以下不小于 8.0m。

3.0.5 膨胀土地段的原状土样应采用挖探或干钻的方法取得，原状土样应从地面以下 1.0m 开始分层采取，在大气影响层深度范围内，取样间距不宜大于 1.0m；在大气影响层深度以下，取样间距不宜大于 2.0m。遇有灰绿、灰白色土层，应增加取样数量。

同一地层的取样数量，宜大于 6 组。

3.0.6 膨胀土的大气影响急剧层深度的计算，应符合《膨胀土地区建筑技术规范》（GB 50112）的规定，亦可通过含水率变化、裂隙深度、力学参数变化、地温变化等方法进行确定。表 3.1 统计了我国一些典型膨胀土地区大气影响层深度（m）。

表 3.1 我国一些典型膨胀土地区大气影响急剧层深度（m）

地区	各种判定方法下的膨胀土临界大气影响急剧 层深度				大气影响急剧 层深度
	湿度	地温	力学参数	地裂深度	
云南鸡街	3				3~4
云南江水池	5				3~5
四川成都	1.5	1.8			1.5
广西南宁	2~3		3	2~2.5	2.5~3
广西宁明			3.5	2.5~3.5	3
陕西安康	3			2~3	3
湖北荆门	1.5~2	2	1.5	1.2~1.5	1.5~2
湖北郧县	2	2		<2	2
湖北宜昌		2.1			2.1
河南南阳		3.2			3.2
河南平顶山	2.5	2.1	3		2.5
安徽合肥	2	2			2
河北邯郸	2				2

4 设计

4.1 一般规定

4.1.1 微型桩桩身材料的耐久性应符合现行国家标准《工业建筑防腐设计标准》（GB/T 50046）的有关规定，当采用增加腐蚀厚度的做法时，微型桩用钢材的损失厚度可参照本规程附录 A 的规定取值。

4.1.2 微型灌注桩与微型注浆钢管桩适用于加固浅层变形失稳的公路膨胀土边坡，加固时宜将微型灌注桩与微型注浆钢管进行组合布置，前者宜布置在坡面，后者宜布置在坡底。

4.2 微型注浆钢管桩选型与布置

4.2.1 微型注浆钢管桩的钢管宜采用 Q235 及以上规格的钢材，同一工程应取同一型号的钢种，材料的强度设计值应符合现行国家标准《钢结构设计规范》（GB 50017）的规定。微型注浆钢管桩的损失厚度参考表 4.1.1 计算。

表 4.1.1 微型桩用钢材土中腐蚀损失厚度（mm）

钢桩周边土层环境设计使用年限	5 年	25 年	50 年	75 年	100 年
原状土 (砂土、粉土、膨胀土、片岩)	0.00	0.30	0.60	0.90	1.20

4.2.2 微型注浆钢管桩宜采用无缝钢管，直径宜为 $\phi 48\text{mm}$ ~ $\phi 130\text{mm}$ ，管壁厚不宜小于 6mm，微型桩在插入无缝钢管后的孔管间距不宜小于 15mm。

4.2.3 微型注浆钢管桩的桩排数宜为 2~5 排，纵横排间距宜为 400mm~600mm。

4.2.4 微型注浆钢管桩所用的水泥抗压强度等级不应低于 25MPa，注浆后钢管桩的保护层厚度不应小于 15mm。

4.2.5 微型注浆钢管桩的长度、直径和间距，应根据计算确定，一般采用垂直桩型或斜桩型，宜采用矩形或梅花形布孔，梅花形布置中一般建议为等边三角形布置，2 种布置形式图如下图 4.2.1 所示。

