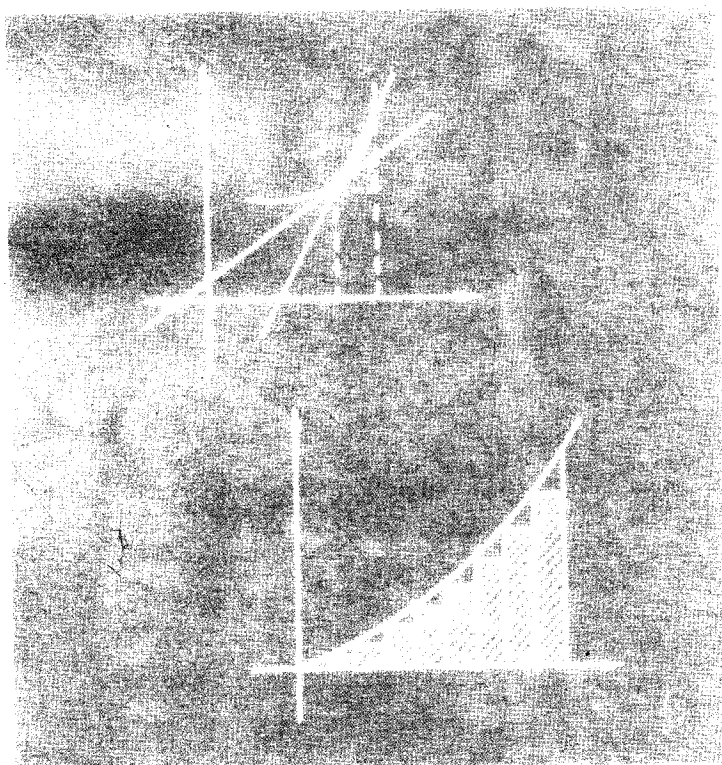


微 积 分

(修 订 本)

赵树嫖 主编



中国人民大学出版社

高等学校文科教材
经济应用数学基础（一）

微 积 分

（修 订 本）

赵树嫖 主编

中国人民大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

经济应用数学基础 (1): 微积分/赵树嫒主编. 修订本
北京: 中国人民大学出版社, 1999.1 重印
高等学校文科教材

ISBN 7-300-00105-X/O·3

I. 经…

II. 赵…

III. ①经济数学-高等学校-教材 ②微积分-高等学校-教材

IV. F224

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 01211 号

高等学校文科教材

经济应用数学基础 (一)

微积分

(修订本)

赵树嫒 主编

出 版: 中国人民大学出版社
(北京海淀路 157 号 邮编 100080)

发 行: 新华书店总店北京发行所

印 刷: 涿州市星河印刷厂

开本: 850×1168 毫米 1/32 印张: 14.125
1988 年 5 月第 1 版 1999 年 3 月第 28 次印刷
字数: 352 000

定价: 19.00 元

(图书出现印装问题, 本社负责调换)

再 版 说 明

《经济应用数学基础》是原教育部委托中国人民大学经济信息管理系数学教研室赵树嫄主持编写的高等学校财经专业试用教材，共分五册：第一册《微积分》，第二册《线性代数》，第三册《概率论与数理统计》，第四册《线性规划》，第五册《运筹学通论》。从1981年以来由中国人民大学出版社陆续出版。

本套教材自出版发行后，被许多院校选作教材，也受到了自学财经专业课程的读者的欢迎，在一定程度上满足了当时教学的迫切需要。

目前，随着我国社会主义经济建设的发展和经济体制改革的深入，经济数学方法的研究和应用日益受到广大经济理论教学、研究人员和实际工作者的重视。很多院校加强了数量经济学方面的研究和教学工作，相继增开了一些有关的必修或选修课程。近年来，高等学校财经专业的学生队伍的构成和素质也有了很大的变化。这一切都对高等学校财经专业基础数学的教学提出了更高的要求，为此，我们将对本套教材陆续进行修订。

这次修订工作是在国家教委的支持与领导下进行的，并得到北京大学、北京经济学院、北京商学院、北京财贸学院、中央财政金融学院、对外经济贸易大学等兄弟院校有关同志的大力协助，对本套教材的修改提出了许多宝贵的意见。在此，我们表示衷心感谢。

