

刘金砺
高文生
邱明兵
编著

建筑桩基 技术规范 应用手册

JGJ 94—2008

JGJ 94—94

JGJ 94—2008

JGJ 94—94

JGJ 4—80

JGJ 4—80

JGJ 4—80

桩基之路

桩基之路

中国建筑工业出版社

桩基之路

JGJ 4—80

建筑桩基技术规范 应用手册

刘金砺 高文生 邱明兵 编著

中国建筑工业出版社

·图书在版编目 (CIP) 数据

建筑桩基技术规范应用手册/刘金砺, 高文生, 邱明兵编著. —北京:
中国建筑工业出版社, 2010. 8

ISBN 978-7-112-12106-9

I. 建… II. ①刘…②高…③邱… III. ①桩基础-工程施工-工程技术-规范-中国-技术手册 IV. ①TU473. 1-65

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 088932 号

本书围绕《建筑桩基技术规范》JGJ 94-2008 的内容展开, 汇集了建筑桩基领域的最新技术和最新研究成果。针对实际应用的需要, 在对《建筑桩基技术规范》JGJ 94-2008 条文进行了深度阐述和解析的基础上, 本书既阐明桩基设计计算原理又剖析其工作机理; 既阐明设计基本规定和原则又论述具体技术措施; 既阐明设计先进理念又分析对比传统设计理念及其问题; 既阐明计算方法与公式又给出具体应用案例。

本书从桩基设计基本规定、桩基构造、桩基竖向承载力、桩基水平承载力和位移、桩基沉降计算、桩基结构承载力计算、桩基础抗震、桩基施工等方面进行了剖析和论述。同时, 本书对未列入规范、处于发展中的新技术和某些特殊条件下的桩基设计等问题的机理、设计、原理和方法也进行了简要介绍; 对工程应用中提出的大量疑难问题也作了简要释义, 以供桩基工程技术人员参考应用。

本书既是《建筑桩基技术规范》JGJ 94-2008 的配套读本, 又是建筑桩基技术的工具书, 可供建筑桩基工程科研、勘察、设计、施工、监理、质量监督、检测、咨询等相关人员及高校土建专业师生、注册结构工程师和注册岩土工程师考生参考使用。

责任编辑: 何玮珂

责任设计: 赵明霞

责任校对: 陈晶晶

本书附配套素材, 下载地址如下:

<http://www.cabp.com.cn/td/cabp19378.rar>

建筑桩基技术规范应用手册

刘金砺 高文生 邱明兵 编著

*

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

北京红光制版公司制版

北京中科印刷有限公司印刷

*

开本: 850×1168 毫米 1/16 印张: 30½ 插页: 3 字数: 878 千字

2010 年 8 月第一版 2010 年 8 月第一次印刷

定价: 78.00 元 (附网络下载)

ISBN 978-7-112-12106-9
(19378)

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

《建筑桩基技术规范》JGJ 94—2008 的颁布,引起了建筑工程界的广泛关注,对其中的先进设计理念和先进技术的推广应用深表欢迎。由于该规范较之《建筑桩基技术规范》JGJ 94—94 有不少新内容新变化,因此,规范的实施需要一个熟悉、理解和适应的过程。如:有的对于新设计理念、新技术措施感到难以理解和正确执行;有的对于规范条文意涵的理解只停留于概念,在复杂、特殊条件下如何实施感到迷茫;有的对于规范中提及但未给出具体计算方法的问题难以应对;还有的受传统观念约束,对某些问题的处理陷入误区等等。

鉴于上述情况,编撰《建筑桩基技术规范》JGJ 94—2008 应用手册便势在必然地提上了日程。

本手册不同于一般的工程技术手册,它是围绕《建筑桩基技术规范》JGJ 94—2008 的内容,针对实际应用需要,既阐明桩基设计计算原理又剖析其工作机理;既阐明设计基本规定和原则又论述具体技术措施;既阐明设计先进理念又分析对比传统设计理念及其问题;既阐明计算方法与公式又给出具体应用案例。本手册对于未列入规范、处于发展中的新技术和某些特殊条件下的桩基设计问题,也对其机理、设计、原理与方法作了简要介绍,包括基桩承载力的时间效应、桩端支承刚度对侧阻力的影响、后张预应力抗拔灌注桩、泊松效应对桩压、拔承载力的影响、桩基整体稳定性验算、桩基震害与抗震等。对于工程应用中提出的大量疑难问题,本手册也作了简要释义。

本手册各章的内容梗概如下。

第1章 概论 简述我国建筑工程桩基技术发展历程的三个阶段及桩基技术标准演进的过程,由《工业与民用建筑灌注桩基础设计与施工规程》JGJ 4—80 过渡到《建筑桩基技术规范》JGJ 94—94,再过渡到《建筑桩基技术规范》JGJ 94—2008,演绎出我国桩基工程技术在国家经济建设的推动下,通过科学实验、工程开发、技术标准化取得不断进步的生动历程。

