

# 注浆钢花管桩在软基处理中的应用

宋 斌

中交二航局建筑科技有限公司, 湖北 武汉  
Email: 403838373@qq.com

收稿日期: 2021年4月24日; 录用日期: 2021年5月9日; 发布日期: 2021年5月27日

---

## 摘 要

采用现场试验, 从土体变形规律及钢花管的受力特性两方面研究多次注浆钢花管桩在堆载预压软基处理中的应用。试验结果表明多次注浆钢花管桩能有效控制整个堆载预压过程中土体侧向位移, 多排桩均发挥了作用, 且前排桩发挥作用更大, 注浆钢花管桩有效防止了堆载预压过程中地基土体滑移破坏的可能。对于类似场区处理具有很强的指导意义。

## 关键词

钢花管桩, 注浆, 堆载预压, 抗滑

---

# The Application of Grouting Steel Pipe Piles in Soft Foundation Treatment

Bin Song

CCCC Second Navigation Bureau Construction Technology Co., Ltd., Wuhan Hubei  
Email: 403838373@qq.com

Received: Apr. 24<sup>th</sup>, 2021; accepted: May 9<sup>th</sup>, 2021; published: May 27<sup>th</sup>, 2021

---

## Abstract

Based on field tests, the application of grouting steel pipe piles in soft foundation treatment under pile preloading is studied repeatedly from two aspects: soil deformation law and stress characteristics of steel pile. The test results show that multiple grouting steel pipe piles can effectively control the lateral displacement of the soil during the pile preloading. Multiple rows of piles have played a role, especially the front piles. The grouting steel pipe piles can effectively prevent the possibility of slippage damage to the foundation soil during preloading, which has significant guidance to the treatment of similar fields.

## Keywords

Steel Pipe Pile, Grouting, Preloading, Anti-Sliding

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

近年来, 多次注浆钢花管桩逐渐兴起, 是通过注浆方法与微型桩相结合的一种新技术[1] [2] [3]。在微型桩的基础上通过多次注浆技术, 利用桩周土中形成水泥胶结体, 进而提高桩间土体的强度, 同时增强群桩整体效果, 加固岩土体, 并提高其抗滑效果。相较于微型桩来说其加固效果更好。

多次注浆钢花管桩大量应用于堆积体处置、滑坡治理以及危岩体加固等工程[4] [5] [6], 并取得了良好的加固效果。刘洪波[7]采用花管注浆成桩法处理厂房沉降问题, 其特点具有施工简便、不受场地限制、不影响生产、加固效果好、施工速度快等优点。王华俊等[8]通过对边坡挡墙采用钢花管注浆技术的现场试验研究, 确立了合理的注浆压力、扩散半径及注浆孔间距。何永华和李治国[9]介绍了采用钢花管劈裂注浆技术加固的施工流程和技术特点。

总的来说, 国内外学者针对注浆钢花管桩新技术进行了大量的试验研究, 但应用效果有限, 因此本文以汕头东部城市经济带陆域形成市政道路场地为研究对象。将注浆钢花管桩技术引入到堆载预压软基处理工程中, 针对多次分段注浆钢花管桩结构抗滑机制开展试验研究, 以期为类似场区处理提供技术参考。

## 2. 试验方案设计及流程

### 2.1. 试验方案设计

汕头东部城市经济带陆域形成场地范围内, 软土厚度分布广, 含水率大, 渗透性差, 工程性质差。现场选取典型场地进行试验区处理, 处理方式采用插排水板 + 堆载预压。现场预压堆载采用分层多次堆载, 预压荷载约 75 kPa, 分三次加载, 累计堆载高度为 3.9 m, 边坡坡度控制 1:1。将试验区细分为两个小试验区, 试验区一堆载预压处理过程中堆载边坡脚未进行处理, 试验区二选择在预压堆载边坡脚布置三排钢花管桩, 现场分两次注浆以提高坡脚土体整体刚度, 并通过设置在桩体两侧的钢筋计采集堆载处理过程中的应变数据, 分别在两个试验区坡顶位置布置沉降观测点以及坡脚位置布置深层水平位移观测点, 试验区测点及注浆钢花管桩布置见图 1 所示。

