

工程规划与设计中的概率概念

[美]A.H-S.ANG (洪华生)

著

[美]W.H.TANG (邓汉志)

孙芳垂 陈星焘 胡世平 译

冶金工业出版社

内 容 提 要

本书译自美国威利公司1975年出版的 Alfredo H.-S. Ang 和 Wilson H. Tang 著《Probability Concepts in Engineering Planning and Design》一书。本书主要论述与工程问题有关的概率论和统计学的基本概念和实用方法。

本书共分九章。第一章着重说明在各类工程问题中概率概念的重要性和必要性；第二章至第四章主要论述概率论的基本概念和基本分析方法；第五章至第七章介绍数理统计的概念和方法；第八章介绍贝叶斯方法及其应用；最后一章（第九章）则着重阐述工程问题中的质量保证和验收抽样的原理及应用。

本书各章均附有联系实际工程问题的实例及大量的习题。书后还附有常用的概率表和索引。

本书为原作者所著全书的第Ⅰ卷。第Ⅱ卷目前尚未出版，其主要内容将包括概率论与统计学中较高深的理论及运用。

本书可作为各高等院校工程系学生的教材，也可供各类工程技术人员和专业设计人员自学使用。

工程规划与设计中的概率概念

〔美〕 A. H.-S. ANG (洪华生) 著
〔美〕 W. H. TANG (邓汉忠)

孙芳垂 陈星焘 胡世平 译

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街嵩祝庵北巷39号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

850×1168 1/32 印张 14 1/2。 字数 389 千字

1985年7月第一版 1985年7月第一次印刷

印数00,001~7,300册

统一书号：15062·4168 定价3.65元

译 者 的 话

近年来,随着科学技术的发展,在许多领域,如土建、机械、水利、交通运输、环境保护以及企业管理、质量检验与控制等,越来越广泛地应用概率论的原理与数理统计的方法来解决工程设计与规划中的问题。

本书主要探讨与上述领域有关的概率概念和它的实际运用。作者简明扼要地论述了概率论的基本原则,在理论的推导上言简意赅,避免用过多的抽象性的概念;而在说明概率论与实际工程问题的关系上,则不惜篇幅,列举了不少实例并在每章中均提供了大量供读者参考和练习的习题。此外,本书内容条理清晰,深入浅出,着重联系实际,在一般有关概率论的著述中颇具特色。

本书作者A.H-S. ANG (洪华生) 和 W.H.TANG (邓汉忠) 均为美国伊利诺大学教授。洪华生是国际知名的结构安全性理论专家,对概率论在工程上的应用,造诣颇深。按作者写作计划,全书分为两卷,本书为第Ⅰ卷,第Ⅱ卷将作更深入的介绍,其中包括统计决策理论、风险分析、可靠性分析、网络规划、排队论以及蒙特卡罗 (Monte-Carlo) 模拟等,第Ⅱ卷尚未出版。

本书翻译过程中,得到许多同志的关注和支持,城乡建设环境保护部建筑设计院顾子聪同志曾参加翻译第四章,电子工业部第十设计院陆东尧同志曾在多方面给予协助,谨向他们表示感谢。

原书中的一些印刷错误,也蒙原作者寄来勘误表,我们已在翻译过程中予以修订。

我们希望,本书的出版有助于提高各类从事工程技术工作的读者对概率论的认识与兴趣。由于我们的水平有限,理解不深,译文中难免有不少错误和不当之处,恳请读者指正。

目 录

第一章 概率在工程中的作用	1
一、引言	1
二、实际事物信息中的不确定性	2
1. 与随机性有关的不确定性	2
2. 不完善模拟和估计中的不确定性	9
三、不确定性条件下的设计和决策	14
1. 机场跑道道面的规划与设计	14
2. 水文设计	15
3. 结构与机械设计	15
4. 有关大地构造的设计	16
5. 施工规划与管理	17
6. 摄影测量、大地测量与地形测量	18
四、控制与标准	18
五、小结	19
第二章 基本概率概念	21
一、事件与概率	21
1. 概率问题的特征	21
2. 概率的计算	24
二、集论的基本原理	25
1. 定义	25
2. 事件的组合	30
3. 运算规则	34
三、概率数学	40
1. 概率论的基本原理, 加法法则	40
2. 条件概率, 乘法法则	47
3. 全概率定理	57
4. 贝叶斯定理	61
四、小结	66

