

读考研书 找人大社



# 2009 年考研 数学

## 经典讲义 (经济类)

主编 黄先开 曹显兵  
简怀玉 刘喜波

● 一线名师授课底本 ● 经典讲解全新奉上

全面解析大纲考试内容与考试要求，清晰明确，一目了然  
总结重要公式与结论，帮助考生常记不忘  
归纳典型题型讲解内容，例题分析、详解、评注环环相扣  
每讲配精编习题，有针对性地演练、温习

 中国人民大学出版社



# 2009 年考研数学 经典讲义(经济类)

► 主 编 黄先开 曹显兵  
简怀玉 刘喜波

正版  
查询  
及服  
务程  
序



← 刮 开 涂 层



← 获 取 20 位 数 字 编 码



← 上 [www.1kao.net](http://www.1kao.net) 注 册



← 登 录 增 值 服 务 进 免 费 课 堂

# 2009

## 图书在版编目(CIP)数据

2009 年考研数学经典讲义·经济类/黄先开等主编. 3 版

北京:中国人民大学出版社,2008

ISBN 978-7-300-07535-8

I. 2...

II. 黄...

III. 高等数学-研究生-入学考试-自学参考资料

IV. O13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 010983 号

## 2009 年考研数学经典讲义(经济类)

主 编 黄先开 曹显兵 简怀玉 刘喜波

---

出版发行 中国人民大学出版社

社 址 北京中关村大街 31 号

邮政编码 100080

电 话 010-62511242(总编室)

010-62511398(质管部)

010-82501766(邮购部)

010-62514148(门市部)

010-62515195(发行公司)

010-62515275(盗版举报)

网 址 <http://www.crup.com.cn>

<http://www.lkao.net> (中国 1 考网)

经 销 新华书店

印 刷 北京鑫霸印务有限公司

规 格 210mm×285mm 16 开本

版 次 2006 年 7 月第 1 版

2008 年 2 月第 3 版

印 张 38.75

印 次 2008 年 2 月第 1 次印刷

字 数 1 153 000

定 价 52.00 元

---

版权所有 侵权必究 印装差错 负责调换



# 前言

本书是作者根据最新全国硕士研究生入学统一考试数学考试大纲编著的一本系统复习考研数学的参考书。它是以作者多年考研辅导讲稿为基础,结合作者对历年考题、命题趋势的研究以及数学的内在规律倾心编写而成的,目的是帮助广大考生在较短时间内系统复习好考研数学内容,取得优异成绩,并为今后研究生学习阶段打下坚实的数学基础,让数学伴随同学们走向人生的辉煌。

本书编写特点如下:

## 一、考试内容提要——对照最直接

明确考试内容与要求,才能有的放矢。本书在每章的第一节对最新考研大纲要求的基本概念、基本原理和基本方法都做了详尽的讲解,并指出注意事项。作者认为这对于考前进行全面、系统的复习是非常必要的。

## 二、重要公式与结论(补充注释与重要结论)——总结最完善

针对每一章中的重点、难点以及容易混淆的概念进行诠释,并归纳总结每一章的重要定理、公式和结论,特别是对一些重要的中间结论或者隐含条件进行了归纳总结。目的在于希望考生通过系统复习后,一见到此类问题,就能立刻联想到考题实际期望考查的是哪一方面的知识点,从而使考生站在一个更高的层次上去分析问题、解决问题,达到认识和理解的新境界。考生是否具备了这种能力,对考研能否取得成功和获得高分是至关重要的。

## 三、典型题型与例题分析——题型最丰富

对数学课程来说,题目是无穷的,但题型是有限的。作者通过精心编制和设计许多新题型,使得本书几乎囊括了考研数学所涉及的所有题型,并逐一进行分析,给出了解题方法和规律。另外,借助于许多重要经典例题的评注,本书能够帮助读者更好地把握典型例题的典型处理方法和各种可能的延伸,从而使读者能够举一反三、触类旁通。

## 四、习题精选与参考答案——选题最典型

要想真正掌握一门课程内容并通过相关考试,做一定数量的习题是必不可少的。为此,作者按照填空题、选择题和解答题的顺序对应各种题型选编了相当数量的习题,供读者模拟练习之用,希望读者尽可能独立地完成习题。

## 五、本书带“\*”的内容,数学四考生不作要求

在成书过程中,作者参考了众多著作和教材,由于篇幅所限不能一一列出,在此谨向有关作者表示衷心感谢!

由于作者水平所限,书中一定还存在许多不足之处,敬请广大读者、同行专家批评指正。

作者

2008年2月于北京

# 目 录

## 第一部分

## 微积分

### 第一章 函数、极限与连续 ..... 3

|                              |    |
|------------------------------|----|
| § 1 知识要点精讲                   | 3  |
| § 2 重要公式与结论                  | 16 |
| § 3 典型题型与例题分析                | 18 |
| 题型一 函数关系的建立                  | 18 |
| 题型二 考查函数的特性                  | 19 |
| 题型三 求函数极限                    | 20 |
| 题型四 求数列极限                    | 27 |
| 题型五 求解含参变量的极限                | 32 |
| 题型六 已知极限,求待定参数、函数值、<br>导数及函数 | 32 |
| 题型七 无穷小比较                    | 35 |
| 题型八 判断函数的连续性与间断点的<br>类型      | 36 |
| 题型九 确定方程 $f(x) = 0$ 的根       | 38 |
| 题型十 综合题                      | 38 |
| 习题精选一                        | 40 |
| 习题精选一参考答案与提示                 | 42 |

### 第二章 导数与微分 ..... 44

|                       |    |
|-----------------------|----|
| § 1 知识要点精讲            | 44 |
| § 2 重要公式与结论           | 49 |
| § 3 典型题型与例题分析         | 50 |
| 题型一 利用导数定义解题          | 50 |
| 题型二 求分段函数的导数          | 54 |
| 题型三 导数在几何上的应用         | 56 |
| 题型四 变限积分求导            | 57 |
| 题型五 利用导数公式与运算法则<br>求导 | 60 |
| 题型六 综合题               | 63 |
| 习题精选二                 | 64 |
| 习题精选二参考答案与提示          | 67 |