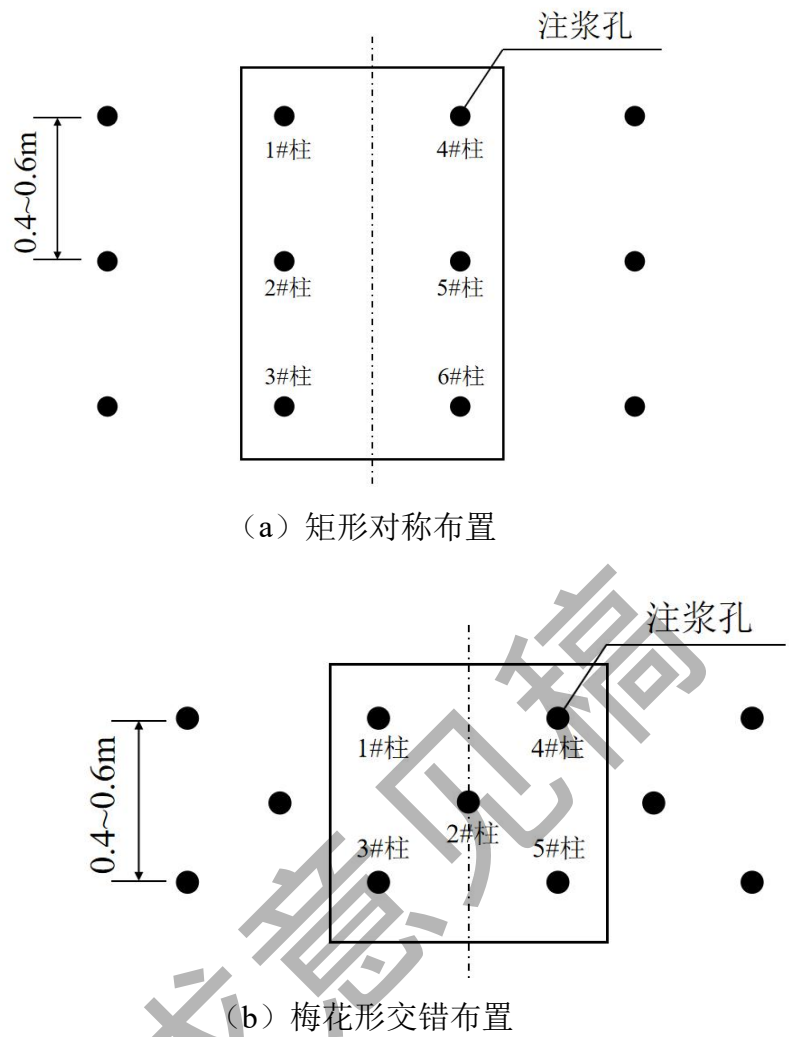


图 4.2.1 微型注浆钢管桩布置形式

4.2.6 在膨胀土边坡加固工程中，宜将微型注浆钢管桩布置在膨胀土边坡坡底处，微型注浆钢管桩加固膨胀土边坡布置示意图如图 4.2.2 所示。

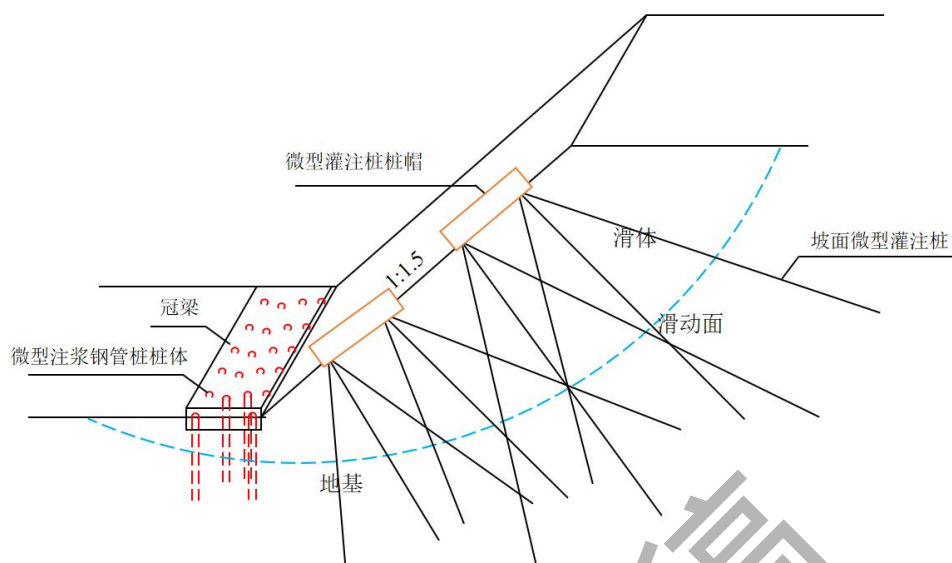


图 4.2.2 微型注浆钢管桩加固膨胀土边坡布置示意图

4.2.6 宜在微型注浆钢管桩桩顶加设冠梁（见图 4.2.3），将每根钢管顶部与冠梁主筋桩焊牢，冠梁截面高度不宜小于 600mm，断面为长方形，短边长宜取 1000mm~2000mm，宜采用 C25 混凝土浇筑，截面宽度宜比微型桩群的两侧外边界各增加 350mm。

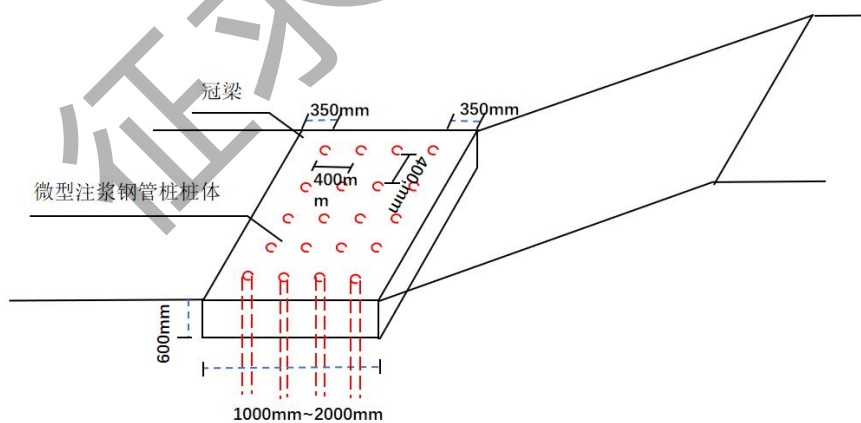


图 4.2.3 膨胀土边坡坡底冠梁布置示意图

4.3 微型灌注桩选型与布置

4.3.1 微型灌注桩的主钢筋一般采用 HRB400、HRB500 螺纹钢，直径取 16mm～32mm。也可采用 $\phi 57\text{mm}$ 以下的钢管作为主筋，主筋保护层厚度不宜小于 40mm。

4.3.2 微型灌注桩的桩身强度不应小于 C25 混凝土的设计要求，注浆材料可采用水泥浆液、水泥砂浆、细石混凝土或其它灌浆料，也可用碎石或细石填灌再灌注水泥浆。

4.3.3 微型灌注桩宜按矩形或梅花形布置，梅花形布置中一般建议为等边三角形布置，水平间距和竖向间距宜为 1000mm～2000mm，当坡体较高、较陡、膨胀土的抗剪强度较低时，微型灌注桩间距应取小值，梅花形布置示意图如下图 4.3.1 所示。

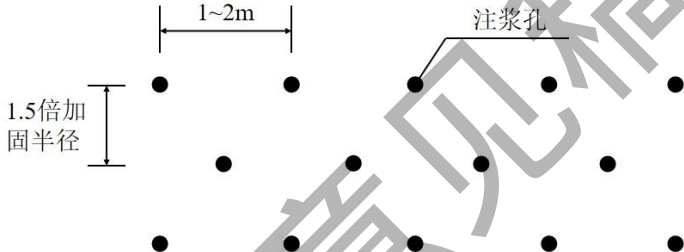


图 4.3.1 微型灌注桩孔位布置图

4.3.4 灌浆管应根据钻孔深度 L 及注浆范围设计，可参照图 4.3.2，在管底口以上 1.0m 范围做成花管形状，其孔眼直径宜为 0.8cm，轴向间距宜为 10cm，桩排数不少于 4 排为宜。

