

施工因素对钻孔灌注桩受力性状的影响

王永刚 任伟中 陈浩

(中国科学院武汉岩土力学研究所 岩土力学重点实验室 武汉 430071)

摘要: 由于摩擦型钻孔灌注桩承载变形机理的复杂性, 影响其承载性能的因素也是多方面的。通过对冲孔灌注桩和旋挖灌注桩的桩顶、桩端沉降量的静载试验资料及桩身应力应变测试资料的分析, 揭示了不同施工工艺在不同荷载水平下桩的受力性状差异, 并就影响桩侧摩阻力的因素进行了深入探讨。分析表明, 施工造成的桩周土的性质, 桩土相对位移, 桩端沉渣, 成孔时间, 护壁清孔方式等因素的不同均会对单桩极限承载力产生重要影响。如果施工工艺选择不合理, 单桩极限承载力会受到很大影响。

关键词: 钻孔灌注桩 桩侧摩阻力与端阻力 影响因素 施工因素

INFLUENCE OF CONSTRUCTION FACTORS ON ENDURANCE OF BORED—CAST—IN—PLACE PILES

Wang Yong-gang Ren Wei-zhong Chen Hao

(Key Laboratory of Rock and Soil Mechanics, Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese
Academy of Sciences Wuhan 430071)

Abstract: There are many factors which have a great impact on load-bearing capacity of piles because of the complex bearing—deformation mechanism. By analyzing the displacement of pile top and pile bottom of these piles, and analyzing the stress and strain of these piles. Influence of construction factors on endurance of these piles under different loading levels is revealed, and the factors which affect the side resistance also are further explored in this paper. Abnormal phenomena in ultimate bearing capacity of bored piles is mainly attributed to construction factors, such as soil characteristics the relative displacement of pile and soil, pile bottom sediments, drilling time, bore retaining and cleaning, etc. The ultimate bearing capacity of bored piles can be greatly affected if construction technology is inappropriate.

Keywords: bored pile side resistance and bottom resistance interference factors construction factors

0 引言

目前, 在沿海地区基础工程中广泛采用混凝土钻孔灌注桩。钻孔灌注桩具有施工机械简单、施工速度快、占地少、施工噪音小、可以穿越软弱土层、便于水下施工等优点, 特别适合于由素填土、砂土、粘性土及淤泥等多种土层组成的复杂型地基中使用^[1]。该类桩已从最初 30~40m 桩长、百吨级发展到目前 70m 以上大直径的千吨桩, 逐步成为大跨结构、高层建筑及重要建筑物工程中的首选桩型^[2]。由于这样桩施工工艺、承载变形机理较为复杂, 它的实际受力性状的研究还不够完善, 影响单桩承载力的因素也是多方面的^[3~4]。工程实践中, 由于施工工艺的选择不尽相同, 许多工程的单桩极限承载力试验结果与正常预估值相差很大, 甚至同一工程同样规格的几组试桩的试验结果都会出现相当大差

异。设计单位为保证设计的可靠性, 设计偏于保守, 造成巨大的投资浪费。

目前已有很多研究人员就泥浆壁、孔壁形状、沉淤、成孔时间^[3~11]等因素对桩承载力的影响进行了探讨。本文通过对某电厂的两组摩擦型的冲孔灌注桩和旋挖灌注桩的静载和桩身应力应变测试结果进行对比分析, 探讨了施工因素对桩的受力性状的影响, 并就影响桩侧摩阻力的因素进行了深入探讨。

1 场地工程地质及试验概况

1.1 工程地质概况

场地大部分为海相沉积, 从上到下可分为细砂、中砂、淤泥、粘土、中砂、粉质粘土、砂质粘性土、花岗岩(全风化、强风化、中风化、微风化)等各种层位, 地

第一作者: 王永刚 男 1979年4月出生 硕士

收稿日期: 2005-04-18

面标高约 0.79~10m 左右,基岩埋深约 18~34m。场地地下水属潜水型,赋存于第四系土层的孔隙及基岩的裂隙中,主要补给是大气降水,地下水与海水有互为补给的水力联系,地下水位高程一般在 1.12~2.39m,地下水位埋深一般约 2.5~4.0m 左右。设计桩型大部分为端承摩擦桩。

