

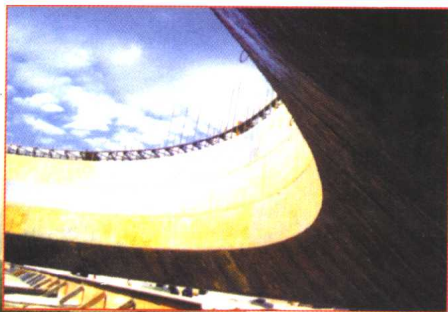


高等学校教材

基础工程

(第三版)

王晓谋 主编
赵明华 主审



人民交通出版社
China Communications Press

高等学校教材

Jichu Gongcheng

基础工程

(第三版)

王晓谋 主编
赵明华 主审

人民交通出版社

内 容 提 要

本书为面向21世纪交通版高等学校教材。本教材系统地介绍了公路、桥梁及其他人工构造物常用的各种类型地基和基础的设计原理、计算理论、计算方法及施工技术。教材共分七章,包括天然地基上的浅基础、桩基础、沉井基础及地下连续墙、地基处理及几种特殊地区的基础工程。对刚性扩大基础、桩基础和沉井基础都附有较全面、详细的算例。

本教材为高等学校土木工程专业(公路与城市道路、桥梁工程及公路隧道与岩土工程专业方向)教学用书,亦可供其他相关专业师生和从事基础工程设计、施工的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

基础工程 / 王晓谋主编. —北京:人民交通出版社,
2003. 8
ISBN 7-114-04765-7

I. 基... II. 王... III. 地基—基础(工程)
IV. TU47

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第064085号

高等学校教材 基础工程

(第三版)

王晓谋 主编

赵明华 主审

正文设计:彭小秋 责任校对:宿秀英 责任印制:张 恺

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街10号 010-64216602)

各地新华书店经销

北京凯通印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:19.25 字数:466千

1986年10月 第1版

1997年10月 第2版 2003年8月 第3版

2003年8月 第3版 第1次印刷 总第22次印刷

印数:100001~106000册 定价:33.00元

ISBN 7-114-04765-7

面向 21 世纪交通版

高等学校教材(公路与交通工程)编审委员会

主任委员:王秉纲(长安大学)

副主任委员:胡长顺(长安大学)

陈艾荣(同济大学)

王 炜(东南大学)

杜 颖(人民交通出版社)

委 员:周 伟(交通部交通科学研究院)

郑健龙(长沙交通学院)

张建仁(长沙交通学院)

刘小明(北京工业大学)

梁乃兴(重庆交通学院)

周志祥(重庆交通学院)

裴玉龙(哈尔滨工业大学)

黄 侨(哈尔滨工业大学)

钟 阳(哈尔滨工业大学)

黄晓明(东南大学)

叶见曙(东南大学)

赵明华(湖南大学)

郭忠印(同济大学)

杨晓光(同济大学)

王殿海(吉林大学)

徐 岳(长安大学)

符铎砂(华南理工大学)

秘 书 长:韩 敏(人民交通出版社)

总 序

当今世界,科学技术突飞猛进,全球经济一体化趋势进一步加强,科技对于经济增长的作用日益显著,教育在国家经济与社会发展中所处的地位日益重要。进入新世纪,面对国际国内经济与社会发展所出现的新特点,我国的高等教育迎来了良好的发展机遇,同时也面临着巨大的挑战,高等教育的发展处在一个前所未有的重要时期。其一,加入 WTO,中国经济已融入到世界经济的发展进程之中,国家间的竞争更趋激烈,竞争的焦点已更多地体现在高素质人才的竞争上,因此,高等教育所面临的是全球化条件下的综合竞争。其二,我国正处在由计划经济向社会主义市场经济过渡的重要历史时期,这一时期,我国经济结构调整将进一步深化,对外开放将进一步扩大,改革与实践必将提出许多过去不曾遇到的新问题,高等教育面临加速改革以适应国民经济进一步发展的需要。面对这样的形势与要求,党中央国务院提出扩大高等教育规模,着力提高高等教育的水平与质量。这是为中华民族自立于世界民族之林而采取的极其重大的战略步骤,同时,也是为国家未来的发展提供基础性的保证。

