

软土地区桩端后注浆失效补救方法及效果验证

魏建华^{1,2}, 李想^{1,2}, 卫佳琦^{1,2}

(1. 上海勘察设计研究院(集团)股份有限公司, 上海 200093; 2. 上海市岩土工程专业技术服务平台, 上海 200093)

摘要: 通过上海软土地区某项目桩端后注浆失效时补救的实践, 提出了一种桩侧成孔埋设注浆管进行后注浆补救的施工方法, 该方法包括如下步骤: (1) 尽量贴近既有桩基于桩侧对称成两个补救孔, 成孔时应采用下钢套管的方式控制垂直度; (2) 埋设两根注浆管, 一根伸入桩底、端部有带逆止功能的注浆器, 称为“补救注浆管”, 采用约 1.0 m 长度隔离材料对“补救注浆管”进行包裹, 避免封孔时“补救注浆管”被堵塞; 另一根底部位于隔离段以上, 桩底以上 1.0 m, 用于封孔, 称为“封孔注浆管”; (3) 通过“封孔注浆管”进行水泥-水玻璃双液注浆封孔; (4) 待封孔 48 h 后, 水泥-水玻璃双液注浆加固体达到一定强度, 通过“补救注浆管”进行注浆, 考虑到注浆的有效性, 建议补救注浆的注浆量按原设计注浆量的两倍考虑。桩基静载荷试验结果显示, 通过桩侧成孔补救注浆后, 桩基的单桩竖向抗压承载力不低于正常注浆桩基的单桩竖向抗压承载力。

关键词: 桩端后注浆; 补救方法; 桩侧成孔; 软土; 灌注桩; 静载荷试验

中图分类号: TU473.1+4

文献标识码: A

文章编号: 2096-7195(2024)02-0172-06

Remedial method and effect verification for post-grouting failure at pile tip in soft soil area

WEI Jian-hua^{1,2}, LI Xiang^{1,2}, WEI Jia-qi^{1,2}

(1. SGIDI Engineering Consulting (Group) Co., Ltd., Shanghai 200093, China;

2. Shanghai Geotechnical Engineering Technical Service Platform, Shanghai 200093, China)

Abstract: Based on the practice of remediation for the failure of post-grouting at the pile tip in a Shanghai soft soil area project, a method of post-grouting remedial construction was proposed, which involves embedding grouting pipes by forming holes at the pile side. The method includes the following steps: (1) Form two remedial holes symmetrically on the pile side as close as possible to the existing pile, controlling verticality by using steel casing during hole formation. (2) Embed two grouting pipes, one of which extends to the pile bottom and is equipped with a grouting device that includes a backstop function for grouting, referred to as the “remedial grouting pipe”. This pipe is wrapped with approximately 1.0 m of isolation material to avoid blockage during hole sealing. The other pipe is located above the isolation section and 1.0 m above the pile bottom for hole sealing, referred to as the “hole sealing grouting pipe”. (3) Seal the hole with a cement-water glass double liquid grouting through the “hole sealing grouting pipe”. (4) After the cement-water glass double liquid grouting reinforcement reaches a certain strength within 48 h, perform grouting through the “remedial grouting pipe”. Considering the effectiveness of grouting, it is recommended that the volume of remedial grouting should be considered as twice the original design grouting volume. The static load tests results of the pile foundation show that the vertical bearing capacity of a single pile of the remedial grouting pile foundation by forming holes at the pile side is not lower than that of a single pile of the normal grouting pile foundation.

Key words: post-grouting at pile tip; remedial method; hole forming at pile side; soft soil; cast-in-place pile; static load test

收稿日期: 2022-12-09

作者简介: 魏建华(1974—), 男, 江西南昌人, 教授级高级工程师, 注册土木工程师(岩土), 主要从事岩土工程设计咨询和技术研发工作。

E-mail: skywei1974@163.com。

0 引言

灌注桩桩端后注浆技术通过桩端注浆加固可以解决桩端沉渣及持力层受成孔工艺扰动问题,同时通过浆液上返加固桩侧泥皮软弱面,改善桩成孔时桩侧应力释放发生的应力松弛^[1]。然而由于桩端后注浆施工工艺较为复杂,涉及注浆管自身的连接、开塞、注浆管与钢筋笼的绑扎等步骤,并且后注浆的施工与灌注桩施工在工艺流程上存在交叉,因此在实际施工过程中,一旦某个施工步骤发生问题,就极易容易发生注浆管堵塞而无法注浆的情况,从而达不到原设计的意图。

