

## 概率论与数理统计公式汇总

本文件细致地汇总了概率论与数理统计各章节的公式，助您轻松玩转概率！如有任何数学相关的问题，请您进入以下 QQ 群进行学习交流：

- ①高等数学交流 QQ 群：210724041
- ②全国大学生高数交流 QQ 群：703674754
- ③高等数学学习交流 QQ 群：251687262

### 第 1 章 随机事件及其概率

(1) 排列组合公式	$P_m^n = \frac{m!}{(m-n)!}$ 从 $m$ 个人中挑出 $n$ 个人进行排列的可能数。 $C_m^n = \frac{m!}{n!(m-n)!}$ 从 $m$ 个人中挑出 $n$ 个人进行组合的可能数。
(2) 加法和乘法原理	<b>加法原理（两种方法均能完成此事）:</b> $m+n$ 某件事由两种方法来完成，第一种方法可由 $m$ 种方法完成，第二种方法可由 $n$ 种方法来完成，则这件事可由 $m+n$ 种方法来完成。 <b>乘法原理（两个步骤分别不能完成这件事）:</b> $m \times n$ 某件事由两个步骤来完成，第一个步骤可由 $m$ 种方法完成，第二个步骤可由 $n$ 种方法来完成，则这件事可由 $m \times n$ 种方法来完成。
(3) 一些常见排列	重复排列和非重复排列（有序） 对立事件（至少有一个） 顺序问题
(4) 随机试验和随机事件	如果一个试验在相同条件下可以重复进行，而每次试验的可能结果不止一个，但在进行一次试验之前却不能断言它出现哪个结果，则称这种试验为随机试验。 试验的可能结果称为随机事件。
(5) 基本事件、样本空间和事件	在一个试验下，不管事件有多少个，总可以从其中找出这样一组事件，它具有如下性质： ①每进行一次试验，必须发生且只能发生这一组中的一个事件； ②任何事件，都是由这一组中的部分事件组成的。 这样一组事件中的每一个事件称为基本事件，用 $\omega$ 来表示。 基本事件的全体，称为试验的样本空间，用 $\Omega$ 表示。 一个事件就是由 $\Omega$ 中的部分点（基本事件 $\omega$ ）组成的集合。通常用大写字母 $A, B, C, \dots$ 表示事件，它们是 $\Omega$ 的子集。 $\Omega$ 为必然事件， $\emptyset$ 为不可能事件。 不可能事件 ( $\emptyset$ ) 的概率为零，而概率为零的事件不一定是不可能事件；同理，必然事件 ( $\Omega$ ) 的概率为 1，而概率为 1 的事件也不一定是必然事件。
(6) 事件的关系与运算	①关系： 如果事件 $A$ 的组成部分也是事件 $B$ 的组成部分，( $A$ 发生必有事件 $B$ 发生)： $A \subset B$ 如果同时有 $A \subset B, B \supset A$ ，则称事件 $A$ 与事件 $B$ 等价，或称 $A$ 等于 $B$ : $A=B$ 。

	<p><math>A, B</math> 中至少有一个发生的事件: <math>A \cup B</math>, 或者 <math>A+B</math>。</p> <p>属于 <math>A</math> 而不属于 <math>B</math> 的部分所构成的事件, 称为 <math>A</math> 与 <math>B</math> 的差, 记为 <math>A-B</math>, 也可表示为 <math>A-AB</math> 或者 <math>A\bar{B}</math>, 它表示 <math>A</math> 发生而 <math>B</math> 不发生的事件。</p> <p><math>A, B</math> 同时发生: <math>A \cap B</math>, 或者 <math>AB</math>。若 <math>A \cap B = \emptyset</math>, 则表示 <math>A</math> 与 <math>B</math> 不可能同时发生, 称事件 <math>A</math> 与事件 <math>B</math> 互不相容或者互斥。基本事件是互不相容的。</p> <p><math>\Omega - A</math> 称为事件 <math>A</math> 的逆事件, 或称 <math>A</math> 的对立事件, 记为 <math>\bar{A}</math>。它表示 <math>A</math> 不发生的事件。互斥未必对立。</p> <p>②运算:</p> <p>结合律: <math>A(BC) = (AB)C</math>   <math>A \cup (B \cup C) = (A \cup B) \cup C</math></p> <p>分配律: <math>(AB) \cup C = (A \cup C) \cap (B \cup C)</math>   <math>(A \cup B) \cap C = (AC) \cup (BC)</math></p> <p>德摩根律:</p> $\overline{\bigcap_{i=1}^{\infty} A_i} = \bigcup_{i=1}^{\infty} \overline{A_i}$ $A \cup B = \overline{\overline{A} \cap \overline{B}}, \quad \overline{A \cap B} = \overline{A} \cup \overline{B}$
(7) 概率的公理化定义	<p>设 <math>\Omega</math> 为样本空间, <math>A</math> 为事件, 对每一个事件 <math>A</math> 都有一个实数 <math>P(A)</math>, 若满足下列三个条件:</p> <p>1° <math>0 \leq P(A) \leq 1</math>,</p> <p>2° <math>P(\Omega) = 1</math></p> <p>3° 对于两两互不相容的事件 <math>A_1, A_2, \dots</math> 有</p> $P\left(\bigcup_{i=1}^{\infty} A_i\right) = \sum_{i=1}^{\infty} P(A_i)$ <p>常称为可列(完全)可加性。</p> <p>则称 <math>P(A)</math> 为事件 <math>A</math> 的概率。</p>
(8) 古典概型	<p>1° <math>\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n\}</math>,</p> <p>2° <math>P(\omega_1) = P(\omega_2) = \dots = P(\omega_n) = \frac{1}{n}</math>。</p> <p>设任一事件 <math>A</math>, 它是由 <math>\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m</math> 组成的, 则有</p> $P(A) = \{(\omega_1) \cup (\omega_2) \cup \dots \cup (\omega_m)\} = P(\omega_1) + P(\omega_2) + \dots + P(\omega_m)$ $= \frac{m}{n} = \frac{A \text{ 所包含的基本事件数}}{\text{基本事件总数}}$
(9) 几何概型	<p>若随机试验的结果为无限不可数并且每个结果出现的可能性均匀, 同时样本空间中的每一个基本事件可以使用一个有界区域来描述, 则称此随机试验为几何概型。对任一事件 <math>A</math>,</p> $P(A) = \frac{L(A)}{L(\Omega)}$ 其中 $L$ 为几何度量(长度、面积、体积)。
(10) 加法公式	$P(A+B) = P(A) + P(B) - P(AB)$ <p>当 <math>P(AB) = 0</math> 时, <math>P(A+B) = P(A) + P(B)</math></p>
(11) 减法公式	$P(A-B) = P(A) - P(AB)$

