

桩底沉渣对嵌岩钻孔灌注桩承载性状影响研究

焦月红^{1,2}

(1. 南京地下铁道工程建设指挥部, 江苏 南京 210008; 2. 河海大学岩土工程研究所, 江苏 南京 210098)

摘要:结合某嵌岩灌注桩工程,采用弹塑性有限元方法模拟桩底有沉渣条件下,桩底沉渣对桩的承载性状影响,分析有桩底沉渣情况下荷载-沉降曲线、桩身轴力和侧摩阻力、桩端阻力和总侧阻力的变化情况,有限元模拟荷载-沉降曲线与实测曲线相符,由于桩底沉渣的存在,大大降低了桩端阻力,从而降低桩的极限承载力,增大了桩顶沉降。

关键词:钻孔灌注桩;桩底沉渣;有限元方法;承载性状

中图分类号:TU473.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2009)09-0047-05

Influence of Pile Bottom Sediment on the Bearing Property of Rock-socket Filling Pile/JIAO Yue-hong^{1,2} (1. The Metro Construction Headquarters of Nanjing, Nanjing Jiangsu 210008, China; 2. Research Institute of Geotechnical Engineering of Hohai University, Nanjing Jiangsu 210098, China)

Abstract: Combined with a project of rock-socketed filling pile, and based on the influence of pile bottom sediment on the bearing property under the simulation of sediment at the end of the pile with elastic-plastic finite element method, analysis was made on the changes of load-settlement curves, axial force of the pile, shaft resistance, pile-end resistance and the total pile-shaft resistance. The load-settlement curves from the finite element simulation are consistent with the measured curves. The sediment at the pile bottom greatly reduces the pile end resistance, also reduces the ultimate bearing capacity of the pile and increases the settlement of the pile head.

Key words: bored cast-in-place pile; sediment of the end of the pile; finite element method; bearing property

0 引言

钻孔灌注桩是桩基工程中常用的基础形式,但常因为施工工艺、现场施工条件的制约在桩底形成较厚的沉渣,由于桩身较长,沉渣不易清除和发现,导致桩承载力降低,而对于嵌岩桩承载力降低则更加明显。本文结合一具体的工程实例,采用有限元方法来分析桩底沉渣对钻孔灌注桩承载性状的影响。

某地铁工程,桩基础设计桩型为钻孔灌注桩,设计桩径 650 mm,混凝土强度等级 C35,设计极限承载力 6500 kN。根据要求对桩基础进行单桩竖向极限承载力测试,按照《建筑桩基技术规范》(JGJ 94-94)进行静载试验。测试桩桩号 31 号,桩长 45.0 m。根据测试结果,到 6000 kN 时本级沉降已经达到 22.97 mm,没有再继续施加荷载,并推断下部有很厚的沉渣存在,开挖检验结果发现嵌岩段部分全部被沉渣所充填,导致承载力显著降低。

1 工程地质条件

根据工程勘察报告,试验桩所在场地基本工程

地质条件如下:

①₁层,杂填土,杂色,松散,层厚 0.8~2.8 m,天然地层承载力 70 kPa;

②₁层,粉土夹粉砂,灰黄色,稍密,埋深 1.2~6.5 m,天然地层承载力 120 kPa;

②_{2a}层,淤泥质粉质粘土、粉质粘土,灰色,流塑,夹薄层粉砂,层厚 2.0~4.0 m,埋深 14.0~21.0 m,天然地层承载力 80 kPa;

②₃层,粉质粘土夹淤泥质粉质粘土,灰色,软~流塑,层厚 5.6~12.4 m,埋深 18.5~25.0 m,天然地层承载力 90 kPa;

④层,粉质粘土混卵砾石,灰色,软塑,层厚 7.8~15 m,埋深 31.0~45.5 m,天然地层承载力 300 kPa;

