



华夏英才基金学术文库

沉降计算理论 及工程实例

◎ 陈祥福 著



科学出版社
www.sciencep.com

华夏英才基金学术文库

沉降计算理论及工程实例

陈祥福 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书根据高层和超高层建筑深基础的特点和要求,在国内外专家研究基础上,结合著者的设计和施工经验,全面研究了与地基沉降有关的问题,并给出著者若干研究成果,内容包括地基土的本构关系,地基应力计算和变形分析,群桩效应和超长桩性质,国内外各种沉降计算方法,新的中国国家地基基础规范和大量的工程(如上海金茂大厦、青岛中银大厦等)实测数据及分析结果。书中首次考虑深基坑支护结构作用对超高层建筑箱(筏)基础、摩擦桩箱(筏)基础、端承桩(筏)基础等三类基础沉降的影响,并提出其相应的计算方法。首次提出空间变刚度群桩等沉降设计方法,斜地层台阶分层总和法,砂土地基上的箱基综合影响系数法等重要创新结果。采用样条函数来分析结构、基础、地基的共同作用。书末提出了沉降计算研究展望、进一步研究的课题和建议。

本书可供建筑工程、土木工程和水利工程等科技人员、高等院校有关专业的师生和研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

沉降计算理论及工程实例/陈祥福著. —北京:科学出版社,2005
ISBN 7-03-014714-6

I. 沉… II. 陈… III. ①地基-沉降分析法②地基-沉降(土建)-工程施工 IV. ①TU433②TU753

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 129616 号

责任编辑:童安齐 徐一帆/责任校对:柏连海

责任印制:吕春珉/封面设计:耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005年3月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2005年3月第一次印刷 印张:20 1/4

印数:1 2500 字数:450 000

定价:48.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(新欣))

销售部电话 010-62136131 编辑部电话 010-62138978-8002

The Theory and Building Cases of Settlement Computation

Chen Xiangfu

This book presents the theory and building cases of settlement computation, especially, the settlement theory of deep foundation on super tall buildings.

Settlement analysis for deep foundations supporting super tall buildings ($>150\text{m}$ high) is an important on-going problem, which is expected to be resolved progressively with the development of high rise buildings. Based on the characteristics and demands of deep foundations of super tall buildings, this book studies various settlement related issues including soil constitutive model, analysis and calculation of soil stress and strain, effects of group piles, characteristics of long piles, various national and international methods of settlement analysis, the new national soil and foundation codes, and a large amount of field settlement data. Innovatively, the book first describes the effects of deep excavation support structure on settlement of box foundations, frictional-pile raft foundations and end-bearing-pile raft foundations, and then presents its calculation method. The book also presents three innovative methods including a method of settlement calculation for groups piles of different lengths, a stepped layer summation method of settlement calculation for sloping strata, and a comprehensive factored method of settlement calculation for box foundations founded on sand.

Based on the measured settlements of five super tall buildings supported on deep foundations, the book analyses the settlement data measured for the Qingdao Bank of China building. The analysis results show that the settlements calculated using the finite element method and several other methods agree fairly well with the measured data. Through trial calculations and comparisons, the book presents several key study results; for example, the empirical settlement factor for the highly weathered granite in Qingdao is found to be 0.2 and the depth factor for settlement calculation is found to be 0.4. Based on both a study of the measured foundation settlements of four tall buildings (Shanghai Jinmao Building, Shanghai Senmao Building, Shenzhen Saige Building and Guangdong International Building) and a spline function analysis of structural-foundation-soil interaction, the book also presents more than a dozen useful results which can be used as an important guide for foundation design and construction. Finally, some observations and suggestions are made about the future research directions that the analysis of deep foundation settlement may take.

前 言

地基沉降计算是整个地基基础工程中的三大难题之一,至今还没有完全解决。同样,超高层建筑深基础沉降计算也还有没有完全解决的难题。由于沉降实测数据缺乏,研究成果寥寥,更没有系统的研究成果和专著。本书在国内外专家学者几十年研究成果基础上,结合作者三十多年的设计和施工经验,根据超高层建筑深基础的特点和要求,将理论计算结合工程实例全面研究了与地基沉降有关的问题,并给出著者若干研究成果。本书内容包括地基土的本构关系,地基应力计算和变形分析,群桩效应和超长桩特性,国内外各种沉降计算方法。书中重点研究超高层建筑深基础的沉降计算理论和工程实例,并在中国国家地基基础规范和收集整理的工程实测数据研究基础上,首次考虑深基坑支护结构作用对超高层建筑箱(筏)基础、摩擦桩+箱(筏)基础、端承桩+箱(筏)基础等三类深基础沉降的影响,提出了其相应的计算方法;通过对超长桩控制沉降好的突出特性和短桩、中长桩承受荷载能力好的性质研究,首次提出空间变刚度群桩等沉降设计新方法,这是桩基设计的历史性突破,同时提出斜地层台阶分层总和法,砂土地基上的箱基综合影响系数法等创新结果。