式	当 $B \subset A$ 时, $P(A-B) = P(A) - P(B)$ 当 $A = \Omega$ 时, $P(\bar{B}) = 1 - P(B)$
(12) 条件概率	定义 设 $A, B$ 是两个事件, 且 $P(A) > 0$ , 则称 $\frac{P(AB)}{P(A)}$ 为事件 $A$ 发生条件下, 事件 $B$ 发生的条件概率, 记为 $P(B/A) = \frac{P(AB)}{P(A)}$ 。 条件概率是概率的一种, 所有概率的性质都适合于条件概率。 例如 $P(\Omega/B) = 1 \Rightarrow P(\bar{B}/A) = 1 - P(B/A)$
(13) 乘法公式	乘法公式: $P(AB) = P(A)P(B/A)$ 更一般地, 对事件 $A_1, A_2, \dots, A_n$ , 若 $P(A_1A_2\dots A_{n-1}) > 0$ , 则有 $P(A_1A_2\dots A_n) = P(A_1)P(A_2   A_1)P(A_3   A_1A_2) \dots \dots P(A_n   A_1A_2 \dots A_{n-1})$
(14) 独立性	<p><b>①两个事件的独立性</b>  设事件 <math>A, B</math> 满足 <math>P(AB) = P(A)P(B)</math>, 则称事件 <math>A, B</math> 是相互独立的。  若事件 <math>A, B</math> 相互独立, 且 <math>P(A) &gt; 0</math>, 则有  <math display="block">P(B   A) = \frac{P(AB)}{P(A)} = \frac{P(A)P(B)}{P(A)} = P(B)</math></p> <p>若事件 <math>A, B</math> 相互独立, 则可得到 <math>\bar{A}</math> 与 <math>B</math>、<math>A</math> 与 <math>\bar{B}</math>、<math>\bar{A}</math> 与 <math>\bar{B}</math> 也都相互独立。  必然事件 <math>\Omega</math> 和不可能事件 <math>\emptyset</math> 与任何事件都相互独立。  <math>\emptyset</math> 与任何事件都互斥。</p> <p><b>②多个事件的独立性</b>  设 <math>A, B, C</math> 是三个事件, 如果满足两两独立的条件,  <math>P(AB) = P(A)P(B)</math>; <math>P(BC) = P(B)P(C)</math>; <math>P(CA) = P(C)P(A)</math>  并且同时满足 <math>P(ABC) = P(A)P(B)P(C)</math>  那么 <math>A, B, C</math> 相互独立。  对于 <math>n</math> 个事件类似。</p>
(15) 全概公式	<p>设事件 <math>B_1, B_2, \dots, B_n</math> 满足</p> <p>1° <math>B_1, B_2, \dots, B_n</math> 两两互不相容, <math>P(B_i) &gt; 0 (i = 1, 2, \dots, n)</math>,</p> $A \subset \bigcup_{i=1}^n B_i$ <p>2° 则有</p> $P(A) = P(B_1)P(A   B_1) + P(B_2)P(A   B_2) + \dots + P(B_n)P(A   B_n)$
(16) 贝叶斯公式	<p>设事件 <math>B_1, B_2, \dots, B_n</math> 及 <math>A</math> 满足</p> <p>1° <math>B_1, B_2, \dots, B_n</math> 两两互不相容, <math>P(B_i) &gt; 0, i = 1, 2, \dots, n</math>,</p> <p>2° <math>A \subset \bigcup_{i=1}^n B_i, P(A) &gt; 0</math>,</p> <p>则</p> $P(B_i   A) = \frac{P(B_i)P(A   B_i)}{\sum_{j=1}^n P(B_j)P(A   B_j)}, i = 1, 2, \dots, n$ <p>此公式即为贝叶斯公式。</p> <p><math>P(B_i), (i = 1, 2, \dots, n)</math>, 通常叫先验概率。 <math>P(B_i   A), (i = 1, 2, \dots, n)</math>, 通常叫后验概率。</p>

	$n$ ），通常称为后验概率。贝叶斯公式反映了“因果”的概率规律，并作出了“由果溯因”的推断。
(17) 伯努利 概型	<p>我们作了<math>n</math>次试验，且满足</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 每次试验只有两种可能结果，<math>A</math>发生或<math>A</math>不发生；</li> <li>◆ <math>n</math>次试验是重复进行的，即<math>A</math>发生的概率每次均一样；</li> <li>◆ 每次试验是独立的，即每次试验<math>A</math>发生与否与其他次试验<math>A</math>发生与否是互不影响的。</li> </ul> <p>这种试验称为伯努利概型，或称为<math>n</math>重伯努利试验。</p> <p>用<math>p</math>表示每次试验<math>A</math>发生的概率，则<math>\bar{A}</math>发生的概率为<math>1-p=q</math>，用<math>P_n(k)</math>表示<math>n</math>重伯努利试验中<math>A</math>出现<math>k(0 \leq k \leq n)</math>次的概率，</p> $P_n(k) = C_n^k p^k q^{n-k}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, n.$

## 第二章 随机变量及其分布

(1) 离散型随机变量的分布律	<p>设离散型随机变量<math>X</math>的可能取值为<math>X_k(k=1, 2, \dots)</math>且取各个值的概率，即事件<math>(X=X_k)</math>的概率为</p> $P(X=x_k) = p_k, \quad k=1, 2, \dots,$ <p>则称上式为离散型随机变量<math>X</math>的概率分布或分布律。有时也用分布列的形式给出：</p> $\frac{X}{P(X=x_k)}   \frac{x_1, x_2, \dots, x_k, \dots}{p_1, p_2, \dots, p_k, \dots}.$ <p>显然分布律应满足下列条件：</p> $(1) \quad p_k \geq 0, \quad k=1, 2, \dots, \quad (2) \quad \sum_{k=1}^{\infty} p_k = 1.$
(2) 连续型随机变量的分布密度	<p>设<math>F(x)</math>是随机变量<math>X</math>的分布函数，若存在非负函数<math>f(x)</math>，对任意实数<math>x</math>，有</p> $F(x) = \int_{-\infty}^x f(x)dx,$ <p>则称<math>X</math>为连续型随机变量。<math>f(x)</math>称为<math>X</math>的概率密度函数或密度函数，简称概率密度。密度函数具有下面4个性质：</p> <p>1° <math>f(x) \geq 0</math>。</p> <p>2° <math>\int_{-\infty}^{+\infty} f(x)dx = 1</math>。</p>
(3) 离散与连续型随机变量的关系	<p><math>P(X=x) \approx P(x &lt; X \leq x+dx) \approx f(x)dx</math></p> <p>积分元<math>f(x)dx</math>在连续型随机变量理论中所起的作用与<math>P(X=x_k) = p_k</math>在离散型随机变量理论中所起的作用相类似。</p>
(4) 分布函数	<p>设<math>X</math>为随机变量，<math>x</math>是任意实数，则函数<math>F(x) = P(X \leq x)</math>称为随机变量<math>X</math>的分布函数，本质上是一个累积函数。</p>

$P(a < X \leq b) = F(b) - F(a)$  可以得到  $X$  落入区间  $(a, b]$  的概率。分布函数  $F(x)$  表示随机变量落入区间  $(-\infty, x]$  内的概率。

分布函数具有如下性质：

$$1^\circ \quad 0 \leq F(x) \leq 1, \quad -\infty < x < +\infty;$$

$$2^\circ \quad F(x) \text{ 是单调不减的函数, 即 } x_1 < x_2 \text{ 时, 有 } F(x_1) \leq F(x_2);$$

$$3^\circ \quad F(-\infty) = \lim_{x \rightarrow -\infty} F(x) = 0, \quad F(+\infty) = \lim_{x \rightarrow +\infty} F(x) = 1;$$

$$4^\circ \quad F(x+0) = F(x), \text{ 即 } F(x) \text{ 是右连续的;}$$

$$5^\circ \quad P(X = x) = F(x) - F(x-0).$$

对于离散型随机变量,  $F(x) = \sum_{x_k \leq x} p_k$ ;

对于连续型随机变量,  $F(x) = \int_{-\infty}^x f(x)dx$ 。

(5) 八大分布	0-1 分布	$P(X=1)=p, P(X=0)=q$
	二项分布	在 $n$ 重伯努利试验中, 设事件 $A$ 发生的概率为 $p$ 。事件 $A$ 发生的次数是随机变量, 设为 $X$ , 则 $X$ 可能取值为 $0, 1, 2, \dots, n$ 。 $P(X=k) = P_n(k) = C_n^k p^k q^{n-k}$ , 其中 $q = 1-p, 0 < p < 1, k = 0, 1, 2, \dots, n$ , 则称随机变量 $X$ 服从参数为 $n, p$ 的二项分布。记为 $X \sim B(n, p)$ 。 当 $n=1$ 时, $P(X=k) = p^k q^{1-k}, k=0,1$ , 这就是 (0-1) 分布, 所以 (0-1) 分布是二项分布的特例。
	泊松分布	设随机变量 $X$ 的分布律为 $P(X=k) = \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda}, \quad \lambda > 0, \quad k = 0, 1, 2, \dots,$ 则称随机变量 $X$ 服从参数为 $\lambda$ 的泊松分布, 记为 $X \sim \pi(\lambda)$ 或者 $P(\lambda)$ 。 泊松分布为二项分布的极限分布 ( $np=\lambda, n \rightarrow \infty$ )。
	超几何分布	$P(X=k) = \frac{C_M^k \cdot C_{N-M}^{n-k}}{C_N^n}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, l$ $l = \min(M, n)$ 随机变量 $X$ 服从参数为 $n, N, M$ 的超几何分布, 记为 $H(n, N, M)$ 。

