

根据施工电流值控制粉喷桩桩长的现场试验研究

任海军¹, 张可能¹, 刘杰²

(1. 中南大学 地学与环境工程学院 湖南 长沙 410083 ; 2. 株洲工学院 土木工程系 湖南 株洲 412008)

摘要:在实际施工中,粉喷桩桩长的确定是一个重要问题。考虑到在实际施工中软土地层空间分布状态的复杂性,依据工程勘察提出的工程设计桩长难以满足实际场地的处理需要。在乐温高速公路粉喷桩软基加固工程中,认为以施工电流值控制桩长大小可以有效地弥补这一需要,并予以实施,取得一定的技术经济效益。工程中所获得的相关试验数据和结论对同类工程具有一定的参考价值。

关键词:粉喷桩;桩长;施工电流值;软基处理;高速公路

中图分类号:U416.1 文献标识码:A 文章编号:1672-7428(2005)03-0012-04

Site Test Research on Length Control of Power-injected Pile According Electricity in Working/REN Hai-jun¹, ZHANG Ke-neng¹, LIU Jie² (1. Central South University, Changsha Hunan 410083, China; 2. Zhuzhou Institute of Technology, Zhuzhou Hunan 412008, China)

Abstract: How to determine the length of power-injected pile is a important problem in practical project. Considering the complex special distribution of soft earth stratum in fact, the length of pile by prospecting will be unsatisfied to the requirement of improvement. The author participated in a project of improvement of soft ground by power-injected pile, put forward controlling the length of pile by the intensity of working current, put it in practice and succeeded considerable technical and economic benefits. The experimental data and conclusion from engineering project is valuable to similar projects.

Key words: power-injected pile; length of pile; working electricity; improvement of soft ground; expressway

1 概况

粉喷桩加固地基是利用粉体喷射搅拌机械在钻孔过程中,用压缩空气将加固料雾状喷入被加固的软土中,凭借特别的钻头叶片的旋转,使加固料与原土就地强制搅拌混合,加固料吸水后进行一系列的物理化学反应,使软土硬结,形成整体性强、水稳定性好和足够强度的桩体^[1]。作为一种很有潜力的地基处理技术,已被广泛应用于铁路、高等级公路、市政工程、工业民用建筑的地基处理、基坑开挖支护和防渗帷幕工程。然而在地基加固机理、设计计算理论、施工工艺和检测手段上仍存在许多问题尚未解决。

确定合理的桩长仍是粉喷桩设计理论中的一个主要问题。桩体的长度直接影响到桩体和桩周土的内应力分布、作用机理以及单桩承载力大小。一般认为在使桩身强度所确定的承载力与土体对桩的承载力相近且大于后者时^[2],根据桩体强度和设计单桩承载力确定桩长最为合理。刘正刚在研究散体填料下粉喷桩的力学行为后,通过桩体的内力分布规律和破坏模式分析,基于桩体和桩周与土体界面同时达到极限破坏的前提下,提出经济桩长计算公

式^[3]。顾尧章等基于桩的长度、桩身刚度的相对关系对水泥搅拌桩的承载特性做了理论分析,提出纯摩擦桩临界长度的概念^[4,5]。王朝东等通过对桩体荷载的有效传递深度研究,提出有效桩长的计算公式^[6]。

笔者认为,上述方法研究都是基于理论上的研究,对粉喷桩桩长提出了不同的见解,比较实用于以摩擦型为主的粉喷桩体。但在施工过程中,由于软基地层空间分布状态的复杂性,往往会碰到设计桩长与地层需处理深度之间不符的现象,给设计和施工带来很多的麻烦。特别对于地层分布不均匀、变化复杂、加固范围较大的工程,怎样根据实际情况确定合理桩长已成为急需解决的问题。赫培哲曾以粉喷桩钻机进入持力层的电流界限值 $I = 35 \text{ A}$ 作为标识,成功地进行桩长控制^[7]。本文提出在施工过程中利用钻机施工电流的大小,对桩长进行控制,可以有效地弥补设计上的不足。

2 几种桩长的确定方法

2.1 根据单桩承载力标准值确定

当粉喷桩的加固深度不受限制时,应先通过室

内试验选定固化剂掺入比 μ_p 和试验的无侧限抗压强度 q_{uc} , 依据《建筑地基处理规范》(JGJ 79-2002) 中公式:

$$R_k = \eta q_{uc} A_p \quad (1)$$

$$R_k = q_s L S + \alpha A_p f_k \quad (2)$$

得出:

$$L = (\eta q_{uc} A_p - \alpha A_p f_k) / (q_s S) \quad (3)$$

式中 R_k ——单桩竖向承载力标准值, kN; q_{uc} ——90 天龄期无侧限抗压强度平均值, kPa; q_s ——桩周土的平均摩擦力, kPa; f_k ——桩端土天然承载力标准值, kPa; η ——强度折减系数, 可取 0.35 ~ 0.50; α ——桩端土天然承载力折减系数, 可取 0.40 ~ 0.60; L ——有效长度, m; S ——桩周长度, $S = \pi d L$ ——桩径。

