

第 3 章 e: 线性方程组解的结构

数学系 梁卓滨

2019-2020 学年 I

引入

例 解齐次线性方程组：

$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 - x_4 = 0 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = 0 \\ 3x_1 + 5x_2 + x_3 + x_4 = 0 \end{cases}$$

引入

例 解齐次线性方程组:
$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 - x_4 = 0 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = 0 \\ 3x_1 + 5x_2 + x_3 + x_4 = 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow (A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 1 & -1 & 0 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & 0 \\ 3 & 5 & 1 & 1 & 0 \end{array} \right)$$

引入

例 解齐次线性方程组:
$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 - x_4 = 0 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = 0 \\ 3x_1 + 5x_2 + x_3 + x_4 = 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow (A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 1 & -1 & 0 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & 0 \\ 3 & 5 & 1 & 1 & 0 \end{array} \right) \xrightarrow[\text{行变换}]{\text{初等}}$$

引入

例 解齐次线性方程组:
$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 - x_4 = 0 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = 0 \\ 3x_1 + 5x_2 + x_3 + x_4 = 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow (A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 1 & -1 & 0 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & 0 \\ 3 & 5 & 1 & 1 & 0 \end{array} \right) \xrightarrow[\text{行变换}]{\text{初等}} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 0 & 2 & -3 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right)$$

引入

例 解齐次线性方程组:
$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 - x_4 = 0 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = 0 \\ 3x_1 + 5x_2 + x_3 + x_4 = 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow (A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 1 & -1 & 0 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & 0 \\ 3 & 5 & 1 & 1 & 0 \end{array} \right) \xrightarrow[\text{行变换}]{\text{初等}} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 0 & 2 & -3 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right)$$

$$r(A) = 2$$

引入

例 解齐次线性方程组:
$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 - x_4 = 0 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = 0 \\ 3x_1 + 5x_2 + x_3 + x_4 = 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow (A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 1 & -1 & 0 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & 0 \\ 3 & 5 & 1 & 1 & 0 \end{array} \right) \xrightarrow[\text{行变换}]{\text{初等}} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 0 & 2 & -3 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right)$$

$$r(A) = 2$$

自由变量

x_3, x_4

引入

例 解齐次线性方程组:
$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 - x_4 = 0 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = 0 \\ 3x_1 + 5x_2 + x_3 + x_4 = 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow (A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 1 & -1 & 0 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & 0 \\ 3 & 5 & 1 & 1 & 0 \end{array} \right) \xrightarrow[\text{行变换}]{\text{初等}} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 0 & 2 & -3 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right)$$

$$r(A) = 2$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 & 2x_3 - 3x_4 = 0 \end{cases}$$

自由变量

x_3, x_4

引入

例 解齐次线性方程组:
$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 - x_4 = 0 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = 0 \\ 3x_1 + 5x_2 + x_3 + x_4 = 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow (A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 1 & -1 & 0 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & 0 \\ 3 & 5 & 1 & 1 & 0 \end{array} \right) \xrightarrow[\text{行变换}]{\text{初等}} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 0 & 2 & -3 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right)$$

$$r(A) = 2$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 & 2x_3 - 3x_4 = 0 \\ x_2 - x_3 + 2x_4 = 0 \end{cases}$$

自由变量

x_3, x_4

引入

例 解齐次线性方程组:
$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 - x_4 = 0 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = 0 \\ 3x_1 + 5x_2 + x_3 + x_4 = 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow (A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 1 & -1 & 0 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & 0 \\ 3 & 5 & 1 & 1 & 0 \end{array} \right) \xrightarrow[\text{行变换}]{\text{初等}} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 0 & 2 & -3 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right)$$

$$r(A) = 2$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 & 2x_3 - 3x_4 = 0 \\ x_2 - x_3 + 2x_4 = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_1 = -2x_3 + 3x_4 \\ x_2 = x_3 - 2x_4 \end{cases}$$

自由变量

x_3, x_4

引入

例 解齐次线性方程组:
$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 - x_4 = 0 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = 0 \\ 3x_1 + 5x_2 + x_3 + x_4 = 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow (A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 1 & -1 & 0 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & 0 \\ 3 & 5 & 1 & 1 & 0 \end{array} \right) \xrightarrow[\text{行变换}]{\text{初等}} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 0 & 2 & -3 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right)$$

$$r(A) = 2$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 & 2x_3 - 3x_4 = 0 \\ x_2 - x_3 + 2x_4 = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_1 = -2x_3 + 3x_4 \\ x_2 = x_3 - 2x_4 \end{cases}$$

自由变量

x_3, x_4

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 = \\ x_2 = \\ x_3 = c_1 \\ x_4 = c_2 \end{cases}$$

引入

例 解齐次线性方程组:
$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 - x_4 = 0 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = 0 \\ 3x_1 + 5x_2 + x_3 + x_4 = 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow (A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 1 & -1 & 0 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & 0 \\ 3 & 5 & 1 & 1 & 0 \end{array} \right) \xrightarrow[\text{行变换}]{\text{初等}} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 0 & 2 & -3 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right)$$

$$r(A) = 2$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 & 2x_3 - 3x_4 = 0 \\ x_2 - x_3 + 2x_4 = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_1 = -2x_3 + 3x_4 \\ x_2 = x_3 - 2x_4 \end{cases}$$

自由变量

x_3, x_4

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 = -2c_1 + 3c_2 \\ x_2 = \\ x_3 = c_1 \\ x_4 = c_2 \end{cases}$$

引入

例 解齐次线性方程组:
$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 - x_4 = 0 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = 0 \\ 3x_1 + 5x_2 + x_3 + x_4 = 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow (A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 1 & -1 & 0 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & 0 \\ 3 & 5 & 1 & 1 & 0 \end{array} \right) \xrightarrow[\text{行变换}]{\text{初等}} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 0 & 2 & -3 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right)$$

$$r(A) = 2$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 & 2x_3 - 3x_4 = 0 \\ x_2 - x_3 + 2x_4 = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_1 = -2x_3 + 3x_4 \\ x_2 = x_3 - 2x_4 \end{cases}$$

自由变量

x_3, x_4

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 = -2c_1 + 3c_2 \\ x_2 = c_1 - 2c_2 \\ x_3 = c_1 \\ x_4 = c_2 \end{cases}$$

引入

例 解齐次线性方程组:
$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 - x_4 = 0 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = 0 \\ 3x_1 + 5x_2 + x_3 + x_4 = 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow (A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 1 & -1 & 0 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & 0 \\ 3 & 5 & 1 & 1 & 0 \end{array} \right) \xrightarrow[\text{行变换}]{\text{初等}} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 0 & 2 & -3 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right)$$

$$r(A) = 2$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 & 2x_3 - 3x_4 = 0 \\ x_2 - x_3 + 2x_4 = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_1 = -2x_3 + 3x_4 \\ x_2 = x_3 - 2x_4 \end{cases}$$

自由变量

x_3, x_4

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 = -2c_1 + 3c_2 \\ x_2 = c_1 - 2c_2 \\ x_3 = c_1 \\ x_4 = c_2 \end{cases}$$

引入

例 解齐次线性方程组:
$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 - x_4 = 0 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = 0 \\ 3x_1 + 5x_2 + x_3 + x_4 = 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow (A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 1 & -1 & 0 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & 0 \\ 3 & 5 & 1 & 1 & 0 \end{array} \right) \xrightarrow[\text{行变换}]{\text{初等}} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 0 & 2 & -3 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) \quad r(A) = 2$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 & 2x_3 - 3x_4 = 0 \\ x_2 - x_3 + 2x_4 = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_1 = -2x_3 + 3x_4 \\ x_2 = x_3 - 2x_4 \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{自由变量} \\ x_3, x_4 \end{array}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 = -2c_1 + 3c_2 \\ x_2 = c_1 - 2c_2 \\ x_3 = c_1 \\ x_4 = c_2 \end{cases} \Rightarrow \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -2c_1 \\ c_1 \\ c_1 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 3c_2 \\ -2c_2 \\ 0 \\ c_2 \end{pmatrix}$$

引入

例 解齐次线性方程组:
$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 - x_4 = 0 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = 0 \\ 3x_1 + 5x_2 + x_3 + x_4 = 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow (A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 1 & -1 & 0 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & 0 \\ 3 & 5 & 1 & 1 & 0 \end{array} \right) \xrightarrow[\text{行变换}]{\text{初等}} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 0 & 2 & -3 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) \quad r(A) = 2$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 & 2x_3 - 3x_4 = 0 \\ x_2 - x_3 + 2x_4 = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_1 = -2x_3 + 3x_4 \\ x_2 = x_3 - 2x_4 \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{自由变量} \\ x_3, x_4 \end{array}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 = -2c_1 + 3c_2 \\ x_2 = c_1 - 2c_2 \\ x_3 = c_1 \\ x_4 = c_2 \end{cases} \Rightarrow \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = c_1 \begin{pmatrix} -2 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} + c_2 \begin{pmatrix} 3 \\ -2 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

引入

例 解齐次线性方程组:
$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 - x_4 = 0 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = 0 \\ 3x_1 + 5x_2 + x_3 + x_4 = 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow (A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 1 & -1 & 0 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & 0 \\ 3 & 5 & 1 & 1 & 0 \end{array} \right) \xrightarrow[\text{行变换}]{\text{初等}} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 0 & 2 & -3 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) \quad r(A) = 2$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 & 2x_3 - 3x_4 = 0 \\ x_2 - x_3 + 2x_4 = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_1 = -2x_3 + 3x_4 \\ x_2 = x_3 - 2x_4 \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{自由变量} \\ x_3, x_4 \end{array}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 = -2c_1 + 3c_2 \\ x_2 = c_1 - 2c_2 \\ x_3 = c_1 \\ x_4 = c_2 \end{cases} \Rightarrow \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix}_x = c_1 \begin{pmatrix} -2 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}_{\xi_1} + c_2 \begin{pmatrix} 3 \\ -2 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}_{\xi_2}$$

引入

例 解齐次线性方程组:
$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 - x_4 = 0 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = 0 \\ 3x_1 + 5x_2 + x_3 + x_4 = 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow (A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 1 & -1 & 0 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & 0 \\ 3 & 5 & 1 & 1 & 0 \end{array} \right) \xrightarrow[\text{行变换}]{\text{初等}} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 0 & 2 & -3 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) \quad r(A) = 2$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 & 2x_3 - 3x_4 = 0 \\ x_2 - x_3 + 2x_4 = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_1 = -2x_3 + 3x_4 \\ x_2 = x_3 - 2x_4 \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{自由变量} \\ x_3, x_4 \end{array}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 = -2c_1 + 3c_2 \\ x_2 = c_1 - 2c_2 \\ x_3 = c_1 \\ x_4 = c_2 \end{cases} \Rightarrow \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix}_x = c_1 \begin{pmatrix} -2 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}_{\xi_1} + c_2 \begin{pmatrix} 3 \\ -2 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}_{\xi_2}$$

$$\Rightarrow x = c_1 \xi_1 + c_2 \xi_2$$

引入

例 解齐次线性方程组:
$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 - x_4 = 0 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = 0 \\ 3x_1 + 5x_2 + x_3 + x_4 = 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow (A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 1 & -1 & 0 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & 0 \\ 3 & 5 & 1 & 1 & 0 \end{array} \right) \xrightarrow[\text{行变换}]{\text{初等}} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 0 & 2 & -3 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) \quad r(A) = 2$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 + 2x_3 - 3x_4 = 0 \\ x_2 - x_3 + 2x_4 = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_1 = -2x_3 + 3x_4 \\ x_2 = x_3 - 2x_4 \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{自由变量} \\ x_3, x_4 \end{array}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 = -2c_1 + 3c_2 \\ x_2 = c_1 - 2c_2 \\ x_3 = c_1 \\ x_4 = c_2 \end{cases} \Rightarrow \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix}_x = c_1 \begin{pmatrix} -2 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}_{\xi_1} + c_2 \begin{pmatrix} 3 \\ -2 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}_{\xi_2}$$

$$\Rightarrow x = c_1 \xi_1 + c_2 \xi_2$$

ξ_1, ξ_2 基础解系

引入

例 解齐次线性方程组:
$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 - x_4 = 0 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = 0 \\ 3x_1 + 5x_2 + x_3 + x_4 = 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow (A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 1 & -1 & 0 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & 0 \\ 3 & 5 & 1 & 1 & 0 \end{array} \right) \xrightarrow[\text{行变换}]{\text{初等}} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 0 & 2 & -3 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) \quad r(A) = 2$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 + 2x_3 - 3x_4 = 0 \\ x_2 - x_3 + 2x_4 = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_1 = -2x_3 + 3x_4 \\ x_2 = x_3 - 2x_4 \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{自由变量} \\ x_3, x_4 \end{array}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 = -2c_1 + 3c_2 \\ x_2 = c_1 - 2c_2 \\ x_3 = c_1 \\ x_4 = c_2 \end{cases} \Rightarrow \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix}_x = c_1 \begin{pmatrix} -2 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}_{\xi_1} + c_2 \begin{pmatrix} 3 \\ -2 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}_{\xi_2}$$

$$\Rightarrow x = c_1 \xi_1 + c_2 \xi_2$$

ξ_1, ξ_2 基础解系

引入

例 解齐次线性方程组:
$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 - x_4 = 0 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = 0 \\ 3x_1 + 5x_2 + x_3 + x_4 = 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow (A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 1 & -1 & 0 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & 0 \\ 3 & 5 & 1 & 1 & 0 \end{array} \right) \xrightarrow[\text{行变换}]{\text{初等}} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & -2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right)$$

$$r(A) = 2$$

引入

例 解齐次线性方程组:
$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 - x_4 = 0 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = 0 \\ 3x_1 + 5x_2 + x_3 + x_4 = 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow (A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 1 & -1 & 0 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & 0 \\ 3 & 5 & 1 & 1 & 0 \end{array} \right) \xrightarrow[\text{行变换}]{\text{初等}} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & -2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right)$$

$$r(A) = 2$$

自由变量

x_2, x_4

引入

例 解齐次线性方程组:
$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 - x_4 = 0 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = 0 \\ 3x_1 + 5x_2 + x_3 + x_4 = 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow (A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 1 & -1 & 0 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & 0 \\ 3 & 5 & 1 & 1 & 0 \end{array} \right) \xrightarrow[\text{行变换}]{\text{初等}} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & -2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right)$$

$$r(A) = 2$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 + 2x_2 + x_4 = 0 \end{cases}$$