几何分布	$P(X = k) = q^{k-1} p, k = 1, 2, 3, \dots$ , 其中 $p \geq 0$ , $q = 1 - p$ 。 随机变量 $X$ 服从参数为 $p$ 的几何分布, 记为 $G(p)$ 。
均匀分布	<p>设随机变量 <math>X</math> 的值只落在 <math>[a, b]</math> 内, 其密度函数 <math>f(x)</math> 在 <math>[a, b]</math> 上为常数 <math>\frac{1}{b-a}</math>, 即</p> $f(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 0, & \text{其他,} \end{cases}$ <p>则称随机变量 <math>X</math> 在 <math>[a, b]</math> 上服从均匀分布, 记为 <math>X \sim U(a, b)</math>。          分布函数为</p> $F(x) = \int_{-\infty}^x f(x) dx = \begin{cases} 0, & x < a, \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & x > b. \end{cases}$ <p>当 <math>a \leq x_1 &lt; x_2 \leq b</math> 时, <math>X</math> 落在区间 <math>(x_1, x_2)</math> 内的概率为  <math>P(x_1 &lt; X &lt; x_2) = \frac{x_2 - x_1}{b - a}</math>.</p>
指数分布	$f(x) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda x}, & x \geq 0, \\ 0, & x < 0, \end{cases}$ <p>其中 <math>\lambda &gt; 0</math>, 则称随机变量 <math>X</math> 服从参数为 <math>\lambda</math> 的指数分布。  <math>X</math> 的分布函数为</p> $F(x) = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda x}, & x \geq 0, \\ 0, & x < 0. \end{cases}$ <p>记住积分公式:</p> $\int_0^{+\infty} x^n e^{-x} dx = n!$

	正态分布	<p>设随机变量 <math>X</math> 的密度函数为</p> $f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad -\infty < x < +\infty,$ <p>其中 <math>\mu, \sigma &gt; 0</math> 为常数，则称随机变量 <math>X</math> 服从参数为 <math>\mu, \sigma</math> 的正态分布或高斯 (Gauss) 分布，记为 <math>X \sim N(\mu, \sigma^2)</math>。</p> <p><math>f(x)</math> 具有如下性质：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1° <math>f(x)</math> 的图形是关于 <math>x = \mu</math> 对称的；</li> <li>2° 当 <math>x = \mu</math> 时，<math>f(\mu) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}</math> 为最大值；</li> </ol> <p>若 <math>X \sim N(\mu, \sigma^2)</math>，则 <math>X</math> 的分布函数为</p> $F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}} dt$
(6) 分位数		<p>参数 <math>\mu = 0, \sigma = 1</math> 时的正态分布称为标准正态分布，记为 <math>X \sim N(0,1)</math>，其密度函数记为</p> $\varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}}, \quad -\infty < x < +\infty,$ <p>分布函数为</p> $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt.$ <p><math>\Phi(x)</math> 是不可求积函数，其函数值，已编制成表可供查用。</p> $\Phi(-x) = 1 - \Phi(x) \text{ 且 } \Phi(0) = \frac{1}{2}.$ <p>如果 <math>X \sim N(\mu, \sigma^2)</math>，则 <math>\frac{X - \mu}{\sigma} \sim N(0,1)</math>。</p> $P(x_1 < X \leq x_2) = \Phi\left(\frac{x_2 - \mu}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{x_1 - \mu}{\sigma}\right).$
(7) 函数分布	离散型	<p>已知 <math>X</math> 的分布列为</p> $\frac{X}{P(X=x_i)} \begin{array}{ c c c c c } \hline & x_1, & x_2, & \cdots, & x_n, & \cdots \\ \hline & p_1, & p_2, & \cdots, & p_n, & \cdots \\ \hline \end{array},$

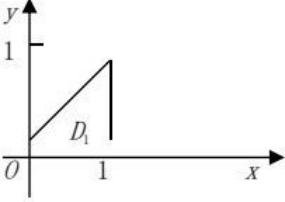
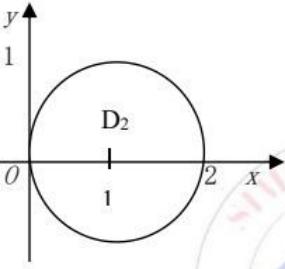
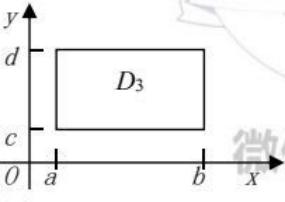
	$Y = g(X)$ 的分布列 ( $y_i = g(x_i)$ 互不相等) 如下: $\frac{Y}{P(Y=y_i)} \begin{array}{ c} \hline g(x_1), g(x_2), \dots, g(x_n), \dots \\ \hline p_1, p_2, \dots, p_n, \dots \end{array},$ <p>若有某些 <math>g(x_i)</math> 相等，则应将对应的 <math>p_i</math> 相加作为 <math>g(x_i)</math> 的概率。</p>
连续型	先利用 $X$ 的概率密度 $f_X(x)$ 写出 $Y$ 的分布函数 $F_Y(y) = P(g(X) \leq y)$ ，再利用变上下限积分的求导公式求出 $f_Y(y)$ 。

### 第三章 二维随机变量及其分布

(1) 联合分布	离散型	<p>如果二维随机向量 <math>\xi = (X, Y)</math> 的所有可能取值为至多可列个有序对 <math>(x, y)</math>，则称 <math>\xi</math> 为离散型随机量。</p> <p>设 <math>\xi = (X, Y)</math> 的所有可能取值为 <math>(x_i, y_j) (i, j = 1, 2, \dots)</math>，且事件 <math>\{\xi = (x_i, y_j)\}</math> 的概率为 <math>p_{ij}</math>，称</p> $P\{(X, Y) = (x_i, y_j)\} = p_{ij} (i, j = 1, 2, \dots)$ <p>为 <math>\xi = (X, Y)</math> 的分布律或称为 <math>X</math> 和 <math>Y</math> 的联合分布律。联合分布有时也用下面的概率分布表来表示：</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <th style="text-align: center;"><math>X \backslash Y</math></th><th style="text-align: center;"><math>y_1</math></th><th style="text-align: center;"><math>y_2</math></th><th style="text-align: center;">...</th><th style="text-align: center;"><math>y_j</math></th><th style="text-align: center;">...</th></tr> <tr> <th style="text-align: center;"><math>x_1</math></th><td style="text-align: center;"><math>p_{11}</math></td><td style="text-align: center;"><math>p_{12}</math></td><td style="text-align: center;">...</td><td style="text-align: center;"><math>p_{1j}</math></td><td style="text-align: center;">...</td></tr> <tr> <th style="text-align: center;"><math>x_2</math></th><td style="text-align: center;"><math>p_{21}</math></td><td style="text-align: center;"><math>p_{22}</math></td><td style="text-align: center;">...</td><td style="text-align: center;"><math>p_{2j}</math></td><td style="text-align: center;">...</td></tr> <tr> <th style="text-align: center;">⋮</th><td style="text-align: center;">⋮</td><td style="text-align: center;">⋮</td><td style="text-align: center;"></td><td style="text-align: center;">⋮</td><td style="text-align: center;">⋮</td></tr> <tr> <th style="text-align: center;"><math>x_i</math></th><td style="text-align: center;"><math>p_{i1}</math></td><td style="text-align: center;"></td><td style="text-align: center;">...</td><td style="text-align: center;"><math>p_{ij}</math></td><td style="text-align: center;">...</td></tr> <tr> <th style="text-align: center;">⋮</th><td style="text-align: center;">⋮</td><td style="text-align: center;">⋮</td><td style="text-align: center;"></td><td style="text-align: center;">⋮</td><td style="text-align: center;">⋮</td></tr> </table> <p>这里 <math>p_{ij}</math> 具有下面两个性质：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) <math>p_{ij} \geq 0 (i, j = 1, 2, \dots)</math>;</li> <li>(2) <math>\sum_i \sum_j p_{ij} = 1</math>.</li> </ol>	$X \backslash Y$	$y_1$	$y_2$	...	$y_j$	...	$x_1$	$p_{11}$	$p_{12}$	...	$p_{1j}$	...	$x_2$	$p_{21}$	$p_{22}$	...	$p_{2j}$	...	⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	$x_i$	$p_{i1}$		...	$p_{ij}$	...	⋮	⋮	⋮		⋮	⋮
$X \backslash Y$	$y_1$	$y_2$	...	$y_j$	...																																	
$x_1$	$p_{11}$	$p_{12}$	...	$p_{1j}$	...																																	
$x_2$	$p_{21}$	$p_{22}$	...	$p_{2j}$	...																																	
⋮	⋮	⋮		⋮	⋮																																	
$x_i$	$p_{i1}$		...	$p_{ij}$	...																																	
⋮	⋮	⋮		⋮	⋮																																	
连续型	对于二维随机向量 $\xi = (X, Y)$ ，如果存在非负函数 $f(x, y) (-\infty < x < +\infty, -\infty < y < +\infty)$ ，使对任意一个其邻边分别平																																					