第2章 桩基设计基本规定 阐述桩基设计方面基本规定。说明由桩基设计等级取代桩基安全等级和以综合安全系数取代分项系数设计法的理由;取消桩基竖向承载力群桩效应系数,强调变形控制设计;新增耐久性设计;强调重视桩型选择和桩端持力层确定,阐明桩端持力层刚度不仅制约桩端阻力而且影响桩侧阻力发挥值;阐明变刚度调平设计原理及其应用。

第3章 桩基构造 阐明为确保实现上部结构—承台—桩—土的荷载传递和共同工作、有效发挥竖向和水平承载功能、确保设计要求的耐久性,对于桩身、承台及其内外部连接采取非计算确定的相关构造措施。

第4章 桩基竖向承载力 重点阐述复合桩基的承载机理、承台效应和承台效应系数以及复合桩基的应用;基桩竖向承载力的时间效应和大直径桩、敞口管桩、嵌岩桩、后注浆灌注桩承载机理的特殊性及竖向承载力计算;后张预应力灌注桩、扩底桩、侧注浆灌注桩、预应力混凝土管桩的抗拔承载机理与抗拔承载力计算,阐明泊松效应对承载力的影响和利用。

第5章 桩基水平承载力和位移 重点阐述水平承载力的群桩效应和简化计算;考虑承台—桩群—土共同作用计算位移、桩身内力的手算、电算及应用案例。

第6章 桩基沉降计算 简述各种桩基沉降计算方法的原理、优点和问题;规范考虑桩径影

响的 Mindlin 解应力系数计算单桩、单排桩基沉降方法及桩身压缩影响；中小桩距群桩沉降变形特性、等效作用分层总和法及其不足；针对弹性连续介质理论夸大桩-桩、桩-土、土-土的相互作用效应导致沉降计算偏大，提出对相互作用系数进行修正，以改进上部结构—承台—桩土共同作用分析法和相互作用因子沉降算法；软土中减沉复合疏桩基础的设计与沉降计算。

第7章 桩基结构承载力计算 阐明箍筋和纵筋对于桩身受压承载力的增强作用；液化土、超软土中桩身压曲影响的稳定性折减；预制桩的吊点设计、锤击应力验算；承台受冲切、受弯、受剪破坏机理与计算；两桩承台按深受弯构件计算问题；承台的空间桁架计算模型分析；筏形承台、砌体墙下承台梁的受力特点与计算问题。

第8章 桩基础抗震 本章在规范基础上进行了较大扩充和归纳，主要是：非液化、液化土、液化侧扩场地桩基的各类建筑桩基的震害；论述选址、抗震设防、抗震承载力验算、抗震构造措施诸多方面的要求；对坡地、岸边桩基的整体稳定性验算——圆弧滑动条分法、折线形滑动面传递系数法的原理及手算、电算。

第9章 桩基施工 在阐述各类桩施工工艺、质量控制的基础上，重点论述各种灌注桩施工、灌注桩后注浆施工的常见问题与处理。

第10章 桩基疑难问题释义 在桩基工程实践中，由于人们在理念、认知、实践方面存在的局限性引发出多种多样的疑难问题，包括基于传统视角看似正确的盲点和误区。本章将这些问题归纳为8个方面，从桩和桩基础的承载和变形机理出发，综合既有研究成果和经验逐一进行剖析和阐释。

限于编著者水平，书中疏误之处在所难免，敬请读者和专家不吝批评指正。

刘金砺

2010年4月25日

目 录

第1章 概论	1
1.1 桩基技术标准演进与桩基技术发展	1
1.1.1 桩基技术初始发展阶段 ——制订《工业与民用建筑灌注桩基础设计与施工规程》JGJ 4—80	1
1.1.2 桩基技术加速发展阶段 ——制订《建筑桩基技术规范》JGJ 94—94	1
1.1.3 桩基技术全面进步阶段 ——修订《建筑桩基技术规范》JGJ 94—94，出台 JGJ 94—2008	2
1.2 规范修订概要	4
1.2.1 调整的主要内容	4
1.2.2 增加的主要内容	5
第2章 桩基设计基本规定	6
2.1 建筑桩基设计等级划分	6
2.1.1 划分建筑桩基设计等级的目的和原则	6
2.1.2 建筑桩基设计等级具体划分	6
2.2 桩基的承载能力极限状态设计	7
2.2.1 桩基承载能力极限状态设计演变	7
2.2.2 有关国家和地区规范关于桩基承载能力设计概况	11
2.2.3 桩基结构承载能力极限状态设计	13
2.3 桩基的正常使用极限状态设计	13
2.3.1 桩基正常使用极限状态内涵	13
2.4 桩的类型与选型	18
2.4.1 桩的要素	18
2.4.2 桩的分类	19
2.4.3 桩型选择	21
2.5 桩端持力层选择	25
2.5.1 桩端土支承刚度对侧阻力的影响	25
2.5.2 端阻力的深度效应	26
2.5.3 综合多种因素选择桩端持力层	27
2.6 承台形式和基桩布置	33
2.6.1 承台形式设计	33
2.6.2 基桩布置	35
2.7 桩筏基础变刚度调平设计	36
2.7.1 传统设计理念的若干误区	37
2.7.2 变刚度调平优化设计	41

