

21世纪高等学校规划教材

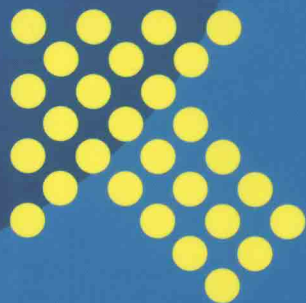


JICHU GONGCHENG

# 基础工程

(第二版)

王晓鹏 主 编  
张军强 潘明远 副主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

21世纪高等学校规划教材

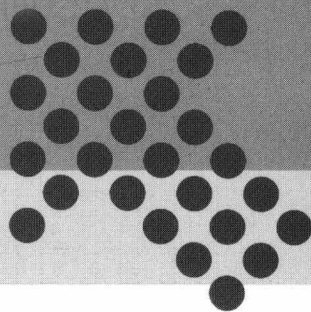


JICHU GONGCHENG

# 基础工程

(第二版)

主 编 王晓鹏  
副主编 张军强 潘明远  
编 写 申中原 陈晓梅 刘 娜  
主 审 张 利



中国电力出版社  
<http://jc.cepp.com.cn>

## 内 容 提 要

本书是 21 世纪高等学校规划教材。本书系统介绍了土木工程中各种常用类型基础的设计原理和计算方法。本书除绪论外共分六章,包括天然地基上的浅基础、桩基础、沉井基础、软土地基处理、特殊地基上的基础工程、基坑工程及附录等,每章末均附有思考题和习题。本书参照最新国家结构规范和规程编写,重点介绍基础工程的设计原理及国内外成熟的先进技术和施工工艺,体系完整,内容精练,文字通畅,图表准确。

本书可作为普通高等院校土木工程专业教材,也可作为从事土木工程勘察、设计和施工的技术人员参考用书。

## 图书在版编目(CIP)数据

基础工程/王晓鹏主编. —2 版. —北京:中国电力出版社, 2010. 2

21 世纪高等学校规划教材

ISBN 978-7-5083-9909-6

I. ①基… II. ①王… III. ①地基—基础(工程). —高等学校—教材 IV. ①TU47

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 236424 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2005 年 8 月第一版

2010 年 2 月第二版 2010 年 2 月北京第二次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 18.25 印张 441 千字

定价 30.00 元

## 敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

# 前 言

本书为 21 世纪高等学校规划教材。本次修订是按照新颁布的国家行业标准《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTC D63—2007)、《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008)等相关规范,结合近年来本学科工程技术的发展,进行了增补和修改,其中部分章节重新进行了编写。重点介绍基础工程的设计原理及国内外成熟的先进技术和施工工艺,编写中力求体系完整、内容精练、文字通畅、图表准确。

本书在编写过程中,以土木工程专业(建筑工程、交通工程)的基础工程内容为主,兼顾其他。本书内容覆盖面广,各院校可根据具体教学情况进行取舍。

本书由王晓鹏主编,张军强、潘明远副主编。其中绪论、第一章由王晓鹏编写;第二章由王晓鹏、陈晓梅编写;第三章由张军强、陈晓梅编写;第四章由刘娜编写;第五章由潘明远编写;第六章由申中原编写。张利对全书进行了审阅,提出了许多宝贵意见,在此表示感谢!

限于编写水平和能力,书中难免有不妥之处,欢迎读者批评指正。

2010 年 1 月

## 第一版前言

基础工程是土木工程专业的主干课程。随着我国建筑事业的突飞猛进,基础工程的理论和技术在不断发展和完善,为适应 21 世纪人才培养的需要,特编写了本教材。

本教材参照最新国家结构规范和规程编写,重点介绍基础工程的设计原理和国内外成熟的先进技术及施工工艺,编写过程中力求体系完整、内容精练、语言通畅、图表准确。

在教材编写过程中,以土木工程专业(建筑工程、路桥工程)的基础工程内容为主,兼顾其他。本书内容覆盖面广,各院校可根据具体情况进行取舍。

在第二章“桩基础”的编写中,引入《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002)、《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—1994)和《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTJ 024—1985)等中的计算方法。在教学中,可根据专业方向的不同有所选择。

本书由王晓鹏、郑桂兰任主编,申中原任副主编,张利主审。其中绪论、第一章由王晓鹏编写;第二章由郑桂兰编写;第三章由庞传琴编写;第四章由李长雨、曲祖光编写;第五、六章由申中原编写。全书由王晓鹏负责统稿。

