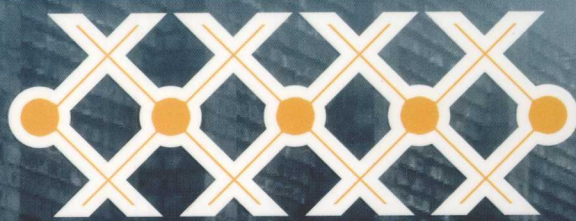


高职高专规划教材

基础工程

陈东佐 主编



JICHU
GONGCHENG

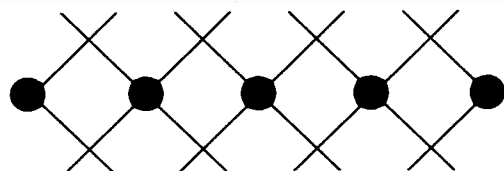


化学工业出版社

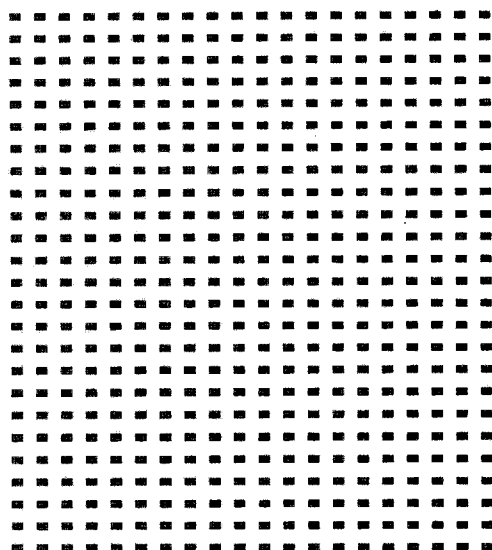
高职高专规划教材

基础工程

陈东佐 主编 裴建新 靳雪梅 副主编 徐秀香 主审



JICHU
GONGCHENG



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书为高职高专土建类规划教材, 主要依据 2001 年以来发布的《公路桥涵设计通用规范》、《公路桥涵地基与基础设计规范》、《建筑抗震设计规范》、《公路桥梁抗震设计细则》等一系列新的行业标准和国家标准进行编写。全书共八章, 内容包括绪论、天然地基上的浅基础、桩基础的构造与施工、桩基础设计计算、沉井基础与其他深基础、地基处理、特殊土地基与基础工程的抗震设计。

本书为高职高专道路与桥梁工程技术专业的教材, 也可作为其他土建类相关专业的教材以及公路工程技术人员参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

基础工程/陈东佐主编. —北京: 化学工业出版社, 2010.7

高职高专规划教材

ISBN 978-7-122-08623-5

I. 基… II. 陈… III. 地基-基础 (工程)-高等学校: 技术学院-教材 IV. TU47

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 115201 号

责任编辑: 李仙华 卓 丽 王文峡

文字编辑: 汲永臻

责任校对: 战河红

装帧设计: 尹琳琳

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 16 $\frac{3}{4}$ 字数 428 千字 2010 年 8 月北京第 1 版第 1 次印刷

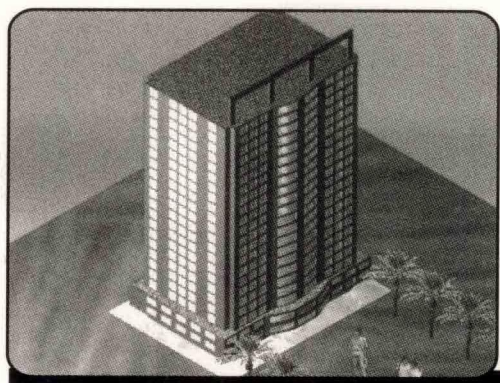
购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 29.00 元

版权所有 违者必究



高职高专土建类专业教材编审委员会

主任委员 陈安生 毛桂平

副主任委员 汪 绯 蒋红焰 陈东佐 李 达 金 文

委 员 (按姓名汉语拼音排序)·

白 哲	蔡红新	常保光	陈安生	陈东佐	窦嘉纲
冯 斌	冯秀军	龚小兰	顾期斌	何慧荣	何雄刚
洪军明	胡建琴	黄利涛	黄敏敏	蒋红焰	金 文
靳雪梅	李春燕	李 达	李掠京	李 伟	李小敏
李自林	刘昌云	刘冬梅	刘国华	刘玉清	刘志红
毛桂平	孟胜国	潘炳玉	裴建新	邵英秀	石云志
史 华	宋小壮	汤玉文	唐 新	汪 绯	汪 葵
汪 洋	王 波	王崇革	王 刚	王庆春	王锁荣
吴继锋	夏占国	肖凯成	谢延友	徐广舒	徐秀香
杨国立	杨建华	余 斌	曾学礼	张苏俊	张宪江
张小平	张宜松	张轶群	赵建军	赵 磊	赵中极
郑惠虹	郑建华	钟汉华			

