

# 大直径人工挖孔桩离析事故加固设计与施工技术

邵广彪<sup>1</sup>, 孙剑平<sup>1</sup>, 江宗宝<sup>2</sup>

(1. 山东建筑大学土木学院, 山东 济南 250101; 2. 山东建大工程鉴定加固研究所, 山东 济南 250014)

**摘要:** 人工挖孔桩承载性能好, 施工方便, 在土建工程中应用广泛, 但地下水位较高时, 施工措施不力易使桩身混凝土产生离析。某体育场桩基工程包括抗压桩、抗拔桩以及抗压抗拔桩等三类基桩, 经检测发现桩身混凝土离析。通过对该工程基桩取芯检测, 分析了离析事故的特点和原因, 针对桩基受力性能和离析部位不同, 对抗拔桩采用桩内增设抗拔锚杆法加固, 对抗压桩以及拉压桩采用桩内增设微型钢管桩法加固, 并介绍了以上桩基加固施工措施。通过加固后桩基静载试验和工程现状, 表明以上加固设计方案和施工措施取得理想效果, 可为严重离析的基桩加固提供可靠的工程参考。

**关键词:** 人工挖孔桩; 离析; 加固; 抗拔锚杆; 微型钢管桩

**中图分类号:** TU473      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-4548(2011)S2-0260-05

**作者简介:** 邵广彪(1978- ), 男, 山东成武人, 博士, 副教授, 主要从事岩土工程及防灾减灾研究。E-mail: sgbou@126.com。

## Reinforcing design and construction technology of large-diameter artificial bored pile segregation accident

SHAO Guang-biao<sup>1</sup>, SUN Jian-ping<sup>1</sup>, JIANG Zong-bao<sup>2</sup>

(1. School of Civil Engineering, Shandong Jianzhu University, Jinan 250101, China; 2. Institute of Engineering Identification and Reinforcement of Shandong Jianda, Jinan 250014, China)

**Abstract:** Artificial bored pile has high bearing capacity and is convenient to construct and has been widely applied to civil engineering. However, concrete segregation will happen due to ineffective construction measure when there is a higher groundwater table. There are three kinds of piles including compressive pile, uplift pile and pull-compressive pile in a stadium pile foundation project, and concrete segregation phenomenon is detected. The characteristics and reasons of segregation are analyzed by coring test data of piles. According to different mechanical properties and segregation locations, the pulling resistant anchor added in the piles is used to reinforce the uplift pile, and the micro-steel pile added in the piles is employed to reinforce the compressive pile and pull-compressive pile. The construction measures of reinforcing methods are introduced. The static loading tests and situation after pile strengthening that the reinforcing design and construction measures have achieved satisfactory effect, and it may provide reference for similar reinforcing projects of pile concrete segregation accident.

**Key words:** artificial bored pile; segregation; reinforcement; pulling resistant anchor; micro-steel pile

## 0 引言

人工挖孔桩具有较高的承载力性能, 特别是桩端进入基岩一定深度的人工挖孔(扩底)嵌岩桩, 该桩型具有较强的抗滑移能力, 稳定性方面优于其他桩型, 再者其施工简便, 成孔质量可靠, 混凝土浇筑易于控制等优点, 使其已成为桩基础施工中首先考虑的基础形式之一。但如果地下水较高且出水量较大时, 在浇筑混凝土施工过程中, 若不能有效控制孔底溢水, 封底混凝土未到达应有效果, 或者未采用水下混凝土灌注方法以及桩身混凝土浇筑措施控制不力等等, 均可能使桩身混凝土出现离析, 导致承载力的减小或丧失,

是一种严重的工程质量事故。

挖孔桩混凝土离析事故过去常用的处理方法主要有补桩法、凿除接桩法、高压注浆法等<sup>[1-3]</sup>, 以上各种方法均有一定的适用条件, 如对于抗拔桩而言, 高压注浆法虽能使离析部位桩身密实, 但很难保证能够满足其抗拔承载力和耐久性要求; 补桩法则会引起承台和上部结构调整, 可能影响原结构设计要求, 并使工程造价增加较多。

随着各类锚固、增强等加固措施和施工工艺的提

高, 对于大直径挖孔桩混凝土离析事故的处理, 可以通过各种检测方法, 确定工程地质情况、嵌岩深度和岩性、缺陷位置和严重程度等, 根据桩的受力特性, 进行专门的桩基加固设计, 加固方案应既能满足桩的各种承载力和耐久性要求, 同时最大限度地利用已施工基桩, 减小因事故带来的经济损失。针对某体育场看台部位大直径人工挖孔灌注桩施工出现的混凝土严重离析事故, 分析了离析事故特点及原因, 进行了抗压桩、抗拔桩和抗压抗拔桩的加固设计, 并根据设计方案进行加固施工, 取得了较为理想的效果。