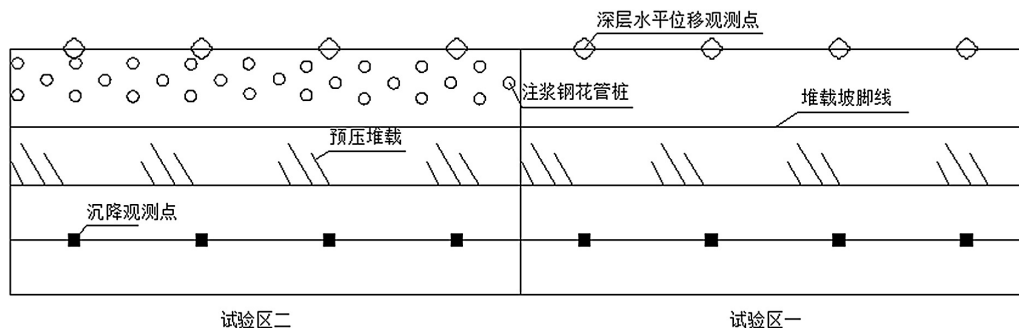


Figure 1. Layout of monitoring points in the test area

图 1. 试验区监测点布置图

## 2.2. 试验流程

1) 场地平整, 埋设沉降及深层水平位移观测点, 插打塑料排水板施工。

2) 加工钢花管: 选用钢管规格为外径 89 mm, 壁厚 8.0 mm, 并在其上分段钻出直径为 8.0 mm, 间距为 10 cm 的, 圆孔作为浆液通道, 每一段控制长度在 1.0 m, 为保证在管壁注浆时水泥浆液不会倒灌入钢管内, 同时二次注浆浆液可以劈开注浆孔, 需要对钢管注浆孔外壁使用橡胶软管封孔。将钢筋计焊接在钢管两侧, 为使钢筋计不受注浆影响, 在应变计外焊接保护盒, 用环氧树脂胶水密封。

3) 钢花管安装: 钢花管制作完成后, 使用钻机钻孔, 为了确保钻孔在打孔过程中始终保持垂直, 需使用铅垂线调整钻杆垂直度; 钻孔完毕后下管。

4) 注浆施工: 试验的注浆设备主要包括: 注浆机、搅拌箱及浆液箱。试验中首先将水泥与水以固定的配合比倒入尺寸为  $1.2 \times 1.0 \times 0.3$  m 的搅拌箱内进行搅拌, 将搅拌均匀的浆液倒入浆液箱。利用注浆管将浆液箱与注浆机相互连接, 打开注浆机, 在压力的驱动下, 浆液将通过注浆枪头注入钻孔(一次管外注浆)和钢管内(二次劈裂注浆)。在钢花管安装完毕后, 应及时进行一次管外注浆; 二次注浆(劈裂注浆)时, 由于注浆压力较大, 钢花管管口应加钢板盖密封。

