

第一章 线性规划及单纯形法

1.1 线性规划问题及其数学模型

修贤超

机电工程与自动化学院
上海大学

xcxiu@shu.edu.cn

1.1 线性规划问题及其数学模型

■ 例 1

- 美佳公司计划制造 I、II 两种家电产品。已知各制造一件时分别占用的设备 A、设备 B 的台时、调试工序时间及每天可用于这两种家电的能力、各售出一件时的获利情况。问该公司应制造两种家电各多少件，使获取的利润为最大？

项目	产品 I	产品 II	每天可用能力
设备 A/h	0	5	15
设备 B/h	6	2	24
调试工序/h	1	1	5
利润/元	2	1	

1.1 线性规划问题及其数学模型

■ 例 1

□ 设两种家电产量分别为变量 x_1, x_2 , 于是

$$\max z = 2x_1 + x_2$$

1.1 线性规划问题及其数学模型

■ 例 1

□ 设两种家电产量分别为变量 x_1, x_2 , 于是

$$\begin{aligned} \max \quad & z = 2x_1 + x_2 \\ \text{s.t.} \quad & \begin{cases} 5x_2 \leq 15 \\ 6x_1 + 2x_2 \leq 24 \\ x_1 + x_2 \leq 5 \\ x_1, x_2 \geq 0 \end{cases} \end{aligned}$$

1.1 线性规划问题及其数学模型

■ 例 1

□ 设两种家电产量分别为变量 x_1, x_2 , 于是

$$\begin{aligned} \max \quad & z = 2x_1 + x_2 \\ \text{s.t.} \quad & \begin{cases} 5x_2 \leq 15 \\ 6x_1 + 2x_2 \leq 24 \\ x_1 + x_2 \leq 5 \\ x_1, x_2 \geq 0 \end{cases} \end{aligned}$$

1.1 线性规划问题及其数学模型

■ 例 1

□ 设两种家电产量分别为变量 x_1, x_2 , 于是

$$\begin{aligned} \max \quad & z = 2x_1 + x_2 \\ \text{s.t.} \quad & \begin{cases} 5x_2 \leq 15 \\ 6x_1 + 2x_2 \leq 24 \\ x_1 + x_2 \leq 5 \\ x_1, x_2 \geq 0 \end{cases} \end{aligned}$$

- 决策变量: x_1, x_2

1.1 线性规划问题及其数学模型

■ 例 1

□ 设两种家电产量分别为变量 x_1, x_2 , 于是

$$\begin{aligned} \max \quad & z = 2x_1 + x_2 \\ \text{s.t.} \quad & \begin{cases} 5x_2 \leq 15 \\ 6x_1 + 2x_2 \leq 24 \\ x_1 + x_2 \leq 5 \\ x_1, x_2 \geq 0 \end{cases} \end{aligned}$$

- 决策变量: x_1, x_2
- 目标函数: $\max z = 2x_1 + x_2$

1.1 线性规划问题及其数学模型

■ 例 1

□ 设两种家电产量分别为变量 x_1, x_2 , 于是

$$\begin{aligned} \max \quad & z = 2x_1 + x_2 \\ \text{s.t.} \quad & \begin{cases} 5x_2 \leq 15 \\ 6x_1 + 2x_2 \leq 24 \\ x_1 + x_2 \leq 5 \\ x_1, x_2 \geq 0 \end{cases} \end{aligned}$$

- 决策变量: x_1, x_2
- 目标函数: $\max z = 2x_1 + x_2$
- 约束条件: $5x_2 \leq 15, 6x_1 + 2x_2 \leq 24, x_1 + x_2 \leq 5, x_1, x_2 \geq 0$

