

沉管灌注桩竖向承载力研究

牛国生, 王斐庆, 刘 兴

(北京振冲工程股份有限公司, 北京 100102)

摘 要:以驻马店市政府搬迁区某小区的一栋民用住宅楼基础沉管灌注桩试桩的静载试验数据结果为依托,通过现场静载试验数据结果来确定单桩极限承载力标准值以及承载力特征值,对比当前《建筑桩基技术规范》(JGJ 94-2008)的计算值,提出了适合于驻马店地区沉管灌注桩设计的经验公式。该方法在保障安全、经济、适用的基础上可节约大量材料,同时也可为其他地区桩基设计提供合理的参考经验依据。

关键词:沉管灌注桩;静载试验;单桩极限承载力标准值

中图分类号:TU473.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2012)03-0065-04

Study on Vertical Bearing Capacity of Driven Grouting Pile/NIU Guo-sheng, WANG Fei-qing, LIU Xing (Beijing Vibroflotation Engineering Co., Ltd., Beijing 100102, China)

Abstract: Relying on the data of static load test on test pile in the foundation of a residential building of Zhumadian and by the field data of static load test, the standard value of ultimate bearing capacity of single pile and the characteristic value of bearing capacity were determined. Comparing to the calculated value in Technical Code for Building Pile Foundations(JGJ 94-2008), empirical formula proper to the driven grouting pile design in Zhumadian area was put forward, which could ensure safe and economic construction with production materials saving, and could be the reference to other pile foundation design.

Key words: driven grouting pile; static load test; standard value of ultimate bearing capacity of single pile

0 引言

静压沉管灌注桩由于具有造价低、工期短、施工简便等特点,近年来已经得到了广泛的应用。沉管灌注桩属于挤土灌注桩,桩尖在竖向作用下对四周的土体进行挤压,改变土体的结构排列,使周围土层挤密,桩管由此迅速沉入土中,形成桩孔,然后放入钢筋笼,浇注桩身混凝土,拔出钢管形成所需的灌注桩。与此同时,静压沉管灌注桩受地质条件限制,出现断桩、缩径等问题^[1]却日益突出,这就要求地区应用推广前,必须检测基桩竖向抗压承载力,为工程质量控制提供可靠的、准确的检测数据。

沉管灌注桩具有设备简单、施工方便、操作简单、造价低,无泥浆污染;施工速度快、工期短,随地质条件变化适应性强等优点。其缺点是:由于桩管直径的限制,影响单桩承载力,承载力偏差较大,施工方法和施工工艺不当,将会造成缩颈、断层、断桩、夹泥和吊脚等质量问题,遇淤泥层时处理较难,在 $N > 30$ 击的砂层沉桩困难。本次载荷试验就是对上述缺点具有针对性的解决。

就目前而言,还没有专门计算沉管灌注桩单桩极限承载力的公式,现行《建筑桩基技术规范》(JGJ

94-2008)提出的单桩极限承载力计算公式结果往往偏低,有时甚至比实际承载力小 1 倍,从而造成设计偏于保守,这会造成材料的极大浪费^[2]。通过对静压沉管灌注桩荷载作用下的荷载传递性状进行研究,利用 JCQ-503A 型静载荷测试仪观测现场荷载试验分级荷载下桩身沉降确定单桩极限承载力;利用颗粒流软件 PFC^{2D},在不考虑土体应力历史条件下,计算单桩静载试验分级荷载作用下桩身沉降,进而得到桩模型单桩承载力数值解;利用现行计算单桩承载力的规范计算公式计算分级荷载作用下单桩沉降量。根据试验数据结果分析对比试验值和数值解以及规范计算值,进而提出了适合于该地区的静压沉管灌注桩单桩承载力计算公式,也可为工程质量控制提供准确、可靠的检测数据,确保工程质量。

1 单桩竖向静载试验

1.1 试验目的和任务

通过现场试验测定单桩竖向荷载作用下的荷载及变形特征。荷载作用于桩顶,桩将产生位移(沉降),可得到每根试桩的 $Q-s$ 曲线,它是桩破坏机理和破坏模式的宏观反映。此外,静载荷试验过程

