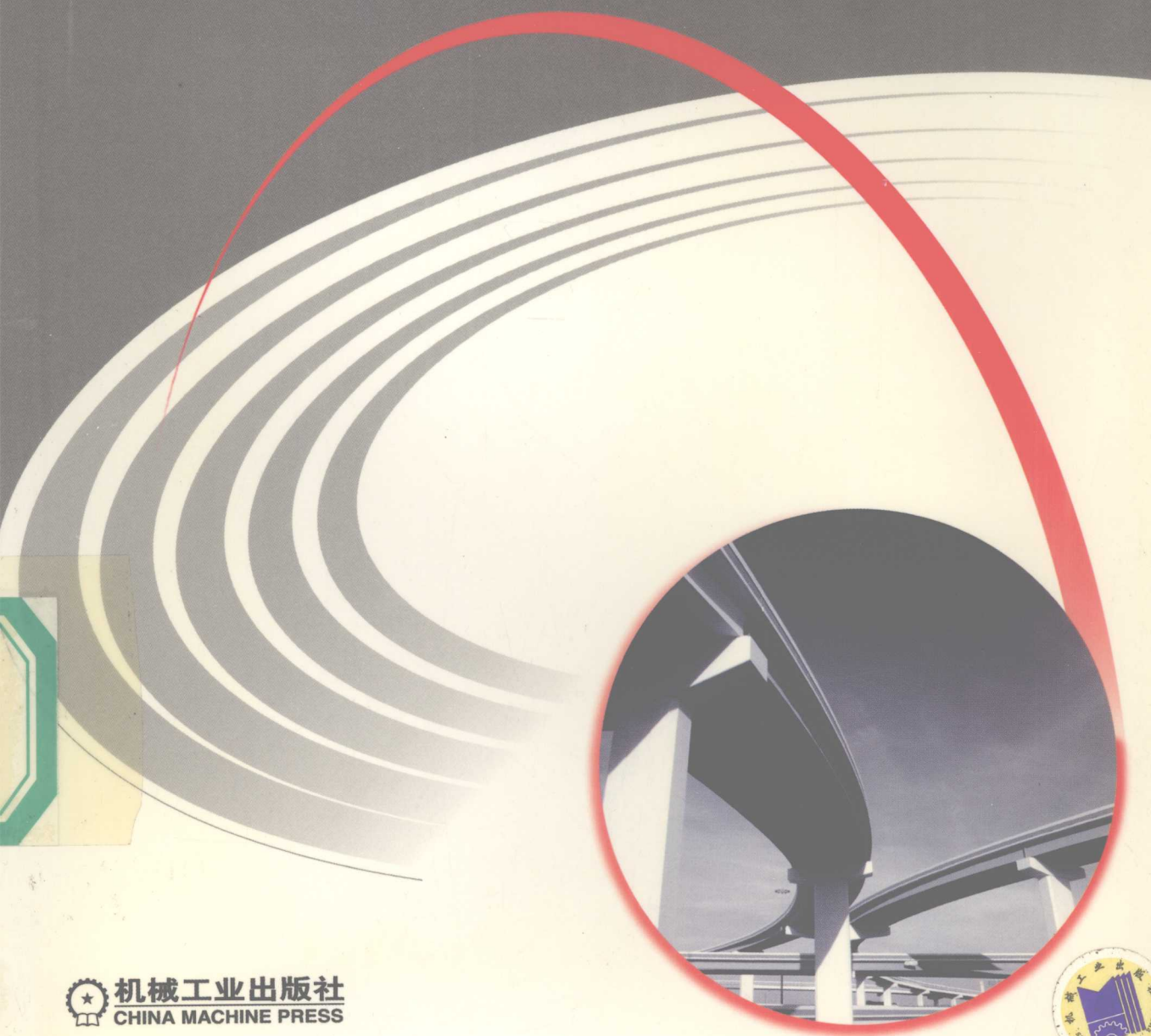




高等职业教育“十一五”规划教材

结构设计原理

胡兴福 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



703

高等职业教育“十一五”规划教材

结构设计原理

胡兴福	邹花兰	胡兴福	主编
	胡海彦	洪英	编著
		王建伟	
		谢兴黄	主审

机械工业出版社

本书根据 2004 年交通部发布的最新规范编写。全书共 11 章, 主要内容包
括: 结构基本计算原则, 结构材料, 钢筋混凝土受弯构件, 钢筋混凝土
受压构件, 钢筋混凝土受拉构件, 钢筋混凝土受扭构件, 预应力混凝土
结构、砖、石及混凝土构件, 钢结构, 钢管混凝土及钢-混凝土组合梁结
构。

本书可作为高职高专院校道路与桥梁工程技术、市政工程技术及其他
相关专业教材, 也可用于在职培训或供有关工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

结构设计原理/胡兴福主编. —北京: 机械工业出版
社, 2005.8 (2006.6 重印)

高等职业教育“十一五”规划教材

ISBN 7-111-17317-1

I. 结… II. 胡… III. 建筑结构-结构设计-高
等学校: 技术学校-教材 IV. TU318

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 099833 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 李俊玲 版式设计: 霍永明 责任校对: 吴美英

封面设计: 姚毅 责任印制: 洪汉军

北京京丰印刷厂印刷

2006 年 6 月第 1 版·第 2 次印刷

184mm×260mm·16 印张·396 千字

3 501—7 500 册

定价: 24.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68326294

编辑热线 (010) 68354423

封面无防伪标均为盗版

高等职业教育“十一五”规划教材

(道路与桥梁、公路监理专业)

编 审 委 员 会

主任委员	孟祥林	南京交通职业技术学院
