

# 高压旋喷水泥土桩加固软土地基技术

张长领<sup>1</sup> , 王国瑞<sup>2</sup>

(1. 宁夏大学 土木与水利工程学院, 宁夏 银川 750021;  
2. 阿拉善左旗建筑设计室, 内蒙古 阿拉善左旗 010100)

**摘 要:** 高压旋喷水泥土桩是一种地基处理新技术, 可根据工程需要, 通过控制喷射压力、灌浆量、改变提升速度等途径, 将原状土喷射搅拌成不同形状的固结桩体。它的质量可以通过桩位、桩径、桩长、桩材及桩的完整性等方面进行控制。该型桩的发展方向应是大直径、高强度和复合型。其基本技术的特点是就地成桩、质量可靠、施工简便和适用范围广。探讨并介绍了高压旋喷水泥土桩的施工技术, 其中包括施工方法、施工中的故障处理、桩体的质量控制以及工程质量的检查和试验方法, 并给出了工程实例。

**关键词:** 高压旋喷水泥土桩; 高压旋喷; 水泥土桩; 就地成桩; 软土加固

中图分类号: TU599

文献标志码: A

高压旋喷水泥桩技术注浆施工法, 是利用钻机把带有喷嘴的注浆管进入土层的预定位置, 用高压设备把浆液或水以 20 ~ 40 MPa 的高压从喷嘴中喷出, 冲击破碎土体; 同时, 喷嘴按一定的要求移动, 使浆液与土搅拌混合形成水泥土体, 待其凝固后形成设计形状的水泥土固结体。按照喷射流的移动方式不同, 高压喷射注浆可分为旋转喷射和定向喷射两种形式。旋喷: 喷嘴在喷射时一面提升一面旋转, 固结体成圆柱状。定向喷射: 喷嘴在喷射时只提升或仅作微小摆动, 固结体呈板壁状或扇壁状。根据设计需要<sup>[1-3]</sup>, 控制喷射压力、灌浆量、改变提升速度, 可喷射成不同形状的固结体。在旋喷施工中, 应从桩位、桩径、桩长、桩材及桩的完整性等方面进行控制, 以保证施工质量。

## 1 旋喷水泥土桩施工技术

### 1.1 施工方法

旋喷施工时, 首先应按施工图纸放样, 确定成桩位置<sup>[2]</sup>。然后, 让钻机正确就位、成孔, 插喷浆管, 按设计要求配置水泥浆, 再按设计或现场试验确定的施工参数进行喷射作业, 进行全程监控, 作好施工记录。若达到设计要求, 设备移至下桩位重复上述作业直至工程完工。

旋喷机就位时, 钻盘要与钻机对正, 机座要平稳。

垂直施工时, 钻机的斜率一般不大于 1.5%。旋喷前要检查高压设备和管路系统, 其压力和流量必须满足设计要求, 注浆管和喷嘴内不得有任何杂物。插管时, 要注意防止风、水喷嘴被泥水堵塞, 一般可在插管前用一层薄塑料膜包扎好风、水喷嘴。旋喷施工时, 要做好压力、流量和冒浆量的测量工作, 并按规定逐次记录。各配套设备开动应有顺序: ①空载启动空压机, 待运转正常后, 再空载启动高压泵, 然后同时向孔内送风和水, 使风压和泵压逐渐升高到规定值; ②风、水畅通后, 即可开动注浆泵, 先向孔内送清水, 待泵量正常后, 开动转盘转动注浆量; ③待一切正常后, 即可将注浆泵的吸水管移至贮水桶内开始注浆, 待估计水泥浆已流出喷头时, 即可按要求边旋转、边提升进行旋喷作业。旋喷中需拆卸注浆管时, 应先停止提升和回转, 同时停止送浆, 然后逐渐减少风压和水压, 最后停机。拆卸完毕继续旋喷时, 开机顺序必须遵守操作规定的规定。为防止旋喷固结体脱节, 应使旋喷孔段互相搭接大于 0.1 m。旋喷作业达到设计深度后, 即可停风停水, 继续注浆, 待水泥浆从孔口返出后, 停止注浆, 立即将吸水管移至清水箱, 开泵抽吸清水, 并拔出注浆管, 待吸入清水将注浆管中的水泥浆顶出后, 即可停泵。旋喷结束后, 卸下的注浆管应立即用清水将其各通道冲洗干净并拧上堵头。注浆泵、送浆管路和搅拌机等都

收稿日期: 2003 - 10 - 25.

基金项目: 宁夏教育厅科研基金资助项目(2001105).

