

太阳能路灯光伏板的朝向设计问题

摘要

随着太阳能产业的发展，解决太阳能光伏板能量利用率低的问题是一个重要研究课题。本文针对太阳能路灯光伏板朝向问题，基于控制变量、算术平均、构建模型思想，通过确定太阳能直射辐射经过大气层的衰减系数、等指标，

针对问题一，本文根据气象局以及往年数模大赛赛题所给出的公式以及题目所给附件中的数据进行分析，计算出太阳能直射辐射经过大气层的衰减变化量，从而得到衰减系数，最终根据角度公式计算出不同水平倾角时，光伏板受到的最大太阳直射强度和太阳直射辐射总能量。

针对问题二，本文根据角度相关的公式，结合太阳直射在光伏板上的模型，基于控制变量思想，通过对于控制光伏板水平倾角固定，求得最佳光伏板朝向，再计算最佳光伏板倾角，从而确定各个角度量，然后求解一年内每天各时段的太阳直射强度，从而得到每天的太阳直射辐射能量，最终解得最大的太阳直射辐射日均总能量。

针对问题三，本文基于前两个问题的求得结果与计算式，同时考虑光伏板倾角、光伏板方位角，得到一年中每一天的太阳对太阳能板的直射辐射量，再将所求值与题目所述的储电效率较高的条件作比较，求得太阳能板处于储电效率较高的状态的时间，最后综合考虑储电效率高的时间与直射辐射总量两个指标，得出最好的光伏板倾角、方位角的组合，在这个组合条件下计算出日均总能量与处于储电效率较高状态的时间。

最后，我们对提出的模型进行全面的评价，本文的模型结合实际数据，能合理解决提出的问题，具有实用性强，拟合程度高，算法精确等特点。

关键词：太阳直射强度 太阳直射辐射日均总能量 光伏板朝向 光伏板水平倾角

目录

一、 问题重述	3
二、 问题分析	3
2.1 问题一的分析	3
2.2 问题二的分析	4
2.3 问题三的分析	4
三、 模型假设	4
四、 基本公式以及相关符号说明	5
五、 问题求解与模型评估	6
5.1 问题一模型建立与求解	6
5.1.1 数据预处理	6
5.1.2 模型求解	6
5.1.3 衰减系数求解	7
5.1.4 赋值求解	8
5.2 问题二模型建立与求解	8
5.2.1 数据预处理	8
5.2.2 模型求解	8
5.2.3 结论分析	9
5.3 问题三模型建立与求解	10
5.3.1 模型求解	10
5.3.2 编程求解	11
5.3.3 求解结果	12
六、 模型评论	12
6.1 模型优势	12
6.2 模型的对比与改进	13
参考文献	16
附录（支撑材料+源代码）	17

一、 问题重述

太阳能路灯光伏板是太阳能产业中的一个重要组成成分，其目的是将太阳辐射能转化为电能输出，经过充放电控制器储存在蓄电池中。太阳能路灯光伏板需要通过计算合适的朝向和倾角进行最大效率的光电转化。光伏板朝向设计中的变量需要考虑到每个月以及每天不同时间段的太阳辐射变化以及相关方位角、高度角等角度的改变。附件中收集了某城区某天各时间段的地表水平面受到的太阳直射强度值，以及一年中各个月的大气外层太阳能辐射强度的具体数值。

为了全面了解如何进行更高效的朝向设计，本文需要分析研究下列问题：

问题 1 计算 2025 年每月 15 日晴天条件下，基于所给数据一块面积为 1m^2 的光伏板朝向正南方且水平倾角分别为 20° 、 40° 、 60° 时收到的最大太阳直射强度和太阳直射辐射总能量。

问题 2 设计该城区固定安装太阳能光伏板的朝向，基于光伏板受到的太阳直射辐射总能量最大时，可使路灯蓄电池储电量最大的理论，建立模型使光伏板在晴天条件下受到的太阳直射辐射日均总能量最大。

问题 3 当光板受到太阳直射强度过低时，它转换电能的效率也很低；而当光伏板受到太阳直射强度过高时，它转换电能实现储电的效率也会受到限制。若光伏板受到太阳直射强度上午大于 150 W/m^2 、下午大于 100 W/m^2 的时间尽可能长，这样可以使路灯蓄电池的储电效率更高。综合考虑路灯蓄电池的储电效率高和储电量大这两个目标，建立相关模型，设计出光伏板固定安装的最优朝向，并计算晴天条件下光伏板受到的太阳直射辐射日均总能量和太阳直射辐射（上午大于 150 W/m^2 、下午大于 100 W/m^2 ）时长。

二、 问题分析

2.1 问题一的分析

第一问需要我们将太阳能辐射强度通过纬度、太阳赤纬角、太阳时角转化为太阳能直射强度，同时根据题目条件，我们需要根据附件中给出的每个时段的地面辐射直射量与对应的当天每个时段的大气外层太阳能直射强度的差值，去求解大气层对太阳能直

射辐射的衰减系数。通过衰减后的每月的太阳能辐射强度，结合纬度、太阳赤纬角、太阳时角、光伏板的倾向和光伏板的水平倾角，计算出每月十五日当天不同时间的太阳直射强度，再在不同时间的太阳直射强度数据中选出当天的最大太阳直射强度。对于太阳直射辐射总能量，我们需要在求出当天不同时间的太阳直射强度的基础上，乘时间和太阳能光伏板的面积求得。

2.2 问题二的分析

第二问我们需要考虑太阳方位角、太阳时角、太阳赤纬角、太阳高度角随时间的变化，以及上述各角、光伏板方位角和光伏板水平倾角与光伏板受到的太阳直射辐射的角度关系。要求在最佳朝向情况下，太阳直射辐射日均总能量最大，即使一年太阳直射辐射总能量最大。我们建立了直射辐射模型，列出每天太阳直射辐射总能量，并求和得到一年的太阳辐射总能量，同时通过控制变量将水平倾角先固定，将计算出的带有未知变量光伏板方位角的公式利用图像取极大值点的方法，求得最佳的光伏板方位角。将求得的最佳光伏板方位角带入公式中，此时水平倾角作为未知变量，同样利用图像取极大值点的方法，求得最佳的光伏板水平倾角。

2.3 问题三的分析

第三问基于前两问的模型，需要我们再加上处于储电效率更高的状态的时间这一考虑因素，得出一组太阳能板处于该状态的总时间较长，且受到辐射总能量相比前一问的最大值不会有太大变化的光伏板倾角和水平方位角组合。针对这一问题，我们综合考虑实际生产生活中太阳能板的电路安排与发电效率，选择将太阳能板处于储电效率较高的时间段，全年受到的辐射总量作为比较因素。我们通过列出水平倾角与方位角的不同组合，基于问题二的辐射总能量计算公式，计算出每一天处于储电效率较高状态的时长，对应时间段受到的太阳辐射，将它们求和得到全年受到的辐射总量，最后作比较得出一组最优的倾角和水平方位角组合，并求出该组合下处于储电效率较高状态的总时长。

三、模型假设

- 1、假设所给数据真实，且附件 sheet2 中的每月的大气层外层太阳能辐射强度可以

代表该月每天的大气层外层太阳能辐射强度。

2、假设每天各个时间点的太阳直射强度可以代表相邻时间点间的时间段的太阳直射强度。

3、不考虑其他影响储电效率的光学因素。

4、假设太阳直射强度上午大于 150 W/m^2 以及下午大于 100 W/m^2 的部分算入最终的有效能量中，其他部分不计入最终的有效能量中。

5、假设光伏板的方位角与水平倾角是两个独立的变量，二者不会相互影响。

四、基本公式以及相关符号说明

1、太阳时角 ω : $\omega = \frac{12}{\pi} (\text{ST} - 12)$

其中 ST 为当地时间，单位为小时。

2、太阳赤纬角 δ : $\delta = 23.45 \sin\left(\frac{2\pi(285+n)}{365}\right)$

其中 n 为日期序号，例如：1 月 1 日为 $n=1$ ，3 月 22 日为 $n=81$ 。

3、当地纬度 φ ，北纬为正。

4、太阳高度角 α : $\sin \alpha = \cos \delta \cos \varphi \cos \omega + \sin \delta \sin \varphi$

5、太阳方位角 θ : $\cos \theta = \frac{\sin \delta - \sin \alpha \sin \varphi}{\cos \alpha \cos \varphi}$