### 第三章 微分中值定理与导数的应用 ..... 68

|                                                                   |     |
|-------------------------------------------------------------------|-----|
| § 1 知识要点精讲                                                        | 68  |
| § 2 典型题型与例题分析                                                     | 76  |
| 题型一 证明存在 $\xi$ ,使 $f(\xi) = 0$                                    | 76  |
| 题型二 证明存在 $\xi$ ,使 $f^{(n)}(\xi) = 0$<br>( $n = 1, 2, \dots$ )     | 78  |
| 题型三 证明存在 $\xi$ ,使<br>$G(\xi, f(\xi), f'(\xi), \dots) = 0$         | 80  |
| 题型四 直接用拉格朗日中值定理或<br>柯西中值定理证明                                      | 84  |
| 题型五 双介值问题,要证存在 $\xi, \eta$ 使<br>$G(f'(\xi), f'(\eta), \dots) = 0$ | 85  |
| 题型六 证明存在 $\xi$ ,使得<br>$f^{(n)}(\xi) = k(k \neq 0)$                | 87  |
| 题型七 有关介值的不等式证明                                                    | 88  |
| 题型八 隐含介值问题                                                        | 88  |
| 题型九 不等式的证明                                                        | 91  |
| 题型十 利用导数证明函数恒<br>等式                                               | 101 |
| 题型十一 利用导数判别函数的<br>单调性                                             | 101 |
| 题型十二 利用导数研究函数的极值<br>与最值                                           | 102 |
| 题型十三 曲线的凹凸性与拐点                                                    | 103 |
| 题型十四 求曲线的渐近线                                                      | 104 |
| 题型十五 函数作图                                                         | 105 |
| 题型十六 综合题                                                          | 106 |
| 习题精选三                                                             | 108 |
| 习题精选三参考答案与提示                                                      | 110 |

### 第四章 一元函数积分学 ..... 112

|             |     |
|-------------|-----|
| § 1 知识要点精讲  | 112 |
| § 2 重要公式与结论 | 129 |

|                                                      |     |                                |     |
|------------------------------------------------------|-----|--------------------------------|-----|
| § 3 典型题型与例题分析 .....                                  | 130 | 题型二 二重积分的基本计算方法 .....          | 199 |
| 题型一 计算不定积分 .....                                     | 130 | 题型三 利用重积分的对称性<br>简化计算 .....    | 201 |
| 题型二 不定积分综合题 .....                                    | 134 | 题型四 交换积分次序 .....               | 203 |
| 题型三 有关定积分的概念与性质的<br>问题 .....                         | 138 | 题型五 分区域函数的二重积分 .....           | 204 |
| 题型四 利用基本方法(牛顿-莱布尼茨<br>公式,换元积分法,分部积分法)<br>计算定积分 ..... | 140 | 题型六 反常(广义)二重积分 .....           | 206 |
| 题型五 对称区间上的积分 .....                                   | 144 | 题型七 综合题 .....                  | 207 |
| 题型六 涉及变限积分的问题 .....                                  | 145 | 习题精选六 .....                    | 207 |
| 题型七 定积分循环计算法 .....                                   | 149 | 习题精选六参考答案与提示 .....             | 209 |
| 题型八 几类特殊积分问题 .....                                   | 149 | <b>* 第七章 无穷级数</b> .....        | 211 |
| 题型九 反常(广义)积分的计算 .....                                | 153 | § 1 知识要点精讲 .....               | 211 |
| 题型十 定积分等式的证明 .....                                   | 156 | § 2 重要公式与结论 .....              | 217 |
| 题型十一 定积分不等式的证明 .....                                 | 158 | § 3 典型题型与例题分析 .....            | 218 |
| 题型十二 定积分的几何应用 .....                                  | 161 | 题型一 判定常数项级数的收敛性 .....          | 218 |
| 题型十三 综合题 .....                                       | 164 | 题型二 求幂级数的收敛半径和收敛<br>区间 .....   | 221 |
| 习题精选四 .....                                          | 167 | 题型三 求常数项级数的和及幂<br>级数的和函数 ..... | 223 |
| 习题精选四参考答案 .....                                      | 169 | 题型四 幂级数的展开 .....               | 224 |
| <b>第五章 多元函数微分学</b> .....                             | 172 | 题型五 综合题 .....                  | 225 |
| § 1 知识要点精讲及主要公式<br>与结论 .....                         | 172 | 习题精选七 .....                    | 227 |
| § 2 典型题型与例题分析 .....                                  | 178 | 习题精选七参考答案与提示 .....             | 229 |
| 题型一 基本概念题 .....                                      | 178 | <b>第八章 常微分方程与差分方程</b> .....    | 230 |
| 题型二 求复合函数的偏导数或<br>全微分 .....                          | 180 | § 1 知识要点精讲 .....               | 230 |
| 题型三 求隐函数的偏导数或<br>全微分 .....                           | 182 | § 2 基本方法 .....                 | 236 |
| 题型四 已知偏导数,反求函数<br>关系 .....                           | 185 | § 3 典型题型与例题分析 .....            | 237 |
| 题型五 多元函数的极值和最值<br>问题 .....                           | 186 | 题型一 求解一阶线性微分方程 .....           | 237 |
| 题型六 综合题 .....                                        | 190 | 题型二 二阶常系数线性微分方程的<br>求解 .....   | 240 |
| 习题精选五 .....                                          | 191 | 题型三 求解差分方程 .....               | 241 |
| 习题精选五参考答案 .....                                      | 192 | 题型四 微分方程与差分方程的<br>应用 .....     | 243 |
| <b>第六章 二重积分</b> .....                                | 194 | 题型五 综合题 .....                  | 244 |
| § 1 知识要点精讲 .....                                     | 194 | 习题精选八 .....                    | 245 |
| § 2 重要公式与结论 .....                                    | 197 | 习题精选八参考答案与提示 .....             | 247 |
| § 3 典型题型与例题分析 .....                                  | 198 | <b>第九章 经济应用专题</b> .....        | 249 |
| 题型一 考查二重积分的基本概念与<br>性质 .....                         | 198 | § 1 知识要点精讲 .....               | 249 |
|                                                      |     | § 2 重要公式与结论 .....              | 250 |
|                                                      |     | § 3 典型题型与例题分析 .....            | 251 |
|                                                      |     | 题型一 微分在经济上的应用 .....            | 251 |



|     |                  |     |
|-----|------------------|-----|
| 题型二 | 积分在经济上的应用        | 255 |
| 题型三 | 多元函数微分学在经济上的应用   | 257 |
| 题型四 | 微分方程、差分方程在经济上的应用 | 258 |

