



文登教育

Wendeng Education

2014

文登教育集团课堂用书

(经济类)

考研数学

题型集粹与水平测试

网络增值版

(第3版)

增值服务网址 www.bjwendeng.com

陈文灯 黄先开 主 编

李 娜 副主编

本书使用说明:

- ◆ 关于本书答疑请登录: www.bjwendeng.com。
- ◆ **以题型为纲**, 揭示出题规律, 提炼解题技巧。
- ◆ 建议本书与“复习指南”同步使用, 效果更佳!



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS



013-44
2011.7.3
文登教育

Wendeng Education

2014

文登教育集团课堂用书

(经济类)

考研数学

题型集粹与水平测试

网络增值版

(第3版)

增值服务网址 www.bjwendeng.com

陈文灯 黄先开 主编

李 娜 副主编



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

考研数学题型集粹与水平测试:经济类 / 陈文灯,黄先开主编. —3 版. —北京:北京理工大学出版社,2012.12

ISBN 978-7-5640-7020-5

I. ①考… II. ①陈… ②黄… III. ①高等数学-研究生-入学考试-自学参考材料
IV. ①O13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 272375 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京柯蓝博泰印务有限公司

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 15.75

字 数 / 420 千字

版 次 / 2012 年 12 月第 3 版 2012 年 12 月第 1 次印刷

定 价 / 38.80 元

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题,本社负责调换

前言

本书是我主编的 2014 版《考研数学复习指南》一书的续篇。读者在全面、系统地复习《指南》的基础上再看本书,将会进一步拓宽思路,掌握各类题型的解题方法和技巧,大大提高做题的准确性和速度。

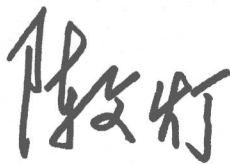
本书在 2013 版的基础上作了很大程度的修订,有以下特点。

(1)重点突出。本书针对“考纲”要求重点掌握的概念、公式、定理,通过题型的形式予以强化,同时,指出解题的方法和技巧,尤其是读者感到比较难理解和掌握的问题,按本书所指的思路、方法去分析将会迎刃而解。

(2)针对性强,覆盖面大。本书不是一般性的题解书,不搞题海战术,而是以题型为纲,通过分析综合性较强、难度较大、覆盖面较宽的例题,总结出易被读者理解和掌握的解题方法和规律。

(3)超前性与独创性。本书所总结的规律和方法是作者教学经验的结晶。书中很多综合题是基于作者多年的教学心得,并经多个不眠之夜思索而得的。读者通过做这些例题不仅可以各知识点串在一起,而且可以拓展思路,遇到从未见到的题时,可以从容应对。

成书仓促,定有不当及错误之处,恳请广大读者、数学同仁批评指正。



2012.12

目 录

第一篇 微积分

第一章 函数·极限·连续	(1)
§ 1 函 数	(1)
§ 2 极 限	(6)
§ 3 函数的连续性	(21)
第二章 导数与微分	(26)
第三章 不定积分	(38)
第四章 定积分	(48)
第五章 中值定理	(70)
第六章 一元微积分的应用	(77)
§ 1 导数的应用	(77)
§ 2 定积分的应用	(87)
第七章 多元函数微分学	(90)
第八章 重积分	(96)
第九章 无穷级数	(105)
第十章 常微分方程与差分方程	(118)

第二篇 线性代数

第一章 行列式	(127)
---------------	-------

第二章 矩 阵	(137)
第三章 向 量	(146)
第四章 线性方程组	(163)
第五章 特征值与特征向量	(176)
第六章 二次型	(193)

第三篇 概率论与数理统计初步

第一章 事件的概率	(198)
第二章 随机变量及其分布	(206)
第三章 随机变量的数字特征	(219)
第四章 大数定律和中心极限定理	(231)
第五章 数理统计初步	(237)

第一篇 微积分

第一章 函数·极限·连续

§1 函数

一、有关函数概念的题型

题型 I 判别函数的等价性

【解题提示】 当且仅当两函数的定义域和对应关系完全相同时,才表示同一函数,否则为不同函数.

【例 1.1】 设 $\lim_{x \rightarrow 1} f(x)$ 存在,且 $f(x) = x^2 + 2x \lim_{x \rightarrow 1} f(x)$, 则与 $f(x)$ 等价的函数是()

(A) $y = \int_0^x (x^2 - 2x) dx.$

(B) $y = \int_0^1 (x^2 - 2x) dt.$

(C) $y = \int f'(x) dx.$

(D) $y = e^{\ln(x^2 - 2x)}.$

【解】 设 $\lim_{x \rightarrow 1} f(x) = l$, 则 $f(x) = x^2 + 2xl$,

两边取 $x \rightarrow 1$ 时的极限, 得 $l = 1 + 2l \Rightarrow l = -1 \Rightarrow f(x) = x^2 - 2x.$

(A) $y = \frac{1}{3}x^3 - x^2$ 与 $f(x)$ 的对应关系不同.

(B) $y = \int_0^1 (x^2 - 2x) dt = x^2 - 2x.$

(C) $y = f(x) + C = x^2 - 2x + C$ 与 $f(x)$ 对应关系不同.

(D) $y = e^{\ln(x^2 - 2x)}$, 定义域 $x < 0$ 或 $x > 2$, 与 $f(x)$ 定义域不同, 故(B)入选, 实际做题时不必像以上那样处理, 求出 $f(x)$ 的表达式后一眼即可看出(B)入选.

题型 II 利用函数表示法与用什么字母表示无关的特性求解 $f(x)$ 的表达式

【解题提示】 一种是所谓“凑法”——将给出的表达式凑成对应符号 $f(\quad)$ 内的中间变量的表达形式, 然后用“无关特性”即可得出 $f(x)$ 的表达式. 另一种方法是先作变量替换再用“无关特性”, 然后通过联立方程得出 $f(x)$ 的表达式. 多元函数也可以用这两种方法处理.