1.1 线性规划问题及其数学模型

■ 例 2

- 捷运公司拟在下一年度的 1-4 月的 4 个月内需租用仓库堆放物资。已知各月份所需仓库面积列于表

月份	1	2	3	4
所需仓库面积 ($100m^2$)	15	10	20	12

1.1 线性规划问题及其数学模型

■ 例 2

- 捷运公司拟在下一年度的 1-4 月的 4 个月内需租用仓库堆放物资。已知各月份所需仓库面积列于表

月份	1	2	3	4
所需仓库面积 ($100m^2$)	15	10	20	12

仓库租借费用随合同期限而定，合同期越长折扣越大，见表

合同租借期限	1 个月	2 个月	3 个月	4 个月
合同期内的租费 (元/ $100m^2$)	2800	4500	6000	7300

1.1 线性规划问题及其数学模型

■ 例 2

- 捷运公司拟在下一年度的 1-4 月的 4 个月内需租用仓库堆放物资。已知各月份所需仓库面积列于表

月份	1	2	3	4
所需仓库面积 ($100m^2$)	15	10	20	12

仓库租借费用随合同期限而定，合同期越长折扣越大，见表

合同租借期限	1 个月	2 个月	3 个月	4 个月
合同期内的租费 (元/ $100m^2$)	2800	4500	6000	7300

租借仓库的合同每月初都可办理，每份合同具体规定租用面积和期限。因此该厂可根据需要，在任何一个月初办理租借合同。每次办理时可签一份合同，也可签若干份租用面积和租借期限不同的合同。试确定该公司签订租借合同的最优决策，使所付租借费用最小？

1.1 线性规划问题及其数学模型

■ 例 2

□ 设 x_{ij} 表示在第 i ($i = 1, 2, 3, 4$) 个月初签订的租借期为 j ($j = 1, 2, 3, 4$) 个月的仓库面积的合同, 于是

1.1 线性规划问题及其数学模型

■ 例 2

- 设 x_{ij} 表示在第 i ($i = 1, 2, 3, 4$) 个月初签订的租借期为 j ($j = 1, 2, 3, 4$) 个月的仓库面积的合同, 于是
- 决策变量: x_{ij} ($i, j = 1, 2, 3, 4$)

1.1 线性规划问题及其数学模型

■ 例 2

□ 设 x_{ij} 表示在第 i ($i = 1, 2, 3, 4$) 个月初签订的租借期为 j ($j = 1, 2, 3, 4$) 个月的仓库面积的合同, 于是

- 决策变量: x_{ij} ($i, j = 1, 2, 3, 4$)
- 目标函数:

$$\begin{aligned} \min z = & 2800(x_{11} + x_{21} + x_{31} + x_{41}) + 4500(x_{12} + x_{22} + x_{32} + x_{42}) \\ & + 6000(x_{13} + x_{23} + x_{33} + x_{43}) + 7300(x_{14} + x_{24} + x_{34} + x_{44}) \end{aligned}$$

1.1 线性规划问题及其数学模型

■ 例 2

□ 设 x_{ij} 表示在第 i ($i = 1, 2, 3, 4$) 个月初签订的租借期为 j ($j = 1, 2, 3, 4$) 个月的仓库面积的合同, 于是

- 决策变量: x_{ij} ($i, j = 1, 2, 3, 4$)
- 目标函数:

$$\begin{aligned}\min z = & 2800(x_{11} + x_{21} + x_{31} + x_{41}) + 4500(x_{12} + x_{22} + x_{32} + x_{42}) \\ & + 6000(x_{13} + x_{23} + x_{33} + x_{43}) + 7300(x_{14} + x_{24} + x_{34} + x_{44})\end{aligned}$$

\Downarrow

$$\begin{aligned}\min z = & 2800(x_{11} + x_{21} + x_{31} + x_{41}) + 4500(x_{12} + x_{22} + x_{32}) \\ & + 6000(x_{13} + x_{23}) + 7300x_{14}\end{aligned}$$

1.1 线性规划问题及其数学模型

■ 例 2

□ 设 x_{ij} 表示在第 i ($i = 1, 2, 3, 4$) 个月初签订的租借期为 j ($j = 1, 2, 3, 4$) 个月的仓库面积的合同, 于是

