

# 一种复杂基础型式地基和基坑设计方法探讨

范铁强<sup>1</sup>, 栾晶晶<sup>1</sup>, 王传成<sup>2</sup>, 潘旭亮<sup>1</sup>

(1. 北京市勘察设计研究院有限公司, 北京 100038; 2. 中航勘察设计研究院有限公司, 北京 100098)

**摘要:** 结合某工程地基处理及护坡桩的设计和施工实践, 介绍了复杂结构条件下地基和结构的协同作用分析的应用, 同时重点介绍了护坡桩一桩两用, 即前期提供护坡作用, 后期作为复合地基受力体的成功设计经验, 为特殊的结构和特殊的施工工序要求制定合理的岩土工程方案, 以期能对以后类似工程有所借鉴。

**关键词:** 协同作用; 一桩两用; 特殊结构; 特殊工序

**中图分类号:** TU44 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4548(2012)S0-0267-05

**作者简介:** 范铁强(1971-), 男, 辽宁义县人, 学士, 高级工程师, 主要从事岩土工程的研究和工程应用。E-mail: fan006002@139.com。

## Design method for foundation soil and pit with complicated foundation pattern

FAN Tie-qiang<sup>1</sup>, LUAN Jing-jing<sup>1</sup>, WANG Chuan-cheng<sup>2</sup>, PAN Xu-liang<sup>1</sup>

(1. BGI Engineering consultants Ltd., Beijing 100038, China; 2. AVIC Geotechnical Engineering Institute Co., Ltd., Beijing 100098, China)

**Abstract:** On the basis of the design and construction experience of foundation treatment and revetment piles, application of subsoil-foundation interaction analysis under complicated structures is introduced. Meanwhile the successful design experience of the revetment piles is highlighted. The revetment piles provide protection effect at the earlier stage, and are the forced body of the composite foundation at the later stage. This geotechnical engineering program for special structures and special construction process may be useful for future similar projects.

**Key words:** subsoil-foundation interaction; the dual purpose of pile; special structure; special construction process

## 0 引言

随着城市建设的发展, 连体式建筑越来越被规划、业主和设计人所采用, 主楼和纯地下结构之间进行无缝连接, 其带来的设计问题越来越复杂, 同时开发进度要求和场地客观条件限制, 导致施工方法和工序都出现重大调整要求, 本文介绍的设计和施工方法打破传统的“先深后浅”施工顺序, 采用护坡桩兼具地基处理 CFG 桩功能的方法, 先进行浅层住宅楼施工, 再进行深层地下车库施工。独辟蹊径解决了实际问题, 这种方法先进新颖, 经济合理, 解决了基础荷载差异很大、不均匀沉降、边坡高荷载等岩土工程问题。

## 1 工程概况

拟建建筑物包括 2 栋住宅楼(均为两塔夹一板形式, 分 A、B、C 三个楼座, 称为#1 楼和#2 楼)和北侧 1 地下 3 层车库, 其中塔楼为地上 23~25 层, 地下 2 层, 板楼为地上 18~20 层地下 2 层, 均采用剪力墙结构, 筏板基础, 基础埋深为-8.00 m。北侧车库为地下 3 层框架结构, 住宅楼与纯地下车库部分连成整体,

车库南侧和两住宅楼北侧共用外墙, 车库基础深于住宅楼基础约 4.60~5.40 m。根据开发的要求, 施工时先施工住宅楼, 后施工车库。其中最为复杂的施工工况为: 当北侧车库基础底板施工完成时, 住宅楼主体结构已施工至 15 层。住宅楼与地下车库位置关系及基底关系如图 1, 2 所示。

## 2 岩土工程条件

### 2.1 工程地质条件

本工程场地范围内土层划分为人工堆积层、新近沉积层及第四纪沉积层 3 大类: 表层为厚 1.00~6.20 m 的人工堆积之房渣土、碎石填土①层, 人工堆积层以下为新近沉积的圆砾②层、细砂、中砂②<sub>1</sub>层, 粉质黏土、黏质粉土②<sub>2</sub>层; 新近沉积层(局部人工堆积层)以下为第四纪沉积的黏土、重粉质黏土③层, 黏质粉土、粉质黏土④层, 卵石、圆砾⑤层, 粉质黏土、黏质粉土⑥层等。如图 3 所示<sup>[1]</sup>。

