

# 高压旋喷桩在软基加固中若干问题探讨

石建磊<sup>1</sup>, 张 杰<sup>2</sup>, 唐世杰<sup>3</sup>

(1. 北京工务机械段, 天津 300402; 2. 中建六局, 天津 300451; 3. 黑龙江北方有色建设有限责任公司, 黑龙江 哈尔滨 150046)

**摘要:**结合工程经验,重点对高压旋喷桩在路基和铁路桥墩基础加固中影响桩体强度因素,影响桩体截面因素,设备机具选择与成桩质量效率的相关性,浆液质量控制与成桩质量的相关性,几种特殊地层的技术措施等相关技术问题进行了探讨。

**关键词:**高压旋喷桩;软基加固;复合地基;桩体强度;旋喷参数

**中图分类号:**U443.15<sup>+</sup>4 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2009)01-0052-03

**Discussion on Some Problems of High-pressure Jet Grouting Pile for Reinforcement in Soft Ground/SHI Jian-lei<sup>1</sup>, ZHANG Jie<sup>2</sup>, TANG Shi-jie<sup>3</sup>** (1. Beijing Construction and Machinery Section, Beijing Railway Bureau, Tianjin 300402, China; 2. China Construction Sixth Engineering Bureau Co., Ltd., Tianjin 300451, China; 3. Heilongjian North Nonferrous Metals Construction Co., Ltd., Harbin Heilongjiang 150046, China)

**Abstract:** With engineering experience, discussion was made on influence factors for high-pressure jet grouting pile in reinforcement of roadbed and foundation of railway bridge pier, influence factors for cross section of pile, correlation between selection of equipments and piling quality and efficiency, correlation between slurry quality control and piling quality, and technical measures for some special stratum.

**Key words:** high-pressure jet grouting pile; reinforcement in soft ground; composite foundation; strength of pile body; jet grouting parameter

近几年来,随着我国铁路不断提速,黑龙江北方有色建设有限责任公司受北京铁路局委托,曾多次在京山线、京广线、京九线上已建铁路桥基础加固工程上应用高压旋喷桩工法解决了桥基病害及软基加固工程问题,也曾在新建铁路桥基础加固和房屋基础加固中应用过高压旋喷桩工法,效果均满足设计要求。就高压旋喷桩工法和地基加固原理而言,不论何种工程结构,其加固原理及设计思路均为一致,即复合地基承载原理,本文仅讨论路基和铁路桥墩基础加固方面的技术问题。

## 1 加固形式

### 1.1 公路基础

已建公路软基加固处理布桩形式,一般均采用在塌陷区内片状布桩,布桩平面图均为梅花桩形式,桩体施工完工经截桩处理后铺设路基基层和面层,恢复路面。

### 1.2 已建桥墩基础加固

通常均采用沿已有墩台边缘布设条形或框形布桩,桩排可分为单排或双排,加固后的桩体经截桩处

理后浇注水泥砼(或者钢筋水泥砼)与原承台固结为一体,提高承台整体的承载力。

### 1.3 已建房屋基础加固

通常采用沿沉降房屋墙体基础两侧布设条形桩体,经截桩头处理后浇注钢筋水泥砼与原墙基础成一体,提高墙基础承载力。

## 2 加固机理

### 2.1 复合地基原理

采用计算公式为:

$$f_{spk} = mR_a/A_p + \beta(1-m)f_{sk}$$

式中: $f_{spk}$ ——复合地基承载力特征值, kPa; $f_{sk}$ ——桩间土承载力特征值, kPa; $\beta$ ——桩间土承载力折减系数,取 0.1~0.4; $m$ ——面积置换率; $A_p$ ——桩截面积,  $m^2$ ; $R_a$ ——高压旋喷桩单桩竖向承载力, kN。

### 2.2 单桩承载力确定

高压旋喷桩单桩承载力,取其中较小值:

(1) 单桩桩体强度允许承载力

$$R_a = \eta f_{cu} A_p$$

(2) 单桩摩擦承载力

收稿日期:2008-10-21

作者简介:石建磊(1974-),男(汉族),河北赵县人,北京工务机械段副主任、工程师,交通工程专业,从事铁路、桥梁施工与研究,天津市河北区仁贤里37号。

$$R_a = u_p \sum_{i=1}^n q_{si} l + q_p A_p$$

式中: $f_{cu}$ ——与旋喷桩桩身水泥土配比相同的室内加固土试块 28 天龄期抗压强度, kPa; $\eta$ ——桩身强度折减系数, 取 0.33; $u_p$ ——桩的周长, m; $n$ ——桩长范围内划分的土层数, m; $q_{si}$ ——桩周第  $i$  层土的摩阻力特征值, kPa; $q_p$ ——桩尖地基土未经修正的承载力特征值, kPa。

