

# PHC 与 CFG 复合桩在郑州航空港区的应用

王 刚<sup>1,2</sup>, 赵建粮<sup>1,2</sup>, 王 烁<sup>3</sup>

(1.河南省地矿局第二地质环境调查院,河南 郑州 450053;

2.河南省深部探矿工程技术研究中心,河南 郑州 450053; 3.河北地质大学,河北 石家庄 050031)

**摘要:**论述了 PHC 管桩和 CFG 桩的特点及适用条件。根据郑州航空港经济综合实验区护航中心工程建设场地的工程地质条件,分析了单一采用 PHC 管桩、CFG 桩复合地基及钻孔灌注桩所存在的问题。根据地质条件和建筑物荷载情况,论述了选择 PHC 管桩与 CFG 桩复合应用的可行性、合理性。介绍了 PHC 与 CFG 复合桩在护航中心工程的施工技术及优化,分析了应用效果和遇到的问题,提出了解决问题的思路,创造了良好的效益。

**关键词:**PHC 管桩;CFG 桩;基础选型;复合桩;桩基检测

**中图分类号:**TU473.1<sup>+</sup>4 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2020)03-0059-05

## Application of PHC and CFG composite piles in the Zhengzhou Aviation Port area

WANG Gang<sup>1,2</sup>, ZHAO Jianliang<sup>1,2</sup>, WANG Shuo<sup>3</sup>

(1.No.2 Institute of Geo-environment Survey of Henan, Zhengzhou Henan 450053, China;

2.Henan Engineering Research Center of Deep Exploration, Zhengzhou Henan 450053, China;

3.Hebei GEO University, Shijiazhuang Hebei 050031, China)

**Abstract:** The characteristics and applicable conditions of PHC pipe piles and CFG piles are discussed. Based on the engineering geological conditions at the construction site of the Escort Center of the Zhengzhou Aviation Port Economic Comprehensive Experimental Zone, analysis is made of the problems with separate use of PHC pipe piles, the CFG pile composite foundation and bored cast-in-place piles. In regard to the geological condition and the load condition of the building, the feasibility and rationality of selecting the combination of the PHC pipe pile and the CFG pile are discussed. This paper introduces the construction technology and optimization of the PHC and CFG composite pile for the Escort Center project. The application results and the problems encountered are analyzed with the approach to solve the problems put forward, which has produced good returns.

**Key words:** PHC pipe pile; CFG pile; selection of foundation type; composite pile; inspection of pile foundation

## 0 引言

PHC 管桩是一种预应力高强度空心混凝土桩,CFG 桩是一种低强度实心混凝土桩,两种桩的性质不同,适用条件和应用效果也不同。受地质条件和施工机械的制约,其中一种桩型往往不能满足上部结构荷载的要求,或是造价不经济,需要复合应用。两种桩复合应用<sup>[1]</sup>,独自发挥自身优点,不仅解决了施工中的难题,还会有较好的技术性能和应用效果。郑州航空港经济综合实验区是全国首个国家级航空港经济综合实验区,规划面积 415 km<sup>2</sup>。随着郑州航空港区建设的发展,越来越多的高层建筑在建设

之中,建筑物对基础的要求也越来越高。本文总结郑州航空港区护航中心项目采用 PHC 管桩与 CFG 桩的复合桩的应用情况,论述了遇到的问题和解决问题的思路,创造了良好效益,为今后该地区类似工程的基础选型和施工提供参考。

## 1 场地工程地质条件

### 1.1 地形地貌

郑州航空港经济综合实验区位于郑州市的东南部。护航中心项目场地位于郑州航空港区梅河路与黄海路西北角,地形平坦,地貌单元属于黄淮河冲洪

收稿日期:2019-12-31; 修回日期:2020-02-25 DOI:10.12143/j.tkgc.2020.03.010

作者简介:王刚,男,汉族,1971 年生,副院长,正高级工程师,国家一级建造师,水文地质与工程地质专业,河南省郑州市南阳路 56 号河南地矿大厦,wanggang20058@126.com。

引用格式:王刚,赵建粮,王烁.PHC 与 CFG 复合桩在郑州航空港区的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(3):59-63.

WANG Gang, ZHAO Jianliang, WANG Shuo. Application of PHC and CFG composite piles in the Zhengzhou Aviation Port area[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(3):59-63.

