

# 基础工程

■ (土木工程专业用) ■

杨天林 主编  
王贻荪 主审



人民交通出版社

Jichu Gongcheng

# 基 础 工 程

(土木工程专业用)

杨天林 主编  
王贻荪 主审



人民交通出版社

## 内 容 简 介

本书为新编《基础工程》教材。为适应国家教委新专业目录的要求,本着“厚基础、宽口径”的原则,在分析土木工程中有关地基基础的现行技术规范基础上,本教材系统地介绍了天然地基上的浅基础、连续基础、桩基础、沉井基础和地基处理等方面的设计原理及施工中的技术问题。教材坚持基本理论与工程实践相结合,吸收了当前成熟而又先进的新理论、新工艺及新资料。本书可作为土木工程专业的教学用书,也可供从事土木工程的技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

基础工程/杨天林主编. - 北京:人民交通出版社, 19

99.4

ISBN 7-114-03353-2

I.基… II.杨… III.地基-基础(工程)-教材 IV.TU4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 17269 号

## 基 础 工 程

(土木工程专业用)

杨天林 主编

王贻荪 主审

责任印制:孙树田 版式设计:周 园 责任校对:王秋红

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号)

各地新华书店经销

北京通州京华印刷制版厂印刷

开本:787×1092  $\frac{1}{16}$  印张:16.25 字数:397 千

1999 年 8 月 第 1 版

1999 年 8 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:0001-2000 册 定价:32.00 元

ISBN 7-114-03353-2  
TU·00058

# 前 言

近年来,我国高等院校的专业设置有较大幅度的改革。为了贯彻和落实“拓宽基础、淡化专业”的教学方针,在总结这两年教学实践的基础上,依据建设部和交通部的现行规范,参考铁道部有关设计手册,充分吸收同类教材的优点,编写了这本《基础工程》。在编写过程中,努力贯彻以下意图:

1. 尽可能扩大教材的适用范围。教材适用于岩土工程、工业与民用建筑工程、公路道路与桥梁工程专业,其他土木类专业也可作参考。

2. 根据压缩专业课教学时数的要求,教材内容选择上,在设置计算机教学、引用最新资料的同时,从工程实践出发,力求简明实用。

3. 注意与相关学科的联系,以有利于培养学生的综合能力。

由于目前尚没有全国统一的地基基础设计规范,增加了编写适合多个专业的《基础工程》教材的难度。本教材作为一次尝试,希望起到抛砖引玉的作用,热切希望读者批评指正。教材中的个别节次(主要是算例)直接引自参考文献,特此说明。

本教材由长沙交通学院编写:张军第三章,康石磊第五、六章,杨天林第一、二、四章,其中第二章第五节、第四章第三节、第五章第二节由周德泉编写,第五章第四节由贺挽澜、蔡蕾编写。全书由杨天林主编,湖南大学王贻荪主审。

由于编写时间仓促,不妥之处敬请指正。

编 者

1998年7月

# 目 录

第一章 绪 论	1
第一节 基本概念	1
第二节 基础工程设计、施工所需资料及计算荷载的确定	2
一、基础工程设计和施工所需资料	2
二、计算荷载的确定	3
第三节 课程学习中应注意的几个问题	5
一、基础工程设计的基本原则	5
二、地基、基础与上部结构的共同作用	5
三、基础工程极限状态设计	6
四、关于有关规范的协调和使用	6
五、注重工程实践	7
第四节 基础工程学科发展概况	7
第二章 天然地基上的浅基础	9
第一节 建筑物安全等级与浅基础类型	9
一、地基基础的实用设计方法	9
二、建筑物安全等级	9
三、刚性基础和柔性基础	10
四、浅基础的构造类型	12
第二节 地基承载力	14
一、概 述	14
二、静载荷试验	14
三、查规范承载力表	16
四、用土的抗剪强度指标计算	17
五、地基承载力的标准值	17
六、地基承载力的设计值	18
第三节 基础埋深的选择及平面尺寸拟定	19
一、基础埋置深度的选择	19
二、公路桥涵刚性扩大基础尺寸的拟定	22
三、按地基持力层承载力计算基底尺寸	23
第四节 刚性扩大基础的验算	24
一、地基承载力验算	24
二、软弱下卧层的验算	27
三、基底合力偏心距验算	29
四、基础稳定性和地基稳定性验算	30

