

基础工程

主编 杨 慧 高晓燕
主审 芦国超

基 础 工 程

主 编 杨 慧 高晓燕
副主编 郭国英 陈 静 刘海军
参 编 李小慧 李 娜 曹 娜
王星辉 李 凡 包建业
主 审 芦国超

内 容 提 要

本书介绍了公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。全书除绪论外,共分为六章,主要介绍了天然地基上的浅基础、桩基础、桩基础的计算与验算、沉井工程、软弱地基处理及特殊土地基的特点及其处理。每章前均附有知识目标和能力目标,每章后均附有思考题和练习题,其中,桩基础的计算与验算附有较详细的算例。

本书可作为高等院校公路与桥梁工程及其他相关专业的教学用书,也可供从事公路施工和基础工程的工程技术人员学习参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

基础工程 / 杨慧, 高晓燕主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2019.1

ISBN 978-7-5682-6246-0

I. ①基… II. ①杨… ②高… III. ①基础(工程)—高等学校—教学参考资料

IV. ①TU47

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第198982号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 河北鸿祥信彩印刷有限公司

开 本 / 787毫米 × 1092毫米 1/16

印 张 / 14.5

字 数 / 352千字

版 次 / 2019年1月第1版 2019年1月第1次印刷

定 价 / 62.00元

责任编辑 / 钟 博

文案编辑 / 钟 博

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

前 言

为了适应我国公路桥梁的建设快速发展的需要，培养出更多适应工程一线岗位需求的技术应用型专门人才，编者根据“基础工程”课程教学大纲的基本要求编写了本书。

本书的编写力求突出“工学结合”和教、学、练一体化，反映岩土工程最新规范的内容，在阐明基础知识的同时，重视学生实践技能的培养和基础知识应用能力的训练。本书主要具有以下特点：

（1）通过对本书内容的学习，使学生掌握地基基础设计的基本原理，具备进行一般工程基础设计规划和具备从事基础工程施工管理的能力，对于常见的基础工程事故，能作出合理的评价及处理。

（2）全书根据学生要达到的知识目标和能力目标组织编写每个章节，并配备适当的思考题和练习题，从而方便学生自主学习，培养学生对基础知识的应用能力，并同实际工程问题相结合，适当增加了开放性的问题，提高学生自主解决问题的能力。

（3）随书内容在适当位置增加了二维码，学生通过用手机扫描二维码，能够随时学习到有关基础工程施工技术的相关视频和图片，有助于学生对各种基础施工过程的理解和掌握。

（4）本书理论知识适度，基本知识广而不深，力求讲清基础工程基本概念、基本原理，淡化难度较大的数学和力学推导，与实际工程紧密结合，以适应高等院校学生的特点，提高学生的业务能力。

全书除绪论外，共分为六章，教学学时建议60学时，可以根据学生的实际情况灵活安排。本书由杨慧、高晓燕担任主编，郭国英、陈静、刘海军担任副主编。具体编写分工为：刘海军编写绪论，郭国英编写第一章，杨慧编写第二章、第六章，高晓燕编写第三章、第五章，陈静编写第四章，李小慧、李娜、曹娜、王星辉、李凡、包建业负责收集资料等工作。全书由芦国超主审。

