



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
21世纪交通版高等学校教材

基础工程

Foundation Engineering

(第四版)

王晓谋 主编
赵明华 李镜培 主审



人民交通出版社
China Communications Press

目录

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
21世纪交通版高等学校教材
Foundation Engineering
基础工程
(第四版)

Foundation Engineering

基础工程

(第四版)

人民交通出版社

（北京人民交通出版社）

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。本教材系统地讲述了道路、桥梁及人工构造物常用的各种类型地基和基础的设计原理、计算理论和方法及施工技术。全书共分七章,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。书中附有刚性扩大基础、桩基础和沉井基础的算例。

本教材为高等学校土木工程专业(道路、桥梁、公路隧道与岩土工程专业方向)、道路桥梁与渡河工程专业教学用书,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. —4版. —北京:人民交通出版社,2010.9

普通高等教育“十一五”国家级规划教材 21世纪交通版高等学校教材

ISBN 978-7-114-08645-8

I. ①基… II. ①王… III. ①地基—基础(工程)—高等学校—教材 IV. ①TU47

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 168956 号

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

21世纪交通版高等学校教材

书 名:基础工程(第四版)

著 者:王晓谋

责任编辑:曲 乐 王文华

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:人民交通出版社发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京盈盛恒通印刷有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:21

字 数:514千

版 次:1986年10月 第1版 1997年10月 第2版

2003年8月 第3版 2010年9月 第4版

印 次:2010年9月 第1次印刷 总第32次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-08645-8

印 数:138501~141500册

定 价:37.00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 高等学校教材(公路与交通工程)编审委员会

顾问:王秉纲 (长安大学)

主任委员:沙爱民 (长安大学)

副主任委员:(按姓氏笔画排序)

王 炜 (东南大学)

陈艾荣 (同济大学)

徐 岳 (长安大学)

梁乃兴 (重庆交通大学)

韩 敏 (人民交通出版社)

委员:(按姓氏笔画排序)

马松林 (哈尔滨工业大学)

王殿海 (吉林大学)

叶见曙 (东南大学)

石 京 (清华大学)

向中富 (重庆交通大学)

关宏志 (北京工业大学)

何东坡 (东北林业大学)

陈 红 (长安大学)

邵旭东 (湖南大学)

陈宝春 (福州大学)

杨晓光 (同济大学)

吴瑞麟 (华中科技大学)

陈静云 (大连理工大学)

赵明华 (湖南大学)

项贻强 (浙江大学)

郭忠印 (同济大学)

袁剑波 (长沙理工大学)

黄晓明 (东南大学)

符铎砂 (华南理工大学)

裴玉龙 (哈尔滨工业大学)

颜东煌 (长沙理工大学)

秘书长:沈鸿雁 (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,会议决定着手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。

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,为学生知识、能力、素质的综合协调发展创造条件。基于这样的考虑,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 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。

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

第四版前言

本教材是根据 21 世纪交通版高等学校教材(公路类)编审委员会制定的《基础工程》教材大纲,并主要参考了《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)及《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG D63—2007),在《基础工程》(第三版)教材的基础上编写而成的普通高等教育“十一五”国家级规划教材。本书在编写过程中征求了有关学校和单位对教材编写的意见。为了使教材的内容能反映本学科的最新成果,使读者学到的知识能适应公路建设的需要,编者经过两年的努力,在学习新规范及相关资料的基础上进行修订和重新编写。这次编写不仅限于用新规范代替老规范,而且努力按教材应有的要求修改,使内容更着重于基本原理和基本方法的阐述。

