

● 示范性特色专业改革教材

杨侶珍 主编 周 涛 主审

JICHU
GONGCHENG

基础工程



西南交通大学出版社

示范性特色专业改革教材

基础工程

杨吕珍 主编

周 涛 主审

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

基础工程 / 杨侶珍主编. —成都: 西南交通大学出版社, 2015.1

示范性特色专业改革教材

ISBN 978-7-5643-3726-1

I. ①基… II. ①杨… III. ①地基-基础(工程)-
高等职业教育-教材 IV. ①TU47

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 027133 号

示范性特色专业改革教材

基础工程

杨侶珍 主编

责任编辑	孟苏成
封面设计	本格设计
出版发行	西南交通大学出版社 (四川省成都市金牛区交大路 146 号)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮政编码	610031
网 址	http://www.xnjdcbs.com
印 刷	成都市书林印刷厂
成品尺寸	185 mm × 260 mm
印 张	13
字 数	323 千字
版 次	2015 年 1 月第 1 版
印 次	2015 年 1 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-3726-1
定 价	32.00 元

课件咨询电话: 028-87600533

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

本教材是根据湖南交通职业技术学院《湖南省道路与桥梁工程技术示范性特色专业项目》建设的要求编写的。教材参照最新国家规范和规程编写，在总结国内外最新技术的基础上，系统地介绍了天然地基上的浅基础、桩基础、沉井基础、地基处理等方面的内容。全书共 5 章，重点介绍了基础工程的设计原理及国内外成熟的先进技术和施工工艺。

教材在内容的选择上注重实用性、时效性和可操作性，不做公式的推导，而是配合案例，说明计算原理、方法和过程。在编写中本着“少而精”的原则，精选内容，重点突出，系统性强，知识点比较全面，既考虑了教学的要求，又兼顾了工程设计的要求。为了便于学生掌握相关知识点，各章中均编写了详细的例题和思考题。

该教材由湖南交通职业技术学院多位老师共同完成，全书由杨侣珍主编，山东英才学院周涛主审。第一章由杨侣珍、吴敏之共同编写；第二章由余训编写；第三章由李颜艳、杨侣珍共同编写；第四章由杨侣珍编写；第五章由郭芳编写。

限于作者的编写水平和能力，书中疏漏和不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

2015 年 1 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资料及作用效应组合的计算	3
第三节 基础工程设计原则及设计理论	9
第四节 桥梁基础工程的发展历史与现状	11
思考题	13
第二章 天然地基上的浅基础	14
第一节 天然地基上浅基础的类型及构造	14
第二节 刚性扩大基础施工	17
第三节 地基承载力的确定	23
第四节 刚性扩大基础的设计	27
第五节 埋置式桥台刚性扩大基础设计案例	39
思考题	50
第三章 桩基础	52
第一节 概 述	52
第二节 桩与桩基础的分类	53
第三节 桩基础的施工	62
第四节 桩基础施工时问题分析与处理	81
第五节 单桩承载力的确定	83
第六节 基桩内力和位移的计算	94
第七节 桩基础的计算案例	104
第八节 群桩基础竖向荷载下的受力分析及验算	110
第九节 桩基础设计	113
第十节 桩基础的质量检验	116
思考题	121
第四章 沉井基础	123
第一节 概 述	123
第二节 沉井的类型和构造	125
第三节 沉井的施工	132
第四节 沉井施工的问题分析	138
第五节 沉井的质量检验与控制	149

思考题	153
第五章 地基的处理	154
第一节 软土地基	154
第二节 特殊土地基	156
第三节 软弱地基的处理方法	174
思考题	200
参考文献	201

第一章 导论

第一节 概述

一、地基及基础的概念

所有的建筑物都要建造在地面以下一定深度的土层或岩层上(统称地层),建筑物通过其下部结构将荷载传递到地层中去,通常把受建筑物荷载影响的地层称为地基。基础工程包括建筑物地基与基础的设计与施工。