副主任委员	钟建民	山西交通职业技术学院
	罗凤姿	湖南工程职业技术学院
委 员	王保群	山东交通学院
	田 平	河北交通职业技术学院
	白淑毅	广东交通职业技术学院
	务新超	黄河水利职业技术学院
	刘 武	江西交通职业技术学院
	周志坚	福建交通职业技术学院
	周传林	南京交通职业技术学院
	林丽娟	徐州建筑职业技术学院
	胡兴福	四川建筑职业技术学院
	李俊玲	机械工业出版社(兼委员会秘书)

出版说明

自 20 世纪 90 年代开始,我国公路建设步入了持续、快速发展的轨道。截至 2004 年年底,我国高速公路通车里程已达 3.42 万 km,年增长 21.2%,全国公路通车总里程也达到 185.6 万 km。公路交通建设的发展,使社会急需大量的素质高、应用能力强、富有创新精神的复合型人才,各高等职业院校面临着向社会输送合格的公路专门人才的紧迫任务。“教书育人,教材先行”,人才的培养,离不开优秀的教材。基于此背景和要求,机械工业出版社组织全国多所交通及土建类院校编写了这套针对道路与桥梁、公路监理、高等级公路维护与管理等专业的系列教材。

本系列教材具有以下特点:

1. 贯彻了交通部发布的最新的行业标准规范,保证了实效性,使教学能与实际紧密结合。
 2. 为突出高等职业教育的特点,本套教材的编写班子以双师型教师为主,并吸收了部分企业的技术人员参加教材的编、审工作,使教材更贴近实际,更能反映公路工程建设中最新的技术、工艺和方法。
 3. 不追求教材的系统性和完整性,以够用、实用为原则,将理论知识与实际操作融为一体。基础理论知识以讲清概念、强化应用为重点;专业课加强了针对性和实用性,强化了实践教学,重点培养学生的动手能力和思维方法。
 4. 多数教材中都有“学时分配建议表”,供授课教师参考;章前有“学习目标”,章后有“小结”、“思考题”、“习题(或操作实训)”,更利于学生学习和复习。
 5. 以学生好学、教师上课方便为宗旨,将教学改革成果引入到教材中,并陆续配备电子教案、学习指导等,力争为一线教师提供较全面的立体化的教材。
 6. 在教材内容的选取上,以三年制教学为主,也充分考虑了两年制教学的要求,可供三年制和两年制教学使用。
- 希望本系列教材的出版,能促进高等职业院校道路与桥梁等专业的教材建设,为培养符合市场需要的高技能人才起到积极的推动作用。