在第一章导论里增加了“作用的分类及代表值、作用效应组合与极限状态设计;基础工程设计方法;容许承载力设计方法、极限状态设计方法和可靠度设计方法;桥梁基础工程发展历史、现状及前景”等内容。对第二章第四节“地基承载力容许值的确定”结合新规范进行了重新编写。对第二章第六节“埋置式桥台刚性扩大基础计算算例”根据新规范进行了重新计算和编写。在第三章增加了“水中桩基础施工”一节,将第三版第二章第二节“刚性扩大基础施工”中有关“钢板桩围堰和双壁钢围堰”的内容移到第三章第五节“水中桩基础施工”中。将第三版第三章第五节“单桩承载力”的内容移至第四章,并结合新规范进行了重写,对第四章第二节“单排桩基桩内力与位移计算”一节进行了重写,引入了“弹性地基梁基本概念”的内容,增加了“将桩视为弹性地基上的竖梁,在弯矩和横轴向力作用下桩的挠曲微分方程的求解过程”。按新规范对第四章第五节“承台的计算”一节进行了重写并改为“承台的设计计算”。对第四章的两个算例按新规范进行了重新计算和编写。删减了第三版第三章中“动测试桩法中波动方程法”的主要内容,仅作简要介绍。删除了第四章“桩作为弹性地基梁的有限元解法简介”的内容。对第五章根据新规范也进行了修订和补充。第六章除对各节进行修订和补充外,根据新规范对第三节“换土垫层法”进行了重写。根据新规范对第七章的黄土、冻土及地震区的基础工程内容进行了重写。

本书第一章由张宏光(长安大学)编写;第二章由王晓谋(长安大学)编写;第三章由赵伟封(长安大学)编写;第四章由王晓谋编写;第五章由石名磊(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;长安大学博士研究生方磊协助主编对书中的算例进行了计算和校核。全书由王晓谋主编,由赵明华(湖南大学)、李镜培(同济大学)主审。

恳请读者提出批评和建议。

编者

2010年6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》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的应用的内容;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”编写为单独一节;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,以便教学时使用。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,由赵明华(湖南大学)主审。

恳请读者提出批评和建议。

编者

2003年5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作用的确定	3
第三节 基础工程设计计算原则、设计方法	11
第四节 基础工程学科发展概况	15
第二章 天然地基上的浅基础	18
第一节 天然地基上浅基础的类型、构造及适用条件	18
第二节 刚性扩大基础施工	21
第三节 板桩墙的计算	26
第四节 地基承载力容许值的确定	35
第五节 刚性扩大基础的设计与计算	43
第六节 埋置式桥台刚性扩大基础计算算例	57
思考题及习题	67
第三章 桩基础的基本知识及施工	69
第一节 概述	69
第二节 桩与桩基础的分类	70
第三节 桩与桩基础的构造	76
第四节 桩基础的施工	80
第五节 水中桩基础施工	96
第六节 桩基础质量检验	104
思考题及习题	106
第四章 桩基础的设计计算	108
第一节 单桩承载力的确定	108
第二节 单排桩基桩内力与位移计算	127
第三节 多排桩基桩内力与位移计算	153
第四节 群桩基础的竖向分析及其验算	165
第五节 承台的设计计算	168
第六节 桩基础的设计	172
思考题及习题	179
第五章 沉井基础及地下连续墙	180
第一节 概述	180
第二节 沉井的类型和构造	181
第三节 沉井的施工	186
第四节 沉井的设计与计算	192
第五节 沉井基础计算示例	208

第六节 地下连续墙	221
思考题及习题	227
第六章 地基处理	228
第一节 概述	228
第二节 软土地基	231
第三节 换土垫层法	240
第四节 排水固结法	243
第五节 挤(振)密法	250
第六节 化学固化法	257
第七节 土工合成材料加筋法	261
第八节 复合地基理论	265
思考题及习题	268
第七章 几种特殊土地基上的基础工程	270
第一节 湿陷性黄土地基	270
第二节 膨胀土地基	276
第三节 冻土地区基础工程	282
第四节 地震区的基础工程	290
思考题及习题	300
附表	302
参考文献	320

第一章 导 论

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。一般而言,将承受建筑物各种作用的地层称为地基,而将建筑物与地基接触的最下部分,也就是将建筑物的各种作用传递至地基的结构物称为基础。以桥梁为例,桥梁由桥跨上部结构、桥跨下部结构和附属结构组成,其中桥跨上部结构包括桥跨结构和支座系统,桥跨下部结构包括桥墩(墩身)、桥台(台身)以及墩台基础,附属结构主要是起防护和过渡作用,如图 1-1、图 1-2 所示。基础工程所要研究的主要内容即为桥梁、道路及其他人工构造物基础及其所在地基的设计与施工,以及相关的基本概念、计算原理和计算方法。