【例 1.2】 求解以下各小题中 $f(x)$ 的表达式:

(1) $f\left(x + \frac{1}{x}\right) = \sqrt{x^2 + \frac{1}{x^2} + 1} + \sin\left(x^2 + \frac{1}{x^2}\right) + 2, \quad |x| > 1.$

(2) $f(\sin^2 x) = \cos 2x + \tan^2 x, \quad 0 < x < 1.$

【解】 (1) $f\left(x + \frac{1}{x}\right) = \sqrt{\left(x + \frac{1}{x}\right)^2 - 1} + \sin\left[\left(x + \frac{1}{x}\right)^2 - 2\right] + 2,$

故 $f(x) = \sqrt{x^2 - 1} + \sin(x^2 - 2) + 2, |x| > 2$.

$$(2) f(\sin^2 x) = 1 - 2\sin^2 x + \frac{1}{\cos^2 x} - 1 = 1 - 2\sin^2 x + \frac{1}{1 - \sin^2 x} - 1,$$

故 $f(x) = -2x + \frac{1}{1-x}, 0 < x < \sin^2 1$.

【例 1.3】 设 $f(x)$ 满足方程: $af(x) + bf\left(-\frac{1}{x}\right) = \sin x$, 其中 $|a| \neq |b|$, 求 $f(x)$.

【解】 令 $t = -\frac{1}{x}$, 则 $x = -\frac{1}{t}$, 于是原方程变为 $bf(t) + af\left(-\frac{1}{t}\right) = -\sin \frac{1}{t}$,

由“无关特性”得 $bf(x) + af\left(-\frac{1}{x}\right) = -\sin \frac{1}{x}$.

$$\text{解联立方程组} \begin{cases} af(x) + bf\left(-\frac{1}{x}\right) = \sin x \\ bf(x) + af\left(-\frac{1}{x}\right) = -\sin \frac{1}{x} \end{cases},$$

$$\text{得 } f(x) = \frac{1}{a^2 - b^2} \left(a \sin x + b \sin \frac{1}{x} \right).$$

【例 1.4】 设 $f\left(x+y, \frac{y}{x}\right) = x^2 - y^2 + \cos(xy)$, 求 $f(x, y)$.

【解】 令 $u = x+y, v = \frac{y}{x} \Rightarrow x = \frac{u}{1+v}, y = \frac{uv}{1+v}$, 则

$$f(u, v) = \left(\frac{u}{1+v}\right)^2 - \left(\frac{uv}{1+v}\right)^2 + \cos \frac{u^2 v}{(1+v)^2} = \frac{u^2(1-v)}{1+v} + \cos \frac{u^2 v}{(1+v)^2},$$

$$\text{故 } f(x, y) = \frac{x^2(1-y)}{1+y} + \cos \frac{x^2 y}{(1+y)^2} \quad (y \neq -1).$$

二、函数的性质

题型 III 函数奇偶性的判别

【解题提示】 判别函数奇偶性的方法: ① 主要依据奇偶性的定义. 有时也用其运算性质 (奇函数的代数和仍为奇函数; 偶函数的代数和仍为偶函数; 偶函数之积为偶函数; 偶数个奇函数之积为偶函数; 一个奇函数与一个偶函数之积为奇函数). ② $f(x) + f(-x) = 0$ 是判别 $f(x)$ 为奇函数的有效方法. ③ 函数的奇偶性是相对于对称区间而言的, 若函数的定义域关于原点不对称, 则函数就无奇偶性可言.

【例 1.5】 判别下列函数的奇偶性:

$$(1) F(x) = \int_0^x f(t) dt, \text{ 其中 } f(x) \text{ 为连续的偶函数.}$$

$$(2) F(x) = f(x) + \int_0^x \left[\int_0^u f(t) dt \right] du, \text{ 其中 } f(x) \text{ 是连续的奇函数.}$$

$$(3) F(x) = \left(\frac{1}{a^x - 1} + \frac{1}{2} \right) f(x), \text{ 其中 } a > 0, a \neq 1, f(x) \text{ 在 } (-\infty, +\infty) \text{ 上有定义, 且对任何 } x, y \text{ 恒有 } f(x+y) = f(x) + f(y).$$

【解】 (1) $F(-x) = \int_0^{-x} f(t) dt \xrightarrow{\text{令 } t=-u} \int_0^x f(-u)(-du) \xrightarrow{\substack{f(x) \text{ 为} \\ \text{偶函数}}} \int_0^x f(u) du,$

因为 $F(x) + F(-x) = \int_0^x f(t) dt - \int_0^x f(t) dt = 0,$

所以 $F(x)$ 为奇函数.

(2) $F(x) = f(x) + \int_0^x \left[\int_0^u f(t) dt \right] du,$ ①

$F(-x) = f(-x) + \int_0^{-x} \left[\int_0^u f(t) dt \right] du,$ ②

因为 $f(x)$ 为奇函数, 所以 $f(x) + f(-x) = 0,$ ③

又因为 $\int_0^{-x} \left[\int_0^u f(t) dt \right] du \xrightarrow{\text{令 } u=-v} \int_0^x \left[\int_0^{-v} f(t) dt \right] (-dv) = - \int_0^x \left[\int_0^{-u} f(t) dt \right] du,$ ④

由 ①, ②, ③, ④ 得

$F(x) + F(-x) = \int_0^x \left[\int_0^u f(t) dt - \int_0^{-u} f(t) dt \right] du = \int_0^x \left[\int_{-u}^u f(t) dt \right] du = 0,$

故 $F(x)$ 为奇函数.

(3) 令 $g(x) = \frac{1}{a^x - 1} + \frac{1}{2},$

因为

$g(x) + g(-x) = \frac{1}{a^x - 1} + \frac{1}{2} + \left(\frac{1}{a^{-x} - 1} + \frac{1}{2} \right) = \frac{1}{a^x - 1} + \frac{1}{2} - \frac{a^x}{a^x - 1} + \frac{1}{2} = 0,$

所以 $g(x)$ 为奇函数.

又因为 $f(x+y) = f(x) + f(y)$, 令 $y=0$, 得 $f(x) = f(x) + f(0) \Rightarrow f(0) = 0,$

又显然有 $0 = f(0) = f[x + (-x)] = f(x) + f(-x),$

所以 $f(x)$ 为奇函数.

故 $F(x) = g(x)f(x)$ 为偶函数.

