

# 钻孔灌注桩桩端后压浆在上海裕景明珠广场的应用

何宗义<sup>1</sup>, 汪潜平<sup>2</sup>

(1. 安徽岩土工程有限责任公司(沪), 上海 200122; 2. 上海广联建设发展有限公司, 上海 200438)

**摘要:** 由于持力层紧密砂层应力松弛, 实际单桩极限承载力未能达到预估极限承载力, 应用钻孔灌注桩桩端后压浆技术, 不仅解决了砂层应力松弛问题, 且提高了单桩承载力, 节约了工程成本, 取得了显著的效果。介绍了上海裕景明珠广场钻孔灌注桩桩端后压浆的设计、注浆参数、施工工艺及施工效果。

**关键词:** 上海裕景明珠广场; 应力松弛; 钻孔灌注桩; 桩端后压浆; 极限承载力

**中图分类号:** TU473 .1<sup>+</sup>4 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2007)12-0036-03

## 1 工程概况

上海裕景明珠广场位于浦东新区陆家嘴金融区内, 南临浦东大道, 西邻东方路。地上 30~36 层, 地下 2 层, 总建筑面积 125947.00 m<sup>2</sup>, 框剪结构, 基础面积 3990 m<sup>2</sup>, 基础采用 Ø800 mm 的钻孔灌注桩, 有效桩长 48.4 m, 桩深 61.0 m, 共布桩 526 根。设计单桩极限承载力特征值 9300 kN。场地地质条件见表 1。

表 1 场地地质条件表

层序	土层名称	层厚 /m	层底标高 /m	桩侧极限 摩阻/kPa	桩端极限 端承/kPa
① <sub>1</sub>	杂填土	1.50	0.29		
② <sub>1</sub>	粉质粘土	0.70	0.99	15	
② <sub>2</sub>	粉质粘土	1.30	-0.31	15	
③ <sub>1</sub>	淤泥质粉质粘土	1.00	-1.31	15	
③ <sub>2</sub>	粘质粉土	1.38	-2.69	15	
③ <sub>3</sub>	淤泥质粉质粘土	5.71	-8.40	15	
④	淤泥质粘土	4.55	-12.95	20	
⑤ <sub>1-1</sub>	粘土	5.01	-17.96	30	
⑤ <sub>1-2</sub>	粉质粘土	2.26	-20.22	40	
⑥	砂质粉土	4.18	-24.40	55	1000
⑦ <sub>1</sub>	砂质粉土	9.53	-33.93	65	1800
⑦ <sub>2</sub>	粉砂	29.38	-66.31	80	2500
⑨ <sub>1</sub>	砂质粉土夹粉质粘土	18.64	-84.95		

桩端进入持力层⑦<sub>2</sub>层粉砂层 24 m。根据文献[1], 钻孔灌注桩单桩竖向承载力特征值为:

$$\begin{aligned}
 Q_{uk} &= Q_{sk} + Q_{pk} = u \sum q_{sik} l_i + q_{pk} A_p \\
 &= 3.14 \times 0.80 \times (10.09 \times 15 + 4.55 \times 20 + 5.01 \\
 &\quad \times 30 + 2.26 \times 40 + 4.18 \times 55 + 9.53 \times 65 + 24 \\
 &\quad \times 80) + 3.14 \times 0.4 \times 0.4 \times 2500
 \end{aligned}$$

$$= 8170 + 1256 = 9426 \text{ kN}$$

试验共完成 4 组试桩, 结果 4 组试桩静载荷试验压力均在 7400 kN 左右时出现拐点, 未能满足设计承载力要求。

经分析比较认为, 主要原因是持力层紧密砂层的应力松弛, 这在上海陆家嘴地区非常明显, 而且多项工程实践证明, 在这种深厚砂层中, 桩径大, 桩身长, 承载力并不高。

由于本工程桩距很小, 增加桩数没有可能; 在这种砂层占桩身 70% 的地层中增加桩长对提高承载力没有明显作用; 最终采用 Ø800 mm 钻孔灌注桩桩端后压浆技术, 同时有效桩长减少至 42.4 m。

## 2 钻孔灌注桩桩端后压浆施工工艺

### 2.1 作用机理

(1) 通过注入桩端的浆液对桩端松弛的砂土进行挤密加固, 同时沿着桩端持力层的孔隙进行扩散和渗透, 使桩端砂土层强度得到明显提高, 进而提高桩端阻力。

(2) 在桩端注浆过程中, 随着注浆量和注浆压力的增加, 部分浆液沿桩侧薄弱部位上升, 改善了桩土接触面条件, 对桩周松弛的砂土挤密, 从而提高桩周土单位面积的侧阻力。

