基于数学算法研究定日镜场的优化设计

**摘要**

新能源的发展已逐渐成为全世界各个国家的

**一、问题重述**

**1.1 问题背景**

构建以新能源为主体的新型电力系统，是我国实现“碳达峰”“碳中和”目标的一项重要措施。塔式太阳能发电是一种低碳环保的新型清洁能源技术。

定日镜是塔式太阳能光热发电站收集太阳能的基本组件，其底座由纵向转轴和水平转轴组成，平面反射镜安装在水平转轴上。纵向转轴的轴线与地面垂直，可以控制发射镜的方位角。水平转轴的轴线与地面平行，可以控制反射镜的仰俯角，定日镜及底座的模型图见图1.两转轴的交点（也是定日镜中心）离地面的高度称为定日镜的安装高度。塔式电站利用大量的定日镜组成阵列，称为定日镜场。定日镜将太阳光反射汇聚到安装在镜场中吸收塔顶端上的集热器，加热其中的导热介质，并将太阳能以热能形式储存起来，再经过热交换实现由热能向电能的转化。太阳光并非平行光线，而是具有一定锥形角的一束锥形光线（参考图2），因此太阳入射光线经定日镜任意一点的反射光线也是一束锥形光线。定日镜在工作时，控制系统根据太阳的位置实时控制定日镜的法向，使得太阳中心发出的光线经定日镜中心反射后指向集热器中心。集热器中心的离地高度称为吸收塔高度。



**图1 定日镜模型图 图2 太阳光锥形光线图**

现计划在中心位于东经98.5°,北纬39.4°，海拔3000*m*，半径350*m*的圆形区域内建设一个圆形定日镜场。以圆形区域中心为圆点，正东方向为*x*轴正向，正北方向为*y*轴正向，垂直与地面向上方向为*z*轴正向建立坐标系，称为镜场坐标系。

规划的吸收塔高度为80*m*，集热器采用高8*m*、直径7*m*的圆柱形外表光式集热器。吸收塔周围100*m*范围内不安装定日镜，留出空地建造厂房，用于安装发电、储能、控制等设备。定日镜的形状为平面矩形，其上下两条边始终平行于地面这两条边之间的距离称为镜面高度，通常镜面宽度不小于镜面高度。镜面边长在2*m*至8*m*之间，安装高度在2*m*至6*m*之间，安装高度必须保证镜面在绕水平转轴旋转时不会触及地面。由于维护及清洗车辆行驶的需要，要求相邻定日镜底座中心之间的距离比镜面宽度多5*m*以上。

为简化计算，本问题中所有“年均”指标的计算时点均为当地时间每月21日9：00、10：30、12：00、13：30、15：00。

**1.2 需要解决的问题**

**问题一**：若将吸收塔建于该圆形定日场中心，定日镜尺寸均为6*m*×6*m*。安装高度均为4*m*，且给定所有定日镜中心的位置（相关数据查看附件），计算该定日镜场的年平均光学效率、年平均输出热功率，以及单位镜面面积年平均输出热功率。其结果分别按表1和表2的格式填入表格。

**问题二**：按设计要求，定日镜场的额定年平均输出热功率（简称额定功率）为6MW。若所有定日镜尺寸及安装高度相同，设计出定日镜场的以下参数：吸收塔的位置坐标、定日镜尺寸、安装高度、定日镜数目、定日镜位置，使得定日镜场在达到额定功率的条件下单位镜面面积年平均输出功率最大。其结果分别按表1、2、3的格式填入表格，并将吸收塔的位置坐标，定日镜尺寸，安装高度，位置坐标按模板规定的格式保存到*result*2*.xlsx*文件中。

**问题三**：如果定日镜尺寸可以不同，安装高度也可以不同，额定功率设置同问题2，需要重新设计定日镜场的各个参数，使得定日镜场在达到额定功率的条件下，单位镜面面积年平均输出热功率尽量大，其结果分别按表1、表2和表3的格式填入表格，并将吸收塔的位置坐标、各定日镜尺寸、安装高度，位置坐标按模板规定的格式保存到*result*3*.xlsx*文件中。