或直接根据作用在基础上的总荷载和总桩数, 求出单桩承载力, 然后利用公式(2)求出桩长。

2.2 根据桩体荷载传递规律确定

通过研究桩体承载力传递规律表明, 只有在有效桩长深度范围内桩体受力才能有效地传递。假设桩体在不受地层成层性的影响、桩体强度轴向分布均匀、地基变形对承载力影响不大的情况下, 桩体长度超过有效桩长, 将不能再继续传递荷载, 即桩端阻力 $f_k A_p = 0$ 。根据文献[2]中公式推导出有效桩长计算公式:

$$L = A_p f_p / (u_p q_s) \quad (4)$$

式中 f_p ——桩体强度 $f_p = \eta q_{uc}$, kPa; u_p ——桩体周长, m。

如果以上公式确定的桩长深度范围内存在强度接近或超过桩体强度、硬壳层时, 则需验证硬壳层是否可以作为持力层后, 再判别是否根据持力层的埋深直接确定桩长。

2.3 根据桩体与桩周土体界面极限破坏模式确定

文献[3]中已分析得出桩顶 x 深度处的截面内应力 $N(x)$ 为:

$$N(x) = P - \int_0^x 2\pi R f \xi \gamma dx = P - K_0 x^2 \quad (5)$$

$$K_0 = 2\pi R f \xi \gamma \quad x \in (0, L)$$

式中 P ——桩顶的正压力, kN; R ——桩的半径, m; f ——软土与桩之间的摩擦系数; ξ ——地基经粉喷桩加固后的侧压系数; γ ——软土的天然密度, kg/m^3 ; L ——粉喷桩长度, m。

当桩周与土体界面达到极限破坏时, 截面内应力 $N(x) = 0$, 则此时极限破坏荷载:

$$\text{万方数据} \quad P_s = K_0 L_c^2 \quad (6)$$

结合桩体极限破坏荷载 $P_p = A q_{uc}$, 可以确定当桩体和桩周与土体界面同时到达破坏时的桩长, 为经济桩长:

$$L_c = \sqrt{A q_{uc} / K_0} \quad (7)$$

以上各种方法都是基于单个桩体与桩周土体之间的作用机理、应力分布、破坏模式而确定桩长的。对于局部范围内的桩长确定, 可以达到有效的设计目的, 而对于范围较大的工程, 这样逐一去确定桩长是不可能的, 只能作为设计上的理论指导。

3 根据施工电流值来控制桩长

根据大量的工程实践, 人们开始注意到钻机钻进电流的大小与地层的承载性能有着良好的对应关系。许多有经验的施工队伍, 可以根据施工电流值的大小预测出最终成桩加固效果。在试桩过程中, 根据成桩电流的大小, 分析下部地层分布状况, 提出补充理论设计上的不足, 以免造成较大的经济损失。笔者认为在施工工程中, 先针对局部地段的钻进电流大小和勘察资料的地层描述, 确定持力层的界限电流值, 然后根据界限电流值控制具体桩长, 将能达到良好的技术效果。

3.1 工程概况

国道主干线南昌绕城公路——乐温高速公路, 由于途径赣抚冲积平原, 地表覆盖层为第四系全新统冲积层 (Q_4^{al}), 具有明显的二元结构, 一般上覆为低液限软塑的粘土层, 下覆为厚度较大的砂层。部分地段存在片状和透镜状分布的浅埋型淤泥或淤泥质土层, 具有隐伏于表层硬层之下, 厚度一般在 2 ~ 4 m。针对此类地层的特点和工程实际工期需要, 考虑到本地材料供应及经济发展状况, 采用水泥深层搅拌桩(简称粉喷桩)加固处理, 可以取得良好的技术经济效益。笔者在参与里程区间 K15+489 ~ K19+811 段粉喷桩软基处理施工中, 针对软基处理面积广、地层分布不均匀等特点, 提出采用施工电流控制桩长并加以实施。

3.2 试桩方案与结果分析

根据本工程的地质勘察报告提出的数据, 笔者通过理论桩长的计算公式确定, 桩长应在 6 ~ 7 m 之间, 结合地层分布状态, 持力层应该选用良好的细砂层。而在原设计中提出平均桩长为 3 ~ 3.5 m, 使得具体施工中的桩长很难有个依据参数。为了明确实际施工地段的具体施工桩长大小, 笔者提出通过试桩, 对各个施工参数进行分析, 以施工电流值为主要依据进行桩长确定。