由于编者水平和能力所限,书中难免有不妥之处,恳请各位读者批评指正。

编 者

2005 年 6 月

## 目 录

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 前言                  |     |
| 第一版前言               |     |
| 绪论                  | 1   |
| 第一章 天然地基上的浅基础       | 7   |
| 第一节 概述              | 7   |
| 第二节 浅基础的类型          | 7   |
| 第三节 基础埋置深度的确定       | 11  |
| 第四节 地基承载力的确定        | 18  |
| 第五节 基础底面的确定及地基验算    | 24  |
| 第六节 无筋扩展基础和扩展基础设计   | 32  |
| 第七节 条形基础设计          | 45  |
| 第八节 筏板基础设计          | 52  |
| 第九节 箱形基础设计          | 59  |
| 思考题                 | 62  |
| 习题                  | 63  |
| 第二章 桩基础             | 65  |
| 第一节 概述              | 65  |
| 第二节 桩和桩基础的类型及构造     | 66  |
| 第三节 单桩轴向荷载作用下的工作性能  | 72  |
| 第四节 单桩竖向承载力         | 76  |
| 第五节 单桩横轴向(水平)承载力的确定 | 95  |
| 第六节 基桩的内力和位移计算      | 98  |
| 第七节 群桩基础            | 123 |
| 第八节 承台计算            | 129 |
| 第九节 桩基础的常规设计        | 137 |
| 思考题                 | 145 |
| 习题                  | 145 |
| 第三章 沉井基础            | 147 |
| 第一节 概述              | 147 |
| 第二节 沉井的分类和构造        | 147 |
| 第三节 沉井作为整体深基础的设计和计算 | 152 |
| 第四节 沉井施工过程中的结构计算    | 157 |
| 第五节 沉井基础算例          | 162 |
| 思考题                 | 170 |

|                                                               |     |
|---------------------------------------------------------------|-----|
| 习题                                                            | 170 |
| <b>第四章 软土地基处理</b>                                             | 171 |
| 第一节 概述                                                        | 171 |
| 第二节 换土垫层法                                                     | 173 |
| 第三节 强夯和强夯置换法                                                  | 176 |
| 第四节 挤密法处理软土地基                                                 | 181 |
| 第五节 水泥粉煤灰碎石桩法                                                 | 188 |
| 第六节 排水固结法加固软土地基                                               | 191 |
| 第七节 化学加固法处理软土地基                                               | 196 |
| 第八节 土工合成材料加筋法                                                 | 202 |
| 第九节 托换技术                                                      | 204 |
| 思考题                                                           | 209 |
| 习题                                                            | 209 |
| <b>第五章 特殊地基上的基础工程</b>                                         | 210 |
| 第一节 软土地区的基础工程                                                 | 210 |
| 第二节 湿陷性黄土地区的基础工程                                              | 214 |
| 第三节 膨胀土地区的基础工程                                                | 223 |
| 第四节 冻土地区的基础工程                                                 | 231 |
| 第五节 地震区的基础工程                                                  | 236 |
| 思考题                                                           | 241 |
| 习题                                                            | 242 |
| <b>第六章 基坑工程</b>                                               | 244 |
| 第一节 概述                                                        | 244 |
| 第二节 基坑围护结构设计                                                  | 247 |
| 第三节 基坑稳定分析                                                    | 256 |
| 思考题                                                           | 262 |
| 习题                                                            | 262 |
| <b>桩基础计算附表</b>                                                | 264 |
| 附表 1 桩置于土中 ( $ah > 2.5$ ) 或基岩 ( $ah \geq 3.5$ ) 位移系数 $A_x$    | 264 |
| 附表 2 桩置于土中 ( $ah > 2.5$ ) 或基岩 ( $ah \geq 3.5$ ) 转角系数 $A_\phi$ | 265 |
| 附表 3 桩置于土中 ( $ah > 2.5$ ) 或基岩 ( $ah \geq 3.5$ ) 弯矩系数 $A_m$    | 266 |
| 附表 4 桩置于土中 ( $ah > 2.5$ ) 或基岩 ( $ah \geq 3.5$ ) 剪力系数 $A_Q$    | 267 |
| 附表 5 桩置于土中 ( $ah > 2.5$ ) 或基岩 ( $ah \geq 3.5$ ) 位移系数 $B_x$    | 268 |
| 附表 6 桩置于土中 ( $ah > 2.5$ ) 或基岩 ( $ah \geq 3.5$ ) 转角系数 $B_\phi$ | 269 |
| 附表 7 桩置于土中 ( $ah > 2.5$ ) 或基岩 ( $ah \geq 3.5$ ) 弯矩系数 $B_m$    | 270 |
| 附表 8 桩置于土中 ( $ah > 2.5$ ) 或基岩 ( $ah \geq 3.5$ ) 剪力系数 $B_Q$    | 271 |
| 附表 9 桩嵌固于基岩内 ( $ah > 2.5$ ) 土侧向位移系数 $A_x^0$                   | 272 |
| 附表 10 桩嵌固于基岩内 ( $ah > 2.5$ ) 土侧向位移系数 $B_x^0$                  | 272 |
| 附表 11 桩嵌固于基岩内计算 $\phi_{z=0}$ 系数 $A_\phi^0$ 、 $B_\phi^0$       | 272 |

|       |                                                                                        |     |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 附表 12 | 桩嵌固于基岩内 ( $ah > 2.5$ ) 弯矩系数 $A_m^0$ 、 $B_m^0$ .....                                    | 273 |
| 附表 13 | 确定桩身最大弯矩及其位置的系数表 .....                                                                 | 274 |
| 附表 14 | 桩置于土中 ( $ah > 2.5$ ) 或基岩 ( $ah \geq 3.5$ ) 桩顶位移系数 $A_{x1}$ .....                       | 275 |
| 附表 15 | 桩置于土中 ( $ah > 2.5$ ) 或基岩 ( $ah \geq 3.5$ ) 桩顶转角 (位移)<br>系数 $A_{\phi 1} = B_{x1}$ ..... | 276 |
| 附表 16 | 桩置于土中 ( $ah > 2.5$ ) 或基岩 ( $ah \geq 3.5$ ) 桩顶转角系数 $B_{\phi 1}$ .....                   | 277 |
| 附表 17 | 多排桩计算 $\rho_2$ 系数 $x_Q$ .....                                                          | 278 |
| 附表 18 | 多排桩计算 $\rho_3$ 系数 $x_m$ .....                                                          | 279 |
| 附表 19 | 多排桩计算 $\rho_4$ 系数 $\phi_m$ .....                                                       | 280 |
| 参考文献  | .....                                                                                  | 281 |