1.2 试验概况

1)共对 T1、T2 两根钻孔灌注桩和 T3、T4 两根旋挖灌注桩进行静载和应力应变测试。四根桩桩径均为 1m,桩长 T1 为 42m,其余均为 40m。

2)静载试验加载装置为堆重平台反力装置,采用慢速维持荷载法,测试仪器为 RS-JYC 静载荷测试仪。应力应变测试仪器为 ZXY-2 改进型数字式钢弦式频率仪,选用与桩身纵筋直径相同的 GXR-20 型钢弦式钢筋应力计和 DBS-100 型钢弦式混凝土应变计。在桩头、桩端和各土层层底位置的主筋上,对称地预埋 2~3 个钢筋应力计,对厚度较大的地层增设应力计的预埋截面。在最上一个测试断面加设二个混凝土应变计以测量校核混凝土的弹性模量。将钢筋笼上纵主筋截断后采用对接焊的方式将传感器与主筋焊在一起。在整个测试过程中,各传感器的测读和试桩的沉降观测同步进行。

3)桩身混凝土强度等级为 C30,采用现场搅拌,钻机浇注。

4)T1、T2 两根钻孔灌注桩成孔时间较长约 150h,T3、T4 两根旋挖灌注桩成孔时间较短,约 30h。

2 试验概况及结果分析

2.1 荷载-沉降特性分析

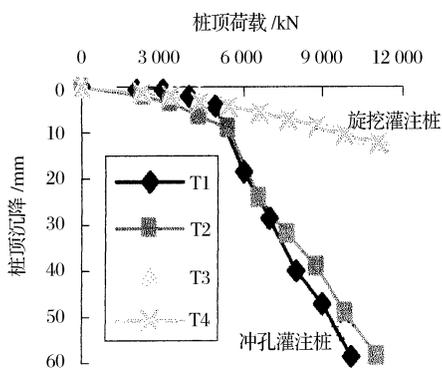


图 1 桩的荷载-沉降曲线

由图 1 可见,桩的沉降与施工工艺有明显的区别:两根冲孔灌注桩 T1、T2 在第四次加载后沉降量明显增大,但每级荷载下仍能变形稳定,说明桩端地层未被压坏。T1 在最大试验荷载 10 000kN 时的沉降量为 58.43mm,T2 在最大试验荷载 11 000kN 时

的沉降量为 58.72mm。两根旋挖灌注桩 T3、T4 在整个加载过程中沉降量随试验荷载的增加基本为线性变化,在最大试验荷载 11 000kN 时的沉降量分别为 12.25mm 和 12.41mm。

T1、T2 的桩顶沉降主要由桩底压缩量引起,桩底压缩量占桩顶沉降量分别为 82.37%、81.81%;旋挖灌注桩桩顶沉降大部分由桩身压缩引起,T3、T4 桩身压缩量占桩顶沉降量分别为 64.45%、73.33%。

冲孔、旋挖灌注桩的桩侧阻力分担荷载比 Q_{su}/Q_u 分别超过 80%、90%。冲孔灌注桩由于沉降量出现陡降,取拐点处承载力为极限承载力,则其极限承载力远小于旋挖灌注桩。

表 1 试桩沉降量

试桩号	最大试验荷载/kN	累计沉降量/mm	桩身压缩量/mm	桩底压缩量/mm	桩端阻力/kN
T1	10 000	58.43	10.3	48.13	1 924.7
T2	11 000	58.72	10.7	48.12	2 161.0
T3	11 000	12.25	7.9	4.35	956.0
T4	11 000	12.41	9.1	3.31	1 055.2

