

高等学校**应用型本科**规划教材

# 基础工程

主 编 刘 辉 赵 晖

主 审 王晓谋 陈文胜



人民交通出版社

China Communications Press

高等学校应用型本科规划教材

Foundation Engineering  
基 础 工 程

主 编 刘 辉 赵 晖

主 审 王晓谋 陈文胜

人 民 交 通 出 版 社

## 内 容 提 要

本书是按 2007 年颁布实施的《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG D63—2007)进行编写,注重加强以实际图片、图表、计算示例、工程实例等方式,详细介绍了天然地基浅基础、桩基础、沉井基础、地基处理和特殊地区基础工程等内容,使学生更易于理解和掌握知识点,以及了解知识点与工程实际的关系。

本教材可供高等学校应用型本科土木工程专业(路桥方向、房建方向)的学生学习使用,亦可供相关工程技术人员参考借鉴。

### 图书在版编目(CIP)数据

基础工程 / 刘辉,赵晖主编. —北京:人民交通出版社,  
2008.8  
ISBN 978-7-114-07323-6

I.基… II.①刘…②赵… III.地基—基础(工程)  
IV.TU47

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 124330 号

高等学校应用型本科规划教材

书 名:基础工程

著 者:刘 辉 赵 晖

责任编辑:岑 瑜

出版发行:人民交通出版社

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址:<http://www.ccpres.com.cn>

销售电话:(010)59757969,59757973

总 经 销:北京中交盛世书刊有限公司

经 销:各地新华书店

印 刷:北京凯通印刷厂

开 本:787×1092 1/16

印 张:15.25

字 数:400 千

版 次:2008 年 8 月第 1 版

印 次:2008 年 8 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-07323-6

印 数:0001—3000 册

定 价:26.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

# 21 世纪交通版

## 高等学校应用型本科规划教材

### 编 委 会

主任委员：张起森

副主任委员：(按姓氏笔画序)

万德臣	马鹤龄	王 彤	刘培文
伍必庆	李香菊	张维全	杨少伟
杨渡军	赵丕友	赵永平	倪宏革
章剑青			

编写委员：(按姓氏笔画序)

于吉太	于少春	王丽荣	王保群
朱 霞	张永清	陈道军	赵志蒙
查旭东	高清莹	曹晓岩	葛建民
韩雪峰	蔡 璜		

主要参编院校：长沙理工大学                      长安大学  
重庆交通大学                              东南大学  
华中科技大学                              山东交通学院  
黑龙江工程学院                            内蒙古大学  
北京交通管理干部学院                  辽宁交通高等专科学校  
鲁东大学

秘 书 组：毛 鹏 岑 瑜 (人民交通出版社)

# 前 言

本书系根据全国高等学校路桥及交通工程教学指导委员会制定的《基础工程》教学大纲编写而成。在编写过程中征求了有关学校对应用型本科教学的意见,吸收了近十年来本学科工程技术的进展,同时考虑了扩大专业面的教学改革发展要求。

本书是按2007年颁布实施的《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG D63—2007)[正文里简称《公路基规》(JTG D63—2007)]编写的。新规范对原规范(JTJ 024—85)进行了修订,其修订过程中吸取了国内外有关科研院校、设计、检测等单位的研究成果和工程经验,并参考借鉴了国外相应的标准规范。在学习过程中读者应对该新规范进行相应的学习和了解。

本教材为“21世纪交通版·高等学校应用型本科系列教材”。在编写中,注重加强实际图片、图表、计算示例、工程实例等形式的内容,让学生更易于理解和掌握本知识点,以及了解本知识点与工程实际的关系,也便于自学。本书编写时注意了理论与实际的结合,通过对一些工程问题的分析,希望有助于培养学生分析与解决问题的能力。

本书由长沙理工大学土木与建筑学院岩土教研室刘辉担任主编,赵晖担任副主编,并由长沙理工大学岩土教研室多年从事该课程教学的教师承担相应的编写任务。各章编写的分工如下:第一章、第二章、第四章和第六章由刘辉、赵晖编写,第三章由张军编写,第五章由周德泉编写。研究生彭川、邓加亮、胡泽超、李志雄等对本书的图表和文字做了校核,在此一并致谢。教材编委会邀请长安大学王晓谋教授和长沙理工大学陈文胜教授共同担任本书主审。