习题	67
第三章 随机现象的分析模型	92
一、随机变量	92
1. 随机变量的概率分布	93
2. 随机变量的主要特征量	100
二、有用的概率分布	111
1. 正态分布	111
2. 对数正态分布	117
3. 伯努利序列及二项分布	121
4. 几何分布	125
5. 负二项分布	129
6. 泊松过程和泊松分布	130
7. 指数分布	137
8. Γ 分布	142
9. 超几何分布	144
10. β 分布	146
11. 其他分布	150
三、多元随机变量	150
1. 联合及条件概率分布	151
2. 协方差和相关性	158
3. 条件均值和条件方差	162
四、小结	164
习题	164
第四章 随机变量函数	195
一、引言	195
二、推导的概率分布	195
1. 一元随机变量函数	195
2. 多元随机变量函数	199
三、随机变量函数的矩	218
1. 引言	218
2. 线性函数的均值与方差	218
3. 独立变量的乘积	223

4. 一般函数的均值与方差	223
四、小结	230
习题	230
第五章 根据观测数据估计参数值	251
一、工程中统计推理的作用	251
二、参数估计的经典方法	253
1. 随机抽样和点估计	253
2. 均值的区间估计	263
3. 计量理论问题	276
4. 方差的区间估计	282
5. 比例估计	286
三、小结	288
习题	289
第六章 分布类型的经验确定法	296
一、引言	296
二、概率纸	297
1. 正态概率纸	298
2. 对数正态概率纸	300
3. 通用概率纸的制作	303
三、假设分布正确性的检验	310
1. 分布的 χ^2 检验法	310
2. 分布的K-S检验法	314
四、小结	317
习题	318
第七章 回归与相关分析	324
一、线性回归的基本概念	324
1. 方差为常量的回归	324
2. 方差为非常量的回归	332
二、多元线性回归	335
三、非线性回归	340
四、回归分析在工程上的应用	346

五、相关分析	354
六、小结	358
习题	358
第八章 贝叶斯方法	370
一、引言	370
二、基本概念——离散型情况	371
三、连续型情况	378
1. 一般公式	378
2. 贝叶斯更新法的一个特殊应用	384
四、抽样理论的贝叶斯概念	387
1. 一般公式	387
2. 由正态母体中抽样	388
3. 估计中的误差	391
4. 共轭分布的应用	394
五、小结	398
习题	399
第九章 质量保证与接收抽样原理	406
一、用归因法进行接收抽样	406
1. 抽样特征 (OC) 曲线	407
2. 合格的连续试验	412
3. 平均输出质量曲线	413
二、变量接收抽样	415
1. 平均质量准则, σ 为已知	416
2. 平均质量准则, σ 为未知	418
3. 次品率准则	419
三、多阶段抽样	422
四、小结	423
习题	423
附录 A 概率表	427
表 A-1 标准正态概率表	427
表 A-2 t 分布的 P 分位值	430

表A-3	χ^2 分布的 $1-\alpha$ 分位值	431
表A-4	K-S 检验中 D_n^α 的临界值	432
附录B	组合公式	433
附录C	泊松分布的推导	437
参考文献		439
索引		445

第一章 概率在工程中的作用

一、引言

模拟、分析和评价的定量方法均为现代工程的工具。其中某些方法已变得十分详尽，并且包括了复杂的数学模型和分析、计算机模拟和最优化技术。可是，无论包括实验室模型在内的模型的完善程度如何，它们总是在以理想化的假设或条件下进行预计的。因此，由这些定量模型导出的信息不一定能够严密地反映实际。

在进行工程设计的过程中，不论所得信息是否充分，其质量是否合格，常常需要作出决策，于是有些决策必须在不确定性的条件下进行判定。这意味着：由决策所确定的结论不能够完全令人置信。加之我们经常要在相似的条件（甚至不相似的条件）推断出信息或通过模型来导出信息。这样，信息可能存在某种程度的不完善。除此之外，许多工程问题还涉及其本身内在就带有随机性的自然过程和现象；这些现象的本质显然是不肯定的，因而不能够明确地描述出来。由于这些原因，在工程规划和设计的过程中所要求的决策是，而且必然是在不确定的条件下作出来的。