3.2.1 试桩方案

为了明确粉喷桩的最优水泥掺入比和施工工艺操作参数,确保工程质量,特选里程区间 K18+625~650 段进行试桩试验。

根据本段工程地质勘察报告和施工设计图纸要求,选用水泥掺入比 10% (38 kg/m)、11% (42 kg/m)、12% (46 kg/m)、13% (50 kg/m) 成桩 4 组,桩长 3.0 m,每组 3 根;另外,针对地层情况做一组 13% (50 kg/m),桩长 7 m。根据场地情况呈 T 字型布桩(见图 1),采用武汉中铁工程机械研究设计院研制的 PH-5A 型钻机以 3 挡钻进档位钻进成桩,并对钻进过程中的电流作了详细记录(经数据处理见图 2)。

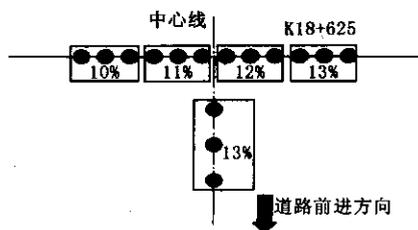


图1 试桩布置图

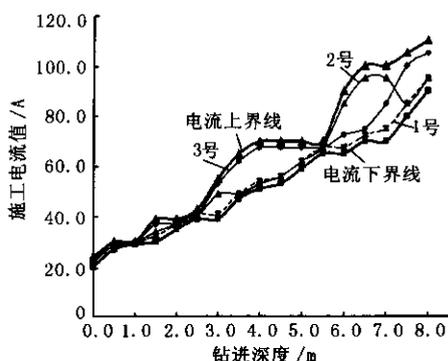


图2 成桩电流分析图

3.2.2 结果分析

根据成桩电流值分析,钻机未进入地层空转电流一般在 20~25 A;在钻头进入地层后,电流值随着深度的增加而逐渐增加。对照后期补勘资料分析可得:此地段上部 0~1.0 m 为松软可塑状软土,钻进电流值一般在 27~30 A 之间;1.0~2.8 m 为均质软塑的淤泥层,钻进电流值一般在 33~55 A 之间;2.8~4.3 m 为均质软塑的淤泥质粘土,钻进电流值一般在 47~70 A 之间;4.3~4.8 m 和 4.8~5.1 m 为软塑状的粉质粘土和粉土,钻进电流值在 53~70 A 之间;5.1~6.4 m 为含有少量粘粒的粉细砂,钻进电流值在 65~75 A 之间;6.4 m 以深为松散的细砂层,电流值增加速率明显加大,钻进电流波动加大,钻机钻进困难,必需换挡才能继续钻进。

岩土工程地质评价和现场桩体开挖结果证明,粉喷桩桩端持力层只能选择承载力中等的细砂层。在保证桩端进入持力层 100 cm 的前提下,可测定 3 挡钻进电流值达到 75 A 为最优终钻电流。

3.3 技术经济效益

在本工程各地段的粉喷桩处理中,为保证桩体进入持力层,每区段钻机进场后都进行了试钻。将全路段分成面积较小的区间段,依据区间段的施工电流值,结合区间段的地层剖面图和设计桩长,得到局部范围内的施工桩长。这样有效补充了设计上的不足之处,保证了整个工程的施工质量。

根据最终工程量统计,按施工电流控制桩长减少工程量 4 万多延米,直接挽回经济损失 160 多万元。实践证明,根据电流值控制桩长,可以有效地补充设计上的不足,既保证工程质量又减少工程造价,具有一定的技术经济效益。

4 单桩载荷试验

根据设计要求和检测方案的要求,试验采用砂袋压重平台反力装置,由精密压力表控制加载量的油压千斤顶加载,精密位移计测定沉降量,对未进入持力层和进入持力层的粉喷桩各 3 组进行单桩载荷试验。载面板直径 500 mm。设计单桩承载力特征值 < 64 kN。

4.1 悬浮桩单桩载荷试验成果分析

根据设计要求和检测方案的要求,对已施工成桩但未进入持力层的粉喷桩(桩长为 3.0 m,大于 28 天龄期)进行静载荷试验,试验结果如图 3 所示。

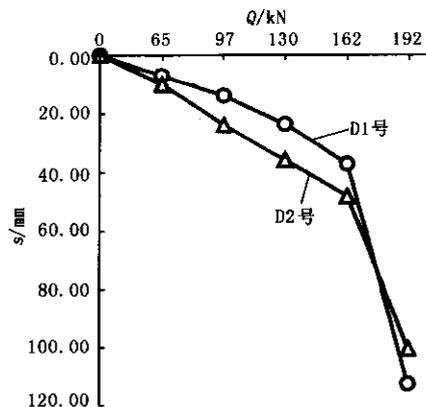


图3 悬浮桩单桩载荷试验成果图

由单桩载荷试验可以证明,对于桩长未进入持力层的粉喷桩,属于纯摩擦型。加载过程中, $Q-s$ 曲线变化反映出仅依靠桩侧摩阻力提供承载力是远远不够的,桩体沉降量较大。依据规范和设计要求,取 $s/d = 0.007$ 所对应的载荷值作为单桩承载力特

