数学分析公式结论总结

Information

• 维护者: Phinney

版本: 0.2 β

• 参考文献:

。 [1]杨小远.工科数学分析教程(上册)[M].北京: 科学出版社, 2018.

目录

- 数学分析公式结论总结
 - Information
 - o <u>目录</u>
 - § 0.常用公式表
 - 三角函数
 - 和差化积
 - 积化和差
 - 半角公式
 - 倍角公式
 - 万能公式
 - 23 130
 - 其他
 - o § 1.数列极限
 - 常用公式\结论
 - 符号/定义
 - 数列极限定义
 - 数列极限的保序性(取0时为保号性)
 - 自然常数
 - 六大定理关系
 - 其他
 - o § 2<u>.函数极限与连续</u>
 - 集合
 - 集合的势
 - 符号/定义
 - 函数极限
 - 函数连续
 - <u>一致连续</u>
 - 无穷小与无穷大阶
 - 常用极限/结论

§ 0.常用公式表

三角函数

和差化积

$$\sin \alpha + \sin \beta = 2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2}$$
$$\sin \alpha - \sin \beta = 2 \cos \frac{\alpha + \beta}{2} \sin \frac{\alpha - \beta}{2}$$
$$\cos \alpha + \cos \beta = 2 \cos \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2}$$
$$\cos \alpha - \cos \beta = -2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \sin \frac{\alpha - \beta}{2}$$

积化和差

$$\sin \alpha \cos \beta = \frac{1}{2} [\sin (\alpha + \beta) + \sin (\alpha - \beta)]$$

$$\cos \alpha \sin \beta = \frac{1}{2} [\sin (\alpha + \beta) - \sin (\alpha - \beta)]$$

$$\cos \alpha \cos \beta = \frac{1}{2} [\cos (\alpha + \beta) + \cos (\alpha - \beta)]$$

$$\sin \alpha \sin \beta = -\frac{1}{2} [\cos (\alpha + \beta) - \cos (\alpha - \beta)]$$

半角公式

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \pm \sqrt{\frac{1 - \cos \alpha}{2}}$$

$$\cos \frac{\alpha}{2} = \pm \sqrt{\frac{1 + \cos \alpha}{2}}$$

$$\tan \frac{\alpha}{2} = \pm \sqrt{\frac{1 - \cos \alpha}{1 + \cos \alpha}}$$

$$\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha} = \frac{\sin \alpha}{1 + \cos \alpha}$$

倍角公式

$$\sin 2lpha = 2\sin lpha\cos lpha$$
 $\cos 2lpha = \cos^2 lpha - \sin^2 lpha = 2\cos^2 lpha - 1 = 1 - 2\sin^2 lpha$
 $1 - \cos lpha = 2\sin^2 rac{lpha}{2}$
 $\tan 2lpha = rac{2\tan lpha}{1 - \tan^2 lpha}$
 $\cot 2lpha = rac{\cot^2 lpha - 1}{2\cot lpha}$
 $\sec 2lpha = rac{\sec^2 lpha + \csc^2 lpha}{\csc^2 lpha - \sec^2 lpha} = rac{\sec^2 lpha \csc^2 lpha}{\csc^2 lpha - \sec^2 lpha}$
 $\csc 2lpha = rac{\sec^2 lpha + \csc^2 lpha}{2\sec lpha \csc lpha} = rac{\sec lpha \csc lpha}{2}$
 $(\cos heta + \imath \sin heta)^n = \cos n heta + \imath \sin n heta$

万能公式

$$\sin lpha = rac{2 anrac{lpha}{2}}{1+ an^2rac{lpha}{2}} \ \cos lpha = rac{1- an^2rac{lpha}{2}}{1+ an^2rac{lpha}{2}} \ an lpha = rac{2 anrac{lpha}{2}}{1- an^2rac{lpha}{2}}$$

$$\cot \alpha = \frac{1}{\tan \alpha}$$
 余切 $\csc \alpha = \frac{1}{\sin \alpha}$ 余割 $\sec \alpha = \frac{1}{\cos \alpha}$ 正割

