

报名序号：

**4965**

论文题目：

停车场停车位的优化设计

# 露天停车场停车位的优化设计

## 摘要

为了保证城市动态交通的运行顺畅,合理的停车设施布局具有十分重要的意义。除了尽可能的增加停车场外,对停车场停车位的合理设计也能在一定程度上缓解这个问题。

本文通过合理的建模假设,对几种不同形状的停车场建立了停车场最优停车位设计模型。

针对问题一。为了解决矩形停车场停车位的规划问题。首先,从车辆转弯半径入手,找到通道宽度与车辆最小转弯半径之间的关系,通过论证停车位与通道夹角  $\theta$ ,以及夹角与通道宽度、车位长宽之间的关系,进而建立以车位数量最多为目标的规划模型。利用 lingo 求解得到  $\theta = 77^\circ$  时,停车位数量最多为 90 个。

针对问题二。首先,通过消防通道面积越小,剩余面积可放车位数量越多确定消防通道的位置。进而将停车区域划分为五个区域,并针对每个小区域,在问题一的基础上建立规划模型,求得每个区域停车位数量最多分别为 372、519、205、83、58,共 1238 个。

针对问题三。首先,在问题二的基础上,通过放置停车位数量最多,将停车区域划分为四个区域。并针对每个小区域,在问题一的基础上建立规划模型,求得每个区域停车位数量最多分别为 530、280、225、244,共 1279 个。在此基础上通过车辆出入口既不重合也不相邻的限定条件,得到 5 种安置车辆出入口位置的情况。分别在这 5 种情况下设计消防通道的位置,使得在其中任一情况下车位数量最多。最后,由于需要考虑各区域的连通性,因此用通道将各区域连通时,需要将被通道占用的停车位减去,通过 python 计算求得 5 种情况停车位数量最多分别为通道为 (①, ④) 时 1255 个、通道为 (①, ③) 时 1265 个、通道为 (①, ④) 时 1251 个、通道为 (③, ⑤) 时 1192,因此停车位做多情况为通道为 (①, ③) 时,停车位为 1265 个。

关键词: 停车位规划 出入口规划 非线性规划 多目标非线性规划 消防因素

## 一、问题重述

随着社会经济的快速发展，家用小轿车数量进入快速增长期，随之而来的城市停车问题日益突出，逐渐成为我国各城市普遍面临问题之一。停车场受场地条件限制，仅提供有限的停车位，在确保车辆自由进出的情况下，如何综合考虑各方面因素设计停车场的停车位，使之能够获得较大的停车能力是一个值得研究的课题。

驾驶者在停车时需要足够的空间，如果通道过宽，驾驶者可以从容停车，此时停车场能容纳的停车位数量将减少，如果通道过窄，不易于驾驶者停车。因此，可将停车位设计成一定的角度，这里的角度是指停车位与停车通道的夹角。停车位的排列方式有平行式、斜列式、垂直式等。

现以家用小轿车为例，假设家用小轿车的转弯半径为 5.5 米，当垂直停放时需要长度为 5.5 米，宽度为 2.5 米的位置（其中包括停车位标志线）。请利用所学知识，完成以下问题：

1. 图 1 给出长 79 米，宽 26.5 米的停车场，在规定车辆出入口方向的情况下，

请对该停车场进行设计。建立合理的数学模型，使得停车位数量最多，给出该停车场设计方案及平面示意图，提供可运行的源程序。

2. 某大型商场周边场地平面示意图如图 2 所示，大型商场停车场的设计需要考虑消防等因素。在限定出入口设计位置的情况下，请对该停车场（含出入口）进行设计。建立合理的数学模型，使得停车位数量尽可能多，给出该大型商场的停车场设计方案及平面示意图，提供可运行的源程序。

3. 假设不限定某大型商场停车场出入口设计位置，请对图 3 所示的大型商场停车场（含出入口）进行设计。建立合理的数学模型，使得停车位数量尽可能多，给出该大型商场的停车场设计方案及平面示意图，提供可运行的源程序。

## 二、模型假设

- 1，将车辆视为一个规则的长方体
- 2，车主的停车技术不影响停车位的设计
- 3，每辆车都能准确的停入停车位
- 4，假设每条车道都可以允许两辆小型车辆并行通过

## 三、符号说明

符号	表示意义
$D_L$	停车场中停放小型车需要的车位尺寸长
$D_W$	停车场中停放小型车需要的车位尺寸宽
$R_1$	小轿车最小转弯半径
$R_2$	汽车转弯时转向中心到汽车内侧转向车轮轨迹间的最小距离
$\theta$	矩形停车位的长边与通道的夹角
$P$	通道的最小宽度

$W$	倾斜之后的停车位宽度
$L$	小轿车停车位长度
$L'$	停车位末端多出来的距离
$X_C$	车位的排数
$X_P$	通道数

#### 四、问题分析

在停车场中，垂直停靠的方式可以使停车场可泊车的数量最多，但是这样会导致车辆不能自由出入，只有当后进入的车辆全部出去之后，先进入的车才可以离开停车场，显然不符合实际的需求。因而，为了使汽车自由的进出停车场，必须设立一定数量具有足够宽度的通道，并且每个通道都应该有足够大的弯道半径，但是较大的通道也会是停车场容纳数量减少。

所以对于问题一：

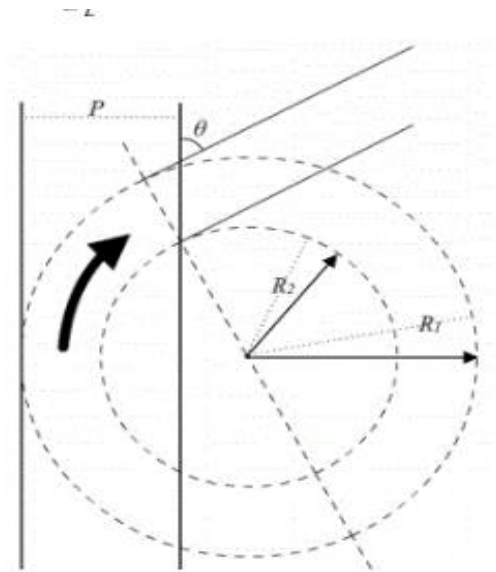


图 1 最小转弯半径示意图

所给停车场是一个规则的矩形，对于每一个车位，为了便于该车位上车的自由进出，必须有一条边是靠通道的，设该矩形停车位的长边与通道的夹角为 $\theta$ ，其中当 $\theta = 90^\circ$  时，车位与通道垂直。

