

高等学校试用教材

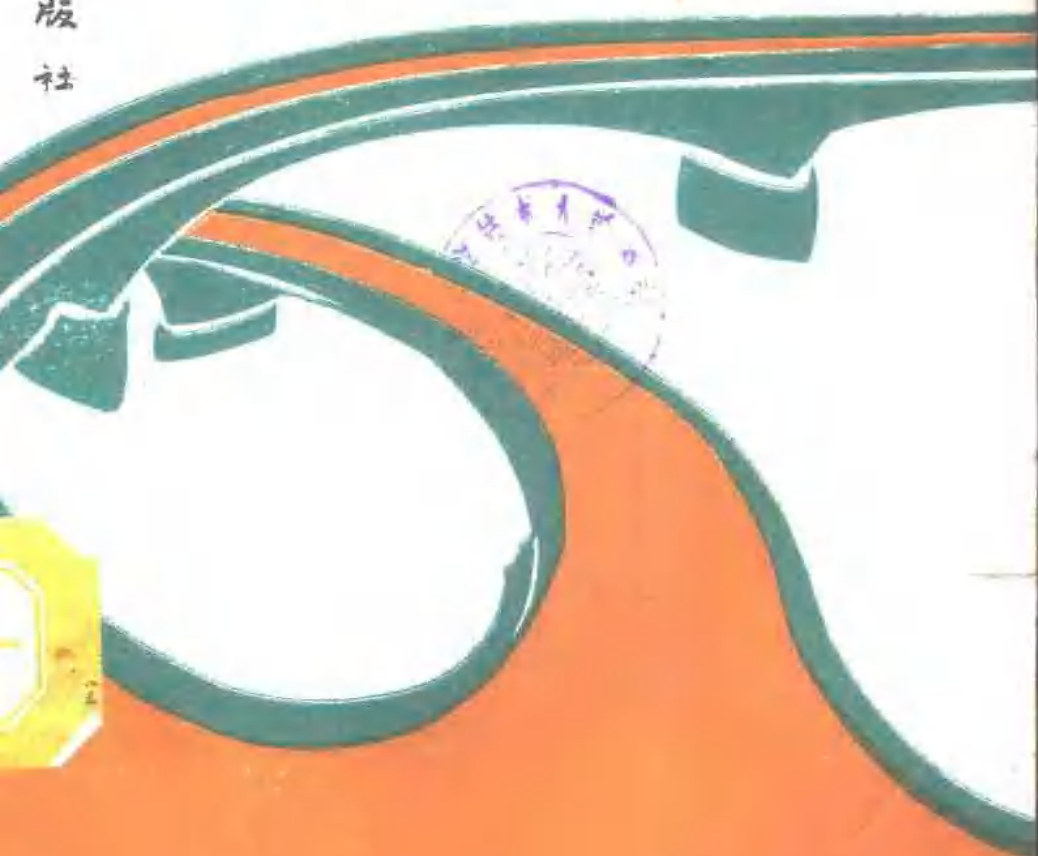
桥梁结构 可靠度

（公路与城市道路工程、桥梁工程专业用）

邹天一

主编

人民交通出版社



高等学校试用教材

桥梁结构可靠度

Qiaoliang Jiegou Kekaodu

(公路与城市道路工程、
桥梁工程专业用)

邹 天 一 主编

人民交通出版社

内 容 提 要

本教材共分八章, 主要包括: 公路桥梁结构设计理论的发展概况与其可靠度的描述, 工程结构可靠度研究与应用概况, 结构可靠度的基本概念, 结构可靠度理论与计算方法, 桥梁结构上作用的概率模型, 结构构件抗力的统计特征, 结构可靠度理论在公路工程结构设计标准上的应用, 结构体系可靠度与结构疲劳可靠度的基本概念, 桥梁结构工程质量管理, 有关概率论和数理基础等。

本教材可供公路与城市道路工程专业、桥梁工程专业教学使用, 亦可供公路、桥梁专业设计、科研及施工人员参考。

本教材由重庆交通学院邹天一主编, 其中第一、二、三、四、五、六章及附录由邹天一编写, 第七、八章由重庆交通学院赵泽远编写, 交通部工程管理局鲍钟岳主审。

高等学校试用教材

桥梁结构可靠度

(公路与城市道路工程、桥梁工程专业用)

