



2003 年 全国硕士研究生入学考试 数学考试参考书

(数学三和数学四适用)

教育部考试中心



高等教育出版社

2003 年全国硕士研究生入学考试

数学考试参考书

(数学三和数学四适用)

教育部考试中心

高等教育出版社

图书在版编目(CIP)数据

2003 年全国硕士研究生入学考试数学考试参考书
/教育部考试中心. —北京:高等教育出版社,2002.7
(数学三和数学四适用)

ISBN 7-04-011246-9

I. 2… II. 教… III. 高等数学-研究生-入学考
试-自学参考资料 IV. 013

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 045944 号

2003 年全国硕士研究生入学考试数学考试参考书(数学三和数学四适用)
教育部考试中心

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-64054588
社 址	北京市东城区沙滩后街 55 号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100009	网 址	http://www.hep.edu.cn
传 真	010-64014048		http://www.hep.com.cn
经 销	新华书店北京发行所		
印 刷	高等教育出版社印刷厂		
开 本	787×1092 1/16	版 次	2002 年 7 月第 1 版
印 张	30	印 次	2002 年 8 月第 2 次印刷
字 数	730 000	定 价	35.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

前 言

全国硕士研究生入学考试是国家选拔硕士研究生的主要途径，在教育类大规模、社会化全国统一考试项目中(不含博士生录用考试)，就考试水准和层次来说，目前是我国最高水平的。我国招收硕士研究生是从1951年开始的，1955年教育部和高教部颁布了全国高等师范学校研究生选拔和考试办法，首次对如何组织命题队伍，如何组织评卷作出了明确规定，这标志着我国已开始正式实施研究生入学考试。1966年“文化大革命”开始后，研究生招生考试暂停，1977年恢复。1980年是我国研究生教育具有里程碑意义的一年，政治理论课和外国语开始实行全国统一考试，《中华人民共和国学位条例》正式颁布，这标志着我国研究生教育进入规范化和制度化的新阶段。自1989年始，研究生入学考试由原国家教委考试中心(现教育部考试中心)统一组织命题，现已十三年了。目前，全国统一考试的科目有政治理论、外语(英语、日语和俄语)，作为工科类和经济类专业基础课的数学，以及医学类专业基础课的中医综合科目和西医综合科目。

硕士研究生入学考试从测量学角度来说，它应是“常模参照”考试，即选拔性考试；命题工作需坚持既有利于为国家选拔高层次的专门人才，又有利于高等学校教学的原则，强调在考查知识的基础上重点考查考生的分析问题和解决实际问题的能力，并且要采用科学的办法，保持考试水平的稳定。

为了进一步总结命题工作的经验，同时也是为了让社会和考生进一步了解“考试大纲”的内容和要求，增加考试的透明度，消除考生对命题的神秘感，缓解考生在考试中的焦虑心理，以有利于考生正常发挥水平，继2001年出版《政治理论考试参考书》以后，今年我们又组织部分多年参加大纲制订和修订的专家编写了这套《数学考试参考书》。

《数学考试参考书》分数学一和数学二适用与数学三和数学四适用两册出版，对考试内容和要求作了进一步的展开，并通过一定量的试题对考试中的难点和重点予以阐释，力求体现研究生数学考试试题的特点。期望能够帮助考生掌握学习中的重点和难点，提高数学水平，在考试中取得更好的成绩。

由于时间和经验不足，难免有疏漏和不足之处，恳请读者指正。

应书增

2002年6月

郑 重 声 明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》。行为人将承担相应的民事责任和行政责任,构成犯罪的,将被依法追究刑事责任。社会各界人士如发现上述侵权行为,希望及时举报,本社将奖励举报有功人员。

现公布举报电话及通讯地址:

电 话:(010) 84043279 13801081108

传 真:(010) 64033424

E-mail:dd@hep.com.cn

地 址:北京市东城区沙滩后街 55 号

邮 编:100009

责任编辑	肖子东
封面设计	王凌波
责任绘图	朱 静
版式设计	史新薇
责任校对	康晓燕
责任印制	韩 刚

目 录

第一部分 微积分

一、函数、极限、连续	1	●考试内容概述	109
●考试内容概述	1	●典型例题	118
●典型例题	9	五、无穷级数(数学四不考)	148
二、一元函数微分学	34	●考试内容概述	148
●考试内容概述	35	●典型例题	154
●典型例题	47	六、常微分方程与差分方程(数学四只考到	
三、一元函数积分学	74	一阶线性微分方程)	189
●考试内容概述	74	●考试内容概述	190
●典型例题	87	●典型例题	196
四、多元函数微积分学	109		

第二部分 线性代数

一、行列式	227	四、线性方程组	292
●考试内容概述	227	●考试内容概述	293
●典型例题	229	●典型例题	295
二、矩阵	241	五、矩阵的特征值和特征向量	317
●考试内容概述	242	●考试内容概述	317
●典型例题	246	●典型例题	320
三、向量	268	六、二次型(数学四不考)	343
●考试内容概述	269	●考试内容概述	344
●典型例题	271	●典型例题	345

