

承诺书

赛区评阅编号（由赛区组委会评阅前进行编号）：

2014 高教社杯全国大学生数学建模竞赛

编 号 专 用 页

赛区评阅编号（由赛区组委会评阅前进行编号）：

赛区评阅记录（可供赛区评阅时使用）：

评 阅 人										
评 分										
备 注										

全国统一编号（由赛区组委会送交全国前编号）：

全国评阅编号（由全国组委会评阅前进行编号）：

创意平板折叠桌

摘要

本文主要解决的问题是如何设计出满足要求的折叠桌并展示其动态变化图。

对于问题一，平板的尺寸、桌子高度以及桌腿宽度等加工参数已经给定，我们采用中点划分法对平板进行分割并建立直角坐标系，利用各个参数之间的几何关系，可以计算出各桌腿木条的开槽长度 $q_i = \{0, 4.355, 7.663, 10.368, 12.593, 14.391, 15.801, 16.848, 17.529, 17.871\}$ ($i=1\sim 10$)。桌脚边缘线参数方程为：

$$x^2 = [w - \frac{(60-w)}{D} * (w - x_0)]^2, \quad y^2 = 25^2 - w^2, \quad z = \frac{(60-w)}{D} * z_0, \quad w \in [0, 25]$$

在求解问题二时，我们将用料最少作为优化目标，从产品稳固性、加工繁复程度以及成功制作的可能性三个方面进行限制。通过静力学分析和求势能函数极小值可以限制产品的稳固性，并使用势能函数确定参数搜索的大致区间，利用遗传算法筛选到最优的加工参数：左右两侧各切割 30 条桌腿，钢筋位置到连接点的距离占桌腿长度的比例为 0.45，厚度约 3cm, 桌长为 156.9cm，耗用木材体积 $37680cm^3$ 。

问题三中设计的灵活度较大，因此模型三的求解过程中我们进行了一些合理的假设来简化模型，如：假设顾客设计的桌面是左右对称的。我们绘制了软件的算法流程图，用桌面描述函数和桌腿投影函数抽象客户需求的形状，并用遗传算法求解最优加工参数，最后我们自己模拟出了一些特色折叠桌，如(3.4)~(3.7)所示。

通过对模型的评价与分析，我们对模型三进行了改进，在桌左右两侧参数不对称的情况下，通过增加搜索的参数个数，使桌左右参数独立，使设计出来的桌子更符合最优。

关键词： 几何关系 静力学分析 势能函数 遗传算法 matlab 模拟

问题重述

某公司生产一种可折叠的桌子，桌面呈圆形，桌腿随着铰链的活动可以平摊成一张平板（如图 1-2 所示）。桌腿由若干根木条组成，分成两组，每组各用一根钢筋将木条连接，钢筋两端分别固定在桌腿各组最外侧的两根木条上，并且沿木条有空槽以保证滑动的自由度（见图 3）。桌子外形由直纹曲面构成，造型美观。附件视频展示了折叠桌的动态变化过程。

试建立数学模型讨论下列问题：

1. 给定长方形平板尺寸为 $120\text{ cm} \times 50\text{ cm} \times 3\text{ cm}$ ，每根木条宽 2.5 cm ，连接桌腿木条的钢筋固定在桌腿最外侧木条的中心位置，折叠后桌子的高度为 53 cm 。试建立模型描述此折叠桌的动态变化过程，在此基础上给出此折叠桌的设计加工参数（例如，桌腿木条开槽的长度等）和桌脚边缘线（图 4 中红色曲线）的数学描述。

2. 折叠桌的设计应做到产品稳固性好、加工方便、用材最少。对于任意给定的折叠桌高度和圆形桌面直径的设计要求，讨论长方形平板材料和折叠桌的最优设计加工参数，例如，平板尺寸、钢筋位置、开槽长度等。对于桌高 70 cm ，桌面直径 80 cm 的情形，确定最优设计加工参数。

3. 公司计划开发一种折叠桌设计软件，根据客户任意设定的折叠桌高度、桌面边缘线的形状大小和桌脚边缘线的大致形状，给出所需平板材料的形状尺寸和切实可行的最优设计加工参数，使得生产的折叠桌尽可能接近客户所期望的形状。你们团队的任务是帮助给出这一软件设计的数学模型，并根据所建立的模型给出几个你们自己设计的创意平板折叠桌。要求给出相应的设计加工参数，画出至少 8 张动态变化过程的示意图。



图 1



图 2



图 3



图 4

问题假设

1. 由于质量主要集中在承载物上，由木槽导致的质量损失忽略不计。
2. 考虑折叠桌放置在木地板的房间，且木材与木材的静摩擦系数为 $0.4 \sim 0.6^1$ ，此处静摩擦系数 μ 取 0.5 。
3. 成品家具多由纤维板²制成，假设折叠桌的制材为中密度纤维板，取密度为 600 千克每立方米。

符号说明

D	平板的宽度
L	平板的长度
h	桌面的厚度
H	桌面的高度
d	桌腿的宽度
q_i	第 i 条桌腿开槽的总长度
l_i	编号为 i 的桌腿的长度
ρ	平板的密度
V	平板的总体积

¹ 百度百科 <http://baike.baidu.com/view/1454849.htm?fr=aladdin>

² 百度百科 <http://baike.baidu.com/view/198117.htm>

n	总桌腿根数
m_e	承载物体质量
m_{cr}	代表桌面的质量
θ	最外侧桌腿旋转的角度
λ	钢筋位置到连接点的距离占桌腿长度的比例
$k_i(\theta)$	最外侧桌腿旋转 θ 角度时第 i 条桌腿上钢筋到桌面连接点的距离
$U(L)$	桌长为 L 时折叠桌的重力
$g(x,y)$	桌面描述函数

模型的建立与求解

问题一

一. 模型一的建立

1.1 分割设计

参照视频，我们通过分析折叠桌展开的过程，可以将长方形平板进行如下图 1.1 的分割设计：

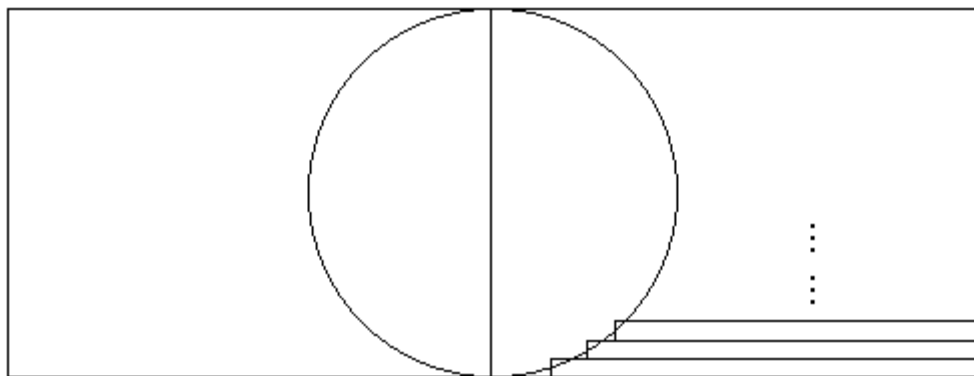


图 1.1

一方面，我们希望设计出的桌面面积较大且接近一个圆形，另一方面，设计需要保证桌子展开后的桌面高度达到指定的高度。综合以上两点考虑，模型一采用中点划分法，使得桌面的圆经过每条桌腿的宽的中点。这个切割法则也将用于之后的模型，不再赘述。

若总桌腿条数 n 为奇数，最中间矩形的一边与圆相切, 如 1.2 左图。

若总桌腿条数 n 为偶数，则使圆同时穿过中间两个矩形一边的中点，如 1.2 右图。

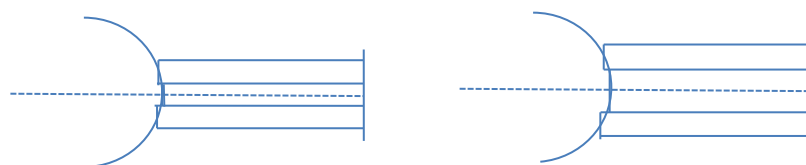


图 1.2

1.2 坐标系的建立：

首先，以平板宽度为直径作一个圆，为方便计算桌子向下展开后各条桌腿的末

端位置,我们以桌面圆盘的圆心为原点,垂直桌板竖直向下的方向作为Z轴方向,平行于平板长边的方向为x轴,平行于平板短边的方向为y轴,建立左手坐标系,如图(1.3)所示,沿着y轴负方向依次编号为1,2,3,⋯,i。在模型一和模型二中,由于四个象限中的设计规划相互对称,我们只需分析第一象限的设计规划。

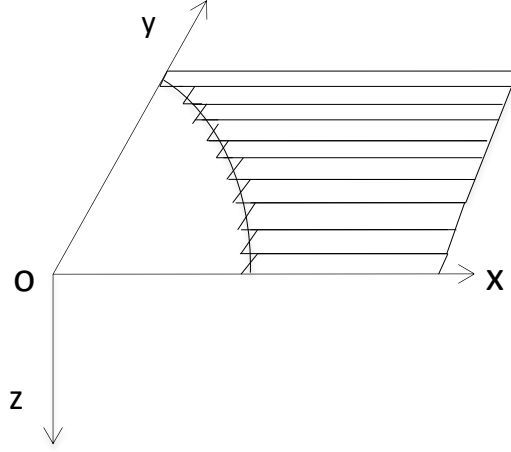


图 1.3

1.3 钢筋位置

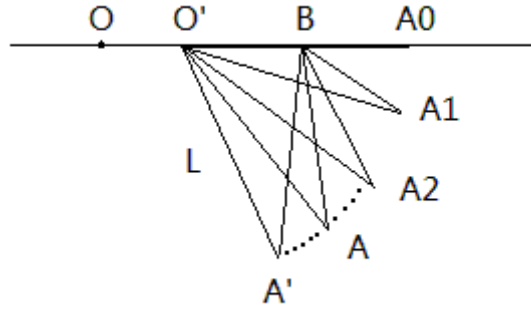


图 1.4

为了探求钢筋在凿内的变化过程,我们抽象桌腿的展开过程,点O'为最外侧桌腿固定在桌面的位置,点B为内侧第*i* (*i* > 1) 条桌腿固定在桌面的位置,点A为钢筋固定在最外侧桌腿的位置。A'是桌子最终展开时钢筋的位置。

如图1.4抽象了桌腿展开的一系列变化过程。我们使用余弦公式的:

$$\overline{AB} = \sqrt{\overline{O'B}^2 + \overline{O'A}^2 - 2\overline{O'B}\overline{O'A}\cos(\angle BO'A)} \quad (1.1)$$

对角度求导得:

$$\frac{d\overline{AB}}{d\angle BO'A} = \frac{\overline{O'B}\overline{O'A}\sin(\angle BO'A)}{\sqrt{\overline{O'B}^2 + \overline{O'A}^2 - 2\overline{O'B}\overline{O'A}\cos(\angle BO'A)}} \quad \angle BO'A \in [0, \pi] \quad (1.2)$$

因为导数恒大于 0，说明 \overline{AB} 随着角度的增大而单调变大。 \overline{AB} 代表着钢筋离开第 i ($i > 1$) 条桌腿桌腿固定点的距离， \overline{AB} 单调增大表明钢筋在槽内是不断的沿着一个方向在运动的。在到达了展开角度最大的时候，达到了了槽内的最远距离， \overline{AB} 的最大值也就是为 $\overline{A'B}$ 。

所以开凿长度我们可以通过计算在最终的位置下的 $A'B$ 和初始位置 A_0B 计算出 $q_i = \overline{A'B} - \overline{A_0B}$ (1.3)

二. 模型一的求解:

根据问题一给定条件可知，长方形平板尺寸为 120 cm \times 50 cm \times 3 cm，每根木条宽 2.5 cm。因此，每一侧的桌腿数目为:50cm/2.5cm=20，则每一象限有 10 条桌腿，如图 (1.3) 所示。运用勾股定理等几何原理，容易计算出编号为 1~10 的桌腿的长度分别为: (单位: cm) (公式推导见后文式 (2.2))

$l_1:52.194$ $l_2:46.830$ $l_3:43.464$ $l_4:41.002$ $l_5:39.121$
 $l_6:37.674$ $l_7:36.581$ $l_8:35.794$ $l_9:35.283$ $l_{10}:35.031$

分析桌子展开的过程可知，随着最外侧木条旋转的角度 θ 不断增大，钢筋在中间 9 个木条的滑槽中滑动。通过分析钢筋在各个桌腿上的截面的运动，就可以计算出各个桌腿开槽的长度。根据最外侧 1 号桌腿的长度 l_1 、桌面高度 H 和宽度 h 可以求到角度 θ 。

$$\theta = \sin^{-1}(H - h/l_1) \quad (1.4)$$

下面可以分别求出中间的 9 条桌腿上钢筋的位置。设第 i 条桌腿上钢筋的位置在 xz 平面的投影在 (x_i, z_i) ，且投影到桌腿旋转点的距离为 k_i 。桌腿旋转的角度分别为 θ_i ，则:

$$h_1 = l_1 \sin \theta / 2 \quad (1.5)$$

$$\tan \theta_i = h_1 / [l_1 \cos \theta / 2 - (l_1 - l_2)] \quad (1.6)$$

$$x_i = z_i / \tan \theta_i \quad (1.7)$$

$$z_i = H - h \quad (1.8)$$

$$k_i = \sqrt{x_i^2 + z_i^2} \quad (1.9)$$

由 1.3 的分析可知，钢筋在槽中始终沿一个方向移动，所以 $k_i(\theta)$ 是一个单调递增的函数。我们可以求到整个旋转展开的过程中 k_i 的最大值和最小值，求最大值与最小值的差即为滑槽的总长度 q_i : (单位: cm)

k_{\max}	26.097	25.089	25.030	25.272	25.615	25.968	26.285	26.285	26.715	26.805
k_{\min}	26.097	20.734	17.367	14.905	13.024	11.577	10.484	9.697	9.186	8.934
q_i	0	4.355	7.663	10.368	12.593	14.391	15.801	16.848	17.529	17.871

表 1.1

为了清晰表现出折叠桌的动态变化过程，我们分别取

$$\theta = 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 50^\circ, 60^\circ, 70^\circ$$

画出 10 条桌腿在 xz 平面的投影，星形的点表示桌腿的末端，连接各条桌腿的粗线表示钢筋，圆盘上的小圆点表示桌腿连在桌子上的点。如下列图(1.5)和图(1.6)所示：

