汪德震 编

概率论 数理统计在建筑结构中的应用

吉林人民出版社

概率论　数理统计
在建筑结构中的应用

汪德震　编

吉林人民出版社

概率论 数理统计在建筑结构中的应用

汪德震　编

*

吉林人民出版社出版　吉林省新华书店发行
长春新华印刷厂附属厂印刷

*

787×1092毫米32开本　　$7\frac{1}{8}$印张　　153,000字

1983年3月第1版　　1983年3月第1次印刷

印数：6,100册

统一书号：15091·193　　定价：0.64元

前　言

这本小册子原是为吉林省建筑学会结构委员会举办的工程数学学习班编写的一份讲义。1980年在学习班讲授以后，为了使这份讲义能进一步适应我国土建技术人员学习国际上正在发展和推行的以概率理论为基础的极限状态设计方法的需要，以及学习我国当时正在编制的《建筑结构设计统一标准》的需要，编者将讲义寄送中国建筑科学研究院，请结构研究所规范室的同志们审阅。规范室的同志们热情地提出了宝贵的意见，并为支持编者修改，馈赠了有关参考资料，这就大大地帮助编者将讲义修改成了这本小册子。

1981年夏，我国《建筑结构设计统一标准》编委会提出了《建筑结构设计统一标准》（初稿）。为了推动对这一标准的学习和讨论，省建委和省建筑学会举办了吉林省《建筑结构设计统一标准》学习班。编者应邀于该学习班讲授了本书所涉及的内容，得到参加学习班的工程师们的鼓励和帮助，并在此基础上对本书的内容作了进一步的修改和补充。

现在，这本小册子同我国建筑工程界的广大读者见面了，值此，谨向建筑科学研究院结构研究所规范室、吉林省建委、建筑学会以及所有对本书提出过各种宝贵意见的同志们致以衷心的感谢！

在编写过程中，编者尽力作到以下两点：

一是力求把概率论和数理统计的理论与建筑结构有机地结合起来。在内容上围绕《建筑结构设计统一标准》（初稿）及其采用的近似概率设计方法（一次二阶矩极限状态设计方法）介绍它们所涉及的概率论和数理统计的各个方面。

并在阐述概率论的基础上介绍《建筑结构设计统一标准》（初稿）中的一些基本问题和近似概率设计方法。在论述中，尽量引用建筑工程的实例以帮助读者理解。二是尽力突出问题的实质，讲清其来龙去脉和各部分内容之间的相互联系，略去一些繁杂的数学推导，努力使内容深入浅出，简明扼要，便于自学。

另外，根据我国土建工程技术人员的一般情况及其工作特点，本书只是通过对例题详加演算的办法来帮助读者掌握概念、消化理论。读者若能参考其他书籍作一些习题，收效将会更大。

最后，由于编者水平所限，书中难免出现错误和不妥之处，请读者批评指正。

编　者

1982年4月

内 容 简 介

本书围绕建筑结构概率设计理论及我国新编的《建筑结构设计统一标准》（初稿）介绍了概率论和数理统计的基本知识。

前三章结合建筑工程实例介绍了随机事件及其概率、随机变量及其分布以及概率设计理论中常用的几个分布。在此基础上，第四章简要地介绍了概率设计理论中的几个基本问题和一次二阶矩极限状态设计方法。第五章主要包括：参数估计、假设检验和回归分析，并以实际例题具体介绍了它们在建筑结构中的应用。

本书可供广大建筑工程技术人员阅读，也可供大专院校工业与民用建筑专业学生参考。

目　　录

绪　　论

自然界中存在的一切客观现象，可以分为确定性现象和非确定性现象两类。

确定性现象又称为必然现象，就是在一定的条件下必然发生某种结果的现象．例如，在古典力学中所描述的各种现象都属此类．在很长一段历史时期内，自然科学对确定性现象进行了相当广泛的、深入的研究，得到了大量揭示这类现象规律的定理、定律、公式、法则，形成了许多不同的学科和分支。

非确定性现象又称为偶然现象，在概率论中称为**随机现象**，它是指在一定的条件下可能出现多种结果，而且事先不能预测出现哪种结果的现象。例如，在概率论中常用的典型例子：投掷一枚硬币，事先不能断定哪一面向上；射击前不能断定命中的环数等等。又如，在建筑工程中，我们不能事先断定某一结构所实际承受的楼面活荷载数值；年初，不能知道某一地区的年最大标准风压；试验前不知道某种材料（即使是同一工厂生产的同一品种的材料）的实际强度；事先也不能肯定试验中所不可避免产生的量测误差等等。