(3) 由于桩端压力注浆形成扩大头, 挤压桩端土层使其密实, 增加了桩端及周围土层的侧向压力, 法向应力的提高引起桩的侧阻力提高。

(4) 桩端压力注浆的同时向上传递反力, 桩顶有轻微的向上位移, 相当于在桩端施加了一个预应

收稿日期: 2007-07-24

**作者简介:** 何宗义(1972-), 男(汉族), 安徽人, 安徽岩土工程有限责任公司(沪)副总工程师, 探矿工程专业, 从事地基基础工程施工管理工作, 上海市东方路 738 号裕安大厦 704 室, hzy720727@hotmail.com; 汪潜平(1970-), 男(汉族), 湖北人, 上海广联建设发展有限公司一级项目经理, 探矿工程专业, 从事基础工程施工与管理工作, 上海市中原路 60 弄 4 号。

力,桩侧阻力有所提高。在荷载作用下,桩端阻力一开始就可以发挥作用。

2.2 施工工艺流程(见图 1)

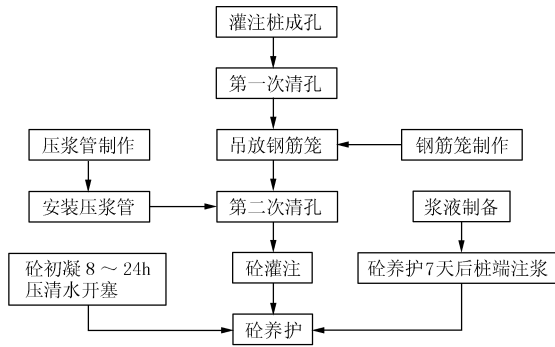


图 1 桩端后压浆施工工艺流程图

2.3 后压浆参数选择

2.3.1 单桩承载力的估算

根据文献[2]提供的计算方法:

$$Q_{uk} = Q_{sk} + Q_{pk} = u \sum \eta_{ski} q_{sik} l_i + \eta_{pk} q_{pk} A_p$$

式中: $\eta_{ski}$ 、 $\eta_{pk}$ ——分别为桩侧和桩端阻力修正系数,其取值见下表 2。

表 2  $\eta_{ski}$ 、 $\eta_{pk}$  的取值表

参数	土 性			
	淤泥质土	粘性土、粉土	粉细砂	中粗砂、砾砂
$\eta_{ski}$	1.1	1.5	1.8	2.0
$\eta_{pk}$	1.5	2.5	2.5	

因本工程采用桩端后压浆,消除了桩侧桩端砂层应力松弛,取  $\eta_{ski} = 1.0$ ,  $q_{sik}$  仍按照原勘察报告数值取值;桩端进入持力层⑦<sub>2</sub>层 18 m,  $\eta_{pk}$ 取 2.5。则单桩承载力: $Q_{uk} = 3.14 \times 0.80 \times (10.09 \times 15 + 4.55 \times 20 + 5.01 \times 30 + 2.26 \times 40 + 4.18 \times 55 + 9.53 \times 65 + 18 \times 80) + 3.14 \times 0.4 \times 0.4 \times 2500 \times 2.5 = 6964 + 3140 = 10104 \text{ kN} > 9300 \text{ kN}$ ,能够满足设计要求。

2.3.2 注浆压力

2.3.2.1 注浆控制压力

当注浆压力超过桩周土的上覆自重和强度时,将导致上覆土层的破坏,桩身上抬。因此,一般以不使地层结构破坏或仅发生局部的或少量的破坏为前提,限制注浆压力。根据文献[3],注浆控制压力按下式确定:

$$[P] = (0.075 + 0.06c)h$$

式中,  $[P]$ ——注浆控制压力, MPa;  $h$ ——注浆深度,取 55.0;  $c$ ——与地层性质有关的参数,取值范围 0.5 ~ 1.5,结构疏松、渗透性强的地层取低值,结构紧密、渗透性弱的地层取高值,本工程粉砂层,  $c$ 取 1.0。