五、地基变形验算 .....	32
第五节 明挖基础施工的几个问题 .....	36
一、修筑围堰 .....	36
二、维持坑壁稳定 .....	38
三、基坑排水 .....	42
第六节 埋置式桥台刚性扩大基础计算算例 .....	44
一、设计资料 .....	44
二、桥台和基础构造及其拟定的尺寸 .....	44
三、荷载计算 .....	44
四、荷载组合 .....	50
五、地基承载力验算 .....	51
六、基底偏心距验算 .....	53
七、基础稳定性验算 .....	53
八、沉降计算 .....	54
第三章 连续基础 .....	56
第一节 弹性地基梁的计算 .....	56
一、文克尔假定 .....	56
二、弹性地基梁的挠曲微分方程及梁的分类 .....	57
三、无限长梁计算 .....	58
四、有限长梁 .....	60
五、基床系数的确定 .....	61
六、算例 .....	63
第二节 柱下联合基础 .....	65
一、联合基础 .....	65
二、静力分析计算方法 .....	66
三、算例 .....	67
第三节 柱下条形基础 .....	71
一、构造要求 .....	71
二、倒梁法 .....	72
三、算例 .....	73
第四节 其他类型基础简介 .....	75
一、交梁基础（柱下交叉条形基础） .....	75
二、片筏基础 .....	77
三、箱形基础 .....	79
第四章 桩基础 .....	81
第一节 概述 .....	81
一、桩基础的组成与特点 .....	81
二、桩基础的适用条件 .....	81
三、建筑桩基的安全等级 .....	82
第二节 桩和桩基础的类型 .....	82

一、按桩的受力条件分类 .....	83
二、按桩身材料分类 .....	83
三、按桩径大小分类 .....	84
四、按施工方法分类 .....	84
五、按桩的设置效应分类 .....	86
第三节 桩基础施工 .....	87
一、旱地上钻孔桩的施工 .....	87
二、挖孔灌注桩的施工 .....	96
三、沉管灌注桩的施工 .....	98
四、打入桩的施工 .....	98
五、承台施工 .....	101
六、水中桩基础施工 .....	102
七、桩基施工质量检验 .....	105
第四节 单桩轴向荷载的传递机理 .....	106
一、荷载传递过程与土对桩的支承力 .....	106
二、桩侧摩阻力的影响因素及其分布 .....	107
三、桩的负摩阻力 .....	108
四、桩底阻力的影响因素及其深度效应 .....	111
第五节 桩基础的承载力 .....	111
一、概述 .....	111
二、单桩竖向极限承载力标准值 .....	114
三、桩基竖向承载力的设计值 .....	121
四、单桩横向承载力 .....	122
第六节 桩基础设计 .....	126
一、桩基础类型的选择 .....	126
二、桩径、桩长的拟定 .....	127
三、确定基桩根数及其平面布置 .....	128
四、基桩承载力验算 .....	129
五、桩身构造及桩身材料强度验算 .....	130
六、群桩基础承载力验算 .....	136
第七节 承台构造及计算 .....	138
一、承台的构造 .....	138
二、多桩板式承台计算 .....	139
三、承台梁的计算 .....	143
四、算例 .....	143
第八节 基桩内力和位移的计算 .....	144
一、基本概念 .....	145
二、“m”法弹性单排基桩内力和位移计算 .....	148
三、单排桩基础算例 .....	155
四、弹性多排基桩内力与位移计算 .....	159

五、多排桩算例·····	164
六、桩—土—承台共同作用计算·····	166
<b>第五章 沉井基础</b> ·····	169
<b>第一节 概 述</b> ·····	169
一、沉井的基本概念·····	169
二、沉井的分类·····	169
三、沉井基础的构造·····	171
<b>第二节 沉井的施工</b> ·····	173
一、就地灌注式钢筋混凝土沉井的施工·····	173
二、预制结构件浮运安装沉井的施工·····	177
三、沉井下沉过程中遇到的问题及其处理·····	179
四、采用空气幕下沉沉井·····	180
<b>第三节 沉井的设计与计算</b> ·····	181
一、沉井尺寸的确定·····	181
二、沉井基础的计算·····	181
三、沉井施工过程中的结构强度计算·····	185
<b>第四节 浮式沉井的稳定性验算</b> ·····	193
一、浮式沉井概述·····	193
二、浮运沉井稳定分析原理·····	194
三、浮运沉井稳定性验算·····	194
四、浮运沉井露出水面最小高度·····	196
<b>第五节 圆端形沉井计算算例</b> ·····	197
一、设计资料·····	197
二、决定沉井高度及各部分尺寸·····	198
三、荷载计算·····	198
四、基底应力验算·····	200
五、横向抗力验算·····	201
六、沉井在施工过程中的强度验算（不排水下沉）·····	202
<b>第六章 地基处理</b> ·····	211
<b>第一节 概 述</b> ·····	211
<b>第二节 浅层处理法</b> ·····	213
一、重锤夯实法·····	213
二、碾压法·····	214
三、换填法·····	214
<b>第三节 深层密实法</b> ·····	216
一、强夯法·····	216
二、砂桩挤密法·····	218
三、振冲法·····	218
<b>第四节 排水固结法</b> ·····	219
一、预压加固机理·····	219