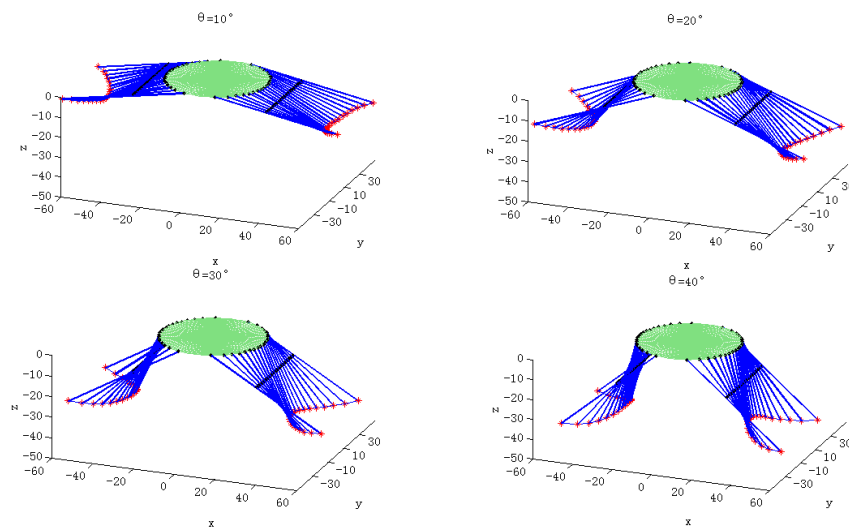


图 1.5

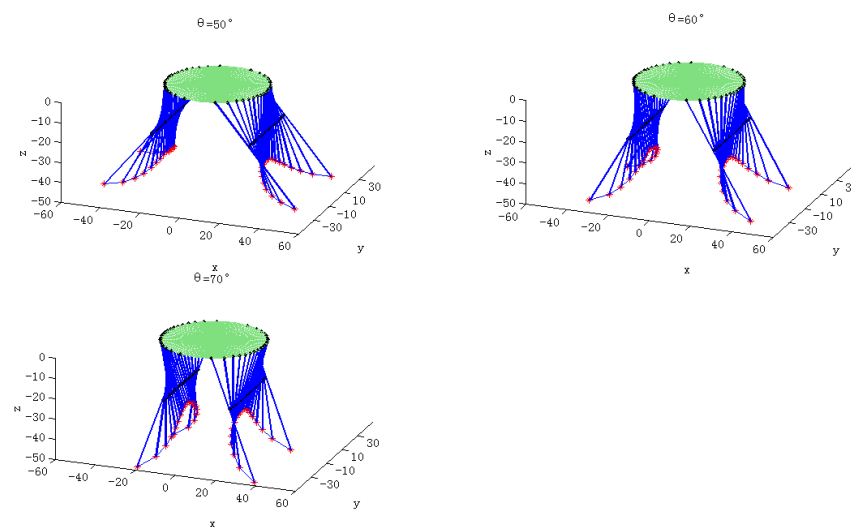


图 1.6

问题一中，将旋转到高度为 53cm 时，根据(1.1)式，当 $h = 3\text{cm}$ ， $H = 53\text{cm}$ 时，可以求到最外侧桌腿旋转的最大角度：

$$\theta_{max} = \sin^{-1}(H - h/l_1) = 73.3291^\circ \quad (1.10)$$

做出三维图像图 (1.7) 如

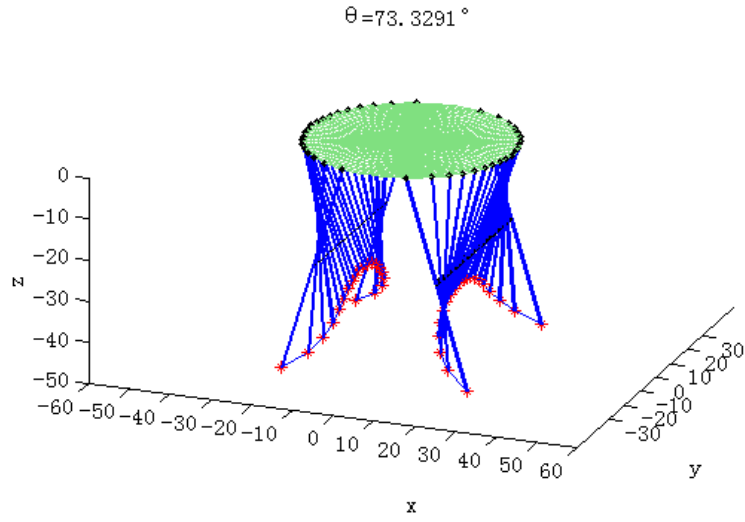


图 1.7

为得出在最大旋转角 $\theta_{max} = 73.3291^\circ$ 时桌脚边缘线的曲线方程,我们想到用参数方程来表示桌腿末端的曲线,我们把桌腿想象成连续的线段, w 作为参数,表示“留在桌面的”长度,其取值范围是 $[0, 25]$ 。BP ($=60-w$)表示“可以活动的桌腿的”长度,那么我们把点 P 的空间坐标用 w 表示出来,这样这个曲线方程就是我们所求的:

$$x_0 = 15.2928, \quad z_0 = -25 \quad (1.11)$$

$$D = \text{sqrt}((x_0 - w)^2 + z_0^2) \quad (1.12)$$

$$x^2 = \left[w - \frac{(60-w)}{D} * (w - x_0) \right]^2 \quad (1.13)$$

$$y^2 = 25^2 - w^2 \quad (1.14)$$

$$z = \frac{(60-w)}{D} * z_0 \quad (1.15)$$

其中 P 点的 y 坐标与 B 的 y 坐标相同, P 的 x 坐标和 z 坐标都可在如图 1.4 构造的相似三角形中方便地表示出来。

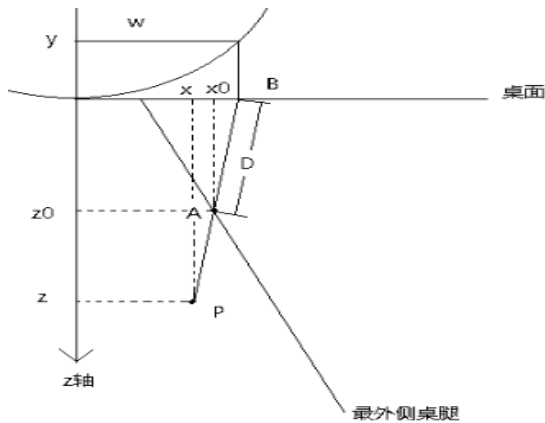


图 1.8

做出函数图形如下，（注意此处为了图像的清晰性，只是画了一侧的曲线，另一侧与之相同关于 $z-y$ 平面对称）：

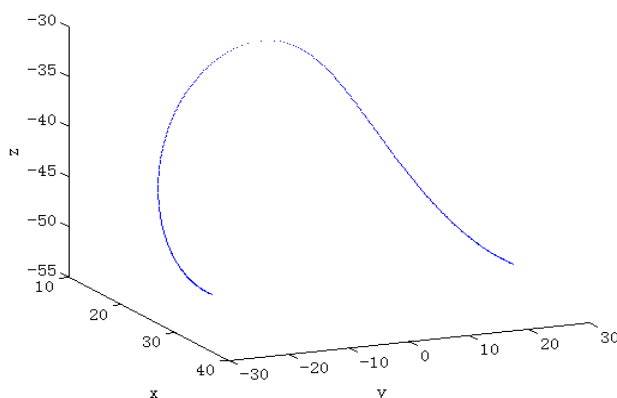


图 1.9

问题二

一. 模型二的分析

针对折叠桌的设计要求并结合商家利益最大化的目标，我们将用材最少视为主要的优化目标，用产品稳固性以及加工的繁复程度来对加工方案进行限制。结合生活实际，桌子的稳固性应该从两方面进行考虑，一方面是其能够承载物体的重量，对于家用折叠桌，至少应能承受 $40\sim 50\text{kg}$ （解题中采用 45kg ）的物重，因此设定的加工参数应满足这一条件。另一方面，桌子在受到外界扰动时保持平衡的能力也是衡量其稳固性的标准之一。

在设置参数的过程中，我们经过合理的分析并与实际情况相结合，做出以下限制：

- （1）折叠桌桌面的厚度过薄会容易折断，厚度过厚会增加搬运移动的困难度增高，造成生活不方便，并会影响视觉美观，因此我们将桌面厚度设为 $3\text{cm}\sim 5\text{cm}$ 。
- （2）桌腿宽度越大，需要切割出来的桌腿的数目越多，且每一条桌腿都需要开槽，加工难度会显著增高，因此我们将桌腿条数限制为 $20\sim 30$ 条。
- （3）钢筋位置到桌面中心的距离占桌腿长度的比例不能太小，避免桌面中心到钢筋的距离小于桌面的半径，不符合桌面可以折叠的实际情况。因此，我们将这一比例设为 $0.4\sim 0.6$ 。

1.1. 能否成功制作的限制

在折叠桌展开的过程中，钢筋会从每一条桌腿的空槽的一端移动到另一端，因此，如果桌长长度不够长，就无法使得每一条桌腿在旋转过程中一直连接在钢筋上。通过比较旋转到最大角度时一条桌腿的长度和钢筋在该条桌腿上的位置，就可以实现这一限制的检验。

此外，还有两种情况也应该被排除。一是钢筋位置到桌面中心的距离太小，导致桌面中心到钢筋的距离小于桌面的半径，不符合桌子可以折叠成平板的实际情况。另一种情况是某些内侧桌腿在钢筋的作用下向里转动 90 度以上，左右两

侧的钢条相互接触发生挤压，这种情况发生几率很小，但在此处也纳入了考虑。

综合以上三种情况的限制，我们用 matlab 编出函数 okornot，通过返回 0 和 1 来判定是否符合限定。

1.2 稳固性分析

稳固性分析主要由两部分组成：

(1) 静力学分析可以帮助我们计算出承载物体的最大重量，包括对桌的力平衡和力矩平衡的分析。

(2) 寻找势能函数的极值点可以帮助我们找到判断稳定性。由于桌子每时每刻都具有对称性，问题二只对第一象限平板展开后的那部分桌子进行分析与求解。

a. 静力学分析

1) 受力平衡

对于内侧桌腿，由于没有接触到地面，因而仅受到垂直钢筋的支持力和沿着钢筋方向的摩擦力以及自身的重力。钢筋对桌腿作用的合力即为与重力等大反向。受力分析图如下：

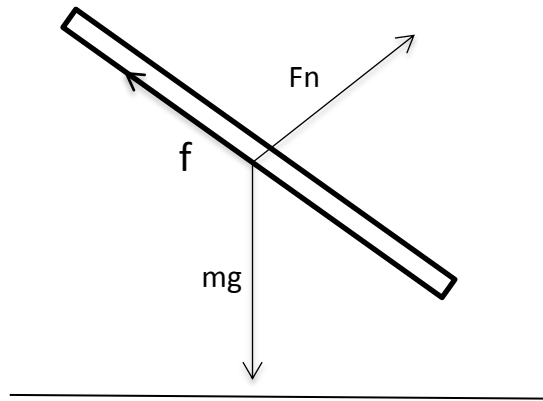


图 2.1

则第 i 条桌腿受到钢筋的总作用力：
$$\vec{F}_i = \vec{f} + \vec{F}_n \quad (2.1)$$

对于最外侧的桌腿，受到钢筋的压力、地面的支持力与摩擦力、自身的重力以及桌面产生的沿杆向下的压力。受力分析图如下：

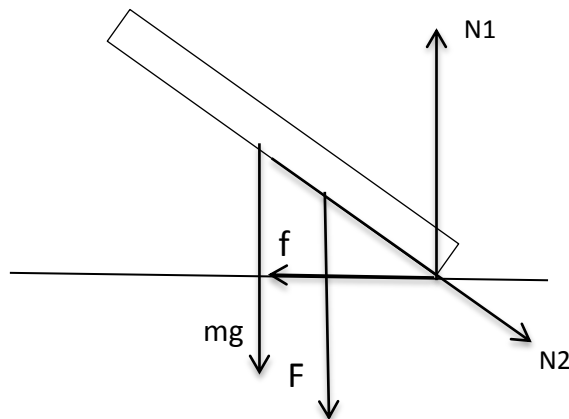


图 2.2

$$\text{经过受力分析可知, } N_1 = mg + F + N_2 \sin \theta \quad (2.3)$$

$$f = N_2 \cos \theta \quad (2.4)$$

$$N_1 = Mg + m_e \quad (2.5)$$

$$\text{最大静摩擦力的限制: } f \leq \mu N_1 \quad (2.6)$$

结合 (2.1) 式, 由作用力与反作用力知:

$$F = \sum_2^9 Fi \quad (2.7)$$

由 (2.3) ~ (2.7) 可以限制出 θ 的范围: (m_{cr} 代表桌面的质量)

$$\cot \theta \leq \frac{M+m_e}{2(m_e+m_{cr})} \quad (2.8)$$

对每一组参数, 带入 $m_e = 45\text{kg}$ 进行检验, 若在给定高度下最外侧桌腿最终旋转角度 θ 不满足式 (2.8) 的限制条件, 该组参数不可用。

2) 力矩平衡

对图 (2.2) 进行力矩平衡分析, 我们选择连接处作为支点进行分析, 则沿杆方向的力 N_2 力矩为零。即:

$$\sum_{i=1}^4 \overrightarrow{M}_i = \sum_{i=1}^4 \overrightarrow{r}_i \times \overrightarrow{F}_i = 0 \quad (2.9)$$

$$F \cdot \lambda l_1 \cdot \cos \theta + mg \cdot \frac{l_1}{2} \cdot \cos \theta + f \cdot l_1 \cdot \sin \theta = \frac{1}{4}(m + m_e)g \cdot l_1 \cos \theta \quad (2.10)$$

b. 势能函数分析

(1) 原理说明

对单变量的势能函数, 可以在某一点 x_0 进行泰勒展开,

$$U(x) = U(x_0) + U'(x_0)(x - x_0) + U''(x_0)(x - x_0)^2 \frac{1}{2!} + o(x^2) \quad ^3 \quad (2.11)$$

根据拉格朗日-狄利克雷定理: 若质点系在平衡位形上的势能具有极小值, 则该平衡位形是稳定的。这也是容易说明的, 假设 x_0 是极小值点, 则出现扰动 Δx 时, 势能都会增高所以我们对势能的一阶导数和二阶导数进行分析可以得到稳定性的判定。当一阶导数等于零时, $\Delta U(x) = U''(x_0)\Delta x^2 \frac{1}{2!} + o(x^2)$, 则二阶导数越大越稳定。当一阶导数较小但取不到零时, 二阶导数的影响可以忽略不计, 因此在势能一阶导数最接近于零的位置较稳定。

(2) 应用思路

根据问题二分析中加入的限制条件, 我们先将变量锁定在桌长 L , 求解出势能函数 $U(L)$ 。桌子整体的重力势能由两个方面组成, 桌腿的重力势能和桌面的重力势能。由于在第二问中, 桌面的高度和半径已经确定, 因此只需计算桌腿的重力势能。