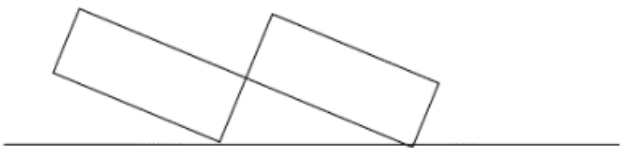


图 2  $\theta$  取下限情况

还需说明一点：在安排倾斜车位 $\theta$ 实际上不能小到 0，上图所示即为 $\theta$ 的最小

极限角度。如果小于这个角，就会变为水平泊车方式， $D_L = 5.5m$  这个条件就不再适用。因此，下界 $\theta$ 应为

$$\theta = \arctan \frac{D_W}{D_L} = \arctan 0.45 \approx 24.23^\circ$$

又由题意最小转弯半径为 $R_1 = 5.5m$ ， $P$ 为通道的最小宽度。设小车最内端在半径为 $R_2$ 的圆周上移动，然后以 $\theta$ 角度进入停车位，所以通道最小宽度

$$P = R_1 - R_2 \cos \theta$$

设定一排车位的示意图，如下图

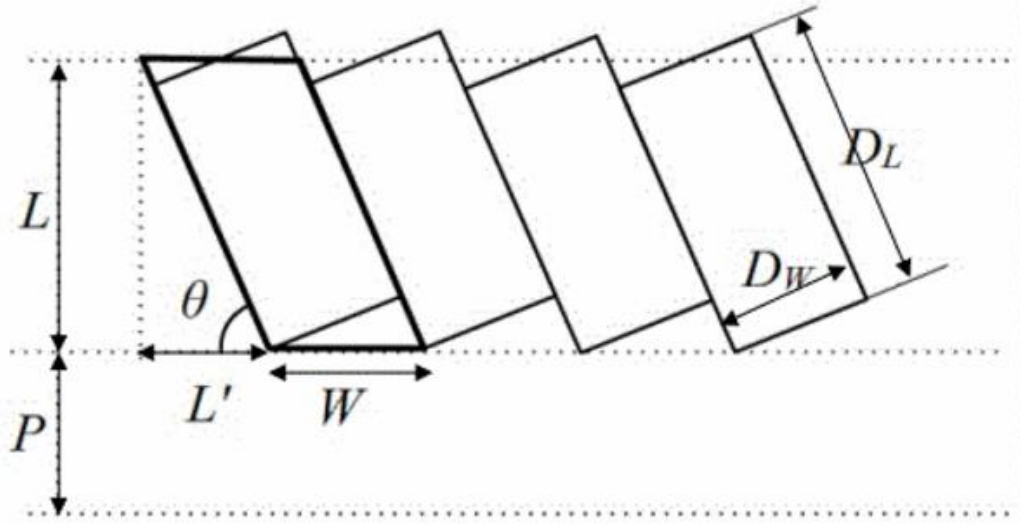


图3 车位示意图

每辆车均以角度 $\theta$ 停放， $P$ 为通道的最小宽度， $D_W$ ， $D_L$ 分别表示停车位的宽度和长度，其中 $D_W = 2.5m$ ， $D_L = 5.5m$ ， $W$ 表示倾斜之后的停车位宽度， $L$ 表示小轿车停车位长度， $L'$ 表示停车位末端多出来的距离。

由几何关系可得

$$\begin{aligned} P &= R_1 - R_2 \cos \theta \\ W &= \frac{D_W}{\sin \theta} \\ L &= D_L \sin \theta + \frac{1}{2} D_W \cos \theta \\ L' &= (D_L + \frac{1}{2} D_W \cot \theta) \cos \theta \end{aligned}$$

进而运用非线性规划分别讨论不同车位的排数和车道数量得到最佳停车场停车位布局方案。

对于问题二：把整个区域划分为区域1、2、3、4、5，在问题一的基础上对不同区域进行分类讨论。根据国家标准普通消防车的最小转弯半径为12m，因此，为使消防车顺利进出，消防通道必须大于4m。整个停车场内需要设计一条大于4m的消防车通道，且消防车道贯穿整个停车场。消防车道的转弯处需预留

12m × 12m的消防车回车场。

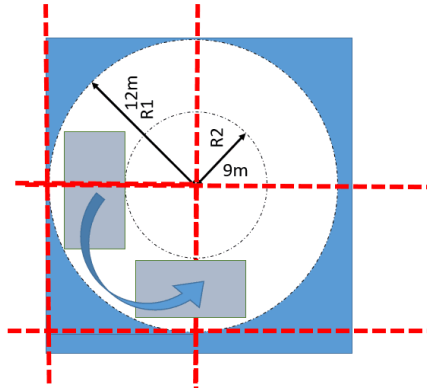


图 4 消防车转弯半径示意图

对于问题三：首先不考虑消防因素及出口位置，对四个区域分别求解最大停车位数量。对这四个区域建立非线性规划模型，得到了四个区域的最大可设计的停车位数目。本文分别模拟了出入口分布在 (1, 3) (1, 4) (2, 4) (2, 5) (5, 3) 的情况下，停车位的布局情况，找到最优解。

## 五、模型求解

### 问题一：

根据题中所给尺寸，现提出以下几种解决方案

- 1、 2 排车位一个车道
- 2、 三排车位两个通道
- 3、 四排车位两个通道

设车位排数为 $X_C$ ，通道数为 $X_P$ 。

建立非线性规划模型

$$\max X_C \cdot X$$

$$\begin{cases} L' + W \cdot X \leq M \\ L' + W \cdot X \leq ML \cdot X_C + P \cdot X_P + \frac{n}{2} D_w \cos \theta \leq N \\ 23.75^\circ \leq \theta \leq 90^\circ \\ X > 0 \text{ 且为整数} \end{cases}$$

将

$$X_C = 2, X_P = 1; X_C = 3, X_P = 2; X_C = 4, X_P = 2;$$

分别代入求解得到

$$X_C = 2, X_P = 1; \text{ 时, } n=1, \text{ 停车位的数量为: } 62 \text{ 个}$$

$X_C = 3, X_P = 2$ 时,  $n=1$  或  $n=2$ , 当  $n=2$  时停车位的数量为: 84 个, 倾斜角度为  $74^\circ$ , 如图 7 所示;

当  $n=1$  时停车位的数量为: 90, 停车位倾斜角度为  $77^\circ$ , 如图 6 所示;

