

竖向受荷桩承载特性 理论与工程应用

张乾青 著

中国建筑工业出版社

竖向受荷桩承载特性 理论与工程应用

张乾青 著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

竖向受荷桩承载特性理论与工程应用/张乾青著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2016. 10
ISBN 978-7-112-19671-5

I. ①竖… II. ①张… III. ①桩基础 IV. ①TU473.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 194942 号

本书采用理论研究、现场测试和工程实践相结合的方法对竖向受荷桩基工程中的相关问题进行了系统分析。

本书共分 5 章, 主要内容包括: 绪论, 竖向抗压桩受力性状, 竖向抗拔桩受力性状, 竖向受荷桩后注浆技术及其工程应用, 桩基工程事故实例分析等。

本书结构严谨, 内容翔实, 通俗易懂, 配有大量图表, 使读者能够快速而深入理解桩基工程中的相关问题。通过桩基工程具体案例分析, 旨在帮助读者掌握竖向受荷桩基工程问题的计算理论与分析方法, 培养读者解决竖向受荷桩基工程问题的基本能力及创新能力。

本书可作为土木工程、水利工程、港口工程、道路工程、桥梁工程等高等学校教师与学生的教学参考书, 亦可为相关领域的工程技术人员提供参考。

责任编辑: 杨 允 张伯熙

责任设计: 李志立

责任校对: 李欣慰 李美娜

竖向受荷桩承载特性理论与工程应用

张乾青 著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京云浩印刷有限责任公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 13¼ 字数: 329 千字

2016 年 11 月第一版 2016 年 11 月第一次印刷

定价: 40.00 元

ISBN 978-7-112-19671-5

(29189)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

随着城市建设规模的日益扩大,土地资源越来越有限,加之施工、设计和建造水平的不断提高,高层建筑和大型工业建筑物不断涌现。中国已成为世界高层建筑建造大国。高层建筑的大量修建给广大土木工作者提供了机遇,同时也提出了挑战。桩基础具有整体性好、竖向承载力高、基础沉降小、调节不均匀沉降能力强、抗倾覆能力强等优点,是高层和超高层建筑的主要基础形式。桩基工程是一门实践性和理论性很强的学科,其设计指导思想是在确保长久安全的前提下,充分发挥桩土体系力学性能,做到既经济合理,又施工方便、快速、环保。这就要求桩基工程从业人员以相关规范为依据,从桩基工程的基本原理出发,综合考虑结构形式、场地条件、施工条件和经济条件等,确保建筑物的长久安全。桩基础虽已被广泛使用,但桩基承载特性存在理论与工程实践间的矛盾,桩基工程实践中出现了不少问题。因此,对桩基工程相关理论知识、桩基事故的原因分析和相关处理措施的成功经验进行系统介绍具有重要的意义。

作者自 2007 年求学浙江大学至今已从事桩基工程实践和研究近十年,参与了几十项桩基工程的咨询和分析工作,完成了数百根单桩的现场静载试验,积累了 5000 余根试桩的试验数据和多种桩基工程事故的处理经验,桩基工程相关研究成果获省部级科技进步奖 2 项。这些工程经验和试验数据有必要写入本书供广大桩基工程从业者参考。本书是作者教学、科研和工程实践经验的一个总结,旨在帮助桩基工程从业者掌握竖向受荷桩的计算理论与相关工程问题的分析方法。

本书采用理论研究、现场测试和工程实践相结合的方法对竖向受荷桩基工程中的相关问题进行了系统分析。本书共分 5 章,主要内容包括:绪论,竖向抗压桩受力性状,竖向抗拔桩受力性状,竖向受荷桩后注浆技术及其工程应用,桩基工程事故实例分析等。本书结构严谨,内容翔实,通俗易懂,配有大量图表和桩基工程具体案例,使读者能够快速而深入理解桩基工程中的相关问题。

本书得到了国家自然科学基金(51408338),山东省自然科学基金(2014EEQ009),中国博士后科学基金特别资助项目(2014T70641),中国矿业大学深部岩土力学与地下工程国家重点实验室开放基金(SKLGDUK1210, SKLGDUK1507)和同济大学岩土及地下工程教育部重点实验室开放基金(KLE-TJGE-B1301)的资助,在此表示感谢。感谢课题组成员在理论研究及现场试验中给予的帮助和指导,感谢辛公峰、俞峰、张世民、张广兴、刘俊伟、孙苗苗、房凯、王华强、张健、刘善伟、冯若峰等为本书所提的宝贵建议和意见。对于为本研究提供现场试验条件和配合的工程技术人员和合作单位,在此一并表示衷心的感谢。

由于作者水平和能力有限,书中难免存在不当之处。作者将以感激的心情诚恳接受旨在改进本书的所有读者的任何批评和建议。

张乾青

2016 年 08 月于山东大学千佛山校区

目 录

第1章 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 地基基础问题	1
1.2.1 地基承载力不足问题	1
1.2.2 预应力管桩偏位和上浮问题	6
1.2.3 建筑物沉降差过大问题	9
1.3 桩的定义和分类	10
1.4 桩基工程新技术	11
1.4.1 大直径超长桩	11
1.4.2 后注浆钻孔灌注桩	11
1.4.3 挤扩支盘灌注桩	12
1.4.4 大直径薄壁筒(管)桩	13
1.4.5 大直径钻埋空心桩	14
1.4.6 预应力竹节管桩	15
1.4.7 静钻根植预应力竹节管桩	16
1.4.8 长螺旋钻孔压灌桩	17
1.4.9 刚柔复合桩基	17
1.4.10 锚杆静压桩	18
1.4.11 微型桩	19
1.4.12 钻孔扩底桩	19
1.4.13 钻孔咬合桩	20
1.5 竖向受荷桩检测技术	20
1.5.1 竖向受荷桩现场检测方法	21
1.5.2 竖向受荷单桩静载试验加载装置	21
1.6 竖向受荷桩室内模型试验技术	22
1.6.1 模型桩室内静载试验设计	22
1.6.2 模型桩室内静载试验装置设计	22
1.6.3 模型桩室内静载试验观测设计	22
1.6.4 竖向受荷桩室内离心试验	23
1.7 竖向受荷桩承载特性计算方法	23
1.7.1 竖向受荷单桩承载特性计算方法	23
1.7.2 竖向受荷群桩承载特性计算方法	24
1.8 本书的主要研究内容	25
1.8.1 竖向抗压桩受力性状	25
1.8.2 竖向抗拔桩受力性状	25