本章参考文献	59
第3章 桩基构造	61
3.1 概述	61
3.1.1 考虑基桩的工作性状	61
3.1.2 特殊地质条件下的基桩	61
3.1.3 桩基的耐久性	62
3.1.4 桩土、承台和上部结构的共同作用	62
3.2 基桩构造	62
3.2.1 灌注桩桩身构造	62
3.2.2 扩底灌注桩	64
3.2.3 混凝土预制桩	65
3.2.4 预应力混凝土空心桩	65
3.2.5 钢桩的构造	67
3.3 承台构造	70
3.3.1 承台的最小宽度和厚度	70
3.3.2 配筋模式及最小配筋率	70
3.3.3 承台混凝土耐久性	73
3.3.4 承台与桩、柱及连系梁之间的连接	73
本章参考文献	74
第4章 桩基竖向承载力	75
4.1 概述	75
4.1.1 单、群桩的承载变形特性	75
4.1.2 一般建筑物基桩荷载效应计算	75
4.1.3 考虑承台（包括地下墙体）、基桩协同工作和土的弹性抗力作用 分析方法计算基桩荷载效应	77
4.2 桩基竖向承载力确定与验算	77
4.2.1 桩基竖向承载力计算	77
4.2.2 复合桩基竖向承载力	81
4.2.3 桩基竖向承载力验算	85
4.3 桩基竖向承载力的时间效应	87
4.3.1 饱和软土中摩擦型挤土桩承载力的时间效应	87
4.3.2 黏性土中钻孔桩承载力的时间效应	91
4.3.3 考虑时间效应基桩承载力验算	91
4.4 特殊桩型的单桩竖向极限承载力	92
4.4.1 大直径灌注桩的竖向承载力	92
4.4.2 钢管桩的竖向承载力	95
4.4.3 预应力混凝土空心桩的竖向承载力	98
4.4.4 嵌岩桩的竖向承载力	99
4.4.5 后注浆灌注桩的竖向承载力	102
4.5 特殊条件下桩基的竖向承载力	107

4.5.1 软弱下卧层验算	107
4.5.2 桩基负摩阻力	109
4.6 桩基抗拔承载力	115
4.6.1 概述	115
4.6.2 等截面桩	116
4.6.3 扩底灌注桩	120
4.6.4 后张预应力灌注桩	121
4.6.5 抗拔桩的群桩效应及其承载力	124
4.6.6 抗拔桩选型	125
4.7 建筑桩基整体稳定性验算	128
4.7.1 平地建筑桩基的整体稳定性问题	128
4.7.2 坡地、岸边建筑桩基的整体稳定性验算	128
本章参考文献	128
第5章 桩基水平承载力和位移	129
5.1 概述	129
5.2 单桩水平承载力	130
5.2.1 单桩水平静载试验	130
5.2.2 水平荷载下单桩的计算	133
5.2.3 单桩水平承载力特征值	135
5.3 水平荷载下群桩基础的计算	137
5.3.1 群桩基础水平承载力简化计算	137
5.3.2 考虑承台(含地下室侧墙)——桩—土共同作用的分析计算	140
本章参考文献	164
第6章 桩基沉降计算	165
6.1 概述	165
6.1.1 建筑桩基沉降计算的工程意义	165
6.1.2 既有沉降计算方法简述	165
6.2 单桩、单排桩、疏桩基础的沉降计算	174
6.2.1 对 Geddes 应力计算的改进——考虑桩径影响的 Mindlin 应力系数	174
6.2.2 考虑桩径影响的 Mindlin 解计算单桩、单排桩、疏桩基础沉降——规范法	216
6.3 中小桩距群桩基础沉降计算	222
6.3.1 中小桩距群桩基础沉降变形特征	222
6.3.2 等代墩基法的改进	225
6.3.3 等效作用分层总和法——规范法	227
6.3.4 弹性理论法计算桩基沉降的改进	230
6.4 软土中减沉复合疏桩基础的设计和沉降计算	236
6.4.1 概述	236
6.4.2 软土中减沉复合疏桩基础的承载变形特性	236
6.4.3 复合桩基承载力计算——承台面积和桩数确定	237
6.4.4 复合疏桩基础沉降计算	238