5) 填料堆载: 依据设计分三级填土堆载, 控制堆载速率, 边坡坡度控制 1:1。整个堆载预压过程中根据现场情况对已埋设完成的观测点进行数据采集。

## 3. 试验结果分析

### 3.1. 固结度分析

试验区堆载初期, 随着地基土内孔隙水逐渐排出, 土体压缩变形不断发展, 直至现场加载完成, 在稳定荷载作用下, 地基土体沉降速率逐渐减小, 随着时间的增加, 堆载在地基土体中形成的超孔隙水压力逐渐消散, 地基土体沉降速率逐渐趋于稳定, 沉降变形也趋于稳定。基于现场实测沉降数据, 采用目前常用规范双曲线法分别推算试验区最终沉降量  $S_{\infty}$ ,  $S_t$  采用某个研究时刻的实测观测沉降量, 取其比值为沉降固结度, 并以此绘制试验区施工期内固结度历时曲线如图 2 所示, 从图中可以看出, 两个试验区经过堆载预压处理后固结度均达到了 90% 以上, 其中试验区一固结度为 90.74%, 试验区二固结度为 92.09%, 说明堆载预压过程中软基土体固结基本完成。从两试验区施工期内固结度历时曲线上看, 两个试验区固结历时曲线基本上保持一致, 说明在整个施工过程中, 坡脚注浆钢花管桩并未改变地基土体内排水通道, 地基土体固结过程不受影响。

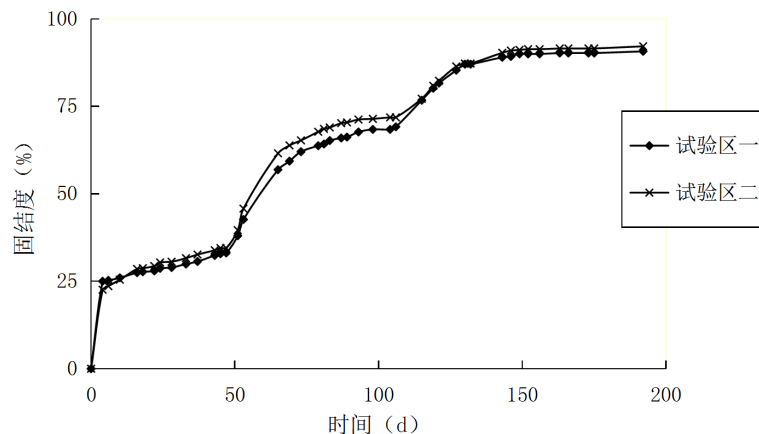


Figure 2. Consolidation duration curve during the construction period of the test area

图 2. 试验区施工期内固结度历时曲线

### 3.2. 地基土体水平位移分析

试验区内共布置了 8 个深层水平位移监测点，本文中分别选取各试验区水平位移最大值监测点为研究对象，绘制水平位移深度曲线如图 3 所示，其中 CX1-3 为试验区一内监测点，CX2-2 为试验区二内监测点，从图 3 中可以看出，试验区一地基土体水平位移最大值为 142.33 mm，远远大于试验二区内水平位移最大值 62.7 mm，且试验二区内地基土体水平位移主要发生在地表以下 4 m 内，4 m 以下水平位移较小，说明在整个堆载预压过程中注浆钢花管桩能够很好的控制土体侧向位移，有效地防止了堆载预压过程中地基土体滑移破坏的可能。

