**组合后压浆桩承载性能及抗拔系数试验分析**

郑彬1，张莉2，崔雪强3，顾晓雯3

（1.苏州工业园区建设工程质量检测咨询服务有限公司，江苏 苏州，215021；2.江苏省建筑工程质量检测中心有限公司，南京，210024；3.江苏省建筑工程质量检测中心有限公司苏州工业园区分公司，江苏 苏州，215021）

**摘要**：本文以苏州地区某超高层建筑的6根组合后压浆灌注桩的静载试验为依据，分析组合后压浆灌注桩竖向应力的传递规律及桩侧阻力、桩端阻力的发挥特性。同时，对比分析了抗拔系数计算值，为苏州地区超高层建筑的桩基设计提供依据。分析结果表明：荷载-桩顶位移曲线均为缓变型，后注浆桩具有更好的位移控制能力；桩侧摩阻力自上而下逐步发挥，压浆桩的桩身轴力衰减速度要快于未压浆桩；桩侧后压浆使桩侧摩阻力大于未压浆桩，有效提高了桩基承载性能发挥的稳定性；断面3-4对抗压桩侧摩阻力的提升具有重要作用；抗拔系数随土层深度增加而先减小后增大，与现行规范、勘察报告中建议值相比，本文计算值偏低。

**关键词**：组合后压浆；承载性能；桩身轴力；桩端阻力；桩侧摩阻力；抗拔系数

**0引言**

后压浆技术因其工艺简练、成本低廉与加固效果可靠，已被广泛应用于超高层建筑、大跨径桥梁和高速铁路等基础工程中。当前，后压浆的适用对象由中小直径、中短桩逐步发展到大直径、超长桩。国内外许多学者对后压浆提高桩基承载力的作用机理进行了研究，认为采用后压浆技术对桩基工程特性的加固作用，主要表现在压浆对桩端土体的加固作用、桩端扩大头效应、浆液上返或下渗对桩侧加固作用及桩端压浆的预压作用等四个方面，桩端后压浆桩的预压作用能有效地增强桩端阻力和桩侧摩阻力，提升桩的承载能力[1]。

然而，大直径桩因研究手段受限，完整的现场实测数据偏少，造成对大直径后压浆桩的竖向应力传递及阻力发挥特性缺乏系统的研究，其分析研究滞后于工程实践[1]。

后压浆技术分为桩端压浆、桩侧压浆、以及组合压浆三种形式，其中组合后压浆技术工程使用效果更佳。但由于包含桩端和桩侧两种压浆工艺，使其施工工艺相比桩端压浆或桩侧压浆更为复杂。目前对大直径后压浆桩的研究，主要针对单一的桩端或桩侧后压浆类型，对桩端桩侧组合后压浆的研究较少，而大直径组合后压浆桩的受力性状、荷载传递和桩基阻力发挥等规律，需要通过开展现场静载试验才能深入系统的研究。

因此，分析组合后注浆钻孔灌注桩的应力传递和桩土间阻力发挥特性，对设计优化和指导施工，以及进一步完善大直径钻孔灌注桩的荷载传递机制的研究，具有重要意义。

另外，目前国内对抗拔桩的受力性状研究与抗压桩相比相对不足，目前主要研究集中在抗压桩的承载特性和基桩阻力的研究分析方面。在实际工程设计中，通常是用抗压桩桩侧各土层的极限侧阻力乘以抗拔系数作为抗拔桩的侧阻力来估算抗拔极限承载力值，抗拔系数的取值对抗拔极限承载力的确定起着关键作用[2]。因此，通过试验分析计算抗拔系数，并与现行规范和勘察报告的取值进行对比分析，具有重要意义。

综上，本文以苏州地区某超高层建筑的6根组合后压浆大直径钻孔灌注桩试桩的单桩静载荷试验资料为依据，分析苏州地区竖向荷载作用下，组合后压浆大直径钻孔灌注桩的应力传递及阻力发挥特性，为苏州地区采用后压浆技术的大直径钻孔灌注桩的设计和施工提供参考依据，并进一步完善大直径钻孔灌注桩的荷载传递机制的研究。

**1工程概况及试验参数**

**1.1工程概况**

本文分析研究的工程为苏州地区某超高层建筑，位于江苏省苏州工业园区某CBD商圈核心区域，场地属于Ⅵ区太湖水网平原区的水网平原地貌，周边道路边线和本工程红线距离较近。本工程拟建场地下卧土层物理和力学参数见表1。