本书收集了国内五幢和国外一幢超高层建筑深基础沉降实测数据并进行了深入研究与分析,重点研究了青岛中银大厦(中国建筑北京设计研究院设计)的沉降实测数据,应用有限元法和多种方法分别计算其沉降,理论分析与实测值比较接近。经多次试算和比较研究后,得到若干重要成果,如青岛强风化花岗岩地区的沉降经验系数为 0.2,沉降计算深度调整系数为 0.4;对上海金茂大厦、上海森茂大厦、深圳赛格大厦和广东国际大厦等基础沉降数据研究分析后,也得到若干十分有用的结果,这些结果对设计与施工有重要的指导意义。

本书是理论研究与实际应用的学术专著,又是以科研、设计与施工相结合,并以典型工程沉降实测数据分析研究为基础的技术经验总结。

全书共十章。第一章为绪论,主要介绍国内外超高层建筑和深基础的发展,国内外沉降研究进展。第二章主要介绍六个实用沉降计算地基本构模型和计算参数的选择。第三章主要介绍沉降计算中的力学问题,即地基应力分析的平面问题与空间问题、基础底面的接触压力与接触问题、非均质与各向异性地基中的应力分析。第四章主要介绍地基的变形理论,即地基的压缩特性、地基最终沉降计算、弹性力学的计算方法、初始和固结沉降计算、软土次固结沉降计算、砂土地基固结沉降计算、饱和土变形理论方法、地基沉降的有限元解。第五章主要介绍超高层建筑箱(筏)基础沉降计算方法,即国内外沉降简化计算方法、国家规范算法,著者首次提出的考虑深基坑支护结构作用的超高层建筑箱(筏)基础沉降计算方法,以及青岛中银大厦(中国人自行设计的最高建筑,世界上采用箱基的最高建筑)箱基沉降有限元法计算、考虑支护结构作用的沉降计算公式、箱基沉降计算的综合影响系数法、层状地基样条函数法、沉降计算地区经验系数、五年多实测沉降数据研究与分析结果。由于该工程由作者主持设计,沉降数据完整,分析结果很有参考价值,同时给

出广东国际大厦岩石地基沉降实测数据研究与分析结果。第六章主要介绍超长桩受力特性和沉降计算方法,即单桩与群桩的沉降计算、沉降计算经验公式和简化计算方法,特别研究了超长桩和短桩的特性。第七章主要介绍作者发明的空间变刚度群桩等沉降设计新方法,这是桩基设计的历史性突破,书中还给出设计原理、设计方法和各种设计方案,根据连续化假设,给出沉降计算中的综合模量计算方法。第八章主要对上海金茂大厦和上海森茂大厦“地下墙+超长摩擦桩+箱基”的沉降观测数据进行研究和分析,发现沉降量界规律(即大于 50m 以上的长桩基础,其沉降量为 60~100mm),得到若干有用的结论,分析了考虑地下墙支护与承重作用的沉降计算方法。同时采用样条函数子域法分析结构-基础-地基的共同作用、桩与土共同作用、桩与桩共同作用。该法计算的伦敦土桩与桩影响系数同桩距与桩径比曲线比 Poulos 教授弹性积分曲线更接近于实例结果。第九章主要以深圳赛格大厦(岩石地基)的沉降数据研究结果为基础,分析了超高层建筑“地下墙+端承桩+箱基”联合基础与岩石地基的沉降计算方法。第十章概括本书的主要创新成果和十多项分析研究结论,给出沉降计算理论展望和工程实践需要进一步研究的课题与建议。

本书的顺利出版,作者首先要十分感谢华夏英才基金会的关心和资助,感谢中共中央统战部及其六局、国务院国资委及其群工部、建设部及其科技司、中国建筑工程总公司和同济大学领导的关怀和培养,感谢著者的博士生导师侯学渊教授的指导和教育,感谢著者工作单位中国建筑工程总公司,以及中国建筑北京设计研究院全体同志的支持和帮助。

与此同时,作者十分感谢书稿评审专家:王思敬院士、黄熙龄院士、刘建航院士、许溶烈教授、何广乾教授、张耀宗教授、袁明武教授、陶龙光教授、陈进教授、沈保汉教授、杨敏教授、刘国彬教授、徐伟教授、王建华教授、朱合华教授、汤永净博士和刘波博士等提出宝贵的修改意见和建议,作者采纳了他们的意见,使沉降计算理论体系更加完整,对工程设计与施工更具指导意义。

在本书写作过程中,始终得到曾肇河教授、毛志兵教授、章旭昌教授、周正茂博士、杨炳蓉高级工程师、卓发成硕士、陶利兵硕士、王泽辉硕士、张忠坤博士和汪敏博士等大力帮助和支持,借此机会向他们表示衷心地感谢。