无疑这种不确定性对设计和规划的影响都是重要的。然而，这种不确定性的定量分析以及衡量它对工程系统的性能和设计的影响，理应包括概率的概念和方法。而且，在不确定性条件下，工程系统的规划和设计包含着风险，有关决策的制订要求对利害关系进行权衡，所有这些理所当然地均在应用概率范围之内。

按照这种情况，我们看到在工程方面概率的作用是十分广泛的；包括从信息的描述直到提出进行设计及作出决策的依据。有关这些信息、工程设计和作出决策等问题的特例将在以下各节中介绍。

二、实际事物信息中的不确定性

1. 与随机性有关的不确定性

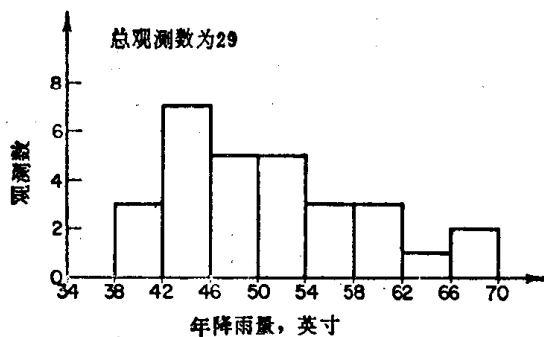
工程师所关心的许多现象或过程均包含着随机性，也就是说，其实际结果（在某种程度上）都是不可预测的。这些现象由总是有差别的这一次现象的观测结果与下一次试验的观测结果（即使它们是在显然一致的条件下进行的）来表征。换言之，测定值或观察值通常有一个范围，而且在这个范围内某些值要比其它一些值出现的次数多些。这类试验数据的特征可以用直方图或频率图的形式描绘出来，如图1-1到1-17所示，它们表示着工程中一些重要自然现象的信息（在某些图中，特别是图1-5，1-6，1-7，1-10，1-13，1-14和1-17还表示出理论的概率密度函数；这些理论函数的意义以及它们和试验频率图的关系将在第三章和第六章讨论）。

图1-1到1-17表示着许多自然现象，罗列这些现象的目的，是为了说明大多数工程信息的自然状态包含着很大的变异性。

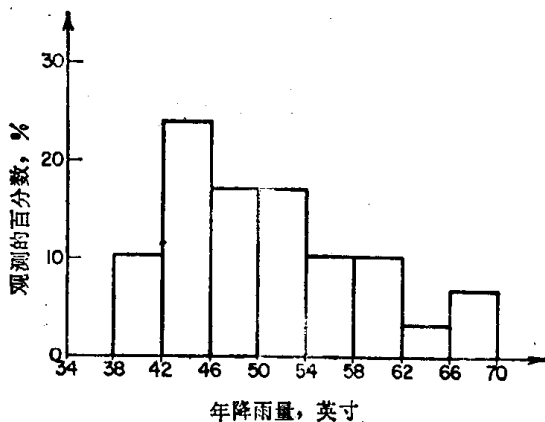
因此，直方图是描述试验信息变异性的实验性图解。对一组特定试验数据，可按下述方法绘制相应的直方图。

从观察到的试验测值范围中，在二维图的横坐标上选择一个能足以包括最大和最小观测值的范围，并将这个范围划分为合适的区间；然后计算每一区间的观测数，并画成直条，以其高度代表该区间的观测数，或者用另一种方法，以在每一区间的总观测数的百分数表示直条的高度。例如，考察某河流域的年（累积）降雨量，表1-1记载着1918年到1946年的记录。研究这些数据，将看出观测的降雨量在39.91~67.72英寸。在38和70英寸之间选择间隔4英寸的均匀区间，每一区间的观测数（和相应的占观测总数的百分数）在表1-2中表示。

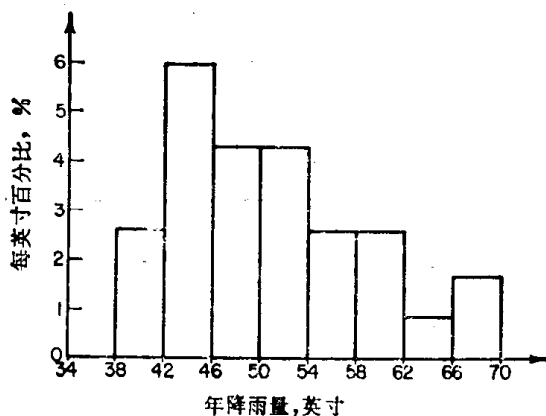
在给定的降雨量区间画出观测数，我们得到该河流域降雨量的直方图，如图1-1a所示，而图1-1b则为以总观测数的百分比表示的相同直方图。



