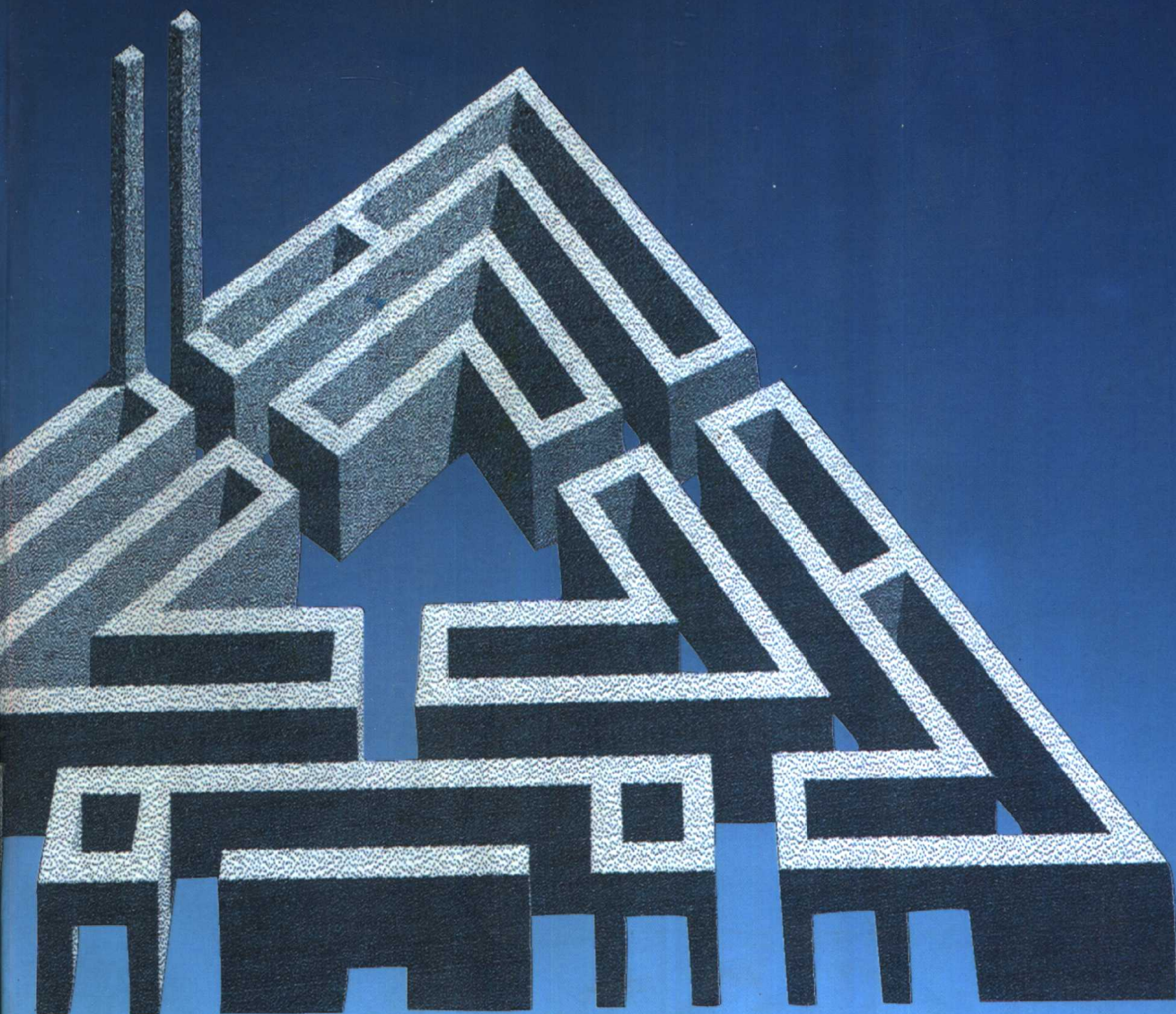


二级注册结构工程师 考试复习教程

建设部执业资格注册中心 编
山西省注册工程师管理委员会(结构)



中国建筑工业出版社



二级注册结构工程师 考试复习教程

建设部执业资格注册中心
山西省注册工程师管理委员会(结构) 编

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

二级注册结构工程师考试复习教程/建设部执业资格注册中心,山西省注册工程师管理委员会(结构)主编.