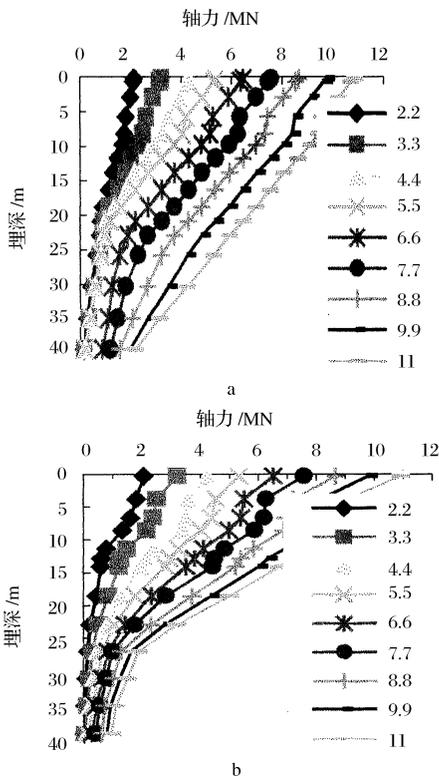
2.2 桩身受力性状分析

由于两根冲孔灌注桩的测试结果规律性基本相似,两根旋挖灌注桩的测试结果规律性也基本相似,因而两组试桩各选取一根对其测试结果进行比较分析。

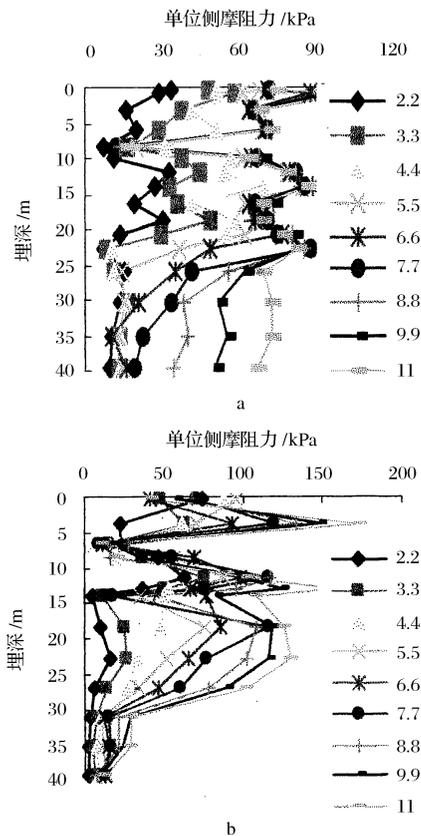
根据测试结果作 T2、T3 桩身轴力随埋深变化图见图 2,单位侧摩阻力随埋深变化图见图 3。

由图 2 可知,同一地层轴力随着试验荷载的增大而增大,变化比较均匀,未出现突增现象。在同级试验荷载下,由于侧摩阻力的发挥,冲孔灌注桩和旋挖灌注桩的轴力自桩顶到桩底均随着埋深的增加而减少。由于地层性质的不同,其减少的幅度不同。桩身轴力在任意两层间面的差值大小表征着桩侧阻力的大小,轴力曲线斜率小,层面间轴力差值就大,侧摩阻力也大^[7],到达桩端时,端阻力就较小。T2 桩的桩端阻力为 2 160.6kN,占最大试验荷载 11 000kN 的 19.64%;T3 桩的桩端阻力为 956.04kN,占最大试验荷载 11 000kN 的 8.7%。

随着试验荷载的增加,桩土间相对位移增加,桩侧摩阻力也逐步得到发挥。由图 3 可知,T2 桩中上部地层的单位侧摩阻力先是随着试验荷载的增加逐渐增加,达一极限值后变化较小,基本上保持不变,而下部地层则是在最大试验荷载时达到最大值。由表 1 可知,在最大试验荷载时桩土间相对位移较大,可认为在此荷载下整个桩侧摩阻力均已得到基本发



a- 冲孔灌注桩 T2 轴力随埋深变化;
b- 旋挖灌注桩 T3 轴力随埋深变化
图 2 桩身轴力随埋深变化



a- 冲孔灌注桩 T2 侧摩阻力随埋深变化;
b- 旋挖灌注桩 T3 侧摩阻随埋深变化
图 3 单位侧摩阻力随埋深变化

挥。T3 桩的上部地层(桩上部 12m 左右),随着试验荷载的增加先是逐渐增大,到一极限值后又开始减小。其原因为随着试验荷载的增加,桩土间相对位移已超过发挥极限侧摩阻力所需位移,故而侧摩阻力减小。对于中间段地层(埋深 13m ~ 25m 左右),侧摩阻力可能正好发挥达到极限侧摩阻力;对于桩的下部全风化、强风化花岗岩地层(埋深 25m 以下),由于沉降位移较小,侧摩阻力只发挥一部分,未能达到极限侧摩阻力和极限端阻力,还有发挥余地。

2.3 测试结果分析

由表 1 可知,冲孔灌注桩的累计沉降量和桩底压缩量要远远大于旋挖灌注桩。

比较两根试桩的轴力变化曲线可知,冲孔灌注桩 T2 的轴力变化曲线斜率要大于旋挖灌注桩 T3,故而轴力传递较快,轴力差小,到达桩端时端阻力就较大,这一点由端阻力测试结果也可得到验证, T2 桩的桩端阻力为 2 160. 6kN, T3 桩的桩端阻力为 956. 04kN;比较两根试桩的单位侧摩阻力变化曲线可知, T3 桩下部地层侧摩阻力未得到有效发挥,其余相应的地层 T3 桩的测试结果均要大于 T2 桩的测试结果。

