

合肥工业大学期中试卷

2021~2022 学年第二学期

数学(下)(034Y01)

- (10分) 求函数 $f(x) = \ln \frac{1}{\sqrt{x^2-1}} + \arctan \frac{1}{x}$ 的定义域.
- (5分) 求函数 $y = \begin{cases} 1/x, & x < 0, \\ 1, & x = 0, \\ 1 + e^{-x}, & x > 0 \end{cases}$ 的反函数.
- (10分) 求极限 $\lim_{x \rightarrow 0^-} (1-x)^{1/x}$.
- (5分) 求极限 $\lim_{x \rightarrow -2} \frac{x^2-4}{x^3+8}$.
- (5分) 求极限 $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin(e^{-x}-1)}{\arctan(1-\cos x)}$.
- (5分) 求极限 $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sqrt{1+2x-x^2} - \sqrt{1-2x+x^2}}{x}$.
- (5分) 求极限 $\lim_{x \rightarrow \infty} \left(\cos \frac{1}{x} \right)^{\frac{1}{\ln(1+x^2)-2\ln x}}$.
- (5分) 求极限 $\lim_{x \rightarrow \infty} \left(\frac{\pi}{e^x-1} - \arctan \frac{x}{2} \right)$.
- (5分) 求极限 $\lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{n^2+2} + \frac{2}{n^2+4} + \cdots + \frac{n}{n^2+2n} \right)$.
- (5分) 设 $a_1 = 4, a_{n+1} = \sqrt{a_n+6}$, 证明 $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n$ 存在并求之.
- (10分) 证明 $e^x + x = 4$ 在 $(0, +\infty)$ 内有零点.
- (5分) 设函数 $f(x)$ 在 $[-1, 1]$ 上连续, 且 $f(-1) \leq 1 \leq f(1)$. 证明存在 $\xi \in [-1, 1]$, 使得 $f(\xi) = \xi^2$.
- (10分) 求 $y = e^{x+1} \sin x - e^2 \sin 1$ 的导数.
- (5分) 求 $y = \arctan e^x$ 的导数.
- (5分) 求曲线 $y = \tan x$ 在点 $\left(-\frac{\pi}{4}, -1\right)$ 处的切线方程和法线方程.
- (5分) 设 $f(x) = \begin{cases} \frac{e^{3x}-1}{\arctan x}, & x < 0, \\ 2x+a, & x \geq 0 \end{cases}$ 在 $x=0$ 处连续, 求常数 a .

合肥工业大学试卷 (A)

2021 ~ 2022 学年第二学期

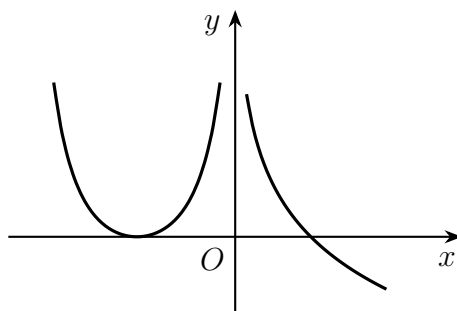
数学 (下) (034Y01)

一、填空题 (每题 3 分, 共 18 分)

1. 如果 $f(x) > 0$ 且 $\lim_{x \rightarrow \infty} f(x) = 0$, 则 $\lim_{x \rightarrow \infty} [1 + f(x)]^{1/f(x)} =$.
2. 设 $y = \sin(x^2 + 1)$, 则 $dy =$.
3. 极限 $\lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{n^2 - 1} + \frac{2}{n^2 - 2} + \cdots + \frac{n}{n^2 - n} \right) =$.
4. 曲线 $y = 2 \ln(x + 1)$ 在点 $(1, 2 \ln 2)$ 处的切线方程为.
5. 若 $e^{y-1} = 1 + xy$, 则 $\left. \frac{dy}{dx} \right|_{x=0} =$.
6. 如果函数 $f(x)$ 的定义域是 $(0, +\infty)$, 且 $x = 0$ 是曲线 $y = f(x)$ 的垂直渐近线, 那么 $\lim_{x \rightarrow 0^+} \frac{1}{f(x)} =$.

