

# 粉喷桩水泥均匀度控制

赵永东

(盐城工学院建筑设计室,盐城 224003)

**摘要** 水泥粉喷桩复合地基中,水泥均匀度是影响水泥石土质量的重要因素。现场试验及实际工程的施工研究表明:在施工操作中,水泥均匀度主要取决于喷粉速度,切土厚度和搅拌次数。因此,保证水泥均匀度必须注重施工工艺设计,合理确定钻杆提升(下钻)速度,并注意与钻杆转速、钻头形式和尺寸、水泥掺量、桩体尺寸、喷搅次数等参数的对应关系。

**关键词** 粉喷桩 施工 均匀

**分类号** TU473

粉喷桩在我国是加固深厚软土地基的新技术。该法以粉体(如水泥)作为加固料,不需向地基注入附加水份,用专用机械将干粉状水泥与地基土强制拌和,通过吸收高含水量软土地基中的水份而水化,形成较高强度的水泥石桩体,故称之为粉喷桩。它与桩间土共同作用形成复合地基来承担建筑的荷载。实践证明,掺粉状水泥的加固土强度可达到掺水泥浆的2~3倍<sup>[1]</sup>。近年来由于施工质量的原因及指导该法理论研究的滞后,阻碍了其发展,甚至某些地区已暂停使用。本文就影响施工质量关键因素之一的水泥均匀度进行探讨。

## 1 粉喷桩的施工设备组成及施工工艺流程

### 1.1 施工设备组成

(1)桩架系统:包括桩身及起吊、行走设备等。

(2)钻杆系统:包括钻头、切土叶片及钻杆(内含喷粉孔道)等。

(3)喷粉系统:包括空压机、储气罐、控制设备及送气、送粉管道等。

### 1.2 施工工艺流程

(1)单搅:所谓单搅即一喷两搅法,是形成粉喷桩的基本过程,其施工顺序为:桩架就位、垂直度校正——钻杆下钻——喷粉、反转并上提钻杆。由于上述过程喷搅回台单一,水泥均匀性较差。

(2)复搅:即二喷四搅法,它是在单搅的基础上再下钻、喷粉、上提一轮,提高了地基的切碎程度和水泥拌匀程度。

(3)三喷六搅法:由于以摩擦为主的水泥石桩体上部受力较大,设计常将桩上部4~6倍的桩径部分增大水泥掺量<sup>[2]</sup>。施工工艺是在复搅的基础上,对桩上部(按设计要求)再施一轮喷搅。其工艺流程如图1。

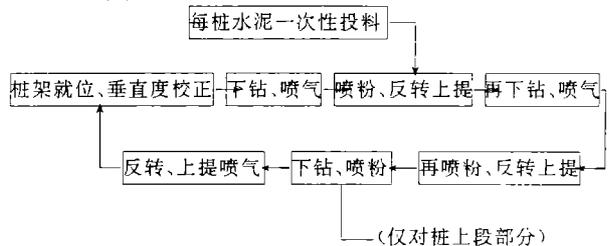


图1 上部变掺量设计三喷六搅法工艺流程

说明:图1工艺中,喷气是由空压机输送到储气罐的压力气体,采用直接疏通钻杆喷粉孔道的手段。而喷粉时,则将储气罐的压力气体输入储料罐,把水泥粉体压出经送粉道从钻头处喷入地基土。

## 2 工程实例

笔者主持设计的盐城工学院文港路住宅组团全部采用了粉喷桩复合地基,其中1<sup>#</sup>、2<sup>#</sup>、3<sup>#</sup>楼1998年均已投入使用,4<sup>#</sup>楼已完成主体施工进入装修阶段,工程概况及粉喷桩测试结果如下:

(1)工程概况:该组团均为砖混7层,底层为车库,2~7层为住宅,建筑抗震设防烈度为7度。地质条件:表层为松软的耕植土,层厚0.4m,第二层为棕褐色粉质粘土,层厚0.8m,土质均匀, $f_{tk}=100$  kPa;第三层为淤泥质粉质粘土,层厚0.8