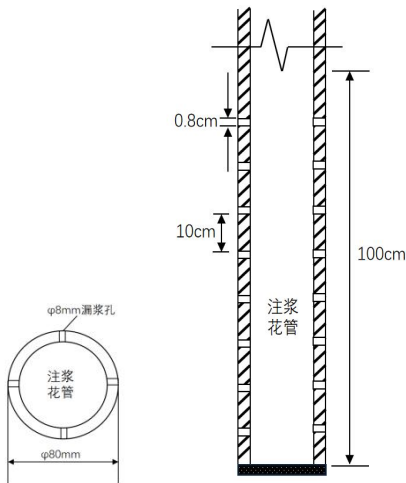


图 4.3.2 注浆花管示意图

4.3.5 在膨胀土边坡稳定加固中，每组微型灌注桩数量宜不少于 3 根。其中 2 根宜布设在垂直于地面的平面，且两者交角为 60° ，另 1 根宜与坡面垂直布置，布置示意图如下图 4.3.3 所示。

条文说明

微型灌注桩理论上应布置在与预测滑动面成 $45^\circ + \varphi/2$ (φ 为土的内摩擦角) 的方向上。但由于膨胀土滑动面可能有多种方向，而微型灌注桩的布置也可能有多种方向，因此必须考虑微型灌注桩与受拉变形间的角度误差，故而可将微型灌注桩布置在与土的受拉变形方向成 $0 \sim 20^\circ$ 的角度范围内，工程应用中为便于施工操作，宜将 2 根微型灌注桩布设在垂直于地面的平面，且两者交角为 60° ，另 1 根宜与坡面垂直布置。

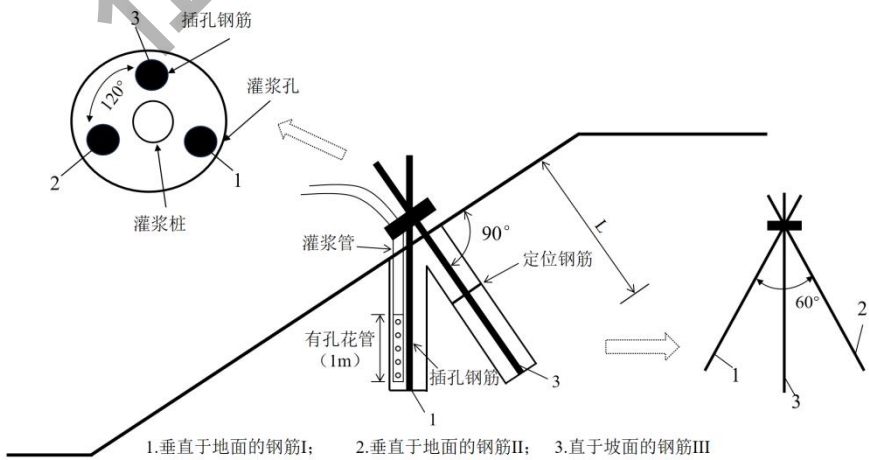


图 4.3.3 微型灌注桩桩孔断面示意图

4.3.6 宜采用钢筋混凝土格子梁将微型灌注桩纵横连接成整体，混凝土等级不低于 C25（见图 4.3.4），格子梁截面尺寸宜为 500mm×500mm 的方形，钢筋的数量、配置按设计要求确定。



图 4.3.4 微型灌注桩桩顶与混凝土格子梁连接现场实景

4.4 微型注浆钢管桩抗弯承载力计算

4.4.1 微型桩加固膨胀土边坡时，微型注浆钢管桩宜布置在坡底，微型注浆钢管桩的截面承载力应按下列规定验算：

作用于微型注浆钢管桩的弯矩全部由无缝钢管承担，并应符合下式规定：

$$\frac{1.5J}{E_j} \leq t_v \quad (4.4.1)$$

式中：J——作用于微型注浆钢管桩的弯矩标准值（N·mm）；

E_j ——无缝钢管沿弯矩作用方向的截面模量（mm³）；

t_v ——无缝钢管的抗弯强度设计值（N/mm²）。

4.4.2 作用于微型注浆钢管桩的剪力全部由无缝钢管承担，并应符合下式规定：

$$\frac{1.5V_k D_j}{R_a d_b} \leq \tau_v \quad (4.4.2)$$

式中：V_k——作用于微型注浆钢管桩的剪力标准值（N）；

D_j ——无缝钢管计算剪力处以上毛截面对中和轴的面积矩（mm³）；

R_a ——无缝钢管沿弯矩作用方向的毛截面惯性矩（mm⁴）；

d_b ——无缝钢管的壁厚（mm）；

τ_v ——无缝钢管的抗剪强度设计值（N/mm²）。

条文说明

本规程主要参编人员唐咸远、肖杰，前期开展了大量的微型注浆钢管桩物理力学性能试验、模型试验与数值分析，上述成果是对相关研究工作的总结，相关文献成果如下：

(1) 唐咸远，杨和平，肖杰，等．注浆微型钢管桩抗弯承载力及抗弯刚度研究[J]．工业建筑，2016，46(10)：89-94．

(2) 唐咸远，邹凯，梁静远．基于抗弯试验的注浆微型钢管桩影响因素数值分析[J]．混凝土，2019(3)：19-22．

(3) 唐咸远．膨胀土坡地上路堤失稳原因与微型钢管桩整治及地基处理技术研究，博士论文，2018．

4.4.3 微型注浆钢管桩的设计桩长，应参照表 3.1 取当地膨胀土地区大气影响急剧层深度的最大值 (H_{ym}) 再增加不少于 5m 的长度。

条文说明

根据《膨胀土地基建筑技术规范》(GB 50112)，大气影响层深度一般不超过 5.0m，大气影响急剧层深度一般为 2~3m。因此，微型注浆钢管桩长度应该达到 5.0m 以上，且应穿过潜在浅层滑裂面并增加一部分安全长度。

