

曹妃甸某大型工程钻孔灌注桩试桩施工及检测结果分析

王文鹏, 张小东

(北京振冲工程股份有限公司, 北京 100102)

摘要:曹妃甸某大型工程在工程桩施工前进行试桩,通过对后压浆钻孔灌注桩、三岔双向挤扩桩、支盘灌注桩3种试桩的竖向承载力试验、桩身内力试验、低应变检测、超声波检测及水平承载力试验等项目进行分析,检验成桩的可能性与可靠性,为工程桩桩型的选择及施工提供有效依据。

关键词:钻孔灌注桩;后压浆;三岔双向挤扩;支盘;竖向承载力;水平承载力

中图分类号:TU473.1⁺3 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2011)07-0057-06

Pile Test Construction for Bored-grouting Pile of a Large Engineering in Caofeidian and the Analysis on Testing Result/WANG Wen-peng, ZHANG Xiao-dong (Beijing Vibroflotation Engineering Co., Ltd., Beijing 100102, China)

Abstract: The paper introduced the pile test in advance of a large engineering in Caofeidian. By the analysis on vertical bearing capacity test, internal force of pile test, low strain dynamic testing, ultrasonic testing and horizontal bearing capacity test of post grouting bored-grouting pile, 3-branch bidirectional squeezed pile and squeezed branch grouting pile, the possibility and reliability of pile completion was tested, which could provide the effective proof for the pile type selection and the construction of engineering pile.

Key words: bored-grouting pile; post grouting; 3-branch bidirectional squeezing; squeezed branch; vertical bearing capacity; horizontal bearing capacity

1 工程概述

曹妃甸某大型新建工程为国内重点工程,场区近期采用吹砂填海方式形成,根据上部结构承载力要求,采用高承台钻孔灌注桩作为基础形式,承台桩露出地面 1.70 m。分为 3 种桩型:一是桩底后注浆钢筋混凝土灌注桩(P_a),第⑧₁层细砂为桩端持力层;二是三岔双向挤扩灌注桩(P_b),第⑤层细砂为

桩端持力层;三是挤扩支盘灌注桩(P_c),第⑤层细砂为桩端持力层。

在工程桩施工前进行试桩,每种桩型的 01、02 号桩为水平静载试验桩,灌注到标高 6.30 m。03~05 号桩为竖向抗压静载试验桩,灌注到地面标高,约 3.60 m。试桩的主要设计施工参数见表 1。

表 1 试桩主要设计施工参数表

桩号	桩型	桩径/mm	桩长/m	盘位/m	盘径/m	盘高/m	桩端持力层
P _a 01~05	桩底后注浆灌注桩	1200	69.3	-			第⑧ ₁ 层细砂
P _b 01~05	三岔双向挤扩灌注桩	1200	42.6	19.6、25.6、38.6	2.2	0.95	第⑤层细砂
P _c 01~05	挤扩支盘灌注桩	1200	42.6	15.6、21.6、38.6	2.2	0.95	第⑤层细砂

P_a类型桩先进行桩底后压浆处理,然后进行压浆后的竖向承载力试验。水泥浆配合比 1:0.6,桩端压浆压力 1.8~2.0 MPa,单桩压浆量为 2000 kg。

单桩竖向极限承载力标准值估计为 17000 kN,单桩水平极限荷载标准值估计为 1200 kN。

2 工程地质条件

拟建场地地貌上原属于滨海浅滩。曹妃甸一带为滦河三角洲平原海岸,具有双重岸线特征,其中内

侧大陆岸线为沿滦河古三角洲前沿发育的冲积、海积平原,沿岸多盐田,潮滩发育。外侧岛屿岸线与大陆岸线走向基本一致,由蛤坨、腰坨和曹妃甸沙岛群构成砂质海滩。

根据有关资料及本次勘察揭露,场地内覆盖层主要由第三系和第四系地层构成,在勘察深度范围内主要为第四系海相地层(上覆填土层),根据其时代成因、岩性及物理力学性质,自上而下分为 12 层,设计深度内各层土的钻孔灌注桩设计参数如表 2。

收稿日期:2010-12-24

作者简介:王文鹏(1978-),男(汉族),河北吴桥人,北京振冲工程股份有限公司高级工程师,岩土工程专业,从事岩土工程施工的技术及生产管理工作,北京市朝阳区望京西园 221 号博泰大厦 12 层, wangwpw@163.com。