为适应高等教育改革与发展的需要,早在 1998 年 7 月,教育部就对高等学校本科专业目录进行了第四次全面修订。在新的专业目录中,土木工程专业扩大了涵盖面,原先的公路与城市道路工程,桥梁工程,隧道与地下工程等专业均纳入土木工程专业。本科专业目录的调整是为满足培养“宽口径”复合型人才的要求,对原有相关专业本科教学产生了积极的影响。这一调整是着眼于培养 21 世纪社会主义现代化建设人才的需要而进行的,面对新的变化,要求我们对人才的培养规格、培养模式、课程体系和内容都应作出适时调整,以适应要求。

根据形势的变化与高等教育所提出的新的要求,同时,也考虑到近些年来公路交通大发展所引发的需求,人民交通出版社通过对“八五”、“九五”期间的路桥及交通工程专业高校教材体系的分析,提出了组织编写一套面向 21 世纪的具有鲜明交通特色的高等学校教材的设想。这一设想,得到了原路桥教学指导委员会几乎所有成员学校的广泛响应与支持。2000 年 6 月,由人民交通出版社发起组织全国面向交通办学的 12 所高校的专家学者组成面向 21 世纪交通版高等学校教材(公路类)编审委员会,并召开第一次会议,会议决定着组织编写土木工程专业具有交通特色的道路专业方向、桥梁专业方向以及交通工程专业教材。会议经过充分研讨,确定了包括基本知识技能培养层次、知识技能拓宽与提高层次以及教学辅助层次在内的约 130 种教材,范围涵盖本科与研究生用教材。会后,人民交通出版社开始了细致的教材编写组织工作,经过自由申报及专家推荐的方式,近 20 所高校的百余名教授承担约 130 种教材的主编工作。2001 年 6 月,教材编委会召开第二次会议,全面审定了各门教材主编院校提交的教学大纲,之后,编写工作全面展开。

面向 21 世纪交通版高等学校教材编写工作是在本科专业目录调整及交通大发展的背景下展开的。教材编写的基本思路是:(1)顺应高等教育改革的形势,专业基础课教学内容实现与土木工程专业打通,同时保留原专业的主干课程,既顺应向土木工程专业过渡的需要,又保持服务公路交通的特色,适应宽口径复合型人才培养的需要。(2)注重学生基本素质、基本能

力的培养,将教材区分为二个主层次与一个辅助层次,即基本知识技能培养层次与知识技能拓宽与提高层次,辅助层次为教学参考用书。工作的着力点放在基本知识技能培养层次教材的编写上。(3)目前,中国的经济发展存在地区间的不平衡,各高校之间的发展也不平衡,因此,教材的编写要充分考虑各校人才培养规格及教学需求多样性的要求,尽可能为各校教学的开展提供一个多层次、系统而全面的教材供给平台。(4)教材的编写在总结“八五”、“九五”工作经验的基础上,注意体现原创性内容,把握好技术发展与教学需要的关系,努力体现教育面向现代化、面向世界、面向未来的要求,着力提高学生的创新思维能力,使所编教材达到先进性与实用性兼备。(5)配合现代化教学手段的发展,积极配套相应的教学辅件,便利教学。

教材建设是教学改革的重要环节之一,全面做好教材建设工作,是提高教学质量的重要保证。本套教材是由人民交通出版社组织,由原全国高等学校路桥与交通工程教学指导委员会成员学校相互协作编写的一套具有交通出版社品牌的教材,教材力求反映交通科技发展的先进水平,力求符合高等教育的基本规律。各门教材的主编均通过自由申报与专家推荐相结合的方式确定,他们都是各校相关学科的骨干,在长期的教学与科研实践中积累了丰富的经验。由他们担纲主编,能够充分体现教材的先进性与实用性。本套教材预计在二年内完全出齐,随后,将根据情况的变化而适时更新。相信这批教材的出版,对于土木工程框架下道路工程、桥梁工程专业方向与交通工程专业教材的建设将起到有力的促进作用,同时,也使各校在教材选用方面具有更大的空间。需要指出的是,该批教材中研究生教材占有较大比例,研究生教材多具有较高的理论水平,因此,该套教材不仅对在校学生,同时对于在职学习人员及工程技术人员也具有很好的参考价值。