积平原<sup>[6]</sup>。

## 1.2 地质条件

场地浅部地层主要为第四系全新世、上更新世黄河冲洪积形成的粉砂、粉土、细砂、粉质粘土等土层,自上而下分别为:

第①<sub>1</sub>层,杂填土  $Q_4^{ml}$ ,成分以粉土为主,含建筑垃圾,层底埋深 1.4~3.3 m;

第①层,粉砂夹粉土  $Q_4^{ml}$ ,黄褐色,稍湿,稍密,局部夹粉土薄层,层底埋深 2.1~6.5 m;

第②层,粉砂  $Q_4^{al}$ ,黄褐色,湿—饱和,稍密—中密,层底埋深 6.4~10.5 m;

第③层,粉土  $Q_4^{al}$ ,黄褐色,饱和,中密—密实,含少量钙质结核,层底埋深 9.5~14.8 m;

第④层,细砂  $Q_4^{al}$ ,黄褐色,饱和,中密—密实,局部夹粉砂,层底埋深 18.5~23.0 m

第⑤层,粉质粘土  $Q_3^{al}$ ,红褐色,可塑—硬塑,含钙质结核,局部富集,层底埋深 26.0~31.0 m。

地下水类型属于孔隙潜水,水位埋深 5.3~8.8 m,年变幅 2.0~3.0 m,受季节性大气降水和人工开采影响较大。

## 1.3 岩土工程参数

根据工程勘察资料,场地浅部地基土层的岩土工程参数见表 1。

表 1 地基土层岩土参数

Table 1 Geotechnical parameter of ground

层号	岩性	质量密度 $\rho/(g \cdot cm^{-3})$	天然孔隙比 $e$	承载力特征值/kPa	压缩模量 $E_{s0.1-0.2}/MPa$	压缩性
①	粉砂夹粉土	1.99	0.606	130	11.5	中
②	粉砂			160	14.5	中
③	粉土	2.02	0.603	130	8.0	中
④	细砂			180	16.5	低
⑤	粉质粘土	1.94	0.71	200	8.0	中

## 1.4 桩基设计参数

场地各土层采用 CFG 桩复合地基和钻孔灌注桩的设计参数见表 2。

## 2 地基基础选型论证

郑州航空港区护航中心项目的指挥中心为地下 1 层地上 15 层,框架—剪力墙结构,筏板基础。可采用的基础选型有:钻孔灌注桩、CFG 桩复合地基、静压预制管桩及 PHC 与 CFG 复合桩。采取哪种基础形式,应根据建筑结构类型、荷载情况、桩的使

表 2 混凝土桩设计参数

Table 2 Design parameters of concrete piles

层号	岩性	CFG 桩复合地基		钻孔灌注桩桩基础	
		桩侧摩阻力 $q_{sk}/kPa$	桩端端阻 力 $q_{pk}/kPa$	极限侧阻力 $q_{sk}/kPa$	极限端阻 力 $q_{pk}/kPa$
①	粉砂夹粉土	15		30	
②	粉砂	17		54	
③	粉土	25		50	
④	细砂	32	450	64	900
⑤	粉质粘土	35	500	70	1000

用功能、穿越土层、桩端持力层、施工设备、施工环境等,按照安全适用、经济合理的原则选择<sup>[7]</sup>。

## 2.1 PHC 与 CFG 复合桩概述

### 2.1.1 PHC 管桩的特点

PHC 管桩是采用先张预应力离心成型工艺,经过 1 MPa、180 °C 左右的蒸汽养护制成的一种空心圆筒型混凝土预制桩,混凝土强度等级  $\geq C80$ ,通过静压或锤击的方式压入土体。由于对地基土的挤压作用,管桩的桩端承载力比原状土可提高 70%~80%,桩侧摩阻力可提高 20%~40%。管桩施工方法有锤击和静压两种,前者是通过压桩机的自重和桩架上的配重作反力将桩压入土中的一种沉桩工艺,后者是采用锤击方式将桩打入土层。锤击法沉桩时震动剧烈,噪声大,对周边环境影响大,且因锤击力的冲击和反射,桩体受到较大的压应力波和拉应力波,容易使桩头、接头等薄弱处产生裂纹,影响管桩质量。静压法<sup>[2]</sup>是慢而均匀的加载,无冲击和反射应力波,应力小易控制,且无震动、无噪声,适合在对噪声有限制的环境施工,沉桩深度和施工效率小于锤击法。最初,锤击法在国内占主导地位,随着大吨位(6800 kN)压桩机的问世和静压沉桩工艺的逐步完善,在环保意识日益增强的现今社会,静压法的优势越来越明显,有望取代锤击法。