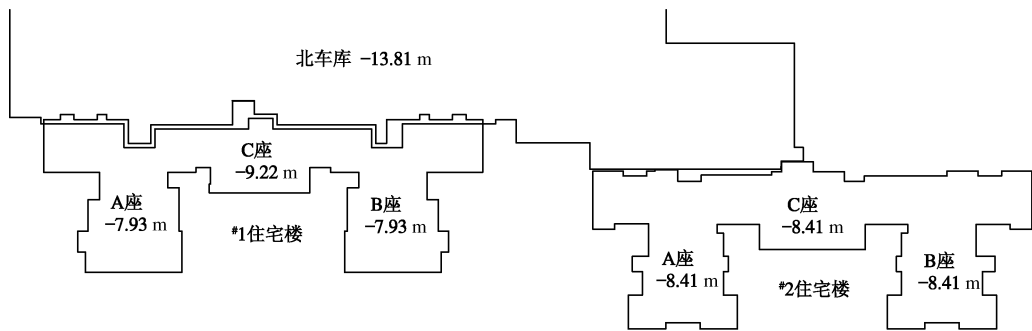


图 1 建筑物关系图

Fig. 1 Layout of building

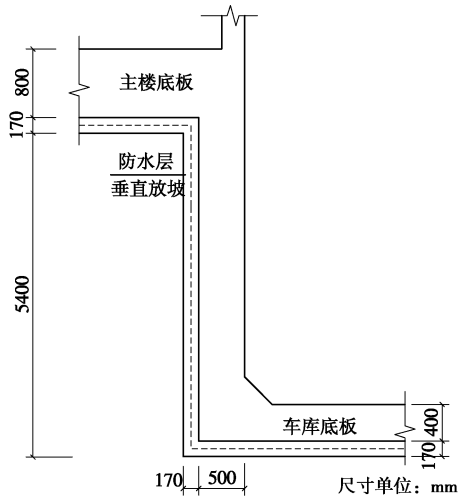


图 2 住宅楼与地下车库基础关系示意图

Fig. 2 Residential building and foundation of underground garage

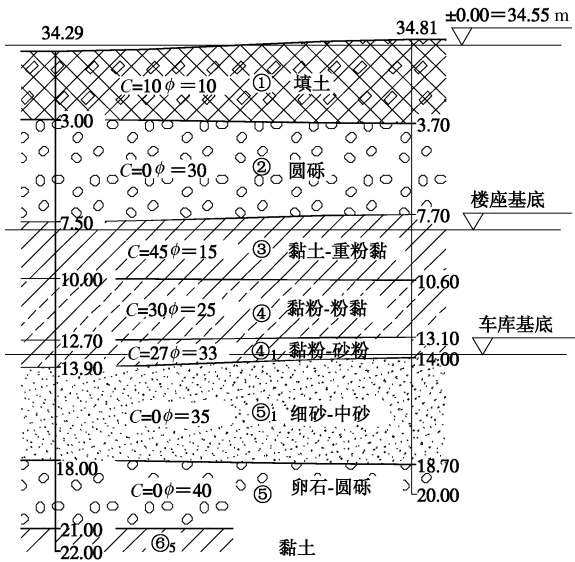


图 3 工程地质条件参数图

Fig. 3 Engineering geological parameters

2.2 水文地质条件

实测到地下水位埋深约 7 m，类型为潜水。

3 设计与施工需解决的主要难题

主楼与其相邻的纯地下车库部分连成整体，住宅

楼与车库共用外墙，且住宅楼先施工，车库后施工，针对这种特殊的建筑结构方案及施工顺序，岩土工程设计与施工需解决的主要问题有：

(1) 基础荷载分布不均匀

住宅楼为两塔夹一板形式，A、B、C 三座层数不同，且与相邻地下车库连成整体，高层塔楼平均基底压力很高，核心筒部位更高，而地下车库因埋深较大，荷载较小，属于超补偿基础，抗浮问题突出，使得本工程高低层荷载差异悬殊部位的差异沉降、高层建筑内部差异沉降及整体倾斜控制成为基础方案设计时的重要决策因素。