4.5 微型灌注桩抗拉承载力计算

4.5.1 微型桩加固膨胀土边坡时，微型灌注桩主要布置在倾斜坡面上，网状结构微型灌注桩桩体所承受的拉力宜采用压顶梁背面的作用力作为抗滑力分析。

(1) 采用压顶梁背面的作用力作为抗滑力分析时 (图 4.5.1)，作用于微型灌注桩的拉力按公式 (4.5.1) 计算：

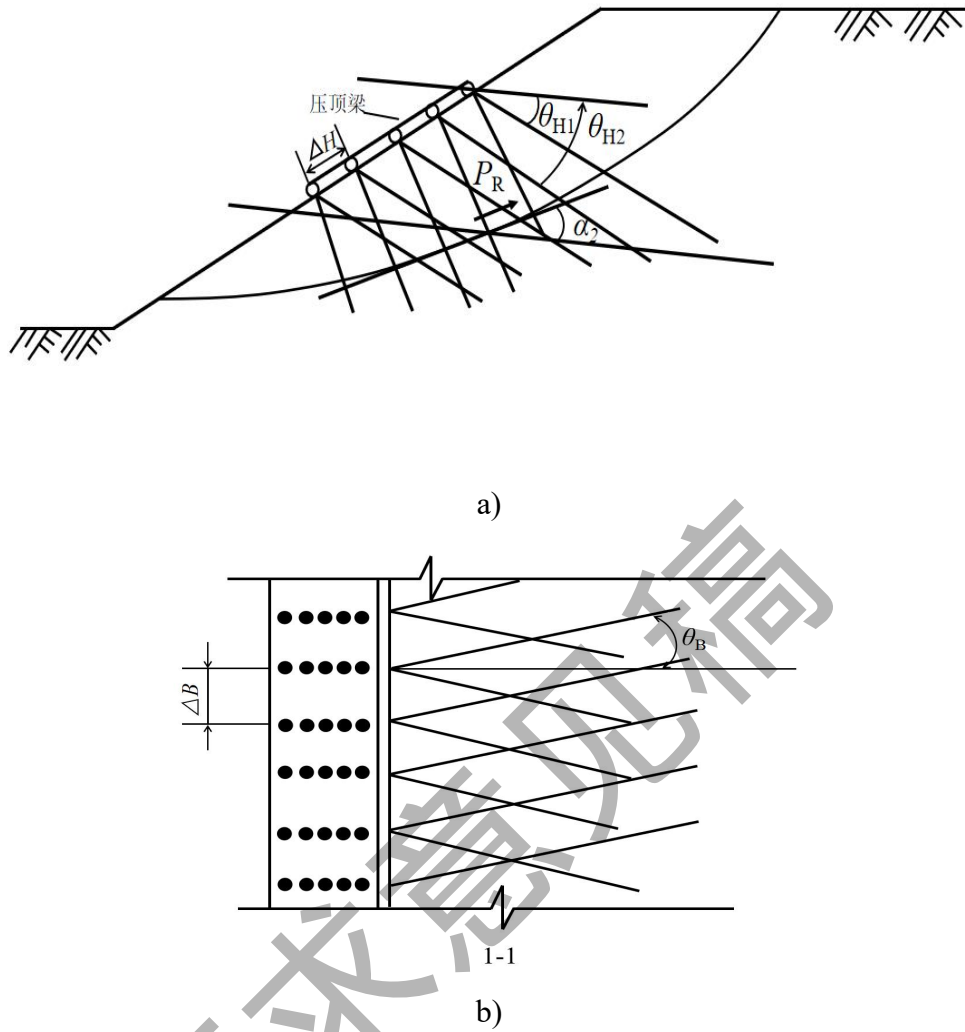


图 4.5.1 微型灌注桩拉力计算示意图

注：图中 ΔH 为微型灌注桩的纵向间距（m）； ΔB 微型灌注桩的横向间距（m）。

$$P_i = \lambda \cdot k_a (\gamma_{sat} \cdot H_i + q) \quad (4.5.1)$$

式中： p_i ——第 i 根微型灌注桩上作用的土压力（kPa）；

γ_{sat} ——土的饱和容重（kN/m³）；

H_i ——由上覆荷载作用面至第 i 根微型灌注桩的距离（m）；

q ——上覆荷载（kPa）；

k_a ——主动土压力系数；

λ ——膨胀土的主动土压力修正系数，即考虑膨胀土的胀缩变形对边坡抗力的不利影响，应根据工程经验并结合表 4.5.1 取值。

表 4.5.1 膨胀土主动土压力修正系数

膨胀土类别	弱膨胀土	中膨胀土	强膨胀土
λ	1.0~1.1	1.1~1.2	1.2~1.3

$$T_m = \frac{P_k}{S_1} \cos \alpha_2 \cdot \cos^{-1} \theta_H \cdot \cos^{-1} \theta_B \quad (4.5.2)$$

$$P_k = P_i \cdot \Delta H \cdot \Delta B \quad (4.5.3)$$

式中： T_m ——每根微型灌注桩上作用的拉力（kN）；

P_k ——为避免膨胀土边坡发生滑动破坏需增加的抵抗力（kN），根据边坡静力平衡分析，膨胀土边坡发生滑动破坏需增加的抵抗力与主动土压力相等；

S_1 ——单位宽度 1m 范围内微型灌注桩根数（根）；

α_2 ——滑动力作用方向与水平线所成的角度（°）；

θ_H ——微型灌注桩布置方向与水平线所成的投影角（°）；

θ_B ——微型灌注桩水平方向的角度（°）；

θ_B ——微型灌注桩水平方向的角度（°）。

(2) 钢筋的拉应力（图 4.5.1）应满足：

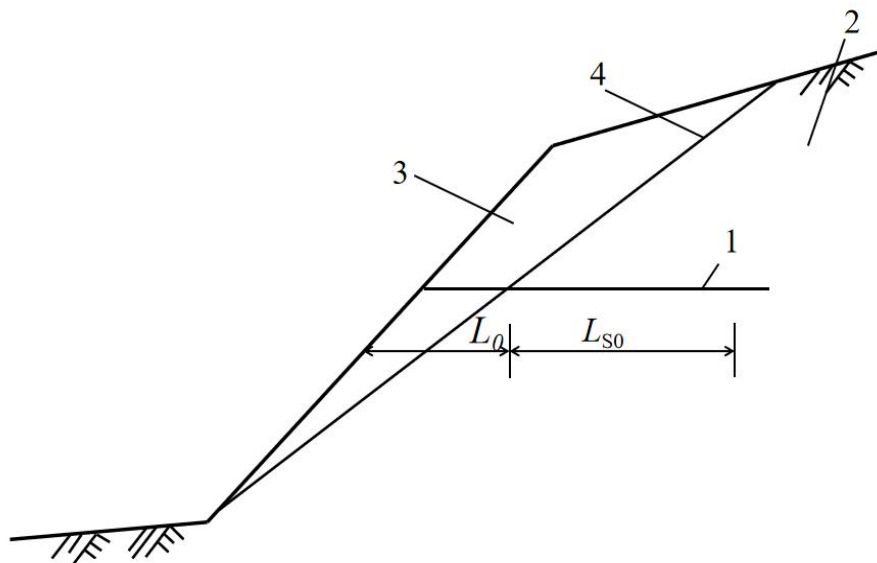
$$\sigma_{st} = \frac{T_m \times 10^3}{A_a} \leq f_y \quad (4.5.3)$$