³赵凯华, 罗蔚茵. 力学 (第二版). 第 116 页. 高等教育出版社

2.2 模型二的建立与求解

针对问题二这种仅知道部分参数寻找其余最优参数的情况，模型一已不能使用，因此我们建立模型二，引入静力学分析、势能判定条件和单一目标规划，最终寻找到最优的设计方案。

根据模型二分析中加入的限制条件，我们先将变量锁定在桌长 L ，求解出势能函数 $U(L)$ 。

桌子整体的重力势能由两个方面组成，桌腿的重力势能和桌面的重力势能。由于在第二问中，桌面的高度和半径已经确定，因此只需计算桌腿的重力势能。

a. 势能的计算

根据已知条件：桌高为 70 cm，桌面直径为 80 cm，待设定参数有：平板长度 l ，厚度为 h ，钢筋位置到桌面中心的距离占桌腿长度的比例 λ ，每条桌腿的宽度 d 。（每一侧桌腿的条数 $n = \frac{D}{d}$ ，且保证 n 取整数）

首先，表示出桌长为 L 时每一条桌腿的长度为 l_i ： $(i = 1, 2, \dots, n/2)$

$$l_i = \frac{L}{2} - \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{D}{2} - (i - 0.5)d\right)^2} \quad (2.12)$$

根据式（1.8）求解到最外侧桌腿最终旋转的角度 $\theta = \sin^{-1}((H - h)/l_1)$
利用几何关系，可以解出每一条桌腿已转动的角度 θ_i ：

$$\tan\theta_i = \frac{\lambda l_1 \sin\theta}{\lambda l_1 \cos\theta - (l_i - l_1)} \quad (2.13)$$

且每条桌腿的重心高度可以由下式（2.4）求出：

$$h_i = H - h - \frac{1}{2}l_i \sin\theta_i \quad (2.14)$$

则所有桌腿的重力势能之和为：

$$U(L) = \begin{cases} \sum_1^{n/2} \rho h d l_i g (H - h_i) & n \text{ 为偶数} \\ \sum_1^{(n-1)/2} \rho h d l_i g (H - h_i) + \rho h d l_{(n+1)/2} g \left(H - h_{(n+1)/2} \right) & n \text{ 为奇数} \end{cases} \quad (2.15)$$

对重力势能求一阶导后令其值等于零，并检验到其二阶导数大于零，得到势能的极小值点 L_0 ，为方便后续最优参数的筛选，我们取 L_{\min} 为最接近 L_0 的整数，将 L_{\min} 视为稳定性最高时对应的桌长。

下面我们分析 λ 和 n 对势能曲线极小值的影响。

当 λ 从 0.4~1 取 5 个离散值时，可以验证势能极小值对应的 L 的值基本不变，如下表所示：

λ	0.2	0.3	0.5	0.7	0.8
L/cm	158	158	159	158	158

当 n 从 20~30 取 4 个离散值时，可以验证势能极小值对应的 L 的值从 5 到 12 波动，如下表所示：

n	20	24	28	30
-----	----	----	----	----

L/cm	161	159	157	156
------	-----	-----	-----	-----

为了能够搜索到对应势能极小值的 L , 我们将 L 的搜索范围定为(155, 163).

b. 最优筛选

我们设定待搜寻的参数为 (D, L, n, h) , 优化的最终目标是使得桌子的总体积最小, 且根据问题二的分析以及对 2.21 对势能的讨论, 我们得到各个参数的约束条件, 把问题转化成为单目标的优化问题。

$$\text{Min} \quad V = D \cdot L \cdot h \quad (2.16)$$

$$\text{S. t.} \quad 3 \leq h \leq 5 \quad (2.17)$$

$$20 \leq n \leq 30 \quad (2.18)$$

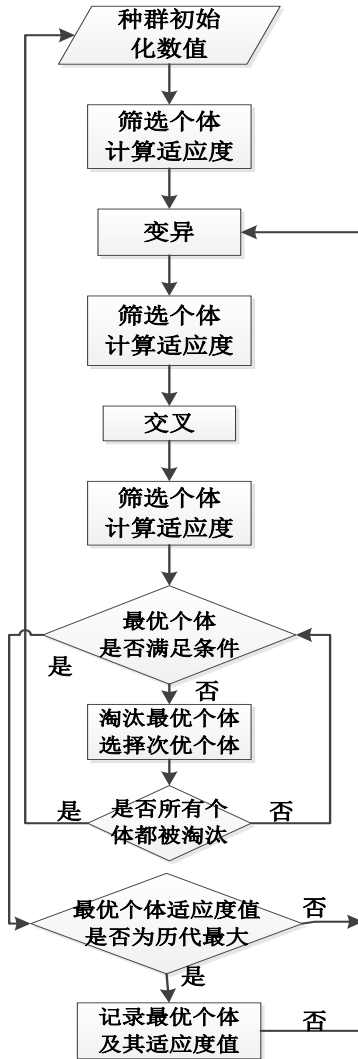
$$5 \leq L \leq 12 \quad (2.19)$$

$$0.4 \leq \lambda \leq 0.6 \quad (2.20)$$

$$q_{imax} < l_i \quad (2.21)$$

$$\text{势能检验条件} \quad (2.22)$$

$$\text{能否成功制作的限制} \quad (2.23)$$



对这一优化问题, 下面我们使用遗传算法进行寻优。

第一步: 种群初始化

根据上面给出的参数的搜索范围, 对 L, h, λ 在实数域中随机初始化, n 在整数域中随机初始化。进化代数 400, 种群个体数为 80。

第二步: 筛选个体和计算适应度

由上面列的实际限制及受力限制筛选个体, 对不符合的个体, 随机选取种群中的符合条件的个体, 进行替代。并计算适应度, 设 $f = \frac{1}{V/2D_0}$, 适应度 f 越大越优。

第三步: 变异操作

采用自适应的变异概率策略 (需注释), 变异概率 pm :

$$pm(f) = \begin{cases} \frac{pm_{max} - pm_{min}}{2A(f - f_{avg})} + pm_{min} & , f > f_{avg} \\ pm_{max} & , f \leq f_{avg} \end{cases} \quad (2.24)$$

$A=9.903438$ 。⁴ pm_{max} 、 pm_{min} 为事先设定的最大变

⁴ 邝航宇, 金晶, 苏勇. 自适应算法交叉变异算子的改进. 华南理工大学应用物理系, 2006

异概率与最小变异概率，在此处为 0.13、0.11。 f_{max} , f_{avg} 为种群中的最大适应度值和平均适应度值。 f 为待变异个体的适应度。

随机一个 (0, 1) 的参考值 pm_c 。若 $pm_c < pm$ 则进行变异，否则不对该个体做任何操作。变异的具体操作是对该待变异个体的每个基因，在限制的解空间内全重新随机取值。

第四步：交叉操作

自适应的交叉概率的产生策略与 c. 相同， pm_{max} 、 pm_{min} 为事先设定的最大交叉概率与最小交叉概率，此处为 0.7、0.3。

具体的交叉操作是采取“门当户对”的交叉策略进行单点交叉操作，对种群适应度排序，交叉适应度相邻的个体，随机选择 [1, 4] 的一个整数，进行对应位置的基因交换。

第五步：最优个体是否满足势能条件

由用势能曲线确定 L 变化范围的过程可以得出，较稳定的区间长度并不大，分别以 $n=28$ 、 $\lambda=0.5$ 、 $h=3\text{cm}$ 和 $n=20$ 、 $\lambda=0.5$ 、 $h=3\text{cm}$ 。做出示意图：

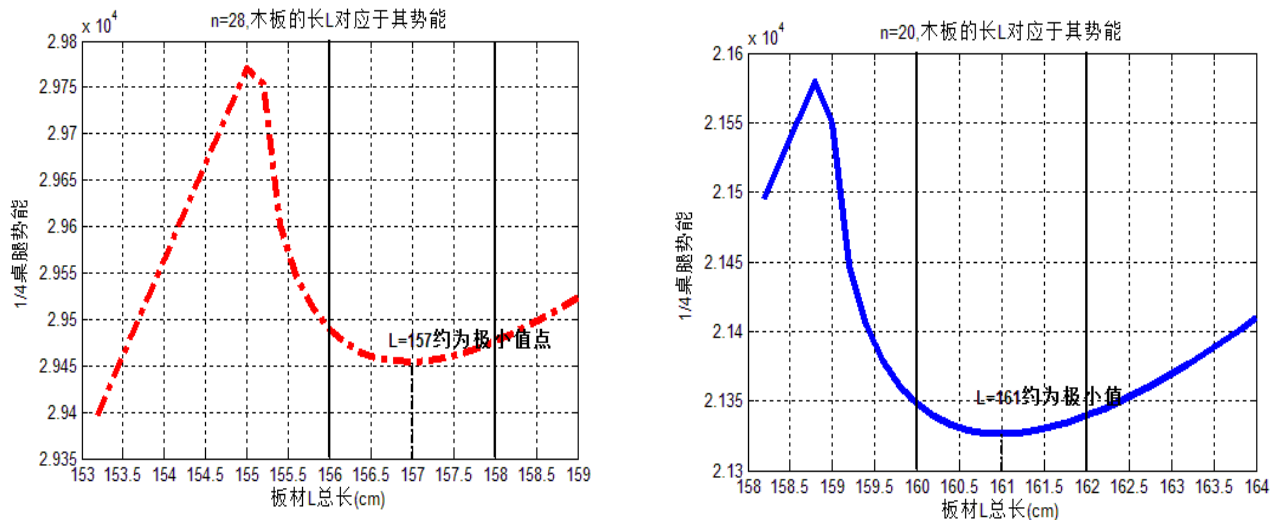


图 2.4 势能曲线图

极小值附近的点大约在 $\pm 1\text{cm}$ 时能保持一个最小值。虽然确定了一个 L 的搜索空间，但是由于对于不同的 λ 、 h 和 n ，使桌较稳定的 L 值在搜索空间中仍有较大波动，所以，每一代遗传算法结束后，我们主动的对最优个体进行如下势能检验：

最优个体确定的板材总长设为 L_{best} ，取五点 ($L_{best}-2$, $L_{best}-1$, L_{best} , $L_{best}+1$, $L_{best}+2$)。计算这五点在最优个体确定的 n ， λ ， h 情况下的势能大小，为 $U(L_{best}+i)$ ($i=-2, -1, 0, 1, 2$) 若 L_{best} 在极小值 $\pm 1\text{cm}$ 内，则该最优个体满足稳定性条件。检验以下 a, b, c 三个条件是否至少有一个条件成立：

- a. $U(L_{best}) < U(L_{best} + 1)$ 且 $U(L_{best}) < U(L_{best} - 1)$
- b. $U(L_{best} + 1) < U(L_{best})$ 且 $U(L_{best} + 1) < U(L_{best} + 2)$
- c. $U(L_{best} - 1) < U(L_{best})$ 且 $U(L_{best} - 1) < U(L_{best} - 2)$

若该最优值不满足稳定性条件，则将其筛去，用次优个体代替，继续该过程检验，直到有符合条件的最优个体出现。

若全部的个体都被筛去，则返回算法顶部，重新对种群在规定的解空间进行随机赋值。

c. 结论

运行一次遗传算法用时约 30s，运行 70 次，得到 70 个最优个体，总最优个体为：

V/(2D0)	L/cm	n	H/cm	λ
235.5019	156.9455	30	3.001066	0.449859

表 2.1 最优参数

在实际加工时实际取整为板材长 157cm，板材厚 3cm，钢筋位置到连接点的距离占桌腿占长度的比例为 0.45。

根据得到的最优参数，根据模型一中计算开槽长度的方法，分别计算出第 i （最优方案对应 $i = 1, 2, \dots, 30$ ）条桌腿的开槽长度。

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.00	6.67	11.92	16.39	20.27	23.64	26.58	29.12	31.29	33.11
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
34.60	35.78	36.66	37.24	37.53	37.53	37.24	36.66	35.78	34.60
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
33.11	31.29	29.12	26.58	23.64	20.27	16.39	11.92	6.67	0.00

表 2.2 桌腿开槽长度 (cm)

根据最优方案做出 $\theta = 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 50^\circ, 60^\circ, 70^\circ$ 的动态展开图，以及完全展开后的最终形状。分别如 (2.5)、(2.6) 和 (2.7) 所示。

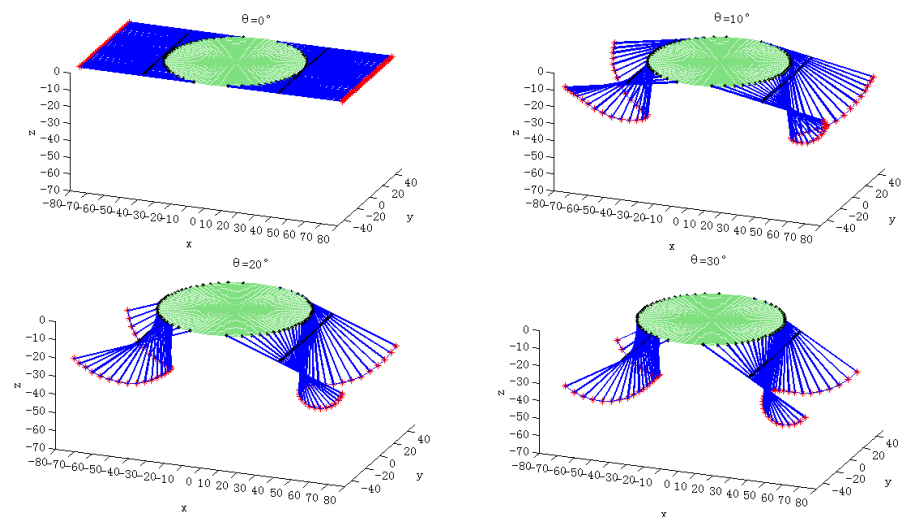


图 (2.5)

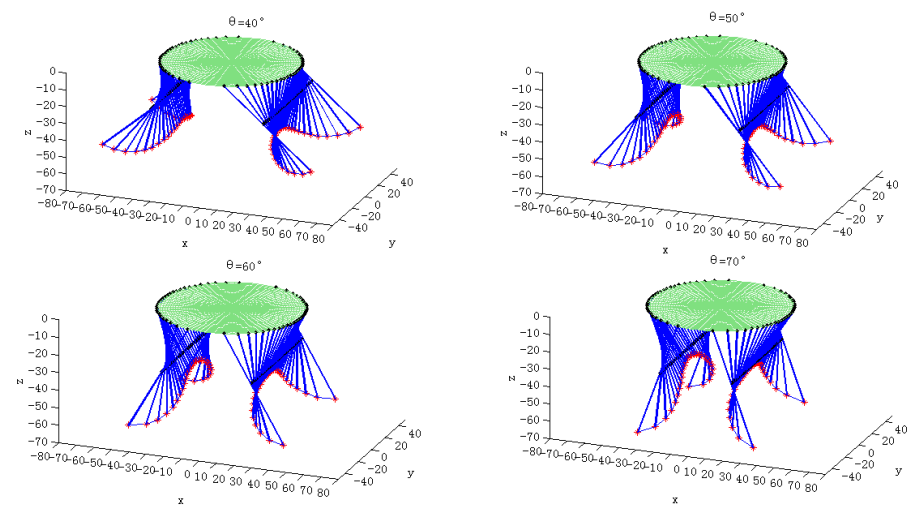


图 (2.6)