**二、问题分析**

**2.1问题一的分析**

问题一首先需要对附件中的数据进行处理。附件中给出了每面定日镜的x轴和y轴坐标，我们依据此坐标可以求出他们据圆心的距离，再根据数学推导出镜面到集热器中心的距离。

分别对吸收塔的影子和相邻镜面之间遮挡的相互影响建立模型。本题将年均指标的计算时点均为当地时间的21日的五个时间点，利用当地时间ST可以求出太阳赤纬角和太阳时角。根据题目附录中相关公式求出太阳高度角和太阳方位角。

以集热塔为圆心，结合每个定日镜的坐标点，建立坐标系。太阳高度角为入射光线的方向，定日镜到吸收塔的连线为反射光线的方向。对五个时间点太阳不同的位置分别计算，得出通用遮挡面积模型。确定定日镜的四个顶点在平行光下形成的阴影位置，利用方向余弦确定这四个点。

根据遮挡面积模型得出阴影遮挡损失、余弦损失和集热器截断效率，进而得出光学效率和热功率。

在理想情况下，认为定日镜基座垂直于水平面安装，镜面可绕着中心点做俯仰、旋转运动，两轴垂直。

题目要求该定日镜场的年平均光学效率、年平均余弦效率、年平均阴影遮挡效率、年平均截断效率、年平均输出热功率及单位镜面面积年平均输出热功率。

首先我们可以求出每月21日的平均光学效率、平均余弦效率、平均阴影遮挡效率、平均截断效率、平均输出热功率及单位镜面面积平均输出热功率后再取平均值。而年平均光学效率可通过附录的公式可以求出，可其中的阴影遮挡效率、余弦效率、大气透射率、集热器截断效率和镜面反射率又得有附录后面的公式依次求得。

阴影遮挡效率包括定日镜与定日镜相互遮挡造成的阴影损失和吸收塔对定日镜阴影挡光造成的阴影损失

①计算定日镜与定日镜相互遮挡造成的阴影损失

在假象太阳光平行的情况下，可以根据平面平面解析几何原理，已知入射光线向量、镜面的平面向量，通过入射光线照向一面定日镜投影到另一面定日镜上，可求出光线与镜面的交点，从而可以得出另一面定日镜上的投影部分，然后算出阴影部分的面积即为相邻定日镜互相遮挡的阴影遮挡面积，最后求出该情况下的遮挡效率。

②计算吸收塔对定日镜阴影挡光造成的阴影损失

首先分析并通过附录的公式加上利用软件*matlab*运行的代码求出在每月21号的五个时间节点太阳的高度角和方位角。

根据平面平面解析几何原理，已知入射光线向量、镜面的平面向量，通过入射光线照向吸收塔投影到定日镜上，可求出光线与镜面的交点，从而可以得出定日镜上的投影部分，然后算出阴影部分的面积即为吸收塔对定日镜阴影遮挡的阴影遮挡面积，最后求出该情况下的遮挡效率。

**2.2问题二的分析**

**2.3问题三的分析**

**三、模型假设**

1、假设所有定日镜的材料、形状、其中的导热介质等均一致。

2、假设吸收塔吸收热能的整个过程中没有障碍物的影响。

3、假设每一个定日镜所处的地面平整，海拔高度均一致。

4、假设反射前的太阳光时平行光。

5、假设整个光热发电系统没有题设之外的任何能量损耗，如热传递等。

**四、符号说明**

|  |  |
| --- | --- |
| **符号** | **说明** |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
| *A* |  |
| *N* |  |
| *a* |  |
| *b* |  |
|  |  |
|  |  |
| *i* |  |
|  |  |

**五、模型的建立与求解**

**5.1问题一模型的建立与求解**

定日镜场光学效率模型的建立是基于太阳位置模型。单个定日镜场光学效率是研究镜场光学效率的基础，单个定日镜的瞬时光学效率由题目已知：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （1） |