表1 土层物理和力学参数

Table 1 Physical and mechanical parameters of soil layers

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 土层编号 | 土层名称 | 密度*ρ*/g/cm3 ) | 标准贯入试验锤击数*N*/击 | 桩侧极限摩阻力标准值*qSik/*kPa | 后注浆侧阻力增强系数*βSi* | 桩端极限端阻力标准值*qPk*值/kPa | 端阻力增强系数*βP* | 抗拔承载力系数*λ* |
| ⑤ | 粉质粘土 | 1.88 | 6.4 | 40 | 1.4 |  |  | 0.7 |
| ⑥1 | 粉质粘土 | 1.97 | 16.3 | 60 | 1.5 |  |  | 0.7 |
| ⑥2 | 粉质粘土夹粉土 | 1.90 | 15.4 | 55 | 1.5 |  |  | 0.7 |
| ⑦1 | 粉质粘土 | 1.88 | 8.9 | 40 | 1.5 |  |  | 0.7 |
| ⑦2 | 粘质粉土夹粉质粘土 | 1.92 | 18.9 | 60 | 1.8 | 800 |  | 0.7 |
| ⑦3 | 粉质粘土 | 1.86 | 8.6 | 40 | 1.6 |  |  | 0.7 |
| ⑧1 | 粉质粘土 | 1.91 | 11.9 | 50 | 1.8 | 600 |  | 0.7 |
| ⑧2 | 粉质粘土夹粉土 | 1.92 | 19.6 | 55 | 2.0 | 800 |  | 0.7 |

**1.2试验参数**

本文试验研究对象为6根采用桩端后压浆和桩侧后压浆组合工艺的钻孔灌注桩，分别为3根抗压试桩和3根抗拔试桩。根据设计要求，加载均未达到破坏状态，加载至设计要求的最大荷载终止试验。

实际工程中，通常是用抗压桩桩侧各土层的极限侧阻力乘以抗拔系数作为抗拔桩的侧阻力来估算抗拔极限承载力阻力[3]，由于侧摩阻力反映的是桩土间受力的特性，因此除了受所处地下土层的特性的影响，桩的长径比也有一定的影响作用，因此在分析抗拔系数的时候，选取桩型（桩径、桩长）完全一致且点位相近，所处下卧土层特性接近的试桩，进行抗拔系数的分析。试桩的设计参数见表2。

表2 试桩基本设计参数

| 类型及编号 | 桩顶标高(85高程)/m | 桩长/m | 桩径/mm | 长径比 | 持力层及分层代号 | 混凝土强度 | 试验最大荷载/kN | 压浆工艺 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 抗压试桩KYSZ1 | 3.400 | 39（有效桩长）+21.2 | 800 | 48.75 | ⑩1粉质粘土夹粉土层 | C35 | 10 500 | 桩端压浆、桩侧压浆 |
| 抗压试桩KYSZ2 |
| 抗压试桩KYSZ3 |
| 抗拔试桩KBSZ1 | 39（有效桩长）+21.2 | 5 200 |
| 抗拔试桩KBSZ2 |
| 抗拔试桩KBSZ3 |

**2竖向应力传递及阻力发挥特性分析**

**2.1荷载-位移**

在不同分级桩顶荷载作用下，抗压桩和抗拔桩的桩顶位移曲线变化见图1。

图1 试桩桩顶荷载-位移曲线

观察抗压桩和抗拔桩的荷载-桩顶位移曲线，曲线的形态均为缓变型曲线，曲线斜率变化较小，这主要是由于压浆作用改变了单桩的承载特性，使单桩承载力得到了大幅提高。由此可见，与未进行后压浆工艺的钻孔灌注桩荷载位移曲线呈抛物线形态相比，后注浆钻孔灌注桩具有更好的位移控制能力[4～7]。

**2.2桩身轴力及传递特性**

桩身轴力传递规律是单桩承载特性的综合反映，其传递特性不仅能反映桩侧摩阻力的发挥特性，还能体现桩端承载特性[1]。抗压试桩和抗拔试桩的桩身轴力随桩身入土深度的变化曲线见图2。