限于编者的水平,能否处理好应用型本科教材编写的各种关系尚无把握,错误之处恳请读者指正。

编 者

2008年于长沙理工大学

# 目 录

第一章 绪论	1
第一节 概述	1
第二节 基础工程内容	1
第三节 基础工程的发展简介	2
第四节 本课程的特点和学习要求	3
思考练习题	4
第二章 天然地基上的浅基础	5
第一节 天然地基上浅基础的类型及构造	5
第二节 基础埋置深度的确定及基础尺寸的拟定	8
第三节 地基基础的验算	12
第四节 明挖基础施工	22
第五节 板桩墙围堰的计算	29
第六节 埋置式桥台刚性扩大基础算例	36
思考练习题	47
第三章 桩基础	48
第一节 概述	48
第二节 桩和桩基础的类型及构造	49
第三节 桩基础的施工	55
第四节 单桩承载力	66
第五节 横向受荷桩内力及位移计算	81
第六节 群桩基础承载力验算及承台的计算	91
第七节 桩基础设计	94
思考练习题	99
第四章 沉井基础	100
第一节 沉井的基本概念、作用及适用条件	100
第二节 沉井的类型和构造	101
第三节 沉井施工	105
第四节 沉井的设计与计算	114
第五节 圆端形沉井计算算例	127
思考练习题	139
第五章 地基处理	141
第一节 概述	141
第二节 软土地基	144
第三节 换土(垫层)法	150

第四节	排水固结法·····	155
第五节	桩体复合地基理论·····	162
第六节	挤(压)密法·····	170
第七节	搅拌桩法(深层搅拌法)与灌浆胶结法·····	183
第八节	土工合成材料加筋法·····	196
	思考练习题·····	201
<b>第六章</b>	<b>几种特殊地基上的基础工程·····</b>	<b>202</b>
第一节	膨胀土地基·····	202
第二节	湿陷性黄土地基·····	206
第三节	冻土地区基础工程·····	211
第四节	岩溶地区基础工程·····	220
第五节	地震区的基础工程·····	222
	思考练习题·····	234
	<b>参考文献·····</b>	<b>235</b>

# 第一章 绪 论

## 第一节 概 述

任何建筑物,如住宅楼、办公楼、厂房、桥梁、码头、水电站、高速公路等,都是建造在一定的地层上的。受建筑物影响的那一部分地层称为地基,建筑物向地基传递荷载的下部结构则称为基础。

基础的结构形式很多,设计时应选择既能适应上部结构要求,同时也能适应场地工程地质条件,并在技术和经济比较合理的方案。当选定合适的基础形式后,若地基不加以处理就可以满足设计要求的,这种地基称为天然地基;反之,当地基强度不足或压缩性很大而不能满足设计要求时,则需对地基进行处理,经过处理后的地基则称为人工地基。

基础工程是隐蔽工程,影响因素很多,如有缺陷,较难发现,也较难弥补和修复;而这些缺陷往往直接影响整个建筑物的使用甚至安全,稍有不慎就有可能给工程留下隐患。大量工程实践表明,整个建筑物工程的成败,在很大程度上取决于基础工程的质量和水平,建筑物事故的发生,很多与基础工程问题有关。由此可见,基础工程设计与施工质量的优劣,直接关系到建筑物的安危。此外,基础工程的进度,经常控制着整个建筑物的施工进度;基础工程的造价通常在整个工程造价中占有相当大的比例,尤其是在地质条件复杂的地区或深水中修建基础更是如此,其节省建设资金的潜力很大。因此,基础工程在整个建筑工程中的重要性是显而易见的,对基础工程必须做到精心设计、精心施工。

建筑物通常是由上部结构、基础和地基两部分所组成的。这两部分虽然各自功能不同,但彼此却是相互影响、共同作用的,它们之间互为条件,相互依存。因此,在进行基础工程设计和施工时,应该从上部结构与地基基础共同作用的整体概念出发,全面地加以考虑,如此才能收到比较理想的效果。

## 第二节 基础工程内容

基础工程包括基础的设计、施工和监测。基础工程中的一些内容,如柱下单独基础的承载力和配筋计算、浅基础的施工方法与技术等,在混凝土结构学和建筑施工课程中都已涉及,这里不作展开论述。那些与岩土工程紧密相关的内容,如基础埋置深度、地基承载力、地基变形验算,基坑和基础的稳定分析、基坑支护结构、地基基础相互作用和地基处理等,本教材都将进行重点讨论。

基础工程设计包括基础设计和地基设计两大部分:

(1) 基础设计包括基础形式的选择、基础埋置深度及基底面积大小、基础内力和断面计算等。如果地下部分是多层的结构,基础设计还包括地下结构的计算。

(2) 地基设计包括地土土的承载力确定、地基变形计算、地基稳定性计算等。当地基承载力不足或压缩性很大而不能满足设计要求时,需要进行地基处理。



基础结构的形式很多。设计时应选择能适应上部结构、符合使用要求、满足地基基础设计基本要求以及技术上合理的基础结构方案。

基础的功能决定了基础设计必须满足以下三个基本要求：

(1) **强度要求** 通过基础传递作用在地基上的荷载不能超过地基的承载能力,保证地基不因地基土中的剪应力超过地基土的强度而破坏,并且应有足够的安全储备;基础本身的强度满足要求。