第三部分 概率论与数理统计

一、随机事件和概率	366	●典型例题	418
●考试内容概述	366	五、大数定律和中心极限定理(数学四	
●典型例题	371	不考大数定律)	429
二、一维随机变量及其概率分布	382	●考试内容概述	429
●考试内容概述	382	●典型例题	431
●典型例题	387	六、数理统计的基本概念(数学四不考)	438
三、随机变量的联合概率分布	398	●考试内容概述	438
●考试内容概述	398	●典型例题	441
●典型例题	403	七、参数估计(数学四不考)	448
四、随机变量的数字特征	415	●考试内容概述	448
●考试内容概述	416	●典型例题	451

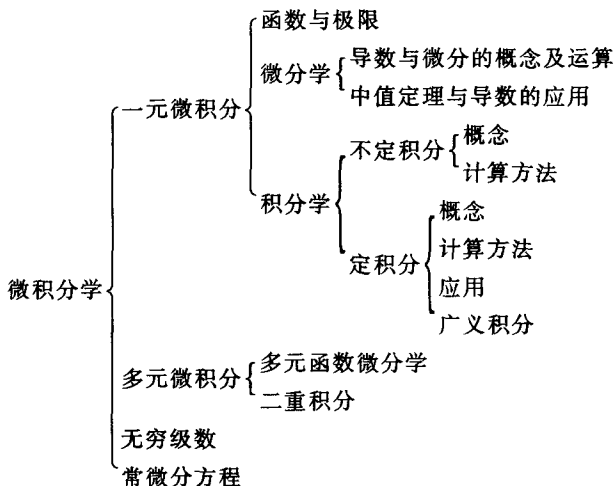
八、假设检验(数学四不考)	458	●典型例题.....	462
●考试内容概述.....	458		

附录 概率论与数理统计数值表

附表 1 标准正态分布函数 $\Phi(x)$	469	附表 3 χ^2 分布上侧分位数 $\chi^2_{\alpha, \nu}$	471
附表 2 t 分布双侧分位数 $t_{\alpha, \nu}$	470	附表 4 F 分布上侧分位数 $F_{\alpha}(f_1, f_2)$	472

第一部分 微 积 分

在实数范围内，用极限的方法研究函数的数学分支称为微积分，其主要内容：



一、函数、极限、连续

函数、极限、连续是微积分学中三个基本概念，是微积分学的基础。这里数学三与数学四的考试内容及考试要求是一样的。具体是：

1. 理解函数概念，掌握函数的表示法。
2. 了解函数的有界性、单调性、周期性和奇偶性。
3. 理解复合函数、反函数、隐函数和分段函数的概念。
4. 掌握基本初等函数的性质及其图形，理解初等函数的概念。
5. 会建立简单应用问题中的函数关系。
6. 了解数列极限和函数极限(包括左极限与右极限)的概念。
7. 理解无穷小的概念和基本性质，掌握无穷小的比较方法。了解无穷大的概念及其与无穷小的关系。
8. 了解极限的性质与极限存在的两个准则，掌握极限四则运算法则，会应用两个重要极限。
9. 理解函数连续性的概念(含左连续与右连续)，会判别函数间断点的类型。
10. 了解连续函数的性质和初等函数的连续性，了解闭区间上连续函数的性质(有界性、最大值和最小值定理、介值定理)及其简单应用。

●考试内容概述●

(一) 函数

1. 函数概念

设 x 与 y 是两个变量。如果变量 x 在某一范围中任取一个数值时，变量 y 按照一定的规

则总有一个确定的值和这个 x 值相对应, 则称 y 是 x 的函数, 记作 $y=f(x)$, 其中 x 叫做自变量, y 叫做因变量, f 表示由 x 确定 y 值的对应规则. 这时也说变量 x 与 y 有函数关系. x 的取值范围叫函数的定义域, y 的取值范围叫函数的值域.

函数概念反映的是变量 x 与变量 y 之间的依赖关系. 它由定义域 $D(f)$ 和对应法则 f 两个要素所决定. 即定义域 $D(f)$ 与对应法则 f 给定了, 一个函数就完全确定了. 它与自变量及因变量用什么符号表示无关.

函数的表示法是多种多样的. 最常用的有三种: 公式(解析)法、表格(列表)法、图示(图像)法. 在函数概念中, 下面三个问题必须清楚.

(1) 会求函数的定义域 如果函数用公式法给出, 没有赋予实际意义, 其定义域通常称为自然定义域. 就是使函数表达式有意义的自变量的全体. 利用等量关系建立起的实际问题的函数关系, 其定义域要由问题的实际意义来确定.

自然定义域的求法:

1) 若 $y = \sqrt[n]{u(x)}$, 其中 n 为自然数, 则 $D(f) = \{x | u(x) \geq 0, x \in \mathbf{R}\}$.

2) 若 $y = \frac{1}{u(x)}$, 则 $D(f) = \{x | u(x) \neq 0, x \in \mathbf{R}\}$.

3) 若 $y = \log_a u(x)$, 其中 $a > 0, a \neq 1$, 则 $D(f) = \{x | u(x) > 0, x \in \mathbf{R}\}$.

4) 若 $y = \arcsin u(x)$ 或 $\arccos u(x)$, 则 $D(f) = \{x | -1 \leq u(x) \leq 1, x \in \mathbf{R}\}$.

5) 函数的和、差、积的定义域是每个函数定义域的交集. 对于商, 由于 $\frac{u(x)}{v(x)} = u(x) \cdot \frac{1}{v(x)}$, 可以按积来处理.