—北京:中国建筑工业出版社,1999.7

ISBN 7-112-03984-3

I. 二… II. ①建… ②山… III. 结构工程-工程师-资格考核-学习参考资料 IV. TU3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 35368 号

本教程是在建设部执业资格注册中心及其有关专家指导下,以现行标准、规范为基础,按照“突出重点概念,侧重规范的理解与应用,力求简明扼要,重在指导复习”的指导思想编写的。

本教程是参加二级注册结构工程师考前复习必备参考书,也可供工程结构专业技术人员及师生参考。

* * *

责任编辑:王 跃 程素荣 戚大庆

二级注册结构工程师考试复习教程

建设部执业资格注册中心
山西省注册工程师管理委员会(结构)

编

* * *

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

中国建筑工业出版社北京印刷厂印刷

*

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 37¹/₂ 字数 913 千字

1999 年 8 月第 1 版 2000 年 1 月第 1 次印刷

印数 12,001—15,000 册 定价 60.00 元

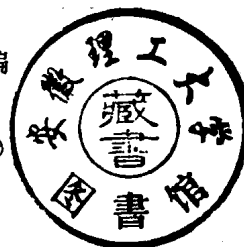
ISBN 7-112-03984-3

TU·3116 (9387)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码 100037)



前 言

根据建设部和人事部的决定,二级注册结构工程师须经过执业资格考试合格后方可取得执业资格。1999年3月28日建设部和人事部在山西省进行了二级注册结构工程师执业资格考试试点,并决定于1999年11月7日进行全国统一考试。

为了帮助考生系统地做好考前准备工作,应广大考生的要求,受建设部执业资格注册中心的委托,山西省注册工程师管理委员会(结构)聘请本省高校和设计院的专家学者编写了《二级注册结构工程师考试复习教程》。本教材以《全国二级注册结构工程师考试大纲》为依据,以现行标准、规范为基础,按照“突出重点概念,侧重规范的理解与应用,力求简明扼要,重在指导复习”的指导思想编写。

本教程的编写是在建设部执业资格注册中心及其有关专家指导下,按照考试大纲的要求进行的。因此本教程是参加二级注册结构工程师考前复习的必备参考书,也可供结构工程专业的师生参考。阅读本教程应同时阅读相应的标准和规范,以达到熟悉标准和规范的目的。

同时,感谢孙芳垂、刘其祥、邓藩荣、薄占秀四位专家在百忙中对该书进行了审阅,并提出了修改意见。

限于编写人员的水平和经验,加之时间紧迫,书中难免有不妥以至错误之处,欢迎读者提出宝贵意见。

《二级注册结构工程师考试复习教程》编写委员会

1999年7月

《二级注册结构工程师考试复习教程》编委会成员

主 编:刘旋金

副主编:裘以惠 王显秀 毕兴锁

编 委:裘以惠 马庆如 霍继光 李惠民 罗 琨 乔天民
张 敷 刘旋金 王显秀 毕兴锁 张秀华 梅华庆

执 笔:

第一篇:乔天民

第二篇:罗 琨(第一章至第四章)、张 敷(第五章至第七章)

第三篇:霍继光、乔天民(第七章第四节)

第四篇:裘以惠

第五篇:李惠民

第六篇:马庆如

目 录

第一篇 结构设计标准及荷载、材料		第三节 钢筋与混凝土的粘结、锚固	115
第一章 统计数学的基本知识	1	第四节 钢筋的接头	117
第二章 设计方法发展简述	13	第五节 纵向钢筋最小配筋率	119
第三章 概率极限状态设计方法	15	第六节 预埋件	120
第四章 荷载分类及其组合	18	思考题	123
第五章 材料基本性能 and 设计指标	21	第五章 常用结构设计	124
第六章 常用超静定结构的静力计算方法	23	第一节 楼盖结构设计	124
思考题	27	第二节 框架结构设计	174
第二篇 钢筋混凝土结构		第三节 排架结构设计	189
第一章 概述	29	思考题	198
第一节 钢筋混凝土的基本概念	29	第六章 钢筋混凝土结构构件的抗震设计	199
第二节 基本设计规定	29	第一节 一般规定	199
第三节 材料	34	第二节 框架结构	204
第四节 预应力混凝土结构的基本概念	40	第三节 排架结构	216
思考题	48	思考题	220
第二章 承载能力极限状态计算	50	第七章 预制构件的制作、检验、运输与安装	222
第一节 正截面承载力计算	50	第一节 预制构件的制作	222
第二节 斜截面承载力计算	81	第二节 预制构件的检验	223
第三节 扭曲截面承载力计算	89	第三节 预制构件的运输与堆放	227
第四节 受冲切承载力计算	95	第四节 预制构件的安装	227
第五节 局部受压承载力计算	97	思考题	228
第六节 疲劳强度验算	98	第三篇 砌体结构与木结构	
思考题	101	第一章 砌体材料及其基本力学性能	230
第三章 正常使用极限状态验算	104	第一节 砌体的分类	230
第一节 受弯构件挠度的验算	104	第二节 材料强度等级	231
第二节 裂缝宽度验算	108	第三节 砌体的受压性能	232
思考题	111	第四节 砌体的受拉、受弯和受剪性能	235
第四章 构造设计	112	第五节 砌体强度的设计值	237
第一节 伸缩缝	112	第六节 砌体的变形性能	239
第二节 混凝土保护层	114	思考题	241
		第二章 砌体房屋的静力计算	242