(2) **变形要求** 基础的设计还应保证基础沉降或其他特征变形不超过建筑物的允许值,保证上部结构不因沉降或其他特征变形过大而受损或影响正常使用;地基及基础的整体稳定性有足够保证。

(3) **上部结构的其他要求** 基础除满足以上要求外,还应满足上部结构对基础结构的强度、刚度和耐久性要求。

设计基础时必须掌握足够的资料,这些资料包括地质、水文资料和有关上部结构资料两大部分。对这些资料的要求可根据需要而有所区别。对复杂的建筑物如大型桥梁或者高层建筑可能要求比较多的资料;对一般中、小型建筑物只需要少量的资料,设计人员应根据实际情况提出要求。在分析地质资料时应注意对地基类型进行判别,并考虑可能发生的问题,还要研究土层的分布,查明地下水及地面水的活动规律,还应调查拟建建筑物周围及地下的情况。在分析上部结构时应特别注意建筑物的重要性、建筑物体型的复杂程度和结构类型及其传力体系。

### 第三节 基础工程的发展简介

基础工程是土木工程学科的一个重要分支,是人类在长期的生产实践中发展起来的一门应用学科。我们的祖先早在史前的建筑活动中就创造了自己的基础工程工艺,如宏伟的宫殿寺院和巍巍耸立的高塔,因为基础牢固,方能度过千百年而留存至今。1300多年前隋朝时所修建的赵州安济石拱桥,在地基基础的处理上非常合理,该桥桥台坐落在较浅的密实粗砂土层上,沉降很小,现反算其基底压力约为500~600kPa,与现行的各设计规范中所采用的该土层容许承载力的数值(550kPa)极为接近。在世界各文明古国数千年前的建筑活动中,也有很多关于基础工程的工艺技术成就。但由于受当时社会生产力和技术条件的限制,在相当长的时期内发展很缓慢,仅停留在经验积累的感性认识阶段,还未能提炼成系统的科学理论。

国外在18世纪工业革命以后,随着资本主义工业化的发展,城建、水利、道路等建筑的规模也在不断地扩大,从而促使人们对基础工程加以重视并开展研究,对有关问题开始寻求理论上的解答。当时在作为本学科理论基础的土力学方面获得了一些突破,例如,法国科学家C·A·库仑(Coulomb)在1773年提出了砂土抗剪强度公式和挡土墙土压力的滑楔理论;英国学者W·朗金(Rankine)又从另一途径建立了土压力理论;法国工程师H·达西在1856年提出了层流运动的达西定律等。20世纪20年代,以太沙基发表第一本著作《土力学》(1925年),标志着基础工程领域终于拥有比较系统完整的专著。太沙基在1948年发表的《工程实用土力学》中,将理论、测试和工程经验密切结合,推动了土力学和基础工程学科的发展。1936年在美国哈佛召开了第一届国际土力学与基础工程会议后,至今已17届,特别是在20世纪70年代以来,基础工程与现代科学理论相结合,在理论上,从以饱和砂土的有效应力原理和线弹性力学为基础的土力学,逐渐发展为考虑土的结构影响的黏弹塑性体的应力、应变、强度的数学模型;从饱和土为主的理论,发展到非饱和土,还发展了土的动力特性。

近几十年来,由于土木建设的需要,特别是电子计算机和现代计算技术的引入,使基础工程,不论在设计环节,还是在施工技术方面都得到了迅速的发展,出现了如桩筏基础、桩箱基础、浮式沉井等基础形式。与此同时,在地基处理技术方面,如强夯法、砂井预压法、真空预压法、振冲法、旋喷法、深层搅拌法等都是近几十年来创造和完善的方法。另外,由于深基坑开挖支护工程的需要,还出现了地下连续墙、深层搅拌水泥土挡墙、锚杆支护及加筋土等支护结构形式。一些国家采用了概率极限状态设计方法。将高强度预应力混凝土应用于基础工程,基础结构向薄壁、空心、大直径发展,采用的管柱直径达6m,沉井直径达80m(水深60m),在水深流急处采用水上自升式平台进行沉桩(管柱)施工等。在基础工程应用技术上,地面出现了数百米高的超高层建筑物,地下有百余米深地下多层基础,条件复杂的高速公路路基,跨海大桥的桥梁基础等工程技术,使桩基、墩基、地基处理,不断革新,走向现代。我国改革开放以来,大规模的现代化建设,深圳、上海浦东,以及沿海的中等城市,数以万计的高层建筑,南水北调工程,三峡水利工程,青藏铁路,各省市高速公路等工程项目的成功实践,有效地促进了我国基础工程现代化的发展。20世纪50年代起,现代科学新成就的渗入,使基础工程技术与理论得到更进一步的发展与充实,成为一门较成熟的独立的现代学科。