机械工业出版社

前 言

2004年10月1日，JTG D60—2004《公路桥涵设计通用规范》、JTG D62—2004《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》正式实施，各校急需根据新规范编写的教材。本教材就是在这种背景下编写出版的。

在编写过程中，编者着力贯彻能力本位思想，注重技能培养，注重结构基本概念和结构构造的介绍；在教材内容的取舍上，注意针对性和实用性，坚持必需够用的原则，并努力做到理论联系实际；在教材内容的结构体系上，根据知识的内在逻辑联系，对传统的组织和表达形式作了较大改革，使之更易教、易学。为了便于教学，章前编写了学习目标与要求、本章重点、本章难点，章后编写了小结、思考题和习题。

本书按80学时左右编写，学时分配建议参见下表。

学时分配建议表

章 名	参考学时
第1章 绪论	1
第2章 结构基本计算原则	4
第3章 结构材料	5
第4章 钢筋混凝土受弯构件	20
第5章 钢筋混凝土受压构件	10
第6章 钢筋混凝土受拉构件	1
第7章 钢筋混凝土受扭构件	2
第8章 预应力混凝土结构	15
第9章 砖、石及混凝土构件	4
第10章 钢结构	16
第11章 钢管混凝土及钢-混凝土组合梁结构	2
合 计	80

本教材根据我国现行公路桥涵设计规范——JTG D60—2004《公路桥涵设计通用规范》、JTG D62—2004《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》、JTJ025—1985《公路桥涵钢结构和木结构设计规范》、JTJ022—1985《公路砖石及混凝土桥涵设计规范》(本书统称为《公路桥规》)编写。

本教材由四川建筑职业技术学院胡兴福,江西交通职业技术学院邹花兰,南京交通职业技术学院洪英,黄河水利职业技术学院胡海彦、王建伟编著,胡兴福任主编。第1、5、10章及附录由胡兴福执笔,第2、4章由邹花兰执笔,第8章由洪英执笔,第3、6、7、9章由胡海彦执笔,第11章由王建伟执笔。

本书由四川交通职业技术学院谢兴黄主审。谢老师对全书进行了十分认真的审阅,提出了不少建设性的意见,对保证本书质量起到了重要作用,谨此表示衷心感谢,并对谢老师严谨的治学态度表示钦佩。