1.8.3 竖向受荷桩后注浆技术及其工程应用	25
1.8.4 竖向受荷桩工程事故实例分析	25
第2章 竖向抗压桩受力性状	26
2.1 概述	26
2.2 竖向抗压单桩静载试验	26
2.2.1 竖向抗压单桩静载试验加载装置及方法	26
2.2.2 竖向抗压单桩静载试验桩顶和桩端位移观测方法	30
2.2.3 竖向抗压单桩静载试验桩身应力应变测试及分析方法	31
2.2.4 竖向抗压单桩极限承载力确定方法	31
2.2.5 竖向抗压单桩静荷载试验实例分析	33
2.3 竖向抗压桩荷载传递机理	55
2.4 竖向抗压单桩极限承载力计算方法	56
2.5 竖向抗压单桩沉降计算方法	57
2.5.1 荷载传递法	57
2.5.2 简化方法	66
2.6 竖向抗压群桩受力性状	72
2.7 竖向抗压群桩受力性状现场试验	73
2.7.1 超高层建筑竖向抗压群桩实测受力性状	73
2.7.2 采用桩土共同作用设计方法的竖向抗压群桩现场试验	78
2.8 竖向抗压群桩沉降计算方法	89
2.8.1 剪切位移法	90
2.8.2 荷载传递法	94
2.8.3 沉降比法	99
2.8.4 数值分析法	103
2.9 按基桩协同变形控制的竖向抗压群桩沉降分析	104
第3章 竖向抗拔桩受力性状	105
3.1 概述	105
3.2 竖向抗拔单桩静荷载试验	105
3.2.1 竖向抗拔单桩静载试验加载装置	105
3.2.2 竖向抗拔单桩静载试验加载方法	106
3.2.3 竖向抗拔单桩静载试验成果整理	106
3.2.4 竖向抗拔单桩极限承载力确定方法	106
3.2.5 竖向抗拔单桩静荷载试验实例分析	107
3.3 抗拔桩与抗压桩承载特性的异同	112
3.4 竖向抗拔单桩承载特性计算方法	114
3.4.1 弹性理论法	114
3.4.2 荷载传递法	119
3.5 竖向抗拔群桩承载特性计算方法	121
第4章 竖向受荷桩后注浆技术及其工程应用	124
4.1 概述	124
4.2 后注浆技术的定义及作用	126

4.3 后注浆技术的分类 127

4.3.1 按注浆部位分类 127

4.3.2 按注浆压力扩散方式分类 128

4.4 后注浆技术设计 128

4.4.1 桩端后注浆技术设计 129

4.4.2 桩侧后注浆技术设计 131

4.5 桩端后注浆钻孔灌注桩统计结果分析 132

4.5.1 桩端后注浆桩持力层分布统计结果分析 132

4.6.2 注浆量统计分析结果分析 132

4.6 竖向受荷后注浆桩承载特性计算方法 133

4.6.1 竖向抗压后注浆桩承载特性计算方法 134

4.6.2 竖向抗拔后注浆桩承载特性计算方法 136

4.7 后注浆桩工程实例分析 137

4.7.1 工程实例一 137

4.7.2 工程实例二 142

第5章 桩基工程事故实例分析 151

5.1 概述 151

5.2 基桩质量检测方法 151

5.2.1 基桩承载力检测 151

5.2.2 基桩桩身完整性检测 152

5.2.3 基桩钢筋笼长度检测 153

5.3 预应力管桩偏位事故实例分析 155

5.3.1 工程概况 155

5.3.2 预应力管桩偏位检测结果分析 156

5.3.3 预应力管桩桩顶偏位损伤原因分析 158

5.3.4 偏位、损伤预应力管桩处理及补桩方案 158

5.3.5 偏位预应力管桩处理后静载试验分析 159

5.3.6 偏位预应力管桩处理后实测沉降分析 160

5.4 基桩承载力不足事故实例分析 161

5.4.1 工程概况 162

5.4.2 基桩桩身质量低应变动测结果分析 162

5.4.3 桩身混凝土钻探取芯结果分析 164

5.4.4 单桩静载试验结果分析 165

5.4.5 基桩承载力不足事故综合分析结果 165

5.4.6 基桩承载力不足事故加固处理方案 167

5.5 同一建筑刚性桩与柔性桩沉降差过大事故实例分析 171

5.5.1 工程概况 171

5.5.2 粮库仓储室内地面实际沉降观测 172

5.5.3 粮库室内地面水泥搅拌桩的钻探取芯检测结果分析 174

5.5.4 粮库室内地面沉降理论计算 174

5.5.5 粮库室内地面过大沉降的原因分析 175

5.5.6 粮库仓储室内地面过大沉降的初步加固方案 175

5.6 钻孔灌注桩预埋注浆管无法打开事故实例分析.....	182
5.6.1 工程概况和场地地质情况	182
5.6.2 桩端预埋管后注浆方案	183
5.6.3 桩端预埋管后注浆事故及处理方案	184
5.6.4 桩身混凝土钻孔补注浆方案	185
5.6.5 桩侧土钻孔补注浆方案	187
5.6.6 桩侧土钻孔注浆时注浆压力随时间的变化规律	188
5.6.7 补注浆工程桩静载试验结果分析	188
5.7 基桩桩身质量事故实例分析	189
5.7.1 工程概况和工程地质情况	189
5.7.2 静载试验结果分析	191
5.7.3 低应变动测结果分析	192
5.7.4 桩身浅部混凝土取芯芯样抗压试验结果分析	194
5.7.5 基桩钢筋笼长度检测结果分析	198
5.7.6 基桩质量综合分析	199
5.7.7 桩基加固方案	199
参考文献	202