## 第二部分

### 第一章 行列式

|           |                        |     |
|-----------|------------------------|-----|
| §1        | 知识要点精讲                 | 269 |
| §2        | 难点、疑点解析及重要公式与结论        | 272 |
| §3        | 典型题型与例题分析              | 275 |
| 题型一       | 利用行列式的性质与行(列)展开定理计算行列式 | 275 |
| 题型二       | 按行(列)展开公式求代数余子式        | 276 |
| 题型三       | 利用多项式分解因式计算行列式         | 277 |
| 题型四       | 抽象行列式的计算或证明            | 277 |
| 题型五       | $n$ 阶行列式的计算            | 279 |
| 题型六       | 利用特征值计算行列式             | 284 |
| 题型七       | 综合题                    | 285 |
| 习题精选一     |                        | 286 |
| 习题精选一参考答案 |                        | 288 |

### 第二章 矩阵

|       |                       |     |
|-------|-----------------------|-----|
| §1    | 知识要点精讲                | 292 |
| §2    | 难点、疑点解析及重要公式与结论       | 299 |
| §3    | 典型题型与例题分析             | 302 |
| 题型一   | 求数值型矩阵的逆矩阵            | 302 |
| 题型二   | $A$ 为抽象矩阵,讨论 $A$ 的可逆性 | 305 |
| 题型三   | 考查矩阵运算的特殊性            | 306 |
| 题型四   | 解矩阵方程                 | 308 |
| 题型五   | 求方阵 $A$ 的高次幂 $A^n$    | 310 |
| 题型六   | 利用伴随矩阵 $A^*$ 进行计算或证明  | 311 |
| 题型七   | 有关初等矩阵的问题             | 313 |
| 题型八   | 求矩阵的秩                 | 314 |
| 题型九   | 综合题                   | 316 |
| 习题精选二 |                       | 317 |

|              |             |     |
|--------------|-------------|-----|
| 题型五          | 线性代数在经济上的应用 | 260 |
| 题型六          | 概率统计在经济上的应用 | 261 |
| 习题精选九        |             | 263 |
| 习题精选九参考答案与提示 |             | 264 |

## 线性代数

|           |     |
|-----------|-----|
| 习题精选二参考答案 | 319 |
|-----------|-----|

### 第三章 向量

|           |                 |     |
|-----------|-----------------|-----|
| §1        | 知识要点精讲          | 323 |
| §2        | 难点、疑点解析及重要公式与结论 | 330 |
| §3        | 典型题型与例题分析       | 332 |
| 题型一       | 判定向量组的线性相关性     | 332 |
| 题型二       | 把一个向量用一组向量线性表示  | 337 |
| 题型三       | 求向量组的秩          | 342 |
| 题型四       | 有关矩阵秩的命题        | 345 |
| 题型五       | 有关正交矩阵的命题       | 346 |
| 题型六       | 综合题             | 346 |
| 习题精选三     |                 | 348 |
| 习题精选三参考答案 |                 | 349 |

### 第四章 线性方程组

|       |                         |     |
|-------|-------------------------|-----|
| §1    | 知识要点精讲                  | 351 |
| §2    | 难点、疑点解析及重要公式与结论         | 355 |
| §3    | 典型题型与例题分析               | 357 |
| 题型一   | 基本概念题(解的判定、性质、结构)       | 357 |
| 题型二   | 含有参数的线性方程组的求解           | 359 |
| 题型三   | 抽象线性方程组求解               | 366 |
| 题型四   | 讨论两个方程组的公共解             | 368 |
| 题型五   | 讨论两个方程组解之间的关系           | 370 |
| 题型六   | 已知方程组的解,反求系数矩阵或系数矩阵中的参数 | 372 |
| 题型七   | 有关基础解系的讨论               | 373 |
| 题型八   | 有关 $AB=0$ 的应用           | 376 |
| 题型九   | 综合题                     | 377 |
| 习题精选四 |                         | 383 |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 习题精选四参考答案              | 385 |
| <b>第五章 特征值与特征向量</b>    | 388 |
| §1 知识要点精讲              | 388 |
| §2 难点、疑点解析及重要公式与结论     | 393 |
| §3 典型题型与例题分析           | 395 |
| 题型一 数值型矩阵特征值、特征向量的计算   | 395 |
| 题型二 计算抽象矩阵的特征值         | 397 |
| 题型三 特征值、特征向量的逆问题       | 400 |
| 题型四 矩形相似与对角化的讨论        | 403 |
| 题型五 有关实对称矩阵的命题         | 408 |
| 题型六 特征值、特征向量与相似矩阵的应用问题 | 410 |
| 题型七 有关特征值、特征向量的证明问题    | 414 |

### 第三部分 概率论与数理统计

|                     |     |
|---------------------|-----|
| <b>第一章 随机事件与概率</b>  | 449 |
| §1 知识要点精讲           | 449 |
| §2 补充注释与重要结论        | 453 |
| §3 典型题型与例题分析        | 456 |
| 题型一 事件的表示和运算        | 456 |
| 题型二 有关概率基本性质的命题     | 457 |
| 题型三 古典概型与几何概型的概率计算  | 459 |
| 题型四 事件独立性的命题        | 462 |
| 题型五 条件概率与积事件概率的计算   | 465 |
| 题型六 全概率公式和贝叶斯公式     | 468 |
| 题型七 伯努利试验           | 471 |
| 题型八 综合题             | 472 |
| 习题精选一               | 474 |
| 习题精选一参考答案           | 476 |
| <b>第二章 随机变量及其分布</b> | 479 |
| §1 知识要点精讲           | 479 |
| §2 补充注释与重要结论        | 482 |
| §3 典型题型与例题分析        | 484 |

