



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
全国交通土建高职高专规划教材

(第二版)

基础工程

Jichu Gongcheng

陈方晔 主 编

盛 涌 副主编

赵明华 [湖南大学]

詹建辉 [湖北省交通规划设计院]

主 审



人民交通出版社

China Communications Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
全国交通土建高职高专规划教材

Jichu Gongcheng

基 础 工 程

(第二版)

陈方晔 主 编

盛 涌 副主编

赵明华[湖南大学]

詹建辉[湖北省交通规划设计院]

主 审

人 民 交 通 出 版 社

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,全国交通土建高职高专规划教材。主要介绍公路桥梁常用的各种基础的设计理论、计算方法及施工技术,同时介绍了基础工程施工质量控制及检测方法、地基加固方法和特殊地基与地震地区的基础工程的基本内容。

本书可作为道路桥梁工程技术等专业高职高专教材,也可作为土木建筑类的函授及相关专业的教材,对有关专业的工程技术人员也有参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

基础工程/陈方晔主编.—2版.—北京:人民交通出版社,2008.7

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-114-07156-0

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 084187 号

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

书 名: 全国交通土建高职高专规划教材

基础工程(第二版)

著 作 者: 陈方晔

责任编辑: 卢仲贤 刘 倩

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: 11.25

字 数: 267千

版 次: 2002年8月 第1版

2008年7月 第2版

印 次: 2008年7月 第2版第1次印刷 总第14次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-07156-0

印 数: 63001~68000册

定 价: 19.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

全国交通土建高职高专规划教材编审委员会

主任委员 张洪滨(吉林交通职业技术学院)

副主任委员 (按姓氏笔画为序)

田 平 (河北交通职业技术学院)

刘建明 (青海交通职业技术学院)

李加林 (广东交通职业技术学院)

陆春其 (南京交通职业技术学院)

钟建民 (山西交通职业技术学院)

郭发忠 (浙江交通职业技术学院)

刘 志 (贵州交通职业技术学院)

陈方晔 (湖北交通职业技术学院)

李全文 (四川交通职业技术学院)

张润虎 (贵州交通职业技术学院)

俞高明 (安徽交通职业技术学院)

彭富强 (湖南交通职业技术学院)

委 员 (按姓氏笔画为序)

王丰胜 (安徽交通职业技术学院)

王连威 (吉林交通职业技术学院)

王常才 (安徽交通职业技术学院)

孙元桃 (宁夏交通学校)

刘福明 (南昌工程学院)

杨 平 (四川交通职业技术学院)

陈纪胜 (甘肃交通职业技术学院)

张保成 (内蒙古大学交通学院)

杨晓丰 (黑龙江工程学院)

吴继锋 (江西交通职业技术学院)

周传林 (南京交通职业技术学院)

周志坚 (福建交通职业技术学院)

易 操 (湖北城市建设职业技术学院)

赵树青 (山东交通职业学院)

晏 杉 (云南交通职业技术学院)

夏连学 (河南交通职业技术学院)

梁金江 (广西交通职业技术学院)

程兴新 (陕西省交通厅交通工程定额站)

谢远光 (重庆交通职业技术学院)

薛安顺 (陕西交通职业技术学院)

王 彤 (辽宁交通高等专科学校)

王海春 (青海交通职业技术学院)

王穗平 (河南交通职业技术学院)

刘孟良 (湖南城建职业技术学院)

李中秋 (河北交通职业技术学院)

李仕东 (鲁东大学交通学院)

沈建康 (徐州建筑职业技术学院)

张美珍 (山西交通职业技术学院)

张铁成 (广东同望科技股份有限公司)

李绪梅 (新疆交通职业技术学院)

金仲秋 (浙江交通职业技术学院)

金 桃 (贵州交通职业技术学院)

姚 丽 (辽宁交通高等专科学校)

高占云 (呼和浩特职业学院)

郭秀芹 (山东省公路高级技工学校)