根据以上分析,两组试桩在桩径、桩长、土性、土层相对位置大致相同的情况下,相同的试验荷载下桩的承载性能却存在较大差异,可见施工因素对桩的受力性状影响很大。

四根试桩的桩身压缩量差别不大,但冲孔灌注桩的累计沉降量和桩底压缩量要远远大于旋挖灌注桩。由钻孔资料可知桩端持力层均为强风化花岗岩,属低压缩性持力层,沉降较小,可见沉降量过大主要是由于桩端沉渣过厚造成的。

3 桩侧摩阻力影响因素分析

3.1 桩-土相对位移

桩-土产生相对位移是桩侧阻力发挥的前提,在加载的开始阶段,桩-土相对位移很小,其应力-应变呈直线关系,到达极限位移之后,剪应力不再增加而趋于定值^[7]。由侧阻与沉降关系(图 4.5)可以看出:桩身不同部位侧阻发挥机制是不同的,在桩的上部,超压密粘性土的应变软化及砂土的剪胀,使得桩侧阻力出现峰值并随位移增大而减小,侧阻-沉降曲线呈明显的加工软化型;而在桩的下部及桩端附近,由于桩端阻力的作用,侧阻-沉降曲线呈明显的加工硬化型,这就使得桩侧阻力在桩端处可以得到充分的强化,因而,图 3 中冲孔桩桩端处侧摩阻力较旋挖桩有明显增大。

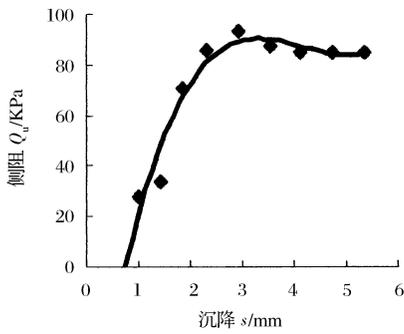


图4 冲孔桩 T2 上部 13.8m 处侧阻—沉降曲线

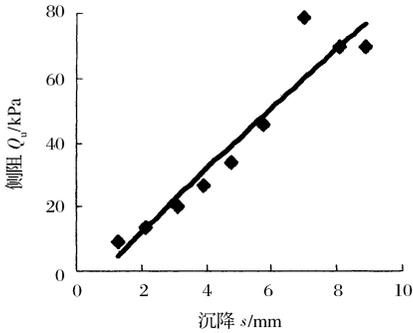


图5 冲孔桩 T2 下部 37.1m 处侧阻—沉降曲线

3.2 泥浆护壁及成孔时间

因为钻孔灌注桩为非挤土桩,成孔后由于孔壁侧向应力解除,孔壁自由面势必向临空面位移变形,孔壁周围土出现松弛效应,从而影响各土层的极限侧摩阻力,成孔时间越长,松弛效应越明显,土体软化越严重⁸,为了不使孔壁发生坍塌,需用一定比例的泥浆护壁,但由于孔侧土层具有一定的渗透性,而泥浆中的固体颗粒在泥浆压力下渗入孔壁表层的孔隙中上形成“泥壁”,而泥浆护壁与桩侧摩阻力是一对矛盾⁹。泥浆护壁与桩侧土相比,具有含水量高、孔隙比大、压缩性高、抗剪强度低等特点,因此桩土间的泥浆护壁介质是以薄弱层,它的存在改变了桩土相互作用的性状,严重影响了桩侧摩阻力的充分发挥,最终降低了桩的承载力。

冲孔灌注桩由于是冲击成孔,一方面成孔时间较长约 130h,致使应力松弛明显,另一方面冲击钻进过程中钻机的摇摆震动、反复切削、机具的升降都对孔壁产生一定的扰动作用,加剧了应力松弛。成孔时间较长致使“泥壁”越来越厚,硬化不充分,抗剪强度较低,桩土剪切滑移面发生在“泥壁”内,应力松弛和较厚的“泥壁”均导致了桩侧阻力的显著降低;旋挖灌注桩一方面由于成孔时间较短仅约 30h,孔壁土层松弛效应小,土体软化程度小,为平衡孔壁土侧压力所需的泥浆比重小,从而形成的“泥壁”较薄,成孔后“泥壁”固结硬化充分,抗剪强度较高,桩受力后剪切面发生在靠近桩表面的土体中,另一方面形

