

DOI: 10.11779/CJGE2017S2040

锚杆静压桩在低净空条件下既有建筑地基加固中的应用

吴江斌, 王向军, 宋青君

(华东建筑设计研究院有限公司上海地下空间与工程设计研究院, 上海 200002)

摘要: 上海市某 13 层建筑, 无地下室, 上部结构为短肢剪力墙体系, 基础采用墙下预制混凝土管桩。该项目正式投入使用前在其背后大量堆土, 导致建筑产生了较大的整体水平变形。为消除安全隐患, 采用锚杆静压桩进行地基加固。加固钢管桩的桩长、单桩承载力、桩数都与原有桩基相同。在原基础梁之间的房间区格内设置 700 mm 厚筏板, 新增的钢管桩布置于筏板下, 通过筏板实现对上部结构的支承作用, 筏板也同时作为静压桩施工的反力结构。为确保荷载传递的可靠性, 提出了钢管桩与筏板, 以及筏板与原基础梁之间的连接做法。另外, 由于结构底层净空受限, 通过改造, 使得压桩设备可在低于 2.5 m 左右净空条件下完成钢管桩的压入施工。目前该建筑最大沉降 10 mm 左右, 表明地基加固的作用是有有效的。

关键词: 锚杆静压桩; 低净空; 建有建筑; 地基加固

中图分类号: TU473

文献标识码: A

文章编号: 1000 - 4548(2010)S2 - 0162 - 04

作者简介: 吴江斌(1974 -), 男, 四川省垫江人, 博士, 教授级高级工程师, 主要从事高层建筑地基基础与地下空间工程的设计与研究工作。E-mail: jiangbin_wu@xd-ad.com.cn。

Application of foundation reinforcement by anchor-jacked piles under low clearance

WU Jiang-bin, WANG Xiang-jun, SONG Qing-jun

(Shanghai Underground Space Engineering Design & Research Institute, East China Architecture Design & Research Institute Co., Ltd.,
Shanghai 200002, China)

Abstract: For the a building with 13 floors high and no basemnt located in Shanghai, short leg shear wall system is used for the superstructure, and the foundation beams with precast tubular piles are used to be the foundation type. Before service of the project, may soils are pulled behind the building, and large deformation of the building is induced. For safety consideration, anchor-jacked piles are used to be as the foundation reinforcement. The steel pipe piles are used, which are the same as the existing ones. The total number is 116. In order to strengthen the rigidity of the original foundation and to make it easier for pile layout and load transfer, the raft with thickness of 700 mm is hoped to connect the existing foundation beams and the new piles. The steel pipe piles are located under the raft, and the raft will be the counterforce structure for the anchor-jacked pile. The connection node between piles and raft and that between raft and the existing foundation beams are proposed herein. The equipment is reformed to realize the construction of anchor-jacked piles under the clearance less than 2.5 m. So far, the maxium settlement of the building is about 10 mm, which shows the effect of the reinforcement by the anchor-jacked piles is remarkable.

Key words: anchor jacked pile; low clearance; existing building; foundation reinforcement

0 引言

由于特别适用于在施工现场(空间)受限的既有建筑旁或既有建筑下开展施工作业, 锚杆静压桩一经问世即在既有建筑地基加固、建筑物纠偏, 以及基础托换工程中得到广泛应用^[1-3]。

上海市某 13 层建筑, 无地下室, 采用预制混凝土管桩基础。该项目正式投入使用前在其背后大量堆土, 导致建筑产生较大的整体水平变形。背后填土挖除后, 建筑变形明显复位, 但无法预估预制管桩是

否已经产生致命损害。为消除安全隐患, 建设方、管理部门从多方面的因素考虑, 委托我院对该项目进行地基加固设计。从该项目建筑结构现状、地层条件以及建设方需求等方面考虑, 采用适用于低净空条件下的锚杆静压桩进行地基加固比较合适。本文详细介绍锚杆静压桩单桩设计、群桩平面布置、筏板、桩顶与

基金项目: 上海市科委科研项目 (15DZ1204000)