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 题型八 综合题                    | 415 |
| 习题精选五                      | 420 |
| 习题精选五参考答案                  | 422 |
| <b>第六章 二次型</b>             | 425 |
| §1 知识要点精讲                  | 425 |
| §2 难点、疑点解析及重要公式与结论         | 431 |
| §3 典型题型与例题分析               | 432 |
| 题型一 基本概念题(二次型的矩阵、秩、正负惯性指数) | 432 |
| 题型二 化二次型为标准形               | 433 |
| 题型三 有关正定二次型(正定矩阵)命题的证明     | 437 |
| 题型四 综合题                    | 441 |
| 习题精选六                      | 444 |
| 习题精选六参考答案                  | 445 |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 题型一 有关随机变量与分布的基本概念题          | 484 |
| 题型二 求随机变量的分布律与分布函数           | 487 |
| 题型三 已知事件发生的概率,反求事件中的未知参数     | 493 |
| 题型四 利用常见分布求相关事件的概率           | 494 |
| 题型五 求随机变量函数的分布               | 496 |
| 题型六 综合题                      | 500 |
| 习题精选二                        | 502 |
| 习题精选二参考答案                    | 504 |
| <b>第三章 多维随机变量及其分布</b>        | 506 |
| §1 知识要点精讲                    | 506 |
| §2 补充注释与重要结论                 | 510 |
| §3 典型题型与例题分析                 | 512 |
| 题型一 联合分布、边缘分布与条件分布的计算        | 512 |
| 题型二 已知部分分布律或边缘分布,求联合分布律或相关参数 | 518 |
| 题型三 利用已知分布求相关事件的概率           | 519 |



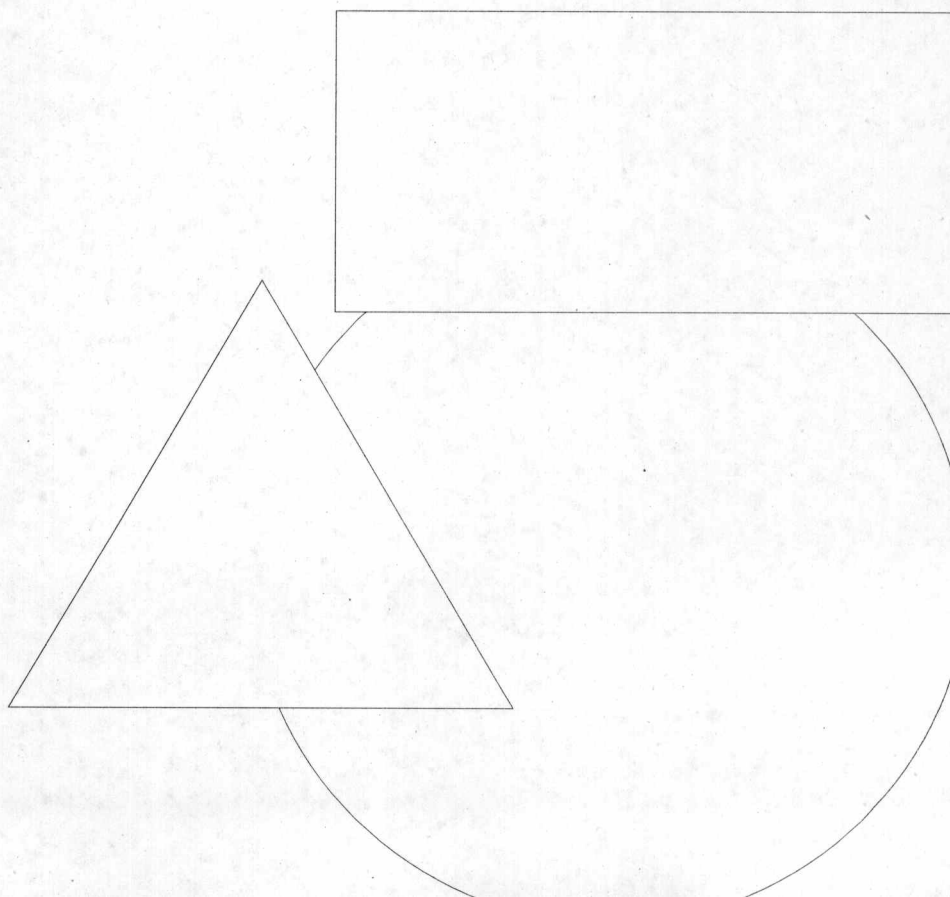
|                                     |     |                                                           |     |
|-------------------------------------|-----|-----------------------------------------------------------|-----|
| 题型四 随机变量函数的分布 .....                 | 520 | § 2 补充注释与重要结论 .....                                       | 575 |
| 题型五 随机变量的独立性的讨论 .....               | 526 | § 3 典型题型与例题分析 .....                                       | 576 |
| 题型六 综合题 .....                       | 527 | 题型一 求样本容量 $n$ , 或与样本均值 $\bar{X}$<br>和样本方差 $S^2$ 有关的概率 ... | 576 |
| 习题精选三 .....                         | 529 | 题型二 求统计量的数字特征 .....                                       | 577 |
| 习题精选三参考答案 .....                     | 531 | 题型三 求统计量的分布 .....                                         | 579 |
| <b>第四章 随机变量的数字特征</b> .....          | 534 | 习题精选六 .....                                               | 581 |
| § 1 知识要点精讲 .....                    | 534 | 习题精选六参考答案 .....                                           | 582 |
| § 2 补充注释与重要结论 .....                 | 537 | <b>* 第七章 参数估计</b> .....                                   | 583 |
| § 3 典型题型与例题分析 .....                 | 538 | § 1 知识要点精讲 .....                                          | 583 |
| 题型一 期望和方差的计算 .....                  | 538 | § 2 补充注释与重要结论 .....                                       | 586 |
| 题型二 随机变量函数的数学期望与<br>方差 .....        | 541 | § 3 典型题型与例题分析 .....                                       | 586 |
| 题型三 有关协方差、相关系数、独立性<br>与相关性的命题 ..... | 547 | 题型一 求矩法估计和最大似然<br>估计 .....                                | 586 |
| 题型四 有关数字特征的应用题 .....                | 552 | 题型二 估计量评选标准的讨论 .....                                      | 592 |
| 题型五 综合题 .....                       | 554 | 题型三 参数的区间估计 .....                                         | 596 |
| 习题精选四 .....                         | 556 | 题型四 综合题 .....                                             | 597 |
| 习题精选四参考答案 .....                     | 557 | 习题精选七 .....                                               | 598 |
| <b>第五章 大数定律和中心极限定理</b> .....        | 559 | 习题精选七参考答案 .....                                           | 600 |
| § 1 知识要点精讲 .....                    | 559 | <b>* 第八章 假设检验</b> .....                                   | 601 |
| § 2 典型题型与例题分析 .....                 | 561 | § 1 知识要点精讲 .....                                          | 601 |
| 题型一 有关切比雪夫不等式的<br>命题 .....          | 561 | § 2 补充注释与重要结论 .....                                       | 602 |
| 题型二 有关大数定律的命题 .....                 | 562 | § 3 典型题型与例题分析 .....                                       | 603 |
| 题型三 有关中心极限定理的命题 .....               | 563 | 题型一 正态总体未知参数的<br>假设检验 .....                               | 603 |
| 题型四 综合题 .....                       | 567 | 题型二 有关两类错误的命题 .....                                       | 604 |
| 习题精选五 .....                         | 567 | 习题精选八 .....                                               | 605 |
| 习题精选五参考答案 .....                     | 569 | 习题精选八参考答案 .....                                           | 606 |
| <b>* 第六章 数理统计的基本概念</b> .....        | 570 |                                                           |     |
| § 1 知识要点精讲 .....                    | 570 |                                                           |     |