$X_C = 4, X_P = 2$ 时，停车位的数量为：84

实现 lingo 代码见附录

综上，当停车场里车位排数与通道数量为 $X_C = 3, X_P = 2$ 时，停车位设计如图 6 所示，车位数量最多，此时停车位倾斜角度为  $77^\circ$ ，数量为：90 个。

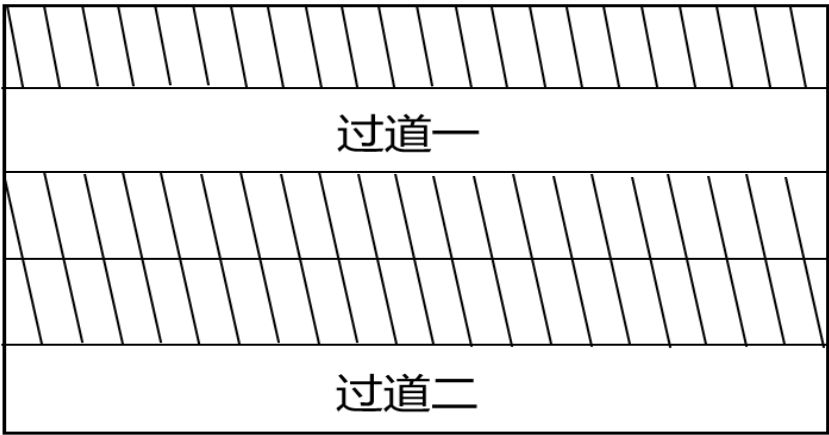


图 6  $X_C = 3, X_P = 2, n = 1$ 时停车位设计图

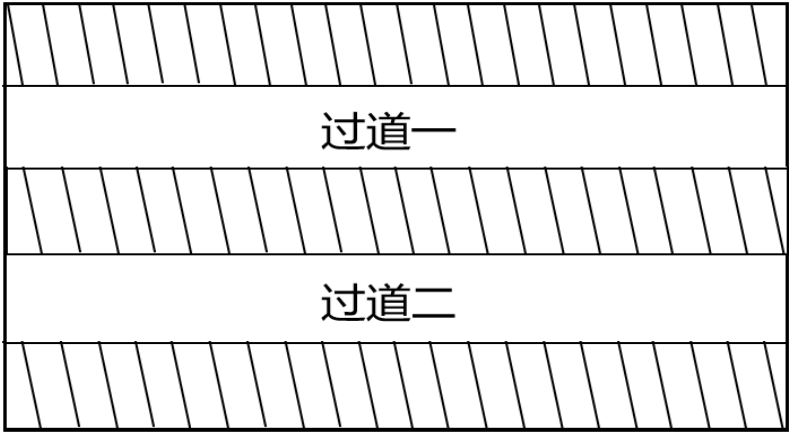


图 7  $X_C = 3, X_P = 2, n = 1$ 时停车位设计图

**问题二：**停车场的划分示意图如图 8 所示，其中区域一和区域二之间的消防车道宽度为 6.5m，底部两条区域二之间的消防车道宽度为 5.5，区域二和区域三之间的消防车道宽度为 5.5。左右两边区域二之间的空隙正好可形成 $12\text{m} \times 14.5\text{m}$ 的长方形，恰好为普通消防车提供了一个 $12\text{m} \times 12\text{m}$ 的回车场，使消防车能顺利通过。

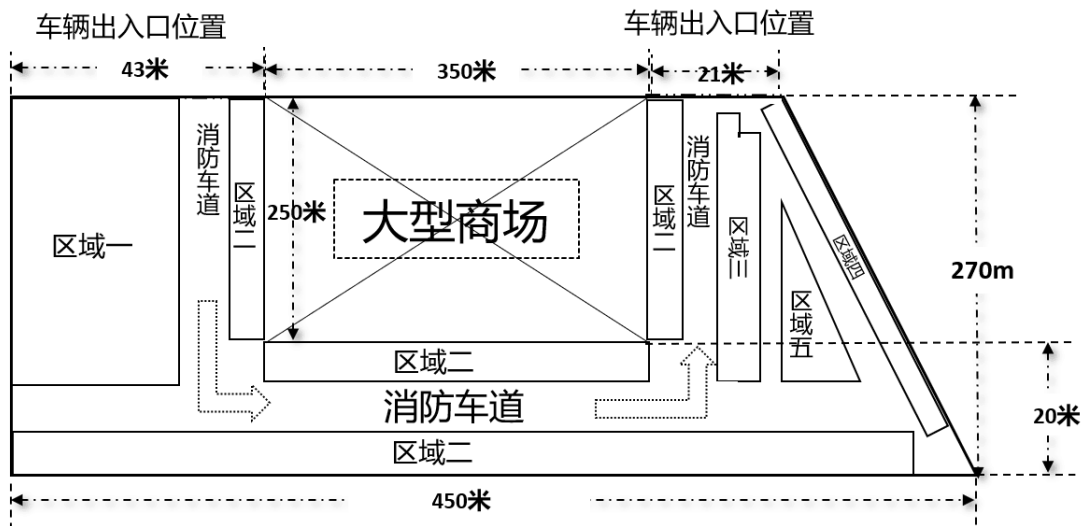


图 8 停车场示意图

运用几何知识可知梯形停车场的夹角为

$$\alpha = \arctan \frac{270}{36} = 82.705^\circ$$

对于区域一，类似的，运用问题一的方法建立非线性规划模型，得到如下限制条件：

$$\max X_C \cdot X$$

$$\begin{cases} L' + W \cdot X \leq M \\ L' + W \cdot X \leq ML \cdot X_C + P \cdot X_P + \frac{n}{2} D_w \cos \theta \leq N \\ 23.75^\circ \leq \theta \leq 90^\circ \\ X > 0 \text{ 且为整数} \end{cases}$$