## 绪 论

### 一、地基及基础的概念

任何建筑物都要建造在地面以下一定深度的土层或岩层上(统称地层),建筑物通过其下部结构将荷载传递到地层中去。通常把受建筑物荷载影响的地层称为地基。未经加固处理就能满足设计要求的地基称为天然地基。采用天然地基的基础可缩短工期,降低造价。若地基土质软弱,无法满足上部结构对地基承载力和变形要求时,需对其进行加固处理,这种地基称为人工地基。

基础是指建筑物向地基传递荷载的下部结构(图 0-1)。基础应埋入地下一定深度,进入较好土层以保证其有足够的稳定性。根据埋置深度的不同可将基础分为浅基础和深基础两类。通常把埋深不大,只需经过挖槽、排水等普通施工程序就可建造起来的基础称为浅基础,如墙下条形基础、柱下独立基础等;反之,若浅层土质不良,而需采用特殊的施工方法将基础埋置于较深的好土层,此类基础称为深基础,如桩基础、沉井基础和地下连续墙等。

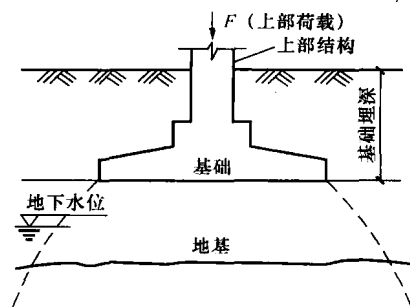


图 0-1 地基、基础示意图

在荷载作用下,地基、基础和上部结构三者之间彼此联系、相互制约。设计时应根据勘察资料,综合考虑三者间的相互作用、变形协调及施工条件,进行经济技术比较,选取安全可靠、经济合理、技术先进和施工简便的地基基础方案。基础工程设计必须满足三个基本条件:①作用于地基上的基底压力不得超过地基承载力特征值,保证建筑物不因地基承载力不足造成整体破坏或影响正常使用;②基础沉降不得超过地基变形容许值,保证建筑物不因地基变形而损坏或影响正常使用;③对经常受水平荷载作用的高层建筑,以及建造在斜坡上或边坡附近的建筑物,应计算地基的稳定性。

基础工程勘察、设计和施工质量直接影响建筑物的安全和正常使用。基础工程施工常在地下或水下进行,往往需挡土排水,施工难度大,在一般的多、高层建筑中,其造价约占总造价的 25%,工期约占总工期的 25%~30%。如需采用人工地基或深基础,其造价和工期所占比例会更大。

由于基础属于地下隐蔽工程,一旦出现事故,事后补救十分困难。国内外由于地基基础设计或施工不当,导致建筑物失效和造成重大经济损失的例子屡见不鲜。例如 1913 年建成的加拿大特朗斯康谷仓(图 0-2),由 65 个圆柱形筒

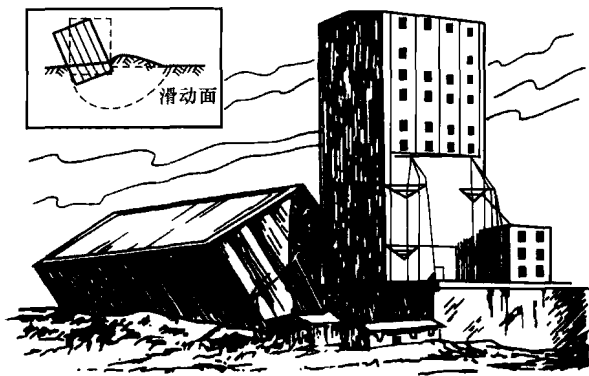


图 0-2 加拿大特朗斯康谷仓事故示意图

由于基础属于地下隐蔽工程,一旦出现事故,事后补救十分困难。国内外由于地基基础设计或施工不当,导致建筑物失效和造成重大经济损失的例子屡见不鲜。例如 1913 年建成的加拿大特朗斯康谷仓(图 0-2),由 65 个圆柱形筒

仓组成,高31m,平面尺寸23.5m×59.4m,基础为钢筋混凝土筏板基础,厚0.6m。谷仓装谷物后,出现明显下沉,在24h内西端下沉8.8m,东端上抬1.5m,谷仓整体倾斜 $26^{\circ}53'$ ,事后勘察发现,基础下有厚达16m的高塑性软黏土,谷物及谷仓重在基底处产生的平均压力为330kPa,远远超过了地基承载力251kPa,从而造成地基整体破坏。因谷仓整体性很高,谷仓虽倾斜但完好无损。采取的补救措施是在谷仓下做了70多个支承于基岩上的混凝土墩,使用了388个50t的千斤顶及支撑系统,才把仓体纠正,但其标高比原来降低了4m。