二、砂井堆载预压设计·····	220
三、算例·····	223
第五节 深层搅拌法·····	225
一、水泥浆搅拌法·····	225
二、粉体喷射搅拌法·····	226
第六节 复合地基·····	226
一、复合地基承载力·····	227
二、加固桩柱体极限承载力 $p_{pf}$ 及桩间土极限承载力 $p_{sf}$ ·····	228
三、复合地基的沉降计算·····	229
附表·····	231
主要参考书目·····	248

# 第一章 绪 论

## 第一节 基 本 概 念

任何构筑物都建造在一定的地层（岩层或土层）上，结构物的全部荷载都由它下面的地层来承担。由于承受结构物的荷载，因而应力和应变状态发生了变化的那一部分地层称为地基。结构物上部结构中直接与地基接触、从而将结构荷载传给地基的那部分下部结构称为基础。例如，桥梁上部结构为桥跨结构，而下部结构包括桥墩、桥台及其基础，如图 1-1 所示。基础工程包括结构物的地基和基础的设计与施工。

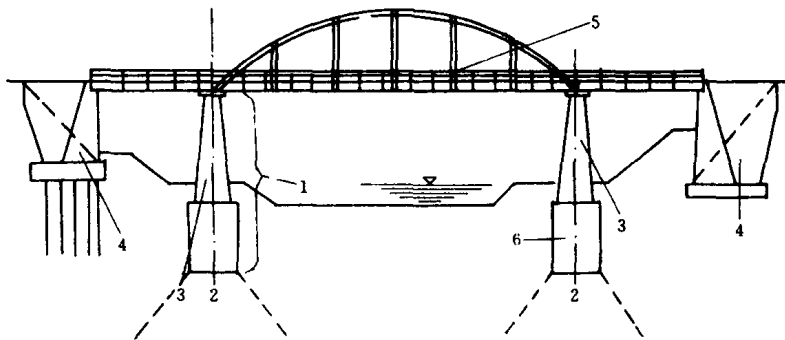


图 1-1 桥梁结构各部立面示意

1-下部结构；2-地基；3-桥墩；4-桥台；5-上部结构；6-基础

地基与基础受到各种荷载后，其本身将产生附加的应力和变形。为了保证建筑物的使用与安全，地基与基础必须具有足够的强度和稳定性，变形也应在允许范围之内。根据地层变化情况以及上部结构的要求、荷载特点和施工技术水平，可采用不同类型的地基和基础。

地基可分为天然地基和人工地基。不需要对地基进行处理就可以直接放置基础的天然土层称为天然地基。如天然地层土质过于软弱或有不良的工程地质问题，需要经过人工加固或处理后才能修筑基础，这种地基称为人工地基。

在天然河流中，由于水流的复杂作用，河床常常受到不同程度的冲刷。这种冲刷作用包括河床自然演变冲刷、设计洪水时的一般冲刷和由构造物阻水作用引起的局部冲刷。考虑上述三种作用后的河床剖面线称为最大冲刷线或局部冲刷线。所谓基础的埋置深度，在无冲刷时为基础底面到河底或地面的距离（建筑基础通常属于此种情况），在有冲刷时为基础底面到局部冲刷线的距离。

基础根据埋置深度可分为浅基础和深基础。一般将埋置深度较浅（通常在 5m 以内）、只需经过开挖、排水等普通施工程序就可以建造起来的基础称为浅基础。由于浅层土质不良或荷载过大而需要将基础底面置于较深（通常在 5m 以上）的良好土层上，且施工较复杂的基础称为深基础。所谓施工复杂是指常常需要经过培训的施工人员和专门的施工设备。某些