自由变量
 x_2, x_4

引入

例 解齐次线性方程组:
$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 - x_4 = 0 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = 0 \\ 3x_1 + 5x_2 + x_3 + x_4 = 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow (A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 1 & -1 & 0 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & 0 \\ 3 & 5 & 1 & 1 & 0 \end{array} \right) \xrightarrow[\text{行变换}]{\text{初等}} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & -2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right)$$

$$r(A) = 2$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 + 2x_2 + x_4 = 0 \\ -x_2 + x_3 - 2x_4 = 0 \end{cases}$$

自由变量
 x_2, x_4

引入

例 解齐次线性方程组:
$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 - x_4 = 0 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = 0 \\ 3x_1 + 5x_2 + x_3 + x_4 = 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow (A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 1 & -1 & 0 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & 0 \\ 3 & 5 & 1 & 1 & 0 \end{array} \right) \xrightarrow[\text{行变换}]{\text{初等}} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & -2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right)$$

$$r(A) = 2$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 + 2x_2 + x_4 = 0 \\ -x_2 + x_3 - 2x_4 = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_1 = -2x_2 - x_4 \\ x_3 = x_2 + 2x_4 \end{cases}$$

自由变量
 x_2, x_4

引入

例 解齐次线性方程组:
$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 - x_4 = 0 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = 0 \\ 3x_1 + 5x_2 + x_3 + x_4 = 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow (A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 1 & -1 & 0 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & 0 \\ 3 & 5 & 1 & 1 & 0 \end{array} \right) \xrightarrow[\text{行变换}]{\text{初等}} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & -2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right)$$

$$r(A) = 2$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 + 2x_2 + x_4 = 0 \\ -x_2 + x_3 - 2x_4 = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_1 = -2x_2 - x_4 \\ x_3 = x_2 + 2x_4 \end{cases}$$

自由变量
 x_2, x_4

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 = \\ x_2 = c_1 \\ x_3 = \\ x_4 = c_2 \end{cases}$$

引入

例 解齐次线性方程组:
$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 - x_4 = 0 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = 0 \\ 3x_1 + 5x_2 + x_3 + x_4 = 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow (A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 1 & -1 & 0 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & 0 \\ 3 & 5 & 1 & 1 & 0 \end{array} \right) \xrightarrow[\text{行变换}]{\text{初等}} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & -2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right)$$

$$r(A) = 2$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 + 2x_2 + x_4 = 0 \\ -x_2 + x_3 - 2x_4 = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_1 = -2x_2 - x_4 \\ x_3 = x_2 + 2x_4 \end{cases}$$

自由变量
 x_2, x_4

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 = -2c_1 - c_2 \\ x_2 = c_1 \\ x_3 = c_1 + 2c_2 \\ x_4 = c_2 \end{cases}$$

引入

例 解齐次线性方程组:
$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 - x_4 = 0 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = 0 \\ 3x_1 + 5x_2 + x_3 + x_4 = 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow (A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 1 & -1 & 0 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & 0 \\ 3 & 5 & 1 & 1 & 0 \end{array} \right) \xrightarrow[\text{行变换}]{\text{初等}} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & -2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right)$$

$$r(A) = 2$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 + 2x_2 + x_4 = 0 \\ -x_2 + x_3 - 2x_4 = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_1 = -2x_2 - x_4 \\ x_3 = x_2 + 2x_4 \end{cases}$$

自由变量
 x_2, x_4

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 = -2c_1 - c_2 \\ x_2 = c_1 \\ x_3 = c_1 + 2c_2 \\ x_4 = c_2 \end{cases}$$

引入

例 解齐次线性方程组:
$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 - x_4 = 0 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = 0 \\ 3x_1 + 5x_2 + x_3 + x_4 = 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow (A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 1 & -1 & 0 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & 0 \\ 3 & 5 & 1 & 1 & 0 \end{array} \right) \xrightarrow[\text{行变换}]{\text{初等}} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & -2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right)$$

$$r(A) = 2$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 + 2x_2 + x_4 = 0 \\ -x_2 + x_3 - 2x_4 = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_1 = -2x_2 - x_4 \\ x_3 = x_2 + 2x_4 \end{cases}$$

自由变量
 x_2, x_4

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 = -2c_1 - c_2 \\ x_2 = c_1 \\ x_3 = c_1 + 2c_2 \\ x_4 = c_2 \end{cases}$$

引入

例 解齐次线性方程组:
$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 - x_4 = 0 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = 0 \\ 3x_1 + 5x_2 + x_3 + x_4 = 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow (A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 1 & -1 & 0 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & 0 \\ 3 & 5 & 1 & 1 & 0 \end{array} \right) \xrightarrow[\text{行变换}]{\text{初等}} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & -2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right)$$

$$r(A) = 2$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 + 2x_2 + x_4 = 0 \\ -x_2 + x_3 - 2x_4 = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_1 = -2x_2 - x_4 \\ x_3 = x_2 + 2x_4 \end{cases}$$

自由变量
 x_2, x_4

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 = -2c_1 - c_2 \\ x_2 = c_1 \\ x_3 = c_1 + 2c_2 \\ x_4 = c_2 \end{cases} \Rightarrow \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -2c_1 \\ c_1 \\ c_1 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -c_2 \\ 0 \\ 2c_2 \\ c_2 \end{pmatrix}$$

引入

例 解齐次线性方程组:
$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 - x_4 = 0 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = 0 \\ 3x_1 + 5x_2 + x_3 + x_4 = 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow (A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 1 & -1 & 0 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & 0 \\ 3 & 5 & 1 & 1 & 0 \end{array} \right) \xrightarrow[\text{行变换}]{\text{初等}} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & -2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right)$$

$$r(A) = 2$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 + 2x_2 + x_4 = 0 \\ -x_2 + x_3 - 2x_4 = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_1 = -2x_2 - x_4 \\ x_3 = x_2 + 2x_4 \end{cases}$$

自由变量
 x_2, x_4

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 = -2c_1 - c_2 \\ x_2 = c_1 \\ x_3 = c_1 + 2c_2 \\ x_4 = c_2 \end{cases} \Rightarrow \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = c_1 \begin{pmatrix} -2 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} + c_2 \begin{pmatrix} -1 \\ 0 \\ 2 \\ 1 \end{pmatrix}$$

引入

例 解齐次线性方程组:
$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 - x_4 = 0 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = 0 \\ 3x_1 + 5x_2 + x_3 + x_4 = 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow (A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 1 & -1 & 0 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & 0 \\ 3 & 5 & 1 & 1 & 0 \end{array} \right) \xrightarrow[\text{行变换}]{\text{初等}} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & -2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right)$$

$$r(A) = 2$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 + 2x_2 + x_4 = 0 \\ -x_2 + x_3 - 2x_4 = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_1 = -2x_2 - x_4 \\ x_3 = x_2 + 2x_4 \end{cases}$$

自由变量
 x_2, x_4

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 = -2c_1 - c_2 \\ x_2 = c_1 \\ x_3 = c_1 + 2c_2 \\ x_4 = c_2 \end{cases} \Rightarrow \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix}_x = c_1 \begin{pmatrix} -2 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}_{\xi_1} + c_2 \begin{pmatrix} -1 \\ 0 \\ 2 \\ 1 \end{pmatrix}_{\xi_2}$$

引入

例 解齐次线性方程组:
$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 - x_4 = 0 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = 0 \\ 3x_1 + 5x_2 + x_3 + x_4 = 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow (A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 1 & -1 & 0 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & 0 \\ 3 & 5 & 1 & 1 & 0 \end{array} \right) \xrightarrow[\text{行变换}]{\text{初等}} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & -2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right)$$

$$r(A) = 2$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 + 2x_2 + x_4 = 0 \\ -x_2 + x_3 - 2x_4 = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_1 = -2x_2 - x_4 \\ x_3 = x_2 + 2x_4 \end{cases}$$

自由变量
 x_2, x_4

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 = -2c_1 - c_2 \\ x_2 = c_1 \\ x_3 = c_1 + 2c_2 \\ x_4 = c_2 \end{cases} \Rightarrow \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix}_x = c_1 \begin{pmatrix} -2 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}_{\xi_1} + c_2 \begin{pmatrix} -1 \\ 0 \\ 2 \\ 1 \end{pmatrix}_{\xi_2}$$

$$\Rightarrow x = c_1 \xi_1 + c_2 \xi_2$$

引入

例 解齐次线性方程组:
$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 - x_4 = 0 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = 0 \\ 3x_1 + 5x_2 + x_3 + x_4 = 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow (A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 1 & -1 & 0 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & 0 \\ 3 & 5 & 1 & 1 & 0 \end{array} \right) \xrightarrow[\text{行变换}]{\text{初等}} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & -2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) \quad r(A) = 2$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 + 2x_2 + x_4 = 0 \\ -x_2 + x_3 - 2x_4 = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_1 = -2x_2 - x_4 \\ x_3 = x_2 + 2x_4 \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{自由变量} \\ x_2, x_4 \end{array}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 = -2c_1 - c_2 \\ x_2 = c_1 \\ x_3 = c_1 + 2c_2 \\ x_4 = c_2 \end{cases} \Rightarrow \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix}_x = c_1 \begin{pmatrix} -2 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}_{\xi_1} + c_2 \begin{pmatrix} -1 \\ 0 \\ 2 \\ 1 \end{pmatrix}_{\xi_2}$$

$$\Rightarrow x = c_1 \xi_1 + c_2 \xi_2$$

ξ_1, ξ_2 基础解系

引入

例 解齐次线性方程组:
$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 - x_4 = 0 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = 0 \\ 3x_1 + 5x_2 + x_3 + x_4 = 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow (A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 1 & -1 & 0 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & 0 \\ 3 & 5 & 1 & 1 & 0 \end{array} \right) \xrightarrow[\text{行变换}]{\text{初等}} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & -2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) \quad r(A) = 2$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 + 2x_2 + x_4 = 0 \\ -x_2 + x_3 - 2x_4 = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_1 = -2x_2 - x_4 \\ x_3 = x_2 + 2x_4 \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{自由变量} \\ x_2, x_4 \end{array}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 = -2c_1 - c_2 \\ x_2 = c_1 \\ x_3 = c_1 + 2c_2 \\ x_4 = c_2 \end{cases} \Rightarrow \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = c_1 \begin{pmatrix} -2 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} + c_2 \begin{pmatrix} -1 \\ 0 \\ 2 \\ 1 \end{pmatrix}$$

ξ_1 ξ_2

$$\Rightarrow x = c_1 \xi_1 + c_2 \xi_2$$

ξ_1, ξ_2 基础解系

齐次线性方程组的基础解系

定义 如果 $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_s$ 是齐次线性方程组

$$Ax = 0$$

的解，线性无关，并且任意解均可表示成它们的线性组合，则称

$$\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_s$$

是齐次方程组的一个 **基础解系**。

齐次线性方程组的基础解系

定义 如果 $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_s$ 是齐次线性方程组

$$Ax = 0$$

的解，线性无关，并且任意解均可表示成它们的线性组合，则称

$$\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_s$$

是齐次方程组的一个 **基础解系**。

定理 若齐次线性方程组

$$Ax = 0$$

满足

$$r(A) = r < n$$

则方程组的基础解系存在，且每个基础解系恰恰有 $n - r$ 个向量组成：

$$\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_s, \quad (s = n - r)$$

齐次线性方程组的基础解系

定义 如果 $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_s$ 是齐次线性方程组

$$Ax = 0$$

的解，线性无关，并且任意解均可表示成它们的线性组合，则称

$$\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_s$$

是齐次方程组的一个 **基础解系**。

定理 若齐次线性方程组

$$Ax = 0$$

满足

$$r(A) = r < n$$

也是自由变量个数

则方程组的基础解系存在，且每个基础解系恰恰有 $n-r$ 个向量组成：

$$\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_s, \quad (s = n - r)$$

齐次线性方程组的基础解系

定义 如果 $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_s$ 是齐次线性方程组

$$Ax = 0$$

的解，线性无关，并且任意解均可表示成它们的线性组合，则称

$$\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_s$$

是齐次方程组的一个 **基础解系**。

定理 若齐次线性方程组

$$Ax = 0$$

满足

$$r(A) = r < n$$

也是自由变量个数

则方程组的基础解系存在，且每个基础解系恰恰有 $n-r$ 个向量组成：

$$\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_s, \quad (s = n - r)$$

并且，方程组的任意解 x ，均可由基础解系线性表示：

$$x = c_1 \xi_1 + c_2 \xi_2 + \dots + c_s \xi_s$$

基础解系表示齐次方程组 $Ax = 0$ 的通解

1. $(A:0) \xrightarrow{\text{初等行变换}}$ 简化的阶梯型矩阵;
2. 确定自由变量, 写出同解的方程组;
3. 求基础解系:
4. 通解就是: 基础解系的线性组合

基础解系表示齐次方程组 $Ax = 0$ 的通解

1. $(A:0) \xrightarrow{\text{初等行变换}}$ 简化的阶梯型矩阵;
2. 确定自由变量, 写出同解的方程组;
3. 求基础解系:
 - 将一个自由变量取值为 1, 其余取 0, 得到一个解向量;
 - 对所有 $n - r(A)$ 个自由变量作类似操作, 使得 $n - r(A)$ 个解向量, 构成基础解系
4. 通解就是: 基础解系的线性组合

基础解系表示齐次方程组 $Ax = 0$ 的通解

1. $(A:0) \xrightarrow{\text{初等行变换}}$ 简化的阶梯型矩阵;
2. 确定自由变量, 写出同解的方程组;
3. 求基础解系:
 - 将一个自由变量取值为 1, 其余取 0, 得到一个解向量;
 - 对所有 $n - r(A)$ 个自由变量作类似操作, 使得 $n - r(A)$ 个解向量, 构成基础解系
4. 通解就是: 基础解系的线性组合

例

1. 假设自由变量为 x_3, x_4 , 写出同解方程组:
$$\begin{cases} x_1 - 2x_3 - 3x_4 = 0 \\ x_2 - x_3 + 2x_4 = 0 \end{cases}$$

基础解系表示齐次方程组 $Ax = 0$ 的通解

1. $(A:0) \xrightarrow{\text{初等行变换}}$ 简化的阶梯型矩阵;
2. 确定自由变量, 写出同解的方程组;
3. 求基础解系:
 - 将一个自由变量取值为 1, 其余取 0, 得到一个解向量;
 - 对所有 $n - r(A)$ 个自由变量作类似操作, 使得 $n - r(A)$ 个解向量, 构成基础解系
4. 通解就是: 基础解系的线性组合

例

1. 假设自由变量为 x_3, x_4 , 写出同解方程组:
$$\begin{cases} x_1 = -2x_3 + 3x_4 \\ x_2 = x_3 - 2x_4 \end{cases}$$