⑤层,中风化砂岩、含砾砂岩,灰色夹灰褐色,钙质胶结,碎屑结构,埋深 44.5~48.5 m,天然地层承载力 3000 kPa。

2 有限元基本原理

2.1 本构模型

收稿日期:2009-03-16

作者简介:焦月红(1975-),男(汉族),江苏泰兴人,南京地下铁道工程建设指挥部工程师,河海大学博士研究生在读,岩土工程专业,硕士,研究方向为岩土力学特性,江苏省南京市中山路 228 号地铁大厦 2010 室, jiaoyuehong@yahoo.com.cn。

采用常用于岩土材料的 Mohr - Coulomb 破坏准则进行分析,其简单易用性使其很容易的应用到极限分析方法中,并且所用参数比较容易获取。

Mohr - Coulomb 破坏准则常用于平面问题中,可表示为:

$$|\tau| = c + \sigma_n \tan \varphi \quad (1)$$

式中: τ ——剪应力; σ_n ——破坏面上的正应力; c ——粘聚力; φ ——内摩擦角。

当用于三维分析时, Mohr - Coulomb 破坏准则可表示为:

$$\sigma_1 \cdot \frac{1 - \sin \varphi}{2 \cos \varphi} - \sigma_3 \cdot \frac{1 + \sin \varphi}{2 \cos \varphi} = 1 \quad (2)$$

式中: σ_1 、 σ_3 ——分别为最大主应力和最小主应力 ($\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$)。

上式表明与中间主应力 σ_2 无关。

对于 $c > 0$, Mohr - Coulomb 破坏准则允许存在拉力,并且允许拉应力随着粘聚力的增加而变大,实际上,土体能够容许没有或者较小的拉应力。由于 Mohr - Coulomb 模型屈服面两个屈服面交点处存在奇异点,可以采用一个屈服面到另一个屈服面的平滑过渡即在拐点处采用圆角,或者采用连续光滑的流动势函数,确定流动方向是唯一的。

2.2 接触面单元

采用弹塑性模型模拟土体与桩相互作用的接触面行为,以 Coulomb 准则判别接触面小位移下的弹性行为和永久性滑动变形下的塑性接触行为。接触面处于弹性状态,剪应力满足下式:

$$|\tau| < \sigma_n \tan \varphi_i + c_i \quad (3)$$

塑性状态:

$$|\tau| = \sigma_n \tan \varphi_i + c_i \quad (4)$$

式中: φ_i 、 c_i ——接触面的内摩擦角和粘聚力。

接触面强度与土层强度相关,其关系式可以通过接触面的强度折减系数来表示:

$$c_i = R c_s, \quad \tan \varphi_i = R \tan \varphi_s \leq \tan \varphi_s \quad (5)$$

3 有限元模型及物理力学参数

根据试桩所在位置工程地质剖面图(图1)建立有限元模型,具体每层土体和桩及其沉渣的物理力学参数可参考表1,对荷载施加按试验设计进行,共分为10级加载,第一级加载1200 kN,然后按每级600 kN递增至6000 kN,最后一级加载至6500 kN。建立轴对称有限元模型,进行桩底有沉渣和无沉渣的对比分析,分析嵌岩桩多土层桩底沉渣对桩承载力、沉降、桩端阻力以及侧摩阻力性状的影响。