6) 分段函数的定义域是各个“分段”函数定义域的并集.

(2) 会求一点的函数值 函数 $y=f(x)$ 在点 x_0 处的值记为 $f(x_0)$ 或 $y|_{x=x_0}$, 即用 x_0 代替 x 得 $f(x_0)$. 此处 x_0 可以是某个实数, 也可以是一个代数式.

(3) 会判断两个函数是否为同一个函数 断言两函数相同, 必须从定义域与对应法则两方面入手. 只有两个函数的定义域相同且对应法则也相同时, 两函数才相同. 否则, 两函数不是同一个函数.

2. 函数的基本性质

(1) 单调性 设函数 $y=f(x)$ 在某区间 I 内有定义, 任取 $x_1, x_2 \in I$, 且 $x_1 < x_2$. 若恒有 $f(x_1) < f(x_2)$, 则称 $f(x)$ 在 I 内单调增加; 若恒有 $f(x_1) > f(x_2)$, 则称 $f(x)$ 在 I 内单调减少; 单调增加与单调减少, 统称单调.

【判断函数单调的方法】 通常是利用导数判断, 而在学习微积分之前, 可按下法进行: 任取 $x_1, x_2 \in I$, 设 $x_1 < x_2$, 将 $f(x_2) - f(x_1)$ 与零比较; 若函数恒正(负), 可将 $\frac{f(x_2)}{f(x_1)}$ 与 1 比较.

(2) 奇偶性 设函数 $f(x)$ 在实数集 D 上有定义. 且 D 关于原点对称. 若任取 $x \in D$, 恒有 $f(-x) = -f(x)$, 则称 $f(x)$ 为奇函数; 若任取 $x \in D$, 恒有 $f(-x) = f(x)$, 则称 $f(x)$ 为偶函数.

● 【判断奇偶性的方法】

1) 若 $f(x)$ 的定义域不对称于原点, 则 $f(x)$ 必非奇非偶.

2) 若 $f(x)$ 的定义域对称于原点时, 计算 $f(-x)$, 并将 $f(-x)$ 与 $f(x)$ 及 $-f(x)$ 进行比较, 再依据定义.

3) 利用下述结果: 设 $f(x), g(x)$ 都定义在 $(-a, a)$ 内, 那么, 若 $f(x), g(x)$ 都是偶函数, 则 $f(x) \pm g(x), f(x) \cdot g(x)$ 也是偶函数; 若 $f(x), g(x)$ 都是奇函数, 则 $f(x) \pm g(x)$ 为奇函数, 而 $f(x) \cdot g(x)$ 为偶函数; 若 $f(x)$ 为奇(偶)函数, $g(x)$ 为偶(奇)函数, 则 $f(x) \cdot g(x)$ 为奇函数.

(3) 周期性 设函数 $f(x)$ 在集合 D 上有定义, 如果存在常数 $T > 0$, 使对任意的 $x \in D$, 有 $x + T \in D$, 且恒有 $f(x + T) = f(x)$ 成立, 则称 $f(x)$ 为周期函数. 满足上式的最小正常数 T_0 , 称为 $f(x)$ 的周期.

(4) 有界性 设函数 $f(x)$ 在集合 D 上有定义, 若存在常数 $M > 0$, 使对任意的 $x \in D$, 恒有 $|f(x)| \leq M$, 则称函数 $f(x)$ 在集合 D 上有界. 否则称 $f(x)$ 在 D 上无界. 若存在常数 $M(m)$, 使对任意的 $x \in D$, 恒有 $f(x) \leq M (f(x) \geq m)$, 则称 $f(x)$ 在 D 上有上(下)界.

显然, 有界函数必有上界和下界; 反之, 既有上界又有下界的函数必有界.

注 一个函数是否有界, 不仅与函数表达式有关, 而且与给定集合 D 有关. 例如, 函数 $y = \frac{1}{x}$ 在 $(0, 1)$ 内无界, 但在 $(1, +\infty)$ 内却有界.

3. 反函数

设函数 $y = f(x)$ 的定义域为 $D(f)$, 值域为 $Z(f)$, 如果对每一个 $y \in Z(f)$, 都有唯一确定的 $x \in D(f)$ 与之对应且满足 $y = f(x)$, 则 x 是定义在 $Z(f)$ 上以 y 为自变量的函数, 记此函数为 $x = f^{-1}(y)$, $y \in Z(f)$, 并称其为函数 $y = f(x)$ 的反函数.

显见, $x = f^{-1}(y)$ 与 $y = f(x)$ 互为反函数, 且 $x = f^{-1}(y)$ 的定义域和值域分别是 $y = f(x)$ 的值域和定义域.

注 在 $x = f^{-1}(y)$ 中 y 为自变量, x 为因变量. 习惯上, 常用 x 做自变量, y 做因变量. 因此, $y = f(x)$ 的反函数 $x = f^{-1}(y)$ 通常记为 $y = f^{-1}(x)$, $x \in Z(f)$.

在同一直角坐标系中, $y = f(x)$ 的图形与 $y = f^{-1}(x)$ 的图形关于直线 $y = x$ 对称.