基础解系表示齐次方程组 $Ax = 0$ 的通解

1. $(A:0) \xrightarrow{\text{初等行变换}}$ 简化的阶梯型矩阵;
2. 确定自由变量, 写出同解的方程组;
3. 求基础解系:
 - 将一个自由变量取值为 1, 其余取 0, 得到一个解向量;
 - 对所有 $n - r(A)$ 个自由变量作类似操作, 使得 $n - r(A)$ 个解向量, 构成基础解系
4. 通解就是: 基础解系的线性组合

例

1. 假设自由变量为 x_3, x_4 , 写出同解方程组:
$$\begin{cases} x_1 = -2x_3 + 3x_4 \\ x_2 = x_3 - 2x_4 \end{cases}$$
2. 基础解系 ξ_1, ξ_2 :
$$\xi_1 = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad \xi_2 = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3 \\ -2 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

基础解系表示齐次方程组 $Ax = 0$ 的通解

1. $(A:0) \xrightarrow{\text{初等行变换}}$ 简化的阶梯型矩阵;
2. 确定自由变量, 写出同解的方程组;
3. 求基础解系:
 - 将一个自由变量取值为 1, 其余取 0, 得到一个解向量;
 - 对所有 $n - r(A)$ 个自由变量作类似操作, 使得 $n - r(A)$ 个解向量, 构成基础解系
4. 通解就是: 基础解系的线性组合

例

1. 假设自由变量为 x_3, x_4 , 写出同解方程组:
$$\begin{cases} x_1 = -2x_3 + 3x_4 \\ x_2 = x_3 - 2x_4 \end{cases}$$
2. 基础解系 ξ_1, ξ_2 :
$$\xi_1 = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -2 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad \xi_2 = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3 \\ -2 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

基础解系表示齐次方程组 $Ax = 0$ 的通解

1. $(A:0) \xrightarrow{\text{初等行变换}}$ 简化的阶梯型矩阵;
2. 确定自由变量, 写出同解的方程组;
3. 求基础解系:
 - 将一个自由变量取值为 1, 其余取 0, 得到一个解向量;
 - 对所有 $n - r(A)$ 个自由变量作类似操作, 使得 $n - r(A)$ 个解向量, 构成基础解系
4. 通解就是: 基础解系的线性组合

例

1. 假设自由变量为 x_3, x_4 , 写出同解方程组:
$$\begin{cases} x_1 = -2x_3 + 3x_4 \\ x_2 = x_3 - 2x_4 \end{cases}$$
2. 基础解系 ξ_1, ξ_2 :
$$\xi_1 = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -2 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad \xi_2 = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3 \\ -2 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

基础解系表示齐次方程组 $Ax = 0$ 的通解

1. $(A:0) \xrightarrow{\text{初等行变换}}$ 简化的阶梯型矩阵;
2. 确定自由变量, 写出同解的方程组;
3. 求基础解系:
 - 将一个自由变量取值为 1, 其余取 0, 得到一个解向量;
 - 对所有 $n - r(A)$ 个自由变量作类似操作, 使得 $n - r(A)$ 个解向量, 构成基础解系
4. 通解就是: 基础解系的线性组合

例

1. 假设自由变量为 x_3, x_4 , 写出同解方程组:
$$\begin{cases} x_1 = -2x_3 + 3x_4 \\ x_2 = x_3 - 2x_4 \end{cases}$$
2. 基础解系 ξ_1, ξ_2 :
$$\xi_1 = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -2 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad \xi_2 = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3 \\ -2 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

基础解系表示齐次方程组 $Ax = 0$ 的通解

1. $(A:0) \xrightarrow{\text{初等行变换}}$ 简化的阶梯型矩阵;
2. 确定自由变量, 写出同解的方程组;
3. 求基础解系:
 - 将一个自由变量取值为 1, 其余取 0, 得到一个解向量;
 - 对所有 $n - r(A)$ 个自由变量作类似操作, 使得 $n - r(A)$ 个解向量, 构成基础解系
4. 通解就是: 基础解系的线性组合

例

1. 假设自由变量为 x_3, x_4 , 写出同解方程组:
$$\begin{cases} x_1 = -2x_3 + 3x_4 \\ x_2 = x_3 - 2x_4 \end{cases}$$
2. 基础解系 ξ_1, ξ_2 :
$$\xi_1 = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -2 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad \xi_2 = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3 \\ -2 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

基础解系表示齐次方程组 $Ax = 0$ 的通解

1. $(A:0) \xrightarrow{\text{初等行变换}}$ 简化的阶梯型矩阵;
2. 确定自由变量, 写出同解的方程组;
3. 求基础解系:
 - 将一个自由变量取值为 1, 其余取 0, 得到一个解向量;
 - 对所有 $n - r(A)$ 个自由变量作类似操作, 使得 $n - r(A)$ 个解向量, 构成基础解系
4. 通解就是: 基础解系的线性组合

例

1. 假设自由变量为 x_3, x_4 , 写出同解方程组:
$$\begin{cases} x_1 = -2x_3 + 3x_4 \\ x_2 = x_3 - 2x_4 \end{cases}$$
2. 基础解系 ξ_1, ξ_2 :
$$\xi_1 = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -2 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad \xi_2 = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3 \\ -2 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$
3. 通解: $x = c_1 \xi_1 + c_2 \xi_2$

例 1 用基础解系表示 $\begin{cases} x_1 + x_2 + 4x_3 - 3x_4 = 0 \\ 2x_1 + 3x_2 + 5x_3 - 5x_4 = 0 \\ 3x_1 + 5x_2 + 6x_3 - 7x_4 = 0 \end{cases}$ 的通解

例 1 用基础解系表示 $\begin{cases} x_1 + x_2 + 4x_3 - 3x_4 = 0 \\ 2x_1 + 3x_2 + 5x_3 - 5x_4 = 0 \\ 3x_1 + 5x_2 + 6x_3 - 7x_4 = 0 \end{cases}$ 的通解

解

$$(A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 4 & -3 & 0 \\ 2 & 3 & 5 & -5 & 0 \\ 3 & 5 & 6 & -7 & 0 \end{array} \right)$$

例 1 用基础解系表示 $\begin{cases} x_1 + x_2 + 4x_3 - 3x_4 = 0 \\ 2x_1 + 3x_2 + 5x_3 - 5x_4 = 0 \\ 3x_1 + 5x_2 + 6x_3 - 7x_4 = 0 \end{cases}$ 的通解

解

$$(A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 4 & -3 & 0 \\ 2 & 3 & 5 & -5 & 0 \\ 3 & 5 & 6 & -7 & 0 \end{array} \right) \xrightarrow[r_3-3r_1]{r_2-2r_1}$$

例 1 用基础解系表示 $\begin{cases} x_1 + x_2 + 4x_3 - 3x_4 = 0 \\ 2x_1 + 3x_2 + 5x_3 - 5x_4 = 0 \\ 3x_1 + 5x_2 + 6x_3 - 7x_4 = 0 \end{cases}$ 的通解

解

$$(A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 4 & -3 & 0 \\ 2 & 3 & 5 & -5 & 0 \\ 3 & 5 & 6 & -7 & 0 \end{array} \right) \xrightarrow[r_3-3r_1]{r_2-2r_1} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 4 & -3 & 0 \\ 0 & 1 & -3 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & -6 & 2 & 0 \end{array} \right)$$

例 1 用基础解系表示 $\begin{cases} x_1 + x_2 + 4x_3 - 3x_4 = 0 \\ 2x_1 + 3x_2 + 5x_3 - 5x_4 = 0 \\ 3x_1 + 5x_2 + 6x_3 - 7x_4 = 0 \end{cases}$ 的通解

解

$$(A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 4 & -3 & 0 \\ 2 & 3 & 5 & -5 & 0 \\ 3 & 5 & 6 & -7 & 0 \end{array} \right) \xrightarrow[r_3-3r_1]{r_2-2r_1} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 4 & -3 & 0 \\ 0 & 1 & -3 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & -6 & 2 & 0 \end{array} \right)$$

$$\xrightarrow[r_3-2r_2]{r_1-r_2}$$

例 1 用基础解系表示 $\begin{cases} x_1 + x_2 + 4x_3 - 3x_4 = 0 \\ 2x_1 + 3x_2 + 5x_3 - 5x_4 = 0 \\ 3x_1 + 5x_2 + 6x_3 - 7x_4 = 0 \end{cases}$ 的通解

解

$$\begin{aligned} (A:0) &= \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 4 & -3 & 0 \\ 2 & 3 & 5 & -5 & 0 \\ 3 & 5 & 6 & -7 & 0 \end{array} \right) \xrightarrow[r_3-3r_1]{r_2-2r_1} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 4 & -3 & 0 \\ 0 & 1 & -3 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & -6 & 2 & 0 \end{array} \right) \\ &\xrightarrow[r_3-2r_2]{r_1-r_2} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 0 & 7 & -4 & 0 \\ 0 & 1 & -3 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) \end{aligned}$$

例 1 用基础解系表示 $\begin{cases} x_1 + x_2 + 4x_3 - 3x_4 = 0 \\ 2x_1 + 3x_2 + 5x_3 - 5x_4 = 0 \\ 3x_1 + 5x_2 + 6x_3 - 7x_4 = 0 \end{cases}$ 的通解

解

$$(A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 4 & -3 & 0 \\ 2 & 3 & 5 & -5 & 0 \\ 3 & 5 & 6 & -7 & 0 \end{array} \right) \xrightarrow[r_3-3r_1]{r_2-2r_1} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 4 & -3 & 0 \\ 0 & 1 & -3 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & -6 & 2 & 0 \end{array} \right)$$
$$\xrightarrow[r_3-2r_2]{r_1-r_2} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 0 & 7 & -4 & 0 \\ 0 & 1 & -3 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right)$$

自由变量 x_3, x_4 ,

例 1 用基础解系表示 $\begin{cases} x_1 + x_2 + 4x_3 - 3x_4 = 0 \\ 2x_1 + 3x_2 + 5x_3 - 5x_4 = 0 \\ 3x_1 + 5x_2 + 6x_3 - 7x_4 = 0 \end{cases}$ 的通解

解

$$(A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 4 & -3 & 0 \\ 2 & 3 & 5 & -5 & 0 \\ 3 & 5 & 6 & -7 & 0 \end{array} \right) \xrightarrow[r_3-3r_1]{r_2-2r_1} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 4 & -3 & 0 \\ 0 & 1 & -3 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & -6 & 2 & 0 \end{array} \right)$$
$$\xrightarrow[r_3-2r_2]{r_1-r_2} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 0 & 7 & -4 & 0 \\ 0 & 1 & -3 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right)$$

自由变量 x_3, x_4 , 所以同解方程组为

$$\begin{cases} x_1 + 7x_3 - 4x_4 = 0 \end{cases}$$

例 1 用基础解系表示 $\begin{cases} x_1 + x_2 + 4x_3 - 3x_4 = 0 \\ 2x_1 + 3x_2 + 5x_3 - 5x_4 = 0 \\ 3x_1 + 5x_2 + 6x_3 - 7x_4 = 0 \end{cases}$ 的通解

解

$$(A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 4 & -3 & 0 \\ 2 & 3 & 5 & -5 & 0 \\ 3 & 5 & 6 & -7 & 0 \end{array} \right) \xrightarrow[r_3-3r_1]{r_2-2r_1} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 4 & -3 & 0 \\ 0 & 1 & -3 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & -6 & 2 & 0 \end{array} \right)$$

$$\xrightarrow[r_3-2r_2]{r_1-r_2} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 0 & 7 & -4 & 0 \\ 0 & 1 & -3 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right)$$

自由变量 x_3, x_4 ，所以同解方程组为

$$\begin{cases} x_1 + 7x_3 - 4x_4 = 0 \\ x_2 - 3x_3 + x_4 = 0 \end{cases}$$

例 1 用基础解系表示 $\begin{cases} x_1 + x_2 + 4x_3 - 3x_4 = 0 \\ 2x_1 + 3x_2 + 5x_3 - 5x_4 = 0 \\ 3x_1 + 5x_2 + 6x_3 - 7x_4 = 0 \end{cases}$ 的通解

解

$$(A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 4 & -3 & 0 \\ 2 & 3 & 5 & -5 & 0 \\ 3 & 5 & 6 & -7 & 0 \end{array} \right) \xrightarrow[r_3-3r_1]{r_2-2r_1} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 4 & -3 & 0 \\ 0 & 1 & -3 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & -6 & 2 & 0 \end{array} \right)$$
$$\xrightarrow[r_3-2r_2]{r_1-r_2} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 0 & 7 & -4 & 0 \\ 0 & 1 & -3 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right)$$

自由变量 x_3, x_4 , 所以同解方程组为

$$\begin{cases} x_1 + 7x_3 - 4x_4 = 0 \\ x_2 - 3x_3 + x_4 = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_1 = -7x_3 + 4x_4 \\ x_2 = 3x_3 - x_4 \end{cases}$$

例 1 用基础解系表示 $\begin{cases} x_1 + x_2 + 4x_3 - 3x_4 = 0 \\ 2x_1 + 3x_2 + 5x_3 - 5x_4 = 0 \\ 3x_1 + 5x_2 + 6x_3 - 7x_4 = 0 \end{cases}$ 的通解

解

$$(A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 4 & -3 & 0 \\ 2 & 3 & 5 & -5 & 0 \\ 3 & 5 & 6 & -7 & 0 \end{array} \right) \longrightarrow \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 0 & 7 & -4 & 0 \\ 0 & 1 & -3 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right)$$

1. 自由变量 x_3, x_4 , 同解方程组 $\begin{cases} x_1 = -7x_3 + 4x_4 \\ x_2 = 3x_3 - x_4 \end{cases}$

例 1 用基础解系表示 $\begin{cases} x_1 + x_2 + 4x_3 - 3x_4 = 0 \\ 2x_1 + 3x_2 + 5x_3 - 5x_4 = 0 \\ 3x_1 + 5x_2 + 6x_3 - 7x_4 = 0 \end{cases}$ 的通解

解

$$(A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 4 & -3 & 0 \\ 2 & 3 & 5 & -5 & 0 \\ 3 & 5 & 6 & -7 & 0 \end{array} \right) \longrightarrow \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 0 & 7 & -4 & 0 \\ 0 & 1 & -3 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right)$$

1. 自由变量 x_3, x_4 , 同解方程组 $\begin{cases} x_1 = -7x_3 + 4x_4 \\ x_2 = 3x_3 - x_4 \end{cases}$

2. 基础解系 ξ_1, ξ_2 :

,

例 1 用基础解系表示 $\begin{cases} x_1 + x_2 + 4x_3 - 3x_4 = 0 \\ 2x_1 + 3x_2 + 5x_3 - 5x_4 = 0 \\ 3x_1 + 5x_2 + 6x_3 - 7x_4 = 0 \end{cases}$ 的通解