表2 各层土的钻孔灌注桩设计参数

地层编号	地层名称	桩的极限侧阻力标准值 q_{sik}/kPa	桩的极限端阻力标准值 q_{pk}/kPa	抗拔系数 λ
①	吹填砂	25	-	0.76
②	细砂	50	-	0.58
③	细砂	70	-	0.50
③ ₁	粉质粘土	40	-	0.75
④	粉质粘土	40	-	0.75
④ ₁	细砂	65	-	0.55
⑤	细砂	75	1600	0.50
⑤ ₁	粉土	55	-	0.75
⑥	粉质粘土	45	700	0.76
⑥ ₁	细砂	55	-	0.55
⑦	细砂	75	1700	0.50
⑧	粉土	50	1000	0.73
⑧ ₁	细砂	70	1500	0.55
⑨	粉质粘土	80	1200	0.72

3 桩基试验

3.1 桩基试验目的

本工程桩基试验的主要目的如下:

(1) 检验成桩的可能性与可靠性,为工程桩桩型的选择提供依据;

(2) 测试桩的抗压、水平抗剪承载力,为桩基础设计提供依据;

(3) 利用动力测试技术(低应变和声波透射试验)检测试桩施工的成桩质量,为工程桩施工质量评价提供依据,通过动、静对比,为工程桩施工质量检测提供参数;

(4) 通过试验桩的施工,了解各桩型对实际场地条件的适应性,为工程桩的施工提供可靠的施工经验和技术标准;

(5) 桩身内力测试:通过对该工程桩身应变测试及分析工作,确定垂直静载条件下桩体的荷载传递规律,由此得到桩侧各土层的分层抗压摩阻力和桩端支承力;

(6) 根据试桩的实施确定适用的主导设备、施工工艺的具体工效、施工技术参数等技术、经济指标,为工程桩的大面积施工提供有效依据。

3.2 桩基试验方法

单桩竖向抗压静载试验的加载采用慢速维持荷载法,试验桩加载至破坏。水平静载试验的加载方法采用单向多循环加卸载法,试验桩加载至破坏。试验按规范《建筑基桩检测技术规范》(JGJ 106-2003)的要求进行。

4 施工工艺

3种灌注桩施工方案均采用旋挖钻机成孔。先

利用旋挖钻机取土成孔,达到设计深度后,挤扩桩需下不同的挤扩设备施工,然后再用旋挖钻机清孔后,下放钢筋笼,进行混凝土浇筑到设计标高。3种工艺均采用优质膨润土泥浆,其配比为(质量比):水:优质膨润土:纯碱=1:0.8:0.05。实测性能指标为:密度 1.05 g/cm^3 ,漏斗粘度 $16\sim 22\text{ s}$,失水量 $<15\text{ mL}/30\text{ min}$,泥皮厚度 $<1.5\text{ mm}$,塑性粘度 $<15\text{ mPa}\cdot\text{s}$,动切力 $4\sim 8\text{ Pa}$,pH值 $8.5\sim 10$ 。

4.1 后压浆灌注桩施工要点

后压浆灌注桩施工是将底部装有压浆器的钢管沿钢筋笼长对称地绑扎在外侧随笼一起入孔,采用丝扣连接,一直延伸到地面,再通过软管与注浆泵连接,成桩48h后,将配置好的水泥浆用泥浆泵通过预埋管注入桩底,使高压水泥浆迅速渗透到桩底沉渣及四周土体的孔隙中,冲填压实桩端土层。