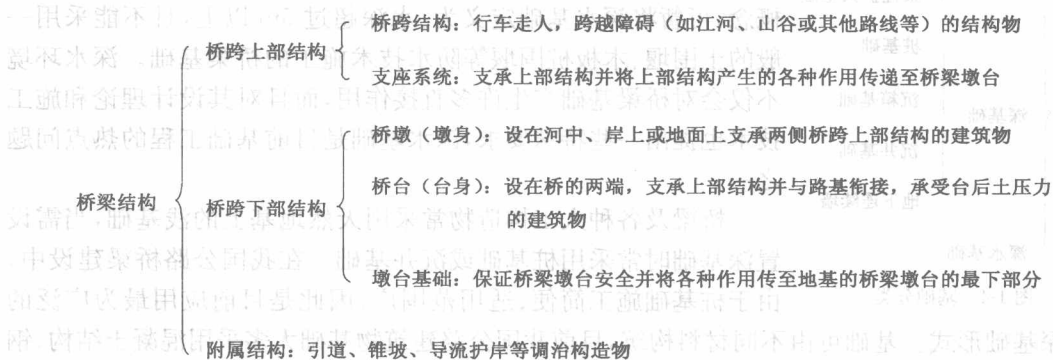


图 1-1 桥梁结构基本组成

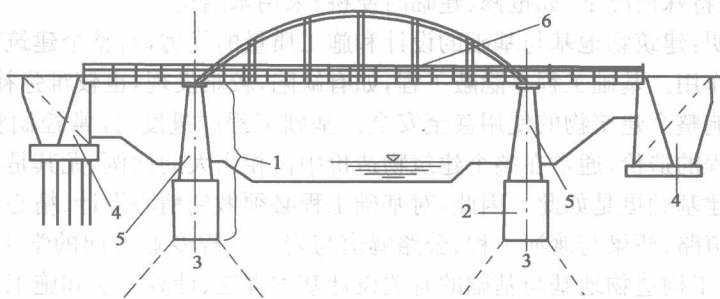


图 1-2 桥梁结构各部立面示意图

1-下部结构;2-基础;3-地基;4-桥台;5-桥墩;6-上部结构

第一节 概 述

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、稳定性和耐久性,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,如图 1-3 所示。

公路工程结构物及桥梁工程常用的基础形式有:浅基础、深基础和深水基础。浅基础与深基础是根据基底埋置深度(自地面或局部

地基 {
天然地基: 未经人工处理即可满足设计要求的地基
人工地基: 经过人工加固或处理后的地基

图 1-3 地基分类

冲刷线到基础底面的距离)确定的,通常将埋置深度较浅(一般在数米以内),且施工相对简单的基础称为浅基础。在浅基础的设计计算中,可忽略基础侧面土体的摩阻力和侧向抗力,如刚性扩大基础、柔性扩大基础等;若浅层土质不良,需将基础置于较深的良好土层上,且在设计计算中不能忽略基础侧面土体的摩阻力和侧向抗力的基础形式,称为深基础,如桩基础、沉井基础、地下连续墙等;深水基础则与基础的埋置深度无直接关系,其在水下部分较深,在设计和施工中必须考虑水深对于基础的影响。基础形式分类如图 1-4 所示。



图 1-4 基础分类

目前在桥梁基础工程中,对“浅水”与“深水”并没有严格的定量界限,但根据一般传统的桥梁基础工程中所介绍的水中围堰的概念,可暂将深水基础定义为:水深超过 5m 以上,且不能采用一般的土围堰、木板桩围堰等防水技术施工的桥梁基础。深水环境不仅会对桥梁基础产生许多直接作用,而且对其设计理论和施工技术也提出一些特殊要求,深水基础是目前基础工程的热点问题之一。

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。在我国公路桥梁建设中,由于桩基础施工简便、适用范围广,因此是目前应用最为广泛的一种深基础形式。基础可由不同材料构筑,目前我国公路建筑物基础大多采用混凝土结构、钢筋混凝土结构和钢结构(钢管桩及钢沉井等),在石料丰富的地区,按照就地取材原则,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好坏,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。