地基的功能是承受建筑物的荷载并保持建筑物稳定。一般可以分为天然地基与人工地基。天然地基是指未经加固处理就能满足设计要求的地基。采用天然地基的基础可缩短工期,降低造价。若地基土质软弱,无法满足上部结构对地基承载力和变形的要求时,需对其进行加固处理,这种地基称为人工地基。

基础是指建筑物向地基传递荷载的下部结构,如图 1.1 所示。基础应埋入地下一定深度,埋入较好土层以保证其有足够的稳定性。基础根据埋置深度和施工工艺特点分为浅基础和深基础。一般,埋置深度较浅(通常埋置深度 $h \leq 5\text{ m}$),只需要经过开挖、排水等施工后就可以建造的称为浅基础,如墙下条形基础、柱下独立基础等;由于浅层土质不良或建筑物荷载过大,需要将基础底面置于较深(通常埋置深度 $h > 5\text{ m}$)处良好的土层上,并且施工较为复杂的基础称为深基础,如桩基础、沉井基础和地下连续墙等。同时,基础还可以分为刚性基

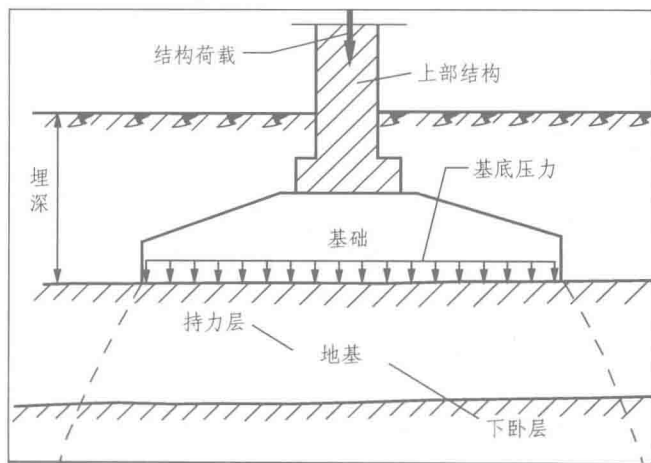


图 1.1 建筑物地基、基础示意图

础和柔性基础。刚性基础是指用抗压性能较好而抗拉、抗剪性能较差的材料建造的基础,受刚性角的限制,常用的材料有砖、三合土、灰土、混凝土、毛石、毛石混凝土等。柔性基础是指用钢筋混凝土修建的基础,与刚性基础相比,柔性基础钢材和水泥用量增加,施工技术复杂,造价较高。当然柔性基础的抗弯和抗剪能力得到了大大地提高,且不受刚性角的限制。

在荷载作用下,地基、基础和上部结构三者之间彼此联系、相互制约。设计时应根据勘察资料,综合考虑三者间的相互作用、变形协调及施工条件,进行经济技术比较,选取安全可靠、经济合理、技术先进和施工简便的地基基础方案。

二、地基、基础的特点

受建筑物影响最大的那一部分地基称为地基持力层(也称为主要受力层);位于持力层之下的地基称为下卧层。当下卧层的土性明显比持力层软弱时,则将该层称为软弱下卧层。

1. 地基的特点

(1) 隐蔽性。地基位于基础之下,不具直观性,即使通过勘察手段也只能揭示其局部。

(2) 离散性。地基由岩土体组成,而岩土体是自然历史的产物,由于其母体和生成条件的变化,各种岩(土)性指标的离散性很大,地域性很强。

(3) 低强度。和其他建筑材料相比,岩土体(特别是土)的强度较低。

(4) 变形复杂。和其他建筑材料相比,岩土体(特别是土)在荷载作用后易于变形且呈现出复杂的变形性质。

2. 基础的特点

基础位于地下,具有隐蔽性;基础的施工环境一般较差,所以其施工质量通常较难控制,容易成为建筑体系中的薄弱环节。基础工程施工难度大,且常在地下或水下进行,往往需挡土排水。基础的造价比较高,工期也比较长。在一般的多、高层建筑中,其造价约占总造价的 25%,工期占总工期的 25%~30%;如需采用人工地基或深基础,其造价和工期所占比例会更大。