6、太阳能光伏板水平倾角 β

7、太阳能光伏板方位角 γ

8、衰减系数 k

五、问题求解与模型评估

5.1 问题一模型建立与求解

5.1.1 数据预处理

1、将涉及问题一的数据从附件中提取出来，对数据进行简单的对照分析。

2、将每天不同时间点计算太阳直射强度的时间段设置为与附件中 sheet1 相同的半小时时间间隔，以便将计算出来的每天不同时间点的大气层外层太阳直射强度与所给数据进行比较。

5.1.2 模型求解

构建直射辐射模型，计算光伏板在水平倾角为 20° 、 40° 、 60° 的情况下，每天各个时间点所受到的太阳直射强度。如图 1 所示，其中 θ_z 为太阳天顶角， θ_i 为倾斜面太阳入射角。

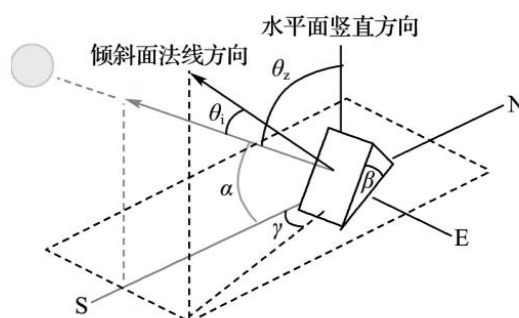


图 1 太阳辐射角度参量的坐标示意图¹

基于此模型，由于光伏板朝向正南，所以光伏板方位角 $\gamma = 0$ 。同时我们可以列出光伏板在不同时间点不同水平倾角下受到的太阳直射强度：

$$I_{\text{板}} = kI_0(\sin\alpha\cos\beta - \cos\alpha\sin\beta\cos\theta)$$

5.1.3 衰减系数求解

¹ 王恩宇. 倾斜面太阳辐射量计算方法研究[J]. 热科学与技术, 2019, 2 (1): 36

根据题干所给信息，我们知道大气层对太阳能直射辐射的衰减变化量 $\Delta I_0 = kI_0h$ ，其中 I_0 代表的是附件 sheet2 中不同月份的大气层外层太阳能辐射强度， h 代表大气层厚度，题目中令 $h = 1000km$ 。由于附件 sheet1 给出了 5 月中一天的地面直射辐射量，我们可以利用 sheet2 中给出的 5 月的 $I_0 = 1334W/m^2$ 进行计算，对于瞬时大气层外层太阳直射强度 I_1 ：

$$I_1 = I_0(\cos\varphi\cos\delta\cos\omega + \sin\varphi\sin\delta)$$

代入数值可以求出与 sheet1 对应时间点的 I_1 具体数值，设 $I_{地}$ 代表 sheet1 中的地面直射辐射量，因为 $\Delta I_0 = I_1 - I_{地}$ ，所以可以求出 k 的算数平均值为 $0.000448(km^{-1})$ ，结果如图 2 所示。

北京时间	地面直射辐射量 w/m^2	ST	I1	衰减量	衰减系数	
6:00	21.132	6	238.13	217.000967	0.000911	
6:30	64.906	6.5	378.5	313.598095	0.000829	
7:00	155.472	7	516.47	361.001435	0.000699	
7:30	265.660	7.5	649.68	384.020291	0.000591	
8:00	372.830	8	775.85	403.015458	0.000519	
8:30	499.623	8.5	892.81	393.187216	0.00044	
9:00	587.170	9	998.57	411.403264	0.000412	
9:30	643.019	9.5	1091.3	448.305968	0.000411	
10:00	688.302	10	1169.5	481.176319	0.000411	
10:30	727.547	10.5	1231.7	504.149094	0.000409	
11:00	736.604	11	1276.9	540.309729	0.000423	
11:30	747.170	11.5	1304.4	557.187536	0.000427	
12:00	750.189	12	1313.6	563.368946	0.000429	
12:30	754.717	12.5	1304.4	549.640536	0.000421	
13:00	762.264	13	1276.9	514.649729	0.000403	
13:30	744.151	13.5	1231.7	487.545094	0.000396	
14:00	733.585	14	1169.5	435.893319	0.000373	
14:30	698.868	14.5	1091.3	392.456968	0.00036	
15:00	653.585	15	998.57	344.988264	0.000345	
15:30	605.283	15.5	892.81	287.527197	0.000322	
16:00	546.415	16	775.85	229.430458	0.000296	
16:30	464.906	16.5	649.68	184.774291	0.000284	
17:00	377.358	17	516.47	139.115435	0.000269	
17:30	271.698	17.5	378.5	106.806095	0.000282	
18:00	125.283	18	238.13	112.849967	0.000474	
18:30	48.302	18.5	97.762	49.4598374	0.000506	
19:00	10.566	19	-40.21	-50.773503	0.001263	
					0.000448	平均值

图 2 与衰减系数相关的数据统计

5.1.4 赋值求解

根据 $I_{板}$ 的公式，代入算出的衰减系数 k 、太阳高度角 α 、光伏板的倾角 β 和太阳方位角 θ 可求出其具体数值，然后对于相同的倾角 β 可以筛选出最大太阳直射强度，对于一天的太阳直射辐射总能量： $W_{总} = 0.5 \times 3.6 \times \sum I_{板}$ 。结果如图 3 所示，其中太阳直射辐射

总能量的单位是 kJ ，太阳直射辐射强度的单位是 W/m^2 。

日期	倾角20° 总能量	倾角20° 最大强度	倾角40° 总能量	倾角40° 最大强度	倾角60° 总能量	倾角60° 最大强度
1. 15	18559. 9798	650. 798	23497. 1667	747. 8225	25600. 414	773. 4621
2. 15	20137. 1309	676. 4475	23845. 2229	752. 5434	24677. 3971	762. 9111
3. 15	21863. 5893	692. 0911	23916. 8341	751. 8777	23085. 5241	743. 2467
4. 15	22297. 8327	699. 3522	21690. 0198	746. 4197	18466. 2231	704. 8283
5. 15	23444. 4798	722. 341	21996. 5065	731. 226	17895. 5848	677. 6885
6. 15	23404. 2705	707. 3007	21373. 9101	718. 6983	16765. 6912	660. 3086
7. 15	23124. 9338	702. 7782	21302. 8244	715. 2481	16911. 4299	659. 7518
8. 15	22131. 3025	688. 2661	20933. 0829	724. 0092	17210. 1721	675. 1691
9. 15	21656. 5436	680. 3614	22704. 1405	730. 492	21013. 4429	709. 879
10. 15	20582. 8021	663. 978	23926. 361	734. 5397	24384. 2162	731. 8944
11. 15	18619. 4323	646. 2971	23143. 1555	733. 0133	24875. 6355	754. 434
12. 15	17874. 1399	632. 418	23049. 9175	736. 6452	25445. 6972	767. 9469

图 3 问题 1 各项数据综合

5.2 问题二模型建立与求解

5.2.1 数据预处理

与问题一结合来看，问题二基于太阳直射辐射日均总能量求解最佳光伏板方位角（即朝向）和最佳水平倾角，增加的一个变量就是光伏板朝向，我们选择的数据在上一问的基础上，将太阳赤纬角 δ 计算式中的 n 的定义域扩展成 $n \in [1,365]$ 且 $n \in \mathbb{Z}$ ，设置的每天时间间隔仍为半小时。

5.2.2 模型求解

基于问题一所建立的直射辐射模型，我们在此基础上优化加入了太阳方位角 θ 。

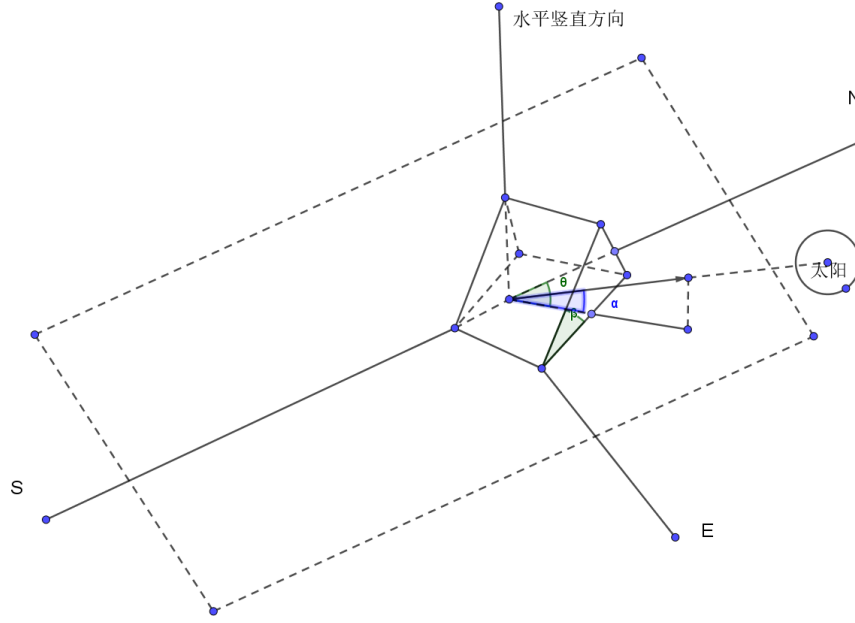


图 4 太阳方位角模型

基于优化后的模型，我们可以列出光伏板不同水平倾角和不同朝向下的太阳直射辐射强度公式：

$$I_{\text{板}}' = kI_0(\sin\alpha\cos\beta - \cos\alpha\cos\theta\cos\gamma\sin\beta + \cos\alpha\sin\theta\cos\beta\sin\gamma)$$