当 $X_C = 4$ ， $X_P = 2$ 时，停车位的数量为：372 辆

当 $X_C = 3$ ， $X_P = 2$ 时，停车位的数量为：309 辆

对于区域二，根据《高层民用建筑设计防火规范图示》，消防车与建筑之间的距离需要超过 5m，故靠近商场的区域二内 L 的长度需要大于 5m，经过计算得出，当车辆垂直放置时，区域二内可容纳的车辆数目最多，为

$$140 + 100 + 100 + 179 = 519 \text{ 个}$$

对于区域三，经计算可知，当车辆垂直放置两列时该区域内可停放的车辆数目最多，为更加方便出口位置车辆的进出，所以出口位置的其中一列减少一个停车位，示意图如图所示，所以区域三最多可设计停车位的个数为

$$103 + 102 = 205 \text{ 个}$$



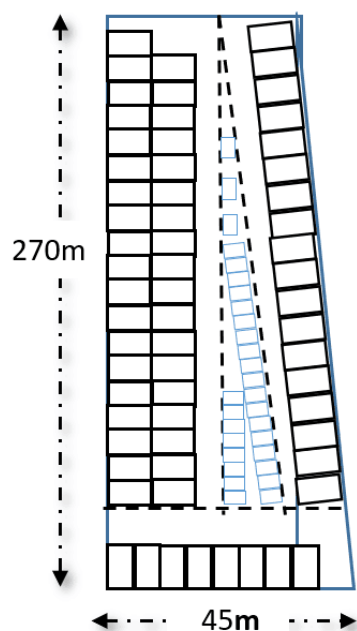


图 9 区域三示意图

对于区域四，由于 $\alpha = 82.705^\circ$ ，可近似视为垂直，对车辆转弯角度的影响可忽略不计，此时车位紧靠斜边设计，经计算，该区域内最多可设计 83 个停车位。

对于区域五的划分如图所示，

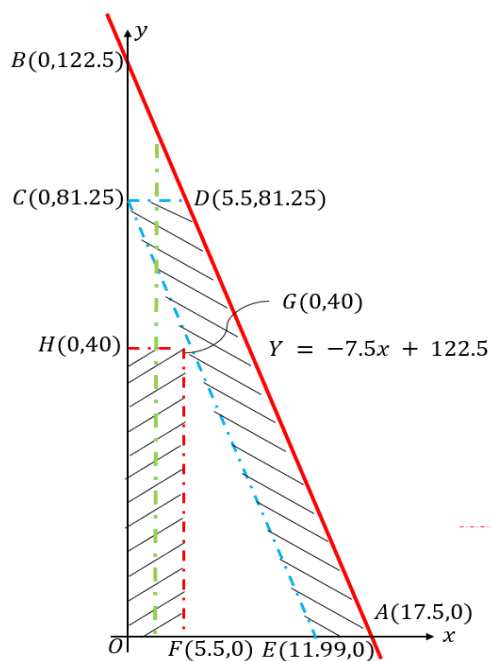


图 10 区域五划分示意图

以 0 点为原点建立平面直角坐标系，平行四边形 CDAE 所围成的区域记为 5-1，平行四边形 OFGH 所围成的区域记为 5-2，三角形 GFE 所围成的区域记为 5-3，三角形 HGC 所围成的区域记为 5-4，三角形 BCD 所围成的区域记为 5-5。则直线 BA 的方程为 $y = -7.5x + 122.5$ ，直线 CE 的方程为 $y = -7.5x + 81.25$ 。

所以经计算得：区域 5-1 最多可容纳车辆数目为 32 辆，区域 5-2 最多可容纳车辆为 16 辆，区域 5-3 最多可容纳车辆为 4 辆，区域 5-4 最多可容纳车辆为 3 辆，区域 5-5 最多可容纳车辆为 3 辆，

综上，区域五内可容纳车辆数目为

$$32 + 16 + 4 + 3 + 3 = 58 \text{ 辆}$$

综上所述，该停车场内共可设计停车位数目为

$$372 + 519 + 205 + 83 + 58 = 1238 \text{ 辆}$$

问题三：对该停车场划分为如图所示的 4 个区域

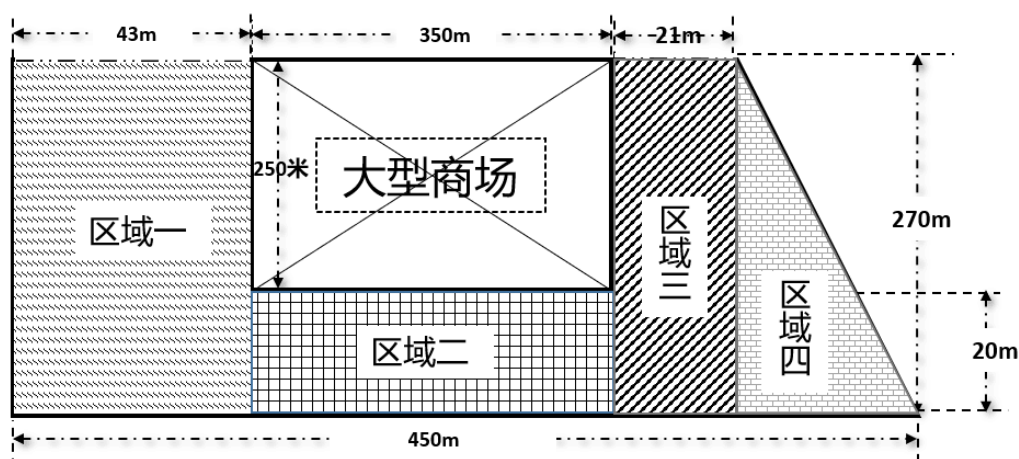


图 11 停车场划分示意图

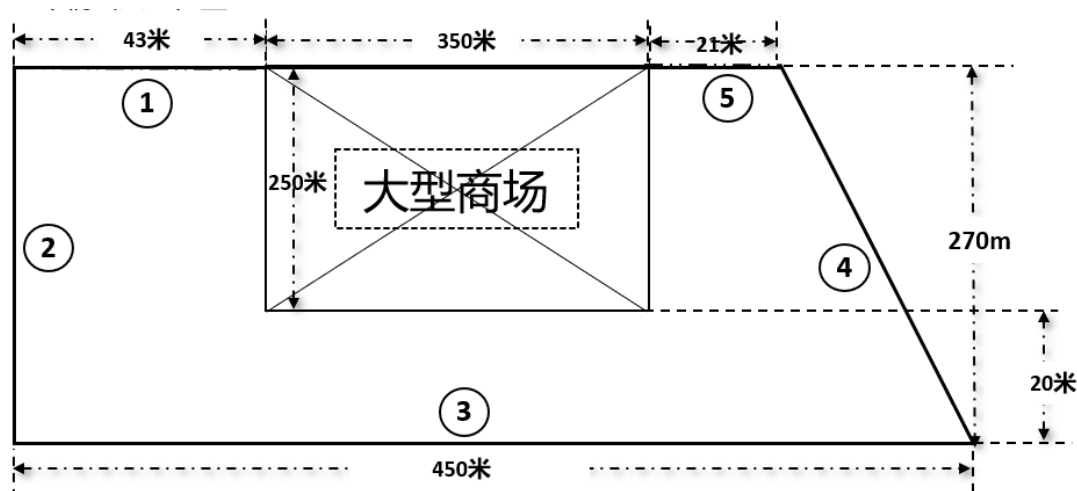


图 12 车辆出入口的分布

车辆出入口位置	1	2	3	4	5
1	(1, 1)	(1, 2)	(1, 3)	(1, 4)	(1, 5)
2	(2, 1)	(2, 2)	(2, 3)	(2, 4)	(2, 5)
3	(3, 1)	(3, 2)	(3, 3)	(3, 4)	(3, 5)
4	(4, 1)	(4, 2)	(4, 3)	(4, 4)	(4, 5)
5	(5, 1)	(5, 2)	(5, 3)	(5, 4)	(5, 5)