第 1 章 绪 论

1.1 概述

随着城市建设规模的日益扩大,土地资源越来越有限,加之施工、设计和建造水平的不断提高,高层建筑和大型工业建筑物不断涌现。统计数据显示,截止至 2015 年底世界前 100 最高建筑中的 1/3 以上在中国,其中已建成的台北 101 大厦高 509m,上海环球金融中心高 492m,南京紫峰大厦高 450m,上海金茂大厦高 421m,天津津塔高 336.9m,温州世贸中心高 323m。方兴未艾的中国超高层竞赛仍在全国各地开展,超高层建筑高度不断被刷新。桩基础具有整体性好、竖向承载力高、基础沉降小、调节不均匀沉降能力强、抗倾覆能力强等优点,是高层和超高层建筑的主要基础形式。桩基础也被广泛应用于高速铁路、高速公路、桥梁、港口码头、石油钻井平台和大型构筑物等工程中。合理使用桩基础既能有效控制建(构)筑物沉降变形,又能提高建(构)筑物的抗震性能,从而确保建(构)筑物长期使用安全。桩基础虽已被广泛使用,但桩基承载特性理论研究与工程实践间存在着矛盾。由于设计、施工和地质条件等方面的原因,桩基工程实践中出现了不少问题。如何在确保建筑物长久安全的前提下,充分发挥桩土体系力学性能,做到所设计桩型既经济合理,又施工方便快捷、环保是目前桩基设计中的关键问题。这就要求桩基工程从业人员以相关规范为依据,从桩基工程的基本原理出发,综合考虑结构形式、场地条件、施工条件和经济条件等,优选合理的基桩参数,确保建筑物的长久安全。因此,对桩基础相关理论知识,桩基事故的原因分析及相关工程问题处理措施的成功经验进行系统介绍具有重要的意义。

本书将重点介绍竖向受荷桩的承载特性及竖向受荷桩相关工程问题的处理方法。

1.2 地基基础问题

地基基础中为何使用桩基础?什么条件下使用桩基础?如何解决地基基础中承载力不足和变形过大的问题?在天然地基承载力不能满足上部结构的荷载要求,且经过人工处理仍无法满足要求的情况下,可采用桩基础加固地基,利用桩身把上部荷载传到地层深处。本节将介绍几个典型地基基础的问题。

1.2.1 地基承载力不足问题

浙西某工业园区 1 号厂房为单层钢结构厂房,场地地貌为山前残坡积相,地面西北低

东南高，场地统一用填土进行了回填整平（原始地面耕植土淤泥等回填前未处理）。回填后勘探表明该场地内填土层厚度不均，在 0.40~6.40m 之间。1 号厂房采用独立承台浅基础形式，并对厂房处地基采用强夯法处理，设计要求处理后的地基竖向承载力特征值达到 150kPa。独立承台基础施作在强夯处理后的地面上，承台与承台间用简单条形地梁连接。强夯采用重 20t 的外包钢板钢筋混凝土夯锤，夯锤底面直径 2m，夯锤落高 8.5m，夯击能量为 1700kN·m。采用跳夯施工，分两遍进行。强夯法完成后进行了平板载荷试验，其结果表明强夯法处理后的地基承载力特征值为 230kPa，满足设计要求。然而，单层钢架厂房钢架柱施工 15 天时（屋顶尚未施工）发现 1 号厂房独立承台基础有不同程度的沉降，且西北处沉降大，东南处沉降小，不均匀沉降差较大。

为分析强夯法地基处理事故的原因，对该场地进行了补充勘探。补充勘探孔沿沉降较大区域边线及最大沉降柱附近布置，共布置补勘孔 11 个，采用钻探取样，勘探孔分布如图 1-1 所示，补勘后的各剖面地层情况见图 1-2。辅以 23 次动力触探试验、室内土工试验等综合手段，获得了 1 号场地地基土的物理力学参数，如表 1-1 所示。

各土层的物理力学参数 表 1-1

地层名称	含水量 (%)	塑性指数	液性指数	压缩模量 (MPa)	重型动探击数 $N_{63.5}$	黏聚力 (固快) (kPa)	摩擦角 (固快) (kPa)	冲击灌注桩特征值 (kPa)	
								侧摩阻力	端阻力
填土	32.2	16.4	0.7	3.8	4	23.0	10.4	9.9	
耕土	34.2	16.0	0.8	2.9		13.0	11.5	7.2	
粉质黏土含砾	25.0	12.1	0.5	5.4	7	22.4	12.1	23.0	
粉质黏土含碎石					13			45.0	960.0

