

文章编号: 0451-0712(2006)05-0115-05

中图分类号: TU472.3;U416.1

文献标识码: A

珠三角地区公路工程水泥土搅拌桩检测体系的建立和分析

曾庆军^{1,2}, 廖建春³, 莫海鸿¹, 李茂英², 黄 腾⁴

(1. 华南理工大学土木工程系 广州市 510640; 2. 广东交通职业技术学院 广州市 510650;
3. 广东省公路勘察规划设计院 广州市 510507; 4. 广东省航盛工程有限公司 广州市 510000)

摘 要: 在总结当前水泥土搅拌桩质量检测的要点和检测方法的优缺点基础上,通过在珠江三角洲地区的多项公路工程水泥土检测试验,提出了短期和长期相结合、多项检测方法相结合的水泥土搅拌桩检测体系,对搅拌桩质量检测的频率、方法、指标、评定标准进行了详细的阐述。工程实践证明,采用这种系统的检测方法,可以满足水泥土搅拌桩的检测要求。

关键词: 水泥土搅拌桩; 质量检测; 检测体系

目前,对水泥土搅拌桩还没有一个经济有效的检测手段,特别是对全桩质量的检测,相关规范落后于实际工程的需要。随着水泥土搅拌桩的应用日益广泛,质量检验的重要性不断提高,已成为完善水泥土搅拌法不可缺少的组成部分。

珠江三角洲(简称珠三角)地区公路工程的水泥土搅拌桩检测方法也很不统一,对其要求不尽相同;同时,由于本地区软土的特殊性质,也不可能完全照搬其他地区的检测要求。因而,建立一套适合珠三角地区公路工程的水泥土搅拌桩检测体系,对加强施工管理、提高施工质量有实际的意义。在珠三角软土地区的多条高速公路工程中,进行了一系列的检测

试验,对目前常用水泥土搅拌桩检测方法的实用性、有效性和验收指标的确定进行研究。本文主要介绍这些试验的一些成果,并初步建立起水泥土搅拌桩质量检测体系。

1 常用水泥土搅拌桩质量检测方法对比

水泥土搅拌桩的质量检验主要反映在 3 个方面:水泥土的强度(包括复合地基强度)、水泥土搅拌的均匀性和桩身长度。对水泥土搅拌桩的质量测试方法还没有形成统一的认识,检测的方法多达 10 多种,各种方法都有其优点和缺点,各种检测方法对比见表 1。

表 1 各种检测方法的评价

检测方法	优 点	缺 点
检查施工记录	全面、真实。	间接检查。
桩头开挖	检验桩位、桩数和桩顶质量。	只能检查桩顶部分外观质量。
压桩头法	可直接测试桩身强度,数据直观,方法简单易行。	该法探测深度最大不超过 2 m,仅代表桩的局部强度。
轻型动力触探试验	设备简单,操作易行,经验性强,测试数量不受限制。	深度一般不超过 4 m,7 d 龄期以内,对整桩质量无法检查。
钻孔取芯法	直接观察桩长、桩的连续性、桩身成型和搅拌均匀性,可取芯进行强度试验。	设备较笨重,工效低,对长径比大于 30 的桩体下部易偏出,试块的选取不一定有代表性,对桩有一定破损。
标准贯入试验	与钻芯法结合使用,原位测试桩身强度。	测试点不连续,设备较笨重。
静载荷试验	可直接判定单桩或复合地基的承载力和变形。	试验设备多,历时较长,费用高,测试数量较少,且存在载荷板尺寸效应问题。

目前水泥土搅拌桩工程采用的几种检测方法都有一定的局限性,特别是对水泥土搅拌桩中下部质量判断不准确,而对长的水泥土搅拌桩来说,桩身的薄弱环节也正在中下部。所以,好的检测方法必须对桩身全长质量做出全面评价,以现有的检测技术水平宜将多种检测方法结合起来,建立一个检测体系,才能全面检测桩的质量。

2 水泥土搅拌桩检测方法的试验研究

质量检测体系应包括检测内容、检测方法和技术要求、检测频率、质量评定标准等。水泥土搅拌桩的质量检验主要反映在3个方面:水泥土的强度(包括复合地基强度)、水泥土搅拌的均匀性和桩身长度。目前工程中常用的检测手段是轻型动力触探试验、取芯及无侧限抗压强度试验、标准贯入试验、载荷试验,这些方法结合起来,可以满足对全桩长检测的要求。质量检测体系的关键在于建立适合于当地的质量评定标准,在珠三角软土地区多条高速公路的水泥土搅拌桩工程中,进行了多次水泥土搅拌桩各种检测方法的试验研究,以下对其进行介绍。

2.1 轻型动力触探试验统计分析

在3项工程进行了数百次轻型动力触探试验,以了解本地区的 N_{10} 频率分布与水泥土强度的关系,确定检测的合格标准。

1 d、2 d、3 d 龄期的 N_{10} 击数频率分布统计如图1~图3所示。1 d 龄期时 N_{10} 击数大部分集中在10~30 击之间,随着龄期的增加, N_{10} 击数总体上逐渐增加,到3 d 龄期时,20~40 击占了很大部分。