## 1 工程概况

### 1.1 工程简介

某体育场平面形状接近圆形, 总建筑面积约为39000 m<sup>2</sup>, 体育场设有东西看台, 南北完全敞开, 看台部分地上3层, 建筑高度38.5 m, 平面形状为一椭圆形, 看台部分采用钢筋砼结构, 上部屋盖采用悬挑钢结构, 基础为钢筋混凝土柱下多桩承台基础, 地基基础设计等级为甲级, 其中东看台基础平面布置图见图1所示, 东西看台基础完全对称布置。

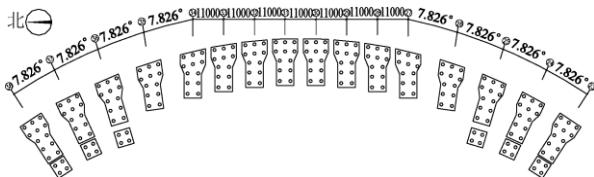


图1 体育场东看台基础平面布置图

Fig. 1 Layout of foundation of stadium east stand

基础采用人工挖孔灌注桩, 基桩施工桩长为10~20 m不等, 共计432棵, 其中JZ1为128棵, JZ2为256棵, JZ1A为48棵, 各型号基桩的受力特性、设计单桩抗压和拔承载力特征值如表1所示。

表1 各桩的设计参数

Table 1 Design parameters of piles

编号	受力特性	桩径/mm	抗压承载力/kN	抗拔承载力/kN
JZ1	抗压桩	1100	3000	1500
JZ2	抗拔桩	1100	2000	1500
JZ1A	抗压抗拔桩	1000	1600	1000

### 1.2 工程地质条件

为细化桩基设计, 在整体勘察基础上该工程又补充进行了单桩补充勘察, 根据该工程场地的勘察报告, 场地内的土层自上而下简述如下。

①杂填土: 厚度0.40~0.60 m, 杂色, 松散, 主要成分为黏性土, 含大量植物根系。②层粉质黏土: 厚度0.90~5.00 m, 平均2.96 m, 黄褐色, 可塑, 稍有光泽, 干强度及韧性中等。③层黏土: 厚度0.2~6.8

m, 平均2.54 m, 黄褐色, 可塑, 稍有光泽, 干强度及韧性中等。④层全风化泥岩: 场区局部有分布, 厚度1.10~7.70 m, 平均3.22 m, 地层呈红褐色, 原岩大部风化为黏土状, 干钻不易进尺。④-1全风化砂岩: 场区局部分布, 厚度1.20~8.00 m, 平均3.77 m, 地层呈黄褐色, 原岩大部风化为砂土状, 干钻不易进尺。⑤强风化砂岩: 场区局部有分布, 厚度平均4.14 m, 地层呈黄褐、灰褐色, 中粗粒结构, 块状构造; 岩芯呈块状, 岩芯采取率75%左右, 软岩, 破碎, 岩体基本质量等级为V级。⑥中风化石灰岩: 场区局部有分布, 最大揭露厚度16.64 m, 灰白色, 隐晶质结构、中厚层状构造; 岩芯呈碎块状, 岩芯采取率85%左右; 较硬岩, 较完整, 岩体基本质量等级为III级。⑥-1层中风化泥岩: 场区局部有分布, 最大揭露厚度12.7米, 红褐色、灰绿色, 泥质结构, 块状构造; 岩芯呈块状一柱状, 岩芯采取率80%左右, 较软岩, 较完整, 岩体基本质量等级为IV级。⑥-2中风化闪长岩: 场区局部有分布, 最大揭露厚度12.9 m, 灰褐色, 粗晶质结构, 块状构造; 岩芯呈块状一柱状, 岩芯采取率85%左右, 较硬岩, 较完整, 岩体基本质量等级为III级。勘察报告推荐的各土层极限侧阻力标准值见表2所示。