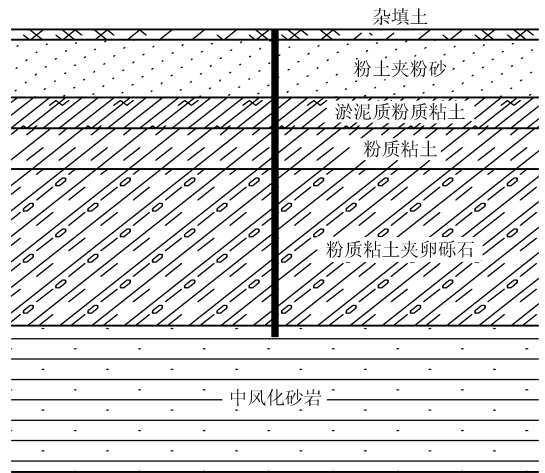


图1 工程地质剖面示意图

表1 岩土体物理力学参数取值

序号	土层名称	重度/(kN · m ⁻³)	变形模量/MPa	泊松比	粘聚力/kPa	内摩擦角/(°)
1	杂填土	18.5	5.8	0.35	8.0	18.0
2	粉土夹粉砂	18.3	7.7	0.30	14.1	25.7
3	淤泥质粉质粘土	17.6	7.2	0.35	15.3	16.8
4	粉质粘土	19.2	8.5	0.33	29.5	17.5
5	粉质粘土混卵砾石	20.1	12.3	0.30	50.2	25.0
6	中风化砂岩	26.0	1000	0.27	100.0	40.0
7	沉渣	19.0	12.0	0.33	10.0	30.5
8	灌注桩	25.0	31900	0.20		

整个有限元模型宽30.00 m,高65.00 m,两侧连杆约束,底部全约束。对于考虑沉渣的模型,桩身底部及沉渣部分单元细化,模型共划分单元948个,节点8006个,应力点个数11376个。模型荷载增量的施加模拟现场静载试验进行,即第一次加载1200 kN,以后按照每级600 kN施加,对于不考虑沉渣影响的工况,加载到6000 kN后直接加载到极限设计荷载6500 kN;考虑沉渣影响的工况记载到6000 kN后结束。

4 计算结果分析

4.1 荷载 - 沉降曲线

图2显示了静载试验结果和有限元计算在有沉渣、无沉渣作用下的荷载 - 位移曲线。根据试验结果初步判断,当荷载加载至4200 kN时,位移(桩顶沉降)开始变大,沉降量达到20 mm以上,继续施加荷载至6000 kN,桩顶本级荷载沉降量达到22.97 mm,累计为71.75 mm,而根据无沉渣有限元计算结果,在6000 kN荷载作用下的累计沉降为22.83 mm,整个荷载位移 - 曲线呈直线分布,每级荷载作用下的沉降差值基本相同,即桩或者土体均处于弹

性阶段,没有发生塑性变形而进入破坏状态。为模拟由于沉渣作用导致承载力降低的情况,根据试验 $Q-s$ 曲线以及场区的岩土体力学性质,设置相当的沉渣厚度和沉渣参数,拟合试验获得的 $Q-s$ 曲线,有限元计算结果如图 2 所示。由图中可以明显看出沉渣的存在对桩承载力和沉降的影响,且极限承载力的降低及沉降的增大是非常明显的。

