



Math

 21 世纪数学教育信息化精品教材



大学数学立体化教材

概率论与数理统计

(医药类 · 第二版)

◎ 吴赣昌 主编

 中国人民大学出版社



Math

21 世纪数学教育信息化精品教材



大学数学立体化教材

概率论与数理统计 (医药类 · 第二版)

◎ 吴赣昌 主编

中国人民大学出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

概率论与数理统计. 医药类/吴赣昌主编. —2 版. —北京: 中国人民大学出版社, 2012. 2

21 世纪数学教育信息化精品教材. 大学数学立体化教材

ISBN 978-7-300-15228-8

I. ①概… II. ①吴… III. ①概率论-高等学校-教材②数理统计-高等学校-教材 IV. ①O21

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 019329 号

21 世纪数学教育信息化精品教材

大学数学立体化教材

概率论与数理统计 (医药类)

第二版

吴赣昌 主编

Gailùlun yu Shuli Tongji

出版发行 中国人民大学出版社

社 址 北京中关村大街 31 号

邮政编码 100080

电 话 010-62511242 (总编室)

010-62511398 (质管部)

010-82501766 (邮购部)

010-62514148 (门市部)

010-62515195 (发行公司)

010-62515275 (盗版举报)

网 址 <http://www.crup.com.cn>

<http://www.ttrnet.com>(人大教研网)

经 销 新华书店

印 刷 北京密兴印刷有限公司

版 次 2009 年 7 月第 1 版

规 格 170 mm×228 mm 16 开本

2012 年 3 月第 2 版

印 张 27.5 插页 1

印 次 2012 年 3 月第 1 次印刷

字 数 503 000

定 价 49.80 元(配网络学习空间)

版权所有 侵权必究

印装差错 负责调换

— 内容简介 —

本书根据高等院校医药类本科专业概率论与数理统计课程的最新教学大纲及考研大纲编写而成，并在第一版的基础上进行了修订和完善，注重数学概念的实际背景与几何直观的引入，强调数学的思想和方法，紧密联系实际，服务专业课程，精选了许多实际应用案例并配备了相应的应用习题，增补并调整了部分例题与习题，书中还融入了数学软件 Mathematica 的简单应用实例。

本次升级改版的另一重大特色是：每本教材均配有网络账号，通过它可登录作者团队为用户专门建设的网络学习空间，与来自全国的良师益友进行在线交流和讨论。该空间包含了课程论坛、学习问答、学习软件、教学视频、名师导学、教学博客、科学搜索等功能栏目，并全面支持文字、公式与图形的在线编辑、修改与搜索。

本书内容包括概率论的基本概念、一维和 multidimensional 随机变量及其分布、随机变量的数字特征、数理统计的基础知识、参数估计、假设检验、方差分析、正交试验的设计与分析以及回归分析等知识。

本书可作为高等学校医药类本科专业的概率论与数理统计教材，并可作为上述各专业领域读者的教学参考书。

前 言

大学数学是自然科学的基本语言，是应用模式探索现实世界物质运动机理的主要手段。对于大学非数学专业的学生而言，大学数学的教育，其意义不仅仅是学习一种专业的工具而已。中外大量的教育实践事实充分显示了：优秀的数学教育，是一种人的理性的思维品格和思辨能力的培育，是聪明智慧的启迪，是潜在的能动性与创造力的开发，其价值是远非一般的专业技术教育所能相提并论的。

随着我国高等教育自 1999 年开始迅速扩大招生规模，至 2009 年的短短十年间，我国高等教育实现了从精英教育到大众化教育的过渡，走完了其它国家需要三五十年甚至更长时间才能走完的道路。教育规模的迅速扩张，给我国的高等教育带来了一系列的变化、问题与挑战，如大众化教育阶段入学群体的多样化问题、学生规模扩张带来的大班和多班教学问题、由于院校合并导致的“一校多区”及由此产生的教学管理不科学以及师生间交流缺乏等问题，这些都是在过去“精英教育”阶段没有遇到的。