轻型触探击数平均值随桩身龄期的增加而增加,经回归分析有:

$$N_{10} = 3.18T + 22.3 \quad (1)$$

式中: N_{10} 为轻型触探击数,击; T 为龄期,d。

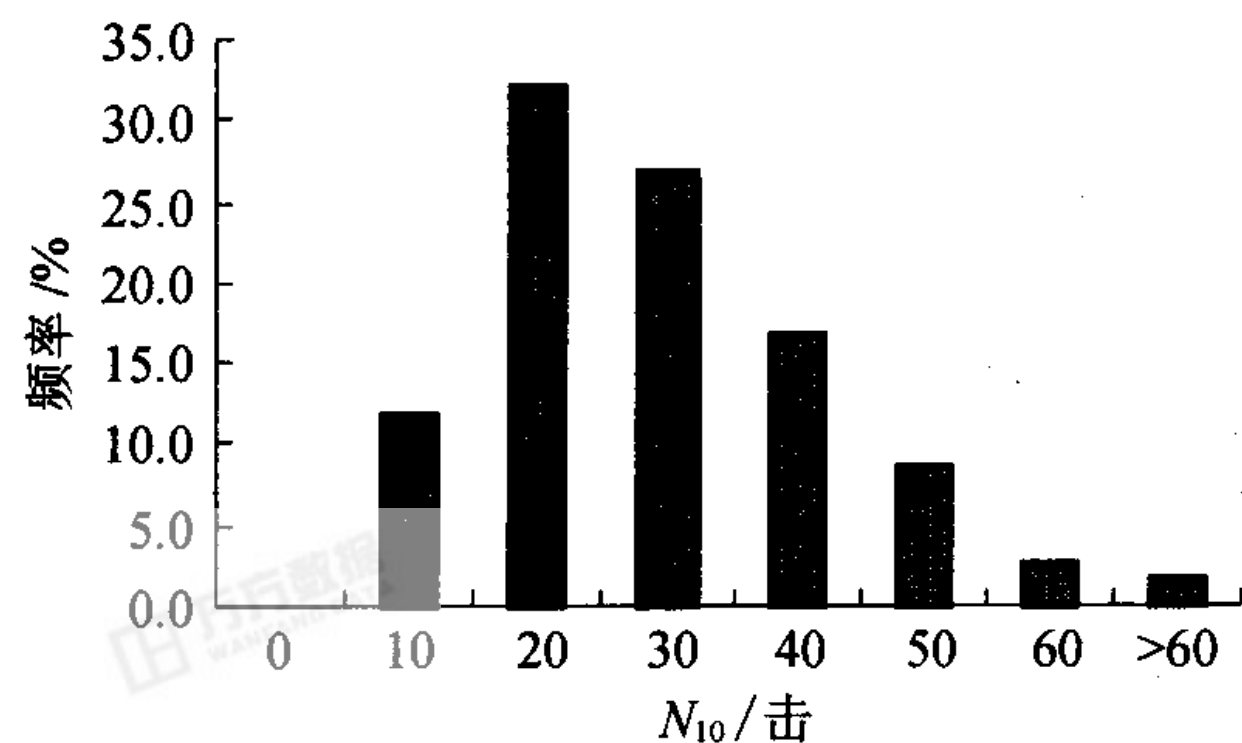


图1 1 d 龄期 N_{10} 频率分布直方图

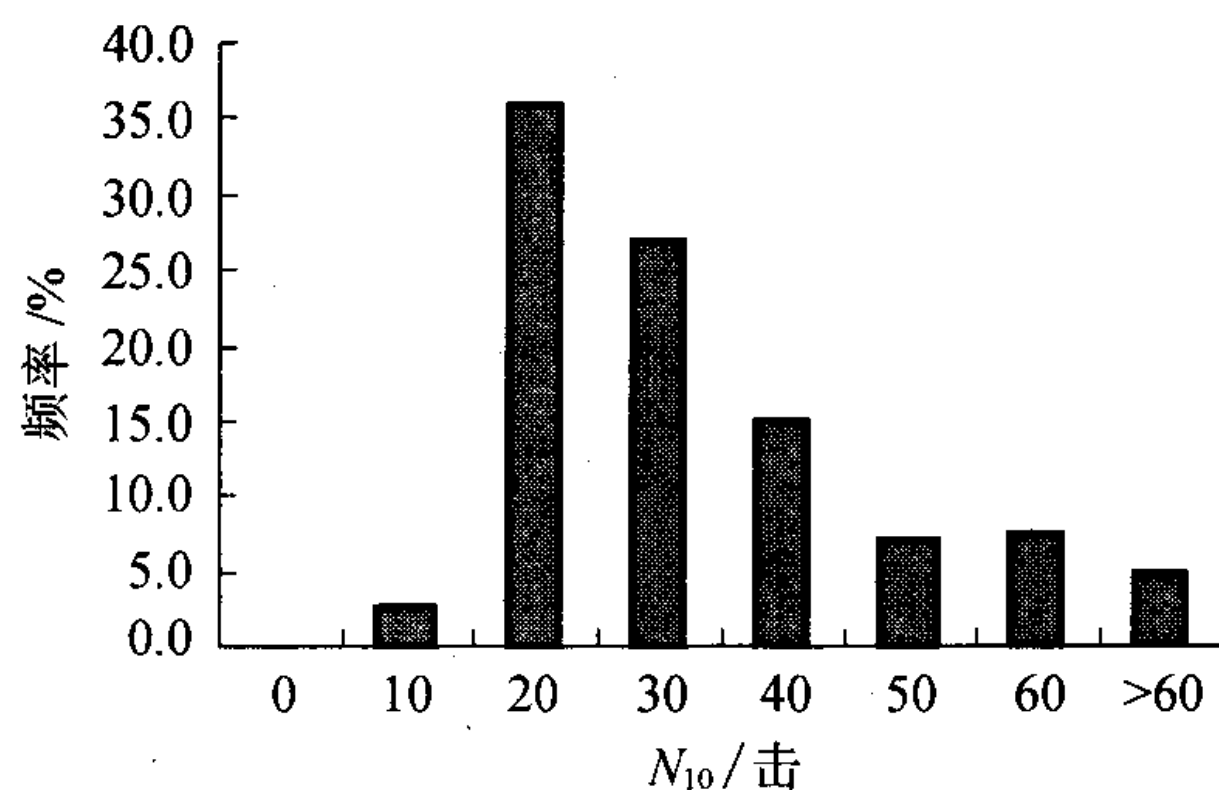