本书在编写过程中，查阅了大量公开或内部发行的技术资料和书刊，引用了其中一些图表及内容，在此向原作者致以衷心的感谢。

限于编者水平，书中难免存在不足和疏漏之处，恳请有关专家和广大读者提出宝贵意见。

编 者

目 录

绪论	1	二、基坑排水	15
第一节 概述	1	三、水中基坑开挖时的围堰工程	16
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 板桩墙的计算	17
一、基础工程设计和施工所需的资料	2	一、侧向压力计算	17
二、施加于桥梁上的作用类型及荷载的 确定方法	4	二、悬臂式板桩墙的计算	18
第三节 基础工程设计计算应注意的事项	8	三、单支撑（锚碇式）板桩墙的计算	18
一、基础工程设计计算的原则	8	四、多支撑板桩墙计算	19
二、考虑地基、基础、墩台及上部结构 整体作用	8	五、基坑稳定性验算	21
三、基础工程极限状态设计	8	六、封底混凝土厚度计算	22
第四节 基础工程学科发展概况	10	第四节 地基容许承载力的确定	23
第一章 天然地基上的浅基础	11	一、岩土地基承载力	23
第一节 天然地基上浅基础的类型、适用 条件及构造	11	二、软土地基承载力	26
一、浅基础常用的类型及适用条件	11	第五节 刚性扩大基础的设计与计算	27
二、浅基础的构造	12	一、基础埋置深度的确定	27
第二节 刚性扩大基础施工	14	二、刚性扩大基础尺寸的拟定	29
一、旱地上基坑开挖及围护	14	三、地基承载力验算	30
		四、基底合力偏心距验算	31
		五、基础稳定性和地基稳定性验算	32
		六、基础沉降验算	35
		思考题	35
		练习题	36

第二章 桩基础	37	三、桩身强度与单桩承载力检验	93
第一节 概述	37	思考题	93
一、桩基础的组成与特点	37	练习题	94
二、桩基础的适用条件	38		
第二节 桩与桩基础的分类	39	第三章 桩基础的计算与验算	95
一、桩基础按承台位置分类	39	第一节 水平荷载作用下单排桩基桩内力和位移计算	95
二、按施工方法分类	39	一、基本概念	95
三、按桩的设置效应分类	42	二、用“ <i>m</i> ”法计算桩的内力和位移	99
四、按桩土相互作用特点分类	43	三、单排桩内力计算示例	106
五、按桩身材料分类	45	四、多排桩内力与位移的计算	112
第三节 桩与桩基础的构造	45	第二节 群桩基础竖向分析及其验算	
一、各种基桩的构造	45	计算	117
二、承台的构造及桩与承台的连接	48	一、群桩的类型及其工作特点	117
第四节 桩基础的施工	49	二、群桩基础承载力验算	118
一、钻孔灌注桩的施工	49	三、群桩基础沉降验算	120
二、挖孔灌注桩和沉管灌注桩的施工	59	第三节 承台的计算	120
三、打入桩的施工	61	一、桩顶处的局部受压验算	120
四、水中桩基础施工	65	二、桩对承台的冲剪验算	121
五、大直径空心桩施工简介	68	三、承台抗弯及抗剪强度验算	121
第五节 单桩承载力	70	第四节 桩基础设计	122
一、单桩轴向荷载传递机理和特点	70	一、桩基础类型的选择	122
二、按土的支承力确定单桩轴向容许承载力	73	二、桩径、桩长的拟定	124
三、单桩横轴向容许承载力的确定	83	三、确定基桩根数及其平面布置	124
四、按桩身材料强度确定单桩承载力	86	四、桩基础设计方案检验	125
五、关于桩的负摩阻力问题	88	五、桩基础设计计算步骤与程序	126
第六节 桩基础质量检验	91	思考题	128
一、桩的几何受力条件检验	91	练习题	128
二、桩身质量检验	91		