第一册《微积分》介绍了微积分学的基本知识。书中有些内容加了“※”号，选用本书时可以根据教学的需要和学时安排略

去不讲。

参加《微积分》第一版编写与审阅的有：赵树嫖、金必先、陆启良、马兴忠、龚德恩、胡富昌，由赵树嫖任主编。参加第二版修改与审阅的有：赵树嫖、陆启良、胡富昌、傅维潼、金必先，由赵树嫖任主编。褚永增对本次修订做了大量工作并审核了全部习题答案。

本次修订，对第一版编写及排印中的疏漏进行了修正，并对部分章节进行了删改，补充了一些内容。在习题中增加了选择题，各章习题均分为(A)、(B)两类，(A)类为计算、证明、应用等传统题型；(B)类为选择题，每题各有4个备选答案，其中至少有一个是正确的，请读者将正确答案前的字母都填在括号内，凡多填或漏填的均算答案错误。习题答案附书后。

由于我们的水平有限，书中难免有不妥之处，欢迎读者批评指正。

编 者

1987年12月

目 录

第一章 函数	1
§ 1.1 集合.....	1
§ 1.2 实数集	11
§ 1.3 函数关系	16
§ 1.4 函数表示法	22
§ 1.5 建立函数关系的例题	25
§ 1.6 函数的几种简单性质	27
§ 1.7 反函数, 复合函数	31
§ 1.8 初等函数	33
§ 1.9 函数图形的简单组合与变换	37
习题一 (A)	39
(B)	45
 第二章 极限与连续	49
§ 2.1 数列的极限	49
§ 2.2 函数的极限	53
§ 2.3 变量的极限	61
§ 2.4 无穷大量与无穷小量	63
§ 2.5 极限的运算法则	67
§ 2.6 两个重要的极限	72
§ 2.7 函数的连续性	79
习题二 (A)	88
(B)	95

第三章 导数与微分	99
§ 3.1 引出导数概念的例题	99
§ 3.2 导数概念	101
§ 3.3 导数的基本公式与运算法则	109
§ 3.4 高阶导数	126
§ 3.5 微分	128
习题三 (A)	135
(B)	141
第四章 中值定理, 导数的应用	144
§ 4.1 中值定理	144
§ 4.2 未定式的定值法——罗彼塔法则	150
§ 4.3 函数的增减性	155
§ 4.4 函数的极值	158
§ 4.5 最大值与最小值, 极值的应用问题	163
§ 4.6 曲线的凹向与拐点	168
§ 4.7 函数图形的作法	171
§ 4.8 变化率及相对变化率在经济中的应用——边际分析与 弹性分析介绍	179
习题四 (A)	193
(B)	199
第五章 不定积分	202
§ 5.1 不定积分的概念	202
§ 5.2 不定积分的性质	205
§ 5.3 基本积分公式	206
§ 5.4 换元积分法	208
§ 5.5 分部积分法	213
※ § 5.6 有理函数的积分	216
习题五 (A)	223

(B)	227
-----	-----

第六章 定积分..... 229

§ 6.1 引出定积分概念的例题	229
§ 6.2 定积分的定义	232
§ 6.3 定积分的基本性质	234
§ 6.4 定积分与不定积分的关系	238
§ 6.5 定积分的换元积分法	243
§ 6.6 定积分的分部积分法	245
§ 6.7 定积分的应用	246
※ § 6.8 定积分的近似计算	254
§ 6.9 广义积分与 Γ 函数	259
习题六 (A)	266
(B)	271

第七章 无穷级数..... 274

§ 7.1 无穷级数的概念	274
§ 7.2 无穷级数的基本性质	277
§ 7.3 正项级数	281
§ 7.4 任意项级数, 绝对收敛	286
§ 7.5 幂级数	290
§ 7.6 泰勒公式与泰勒级数	297
§ 7.7 某些初等函数的幂级数展开式	301
§ 7.8 幂级数的应用举例	307
习题七 (A)	309
(B)	313