【反函数的求法】 将函数 $y = f(x)$ 中的 x 作为未知量, 解关于 x 的方程得 $x = f^{-1}(y)$, 再将字母 x 与 y 互换, 得反函数 $y = f^{-1}(x)$.

4. 复合函数

设函数 $y = f(u)$, 其定义域为 $D(f)$. 函数 $u = \varphi(x)$, 其值域为 $Z(\varphi)$. 若 $D(f) \cap Z(\varphi) \neq \emptyset$ (空集), 则称 $y = f(\varphi(x))$ 为 $y = f(u)$ 与 $u = \varphi(x)$ 复合而成的复合函数, 其中 x 称为自变量, y 称为因变量, u 称为中间变量.

注 不是任何两个函数都能复合成函数, 这里必须满足条件 $D(f) \cap Z(\varphi) \neq \emptyset$. 读者应:

1° 会把已给的两个函数复合成复合函数; 由定义可知, 其作法与求一点函数值是一致的.

2° 会把复合函数拆成简单函数. 其方法是: 由内向外或由外向内, 层层分解.

5. 隐函数、分段函数

若由方程 $F(x, y) = 0$, 能够确定 y 为 x 的函数, 则称如此确定的函数 $y = f(x)$ 为隐函数. 对隐函数存在性问题这里不作具体要求; 在承认隐函数存在的前提下, 会求解隐函数的有关问

题即可.

在定义域内各个互不相交的子集(多为子区间)上, 分别用不同的解析表达式表示的函数, 称为**分段函数**.

注 分段函数在其整个定义域上表示的是一个函数, 而不是几个函数.

6. 基本初等函数的性质及图像

很多困难其实都来源于基本初等函数不熟悉. 基本初等函数指的是:

(1) 常数函数: $y = f(x) = C$, 其中 C 为常数.

(2) 幂函数: $y = f(x) = x^a$, 其中 a 为常数.

(3) 指数函数: $y = f(x) = a^x$, 其中底数 a 为大于零且不等于 1 的常数. 特别地, $y = f(x) = e^x$, 其中 $e = 2.718\ 28\cdots$.

(4) 对数函数: $y = f(x) = \log_a x$, 其中底数 a 为大于零且不等于 1 的常数. 特别地, $y = f(x) = \ln x$ 底为 e , 称为**自然对数**.

(5) 三角函数: 正弦函数($\sin x$), 余弦函数($\cos x$), 正切函数($\tan x$), 余切函数($\cot x$), 正割函数($\sec x$), 余割函数($\csc x$).

(6) 反三角函数: 反正弦函数($\arcsin x$), 反余弦函数($\arccos x$), 反正切函数($\arctan x$), 反余切函数($\operatorname{arccot} x$).

7. 初等函数

由基本初等函数经过有限次四则运算和有限次复合, 并且在定义域内具有统一的解析表达式, 这样的函数统称为**初等函数**.

特别地, 幂指函数 $[f(x)]^{g(x)}$ (其中 $f(x)$ 与 $g(x)$ 为初等函数, 且 $f(x) > 0$), 由于

$$[f(x)]^{g(x)} = e^{g(x)\ln f(x)}$$

也是初等函数.

初等函数是微积分学研究的主要对象. 一般地, 分段函数虽不是初等函数. 但在各段上, 因为表达式单一, 可按初等函数处理.

(二) 极限

1. 数列的极限

无穷多个数按一定顺序排成一列: $u_1, u_2, \cdots, u_n, \cdots$, 称为**数列**. 记为数列 $\{u_n\}$, 其中 u_n 称为数列的**一般项**或**通项**.

设有数列 $\{u_n\}$ 和常数 A . 若对任意给定的 $\varepsilon > 0$, 总存在自然数 $N = N(\varepsilon)$, 当 $n > N$ 时, 恒有

$$|u_n - A| < \varepsilon,$$

则称常数 A 为数列 $\{u_n\}$ 的**极限**, 或称数列 $\{u_n\}$ **收敛于 A** , 记为

$$\lim_{n \rightarrow \infty} u_n = A \quad \text{或} \quad u_n \rightarrow A \quad (n \rightarrow \infty).$$

没有极限的数列称为**发散数列**.

2. 函数的极限

设有函数 $f(x)$ 和常数 A .

(1) 若对任意给定的 $\varepsilon > 0$, 总存在 $\delta = \delta(\varepsilon, x_0) > 0$, 当 $0 < |x - x_0| < \delta$ 时, 恒有

$$|f(x) - A| < \varepsilon,$$

则称常数 A 为 $x \rightarrow x_0$ 时函数 $f(x)$ 的极限. 记为

$$\lim_{x \rightarrow x_0} f(x) = A \text{ 或 } f(x) \rightarrow A (x \rightarrow x_0).$$