邹天一 主编

插图设计: 汪萍 正文设计: 周元 责任校对: 戴瑞萍

(100013 人民交通出版社出版)

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经销

人民交通出版社印刷厂印刷

开本: 850×1168 印张: 9.375 字数: 247千

1991年6月 第1版

1991年6月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—4520册 定价: 2.55元

ISBN 7-114-01063-X

U·00693

目 录

第一章 绪论	1
第一节 桥梁结构设计理论的演变与可靠度的描述.....	1
第二节 结构可靠度理论的发展和应用.....	8
第三节 结构可靠度的基本概念.....	11
第四节 结构可靠度分析的程序.....	24
第二章 结构可靠度理论与计算方法	29
第一节 一次二阶矩理论的中心点法.....	29
第二节 一次二阶矩理论的验算点法.....	38
第三节 一次二阶矩理论的实用分析法.....	61
第三章 桥梁结构上作用的概率模型	71
第一节 桥梁结构上作用与作用效应.....	71
第二节 荷载随机变量概率模型的统计推断.....	74
第三节 荷载随机过程概率模型.....	97
第四节 作用的代表值.....	123
第四章 结构构件抗力的统计特征	127
第一节 结构构件抗力的基本概念.....	127
第二节 结构构件抗力不定性的诸因素分析.....	129
第三节 结构构件抗力的统计特征.....	132
第五章 结构可靠度理论的设计标准	136
第一节 结构可靠度理论编制的设计标准.....	136
第二节 结构构件的目标可靠指标.....	143
第三节 结构构件的实用设计表达式.....	147
第四节 结构构件设计表达式中各分项系数的确定.....	150
第五节 荷载组合与荷载组合系数.....	153
第六节 概率极限状态设计方法的特点.....	164

第六章 桥梁结构体系可靠度与结构疲劳可靠度	166
第一节 结构体系可靠度	166
第二节 结构疲劳可靠度	177
第七章 桥梁结构工程质量管理	188
第一节 材料性能质量要求	188
第二节 质量管理	195
第三节 质量控制	201
第四节 质量检验	210
第八章 结构可靠度的概率论和数理统计基础	215
第一节 随机事件与概率	215
第二节 随机变量及其概率分布	223
第三节 二维随机向量及其联合分布	253
第四节 随机变量函数	255
第五节 数理统计基础知识	262
附录	274
附表 1 标准正态分布表	274
附表 2 标准正态分布的密度函数表	278
附表 3 χ^2 分布表	280
附表 4 t 分布的双侧分位数 (t_{α}) 表	281
附表 5 柯尔莫哥洛夫检验的临界值 ($D_{\alpha,n}$) 表	282
附表 6 Γ 函数表	284
附表 7 韦布尔分布用表	285
附表 8 计算统计量 W 所必需的系数 $a_k(W)$ 表	287
附表 9 统计量 W 的 P 分位数表	292
附表 10 统计量 Y 的 P 分位数表	293
附表 11 正态分布 A^* 临界值表	294
主要参考文献	295

第一章 绪 论

第一节 桥梁结构设计理论的 演变与可靠度的描述

一、概 述

房屋、铁道、公路、港工、水工等建筑工程结构统称为工程结构。公路桥梁结构属工程结构的一个组成部分。这些结构最早的设计是以纯经验或生物比拟为依据的。我国和世界各地的古代建筑主要采用笨重的木结构和其它承重墙或拱式体系，只要求所建造的结构在施工后不破坏，就认为是安全可用的。到19世纪，由于材料力学、弹性力学和材料试验科学的发展，在纳维叶（Navier）等人的共同努力下，建立了以弹性理论为基础的容许应力设计法。20世纪初期，人们对工程结构破坏性能研究的深入，又提出了破坏阶段设计法，最初是破坏荷载（最大荷载）方法，后改为破坏应力方法。到本世纪50年代，苏联学者明确地提出了结构极限状态的概念和设计方法。随后，出现了单一系数或多项系数表达的极限状态设计法。70年代以来，又先后形成了以结构可靠性理论为基础的，采用分项系数表达的概率极限状态设计法。