由于对新规范理解不深,加之水平有限,书中疏漏不妥之处难免,恳请读者批评指正。

编 者

目 录

出版说明

前言

第 1 章 绪论..... 1

1.1 结构的概念及类型 1

1.2 结构设计的基本要求 2

1.3 本课程的内容、学习目标及应注意的问题 2

第 2 章 结构基本计算原则..... 4

2.1 作用及其代表值 4

2.2 极限状态法计算原则 6

小结 11

思考题 11

第 3 章 结构材料 13

3.1 建筑钢材 13

3.2 混凝土 21

3.3 钢筋与混凝土共同工作 25

3.4 砌体材料 27

小结 34

思考题 34

第 4 章 钢筋混凝土受弯构件 35

4.1 构造要求 35

4.2 正截面承载力计算 40

4.3 斜截面承载力计算 61

4.4 应力、裂缝及变形计算 78

小结 90

思考题 91

习题 91

第 5 章 钢筋混凝土受压构件 93

5.1 构造要求 93

5.2 轴心受压构件承载力计算 97

5.3 偏心受压构件承载力计算 104

小结 119

思考题 119

习题 120

第 6 章 钢筋混凝土受拉构件 121

6.1 轴心受拉构件承载力计算 121

6.2 偏心受拉构件承载力计算 121

小结 124

思考题 124

第 7 章 钢筋混凝土受扭构件 125

7.1 矩形截面受扭构件承载力计算 125

7.2 T 形截面受扭构件承载力计算要点 130

7.3 构造要求 131

小结 132

思考题 132

第 8 章 预应力混凝土结构 133

8.1 预应力混凝土的基本概念 133

8.2 预加应力的方法及锚夹具 137

8.3 预应力混凝土受弯构件的计算 143

8.4 预应力混凝土构件的构造要求 171

小结 184

思考题 184

第 9 章 砖、石及混凝土构件 186

9.1 轴心受压构件正截面强度计算 186

9.2 偏心受压构件正截面强度计算 188

9.3 受弯、直接受剪构件的强度计算 192

小结 193

思考题 193

习题 193

第 10 章 钢结构 194

10.1 钢结构的连接 194

10.2 轴向受力构件计算 218

10.3 简易钢桁架和钢板梁简介 227

小结 234

思考题.....	236	小结.....	244
习题.....	236	思考题.....	244
第 11 章 钢管混凝土及钢-混凝土组合梁		附录 钢构件（或连接形式）容许应力	
结构	238	类别表	245
11.1 钢管混凝土	238	参考文献	248
11.2 钢-混凝土组合梁	240		

第 1 章 绪 论

1.1 结构的概念及类型

在土建工程中，所有建筑物的承重骨架都是由若干构件通过一定方式连接而成的，用以承受并传递各种作用（包括荷载和间接作用）。如各种桥梁的承重骨架都是由桥面板、主梁、横梁、墩台、拱、索等构件所组成，其中梁、板、拱、索等称为**基本构件**。在建筑物中，**承受和传递作用的各个部件的总和称为结构**，它是由若干构件按照一定的规则，通过正确的连接方式组成的承重骨架体系。

根据构件受力与变形的特点，基本构件可分为受拉构件、受压构件、受弯构件和受扭构件等。在工程实际中，有些构件的受力和变形比较简单，而有些构件的受力和变形则比较复杂，可能是几种受力状态的组合。

按承重结构所用材料不同，桥涵结构可分为钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构、钢结构、砖石及混凝土结构、木结构等。

(1) **钢筋混凝土结构** **钢筋混凝土结构**由钢筋和混凝土两种力学性质不同的材料组成，具有可就地取材，耐久性好，刚度大，可模性好等优点，相对于预应力混凝土结构而言，还具有较好的延展性和抗震性能。其缺点在于，由于混凝土抗拉强度太低，构件容易开裂，跨越能力不大，且构件尺寸大，自重大等。钢筋混凝土结构广泛应用于各种桥梁、涵洞、挡土墙、路面、水工结构和房屋结构等。

(2) **预应力混凝土结构** **预应力混凝土结构**由于在构件承受作用之前预先对混凝土受拉区施加适当的压应力，因而在正常使用条件下，可以人为地控制截面上的应力，从而延缓裂缝的产生和发展，或者说可将裂缝宽度控制在一定的范围之内，且可采用高强混凝土及高强钢材，从而降低自重，增大跨越能力。但高强材料单价高，预应力混凝土结构施工难度大、工序多，对技术要求也较高。

(3) **砖、石及混凝土结构** **砖、石及混凝土结构**俗称圬工结构，又称砌体结构，是用胶结材料与砖、石等块材按一定规则砌筑而成的整体结构。这种结构易于就地取材，且有良好的耐久性，但自重大，施工机械化程度低，多用于中小跨度的拱桥、墩台、挡土墙及防护工程中。

(4) **钢结构** **钢结构**是由型钢或钢板通过一定的连接方式所构成。钢结构的可靠性高，其基本构件可在工厂制作，故施工效率高，周期短。但相对于混凝土结构而言，造价较高，而且养护费用也高。

(5) **木结构** 由于木材易燃、易腐蚀、易变形，加之我国木材资源严重不足，因此，除抢险急修的临时性便道外，禁止修建木桥。

1.2 结构设计的基本要求

结构设计应遵循安全、适用、经济、美观和利于环保的原则。结构设计的目的，就是要使所设计的结构，在规定的时间内具有足够的可靠性，即要求它们在承受各种作用后具有足够的承载能力、刚度、稳定性和耐久性。**承载能力要求**是指在设计使用年限内，结构及各个构件（包括连接件）具有足够的安全储备；**刚度要求**是指结构及各个构件的变形在容许范围内；**稳定性要求**是指结构整体及其各个组成构件在计算荷载作用下都处于稳定的平衡状态；**耐久性**是指结构和构件在设计使用年限内，不发生破坏或产生过大的裂缝而影响正常使用。此外，结构构件还应该满足制造、运输和安装过程中的强度、刚度和稳定性要求。