苏州虎丘塔是国家级重点文物保护单位,该塔落成于宋太祖建隆二年(公元961年),共7层,高47.5m。虎丘塔平面呈八角形,由外壁、回廊与塔心三部分组成。塔

倾斜历史悠久,近年加剧,塔顶偏离中心线2.31m,经勘察,塔基覆盖层西南为2.8m,东北为5.8m,在塔底层直径13.7m范围内土层厚度相差3m。虎丘塔位于山坡上,该塔没有做扩大基础,塔向东倾斜后,底层东部产生垂直裂缝、西部产生水平裂缝,裂缝长达几十厘米,宽度数毫米。造成塔倾斜的原因:①地基土的压缩层厚度不等,使基础倾斜;②塔的东北方向地基土流失和水平变形。采取的补救措施是用挖孔桩的方法建造桩排式地下连续墙,即在塔外墙3m处布置44根桩,直径1.4m,伸入基岩500mm,按一定施工顺序开挖并浇注混凝土,桩之间用素混凝土搭接防渗,在桩排上浇注钢筋混凝土圈梁,把桩顶连成整体,塔内部做树根桩(图0-3)。

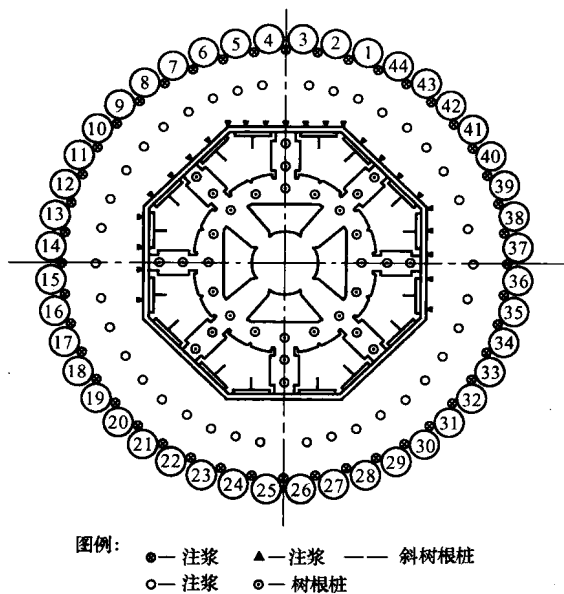


图 0-3 虎丘塔地基加固平面图

从以上工程实例可见,基础工程实属百年大计,必须慎重对待。只有深入了解场地地基本情况,掌握勘察资料,经过精心设计与施工,才能使基础工程做到既经济合理,又安全可靠。

## 二、地基基础设计原则

### (一) 一般规定

地基基础设计的内容和要求与建筑物的设计等级有关,根据地基复杂程度、建筑物规模和功能特征,以及由于地基问题可能造成建筑物破坏或影响正常使用的程度,将地基基础设计分为三个等级,设计时应根据具体情况,按表0-1选用。

### (二) 地基基础设计基本规定

根据建筑物地基基础设计等级及长期荷载作用下地基变形对上部结构的影响程度,地基基础设计应符合下列规定:

- (1) 所有建筑物的地基计算均应满足承载力计算的有关规定。
- (2) 设计等级为甲级、乙级的建筑物,均应按地基变形设计。

表 0-1

地基基础设计等级

| 设计等级 | 建筑物和地基类型                                                                                                                                                                                                       |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 甲 级  | 重要的工业与民用建筑物<br>30 层以上的高层建筑物<br>体型复杂、层数相差超过 10 层的高低层连成一体的建筑物<br>大面积的多层地下建筑物（如地下车库、商场、运动场等）<br>对地基变形有特殊要求的建筑物<br>复杂地质条件下的坡上建筑物（包括高边坡）<br>对原有工程影响较大的新建建筑物<br>场地和地基条件复杂的一般建筑物<br>位于复杂地质条件及软土地区的 2 层及 2 层以上地下室的基坑工程 |
| 乙 级  | 除甲级、丙级以外的工业与民用建筑物                                                                                                                                                                                              |
| 丙 级  | 场地和地基条件简单、荷载分布均匀的 7 层及以下民用及一般工业建筑物；次要的轻型建筑物                                                                                                                                                                    |