式中： σ_{st} ——钢筋的拉应力（N/cm²）；

A_a ——钢筋的截面面积（cm²）；

f_y ——钢筋的抗拉强度设计值（N/cm²）。

4.5.2 微型灌注桩加固膨胀土时的桩长可根据冠梁后土体处于主动极限平衡状态进行设计计算。



1-微型灌注桩；2-锚固区；3-主动区；4-滑动面

图 4.5.2 微型灌注桩设计长度

微型灌注桩的设计长度 L 为微型灌注桩的锚固长度 L_{s0} 加上主动区内微型灌注桩的长度 L_0 ，但其总长不应小于 4m，即：

$$L = (L_{s0} + L_0) \geq 4.0 \quad (4.5.4)$$

式中： L ——微型灌注桩的设计长度（m）；

L_0 ——主动区内微型灌注桩的长度（m）；

L_{s0} ——微型灌注桩的锚固长度（m）。

图 4.5.2 所示的滑动面，其锚固区内的微型灌注桩可视为抵抗拉力作用；主动区内则不予考虑抵抗拉力的能力。

$$L_{s0} = \frac{T_m \times 10}{\pi D \tau_{s0}} \cdot F_{sp} \quad (4.5.5)$$

式中： D ——微型灌注桩的直径（cm）；

F_{sp} ——微型灌注桩与桩间土的粘着安全系数；

τ_{s0} ——钢筋与粘土间的粘着力强度设计值（N/cm²）。

(3) 钢筋与压顶梁的粘着长度：

$$L_{m0} = \frac{T_m \times 10}{\pi D \tau_{m0}} \quad (4.5.6)$$

式中： L_{m0} ——钢筋与压顶梁的粘着长度（m）；

d_3 ——钢筋直径 (cm) ;

τ_{m0} ——钢筋与压顶梁的粘着力强度设计值(N/cm²)。

4.5.3 微型灌注桩加固膨胀土时的微型灌注桩长度应超过潜在滑裂面但不宜超过 10.0m。

条文说明

根据《膨胀土地基建筑技术规范》GB50112, 大气影响层深度一般不超过 5m, 大气影响急剧层深度一般为 2m~3m。因此, 微型灌注桩长度应该达到 5m 以上, 且应穿过潜在浅层滑裂面并增加一部分安全长度, 但不宜大于 10m, 一旦超过这个深度, 边坡不再是浅层滑坡, 且微型灌注桩可能发生剪切变形破坏。

4.6 微型桩内注浆量计算

4.6.1 每孔注入量 (单位长度注浆量), 按照公式 (4.6.1) 计算。

$$G = Z_s \pi r^2 H_j n Z_t \quad (4.6.1)$$

式中: G ——每孔注入量 (m³);

Z_s ——浆液的损耗系数, 一般情况下, 取值在 1.15~1.30 之间;

r ——注浆有效扩散半径 (m);

H_j ——注浆有效孔深 (m);

n ——孔隙率 (%);

Z_t ——浆液的充填系数, 根据多年科研试验及注浆工程经验, 按照公式 (4.6.2) 计算。

4.6.2 根据多年科研试验及注浆工程经验, 浆液的充填系数 Z_t 可按公式 (4.6.2) 计算。

$$Z_t = \frac{e - e'}{(1 + e')(1 + e)} \quad (4.6.2)$$

式中: Z_t ——浆液的充填系数;

e 、 e' ——注浆前、后土体的孔隙比。设计时根据本地区类似工程经验取值, 注浆完成 14d 后可抽验孔隙比, 对比孔隙比, 评价施工质量。

4.7 微型桩加固膨胀土路基稳定性验算

4.7.1 微型灌注桩加固膨胀土边坡效果宜按土体的粘聚力增大了 Δc 值计算，计算公式如 4.7.1 所示：

$$\Delta c = \frac{R_t}{\Delta H \cdot \Delta B} \cdot \frac{\sqrt{K_p}}{2} \quad (4.7.1)$$

式中： Δc ——粘聚力的增量（kPa）；

R_t ——微型灌注桩的抗拉破坏强度（kN）；

K_p ——被动土压力系数。

考虑到微型灌注桩和受拉变形方向实际上存在的角度误差，因此粘聚力的增量可修正为：

$$\Delta c' = \cos \theta \cdot \cos \theta_\beta \cdot \Delta c \quad (4.7.2)$$

式中： $\Delta c'$ ——近似修正后的粘聚力增量（kPa）；

θ ——推算所得土的拉伸变形方向与微型灌注桩布置方向所成的角度（°）；

θ_β ——微型灌注桩水平方向的角度（°）。

条文说明

微型灌注桩加固膨胀土边坡时，由于网状结构微型灌注桩的布置与滑动方向成 $45^\circ + \varphi/2$ 署的角度，这可约束土的受拉变形。其加固效果可看作是使土体的粘聚力增大了 Δc 值，增大了小主应力就可使其与大主应力的比值增大，从而提高土体的强度并增加其稳定性。

4.7.2 微型注浆钢管桩加固膨胀土边坡的效果，宜按提供抗滑力考虑，微型注浆钢管桩提供的抗滑力按 4.7.3 计算：

$$F_{kz} = \partial [\pi d^2 \cdot \tau_1 / 4 + (d_1^2 - d_2^2) \cdot \tau_2 / 4] \quad (4.7.3)$$

