

微 积 分

(第二版)

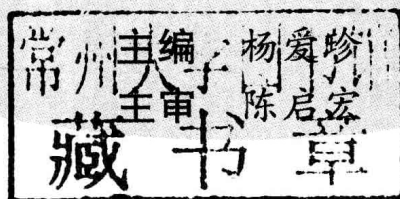
杨爱珍 主编 · 陈启宏 主审



复旦大学出版社

微 积 分

(第二版)



复旦大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

微积分/杨爱珍主编. —2 版. —上海:复旦大学出版社,2012. 5
21 世纪高等学校经济数学教材
ISBN 978-7-309-08815-1

I. 微… II. 杨… III. 微积分-高等学校-教材 IV. 0172

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 066708 号

微积分(第二版)

杨爱珍 主编

责任编辑/范仁梅

复旦大学出版社有限公司出版发行

上海市国权路 579 号 邮编:200433

网址:fupnet@fudanpress.com <http://www.fudanpress.com>

门市零售:86-21-65642857 团体订购:86-21-65118853

外埠邮购:86-21-65109143

扬中市印刷有限公司

开本 787×960 1/16 印张 25 字数 426 千

2012 年 5 月第 2 版第 1 次印刷

印数 1—5 100

ISBN 978-7-309-08815-1/O · 489

定价:45.00 元

如有印装质量问题,请向复旦大学出版社有限公司发行部调换。

版权所有 侵权必究

内 容 提 要

本书由上海财经大学应用数学系、上海金融学院应用数学系、上海商学院基础教学部教师合作编写,系“21 世纪高等学校经济数学教材”系列之一.

全书共分 8 章:函数与极限,导数与微分,中值定理与导数的应用,不定积分,定积分及其应用,多元函数微积分,无穷级数,微分方程与差分方程.本书科学、系统地介绍了微积分的基本内容,重点介绍了微积分的方法及其在经济管理中的应用,每章均附有习题,书末附有习题的参考答案.

本书可作为高等经济管理类院校的数学基础课程教材,同时也适合财经类高等教育自学考试、各类函授大学、夜大学使用,也可作为财经管理人员的学习参考书.

21 世纪高等学校经济数学教材

编 委 会

主 编 车荣强 杨爱珍 费伟劲
张晓梅 张振宇 迟东璇

编 委
上海财经大学 杨爱珍 叶玉全 何 萍 张远征
张晓梅 张振宇 顾桂定

上海金融学院 车荣强 迟东璇 洪永成

上海商学院 费伟劲 苏海容 邹 赢

本书编写人员 杨爱珍 车荣强 叶玉全 苏海容 洪永成

丛书主审人员 何其祥 陈启宏 梁治安

丛 书 策 划 范仁梅

第二版前言

本套“21 世纪高等学校经济数学教材”由《微积分》、《线性代数》和《概率论与数理统计》组成. 由上海财经大学应用数学系、上海金融学院应用数学系、上海商学院基础教学部教师合作编写, 系高等经济管理类院校使用的经济数学系列教材之一.

其中《微积分》从第一版(2007 年 1 月)发行至今, 已被多所高等院校选为经济管理类专业的数学基础课程的教材. 得到不少同仁的认可, 同时也指出了教材中值得探讨的问题, 并对如何修改提出了宝贵的建议. 在此我们对关心和支持这套教材的广大同仁表示衷心的感谢.

通过近 5 年的教学实践, 针对使用对象的特点, 我们对在这套系列教材中的第一版《微积分》进行了修订, 修订工作主要包括以下几个方面的内容:

1. 订正了原教材中的疏漏以及排版印刷方面的错误.

2. 调整了一部分的例题和习题, 使其与相应的内容之间搭配得更加合理, 也更适合我们教学的对象.

3. 增补了一些内容, 使其更加合理且完备.

增补了参数式函数的导数, 微分形式的不变性, 以及二阶常系数非齐次线性微分方程的待定系数法求特解 y^* .

在修订过程中, 我们广泛地搜集了读者对原教材的意见和建议. 希望通过此次修订, 这套教材能在第一版的基础上更加合理, 完善和科学. 恳请广大同仁继续对此教材的关心、支持和厚爱, 欢迎广大读者继续批评指正.