进入大众化教育阶段，大学数学的教育问题首当其冲受到影响。过去大学数学教育是面向少数精英的教育，由于学科的特点，数学教育呈现几十年、甚至上百年一贯制，仍处于经典状态。当前大学数学课程的教学效果不尽如人意，概括起来主要表现在以下两方面：一是教材建设仍然停留在传统模式上，未能适应新的社会需求。传统的大学数学教材过分追求逻辑的严密性和理论体系的完整性，重理论而轻实践，剥离了概念、原理和范例的几何背景与现实意义，导致教学内容过于抽象，也不利于与其它课程及学生自身专业的衔接，进而造成了学生“学不会，用不了”的尴尬局面；二是计算机技术迅猛发展的今天，信息化技术本应给数学教育提供空前广阔的天地，但遗憾的是，在数学教育领域，信息化技术的使用远没有在其它领域活跃。正如我国著名数学家张景中院士所指出的，计算机进入数学教育在国内还只是刚刚起步，究其原因有两方面：一是没有充分考虑把信息化技术和数学教学的学科特点结合起来；二是在强调教育技术的同时没有充分发挥教师的作用，这样就难以把信息化技术和数学教学完美结合起来。

关于大学数学教育改革的出路问题,在此,我们引用教育部数学基础课程教学指导分委员会前主任、清华大学数学系冯克勤教授专门撰文所指出的一句话:“数学教育的关键是彻底转变观念。”当前大学数学教学所面临的问题,实际上已经指出了大学数学教育改革的目标:一是深化教学内容和教材体系的改革;二是积极推进大学数学教育信息化建设。

自2000年初起,我们成立了一个由专家、教师与软件技术人员组成的研发团队,围绕上述改革目标进行攻关,2002年推出了第一个“高等数学多媒体教学系统”;2005年由中国人民大学出版社出版了12套面向普通本科院校理工类与经管类专业使用的“大学数学立体化教材”及其配套的多媒体教学系统;2007年对其修订后出版了第二版,并同时出版了面向高职高专院校和文科类专业的立体化教材及其配套的多媒体教学系统,初步完成了大学数学试题库系统与大学数学精品课程网站等信息化配套建设工作;2009年对上述教材完成了进一步的升级改版工作,并同时出版了农林类与医药类的教材,鉴于教材的立体化与信息化配套建设显著加强,为更加突出教材的特色和内涵,我们将上述系列教材统一冠名为“21世纪数学教育信息化精品教材”。令人感到欣慰的是,上述教材及其信息化建设成果已被国内数百所高等院校广泛采用,并对当前大学数学的教育改革起到了积极的推动作用。

2009年以来,作者团队彻底突破了制约当前教育信息化建设的技术瓶颈——基于Web的公式与图形的在线编辑、复制、粘贴、修改、搜索与识别问题。这一核心技术的突破使我们的各项信息化建设有了质变的跨越,集成了网页公式编辑系统(Web-FormulaEdit)与网页图形编辑系统(Web-GraphEdit)的在线答疑平台、在线测试平台、课程论坛平台、师生互动平台以及集成性的网络学习平台陆续完成并投入使用。将这些最新研究与建设的成果及时融入上述系列教材的建设是此次升级改版的动因。

2011年,“21世纪数学教育信息化精品教材”升级改版后,共计27套各专业类别的大学数学教材,版本分别有:面向普通本科院校的“理工类·第四版”、“经管类·第四版”、“文科类·第三版”、“农林类·第二版”、“医药类·第二版”;面向三本院校或少学时类的“理工类·简明版·第四版”、“经管类·简明版·第四版”;面向高职高专院校的“理工类·第三版”、“经管类·第三版”、“综合类·第二版”。

本次升级改版后的“21世纪数学教育信息化精品教材”具有以下特点:

一、在教学内容建设方面:

1. 为让读者对经典数学概念在现代科学研究中的应用有更深刻的理解和更高的视角,我们做了深入的研究和建设。例如,从微分的几何意义出发,引入了

函数在某点的“线性化”定义，从定积分的微元法出发，进一步引入有限单元化的思想，而有限单元化和线性化是用数学解决复杂应用问题的基本思想方法。不同课程教材的内容建设前后呼应，比如，在《线性代数（理工类·第四版）》第3章的引言中就进一步介绍了如何利用有限单元化和线性化方法来解决复杂应用问题，等等。

2. 对部分章节引言做了改进。例如，对数列极限的概念，先从其描述性定义引入，然后以定量分析的观点进一步给出数列极限的严格定义，这样的安排既符合数学发展的本源，又利于学生更好地理解极限的概念。更多参考包括数学建模——函数关系建立、函数连续性、数学建模——最优化、矩阵、线性方程组等章节的引言，这些引言对于学生理解即将学习的数学内容的实质能起到重要的作用。

3. 紧密联系实际，服务专业课程，精选了不少只涉及基本数学知识、能体现数学建模精神、能吸引学生且学生以后又可能接触到的应用范例和数学建模问题，如函数模型的建立及其应用，作为变化率的导数在几何学、物理学、经济学和医药学中的应用，最优化方法及其在工程、经济、农业、医药领域中的应用，逻辑斯蒂模型及其在人口预测、新产品的推广模型与经济增长预测方面的应用，网络流模型及其应用，人口迁移模型及其应用，常用概率模型及其应用，等等，并为所有应用范例配备了相应的应用习题。这些实际应用范例既为学生理解数学的抽象概念提供了认识基础，也有助于加强与后续专业课程的联系。

4. 习题调整方面，除前面提到的补充了不少应用习题外，还在难度梯度上对习题进行了调整，尤其是增补了部分计算比较简单又利于加强概念理解的习题，并重新校订了全部习题及其答案。

5. 值得一提的还有，在《高等数学》与《微积分》中插入了历史上对数学（尤其是近代数学）有杰出贡献的八位伟大数学家的简介，从他们的身上既能管窥近代数学发展的基本过程，又能领略数学家坚韧不拔地追求真理的人格魅力和科学精神。

二、每本教材均配有网络账号，通过它可登录作者团队为用户专门设立的网络学习空间，与来自全国的良师益友在线交流与讨论学习中遇到的问题。网络学习空间设置了课程论坛、学习问答、软件下载、教学视频、名师导学、教学博客、科学搜索等栏目。该学习空间由于集成了数苑网页公式编辑系统与网页图形编辑系统，支持公式与图形的在线编辑、复制、粘贴、修改、搜索与识别，从而全面支持专业学科内容的网络交流与互动。

三、为每位教材用户提供配套的集成性、交互式多媒体学习软件，其中设计了多媒体教案、习题详解、综合训练、实验教学等功能模块。在多媒体教案模块中，我们按动态仿真教学方式设计了大量的教学动画，直击数学思想本质，利于突破学习中的重点和难点，同时可以大大减少课堂教学中的笔记工作量；在习题详解模块

中,我们以多媒体动画的形式给出了习题的求解过程和相关方法,利于读者课后学习;在综合训练模块中,我们总结了每章的教学知识点,并通过精选的总习题进一步揭示解题的一般规律和技巧,利于读者综合提高;在系统的交互与集成方面,我们利用多媒体开发软件的网页特性,为系统中的每个文件提供了丰富的知识点交互与导航,利于读者高效率地学习。

四、为所有教师用户提供配套的集成性、交互式与信息资源立体化的多媒体教学系统,该系统同时兼容了Flash和PPT两类课件,兼顾了共享动画演示和个性化修改功能。内容模块中包括了多媒体教案、备课系统、习题解答、综合训练、实验教学与实验案例库等;系统功能中包括了长期开发积累的满足专业教学需求的多媒体教学动画演示功能、供教师在教学过程中进行手写板书的手写笔功能、供教师在教学过程中进行知识点交互和数学家介绍的系统导航功能等。如能配合遥控鼠标与手写板等外接小型设备,则既可以充分发挥信息化集成与交互教学的优势,也能够很好地融入板书教学等个性化特色。