(2) 主楼和车库间护坡型式的选取

因共用基础墙的存在，导致常规护坡桩无从施做，同时根据业主要求及施工安排，待住宅楼北侧车库基础底板施工完成时，住宅楼主体结构已施工至 15 层，这就大大增加了交界处支护结构的附加荷载，对支护结构的设计和施工提出了更高的要求。

4 解决问题的方法

4.1 设计思路

主楼采用 CFG 桩设计方案，针对不同的基底高程和承载力要求，采用不同的布桩型式，在共用墙体下也布设 CFG 桩，车库下设抗拔桩，目的为限制主楼的总沉降，减小高低层间的沉降差，在存在高差位置设计兼具护坡和地基承载作用的 CFG 桩，以同时满足地基和边坡的要求。施工时护坡桩与住宅楼 CFG 桩一起完成，护坡桩位于住宅楼基础底板投影以下<sup>[6]</sup>。

4.2 住宅楼 CFG 桩设计方案

CFG 桩设计首先着手于承载力要求，本住宅楼基底反力最大为 480 kPa，受车库深于主楼基础的限制，承载力不再进行深度修正，以基底反力值作为复合地基所要求的承载力特征值，桩顶设褥垫层，以协调刚性桩和地基土之间的桩土应力比<sup>[5]</sup>。设计参数见表 1。

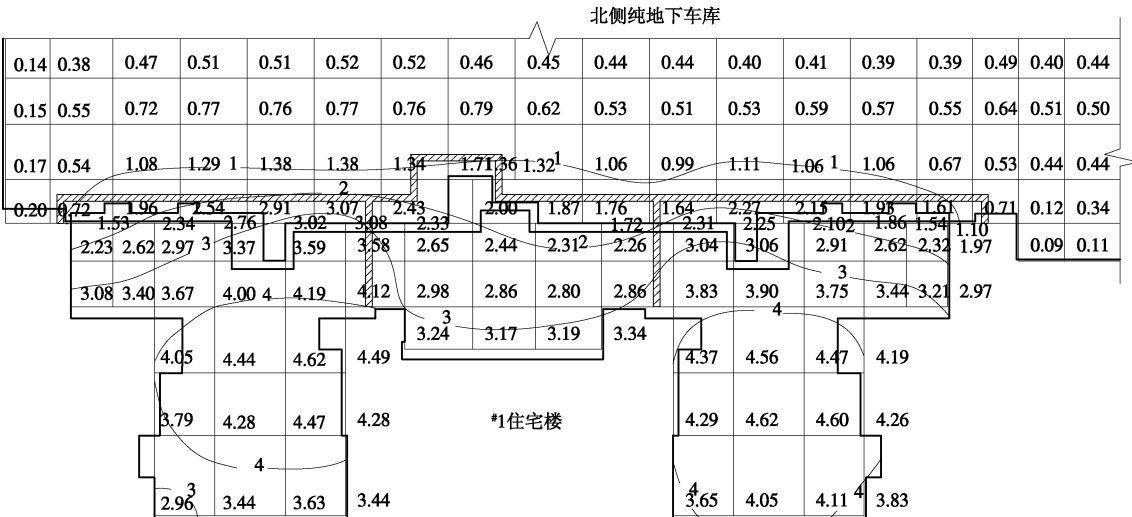


图 4 #1 楼最终沉降预估值

Fig. 4 Calculated values of final settlement of building No. 1

表 1 住宅楼 CFG 桩设计参数<sup>[2]</sup>

Table 1 Design parameters of CFG piles of residential buildings

参数项目	住宅楼	
	A、B 楼	C 楼
设计桩长/m/ 桩/径/mm	17.5/410	17.5/410
单桩承载力标准值/kN	760	760
复合地基承载力标准值/kPa	480	380
置换率	5.5%	4.2%
桩体强度	C20	C20