二、选择题 (每题 3 分, 共 18 分)

1. 当 $x \rightarrow +\infty$ 时, $\frac{1}{x}$ 和 () 是等价无穷小.
A. $\sin \frac{1}{x}$ B. $\sin x$ C. e^{-x} D. $e^{1/x}$
2. 若当 $x \rightarrow 0$ 时, $\arctan(e^x - 1) \cdot (\cos x - 1)$ 和 x^n 是同阶无穷小, 则 $n =$ ().
A. 0 B. 1 C. 2 D. 3
3. 设 $f(x) = \arctan \frac{1}{x(x-1)^2}$, 则 $x = 0$ 是 $f(x)$ 的 ().
A. 可去间断点 B. 跳跃间断点 C. 第二类间断点 D. 连续点
4. 设 $f(x)$ 是定义在 $(-\infty, +\infty)$ 上的连续函数, 且 $f'(x)$ 的图像如下图所示, 则 $f(x)$ 有 ().
A. 一个极大值点, 没有极小值点 B. 没有极大值点, 一个极小值点
C. 一个极大值点和一个极小值点 D. 一个极大值点和两个极小值点



5. 设 $f(x)$ 在点 $x = 0$ 处可导, 且 $f(0) = 0$, 则 $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{f(x^{2022}) + x^{2021}f(x)}{x^{2022}} = (\quad)$.
- A. 0 B. $f'(0)$ C. $2f'(0)$ D. $2022f'(0)$
6. 如果点 (x_0, y_0) 是曲线 $y = f(x)$ 的拐点, 则 $f''(x_0) = (\quad)$.
- A. 0 B. ∞ C. 不存在 D. 0 或不存在

三、解答题 (每题 8 分, 共 64 分)

1. 求极限 $\lim_{x \rightarrow -1} \frac{x^2 - 1}{x^2 + 3x + 2}$.

2. 求极限 $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{e^x - 1 - x}{\arcsin x^2}$.

3. 设 $\begin{cases} x = t^2 + t \\ y = t^3 + t \end{cases}$, 求 $\frac{dy}{dx}$ 和 $\frac{d^2y}{dx^2}$.

4. 设 $f(x) = \begin{cases} x \arctan \frac{1}{x}, & x < 0, \\ x^2 + ax + b, & x \geq 0. \end{cases}$ 求常数 a, b 使得函数 $f(x)$ 在 $(-\infty, +\infty)$ 内可导, 并求出此时曲线 $y = f(x)$ 的渐近线.

5. 求函数 $f(x) = x^3 - x^2 - x$ 在区间 $[-2, 2]$ 上的最大值和最小值.

6. 证明: 当 $-\frac{\pi}{2} < x_1 < x_2 < \frac{\pi}{2}$ 时, $\tan x_2 - \tan x_1 \geq x_2 - x_1$.

7. 设函数 $f(x)$ 在 $(-\infty, +\infty)$ 内可导, 且 $f(1) = 0$. 证明: 存在 $\xi \in (0, 1)$ 使得 $\xi f'(\xi) + 2022f(\xi) = 0$.

8. 设函数 $f(x) = \ln x + \frac{2}{x^2}, x \in (0, +\infty)$. 求

(1) 函数 $f(x)$ 的增减区间及极值;

(2) 曲线 $y = f(x)$ 的凹凸区间及拐点.

合肥工业大学试卷参考答案 (A)

2021~2022 学年第二学期

数学(下)(034Y01)

一、填空题(每小题 3 分, 共 18 分)

请将你的答案对应填在横线上:

1. e , 2. $2x \cos(x^2 + 1) dx$, 3. $1/2$,

4. $y = x - 1 + 2 \ln 2$, 5. 1, 6. 0.

二、选择题(每小题 3 分, 共 18 分)

请将你所选择的字母 A, B, C, D 之一对应填在下列表格里:

题号	1	2	3	4	5	6
答案	A	D	B	A	C	D

三、解答题(每小题 8 分, 共 64 分)