第一部分 **P**ART ONE

微积分

PART

ONE







# 第一章 函数、极限与连续

## § 1 知识要点精讲

### 考试内容

函数的概念及表示法 函数的有界性、单调性、周期性和奇偶性 复合函数、反函数、分段函数和隐函数 基本初等函数的性质及其图形 初等函数 函数关系的建立 数列极限与函数极限的定义及其性质 函数的左极限和右极限 无穷小量和无穷大量的概念及其关系 无穷小量的性质及无穷小量的比较 极限的四则运算 极限存在的两个准则:单调有界准则和夹逼准则 两个重要极限: $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin x}{x} = 1, \lim_{x \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{1}{x}\right)^x = e$  函数连续的概念 函数间断点的类型 初等函数的连续性 闭区间上连续函数的性质

### 一 函数

#### 1. 函数的概念及表示法

设  $x$  和  $y$  是两个变量(均在实数  $\mathbf{R}$  内取值),  $D$  是一个给定的非空数集, 如果对于每个数  $x \in D$ , 按照一定的法则, 变量  $y$  总有一个确定的值和它对应, 则称变量  $y$  是变量  $x$  的函数, 记作  $y = f(x)$ , 其中  $D$  叫做函数  $y = f(x)$  的定义域,  $x$  叫做自变量,  $y$  叫做因变量, 函数值  $f(x)$  的全体所构成的集合称为函数  $f$  的值域. 表示法有: 公式法、表格法、图形法等.

要注意函数定义中的两个要素:

- (1) 定义域  $D$ : 它表示  $x$  的取值范围, 由函数对应法则或实际问题的要求来确定.
- (2) 对应法则  $f$ : 它表示给定  $x$  值, 求  $y$  值的方法.

因此: ① 对于两个给定的函数, 当且仅当它们的定义域和对应法则都相同时, 才能说它们是相同的函数, 否则它们就是不同的函数. ② 求函数  $f$  的定义域, 就是求使  $y$  的取值和运算有意义的自变量  $x$  的取值范围.

#### 2. 函数的性态——有界性, 单调性, 周期性, 奇偶性

##### (I) 有界性

设函数  $y = f(x)$  在区间  $I$  上有定义, 如果存在正数  $M$ , 对于任意  $x \in I$ , 恒有  $|f(x)| \leq M$ , 则称函数  $y = f(x)$  在区间  $I$  上有界; 如果这样的  $M$  不存在, 则称函数  $y = f(x)$  在  $I$  上无界. 如果存在正数  $M_1$ , 对于任意  $x \in I$ , 恒有  $f(x) \leq M_1$ , 则称函数  $y = f(x)$  在区间  $I$  上有上界; 如果存在正数  $M_2$ , 对于任意  $x \in I$ , 恒有  $f(x) \geq M_2$ , 则称函数  $y = f(x)$  在区间  $I$  上有下界. 易知函数  $f(x)$  在区间  $I$  上有界的充分必要条件是它在  $I$  上既有上界又有下界.

- (1) 几个常见的有界函数.

在区间  $(-\infty, +\infty)$  上, 有

$$|\sin x| \leq 1, |\cos x| \leq 1, |\arctan x| < \frac{\pi}{2}, |\operatorname{arccot} x| < \pi (\text{或 } 0 < \operatorname{arccot} x < \pi).$$

因此,  $y = \sin x, y = \cos x, y = \arctan x, y = \operatorname{arccot} x$  在区间  $(-\infty, +\infty)$  上有界.

在区间  $[-1, 1]$  上, 有  $|\arcsin x| \leq \frac{\pi}{2}, |\arccos x| \leq \pi (\text{或 } 0 \leq \arccos x \leq \pi).$

因此,  $y = \arcsin x, y = \arccos x$  在区间  $[-1, 1]$  上有界.

注: ① 函数  $y = f(x)$  有界或无界是相对于某个区间而言的, 例如  $y = \frac{1}{x}$  在区间  $(0, 1)$  内无界, 但在区间  $[\frac{1}{8}, 1]$  上是有界的.

② 区分无界函数和无穷大: 在某一变化过程中, 若  $f(x)$  为无穷大, 则存在对应的区间使  $f(x)$  无界; 但是若  $f(x)$  在某个区间上无界, 则  $f(x)$  不一定为无穷大. 例如  $y = \frac{1}{x} \sin \frac{1}{x}$  在区间  $(0, 1]$  上无界, 但在  $x \rightarrow 0^+$  时并不是无穷大.

③ 若函数  $y = f(x)$  在区间  $I$  上有界, 则  $f(x)$  的导函数和原函数在区间  $I$  上不一定有界. 例如  $y = \sqrt{x}$  在  $[0, 1]$  上有界, 但其导函数  $y = \frac{1}{2\sqrt{x}}$  在  $(0, 1]$  上无界的;  $y = 1 + \cos x$  在  $(-\infty, +\infty)$  上有界, 但其原函数  $F(x) = x + \sin x$  在  $(-\infty, +\infty)$  上无界的.

(2) 判别方法:

方法一 直接法: 定义本身就是判定  $f(x)$  是否有界的一种有效方法, 即对  $f(x)$ , 若存在  $M > 0$ , 使得  $|f(x)| \leq M$ , 则  $f(x)$  有界, 否则无界.

方法二 若存在区间  $I$  内序列  $x_n$ , 使得  $f(x_n) \rightarrow \infty (n \rightarrow \infty)$ , 则  $f(x)$  在  $I$  内无界.

方法三 间接法: ① 若  $f(x)$  在  $[a, b]$  连续, 则  $f(x)$  在  $[a, b]$  有界. ② 若  $f(x)$  在  $(a, b)$  连续, 且  $\lim_{x \rightarrow a^+} f(x)$  存在,  $\lim_{x \rightarrow b^-} f(x)$  存在, 则  $f(x)$  在  $(a, b)$  有界.