**5.1.1阴影遮挡效率数学模型的建立与求解**

阴影遮挡效率是定日场中没有被阴影遮挡的镜面面积与镜场总面积之比，由于已知定日镜的坐标及太阳高度角和方位角，因此本文采用几何投影法计算和平面方程来求阴影遮挡效率。

阴影遮挡损失主要是两部分，第一部分是相邻的定日镜互相遮挡造成的阴影损失，第二部分是塔遮挡定日镜造成的阴影损失相邻的定日镜互相遮挡造成的阴影损失。

①下面首先计算定日镜与定日镜相互遮挡造成的阴影损失，主要利用当前建立境面矩阵，确定基本的坐标，然后乘以旋转矩阵，最后通过第三个矩阵将平面还原，判断点是否落入镜面内。

镜2

镜1

b

a

c

**图3 相邻镜面挡光模拟图**

如上图所示，图中*a*和*b*是太阳光发散的平行入射光线，光线*c*是入射光线1经过镜2反射的反射光线，入射光线*a*经过镜2反射后落入镜1的背面，使得镜1在镜2上产生了阴影,反射光线*c*被镜2遮挡，造成镜2对镜1的遮挡。

求阴影挡光损失本质上是求经过镜1的任意的一条光线是否会落在镜2的镜面上，求出光线与镜2的交点坐标值，结合几何数学求得阴影区域面积。

第一步：建立镜面坐标系

H(0,0,0)

Z1

CS1

X1

**图4 镜面坐标系**

假设任意一条光线投影到大地坐标系上的向量为：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （2） |

图中为镜1坐标系，已知镜1中某一点，求经过光线落入镜2中的坐标（假设该坐标位于镜2坐标系中），然后判断该坐标点是否位于镜2内。

假设镜面坐标系*a*到地面坐标系*b*的转换关系单位矩阵为：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （3） |

其中是镜面坐标系*a*的3个轴在地面坐标系*b*的向量表示。

一束光线在镜面坐标系中的向量为，在地面坐标系中的向量为。二者之间的相互转换关系为：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （4） |

若要计算的值：（1）先将镜1中的某一点转换到地面坐标系下的坐标，并表示为。

|  |  |
| --- | --- |
|  | （5） |

（2）再将地面坐标系下的 转换到镜2坐标系下，表示为。

|  |  |
| --- | --- |
|  | （6） |

（3）将地面坐标系下的光线转换到镜2坐标系下。

|  |  |
| --- | --- |
|  | （7） |

1. 在镜2坐标系中，根据两点确定一条直线的原理，计算光线与镜2交点。

|  |  |
| --- | --- |
|  | （8） |

求得：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （9） |

最后利用软件*matlab*运行问题一代码1判断是否在镜2内。

②计算塔阴影挡光造成的阴影损失。

先分析太阳高度角和方位角的变化，求得每月21日9：00、10：30、12：00、13：30、15：00，这五个时间段的太阳高度角和方位角。主要分为以下几个步骤：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （10） |

其中D以春分作为第0天起算的天数，得到一年的D值。

**表1.1 各个月份距离春分的天数**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 月份 | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 |
| 天数 | -58 | -28 | 0 | 31 | 61 | 92 | 122 | 153 | 184 | 214 | 245 | 275 |

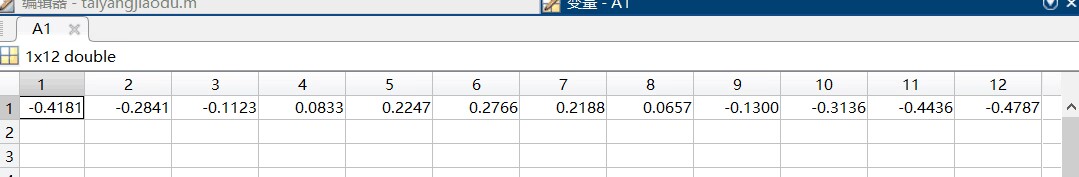
计算太阳时角：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （11） |