对非确定性现象的研究，始于17世纪中叶，后来逐渐形成了概率论和数理统计这两个数学分支。直到近几十年，随着生产的机械化、自动化及科学技术发展的需要，概率论和数理统计这两个数学分支才有了迅速的发展。

由于非确定现象的不确定性（也称为**随机性**），某一随机

现象每一个别的观察结果是没有规律的变化的。但是，实践证明，当我们研究大量的同类的一种随机现象时，非确定性现象也呈现出一些确定的规律性。概率论和数理统计就是研究大量的同类随机现象数量规律的学科。

由于随机现象存在的普遍性，所以，概率论和数理统计的概念和方法具有非常普遍的意义。它们在自然科学、工业生产以至国民经济各部门都有着越来越广泛的应用。随着建筑工程技术的发展，概率论和数理统计的理论，不仅使人们对建筑结构试验的准确度问题有了比较深入的认识，形成了量测误差理论，对试验结果可以进行科学的统计分析；而且，概率论和数理统计也成了研究建筑结构可靠性理论的有力工具。特别是近二十年来，许多国家都成立了专门机构，积极从事结构可靠性理论方面的研究，建筑结构的“定值设计法”正在转变为非定值的概率设计方法。从五十年代开始，已经采用的半概率设计方法就在荷载和材料强度取值上分别考虑了概率问题。当前，随着统计资料的逐渐丰富和大型电子计算机的应用，比半概率法前进了一大步的近似概率设计方法，已经取得了很大进展，开始进入实用阶段。加拿大已经正式颁发了以近似概率理论为基础的钢结构及薄钢结构设计规范。七十年代初，由欧洲的国际混凝土委员会、欧洲钢结构协会等六个主要国际组织共同成立的“结构安全度联合委员会”(JCSS) 经过多年工作，编制并出版了《结构统一标准规范的国际体系》。我国也在1979年初成立了《建筑结构设计统一标准》编制委员会，积极开展了这方面的研究工作，并且，已经在1981年提出了《建筑结构设计统一标准》(初稿)。其中采用了国际间正在发展和推行的以概率理论为基础的极限状态设计方法；统一了我国建筑结构设计的基本

原则；规定了适用于各种材料结构的可靠度分析方法和设计表达式；并对材料与构件的质量控制和验收提出了相应的要求。这一标准的提出将成为我国今后修订荷载规范和各种建筑结构设计规范新的共同准则。

概率论和数理统计近几十年来已经发展成为一个庞大的数学分支。本书只介绍概率论和数理统计与建筑结构有密切联系的一些基本知识，以及它们在建筑结构中的一些应用。

第一章　随机事件及其概率

第一节　随机事件

在概率论中，首先碰到的基本概念就是随机事件以及必然事件和不可能事件.

必然事件是指在一定的条件下，必定发生的事情. 例如,“在标准大气压下，把纯水加热到100℃，水沸腾”;“抛射一物体的初速度达到第一宇宙速度（7.9公里/秒),物体就围绕地球旋转”等等.

不可能事件是指在一定条件下，一定不会发生的事情. 例如,“在标准大气压下，纯水在8℃时结冰”;“在100件产品中出现101件废品”等等.

随机事件是指在一定条件下可能出现也可能不出现的事情. 例如,“投掷一枚硬币，国徽面向上”;“用步枪射击环靶，击中5环”;“某一建筑物所承受的楼面活荷载为100～200公斤/米^2”;“试压一块砖其抗压强度为60～70公斤/厘米^2”等等.显然,一个随机事件就是一个随机现象的某种结果. 所以，概率论研究随机现象是从研究随机事件开始的.

为了研究的方便，通常用字母来表示“事件”.

必然事件用字母Ω表示（也可用U表示).

不可能事件用字母Φ表示（也可用V表示).