图2 2 d 龄期 N_{10} 频率分布直方图

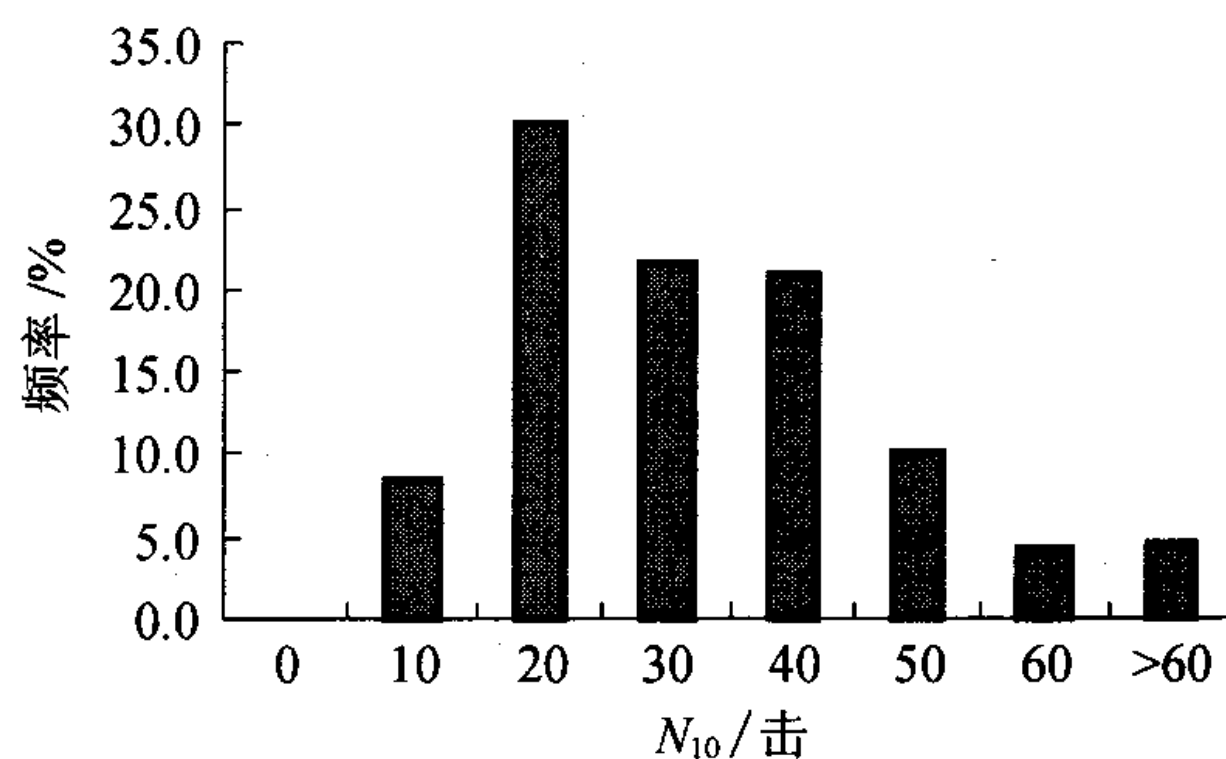


图3 3 d 龄期 N_{10} 频率分布直方图

N_{10} 击数与桩身水泥土28 d 龄期无侧限抗压强度的关系如图4所示,根据轻型触探的锤击数可以粗略估计28 d 的强度,定性地判别水泥土搅拌桩体的软硬程度。28 d 龄期一般较少应用轻型动力触探试验。