式中： F_{kz} ——微型注浆钢管桩提供的抗滑力（kN/m）；

$\partial = \frac{1}{y}$ ， y 为桩间距（m）；

τ_1 ——浆体的抗剪强度设计值（kPa）；

τ_2 ——注浆钢管的抗剪强度设计值（kPa）；

d ——微型桩的直径 (m) ;

d_1 ——注浆钢管的外径 (m) ;

d_2 ——注浆钢管的内径 (m) 。

4.7.3 微型桩加固后膨胀土边坡的安全系数 F_s 应综合考虑微型注浆钢管桩提供的抗滑力, 并考虑微型灌注桩对土体粘聚力的增强作用, 按照公式 (4.7.4) 计算。

$$F_s = \frac{F_k}{F_h} = \frac{\eta \sum [(c_i + \Delta c') l_i + W_i \cos \alpha_i \tan \phi_i] + F_{kz}}{\sum W_i \sin \alpha_i} \quad (4.7.4)$$

式中: F_s ——膨胀土路基的安全系数;

F_k ——抗滑力的总和 (kN/m) ;

F_h ——下滑力的总和 (kN/m) ;

l_i ——第 i 个土条的宽度 (m) ;

α_i ——第 i 个土条底滑面的倾角 ($^\circ$) ;

c_i ——第 i 土条滑面所在土层的黏聚力;

ϕ_i ——第 i 土条滑面所在土层的内摩擦角;

W_i ——第 i 土条的重力标准值 (kN/m) ;

η ——膨胀土边坡抗滑力折减系数, 即考虑膨胀土的膨胀力及干缩开裂对边坡抗滑力的不利影响, 应根据工程经验并结合表 4.7.1 取值。

表 4.7.1 膨胀土边坡抗滑力折减系数

膨胀土类别	弱膨胀土	中膨胀土	强膨胀土
η	0.9~1.0	0.8~0.9	0.7~0.8

4.7.5 采用微型桩加固膨胀土边坡时, 应系统地做好坡顶、坡面和坡脚的防、排水设计。

条文说明

微型桩主要用加固膨胀土边坡的浅层滑坡, 微型桩的入土深度偏浅, 应做好坡顶的防、排水以及坡面和坡脚的排水设计, 防止坡顶产生裂缝引发深层滑坡及坡面和坡脚产生冲蚀破坏等。

5 施工

5.1 施工准备

5.1.1 微型桩公路膨胀土边坡加固处理施工应具备下列资料：

- (1) 岩土工程勘察报告；
- (2) 微型桩加固处理公路膨胀土边坡施工图及图纸会审纪要；
- (3) 主要施工机械及其配套设备的技术性能资料；
- (4) 微型桩施工组织设计；
- (5) 钢管桩、钢筋及水泥出厂合格证。