解

$$(A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 4 & -3 & 0 \\ 2 & 3 & 5 & -5 & 0 \\ 3 & 5 & 6 & -7 & 0 \end{array} \right) \longrightarrow \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 0 & 7 & -4 & 0 \\ 0 & 1 & -3 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right)$$

1. 自由变量 x_3, x_4 , 同解方程组 $\begin{cases} x_1 = -7x_3 + 4x_4 \\ x_2 = 3x_3 - x_4 \end{cases}$

2. 基础解系 ξ_1, ξ_2 : $\xi_1 = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -7 \\ 3 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}, \xi_2 = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4 \\ -1 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$

例 1 用基础解系表示 $\begin{cases} x_1 + x_2 + 4x_3 - 3x_4 = 0 \\ 2x_1 + 3x_2 + 5x_3 - 5x_4 = 0 \\ 3x_1 + 5x_2 + 6x_3 - 7x_4 = 0 \end{cases}$ 的通解

解

$$(A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 4 & -3 & 0 \\ 2 & 3 & 5 & -5 & 0 \\ 3 & 5 & 6 & -7 & 0 \end{array} \right) \longrightarrow \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 0 & 7 & -4 & 0 \\ 0 & 1 & -3 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right)$$

1. 自由变量 x_3, x_4 , 同解方程组 $\begin{cases} x_1 = -7x_3 + 4x_4 \\ x_2 = 3x_3 - x_4 \end{cases}$

2. 基础解系 ξ_1, ξ_2 : $\xi_1 = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -7 \\ 3 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}, \xi_2 = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4 \\ -1 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$

例 1 用基础解系表示 $\begin{cases} x_1 + x_2 + 4x_3 - 3x_4 = 0 \\ 2x_1 + 3x_2 + 5x_3 - 5x_4 = 0 \\ 3x_1 + 5x_2 + 6x_3 - 7x_4 = 0 \end{cases}$ 的通解

解

$$(A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 4 & -3 & 0 \\ 2 & 3 & 5 & -5 & 0 \\ 3 & 5 & 6 & -7 & 0 \end{array} \right) \longrightarrow \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 0 & 7 & -4 & 0 \\ 0 & 1 & -3 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right)$$

1. 自由变量 x_3, x_4 , 同解方程组 $\begin{cases} x_1 = -7x_3 + 4x_4 \\ x_2 = 3x_3 - x_4 \end{cases}$

2. 基础解系 ξ_1, ξ_2 : $\xi_1 = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -7 \\ 3 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}, \xi_2 = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4 \\ -1 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$

例 1 用基础解系表示 $\begin{cases} x_1 + x_2 + 4x_3 - 3x_4 = 0 \\ 2x_1 + 3x_2 + 5x_3 - 5x_4 = 0 \\ 3x_1 + 5x_2 + 6x_3 - 7x_4 = 0 \end{cases}$ 的通解

解

$$(A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 4 & -3 & 0 \\ 2 & 3 & 5 & -5 & 0 \\ 3 & 5 & 6 & -7 & 0 \end{array} \right) \longrightarrow \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 0 & 7 & -4 & 0 \\ 0 & 1 & -3 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right)$$

1. 自由变量 x_3, x_4 , 同解方程组 $\begin{cases} x_1 = -7x_3 + 4x_4 \\ x_2 = 3x_3 - x_4 \end{cases}$

2. 基础解系 ξ_1, ξ_2 : $\xi_1 = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -7 \\ 3 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}, \xi_2 = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$

例 1 用基础解系表示 $\begin{cases} x_1 + x_2 + 4x_3 - 3x_4 = 0 \\ 2x_1 + 3x_2 + 5x_3 - 5x_4 = 0 \\ 3x_1 + 5x_2 + 6x_3 - 7x_4 = 0 \end{cases}$ 的通解

解

$$(A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 4 & -3 & 0 \\ 2 & 3 & 5 & -5 & 0 \\ 3 & 5 & 6 & -7 & 0 \end{array} \right) \longrightarrow \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 0 & 7 & -4 & 0 \\ 0 & 1 & -3 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right)$$

1. 自由变量 x_3, x_4 , 同解方程组 $\begin{cases} x_1 = -7x_3 + 4x_4 \\ x_2 = 3x_3 - x_4 \end{cases}$

2. 基础解系 ξ_1, ξ_2 : $\xi_1 = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -7 \\ 3 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}, \xi_2 = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4 \\ -1 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$

例 1 用基础解系表示 $\begin{cases} x_1 + x_2 + 4x_3 - 3x_4 = 0 \\ 2x_1 + 3x_2 + 5x_3 - 5x_4 = 0 \\ 3x_1 + 5x_2 + 6x_3 - 7x_4 = 0 \end{cases}$ 的通解

解

$$(A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 4 & -3 & 0 \\ 2 & 3 & 5 & -5 & 0 \\ 3 & 5 & 6 & -7 & 0 \end{array} \right) \longrightarrow \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 0 & 7 & -4 & 0 \\ 0 & 1 & -3 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right)$$

1. 自由变量 x_3, x_4 , 同解方程组 $\begin{cases} x_1 = -7x_3 + 4x_4 \\ x_2 = 3x_3 - x_4 \end{cases}$

2. 基础解系 ξ_1, ξ_2 : $\xi_1 = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -7 \\ 3 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}, \xi_2 = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4 \\ -1 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$

3. 通解: $x = c_1 \xi_1 + c_2 \xi_2$

例 2 用基础解系表示 $\begin{cases} x_1 + 2x_2 - x_3 - 3x_4 = 0 \\ 2x_1 + 4x_2 - x_3 - 7x_4 = 0 \\ 3x_1 + 6x_2 - x_3 - 11x_4 = 0 \end{cases}$ 的通解

例 2 用基础解系表示 $\begin{cases} x_1 + 2x_2 - x_3 - 3x_4 = 0 \\ 2x_1 + 4x_2 - x_3 - 7x_4 = 0 \\ 3x_1 + 6x_2 - x_3 - 11x_4 = 0 \end{cases}$ 的通解

解

$$(A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & -1 & -3 & 0 \\ 2 & 4 & -1 & -7 & 0 \\ 3 & 6 & -1 & -11 & 0 \end{array} \right)$$

例 2 用基础解系表示 $\begin{cases} x_1 + 2x_2 - x_3 - 3x_4 = 0 \\ 2x_1 + 4x_2 - x_3 - 7x_4 = 0 \\ 3x_1 + 6x_2 - x_3 - 11x_4 = 0 \end{cases}$ 的通解

解

$$(A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & -1 & -3 & 0 \\ 2 & 4 & -1 & -7 & 0 \\ 3 & 6 & -1 & -11 & 0 \end{array} \right) \xrightarrow[r_3-3r_1]{r_2-2r_1}$$

例 2 用基础解系表示 $\begin{cases} x_1 + 2x_2 - x_3 - 3x_4 = 0 \\ 2x_1 + 4x_2 - x_3 - 7x_4 = 0 \\ 3x_1 + 6x_2 - x_3 - 11x_4 = 0 \end{cases}$ 的通解

解

$$(A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & -1 & -3 & 0 \\ 2 & 4 & -1 & -7 & 0 \\ 3 & 6 & -1 & -11 & 0 \end{array} \right) \xrightarrow[r_3 - 3r_1]{r_2 - 2r_1} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & -1 & -3 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & -2 & 0 \end{array} \right)$$

例 2 用基础解系表示 $\begin{cases} x_1 + 2x_2 - x_3 - 3x_4 = 0 \\ 2x_1 + 4x_2 - x_3 - 7x_4 = 0 \\ 3x_1 + 6x_2 - x_3 - 11x_4 = 0 \end{cases}$ 的通解

解

$$(A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & -1 & -3 & 0 \\ 2 & 4 & -1 & -7 & 0 \\ 3 & 6 & -1 & -11 & 0 \end{array} \right) \xrightarrow[r_3-3r_1]{r_2-2r_1} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & -1 & -3 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & -2 & 0 \end{array} \right)$$

$$\xrightarrow[r_3-2r_2]{r_1+r_2}$$

例 2 用基础解系表示 $\begin{cases} x_1 + 2x_2 - x_3 - 3x_4 = 0 \\ 2x_1 + 4x_2 - x_3 - 7x_4 = 0 \\ 3x_1 + 6x_2 - x_3 - 11x_4 = 0 \end{cases}$ 的通解

解

$$(A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & -1 & -3 & 0 \\ 2 & 4 & -1 & -7 & 0 \\ 3 & 6 & -1 & -11 & 0 \end{array} \right) \xrightarrow[r_3-3r_1]{r_2-2r_1} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & -1 & -3 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & -2 & 0 \end{array} \right)$$
$$\xrightarrow[r_3-2r_2]{r_1+r_2} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & 0 & -4 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right)$$

例 2 用基础解系表示 $\begin{cases} x_1 + 2x_2 - x_3 - 3x_4 = 0 \\ 2x_1 + 4x_2 - x_3 - 7x_4 = 0 \\ 3x_1 + 6x_2 - x_3 - 11x_4 = 0 \end{cases}$ 的通解

解

$$(A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & -1 & -3 & 0 \\ 2 & 4 & -1 & -7 & 0 \\ 3 & 6 & -1 & -11 & 0 \end{array} \right) \xrightarrow[r_3-3r_1]{r_2-2r_1} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & -1 & -3 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & -2 & 0 \end{array} \right)$$
$$\xrightarrow[r_3-2r_2]{r_1+r_2} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & 0 & -4 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right)$$

自由变量 x_2, x_4 ,

例 2 用基础解系表示 $\begin{cases} x_1 + 2x_2 - x_3 - 3x_4 = 0 \\ 2x_1 + 4x_2 - x_3 - 7x_4 = 0 \\ 3x_1 + 6x_2 - x_3 - 11x_4 = 0 \end{cases}$ 的通解

解

$$(A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & -1 & -3 & 0 \\ 2 & 4 & -1 & -7 & 0 \\ 3 & 6 & -1 & -11 & 0 \end{array} \right) \xrightarrow[r_3-3r_1]{r_2-2r_1} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & -1 & -3 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & -2 & 0 \end{array} \right)$$
$$\xrightarrow[r_3-2r_2]{r_1+r_2} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & 0 & -4 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right)$$

自由变量 x_2, x_4 , 所以同解方程组为

$$\begin{cases} x_1 + 2x_2 - 4x_4 = 0 \end{cases}$$

例 2 用基础解系表示 $\begin{cases} x_1 + 2x_2 - x_3 - 3x_4 = 0 \\ 2x_1 + 4x_2 - x_3 - 7x_4 = 0 \\ 3x_1 + 6x_2 - x_3 - 11x_4 = 0 \end{cases}$ 的通解

解

$$(A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & -1 & -3 & 0 \\ 2 & 4 & -1 & -7 & 0 \\ 3 & 6 & -1 & -11 & 0 \end{array} \right) \xrightarrow[r_3-3r_1]{r_2-2r_1} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & -1 & -3 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & -2 & 0 \end{array} \right)$$
$$\xrightarrow[r_3-2r_2]{r_1+r_2} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & 0 & -4 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right)$$

自由变量 x_2, x_4 , 所以同解方程组为

$$\begin{cases} x_1 + 2x_2 - 4x_4 = 0 \\ x_3 - x_4 = 0 \end{cases}$$

例 2 用基础解系表示 $\begin{cases} x_1 + 2x_2 - x_3 - 3x_4 = 0 \\ 2x_1 + 4x_2 - x_3 - 7x_4 = 0 \\ 3x_1 + 6x_2 - x_3 - 11x_4 = 0 \end{cases}$ 的通解

解

$$(A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & -1 & -3 & 0 \\ 2 & 4 & -1 & -7 & 0 \\ 3 & 6 & -1 & -11 & 0 \end{array} \right) \xrightarrow[r_3-3r_1]{r_2-2r_1} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & -1 & -3 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & -2 & 0 \end{array} \right)$$
$$\xrightarrow[r_3-2r_2]{r_1+r_2} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & 0 & -4 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right)$$

自由变量 x_2, x_4 , 所以同解方程组为

$$\begin{cases} x_1 + 2x_2 - 4x_4 = 0 \\ x_3 - x_4 = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_1 = -2x_2 + 4x_4 \\ x_3 = x_4 \end{cases}$$

例 2 用基础解系表示 $\begin{cases} x_1 + 2x_2 - x_3 - 3x_4 = 0 \\ 2x_1 + 4x_2 - x_3 - 7x_4 = 0 \\ 3x_1 + 6x_2 - x_3 - 11x_4 = 0 \end{cases}$ 的通解

解

$$(A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & -1 & -3 & 0 \\ 2 & 4 & -1 & -7 & 0 \\ 3 & 6 & -1 & -11 & 0 \end{array} \right) \longrightarrow \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & 0 & -4 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right)$$

1. 自由变量 x_2, x_4 , 同解方程组 $\begin{cases} x_1 = -2x_2 + 4x_4 \\ x_3 = x_4 \end{cases}$

例 2 用基础解系表示 $\begin{cases} x_1 + 2x_2 - x_3 - 3x_4 = 0 \\ 2x_1 + 4x_2 - x_3 - 7x_4 = 0 \\ 3x_1 + 6x_2 - x_3 - 11x_4 = 0 \end{cases}$ 的通解

解 $(A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & -1 & -3 & 0 \\ 2 & 4 & -1 & -7 & 0 \\ 3 & 6 & -1 & -11 & 0 \end{array} \right) \longrightarrow \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & 0 & -4 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right)$

1. 自由变量 x_2, x_4 , 同解方程组 $\begin{cases} x_1 = -2x_2 + 4x_4 \\ x_3 = x_4 \end{cases}$

2. 基础解系 ξ_1, ξ_2 :

例 2 用基础解系表示 $\begin{cases} x_1 + 2x_2 - x_3 - 3x_4 = 0 \\ 2x_1 + 4x_2 - x_3 - 7x_4 = 0 \\ 3x_1 + 6x_2 - x_3 - 11x_4 = 0 \end{cases}$ 的通解

解 $(A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & -1 & -3 & 0 \\ 2 & 4 & -1 & -7 & 0 \\ 3 & 6 & -1 & -11 & 0 \end{array} \right) \longrightarrow \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & 0 & -4 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right)$

1. 自由变量 x_2, x_4 , 同解方程组 $\begin{cases} x_1 = -2x_2 + 4x_4 \\ x_3 = x_4 \end{cases}$

2. 基础解系 ξ_1, ξ_2 : $\xi_1 = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \xi_2 = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$