第八章 多元函数..... 317

§ 8.1 空间解析几何简介	317
§ 8.2 多元函数的概念	323

§ 8.3	二元函数的极限与连续	327
§ 8.4	偏导数	328
§ 8.5	全微分	332
§ 8.6	复合函数的微分法	335
§ 8.7	隐函数的微分法	338
§ 8.8	二元函数的极值	339
§ 8.9	二重积分	347
习题八 (A)		362
(B)		368
第九章	微分方程与差分方程简介	371
§ 9.1	微分方程的一般概念	371
§ 9.2	一阶微分方程	373
§ 9.3	几种二阶微分方程	381
※ § 9.4	二阶常系数线性微分方程	384
§ 9.5	差分方程的一般概念	391
※ § 9.6	一阶和二阶常系数线性差分方程	394
习题九 (A)		404
(B)		408
习题答案		410

第一章 函 数

§ 1.1 集合

(一) 集合的概念

“集合”是数学中一个重要的概念，它在现代数学中起着非常重要的作用。

我们常常研究某些事物组成的集体，例如一班学生、一批产品、全体正整数等等，这些事物组成的集体都是集合（有时简称集）。

一般说来，集合是具有某种属性的事物的全体，或是一些确定对象的汇总，构成集合的事物或对象，称为集合的元素。

下面举几个集合的例子：

例 1 1980 年 2 月 1 日在北京市出生的人。

例 2 彩电，电冰箱，录像机。

例 3 $x^2 - 5x + 6 = 0$ 的根。

例 4 全体偶数。

例 5 直线 $x + y - 1 = 0$ 上所有的点。

由有限个元素构成的集合，称为有限集合，如例 1、2、3；由无限多个元素构成的集合，称为无限集合，如例 4、5。

通常，我们用大写字母 $A, B, C, \dots$ 等表示集合，用小写字母 $a, b, c, \dots$ 等表示集合的元素。如果 a 是集合 A 的元素，则记作 $a \in A$ ，读作 a 属于 A 或 a 在 A 中；如果 a 不是集合 A 的元素，则记作 $a \notin A$ ，读作 a 不属于 A 或 a 不在 A 中。

例如 如果 F 表示全体有理数的集合, 则 $\frac{3}{5} \in F, \sqrt{2} \notin F$ 。

我们这里讲的集合, 具有确定性的特征, 即对于某一个元素是否属于某个集合是确定的, “是” 或者 “不是” 二者必居其一。如前面例 2 中的集合是彩电, 电冰箱, 录像机三个对象的汇总。但是假如说 “高档消费品” 的汇总, 则不是我们这里所讨论的集合, 因为对构成它的对象, 人们的看法是不一致的。

(二) 集合的表示法

(1) 列举法: 按任意顺序列出集合的所有元素, 并用花括号 $\{\}$ 括起来。

例 1 由 a, b, c, d 四个元素组成的集合 A , 可表示为

$$A = \{a, b, c, d\}$$

例 2 由 $x^2 - 5x + 6 = 0$ 的根所构成的集合 A , 可表示为

$$A = \{2, 3\}$$

用列举法表示集合时, 必须列出集合的所有元素, 不得遗漏和重复。

(2) 描述法: 设 $P(a)$ 为某个与 a 有关的条件或法则, A 为满足 $P(a)$ 的一切 a 构成的集合, 则记为

$$A = \{a | P(a)\}$$

例 3 设 A 为 $x^2 - 5x + 6 = 0$ 的根构成的集合, 可表示为

$$A = \{x | x^2 - 5x + 6 = 0\}$$

例 4 设 A 为全体偶数的集合, 可表示为

$$A = \{x | x = 2n, n \text{ 为整数}\}$$

集合以及集合间的关系可以用图形表示, 称为文氏图。文氏图是用一个简单的平面区域代表一个集合, 如图 1-1。集合内的元素以区域内的点表示。

(三) 全集与空集

由所研究的所有事物构成的集合称为全集, 记为 U 。全集是相

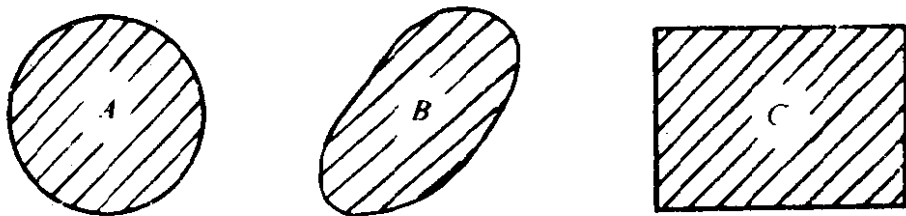


图 1-1

对的,一个集合在一定条件下是全集,在另一条件下就可能不是全集。例如,讨论的问题仅限于正整数,则全体正整数的集合为全集;讨论的问题包括正整数和负整数,则全体正整数的集合就不是全集。又如,要检查某工厂产品的优劣,则全厂产品为全集;如只检查某车间,则该车间产品为全集。