故: $[P] = 7.0 \text{ MPa}$ 。

2.3.2.2 注浆初始压力

根据压浆前压水疏通注浆管的压力作为注浆初始压力,一般 0.5 ~ 2 MPa。

2.3.2.3 注浆中间压力

取 1 ~ 2 MPa。

2.3.2.4 注浆终止压力

取注浆初始压力的 2 ~ 3 倍,一般 4 MPa。

2.3.3 注浆量

将桩端压浆形成的扩大头按球体模型考虑,结合本工程具体情况,估算出设计压浆量 1.5 ~ 2.0  $\text{m}^3$ ,单桩水泥用量 1.7 ~ 2.2 t。

2.3.4 开塞时间和注浆时间

钻孔灌注桩成桩后 8 ~ 24 h 注清水开塞以疏通压浆管路,7 天后开始注浆。

2.3.5 浆液配比

浆液水灰比控制在 0.5 ~ 0.6。

2.4 注浆设备

SYB50 - 50/ II 型液压注浆泵。

2.5 后压浆施工要点

(1) 每桩对称安放 2 根 1 in ( $\text{O}25.4 \text{ mm}$ ) 的注浆管(镀锌管),绑扎在钢筋笼内侧。注浆管底端为注浆器,伸出钢筋笼 30 ~ 50 cm。每个注浆管接头均需用止水带密封。

(2) 注浆器为注浆管中开  $\text{O}8 \text{ mm}$  的小孔作为出浆孔,用图钉将出浆孔堵严,外面缠上电工用防水胶布,并用细铁丝扎牢。注浆器下口设置成圆锥状。注浆器制作如图 2 所示。

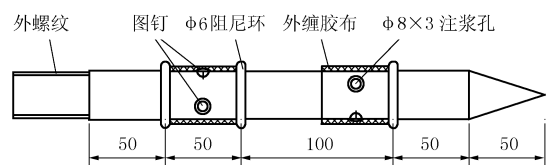


图 2 注浆器示意图

(3) 注浆管安放前严格控制注浆管与钢筋笼及孔深的相对长度,确保注浆器能插入孔底土层而不致埋在砼中。

(4) 注浆管安装过程应有专人负责,加强管理。注浆管上端伸出地面不宜超过 10 cm,防止人为损坏注浆管。注浆管口用堵头堵严。严禁泥块、碎石等杂物掉入孔内堵塞管路。发现注浆管接头损坏,必须更换。

(5) 开塞时间尽可能在砼初凝后 8 ~ 24 h 内完成。

(6)浆液应经过筛处理,严禁大块水泥颗粒混入注浆管路。

(7)当单桩桩底压浆量达到 $2.0\text{ m}^3$ 或瞬间注浆压力达到 $4\text{ MPa}$ 以上时即可停止注浆。

(8)如遇注浆开塞失败,利用工勘钻机(如GXY-1型)在桩两侧钻孔(孔径 $110\text{ mm}$ ),下入袖阀管进行劈裂注浆,同样能达到预期效果。

### 3 后压浆施工结果

本工程共完成后压浆桩526根,试桩3根,试桩试验结果见表3。

表3 试桩试验结果汇总表

桩号	桩长/m	桩径/mm	注浆水泥用量/kg	最大试验加荷/kN	最大沉降量/mm	最大回弹量/mm	极限承载力/kN
G54	54.0	800	1700	9300	11.70	9.75	$\geq 9300$
G216	54.8	800	2000	9300	10.17	6.83	$\geq 9300$
G397	54.8	800	2200	9300	8.53	7.01	$\geq 9300$

### 4 技术经济效益比较

未注浆桩与注浆桩技术经济指标对比见表4。

### 5 结语

桩端压力注浆不仅解决了深厚砂层应力松弛问

表4 未注浆桩与注浆桩的技术经济指标对比表

技术经济指标	桩径/桩长/m	单桩承载力试验值/kN	桩的总数量/根	桩间距/m	单位面积承载力/( $\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$ )	单桩施工费用/元	单桩注浆费用/元	平均单桩费用/元	施工总费用/万元	单位承载力标准值费用/( $\text{元}\cdot\text{kN}^{-1}$ )
未注浆桩	0.8/48.4	7400	526	$2.4\times 2.4$	1285			23347	1228	3.16
注浆桩	0.8/42.4	$\geq 9300$	526	$2.4\times 2.4$	$\geq 1615$	19170	1900	21070	1108	$\leq 2.27$

题,而且缩短了桩长,提高了单桩承载力,大大节约了工程成本,综合效益十分明显。

### 参考文献:

[1] JGJ 94-94,建筑桩基技术规范[S].

[2] 刘利民,舒翔,熊巨华.桩基工程的理论进展与工程实践[M].北京:中国建材工业出版社,2002.