收稿日期: 2017 - 08 - 02

筏板的连接、筏板与现有基础梁的连接等设计内容和实施效果。

1 既有建筑概况

1.1 建筑、结构情况

该建筑地上 13 层, 无地下室, 地上层高 2.9 m, 建筑总高度 37.7 m。单层建筑面积约 500 m²。上部结构采用钢筋混凝土剪力墙结构。桩基采用 AB 型 Φ400PHC 管桩, 壁厚 80 mm, 桩长 33 m, 以⑦1-2 粉砂层为持力层, 进入持力层约 2.0 m, 单桩承载力设计值为 1300 kN, 共 116 根桩。采用梁式基础, 地基梁宽 600 mm, 高 700 mm, 梁底埋深为 2.1 m, 室内外高差 0.5 m。基础与桩位示意图见图 1。

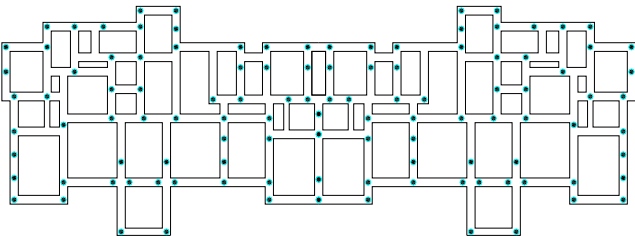


图 1 基础与桩位示意图

Fig.1 Plan of foundation and piles

1.2 工程水文地质条件

拟建场地在勘察最深为自然地面以下 60.3 m 深度范围内的土层按其成因可分为 7 层, 各土层主要物理力学指标、桩侧摩阻力见表 1。浅层以软弱黏土为主, 压缩性中偏高; 第⑥、第⑦层土工程性质较好, 属中压缩性土。工程实践中, 一般选第⑦层作为桩基持力层。

表 1 土层参数信息

Table 1 Soil parameters

土层 层号	土层名称	含水率 w/%	重度 γ/(N·m ⁻³)	直剪固块		预制桩	
				黏聚力 c/kPa	内摩擦 角/(°)	f _s /kPa	f _p /kPa
①1	杂填土	—	—	—	—	15	
①2	浜填土	—	—	—	—	15	
②1	粉质黏土	28.10	19.1	24	17.5	15	
②2	黏土	40.40	17.6	19	13.0	18	
③	淤泥制粉质黏土	49.80	16.8	8	14.0	20	
④	淤泥制黏土	52.20	16.6	8	13.5	35	
⑤1	粉质黏土夹沙	36.25	17.7	13	20.5	45	
⑤2	黏质粉土	29.20	18.3	10	26.5	40	750
⑤3	粉质黏土	33.60	18.0	16	18.0	60	1500
⑥	粉质黏土	22.20	19.7	43	18.0	70	3500
⑦1-1	黏质粉土	26.30	19.0	12	26.5	80	40000
⑦1-2	粉砂	28.10	18.7	7	30.0	15	
⑦2	粉细砂	24.50	19.2	6	31.5		

注: 上表各土层的 f_s, f_p 除以安全系数 2 即为相应的特征值。

2 锚杆静压桩设计

2.1 总体思路

该工程加固工期要求非常紧迫, 且对噪音、环境污染的要求也较高, 另外由于施工场地(平面空间、施工净高)的限制, 综合考虑采用锚杆静压桩进行加固是较为合适的。桩型采用钢管桩, 替换原有的 PHC 管桩。并在原基础梁之间的房间区格内设置筏板, 新增的钢管桩布置于筏板下, 通过筏板实现对上部结构的支承作用, 筏板同时也作为静压桩施工的反力结构。筏板的设置加大了原有基础的整体刚度, 便于新增桩的布置与力的传递, 也为锚杆静压的施工提供了有利条件。

2.2 基桩

钢管桩直径为 406 mm, 有效桩长与原预制混凝土桩相同(33 m), 以⑦1-2 粉砂层为持力层, 进入持力层约 2.0 m(见图 2)。单桩承载力设计值为 1300 kN, 与原预制桩承载力相同。管材采用 Q235B, 形式为螺旋钢管。从承载力和抗腐蚀角度考虑, 钢管桩的管壁厚度取 10 mm。钢管桩按每节 2.5 m 分段压入, 钢管桩接头采用焊接并加设内衬管。