(a)



(b)



(c)

图 1-1 降雨量直方图

a—以观测数计, b—以总观测数的百分数计, c—降雨量的频率图

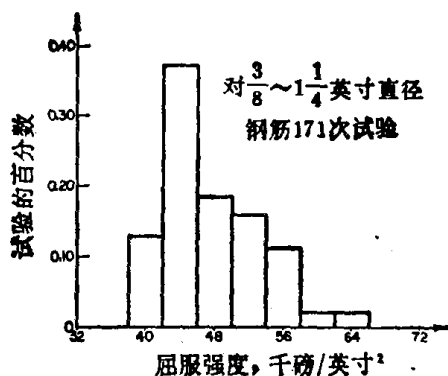


图 1-2 中级钢筋屈服强度直方图

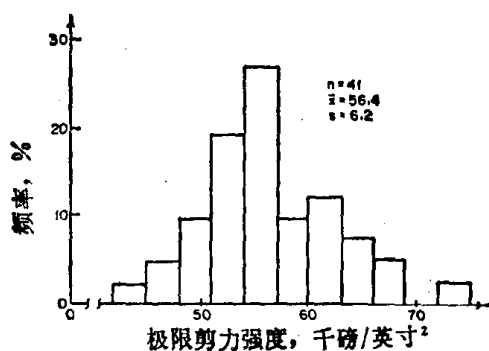


图 1-3 结构节点中贴角焊缝极限剪切强度直方图

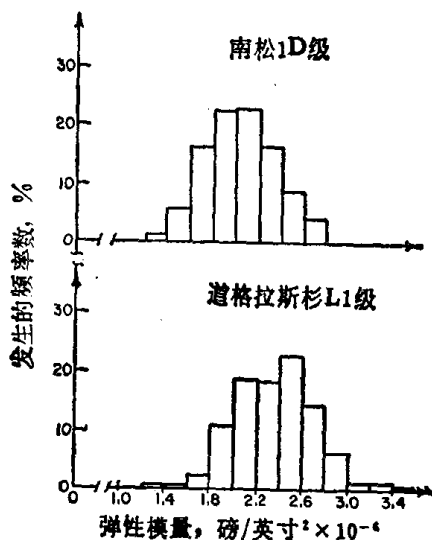


图 1-4 某种木料弹性模量直方图

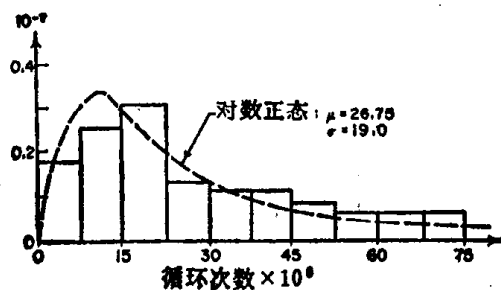


图 1-5 75 S-T 铝疲劳寿命频率图

表 1-1

年	降雨量 (英寸)	年	降雨量 (英寸)	年	降雨量 (英寸)
1918	43.30	1928	54.49	1938	58.71
1919	53.02	1929	47.38	1939	42.96
1920	63.52	1930	40.78	1940	55.77
1921	45.93	1931	45.05	1941	41.31
1922	48.26	1932	50.37	1942	58.83
1923	50.51	1933	54.91	1943	48.21
1924	49.57	1934	51.28	1944	44.67
1925	43.93	1935	39.91	1945	67.72
1926	46.77	1936	53.29	1946	43.11
1927	59.12	1937	67.59		

表 1-2

区 间	观 测 数	占总观测数的百分比
38~42	3	0.1034
42~46	7	0.2415
46~50	5	0.1724
50~54	5	0.1724
54~58	3	0.1034
58~62	3	0.1034
62~66	1	0.0345
66~70	2	0.0690
总 计	29	1.0000