栗振锋 (太原科技大学)

曹雪梅 (四川交通职业技术学院)

彭 芳 (内蒙古河套大学)

裴俊华 (甘肃林业职业技术学院)

秘 书 长 卢仲贤 (人民交通出版社)

总 序

针对高职高专教材建设与发展问题,教育部在《关于加强高职高专教材建设的若干意见》中明确指出:先用2~3年时间,解决好高职高专教材的有无问题,再用2~3年时间,推出一批特色鲜明的高质量的高职高专教育教材,形成**一纲多本、优化配套**的高职高专教育教材体系。

2001年7月,由人民交通出版社发起组织,15所交通高职院校的路桥系主任和骨干教师相聚昆明,研讨交通土建高职高专教材的建设规划,提出了28种高职高专教材的编写与出版计划。后在交通部科教司路桥工程学科委员会的具体指导下,在人民交通出版社精心安排、精心组织下,于2002年7月前完成了28种路桥专业高职高专教材出版工作。

这套教材的出版发行,首先解决了交通高职教育教材的有无问题,有力支持了路桥专业高职教育的顺利发展,也受到了全国各高职院校的普遍欢迎。

随着高职教育教学改革的深入发展、高职教学经验的丰富与积累,以及本行业有关技术标准、规范的更新,本套教材在使用了2~3轮的基础上,对教材适时进行修订是十分必要的,时机也是成熟的。

2004年8月,人民交通出版社在新疆乌鲁木齐召开了有19所交通高职院校领导、系主任、骨干教师共41人参加的教材修订研讨会。会议商定了本套教材修订的基本原则、方法和具体要求。会议决定本套教材更名为“交通土建高职高专统编教材”,并成立了以吉林交通职业技术学院张洪滨为主任委员的“交通土建高职高专统编教材编审委员会”,全面负责本套教材的修订与后续补充教材的建设工作。

2005年6月,编委会在长春召开了同属交通土建大类、与路桥专业链接紧密的“工程监理专业、工程造价专业、高等级公路维护与管理专业”主干课程教材研讨会,正式规划和启动了这三个专业教材的编写出版工作。

2005年12月,教育部高等教育司发布了“关于申报普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”选题的通知(教高司函[2005]195号),人民交通出版社积极推荐本套教材参加了“十一五”国家级规划教材选题的评选。

2006年6月,经教育部组织专家评选、网上公示,本套教材中有十五种入选为“十一五”国家级规划教材,2008年1月,又有六种教材在“十一五”国家级规划教材补报中列选,共计21种,标志着广大参与本套教材编写的教师的辛勤劳动得到了社会的认可、本套教材的编写质量得到了社会的认同。

2006年7月,交通土建高职高专统编教材编审委员会及时在银川召开会议,有24所各省区交通高职院校或开办有交通土建类专业的高等学校系部主任、专业带头人、骨干教师以及人民交通出版社领导共39位代表出席了本次会议。会议就全面落实教育部“十一五”国家级规划教材的编写工作进行了研讨。与会代表一致认为必须以入选的十五种国家级规划教材为基本标准,进一步全面提升本套教材的编写质量,编审委员会将严格按照国家级规划教材的要求审稿把关,并决定本套教材更名为“**全国交通土建高职高专规划教材**”,原编委会相应更名为“**全国交通土建高职高专规划教材编审委员会**”。以期在全国绝大多数交通高职院校和开办有交通土建类专业的高等院校的参与、统筹、规划下,本套教材中有更多的进入“十一五”国家

级规划教材行列。

2007年5月,编委会在湖南长沙召开工作会议,就“十一五”国家级规划教材主参编人员的确定和教材的编写原则作出了具体安排,全面启动“十一五”国家级规划教材的编写与出版工作。

2008年4月,编委会在广东珠海召开工作会议,研讨了“工学结合”高职高专教材编写思路,决定在“十一五”国家级规划教材编写过程中,注重高职教学改革新方向,注重工程实践经验的引入,倡导“工学结合”。