		<p>平行于坐标轴的矩形区域 <math>D</math>, 即 <math>D=\{(X, Y)   a &lt; x &lt; b, c &lt; y &lt; d\}</math> 有</p> $P\{(X, Y) \in D\} = \iint_D f(x, y) dx dy,$ <p>则称 <math>\xi</math> 为连续型随机向量; 并称 <math>f(x, y)</math> 为 <math>\xi = (X, Y)</math> 的分布密度或称为 <math>X</math> 和 <math>Y</math> 的联合分布密度。</p> <p>分布密度 <math>f(x, y)</math> 具有下面两个性质:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) <math>f(x, y) \geq 0</math>;</li> <li>(2) <math>\int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x, y) dx dy = 1</math>.</li> </ol>
(2) 二维随机变量的本质		$\xi(X=x, Y=y) = \xi(X=x \cap Y=y)$
(3) 联合分布函数		<p>设 <math>(X, Y)</math> 为二维随机变量, 对于任意实数 <math>x, y</math>, 二元函数</p> $F(x, y) = P\{X \leq x, Y \leq y\}$ <p>称为二维随机向量 <math>(X, Y)</math> 的分布函数, 或称为随机变量 <math>X</math> 和 <math>Y</math> 的联合分布函数。</p> <p>分布函数是一个以全平面为其定义域, 以事件 <math>\{(\omega_1, \omega_2)   -\infty &lt; X(\omega_1) \leq x, -\infty &lt; Y(\omega_2) \leq y\}</math> 的概率为函数值的一个实值函数。分布函数 <math>F(x, y)</math> 具有以下的基本性质:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) <math>0 \leq F(x, y) \leq 1</math>;</li> <li>(2) <math>F(x, y)</math> 分别对 <math>x</math> 和 <math>y</math> 是非减的, 即 当 <math>x_2 &gt; x_1</math> 时, 有 <math>F(x_2, y) \geq F(x_1, y)</math>; 当 <math>y_2 &gt; y_1</math> 时, 有 <math>F(x, y_2) \geq F(x, y_1)</math>;</li> <li>(3) <math>F(x, y)</math> 分别对 <math>x</math> 和 <math>y</math> 是右连续的, 即</li> </ol> $F(x, y) = F(x+0, y), F(x, y) = F(x, y+0);$ $(4) F(-\infty, -\infty) = F(-\infty, y) = F(x, -\infty) = 0, F(+\infty, +\infty) = 1.$ $(5) \text{对于 } x_1 < x_2, y_1 < y_2,$ $F(x_2, y_2) - F(x_2, y_1) - F(x_1, y_2) + F(x_1, y_1) \geq 0.$
(4) 离散型与连续型的关系		$P(X=x, Y=y) \approx P(x < X \leq x+dx, y < Y \leq y+dy) \approx f(x, y) dx dy$
(5) 边缘分布	离散型	<p><math>X</math> 的边缘分布为</p> $P_{i*} = P(X=x_i) = \sum_j p_{ij} (i, j=1, 2, \dots);$ <p><math>Y</math> 的边缘分布为</p> $P_{*j} = P(Y=y_j) = \sum_i p_{ij} (i, j=1, 2, \dots).$
	连续型	<p><math>X</math> 的边缘分布密度为</p> $f_X(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x, y) dy;$

		Y 的边缘分布密度为 $f_Y(y) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x, y) dx.$
(6) 条件分布	离散型	在已知 $X=x_i$ 的条件下, Y 取值的条件分布为 $P(Y=y_j   X=x_i) = \frac{P_{ij}}{P_{i\bullet}}$ ; 在已知 $Y=y_j$ 的条件下, X 取值的条件分布为 $P(X=x_i   Y=y_j) = \frac{P_{ij}}{P_{\bullet j}}$ ,
	连续型	在已知 $Y=y$ 的条件下, X 的条件分布密度为 $f(x   y) = \frac{f(x, y)}{f_Y(y)}$ ; 在已知 $X=x$ 的条件下, Y 的条件分布密度为 $f(y   x) = \frac{f(x, y)}{f_X(x)}$
(7) 独立性	一般型	$F(X, Y) = F_X(x) F_Y(y)$
	离散型	$P_{ij} = P_{i\bullet} P_{\bullet j}$ 有零不独立
	连续型	$f(x, y) = f_X(x) f_Y(y)$ 直接判断, 充要条件: ①可分离变量 ②正概率密度区间为矩形
	二维正态分布	$f(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_1\sigma_2\sqrt{1-\rho^2}} e^{-\frac{1}{2(1-\rho^2)} \left[ \left(\frac{x-\mu_1}{\sigma_1}\right)^2 - \frac{2\rho(x-\mu_1)(y-\mu_2)}{\sigma_1\sigma_2} + \left(\frac{y-\mu_2}{\sigma_2}\right)^2 \right]},$ $\rho = 0$
	随机变量的函数	若 $X_1, X_2, \dots, X_n, X_{n+1}, \dots, X_n$ 相互独立, $h, g$ 为连续函数, 则: $h(X_1, X_2, \dots, X_n)$ 和 $g(X_{n+1}, \dots, X_n)$ 相互独立。 特例: 若 X 与 Y 独立, 则: $h(X)$ 和 $g(Y)$ 独立。 例如: 若 X 与 Y 独立, 则: $3X+1$ 和 $5Y-2$ 独立。
(8) 二维均匀分布	设随机向量 (X, Y) 的分布密度函数为 $f(x, y) = \begin{cases} \frac{1}{S_D} & (x, y) \in D \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$	
		其中 $S_D$ 为区域 D 的面积, 则称 (X, Y) 服从 D 上的均匀分布, 记为 $(X, Y) \sim U(D)$ .

	例如图 3.1、图 3.2 和图 3.3。
	 <p>图 3.1</p>
	 <p>图 3.2</p>
	 <p>图 3.3</p>
(9) 二维正态分布	<p>设随机向量 <math>(X, Y)</math> 的分布密度函数为</p> $f(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_1\sigma_2\sqrt{1-\rho^2}} e^{-\frac{1}{2(1-\rho^2)}\left[\left(\frac{x-\mu_1}{\sigma_1}\right)^2 - \frac{2\rho(x-\mu_1)(y-\mu_2)}{\sigma_1\sigma_2} + \left(\frac{y-\mu_2}{\sigma_2}\right)^2\right]},$ <p>其中 <math>\mu_1, \mu_2, \sigma_1 &gt; 0, \sigma_2 &gt; 0,  \rho  &lt; 1</math> 是 5 个参数，则称 <math>(X, Y)</math> 服从二维正态分布，记为 <math>(X, Y) \sim N(\mu_1, \mu_2, \sigma_1^2, \sigma_2^2, \rho)</math>.</p> <p>由边缘密度的计算公式，可以推出二维正态分布的两个边缘分布仍为正态分布，即 <math>X \sim N(\mu_1, \sigma_1^2), Y \sim N(\mu_2, \sigma_2^2)</math>.</p> <p>但是若 <math>X \sim N(\mu_1, \sigma_1^2), Y \sim N(\mu_2, \sigma_2^2)</math>，<math>(X, Y)</math> 未必是二维正态分布。</p>
(10) 函数分布	$Z = X + Y$ <p>根据定义计算: <math>F_Z(z) = P(Z \leq z) = P(X + Y \leq z)</math></p> <p>对于连续型, <math>f_z(z) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x, z-x) dx</math></p>