5.1.2 微型注浆钢管桩加工、制作应按设计图纸和技术文件要求进行，成品桩进场应检查验收合格后方可进行施工。

5.1.3 通过试验确定合理的施工工艺参数，应根据设计、钻孔、土层情况综合确定钻孔机具和工艺。

5.1.4 统筹好交通组织设计，减少路面行车对施工质量的不利影响。

5.1.5 微型桩宜采用干法成孔，可采用冲击钻、螺旋钻或取土器等设备，钻孔应采用跳打法。微型桩正式施工前，应进行试成孔。

5.1.6 成孔的同时应取岩芯验证地质情况，以便能够及时调整钻孔深度或采取其他行之有效的措施。

5.1.7 钻孔过程中针对不同地层的稳定情况，主要采用了套管钻进、调整钻进速度、复核钻头直径等钻进工艺来保证成孔孔径满足设计要求。

5.1.8 钻孔过程中应对导杆角度进行测量，严格控制倾角偏差在 1%以内。

5.1.9 钻孔过程中如孔壁稳定情况较差，提钻过程中碰撞了孔壁，将发生塌孔现象，并在孔底形成沉渣，则在下钢管前应对钻孔进行清孔以保证桩长。

5.1.10 完成成孔质量验收后，应尽快开展钢筋笼、注浆管与钢管桩的埋设、注浆等施工工艺。

5.2 微型注浆钢管桩施工

5.2.1 微型注浆钢管桩施工工序，按下图 5.2.1 流程进行。

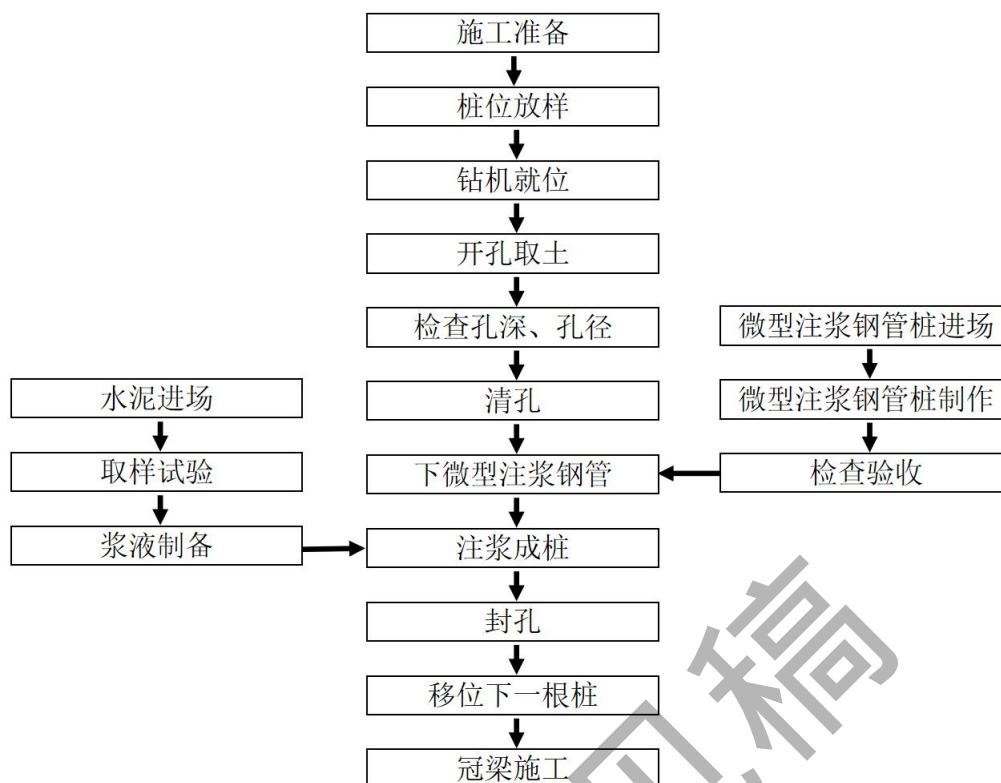


图 5.2.1 微型注浆钢管桩施工流程图

5.2.2 钢管桩一般采用植入法施工，采用钻机成孔，然后植入钢管再注浆封孔，封孔长度应满足形成注浆压力的要求。

5.2.3 注浆钢管应放置于钻孔中心，与孔壁保持顺直。

5.2.4 微型钢管桩注浆时，应根据设计文件要求制备水泥浆液，并应满足以下要求：

(1) 纯水泥浆采用强度等级为 P.C32.5 或以上的复合硅酸盐水泥配制，通常水灰比宜为 0.6:1~0.8:1，宜采用能实现水灰比自动控制的制浆工艺，必要时加入减水剂、早强剂等外加剂。

(2) 注浆施工遵循“围、挤、压”步骤的原则，采用低压自下而上逐段灌注加固的工艺，注浆压力宜为 0.2Pa~0.7Pa，注意监测路面及通道变化情况，避免破坏路面层和路基边坡。

(3) 注浆工艺应根据试桩确定，一般采用分次序全孔一次性注浆或分段注浆。

(4) 注浆时应先注边排后注中间排，应加强注浆过程控制，做好注浆记录，动态调整注浆压力、注浆量及注浆时间，提拔注浆管时速度和力度均应适中，灌浆速度应适宜，防止发生断桩、夹泥、堵管等现象，避免对路面结构及周边土体或结构物造成破坏。

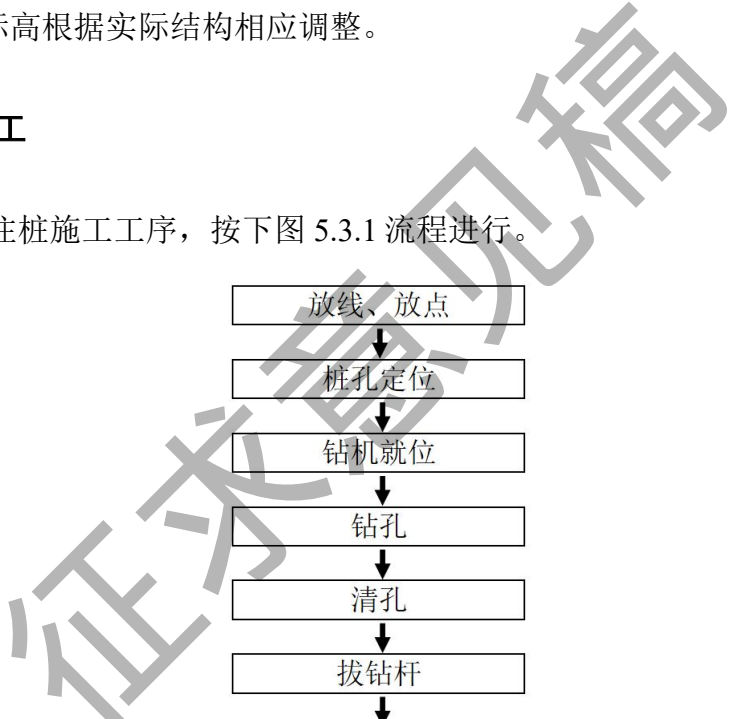
(5) 施工中如因地基岩土结构松散等原因不能达到设计注浆压力且流量过大时，应暂停注浆，分析原因并采取有效措施。一般情况下，可考虑在浆液中掺入少量细砂或适量速凝剂，或采用二次注浆的工艺进行。

5.2.5 宜将相邻已灌注成桩的微型钢管桩桩头用混凝土浇注成冠梁，将微型注浆钢管桩连成整体，并应满足以下要求：

- (1) 冠梁内置钢筋，钢管顶部与冠梁主筋桩焊牢。
- (2) 为确保施工安全，冠梁需分段浇筑，分段长约 5m~10m，相邻段间主筋应相互搭接并双面满焊，焊接段不小于 10cm。
- (3) 冠梁顶面宜与膨胀土边坡坡底基础顶面齐平，如基础顶面出露，则冠梁顶平地面，冠梁体标高根据实际结构相应调整。

5.3 微型灌注桩施工

5.3.1 微型灌注桩施工工序，按下图 5.3.1 流程进行。



5.3.1 微型灌注桩的施工工艺流程图

5.3.2 微型灌注桩应清孔后逐节拔钻杆，插入钢筋或钢筋笼，再填料注浆，并应满

足以下要求:

(1) 三角形的钢筋笼分节制作, 插入时上下两节钢筋笼竖向钢筋采用焊接连接, 其接头钢筋面积在同一截面不大于 $1/3$ 。在钢筋笼的中心绑扎一根 $\phi 4$ 的PVC管, 作为注浆管, 注浆管的下端距孔底为300mm左右, 钢筋笼的三侧设定位块。

(2) 钢筋笼在定位块约束下, 垂直插入桩孔内, 施工中注意防止将周围的土带人孔内将孔堵塞。钢筋笼完全插入后, 其顶端外露的注浆管与高压泥浆泵的高压胶管接头连接并箍紧。

(3) 在钢筋笼下入孔内之后, 直接往孔内填入5mm~15mm粒径的碎石。下碎石料时不宜太快, 下料过程中, 应轻击钢筋笼, 以保证填料密实。当采用碎石和细石填料时, 填料应经清洗, 投入量不应小于计算桩孔体积的0.9倍, 填灌时应同时用注浆管注水清孔。