双层护筒

粉质粘土

粉质粘土夹粉土

粘质粉土

双层护筒

粉质粘土

粉质粘土夹粉土

粘质粉土

1. KYSZ1 (b)KYSZ2

双层护筒

粉质粘土

粉质粘土夹粉土

粘质粉土

双层护筒

粉质粘土

粉质粘土夹粉土

粘质粉土

(c)KYSZ3 (d)KBSZ1

双层护筒

粉质粘土

粉质粘土夹粉土

粘质粉土

双层护筒

粉质粘土

粉质粘土夹粉土

粘质粉土

(e)KBSZ2 (f)KBSZ3

图2 试桩桩身轴力随桩身入土深度的变化曲线

通过曲线图分析可得，在各级荷载作用下，桩身轴力随着深度的增加而不断地减小。 加载初期，轴力曲线斜率较大，反映了桩侧摩阻力较小，且传递至桩身下部的轴力较小；随着荷载的增加，轴力曲线斜率逐渐变小，表明桩侧摩阻力逐渐发挥，且桩身下部逐渐产生轴力，端阻力也逐步发挥作用。这也充分说明了竖向荷载沿桩身向下传递的过程中桩周土体的摩阻力自上而下逐步发挥，而竖向荷载的衰减速率即反映了桩侧摩阻力的分布情况。

此外，压浆作用会改变桩周土体的应力路径，从而造成对桩基荷载传递特性的影响。压浆桩的桩身轴力衰减速度要快于未压浆桩，这是由于桩侧压浆增大了桩周土体中的有效水平应力，使得土体的抗剪强度增加，而桩侧摩阻力的增强能有效抵消桩身轴力的传递。[1]

**2.3桩侧阻力随深度变化**

抗压试桩和抗拔试桩在不同桩顶荷载压力下，沿不同入土深度，桩身侧摩阻力分布情况见图3。

1. KYSZ1 （b）KYSZ2

（c）KYSZ3 （d）KBSZ1

（e）KBSZ2 （f）KBSZ3

图3 各级荷载下试桩各截面平均侧摩阻力分布

由图3可知，桩侧摩阻力是由上部土层向下部土层逐步发挥的过程。在加载过程中，桩身不同位置处的摩阻力表现出不同程度增加，且上部土层的摩阻力发挥先于下部土层。随着荷载增加，上部浅层的摩阻力逐渐趋于稳定，而中下部土层的摩阻力仍呈现增长趋势，且桩端附近的侧摩阻力得到逐步发挥。桩侧后压浆能增强桩侧与土体相互作用性能，提高桩侧摩阻力发挥水平，使得压浆桩侧摩阻力要大于未压浆桩，从而有效地提高桩基承载性能发挥的稳定性。

**2.4桩端阻力随桩顶压力变化**

在不同分级荷载作用下，桩端阻力分布情况及桩端阻力占相应桩顶压力的比例见图4。

（a） 抗压桩桩端阻力分布图

（b）抗压试桩端阻力/桩顶压力发展趋势

图4 抗压试桩端阻力分析

从图4可以看出，随着桩顶压力的增加，桩端阻力/桩顶压力的比例逐渐增加，从一开始的1.24%~4.83%上升到8.62%~9.69%，也就是说，当桩顶压力达到本次测试最大值时，桩端阻力发挥的比例也达到最大到约10%。桩端阻力占比较小，因此属于摩擦桩。

通过分析抗压桩桩端阻力的实测数据可见，在桩顶最大荷载作用下，端阻力为1801.1kPa~2025.1kPa。对比工程地质勘察报告，⑩1粉质粘土夹粉土层的极限端阻力为700kPa，后注浆端阻力增强系数为2.2。本试桩工程采用后注浆工艺，因此，根据工程地质勘察报告对应的极限端阻力为1540kPa。但实测端阻力比地勘报告的极限端阻力要大，三根桩的桩端阻力约为工程地质勘察报告给出极限值的117%~132%，结果可为大直径组合后注浆钻孔灌注桩的竖向承载特性分析提供依据，并为该地区后续桩基设计提供更加充足的试验分析。

**3抗拔系数分析**

目前，我国抗压、抗拔桩的侧阻力对比实测资料并不多。仅从已有的试验研究成果来看，通过对比抗拔桩与抗压桩的荷载传递机理，可以认为抗拔桩与抗压桩的桩侧摩阻力是存在差异的，且普遍认为在条件完全相同的情况下，等截面桩的抗拔极限侧阻力要小于抗压极限侧阻力[8～10]。