21世纪初叶,是我国社会经济发展的重要时期,同时也是我国公路交通从紧张和制约状况实现全面改善的关键时期,公路基础设施的建设仍是今后一项重要而艰巨的任务,希望通过各相关院校及所有参编人员的共同努力,尽快使全套面向21世纪交通版高等学校教材(公路类)尽早面世,为我国交通事业的发展做出贡献。

面向21世纪交通版
高等学校教材(公路类)编审委员会
人民交通出版社
2001年12月

第三版前言

本教材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》教材大纲,在1997年人民交通出版社出版的《基础工程》(第二版)教材的基础上编写而成的。在编写过程中征求了有关学校对本课程及教材的意见,并结合近年来本学科工程技术的发展,进行了修订、补充和重新编写。

在导论里介绍了基础工程极限状态设计的内容;天然地基浅基础增加了板桩墙支护结构上土压力计算算例;桩基础的类型里增加了钻埋空心桩,并简要介绍了其施工方法,补充了桩基质量检验方法的内容,增加了变截面桩和桩顶为弹性嵌固时桩顶位移计算的无量纲计算公式及表格;在地基处理方面增加了土工合成材料应用的内容;在特殊土地基上的基础工程方面,增加了膨胀土地基的内容。为了更有利于教学,本教材在编写过程中,根据教学需要对部分内容进行了调整:将“天然地基浅基础”一章中“基础埋置深度的确定及刚性扩大基础尺寸拟定”和“刚性扩大基础的验算”两节合为“刚性扩大基础设计”一节;将“刚性扩大基础施工”一节调至“刚性扩大基础设计”一节前面;将“桩基础”一章分为“桩基础的基本知识及施工”和“桩基础设计”两章;将“桩基础的施工质量检验”编为单独一节;将“几种特殊土地基上的基础工程”一章中的“软土地基”一节调至“地基处理”一章。

本教材每章都给出了必要的例题、习题和思考题,以便教学使用。书后列出了参考资料,这是为了教师备课时参考,也可为深入学习的学生及读者提供方便。

本书第一、二章由王晓谋(长安大学)编写;第三、四章由赵伟封(长安大学)编写;第五章由刘松玉、石名磊(东南大学)编写;第六章由方磊(东南大学)编写;第七章由王晓谋编写。全书由(长安大学)王晓谋主编,由(湖南大学)赵明华主审。

恳请读者提出批评和建议。

编者

2003年5月

第二版前言

1986年出版的高等学校教材《基础工程》到现在已应用了十年。为了充分反映近年来本学科科学技术发展新水平,反映国内外公路建设有关的理论和实践新成果,采纳各院校应用该教材的经验和提出的要求,更好的满足教学需要,本教材对该版《基础工程》根据已审定的教学大纲进行了修补、补充和重新编写,要点如下:

天然地基浅基础增添了水中基础围堰的计算和施工技术;桩基础增加有关钢管桩的内容以及基桩质量检测新技术,并适当充实了基桩轴向荷载传递机理;在深基础中增加了各种深水基础施工技术的简要介绍和地下连续墙的内容;在地基处理方面增加深层搅拌桩、粉喷桩等以及复合地基理论;补充了软土地区基础工程的内容;根据近年来新订的设计规范对关于湿陷性黄土地区和地震地区基础工程内容进行了调整和补充;对地基按极限状态设计理论也结合我国实际情况进行了介绍。本教材在修订中对部分内容根据现代科学发展和教学需要进行了删繁就精、突出重点、兼顾全面的调整,以有利于学习。

为了便于复习和自学,本教材在各章(除第一章导论)末均增附了思考题和习题,此外根据已审定的教学大纲本课程应安排在刚性扩大基础、单排桩基础、多排桩基础课程设计(作业)(桥梁工程专业还应有深井基础课程设计)仍应按原安排进行。

本教材编写人员为:第一章王晓谋(西安公路交通大学);第二章于书翰(西安公路交通大学);第三章易经武(同济大学);第四章姚代录、刘松玉(东南大学);第五章马尔立(西安公路交通大学);第六章凌治平(西安公路交通大学)。全书由凌治平、易经武主编,由洪毓康(同济大学)主审。