不包含任何元素的集合称为空集,记作 Φ 。

例 1 $x^2 + 1 = 0$ 的实数根集合为空集。

例 2 平面上两条平行线的交点集合为空集。

注意 $\{0\}$ 及 $\{\Phi\}$ 都不是空集,前者含有元素“0”,后者以空集“ Φ ”为其元素。

(四) 子集

定义 1.1 如果集合 A 的每一个元素都是集合 B 的元素,即“如果 $a \in A$, 则 $a \in B$ ”,则称 A 为 B 的子集。记为 $A \subset B$ 或 $B \supset A$, 读作 A 包含于 B 或 B 包含 A 。如图 1-2。

例 1 设 N 表示全体自然数的集合, F 表示全体有理数的集合,则有

$$N \subset F$$

例 2 设 $A = \{1, 2, 3, 4, 5\}$, $B = \{1, 3, 5\}$, 则

$$B \subset A$$

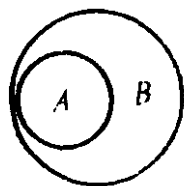


图 1-2

定义 1.2 设有集合 A 和 B , 如果 $A \subset B$ 且 $B \subset A$, 则称 A 与 B 相等, 记作 $A = B$ 。

例 3 设 $A = \{x | x \text{ 为大于 } 1 \text{ 小于 } 4 \text{ 的整数}\}$

$$B = \{x | x^2 - 5x + 6 = 0\}$$

则 $A = B$

关于子集有下列结论：

- (1) $A \subset A$, 即“集合 A 是其自己的子集”；
- (2) 对任意集合 A , 有 $\Phi \subset A$, 即“空集是任意集合的子集”；
- (3) 如果 $A \subset B, B \subset C$, 则 $A \subset C$, 即“集合的包含关系有传递性”。

(五) 集合的运算

前面我们给出了集合的概念, 下面我们将定义集合的运算。这些运算与数的运算一样都是来源于实践, 反映了客观世界中数量间的关系。

先看一个例子。

例 某工地设有一个日用品代销点, 代销商品有: 香烟, 啤酒, 糖果, 肥皂, 洗衣粉, 毛巾, 牙刷, 牙膏, 搪瓷杯, 手电筒共 10 种。该店每周进货两次。

某周第一次进货的商品品种集合 $A_1 = \{\text{香烟, 啤酒, 肥皂, 洗衣粉, 搪瓷杯}\}$; 第二次进货的商品品种集合 $A_2 = \{\text{香烟, 啤酒, 肥皂, 牙膏, 毛巾, 搪瓷杯}\}$ 。

两次共进货的商品品种集合 $B = \{\text{香烟, 啤酒, 肥皂, 洗衣粉, 搪瓷杯, 牙膏, 毛巾}\}$; 两次都进货的商品品种的集合为 $C = \{\text{香烟, 啤酒, 肥皂, 搪瓷杯}\}$; 该周没进货的商品品种集合 $D = \{\text{糖果, 牙刷, 手电筒}\}$ 。

这些关系都是集合间的运算关系。下面给出集合运算的定义。

定义 1.3 设有集合 A 和 B , 由 A 和 B 的所有元素构成的集合, 称为 A 与 B 的并, 记为 $A \cup B$, 如图 1-3。即

$$A \cup B = \{x | x \in A \text{ 或 } x \in B\}$$

集合的并有下列性质:

$$(1) A \subset A \cup B, B \subset A \cup B$$

(2) 对任何集合 A , 有

$$A \cup \Phi = A, A \cup U = U, A \cup A = A$$

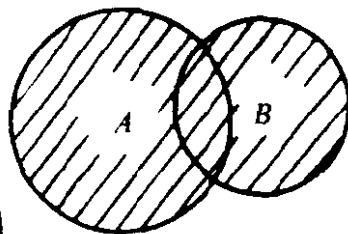


图 1-3

定义 1.4 设有集合 A 和 B , 由 A 和 B 的所有公共元素构成的集合, 称为 A 与 B 的交, 记为 $A \cap B$, 如图 1-4 的阴影部分。即

$$A \cap B = \{x | x \in A \text{ 且 } x \in B\}$$

集合的交有下列性质:

$$(1) A \cap B \subset A, A \cap B \subset B$$

(2) 对任何集合 A , 有

$$A \cap \Phi = \Phi, A \cap U = A, A \cap A = A$$

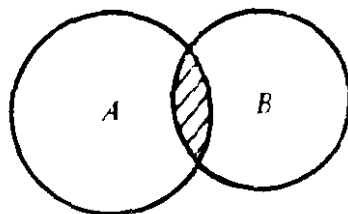


图 1-4

例 1 设 $A = \{1, 2, 3, 4\}$

$$B = \{3, 4, 5, 6\}$$

则 $A \cup B = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$

$$A \cap B = \{3, 4\}$$

例 2 设 $A = \{a, b, c\}$, $B = \{a, b\}$, 则

$$A \cup B = \{a, b, c\}, A \cap B = \{a, b\}$$

例 3 设 A 为某单位会英语的人的集合, B 为会日语的人的集合, 则

$A \cup B$ 表示会英语或会日语的人的集合,

$A \cap B$ 表示既会英语又会日语的人的集合。

例 4 设 $A = \{x | -1 \leq x \leq 1\}$, $B = \{x | x > 0\}$, 则

$$A \cup B = \{x | x \geq -1\}$$

$$A \cap B = \{x | 0 < x \leq 1\}$$

例 5 如果 A 为奇数集合, B 为偶数集合, 则

$$A \cup B = \{x | x \text{ 为奇数或偶数}\}$$

$$A \cap B = \Phi$$

如果 $A \cap B = \Phi$, 则称 A, B 是分离的, 如图 1-5。

定义 1.5 设有集合 A 和 B , 属于 A 而不属于 B 的所有元素构成的集合, 称为 A 与 B 的差, 记为 $A - B$, 如图 1-6 的阴影部分。即

$$A - B = \{x | x \in A \text{ 且 } x \notin B\}$$

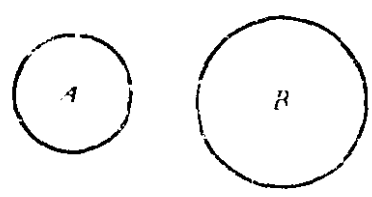


图 1-5

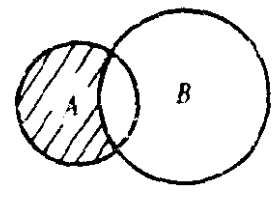


图 1-6

例 6 如果 $A = \{1, 2, 3, 4\}, B = \{1, 3, 5, 7\}$, 则

$$A - B = \{2, 4\}$$

定义 1.6 全集 U 中所有不属于 A 的元素构成的集合, 称为 A 的补集, 记为 A' , 如图 1-7。即

$$A' = \{x | x \in U \text{ 且 } x \notin A\}$$

补集有下列性质:

$$A \cup A' = U, \quad A \cap A' = \Phi$$

例 7 设参加考试的学生为全集 U 。

如果 A 表示及格的学生集合, 则 A'