前 言

随着我国公路建设的快速发展,公路桥涵地基与基础的设计方法与施工工艺取得了很大的发展。与此同时,新版《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG D63—2007)也于2007年发布,新规范对旧规范《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTJ 024—85)进行了全面修订。为了及时更新教学内容,满足实际工程需求,我们依据新规范编写了本教材。教材中涉及的其他新版规范还有:《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)、《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002)、《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2001)、《公路桥梁抗震设计细则》(JTG/T B02-01—2008)、《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008)、《湿陷性黄土地区建筑规范》(GB 50025—2004)、《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79—2002)、《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)及《公路桥涵施工技术规范》(JTJ 041—2000)。

本教材主要对桥梁工程中应用较广的天然地基浅基础和桩基础的设计计算与构造施工进行了比较详细的阐述,简要介绍了沉井基础、墩基础等,对常见的地基处理方法、特殊土地基础和地震区的基础工程等也进行了较为系统的介绍。为了便于理解和掌握课程的重点难点,方便学生自学,在浅基础、桩基础、特殊土地基础和地震区的基础工程等章节中安排了设计计算示例。

本教材以必需精要为度,力求时效性、针对性、适应性和实用性,兼顾系统性和完整性。基本概念清晰准确,基本理论简明扼要,设计计算步骤齐全,举例翔实符合工程要求,反映新材料、新技术、新理论、新标准和新规范。例如,在设计和施工方面引入目前已较多采用并首次列入规范的后压浆灌注桩容许承载力和施工技术,从而满足应用型高等专门人才培养要求的需要。本书提供PPT电子教案,可发信到 cipedu@163.com 邮箱免费获取。

本书由太原大学陈东佐教授主编,山西交通职业技术学院裴建新和阳泉职业技术学院靳雪梅副主编。参加编写的有河南城建学院白哲,山西交通职业技术学院何雄刚、李伟。全书内容共分八章,其中,第一、六章由陈东佐编写;第二、七章由靳雪梅编写;第三章由李伟编写;第四章由何雄刚编写;第五章由裴建新编写;第八章由白哲编写。

本书由辽宁城市建设职业技术学院徐秀香教授主审,徐老师审稿认真仔细,提出了许多中肯的意见,谨此表示衷心感谢。

另外,本书在编写过程中参考了近几年出版的相关书籍中的优秀内容;同时也得到了太原大学、山西交通职业技术学院、阳泉职业技术学院、河南城建学院和化学工业出版社的大力支持,编者在此对相关作者和相关单位致谢!

由于编写时间仓促和编者水平所限,书中难免有不妥之处,恳请读者在使用过程中给予指正并提出宝贵意见。

编者

2010年4月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 基础工程概述	1
一、地基与基础的概念	1
二、地基与基础的类型	2
三、基础工程的作用	3
四、基础工程的设计原则与要求	4
五、基础工程设计所需资料	5
第二节 作用、作用效应组合	7
一、作用的概念及分类	7
二、作用效应组合	8
三、地基与基础的设计组合要求	10
四、进行作用效应组合时应注意的几个问题	10
第三节 基础工程学科发展概况	11
第四节 本课程的特点及学习方法	12
一、本课程的主要内容	12
二、本课程与其他课程的关系	12
三、本课程的学习方法和要求	12
思考题	13
第二章 天然地基上的浅基础	14
第一节 概述	14
第二节 基础埋置深度的选择	15
一、工程地质条件	15
二、河流的冲刷深度	15
三、当地的冻结深度	16
四、上部结构形式	17
五、地形地貌条件	18
六、保证持力层稳定的最小埋置深度	18
第三节 地基承载力的确定	18
一、根据现场荷载试验确定地基容许承载力	18
二、根据现行规范确定地基容许承载力	18
第四节 刚性扩大基础设计	22
一、基础尺寸的确定	22
二、荷载偏心距的确定	23
三、地基承载力验算	23
四、基底合力偏心距验算	26
五、基础稳定性验算	27
六、地基稳定性验算	28
七、基础沉降验算	28
八、埋置式桥台刚性扩大基础设计示例	32
第五节 刚性扩大基础施工	38
一、旱地上基坑开挖及围护	38
二、基坑排水	40
三、水下基坑开挖时的围堰工程	42
第六节 板桩墙的计算	43
一、侧压力计算	43
二、悬臂式板桩墙的计算	44
三、单支撑板桩墙的计算	44
四、多支撑板桩墙的计算	46
五、基坑稳定性验算	47
六、封底混凝土厚度计算	48
小结	49
思考题	49
习题	50
第三章 桩基础的构造与施工	51
第一节 概述	51
一、桩基础的概念	51
二、桩基础的适用范围	52
三、桩基础的优缺点	52
第二节 桩的分类	52
一、按桩的承载性状分类	52
二、按成桩方法分类	53
三、按桩径大小分类	54

