

沿海地区复杂地层抗拔桩在深基坑中的试桩实例

赵伟¹, 骆永生¹, 吴旭君¹, 任政杰², 王召磊¹

(1. 中国京冶工程技术有限公司深圳分公司, 广东 深圳 518054; 2. 定南县工业园开发经营公司, 江西 赣州 341900)

摘要:通过沿海地区复杂地层中抗拔桩试桩实例,介绍了抗拔试验桩试验参数与方法以及深基坑中的抗拔桩施工技术:填石夹填土层成孔技术、桩端岩心取样技术与桩基清孔技术。试验表明,抗拔试验参数较为可靠且能满足结构设计的抗拔要求,为抗拔桩在深基坑中的应用研究提供了数据支撑。

关键词:抗拔桩;填石地层;抗拔承载力;深基坑支护;沿海地区

中图分类号:TU473.1 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2016)03-0065-04

Testing Examples of Uplift Piles for Deep Excavation Bracing in Complex Formation of Coastal Area/ZHAO Wei¹, LUO Yong-sheng¹, WU Xu-jun¹, REN Zheng-jie², WANG Zhao-lei¹ (1. Shenzhen Branch of China Jingye Engineering Technology Co., Ltd., Shenzhen Guangdong 518054, China; 2. Industrial Development and Management Company of Dingnan County, Ganzhou Jiangxi 341900, China)

Abstract: Through the testing examples of uplift piles for deep excavation bracing in the complex formation of coastal area, the test parameters and methods are introduced, as well as the uplift pile construction technology of deep excavation bracing, such as boring technology in rockfill formation with soil, core sample taking at the end of pile and pile hole cleaning. The test data show that the test parameters of uplift are reliable and can meet the requirements of float resisting capability of the structure design, which provides the data support for the application of uplift pile in deep excavation.

Key words: uplift pile; rockfill formation; uplift bearing capacity; deep excavation bracing; coastal area

0 引言

抗拔桩基础是建筑物基础的一种重要形式,它广泛应用于高层建筑地下室、单建式地下车库、地下商业街、地下广场等地下工程建设中。地下工程的抗浮措施一般有释放水浮力、增加自重和设置抗拔桩等3种方法^[1]。黄茂松等^[2]对深层开挖条件下抗拔桩承载力进行了分析,在基坑不同部位的抗拔桩应采用不同承载力设计值,通常越靠近基坑边缘,承载力设计值越高,越靠近基坑中心,承载力设计值越低。

目前,开挖情况下,抗拔桩桩顶一般位于地面下数十米,桩的载荷试验往往在开挖前进行,得到承载力后需扣除开挖面以上的桩侧阻力来计算实测承载力,且开挖卸荷使上覆土压力释放,导致应力场发生改变,会造成桩承载力不同程度下降^[3-4],因而不同地区与不同地质情况桩基的承载力参数将有较大的差别。

1 工程概况

阿里巴巴大厦与阿里云大厦场地位于深圳市南山区,深圳湾体育中心西南侧约400 m,科苑南路西

侧,东滨路北侧约150 m,基坑周长493 m,面积15215 m²。项目建筑±0.00相对于黄海高程+5.60 m,地下室底板顶标高为-7.50 m,基坑坑底标高为-9.20~-13.40 m,基坑开挖深度13.70~18.40 m,场地整平后基坑坑顶标高为+5.00 m。如图1所示。

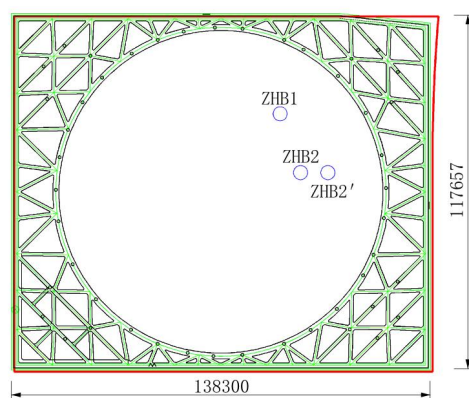


图1 抗拔试验桩基坑平面图

抗拔桩基采用钻(冲)孔混凝土灌注桩,桩径为1000~1500 mm,设计参数如表1所示,混凝土强度等级C35,桩成孔后,需二次清底,孔底沉渣厚度 \geq 50 mm,并应立即灌注水下混凝土。

