

构建模型

$$\left\{ \begin{array}{l} F_1 = \min \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K T_k \cdot Q_{ij} \\ F_2 = \min \left[\sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n C_{kl} d_{kl} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m w_{ij} d_{ij} T_{ij} \right] \\ F_3 = \min 10 \log_{10} \sum_{q=1}^m 10^{0.1 t_q} \end{array} \right.$$

约束条件为式

$$\text{st} \left\{ \begin{array}{l} b_1^x + \frac{l_i}{2} - x_i \leq 0 \\ x_i + \frac{l_i}{2} - b_2^x \leq 0 \\ b_1^y + \frac{l_j}{2} - y_i \leq 0 \\ y_i + \frac{l_j}{2} - b_2^y \leq 0 \\ |x_i - x_j| - \frac{L_i + L_j}{2} \geq \Delta x_{ij} \\ |y_i - y_j| - \frac{w_i + w_j}{2} \geq \Delta y_{ij} \\ \sqrt{(x_i - x_k)^2 + (y_i - y_k)^2} \leq R \end{array} \right.$$

一、目标函数

1.1 目标函数 1：吊装时间

①吊钩的垂直起升时间

$$T_v = \frac{|S_z^i - D_z^j|}{V_h} \quad (1)$$

式中， S_z^i —第 i 个供应点预制构件堆场的高度（m）列表；

D_z^j —第 j 个需求点的高度（m），列表；

V_h —塔吊吊钩起升速度（m/min），0.55m/min；

②变幅小车径向移动时间

$$T_r = \frac{|L(D^j, C^k) - L(S^i, C^k)|}{v_r} \quad (2)$$

式中， $L(D^j, C^k)$ —第 j 个材料需求点和第 k 个塔吊的距离（m），式 5 求得；

$L(S^i, C^k)$ —第 i 个材料供应点预制构件堆场和第 k 个塔吊的距离（m），式 6 求得；

V_r —塔吊小车牵引速度（m/min），44m/min；

③塔吊回转时间

$$T_w = \frac{1}{V_w} \arccos \left\{ \frac{L(S^i, D^j)^2 - L(D^j, C^k)^2 - L(S^i, C^k)^2}{2 \cdot L(D^j, C^k) \cdot L(S^i, C^k)} \right\}$$

$$[0 \leq \arccos \theta \leq \pi]$$

(3)

式中, $L(S^i, D^j)$ —需求点和供应点间的距离 (m) 式 4 求得;

$L(D^j, C^k)$ —需求点和塔吊间的距离 (m), 式 5 求得;

$L(S^i, C^k)$ —供应点预制构件堆场和塔吊间的距离 (m), 列表;

V_w —塔吊回转速度 (r/min), 取 0.6r/min;

计算供应点、需求点和塔式起重机之间的距离采用欧几里得方程, 具体公式如下式。
需求点和供应点间的距离计算公式为:

$$L(S^i, D^j) = \sqrt{(D_x^j - S_x^i)^2 + (D_y^j - S_y^i)^2}$$

(4)

需求点和塔吊间的距离计算公式为:

$$L(D^j, C^k) = \sqrt{(D_x - C_x)^2 + (D_y - C_y)^2}$$

(5)

供应点和塔吊间的距离计算公式为:

$$L(S^i, C^k) = \sqrt{(S_x - C_x)^2 + (S_y - C_y)^2}$$

(6)

式中, $S(S_x^i, S_y^i)$ —S 材料供应点, 即第 i 个预制构件堆场的坐标, $i=1, \dots, I, I=2$;

$D(D_x^j, D_y^j)$ —D 材料需求点, 即第 j 个材料所在的坐标, $j=1, 2, \dots, J, J=4$;

$C(C_x^k, C_y^k)$ —C 塔式起重机, 即第 k 个塔吊坐标, $k=1, \dots, K, K=2$;

而塔吊水平运动时间 T_h 由径向运动时间和切向运动时间组成, 可由式合成计算

$$T_k^h = \max(T_w, T_r) + \alpha \min(T_w, T_r)$$

式中, T_k^h —第 k 台塔吊水平运动时间, $k=1, 2$;

因此总吊装时间 T_k 表示为

$$T_k = \max(T_k^h, T_v) + \beta \min(T_k^h, T_v)$$

式中, α 、 β —吊钩运动在空间上的协调程度, 这取决于操作者的熟练程度, 可以取到 (0, 1) 之间的数, $\alpha=0.25$, $\beta=1$;