- 决策变量: x_{ij} ($i, j = 1, 2, 3, 4$)
- 目标函数:

$$\begin{aligned} \min z = & 2800(x_{11} + x_{21} + x_{31} + x_{41}) + 4500(x_{12} + x_{22} + x_{32} + x_{42}) \\ & + 6000(x_{13} + x_{23} + x_{33} + x_{43}) + 7300(x_{14} + x_{24} + x_{34} + x_{44}) \end{aligned}$$

\Downarrow

$$\begin{aligned} \min z = & 2800(x_{11} + x_{21} + x_{31} + x_{41}) + 4500(x_{12} + x_{22} + x_{32}) \\ & + 6000(x_{13} + x_{23}) + 7300x_{14} \end{aligned}$$

- 约束条件:

$$\begin{cases} x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} \geq 15 \\ x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{21} + x_{22} + x_{23} \geq 10 \\ x_{13} + x_{14} + x_{22} + x_{23} + x_{31} + x_{32} \geq 20 \\ x_{14} + x_{23} + x_{32} + x_{41} \geq 12 \\ x_{ij} \geq 0 \end{cases}$$

1.1 线性规划问题及其数学模型

■ 课堂练习 1

- 某工厂用三种原料 P_1 、原料 P_2 、原料 P_3 生产三种产品 Q_1 、产品 Q_2 、产品 Q_3 ，如表所示。试制订总利润最大的生产计划？

单位产品所需原料数量	产品 Q_1	产品 Q_2	产品 Q_3	原料可用量
原料 P_1 /公斤	2	3	0	1500
原料 P_2 /公斤	0	2	4	800
原料 P_3 /公斤	3	2	5	2000
位产品的利润/千元	3	5	4	

1.1 线性规划问题及其数学模型

■ 课堂练习 1

□ 设每天生产三种产品的数量，分别设为 x_1, x_2, x_3 ，于是

- 决策变量: x_1, x_2, x_3
- 目标函数: $\max z = 3x_1 + 5x_2 + 4x_3$
- 约束条件: $2x_1 + 3x_2 \leq 1500, 2x_2 + 4x_3 \leq 800, 3x_1 + 2x_2 + 5x_3 \leq 2000$
 $x_1, x_2, x_3 \geq 0$

1.1 线性规划问题及其数学模型

■ 课堂练习 1

□ 设每天生产三种产品的数量，分别设为 x_1, x_2, x_3 ，于是

- 决策变量: x_1, x_2, x_3
- 目标函数: $\max z = 3x_1 + 5x_2 + 4x_3$
- 约束条件: $2x_1 + 3x_2 \leq 1500, 2x_2 + 4x_3 \leq 800, 3x_1 + 2x_2 + 5x_3 \leq 2000$
 $x_1, x_2, x_3 \geq 0$

□ 数学模型为

$$\begin{aligned} \max \quad & z = 3x_1 + 5x_2 + 4x_3 \\ \text{s.t.} \quad & \begin{cases} 2x_1 + 3x_2 \leq 1500 \\ 2x_2 + 4x_3 \leq 800 \\ 3x_1 + 2x_2 + 5x_3 \leq 2000 \\ x_1, x_2, x_3 \geq 0 \end{cases} \end{aligned}$$

1.1 线性规划问题及其数学模型

■ 线性规划问题的数学模型

□ 三要素: 决策变量, 目标函数, 约束条件

1.1 线性规划问题及其数学模型

■ 线性规划问题的数学模型

□ 三要素: 决策变量, 目标函数, 约束条件

$$\begin{aligned} \max \quad & z = 3x_1 + 5x_2 + 4x_3 \\ \text{s.t.} \quad & \begin{cases} 2x_1 + 3x_2 \leq 1500 \\ 2x_2 + 4x_3 \leq 800 \\ 3x_1 + 2x_2 + 5x_3 \leq 2000 \\ x_1, x_2, x_3 \geq 0 \end{cases} \end{aligned}$$