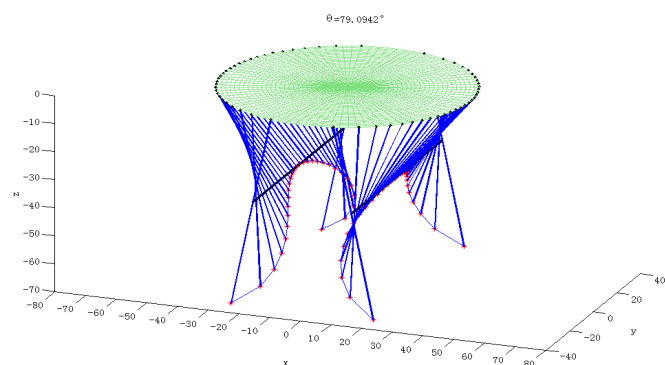
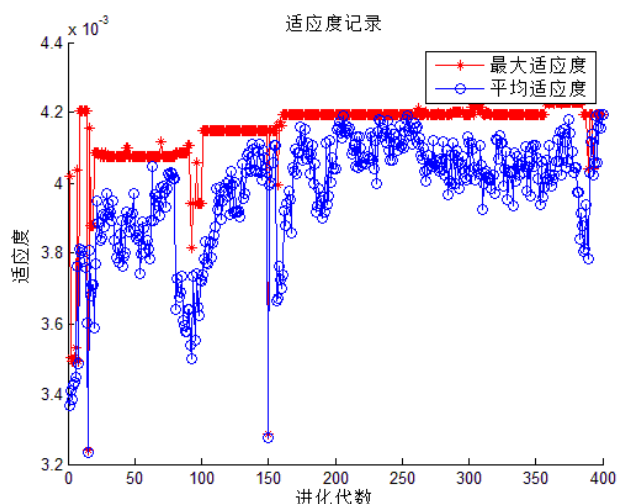


图 (2.7)

d. 结论的稳定性分析

在 70 组数据中，寻优目标 $V/(2D_0)$ 的极差为 3.45，最大值 238.95，最小值 235.50，方差 0.79，平均值 237.328，相对极差为 1.6%。寻优的稳定性很好。

附上 70 个个体中的适应度记录图：



图（2.8）适应度记录图

在此幅图中，最大适应度呈现阶梯上升，平均适应度在最大适应度周围附近震荡。另，图中有最大适应度和平均适应度突然下降得情况，是因为在最后的稳定条件中被淘汰了较多个体。但之后适应度也迅速上升了，且快速下降得情况很少。

综上，此处运用的遗传算法是很优的。

问题三

由于模型二针对的是桌面高度和直径已知、且形状固定的情况，而问题三还给出了桌脚边缘的形状，所以我们需要建立新的模型来求解。

一．模型三的建立

在模型三的情况中，由于每一侧桌面的形状都不一定对称，不能再如模型一中那样只考虑第一象限平板展开部分的桌面。

对于问题三的初步模型，我们有如下假设与分析：

1. 为了简化模型，我们假设钢筋都是平行于 y 轴且平行于桌面的。
2. 对题述“桌脚边缘线的大致形状”的理解：在实际中，考虑顾客难以描述桌脚边缘线函数，我们只要求顾客给出桌脚在 yz 平面的投影图像即可。
3. 在模型三中，我们还假设顾客设计的桌子都是左右对称的，不对称的情况我们会在模型三的改进中讨论。
4. 中点划分法的修改：

对于不规则的桌面，我们首先用一组平行线将桌面夹在中间，且两条平行线均与桌面边缘相切，由此定出所需平板的宽度 D 。然后采用中点划分法，使得每一条桌腿连接端的中点都在桌面的边缘线上。沿 y 轴负方向对桌腿编 $1, 2, \dots, n$ 。如果经过中点划分法后编号为 i 的桌腿比编号为 1 的桌腿长，如图（3.1），则将 1 号桌腿的划分方法做一些改变，使得划分后与 i 号桌腿一样长，如图（3.2）。

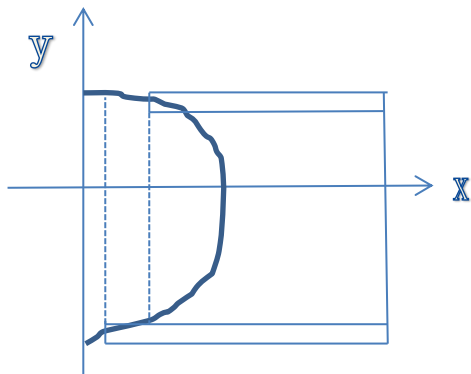


图 3.1

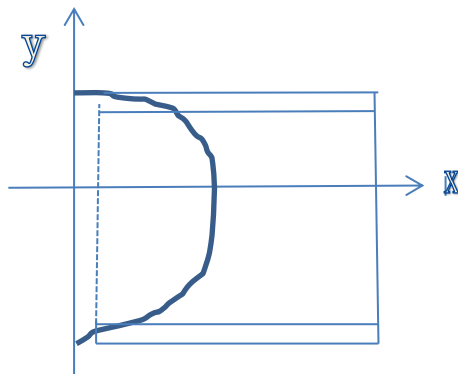
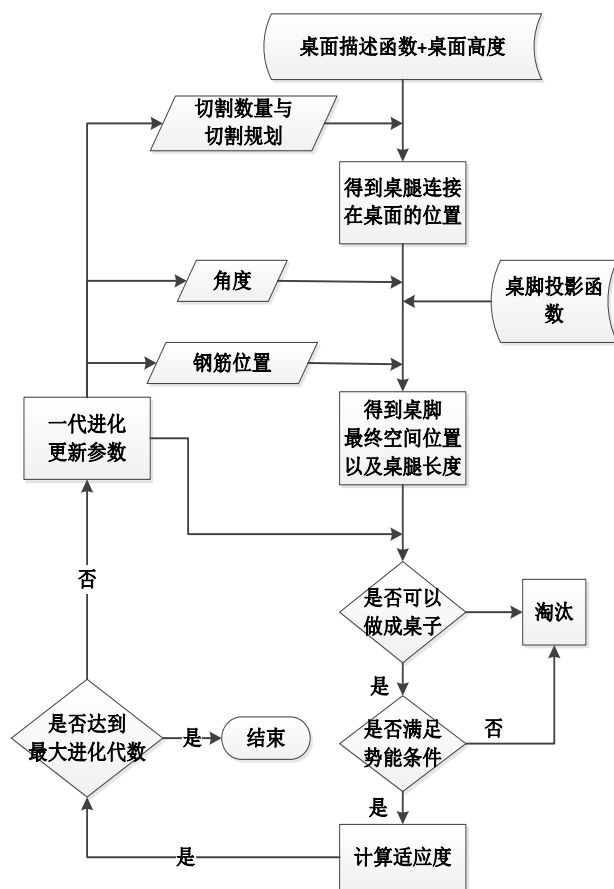


图 3.2

二. 模型三的求解



1. 软件原理:

如左边的流程图所示, 桌面描述函数 $g(x, y)$ 、桌面高度以及桌脚边缘线函数由顾客给出, 每一次筛选都会重新初始化切割数量与规划、角度、钢筋位置这四个参数。在得到桌脚空间位置和每条桌腿长度以后, 用 okornot 函数以及势能条件淘汰不符合要求的个体, 最终得到符合限制条件的最优个体。

2. 关键步骤:

首先, 根据模型三中修改后的中点划分法, 可以求解到桌腿在桌面的连接位置。

接着, 由最外侧桌腿上钢筋到连接点的距离 (由 λ 给定) 以及角度 θ , 可以得到钢筋在 xz 平面投影的位置 (x_1, z_1) 。结合第 i 条桌腿连在桌面上的位置坐标 $(x_{i0}, 0)$, 可以确定出第 i 条桌腿在 xz 平面的函数, 求到 θ_i 。对给定的投影图,

每一条桌腿连接桌面的位置已知, 其对应的 y 值可以确定, 则每一个 y 值有一个对应的长度 $1z$, 则第 i 条桌腿的长度可以求得。详解如下所述:

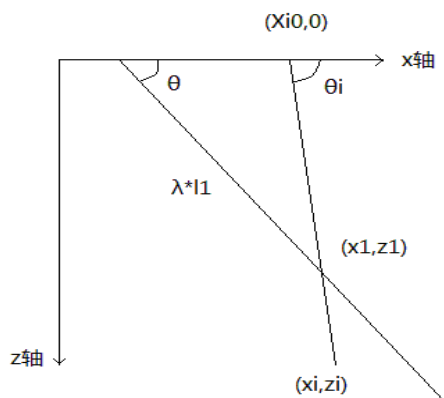


图 3.3

$$y_{i0} = \frac{D}{2} \cdot (i - 1)d \quad (3.1)$$

由 y_{i0} 代入 $g(x, y)$, 解出 x_{i0} :

$$\tan \theta_i = \frac{z_i}{x_i - x_{i0}} \quad (3.2)$$

$$l_i = \frac{lz_i}{\sin \theta_i} \quad (3.3)$$

定义:

- 1、钢筋距离: 指桌为平板状态时, 钢筋到 y 轴的距离
- 2、根部距离: 指每根桌腿连接处到 y 轴距离

3. 创意设计:

设计 A:

桌面是六边形的, 所有桌腿在 yz 平面的投影是三角形。

1) 参数设定: (单位: cm)

桌子高度	43									
木板尺寸	109*40*3 (108.9350*40*3.000027)									
钢筋距离	31.11									
左侧 1-10 的根部距离	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29
左 侧 1-10 活动长度	43.46	39.87	36.78	34.17	32.00	30.20	28.69	27.39	26.21	25.08
左 侧 1-10 开凿长度	0	1.30	2.80	4.50	6.40	8.52	10.85	13.38	16.10	18.99

2) 动态图展示:

图 3.4 为 $\theta = 0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 50^\circ, 60^\circ$ 的动态展开图。图 3.5 为最外侧桌腿展开到最大角度 $\theta = 66.9593^\circ$ 时桌子的示意图。

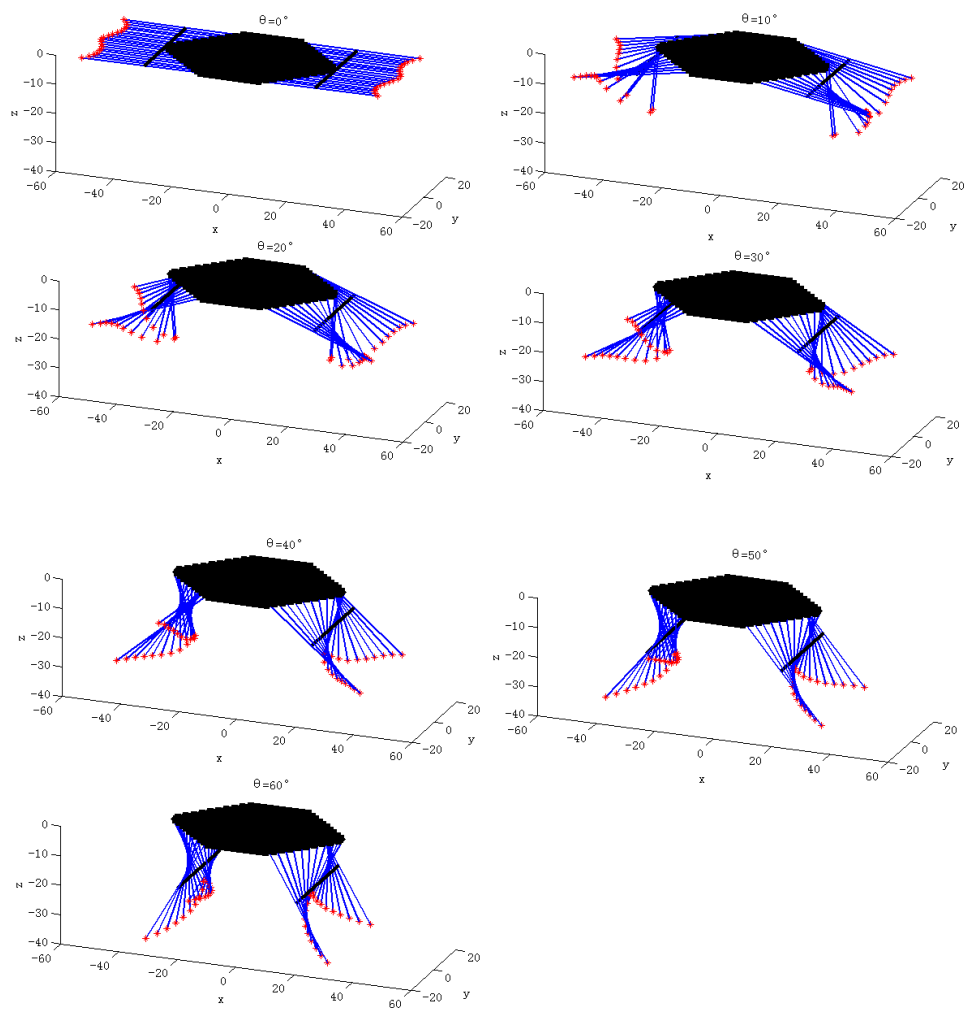


图 3.4

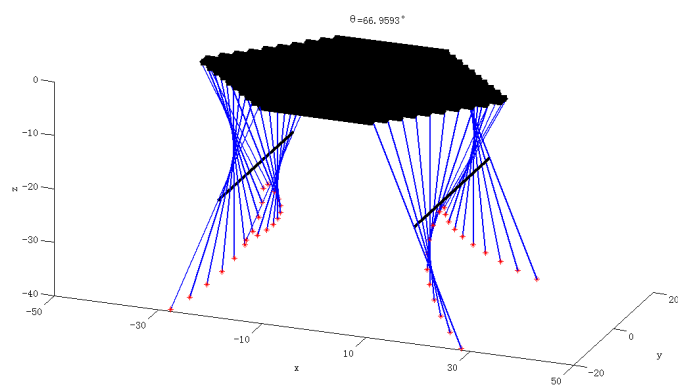


图 3.5

设计 B:

桌子是八边形的，所有桌腿在 yz 平面的投影为抛物线，可以方便多人围坐。

1) 参数设定（单位：cm）

木板尺寸 L	桌子高度	桌腿个数	左面钢筋位置（展开距轴线距离）
149.2795*30*3	60 厘米	30	38.0852

左面 1-30 的根部距离

11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	30	30	30	30	30
30	30	30	30	30	29	27	25	23	21	19	17	15	13	11