表 1 抗拔桩设计参数表

桩型号	单桩竖向抗 压承载力特 征值 R/kN	单桩竖向抗 拔承载力特 征值 R/kN	桩身混 凝土强 度等级	桩直径 d/mm	桩配筋/ mm	
					纵筋	螺旋箍
ZHB1	6800	2000	C35	1000	24 Φ 32	Φ 8@200
ZHB2	9800	5000	C35	1500	40 Φ 32	Φ 8@200
ZHB2'	9800	5000	C35	1500	40 Φ 32	Φ 8@200

抗拔试验桩为场地提供相关的抗拔试验数据,且需在基坑支护开挖前完成试验,因而抗拔试验桩

的空桩部分将影响抗拔试验结果,且空桩部分位于地质条件较差的人工填石层(如图 2 所示),对土石方开挖施工、基坑支护施工、基础桩施工及抗拔试验结果产生重大不良影响。

2 岩土工程参数及抗拔桩试验参数

抗拔桩的极限抗拔力主要受2个方面的因素控

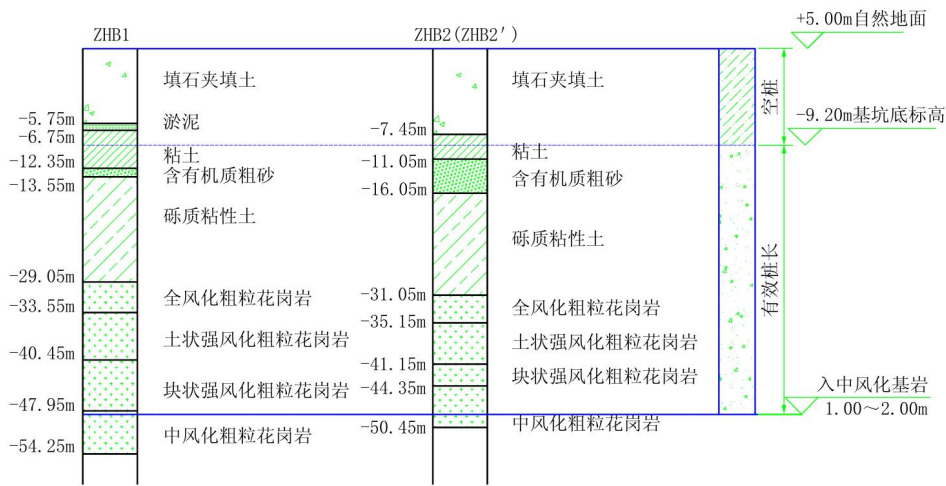


图 2 抗拔试验桩典型钻孔柱状图

制:一是结构本身的强度;二是桩周土的性质以及接触面上的几何特征和材料的物理力学性质等。

2.1 岩土工程参数

依据规范,抗拔桩往往通过桩基侧摩阻力来确定桩基抗拔承载力,但不同地质条件的岩土工程参数有较大的差别,本项目的岩土工程参数如表 2 所示^[5]。

表 2 典型地层参数表

层号	地层名称及成因代号	埋深/m	土的状态	桩侧摩阻力特征值 q_{sa}/kPa	内摩擦角 $\varphi/(\circ)$	粘聚力 c/kPa	λ	$\lambda q_{sik} u_i l_i/\text{kN}$
① ₂	填石夹填土(Q^{ml})	12.60	稍密		20	5	0.5	652.8
③ ₁	粘土(Q_3^{al+pl})	16.20	可塑	22	16	22	0.7	261.1
③ ₂	含有机质粗砂(Q_3^{al+pl})	21.20	稍密	25	26		0.7	412.1
④	砾质粘性土(Q^{cl})	36.20	可塑—硬塑	30	23	30	0.7	1483.7
⑤	全风化粗粒花岗岩(K_1)	40.30		50	26	40	0.8	772.4
⑥ ₁	土状粗粒花岗岩(K_1)	46.30		85	30	50	0.8	1921.7
⑥ ₂	块状粗粒花岗岩(K_1)	49.50		110	33	60	0.8	1326.4
⑦	中风化粗粒花岗岩						0.8	1285.0