基础在土层内深度虽较浅（不足5m），但在水下部分较深，如深水中的桥墩基础，称为深水基础，在施工、设计中有些问题需要作为深基础考虑。除了深水基础，公路桥梁及人工构筑物最常用的基础类型是天然地基上的浅基础。当需要设置深基础时，常采用桩基础或沉井基础。基础可由不同材料构筑，目前我国常见结构物基础大多采用混凝土或钢筋混凝土结构。在石料丰富地区，按照就地取材原则，也采用石砌基础，只有在特殊情况下（如抢修、建临时便桥等）才采用木结构。

工程实践表明：结构物的地基和基础的设计与施工质量的好坏，是整个结构物质量的根本问题。基础工程因为是隐蔽工程，如有缺陷，较难发现，也较难弥补或修复，而这些缺陷往往直接影响整个结构物的使用甚至安危。基础工程施工的进度，经常控制整个结构物的施工进度。下部结构的造价，通常在整个结构物造价中占有相当大的比重，在复杂地质条件下或深水修筑基础更是如此。因此，从事这项工作必须做到精心设计、精心施工。

## 第二节 基础工程设计、施工所需资料及计算荷载的确定

### 一、基础工程设计和施工所需资料

地基和基础在设计与施工开始之前，除了应掌握整个工程的资料，包括上部结构型式、荷载、墩台结构、相邻建筑物和施工环境等情况之外，还应注意地质、水文、地形等资料的搜集和分析，重视土质和建筑材料的调查与试验。各项资料的内容范围可根据工程规模、重要性以及水文、地质条件的复杂程度和设计阶段来确定。现在普遍有行业勘察规范可资遵守，或者查阅有关教材或手册。

#### （一）建设场地的地形图、总体布置、拟建上部结构、墩台型式等有关设计资料

大中型工程基础在进行初步设计时，应该掌握经过实地测绘和调查取得的地形图，所用比例及测绘范围应根据工程规模及复杂程度确定。重要地物、主河槽和河床位置等都应标明。

上部结构的型式、跨径和墩、台的结构型式、高度、平面尺寸对地基与基础设计方案的选择和具体的设计计算都有很大的制约作用，如超静定的上部结构对地基、基础的沉降有较严格的要求，上部结构的恒载、活载是地基基础的主要荷载，除了特殊情况，基础工程的设计荷载标准、等级应与上部结构一致，因此应全面取得上部结构及墩台的总体设计资料、数据、设计等级、技术标准等。

#### （二）工程地质勘测报告及地质纵剖面图

这是对场地地质构造进行工程评价的主要资料，它包括场地的地质构造和附近地层的岩性，如地质年代、成因、层序、分布规律及其工程性质以及覆盖层厚度和土层变化关系等资料，应说明工程地点一定范围内各种不良工程地质现象或特殊地貌如溶洞、冲沟、陡崖等的成因、分布范围、发展规律及其对工程的影响。

#### （三）地基土质调查试验报告

在进行施工详图和施工设计时，应该掌握地基土层的类别及物理力学性质，它是在工程地质勘测时通过调查、钻（挖）取各层地基土足够数量的原状土（岩）样，用室内或原位试验方法得到各层土的物理力学指标，并将这些结果编制成表，在绘制成的土（岩）柱状剖面图中予以说明。对岩石还应包括有关风化、节理、裂隙和胶结质等情况的说明。地基土质调

查资料还应包括地下水及其随季节升降的标高，在冰冻地区应掌握土层的冻结深度、冻融情况及有关冻土力学数据。

如地基内遇到湿陷性黄土、多年冻土、软粘土、含大量有机质土或盐碱土、膨胀土，对这些土层的特性还应有专门的试验资料，如湿陷性指标、冻土强度、可溶盐和有机质含量等。

#### (四) 水文调查资料

设计桥梁墩台基础，要有通过计算和调查取得的比较可靠的设计冲刷深度数据，并了解设计洪水频率的最高洪水位、低水位和常年水位以及流量、流速、流向变化情况，河流的下蚀、侧蚀和河床的稳定性，架桥地点河槽、河滩、阶地淹没情况，并应注意收集河流变迁情况和水利设施以及地下水的情况。