收稿日期:2011-10-25;修回日期:2012-01-05

作者简介:牛国生(1979-),男(汉族),河南人,北京振冲工程股份有限公司工程师,岩土工程专业,从事基础工程施工技术工作,北京市朝阳区望京西园 221 号博泰大厦 12 层,niuguosheng762@sohu.com。

中还可获得每级荷载下桩顶沉降随时间的变化曲线,也有助于对试验成果的分析。故以此静载荷试验数据成果来校核驻马店市政府搬迁区某小区民用住宅楼基桩承载力是否达到设计要求。

1.2 试桩及地层情况

本次静载荷试验的试桩数量为3根。因场区浅层地基土层较软,住宅楼基础设计采用沉管灌注桩,桩身混凝土强度C25,总桩数261根,试桩桩位及试桩拟建场地地层参数分别见图1、表1。

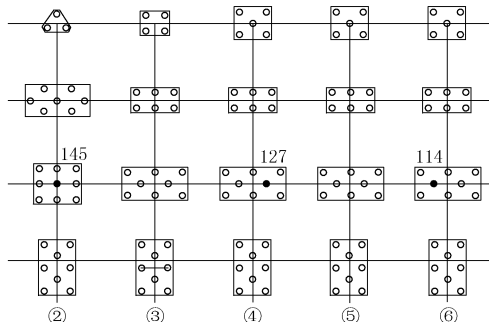


图1 静载荷试验桩位示意图

表1 场区的工程土体参数

层号	土层名称	平均厚度/m	颗粒密度/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	变形模量/MPa	粘聚力/kPa	泊松比	内摩擦角/($^{\circ}$)
②	粉质粘土	1.8	2450	3.43	4	0.27	30
③	粉土	3.5	2600	6.56	0.5	0.31	23
④	淤泥质粉质粘土	5.4	2500	3.03	1	0.25	17
⑤	淤泥质粉质粘土	3.3	2470	16.66	1.2	0.38	19
⑥	粉土夹粉砂	2.5	2580	12.33	0.05	0.35	21
⑦	粉砂夹粉土		2700	18.2	0.01	0.40	20

1.3 试桩制备及试验前的准备工作

沉管灌注桩的试桩,先凿掉桩顶部的破碎层和软弱混凝土,桩头顶面进行整平,使桩头中轴线与桩身上部的中轴线重合,桩头主筋全部直通至桩顶混凝土保护层下,各主筋在同一高度上。距桩顶1.5倍桩径范围内设置箍筋,箍筋间距为100mm,桩顶设置钢筋网片3层,间距100mm,桩头混凝土强度等级采用C30,与桩顶混凝土浇成整体,桩顶面用砂浆抹平。

1.4 试验设备及原理

基桩静载试验是通过反力装置对试验桩施加竖向荷载,通过测定特定荷载作用下桩的沉降量,分析获得所需要的有关桩的目的参数。反力装置采用锚桩主次梁法,加载通过千斤顶完成。沉降通过安装在桩顶的位移计(图2)和安装在地面上的稳定支架完成。荷载测量采用并联于千斤顶油路的压力表测

定油压,根据千斤顶率定曲线换算出荷载。当桩在荷载作用下,桩身连同桩头上位移计产生向下运动,安装在地面上的稳定支架固定不动且阻止了应变计的运动,这样使得应变计的滑动杆产生压缩,准确测定桩的沉降量。试验设备应根据试验桩的极限荷载选择,主要包括:锚桩、反力装置、仪表、加荷及观测系统、观测设备(图3)、基准装置。



图2 位移计的安装



图3 JCQ-503A型静载荷测试仪

1.5 试验过程

1.5.1 加载卸载方法

加载采用慢速维持荷载法,即逐级加载,每级荷载达到相对稳定后,再加下一级荷载,直至试验破坏,然后按每级加载量的2倍卸载到零。

慢速维持荷载法实验步骤遵守下列规定操作:

(1) 每级荷载施加后按第5、15、30、45、60 min测读桩顶沉降量,以后每隔30 min测读一次。

(2) 试桩沉降相对稳定标准:每1 h内的桩顶沉降量 ≥ 0.1 mm,并连续出现2次(从每级荷载施加后第30 min开始,由3次或3次以上每30 min的沉降观测值计算)。