但是,由于基础工程是地下隐蔽工程,再加上工程地质条件又极其复杂多样,虽然日前基础工程设计理论和施工技术比几十年前有突飞猛进的发展,但至今在设计理论、施工技术及测试工作中,仍存在不少有待进一步完善和解决的问题,有许多问题值得深入研究和探讨。基础工程设计理论和施工技术仍将随着其他相关学科和现代技术的发展而持续发展。

#### 第四节 本课程的特点和学习要求

太沙基曾指出:“土力学是一门实用的科学,是土木工程的一个分支,它主要研究土的工程性状,解决工程问题”。这一论述阐明了学科的性质是实用科学,是土木工程的分支,同时也指出了土力学和基础工程的任务。据此,第一届国际土力学会议定名为土力学及基础工程(Soil Mechanics & Foundation Engineering),基础工程是指与土有关的工程问题。后来欧洲国家(法、英、德)用拉丁语表达为 Geotechnique 土工学。20世纪70年代后,国际会议把 Soil Mechanics & Foundation Engineering 改为 Geotechnique。因此,可以这样理解:土力学是学科的理论基础,作为工程载体岩土的特性及其应力应变、强度、渗流的基本规律;基础工程则为在岩土地基上进行工程的技术问题,所以“基础工程”就是岩土地层中建筑工程的技术问题。

基础工程是土木工程专业的一门重要的技术基础课,主要向读者系统地介绍基础工程的设计原理和方法。本课程要求比较广泛的先修课知识,涉及到工程地质学、材料力学、土质学与土力学、弹性力学、结构设计和施工等学科领域,特别是土力学,是本课程重要理论基础。

基础工程是一门实践性很强的学科,在学习本课程时,必须紧密联系和结合工程实践。同时,工程建设对新技术提出了越来越高的要求,工程技术的不断创新也极大地推动了工程建设的进步。

基础的设计和施工,不仅要考虑上部结构的具体情况和要求,还要注意地层的具体条件。基础和地基相互关联,基础的设计与施工必须考虑土层原有状态的变化以及可能产生的影响。同时应了解在建筑物设计之前需要进行勘察工作的内容,掌握地基土野外鉴别能力,学会使用工程地质勘察报告书,依赖土力学基本原理的运用和实践经验,正确合理地解决基础设计和施工问题。

由于地基土性质的复杂性以及建筑物类型、荷载情况可能各不相同,因而在基础工程中不易找到完全相同的实例。读者要充分认识本课程的特点,采用理论联系实际,紧密联系工程实际的方法,注意掌握岩土地层工程性质的识别与应用;充分利用勘探与试验资料;重视基础工程结构物与岩土地层共同作用的机理及其工程性状,认真掌握其变形与稳定性的分析方法,以及各项基础工程和地基处理的技术措施,注重实际效果的检验及工程经验。

我国地域辽阔,由于自然地理环境不同,分布着多种多样的土类。某些土类(如湿陷性黄土、软土、膨胀土、红黏土和多年冻土等)还具有不同于一般土类的特殊性质。作为地基,必须针对其特性采取适当的工程措施。因此,地基基础问题的发生和解决具有明显的区域性特征,各地应根据本地区地基土特点和自然地理环境不同,结合实际进行教学。

最后,基础工程课程的学习,要紧密联系有关规范和最新的学科进展。本书是按 2007 年颁布实施的《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG D63—2007)进行编写,新规范对原规范(JTJ 024—85)进行了修订,修订过程中吸取了国内外有关科研院校、设计、检测等单位的研究成果和工程经验,并参考借鉴了国外先进的标准规范。在学习过程中读者应对该新规范进行相应的学习和了解。

### 思考练习题

1. 基础工程的特点有哪些? 应该如何学习本课程?
2. 基础设计必须满足哪些基本要求?

## 第二章 天然地基上的浅基础

浅基础是指埋入地层深度较浅,施工一般采用敞开挖基坑修筑的基础。与深基础相比,浅基础在设计计算时可以忽略基础侧面土体对基础的影响,基础结构形式和施工方法也较简单。浅基础是建筑物最常用的基础类型。

### 第一节 天然地基上浅基础的类型及构造

#### 一、刚性基础与柔性基础

基础按照受力特点与材料性能可分为刚性基础与柔性基础。

##### 1. 刚性基础

地基承受了基础传来的荷载作用后,在基础底面将产生地基反力 $\sigma$ ,在该反力作用下基础悬出部分[图 2-1b)  $a-a$  断面左端]的受力可视为承受均布荷载作用的倒置的悬臂梁,其荷载强度为 $\sigma$ 。在均布荷载作用下, $a-a$  断面将产生弯曲拉应力和剪应力。当基础圬工具有足够的截面使材料的容许应力大于由地基反力产生的弯曲拉应力和剪应力时, $a-a$  断面不会出现裂缝,这时,基础内不需配置受力钢筋,这种基础称为刚性基础[图 2-1b)]。它是桥梁、涵洞和房屋等建筑物常用的基础类型。其形式有:刚性扩大基础[图 2-1b) 及图 2-2],单独柱下刚性基础[图 2-3a) 和图 2-3d)]、条形基础(图 2-4)等。