## 二、计算荷载的确定

地基与基础承受着整个建筑物的自重及所传递来的各种荷载，作用在地基与基础上的计算荷载有各种不同的特性，各种荷载出现的机率也不相同，因此需将作用荷载进行分类，并将实际可能同时出现的荷载组合起来，确定设计时的计算荷载。

### (一) 荷载分类

为了便于设计时应用，将作用在构造物上的各种荷载，根据其性质分为恒载、可变荷载和偶然荷载三类。

#### 1. 恒载（永久荷载）

恒载是指在结构使用期间，其值不随时间变化或其变化与平均值相比可以忽略不计的荷载。主要是指长期作用着的荷载和作用力，包括结构物的自重、土重以及土的自重产生的侧向压力、静水压力和浮力，预应力结构中的预应力，超静定结构中因混凝土收缩徐变和基础变位而产生的影响力。

#### 2. 可变荷载

可变荷载是指在结构使用期间，其值随时间变化且其变化值与平均值相比不可忽略的荷载。例如吊车荷载，风、雪荷载等。值得注意的是在建筑工程中可变荷载和活载不加区分，但在桥梁工程中，可变荷载按其对结构物的影响程度可分为活载（基本可变荷载）和其他可变荷载两部分。活载包括汽车荷载及其引起的冲击力、离心力、土侧压力，人群荷载和平板挂车或履带车及其引起的土侧向压力。其他可变荷载包括汽车制动力、风力、冰压力、流水压力及支座摩阻力。

#### 3. 偶然荷载

偶然荷载是指在结构使用期间不一定出现、一旦出现其值很大且持续时间较短的荷载。如地震荷载和船只或漂浮物的撞击力（施工荷载也可属于此类）。

### (二) 荷载计算

以上各种荷载及作用力的计算方法在规范中均有具体规定，有关教材中也有介绍，可以查阅。

水下的土中结构物和地基土的浮力计算，是一个至今还存在不同意见的问题。从安全角度出发，桥梁基础工程设计时对浮力的计算可以作如下处理：

第一，置于透水性地基上的桥梁墩台基础，当验算稳定性时应考虑采用设计水位时水的浮力；当计算基底应力时可仅考虑低水位（包括地面水和地下水）时水的浮力或不考虑水的

浮力。

第二，置于不透水性地基（密实粘性土地基，较完整、裂隙较少的岩石地基）上，且基底与地基接触良好的桥梁墩台基础，可不考虑水的浮力。

第三，当不能肯定地基是否透水时，应以透水和不透水两种情况与其他荷载组合，取其最不利者。

第四，作用在桩基承台底面的浮力，应考虑全部底面积；但桩嵌入岩层并灌注混凝土者，在计算承台底面浮力时应扣除桩的截面积。

以上原则，在别的工程中也可作为参考。

### （三）荷载组合

为保证地基与基础满足强度稳定性和变形方面的要求，应根据结构物所在地区的各种条件和结构特性，并根据使用过程中在结构上可能同时出现的荷载，进行荷载效应组合。取最不利组合进行设计。所谓“最不利荷载组合”，是指组合起来的荷载应产生相应的最大力学效应。例如用容许应力设计时产生的最大应力；滑动稳定验算时产生最大的滑动可能性等。因此不同的验算内容将由不同的最不利荷载组合控制设计，应分别考虑。

在建筑工程中，永久荷载和一种或几种可变荷载的组合称为基本组合。组合中包含有偶然荷载的称为偶然组合，并规定偶然荷载的代表值不乘分项系数，与偶然荷载同时出现的可变荷载，可根据观测资料和工程经验采用适当的代表值。《建筑地基设计规范》规定，按地基承载力确定基础底面积及埋深时，传至基础底面上的荷载应按基本组合、土的自重分项系数为 1.0，按实际的重力密度（以下简称重度）计算。计算地基变形时，传至基础底面上的荷载应按长期效应组合，不计入风荷载和地震作用。计算挡土墙的土压力、地基稳定及滑坡推力时，荷载应按基本组合，但其分项系数均为 1.0。

