

李国胜 编

# 建筑地基基础 及地下室结构设计 疑难处理与实例

JIANZHU DIJI JICHU JI DIXIASHI JIEGOU SHEJI  
YINAN CHULI YU SHILI



中国建筑工业出版社

# 建筑地基基础及地下室结构设计 疑难处理与实例

李国胜 编

中国建筑工业出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

建筑地基基础及地下室结构设计疑难处理与实例/李国胜编.

北京: 中国建筑工业出版社, 2013. 10

ISBN 978-7-112-15796-9

I. ①建… II. ①李… III. ①地基-基础(工程)-建筑设计-问题解答②地下室-结构设计-问题解答 IV. ①TU47-44②TU929-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 210059 号

本书以提问解答方式编写, 内容包括: 设计的重要概念, 地基基础设计的基本规定, 设计中遇到的一些突出问题, 天然地基基础设计, 复合地基设计, 桩基础设计, 地下室结构设计, 其他等共 8 章, 并附有大量工程实例。本书可供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、监理等工作人员和大专院校土建专业师生参考。

\* \* \*

责任编辑: 武晓涛

责任设计: 张虹

责任校对: 张颖 赵颖

## 建筑地基基础及地下室结构设计疑难处理与实例

李国胜 编

\*

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

北京楠竹文化发展有限公司制版

北京君升印刷有限公司印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 20 字数: 500 千字

2014 年 2 月第一版 2014 年 2 月第一次印刷

定价: 46.00 元

ISBN 978-7-112-15796-9  
(24587)

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

随着我国经济和城镇化的发展，建筑工程量大面广，而房屋场地的选择，基础及地下室方案选择，对安全和造价关系极大。目前有许多从事建筑结构设计的人员，对地基基础及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，编者依据《建筑抗震设计规范》GB50011—2010（简称《抗震规范》）、《混凝土结构设计规范》GB50010—2010（简称《混凝土规范》）、《建筑地基基础设计规范》GB50007—2010（简称《地基规范》）、《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ3—2010（简称《高规》）、《高层建筑筏形与箱形基础技术规范》JGJ6—2011（简称《箱基规范》）、《建筑桩基技术规范》JGJ94—2008（简称《桩基规范》）、《建筑地基处理技术规范》JGJ7—2012（简称《地基处理》）、《全国民用建筑工程设计技术措施—结构（地基与基础）》（简称《全国技术措施（结构地基与基础）》）、《北京地区建筑地基基础勘察设计规范》DBJ11—501—2009（简称《北京地基规范》）、《上海市地基基础设计规范》DGJ08—11—2010（简称《上海地基规范》）、《广东省建筑地基基础设计规范》DBJ15—31—2003（简称《广东地基规范》）、《北京市建筑设计技术细则—结构专业》（简称《北京细则》）等标准，以及本人发表过的有关文章和收集到的有关资料写成本书，供从事建筑结构设计的同行参考，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发展。

本书以提问解答方式编写，内容包括：设计的重要概念，地基基础设计的基本规定，设计中遇到的一些突出问题，天然地基基础设计，复合地基设计，桩基础设计，地下室结构设计，其他等共8章，并附有大量工程实例。本书的特点是简明实用，可读性和可操作性强，方便于从事建筑结构设计的技术人员参照应用，也可供建筑结构施工图文件审查、施工、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，得到同行们的帮助，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

## 第 1 章 设计的重要概念

1.1 建筑地基基础设计为什么重要? .....	1
1.2 建筑场地有哪些重要规定? .....	1
1.3 多高层建筑基础设计中的基本概念有哪些? .....	7
1.4 纯地下室停车库抗震设计有何规定? .....	15
1.5 设计应注意的事项有哪些? .....	16
1.6 基础计算沉降量与实测沉降量为什么相差较多? .....	23