(3) 当桩顶沉降速率达到相对稳定标准,再施加下一级荷载。

(4) 卸载时,每级荷载维持1 h,按第5、15、30、60 min测读桩顶沉降量;卸载至零后,应测读桩顶残余沉降量,维持时间为3 h,测读时间为5、15、30 min,以后每隔30 min测读一次。

1.5.2 静载荷试验终止加载的条件

为了便于应用,当出现下列情况之一时,即可终止加载:

(1)某级荷载作用下,桩顶沉降量大于前一级荷载作用下沉降量的 5 倍(当沉降能相对稳定且总沉降量 < 40 mm 时,宜加载至总沉降量 > 40 mm)。

(2)某级荷载作用下,桩顶沉降量大于前一级荷载作用下沉降量的 2 倍,且经 24 h 尚未达到相对稳定标准。

(3)当荷载 - 沉降曲线呈缓变型时,可加载至桩顶总沉降量 > 60 mm。

(4)总加载量已达到最大加载量 900 kN。

本次静载荷试验 3 组试验均按 900 kN 分 10 级,每级加载值为 90 kN,第一次加载值为 180 kN。当每级荷载作用下达相对稳定标准后可加下一级荷载。每级荷载施加后至少维持 1 h。

1.6 试验数据的分析与判定

本次静载荷试验对各种试验曲线形态进行描述分析,必要时借助辅助解释曲线对曲线特征进行证明,主要静载荷试验结果应能够通过多项参数获得一致性结论。当出现主要静载荷试验结果多参数出现大差异性结论时,应分析原因,剔除错误的静载荷数据重新进行分析判断。

每组静载荷试验的原始记录经整理后形成单桩竖向静载荷试验数据,绘制汇总表(表 2~4)。每组静载荷试验的原始记录经整理后绘制单桩竖向静载荷试验曲线图(图 4~6)。

表 2 145 号桩单桩竖向静载荷试验汇总表

级数	荷载值 /kN	本级沉降量 /mm	累计沉降量 /mm	本级历时 /min	累计历时 /min
1	180	2.13	2.13	120	120
2	270	1.29	3.42	210	330
3	360	1.48	4.90	120	450
4	450	1.74	6.64	120	570
5	540	2.22	8.86	120	690
6	630	2.66	11.52	120	810
7	720	3.28	14.80	120	930
8	810	4.21	19.01	180	1110
9	900	3.95	22.96	210	1320

注:桩径 500 mm,桩长 17.5 m。

(1)单桩竖向抗压极限承载力 Q_u 的判定:145、127、114 号桩静载荷试验成果曲线均属于缓变型 $Q-s$ 曲线,最大荷载值 900 kN 稳定沉降量未超出规范允许范围。根据《建筑基桩检测技术规范(JGJ 106-2003)》第 4.4.2 条注记中的规定,3 组静载荷试验的单桩竖向抗压极限承载力值均为 900 kN。

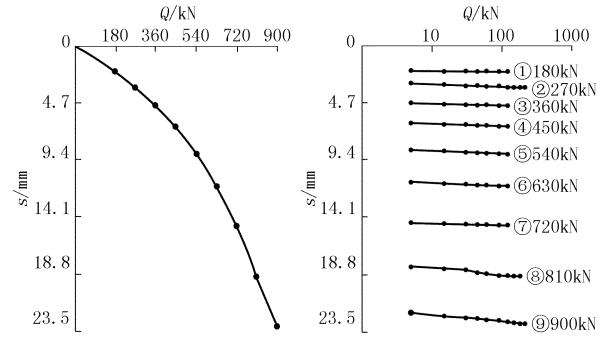


图 4 145 号桩单桩竖向静载荷试验荷载位移

表 3 127 号桩单桩竖向静载荷试验汇总表

级数	荷载值 /kN	本级沉降量 /mm	累计沉降量 /mm	本级历时 /min	累计历时 /min
1	180	1.44	1.44	120	120
2	270	0.76	2.20	210	330
3	360	1.04	3.24	120	450
4	450	1.04	4.28	150	600
5	540	1.36	5.64	120	720
6	630	1.74	7.38	120	840
7	720	2.02	9.40	120	960
8	810	2.73	12.13	120	1080
9	900	2.89	15.02	120	1200