热切希望读者批评指正。

编者

1996年9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资料及计算荷载的确定	2
第三节 基础工程设计计算应注意的事项	6
第四节 基础工程学科发展概况	8
第二章 天然地基上的浅基础	11
第一节 天然地基上浅基础的类型、构造及适用条件	11
第二节 刚性扩大基础施工	14
第三节 板桩墙的计算	22
第四节 地基容许承载力的确定	31
第五节 刚性扩大基础的设计与计算	34
第六节 埋置式桥台刚性扩大基础计算算例	46
思考题及习题	57
第三章 桩基础	59
第一节 概述	59
第二节 桩与桩基础的分类	60
第三节 桩与桩基础的构造	66
第四节 桩基础的施工	69
第五节 单桩承载力	86
第六节 桩基础质量检验	108
思考题及习题	110
第四章 桩基础的设计计算	111
第一节 单排桩基桩内力和位移计算	111
第二节 多排桩基桩内力与位移计算	128
第三节 群桩基础的竖向分析及其验算	144
第四节 承台的计算	147
第五节 桩基础的设计	149
思考题及习题	154
第五章 沉井基础及地下连续墙	156
第一节 沉井的基本概念、作用及适用条件	156
第二节 沉井的类型和构造	157
第三节 沉井的施工	161
第四节 沉井的设计与计算	166
第五节 圆端形沉井计算算例	182
*第六节 地下连续墙	195

思考题及习题·····	201
第六章 地基处理 ·····	202
第一节 概述·····	202
第二节 软土地基·····	204
第三节 换土垫层法·····	213
第四节 排水固结法·····	215
第五节 挤(振)密法·····	222
第六节 化学固化法·····	229
第七节 土工合成材料加筋法·····	233
第八节 复合地基理论·····	237
思考题及习题·····	240
第七章 几种特殊土地基上的基础工程 ·····	242
第一节 湿陷性黄土地基·····	242
第二节 膨胀土地基·····	248
第三节 冻土地区基础工程·····	254
第四节 地震区的基础工程·····	260
思考题及习题·····	271
附表 ·····	272
参考文献 ·····	290

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,建筑物的全部荷载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。

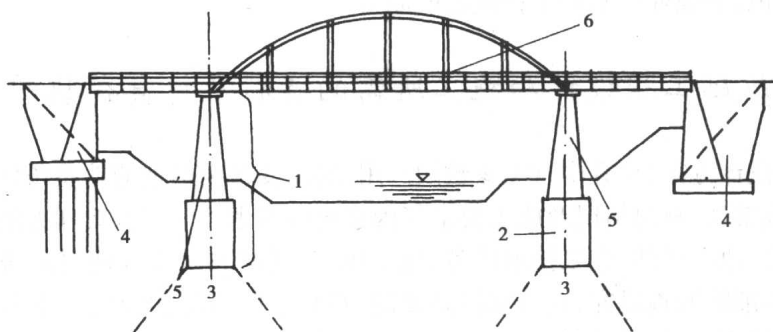


图 1-1 桥梁结构各部立面示意图

1-下部结构;2-基础;3-地基;4-桥台;5-桥墩;6-上部结构

地基与基础在各种荷载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、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与人工地基。未经人工处理就可以满足设计要求的天然地基称为天然地基。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。

基础根据埋置深度分为浅基础和深基础。通常将埋置深度较浅(一般在数米以内),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,且施工较复杂时称为深基础。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,我国公路桥梁建设中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,也常用石砌基础。只有在特殊情况下(如抢修、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,而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。

本课程面向公路与城市道路工程专业和桥梁工程专业的学生,系统地介绍桥梁、道路及其他人工构造物地基与基础的有关设计基本理论、计算方法和施工要点。

在学习中,应理解问题的实质,掌握原理,搞清方法步骤,其中天然地基浅基础、桩基础和沉井基础,应较全面掌握其设计基本理论和具体计算方法。教材中所述的理论和方法,虽多以桥梁的基础工程问题举例说明,但一般也适用于道路及其他土建工程的有关基础工程问题。