由于工程建设不断发展,实践经验与时俱增,计算技术日臻完善,测试设备更加先进,虽然沉降理论十分复杂,作者深信在老一辈科学家指导下,与国外学者一道,共同努力,完全可以加速解决沉降计算理论问题。

陈祥福

2004 年 11 月 9 日于北京

目 录

前 言

第一章 绪论	1
1.1 超高层建筑发展和深基础工程的对策	1
1.1.1 国外超高层建筑发展和启示	1
1.1.2 我国高层建筑深基础发展及对策	7
1.2 基础沉降计算是地基基础工程中的三大难题之一	8
1.3 超高层建筑深基础沉降研究进展和问题	9
1.3.1 国内外地基沉降计算研究进展	10
1.3.2 超高层建筑箱形基础沉降计算研究进展	11
1.3.3 超高层建筑桩箱(筏)基础沉降研究进展	13
1.3.4 杨敏等沉降控制设计桩基的方法	16
1.3.5 超高层建筑与地基基础共同作用中的沉降研究进展	16
1.3.6 超高层建筑深基础沉降计算的数值法研究进展	18
1.3.7 超高层建筑深基础沉降计算中存在的主要问题和展望	18
1.4 本书研究工作简介	19
第二章 超高层建筑深基础沉降计算中软土地基实用模型和计算参数选择	22
2.1 文克尔地基模型	22
2.2 弹性半空间地基模型	23
2.3 分层地基模型	27
2.4 双参数弹性地基模型	28
2.4.1 Filonenko-Borodich 双参数模型	28
2.4.2 Hetenyi 双参数模型	29
2.4.3 Pasternak 双参数弹性模型	29
2.5 层向各向同性体模型	30
2.6 非线性弹性模型	31
2.7 基床系数的确定	33
2.7.1 按静荷载试验结果确定	33
2.7.2 根据土的变形模量和泊松比推算	34
2.7.3 由压缩试验结果确定	34
2.7.4 由经验确定	35
2.8 土的泊松比和变形模量的确定	36
2.8.1 土泊松比的确定	36
2.8.2 土的变形模量的确定	36
2.9 本章小结	39

第三章 超高层建筑深基础沉降研究中的力学问题	40
3.1 地基自重应力和附加应力	40
3.1.1 地基自重应力	40
3.1.2 附加应力	41
3.2 基础底面的接触压力和接触问题	41
3.2.1 接触压力的分布	41
3.2.2 接触压力的简化计算	41
3.2.3 弹性地基与刚性基础的接触问题	43
3.3 地基应力分布的平面问题	59
3.3.1 垂直线荷载作用下的地基土中应力(Flamant 解)	59
3.3.2 均布条形荷载作用下的地基土中应力	60
3.3.3 三角形分布的条形垂直荷载作用下的地基土中应力	62
3.4 地基应力分布的空间问题	64
3.4.1 荷载作用于地基表面时的应力分布	64
3.4.2 半无限弹性体体内一般受力问题	71
3.4.3 桩基应力分布的简化计算	77
3.5 非均质与各向异性地基土中的应力分布	84
3.5.1 刚性基底上有限弹性层表面受力问题	84
3.5.2 双层半无限体表面上一圆面积内作用着均布垂直压力 P	88
3.5.3 三层半无限体表面上一圆面积内作用着均布垂直压力 P	92
3.5.4 变形模量随深度增加而增大的地基	97
3.5.5 各向异性地基	97
3.6 本章小结	98
附录一 弹性力学基本方程	98
附录二 半无限体边界面上一般受力问题	101
第四章 超高层建筑深基础地基变形理论分析	108
4.1 土的压缩特性和力学指标	108
4.1.1 土的压缩性概念	108
4.1.2 压缩曲线和压缩性指标	109
4.1.3 土的变形模量	111
4.1.4 土的弹性变形和残余变形	113
4.1.5 土的天然压密状态和前期固结压力	113
4.1.6 地基应力与应变关系	114
4.1.7 弹性模量	114
4.1.8 土的侧压力系数和泊松比	114
4.2 基础最终沉降量计算的概念	116
4.3 地基变形计算的弹性力学方法	124
4.3.1 柔性荷载下的地基变形计算	124
4.3.2 刚性基础的沉降	125