三、基础工程的重要性

建筑物的安全和正常使用直接和基础工程勘察、设计、施工质量密切相关。随着大型、重型、高层建筑和大跨径桥梁等的日益增多,在基础工程设计与施工方面积累了不少成功的经验和工程典范,然而也有不少失败的教训。因为基础属于地下隐蔽工程,一旦出现事故,事后补救十分困难。国内外由于地基基础设计或施工不当,导致建筑物失效和造成重大经济损失的例子屡见不鲜。

图 1.2 所示为 1913 年建成的加拿大特朗斯康谷仓,由 65 个圆柱形筒仓组成,高 31 m,平面尺寸 23.5 m×59.4 m,基础为钢筋混凝土筏板基础,厚 0.6 m。谷仓装谷物后,出现明显下沉,在 24 h 内西端下沉 8.8 m,东端上抬 1.5 m,谷仓整体倾斜 26°53',事后勘察发现,基

础下有厚达 16 m 的高塑性软黏土, 谷物及谷仓的重量在基底处产生的平均压力为 330 kPa, 远远超过了地基承载力 (251 kPa), 从而造成地基整体破坏。因谷仓整体性很好, 谷仓虽倾斜但完好无损。采取的补救措施是在谷仓下做了 70 多个支承于基岩上的混凝土墩, 使用了 388 个 50 t 的千斤顶及支撑系统, 才把仓体纠正, 但其标高比原来降低了 4 m。

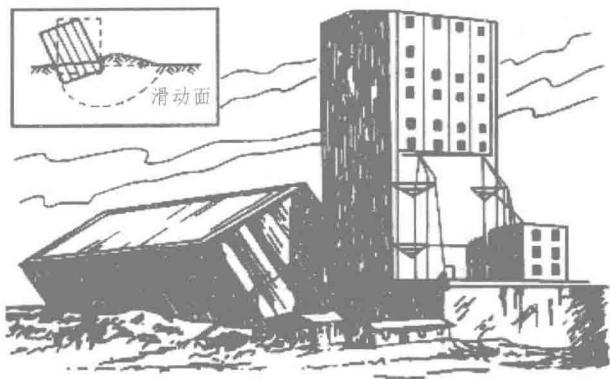


图 1.2 加拿大特朗斯康谷仓事故示意图

第二节 基础工程设计和施工所需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。

1. 桥位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、河心滩和活动沙洲等，均应在图上示出。

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

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 (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
地基土质 调查试验报告		(1) 钻孔资料; (2) 覆盖层及地基土层状生成分布情况; (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
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
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、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、运输条件等有关 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) 河道冲刷和改造情况的参考
	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) 施工临时结构的规划

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、台的永久作用和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。

2. 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、冲沟等的成因、分布范围、发展规律及其对工程的影响。

3. 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,并应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、有机质含量等。

4. 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。

二、可变作用的分类

可变作用指施加在结构上的一组集中力或分布力,或引起机构外加变形或约束变形的原因。前者叫直接作用(荷载),后者叫间接作用。现行《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)根据作用出现的概率、持续时间、量值的变化,将公路桥涵设计采用的作用分为永久作用、可变作用、偶然作用 3 类,详见表 1.2。

(1) 永久作用(恒载): 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。

(2) 可变作用 (活载): 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; 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。

(3) 偶然作用: 船只或漂流物撞击力, 施工荷载和地震力。

表 1.2 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		混凝土收缩及徐变作用
6		水的浮力
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		人群荷载
13		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

三、作用效应组合原则

一般作用效应是指结构对所受作用的反应, 如弯矩、扭矩、位移等。组合原则: 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。最不利作用效应组合指所有可能的作用效应组合中对结构构件产生总效应最不利的一组作用效应组合。桥梁结构设计的关键是全面、合理的作用效应组合, 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。

根据国际标准《结构可靠性总原则》(IS02394)采用以概率理论为基础的极限状态设计方法。极限状态是指结构或结构的一部分超过某一特定状态就不能满足设计规定的某一功能要求。

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: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做不同受力方向的验算时,则应以不同方向的最不利的作用效应进行组合。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,按表 1.3 规定不考虑其作用效应的组合。