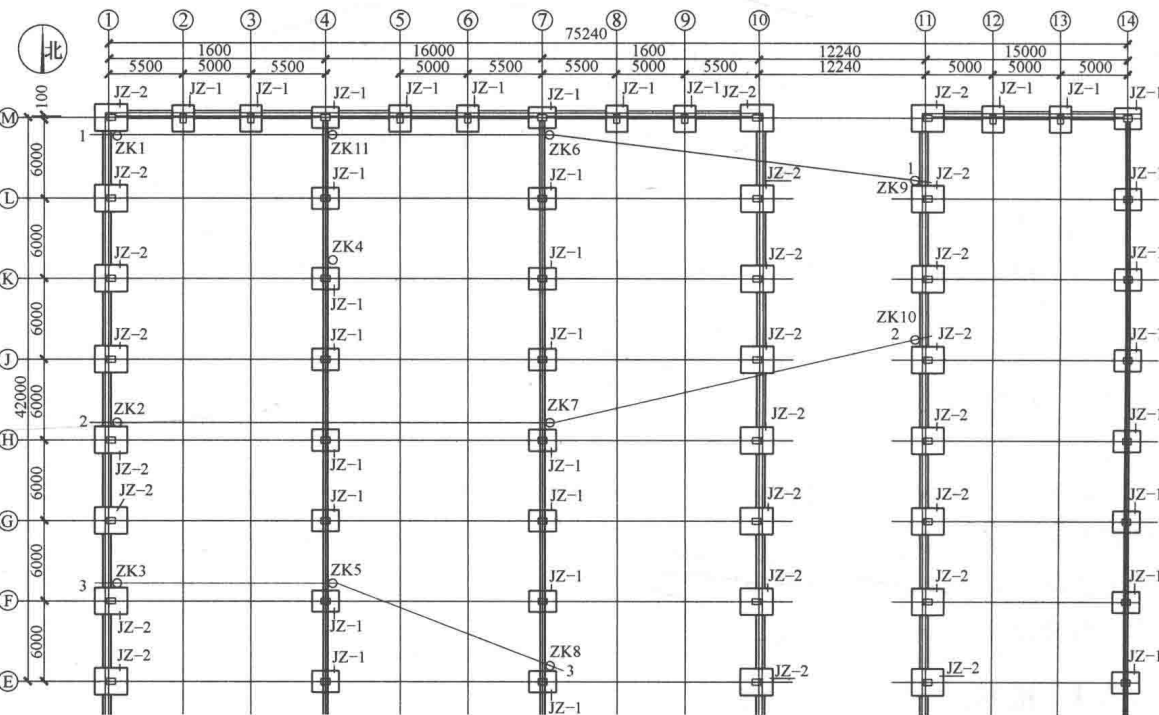


图 1-1 补勘探孔平面布置图

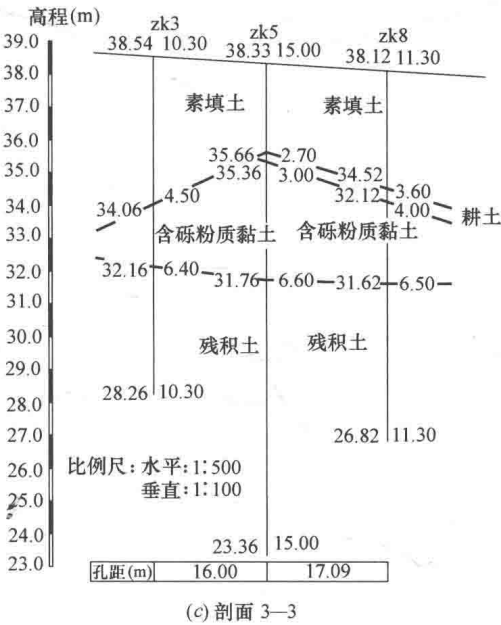
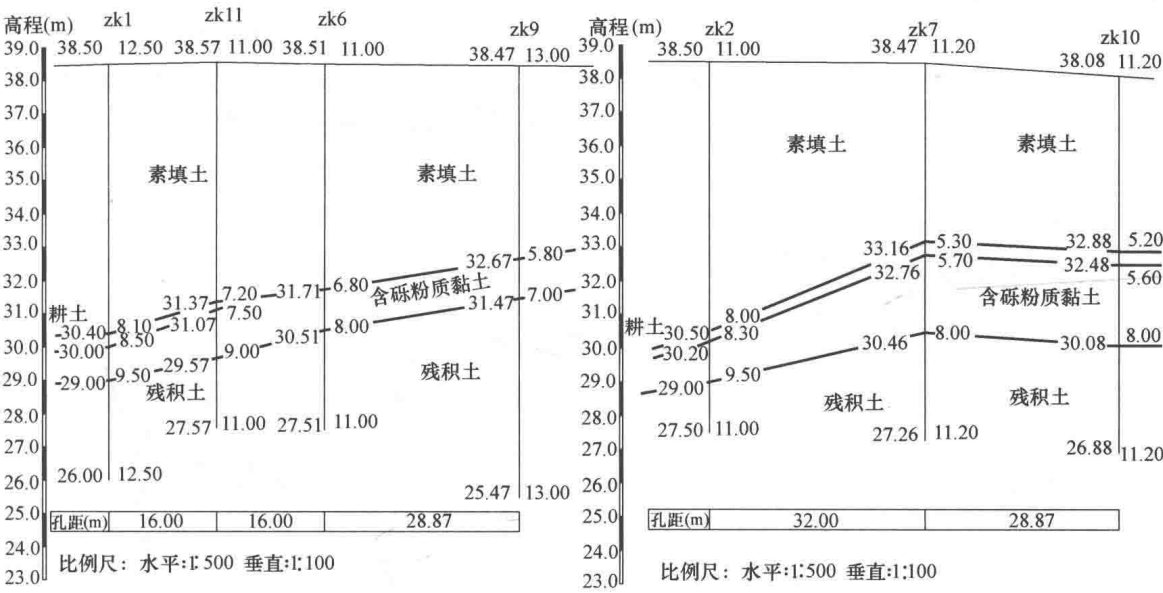


图 1-2 1 号场地地质剖面图

独立承台基础沉降等值线见图 1-3。1 号厂房各区域的位置可根据图 1-3 中标注的轴线确定。从图 1-3 (a) 中可知，1 号厂房西北角处沉降较大，最大沉降位于 K-4 轴线相交处的独立承台，达 53mm，周边区域沉降以该柱为中心依次递减，最小沉降量为 0，最大沉降差为 53mm。图 1-3 (b) 显示，独立承台基础沉降较大的区域基本上未发生变化，仍位于 1 号厂房西北角处，各柱的最大沉降量随时间发展呈现逐渐增大趋势，最大沉降仍出现在 K-4 轴线相交处的柱下，达到 65mm。与 2008 年 10 月 24 日的观测结果相比，在不到 20 天的时间内，独立承台基础下沉量都有不同程度的增加，最大沉降增量仍出现在

K-4轴线相交处的柱下，达 12mm 之多。

从图 1-3 实测沉降结果可以看出，1 号厂房地基强夯处理后不满足相关规范对沉降差的要求，且独立基础的沉降有持续发展的趋势。必须采取措施对该场地地基进行加固，否则将会影响 1 号厂房的正常使用。