### 2.1.2 CFG 桩的特点

CFG 桩(水泥粉煤灰碎石桩)是由碎石、石屑、砂、粉煤灰掺水泥加水拌和,用长螺旋钻机<sup>[3]</sup>等成孔灌注后形成的桩,是一种低强度混凝土桩,可根据需要插入钢筋笼。目前,CFG 桩多采用长螺旋钻机成孔,管内泵压灌注混凝土,桩顶加褥垫层<sup>[4]</sup>后作为复合地基被应用。CFG 桩成孔深度可达 30.0 m,能根据需要调整桩长,充分利用桩和桩间土的共同作用将荷载传递到深层地基中去,具有较好的技术性能和应用效果。CFG 桩适用于粘性土、粉土、砂土

和桩端具有相对硬土层、承载力标准值  $< 70$  kPa 的淤泥质土、非欠固结填土等<sup>[5]</sup>,对地层适用性强。

### 2.1.3 PHC 与 CFG 复合桩

PHC 与 CFG 复合桩是在 CFG 桩成桩后、桩身混凝土尚未凝固之前,在桩体内插入一定长度的 PHC 管桩,最终形成高强度芯桩与低强度扩体桩相结合的复合桩体结构。这样,既可以使两种不同桩型共同发挥作用,又可以解决单一桩型所不能解决的问题。

## 2.2 技术可行性分析

建设场地浅部砂层较多,第④层细砂及以下土层的承载力高、分布稳定、厚度大、压缩性低,是良好的桩端持力层。第②层为粉砂,第④层为细砂,CFG 桩施工时易塌孔、穿孔,灌注混凝土时会有超方现

象。第③层粉土局部含有钙质结核,第⑤层含大量钙质结核且局部呈半胶结状态,对钻头损耗较大,施工进度缓慢。第③层粉土局部含有钙质结核,第④层为中密—密实的细砂,静压桩沉桩施工非常困难,且有效桩长难以保证。因此,PHC 管桩和 CFG 桩复合地基都不是理想的选择方案。钻孔灌注桩施工对各类地层适用性相对较强,但工程造价高。采用 PHC 与 CFG 复合桩,可以通过 CFG 桩施工工艺保证有效桩长,并利用 PHC 管桩的桩身强度提高单桩承载力,是一种新技术。

## 2.3 工程经济对比分析

根据施工环境,对 CFG 桩复合地基、钻孔灌注桩基础、PHC 与 CFG 复合桩工程造价的预算见表 3。

表 3 几种类型基础工程造价  
Table 3 Costs of several types of foundation

序号	项目名称	特征描述	单位	单价/元	工程量	子项造价/元	总造价/元
CFG 桩复合地基	CFG 桩	直径 400 mm,长 12 m,C25	m	141.5	18000	2547000	4569750
	筏板含褥垫层	厚度 1 m,C30	m <sup>2</sup>	899.0	2250	2022750	
钻孔灌注桩	钻孔灌注桩	直径 600 mm,长 15 m,C30	m	598.5	13350	7989975	7989975
PHC 与 CFG 复合桩	CFG 桩	直径 600 mm,长 9 m,C15	m	301.0	5013	1508913	2411253
	PHC 管桩	直径 400 mm,长 9 m,C80	m	180.0	5013	902340	

通过工程造价对比,钻孔灌注桩施工成本最高,除其他基础型式不能满足上部荷载要求的情况外,一般不在考虑范围之内,PHC 与 CFG 复合桩则是最经济的基础选型。

## 3 PHC 与 CFG 复合桩设计与施工

### 3.1 PHC 与 CFG 复合桩设计

根据建筑物荷载情况和地质条件,设计采用扩体桩内插芯桩的 PHC 与 CFG 复合桩基础型式,单桩竖向承载力特征值  $R_a < 1300$  kN。扩体桩采用 CFG 桩,桩径 600 mm,有效桩长 9.0 m,桩身混凝土强度等级 C15,桩端持力层为第④层细砂。在 CFG 桩施工完成后内插芯桩,芯桩采用 PHC 管桩,桩径 400 mm,有效桩长 9.0 m,桩身混凝土强度 C80。要求进入桩尖要穿透细石混凝土进入持力层,且最终桩身抱压压桩力  $< 3300$  kN 或顶压压桩力  $< 3800$  kN。