	<p>两个独立的正态分布的和仍为正态分布 (<math>\mu_1 + \mu_2, \sigma_1^2 + \sigma_2^2</math>)。</p> <p><math>n</math> 个相互独立的正态分布的线性组合，仍服从正态分布。</p> $\mu = \sum_i C_i \mu_i, \quad \sigma^2 = \sum_i C_i^2 \sigma_i^2$
Z=max, min(X <sub>1</sub> , X <sub>2</sub> ,…X <sub>n</sub> )	<p>若 <math>X_1, X_2, \dots, X_n</math> 相互独立，其分布函数分别为 <math>F_{x_1}(x), F_{x_2}(x) \dots F_{x_n}(x)</math>，则 Z=max,min(X<sub>1</sub>,X<sub>2</sub>,…X<sub>n</sub>) 的分布函数为：</p> $F_{\max}(x) = F_{x_1}(x) \bullet F_{x_2}(x) \dots F_{x_n}(x)$ $F_{\min}(x) = 1 - [1 - F_{x_1}(x)] \bullet [1 - F_{x_2}(x)] \dots [1 - F_{x_n}(x)]$
$\chi^2$ 分布	<p>设 <math>n</math> 个随机变量 <math>X_1, X_2, \dots, X_n</math> 相互独立，且服从标准正态分布，可以证明它们的平方和</p> $W = \sum_{i=1}^n X_i^2$ <p>的分布密度为</p> $f(u) = \begin{cases} \frac{1}{2^{\frac{n}{2}} \Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} u^{\frac{n}{2}-1} e^{-\frac{u}{2}} & u \geq 0, \\ 0, & u < 0. \end{cases}$ <p>我们称随机变量 <math>W</math> 服从自由度为 <math>n</math> 的 <math>\chi^2</math> 分布，记为 <math>W \sim \chi^2(n)</math>，其中</p> $\Gamma\left(\frac{n}{2}\right) = \int_0^{+\infty} x^{\frac{n}{2}-1} e^{-x} dx.$ <p>所谓自由度是指独立正态随机变量的个数，它是随机变量分布中的一个重要参数。</p> <p><math>\chi^2</math> 分布满足可加性：设</p> $Y_i \sim \chi^2(n_i),$ <p>则</p> $Z = \sum_{i=1}^k Y_i \sim \chi^2(n_1 + n_2 + \dots + n_k).$
t 分布	<p>设 <math>X, Y</math> 是两个相互独立的随机变量，且</p> $X \sim N(0,1), Y \sim \chi^2(n),$

	<p>可以证明函数</p> $T = \frac{X}{\sqrt{Y/n}}$ <p>的概率密度为</p> $f(t) = \frac{\Gamma\left(\frac{n+1}{2}\right)}{\sqrt{n}\pi\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} \left(1 + \frac{t^2}{n}\right)^{-\frac{n+1}{2}} \quad (-\infty < t < +\infty).$ <p>我们称随机变量 T 服从自由度为 n 的 t 分布，记为 <math>T \sim t(n)</math>。</p> $t_{1-\alpha}(n) = -t_\alpha(n)$
F 分布	<p>设 <math>X \sim \chi^2(n_1), Y \sim \chi^2(n_2)</math>, 且 X 与 Y 独立, 可以证明 <math>F = \frac{X/n_1}{Y/n_2}</math> 的概率密度函数为</p> $f(y) = \begin{cases} \frac{\Gamma\left(\frac{n_1+n_2}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{n_1}{2}\right)\Gamma\left(\frac{n_2}{2}\right)} \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^{\frac{n_1}{2}} y^{\frac{n_1-1}{2}} \left(1 + \frac{n_1}{n_2}y\right)^{-\frac{n_1+n_2}{2}}, & y \geq 0 \\ 0, & y < 0 \end{cases}$ <p>我们称随机变量 F 服从第一个自由度为 <math>n_1</math>, 第二个自由度为 <math>n_2</math> 的 F 分布, 记为 <math>F \sim f(n_1, n_2)</math>.</p> $F_{1-\alpha}(n_1, n_2) = \frac{1}{F_\alpha(n_2, n_1)}$

## 第四章 随机变量的数字特征

(1) 一维 随机 变 量 的 数 字 特 征		离散型	连续型
期望 期望就是平均值	设 X 是离散型随机变量, 其分布律为 $P(X = x_k) = p_k$ , $k=1, 2, \dots, n$ ,	$E(X) = \sum_{k=1}^n x_k p_k$ (要求绝对收敛)	设 X 是连续型随机变量, 其概率密度为 $f(x)$ ,
函数的期望	$Y=g(X)$		$E(Y) = \int_{-\infty}^{+\infty} y f(y) dy$ (要求绝对收敛)

	$E(Y) = \sum_{k=1}^n g(x_k) p_k$	$E(Y) = \int_{-\infty}^{+\infty} g(x) f(x) dx$
方差 $D(X) = E[(X - E(X))^2]$ , 标准差 $\sigma(X) = \sqrt{D(X)}$ ,	$D(X) = \sum_k [x_k - E(X)]^2 p_k$	$D(X) = \int_{-\infty}^{+\infty} [x - E(X)]^2 f(x) dx$
矩	<p>①对于正整数 k, 称随机变量 X 的 k 次幂的数学期望为 X 的 k 阶原点矩, 记为 <math>v_k</math>, 即</p> $v_k = E(X^k) = \sum_i x_i^k p_i, \quad k=1, 2, \dots.$ <p>②对于正整数 k, 称随机变量 X 与 <math>E(X)</math> 差的 k 次幂的数学期望为 X 的 k 阶中心矩, 记为 <math>\mu_k</math>, 即</p> $\mu_k = E(X - E(X))^k.$ $= \sum_i (x_i - E(X))^k p_i, \quad k=1, 2, \dots.$	<p>①对于正整数 k, 称随机变量 X 的 k 次幂的数学期望为 X 的 k 阶原点矩, 记为 <math>v_k</math>, 即</p> $v_k = E(X^k) = \int_{-\infty}^{+\infty} x^k f(x) dx, \quad k=1, 2, \dots.$ <p>②对于正整数 k, 称随机变量 X 与 <math>E(X)</math> 差的 k 次幂的数学期望为 X 的 k 阶中心矩, 记为 <math>\mu_k</math>, 即</p> $\mu_k = E(X - E(X))^k.$ $= \int_{-\infty}^{+\infty} (x - E(X))^k f(x) dx, \quad k=1, 2, \dots.$
切比雪夫不等式	设随机变量 X 具有数学期望 $E(X) = \mu$ , 方差 $D(X) = \sigma^2$ , 则对于任意正数 $\epsilon$ , 有下列切比雪夫不等式	$P( X - \mu  \geq \epsilon) \leq \frac{\sigma^2}{\epsilon^2}$ <p>切比雪夫不等式给出了在未知 X 的分布的情况下, 对概率</p> $P( X - \mu  \geq \epsilon)$ <p>的一种估计, 它在理论上具有重要意义。</p>
(2) 期 望 的 性 质	(1) $E(C) = C$ (2) $E(CX) = CE(X)$ (3) $E(X+Y) = E(X) + E(Y)$ , $E(\sum_{i=1}^n C_i X_i) = \sum_{i=1}^n C_i E(X_i)$ (4) $E(XY) = E(X)E(Y)$ , 充分条件: X 和 Y 独立; 充要条件: X 和 Y 不相关。	
(3) 方 差	(1) $D(C) = 0$ ; $E(C) = C$ (2) $D(aX) = a^2 D(X)$ ; $E(aX) = aE(X)$	

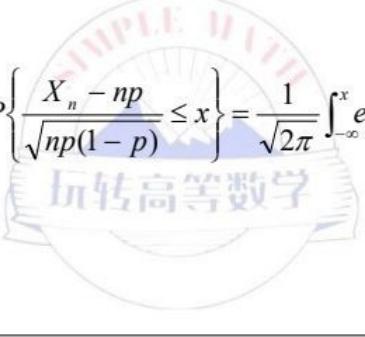
的性质  (4) 常见分布的期望和方差	(3) $D(aX+b) = a^2 D(X); E(aX+b) = aE(X) + b$ (4) $D(X) = E(X^2) - E^2(X)$ (5) $D(X \pm Y) = D(X) + D(Y)$ , 充分条件: X 和 Y 独立; 充要条件: X 和 Y 不相关。 $D(X \pm Y) = D(X) + D(Y) \pm 2E[(X-E(X))(Y-E(Y))]$ , 无条件成立。 而 $E(X+Y) = E(X) + E(Y)$ , 无条件成立。		
	0-1 分布 $B(1, p)$	期望 $p$	方差 $p(1-p)$
	二项分布 $B(n, p)$	期望 $np$	方差 $np(1-p)$
	泊松分布 $P(\lambda)$	期望 $\lambda$	方差 $\lambda$
微信公众号 玩转高等数学		几何分布 $G(p)$	期望 $\frac{1}{p}$ 方差 $\frac{1-p}{p^2}$
微信公众号 玩转高等数学		超几何分布 $H(n, M, N)$	期望 $\frac{nM}{N}$ 方差 $\frac{nM}{N} \left(1 - \frac{M}{N}\right) \left(\frac{N-n}{N-1}\right)$
微信公众号 玩转高等数学		均匀分布 $U(a, b)$	期望 $\frac{a+b}{2}$ 方差 $\frac{(b-a)^2}{12}$
微信公众号 玩转高等数学		指数分布 $e(\lambda)$	期望 $\frac{1}{\lambda}$ 方差 $\frac{1}{\lambda^2}$
微信公众号 玩转高等数学		正态分布 $N(\mu, \sigma^2)$	期望 $\mu$ 方差 $\sigma^2$
微信公众号 玩转高等数学		$\chi^2$ 分布	期望 $n$ 方差 $2n$
微信公众号 玩转高等数学		t 分布	期望 $0$ 方差 $\frac{n}{n-2}$ ( $n > 2$ )
(5) 二维随机变量的数字特征	期望	$E(X) = \sum_{i=1}^n x_i p_i$ $E(Y) = \sum_{j=1}^n y_j p_j$	$E(X) = \int_{-\infty}^{+\infty} xf_X(x) dx$ $E(Y) = \int_{-\infty}^{+\infty} yf_Y(y) dy$
	函数的期望	$E[G(X, Y)] = \sum_i \sum_j G(x_i, y_j) p_{ij}$	$E[G(X, Y)] = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} G(x, y) f(x, y) dx dy$