第四章 沉井工程	130	四、真空预压法和降水位预压法	167
第一节 概述	130	第五节 挤（振）密法	168
一、沉井的基本概念	130	一、挤密砂桩法	168
二、沉井的类型及一般构造	132	二、夯（压）实法	171
第二节 沉井施工	135	三、振冲法	174
一、沉井施工的一般规定	135	第六节 化学固化法	176
二、沉井的施工工艺	135	一、粉体喷射搅拌（桩）法和水泥浆	
第三节 地下连续墙	143	搅拌（桩）法	177
一、概述	143	二、高压喷射注浆法	179
二、地下连续墙的施工	144	三、胶结法	180
思考题	150	第七节 土工合成材料加筋法	182
练习题	151	一、土工合成材料的排水、反滤作用	183
		二、土工合成材料的加筋作用	184
		三、土工合成材料在应用中的问题	185
		思考题	186
		练习题	186
第五章 软弱地基处理	152		
第一节 概述	152	第六章 特殊土地基的特点及其处理	188
第二节 软土地基	155	第一节 湿陷性黄土地基	188
一、软土的成因及划分	155	一、湿陷性黄土的定义和分布	188
二、软土地基基础工程应注意的事项	156	二、黄土湿陷发生的原因和影响因素	189
三、软土地基桥台及桥头路堤的稳定		三、黄土湿陷性的判定和地基的评价	189
设计应注意的事项	158	四、湿陷性黄土地基的处理	191
第三节 换土垫层法	158	五、湿陷性黄土地基的容许承载力和	
一、砂垫层厚度的确定	159	沉降计算	192
二、砂垫层平面尺寸的确定	160	第二节 冻土地区的地基与基础	192
三、基础最终沉降量的计算	160	一、季节性冻土基础工程	193
第四节 排水固结法	160	二、多年冻土地区基础工程	195
一、砂井堆载预压法	161	第三节 膨胀土的处理	197
二、袋装砂预压法井和塑料排水板			
预压法	165		
三、天然地基堆载预压法	167		

一、膨胀土的判别和膨胀土地基的胀缩等级.....	198	三、基础工程的抗震措施	204
二、膨胀土地基承载力	200	思考题	204
三、膨胀土地区桥涵基础工程问题及设计与施工要点	201	练习题	205
第四节 地震区的基础工程	201	附表	206
一、地基与基础的震害	202	参考文献	223
二、基础工程抗震设计	202		

绪 论

知识目标

1. 掌握地基与基础的概念及内涵。
2. 了解基础工程质量的重要性与常见的地基工程分类。
3. 了解基础工程的发展现状，掌握基础工程的特点及学习要求。

能力目标

1. 能够理解基础工程设计计算的原则。
2. 能将作用荷载进行分类，并学会荷载组合，能确定设计时的计算荷载。

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(图 0-1)。基础工程包括建筑物的地基与基础的设计和施工。

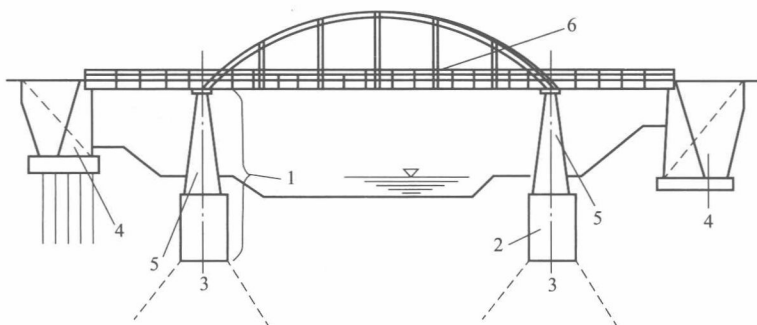


图 0-1 桥梁结构各部分立面示意图

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。根据地质变化情况、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。

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。

基础根据埋置深度可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，需将基础埋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，如深水水中的桥墩基础，称为深水基础，在设计和施工中有些问题需要作为深基础考虑。桥梁及各种人工构筑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，而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，少部分采用钢结构。在石料丰富的地区，就地取材，也常用石砌基础。只有在特殊情况下(如抢修、建临时便桥)才采用木结构。

工程实践表明：建筑物地基与基础的设计 and 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设计和施工所需资料及计算荷载的确定原则作简要介绍。

一、基础工程设计和施工所需的资料

桥梁的地基与基础在设计及施工开始之前，除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，以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、地形等资料见表 0-1。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工程地质、土质学与土力学及桥涵水文等方面的有关教材和手册。