§ 1.数列极限

常用公式\结论

• 指数相关:

$$egin{aligned} &\lim_{n o\infty}n^{rac{1}{n}}=1\ &\lim_{n o\infty}rac{c^n}{n!}=0(c
eq0)\ &\lim_{n o\infty}rac{n^lpha}{c^n}=0(lpha>0,c>1) \end{aligned}$$

• 调和-几何-算术平均值不等式

$$rac{n}{rac{1}{a_1} + rac{1}{a_2} + \cdots + rac{1}{a_n}} \leq \sqrt[n]{a_1 a_2 \cdots a_n} \leq rac{a_1 + a_2 + \cdots + a_n}{n} \quad (a_i > 0, i = 1, 2, \cdots, n)$$

• 伯努利不等式

$$(1+x)^n \geq 1+nx \quad (\forall x>-1, n\in \mathbb{N}^*)$$

• 柯西不等式

$$(\sum_{i=1}^n a_i b_i)^2 \leq (\sum_{i=1}^n a_i^2)(\sum_{i=1}^n b_i^2)$$

• 二项式展开

$$(a+b)^n = \sum_{k=0}^n C_n^k a^k b^{n-k}$$

• 因式分解

$$a^{n} - b^{n} = (a - b)(a^{n-1} + a^{n-2}b + \dots + ab^{n-2} + b^{n-1})$$

• 闵科夫斯基不等式(可以通过几何意义来记忆)

$$(\sum_{i=1}^n (a_i+b_i)^2)^{rac{1}{2}} \leq (\sum_{i=1}^n a_i^2)^{rac{1}{2}} + (\sum_{i=1}^n b_i^2)^{rac{1}{2}} \ (\sum_{i=1}^n (a_i+b_i)^p)^{rac{1}{p}} \leq (\sum_{i=1}^n a_i^p)^{rac{1}{p}} + (\sum_{i=1}^n b_i^p)^{rac{1}{p}}$$

符号/定义

● ∀: 任意选取 ∃: 存在 冒号: 满足的结论

•
$$n!! = \begin{cases} 2 \cdot 4 \cdot 6 \cdots n & n \mod 2 = 0 \\ 1 \cdot 3 \cdot 5 \cdots n & n \mod 2 = 1 \end{cases}$$

• 无穷小/无穷小量: 如果数列 a_n 的极限为零,那么称数列 a_n 为无穷小(量)

- 欧拉常数 (γ) : $1+\frac{1}{2}+\cdots+\frac{1}{n}-\ln n=\gamma+\epsilon(n)$, 其中 $\lim_{n\to\infty}\epsilon(n)=0$; 即调和级数与自然对数的差值的极限
- 上/下确界: $sup E = \alpha, inf E = \beta$

• 上/下极限: 设E为 $\{a_n\}$ 中所有子列极限 (包含 $\pm\infty$) 构成的集合,则数列的上下极限 $\lim_{n\to\infty} \sup a_n=a^*=\sup E, \lim_{n\to\infty}\inf a_n=a_*=\inf E$

并有定理 $\lim_{n \to \infty} inf \ a_n = \lim_{n \to \infty} sup \ a_n = a \iff \lim_{n \to \infty} a_n = a$

数列极限定义

$$\forall \epsilon > 0, \exists N(\epsilon) \in \mathbb{N}^*, \forall n > N : |a_n - a| < \epsilon$$

数列极限的保序性(取0时为保号性)

- (1)设 $\lim_{n o \infty} a_n = a, lpha < a < eta$,则存在 $N \in \mathbb{N}^*$,使得当n > N时,有 $lpha < a_n < eta$
- (2)设 $\lim_{n o\infty}a_n=a,\lim_{n o\infty}b_n=b$,且a< b,则存在 $N\in\mathbb{N}^*$,使得当n>N时,有 $a_n< b_n$
- (3)设 $\lim_{n o\infty}a_n=a,\lim_{n o\infty}b_n=b$,若存在 $N\in\mathbb{N}^*$,使得当n>N时,有 $a_n\leq b_n$,则 $a\leq b$

