

水泥土搅拌桩时间效应与质量检测评分方法探讨

丁海涛 杨保全

(河海大学土木工程学院 , 江苏 南京 210098)

摘要 通过大量水泥土搅拌桩现场检测工作 , 提出了水泥土搅拌桩质量检测标准与评分方法 . 通过分析桩身水泥土无侧限抗压强度及单桩承载力时间效应 , 提出了标准贯入击数、桩身水泥土无侧限抗压强度及芯样状态描述为主要评分参数的质量检测评分方法 , 实践表明该评分方法对各类工程水泥土搅拌桩质量检测评价具有很好的应用前景 .

关键词 水泥土搅拌桩 ; 桩身强度 ; 时间效应 ; 质量检测

中图分类号 : TU473.1+1 文献标识码 : B 文章编号 : 1006-764X(2005)01-0048-03

Discussion on time-effect of cement soil piles and grading for their quality//DING Hai-tao , YANG Bao-quan (College of Civil Engineering , Hohai Univ. , Nanjing 210098 , China)

Abstract : Based on a great deal of field monitoring work on cement soil piles and analysis of the time-effect of unconfined compressive strength and bearing capacity of single piles , a criterion for quality monitoring of cement soil piles and the method for their quality grading were proposed with the SPT blow count , unconfined compressive strength of cement soil , and state description of core samples taken as main parameters . Practices show that the grading method is of wide scope of application in quality monitoring of cement soil piles in various hydraulic projects .

Key words : cement soil pile ; pile strength ; time-effect ; quality monitoring

近年来 , 水泥土搅拌桩在各类工程建设中得到广泛应用 , 它利用水泥材料作为固化剂 , 通过特制的搅拌机械 , 在地基深处就将软土和固化剂强制搅拌 , 使固化剂和软土间产生一系列物理化学反应 , 使软土硬结成具有整体性、水稳性和一定强度的水泥加固土 , 从而提高地基强度和增大变形模量 . 这种水泥土搅拌桩属于地下隐蔽工程 , 施工质量受人为影响因素很多 , 为此对施工质量进行检测监测显得非常重要 . 目前水泥土搅拌桩检测主要采用 TB10113-96《粉体喷搅法加固软弱土层技术规范》等有关技术要求进行 : ①在 7 d 内采用轻便触探仪 N_{10} 检查桩身质量 ; ②现场足尺无侧限抗压强度试验 ; ③自上而下全断面钻芯强度试验等 . 从实际情况看 , 这些方法不能全面真实反映水泥土桩施工质量 , 为此 , 对水泥土搅拌桩质量检测标准和评分方法作一些探讨具有重要意义 .

1 水泥土搅拌桩桩身强度时效分析及沿深度变化特性

水泥土搅拌桩的单桩承载力与桩身水泥土强度、桩间土及桩端土的性质等因素有关^[1] , 在同一

场区 , 若其他条件相同时存在着单桩承载力桩身强度随时间增长而逐渐增大现象 , 这一现象称为时间效应 . 关于时间效应研究已有多 , 其产生原因主要是 : ①在成桩过程中 , 水泥与土中黏粒和水产生化学反应 , 桩身强度不断增长 ; ②搅拌对桩周土的扰动、挤压、土体的再固结及强度恢复 .

1.1 单桩承载力时间效应分析

在桩顶荷载 p 作用下 , 桩顶下 x 处桩身截面内力为 N , 并设桩端受力为 0 , 桩截面面积为 A_p , 桩周长为 u , 桩身弹性模量为 E . 根据力平衡关系、桩身及桩周土变形协调关系等 , 经一系列变换建立桩顶荷载与位移、桩周土的性状及桩身强度之间的关系^[2] :

$$p = \alpha A_p E \frac{e^{\alpha l} - e^{-\alpha l}}{e^{\alpha l} + e^{-\alpha l}} \gamma_s \tag{1}$$

其中
$$\alpha = \sqrt{\frac{Kl}{A_p E}}$$
式 中 : γ_s 为桩与土相对位移 ; K 为桩与桩周土弹性摩擦系数 ; l 为桩长 .