第一节 砌体房屋的静力计算方案	242
第二节 刚性方案房屋的静力计算	243
第三节 弹性方案单层房屋的静力计算	246
第四节 刚弹性方案房屋的静力计算	247
第五节 房屋墙柱的计算高度和计算截面	248
思考题	249
第三章 无筋砌体构件承载力计算	251
第一节 受压构件	251
第二节 局部受压	253
第三节 受拉、受弯和受剪构件	257
思考题	259
第四章 配筋砌体构件承载力计算	260
第一节 网状配筋砖砌体受压构件	260
第二节 组合砖砌体构件	261
思考题	268
第五章 过梁、墙梁和挑梁	269
第一节 过梁	269
第二节 墙梁	271
第三节 挑梁	276
思考题	282
第六章 砌体房屋设计的构造要求	284
第一节 墙、柱的高厚比	284
第二节 墙体一般构造要求	285
第三节 防止墙体开裂的主要措施	287
第四节 圈梁的设置与构造	288
思考题	289
第七章 砌体房屋的抗震设计	290
第一节 砌体房屋抗震设计的基本要求	290
第二节 多层砌体房屋的抗震验算	291
第三节 多层砌体房屋的抗震构造措施	295
第四节 底层框架和多层内框架房屋抗震设计要点	298
思考题	306
第八章 木结构	307
第一节 木材作为结构材料的特性	307
第二节 木结构基本构件的计算	309
第三节 木结构构件的连接	311
第四节 木屋架	314
第五节 施工质量要求	316
思考题	317

第四篇 地基基础

第一章 岩土工程勘察	318
第一节 基本规定	318
第二节 勘察方法及勘察报告书	322
第二章 土的工程特性及工程分类	325
第一节 土的组成及其物理指标	325
第二节 土的分类及其承载力标准值确定	333
第三章 地基设计计算	342
第一节 基本规定	342
第二节 地基计算	343
第四章 山区地基	366
第一节 概说	366
第二节 山区地基类型及处理	366
第五章 浅基础设计	373
第一节 概说	373
第二节 浅基础设计	373
第六章 地基处理	388
第一节 概说	388
第二节 地基处理方法	389
第七章 桩基础设计与计算	405
第一节 基本设计规定	405
第二节 桩基设计	407
第三节 桩基施工	426
第四节 成桩工程质量检查与验收	428
思考题	429

第五篇 高层建筑结构、高耸结构及横向作用

第一章 高层建筑结构设计一般规定	432
第一节 高层建筑结构特点	432
第二节 高层建筑结构体系、受力性能、适用范围	433
第三节 抗震结构的概念设计	434
第四节 高层建筑结构布置原则	435
第五节 高层建筑结构的设计要求	437
思考题	440
第二章 抗震设计总则及高层建筑的荷载与地震作用	442
第一节 抗震设计的总则	442
第二节 高层建筑的荷载与地震作用	443
第三节 风荷载与地震作用对高层建筑结构的	

影响	449	第六节 例题	533
第四节 结构自振周期(动力特性)的计算	450	思考题	535
第五节 例题	451	第四章 轴心受力构件和拉弯、压弯构件的计算	536
第三章 结构内力与侧移的计算	456	第一节 轴心受力构件的截面型式	536
第一节 计算的一般原则及规定	456	第二节 轴心受拉构件的计算	537
第二节 框架结构内力与侧移的计算	457	第三节 实腹式轴心受压构件的计算	537
第三节 剪力墙结构的内力与侧移计算	470	第四节 格构式轴心受压构件的计算特点	539
第四节 框架-剪力墙结构的协同计算	487	第五节 轴心受压构件的构造要求	542
第五节 底层大空间剪力墙	494	第六节 拉弯和压弯构件的破坏形式	543
思考题	495	第七节 拉弯和压弯构件的强度计算和刚度验算	544
第四章 截面设计与构造	497	第八节 实腹式单向压弯构件的整体稳定性计算	545
第一节 一般规定	497	第九节 实腹式压弯构件的局部稳定	546
第二节 框架结构的截面设计与构造	498	第十节 构件的计算长度	547
第三节 一般剪力墙结构的截面设计与构造	498	第十一节 例题	550
第四节 框架-剪力墙结构截面设计与构造	505	思考题	555
第五节 底层大空间剪力墙	506	第五章 连接计算	556
第五章 高耸结构	509	第一节 焊接连接的计算	556
第一节 基本规定	509	第二节 普通螺栓连接的计算	563
第二节 高耸结构的荷载与作用	510	第三节 高强度螺栓连接的计算	568
第三节 烟囱结构的设计	511	第四节 螺栓连接的构造要求	570
第四节 水塔结构的设计	512	第五节 例题	571
		思考题	576
		第六章 钢结构制作和安装	577
		第一节 钢结构的制造	577
		第二节 钢结构的运输和安装	578
		第七章 钢结构的防锈、隔热和防火	580
		第一节 除锈和涂料	580
		第二节 隔热	581
		第三节 防火	581
		第四节 防护	581
		附录:关于一九九九年度全国二级注册结构工程师资格考试及有关工作的通知	582
		附件一	583
		全国二级注册结构工程师资格考试大纲	583
		全国二级注册结构工程师资格考试题型、题量、时间、分数分配表	585
		二级注册结构工程师资格考试参考书目	586
第六篇 钢结构			
第一章 材料	514		
第一节 钢结构常用材料和标号	514		
第二节 钢材的主要性能	515		
第三节 钢材的合格保证	516		
第四节 连接材料	517		
思考题	519		
第二章 基本设计规定	520		
第一节 设计原则	520		
第二节 强度设计值的折减系数	520		
第三节 设计指标	521		
第三章 受弯构件的计算	522		
第一节 钢梁的截面型式	522		
第二节 梁的强度计算	522		
第三节 梁的整体稳定性	525		
第四节 梁的局部稳定性	528		
第五节 梁的支座和支承加劲肋	532		