五、配套建设了技术领先、功能实用且管理维护方便的大学数学网络学习平台,它包含自主建设、课程问答、师生互动与在线测试等模块。此外,作者团队还建设了在线答疑平台MathQ、试题库系统平台、课程论坛平台、教学博客平台等一系列软件平台,它们均集成了数苑网页公式编辑系统与网页图形编辑系统,支持课程教学内容的网络交流与互动。

六、在教学资源建设、共享与服务方面,以作者为核心的“数苑团队”倾力建设了面向全国广大师生服务的教育门户网站——“数苑网”(www.math168.com),旨在为广大师生提供数学教育资讯、网络教学资源、网络教学平台以及教学支持服务,打造移动学习、全民学习与终生学习的共享教育平台。

致学生

在你进入高校即将学习的所有大学课程中,就巩固你的学习基础、提升你的学习能力、培养你的科学素质和创新能力而言,大学数学是最有用且最值得你努力的课程。事实上,像《微积分》、《线性代数》、《概率论与数理统计》这些大学数学基础课程,无论怎样评价其重要性都不为过,而学好这些大学数学基础课程,你将受益终生。

主动把握好从“学数学”到“做数学”的转变,这一点在大学数学的学习中尤为重要,不要以为你在课堂教学过程中听懂了就等于学到了,事实上,你需要在课后花更多的时间主动去做相关训练才能真正掌握所学知识。

在大学数学的学习过程中,概念和计算同等重要。只有反复、认真地阅读教材,你才能真正掌握大学数学的基本概念。每个章节的习题中都安排了简单的计算

题，目的是帮助你检查对基本算法的理解，在做习题时，你应先尝试独立完成习题，尽量不看答案，便于发现哪些知识自己还没有真正理解。在今后的工作中，你当然可以使用计算机来完成这些计算，但你必须学会选择算法，理解计算结果的意义并且向他人解释清楚。

从某种意义上说，大学数学就是一门语言——科学的语言，你必须像对待外语一样，每天都学习它。为了真正理解教材中某一部分的内容，你往往需要完全掌握前面章节的内容和习题。跟上课程的进度可以节省很多时间并且避免很多麻烦。

经常登录作者团队倾力为你配套建设的网络学习空间，你将会获得意想不到的收获。在那里，你可以进一步拓展自己的学习空间，寻找到更多教材之外的学习资源，并与全国的良师益友建立联系。

致教师

我们开发的“21 世纪数学教育信息化精品教材”是名副其实的信息化精品系列教材，因为在纸质教材之外，我们从教、学、考三方面为它定制了一系列配套的信息化建设，包括教学课件、备课系统、网络学习空间、网络学习平台、试题库系统、在线考试平台与在线答疑平台等。如果您和您的学生正在使用或准备使用本系列教材，请通过下面的邮箱与我们联系以取得相应的教学支持。

此外，欢迎尽早加入我们在“数苑网”建设的面向全国同行提供交流与服务的“教师空间”。该空间将为广大教师提供教学软件下载、教学资源下载、教学研究交流以及教学研究合作等服务。教师空间以实名制方式注册，有意愿加入的教师只需将单位、姓名与注册邮箱发送到下面的邮箱，我们便会尽快给您发送登录账户信息。教师空间的登录账号是教师专用的 6 位数字，它也是您登录我们开发的新一代即时通讯软件 MathQ 的账号。

MathQ 是我们开发的主要面向教育学习群体、学术研究群体与工程技术人员的新一代即时通讯软件。与同类即时通讯软件相比，该软件最大的特色是它集成了网页公式编辑系统（Web-FormulaEdit）与网页图形编辑系统（Web-GraphEdit），从而使其能全面支持人们基于文字、公式、图形、语音和视频等多种媒体进行各学科专业知识的在线交流。