2.2 抗拔桩试验参数

项目的桩基施工位于场地平整面 +5.00 m,且抗拔桩试验位于场地平整面,为保证成桩后抗拔桩承载力能够达到设计要求,桩基混凝土浇筑标高选择位于 +5.00 m 作业面且桩基钢筋笼配置足够的钢筋数量。

项目在施工场地内选取 ZHB1、ZHB2、ZHB2'等型号 3 根桩基进行对比试验。考虑空桩影响,设计院提供抗拔试验参数如表 3 所示。

2.3 抗拔桩配筋

抗拔桩 ZHB2、ZHB2'设计桩径为 1500 mm,主筋为 50 Φ 32,除去保护层厚度 70 mm 后,制作钢筋笼直径约 1200 mm,理论计算主筋净距约为 40 mm。在实际施工过程中,钢筋笼主筋绑扎较难控制在规范要求范围内,经与设计院及检测单位确认抗拔桩试验桩采取双笼配置,制作外笼 40 Φ 32、内笼 10 Φ 32 的钢筋笼,配筋如图 3 所示。

2.4 抗拔桩的试验方法

表 3 抗拔桩试验参数表

桩型号	竖向抗拔承载力试验值/kN	空桩段抗拔承载力预估值/kN	混凝土强度	桩直径 d/mm	配筋	桩顶标高/m	实际桩长/m
ZHB1	7000	3000	C35	1000	25Ø32	5.5	53.7
ZHB2	14000	4000	C35	1500	50Ø32	5.4	52.6
ZHB2'	14000	4000	C35	1500	50Ø32	5.6	55.1

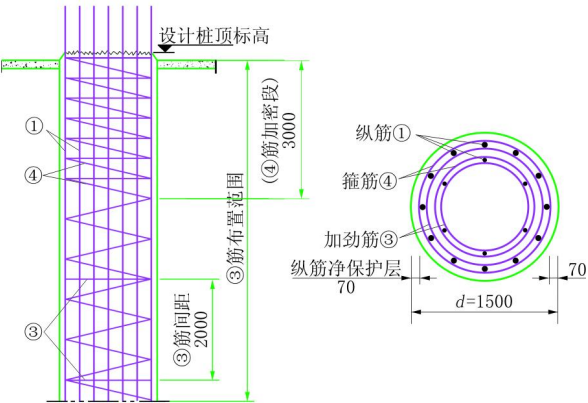


图 3 抗拔桩配筋图

本试验采用慢速维持荷载法,加载方式分级进行,采用逐级等量加载;分级荷载宜为最大加载量或预估承载力的 1/10,其中第一级可取分级荷载的 2 倍。每级荷载施加后按第 0、5、10、15、30、45、60 min 测读上拔量,以后每隔 30 min 测读一次,桩顶的上拔量 ≥ 0.1 mm/h,可视为稳定,再加下一级荷载。

终止加载条件如下:

- (1)某级荷载作用下,桩顶上拔量大于前一级荷载的作用下上拔量的 5 倍;
- (2)按桩顶上拔量控制,当累计桩顶上拔量 > 100 mm 时;
- (3)按钢筋抗拉强度控制,钢筋应力达到钢筋强度标准值的 0.9 倍;
- (4)对于验收抽样检测的工程桩,达到设计要求的最大上拔量荷载值。