4.3.3	刚性基础的倾斜	125
4.4	初始沉降量的计算	126
4.4.1	初始沉降实用计算	126
4.4.2	计算参数取值问题	128
4.4.3	塑性区开展较大时初始沉降的修正	128
4.5	固结沉降量的计算	129
4.5.1	分层总和法	129
4.5.2	中国规范推荐的分层总和法沉降计算公式	129
4.5.3	根据前(先)固结压力计算固结沉降量	130
4.5.4	考虑侧向变形的固结沉降量的计算	132
4.6	黏土地基的次固结沉降计算方法	133
4.7	砂土地基的固结沉降计算	134
4.8	饱和土地基变形理论方程	136
4.8.1	Biot 固结方程	136
4.8.2	Terzaghi-Rendulic 固结方程	139
4.8.3	Terzaghi 固结方程的求解	139
4.8.4	Biot 固结方程的解	142
4.9	地基变形的实用数值分析(有限元法)	149
4.10	本章小结	154
第五章	超高层建筑箱(筏)形基础沉降计算方法和实例研究	155
5.1	超高层建筑箱形基础沉降计算要考虑的几个问题	156
5.1.1	地基补偿性及其箱形基础沉降有关问题	156
5.1.2	深基坑开挖应力与应变状态	157
5.1.3	深基坑开挖回弹与再压缩问题	158
5.1.4	箱基下地基压缩层深度计算	160
5.1.5	高层建筑箱形基础刚度对地基变形的影响问题	161
5.2	未考虑深基坑支护结构作用超高层建筑箱形基础沉降计算	162
5.2.1	规范法计算	162
5.2.2	修正的分层综合法	163
5.2.3	叶果罗夫法计算箱基沉降	164
5.2.4	日本法计算初始沉降	166
5.3	考虑深基坑支护结构作用的超高层建筑箱(筏)基础沉降计算	167
5.3.1	超高层建筑箱基础特点	167
5.3.2	考虑支护结构作用的计算简图	168
5.3.3	沉降计算地基模型及层状地基样条子域法分析	170
5.3.4	考虑深基坑支护结构作用的超高层建筑箱基沉降计算方法	178
5.4	青岛中银大厦箱基沉降有限元计算	182
5.4.1	工程简况	182
5.4.2	工程地质概况	184

5.4.3	基坑支护结构	184
5.4.4	青岛中银大厦箱基沉降计算的有限元法	184
5.5	考虑支护结构作用青岛中银大厦箱基沉降计算和经验系数	189
5.5.1	采用“上段单向压缩+下段分层总和法”计算箱基沉降	189
5.5.2	采用“上段地基规范法+下段箱基规范法”计算箱基沉降	189
5.5.3	采用“上段和下段”地基基础规范分层总和法计算箱基沉降	190
5.5.4	青岛地区沉降经验系数 ψ_s 计算	190
5.5.5	采用作者综合系数法计算箱基沉降	190
5.6	青岛中银大厦箱基实测沉降结果和分析	191
5.6.1	实测数据	191
5.6.2	实测数据分析	199
5.6.3	实测结果与计算结果分析	199
5.7	广东国际大厦岩石地基沉降分析	199
5.7.1	工程概况	199
5.7.2	工程地质条件	200
5.7.3	基础沉降实测结果分析	201
5.8	本章小结	202
附表 沉降量观测计算表		
第六章	超长桩基础沉降计算方法研究	205
6.1	单桩沉降	205
6.1.1	弹性理论法计算单桩沉降	205
6.1.2	荷载传送法	207
6.1.3	剪切位移法计算单桩沉降	208
6.1.4	我国路桥规范简化法计算单桩沉降	209
6.2	群桩基础沉降计算	209
6.2.1	超长群桩沉降计算的实体基础法	209
6.2.2	JGJ94-94 桩基规范法	214
6.2.3	复合桩基法	215
6.3	单桩沉降计算的经验和简化算法	219
6.3.1	经验方法	219
6.3.2	简化方法	220
6.4	“GB50007-2002”中关于桩基础最终沉降量的计算	222
6.5	桩基变形允许值	225
6.6	超长钻孔灌注桩特性和沉降研究	225
6.7	群桩在竖向荷载作用下的受力机理研究	229
6.7.1	群桩的荷载传递特性	230
6.7.2	群桩地基的变形分析	231
6.8	本章小结	231