4.3 地基基础协调分析计算

主楼和车库之间存在过大的荷载差异, 沉降分析计算方法成为关键问题, 常规的分层总和法已经不能满足工程需要, 此次计算使用了企业自主研发的 SFIA 软件, 其是基于土的单向压剪非线性模型的地基与基础共同作用分析方法。该方法采用地基土非线性本构模型, 土层变形模量随地基应力水平和受力状态变化, 可以充分反映荷载相差悬殊、基础面积大的建筑基础下不同部位、不同深度土的变形特性; 计算时考虑了基础刚度对沉降的调整作用; 考虑了深基坑开挖土的卸荷和施工后浇缝设置对沉降的影响; 考虑了沉降的时间效应等。其分析方法的核心是在北京地区大量高层与低层建筑物实测沉降观测的基础上, 通过大量的正、反演分析建立和不断完善北京地区天然地基应力应变模型与经验修正系数, 反映了北京地区土层的应力应变非线性特性, 可以获得与实际较为接近的沉降结果<sup>[4]</sup>。

#1 楼的沉降预估结果如图 4 所示。

4.4 支护体系设计

北车库比住宅楼深度深约 4.6~5.4 m, 护坡桩工

作面标高与主楼 CFG 桩工作面标高相同, 且车库的南侧基础底板位于住宅楼北侧基础底板之下, 二者共用一墙, 因此实际护坡桩位于主楼基础底板之下, 考虑施工期间基坑支护和后期地基承载力的要求, 方案设计时护坡桩分为两类, I 类桩仅提供护坡桩功能, 按照护坡桩进行设计, 桩长为 9.0 m, 通长配筋; II 类桩在施工期间起到护坡作用, 后期承担上部荷载, 设计桩长与 CFG 桩桩长相同, 均为 17 m, 上部 9.0 m 配筋。桩位布置时 II 类桩与主楼 CFG 桩相对应(护坡桩与 CFG 桩桩位布置如图 5 所示)<sup>[2]</sup>。

因主楼形成的边坡超载比较大, 达到 225 kPa, 仅凭悬臂桩不能满足边坡稳定要求, 故增加一排锚杆锚固于主楼地基土中, 锚杆设计为两桩一锚, 为避免和南侧已施工完成的 CFG 桩相冲突, 锁定在 I 类桩顶连梁上。如图 6 所示。当车库基础墙施工时, 将锚头砌筑在砖导墙中, 防水层贴附于导墙面上, 基础墙单侧支模浇筑。

因护坡桩连梁位于住宅楼基础底板之下, 且局部护坡桩加密了住宅楼 CFG 桩布置, 导致局部地基过硬, 容易引起板底应力集中, 通过局部加厚褥垫层及保护墙上铺设聚苯板来解决。护坡体系设计参数见表 2。

5 工程实施成果

施工中完全执行了设计意图, 并且工序节点与设计进度相符, 甲方委托第三方对其护坡桩水平位移和建筑物沉降进行精确观测, 观测结果显示, 住宅楼的实际沉降观测结果与施工前的预估结果相吻合, 住宅