二、我国公路桥梁结构设计理论的演变

我国公路桥梁结构设计理论的变革与其它工程结构设计理论的变革大体相同。从桥涵设计规范而言，可分为以下几个阶段：

第一阶段：50年代以前，基本上没有单独的公路桥梁结构设计规范。但参照房屋或铁路桥梁结构的设计方法，即传统的容许

应力设计法。

第二阶段：50年代到70年代，逐步地形成我国公路桥梁结构设计规范时期。最初主要是采用苏联的桥梁结构设计规范（容许应力设计法），如苏联1948年编制的《公路桥涵设计规范》。1961年我国编制了《公路桥涵设计规范》，该规范结合我国具体情况增加了不少新内容，如大跨度的石拱桥梁设计等。但设计方法仍是传统的容许应力设计法。

该法的基本原则是结构构件的实际应力小于或等于结构设计规范所给定的容许应力。其表达式为

$$\sigma_j \leq [\sigma] \quad (1-1)$$

式中： σ_j ——结构构件的实际应力。是结构设计规范规定的标准荷载，按材料力学公式以线性弹性理论计算出的；

$[\sigma]$ ——所给定的容许应力。该容许应力，用大于1.0的安全系数去除某一适当的极限应力。表达式为

$$[\sigma] = \frac{\sigma_R}{K} \quad (1-2)$$

式中： σ_R ——结构构件的极限应力。如塑性材料取屈服极限；脆性材料取强度极限；

K ——结构构件的安全系数。一般由经验判断确定，如塑性材料的安全系数取1.4~1.6；脆性材料的安全系数取2.5~3.0。

容许应力设计法是随着材料的弹性力学的发展而兴起的，因此，人们习惯地把容许应力设计法与弹性设计联系起来，并从此指出它在理论上不如极限设计，而忽视了容许应力设计中还包括了极限设计的内容。如对于轴心拉杆的设计，人们认为应力是均匀分布在杆件的截面上，当均匀应力达到屈服应力时，杆件所承受的荷载也达到最大荷载，所以，这种状态当然是极限设计。

容许应力设计法之所以能维持较长的时间，是因它还具有一些明确的特点：其一是应用方便，设计者对它很熟悉；其二是按此方法设计可以满足正常使用的要求，如在标准荷载作用下能保

持低应力，对混凝土梁的挠度、裂缝宽度等都难于达到规定的限值或临界值。但该法也存在着突出的缺点，其一是它按线性弹性理论以构件危险截面某一点或某一局部的应力为其强度或屈服极限，故对应力分布不均匀的情况，如受弯构件，受扭构件，或不静定结构等，其设计是过于保守；其二此法所给定的容许应力不能保证各种结构具有比较一致的可靠水平。一般来说恒载的估算比活载的估算要准确些，假如一个结构所受的荷载，其恒载对活载的比值很高，则其破坏的可能性就小。反之，则较大；其三此法没有适当考虑荷载增大的不同比率或具有不同的符号。所采用的隐含的单一安全系数，是假设所有荷载的增大皆具有相当的比率。这对于出现反应力的情况，即由高变异荷载如风、土压力等所引起的力与由相对来说近于常量的荷载（如恒载或预加力）所引起的力的符号相反时，就不适用了。

第三阶段：1974年编制的我国《公路桥涵设计规范》。其特点仍是以容许应力设计法表达的，但含有极限状态计算方法，即在确定容许应力时按极限状态方程式表达。这种方法又称为新的容许应力设计法。如以钢筋混凝土构件强度设计为例，根据极限状态的原理，结构构件中可能出现的最大内力值不得大于其承载能力的可能最小值，其表达式为

$$K_0, K_1, K_2, K_3, K_4, N \leq f(R^b \cdot S) \quad (1-3)$$

式中：N —— 标准荷载效应；

K_0 —— 设计经验系数；

K_1 —— 荷载变异系数；

K_2 —— 构件强度变异的材料最小强度影响系数；

K_3 —— 构件强度变异的其它影响系数，主要考虑设计假定计算公式与实际的出入；

K_4 —— 构件重要性的增大系数；

$f(R^b \cdot S)$ —— 构件的标准强度，包括材料标准强度和构件截面尺寸。

对于钢筋，其容许应力表达式为

$$[\sigma_g] = \frac{R_s^b}{K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4} \quad (1-4)$$