注:桩径 500 mm,桩长 17.5 m。

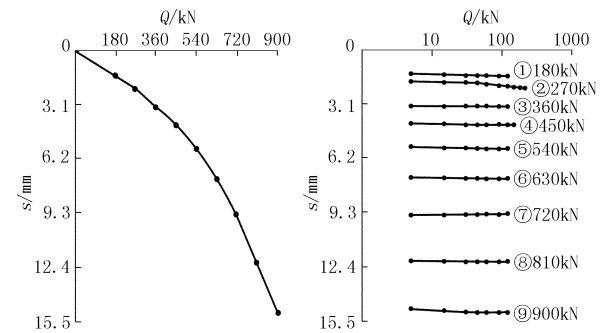


图 5 127 号桩单桩竖向静载荷试验荷载位移

表 4 114 号桩单桩竖向静载荷试验汇总表

级数	荷载值 /kN	本级沉降量 /mm	累计沉降量 /mm	本级历时 /min	累计历时 /min
1	180	1.63	1.63	120	120
2	270	0.96	2.59	120	240
3	360	1.20	3.79	120	360
4	450	1.51	5.30	120	480
5	540	1.67	6.97	120	600
6	630	1.98	8.95	120	720
7	720	2.49	11.44	120	840
8	810	3.41	14.85	150	990
9	900	3.18	18.03	150	1140

注:桩径 500 mm,桩长 17.5 m。

(2)单桩竖向抗压极限承载力统计值的确定:本工程 3 组试验的值差不超过平均值的 30%,根据规范 JGJ 106-2003 第 4.4.3 条第 1 款的规定,本试

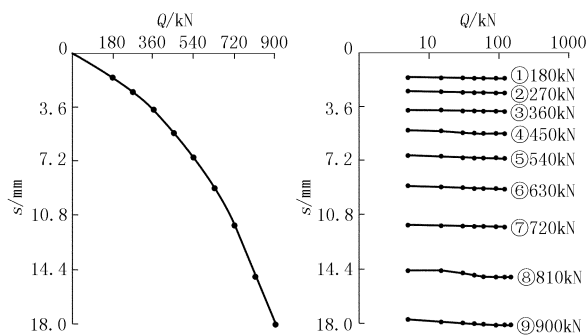


图6 114号桩单桩竖向静载试验荷载位移

验单桩竖向抗压极限承载力统计值为900 kN。

(3)单桩竖向抗压极限承载力特征值 R_a 的确定:根据规范JGJ 106-2003第4.4.4条的规定确定本试验单桩竖向抗压承载力特征值为 $900/2 = 450$ kN(同一条件)。

2 沉管灌注桩单桩竖向承载力设计公式的确定

沉管灌注桩的设计主要是根据桩顶荷载情况以及需要处理的地质条件,因此在设计之前,必须熟悉上部建筑荷载情况以及对桩的要求,仔细分析承受桩的工程地质情况参数。沉管灌注桩适用于一般粘性土、淤泥、淤泥质土、粉土、稍密及松散的砂土及填土等复杂地层,不受持力层起伏和地下水位高低的限制。多年的实践证明,应用于软土地基处理具有较好的效果。驻马店地区地质构造以软土为主,因此沉管灌注桩在该地区具有良好的推广前景。在该地区推广前进行试桩试验以确定沉管灌注桩在该地区的设计参数,由于规范JGJ 106-2003规定了混凝土预制桩、泥浆护壁钻(冲)孔桩、干作业钻孔桩所对应土体极限侧阻力、端阻力标准值,而沉管灌注桩施工工艺特点介于混凝土预制桩和泥浆护壁钻(冲)孔桩之间,故而具体沉管灌注桩基设计参数可取两者平均值(表5),其中持力层为第⑦层。

表5 桩基设计参数表

层号	土层名称	混凝土预制桩		沉管灌注桩	
		极限侧阻力标准值	极限端阻力标准值	极限侧阻力标准值	极限端阻力标准值
		q_{sik}/kPa	q_{pk}/kPa	q_{sik}/kPa	q_{pk}/kPa
②	粉质粘土	10		8	
③	粉土	16		14	
④	淤泥质粉质粘土	10		8	
⑤	淤泥质粉质粘土	14		10	
⑥	粉土夹粉砂	26		22	
⑦	粉砂夹粉土	38	2800	34	2200