取  $R_a$  较小值为单桩设计承载力。实际应用复合地基承载力应根据工程场地自然条件取安全系数。

### 3 实际施工中的技术问题及采取措施

#### 3.1 影响桩体强度因素

桩体强度能否达到设计要求和高压旋喷桩加固地基的一项主要质量指标, 而影响旋喷桩桩体强度的因素主要是地基土性质和旋喷成桩使用的水泥浆水灰比。

一般来说, 如果被加固土体为砂性土, 普通硅酸盐 P. O32.5 水泥浆水灰比为 1 时, 桩体强度就高, 一般可达 8 ~ 15 MPa; 采用同样水灰比为 1 的水泥浆加固粉土以细的土体成桩后, 桩体强度一般在 3 ~ 6 MPa。

在施工过程中, 需要保证旋喷桩成桩后强度满足设计要求, 应把握好如下技术细节:

(1) 摸清被加固土体岩土特性, 可通过在加固场地布设并施工数个勘察孔的办法抽样被加固土体的岩土特性, 初步确定水泥浆的水灰比和单位桩体体积用的水泥含量。

(2) 最好在初步确定水灰比上下偏 0.2 值做 2 组不同水灰比试桩, 试桩经 48 h 后开挖目测或做单轴无侧限抗压强度试验, 推算最终强度值是否满足工程设计强度值, 以便确定施工用水泥浆水灰比和桩体水泥掺入量。

(3) 软弱地基试桩应提前做, 特别是在淤泥地层, 桩体强度低且自然养护龄期长, 试桩经目测不易准确把握其最终强度值, 多数情况下是加大水泥用量或采取经验数值确定水灰比, 原则是水灰比宁小勿大。

(4) 根据地层土含砂量不等, 采取经验水灰比及桩体强度范围如表 1 所示。

#### 3.2 影响桩体截面因素

高压旋喷桩成孔成桩是以高压喷射流水泥浆或水、压缩脉动气体破坏被加固土体的同时将水泥浆

表 1 不同地层水灰比推荐表

地层	水灰比	水泥掺入量/%	桩体强度/MPa
砂性土	1.5 ~ 1.2	20 ~ 25	6 ~ 14
粉土	1.2 ~ 1.0	30 ~ 35	6 ~ 10
粘土	1.1 ~ 0.9	45 ~ 55	4 ~ 8
淤泥土	0.8 ~ 0.6	55 ~ 65	4 ~ 8

注: 水泥掺入量含旋喷成桩溢出损失量, 水泥标号为 P. O32.5。

体混合于土体的过程。因此, 成桩截面大小取决于如下因素:

(1) 高压流体的压力, 喷射流压力大, 破坏土体能量大, 则桩径较大;

(2) 双喷、三喷由于增加了压缩脉动气体使土体更易扰动破坏, 相应增加了成桩截面;

(3) 被加固土体密实度和内聚力较大时, 土体破坏难度大, 桩径不易保证, 反之, 松散粘聚力小的土体易被破坏, 桩径易保证, 多数情况超径成桩;

(4) 对单位土体施加的旋喷能量大小也是决定成桩截面的重要因素, 通常决定其施加旋喷能量以控制提升速度参数实现, 即提速较慢, 在同一压力、流量的旋喷流作用下相对单位孔壁土体施加喷射流能量就大, 土体被扰动破坏程度高, 成桩截面就大, 反之成桩截面就小。

根据设计桩径和土体情况, 经验采用旋喷参数如表 2 所示。

表 2 旋喷参数推荐表

设计桩径/m	旋喷机具选择	高压流体压力/MPa		提升速度/(cm·min <sup>-1</sup> )	
		松散软弱层	较密实层	松散软弱层	较密实层
0.6	单管单喷	15 ~ 20	25 ~ 30	15 ~ 20	10 ~ 12
0.8	单管单喷	15 ~ 20	25 ~ 30	10 ~ 15	6 ~ 10
1.0	双管双喷	20 ~ 25	35 ~ 38	15 ~ 20	10 ~ 12
1.2	双管双喷或三管三喷	30 ~ 35	35 ~ 40	10 ~ 15	8 ~ 12

#### 3.3 设备机具选择与成桩质量效率的相关性

任何一项施工, 保证施工质量是第一要求, 提高施工效率是获取工程效益的重要环节。就目前国内厂家生产的高压旋喷设备机具而言, 高压旋转副密封是一大技术难关, 如能产出压力高、泵量大的流体泵, 加之过关的转动副高压密封配套机具, 就能确保施工桩径达到设计要求, 同时也能大幅度提高施工效率。我们常采用天津市通洁公司产的 GPB - 40 型高压泵和西安探矿机械厂产的 XP - 50 型钻机及 Ø50 mm 钻杆施工单喷 Ø800 mm 以下的旋喷桩, 采用 Ø1.5 ~ 2.4 mm 喷嘴。双管双喷和三管三喷采用山东莱州水利机械厂产的 XP - 180 型台车, 采用表 2 施喷参数, 通常有 24 h 成桩 150 延米左右。