根据上述公式，我们发现水平倾角 β 是一个与其他角度参数无关的变量，所以我们利用控制变量法，将水平倾角 β 先任意取一个定值，此时公式中只剩下光伏板方位角 γ 一个未知变量，所以我们可以根据上述公式将每天各个时间点的太阳直射强度用一个关于 γ 的含参表达式算出来，再根据每日太阳直射总能量 $W_{\text{总}}' = 0.5 \times 3.6 \times \sum I_{\text{板}}'$ 求和得到一年的太阳直射总能量的关于 γ 的三角函数表达式，该表达式的值取极大值时对应的角度 γ 就是最佳光伏板的方位角。将得到的最佳光伏板方位角 γ 代入到 $I_{\text{板}}'$ 的公式中，此时光伏板水平倾角 β 作为唯一的未知变量，同理利用取函数值极大值的方法确定该极大值对应的倾角，即为最佳水平倾角。

5.2.3 结论分析

全年太阳直射总能量的极大值为 $8368278.972209kJ$ ，对应的水平倾角弧度为： 0.590951 ，光伏板方位角弧度为： 0.020141 。最终得到的最优光伏板水平倾角为 33.8589982° ，最优光伏板方位角为 1.153994295° ，即与正南方向相差 1.153994295° 。

按照理想分析，在北半球，光伏板通常朝向正南方向以最大化接收太阳辐射，水平倾角通常设置为安装地点的纬度，以使得在冬季和夏季都能较好的接收到太阳辐射。造成与理想状态偏差的原因在于使用 Matlab 编译时，计算公式中的 π 值在运算时被当作 3.1415 进行取值计算，由于软件的编译误差导致了最终结果与理想结果有一定的偏差。

5.3 问题三模型建立与求解

5.3.1 模型建立

本问题中，光伏板受到的能量与不同倾角、方位角的关系已经在前一问中求出，重要的对于不同倾角、方位角，算出它们对应的辐射总量和处于储电效率较高的时长之后应该如何进行比较获得最优组合。

在太阳能发电系统中，光伏逆变器是其电路的关键设备。通常，把将交流电能转换成直流电能的过程称为整流，把完成整流功能的电路称为整流电路，把实现整流过程的装置称为整流设备或整流器。与之相对应，把将直流电能转换成交流电能的过程称为逆变，把完成逆变功能的电路称为逆变电路，把实现逆变过程的装置称为逆变设备或逆变器。逆变器又称电源调整器，根据逆变器在光伏发电系统中的用途可分为独立型电源用和并网用二种。光伏逆变器不仅能解决光伏发电系统与电网之间的电能不匹配问题，还具有最大限度地发挥太阳能电池性能的功能和系统故障保护功能。通过优化能量转换过程，光伏逆变器最大程度地利用太阳能电池板的输出，实现了电能的最大化利用。此外，光伏逆变器还在保证光伏发电系统稳定运行方面起着关键作用。它能够监测系统的运行状态，并及时响应任何异常情况，以保护系统并防止损坏。

在光伏逆变器中，启动电压，或者说启动功率是一个重要的概念。它是指逆变器需要达到的最低输入功率，才能启动转换过程。因为在启动过程中，逆变器需要克服一系列的电阻和电压障碍。这些障碍包括但不限于电路元件的惯性、电容器的充电过程以及与电网连接时的电压稳定性等。在这些因素的影响下，逆变器需要较大的电力输入才能启动，并在切换到交流电源后稳定运行。

特别是，当光伏逆变器从直流电源切换到交流电源时，需要克服直流和交流系统之间的不匹配。这种切换过程涉及到电子元件的启动、控制系统的初始化、电路中的电感和电容的充电过程等。这些都需要额外的能量来实现，所以光伏逆变器有启动功率的限制。

制。

我们认为，在第三问中题目之所以说光伏板受到太阳直射强度上午大于 150 W/m^2 、下午大于 100 W/m^2 的时间尽可能长，可以使路灯蓄电池的储电效率更高，是因为太阳能板的启动功率大致在这个范围区间，假如太阳直射辐射量低于这个设定值，那么整个储电电路就不会启动，或者其储电效率很低以致可以忽略。在这个假设上，为了得到最优的倾角和方位角组合，我们就应该考虑当太阳能板处于满足题目所述的直射强度时，其受到的直射辐射总量，对于总量比较大的组合，它能够储蓄更多的能量，也就相对“优越”一些。在之后的文段里，把光伏板受到太阳直射强度上午大于 150 W/m^2 、下午大于 100 W/m^2 称为有效条件，对应时间区间称为有效时间，有效时间内太阳能板内受到的太阳辐射称为有效辐射。

5.3.2 编程求解

我们设置倾角和方位角变量，倾角 β 在 $0\sim 90^\circ$ 之间每隔 1° 取一个点，方位角 γ 在 $-180^\circ\sim 180^\circ$ 之间，也每隔 1° 取一个点。之后，对于一年的每一天，我们每隔 0.1 小时选择一个时间点，计算出对应的辐射量值，并判断是否符合有效条件，从而得到每天的有效时间值，有效能量值。将每一天的结果加起来就可以得到一组 β 和 γ 的一年的总有效时长与总有效能量，再比较总有效能量，就可以筛选出最合适的一组 β 和 γ 。图 5 为一年内每天符合有效条件的时长， n 为积日， T 为满足有效条件的时长。

