

# 多高层建筑基础及 地下室结构设计 ——附实例

李国胜◎编著

中国建筑工业出版社

# 多高层建筑基础及地下室结构设计 ——附实例

李国胜 编著



中国建筑工业出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

多高层建筑基础及地下室结构设计——附实例/李国胜编著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2011. 6  
ISBN 978-7-112-13233-1

I. ①多… II. ①李… III. ①多层建筑-地基-基础(工程)-结构设计②高层建筑-地基-基础(工程)-结构设计③多层建筑-地下室-结构设计④高层建筑-地下室-结构设计 IV. ①TU972②TU47

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 088156 号

本书主旨是让建筑结构设计人员全面了解和掌握多高层建筑的地基基础及地下室结构的设计概念和设计要点。

全书共 7 章, 包括: 重要概念; 地基基础设计的基本规定; 天然地基及复合地基; 多高层建筑地下室和地下车库楼盖结构选型及地下室外墙; 基础设计; 桩基设计; 挡土墙与土坡稳定。

本书可供建筑结构设计、施工图文件审查、监理、施工、科研人员及大专院校土建专业师生参考使用。

\* \* \*

责任编辑: 戚大庆 刘瑞霞

责任设计: 张虹

责任校对: 肖剑 王雪竹

## 多高层建筑基础及地下室结构设计——附实例

李国胜 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

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京市铁成印刷厂印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 19 字数: 460 千字

2011 年 9 月第一版 2011 年 9 月第一次印刷

定价: 45.00 元

ISBN 978-7-112-13233-1

(20652)

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)

## 图书在版编目 (CIP) 数据

多高层建筑基础及地下室结构设计——附实例/李国胜编著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2011. 6  
ISBN 978-7-112-13233-1

I. ①多… II. ①李… III. ①多层建筑-地基-基础(工程)-结构设计②高层建筑-地基-基础(工程)-结构设计③多层建筑-地下室-结构设计④高层建筑-地下室-结构设计 IV. ①TU972②TU47

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 088156 号

本书主旨是让建筑结构设计人员全面了解和掌握多高层建筑的地基基础及地下室结构的设计概念和设计要点。

全书共 7 章, 包括: 重要概念; 地基基础设计的基本规定; 天然地基及复合地基; 多高层建筑地下室和地下车库楼盖结构选型及地下室外墙; 基础设计; 桩基设计; 挡土墙与土坡稳定。

本书可供建筑结构设计、施工图文件审查、监理、施工、科研人员及大专院校土建专业师生参考使用。

\* \* \*

责任编辑: 戚大庆 刘瑞霞

责任设计: 张虹

责任校对: 肖剑 王雪竹

## 多高层建筑基础及地下室结构设计——附实例

李国胜 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

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京市铁成印刷厂印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 19 字数: 460 千字

2011 年 9 月第一版 2011 年 9 月第一次印刷

定价: 45.00 元

ISBN 978-7-112-13233-1

(20652)

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

随着我国经济的发展和建筑设计的多样化，多高层建筑的基础及地下室结构设计对保证工程安全和控制工程造价至关重要。目前有许多从事建筑结构设计的人员，对地基基础和地下室结构的概念设计、合理选型、设计优化重视不够，对这部分工程的结构设计与其他专业密切配合的重要性、工程工期关系和综合造价的影响缺乏了解。针对上述情况编者将以前本人发表过的有关文章和工程总结及收集到的有关资料写成本书，供从事建筑结构设计同行参考，以利提高设计效率和质量、降低工程造价，更好地适应市场经济的形势。

本书共7章，包括：重要概念；地基基础设计的基本规定；天然地基及复合地基；多高层建筑地下室、地下车库楼盖结构选型及地下室外墙；基础设计；桩基设计；挡土墙与土坡稳定，并附有大量工程实例。特点是简明实用，可读性和可操作性强，有助于从事建筑结构设计人员参照应用，也可供建筑结构施工图文件审查、施工及监理等工作人员和大专院校土建专业师生参考。

本书在编写中参考了许多有关文献资料，得到同志们的帮助，为此对有关作者和同志表示诚挚的谢意。限于编者的水平，有不当或错误之处，热忱盼望读者指正，编者将不胜感激。

# 目 录

<b>第 1 章 重要概念</b> .....	1
1.1 建筑地基基础设计的重要性 .....	1
1.2 多高层建筑基础设计中的基本概念 .....	1
1.3 建筑场地 .....	9
1.4 设计需要注意的若干问题.....	12
1.5 地下室的基础梁可不考虑延性和裂缝控制.....	16
1.6 工程实例.....	17
<b>第 2 章 地基基础设计的基本规定</b> .....	35
2.1 一般规定.....	35
2.2 岩土工程勘察.....	36
2.3 液化土和软土地基.....	42
2.4 荷载组合与相应抗力限值.....	46
2.5 基础埋置深度.....	48
2.6 抗浮设计水位及抗浮稳定验算.....	51
2.7 后浇带的构造及浇灌时间.....	52
2.8 单独柱基设拉梁.....	54
2.9 多高层建筑地下室筏板的设计.....	55
2.10 “跳仓法”施工超长基础筏板 .....	56
2.11 地下车库结构抗震 .....	59
2.12 工程实例 .....	59
<b>第 3 章 天然地基及复合地基</b> .....	61
3.1 地基岩土分类及工程特性指标.....	61
3.2 地基承载力计算.....	68
3.3 地基变形计算.....	77
3.4 稳定性计算.....	95
3.5 复合地基 CFG 桩 .....	96
3.6 工程实例 .....	102
<b>第 4 章 多高层建筑地下室、地下车库楼盖结构选型及地下室外墙</b> .....	121
4.1 楼盖结构选型 .....	121
4.2 无梁楼盖 .....	121
4.3 独立柱基抗水板 .....	136
4.4 地下室外墙 .....	140
4.5 工程实例 .....	143