[3] 彭振斌.注浆工程设计计算与施工[M].武汉:中国地质大学出版社,1997.

[4] 陈飞,段新胜,等.钻孔灌注桩桩侧桩端后压浆技术在武汉瑞通广场的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2004,(1).

## 中国大陆科学钻探工程项目通过国家验收

本刊讯 2007年12月14日,国家“九五”重大科学工程项目——中国大陆科学钻探工程正式通过国家发展改革委和国土资源部组织的国家验收。验收委员会认为,该工程全面、优质地完成了建设任务,实现了原定的工程建设目标。

1997年6月,经国家科技领导小组批准,中国大陆科学钻探工程被列为“九五”国家重大科学工程项目。2001年正式开钻,2005年现场钻探、测井等工程完工。项目由国土资源部负责组织,具体实施任务由中国地质调查局所属中国大陆科学钻探工程中心承担。

中国大陆科学钻探工程中心主任王达表示,上天、入地和下海是人类向自然界挑战的三大壮举,被称为“入地工程”的中国大陆科学钻探工程是国际大陆科学钻探计划中正在实施的20个项目里最大的项目,是目前世界上继前苏联和德国之后第三个超过5000m的科学深钻。被称为伸入地球内部“望远镜”的大陆科学钻探是带动21世纪地球科学和相关工程技术发展的大科学工程,同时也是解决人类社会所面临的资源、灾害和环境等问题的重要基础研究课题之一,具有划时代的意义。科钻一井设计井深5000m,岩心采取率 $\leq 80\%$ 。实际达到终孔深度5158m(垂深5027.21m),岩心采取率85.7%。

验收专家委员会工程技术组评价是:“钻探施工质量优良,高标准地达到了各项钻探技术指标。创造性地将‘组合式钻探技术’、‘灵活的双孔方案’和‘超前裸眼孔段小直径取心钻进方法’有机结合,研发了一整套独具中国特色的硬岩深孔钻探技术体系,该技术体系包括螺杆马达并底动力驱动冲击回转取心钻探技术、硬岩长井段大直径扩孔钻进技术、强致斜地层并斜控制技术、性能优良的LBM“四低”泥浆体系、小间隙固井和活动套管技术等。其中发明的具有自主知识产权的螺杆马达—液动锤—金刚石提钻取心技术属世界首创,居国际领先地位。钻探施工技术总体上达到国际先进水平,促进了我国钻探行业的技术进步。”

中国大陆科学钻探工程中心首席科学家许志琴院士告诉记者,通过实施这一工程,科研人员利用从钻孔中获取的固体和流体样品以及井下原位观察与测量数据,可进行多学科综合研究,在地质科学研究方面,进一步深化对地壳成分、结构及其发展演化规律的认识,取得一系列重大发现。提供大量关于碰撞造山带及大陆动力学方面的研究成果。对于现代地壳作用,以及水圈、岩石圈和生物圈的相互作用提供了第一手的丰富资料。探索现代地下深部流体与极端条件下的微生物。超高压变质带和大陆深俯冲作用是当前地球科学研究的前沿和热点,由于大别—苏鲁是全球规模最大的超高压变质带,而这次科学钻探又打在全球构造的最深部位,这些研究成果必将具有国际广泛的国际影响。该工程建成了亚洲第一个深部地质作用长期观测实验基地,也是亚洲第一个大陆科学钻探和地球物理遥测数据信息库,亚洲第一个研究地幔物质的标本岩心馆和配套实验室,使我国超高压变质带研究达到国际领先水平。

中国第一井及其创新性的研究成果引起了国内、外高度关注及重大影响。自工程开工以来,在国内外重要学术期刊发表了150多篇研究论文,其中有近100篇入选SCI论文。

中国大陆科学钻探工程受到了社会各界的广泛关注的积极支持,获得了众多的荣誉和奖励。5年间数十位两院院士和3万人参观考察了现场;2002年被评为公众关注的中国十大科技事件;2004年中国大陆科学钻探工程中心荣获全国五一劳动奖状,2006年“中国大陆科学钻探深入地下5158米”被中国科学院和中国工程院评为十大科技进展之一;5年间,共培养博士研究生50余人,硕士研究生60余人;参加中国大陆科学钻探工程的中青年科学家中有多人获得各种奖励。

中国大陆科学钻探工程的胜利完工,标志着中国宏伟的“入地”计划的开始,也预示着中国从地学大国向地学强国迈出了新的步伐。