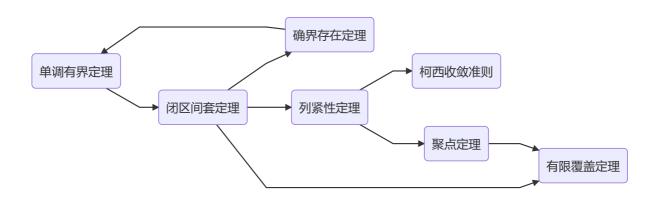
自然常数

$$\lim_{n \to \infty} (1 + \frac{1}{n})^n = \lim_{n \to \infty} (1 + \frac{1}{1!} + \frac{1}{2!} + \dots + \frac{1}{n!}) = e$$

$$\lim_{n \to \infty} (1 + \frac{k}{n})^n = e^k, \qquad \lim_{n \to \infty} (1 - \frac{k}{n})^n = e^{-k} \quad (k \in \mathbb{N}^*)$$

$$x_n = (1 + \frac{1}{n})^n \dot{\text{\text{#}}} \dot{\text{$$

六大定理关系



其他

(1)对 $x \ge 0, y \ge 0, n \in \mathbb{N}^*$,有

$$(x+y)^n \ge x^n + y^n, \qquad (x^n + y^n)^{\frac{1}{n}} \le x + y \ (x+y)^{\frac{1}{n}} \le x^{\frac{1}{n}} + y^{\frac{1}{n}}, \qquad |x^{\frac{1}{n}} - y^{\frac{1}{n}}| \le |x-y|^{\frac{1}{n}}$$

$$\lim_{n o\infty}\left(a_1+a_2+\cdots+a_n
ight)=s\Rightarrow\lim_{n o\infty}rac{a_1+2a_2+\cdots+na_n}{n}=0$$

(3)
$$n < \sqrt{(n-1)(n+1)} \Rightarrow \frac{(2n-1)!!}{(2n)!!} < \frac{1}{\sqrt{(2n+1)}} \quad (n \in \mathbb{N}^*)$$

(4)

$$\lim_{n\to\infty}\big(1+\frac{1}{2^\alpha}+\dots+\frac{1}{n^\alpha}\big)=\begin{cases} \overline{\Lambda}\overline{\rho} & \alpha=1\\ \overline{\rho}\overline{q} & \alpha>1 \end{cases}$$

(5)

$$\lim_{n o\infty}rac{\sqrt[n]{(n+1)(n+2)\cdots(2n)}}{n}=rac{4}{\mathrm{e}}$$

§ 2.函数极限与连续

集合

集合的差: 设 $B \subset A$, $A \setminus B = \{x | x \in A, \exists x \notin B\}$

余集 (补集) : $B^c = U \setminus B(B \subset U)$

直积: $A \times B = \{(x,y) | x \in A, y \in B\}$, 例如 $\mathbb{R} \times \mathbb{R} = \mathbb{R}^2$, 即笛卡尔积

集合的势

集合的势: 如果存在A与B之间的双射 (——对应) ,则称集合A与集合B等势,记作 $A\sim B$

可数集: 若 $A \sim \mathbb{N}^*$,则称A为可数集 (属于无限集)

至多可数集:有限集与可数集合称至多可数集

阿列夫零:在众多无限集中,最小的势是可数集的势 \aleph_0 (即阿列夫零)

定理(集合的性质):

• 可数集的任何无限子集是可数集

• 设 $\{E_n\}, n=1,2,3,\cdots$ 是可数集序列,则 $S=igcup_{n=1}^{\infty}E_n$ 是可数集

• 实数集不是可数集

• 有理数集是可数集

符号/定义

• ≡: 恒等于

• 邻域与去心邻域: $U(x_0;\delta)=\{x||x-x_0|<\delta\}$ $U^o(x_0;\delta)=\{x|0<|x-x_0|<\delta\}$