式中： R_s^b ——钢筋的强度取值（标准强度）。

令 $K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4$ 表示钢筋的安全系数，由多系数合并为单一的安全系数。

由式(1-4)改写为

$$[\sigma_g] = \frac{R_s^b}{K} \quad (1-5)$$

上述的新的容许应力设计法，比传统的容许应力设计法前进了一步。其主要特点有

1. 从式(1-3)可看出，它是极限状态设计中，承载能力极限的基本原则，即在设计某一构件时应满足最大荷载的效应力小于最小抗力。把式(1-3)整理后可得一般的承载能力极限状态设计表达式为

$$K_0 \cdot K_4 \cdot K_1 N \leq \frac{f(R^b \cdot S)}{K_2 \cdot K_3} \quad (1-6)$$

式(1-6)左端表示某结构构件的最大荷载效应。因 K_1 为荷载的变异系数，即考虑了实际荷载超过标准荷载的超载情况。

式(1-6)右端表示某结构构件承载能力的最小值。因 K_2 、 K_3 均是考虑构件强度的变异系数，即考虑了由于构件强度的不定性引起的折减情况。

2. 材料强度方面。新的容许应力设计法对各种材料强度均统一为标准强度，多数按经验取值，亦有的按统计方法，取平均值减去二至三倍标准差。

3. 新的容许应力设计法仍按隐含的安全系数的容许应力设计表达式进行结构设计。其隐含的安全系数，用多系数进行分析后，综合成单一的总安全系数。这比传统的容许应力设计法中在分析安全系数方面考虑的问题又更深化了一步。但在最后的取值上仍然是以经验为主，这是容许应力设计法中存在的主要问题之一。

第四阶段：1985年批准施行的交通部部颁标准。在桥涵设计

方面主要有：《公路桥涵设计通用规范》、《公路砖石及混凝土桥涵设计规范》、《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》、《公路桥涵地基与基础设计规范》、《公路桥涵钢结构及木结构设计规范》等，按分项系数表达的极限状态设计法进行结构设计。如《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》中明确地规定采用极限状态设计、桥涵结构应进行承载能力极限状态和正常使用极限状态的计算。承载能力极限状态计算以塑性理论为基础。设计的原则是：荷载效应不利组合的设计值小于或等于结构抗力效应的设计值，表达式为

$$S_d(\gamma_g G + \gamma_q \Sigma Q) \leq \gamma_b R_d \left(\frac{R_c}{\gamma_c}, \frac{R_s}{\gamma_s} \right) \quad (1-7)$$

式中：G——永久荷载（结构重力）；

γ_g ——永久荷载（结构重力）安全系数；

Q——可变荷载及永久荷载中混凝土收缩，徐变影响力、基础变位影响力；

γ_q ——荷载Q的安全系数；

S_d ——荷载效应函数；

R_c ——混凝土强度设计采用值；

γ_c ——在混凝土强度设计采用值基础上的混凝土安全系数；

R_s ——预应力钢筋或非预应力钢筋强度设计采用值；

γ_s ——在钢筋强度设计采用值基础上的钢筋安全系数；

R_d ——结构抗力函数；

γ_b ——结构工作条件系数。

正常使用极限状态计算以弹性理论或塑性理论为基础，并进行下列三项校核：

1. 限制应力 $\sigma_d \leq \sigma_L$ (1-8)

2. 短期荷载下的变形 $f_d \leq f_L$ (1-9)

3. 有关荷载组合作用下的裂缝宽度

$$\delta_d \leq S_L$$

以上 σ_L 、 f_L 、 δ_L 为应力，变形，裂缝宽度的限值。

公路桥梁结构设计方法，由容许应力设计过渡到极限状态设计，应该说是设计理论上的重大发展。其主要特点有：

1. 容许应力设计以弹性理论为基础，只考虑了部分极限（如轴心受拉、压构件）。而极限状态设计以塑性理论或弹塑性理论为基础，较为全面的考虑了极限状态，并相应的列出了极限状态的类型，如承载能力极限状态和正常使用极限状态，以及其设计表达式和限值。