图 2 桩基剖面图(标高为绝对标高)

Fig. 2 Pile profile

2.3 桩位布置

新增钢管桩的承载力与原 PHC 管桩相同, 因此在布桩原则上, 对于每个区域新增布桩数量尽量与原布

桩数量相同,实现1:1的等量代换。桩基布置于各基础梁合围的区格房间内,通过筏板支承上部结构荷载,从荷载传递的角度,新增桩基离基础梁越近越好,但在桩位布置中还要考虑钢管桩锚杆静压的施工空间及新桩与老桩的间距,减小新老桩的相互影响。因此,本工程新增钢管桩间的间距皆大于3倍桩径,新桩与老桩的间距皆大于2倍桩径,桩与基础梁的净距不小于400 mm。同时让桩位形心与荷载重心位置尽量接近,桩位见图3,共增设116根桩。

2.4 筏板

本工程上部结构荷载通过条形基础梁传给地基,新增桩若增设于基础梁下对力的传递固然有利,但需要在基础梁下开挖较大的施工空间,难度大且效率低。新增桩不能位于基础梁下时,需通过转换结构将基础梁上的上部结构荷载传递给新增桩,通常有转换梁和转换板两种型式。本工程采用转换板的型式,即在原基础梁之间的房间区格内设置筏板(图3),新压的钢管桩布置于筏板下,通过筏板实现上部结构的支承作用,筏板也同时作为静压桩施工的反力结构。

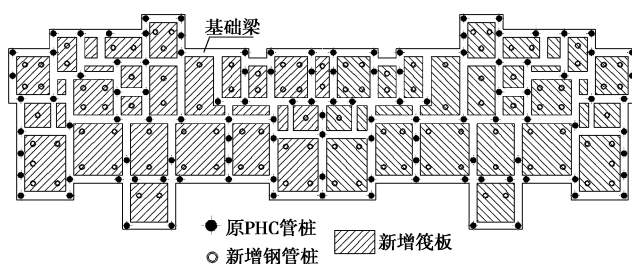


图3 新增钢管桩桩位布置

Fig. 3 Plan of new piles

筏板的设计需满足正常使用状态下的桩基冲切与剪切的要求,同时还要满足静压桩施工过程中提供压桩反力的要求。经计算,筏板厚700 mm,混凝土设计强度为C40,双层双向配筋(钢筋直径28 mm,间距250 mm,三级钢)可满足设计要求。

筏板浇筑时,预留压桩孔,并预埋锚杆。压桩孔呈顶口小、底口大的锥形。每个压桩孔周围埋设12根锚杆,平面布置如图4,锚杆规格为M30,锚杆插入筏板内深度不小于15 d。

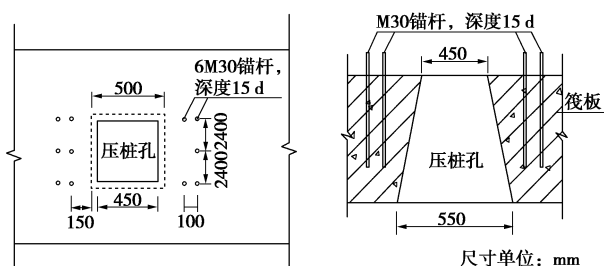


图4 压桩孔与锚杆布置图

Fig. 4 Arrangement of hole and anchor-jacked pile

2.5 桩顶与筏板的连接

钢管桩通过预埋的压桩孔压入设计标高后,需进行封孔,实现桩与筏板的连接。桩顶嵌入筏板内100 mm,钢管桩压至设计标高后,在钢管桩内回填细砂至离桩顶6 m标高处,并在桩头埋设钢筋笼,钢筋笼下部插入钢管桩2.0 m,上部锚入筏板内,然后清理压桩孔和孔壁,浇筑C45微膨胀早强混凝土于钢管桩内和压孔内。