附件二	588	1999 年度全国二级注册结构工程师资格考	
二级注册结构工程师资格考试报考规定	588	试报考条件(全科)	589
附表一	589	参考文献	590

第一篇 结构设计标准及荷载、材料

第一章 统计数学的基本知识

一、随机现象的统计恒性

客观现象可分为确定性现象和非确定性现象,即随机现象。

确定性现象——当已知现象的初始条件时,即可确定以后任一时刻的状态。例如古典力学所描述的匀速运动 $s = vt$, 匀加速运动 $s = v_0t + \frac{1}{2}at^2$, $F = ma$ 等。

随机现象——不论预先对这些现象有多么准确的了解,其结果是不可预知的。例如掷骰子,测混凝土立方抗压强度 f_{cu} , 测钢材的屈服强度 f_{sy} , 预测地震震级及烈度, 天气情况, 车祸, 人生病和寿命等。

随机现象的统计恒性——这类现象个别的观察结果虽然是没有规律地变化着,然而大量的一系列随机实验的结果,却有着统计的规律性。例如,掷硬币,次数少时,正、反面出现的次数是无法预知的,但次数很多时,正、反面出现的次数必趋于相同,即各为 $\frac{1}{2}$ 。又如测混凝土的立方抗压强度 f_{cu} , 当数据量大时,其平均值必趋近于它的数学期望值。这些就是随机现象的统计恒性。它是研究随机现象的基础。

二、随机事件及其概率

随机事件是在随机实验中可能出现,也可能不出现的事件。

概率是在“同一”条件下实验 n 次,若事件 A 发生了 r 次,称 $\frac{r}{n}$ 为事件 A 的频率。如次数 n 充分大时其频率始终在某一数字 P 处作微小的摆动,我们称 P 为事件 A 的概率,并表示为

$$P(A) = P \quad (1.1-1)$$

例如掷骰子,1,2,⋯,6 各点出现的概率均为 $\frac{1}{6}$ 。

由上述定义可见:

1. 必然事件的概率等于 1, $P(A) = 1$;
2. 不可能事件的概率等于 0, $P(A) = 0$;
3. 任一随机事件的概率, $0 \leq P(A) \leq 1$;
4. 加法公式,

$$P(A + B) = P(A) + P(B) - P(AB) \quad (1.1-2)$$

若事件 A 、 B 为互斥事件(即 A 、 B 为不可能同时出现的事件)则

$$P(A + B) = P(A) + P(B) \quad (1.1-3)$$

5. 乘法公式 两事件的积事件的概率等于其中一事件的概率与另一事件在前一事件出现下的条件概率(条件概率是在有附加条件的前提下所求得概率)的乘积。即

$$P(AB) = P(A)P(B/A) = P(B)P(A/B) \quad (1.1-4)$$

若事件 A 与 B 是相互独立的(即事件 A 是否出现不会影响到事件 B 出现的概率,反之亦然)则有

$$P(AB) = P(A)P(B) \quad (1.1-5)$$

例如,一批零件共 100 个,次品率为 10%,连接两次从这批零件中任取一个零件,第一次取出的次品零件不再放回去,求第二次能取得正品的概率?

【解】 第一次取出的零件是次品为事件 A ,第二次取出的零件是正品为事件 B ,则

$$P(A) = \frac{10}{100}, P(B/A) = \frac{90}{99}$$

$$\therefore P(AB) = P(A)P(B/A) = \frac{10}{100} \cdot \frac{90}{99} = \frac{1}{11} = 0.091$$