(3) 表 0-2 所列范围内设计等级为丙级的建筑物可不作变形验算，如有下列情况之一时，仍应作变形验算。

1) 地基承载力特征值小于 130kPa，且体型复杂的建筑物。

2) 在基础上及其附近有地面堆载或相邻基础荷载差异较大，可能引起地基产生过大的不均匀沉降。

3) 软弱地基上的建筑物存在偏心荷载。

4) 相邻建筑物距离过近，可能发生倾斜。

5) 地基内有厚度较大或厚薄不均的填土，其自重固结未完成。

(4) 对经常受水平荷载作用的高层建筑物、高耸结构和挡土墙等，以及建造在斜坡上或边坡附近的建筑物和构筑物，尚应计算其的稳定性。

(5) 基坑工程应进行稳定性验算。

(6) 当地下水埋藏较浅，建筑物地下室或地下构筑物存在上浮问题时，尚应进行抗浮验算。

表 0-2

可不作地基变形计算、设计等级为丙级的建筑物范围

|           |                            |    |                |                            |                             |                              |                              |                              |                              |
|-----------|----------------------------|----|----------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 地基主要受力层情况 | 地基承载力特征值<br>$f_{ak}$ (kPa) |    |                | $60 \leq f_{ak}$<br>$< 80$ | $80 \leq f_{ak}$<br>$< 100$ | $100 \leq f_{ak}$<br>$< 130$ | $130 \leq f_{ak}$<br>$< 160$ | $160 \leq f_{ak}$<br>$< 200$ | $200 \leq f_{ak}$<br>$< 300$ |
|           | 各土层坡度(%)                   |    |                | $\leq 5$                   | $\leq 5$                    | $\leq 10$                    | $\leq 10$                    | $\leq 10$                    | $\leq 10$                    |
| 建筑类型      | 砌体承重结构、框架结构(层数)            |    |                | $\leq 5$                   | $\leq 5$                    | $\leq 5$                     | $\leq 6$                     | $\leq 6$                     | $\leq 7$                     |
|           | 单层排架结构(6m 柱距)              | 单跨 | 吊车额定其重量<br>(t) | 5~10                       | 10~15                       | 15~20                        | 20~30                        | 30~50                        | 50~100                       |
|           |                            |    | 厂房跨度(m)        | $\leq 12$                  | $\leq 18$                   | $\leq 24$                    | $\leq 30$                    | $\leq 30$                    | $\leq 30$                    |
|           |                            | 多跨 | 吊车额定其重量<br>(t) | 3~5                        | 5~10                        | 10~15                        | 15~20                        | 20~30                        | 30~75                        |
|           |                            |    | 厂房跨度(m)        | $\leq 12$                  | $\leq 18$                   | $\leq 24$                    | $\leq 30$                    | $\leq 30$                    | $\leq 30$                    |

续表

| 地基主要受力层情况 | 地基承载力特征值<br>$f_{ak}$ (kPa) |                      | $60 \leq f_{ak}$ | $80 \leq f_{ak}$ | $100 \leq f_{ak}$ | $130 \leq f_{ak}$ | $160 \leq f_{ak}$ | $200 \leq f_{ak}$ |
|-----------|----------------------------|----------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|           |                            |                      | $< 80$           | $< 100$          | $< 130$           | $< 160$           | $< 200$           | $< 300$           |
| 建筑类型      | 各土层坡度 (%)                  |                      | $\leq 5$         | $\leq 5$         | $\leq 10$         | $\leq 10$         | $\leq 10$         | $\leq 10$         |
|           | 烟 囱                        | 高度 (m)               | $\leq 30$        | $\leq 40$        | $\leq 50$         | $\leq 75$         |                   | $\leq 100$        |
|           | 水 塔                        | 高度 (m)               | $\leq 15$        | $\leq 20$        | $\leq 30$         | $\leq 30$         |                   | $\leq 30$         |
|           |                            | 容积 (m <sup>3</sup> ) | $\leq 50$        | 50~100           | 100~200           | 200~300           | 300~500           | 500~1000          |

- 注 1. 地基主要受力层系指条形基础底面下深度为  $3b$  ( $b$  为基础底面宽度), 独立基础下为  $1.5b$  且厚度均不小于  $5m$  的范围 (二层以下一般的民用建筑除外)。
2. 地基主要受力层中如有承载力特征值小于  $130kPa$  的土层时, 表中砌体承重结构的设计, 应符合《建筑地基基础设计规范》(GB 5007—2002) 第七章的有关要求。
3. 表中砌体承重结构和框架结构均指民用建筑, 对于工业建筑可按厂房高度、荷载情况折合成与其相当的民用建筑层数。
4. 表中吊车额定起重量、烟囱高度和水塔容积的数值系指最大值。

从以上规定可知, 基础工程设计时必须对地基的承载力、变形及地基基础的稳定性进行计算。

### (三) 荷载效应最不利组合与相应的抗力限值

(1) 按地基承载力确定基础底面积及埋深或按单桩承载力确定桩数时, 传至基础或承台底面上的荷载效应应按正常使用极限状态下荷载效应的标准组合。相应的抗力应采用地基承载力特征值或单桩承载力特征值。

(2) 计算地基变形时, 传至基础底面上的荷载效应应按正常使用极限状态下荷载效应的准永久组合, 不应计入风荷载和地震作用。相应的限值应为地基变形允许值。

(3) 计算挡土墙土压力、地基或斜坡稳定及滑坡推力时, 荷载效应应按承载能力极限状态下荷载效应的基本组合, 但其分项系数均为  $1.0$ 。

(4) 在确定基础或桩台高度、支挡结构截面、计算基础或支挡结构内力、确定配筋和验算材料强度时, 上部结构传来的荷载效应组合和相应的基底反力, 应按承载能力极限状态下荷载效应的基本组合, 采用相应的分项系数。

当需要验算基础裂缝宽度时, 按正常使用极限状态下荷载效应标准组合。

(5) 基础设计安全等级、结构设计使用年限、结构重要性系数应按有关规范的规定采用, 但结构重要性系数  $\gamma_0$  不应小于  $1.0$ 。

对于承载能力极限状态, 应按荷载效应的基本组合进行荷载 (效应) 组合, 并应采用下列设计表达式进行设计:

$$\gamma_0 S \leq R \quad (0-1)$$

式中  $\gamma_0$ ——结构重要性系数;

$S$ ——荷载效应组合的设计值;

$R$ ——结构构件抗力的设计值, 应按各有关建筑结构设计规范的规定确定。

对于基本组合, 荷载效应组合的设计值  $S$  应从下列组合值中取最不利值确定:

(1) 由可变荷载效应控制的组合:

$$S = \gamma_G S_{Gk} + \gamma_{Q1} S_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Qi} \psi_{ci} S_{Qi} \quad (0-2)$$

式中  $\gamma_G$ ——永久荷载的分项系数,按现行《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2001)(以下简称《荷载规范》)的规定取值;

$\gamma_{Qi}$ ——第  $i$  个可变荷载的分项系数,按现行《荷载规范》的规定取值;

$S_{Gk}$ ——按永久荷载标准值  $G_k$  计算的荷载效应值;

$S_{Qik}$ ——按可变荷载标准值  $Q_{ik}$  计算的荷载效应值,其中  $S_{Q1k}$  为诸可变荷载效应中起控制作用者;

$\psi_{ci}$ ——可变荷载  $Q_i$  的组合值系数,按现行《荷载规范》的规定取值。

(2) 由永久荷载效应控制的组合:

$$S = \gamma_G S_{Gk} + \sum_{i=1}^n \gamma_{Qi} \psi_{ci} S_{Qik} \quad (0-3)$$

对于正常使用极限状态,应根据不同的设计要求,采用荷载的标准组合或准永久组合,并按下列设计表达式进行设计:

$$S \leq C \quad (0-4)$$

式中  $C$ ——结构或构件达到正常使用要求的规定限值,例如变形、裂缝等的限值,应按各有关建筑结构设计规范的规定采用。

对于标准组合,荷载效应组合的设计值  $S$  应按下式采用:

$$S = S_{Gk} + S_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \psi_{ci} S_{Qik} \quad (0-5)$$

对于准永久组合,荷载效应组合的设计值  $S$  可按下式采用:

$$S = S_{Gk} + \sum_{i=1}^n \psi_{qi} S_{Qik} \quad (0-6)$$

式中  $\psi_{qi}$ ——可变荷载  $Q_i$  的准永久值系数,按现行《荷载规范》的规定取值。

地基基础设计的荷载必须与上部结构设计的荷载组合和取值一致。但由于地基基础设计与上部结构设计在概念和设计方法上存在差异,在设计原则上也不完全统一,造成了地基基础设计荷载规定中的某些方面与上部结构设计中的习惯并不完全一致,为了进行地基基础设计,在荷载计算时,需进行三种组合(基本组合、标准组合和准永久组合),其计算结果各适用于不同的计算项目。

### 三、地基基础设计所需资料

一般情况下,进行地基基础设计时,需具备下列资料:

- (1) 建筑场地的工程地质勘察报告;
- (2) 上部结构的类型及相应的荷载;
- (3) 建筑场地环境,邻近建筑物类型与埋深,地下管线分布;
- (4) 与本工程相关的结构设计规范和规程;
- (5) 当地的建筑经验。

### 四、基础工程学科发展概况

基础工程学既是一门古老的工程技术,又是一门年轻的应用科学。我国历代修建的无数建筑充分体现了古代劳动人民在地基基础方面的高超水平,如举世闻名的万里长城、宏伟壮丽的宫殿和寺院及巍然挺立的高塔等,都是因为有了坚固的地基基础,方可经历无数次的地

震和强风暴而保留至今。北京的故宫、天安门、前门不仅在建筑风格上体现了中国古代建筑的独特风格,而且在基础的建造上也达到了很高水平。在这组建筑群中,前门采用木筏基础;天安门采用群桩;故宫三大殿采用灰土台基。

作为本学科理论基础的土力学始于 18 世纪欧洲兴起的工业革命,该革命推动了铁路、水利、城市建设等事业的迅猛发展,随之出现了许多与土相关的问题,促进了土力学的产生和发展。1773 年,法国的 C. A. 库仑 (Coulomb) 根据试验创立了著名的砂土抗剪强度公式,提出了计算挡土墙土压力的滑楔理论。1857 年,英国的 W. J. M 朗肯 (Rankine) 又从另一途径提出了挡土墙的土压力理论,有力地推动了土体理论的发展。此外,1856 年,法国工程师 H. 达西 (Darcy) 根据砂土的渗透试验,提出了水在土中的渗透规律——达西定律。1885 年,法国的 J. 布辛奈斯克 (Boussinesq) 提出了弹性半空间体在竖向集中荷载作用下的应力和变形的理论解答。1922 年,瑞典工程师费兰纽斯 (Fellenius) 提出了土坡稳定分析方法。1925 年, K. 太沙基 (Terzaghi) 在总结归纳前人的研究成果并结合自己的研究成果后,出版了一本土力学专著,较系统和完整地论述了土力学与基础工程的基本理论和方法,标志着土力学与基础工程学科的诞生。继 K. 太沙基之后,各国涌现一批学者,为本学科的发展作出了巨大的贡献。

随着计算理论和计算技术的迅猛发展,土力学与基础工程的研究也进入了崭新阶段,许多复杂的工程问题均得以解决。在大量理论研究和实践经验积累的基础上,有关基础工程的各种设计与施工规范、规程也在不断完善,为基础工程设计与施工做到技术先进、经济合理、安全适用、保护环境、确保质量提供了充分的理论依据。