**3.1试验桩侧阻力分析**

**3.1.1抗拔桩与抗压桩极限侧阻力-深度曲线**

粘质粉土

粉质粘土夹粉土

粉质粘土

图5 极限荷载作用下各桩侧摩阻力分布和勘察报告侧阻力值

分析图5可以看出，抗压桩和抗拔桩的上部侧摩阻力先发挥，到中部土层，抗压桩的侧摩阻力继续发挥，侧摩阻力增加。但是，抗拔桩从中部土层往下没有继续发挥，侧摩阻力减小，这说明对于抗拔桩而言，桩与土层中上部的侧摩阻力完全可以应付顶部荷载。

对比压浆桩与未压浆桩的侧摩阻力发挥特点，压浆桩的侧摩阻力得到了大幅提高，这是由于桩侧水泥浆液有效地改善了桩周原状土体的物理力学特性，并增大了桩周土体的有效应力，从而增强了桩侧土的强度与刚度。

**3.1.2侧阻力-桩顶压力曲线**

由应力计数据可以得到各应力计在不同层位土层的侧阻力随加载量变化规律曲线，见图5。

(a)KYSZ1 (b)KYSZ2

(c)KYSZ3 (d)KBSZ1

(e)KBSZ2 (f)KBSZ3

图6 不同层位侧阻力随加载量变化曲线

分析图6可得，断面1-2因设置护筒，所以侧摩阻力几乎为0。对于抗压桩和抗拔桩，除了断面1-2的土层，其余各土层均随着桩顶加载量的增加而增加，均表现为强化效应。

对于抗压桩KYSZ1，断面2-3在加载量达到7 000kN后，增加幅度减小，呈现软化趋势。对于抗压桩KYSZ2和KYSZ3，断面3-4在加载量达到7 000kN左右时，侧摩阻力超过断面2-3，因此，该土层对侧摩阻力的提升具有重要作用，在工程桩的桩基设计中可充分利用。

对于抗拔桩，断面2-3和3-4 的侧摩阻力均随着桩顶加载量的增加呈线性增加趋势。抗拔试桩KBSZ2在断面4-5从上拔加载量达到3 120kN后，增加幅度显著增加，说明下部土层开始发挥。

**3.2抗拔系数计算分析**

各土层的抗拔系数可由试验得到的抗拔极限侧阻力与抗压极限侧阻力之比，计算而得。

*λi*=*tsik*/*qsik*

式中，*tsik*为抗拔桩极限侧阻力，*qsik*抗压桩极限侧阻力。

本文为减少计算抗拔系数计算分析时，桩型、尺寸方面对抗拔系数的影响，选取桩径、桩长完全一致的抗压试桩和抗拔试桩，进行抗拔系数的分析，使结果更加具有可比性。

通过分析本文中试桩侧阻力发挥趋势发现，侧阻力均呈强化效应，因此取最大荷载下各土层的侧阻力作为极限侧阻力，进行抗拔系数的计算分析。抗拔系数计算分析结果见表3。

表3 抗拔系数计算表

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 土层标号 | 土层深度/m | 土层厚度/m | 根据土层厚度计算权重 | 抗压桩侧阻力/kPa | 抗拔桩KBSZ1 | 抗拔桩KBSZ2 | 抗拔桩KBSZ3 |
| 侧阻力/kPa | 抗拔系数*λ* | 抗拔系数加权平均值 | 侧阻力/kPa | 抗拔系数*λ* | 抗拔系数加权平均值 | 侧阻力/kPa | 抗拔系数*λ* | 抗拔系数加权平均值 |
| ⑥1、⑥2 | 17.8～31.29 | 13.49 | 0.36 | 107.8  | 60.6 | 0.56  | 0.50 | 62.2 | 0.58  | 0.52 | 61.4 | 0.57  | 0.53 |
| ⑦2、⑦3 | 31.29～45.09 | 13.8 | 0.37 | 122.3  | 45.8 | 0.37  | 55.3 | 0.45  | 50.55 | 0.41  |
| ⑧1、⑧2 | 45.09～55.39 | 10.3 | 0.27 | 61.8  | 37.5 | 0.61  | 33.3 | 0.54  | 40.1 | 0.65  |

通过表3可知，三根抗拔桩的抗拔系数分别为0.37～0.61，0.45～0.58，0.41～0.65，加权平均值分别为0.50、0.52、0.53。通过针对不同土层的分析可知，隔离桩土间摩擦力之后，上部土层⑥的抗拔系数范围为0.56～0.58、中部土层⑦的抗拔系数范围为0.37～0.45，抗拔系数达到最小，下部土层⑧的抗拔系数范围为0.54～0.65。