左面 1-30 可活动长度

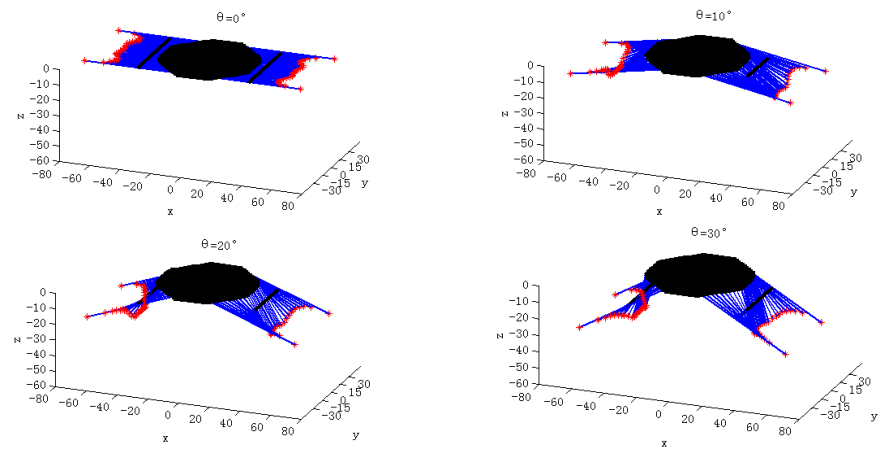
63.64	50.24	44.57	40.54	37.51	35.21	33.50	32.28	31.48	31.06
30.61	30.02	29.58	29.29	29.14	29.14	29.29	29.58	30.02	30.61
31.06	31.48	32.28	33.50	35.21	37.51	40.54	44.57	50.24	63.64

左面开凿长度 1 到 30

0.00	1.17	2.47	3.92	5.51	7.26	9.17	11.25	13.49	15.89
17.15	17.15	17.15	17.15	17.15	17.15	17.15	17.15	17.15	17.15
0.00	1.17	2.47	3.92	5.51	7.26	9.17	11.25	13.49	15.89

2) 动态图展示

图 3.6 为 $\theta = 0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 50^\circ, 60^\circ$ 的动态展开图。图 3.7 为最外侧桌腿展开到最大角度 $\theta = 63.5884^\circ$ 时桌子的示意图。



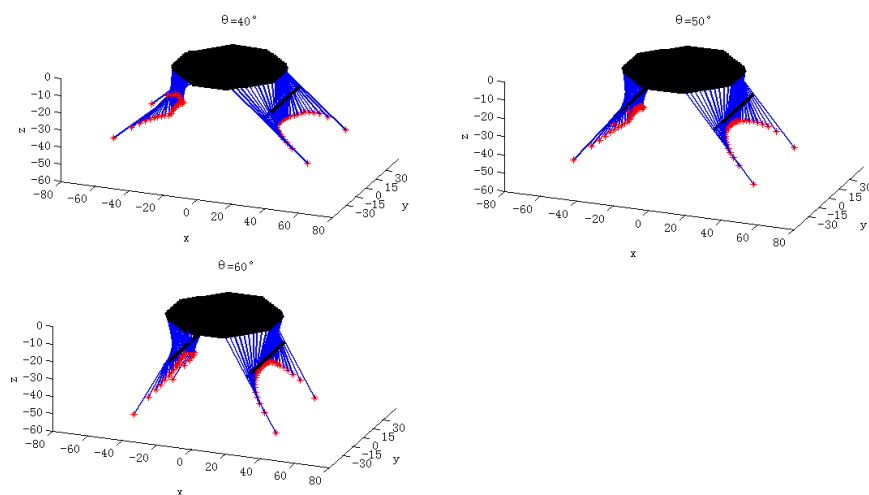


图 3.6

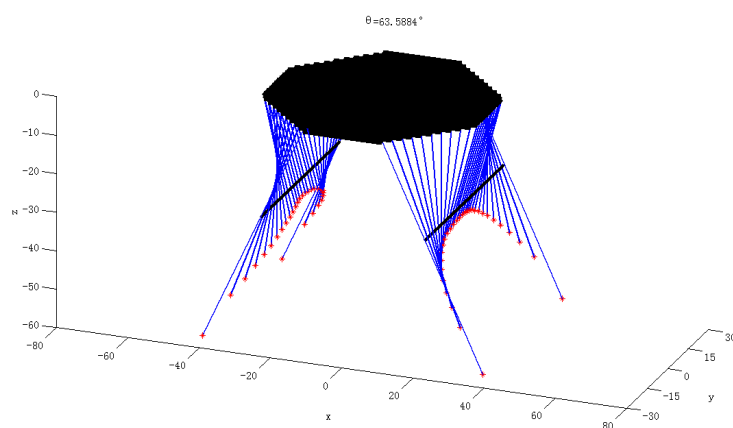


图 3.7

模型三改进:

1. 分析与评价:

模型三假设了桌子两边腿的 λ 和 偏角 θ 相同, 这在桌面左右两边对称时是很合理的。但是顾客设计的桌面不一定是左右对称的, 在桌面左右不对称时, 仍假设左右桌腿的参数相同不尽合理。出于这种考虑, 我们对模型三进行了改进: 将参数增加为 6 个, h , λ_1 , λ_2 , θ_1 , θ_2 , n , 这样可以对两边桌腿的参数进行单独搜寻, 得到更符合实际的情况。如同模型二, 使用势能函数寻找 θ_1 , θ_2 较优的可行域。对 (θ_1, θ_2) 为自变量, 势能为因变量, 进行网格搜索, 寻找势能极小值附近的区域, 即 (θ_1, θ_2) 的较优可行域。之后也如同模型二, 使用遗传算法进行寻优。

2. 参数设定:

木板尺寸	桌子高度	单侧桌腿个数	左面钢筋位置 (展开距轴线距离)	右面钢筋位置 (展开距轴线距离)
112.3486	50	20	32.0977	28.3838

左面 1-20 根部距离

6.25	10.54	13.23	15.20	16.70	17.86	18.74	19.36	19.77	19.98
19.98	19.77	19.36	18.74	17.86	16.70	15.20	13.23	10.54	6.25

右面面 1-20 根部距离

1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	19	17	15	13	11	9	7	5	3	1
---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	---	---	---	---

左面 1-20 可活动长度

52.89	48.68	46.08	44.01	42.14	40.34	38.52	36.65	34.73	32.74
32.74	34.73	36.65	38.52	40.34	42.14	44.01	46.08	48.68	52.89

右面 1-20 可活动长度

52.04	42.44	38.69	36.21	34.51	33.40	32.78	32.59	32.79	33.36
33.36	32.79	32.59	32.78	33.40	34.51	36.21	38.69	42.44	52.04

左面 1-20 开凿长度

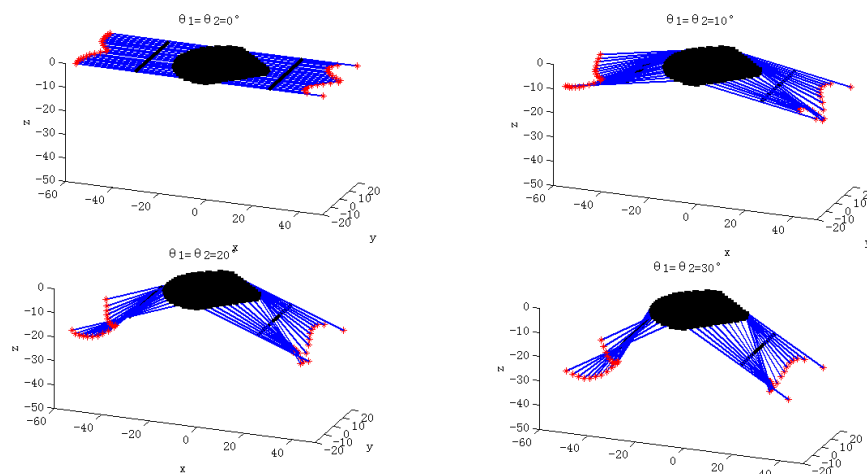
0.00	3.23	5.61	7.55	9.13	10.41	11.41	12.15	12.64	12.89
12.89	12.64	12.15	11.41	10.41	9.13	7.55	5.61	3.23	0.00

右面 1-20 开凿长度

0.00	1.51	3.17	4.97	6.93	9.03	11.29	13.69	16.23	18.90
18.90	16.23	13.69	11.29	9.03	6.93	4.97	3.17	1.51	0.00

3. 动态图展示:

图 3.8 为 $\theta = 0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 50^\circ, 60^\circ, 70^\circ$ 的动态展开图。图 3.9 为最外侧桌腿展开到最大角度 $\theta_1 = 70.9723^\circ, \theta_2 = 72.8849^\circ$ 时桌子的三个不同角度示意图。



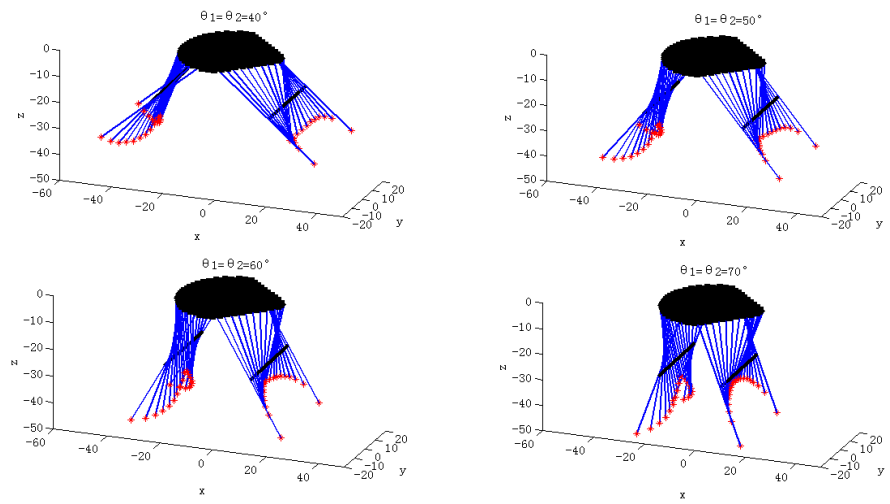
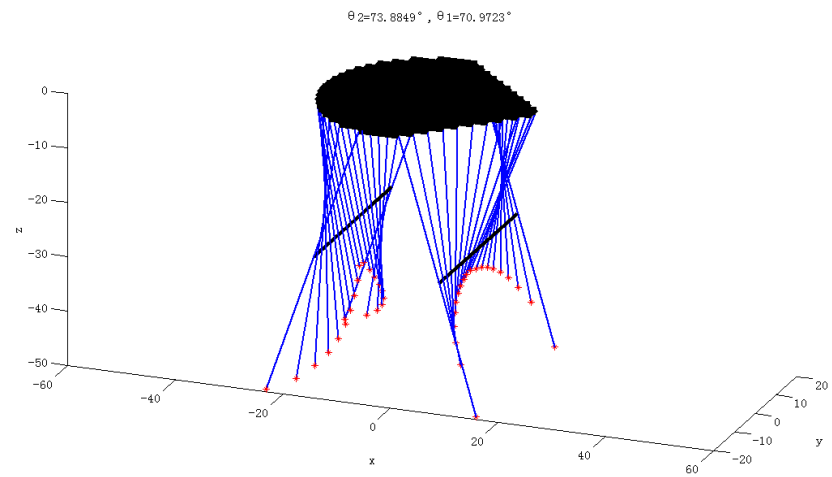
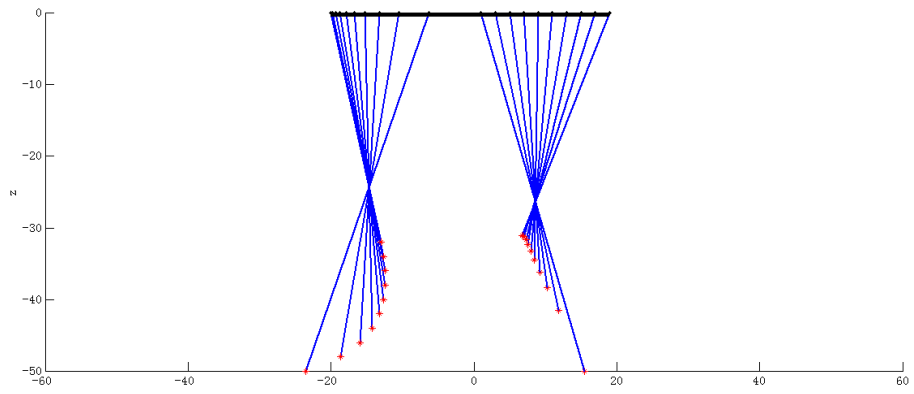


图 3.8



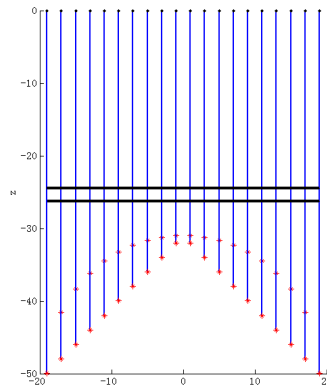


图 3.9

模型的评价与改进

一. 模型的评价:

模型一的评价:

对问题使用精准的数学模型进行了描述，简洁直观，解出了相应的加工参数。

模型二的评价:

模型二优点:

搜集了木桌的基本参数，考虑了设计的实际性；充分考虑了桌子的稳固性条件，从静力学和能量两方面的建立不等式，为参数寻优提供限制；其次，充分考虑了实际的制作情况，保证了制作的可行性；最后，使用了自适应交叉变异算子的遗传算法进行寻优，有高并发，自适应的特点，得到的结果较好，且结果分布稳定。

模型二的缺点:

对于加工参数，并没有在全部域里进行限制，而是进行了合理的区间限制，但这样可能丢失好的解；其次，使用了遗传算法，虽然有很多好的特性，但不能保证是最优的解。

模型三的评价

模型三的采用了两种方案进行分析。

首先，我们假设两边桌腿与桌面夹角相同，且两边的钢筋在桌腿上的位置(λ 值)相同。这种做法的优点在于，搜寻参数个数少（四个 h , λ , θ , n ），通过势能曲线事先确定 α 的搜索范围时的过程是一维的搜寻（即对于势能主要影响因素只有 α 一个）， α 的范围很快可以确定，遗传算法的速度也较快（63.59s）。缺点在于，当用户规定桌面的形状左右不对称时，桌子的最优加工参数，不一定在两边桌腿的情况（钢筋的位置和桌腿的倾角）相同取得。

紧接着，我们增加了搜寻参数的个数，将参数增加为 6 个， h , λ_1 , λ_2 , θ_1 , θ_2 , n 。这样可以将左右两边桌腿的参数独立开来搜寻，可以更好的在桌面左右不对称时，更接近实际最优。缺点在于，最开始通过势能曲线事先确定 θ_1 , θ_2 的搜索范围时的过程是二维的搜寻，且有额外的影响因子 λ_2 ，在进行网格搜索时，耗时较大（76.61s），但确定初值只在正式进行遗传算法之前进行一次；另由于需要搜寻的参数增加了，遗传算法耗时也较大（120s）。

参考文献

1. 邝航宇, 金晶, 苏勇. 自适应算法交叉变异算子的改进. 华南理工大学应用物理系, 2006
2. 李惠生. 判别结构平衡状态稳定性的能量准则
3. 赵凯华, 罗蔚茵. 力学 (第二版). 高等教育出版社