3 抗拔桩施工的关键技术

3.1 填石夹填土层成孔技术

桩基施工过程中遇到的情况:旋挖钻机施工 N99 号工程桩时,成孔至 9 m,因上部块石掉落造成塌孔;第二次采用冲孔桩机冲击至 15 m,换用旋挖施工,成孔至 49.5 m 时,亦因上部填石层的块石掉落,导致该桩无法正常成孔。

人工填石夹填土层较厚,介于 8.5 ~ 17.3 m,平

均厚度为 15 m,填石以中—微风化花岗岩为主,粒径 20 ~ 80 cm。由于填石层分布不均,强度高,填石层孔隙较大,极易造成塌孔,遇粒径 > 50 cm 块石旋挖钻机也无法处理、极易损坏旋挖钻具且单独采用冲孔方式施工也无法保证顺利成孔。项目专门选用长护筒 + 冲孔钻机 + 旋挖钻机的配套施工方案^[6],该施工工艺利用旋挖钻机先埋设大直径 6 m 外护筒,然后更换冲孔钻机施工至 12 m,校正孔位埋设 12 m 内护筒,再进行旋挖施工,解决了抗拔桩施工过程中填石夹填土层掉块垮孔的桩基成孔难题。

3.2 桩端岩心取样技术

桩基设计持力层为中风化粗粒花岗岩,持力层层单轴抗压强度为 19 MPa,层顶埋深 48.60 ~ 64.20 m。该持力层主要特点是中风化岩层坚硬程度不均,最深达 64.2 m 且需取得岩心进行鉴别持力层。选用 BG30/SR360 型旋挖钻机,其最大进尺深度为 65 m,可满足桩基施工穿越填石夹填土层及岩心取样要求。

桩基持力层为中风化粗粒花岗岩,持力层岩层单轴抗压强度为 19 MPa,为取得筒式岩心,选取截齿岩心钻头(见图 4)与牙轮筒式钻头(见图 5)刻取岩心:截齿岩心钻头施工工艺适用于岩石抗压强度为 20 ~ 30 MPa 中硬岩石,牙轮筒式钻头施工工艺适用于 40 ~ 60 MPa 硬岩地层;然后更换锥形螺旋钻头在岩心顶端施钻,钻至一定深度后,随着岩心旋转扭矩逐渐增大,锥形螺旋钻头带动岩心旋转扭断岩心,然后提取钻具,将岩心带至地面,形成较完整岩心(见图 6)。



图 4 截齿筒钻



图 5 牙轮筒钻



图6 钻取的完整岩心

后更换优质泥浆进行正循环清渣,清渣过程中及时量测孔底沉渣厚度,当符合规范与设计要求后,进行桩基其它工序施工。

表4 泥浆性能指标

相对密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	粘度/ s	含砂率/ %	胶体率/ %	失水量/ ($\text{mL} \cdot 30\text{min}^{-1}$)	pH 值
1.05 ~ 1.20	16 ~ 22	≤8	≥96	30	7 ~ 9

4 试桩试验结果及数据分析

4.1 试验结果

抗拔桩试桩顶位于标高-9.20 m 位置,桩的载荷试验需在开挖前进行,因此得到承载力后需扣除开挖面以上的空桩侧阻力的影响,空桩承载力预估价值见表3。

经检测获得抗拔承载力数据结果如表5、图7及图8所示,现场未发生钢筋断裂现象及位移突变现象,ZHB1 最大曲线位移 25.25 mm,回弹率 53.03%,ZHB2 最大曲线位移 45.02 mm,回弹率 47.4%,ZHB2' 最大曲线位移 33.21 mm,回弹率 64.26%。

表5 抗拔试验结果数据表

型号	抗拔承载力/kN									
	0	1400	2100	2800	3500	4200	4900	5600	6300	7000
		(2800)	(4200)	(5600)	(7000)	(8400)	(9800)	(11200)	(12600)	(14000)
	位移/mm									
ZHB1	0.00	1.56	3.32	5.79	8.82	12.83	16.22	19.62	22.25	25.27
ZHB2	0.00	1.23	1.84	4.73	8.45	13.18	18.36	23.85	29.22	33.21
ZHB2'	0.00	1.75	4.76	9.55	15.45	21.89	29.14	34.81	40.58	45.02

