

南开大学公共数学系列教材

高等数学

习题课讲义

上·第二版

薛运华 赵志勇 / 编著

南开大学出版社

南开大学公共数学系列教材

高等数学习题课讲义(上)

(第二版)

南开大学出版社
天津

图书在版编目(CIP)数据

高等数学习题课讲义. 上 / 薛运华, 赵志勇编著.

—2 版. —天津: 南开大学出版社, 2010. 9

ISBN 978-7-310-03551-9

I. ①高… II. ①薛… ②赵… III. ①高等数学—高等学校—教学参考资料 IV. ①013

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 154876 号

南开大学出版社出版发行

出版人: 肖占鹏

地址: 天津市南开区卫津路 94 号 邮政编码: 300071

营销部电话: (022)23508339 23500755

营销部传真: (022)23508542 邮购部电话: (022)23502200

*

天津市蓟县宏图印务有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

2010 年 9 月第 2 版 2010 年 9 月第 4 次印刷

787×960 毫米 16 开本 15.25 印张 2 插页 277 千字

定价: 26.00 元

如遇图书印装质量问题, 请与本社营销部联系调换, 电话: (022)23507125

总 序

高等数学是南开大学非数学类专业本科生必修的校级公共基础课。由于各个学科门类的情况差异较大,该课程又形成了包含多个层次多个类别的体系结构。层次不同,类别不同,教学目标和教学要求也就有所不同,课程内容的深度与宽度也就有所不同,自然所使用的教材也应有所不同。

教材建设是课程建设的一个重要方面,属于基础性建设。时代在前进,教材也应适时更新而不能一劳永逸。因此,教材建设是一项持续的不可能有“句号”的工作。

20世纪80年代以来,南开大学的老师们就陆续编写出版了面向物理类、经济管理类和人文类等多种高等数学教材。其中,如《文科数学基础》一书作为“十五”国家级规划教材由高等教育出版社于2003年出版,经过几年的使用取得较好收效。这些教材为南开的数学教学作出了重要贡献,也为公共数学教材建设奠定了基础,积累了经验。

21世纪是一个崭新的世纪。随着新世纪的到来,人们似乎对数学也有了一个崭新的认识:数学不仅是工具,更是一种素养,一种能力,一种文化。已故数学大师陈省身先生在其晚年为将中国建设成为数学大国乃至最终成为数学强国而殚精竭虑。他尤其对大学生们寄予厚望。他不仅关心着数学专业的学生,也以他那博大胸怀关心着非数学专业的莘莘学子。2004年他挥毫为天津市大学生数学竞赛题字,并与获奖学生合影留念。这也是老一辈数学家对我们的激励与鞭策。另一方面,近年来一大批与数学交叉的新兴学科如金融数学、生物数学等不断涌现。这也对我们的数学教育和数学教学提出了许多新要求。而作为课程基础建设的教材建设自当及时跟进。现在呈现在读者面前的便是南开大学公共数学系列教材。

本套教材的规划和出版得到了南开大学教务处、南开大学数学科学学院和南开大学出版社的高度重视、悉心指导和大力支持。此项工作是南开大学新世纪教学改革项目“公共数学课程改革与实践”的重要内容之一。编委会的各位老师为组织、规划和编写本套教材付出了不少心血。此

外,还有很多热心的老师和同学给我们提出了很多很好的建议。对来自方方面面的关心、支持和帮助,我们在这里一并表示衷心感谢。

由于我们的水平有限,缺点和不足在所难免,诚望读者批评指正。

南开大学公共数学系列教材编委会

2006年6月

第二版前言

本书第一版问世以来,得到了广大读者的厚爱。在四年的教学实践中,我们不断地发现第一版部分内容的欠缺和不足,同时也收到了同行们以各种方式提出的宝贵意见和建议。为此,我们总结出本讲义需要提升的三个方面:

一、时代在进步,高等数学教材在不断改革,习题课教学内容也应随着教学大纲和教学要求不断改进

近年来,随着计算机的普及以及微积分在各个领域的广泛应用,高等数学的教学要求也随之有所改变,习题课教材作为学习高等数学的必要补充,也应有所变化。第二版随教学大纲的改变,对基本内容进行了部分删减。例如,减少了近似计算的内容,包括多元微分部分全微分概念的近似计算、级数部分幂级数的近似计算等,增加了应用的内容。

二、第一版某些题型题目较少,习题课可选取的范围较窄,题型、题量有丰富空间

在教学实践中,负责习题课教学的老师提出本书提供的题目太少,可选择范围不大。我们根据这几年的教学辅导经验,在第二版中增添了具有代表性的题目。个别题目给出了多种解法,目的是提高学生探索问题的兴趣,开拓思路。当然,也有同学反映,做题太多是“题海战术”。事实上,如果想学会学通微积分,只做少量的题目是不大现实的,许多有名的数学家,如陈省身、华罗庚等,都在青年时代做了大量微积分题目。因此,对于高等数学的教学,通常还是需要讲解大量具有针对性的题目,以期融会贯通、触类旁通。学生在平时训练时,做题面应尽量宽,以开阔视野;在期末复习时,可以根据考试大纲集中做一些重点题目,强化基础关键题目的训练。为突出重点,我们对第二版“课外练习”中的题目进行了归类,把综合性较强的题目放到“综合训练”中。

三、第一版中存在一些错误,需要订正

第一版由于经验不足和编写时间仓促,出现了一些错误。我们在第二

版将加以订正。在此我们向第一版的读者致以歉意。同时，向热心指出我们错误的黎光禹、赖学坚、李忠华等同行表示衷心的感谢！

最后，感谢南开大学出版社的莫建来、李冰编辑和高等数学教学部薛峰主任为本书再版做出的努力！

编者

2010年7月

第一版前言

鉴于大学非数学类专业对数学素质要求愈来愈高,《高等数学》课程的教学越来越受到高校的重视。习题课作为《高等数学》的重要辅助课程,在帮助学生深入理解课程内容、熟练掌握并灵活运用所学数学方法方面起着非常大的作用。多年的教学实践证明,习题课是整个教学活动中一个不可缺少的重要环节。南开大学数学科学学院高等数学教学部历来重视习题课建设,并且得到了全校各有关学院的领导和同学们的大力支持和帮助。任课的教师们坚持规范与创新并重,从而使习题课教学的水平逐年提高,其效果也日益明显。作者把习题课教学中的一些经验和想法整理编辑成册,诚望同行批评指正。

本书上册包括极限与连续、导数与微分、不定积分、定积分及其应用等内容,全书的结构采取专题“课”的形式,适合于每周两个课时的习题课教学安排。

在每个专题“课”中,“本课重点内容提示”部分归纳基础理论,深入剖析重点难点,升华数学思想,力图使读者对相关知识有更加深入透彻的把握和理解。“精讲例题与分析”部分选择了一定数量且题型比较广泛的典型例题。讲解中注重体现严谨的数学逻辑思维,详尽地阐释解题的方法和技巧,并将各类相似题型加以联系比较,旨在帮助读者通过习题训练,在掌握常用的数学方法和技巧的过程中对基础知识融会贯通、灵活运用。“课外练习”部分选取了不同难度的练习题,由易到难,由浅入深,由单一到综合,适合于不同基础的同学使用,体现了分类教学的理念。五个“综合训练”适合读者对知识掌握程度的自我测评。

本书所选的习题,一部分来源于南开大学高等数学课程的课堂和习题课教学,另一部分来源于近年硕士研究生入学考试以及天津市大学生数学竞赛的真题。

本书可作为非数学类专业的高等数学习题课或课外辅导的教师参考用书,可作为学生课下同步练习或期末复习用书,也可作为考研复习或者自

学者的学习资料。

本书分上、下两册，上册由薛运华完成，下册由赵志勇完成。张效成教授、薛峰老师在本书的策划方面给了很多中肯的意见，并且张效成教授仔细审阅了初稿。对来自各个方面的帮助我们表示由衷的感谢。