附录

```
B1one:
sd=1.25;R=25;dd=2.5;
dist=zeros(20,1);%dist 是每个木条转轴处距离中轴线的距离
z1=zeros(20,1);
for i=1:10
    z1(i)=sd;
    dist(10-i+1)=sqrt(R^2-sd^2);
    sd=sd+dd;
end
for i=11:20
    z1(i)=z1(i-1)+dd;
end;
z2=z1;
z1=z1-25;z2=z2-25;
%60-dist    %是每根木条的长度
xx=zeros(20,1);%xx 是距离第一条转轴长度即各个木条的横坐标
xx=dist;
changdu=60-dist;
qujian=zeros(7,10);
x1=zeros(20,1);y1=zeros(20,1);
x1=dist;
l=0.5*(60-dist(1));
for i=1:7;
    figure
    du=90-16.6709;
    thitaa=i*10;
    thita=thitaa/180*pi;
    x=l*cos(thita)+dist(1);
    y=l*sin(thita);
    x2=zeros(20,1);
    y2=zeros(20,1);
    for j=1:10;
        qujian(i,j)=sqrt((x-xx(j))^2+y^2);
        y2(j)=changdu(j)/qujian(i,j)*y;
        x2(j)=xx(j)-(changdu(j)/qujian(i,j)*(xx(j)-x));
    end;
    for ii=11:20
        x1(ii)=x1(20-ii+1);
        x2(ii)=x2(20-ii+1);
        y1(ii)=y1(20-ii+1);
        y2(ii)=y2(20-ii+1);
    end;
end;
```

```

set(gca,'XTick',[-60:20:60]);
set(gca,'YTick',[-30:20:30]);
set(gca,'ZTick',[-50:10:0]);
xlim([-60,60]);
ylim([-30,30]);
zlim([-50,0]);
for j=1:20
    hold on
    line([x1(j);x2(j)], [z1(j),z2(j)], [-y1(j);-y2(j)], 'LineWidth',2);
    plot3(x1(j),z1(j),-y1(j), 'k');
    plot3(x2(j),z2(j),-y2(j), '*r');
end;
for j=1:20
    line([-x1(j);-x2(j)], [z1(j),z2(j)], [-y1(j);-y2(j)], 'LineWidth',2);
    plot3(-x1(j),z1(j),-y1(j), 'k');
    plot3(-x2(j),z2(j),-y2(j), '*r');
end;
line([x;x], [z1(1);-z1(1)], [-y;-y], 'LineWidth',3, 'color', 'k');
line([-x;-x], [z1(1);-z1(1)], [-y;-y], 'LineWidth',3, 'color', 'k');
plot3(x2,z2,-y2);
plot3(-x2,z1,-y2);
R = 25; r = 0;
theta=linspace(0,2*pi,90);
ph=linspace(r,R,30);
[t,p]=meshgrid(theta,ph);
r=t*0;
[xe,ye,ze]=pol2cart(t,p,r);
mesh(xe,ye,ze);
axis equal;
xlabel('x');
ylabel('y');
zlabel('z');
view(21,20);
title(['\theta=',num2str(i*10),'°']);
hold off
end;
qujian(i,:)+dist(1:10)'-(dist(1)+l)
B1two:
clear;clc;
x0=15.2928;
z0=-25;
for l=0:0.1:25
    hold on
    D=sqrt((x0-l)^2+z0^2);

```

```

x=l-(60-l)/D*(l-x0);
y=sqrt(25^2-l^2);
z=(60-l)/D*z0;
plot3(x,y,z);
end;
for l=25:-0.1:0
D=sqrt((x0-l)^2+z0^2);
x=l-(60-l)/D*(l-x0);
y=sqrt(25^2-l^2);
z=(60-l)/D*z0;
plot3(x,-y,z);
end;
xlabel('x');
ylabel('y');
zlabel('z');
view(61,20);
B2draw_auto:
clear;
DD=80;R=DD/2;geshu=30;H=70;namda=0.449859;houdu=3.001066;
dd=DD/geshu;sd=dd/2;bianchang=156.9455;
H=H-houdu;
isjishu=1;
if mod(geshu,2)==1
    geshu=geshu+1;
    isjishu=0;
end;
dist=zeros(geshu/2,1);%dist 是每个木条转轴处距离中轴线的距离
z1=zeros(geshu,1);
for i=1:geshu/2
    z1(i)=sd;
    if isjishu==0
        dist(geshu/2-i+1)=sqrt(R^2-(sd-sd1)^2);
    else
        dist(geshu/2-i+1)=sqrt(R^2-sd^2);
    end;
    sd=sd+dd;
end
changdu=bianchang/2-dist; %是每根木条的长度
xx=zeros(geshu/2,1);%xx 是距离第一条转轴长度即各个木条的横坐标
xx=dist;
if isjishu==0
    z1(geshu/2+1)=z1(geshu/2);
else
    z1(geshu/2+1)=z1(geshu/2)+dd;
end

```

```

end;
for i=geshu/2+2:geshu
    z1(i)=z1(i-1)+dd;
end;
z2=z1;
z1=z1-R;z2=z2-R;

l=namda*(bianchang/2-dist(1));
x1=zeros(geshu,1);y1=zeros(geshu,1);
x1=dist;
thita=asin(H/changdu(1));
x=l*cos(thita)+dist(1);
y=l*sin(thita);
x2=zeros(geshu,1);
y2=zeros(geshu,1);
flag=1;
if l+dist(1)<R
    flag=0
end;
for j=1:geshu/2;
    qujian(i,j)=sqrt((x-xx(j))^2+y^2);
    if qujian(i,j)>changdu(j)
        flag=2;
    end;
    y2(j)=changdu(j)/qujian(i,j)*y;
    x2(j)=xx(j)-(changdu(j)/qujian(i,j)*(xx(j)-x));
    if x2(j)<0
        flag=0;
    end;
end
end

for j=1:geshu/2
    qujian(i,j)+dist(j)-(dist(1)+l);
end;
for ii=geshu/2+1:geshu
    x1(ii)=x1(geshu-ii+1);
    x2(ii)=x2(geshu-ii+1);
    y1(ii)=y1(geshu-ii+1);
    y2(ii)=y2(geshu-ii+1);
end;
figure
set(gca,'XTick',[-80:10:80]);
set(gca,'YTick',[-40:20:40]);
set(gca,'ZTick',[-70:10:0]);

```



```

xlim([-80,80]);
ylim([-40,40]);
zlim([-70,0]);
for j=1:geshu
    hold on
    line([x1(j);x2(j)], [z1(j),z2(j)], [-y1(j);-y2(j)], 'LineWidth',2);
    plot3(x1(j),z1(j),-y1(j), 'k');
    plot3(x2(j),z2(j),-y2(j), '*r');
end;
for j=1:geshu
    line([-x1(j);-x2(j)], [z1(j),z2(j)], [-y1(j);-y2(j)], 'LineWidth',2);
    plot3(-x1(j),z1(j),-y1(j), 'k');
    plot3(-x2(j),z2(j),-y2(j), '*r');
end;
line([x;x], [z1(1);-z1(1)], [-y;-y], 'LineWidth',3, 'color', 'k');
line([-x;-x], [z1(1);-z1(1)], [-y;-y], 'LineWidth',3, 'color', 'k');
plot3(x2,z2,-y2);
plot3(-x2,z1,-y2);
r = 0;
theta=linspace(0,2*pi,90);
ph=linspace(r,R,30);
[t,p]=meshgrid(theta,ph);
r=t*0;
[xe,ye,ze]=pol2cart(t,p,r);
mesh(xe,ye,ze);
axis equal;
xlabel('x');
ylabel('y');
zlabel('z');
view(21,20);
st='不可以';
if flag==1
    st='可以';
end;
view(21,20);

title(['θ=' num2str(theta/pi*180), '°']);
hold off
%%

l=namda*(bianchang/2-dist(1));
x1=zeros(geshu,1);y1=zeros(geshu,1);
x1=dist;
for i=1:8

```

```

thita=(i-1)*10/180*pi;
x=l*cos(thita)+dist(1);
y=l*sin(thita);
x2=zeros(geshu,1);
y2=zeros(geshu,1);
flag=1;
if l+dist(1)<R
    flag=0;
end;
for j=1:geshu/2;
    qujian(i,j)=sqrt((x-xx(j))^2+y^2);
    if qujian(i,j)>changdu(j)
        flag=2;
    end;
    y2(j)=changdu(j)/qujian(i,j)*y;
    x2(j)=xx(j)-(changdu(j)/qujian(i,j)*(xx(j)-x));
    if x2(j)<0
        flag=0;
    end;
end
for ii=geshu/2+1:geshu
    x1(ii)=x1(geshu-ii+1);
    x2(ii)=x2(geshu-ii+1);
    y1(ii)=y1(geshu-ii+1);
    y2(ii)=y2(geshu-ii+1);
end;
%
%subplot(2,2,i-4);
figure

set(gca,'XTick',[-80:10:80]);
set(gca,'YTick',[-40:20:40]);
set(gca,'ZTick',[-70:10:0]);
xlim([-80,80]);
ylim([-40,40]);
zlim([-70,0]);
for j=1:geshu
    hold on
    line([x1(j);x2(j)],[z1(j),z2(j)],[-y1(j);-y2(j)],'LineWidth',2);
    plot3(x1(j),z1(j),-y1(j),'k');
    plot3(x2(j),z2(j),-y2(j),'*r');
end;
for j=1:geshu

```

```

line([-x1(j);-x2(j)], [z1(j),z2(j)], [-y1(j);-y2(j)], 'LineWidth',2);
plot3(-x1(j),z1(j),-y1(j), 'k');
plot3(-x2(j),z2(j),-y2(j), '*r');
end;
line([x;x], [z1(1);-z1(1)], [-y;-y], 'LineWidth',3, 'color', 'k');
line([-x;-x], [z1(1);-z1(1)], [-y;-y], 'LineWidth',3, 'color', 'k');
plot3(x2,z2,-y2);
plot3(-x2,z1,-y2);

```

```

r = 0;
theta=linspace(0,2*pi,90);
ph=linspace(r,R,30);
[t,p]=meshgrid(theta,ph);
r=t*0;
[xe,ye,ze]=pol2cart(t,p,r);
mesh(xe,ye,ze);
axis equal;
xlabel('x');
ylabel('y');
zlabel('z');
view(21,20);
st='不可以';
if flag==1
    st='可以';
end;
title([' $\theta=$ ', num2str((i-1)*10), '°']);

```

```

hold off
end;

```

B3okornot:

```

function [flag,m,changduleft,changduright,distleft,distright,l1,r1] =
B3okornot( DD,H,geshu,houdu,namda,namda2,thita,thita2 )

```

```

R=DD/2;H=H-houdu;
dd=DD/geshu;sd=dd/2;sd1=sd;
isjishu=1;
if mod(geshu,2)==1
    geshu=geshu+1;
    isjishu=0;
end;

```

```

sd=dd/2;
x1left=zeros(geshu,1);y1left=zeros(geshu,1);z1left=zeros(geshu,1);changleft=zeros(geshu,1);

```

```

x2left=zeros(geshu,1);y2left=zeros(geshu,1);z2left=zeros(geshu,1);distleft=zeros(geshu,1);
x1right=zeros(geshu,1);y1right=zeros(geshu,1);z1right=zeros(geshu,1);changduright=zeros(geshu,
1);
x2right=zeros(geshu,1);y2right=zeros(geshu,1);z2right=zeros(geshu,1);distrightright=zeros(geshu,1);

dist=zeros(geshu,1);%dist 是每个木条转轴处距离中轴线的距离
y1=zeros(geshu,1);
h1=zeros(geshu,1);
for i=1:geshu/2
    y1(i)=sd;
    sd=sd+dd;
end
if isjishu==0
    y1(geshu/2+1)=y1(geshu/2);
else
    y1(geshu/2+1)=y1(geshu/2)+dd;
end;
for i=geshu/2+2:geshu
    y1(i)=y1(i-1)+dd;
end;
y1=y1-R;
y2=y1;
for i=1:geshu
    dist(i)=fx(y1(i),DD);
end;
changdu=zeros(geshu,1);
changdu(1)=H/sin(thita);
for i=1:geshu
    h1(i)=fx2(y1(i),y1(1)); %fx2 以接触地面为中心建标 不要建错了
end
l=namda*changdu(1);
qj=zeros(geshu,1);ta=zeros(geshu,1);
for i=2:geshu
    a=dist(i)-dist(1);
    qj(i)=sqrt(a^2+l^2-2*cos(thita)*a*l);
    ttt=(a^2+qj(i)^2-l^2)/(2*a*qj(i));
    ta(i)=acos(ttt);
    if abs(a)<=0.000001
        ta(i)=thita;
    end;
end;
ta(1)=pi-thita;
for i=1:geshu
    changdu(i)=H/sin(ta(i))*(H-h1(i))/H; %s 指的是活动长度

```

```

end;
x1=zeros(geshu,1);z1=zeros(geshu,1);
x1=dist;xx=dist;
thitaa=thita;
x=l*cos(thitaa)+dist(1);
z=l*sin(thitaa);
x2=zeros(geshu,1);
z2=zeros(geshu,1);
flag1=1;
for k=2:geshu-1;
if l+dist(1)<dist(k)
    flag1=2;
end;
if l+dist(1)>dist(k)+changdu(k)
    flag1=0;
end;
end;
for j=1:geshu;
    qujian(i,j)=sqrt((x-xx(j))^2+z^2);
    if qujian(i,j)>changdu(j)+0.001
        flag1=3;
    end;
    z2(j)=changdu(j)/qujian(i,j)*z;
    x2(j)=xx(j)-(changdu(j)/qujian(i,j)*(xx(j)-x));
end

x1right=x1;y1right=y1;z1right=-z1;changduright=changdu;
x2right=x2;y2right=y2;z2right=-z2;distright=dist;lright=l;
%% 左面
sd=dd/2;%注意这个变化了
dist=zeros(geshu,1);%dist 是每个木条转轴处距离中轴线的距离
y1=zeros(geshu,1);
h1=zeros(geshu,1);
for i=1:geshu/2
    y1(i)=sd;
    sd=sd+dd;
end
if isjishu==0
    y1(geshu/2+1)=y1(geshu/2);
else
    y1(geshu/2+1)=y1(geshu/2)+dd;
end;
for i=geshu/2+2:geshu
    y1(i)=y1(i-1)+dd;