### 3.2 PHC 与 CFG 复合桩施工

根据现场施工环境,CFG 桩采用 CFG18 型步履式桩机,长螺旋成孔施工工艺,桩身垂直度控制偏差为 0.5%,泵送压灌 C15 细石混凝土,混凝土塌落

度 160~180 mm<sup>[8]</sup>。PHC 管桩采用 HJYZ320 型静压桩机静压法施工,桩体为 PHC400AB95 型管桩,桩身垂直度控制偏差为 0.5%,在设计最大压桩力下复压 3 次<sup>[2]</sup>。

## 3.3 设计与施工的优化

施工中发现静压法施工效率偏低,根据实际情况结合地质条件将设计桩长进行了优化:扩体桩(CFG 桩)桩长调整为 7.0 m,芯桩(PHC 桩)桩长调整为不小于 7.5 m;PHC 桩施工工艺由静压法调整为锤击法,沉桩由抱桩压力控制调整为贯入度控制,贯入度满足 20 mm/10 击,且要求桩尖进入要穿透 CFG 桩的细石混凝土且进入持力层原状土不小于 0.5 m。

## 4 应用效果分析

### 4.1 测桩结果

桩基施工完成后随机抽取达到龄期的 PHC 与 CFG 复合桩进行静载荷试验<sup>[9]</sup>,其中 135 号桩和 13 号桩分别代表设计与施工优化前、后桩的检测结果,测桩曲线见图 1 和图 2。

### 4.2 应用效果分析

根据具有代表性的 135 号桩和 13 号桩检测结

果,本工程 PHC 与 CFG 复合桩设计与施工优化前 后桩基情况对比见表 4。

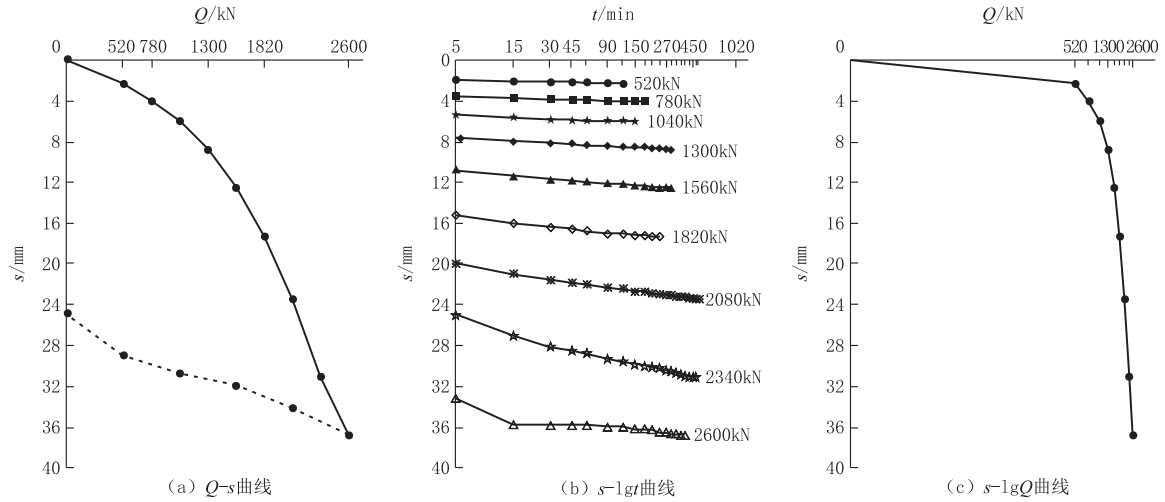


图 1 135 号桩(优化前)荷载试验曲线

Fig.1 Load test curve of No. 135 pile (before optimization)