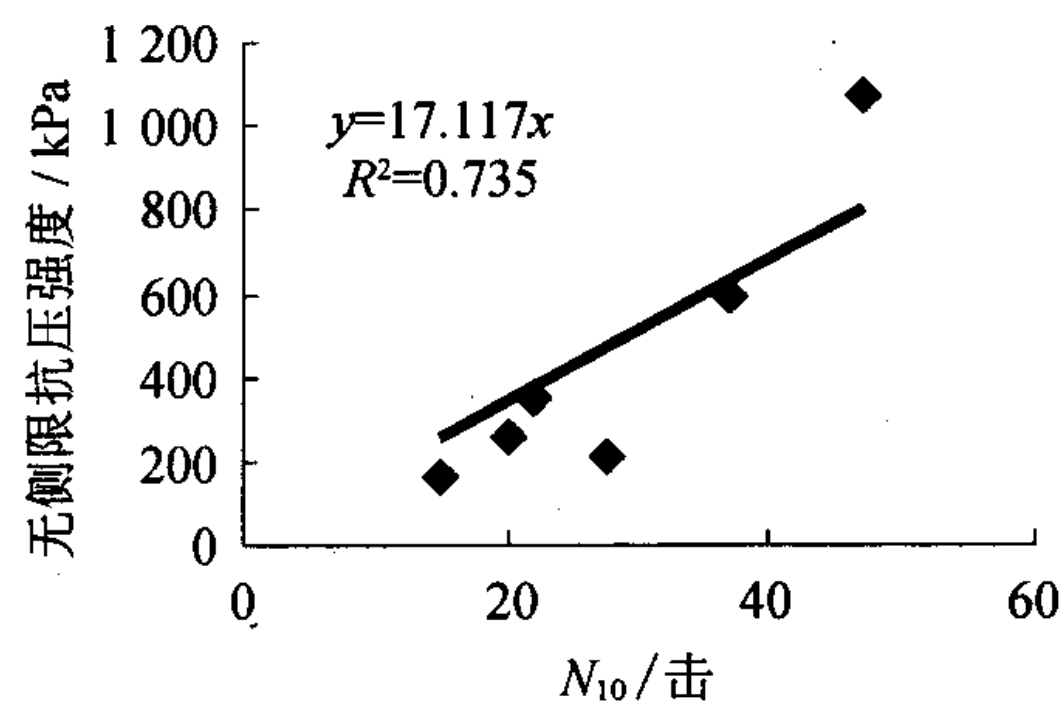


图4 28 d 无侧限抗压强度与 N_{10} 关系

轻型动力触探试验(N_{10})是检验搅拌桩上部桩体质量的有效方法。这种检测方法设备简单,操作易行,测试数量不受限制;缺点为检测深度一般不超过4 m,无法对深部强度与桩身完整性进行判断,可作为施工单位自检的一种手段,以检验施工工艺和施工参数的正确性。从目前的数据来看,1 d 的 N_{10} 击数应不少于15 击且不小于原状土 N_{10} 击数的2 倍,3 d 应不少于30 击。

2.2 取芯及无侧限抗压强度试验统计分析

为直接检测水泥土搅拌桩的桩身完整性,采用

钻探取芯法检测是最为直观和最为真实的手段。通过钻探取芯将水泥土芯完整地取出,可肉眼鉴定桩身的均匀性、颜色及桩长是否达到设计值,还可将水泥土芯样带到室内进行无侧限抗压强度试验,直接测试其强度。

本次研究统计了4项工程中的263个无侧限抗压强度数据,4项工程的水泥土搅拌桩水泥掺入量均为50 kg/m,28 d无侧限抗压强度统计频率分布如图5所示。28 d龄期在软土中施工的水泥土搅拌桩桩身水泥土无侧限抗压强度主要分布在0.3~0.5 MPa范围,两者加起来占了75%。