结构及各个构件在满足可靠性的同时，还应具有经济性。构件的可靠性与材料性质、几何形状、截面尺寸、受力特点、工作条件、构造特点以及施工质量等因素有关。可靠和经济是相互矛盾的。当其他条件已确定，如果构件的尺寸过小，则结构有可能会因为产生过大的变形而不能正常使用，或者因为承载能力不够而导致结构物的崩塌。反之，如果截面尺寸过大，则构件的承载能力又将过分富裕，从而造成人力、物力的过大耗费。结构设计所要解决的根本问题，就是要在结构的可靠与经济之间选择一种合理的平衡，使所建造的结构既经济合理，又安全可靠。

1.3 本课程的内容、学习目标及应注意的问题

本课程主要讨论桥涵结构基本构件的受力特性、计算方法及构造要求，包括钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构、钢结构、砖石及混凝土结构基本构件。通过学习，应懂得结构计算的基本原则，掌握钢筋混凝土结构基本构件计算和钢结构连接计算的方法，了解预应力混凝土结构、砖石及混凝土结构基本构件的计算方法，理解各种结构构件的构造要求，为后续课程的学习和将来从事桥涵结构的施工、设计奠定基础。

为了学好本课程，应注意以下几个方面：

(1) 注意培养“工程思维” 《结构设计原理》是道路与桥梁工程技术、市政工程技术等专业的一门重要的技术基础课，是基础课和专业课之间的桥梁和纽带，同时也具有和基础课、专业课不同的特点。如本课程的绝大多数公式均非单纯由理论推导而来，而是以经验、试验为基础得到的半理论半经验公式；结构设计具有多方案性，即使是同一构件在给定荷载作用下，其截面形式、截面尺寸、配筋方式和数量都没有唯一答案，而只存在好与不好之分，往往需要综合考虑适用、材料、造价、施工等多方面因素，才能做出合理选择，因而设计过程往往是一个多次反复的过程。所以，不能以学习数学、力学等的思维模式和学习方法来学习这门课程。

(2) 要注意本课程同力学知识的联系和区别 本课程所研究的对象，除钢结构外都不符合匀质弹性材料的条件，因此力学公式多数不能直接搬用，但从通过几何、物理和平衡关系来建立基本方程来说，二者是相同的。所以，在应用力学原理和方法时，必须考虑材料性能上的特点，切不可照搬照抄。

(3) 注重规范的学习 从某种意义上说，学习本课程就是学习规范。规范是国家颁布的

关于结构计算和构造要求的技术规定和标准，具有一定的约束性和法规性。我国规范有以下四种情况：

1) 强制性条文。虽是技术标准中的技术要求，但已具有某些法律性质（将来可能会演变成“建筑法规”），一旦违反，不论是否引起事故，都将被严厉惩罚，故必须严格执行。

2) 要严格遵守的条文。规范中正面词用“必须”，反面词用“严禁”，表示非这样做不可，但不具有强制性。

3) 应该遵守的条文。规范中正面词用“应”，反面词用“不应”或“不得”，表示在正常情况下均应这样做。

4) 允许稍有选择或允许有选择的条文。表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做，正面词用“宜”，反面词用“不宜”；表示有选择，在一定条件可以这样做的，采用“可”表示。

我国现行公路桥涵设计规范主要有 JTG D60—2004《公路桥涵通用规范》、JTG D62—2004《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》、(JTJ025—1986)《公路桥涵钢结构和木结构设计规范》、JTJ022—1985《公路砖石及混凝土桥涵设计规范》等，本书统称为《公路桥规》。熟悉并学会应用有关规范是学习本课程的重要任务之一，因此，应自觉结合课程内容学习，以达到逐步熟悉并正确应用之目的。