	方差	$D(X) = \sum_i [x_i - E(X)]^2 p_{i*}$ $D(Y) = \sum_j [y_j - E(Y)]^2 p_{j*}$	$D(X) = \int_{-\infty}^{+\infty} [x - E(X)]^2 f_X(x) dx$ $D(Y) = \int_{-\infty}^{+\infty} [y - E(Y)]^2 f_Y(y) dy$
	协方差	对于随机变量 X 与 Y, 称它们的二阶混合中心矩 $\mu_{11}$ 为 X 与 Y 的协方差或相关矩, 记为 $\sigma_{XY}$ 或 $\text{cov}(X, Y)$ , 即 $\sigma_{XY} = \mu_{11} = E[(X - E(X))(Y - E(Y))].$ 与记号 $\sigma_{XY}$ 相对应, X 与 Y 的方差 $D(X)$ 与 $D(Y)$ 也可分别记为 $\sigma_{XX}$ 与 $\sigma_{YY}$ 。	
	相关系数	对于随机变量 X 与 Y, 如果 $D(X) > 0, D(Y) > 0$ , 则称 $\rho_{XY} = \frac{\sigma_{XY}}{\sqrt{D(X)}\sqrt{D(Y)}}$ 为 X 与 Y 的相关系数, 记作 $\rho_{XY}$ (有时可简记为 $\rho$ )。   $\rho$   $\leq 1$ , 当   $\rho$   = 1 时, 称 X 与 Y 完全相关: $P(X = aY + b) = 1$ 完全相关 $\begin{cases} \text{正相关, 当 } \rho = 1 \text{ 时} (a > 0), \\ \text{负相关, 当 } \rho = -1 \text{ 时} (a < 0), \end{cases}$ 而当 $\rho = 0$ 时, 称 X 与 Y 不相关。 以下五个命题是等价的: ① $\rho_{XY} = 0$ ; ② $\text{cov}(X, Y) = 0$ ; ③ $E(XY) = E(X)E(Y)$ ; ④ $D(X+Y) = D(X) + D(Y)$ ; ⑤ $D(X-Y) = D(X) + D(Y)$ .	
	协方差矩阵	$\begin{pmatrix} \sigma_{XX} & \sigma_{XY} \\ \sigma_{YX} & \sigma_{YY} \end{pmatrix}$	
	混合矩	对于随机变量 X 与 Y, 如果有 $E(X^k Y^l)$ 存在, 则称之为 X 与 Y 的 $k+l$ 阶混合原点矩, 记为 $\nu_{kl}$ ; $k+l$ 阶混合中心矩记为:	

		$u_{kl} = E[(X - E(X))^k (Y - E(Y))^l]$ .
(6) 协 方 差 的 性 质	(i) $\text{cov}(X, Y) = \text{cov}(Y, X)$ ; (ii) $\text{cov}(aX, bY) = ab \text{cov}(X, Y)$ ; (iii) $\text{cov}(X_1 + X_2, Y) = \text{cov}(X_1, Y) + \text{cov}(X_2, Y)$ ; (iv) $\text{cov}(X, Y) = E(XY) - E(X)E(Y)$ .	
(7) 独 立 和 不 相 关	(i) 若随机变量 X 与 Y 相互独立, 则 $\rho_{XY} = 0$ ; 反之不真。 (ii) 若 $(X, Y) \sim N(\mu_1, \mu_2, \sigma_1^2, \sigma_2^2, \rho)$ , 则 X 与 Y 相互独立的充要条件是 X 和 Y 不相关。	

## 第五章 大数定律和中心极限定理

(1) 大数定律 $\bar{X} \rightarrow \mu$	切比雪夫大数定律	设随机变量 $X_1, X_2, \dots$ 相互独立, 均具有有限方差, 且被同一常数 C 所界: $D(X_i) \leq C (i=1, 2, \dots)$ , 则对于任意的正数 $\varepsilon$ , 有
		$\lim_{n \rightarrow \infty} P\left(\left \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E(X_i)\right  < \varepsilon\right) = 1.$
伯努利大数定律		特殊情形: 若 $X_1, X_2, \dots$ 具有相同的数学期望 $E(X_i) = \mu$ , 则上式成为
		$\lim_{n \rightarrow \infty} P\left(\left \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i - \mu\right  < \varepsilon\right) = 1.$
辛钦大数定律	伯努利大数定律	设 $\mu$ 是 $n$ 次独立试验中事件 A 发生的次数, $p$ 是事件 A 在每次试验中发生的概率, 则对于任意的正数 $\varepsilon$ , 有
		$\lim_{n \rightarrow \infty} P\left(\left \frac{\mu}{n} - p\right  < \varepsilon\right) = 1.$
(2) 中心极限定理	辛钦大数定律	伯努利大数定律说明, 当试验次数 $n$ 很大时, 事件 A 发生的频率与概率有较大判别的可能性很小, 即
		$\lim_{n \rightarrow \infty} P\left(\left \frac{\mu}{n} - p\right  \geq \varepsilon\right) = 0.$
		这就以严格的数学形式描述了频率的稳定性。
	列维	设 $X_1, X_2, \dots, X_n, \dots$ 是相互独立同分布的随机变量序列, 且 $E(X_n) = \mu$ , 则对于任意的正数 $\varepsilon$ 有
		$\lim_{n \rightarrow \infty} P\left(\left \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i - \mu\right  < \varepsilon\right) = 1.$

$\bar{X} \rightarrow N(\mu, \frac{\sigma^2}{n})$ 林德伯格定理	$Y_n = \frac{\sum_{k=1}^n X_k - n\mu}{\sqrt{n}\sigma}$ <p>的分布函数 <math>F_n(x)</math> 对任意的实数 <math>x</math>, 有</p> $\lim_{n \rightarrow \infty} F_n(x) = \lim_{n \rightarrow \infty} P\left\{ \frac{\sum_{k=1}^n X_k - n\mu}{\sqrt{n}\sigma} \leq x \right\} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt.$ <p>此定理也称为<b>独立同分布</b>的中心极限定理。</p>
棣莫弗—拉普拉斯定理	<p>设随机变量 <math>X_n</math> 为具有参数 <math>n, p(0 &lt; p &lt; 1)</math> 的二项分布, 则对于任意实数 <math>x</math>, 有</p> $\lim_{n \rightarrow \infty} P\left\{ \frac{X_n - np}{\sqrt{np(1-p)}} \leq x \right\} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt.$ 
(3) 二项定理	<p>若当 <math>N \rightarrow \infty</math> 时, <math>\frac{M}{N} \rightarrow p(n, k \text{ 不变})</math>, 则</p> $\frac{C_M^k C_{N-M}^{n-k}}{C_N^n} \rightarrow C_n^k p^k (1-p)^{n-k} \quad (N \rightarrow \infty).$ <p>超几何分布的极限分布为二项分布。</p>
(4) 泊松定理	<p>若当 <math>n \rightarrow \infty</math> 时, <math>np \rightarrow \lambda &gt; 0</math>, 则</p> $C_n^k p^k (1-p)^{n-k} \rightarrow \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda} \quad (n \rightarrow \infty).$ <p>其中 <math>k=0, 1, 2, \dots, n, \dots</math>。 二项分布的极限分布为泊松分布。</p>