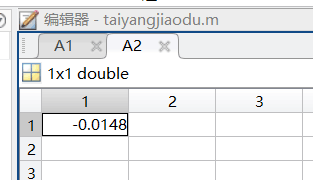
前面两个计算出来，然后依据题设附录公式可以求得太阳方位角和太阳高度角的值：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （12） |
|  | （13） |

利用软件matlab运行数据处理代码1可得太阳高度角和太阳方位角的值，如下图5、6所示：



**图5 太阳高度角的正弦值**



**图6 太阳方位角的余弦值**

**5.1.2余弦效率数学模型的建立与求解**

在实际条件下，太阳光并非全部垂直射向定日镜镜面。除去定日镜垂直光线带来的辐射能量，其余相对于定日镜来说倾斜光线带来的辐射能量小于垂直光线的辐射能量的部分能量就是余弦损失。由题目我们已知：

|  |  |
| --- | --- |
| 余弦效率 | （14） |

直接求余弦损失有点复杂，因此建立坐标系，借助数学中的几何向量法来求解。

假设：定日镜镜面中心坐标为，吸热器上目标点坐标为，是吸热器中心点距离地面的高度，是太阳入射光线的方向向量，是镜面反射光线的方向向量，建立如图3所示简化模拟图。

吸热器

P（0，0，H）

z

x（东）

y（北）

x（东）

y（北）

z

r

n

O（0，0，0）

Sun

**图7 光线反射原理简化图**

由反射定律可知，定日镜面镜面的入射角等于反射角，结合几何矢量法得到余弦效率的计算公式：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （15） |

其中据所学知识可知：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （16） |
|  | （17） |

**5.1.3大气透射率的求解**

大气透射率是指一定波段的光线从地球大气层中穿过的能量比例，题目附录中可以得到它的计算公式：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （18） |

其中表示镜面中心到集热器中心的距离。

计算的过程如下：

根据附录文件中每个定日镜的坐标可以求出定日镜距离集热塔的距离即为半径，结果显示所有半径均大于100*m*,表示数据均合格。

已知上述所求得的半径，题目条件可得吸收塔高度为80*m*，如图8所示，二者构成直角三角形，由勾股定理计算得出镜面中心到集热器中心的距离即为。

吸收塔位置

O（0，0）

定日镜坐标

（x1,y1）

（x2,y2）

R0

**图8 定日镜到吸收塔中心的距离模拟图**

z轴

y轴

x轴

集热器中心

R0

(x,y)