三、随机变量及其分布函数和分布密度

(一) 随机变量 在“同一”条件下进行一系列实验,若变量取得事先不可预知的数值,称为随机变量,用 X, Y 表示,其可能的取值用 x, y 表示。

离散型随机变量 可用自然数列来编码。例如掷骰子,零件不合格件数,上班人数等。

连续型随机变量 其可能的取值充满数轴的某一区间,例如测混凝土的立方抗压强度 f_{cu} ,测钢筋的屈服强度 f_{sy} 等。

(二) 分布函数

分布函数 我们定义

$$F(x) = P(X < x) \quad (1.1-6)$$

称 $F(x)$ 为随机变量 X 的分布函数。其含义为随机变量 X 的取值小于 x 的概率(累积概率)。

显见: 1. $F(x)$ 是非降函数,即 $x_2 > x_1$ 时 $F(x_2) > F(x_1)$,

2. $F(-\infty) = 0$,

3. $F(+\infty) = 1$ 。

离散型随机变量的分布函数为

$$F(x_i) = \sum_{x_j < x} P(X = x_j) \quad (1.1-7)$$

例如掷骰子的 $F(x)$ 见图 1.1-1。

连续型随机变量的分布函数通常为在某区间由 0 到 1 上升的连续曲线见图 1.1-2。表

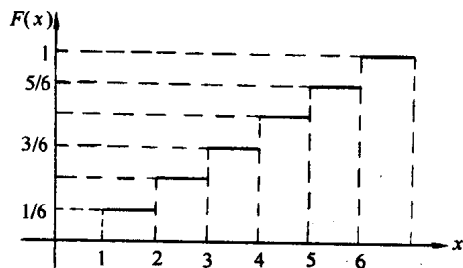


图 1.1-1

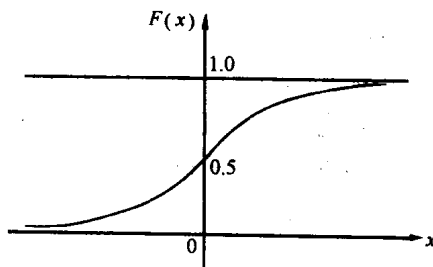


图 1.1-2

达式为

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x)dx \quad (1.1-8)$$

已知分布函数可以确定随机变量在给定区间内取值的概率。要确定 $P(a \leq X < b)$, 则可将 $P(X < b)$ 看成是两个互斥事件的概率和, 即

$$\begin{aligned} P(X < b) &= P(X < a) + P(a \leq X < b) \\ P(a \leq X < b) &= P(X < b) - P(X < a) = F(b) - F(a) \\ \therefore P(a \leq X < b) &= F(b) - F(a) \end{aligned} \quad (1.1-9)$$

其含义为随机变量落入某给定区间的概率等于分布函数在这个区间的增量。

(三) 分布密度(概率密度、分布律)

离散型随机变量概率分布密度——若函数的定义域是由有限个或可数多个实数组成的集合, 函数值在 $[0, 1]$ 上, 且其总和等于 1。该函数即为离散型随机变量的分布密度, 可用下列表格表示

X	x_1	x_2	$\cdots$	x_i	$\cdots$
P	p_1	p_2	$\cdots$	p_i	$\cdots$

连续型随机变量概率分布密度——若分布函数 $F(x)$ 为连续可微, 则称

$$f(x) = F'(x) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{F(x + \Delta x) - F(x)}{\Delta x} \quad (1.1-10)$$

为连续型随机变量的分布密度。由

$$\begin{aligned} \int_{-\infty}^x f(x)dx &= F(x) - F(-\infty) = F(x) - 0 = F(x) \\ \therefore F(x) &= \int_{-\infty}^x f(x)dx \end{aligned} \quad (1.1-10')$$

这就是上述连续型随机变量分布函数的表达式。显见, $f(x)$ 是 $F(x)$ 的变化率故称为分布密度(概率密度, 分布律)。

落入 $[a, b]$ 区间的概率为

$$\begin{aligned} P(a \leq X < b) &= F(b) - F(a) = \int_{-\infty}^b f(x)dx - \int_{-\infty}^a f(x)dx = \int_a^b f(x)dx \\ \therefore P(a \leq X < b) &= \int_a^b f(x)dx = F(b) - F(a) \end{aligned} \quad (1.1-11)$$

显见, 1. $f(x)dx$ 为概率元, 而 $\int_a^b f(x)dx$ 为 $[a, b]$ 区间 $f(x)$ 所包含的面积;

2. 若在 $(-\infty, \infty)$, 则 $\int_{-\infty}^{\infty} f(x)dx = 1$ 。

上述分析见图 1.1-3。综上述可知, 随机变量的分布函数 $F(x)$ 和分布密度 $f(x)$ 是随机变量的全面特征。意即随机变量的统计的规律性就全面地确定了。