<b>第 5 章 基础设计</b> .....	162
5.1 无筋扩展基础 .....	162
5.2 扩展基础 .....	163
5.3 柱下单独柱基 .....	165
5.4 交叉梁基础 .....	170
5.5 筏形基础 .....	172
5.6 箱形基础 .....	179
5.7 桩箱与桩筏基础 .....	189
5.8 工程实例 .....	189
<b>第 6 章 桩基设计</b> .....	205
6.1 桩的分类及基本规定 .....	205
6.2 基桩构造 .....	209
6.3 桩基计算 .....	215
6.4 大直径扩底墩 .....	230
6.5 承台构造 .....	231
6.6 承台计算 .....	233
6.7 工程实例 .....	239
<b>第 7 章 挡土墙与土坡稳定</b> .....	269
7.1 概述 .....	269
7.2 土压力的种类 .....	269
7.3 土压力计算方法 .....	271
7.4 挡土墙设计 .....	279
7.5 土坡稳定分析 .....	284
7.6 工程实例 .....	289
<b>参考文献</b> .....	296

# 第1章 重要概念

## 1.1 建筑地基基础设计的重要性

1. 房屋建筑的地基基础设计应贯彻执行国家技术经济政策，做到技术先进、安全适用、经济合理、确保质量、保护环境、提高效益。还应坚持因地制宜、就地取材、保护环境、节约资源和节省投资。

2. 地基基础设计时应依据勘察成果，结合结构特点、使用要求，综合考虑施工条件、材料情况、场地环境和工程造价等因素，切实做到精心设计，以保证建筑物的安全和正常使用。

3. 地基基础的概念设计极其重要，概念设计是设计人准确运用已有的科技知识、工程经验和技术标准，对地基基础工程从方案选择到施工完成全过程的概念性设计。地基基础的概念设计与建筑方案和上部结构的概念设计应该互动和协调，指导地基基础设计和施工。

4. 场地和地质条件是进行地基基础设计的前提，在进行地基基础设计以前首先应充分了解拟建场地和地质条件，地质勘察资料是地基基础设计的依据。

5. 多、高层建筑的地基基础不同方案选择，与工程造价关系极大，为节省投资应该对地基基础多方案比较进行优化设计。多、高层建筑宜优先采用天然地基，有利于方便施工，缩短工期，节省造价；天然地基的变形和承载力不能满足时，可结合工程情况和当地地基处理经验及施工条件，首先考虑采用 CFG 桩等复合地基；当复合地基不满足变形及承载力要求时，应采用桩基。桩基采用预制桩还是采用现浇灌注桩，预制桩采用锤击还是静压成桩工艺，灌注桩是否采用后注浆，均应依据工程和当地具体情况采用不同方案，这些与工期和造价关系很大。基础的不同选型，直接关系到工期和造价，在考虑方案时应注意护坡、土方、结构专业以外的附加材料费用、工期等综合造价，不应只考虑结构专业的混凝土和钢筋用量。

## 1.2 多高层建筑基础设计中的基本概念

1. 高层建筑基础设计比一般建筑基础要更复杂，它具有荷载大、埋置深及要求严的特点，在选择基础形式时与建筑物的使用性质、上部结构类型、地质情况、抗震性能、对周围建筑物的影响及施工条件等有密切的关系。

下面介绍在方案设计过程中和计算结果判断时经常用到的一些概念：

(1) 基础设计的目的是为上部结构提供一可靠的平台，使上部结构受力与分析结果一致。为此应保证一定的刚度和强度。地基基础规范与桩基规范等对基础沉降与差异沉降都



提出了强制规定。

(2) 基础类型可分两大类，有独立式基础（独基、桩承台）、整体式基础（地基梁、筏板、箱基、桩梁、桩筏、桩箱）。对于独立式基础可以取荷载的最大轴力组合、最大弯矩组合、最大剪力组合计算；对于整体式基础每个柱子的最大值不会同时出现，应对各种荷载效应组合分别计算后进行统计。相比两种设计方法，整体式基础整体刚度大、计算复杂，但对地基承载力的总要求反而降低，桩数反而减少。

(3) 天然地基上的筏基与常规桩筏基础是两种典型的整体式基础形式。常规桩筏基础不考虑桩间土承载力的发挥，当减小桩数量后桩与土就能共同发挥作用，如桩基规范中的复合桩基。当天然地基上的筏基沉降不能满足设计要求时，可加少量桩来减小沉降及提高承载力，如上海规范的沉降控制复合桩基。对天然地基进行人工处理后（如采用 CFG 桩或其他刚性桩），就可变成复合桩基（没有设柔性垫层）或复合地基（设柔性垫层）。

(4) 整体式基础是一个超静定结构，基底土、桩反力及基础所受内力与筏板刚度密切相关，刚度越大内力越大。当局部构件配筋过大时，首先想到增大尺寸，如不起作用，减小尺寸有时更有效。

(5) 相比上部结构计算，设计人员的工程经验起着重要作用。在桩筏有限元计算中，桩弹簧刚度及板底土反力基床系数的确定等均与沉降密切相关，因此基础计算的关键是基础的沉降问题。合理的沉降量是筏板内力及配筋计算的前提，在沉降量合理性的判断过程中，工程经验起着重要的作用。