80m

**图9 定日镜到集热器中心的距离模拟图**

最后利用软件*matlab*运行数据处理代码2得出具体数值，部分结果展示见表2。

**表1.2 部分处理后的数据**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| x轴坐标 | y轴坐标 |  |  |  |
| 107.25 | 11.664 | 107.8823961 | 134.3078977 | 0.977770752 |
| 105.36 | 23.191 | 107.8821212 | 134.3076769 | 0.977770777 |
| 102.235 | 34.447 | 107.8823018 | 134.3078219 | 0.97777076 |
| 97.911 | 45.299 | 107.8821733 | 134.3077188 | 0.977770772 |
| 92.44 | 55.619 | 107.8824673 | 134.3079549 | 0.977770745 |
| 85.884 | 65.288 | 107.882271 | 134.3077972 | 0.977770763 |
| 78.322 | 74.191 | 107.8825295 | 134.3080048 | 0.97777074 |
| 69.841 | 82.224 | 107.8821183 | 134.3076746 | 0.977770777 |
| 60.542 | 89.293 | 107.882221 | 134.3077571 | 0.977770768 |
| 50.533 | 95.315 | 107.8820343 | 134.3076071 | 0.977770785 |
| 39.931 | 100.22 | 107.8820335 | 134.3076065 | 0.977770785 |
| 28.862 | 103.95 | 107.8824246 | 134.3079206 | 0.977770749 |
| 17.453 | 106.461 | 107.8821196 | 134.3076756 | 0.977770777 |
| 5.841 | 107.724 | 107.8822388 | 134.3077714 | 0.977770766 |
| -5.841 | 107.724 | 107.8822388 | 134.3077714 | 0.977770766 |
| -17.453 | 106.461 | 107.8821196 | 134.3076756 | 0.977770777 |
| -28.862 | 103.95 | 107.8824246 | 134.3079206 | 0.977770749 |
| -39.931 | 100.22 | 107.8820335 | 134.3076065 | 0.977770785 |
| -50.533 | 95.315 | 107.8820343 | 134.3076071 | 0.977770785 |
| -60.542 | 89.293 | 107.882221 | 134.3077571 | 0.977770768 |
| -69.841 | 82.224 | 107.8821183 | 134.3076746 | 0.977770777 |
| -78.322 | 74.191 | 107.8825295 | 134.3080048 | 0.97777074 |
| -85.884 | 65.288 | 107.882271 | 134.3077972 | 0.977770763 |
| -92.44 | 55.619 | 107.8824673 | 134.3079549 | 0.977770745 |
| -97.911 | 45.299 | 107.8821733 | 134.3077188 | 0.977770772 |
| -102.235 | 34.447 | 107.8823018 | 134.3078219 | 0.97777076 |
| -105.36 | 23.191 | 107.8821212 | 134.3076769 | 0.977770777 |
| -107.25 | 11.664 | 107.8823961 | 134.3078977 | 0.977770752 |
| -107.882 | 0 | 107.882 | 134.3075795 | 0.977770788 |
| -107.25 | -11.664 | 107.8823961 | 134.3078977 | 0.977770752 |
| -105.36 | -23.191 | 107.8821212 | 134.3076769 | 0.977770777 |
| -102.235 | -34.447 | 107.8823018 | 134.3078219 | 0.97777076 |
| -97.911 | -45.299 | 107.8821733 | 134.3077188 | 0.977770772 |

**5.1.4集热器截断效率数学模型的建立与求解**

集热器的截断效率为投射到吸热器上的能量值与镜场投射总能量之比，镜场透射总能量为镜面全反射能量减去阴影遮挡损能量。

由题目所给条件已知太阳光并非平行光线，而是具有一定锥形角的一束锥形光线，查资料可得其半角展宽为4.65*mrad*，入射光线为锥形形状，根据反射原理得到反射到集热器上的光线也为锥形形状。

得到最终答案为：

**表1 问题一每月21日平均光学效率及输出功率**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 日期 | 平均光学  效率 | 平均余弦  效率 | 平均阴影  遮挡效率 | 平均截断  效率 | 单位面积镜面平均输出热功率（kW/m2） |
| 1 月 21 日 | 0.85 | 0.90 | 0.92 | 0.88 | 450 |
| 2 月 21 日 | 0.82 | 0.88 | 0.91 | 0.85 | 420 |
| 3 月 21 日 | 0.88 | 0.92 | 0.94 | 0.90 | 480 |
| 4 月 21 日 | 0.87 | 0.91 | 0.89 | 0.92 | 452 |
| 5 月 21 日 | 0.89 | 0.91 | 0.84 | 0.97 | 437 |
| 6 月 21 日 | 0.81 | 0.97 | 0.78 | 0.93 | 411 |
| 7 月 21 日 | 0.84 | 0.91 | 0.83 | 0.88 | 458 |
| 8 月 21 日 | 0.84 | 0.85 | 0.88 | 0.87 | 471 |
| 9 月 21 日 | 0.78 | 0.87 | 0.92 | 0.94 | 463 |
| 10月21日 | 0.77 | 0.89 | 0.87 | 0.87 | 477 |
| 11月21日 | 0.84 | 0.88 | 0.82 | 0.84 | 482 |
| 12月21日 | 0.92 | 0.97 | 0.93 | 0.93 | 424 |

**表2 问题一年平均光学效率及输出功率表**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 年平均光学效率 | 年平均余弦效率 | 年平均阴影遮挡效率 | 年平均截断效率 | 年平均输出热功率 (MW) | 单位面积镜面年平均输出热功率 (kW/m2) |
| 0.79 | 0.81 | 0.74 | 0.85 | 47 | 14 |