(2) 若对任意给定的 $\varepsilon > 0$, 总存在 $\delta = \delta(\varepsilon, x_0) > 0$, 当 $0 < x_0 - x < \delta$ (或 $0 < x - x_0 < \delta$) 时, 恒有 $|f(x) - A| < \varepsilon$, 则称常数 A 为 $x \rightarrow x_0$ 时函数 $f(x)$ 的左极限(或右极限), 分别记为

$$f(x_0 - 0) = \lim_{x \rightarrow x_0^-} f(x) = A \text{ (左极限);}$$

$$f(x_0 + 0) = \lim_{x \rightarrow x_0^+} f(x) = A \text{ (右极限).}$$

定理 1.1.1 函数极限 $\lim_{x \rightarrow x_0} f(x)$ 存在且等于 A 的充分必要条件是, 左极限 $\lim_{x \rightarrow x_0^-} f(x)$ 与右极限 $\lim_{x \rightarrow x_0^+} f(x)$ 都存在, 并且都等于 A , 即

$$\lim_{x \rightarrow x_0} f(x) = A \iff \lim_{x \rightarrow x_0^-} f(x) = A = \lim_{x \rightarrow x_0^+} f(x) = A.$$

(3) 若对任意给定的 $\varepsilon > 0$, 总存在 $M = M(\varepsilon) > 0$, 当 $|x| > M$ 时, 恒有 $|f(x) - A| < \varepsilon$, 则称常数 A 为 $x \rightarrow \infty$ 时函数 $f(x)$ 的极限. 记为

$$\lim_{x \rightarrow \infty} f(x) = A \text{ 或 } f(x) \rightarrow A (x \rightarrow \infty).$$

若对任意给定的 $\varepsilon > 0$, 总存在 $M = M(\varepsilon) > 0$, 当 $x > M$ (或 $x < -M$) 时, 恒有 $|f(x) - A| < \varepsilon$, 则称常数 A 为 $x \rightarrow +\infty$ (或 $x \rightarrow -\infty$) 时函数 $f(x)$ 的极限. 记为

$$\begin{aligned} \lim_{x \rightarrow +\infty} f(x) = A \text{ 或 } f(x) \rightarrow A (x \rightarrow +\infty) \\ (\lim_{x \rightarrow -\infty} f(x) = A \text{ 或 } f(x) \rightarrow A (x \rightarrow -\infty)). \end{aligned}$$

定理 1.1.2 函数极限 $\lim_{x \rightarrow \infty} f(x)$ 存在且等于 A 的充分必要条件是, 极限 $\lim_{x \rightarrow +\infty} f(x)$ 与 $\lim_{x \rightarrow -\infty} f(x)$ 都存在且都等于 A , 即

$$\lim_{x \rightarrow \infty} f(x) = A \iff \lim_{x \rightarrow +\infty} f(x) = \lim_{x \rightarrow -\infty} f(x) = A$$

3. 无穷小量(无穷小)

以零为极限的变量, 称为无穷小.

定理 1.1.3 $\lim u = A \iff u = A + \alpha$, 其中 α 是无穷小.

(1) 无穷小的性质

- 1) 有限个无穷小的和或差仍为无穷小.
- 2) 有限个无穷小之积仍为无穷小.
- 3) 无穷小与有界变量之积仍为无穷小.
- 4) 无穷小除以极限不为零的变量, 其商仍为无穷小.

(2) 无穷小的比较 设 α 与 β 是同一过程下的两个无穷小, 即 $\lim \alpha = 0$, $\lim \beta = 0$.

若 $\lim \frac{\alpha}{\beta} = 0$, 则称 α 是比 β 高阶的无穷小;

若 $\lim \frac{\alpha}{\beta} = \infty$, 则称 α 是比 β 低阶的无穷小;

若 $\lim \frac{\alpha}{\beta} = C$ (C 为常数, 且 $C \neq 0, 1$), 则称 α 与 β 是同阶无穷小;

若 $\lim \frac{\alpha}{\beta} = 1$, 则称 α 与 β 是等价无穷小. 记为 $\alpha \sim \beta$. 等价无穷小可用来简化求极限的过

程.

4. 无穷大量(无穷大)

若对任意给定的 $E > 0$, 在变量 u 的变化过程中, 总存在那么一个时刻, 在该时刻后, 恒有 $|u| > E$, 则称变量 u 为此过程下的无穷大量(无穷大), 记为

$$\lim u = \infty \quad \text{或} \quad u \rightarrow \infty.$$

特别地, 在变量 u 的变化过程中, 若能变得保持正(负)值且为无穷大, 则称 u 为正(负)无穷大, 此时只需把 $|u| > E$ 改为 $u > E$ ($u < -E$), 并记为

$$\lim u = +\infty \quad (\lim u = -\infty).$$

【无穷大与无穷小的关系】

1) 若 $\lim u = \infty$, 则 $\lim \frac{1}{u} = 0$;

2) 若 $\lim u = 0$, 且 $u \neq 0$, 则 $\lim \frac{1}{u} = \infty$.

5. 极限的性质

(1) 唯一性 若极限 $\lim u$ 存在, 则极限值是唯一的.

(2) 局部有界性 若极限 $\lim_{x \rightarrow x_0} f(x)$ 存在, 则函数 $f(x)$ 在点 x_0 的某空心邻域内有界.

(3) 局部保号性 若极限 $\lim_{x \rightarrow x_0} f(x) = A > 0$ (或 < 0), 则在点 x_0 的某空心邻域内, 恒有 $f(x) > 0$ (或 $f(x) < 0$).

(4) 若 $\lim_{x \rightarrow x_0} f(x) = A$, 且在 x_0 的某空心邻域内恒有 $f(x) \geq 0$ (或 $f(x) \leq 0$), 则 $A \geq 0$ (或 $A \leq 0$).