按照各种荷载特性及出现的机率不同，在公路桥梁工程的设计计算时应考虑各种可能出现的荷载组合，一般有以下几种：

组合 I 由恒载中的一种或几种与一种或几种活载（平板挂车或履带车除外）相组合。如该组合中不包括混凝土收缩、徐变及水的浮力引起的影响力时，习惯上称为主要组合。

组合 II 由恒载中的一种或几种与活载中的一种或几种（平板挂车或履带车除外）及其他可变荷载的一种或几种相组合。

组合 III 由平板挂车或履带车与结构物自重、预应力、土重及土侧压力中的一种或几种相结合。

组合 IV 由活载（平板挂车或履带车除外）的一种或几种与恒载的一种或几种与偶然荷载中的船只或漂流物撞击力相组合。

组合 V 施工阶段验算荷载组合，包括可能出现的施工荷载如结构重、脚手架、材料机具、人群、风力、拱桥单向推力等。

组合 VI 由地震力与结构重、预应力、土重及土侧压力中的一种或几种相结合。

组合 II、III、IV、V、VI 习惯上称为附加组合。当组合 I 中包括混凝土收缩、徐变及水的浮力引起的荷载效应时也称为附加组合。因为附加组合中考虑的荷载的出现机率比主要组合小些，设计时不必要求过大的安全储备，因此，设计规范在取安全系数时均比组合 I 小些，地基的容许承载力允许提高一定数值。在地基与基础的设计计算中，应分别在各种组合的荷载作用下进行各项验算，计算结果均应分别满足设计规定的要求。

为使设计比较合理，切合实际情况，在荷载的组合中，有些荷载不需同时考虑，如：

(1) 考虑汽车制动力时，不计支座摩阻力、流水压力，冰压力，考虑支座摩擦力时不计汽车制动力；

(2) 考虑冰压力时，除不计制动力外，还不计流水压力；同样，考虑流水压力时，也不计汽车制动力和冰压力；

(3) 地震力、船只或漂浮物撞击力、施工荷载三者不同时考虑，它与永久荷载、可变荷载的组合方法，可参考有关规范。

一般说来，不经过计算是较难判断哪一种荷载组合最为不利，必须用分析方法对各种可能的最不利荷载组合进行计算后，才能得出最后的结论。由于活载（车辆荷载）的排列位置在纵横方向都是可变的，它将影响各支座传递给墩台的支座反力的分配数值，以及台后由车辆荷载引起的土侧压力大小等，因此车辆荷载的排列位置往往对确定最不利荷载组合起着支配作用，对于不同验算项目（强度、偏心距、稳定性等），可能各有其相应的最不利荷载组合，应分别进行验算。

此外，许多可变荷载的作用方向在水平投影面上常可分解为纵桥向或横桥向。一般也须按此两个方向进行地基与基础的计算，并考虑其最不利荷载组合，比较出最不利者为控制计算。桥梁的地基与基础大多情况下为纵桥向控制，但当有较大横桥向水平力（风力、船只撞击力、水流或水压力等）作用时，也需进行横桥向计算，可能为横桥向控制设计。

### 第三节 课程学习中应注意的几个问题

本课程是一门专业课，涉及的先修课程较多，与相关学科的联系比较密切，设计计算中有些重大问题目前还在深入研究中，因此给学习本课程带来许多不便，在此作一简单说明。

#### 一、基础工程设计的基本原则

基础工程设计的目的是设计一个安全、经济和可行的地基与基础，以保证结构物的安全和正常使用。因此，基础工程设计与构造物别的部分一样，其基本原则仍然是两个方面。

一是强度方面，或者说是承载力方面。对基础工程来讲具体包括：从建设场地总体考虑，地基及基础的整体稳定性应有足够的安全系数，基础底面的压力小于地基承载力的设计值，基础本身强度应满足要求。

二是满足正常使用要求，即构筑物的变形小于容许值。对地基及基础来讲主要是沉降应满足要求。

地基与基础方案的确定受地基土层的工程地质与水文地质条件制约很大，因此推行岩土工程体制是很有必要的。也就是说，工程地质勘察工作不仅是提供地质资料，而且是按照不同勘察阶段，根据工程设计和施工中的具体内容，提出岩土工程问题和解决办法，对施工进行监测，服务于工程建设的全过程。

#### 二、地基、基础与上部结构的共同作用

结构设计中通常是把上部结构、基础与地基三者作为彼此独立的单元进行力学分析的。例如计算上部结构时，总是把基础当作不动支座。这种作法，在地基与基础、基础与上部结构的接触点（面）处，虽然满足静力平衡条件，但却完全忽略了三者之间的变形连续性。事实上，地基、基础和上部结构三者是相互联系成一个整体，共同承担荷载而发生变形的。三