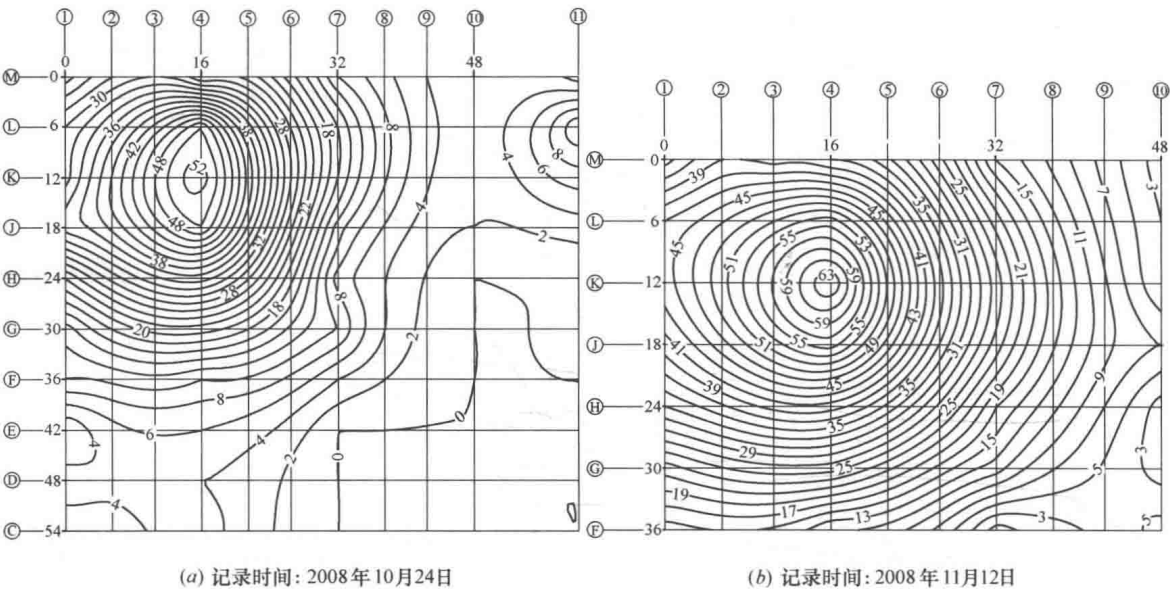


图 1-3 1 号厂房处独立承台沉降等值线图（沉降：mm；厂房尺寸：m）

首先从场地地质条件分析独立承台沉降过大的原因。利用补勘资料，绘制填土层厚度等值线图（见图 1-4，自补勘孔 zk1 孔口高程为起点计算填土层厚度）及场地内耕土厚度等值线图（图 1-5），结合图 1-3 独立承台沉降等值线图，从素填土和耕土厚度对 1 号厂房独立基础沉降影响的方面进行分析。

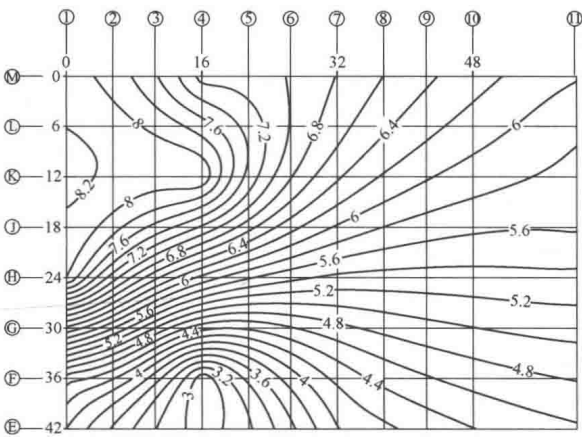


图 1-4 1 号厂房处填土层厚度等值线图（单位：m）

结合独立承台沉降等值线图 1-3 和填土层厚度等值线图 1-4 可以看到，独立承台沉降较大处位于填土层厚度等值线图中一个“簸箕型”斜坡处（1-4 轴和 J-M 轴之间区域），“簸箕”尾端沉降量最大（K-4 轴相交处）。总的来说，填土层厚度大的区域独立基础沉降量较大，填土厚度小的区域独立基础沉降量较小。

由图 1-5 可知，1 号厂房处耕土层厚度和图 1-3 中独立承台沉降量的大小对应得较好，即在耕土层厚度最大处恰好对应 1 号厂房处的最大沉降量。

从表 1-1 中可知，填土和耕土的压缩模量相对较低（填土的压缩模量为 3.8MPa，耕土的压缩模量为 2.9MPa，粉质黏土含砾的压缩模量为 5.4MPa），且填土不是分层碾压填筑，而是用填土对场地进行回填且一次填好，填土密实度无法保证。实际施工过程中验槽

时发现下部有较大的石块，填土层的压密程度无法保障，这也给填土层后期工后不均匀沉降留下了隐患。同时耕土位于场地较深处且是相对软弱下卧层，强夯法的加固深度有限，加固效果不能保证。1号厂房独立承台过大沉降的产生主要为耕土层压缩、上部填土层压缩及填土层密实度不均匀综合作用的结果。因此，独立承台沉降量较大区域发生在地填土层和耕土层厚度较大的区域。对于填土层厚度严重不均匀且场地深处有相对软弱下卧层的场地，采用强夯法处理地基无法保证工后沉降。对于同一土层厚度差异较大且场地深处有相对软弱下卧层的场地，单独采用强夯法处理地基是不恰当的。

强夯法施工工艺对地基加固效果也有一定的影响。1号厂房西北部有另一个工程在施工，工程场地周围设有围墙，强夯完成后，该工程的围墙部分区域出现裂缝，且长度贯穿墙高，如图1-6所示。1号场地强夯法处理地基时没有采取较好的隔振措施，致使1号厂房西北部处另一工地的围墙开裂。施工过程中强夯施工单位为防止围墙继续开裂，在离围墙较近处的1号厂房处减小了夯击能，加之该处填土层和耕土层较厚，这会造成1号厂房西北部有效加固深度不够，进而造成该区域沉降过大。而在距离围墙较远处，夯击能基本能够保证满足设计要求，有效加固深度较深，加之该区域的填土层厚度较小，这使得1号厂房距离围墙较远区域的沉降较小。

需要说明的是，荷载板试验虽然表明强夯法处理后的地基竖向承载力特征值为230kPa，满足处理后的地基竖向承载力特征值达到150kPa的设计要求。由于荷载板试验的影响深度范围有限，且场地地表填土层中有较大的石块，荷载板试验的结果并不能完全准确地反映地基承载力的真实状况和实际沉降情况。