题型 IV 求解给定函数的周期或周期性证明

【解题提示】 利用周期函数的定义及周期函数的运算性质求解或证明

【例 1.6】 设 $f(x)$ 是以 $T > 0$ 为周期的函数, 证明 $f(ax) (a > 0)$ 是以 $\frac{T}{a}$ 为周期的函数.

【证】 令 $F(x) = f(ax)$, 由于

$F\left(x + \frac{T}{a}\right) = f\left[a\left(x + \frac{T}{a}\right)\right] = f(ax + T) \xrightarrow[\substack{\text{因为 } T \text{ 是} \\ f(x) \text{ 的周期}}]{f(ax + T)} f(ax) = F(x),$

故 $\frac{T}{a}$ 是 $f(ax)$ 的周期.

【例 1.7】 设函数 $y = f(x), x \in (-\infty, +\infty)$ 的图形关于 $x = a, x = b$ 均对称 ($a \neq b$), 求证: $y = f(x)$ 是周期函数, 并求其周期.

【证】 由题设有 $f(a+x) = f(a-x), f(b+x) = f(b-x),$

于是, $f(x) = f[a + (x-a)] = f[a - (x-a)] = f(2a-x) = f[b + (2a-x-b)]$
 $= f[b - (2a-x-b)] = f[x + 2(b-a)],$

故 $f(x)$ 是周期函数, 其周期 $T = 2(b-a)$.

题型 V 函数 $f(x)$ 在某区间 I 上单调性的判别

【解题提示】 若没有言明函数 $f(x)$ 可导, 则用单调性定义判别; 若言明函数 $f(x)$ 可导, 则利用函数的一阶导数判别.

【例 1.8】 设函数 $f(x)$ 在 $[a, b]$ 上连续, 且 $f(x)$ 单调增加, 证明 $F(x) = \frac{1}{x-a} \int_a^x f(t) dt$ 在 (a, b) 内单调增加.

$$\begin{aligned} \text{【证】} \quad F'(x) &= -\frac{1}{(x-a)^2} \int_a^x f(t) dt + \frac{f(x)}{x-a} = -\int_a^x \frac{f(t)}{(x-a)^2} dt + \int_a^x \frac{f(x)}{(x-a)^2} dt \\ &= \int_a^x \frac{f(x) - f(t)}{(x-a)^2} dt, \end{aligned}$$

因为 $(x-a)^2 > 0$ 且 $f(x)$ 单调上升, 当 $x > t$ 时, $f(x) - f(t) \geq 0$, 所以 $F'(x) \geq 0$, 故 $F(x)$ 在 (a, b) 内单调增加.

题型 VI 函数有界性的判别

【解题提示】 证明或判别函数有界性的思路:

- (1) 利用有界性定义;
- (2) 闭区间上连续函数的有界性;
- (3) 有极限数列必有界;
- (4) $x \rightarrow x_0$ 时有极限的函数 $f(x)$ 在 x_0 的充分小邻域中必有界.

【例 1.9】 设函数 $f(x)$ 在 $[a, +\infty)$ 上连续, 且 $\lim_{x \rightarrow +\infty} f(x) = l$ (l 为有限数), 试证: $f(x)$ 在 $[a, +\infty)$ 上有界.

【证】 因为 $\lim_{x \rightarrow +\infty} f(x) = l$, 所以对于取 $\epsilon = \frac{|l|}{2}$, $\exists X > 0$,

当 $x > X$ 时, 恒有 $|f(x) - l| < \frac{|l|}{2}$,

又 $|f(x) - l| > |f(x)| - |l|$, 所以 $|f(x)| - |l| < \frac{|l|}{2}$,

即 $|f(x)| < \frac{3}{2} |l|$.

因为 $f(x)$ 在 $[a, X]$ 上连续, 由闭区间上连续函数有界性, 可知 $\exists S$, 使 $|f(x)| < S, x \in [a, X]$.

取 $M = \max\left\{S, \frac{3}{2} |l|\right\}$, 则对 $\forall x \in [a, +\infty)$ 恒有 $|f(x)| \leq M$,

即函数 $f(x)$ 在 $[a, +\infty)$ 上有界.

【例 1.10】 试证 $f(x) = e^{-x^2} \int_0^x te^t dt$ 在 $(-\infty, +\infty)$ 上有界.

【证】 令 $g(x) = \int_0^x te^t dt$,

因为 $g(-x) = \int_0^{-x} te^t dt \stackrel{\text{令 } u=-t}{=} \int_0^x -ue^{(-u)^2} (-du) = \int_0^x ue^{u^2} du$,

所以 $g(x)$ 为偶函数. 因此 $f(x) = e^{-x^2} g(x)$ 也为偶函数, 所以只需证明 $f(x)$ 在

$[0, +\infty)$ 上有界即可.

$$\text{因为 } \lim_{x \rightarrow +\infty} f(x) = \lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{\int_0^x te^{t^2} dt}{e^{x^2}} = \lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{xe^{x^2}}{2xe^{x^2}} = \frac{1}{2},$$

所以 取 $\varepsilon = \frac{1}{2}$, $\exists X > 0$, 当 $x \in [X, +\infty)$ 时, 有

$$\left| f(x) - \frac{1}{2} \right| < \frac{1}{2}, \quad \text{即 } 0 < f(x) < 1.$$

又 $f(x)$ 在 $[0, X]$ 上连续, 于是, $\exists l > 0$, 使对 $\forall x \in [0, X]$, 恒有 $0 \leq f(x) \leq l$, 取 $M = \max\{1, l\}$, 则 $\forall x \in [0, +\infty)$, 有 $0 \leq f(x) \leq M$. 同理可证 $(-\infty, 0]$ 的情形, 故 $f(x)$ 在 $(-\infty, +\infty)$ 上有界.