(6) 针对高层建筑桩筏（箱）基础传统设计方法带来的碟形差异沉降问题和主裙房的差异沉降问题，最新修订的中华人民共和国行业标准《建筑桩基技术规范》（JGJ 94—2008）提出变刚度调平设计新理念，其基本思路是：考虑地基、基础与上部结构的共同作用，对影响沉降变形场的主导因素——桩土支承刚度分布实施调整，“抑强补弱”，促使沉降趋向均匀。具体而言，包括高层建筑内部的变刚度调平和主裙房间的变刚度调平。对于前者，主导原则是强化中央，弱化外围。对于荷载集中、相互影响大的核心区，实施增大桩长（当有两个以上相对坚硬持力层时）、或调整桩径、桩距；对于外围区，实施少布桩、布较短桩，发挥承台承载作用。调平设计过程就是调整布桩，进行共同作用迭代计算的过程。对于主裙房的变刚度调平，主导原则是强化主体，弱化裙房。裙房采用天然地基是首选方案，必要时采取增沉措施。当主裙房差异沉降小于规范容许值，不必设沉降缝，连后浇带也可取消。最终达到，筏板上部结构传来的荷载与桩土反力不仅整体平衡，而且实现局部平衡。由此，最大限度地减小筏板内力，使其厚度减薄变为柔性薄板。

(7) 虽然程序能自动完成筏板的计算，但设计人员应有初步的力学概念。筏板计算模型必须具备荷载、基础构件及边界约束。荷载有多种形式，包括点荷载（如柱荷载）、线荷载（如墙荷载）、面荷载（如板面荷载）；基础构件可划分成多种形式单元，包括梁单元（如明梁、暗梁、筏板的肋）、板单元；边界约束可分为固定约束、弹性约束（如点弹簧、面弹簧）。力的传递路径叫力流，在概念设计中要求受力、传递路径简单、直接、明确。对于复杂的基础进行分析经常用“水流”形象地理解“力流”，上部结构荷载通过柱、墙传给基础的梁与板，通过基础后传给与基础相接的土和桩。其中基础的梁与板中的内力是按刚度进行分配，板越厚梁分担就越少，但梁比板受力明确，且容易发挥其抗弯刚度，应首先考虑梁（包括明梁、暗梁、筏板的肋）的设置。如梁超筋，可将板厚加大或采用平板

基础。刚度的突变对力流的传递是不利的，梁板尺寸的变化应渐变。由于剪力墙相当于刚度很大的梁，剪力墙的边角部筏板或梁的内力计算值往往很大，在设计中应注意局部的验算和加强。

2. 地基基础规范强调了按变形控制设计地基基础的重要性，沉降计算是基础计算的重要内容。由于设计人员往往认为按规范算出的结果就是对的，当软件出现多个沉降计算结果时，设计人员会出现疑问或困惑。实际上，这与岩土工程的复杂性有关，我国幅员辽阔，地质条件千差万别、各不相同。虽然规范中提供了各种沉降计算的方法，所有方法基本上都假设土是弹性介质，采用弹性有限压缩分层总和法计算出初值，再乘以一个计算经验系数。但是土的本构关系不是线弹性，用弹性解来模拟只是一个近似。不同的土与弹性解的误差是各不相同的，虽然计算经验系数是通过统计得到的，由于统计样本的土不是同一土性，离散性较大，所以只能作为参考。这样就不难理解不同的地方规范经验修正方法不同，比如对于简单的天然地基，按地基规范计算的沉降与上海规范计算的沉降有时会差一倍多。

沉降值包括基底附加压应力引起的沉降和考虑回弹再压缩的量，回弹再压缩的量是比较难计算的，因为与施工的方法、时间、环境等相关。对于先打桩后开挖的情况，沉降计算可以忽略基坑开挖地基土回弹再压缩。但对于其他情况的深基础，设计中要考虑基坑开挖地基土回弹再压缩。根据多个工程实测也发现，如果不考虑，裙房沉降偏小，主裙楼差异沉降偏大。对于主楼回弹再压缩量占总沉降量的小部分，对于裙房回弹再压缩量占总沉降量的大部分。回弹再压缩模量与压缩模量之比的取值可查勘察资料，如勘察资料没有提供可取 2~5 之间的值。

对在建建筑物进行沉降观测，比较与计算值之间的差别，通过这些工作以期积累工程经验。事实上，不管是天然地基还是桩基，基础沉降值不可能完全按公式计算确定，根据丰富的当地经验判断的沉降值往往比按公式的计算结果更具可靠性，更具参考价值。

### 3. 高层建筑上部结构、地下室与地基基础的相互作用

(1) 高层建筑的基础上部整体连接着层数很多的框架、剪力墙或（和）筒体结构，地下室四周很厚的挡土墙又紧贴着有效侧限的密实回填土，下部又连接着沿深度变化的地基。无论在竖向荷载还是水平荷载的作用下，它们都会有机地共同作用，相互协调变形。尽管在这方面的设计计算理论仍不够完善，但如果再把基础从上部结构和下部地基的客观边界条件中完全隔离出来进行计算，是根本无法达到真正设计要求的目的的。

高层建筑基础的分析与设计经历了不考虑上、下共同相互作用的阶段，仅考虑基础和地基共同作用的阶段，到现今开始全面考虑上部结构和地基基础相互作用的新阶段。我国目前也有了专门的高层建筑与地基基础共同作用理论的相关程序。但现在设计人员所用的一体化计算机结构设计程序仍是沿袭着不具体充分考虑相互作用的常规计算方法。所以，设计的计算结果往往和工程实测的结果相差较远。