6.4.5 减沉复合疏桩基础桩身受压承载力计算	240
6.4.6 减沉复合疏桩基础设计案例	240
本章参考文献	242
第7章 桩基结构承载力计算	244
7.1 桩身承载力	244
7.1.1 钢筋混凝土轴心受压桩正截面受压承载力	244
7.1.2 偏心受压桩	247
7.1.3 轴心受拉桩	247
7.1.4 预制桩桩身承载力	250
7.2 承台承载力	252
7.2.1 四桩及以上柱下独立桩基承台	253
7.2.2 柱下独立三桩承台	265
7.2.3 柱下独立两桩承台	271
7.2.4 筏形承台	276
7.2.5 砌体墙下条形承台梁	278
本章参考文献	280
第8章 桩基础抗震	281
8.1 桩基震害	281
8.1.1 非液化土中桩基的震害	281
8.1.2 液化土中桩基的震害	286
8.2 桩基抗震设计的基本要求	291
8.2.1 一般规定	291
8.3 桩基竖向抗震承载力验算	294
8.3.1 可不进行抗震承载力验算的桩基	294
8.3.2 非液化土中低承台桩基的竖向抗震承载力验算	294
8.3.3 液化土中桩基的竖向抗震承载力验算	295
8.4 桩基水平抗震承载力验算	296
8.4.1 非液化土中低承台桩基水平抗震承载力验算	296
8.4.2 液化土中桩基水平抗震承载力验算	298
8.5 坡地岸边桩基整体稳定性抗震验算	299
8.5.1 影响坡地岸边建筑桩基整体稳定性的因素	299
8.5.2 土质边坡桩基整体稳定性验算——圆弧滑动条分法	299
8.5.3 存在外倾基岩或软弱层折线形滑动面桩基的整体稳定性验算 ——折线形滑动面传递系数法	304
8.6 桩基结构承载力抗震验算	310
8.6.1 钢筋混凝土构件的承载力抗震调整系数 γ_{RE}	310
8.6.2 承台结构承载力抗震验算	310
8.6.3 桩身结构承载力抗震验算	310
8.6.4 液化土中桩基础设计计算案例	320
8.7 桩基抗震构造措施	329

8.7.1 桩身配筋	329
8.7.2 承台体系抗震构造措施	329
本章参考文献	335
第9章 桩基施工	336
9.1 概述	336
9.2 灌注桩施工	336
9.2.1 灌注桩施工的共性问题	337
9.2.2 泥浆在灌注桩施工中的应用	339
9.2.3 泥浆护壁钻、冲孔灌注桩	342
9.2.4 旋挖钻机成孔灌注桩	345
9.2.5 沉管灌注桩和内夯管灌注桩	346
9.2.6 干作业成孔灌注桩	349
9.2.7 长螺旋钻孔压灌桩	351
9.3 灌注桩后注浆工法	353
9.3.1 灌注桩后注浆工艺流程	353
9.3.2 注浆装置的设置与要求	353
9.3.3 灌注桩后注浆施工	354
9.4 混凝土预制桩与钢桩施工	355
9.4.1 混凝土预制桩的制作	355
9.4.2 混凝土预制桩的起吊、运输和堆放	357
9.4.3 混凝土预制桩的接桩	358
9.4.4 沉桩	359
9.4.5 钢桩施工	363
9.5 承台施工	365
9.5.1 基坑开挖和回填	365
9.6 灌注桩施工常见问题与处理	366
9.6.1 干作业螺旋钻孔灌注桩常遇问题与处理	366
9.6.2 泥浆护壁正反循环钻孔灌注桩施工常遇问题与处理	368
9.6.3 旋挖钻机成孔灌注桩施工常遇问题及处理	370
9.6.4 长螺旋钻孔压灌桩施工常见问题与处理	371
9.6.5 灌注桩后注浆施工常见问题与处理	372
9.6.6 灌注桩桩底后注浆施工中的安全问题	373
本章参考文献	374
第10章 桩基疑难问题释义	375
10.1 桩基设计基本规定与原则	375
10.2 桩基构造	384
10.3 桩基竖向承载力	386
10.4 桩基水平承载力与位移	394
10.5 承台设计和桩基结构承载力	395
10.6 桩基沉降计算	396

10.7 桩基抗震设计	397
10.8 桩基施工	399
本章参考文献	400
 附录 《建筑桩基技术规范》JGJ 94—2008（条文部分）	 401
网络下载说明	478

第 1 章 概 论

1.1 桩基技术标准演进与桩基技术发展

桩基技术研究和工程应用推动桩基技术的不断进步,桩基的工程应用实践要求制定相应的技术标准来进行指导和规范行业的发展,由此形成了科技促应用,应用促标准,标准促实践,实践促科技的良性循环。