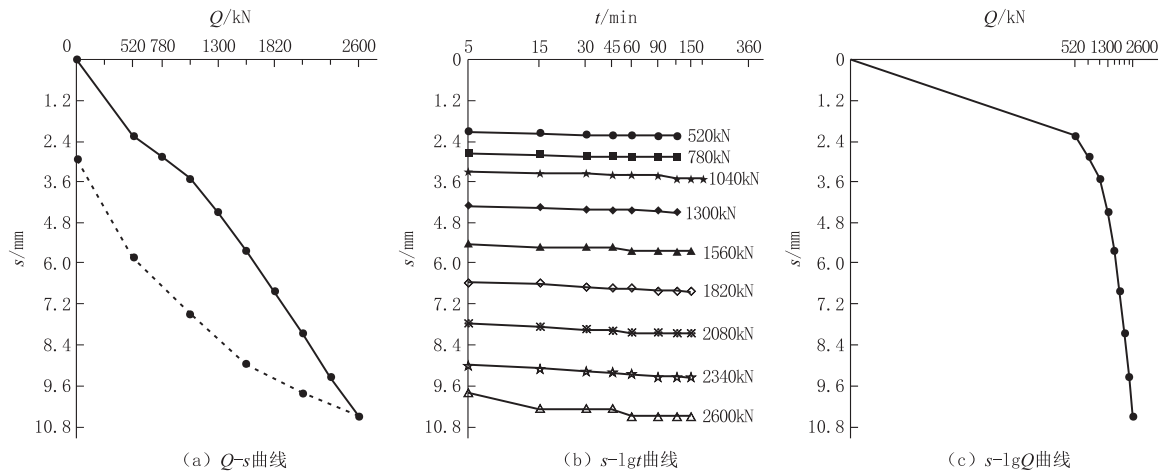


图 2 13 号桩(优化后)荷载试验曲线

Fig.2 Load test curve of No. 13 pile (after optimization)

表 4 优化前后 PHC 与 CFG 复合桩应用情况

Table 4 Application of composite piles before and after optimization

桩号	桩顶标高/m	CFG 桩长/m	PHC 桩长/m	最大沉降/mm	弹性变形量/mm	最大加载/kN	备注
135	-7.2	9.0	9.0	36.75	11.70	2600	抱桩压力 3600 kN
13	-7.2	7.0	7.5	10.49	7.52	2600	贯入度 20 mm/10 击

通过对比可知,同样的加载条件下(抱桩压力或贯入度)设计与施工工艺优化后的单桩最大沉降量大幅度降低,且弹性变形的比例明显提高。分析可知,设计优化前是一种等芯复合桩,设计优化后变成了长芯复合桩<sup>[10]</sup>。扩体 CFG 桩是长螺旋成孔工艺,成孔过程中对周边土体没有挤压作用,对桩底土体还有一定的扰动作用。芯桩 PHC 桩施工时无论

静压还是锤击都对土体有间接的挤压作用。等芯复合桩的芯桩施工过程中通过对扩体混凝土的挤压作用,只是对桩周土体间接地挤密和对桩端土体间接地压密<sup>[11]</sup>。长芯复合桩芯桩的施工过程中,由于桩尖穿透细石混凝土进入原状土一定深度,不但对桩周土体有间接挤密作用,还通过桩尖对扰动的桩端土有直接的挤密作用。长芯复合桩施工过程中对桩端土的挤密效果要大于等芯复合桩,因此单桩沉降量小,且弹性变形比例高。

设计与施工工艺优化后由于两种桩长均有所缩短,工程造价由 2411253 元下降到 1959247.5 元,比预算造价节约 18.7% 左右。沉桩工艺由静压调整为锤击后,施工效率也提高了 20% 左右。