图 13 车辆出入口的位置分布

对区域一、二、三建立非线性规划模型  
得到

$$\begin{aligned} & \max X_C \cdot X \\ & \begin{cases} L' + W \cdot X \leq M \\ L' + W \cdot X \leq ML \cdot X_C + P \cdot X_P + \frac{n}{2} D_w \cos \theta \leq N \\ 23.75^\circ \leq \theta \leq 90^\circ \\ X > 0 \text{ 且为整数} \end{cases} \end{aligned}$$

利用 lingo 对该非线性规划模型进行求解（lingo 代码见附录），得到如下表所示的结果

	X	Y	W	L	P	LI
区域一	106.1968	1.407484	2.533713	5.630052	4.882169	0.927718
区域二	140.0001	1.570796	2.5	5.5	5.5	0
区域三	75.9907	0.798135	3.49135	4.810859	2.847435	4.689845

其中 X 是每排车可设停车位的数量。

故区域一可设计停车位的数量辆，区域二可设计停车位的数量为 280 个，；区域三最多可设计停车位的数量为 225 个。

另外，对区域四，以三角形两条直角边为 x, y 轴建立平面直角坐标系，经过严密的数学计算，可得区域四最多可设计停车位的数量为 244 个。具体示意图如下：

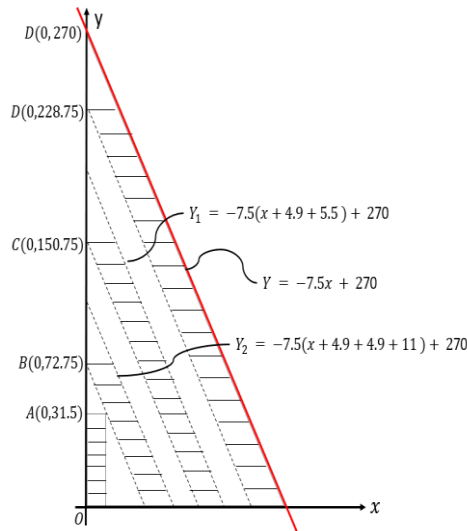


图 14 区域四示意图

所以在不考虑消防因素及出口位置情况下，该停车场最多可设计停车位数量为 1279 个。

现在，在考虑消防因素的情况下，对出入口位置不同的各种情况进行讨论。当出入口设置在（②，④）方向时，示意图如下图

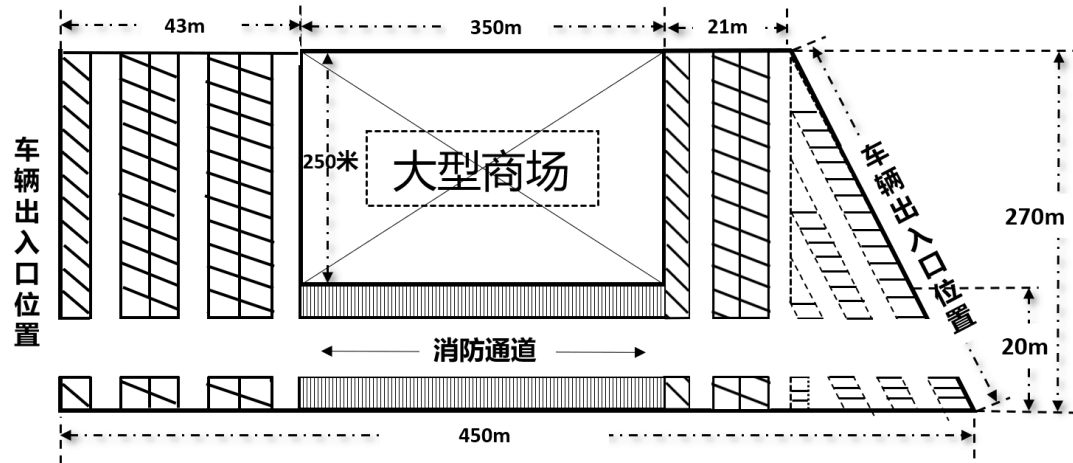


图 15 （②，④）方向时出入口位置示意图

在消防车道所经区域停车位相应所需减少车辆数目可由以下多目标性方程解得：

$$\left\{ \begin{array}{l} N_C = N_1 + N_2 + N_3 + N_4 \\ N_1 = \left( \left\lfloor \frac{4}{W_1} \right\rfloor + 1 \right) \times X_1 \\ N_2 = 0 \\ N_3 = \left( \left\lfloor \frac{4}{W_3} \right\rfloor + 1 \right) \times X_3 \\ N_4 = \left( \left\lfloor \frac{4}{W_4'} \right\rfloor + 1 \right) \times X_4' + \left( \left\lfloor \frac{4}{W_4} \right\rfloor + 1 \right) \times X_4 \\ (W_1, W_2, W_3, W_4) \in (0, 2) \cup (2, 4) \end{array} \right. \quad (*)$$

最终得出当出入口设置在（②，④）方向时，停车位设计会减少 24 个停车位，

即当出入口设置在（②，④）方向时，停车场可设计停车位数目为：

$$1279 - 24 = 1255 \text{ 辆}$$

在（\*）式中， $N_c$ 表示停车场基于图 11 所得到的最大泊车数再考虑导入消防车道与车辆间连接车道所需移除的车辆数目， $N_i$  ( $i = 1,2,3,4$ ) 表示每个区域所应减少停车位的数目，其中 $N_2 = 0$ 是因为在区域二中有足够的空间提供消防车道， $w_i$  ( $i = 1,2,3,4$ ) 表示各个区域所设计的停车位的宽度， $X_i$  ( $i = 1,2,3,4$ ) 表示消防车道所占据对应区域的停车位排数。