四、按桩体材料分类	54	一、钢筋混凝土预制桩施工	73
五、按施工方法分类	54	二、钢筋混凝土钻(冲)孔灌注桩施工	81
第三节 桩基础的构造	55	三、钢筋混凝土挖孔灌注桩施工	90
一、各种基桩的构造	55	四、钢筋混凝土套管成孔灌注桩施工	92
二、桩的布置和间距	57	五、钢筋混凝土爆扩灌注桩施工	95
三、承台的构造	58	六、灌注桩后压浆施工	96
第四节 单桩容许承载力	58	七、桩基工程检测	101
一、竖向荷载作用下基桩的工作性能	59	小结	104
二、单桩竖向容许承载力的确定	60	思考题	105
三、桩的负摩阻力	72	习题	105
第五节 桩基工程的施工与检测	73		
第四章 桩基础设计计算	106		
第一节 单排桩的内力和位移计算	106	第四节 承台验算	128
一、基本概念	106	一、桩顶处的局部受压验算	128
二、“m”法计算桩的内力和位移	111	二、桩对承台的冲剪验算	128
三、单排桩设计计算示例	115	三、承台抗弯及抗剪强度验算	129
第二节 多排桩的内力和位移计算	118	第五节 桩基础设计	130
一、基本概念	118	一、桩基础类型的选择	130
二、多排桩的内力和位移计算	118	二、桩径、桩长的拟定	131
三、多排桩设计计算示例	123	三、确定基桩根数及其平面布置	132
第三节 群桩基础计算	126	小结	134
一、群桩基础的工作性状及其特点	126	思考题	134
二、群桩基础承载力验算	127	习题	134
第五章 沉井基础与其他深基础	135		
第一节 沉井基础	135	四、墩基础设计要点	151
一、沉井的类型及适用范围	135	第三节 地下连续墙	153
二、沉井的构造	137	一、地下连续墙的特点及适用范围	153
三、沉井的施工	139	二、地下连续墙的类型与构造	154
四、沉井下沉过程中的常见问题及处理	143	三、地下连续墙的施工	155
五、沉井的设计与计算	145	四、地下连续墙的设计要点	159
第二节 墩基础	147	小结	161
一、墩基础的特点及类型	147	思考题	161
二、墩基础的构造	149		
三、墩基础的施工与检测	150		
第六章 地基处理	162		
第一节 概述	162	六、地基处理施工注意事项	166
一、地基处理的概念	162	第二节 复合地基概论	167
二、地基处理的目的	163	一、复合地基的定义、分类与形成条件	167
三、地基处理的对象及其特性	163	二、复合地基面积置换率、桩土荷载分担比和复合模量的概念	168
四、地基处理方法分类及适用范围	164		
五、地基处理方案的选择	166		

三、复合地基的承载力	170	加固机理	193
四、复合地基的沉降计算	171	二、CFG 桩法的适用范围	194
第三节 换填垫层法	175	三、CFG 桩复合地基的设计计算	195
一、换填垫层的加固机理	175	四、CFG 桩施工方法	196
二、换填垫层的作用	175	五、质量检验	197
三、换填垫层的适用范围及应注意的 问题	175	第七节 灰土挤密桩法和土挤密桩法	198
四、换填垫层法处理地基设计	176	一、灰土挤密桩法和土挤密桩法的加固 机理	198
五、换填垫层法的施工	180	二、灰土挤密桩法和土挤密桩法的适用 范围	198
六、质量检验	182	三、灰土挤密桩和土挤密桩复合地基 设计	198
第四节 排水固结法	182	四、灰土挤密桩和土挤密桩的施工	199
一、排水固结法的加固机理与分类	182	五、质量检验	201
二、排水固结法的适用范围	183	第八节 水泥土搅拌法	201
三、排水固结法处理地基设计要点	184	一、水泥土搅拌法的基本概念	201
四、排水固结法施工	186	二、水泥土搅拌法的适用范围	202
五、质量检验	187	三、水泥土搅拌桩复合地基主要设计 内容	202
第五节 强夯法	187	四、水泥土搅拌桩的施工	204
一、强夯法的加固机理与适用范围	187	五、质量检验	208
二、强夯法设计计算	188	小结	208
三、强夯法施工	191	思考题	209
四、质量检验	193		
第六节 水泥粉煤灰碎石桩法	193		
一、水泥粉煤灰碎石桩法 (CFG 桩) 的			
第七章 特殊土地基	210		
第一节 湿陷性黄土地基	210	三、膨胀土地基承载力	219
一、湿陷性黄土的分布及主要特征	210	四、膨胀土地区桥涵地基基础的设计 与施工	219
二、湿陷性黄土的判定和地基评价	211	第三节 冻土地区基础工程	220
三、湿陷性黄土地基的处理与结构 措施	213	一、概述	220
四、湿陷性黄土的容许承载力和 沉降计算	215	二、季节性冻土地区的地基基础	220
第二节 膨胀土地基	215	三、多年冻土地区的地基基础	222
一、膨胀土的判别及胀缩性指标	215	小结	225
二、膨胀土的地基变形量计算	217	思考题	225
第八章 基础工程的抗震设计	227	习题	226
第一节 概述	227		
一、地震的概念	227	三、建筑基础的震害	231
二、地震波及地震反应	228	第三节 建筑地基基础抗震设计	231
三、震级与烈度	228	一、抗震设计的任务与要求	231
第二节 地基基础的震害现象	229	二、抗震设计的目标和方法	232
一、地震灾害情况	229	三、场地选择	232
二、地基的震害	230	四、地基基础方案选择	236
		五、天然地基抗震承载力验算	237

六、液化判别及其抗震措施	239	三、地基基础抗震强度和稳定性验算	246
七、桩基础的抗震要求	243	四、基础工程的抗震措施	248
第四节 公路桥梁基础工程的抗震设计	245	小结	249
一、基础工程抗震设计的基本要求	245	思考题	249
二、选择对抗震有利的场地和地基	245	习题	250
附录 习题提示与答案	251		
参考文献	255		