【例 1.1】  $x \rightarrow 0$  时,  $y = \frac{1}{x} \sin \frac{1}{x}$  是

(A) 无穷大. (B) 无穷小. (C) 非无穷大且在  $(0, 1]$  上无界. (D) 在  $(0, 1]$  上有界.

【详解】 取  $x = \frac{1}{2n\pi} \rightarrow 0 (n \rightarrow \infty)$ , 有  $y = 2n\pi \sin 2n\pi = 0$ .

取  $x = \frac{1}{2n\pi + \frac{\pi}{2}} \rightarrow 0 (n \rightarrow \infty)$  时, 有  $y = (2n\pi + \frac{\pi}{2}) \sin(2n\pi + \frac{\pi}{2}) = 2n\pi + \frac{\pi}{2} \rightarrow \infty$ .

故函数无界且非无穷大量, 即选(C).

【例 1.2】  $f(x) = \frac{|x| \sin(x-2)}{x(x-1)(x-2)^2}$  在以下哪个区间有界?

(A)  $(-1, 0)$ . (B)  $(0, 1)$ . (C)  $(1, 2)$ . (D)  $(2, 3)$ .

【详解】 本题要讨论的是开区间的有界性. 易知  $f(x)$  的定义域是  $(-\infty, 0) \cup (0, 1) \cup (1, 2) \cup (2, +\infty)$ , 在  $(-1, 0)$  连续, 且在  $x = -1$  的右极限、 $x = 0$  的左极限为

$$\lim_{x \rightarrow -1^+} f(x) = \lim_{x \rightarrow -1^+} \frac{|x| \sin(x-2)}{x(x-1)(x-2)^2} = \frac{-\sin 3}{2 \cdot 9} = -\frac{\sin 3}{18},$$

$$\lim_{x \rightarrow 0^-} f(x) = \lim_{x \rightarrow 0^-} \frac{|x| \sin(x-2)}{x(x-1)(x-2)^2} = -\frac{\sin 2}{4}.$$

故  $f(x)$  在  $(-1, 0)$  有界, 选(A).

另外, 也可由

$$\lim_{x \rightarrow 1} \frac{|x| \sin(x-2)}{x(x-1)(x-2)^2} = \infty,$$

排除(B),(C),以及由

$$\lim_{x \rightarrow 2} \frac{|x| \sin(x-2)}{x(x-1)(x-2)^2} = \infty,$$

排除(D),从而选(A).

### (II) 单调性

设函数  $y = f(x)$  在区间  $I$  上有定义,如果对于  $\forall x_1, x_2 \in I$ , 当  $x_1 < x_2$  时,恒有  $f(x_1) < f(x_2)$  (或  $f(x_1) > f(x_2)$ ), 则称函数  $y = f(x)$  在区间  $I$  上是单调增加(或单调减小)的. 若  $\forall x_1, x_2 \in I$ , 当  $x_1 < x_2$  时,有  $f(x_1) \leq f(x_2)$  (或  $f(x_1) \geq f(x_2)$ ), 则称  $f(x)$  在区间  $I$  上单调不减(单调不减).

判别方法:

**方法一** 利用定义: 设  $x_1 > x_2$ , 计算  $f(x_1) - f(x_2)$ , 若它大于零, 则单调增加; 若它小于零, 则单调减小.

**方法二** 利用导数: 对可导函数  $y = f(x)$ , 若  $y' > 0$ , 则  $y$  单调增加; 若  $y' < 0$ , 则  $y$  单调减小.

**注:** 单调函数的导函数和原函数都不一定仍为单调函数. 例如  $y = x$  在  $(-\infty, +\infty)$  内单调增加, 而其导函数  $y' = 1$  与原函数  $F(x) = \frac{1}{2}x^2$  在  $(-\infty, +\infty)$  内都不单调.

### (III) 周期性

设函数  $f(x)$  的定义域为  $D$ , 如果存在一个不为零的常数  $T$ , 使得对于任一  $x \in D$ , 有  $x \pm T \in D$  且  $f(x+T) = f(x)$  恒成立, 则称  $f(x)$  为周期函数,  $T$  称为  $f(x)$  的周期. 通常把满足上式的最小正数  $T$  称为函数  $f(x)$  的周期.

判别方法:

**方法一** 利用定义: 计算  $f(x+T) = \dots = f(x)$ , 则  $f(x)$  是以  $T$  为周期的函数.

**方法二** 间接法: 利用常见周期函数的周期进行判别和计算. 例如, 由  $\sin x, \cos x$  的周期为  $2\pi$ , 推知  $|\sin x|, |\cos x|, \sin 2x, \cos 2x$  的周期为  $\pi$ ; 由  $\tan x, \cot x$  的周期为  $\pi$ , 推知  $|\tan x|, |\cot x|$  的周期为  $\pi, \tan \frac{x}{2}, \cot \frac{x}{2}$  的周期为  $2\pi$ .

**注:** 若  $f(x)$  是可导的周期函数, 则它的导函数仍是周期函数, 且周期不变, 但它的原函数不一定仍为周期函数. 例如  $f(x) = 1 + \sin x$  是周期为  $2\pi$  的函数, 其导函数  $f'(x) = \cos x$  仍是周期为  $2\pi$  的函数, 但其原函数  $F(x) = x - \cos x$  不是周期函数.

### (IV) 奇偶性

设函数  $f(x)$  的定义域  $D$  关于原点对称, 如果对任一  $x \in D$ , 恒有  $f(-x) = f(x)$  (或  $-f(x)$ ), 则称函数  $f(x)$  为偶函数(或奇函数). 偶函数的图形关于  $y$  轴对称, 奇函数的图形关于坐标原点对称.

判别方法:

**方法一** 利用定义: 通过计算  $f(-x) = \dots = f(x)$  ( $-f(x)$ ), 则  $f(x)$  是偶(奇)函数.

**方法二** 利用运算性质:

奇函数  $\pm$  奇函数 = 奇函数      偶函数  $\pm$  偶函数 = 偶函数  
奇函数  $\times$  偶函数 = 奇函数      偶函数  $\times$  偶函数 = 偶函数      奇函数  $\times$  奇函数 = 偶函数

**方法三** 利用导函数与原函数奇偶性:

可导的奇函数的导函数是偶函数, 例如  $(x^3)' = 3x^2$ .

可导的偶函数的导函数是奇函数, 例如  $(x^2)' = 2x$ .