1. (8 分)【解】

$$\lim_{x \rightarrow -1} \frac{x^2 - 1}{x^2 + 3x + 2} = \lim_{x \rightarrow -1} \frac{(x-1)(x+1)}{(x+2)(x+1)} \quad (3 \text{ 分})$$

$$= \lim_{x \rightarrow -1} \frac{x-1}{x+2} \quad (3 \text{ 分})$$

$$= \frac{-2}{1} = -2. \quad (2 \text{ 分})$$

2. (8 分)【解】

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{e^x - 1 - x}{\arcsin x^2} = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{e^x - 1 - x}{x^2} \quad (3 \text{ 分})$$

$$\stackrel{\text{洛必达}}{=} \lim_{x \rightarrow 0} \frac{e^x - 1}{2x} \quad (3 \text{ 分})$$

$$= \lim_{x \rightarrow 0} \frac{x}{2x} = \frac{1}{2}. \quad (2 \text{ 分})$$

3. (8 分)【解】

$$\frac{dy}{dx} = \frac{dy/dt}{dx/dt} \quad (2 \text{ 分})$$

$$= \frac{3t^2 + 1}{2t + 1}, \quad (2 \text{ 分})$$

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{dy'/dt}{dx/dt} \quad (2 \text{ 分})$$

$$= \frac{6t(2t+1) - (3t^2+1)2}{(2t+1)^3} = \frac{6t^2+6t-2}{(2t+1)^3}. \quad (2 \text{ 分})$$

4. (8 分)【解】

由于 $f(x)$ 在 $x = 0$ 处连续, 因此

$$f(0) = f(0^+) \quad (1 \text{ 分})$$

$$= b = \lim_{x \rightarrow 0^-} x \arctan \frac{1}{x} = 0 \times \left(-\frac{\pi}{2}\right) = 0. \quad (1 \text{ 分})$$

由于 $f(x)$ 在 $x = 0$ 处可导, 因此

$$f'_-(0) = f'_+(0), \quad (1 \text{ 分})$$

$$f'_-(0) = \lim_{x \rightarrow 0^-} \frac{x \arctan \frac{1}{x}}{x} = \lim_{x \rightarrow 0^-} \arctan \frac{1}{x} = -\frac{\pi}{2} \quad (1 \text{ 分})$$

$$f'_+(0) = (2x + a)|_{x=0} = a, \quad (1 \text{ 分})$$

因此 $a = -\frac{\pi}{2}$ (1 分)

由于

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{y}{x} = \lim_{x \rightarrow +\infty} \left(x - \frac{\pi}{2}\right) = +\infty, \quad (1 \text{ 分})$$

$$\lim_{x \rightarrow -\infty} \frac{y}{x} = \lim_{x \rightarrow -\infty} \arctan \frac{1}{x} = 0,$$

$$\lim_{x \rightarrow -\infty} y = \lim_{x \rightarrow -\infty} x \arctan \frac{1}{x} = \lim_{t \rightarrow 0^-} \frac{\arctan t}{t} = 1,$$

因此曲线 $y = f(x)$ 的渐近线只有 $y = 1$ (1 分)

5. (8 分) 【解】

由

$$f'(x) = 3x^2 - 2x - 1 = (3x + 1)(x - 1) = 0 \quad (2 \text{ 分})$$

可得驻点 $x = -\frac{1}{3}, 1$ (2 分)

由于

$$f(-2) = -10, \quad f(2) = 2, \quad f\left(-\frac{1}{3}\right) = \frac{5}{27}, \quad f(1) = -1, \quad (2 \text{ 分})$$

因此最大值为 2, 最小值为 -10. (2 分)

6. (8 分) 【证明】

证法一: 设 $f(x) = \tan x - x$, 则 (2 分)

$$f'(x) = \frac{1}{\cos^2 x} - 1 = \tan^2 x \geq 0. \quad (2 \text{ 分})$$

因此 $f(x)$ 在 $\left(-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right)$ 上单调递增, 从而 (2 分)

$$f(x_2) \geq f(x_1), \quad \tan x_2 - \tan x_1 \geq x_2 - x_1. \quad (2 \text{ 分})$$

证法二: 设 $f(x) = \tan x$, 则 $f(x)$ 在 $[x_1, x_2]$ 上连续, (x_1, x_2) 内可导. (2 分)

由拉格朗日中值定理, 存在 $\xi \in (x_1, x_2)$ 使得

$$\frac{f(x_2) - f(x_1)}{x_2 - x_1} = f'(\xi), \quad (2 \text{ 分})$$

即

$$\frac{\tan x_2 - \tan x_1}{x_2 - x_1} = \frac{1}{\cos^2 \xi} \geq 1. \quad (2 \text{ 分})$$