表2 各土层极限侧阻力标准值

Table 2 Stand and values of ultimate lateral resistance of soil strata

土层	②	③	④	④-1	⑤	⑥	⑥-1	⑥-2
$Q_{sik}$	20	25	25	80	120	1200	400	1200

勘察时该场地地下水埋深3.2~4.4 m, 受大气降水及地下水径流补给。

## 2 离析事故特点及原因

该基桩工程完成后, 通过桩身钻芯取样检测发现基桩下部混凝土出现离析现象, 随后扩大检测, 其中东看台检测的183棵基桩中, II类桩43棵, IV类桩140棵, 西看台检测的212根基桩中, II类桩83根, IV类桩129根。IV类桩约占总数的66.7%, 检测的IV类桩中, 桩身混凝土局部粗骨料或细骨料缺失而且胶结较差或无胶结。

以东看台基桩为例, 对人工挖孔嵌岩桩混凝土离析现象进行统计, 出现严重混凝土离析的基桩共140棵, 桩身中部出现混凝土离析的基桩数量为11棵, 占离析桩数的8%, 其余129棵均为桩身底部离析; 在桩身底部离析的桩中, 离析层厚度小于1 m的共40棵, 离析层厚度为1~2 m的共44棵, 离析层厚度为2~3 m的共23棵, 离析层厚度大于3 m的共22棵,

分别占检测统计量的 28.6%、31.4%、16.4% 和 15.7%。图 2 所示为 #23~#16 基桩, 下部约 1.3 m 出现混凝土离析, 离析现象较为严重。



图 2 某基桩桩身芯样照片

Fig. 2 Photograph of pile core

通过以上统计可以看出: ①桩身底部离析是该工程事故的特点, 这与地下水位较高、水下浇筑措施不力有直接关系; ②桩底混凝土离析部位的厚度小于 2.0 m 约占 60%, 反映了地下水的主要影响范围, 随着桩身混凝土的浇筑, 中上部混凝土质量较容易得到保证。

根据取芯检测结果和现场调查, 对该挖孔桩混凝土离析事故主要有以下 3 方面原因:

(1) 地下水位很高, 实际排水、降水手段较落后, 即排水速度太低, 无法实现干孔或半干孔作业, 同时也未能按浇注水下砼等工艺进行施工, 而是强行浇注, 结果造成粗细骨料分离, 导致严重离析。

(2) 浇灌时混凝土下料口距离浇注面太远, 造成砂浆与骨料离析, 同时对部分桩身混凝土未注意很好振捣。

(3) 施工单位对人工挖孔桩施工质量过分轻视, 对地下水位较高情况下混凝土浇筑认识不足, 施工现场缺乏有经验的技术人员, 以及过度追求工程进度等, 都是导致该离析事故的主观原因。

### 3 基桩加固设计方案

#### 3.1 方案比选

由于发生混凝土离析的部位大多位于桩身底部, 因此凿除接桩法给以否决; 补桩法同样面临对原有基桩承载力确定和沉降稳定性判定问题, 特别在大量基桩均有离析现象时, 补桩数量较多可能导致无法布置以及造价高昂。

桩身中上部混凝土密实性仍较好, 可以考虑继续利用, 在此基础上本文首先提出高压注浆法和高压旋喷法对离析部位进行加强, 并分别选定两棵桩进行加固试验。

高压注浆法通过注浆管注入水泥浆, 注浆压力为 5 MPa, 注浆后两周采用钻芯验证, 效果达不到要求,

所注入浆液与原离析骨料未能充分胶结, 其原因是离析部分混凝土相对密实且有一定的胶结强度, 浆液不易进入并包裹砂及碎石颗粒。

高压旋喷注浆加固采用一桩两孔法, 首先采用高压水切割离析混凝土, 然后采用高压旋喷水泥浆进行加固。由于离析部分混凝土有一定的胶结, 40 MPa 的浆流仍不能将离析部分混凝土切割破坏, 加固效果仍然不能满足要求。

#### 3.2 加固设计思路

由于以上加固方案均不能达到理想效果, 需重新综合考虑该挖孔桩混凝土离析加固措施。基于该工程基桩类型多样和离析特点, 加固设计方案思路如下: 首先需通过钻孔取芯, 确定每棵基桩混凝土离析的具体位置和厚度; 然后结合地质勘察报告, 计算出每棵基桩上部完整混凝土桩身所提供的抗拔承载力或抗压承载力, 将设计承载力与上述计算承载力相减则得出每棵基桩承载力的不足值; 最后采取锚杆或微型钢管桩等加固措施对桩体离析进行处理, 满足其抗拔、抗压承载力的要求。