例 2 用基础解系表示 $\begin{cases} x_1 + 2x_2 - x_3 - 3x_4 = 0 \\ 2x_1 + 4x_2 - x_3 - 7x_4 = 0 \\ 3x_1 + 6x_2 - x_3 - 11x_4 = 0 \end{cases}$ 的通解

解

$$(A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & -1 & -3 & 0 \\ 2 & 4 & -1 & -7 & 0 \\ 3 & 6 & -1 & -11 & 0 \end{array} \right) \longrightarrow \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & 0 & -4 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right)$$

1. 自由变量 x_2, x_4 , 同解方程组 $\begin{cases} x_1 = -2x_2 + 4x_4 \\ x_3 = x_4 \end{cases}$

2. 基础解系 ξ_1, ξ_2 : $\xi_1 = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -2 \\ \boxed{1} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \xi_2 = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ \boxed{1} \end{pmatrix}$

例 2 用基础解系表示 $\begin{cases} x_1 + 2x_2 - x_3 - 3x_4 = 0 \\ 2x_1 + 4x_2 - x_3 - 7x_4 = 0 \\ 3x_1 + 6x_2 - x_3 - 11x_4 = 0 \end{cases}$ 的通解

解

$$(A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & -1 & -3 & 0 \\ 2 & 4 & -1 & -7 & 0 \\ 3 & 6 & -1 & -11 & 0 \end{array} \right) \longrightarrow \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & 0 & -4 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right)$$

1. 自由变量 x_2, x_4 , 同解方程组 $\begin{cases} x_1 = -2x_2 + 4x_4 \\ x_3 = x_4 \end{cases}$

2. 基础解系 ξ_1, ξ_2 : $\xi_1 = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -2 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \xi_2 = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$

例2 用基础解系表示 $\begin{cases} x_1 + 2x_2 - x_3 - 3x_4 = 0 \\ 2x_1 + 4x_2 - x_3 - 7x_4 = 0 \\ 3x_1 + 6x_2 - x_3 - 11x_4 = 0 \end{cases}$ 的通解

解

$$(A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & -1 & -3 & 0 \\ 2 & 4 & -1 & -7 & 0 \\ 3 & 6 & -1 & -11 & 0 \end{array} \right) \longrightarrow \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & 0 & -4 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right)$$

1. 自由变量 x_2, x_4 , 同解方程组 $\begin{cases} x_1 = -2x_2 + 4x_4 \\ x_3 = x_4 \end{cases}$

2. 基础解系 ξ_1, ξ_2 : $\xi_1 = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -2 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \xi_2 = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$

例 2 用基础解系表示 $\begin{cases} x_1 + 2x_2 - x_3 - 3x_4 = 0 \\ 2x_1 + 4x_2 - x_3 - 7x_4 = 0 \\ 3x_1 + 6x_2 - x_3 - 11x_4 = 0 \end{cases}$ 的通解

解

$$(A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & -1 & -3 & 0 \\ 2 & 4 & -1 & -7 & 0 \\ 3 & 6 & -1 & -11 & 0 \end{array} \right) \longrightarrow \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & 0 & -4 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right)$$

1. 自由变量 x_2, x_4 , 同解方程组 $\begin{cases} x_1 = -2x_2 + 4x_4 \\ x_3 = x_4 \end{cases}$

2. 基础解系 ξ_1, ξ_2 : $\xi_1 = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -2 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \xi_2 = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$

例 2 用基础解系表示 $\begin{cases} x_1 + 2x_2 - x_3 - 3x_4 = 0 \\ 2x_1 + 4x_2 - x_3 - 7x_4 = 0 \\ 3x_1 + 6x_2 - x_3 - 11x_4 = 0 \end{cases}$ 的通解

解

$$(A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & -1 & -3 & 0 \\ 2 & 4 & -1 & -7 & 0 \\ 3 & 6 & -1 & -11 & 0 \end{array} \right) \longrightarrow \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & 0 & -4 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right)$$

1. 自由变量 x_2, x_4 , 同解方程组 $\begin{cases} x_1 = -2x_2 + 4x_4 \\ x_3 = x_4 \end{cases}$

2. 基础解系 ξ_1, ξ_2 : $\xi_1 = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -2 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \xi_2 = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$

例2 用基础解系表示 $\begin{cases} x_1 + 2x_2 - x_3 - 3x_4 = 0 \\ 2x_1 + 4x_2 - x_3 - 7x_4 = 0 \\ 3x_1 + 6x_2 - x_3 - 11x_4 = 0 \end{cases}$ 的通解

解

$$(A:0) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & -1 & -3 & 0 \\ 2 & 4 & -1 & -7 & 0 \\ 3 & 6 & -1 & -11 & 0 \end{array} \right) \longrightarrow \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & 0 & -4 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right)$$

1. 自由变量 x_2, x_4 , 同解方程组 $\begin{cases} x_1 = -2x_2 + 4x_4 \\ x_3 = x_4 \end{cases}$

2. 基础解系 ξ_1, ξ_2 : $\xi_1 = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -2 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \xi_2 = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$

3. 通解: $x = c_1 \xi_1 + c_2 \xi_2$

定理 齐次线性方程组

$$Ax = 0$$

的解有下列性质：

1. 若 ξ_1, ξ_2 是解，则 $\xi_1 + \xi_2$ 也是解

定理 齐次线性方程组

$$Ax = 0$$

的解有下列性质：

1. 若 ξ_1, ξ_2 是解，则 $\xi_1 + \xi_2$ 也是解
2. 若 ξ 是解，则对 $\forall c \in \mathbb{R}$, $c\xi$ 也是解

定理 齐次线性方程组

$$Ax = 0$$

的解有下列性质：

1. 若 ξ_1, ξ_2 是解，则 $\xi_1 + \xi_2$ 也是解
2. 若 ξ 是解，则对 $\forall c \in \mathbb{R}$, $c\xi$ 也是解
3. 更一般地，若 $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_s$ 是解， c_1, c_2, \dots, c_s 是任意常数，
则解的线性组合

$$\xi = c_1\xi_1 + c_2\xi_2 + \cdots + c_s\xi_s$$

也是解

定理 齐次线性方程组

$$Ax = 0$$

的解有下列性质：

1. 若 ξ_1, ξ_2 是解，则 $\xi_1 + \xi_2$ 也是解
2. 若 ξ 是解，则对 $\forall c \in \mathbb{R}$, $c\xi$ 也是解
3. 更一般地，若 $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_s$ 是解， c_1, c_2, \dots, c_s 是任意常数，则解的线性组合

$$\xi = c_1\xi_1 + c_2\xi_2 + \cdots + c_s\xi_s$$

也是解

证明

$$A\xi$$

$$= 0$$

定理 齐次线性方程组

$$Ax = 0$$

的解有下列性质：

1. 若 ξ_1, ξ_2 是解，则 $\xi_1 + \xi_2$ 也是解
2. 若 ξ 是解，则对 $\forall c \in \mathbb{R}$, $c\xi$ 也是解
3. 更一般地，若 $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_s$ 是解， c_1, c_2, \dots, c_s 是任意常数，则解的线性组合

$$\xi = c_1\xi_1 + c_2\xi_2 + \cdots + c_s\xi_s$$

也是解

证明

$$A\xi = A(c_1\xi_1 + c_2\xi_2 + \cdots + c_s\xi_s)$$

定理 齐次线性方程组

$$Ax = 0$$

的解有下列性质：

1. 若 ξ_1, ξ_2 是解，则 $\xi_1 + \xi_2$ 也是解
2. 若 ξ 是解，则对 $\forall c \in \mathbb{R}$, $c\xi$ 也是解
3. 更一般地，若 $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_s$ 是解， c_1, c_2, \dots, c_s 是任意常数，则解的线性组合

$$\xi = c_1\xi_1 + c_2\xi_2 + \cdots + c_s\xi_s$$

也是解

证明

$$\begin{aligned} A\xi &= A(c_1\xi_1 + c_2\xi_2 + \cdots + c_s\xi_s) \\ &= c_1A\xi_1 + c_2A\xi_2 + \cdots + c_sA\xi_s \end{aligned}$$

定理 齐次线性方程组

$$Ax = 0$$

的解有下列性质：

1. 若 ξ_1, ξ_2 是解，则 $\xi_1 + \xi_2$ 也是解
2. 若 ξ 是解，则对 $\forall c \in \mathbb{R}$ ， $c\xi$ 也是解
3. 更一般地，若 $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_s$ 是解， c_1, c_2, \dots, c_s 是任意常数，则解的线性组合

$$\xi = c_1\xi_1 + c_2\xi_2 + \cdots + c_s\xi_s$$

也是解

证明

$$\begin{aligned} A\xi &= A(c_1\xi_1 + c_2\xi_2 + \cdots + c_s\xi_s) \\ &= c_1A\xi_1 + c_2A\xi_2 + \cdots + c_sA\xi_s \\ &= c_10 + c_20 + \cdots + c_s0 \end{aligned}$$

定理 齐次线性方程组

$$Ax = 0$$

的解有下列性质：

1. 若 ξ_1, ξ_2 是解，则 $\xi_1 + \xi_2$ 也是解
2. 若 ξ 是解，则对 $\forall c \in \mathbb{R}$ ， $c\xi$ 也是解
3. 更一般地，若 $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_s$ 是解， c_1, c_2, \dots, c_s 是任意常数，则解的线性组合

$$\xi = c_1\xi_1 + c_2\xi_2 + \cdots + c_s\xi_s$$

也是解

证明

$$\begin{aligned} A\xi &= A(c_1\xi_1 + c_2\xi_2 + \cdots + c_s\xi_s) \\ &= c_1A\xi_1 + c_2A\xi_2 + \cdots + c_sA\xi_s \\ &= c_10 + c_20 + \cdots + c_s0 = 0 \end{aligned}$$

例 假设 ξ_1, ξ_2, ξ_3 是齐次方程组 $Ax = 0$ 的一个基础解系，问如下各向量组是否也是方程组的一个基础解系：

1. $\xi_1, \xi_2 + \xi_3$
2. $\xi_1, \xi_2, \xi_3, \xi_1 + \xi_2 + \xi_3$
3. $\xi_1 - \xi_2, \xi_2 - \xi_3, \xi_1 - \xi_3$
4. $\xi_1 + \xi_2, \xi_2 + \xi_3, \xi_3 + \xi_1$

例 假设 ξ_1, ξ_2, ξ_3 是齐次方程组 $Ax = 0$ 的一个基础解系，问如下各向量组是否也是方程组的一个基础解系：

1. $\xi_1, \xi_2 + \xi_3$
2. $\xi_1, \xi_2, \xi_3, \xi_1 + \xi_2 + \xi_3$
3. $\xi_1 - \xi_2, \xi_2 - \xi_3, \xi_1 - \xi_3$
4. $\xi_1 + \xi_2, \xi_2 + \xi_3, \xi_3 + \xi_1$

提示 判断

1. 是否为解

例 假设 ξ_1, ξ_2, ξ_3 是齐次方程组 $Ax = 0$ 的一个基础解系，问如下各向量组是否也是方程组的一个基础解系：

1. $\xi_1, \xi_2 + \xi_3$
2. $\xi_1, \xi_2, \xi_3, \xi_1 + \xi_2 + \xi_3$
3. $\xi_1 - \xi_2, \xi_2 - \xi_3, \xi_1 - \xi_3$
4. $\xi_1 + \xi_2, \xi_2 + \xi_3, \xi_3 + \xi_1$

提示 判断

1. 是否为解
2. 是否包含 3 个解（基础解系包含向量的个数是定值）

例 假设 ξ_1, ξ_2, ξ_3 是齐次方程组 $Ax = 0$ 的一个基础解系，问如下各向量组是否也是方程组的一个基础解系：

1. $\xi_1, \xi_2 + \xi_3$
2. $\xi_1, \xi_2, \xi_3, \xi_1 + \xi_2 + \xi_3$
3. $\xi_1 - \xi_2, \xi_2 - \xi_3, \xi_1 - \xi_3$
4. $\xi_1 + \xi_2, \xi_2 + \xi_3, \xi_3 + \xi_1$

提示 判断

1. 是否为解
2. 是否包含 3 个解（基础解系包含向量的个数是定值）
3. 是否为线性无关

例 解非齐次线性方程组：

$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 - x_4 = 2 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = -1 \\ 3x_1 + 5x_2 + x_3 + x_4 = -4 \end{cases}$$

例 解非齐次线性方程组:
$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 - x_4 = 2 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = -1 \\ 3x_1 + 5x_2 + x_3 + x_4 = -4 \end{cases}$$

$$\Rightarrow (A:b) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 1 & -1 & 2 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & -1 \\ 3 & 5 & 1 & 1 & -4 \end{array} \right)$$

例 解非齐次线性方程组:
$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 - x_4 = 2 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = -1 \\ 3x_1 + 5x_2 + x_3 + x_4 = -4 \end{cases}$$

$$\Rightarrow (A:b) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 1 & -1 & 2 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & -1 \\ 3 & 5 & 1 & 1 & -4 \end{array} \right) \xrightarrow[\text{行变换}]{\text{初等}} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 0 & 2 & -3 & 7 \\ 0 & 1 & -1 & 2 & -5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right)$$

例 解非齐次线性方程组:
$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 - x_4 = 2 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = -1 \\ 3x_1 + 5x_2 + x_3 + x_4 = -4 \end{cases}$$

$$\Rightarrow (A:b) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 1 & -1 & 2 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & -1 \\ 3 & 5 & 1 & 1 & -4 \end{array} \right) \xrightarrow[\text{行变换}]{\text{初等}} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 0 & 2 & -3 & 7 \\ 0 & 1 & -1 & 2 & -5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) \quad \begin{array}{l} r(A) = r(A:b) \\ = 2 \end{array}$$

例 解非齐次线性方程组:
$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 - x_4 = 2 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = -1 \\ 3x_1 + 5x_2 + x_3 + x_4 = -4 \end{cases}$$

$$\Rightarrow (A:b) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 1 & -1 & 2 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & -1 \\ 3 & 5 & 1 & 1 & -4 \end{array} \right) \xrightarrow[\text{行变换}]{\text{初等}} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 0 & 2 & -3 & 7 \\ 0 & 1 & -1 & 2 & -5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) \quad \begin{aligned} r(A) &= r(A:b) \\ &= 2 \end{aligned}$$

自由变量
 x_3, x_4

例 解非齐次线性方程组:
$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 - x_4 = 2 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = -1 \\ 3x_1 + 5x_2 + x_3 + x_4 = -4 \end{cases}$$

$$\Rightarrow (A:b) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 1 & -1 & 2 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & -1 \\ 3 & 5 & 1 & 1 & -4 \end{array} \right) \xrightarrow[\text{行变换}]{\text{初等}} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 0 & 2 & -3 & 7 \\ 0 & 1 & -1 & 2 & -5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) \quad \begin{array}{l} r(A) = r(A:b) \\ = 2 \end{array}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 & 2x_3 - 3x_4 = 7 \end{cases}$$