(2) 无论是箱基还是筏基，诸多工程的实测都显示：底板的整体弯曲率都很小，往往都不到万分之五，甘肃省的一些高层建筑箱形基础的实测都在  $(0.16 \sim 3.4) \times 10^{-4}$  之间，例如法兰克福展览会大楼的筏板实测挠曲率也只有  $2.55 \times 10^{-4}$ ，而测得的筏（或底）板钢筋应力一般都在  $20 \sim 30 \text{N/mm}^2$  之间，只有钢筋强度设计值的十分之一，个别内力较大的工程也几乎没有超过  $70 \text{N/mm}^2$ ；又例如陕西省邮政电信网管中心大楼筏板所测得的最大钢筋拉应力也只有  $42.66 \text{N/mm}^2$ 。

出现这种基础底板内力远远小于常规计算方法的因素很多，如在基础底板施工时，只有底板的自重，且无任何上部结构的边界约束，而混凝土的硬化收缩力大，在底板的收缩应变过程中，使混凝土中的纵向钢筋产生预压应力。若混凝土的收缩当量为  $15^{\circ}\text{C}$ ，则钢筋的预压应力可达  $31.5\text{N}/\text{mm}^2$ ，陕西省邮政电信网管中心大楼测得的筏板钢筋预压应力为  $30.25\text{N}/\text{mm}^2$ ，相当于十分之一的设计强度，从而在正常工作状态下抵消了部分拉应力，使钢筋的受力变小；另外，基础底面和地基土之间巨大的摩擦力起着一定程度的反弯曲作用。摩擦力是整栋建筑的客观边界条件，不能视而不见，特别是对于天然地基的箱形和筏形基础来讲，地基土都比较坚实，变形模量、基床系数都比较大，则基础底板的内力和相应的挠曲率势必会相应减小；再有，天然地基设计承载力按平均值取用，而实测基底反力表明，由于土体局部承压提高了承载力，在柱和墙下的反力比平均反力值大得多（图 1.2-1）。

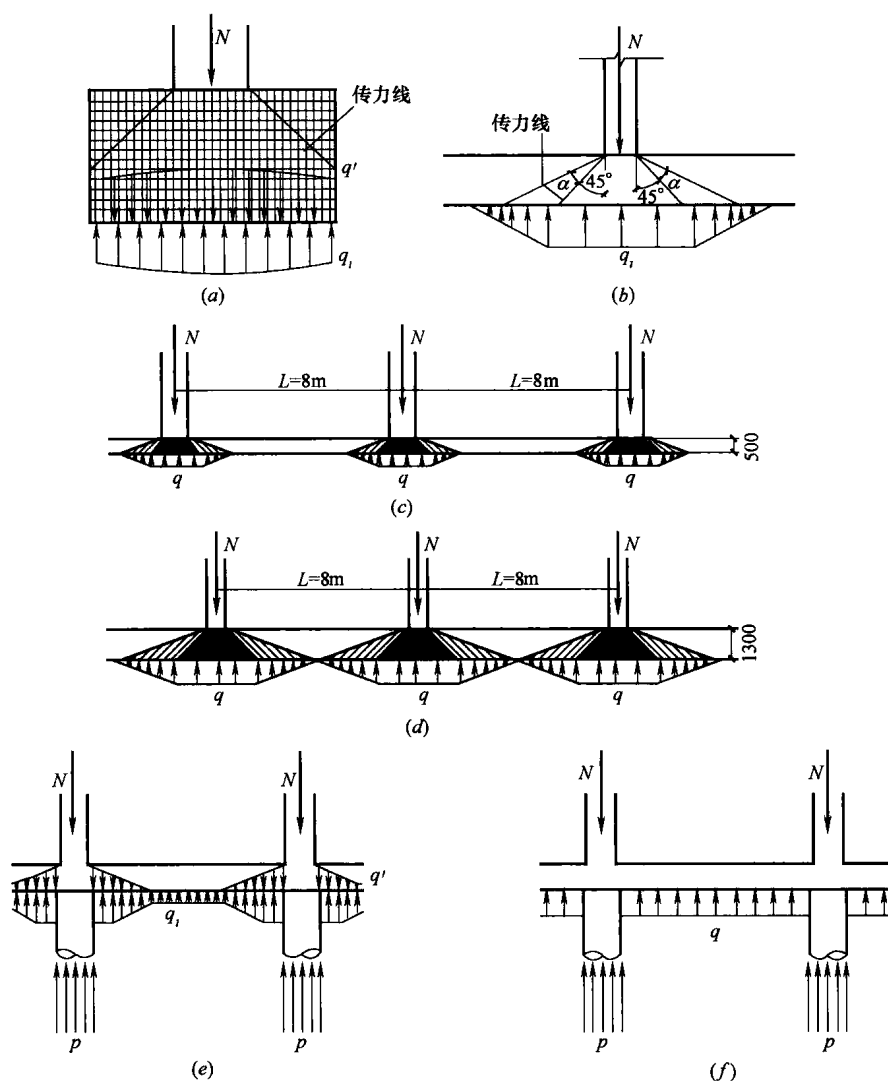


图 1.2-1 基础传荷及反力分布

(a) 地基上的刚块；(b) 基础荷载传递示意；(c) 基础梁刚度较小的联合基础；(d) 基础梁刚度较大的联合基础；(e) 桩基反力实际分布；(f) 桩基反力计算假定