## 第 2 章 地基基础设计的基本规定

2.1 地基基础设计有哪几个等级? .....	41
2.2 地基基础设计的基本要求有哪些? .....	41
2.3 岩土工程勘察有哪些规定? .....	42
2.4 液化土和软土地基如何判别及处理? .....	48
2.5 地基基础设计时荷载应如何组合? .....	52
2.6 基础埋置深度有何规定? .....	54
2.7 基础抗浮设计有何规定? .....	57
2.8 后浇带的构造及浇灌时间有何规定? .....	58
2.9 基础采用“跳仓法”施工有哪些规定? .....	60
2.10 地基变形计算有哪些规定? .....	64
2.11 单独柱基的拉梁设计有何规定? .....	77
2.12 地基稳定性计算有哪些规定? .....	78
2.13 山区地基设计应注意什么? .....	80

## 第 3 章 设计中遇到的一些突出问题

3.1 建筑地基设计应考虑哪些因素? .....	84
3.2 多高层建筑基础底板哪种形式合理? .....	84
3.3 地下室一层顶板不具备嵌固条件怎么办? .....	85
3.4 作为嵌固部位的楼板为什么需要有足够厚度? .....	85
3.5 主楼相关部位(范围)地下室计入侧向刚度时应注意哪些问题? .....	86
3.6 多高层建筑地下室的抗震等级如何确定? .....	86
3.7 剪力墙在地下室要不要再设底部加强部位? .....	86

3.8	地下车库能否作为主楼侧限?主楼基础埋置深度从哪儿算起? .....	87
3.9	主楼地下室外墙设有窗井应注意什么? .....	87
3.10	地下室外墙在底板及楼板处要不要设置暗梁? .....	88
3.11	地下室外墙设计应注意什么? .....	88
3.12	主楼旁边有下沉庭院设计应如何处理? .....	88
3.13	多高层建筑地下室楼层转换设计与上部楼层转换有何区别? .....	89
3.14	设计基础梁、板时应注意哪些事项? .....	89
3.15	地上无墙仅地下室有墙,能否作为基础底板的支承梁? .....	90
3.16	多高层建筑的剪力墙结构能不能做条形基础? .....	90
3.17	地下车库结构设计有哪些要点? .....	90
3.18	山坡地上建筑结构设计的关键点有哪些? .....	91
3.19	外框架内核心筒结构基础沉降应注意什么? .....	91
3.20	桩基设计还应注意什么? .....	92
3.21	有关上部结构嵌固部位规定不一致怎么办? .....	92
3.22	天然地基粉土承载力修正系数如何取? .....	92

## 第4章 天然地基基础设计

4.1	地基岩土分类及工程特性指标有哪些? .....	94
4.2	天然地基的承载力怎样计算? .....	98
4.3	各类结构的基础选型如何确定? .....	106
4.4	无筋扩展基础设计有哪些要点? .....	108
4.5	扩展基础设计要点有哪些? .....	109
4.6	单独柱基的设计要点有哪些? .....	112
4.7	交叉梁基础的设计要点有哪些? .....	117
4.8	筏形基础的设计要点有哪些? .....	122
4.9	箱形基础的设计要点有哪些? .....	131

## 第5章 复合地基设计

5.1	复合地基设计基本规定有哪些? .....	137
5.2	复合地基有哪些特点? .....	139
5.3	CFG桩复合地基的设计要点有哪些? .....	140
5.4	工程实例 .....	142

## 第6章 桩基础设计

6.1	桩基础设计基本规定有哪些? .....	152
6.2	桩的分类有哪些? .....	154
6.3	桩的布置有何规定? .....	158
6.4	桩的承载力如何计算? .....	159