附表 桩端注浆、桩侧及桩端注浆和未注浆的超长桩比较表	232
第七章 空间变刚度等沉降群桩设计新方法	233
7.1 群桩分析和实测数据中的一般规律和应用依据	233
7.2 群桩基础设计方法进展	239
7.3 空间变刚度群桩等沉降设计新方法及方案	243
7.3.1 空间变刚度群桩基础的设计条件	243
7.3.2 空间变刚度群桩等沉降设计理论	243
7.3.3 空间变刚度群桩等沉降的设计方法	247
7.3.4 空间变刚度群桩等沉降设计方案	247
7.4 空间变刚度群桩沉降计算	253
7.4.1 按规范分层总和法计算	253
7.4.2 桩土“综合刚度”计算	253
7.5 本章小结	257
第八章 超高层建筑地下墙与摩擦桩箱(筏)基础沉降分析和实例研究	258
8.1 地下墙仅作深基坑支护结构时桩箱(筏)基础沉降计算方法	260
8.2 地下墙既是支护结构又是地下室外墙的桩箱基础沉降计算方法	260
8.3 考虑地下墙对桩箱(筏)基作用时的沉降计算有限元子结构法	260
8.4 超高层建筑结构-地基-基础共同作用	261
8.4.1 计算简图	262
8.4.2 建立上部结构的刚度方程	262
8.4.3 建立基础的刚度方程	263
8.4.4 建立地基的刚度方程	264
8.4.5 建立耦合体系的总刚度方程	267
8.5 桩-土共同作用分析	267
8.5.1 侧向受荷单桩与土体相互作用的分析方法	268
8.5.2 轴向受荷桩与土相互作用的分析方法	272
8.6 桩-桩共同作用分析	274
8.6.1 单桩分析	274
8.6.2 地基分析	275
8.6.3 桩与桩相互作用	277
8.6.4 算例	277
8.7 上海森茂大厦桩筏基础沉降实测数据及分析结论	278
8.7.1 工程概况	278
8.7.2 工程地质条件	280
8.7.3 上海森茂大厦基础沉降实测数据和结论	280
8.8 上海金茂大厦的实测沉降值及分析	285
8.8.1 工程概况	285
8.8.2 工程地质概况	286
8.8.3 桩基持力层确定	287

8.8.4 试桩结果及分析	289
8.8.5 实测沉降值	290
8.9 本章小结	291
第九章 超高层建筑“地下墙-端承桩箱(筏)”联合基础和岩石地基沉降分析及实例研究	292
9.1 超高层建筑深基础端承桩沉降计算	292
9.2 深圳赛格大厦基础沉降分析	292
9.2.1 工程概况	293
9.2.2 工程地质条件	295
9.2.3 深基坑组合支护结构	295
9.2.4 全逆筑法工艺程序	295
9.2.5 赛格大厦基础实测沉降数据	297
9.2.6 赛格大厦基础沉降数据分析和结论	298
9.3 本章小结	299
第十章 沉降计算研究展望和建议	300
参考文献	303

第一章 绪 论

世界各国(包括中国)已进入现代城市化阶段,共同的问题是城市人口膨胀、住房困难、用地紧张、环境污染和交通堵塞等。尽管高层建筑或超高层建筑或多或少存在某些问题,但是它的兴建仍呈直线上升趋势,其发展不仅开创整个建筑业的新纪元,而且使人类必然要走向地上空间和地下空间。这种地上、地下的空间已成为宝贵的、越来越少的资源。超高层建筑的发展必然带动地基基础工程科学的研究、开发和利用。超高层建筑上部结构从计算、设计、模型试验、工程实测相对地下基础工程而言容易得多并已达到计算机化,完全能满足工程要求,而地基基础、岩土工程的研究进展、计算机化进程相对慢多了。其深基础沉降计算理论更加复杂,很多问题至今还没有弄清楚,短时间也可能弄不清楚,确实需要若干代人的艰苦努力才行。

1.1 超高层建筑发展和深基础工程的对策

高层建筑随着世界城市化的普及、社会生产力的提高、科学技术的进步和人们物质生活的需要而蓬勃发展,这不仅缓解了上述问题,而且开创了整个建筑业的新纪元:在人类必然走向地上和地下空间的同时,现代化城市必然进入高层建筑化阶段。

目前,高层建筑尽管在设计理论、建筑艺术、经济效益、环境影响及使用功能上,或多或少地存在某些问题和困难,人们对它的评价和认识不统一,但是世界范围内的高层建筑仍在不断发展。如新加坡的高层建筑已占城市房屋的70%以上。目前,世界各国修建最多的高层建筑是住宅、旅馆、商业大厦和办公楼,这些均不同程度地解决了人们住房困难的问题。可以说,高层建筑是历史的必然产物,而且还推动了建筑科学、建筑材料与设备的不断发展,改变了传统的建筑设计概念、计算理论和施工方法,逐步形成高层建筑独特的体系,特别是深基础工程。

1.1.1 国外超高层建筑发展和启示

众所周知,现代高层建筑是从19世纪80年代开始的。在1885年,美国芝加哥建成的家庭保险大楼被认为是世界第一幢现代高层建筑,仅为10层、55m高。此后,随着社会经济的发展,科学技术的进步和人类物质文化生活的需要而不断发展,从其高度、造型、建筑功能、结构体系、抗震防灾和环境艺术等方面都有新的发展和突破。特别是在20世纪50年代以后,由于建筑经济和科学技术的飞速发展,极大地促进了高层建筑的发展,多姿多彩的高层建筑如雨后春笋般地矗立于世界各大城市。

为了进一步了解世界各国超高层建筑简况,现将各主要国家和地区最高建筑简介如下[这些建筑大部分是桩箱(筏)深基础]:

(1) 中国最高的是88层、420.5m高的上海金茂大厦,桩箱基础,桩长达80m以上。目前正在施工的上海环球金融中心492m高(不含天线),将成为世界最高建筑。

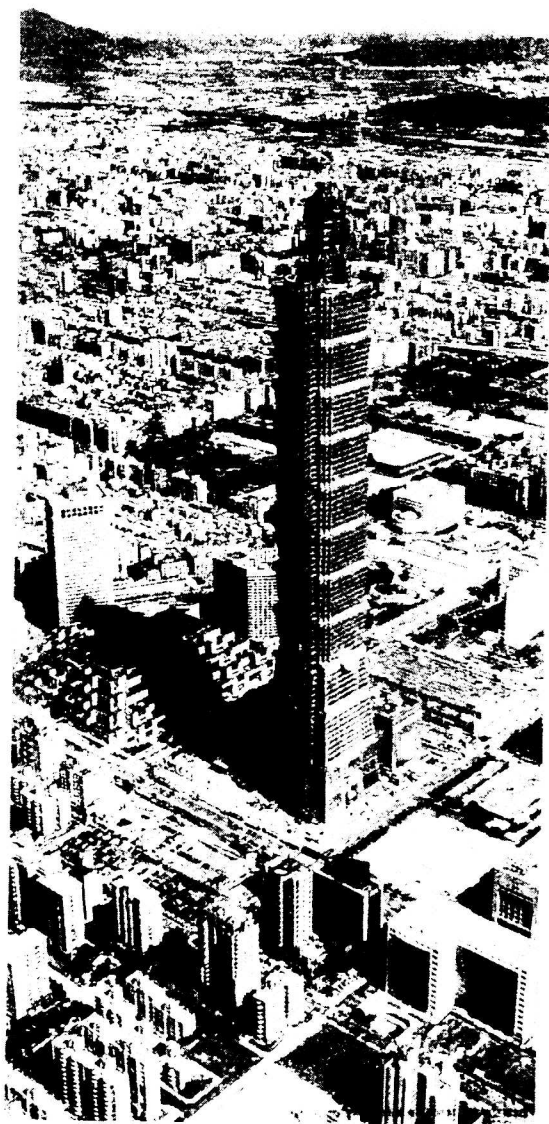


图 1-1 中国台北 101 大楼

(2) 俄罗斯最高的建筑是莫斯科 42 层、210m 高的礼良季耶夫大楼。俄罗斯正筹划突破 400m 的高层建筑。

(3) 朝鲜最高的建筑是平壤 101 层、334m 高的柳京饭店,这是目前世界最高的钢筋混凝土结构建筑。

(4) 韩国最高的建筑是汉城 63 层、223m 高的朝鲜人办公大楼 (Koreains Company Building),1986 年建成。

(5) 新加坡最高的建筑是 63 层、208m 高的侨联银行大楼 (Overseas Union Bank),1968 年建成。

(6) 香港原最高的建筑是中国银行 (China Bank), 桩箱基础,72 层、368m 高,1988 年建成。已建成的香港中环广场 374.3m 是目前香港最高的建筑。

(7) 中国台湾省高雄市的高雄银行,85 层、370m 高,矩形板桩基础,1998 年建成。2003 年在中国台北已建成 101 层、508m“台北 101 大楼”(含天线高),这是目前世界最高建筑(图 1-1)。

(8) 日本东京都政府大楼,243m 高,是目前日本最高的建筑。

(9) 马来西亚最高(世界第二高)的建筑是石油双塔大厦,95 层、452m 高(包括桅杆 73m 高度),1996 年建成(图 1-2)。采用桩筏基础,最长的桩达 100m 以上。

(10) 波兰最高的建筑是华沙市 42 层、241m 高的 Palac Kultury Inauki 大厦,1955 年建成,保持欧洲最高达 35 年之久(到 1990 年)。