施工因素对钻孔灌注桩受力性状的影响——王永刚,等

成的孔壁比较粗糙(凹凸不平),由于混凝土与土之间的咬合作用,接触面的抗剪强度受泥皮的影响较小,使得桩侧摩阻力能得到比较充分的发挥¹⁰。

3.3 桩端沉渣

当桩端没有沉渣或沉渣很少可以忽略时,靠近桩端处桩与桩周土之间的位移不会很大,桩侧摩阻力缓慢地随着桩顶荷载水平的增加趋向极限侧摩阻力^[11]。旋挖桩(T3、T4)便较好的符合这一变化规律;当桩端有厚沉渣时,随着桩顶荷载水平的增大,靠近桩端处桩与桩周土迅速滑移出现剪切破坏,从而降低了极限侧摩阻力,冲孔桩(T1、T2)很大的桩底压缩量足以说明桩底有较厚的沉渣层,在桩顶荷载作用下,桩顶位移很大,部分地层的桩侧摩阻力超过峰值进入残余强度,桩侧摩阻力反而降低。

3.4 护壁及清孔方式

冲孔灌注桩(T1、T2)采用正循环清孔清渣工艺,从试桩开挖的基坑可以看出:T1、T2 桩周为一层厚度较大的泥皮包裹,旋挖桩(T3、T4)桩周土层与桩身混凝土接触较好。图3中 T2 桩侧摩阻力明显低于 T3 并较规范值偏低,这与成孔时间过长,造成孔壁应力释放及采用泥浆护壁时,泥浆比重大,使桩土界面泥夹层过厚,进一步降低了桩侧摩阻力的发挥有关。

因而,在该地层中进行冲孔灌注桩基础的施工,应严格控制桩底沉渣,加强泥浆管理,并根据实际情况采用正循环成孔,气举反循环清孔清渣工艺,可以使沉渣量减少,桩土界面的泥夹层变薄,有利于桩侧摩阻力的发挥。

4 结 语

通过以上分析可知,施工因素对钻孔灌注桩的受力性状影响很大。桩土相对位移、界面特征,成孔时间,孔壁形状,桩底沉渣及护壁清孔方式等的不同都会对桩侧摩阻力、桩端阻力的发挥产生重要影响。为了保证桩侧摩阻力能得到正常发挥,要尽可能地缩短成孔时间,以降低桩周土体产生的应力松弛效应。采用泥浆护壁时,应注意泥壁对桩侧摩阻力降低的影响以及桩底沉渣量的控制,桩端沉渣过厚不但降低端阻力,也使极限侧摩阻力降低。

参考文献

- 1 张文义. 冲孔灌注桩常见质量缺陷及其防治措施探讨. 广东水利水电, 2002(3): 50~51
- 2 沈 鸣. 关于提高混凝土钻孔灌注桩施工质量与承载力的探讨. 施工建筑, 1995, 17(5): 24~26
- 3 张忠苗, 汤展飞, 吴世明. 基于桩顶沉降和桩端沉降钻孔桩的受

(下转第 811 页)

2.8倍),复压3~5遍,在压桩过程中,绝大部分桩均属正常,但压桩压到原钻深孔ZK15处附近,桩无法压穿卵石层,施工单位将复压次数改为10次,试图穿透该层,但还是无法穿越,桩长为7~12.9m的桩有45条,占总桩数的30%,选择桩长为8.6m的89号桩进行静载试验,该桩的极限承载力为800kN,只达到设计极限承载力的80%。经研究认为是卵石层下有软弱的下卧层所致,对桩长小于13m的桩作补桩处理。

表1 某商住楼桩基静载结果情况

桩号	桩型/mm	桩长/m	极限承载力/kN	备注
38	350×350	20	≥1 600	44d
42	400×400	23	≥2 400	51d
32	350×350	20	1 280	54d
58	350×350	20	≥1 600	53d
80	350×350	20	≥1 600	52d
302	350×350	20	≥1 600	51d
406	350×350	20	≥1 600	48d
169	400×400	20	≥2 000	55d
391	400×400	20	≥2 000	42d