6.5	后注浆灌注桩设计要点有哪些? .....	167
6.6	抗拔桩设计要点有哪些? .....	170
6.7	桩体承载力计算及裂缝控制有哪些规定? .....	172
6.8	桩基构造有哪些规定? .....	175
6.9	承台设计要点有哪些? .....	180
6.10	桩基沉降计算有哪些规定? .....	191
6.11	载体桩的特点及设计要点是什么? .....	194
6.12	工程实例 .....	199
<b>第 7 章 地下室结构设计</b>		
7.1	地下室结构设计要点有哪些? .....	232
7.2	楼盖结构设计要点是什么? .....	234
7.3	地下室外墙的计算与构造有哪些要点? .....	256
7.4	独立柱基抗水板设计要点是什么? .....	265
<b>第 8 章 其他</b>		
8.1	挡土墙的设计要点有哪些? .....	275
8.2	抗浮锚杆的设计要点有哪些? .....	286
8.3	抗浮还有哪些方法? .....	289
8.4	部分地方标准关于应作地基变形计算的建筑范围 .....	291
8.5	部分地方标准关于地基变形允许值的规定 .....	293
8.6	部分地方标准关于建筑物完工时最终沉降量的预估值 .....	295
8.7	部分地方标准关于岩土物理力学指标与地基承载力 .....	296
8.8	地基处理方法及其适用范围 .....	302
8.9	建筑物沉降变形观测 .....	308
<b>参考文献</b> .....		311

# 第 1 章 设计的重要概念

## 1.1 建筑地基基础设计为什么重要？

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 and 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。

6. 建筑地下室尤其无上部房屋的地下车库，当地下水位较高时抗浮验算非常重要，因此，岩土工程勘察报告应提供用于验算抗浮的设计水位。各地地下水位情况差别大，如上海市抗浮设计水位一般按地面下 0.5m 考虑，北京市区实际潜水层距地面很深，而考虑南水北调等因素有的勘察报告提供的抗浮设计水位过高，经必要的咨询而降低许多。抗浮方法应根据工程的具体情况采用合理的方法，当主楼采用天然地基或复合地基，裙房或地下车库为抗浮采用抗拔桩时，基础相互之间差异沉降将非常突出。

## 1.2 建筑场地有哪些重要规定？

1. 一般规定。

(1) 应根据工程特点、需要和运土工程勘察资料，优先选择场地稳定、地质条件好的



地段作为建筑场地。

(2) 对建筑场地的稳定性和适宜性,应做出评价,可按照可行性研究勘察的要求进行。

(3) 选择建筑场地时,应根据工程需要和地震活动情况、工程地质和地震地质的有关资料,对抗震有利、一般、不利和危险地段作出综合评价。对不利地段,应提出避开要求;当无法避开时应采取有效措施。对危险地段,严禁建造甲、乙类的建筑,不应建造丙类的建筑。

注:有利地段是指稳定基岩,坚硬土,开阔、平坦、密实、均匀的中硬土等。

一般地段是指不属于有利、不利和危险的地段。

不利地段是指软弱土,液化土,条状突出的山嘴,高耸孤立的丘,陡坡,陡坎,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(含故河道、疏松的断层破碎带、暗埋的塘浜沟谷和半填半挖地基),高含水量的可塑黄土,地表存在结构性裂缝等。

危险地段是指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位错的部位。

(4) 建筑场地应避开河道冲刷、洪水淹没、区域性大面积沉陷等可能危及场地安全的地段。

(5) 建筑场地应避免让矿藏可能或正在开采区,有可能进行挖掘的地下文物区,管线、重要基础设施等地下埋藏物区。

(6) 建筑场地应避免让不良地质作用发育区。

(7) 应考虑区域气象、地形地貌等自然条件对风、雪荷载取值的影响。

(8) 应考虑新建建筑物对建筑场地周边已有建筑物的影响,以及对周边环境的影响。

(9) 应进行建筑场地安全性评估,包括地质灾害危险性评估和地震安全性评价。

## 2. 建筑场地安全性评估。

### (1) 地质灾害危险性评估

1) 地质灾害的危险性评估,应符合《地质灾害防治条例》(国务院,第 394 号,2004 年 3 月 1 日起施行)、《国土资源部关于加强地质灾害危险性评估工作的通知》(国土发(2004)69 号)及其《地质灾害危险性评估技术要求(试行)》的相关规定,在地质灾害易发区进行工程建设和编制城市总体规划村庄和集镇规划时,必须对建设用地和规划区进行地质灾害危险性评估。