4.2 三岔双向挤扩及支盘桩施工要点

施工流程(见图1):测量定位→桩位复核→埋护筒→钻机就位→钻进成孔(含第一次清孔)→挤扩→下钢筋笼→下导管→清孔→灌注混凝土→达设计桩顶标高→桩成型。

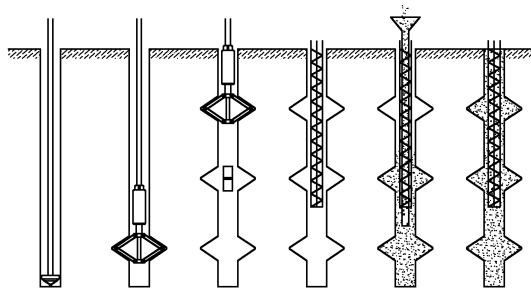


图1 三岔双向挤扩桩及支盘桩施工工艺流程图

挤扩施工特点是承力盘主要采用切削土体成盘(见图2),挤扩后经检测未达标准时,必须返工重新挤扩。而支盘桩主要以设备挤压土体成盘。

5 施工中出现的問題

5.1 塌孔

P₀2号桩(三岔双向挤扩桩)在成孔下笼过程中发生塌孔。

原因分析:挤扩桩机在挤扩过程中,利用钻机扫孔成盘而非连续挤压成盘,挤扩处上盘土体形成一个不稳定的破裂面,在下钢筋笼时局部刮蹭,发生坍塌。

解决办法:钢筋笼提出孔口,重新用旋挖钻机清孔。

5.2 缩径



图 2 挤扩施工设备

试桩施工中, P_c 区 5 根桩在不同程度上发生轻微的局部缩径。

原因分析: 在距孔口 30 ~ 40 m 位置有一层淤泥质粘性土, 现场实际取样在软塑 ~ 可塑状态; 支盘处土体在受挤压过程中发生不规则变形。

解决办法: 利用钻机进行二次扫孔、清孔, 并且采用优质泥浆, 增加泥浆粘度、加大泥浆密度。

5.3 护筒埋设

在施工初期, 考虑到本场区没有进行过预处理, 上部吹填层较差, 且因临海作业, 地下水位较高; 为保证施工设备安全及施工质量, 防止上部土层出现塌孔情况, 选用了 15 m 长护筒加泥浆的护壁方式, 并且考虑到工程桩施工时的便捷、工效等因素, 在试桩过程中试验了 5 ~ 15 m 不同长度的护筒进行施工, 实践证明是成功的, 所有试桩施工没有出现上部吹填砂层塌孔的现象。

6 桩基检测及结果分析

6.1 单桩竖向抗压静载试验

试验的加载过程采用慢速维持荷载法, 试验桩加载至破坏。单桩竖向抗压极限承载力标准值的确定见表 3。

分别以 P_a03 号、P_b04 号、P_c03 号桩对后压浆灌注桩、三岔双向挤扩桩、支盘灌注桩进行抗压承载力分析, 检测结果见图 3 ~ 7。

(1) 经统计, P_a 区 3 根桩极限承载力平均值为 18711 kN, 极差为 18.9%, 满足其极差不超过平均

表 3 试桩的单桩竖向抗压极限承载力

桩号	桩径 /mm	最大加载 /kN	最大沉降量 /mm	回弹率 /%	实测单桩极限承载力 /kN
P _a 03	1200	22000	84.19	13.59	19164
P _a 04	1200	22000	75.83	14.0	20254
P _a 05	1200	20000	85.17	15.1	16715
P _b 03	1200	18000	87.55	9.53	15776
P _b 04	1200	18000	73.55	13.2	16399
P _b 05	1200	18000	68.71	11.96	17013
P _c 03	1200	16000	79.04	11.7	14195
P _c 04	1200	16000	68.93	13.1	15161
P _c 05	1200	12000	79.25	8.0	10643