第一章

绪 论

【知识目标】

- 掌握地基与基础的类型、作用的概念及分类
- 了解基础工程的作用，基础工程的设计原则与要求以及基础工程设计所需资料
- 掌握两种极限状态下的作用效应组合
- 熟悉地基与基础的设计组合要求以及进行作用效应组合时应注意的问题
- 了解基础工程学科发展概况以及本课程的特点与学习方法

【能力目标】

- 能够正确区分各种类型的地基与基础
- 能够深刻理解两种极限状态下的作用效应组合，为后续章节的设计计算打下一个良好的基础

第一节 基础工程概述

一、地基与基础的概念

任何建（构）筑物和道路桥梁都建造在一定的地层（土层或岩层）上。通常把直接承受建（构）筑物或道路桥梁荷载影响的地层称为地基。

基础是将建筑物承受的各种荷载传递到地基上的实体结构。房屋建筑及附属构筑物通常由上部结构及基础两大部分组成，基础是指室内地面标高（ ± 0.000 ）以下的结构；带有地下室的房屋，地下室和基础统称为地下结构或下部结构。公（铁）路桥梁通常由上部结构、墩台和基础三大部分组成，墩台及基础统称为下部结构（图 1-1）。公路涵洞、挡土墙等人工构筑物，通常由洞身或墙身及其基础两部分组成。基础应埋入地下一定深度，进入较好的地层。

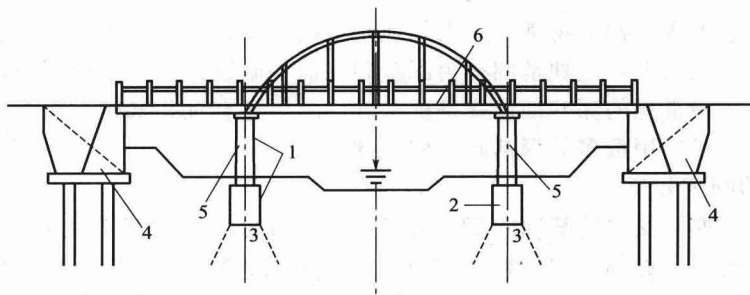


图 1-1 桥梁结构各部立面示意图

1—下部结构；2—基础；3—地基；4—桥台；5—桥墩；6—上部结构

基础起着“承上启下”的作用，也就是承受其上部作用的全部荷载，并将其传递、扩散到地基中。所以，要求基础必须具有足够的强度与稳定性，以保证整个建筑物的安全和正常使用。而地基承受着由基础传来的整个建筑物荷载，它对整个建筑物的安全和正常使用起着根本作用，所以要求地基也必须具有足够的强度与稳定性，并且变形（主要指沉降）也应在容许范围内。对于浅基础而言，地基可分为持力层和下卧层。持力层为直接与基础底面相接触的那部分地层，持力层以下受建筑物荷载影响的地层称为下卧层。整个桥梁分为上部结构和下部结构，上部结构为用于通行的桥跨结构，而下部结构包括桥墩、桥台及其基础。

基础工程是研究基础或包含基础的地下结构设计与施工的一门科学，亦称为基础工程学。基础工程既是结构工程中的一部分，又是独立的地基基础工程。基础设计与施工也就是地基基础设计与施工。其设计必须满足三个基本条件：①作用于地基上的荷载效应（基底压力）不得超过地基容许承载力或地基承载力特征值，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，具有足够防止整体破坏的安全储备；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其正常使用；③挡土墙、边坡以及地基基础保证具有足够防止失稳破坏的安全储备。荷载作用下，地基、基础和上部结构三部分彼此联系、相互制约。设计时应根据地质勘察资料，综合考虑地基-基础-上部结构的相互作用、变形协调与施工条件，进行经济技术比较，选取安全可靠、经济合理、技术先进、环境保护和施工简便的地基基础方案。

二、地基与基础的类型

根据地层变化情况、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与基础。

（一）地基的类型

地基是地层的一部分。地层包括岩层和土层，因此地基有岩石地基和土质地基之别。无论是岩层还是土层都是自然界的产物。一旦拟建场地确定，人们对地质条件便没有选择的余地，只能尽可能的对它进行了解，并合理地利用或处理。对于那些开挖基坑后就可以直接修筑基础的地基，称为天然地基；对那些不能满足要求、需要进行人工加固处理的地基称为人工地基。

（二）基础的类型

基础的类型，可按基础的埋置深度、刚度、构造形式及施工方法等来进行分类。

1. 按埋置深度分类

基础按埋置深度可分为浅基础和深基础两种。当浅层地基承载力较大时，可采用埋深较小的浅基础。浅基础施工方便，通常用明挖法从地面开挖基坑后，直接在基坑底面砌筑、浇筑基础。桥梁及各种人工构造物常采用天然地基上的浅基础。如果浅层土质不良，需将基础埋置于较深的良好土层上，这种基础称为深基础。深基础设计和施工较复杂，但具有良好的适应性和抗震性，最常见的深基础形式是桩基础，其他还有沉井基础、地下连续墙、管柱基础等。我国公路桥梁应用最多的深基础是桩基础。