工程实例3:我市某商住楼工程,场地地质情况如下:素填土厚1.30~2.70m;流塑淤泥层厚3.20~4.20m,层面埋深-1.30~-2.70m;中粗砂,由10%~80%的石英砂和粘土组成,大部分场区有分布,厚0.50~2.00m,层面埋深-4.80~-7.60m,松散到稍密;粘土,厚2.1.30~31.20m、层顶埋深-7.70~-11.30m,湿,可塑~硬塑;粘土,厚4.00~13.20m、层顶埋深-30.50~-41.10m,湿,坚硬;强风化花岗岩层厚3.00~10.30m、层顶埋深-36.3~-52.60m,基础采用静压预制方桩,桩型有两种:分别是350×350mm²和400×400mm²,设计要求单桩竖向承载力标准值分别为800kN和1000kN。工程开工前,首先压试验桩,其静载试验,其结果见表1中的38号、42号,工程桩于1997年6月施工,压桩按深度控制,桩长20m,工程桩完成后,再抽检了7条桩做静载试验,其中的32号桩仅达到设计要求

的80%,试验结果见表1。经研究认为,部分桩的承载力达不到要求的原因是,压桩过程中仅按桩长控制,而未对终压力值进行控制。

2 静压桩终压值的确定

1)以上实例表明,较短桩终压力不足,或仅按入土桩长控制(无终压力控制),或有终压力控制但持力层为有软弱下卧层的夹层,都有可能导导致基桩承载力较大幅度地降低,达不到设计要求。

2)要根据桩的入土深度、桩周土体的厚度和性状、桩端土体的性状以及桩端土层以下是否存在软弱的下卧层加以综合分析,以正确确定静力压桩的终压力值。

3)按照地方规定,对于摩擦桩,应按设计桩长进行控制。但需在试压桩时,先按设计桩长试压3~5根桩,24h后再用与桩的竖向极限承载力相等的压桩力进行复压,如果桩身不下沉,即可按设计桩长进行全面施工,否则,设计桩长应进行修正。

4)按照地方规定,对于端承摩擦桩或摩擦端承桩,终压控制标准可按下列规定执行:

a. 当桩入土深度 $L > 23\text{m}$ 其时,终压力值可取桩的竖向承载力特征值的2倍。但桩周土为粘性土且灵敏度较高时,终压力值可取桩的竖向承载力特征值的1.7~1.9倍并复压1~2次。

b. 当桩入土深度 $15\text{m} < L \leq 23\text{m}$ 时,终压力值可取桩的竖向承载力特征值的2.0~2.4倍,当桩较短且土质较差时,取值接近2.4倍,当桩较长且土质较好时,取值接近2.0倍并复压2~3次。

c. 当桩入土深度 $8\text{m} < L \leq 15\text{m}$ 时,终压力值可取桩的竖向承载力特征值的2.2~3.0倍,当桩较短且土质较差时,取值接近3.0倍,当桩较长且土质较好时,取值接近2.2倍并复压3次。

d. 当桩入土深度只有6m~8m时,终压力值可取桩的竖向承载力特征值的2.8~3.2倍,并复压3~5次。

(上接第825页)

力性状研究. 岩土工程学报, 1997, 19(4): 88~93

4 张忠苗. 软土地基超长嵌岩桩的受力性状. 岩土工程学报, 2001, 23(5): 552~556

5 何剑. 施工因素对钻孔灌注桩工程性状的影响. 长江科学院院报, 2001, 19(4): 24~26

6 楼晓明, 陈华强, 洪毓康. 施工因素对钻孔灌注桩荷载传递特性的影响. 工程勘察, 1996(3): 13~16

7 刘利民, 舒翔, 熊巨华. 桩基工程的理论进展与工程实践. 北京: 中国建材工业出版社, 2002. 54~59

8 楼晓明, 陈华强, 俞有炜, 等. 钻孔灌注桩承载力异常, 现象分析. 岩土工程学报, 2001, 23(5): 547~551

9 冯居忠, 王笑领, 邵景平. 钻孔灌注桩中泥浆壁对桩承载力影响的探讨. 河南交通科技, 2000, 20(3): 3~4

10 楼晓明, 戴仁厚, 张一鸣. 孔壁形状对钻孔灌注桩承载特性的影响. 工程勘察, 1998(2): 6~9

11 季沧江. 沉淤对钻孔灌注桩承载力的影响与防治对策. 建筑施工, 1998, 20(1): 40~42