四、随机变量的统计特征

(一) 随机变量的数学期望 若连续型随机变量 X 在 $(-\infty, \infty)$ 取值, 则称

$$m_x = E[X] = \int_{-\infty}^{\infty} xf(x)dx \quad (1.1-12)$$

为随机变量 X 的数学期望, 它是 X 的一阶原点矩。若为离散型随机变量, 则其数学期望为

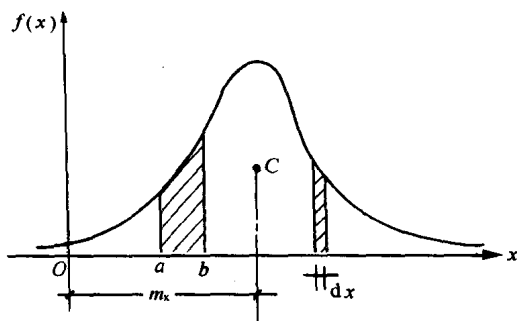


图 1.1-3

$$m_x = E[X] = \sum_i x_i p_i \quad (1.1-13)$$

1. 它是随机变量所有取值的算术平均值。对离散型随机变量

$$E[X] = \sum_i x_i p_i = \sum_i \frac{x_i r_i}{n} = \frac{1}{n} \sum_i x_i r_i \quad (1.1-14)$$

对连续型随机变量也可作类似的理解。

2. 就随机变量概率分布特点来看,它是概率密度曲线所包围的面积的中心坐标值,故称为一阶原点矩。

3. 其运算法则:

- ① 若 C 为常数,则 $E[C] = C$
- ② 若 C 为常数,则 $E[CX] = CE[X]$
- ③ $E[X \pm Y] = E[X] \pm E[Y]$
- ④ 若 X, Y 相互独立,则 $E[XY] = E[X]E[Y]$

(二) 方差、均方差

我们定义

$$D_x = D[X] = E[(X - m_x)^2] \quad (1.1-15)$$

为随机变量 X 的方差。它是随机变量对其数学期望离差的平方的数学期望,故称它为二阶中心矩。

对离散型随机变量

$$D[X] = \sum_i (x_i - m_x)^2 p_i \quad (1.1-16)$$

对连续型随机变量

$$D[X] = \int_{-\infty}^{\infty} (x - m_x)^2 f(x) dx \quad (1.1-17)$$

它表示随机变量在其数学期望附近分布的偏离程度的特征量。由式(1-16)(1-17)可看出它是随机变量所有取值对其概率密度分布中心偏离平方的平均值,故称为二阶中心矩。

方差的性质:

1. 若 C 为常数,则 $D[C] = 0$
2. 若 C 为常数,则 $D[CX] = C^2 D[X]$
3. 若 X, Y 相互独立,则 $D[X + Y] = D[X] + D[Y] + 2R_{xy}$

式中 R_{xy} 称为随机变量 X, Y 的相关矩(协方差)。

为了与随机变量的量纲相同,对方差求平方根,称为均方差用 σ 表示,即

$$\sigma_x = \sqrt{D_x} \quad (1.1-18)$$

(三) 相关矩 相关系数

当有两个或两个以上随机变量时,为了表示其相关程度,定义

$$R_{xy} = E[(X - m_x)(Y - m_y)] \quad (1.1-19)$$

称为随机变量 X 和 Y 的相关矩(协方差),也可记为 $\text{cov}(X, Y)$,它是二阶混合中心矩。

离散型随机变量的相关矩为

$$R_{xy} = \sum_i \sum_j (x_i - m_x)(y_j - m_y) p_{ij} \quad (1.1-20)$$

连续型随机变量的相关矩为

$$R_{xy} = \iint_{-\infty}^{\infty} (x - m_x)(y - m_y) f(x, y) dx dy \quad (1.1-21)$$

其性质有:

1. $R[X, Y] = R[Y, X]$
2. $R[aX, bY] = abR[X, Y]$, a, b 为常数,
3. $R[X_1 + X_2, Y] = R[X_1, Y] + R[X_2, Y]$

定义

$$r_{xy} = \frac{R_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} \quad (1.1-22)$$

为 X, Y 的相关系数,它是一个无量纲的量。若 $r_{xy} \neq 0$,则 X, Y 为相关的随机变量,若 $r_{xy} = 0$,则 X, Y 不相关的随机变量。独立的随机变量 $r_{xy} = 0$,故为不相关的。

可以证明:

1. $-1 \leq r_{xy} \leq 1$,
2. 当 $r_{xy} = \pm 1$ 时, X, Y 之间有 $a(X - m_x) + b(Y - m_y) = 0$, 式中 a, b 为任意常数,此时其概率密度分布在此直线上,故称 $r_{xy} = \pm 1$ 时, X, Y 为线性相关。

方差可以看成是随机变量 X 的自相关矩,即

$$D_x = R_{xx} = E[(X - m_x)^2] \quad (1.1-23)$$

五、几种常用的概率分布 这里将介绍《统一标准》中常用的三种概率分布:

(一) 正态分布 它是随机现象最普遍的统计规律之一,构件的强度、重量、几何尺寸之间的误差等均服从正态分布。一般的正态分布记为 $N(\mu, \sigma)$,其概率密度 $f(x)$ 表为

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (-\infty < x < \infty) \quad (1.1-24)$$