2. 按基础的刚度分类

按基础的刚度亦即受力后基础的变形情况，基础可分为刚性基础和柔性基础，如图 1-2 所示。采用圬工材料（也称刚性材料），如砖、毛石、浆砌块石、混凝土、毛石混凝土等砌筑的基础称为刚性基础 [图 1-2(a)]。它是桥梁、涵洞和房屋等建筑物常用的基础类型。由于圬工材料的抗压强度大而抗弯拉强度小，所以基础受力后不容许发生挠曲变形，否则将产生开裂破坏。这种基础不需要钢材，造价较低，但圬工体积较大，且支承面积受一定限制。

采用钢筋混凝土砌筑,具有一定刚度和弹性的基础称为柔性基础或弹性基础[图 1-2(b)]。由于钢筋可以承受较大的弯曲拉应力和剪应力,所以基础受力后容许发生一定挠曲变形。当地基承载力较小时,采用这种基础可以有较大的支承面积。

3. 按构造形式分类

对于桥梁基础,按构造形式可分为实体式基础和桩柱式基础两类。当整个基础都由圬工材料筑成时,称为实体式基础,如图 1-3(a)所示。其特点是基础整体性好,自重较大,所以对地基承载力要求也较高。由多根基桩或小型管桩组成,并用承台联结成为整体的基础,称为桩柱式基础,如图 1-3(b)所示。这种基础较实体式基础圬工体积小,自重较轻,对地基强度的要求相对较低。桩柱本身一般要用钢筋混凝土制成。

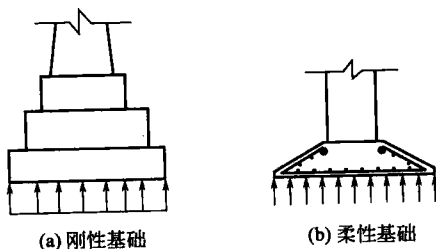


图 1-2 刚性基础和柔性基础

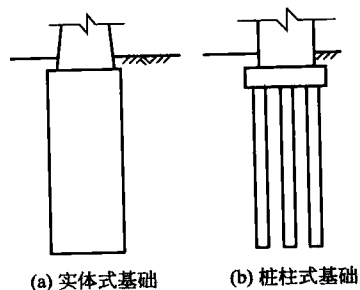


图 1-3 实体式基础和桩柱式基础

4. 按施工方法进行分类

基础按施工方法可分为明挖法、沉井、沉桩、就地钻(挖)孔灌注桩等。明挖法最为简单,但只适用于浅基础,其他方法均用于深基础。本书将在后续章节中分别介绍明挖法、沉井、沉桩、就地钻(挖)孔灌注桩等的施工方法。

5. 按基础的材料分类

目前我国公路建筑物基础大多采用混凝土或钢筋混凝土结构,少部分用钢结构。在石料丰富的地区,可就地取材,采用石砌基础。

三、基础工程的作用

(一) 基础工程的学科地位

基础工程(foundation engineering)是以土力学、建筑材料、钢筋混凝土结构、建筑施工等课程为专业基础,研究在各种可能荷载及其组合作用及一定工程地质条件和环境条件下,地基基础受力、变形和稳定性性状的变化规律及各种地基基础的设计、施工、检测与维护的专门学科,是土木工程学科的一个重要分支。

随着我国国民经济的快速发展、城市化进程的加快以及城市用地日益紧缺,城市建设向多层、高层和地下建筑发展已成必然趋势。各种新型基础形式和施工方法层出不穷,各种复杂、异形的基础平面形式的使用,给基础的设计、施工带来一系列的新课题。地铁或其他地下结构的大量兴建,也为基础工程学科开辟了新的领域。

(二) 基础工程的重要性

基础工程勘察、设计和施工质量的好坏将直接影响建筑物的安危、经济和正常使用。对整个建筑物的质量和正常使用具有十分重要的作用。

(1) 基础工程施工难度大。基础工程施工常在地下或水下进行,往往需挡土挡水,施工难度大,其进度经常控制着整个建筑物的施工进度。

(2) 基础工程造价高。在一般多层、高层建筑中,基础工程造价约占总造价的 1/4,工

期约为总工期的 25%~30%。若需采用深基础或人工地基,其造价和工期所占比例更大。

(3) 基础工程为隐蔽工程,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。一旦失事,损失巨大。

可见,地基与基础在土木工程中占有十分重要的地位,对整个建筑物的影响巨大。因此,对基础工程必须做到精心设计、精心施工。

四、基础工程的设计原则与要求

(一) 设计原则

在对基础工程进行设计的时候,要遵循以下设计原则。

(1) 保证所承载的建筑物的质量和功能要求,也就是技术上要求建筑物安全、适用、耐久。

(2) 保证设计方案的经济合理性。即要求在保证建筑物安全、适用、耐久的前提下,总造价尽可能低廉。

(3) 保证设计方案的可行性。也就是根据当时、当地的具体情况(如技术和施工队伍的能力和水平、材料、机械设备的供应及施工现场其他的具体条件等),实现设计方案是切实可行的。