与此同时,我国的经济发展和工程建设也处于由起步到加速再到较快平稳发展的过程,建筑桩基技术紧跟着国家经济发展的步伐向前发展,这不仅反映在桩基技术的软硬件方面,而且在桩基的设计理念上也在不断更新和进步。作为桩基设计施工和质量控制的技术标准自然地凝聚着这些发展和进步。我国桩基技术标准与桩基技术发展的联动过程大体可分为三个阶段。

1.1.1 桩基技术初始发展阶段——制订《工业与民用建筑灌注桩基础设计与施工规程》JGJ 4—80

20 世纪 50 年代至 70 年代,我国的经济处于较低水平,建筑物基础的设计原则是尽量采用天然地基或采用较低廉的地基处理方法处理的人工地基。由于这一原因,20 世纪 50 年代至 70 年代软土地区和湿陷性黄土地区建造的住宅、办公楼等多层建筑由于差异沉降过大引发裂缝、倾斜严重,乃至丧失正常使用功能的情况很多。

当时采用桩基的工程主要是少量的软土地区的小高层、重型厂房和高耸构筑物,桩型局限于混凝土预制桩、沉管灌注桩、爆扩灌注桩,桩的几何尺寸较小,单桩承载力不高,成桩工艺和设备较简单。桩基设计的基本思想是以节省钢材、水泥为主要目标,因而出现了某些条件下仅在混凝土桩顶部配置(3~5)倍桩径长度的钢筋笼,甚至只在顶部插 4 ϕ 10 的连接钢筋,混凝土标号最低降至 C15 的情况。

我国建筑桩基的研究和开发也起始于 20 世纪 70 年代。在节省钢材和提高成桩适应度的主旨引导下,研发目标集中于钻孔灌注桩的成桩技术与设备、承载变形性状、设计计算方面。中国建筑科学研究院地基所于 1974 年成立灌注桩成套技术研究团队,组成包括天津、河北、四川等地相关单位的课题组,开展长螺旋钻机、潜水钻机等成桩设备的研制和灌注桩承载力试验;推动成立北京桩基小组,结合天坛小区、前三门住宅工程进行灌注桩竖向承载力和水平承载力试验研究及工程设计实践。

20 世纪 70 年代末在研发和推广灌注桩和借鉴交通、铁道部门既有科研成果的基础上,由中国建筑科学研究院主持编制了《工业与民用建筑灌注桩基础设计施工规程》JGJ 4—80。由此我国建筑桩基领域第一部以灌注桩为主导的行业标准出台,建筑桩基的设计施工步入了标准化初始阶段。

1.1.2 桩基技术加速发展阶段——制订《建筑桩基技术规范》JGJ 94—94

自 20 世纪 80 年代初开始,改革开放推动工程建设逐步增速,由此带动桩基工程应用规模和

技术研发全面提速。建筑桩基技术发展显示以下3个特点。

1. 成桩技术提高, 桩型趋于多样

随着工程的规模、性质、地域、地质条件等的扩展和变化, 对于桩基的成孔成桩工艺、桩径、桩长和单桩承载力提出了不同的更高要求。以自主研发为主, 在成桩技术、工艺、桩型方面形成了多系列、多类型。就成桩方法而言形成了三大系列: 非挤土桩、部分挤土桩和挤土桩。就桩材而言已不限于采用钢筋混凝土, 钢管和型钢制成的桩也开始应用于软土地区的某些特殊工程。

2. 试验检测和质量控制受到重视

随着工程规模的迅速扩大, 单桩静载试验也大规模展开, 不同地质条件、不同桩型和尺度的试验资料不仅为工程质量控制而且为桩基技术的发展提供了依据。基桩承载力和桩身完整性的各种高低应变动测方法如雨后春笋般大量涌现。施工过程的工程监理制度开始受到重视, 逐步建立起来。

3. 着眼长远开展试验研究

为揭示群桩基础在竖向荷载和水平荷载下的工作和破坏机理, 研究群桩承载力和沉降变形计算, 中国建筑科学研究院地基所与山东黄河河务局合作于1979~1980年在济南洛口粉土地进行了系统的单群桩试验。试验涵盖不同桩径、桩长的单桩试验24根, 不同桩长、不同桩距、不同排列和桩数高、低承台群桩试验44组(含2组长期荷载试验), 取得了竖向荷载下桩侧阻力、桩端阻力、承台土反力、桩顶反力随荷载、时间的变化, 桩基沉降随荷载的变化, 桩间土压缩变形随桩距、荷载的变化等资料; 水平荷载下各排桩桩顶水平力的分配、桩身弯矩沿桩身的分配, 承台侧向土抗力和承台底摩阻力对水平承载力的贡献, 单桩与群桩中基桩水平承载力和桩顶水平位移的对比, 单、群桩水平荷载下破坏性状对比等也获得颇有价值的成果。