由于编者的水平有限，书中难免疏漏之处，望读者批评指正。

编者

于南开园

目 录

第一课 函数的性质与数列极限的概念	1
1.1 本课重点内容提示	1
1.2 精讲例题与分析	3
1.2.1 基本习题讲解	3
1.2.2 拓展习题讲解	4
1.3 课外练习	6
第二课 数列收敛的判别方法	8
2.1 本课重点内容提示	8
2.2 精讲例题与分析	10
2.2.1 基本习题讲解	10
2.2.2 拓展习题讲解	12
2.3 课外练习	15
第三课 区间套定理、函数极限的定义	18
3.1 本课重点内容提示	18
3.2 精讲例题与分析	20
3.2.1 基本习题讲解	20
3.2.2 拓展习题讲解	22
3.3 课外练习	24
第四课 函数极限的性质及其运算	25
4.1 本课重点内容提示	25
4.2 精讲例题与分析	29
4.2.1 基本习题讲解	29
4.2.2 拓展习题讲解	30
4.3 课外练习	32

第五课 连续函数的概念及性质.....	35
5.1 本课重点内容提示.....	35
5.2 精讲例题与分析.....	36
5.2.1 基本习题讲解.....	36
5.2.2 拓展习题讲解.....	38
5.3 课外练习.....	39
第六课 闭区间上连续函数的性质、一致连续.....	41
6.1 本课重点内容提示.....	41
6.2 精讲例题与分析.....	42
6.2.1 基本习题讲解.....	42
6.2.2 拓展习题讲解.....	44
6.3 课外练习.....	45
综合训练一 函数与极限部分.....	47
第七课 导数的定义及其基本运算.....	49
7.1 本课重点内容提示.....	49
7.2 精讲例题与分析.....	52
7.2.1 基本习题讲解.....	52
7.2.2 拓展习题讲解.....	56
7.3 课外练习.....	58
第八课 复合函数、隐函数的导数、高阶导数.....	61
8.1 本课重点内容提示.....	61
8.2 精讲例题与分析.....	63
8.2.1 基本习题讲解.....	63
8.2.2 拓展习题讲解.....	64
8.3 课外练习.....	66
第九课 一元函数的微分及其形式不变性.....	68
9.1 本课重点内容提示.....	68
9.2 精讲例题与分析.....	69
9.2.1 基本习题讲解.....	69
9.2.2 拓展习题讲解.....	70

9.3	课外练习	71
第十课	微分中值定理	72
10.1	本课重点内容提示	72
10.2	精讲例题与分析	73
10.2.1	基本习题讲解	73
10.2.2	拓展习题讲解	75
10.3	课外练习	76
第十一课	L'Hospital 法则、Taylor 公式	79
11.1	本课重点内容提示	79
11.2	精讲例题与分析	83
11.2.1	基本习题讲解	83
11.2.2	拓展习题讲解	85
11.3	课外练习	87
第十二课	利用导数求函数的性质(I)	90
12.1	本课重点内容提示	90
12.2	精讲例题与分析	92
12.2.1	基本习题讲解	92
12.2.2	拓展习题讲解	93
12.3	课外练习	96
第十三课	利用导数求函数的性质(II)	98
13.1	本课重点内容提示	98
13.2	精讲例题与分析	99
13.2.1	基本习题讲解	99
13.2.2	拓展习题讲解	100
13.3	课外练习	103
综合训练二	导数与微分部分	104
第十四课	不定积分(I)	107
14.1	本课重点内容提示	107
14.2	精讲例题与分析	108
14.2.1	基本习题讲解	108
14.2.2	拓展习题讲解	110

14.3	课外练习	113
第十五课	不定积分(II)	115
15.1	本课重点内容提示	115
15.2	精讲例题与分析	116
15.2.1	基本习题讲解	116
15.2.2	拓展习题讲解	119
15.3	课外练习	122
综合训练三	不定积分部分	123
第十六课	定积分的定义及性质	124
16.1	本课重点内容提示	124
16.2	精讲例题与分析	127
16.2.1	基本习题讲解	127
16.2.2	拓展习题讲解	128
16.3	课外练习	131
第十七课	定积分的计算、近似计算	133
17.1	本课重点内容提示	133
17.2	精讲例题与分析	137
17.2.1	基本习题讲解	137
17.2.2	拓展习题讲解	139
17.3	课外练习	147
第十八课	定积分的应用	149
18.1	本课重点内容提示	149
18.2	精讲例题与分析	150
18.2.1	基本习题讲解	150
18.2.2	拓展习题讲解	152
18.3	课外练习	155
综合训练四	定积分部分	157
综合训练五	期末练习	159
附录A	三角函数变换公式	164
附录B	基本导数公式	165