当出入口设置在（①，③）方向时，示意图如下图

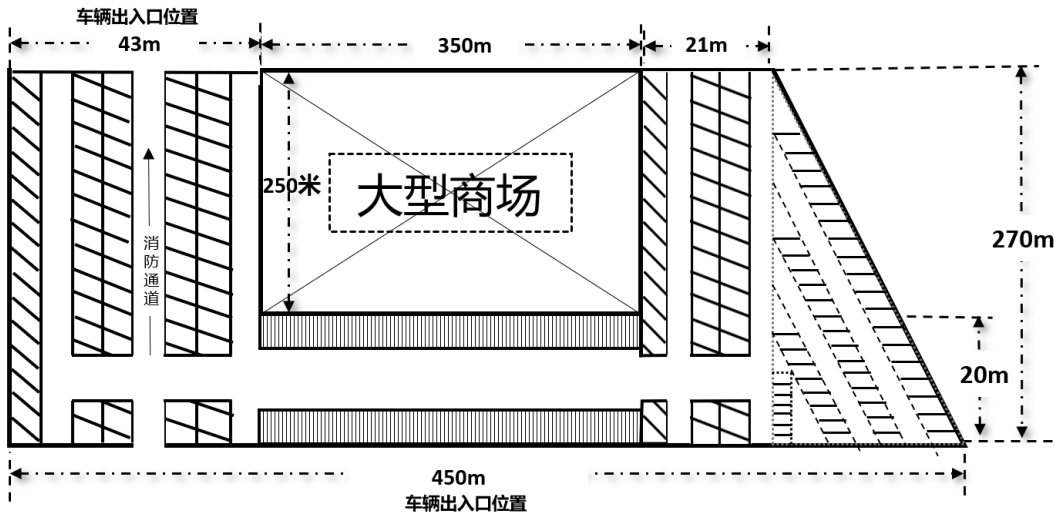


图 16 出入口设置在（①，③）方向时示意图

类似的，可利用方程（\*）得到：最终得出当出入口设置在（①，③）方向时，停车位设计会减少 14 个停车位，即当出入口设置在（①，③）方向时，停车场可设计停车位数目为：

$$1279 - 14 = 1265 \text{ 个}$$

在接下来的几种出入口规划中需要考虑消防车转弯时需要一个回车场的情况，故在上述基础上建立以下规划方程

$$\begin{cases} N_c = N_1 + N_2 + N_3 + N_4 + N_5 \\ N_1 = \left( \left\lfloor \frac{4}{w_1} \right\rfloor + 1 \right) \times X_1 \\ N_2 = 0 \\ N_3 = \left( \left\lfloor \frac{4}{w_3} \right\rfloor + 1 \right) \times X_3 \\ N_4 = \left( \left\lfloor \frac{4}{w_4'} \right\rfloor + 1 \right) \times X_4 \\ (w_1, w_2, w_3, w_4) \in (0,2) \cup (2,4) \\ N_5 = \left( \left\lfloor \frac{4}{w} \right\rfloor + 1 \right) \times X_5 \end{cases} \quad (\#)$$

当出入口设置在（①，④）方向时，示意图如下图 $(\left\lfloor \frac{4}{w_{3'}} \right\rfloor + 1) \times X_{3'}$

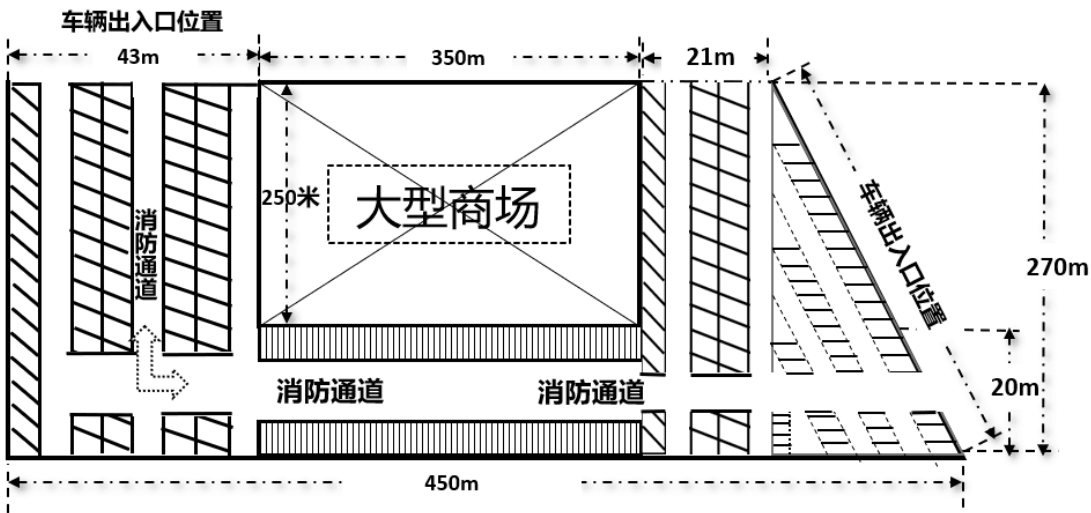


图 17 出入口设置在（①，④）方向时示意图

类似的，可利用方程（#）得到：最终得出当出入口设置在（①，④）方向时，停车位设计会减少 28 个停车位，即当出入口设置在（①，④）方向时，停车场可设计停车位数目为：

$$1279 - 28 = 1251 \text{ 个}$$

当出入口设置在（②，⑤）方向时，示意图如下图

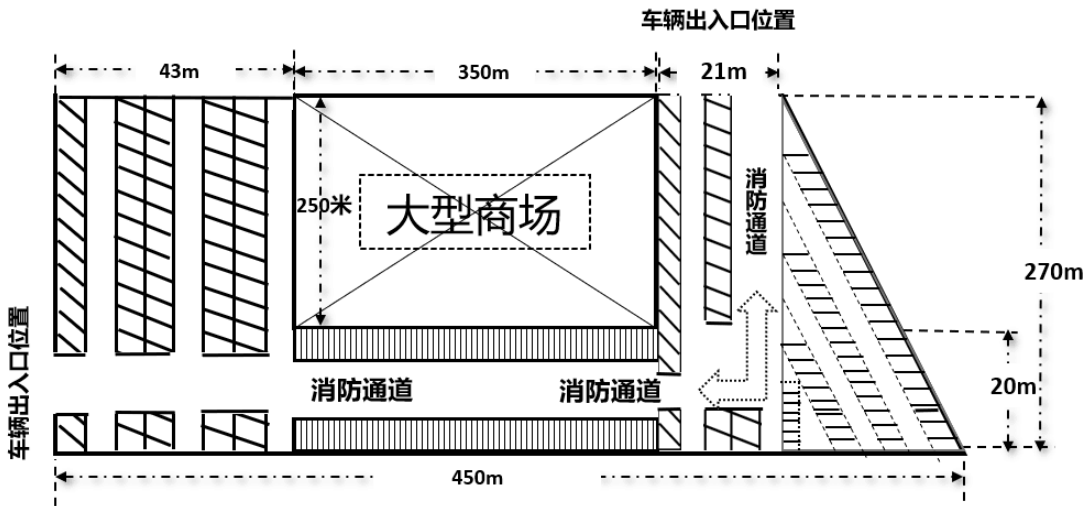


图 18 出入口设置在（②，⑤）方向时示意图

类似的，可利用方程（\$）得到：最终得出当出入口设置在（②，⑤）方向时，停车位设计会减少 90 个停车位，即当出入口设置在（②，⑤）方向时，停车场可设计停车位数目为：