目标函数 F_1 表达式为

$$F_1 = \min \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K T_k \cdot Q_{ij}$$

Q_{ij} —运输量 (次), 列表;

1#标准层需求点 D 信息

构件	坐标 (D_x, D_y)	高度 (D_z)	重量 (t)
左侧预制楼梯 D1	(87, 67)	11.6	3.84
右侧预制楼梯 D2	(102, 67)	11.6	3.84
预制叠合板需求点 D3	(83.75, 57)	11.6	39.02
预制叠合板需求点 D4	(102.25, 57)	11.6	39.02

1#供应点预制构件堆场 S 信息

名称	坐标	高度
叠合板供应点 S1	(80, 98)	0.5
楼梯供应点 S2	(96, 98)	1

标准层供需运输量 Q (次)

	叠合板供应点 S1	楼梯供应点 S2
需求点 D1		2
需求点 D2		2
需求点 D3	48	
需求点 D4	48	

2#标准层需求点 D 信息

构件	坐标 (D _x , D _y)	高度 (D _z)	重量 (t)
左侧预制楼梯 D1	(49.8, 37)	12.9	3.84
右侧预制楼梯 D2	(64.7, 37)	12.9	3.84
预制叠合板需求点 D3	(46.75, 25)	12.9	39.02
预制叠合板需求点 D4	(65.25, 25)	12.9	39.02

2#供应点预制构件堆场 S 信息

名称	坐标	高度
叠合板供应点 S3	(7, 31)	0.5
楼梯供应点 S4	(30, 48)	1

2#标准层供需运输量 Q (次)

	叠合板供应点 S1	楼梯供应点 S2
需求点 D1		2
需求点 D2		2
需求点 D3	48	
需求点 D4	48	

1.2 目标函数 2：成本

$$F_2 = \min \left[\sum_{p=1}^n \sum_{l=1}^m C_{pq} d_{pq} \right]$$

式中，p、q—临时设施，

p=1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10;

q=1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10;

C_{pq}—设施 p 和设施 q 单位距离产生的流动费用，根据物流强度表（后图所示），赋值 A=243，E=81，I=27，O=9，U=3；

d_{pq}—设施 p 和设施 q 的距离；

物流强度表

设施名称	
1#建筑物	U
2#建筑物	U A
预制叠合板堆放区S1	U U O
预制楼梯堆放区S2	U U A U
预制叠合板堆放区S3	U U U O O
预制楼梯堆放区S4	U U U U I U
钢筋加工堆放棚	U U U U U U U
木工一体板加工棚	U U U U U U U U
1#塔吊	U U U U U U U
2#塔吊	U U U U U U
材料仓库	U U U U U
建筑垃圾堆放区	U U U
办公室	U U
工人宿舍	U

注释: E 表示 1#建筑物和预制叠合板堆放区关系是 E, U 表示办公室和钢筋加工区物流关系是 U, 两设施间基本没有物流关系, 可以增大两者之间的距离。

表 3-3 物流相关表

设施名称	
1#建筑物	E
预制叠合板堆放区	
—	
办公室	U
钢筋加工区	

单位网格设置为 $5\text{m} \times 5\text{m}$ 。

临时设施信息

编号	设施名称	设施属性	设施尺寸 (l×w)
F1	预制叠合板堆放区 S1	生产区非固定设施	20×12
F2	预制楼梯堆放区 S2	生产区非固定设施	20×12
F3	预制叠合板堆放区 S3	生产区非固定设施	20×12
F4	预制楼梯堆放区 S4	生产区非固定设施	20×12
F5	钢筋加工堆放棚	生产区非固定设施	24×12
F6	木工一体板加工棚	生产区非固定设施	12×12
F7	材料仓库	生产区非固定设施	25×12

F8	建筑垃圾堆放区	生产区非固定设施	6×5
F9	办公室	办公区非固定设施	39.6×5.6
F10	工人宿舍	生活区非固定设施	39.6×5.6

F11	1#建筑	生产区固定设施	37×18.45	(90, 55)
F12	2#建筑	生产区固定设施	37×18.45	(55, 25)
F13	1#塔吊	生产区固定设施	3×3	(120, 60)
F14	2#塔吊	生产区固定设施	3×3	(30, 30)
F15	道路 1	辅助生产区固定设施	140×8	(85, 80)
F16	道路 2	辅助生产区固定设施	80×8	(155, 40)
F17	道路 3	辅助生产区固定设施	155×8	(80, 5)
F18	道路 4	辅助生产区固定设施	100×8	(20, 55)