随机事件（以后简称为：事件）用字母 A，B，C，D，…表示。

第二节 事件的概率

虽然随机事件在观察一次随机现象，或进行一次随机性的试验中可能发生，也可能不发生，事先完全无法预测。但是，当我们大量重复地进行某一随机性的试验或大量反复地观察某一随机现象时，我们会发现，某一事件发生的次数多些，而另一事件发生的次数少些。例如，某射手由于射击技术水平决定，他反复射击时“击中 3 环”（事件 A）、“击中 5 环”(事件 B)、“击中 8 环”(事件 C）出现的次数是不一样的，射击技术水平高则击中环数高的事件就出现得多一些；又例如，为了研究办公室的楼面活荷载数据，在全国26个城市实测了10～20米^{2}的办公室916间，事件 A:“活荷载在37～60公斤/米^2”出现了277次；事件 B:“活荷载在105～128公斤/米^2”出现了51次；事件C:“活荷载大于174公斤/米^2”只出现了 7 次；…。这说明各个事件发生的可能性的大小是不同的。不仅如此，而且实践表明，一个事件发生的可能性大小是事件本身的特性决定的，不是偶然性的。显然，了解随机试验中各个事件出现的可能性大小，对于我们是很有意义的。在概率论中用事件的**概率**来表示事件出现的可能性大小。下面，先介绍概率的定义。

一、事件概率的统计定义

1．事件的频率

在介绍事件概率的定义之前，我们先介绍事件频率的定

义。

定义 设某一随机试验在重复进行的n次试验中，事件A出现了m次，则数m叫事件A出现的**频数**；$\frac{m}{n}$叫事件A出现的**频率**。记为：$F_n(A)$，即

$$F_n(A)=\frac{\text{事件}A\text{出现的频数}}{\text{试验的总次数}}=\frac{m}{n}.$$

例如，前面介绍的在研究办公室的楼面活荷载数据中，实测了916间办公室的楼面活荷载，"活荷载在37～60公斤/米²"(事件A) 出现的频数为277，所以，事件A的频率为：

$$F_{916}(A)=\frac{277}{916}\approx 0.302.$$

2．事件概率的统计定义

实践表明，越是大量重复进行某一随机试验，或大量反复观察某一随机现象，其中某一事件出现的频率的数值，就越是趋向于某一确定的数值，频率的数值在这一确定的数值附近摆动，极少有显著的差异。

例 1 布封（Buffon）及皮尔逊（Pearson）分别作的投掷硬币的试验结果如下表(A表示"出现正面"这一事件)：

试验者	掷硬币次数 n	出现正面次数m	频率$F_n(A)=\frac{m}{n}$
布　封	4040	2048	0.5069
皮尔逊	12000	6019	0.5016
皮尔逊	24000	12012	0.5005

由此看出，随着投掷次数n的增大，事件"出现正面"的频率越来越接近于常数$\frac{1}{2}$。

例 2 下面是1927年到1932年这几年间波兰每年出生的男孩及女孩的统计表。由于在母亲怀孕以前无法断定新生婴孩的性别，所以，“出生的是男孩”及“出生的是女孩”都是随机事件。在这里，我们用A表示事件“出生的是男孩”用B表示事件“出生的是女孩”。

出生年份	出生数 男孩(m)	出生数 女孩(k)	共计 $m+k$	出生男孩频率 $F_n(A)=\frac{m}{m+k}$	出生女孩频率 $F_n(B)=\frac{k}{m+k}$
1927	496544	462189	958733	0.518	0.482
1928	513654	477339	990993	0.518	0.482
1929	514765	479336	994101	0.518	0.482
1930	528072	494739	1022811	0.516	0.484
1931	496986	467587	964573	0.515	0.485
1932	482431	452232	934663	0.516	0.484
共计或平均	3032452	2833422	5865874	0.517	0.483

由此表看出，事件A“出生的是男孩”的频率值在0.517附近摆动，事件B“出生的是女孩”的频率值在0.483附近摆动。

一般地说，当试验次数n相当大时，事件A出现的频率$\frac{m}{n}$是稳定的，即频率的数值总是在某个常数p附近摆动，极少有显著的差异。由此，我们就用这个常数p来表示事件A出现可能性的大小，并把这个数值p称为事件A的**概率**，记作：$P\{A\}=p$。显然，p值越大，事件A出现的可能性越大；p值越小，事件A出现的可能性越小。

例如，在例1中，A表示事件“投掷硬币，出现正面”，$P\{A\}=\frac{1}{2}$，这就意味着“出现正面”的可能性是$\frac{1}{2}$。