1.1 线性规划问题及其数学模型

■ 线性规划问题的数学模型

□ 三要素: 决策变量, 目标函数, 约束条件

$$\begin{aligned} \max \quad & z = 3x_1 + 5x_2 + 4x_3 \\ \text{s.t.} \quad & \begin{cases} 2x_1 + 3x_2 \leq 1500 \\ 2x_2 + 4x_3 \leq 800 \\ 3x_1 + 2x_2 + 5x_3 \leq 2000 \\ x_1, x_2, x_3 \geq 0 \end{cases} \end{aligned}$$

- 决策变量的取值是**连续的**
- 目标函数是决策变量的**线性函数**
- 约束条件是含决策变量的**线性等式或不等式**

1.1 线性规划问题及其数学模型

■ 线性规划问题的数学模型

□ 三要素：决策变量，目标函数，约束条件

$$\begin{aligned} \max \quad & z = 3x_1 + 5x_2 + 4x_3 \\ \text{s.t.} \quad & \begin{cases} 2x_1 + 3x_2 \leq 1500 \\ 2x_2 + 4x_3 \leq 800 \\ 3x_1 + 2x_2 + 5x_3 \leq 2000 \\ x_1, x_2, x_3 \geq 0 \end{cases} \end{aligned}$$

- 决策变量的取值是**连续的**
- 目标函数是决策变量的**线性函数**
- 约束条件是含决策变量的**线性等式或不等式**

□ “线性” 的含义

1.1 线性规划问题及其数学模型

■ 线性规划问题的数学模型

□ 三要素：决策变量，目标函数，约束条件

$$\begin{aligned} \max \quad & z = 3x_1 + 5x_2 + 4x_3 \\ \text{s.t.} \quad & \begin{cases} 2x_1 + 3x_2 \leq 1500 \\ 2x_2 + 4x_3 \leq 800 \\ 3x_1 + 2x_2 + 5x_3 \leq 2000 \\ x_1, x_2, x_3 \geq 0 \end{cases} \end{aligned}$$

- 决策变量的取值是**连续的**
- 目标函数是决策变量的**线性函数**
- 约束条件是含决策变量的**线性等式或不等式**

□ “线性” 的含义

- 比例性：决策变量变化引起目标的改变量与决策变量改变量成正比
- 可加性：每个决策变量对目标和约束的影响独立于其它变量
- 连续性：每个决策变量取连续值
- 确定性：线性规划中的参数 a_{ij}, b_i, c_j 为确定值

1.1 线性规划问题及其数学模型

■ 设线性规划问题的数学模型

□ 一般形式

$$\max(\min) \ z = c_1x_1 + c_2x_2 + \cdots + c_nx_n$$

1.1 线性规划问题及其数学模型

■ 设线性规划问题的数学模型

□ 一般形式

$$\begin{array}{ll} \max(\min) & z = c_1x_1 + c_2x_2 + \cdots + c_nx_n \\ \text{s.t.} & \begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots + a_{1n}x_n \leq (=, \geq)b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \cdots + a_{2n}x_n \leq (=, \geq)b_2 \\ \cdots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \cdots + a_{mn}x_n \leq (=, \geq)b_m \\ x_1, \cdots, x_n \geq 0 \end{cases} \end{array}$$

1.1 线性规划问题及其数学模型

■ 设线性规划问题的数学模型

□ 一般形式

$$\begin{aligned} \max(\min) \quad & z = c_1x_1 + c_2x_2 + \cdots + c_nx_n \\ \text{s.t.} \quad & \begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots + a_{1n}x_n \leq (=, \geq) b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \cdots + a_{2n}x_n \leq (=, \geq) b_2 \\ \cdots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \cdots + a_{mn}x_n \leq (=, \geq) b_m \\ x_1, \cdots, x_n \geq 0 \end{cases} \end{aligned}$$