(4) 为便于在坡面施工, 还可采用泵送或管送混凝土(砂浆)灌注法替代传统人工投石注浆法进行灌注桩施工。

5.3.3 微型灌注桩注浆材料可采用水泥浆液、水泥砂浆或细石混凝土, 当采用碎石填灌时, 注浆应采用水泥浆, 并应满足以下要求:

(1) 当采用一次注浆时, 泵的最大工作压力不应低于1.5MPa。开始注浆时, 通常需要1MPa的起始压力, 将浆液经注浆管从孔底压出, 注浆压力宜为0.1MPa~0.4MPa, 使浆液逐渐上冒, 直至浆液泛出孔口停止注浆。

(2) 当采用二次注浆时, 泵的最大工作压力不应低于4MPa。待第一次注浆的浆液初凝时方可进行第二次注浆, 浆液的初凝时间根据水泥品种和外加剂掺量确定, 可控制在45min~60min范围。

(3) 第二次注浆压力宜为2MPa~4MPa, 二次注浆不宜采用水泥砂浆和细石混凝土而通常采用水泥浆液。

(4) 第一次注浆后稳定45min~60min左右, 再进行第二次注浆, 第二次注浆应边注浆边将注浆管向外拔。拔管后应立即在桩顶填充碎石, 并在1m~2m范围内补充注浆。

条文说明

应采取有效措施, 防止浆液在土体中流失, 亦应避免地下空洞造成浆液流失。同时, 应避免施工过程中出现的桩孔变形与移位引起的微型桩失稳与扭曲。

5.3.4 宜将已灌注成桩的每组钢筋头用电焊焊接在一起，然后用钢筋混凝土格子梁将微型灌注桩连成整体，并应满足以下要求：

- （1）格子梁内置钢筋，微型灌注桩顶部钢筋与格子梁主筋焊牢。
- （2）格子梁施工前，应清除坡面堆，格子梁置入土体中的高度应不低于梁高的一半。
- （3）格子梁模板施工应采用支模现浇，混凝土强度不低于 C25。
- （4）钢筋采用 HPB235 及 HRB335 钢筋，可在现场制作与安装，接头应符合《混凝土结构工程施工及验收规范》（GB 50204-2002）的规定。

征求意见稿

6 质量控制

6.1 一般规定

6.1.1 微型桩施工过程中应随时检查施工记录和计量记录，逐一对单桩按规定的施工工艺进行质量评定。

6.1.2 注浆质量检查应依据设计注浆压力和注浆量来进行过程控制。

6.1.3 微型桩应进行桩位、桩长、桩径及桩身质量检验。

6.1.4 成孔垂直度允许偏差应不大于 1%。

6.1.5 桩体所用材料性能和桩身防腐处理应符合设计文件及国家现行有关标准要求。

6.1.6 施工质量检验与评定还应符合相关标准规范的要求。

6.1.7 微型桩工程的检验按时间顺序可分为施工前检验、施工检验和施工后检验。

6.1.8 对砂、石子、水泥、钢材等桩体原材料质量的检验项目和方法应符合国家现行有关标准的规定。

6.2 检验与评定方法

6.2.1 所有施工材料均应在使用前由监理单位按其质量、规格要求分批进行验收。

6.2.2 微型桩质量检验项目与注浆质量检验项目应包括成孔的中心位置、孔深、孔径、垂直度、孔底沉渣厚度、桩身完整性、浆液配合比、浆液浓度及注浆强度。

6.2.3 可采用低应变法检测注浆加固效果。

6.2 微型桩施工质量要求

6.2.1 微型桩施工质量要求如下表 6.1.1 所示。

表 6.1.1 微型桩施工质量要求

序号	检查项目	允许偏差或允许值 (mm)	检查方法
1	主筋距离	± 10	用钢尺量
2	主筋长度	± 100	用钢尺量
3	钢筋质材检验	设计要求	抽样送达
4	箍筋距离	± 20	用钢尺量
5	钢筋直径	± 10	用钢尺量
6	水泥质量	符合设计要求	查产品质量合格证书 且抽样送检:每 200t
7	钢管尺寸	符合设计要求	游标卡尺: 抽查 1%
8	碎石粒径 (mm)	符合设计要求	筛分法: 每 200m ³ 或 300t
9	桩长 (m)	$\geq$ 设计值	施工过程抽检钻孔深度, 抽查 10%
10	桩距 (mm)	$\geq$ 设计值	尺量: 抽查 2% 且不少于 5 点
11	桩径 (mm)	$\geq$ 设计值	尺量: 抽查 2% 且不少于 5 点
12	单桩每延米注浆量	$\geq$ 设计值	查施工记录

7 监测

7.0.1 微型桩膨胀土边坡加固处理工程宜进行施工全过程的监测，施工中应有专人或专门机构负责监测工作。

7.0.2 微型桩应进行桩顶位移的变形观测，可利用全站仪或埋设远程无人监测设备进行变形监测，掌握加固膨胀土路基各点在施工过程及施工完运营期间的水平位移变化情况，及时提供预警信息。

7.0.3 当施工降水对周边环境有影响时，应对有影响的建筑物、地下管线和道路等进行沉降监测，同时监测边坡变形、冒浆，路面鼓包、隆起、沉降等，并监测地下水位的变化。

征求意见稿

本规程用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

- 1) 表示很严格，非这样做不可的：正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；
 - 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；
 - 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
 - 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。
- 2 条文中指明应按其它有关标准执行的写法为“应符合.....的规定”或“应按.....执行”。

引用标准名录

- 《膨胀土地区建筑技术规范》GB 50112
- 《复合地基技术规范》GBT 50783-2012
- 《工业建筑防腐设计标准》GB/T 50046
- 《钢结构设计规范》GB 50017
- 《混凝土结构工程施工及验收规范》GB 50204-2002
- 《公路工程质量检验评定标准》JTGF 80/1-2017
- 《建筑桩基技术规范》JGJ 94-2008
- 《建筑施工安全检查标准》JGJ 59-2011
- 《膨胀土地区公路勘察设计规程》DB45/T 1829-2018
- 《微型桩地基基础加固处理技术规程》DB 37T5218-2022
- 《公路边坡工程技术规程》DB 45/T 2149—2020