单桩抗拔极限承载力标准值按《建筑桩基技术规范》(JGJ94—2008) 公式 (5.4.6-1) 计算<sup>[4]</sup>

$$T_{uk} = \sum \lambda_i q_{sik} u_i l_i, \quad (1)$$

式中,  $l_i$  按完整桩身范围的长度计算, 下同, 其余参数不再详述。

单桩抗压极限承载力标准值按《建筑桩基技术规范》(JGJ94—2008) 公式 (5.3.6) 计算<sup>[4]</sup>

$$Q_{uk} = Q_{sk} + Q_{pk} = u \sum \psi_{si} q_{sik} l_i + \psi_p q_{pk} A_p, \quad (2)$$

式中,  $q_{pk}$  为极限端阻力标准值, 对于离析混凝土取 4000 kPa (按碎石土的桩端阻力取值), 其余参数不再详述。

单桩抗拔和抗压承载力特征值均在极限承载力标准值基础上除以安全系数 2 得到。

根据以上公式对桩身出现离析的 IV 类基桩抗压和抗拔承载力现状进行计算复核, 并与设计承载力进行比对, 最终按如下原则进行加固:

(1) 当桩身混凝土完整部分抗拔承载力/1.2 小于原抗拔承载力设计值时, 采用桩体内增设抗拔锚杆进行加固, 根据抗拔承载力设计值与计算承载力特征值/1.2 的差值大小, 确定抗拔锚杆形式及数量。

(2) 当桩身混凝土完整部分抗压承载力/1.2 小于原抗压承载力设计值时, 在桩体内增设微型钢管桩对该基桩进行加固; 微型钢管桩分别进入底部完整岩石和上部完整桩身混凝土, 兼具增加抗压和抗拔承载力的能力。

(3) 当桩身混凝土完整部分承载力/1.2 大于原设计承载力时, 原则上可以不予处理, 为提高桩底密实

性, 采用高压注浆方式对桩底部位进行加强处理。

### 3.3 加固设计方案

根据以上所述加固思路, 对各离析桩的上部混凝土完整部分承载力进行了计算复核, 归类总结后对各类型基桩进行了具体加固方案设计。

抗拔桩主要采用设置桩内抗拔锚杆进行加固, 根据抗拔承载力差值和现场施工条件, 选用两种型式: 第一种锚杆主体为直径 36 mm HRB400 钢筋, 成孔直径 110 mm, 进入桩底中风化岩石和上部桩身完整混凝土的锚固长度均不小于 4.0 m, 抗拔承载力特征值计算根据建筑地基基础设计规范 (GB50007—2002) 公式 (8.6.3) 计算<sup>[5]</sup>, 考虑材料强度后, 此种锚杆抗拔承载力特征值取 280 kN, 根据承载力差值大小每棵桩内可设置 1~2 根锚杆, 见图 3 左侧剖面图所示; 第二种锚杆主体为 5 根  $\phi_{s} 15.2$  钢绞线 (抗拉强度标准值 1860 MPa), 成孔直径 220 mm, 进入桩底中风化岩石的锚固长度不小于 5.0 m, 抗拔承载力特征值取 700 kN。为利于钢绞线张紧以及施工方便, 钢绞线伸至桩顶, 见图 3 右侧剖面图所示。

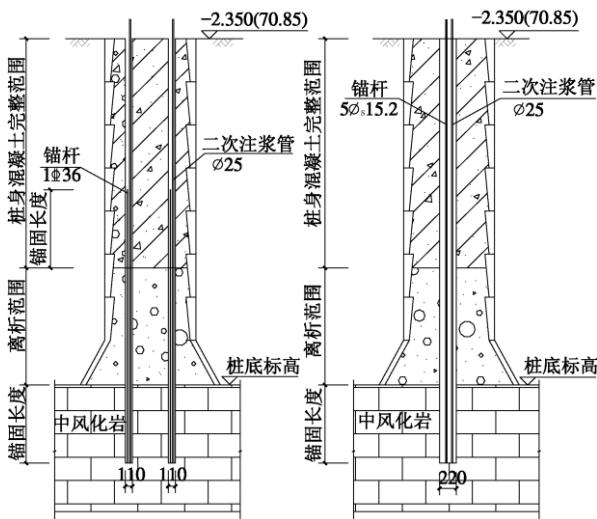


图 3 抗拔锚杆加固剖面图

Fig. 3 Section of pulling resistance anchor strengthening

抗压桩以及抗拔抗压桩采用桩内增设微型钢管桩进行加固, 微型桩成孔直径 220 mm, 钢管直径 127 mm 壁厚 10 mm, 微型钢管桩进入底部完整岩石和上部完整桩身混凝土的锚固长度分别为 4.0 m 和 5.5 m, 提供的设计抗压和抗拔承载力特征值分别为 750 kN 和 540 kN, 见图 4 左侧剖面所示。