### 五、本课程的特点和学习要求

本课程是一门理论性和实践性均较强的课程,内容涉及工程地质学、工程力学、土力学、建筑结构和施工技术等几个学科领域,内容广泛、综合性强。

我国地域辽阔,由于自然地理环境的不同,分布着各种性质不同的土类。如软弱土、湿陷性黄土、膨胀土、红黏土、多年冻土等。不同场地、不同深度的地基土,其性质也会有较大的差异,故在基础工程设计之前,必须通过勘察和测试手段取得场地土层分布以及土性指标等资料,在基础工程设计中应针对土的特性采取相应的措施,以保证建筑物的安全和正常使用。

在学习过程中,注意理论联系实际,才能提高分析问题和解决问题的能力。此外,基础工程几乎找不到完全相同的实例,在基础设计或处理基础工程问题时,必须运用土力学、基础工程设计原理,深入调查研究,针对不同情况进行具体分析。

## 第一章 天然地基上的浅基础

### 第一节 概 述

地基基础设计是整个建筑设计的一个重要组成部分,包括地基设计和基础设计两部分。地基设计包括确定地基承载力特征值、计算地基变形和地基稳定性等;基础设计包括选择基础类型和埋置深度、计算基底尺寸、进行基础结构计算等。地基基础设计必须根据建筑物的用途和安全等级、建筑布置和上部结构类型,充分考虑建筑场地的工程地质条件和水文地质条件,结合当地的建筑经验和施工条件,选择合理的地基基础方案。

浅基础由于埋深不大,用料较省,又无需复杂的施工设备,所以,基础工程工期短、造价低。当建筑场地土质较好时,应优先选择浅基础方案。当建筑场地土质较差采用浅基础无法满足设计要求时,可考虑采用深基础方案或人工地基。

天然地基上浅基础设计的内容和步骤:

- (1) 选择基础的类型、材料和平面布置方式。
- (2) 确定基础的埋置深度。
- (3) 确定地基承载力特征值。
- (4) 根据地基承载力特征值和上部结构的荷载,计算基础的底面尺寸。
- (5) 必要时进行地基变形和稳定性验算。
- (6) 进行基础结构设计,以保证基础具有足够的强度、刚度和耐久性。
- (7) 绘制基础施工图,并提出必要的技术说明。

以上各方面的内容是相互关联、相互制约的,因此,基础设计往往按上述步骤进行反复修改,才能取得满意的结果。对规模较大的工程,宜进行多方案的技术和经济比较,择优采用。

### 第二节 浅基础的类型

基础可按所用材料及结构型式分类。不同类型的基础有不同的特点和适用范围,了解各种基础的特点和适用范围,以便合理地选择基础类型。

#### 一、按材料分类

##### (一) 砖基础

砖基础具有能就地取材、价格低、施工简便等特点,在很多地区被广泛使用。砖基础的剖面为阶梯形,俗称大放脚。为保证基础在基底反力作用下不致发生破坏,大放脚可采用“两皮一收”和“二一间隔收”两种砌法(图 1-1)。“两皮一收”的砌法是每砌两皮砖,收进  $1/4$  砖长,而“二一间隔收”是先砌两皮砖,收进  $1/4$  砖长,再砌一皮砖,收进  $1/4$  砖长,如此反复,直到符合设计要求为止。

砖基础的强度和抗冻性较差,根据地区的潮湿程度和寒冷程度对砖与砂浆有不同的要求。按照《砌体结构设计规范》(GB 50003—2001)的规定,地面以下或防潮层以下的砌

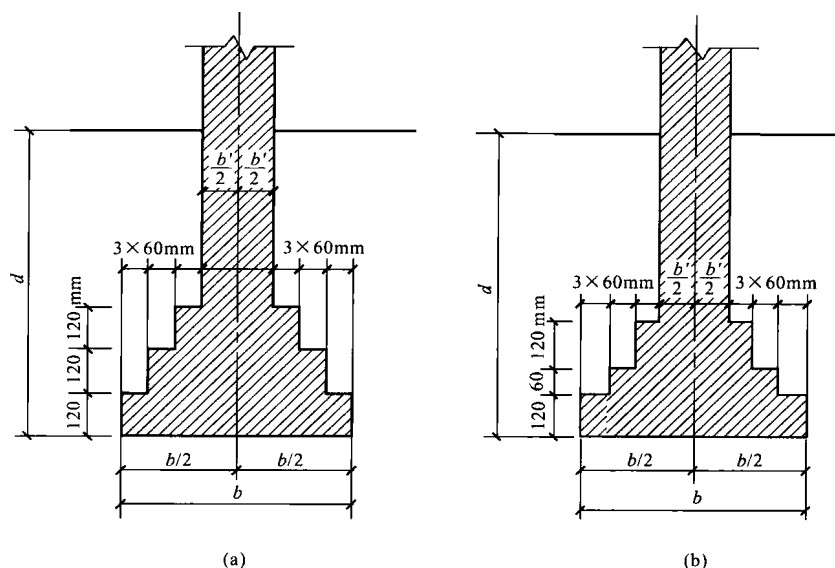


图 1-1 砖基础

(a) 两皮一收; (b) 二一间隔收

体, 所用材料的最低强度等级应符合表 1-1 的要求。

表 1-1 地面以下或防潮层以下的砌体、潮湿房间墙所用材料最低强度等级

| 地基土的潮湿程度 | 烧结普通砖、蒸压灰砂砖 |      | 混凝土砌块 | 石 材  | 水泥砂浆 |
|----------|-------------|------|-------|------|------|
|          | 严寒地区        | 一般地区 |       |      |      |
| 稍潮湿的     | MU10        | MU10 | MU7.5 | MU30 | M5   |
| 很潮湿的     | MU15        | MU10 | MU7.5 | MU30 | M7.5 |
| 含水饱和的    | MU20        | MU15 | MU10  | MU40 | M10  |