为研究软土中群桩基础的承载力和沉降, 中国建筑科学研究院与华北电力设计院合作于1988年结合大港电厂工程在现场进行了大比例群桩模型试验和工程原型观测。试验涵盖桩数为 4×4 、 3×3 、桩距为 $3d$ 、 $4d$ 、 $6d$ 的群桩9组、单桩6根, 取得了软土中群桩桩侧阻力、端阻力、承台土反力随桩距的变化, 桩间土和桩端以下土的竖向变形随桩距的变化的有关资料。

对于考虑承台分担荷载和考虑上部结构、承台、桩、土的共同作用分析计算问题, 中国建筑科学研究院、同济大学、上海民用建筑设计院等单位对不同地基土、多层和高层建筑桩基进行了大量工程测试, 积累了丰富的资料。结合大量群桩试验结果, 总结分析得到随桩距、承台与桩长比变化的承台效应系数和箱筏承台内力的变化规律。

基于工程实践经验和试验研究, 1990年起着手组织编制涵盖各种桩型的《建筑桩基技术规范》JGJ 94—94。由此, 我国建筑桩基的设计、施工、检测验收全面纳入了规范有序的轨道, 技术上摆脱了落后, 管理水平获得了提高, 安全和质量处于可控状态。

1.1.3 桩基技术全面进步阶段——修订《建筑桩基技术规范》JGJ 94—94, 出台 JGJ 94—2008

进入21世纪以来, 随着我国房屋建设规模扩大、高层建筑增多、地下空间利用扩展, 建筑桩基在设计计算、施工技术、检测方法等的研究应用和工程经验积累取得了全面进步, 建筑桩基技术如同经济建设一样步入了平稳发展阶段, 显现出如下特点和变化。

1. 桩基设计优化创新

随着空间大、便于分割使用的框架-核心筒结构高层建筑大量兴建, 对于这类荷载和刚度分布极为不均的建筑, 桩基的设计如何解决差异沉降问题成为焦点。按传统理念, 采取多布桩、加

大承台厚度的办法,从既有工程沉降观测结果看,其效果不佳,不仅增大投资,而且碟形沉降明显。在此背景下,中国建筑科学研究院地基所提出变刚度调平设计新理念,其基本思路是调整桩长(有合适持力层时)、桩数,强化荷载集度高、面积大的核心筒的桩土支承刚度(按常规桩基设计),弱化外框架柱的桩土支承刚度(按复合桩基设计、有合适持力层还可减小桩长),促使内外沉降趋于均匀、承台内力减小。为研究变刚度调平设计,中国建筑科学研究院地基所还先后在河北石家庄(与河北省建筑科学研究院合作)和北京通州进行了大型模型试验。近10年来,对29项工程按变刚度调平设计原则进行了设计优化,建成后实测差异沉降仅为0.03%~0.18%,据19项工程统计,节约投资5606万元。

2. 研发后注浆技术,灌注桩生命力增强

1993~1994年中国建筑科学研究院地基所先后研发成功灌注桩桩底和桩侧后注浆技术,以加固灌注桩沉渣、泥皮和桩周一定范围土体,提高单桩承载力,减小沉降。应用过程,结合工程进行了大量对比试验,后注浆灌注桩承载力增幅为50%~120%,依土的类别和性质而异,粗粒土(砂土、砾石、卵石)最高、粉细砂和粉土次之,黏性土最低。通过模型试验、现场注浆桩的开挖试验,对后注浆的扩散、加固机理、后注浆群桩的工作性状等进行了研究,结合工程实践,总结形成了承载力估算、沉降计算折减、后注浆施工工艺与设备成套技术。后注浆工法已由建设部于2000年批准为国家级工法。由此,促使适用不同地质条件、尺度和承载力调整灵活的灌注桩具有更强的生命力,不仅成为各类建筑物的主导桩型,而且大量应用于桥梁市政等诸多领域。

3. 成桩技术和设备推陈出新

长螺旋钻机由于成孔效率高而受到青睐,但存在坍孔、孔底虚土、水下不能作业等缺点。近年来,研发成功长螺旋钻孔、压注、后插钢筋笼一次成型的设备和工艺,克服了上述缺点,成为以黏性土、粉土为主的场地中小直径、长度不大于28m灌注桩的较先进成桩方法。

传统的正反循环回旋钻成孔技术,虽仍应用较多,但20世纪90年代引进的旋挖钻机发展较快,并逐步实现国产化。由于其排浆量少、作业环境较文明,对于非软土、非嵌岩条件成桩具有优势。