三、复合函数

【解题提示】 将两个或两个以上函数进行复合, 通常有三种方法: 代入法 (适用于初等函数的复合), 分析法 (适用于初等函数与分段函数的复合, 或两分段函数的复合), 图示法 (适用于两分段函数的复合)

【例 1.11】 设 $f(x) = \frac{1}{1-x^2}$, 求 $f[f(x)], f\left[\frac{1}{f(x)}\right]$.

$$\begin{aligned} \text{【解】 } f[f(x)] &= \frac{1}{1-f^2(x)} = \frac{1}{1-\frac{1}{(1-x^2)^2}} = \frac{(1-x^2)^2}{x^2(x^2-2)}, \\ f\left[\frac{1}{f(x)}\right] &= \frac{1}{1-\left(\frac{1}{f(x)}\right)^2} = \frac{f^2(x)}{f^2(x)-1} = \frac{\left(\frac{1}{1-x^2}\right)^2}{\left(\frac{1}{1-x^2}\right)^2-1} = \frac{1}{x^2(2-x^2)}. \end{aligned}$$

【例 1.12】 设 $f_n(x) = \underbrace{f(f(\cdots f(x))\cdots)}_{n \text{ 次}}$, 若 $f(x) = \frac{x}{\sqrt{1+x^2}}$, 求 $\lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt{n} \sin[f_n(x)]$.

$$\begin{aligned} \text{【解】 } f_2(x) &= f[f(x)] = \frac{f(x)}{\sqrt{1+f^2(x)}} = \frac{x}{\sqrt{1+x^2}} \sqrt{1+\left(\frac{x}{\sqrt{1+x^2}}\right)^2} = \frac{x}{\sqrt{1+2x^2}}, \\ f_3(x) &= f[f_2(x)] = \frac{f_2(x)}{\sqrt{1+f_2^2(x)}} = \frac{x}{\sqrt{1+3x^2}}. \end{aligned}$$

比较以上两式可知 $f_n(x) = \frac{x}{\sqrt{1+nx^2}}$. (由数学归纳法可证)

$$\text{于是 } \lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt{n} \sin[f_n(x)] = \lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt{n} \sin \frac{x}{\sqrt{1+nx^2}} = \frac{x}{|x|}.$$

【例 1.13】 设 $f(x) = \begin{cases} e^x, & x < 1 \\ x, & x \geq 1 \end{cases}$, $\varphi(x) = \begin{cases} x+2, & x < 0 \\ x^2-1, & x \geq 0 \end{cases}$, 求 $f[\varphi(x)]$.

【解】 用分析法求解. 所谓分析法就是抓住最外层函数定义域的各区间段, 结合中间变量的表达式及中间变量的定义域进行分析, 从而得出复合函数的方法.

$$f[\varphi(x)] = \begin{cases} e^{\varphi(x)}, & \varphi(x) < 1 \\ \varphi(x), & \varphi(x) \geq 1 \end{cases}.$$

(1) 当 $\varphi(x) < 1$ 时,

$$\text{或 } x < 0, \varphi(x) = x + 2 < 1, \text{ 即 } \begin{cases} x < 0 \\ x < -1 \end{cases} \Rightarrow x < -1,$$

$$\text{或 } x \geq 0, \varphi(x) = x^2 - 1 < 1, \text{ 即 } \begin{cases} x \geq 0 \\ x^2 < 2 \end{cases} \Rightarrow 0 \leq x < \sqrt{2};$$

(2) 当 $\varphi(x) \geq 1$ 时,

$$\text{或 } x < 0, \varphi(x) = x + 2 \geq 1, \text{ 即 } \begin{cases} x < 0 \\ x \geq -1 \end{cases} \Rightarrow -1 \leq x < 0,$$

$$\text{或 } x \geq 0, \varphi(x) = x^2 - 1 \geq 1, \text{ 即 } \begin{cases} x \geq 0 \\ x^2 \geq 2 \end{cases} \Rightarrow x \geq \sqrt{2};$$

$$\text{综上所述, 有 } f[\varphi(x)] = \begin{cases} e^{x+2}, & x < -1, \\ x + 2, & -1 \leq x < 0, \\ e^{x^2-1}, & 0 \leq x < \sqrt{2}, \\ x^2 - 1, & x \geq \sqrt{2}. \end{cases}$$

【例 1.14】 设 $f(x) = \frac{1}{2}(x + |x|)$, $\varphi(x) = \begin{cases} x & x < 0 \\ x^2 & x \geq 0 \end{cases}$, 求 $f[\varphi(x)]$.

【解】 图示法的解题程序: 1° 画出中间变量 $u = \varphi(x)$ 的图像; 2° 将 $y = f(u)$ 的分界点在 xOu 坐标面上画出 (这是若干条平行于 x 轴的直线); 3° 写出 u 在不同区间上 x 所对应的变化区间; 4° 将 3° 所得结果代入 $y = f(u)$ 中便得复合函数 $y = f[\varphi(x)]$ 的表达式及相应 x 的变化区间.

$$f[\varphi(x)] = \frac{1}{2}[\varphi(x) + |\varphi(x)|], \quad (*)$$

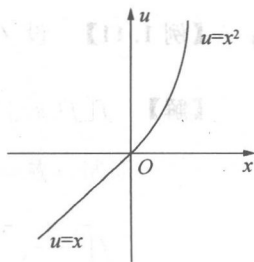


图 1.1

作出 $u = \varphi(x)$ 的图像, 如图 1.1 所示, 以及 $f(u) = \frac{1}{2}(u +$

$|u|)$ 的分界点 $u = 0$ (xOu 平面上的 x 轴),

当 $x < 0$ 时, $u = x$. ($u < 0$)

当 $x \geq 0$ 时, $u = x^2$. ($u \geq 0$)

将以上所得结果代入 (*) 式, 得 $f[\varphi(x)] = \begin{cases} 0, & x < 0 \\ x^2, & x \geq 0 \end{cases}$.

§ 2 极 限

一、数列的极限

题型 I 已知数列的前几项数值及通项的表达式, 求数列的极限

【解题提示】 利用单调有界数列必有极限定理求解 (求解程序: ① 判断极限的存在性 { 单调性, 方法可用数学归纳法或不等式的放缩法; ② 先令 $\lim_{n \rightarrow \infty} x_n = l$, 然后通过解关于 l 的方程 } 有界性)

程,求得 l 的值,从而得极限 $\lim_{n \rightarrow \infty} x_n$).或者利用数列极限的定义求解(先令 $\lim_{n \rightarrow \infty} x_n = l$,然后在项的两边取极限得出 l 的数值,再证 $\lim_{n \rightarrow \infty} x_n$ 的存在性.此步通常是利用 $|x_n - l|$ 的逐步放大而得出其小于一个无穷小量).