### 4.3 应用中出现问题分析

PHC 与 CFG 复合桩进行静载试验过程中,118

号桩在加载到 2080 kN 时,沉降量骤增至 44.32 mm,没有再继续加载,测桩曲线见图 3。

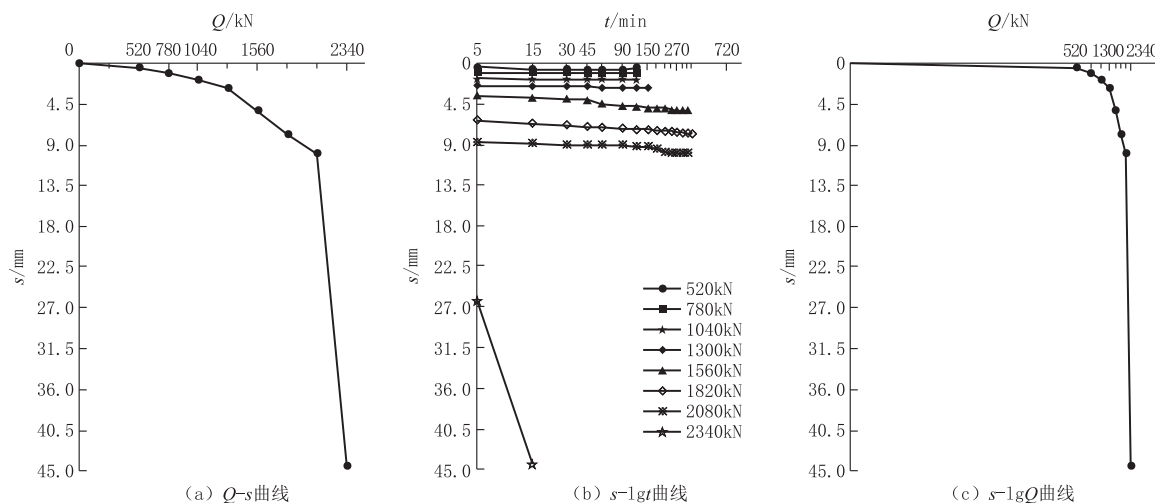


图 3 118 号桩荷载试验曲线

Fig.3 Load test curve of No. 118 pile

开挖后发现 118 号桩沉降量瞬间骤增的原因是桩帽与桩体交界部位的混凝土破碎,后通过低应变法检测 118 号桩桩身的完整性<sup>[12]</sup>,质量合格,再次进行静载荷试验,承载力满足设计要求。针对这种情况,为保证静载荷试验过程中桩帽与桩身的接触处等薄弱部位不被破坏,制作试桩桩帽时要采用高强度的特制混凝土或灌浆料,并尽量加大试桩顶部的截面积。

### 5 结语

PHC 与 CFG 复合桩在施工形成整体性的扩体结构后,不同性质的桩具有互补增强作用,可以发挥很好的应用效果。两种桩型是联合发挥作用,需要综合考虑上部荷载与场地地质条件,确定合理的扩体桩桩径、桩长与芯桩的桩径、桩长,选择采用等芯复合桩还是长芯复合桩,以创造更好的应用效果和经济效益。

### 参考文献 (References):

[1] 龚晓南.复合地基理论及工程应用[M].北京:中国建筑工业出版社,2002.  
 GONG Xiaonan. Composite foundation theory and engineering application[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2002.  
 [2] JGJ/T 394-2017, 静压桩施工技术规范[S].  
 JGJ/T 394-2017, Technical specification for method of press-in piling[S].  
 [3] JGJ/T 419-2018, 长螺旋钻孔压灌桩技术标准[S].  
 JGJ/T 419-2018, Technical standard for continuous flight auger pile[S].  
 [4] 贾瑞杰,隆威,於法明.CFG 桩复合地基褥垫层的合理厚度确定

方法研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2006,33(4):5-7.  
 JIA Ruijie, LONG Wei, YU Faming. Research on the method of rational thickness of cushion of CFG pile composite foundation[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2006,33(4):5-7.  
 [5] 张会义.CFG 桩复合地基在达旗新能源化工项目中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2006,33(4):11-13.  
 ZHANG Huiyi. Application of CFG in Daqi Xin'au Energy and Chemistry Project[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2006,33(4):11-13.  
 [6] 王刚,李莹,黄焯,等.郑州市地面沉降监测基岩标施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(4):82-86.  
 WANG Gang, LI Ying, HUANG Xuan, et al. Construction technology of bedrock mark for ground subsidence monitoring in Zhengzhou[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(4):82-86.  
 [7] JGJ 94-2008, 建筑桩基技术规范[S].  
 JGJ 94-2008, Technical code for building pile foundation[S].  
 [8] GB 51004-2015, 建筑地基基础工程施工规范[S].  
 GB 51004-2015, Code for construction of building foundation engineering[S].  
 [9] JGJ 106-2014, 建筑基桩检测技术规范[S].  
 JGJ 106-2014, Technical code for testing of building foundation piles[S].  
 [10] JGJ/T 327-2014, 劲性复合桩技术规程[S].  
 JGJ/T 327-2014, Technical specification for strength composite piles[S].  
 [11] 梁东,王刚,王华,等.灰土挤密桩处理黄土湿陷工程问题分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(2):82-84.  
 LIANG Dong, WANG Gang, WANG Hua, et al. Analysis on construction problems of lime-soil compaction pile for handling collapse in loess[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015,42(2):82-84.  
 [12] GB 50202-2018, 建筑地基基础工程施工质量验收标准[S].  
 GB 50202-2018, Standard for acceptance of construction quality of build foundation[S].

(编辑 周红军)