经常登录作者团队倾力建设的教师空间，您将会获得意想不到的收获。在那里，您可以进一步拓展自己的教学交流空间，获得更多的教学资源，并与全国的良师益友建立联系。

结束语

正如美国《托马斯微积分》的作者 G. B. 托马斯（G. B. Thomas）教授精辟指

出的，“一套教材不能构成一门课：教师和学生在一起才能构成一门课”，教材只是支持这门课程的信息资源。教材是死的，课程是活的，课程是教师和学生共同组成的一个相互作用的整体，只有真正做到以学生为中心，处处为学生着想，并充分发挥教师的核心指导作用，才能使之成为富有成效的课程。而本系列教材及其配套的信息化建设将为教学双方提供支持其课程的充分的信息资源，帮助教师在教学过程中发挥其才华，并利于学生富有成效地学习。

与传统的教材不同的是，有一支实力雄厚、专业专职的作者团队——数苑团队在为本系列教材的使用者提供长期的、日常的教学服务与技术支持。如果在使用本系列教材及其配套的信息化建设过程中遇到任何问题，你可以通过下面的邮箱随时与我们联系：math168@vip.188.com。

编者

2011年6月28日

目 录

第1章 随机事件及其概率

§ 1.1 随机事件	1
§ 1.2 随机事件的概率	7
§ 1.3 古典概型与几何概型	11
§ 1.4 条件概率	17
§ 1.5 事件的独立性	24
总习题一	30

第2章 随机变量及其分布

§ 2.1 随机变量	34
§ 2.2 离散型随机变量及其概率分布	36
§ 2.3 随机变量的分布函数	44
§ 2.4 连续型随机变量及其概率密度	47
§ 2.5 随机变量函数的分布	57
总习题二	62

第3章 多维随机变量及其分布

§ 3.1 二维随机变量及其分布	64
§ 3.2 条件分布与随机变量的独立性	73
*§ 3.3 二维随机变量函数的分布	81
总习题三	87

第4章 随机变量的数字特征

§ 4.1 数学期望	90
§ 4.2 方差	98
§ 4.3 协方差与相关系数	105
§ 4.4 大数定理与中心极限定理	114
总习题四	121

第5章 数理统计的基础知识

§ 5.1 数理统计的基本概念	124
§ 5.2 常用统计分布	135
§ 5.3 抽样分布	142
总习题五	149

第6章 参数估计

§ 6.1 点估计问题概述	152
---------------	-----

§ 6.2 点估计的常用方法	159
§ 6.3 置信区间	167
§ 6.4 正态总体的置信区间	172
§ 6.5 二项分布和泊松分布总体参数的区间估计	182
总习题六	186

第 7 章 假设检验

§ 7.1 假设检验的基本概念	189
§ 7.2 单正态总体的假设检验	194
§ 7.3 双正态总体的假设检验	200
*§ 7.4 关于一般总体数学期望的假设检验	210
*§ 7.5 分布拟合检验	221
§ 7.6 非参数检验	227
总习题七	250

第 8 章 方差分析

§ 8.1 单因素试验的方差分析	253
§ 8.2 两两间多重比较的检验方法	259
*§ 8.3 双因素试验的方差分析	263
总习题八	271

第 9 章 正交试验设计与分析

§ 9.1 试验设计概论	274
§ 9.2 正交试验的基本思想与一般步骤	275
§ 9.3 正交试验的直观分析方法	278
§ 9.4 考虑交互作用的正交试验分析	284
§ 9.5 正交试验的方差分析	287
总习题九	289

第 10 章 回归分析

§ 10.1 相关与相关系数	292
§ 10.2 一元线性回归	295
*§ 10.3 多元线性回归	308
§ 10.4 计算半数致死量的概率单位法	311
总习题十	316