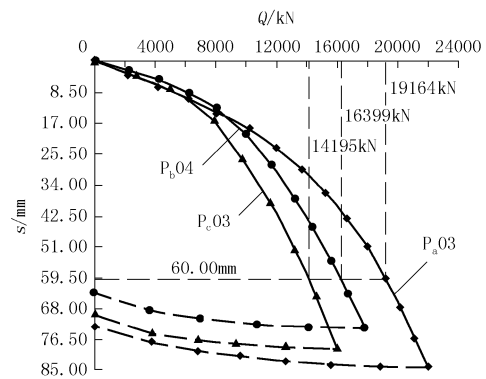


图 3 试桩 Q-s 曲线

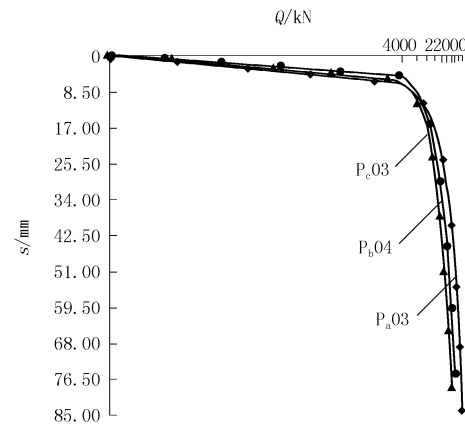


图 4 试桩 s-lgQ 曲线

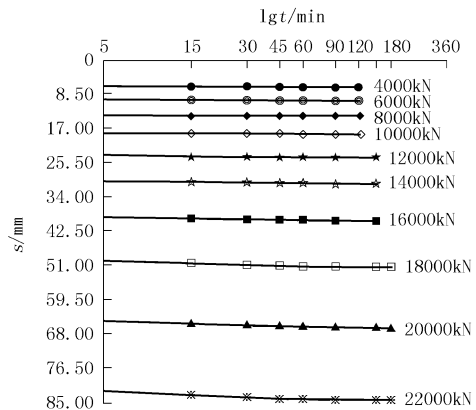
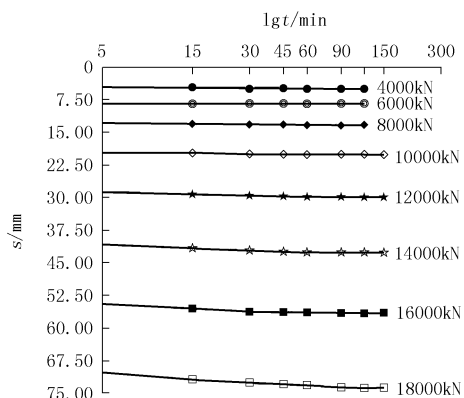
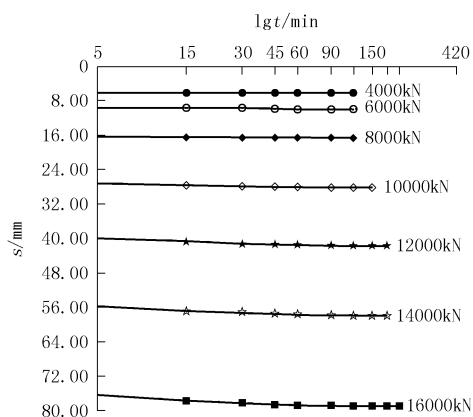


图 5 P_a03 号桩 s-lgt 曲线

图6 P_b04号桩 s - lgt 曲线图7 P_c03号桩 s - lgt 曲线

值的30%,取其平均值18711 kN为单桩竖向抗压极限承载力标准值;

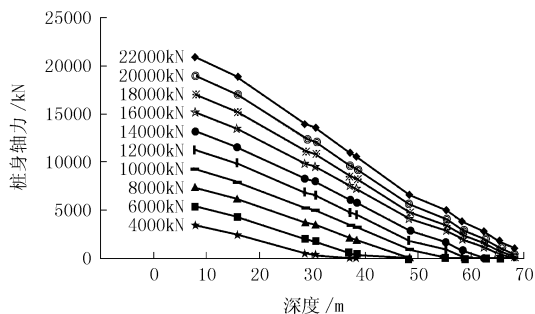
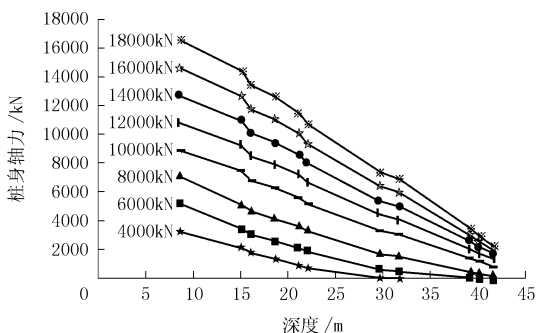
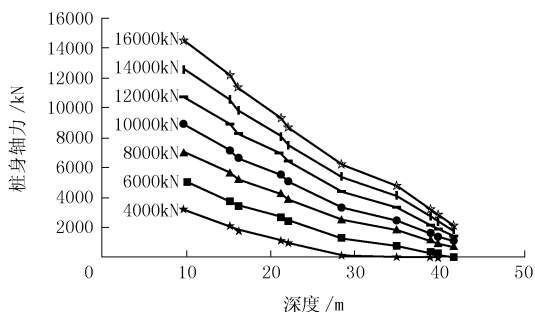
(2)经统计,P_b区3根桩极限承载力平均值为16396 kN,极差为7.5%,满足其极差不超过平均值的30%,取其平均值16396 kN为单桩竖向抗压极限承载力标准值;