式中, μ 是平均值, σ 是标准差。见图 1.1-4。

其分布函数为

$$F(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx \quad (1.1-25)$$

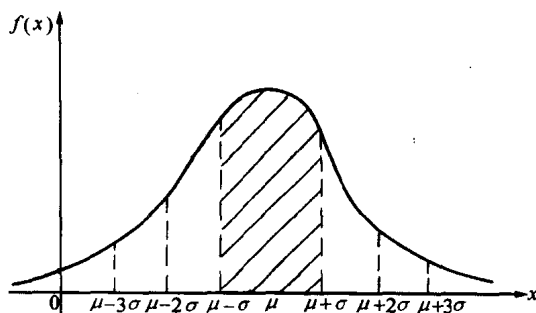


图 1.1-4

样本落在 $(\mu - \sigma, \mu + \sigma)$ 的概率为 68.3%

落在 $(\mu - 2\sigma, \mu + 2\sigma)$ 的概率为 95.4%

落在 $(\mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma)$ 的概率为 99.7%

落在 $\left(\begin{matrix} -\infty, & \mu + 1.645\sigma \\ \mu - 1.645, & +\infty \end{matrix} \right)$ 的概率为 95.0%。

分位值(分位数), X 为随机变量,若 x_k 满足 $P(X \leq x_k) = p_k$,则称 x_k 为 X 的概率分

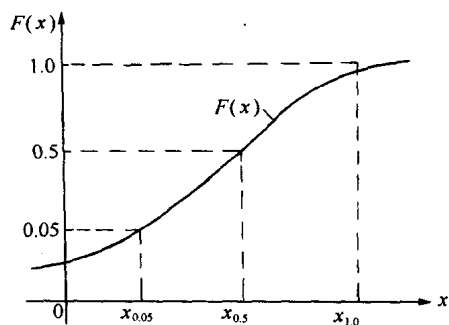


图 1.1-5

布的 p_k 的分位值, 见图 1.1-5。其值可按 $x_k = \mu \pm \alpha\sigma$ 计算。式中 μ 、 σ 分别为平均值和标准差, α 为分位值的保证率系数。例如《统一标准》中规定, “材料强度的标准值可取其概率分布的 0.05 分位数确定”, 即低于材料强度标准值的概率为 0.05, 也就是说材料强度标准值有 95% 的保证率。

(二) 对数正态分布 如果被研究的对象的不确定性是由许多互不相关的随机因素的乘积所形成, 而每一个因素对总体的影响都很微小。则这类现象多服从对数正态分布。如果 $Y = \ln x$ 为正态分布, 则 x 服从对

数正态分布, 其概率密度为

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}} & x > 0 \\ 0 & x \leq 0 \end{cases} \quad (1.1-26)$$

它的分布函数为

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^x \frac{1}{x} \cdot e^{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}} dx \quad (1.1-27)$$

式中 μ 、 σ 为 $\ln x$ 的均值和均方差。图 1.1-6 为 $\mu=1$ 时, σ 取不同数值时的图象, 可见对数正态分布的概率密度曲线是偏态的, σ 愈大, 正偏态愈严重。在《统一标准》中构件抗力 R 系由多个随机变量相乘而得, 故一般认为构件抗力服从对数正态分布。

(三) 极值 I 型分布 极值是从分布函数 $F(x)$ 的总体随机变量 X 中, 抽取容量为 n 的样本的最大值和最小值。极值也是随机变量。极值分布在结构工程中是很重要的, 如对结构的强度要研究极小值, 对荷载要研究使用期内的极大值。极值 I 型概率密度为

$$f(x) = \begin{cases} \alpha e^{-\alpha(x-\beta)} e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}} & x \geq 0 \\ 0 & x < 0 \end{cases} \quad (1.1-28)$$

其分布函数为

$$F(x) = \exp\{-\exp[-\alpha(x-\beta)]\} \quad (1.1-29)$$

式中 α 、 β 是分布的统计参数。概率密度 $f(x)$ 见图 1.1-7, 它是正偏态曲线。

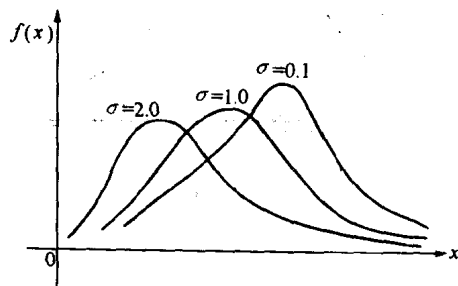


图 1.1-6

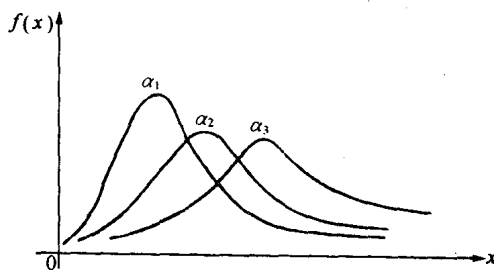


图 1.1-7

六、参数估计与假设检验 当用随机变量来描述被研究对象时, 怎样去求它的概率分

布和统计参数呢？这里我们将简要地介绍在《统一标准》中用到的求概率分布和统计参数的基本方法——参数估计和假设检验。

(一) 统计参数的矩法估计 由概率理论可知：只要随机变量相互独立，且实验的次数 n 足够大（即数据量 n 足够多），其实验结果的算术平均值将有接近于 1 的概率逼近其数学期望，（即逼近其理论平均值）故可取

$$E[X] \approx \mu_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1.1-30)$$

$$\sigma \approx \sigma_n = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu_x)^2} \quad (1.1-31)$$

$$\sigma \approx \sigma_{n-1} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu_x)^2} \quad (1.1-32)$$