(4) 重视各种构造措施 现行结构实用计算方法一般只考虑了荷载作用，其他影响，如混凝土收缩、温度影响以及地基不均匀沉降等，难以用计算公式表达。规范根据长期工程实践经验，总结出了一些构造措施来考虑这些因素的影响。所谓**构造措施**，就是对结构计算中未能详细考虑或难以定量计算的因素，在施工简便、经济合理前提下所采取的技术措施，它与结构计算是结构设计中相辅相成的两个方面。因此，学习时不但要重视各种计算，还要重视构造措施，设计时必须满足各项构造要求。但除常识性构造规定外，不能死记硬背，而应该着眼于理解。

第 2 章 结构基本计算原则

● 学习目标

- 1. 重点掌握极限状态设计表达式和作用效应组合表达式。
- 2. 掌握作用、结构功能要求、结构功能极限状态以及结构可靠度等概念。

● 本章重点

极限状态设计表达式和作用效应组合表达式。

● 本章难点

作用效应组合表达式。

结构构件的设计是指在预定的荷载及材料性能条件下，确定构件按功能要求所需要的截面尺寸、配筋和构造要求。

我国现行《公路桥规》采用的是以概率理论为基础的极限状态设计方法，通常简称“概率极限状态设计法”。

2.1 作用及其代表值

2.1.1 作用的分类

所有引起结构反应的原因（内力、变形）统称为作用。按照作用性质的不同，作用包括两类，一类是施加于结构上的外力，如车辆、人群、结构自重等，它们是直接施加于结构上的，故称直接作用，亦称荷载。另一类不是以外力形式施加于结构，它们产生的效应与结构本身的特性、结构所处环境等有关，如地震、基础变位、混凝土收缩和徐变、温度变化等，它们是间接作用于结构的，故称间接作用。

按作用随时间的变异，将作用分为永久作用、可变作用、偶然作用三大类。

（1）永久作用 在结构使用期内，其量值不随时间而变化，或其变化值与平均值比较可忽略不计的作用。

（2）可变作用 在结构使用期内，其量值随时间变化，且其变化值与平均值比较不可忽略的作用。

（3）偶然作用 在结构使用期间出现的概率很小，一旦出现，其值很大且持续时间很短的作用。现将各类作用分类列于表中 2-1 中。

表 2-1 作用分类表

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

(续)		
编号	作用分类	作用名称
4	永久作用	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		船只或漂流物的撞击作用
21		汽车撞击作用

2.1.2 作用代表值

作用代表值是指结构或结构构件设计时，针对不同设计目的所采用的各种作用规定值，它包括作用标准值、准永久值和频遇值等。

1. 作用标准值

作用标准值是在结构设计基准期内，作用可能出现的最大值，其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。

作用标准值是各种作用的基本代表值，准永久值和频遇值一般可以在标准值的基础上计入不同的系数后得到。

对结构自重(包括结构附加重力)标准值，可按结构构件的设计尺寸与材料的重度计算确定。几种常用材料的重度为：钢 78.5kN/m³，钢筋混凝土或预应力混凝土 25.0 ~ 26.0kN/m³，混凝土或片石混凝土 24.0kN/m³，浆砌块石或料石 24.0 ~ 25.0kN/m³，沥青混凝土 23.0 ~ 24.0kN/m³，其余见《公路桥涵设计通用规范》。

可变作用的标准值，包括汽车荷载、人群荷载等，应按《公路桥涵设计通用规范》规定采用。

2. 作用频遇值

作用频遇值是指结构设计基准期内，可变作用频繁出现，且量值较大的作用取值。其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。作用频遇值较作用准永久值大。

可变作用频遇值为可变作用标准值乘以频遇值系数 ψ_1 。

3. 作用准永久值

作用准永久值是指结构设计基准期内, 可变作用经常出现的那部分量值。其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。