(11) 德国最高的建筑是法兰克福 60 层、256m 高的 Messe Turm 大楼,补偿式桩筏基础,中间桩长、边桩短,1990 年建成。

(12) 法国最高的建筑是巴黎 64 层、229m 的 Maine Montpamasse 大楼,1973 年建成。

(13) 英国最高的建筑是伦敦 60 层、189m 高的国民银行大厦。

(14) 南非约翰内斯堡 50 层、189m 的 Carlton Center 大楼,1973 年建成,是非洲最高的建筑。

(15) 澳大利亚最高的建筑是墨尔本 70 层、243m 高的 Rialto Center 大楼,1986 年建成。

(16) 墨西哥最高的建筑是 52 层、214m 高的 Petrolaos Maxicanos 大楼,1984 年建

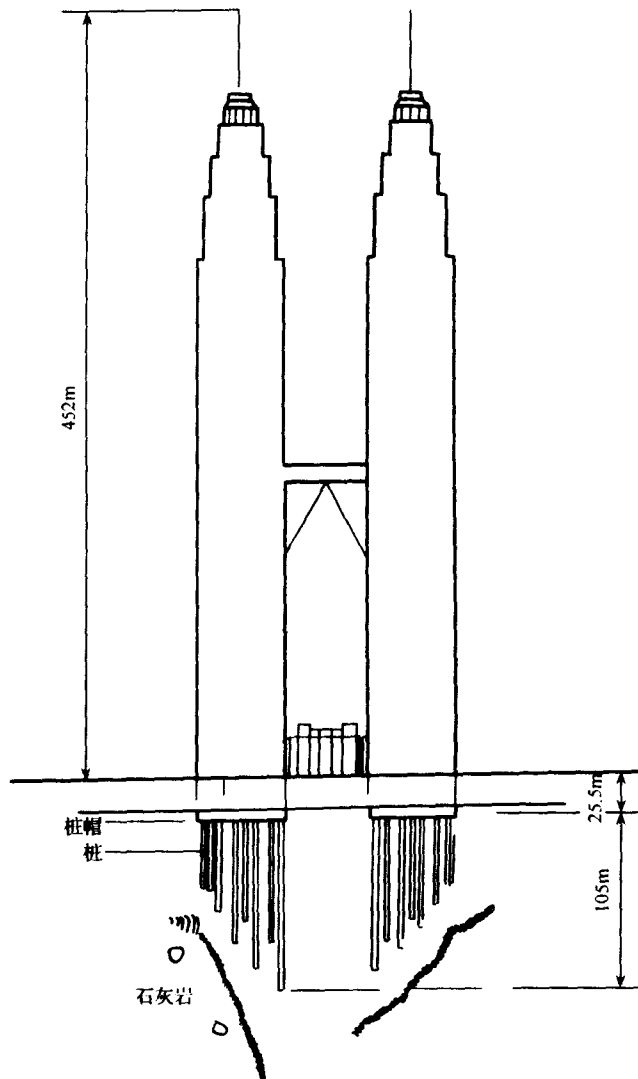


图 1-2 基础示意图

成,这是美洲最高的建筑。

(17) 哥伦比亚最高的建筑是波哥大 70 层、248m 高的马泽拉大厦,这是南美洲最高的建筑。

(18) 加拿大最高的建筑是多伦多 72 层、285m 高的 First Bank 大厦,1975 年建成。

(19) 委内瑞拉最高的建筑是 60 层、237m 高的首都办公楼,1985 年建成。

(20) 美国最高的建筑是芝加哥西尔斯大厦,110 层、443m 高(不包括天线杆),是世界公认不含天线桅杆最高建筑。

国外超高层建筑发展除了建筑功能、外观造型和结构体系不断创新和改进外,还有一个重要特点,就是建筑高度不断增高(图 1-3)和注重深基础工程。超高层建筑的高度和深基础工程的深度,实际上在一定程度上反映了一个国家的整体国力和科学技术的总体水

平(特别是建筑科学技术)。同时,每一幢著名超高层建筑也是历史的写照和时代的丰碑。自 1885 年世界第一幢现代高层建筑以后,经过 13 年(1898),其建筑高度才突破 100m 大关;又经过 11 年(1909)和 21 年(1930),分别突破 200m 和 300m 大关,开始超高层建筑的发展阶段。1931 年在美国纽约建成帝国大厦,102 层、381m 高,保持 41 年后(1972)在美国建成世界贸易中心 110 层、417m 高,突破 400m 大关,地下室深度已达 7 层。因此,专家预测:20 世纪初高层建筑高度可望突破 500m,到 50 年代可望突破 1000m 大关(如设计方案图 1-4 和图 1-5),世界高层建筑高度发展曲线(图 1-3)也证实上述预计。

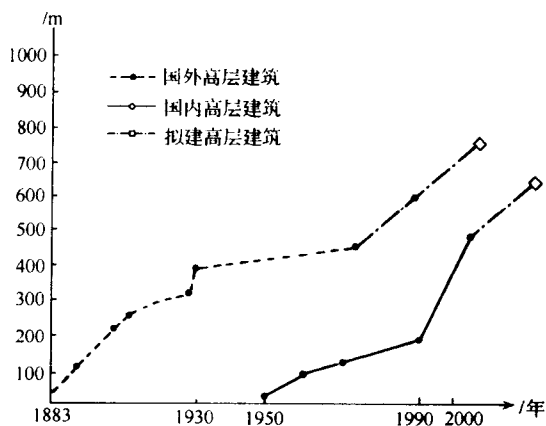


图 1-3 世界和中国高层建筑高度的发展曲线

国外高层建筑的发展特点给我们的主要启示如下:

(1) 40 层以上的超高层建筑,采用钢结构居多。对 100 幢高层建筑的分析表明:钢结构占 66%,型钢钢筋混凝土结构占 18%,钢筋混凝土结构仅占 16%。超高层建筑钢结构体系可建的最多层数见图 1-6,基础中不少采用箱(筏)基础。