从国产液体泵和钻具转动副密封看,泵压已到极限,设计更高泵压的高压泵在使用中对流体管路及机具转动副密封都会造成损坏而增加辅助时间,不利于提高施工效率,欲提高成桩效率可增大泵量至 200 L/min(40 MPa),并采用更大一级喷嘴,成桩效率可成倍提高。

### 3.4 浆液质量控制与成桩质量的相关性

高压旋喷桩质量指标主要有 2 项,一是桩体无侧限抗压强度,二是桩径保证设计要求值。要想确保两项主要指标合格,对于不同的桩体强度值和桩径,根据地层松散程度采用相适应的操作参数是必要的,而水泥浆液的浓度与旋喷地层力学性质对成桩桩体强度密切相关,只有选择与不同地层相适应的浆液浓度才能确保桩体强度。对于单管旋喷小直径桩和双管旋喷(气、浆)中等桩径的旋喷而言,一般来说水泥浆液的水灰比为 0.8~1.5 范围即可,旋喷土层含砂率愈低,浆液水灰比愈小,并通过室内水泥土试块试验和试桩试验确定不同地层用水泥浆液的水灰比为宜;对于三管(水、浆、气)喷较大旋喷桩而言,要考虑到高压水流对浆液的稀释作用,现场制作的浆液水灰比应比单、双管喷桩用浆水灰比小得多,原则是经高压水稀释后的水泥浆的水灰比相同于同样地层单、双管喷桩采用的水泥浆的水灰比。

其计算过程为:

$$n_1 = G_{w1}/G_{c1} \quad (1)$$

$$n_2 = G_{w1} + G_{w2}/G_{c1} \quad (2)$$

得:  $n_1 = n_2 - G_{w2}/G_{c1} \quad (3)$

$$G_{c1} = Q_{L1}\rho_{L1}/(n_1 + 1) \quad (4)$$

$$\rho_{L1} = (n_1 + 1)/(n_1/\rho_w + 1/\rho_c) \quad (5)$$

由(3)、(4)、(5)式得:

$$n_1 = (n_2 + G_{w2}/\rho_c)/(Q_{L1} + G_{w2}/\rho_w) \quad (6)$$

式中: $n_1$ ——制浆用水灰比; $n_2$ ——经高压水稀释后的水泥浆水灰比即设计用水灰比; $G_{w2}$ ——单位时间高压水注入孔内质量,kg/min; $\rho_c$ ——水泥密度,kg/dm<sup>3</sup>; $Q_{L1}$ ——单位时间浆管注入原浆体积,dm<sup>3</sup>/min; $\rho_w$ ——水的密度,kg/dm<sup>3</sup>; $G_{w1}$ ——原浆用水量,kg; $G_{c1}$ ——原浆用水泥量,kg; $\rho_{L1}$ ——原浆密度,kg/dm<sup>3</sup>。

显然在不同地层下,确定使用的水泥浆水灰比  $n_2$ ,并校准了高压泵在工作压力下的流量  $G_{w2}$  和注浆泵流量  $Q_{L1}$ ,即可得出制浆用水灰比  $n_1$ 。

施工中通过做数次配比、试桩和确定合理的制

浆水灰比,并采用计算过程引用相应的工作参数下得到的浆、水送入流量比即可保证三管喷桩条件下的成桩质量。

### 3.5 几种特殊地层的技术措施

#### 3.5.1 松散砂(含砂)层

此层应采用水灰比较大的浆体,采用大喷量(喷嘴直径 2.4~3.0 mm)喷浆和较低压力、较快提速成桩的工艺参数。

#### 3.5.2 透失层

多数砂、砾石层易漏失,在漏失层采取较低喷压和较慢提速成桩工艺参数,防止漏失层断桩。

#### 3.5.3 淤泥层

采用小水灰比浆体,较低压力,大喷量快提的工艺参数。

#### 3.5.4 砂砾石层

砂砾石层易夹钻,可采用泥浆引孔和水泥浆引孔方法,以减少和杜绝孔内事故。

## 4 质量检测及效果

### 4.1 桩体强度

通过桩体抽心抽样并将桩心室内养护 28 天送试验室做无侧限抗压强度试验,检测结果等于或大于桩体设计强度指标即为合格。

### 4.2 桩径检查

开挖个别桩身,测量桩身最小直径等于或大于设计桩径,即满足质量要求。

### 4.3 静载试验

即复合地基静载试验,通过加载和观察沉降量并以相关技术规范标准验收。

## 5 结语

就近几年在已建的铁路桥墩基加固和已建公路路基加固中采用的高压旋喷桩使用效果而言,工程效果显著,满足了工程要求,达到了加固的目的;对于老铁路桥经加固后通车抖晃率大幅度下降,满足通车要求;对公路路基加固后不再出现沉陷现象,满足公路通车要求,工程效果十分显著。

## 参考文献:

- [1] 彭振斌. 注浆工程设计计算与施工[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1997.
- [2] JGJ 79-2002, 建筑地基处理技术规范[S].