【例 1.15】 设 $x_1 = 2, x_2 = 2 + \frac{1}{x_1}, \dots, x_{n+1} = 2 + \frac{1}{x_n}$, 求 $\lim_{n \rightarrow \infty} x_n$.

【解】 令 $\lim_{n \rightarrow \infty} x_n = l$, 在 $x_{n+1} = 2 + \frac{1}{x_n}$ 的两边取 $n \rightarrow \infty$ 时的极限

$$\Rightarrow l = 2 + \frac{1}{l} \Rightarrow l^2 - 2l - 1 = 0 \Rightarrow l = 1 \pm \sqrt{2},$$

因为由题设可知 $x_{n+1} = 2 + \frac{1}{x_n} > 2$ 所以 $l = 1 + \sqrt{2}$.

以下证明 $\lim_{n \rightarrow \infty} x_n$ 存在:

$$\begin{aligned} |x_n - l| &= \left| \left(2 + \frac{1}{x_{n-1}} \right) - \left(2 + \frac{1}{l} \right) \right| = \left| \frac{1}{x_{n-1}} - \frac{1}{l} \right| \\ &= \frac{|x_{n-1} - l|}{lx_{n-1}} \quad (\text{因为 } x_{n-1} = 2 + \frac{1}{x_{n-2}} > 2, l = 2 + \frac{1}{l} > 2) \\ &< \frac{|x_{n-1} - l|}{4} < \frac{|x_{n-2} - l|}{4} / 4 \\ &= \frac{|x_{n-2} - l|}{4^2} < \frac{|x_{n-3} - l|}{4^3} < \dots < \frac{|x_1 - l|}{4^{n-1}} \\ &= \frac{|2 - (1 + \sqrt{2})|}{4^{n-1}} = \frac{|1 - \sqrt{2}|}{4^{n-1}} = \frac{\sqrt{2} - 1}{4^{n-1}}, \end{aligned}$$

因为 $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\sqrt{2} - 1}{4^{n-1}} = 0$ 所以 $\lim_{n \rightarrow \infty} (x_n - l) = 0$,

故 $\lim_{n \rightarrow \infty} x_n = \sqrt{2} + 1$.

【例 1.16】 设 $x_1 = 1, x_2 = 1 + \frac{x_1}{1+x_1}, \dots, x_n = 1 + \frac{x_{n-1}}{1+x_{n-1}}$, 求 $\lim_{n \rightarrow \infty} x_n$.

【解】 令 $\lim_{n \rightarrow \infty} x_n = l$, 在 $x_n = 1 + \frac{x_{n-1}}{1+x_{n-1}}$ 的两边取 $n \rightarrow \infty$ 时的极限,

$$\Rightarrow l = 1 + \frac{l}{1+l} \Rightarrow l^2 - l - 1 = 0 \Rightarrow l = \frac{1 \pm \sqrt{5}}{2}, \text{ 由题设可知 } l = \frac{1 + \sqrt{5}}{2}.$$

以下证明 $\lim_{n \rightarrow \infty} x_n$ 存在:

$$\begin{aligned} |x_n - l| &= \left| \left(1 + \frac{x_{n-1}}{1+x_{n-1}} \right) - \left(1 + \frac{l}{1+l} \right) \right| \\ &= \frac{|x_{n-1} - l|}{|(1+x_{n-1})(1+l)|} < \frac{|x_{n-1} - l|}{2(1+l)} < \dots < \frac{|x_1 - l|}{2^{n-1}(1+l)} \\ &= \frac{l}{2^{n-1}(1+l)} = \frac{l}{2^{n-1}(1+l)^2}. \end{aligned}$$

因为 $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{l}{2^{n-1}(1+l)^2} = 0$, 所以 $\lim_{n \rightarrow \infty} (x_n - l) = 0$,

$$\text{故 } \lim_{n \rightarrow \infty} x_n = \frac{1+\sqrt{5}}{2}.$$

【另解】 由题设可知 $x_n > 0$ ($n = 1, 2, \dots$),

$$x_2 - x_1 = \left(1 + \frac{x_1}{1+x_1}\right) - 1 = \frac{x_1}{1+x_1} > 0. \quad \text{于是, } x_2 > x_1.$$

设 $x_n > x_{n-1}$, 则

$$\begin{aligned} x_{n+1} - x_n &= \left(1 + \frac{x_n}{x_n+1}\right) - \left(1 + \frac{x_{n-1}}{1+x_{n-1}}\right) = \frac{x_n}{1+x_n} - \frac{x_{n-1}}{1+x_{n-1}} \\ &= \frac{x_n - x_{n-1}}{(1+x_n)(1+x_{n-1})} > 0, \end{aligned}$$

故 $\{x_n\}$ 单调增加.

因为 $x_n = 1 + \frac{x_{n-1}}{1+x_{n-1}}$ (因为 $x_{n-1} > 0$) < 2 , 所以 $\{x_n\}$ 有界.

故 $\lim_{n \rightarrow \infty} x_n$ 存在. 设其为 l , 于是

$$\lim_{n \rightarrow \infty} x_n = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{x_{n-1}}{1+x_{n-1}}\right), \text{ 即 } l = 1 + \frac{l}{1+l} \Rightarrow l = \frac{1 \pm \sqrt{5}}{2}, \text{ 由题设可知 } l \text{ 非负.}$$

$$\text{故 } \lim_{n \rightarrow \infty} x_n = \frac{1+\sqrt{5}}{2}.$$

【例 1.17】 设 $x_{n+1} = \frac{1}{2} \left(x_n + \frac{a}{x_n}\right)$, 其中 $a > 0, x_0 > 0$, 求 $\lim_{n \rightarrow \infty} x_n$.

【证】 因为 $x_{n+1} = \frac{1}{2} \left(x_n + \frac{a}{x_n}\right) \geq \sqrt{x_n \cdot \frac{a}{x_n}} = \sqrt{a}$, 所以 $\{x_n\}$ 有界.