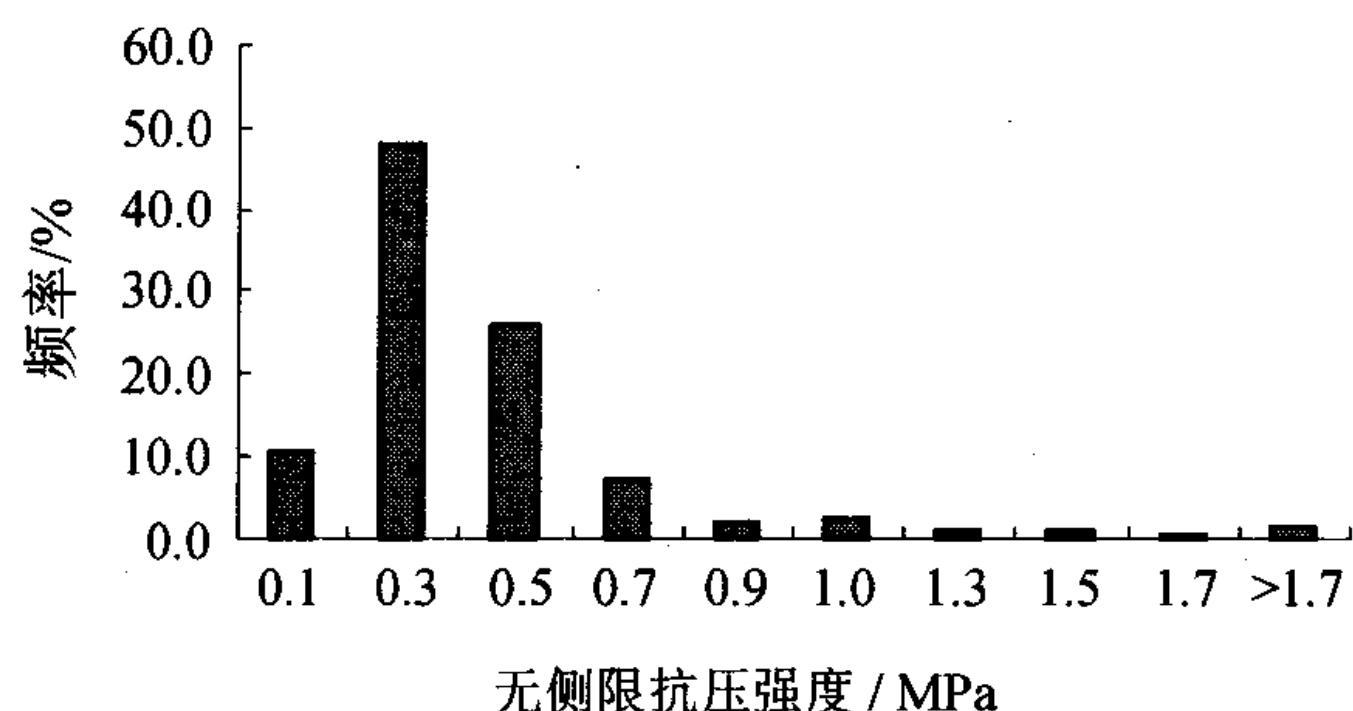


图5 无侧限抗压强度频率分布

工程中一般只对室内水泥土强度做出要求,从现场取土样进行室内配合比试验,一般要求28 d龄期不小于0.8~1 MPa。由统计资料可以对现场水泥土的强度进行要求,即28 d龄期现场水泥土试样无侧限抗压强度不应小于0.3 MPa。

2.3 标准贯入试验统计分析

标准贯入试验是常用于工程勘察中地基土强度的原位测试方法,其工艺与技术要求已经有成熟经验,用标贯击数 $N_{63.5}$ 评价地基原位土强度已经有很多经验公式。用标贯试验测试水泥土强度是有效的水泥土搅拌桩检测方法之一,可针对 $N_{63.5}$ 与水泥土无侧限抗压强度关系进行试验。

水泥土搅拌桩的标贯试验 $N_{63.5}$ 击数分布如图6所示。标贯击数主要分布于10~20击之间,与原状软土相比有大幅度的提高。为了探讨标贯击数与水泥土无侧限抗压强度试验的关系,在水泥土搅拌桩的标贯部位同一深度取芯进行试验,共统计了3项工程共计138个对比试验数据。28 d龄期水泥土无侧限抗压强度与标贯击数的关系散点图如图7所示,经回归分析得到水泥土的无侧限抗压强度 q_u 与 $N_{63.5}$ 的相关关系为:

$$q_u = 0.0429 N_{63.5} \quad (2)$$

式中: q_u 为水泥土的无侧限抗压强度,MPa;
 $N_{63.5}$ 为标贯击数,击。

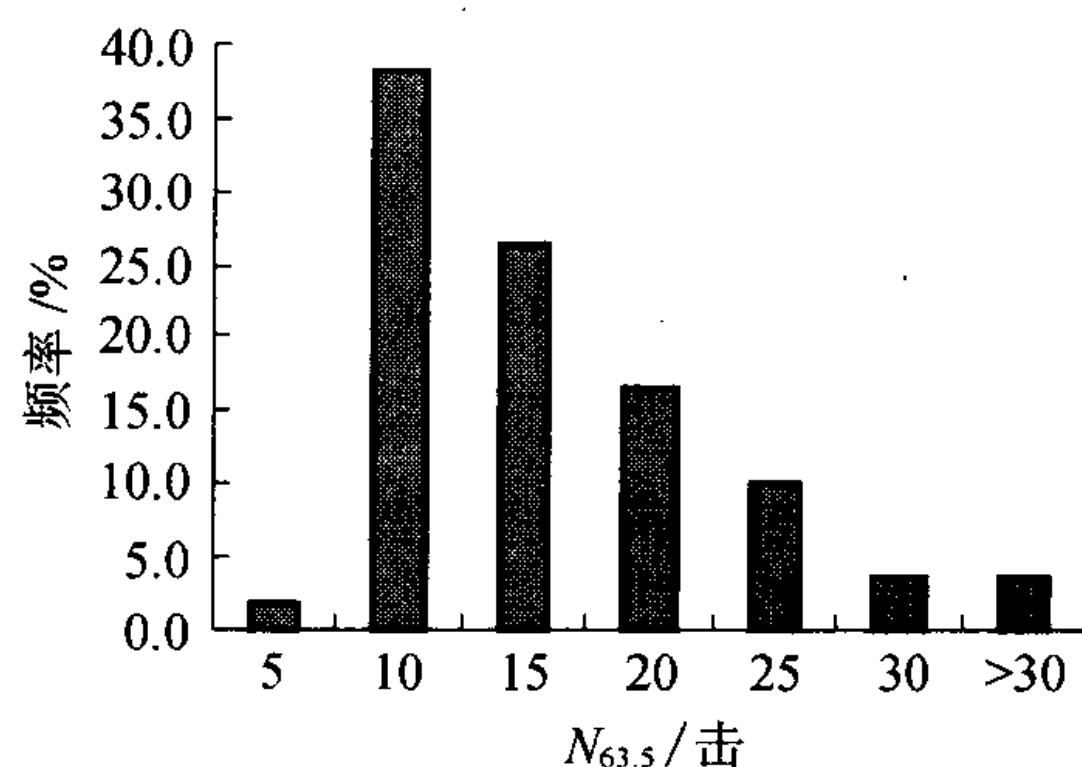


图6 28 d龄期水泥土 $N_{63.5}$ 击数分布

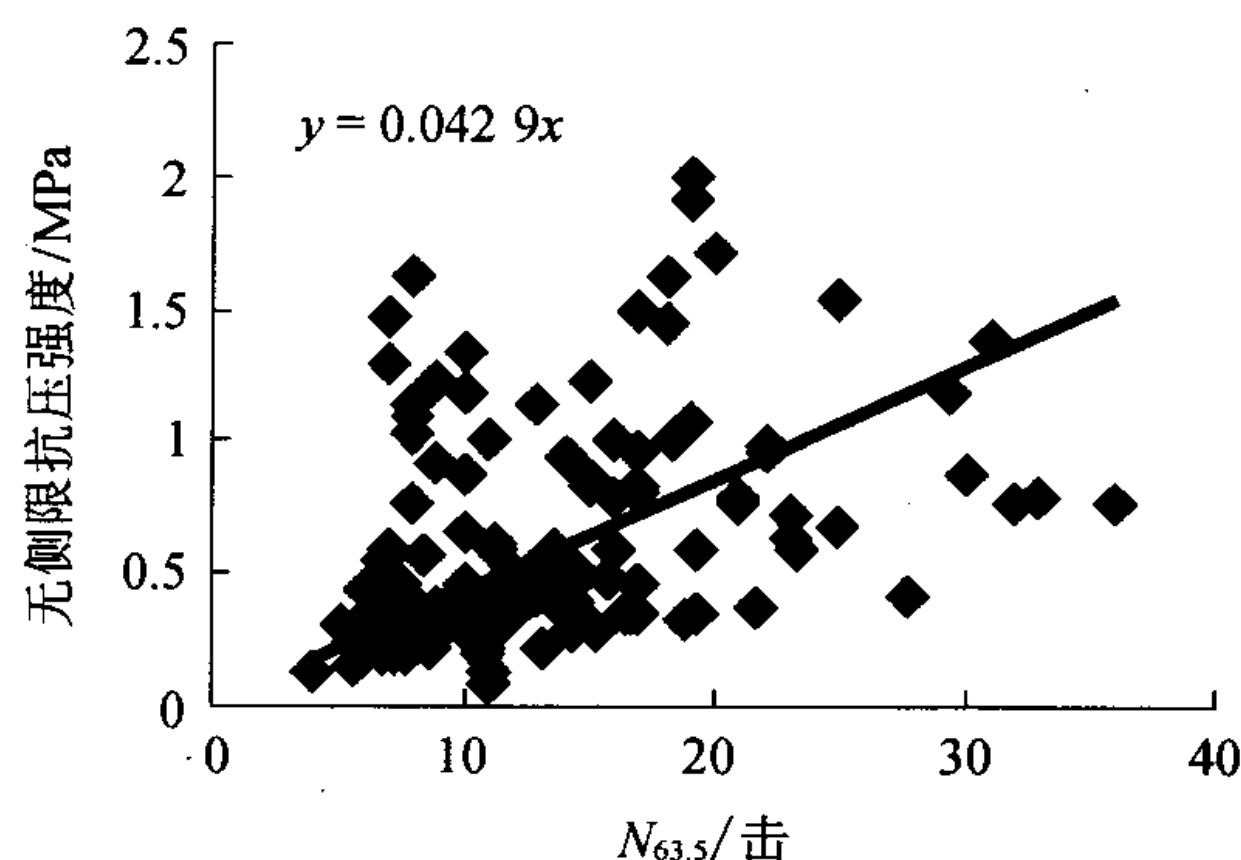


图7 28 d龄期水泥土 q_u 与 $N_{63.5}$ 击数关系

应用关系公式,由标准贯入试验击数 $N_{63.5}$ 直接推求桩身单桩无侧限抗压强度值,综合取芯试验获得的试验值,可以评价桩身水泥土的强度特征。从现场标准贯入试验数据与水泥土无侧限抗压强度关系来看,软土中28 d标贯击数不宜小于9击,并且不小于原位土标贯击数的1.5倍。

3 水泥土搅拌桩质量检测体系的建立

公路工程搅拌桩工程具有数量大、施工强度高的特点,非常需要建立一个统一的质量检测体系,来提高整体的施工质量。经过总结检测试验研究的成果,并参考有关规范,初步提出适合于珠三角软土地区的水泥土搅拌桩及超长水泥土搅拌桩的质量检测体系。质量检测体系包括检测内容、检测方法和技术要求、检测频率、质量评定标准。

3.1 质量检验内容

对水泥土搅拌桩检测的内容包括:桩的数量和外观检测(桩径、桩距和桩位);水泥土的强度;水泥土搅拌的均匀性;桩身长度;单桩和复合地基承载力。对搅拌桩工程实行2阶段检验,是以现场取芯观察、标准贯入试验为主,以无侧限抗压强度试验、载

荷试验为辅的综合水泥土搅拌桩质量检测体系。

(1) 早期龄期(1~7 d)检测阶段。

本阶段质量检测以施工单位自检为主,监理旁站监督。

成桩3 d内,开挖桩头并进行 N_{10} 轻型动力触探。开挖深度为1 m,观察桩体外观情况以及搅拌均匀程度,如发现凝体不良等情况,应报废补桩。在桩上部进行轻型动力触探试验,了解桩体早期强度情况。

(2) 中期龄期(28 d)检测阶段。

本阶段由第三方检测单位检查,监理旁站监督。

①钻孔取芯:随机选桩进行桩头部位外观检查和全桩取芯,对水泥土芯样进行描述,判断其均匀性,对桩长及桩端持力层检查;等分3段分别取一个样制成试块进行无侧限抗压强度试验。