• $\max\{a,b\} = \frac{a+b+|a-b|}{2}$

 $\bullet \ \min\left\{a,b\right\} = \frac{a+b-\left|a-b\right|}{2}$

• [x]: 不超过x的最大整数,有 $x-1<[x]\leq x$

δ(ε): δ与ε有关

函数极限

- $\lim_{x \to x_0} f(x)$ 与 $f(x_0)$ 无关,与在该点是否有定义也无关
- 函数极限为局部性质
- 有理函数: 形如 $\frac{p(x)}{q(x)}$ 的函数, 其中都是p(x),q(x)多项式
- 海涅原理: $\lim_{x \to x_0} f(x) = A \iff \exists x \to x_0$ 时f(x)的任何子列 $f(x_n)$,都有 $\lim_{n \to \infty} f(x_n) = A$
- 海涅原理应用:两个子列极限不同⇒该点极限不存在
- 柯西收敛定理: $\lim_{x \to x_0} f(x)$ 存在 $\iff orall \epsilon > 0, \exists \delta > 0, orall x_1, x_2 \in U^o(x_0; \delta) : |f(x_1) f(x_2)| < \epsilon$
- 柯西收敛定理(否定): $\lim_{x \to x_0} f(x)$ 不存在 $\iff \exists \epsilon > 0, \forall \delta > 0, \exists x_1, x_2 \in U^o(x_0; \delta): |f(x_1) f(x_2)| \geq \epsilon$

函数连续

- C(I)表示区间I上连续函数的集合
- f(x)在 x_0 处连续的条件: f(x)在 x_0 处有定义, $\lim_{x \to x_0} f(x)$ 存在且等于 $f(x_0)$
- 间断点:
 - 。 第一类间断点: 跳跃间断点 $(f(x_0+0)\neq f(x_0-0))$ 和可去间断点 $(f(x_0+0)=f(x_0-0)\neq f(x_0)$ 或f(x)在该点无定义) 的统称
 - \circ 第二类间断点: f(x)在点 x_0 的左右极限至少有一个不存在(趋向于无穷或上下震荡)

一致连续

- 一致连续: 设 $f: E \to \mathbb{R}$,若 $\forall \epsilon > 0, \exists \delta(\epsilon) > 0, \forall x_1, x_2 \in E, |x_1 x_2| < \delta: |f(x_1) f(x_2)| < \epsilon$,则称 f在E上一致连续。
- 一致连续的 δ 与x无关,可能与 ϵ , $|x_1-x_2|$ 有关
- 若f(x), g(x)在I上一致连续,则:
 - \circ 若f(x),g(x)在I上有界,则f(x)g(x)在I上一致连续
 - 。 若f(x),g(x)在I上有界,|g(x)|在I上有非零的下界,则 $\frac{f(x)}{g(x)}$ 在I上一致连续
- Lipschitz条件(比一致连续更强的条件): 设函数 $f:I\to\mathbb{R}$,若存在正常数L,使得 $|f(x_1)-f(x_2)|\leq |x_1-x_2|$ 对任何 $x,y\in I$ 成立,则称f在I上满足Lipschitz条件。

无穷小与无穷大阶

- 无穷大量是一种特殊的无界变量,无界变量未必是无穷大量(如x o 0时 $y = rac{1}{x} \sin rac{1}{x}$)
- 设f(x), g(x)在 $x \to x_0$ 时是无穷小/大量
 - \circ 若 $\lim_{x o x_0}rac{f(x)}{g(x)}=0$,则称f(x)是g(x)的高阶无穷小/大量
 - 。 若 $\lim_{x\to x_0} \frac{f(x)}{g(x)} = l \neq 0$,则称f(x)是g(x)的同阶无穷小/大量;当l=1时,则称f(x)是g(x)的等价无穷小/大量,记作 $f\sim g(x\to x_0)$