注:括号内为抗拔桩 ZHB2 与 ZHB2'抗拔承载力。

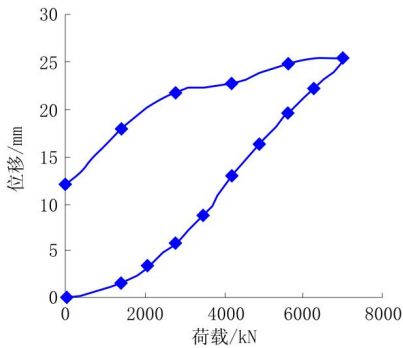


图7 ZHB1 抗拔承载力曲线

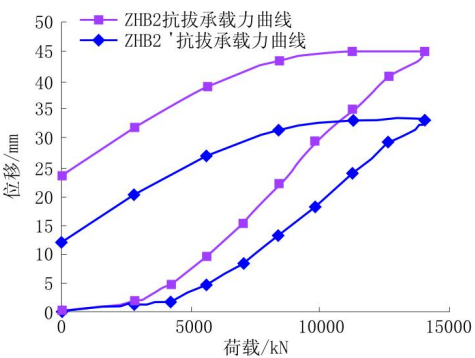


图8 ZHB2 与 ZHB2'抗拔承载力曲线

4.2 抗拔承载力数据分析

由表5、图7及图8可知,ZHB1 承载力特征值 3500 kN 时,对应位移为 8.82 mm;ZHB2 承载力特征值 7000 kN 时,对应位移为 8.45 mm;ZHB2'承载力特征值 7000 kN 时,对应位移为 15.45 mm,完全满足

抗拔设计要求。

数据表明,该基坑支护工程中抗拔桩承载力取值应通过现场实测获得,在施工方案选择上应考虑减少空桩部分对试验承载力的影响。从数据曲线

(下转第 74 页)

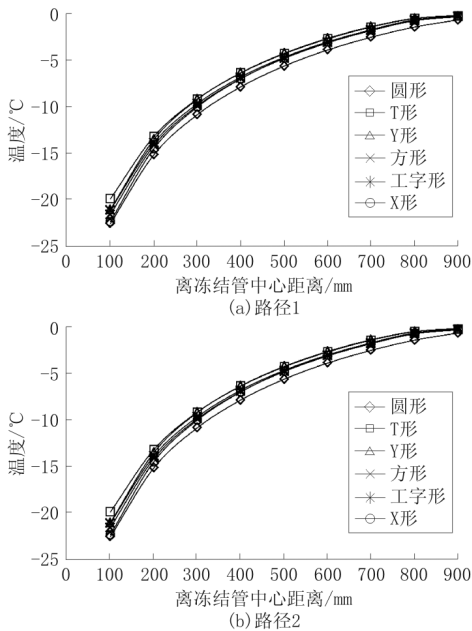


图 11 异形冻结管冻结 40 天时路径上各点的温度空间分布曲线

冻结管中心为圆心呈同心圆分布,离冻结管越近温度越低。冻结 20 天时,X 形冻结管 -10°C 圆形冻土帷幕半径发展为 200 mm;冻结 30 天时发展到 240 mm;冻结 40 天时达到约 300 mm。

(3)X 形冻结管路径 1 和 2 上不同时间的温度都是离冻结管越近温度越低;降温速度先快后慢,由盐水降温计划所决定;冻结 40 天时各点温度低于 0°C

$^{\circ}\text{C}$,说明此时 0°C 的圆形冻土帷幕半径 $>900\text{ mm}$ 。

(4)与圆形冻结管相比,其他异形冻结管的截面面积较小,从而使循环冷媒介质用量大大减少,但是最终形成冻土帷幕的半径只相差约 100 mm,可见异形冻结管在保证冻结效果的基础上可大大减少施工机械能耗,经济效益显著。