(3)经统计,P_c区3根桩平均值为13333 kN,极差为33.9%,其极差超过平均值的30%,因P_c05桩桩身存在缺陷,故仅取P_c03桩和P_c04桩的平均值14678 kN作为单桩竖向抗压极限承载力标准值。

通过以上试验数据可以看出,3组试验桩中只有P_a(后压浆灌注桩)能够满足设计竖向承载力要求。

6.2 桩身内力试验

通过量测预先埋置在桩体内的钢筋应力计,可以实测到各钢筋应力计在每级荷载作用下的频率值,并由此计算出所产生的应力值。通过分析各截面钢筋应力计的应力可以推出相应桩截面的应力。由此便可以求得各级荷载作用下各桩截面的桩身轴力P_z值及轴力随荷载和深度变化的传递规律。3组桩中典型桩内力分布图如图8~10。

图8 P_a04号桩(后压浆灌注桩)各级荷载下桩身轴力分布曲线图9 P_b05号桩(三岔双向扩扩桩)各级荷载下轴力分布曲线图10 P_c04号桩(支盘灌注桩)各级荷载下轴力分布曲线

通过以上3组桩的竖向内力分布图可以看出:

(1)由于后压浆钻孔灌注桩桩长为69.3 m,在设计承载力范围内主要是桩侧摩阻力在发挥作用,桩端持力层作用发挥不大,并且本组试桩采用后压浆进行桩端处理,因此在下一步的工程桩设计中可以对桩长进行优化。

(2)对两种支盘桩的内力图结合竖向承载力结果进行分析,在最大承载能力下,这两种桩的桩端承载力已经发挥到了最大(超过2000 kN),并且竖向承载力试验结果不能满足设计要求。

6.3 水平承载力试验

由实验曲线综合分析,P_a区试桩的水平临界荷载为240 kN,水平极限荷载为480 kN;P_b区试桩的水平临界荷载为360 kN,水平极限荷载为480 kN;P_c区试桩的水平临界荷载为240 kN,水平极限荷载

为 480 kN(可明显从 $H - Y_0$ 曲线和 $H - \Delta Y_0 / \Delta H$ 曲线上判断,见图 11~13)。根据《建筑基桩检测技术规范》(JGJ 106 - 2003)6.4.6 条, P_a 区取水平临界荷载统计值 240 kN 为单桩水平承载力特征值, P_b