1.3 目标函数 3：噪音

设施 p 和设施 q 的距离采用式计算。

$$d_{pq} = \sqrt{(x_p - x_q)^2} + \sqrt{(y_p - y_q)^2}$$

p=5, 6;

q=5, 6;

噪声污染计算公式如下：

$$t_q = 10log_{10} \sum_{e=1}^v 10^{0.1L_e}$$

式中，t_q—临时设施 q 对应的工种的工人所接收到的噪音污染水平；

e—设施 p 相应噪音发射源，e=1, 2...v；

L_e—设施 p 施工噪声源产生的声压级，可由下式推导；

如果相应工作类型的工人和噪音源位于同一设施（p=q）时，则 L_e的计算公式如下

$$L_e=LA_{eq}$$

式中， LA_{eq}—设备本身产生的声压级，后表直接给出；

如果相应工作类型的工人和噪音源不位于同一设施（p≠q）时，则 L_e的计算公式如

$$L_e=LA_{eq} - Y$$

$$Y = 5.548ln \left(d_{pq} \right) - 1.042, d_{pq} \geq 5$$

$$因此, L_e=\begin{cases} LA_{eq} \\ LA_{eq} - Y \end{cases}$$

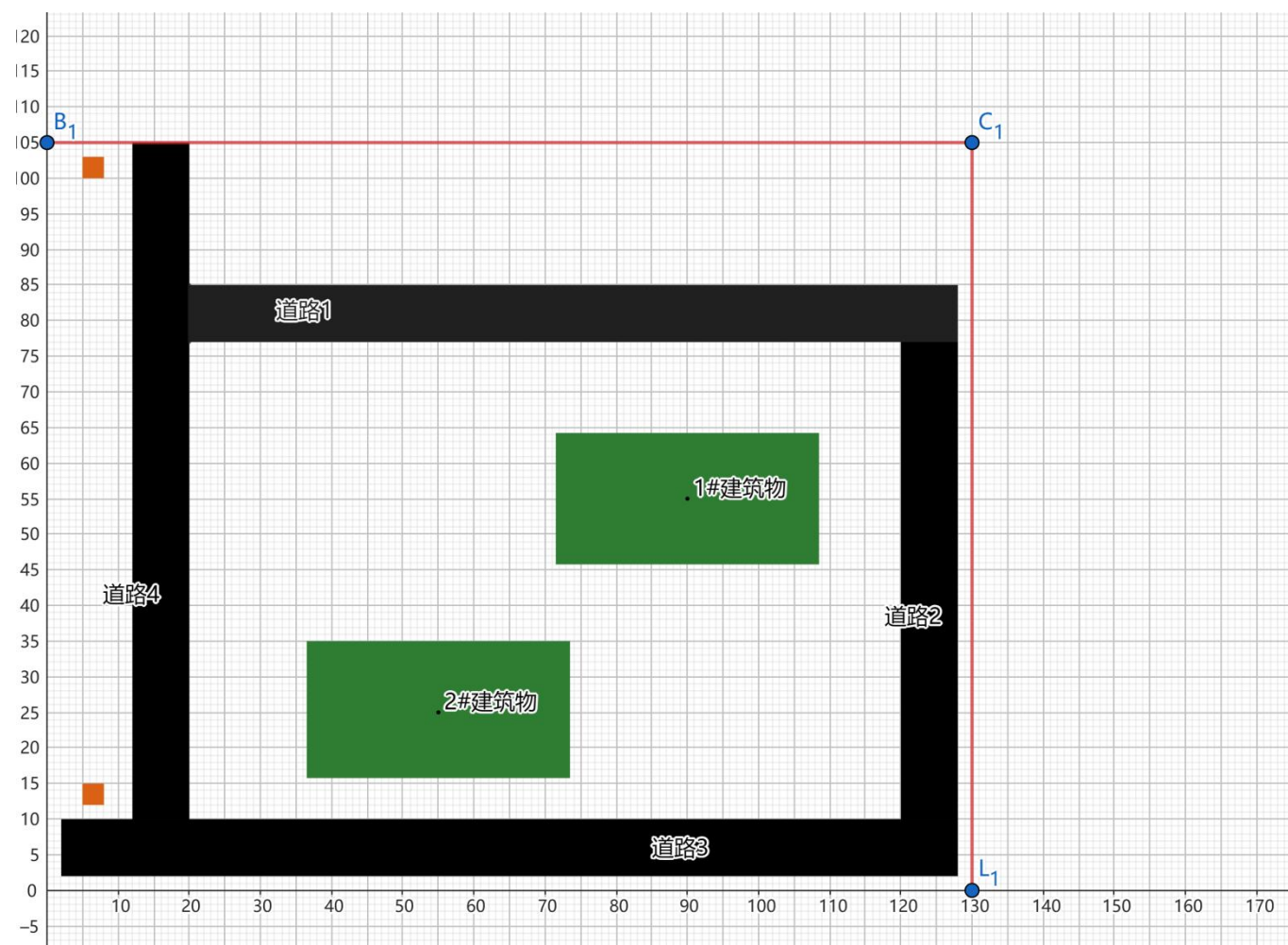
由于距离等各种消声因素的影响，使得产生噪声污染的设施 p 传至接受噪音的设施 q 时，LA_{eq}不可避免减小，所以最终 q 接收的噪音声压级 L_e<LA_{eq}。