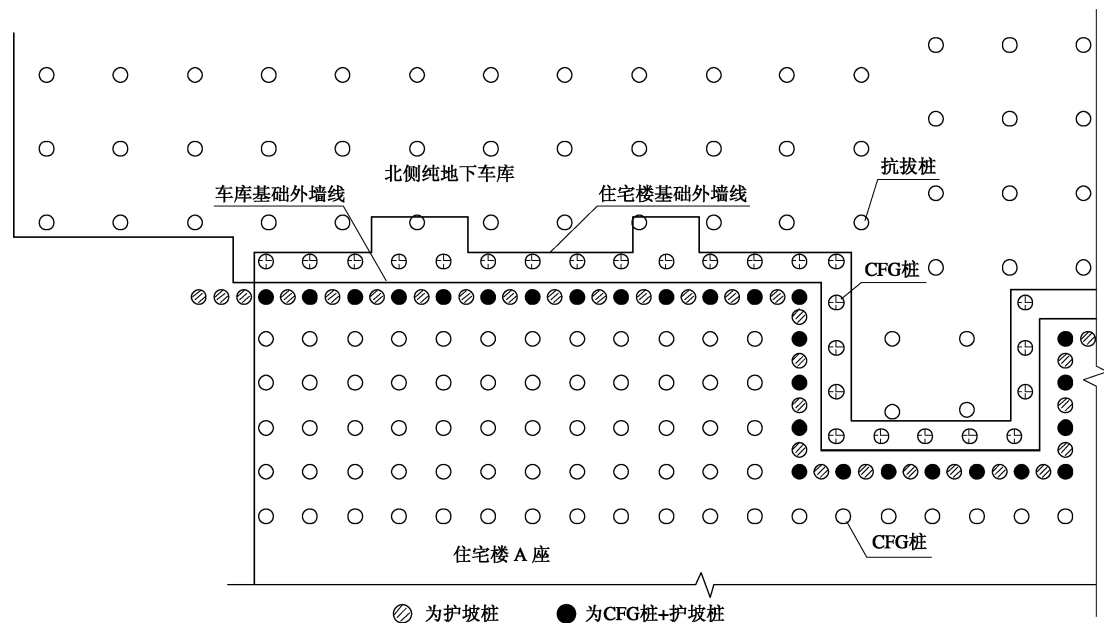


图 5 护坡桩与 CFG 桩桩位布置图

Fig. 5 Layout of revetment piles and CFG piles

楼实测沉降观测值如图 7 所示。

观测资料表明长期使用总沉降值也完全满足设计要求。

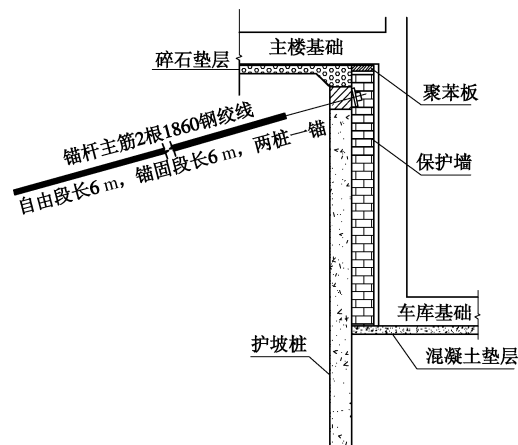


图 6 护坡桩剖面图

Fig. 6 Section of a revetment pile

通过对比可以看出在封顶时最大沉降在 1.5 cm 左右，实测楼座的沉降要小于计算估算的沉降。且沉降

表 2 护坡桩设计参数表<sup>[2]</sup>

Table 2 Design parameters of revetment piles<sup>[2]</sup>

桩类型	Ⅱ类桩 (CFG+护坡桩)	Ⅰ类桩 (护坡桩)
桩径/mm	410	410
桩长/m	17.0	9.00
桩主筋	6Φ20, 上部 9.0 m 配筋	6Φ20, 通长配筋
桩间距	两种桩交叉布置, 桩间距为 0.75 m	
锚杆分布	两桩一锚, 锚杆长度 12.0 m	
混凝土等级	C25	C25

护坡桩位移监测表明：自挖槽到底至主楼施工至地上 15 层时，监测点累积水平位移量最大值为 12.450 mm (#2 观测点)，最小值 2.670 mm (#1 观测点)，建筑物最大相对倾斜量为 2.15‰ (护坡桩水平位移量与时间的关系曲线如图 8 所示)，这充分说明了采用护坡桩与 CFG 桩相结合的基坑支护的设计方法是切实可行并且是非常有效的<sup>[3]</sup>。