除上述等因素外，最主要的是上部结构和地下室整体刚度的贡献，并参与了基础的共同抗力，起到了拱的作用，从而减小了底板的挠曲和内力。对若干工程基础受力钢筋的应力测试表明，在施工底部几层时，基础钢筋的应力是处于逐渐增长的状态，变形曲率也逐渐加大。施工到上部第4、5层时，钢筋的应力达到最大值。然后随着层数及其相应的荷载逐步增加，底板钢筋的应力又逐渐减小，变形曲率也逐渐减缓。其原因是，在施工底部4、5层时，已建上部结构的混凝土尚未达到强度，刚度也尚未形成，这时的上部荷载全部由基础底板来单独承担。而随着继续往上施工，上部结构的刚度渐次形成，并逐渐加大，和基础底板整体作用，共同抗力，则产生拱的作用，使基础底板的变形趋于平缓。北京中医院工程箱形基础的现场实测显示，底板和顶板均为拉应力。这充分说明了由于上部结构和基础的共同作用，弯曲变形的中和轴已移到上部结构。

又如北京前三门604号工程，地下2层，地上10层，箱形基础实测显示：钢筋应力随底部楼层施工的增高而加大，当施工至连同地下室共5层时，基础底板钢筋应力最大值为 $30\text{N/mm}^2$ ，5层以后，底板钢筋应力随楼层施工的增高而减小。结构封顶时，底板钢筋的最大应力只有 $4\text{N/mm}^2$ 。

从上述的诸多工程实例中可以看出，高层建筑基础底板实际所承受的弯曲内力都远远小于常规计算值，有很大的内在潜力。所以结构工程师在具体工程项目的设计中，必须细心把握，否则基础截面和配筋量都会比实际所需的大得多，会造成很大的浪费。

(3) 高层建筑基础应具有一定的埋置深度，对地面以上整体结构的受力性能都会有很大的贡献。设计人员务必在设计中充分挖掘它的潜在功能，利用它的有利作用。

1) 地下室深基坑的开挖，对天然地基或复合地基的基础能起到很大的卸载和补偿作用，从而减少了地基的附加压力。例如，一栋地上36层、地下2层的高层建筑，若筏板底埋深9m，在基坑周围井点降水后，将原地面以下9m厚的岩土挖去建造地下室，则卸去的土压力为 $9 \times 18 = 162\text{kPa}$ ，约相当于10层楼的标准荷载重量（上部楼层的标准荷载按 $16\text{kPa}$ 计）。如果该场地的地下水位为地表下2m，当地下室建成后，井点降水终止，则地下水回升正常水位的浮托力为 $70\text{kPa}$ ，约相当于4层楼的标准荷载重量。所以，地基实际上所需支承的仅是 $36 + 2 - 10 - 4 = 24$ 层楼（包括地下室在内）的荷重，即卸去了约36%的上部荷载，从而也就大大地降低了对地基承载力的要求。

2) 由于地下室具有一定的埋置深度，周边都有按设计要求夯实的回填土，所以地下室前、后钢筋混凝土外墙的被动土压力和侧墙的摩擦阻力都限制了基础的摆动，加强了基础的稳定，并使基础底板的压力分布趋于平缓。所以，很多资深结构设计人员认为，当地下室的埋深大于建筑物高度的 $1/12 \sim 1/10$ 时，完全可以克服和限制偏压引起的整体倾覆问题。

地下室周边回填土的摩擦阻力功能有多大，可以通过陕西省邮政电信网管中心大楼的实测结果来说明。现场测试表明，在结构封顶时的桩、土分担比值之和约为78%，则说明桩和筏底土只共同承担了约78%的上部结构总重，而剩余的22%结构总重却是由地下水的浮力和地下室（包括筏板自身的厚度）周边回填土的摩擦阻力来分担。该场地的稳定地下水位埋深 $11.15 \sim 12.0\text{m}$ ，筏底埋深 $13.0\text{m}$ ，以最高水位计算，地下水的浮托力才 $38.8 \times 42.4 \times 1.85 \times 10 = 30.4\text{MN}$ ，很小，所以，绝大部分的剩余荷载都是由侧摩擦阻力来分担的。该地下室外墙的有效总面积 $A_w = 2 \times (35.8 + 40) \times (13 - 1) = 1820\text{m}^2$ ，确实具

有较大的可挖潜在功能。

所以，对于高层建筑的基础设计，结构工程师必须加强对地下室周边回填土的质量要求和控制，以避免不认真夯实回填土的情况产生。内摩擦角越大，土回填就越密实，抗剪强度越高，提供的被动土压力也就越大，对基础的稳定越有保证。同时，地下室外墙与回填土之间巨大接触面积上的摩擦力同样也对地基基础起着很大的卸载与补偿作用。

3) 地下室结构的层间刚度要比上部结构大得多，地上建筑的井筒、剪力墙和（或）柱都直接贯通到地下室，特别是地下室的外墙都是很厚且开洞极少的钢筋混凝土挡土墙，在大面积的被动土压力与摩擦阻力的侧限下，与地基土形成整体，地震时与地层移动同步。所以，无论是箱形还是筏形基础，地下室的顶板和底板之间基本上不可能出现层间位移。

(4) 高层建筑的基础在考虑有利影响的同时，还应考虑地震作用带来的不利作用，在发生强震时竖向地震作用会有一些影响，因此基础设计留有一定的余地是必要的。

而且，地下室与地基及周边土的共同作用又反过来对上部结构的整体刚度提供了一定的补偿性贡献。无论是模拟试验和理论分析的结果都充分显示，在上部结构和工程地质条件完全相同的情况下，有地下室的高层建筑的自振周期要比无地下室的小，而且有桩基的要小于天然地基的，大直径桩的要小于小直径桩的。同时，有两层地下室的整体刚度要大于只有一层地下室的。日本某科研单位对一栋坐落在软土地基上的 15 层住宅楼进行了这方面的专题研究，结果表明，随地下室的层数和埋深的增加，建筑物的整体刚度增大，自振周期明显减小，而且小直径桩基只能起到半层地下室的作用，见图 1.2-2。