图7 抗拔系数随土层深度变化曲线

通过图7可以看出，随着土层深度的增加，桩周土的抗拔系数呈先减小后增大的趋势。试验桩上部土层抗拔系数大于0.5，中部土层抗拔系数小于0.5，桩身下部的土层抗拔系数计算值大于0.5。

一般情况下，抗拔系数是随着侧阻力自上而下的发挥，呈动态变化[2]。 由于本文中抗压桩未达到破坏状态，在桩顶竖向抗压荷载作用下，下部土层的侧摩阻力发挥程度较小，造成抗压桩下部土层的侧摩阻力较小，从而有的抗拔桩在下部土层的抗拔系数大于中部土层。

《建筑桩基技术规范》JGJ 94-2008中规定粘性土抗拔系数*λ*范围为0.7～0.8，本项目勘察报告中*λ*为0.7。本文分析结果与现行规范、勘察报告中抗拔系数建议值相比，计算值偏低。这是由于⑥⑦⑧土层的侧摩阻力均呈强化效应，尚未完全发挥，使得抗拔系数的计算值偏小。

**4结论**

通过对苏州地区某超高层建筑的6根组合后压浆大直径钻孔灌注桩试桩进行单桩静载荷试验，分析竖向荷载作用下组合后压浆大直径钻孔灌注桩的应力传递及阻力发挥特性，得到以下结论：

1、抗压桩和抗拔桩的荷载-桩顶位移曲线均为缓变型，曲线斜率变化较小，与未进行后压浆工艺的钻孔灌注桩荷载位移曲线呈抛物线形态相比，后注浆钻孔灌注桩具有更好的位移控制能力。

2、分析竖向荷载下桩身轴力传递特性，竖向荷载沿桩身向下传递的过程中桩周土体的摩阻力自上而下逐步发挥，而竖向荷载的衰减速率反映了桩侧摩阻力的分布情况。由于桩侧压浆增大了桩周土体中的有效水平应力，使得土体的抗剪强度增加，而桩侧摩阻力的增强能有效抵消桩身轴力的传递，因此压浆桩的桩身轴力衰减速度要快于未压浆桩。

3、分析桩侧阻力随深度变化特点发现，在加载过程中桩身不同位置处的摩阻力表现出不同程度增加，且上部土层的摩阻力发挥先于下部土层。随着荷载增加，上部浅层的摩阻力逐渐趋于稳定，中下部土层的摩阻力呈现增长趋势，且桩端附近的侧摩阻力得到逐步发挥。桩侧后压浆使得压浆桩侧摩阻力要大于未压浆桩，从而有效地提高桩基承载性能发挥的稳定性。

4、分析极限侧阻力与深度分布特性，抗压桩和抗拔桩的上部侧摩阻力先发挥，到中部土层，抗压桩的侧摩阻力继续发挥，但抗拔桩从中部土层往下没有继续发挥，侧摩阻力减小，因此抗拔桩的桩身与中上部土层的侧摩阻力完全可以应付顶部荷载。由于桩侧水泥浆液有效地改善了桩周原状土体的物理力学特性，并增大了桩周土体的有效应力，从而增强了桩侧土的强度与刚度，使得压浆桩的侧摩阻力得到了大幅提高。

5、对于抗压试桩，随着桩顶压力的增加，桩端阻力/桩顶压力的比例逐渐增加，当桩顶压力达到最大值测试时，桩端阻力发挥的比例也最大，达到约10%。桩端阻力占比较小，因此属于摩擦桩。对比实测数据与地质勘察报告数据，抗压桩实测端阻力比地质勘查报告给出的极限端阻力要大，最大约为工程地质勘察报告给出极限值的132%，结果可为设计后续的工程桩设计提供依据。

6、分析侧阻力与桩顶压力曲线可知，抗压桩和抗拔桩除了断面1-2的土层，其余各土层均随着桩顶加载量的增加而增加，均表现为强化效应。断面3-4对抗压桩侧摩阻力的提升具有重要作用，在工程桩的桩基设计中可充分利用。

7、通过计算分析抗拔系数可知，随着土层深度的增加，桩周土的抗拔系数呈先减小后增大的趋势。 由于本文中抗压桩未达到破坏状态，下部土层的侧摩阻力发挥程度较小，造成抗压桩下部土层的侧摩阻力较小，从而有的抗拔桩在下部土层的抗拔系数大于中部土层。本文分析结果与现行规范、勘察报告中抗拔系数建议值相比，计算值偏低。这是由于⑥⑦⑧土层的侧摩阻力均呈强化效应，尚未完全发挥，使得抗拔系数的计算值偏小。