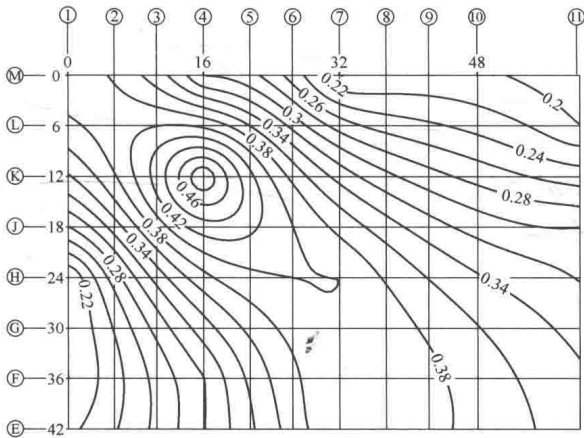


图 1-5 1号厂房处耕土厚度等值线图（单位：m）

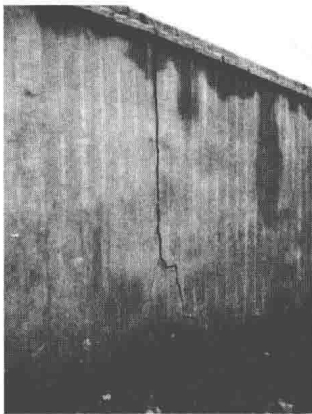


图 1-6 1号厂房西北处临近
工地围墙开裂情况

通过上述分析可知，1号厂房独立承台过大沉降的主要原因是场地中耕土层压缩、上部填土层压缩及填土层密实度不均匀综合作用的结果。同时，1号厂房西北部处夯击能不足也是造成1号厂房西北处独立承台沉降过大的原因。针对深部耕土层压缩、上部填土层压缩及填土层密实度不均匀的情况，提出了一套独立承台和地面的加固方案。独立承台采用桩基础进行加固。由于现场地表填土中混有大小不一的石块，钻孔灌注桩和预应力管桩施工时存在着较大的困难，因此采用冲击灌注桩加固该场地独立承台。另外，1号厂房内

部场地地面由于今后需堆重物，1号厂房柱子下独立承台加固完成以后，为防止地面较厚的填土层发生较大的工后沉降，对现地面灌水泥浆进行加固。灌浆后水泥浆液可以充填填土中的空隙，固化填土，使填土的压缩性显著降低，从而达到提高填土强度加固地面的目的。

独立承台采用桩基础加固完成40天后，对所有的独立承台进行了沉降观测。沉降观测结果显示，所有加固后的独立承台在原基础上没有下沉。说明独立承台桩基础加固方法起到了明显的效果。

1.2.2 预应力管桩偏位和上浮问题

浙江某商住楼西部主楼12层，东部裙楼2层，基础采用预应力管桩，总桩数为136根，桩径为0.4~0.5m，桩长15~21m，桩身采用C60混凝土，接桩采用电焊方式，施工机械采用ZJ60走管式桩架挂DD40导杆式柴油锤施工，设计要求单桩竖向承载力特征值为700~930kN，预应力管桩桩位布置见图1-7。场地属于山前冲积—湖积平原地貌，地形平坦。场地各土层的物理力学参数见表1-2。工程桩施工完成后对3根预应力管桩（桩号分别为21号、85号和125号）进行了单桩竖向抗压静载试验。3根预应力管桩的桩顶荷载-桩顶沉降曲线见图1-8。

场地各土层的物理力学参数 表 1-2

层号	土层名称	层底埋深 (m)	含水量 (%)	重度 (kN·m ⁻³)	塑性指数	液性指数	压缩模量 (MPa)	侧阻特征 值 (kPa)	端阻特征 值 (kPa)
②	黏土	3.4~5.7	33.9	18.77	21.3	0.515	4.0	30	700
③	淤泥	6.6~10.7	40.3	17.75	14.5	1.23	2.85	5	
④	黏土	8.8~13.0	35.9	18.60	22.1	0.734	4.5	32	
⑤	粉质黏土	9.4~17.2	22.0	19.70	14.5	0.17	7.68	28	800
⑥	淤泥质粉质黏土	12.5~20.0	39.5	18.10	13.5	1.17	3.25	10	
⑦	黏土	13.0~20.9	36.8	18.60	20.1	0.648	5.0	29	
⑧	粉砂	15.4~28.0							1200
⑨	黏土	18.1~33.9	32.9	19.06	20.5	0.501	5.5	35	
⑩	粉质黏土	20.4~36.5	25.3	19.20	9.5	0.68	36.0		
⑪	碎石夹黏土	22.6~39.2	26.9	19.7				40	1500
⑫	砂岩	未钻透						45	2000

由图1-8可知，试桩21号极限承载力大于1860kN，满足设计要求。当荷载从768kN增加到890kN时，试桩85号桩顶沉降急剧增加，从4.80mm增加到90.12mm。当荷载从890kN加载到静载试验要求的最大试验荷载1280kN时，桩顶沉降从90.12mm增加到93.66mm，荷载在增加390kN的过程中桩顶沉降仅增加了3.54mm。当荷载从700kN增加到840kN时，试桩125号桩顶沉降急剧增加，从5.140mm增加到105.89mm。当荷载从840kN加载到静载试验要求的最大荷载1400kN时，桩顶沉降从105.89mm增加到114.56mm，荷载在增加560kN的过程中桩顶沉降增加了8.67mm。在最大试验荷载下，试桩85号、125号的回弹率分别为1.43%和3.88%，动测结果显示试桩85号、125号的