连续的奇函数的任何一个原函数都是偶函数, 例如  $f(x) = \sin x, F(x) = -\cos x + C$ .



连续的偶函数的原函数中只有一个  $F(x) = \int_0^x f(t)dt$  是奇函数, 例如  $f(x) = \cos x$ , 其全体原函数

$F(x) = \int \cos x dx = \sin x + C$  中只有  $\sin x (C=0)$  是奇函数.

注: ① 若函数的定义域关于原点不对称, 则此函数既不是奇函数, 也不是偶函数.

② 设函数  $f(x)$  的定义域  $D$  关于原点对称, 则  $f(x)$  一定可以表示成奇函数与偶函数的和, 事实上,

$$f(x) = \frac{1}{2}[f(x) - f(-x)] + \frac{1}{2}[f(x) + f(-x)],$$

式中前者为奇函数, 后者为偶函数.

**【例 1.3】** 判别下列函数的奇偶性:

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

$$(2) \text{Dirichlet 函数 } D(x) = \begin{cases} 1, & x \text{ 为有理数}, \\ 0, & x \text{ 为无理数}. \end{cases}$$

$$(3) f(x) = \ln(x + \sqrt{x^2 + 1}).$$

$$(4) F(x) = \int_a^x f(t)dt, \text{ 其中 } a \text{ 为常数, } f(x) \text{ 为可积的奇函数.}$$

**【详解】** (1) 因为  $y = \operatorname{sgn}(-x) = \begin{cases} -1, & x > 0, \\ 0, & x = 0, \\ 1, & x < 0 \end{cases} = -\operatorname{sgn} x$ , 故  $\operatorname{sgn} x$  为奇函数.

(2) 因为  $D(-x) = D(x)$ , 故  $D(x)$  为偶函数.

(3) 因为

$$\begin{aligned} f(-x) &= \ln(-x + \sqrt{(-x)^2 + 1}) = \ln(\sqrt{x^2 + 1} - x) = \ln \frac{x^2 + 1 - x^2}{\sqrt{x^2 + 1} + x} \\ &= -\ln(x + \sqrt{x^2 + 1}) = -f(x), \end{aligned}$$

故  $f(x) = \ln(x + \sqrt{x^2 + 1})$  为奇函数.

$$\begin{aligned} (4) \quad F(-x) &= \int_a^{-x} f(t)dt \xrightarrow{t=-u} -\int_a^x f(-u)du = \int_a^x f(u)du \\ &= \int_a^x f(u)du + \int_a^x f(u)du = 0 + \int_a^x f(u)du \\ &= \int_a^x f(u)du = F(x), \end{aligned}$$

故  $F(x)$  为偶函数.

### 3. 复合函数

设  $y = f(u)$ ,  $u = \varphi(x)$  为两个函数, 若  $\varphi(x)$  的值域与  $f(u)$  的定义域有非空交集, 则由  $y = f(u)$  及  $u = \varphi(x)$  可复合而成复合函数  $y = f(\varphi(x))$ ,  $u$  称为中间变量.

**【例 1.4】** 设  $f(x) = \begin{cases} 4 - x^2, & |x| \leq 2, \\ 0, & |x| > 2, \end{cases}$  求  $f(f(x))$ .

**【详解】**  $f(f(x)) = \begin{cases} 4 - f^2(x), & |f(x)| \leq 2, \\ 0, & |f(x)| > 2. \end{cases}$

进一步, 由下列不等式确定  $x$  的取值范围, 从而可得  $f(x)$  的表达式, 再代入上面式子:

$$(1) \text{ 由 } |f(x)| \leq 2 \text{ 有 } \begin{cases} |4 - x^2| \leq 2, \\ |x| \leq 2 \end{cases} \text{ 或 } \begin{cases} |0| \leq 2, \\ |x| > 2, \end{cases} \text{ 即 } \sqrt{2} \leq |x| \leq 2 \text{ 或 } |x| > 2.$$

(2) 由  $|f(x)| > 2$  有  $\begin{cases} |4-x^2| > 2, \\ |x| \leq 2 \end{cases}$  或  $\begin{cases} |0| > 2, \\ |x| > 2 \end{cases}$ , 即  $|x| < \sqrt{2}$ .

故 
$$f(f(x)) = \begin{cases} 4, & |x| > 2, \\ 4 - (4-x^2)^2, & \sqrt{2} \leq |x| \leq 2, \\ 0, & |x| < \sqrt{2}. \end{cases}$$

注:求这种分段函数的复合要“由里往外”逐层进行分析与计算.

#### 4. 反函数

设函数  $y = f(x)$  的定义域为  $D$ , 值域为  $W$ . 若对  $\forall y \in W, \exists$  唯一确定的  $x \in D$ , 满足  $y = f(x)$ , 则得到  $x$  是  $y$  的函数, 记为  $x = \varphi(y)$ , 称为  $y = f(x)$  的反函数. 习惯上将  $y = f(x)$  的反函数记为  $y = f^{-1}(x)$ .

注:① 单调函数存在反函数.

② 反函数  $y = f^{-1}(x)$  与函数  $y = f(x)$  有相同的单调性.

③ 函数  $y = f(x)$  的图像与其反函数  $x = \varphi(y)$  的图像重合, 但与反函数  $y = f^{-1}(x)$  的图像关于直线  $y = x$  对称.

④  $f^{-1}(f(x)) = x, \forall x \in D; f(f^{-1}(y)) = y, \forall y \in W$ .

**【例 1.5】** 求函数  $y = \ln(x + \sqrt{x^2 - 1})$  ( $x \geq 1$ ) 的反函数.

**【分析】** 先把已知函数中的  $x$  用  $y$  表示, 再将  $x, y$  互换, 然后求出原函数的定义域得反函数的值域.

**【详解】** 由  $y = \ln(x + \sqrt{x^2 - 1})$ , 有

$$e^y = x + \sqrt{x^2 - 1}. \quad (1)$$

于是

$$e^{-y} = \frac{1}{x + \sqrt{x^2 - 1}} = x - \sqrt{x^2 - 1}. \quad (2)$$

① 式与 ② 式相加得

$$x = \frac{1}{2}(e^y + e^{-y}).$$

当  $x \geq 1$  时,  $y = \ln(x + \sqrt{x^2 - 1}) \geq \ln 1 = 0$ .