所以 $\tan x_2 - \tan x_1 \geq x_2 - x_1$. $\dots\dots\dots (2 \text{ 分})$

7. (8 分) 【证明】

设 $F(x) = x^{2022} f(x)$, $\dots\dots\dots (2 \text{ 分})$

则 $F(x)$ 在 $[0, 1]$ 上连续, $(0, 1)$ 内可导, $\dots\dots\dots (1 \text{ 分})$

且 $F(0) = 0, F(1) = f(1) = 0$. $\dots\dots\dots (1 \text{ 分})$

由罗尔中值定理, 存在 $\xi \in (0, 1)$ 使得 $F'(\xi) = 0$. $\dots\dots\dots (2 \text{ 分})$

由于 $F'(x) = x^{2022} f'(x) + 2022x^{2021} f(x)$ 且 $\xi \neq 0$, $\dots\dots\dots (1 \text{ 分})$

所以 $\xi f'(\xi) + 2022f(\xi) = 1$. $\dots\dots\dots (1 \text{ 分})$

8. (8 分) 【解】

(1)

$$f'(x) = \frac{1}{x} - \frac{4}{x^3} = \frac{x^2 - 4}{x^3} = \frac{(x+2)(x-2)}{x^3}. \quad (1 \text{ 分})$$

当 $0 < x < 2$ 时, $f'(x) < 0$. 当 $x > 2$ 时, $f'(x) > 0$. $\dots\dots\dots (1 \text{ 分})$

因此 $(0, 2]$ 是 $f(x)$ 的单调减区间,

$[2, +\infty)$ 是 $f(x)$ 的单调增区间. $\dots\dots\dots (1 \text{ 分, 写成开区间不扣分})$

所以 $f(x)$ 只有唯一的极小值 $f(2) = \ln 2 + \frac{1}{2}$. $\dots\dots\dots (1 \text{ 分})$

(2)

$$f''(x) = -\frac{1}{x^2} + \frac{12}{x^4} = -\frac{x^2 - 12}{x^4} = -\frac{(x - 2\sqrt{3})(x + 2\sqrt{3})}{x^4}. \quad (1 \text{ 分})$$

当 $0 < x < 2\sqrt{3}$ 时, $f''(x) > 0$. 当 $x > 2\sqrt{3}$ 时, $f''(x) < 0$. $\dots\dots\dots (1 \text{ 分})$

因此 $(0, 2\sqrt{3}]$ 是曲线 $y = f(x)$ 的凹区间,

$[2\sqrt{3}, +\infty)$ 是曲线 $y = f(x)$ 的凸区间, $\dots\dots\dots (1 \text{ 分, 写成开区间不扣分})$

拐点为 $\left(2\sqrt{3}, \ln(2\sqrt{3}) + \frac{1}{6}\right)$. $\dots\dots\dots (1 \text{ 分})$

合肥工业大学 试 卷 (B)

2021 ~ 2022 学年第二学期

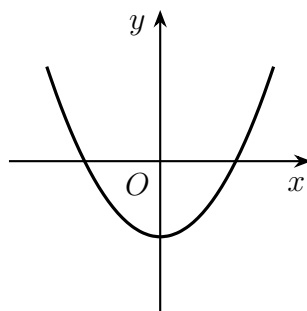
数学 (下) (034Y01)

一、填空题 (每题 3 分, 共 18 分)

1. $\lim_{x \rightarrow 0} (1 + x^2)^{1/x^2} =$.
2. 设 $y = \cos(2x + 1)$, 则 $dy =$.
3. 极限 $\lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{n^2 + 1} + \frac{2}{n^2 + 2} + \cdots + \frac{n}{n^2 + n} \right) =$.
4. 曲线 $y = e^x$ 在点 $(0, 1)$ 处的切线方程为.
5. 若 $x - y + 1 = e^y$, 则 $\left. \frac{dy}{dx} \right|_{x=0} =$.
6. 曲线 $y = x + \frac{1}{x}$ 的斜渐近线是.