可变作用准永久值为可变作用标准值乘以准永久值系数 ψ_2 。

公路桥涵设计时, 对不同的作用应采用不同的代表值。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、频遇值或准永久值作为其代表值。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标准值作为可变作用的代表值。正常使用极限状态按短期效应(频遇)组合设计时, 应采用频遇值作为可变作用的代表值; 按长期效应(准永久)组合设计时, 应采用准永久值作为可变作用的代表值; 偶然作用取其标准值作为代表值。

2.2 极限状态法计算原则

2.2.1 极限状态的概念

1. 结构的功能要求

结构设计的目的, 就是要使所设计的结构, 在规定的时间内能够在具有足够可靠性的前提下, 满足全部预定功能的要求。“规定的时间”是指分析结构可靠度时考虑各项基本变量与时间关系所取用的时间参数, 通常称为设计基准期; “规定的条件”是指结构设计时所确定的正常设计、正常施工和正常使用条件; “预定功能”有以下四个方面:

1) 结构应能承受在正常施工和正常使用期间可能出现的各种荷载、外加变形、约束变形等的作用。

2) 结构在正常使用条件下具有良好的工作性能, 如不发生影响正常使用的过大变形或局部损坏。

3) 结构在正常使用和正常维护的条件下, 在规定的时间内, 具有足够的耐久性, 如不发生由于保护层碳化或裂缝宽度开展过大, 导致钢筋的锈蚀。

4) 在偶然荷载(如地震、强风)作用下或偶然事件(如爆炸)发生时和发生后, 结构仍能保持稳定性, 不发生倒塌。

在上述功能要求中, 第 1)、4) 两项指结构的强度和稳定性, 称为结构的安全性; 第 2) 项称为结构的适用性; 第 3) 项称为结构的耐久性。

结构的安全性、适用性和耐久性是结构可靠的标志, 总称为结构的可靠性。结构能够满足各项功能要求而良好地工作, 称为结构“可靠”, 反之, 则称为结构“失效”。

结构可靠性用结构可靠度度量。结构可靠度的定义是, 结构在规定时间内, 在规定条件下, 完成预定功能的概率。这里, 规定时间指设计基准期, 公路桥涵结构的设计基准期为 100 年; 规定条件指正常设计、正常施工、正常使用和正常维护, 不包括错误设计、错误施工和违反原来规定的使用情况; 预定功能指结构的安全性、适用性和耐久性。

2. 结构功能的极限状态

若整个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, 则此特定状态称为该功能的极限状态。

结构的极限状态分为承载能力极限状态和正常使用极限状态。

(1) 承载能力极限状态 承载能力极限状态对应于桥涵及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的状态。当结构或构件出现下列状态之一时，即认为超过了承载能力极限状态。

- 1) 整个结构或结构的一部分作为刚体失去平衡（如滑动、倾覆等）。
- 2) 结构构件或连接处因超过材料强度而破坏（包括疲劳破坏）。
- 3) 结构转变成机动体系。
- 4) 结构或材料构件丧失稳定（如柱的压屈失稳等）。
- 5) 由于材料的塑性或徐变变形过大，或由于截面开裂而引起过大的几何变形等，致使结构或结构构件不能再继续承载和使用（如主拱圈拱顶下挠，引起拱轴线偏离过大等）。

(2) 正常使用极限状态 正常使用极限状态对应于桥涵及其构件达到正常使用或耐久性的某项限值的状态。当结构或构件出现下列状态之一时，即认为超过了正常使用极限状态。

- 1) 影响正常使用或外观的变形。
- 2) 影响正常使用或耐久性的局部损坏（如过大的裂缝宽度）。
- 3) 影响正常使用的振动。
- 4) 影响正常使用的其他特定状态。