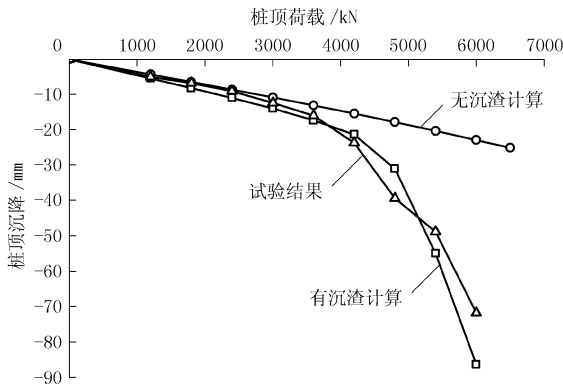


图 2 荷载 - 沉降曲线

4.2 桩身轴力和侧摩阻力

图 3 和图 4 表示了沉渣的存在对于桩身轴力传递特性的影响。

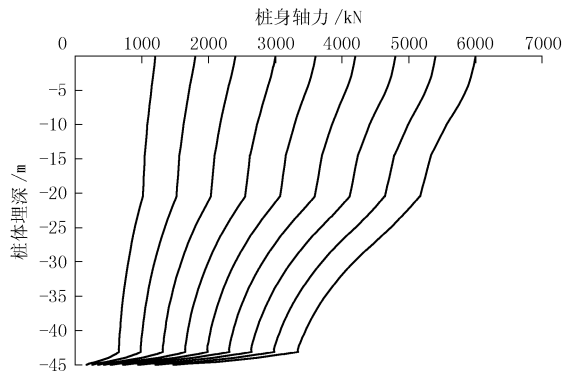


图 3 无沉渣桩身轴力随深度变化曲线

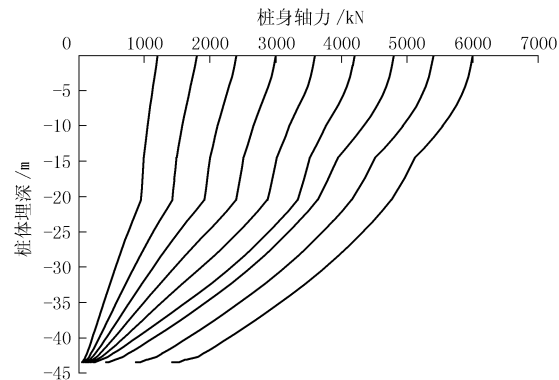


图 4 有沉渣桩身轴力随深度变化曲线

慢,当荷载 <4000 kN 时,有沉渣存在的情况下桩身轴力降低十分明显,特别在桩深 >20 m 后;随着荷载的继续增大,侧摩阻力达到极限,无法再继续分担桩顶荷载从而只能由桩身轴力传递到下部桩端,而使得桩身轴力传递速率相对前面荷载轴力传递速率要快,导致桩顶沉降加大,桩端阻力变大。

对于不考虑沉渣情况下,嵌岩段轴力由于侧阻力极限值增大而轴力传递变化明显,而到底部桩端阻力承担的上部荷载比例降低明显,但对于不同的桩顶荷载,荷载传递变化率呈渐进性变化,而且变化幅度相对不大。图 5 表示了嵌岩段被沉渣填充后沿沉渣厚度方向竖向力的变化,其明显区别于正常条件下无沉渣且荷载较小时竖向力变化(图 6),随着荷载的增大,竖向力变化率变化明显,沉渣发生破坏,竖向应力降低得非常快。

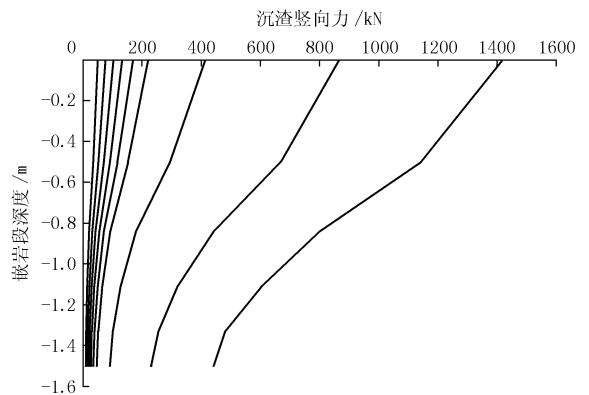


图 5 嵌岩段沉渣竖向轴力分布曲线

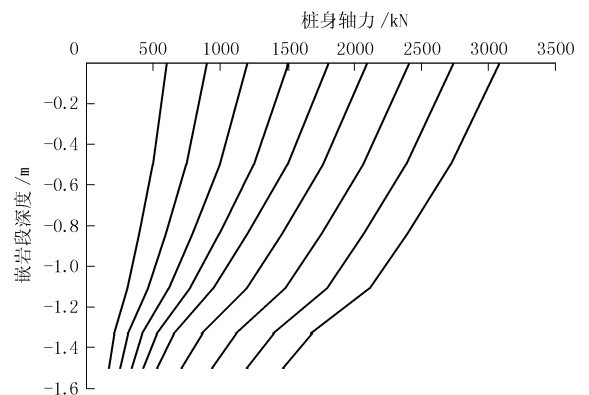


图 6 无沉渣嵌岩段桩身轴力分布曲线

对于嵌岩段上部侧摩阻力的发挥,在不考虑沉渣的情况下,由图 7 可以看出侧摩阻力随着上部荷载的增加逐渐发挥出来,而上部荷载达到 6000 kN 时,粉质粘土夹卵砾石层的侧摩阻力还没有完全发挥出来,仅在 20~27 m 处达到极限值,而其它上部土层的侧摩阻力还有一定的发挥余地。而对于有沉渣存在的情况(图 8),在加载的初期,侧摩阻力发挥