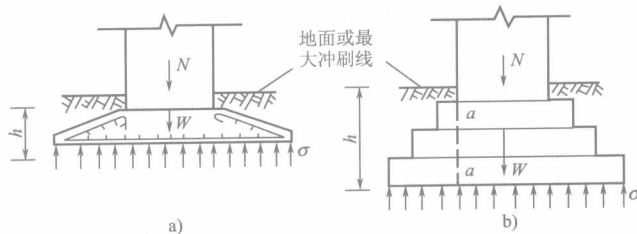


图 2-1 基础类型

刚性基础一般用素混凝土、砖、毛石、片石混凝土、灰土砌筑,这些材料的抗压强度高,而抗拉、抗剪强度较低。设计时必须保证发生在基础内的拉应力和剪应力不超过相应的材料强度值。这种保证通常是通过对基础构造的限制来实现的,即基础每个台阶的宽度与其高度之比(宽高比)都不得超过规范规定的台阶宽高比的允许值。在这样的限制下,基础的相对高度较大,在荷载作用下几乎不发生挠曲变形。

刚性基础的优点是稳定性好,施工简便,能承受较大的荷载。缺点是自重较大,不适用于荷载大或上部结构对沉降差较敏感的建筑物,以及持力层的土质较差又较厚的情况。

##### 2. 柔性基础

若上部结构荷载较大或基础悬出部分过长,基础在基底反力的作用下,在图 2-1a) 中  $a-a$  断面产生弯曲拉应力和剪应力,就有可能超过了基础圬工的强度极限值,而使基础在  $a-a$  断面

开裂甚至断裂。为防止出现这种破坏,需要在基础中配置足够数量的受力钢筋,以抵抗弯曲拉应力和剪应力。这种配置了一定受力钢筋的基础称为柔性基础[图 2-1a]。柔性基础主要是用钢筋混凝土浇筑,常见的形式有柱下扩展基础、条形和十字形基础(图 2-5 和图 2-6)筏板及箱形基础(图 2-7 和图 2-8),其整体性能较好,抗弯刚度较大。与刚性基础相比,柔性基础抗弯、抗剪性能好,在荷载作用下产生挠曲变形。

## 二、浅基础的构造

### (一) 刚性扩大基础

将上部结构传来的荷载,通过向侧面扩展成一定底面积,使作用在基底的压应力不大于地基土的容许承载能力,而基础内部的应力同时满足材料本身的强度要求,这种起到压力扩散作用的刚性基础称为刚性扩大基础(图 2-2)。作为刚性基础,每边扩大的最大尺寸应受到材料刚性角的限制,一般最小为 0.20~0.50m;当基础较厚时,可在纵横两个剖面上都做成台阶形,以减少基础自重,节省材料。

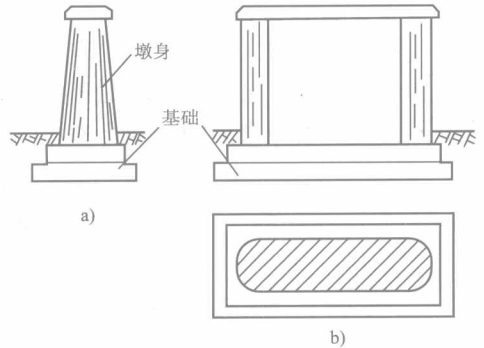


图 2-2 刚性扩大基础

### (二) 单独基础和联合基础

#### 1. 单独基础

单独基础是立柱式桥墩和房屋建筑常用的基础形式之一。它的纵横剖面均可砌筑成台阶式[图 2-3a) 和图 2-3b)],当柱下单独基础用石或砖砌筑时,则在柱子与基础之间用混凝土墩连接。个别情况下柱下单独基础用钢筋混凝土浇筑时,其剖面也可浇筑成锥形[图 2-3c)]。

#### 2. 联合基础

当为了满足地基土的强度要求,必须扩大基础平面尺寸,相邻的单个基础在平面上相接甚至重叠时,则可将它们连在一起成为联合基础[图 2-3b)]。

### (三) 条形基础

条形基础(图 2-4)分为墙下和柱下条形基础,墙下条形基础是挡土墙下或涵洞下常用的基础形式。其横剖面可以是矩形或将一侧筑成台阶形。如挡土墙很长,为了避免在沿墙长方向因沉降不匀而开裂,可根据土质和地形予以分段,设置沉降缝。有时为了增强桥柱下基础的承载能力,将同一排若干个柱子的基础联合起来,也就成为柱下条形基础(图 2-5)。其构造与倒置的 T 形截面梁相类似。