本套高职高专规划教材具有以下特色:

——顺应交通高职院校人才培养模式和教学内容体系改革的要求,按照专业培养目标,进一步加强教材内容的针对性和实用性,适应学制转变,合理精简和完善内容,调整教材体系,贴近模块式教学的要求;

——实施开放式的教材编审模式,聘请高等院校知名教授和生产一线专家直接介入教材的编审工作,更加有利于对教材基本理论的严格把关,有利于反映科研生产一线的最新技术,也使得技能培训与实际紧密结合;

——全面反映2003年以来的公路工程行业已颁布实施的新标准、规范;

——服务于师生、服务于教学,重点突出,逐章均配有思考题或习题,并给出本教材的参考教学大纲;

——注重学生基本素质、基本能力的培养,教材从内容上、形式上力求更加贴近实际;

——为加强学生的实际动手能力,针对《工程测量》、《道路建筑材料》等课程,本套教材特别配套有实训类辅导教材;

——为方便教学,本套教材配套有《道路工程制图多媒体教材》、《公路工程试验实训多媒体教材》、《路基路面施工与养护技术多媒体教材》、《桥涵设计多媒体教材》、《桥涵施工技术多媒体教材》、《现代道路测量仪器与技术多媒体教材》等。

本套教材的出版与修订再版,始终得到了交通部科教司路桥工程学科委员会和全国交通职教路桥专业委员会的指导与支持,凝聚了交通行业专家、教师群体的智慧和辛勤劳动。愿我们共同向精品教材的目标持续努力。

向所有关心、支持本套教材编写出版的各级领导、专家、教师、同学和朋友们致以敬意和谢意。

全国交通土建高职高专规划教材编审委员会

人民交通出版社

2008年5月

第二版前言

本教材第一版于2002年8月出版。经过全国各交通职业院校近6年时间的教学实践检验,本书得到了相关院校师生的肯定与好评。2006年,本教材被教育部评选为“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”。随着我国公路建设的快速发展,地基与基础的设计与施工方法有了很大的进步与发展,因此本书的内容亦亟待更新。

2007年11月,新出版了《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG D63—2007),在部分内容上对旧规范(JTJ 024—85)进行了修订。针对以上情况,在全国交通土建高职高专规划教材编审委员会的统一协调下,根据“十一五”国家级规划教材的编写要求,在充分吸取各使用院校和工程单位意见的基础上对本书进行了重新编写。2007年4月,交通土建高职高专规划教材编审委员会在湖南交通职业技术学院召开“‘十一五’国家级规划教材编写工作会议”,会议对所属专业的教材编写工作提出了新的要求。

本书是根据《基础工程》教材编写大纲并参考《基础工程》课程基本要求编写的。全书共分六章,分别叙述了基础工程设计所需的基本资料及其设计特点、扩大基础的设计与施工、桩基础的设计与施工、沉井基础的设计与施工、地基加固、特殊地基及地震地区的基础工程等内容。

本书除了对一些基本概念着重叙述以外,对常见基础的设计计算理论与方法也作了详细介绍。为便于学生掌握所学内容,针对每一章的特点,编写了详细、典型的例题,并在每章后附有思考题与习题。

本书由湖北交通职业技术学院陈方晔编写第一章,刘德品编写第二章,黄新明、刘德品编写第三章,青海交通职业技术学院莫延英编写第四章,许华章、陈方晔编写第五章,四川交通职业技术学院盛涌编写第六章。全书由陈方晔、盛涌主编,湖北省交通规划设计院詹建辉教授级高工、湖南大学赵明华教授主审。