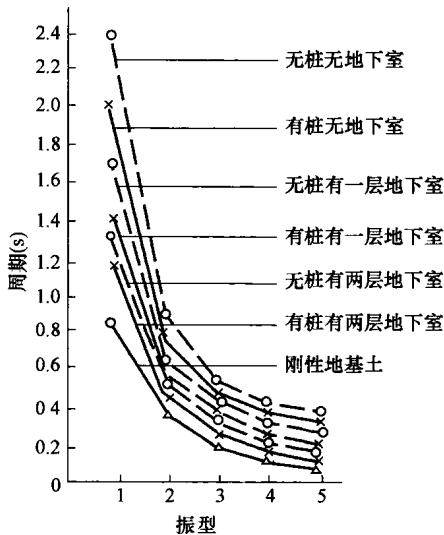


图 1.2-2 地下室对结构整体刚度的影响

从图中的第一振型标示不难看出，由于上部结构—地下室—桩—土的共同相互作用，有两层地下室+桩基的自振周期 ( $T_1 = 1.2s$ ) 要比无地下室桩基础的自振周期 ( $T_1 = 2.0s$ ) 小 40%，则在地震作用下相应的结构侧向位移要比无地下室的小。如果用概念性近似计算来比较，在上部结构质量和所有其他边界条件都不变的情况下，本案例中，有两层地下室+桩基的结构整体刚度是相应无地下室桩基础的整体刚度的 2.8 倍左右。但其自振周期还是要比按上部结构完全嵌固在地下室顶板上的所谓刚性地基计算模型的自振周期 ( $T = 0.8s$ ) 大 50%，也就是说，假设坐落在刚性地基上的结构计算模型的刚度要比实际两层地下室+桩基的结构整体刚度大了 2.2 倍左右，即  $K_{刚} = 2.2K_{实}$ 。所以，设计人员必须要有这个概念，才能做到心中有数，即按照刚性地基计算模型算出来的层间或顶部位移值要小于实际位移值，而地震反应（基底剪力和倾覆力矩）却都大于实际值。

另外，日本计算桩基承担地震剪力的经验方法也充分反映了地下室的潜在补偿功能。当地下室周边土标准锤击贯入度为 4 时，每增加一层地下室，桩所承受的水平剪力就可以

减少 25%，当有 4 层地下室时，则可不考虑桩基承受地震剪力的问题；当周边土的锤击贯入度为 20 时，一层地下室桩基所承担的剪力就能减少 70%，两层地下室的桩基就可以不考虑地震剪力的问题，见表 1.2-1。

日本桩基工程地下室侧壁承担的水平荷载

表 1.2-1

地下室层数 \ 侧壁土的锤击贯入度	N=4	N=20
一层地下室	25%	70%
二层地下室	50%	100%
三层地下室	75%	
四层地下室	100%	

总之，高层建筑基础设计的潜力很大，如果在所依据的计算理论不够完善的情况下，再无端保守地加大箱（筏）形基础底板的厚度、配筋量和布桩的数量，会造成很大的浪费和极其不良的综合经济效益。在具体工程项目的设计中，结构工程师必须凭借自身拥有的概念和正确的判断力进行把握。

#### 4. 应重视抗震结构的基础设计

(1) 以往结构抗震设计只着眼于上部结构而对基础结构则缺乏应有的重视，如高层建筑高烈度区及大跨度结构应考虑竖向地震作用。基础结构的设计应与上部结构的预期地震反应相适应。基础设计不当，就不能实现上部结构的预期反应。

(2) 地基对基础结构内力的影响是非常敏感的，基础结构内力在很大程度上受地基土的应力分布影响。基础的抗震设计应适当考虑地基土承载力和刚度的不确定性带来的影响。

(3) 抗震结构的基础设计要根据上部结构在可能发生的最大地震作用下的地震反应是弹性或非弹性确定，前者基础可按弹性或非弹性设计，后者则应按弹性设计，并在地震作用的过程中保持弹性工作。高层及多层建筑上部延性结构、基础结构按弹性设计，能将上部结构的屈服后最大作用传到地基。

当上部结构完全按弹性设计地震反应过大，柱、墙、基础拉梁可按延性设计，使耗能机制位于基础部位，从而适当控制地震作用。这种上部为弹性、基础为延性的结构属于一种有限延性结构。由于基础的损伤难以检查及修复，对基础结构的非弹性能研究，目前还很不足，因此采用延性基础结构要权衡利弊，慎重对待，对于高层建筑不宜采用。

(4) 高层建筑当柱基采用弹性地基梁时，地基梁除考虑竖向荷载外，尚应考虑柱根截面受弯承载力  $M_c$  并乘以增大系数 1.5 以保证柱根部塑性铰能够推迟出现（图 1.2-3）。无配筋的混凝土刚性基础不宜用于抗震结构。

高层钢筋混凝土框架结构的基础经常采用很大截面的双向交叉基础梁，由于基础梁采用大体积混凝土，其强度等级往往低于底层柱的混凝土强度等级，为此需要考虑由于强度差异带来的不利影响。底层柱与基础梁的混凝土强

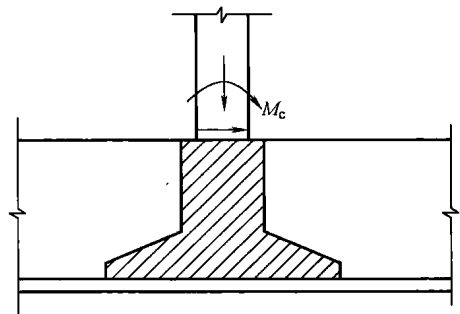


图 1.2-3 弹性地基梁上柱根的增强

度差异对内柱影响不大，但对边柱或角柱则可能造成较严重的影响。仔细验算基础梁的承载力是必要的。一般情况下，中柱只需考虑局部承压的不利作用，边柱及角柱处应将基础梁沿各自轴线方向向外伸出不少于基础梁高度的  $1/3$  以扩大基础梁承压面积，并验算柱下基础梁的局部受压承载力。