n	T	n	T	n	T	n	T	n	T	n	T	n	T	n	T	n	T	n	T
1	10.2	46	11	91	12	136	11.8	181	11.7	226	11.8	271	11.8	316	10.6	361	10.2		
2	10.2	47	11	92	12	137	11.8	182	11.7	227	11.8	272	11.8	317	10.6	362	10.2		
3	10.2	48	11	93	12	138	11.8	183	11.7	228	11.8	273	11.8	318	10.6	363	10.2		
4	10.2	49	11.2	94	12	139	11.8	184	11.7	229	11.8	274	11.8	319	10.6	364	10.2		
5	10.2	50	11.2	95	12	140	11.8	185	11.7	230	11.8	275	11.8	320	10.6	365	10.2		
6	10.2	51	11.2	96	12	141	11.7	186	11.7	231	11.8	276	11.8	321	10.4				
7	10.2	52	11.2	97	12	142	11.7	187	11.7	232	11.8	277	11.6	322	10.4				
8	10.2	53	11.2	98	12	143	11.7	188	11.7	233	11.8	278	11.6	323	10.4				
9	10.2	54	11.2	99	12	144	11.7	189	11.7	234	11.8	279	11.6	324	10.4				
10	10.2	55	11.2	100	11.9	145	11.7	190	11.7	235	11.8	280	11.6	325	10.4				
11	10.2	56	11.4	101	11.9	146	11.7	191	11.7	236	11.8	281	11.6	326	10.4				
12	10.2	57	11.4	102	11.9	147	11.7	192	11.7	237	11.8	282	11.6	327	10.4				
13	10.2	58	11.4	103	11.9	148	11.7	193	11.7	238	11.8	283	11.4	328	10.4				
14	10.4	59	11.4	104	11.9	149	11.7	194	11.7	239	11.8	284	11.4	329	10.4				
15	10.4	60	11.4	105	11.9	150	11.7	195	11.7	240	11.9	285	11.4	330	10.4				
16	10.4	61	11.4	106	11.9	151	11.7	196	11.7	241	11.9	286	11.4	331	10.4				
17	10.4	62	11.6	107	11.9	152	11.7	197	11.7	242	11.9	287	11.4	332	10.2				
18	10.4	63	11.6	108	11.9	153	11.7	198	11.7	243	11.9	288	11.4	333	10.2				
19	10.4	64	11.6	109	11.9	154	11.7	199	11.7	244	11.9	289	11.4	334	10.2				
20	10.4	65	11.6	110	11.9	155	11.7	200	11.7	245	11.9	290	11.2	335	10.2				
21	10.4	66	11.6	111	11.9	156	11.7	201	11.7	246	11.9	291	11.2	336	10.2				
22	10.4	67	11.6	112	11.9	157	11.7	202	11.7	247	11.9	292	11.2	337	10.2				
23	10.4	68	11.6	113	11.9	158	11.7	203	11.7	248	12	293	11.2	338	10.2				
24	10.4	69	11.8	114	11.8	159	11.7	204	11.7	249	12	294	11.2	339	10.2				
25	10.6	70	11.8	115	11.8	160	11.7	205	11.7	250	12	295	11.2	340	10.2				
26	10.6	71	11.8	116	11.8	161	11.7	206	11.7	251	12	296	11.2	341	10.2				
27	10.6	72	11.8	117	11.8	162	11.7	207	11.7	252	12	297	11	342	10.2				
28	10.6	73	11.8	118	11.8	163	11.7	208	11.7	253	12	298	11	343	10.2				
29	10.6	74	11.8	119	11.8	164	11.7	209	11.7	254	12	299	11	344	10.2				
30	10.6	75	12	120	11.8	165	11.7	210	11.7	255	12	300	11	345	10.2				
31	10.6	76	12	121	11.8	166	11.7	211	11.7	256	12	301	11	346	10.2				
32	10.6	77	12	122	11.8	167	11.7	212	11.8	257	12	302	11	347	10.2				
33	10.6	78	12	123	11.8	168	11.7	213	11.8	258	12	303	11	348	10.2				
34	10.8	79	12	124	11.8	169	11.7	214	11.8	259	12	304	10.8	349	10.2				
35	10.8	80	12	125	11.8	170	11.7	215	11.8	260	12	305	10.8	350	10.2				
36	10.8	81	12.1	126	11.8	171	11.7	216	11.8	261	12	306	10.8	351	10.2				
37	10.8	82	12.1	127	11.8	172	11.7	217	11.8	262	12	307	10.8	352	10.2				
38	10.8	83	12.1	128	11.8	173	11.7	218	11.8	263	12	308	10.8	353	10.2				
39	10.8	84	12.1	129	11.8	174	11.7	219	11.8	264	11.9	309	10.8	354	10.2				
40	10.8	85	12.1	130	11.8	175	11.7	220	11.8	265	11.9	310	10.8	355	10.2				
41	10.8	86	12	131	11.8	176	11.7	221	11.8	266	11.9	311	10.8	356	10.2				
42	11	87	12	132	11.8	177	11.7	222	11.8	267	12	312	10.6	357	10.2				
43	11	88	12	133	11.8	178	11.7	223	11.8	268	12	313	10.6	358	10.2				
44	11	89	12	134	11.8	179	11.7	224	11.8	269	12	314	10.6	359	10.2				
45	11	90	12	135	11.8	180	11.7	225	11.8	270	11.8	315	10.6	360	10.2				

图 5 每天满足有效条件的时长

5.3.3 求解结果

根据上述编程方法，编程求解可得，当太阳能板的倾角为 41.00° ，方位角为 1.00° 时，太阳能板受到的太阳直射辐射处于要求区间的时间最长，总有效时长为 4140.7 小时，日均时长为 11.34 小时，得到有效太阳辐射量为 $8272180.4124kJ$ ，日均有效辐射为 $22663.5079\text{ }kJ$ 。同时，在这一条件下求得的总能量约为 $8305700\text{ }kJ$ ，相对于前一问求得的总能量极大值，仅仅衰减了 0.75%，保证了有效辐射量大的同时总能量也不低。

六、模型的评价

6.1 模型的优势

我们利用构建直射辐射角度关系模型的方法，从数学计算层面准确列出了太阳直射强度以及太阳直射总能量的公式，可以使得最终数据误差是极小的。同时利用控制变量法的思想，将问题二中的两个待求未知量，分步进行一个未知量的确定，通过数学极值

计算精确的求解出对应的角度。

6.2 模型的对比与改进

在模型假设中，我们假设附件 sheet2 中每月的大气层外层太阳能辐射强度可以代表该月每天的大气层外层太阳能辐射强度，这是因为相邻月份的变化量较小。但基于公式：

$$EDNI = E_0 \times (1 + 0.033 \cos \frac{360}{365} n)$$

其中， $EDNI$ 是指某一具体日期的地外法向太阳辐射， E_0 是太阳常数，一般取 $1366.1W/m^2$ ， n 为积日。此外，该计算导则说明了对于地外太阳辐射量，可以近似等于当月的代表日日辐照量乘当月日数表示。

北纬/(°N)	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
55	18	15	16	15	15	10	17	16	15	16	14	11
50	17	15	16	15	15	10	17	16	16	16	15	11
45	18	15	16	15	15	10	17	17	16	16	15	11
40	17	15	16	15	15	10	17	17	16	16	15	11
35	17	15	16	15	15	10	17	17	16	16	15	11
30	17	15	16	15	15	9	17	17	16	16	15	11
25	17	15	16	15	14	8	18	17	16	16	15	11
20	17	15	16	15	12	19	18	17	16	16	15	11
15	17	15	15	14	22	13	19	18	16	16	15	11

图 6 15° N 与 55° N 之间区域的各月代表日²

题中所给的纬度为北纬 30° 35'，可近似看成表格中的北纬 30°，若将 sheet2 中每月的外层太阳辐射强度当作代表日的辐射强度，我们就可以得到 12 个积日对应的 $EDNI$ 值，假设其具有类似上述的表达式，我们可以拟合出一个 $EDNI$ 与积日的表达式，进而得到每天精确的外层太阳辐射强度。但从统计学上考虑，仅仅通过 12 个样本推断全年 365

² GB/T 37525—2019 太阳直接辐射计算导则

个样本的数据是有风险的，并且基于上述经验公式拟合出来的图像与 12 个样本点的相关系数没有达到非常好的预期，所以本文我们选择了保守假设，并未采取该方法。结果如图 5 所示

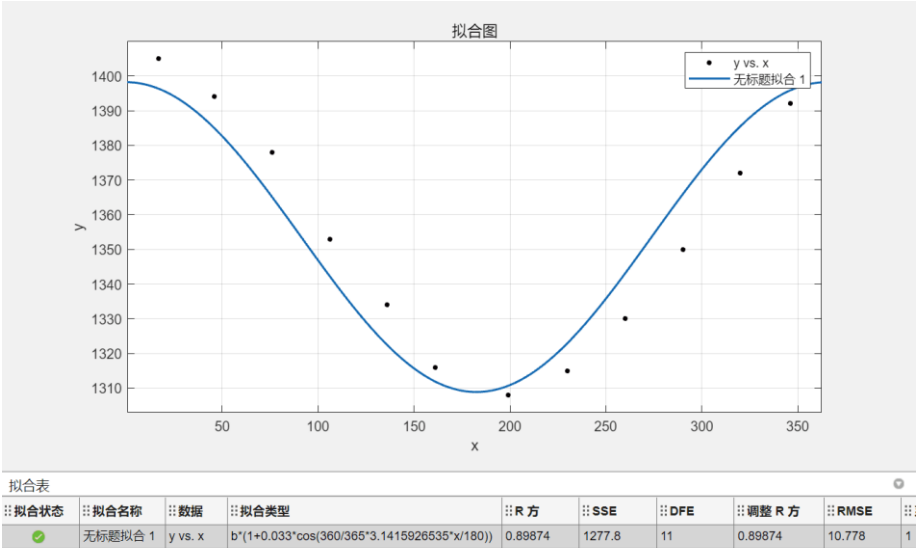


图 7 EDNI 公式拟合曲线

系数和 95% 置信边界			
	值	下限	上限
b	1.3535e+03	1.3467e+03	1.3604e+03

图 8 拟合曲线所求系数取值

上述建模的进一步改进，即通过增大数据容量获得更加精确的模型。若我们能获得每周的地外太阳辐射强度的具体数值，那么该拟合曲线的相关系数会较高，从而能够获得较为精确的每天的地外太阳辐射强度数值，进而获得 sheet1 对应 5 月 23 日的地外太阳辐射强度，与 sheet1 对照获得更为精确的衰减系数。