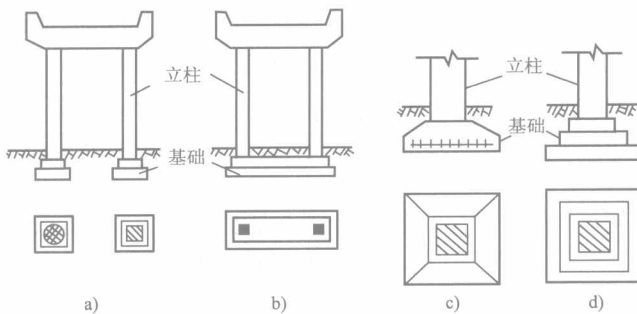


图 2-3 单独和联合基础

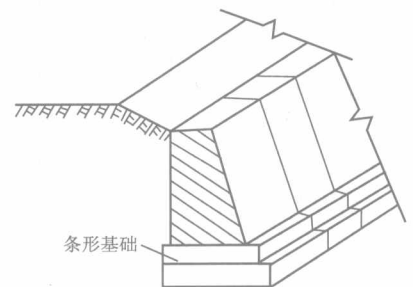


图 2-4 挡土墙下条形基础

如地基土很软,基础在宽度方向需进一步扩大面积,同时又要求基础具有空间的刚度来调整不均匀沉降时,可在柱下纵、横两个方向均设置条形基础,成为十字形基础(图2-6)。这是房屋建筑常用的基础形式,也是一种交叉条形基础。例如,湖南大学图书馆为9层大楼,地层不均匀,基岩有溶洞,且书库荷载大,在设计上基础就采用了钢筋混凝土十字交叉基础。

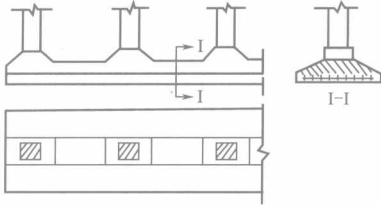


图 2-5 柱下条形基础

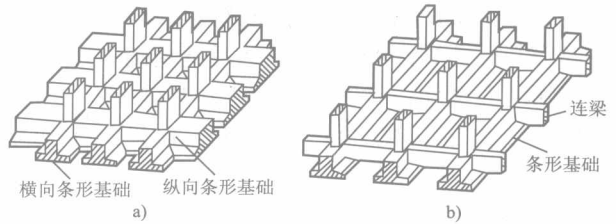


图 2-6 交叉条形基础

a) 柱下交叉条形基础; b) 连梁式交叉条形基础

#### (四) 筏板和箱形基础

筏板基础(图 2-7)和箱形基础(图 2-8)都是房屋建筑常用的基础形式。

##### 1. 筏板基础

当交叉条形基础底面积占建筑物平面面积比例较大,可将交叉条形基础底面扩大为筏板基础。筏板基础整体性较好,可避免建筑物局部发生不均匀沉降,同时能增强基础的抗渗性,适用于有地下防渗要求的建筑物。

筏板基础在构造上类似于倒置的钢筋混凝土楼盖,它可以分为平板式[图 2-7a)]和梁板式[图 2-7b)]。平板式常用于柱荷载较小而且柱子排列较均匀和间距也较小的情况。

##### 2. 箱形基础

在民用建筑中,高层建筑由于高度大,按地基稳定性的要求,基础埋置深度通常较大,此时为减小基础自重,可将基础做成由钢筋混凝土顶板、底板及纵横隔墙组成的箱形基础(图 2-8)。箱形基础如同一只埋在土中的刚性密闭的箱子。它的抗弯刚度远大于筏板基础,而且基础顶板和底板间的空间常可利用作地下室,同时由于基础深埋、空腹,减小了基础底面压力,可以相应地增加建筑物的层数。它适用于地基较弱、土层厚、建筑物对不均匀沉降较敏感,或荷载较大而基础建筑面积不太大的高层建筑。