传统的沉管灌注桩,由于其挤土效应和质量控制难度大,断桩、缩颈等质量问题频发,甚至造成全部工程返工或房倒屋塌等严重事故,21世纪初已趋于淘汰,并为预应力管桩所取代。预应力高强混凝土管桩(PHC)或预应力混凝土管桩(PC)经济指标较好,施工简便。沉桩挤土效应虽仍存在,但对桩身质量影响较小。在控制桩距、沉桩速率、采取加速土体排水措施情况下,可保证其安全和质量。

4. 桩基设计凸显变形控制

随着高层、深埋、大体量建筑物建设的发展,桩基设计中的变形控制理念越来越受到重视。

1) 高层建筑天然地基承载力满足要求的条件下,仍采用桩基

高层建筑均设有地下室,对于某些高层和超高层框架-核心筒公用建筑,地下室增至3~7层,埋深增至15~27m,在非软土地场,某些情况下地基承载力特征值经深宽修正后满足荷载要求,按传统可采用天然地基,现改用桩基。这是否不合理?其实是合理的。因为这种荷载极度不均的高层建筑采用天然地基时,既要为解决核心筒的冲切和减小碟形差异沉降而加大筏板厚度,还要为抵抗筏板整体弯矩而提高配筋率,工程造价比之于按变刚度调平设计的桩基来相差不大,但其技术效果和使用耐久性远不如桩基。

2) 主裙连体建筑差异沉降控制

主裙连体建筑,主体采用桩基者较多,裙房则根据地基土工程性质,对于非软土,宜采用天然地基,或采用疏短桩复合桩基或复合地基。主裙之间的差异沉降成为设计的关注焦点之一。采

取的措施包括三方面。一是设置沉降后浇带,消除施工期差异沉降对结构的影响。这种措施一般情况下是有效的,对于饱和黏土地基效果相对较差。二是地基承载力高、压缩性低的地基,对裙房基础采取增沉措施,即采用天然地基柱下独立桩基加防水板。三是对于软土地基承载力不够的情况下,为适当增大裙房沉降,采用复合地基或疏短桩复合桩基。

3) 深基坑的回弹变形效应

随着高层建筑和地下空间开发利用的发展,基坑越来越深、越来越大。基坑开挖产生的基土回弹变形引发两方面效应,一是非软土地区先开挖后成桩,回弹再压缩变形对主裙连体建筑的裙房产生增沉有利影响;二是软土地区先成桩后开挖,回弹变形对已成桩产生拉拔不利影响。

非软土地区,基坑支护多采用桩锚、土钉墙等不影响基坑作业空间的支护形式,基桩往往是在基坑开挖后施工。主体建筑基桩长度一般超过回弹变形层深度,故回弹再压缩变形不会导致桩基沉降加大,且回弹变形的大部分先于基桩施工结束前完成。而裙房基坑坑底在开挖后回弹便开始发生,当天然地基基础或疏短桩桩基在承受上部自重和使用荷载后,虽其附加压力理论值为负值(超补偿),但仍会产生回弹再压缩变形,其数量随基坑开挖深度增加而增大,在北京地区,对于10~20m深基坑,裙房再压缩沉降可达15~25mm。由此导致主裙差异沉降减小,成为一种有利效应。

软土地区一般采用先成桩后开挖(因基坑内支撑影响成桩作业)。坑底回弹变形对已施工的疏布抗浮桩产生预拉应力,建筑物投入使用,停止降水,水位回升,抗浮桩进入正常工作状态。设计时,应将回弹预拉力与水浮力引起的桩身拉拔力叠加,验算桩的抗拔承载力。由此可见,在软土地区,抗浮桩先于基坑开挖成桩的条件下,回弹变形对抗浮桩是一种不利效应。

在上述桩基技术全面进步、工程建设和经济水平提高的背景下,修订《建筑桩基技术规范》JGJ 94—94势在必行地提上日程。修订不仅吸纳了桩基设计和施工技术方面的创新成果和新鲜经验,而且适应国家技术政策的调整,如关于工程安全性、耐久性和环境保护等方面的新要求,在桩基工程的设计、施工、质量控制等方面全面作出了相关回应。

1.2 规范修订概要

1.2.1 调整的主要内容

1. 建筑桩基安全等级改为建筑桩基设计等级;
2. 限制挤土沉管灌注桩的使用范围,补充抗震度防区预应力空心桩的应用规定;
3. 调整灌注桩主筋和箍筋配置的有关规定,取消灌注桩在一定条件下可只配桩顶连接构造筋的规定;
4. 调整灌注桩混凝土最低强度等级的规定;
5. 调整基桩最小中心距的规定;
6. 桩基承载能力极限状态设计以综合安全系数设计法取代分项系数设计法:
 - 1) 荷载效应取值以标准组合的标准值取代基本组合的设计值;
 - 2) 抗力以单桩极限承载力标准值除以综合安全系数的特征值取代单桩极限承载力标准值除以抗力分项系数的设计值;
7. 调整考虑承台效应的复合基桩承载力特征值在不考虑地震作用和考虑地震时的计算模式;
8. 调整承台效应系数;
9. 取消桩基承载力的群桩效应系数;