在具体问题中，当 n 充分大时，用 σ_n 来估计 σ ，当 n 较小时，用 σ_{n-1} 来估计 σ 比较准确。通常称 σ_n 或 σ_{n-1} 为标准差。

变异系数的估计，根据变异系数的定义可得到其估计公式

$$\delta \approx \delta_x = \frac{\sigma_n}{\mu_x} = \frac{\left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu_x)^2 \right]^{\frac{1}{2}}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i} \quad (1.1-33)$$

或

$$\delta \approx \delta_x = \frac{\sigma_{n-1}}{\mu_x} = \frac{\left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu_x)^2 \right]^{\frac{1}{2}}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i} \quad (1.1-34)$$

我们定义变异系数为

$$\delta = \frac{\sigma}{\mu} \quad (1.1-35)$$

它是度量随机变量对于其均值相对离散程度的参数。而标准差只是随机度量对其均值绝对离散程度的度量。例如有 2 组实验结果的数据见表 1-1。

表 1.1-1

统计参数	实验结果数据	μ	σ	δ
第 1 组	4, 5, 6	5	$\sqrt{\frac{2}{2}} = 1.0$	0.200
第 2 组	7, 8, 9	8	$\sqrt{\frac{2}{2}} = 1.0$	0.125

可见两组数据的标准差相同均为 1.0，但由于其均值不同，故第 2 组数据的变异系数较第 1 组小。

【例题】 某现场随机抽样得到混凝土 35 个试块的抗压强度，需要的混凝土强度等级为 C35，试估计该批混凝土立方强度的平均值、标准差和变异系数。

实验数据：(N/mm²) 41.5、36.9、38.7、38.7、40.7、40.9、41.6、40.6、40.7、41.4、47.1、42.8、42.1、47.1、39.5、47.3、49.0、43.5、41.7、43.7、47.5、43.8、44.1、36.1、36.0、39.0、

34.0、43.9、44.5、45.6、45.9、41.0、38.9、41.5,经计算得

$$\text{平均值 } \mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{35} x_i = 41.93 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{标准差 } \sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{35} (x_i - 41.93)^2} = 3.56 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{变异系数 } \delta = \frac{\sigma}{\mu} = 8.44\%$$

根据《统一标准》规定,混凝土立方抗压强度标准值为

$$f_{\text{cuk}} = \mu - 1.645\sigma = 41.93 - 1.645 \times 3.56 = 36.07 \text{ N/mm}^2$$

故满足 C35 强度等级的要求。

(二) 极值 I 型分布函数的参数估计

由上述可知,正态分布密度函数

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (-\infty < x < \infty)$$

中的两个统计特征参数 μ 和 σ , 可以用上述参数估计的平均值和标准差来代入。

极限 I 型的概率分布函数

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}}$$

中的两个统计参数 α 和 β 并不是随机变量 X 的数学期望和均方差。下面我们给出由参数估计所得到的随机变量 X 的均值 μ 和标准差 σ 与 α 、 β 参数估计值的关系, 来分别估计极限 I 型分布函数中的 α 和 β 。

$$\alpha = \frac{1.2826}{\sigma} \quad (1.1-36)$$

$$\beta = \mu - \frac{0.5772}{\alpha} \quad (1.1-37)$$

如果已知 α 和 β , 则可推出 μ 和 σ , 见式(1.1-38)、式(1.1-39)

$$\mu = \beta + \frac{0.5772}{\alpha} \quad (1.1-38)$$

$$\sigma = \frac{1.2826}{\alpha} \quad (1.1-39)$$

(三) 概率分布函数的假设检验

《统一标准》规定“材料强度的标准值可取其概率分布的 0.05 分位数确定”。“可变荷载的标准值 Q_k , 应根据荷载的设计基准期最大荷载概率分布的某一分位数确定”。因此, 只根据样本数据用参数估计的方法求出随机变量的平均值、标准差和变异系数是不够的, 还必须用假设检验的方法来确定所研究的随机变量的概率分布函数和分布密度。

假设检验的方法有许多种, 各自适用于不同的检验要求。我们这里只简要地给出进行假设检验的基本步骤:

1. 建立统计假设 根据随机变量的经验分布函数的图象或者频数直方图的形状, 或实际经验, 提出随机变量的分布函数类型的假设。

2. 给出检验标准的统计量 例如要检验某地区年最大标准风压服从极值 I 型分布时, 其检验标准的统计量为