本课程面向道路、桥梁与渡河工程、公路隧道与岩土工程专业方向的学生,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。

本课程的内容涉及其他学科较多,因而要求有较广泛的先修课知识,如《公路工程地质》、《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年轻的学科,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,增加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作用的确定

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、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、符合实际情况的资料。本节对桥梁基础工程设计和施工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,除了应掌握有关包括上部结构形式、跨径、作用、墩台结构及国家颁布的桥梁设计和施工技术规范等全桥的资料外,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、河心滩和活动沙洲等,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、台的永久作用、可变作用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、数据、设计等级、技术标准等。

(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。在工程地质勘测时,应调查、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、天然含水率、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,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。

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高程,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、软黏土、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。在沿海地点尚应了解潮汐、潮流有关资料及对桥梁的影响关系。还应有河水及地下水侵蚀的检验资料。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
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)基础沉降的计算
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)根据冲刷要求,确定基础的埋置深度; (2)桥墩身水平作用力计算; (3)施工季节、施工方法的研究
5. 其他调查资料	(1)地震	(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
	(2)建筑材料	(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

资料种类		资料主要内容	资料用途
5. 其他调查资料	(3) 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
	(4) 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、淤泥情况; (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
	(5) 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) 施工临时结构的规划

二、作用的分类及代表值

要保证桥梁的地基与基础满足强度、刚度(变形)、稳定性和耐久性的要求,就需要对其在各种工况条件下的多项指标进行验算,而组成各种工况的基本要素就是作用^①。显然,作用有很多种,其特性各有不同。以结构自重、汽车荷载和地震作用为例,在结构使用期间,三者 in 量值变化幅度、持续时间长短、出现概率大小上存在很大的差异。因此从设计的安全性和经济性出发,有必要对各种作用进行分类,并针对不同设计目的采用不同的计算量值,即作用代表值。在现行《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)中,将公路桥涵设计采用的作用分为永久作用、可变作用和偶然作用三类,具体规定见表 1-2。

作用分类

表 1-2

编号	作用分类	作用名称
1	永久作用	结构重力(包括结构附加重力)
2		预加力
3		土的重力
4		土侧压力
5		混凝土收缩及徐变作用
6		水的浮力
7		基础变为作用
8	可变作用	汽车荷载
9		汽车冲击力
10		汽车离心力
11		汽车引起的土侧压力
12		人群荷载

①作用:施加在结构上的一组集中力或分布力,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,后者称间接作用。

续上表

编 号	作用分类	作用名称
13	可变作用	汽车制动力
14		风荷载
15		流水压力
16		冰压力
17		温度(均匀温度和梯度温度)作用
18		支座摩阻力
19	偶然作用	地震作用
20		船舶或漂流物的撞击作用
21		汽车撞击作用

永久作用可看成是不随时间变化的荷载,如结构的自重,预加力等荷载。可变作用则随时间而变化,种类很多,如汽车荷载、人群荷载、风荷载、流水压力等。这些作用均应看成随机变量,但其概率分布规律各不一样,应分别选用合适的概率模型进行统计分析。在概率分布形式确定以后,就可以选择作用的代表值。《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)中作用代表值有多种,它包括作用标准值、准永久值和频遇值。作用代表值的选取见表 1-3。

作用代表值

表 1-3

作用分类	作用代表值取用
永久作用	作用标准值
可变作用	作用标准值 (承载能力极限状态设计及按弹性阶段计算结构强度时采用)
	作用频遇值 [正常使用极限状态按短期效应(频遇)组合设计时采用]
	作用准永久值 [正常使用极限状态按长期效应(准永久)组合设计时采用]
偶然作用	作用标准值

注:1. 作用标准值可根据作用在设计基准期内最大值概率分布的某一分位值确定;

2. 作用频遇值可根据在足够长观测期内作用任意时点概率分布的 0.95 分位值确定;