二、选择题 (每题 3 分, 共 18 分)

1. 当 $x \rightarrow \infty$ 时, $\frac{1}{x}$ 和 () 是等价无穷小.
A. $\tan \frac{1}{x}$ B. $\tan x$ C. e^x D. $e^{1/x}$
2. 若当 $x \rightarrow 0$ 时, $\tan(e^x - 1) \cdot \sin x$ 和 x^n 是同阶无穷小, 则 $n =$ ().
A. 0 B. 1 C. 2 D. 3
3. 设 $f(x) = \arctan \frac{1}{x^2}$, 则 $x = 0$ 是 $f(x)$ 的 ().
A. 可去间断点 B. 跳跃间断点 C. 第二类间断点 D. 连续点
4. 设 $f(x)$ 是定义在 $(-\infty, +\infty)$ 上的连续函数, 且 $f'(x)$ 的图像如下图所示, 则 $f(x)$ 有 ().
A. 一个极大值点, 没有极小值点 B. 没有极大值点, 一个极小值点
C. 一个极大值点和一个极小值点 D. 一个极大值点和两个极小值点



5. 设函数 $f(x)$ 在点 $x = 0$ 处可导, 且 $f(0) = 0$, 则 $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{f(x^2) - xf(x)}{x^2} = (\quad)$.
- A. 0 B. $f'(0)$ C. $2f'(0)$ D. $-f'(0)$
6. 如果点 (x_0, y_0) 是曲线 $y = f(x)$ 的极值点, 则 $f'(x_0) = (\quad)$.
- A. 0 B. ∞ C. 不存在 D. 0 或不存在

三、解答题 (每题 8 分, 共 64 分)

1. 求极限 $\lim_{x \rightarrow 2} \frac{x^2 - 4}{x^2 - 3x + 2}$.

2. 求极限 $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{x - \sin x}{x^3}$.

3. 设 $\begin{cases} x = t^2 - t \\ y = t^3 - t \end{cases}$, 求 $\frac{dy}{dx}$ 和 $\frac{d^2y}{dx^2}$.

4. 设 $f(x) = \begin{cases} e^x, & x < 0, \\ x^2 + ax + b, & x \geq 0. \end{cases}$ 求常数 a, b 使得函数 $f(x)$ 在 $(-\infty, +\infty)$ 内可导.

5. 求函数 $f(x) = x^3 + x^2 - 5x$ 在区间 $[0, 2]$ 上的最大值和最小值.

6. 证明: 当 $x_2 > x_1 > 1$ 时, $e^{x_2} - e^{x_1} \geq e(x_2 - x_1)$.

7. 设函数 $f(x)$ 在 $(-\infty, +\infty)$ 内可导, 且 $f(1) = 0$. 证明: 存在 $\xi \in (0, 1)$ 使得 $\xi f'(\xi) + 2f(\xi) = 0$.

8. 设函数 $f(x) = x^3 - 3x^2 + 5, x \in (-\infty, +\infty)$.

(1) 函数 $f(x)$ 的增减区间及极值;

(2) 曲线 $y = f(x)$ 的凹凸区间及拐点.

合肥工业大学试卷参考答案 (B)

2021~2022 学年第二学期

数学(下)(034Y01)

一、填空题(每小题 3 分, 共 18 分)

请将你的答案对应填在横线上:

1. e , 2. $-2\sin(2x+1)dx$, 3. $1/2$,

4. $y = x + 1$, 5. $1/2$, 6. $y = x$.

二、选择题(每小题 3 分, 共 18 分)

请将你所选择的字母 A, B, C, D 之一对应填在下列表格里:

题号	1	2	3	4	5	6
答案	A	C	A	C	A	D

三、解答题(每小题 8 分, 共 64 分)

1. (8 分)【解】

$$\lim_{x \rightarrow 2} \frac{x^2 - 4}{x^2 - 3x + 2} = \lim_{x \rightarrow 2} \frac{(x-2)(x+2)}{(x-2)(x-1)} \quad (3 \text{ 分})$$

$$= \lim_{x \rightarrow 2} \frac{x+2}{x-1} \quad (3 \text{ 分})$$

$$= 4. \quad (2 \text{ 分})$$

2. (8 分)【解】

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{x - \sin x}{x^3} \stackrel{\text{洛必达}}{=} \lim_{x \rightarrow 0} \frac{1 - \cos x}{3x^2} \quad (3 \text{ 分})$$

$$= \lim_{x \rightarrow 0} \frac{x^2/2}{3x^2} \quad (3 \text{ 分})$$

$$= \frac{1}{6}. \quad (2 \text{ 分})$$

3. (8 分)【解】

$$\frac{dy}{dx} = \frac{dy/dt}{dx/dt} \quad (2 \text{ 分})$$

$$= \frac{3t^2 - 1}{2t - 1}, \quad (2 \text{ 分})$$

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{dy'/dt}{dx/dt} \quad (2 \text{ 分})$$

$$= \frac{6t(2t-1) - (3t^2-1)2}{(2t-1)^3} = \frac{6t^2 - 6t + 2}{(2t-1)^3}. \quad (2 \text{ 分})$$