2) 地质灾害危险性评估工作实行资质管理制度。评估工作应由获得国土资源部门颁发的地质灾害防治工程勘查资质的单位进行,持不同等级资质证书的单位,只能在其资质证书规定的业务范围内承担相应的评估工作。

3) 地质灾害危险性评估工作分级进行。评估工作级别按建设项目的重要性和地质环境条件的复杂程度确定。评估单位应客观地确定评估级别,禁止人为的降低或升高评估级别。

4) 地质灾害危险性评估是在查明各种致灾地质作用的性质、规模和承灾对象社会经济属性(承灾对象的价值,可移动性等)的基础上,以致灾体稳定性和致灾体与承灾对象遭遇的概率上分析入手,对其潜在的危险性进行客观评估。涉及的主要内容包括地质灾害、地质灾害易发区、地质灾害危险区和地质灾害危害程度。

地质灾害是指包括自然因素或者人为活动引发的危害人民生命和财产安全的山体崩

塌、滑坡、泥石流、地面塌陷、地裂缝、地面沉降等与地质作用有关的灾害。

地质灾害易发区是指容易产生地质灾害的区域。

地质灾害危险区是指明显可能发生地质灾害且将可能造成较多人员伤亡和严重经济损失的地区。

地质灾害危害程度是指地质灾害造成的人员伤亡、经济损失与生态环境破坏的程度。

5) 地质灾害危险性评估, 必须对建设工程遭受地质灾害的可能性和该工程建设中、建成后引发地质灾害的可能性作出评价, 提出具体的预防治理措施。

6) 地质灾害危险性评估区的范围, 不能局限于建设用地区和规划用地面积内, 应视建设和规划项目的特点、地质环境条件和地质灾害种类予以确定, 以能确切查明地质灾害的发生发展条件和满足评估需要为准。既包括自然地质灾害, 也包括人为地质灾害, 特别要注意对人类活动诱发或加剧地质灾害的评估。

7) 地质灾害危险性评估的灾种主要包括: 崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷(含岩溶塌陷和矿山采空塌陷)、地裂缝和地面沉降等。

8) 地质灾害危险性评估的主要内容是: 阐明工程建设区和规划区的地质环境条件基本特征; 分析论证工程建设区和规划区各种地质灾害的危险性, 进行现状评估、预测评估和综合评估; 提出防治地质灾害措施与建议, 并作出建设场地适宜性评价结论。

9) 地质灾害危险性评估工作, 必须在充分收集利用已有的遥感影像、区域地质、矿产地质、水文地质、工程地质、环境地质和气象水文等资料基础上, 进行地面调查, 必要时可适当进行物探、坑槽探与取样测试。

10) 地质灾害危险性评估成果, 应按照国家国土资源行政主管部门的有关规定组织专家审查、备案后, 方可提交立项、用地审批使用。

11) 按国土资源部国土发(2004)69号文及其《地质灾害危险性评估技术要求》规定进行的地质灾害危险性评估不能替代建设工程和规划各阶段的工程地质勘察或有关的评价工作。

12) 不良地质作用和地质灾害的勘察, 应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021第5章的相关规定。

## (2) 地震安全性评价

1) 地震安全性评估, 应符合《地震安全性评价管理条例》(国务院323号令, 2002年1月1日起施行)。下列工程必须进行地震安全性评价:

①国家重大建设工程;

②地震破坏可能引发水灾, 火灾、爆炸、剧毒、强腐蚀物质大量泄露或其他严重次生灾害的工程;

③地震破坏可能引发放射性污染的核电站和核设施工程;

④省、自治区、直辖市认为有重大价值或重大影响的其他建设工程。

2) 国家对从事地震安全性评价的单位实行资质管理制度, 执行《地震安全性评价资质管理办法》(中国地震局令第8号2002年2月27日起实施)。从事地震安全性评价的单位必须取得地震安全性评价资质证书, 方可进行地震安全性评价。