为了使全国各地都有一个统一的设计依据和标准,各建设部门都制定了相应的设计规范,这些规范是根据我国的现有生产技术水平、实际经验和科学研究成果,结合各专业的特殊要求编制出来的。其中《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG D63—2007)是公路桥涵地基与基础设计的直接依据,对公路桥涵地基和基础的设计计算作了一系列具体的规定和要求。

(二) 设计要求

基础工程设计的基本要求如下。

(1) 地基的强度条件。要求作用于地基的荷载不得超过地基的容许承载能力,保证地基不发生整体强度破坏。

(2) 地基的稳定条件。地基的土(岩)体必须稳定,保证在建(构)筑物使用期间,不发生开裂、滑动和塌陷等有害现象,防止地基土从基础底面被水流冲刷掉。

(3) 地基的变形条件。控制基础的沉降不超过地基的容许变形值,保证建(构)筑物不因地基变形而损坏或影响其正常使用。

(4) 基础的强度条件。基础具有足够的强度,以保证基础本身坚固耐用。

建筑物是一个整体,地基、基础、墩台和上部结构是共同工作且相互影响的。地基的任何变形都必定引起基础、墩台和上部结构的变形;不同类型的基础会影响上部结构的受力和工作;上部结构的力学特征也必然对基础的类型与地基的强度、变形和稳定条件提出相应的要求;地基和基础的不均匀沉降对于超静定的上部结构影响较大,因为较小的基础沉降差就能引起上部结构产生较大的内力。同时恰当的上部结构、墩台结构形式也具有一定的适应地基基础受力条件和位移情况的能力。

对于特定的建筑物,采用何种类型的地基、配合何种形式的基础,是建筑物设计最基本的问题之一。设计时应根据场地地质勘察资料,综合考虑地基、基础、上部结构的相互作用与当地施工水平及场地施工条件,通过技术经济比较,选取安全可靠、经济合理、技术先进、保护环境的地基基础方案。

目前,要把这几部分完全统一起来进行设计还有困难,现阶段采用的常规设计方法是这几部分分开,按照静力平衡的原则,采用不同的假定进行分析计算,同时考虑地基-基础-上部结构的相互共同作用。

地基基础设计时,要想满足上述要求,必须在着手设计前,首先掌握准确、足够而又必要的资料。

(三) 基础工程设计采用概率极限状态设计法

应用可靠度理论进行工程结构设计是当前国际上一种共同发展的趋势,是工程结构设计领域一次带有根本性的变革。可靠性分析设计又称概率极限状态设计。可靠性含义就是指系统在规定的时间内在规定的条件下完成预定功能的概率。系统不能完成预定功能的概率即是失效概率。这种以统计分析确定的失效概率来度量系统可靠性的方法即为概率极限状态设计方法。

在20世纪80年代,我国在建筑结构工程领域开始逐步全面引入概率极限状态设计原则,1984年颁布的国家标准《建筑结构设计统一标准》采用了概率极限状态设计方法;以分项系数描述的设计表达式代替原来的用总安全系数描述的设计表达式。1999年6月建设部批准颁布了推荐性国家标准《公路工程可靠度设计统一标准》,2001年11月建设部又颁发了新的国家标准《建筑结构设计统一标准》。根据《公路工程可靠度设计统一标准》的规定,一批结构设计规范都作了相应的修订,采用了概率极限状态法的设计表达式,如《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》等。

由于地基土是在漫长的地质年代中形成的,是大自然的产物,其性质十分复杂。不仅不同地点的土性差别很大,即使同一地点、同一土层的土,其性质也随位置不同而发生变化。所以地基土具有比任何人工材料大得多的变异性,它的复杂性质不仅难以人为控制,而且要清楚认识它也很不容易。在进行地基可靠性研究的过程中,取样、代表性样品选择、试验、成果整理分析等各个环节都有可能带来一系列的不确定性,增加测试数据的变异性,从而影响到最终分析结果。地基土因位置不同引起的固有可变性,样品测值与真实土性值之间的差异性,以及有限数量所造成误差等,就构成了地基土材料特性变异的主要来源。这种变异性比一般人工材料的变异性大。因此,地基可靠性分析的精度,在很大程度上取决于土性参数统计分析的精度。如何恰当地对地基土性参数进行概率统计分析,是基础工程最重要的问题之一。

我国基础工程可靠度研究始于20世纪80年代初,虽然起步较晚,但发展很快,研究涉及的课题范围较广,有些课题的研究成果,已达国际先进水平。但由于研究对象的复杂性,基础工程的可靠度研究落后于上部结构可靠度的研究。可喜的是现已将基础工程可靠度研究成果纳入设计规范,进入实用阶段。

《公路桥涵地基基础设计规范》(JTGD63—2007)引入了公路桥涵设计的极限状态原则。根据地基的变形性质,明确将地基设计定位于正常使用极限状态,相应的作用采用短期效应组合或长期效应组合。地基承载力计算时,承载力的选取以不出现长期塑性变形,同时考虑相应于承载力的地基变形与结构构件的变形具有不同的功能,作用不采用构件变形计算的短期效应组合,而取用短期效应标准值组合。基础沉降计算时,则不仅考虑结构自重对沉降有影响,而且在桥涵使用期内可变作用的准永久值持续时间很长,对沉降也有很大的影响,作用采用了其长期效应组合,摒弃了原规范按结构自重计算的规定。至于基础结构,与结构构件一样也进行两类极限状态设计:基础结构承载力和稳定性按承载能力极限状态设计;裂缝宽度等按正常使用极限状态设计;使得公路桥涵地基基础设计规范与公路桥梁系列设计规范的体系相协调。