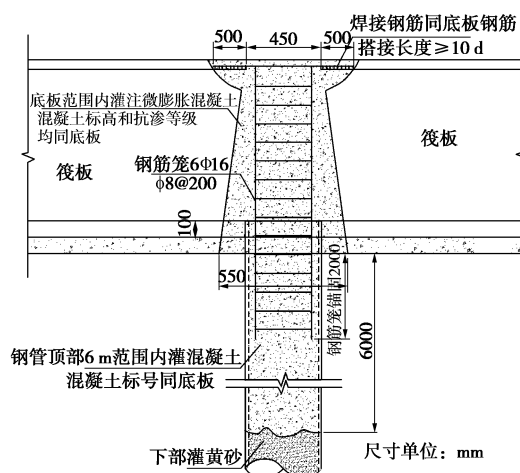


图5 桩顶与筏板连接节点

Fig. 5 Connection node between pile top and raft

2.6 筏板与基础梁的连接

基础梁与新增筏板的连接是保证钢管桩发挥作用的传力关键节点。本工程采用在基础梁上化学植筋和设置剪力槽的方式,实现筏板与基础之间的剪力和弯矩的传递。先对基础梁立面凿毛,并在中间位置凿出剪力槽,然后钻孔、清孔后进行化学植筋、对基础梁侧面浮灰进行清除并涂界面剂,筏板钢筋绑扎完毕后浇筑筏板。

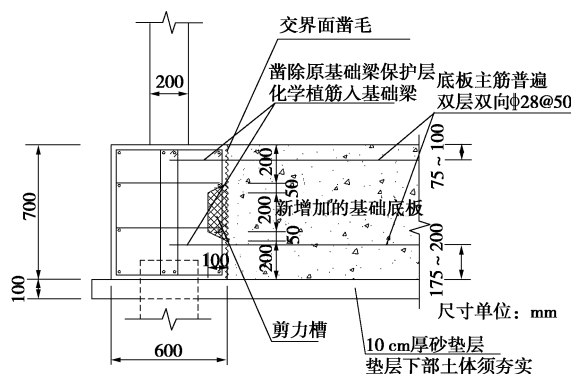


图6 筏板与基础梁连接节点

Fig. 6 Connection node between existing foundation beam and raft

3 锚杆静压桩施工

3.1 总体流程与施工分区

本工程地基加固总体流程如下:
凿除室内地坪(或首层结构楼板)→清除覆土→

对基础梁与筏板界面进行处理（凿毛、开槽、化学植筋）→绑扎筏板钢筋、预留压桩孔、预埋锚杆螺栓→浇筑筏板→安装反力架吊桩入位、压桩施工→记录压桩力与深度→接桩→压桩施工→达到设计要求→截桩头、焊接交叉钢筋、清理压桩孔、清洗孔壁→浇灌微膨胀早强混凝土封桩。

上述施工流程应根据施工作业的分区逐步开展。考虑到本工程结构与荷载的对称性，作业面应尽量对称。原则上总的分区数不应少于 3 个，每个分区在东西对称位置皆有一个作业面，见图 7。按①→②→③的顺序先后施工。

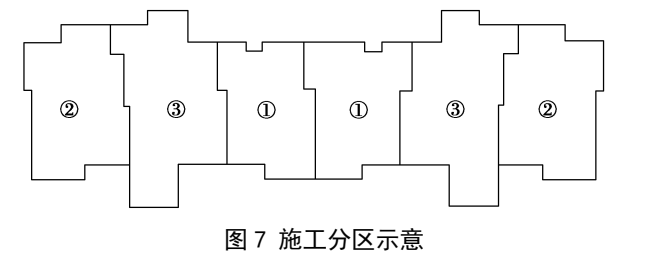


图 7 施工分区示意

3.2 施压桩

正式施工前，为了调试压桩设备、获取现场施工参数，开展了 2 组试压桩试验。室内净高 2.5 m，施工高度 5 m，施工开间为 2.0 m。两根试桩均压至设计标高，终压力分别为 2453 kN 和 2551 kN。图 8 所示为 2 根试桩的入土深度与压桩力的关系曲线。