由于编写时间和编写水平有限,本书缺点及不当之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者

2007年5月于武汉

第一版前言

本教材是根据交通职业技术教育路桥工程学科委员会高职教材建设联络组于2001年7月在昆明会议上作出的要求而编写的。按照高职教育人才培养模式的基本特征:以培养高等技术应用型专门人才为根本任务;以适应社会需要为目标,以培养技术应用能力为主线设计学生的知识、能力、素质结构和培养方案,具有基础理论适度、技术应用能力强、知识面较宽、素质高等特点;以“应用”为主旨和特征构建课程和教学内容体系。在编写过程中,对全书内容的权衡取舍,作了详细的斟酌,力求符合“路桥专业高职教材编审原则”。

本书编写具体情况为:第一章、第五章由安徽交通职业技术学院杨爱武编写;第二章由湖北交通职业技术学院陈晏松编写;第三章由陕西交通职业技术学院杨俊明编写;第四章、第六章由吉林交通职业技术学院张求书编写。全书由陈晏松主编,由王经羲(安徽交通职业技术学院)主审。

本教材定稿前于2002年7月在安徽交通职业技术学院召开了审稿会,参加审稿会的有王经羲、陈晏松、杨爱武老师。

考虑到地区性差异及各院校具体情况不同,授课过程中教师可对书中内容进行适当增删。

本教材在编写过程中,得到了人民交通出版社卢仲贤、安徽交通职业技术学院俞高明、陕西交通职业技术学院程兴新、吉林交通职业技术学院张洪滨的指导和帮助,同时附于书末的参考书目作者们对本书完成给予了巨大的支持,在此一并衷心致谢。

限于编者水平及能力,书中错误和不足在所难免,恳请读者提出宝贵意见。

编者
2002年7月

目 录

第一章 导论	1
第一节 概述.....	1
第二节 基础工程设计和施工所需的原始资料及作用效应组合的计算.....	2
第三节 基础工程设计计算应注意的事项.....	5
第四节 基础工程学科发展概况.....	6
思考题与习题.....	7
第二章 天然地基上的浅基础	8
第一节 天然地基上浅基础的类型、构造及适用条件.....	8
第二节 刚性扩大基础施工.....	10
第三节 板桩墙的计算.....	13
第四节 地基承载力的确定.....	17
第五节 刚性扩大基础的设计与计算.....	21
思考题与习题.....	40
第三章 桩基础	41
第一节 概述.....	41
第二节 桩和桩基础的类型及构造.....	42
第三节 桩基础施工.....	47
第四节 单桩承载力.....	60
第五节 基桩内力和位移计算.....	73
第六节 竖向荷载下群桩基础的受力分析.....	90
第七节 桩基础设计.....	93
第八节 桩基础工程质量控制及检验方法.....	97
思考题与习题.....	100
第四章 沉井基础	101
第一节 概述.....	101
第二节 沉井的类型与构造.....	102
第三节 沉井的施工.....	104
第四节 沉井的设计与计算.....	111
第五节 沉井在施工过程中的结构强度计算.....	116
第六节 沉井基础工程质量控制及检验方法.....	124
思考题与习题.....	125
第五章 软弱地基处理	126

第一节 概述	126
第二节 软土地基	128
第三节 换土垫层法	131
第四节 排水固结法	133
第五节 挤(振)密法	136
第六节 化学固化法	141
第七节 土工合成材料加筋法	144
思考题与习题	147
第六章 特殊地基处理	148
第一节 湿陷性黄土地基	148
第二节 冻土地区的地基与基础	153
第三节 地震区的地基与基础	160
思考题与习题	163
课程教学大纲	164
参考文献	168

第一章 导 论

第一节 概 述

任何建筑物都建造在一定的地层上,建筑物的全部作用都由它下面的地层来承担。受建筑物影响的那一部分地层称为地基,建筑物与地基接触的部分称为基础。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。基础工程包括建筑物的地基与基础的设计与施工。