如果要将这个模型推广到实际，另一种改进方法是考虑更多的影响因素。太阳能板的温度是一个很重要的因素。温度升高，电路的电阻增大，使得能量损耗增大，并且温度也会使光伏发电系统更容易老化，寿命缩短。总体来说，温度升高会使太阳能板发电

效率降低³。气象因素也对太阳能板的发电具有很大的影响⁴，晴天的太阳辐射量显然会高于阴天，雨天虽然太阳辐射量小，但雨水能使太阳能板降温。如果要考虑上述这些因素，对于温度，我们需要在理论的基础上进行实验，得到输出功率与温度的确切关系。对于天气，我们可以对不同的天气进行分开讨论，晴天、阴天、雨天，各算出一个衰减系数，再根据每个月的天气统计数据，获得不同月份各种天气的大致天数，综合以上因素，再去计算水平倾角、方位角组合最为合适。根据题目，太阳辐射由直接辐射和散射辐射组成，实际场景中显然不能只考虑直接辐射。

对于问题三的模型，我们没有加入优化算法进去，会导致我们在综合考虑储电效率高和储电量大的两个因素的最优决策上出现算法上的误差。若基于算法进行改进，我们需要将每天符合题目中太阳直射强度范围的相应的时间差，与光伏板的方位角和水平倾角建立一个目标函数；再将一年的太阳直射辐射总能量关于上述两个角度设成第二个目标函数。利用这两个目标函数通过多目标优化算法，基于两个目标函数值尽可能大的时候，求出最优的光伏板方位角和水平倾角。

³王婧怡，钱政，孙翰墨，郭鹏程，申焯，郭宗军. 温度对户外光伏系统发电效率影响分析[J]. 电测与仪表, 2018, 55 (15): 127-132

⁴ 兰华, 廖志民, 赵阳. 基于 ARMA 模型的光伏电站出力预测[J]. 电测与仪表, 2011, 48 (02): 31-35.

参考文献

- [1] 王恩宇. 倾斜面太阳辐射量计算方法研究[J]. 热科学与技术, 2019, 2 (1): 36
- [2] GB/T 37525—2019 太阳直接辐射计算导则
- [3] 王婧怡, 钱政, 孙翰墨, 郭鹏程, 申烛, 郭宗军. 温度对户外光伏系统发电效率影响分析[J]. 电测与仪表, 2018, 55 (15): 127-132
- [4] 兰华, 廖志民, 赵阳. 基于 ARMA 模型的光伏电站出力预测[J]. 电测与仪表, 2011, 48 (02): 31-35.

附录

支撑材料列表

- 1、 Word 版本论文
- 2、 Matlab 程序源代码
- 3、 附件数据处理表格
- 4、 不同天数有效时长的汇总表格
- 5、 太阳方位角的图形绘画
- 6、 参考文献资料

Matlab 源代码

计算太阳高度角、方位角：

```
function [zenith, azimuth] = solar_position(LST, longitude, date_time)
```

```
pi=3.1415;
```

```
phi=longitude*pi/180;
```

```
%均为弧度而非角度
```

```
%太阳时角
```

```
w=(pi/12)*(LST-12);
```

```
%太阳赤纬角
```

```
q=(23.45*pi/180)*sin(2*pi*(284+date_time)/365);
```

```
%太阳高度角
```

```
zenith=asin(cos(q)*cos(phi)*cos(w)+sin(q)*sin(phi));
```

```
%太阳方位角(以正南为 0 度方向)
```

```
b=acos(sin(q)-sin(zenith)*sin(phi))/(cos(zenith)*cos(phi));
```

```
if w>=0
```

```
azimuth=2*pi-b;
```

```
else
```

```
azimuth=b;
```

```
end
```

```
end
```

第一问：

```
% 定义日期和地点信息
```

```
year = 2025;
```

```
latitude = 30.5833; % 北纬 30°35'
```

```
longitude = 114.3167; % 东经 114°19'
```

```
angles=[20,40,60];
```

```
tilt_angles = [20*3.1415/180, 40*3.1415/180, 60*3.1415/180]; % 倾斜角
```

```
areas = 1; % 面积 (m^2)
```

```
I0 = [1405, 1394, 1378, 1353, 1334, 1316, 1308, 1315, 1330, 1350, 1372, 1392]; % 大气层外层太阳能辐射  
强度 (W/m^2)
```

```
alpha =0.552; % 大气层衰减系数 (W/(m^2*km))
```

```
% 初始化结果矩阵
```

```
results = zeros(length(I0), length(tilt_angles), 2);
```

```
%获取每个月 15 日的积日
```

```
date_array = [15,46,74,105,135,166,196,227,258,288,319,349];
```

```
% 计算每个月的结果
```

```
for month = 1:length(I0)
```

```

date_number=date_array(month)

% 计算太阳直射辐射总能量和最大太阳直射强度

for i = 1:length(tilt_angles)

tilt_angle = tilt_angles(i); % 当前倾斜角（度）

%初始化每个时段的太阳直射结果矩阵

solar=zeros(1,48);

j=1;

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 0:0.5:24

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(month) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

a=sin(zenith) * cos(tilt_angle)-cos(zenith)*cos(azimuth)*sin(tilt_angle);

solar_radiation = I0_adjusted * a;

else

solar_radiation=0;

end

solar(j)=solar_radiation;

j=j+1;

end

solar

% 计算最大太阳直射强度

solar_radiation_max = max(solar);

%计算一天总量

solar_radiation_total=sum(solar)*0.5*3.6;

```

```

%写入结果

results(month, i, :) = [solar_radiation_total, solar_radiation_max];

end

end

% 显示结果

for month = 1:length(I0)

disp(['2025 年 ', num2str(month), ' 月 15 日: ']);

for i = 1:length(tilt_angles)

disp(['倾斜角为 ', num2str(angles(i)), '° 时的太阳直射辐射总能量和最大太阳直射强度: ']);

disp(['总能量 (kJ) : ', num2str(results(month, i, 1))]);

disp(['最大强度 (W/m^2) : ', num2str(results(month, i, 2))]);

end

disp(' ');

End

```

第二问：

(1) 确定方位角

```

% 定义日期和地点信息

year = 2025;

latitude = 30.5833; % 北纬 30°35'

longitude = 114.3167; % 东经 114°19'

%先认为光伏板倾角不变，找最优方位角

angles=0;

tilt_angle = 0*3.1415/180; % 倾斜角

areas = 1; % 面积 (m^2)

I0 = [1405, 1394, 1378, 1353, 1334, 1316, 1308, 1315, 1330, 1350, 1372, 1392]; % 大气层外层太阳能辐射强度 (W/m^2)

alpha =0.552; % 大气层衰减系数 (W/(m^2*km))

```

```

%创建光伏板方位角变量

syms a

% 初始化结果矩阵

results = zeros(1,12);

date_array =[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12;
1, 32, 60, 91, 121, 152, 182, 213, 243, 274, 305, 335];

% 计算每个月的结果

solar_1=0;

for D=1:31

date_number=D;

%初始化每个时段的太阳直射结果矩阵

solar_radiation_total=0;

j=1;

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 0:0.5:24

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(1) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-
sin(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

```

```

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

solar_radiation=0;

end

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.5*3.6;

j=j+1;

end

solar_1=solar_1+solar_radiation_total;

end

solar_1

solar_2=0;

for D=1:28

%积日

date_number=D+31;

%初始化每个时段的太阳直射结果矩阵

solar_radiation_total=0;

j=1;

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 0:0.5:24

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(2) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

```

```

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-
cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

solar_radiation=0;

end

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.5*3.6;

j=j+1;

end

solar_2=solar_2+solar_radiation_total;

end

solar_2

solar_3=0;

for D=1:31

%积日

date_number=D+31+28;

```

(2) 确定倾角

```

% 定义日期和地点信息

year = 2025;

latitude = 30.5833; % 北纬 30°35'

longitude = 114.3167; % 东经 114°19'

%确定方位角后计算倾角

syms tilt_angle; % 倾斜角

areas = 1; % 面积 (m^2)

I0 = [1405, 1394, 1378, 1353, 1334, 1316, 1308, 1315, 1330, 1350, 1372, 1392]; % 大气层外层太阳能辐射强度 (W/m^2)

alpha =0.552; % 大气层衰减系数 (W/(m^2*km))