□ x_j : 决策变量

□ c_j : 价值系数

□ b_i : 资源量/右端项

□ a_{ij} : 技术系数/工艺系数

1.1 线性规划问题及其数学模型

■ 设线性规划问题的数学模型

□ 一般形式

$$\begin{aligned} \max(\min) \quad & z = c_1x_1 + c_2x_2 + \cdots + c_nx_n \\ \text{s.t.} \quad & \begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots + a_{1n}x_n \leq (=, \geq) b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \cdots + a_{2n}x_n \leq (=, \geq) b_2 \\ \cdots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \cdots + a_{mn}x_n \leq (=, \geq) b_m \\ x_1, \cdots, x_n \geq 0 \end{cases} \end{aligned}$$

□ 简写形式

$$\begin{aligned} \max(\min) \quad & z = \sum_{j=1}^n c_j x_j \\ \text{s.t.} \quad & \begin{cases} \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq (=, \geq) b_i \quad (i = 1, \cdots, m) \\ x_j \geq 0 \quad (j = 1, \cdots, n) \end{cases} \end{aligned}$$

1.1 线性规划问题及其数学模型

■ 设线性规划问题的数学模型

□ 记

$$\mathbf{c} = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_n \end{bmatrix} \quad \mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} \quad \mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1,n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2,n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{m,n} \end{bmatrix} \quad \mathbf{b} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_m \end{bmatrix}$$

1.1 线性规划问题及其数学模型

■ 设线性规划问题的数学模型

□ 记

$$\mathbf{c} = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_n \end{bmatrix} \quad \mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} \quad \mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1,n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2,n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{m,n} \end{bmatrix} \quad \mathbf{b} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_m \end{bmatrix}$$

□ 用矩阵和向量表示

$$\begin{aligned} \max(\min) \quad & z = \mathbf{c}^\top \mathbf{x} \\ \text{s.t.} \quad & \begin{cases} \mathbf{Ax} \leq (=, \geq) \mathbf{b} \\ \mathbf{x} \geq 0 \end{cases} \end{aligned}$$

1.1 线性规划问题及其数学模型

■ 线性规划问题的数学模型

□ 标准形式

$$\begin{aligned} \max \quad & z = \sum_{j=1}^n c_j x_j \\ \text{s.t.} \quad & \begin{cases} \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = b_i \quad (i = 1, \dots, m) \\ x_j \geq 0 \quad (j = 1, \dots, n) \end{cases} \end{aligned}$$

1.1 线性规划问题及其数学模型

■ 线性规划问题的数学模型

□ 标准形式

$$\begin{aligned} \max \quad & z = \sum_{j=1}^n c_j x_j \\ \text{s.t.} \quad & \begin{cases} \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = b_i \quad (i = 1, \dots, m) \\ x_j \geq 0 \quad (j = 1, \dots, n) \end{cases} \end{aligned}$$

- 目标函数是求**最大值**
- 所有约束条件均用**等式表示**
- 所有决策变量均取**非负数**
- 所有右端项常数均为**非负数**

1.1 线性规划问题及其数学模型

■ 非标准型转化为标准形式

□ 基本思路

目标函数 \Rightarrow 约束条件 \Rightarrow 决策变量

1.1 线性规划问题及其数学模型

■ 非标准型转化为标准形式

□ 基本思路

目标函数 \Rightarrow 约束条件 \Rightarrow 决策变量

□ 第一步：目标函数的转换

$$\min z = \sum_{j=1}^n c_j x_j \Rightarrow \max z' = - \sum_{j=1}^n c_j x_j$$

1.1 线性规划问题及其数学模型

■ 非标准型转化为标准型

□ 第二步：约束条件的转换

- 右端项常数的转换

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j = b_i, \quad b_i < 0 \quad \Rightarrow \quad -\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j = -b_i$$

1.1 线性规划问题及其数学模型

■ 非标准型转化为标准型

□ 第二步：约束条件的转换

- 右端项常数的转换

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j = b_i, \quad b_i < 0 \quad \Rightarrow \quad -\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j = -b_i$$