```

```

end;
y1=y1-R;
y2=y1;

for i=1:geshu
    dist(i)=fxx(y1(i),DD);
end;

changdu=zeros(geshu,1);
changdu(1)=H/sin(thita2);
sd=dd;
for i=1:geshu
    h1(i)=fx22(y1(i),y1(1)); %fx2 以接触地面为中心建标 不要建错了
end
l=namda2*changdu(1);
qj=zeros(geshu,1);ta=zeros(geshu,1);
for i=2:geshu
    a=dist(i)-dist(1);
    qj(i)=sqrt(a^2+l^2-2*cos(thita2)*a*l);
    ttt=(a^2+qj(i)^2-l^2)/(2*a*qj(i));
    ta(i)=acos(ttt);
    if abs(a)<=0.000001
        ta(i)=thita2;
    end;
end;
ta(1)=pi-thita2;
for i=1:geshu
    changdu(i)=H/sin(ta(i))*(H-h1(i))/H;%s 指的是活动长度
end;
x1=zeros(geshu,1);z1=zeros(geshu,1);
x1=dist;xx=dist;
thitaa=thita2;
x=l*cos(thitaa)+dist(1);
z=l*sin(thitaa);
x2=zeros(geshu,1);
z2=zeros(geshu,1);
flag2=1;

for k=2:geshu-1;
    if l+dist(1)<dist(k)
        flag2=2;
    end;
    if l+dist(1)>dist(k)+changdu(k)
        flag2=0;
    end;
end;

```

```

        end;
    end;
    for j=1:geshu;
        qujian(i,j)=sqrt((x-xx(j))^2+z^2);
        if qujian(i,j)>changdu(j)+0.001
            flag2=3;
        end;
        z2(j)=changdu(j)/qujian(i,j)*z;
        x2(j)=xx(j)-(changdu(j)/qujian(i,j)*(xx(j)-x));
    end

    x1=-x1;x2=-x2;
    x=-x;

    x1left=x1;y1left=y1;z1left=-z1;changduleft=changdu;
    x2left=x2;y2left=y2;z2left=-z2;distleft=dist;lright=l;

    flag=1;
    if flag1~=1 || flag2~=1
        flag=0;
    end;

    m=0;
    for w=1:geshu
        m=m+changduleft(w)*dd*(H+0.5*z2left(w));
        m=m+changduright(w)*dd*(H+0.5*z2right(w));
    end;
    %if isjishu==0
        % m=m-changduleft(geshu/2)*dd*(H+0.5*z2left(geshu/2));
        % m=m-changduright(geshu/2)*dd*(H+0.5*z2right(geshu/2));
    % end;

    l1=max(changduleft+distleft);
    r1=max(changduright+distright);

    end

    B3one:
    clear;
    DD=40;
    R=DD/2;geshu=20;H=53;houdu=3.002698;H=H-houdu;

```

```

dd=DD/geshu;sd=dd/2;sd1=sd;
namda=0.526183;namda2=0.488829;
thita=1.289534;thita2=1.2387;

isjishu=1;
if mod(geshu,2)==1
    geshu=geshu+1;
    isjishu=0;
end;

figure

sd=dd/2;
x1left=zeros(geshu,1);y1left=zeros(geshu,1);z1left=zeros(geshu,1);changleft=zeros(geshu,1);
x2left=zeros(geshu,1);y2left=zeros(geshu,1);z2left=zeros(geshu,1);distleft=zeros(geshu,1);
x1right=zeros(geshu,1);y1right=zeros(geshu,1);z1right=zeros(geshu,1);changduright=zeros(geshu,
1);
x2right=zeros(geshu,1);y2right=zeros(geshu,1);z2right=zeros(geshu,1);distrightright=zeros(geshu,1);

dist=zeros(geshu,1);%dist 是每个木条转轴处距离中轴线的距离
y1=zeros(geshu,1);
h1=zeros(geshu,1);
for i=1:geshu/2
    y1(i)=sd;
    sd=sd+dd;
end
if isjishu==0
    y1(geshu/2+1)=y1(geshu/2);
else
    y1(geshu/2+1)=y1(geshu/2)+dd;
end;
for i=geshu/2+2:geshu
    y1(i)=y1(i-1)+dd;
end;
y1=y1-R;
y2=y1;

for i=1:geshu

dist(i)=fx(y1(i),DD);
end;

changdu=zeros(geshu,1);
changdu(1)=H/sin(thita);

```



```

for i=1:geshu
    h1(i)=fx2(y1(i),y1(1)); %fx2 以接触地面为中心建标 不要建错了
end
l=namda*changdu(1);
qj=zeros(geshu,1);ta=zeros(geshu,1);
for i=2:geshu
    a=dist(i)-dist(1);
    qj(i)=sqrt(a^2+l^2-2*cos(thita)*a*l);
    ttt=(a^2+qj(i)^2-l^2)/(2*a*qj(i));
    ta(i)=acos(ttt);
    if abs(a)<=0.000001
        ta(i)=thita;
    end;
end;
ta(1)=pi-thita;
for i=1:geshu
    changdu(i)=H/sin(ta(i))*(H-h1(i))/H;
    changdu(i)%s 指的是活动长度
end;
x1=zeros(geshu,1);z1=zeros(geshu,1);
x1=dist;xx=dist;
thitaa=thita;
x=l*cos(thitaa)+dist(1);
z=l*sin(thitaa);
x2=zeros(geshu,1);
z2=zeros(geshu,1);
flag1=1;
for k=2:geshu/2;
    if l+dist(1)<dist(k)
        flag1=2;
    end;
    if l+dist(1)>dist(k)+changdu(k)
        flag1=0;
    end;
end;
for j=1:geshu;
    qujian(j)=sqrt((x-xx(j))^2+z^2);
    if qujian(j)>changdu(j)+0.001
        flag1=3;
    end;
    z2(j)=changdu(j)/qujian(j)*z;
    x2(j)=xx(j)-(changdu(j)/qujian(j)*(xx(j)-x));
end

```

```

hold on

for j=1:geshu
line([x1(j);x2(j)],[y1(j),y2(j)],[-z1(j);-z2(j)],'LineWidth',2);
plot3(x1(j),y1(j),-z1(j),'k');
plot3(x2(j),y2(j),-z2(j),'*r');
end;

line([x;x],[y1(1);y1(geshu)],[-z;-z],'LineWidth',3,'color','k');

x1right=x1;y1right=y1;z1right=-z1;changduright=changdu;
x2right=x2;y2right=y2;z2right=-z2;distright=dist;lright=l;
kaizaoright=zeros(geshu,0);
kaizaoright=qujian'+dist-(dist(1)+l)

%% 左面
sd=dd/2;
dist=zeros(geshu,1);%dist 是每个木条转轴处距离中轴线的距离
y1=zeros(geshu,1);
h1=zeros(geshu,1);
for i=1:geshu/2
    y1(i)=sd;
    sd=sd+dd;
end
if isjishu==0
    y1(geshu/2+1)=y1(geshu/2);
else
    y1(geshu/2+1)=y1(geshu/2)+dd;
end;
for i=geshu/2+2:geshu
    y1(i)=y1(i-1)+dd;
end;
y1=y1-R;
y2=y1;

for i=1:geshu

dist(i)=fxx(y1(i),DD);
end;

changdu=zeros(geshu,1);
changdu(1)=H/sin(thita2);
sd=dd;
for i=1:geshu

```

```

        h1(i)=fx22(y1(i),y1(1)); %fx2 以接触地面为中心建标 不要建错了
    end
    l=namda2*changdu(1);
    qj=zeros(geshu,1);ta=zeros(geshu,1);
    for i=2:geshu
        a=dist(i)-dist(1);
        qj(i)=sqrt(a^2+l^2-2*cos(thita2)*a*l);
        ttt=(a^2+qj(i)^2-l^2)/(2*a*qj(i));
        ta(i)=acos(ttt);
        if abs(a)<=0.000001
            ta(i)=thita2;
        end;
    end;
    ta(1)=pi-thita2;
    for i=1:geshu
        changdu(i)=H/sin(ta(i))*(H-h1(i))/H;%s 指的是活动长度
    end;
    x1=zeros(geshu,1);z1=zeros(geshu,1);
    x1=dist;xx=dist;
    thitaa=thita2;
    x=l*cos(thitaa)+dist(1);
    z=l*sin(thitaa);
    x2=zeros(geshu,1);
    z2=zeros(geshu,1);
    flag2=1;

    for k=2:geshu/2;
        if l+dist(1)<dist(k)
            flag2=2;
        end;
        if l+dist(1)>dist(k)+changdu(k)
            flag2=0;
        end;
    end;
    for j=1:geshu;
        qujian(j)=sqrt((x-xx(j))^2+z^2);
        if qujian(j)>changdu(j)+0.001
            flag2=3;
        end;
        z2(j)=changdu(j)/qujian(j)*z;
        x2(j)=xx(j)-(changdu(j)/qujian(j)*(xx(j)-x));
    end
end

```

```

x1=-x1;x2=-x2;
x=-x;

for j=1:geshu
line([x1(j);x2(j)],[y1(j),y2(j)],[-z1(j);-z2(j)],'LineWidth',2);
plot3(x1(j),y1(j),-z1(j),'k');
plot3(x2(j),y2(j),-z2(j),'*r');
end;
line([x;x],[y1(1);y1(geshu)],[-z;-z],'LineWidth',3,'color','k');

x1left=x1;y1left=y1;z1left=-z1;changduleft=changdu;
x2left=x2;y2left=y2;z2left=-z2;distleft=dist;lright=l;
kaizaoleft=zeros(geshu,0);
kaizaoleft=qujian'+dist-(dist(1)+l)
for p=1:geshu
    q=p;
    line([x1left(p);x1right(q)],[y1left(p);y1right(q)],[0;0],'LineWidth',8,'color','k');
end;

ul=ceil(max(changduleft+distleft)/10)*10;
ur=ceil(max(changduright+distright)/10)*10;
set(gca,'XTick',-ul:20:ur);
set(gca,'YTick',-R:10:R);
set(gca,'ZTick',-ceil(H/10)*10:10:0);
xlim([-ul,ur]);
ylim([-R,R]);
zlim([-ceil(H/10)*10,0]);
axis equal;
xlabel('x');
zlabel('z');
ylabel('y');
view(21,20);
st='可以';
if flag1~=1 || flag2~=1
    st='不可以';
end;
title([' $\theta_2$ =' num2str(thita/pi*180) '°',', $\theta_1$ =' num2str(thita2/pi*180) '°']);
hold off
m=0;
for w=1:geshu
    m=m+changduleft(w)*dd*(H+0.5*z2left(w));

```

```

        m=m+changduright(w)*dd*(H+0.5*z2right(w));
end;
if isjishu==0
        m=m-changduleft(geshu/2)*dd*(H+0.5*z2left(geshu/2));
        m=m-changduright(geshu/2)*dd*(H+0.5*z2right(geshu/2));
end;
l1=max(changduleft+distleft);
r1=max(changduright+distright);

B3two:
clear;
%由用户给出 注意还没有减去 houdu;
% 本次确定钢筋的位置从最能够使得桌子建成的角度出发，也是可以自己设定的
DD=40;
R=DD/2;geshu=20;H=53;houdu=3.002698;H=H-houdu;
dd=DD/geshu;sd=dd/2;sd1=sd;
namda=0.526183;namda2=0.488829;
thita=1.289534;thita2=1.2387;

isjishu=1;
if mod(geshu,2)==1
        geshu=geshu+1;
        isjishu=0;
end;

figure

sd=dd/2;
x1left=zeros(geshu,1);y1left=zeros(geshu,1);z1left=zeros(geshu,1);changleft=zeros(geshu,1);
x2left=zeros(geshu,1);y2left=zeros(geshu,1);z2left=zeros(geshu,1);distleft=zeros(geshu,1);
x1right=zeros(geshu,1);y1right=zeros(geshu,1);z1right=zeros(geshu,1);changduright=zeros(geshu,
1);
x2right=zeros(geshu,1);y2right=zeros(geshu,1);z2right=zeros(geshu,1);distright=zeros(geshu,1);

dist=zeros(geshu,1);%dist 是每个木条转轴处距离中轴线的距离
y1=zeros(geshu,1);
h1=zeros(geshu,1);
for i=1:geshu/2
        y1(i)=sd;
        sd=sd+dd;
end
if isjishu==0
        y1(geshu/2+1)=y1(geshu/2);
else

```

```

        y1(geshu/2+1)=y1(geshu/2)+dd;
    end;
    for i=geshu/2+2:geshu
        y1(i)=y1(i-1)+dd;
    end;
    y1=y1-R;
    y2=y1;

    for i=1:geshu

        dist(i)=fx(y1(i),DD);
    end;

    changdu=zeros(geshu,1);
    changdu(1)=H/sin(thita);
    for i=1:geshu
        h1(i)=fx2(y1(i),y1(1)); %fx2 以接触地面为中心建标 不要建错了
    end
    l=namda*changdu(1);
    qj=zeros(geshu,1);ta=zeros(geshu,1);
    for i=2:geshu
        a=dist(i)-dist(1);
        qj(i)=sqrt(a^2+l^2-2*cos(thita)*a*l);
        ttt=(a^2+qj(i)^2-l^2)/(2*a*qj(i));
        ta(i)=acos(ttt);
        if abs(a)<=0.000001
            ta(i)=thita;
        end;
    end;
    ta(1)=pi-thita;
    for i=1:geshu
        changdu(i)=H/sin(ta(i))*(H-h1(i))/H;
        changdu(i)%s 指的是活动长度
    end;
    x1=zeros(geshu,1);z1=zeros(geshu,1);
    x1=dist;xx=dist;
    thitaa=thita;
    x=l*cos(thitaa)+dist(1);
    z=l*sin(thitaa);
    x2=zeros(geshu,1);
    z2=zeros(geshu,1);
    flag1=1;
    for k=2:geshu/2;
        if l+dist(1)<dist(k)

```

```

        flag1=2;
    end;
    if l+dist(1)>dist(k)+changdu(k)
        flag1=0;
    end;
end;
for j=1:geshu;
    qujian(j)=sqrt((x-xx(j))^2+z^2);
    if qujian(j)>changdu(j)+0.001
        flag1=3;
    end;
    z2(j)=changdu(j)/qujian(j)*z;
    x2(j)=xx(j)-(changdu(j)/qujian(j)*(xx(j)-x));
end

hold on

for j=1:geshu
    line([x1(j);x2(j)], [y1(j),y2(j)], [-z1(j);-z2(j)], 'LineWidth',2);
    plot3(x1(j),y1(j),-z1(j), 'k');
    plot3(x2(j),y2(j),-z2(j), 'r');
end;

line([x;x], [y1(1);y1(geshu)], [-z;-z], 'LineWidth',3, 'color', 'k');

x1right=x1;y1right=y1;z1right=-z1;changduright=changdu;
x2right=x2;y2right=y2;z2right=-z2;distright=dist;lright=l;
kaizaoright=zeros(geshu,0);
kaizaoright=qujian'+dist-(dist(1)+l)

%% 左面

sd=dd/2;%注意这个变化了
dist=zeros(geshu,1);%dist 是每个木条转轴处距离中轴线的距离
y1=zeros(geshu,1);
h1=zeros(geshu,1);
for i=1:geshu/2
    y1(i)=sd;
    sd=sd+dd;
end
if isjishu==0
    y1(geshu/2+1)=y1(geshu/2);
else