3. 作用准永久值可根据在足够长观测期内作用任意时点概率分布的 0.5(或略高于 0.5)分位值确定。

1. 作用标准值

作用标准值是作用的基本代表值,相当于设计基准期内年最大荷载统计分布的特征值,可以取均值或某个分位值。其中,永久作用的标准值,对结构自重(包括结构附加重力),可按结构构件的设计尺寸与材料的重力密度计算确定;可变作用的标准值按现行《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)有关章节中的规定采用,当其乘以频遇值系数 ψ_1 或准永久值系数 ψ_2 时,即可转变为相应的作用频遇值或作用准永久值;偶然作用应根据调查、试验资料,结合工程经验确定其标准值。

2. 作用准永久值、频遇值

对于可变作用,在设计基准期内,作用准永久值取其超越的总时间约为设计基准期一半的作用值。具体而言,对于某一随时间而变化的荷载,如果设计基准期是 T ,则在 T 时间内大于和等于准永久值的时间约为 $0.5T$ 。作用的准永久值实际上是考虑可变作用施加的时间间断性和分布不均匀的一种折减。例如对于地基沉降计算,短时间的荷载不一定引起充分的沉降,

这种情况,可变荷载就应该采用作用准永久值。作用准永久值等于标准值乘以准永久值系数。与作用准永久值类似,作用频遇值取其超越的总时间约为设计基准期 95%的作用值。

这些作用不仅作用在桥梁上部结构、墩台身结构和基础上,还通过基础传给地基。因此,在设计计算时,应视验算目标与验算项目的不同,以各种作用代表值为基础进行多种作用效应组合^①,进而形成各种验算工况,确保桥梁结构的安全与经济。

三、作用效应组合与极限状态设计

为了保证结构的可靠性,需要确定同时作用在结构上有几种作用,以及各种作用同时出现标准值的概率大小。因此,当结构承受两种或两种以上的可变作用时,应考虑多种作用效应的相互叠加,即作用效应组合,并计入作用效应组合系数,显然,它是一个小于 1.0 的系数。

全面而合理的作用效应组合是桥梁结构设计的关键,而各种作用效应组合又与预期中桥梁所能达到的极限状态密切相关。现行《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)规定,公路桥涵结构的设计基准期^②为 100 年,在设计计算时应考虑基准期内各种可能出现的作用效应组合,并分别按承载能力极限状态和正常使用极限状态进行设计。下面对现行《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)中有关承载能力极限状态和正常使用极限状态下的各种作用效应组合进行简要介绍。

(一)承载能力极限状态设计

承载能力极限状态:对应于桥涵结构或其构件达到最大承载能力或出现不适于继续承载的变形或变位状态。

基础结构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。

承载力验算时作用效应组合中各效应的分项系数、结构重要性系数及效应组合系数按下述规定取值;稳定性验算时,各项系数均取为 1.0。

1. 基本组合

基本组合为永久作用的设计值效应与可变作用设计值效应相组合,其效应组合表达式为:

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

或

$$\gamma_0 S_{ud} = \gamma_0 \left(\sum_{i=1}^m S_{Gid} + S_{Q1d} + \psi_c \sum_{j=2}^n S_{Qjd} \right) \quad (1-2)$$

式中: S_{ud} ——承载能力极限状态下作用基本组合的效应组合设计值;

γ_0 ——结构重要性系数,对应于设计安全等级一级、二级和三级分别取 1.1、1.0 和 0.9;

γ_{Gi} ——第 i 个永久作用效应的分项系数,按表 1-4 的规定采用;

S_{Gik} 、 S_{Gid} ——第 i 个永久作用效应的标准值和设计值;

γ_{Q1} ——汽车荷载效应(含汽车冲击力、离心力)的分项系数,取 $\gamma_{Q1} = 1.4$,当某个可变作用在效应组合中其值超过汽车荷载效应时,则该作用取代汽车荷载,其分项系数应采用汽车荷载的分项系数;对专为承受某作用而设置的结构或装置,设计时该作用的分项系数取与汽车荷载同值;计算人行道板和人行道栏杆的局部荷载,其分项系数也与汽车荷载取同值;

^①作用效应组合:几种作用分别产生的效应的随机叠加。

^②设计基准期:在进行结构可靠性分析时,考虑持久设计状况下各项基本变量与时间关系所采用的基准时间参数。