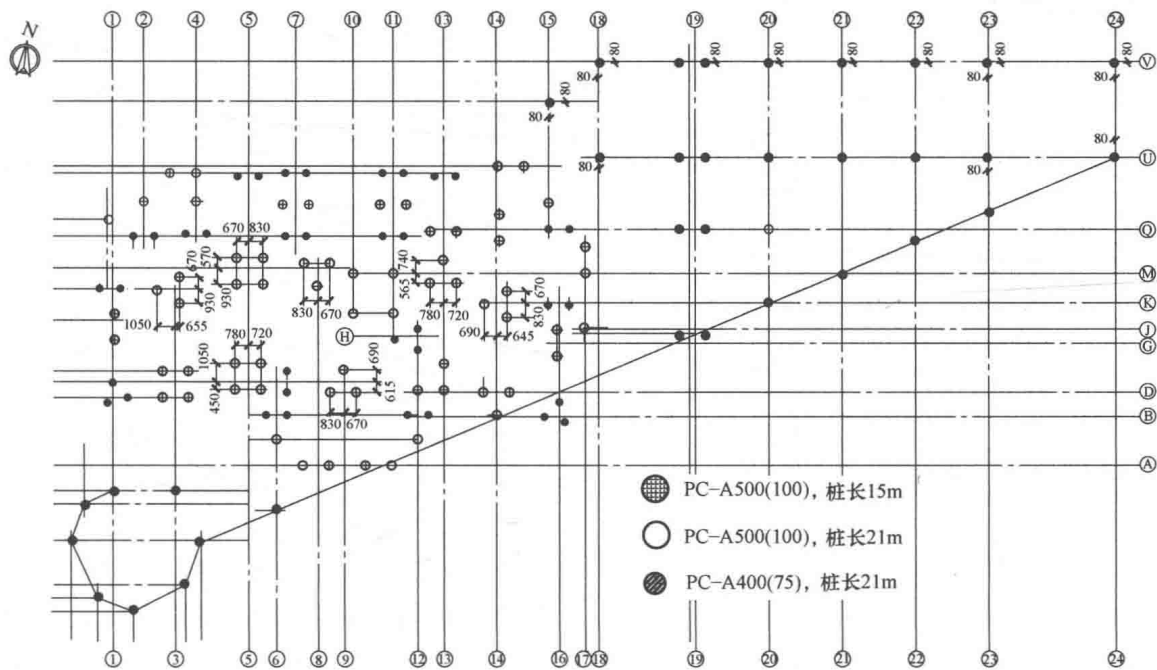


图 1-7 预应力管桩桩位布置图

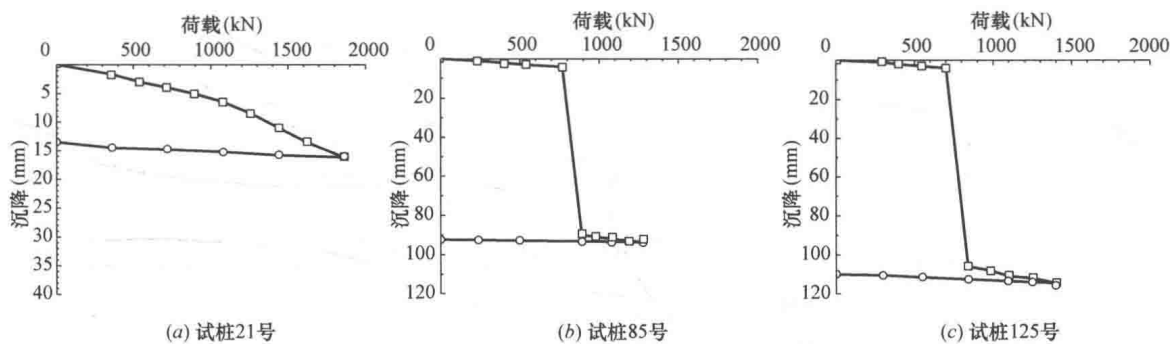


图1-8 预应力管桩桩顶荷载-桩顶沉降曲线

桩身完好，说明桩顶的沉降主要是由桩端刺入变形起的。桩顶沉降发生一定位移后，桩端阻力逐渐发挥作用，使得桩顶沉降增加缓慢。因此可以判定试桩 85 号、125 号发生了上浮，桩顶荷载达到一定值时，桩端发生了刺入变形，上浮桩的桩顶沉降出现了急剧增加。此后，上浮桩的桩端阻力逐渐发挥作用，桩顶沉降增加缓慢，卸载后桩顶回弹较小。

工程桩施工完毕后，基坑开挖完成后发现 126 根工程桩出现了偏位，大部分桩的偏移量在 100mm 之内，其中最大偏移量达到 820mm。低应变动测发现共有 11 根断桩，6 根二次断桩，1 根桩错位，2 根桩脱焊，Ⅱ类桩 10 根，Ⅲ类桩 6 根，此外还有 19 根桩发生了不同程度的上浮。预应力管桩低应变动测发现部分管桩桩身有不同程度的损伤或断裂，损伤位置大都在桩顶以下 4~8m 处。

针对现场桩位偏移情况及低应变动测情况，分析事故发生的原因主要为：

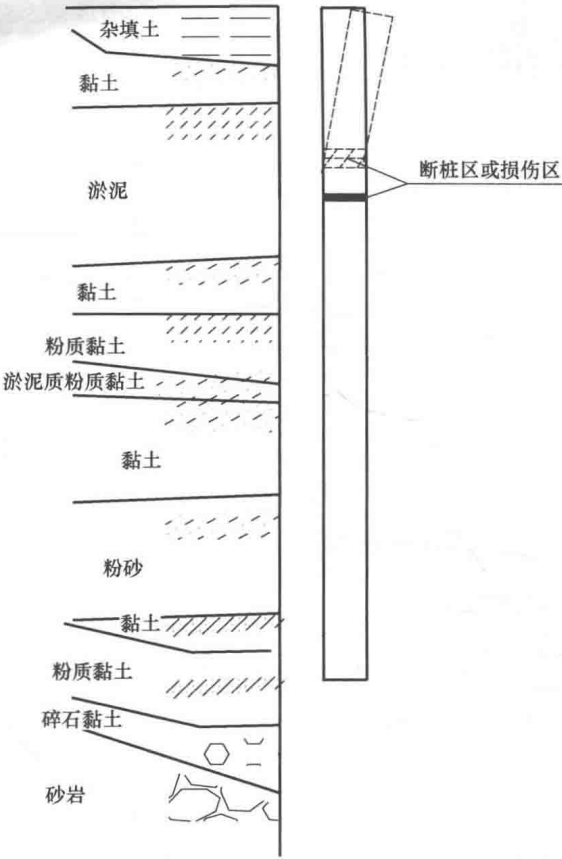


图 1-9 地质剖面图及预应力管桩损伤位置

要原因。基坑开挖过程中因施工不当，造成挖土机械对已打管桩的碰撞，也会造成预应力混凝土管桩的偏位。

(3) 打桩过程中的挤土效应及压桩机移动过程中长短腿对地压力差引起的土体挤压也是导致已打桩产生偏位的原因。同时，打桩挤土效应还会造成先打桩产生上浮，工程桩越密集的位置挤土效应越显著，越易出现浮桩。本场地出现浮桩的位置集中在南部桩基较稠密区域。