2. 极限状态设计法采用分项安全系数的设计表达式。砖石及混凝土、钢筋混凝土及预应力混凝土等桥涵设计规范均规定了各分项安全系数值，设计人员易掌握使用。

3. 在确定各分项安全系数时，在安全与经济总的水平上与容许应力设计法相差不大的原则下，对某些构件安全储备大的和弱的作了适当调整。

4. 材料强度方面的取值原则。总的来看与容许应力设计法的取值原则出入不大，但考虑了材料的塑性阶段，在某些材料的计算强度数值上作了较大的调整。其取值的原则、有统计数据的取平均值减二倍标准差。没有统计数据的仍根据工程经验确定。

但是，极限状态设计法对结构可靠度问题的考虑，仍然采用分项安全系数来描述，在确定各分项安全系数时还是以工程经验和部分统计分析。

第五阶段：1986年国家计委下达任务编制《公路工程结构可靠度设计统一标准》。该标准是以结构可靠性理论为基础，采用分项系数表达的概率极限状态设计法。它是修订公路工程结构设计和施工规范的依据，按该标准修订的公路桥梁结构设计规范，将使桥梁结构设计理论和方法更加先进和合理，从而赶上国内外工程结构设计的先进水平。

三、容许应力设计法和极限状态设计法与其可靠度问题

容许应力设计法和极限状态设计法的理论虽然有所不同，但

是，对结构可靠度的描述和表达基本上相同，在取值的处理方法上，由于当时的条件不同，所以，亦有些差异。

不管是何种设计理论，都与其结构的可靠度问题有直接的关系，并采用了适当的形式来描述和表达。

传统的容许应力设计法 用隐含的单一的安全系数来描述结构的可靠度（当时称为安全度）。表现在规定的容许应力中考虑了一个安全系数 K 值，其值是根据工程的实践经验确定的。

新的容许应力设计法仍采用隐含的安全系数来描述结构的可靠度。只不过在分析安全系数时、采用多系数表达，最后将各系数综合成为单一的安全系数。在取值上大多数仍以工程实践经验为主。

极限状态设计法 采用分项安全系数来描述结构的可靠度，各分项安全系数的取值，以经验和部分统计分析相结合。

用安全系数来描述结构的可靠度，在结构设计理论的发展史上起了一定的作用。但是，由于科学技术的发展，人们对结构设计理论的研究不断深入，从而揭示出它存在的严重缺点：

1. 各设计理论对结构的可靠度没有明确的定义，误认为安全系数就是其可靠度。

2. 各设计理论把影响结构设计的诸变量，如各种荷载、各种材料所组成的结构抗力等，均视为定性的。实际上它们都是不定性的随机变量。

3. 各种设计理论所确定的安全系数，大多数是由工程实践经验为主确定，缺乏实际统计分析的数据作为依据。

4. 各种设计理论所设计的各种结构构件，采用安全系数均不相同。因此，它们之间就没有可比性，造成相互之间的不统一。

为了使结构设计理论更加合理，在总结过去使用过的设计理论优缺点的基础上，提出了用新的概念来描述结构可靠度，以及适用于结构设计的理论和方法。这就是目前国内外工程结构设计中，采用的可靠性理论为基础的极限状态设计法。

第二节 结构可靠度理论的发展和应用

土木建筑工程领域进行可靠性研究,是从本世纪50年代开始。美国学者弗罗依登彻尔(A.M.Freudenthal)发表了“结构的安全度”论文,苏联学者斯特列律茨基(Н.С.Стрелецкий)和尔然尼采(А.Р.Ржаницыи)提出了结构可靠度二阶矩理论的基本概念和计算方法,假定影响可靠度的基本变量均为正态分布,用平均值和标准差来计算可靠度,但对于非正态分布的变量计算出的可靠度就不精确了。到1969年美国学者康乃尔(C.A.Cornell)提出与结构失效概率有直接联系的可靠指标 β 值,作为衡量可靠度的数量指标,并建立了结构可靠度计算的一次二阶矩模式。1971年加拿大学者林德(N.C.Lind)在康乃尔提出的模式基础上,采用分离函数方式,将可靠指标 β 值表达成适用于设计规范的分项系数形式。1974年美国学者洪华生(A.H-S. Ang)与康乃尔联合写了“结构安全和设计的可靠性基础”文章,对结构可靠度设计作了详尽的系统论述。1976年美国学者拉克维茨(R.Rackwitz)又提出了可靠度计算中,各种非正态分布基本变量的当量正态分布模式,从而形成了结构可靠度分析与计算的一次二阶矩的整套理论和方法,使以可靠性理论为基础的结构设计理论进入到实际的应用阶段。