表 0-1 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

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、基础防护构筑物的布置

资料种类		资料主要内容	资料用途
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 (4)墩台、基础防护构筑物的布置
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、水位的调查资料 (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)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
	(2)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
	(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)掌握建桥地点地质、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、施加于桥梁上的作用类型及荷载的确定方法

1. 作用类型

桥梁在施工和使用过程中，车辆荷载、人群荷载、结构自重等直接对桥梁产生影响，温度变化、地震、基础移动变位、混凝土收缩和徐变等间接对桥梁产生影响。可以将对桥梁产生影响的原因分为两类，一类是施加于结构上的外力，包括车辆荷载、人群荷载、结构自重等，它们直接施加于结构上，可用“荷载”这一术语来概括；另一类不是以外力形式施加于桥梁结构上的，它们产生的效应与结构本身的特性、结构所处的环境等有关，包括地震、基础变位、混凝土收缩和徐变、温度变化等。因此，目前国际上普遍将结构效应的所有原因称为“作用”，而“荷载”仅仅是施加于桥梁结构上的一种作用。

作用可分为永久作用、可变作用、偶然作用和地震作用。永久作用是经常作用的，其数值不随时间变化或变化微小的作用，包括结构重力、预加力、土的重力、土侧压力、混凝土收缩和徐变作用等；可变作用的数值是随时间变化的，包括汽车荷载、汽车冲击力、人群荷载、风荷载、流水压力、温度作用等；偶然作用的作用时间短暂，且发生的可能性很小，包括船舶或漂流物的撞击作用、汽车撞击作用等；《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2015)将地震单独作为一类。作用分类见表 0-2。

表 0-2 作用分类

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、徐变作用
6		水浮力
7		基础变位作用
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		汽车制动力
13		人群荷载
14		疲劳荷载
15		风荷载
16		流水压力
17		冰压力
18		波浪力
19		温度(均匀温度和梯度温度)作用
20		支座摩阻力
21	偶然作用	船舶的撞击作用
22		漂流物的撞击作用
23		汽车撞击作用
24	地震作用	地震作用

三种不同的作用，其施加于桥梁上的作用持续时间是不同的。永久作用长时间施加，常常伴随桥梁的一生；可变作用间断性发生；而偶然作用很少发生。计算时，不同的作用，其取值方法是不同的，主要同作用持续时间的长短有关系。永久作用主要采用其计算值，如结构自重、土侧压力等；可变作用不能按其最大值取值，需要考虑其变异性，根据概率统计的方法在保证必要的安全性和经济性的前提下取值；偶然作用的取值需要根据理论计算和大量的数据统计分析综合确定。各种作用的取值方法可以查阅《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2015)，这里只作简单介绍。

永久作用应采用标准值作为代表值。可变作用应根据不同的极限状态分别采用标准值、组合值、频遇值或准永久值作为其代表值。可变作用的频遇值是由标准值乘以一个小于 1 的系数(频遇值系数)得到的。可变作用的准永久值是指结构上经常出现的作用取值，是由频遇值乘以一个小于 1 的系数得到的，比频遇值小一些。偶然作用取其设计值作为代表值。

可变作用的标准值应符合下列规定：汽车荷载可分为公路—I 级和公路—II 级；汽车荷载由车道荷载和车辆荷载组成。车道荷载由均布荷载和集中荷载组成。桥梁结构的整体计算采用车道荷载；桥梁结构的局部加载，涵洞、桥台和挡土墙土压力等的计算采用车辆荷载。车辆荷载与车道荷载的作用不重复计算。

2. 作用效应组合

桥梁结构通常承受多种作用。在桥梁结构分析设计时，需要考虑可能同时出现的多种作用的效应组合，求其总的作用效应，同时考虑作用出现的变形性质，包括作用出现与否及作用出现的方向，应在必须考虑的所有可能同时出现的组合中，取其最不利的效应组合进行分析和设计。

公路桥涵结构设计应考虑结构上可能同时出现的作用，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，取其最不利效应组合进行设计。