· 收稿日期:1999-05-03

m, 高压缩性  $f_k=60$  kPa; 第四层为饱和中密粉砂层,  $f_k=200$  kPa, 层厚不小于 2.5 m。

(2)粉喷桩复合地基有关技术参数:设计有效桩长  $l=10.2$  m, 桩尖至粉砂层, 桩径  $D=600$  mm, 面积置换率  $m=19.6\%$ , 水泥掺量为土重的  $15\%$ 。由于地基表层较好的土层薄, 淤泥质土层较厚, 桩尖持力层土质较好, 故桩身全长采用均匀施喷, 复搅工艺, 4 栋住宅均达到了预期的设计效果。

(3)工程检测结果:该组团均进行了成桩后 7 d 内的轻便触探试验和单桩复合地基静载试验。根据盐城市建筑科技研究所的检测报告, 轻便触探试验的结果为:1<sup>#</sup>楼  $N_{10}=37$  击, 2<sup>#</sup>楼  $N_{10}=38$  击, 3<sup>#</sup>楼  $N_{10}=37$  击, 故桩身强度达到 450 kPa, 且未见明显缺陷。静载试验均在加载达到设计要求值的 2 倍且沉降稳定后中止试验, 复合地基承载力均不小于 150 kPa。

月在盐城市文港路工地 3<sup>#</sup>楼西侧 2 m 处所做的 6 根单搅工艺, 不同水泥掺量的试验桩 30 d 现场取芯抗压试验结果。该结果表明, 由于喷搅不均匀, 水泥石强度离散性较大, 导致水泥掺量与水泥石强度的增长关系不明确。

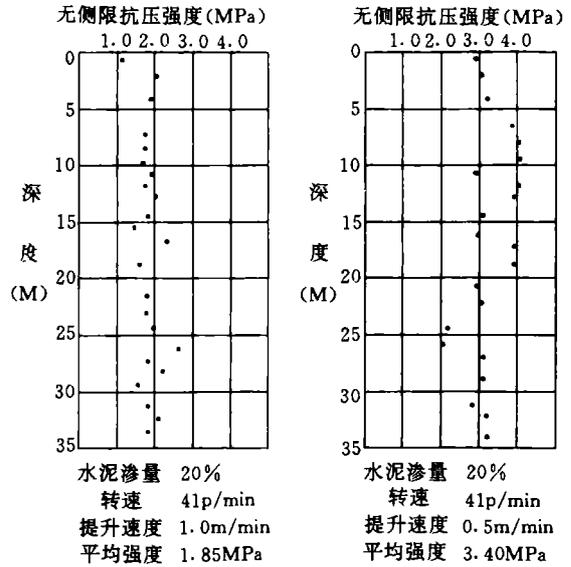


图 2 水泥石现场试验

### 3 影响粉喷桩水泥均匀度的因素及其对策

粉喷桩的水泥均匀度主要取决于地基土的切碎程度与搅拌次数。

(1)叶片切土厚度  $b$ : 设钻杆提升(下钻)速度为  $V$ , 转速为  $R$ , 则对两片叶片的钻杆, 叶片切土厚度为:

$$b = 0.5V/R \quad (1)$$

若  $V=60$  cm/min,  $R=60$  r/min, 则  $b=0.5$  cm。由于一般粉喷桩设备钻杆的转速为定值, 故必须控制钻杆的提升(下钻)速度  $V$ , 使之不应过大, 否则, 地基土就不易被切碎, 也直接影响水泥与土的搅拌均匀。

(2)搅拌次数  $N$ : 一般认为  $N>20$  次, 搅拌比较均匀且平均强度较大。理论上  $N$  可由下式计算:

$$N = HRn/V \quad (2)$$

式中:  $H$  为叶片均匀垂直高度,  $n$  为叶片数量。

图 2 是钻杆在不同提升速度下, 水泥石现场抗压强度试验结果(摘自《深层搅拌法设计与施工》下守中“深层水泥搅拌法质量管理”)。

(3)复搅对水泥均匀度的影响: 根据上述分析, 显然, 复搅可有效地提高地基土的切碎程度和水泥均匀度。对均匀搅拌的水泥石强度与水泥石掺量的关系如图 3 所示。而未经复搅的水泥石强度, 由于均匀度较差, 故不能反映水泥掺量与水泥石强度的真实对应关系。表 1 为笔者 1998 年 11