表示不及格的学生集合。

如果将考分分为优秀、良好、及格和不及格四类, 以 A 表示考分为优秀或良好的学生集合, 则 A' 表示考分为及格或不及格的学生集合。

例 8 前面工地代销点的例子中, 全集 $U = \{\text{香烟, 啤酒, 糖果, 肥皂, 洗衣粉, 毛巾, 牙刷, 牙膏, 搪瓷杯, 手电筒}\}$ 。

第一次进货品种集合 $A_1 = \{\text{香烟, 啤酒, 肥皂, 洗衣粉, 搪瓷杯}\}$ 。

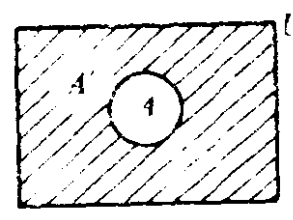


图 1-7

第二次进货品种集合 $A_2 = \{\text{香烟, 啤酒, 肥皂, 牙膏, 毛巾, 搪瓷杯}\}$ 。

两次共进货品种集合 $B = A_1 \cup A_2 = \{\text{香烟, 啤酒, 肥皂, 洗衣粉, 搪瓷杯, 牙膏, 毛巾}\}$ 。

两次均进货品种集合 $C = A_1 \cap A_2 = \{\text{香烟, 啤酒, 肥皂, 搪瓷杯}\}$ 。

该周没进货的品种集合 $D = (A_1 \cup A_2)' = \{\text{糖果, 牙刷, 手电筒}\}$ 。

设第一次进货而第二次未进货的品种集合为 E , 则

$$E = A_1 - A_2 = \{\text{洗衣粉}\}$$

例9 某地区的100个工厂, 有80个工厂生产甲种机床, 以集合 A 表示这些厂, 有61个厂生产乙种机床, 以集合 B 表示这些厂, 有55个厂两种机床都生产。试用集合表示下列各类工厂, 并计算出各类工厂的数目:

- (1) 生产甲种机床而不生产乙种机床的工厂;
- (2) 生产乙种机床而不生产甲种机床的工厂;
- (3) 甲、乙两种机床中至少生产其中一种的工厂;
- (4) 甲、乙两种机床都不生产的工厂。

解: (1) 生产甲种机床而不生产乙种机床的工厂的集合为 $A - B$, 工厂数目为

$$80 - 55 = 25(\text{个})$$

(2) 生产乙种机床而不生产甲种机床的工厂集合为 $B - A$, 工厂数目为

$$61 - 55 = 6(\text{个})$$

(3) 甲、乙两种机床中, 至少生产其中一种的工厂的集合为 $A \cup B$, 工厂数目为

$$55 + 25 + 6 = 86(\text{个}), \text{ 或 } 80 + 61 - 55 = 86(\text{个})$$

(4) 甲、乙两种机床都不生产的工厂集合为 $(A \cup B)'$, 工厂数

目为

$$100 - 86 = 14(\text{个})$$

文氏图见图 1-8。

(六) 集合运算律

(1) 交换律: (I) $A \cup B = B \cup A$

$$(II) A \cap B = B \cap A \quad \text{图 1-8}$$

(2) 结合律: (I) $(A \cup B) \cup C = A \cup (B \cup C)$

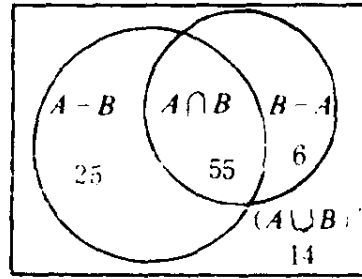
$$(II) (A \cap B) \cap C = A \cap (B \cap C)$$

(3) 分配律: (I) $(A \cup B) \cap C = (A \cap C) \cup (B \cap C)$

$$(II) (A \cap B) \cup C = (A \cup C) \cap (B \cup C)$$

(4) 摩根律: (I) $(A \cup B)' = A' \cap B'$

$$(II) (A \cap B)' = A' \cup B'$$



下面证明结合律的(I)和摩根律的(I),作为示范,其它几条定律可类似地证明。

结合律(I)的证明:

如果 $x \in (A \cup B) \cup C$

则 $x \in A \cup B$ 或 $x \in C$

即 $x \in A$ 或 $x \in B$ 或 $x \in C$

因而 $x \in A$ 或 $x \in B \cup C$

所以 $x \in A \cup (B \cup C)$

由此可得 $(A \cup B) \cup C \subset A \cup (B \cup C)$

同理可证 $A \cup (B \cup C) \subset (A \cup B) \cup C$

所以 $(A \cup B) \cup C = A \cup (B \cup C)$

说明结合律(I)成立的文氏图见图 1-9。

摩根律(I)的证明:

如果 $x \in (A \cup B)'$, 则 $x \notin A \cup B$

即 $x \notin A$ 且 $x \notin B$

亦即 $x \in A'$ 且 $x \in B'$