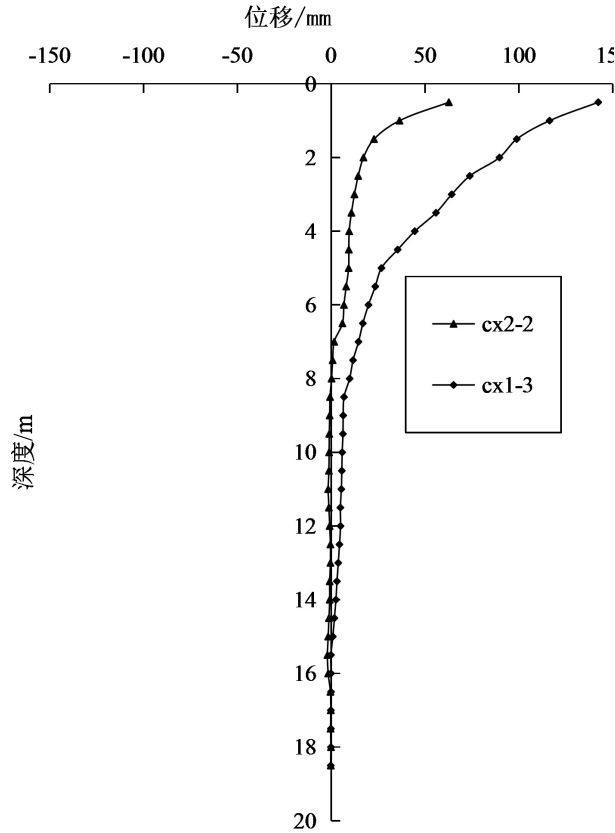


Figure 3. Horizontal displacement depth curve  
图 3. 水平位移深度曲线

### 3.3. 注浆钢花管桩弯矩分析

试验二区内钢花管为  $\Phi 89 \times 8$  mm，钻孔直径 130 mm，水泥浆液采用普通硅酸盐水泥，抗压强度标准值为 42.5 MPa。根据《混凝土结构设计规范》GB50010-2010 附录 E.0.4 圆形截面混凝土受弯承载力公式：

$$N \leq \alpha \alpha_1 f_c A \left( 1 - \frac{\sin \pi \alpha}{2\pi} \right) + \alpha - \alpha_t f_y A_s \quad (1)$$

$$N e_i \leq \frac{2}{3} \alpha_1 f_c A r \frac{\sin^3 \pi \alpha}{\pi} + f_y A_s r_s \frac{\sin \pi \alpha + \sin \pi \alpha_t}{\pi} \quad (2)$$

$$\alpha_t = 1.25 - 2\alpha \quad (3)$$

$$e_i = e_0 + e_a \quad (4)$$

其中:  $f_y$  为钢管抗剪强度设计值, 取 180 MPa;  $E_c$  为浆体弹性模量取  $2.5 \times 10^4$  MPa;  $E$  为钢管弹性模量取  $2.06 \times 10^5$  MPa;  $A$  为圆形截面面积;  $A_s$  为全部纵向普通钢筋的截面面积;  $f_c$  为浆体弯曲抗压强度设计值取 19.1 MPa;  $f_y$  为钢管抗拉强度设计值 310 MPa;  $r$  为圆形截面半径 65 mm;  $r_s$  为钢管截面重心所在圆周半径;  $e_0$  为轴向压力对截面重心的偏心距;  $e_a$  为附加偏心距;  $\alpha$  为受压区截面面积的在圆心角(rad)与  $2\pi$  的比值;  $\alpha_t$  为受拉钢管截面面积的与全部钢管面积的比值。解式(1)得  $\alpha = 0.489$ ,  $\alpha_t = 0.380$ , 将其带入式(2), (3)得到钢花管的受弯承载力  $M_u = 18.5 \text{ kN}\cdot\text{m}$ 。