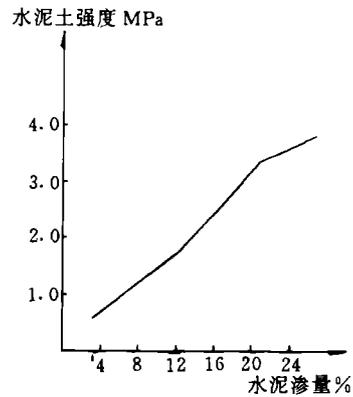


图 3 不同水泥掺量与水泥石强度的关系

表 1 不同水泥掺量单搅法水泥石无侧限抗压强度

桩号	水泥土样	水泥掺量	抗压强度 (MPa)	桩号	水泥土样	水泥掺量	抗压强度 (MPa)
南 1	南 1-1	7%	0.64	南 5	南 5-1	20%	2.95
南 2	南 2-1	10%	2.20	南 5	南 5-2	20%	0.50
南 3	南 3-1	15%	0.88	南 6	南 6-1	25%	1.47
南 4	南 4-1	17%	1.53	南 6	南 6-2	25%	1.46
南 5	南 4-2	17%	1.10				

(4)每桩一次性投料: 即根据每根桩设计水泥总用量, 在喷粉前一次性将水泥投入储料罐。此法既可以保证每根桩的水泥总用量, 又是控制水泥均匀度的重要手段。目前国内生产的大多数粉喷机械的喷粉速度要靠经验来控制, 理论上喷粉速度

q 可由下式计算<sup>[4]</sup>:

$$q = \frac{Qv}{L\lambda}$$

其中:Q 为每桩水泥用量

v 为提杆速度

L 为桩长

λ 为喷粉次数

当喷粉速度调试后,始终确定为某一恒定值时,对水泥施喷均匀度较为有利。对三喷六搅工艺也可达到满意的效果:设每桩水泥总用量为桩体土重的 ω,桩长为 L,桩长部 1/η 需增加水泥掺量。则桩体上、下两部分的水泥掺量分别为:

$$\omega_{上} = \frac{3}{2} \times \omega_{下} \quad (3)$$

$$\omega_{下} = \frac{2\eta}{2\eta + 1} \times \omega \quad (4)$$

根据式 3 和式 4,当 ω=15%时,η=3 时,桩体上部 1/3 和下部 2/3 水泥掺量分别为 19.29%、

12.86%。可见若设计参数与施工条件相配合,对水泥均匀度控制更为有利。

此外,由于复搅增加了钻杆总行程和粉喷总行程(分别为  $\frac{1\eta+2}{\eta}l$  和  $\frac{2\eta+1}{\eta}l$ ),也有利于施工操作中的水泥喷射速度控制。

#### 4 结语

综上所述,要保证粉喷桩水泥搅拌均匀度,一方面,在施工中,除保证材料质量、管理畅通外,应针对钻杆的钻速、叶片数量、尺寸等参数严格控制钻杆上提和下钻速度,采用复搅施工工艺并加强施工管理,提高施工技术水平。另一方面,应加强粉喷桩施工技术理论的研究,加强施工设备改进的研究,加强施工质量管理的研究,使施工操作程序化,各种参数控制精确化,施工管理科学化,从而进一步提高粉喷桩复合地基的整体质量水平。

#### 参 考 文 献

- 1 龚晓南主编. 深层搅拌法设计与施工. 北京:中国铁道出版社,1993
- 2 王仁兴,白日升,马争鸣. TB10113-96 粉体喷搅法加固软弱土层技术规范. 北京:铁道部建设司标准科情所,1996
- 3 张永钧,平涌潮. JGJ79-91 建筑地基处理技术规范. 北京:中国计划出版社,1992
- 4 龚晓南主编. 复合地基理论与实践. 浙江:浙江大学出版社,1996

## Regulating About The Uniform Degree of Cement of Powdered Jet Pile

Zhao Yongdong

(Construction Designing Office of Yancheng

Institute of Technology, Yancheng 224003, PRC)

**Abstract** In compounding foundation of cement powdered jet pile, the uniform degree of cement is very important norm which influences the quality of cement clay. Studies about site testes and practical projects show that in construction operations, the uniform degree of cement depends on such factors as velocity of spraying powder, thickness of chopping clay and agitating times. Accordingly, in order to stipulate the uniform degree of cement, you must regard following points. Firstly, you must see to comstruction technics designing. Secondly, you must reasonably ascertain jackrod hoisting or down speen. Last, you must mind out homologous relations to such parameters as jackrod totating velocity, forms and sizes of broaches, quantity of cement jumbling, size of piles, and spraying and mixing times.

**Keywords** powdered jet pile; construction; uniform