```

```

        y1(geshu/2+1)=y1(geshu/2)+dd;
    end;
    for i=geshu/2+2:geshu
        y1(i)=y1(i-1)+dd;
    end;
    y1=y1-R;
    y2=y1;

    for i=1:geshu

        dist(i)=fxx(y1(i),DD);
    end;

    changdu=zeros(geshu,1);
    changdu(1)=H/sin(thita2);
    sd=dd;
    for i=1:geshu
        h1(i)=fx22(y1(i),y1(1)); %fx2 以接触地面为中心建标 不要建错了
    end
    l=namda2*changdu(1);
    qj=zeros(geshu,1);ta=zeros(geshu,1);
    for i=2:geshu
        a=dist(i)-dist(1);
        qj(i)=sqrt(a^2+l^2-2*cos(thita2)*a*l);
        ttt=(a^2+qj(i)^2-l^2)/(2*a*qj(i));
        ta(i)=acos(ttt);
        if abs(a)<=0.000001
            ta(i)=thita2;
        end;
    end;
    ta(1)=pi-thita2;
    for i=1:geshu
        changdu(i)=H/sin(ta(i))*(H-h1(i))/H;%s 指的是活动长度
    end;
    x1=zeros(geshu,1);z1=zeros(geshu,1);
    x1=dist;xx=dist;
    thitaa=thita2;
    x=l*cos(thitaa)+dist(1);
    z=l*sin(thitaa);
    x2=zeros(geshu,1);
    z2=zeros(geshu,1);
    flag2=1;

```



```

for k=2:geshu/2;
if l+dist(1)<dist(k)
    flag2=2;
end;
if l+dist(1)>dist(k)+changdu(k)
    flag2=0;
end;
end;
for j=1:geshu;
    qujian(j)=sqrt((x-xx(j))^2+z^2);
    if qujian(j)>changdu(j)+0.001
        flag2=3;
    end;
    z2(j)=changdu(j)/qujian(j)*z;
    x2(j)=xx(j)-(changdu(j)/qujian(j)*(xx(j)-x));
end

x1=-x1;x2=-x2;
x=-x;

for j=1:geshu
line([x1(j);x2(j)], [y1(j);y2(j)], [-z1(j);-z2(j)], 'LineWidth', 2);
plot3(x1(j),y1(j),-z1(j), 'k');
plot3(x2(j),y2(j),-z2(j), '*r');
end;
line([x;x], [y1(1);y1(geshu)], [-z;-z], 'LineWidth', 3, 'color', 'k');

x1left=x1;y1left=y1;z1left=-z1;changduleft=changdu;
x2left=x2;y2left=y2;z2left=-z2;distleft=dist;lleft=l;
kaizaoleft=zeros(geshu,0);
kaizaoleft=qujian'+dist-(dist(1)+l)
for p=1:geshu
    q=p;
    line([x1left(p);x1right(q)], [y1left(p);y1right(q)], [0;0], 'LineWidth', 8, 'color', 'k');
end;

ul=ceil(max(changduleft+distleft)/10)*10;
ur=ceil(max(changduright+distright)/10)*10;
set(gca, 'XTick', -ul:20:ur);
set(gca, 'YTick', -R:10:R);
set(gca, 'ZTick', -ceil(H/10)*10:10:0);

```

```

xlim([-ul,ur]);
ylim([-R,R]);
zlim([-ceil(H/10)*10,0]);
axis equal;
xlabel('x');
ylabel('y');
zlabel('z');
view(21,20);
st='可以';
if flag1~=1 || flag2~=1
    st='不可以';
end;
title([' $\theta_2$ =' num2str(thita/pi*180), '°', ' $\theta_1$ =' num2str(thita2/pi*180), '°']);
hold off
m=0;
for w=1:geshu
    m=m+changduleft(w)*dd*(H+0.5*z2left(w));
    m=m+changduright(w)*dd*(H+0.5*z2right(w));
end;
if isjishu==0
    m=m-changduleft(geshu/2)*dd*(H+0.5*z2left(geshu/2));
    m=m-changduright(geshu/2)*dd*(H+0.5*z2right(geshu/2));
end;
l1=max(changduleft+distleft);
r1=max(changduright+distright);

```

okornot:

```
function [flag thita] = okornot( DD,H,bianchang,geshu,namda,houdu )
```

%DD	直径
%H	高度
%bianchang	边长
%geshu	分的个数
%namda	0-1 钢筋在活动部位的比例
%houdu	木板的厚度
%flag	1 表示可以
%zhinxin	质心
%thita	第一根木条的角度 弧度制

```

R=DD/2;H=H-houdu;
dd=DD/geshu;sd=dd/2;sd1=sd;

isjishu=1;
if mod(geshu,2)==1
    geshu=geshu+1;
    isjishu=0;
end;

dist=zeros(geshu/2,1);%dist 是每个木条转轴处距离中轴线的距离
z1=zeros(geshu,1);
for i=1:geshu/2
    z1(i)=sd;
    if isjishu==0
        dist(geshu/2-i+1)=sqrt(R^2-(sd-sd1)^2);
    else
        dist(geshu/2-i+1)=sqrt(R^2-sd^2);
    end;
    sd=sd+dd;
end
changdu=bianchang/2-dist;    %是每根木条的长度
xx=zeros(geshu/2,1);%xx 是距离第一条转轴长度即各个木条的横坐标
xx=dist;
if isjishu==0
    z1(geshu/2+1)=z1(geshu/2);
else
    z1(geshu/2+1)=z1(geshu/2)+dd;
end;
for i=geshu/2+2:geshu
    z1(i)=z1(i-1)+dd;
end;
z2=z1;
z1=z1-R;z2=z2-R;

l=namda*(bianchang/2-dist(1));
x1=zeros(geshu,1);y1=zeros(geshu,1);
x1=dist;
thita=asin(H/changdu(1));
x=l*cos(thita)+dist(1);
y=l*sin(thita);
x2=zeros(geshu,1);
y2=zeros(geshu,1);
flag=1;
if l+dist(1)<R

```

```

        flag=0;
    end;
    for j=1:geshu/2;
        qujian(i,j)=sqrt((x-xx(j))^2+y^2);
        if qujian(i,j)>changdu(j)
            flag=0;
        end;
        y2(j)=changdu(j)/qujian(i,j)*y;
        x2(j)=xx(j)-(changdu(j)/qujian(i,j)*(xx(j)-x));
        if x2(j)<0
            flag=0;
        end;
    end
end

fit_and_select:
function fitness=fit_and_select(L,h,n,lamda)
% 适应度并且筛选
% 不符合的会在 fitness 处显示 返回-inf
% l0 代表最外层板材的长度，x（1）代表最初的空隙，

% 待赋值
% l0 由 theta 那个临界值给启示，D0 已知；木板总长 l0+x(1)
% h 在固定[3,5]之间搜索
% n 在[20,30]之间搜索
% lg 在(0,1)之间钢筋的位置
tho=6e-4;% 木材密度大约 6e-4kg 每立方厘米
miu=0.5;% 木板的动摩擦系数
H0=70;
D0=80;
% n=20;
d=80./n;
me=45; % 载重物的质量 kg

xi=@(i)power((D0*D0/4-(D0/2-(i-0.5)*d).^2),0.5);% 到中心间距
% arctan(2) 就是临界值是（弧度制）1.1071
l0=L/2-xi(1);
lg=l0*lamda;

theta=asin((H0-h)./l0);
if ~isreal(theta)
    fitness=-inf;
    return
end
end

```

```

% 整块板材质量
M=(l0+xi(1))*2*D0*h*tho;
% 所有木材的质量
if (n/2)==ceil(n/2)
    x=xi(1:n/2);
    %lx=(l0+xi(1)-x);
    m_x=(l0+xi(1)-x)*d*tho*h;
    m_r=M-sum(m_x*4);
else
    x=xi(1:ceil(n/2));
    m_x=(l0+xi(1)-x)*d*tho*h;
    %lx=(l0+xi(1)-x);
    m_x(end)=m_x(end)/2;
    m_r=M-sum(m_x*4);
end
% L=2*(l0+x(1));% 板总长
g=10;% 重力加速度

flag=okornot(D0,H0,L,n,lamda,h);
% okornot( DD,H,bianchang,geshu,namda,houdu )
% 符合条件载重条件且符合槽的制作条件
if cot(theta)<=(M+me/(2*(m_r+me)))&&...

(M+me)*g*l0*cos(theta)<4*m_x(1)*g*l0/2*cos(theta)+4*sum(m_x(2:end))*g*lg*cos(theta)+(M+
me)*miu*g*l0*sin(theta)&&...
    flag
    %heavy_point=abs(zhixin); % 质心是一个负数，越负表示
    V=h*(l0+x(1));%*2*D0 后面是两个乘起来的常数略去
    fitness=1/V;
else
    fitness=-inf;
end

fit_and_select2:
function fitness=fit_and_select2(theta1,theta2,h,n,lamda1,lamda2)
% 适应度并且筛选
% 不符合的会在 fitness 处显示 返回-inf
% l0 代表最外层板材的长度，x（1）代表最初的空隙，
% xxxx1 表示左边 xxxx2 表示右边
global H0 D0

```

```

% 待赋值
% l0 由 theta 那个临界值给启示, D0 已知; 木板总长 l0+x(1)
% h 在固定[3,5]之间搜索
% n 在[20,30]之间搜索
% lg 在(0,1)之间钢筋的位置

[flag,~,changduleft,changduright,~,~,l1,lr] = B3okornot(D0,H0,n,h,lamda1,lamda2,theta1,theta2);

tho=6e-4;% 木材密度大约 6e-4kg 每立方厘米
miu=0.5;% 木板的动摩擦系数
% n=20;
d=D0./n;
me=45; % 载重物的质量 kg

%%

lg1=(changduleft(1))*lamda1;
lg2=(changduright(1))*lamda2;

% 整块板材质量
M=(l1+lr)*D0*h*tho;
L=l1+lr;
% 桌面的质量
m_r=M-(sum(changduleft)+sum(changduright))*tho*d*h;
g=10;% 重力加速度

m_left=sum(changduleft(1:end))*d*tho*h; %左边可活动桌腿的质量
m_right=sum(changduright(1:end))*d*tho*h; %右边可活动桌腿的质量;
F1=(m_r+me)*g*(cos(theta1)/(sin(theta1)*cos(theta2)+sin(theta2)*cos(theta1)))/2; % 计算左
边桌腿的沿腿作用力
F2=(m_r+me)*g*(cos(theta2)/(sin(theta1)*cos(theta2)+sin(theta2)*cos(theta1)))/2; % 计算右
边桌腿的沿腿作用力
N1=(F1*sin(theta1)+m_left*g/2); % 左边腿的受支持力
N2=(F2*sin(theta2)+m_right*g/2); % 右边腿的支持力
% 符合条件载重条件且符合槽的制作条件
if flag&&...
    N1/2>=F1*cos(theta1)&&...
    N2/2>=F2*cos(theta2)&&... % 受力方程

N1*changduleft(1)*cos(theta1)<changduleft(1)*changduleft(1)*d*h*tho*g*cos(theta1)/2+sum(c
hangduleft(2:end-1))*tho*d*h*g/2*lg1*cos(theta1)+N1/2*changduleft(1)*sin(theta1)&&...

N2*changduright(2)*cos(theta2)<changduright(2)*changduright(2)*d*h*tho*g*cos(theta2)/2+su

```

```

m(changduright(2:end-1))*tho*d*h*g/2*lg2*cos(theta1)+N2/2*changduright(1)*sin(theta2)
% 两边都要满足受力方程

V=h*L;      %*2*D0 后面是两个乘起来的常数略去
fitness=1/V;
else
    fitness=-inf;
end

alpha_search:
function [alpha1,alpha2]=alpha_search(n1,n2)
global H0 D0
% alpha 从 90 度开始搜索

% [flag,m,changedleft,changedright,distleft,distrigh, l1,r1] =
B3okornot(DD,H,geshu,houdu,namda,namda2,thita,thita2 )

h=3; %设定测试值
% lamda 可搜索
% n 也是在固定范围内搜索
k=1;
value_a=[];
for lamda=0.3:0.1:0.7
    for n=n1:1:n2
        note_EP=zeros(1,40);
        flag=zeros(1,40);
        for i=1:40      %i 也要对应调整
            alpha=1.57-(i-1)*0.02;    %间距可调!!
            [flag(i),note_EP(i)]= B3okornot(D0,H0,n,h,lamda,lamda,alpha,alpha); %势能公式
        end

        for i=1:40
            if i~=40&& i~=1
                if note_EP(i)<note_EP(i+1)&&note_EP(i)<note_EP(i-1)&&flag(i)
                    value_a(k)=1.57-(i-1)*0.02;
                    k=k+1;
                    break
                end
            end
        end
    end
end
end
end
end
end

```

```

alpha1=min(value_a);
alpha2=max(value_a);

function [alpha1,alpha2]=alpha_search2(n1,n2)
global H0 D0
% alpha 从 90 度开始搜索

% [flag,m,changduleft,changduright,distleft,distrigh,l1,r1] =
B3okornot(DD,H,geshu,houdu,namda,namda2,thita,thita2 )

h=3;%设定测试值
% lamda 可搜索
% n 也是在固定范围内搜索
k=1;
value_a=[];
value_a2=[];
for lamda1=0.3:0.1:0.7
    for lamda2=0.3:0.1:0.7
        for n=n1:1:n2

            note_EP=zeros(40,40);
            flag=zeros(40,40);

            for c=1:40
                alpha_a=1.57-(c-1)*0.02;
                for i=1:40 %i 也要对应调整
                    alpha_b=1.57-(i-1)*0.02; %间距可调!!
                    [flag(c,i),note_EP(c,i)]= B3okornot(D0,H0,n,h,lamda1,lamda2,alpha_a,alpha_b); %
势能公式
                end
            end

            flag_f=0;
            for c=1:40
                for i=1:40
                    if i~=40&&i~=1&&c~=1&&c~=40
                        if
note_EP(c,i)<note_EP(c,i+1)&&note_EP(c,i)<note_EP(c,i-1)&&flag(c,i)&&note_EP(c,i)<note_EP(c+
1,i)&&note_EP(c,i)<note_EP(c-1,i)
                            value_a(k)=1.57-(i-1)*0.02;
                            value_a2(k)=1.57-(c-1)*0.02;

```



```

        k=k+1;
        flag_f=1;
        break
    end
end
end
if flag_f
    break
end
end
end

end
end
end
alpha1(1)=min(value_a);
alpha1(2)=max(value_a);
alpha2(1)=min(value_a2);
alpha2(2)=max(value_a2);
fx:
function [ a ] = fx ( y,d )
a=abs(0.5*d)-abs(y);
end
fx:
function [ a ] = fxx( y,d)
%FXX Summary of this function goes here
% Detailed explanation goes here
a=sqrt((0.5*d)^2-(y)^2);
end

fx2:
function [ a ] = fx2( y,b)
a=sqrt(b^2-y^2);
end
fx22:
function [ a ] = fx22(y,b)
%FX22 Summary of this function goes here
% Detailed explanation goes here
a=abs(b)-abs(y);
end

```