- 不等式的转换——引入松弛变量

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j \leq b_i \quad \Rightarrow \quad \sum_{j=1}^n a_{ij}x_j + s_i = b_i, \quad s_i \geq 0$$

1.1 线性规划问题及其数学模型

■ 非标准型转化为标准型

□ 第二步：约束条件的转换

- 右端项常数的转换

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j = b_i, \quad b_i < 0 \quad \Rightarrow \quad -\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j = -b_i$$

- 不等式的转换——引入松弛变量

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j \leq b_i \quad \Rightarrow \quad \sum_{j=1}^n a_{ij}x_j + s_i = b_i, \quad s_i \geq 0$$

- 不等式的转换——引入剩余变量

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j \geq b_i \quad \Rightarrow \quad \sum_{j=1}^n a_{ij}x_j - s_i = b_i, \quad s_i \geq 0$$

1.1 线性规划问题及其数学模型

■ 非标准型转化为标准型

□ 第三步: 决策变量的转换

- 取值无约束的转化

$$x_k \text{取值无约束} \Rightarrow x_k = x'_k - x''_k, x'_k, x''_k \geq 0$$

- 取值非正的转化

$$x_k \leq 0 \Rightarrow x'_k = -x_k$$

1.1 线性规划问题及其数学模型

■ 例 3

□ 请将下式转化为线性规划标准形式

$$\begin{aligned} \min \quad & z = x_1 + 2x_2 + 3x_3 \\ \text{s.t.} \quad & \begin{cases} -2x_1 + x_2 + x_3 \leq 9 \\ -3x_1 + x_2 + 2x_3 \geq 4 \\ 4x_1 - 2x_2 - 3x_3 = -6 \\ x_1 \leq 0, x_2 \geq 0, x_3 \text{取值无约束} \end{cases} \end{aligned}$$

1.1 线性规划问题及其数学模型

■ 例 3

□ 请将下式转化为线性规划标准形式

$$\begin{aligned} \min \quad & z = x_1 + 2x_2 + 3x_3 \\ \text{s.t.} \quad & \begin{cases} -2x_1 + x_2 + x_3 \leq 9 \\ -3x_1 + x_2 + 2x_3 \geq 4 \\ 4x_1 - 2x_2 - 3x_3 = -6 \\ x_1 \leq 0, x_2 \geq 0, x_3 \text{取值无约束} \end{cases} \end{aligned}$$

□ 第一步：目标函数的转换，令 $z' = -z$ ，于是

$$\begin{aligned} \max \quad & z' = -x_1 - 2x_2 - 3x_3 \\ \text{s.t.} \quad & \begin{cases} -2x_1 + x_2 + x_3 \leq 9 \\ -3x_1 + x_2 + 2x_3 \geq 4 \\ 4x_1 - 2x_2 - 3x_3 = -6 \\ x_1 \leq 0, x_2 \geq 0, x_3 \text{取值无约束} \end{cases} \end{aligned}$$

1.1 线性规划问题及其数学模型

■ 转化为标准形式

□ 第二步：约束条件的转换

- 右端项常数的转换

$$\begin{aligned} \max \quad & z' = -x_1 - 2x_2 - 3x_3 \\ \text{s.t.} \quad & \begin{cases} -2x_1 + x_2 + x_3 \leq 9 \\ -3x_1 + x_2 + 2x_3 \geq 4 \\ -4x_1 + 2x_2 + 3x_3 = 6 \\ x_1 \leq 0, x_2 \geq 0, x_3 \text{取值无约束} \end{cases} \end{aligned}$$

1.1 线性规划问题及其数学模型

■ 转化为标准形式

□ 第二步：约束条件的转换

- 右端项常数的转换

$$\begin{aligned} \max \quad & z' = -x_1 - 2x_2 - 3x_3 \\ \text{s.t.} \quad & \begin{cases} -2x_1 + x_2 + x_3 \leq 9 \\ -3x_1 + x_2 + 2x_3 \geq 4 \\ -4x_1 + 2x_2 + 3x_3 = 6 \\ x_1 \leq 0, x_2 \geq 0, x_3 \text{取值无约束} \end{cases} \end{aligned}$$