又 因为 $\frac{x_{n+1}}{x_n} = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{a}{x_n^2}\right) \leq \frac{1}{2} \left(1 + \frac{a}{(\sqrt{a})^2}\right) = 1$, 所以 $\{x_n\}$ 单调.

故 $\lim_{n \rightarrow \infty} x_n$ 存在, 令 $\lim_{n \rightarrow \infty} x_n = l$, 则由

$$\lim_{n \rightarrow \infty} x_{n+1} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{2} \left(x_n + \frac{a}{x_n}\right), \text{ 可得 } l = \frac{1}{2} \left(l + \frac{a}{l}\right) \Rightarrow l = \sqrt{a},$$

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

注 单调数列的极限既可用极限定义法, 又可用单调有界数列必有极限的定理去求解. 若数列不单调则只能用极限的定义法.

题型 II 求解 $n \rightarrow \infty$ 时, n 项和的极限

【解题提示】 方法有: ① 特殊级数求和法. ② 利用幂级数求和法. ③ 利用定积分定义求极限. ④ 利用夹逼定理.

若数列的每一项可提出一个因子 $\frac{1}{n}$, 剩余的可用一个通式表示, 则用定积分定义求解数列的极限; 若数列的各项虽可提出一个因子 $\frac{1}{n}$, 而剩余的不能用一个通式表示, 但其各项是按递增或递减排列的, 则用夹逼定理求极限.

【例 1.18】 求下列各极限:

$$(1) \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{\sqrt{n^2+1}} + \frac{1}{\sqrt{n^2+2}} + \cdots + \frac{1}{\sqrt{n^2+n}} \right).$$

$$(2) \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{n}{n^2+1} + \frac{n}{n^2+2^2} + \cdots + \frac{n}{n^2+n^2} \right).$$

$$(3) \lim_{n \rightarrow \infty} \left[\frac{2^{1/n}}{n+1} + \frac{2^{2/n}}{n+\frac{1}{2}} + \cdots + \frac{2^{n/n}}{n+\frac{1}{n}} \right].$$

【解】 (1) 因为每一项中提出 $\frac{1}{n}$ 后, 剩余各项不能用一个通项表示出来, 因此不能用定积分定义求解.

$$1 \leftarrow \frac{n}{\sqrt{n^2+n}} \leq \frac{1}{\sqrt{n^2+1}} + \frac{1}{\sqrt{n^2+2}} + \cdots + \frac{1}{\sqrt{n^2+n}} \leq \frac{n}{\sqrt{n^2+1}} \rightarrow 1 \quad (n \rightarrow \infty),$$

$$\text{故} \quad \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{\sqrt{n^2+1}} + \frac{1}{\sqrt{n^2+2}} + \cdots + \frac{1}{\sqrt{n^2+n}} \right) = 1.$$

$$(2) \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{n}{n^2+1} + \frac{n}{n^2+2^2} + \cdots + \frac{n}{n^2+n^2} \right) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{1 + \left(\frac{i}{n}\right)^2}$$

$$= \int_0^1 \frac{1}{1+x^2} dx = \arctan x \Big|_0^1 = \arctan 1 = \frac{\pi}{4}.$$

$$(3) \frac{1}{n+1} \sum_{i=1}^n (2^{\frac{1}{n}})^i \leq \frac{2^{\frac{1}{n}}}{n+1} + \frac{2^{\frac{2}{n}}}{n+\frac{1}{2}} + \cdots + \frac{2^{\frac{n}{n}}}{n+\frac{1}{n}} \leq \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (2^{\frac{1}{n}})^i,$$

$$\text{因为} \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n+1} \sum_{i=1}^n (2^{\frac{1}{n}})^i = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n}{n+1} \sum_{i=1}^n (2^{\frac{1}{n}})^i \cdot \frac{1}{n} = \int_0^1 2^x dx = \left. \frac{2^x}{\ln 2} \right|_0^1 = \frac{1}{\ln 2},$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n (2^{\frac{1}{n}})^i \cdot \frac{1}{n} = \int_0^1 2^x dx = \frac{1}{\ln 2},$$

$$\text{所以} \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{2^{\frac{1}{n}}}{n+1} + \frac{2^{\frac{2}{n}}}{n+\frac{1}{2}} + \cdots + \frac{2^{\frac{n}{n}}}{n+\frac{1}{n}} \right) = \frac{1}{\ln 2}.$$

【例 1.19】 求 $\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n \frac{1}{n + \frac{i^2+1}{n}}$.

【解】 $\sum_{i=1}^n \frac{1}{n + \frac{i^2+1}{n}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{1 + \frac{i^2+1}{n^2}} \cdot \frac{1}{n},$

$$\text{因为} \quad \frac{i^2}{n^2} \leq \frac{i^2+1}{n^2} \leq \frac{(i+1)^2}{n^2},$$

$$\text{所以} \quad \sum_{i=1}^n \frac{1}{1 + \frac{(i+1)^2}{n^2}} \cdot \frac{1}{n} \leq \sum_{i=1}^n \frac{1}{1 + \frac{i^2+1}{n^2}} \cdot \frac{1}{n} \leq \sum_{i=1}^n \frac{1}{1 + \frac{i^2}{n^2}} \cdot \frac{1}{n}.$$

$$\text{又 因为} \quad \sum_{i=1}^n \frac{1}{1 + \frac{(i+1)^2}{n^2}} \cdot \frac{1}{n} = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{1}{1 + \frac{(i+1)^2}{n^2}} \cdot \frac{1}{n} + \frac{1}{1 + \frac{(n+1)^2}{n^2}} \cdot \frac{1}{n},$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n \frac{1}{1 + \frac{(i+1)^2}{n^2}} \cdot \frac{1}{n} = \int_0^1 \frac{1}{1+x^2} dx + \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n}{n^2 + (n+1)^2} = \arctan x \Big|_0^1 + 0 = \frac{\pi}{4},$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n \frac{1}{1 + \frac{i^2}{n^2}} \cdot \frac{1}{n} = \int_0^1 \frac{1}{1+x^2} dx = \frac{\pi}{4}, \quad \text{故} \quad \text{原极限} = \frac{\pi}{4}.$$

题型 III 求 $n \rightarrow \infty$ 时, n 项乘积的极限

【解题提示】 解法有: (1) 分子, 分母同乘以一个因子, 使之出现连锁反应; (2) 拆通项、分解因式使之成为两因子乘积形式, 在整个相乘过程中中间项相消, 从而化简为易求极限; (3) 利用夹逼定理; (4) 利用对数恒等式化为 n 项和的形式.