(4) 管桩的焊缝要有足够的冷却时间，以避免遭遇地下水冷却收缩，产生脆断。若是焊接不能满足上述要求，容易出现焊接不良的现象。

为保证建筑物的使用安全，针对预应力管桩偏位损伤、上浮的情况，采取有针对性的处理措施。对上浮桩采用复打或复压处理，本工程中共复打上浮桩 19 根，每根复打 30 次；对严重偏位且断裂的桩进行补桩处理；对偏位超过规范值但桩身质量完好的桩进行扶正处理；对偏位较大且桩身有损伤的桩先纠偏扶正，并在管桩内芯放钢筋笼灌混凝土芯加固处理；对群桩大面积偏位损伤部分由于处理后承载力达不到设计要求的需要采用补打预应力管桩的处理方式。补桩时，在满足承载力的前提下，采用灵活的两桩承台和三桩承台。在断桩处采用两桩对称分布于墙体两侧；北部偏移量较大不可利用的基桩重新布桩；重要承重结构下利用三桩承台使原有单桩或两桩的荷载分担到三桩从而保证基础的安全。

对偏位损伤预应力管桩和上浮的管桩进行处理后，大楼进行了整体施工，并对建筑物进行了沉降观测。该大楼的沉降等值线图如图 1-10 所示。

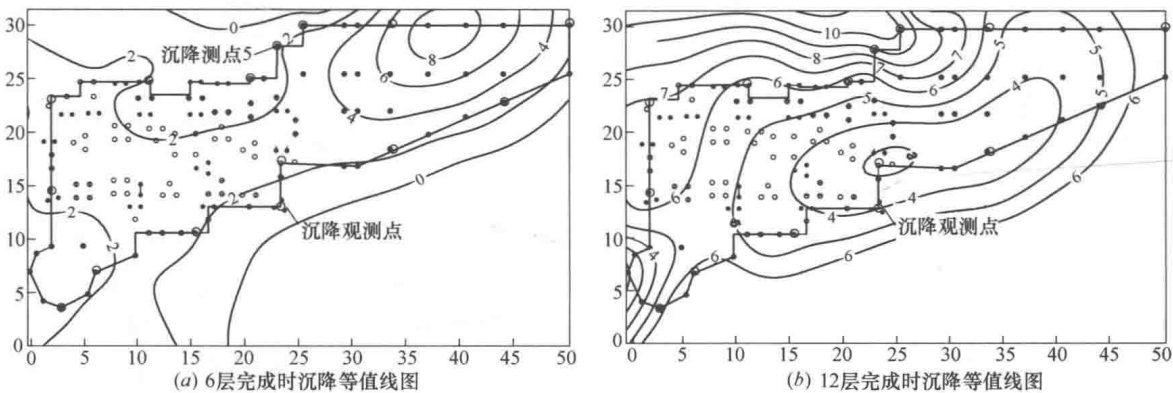


图 1-10 大楼沉降等值线图（沉降单位：mm；基础尺寸单位：m）

由沉降等值线图 1-10 可知，该大楼沉降较小，且沉降较为均匀，满足使用要求，说明该建筑物偏位管桩经过纠偏扶正、灌芯补强及补桩处理后的效果达到了预期目的。

1.2.3 建筑物沉降差过大问题

杭州某四层建筑物，地下一层，建筑总高度为 15.6m，基础平面尺寸长 41.7m，主体部分宽 12m，局部宽 17.1m 和 10.5m。现浇梁板式钢筋混凝土楼盖，地下室板厚 0.3m，底板双层配筋。基础采用直径 426mm 的沉管灌注桩，桩端持力层为⑥₂ 层砾砂混黏性土，该层顶板埋深在 31~33m，层厚在 3.50~6.50m 之间。黏性土呈薄层状分布，含砾石均匀，在 30%~60% 不等，该层组成不一，层内结构较为复杂。沉管灌注桩平均桩长约 35m，总桩数 135 根。

该建筑物建成 6 年后监测发现大楼已整体向南北向倾斜，屋面女儿墙东南角高差明显。2007 年 11 月至 2009 年 3 月沉降观测结果表明（图 1-11），南侧沉降量最大，平均为 23.6mm，沉降速率最大值为 0.06mm/天，北侧沉降量和沉降速率较小，平均沉降量为 4.6mm，沉降速率为 0.01mm/天。2008 年 8 月

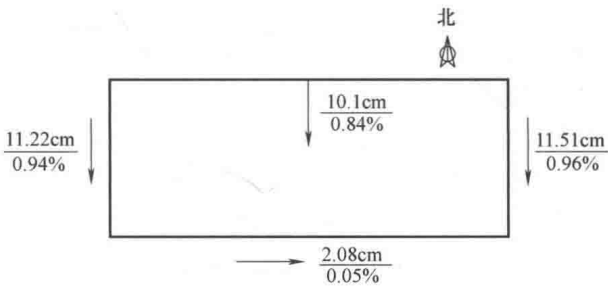


图 1-11 大楼倾斜情况（监测时间：2008.8.31）

31 日倾斜测量结果显示，大楼地坪呈北高南低，南北向的倾斜量最大值达 115mm，相应的倾斜率为 9.6‰，东西向略有倾斜，但倾斜量不大，相应的倾斜率为 0.5‰。

鉴于该建筑物上部结构刚度较大，上部结构至今未发现明显影响结构安全和正常使用的结构性裂缝。该住宅楼工程质量主要问题是大楼呈北高南低的倾斜，这种由地基不均匀沉降引起的倾斜率已达 9.6‰，超过了国家规范《民用建筑可靠性鉴定标准》GB 50292—1999 的标准。根据房屋安全性鉴定标准对照，应评定为 Cu 级。该规范规定，