**参考文献**

[1] 万志辉. 大直径后压浆桩承载力提高机理及基于沉降控制的设计方法研究[D]. 南京: 东南大学, 2019. (Wan Zhihui. Research on enhancement mechanism of bearing capacity of large-diameter post-grouted piles and design method based on settlement criterion[D]. Nanjing: Southeast University, 2019.(in Chinese))

[2] 孙冶默, 卢萍珍, 孙宏伟. 北京通州地区深厚砂层后注浆灌注桩抗拔系数试验分析[J］.岩土工程技术, 2018, 32(1) : 28-33. (Sun Yemo, Lu Pingzhen, Sun Hongwei. Test analysis for uplift coefficient of post-grouting bored concrete pile in thick sand layers of beijing tongzhou district[J］. Geotechnical Engineering Technique, 2018, 32(1) : 28-33.(in Chinese))

[3] 中华人民共和国建设部. 建筑桩基技术规范(JGJ 94-2008)[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008. (Ministry of Construction of the People's Republic of China. Technical code for building pile foundations (JGJ 94-2008)[S]. Beijing: China Building Industry Press, 2008. (in Chinese))

[4] 安康, 刘晔, 刘少林. 南京地区大直径后注浆嵌岩桩静载荷试验研究[J]. 地下空间与工程学报, 2021, 17(增刊1) : 46-54. (An Kang，Liu Ye，liu shaolin. Experimental study on large diameter post-grouting rock-socketed piles in nanjing using the method of static loading test[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2021, 17(Supp.1) : 46-54.(in Chinese))

[5] 张雁, 刘金波. 桩基手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009. (Zhang Yan, Liu Jinbo. Handbook of pile foundation[M]. Beijing: China Building Industry Press, 2010.(in Chinese))

[6] 王卫东, 李永辉, 吴江斌. 上海中心大厦大直径超长灌注桩现场试验研究[J]. 岩土工程学报, 2011, 33(12) : 1817-1826. (Wang Weidong, Li Yonghui, Wu Jiangbin. Field loading tests on large-diameter and super-long bored piles of Shanghai Center Tower[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2011, 33(12) : 1817-1826.(in Chinese))

[7] 张瑞坤, 石名磊, 倪富健, 王晋. 无锡大直径超长钻孔灌注桩承载性状试验研究[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2012, 42(6):1194-1200. (Zhang Ruikun, Shi Minglei, Ni Fujian, Wang Jin. Experimental study of the bearing properties of large-diameter and super-long bored pile in Wuxi[J]. Journal Of Southeast University (Natural Science Edition) , 2012, 42(6): 1194-1200. (in Chinese))

[8]杜广印, 黄峰, 李广信. 抗压桩与抗拔桩侧阻的研究[J]. 工程地质学报, 2000, 8(1): 91-93. (Du guangyin, Huang feng, Li guangxin. Study on the compressive and tensile capacity of piles[J]. Journal of engineering geology, 2000, 8(1): 91-93.(in Chinese))

[9] 陈岳林．超长大直径钻孔灌注桩抗拔与抗压对比试验研究[J]. 建筑结构, 2007, 37(11): 52-55. (Chen Yuelin. Comparetive test research on resistant extraction and pressure of super-long and large-diameter bored piles[J]. Building Structure, 2007, 37(11): 52-55.(in Chinese) )

[10] 张忠苗, 吴庆勇, 张广兴. 抗拔桩和抗压桩受力性状异同性研究[J]. 工程勘察, 2006(6): 4-9. (Zhang zhongmiao, Wu Qingyong, Zhang Guangxing. Research on the differences and similarities in the mechanical behavior of uplift pile and compression pile[J]. Geotechnical Investigation and Surveying, 2006(6): 4-9.(in Chinese))

第一作者简介：

郑彬（1986），女，汉族，高级工程师，硕士研究生，副总工。

工作单位：苏州工业园区建设工程质量检测咨询服务有限公司

研究方向：建筑工程、市政工程质量检测与研究工作

通信地址：江苏省苏州市工业园区唯新路5号江苏建科大楼

手机：15051590369

邮箱：117825321@qq.com

QQ：117825321