## 第六章 样本及抽样分布

(1) 数理 统计	总体	<p>在数理统计中, 常把被考察对象的某一个(或多个)指标的全体称为总体(或母体)。我们总是把总体看成一个具有分布的随机变量(或随机向量)。</p>
的基 本概 念	个体	<p>总体中的每一个单元称为样品(或个体)。</p>
	样本	<p>我们把从总体中抽取的部分样品 <math>x_1, x_2, \dots, x_n</math> 称为样本。样本中所含的样品数称为样本容量, 一般用 <math>n</math> 表示。在一般情况下, 总是把样本看成是 <math>n</math> 个相</p>

		互独立的且与总体有相同分布的随机变量，这样的样本称为简单随机样本。在泛指任一次抽取的结果时， $x_1, x_2, \dots, x_n$ 表示 n 个随机变量（样本）；在具体的一次抽取之后， $x_1, x_2, \dots, x_n$ 表示 n 个具体的数值（样本值）。我们称之为样本的两重性。
样本函数和统计量		设 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 为总体的一个样本，称 $\varphi = \varphi(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 为样本函数，其中 $\varphi$ 为一个连续函数。如果 $\varphi$ 中不包含任何未知参数，则称 $\varphi(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 为一个统计量。
常见统计量及其性质		样本均值 $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i.$ 样本方差 $S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2.$ 样本标准差 $S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}.$ 样本 k 阶原点矩 $M_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^k, k = 1, 2, \dots,$ 样本 k 阶中心矩 $M'_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^k, k = 2, 3, \dots.$ $E(\bar{X}) = \mu, D(\bar{X}) = \frac{\sigma^2}{n},$ $E(S^2) = \sigma^2, E(S^{*2}) = \frac{n-1}{n} \sigma^2,$ 其中 $S^{*2} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$ ，为二阶中心矩。
(2) 正态 总体 下的 四大	正态分布	设 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 为来自正态总体 $N(\mu, \sigma^2)$ 的一个样本，则样本函数 $u \stackrel{\text{def}}{=} \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma / \sqrt{n}} \sim N(0, 1).$

分布	t 分布	设 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 为来自正态总体 $N(\mu, \sigma^2)$ 的一个样本，则样本函数 $t \stackrel{\text{def}}{=} \frac{\bar{x} - \mu}{s / \sqrt{n}} \sim t(n-1),$ 其中 $t(n-1)$ 表示自由度为 $n-1$ 的 t 分布。
	$\chi^2$ 分布	设 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 为来自正态总体 $N(\mu, \sigma^2)$ 的一个样本，则样本函数 $w \stackrel{\text{def}}{=} \frac{(n-1)S^2}{\sigma^2} \sim \chi^2(n-1),$ 其中 $\chi^2(n-1)$ 表示自由度为 $n-1$ 的 $\chi^2$ 分布。
	F 分布	设 $x_1, x_2, \dots, x_{n_1}$ 为来自正态总体 $N(\mu, \sigma_1^2)$ 的一个样本，而 $y_1, y_2, \dots, y_{n_2}$ 为来自正态总体 $N(\mu, \sigma_2^2)$ 的一个样本，则样本函数 $F \stackrel{\text{def}}{=} \frac{S_1^2 / \sigma_1^2}{S_2^2 / \sigma_2^2} \sim F(n_1-1, n_2-1),$ 其中 $S_1^2 = \frac{1}{n_1-1} \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x})^2, \quad S_2^2 = \frac{1}{n_2-1} \sum_{i=1}^{n_2} (y_i - \bar{y})^2;$ $F(n_1-1, n_2-1)$ 表示第一自由度为 $n_1-1$ ，第二自由度为 $n_2-1$ 的 F 分布。
(3) 正态 总体 下分 布的 性质		$\bar{X}$ 与 $S^2$ 独立。

## 第七章 参数估计

(1) 点估 计	矩估计	设总体 X 的分布中包含有未知数 $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m$ ，则其分布函数可以表成 $F(x; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m)$ 。它的 k 阶原点矩 $v_k = E(X^k)$ ( $k = 1, 2, \dots, m$ ) 中也包含了未知参数 $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m$ ，即 $v_k = v_k(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m)$ 。又设 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 为总体 X 的 n 个样本值，其样本的 k 阶原点矩为

	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^k \quad (k = 1, 2, \dots, m).$ <p>这样，我们按照“当参数等于其估计量时，总体矩等于相应的样本矩”的原则建立方程，即有</p> $\left\{ \begin{array}{l} v_1(\hat{\theta}_1, \hat{\theta}_2, \dots, \hat{\theta}_m) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \\ v_2(\hat{\theta}_1, \hat{\theta}_2, \dots, \hat{\theta}_m) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2, \\ \dots \\ v_m(\hat{\theta}_1, \hat{\theta}_2, \dots, \hat{\theta}_m) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^m. \end{array} \right.$ <p>由上面的 <math>m</math> 个方程中，解出的 <math>m</math> 个未知参数 <math>(\hat{\theta}_1, \hat{\theta}_2, \dots, \hat{\theta}_m)</math> 即为参数 <math>(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m)</math> 的矩估计量。</p> <p>若 <math>\hat{\theta}</math> 为 <math>\theta</math> 的矩估计，<math>g(x)</math> 为连续函数，则 <math>g(\hat{\theta})</math> 为 <math>g(\theta)</math> 的矩估计。</p>
极大似然估计	<p>当总体 <math>X</math> 为连续型随机变量时，设其分布密度为 <math>f(x; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m)</math>，其中 <math>\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m</math> 为未知参数。又设 <math>x_1, x_2, \dots, x_n</math> 为总体的一个样本，称</p> $L(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m) = \prod_{i=1}^n f(x_i; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m)$ <p>为样本的似然函数，简记为 <math>L</math>。</p> <p>当总体 <math>X</math> 为离型随机变量时，设其分布律为 <math>P\{X = x\} = p(x; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m)</math>，则称</p> $L(x_1, x_2, \dots, x_n; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m) = \prod_{i=1}^n p(x_i; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m)$ <p>为样本的似然函数。</p> <p>若似然函数 <math>L(x_1, x_2, \dots, x_n; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m)</math> 在 <math>\hat{\theta}_1, \hat{\theta}_2, \dots, \hat{\theta}_m</math> 处取到最大值，则称 <math>\hat{\theta}_1, \hat{\theta}_2, \dots, \hat{\theta}_m</math> 分别为 <math>\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m</math> 的最大似然估计值，相应的统计量称为最</p>

		大似然估计量。 $\left. \frac{\partial \ln L_n}{\partial \theta_i} \right _{\theta_i=\hat{\theta}_i} = 0, i=1,2,\dots,m$
(2) 估 计 量 的 评 选 标 准	无偏性	若 $\hat{\theta}$ 为 $\theta$ 的极大似然估计， $g(x)$ 为单调函数，则 $g(\hat{\theta})$ 为 $g(\theta)$ 的极大似然估计。 设 $\hat{\theta} = \hat{\theta}(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 为未知参数 $\theta$ 的估计量。若 $E(\hat{\theta}) = \theta$ ，则称 $\hat{\theta}$ 为 $\theta$ 的无偏估计量。 $E(\bar{X}) = E(X), E(S^2) = D(X)$
	有效性	设 $\hat{\theta}_1 = \hat{\theta}_1(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 和 $\hat{\theta}_2 = \hat{\theta}_2(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 是未知参数 $\theta$ 的两个无偏估计量。若 $D(\hat{\theta}_1) < D(\hat{\theta}_2)$ ，则称 $\hat{\theta}_1$ 比 $\hat{\theta}_2$ 有效。
	一致性	设 $\hat{\theta}_n$ 是 $\theta$ 的一串估计量，如果对于任意的正数 $\varepsilon$ ，都有 $\lim_{n \rightarrow \infty} P( \hat{\theta}_n - \theta  > \varepsilon) = 0,$ 则称 $\hat{\theta}_n$ 为 $\theta$ 的一致估计量（或相合估计量）。 若 $\hat{\theta}$ 为 $\theta$ 的无偏估计，且 $D(\hat{\theta}) \rightarrow 0 (n \rightarrow \infty)$ ，则 $\hat{\theta}$ 为 $\theta$ 的一致估计。 只要总体的 $E(X)$ 和 $D(X)$ 存在，一切样本矩和样本矩的连续函数都是相应总体的一致估计量。
(3) 区 间 估 计	置信区间和置信度	设总体 $X$ 含有一个待估的未知参数 $\theta$ 。如果我们从样本 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 出发，找出两个统计量 $\theta_1 = \theta_1(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 与 $\theta_2 = \theta_2(x_1, x_2, \dots, x_n)$ ( $\theta_1 < \theta_2$ )，使得区间 $[\theta_1, \theta_2]$ 以 $1 - \alpha$ ( $0 < \alpha < 1$ ) 的概率包含这个待估参数 $\theta$ ，即 $P\{\theta_1 \leq \theta \leq \theta_2\} = 1 - \alpha,$ 那么称区间 $[\theta_1, \theta_2]$ 为 $\theta$ 的置信区间， $1 - \alpha$ 为该区间的置信度（或置信水平）。
	单正态 总 体 的 期 望 和 方 差 的 区 间 估 计	设 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 为总体 $X \sim N(\mu, \sigma^2)$ 的一个样本，在置信度为 $1 - \alpha$ 下，我们来确定 $\mu$ 和 $\sigma^2$ 的置信区间 $[\theta_1, \theta_2]$ 。 具体步骤如下：