(2) 混凝土强度等级不断提高,如美国旧金山 1983 年建成的一幢高层建筑,柱子的混凝土强度达到 45.7MPa。高强钢筋也在这类工程中广泛应用。

(3) 在现浇钢筋混凝土结构高层建筑中,普遍采用了板柱体系,从而简化了大梁和楼板的施工工艺。在软土地基中,基础均采用桩基。在岩石地基上,采用箱形基础。由于重量重,其结构体系、层数、深基础都受到限制,见图 1-7。

(4) 地基与基础的处理技术复杂,采用深基础比较多,地下室至少 3 层以上。如世界贸易中心在大楼设地下室 7 层,其中 4 层是汽车库,可停 2000 辆小汽车,其余为商场和地下车站。

(5) 高层建筑的智能化、生态化和高层效应的研究越来越引起建筑师、结构工程师和有关专家的广泛重视同时更加注重建筑、环境和人的关系,包括岩土工程环境。

(6) 不仅十分注意地上空间的规划和与城市相协调,而且也十分重视地下空间的规划、开发和利用,并且立法规定:地下空间是一种宝贵资源。

(7) 国外超高层建筑深基础中,软土地区少、地震区少、岩石地基较多,但十分重视深基础的研究和测试工作,积累不少宝贵的数据。

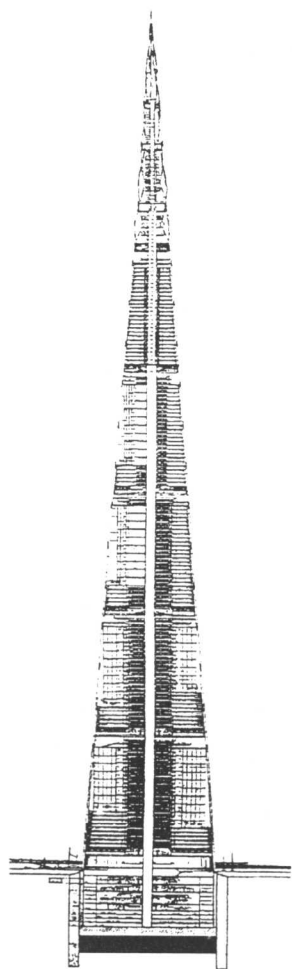


图 1-4 日本东京 Millennium Tower
设计方案(高 800m、底圆周 600m)

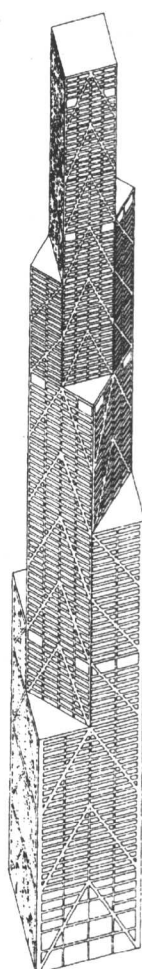


图 1-5 芝加哥 136 层菲尔克的方案,
等轴测图和各标准层平面

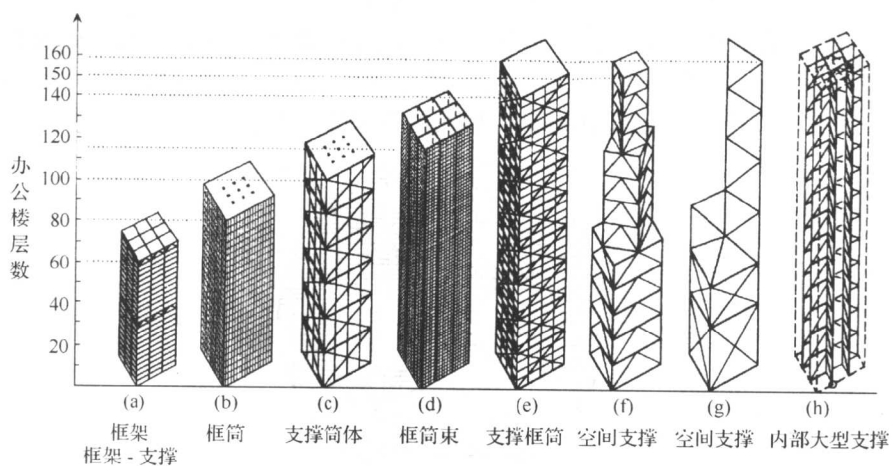
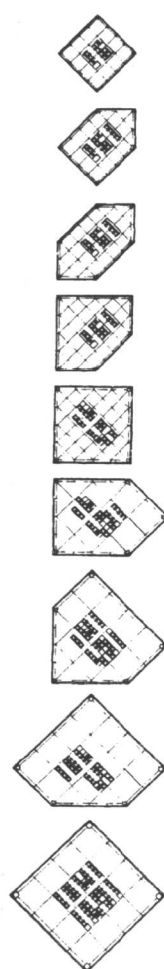


图 1-6 超高层钢结构体系的最多层数