注 即便 $f(x) > 0$ (< 0), 也可能有 $A = 0$.

(5) 若 $\lim_{x \rightarrow x_0} f(x) = A$, $\lim_{x \rightarrow x_0} g(x) = B$, 且在 x_0 的某空心邻域内恒有 $f(x) \geq g(x)$, 则 $A \geq B$.

6. 极限的四则运算法则

设在同一过程下, $\lim u = A$, $\lim v = B$, 则在该过程下

(1) $\lim (u + v) = \lim u + \lim v = A + B$.

(2) $\lim (u - v) = \lim u - \lim v = A - B$.

(3) $\lim (uv) = \lim u \cdot \lim v = A \cdot B$.

特别地,

$$\lim (Cu) = C \lim u = CA,$$

$$\lim (u^n) = (\lim u)^n = A^n,$$

其中 C 为常数, n 为自然数.

(4) $\lim \frac{u}{v} = \frac{\lim u}{\lim v} = \frac{A}{B}$, $B \neq 0$.

7. 极限存在准则

(1) 定理 1.1.4 (夹逼定理) 设在 x_0 的某空心邻域内恒有 $g(x) \leq f(x) \leq h(x)$, 且有

$$\lim_{x \rightarrow x_0} g(x) = \lim_{x \rightarrow x_0} h(x) = A,$$

则极限 $\lim_{x \rightarrow x_0} f(x)$ 存在, 且等于 A .

注 对其他极限过程及数列极限, 有类似结论.

(2) 定理 1.1.5 单调有界数列必有极限.

8. 两个重要极限

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin x}{x} = 1; \quad \lim_{x \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{1}{x}\right)^x = e.$$

这两个极限重要的理由是: 没有这两个极限, 微分学就过不了关. 例如, 没有 $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin x}{x} = 1$, 正弦的导数就推导不出来. 两个极限的用法是:

对 “ $\frac{0}{0}$ ” 型不定式, 且函数中含有三角函数或反三角函数, 应当联想到 $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin x}{x} = 1$, 其用法是 $\lim_{\alpha(x) \rightarrow 0} \frac{\sin \alpha(x)}{\alpha(x)} = 1$. 只要在给定过程下, $\alpha(x) \rightarrow 0$ 即可. 例如

$$\begin{aligned} \lim_{x \rightarrow 1} \frac{\sin \sin(x^2 - 1)}{x - 1} &= \lim_{x \rightarrow 1} \left[\frac{\sin \sin(x^2 - 1)}{\sin(x^2 - 1)} \cdot \frac{\sin(x^2 - 1)}{x^2 - 1} \cdot (x + 1) \right] \\ &= 1 \cdot 1 \cdot 2 = 2. \end{aligned}$$

若遇到 “ 1^∞ ” 型不定式 $\lim f^g$, 应想到 $\lim \left(1 + \frac{1}{x}\right)^x = e$, 其用法是, 凑成形式 $\lim_{\alpha(x) \rightarrow 0} [1 + \frac{1}{\alpha(x)}]^{\frac{1}{\alpha(x)}} = e$, 只要在给定过程下, $\alpha(x) \rightarrow 0$ 即可.

$$\lim f^g = \lim \left\{ \left[1 + (f - 1) \right]^{\frac{1}{f - 1}} \right\}^{(f - 1)g}$$

若 $\lim (f - 1)g = A$ (常数), 则 $\lim f^g = e^A$;

若 $\lim (f - 1)g = -\infty$, 则 $\lim f^g = 0$;

若 $\lim (f - 1)g = +\infty$, 则 $\lim f^g = +\infty$.

例如, 研究极限 $\lim_{x \rightarrow 0} (1 + x)^{\frac{1}{x}}$, 因为

$$\begin{aligned} \lim_{x \rightarrow 0^+} (1 + x)^{\frac{1}{x}} &= \lim_{x \rightarrow 0^+} \left[(1 + x)^{\frac{1}{x}} \right]^{\frac{1}{x}} = +\infty, \\ \lim_{x \rightarrow 0^-} (1 + x)^{\frac{1}{x}} &= \lim_{x \rightarrow 0^-} \left[(1 + x)^{\frac{1}{x}} \right]^{\frac{1}{x}} = 0, \end{aligned}$$

所以

$$\lim_{x \rightarrow 0} (1 + x)^{\frac{1}{x}}$$

不存在.

(三) 函数的连续性

1. 函数连续的概念

设函数 $f(x)$ 在点 x_0 的某邻域内有定义, 若

$$\lim_{x \rightarrow x_0} f(x) = f(x_0),$$

则称函数 $f(x)$ 在点 x_0 处连续, 并称 x_0 为连续点.

若函数 $f(x)$ 在点 x_0 的某左(右)邻域内有定义, 并且

$$\lim_{x \rightarrow x_0^-} f(x) = f(x_0), \quad (\lim_{x \rightarrow x_0^+} f(x) = f(x_0))$$

则称函数 $f(x)$ 在点 x_0 处左(右)连续.

显然, 函数 $f(x)$ 在点 x_0 处连续的充要条件是 $f(x)$ 在 x_0 点既左连续又右连续.

连续的概念是逐点概念, 连续的本质是函数符号与极限符号可以互相交换.