附录C 基本积分公式	166
附录D 基本函数在 $x = 0$ 的Taylor展开公式	167
附录E 课外练习答案与提示	168
E.1 第一课答案	168
E.2 第二课答案	170
E.3 第三课答案	173
E.4 第四课答案	175
E.5 第五课答案	177
E.6 第六课答案	179
E.7 综合训练一答案	181
E.8 第七课答案	182
E.9 第八课答案	185
E.10 第九课答案	187
E.11 第十课答案	187
E.12 第十一课答案	190
E.13 第十二课答案	194
E.14 第十三课答案	197
E.15 综合训练二答案	198
E.16 第十四课答案	201
E.17 第十五课答案	205
E.18 综合训练三答案	209
E.19 第十六课答案	211
E.20 第十七课答案	214
E.21 第十八课答案	220
E.22 综合训练四答案	220
E.23 综合训练五答案	223
参考文献	229

第一课 函数的性质与数列极限的概念

1.1 本课重点内容提示

1. 函数的性质（定义域、值域、奇偶性、增减性、单调性、周期性、反函数等内容）的复习和总结。除了高中所学习的初等函数外，再介绍几个初等函数和几个常用的非初等函数。

(1) 双曲函数（初等函数）

双曲正弦

$$\sinh x = \frac{e^x - e^{-x}}{2}, x \in \mathbb{R}.$$

双曲余弦

$$\cosh x = \frac{e^x + e^{-x}}{2}, x \in \mathbb{R}.$$

双曲正切

$$\tanh x = \frac{\sinh x}{\cosh x} = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}, x \in \mathbb{R}.$$

双曲余切

$$\coth x = \frac{\cosh x}{\sinh x} = \frac{e^x + e^{-x}}{e^x - e^{-x}}, x \neq 0.$$

(2) 几个常用的非初等函数

取整函数

$$y = [x].$$

其函数值为不超过 x 的最大整数。

符号函数

$$y = \operatorname{sgn}(x) = \begin{cases} 1, & x > 0, \\ 0, & x = 0, \\ -1, & x < 0. \end{cases}$$

Dirichlet 函数

$$D(x) = \begin{cases} 1, & x \text{ 为有理数,} \\ 0, & x \text{ 为无理数.} \end{cases}$$

Riemann函数

$$R(x) = \begin{cases} \frac{1}{n}, & \text{若 } x = \frac{m}{n}, \text{ 其中 } m \in \mathbb{Z}, n \in \mathbb{N}, m \text{ 和 } n \text{ 互质,} \\ 0, & \text{若 } x \text{ 为无理数.} \end{cases}$$

2. 充分理解数列的极限的定义, 即 $\lim_{n \rightarrow \infty} x_n = a$ 的分析定义:

$\forall \varepsilon > 0, \exists$ 自然数 N (依赖于 ε), 当 $n > N$ 时, 均有 $|x_n - a| < \varepsilon$.

(1) ε 为任意正数, 是衡量 x_n 与 a 的逼近程度的阈限值. 可以看出, 虽然 ε 为任意正数, 但是只有当 ε 充分小时, 才能刻画 x_n 以 a 为极限的意义.

(2) N 与 ε 有关系, N 有最小值, 但是其选取不唯一.