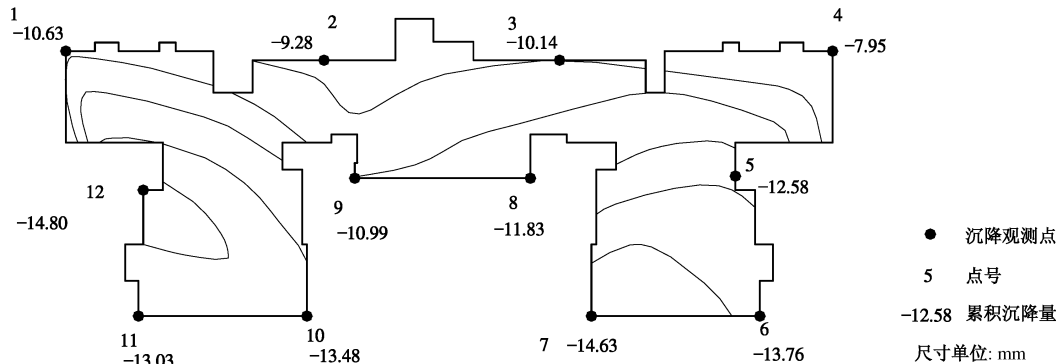


图 7 #1 楼结构实测沉降等值线图

Fig. 7 Observed settlement of building No. 1

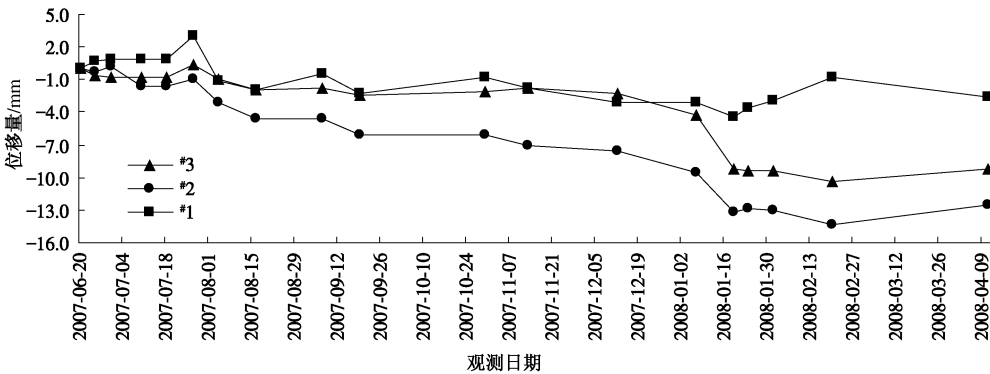


图 8 护坡桩时间 - 水平位移曲线

Fig. 8 Curves of time-horizontal displacement of revetment piles

6 结 论

- (1) 对于荷载相差巨大, 并且地板相连的结构, 通过精细的岩土工程计算, 配置差异化的复合地基设计, 可以很好的解决差异沉降问题。
- (2) 通过巧妙的将护坡桩设置在主楼底板之下, 解决了深挖车库带来的边坡问题, 为以后类似工程提供了设计思路和经验。
- (3) 该设计方法不仅节省资金, 而且可以缩短施工工期, 真正将资源节约、环境友好的科学发展观落到实处, 有非常高的经济效益和社会效益。

参考文献:

[1] 北京市勘察设计研究院. 北苑居住区二期岩土工程勘察报告[R]. 北京, 2006. (BGI Engineering Consultants LTD. The engineering surveying report in the second phase of the Beiyuan residential area[R]. Beijing, 2006. (in Chinese))

[2] 北京市勘察设计研究院. 北苑居住区 105、106 号楼护坡和地基处理设计施工图[R]. 北京, 2007. (BGI Engineering Consultants LTD. The Construction drawing of the

foundation treatment and protection of foundation pits about the #105、#106 building in the Beiyuan residential area[R]. Beijing, 2007. (in Chinese))

[3] DB11/489—2007 建筑基坑支护技术规程[S]. 2008. (DB11/489—2007 Technical specification of retaining and protecting for building foundation excavation[S]. 2008. (in Chinese))

[4] DBJ11—501—2009 北京地区建筑地基基础勘察设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010. (DBJ11—501—2009 Code for geotechnical investigation and design of building foundations in Beijing area[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2010. (in Chinese))

[5] JGJ79—2002 建筑地基处理技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010. (JGJ79—2002 Technical code for ground treatment of buildings[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2010. (in Chinese))

[6] JGJ94—2008 建筑桩基技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010. (JGJ94—2008 Technical code for building pile foundations[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2010. (in Chinese))

(本文责编 黄贤沙)