编者

2012 年 4 月

第一版前言

为适应我国高等教育的飞速发展和数学在各学科中更广泛的应用,根据高等教育面向 21 世纪发展的要求,我们上海财经大学应用数学系、上海金融学院应用数学系、上海商学院基础教学部教师合作编写了“21 世纪高等学校经济数学教材”——《微积分》、《线性代数》和《概率论与数理统计》。

针对使用对象的特点,结合作者多年的教学实践和教学改革的实际经验,在这套系列教材的编写过程中,我们注重了以下几方面的问题:

1. 适应我国在 21 世纪经济建设和发展的需要,着眼于培养“厚基础,宽口径,高素质”的财经人才,注重加强基础课程,特别是数学基础课程。

2. 作为高等经济管理类院校数学基础课程的教材,在注意保持数学学科本身结构的科学性、系统性、严谨性的同时,力求深入浅出,通俗易懂,突出有关理论、方法的应用和简单经济数学模型的介绍。

3. 注意培养学生的学习兴趣,扩大学生的视野,使学生了解微积分创立发展的背景,提高学生对数学源流的认识,在每章后附有数学家简介,介绍对微积分创立发展过程中作出过伟大贡献的著名数学家。

4. 注意兼顾经济管理学科各专业学生,既能较好地掌握所学知识,又能满足后继课程及学生继续深造的需要。为此,将本书习题分为两部分,习题(A)为基础题,习题(B)为提高题。

参加《微积分》一书编写的有上海财经大学应用数学系杨爱珍副教授(第一章、第二章、第三章)及叶玉全副教授(第四章、第五章),上海金融学院应用数学系洪永成老师(第六章)及车荣强副教授(第七章),上海商学院基础教学部苏海容老师(第八章),最后由杨爱珍副教授对全书进行了统稿。

在本教材编写过程中,我们得到了上海财经大学、上海金融学院、上海商学院的重视和支持,并得到了复旦大学出版社的鼎力相助,特别是范仁梅老师的认真负责,在此一并致谢。

限于学识与水平,本书的缺点与错误在所难免,恳请专家和读者批评指正。

编者

2007 年 1 月

目 录

第一章 函数与极限	1
§ 1.1 函数	1
一、实数	1
二、函数的概念	2
三、函数的几种特性	6
四、初等函数	8
五、常见的经济函数	17
§ 1.2 极限的概念与性质	18
一、数列的极限	18
二、函数的极限	20
三、函数极限的主要性质	24
§ 1.3 极限的运算	25
一、极限的运算法则	25
二、两个重要极限	27
三、无穷小量和无穷大量	34
§ 1.4 函数的连续性	37
一、函数连续的概念	37
二、连续函数的运算与初等函数的连续性	40
三、函数的间断点	41
四、闭区间上连续函数的性质	42
数学家简介——笛卡儿	45
习题一	46
第二章 导数与微分	53
§ 2.1 导数概念	53
一、引例	53
二、导数的定义	54

三、导数的几何意义	58
四、左导数与右导数	58
五、函数可导与连续的关系	60
§ 2.2 导数的基本公式与运算法则	62
一、函数和、差、积、商的求导法则	62
二、反函数的求导法则	66
三、复合函数的求导法则	68
四、导数基本公式	71
五、隐函数的导数	72
六、对数求导法	73
七、综合举例	74
§ 2.3 高阶导数	76
§ 2.4 参数式函数的导数	80
§ 2.5 函数的微分	82
一、微分的定义	83
二、微分的几何意义	85
三、微分的运算	86
四、微分形式不变性	89
五、微分在近似计算中的应用	89
数学家简介——罗尔	91
习题二	92
 第三章 中值定理与导数的应用	98
§ 3.1 微分中值定理	98
一、罗尔定理	98
二、拉格朗日中值定理	100
三、柯西中值定理	103
§ 3.2 洛必达法则	104
一、基本未定式	104
二、其他未定式	107
§ 3.3 函数单调性的判别法	109
§ 3.4 函数的极值及其求法	112
§ 3.5 曲线的凹向与拐点	116

§ 3.6 曲线的渐近线	119
一、水平渐近线	119
二、垂直渐近线	119
三、斜渐近线	119
§ 3.7 函数图形的描绘	121
§ 3.8 函数的最值	123
§ 3.9 导数在经济分析中的应用	126
一、导数的经济意义	126
二、弹性	127
数学家简介——拉格朗日	133
习题三	134
第四章 不定积分	142
§ 4.1 不定积分的概念与性质	142
一、原函数	142
二、不定积分的概念	143
三、基本积分公式	146
四、不定积分的基本性质	147
§ 4.2 不定积分的换元积分法	149
一、第一类换元法(凑微分法)	149
二、第二类换元法(变量代换法)	154
§ 4.3 不定积分的分部积分法	159
§ 4.4 有理函数的积分	162
数学家简介——柯西	166
习题四	168
第五章 定积分及其应用	172
§ 5.1 定积分的概念与性质	172
一、引例	172
二、定积分的定义	174
三、定积分的几何意义	176
四、定积分的性质	177
§ 5.2 微积分基本定理	181