3. 结构的设计状况

公路桥涵应考虑以下三种设计状况及其相应的极限状态设计。

(1) 持久状况 桥涵建成后承受自重、车辆荷载等持续时间很长的状况。该状况下桥涵应作承载能力极限状态和正常使用极限状态设计。

(2) 短暂状况 桥涵施工过程中承受临时性作用（或荷载）的状况。该状况下桥涵应作承载能力极限状态和正常极限状态设计。

(3) 偶然状况 在桥涵使用过程中偶然出现的（如罕遇地震）状况。该状况下桥涵仅作承载能力极限状态设计。

公路桥涵结构除需要按上述三种设计状况进行相应的极限状态设计外，还应根据其所处环境进行耐久性设计。结构混凝土耐久性的基本要求应符合表 2-2 的要求。

表 2-2 结构混凝土耐久性的基本要求

环境类别	环境条件	最大水灰比	最小水泥用量 /(kg/m³)	最低混凝土 强度等级	最大氯离子含量 (%)	最大碱含量 /(kg/m³)
I	温暖或寒冷地区的大气环境;与无侵蚀性的水或土接触的环境	0.55	275	C25	0.30	3.0
II	严寒地区的大气环境、使用除冰盐环境;滨海环境	0.50	300	C30	0.15	3.0
III	海水环境	0.45	300	C35	0.10	3.0
IV	受侵蚀性物质影响的环境	0.40	325	C35	0.10	3.0

注：1. 有关现行规范对海水环境结构混凝土中最大水灰比和最小水泥用量有更详细规定时，可参照执行。
2. 表中氯离子含量系指其与水泥用量的百分比。
3. 当有实际工程经验时，处于Ⅰ类环境中结构混凝土的最低强度等级可比表中降低一个等级。
4. 预应力混凝土构件中的最大氯离子含量为 0.06%，最小水泥用量为 350kg/m³，最低混凝土强度等级为 C40 或按表中规定Ⅰ类环境提高三个等级，其他环境类别提高两个等级。
5. 特大桥和大桥混凝土中的最大碱含量宜降至 1.8kg/m³，当处于Ⅲ类、Ⅳ类或使用除冰盐和滨海环境时，宜使用非碱活性骨料。

2.2.2 结构设计安全等级

公路桥涵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,按表 2-3 划分为三个安全等级进行设计,以体现不同情况桥涵的可靠度差异。特大、大、中、小桥及涵洞按单孔跨径或多孔跨径总长分类规定见表 2-4,对多跨不等跨桥梁,以其中最大跨径为准。

表 2-3 公路桥涵安全等级

安全等级	桥涵类型
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

对于有特殊要求的公路桥涵结构,其设计安全等级可根据具体情况研究确定。

注:本表冠以“重要”的大桥和小桥,系指高速公路和一级公路上、国防公路上及城市附近交通繁忙公路上的桥梁。

同一桥涵结构构件的安全等级宜与整体结构相同,有特殊要求时可作部分调整,但调整后的级差不得超过一级。

表 2-4 桥梁涵洞分类

桥涵分类	多孔跨径总长 L/m	单孔跨径 L_K/m
特大桥	$L > 1000$	$L_K > 150$
大桥	$100 \leq L \leq 1000$	$40 \leq L_K \leq 150$
中桥	$30 < L < 100$	$20 \leq L_K \leq 40$
小桥	$8 \leq L \leq 30$	$5 \leq L_K < 20$
涵洞	—	$L_K < 5$

- 注:1. 单孔跨径系指标准跨径。
2. 梁式桥、板式桥的多孔跨径总长为多孔标准跨径的总长;拱式桥为两岸桥台内起拱线间的距离;其他形式桥梁式桥面系行车道长度。
3. 管涵及箱涵不论管径或跨径大小、孔数多少,均称为涵洞。
4. 标准跨径:梁式桥、板式桥以两桥墩中线之间桥中心线长度或桥墩中线与桥台台背前缘线之间桥中心线长度为准;拱式桥和涵洞以净跨径为准。

2.2.3 作用效应组合

结构上几种作用分别产生的效应的随机叠加,称为作用效应组合。公路桥涵设计时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。

1. 效应组合的原则

1) 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。

2) 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 2-5 规定不考虑其作用效应的组合。

表 2-5 不同时考虑其作用效应的组合

作用编号	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

注:表中作用编号与表 2-1 对应。