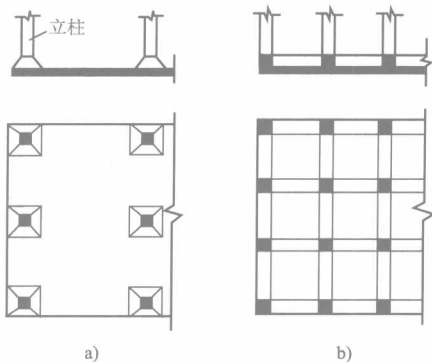


图 2-7 筏板基础

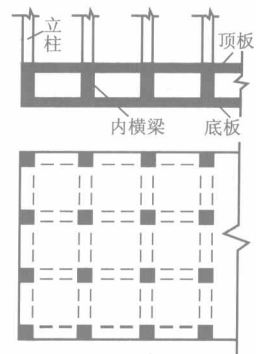


图 2-8 箱形基础

## 第二节 基础埋置深度的确定及基础尺寸的拟定

### 一、基础埋置深度的确定

基础的埋置深度是指地面或一般冲刷线至基础底面的距离。基础埋深的选择对于建筑物的安全和正常使用、基础的施工技术措施、施工工期以及工程造价影响较大,因此须慎重考虑。在确定基础埋置深度时,必须考虑把基础设置在变形较小,而强度又比较大的土层上,以保证建筑物的安全和正常使用。在确定基础埋深时,须综合考虑各方面的因素,并抓住其中起主要作用的一、二种因素,进行分析研究,以定出合理的埋深。具体来说,主要考虑的因素有以下几方面。

#### (一)地基的地质条件

对于岩石地基,若覆盖土层较薄(包括风化岩层),可将清除覆盖土和风化层后,将基础直接修建在新鲜岩面上;若岩石的风化层很厚,难以全部清除时,基础放在风化层中的埋置深度应根据其风化程度、冲刷深度及相应的容许承载力来确定。对于岩层倾斜时,不得将基础的一部分置于岩层上,而另一部分则置于土层上,以防基础因不均匀沉降而发生倾斜甚至断裂。在陡峭山坡上修建桥台时,还应注意岩体的稳定性。

对于非岩石地基,如受压层范围内土质较均匀,基础埋置深度在满足冲刷、冻胀等要求外,主要由地基土的承载能力和沉降特性来确定(同时考虑基础需要的最小埋深)。如果地质条件较复杂,则应通过较详细计算或方案比较后才能确定出合理的基础埋深。

#### (二)河流的冲刷深度

在有水流的河床上修建基础时,要考虑洪水对基础下地基土的冲刷作用。由于桥梁侵占了河流的过水断面,从而使得水流流速及挟沙能力加大。洪水水流越急,流量越大,洪水的冲刷就越大。整个河床面被洪水冲刷后要下降,这称为一般冲刷,被冲下去的深度称为一般冲刷深度。同时由于桥墩的阻水作用,使洪水在桥墩四周冲出一个深坑,这称为局部冲刷。

在有冲刷的河流中,为了防止桥梁墩、台基础四周和基底下土层被水流掏空冲走以致倒塌,在确定基础埋深时,就必须考虑河流的冲刷对桥梁等建筑物的安全稳定性的影响。

---

#### 工程实例:京九线巴河特大桥险情

巴河特大桥位于湖北省境内,是京九线上的重要交通枢纽。由于巴河下游过度无序的采砂造成河床变窄,河道变更。巴河长约800m的河床,仅剩紧挨左岸堤不足50m的水面,干涸的河床上是厚厚的黄砂层。下游距桥墩不到50m处,被采砂船蚕食造成深达近20m的深壑,犬牙交错,步步逼向大桥,一有大水必然导致黄砂向下游滑落,使桥墩桩基在河水冲刷下露出水面。2003年2月26日,受上游降雨影响,巴河水位上涨,主河道突然改道,洪水直接冲击巴河特大桥23号桥墩,将掩埋桥墩的沙土层掏空(图2-9)。至28日,原本深埋于河下沙土中的桥墩桩基已露出水面6.9m,加上水深7m,全长15.3m的桩基土下部分仅剩1m左右,几乎悬空。桥墩随时可能发生桥墩断裂移位,导致大桥垮塌,中断京九大动脉。经过广州军区舟桥部队和南昌铁路局干部职工协力奋战5昼夜,共向巴河特大桥23号桥墩周围抛填了35车皮、计2000余吨片石,打下钢管、木桩3万余根,装码沙石袋15万余袋,终于使得险情排除。

---



a)



b)

图 2-9 京九线巴河特大桥险情  
a) 巴河特大桥; b) 挖砂造成河道变更

考虑河流冲刷时,基础必须埋置在设计洪水的最大冲刷线以下不小于 1m。特别是在山区和丘陵地区的河流,更应注意考虑季节性洪水的冲刷作用。对于大、中桥基底埋置在最大冲刷线以下的安全值,应按表 2-1 的规定选用。

大、中桥基底最小埋深安全值(m)

表 2-1

桥梁类别 \ 总冲刷深度(m)	0	5	10	15	20
大桥、中桥、小桥(不铺砌)	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
特大桥	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0