一些国际组织,如欧洲混凝土委员会(CEB)、国际预应力混凝土协会(FIP)、欧洲钢结构协会(CECM)、国际桥梁与结构工程协会(IABSE)、国际建筑研究与文献委员会(CIB)、国际材料与结构试验研究所联合会(RILEM)及国际壳体与特种结构协会(IASS)等,于1971年共同成立了“结构安全度联合委员会”(JCSS)。在吸取当时一些研究成果的基础上,编制了“结构统一标准规范的国际体系”共六卷。其中第一卷“对各类结构和材料的共同统一规则”于1976年11月在巴黎召开的(JCSS)年会上讨论通过。国际标准化协会(ISO)于1973年提

出了“检验结构安全度总则”(ISO2394)。该文以后经过多次修订,于1980年改为“结构可靠性总则”,其最新版本于1986年完成。这两个国际性文件都介绍了以可靠性理论为基础的多系数的概率极限设计法的典型模式。这对各国开展工程结构设计规范的改革起到了很好的协调和促进作用。1975年加拿大首先制订了以可靠性理论为基础的极限状态设计统一原则。1977年联邦德国由土建规范委员会的建筑安全度工作委员会,编制了“确定建筑物安全度的基础”,作为编制其它规范的依据。1978年北欧五国(丹麦、芬兰、冰岛、挪威和瑞典)的建筑委员会(NKB),提出了“结构荷载与安全度设计规程的建议”。1980年美国国家标准局提出了“基于概率的荷载准则”(ANSI A-58)。1978年至1982年英国国家标准化协会陆续编制完成了“钢、混凝土和结合梁桥设计规范(BS 5400)。

国际性学术活动方面,在美国学者弗罗依登彻尔的倡议下,建立了国际结构安全性和可靠性学术会议。第一次会议是1969年在美国的华盛顿召开,第二次会议是1977年在联邦德国的慕尼黑召开,第三次会议是1981年在挪威的春德黑姆召开,第四次会议是1985年在日本的神户召开,第五次会议是1989年在美国的洛杉矶召开,以后每隔四年召开一次会议。

国内为了提高结构设计理论和设计规范的先进性、合理性和统一性,原国家建委于1976年首先在建工部门下达了开展“建筑结构安全度与荷载组合”课题的研究任务。1979年又下达了编制“建筑结构设计统一标准”的任务,于1984年完成并经国家计委批准试行。随后,根据该统一标准对建筑结构设计各种专业规范进行修订,1989年各种新的建筑结构设计规范陆续出版使用。这是以可靠性理论为基础的结构设计理论在我国取得的首批成果。为了更广泛的在工程结构设计领域内推广,1985年国家计委下达了由建筑科学研究院主持编制全国的“工程结构可靠度设计统一标准”。参加单位有铁道部科学研究院、铁道部专业设计院、交通部水运规划设计院、交通部公路规划设计院、交通部第

一航务工程勘察设计院、水电部水电规划设计院、河海大学、福建师范大学及重庆交通学院等。包括了工程结构方面的五大部门，即建工、铁道、公路、港工、水工。经过几年多次编制组会议讨论，对以结构可靠性理论为基础的，采用分项系数表达的概率极限状态设计的共同考虑的原则取得了统一的认识。1989年底提出了该标准的送审稿，并经审查报国家计委审批。在编制全国的“工程结构可靠度设计统一标准”的同时，于1986年国家计委先后下达了铁路工程结构、公路工程结构、港工结构、水工结构可靠度设计统一标准编制任务。这是各部门工程结构设计统一标准，它将指导本部门各专业规范的编制或修订。目前以可靠性理论为基础的概率极限状态设计，在我国工程结构领域内已形成一个个互相配套的完整体系。各层次的标准、规范的关系如图 1-1 所