本课程的内容涉及学科较多,因而要求有较广泛的、扎实的先修课知识,如工程地质、土质学与土力学、桥涵水文、材料力学、结构力学、结构设计原理和桥梁工程,尤其是土质学与土力学,为本课程的重要基础理论,应注意紧密联系。

《基础工程》是一门比较新兴的学科,地基土又是自然历史的产物,复杂多变,因此,为使基础工程问题得到切合实际的、合理的和完善的解决,除需要丰富的理论知识外,还需要有较多的工程实践知识。在学习时应注意理论联系实际,通过各个教学环节,紧密结合工程实践,才能提高对理论的认识,增强处理基础工程问题的能力。

第二节 基础工程设计和施工所需的资料及计算荷载的确定

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、荷载特性、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、符合实际情况的资料。本节对桥梁基础工程所需资料及计算荷载确定原则作简要介绍。

一、基础工程设计和施工需要的资料

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、荷载、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。资料取得的方法和具体规定可参阅《公路工程地质》、《土质学与土力学》及《桥涵水文》等有关教材和手册。

(一)桥位(包括桥头引道)平面图及拟建上部结构及墩台形式、总体构造及有关设计资料

大中型桥梁基础在进行初步设计时,应掌握经过实地测绘和调查取得的桥位地形、地貌、洪水泛滥线、河道主河槽和河床位置等资料及绘成的地形平面图,比例为 1:500~1:5000,测绘范围应根据桥梁工程规模、重要性和河道情况确定。若桥址有不良工程地质现象,如滑坡、崩塌和泥石流等以及河道弯曲、主支流会合、河岔、河心滩和活动砂洲等,均应在图上示出。

桥梁上部结构的形式、跨径和墩、台的结构形式、高度、平面尺寸等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,如超静定结构的上部结构对地基、基础的沉降有较严格的要求;上部结构、墩、台的恒载、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,因此应全面获得上部结构及墩台的总体设计资料。

(二)桥位工程地质勘测报告及桥位地质纵剖面图

对桥位地质构造进行工程评价的主要资料,包括河谷的地质构造、桥位及附近地层的岩性,如地质年代、成因、层序、分布规律及其工程性质(产状、构造、结构、岩层完整及破碎程度、风化程度等),以及覆盖层厚度和土层变化关系等资料,应说明建桥地点一定范围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(小型桥梁及地质条件单一的地点,勘测报告可以省略)。

(三)地基土质调查试验报告

在进行施工详图及施工设计时,应掌握地基土层的类别及物理力学性质。可通过工程地质勘测时调查、钻(挖)取各层地基上足够数量的原状土(岩)样,用室内或原位试验方法得到各层土的物理力学指标,如粒径级配、塑性指数、液性指数、天然含水量、密度、孔隙比、抗剪强度指标、压缩特性、渗透性指标以及必要时的荷载试验、岩石抗压强度试验等的结果。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。

因为需要根据土质调查试验报告评定各土层的强度和稳定性,报告中应有各层土的颜色、结构、密实度和状态等的描述资料,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、含大量有机质土或膨胀土、盐碱土时,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)河流水文调查资料

设计桥梁墩台的基础,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、低水位和常年水位及流量、流速、流向变化情况,河流的下蚀、侵蚀和河床的稳定性,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及规划。在沿海地区尚应了解潮汐、潮流有关资料及对桥梁的影响。还应有河水及地下水侵蚀性的检验资料。详见表 1-1。

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
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,层面标高,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 (5)墩台、基础防护构造物的布置
地基土质调查试验报告	(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)荷载试验报告 (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

续上表

资料种类	资料主要内容	资料用途
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
其他调查资料	地震	(1)地震记录 (2)震害调查
	建筑材料	(1)就地可采取、可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 (3)工程用水调查
	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
	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
	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、计算荷载的确定

作用在桥梁墩台上的永久荷载(恒载)包括结构物的自重、土重及土的自重产生的侧向压力、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;基本可变荷载(活载)有汽车荷载、汽车冲击力、离心力、汽车引起的土侧压力、人群荷载、平板挂车或履带车荷载引起的土侧压力;其他可变荷载有风力、汽车制动力、流水压力、冰压力、支座摩阻力,在超静定结构中尚需考虑温度变化的影响力;偶然荷载有船只或漂流物撞击力,施工荷载和地震力。这些荷载通过基础传给地基。