```

```

%创建光伏板方位角变量

a=0.020141;

% 初始化结果矩阵

results = zeros(1,12);

date_array =[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12;

1, 32, 60, 91, 121, 152, 182, 213, 243, 274, 305, 335];

% 计算每个月的结果

solar_1=0;

for D=1:31

date_number=D;

%初始化每个时段的太阳直射结果矩阵

solar_radiation_total=0;

j=1;

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 0:0.5:24

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(1) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-

sin(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

```



```

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

solar_radiation=0;

end

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.5*3.6;

j=j+1;

end

solar_1=solar_1+solar_radiation_total;

end

solar_1

solar_2=0;

for D=1:28

%积日

date_number=D+31;

%初始化每个时段的太阳直射结果矩阵

solar_radiation_total=0;

j=1;

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 0:0.5:24

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(2) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

```

```

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-
cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

solar_radiation=0;

end

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.5*3.6;

j=j+1;

end

solar_2=solar_2+solar_radiation_total;

end

solar_2

solar_3=0;

for D=1:31

%积日

date_number=D+31+28;

%初始化每个时段的太阳直射结果矩阵

solar_radiation_total=0;

j=1;

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 0:0.5:24

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(3) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

```

```

if zenith>0

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-
cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

solar_radiation=0;

end

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.5*3.6;

j=j+1;

end

solar_3=solar_3+solar_radiation_total;

end

solar_3

solar_4=0;

for D=1:30

%积日

date_number=D+31+28+31;

%初始化每个时段的太阳直射结果矩阵

solar_radiation_total=0;

j=1;

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 0:0.5:24

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(4) * alpha;

```

```

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-
cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

solar_radiation=0;

end

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.5*3.6;

j=j+1;

end

solar_4=solar_4+solar_radiation_total;

end

solar_4

solar_5=0;

for D=1:31

%积日

date_number=D+31+28+31+30;

%初始化每个时段的太阳直射结果矩阵

solar_radiation_total=0;

j=1;

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 0:0.5:24

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

```

```

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(5) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-
cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

solar_radiation=0;

end

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.5*3.6;

j=j+1;

end

solar_5=solar_5+solar_radiation_total;

end

solar_5

solar_6=0;

for D=1:30

%积日

date_number=D+31+28+31+30+31;

%初始化每个时段的太阳直射结果矩阵

solar_radiation_total=0;

j=1;

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 0:0.5:24

% 计算太阳位置

```

```

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(6) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-
cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

solar_radiation=0;

end

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.5*3.6;

j=j+1;

end

solar_6=solar_6+solar_radiation_total;

end

solar_6

solar_7=0;

for D=1:31

%积日

date_number=D+31+28+31+30+31+30;

%初始化每个时段的太阳直射结果矩阵

solar_radiation_total=0;

j=1;

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 0:0.5:24

```

```

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(7) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-
cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

solar_radiation=0;

end

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.5*3.6;

j=j+1;

end

solar_7=solar_7+solar_radiation_total;

end

solar_7

solar_8=0;

for D=1:31

%积日

date_number=D+31+28+31+30+31+30+31;

%初始化每个时段的太阳直射结果矩阵

solar_radiation_total=0;

j=1;

% 获取小时和分钟

```

```

for hour_decimal = 0:0.5:24

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(8) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-
cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

solar_radiation=0;

end

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.5*3.6;

j=j+1;

end

solar_8=solar_8+solar_radiation_total;

end

solar_8

solar_9=0;

for D=1:30

%积日

date_number=D+31+28+31+30+31+30+31+31;

%初始化每个时段的太阳直射结果矩阵

solar_radiation_total=0;

j=1;

```



```

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 0:0.5:24

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(9) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-
cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

solar_radiation=0;

end

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.5*3.6;

j=j+1;

end

solar_9=solar_9+solar_radiation_total;

end

solar_9

solar_10=0;

for D=1:31

%积日

date_number=D+31+28+31+30+31+30+31+31+30;

%初始化每个时段的太阳直射结果矩阵

solar_radiation_total=0;

```

```

j=1;

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 0:0.5:24

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(10) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-
cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

solar_radiation=0;

end

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.5*3.6;

j=j+1;

end

solar_10=solar_10+solar_radiation_total;

end

solar_10

solar_11=0;

for D=1:30

%积日

date_number=D+31+28+31+30+31+30+31+31+30+31;

%初始化每个时段的太阳直射结果矩阵

```

```

solar_radiation_total=0;

j=1;

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 0:0.5:24

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(11) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-
cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

solar_radiation=0;

end

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.5*3.6;

j=j+1;

end

solar_11=solar_11+solar_radiation_total;

end

solar_11

solar_12=0;

for D=1:30

%积日

date_number=D+31+28+31+30+31+30+31+31+30+31+30;

```

%初始化每个时段的太阳直射结果矩阵

solar_radiation_total=0;

j=1;

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 0:0.5:24

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(12) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-

cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

solar_radiation=0;

end

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.5*3.6;

j=j+1;

end

solar_12=solar_12+solar_radiation_total;

end

solar_12

% 定义导数

y=solar_1+solar_2+solar_3+solar_4+solar_5+solar_6+solar_7+solar_8+solar_9+solar_10+solar_11+solar_12

dy_dtilt_angle = diff(y, tilt_angle);

```

% 解方程 dy/dtilt_angle = 0

tilt_angle_solution = solve(dy_dtilt_angle == 0, tilt_angle);

% 检查极值

max_y = -inf; % 初始化最大值为负无穷

max_tilt_angle = []; % 初始化对应的角度为空

for i = 1:length(tilt_angle_solution)

% 计算对应的 y 值

y_value = double(subs(y, tilt_angle, tilt_angle_solution(i)));

% 如果 y 值大于当前的最大值，则更新最大值和对应的角度

if y_value > max_y

max_y = y_value;

max_tilt_angle = tilt_angle_solution(i);

end

end

fprintf('极大值为: %f, 对应的弧度为: %f\n', max_y, 3.1415*0.5-max_tilt_angle);

```

第三问：

(1) 计算最优倾角、方位角

```

% 定义日期和地点信息

year = 2025;

latitude = 30.5833; % 北纬 30°35'

longitude = 114.3167; % 东经 114°19'

areas = 1; % 面积 (m^2)

I0 = [1405, 1394, 1378, 1353, 1334, 1316, 1308, 1315, 1330, 1350, 1372, 1392]; % 大气层外层太阳能辐射强度 (W/m^2)

alpha = 0.552; % 大气层衰减系数 (W/(m^2*km))

```

```

% 初始化结果矩阵

results = zeros(1,12);

date_array =[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12;

1, 32, 60, 91, 121, 152, 182, 213, 243, 274, 305, 335];

%初始化包含两个变量的二维矩阵：全年有效太阳辐射能量

E=zeros(89,179);

for m=1:1:90

tilt_angle=3.1415*0.5-m*3.1415/180;

for n=1:1:180

a=(n-90)*3.1415/180;

% 计算每个月的结果

solar_1=0;

for D=1:31

date_number=D;

%初始化每个时段的太阳直射结果矩阵

solar_radiation_total=0;

j=1;

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 0:0.1:12

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(1) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

```

```

if zenith>0

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-
cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

solar_radiation=0;

end

if solar_radiation>150

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.1*3.6;

end

j=j+1;

end

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 12:0.1:24

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(1) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-
cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

solar_radiation=0;

end

if solar_radiation>100

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.1*3.6;

end

```

```

j=j+1;

end

solar;

solar_1=solar_1+solar_radiation_total;

end

solar_1;

% 计算每个月的结果

solar_2=0;

for D=1:28

date_number=D+31;

%初始化每个时段的太阳直射结果矩阵

solar_radiation_total=0;

j=1;

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 0:0.1:12

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(2) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-
cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

solar_radiation=0;

```



```

end

if solar_radiation>150

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.1*3.6;

end

j=j+1;

end

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 12:0.1:24

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(2) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-
cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

solar_radiation=0;

end

if solar_radiation>100

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.1*3.6;

end

j=j+1;

end

solar;

solar_2=solar_2+solar_radiation_total;

end

```

```

solar_2;

% 计算每个月的结果

solar_3=0;

for D=1:31

date_number=D+31+28;

%初始化每个时段的太阳直射结果矩阵

solar_radiation_total=0;

j=1;

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 0:0.1:12

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(3) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-
cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

solar_radiation=0;

end

if solar_radiation>150

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.1*3.6;

end

j=j+1;

end