公路桥涵结构按承载能力极限状态设计时，应采用基本组合和偶然组合两种作用效应组合。

公路桥涵结构按正常使用极限状态设计时，应根据不同的设计要求，采用作用短期效应组合和永久作用标准值效应与可变作用频遇值效应两种效应组合。

(1)作用效应组合原则。只有在结构上可能同时出现的作用，才进行其效应的组合。当结构或结构构件需作不同受力方向的验算时，则应以不同方向的最不利的作用组合效应进行组合。

当可变作用的出现对结构或结构构件产生有利影响时，该作用不应参与组合。实际不可能同时出现的作用或同时参与组合概率很小的作用，不考虑其作用效应的组合。

施工阶段作用效应的组合，应按计算需要及结构所处条件而定。多个偶然作用不能同时参与组合。地震作用不与偶然作用同时参与组合。

(2)作用效应组合。

1)按承载能力极限状态设计时，对持久设计状况和短暂设计状况应采用作用的基本组合，对偶然设计状况应采用作用的偶然组合，对地震设计状况应采用作用的地震组合，并应符合下列规定：

①基本组合。永久作用设计值与可变作用设计值相结合，其作用基本组合的效应设计值可按下式计算：

$$S_{ud} = \gamma_0 S \left(\sum_{i=1}^m \gamma_{G_i} G_{ik}, \gamma_{Q_1} \gamma_L Q_{1k}, \psi_c \sum_{j=2}^n \gamma_{L_j} \gamma_{Q_j} Q_{jk} \right)$$

或

$$S_{ud} = \gamma_0 S \left(\sum_{i=1}^m G_{id}, Q_{1d}, \sum_{j=2}^n Q_{jd} \right)$$

式中 S_{ud} ——承载能力极限状态下作用基本组合的效应设计值；

$S()$ ——作用组合的效应函数；

γ_0 ——结构重要性系数，按《公路桥梁设计通用规范》(JTG D60—2015)规定的结构设计安全等级采用，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_{G_i} ——第 i 个永久作用的分项系数；

G_{ik}, G_{id} ——第 i 个永久作用的标准值和设计值；

γ_{Q_1} ——汽车荷载(含汽车冲击力、离心力)的分项系数。采用车道荷载计算时取 $\gamma_{Q_1} = 1.4$ ，采用车辆荷载计算时，其分项系数取 $\gamma_{Q_1} = 1.8$ 。当某个可变作用在组合中其效应值超过汽车荷载效应时，则该作用取代汽车荷载，其分项系数取 $\gamma_{Q_1} = 1.4$ ；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 $\gamma_{Q_1} = 1.4$ ；计算人行道板和人行道栏杆的局部荷载，其分项系数也取 $\gamma_{Q_1} = 1.4$ ；

Q_{1k}, Q_{1d} ——汽车荷载(含汽车冲击力、离心力)的标准值和设计值；

γ_{Q_j} ——在作用组合中除汽车荷载(含汽车冲击力、离心力)、风荷载外的其他第 j 个可变作用的分项系数，取 $\gamma_{Q_j} = 1.4$ ，但风荷载的分项系数取 $\gamma_{Q_j} = 1.1$ ；

Q_{jk}, Q_{jd} ——在作用组合中除汽车荷载(含汽车冲击力、离心力)外的其他第 j 个可变作用的标准值和设计值；

ψ_c ——在作用组合中除汽车荷载(含汽车冲击力、离心力)外的其他可变作用的组合值系数，取 $\psi_c = 0.75$ ；

$\psi_c Q_{jk}$ ——在作用组合中除汽车荷载(含汽车冲击力、离心力)外的第 j 个可变作用的组合值；

γ_{L_j} ——第 j 个可变作用的结构设计使用年限荷载调整系数。公路桥涵结构的设计使用年限按现行《公路工程技术标准》(JTG B01—2014)取值时，可变作用的设计使用年限荷载调整系数取 $\gamma_{L_j} = 1.0$ ；否则， γ_{L_j} 取值应按专题研究确定。