②标准贯入试验:与钻孔取芯相结合进行,每隔1.5 m进行一次试验,桩端土也宜进行一次试验。

③载荷试验:随机选取一定数量的水泥土搅拌桩进行单桩和多桩载荷试验;为减少载荷试验尺寸效应

的影响,桩长大于10 m的桩宜进行单桩载荷试验。

3.2 检测频率

检测工作的目的是为了保证施工质量,确定检测数量也是围绕着这个目的。与成桩费用相比,水泥土搅拌桩检测费用相对较高。

现行规范里规定一个检测百分数过于死板。例如规定钻探取芯及轻型动力触探检测数量为总工程量的2%,一个只有1万m的小型工程按此标准尚且合理,但如果一个有20万m的大工程,2%的检测数量就显得不够合理,而过多的检测数量会影响软基处理的整体进度。公路工程中工程量一般较大,工期较紧,确定检测频率也应和实际工程相一致。检测频率的确定应既能达到检查施工质量的目的,又不至于费用过高和时间过长,检测频率宜在一定范围内变动。因此,建议按搅拌桩总延米数进行分类,检测数量采用范围值,小型工程取大值、大型工程取小值,这样既能保证工程质量,又避免了由于检测数量过多而造成的浪费。表2是检测频率的建议值。

表2 检测频率的建议值

序号	检测项目	建议频率	说 明
1	开挖桩头、轻型动力触探 N_{10}	2%且不少于3根	5万m以内的工程取大值,5~25万m内的工程取中值,大于25万m的工程取小值。
2	钻探取芯抗压及标贯试验	1%~2%且不少于3根	
3	载荷试验	0.1%~0.2%且不少于3点	

3.3 检测方法与技术要求

(1) 检测方法。

对水泥土搅拌桩早期龄期时的检测方法有桩头开挖、轻型动力触探和查施工记录等。

对中期龄期水泥土搅拌桩主要采用钻孔取芯观察、标准贯入试验和室内无侧限抗压强度试验进行检查,而载荷试验由于其检测数量有限,检测周期长,不作为检测的主要方法,但经过载荷试验的水泥土搅拌桩可以参与质量评定。

(2) 技术要求。

各种检测方法的技术要求可参考文献[1]的内容。

3.4 水泥土搅拌桩质量评定标准

根据检测试验的成果,以及珠三角地区高速公路的一些要求,初步提出了水泥土搅拌桩的质量检测评定标准。

3.4.1 早期龄期检测评定标准

此时检测以施工单位自检为主,监理旁站监督。通过自检及时发现问题,改进施工方法,指导后续施工,这在一定意义上属于施工过程检验。

(1) 外观检查。

水泥土搅拌桩的外观检查主要通过桩头开挖检查成桩的直径、桩间距等,见表3。

表3 水泥土搅拌桩早期龄期外观检查项目与要求

项次	项目	单位	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	桩距	cm	± 10	抽查2%
2	桩径	mm	不小于设计值	抽查2%
3	桩位	cm	± 5	抽查2%
4	桩长	cm	不小于设计值	查施工记录
5	垂直度	%	1.5	查施工记录

(2) N_{10} 检测标准。

桩身1 d龄期的 N_{10} 击数不小于15击且不小于原状土 N_{10} 击数的2倍,或3 d龄期的击数不小于25击。

3.4.2 中期龄期检测评定标准

(1) 单桩评定标准。

当存在下面的情况时,水泥土搅拌桩判为不合

格桩,不进行下一步的评分:①桩位偏差大于10 cm;②桩径小于设计值1 cm;③桩倾斜度大于1.5%;④桩长不足而又未进入持力层;⑤桩身沿深度方向30 cm长度无水泥;⑥桩体沿深度方向,当标贯击数小于4击时;⑦双管单动岩芯管取芯无侧限抗压强度 $<0.05\text{ MPa}$;⑧桩身标贯击数低于相应软土层(桩间土)标贯击数的1.5倍的桩;⑨载荷试验承载

力没有达到设计要求的桩。
当水泥土搅拌桩进行了载荷试验,可视试验结果评为合格、优良。方法建议采用当试验值与设计值之比为1.3以上时,质量等级为优;1.1~1.3为良;1~1.1为合格;小于1为不合格桩。
28 d龄期水泥土搅拌桩成桩质量检验评判方法见表4。

表4 水泥土搅拌桩成桩质量检验评判方法(28 d龄期)

水泥土稠度		SPT 试验 (6 m 以浅)		SPT 试验 (6 m 以深)		无侧限抗压强度 (6 m 以浅)		无侧限抗压强度 (6 m 以深)	
目测	标准分	N/击	标准分	N/击	标准分	q_u/kPa	标准分	q_u/kPa	标准分
稍硬以上	100	>19	100	>14	100	>450	100	>400	100
硬塑	75	14	75	10	75	240	75	200	75
可塑	50	6	50	5	50	120	50	100	50
软塑以下	0	<6	0	<5	0	<60	0	<40	0

注:(1) 计算各层的分数时,SPT 试验按70%记分,抗压强度按15%记分,稠度按15%记分;(2) 6 m以浅和6 m以深桩柱体各占50分计,且6 m以浅不低于75分、6 m以深不低于60分为合格;(3) 根据分层得分,采用层厚加权平均分分别得出上、下部得分;(4) 当某层缺无侧限抗压强度的检测数据时,则不计该检测项目,按标贯击数80%、硬度或状态描述20%计算该层分数;(5) 上、下部的平均值为该桩综合得分,在对被检测桩进行综合质量打分前,首先对该桩的上部、下部分别打分,上部得分需达到75分以上、下部得分需达到60分以上,这2个条件如有一条不符合,就可判定该桩为不合格桩。