因此，为了减小噪声污染对场地内工人的影响，降低目标函数 F1 的数学表达式如下式 3-5。

$$F_3 = min10log_{10} \sum_{q=1}^m 10^{0.1t_q}$$

编号	噪声源 e	声压级[dB (A)]	设施	工作类型
S1	钢筋切断机	90	F5	钢筋工人
S2	钢筋调直机	86.5	F5	钢筋工人
S3	钢筋弯曲机	77.7	F5	钢筋工人
S4	台锯	95	F6	木匠

二、约束条件



根据简化初始施工平面布置图，结合现场实际情况，划分其他临时设施可用场地的坐标范围如下：

$$\begin{cases} 0 < x < 12 \\ 15 < y < 100 \end{cases} \begin{cases} 20 < x < 36.5 \\ 10 < y < 77 \end{cases} \begin{cases} 36.5 < x < 73.5 \\ 35 < y < 77 \end{cases} \begin{cases} 20 < x < 157 \\ 85 < y < 105 \end{cases} \begin{cases} 73.5 < x < 120 \\ 10 < y < 45.775 \end{cases}$$

2.1 约束条件 1：现场边界约束条件

$$\begin{aligned}\frac{l_i}{2} - x_i &\leq 0 \\ x_i + \frac{l_i}{2} - 130 &\leq 0 \\ \frac{w_i}{2} - y_i &\leq 0 \\ y_i + \frac{w_i}{2} - 105 &\leq 0\end{aligned}$$

式中， (x_i, y_i) —临时设施 i 的形心坐标为， i 设施 x 方向长度为 l_i ， y 方向长度为 w_i 。
 $i=1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10$;

2.1 约束条件 2：设施重叠约束

$$0.5 (l_i + l_j) + \Delta x_{ij} - |x_i - x_j| \leq 0$$

$$0.5 (w_i + w_j) + \Delta y_{ij} - |y_i - y_j| \leq 0$$

$i=1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18$;

$i=1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18$;

Δx_{ij} ， Δy_{ij} 均为 3

式中， i 设施 x 方向长度为 l_i ， y 方向长度为 w_i 。

j 设施 x 方向长度为 l_j ， y 方向长度为 w_j 。

2.3 约束条件 3：塔吊覆盖约束

两台塔吊（F13 和 F14）的起重范围为 56m。叠合板堆场 F1、楼梯堆场 F2 的范围为 F12，而叠合板堆场 F1、楼梯堆场 F2 的范围为 F13，因此，塔吊的约束表示如下。

塔吊 1（F12）：

$$\sqrt{(x_i - x_{k1})^2 - (y_i - y_{k1})^2} - 56 \leq 0$$

$i=1, 2$;

塔吊 2（F13）：

$$\sqrt{(x_i - x_{k2})^2 - (y_i - y_{k2})^2} - 56 \leq 0$$

$i=3, 4$;

钢筋加工堆放棚（F5）、木工一体板加工棚（F6）必须位于两台塔吊的可达范围之内

$$\left\{ \sqrt{(x_i - x_{k1})^2 - (y_i - y_{k1})^2} - 56, \sqrt{(x_i - x_{k2})^2 - (y_i - y_{k2})^2} - 56 \right\} \leq 0$$

$i=5, 6$;