表 1.3 可变作用不同时组合

编号	作用名称	不与该作用同时参与组合的作用编号
13	汽车制动力	15, 16, 18
15	流水压力	13, 16
16	冰压力	13, 15
18	支座摩阻力	13

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,结构上的施工人员和施工机具设备均应作为临时荷载加以考虑。组合式桥梁,当把底梁作为施工支撑时,作用效应宜分为两个阶段组合,底梁受荷为第一个阶段,组合梁受荷为第二个阶段。多个偶然作用不同时参与组合。

现行《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)中规定,公路桥涵结构的设计基准期为 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,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各种作用效应组合进行简单介绍。

(一) 公路桥涵结构按承载能力极限状态设计

公路桥涵结构按承载能力极限状态设计时,应采用作用效应基本组合和偶然组合。承载能力极限状态是指达到最大承载能力或不适于继续承载大变形的状态。

承载能力极限状态设计时,永久作用的设计值效应与可变作用设计值效应相组合,称基本组合。承载能力极限状态设计时,永久作用标准值效应与可变作用某种代表值效应、一种偶然作用标准值效应的组合,称为作用效应偶然组合。

1. 基本组合表达式

$$\gamma_0 S_{ud} = \gamma_0 \left(\sum_{i=1}^m \gamma_{Gi} S_{Gik} + \gamma_{Q1} S_{Q1K} + \psi_c \sum_{j=2}^n \gamma_{Qj} S_{Qjk} \right) \quad (1.1)$$

$$\gamma_0 S_{ud} = \gamma_0 \left(\sum_{i=1}^m S_{Gid} + S_{Q1d} + \psi_c \sum_{j=2}^n S_{Qjd} \right) \quad (1.2)$$

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、0.9 (按持久状况承载能力极限状态设计时, 公路桥涵结构的设计安全等级, 应根据结构破坏可能产生的后果的严重程度划分为 3 个设计等级, 并不低于表 1.4 的规定);

表 1.4 公路桥涵结构的设计安全等级

设计安全等级	桥涵结构
一级	特大桥、重要大桥
二级	大桥、中桥、重要小桥
三级	小桥、涵洞

γ_{Gi} ——第 i 个永久作用效应的分项系数;

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);

S_{Q1k} , S_{Q1d} ——汽车荷载效应 (含汽车冲击力、离心力) 的标准值和设计值;

γ_{Qj} ——除汽车荷载效应 (含汽车冲击力、离心力)、风荷载外的其他第 j 个可变作用效应的分项系数, 取 $\gamma_{Qj} = 1.4$, 但风荷载的分项系数取 $\gamma_{Qj} = 1.1$;

S_{Qjk} , S_{Qjd} ——除汽车荷载效应 (含汽车冲击力、离心力) 外的其他第 j 个可变作用效应的标准值和设计值;

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的组合系数 [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, 人群荷载 (或其他一种可变作用) 的组合系数取 $\psi_c = 0.80$; 当除汽车荷载 (含汽车冲击力、离心力) 外尚有二种其他可变作用参与组合时, 其组合系数取 $\psi_c = 0.7$; 当有 3 种可变作用参与组合时, 其组合系数取 $\psi_c = 0.6$; 当有 4 种及 4 种以上的可变作用参与组合时, 取 $\psi_c = 0.5$ 。]

2. 偶然组合表达式

$$\gamma_0 S_{ad} = \gamma_0 \left(\sum_{i=1}^m \gamma_{Gi} S_{Gik} + \gamma_a S_{ak} + \psi_{11} S_{Q1k} + \sum_{j=2}^n \psi_{2j} S_{Qjk} \right) \quad (1.3)$$

式中 γ_0 ——结构重要性系数, 取 $\gamma_0 = 1.0$;

S_{ad} ——承载能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, 稳定性验算时取 $\psi_{11} = 1.0$;

ψ_{2j} ——其他第 j 个可变作用的准永久值系数, 稳定性验算时取 $\psi_{2j} = 1.0$;