个部分都将按各自的刚度对变形产生相互制约的作用，从而使整个体系的内力和变形（包括基础沉降）发生变化。显然，当地基软弱、结构物对不均匀沉降敏感时，常规分析结果与实际情况的差别就更大。

合理的分析方法，原则上应该以地基、基础、上部结构之间必须同时满足静力平衡和变形协调两个条件为前提。只有这样，才能揭示它们在外荷作用下相互制约、彼此影响的内在联系，从而达到安全、经济的设计目的。可以想象，按这个原则进行整体的相互作用分析是相当复杂的。因为这意味着不但要建立能正确反映结构刚度影响的分析理论和便于借助电子计算机的有效计算方法，而且还要研究选用能合理反映土的变形特性的地基计算模型及其参数。正因为如此，直至本世纪 60 年代后期，随着电子计算技术与方法的迅速发展，以及土的应力—应变关系（本构关系）探讨的继续深入，相互作用的研究才得以开展并受到重视。

至今，基于相互作用分析的设计方法已被称为“合理设计”，但毕竟还处于研究阶段，一般基础设计仍然难以采用。尽管如此，树立地基—基础—上部结构相互作用的观点，将有助于了解各类基础的性能、正确选择地基基础方案、评价常规分析与实际之间的可能差异、理解影响地基变形允许值的因素和采取防止不均匀沉降损害的措施等有关问题。在设计中做到基础工程应紧密结合上部结构的特性和要求进行，上部结构的设计也应充分考虑地基的特点，从而把整个结构物作为一个整体，考虑其整体作用和各个组成部分的共同作用。

### 三、基础工程极限状态设计

极限状态设计在结构工程中是一种运用较久的设计方法。我国在本世纪 80 年代建筑工程设计与国外一样采用以概率理论为基础的概率极限状态设计方法，如《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ023—85)以分项系数描述设计表达式代替原来的以总安全系数的设计表达式，从而对计算结果赋以概率的含义，对结构设计结果的可靠度有科学的预测。

我国现行的地基基础设计规范，除个别的已采用概率极限状态设计方法（如 1995 年 7 月颁布的建筑桩基技术规范 JGJ94—94）外，桥涵地基基础设计规范等均还未采用极限状态设计，产生地基基础设计与上部结构设计在荷载计算、材料强度、结构安全度等方面不协调的情况。

我国桥涵地基设计规范尚未采用极限状态设计，主要原因是岩土设计参数的概率特性比上部结构材料要复杂得多，需要大量的测试与分析工作，以积累足够的数据和经验。我国在这方面起步较晚，但工作已较快开展。国外有些国家已建立地基按半经验半概率的分项系数极限状态设计标准，在我国地基设计中采用按极限状态设计的工作也已提到议事日程上。

### 四、关于有关规范的协调和使用

和大多数基础工程教材一样，本教材是按照基础工程的学科知识体系编写的。本教材的编写同仁认为，各个行业基础工程的设计理论和基本原则是一致或十分接近的，因此编写一本可供土木类多个专业共同使用的教材是可能的。但是，目前还没有各行业统一的地基基础设计规范，而各行业规范在一些问题的具体处理上，差别又是显而易见的。这样就必然有许多不协调之处，给学生的学习带来许多不便。

首先是行业内部的不协调。基础工程作为一门应用科学，涉及到许多相关学科。由于各学科的具体情况和成熟程度不同，相应的规范就不能完全衔接。如前面提到的，同作为交通

工程，采用极限状设计方法的钢筋混凝土结构规范和采用容许应力法设计的地基规范就有不协调的情况。

其次是行业之间的不平衡。本教材主要涉及两大体系。一是根据《公路工程技术标准》(JTJ01—88)编制的交通部标准，二是根据《建筑设计标准》(GBJ68—84)编制的国家标准(主要适用于工业与民用建筑)。这些规范都明确地提出不得混用。

上述行业内部和行业之间的不统一，可能还要延续一段较长的时间。因此我们建议，在课堂上讲授和理论学习阶段以学科知识体系为主，弄清基础工程设计和施工中的主要内容和基本方法。而在课程设计中，根据不同专业方向，使用各自的行业规范，进行具体工程的设计实践训练。