注:1. 总冲刷深度是指自河床面算起的河床自然演变冲刷、一般冲刷深度与局部冲刷深度之和。

2. 表中所列数值为最小值,如对设计流量、水位和原始断面资料无把握或不能获取河床演变准确资料时,安全值应适当加大。

3. 若桥位上下游有已建桥梁,基础埋置深度不宜小于已建桥梁的冲刷深度且酌加必要安全值。

4. 如河床上有铺砌层时,基底宜设置在铺砌层顶面以下不小于 1m。

### (三)当地的冻结深度

在寒冷地区,在确定基础埋深时还应该考虑由于季节性的冰冻和融化对地基土引起的冻胀影响。北方地区冬季气温降低至 0℃ 以下时,地表土中的自由水开始冻结。对于冻胀性土,如土温在较长时间内保持在冻结温度以下,水分从未冻结土层不断地向冻结区迁移,土层冻结,体积膨胀,产生冻胀力,引起地基的冻胀和隆起;天暖解冻,冻土层中冰晶体融化,土中含水率增加,土体强度降低,沉降加大,这些都可能使基础遭受损坏,上部结构产生倾斜、开裂,甚至下沉。

为了保证建筑物不受地基土季节性冻胀的影响,除地基为非冻胀性土外,基础底面应埋置在天然最大冻结线以下一定深度。

《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG D63—2007)[以下简称《公桥基规》(JTG D63—2007)]规定:当墩台基底设置在非冻胀土层中,基底埋深可不受冻深的限制。当上部结构为超静定结构时,若地基为冻胀性土时,应将基底埋入冻结线以下不小于 0.25m。

当墩台基础设置在季节性冻胀土层中时,基底的最小埋置深度可按式(2-1)确定:



$$d_{\min} = z_d - h_{\max} \quad (2-1)$$

式中： $d_{\min}$ ——基底最小埋置深度(m)；

$z_d$ ——设计冻深(m)；而

$$z_d = \psi_{zs} \psi_{zw} \psi_{ze} \psi_{zg} \psi_{zf} z_0$$

其中： $\psi_{zs}$ ——土的类别对冻深的影响系数，按表 2-2 查取；

$\psi_{zw}$ ——土的冻胀性对冻深的影响系数，按表 2-3 查取；

$\psi_{ze}$ ——环境对冻深的影响系数，按表 2-4 查取；

$\psi_{zg}$ ——地形坡向对冻深的影响系数，按表 2-5 查取；

$\psi_{zf}$ ——基础对冻深的影响系数，取  $\psi_{zf} = 1.1$ ；

$h_{\max}$ ——基础底面下容许最大冻层厚度(m)，按表 2-6 查取。

土的类别对冻深的影响系数  $\psi_{zs}$  表 2-2

土的类别	黏性土	细砂、粉砂、粉土	中砂、粗砂、砾砂	碎石土
$\psi_{zs}$	1.00	1.20	1.30	1.40

土的冻胀性对冻深的影响系数  $\psi_{zw}$  表 2-3

冻胀性	不冻胀	弱冻胀	冻胀	强冻胀	特强冻胀	极强冻胀
$\psi_{zw}$	1.00	0.95	0.90	0.85	0.80	0.75

环境对冻深的影响系数  $\psi_{ze}$  表 2-4

周围环境	村、镇、旷野	城市近郊	城市市区
$\psi_{ze}$	1.00	0.95	0.90

地形坡向对冻深的影响系数  $\psi_{zg}$  表 2-5

地形坡向	平坦	阳坡	阴坡
$\psi_{zg}$	1.00	0.90	1.1

不同冻胀土类别在基础底面下容许最大冻层厚度  $h_{\max}$  表 2-6

冻胀土的类别	弱冻胀	冻胀	强冻胀	特强冻胀	极强冻胀
$h_{\max}$	$0.38z_0$	$0.28z_0$	$0.15z_0$	$0.08z_0$	0

#### (四) 上部结构形式

对于静定结构，基础的不均匀沉降不会改变上部结构的内力。但是对超静定结构而言，即使基础发生较小的不均匀沉降，也会使上部结构内力产生一定变化，因此在考虑基础埋深时，应将基础设置在坚硬的土层或岩层上，将基础的不均匀沉降控制在容许范围内。

#### (五) 当地的地形条件

当墩台、挡土墙等结构位于较陡的土坡上，在确定基础埋深时，还应考虑土坡连同结构物基础一起滑动的稳定性。例如，2002年10月30日上午，京九线南康段 K1886+400 处就因山体滑坡而导致铁路路基塌陷，17 根枕木悬空(图 2-10)。



图 2-10 铁路路基滑坡

由于在确定地基承载力容许值时，一般是按地面为水平的情况下确定的，因而当地基为倾斜土坡时，应结合实际情况，予以适当折减并采取以下措施：若基础位于较陡的岩体上，可将基础做成台阶形，但要注意岩体的稳定性。基础前缘至岩层坡面间必须留有适当的安全距离。