因此所求反函数为

$$y = \frac{1}{2}(e^x + e^{-x}), \quad x \geq 0.$$

**【例 1.6】** 求函数  $y = \begin{cases} x, & -\infty < x < 1, \\ x^2, & 1 \leq x \leq 4, \\ 2^x, & 4 < x < +\infty \end{cases}$  的反函数.

**【分析】** 分段分别求各区间段的反函数即可.

**【详解】** 当  $-\infty < x < 1$  时,  $y = x$ , 其反函数为:  $y = x, -\infty < x < 1$ ;

当  $1 \leq x \leq 4$  时,  $y = x^2$ , 其反函数为:  $y = \sqrt{x}, 1 \leq x \leq 16$ ;

当  $4 < x < +\infty$  时,  $y = 2^x$ , 其反函数为:  $y = \log_2 x, 16 < x < +\infty$ .

因此所求反函数为

$$y = \begin{cases} x, & -\infty < x < 1, \\ \sqrt{x}, & 1 \leq x \leq 16, \\ \log_2 x, & 16 < x < +\infty. \end{cases}$$

#### 5. 分段函数

在自变量的不同变化范围中, 对应法则用不同式子来表示的函数, 称为分段函数. 例如

$$f(x) = \begin{cases} 2x + e^x, & x > 1, \\ 2, & -1 \leq x \leq 1, \\ \ln(1-x), & x < -1 \end{cases}$$

就是一个分段函数,  $-1$  和  $1$  常称为函数的分段点.

注:① 分段函数的复合, 分段函数在分段点的极限、连续性、可导性, 以及分段函数的不定积分与定积分都是考试的重点和难点, 必须引起考生足够的重视.

② 形如  $|f(x)|$ 、 $\operatorname{sgn} f(x)$ 、取整函数  $[f(x)]$ 、 $\max\{f(x), g(x)\}$  的函数均应作为分段函数处理.

## 6. 隐函数

设有关系式  $F(x, y) = 0$ , 若对  $\forall x \in D$ , 存在唯一确定的  $y$  满足  $F(x, y) = 0$  与  $x$  相对应, 由此确定的  $y$  与  $x$  的函数关系  $y = y(x)$  称为由方程  $F(x, y) = 0$  所确定的隐函数.

## 7. 基本初等函数与初等函数

幂函数、指数函数、对数函数、三角函数和反三角函数, 即  $y = x^a$ ;  $y = a^x (a > 0, a \neq 1)$ ;  $y = \log_a x (a > 0, a \neq 1)$ ;  $y = \sin x$ ,  $y = \cos x$ ,  $y = \tan x$ ,  $y = \cot x$ ;  $y = \arcsin x$ ,  $y = \arccos x$ ,  $y = \arctan x$ ,  $y = \operatorname{arccot} x$  统称为基本初等函数.

初等函数: 由常数和基本初等函数经过有限次四则运算和有限次的函数复合运算所构成并可用一个式子表示的函数, 称为初等函数.

## 8. 函数关系的建立

常见函数形式除初等函数外, 还可通过隐函数、参数方程、极限、导数定义、变限积分、微分方程和无穷级数等建立函数关系.

# 二 极限

## 1. 极限的定义

### (1) 数列极限.

对于数列  $\{x_n\}$ , 常数  $a$ , 若对于任意给定的正数  $\epsilon > 0$ ,  $\exists$  正整数  $N$ , 当  $n > N$  时, 有  $|x_n - a| < \epsilon$  恒成立, 则称常数  $a$  为数列  $\{x_n\}$  的极限, 或者称数列  $\{x_n\}$  收敛于  $a$ , 记为  $\lim_{n \rightarrow \infty} x_n = a$ .

### (2) 当 $x \rightarrow \infty$ 时, 函数 $f(x)$ 的极限.

若存在常数  $A$ , 对于任意给定的正数  $\epsilon > 0$ ,  $\exists$  正数  $X$ , 当  $|x| > X$  时, 有  $|f(x) - A| < \epsilon$  恒成立, 则称常数  $A$  为  $f(x)$  当  $x \rightarrow \infty$  时的极限, 记为  $\lim_{x \rightarrow \infty} f(x) = A$ .

注: 把数列看做整标函数即  $x_n = f(n) (n = 1, 2, \dots)$ , 则数列极限的概念  $\lim_{n \rightarrow \infty} x_n = a$  便是  $f(x)$  在  $x \rightarrow +\infty$  的极限的特殊情况. 故有: 若  $\lim_{x \rightarrow +\infty} f(x) = A$ , 则  $\lim_{n \rightarrow \infty} f(n) = A$ .

### (3) 当 $x \rightarrow x_0$ 时 ( $x_0$ 为有限值) 函数 $f(x)$ 的极限.

若存在常数  $A$ , 对于任意给定的正数  $\epsilon > 0$ ,  $\exists \delta > 0$ , 当  $0 < |x - x_0| < \delta$  时, 有  $|f(x) - A| < \epsilon$  恒成立, 则称常数  $A$  为  $f(x)$  当  $x \rightarrow x_0$  的极限, 记为  $\lim_{x \rightarrow x_0} f(x) = A$ .

### (4) 当 $x \rightarrow x_0$ 时 ( $x_0$ 为有限值) 函数 $f(x)$ 的左、右极限.

若存在常数  $A$ , 对于任意给定的正数  $\epsilon > 0$ ,  $\exists \delta > 0$ , 当  $0 < x - x_0 < \delta$  时, 有  $|f(x) - A| < \epsilon$  恒成立, 则称常数  $A$  为  $f(x)$  当  $x \rightarrow x_0^+$  时的右极限, 记为  $\lim_{x \rightarrow x_0^+} f(x) = A$ , 或  $f(x_0 + 0) = A$ .

若存在常数  $A$ , 对于任意给定的正数  $\epsilon > 0$ ,  $\exists \delta > 0$ , 当  $0 < x_0 - x < \delta$  时, 有  $|f(x) - A| < \epsilon$  恒成立, 则称常数  $A$  为  $f(x)$  当  $x \rightarrow x_0^-$  时的左极限, 记为  $\lim_{x \rightarrow x_0^-} f(x) = A$ , 或  $f(x_0 - 0) = A$ .

注: 极限存在的充分必要条件: 当  $x \rightarrow x_0$  时函数  $f(x)$  的极限存在的充分必要条件为其左、右极限存在并相等, 即  $\lim_{x \rightarrow x_0} f(x) = A \Leftrightarrow f(x_0 - 0) = f(x_0 + 0) = A$ .