## 五、注重工程实践

地基与基础既是一项古老的工程技术，也是一门年轻的应用学科。地基土又是自然历史的产物，复杂多变，建设场地的地形、地质条件又是千差万别。因此，为求得基础工程的切合实际的、合理的、完善的解决，除需要有丰富的理论知识外，还需要有较多的工程实践知识。在学习时应注意理论与实际的关系，通过各个教学环节，重视采用各种学习方法，紧密结合工程实践，才能提高对理论的认识，增强处理地基基础问题的能力。

## 第四节 基础工程学科发展概况

基础工程与其他技术学科一样，是人类在长期的生产实践中不断发展起来的。

我国是一个具有悠久历史的文明古国，我国古代劳动人民在基础工程方面也早就表现出高超的技艺和创造才能，许多宏伟壮丽的中国古代建筑逾千百年仍留存至今并安然无恙的事实，就充分说明了这一点。例如，远在1300多年前，隋朝石工李春所修建的赵州安济石拱桥，不仅在建筑结构上有特殊的技艺，而且在地基基础的处理上也非常合理。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。在当时就能如此充分利用天然地基的承载力，真令人赞叹不已。北宋初著名木工喻皓公元989年在建造开封开宝寺木塔时，考虑到当地多西北风，便特意使建于饱和土上的塔身向西北倾斜，设想在风力的长期继续作用下可以渐趋复正。由此可见，古人在实践中早已在巧妙地解决建筑物地基的沉降问题了。

作为本学科理论基础的土力学的发端，始于18世纪兴起工业革命的欧洲。为了满足向国内外扩张市场的需要，陆上交通进入了所谓“铁路时代”，从而引发了土的抗剪强度、土压力、土坡稳定分析方法的研究。这些古典理论直到今天仍不失其理论和实用价值。在长达一个多世纪的发展过程中，许多研究者承继前人的研究，总结了实践经验，为孕育本学科的雏形作出了贡献。本世纪的20年代，基础工程有比较系统、比较完整的专著问世。1936年召开第一届国际土力学与基础工程会议后，土力学与基础工程作为一门独立的学科取得了不断发展。从本世纪50年代起，现代科学新成就的渗入，使基础工程技术与理论更得到进一步的发展与充实，成为一门较成熟的独立的现代学科。

中华人民共和国成立以后，在中国共产党的英明领导下，大规模的社会主义经济建设事业的飞跃发展，促进了本学科的迅速发展，并取得了辉煌的成就。例如，在桥梁基础工程方



面，为充分利用天然地基承载力，改造和发展了多种结构型式的浅基础，以适应不同地基土质和不同荷载性质以及上部结构使用要求。为缩短工期、降低造价和适应大型及大跨度桥梁的建筑，大力发展了深基础技术。随着施工经验和设计技术的积累，桩基础尤其是钻挖孔混凝土灌注桩基础已成为广泛采用的深基础。我国已建成的钻孔灌注桩基础最大桩径超过2.6m，钻孔深度已超过100m，在保证桩基质量及用动力方法测定轴向承载力方面也取得了可喜成绩。特别是改革开放以来，高层建筑已遍布全国各地，高速公路和高等级公路迅速发展，在长江、黄河等大江大河和近海区域修建的大型桥梁工程，采用了大直径钻孔灌注桩、预应力管柱、钢管柱，多种型式的浮式沉井、组合式沉井，各种结构类型的单壁、双壁钢围堰，大直径扩底墩等一系列新型深基础和深水基础，成功地解决了在复杂地质条件下，特别是在软土地基上修建高层建筑、高速公路和大型、特大型桥梁的深基础工程问题，积累了丰富的设计和施工经验。而三峡工程和小浪底工程的基础处理，又必然将我国基础工程的设计、施工、监测提高到一个新水平。近十年来，在地基加固技术和深基坑支护方面，及时吸收了国外新成果，发展了符合我国国情、充分利用我国资源的新技术。我国许多设计单位对常用的主要基础类型结构设计已有较完备的计算机辅助设计系统，基本上实现了电算化。

国外近年来基础工程科学技术发展也很快，许多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，采用管柱直径达6m、沉井直径达80m（水深60m）并以大口径磨削机对基岩进行处理，在水深流速较大处采用水上自升式平台进行沉桩（管柱）施工等。

基础工程即使发展到今天，在设计理论和施工技术以及测试工作中都还存在着不少有待解决的问题。随着祖国现代化建设的推进，大型和重型建筑物的发展将对基础工程提出更高的要求，并将有效地促进基础工程科学技术的发展。从事基础工程的技术人员和科研人员任重而道远。