3) 评价报告必须报送国务院地震工作主管部门或省、自治区、直辖市管理地震工作的部门审定。

4) 工程建设场地的地震安全性评价工作，一般按下列步骤进行：

①了解区域地质构造背景、区域地震地质背景，搜集历史地震文献和地震记录，研究近场区的地震地质构造和地震活动特点，地震动的衰减特征。

②在此基础上，进行场地的地震危险性概率分析，包括确定潜在震源及其类型，确定地震活动性参数，确定地震动衰减关系，进行地震危险性计算。

③调查场区的工程地质条件和水文地质条件，确定岩土动力性质参数，确定计算时输入的基底地震波，计算地面运动，给出场地的地震动参数和抗震设防烈度。

④当工程地质条件复杂时，可划分成若干亚区，或划分成若干网格，分别研究，综合分区。

⑤在有可能发生液化、震陷、滑坡、泥石流、堰塞湖、地面断裂等灾害的地段，应进行专门研究，勾画出可能出现这些灾害的区段，并对其严重程度作出评价。

5) 地震安全性评价单位对建设工程进行地震安全性评价后，应当编制该建设工程的地震安全性评价报告。

地震安全性评价报告应包括下列内容：

①工程概况和地震安全性评价的技术要求；

②地震活动环境评价；

③地震地质构造评价；

④设防烈度或设计地震动参数；

⑤地震地质灾害评价；

⑥其他有关地质资料。

6) 应当将地震安全性评价报告报经国务院地震工作主管部门或者省、自治区、直辖市人民政府负责管理地震工作的部门或机构审查通过。

### 3. 建筑场地抗震设计。

(1) 抗震设防的所有建筑应按现行国家标准《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223 确定其抗震设防类别及抗震设防标准。

(2) 建筑所在地区遭受的地震影响，应采用相应于抗震设防烈度的设计基本地震加速度和特征周期表征。

(3) 抗震设防烈度和设计基本地震加速度取值的对应关系，应符合表 1.2-1 的规定。

抗震设防烈度和设计基本地震加速度值的对应关系

表 1.2-1

抗震设防烈度	6	7	8	9
设计基本地震加速度值	0.05g	0.10 (0.15) g	0.20 (0.30) g	0.40g

注：g 为重力加速度。

(4) 地震影响的特征周期应根据建筑所在地的设计地震分组和场地类别确定。现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011—2010 的设计地震共分为三组，其特征周期应按此规范第 5 章的有关规定采用。

注：1. “设计特征周期”即设计所用的地震影响系数的特征周期 ( $T_g$ )，简称特征周期。

2. 在抗震设计中，场地是指具有相似的反应谱特征的房屋群体所在地，不仅仅是房屋基础下的地基土，其范围相当于厂区、居民点和自然村，在平坦地区面积一般不小于  $1\text{km} \times 1\text{km}$ 。

(5) 特征周期应根据场地类别和设计地震分组按表 1.2-2 采用，计算罕遇地震作用

时,特征周期应增加 0.05s。

特征周期值 (s)

表 1.2-2

设计地震分组	场地类别				
	I <sub>0</sub>	I <sub>1</sub>	II	III	IV
第一组	0.20	0.25	0.35	0.45	0.65
第二组	0.25	0.30	0.40	0.55	0.75
第三组	0.30	0.35	0.45	0.65	0.90

(6) 我国主要城镇(县级及县级以上城镇)中心地区的抗震设防烈度、设计基本地震加速度值和所属的设计地震分组,可按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011—2010 采用。

4. 选择建筑场地时,应按表 1.2-3 划分对建筑抗震有利、不利和危险的地段。

有利、不利和危险地段的划分

表 1.2-3

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

5. 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,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) 对丁类建筑及丙类建筑的层数不超过 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 1.2-4 划分土的类型,再利用当地经验在表 1.2-4 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 1.2-4

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、较硬且完整的岩石	$v_s > 800$
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。

6. 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其上部各土层剪切波速 2.5 倍的土层, 且其下卧岩石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。