当作用与作用效应可按线性关系考虑时，作用基本组合的效应设计值 S_{ud} 可通过作用效应代数相加计算。设计弯桥时，当离心力与制动力同时参与组合时，制动力标准值或设计值按 70% 取用。

②偶然组合。永久作用标准值与可变作用某种代表值、一种偶然作用设计值相组合；与偶然作用同时出现的可变作用，可根据观测资料和工程经验取用频遇值或准永久值。作用偶然组合的效应设计值可按下式计算：

$$S_{ad} = S \left(\sum_{i=1}^m G_{ik}, A_d, (\psi_{f1} \text{ 或 } \psi_{q1}) Q_{1k}, \sum_{j=2}^n \psi_{qj} Q_{jk} \right)$$

式中 S_{ad} ——承载能力极限状态下作用偶然组合的效应设计值；

A_d ——偶然作用的设计值；

ϕ_{f1} ——汽车荷载(含汽车冲击力、离心力)的频遇值系数,取 $\phi_{f1}=0.7$;当某个可变作用在组合中其效应值超过汽车荷载效应时,则该作用取代汽车荷载,人群荷载 $\phi_{f1}=1.0$,风荷载 $\phi_{f1}=0.75$,温度梯度作用 $\phi_{f1}=0.8$,其他作用 $\phi_{f1}=1.0$;

$\phi_{f1}Q_{1k}$ ——汽车荷载的频遇值;

ϕ_{q1}, ϕ_{qj} ——第1个和第j个可变作用的准永久值系数,汽车荷载(含汽车冲击力、离心力) $\phi_q=0.4$,人群荷载 $\phi_q=0.4$,风荷载 $\phi_q=0.75$,温度梯度作用 $\phi_q=0.8$,其他作用 $\phi_q=1.0$;

$\phi_{q1}Q_{1k}, \phi_{qj}Q_{1j}$ ——第1个和第j个可变作用的准永久值。

当作用与作用效应可按线性关系考虑时,作用偶然组合的效应设计值 S_{ad} 可通过作用效应代数相加计算。作用地震组合的效应设计值应按现行《公路工程抗震规范》(JTGB02—2013)的有关规定计算。

2)按正常使用极限状态设计时,应根据不同的设计要求,采用作用的频遇组合或准永久组合,并应符合下列规定:

①频遇组合。永久作用标准值与汽车荷载频遇值、其他可变作用准永久值相结合。作用频遇组合的效应设计值可按下式计算:

$$S_{fd} = S(\sum_{i=1}^m G_{ik}, \phi_{f1}Q_{1k}, \sum_{j=2}^n \phi_{qj}Q_{jk})$$

式中 S_{fd} ——作用频遇组合的效应设计值;

ϕ_{f1} ——汽车荷载(不含汽车冲击力)的频遇值系数,取 0.7。

当作用与作用效应可按线性关系考虑时,作用偶然组合的效应设计值 S_{fd} 可通过作用效应代数相加计算。

②准永久组合。永久作用标准值与可变作用准永久值相组合。作用准永久组合的效应设计值可按下式计算:

$$S_{qd} = S(\sum_{i=1}^m G_{ik}, \sum_{j=1}^n \phi_{qj}Q_{jk})$$

式中 S_{qd} ——作用准永久组合的效应设计值;

ϕ_{f1} ——汽车荷载(不含汽车冲击力)的准永久系数,取 0.4。

当作用与作用效应可按线性关系考虑时,作用准永久组合的效应设计值 S_{qd} 可通过作用效应代数相加计算。

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。

另外，许多可变荷载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，也需进行横桥向计算，可能为横桥向控制设计。

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如下：

- (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。

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，将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；将强度、变形和稳定性紧密的与现场条件、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。可靠性就是指系统在规定时间内、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—1984)采用了概率极限状