征值。综合确定悬浮试桩的单桩承载力平均特征值为 27.5 kN, 小于设计要求的单桩承载力, 且沉降量较大。

4.2 加长桩单桩载荷试验成果分析

由单桩试验成果图 4 可以看出, 对于桩长为 6 m 的单桩 $Q-s$ 曲线变化明显缓和, 当加载至 145 kN 时, 总沉降量仍较小, 曲线未出现陡降趋势; 继续加载, 沉降量明显增加。根据规范和设计要求, 取极限载荷的一半作为单桩承载力特征值。综合确定得出单桩承载力特征值平均为 68 kN, 可以满足上部高填方的设计要求。

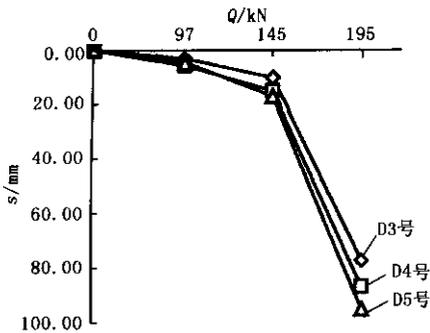


图 4 加长桩单桩载荷试验成果图

5 结语

随着其它理论的研究和发展, 粉喷桩技术也得到进一步完善, 以便更广泛地推广应用。通过实际施工的实践, 笔者获得以下几点体会。

(1) 在大面积的工程勘察中, 并不可能完全考虑到整个软基的具体空间分布状态, 这样给理论设计造成了一定的影响。作为具体施工人员, 需要及

时根据现场情况和施工需要, 提出相应的弥补措施。

(2) 施工电流值的大小与各地层的承载特性有一定的对应性, 在具体的场地范围内, 可以明显地反映出各地层的承载力特性和空间分布状况。为了确保桩体进入持力层, 终钻施工电流值以 3 挡电流 70~75 A 为宜。根据施工电流值控制桩长, 可有效地补救设计上的不足, 确保工程的最终质量。

(3) 本工程中, 施工电流达到 3 挡 75 A 时所对应的桩长均进入承载力良好的细砂层。通过喷粉处理, 桩端均形成 100 cm 左右的水泥砂硬桩头。施工电流值的大小与具体地层的承载力特性的关系在具体场地仍需大量的实践去验证; 有效地利用施工电流值控制桩长需要进一步完善。

(4) 利用施工电流值对桩长进行控制, 可以取得一定的技术经济效益。

参考文献:

- [1] 薛殿基, 等. 粉喷桩设计与施工[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 1997.
- [2] JGJ 97-91 建筑地基处理技术规范[S].
- [3] 刘正刚. 散体填料下粉喷桩力学行为研究及实例分析[J]. 公路, 1996(4): 12-17.
- [4] 顾尧章, 周焕桥. 水泥搅拌桩承载力与临界桩长[A]. 第三届全国地基处理学术讨论会论文集[C]. 杭州: 浙江大学出版社, 1992. 170-173.
- [5] 白日升. 有关粉体喷射搅拌的几个问题的探讨[J]. 安徽建筑, 1995, 82(1): 30-32.
- [6] 王朝东, 陈静曦. 关于水泥粉喷桩有效桩长的探讨[J]. 岩土力学, 1996, 17(3): 43-47.
- [7] 郝培哲. 深层搅拌粉喷桩试验研究[J]. 电力勘测, 1996(3): 1-9.

“新钻牌”长螺旋 CFG 系列基础工程桩机

工法新颖、工艺先进、产品环保

钻孔直径 300~800~1000 mm

钻深分别 8 m、13 m、15 m、18 m、20 m、21 m、23 m、25 m、30 m、35 m、50 m

施工工法: 长螺旋钻进成孔、泵压混凝土成桩, 即成孔、成桩一机一次完成。低噪声、无振动。

生产厂家: 河北新河新钻有限公司

销售热线: 13903192011(全天)

地址: 河北省新河城内新华路 19 号

http://www.xhzuanji.com

联系人: 崔文艺(营销经理)

电话: 0319-4752111 4752127(传真)

邮编: 055650

E-mail: zuiwy@heinfo.net

其它产品: 大口径钻机、旋挖钻机、地连墙钻机、挤扩支盘机、夯实夯扩机、潜水砂泵等 10 大系列 30 多个品种规格。