附录 大学数学实验指导

项目七 概率论、数据统计与区间估计	319
实验 1 概率模型	319
实验 2 统计数据	325
实验 3 区间估计	330

项目八 假设检验、回归分析与方差分析	336
实验1 假设检验	336
实验2 回归分析	345
实验3 方差分析	354

附表 常用分布表

附表1 常用的概率分布表	360
附表2 泊松分布概率值表	362
附表3 标准正态分布表	365
附表4 t 分布表	366
附表5 χ^2 分布表	368
附表6 F 分布表	371
附表7 相关系数临界值 r_α 表	378
附表8 二项分布参数 P 的置信区间表	379
附表9 泊松分布参数 λ 的置信区间表	383
附表10 符号检验表	384
附表11 符号秩检验表	385
附表12 秩和检验表	386
附表13 Spearman 等级相关系数 r_s 界值表	387
附表14 游程总数检验表	389
附表15 多重比较中的 q 表	390
附表16 多重比较中的 S 表	394
附表17 随机数表	397
附表18 常用正交表	399
附表19 相关系数临界值表	411
附表20 百分率与概率单位对照表	412
附表21 概率单位和权重系数因子表	413

习题答案

第1章 答案	414
第2章 答案	415
第3章 答案	418
第4章 答案	422
第5章 答案	424
第6章 答案	425
第7章 答案	427
第8章 答案	429
第9章 答案	429
第10章 答案	429

第1章 随机事件及其概率

概率论与数理统计是从数量化的角度来研究现实世界中的一类不确定现象（随机现象）及其规律性的一门应用数学学科。20世纪以来，它已广泛应用于工业、国防、国民经济及工程技术等各个领域。本章介绍的随机事件及其概率是概率论中最基本、最重要的概念之一。

§1.1 随机事件

一、随机现象

在自然界和人类社会生活中普遍存在着两类现象：一类是在一定条件下必然出现的现象，称为**确定性现象**。

例如：(1) 一物体从高度为 h (米) 处垂直下落，则经过 t (秒) 后必然落到地面，且当高度 h 一定时，可由公式

$$h = \frac{1}{2}gt^2 \quad (g = 9.8 \text{ (米/秒}^2\text{)})$$

具体计算出该物体落到地面所需的时间 $t = \sqrt{2h/g}$ (秒)。

(2) 异性电荷相互吸引，同性电荷相互排斥，等等。

另一类则是在一定条件下我们事先无法准确预知其结果的现象，称为**随机现象**。

例如：(1) 在相同的条件下抛掷同一枚硬币，我们无法事先预知将出现正面还是反面。

(2) 将来某日某种股票的价格是多少？等等。

从亚里士多德时代开始，哲学家们就已经认识到随机性在生活中的作用，但直到20世纪初，人们才认识到随机现象亦可以通过数量化方法进行研究。概率论就是以数量化方法研究随机现象及其规律性的一门数学学科。

二、随机试验

由于随机现象的结果事先不能预知，初看似似乎毫无规律。然而，人们发现同一随机现象大量重复出现时，其每种可能的结果出现的频率具有稳定性，从而表明随机现象也有其固有的规律性。人们把随机现象在大量重复出现时所表现出的量的规律性称为随机现象的**统计规律性**。概率论与数理统计是研究随机现象统计规律性的一

门学科.

历史上,研究随机现象统计规律性最著名的试验是抛掷硬币的试验.表1-1-1是历史上抛掷硬币试验的记录.

表 1-1-1 历史上抛掷硬币试验的记录

试验者	抛掷次数(n)	正面次数(r_n)	正面频率(r_n/n)
De Morgan	2 048	1 061	0.518 1
Buffon	4 040	2 048	0.506 9
Pearson	12 000	6 019	0.501 6
Pearson	24 000	12 012	0.500 5

试验表明:虽然事先无法准确预知每次抛掷硬币将出现正面还是反面,但大量重复试验时发现,出现正面和反面的次数大致相等,即各占总试验次数的比例大致为0.5,并且随着试验次数的增加,这一比例更加稳定地趋于0.5.这说明虽然随机现象在少数几次试验或观察中其结果没有什么规律性,但通过长期的观察或大量的重复试验可以看出,试验的结果是有规律可循的,这种规律是随机试验的结果自身所具有的特征.

要对随机现象的统计规律性进行研究,就需要对随机现象进行重复观察,我们把对随机现象的观察称为**试验**.