(5) 剪力墙的基础应有足够的嵌固程度和承载能力，使塑性铰产生在墙根部。一、二级剪力墙结构基础应考虑上部结构出现塑性铰的作用。在框架-剪力墙结构中，剪力墙的基础如发生转动，将降低其抗侧力作用并提高了剪力墙连梁和框架约束梁的延性要求。当采用非整体基础时，应采取措施增强剪力墙基础的抗转动能力。例如加大基础刚度及设置垂直于剪力墙方向的基础梁，加强对剪力墙基础的约束等。剪力墙采用桩基时，桩基承台应能承受剪力墙根部超强屈服所引起的内力。

利用地下室结构可以增强对上部结构的嵌固作用，并可降低基础结构的刚度要求，例如采用柔性筏板等，但有地下室的框架-剪力墙结构，剪力墙的屈服部位往往难以确定，

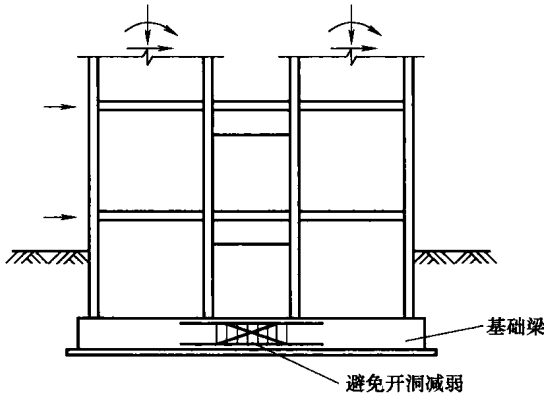


图 1.2-4 双肢墙基础

设计时应根据上部结构和地下室结构的刚度情况，考虑墙铰发生在基础顶部或地下室顶部的两种可能，以及嵌固部位相连接结构的刚度及承载能力。

(6) 双肢墙比两道独立墙具有更大的抗倾覆能力，因此要求有较强的基础以保证上部结构充分发挥耗能作用。

两道剪力墙之间的基础梁承受很大的剪力，应注意避免开洞削弱。当采用非整体基础时，基础梁应考虑内力增大并采取有效的配筋措施 (图 1.2-4)。

(7) 当剪力墙位于房屋的尽端时，不利于剪力墙的嵌固，需要较大刚度的基础结构。采用箱形基础可以利用垂直于剪力墙的基础墙承受剪力墙的弯矩 (图 1.2-5)。

当基础结构较柔时，合理的剪力墙布置是将剪力墙退进一个开间 (图 1.2-6)。

(8) 高层建筑经常有较大面积的低层或多层裙房。两者之间如设沉降缝 (防震缝)，

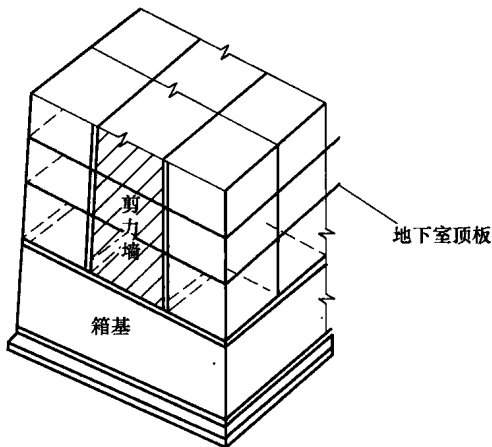


图 1.2-5 剪力墙位于尽端

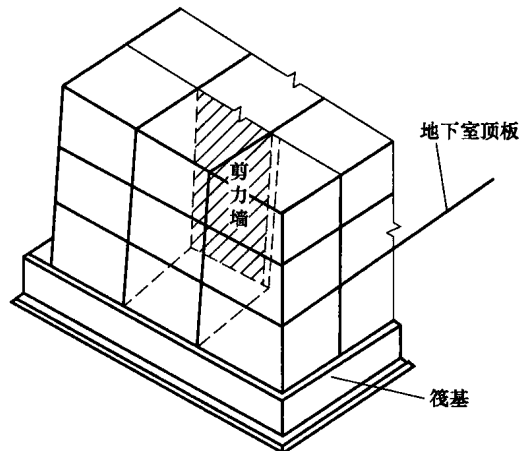


图 1.2-6 剪力墙退进一个开间

在地震作用下可能造成结构的相互碰撞及对建筑装修带来不利影响。后期差异沉降往往造成楼层标高的局部突变，给使用带来不便。

当地基持力层为较硬土质，或采用桩基减小差异沉降，通过沉降分析使后期沉降差控制在 30mm 左右时，高层建筑与裙房之间可以利用施工阶段设后浇带的措施而不设缝。

考虑后期沉降对相连接结构的影响，两者之间相连跨的基础梁和上部结构的梁柱节点在构造上应具有较好的变形能力（图 1.2-7）。为了缓解高层与裙房相连的基础梁由于差异沉降带来的过大剪力，可在该基础梁下面铺设一层易压缩材料的垫层，如聚苯板等。

(9) 如图 1.2-8 所示，当裙房伸出范围较小时 ( $a \leq 0.15B$ )，可以结合地下室结构做成整体基础，这样也有利于高层建筑的稳定，当裙房偏在一侧时，应考虑基础偏心带来的不利影响。

