

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	(7, 31)	0.5
楼梯供应点 S2	(30, 48)	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 S1	(86, 96)	0.5
楼梯供应点 S2	(100.6, 96)	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

$$F_2 = \min \left[\sum_{p=1}^n \sum_{l=1}^m C_{pq} d_{pq} + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J w_{ij} d_{ij} T_{ij} \right]$$

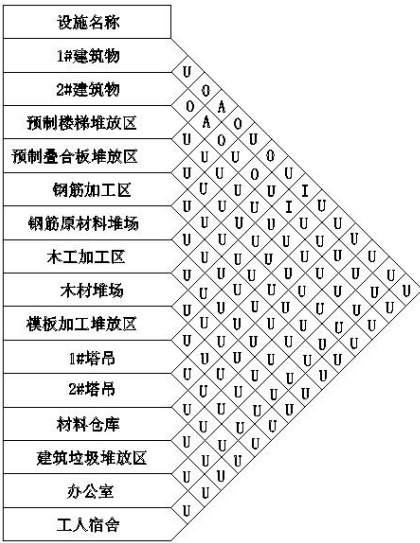
式中，p、q—临时设施，p=1, 2...n, q=1, 2...m;

C_{pq}—设施 p 和设施 q 单位距离产生的流动费用，根据物流强度表赋值 A=7776，E=1296，I=216，O=36，U=6，X=1；

d_{pq}—设施 p 和设施 q 的距离；

w_{ij}—塔吊吊运构件及材料单位距离和单位时间所需要的费用；

物流强度表



临时设施信息

编号	设施名称	设施属性	设施尺寸(m×m)	坐标
F1	预制楼梯堆放区	生产区非固定设施	20×12	(30, 48)
F2	预制叠合板堆放区	生产区非固定设施	20×12	(7, 31)
F3	钢筋加工区	生产区非固定设施	24×12	(50, 94)
F4	钢筋原材料堆放区	生产区非固定设施	18×15	(66, 94)
F5	木工加工区	生产区非固定设施	12×12	(89.93)
F6	木材堆场	生产区非固定设施	12×12	(102, 93)
F7	模板加工堆放区	生产区非固定设施	15×12	(39, 68)
F8	材料仓库	生产区非固定设施	12×13	(99, 97)
F9	建筑垃圾堆放区	生产区非固定设施	6×5	(82, 97)
F10	办公室	办公区非固定设施	39.6×5.6	(5, 73)
F11	工人宿舍	生活区非固定设施	39.6×5.6	(129, 98)
F12	1#建筑	生产区固定设施	37×18.45	(93, 57)
F13	2#建筑	生产区固定设施	37×18.45	(56, 25)
F14	1#塔吊	生产区固定设施	3×3	(92, 77)
F15	2#塔吊	生产区固定设施	3×3	(53, 47)
F16	道路 1	辅助生产区固定设施	143×8	(87, 82)
F17	道路 2	辅助生产区固定设施	84×8	(154, 44)
F18	道路 3	辅助生产区固定设施	156×8	(80, 6)
F19	道路 4	辅助生产区固定设施	102×8	(19, 57)

1.3 目标函数 3：噪音

设施 p 和设施 q 的距离采用式计算。

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

噪声污染计算公式如下

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

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， $q=1, 2\dots m$;

e —设施 p 相应噪音发射源， $e=1, 2\dots v$;

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（ $p \neq q$ ）时，则 L_e 的计算公式如

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

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

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

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。

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

编号	噪声源 e	声压级【dB(A)】	设施	工作类型
S1	钢筋切断机	90	钢筋加工棚	钢筋工人
S2	钢筋调直机	86.5	钢筋加工棚	钢筋工人
S3	钢筋弯曲机	77.7	钢筋加工棚	钢筋工人
S4	台锯	95	木工加工棚、模板加工棚	木匠、安模板工
S5	台锯	95	木工加工棚、模板加工棚	木匠、安模板工

二、约束条件

2.1 约束条件 1：现场边界约束条件

$$b_1^x + \frac{l_i}{2} - x_i \leq 0$$

$$x_i + \frac{l_i}{2} - b_2^x \leq 0$$

$$b_1^y + \frac{l_j}{2} - y_i \leq 0$$

$$y_i + \frac{l_j}{2} - b_2^y \leq 0$$

式中， b_1^x 、 b_2^x —场地边界在 x 方向坐标的范围；（0，164）
 b_1^y 、 b_2^y —场地边界在 y 方向坐标的范围；（0，106）

2.1 约束条件 2：设施重叠约束

表 施工现场临时用房、临时设施的防火间距（m）

名称	办公用房、宿舍	发电机房、变配电房	可燃材料库房	可燃燃料堆场及其加工场	固定动火作业场	易燃易爆危险品库房
办公用房、宿舍	4	4	5	7	7	10
发电机房、变配电房	4	4	5	7	7	10
可燃材料库房	5	5	5	7	7	10
可燃燃料堆场及其加工场	7	7	7	7	10	10
固定动火作业场	7	7	7	10	10	12
易燃易爆危险品库房	10	10	10	10	12	12

所以在设施重叠约束中加入消防安全距离 Δx_{ij} 、 Δy_{ij} 。设施重叠约束使用式 3-2 不等式进行表达，设施重叠约束条件见

$$|x_i - x_j| - \frac{L_i + L_j}{2} \geq \Delta x_{ij}$$

$$|y_i - y_j| - \frac{w_i + w_j}{2} \geq \Delta y_{ij}$$

式中， L —设施的长度；
 w —设施的宽度；

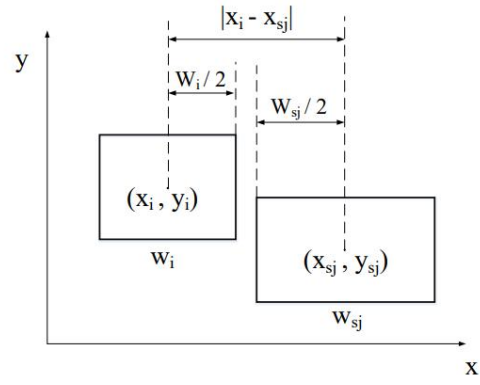


图 设施重叠约束图

2.3 约束条件 3：塔吊覆盖约束

$$\sqrt{(x_i - x_k)^2 + (y_i - y_k)^2} \leq R$$

R=58m