7. 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。

8. 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 1.2-5 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 1.2-5 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。

各类建筑场地的覆盖层厚度 (m)

表 1.2-5

岩石的剪切波速或土层的等效剪切波速 (m/s)	场地类别				
	I <sub>0</sub>	I <sub>1</sub>	II	III	IV
$v_s > 800$	0				
$800 \geq v_s > 500$		0			
$500 \geq v_{se} > 250$		<5	$\geq 5$		
$250 \geq v_{se} > 150$		<3	3~50	>50	
$v_{se} \leq 150$		<3	3~15	>15~80	>80

注: 表中  $v_s$  系岩石的剪切波速。

9. 场地内存在发震断裂时, 应对断裂的工程影响进行评价, 并应符合下列要求:

(1) 对符合下列规定之一的情况, 可忽略发震断裂错动对地面建筑的影响:

1) 抗震设防烈度小于 8 度;

2) 非全新世活动断裂;

3) 抗震设防烈度为 8 度和 9 度时, 前第四纪基岩隐伏断裂的土层覆盖厚度分别大于 60m 和 90m。

(2) 对不符合 (1) 规定的情况, 应避开主断裂带。其避让距离不宜小于表 1.2-6 对发震断裂最小避让距离的规定。

发震断裂的最小避让距离 (m)

表 1.2-6

烈度	建筑抗震设防类别			
	甲	乙	丙	丁
8	专门研究	200m	100m	—
9	专门研究	400m	200m	—

10. 当需要在条状突出的山嘴、高耸孤立的丘、非岩石和强风化岩石的陡坡、河岸

和边坡边缘等不利地段建造丙类及丙类以上建筑时,除保证其在地震作用下的稳定性外,尚应估计不利地段对设计地震动参数可能产生的放大作用,其水平地震影响系数最大值应乘以增大系数。其值应根据不利地段的具体情况确定,在1.1~1.6范围内采用。

11. 场地岩土工程勘察,应根据实际需要划分的对建筑有利、一般、不利和危险的场地,提供场地类别和岩土地震稳定性(含滑坡、崩塌、液化和震陷特性)评价,对需要采用时程分析法补充计算的建筑,尚应根据设计要求提供土层剖面、场地覆盖层厚度和有关的动力参数。

12. 结构自振周期应与地震动卓越周期错开,避免共振造成灾害。地震动卓越周期又称地震动主导周期,是根据地震时某一地区地面运动记录计算出的反应谱的主峰值位置所对应的周期,它是地震震源特性、传播介质和该地区场地条件的综合反应,并随场地覆盖土层增厚变软而加长。

场地卓越周期  $T_0$  可按下列公式计算:

场地为单一土层时

$$T_0 = \frac{4H}{v_s}$$

场地为多层土时

$$T_0 = \sum \frac{4h_i}{v_{si}}$$

式中  $H$ 、 $h_i$ ——单一土层或多层土中第  $i$  土层的厚度 (m);

$v_s$ 、 $v_{si}$ ——单一土层或多层土中第  $i$  土层的剪切波速值 (m/s)。

按照《建筑抗震设计规范》的规定,场地的计算深度一般为20m,且不大于场地覆盖厚度。因此, $H$ 或 $\sum h_i$ 的取值不大于20m。

多高层建筑结构的自振周期,可参考下列经验公式:

框架结构  $T_1 = 0.085N$

框架-剪力墙结构  $T_1 = 0.065N$

框架-核心筒结构  $T_1 = 0.06N$

外框筒内核心筒结构  $T_1 = 0.06N$

剪力墙结构  $T_1 = 0.05N$

式中  $N$ ——地面以上房屋总层数。

13. 有抗震设防的高层建筑结构,当采用桩基或复合地基时不能改变场地类别。场地类别由一个相对宏观的地区决定,应按勘察执行或抗震安评报告提供的场地类别采用。

### 1.3 多高层建筑基础设计中的基本概念有哪些?

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都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)和整体式基础(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》(JGJ94—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. 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  $31.5 \text{N/mm}^2$ ，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  $30.25 \text{N/mm}^2$ ，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 1.3-1）。