由于沉渣的存在,桩身轴力传递的速率明显变

就开始明显增大,在 1200 kN 时对于粉质粘土夹卵砾石层侧摩阻力沿深度方向变化递减不明显,并在底部有所增加,随着荷载的继续增加,各土层的侧摩阻力开始达到极限值,在 3600 kN 上部荷载作用下,粉质粘土夹卵砾石层开始由上部逐渐达到极限值,并发生塑性变形;在上部荷载达到 4200 kN 时,各土

层侧摩阻力分布基本呈三角分布,说明接触面各点发生塑性变形。而上部荷载达到 6000 kN 时,各土层已经全部达到极限摩阻力,无法再继续承担上部荷载,而使桩端阻力增大,桩土相对位移在很小的上部荷载作用下急剧增大。

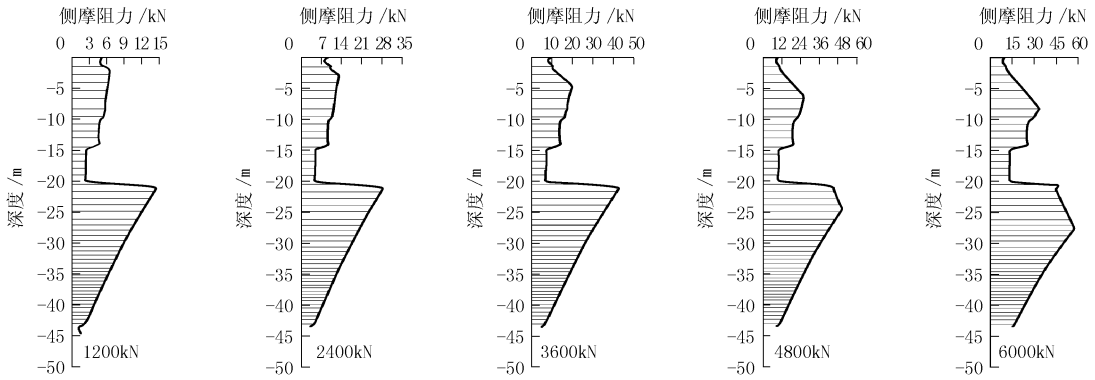


图7 无沉渣桩侧摩阻力分布曲线

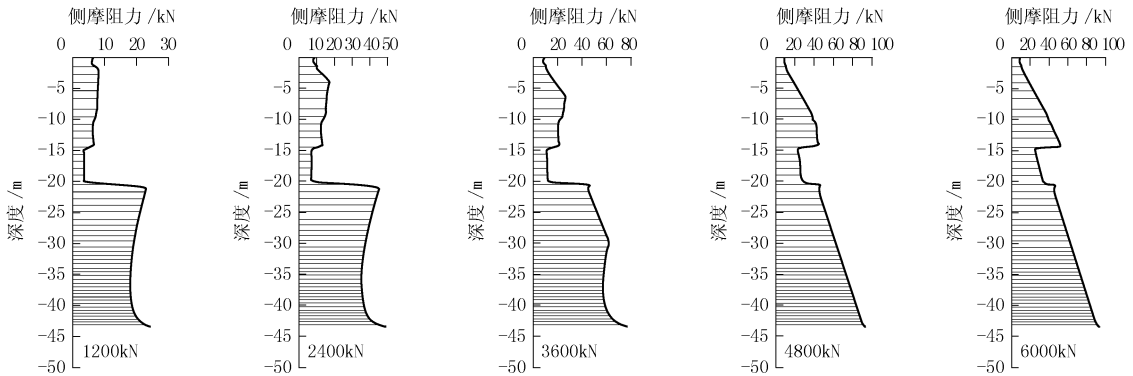


图8 有沉渣桩侧摩阻力分布曲线

图9表示了不考虑沉渣作用下嵌岩段桩侧阻力沿深度变化曲线,由图中可以看出,在加载初期侧摩阻力沿深度变化相对并不明显,但达到4200 kN后,在上部区域侧摩阻力相对较大,而随着深度的增加,侧摩阻力的发挥值基本与上部荷载为3600 kN时的侧摩阻力值大小相同,而仅仅在桩身底部有所增大。图10表示了嵌岩段被沉渣所填充后,沉渣和周围岩体接触面单位长度剪切力在不同上部荷载作用下随深度变化曲线,由图中可以明显地看出由于沉渣的存在,相对于不考虑沉渣情况下的侧阻力,接触面上的剪切力明显降低,并沿深度呈线性降低,由于与下部岩体材料性质的差异很大,沉渣被压缩,随着上部荷载的增大,压缩逐渐增大,当达到极限值后,沉渣发生破坏,沉渣不能继续被压缩时,只能沿四周与岩体接触部分外溢,导致桩端发生刺入式破坏,接触面要阻止沉渣向外发展而使上部剪切力增大,并随深