作者简介: 张长领(1957—), 男, 高级工程师, 主要从事岩土工程与应用的研究。

要用清水彻底清洗。压气管路和高压泵管路也要分别送风、送水冲洗干净。旋喷注浆后,由于浆液吸水作用,一般均不同程度收缩,使固结体顶部出现凹穴,待水泥浆终凝后,立即清洗凹穴,并及时用水泥浆进行补灌。

### 1.2 施工故障处理

当喷射注浆过程中出现下列异常现象时,需查明原因并采取相应措施迅速排除故障,尽快恢复供浆。

(1) 压力上不去: 安全阀和管路接头处密封圈不严; 泵阀损坏, 油管破裂漏油; 安全阀的压力过低, 或吸浆管内留有空气或密封圈泄漏; 柱塞油泵调压不够; 活(柱)塞或缸套损坏。

(2) 压力骤然上升: 喷嘴堵塞; 高压软管清洗不净, 浆液沉淀或其他杂物堵塞影响管路畅通; 泵体或出浆管路有堵塞。

(3) 压力不稳定: 油管路泄漏; 泵体或吸浆管路有泄漏或存在空气; 泵体注塞杆过长或泵体安装时不严密。

(4) 喷嘴堵塞及冒浆喷嘴堵塞, 应提升注浆管, 待堵塞消失后再进行复喷; 出现不冒浆或断续冒浆时, 系土质松软的正常现象, 可适当进行复喷; 冒浆量小于注浆量 20%, 视为正常现象, 超过 20% 或完全不冒浆时应采取相应措施; 在旋喷过程中, 地层有较大空隙导致不冒浆, 可在浆液中加入适量的速凝剂, 以缩短固结时间; 当冒浆量过大时, 可提高喷射压力, 适当缩小喷嘴孔径, 加快提升和旋转速度; 大量冒浆、压力稍有下降时, 可能是注浆管被击穿或有孔洞, 使喷射能力降低, 此时应拔出注浆管进行检查。

### 1.3 桩体的质量控制

为了保证桩体的质量, 应做好:

(1) 桩位控制: 钻机到位要准确, 孔位偏差不应大于 5 cm。

(2) 桩径控制: 施工过程中要按设计参数操作, 对桩个别部位可进行复喷, 以满足桩径的要求。

(3) 桩长控制: 当钻至设计深度以下 0.2 m 时, 将喷浆管插到设计层位。在插管过程中, 为了防止泥沙堵塞喷嘴, 可边喷水边插管。喷射水压力一般不要超过 1 MPa, 以防止孔壁射塌。

(4) 桩材控制: 要严格按照设计配合比控制浆液, 保证喷浆量, 随时观察返浆情况。

## 2 工程质量检验方法

### 2.1 开挖检查

旋喷结束后, 待凝固具有一定强度时开挖, 使固结体完全暴露出来, 直接检查固结体垂直度、形状、

直径等<sup>[4]</sup>。该方法仅限于浅层和试验旋喷桩的情况。

### 2.2 钻孔取芯检查

在固结体上钻探取芯, 通过视觉、触觉来观察判断固结体的强度和刚度与完整性, 并将所取之芯做成标准试件在室内测其物理力学性质。

### 2.3 现场渗透试验

利用钻孔压力注水和钻孔抽水观察的方法测定。钻孔压力注水是在旋喷排桩上钻孔, 然后放入带有塞子的钻杆进入孔内, 并进行压力注水, 观察其抗渗能力。抽水观察即在旋喷排桩两侧钻孔后, 待两侧地下水位相等时, 用抽水机在一侧钻孔内进行抽水, 观测另一侧钻孔内的水位变化情况, 以求其抗渗能力。

### 2.4 荷载试验

试验前, 对固结体的加载部分进行加强处理, 防止加载时固结体受力不均匀而损坏。垂直荷载试验时, 需在顶部 0.5 ~ 1.0 m 范围内, 浇筑 0.2 ~ 0.3 m 厚的钢筋混凝土帽; 水平荷载试验时, 在固结体的加载受力部位浇筑 0.2 ~ 0.3 m 厚的钢筋混凝土, 混凝土标号不得低于 C20。

## 3 工程实例

某桥梁工程一段地基表层为厚 1.9 m 沙砾土, 其下为厚 4.6 m 中沙, 地基允许承载力 130 kPa; 另一段地基表层为 2.0 m 厚淤泥质土, 其下为 2.8 m 厚粗沙, 地基允许承载力 110 kPa。设计要求地基标准承载力不小于 150 kPa, 因此必须对软土地基加固。经多种方案对比, 最终选定旋喷桩法对地基进行加固处理。经现场试验选定旋喷桩的直径为 0.6 m, 桩长 7 m, 桩中心间距为 1.3 m, 桩按梅花形对称布置, 共计 282 根桩。

### 3.1 旋喷桩施工

水泥浆液的水灰比为 10, 水泥浆液流的压强 > 20 MPa; 高压泥浆泵为 S-H300 型用于浆液及水加压, 旋喷注浆钻机为 30 型, 旋喷管单管为 42 mm 地质钻杆, 喷嘴直径 3.2 mm, 喷射注浆成桩高压胶管工作压力 31 MPa, 内径 20 mm 输送高压水, 注浆搅拌桶 1 000 L; 水泥浆搅拌机 22 kW; 发电机 120 kW 提供动力, 抽水机(潜水泵)供水。其主要施工工艺:

(1) 施工准备: 挖除地表 0.3 m 厚种植土, 用土回填至原地面, 碾压密实; 按计算的桩数、桩间距和加固范围梅花形布置孔位, 并在现场定位, 挖好排浆沟和泥浆池。

(2) 钻机就位: 移动钻机至设计孔位, 要求钻机安放平稳、保持水平, 钻杆倾斜度  $\leq 1.5\%$ , 钻孔位置与设计位置偏差  $\leq 50$  mm。

(3) 钻孔,置入注浆管。钻孔的目的是为了置入注浆管(旋喷管)到预定的土层深度,可直接用旋喷管射水成孔,当喷嘴达到设计高程时,停止下钻。

(4) 喷射注浆,拔管。当注浆管进入土中,喷嘴达到设计高程时,即可用高压注浆泵通过橡胶软管输送高压水泥浆液至钻机上的旋喷管进行喷射注浆。在桩底部位边旋转边喷射 1 min,喷射压力及喷浆量达到规定值后,即可逐渐提升喷射管,由下而上喷射注浆。经现场试桩,确定如下旋喷参数:钻机下钻速度 0.35 m/min,旋转速度 20 r/min,注浆管提升速度 0.23 m/min;注浆压力  $\geq 20$  kPa;每延米水泥用量 220 kg,泵的排浆量 313 L。旋喷管分段提升,每段卸管后喷射的搭接长度不得小于 10 cm。成桩施工过程中,如果因故停机后恢复供浆时,应在断浆面上下重复搭接 0.5 m。当高压喷射注浆完毕,应迅速拔出注浆管。为防止浆液凝固收缩影响,可在原孔位采用冒浆回灌或第 2 次注浆等措施。

### 3.2 工程质量检验

水泥土强度增长速度较慢,检验时间应在注浆结束 30 d 后进行,以防由于固结体强度不足,因检验而受到破坏。检验量为施工总数的 2%~5%;检验位置应重点布置在关键地方如中心线部位,在施工时出现过异常现象的地段等;为不破坏桩体,用钻孔取芯的方法检查桩身均匀程度,用平板载荷试验

测定单桩承载力;埋设观测桩,长期测定其沉降量。经钻探取芯 6 根,合计 42 延米,静载荷试验 9 组检测分析,证明桩体成桩质量均匀密实,复合地基承载力满足设计要求。填土完成 5 个月后,经过对埋设的沉降和位移边桩进行观测,未见沉降,侧向位移为零。

## 4 结 语

高压旋喷水泥土桩技术在工程建设及地基基础加固中具有重要的应用价值。它的基本特征是就地成桩、桩的形式多样化、质量可靠、施工简便、造价低和适应面广。它的发展方向<sup>[5]</sup>是大直径、高强度、复合型。今后必将在各类建筑工程中发挥越来越大的作用。

### 参考文献:

- [1] 地基处理手册编辑委员会. 地基处理手册[M]. 北京: 中国铁道建筑工业出版社, 1988: 331.
- [2] 樊原子. 水泥搅拌桩复合地基设计与施工探讨[J]. 石家庄铁道学院学报, 1999(增刊): 52.
- [3] 张长领, 鲁周迅, 王敬. 复合材料桩的承载特性研究[J]. 宁夏工程技术, 2003, 2(3): 258.
- [4] 熊厚金. 国际岩土锚固与灌浆新进展[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1996: 208.
- [5] 高大钊. 岩土工程的回顾与前瞻[M]. 北京: 人民交通出版社, 2001: 235.

## Technology of jet grouting cement-soil pile

● ZHANG Chang-ling<sup>1</sup>, WANG Guo-rui<sup>2</sup>

(1. College of Civil and Hydraulic Engineering, Ningxia University, Yinchuan 750021, China;

2. Building Design Department of Alashanzuoqi, Alashanzuoqi 010100, China)

**Abstract:** JGCS pile (Jet grouting cement-soil pile) is a new technology of reinforced foundation. According to the needs of building construction, the pile could be jetted into consolidate body of different shape. The construction methods of the pile included changing jet pressure, changing cement quality or changing lift velocity, etc. The quality of the pile was affected by some factors such as pile position, pile diameter, pile length and material, etc. Development tendency of the pile was large diameter, high strength and composite material. It was proved that the technology had many advantages such as changing soil into pile on the spot, quality reliability, simple construction method and pile shape diversification. The JGCS pile will be an important role in the foundation reinforcement.

Construction technology of the JGCS pile had been instructed and studied in this paper. The technology included construction methods of the pile, measuring methods of construction, controlling methods of pile quality, checking and testing methods of the pile. Construction example was introduced in the paper too.

**Key words:** JGCS pile; jet grouting; cement-soil pile; changing soil into pile on the spot; soft-soil reinforcement

(责任编辑、校对 王岳昭)