根据该地区预制桩沉桩经验,不存在桩周土层产生的沉降超过基桩的沉降,故而不需计入桩侧负

摩阻力,单桩竖向极限承载力标准值计算公式:

$$Q_{uk} = Q_{sk} + Q_{pk} = u \sum q_{sik} L_i + q_{pk} A_p \quad (1)$$

式中: Q_{uk} ——单桩竖向极限承载力标准值; Q_{sk} ——单桩总极限侧阻力; Q_{pk} ——单桩总极限端阻力; q_{sik} ——第*i*层土的极限侧阻力标准值; q_{pk} ——极限端阻力标准值; L_i ——桩穿过第*i*层土的厚度; A_p ——桩端横截面面积, $A_p = 3.14 \times 0.25 \times 0.25$; u ——桩身周长, $u = 3.14 \times 0.5$ 。

由于第①层为耕填土,且厚度仅为0.50~1.10 m,桩顶承台开挖浇筑时需挖除,故而设计的时候不考虑第①层的侧阻力作用,则:

$$Q_{sk} = u \sum q_{sik} L_i = 1.57 \times (8 \times 1.8 + 14 \times 3.5 + 8 \times 5.4 + 10 \times 3.3 + 22 \times 2.5 + 34 \times 1) = 358.902 \text{ kN}$$

$$Q_{pk} = q_{pk} A_p = 431.75 \text{ kN}$$

$$Q_{uk} = Q_{sk} + Q_{pk} = 790.652 \text{ kN}$$

根据规范JGJ 106-2003第4.4.4条规定,按规范设计计算的单桩竖向抗压承载力特征值为:

$$R = Q_{sk}/\eta_s + Q_{pk}/\eta_p \quad (2)$$

式中: R ——单桩竖向抗压承载力特征值; η_s ——桩侧阻力分项系数; η_p ——桩端阻力分项系数。

则:

$$R = Q_{sk}/\eta_s + Q_{pk}/\eta_p = Q_{sk}/2 + Q_{pk}/2 = 395.326 \text{ kN}$$

按规范设计计算的单桩竖向承载力特征值小于现场静载试验结果约13.8%,小于静载试验数值所计算结果约10.04%,显然这会造成材料的极大浪费,造成经济损失。为了解决这个问题,可对现行规范提出的单桩承载力设计计算公式进行修正,得到一个适合于驻马店地区的计算沉管灌注桩单桩竖向承载力特征值、单桩竖向极限承载力标准值公式:

$$Q_{uk} = Q_{sk} + Q_{pk} = \beta (u \sum q_{sik} L_i + q_{pk} A_p) \quad (3)$$

$$R = \beta (Q_{sk}/\eta_s + Q_{pk}/\eta_p) \quad (4)$$

其中 β 为修正系数;按现场静载试验结果修正, $\beta = 1.14$;按数值静载试验结果修正, $\beta = 1.10$;通过对现场静载试验结果与数值试验结果分析比较,建议修正系数按现场静载试验结果修正。

3 结语

通过现场静载试验成果,确定了驻马店地区沉管灌注桩的单桩竖向极限承载力,对比根据现行规范的设计值,提出了适合于驻马店地区沉管灌注桩经验设计公式。

(下转第81页)

需要说明的是,岩柱底部拱脚部位应力状态也相对较差,如果把注浆范围扩大至拱脚,显然可以较好的改善其应力状态,但是一般来说它对洞室的整体稳定性影响不大,而且仰拱开挖支护回填后,拱脚的变形、塑性区的发展均可以得到非常有效的抑制和控制,而从注浆加固的工程实践和经济性方面考虑,一般也很少对拱脚部进行注浆加固。重点是对岩柱雁形部采用注浆加固和预应力锚杆加固等方式,加固示意如图5所示。