自由变量
 x_3, x_4

例 解非齐次线性方程组:
$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 - x_4 = 2 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = -1 \\ 3x_1 + 5x_2 + x_3 + x_4 = -4 \end{cases}$$

$$\Rightarrow (A:b) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 1 & -1 & 2 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & -1 \\ 3 & 5 & 1 & 1 & -4 \end{array} \right) \xrightarrow[\text{行变换}]{\text{初等}} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 0 & 2 & -3 & 7 \\ 0 & 1 & -1 & 2 & -5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) \quad \begin{array}{l} r(A) = r(A:b) \\ = 2 \end{array}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 & 2x_3 - 3x_4 = 7 \\ x_2 - x_3 + 2x_4 = -5 \end{cases}$$

自由变量
 x_3, x_4

例 解非齐次线性方程组:
$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 - x_4 = 2 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = -1 \\ 3x_1 + 5x_2 + x_3 + x_4 = -4 \end{cases}$$

$$\Rightarrow (A:b) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 1 & -1 & 2 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & -1 \\ 3 & 5 & 1 & 1 & -4 \end{array} \right) \xrightarrow[\text{行变换}]{\text{初等}} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 0 & 2 & -3 & 7 \\ 0 & 1 & -1 & 2 & -5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) \quad \begin{array}{l} r(A) = r(A:b) \\ = 2 \end{array}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 & 2x_3 - 3x_4 = 7 \\ x_2 - x_3 + 2x_4 = -5 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_1 = 7 - 2x_3 + 3x_4 \\ x_2 = -5 + x_3 - 2x_4 \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{自由变量} \\ x_3, x_4 \end{array}$$

例 解非齐次线性方程组:
$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 - x_4 = 2 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = -1 \\ 3x_1 + 5x_2 + x_3 + x_4 = -4 \end{cases}$$

$$\Rightarrow (A:b) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 1 & -1 & 2 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & -1 \\ 3 & 5 & 1 & 1 & -4 \end{array} \right) \xrightarrow[\text{行变换}]{\text{初等}} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 0 & 2 & -3 & 7 \\ 0 & 1 & -1 & 2 & -5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) \quad \begin{array}{l} r(A) = r(A:b) \\ = 2 \end{array}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 + 2x_3 - 3x_4 = 7 \\ x_2 - x_3 + 2x_4 = -5 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_1 = 7 - 2x_3 + 3x_4 \\ x_2 = -5 + x_3 - 2x_4 \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{自由变量} \\ x_3, x_4 \end{array}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 = 7 - 2c_1 + 3c_2 \\ x_2 = -5 + c_1 - 2c_2 \\ x_3 = c_1 \\ x_4 = c_2 \end{cases}$$

例 解非齐次线性方程组:
$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 - x_4 = 2 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = -1 \\ 3x_1 + 5x_2 + x_3 + x_4 = -4 \end{cases}$$

$$\Rightarrow (A:b) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 1 & -1 & 2 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & -1 \\ 3 & 5 & 1 & 1 & -4 \end{array} \right) \xrightarrow[\text{行变换}]{\text{初等}} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 0 & 2 & -3 & 7 \\ 0 & 1 & -1 & 2 & -5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) \quad \begin{array}{l} r(A) = r(A:b) \\ = 2 \end{array}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 & 2x_3 - 3x_4 = 7 \\ x_2 - x_3 + 2x_4 = -5 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_1 = 7 - 2x_3 + 3x_4 \\ x_2 = -5 + x_3 - 2x_4 \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{自由变量} \\ x_3, x_4 \end{array}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 = 7 - 2c_1 + 3c_2 \\ x_2 = -5 + c_1 - 2c_2 \\ x_3 = c_1 \\ x_4 = c_2 \end{cases}$$

例 解非齐次线性方程组:
$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 - x_4 = 2 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = -1 \\ 3x_1 + 5x_2 + x_3 + x_4 = -4 \end{cases}$$

$$\Rightarrow (A:b) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 1 & -1 & 2 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & -1 \\ 3 & 5 & 1 & 1 & -4 \end{array} \right) \xrightarrow[\text{行变换}]{\text{初等}} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 0 & 2 & -3 & 7 \\ 0 & 1 & -1 & 2 & -5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) \quad \begin{array}{l} r(A) = r(A:b) \\ = 2 \end{array}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 & 2x_3 - 3x_4 = 7 \\ x_2 - x_3 + 2x_4 = -5 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_1 = 7 - 2x_3 + 3x_4 \\ x_2 = -5 + x_3 - 2x_4 \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{自由变量} \\ x_3, x_4 \end{array}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 = 7 - 2c_1 + 3c_2 \\ x_2 = -5 + c_1 - 2c_2 \\ x_3 = c_1 \\ x_4 = c_2 \end{cases} \Rightarrow \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 7 \\ -5 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -2c_1 \\ c_1 \\ c_1 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 3c_2 \\ -2c_2 \\ 0 \\ c_2 \end{pmatrix}$$

例 解非齐次线性方程组:
$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 - x_4 = 2 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = -1 \\ 3x_1 + 5x_2 + x_3 + x_4 = -4 \end{cases}$$

$$\Rightarrow (A:b) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 1 & -1 & 2 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & -1 \\ 3 & 5 & 1 & 1 & -4 \end{array} \right) \xrightarrow[\text{行变换}]{\text{初等}} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 0 & 2 & -3 & 7 \\ 0 & 1 & -1 & 2 & -5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) \quad \begin{array}{l} r(A) = r(A:b) \\ = 2 \end{array}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 & 2x_3 - 3x_4 = 7 \\ x_2 - x_3 + 2x_4 = -5 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_1 = 7 - 2x_3 + 3x_4 \\ x_2 = -5 + x_3 - 2x_4 \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{自由变量} \\ x_3, x_4 \end{array}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 = 7 - 2c_1 + 3c_2 \\ x_2 = -5 + c_1 - 2c_2 \\ x_3 = c_1 \\ x_4 = c_2 \end{cases} \Rightarrow \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 7 \\ -5 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + c_1 \begin{pmatrix} -2 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} + c_2 \begin{pmatrix} 3 \\ -2 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

例 解非齐次线性方程组:
$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 - x_4 = 2 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = -1 \\ 3x_1 + 5x_2 + x_3 + x_4 = -4 \end{cases}$$

$$\Rightarrow (A:b) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 1 & -1 & 2 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & -1 \\ 3 & 5 & 1 & 1 & -4 \end{array} \right) \xrightarrow[\text{行变换}]{\text{初等}} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 0 & 2 & -3 & 7 \\ 0 & 1 & -1 & 2 & -5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) \quad \begin{array}{l} r(A) = r(A:b) \\ = 2 \end{array}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 & 2x_3 - 3x_4 = 7 \\ x_2 - x_3 + 2x_4 = -5 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_1 = 7 - 2x_3 + 3x_4 \\ x_2 = -5 + x_3 - 2x_4 \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{自由变量} \\ x_3, x_4 \end{array}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 = 7 - 2c_1 + 3c_2 \\ x_2 = -5 + c_1 - 2c_2 \\ x_3 = c_1 \\ x_4 = c_2 \end{cases} \Rightarrow \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 7 \\ -5 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + c_1 \begin{pmatrix} -2 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} + c_2 \begin{pmatrix} 3 \\ -2 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad \begin{array}{l} \mathbf{x} \\ \boldsymbol{\eta} \\ \xi_1 \\ \xi_2 \end{array}$$

例 解非齐次线性方程组:
$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 - x_4 = 2 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = -1 \\ 3x_1 + 5x_2 + x_3 + x_4 = -4 \end{cases}$$

$$\Rightarrow (A:b) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 1 & -1 & 2 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & -1 \\ 3 & 5 & 1 & 1 & -4 \end{array} \right) \xrightarrow[\text{行变换}]{\text{初等}} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 0 & 2 & -3 & 7 \\ 0 & 1 & -1 & 2 & -5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) \quad \begin{array}{l} r(A) = r(A:b) \\ = 2 \end{array}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 & 2x_3 - 3x_4 = 7 \\ x_2 - x_3 + 2x_4 = -5 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_1 = 7 - 2x_3 + 3x_4 \\ x_2 = -5 + x_3 - 2x_4 \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{自由变量} \\ x_3, x_4 \end{array}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 = 7 - 2c_1 + 3c_2 \\ x_2 = -5 + c_1 - 2c_2 \\ x_3 = c_1 \\ x_4 = c_2 \end{cases} \Rightarrow \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 7 \\ -5 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + c_1 \begin{pmatrix} -2 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} + c_2 \begin{pmatrix} 3 \\ -2 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad \begin{array}{l} x \\ \eta \\ \xi_1 \\ \xi_2 \end{array}$$

$$\Rightarrow x = \eta + c_1 \xi_1 + c_2 \xi_2$$

例 解非齐次线性方程组:
$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 - x_4 = 2 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = -1 \\ 3x_1 + 5x_2 + x_3 + x_4 = -4 \end{cases}$$

$$\Rightarrow (A:b) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 1 & -1 & 2 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & -1 \\ 3 & 5 & 1 & 1 & -4 \end{array} \right) \xrightarrow[\text{行变换}]{\text{初等}} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 0 & 2 & -3 & 7 \\ 0 & 1 & -1 & 2 & -5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) \quad \begin{array}{l} r(A) = r(A:b) \\ = 2 \end{array}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 & 2x_3 - 3x_4 = 7 \\ x_2 - x_3 + 2x_4 = -5 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_1 = 7 - 2x_3 + 3x_4 \\ x_2 = -5 + x_3 - 2x_4 \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{自由变量} \\ x_3, x_4 \end{array}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 = 7 - 2c_1 + 3c_2 \\ x_2 = -5 + c_1 - 2c_2 \\ x_3 = c_1 \\ x_4 = c_2 \end{cases} \Rightarrow \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 7 \\ -5 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + c_1 \begin{pmatrix} -2 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} + c_2 \begin{pmatrix} 3 \\ -2 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad \begin{array}{l} \mathbf{x} \quad \quad \eta \quad \quad \xi_1 \quad \quad \xi_2 \end{array}$$

$$\Rightarrow \mathbf{x} = \eta + c_1 \xi_1 + c_2 \xi_2$$

$\eta: A\mathbf{x} = \mathbf{b}$ 一个解

例 解非齐次线性方程组:
$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 - x_4 = 2 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = -1 \\ 3x_1 + 5x_2 + x_3 + x_4 = -4 \end{cases}$$

$$\Rightarrow (A:b) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 1 & -1 & 2 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & -1 \\ 3 & 5 & 1 & 1 & -4 \end{array} \right) \xrightarrow[\text{行变换}]{\text{初等}} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 0 & 2 & -3 & 7 \\ 0 & 1 & -1 & 2 & -5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) \quad \begin{array}{l} r(A) = r(A:b) \\ = 2 \end{array}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 + 2x_3 - 3x_4 = 7 \\ x_2 - x_3 + 2x_4 = -5 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_1 = 7 - 2x_3 + 3x_4 \\ x_2 = -5 + x_3 - 2x_4 \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{自由变量} \\ x_3, x_4 \end{array}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 = 7 - 2c_1 + 3c_2 \\ x_2 = -5 + c_1 - 2c_2 \\ x_3 = c_1 \\ x_4 = c_2 \end{cases} \Rightarrow \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 7 \\ -5 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + c_1 \begin{pmatrix} -2 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} + c_2 \begin{pmatrix} 3 \\ -2 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

η ξ_1 ξ_2

$$\Rightarrow x = \eta + c_1 \xi_1 + c_2 \xi_2$$

$\eta : Ax = b$ 一个解

例 解非齐次线性方程组:
$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 - x_4 = 2 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = -1 \\ 3x_1 + 5x_2 + x_3 + x_4 = -4 \end{cases}$$

$$\Rightarrow (A:b) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 1 & -1 & 2 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & -1 \\ 3 & 5 & 1 & 1 & -4 \end{array} \right) \xrightarrow[\text{行变换}]{\text{初等}} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 0 & 2 & -3 & 7 \\ 0 & 1 & -1 & 2 & -5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) \quad \begin{array}{l} r(A) = r(A:b) \\ = 2 \end{array}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 + 2x_3 - 3x_4 = 7 \\ x_2 - x_3 + 2x_4 = -5 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_1 = 7 - 2x_3 + 3x_4 \\ x_2 = -5 + x_3 - 2x_4 \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{自由变量} \\ x_3, x_4 \end{array}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 = 7 - 2c_1 + 3c_2 \\ x_2 = -5 + c_1 - 2c_2 \\ x_3 = c_1 \\ x_4 = c_2 \end{cases} \Rightarrow \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 7 \\ -5 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + c_1 \begin{pmatrix} -2 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} + c_2 \begin{pmatrix} 3 \\ -2 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

η ξ_1 ξ_2

$$\Rightarrow x = \eta + c_1 \xi_1 + c_2 \xi_2$$

$\eta: Ax = b$ 一个解

例 解非齐次线性方程组:
$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 - x_4 = 2 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = -1 \\ 3x_1 + 5x_2 + x_3 + x_4 = -4 \end{cases}$$

$$\Rightarrow (A:b) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 1 & -1 & 2 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & -1 \\ 3 & 5 & 1 & 1 & -4 \end{array} \right) \xrightarrow[\text{行变换}]{\text{初等}} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 0 & 2 & -3 & 7 \\ 0 & 1 & -1 & 2 & -5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) \quad \begin{array}{l} r(A) = r(A:b) \\ = 2 \end{array}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 + 2x_3 - 3x_4 = 7 \\ x_2 - x_3 + 2x_4 = -5 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_1 = 7 - 2x_3 + 3x_4 \\ x_2 = -5 + x_3 - 2x_4 \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{自由变量} \\ x_3, x_4 \end{array}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 = 7 - 2c_1 + 3c_2 \\ x_2 = -5 + c_1 - 2c_2 \\ x_3 = c_1 \\ x_4 = c_2 \end{cases} \Rightarrow \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 7 \\ -5 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + c_1 \begin{pmatrix} -2 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} + c_2 \begin{pmatrix} 3 \\ -2 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\Rightarrow x = \eta + c_1 \xi_1 + c_2 \xi_2$$