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



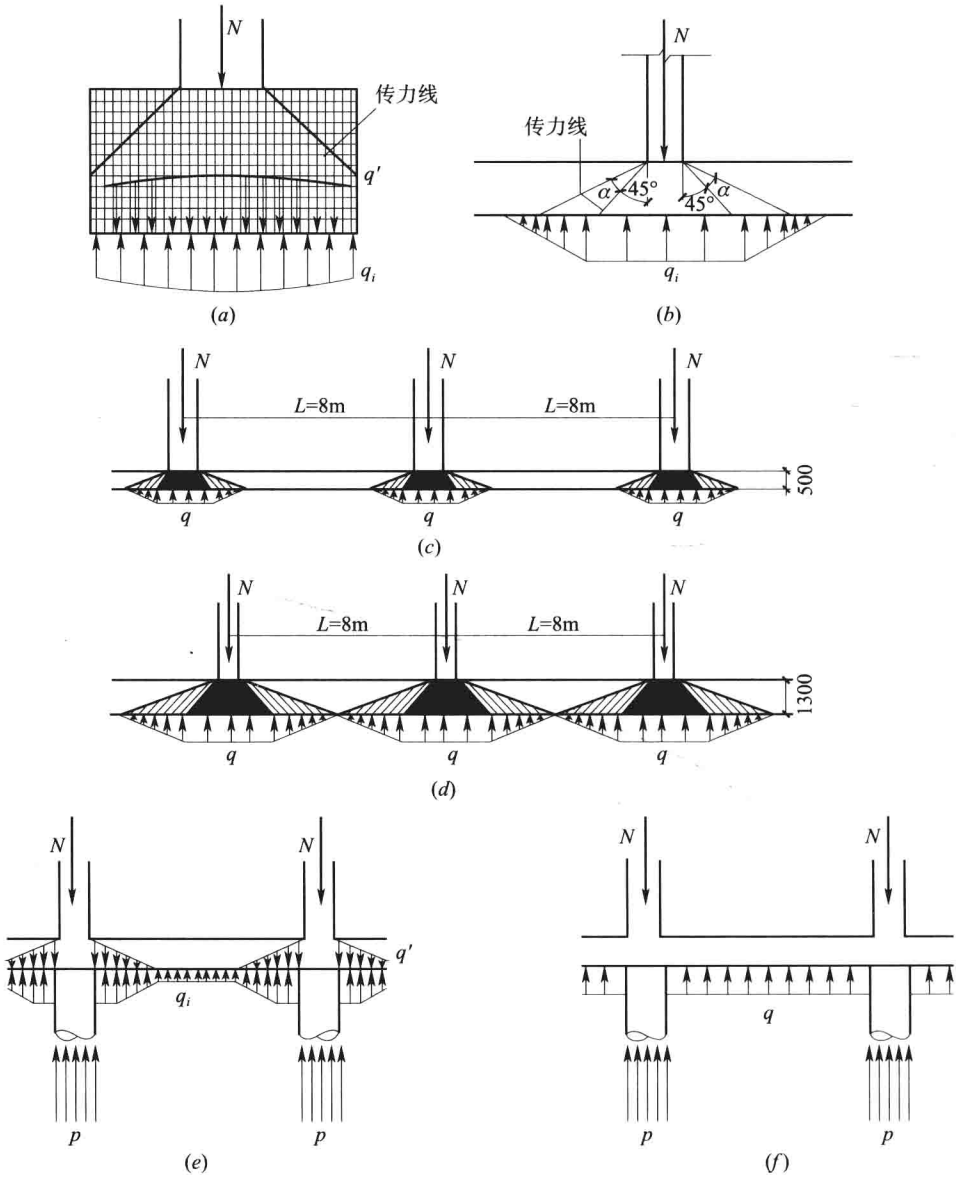


图 1.3-1 基础传荷及反力分布

- (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

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