- 不等式的转换，松弛变量 x_4 ，剩余变量 x_5

$$\begin{aligned} \max \quad & z' = -x_1 - 2x_2 - 3x_3' + 3x_3'' + 0x_4 + 0x_5 \\ \text{s.t.} \quad & \begin{cases} -2x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 9 \\ -3x_1 + x_2 + 2x_3 - x_5 = 4 \\ -4x_1 + 2x_2 + 3x_3 = 6 \\ x_1 \leq 0, x_2, x_4, x_5 \geq 0, x_3 \text{取值无约束} \end{cases} \end{aligned}$$

1.1 线性规划问题及其数学模型

■ 转化为标准型

□ 第三步：决策变量的转换

- 令 $x_3 = x'_3 - x''_3$, $x'_3, x''_3 \geq 0$

$$\max z' = -x_1 - 2x_2 - 3x'_3 + 3x''_3 + 0x_4 + 0x_5$$

$$\text{s.t.} \quad \begin{cases} -2x_1 + x_2 + x'_3 - x''_3 + x_4 = 9 \\ -3x_1 + x_2 + 2x'_3 - 2x''_3 - x_5 = 4 \\ -4x_1 + 2x_2 + 3x'_3 - 3x''_3 = 6 \\ x_1 \leq 0, x_2, x'_3, x''_3, x_4, x_5 \geq 0 \end{cases}$$

1.1 线性规划问题及其数学模型

■ 转化为标准型

□ 第三步：决策变量的转换

- 令 $x_3 = x'_3 - x''_3$, $x'_3, x''_3 \geq 0$

$$\max z' = -x_1 - 2x_2 - 3x'_3 + 3x''_3 + 0x_4 + 0x_5$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} -2x_1 + x_2 + x'_3 - x''_3 + x_4 = 9 \\ -3x_1 + x_2 + 2x'_3 - 2x''_3 - x_5 = 4 \\ -4x_1 + 2x_2 + 3x'_3 - 3x''_3 = 6 \\ x_1 \leq 0, x_2, x'_3, x''_3, x_4, x_5 \geq 0 \end{cases}$$

- 令 $x'_1 = -x_1$, 于是

$$\max z' = x'_1 - 2x_2 - 3x'_3 + 3x''_3 + 0x_4 + 0x_5$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} 2x'_1 + x_2 + x'_3 - x''_3 + x_4 = 9 \\ 3x'_1 + x_2 + 2x'_3 - 2x''_3 - x_5 = 4 \\ 4x'_1 + 2x_2 + 3x'_3 - 3x''_3 = 6 \\ x'_1, x_2, x'_3, x''_3, x_4, x_5 \geq 0 \end{cases}$$

1.1 线性规划问题及其数学模型

■ 转化为标准型

□ 为了方便，标准型通常记为

$$\max z' = x'_1 - 2x_2 - 3x'_3 + 3x''_3 + 0x_4 + 0x_5$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} 2x'_1 + x_2 + x'_3 - x''_3 + x_4 = 9 \\ 3x'_1 + x_2 + 2x'_3 - 2x''_3 - x_5 = 4 \\ 4x'_1 + 2x_2 + 3x'_3 - 3x''_3 = 6 \\ x'_1, x_2, x'_3, x''_3, x_4, x_5 \geq 0 \end{cases}$$

\Downarrow

$$\max z = x_1 - 2x_2 - 3x_3 + 3x_4$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} 2x_1 + x_2 + x_3 - x_4 + x_5 = 9 \\ 3x_1 + x_2 + 2x_3 - 2x_4 - x_6 = 4 \\ 4x_1 + 2x_2 + 3x_3 - 3x_4 = 6 \\ x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6 \geq 0 \end{cases}$$