```

```

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 12:0.1:24

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(3) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-
cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

solar_radiation=0;

end

if solar_radiation>100

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.1*3.6;

end

j=j+1;

end

solar;

solar_3=solar_3+solar_radiation_total;

end

solar_3;

% 计算每个月的结果

solar_4=0;

for D=1:30

```

```

date_number=D+31+28+31;

%初始化每个时段的太阳直射结果矩阵

solar_radiation_total=0;

j=1;

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 0:0.1:12

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(4) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-
cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

solar_radiation=0;

end

if solar_radiation>150

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.1*3.6;

end

j=j+1;

end

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 12:0.1:24

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

```

```

I0_adjusted = I0(4) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-
cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

solar_radiation=0;

end

if solar_radiation>100

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.1*3.6;

end

j=j+1;

end

solar;

solar_4=solar_4+solar_radiation_total;

end

solar_4;

% 计算每个月的结果

solar_5=0;

for D=1:31

date_number=D+31+28+31+30;

%初始化每个时段的太阳直射结果矩阵

solar_radiation_total=0;

j=1;

```

```

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 0:0.1:12

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(5) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-
cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

solar_radiation=0;

end

if solar_radiation>150

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.1*3.6;

end

j=j+1;

end

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 12:0.1:24

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(5) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-
cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

```

```

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

solar_radiation=0;

end

if solar_radiation>100

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.1*3.6;

end

j=j+1;

end

solar;

solar_5=solar_5+solar_radiation_total;

end

solar_5;

% 计算每个月的结果

solar_6=0;

for D=1:30

date_number=D+31+28+31+30+31;

%初始化每个时段的太阳直射结果矩阵

solar_radiation_total=0;

j=1;

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 0:0.1:12

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

```

```

I0_adjusted = I0(6) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-
cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

solar_radiation=0;

end

if solar_radiation>150

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.1*3.6;

end

j=j+1;

end

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 12:0.1:24

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(6) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-
cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

solar_radiation=0;

end

if solar_radiation>100

```



```

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.1*3.6;

end

j=j+1;

end

solar;

solar_6=solar_6+solar_radiation_total;

end

solar_6;

% 计算每个月的结果

solar_7=0;

for D=1:31

date_number=D+31+28+31+30+31+30;

%初始化每个时段的太阳直射结果矩阵

solar_radiation_total=0;

j=1;

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 0:0.1:12

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(7) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-
cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

solar_radiation=I0_adjusted*A;

```

```

else

solar_radiation=0;

end

if solar_radiation>150

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.1*3.6;

end

j=j+1;

end

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 12:0.1:24

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(7) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-
cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

solar_radiation=0;

end

if solar_radiation>100

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.1*3.6;

end

j=j+1;

end

solar;

solar_7=solar_7+solar_radiation_total;

```

```

end

solar_7;

% 计算每个月的结果

solar_8=0;

for D=1:31

date_number=D+31+28+31+30+31+30+31;

%初始化每个时段的太阳直射结果矩阵

solar_radiation_total=0;

j=1;

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 0:0.1:12

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(8) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-
cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

solar_radiation=0;

end

if solar_radiation>150

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.1*3.6;

end

```

```

j=j+1;

end

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 12:0.1:24

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(8) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-
cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

solar_radiation=0;

end

if solar_radiation>100

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.1*3.6;

end

j=j+1;

end

solar;

solar_8=solar_8+solar_radiation_total;

end

solar_8;

% 计算每个月的结果

```

```

solar_9=0;

for D=1:30

date_number=D+31+28+31+30+31+30+31+31;

%初始化每个时段的太阳直射结果矩阵

solar_radiation_total=0;

j=1;

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 0:0.1:12

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(9) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-
cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

solar_radiation=0;

end

if solar_radiation>150

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.1*3.6;

end

j=j+1;

end

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 12:0.1:24

% 计算太阳位置

```

```

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(9) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-
cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

solar_radiation=0;

end

if solar_radiation>100

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.1*3.6;

end

j=j+1;

end

solar;

solar_9=solar_9+solar_radiation_total;

end

solar_9;

% 计算每个月的结果

solar_10=0;

for D=1:31

date_number=D+31+28+31+30+31+30+31+31+30;

%初始化每个时段的太阳直射结果矩阵

solar_radiation_total=0;

```

```

j=1;

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 0:0.1:12

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(10) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-
cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

solar_radiation=0;

end

if solar_radiation>150

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.1*3.6;

end

j=j+1;

end

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 12:0.1:24

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(10) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

```

```

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-
cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

solar_radiation=0;

end

if solar_radiation>100

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.1*3.6;

end

j=j+1;

end

solar;

solar_10=solar_10+solar_radiation_total;

end

solar_10;

% 计算每个月的结果

solar_11=0;

for D=1:30

date_number=D+31+28+31+30+31+30+31+31+30+31;

%初始化每个时段的太阳直射结果矩阵

solar_radiation_total=0;

j=1;

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 0:0.1:12

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

```



```

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(11) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-
cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

solar_radiation=0;

end

if solar_radiation>150

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.1*3.6;

end

j=j+1;

end

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 12:0.1:24

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(11) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-
cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

solar_radiation=0;

end

```

```

if solar_radiation>100

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.1*3.6;

end

j=j+1;

end

solar;

solar_11=solar_11+solar_radiation_total;


end


solar_11;


% 计算每个月的结果

solar_12=0;

for D=1:31

date_number=D+31+28+31+30+31+30+31+31+30+31+30;

%初始化每个时段的太阳直射结果矩阵

solar_radiation_total=0;

j=1;

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 0:0.1:12

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(12) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-

cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

```

```

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

solar_radiation=0;

end

if solar_radiation>150

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.1*3.6;

end

j=j+1;

end

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 12:0.1:24

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(12) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-
cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

solar_radiation=0;

end

if solar_radiation>100

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.1*3.6;

end

j=j+1;

end

solar;

```

```

solar_12=solar_12+solar_radiation_total;

end

solar_12;

E(m,n)=solar_1+solar_2+solar_3+solar_4+solar_5+solar_6+solar_7+solar_8+solar_9+solar_10+solar_11+solar_12;

end

end

% 找到 E 的最大值以及对应的行列数

[maxValue, linearIndex] = max(E(:));

[M, N] = ind2sub(size(E), linearIndex);

%最优水平倾角

phi1=M*3.1415/180;

%最优方位角

phi2=(N-90)*3.1415/180;

% 输出结果

disp(['最大值为: ', num2str(maxValue)]);

disp(['最优角为: (', num2str(phi1), ', ', num2str(phi2), ')']);

```

(2) 计算总有效直射强度与有效时间

```

% 定义日期和地点信息

year = 2025;

latitude = 30.5833; % 北纬 30°35'

longitude = 114.3167; % 东经 114°19'

tilt_angle=3.1415*0.5-0.71556;

```

```

areas = 1; % 面积 (m^2)

I0 = [1405, 1394, 1378, 1353, 1334, 1316, 1308, 1315, 1330, 1350, 1372, 1392]; % 大气层外层太阳能辐射强度 (W/m^2)

alpha =0.552; % 大气层衰减系数 (W/(m^2*km))

a=0.017453;

% 初始化结果矩阵

results = zeros(1,12);

date_array =[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12;

1, 32, 60, 91, 121, 152, 182, 213, 243, 274, 305, 335];

hour=zeros(1,365);

% 计算每个月的结果

solar_1=0;

for D=1:31

date_number=D;

%初始化每个时段的太阳直射结果矩阵

solar_radiation_total=0;

j=1;

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 0:0.1:12

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度 (考虑大气层衰减)

I0_adjusted = I0(1) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

```

```

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-
cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

solar_radiation=0;

end

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.5*3.6;

if solar_radiation>150

hour(date_number)=hour(date_number)+0.1;

end

j=j+1;

end

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 12:0.1:24

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(1) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-
cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

solar_radiation=0;

end

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.5*3.6;

if solar_radiation>100

hour(date_number)=hour(date_number)+0.1;

```

```

end

j=j+1;

end

solar;

solar_1=solar_1+solar_radiation_total;

end

solar_1;

% 计算每个月的结果

solar_2=0;

for D=1:28

date_number=D+31;

%初始化每个时段的太阳直射结果矩阵

solar_radiation_total=0;

j=1;

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 0:0.1:12

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(2) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-
cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