计 数	(i) 选择样本函数; (ii) 由置信度 $1-\alpha$ , 查表找分位数; (iii) 导出置信区间 $[\theta_1, \theta_2]$ 。
	已知方差, 估计均值 (i) 选择样本函数 $u = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma_0 / \sqrt{n}} \sim N(0,1).$ (ii) 查表找分位数 $P\left(-\lambda \leq \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma_0 / \sqrt{n}} \leq \lambda\right) = 1 - \alpha.$ (iii) 导出置信区间 $\left[ \bar{x} - \lambda \frac{\sigma_0}{\sqrt{n}}, \bar{x} + \lambda \frac{\sigma_0}{\sqrt{n}} \right]$
	未知方差, 估计均值 (i) 选择样本函数 $t = \frac{\bar{x} - \mu}{S / \sqrt{n}} \sim t(n-1).$ (ii) 查表找分位数 $P\left(-\lambda \leq \frac{\bar{x} - \mu}{S / \sqrt{n}} \leq \lambda\right) = 1 - \alpha.$ (iii) 导出置信区间 $\left[ \bar{x} - \lambda \frac{S}{\sqrt{n}}, \bar{x} + \lambda \frac{S}{\sqrt{n}} \right]$
方差的区间估计	(i) 选择样本函数 $w = \frac{(n-1)S^2}{\sigma^2} \sim \chi^2(n-1).$ (ii) 查表找分位数 $P\left(\lambda_1 \leq \frac{(n-1)S^2}{\sigma^2} \leq \lambda_2\right) = 1 - \alpha.$ (iii) 导出 $\sigma$ 的置信区间 $\left[ \sqrt{\frac{n-1}{\lambda_2}} S, \sqrt{\frac{n-1}{\lambda_1}} S \right]$

## 第八章 假设检验

基本思想	<p>假设检验的统计思想是，概率很小的事件在一次试验中可以认为基本上是不会发生的，即小概率原理。</p> <p>为了检验一个假设 <math>H_0</math> 是否成立。我们先假定 <math>H_0</math> 是成立的。如果根据这个假定导致了一个不合理的事件发生，那就表明原来的假定 <math>H_0</math> 是不正确的，我们拒绝接受 <math>H_0</math>；如果由此没有导出不合理的现象，则不能拒绝接受 <math>H_0</math>，我们称 <math>H_0</math> 是相容的。与 <math>H_0</math> 相对的假设称为备择假设，用 <math>H_1</math> 表示。</p> <p>这里所说的小概率事件就是事件 <math>\{K \in R_\alpha\}</math>，其概率就是检验水平 <math>\alpha</math>，通常我们取 <math>\alpha = 0.05</math>，有时也取 0.01 或 0.10。</p>
基本步骤	<p>假设检验的基本步骤如下：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>(i) 提出零假设 <math>H_0</math>;</li> <li>(ii) 选择统计量 <math>K</math>;</li> <li>(iii) 对于检验水平 <math>\alpha</math> 查表找分位数 <math>\lambda</math>;</li> <li>(iv) 由样本值 <math>x_1, x_2, \dots, x_n</math> 计算统计量之值 <math>K</math>;</li> </ul> <p>将 <math>\hat{K}</math> 与 <math>\lambda</math> 进行比较，作出判断：当 <math> \hat{K}  &gt; \lambda</math> (或 <math>\hat{K} &gt; \lambda</math>) 时否定 <math>H_0</math>，否则认为 <math>H_0</math> 相容。</p>
两类错误	<p><b>第一类错误</b></p> <p>当 <math>H_0</math> 为真时，而样本值却落入了否定域，按照我们规定的检验法则，应当否定 <math>H_0</math>。这时，我们把客观上 <math>H_0</math> 成立判为 <math>H_0</math> 为不成立（即否定了真实的假设），称这种错误为“以真当假”的错误或第一类错误，记 <math>\alpha</math> 为犯此类错误的概率，即</p> $P\{\text{否定 } H_0   H_0 \text{ 为真}\} = \alpha;$ <p>此处的 <math>\alpha</math> 恰好为检验水平。</p>
	<p><b>第二类错误</b></p> <p>当 <math>H_1</math> 为真时，而样本值却落入了相容域，按照我们规定的检验法则，应当接受 <math>H_0</math>。这时，我们把客观上 <math>H_0</math> 不成立判为 <math>H_0</math> 成立（即接受了不真实的假设），称这种错误为“以假当真”的错误或第二类错误，记 <math>\beta</math> 为犯此类错误的概率，即</p> $P\{\text{接受 } H_0   H_1 \text{ 为真}\} = \beta.$
	<p><b>两类错误的关系</b></p> <p>人们当然希望犯两类错误的概率同时都很小。但是，当容量 <math>n</math> 一定时，<math>\alpha</math> 变小，则 <math>\beta</math> 变大；相反地，<math>\beta</math> 变小，则 <math>\alpha</math> 变大。取定 <math>\alpha</math> 要想使 <math>\beta</math> 变小，则必须增加样本容量。</p> <p>在实际使用时，通常人们只能控制犯第一类错误的概率，即给定显著性水平 <math>\alpha</math>。<math>\alpha</math> 大小的选取应根据实际情况而定。当我们宁可“以假为真”、而不愿“以真当假”时，则应把 <math>\alpha</math> 取得很小，如 0.01，甚至 0.001。反之，则应把 <math>\alpha</math> 取得大些。</p>

## 单正态总体均值和方差的假设检验

条件	零假设	统计量	对应样本 函数分布	否定域
已知 $\sigma^2$	$H_0 : \mu = \mu_0$	$U = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\sigma_0 / \sqrt{n}}$	$N(0, 1)$	$ u  > u_{1-\frac{\alpha}{2}}$
	$H_0 : \mu \leq \mu_0$			$u > u_{1-\alpha}$
	$H_0 : \mu \geq \mu_0$			$u < -u_{1-\alpha}$
未知 $\sigma^2$	$H_0 : \mu = \mu_0$	$T = \frac{\bar{x} - \mu_0}{S / \sqrt{n}}$	$t(n-1)$	$ t  > t_{1-\frac{\alpha}{2}}(n-1)$
	$H_0 : \mu \leq \mu_0$			$t > t_{1-\alpha}(n-1)$
	$H_0 : \mu \geq \mu_0$			$t < -t_{1-\alpha}(n-1)$
未知 $\sigma^2$	$H_0 : \sigma^2 = \sigma^2$	$w = \frac{(n-1)S^2}{\sigma_0^2}$	$\chi^2(n-1)$	$w < \kappa_{\frac{\alpha}{2}}^2(n-1)$ 或 $w > \kappa_{1-\frac{\alpha}{2}}^2(n-1)$
	$H_0 : \sigma^2 \leq \sigma_0^2$			$w > \kappa_{1-\alpha}^2(n-1)$
	$H_0 : \sigma^2 \geq \sigma_0^2$			$w < \kappa_{\alpha}^2(n-1)$

玩转高等数学