1.1 线性规划问题及其数学模型

■ 课堂练习 2

□ 请将下式转化为线性规划标准形式

$$\begin{aligned} \min \quad & z = -x_1 + x_2 \\ \text{s.t.} \quad & \begin{cases} 2x_1 - x_2 \geq -2 \\ x_1 - 2x_2 \leq 2 \\ x_1 + x_2 \leq 5 \\ x_1 \geq 0, x_2 \text{取值无约束} \end{cases} \end{aligned}$$

1.1 线性规划问题及其数学模型

■ 课堂练习 2

□ 请将下式转化为线性规划标准形式

$$\begin{aligned} \min \quad & z = -x_1 + x_2 \\ \text{s.t.} \quad & \begin{cases} 2x_1 - x_2 \geq -2 \\ x_1 - 2x_2 \leq 2 \\ x_1 + x_2 \leq 5 \\ x_1 \geq 0, x_2 \text{取值无约束} \end{cases} \end{aligned}$$

\Downarrow

$$\begin{aligned} \max \quad & z = x_1 - x_2 + x_3 \\ \text{s.t.} \quad & \begin{cases} -2x_1 + x_2 - x_3 + x_4 = 2 \\ x_1 - 2x_2 + 2x_3 + x_5 = 2 \\ x_1 + x_2 - x_3 + x_6 = 5 \\ x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6 \geq 0 \end{cases} \end{aligned}$$

1.1 线性规划问题及其数学模型

■ 课堂练习 3

□ 请将下式转化为线性规划标准形式

$$\begin{aligned} \min \quad & z = -x_1 + 2x_2 - 3x_3 \\ \text{s.t.} \quad & \begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 \leq 7 \\ x_1 - x_2 + x_3 \geq 2 \\ x_1, x_2 \geq 0, x_3 \text{取值无约束} \end{cases} \end{aligned}$$

1.1 线性规划问题及其数学模型

■ 课堂练习 3

□ 请将下式转化为线性规划标准形式

$$\begin{aligned} \min \quad & z = -x_1 + 2x_2 - 3x_3 \\ \text{s.t.} \quad & \begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 \leq 7 \\ x_1 - x_2 + x_3 \geq 2 \\ x_1, x_2 \geq 0, x_3 \text{取值无约束} \end{cases} \end{aligned}$$

\Downarrow

$$\begin{aligned} \max \quad & z = x_1 - 2x_2 + 3x_3 - 3x_4 \\ \text{s.t.} \quad & \begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 - x_4 + x_5 = 7 \\ x_1 - x_2 + x_3 - x_4 - x_6 = 2 \\ x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6 \geq 0 \end{cases} \end{aligned}$$

1.1 线性规划问题及其数学模型

■ 小结

□ 线性规划问题的标准形式

$$\begin{aligned} \max \quad & z = \sum_{j=1}^n c_j x_j \\ \text{s.t.} \quad & \begin{cases} \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = b_i \quad (i = 1, \dots, m) \\ x_j \geq 0 \quad (j = 1, \dots, n) \end{cases} \end{aligned}$$

□ 三要素: 决策变量, 目标函数, 约束条件

□ 非标准型转化为标准形式

目标函数 \Rightarrow 约束条件 \Rightarrow 决策变量

1.1 线性规划问题及其数学模型

■ 小结

□ 线性规划问题的标准形式

$$\begin{aligned} \max \quad & z = \sum_{j=1}^n c_j x_j \\ \text{s.t.} \quad & \begin{cases} \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = b_i \quad (i = 1, \dots, m) \\ x_j \geq 0 \quad (j = 1, \dots, n) \end{cases} \end{aligned}$$

□ 三要素: 决策变量, 目标函数, 约束条件

□ 非标准型转化为标准形式

目标函数 \Rightarrow 约束条件 \Rightarrow 决策变量

■ 课后作业: P43, 习题 1.2

Q&A

Thank you!

感谢您的聆听和反馈