对于试桩或者工程桩来说,一旦注浆管堵塞或发生其他情况导致注浆未能达到既定的注浆压力和注浆量要求,则可能导致试桩结果不理想或者工程桩质量不合格,一般需采用一定的技术手段进行补注浆^[2-8]。

目前常用的补救方法包括:(1)击穿声测管注浆法。如桩身预埋声测管,则可利用微型钻头击穿声测管进行补充注浆。(2)钻芯法^[9-10]。即通过钻芯至桩端的方法进行封孔注浆。然而大多数情况下桩基不会布置声测管。另外如采用钻芯法进行补救,对桩基自身的垂直度以及钻芯的垂直度要求较高,如桩较长,钻芯时容易偏出桩身,达不到取芯至桩

端重新埋设注浆管进行后注浆的目的。

结合近年来的后注浆项目经验,本文梳理总结了软土地层某后注浆项目失效后的补救处理方法和经验,并且其有效性得到了试桩的验证支持,可以为类似工程项目的处理提供借鉴。

1 工程问题

本项目位于上海市闹市区,项目主要为4栋29~31层住宅楼,设置3层地下室,基坑开挖深度约11.5 m,桩基设计采用灌注桩+桩端后注浆方案,桩径800 mm,桩端入土深度59.5 m,有效桩长48 m,桩端持力层为⑧₂₋₂粉砂层,桩端后注浆量设计为2 t(水泥重量),设计要求单桩竖向抗压承载力特征值不低于4 700 kN。设计拟采用3根试桩验证单桩竖向抗压承载力情况,设计试桩从地面起算,考虑到地库范围内的负空段侧摩阻力,试桩的极限抗压承载力按10 000 kN施加。然而,实际后注浆施工过程中,发现其中一颗试桩YSZ1-1预埋的注浆管均无法注浆,导致设计意图无法实现。针对这种情况本文提出了一种桩端后注浆失效补救方法并进行了效果验证。

表1为场地土层分布情况一览表,图1为典型分层静力触探折线图,从表1中可以看出,有效桩长范围内,除局部为⑦层砂性土外,其余主要为软土地层,且桩端持力层处于较好的砂性土地层。

表1 场地土层分布情况一览表
Table 1 Distributions of soil layers on the site

土层编号	土层名称	层底埋深/ m	土层厚度/ m	平均厚度/ m	平均比贯入阻力 P_s 值/MPa	标贯击数 N /击
① ₁	填土	1.1~4.9	1.1~4.9	2.45	—	—
② ₁	黏质粉土夹粉质黏土	2.8~4.2	0.4~3.0	1.47	1.33	4.9
② ₃₋₁	砂质粉土	6.8~10.0	2.5~8.0	5.05	2.02	6.6
② ₃₋₂	粉砂	8.8~11.2	1.6~5.1	2.96	5.61	11.5
④	淤泥质黏土	10.6~12.6	3.2~5.4	4.23	0.67	—
⑤ ₁	粉质黏土	14.8~16.8	6.5~16.6	12.34	1.04	4.1
⑤ ₂	黏质粉土夹粉质黏土	23.0~32.5	3.0~5.8	4.49	2.50	—
⑥	粉质黏土	23.0~32.5	0.9~6.2	3.37	2.44	18.4
⑦ ₁	砂质粉土	28.3~34.5	0.5~7.4	3.35	7.26	32.0
⑦ ₂	粉砂	34.2~37.1	3.6~6.5	5.51	16.82	49.4
⑧ ₁	粉质黏土	40.2~42.8	6.8~10.8	8.72	2.00	8.3
⑧ ₂₋₁	粉质黏土夹粉砂	53.7~58.5	2.7~10.2	4.93	3.43	17.3
⑧ ₂₋₂	粉砂	58.5~69.1	4.1~14.2	7.72	11.01	37.9
⑧ ₂₋₃	粉质黏土、粉砂互层	66.0~69.5	2.0~7.9	5.49	5.53	27.3
⑨ ₁	细砂	80.0~81.0	10.5~17.2	14.56	—	>50

土层编号	土层名称	层底埋深/ m	土层厚度/ m	平均厚度/ m	平均比贯入阻力 P_s 值/MPa	标贯击数 N /击
⑨ ₂	含砾中粗砂	84.2~87.9	5.8~7.8	6.48	—	>50
⑩	黏土	未钻穿	未钻穿	未钻穿	—	—