4. (8 分)【解】

由于 $f(x)$ 在 $x = 0$ 处连续, 因此

$$f(0) = f(0^-) \quad (2 \text{ 分})$$

$$= b = \lim_{x \rightarrow 0^-} e^x = 1. \quad (2 \text{ 分})$$

由于 $f(x)$ 在 $x = 0$ 处可导, 因此

$$f'_+(0) = f'_-(0), \quad (1 \text{ 分})$$

$$f'_+(0) = (2x + a)|_{x=0} = a, \quad (1 \text{ 分})$$

$$f'_-(0) = (e^x)_{x=0} = 1, \quad (1 \text{ 分})$$

因此 $a = 1$ (1 分)

5. (8 分) 【解】

由

$$f'(x) = 3x^2 + 2x - 5 = (x - 1)(3x + 5) = 0 \quad (2 \text{ 分})$$

可得驻点 $x = 1$ (2 分)

由于

$$f(0) = 0, \quad f(1) = -3, \quad f(2) = 2, \quad (2 \text{ 分})$$

因此最大值为 2, 最小值为 -3. (2 分)

6. (8 分) 【证明】

证法一: 设 $f(x) = e^x - ex$, 则 (2 分)

$$f'(x) = e^x - e \geq 0. \quad (2 \text{ 分})$$

因此 $f(x)$ 在 $(1, +\infty)$ 上单调递增, 从而 (2 分)

$$f(x_2) \geq f(x_1), \quad e^{x_2} - ex_2 \geq e^{x_1} - ex_1. \quad (2 \text{ 分})$$

证法二: 设 $f(x) = e^x$, 则 $f(x)$ 在 $[x_1, x_2]$ 上连续, (x_1, x_2) 内可导. (2 分)

由拉格朗日中值定理, 存在 $\xi \in (x_1, x_2)$ 使得

$$\frac{f(x_2) - f(x_1)}{x_2 - x_1} = f'(\xi), \quad (2 \text{ 分})$$

即

$$\frac{e^{x_2} - e^{x_1}}{x_2 - x_1} = e^\xi \geq e. \quad (2 \text{ 分})$$

所以 $e^{x_2} - e^{x_1} \geq e(x_2 - x_1)$ (2 分)

7. (8分)【证明】

设 $F(x) = x^2 f(x)$, (2分)

则 $F(x)$ 在 $[0, 1]$ 上连续, $(0, 1)$ 内可导, (1分)

且 $F(0) = 0, F(1) = f(1) = 0$ (1分)

由罗尔中值定理, 存在 $\xi \in (0, 1)$ 使得 $F'(\xi) = 0$ (2分)

由于 $F'(x) = x^2 f'(x) + 2xf(x)$ 且 $\xi \neq 0$, 所以 (1分)

$\xi f'(\xi) + 2f(\xi) = 1$ (1分)

8. (8分)【解】

(1)

$$f'(x) = 3x^2 - 6x = 3x(x - 2). \quad (1分)$$

当 $0 < x < 2$ 时, $f'(x) < 0$. 当 $x > 2$ 或 $x < 0$ 时, $f'(x) > 0$ (1分)

因此 $[0, 2]$ 是 $f(x)$ 的单减区间,

$(-\infty, 0]$ 和 $[2, +\infty)$ 是 $f(x)$ 的单增区间. (1分, 写成开区间不扣分)

所以 $f(x)$ 的极小值为 $f(2) = 1$, 极大值为 $f(0) = 5$ (1分)

(2)

$$f''(x) = 6x - 6 = 6(x - 1). \quad (1分)$$

当 $x > 1$ 时, $f''(x) > 0$. 当 $x < 1$ 时, $f''(x) < 0$ (1分)

因此 $[1, +\infty)$ 是曲线 $y = f(x)$ 的凹区间,

$(-\infty, 1]$ 是曲线 $y = f(x)$ 的凸区间, (1分, 写成开区间不扣分)

拐点为 $(1, 3)$ (1分)