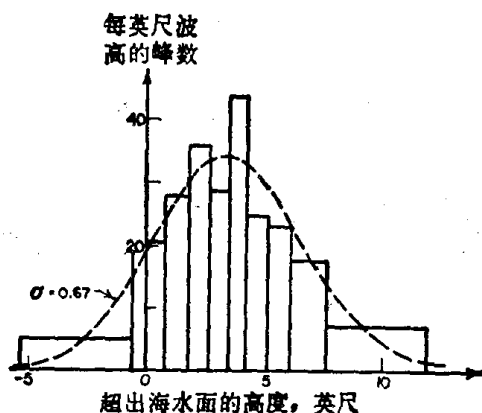


图 1-6 超出平均海面的波高频率图

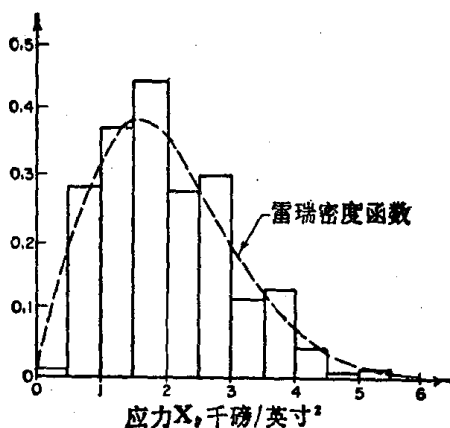


图 1-7 船身中部的弯曲应力频率图

为了将一个实验的频率分布（例如，以直方图描述的）与理论概率密度函数相比较，则需要相应的频率图。这可从直方图求得，即只需将直方图上每一纵坐标值除以总面积。象图 1-1 所示的直方图情况，在图 1-1a 中以 $29 \times 4 = 116$ 除各纵坐标值可得相应的频率图。另一种方法是。在图 1-1b 以 $4 \times 1 = 4$ 除各纵坐标值。其结果如图 1-1c 所示，它即为该河流域降雨量的频率图。

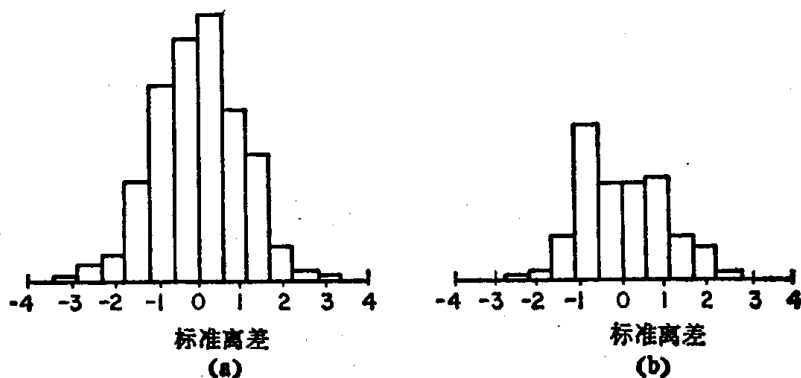


图 1-8 在台风期间对高层建筑测得的风压波动的相对离散性
a—台风 I；b—台风 II

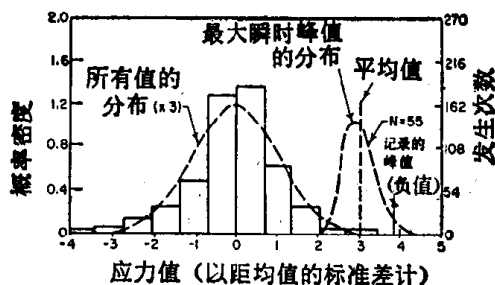


图 1-9 由地震引起的土壤剪应力的相对离散性

直方图或频率图系以图示方法表示各种观测值或测量值的相对频率。从大多数的工程实际应用来看，在一组观测值中的某些集合量比整个直方图更加有用；这些主要包括均值（或平均值）和离散性的量值。这些值可从一个给定的直方图中求得；然而从统计角度来说，这些值一般可由第五章所介绍的样本均值和样本标准差来求得。

显然，如果一个变量的记录数据比较分散或离散，如图1-1～图1-17所示的那样，变量的值就不能确定地预计。这一种变量称为随机变量，同时它的值（或值域）只能以某一相关的概率来预计。