五、基础工程设计所需资料

桥梁的地基与基础在设计及施工开始之前,除了应掌握有关全桥的资料,包括上部结构形式、跨径、作用、墩台结构等及国家颁发的桥梁设计和施工技术规范外,还应注意地质、

水文资料的搜集和分析,重视土质和建筑材料的调查与试验。主要应掌握的地质、水文、地形等资料如表 1-1 所列,其中各项资料内容范围可根据桥梁工程规模、重要性及建桥地点工程地质、水文条件的具体情况和设计阶段确定取舍。原始资料取得的方法和具体规定可参阅工程地质、土质学与土力学及桥涵水文等有关教材和手册。

表 1-1 基础工程设计和施工所需资料

资料种类		资料主要内容	资料用途
桥位平面图(或桥址地形图)		(1)桥位地形 (2)桥位附近地貌、地物 (3)不良工程地质现象的分布位置 (4)桥位与两端路线平面关系 (5)桥位与河道平面关系	(1)桥位的选择、下部结构位置的研究 (2)施工现场的布置 (3)地质概况的辅助资料 (4)河岸冲刷及水流方向改变的估计 (5)墩台、基础防护构造物的布置
桥位工程地质勘测报告及工程地质纵剖面图		(1)桥位地质勘测调查资料包括河床地层分层土(岩)类及岩性,层面高程,钻孔位置及钻孔柱状图 (2)地质、地史资料的说明 (3)不良工程地质现象及特殊地貌的调查勘测资料	(1)桥位、下部结构位置的选定 (2)地基持力层的选定 (3)墩台高度、结构形式的选定 (4)墩台、基础防护构筑物的布置
地基土质调查及有关试验报告		(1)钻孔资料 (2)覆盖层及地基土(岩)层状生成分布情况 (3)分层土(岩)层状生成分布情况 (4)土工试验报告 (5)地下水位调查	(1)分析和掌握地基土层的层状分布 (2)地基持力层及基础埋置深度的研究与确定 (3)地基各土层强度及有关计算参数的选定 (4)基础类型和构造的确定 (5)基础沉降量的计算
河流水文调查		(1)桥位附近河道纵横断面图 (2)有关流速、流量、水位调查资料 (3)各种冲刷深度的计算资料 (4)通航等级、漂浮物、流冰调查资料	(1)确定根据河流冲刷要求所需的基础埋置深度 (2)桥墩身水平作用力计算 (3)施工季节、施工方法的研究
其他调查资料	地震	(1)地震记录 (2)震害调查	(1)确定抗震设计强度 (2)抗震设计方法和抗震措施的确定 (3)地基土振动液化和岸坡滑移的分析研究
	建筑材料	(1)就地可采取、供应的建筑材料种类、数量、规格、质量、运距等 (2)当地工业加工能力、运输条件有关资料 (3)工程用水调查	(1)下部结构采用材料种类的确定 (2)就地供应材料的计算和计划安排
	气象	(1)当地气象台有关气温变化、降水量、风向风力等记录资料 (2)实地调查采访记录	(1)气温变化的确定 (2)基础埋置深度的确定 (3)风压的确定 (4)施工季节和方法的确定
	附近桥梁的调查	(1)附近桥梁结构形式、设计书、图纸、现状 (2)地质、地基土(岩)性质 (3)河道变动、冲刷、淤积情况 (4)营运情况及墩台变形情况	(1)掌握架桥地点地质、地基土情况 (2)基础埋置深度的参考 (3)河道冲刷和改道情况的参考
	施工调查资料		(1)施工方法及施工适宜季节的确定 (2)工程用地的布置 (3)工程材料、设备供应、运输方案的拟订 (4)工程动力及临时设备的规划 (5)施工临时建筑的规划

第二节 作用、作用效应组合

一、作用的概念及分类

(一) 作用的概念

作用是指直接施加在结构上的外力,或引起结构外加变形或约束变形的原因。前者称直接作用(亦称荷载),如车辆、人群、结构自重等;后者称间接作用,它不是以外力形式施加于结构,它们产生的效应与结构本身的特性、结构所处环境有关,如地震、基础变位、混凝土收缩徐变、温度变化等。

在结构设计时,针对不同设计目的所采用的各种作用规定值,称为作用代表值。设计的要求不同,采用的代表值也不同。作用代表值一般可分为标准值、频遇值和准永久值。作用的标准值是作用的基本代表值,频遇值和准永久值一般可在标准值的基础上计入不同的系数后得到。

作用的设计值为作用的标准值乘以相应的分项系数。

作用效应是指结构对所受作用的反应,如由作用产生的结构或构件的轴向力、弯矩、剪力、裂缝、变形和位移等。

(二) 作用的分类

为了便于设计时应用,将作用于桥涵及其他结构物上的各种作用,按其作用时间和出现的频率分为三类,即永久作用、可变作用和偶然作用。

1. 永久作用

永久作用是指在结构使用期间,其量值不随时间而变化,或其变化值与平均值比较可忽略不计的作用。永久作用包括结构重力、预加力、土的重力、土侧压力、混凝土收缩及徐变作用、水的浮力、基础变位作用。