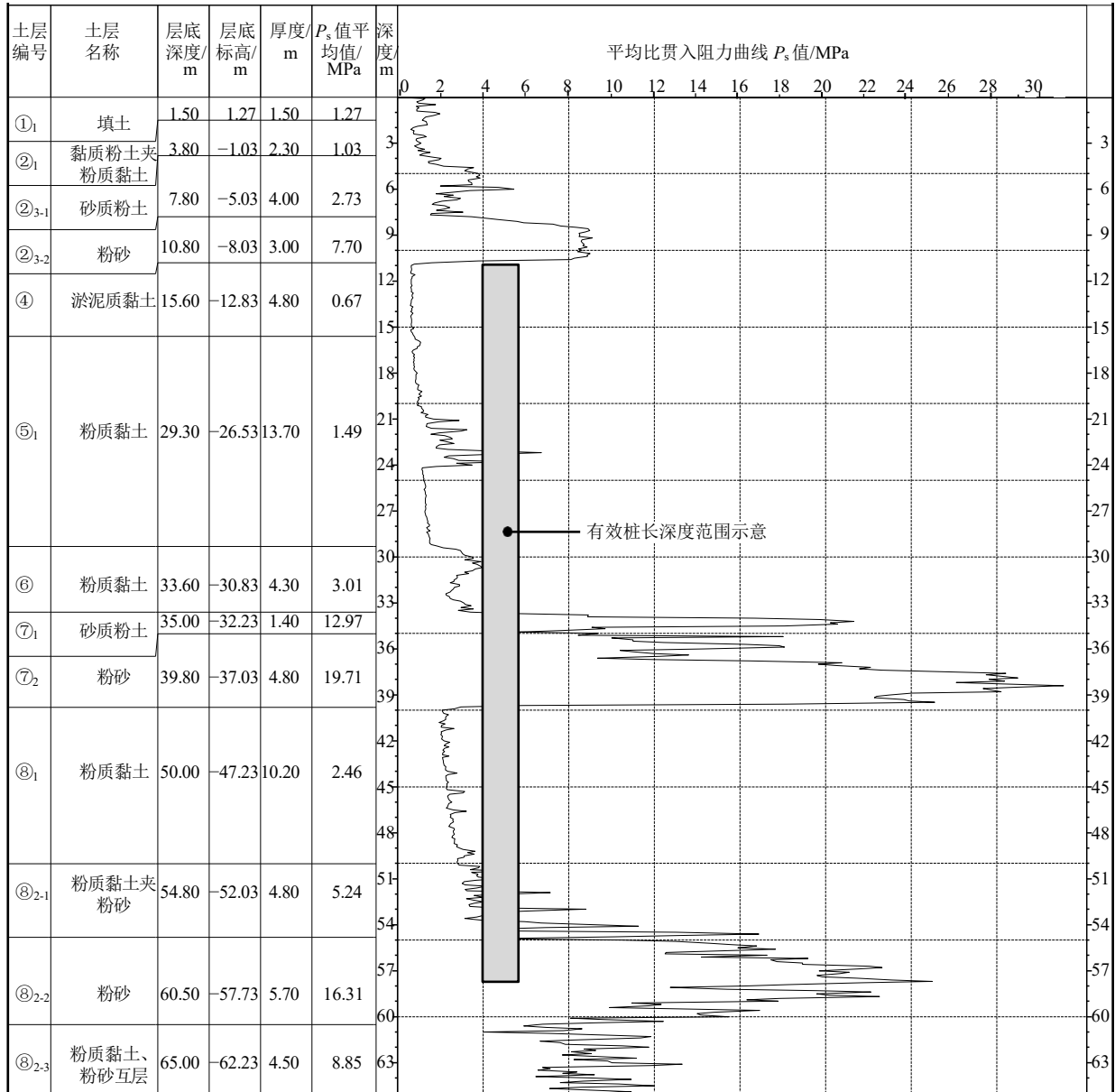


图1 典型分层静力触探折线图
Fig. 1 Typical layered CPT charts

2 补救方案设计及方案实施

2.1 方案设计

本项目试桩兼做工程桩，试桩期间由于缺乏监管，YSZ1-1号试桩桩身内预埋的注浆管均堵塞无法注浆，需采取补救措施，确保后注浆的成功，为此提出如下的桩侧引孔补注浆方案。