一、积分上限(变限积分)函数及其导数	181
二、微积分基本定理	185
§ 5.3 定积分的换元积分法	188
§ 5.4 定积分的分部积分法	192
§ 5.5 广义积分	193
一、无穷限的广义积分	193
二、无界函数的广义积分	196
三、 Γ -函数	198
§ 5.6 定积分的几何应用	200
一、平面图形的面积	200
二、立体的体积	202
§ 5.7 定积分在经济上的应用	203
一、由边际函数求总函数	204
二、资金现值与投资问题	205
数学家简介——牛顿	206
习题五	208
 第六章 多元函数微积分	215
§ 6.1 空间解析几何简介	215
一、空间直角坐标系	215
二、空间曲面	217
§ 6.2 多元函数的基本概念	222
一、多元函数的概念	222
二、二元函数的极限与连续	224
§ 6.3 偏导数	226
一、偏导数的概念	226
二、二阶偏导数	229
三、偏导数在经济分析中的应用	230
§ 6.4 全微分	232
一、全微分的概念	232
二、全微分在近似计算中的应用	234
§ 6.5 多元复合函数及隐函数的求导法则	235

一、二元复合函数的求导法则	235
二、隐函数的求导公式	238
§ 6.6 二元函数的极值和最值	240
一、二元函数的极值	240
二、条件极值	243
三、最小二乘法	244
§ 6.7 二重积分	246
一、二重积分的概念	246
二、二重积分的性质	248
三、二重积分的计算	250
数学家简介——莱布尼兹	261
习题六	263
 第七章 无穷级数	 270
§ 7.1 无穷级数的概念与性质	270
一、无穷级数的概念	270
二、无穷级数的性质	274
§ 7.2 正项级数及其敛散性判别法	277
一、正项级数的概念	277
二、正项级数敛散性判别法	278
§ 7.3 任意项级数及其敛散性判别法	287
一、交错级数及莱布尼兹判别法	287
二、绝对收敛与条件收敛	288
§ 7.4 幂级数	290
一、幂级数的概念	290
二、幂级数的收敛半径	291
三、幂级数的运算及性质	295
§ 7.5 函数的幂级数展开式	298
一、泰勒定理	298
二、函数展开成幂级数	300
数学家简介——傅里叶	307
习题七	308

第八章 微分方程与差分方程	312
§ 8.1 微分方程的基本概念	312
一、引例	312
二、微分方程的一般概念	313
§ 8.2 一阶微分方程	315
一、可分离变量的微分方程	315
二、齐次微分方程	317
三、一阶线性微分方程	319
§ 8.3 可降阶的二阶微分方程	322
一、 $y'' = f(x)$ 型微分方程	322
二、 $y'' = f(x, y')$ 型微分方程	323
三、 $y'' = f(y, y')$ 型微分方程	324
§ 8.4 二阶线性微分方程解的结构	325
§ 8.5 二阶常系数线性微分方程	328
一、二阶常系数齐次线性微分方程	328
二、二阶常系数非齐次线性微分方程	331
§ 8.6 差分与差分方程的概念	336
一、差分的概念	336
二、差分方程的概念	338
三、常系数线性差分方程解的结构	340
§ 8.7 一阶常系数线性差分方程	341
一、一阶常系数齐次线性差分方程	342
二、一阶常系数非齐次线性差分方程	343
§ 8.8 二阶常系数线性差分方程	346
一、二阶常系数齐次线性差分方程	346
二、二阶常系数非齐次线性差分方程	348
数学家简介——达朗贝尔	352
习题八	353
习题参考答案	358
参考书目	382

微积分是研究函数关系的一门科学,它的研究对象是函数,其中主要是初等函数;极限是微积分的理论基础,每一个重要概念的产生过程可以说是人类对极限思想的认识逐渐加深、逐渐明确的过程.本章将介绍函数、极限以及函数连续性等基本内容.