 - 。 若 $\lim_{x o x_0} rac{f(x)}{(x-x_0)^{-k}} = l
 eq 0$,则称f(x)是 $x o x_0$ 时的k阶无穷大量($x o \infty$ 时选 x^k 为标准)
- 无穷小阶运算性质:
 - 。 定义:
 - o()是高阶无穷小,O()是有界量 (<u>具体参阅</u>)

$$\lim rac{f(x)}{g(x)} = 0 \Rightarrow f(x) = o(g(x))$$
 $\lim rac{f(x)}{g(x)} = l \neq 0 \Rightarrow f(x) = O(g(x))$
 $\lim f(x) = 0 \Rightarrow f(x) = o(1)$

 \circ 设 $x \to 0, \alpha, \beta \in \mathbb{R}, \alpha > 0, \beta > 0$,则

$$egin{aligned} o(x^lpha) + o(x^eta) &= o(x^{\min(lpha,eta)}), & o(x^lpha) imes o(x^eta) &= o(x^{lpha+eta}) \ O(x^lpha) + O(x^eta) &= O(x^{\min(lpha,eta)}), & O(x^lpha) imes O(x^eta) &= O(x^{lpha+eta}) \end{aligned}$$

- 无穷大阶运算性质:
 - \circ 设 $x \to \infty, \alpha, \beta \in \mathbb{R}, \alpha > 0, \beta > 0$, 则

$$O(x^{\alpha}) + O(x^{\beta}) = O(x^{\max(\alpha,\beta)}), \qquad O(x^{\alpha})O(x^{\beta}) = O(x^{\alpha+\beta})$$

常用极限/结论

$$\lim_{x \to \infty} (1 + \frac{1}{x})^x = \lim_{x \to 0} (1 + x)^{\frac{1}{x}} = e, \qquad \lim_{x \to \infty} (1 - \frac{1}{x})^x = \lim_{x \to 0} (1 - x)^{\frac{1}{x}} = e^{-1}$$

$$\lim_{x \to 0} \frac{a^x - 1}{x} = \ln a, \qquad \lim_{x \to 0} \frac{e^x - 1}{x} = 1, \qquad \lim_{x \to 0} \frac{\ln (1 + x)}{x} = 1, \qquad \lim_{x \to 0} \frac{(1 + x)^\alpha - 1}{x} = \alpha$$

$$\lim_{x \to 0} \frac{\sin x}{x} = \lim_{x \to 0} \frac{\tan x}{x} = \lim_{x \to 0} \frac{\arcsin x}{x} = \lim_{x \to 0} \frac{\arctan x}{x} = 1$$

• 幂指函数极限
$$(\lim u(x)^{v(x)} \quad (u(x) > 0))$$
:
$$\lim u(x)^{v(x)} = \mathrm{e}^{\lim v \ln u} \qquad (0^0, 1^\infty, \infty^0 \Rightarrow 0 \cdot \infty)$$

$$\lim u^v = \lim ((1 + (u - 1))^{\frac{1}{u - 1}})^{(u - 1)v} = \lim ((1 + t)^{\frac{1}{t}})^{(u - 1)v} = \mathrm{e}^{\lim (u - 1)v} \qquad (1^\infty \Rightarrow 0 \cdot \infty)$$

- 等价无穷小 (等价替换定理):
 - \circ 当 $x \to 0$ 时,

$$\sin x \sim x \qquad an x \sim x \qquad 1-\cos x \sim rac{x^2}{2} \qquad rcsin x \sim x \qquad rctan x \sim x$$
 $\mathrm{e}^x - 1 \sim x \qquad \ln{(1+x)} \sim x \qquad a^x - 1 \sim x \ln{a} \qquad (1+x)^a - 1 \sim ax$

· 等价无穷小传递中被替换的项在原函数中一定以乘积项的形式在分子/分母中出现,即只能是原函数的因子