(1) 根据YSZ1-1号试桩孔径测试曲线图，在距离桩侧壁20cm处，采用GXY-2型地质钻机对

称钻两个直径130mm的小孔(如图2所示)，采用膨润土配制原浆钻进成孔，深度低于设计桩基底标高1m。

(2) 为确保引孔至桩端附近，钻孔时应控制垂直度，本项目要求成孔时下放 $L=15\text{m}$ 、 $d=130\text{mm}$ 的无缝钢管套管，以控制钻孔的垂直度。

(3) 成孔完成拔出钻杆后，在所成孔中心放置两套DN32注浆管，壁厚不低于3.2mm。其中，第一根注浆管作为“补救注浆管”，插入桩底端1m左右，

底部安装注浆器, 并用水泥袋缠绕包紧, 形成长度 1 m、直径约 80 mm 的“隔离保护止浆段”; 第二根注浆管作为“封孔注浆管”, 第二根注浆管底部比第一根注浆管底部浅 1 m, 位于隔离止浆段以上。

(4) 注浆管安装到位后, 于“封孔注浆管”顶部安装三通过接头, 于三通两侧使用注浆泵和洗车泵, 同步泵入水泥和水玻璃浆液, 封孔时注浆流量控制在 20 L/min 以内, 待孔内护壁泥浆被完全置换为青色的水泥浆液时, 停止注浆, 封孔完成。

(5) 待封堵 2 d 后, 利用“补救注浆管”进行注浆, 补救注浆浆液水灰比控制在 0.50~0.55 之间, 注浆终止压力不低于 2.0 MPa, 注浆速率不大于 40 L/min, 桩侧两个孔共计补入 4.0 t 水泥。

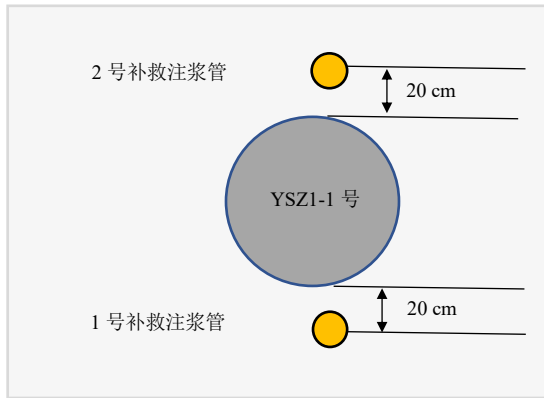


图 2 桩侧补救钻孔位置示意图

Fig. 2 Location of remedial drilling at pile side

2.2 实施过程

笔者提出了桩侧引孔补注浆方案, 注浆器隔离止浆段的做法以及桩侧引孔成孔及封孔补救施工过程如图 3~4 所示。待桩侧 1 号和 2 号孔封孔完成 2 d 后, 分别于桩侧 2 号孔内补救注浆管及 1 号孔内补救注浆管进行补救注浆施工, 如图 5 所示, 其中 2 号孔内补注入 1.5 t 水泥、1 号孔内补注入 2.5 t 水泥, 共计补入水泥 4.0 t。



图 3 注浆器隔离止浆段做法

Fig. 3 Isolation segment for grouter



(a) 成孔



(b) 双液注浆封孔



(c) 封孔完成

图 4 桩侧引孔成孔及封孔补救施工过程

Fig. 4 Working procedures on site



图 5 补救注浆施工

Fig. 5 Remedial post-grouting construction

2.3 过程记录

在补注浆过程中, 对注浆量及注浆压力采用人工记录的手段进行了全程记录, 注浆压力-注浆量发展曲线如图 6 所示。可以看出: 在 2 号管内注入 1.5 t 水泥停止注浆后, 于 1 号管内继续注浆时, 注浆压力记录表现出连续性, 说明在 2 号管内注入 1.5 t 水泥后, 水泥浆已经通过桩端并渗入至 1 号管附近, 从而形成了压力联通, 说明桩端得到有效的注浆加固, 桩侧补注浆实施较为成功。