由式 (1) 可知 , 在桩周土性状、桩径、长度及施工质量相同时 , 桩身弹性模量越大 , 单桩承载力越高 , 而桩身弹性模量随水泥土龄期增长而增大 , 它直接

影响到桩与土相对位移大小和桩侧摩阻力发挥,因此从理论上讲,其承载力随成桩时间的增长而逐渐提高,并且桩身强度起着重要作用。

1.2 桩身水泥土无侧限抗压强度时间效应

水泥土无侧限抗压强度影响因素有水泥掺入比、水泥标号、龄期、含水量、有机质含量、外掺剂等,当其他条件相同时,水泥土的强度随水泥掺入比增加而增大,随龄期增长而提高,一般在龄期超过 28 d 后,强度仍有明显增长,当龄期超过 60 d 后强度增长缓慢,见图 1。根据室内试验及实测资料^[3],水泥土无侧限抗压强度 $f_{cu,t}$ 与 28 d 龄期无侧限抗压强度 $f_{cu,28}$ 具有较好的相关关系,其关系式为

$$\frac{f_{cu,t}}{f_{cu,28}} = 0.2426t^{0.4189} \quad (2)$$

其中 相关系数 $R=0.996$ 标准差 $S=0.036$ 样本 $n=12$ 。

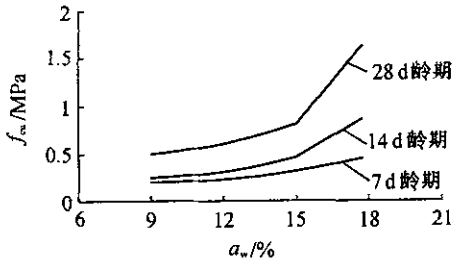


图 1 水泥土无侧限抗压强度与水泥掺灰量关系曲线

由式 (2) 可知,若知某一龄期无侧限抗压强度,就可以换算成 28 d 龄期无侧限抗压强度,并统一进行质量评定,这样评定结果才会符合实际情况。

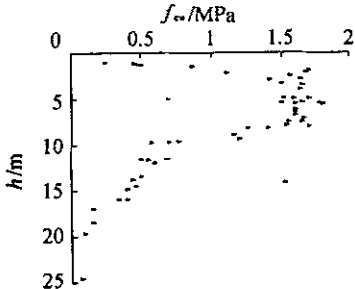
1.3 无侧限抗压强度随深度变化趋势

水泥土搅拌桩桩身强度沿深度变化情况,目前在 TB10113-96《粉体喷搅法加固软弱土层技术规范》、YBJ225-91《软土地基搅拌桩加固技术规范》等规范中没有明确说明,实际上桩身水泥土强度上下部位有变化,其原因是:①随地质及水文地质条件变化,水泥土成形情况会发生变化;②随深度增加,地温、负压增加,成桩质量发生变化。根据大量实测资料,桩身强度存在着如图 2 所示的统计规律。

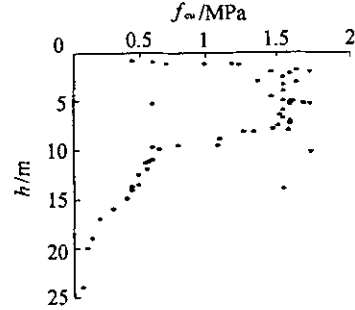
从图 2 可知,水泥土搅拌桩桩身无侧限抗压强度 f_{cu} 随深度发生变化,在 5.0 m 以内, f_{cu} 较高, 5.0 m 以下逐渐降低,因此在水泥土搅拌桩检测及评分过程中,应充分考虑桩体上、下部强度变化情况。

2 水泥土搅拌桩质量检测标准及评分方法

在大量水泥土搅拌桩检测工作基础上,提出了水泥土搅拌桩检测标准与评分方法,同时充分考虑地质条件变化,桩身水泥土强度时间效应及深度变化情况,并将桩体 0.0~5.0 m 划分为上部, 5.0 m 以下划分为下部,分别按现场描述特征、软硬状况、标



(a)苏州西北绕城公路HB-4标



(b)宁杭高速公路NH-6标

图 2 水泥土搅拌桩桩身无侧限抗压强度随深度变化趋势

准贯入击数、无侧限抗压强度等特征参数,并将不同龄期统一换算成 28 d 龄期抗压强度对每一根抽检桩进行质量评分,经大量实测资料统计对比分析,提出评分标准见表 1。

表 1 水泥土搅拌桩上、下部计分标准

深度	硬度状态	硬度 计分	标准贯入 击数	标准贯入 击数计分	$f_{cu,28}/\text{MPa}$	强度 计分
上部 0.0~ 0.5 m	坚硬~稍硬	100	≥ 20	100	≥ 0.45	100
	硬塑	75	15	75	0.25	75
	软塑~可塑	25~50	5	50	0.05	50
	流塑	0	< 5	0	< 0.05	0
下部 5.0 m 以下	坚硬~稍硬	100	15	100	≥ 0.45	100
	硬塑	75	10	75	0.2	75
	软塑~可塑	25~50	4	50	0.03	50
	流塑	0	< 4	0	< 0.03	0

注 ①施工桩深小于 5.0 m 不分上、下部;②标准贯入击数及无侧限抗压强度值按线性内插;③在两种状态之间取平均值。

2.1 计分方法

首先计算各层得分,方法是:标准贯入击数按 70% 计分,无侧限抗压强度按 15% 计分,硬度状态等现场描述特征按 15% 计分。根据各层得分,采用层厚加权平均分别得出上、下部得分,上、下部的平均值为该桩综合得分。