【例 1.20】 求下列极限:

$$(1) \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{2^3 - 1}{2^3 + 1} \cdot \frac{3^3 - 1}{3^3 + 1} \cdots \frac{n^3 - 1}{n^3 + 1}.$$

$$(2) \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{2} \cdot \frac{3}{4} \cdot \frac{5}{6} \cdots \frac{2n-1}{2n}.$$

$$(3) \lim_{n \rightarrow \infty} \left[\left(1 + \frac{1^2}{n^2}\right) \left(1 + \frac{2^2}{n^2}\right) \left(1 + \frac{3^2}{n^2}\right) \cdots \left(1 + \frac{n^2}{n^2}\right) \right]^{\frac{1}{n}}.$$

【解】 (1) 因为 $\frac{k^3 - 1}{k^3 + 1} = \frac{k-1}{k+1} \cdot \frac{k^2 + k + 1}{k^2 - k + 1}$,

$$\text{又} \quad \prod_{k=2}^n \frac{k-1}{k+1} = \frac{2}{n(n+1)}, \quad \prod_{k=2}^n \frac{k^2 + k + 1}{k^2 - k + 1} = \frac{n^2 + n + 1}{3},$$

$$\text{所以原极限} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{2}{n(n+1)} \cdot \frac{n^2 + n + 1}{3} = \frac{2}{3}.$$

$$(2) \text{ 因为 } \begin{cases} 1 \cdot 3 < 2^2 \\ 3 \cdot 5 < 4^2 \\ \dots\dots\dots \\ (2n-1)(2n+1) < (2n)^2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 1 \cdot 3^2 \cdot 5^2 \cdots (2n-1)^2 (2n+1) < 2^2 \cdot 4^2 \cdot 6^2 \cdots (2n)^2 \\ 1 \cdot 3 \cdot 5 \cdots (2n-1) \sqrt{2n+1} < 2 \cdot 4 \cdot 6 \cdots 2n \\ \dots\dots\dots \\ 0 < \frac{1 \cdot 3 \cdot 5 \cdots (2n-1)}{2 \cdot 4 \cdot 6 \cdots (2n)} < \frac{1}{\sqrt{2n+1}} \end{cases}$$

$$\text{又因为} \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{\sqrt{2n+1}} = 0,$$

故 由夹逼定理, 原极限 = 0.

$$(3) \text{ 取对数得 } \frac{1}{n} \left[\ln\left(1 + \frac{1^2}{n^2}\right) + \ln\left(1 + \frac{2^2}{n^2}\right) + \cdots + \ln\left(1 + \frac{n^2}{n^2}\right) \right] = \sum_{i=1}^n \ln\left(1 + \frac{i^2}{n^2}\right) \cdot \frac{1}{n},$$

两边取 $n \rightarrow \infty$ 时的极限, 得

$$\begin{aligned} I &= \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n \ln\left(1 + \frac{i^2}{n^2}\right) \cdot \frac{1}{n} = \int_0^1 \ln(1+x^2) dx = x \ln(1+x^2) \Big|_0^1 - 2 \int_0^1 \frac{x^2 dx}{1+x^2} \\ &= \ln 2 - 2 \int_0^1 \left(1 - \frac{1}{1+x^2}\right) dx = \ln 2 + \frac{\pi-4}{2}, \end{aligned}$$

$$\text{故原极限} = e^{\ln 2 + (\pi-4)/2} = e^{\ln 2} \cdot e^{(\pi-4)/2} = 2e^{(\pi-4)/2}.$$

题型 IV 通项为积分形式的数列的极限

【解题提示】 注意:一般地 $\lim_{n \rightarrow \infty} \int_a^b f_n(x) dx \neq \int_a^b [\lim_{n \rightarrow \infty} f_n(x)] dx$, 求解 $\lim_{n \rightarrow \infty} \int_a^b f_n(x) dx$ 的方法: (1) 利用不等式放缩法对 $I_n = \int_a^b f_n(x) dx$ 进行估值, 再用夹逼定理求极限. (2) 利用积分中值定理求极限.

【例 1.21】 求下列极限:

$$(1) \lim_{n \rightarrow \infty} \int_0^1 \frac{x^n}{1+x} dx. \quad (2) \lim_{n \rightarrow \infty} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^n x dx. \quad (3) \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \int_{\frac{1}{n}}^1 \frac{\cos 2t}{4t^2} dt.$$

【解】 (1) 因为在 $[0, 1]$ 上, $x^n \geq 0$, 且 $\frac{1}{1+x}$ 连续,

$$\text{所以 } 0 \leq \int_0^1 \frac{x^n}{1+x} dx = \frac{1}{1+\xi} \int_0^1 x^n dx = \frac{1}{1+\xi} \cdot \frac{x^{n+1}}{n+1} \Big|_0^1 = \frac{1}{1+\xi} \cdot \frac{1}{n+1},$$

$$\text{其中 } 0 \leq \xi \leq 1, \text{ 故 } \lim_{n \rightarrow \infty} \int_0^1 \frac{x^n}{1+x} dx = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{1+\xi} \cdot \frac{1}{n+1} = 0.$$

$$(2) \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^n x dx = \int_0^{\frac{\pi}{2}-\epsilon} \sin^n x dx + \int_{\frac{\pi}{2}-\epsilon}^{\frac{\pi}{2}} \sin^n x dx, \quad \text{其中 } \epsilon > 0 \text{ 为任意正数,}$$

$$\text{而 } 0 < \int_0^{\frac{\pi}{2}-\epsilon} \sin^n x dx = \sin^n \xi \int_0^{\frac{\pi}{2}-\epsilon} dx = \left(\frac{\pi}{2} - \epsilon\right) \sin^n \xi \leq \frac{\pi}{2} \sin^n \xi,$$

$$\text{其中 } 0 < \xi < \frac{\pi}{2} - \epsilon, \text{ 由于 } 0 < \sin \xi < 1, \text{ 所以 } \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\pi}{2} \sin^n \xi = 0.$$

$$\text{又 } 0 < \int_{\frac{\pi}{2}-\epsilon}^{\frac{\pi}{2}} \sin^n x dx \leq \int_{\frac{\pi}{2}-\epsilon}^{\frac{\pi}{2}} dx = \frac{\pi}{2} - \left(\frac{\pi}{2} - \epsilon\right) = \epsilon, \text{ 所以 } \lim_{n \rightarrow \infty} \int_{\frac{\pi}{2}-\epsilon}^{\frac{\pi}{2}} \sin^n x dx = 0,$$

$$\text{故 } \lim_{n \rightarrow \infty} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^n x dx = 0.$$