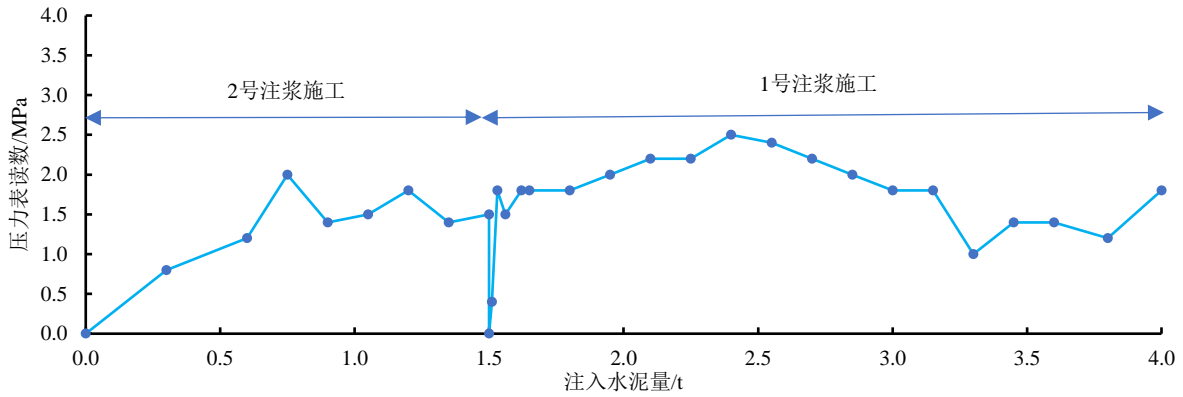


图6 注浆压力-注浆量发展曲线

Fig. 6 Development curve of grouting pressure-grouting volume

3 试桩结果分析

试桩结果如表2所示。

依据试桩数据结果绘制的单桩竖向静载荷试验荷载-沉降曲线如图7所示，3根试桩的 $p-s$ 曲线均未出现明显拐点^[11]，说明单桩竖向抗压极限承载力均达到最大加载量 10 000 kN 要求。此外，试桩卸载至 0 后，回弹率、残余沉降量较小，说明 3 根试桩均未达到极限状态，单桩承载力仍有较大富余量。

对比图7的试桩结果可以看出，在总注浆量提高一倍的情况下，采用桩侧引孔补救注浆的工程桩 YSZ1-1 号，其单桩竖向抗压承载力不低于常规后注浆工艺下单桩竖向抗压承载力。最大加载量工况下，采用桩侧引孔补救注浆的 YSZ1-1 号的基桩刚度为 780 MN/m，相较于正常注浆试桩 YSZ1-2 号的 471.7 MN/m 以及 YSZ1-3 号的 576.7 MN/m，YSZ1-1 号的基桩刚度更高，说明采用桩侧引孔的方式对因注浆管堵塞失效而无法注浆的情况进行补救注浆是行之有效的。

表2 试桩结果

Table 2 Results of tested piles

桩号	最大加载量/kN	最大沉降量/mm	残余沉降量/mm	回弹量/mm	回弹率/%
YSZ1-1	10 000	12.81	2.80	10.01	78.1
YSZ1-2	10 000	21.20	7.17	14.03	66.2
YSZ1-3	10 000	17.34	5.34	12.00	69.2

注：表中 YSZ1-1 为补救注浆试桩，YSZ1-2、YSZ1-3 为正常注浆试桩。

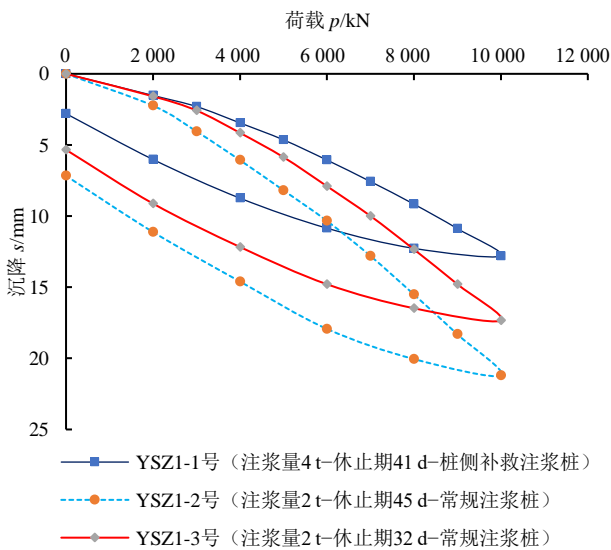


图7 单桩竖向静载荷试验荷载-沉降曲线图

Fig. 7 Load-settlement curves of static load test of pile

4 结论

本文结合软土地区某灌注桩后注浆施工的工程实例，介绍了一种由于注浆管堵塞导致常规后注浆工艺无法实施情况下进行桩侧引孔补救注浆的方法，并通过注浆压力的联通性以及静载荷试验结果分析，验证了该方法的有效性，说明该方法可以作为类似问题的处理方法。