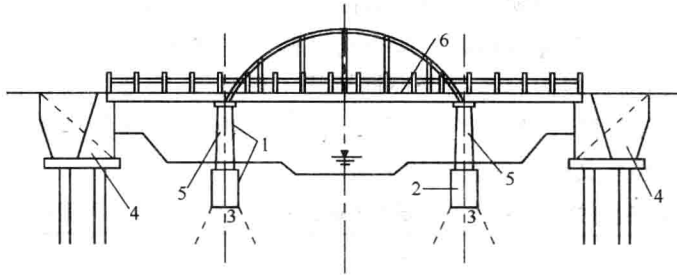


图 1-1 桥梁结构各部立面示意图

1-下部结构;2-基础;3-地基;4-桥台;5-桥墩;6-上部结构

地基与基础在各种作用下将产生附加应力和变形。为了保证建筑物的正常使用与安全,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、上部结构的要求、作用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与人工地基。未经人工处理就可以满足设计要求的地基称为天然地基。如果天然地层土质过于软弱或存在不良工程地质问题,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。

基础根据埋置深度不同分为浅基础和深基础。通常将埋置深度较浅,且施工简单的基础称为浅基础;若浅层土质不良,需将基础置于较深的良好土层上,且施工较复杂的基础称为深基础。基础埋置在土层内深度虽较浅,但在水下部分较深,如深水中桥墩基础,称为深水基础。桥梁及各种人工构造物常采用天然地基上的浅基础。当需设置深基础时常采用桩基础或沉井基础,我国公路桥梁应用最多的深基础是桩基础。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,为就地取材,也常用石砌基础。只有在特殊情况下(如抢修、搭建临时便桥)采用木结构。

工程实践表明:建筑物地基与基础的设计和施工质量的优劣,对整个建筑物的质量和正常使用起着根本的作用。基础工程是隐蔽工程,如有缺陷,较难发现,也较难弥补和修复,这些缺陷往往直接影响整个建筑物的使用甚至安全。基础工程的施工进度,经常控制整个建筑物的施工进度。基础工程的造价,通常在整个建筑物造价中占相当大的比例,尤其是在复杂的地质条件下或深水中修建基础更是如此。因此,对基础工程必须做到精心设计、精心施工。

第二节 基础工程设计和施工所需的原始资料及作用效应组合的计算

地基与基础的设计方案、计算中有关参数的选用,都需要根据当地的地质条件、水文条件、上部结构形式、作用特性、材料情况及施工要求等因素全面考虑。施工方案和方法也应该结合设计要求、现场地形、地质条件、施工技术设备、施工季节、气候和水文等情况来研究确定。因此,应在事前通过详细的调查研究,充分掌握必要的、符合实际情况的原始资料。本节对桥梁基础工程所需原始资料及确定作用计算原则作简要介绍。

一、基础工程设计和施工需要的原始资料

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。

基础工程有关设计和施工需要的地质、水文、地形及现场各种调查资料 表 1-1

资料种类	资料主要内容	资料用途
1. 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
2. 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、基础防护构造物的布置
3. 地基土质试验报告	(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) 作用试验报告; (5) 地下水位调查	(1) 分析和掌握地基的层状; (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) 基础下沉量的计算
4. 河流水文调查报告	(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) 确定根据冲刷要求基础的埋置深度; (2) 桥墩身水平作用力计算; (3) 施工季节、施工方法的研究

资料种类	资料主要内容		资料用途
5. 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、运输方案的拟定; (4)工程动力及临时设备的规划; (5)施工临时结构的规划

二、作用效应组合的计算

(一)作用的分类与计算

在桥梁墩台上的永久作用(恒载)包括结构物的自重、土重力及土产生的侧向压力、水的浮力、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;可变作用有汽车荷载、汽车冲击力、汽车离心力、汽车引起的土侧压力、人群作用、风荷载、汽车制动力、流水压力、冰压力、支座摩阻力、温度(均匀温度和梯度温度)作用;偶然作用有船舶或漂流物撞击作用、汽车撞击作用和地震作用。各种作用的计算按《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)有关规定执行。