度的增加而降低。

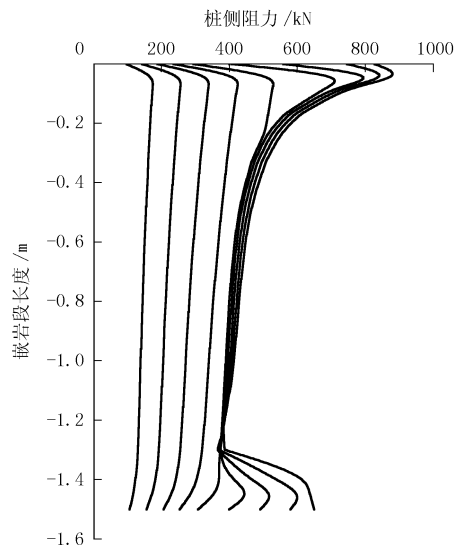


图9 无沉渣嵌岩段桩侧阻力分布曲线

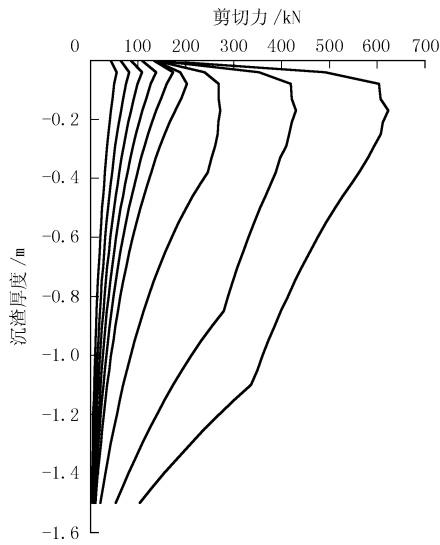


图 10 嵌岩段沉渣部分侧向力分布曲线

4.3 桩端阻力与总侧阻力

图 11 表示了桩底沉渣对桩端阻力发挥的影响。

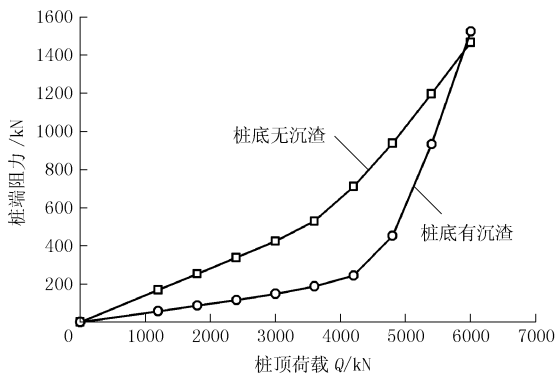


图 11 沉渣对桩端阻力影响曲线

从图 11 中可以看出,在相同荷载作用下,桩底沉渣使得加载初期的桩端阻力降低,桩端阻力损失率达 66%,随着荷载的增大有无沉渣时的桩端阻力差值开始变大,但桩端阻力损失率基本不变,当荷载达到 4200 kN 时,差值达到最大,随着荷载的继续增大,这时桩侧摩阻力开始发挥到极值,无法再分担上

部荷载,使得上部荷载大部分开始转化为桩端阻力,使得有无沉渣时的桩端阻力差值开始缩小,桩底沉渣开始发生塑性变形,当沉渣无法再承担荷载时,其将上部受力直接传递给桩周土体,桩端阻力差值进一步缩小,并开始超过原无沉渣作用时的桩端阻力。

5 结论

(1)有限元计算结果与实测结果的对比分析表明,有限元计算结果的荷载 - 沉降曲线拟合程度能够反映实测的计算结果,表明有限元模型的建立是正确的。

(2)基于有限元计算结果分析可知,由于嵌岩段部分被沉渣所填充大大降低了桩的极限承载力,损失约 35%。

(3)无沉渣时即桩在正常发挥作用时,很大一部分上部荷载由嵌岩段侧阻所承担,由于桩底沉渣的存在而使这一部分荷载的承担大大降低,从而降低了极限承载力,并增大了桩顶沉降。

(4)由于桩底沉渣的存在,桩端阻力降低,桩端阻力损失率达 66%;桩侧摩阻力承担了上部荷载的 90% ~ 95% 以上。

由以上结论可见,沉渣的影响对嵌岩钻孔灌注桩承载性状的影响是很大的,因此,在施工期间应尽可能的控制桩底沉渣的厚度。

参考文献:

[1] 刘金砺. 桩基工程手册 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1996.