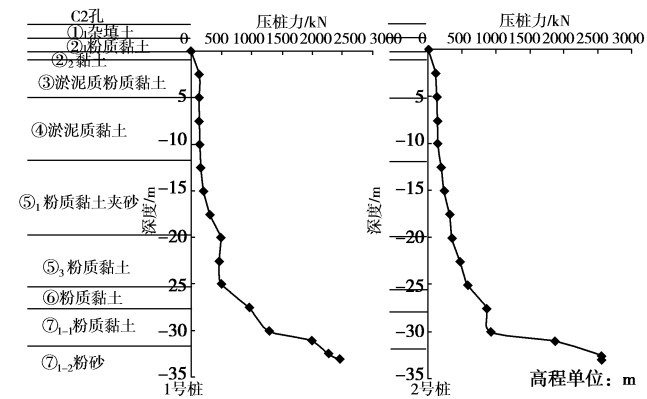


图 8 试压桩压桩力曲线

图上可以看出，在钢管桩进入⑥粉质黏土层前，压桩力均较小，在 500 kN 以内；当钢管桩进入⑥粉质黏土层后，压桩力增加明显，特别是进入⑦层后，压桩力陡升，这与土层特性是直接相关的。

施压桩满足设计要求后，开展了大面积的锚杆静压桩的施工，所有锚杆静压桩压桩力曲线（图 9）与图 8 所示的压桩力曲线基本一致，终压力约 2500 kN，满足设计要求。

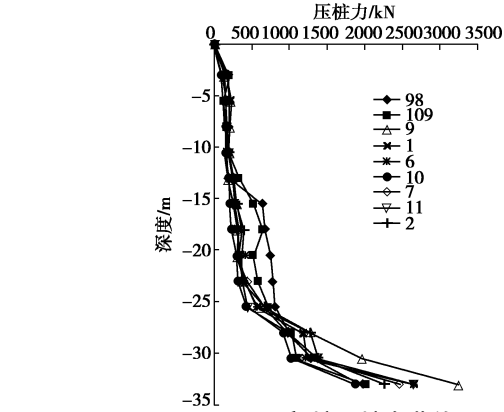


图 9 工程桩压桩力曲线

Fig. 9 Relationship between pressure and pile length

4 结 语

由于施工设备简单、施工速度快捷，适用于低净空条件，锚杆静压桩技术在既有建筑的加固、纠偏等方面应用越来越多。本文详细介绍了锚杆静压桩技术在上海某 13 层建筑地基加固中的应用。在设计方面包括单桩设计、群桩布置、筏板设计、桩顶与筏板的连接节点、筏板与既有基础梁的连接节点等。通过试压桩试验及后续大量的工程桩施工过程中的监测表明，锚杆静压桩的设计、施工满足承载力设计要求。

目前该项目已投入使用多年，基础最大沉降约 10 mm、建筑最大倾斜率 0.8‰，均满足设计要求，表明锚杆静压桩的使用达到了预期效果。

参考文献：

[1] 贾 强, 应惠清, 张 鑫. 锚杆静压桩技术在既有建筑物增设地下空间中的应用[J]. 岩土力学, 2009, 30(7): 2053 - 2057. (JIA Qiang, YING Hui-qing, ZHANG Xin. Construction of basement in existing buildings by static bolt-pile[J]. Rock and Soil Mechanics, 2009, 30(7): 2053 - 2057. (in Chinese))

[2] 邱 磊. 既有建筑采取锚杆静压桩结合堆载压重综合纠偏方法的研究[D]. 武汉: 武汉科技大学, 2011. (QIU Lei. The comprehensive correcting method research of existing building with anchor static pile combined with surcharge preloading[D]. Wuhan: Wuhan University of Science and Technology, 2011. (in Chinese))

[3] 刘毓斌, 陈福全. 锚杆静压桩在危险建筑物加固中的应用研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(1): 130 - 132. (LIU Yu-chuan, CHEN Fu-quan. Application research on static bolt-pile reinforcement for dangerous building[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2002, 21(1): 130 - 132. (in Chinese))

(本文责编 胡海霞)