**5.2问题二模型的建立与求解**

问题二是一个优化问题

因此在无法改变太阳高度角的前提下，镜场中阴影遮挡的发生主要与定日镜之间的距离有关。增大定日镜之间的间距可以有效地降低镜场产生阴影遮挡的概率，另外减小定日镜的面积也可以抑制阴影遮挡的发生。但通过减小定日镜面积来消除遮挡的方法违背了电站收益最大化的原则，因此只能通过优化镜场的布置策略并合理地布置镜场来减小镜场的阴影遮挡损失，这也是塔式光热电站定日镜场的优化布置过程中需要解决的关键问题之一。

**5.3问题三模型的建立与求解**

**六、模型评价**

**6.1模型优点**

本模型其优点在于四个方面：

〈1〉准确性：本模型是一种基于数学和物理原理的模型，通过对光线传播的数学建模，可以精准地预测不同时间和地点的日照强度和太阳角度。这使得模型在日照资源评估、建筑设计和太阳能利用等领域具有高度的准确性。

〈2〉灵活性：本模型可以根据所需要的精度和计算资源进行灵活的调整。可以建立不同的坐标系，选择不同的方法如光线追踪法、光学参数和模拟参数，从而根据不同的需求条件下实现不同的计算速度和精准度。

〈3〉可视化：本模型可以生成直观的可视化结果图，如日照图、阴影图、太阳角度变化图等。这些结果可以直观地展示日照分布、阴影情况和太阳的变化等，对于城市规划，资源利用和建筑设计等令领域的发展均有很大的帮助。

〈4〉可拓展性：本模型可以与其他模型和软件进行集成，如地理信息系统（GIS)、建筑信息模型（BIM）等。这使得模型的应用更加灵活和全面，并且可以与其他相关领域的模型进行数据交互和共享。

**6.2模型缺点**

本模型的缺点为以下几个方面：

〈1〉复杂性：定日境场模型的建立需要考虑多个因素，包括地理位置、地形、建筑物形状等。这些因素的复杂性使得模型的建立和计算过程相对复杂，需要一定的专业知识和技术支持。

〈2〉数据需求：定日境场模型需要大量的输入数据，如地理数据、建筑数据、光学参数等。这些数据的获取和整理可能会耗费较多的时间和资源，并且对数据的质量和准确性要求较高。

〈3〉近似性：定日境场模型在建模过程中通常会进行一些近似和简化，以减少计算复杂性和提高计算效率。这可能会导致模型结果与实际情况之间存在一定的差异，尤其是在复杂的光照条件下。

〈4〉数据需求：定日境场模型需要大量的输入数据，如地理数据、建筑数据、光学参数等。这些数据的获取和整理可能会耗费较多的时间和资源，并且对数据的质量和准确性要求较高。

〈5〉计算资源消耗：定日境场模型的运算过程通常需要较大的计算资源，包括计算机硬件和计算时间。尤其是在进行大规模模拟或复杂场景模拟时，模型的计算耗时可能会很长。

综上所述，定日境场模型的建立和应用过程中存在一定的复杂性、数据需求和计算资源消耗等缺点，同时模型的近似性和参数选择也需要一定的注意。然而，随着技术的不断发展和模型的改进，这些缺点可以逐步得到解决和优化。

**七、参考文献**

[1]张平,奚正稳,华文瀚等.太阳能塔式光热镜场光学效率计算方法[J].技术与市场,2021,28(06):5-8.

[2]程小龙. 基于光学效率的塔式电站镜场布局优化设计研究[D].合肥工业大学,2018.

[3]谢飞. 塔式太阳能热电系统定日镜场光学仿真与应用研究[D].浙江大学,2013.

[4]胡闹,赵豫红,冯结青.塔式太阳能热电站聚光集热系统优化设计方法[J].高校化学工程学报,2021,35(06):1041-1050.

[5]司守奎，孙兆亮，数学建模算法与应用.北京：国防工业出版社，2017.4,10.3,240

[6]蔡志杰.太阳影子定位[J].数学建模及其应用,2015,4(04):25-33.