区取水平临界荷载统计值 300 kN 为单桩水平承载力特征值, P_c 区取水平临界荷载统计值 240 kN 为单桩水平承载力特征值。

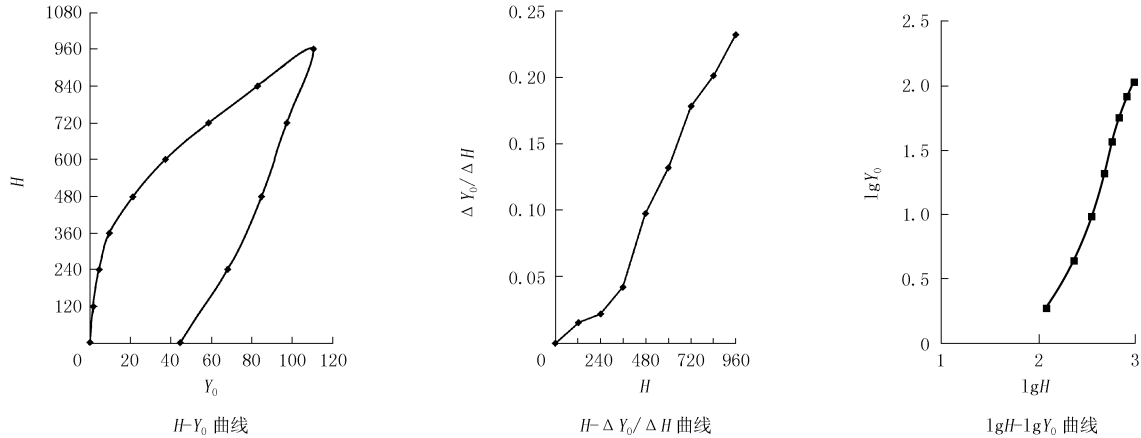


图 11 P_a 区试桩水平承载力试验曲线

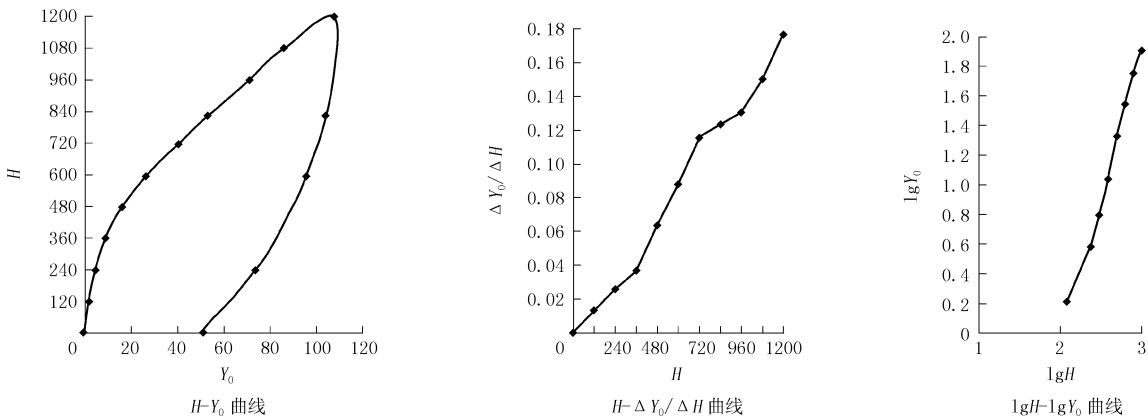


图 12 P_b 区试桩水平承载力试验曲线

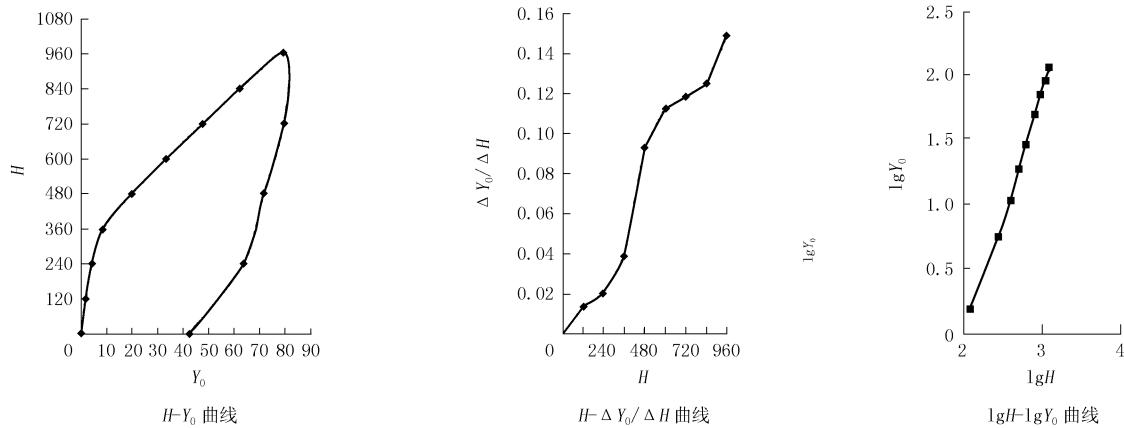


图 13 P_c 区试桩水平承载力试验曲线

7 结论与建议

(1) 通过 3 组试验桩的竖向承载力试验成果分

析,只有后压浆钻孔灌注桩能够满足试桩设计承载力要求。

(2) 如采用后压浆钻孔灌注桩进行大规模施

工,根据场区地质资料,建议采用桩侧后压浆法,可以更大的发挥砂层的桩侧摩阻力,合理的减小桩长,在一定程度上降低成本。

(3)对两种支盘桩的竖向承载力结果结合内力图进行分析,在最大承载能力下,这两种桩的桩端承载力已经发挥到了最大(超过2000 kN),并且竖向承载力试验结果均不能满足设计要求。

(4)如果采用两种支盘桩型时应考虑增加桩长或者增加桩数。但根据地质资料分析并结合支盘桩设计要求,在增加桩长的情况下没有符合要求的桩端持力层。因此只有考虑增加桩数以提高群桩的承载力,但应充分考虑桩间距引起的群桩效应。