桩侧引孔补救注浆的主要实施步骤如下：（1）尽量贴近既有桩基于桩侧对称成两个补救孔；（2）每孔埋设两根注浆管，一根称为“补救注浆管”，伸入桩底用于注浆（端部有带逆止功能的注浆器），另一根称为“封孔注浆管”，伸入桩底以上 1 m，预埋用于封孔；（3）通过“封孔注浆管”进行水泥-水玻璃双液注浆封孔；（4）封孔 48 h 后，待水泥-水玻

璃双液注浆加固体达到一定强度,通过“补救注浆管”进行注浆。

参考文献

- [1] 王卫东, 吴江斌, 李进军, 等. 桩端后注浆灌注桩的桩端承载特性研究[C]//第八届桩基工程学术年会论文集汇编. 上海, 2007: 75-80.
WANG Wei-dong, WU Jiang-bin, LI Jin-jun, et al. Research on bearing characteristics of post-grouting pile at pile end[C]//Compilation of Papers at the 8th Academic Annual Conference on Pile Foundation Engineering. Shanghai, 2007: 75-80.
- [2] 朱奎. 桩基质量事故分析与对策[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.
ZHU Kui. Analysis and Countermeasures of Pile Foundation Quality Accidents[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2009.
- [3] 肖道平, 王爱平, 熊升. 钻孔灌注桩断桩事故的处理与原因分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2006(7): 20-21.
XIAO Dao-ping, WANG Ai-ping, XIONG Sheng. Treatment and cause analysis of broken pile accident of bored pile[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2006(7): 20-21.
- [4] 陈雪峰. 高压注浆在桩端持力层补强加固处理的应用[J]. 施工技术, 2019, 48(增刊): 216-218.
CHEN Xue-feng. Application of high pressure grouting in reinforcement treatment of pile end bearing layer[J]. Construction Technology, 2019, 48(S): 216-218.
- [5] 谢兆华, 张小军, 蒋祖浩. 高压旋喷处理灌注桩桩端沉渣[J]. 西部探矿工程, 2004(6): 26-27.
XIE Zhao-hua, ZHANG Xiao-jun, JIANG Zu-hao. Treatment of sediment at the end of cast-in-place pile by high pressure jet grouting[J]. West-China Exploration Engineering, 2004(6): 26-27.
- [6] 蒋祖浩. 高压旋喷与风力清孔联合工艺处理灌注桩桩端沉渣[J]. 岩土工程界, 2002, 5(9): 32-33.
JIANG Zu-hao. The combined process of high-pressure jet grouting and wind hole cleaning to treat the sediment at the end of cast-in-place pile[J]. Geotechnical Engineering World, 2002, 5(9): 32-33.
- [7] 刘金波, 郭金雪, 张寒, 等. 灌注桩承载力不满足要求处理原则、方法及案例[J]. 施工技术, 2017, 46(12): 160-165.
LIU Jin-bo, GUO Jin-xue, ZHANG Han, et al. Treatment principle and approach of bearing capacity of cast-in-place pile can't meet the requirement and case[J]. Construction Technology, 2017, 46(12): 160-165.
- [8] 刘陈希, 肖育民. 低应变法在基桩高压注浆补强加固效果检测中的应用[J]. 广州建筑, 2019, 47(1): 34-36.
LIU Chen-xi, XIAO Yu-min. Application of low strain method in detecting reinforcement effect of foundation piles by high-pressure grouting[J]. Guangzhou Architecture, 2019, 47(1): 34-36.
- [9] 宋兵, 徐明江, 谭灵生. 基桩钻芯法检测系统的开发与应用[J]. 广州建筑, 2019, 47(5): 25-29.
SONG Bing, XU Ming-jiang, TAN Ling-sheng. Development and application of pile core drilling test system[J]. Guangzhou Architecture, 2019, 47(5): 25-29.
- [10] 杨集川. 浅谈声波透射法和钻芯法在大直径混凝土灌注桩检测中的应用[J]. 广州建筑, 2018, 46(3): 31-34.
YANG Ji-chuan. Discussion on the application of acoustic transmission and core drilling methods to the inspection of large diameter concrete cast-in-place piles[J]. Guangzhou Architecture, 2018, 46(3): 31-34.
- [11] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 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 Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Technical Code for Building Pile Foundations: JGJ 94—2008[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2008.