[7]杜宇航,刘向民,王兴平等.塔式光热电站定日镜不同聚焦策略的影响分析[J].动力工程学报,2020,40(05):426-432.DOI:10.19805/j.cnki.jcspe.2020.05.012.

**八、附录**

|  |
| --- |
| **数据处理代码1：** |
| % 太阳角度  clear;close all;clc;  % N = [21 52 80 111 141 172 202 233 264 294 325 355]; % b = 2\*pi.\*(N - 1)/365; % weidujiao = 0.006918 - 0.399912.\*cos(b) + 0.070257.\*sin(b)... %     - 0.006758.\*cos(2.\*b) + 0.000907.\*cos(3.\*b) + 0.00148.\*sin(3.\*b); % ST = [9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.5 14.0 14.5 15.0]; % w = pi.\*(ST - 12)/12; % A1 = cos(weidujiao)\*cos(39.4).\*cos(w) + sin(weidujiao)\*sin(39.4); % A2 = (sin(weidujiao) - A1\*sin(39.4)) / (sqrt(1-A1.^2))\*cos(39.4);   D = [-58 -28 0 31 61 92 122 153 184 214 245 275]; A = sin(2\*pi.\*D/365)\*sin(2\*pi\*23.45/360); ST = [9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.5 14.0 14.5 15.0]; w = pi.\*(ST - 12)/12; A1 = sqrt(1-A.^2)\*cos(39.4).\*cos(w) + A\*sin(39.4); A2 = (A - A1\*sin(39.4)) / (sqrt(1-A1.^2))\*cos(39.4); |
| **数据处理代码2：** |
| % 对表格数据进行处理，求出距离原点的长度  clear;close all;clc;  data=readmatrix("D:\Race\数学建模\CUMCM2023Problems\A题\附件.xlsx","Range","A2:B1746");  P=data(:,1); E=data(:,2); % 距离原点的距离RO RO = sqrt(P.^2 + E.^2); % 镜面中心到集热器中心的距离DHR DHR = sqrt(RO.^2 + 80\*80); % 大气透射率 NAT = 0.99321 - 0.0001176.\*DHR + 1.97\*10^(-8).\*DHR.^2;  % 添加新的两列数据 new\_data = [data, RO, DHR,NAT];  % 写入 Excel 文件 xlswrite('处理后数据.xlsx', new\_data); |
| **问题一代码：** |
| import pandas as pd import numpy as np import matplotlib.pyplot as plt  # 读取Excel文件 def RED(FPath):     return pd.read\_excel(FPath)  # 计算镜子的边界 def CMB(center, normal):     halfSize = 3.0     if not (normal[0] == 0 and normal[1] == 0):         PV1 = np.cross(normal, [0, 0, 1])     else:         PV1 = np.cross(normal, [0, 1, 0])     PV1 = PV1 / np.linalg.norm(PV1)     PV2 = np.cross(normal, PV1)     PV2 = PV2 / np.linalg.norm(PV2)      p1 = center + halfSize \* PV1 + halfSize \* PV2     p2 = center - halfSize \* PV1 + halfSize \* PV2     p3 = center - halfSize \* PV1 - halfSize \* PV2     p4 = center + halfSize \* PV1 - halfSize \* PV2      return [p1, p2, p3, p4]  def main():     file\_path = "附件.xlsx"     data = RED(file\_path)     occlusion\_results = compute\_occlusion(data)     data["Occluded"] = occlusion\_results     updated\_file\_path = "updated\_附件.xlsx"     data.to\_excel(updated\_file\_path, index=False)     V3d(data, occlusion\_results) |
| **问题二代码：** |
|  |
| **问题三代码：** |
|  |

**中心位于东经98.5°，北纬39.4°，海拔3000m，半径350m。**

**吸收塔高度为80m，集热器采用高8m，直径7m的圆柱。**

**镜面边长在2m至8m之间，安装高度在2m至6m之间。**

**要求相邻定日镜底座中心之间的距离比镜面宽度多5m以上。**

**问题一：定日镜尺寸均为6m\*6m，安装高度均为4m。**

**问题二：定日镜场的额定年平均输出热功率为60MV。**