2.2 总体评价

考虑到水泥土搅拌桩质量沿深度有变化,同时分析研究大量工程实例,因此确定标准为上部需达到 75 分以上,下部需达到 60 分以上,否则判为不合格桩。各检测桩根据综合得分按以下标准分为 4 级: 100~90 分为优, 89~80 分为良, 79~67.5 分为合格, 小于 67.5 分为不合格。

表 2 评分计算过程

深度/m	硬度状态	硬度得分	标准贯入击数	折后标准贯入击数	标准贯入击数得分	无侧限抗压强度 f_{cu}/MPa	折后强度 /MPa	强度得分	每层得分
2.00	坚硬	20.0	39	27.3	80.0				200.0
3.50	坚硬	15.0	47	32.9	70.0	1.32	0.66	15.0	150.0
5.00	硬塑	11.3	16	11.2	45.9	0.35	0.18	9.9	100.7
6.50	硬塑~可塑	12.5	10	7.0	50.0				93.8
8.50	硬塑~可塑	12.5	9	6.3	47.7				120.4

3 工程实例

淮安—盐城高速公路沿线分布有大量软弱地基土,其特点是天然含水量大、压缩性高、土的力学强度低,工程性质极差,设计进行水泥土搅拌桩复合地基加固处理。笔者受淮盐高速公路建设指挥部委托,对水泥土搅拌桩进行质量检测,依照上述标准对每一根受检桩进行质量评分及评价。如:在加固里程 $K_{20}+059\sim K_{20}+106$,检测桩号 4-59 号,桩长 8.5 m,龄期 90 d,其评分计算过程见表 2。

依照上述评分标准,经计算,该桩上、下部得分分别为 90.1 和 61.2,综合得分为 75.7,该桩评定等级为合格,评定结果符合实际特性,说明将现场定性描述和定量计算相结合的质量评定方法是可行的,可大大减少人为因素,在水泥土搅拌桩质量检测中具有较好的应用前景。

4 结 语

a. 水泥土搅拌桩质量检测采用定性描述和定量计算综合评定是可行的,所提出的质量检测标准

及评定方法在国内各类工程水泥土搅拌桩质量检测中具有较好的应用前景。

b. 水泥土搅拌桩桩身强度时间效应明显,且上、下部桩身强度有变化,在质量评定时应充分考虑其变化。

c. 在质量评定过程中应充分考虑特殊地质条件下桩身水泥土质量情况,如有机质土、粉砂土、膨胀土等,使评定结果符合实际情况。

d. 本文对不同地质条件下水泥土搅拌桩质量检测提出了具体评分标准,是在大量工程实践基础上的总结,理论研究有待今后进一步深入。

参考文献:

[1] 黄宏伟. 微型预制桩单桩承载力时效现场试验分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2000, 19(5): 667—669.
[2] 杜海金. 粉喷桩单桩承载力的时效分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(4): 587—587.
[3] 孙军, 应后强, 邵坚. 深层搅拌桩复合地基的现场试验研究[J]. 水利水电科技进展, 2002, 22(6): 52—54.

(收稿日期 2004-03-08 编辑 熊水斌)

(上接第 11 页)

调控完成后,各主要序参量值见表 3。从表 3 中可以看出,经过调控以后,流域供水量为 592.64 亿 m^3 , 缺水量为 62.92 亿 m^3 , 为需水量 655.65 亿 m^3 的 9.59%,生态水量 183.33 亿 m^3 , 满足 180 亿 m^3 低限生态需水要求,维持了黄河的健康生命并实现了流域水资源 3 个子系统之间的更好协调。

5 结 语

通过引进系统熵来对水资源系统内部子系统之间的协调程度进行评定,并由系统熵引导水资源在各个子系统间配置以实现子系统之间的协调,达到流域可持续发展的最终目标,解决了水资源动态规划中的维数灾问题,为水资源的优化配置提供了一种崭新的思维模式。

参考文献:

[1] 畅建霞,黄强,王义民. 基于耗散结构理论和灰色关联的

水资源系统演化方向判别模型研究[J]. 水利学报, 2002 (12): 107—112.

[2] Plate E J. Sustainable development of water resource: a challenge to science and engineer[J]. Water International, 1993, 18 (2): 84—93.
[3] Single V P. The use of entropy in hydrology and water resource [J]. Hydrology Processes, 1997(2): 587—626.
[4] 畅建霞,黄强,王义民. 南水北调中线工程水量仿真调度模型研究[J]. 水利学报, 2002(12): 41—47.

(收稿日期 2004-04-07 编辑 熊水斌)