$\eta : Ax = b$ 一个解
 $\xi_1, \xi_2 :$

例 解非齐次线性方程组:
$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 - x_4 = 2 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = -1 \\ 3x_1 + 5x_2 + x_3 + x_4 = -4 \end{cases}$$

$$\Rightarrow (A:b) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 1 & -1 & 2 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & -1 \\ 3 & 5 & 1 & 1 & -4 \end{array} \right) \xrightarrow[\text{行变换}]{\text{初等}} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 0 & 2 & -3 & 7 \\ 0 & 1 & -1 & 2 & -5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) \quad \begin{array}{l} r(A) = r(A:b) \\ = 2 \end{array}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 + 2x_3 - 3x_4 = 7 \\ x_2 - x_3 + 2x_4 = -5 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_1 = 7 - 2x_3 + 3x_4 \\ x_2 = -5 + x_3 - 2x_4 \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{自由变量} \\ x_3, x_4 \end{array}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 = 7 - 2c_1 + 3c_2 \\ x_2 = -5 + c_1 - 2c_2 \\ x_3 = c_1 \\ x_4 = c_2 \end{cases} \Rightarrow \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 7 \\ -5 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + c_1 \begin{pmatrix} -2 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} + c_2 \begin{pmatrix} 3 \\ -2 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\Rightarrow x = \eta + c_1 \xi_1 + c_2 \xi_2$$

$\eta : Ax = b$ 一个解
 $\xi_1, \xi_2 :$

例 解非齐次线性方程组:
$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 - x_4 = 2 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = -1 \\ 3x_1 + 5x_2 + x_3 + x_4 = -4 \end{cases}$$

$$\Rightarrow (A:b) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 1 & -1 & 2 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & -1 \\ 3 & 5 & 1 & 1 & -4 \end{array} \right) \xrightarrow[\text{行变换}]{\text{初等}} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 0 & 2 & -3 & 7 \\ 0 & 1 & -1 & 2 & -5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) \quad \begin{array}{l} r(A) = r(A:b) \\ = 2 \end{array}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 + 2x_3 - 3x_4 = 7 \\ x_2 - x_3 + 2x_4 = -5 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_1 = 7 - 2x_3 + 3x_4 \\ x_2 = -5 + x_3 - 2x_4 \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{自由变量} \\ x_3, x_4 \end{array}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 = 7 - 2c_1 + 3c_2 \\ x_2 = -5 + c_1 - 2c_2 \\ x_3 = c_1 \\ x_4 = c_2 \end{cases} \Rightarrow \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 7 \\ -5 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + c_1 \begin{pmatrix} -2 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} + c_2 \begin{pmatrix} 3 \\ -2 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\Rightarrow x = \eta + c_1 \xi_1 + c_2 \xi_2$$

$\eta : Ax = b$ 一个解
 $\xi_1, \xi_2 :$

例 解非齐次线性方程组:
$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 - x_4 = 2 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = -1 \\ 3x_1 + 5x_2 + x_3 + x_4 = -4 \end{cases}$$

$$\Rightarrow (A:b) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 1 & -1 & 2 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & -1 \\ 3 & 5 & 1 & 1 & -4 \end{array} \right) \xrightarrow[\text{行变换}]{\text{初等}} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 0 & 2 & -3 & 7 \\ 0 & 1 & -1 & 2 & -5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) \quad \begin{array}{l} r(A) = r(A:b) \\ = 2 \end{array}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 + 2x_3 - 3x_4 = 7 \\ x_2 - x_3 + 2x_4 = -5 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_1 = 7 - 2x_3 + 3x_4 \\ x_2 = -5 + x_3 - 2x_4 \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{自由变量} \\ x_3, x_4 \end{array}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 = 7 - 2c_1 + 3c_2 \\ x_2 = -5 + c_1 - 2c_2 \\ x_3 = c_1 \\ x_4 = c_2 \end{cases} \Rightarrow \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 7 \\ -5 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + c_1 \begin{pmatrix} -2 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} + c_2 \begin{pmatrix} 3 \\ -2 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\Rightarrow x = \eta + c_1 \xi_1 + c_2 \xi_2$$

$\eta : Ax = b$ 一个解
 $\xi_1, \xi_2 :$

例 解非齐次线性方程组:
$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 - x_4 = 2 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 = -1 \\ 3x_1 + 5x_2 + x_3 + x_4 = -4 \end{cases}$$

$$\Rightarrow (A:b) = \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 1 & -1 & 2 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & -1 \\ 3 & 5 & 1 & 1 & -4 \end{array} \right) \xrightarrow[\text{行变换}]{\text{初等}} \left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 0 & 2 & -3 & 7 \\ 0 & 1 & -1 & 2 & -5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) \quad \begin{array}{l} r(A) = r(A:b) \\ = 2 \end{array}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 + 2x_3 - 3x_4 = 7 \\ x_2 - x_3 + 2x_4 = -5 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_1 = 7 - 2x_3 + 3x_4 \\ x_2 = -5 + x_3 - 2x_4 \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{自由变量} \\ x_3, x_4 \end{array}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} x_1 = 7 - 2c_1 + 3c_2 \\ x_2 = -5 + c_1 - 2c_2 \\ x_3 = c_1 \\ x_4 = c_2 \end{cases} \Rightarrow \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 7 \\ -5 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + c_1 \begin{pmatrix} -2 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} + c_2 \begin{pmatrix} 3 \\ -2 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\Rightarrow x = \eta + c_1 \xi_1 + c_2 \xi_2$$

$\eta : Ax = b$ 一个解

$\xi_1, \xi_2 : Ax = 0$ 基础解系

定义 在非齐次线性方程组

$$Ax = b$$

中，用 0 代替 b ，所得到的齐次线性方程组

$$Ax = 0$$

称为原方程组 $Ax = b$ 的**导出组**。

定义 在非齐次线性方程组

$$Ax = b$$

中, 用 0 代替 b , 所得到的齐次线性方程组

$$Ax = 0$$

称为原方程组 $Ax = b$ 的**导出组**。

如 $\begin{cases} x_1 - 2x_2 + 4x_3 - 7x_4 = 1 \\ 2x_1 + x_2 - 2x_3 + x_4 = 4 \\ 3x_1 - x_2 + 2x_3 - 6x_4 = -9 \end{cases}$ 的导出组是

定义 在非齐次线性方程组

$$Ax = b$$

中, 用 0 代替 b , 所得到的齐次线性方程组

$$Ax = 0$$

称为原方程组 $Ax = b$ 的**导出组**。

如 $\begin{cases} x_1 - 2x_2 + 4x_3 - 7x_4 = 1 \\ 2x_1 + x_2 - 2x_3 + x_4 = 4 \\ 3x_1 - x_2 + 2x_3 - 6x_4 = -9 \end{cases}$ 的导出组是

$$\begin{cases} x_1 - 2x_2 + 4x_3 - 7x_4 = 0 \\ 2x_1 + x_2 - 2x_3 + x_4 = 0 \\ 3x_1 - x_2 + 2x_3 - 6x_4 = 0 \end{cases}$$

定理 如果 η 是非齐次线性方程组

$$Ax = b$$

的一个解, 则原方程组的任意解 x 可以表示成

$$x = \eta + \xi$$

其中 ξ 是导出组 $Ax = 0$ 的解。

定理 如果 η 是非齐次线性方程组

$$Ax = b$$

的一个解, 则原方程组的任意解 x 可以表示成

$$x = \eta + \xi$$

其中 ξ 是导出组 $Ax = 0$ 的解。

进一步, 设导出组 $Ax = 0$ 的基础解系是

$$\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_s$$

定理 如果 η 是非齐次线性方程组

$$Ax = b$$

的一个解, 则原方程组的任意解 x 可以表示成

$$x = \eta + \xi$$

其中 ξ 是导出组 $Ax = 0$ 的解。

进一步, 设导出组 $Ax = 0$ 的基础解系是

$$\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_s$$

$$\underline{\xi} \quad \underline{c_1 \xi_1 + c_2 \xi_2 + \dots + c_s \xi_s}$$

定理 如果 η 是非齐次线性方程组

$$Ax = b$$

的一个解, 则原方程组的任意解 x 可以表示成

$$x = \eta + \xi$$

其中 ξ 是导出组 $Ax = 0$ 的解。

进一步, 设导出组 $Ax = 0$ 的基础解系是

$$\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_s$$

则原方程组的任意解 x 可以表示成

$$x = \eta + \underline{\xi} = \eta + \underline{c_1\xi_1 + c_2\xi_2 + \cdots + c_s\xi_s}$$

定理 如果 η 是非齐次线性方程组

$$Ax = b$$

的一个解, 则原方程组的任意解 x 可以表示成

$$x = \eta + \xi$$

其中 ξ 是导出组 $Ax = 0$ 的解。

进一步, 设导出组 $Ax = 0$ 的基础解系是

$$\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_s$$

则原方程组的任意解 x 可以表示成

$$x = \eta + \underline{\xi} = \eta + \underline{c_1\xi_1 + c_2\xi_2 + \cdots + c_s\xi_s}$$

证明 $Ax = b, \quad A\eta = b$

定理 如果 η 是非齐次线性方程组

$$Ax = b$$

的一个解, 则原方程组的任意解 x 可以表示成

$$x = \eta + \xi$$

其中 ξ 是导出组 $Ax = 0$ 的解。

进一步, 设导出组 $Ax = 0$ 的基础解系是

$$\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_s$$

则原方程组的任意解 x 可以表示成

$$x = \eta + \underline{\xi} = \eta + \underline{c_1\xi_1 + c_2\xi_2 + \cdots + c_s\xi_s}$$

证明 $Ax = b, \quad A\eta = b \quad \Rightarrow \quad A(x - \eta) = Ax - A\eta = b - b = 0$

定理 如果 η 是非齐次线性方程组

$$Ax = b$$

的一个解, 则原方程组的任意解 x 可以表示成

$$x = \eta + \xi$$

其中 ξ 是导出组 $Ax = 0$ 的解。

进一步, 设导出组 $Ax = 0$ 的基础解系是

$$\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_s$$

则原方程组的任意解 x 可以表示成

$$x = \eta + \underline{\xi} = \eta + \underline{c_1\xi_1 + c_2\xi_2 + \cdots + c_s\xi_s}$$

证明 $Ax = b, \quad A\eta = b \quad \Rightarrow \quad A(x - \eta) = Ax - A\eta = b - b = 0$
 $\Rightarrow \quad x - \eta = c_1\xi_1 + c_2\xi_2 + \cdots + c_s\xi_s$

定理 如果 η 是非齐次线性方程组

$$Ax = b$$

的一个解, 则原方程组的任意解 x 可以表示成

$$x = \eta + \xi$$

其中 ξ 是导出组 $Ax = 0$ 的解。

进一步, 设导出组 $Ax = 0$ 的基础解系是

$$\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_s$$

则原方程组的任意解 x 可以表示成

$$x = \eta + \underline{\xi} = \eta + \underline{c_1\xi_1 + c_2\xi_2 + \cdots + c_s\xi_s}$$

证明 $Ax = b, \quad A\eta = b \quad \Rightarrow \quad A(x - \eta) = Ax - A\eta = b - b = 0$
 $\Rightarrow \quad x - \eta = c_1\xi_1 + c_2\xi_2 + \cdots + c_s\xi_s$
 $\Rightarrow \quad x - \eta$ 是导出组 $Ax = 0$ 的解

用基础解系表示 $Ax = b$ 通解

先是

- 将增广矩阵 (A, b) 化为简化的阶梯形矩阵；
- 确定自由变量，写出同解方程组；

然后

- 求出一个特解 η ：可取自由未知量全为 0 得到
- 求出导出组 $Ax = 0$ 的基础解系： $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_s$

则 $Ax = b$ 的通解是

用基础解系表示 $Ax = b$ 通解

先是

- 将增广矩阵 (A, b) 化为简化的阶梯形矩阵；
- 确定自由变量，写出同解方程组；

然后

- 求出一个特解 η ：可取自由未知量全为 0 得到
- 求出导出组 $Ax = 0$ 的基础解系： $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_s$

则 $Ax = b$ 的通解是

$$x = \eta + c_1\xi_1 + c_2\xi_2 + \cdots + c_s\xi_s$$

例 用“特解 + 基础解系的线性组合”的形式，求出

$$\begin{cases} x_1 + 2x_2 + x_3 + x_4 - x_5 = 1 \\ \quad \quad x_2 + x_3 + x_4 = 1 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 + 2x_4 - x_5 = 3 \end{cases} \text{ 的通解。}$$

例 用“特解 + 基础解系的线性组合”的形式，求出

$$\begin{cases} x_1 + 2x_2 + x_3 + x_4 - x_5 = 1 \\ x_2 + x_3 + x_4 = 1 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 + 2x_4 - x_5 = 3 \end{cases} \text{ 的通解。}$$

解

$$(A | b) = \left(\begin{array}{ccccc|c} 1 & 2 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 2 & 3 & 1 & 2 & -1 & 3 \end{array} \right)$$

例 用“特解 + 基础解系的线性组合”的形式，求出

$$\begin{cases} x_1 + 2x_2 + x_3 + x_4 - x_5 = 1 \\ x_2 + x_3 + x_4 = 1 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 + 2x_4 - x_5 = 3 \end{cases} \text{ 的通解。}$$

解

$$(A | b) = \left(\begin{array}{ccccc|c} 1 & 2 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 2 & 3 & 1 & 2 & -1 & 3 \end{array} \right) \xrightarrow{r_3 - 2r_1}$$

例 用“特解 + 基础解系的线性组合”的形式，求出

$$\begin{cases} x_1 + 2x_2 + x_3 + x_4 - x_5 = 1 \\ x_2 + x_3 + x_4 = 1 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 + 2x_4 - x_5 = 3 \end{cases} \text{ 的通解。}$$

解

$$(A | b) = \left(\begin{array}{ccccc|c} 1 & 2 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 2 & 3 & 1 & 2 & -1 & 3 \end{array} \right) \xrightarrow{r_3 - 2r_1} \left(\begin{array}{ccccc|c} 1 & 2 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & -1 & 0 & 1 & 1 \end{array} \right)$$

例 用“特解 + 基础解系的线性组合”的形式，求出

$$\begin{cases} x_1 + 2x_2 + x_3 + x_4 - x_5 = 1 \\ x_2 + x_3 + x_4 = 1 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 + 2x_4 - x_5 = 3 \end{cases} \text{ 的通解。}$$

解

$$(A | b) = \left(\begin{array}{ccccc|c} 1 & 2 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 2 & 3 & 1 & 2 & -1 & 3 \end{array} \right) \xrightarrow{r_3 - 2r_1} \left(\begin{array}{ccccc|c} 1 & 2 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & -1 & 0 & 1 & 1 \end{array} \right)$$
$$\xrightarrow{r_3 + r_2}$$

例 用“特解 + 基础解系的线性组合”的形式，求出

$$\begin{cases} x_1 + 2x_2 + x_3 + x_4 - x_5 = 1 \\ x_2 + x_3 + x_4 = 1 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 + 2x_4 - x_5 = 3 \end{cases} \text{ 的通解。}$$