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

(二) 公路桥涵结构按正常使用极限状态设计

公路桥涵结构按正常使用极限状态设计时, 应采用作用短期效应组合和长期效应组合。正常使用极限状态是指对应于桥涵结构或其构件达到正常使用或耐久性的某项限值的状态。正常使用极限状态设计时, 永久作用标准值效应与可变作用频遇值效应的组合, 称为作用短期效应组合。正常使用极限状态设计时, 永久作用标准值效应与可变作用准永久值效应的组合, 称为作用长期效应组合。

当基础结构需要进行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作用长期效应组合两种效应组合。

1. 短期效应组合表达式

$$S_{sd} = \sum_{i=1}^m S_{Gik} + \sum_{j=1}^n \psi_{1j} S_{Qjk} \quad (1.4)$$

式中: S_{sd} ——作用短期效应组合设计值;

ψ_{1j} ——第 j 个可变作用效应的频遇值系数, 汽车荷载 (不计冲击力) $\psi_1 = 0.7$, 人群荷载 $\psi_1 = 1.0$, 风荷载 $\psi_1 = 0.75$, 温度梯度作用 $\psi_1 = 0.8$, 其他作用 $\psi_1 = 1.0$;

S_{Qjk} ——第 j 个可变作用效应的频遇值。

2. 长期效应组合表达式

$$S_{ld} = \sum_{i=1}^m S_{Gik} + \sum_{j=1}^n \psi_{2j} S_{Qjk} \quad (1.5)$$

式中: S_{ld} ——作用长期效应组合设计值;

ψ_{2j} ——第 j 个可变作用效应的准永久值系数, 汽车荷载 (不计冲击力) $\psi_2 = 0.4$, 人群荷载 $\psi_2 = 0.4$, 风荷载 $\psi_2 = 0.75$, 温度梯度作用 $\psi_2 = 0.8$, 其他作用 $\psi_2 = 1.0$;

S_{Qjk} ——第 j 个可变作用效应的准永久值。

第三节 基础工程设计原则及设计理论

一、基础工程设计计算的原则

地基、基础、墩台和上部结构是共同工作且相互影响的一个整体, 地基和基础的任何变

化都会影响上部结构的受力和引起变形,为了保证建筑物的安全和正常使用,设计出安全、经济、可行的地基及基础,基础工程设计计算须符合下面的基本原则:

(1) 基础底面的压力小于地基的容许承载力。

要求基础底面的压力小于地基的容许承载力。此外,地基承载力包括持力层承载力、软弱下卧层承载力均应判断是否满足要求。

(2) 地基及基础的变形值小于建筑物要求的沉降值。地基变形包括地基沉降问题和地基稳定性问题。基础整体沉降、倾斜不仅影响建筑外观及使用,对部分敏感建筑还会对上部结构造成次生应力,造成上部结构应力调整重分布,可能影响部分构件承载力,严重的可能出现倾覆问题。所以,地基及基础的变形值应小于建筑物要求的沉降值。

(3) 地基及基础的整体稳定性要有足够保证。地基及基础的整体稳定性要有足够保证,因为所有的基础设计均是建立在地基稳定的前提下进行的。比如建筑物在边坡附近时,首先要保证边坡稳定,其次必须满足建筑基础埋深及距边坡距离要求。

(4) 基础本身的强度、耐久性满足要求。

二、考虑地基、基础、墩台及上部结构整体作用

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,考虑整体作用和各个组成部分的共同作用。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。

所以,要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、基础工程的极限状态设计

当前国际上进行工程结构设计大都采用的是可靠度理论,这也是目前发展的趋势。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。

如何采用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。地基土有着不确定性、复杂性、变异性,采用合适的参数设计是关键。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多得多的变异性,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的误差等, 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。

1. 基础工程极限状态设计与结构极限状态设计结构体系和模型上的特点

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。地基是一个半无限体, 与板梁柱组成的结构体系完全不同。

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处土的特性, 而是取决于一定空间范围内的平均土层特性, 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。

2. 我国概率极限状态设计方法的应用

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, 承载力的选取以不使地基中出现长期塑性变形, 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, 而采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。

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 桥梁基础工程的发展历史与现状

我国是一个具有悠久历史的文明古国, 古代劳动人民在基础工程方面, 也早就表现出高