当涉及到两个（或更多的）随机变量时，一个变量的特征可

能取决于另一个（或几个）变量。当将这两个变量的成对观测数据画在一个二维空间上时，这些图形将如图1-18~图1-22所示，称为散布图，主要表示这些数据点的分散性和离散性。由于这种分散性，当给出一个变量时，不能确定地预计另一个变量值。可预计的程度将取决于变量之间相互依赖或相关的程度，可由统计相关来衡量（在线性条件下）。评价这类相关的方法也包含在统计分析之中。

应该着重指出，概率的应用并不限于试验数据的描述或有关统计量的求值。（诸如均值、标准差和相关性等）。实际上，概率概念更为重要的作用在于为进行决策和设计所需的正确依据时利用这些信息。换言之，当我们研究如图1-1到图1-22所示的那种需

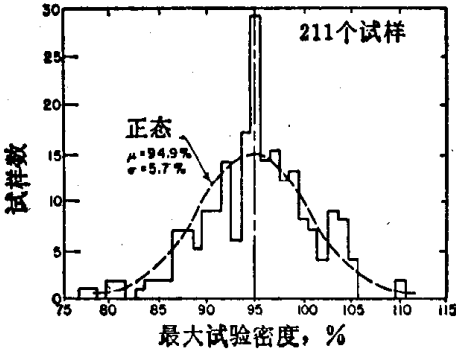


图 1-10 压实的火山质凝灰岩基底的密度直方图

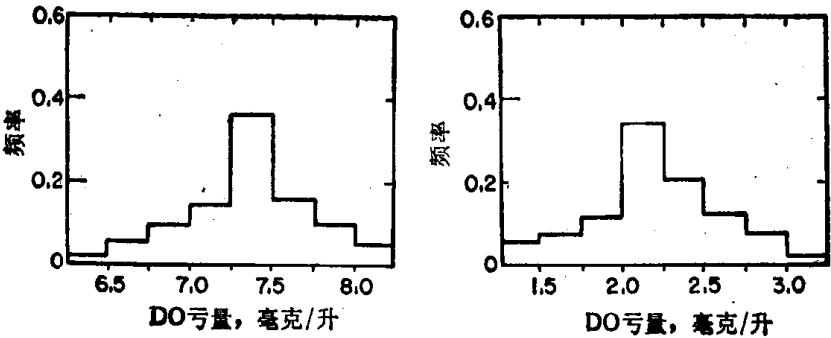


图 1-11 某河中溶解氧（DO）亏量的直方图

要用概率来描述的信息时，要在工程设计和规划中正确利用这种信息，就必须运用概率概念和方法。例如，如果一个设计方程中含有几个随机变量，如图1-1到1-22所描述的那些变量，它们对设计影响的定量分析和设计的制订必然要涉及到概率概念。

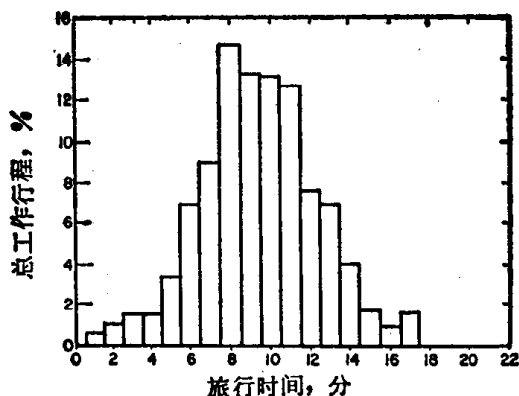


图 1-12 O-D旅行长度频率分布

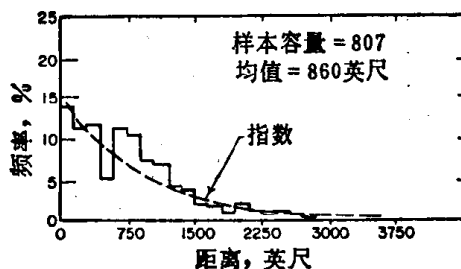


图 1-13 停车人步行距离的频率分布

2. 不完善模拟和估计中的不确定性

工程中的不确定性并不仅限于在基本变量中观测到的变异性。首先，根据观测数据对给定变量所作的一些估计值（例如均值）并不是没有误差的（特别是当数据有限时）。事实上，在某种情况下，这类估计未必能比主要根据工程师的判断而作的“经验估计”更好。第二，在工程分析和编制设计中常用到的数学模型