对少量混凝土离析发生在桩身中部的基桩, 仍采用桩内增设微型钢管桩法进行加固, 微型桩参数同上, 但桩顶焊接法兰盘并伸入承台, 桩底进入挖孔桩完整桩身混凝土不小于 2.5 m, 根据承载力差值在原挖孔桩内可设置 2 棵微型桩进行加固, 见图 4 右侧剖面所

示。

对采用以上措施仍未满足抗拔要求的 3 棵桩, 则在桩身两侧增补微型钢管桩, 钢管桩参数同上, 桩底进入中风化岩石 4.0 m, 桩顶焊接法兰盘并伸入承台。

当桩身上部混凝土完整部分承载力/1.2 仍大于原设计承载力时, 则仅利用原取芯检测钻孔进行高压注浆即可, 其布置可参见图 4 右侧中的二次高压注浆管。根据该要求, 在东看台离析桩中共有 86 棵满足条件, 高压注浆法是在满足承载力要求的基础上对桩底密实性给予补强, 该措施将大大降低工程造价, 减少工期延误。

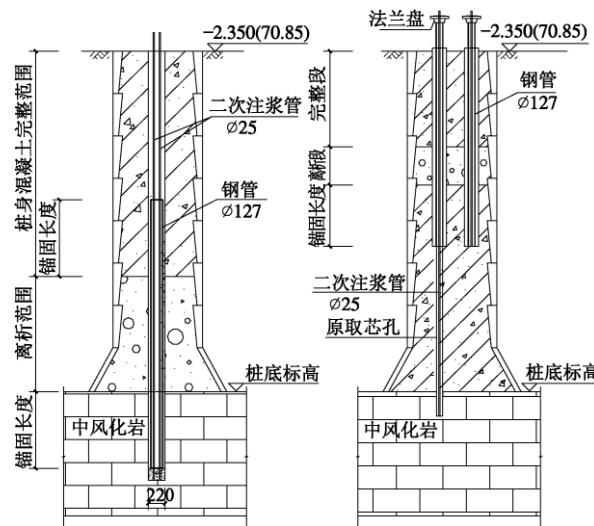


图 4 微型桩加固剖面图

Fig. 4 Section of micro-pile strengthening

## 4 施工措施与效果检验

### 4.1 施工措施

由于以上加固设计方案需要在既有人工挖孔桩桩身进行竖向成孔, 并在桩内进行抗拔锚杆、微型桩以及二次高压注浆的施工, 涉及多种施工工艺, 需要施工技术人员深刻领会加固设计意图, 严格操作程序, 方能收到理想的加固效果。对各项加固方案的施工要求, 本文简述如下:

(1) 当进行增设抗拔锚杆加固既有基桩时, 若增设直径 110 mm 的抗拔锚杆, 则可利用基桩中原钻芯检测孔, 并在此基础上继续钻孔, 直至入中风化岩深度不小于设计锚固长度。若在桩身增设直径 220 mm 的抗拔锚杆, 则在桩身中心位置钻孔, 成孔直径 220 mm, 入中风化岩深度不小于设计锚固长度。

(2) 抗拔锚杆成孔完成后, 在孔内放入主体钢筋或钢绞线以及二次高压注浆管至钻芯孔底。沿抗拔锚杆主体钢筋周围设置撑力环 (圆周 3 个均匀布置), 撑力环水平间距 1.5~1.8 m; 钢绞线则需要设置对中装

置, 每隔 1.5 m 设置一个扩张环, 前端设置导向锚, 锚索本身需进行除油和除锈。

(3) 注浆施工时, 首先采用普通注浆管下至孔底, 低压注水灰比 0.5~0.6、灰砂比 1:0.3 的微膨胀水泥砂浆, 直至孔内灌满为止, 注浆压力为 0.2~0.5 MPa。低压注浆完成 24 h 后, 采用二次高压注浆管进行高压注纯水泥浆, 注浆压力为 2.0~3.0 MPa, 水灰比为 0.5~0.6。二次高压注浆管为直径 25 mm (壁厚 2.5 mm) 钢管, 在桩身离析及以下部位沿钢管圆周设置 3 个孔, 轴向间距 0.5 m, 孔径 6 mm, 均匀布置。