按照综合打分值,水泥土搅拌桩质量评定等级可按表5划分。

表5 水泥土搅拌桩评定质量等级

总体评分	100~85	84~75	74~67.5	<67.5
质量等级	优	良	合格	不合格

鉴于实际工作中,检测工作会受到施工进度及工期因素的限制,被检测桩的成桩龄期往往不足或超过28 d,而龄期是影响桩身质量的重要因素。对超过28 d龄期的搅拌桩检测,龄期每增加1 d,质量检测的强度标准需提高1%;对不到28 d龄期的搅拌桩检测,龄期每减少1 d,质量检测的强度标准则要降低1%。

(2)单位工程验收标准。

对抽查的搅拌桩进行质量等级评定后,然后对搅拌桩单位工程质量进行评定。评定标准宜按表6确定。

表6 单位工程验收标准

单桩质量评定分布	合格率 $>90\%$	合格率 $80\%\sim90\%$	合格率 $<80\%$
单位工程质量等级	合格	基本合格	不合格

验收合格的单位工程,可以进行下一项工序;对基本合格的单位工程,应补打相应不合格桩数,达到龄期并验收合格后,方可进行下一项工序;对验收不

合格单位工程,应扩大检测范围,如仍然检验不合格,则必须评价桩体质量问题可能引起的后果,以采取相应的补救措施。

4 结语

(1)本文在总结目前水泥土搅拌桩检测技术存在不足的情况下,结合公路工程水泥土搅拌桩工程的实际特点,提出了适合于珠三角地区公路工程的水泥土搅拌桩质量检测体系。通过大量的水泥土搅拌桩检测试验,初步确立了水泥土搅拌桩检测质量指标的地区经验值,这对水泥土搅拌桩工程的质量控制和工程验收有一定实际意义,可作为地区性和行业性的经验在广东省公路工程系统进行推广和应用。

(2)工程实践证明,提出的短期和长期相结合、多项检测方法相结合的搅拌桩检测体系,可以满足水泥土搅拌桩的检测要求。

参考文献:

[1] 罗骥先. 桩基工程检测手册(第二版)[M]. 北京:人民交通出版社,2004.
[2] 曹名葆. 水泥土搅拌法处理地基[M]. 北京:机械工业出版社,2004.

文章编号: 0451-0712(2006)05-0120-04

中图分类号: U416.216

文献标识码: A

水泥混凝土路面的可靠度分析

李珍玉, 王永和

(中南大学土木建筑工程学院 长沙市 410075)

摘 要: 水泥混凝土路面在设计、施工、管理等过程中存在许多的不确定因素,为了更好地考虑这些不确定性,新版水泥混凝土路面设计规范,以可靠度概念取代了传统的安全系数,从而使路面设计更科学。以影响水泥混凝土路面可靠度的主要结构参数为随机变量,采用疲劳概率分析模型,分析了随机变量的变异性和概率分布,编程计算某公路水泥混凝土路面的可靠度指标。

关键词: 水泥混凝土路面; 可靠度; 结构参数; 随机变量

公路工程是国家主要的基础设施之一,建造费用高、使用周期长是公路工程结构独特的特点,要保证公路结构在规定的使用期内能够承受设计的各种作用,满足设计要求的各项使用功能,是设计、施工等人员追求的目标。而公路工程结构在施工上具有长距离线性分布的特点,路用材料的不均匀性及施工管理水平的差异、混凝土路面的各项材料性能参

数和结构几何尺寸等都不是某一确定的单值变量,具有多种不确定性和模糊性。1984 年和 1994 年颁布的水泥混凝土路面设计规范采用了安全系数来考虑众多的不确定性,然而安全系数是公路工作者通过多年积累的经验得出,即其取值是靠设计者的知识和经验,因此安全系数本身具有不确定性。经过研究人员多年的努力,用来表示工程可靠的程度,即路面

基金项目:湖南省自然科学基金项目(04JJ3085);教育部高等学校博士点专项基金项目(20030533043)

收稿日期:2005-10-25

[3] 徐建力. 水泥搅拌桩质量检测与综合评定方法的探讨[J]. 市政技术,2003,21(1).

[4] 刘朝辉,唐风华. 高速公路软基处理中粉(湿)喷桩质量检测方法评述[J]. 公路交通科技,2004,21(3).

Establishment and Analysis of Testing System for Mixing Column with Cement-treated Soil of Highway Engineering in Pearl River Delta Area

ZENG Qing-jun^{1,2}, LIAO Jian-chun³, MO Hai-hong¹, LI Mao-ying², HUANG Teng⁴

(1. Dept. of Civil Engineering, South China Univ. of Tech., Guangzhou 510640, China;

2. Guangdong Communication Polytechnic, Guangzhou 510650, China; 3. Guangdong Highway Design Institute, Guangzhou 510507, China; 4. The Hangsheng Engineering Co., Ltd. of Guangdong Province, Guangzhou 510000, China)

Abstract: Through summarizing the key points of the quality tests of mixing column with cement-treated soil and the advantages and disadvantages of test methods and some field experiments in multiple expressway projects in the Pearl River Delta area, a testing system for mixing column with cement-treated soil of a combination of short-time tests and long-time tests and several test methods is put forward. Frequency, method, parameters, evaluation criteria of quality testing are also explicated in this paper. The engineering practices show that the application of such systematic testing method can meet the requirements of testing cement mixing column.

Key words: mixing column with cement-treated soil; quality testing; testing system