3. 利用 $\varepsilon - N$ 语言证明数列的极限的存在性, 关键是将 $|x_n - a|$ 适当放大, 找到自然数 N , N 的表达式越简单越好, 没有必要找到的 N 总是满足 $|x_n - a| < \varepsilon$ 的最小的自然数. 例如, 用 $\varepsilon - N$ 语言证明下面数列的极限:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{3n^2 - 8}{5n^2 - 6n + 1} = \frac{3}{5}. \quad (1-1)$$

本题的目的是要从 $|x_n - a| < \varepsilon$ 找到自然数 N , 因此

$$\left| \frac{3n^2 - 8}{5n^2 - 6n + 1} - \frac{3}{5} \right| = \left| \frac{18n - 43}{5(5n^2 - 6n + 1)} \right| \leq \left| \frac{18n}{5n^2 - 6n} \right| \leq \frac{18n}{n^2} = \frac{18}{n} < \varepsilon,$$

从而取 $N = \max \{[18/\varepsilon], 2\}$, 当 $n > N$ 时, 必有

$$\left| \frac{3n^2 - 8}{5n^2 - 6n + 1} - \frac{3}{5} \right| < \varepsilon. \quad (1-2)$$

这里可以看出, 直接从式(1-2)求出的 N 是满足该不等式的最小的自然数, 但是表达式会比较麻烦, 可以将其适当放大, 在放大的过程中应当注意放大的条件, 例如在本题放大的过程中, 使用了 $18n - 43 > 0$ 及 $5n^2 - 6n > 0$ 这两个条件, 只需 $n > 2$ 就可满足, 因此就知道上面的 N 那样取值的原因了. 这样的 N 可能不是最小的, 但是表达式比较简单, 也满足数列的极限的定义的要求.

4. 理解数列 $\{x_n\}$ 不以 a 为极限的分析表述.

存在某个 $\varepsilon_0 > 0$, 对于任意的正整数 N , 总存在一项 $x_n (n > N)$, 使得

$$|x_n - a| \geq \varepsilon_0.$$

5. 数列 $\{x_n\}$ 没有极限、数列 $\{x_n\}$ 无界、数列 $\lim_{n \rightarrow \infty} x_n = +\infty$ 是三

个不同的概念, 其分析定义是不同的, 在学习的过程中应当注意区分.

数列 $\{x_n\}$ 没有极限: 若数列 $\{x_n\}$ 不以任何实数 a 为极限.

数列 $\{x_n\}$ 无界: 对于任何实数 $M > 0$, 均存在 n (依赖于 M), 使得

$$|x_n| > M.$$

数列 $\lim_{n \rightarrow \infty} x_n = +\infty$: 若对于任何实数 $M > 0$, 存在 N (依赖于 M), 当 $n > N$ 时, 都有

$$x_n > M.$$

注 从定义可以看出, 数列 $\lim_{n \rightarrow \infty} x_n = +\infty$ 是数列 $\{x_n\}$ 无界的一种特殊情形.

6. 掌握三个重要极限的证明方法, 并将结论作为求数列极限的基础.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{n} = 1; \quad \lim_{n \rightarrow \infty} q^n = 0, \text{ 其中 } |q| < 1; \quad \lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{a} = 1 \ (a > 0).$$

1.2 精讲例题与分析

1.2.1 基本习题讲解

例 1.1 证明: $y = x - [x]$ 为周期函数, 并求出它的最小正周期.

证明 $[x]$ 表示不超过 x 的最大整数. 设周期为 T , 则:

$$x - [x] = x + T - [x + T],$$

得

$$T = [x + T] - [x].$$

可得到 T 为任意整数, 故最小正周期为 1.

例 1.2 证明: 若 $\lim_{n \rightarrow \infty} x_n = a$, 则

$$\lim_{n \rightarrow \infty} |x_n| = |a|.$$

并举例说明: 若 $\lim_{n \rightarrow \infty} |x_n| = |a|$, 则 $\lim_{n \rightarrow \infty} x_n = a$ 未必成立.

证明 由 $\lim_{n \rightarrow \infty} x_n = a$, 知任意的正数 $\varepsilon > 0$, $\exists$ 自然数 N , 使得对于一切 $n > N$, 恒有

$$|x_n - a| < \varepsilon,$$

又由于

$$||x_n| - |a|| \leq |x_n - a| < \varepsilon,$$