注 1. 在冻胀地区, 地面以下或防潮层以下的砌体, 不宜采用多孔砖, 如采用时, 其孔洞应用水泥砂浆灌实。当采用混凝土砌块时, 其孔洞应用强度等级不低于 C20 的混凝土灌实。

2. 对安全等级为一级或设计使用年限大于 50 年的房屋, 表中材料强度等级应至少提高一级。

砖基础一般用于六层及六层以下的民用建筑和砖墙承重的轻型厂房。

### (二) 毛石基础

毛石是指未经加工凿平的石料。毛石的抗冻性和耐久性较好。石材和砌筑砂浆的最低强度等级应符合表 1-1 的要求。由于毛石尺寸差异较大, 为便于砌筑和保证砌筑质量, 毛石基础每一台阶的外伸宽度不应大于 200mm, 每一台阶的高度不应小于 400mm, 基础的最小宽度不应小于 500mm (图 1-2)。由于毛石基础的抗冻性能较好, 所以, 在北方地区广为应用, 可用于七层及七层以下的民用建筑。

### (三) 灰土基础

灰土是用熟化的石灰和黏土按一定比例配制而成, 其体积比为 3 : 7 或 2 : 8, 一般采用 3 : 7, 加水拌匀, 然后铺入基坑内, 每层虚铺 220~250mm, 夯至 150mm 为一步, 一般铺 2~3 步。在其上砌筑大放脚 (图 1-3)。



灰土基础适用于地下水位较深，五层及五层以下的民用建筑。

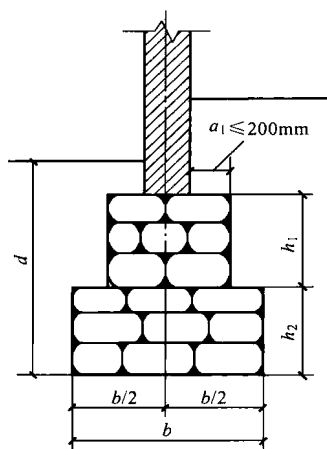


图 1-2 毛石基础

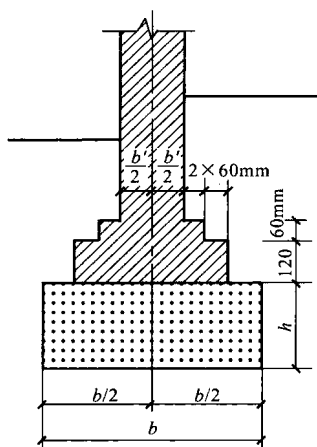


图 1-3 灰土（三合土）基础

#### （四）三合土基础

三合土是用石灰、砂、碎石或碎砖按一定比例配制而成，其体积比为 1 : 2 : 4 或 1 : 3 : 6，加水拌匀，然后铺入基坑内，每层虚铺 220mm，夯至 150mm。铺至设计标高后再在其上砌筑大放脚（图 1-3）。

三合土基础在我国南方部分地区使用，由于基础的强度较低，适用于四层及四层以下的民用建筑。

#### （五）混凝土和毛石混凝土基础

混凝土基础的强度、耐久性、抗冻性和整体性都较好。当基础上的荷载较大或位于地下水位以下时，常采用混凝土基础，但混凝土强度等级不小于 C15。混凝土基础造价比砖、石基础高。当基础体积较大时，为了降低混凝土用量，在浇注混凝土时，掺入占基础体积 25%~30% 的毛石，做成毛石混凝土基础（图 1-4）。所掺入的毛石尺寸不得大于 300mm，使用前须冲洗干净。

#### （六）钢筋混凝土基础

钢筋混凝土基础强度大，耐久性、抗冻性和整体性都很好，且具有良好的抗弯性能。在相同的基础宽度下，基础高度远小于砖、石及混凝土基础，基础的埋深可以大为减小，降低了基础造价。当基础上的荷载较大或地基土质较差时，常采用这类基础。

## 二、按结构型式分类

### （一）无筋扩展基础和扩展基础

无筋扩展基础是由砖、毛石、混凝土或毛石混凝土、灰土和三合土等材料组成的，且不需配置钢筋的墙下条形基础或柱下独立基础。由于基础材料的抗拉、抗弯、抗剪强度较低，为了满足强度要求，基础的高度必须做得很大，在基底反力作用下几乎不发生弯曲变形。习

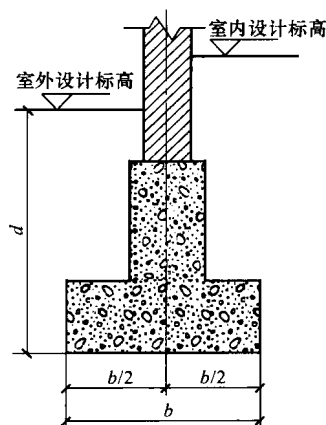


图 1-4 毛石混凝土基础