通过设置在注浆钢花管桩两侧的钢筋计, 采集应力变化值, 可通过式(1)~(4)反推出桩身弯矩值。每排钢花管桩桩身平均弯矩变化如图 4 所示。

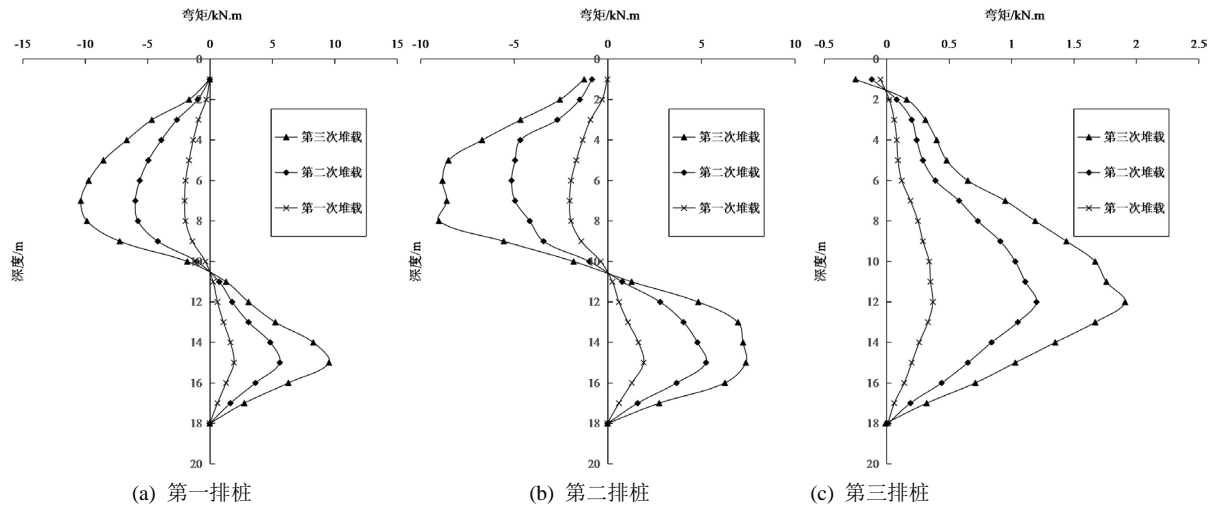


Figure 4. Bending moment diagram of steel pipe pile  
图 4. 钢管桩桩身弯矩图

从图 4 中可以看出, 前两排钢管桩弯矩分布相似, 基本呈 S 型, 10 m 深度上部靠近边坡一侧受拉, 10 m 下部靠近边坡一侧受压。滑面以上最大弯矩分布在距顶部 6.0~8.0 m 处; 滑面以下最大弯矩分布在距顶部约 13.0~15.0 m 处; 第三排钢管桩整体靠近边坡一侧受拉。总体来说其发挥了第一排和第二排桩分别发挥了 57% 和 47% 的承载力, 可以看出, 在堆载预压处理过程中, 坡脚不同排数的钢花管桩均产生了弯矩, 且安全储备较大; 三排桩中第一排和第二排桩的弯矩值变化规律较为接近, 表明群桩结构前排桩发挥抵抗作用更大。

#### 4. 结论

通过现场试验, 主要得出以下结论:

- 1) 采用多次注浆钢花管桩能有效控制整个堆载预压过程中土体侧向位移, 防止地基土体发生滑坡破坏, 且不影响地基土体固结过程。
- 2) 堆载预压过程中, 坡脚不同排数的钢花管桩均产生了弯矩, 能有效发挥其抗弯性能, 且群桩结构中前排桩发挥作用更大。

#### 参考文献

- [1] 刘刚. 钢花管注浆法处理路堤开裂实例[J]. 城市道桥与防洪, 2012(6): 20, 249-251, 259.
- [2] 成尚锋, 张海燕. 钢花管注浆技术在填方路基病害处治中的应用[J]. 中外公路, 2007(4): 36-39.

- [3] 陈强, 陈炜韬, 刘世东, 马青杰. 注浆钢管微型桩加固滑坡的试验研究[J]. 西南交通大学学报, 2011, 46(5): 758-763.
- [4] 潘锋. 注浆钢管微型桩在路基滑坡治理中的应用[J]. 工程与建设, 2017, 31(4): 527-529.
- [5] 谭文勇. 钢花管分段注浆工艺试验与检测[J]. 施工技术, 2016, 45(6): 122-128.
- [6] 陈质彬. 惠澳公路高边坡监测方法探讨[J]. 广东公路交通, 2005(3): 48-50, 53.
- [7] 刘洪波. 花管注浆成桩法在已建厂房沉降地面地基加固中的应用[J]. 广东土木与建筑, 2004(7): 55-57.
- [8] 王华俊, 徐洪科, 董理金. 钢花管注浆加固在高速公路边坡挡墙病害防治中的应用研究[J]. 地质灾害与环境保护, 2016, 27(3): 92-95.
- [9] 何永华, 李治国. 钢花管劈裂注浆施工技术[J]. 施工技术, 2008(S1): 254-256.