参考文献:

- [1] 胡俊,杨平.大直径杯型冻土壁温度场数值分析[J].岩土力学,2015,36(2):523-531.
- [2] 胡俊.盾构隧道端头垂直冻结加固不同冻结管直径的温度场数值分析[J].铁道建筑,2014,9:57-60.
- [3] 胡俊,刘勇,李玉萍.冻结水泥土搅拌桩温度场数值分析[J].森林工程,2015,31(5):118-123.
- [4] 胡俊,杨平,董朝文,等.盾构始发端头化学加固范围及加固工艺研究[J].铁道建筑,2010,15(2):47-51.
- [5] 胡俊,李艳荣,佳琳.一种 X 型冻结管:中国,201520064490.1[P].2015-07-08.
- [6] 胡俊,张皖湘,汪磊,等.X 形冻结管及其在冻结施工中的应用方法:中国,201510153146.4[P].2015-08-26.
- [7] 胡俊.水泥改良前后土体冻结温度及力学特性试验研究[J].铁道建筑,2013,18(4):156-159.
- [8] 胡俊,刘勇,李玉萍.方形与圆形冻结管单管冻结温度场数值对比分析[J].森林工程,2015,31(4):152-157.
- [9] 董慧,胡俊,刘勇.冻融水泥土力学特性试验研究[J].森林工程,2015,31(5):114-117.
- [10] 胡俊.高压砂性土地铁大直径盾构始发端头加固方式研究[D].江苏南京:南京林业大学,2012.

(上接第 68 页)

可以看出,3 根试桩试验结果,随着试验拉力的增加,抗拔力逐渐发挥并未如其它材料屈服曲线一样发生屈服,表明桩基抗拔计算参数较为保守。

5 结论

本文通过沿海地区复杂地层基坑支护工程中抗拔桩实例,介绍了抗拔桩施工技术及抗拔桩试验研究,主要结论如下。

(1)抗拔桩在沿海地区填石地层中施工,勘察报告提供桩基抗拔参数计算抗拔承载力较为保守,应通过现场实测的方式确定桩基抗拔承载力特征值较为安全。

(2)旋挖钻孔工艺施工抗拔桩采取填石夹填土层成孔技术、桩端岩心取样技术与桩基清孔技术等关键技术,保证了抗拔桩成孔质量。

(3)试验结果表明,长护筒+冲孔钻机+旋挖

钻机施工抗拔桩能够完全满足抗拔设计要求。

参考文献:

- [1] 吴江斌,王卫东,王向军.软土地区多种桩形抗拔桩侧摩阻力特性研究[J].岩土工程学报,2010,32(S2):93-98.
- [2] 黄茂松,任青,王卫东,等.深层开挖条件下抗拔桩极限承载力分析[J].岩土工程学报,2007,29(11):1689-1695.
- [3] 刁钰,郑刚,许杰,等.不同加载条件下抗拔桩静载试验分析[J].岩土工程学报,2011,33(S2):464-470.
- [4] 张建新,仲晓梅,黄媛媛.超深基坑开挖对桩承载性状的影响分析[J].土木工程学报,2007,40(S1):395-400.
- [5] JGJ 94-2008,建筑桩基技术规范[S].
- [6] 赵伟,吴旭君,王召磊,等.旋挖灌注桩在(深圳)沿海复杂地层中的应用实例[J].岩土工程学报,2013,35(S2):1196-1199.
- [7] 朱世平,杜高恒,何世鸣,等.抗拔(浮)桩的发展历程和研究方向[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(5):5-7,11.
- [8] 何世鸣,郭跃龙,赵晓东,等.部分粘结预应力抗拔(浮)桩的优化设计[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(7):39-43.
- [9] 周治国,唐孟雄,董晓斌,等.嵌岩旋挖扩底抗拔桩工程应用研究[J].岩石力学与工程学报,2009,28(S2):3838-3843.