(3) 因为 $\cos 2t = 1 - \frac{1}{2!}(2t)^2 + o(t^2)$, 所以 $1 - 2t^2 \leq \cos 2t \leq 1$, 于是

$$\int_{\frac{1}{n}}^1 \frac{1-2t^2}{4t^2} dt \leq \int_{\frac{1}{n}}^1 \frac{\cos 2t}{4t^2} dt \leq \int_{\frac{1}{n}}^1 \frac{1}{4t^2} dt$$

$$\Rightarrow -\frac{3}{4} + \frac{n}{4} + \frac{1}{2n} \leq \int_{\frac{1}{n}}^1 \frac{\cos 2t}{4t^2} dt \leq -\frac{1}{4} + \frac{n}{4}, \text{ 两边同乘以 } \frac{1}{n}, \text{ 得}$$

$$-\frac{3}{4n} + \frac{1}{4} + \frac{1}{2n^2} \leq \frac{1}{n} \int_{\frac{1}{n}}^1 \frac{\cos 2t}{4t^2} dt \leq -\frac{1}{4n} + \frac{1}{4},$$

$$\text{因为 } \lim_{n \rightarrow \infty} \left(-\frac{3}{4n} + \frac{1}{4} + \frac{1}{2n^2}\right) = \frac{1}{4}, \quad \lim_{n \rightarrow \infty} \left(-\frac{1}{4n} + \frac{1}{4}\right) = \frac{1}{4},$$

$$\text{所以 } \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \int_{\frac{1}{n}}^1 \frac{\cos 2t}{4t^2} dt = \frac{1}{4}.$$

题型 V 利用子序列的极限与函数的极限等值定理, 求数列极限

【解题提示】 将序列中的自然数 n 换成连续变量 x , 求出形式相同的函数的极限, 即得数列的极限.

【例 1.22】 求下列极限:

$$(1) \lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt{n}(\sqrt[n]{n} - 1), \quad (2) \lim_{n \rightarrow \infty} \left(n \sin \frac{1}{n}\right)^{n^2}.$$

【解】 (1) 因为 $\lim_{x \rightarrow +\infty} \sqrt{x}(\sqrt{x} - 1) = \lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{x^{\frac{1}{x}} - 1}{x^{-\frac{1}{2}}} \left(\frac{0}{0}\right)$

$$= \lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{e^{\frac{1}{x} \ln x} - 1}{x^{-\frac{1}{2}}} = \lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{\frac{1}{x} \ln x}{x^{-\frac{1}{2}}} = \lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{\ln x}{\sqrt{x}} = 0,$$

所以 $\lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt{n}(\sqrt[n]{n} - 1) = 0$.

$$(2) \text{ 因为 } \lim_{x \rightarrow +\infty} \left(x \sin \frac{1}{x}\right)^{x^2} = \lim_{x \rightarrow +\infty} \left[1 + \left(x \sin \frac{1}{x} - 1\right)\right]^{x^2},$$

$$\begin{aligned} \lim_{x \rightarrow +\infty} x^2 \left(x \sin \frac{1}{x} - 1\right) & \stackrel{\text{令 } u = \frac{1}{x}}{=} \lim_{u \rightarrow 0^+} \frac{\frac{1}{u} \sin u - 1}{u^2} = \lim_{u \rightarrow 0^+} \frac{\sin u - u}{u^3} \\ & = \lim_{u \rightarrow 0^+} \frac{\cos u - 1}{3u^2} = \lim_{u \rightarrow 0^+} \frac{-\sin u}{6u} = -\frac{1}{6}, \end{aligned}$$

所以 $\lim_{x \rightarrow +\infty} \left(x \sin \frac{1}{x}\right)^{x^2} = e^{-\frac{1}{6}}$, 故 $\lim_{n \rightarrow \infty} \left(n \sin \frac{1}{n}\right)^{n^2} = e^{-\frac{1}{6}}$.

二、函数的极限

题型 I $\frac{0}{0}$ 型未定式的定值法

【解题提示】 求解 $\frac{0}{0}$ 型极限的方法:

- (1) 通过因式分解或根式有理化消去零因子, 然后用连续函数的性质求极限;
- (2) 利用等价无穷小和台劳公式求极限;
- (3) 利用洛毕达法则求极限(这是求 $\frac{0}{0}$ 型极限最有效的方法);
- (4) 利用变量替换(通常是令 $x = \frac{1}{t}$ 或 $x = \frac{1}{t^2}$).

【例 1.23】 求下列极限:

$$(1) \lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sqrt{1 + \tan x} - \sqrt{1 - \tan x}}{e^x - 1}.$$

$$(2) \lim_{x \rightarrow 1} \frac{(1 - \sqrt{x})(1 - \sqrt[3]{x}) \cdots (1 - \sqrt[n]{x})}{(1 - x)^{n-1}}.$$

$$(3) \lim_{x \rightarrow 1} \frac{\ln(1 + \sqrt[3]{x-1})}{\arcsin \sqrt{x-1}}.$$

$$(4) \lim_{x \rightarrow 0} \frac{\ln(\sin^2 x + e^x) - x}{\ln(x^2 + e^{2x}) - 2x}.$$

【解】 (1) 将根式有理化, 于是有

$$\text{原极限} = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{2 \tan x}{(e^x - 1)(\sqrt{1 + \tan x} + \sqrt{1 - \tan x})}$$