例如,观察某射手对固定目标所进行的射击;抛一枚硬币三次,观察出现正面的次数;记录某市120急救电话一昼夜接到的呼叫次数等均为试验.上述试验具有以下共同特征:

- (1) 可重复性:试验可以在相同的条件下重复进行;
- (2) 可观察性:每次试验的可能结果不止一个,并且能事先明确试验的所有可能结果;
- (3) 不确定性:每次试验出现的结果事先不能准确预知,但可以肯定会出现上述所有可能结果中的一个.

在概率论中,我们将具有上述三个特征的试验称为**随机试验**,记为 E .

三、样本空间

尽管一个随机试验将要出现的结果是不确定的,但其所有可能结果是明确的,我们把随机试验的每一种可能的结果称为一个**样本点**,它们的全体称为**样本空间**,记为 S (或 Ω).

例如:(1)在抛掷一枚硬币观察其出现正面或反面的试验中,有两个样本点:正面、反面.样本空间为 $S=\{\text{正面}, \text{反面}\}$.若记 $\omega_1=\text{正面}$, $\omega_2=\text{反面}$,则样本空间可记为

$$S=\{\omega_1, \omega_2\}.$$

- (2) 观察某电话交换台在一天内收到的呼叫次数,其样本点有可数无穷多个: i

($i = 0, 1, 2, 3, \dots$) 次, 则样本空间可简记为

$$S = \{0, 1, 2, 3, \dots\}.$$

(3) 在一批灯泡中任意抽取一个, 测试其寿命, 其样本点也有无穷多个 (且不可数): t ($0 \leq t < +\infty$) 小时, 则样本空间可简记为

$$S = \{t \mid 0 \leq t < +\infty\} = [0, +\infty).$$

(4) 设随机试验为从装有三个白球 (记号为 1, 2, 3) 与两个黑球 (记号为 4, 5) 的袋中任取两球.

① 若观察取出的两个球的颜色, 则样本点为 ω_{00} (两个白球), ω_{11} (两个黑球), ω_{01} (一白一黑), 于是, 样本空间为

$$S = \{\omega_{00}, \omega_{11}, \omega_{01}\}.$$

② 若观察取出的两球的号码, 则样本点为 ω_{ij} (取出第 i 号与第 j 号球, 由于球的号码不相同, 我们可以假设 $i < j$), $1 \leq i < j \leq 5$. 于是, 样本空间共有 $C_5^2 = 10$ 个样本点, 样本空间为

$$S = \{\omega_{ij} \mid 1 \leq i < j \leq 5\}.$$

注: 此例说明, 对于同一个随机试验, 试验的样本点与样本空间是根据要观察的内容来确定的.

四、随机事件

在随机试验中, 人们除了关心试验的结果本身外, 往往还关心试验的结果是否具备某一指定的可观察的特征. 在概率论中, 把具有某一可观察特征的随机试验的结果称为**事件**. 事件可分为以下三类:

(1) **随机事件**: 在试验中可能发生也可能不发生的事件. 随机事件通常用字母 A, B, C 等表示.

例如, 在抛掷一枚骰子的试验中, 用 A 表示“点数为奇数”这一事件, 则 A 是一个随机事件.

(2) **必然事件**: 在每次试验中都必然发生的事件. 用字母 S (或 Ω) 表示.

例如, 在上述试验中, “点数小于 7”是一个必然事件.

(3) **不可能事件**: 在任何一次试验中都不可能发生的事件. 用空集符号 $\emptyset$ 表示.

例如, 在上述试验中, “点数为 8”是一个不可能事件.

显然, 必然事件与不可能事件都是确定性事件, 为讨论方便, 今后将它们看作是特殊的随机事件, 并将随机事件简称为**事件**.

五、事件的集合表示

由定义, 样本空间 S 是随机试验的所有可能结果 (样本点) 的集合, 每一个样本点是该集合的一个元素. 一个事件是由具有该事件所要求的特征的那些可能结果所构成的, 所以一个事件是对应于 S 中具有相应特征的样本点所构成的集合, 它是 S 的一个子集. 于是, 任何一个事件都可以用 S 的某个子集来表示.