对在水下的土中结构物和地基土受到水的浮力可按下列规定采用:

1. 基础底面位于透水性地基上的桥梁墩台,当验算稳定性时,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. 基础嵌入不透水性地基上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. 当不能肯定地基是否透水时,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。

(二) 作用效应组合

按照各种作用的特性及出现的几率不同,在设计计算时,应考虑结构上可能同时出现的作用按承载力极限状态和正常使用极限状态进行作用效应组合,取其最不利效应进行组合。

1. 按承载力极限状态要求,结构构件自身承载力及稳定性应采用作用效应基本组合和偶然组合进行验算。

(1) 基本组合

承载力验算时作用效应组合表达式、结构重要性系数、各效应的分项系数及效应组合系数按《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)的规定执行;稳定性验算时,上述各项系数均取为1.0。

(2) 偶然组合(不包括地震作用)

作用效应组合可采用下式:

$$\gamma_0 S_{ad} = \gamma_0 \left(\sum_{i=1}^m \gamma_{Gi} S_{Gik} + \gamma_a S_{ak} + \Psi_{11} S_{Q1k} + \sum_{j=2}^n \Psi_{2j} S_{Qjk} \right)$$

式中: γ_0 ——结构重要性系数,取 $\gamma_0 = 1.0$;

S_{ad} ——承载力极限状态下作用偶然组合的效应组合值;

S_{Gik} ——第*i*个永久作用标准值效应;

S_{ak} ——偶然作用标准值效应;

S_{Q1k} ——除偶然作用外,第一个可变作用标准值效应,该标准值效应大于其他任意第*j*个可变作用标准值效应;

S_{Qjk} ——其他第*j*个可变作用标准值效应;

Ψ_{11} ——第一个可变作用的频遇值系数,按《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)的规定取用;稳定验算时取 $\Psi_{11} = 1.0$;

Ψ_{2j} ——其他第*j*个可变作用的准永久值系数,按《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)的规定采用;稳定验算时取 $\Psi_{2j} = 1.0$;

γ_{Gi} 、 γ_a ——上面表达式中相应作用效应的分项系数,均取值为1.0。

2. 当基础结构需要进行正常使用极限状态设计时,作用短期效应组合和长期效应组合表达式、频遇值系数及准永久值系数,均应按《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)确定。

为保证地基与基础满足强度稳定性和变形方面的要求,应根据建筑物所在地区的各种条件和结构特性,按其可能出现的最不利作用组合情况进行验算。所谓“最不利作用组合”,就是指组合起来的作用应产生相应的最大力学效能,例如滑动稳定验算时产生最小抗滑动稳定系数等。不同的验算内容将由不同的最不利作用组合控制设计,应分别考虑。

一般说来,不经过计算是较难判断哪一种作用组合最为不利,必须用分析的方法,对各种可能的最不利作用组合进行计算后,才能得到最后的结论。由于汽车荷载的排列位置在纵横方向都是可变的,它将影响着各支座传递给墩台及基础的支反力的分配数值,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作用组合起着决定作用。对于不同验算项目(强度、偏心距及稳定性等),可能各有其相应的最不利作用组合,应分别进行验算。

此外,许多可变作用其作用方向在水平投影面上常可以分解为纵桥向和横桥向,因此一般也需按此两个方向进行地基与基础的计算,并考虑其最不利作用组合,比较出最不利者来控制

设计。桥梁的地基与基础大多数情况下为纵桥向控制设计,当有较大横桥向水平力(风荷载、船舶或漂浮物撞击力和流水压力等)作用时,也只需进行横桥向验算。

第三节 基础工程设计计算应注意的事项

一、基础工程设计计算的原则

基础工程设计计算的目的是设计一个安全、经济和可行的地基及基础,以保证结构物的安全和正常使用。因此,基础工程设计计算的基本原则是:

1. 基础底面的压应力小于地基承载力的容许值;
2. 地基及基础的变形值小于建筑物要求的变形值;
3. 地基及基础的整体稳定性有足够保证;
4. 基础本身的强度满足要求。

二、考虑地基、基础、墩台及上部结构整体作用

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。

因此,基础工程设计应紧密结合上部结构、墩台特性和要求进行;上部结构的设计也应充分考虑地基的特点,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。全面分析建筑物整体和各组成部分的设计可行性、安全性和经济性;把强度、变形和稳定等要求紧密地与现场条件、施工条件结合起来,全面分析,综合考虑。

三、基础工程极限状态设计

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》(GBJ 68—1984)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《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068—2001)。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,如《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)也采用了概率极限状态法的设计表达式。

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,而且要清楚地认识它也很不容易。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。

基础工程极限状态设计与结构极限状态设计相比还具有物理和几何方面的特点。

地基是一个半无限体,与板梁柱组成的结构体系完全不同。在结构工程中,可靠性研究的第一步是先解决单构件的可靠度问题,目前列入规范的亦仅仅是这一步,至于结构体系的系统可靠度分析还处在研究阶段,还没有成熟到可以用于设计标准的程度。地基设计与结构设计不同的地方在于无论是地基稳定和强度问题或者是变形问题,求解的都是整个地基的综合响应。地基的可靠性研究无法区分构件与体系,从一开始就必须考虑半无限体的连续介质,或至少是一个大范围连续体。显然,这样的验算不论是从计算模型还是涉及的参数方面都比单构件的可靠性分析复杂得多。

在结构设计时,所验算的截面尺寸与材料试样尺寸之比并不很大。但在地基问题中却不然,地基受力影响范围的体积与土样体积之比非常大。这就引起了两方面的问题,一是小尺寸的试件如何代表实际工程的性状;二是由于地基的范围大,决定地基性状的因素不仅是一点处土的特性,而是取决于一定空间范围内平均土层特性,这是结构工程与基础工程在可靠度分析方面的最基本的区别所在。

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。

我国现行的地基基础设计规范,已开始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》(JGJ 94—1994)]。《公路桥涵地基基础设计规范》(JTG D63—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力对沉降有影响,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力计算的规定。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。

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,是在人类长期的生产实践中不断发展起来的。在世界各地文明古国数千年前的建筑活动中,就有很多关于基础工程的工艺技术成就,但由于当时受社会

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。国外在18世纪产业革命以后,城建、水利、道路建筑规模的扩大促使人们对基础工程的重视与研究,对有关问题开始寻求理论上的解答。在此阶段作为本学科的理论基础的土力学方面,如土压力理论、土的渗透理论等有局部的突破,基础工程也随着工业技术的发展而得到新的发展,如19世纪中叶利用气压沉箱法修建深水基础。20世纪20年代,基础工程有比较系统、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不断的发展。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。

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。例如,早在1300多年前隋朝时所修建的赵州安济石拱桥,不仅在建筑结构上有独特的技艺,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,现反算其基底压应力约为500~600kPa,与现行的各设计规范中所采用的该土层承载力的容许值(550kPa)极为接近。

国外近年来基础工程科学技术发展也较快,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),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。

基础工程既是一项古老的工程技术又是一门年轻的应用科学,发展至今在设计理论和施工技术及测试工作中都存在不少有待进一步完善和解决的问题。随着我国现代化建设和大型建筑物的发展,将对基础工程提出更高的要求,我国基础工程科学技术可着重开展以下工作:地基的强度、变形特性的基本理论研究;各类基础形式设计理论和施工方法的研究。

思考题与习题

- 1-1 何谓地基与基础,各包括哪几类?
- 1-2 地基与基础方案选择的原则是什么?
- 1-3 基础工程设计与计算时常用的资料有哪些?
- 1-4 基础工程设计与计算时对浮力的考虑有哪些要求?
- 1-5 何谓最不利作用组合?