[2] 刘金砺. 桩基础设计与计算 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1990.

[3] 董志高, 吴继敏, 蒋小欣, 等. 某水利枢纽基坑降水开挖有限元分析研究 [J]. 勘察科学技术, 2006, (1): 20 - 23.

[4] Menerey. Ph., and K. J. Willom. Triaxial Failure Criterion for Concrete and its Generalization [J]. ACI Structural Journal, 1995 (92): 311 - 318.

[5] 洪连明. 高压环喷拔桩工艺在老楼桩基础清障中的应用 [J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2004, 31(6): 30 - 31.

[6] 翁奔哲, 沈金海. 全套管设备在拔桩施工中的应用 [J]. 浙江建筑, 2006, 23(7): 56 - 58.

[7] 曹玉忠, 刘建国, 徐东. 套管法拔桩施工对邻近箱涵的影响分析 [J]. 城市轨道交通研究, 2007, (8): 70 - 71.

[8] 焦卫峰. 渤海石油输灰码头改造钢管桩拔除施工 [J]. 中国港湾建设, 2006, (1): 56 - 58.

[9] 卓发成. 无损拔桩施工技术的应用 [J]. 施工技术, 2003, 32(8): 46 - 47.

(上接第 63 页)

参考文献:

[1] 杨石飞, 顾国荣, 王福林. 深层清障技术纵论 [J]. 地下空间与工程学报, 2008, (2): 387 - 391.

[2] 武纲. 对桩拔除工程中若干问题的探讨 [J]. 科技情报开发与经济, 2008, 18, (22): 210 - 211.

[3] 辜思达, 黄威然, 米晋生. 侵入地铁隧道的预应力管桩拔除施工技术 [J]. 广东土木与建筑, 2005, (6): 43 - 44.

[4] 张政, 钟巍键, 赵达峰. 钢筋混凝土钻孔灌注长桩拔除施工技术 [J]. 建筑施工, 2005, 27(12): 17 - 18.