我们说某事件 A 发生, 即指属于该事件的某一个样本点在随机试验中出现.

例如: 在抛掷骰子的试验中, 样本空间为 $S = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$. 于是,

事件 A : “点数为 5” 可表示为 $A = \{5\}$;

事件 B : “点数小于 5” 可表示为 $B = \{1, 2, 3, 4\}$;

事件 C : “点数为小于 5 的偶数” 可表示为 $C = \{2, 4\}$.

我们称仅含一个样本点的事件为**基本事件**; 含有两个或两个以上样本点的事件为**复合事件**. 显然, 样本空间 S 作为事件是必然事件, 空集 $\emptyset$ 作为一个事件是不可能事件.

六、事件的关系与运算

因为事件是样本空间的一个子集, 故事件之间的关系与运算可按集合之间的关系与运算来处理. 下面给出这些关系与运算在概率论中的提法和含义.

(1) 若 $A \subset B$, 则称事件 B **包含** 事件 A , 或事件 A **包含于** 事件 B , 或 A 是 B 的**子事件**. 其含义是: 若事件 A 发生必然导致事件 B 发生. 显然, $\emptyset \subset A \subset S$.

(2) 若 $A = B$, 则称事件 A 与事件 B **相等**. 其含义是: 若事件 A 发生必然导致事件 B 发生, 且若事件 B 发生必然导致事件 A 发生, 即 $A \subset B$, 且 $B \subset A$.

(3) 事件 $A \cup B = \{\omega | \omega \in A \text{ 或 } \omega \in B\}$ 称为事件 A 与事件 B 的**和 (或并)**. 其含义是: 当且仅当事件 A, B 中至少有一个发生时, 事件 $A \cup B$ 发生. $A \cup B$ 有时也记为 $A + B$.

类似地, 称 $\bigcup_{i=1}^n A_i$ 为 n 个事件 $A_1, A_2, \dots, A_n$ 的**和事件**, 称 $\bigcup_{i=1}^{\infty} A_i$ 为可数个事件 $A_1, A_2, \dots, A_n, \dots$ 的**和事件**.

(4) 事件 $A \cap B = \{\omega | \omega \in A \text{ 且 } \omega \in B\}$ 称为事件 A 与事件 B 的**积 (或交)**. 其含义是: 当且仅当事件 A, B 同时发生时, 事件 $A \cap B$ 发生. 事件 $A \cap B$ 也记作 AB .

类似地, 称 $\bigcap_{i=1}^n A_i$ 为 n 个事件 $A_1, A_2, \dots, A_n$ 的**积事件**, 称 $\bigcap_{i=1}^{\infty} A_i$ 为可数个事件 $A_1, A_2, \dots, A_n, \dots$ 的**积事件**.

(5) 事件 $A - B = \{\omega | \omega \in A \text{ 且 } \omega \notin B\}$ 称为事件 A 与事件 B 的**差**. 其含义是: 当且仅当事件 A 发生, 且事件 B 不发生时, 事件 $A - B$ 发生.

例如, 在抛掷骰子的试验中, 记事件

A : “点数为奇数”, B : “点数小于 5”,

则 $A \cup B = \{1, 2, 3, 4, 5\}$; $A \cap B = \{1, 3\}$; $A - B = \{5\}$.

(6) 若 $A \cap B = \emptyset$, 则称事件 A 与事件 B 是**互不相容的**, 或称是**互斥的**. 其含义是: 事件 A 与事件 B 不能同时发生.

例如, 基本事件是两两互不相容的.

(7) 若 $A \cup B = S$ 且 $A \cap B = \emptyset$, 则称事件 A 与事件 B 互为**对立事件**, 或称事件 A 与事件 B 互为**逆事件**. 其含义是: 对每次试验而言, 事件 A, B 中有且仅有一个发