永久作用应采用标准值作为代表值。

土的重力标准值可按作用于基础上的土的体积与土的重力密度计算确定。

结构重力标准值可按结构构件的设计尺寸与材料的重力密度计算确定。

土侧压力标准值可按土质学与土力学及《公路桥涵设计通用规范》(JTJ 60—2004)中有关的规定采用。

水的浮力为水作用于建筑物基础底面的由下向上的力,其大小等于建筑物排开的水的重量。地表水或地下水通过与土体孔隙中自由水的连通来传递水压力与浮力。水是否能渗入基底是产生水浮力的前提条件,因此,水的浮力与地基土的透水性、地基与基础的接触状态以及水压力大小(水头高低)和浸水时间等因素有关。

根据《公路桥涵设计通用规范》(JTJ 60—2004),水的浮力应分别按下列规定采用:

① 基础底面位于透水性地基上的桥梁墩台,当验算稳定时,应考虑设计水位的浮力;当验算地基应力时,可仅考虑低水位的浮力,或不考虑水的浮力;

② 基础嵌入不透性地基的桥梁墩台,不考虑水的浮力;

③ 作用在桩基承台底面的浮力,应考虑全部底面积;对桩嵌入不透水地基并灌注混凝土封闭者,不应考虑桩的浮力,在计算承台底面浮力时应扣除桩的截面面积;

④ 当不能确定地基是否透水时,应以透水或不透水两种情况与其他作用组合,取其最不利者。

预加力、混凝土收缩及徐变作用、基础变位作用的标准值,可按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ D62—2004)中的规定采用。

2. 可变作用

可变作用是指在结构使用期间,其量值随时间变化,且其变化值与平均值比较不可忽略的作用。可变作用包括汽车荷载、汽车冲击力、汽车离心力、汽车引起的土侧压力、人群荷载、汽车制动力、风荷载、流水压力、冰压力、温度(均匀温度和梯度温度)作用。

可变作用应根据不同的极限状态分别采用标准值、频遇值或准永久值作为其代表值。

承载能力极限状态设计及按弹性阶段计算结构强度时,应采用标准值作为可变作用的代表值。正常使用极限状态按短期效应(频率)组合设计时,应采用频遇值作为可变作用的代表值;按长期效应(准永久)组合设计时,应采用准永久值作为可变作用的代表值。

可变作用的标准值应按《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)中有关规定采用。可变作用频遇值为可变作用标准值乘以频遇值系数,可变作用准永久值为可变作用标准值乘以准永久值系数。

3. 偶然作用

偶然作用是指在结构使用期间出现的概率很小,一旦出现,其值很大且持续时间很短的作用。偶然作用包括地震作用、船只或漂流物的撞击作用、汽车的撞击作用。

偶然作用采用标准值作为代表值。

地震作用标准值按现行《公路工程抗震设计规范》的规定采用。船只或漂流物的撞击作用、汽车的撞击作用标准值,按《公路桥涵设计通用规范》中有关规定采用。偶然作用标准值也可根据调查、试验资料,结合工程经验确定。

二、作用效应组合

结构上几种作用分别产生的效应的随机叠加称作作用效应组合。地基与基础设计应考虑整个结构上可能同时出现的作用(如除永久作用外,可能同时出现汽车荷载、人群荷载等可变作用),并根据各种作用的特性及出现的概率,按承载能力极限状态和正常使用极限状态进行作用效应组合,并取其最不利效应组合进行设计。

(一) 承载能力极限状态的作用效应组合

按承载能力极限状态设计时,结构构件自身承载力及稳定性验算应采用作用效应基本组合和偶然组合。

1. 基本组合

基本组合为永久作用设计值效应与可变作用设计值效应相组合,其表达式如下:

$$S = \gamma_0 S_{ud} = \gamma_0 \left(\sum_{i=1}^m \gamma_{Gi} S_{Gik} + \gamma_{Q1} S_{Q1k} + \psi_c \sum_{j=2}^n \gamma_{Qj} S_{Qjk} \right) \quad (1-1)$$

式中 γ_0 ——结构重要性系数,根据设计安全等级采用,对应于设计安全等级一级、二级、三级分别取 1.1、1.0、0.9;

S_{ud} ——承载能力极限状态下的作用效应基本组合设计值;

S_{Gik} ——第 i 个永久作用效应的标准值;

γ_{Gi} ——第 i 个永久作用效应的分项系数,应按表 1-2 的规定采用;

S_{Q1k} , S_{Qjk} ——汽车荷载效应(含汽车冲击力、离心力)和其他第 j 个可变荷载效应的标准值;

γ_{Q1} , γ_{Qj} ——第一个和其他第 j 个可变荷载的分项系数,风荷载取 1.1,其他取 1.4;各项可变荷载中,在结构中产生效应最大者为第一个可变荷载,一般是汽车荷载效应(含汽车冲击力、离心力);

ψ_c ——除汽车荷载效应(含汽车冲击力、离心力)外的其他可变作用效应组合系数,当永久作用与汽车荷载和人群荷载(或其他一种可变作用)组合时,人群荷