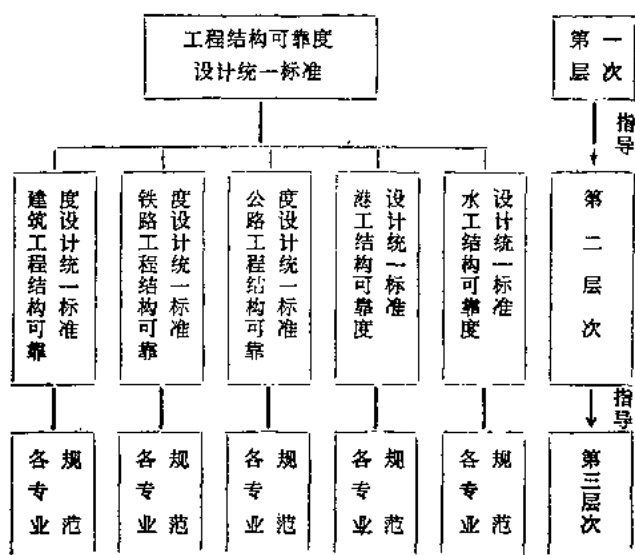


图1-1 各层次标准、规范关系示意

示。第一层次为全国“工程结构可靠度设计统一标准”。第二层次为各部门的工程结构可靠度设计统一标准。第三层次为各部门

中的专业标准规范。第一层次担负解决第二层次的基本原则和基本方法。第二层次担负解决把第一次层次的基本原则和基本方法同本部门的工程结构实际情况结合起来，给予进一步充实与深化的任务，作为制定本部门第三层次专业标准规范的依据。第三层次是各部门直接提供设计人员实际应用的标准规范。

第三节 结构可靠度的基本概念

一、结构可靠性与可靠度

结构设计要解决的根本问题是：在结构的可靠与经济之间选择一种合理的平衡，力求以最经济的途径，使建造的结构能满足各种预定功能的要求。

结构的可靠问题，用可靠性来描述。结构可靠性定义为：“结构在规定的时间内，在规定的条件下，完成预定功能的能力”。一般来说，结构应满足下列各项功能的要求：

1. 能承受在正常施工和正常使用期间可能出现的各种作用；（结构上的作用系指一组作用在结构上的集中力和分布力，或引起结构外加变形和约束变形的原因）。
2. 在正常使用时，结构及其组成构件具有良好的工作性能；
3. 在正常维护下具有足够的耐久性；
4. 在发生规定的偶然事件情况下，结构能保持必需的整体稳定性。

上述第1、4项两项的要求，指的结构强度、稳定。关系到人的安全问题，常称为结构的安全性。第2项的要求是指结构的适用性。第3项的要求是指结构的耐久性。结构的安全性、适用性、耐久性总称为结构的可靠性。

结构的可靠性数量度量指标用可靠度来描述。结构可靠度定义为：“结构在规定的时间内，在规定的条件下，完成预定功能的概率”。“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，称为设计基准期。它的作

用是计算结构可靠度时的参考时间坐标，即在这个时间域内所计算的可靠度结果有效，也可以说是在这个时间域内所计算的完成预定功能的概率不会改变。因此，设计基准期与结构的使用寿命有一定的联系，但不能简单的把两者等同起来。若结构的使用时间超过了设计基准期，只是说明所计算的完成预定功能的概率改变了，但是，并不等于结构丧失了功能或不能使用了。设计基准期是根据结构的重要性和使用情况等因素综合而定。

“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的条件。

“预定功能”：是指上述的四项功能。完成各项功能的标志用“根限状态”来衡量。

上述结构可靠度的定义是从统计数学观点出发的，因在各种随机因素的影响下，结构完成预定功能的能力不能事先确定，只能用概率来描述，既科学又能定量。

二、极 限 状 态

结构功能的极限状态定义为“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，此特定状态称为该功能的极限状态”。对于结构的各种极限状态，均应规定明确的标志和限值。

结构的极限状态一般分为下列三类：

1. 承载能力极限状态。这种极限状态对应于结构或构件达到最大承载能力或不适于继续承载的变形。当结构或构件出下列状态之一时，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（如倾复等）；
- 2) 结构构件或连接因材料强度被超过而破坏（包括疲劳破坏），或因过度变形而不适于继续承载；
- 3) 结构转变为机动体系；
- 4) 结构或结构构件丧失稳定（如压屈等）。