$$1279 - 90 = 1189 \text{ 个}$$

当出入口设置在 (③, ⑤) 方向时, 可建立如下线性方程组

$$\left\{ \begin{array}{l} N_C = N_1 + N_2 + N_3 + N_4 + N_5 \\ N_1 = \left( \left\lfloor \frac{4}{W_1} \right\rfloor + 1 \right) \times X_1 \\ N_2 = 0 \\ N_3 = \left( \left\lfloor \frac{4}{W_3} \right\rfloor + 1 \right) \times X_3 \\ N_4 = \left( \left\lfloor \frac{4}{W_{4'}} \right\rfloor + 1 \right) \times X_4 \\ (W_1, W_2, W_3, W_4) \in (0, 2) \cup (2, 4) \\ N_5 = X - \left( \left\lfloor \frac{5.5}{W_{5'}} \right\rfloor + 1 \right) \times X_3 + \left( \left\lfloor \frac{4}{W_{3'}} \right\rfloor + 1 \right) \times X_{3'} \end{array} \right.$$

示意图如下图

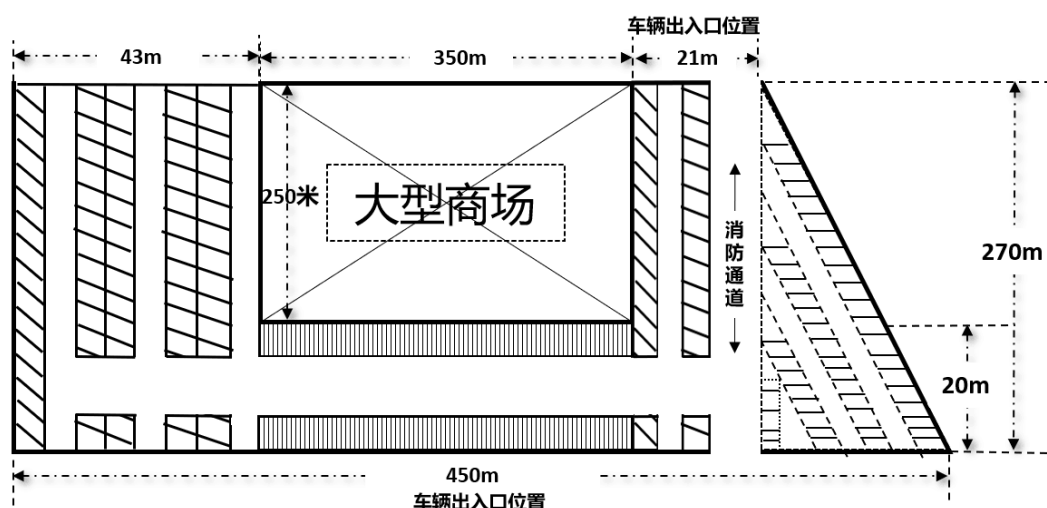


图 19 出入口设置在 (3, 5) 方向时示意图

类似的, 可利用方程 (#) 得到: 最终得出当出入口设置在 (③, ⑤) 方向时, 停车位设计会减少 87 个停车位, 即当出入口设置在 (③, ⑤) 方向时, 停车场可设计停车位数目为:

$$1279 - 87 = 1192 \text{ 个}$$

综上所述, 当出入口设置为 (①, ③) 时, 停车场可设计的最大停车位数目为 1265 个。  
即停车场的规划为

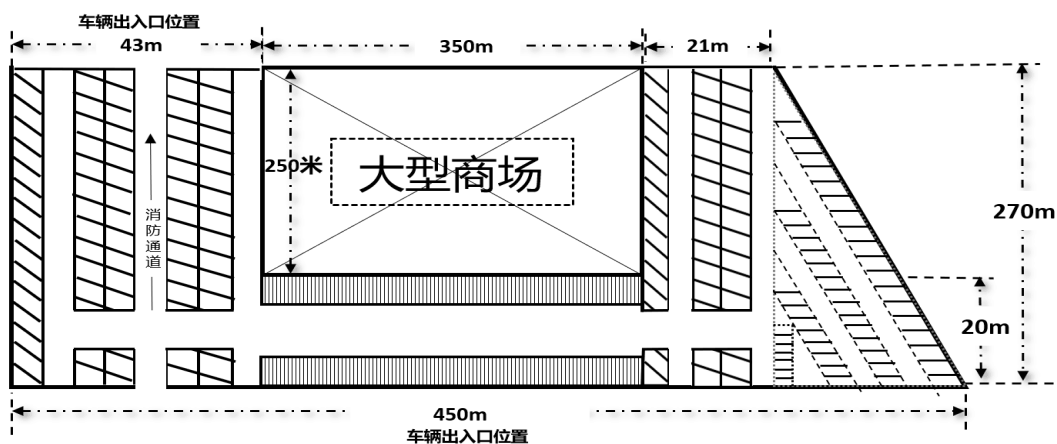


图 20 最优情况为出入口设置为 (①, ③)

## 六、模型的优缺点及改进

### 6.1. 模型的优点:

1. 运用多目标非线性规划方法对泊车位置进行合理计算
2. 综合考虑美观, 司机停车便捷性, 车道实际实用性对停车场车道进行规划
3. 合理分区域计算车位数量且能综合考虑消防车道

### 6.2. 模型的缺点:

1. 对消防车转弯过程中的车位规划不合理
2. 部分微小区域存在多种停车位设计情况为对其进行讨论
3. 部分车道为单车道不能合理应对紧急情况

### 6.3. 模型的改进:

1. 运用遗传算法等智能算法对模型中的区域四与空隙位置进行优化
2. 优化部分单向车道使得所有车道能应对紧急情况
3. 对消防车道设计过程中产生的空位进行更合理的利用

## 七、参考文献

- [1] 迟灵芝等. 本溪水洞停车场的优化设计. 辽宁科技学院学报, 2016, 1(18): 29-31.
- [2] 高新涛. 基于优化模型的停车场规划设计. 中国职协 2016 年度优秀科研成果获奖论文集 (学校一等奖), 2016.
- [3] 宋作忠等. 基于遗传算法的交易中心停车场优化设计. 数学的实践与认识, 2004, 1(34): 19-23.