函数 $f(x)$ 在开区间 (a, b) 内连续, 是指在 (a, b) 内每点都连续; 在闭区间 $[a, b]$ 上连续, 是指在开区间 (a, b) 内连续, 并且在左端点 a 处右连续, 在右端点 b 处左连续.

使函数 $f(x)$ 连续的区间, 称为 $f(x)$ 的连续区间.

2. 函数的间断点及其分类

函数不连续的点叫函数的间断点, 即在点 x_0 处有下列三种情况之一出现:

(1) 在点 x_0 附近函数 $f(x)$ 有定义, 但在点 x_0 无定义;

(2) $\lim_{x \rightarrow x_0} f(x)$ 不存在;

(3) $f(x_0)$ 与 $\lim_{x \rightarrow x_0} f(x)$ 都存在, 但 $\lim_{x \rightarrow x_0} f(x) \neq f(x_0)$.

则称 $f(x)$ 在点 x_0 处不连续, 或称 x_0 为函数 $f(x)$ 的间断点.

设 x_0 为函数 $f(x)$ 的间断点, 间断点的分类是以 x_0 点的左、右极限来划分的.

若 $\lim_{x \rightarrow x_0^-} f(x)$ 与 $\lim_{x \rightarrow x_0^+} f(x)$ 都存在, 则称 x_0 为第一类间断点:

(1) 若 $\lim_{x \rightarrow x_0^-} f(x) \neq \lim_{x \rightarrow x_0^+} f(x)$, 则称 x_0 为跳跃型间断点, 并称 $f(x_0 + 0) - f(x_0 - 0)$ 为 x_0 点的跃度;

(2) 若 $\lim_{x \rightarrow x_0} f(x)$ 存在(即 $\lim_{x \rightarrow x_0^-} f(x) = \lim_{x \rightarrow x_0^+} f(x)$), 则称 x_0 为可去间断点. 此时, 当 $f(x)$ 在 x_0 无定义时, 可以补充定义 $f(x_0) = \lim_{x \rightarrow x_0} f(x)$, 则 $f(x)$ 在 x_0 连续; 当 $f(x_0)$ 存在, 但 $\lim_{x \rightarrow x_0} f(x) \neq f(x_0)$ 时, 可以改变 $f(x)$ 在 x_0 的定义, 定义极限值为该点函数值, 则 $f(x)$ 在 x_0 连续.

若 $\lim_{x \rightarrow x_0^-} f(x)$ 与 $\lim_{x \rightarrow x_0^+} f(x)$ 中至少有一个不存在, 则称 x_0 为第二类间断点, 其中若 $\lim_{x \rightarrow x_0^-} f(x)$ 与 $\lim_{x \rightarrow x_0^+} f(x)$ 中至少有一个为无穷大, 则称 x_0 为无穷型间断点; 否则称 x_0 为摆动型间断点.

3. 连续函数的性质

(1) 若函数 $f(x)$ 与 $g(x)$ 都在点 x_0 处连续, 则函数 $f(x) \pm g(x)$, $f(x) \cdot g(x)$, $\frac{f(x)}{g(x)}$ ($g(x_0) \neq 0$) 在点 x_0 处也连续.

(2) 若函数 $u = \varphi(x)$ 在点 x_0 处连续, $\varphi(x_0) = u_0$, 函数 $y = f(u)$ 在点 u_0 处连续, 则复合函数 $y = f(\varphi(x))$ 在点 x_0 处连续.

(3) 单调连续函数的反函数, 必单调连续.

(4) 基本初等函数在各自的定义域内连续.

(5) 初等函数在其定义区间内连续.

对分段函数的连续性的讨论, 利用初等函数的连续性, 分段说明各分段子区间内的连续性; 再依据连续的定义, 讨论分段函数分界点处的连续性.

4. 闭区间上连续函数的性质

定理 1.1.6 (有界性定理) 闭区间 $[a, b]$ 上的连续函数 $f(x)$ 必在 $[a, b]$ 上有界.

定理 1.1.7 (最大(小)值定理) 闭区间 $[a, b]$ 上的连续函数 $f(x)$, 必在 $[a, b]$ 上有最大值和最小值, 即在 $[a, b]$ 上, 至少存在两点 ξ_1 与 ξ_2 , 使得对 $[a, b]$ 上的一切 x , 恒有

$$f(\xi_1) \leq f(x) \leq f(\xi_2).$$

此处 $f(\xi_1)$ 与 $f(\xi_2)$ 就是 $f(x)$ 在 $[a, b]$ 上的最小值与最大值.

定理 1.1.8 (介值定理) 设函数 $f(x)$ 在闭区间 $[a, b]$ 上连续, m 与 M 分别为 $f(x)$ 在 $[a, b]$ 上的最小值与最大值, 则对于任一实数 c ($m < c < M$), 至少存在一点 $\eta \in (a, b)$, 使 $f(\eta) = c$.

推论(根的存在定理) 若 $f(x)$ 在闭区间 $[a, b]$ 上连续, 且 $f(a) \cdot f(b) < 0$, 则至少存在一点 $\xi \in (a, b)$, 使 $f(\xi) = 0$.

● 典型例题 ●

【填空题】

主要用来考查考生对数学基本概念、基本性质、重要定理、重要公式、重要的数学方法的记忆、理解和掌握程度.