§ 1.1 函 数

一、实数

1. 数轴

数轴是定义了原点、方向与单位长度的直线.数轴上的每个点表示一个确定的实数.若点 M 与原点的距离为 d ,且点 M 位于原点正向一侧,则 M 表示正实数 d ;若点 M 与原点的距离为 d ,且点 M 位于原点负向一侧,则 M 表示负实数 $-d$;若点 M 与原点重合,则 M 表示数零.这样,就建立了数轴上的点与实数间的一一对应.每个实数可看成数轴上一个确定的点,数轴上的每个点代表一个确定的实数,并且不同的点代表不同的实数.

2. 区间

若 $\mathbf{R}$ 表示实数集,当 $a, b \in \mathbf{R}$, 且 $a < b$, 定义各类区间如下:

有限区间: $[a, b] = \{x \mid a \leq x \leq b, x \in \mathbf{R}\}$,

$$(a, b) = \{x \mid a < x < b, x \in \mathbf{R}\},$$

$$[a, b) = \{x \mid a \leq x < b, x \in \mathbf{R}\},$$

$$(a, b] = \{x \mid a < x \leq b, x \in \mathbf{R}\};$$

无穷区间: $(-\infty, +\infty) = \{x \mid -\infty < x < +\infty, x \in \mathbf{R}\} = \mathbf{R}$,

$$(-\infty, a] = \{x \mid -\infty < x \leq a, x \in \mathbf{R}\},$$

$$(-\infty, a) = \{x \mid -\infty < x < a, x \in \mathbf{R}\},$$

$$[a, +\infty) = \{x \mid a \leq x < +\infty, x \in \mathbf{R}\},$$

$$(a, +\infty) = \{x \mid a < x < +\infty, x \in \mathbf{R}\}.$$

3. 邻域

定义 1.1 设 x_0 与 δ 是两个实数, 且 $\delta > 0$, 满足不等式 $|x - x_0| < \delta$ 的实数 x 的全体称为 x_0 的 δ 邻域.

若用 $O_\delta(x_0)$ 表示 x_0 的 δ 邻域, 则

$$O_\delta(x_0) = (x_0 - \delta, x_0 + \delta),$$

其中 x_0 称为 $O_\delta(x_0)$ 的中心点, δ 称为 $O_\delta(x_0)$ 的半径; 而

$$O_\delta(x_0) \setminus \{x_0\} = (x_0 - \delta, x_0) \cup (x_0, x_0 + \delta)$$

称为 x_0 的 δ 去心邻域, 其中 $(x_0 - \delta, x_0)$ 称为 $O_\delta(x_0)$ 的左邻域, $(x_0, x_0 + \delta)$ 称为 $O_\delta(x_0)$ 的右邻域.

x_0 的 δ 邻域 $O_\delta(x_0)$ 可在数轴上形象地表示, 见图 1.1.

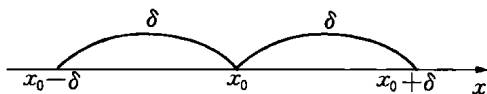


图 1.1

二、函数的概念

1. 变量与函数

所谓变量是指在某一过程中不断变化的量. 例如某地的气温; 某种产品的产量、成本和利润; 某时刻世界人口的总数等都是变量. 变量的变化不是孤立的, 而是彼此联系并遵循着一定的变化规律. 例如, 物理学中自由落体的距离 h 与时间 t 的关系为 $h = \frac{1}{2}gt^2$; 圆的面积 S 与圆的半径 r 的关系为 $S = \pi r^2$.

在上面的关系式 $h = \frac{1}{2}gt^2$, $S = \pi r^2$ 中, 变量之间联系的表达式虽然不同, 但它们却有着相同的本质, 即在某个过程中的两个变量是相互联系的, 当其中一个变量在某一范围内每取一个值时, 另一个变量就按照一定的规律, 有唯一确定的值与之对应. 变量之间的这种相互依赖关系就是函数的概念, 下面给出一元函数(只含一个自变量的函数)的定义.

定义 1.2 设有两个变量 x 和 y , 如果当变量 x 在某非空实数集合 D 内任取一个数值时, 变量 y 按照一定的法则(对应规律) f , 都有唯一确定的值 y 与之对应, 则称 y 是 x 的函数. 记作 $y = f(x)$, 其中变量 x 称为自变量, 它的取值范

围 D 称为函数的定义域; 变量 y 称为因变量, 它的取值范围是函数的值域, 记为 $Z(f)$, 即 $Z(f) = \{y \mid y = f(x), x \in D\}$.

从函数的定义中不难看出, 定义域 D 与对应规律 f 是构成函数的两个基本要素. 如果两个函数的定义域与对应规律都分别相同, 则称这两个函数相同.