(10) 高层建筑与低层裙房之间设有沉降缝时，高层基础埋深应比低层基础埋深增加不少于 2m。沉降缝在室外地坪以下宜用粗砂填实以保证高层建筑的侧向约束。

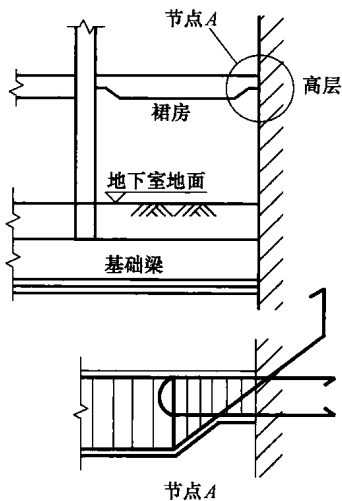


图 1.2-7 适应后期差异沉降的措施

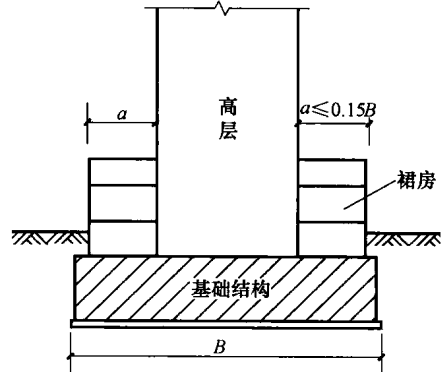


图 1.2-8 主体与裙房相连的结构

### 1.3 建筑场地

1. 选择建筑场地时，应按表 1.3-1 划分对建筑抗震有利、不利和危险的地段。
2. 建筑场地的类别划分，应以土层等效剪切波速和场地覆盖层厚度为准。

有利、不利和危险地段的划分

表 1.3-1

地段类别	地质、地形、地貌
有利地段	稳定基岩，坚硬土，开阔、平坦、密实、均匀的中硬土等
不利地段	软弱土，液化土，条状突出的山嘴，高耸孤立的山丘，非岩质的陡坡，河岸和边坡的边缘，平面分布上成因、岩性、状态明显不均匀的土层（如故河道、疏松的断层破碎带、暗埋的塘浜沟谷和半填半挖地基）等
危险地段	地震时可能发生滑坡、崩塌、地陷、地裂、泥石流等及发震断裂带上可能发生地表错位的部位



3. 土层剪切波速的测量,应符合下列要求:

(1) 在场地初步勘察阶段,对大面积的同一地质单元,测量土层剪切波速的钻孔数量不宜少于3个;

(2) 在场地详细勘察阶段,对单幢建筑,测量土层剪切波速的钻孔数量不宜少于2个,数据变化较大时,可适量增加;对小区中处于同一地质单元的密集高层建筑群,测量土层剪切波速的钻孔数量可适量减少,但每幢高层建筑下不得少于一个;

(3) 对丁类建筑及层数不超过10层且高度不超过24m的多层建筑,当无实测剪切波速时,可根据岩土名称和性状,按表1.3-2划分土的类型,再利用当地经验在表1.3-2的剪切波速范围内估计各土层的剪切速度。

土的类型划分和剪切波速范围

表 1.3-2

土的类型	岩土名称和性状	土层剪切波速范围(m/s)
岩石	坚硬和较坚硬的稳定岩石	$v_s > 800$
坚硬土或软质岩石	破碎和较破碎的岩石或软和较软的岩石,密实的碎石土	$800 \geq v_s > 500$
中硬土	中密、稍密的碎石土,密实、中密的砾、粗、中砂, $f_{ak} > 150$ 的黏性土和粉土,坚硬黄土	$500 \geq v_s > 250$
中软土	稍密的砾、粗、中砂,除松散外的细、粉砂, $f_{ak} \leq 150$ 的黏性土和粉土, $f_{ak} > 130$ 的填土,可塑新黄土	$250 \geq v_s > 150$
软弱土	淤泥和淤泥质土,松散的砂,新近沉积的黏性土和粉土, $f_{ak} \leq 130$ 的填土,流塑黄土	$v_s \leq 150$

注:  $f_{ak}$  为由载荷试验等方法得到的地基承载力特征值 (kPa);  $v_s$  为岩土剪切波速。

4. 建筑场地覆盖层厚度的确定,应符合下列要求:

(1) 一般情况下,应按地面至剪切波速大于500m/s的土层顶面的距离确定;

(2) 当地面5m以下存在剪切波速大于相邻上层土剪切波速2.5倍的土层,且其下卧岩土的剪切波速均不小于400m/s时,可按地面至该土层顶面的距离确定;

(3) 剪切波速大于500m/s的孤石、透镜体,应视同周围土层;

(4) 土层中的火山岩硬夹层,应视为刚体,其厚度应从覆盖土层中扣除。

5. 土层的等效剪切波速,应按下列公式计算:

$$v_{se} = d_0 / t$$

$$t = \sum_{i=1}^n (d_i / v_{si})$$

式中  $v_{se}$ ——土层等效剪切波速 (m/s);

$d_0$ ——计算深度 (m),取覆盖层厚度和20m二者的较小值;

$t$ ——剪切波在地面至计算深度之间的传播时间;

$d_i$ ——计算深度范围内第*i*土层的厚度 (m);

$v_{si}$ ——计算深度范围内第*i*土层的剪切波速 (m/s);

$n$ ——计算深度范围内土层的分层数。

6. 建筑的场地类别,应根据土层等效剪切波速和场地覆盖层厚度按表1.3-3划分为四类。当有可靠的剪切波速和覆盖层厚度且其值处于表1.3-3所列场地类别的分界线附近时,应允许按插值方法确定地震作用计算所用的设计特征周期。