例 1.1.1 极限 $\lim_{n \rightarrow \infty} (\sqrt{n+3\sqrt{n}} - \sqrt{n-\sqrt{n}}) = \underline{\quad 2 \quad}.$

$$\begin{aligned} \text{解} \quad & \lim_{n \rightarrow \infty} (\sqrt{n+3\sqrt{n}} - \sqrt{n-\sqrt{n}}) \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{4\sqrt{n}}{\sqrt{n+3\sqrt{n}} + \sqrt{n-\sqrt{n}}} \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{4}{\sqrt{1+3/\sqrt{n}} + \sqrt{1-1/\sqrt{n}}} = 2. \end{aligned}$$

例 1.1.2 设函数 $f(x)$ 有连续的导函数, $f(0) = 0$, 且 $f'(0) = b$, 若函数

$$F(x) = \begin{cases} \frac{f(x) + a \sin x}{x}, & x \neq 0, \\ A, & x = 0 \end{cases}$$

在 $x = 0$ 处连续, 则常数 $A = \underline{a + b}.$

$$\begin{aligned} \text{解} \quad & \lim_{x \rightarrow 0} F(x) = \lim_{x \rightarrow 0} \left[\frac{f(x) - f(0)}{x - 0} + \frac{a \sin x}{x} \right] \\ &= f'(0) + a \\ &= a + b = A. \end{aligned}$$

例 1.1.3 已知 $f(x) = \sin x$, $f[\varphi(x)] = 1 - x^2$, 则 $\varphi(x) = \underline{\arcsin(1 - x^2)}$ 的定义域为 $[-\sqrt{2}, \sqrt{2}]$.

解 由题设, $f(\varphi(x)) = \sin \varphi(x) = 1 - x^2$, 得 $\varphi(x) = \arcsin(1 - x^2)$.

由 $-1 \leq 1 - x^2 \leq 1$, 得 $\varphi(x)$ 的定义域 $[-\sqrt{2}, \sqrt{2}]$.

例 1.1.4 $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{3x^2 + 5}{5x + 3} \sin \frac{2}{x} = \underline{\frac{6}{5}}.$

解 当 $x \rightarrow \infty$ 时, $\sin \frac{2}{x} \sim \frac{2}{x}$.

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{3x^2 + 5}{5x + 3} \sin \frac{2}{x} = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{3x^2 + 5}{5x + 3} \cdot \frac{2}{x} = \frac{6}{5}.$$

本题有多种解法, 最好的是等价代换.

$$\text{例 1.1.5} \quad \lim_{n \rightarrow \infty} [\sqrt{1+2+\cdots+n} - \sqrt{1+2+\cdots+(n-1)}] = \frac{\sqrt{2}}{2}.$$

解 由 $1+2+\cdots+n = \frac{n(n+1)}{2}$, 有

$$\begin{aligned} & \lim_{n \rightarrow \infty} [\sqrt{1+2+\cdots+n} - \sqrt{1+2+\cdots+(n-1)}] \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \left[\sqrt{\frac{n(n+1)}{2}} - \sqrt{\frac{n(n-1)}{2}} \right] \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\frac{n^2+n}{2} - \frac{n^2-n}{2}}{\sqrt{\frac{n(n+1)}{2}} + \sqrt{\frac{n(n-1)}{2}}} \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n}{\sqrt{\frac{n(n+1)}{2}} + \sqrt{\frac{n(n-1)}{2}}} \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{2}\left(1+\frac{1}{n}\right)} + \sqrt{\frac{1}{2}\left(1-\frac{1}{n}\right)}} \\ &= \frac{\sqrt{2}}{2}. \end{aligned}$$

例 1.1.6 设函数 $f(x) = a^x$ ($a > 0, a \neq 1$), 则

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n^2} \ln [f(1)f(2)\cdots f(n)] = \frac{1}{2} \ln a.$$

解 $\ln [f(1)f(2)\cdots f(n)] = \ln a^{\frac{n(n+1)}{2}} = \frac{n(n+1)}{2} \ln a,$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n^2} \ln [f(1)f(2)\cdots f(n)] = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n(n+1)}{2n^2} \ln a = \frac{1}{2} \ln a.$$

例 1.1.7 若 $a > 0, b > 0$ 均为常数, 则 $\lim_{x \rightarrow 0} \left(\frac{a^x + b^x}{2} \right)^{\frac{3}{x}} = (ab)^{\frac{3}{2}}.$

解 由 $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{a^x - 1}{x} = \ln a$, 有

$$\begin{aligned} \lim_{x \rightarrow 0} \left(\frac{a^x + b^x}{2} \right)^{\frac{3}{x}} &= \lim_{x \rightarrow 0} \left[\left(1 + \frac{a^x + b^x - 2}{2} \right)^{\frac{2}{a^x + b^x - 2}} \right]^{\frac{3(a^x + b^x - 2)}{2x}} \\ &= e^{\frac{3}{2}(\ln a + \ln b)} \\ &= (ab)^{\frac{3}{2}}. \end{aligned}$$

例 1.1.8 设函数

$$f(x) = \begin{cases} a + bx^2, & x \leq 0, \\ \frac{\sin bx}{x}, & x > 0 \end{cases}$$