解

$$\begin{aligned} (A | b) &= \left(\begin{array}{ccccc|c} 1 & 2 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 2 & 3 & 1 & 2 & -1 & 3 \end{array} \right) \xrightarrow{r_3 - 2r_1} \left(\begin{array}{ccccc|c} 1 & 2 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & -1 & 0 & 1 & 1 \end{array} \right) \\ &\xrightarrow{r_3 + r_2} \left(\begin{array}{ccccc|c} 1 & 2 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 2 \end{array} \right) \end{aligned}$$

例 用“特解 + 基础解系的线性组合”的形式，求出

$$\begin{cases} x_1 + 2x_2 + x_3 + x_4 - x_5 = 1 \\ x_2 + x_3 + x_4 = 1 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 + 2x_4 - x_5 = 3 \end{cases} \text{ 的通解。}$$

解

$$\begin{aligned} (A | b) &= \left(\begin{array}{ccccc|c} 1 & 2 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 2 & 3 & 1 & 2 & -1 & 3 \end{array} \right) \xrightarrow{r_3 - 2r_1} \left(\begin{array}{ccccc|c} 1 & 2 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & -1 & 0 & 1 & 1 \end{array} \right) \\ &\xrightarrow{r_3 + r_2} \left(\begin{array}{ccccc|c} 1 & 2 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 2 \end{array} \right) \xrightarrow[r_1 - r_3]{r_2 - r_3} \end{aligned}$$

例 用“特解 + 基础解系的线性组合”的形式，求出

$$\begin{cases} x_1 + 2x_2 + x_3 + x_4 - x_5 = 1 \\ \quad \quad x_2 + x_3 + x_4 = 1 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 + 2x_4 - x_5 = 3 \end{cases} \text{ 的通解。}$$

解

$$\begin{aligned} (A | b) &= \left(\begin{array}{ccccc|c} 1 & 2 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 2 & 3 & 1 & 2 & -1 & 3 \end{array} \right) \xrightarrow{r_3 - 2r_1} \left(\begin{array}{ccccc|c} 1 & 2 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & -1 & 0 & 1 & 1 \end{array} \right) \\ &\xrightarrow{r_3 + r_2} \left(\begin{array}{ccccc|c} 1 & 2 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 2 \end{array} \right) \xrightarrow[r_1 - r_3]{r_2 - r_3} \left(\begin{array}{ccccc|c} 1 & 2 & 1 & 0 & -2 & -1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 2 \end{array} \right) \end{aligned}$$

例 用“特解 + 基础解系的线性组合”的形式，求出

$$\begin{cases} x_1 + 2x_2 + x_3 + x_4 - x_5 = 1 \\ x_2 + x_3 + x_4 = 1 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 + 2x_4 - x_5 = 3 \end{cases} \text{ 的通解。}$$

解

$$\begin{aligned} (A | b) &= \left(\begin{array}{ccccc|c} 1 & 2 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 2 & 3 & 1 & 2 & -1 & 3 \end{array} \right) \xrightarrow{r_3 - 2r_1} \left(\begin{array}{ccccc|c} 1 & 2 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & -1 & 0 & 1 & 1 \end{array} \right) \\ &\xrightarrow{r_3 + r_2} \left(\begin{array}{ccccc|c} 1 & 2 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 2 \end{array} \right) \xrightarrow[r_1 - r_3]{r_2 - r_3} \left(\begin{array}{ccccc|c} 1 & 2 & 1 & 0 & -2 & -1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 2 \end{array} \right) \\ &\xrightarrow{r_1 - 2r_2} \end{aligned}$$

例 用“特解 + 基础解系的线性组合”的形式，求出

$$\begin{cases} x_1 + 2x_2 + x_3 + x_4 - x_5 = 1 \\ x_2 + x_3 + x_4 = 1 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 + 2x_4 - x_5 = 3 \end{cases} \text{ 的通解。}$$

解

$$\begin{aligned} (A | b) &= \left(\begin{array}{ccccc|c} 1 & 2 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 2 & 3 & 1 & 2 & -1 & 3 \end{array} \right) \xrightarrow{r_3 - 2r_1} \left(\begin{array}{ccccc|c} 1 & 2 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & -1 & 0 & 1 & 1 \end{array} \right) \\ &\xrightarrow{r_3 + r_2} \left(\begin{array}{ccccc|c} 1 & 2 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 2 \end{array} \right) \xrightarrow[r_1 - r_3]{r_2 - r_3} \left(\begin{array}{ccccc|c} 1 & 2 & 1 & 0 & -2 & -1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 2 \end{array} \right) \\ &\xrightarrow{r_1 - 2r_2} \left(\begin{array}{ccccc|c} 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 2 \end{array} \right) \end{aligned}$$

例 用“特解 + 基础解系的线性组合”的形式，求出

$$\begin{cases} x_1 + 2x_2 + x_3 + x_4 - x_5 = 1 \\ \quad \quad x_2 + x_3 + x_4 = 1 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 + 2x_4 - x_5 = 3 \end{cases} \text{ 的通解。}$$

解

$$\begin{aligned} (A | b) &= \left(\begin{array}{ccccc|c} 1 & 2 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 2 & 3 & 1 & 2 & -1 & 3 \end{array} \right) \xrightarrow{r_3 - 2r_1} \left(\begin{array}{ccccc|c} 1 & 2 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & -1 & 0 & 1 & 1 \end{array} \right) \\ &\xrightarrow{r_3 + r_2} \left(\begin{array}{ccccc|c} 1 & 2 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 2 \end{array} \right) \xrightarrow[r_1 - r_3]{r_2 - r_3} \left(\begin{array}{ccccc|c} 1 & 2 & 1 & 0 & -2 & -1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 2 \end{array} \right) \\ &\xrightarrow{r_1 - 2r_2} \left(\begin{array}{ccccc|c} 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 2 \end{array} \right) \end{aligned}$$

例 用“特解 + 基础解系的线性组合”的形式，求出

$$\begin{cases} x_1 + 2x_2 + x_3 + x_4 - x_5 = 1 \\ x_2 + x_3 + x_4 = 1 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 + 2x_4 - x_5 = 3 \end{cases} \text{ 的通解。}$$

解

$$\begin{aligned} (A | b) &= \left(\begin{array}{ccccc|c} 1 & 2 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 2 & 3 & 1 & 2 & -1 & 3 \end{array} \right) \xrightarrow{r_3 - 2r_1} \left(\begin{array}{ccccc|c} 1 & 2 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & -1 & 0 & 1 & 1 \end{array} \right) \\ &\xrightarrow{r_3 + r_2} \left(\begin{array}{ccccc|c} 1 & 2 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 2 \end{array} \right) \xrightarrow[r_1 - r_3]{r_2 - r_3} \left(\begin{array}{ccccc|c} 1 & 2 & 1 & 0 & -2 & -1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 2 \end{array} \right) \\ &\xrightarrow{r_1 - 2r_2} \left(\begin{array}{ccccc|c} 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 2 \end{array} \right) \end{aligned}$$

1. 自由变量: x_3, x_5 ;

例 用“特解+基础解系的线性组合”的形式，求出

$$\begin{cases} x_1 + 2x_2 + x_3 + x_4 - x_5 = 1 \\ x_2 + x_3 + x_4 = 1 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 + 2x_4 - x_5 = 3 \end{cases} \text{的通解。}$$

解

$$\begin{aligned} (A|b) &= \left(\begin{array}{ccccc|c} 1 & 2 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 2 & 3 & 1 & 2 & -1 & 3 \end{array} \right) \xrightarrow{r_3-2r_1} \left(\begin{array}{ccccc|c} 1 & 2 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & -1 & 0 & 1 & 1 \end{array} \right) \\ &\xrightarrow{r_3+r_2} \left(\begin{array}{ccccc|c} 1 & 2 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 2 \end{array} \right) \xrightarrow[r_1-r_3]{r_2-r_3} \left(\begin{array}{ccccc|c} 1 & 2 & 1 & 0 & -2 & -1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 2 \end{array} \right) \\ &\xrightarrow{r_1-2r_2} \left(\begin{array}{ccccc|c} 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 2 \end{array} \right) \end{aligned}$$

1. 自由变量： x_3, x_5 ；方程同解于：

$$\begin{cases} x_1 - x_3 = 1 \\ x_2 + x_3 - x_5 = -1 \\ x_4 + x_5 = 2 \end{cases}$$

例 用“特解+基础解系的线性组合”的形式，求出

$$\begin{cases} x_1 + 2x_2 + x_3 + x_4 - x_5 = 1 \\ x_2 + x_3 + x_4 = 1 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 + 2x_4 - x_5 = 3 \end{cases} \text{的通解。}$$

解

$$\begin{aligned} (A|b) &= \left(\begin{array}{ccccc|c} 1 & 2 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 2 & 3 & 1 & 2 & -1 & 3 \end{array} \right) \xrightarrow{r_3-2r_1} \left(\begin{array}{ccccc|c} 1 & 2 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & -1 & 0 & 1 & 1 \end{array} \right) \\ &\xrightarrow{r_3+r_2} \left(\begin{array}{ccccc|c} 1 & 2 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 2 \end{array} \right) \xrightarrow[r_1-r_3]{r_2-r_3} \left(\begin{array}{ccccc|c} 1 & 2 & 1 & 0 & -2 & -1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 2 \end{array} \right) \\ &\xrightarrow{r_1-2r_2} \left(\begin{array}{ccccc|c} 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 2 \end{array} \right) \end{aligned}$$

1. 自由变量： x_3, x_5 ；方程同解于：

$$\begin{cases} x_1 - x_3 = 1 \\ x_2 + x_3 - x_5 = -1 \\ x_4 + x_5 = 2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_1 = 1 + x_3 \\ x_2 = -1 - x_3 + x_5 \\ x_4 = 2 - x_5 \end{cases}$$

1. 自由变量: x_3, x_5 ; 原方程组同解于:

$$\begin{cases} x_1 - x_3 = 1 \\ x_2 + x_3 - x_5 = -1 \\ x_4 + x_5 = 2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_1 = 1 + x_3 \\ x_2 = -1 - x_3 + x_5 \\ x_4 = 2 - x_5 \end{cases}$$

1. 自由变量: x_3, x_5 ; 原方程组同解于:

$$\begin{cases} x_1 - x_3 = 1 \\ x_2 + x_3 - x_5 = -1 \\ x_4 + x_5 = 2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_1 = 1 + x_3 \\ x_2 = -1 - x_3 + x_5 \\ x_4 = 2 - x_5 \end{cases}$$

2. 原方程组特解: 取自由变量 $\begin{pmatrix} x_3 \\ x_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$,

1. 自由变量: x_3, x_5 ; 原方程组同解于:

$$\begin{cases} x_1 - x_3 = 1 \\ x_2 + x_3 - x_5 = -1 \\ x_4 + x_5 = 2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_1 = 1 + x_3 \\ x_2 = -1 - x_3 + x_5 \\ x_4 = 2 - x_5 \end{cases}$$

2. 原方程组特解: 取自由变量 $\begin{pmatrix} x_3 \\ x_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$, 得特解 $\eta = \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \\ 0 \\ 2 \\ 0 \end{pmatrix}$ 。

1. 自由变量: x_3, x_5 ; 原方程组同解于:

$$\begin{cases} x_1 - x_3 = 1 \\ x_2 + x_3 - x_5 = -1 \\ x_4 + x_5 = 2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_1 = 1 + x_3 \\ x_2 = -1 - x_3 + x_5 \\ x_4 = 2 - x_5 \end{cases}$$

2. 原方程组特解: 取自由变量 $\begin{pmatrix} x_3 \\ x_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$, 得特解 $\eta = \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \\ 0 \\ 2 \\ 0 \end{pmatrix}$ 。

3. 导出组 $Ax = 0$

1. 自由变量: x_3, x_5 ; 原方程组同解于:

$$\begin{cases} x_1 - x_3 = 1 \\ x_2 + x_3 - x_5 = -1 \\ x_4 + x_5 = 2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_1 = 1 + x_3 \\ x_2 = -1 - x_3 + x_5 \\ x_4 = 2 - x_5 \end{cases}$$

2. 原方程组特解: 取自由变量 $\begin{pmatrix} x_3 \\ x_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$, 得特解 $\eta = \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \\ 0 \\ 2 \\ 0 \end{pmatrix}$ 。

3. 导出组 $Ax = 0$ 同解于 $\begin{cases} x_1 = x_3 \\ x_2 = -x_3 + x_5 \\ x_4 = -x_5 \end{cases}$ 。

1. 自由变量: x_3, x_5 ; 原方程组同解于:

$$\begin{cases} x_1 - x_3 = 1 \\ x_2 + x_3 - x_5 = -1 \\ x_4 + x_5 = 2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_1 = 1 + x_3 \\ x_2 = -1 - x_3 + x_5 \\ x_4 = 2 - x_5 \end{cases}$$

2. 原方程组特解: 取自由变量 $\begin{pmatrix} x_3 \\ x_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$, 得特解 $\eta = \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \\ 0 \\ 2 \\ 0 \end{pmatrix}$ 。

3. 导出组 $Ax = 0$ 同解于 $\begin{cases} x_1 = x_3 \\ x_2 = -x_3 + x_5 \\ x_4 = -x_5 \end{cases}$. 分别取 $\begin{pmatrix} x_3 \\ x_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$ 和

$\begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$, 得基础解系 $\xi_1 = \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$, $\xi_2 = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ -1 \\ 1 \end{pmatrix}$.

1. 自由变量: x_3, x_5 ; 原方程组同解于:

$$\begin{cases} x_1 - x_3 = 1 \\ x_2 + x_3 - x_5 = -1 \\ x_4 + x_5 = 2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_1 = 1 + x_3 \\ x_2 = -1 - x_3 + x_5 \\ x_4 = 2 - x_5 \end{cases}$$

2. 原方程组特解: 取自由变量 $\begin{pmatrix} x_3 \\ x_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$, 得特解 $\eta = \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \\ 0 \\ 2 \\ 0 \end{pmatrix}$ 。

3. 导出组 $Ax = 0$ 同解于 $\begin{cases} x_1 = x_3 \\ x_2 = -x_3 + x_5 \\ x_4 = -x_5 \end{cases}$. 分别取 $\begin{pmatrix} x_3 \\ x_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$ 和

$\begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$, 得基础解系 $\xi_1 = \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$, $\xi_2 = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ -1 \\ 1 \end{pmatrix}$ 。

4. 通解: $x = \eta + c_1\xi_1 + c_2\xi_2$ 其中 c_1, c_2 为任意常数。