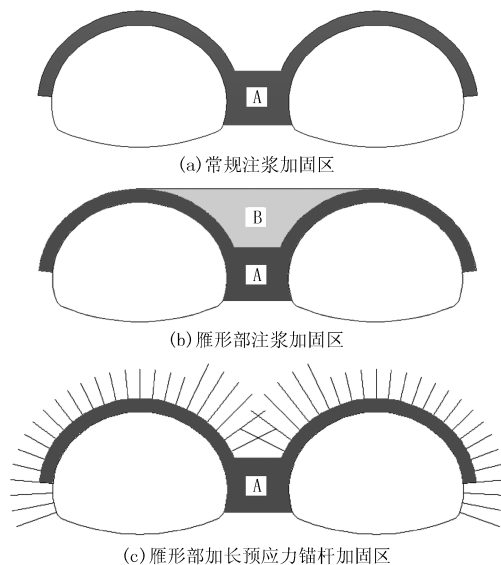


图5 岩柱注浆加固区范围及雁形部锚杆支护示意图

6 结语

福州长乐国际机场高速公路二期工程魁岐2号隧道为特大断面小净距隧道,且隧道修建区域节理极其发育,本文通过离散元软件对特大跨度小净距隧道中间岩柱可靠度分析,得到如下结论。

(1)随着隧道围岩岩性的变好,中间岩柱的可靠度逐渐提高;对于同一级别围岩,中间岩柱的上部可靠度最低,中间岩柱的底部可靠度次之,而中间岩柱

的中部可靠度最高,说明了对于特大断面小净距隧道,中间岩柱最薄弱的部位主要集中在岩柱上部,这也是特大断面小净距隧道受力状况的一个重要特征。

(2)中间岩柱中心处的可靠度最小值满足中间岩柱的可靠度的标准,说明依托工程魁岐2号特大断面小净距隧道的净距取值的设计是合理的。

(3)通过对可靠度计算结果分析,提出了中间岩柱加固的合理建议:重点是对中间岩柱雁形部采用注浆加固和预应力锚杆加固等方式,而可靠度同样相对较低的岩柱下部则没有必要进行注浆加固。

参考文献:

- [1] A. M. Freudenthal. Safety of Structures [J]. Trans. ASCE, 1947, 112.
- [2] 谢圣纲. 大跨度隧道施工围岩稳定性及可靠度研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2006.
- [3] 王贵君. 节理裂隙岩体中不同埋深无支护暗挖隧洞稳定性的离散元法数值分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(7): 1154 - 1157.
- [4] 廖巍, 徐海清, 刘贵应. 岩体结构面组合对巷道围岩稳定性的影响[J]. 安全与环境工程, 2004, 11(2): 65 - 67.
- [5] 王贵君. 节理裂隙岩体中大断面隧洞围岩与支护结构的施工过程力学状态[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(8): 1328 - 1334.
- [6] 荣冠. 彭水地下电站围岩稳定性分析[J]. 岩土力学, 2007, (S1): 855 - 859.
- [7] 福建省交通规划设计院. 福州长乐国际机场高速公路二期工程(A3标段)两阶段施工设计[R]. 福建福州: 福建省交通规划设计院, 2007.
- [8] JTG D70 - 2004, 公路隧道设计规范[S].
- [9] 龚建伍. 扁平大断面小净距公路隧道施工力学研究[D]. 上海: 同济大学, 2008.
- [10] 福建省交通规划设计院. 魁岐2号隧道工程地质评价[R]. 福建福州: 福建省交通规划设计院, 2007.
- [11] 陈孝湘. 特大跨度隧道岩体节理精细化采集描述及其块体稳定性研究[D]. 上海: 同济大学, 2009.
- [12] Itasca Consulting Group, Inc. UDEC universal distinct element code (Version 4.00) user's guide [R]. Minneapolis, USA: Itasca Consulting Group, Inc., 2004.

(上接第68页)

该方法在保障安全的基础上可节约大量材料,降低工程造价,节约投资,同时为其他地区以软土为主的地质条件的沉管灌注桩桩基设计提供借鉴。

参考文献:

- [1] 陈英, 杨德才. 沉管灌注桩施工常见问题及处理措施[J]. 西部

探矿工程, 2007, (6).

- [2] 王春盛. PHC管桩单桩竖向承载力试验研究[J]. 岩土工程界, 2005, 8(12).
- [3] 杨克己, 等. 实用桩基工程[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- [4] JGJ 94 - 2008, 建筑桩基技术规范[S].
- [5] 张忠苗. 桩基工程学[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
- [6] 林宗元. 岩土工程试验监测手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.
- [7] JGJ 106 - 2003, 建筑基桩检测技术规范[S].