(5)三岔双向挤扩桩因采用切削成孔易造成塌孔、孔内泥浆含砂量高、沉渣不易控制的缺点;支盘挤扩桩工艺施工采用挤压成盘,因此对孔壁较稳定,但也会产生一定的沉渣,对孔内泥浆有一定的恶化。因此建议大规模工程桩施工时若采用两种挤扩工艺进行施工时泥浆若需循环利用应采取净化措施,进行除砂处理。

(6)通过对钻孔过程中的地层分布情况分析,场区部分范围内存在着较厚的软塑~可塑状态的粘性土层,当采用挤扩支盘工艺时,成孔时容易造成局部缩孔,并且挤扩、支盘效果不明显,在此范围内不宜采用支盘桩。建议在粘性土层较薄、较易布置支盘的场地区域采用支盘桩,但是在存在较厚粘性土层的区域建议采用钻孔灌注桩加后注浆施工工艺。

(7)场区未进行地基处理,因此3种桩型水平承载力试验成果(240 kN)均达不到设计要求;后期施工前应对场区20 m范围内吹填砂进行处理,增加其密实度;主要方法有振冲碎石桩法和强夯法。处理后如仍达不到设计要求,可以采用桩头增设橡胶垫来削弱水平力对桩的影响。

(8)综合上述结果,并且考虑到对场地(圆形建筑场地)的要求,后压浆钻孔灌注桩工艺承载力满足设计要求并且能够有效减少工艺交叉施工的相互影响,最利于大规模施工。

(9)通过本次试桩,证明了旋挖钻机成孔工艺普遍适合本工程地层地质条件,另外随着国内旋挖成孔技术的不断发展,旋挖钻机成孔深度可以达70 m以上,可以有效解决施工桩长的问题;并且旋挖钻机成孔有着工效较高、泥浆量少、成孔泥皮薄、桩承载力较传统工艺高、文明施工易保证、流水化作业水平高的特点。

参考文献:

- [1] GB 5007-2002, 建筑地基基础设计规范[S].
- [2] JGJ 94-2008, 建筑桩基技术规范[S].
- [3] GB 50011-2001, 建筑抗震设计规范[S].
- [4] JGJ 106-2003, 建筑桩基检测技术规范[S].
- [5] 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.
- [6] 王雪峰, 吴世明. 基桩检测技术[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [7] 史佩栋, 顾晓鲁, 高大钊. 桩基工程手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 2008.

(上接第8页)

(3)铝合金管材生产技术较复杂,钻杆制造工艺难度大、小批量生产成本高。

5.3 建议

(1)加大铝合金钻杆研究、推广扶持力度,不断提升研究和应用水平。同时,从产品研制和野外应用等方向入手,摸索铝合金钻杆磨损防范技术措施。

(2)通过开发变截面铝合金管材制造技术及其批量化生产工艺,提高铝合金钻杆使用时间,降低铝合金管材及钻杆产品制造成本。

(3)铝合金钻杆的使用,工艺规程上有一些特殊性。铝合金钻杆质量轻,全面钻进和大直径钻孔条件下因钻压较大应与钢钻杆组合使用,其几何尺寸尽量与钢质钻杆匹配;除顶驱钻机外,全液压动力头、回转器立轴钻机均需要使用钢质主动钻杆;与钢钻杆相比,泥浆密度对铝合金钻杆的影响因子大。

铝合金钻杆孔内事故预防与处理、磨损形态、报废判断依据应有所不同。因此,今后应加强地质钻探用铝合金钻杆的应用研究及技术经济比对。

参考文献:

- [1] 梁健, 刘秀美, 王汉宝. 地质钻探铝合金钻杆应用浅析[J]. 勘察科学技术, 2010, (3): 62-64.
- [2] 梁健, 彭莉, 孙建华, 等. 地质钻探铝合金钻杆材料研制及室内试验研究[J]. 地质与勘探, 2011, 47(2): 304-308.
- [3] C. Santus, L. Bertini, M. Beghini, A. Merlo, A. Baryshnikov. Torsional strength comparison between two assembling techniques for aluminum drill pipe to steel tool joint connection [J]. International Journal of Pressure Vessels and Piping, 2009, 86: 177-186.
- [4] 王达. 深孔岩心钻探的技术关键[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 35(S1): 1-4.
- [5] 张伟. 特深岩心钻孔套管程序和钻具级配等问题的探讨[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(11): 1-5.