按照各种荷载特性及出现的几率不同,在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,习惯上也称为主要组合;

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组合；

组合 III 由平板挂车或履带车与结构自重、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,如结构自重、脚手架、材料机具、人群、风力和拱桥单向推力等；

组合 VI 由地震力与结构自重、预应力、土重及土侧压力中的一种或几种组合。

组合 II、III、IV、V、VI 习惯上也称为附加组合。

对在水下的土中基础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,基础工程设计时对浮力的计算可以作如下处理:

(1)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。

(2)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。

(3)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。

(4)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。

水对水下墩台及基础或土的固体颗粒的浮力作用,可采用墩台及基础的圬工浮重度或土的浮重度来反映。圬工的浮重度等于圬工重度减去水的重度,土的浮重度可以根据土质勘测资料得到的物理性质指标如土的天然重度、天然含水量、土粒重度或土的饱和重度来计算。

为保证地基与基础满足在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荷载组合情况进行验算。所谓“最不利荷载组合”,就是指组合起来的荷载,应产生相应的最大力学效能,例如用容许应力法设计时产生的最大应力,滑动稳定验算时产生的最小滑动安全系数等。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。

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,必须用分析的方法,对各种可能的最不利荷载组合进行计算后,才能得到最后的结论。由于活载(车辆荷载)的排列位置在纵横方向都是可变的,它将影响着各支座传递给墩台及基础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、偏心距及稳定性等),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,并考虑其最不利荷载组合,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,但对于有较大的横桥向水平力(风力、船只撞击力和水压力等)作用时,也需进行横桥向的计算,用以校验是否为横桥向控制设计。

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. 基础底面的压力小于地基的容许承载力;
2. 地基及基础的变形值小于建筑物要求的沉降值;
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。

地基与基础方案的确定主要取决于地基土层的工程性质与水文地质条件、荷载特性、上部结构的结构形式及使用要求,以及材料的供应和施工技术等因素。方案选择的原则是:力求使用上安全可靠,施工技术上简便可行,经济上合理。因此,必要时应作不同方案的比较,从中选出较为适宜与合理的设计方案和施工方案。

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调整地基基础受力条件,改善位移情况的能力。因此,基础工程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的共同趋势,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。可靠性是指系统在规定的时间内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。

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—84)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。根据统一标准的规定,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》(JTJ 023—85)也采用了以分项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)。然而,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》JGJ 94—

94)外,桥涵地基基础设计规范等均还未采用极限状态设计,这就产生了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。

结构设计的极限状态一般分为承载力极限状态和正常使用极限状态,承载力极限状态指结构失稳或强度不足,正常使用极限状态指结构变形或局部损坏使其不能满足正常使用和耐久性的情况。地基基础设计中的承载力极限状态不仅包含了地基整体失稳所引起的极限状态,也包含了由于地基土的变形或局部破坏使上部结构发生严重破坏的情况,即地基土的变形也可能是上部结构发生承载力极限状态的原因之一。对大量的基础工程事故分析表明,绝大多数事故是由于地基变形过大或地基变形不均匀造成的。根据地基荷载试验和地基承载力理论可知,随着荷载的增加,地基土先产生压密变形,再产生局部剪切,最后产生整体剪切破坏。而代表压密变形阶段的界限压力,即临塑荷载 p_{cr} 远小于整体剪切破坏的极限值 p_u 。这说明地基要充分发挥其承载力,通常都要产生较大的变形,这种较大的变形影响建筑物的正常使用,即地基设计实质上常常是受变形控制的。因此,地基的变形分析是地基极限状态分析的主要内容。

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取样数量有限所造成的误差等,就构成了地基土材料特性变异的主要来源。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,还没有成熟到可以作为设计标准的程度。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,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。

我国基础工程的可靠度研究始于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,而且要将基础工程可靠度研究成果纳入设计规范,进入实用阶段,还需要做大量的工作。国外有些国家已建立了按半经验半概率的分项系数极限状态设计地基的标准。在我国,随着结构设计使用了极限状态设计方法,在地基设