```

```

solar_radiation=0;

end

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.5*3.6;

if solar_radiation>150

hour(date_number)=hour(date_number)+0.1;

end

j=j+1;

end

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 12:0.1:24

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(2) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-
cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

solar_radiation=0;

end

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.5*3.6;

if solar_radiation>100

hour(date_number)=hour(date_number)+0.1;

end

j=j+1;

end

solar;

```



```

solar_2=solar_2+solar_radiation_total;

end

solar_2;

% 计算每个月的结果

solar_3=0;

for D=1:31

date_number=D+31+28;

%初始化每个时段的太阳直射结果矩阵

solar_radiation_total=0;

j=1;

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 0:0.1:12

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(3) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-
cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

solar_radiation=0;

end

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.5*3.6;

if solar_radiation>150

```

```

hour(date_number)=hour(date_number)+0.1;

end

j=j+1;

end

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 12:0.1:24

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(3) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-
cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

solar_radiation=0;

end

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.5*3.6;

if solar_radiation>100

hour(date_number)=hour(date_number)+0.1;

end

j=j+1;

end

solar;

solar_3=solar_3+solar_radiation_total;

end

```

```

solar_3;

% 计算每个月的结果

solar_4=0;

for D=1:30

date_number=D+31+28+31;

%初始化每个时段的太阳直射结果矩阵

solar_radiation_total=0;

j=1;

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 0:0.1:12

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(4) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-
cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

solar_radiation=0;

end

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.5*3.6;

if solar_radiation>150

hour(date_number)=hour(date_number)+0.1;

end

j=j+1;

end

```

```

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 12:0.1:24

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(4) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-
cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

solar_radiation=0;

end

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.5*3.6;

if solar_radiation>100

hour(date_number)=hour(date_number)+0.1;

end

j=j+1;

end

solar;

solar_4=solar_4+solar_radiation_total;

end

solar_4;

% 计算每个月的结果

```

```

solar_5=0;

for D=1:31

date_number=D+31+28+31+30;

%初始化每个时段的太阳直射结果矩阵

solar_radiation_total=0;

j=1;

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 0:0.1:12

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(5) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-
cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

solar_radiation=0;

end

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.5*3.6;

if solar_radiation>150

hour(date_number)=hour(date_number)+0.1;

end

j=j+1;

end

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 12:0.1:24

```

```

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(5) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-
cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

solar_radiation=0;

end

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.5*3.6;

if solar_radiation>100

hour(date_number)=hour(date_number)+0.1;

end

j=j+1;

end

solar;

solar_5=solar_5+solar_radiation_total;

end

solar_5;

% 计算每个月的结果

solar_6=0;

for D=1:30

date_number=D+31+28+31+30+31;

```

```

%初始化每个时段的太阳直射结果矩阵

solar_radiation_total=0;

j=1;

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 0:0.1:12

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(6) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-
cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

solar_radiation=0;

end

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.5*3.6;

if solar_radiation>150

hour(date_number)=hour(date_number)+0.1;

end

j=j+1;

end

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 12:0.1:24

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(6) * alpha;

```

```

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-
cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

solar_radiation=0;

end

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.5*3.6;

if solar_radiation>100

hour(date_number)=hour(date_number)+0.1;

end

j=j+1;

end

solar;

solar_6=solar_6+solar_radiation_total;

end

solar_6;

% 计算每个月的结果

solar_7=0;

for D=1:31

date_number=D+31+28+31+30+31+30;

%初始化每个时段的太阳直射结果矩阵

solar_radiation_total=0;

j=1;

% 获取小时和分钟

```



```

for hour_decimal = 0:0.1:12

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(7) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-
cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

solar_radiation=0;

end

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.5*3.6;

if solar_radiation>150

hour(date_number)=hour(date_number)+0.1;

end

j=j+1;

end

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 12:0.1:24

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(7) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-
cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

```

```

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

solar_radiation=0;

end

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.5*3.6;

if solar_radiation>100

hour(date_number)=hour(date_number)+0.1;

end

j=j+1;

end

solar;

solar_7=solar_7+solar_radiation_total;

end

solar_7;

% 计算每个月的结果

solar_8=0;

for D=1:31

date_number=D+31+28+31+30+31+30+31;

%初始化每个时段的太阳直射结果矩阵

solar_radiation_total=0;

j=1;

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 0:0.1:12

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

```

```

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(8) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-
cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

solar_radiation=0;

end

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.5*3.6;

if solar_radiation>150

hour(date_number)=hour(date_number)+0.1;

end

j=j+1;

end

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 12:0.1:24

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(8) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-
cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

solar_radiation=0;

```

```

end

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.5*3.6;

if solar_radiation>100

hour(date_number)=hour(date_number)+0.1;

end

j=j+1;

end

solar;

solar_8=solar_8+solar_radiation_total;

end

solar_8;

% 计算每个月的结果

solar_9=0;

for D=1:30

date_number=D+31+28+31+30+31+30+31+31;

%初始化每个时段的太阳直射结果矩阵

solar_radiation_total=0;

j=1;

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 0:0.1:12

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(9) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

```

```

if zenith>0

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-
cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

solar_radiation=0;

end

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.5*3.6;

if solar_radiation>150

hour(date_number)=hour(date_number)+0.1;

end

j=j+1;

end

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 12:0.1:24

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(9) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-
cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

solar_radiation=0;

end

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.5*3.6;

if solar_radiation>100

```

```

hour(date_number)=hour(date_number)+0.1;

end

j=j+1;

end

solar;

solar_9=solar_9+solar_radiation_total;


end


solar_9;


% 计算每个月的结果

solar_10=0;

for D=1:31

date_number=D+31+28+31+30+31+30+31+31+30;


%初始化每个时段的太阳直射结果矩阵

solar_radiation_total=0;

j=1;

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 0:0.1:12

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(10) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-
cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

solar_radiation=I0_adjusted*A;

```

```

else

solar_radiation=0;

end

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.5*3.6;

if solar_radiation>150

hour(date_number)=hour(date_number)+0.1;

end

j=j+1;

end

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 12:0.1:24

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(10) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-
cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

solar_radiation=0;

end

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.5*3.6;

if solar_radiation>100

hour(date_number)=hour(date_number)+0.1;

end

j=j+1;

end

```

```

solar;

solar_10=solar_10+solar_radiation_total;

end

solar_10;

% 计算每个月的结果

solar_11=0;

for D=1:30

date_number=D+31+28+31+30+31+30+31+31+30+31;

%初始化每个时段的太阳直射结果矩阵

solar_radiation_total=0;

j=1;

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 0:0.1:12

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(11) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-
cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

solar_radiation=0;

end

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.5*3.6;

```



```

if solar_radiation>150

hour(date_number)=hour(date_number)+0.1;

end

j=j+1;

end

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 12:0.1:24

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(11) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-
cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

solar_radiation=0;

end

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.5*3.6;

if solar_radiation>100

hour(date_number)=hour(date_number)+0.1;

end

j=j+1;

end

solar;

solar_11=solar_11+solar_radiation_total;

end

```

```

solar_11;

% 计算每个月的结果

solar_12=0;

for D=1:31

date_number=D+31+28+31+30+31+30+31+31+30+31+30;

%初始化每个时段的太阳直射结果矩阵

solar_radiation_total=0;

j=1;

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 0:0.1:12

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(12) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-
cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

solar_radiation=0;

end

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.5*3.6;

if solar_radiation>150

hour(date_number)=hour(date_number)+0.1;

end

j=j+1;

```

```

end

% 获取小时和分钟

for hour_decimal = 12:0.1:24

% 计算太阳位置

[zenith, azimuth] = solar_position(hour_decimal, latitude, date_number);

% 调整太阳直射辐射强度（考虑大气层衰减）

I0_adjusted = I0(12) * alpha;

% 计算太阳直射辐射强度

if zenith>0

A=sin(zenith)*sin(tilt_angle)-
cos(tilt_angle)*cos(a)*cos(zenith)*cos(azimuth)+cos(tilt_angle)*sin(a)*cos(zenith)*sin(azimuth);

solar_radiation=I0_adjusted*A;

else

solar_radiation=0;

end

solar_radiation_total=solar_radiation_total+solar_radiation*0.5*3.6;

if solar_radiation>100

hour(date_number)=hour(date_number)+0.1;

end

j=j+1;

end

solar;

solar_12=solar_12+solar_radiation_total;

end

solar_12;

E=(solar_1+solar_2+solar_3+solar_4+solar_5+solar_6+solar_7+solar_8+solar_9+solar_10+solar_11+solar_12)/5

hour

```