(4) 当在桩身增设微型钢管桩进行加固时, 同样在桩身中心位置成孔, 成孔直径为 220 mm, 至中风化岩锚固长度后继续成孔 200 mm, 清孔后, 对底部 200 mm 放入碎石, 同时放入直径 127 mm (壁厚 10 mm) 钢管和二次高压注浆管, 钢管置于碎石层顶部, 高压注浆管伸入孔底, 见图 4 左侧剖面所示, 如此处理为避免钢管在受压作用下对中风化岩的直接切割破坏, 注浆要求则同上。

(5) 当混凝土离析出现在桩身中部时, 在桩身中上部增设微型钢管桩, 微型桩钢管伸入承台 500 mm, 钢管顶部焊接高强度法兰盘, 以利于更好地将上部荷载通过微型桩传至下部完整桩身。

(6) 对于单纯采用高压注浆进行加固的基桩, 即利用原取芯孔, 插入二次高压注浆管至孔底, 完成以上注浆施工即可。对于桩身完好的 II 类基桩, 则仅需采用低压注浆封堵取芯钻孔即可。

## 4.2 加固检验

为检验加固设计方案和施工质量, 首先进行了试验桩的加固施工, 对增设直径 110 mm 和 220 mm 抗拔锚杆和增设微型钢管桩的方案各施工两棵。

为验证抗拔锚杆的锚固力是否达到要求, 对两类抗拔锚杆设置封闭阀门, 以仅对锚固段进行注浆施工, 达到 28 d 后进行单纯的锚杆抗拔试验, 抗拔试验后再完成其余注浆施工, 之后再进行基桩的整体抗拔试验。对于微型桩抗压承载力加固则直接按设计方案施工, 达到强度要求后进行基桩的抗压静载试验。以上检测结果均验证了设计方案和施工质量能达到承载力要求。

全部基桩加固完成后, 每类加固方案又随机抽取 2~3 棵进行验收试验, 试验结果均满足要求。

目前, 该体育场主体结构已完工约半年, 各项监测结果均正常, 现正在进行跑道铺设和周边道路铺装工作。

## 5 结语

人工挖孔灌注桩具有施工时无噪音、无震动, 对周围环境影响小, 施工机具简单、现场整洁, 且桩身承载力高等优点, 因此在工业与民用建筑中得到广泛应用。但在地下水位较高时, 因施工措施不到位易导致桩底混凝土离析事故, 本文针对某体育场挖孔桩离析事故, 在取芯检测的基础上, 提出了在原挖孔桩内设置抗拔锚杆、微型钢管桩的加固方案, 该方案能够满足抗拔桩、抗压桩以及抗拔抗压桩的承载力不足要求, 并通过合理的施工措施, 保证了设计思路的实现, 各种检验结果亦表明该加固设计方案的安全性和合理性, 同时加固方案充分利用既有桩基, 也使加固施工费用降至合理范围。

## 参考文献:

- [1] 祝成展. 人工挖孔桩补强技术在工程中的应用[J]. 中外建筑, 2002, 7(6):73~74. (ZHU Cheng-zhan. Application of pile reinforcement technology in artificial dig-hole pile[J]. Chinese and Overseas Architecture, 2002, 7(6):73~74 (in Chinese))
- [2] 郭秀丽. 某工程人工挖孔桩桩身离析及桩底夹渣处理[J]. 山西建筑, 2010, 36(23): 129~130. (GUO Xiu-li. Processing for segregation and bottom slag of artificial dig-hole pile[J]. Shanxi Architecture, 2010, 36(23): 129~130. (in Chinese))
- [3] 彭振斌, 胡贺松, 何忠明, 等. 复合注浆法在桩基加固中的应用[J]. 岩土工程界, 2004, 7(3): 27~29. (PENG Zhen-bin, HU He-song, HE Zhong-ming, et al. Application of composite grouting reinforcement in the pile foundation[J]. Geotechnical Engineering World, 2004, 7(3): 27~29. (in Chinese))
- [4] 黄强, 刘金砾, 高文生, 等. JGJ94—2008 建筑桩基技术规范[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008. (HUANG Qiang, LIU Jin-li, GAO Wen-sheng, et al. JGJ94—2008 Technical code for building pile foundation[M]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2008. (in Chinese))
- [5] 黄熙龄, 腾延京, 王铁宏, 等. GB50007—2002 建筑地基基础设计规范[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002. (HUANG Xi-ling, TENG Yan-jing, WANG Tie-hong, et al. GB50007—2002 Code for design of building foundation[M]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2002. (in Chinese))

(本文责编 黄贤沙)