# 附录

## 附录一

```
model:
max = 3 * @floor(x);
@bnd(3.1415926 * (24.23/180), y, 3.1415926 * 0.5);
W = 2.5/@sin(y);
L = 5.5 * @sin(y) + 1.25 * @cos(y);
P = 5.5 - 3.8 * @cos(y);
Li = (5.5 + 1.25/@tan(y)) * @cos(y);
x * W + Li <= 79.0;
3*L + 2*P+ 1.25*@cos(y) <= 26.5;
End
```

## 附录二

区域一:

```
model:
max = 4 * @floor(x);
@bnd(3.1415926 * (24.23/180), y, 3.1415926 * 0.5);
W = 2.5/@sin(y);
L = 5.5 * @sin(y) + 1.25 * @cos(y);
P = 5.5 - 3.8 * @cos(y);
Li = (5.5 + 1.25/@tan(y)) * @cos(y);
x * W + Li <= 255.5;
4*L + 2*P+ 1.25*@cos(y) <= 31.0;
End
```

## 附录三

区域一:

```
model:
max = 5 * @floor(x);
@bnd(3.1415926 * (24.23/180), y, 3.1415926 * 0.5);
W = 2.5/@sin(y);
L = 5.5 * @sin(y) + 1.25 * @cos(y);
P = 5.5 - 3.8 * @cos(y);
Li = (5.5 + 1.25/@tan(y)) * @cos(y);
x * W + Li <= 270.0;
```

```
5*L + 3*P+ 1.25*@cos(y) <= 43.0;  
End
```

## 区域二:

```
model:  
max = 2 * @floor(x);  
@bnd(3.1415926 * (24.23/180), y, 3.1415926 * 0.5);  
W = 2.5/@sin(y);  
L = 5.5 * @sin(y) + 1.25 * @cos(y);  
P = 5.5 - 3.8 * @cos(y);  
Li = (5.5 + 1.25/@tan(y)) * @cos(y);  
x * W + Li <= 350.0;  
2*L + 1*P+ 2.5*@cos(y) <= 20.0;  
End
```

## 区域三:

```
model:  
max = 3 * @floor(x);  
@bnd(3.1415926 * (24.23/180), y, 3.1415926 * 0.5);  
W = 2.5/@sin(y);  
L = 5.5 * @sin(y) + 1.25 * @cos(y);  
P = 5.5 - 3.8 * @cos(y);  
Li = (5.5 + 1.25/@tan(y)) * @cos(y);  
x * W + Li <= 270.0;  
3*L + 2*P+ 1.25*@cos(y) <= 21.0;  
End
```

## 车辆出入口分布情况:

(②, ④) 情况代码:

```
W1= 2.533713  
W2= 5.5  
W3= 3.49135  
W_4= 2.5  
W4= 2.4
```

```
X1= 5  
X2= 0  
X3= 3  
X_4= 1  
X4= 3
```

```
N1 = ((4//W1)+1) * X1
N2 = ((4//W2)+1) * X2
N3 = ((4//W3)+1) * X3
N4 = ((4//W_4)+1) * X_4 + ((4//W4)+1) * X4
```

```
Nc = N1 + N2 + N3 + N4
print('Nc = ',Nc)
```

运行结果:

**Nc = 24.0**

(①, ③) 情况代码:

```
W1 = 2.533713
W2 = 5.5
W3 = 3.49135
W_4 = 2.5
W4 = 2.4
```

```
X1 = 4
X2 = 0
X3 = 3
X_4 = 0
X4 = 0
```

```
N1 = ((4//W1)+1) * X1
N2 = ((4//W2)+1) * X2
N3 = ((4//W3)+1) * X3
N4 = ((4//W_4)+1) * X_4 + ((4//W4)+1) * X4
```

```
Nc = N1 + N2 + N3 + N4
print('Nc = ',Nc)
```

运行结果:

**Nc = 14.0**

(①, ④) 情况代码:

```
W1 = 2.533713
W2 = 5.5
W3 = 3.49135
W_4 = 2.5
W4 = 2.4
```

```

X1 = 2
x_1 = 2
X2 = 0
X3 = 3
X_4 = 1
X4 = 3

N1 = ((4//W1)+1) * X1 + ((12//W1)+1) * x_1
N2 = ((4//W2)+1) * X2
N3 = ((4//W3)+1) * X3
N4 = ((4//W_4)+1) * X_4 + ((4//W4)+1) * X4

Nc = N1 + N2 + N3 + N4
print('Nc = ',Nc)

```

运行结果:  
**Nc = 28.0**

（③，⑤）情况代码：

```

W1 = 2.533713
W2 = 5.5
W3 = 3.49135
W_4 = 2.5
W4 = 2.4

L = 75

X1 = 4
X2 = 0
X3 = 2
x_3 = L
X_4 = 0
X4 = 0

N1 = ((4//W1)+1) * X1
N2 = ((4//W2)+1) * X2
N3 = ((4//W3)+1) * X3 + x_3
N4 = ((4//W_4)+1) * X_4 + ((4//W4)+1) * X4

Nc = N1 + N2 + N3 + N4
print('Nc = ',Nc)

```

运行结果:

**Nc = 87.0**

(②, ⑤) 情况代码:

W1 = 2.533713

W2 = 5.5

W3 = 3.49135

W\_4 = 2.5

W4 = 2.4

L = 75

X1 = 5

X2 = 0

X3 = 1

$X_3 = L - (5.5/W3) + ((12/W3)+1)$

X\_4 = 0

X4 = 0

$N1 = ((4/W1)+1) * X1$

$N2 = ((4/W2)+1) * X2$

$N3 = ((4/W3)+1) * X3 + X_3$

$N4 = ((4/W_4)+1) * X_4 + ((4/W4)+1) * X4$

$Nc = N1 + N2 + N3 + N4$

print('Nc = ',Nc)

运行结果:

**Nc = 90.0**