10. 调整单桩极限侧阻力标准值和极限端阻力标准值的统计经验值；
11. 调整嵌岩桩嵌岩段侧阻和端阻系数；
12. 调整桩基软弱下卧层验算；
13. 调整单、群桩水平承载力计算方法；
14. 调整等效作用分层总和法计算桩基沉降的经验系数；
15. 调整三桩承台受弯承载力计算；
16. 调整承台受柱（墙）冲切和受基桩冲切承载力的计算公式，增加承台受冲切承载力截面高度影响系数；
17. 调整承台斜截面受剪承载力计算，混凝土受剪承载力以混凝土轴心抗拉强度设计值取代轴心抗压强度设计值进行计算，增加受剪承载力截面高度影响系数，增列承台梁斜截面受剪承载力计算公式；
18. 调整灌注桩孔底沉渣厚度控制标准；
19. 调整混凝土预制桩接桩技术；
20. 调整承台和地下室外墙与基坑侧壁间隙回填的技术要求。

1.2.2 增加的主要内容

1. 增加桩筏基础减小差异沉降和承台内力的变刚度调平设计；
2. 增加预应力管桩和预应力空心方桩的单桩极限承载力计算；
3. 增加后注浆灌注桩单桩极限承载力计算；
4. 增加桩基耐久性设计规定；
5. 增加考虑桩径影响的 Mindlin 应力解计算单桩、单排桩、疏桩基础和复合桩基考虑回弹再压缩的沉降计算；
6. 增加软土地基减沉复合疏桩基础设计与沉降计算；
7. 增加抗压桩、抗拔桩桩身承载力和抗拔桩裂缝控制计算；
8. 增加后注浆灌注桩施工技术和质量控制；
9. 增加长螺旋钻孔压灌混凝土后插钢筋灌注桩施工技术；
10. 增加预制桩静压沉桩技术和质量控制。

第 2 章 桩基设计基本规定

2.1 建筑桩基设计等级划分

2.1.1 划分建筑桩基设计等级的目的和原则

划分建筑桩基设计等级，旨在界定桩基设计的重要性、复杂程度、计算内容和应采取的相应技术措施。

《建筑桩基技术规范》JGJ 94—94 划分建筑桩基安全等级的原则是根据建筑物的破坏后果（危及人的生命、造成经济损失、产生社会影响）的严重性为主导，即侧重于满足承载能力极限状态安全度要求。本次修订，对桩基设计等级的划分调整为既考虑破坏后果，又要兼顾满足正常使用的可靠性要求。这是适应现代社会的发展导致对建筑物使用功能要求提升，高低层连体、体型复杂、结构刚度与荷载不均、场地和地基条件异常等情况趋多，控制建筑物差异变形更显重要。

2.1.2 建筑桩基设计等级具体划分

1. 甲级设计等级桩基

表 2.1-1 甲级设计等级桩基的 6 种建筑物按其特点又可分为三类。

第一类是：（1）重要的建筑：如纪念性建筑、大型公共建筑、重要生产流程中的建筑物等；（2）30 层以上或高度超过 100m 的高层建筑。

表 2.1-1 建筑桩基设计等级

设计等级	建筑类型
甲 级	（1）重要的建筑； （2）30 层以上或高度超过 100m 的高层建筑； （3）体型复杂且层数相差超过 10 层的高低层（含纯地下室）连体建筑； （4）20 层以上框架-核心筒结构及其他对差异沉降有特殊要求的建筑； （5）场地和地基条件复杂的 7 层以上的一般建筑及坡地、岸边建筑； （6）对相邻既有工程影响较大的建筑
乙 级	除甲级、丙级以外的建筑
丙 级	场地和地基条件简单、荷载分布均匀的 7 层及 7 层以下的一般建筑

以上两种建筑物的特点，一是自身的功能特殊；二是荷载大、重心高，风载和地震作用引起的水平剪力和弯矩大。设计时应选择基桩承载力可调范围大、布桩具有较大灵活性的桩型，基础埋置深度足够大，严格控制桩基的整体稳定和倾斜。

第二类是：（3）体型复杂且层数相差超过 10 层的高低层（含地下室）连体建筑物；（4）20 层以上的框架-核心筒结构及其他对于差异沉降有特殊要求的建筑物。

以上两种建筑物的特点是荷载与刚度分布极为不均，抵抗和适应差异沉降的性能较差，或为