一般情况下, 函数的定义域就是使函数表达式在实数范围内有意义的自变量的全体. 当然, 在实际问题中, 尚需根据问题的实际意义来确定.

例 1 求下列函数的定义域:

$$(1) y = \log_2(1-x^2) + \arcsin(2x-1); \quad (2) y = \frac{\sqrt{6-x-x^2}}{x+1};$$

$$(3) y = \frac{\sqrt{2x+7}}{\ln(x+4)}.$$

解 (1) 由 $\begin{cases} 1-x^2 > 0 \\ |2x-1| \leq 1 \end{cases} \Rightarrow 0 \leq x < 1$, 故定义域 $D = [0, 1)$.

$$(2) \text{ 由 } \begin{cases} 6-x-x^2 \geq 0 \\ x+1 \neq 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} (3+x)(2-x) \geq 0 \\ x+1 \neq 0 \end{cases} \Rightarrow x \in [-3, -1) \cup (-1, 2],$$

故定义域 $D = [-3, -1) \cup (-1, 2]$.

$$(3) \text{ 由 } \begin{cases} 2x+7 \geq 0 \\ x+4 > 0 \\ x+4 \neq 1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x \geq -\frac{7}{2} \\ x > -4 \\ x \neq -3 \end{cases} \Rightarrow x \in \left[-\frac{7}{2}, -3\right) \cup (-3, +\infty),$$

故定义域 $D = \left[-\frac{7}{2}, -3\right) \cup (-3, +\infty)$.

例 2 设 $f(x) = \frac{x}{x+1}$, 求 $f(1)$, $f(x+1)$, $f\left(\frac{1}{x}\right)$.

解 $f(1) = \frac{x}{x+1} \Big|_{x=1} = \frac{1}{1+1} = \frac{1}{2};$

$$f(x+1) = \frac{(x+1)}{(x+1)+1} = \frac{x+1}{x+2};$$

$$f\left(\frac{1}{x}\right) = \frac{\frac{1}{x}}{\frac{1}{x}+1} = \frac{1}{1+x}.$$

例 3 设 $f\left(\frac{x+1}{x-1}\right) = 3x+2$, 求 $f(x)$.

解 用换元法,令 $t = \frac{x+1}{x-1}$, 则 $x = \frac{t+1}{t-1}$, 于是

$$f(t) = 3\left(\frac{t+1}{t-1}\right) + 2,$$

将 t 换成 x , 即得

$$f(x) = 3\left(\frac{x+1}{x-1}\right) + 2 = \frac{5x+1}{x-1}.$$

2. 函数的表示法

函数的常用表示法一般有 3 种:公式法(解析法)、表格法与图示法. 函数的 3 种表示法各有其特点,表格法和图示法直观明了,而解析法则简捷准确,易于运算,便于理论研究.

(1) 公式法. 公式法也称解析法,就是用解析表达式来表示函数关系的一种方法,常有显式与隐式两种.

显式的标准形式为 $y = f(x)$, 这里 $f(x)$ 是一个含自变量 x 的解析式,例如 $y = x^2 + \sin x$, $y = \sqrt{9-x^2} + \ln x$ 等.

隐式的标准形式为 $F(x, y) = 0$, 这里, $F(x, y)$ 是一个含自变量 x 与因变量 y 的一个解析式,由 x 的值和 $F(x, y) = 0$ 可确定相应 y 的值,例如 $x^2 + y^2 - 4 = 0$ ($y > 0$).

在现实生活中许多函数关系难以用公式来表示,例如一天的气温作为时间的函数等,表示这些函数关系就用表格法与图示法.

(2) 表格法. 例如,某城市一年里每月大米的销售量(单位:万吨),如表 1.1 所示.

表 1.1

月份 t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
销售量 s	144	161	123	81	84	50	45	40	45	90	100	120

表 1.1 表示了某城市大米销售量 s 随月份 t 而变化的函数关系.

(3) 图示法. 图示法是用图形来表示函数关系的方法,它直观性强. 随着计算机的发展,图示法愈来愈得到广泛的使用.

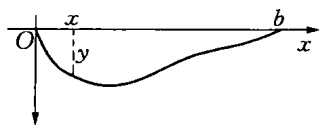


图 1.2

例如,某河道的一个断面图形如图 1.2 所示. 其深度 y 与测量点到岸边的距离 x 的函数关系如图 1.2 中的曲线所示.

这里深度 y 与测距 x 的函数关系是用图形表