

基于 MATLAB GUI 的光伏组件 安装参数设计

三峡大学电气与新能源学院 ■ 潘飞 张盼 王奎*

摘要: 采用数学建模方法,建立了选择光伏组件安装倾角、朝向角及间距选择的优化模型;通过遍历搜索算法,算出光伏组件安装的最佳倾角、最佳朝向角及间距,并根据 MATLAB 图形用户界面 GUI 搭建光伏组件安装参数的设计仿真平台,结合实例进行分析推广。

关键词: 遍历搜索算法; MATLAB GUI; 光伏组件安装参数设计仿真平台

0 引言

光伏发电是将太阳的辐射通过光生伏特效应,经光伏组件直接将光能转换为电能的新能源发电技术。但在地球同一位置,光伏组件在不同倾角、不同朝向及不同间距时所得到的太阳辐射能也有很大区别。通常光伏组件都采用倾斜式,朝一定的方向和间距安装,这样可以接收更大的太阳辐射,提高太阳能利用率。但不同的安装倾角、朝向角及间距的光伏组件接收到的辐射量是不一样的,导致发电量也不同,因此,光伏组件安装最佳倾角、朝向角及间距的选择是光伏组件安装的关键之一^[1]。

矩阵实验室(MATrix LABoratory, MATLAB)即图形用户界面,是实现人机交互的中介,具有强大的功能,可以完成许多复杂的程序模块。随着可视化需求的日益增加, MATLAB 的图形用户界面 GUI 的应用也越来越广泛,功能也越来越强大。本文以 MATLAB 2014b 为设计平台,利用构建的光伏组件安装参数设计模型,并通过 MATLAB GUI 设计光伏组件最佳倾角的分析界面。

收稿日期: 2017-12-06

通信作者: 王奎(1996—),男,本科,主要从事新能源方面的研究。714677224@qq.com

1 光伏组件安装参数模型的建立

1.1 光伏组件安装倾角优化模型

1.1.1 目标函数的建立

根据文献[2-5]的基本思想,给定某地区的地理参数(包括纬度、经度等),以及光伏组件表面的直射辐射量、散射辐射量和东南西北的辐射量等相关参数,单位面积光伏组件在某一倾角,将每时每刻的太阳能辐射强度积分,可得到 1 天的单位面积光伏组件辐射总量;再将日光伏辐射量累加,可得单位面积光伏组件表面的年辐射量。在年辐射量最大的情况下,该倾角即为光伏组件安装的最佳倾角。

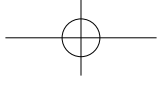
在铺设光伏组件时,需综合考虑光伏组件全年接收到的辐射量。设光伏组件 1 h 接收到的辐射量为 Q_T ,即目标函数光伏组件 1 年内接收到的总辐射 Q_z 为:

$$Q_z = \sum_{n=1}^{365} \sum_{i=0}^{23} Q_T \quad (1)$$

式中, i 为小时数; n 为天数。

1.1.2 基本参数的确定

设光伏组件倾斜面接收的直接辐射为 P_T ,倾



斜面接收的散射辐射为 K_T ，倾斜面接收的反射辐射为 L_T ，则光伏组件倾斜面接收的总辐射能 Q_T 为：

$$Q_T = P_T + K_T + L_T \quad (2)$$

1) 光伏组件倾斜面接收的直接辐射 P_T 的计算。

P_T 可表示为：

$$P_T = R_B P_Z \quad (3)$$

式中， P_Z 为水平面上接收到的直接辐射； R_B 为光伏组件倾斜面上的直接辐射与水平面上的直接辐射的比值^[6]。

R_B 的表达式为：

$$R_B = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cos \delta \sin \omega_B + \frac{\pi}{180} \omega_B \sin(\varphi - \beta) \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta \sin \omega_T + \frac{\pi}{180} \omega_T \sin \varphi \sin \delta} \quad (4)$$

式中， φ 为所在地纬度； β 为光伏组件倾角；

δ 为太阳赤纬角， $\delta = 23.45 \sin\left(\frac{2\pi(284+n)}{365}\right)$ ； ω_T 为

水平面的日落时角； ω_B 为光伏组件倾斜面的日落时角。

$$\omega = 15(t_s - 12) \quad (5)$$

$$\sin \alpha = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega \quad (6)$$

式中， t_s 为光伏组件倾斜面所在地的太阳时； α 为太阳高度角。

日落时刻，水平面上的 $\alpha=0$ ，即：

$$\sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega_T = 0 \quad (7)$$

$$\omega_T = \arccos(-\tan \varphi \tan \delta) \quad (8)$$

在北半球，与水平面成 β 倾角的平面上，太阳光的入射角 θ 与纬度为 $(\varphi - \beta)$ 的水平面上太阳光的入射角是相等的，即：

$$\cos \theta = \sin(\varphi - \beta) \sin \delta + \cos(\varphi - \beta) \cos \delta \cos \omega_B \quad (9)$$

则光伏组件倾斜面的日落时角为：

$$\omega_B = \arccos[-\tan(\varphi - \beta) \tan \delta] \quad (10)$$

综上所述， ω_B 取值为：

$$\omega_B = \min \begin{cases} \arccos(-\tan \varphi \tan \delta) \\ \arccos[-\tan(\varphi - \beta) \tan \delta] \end{cases} \quad (11)$$

2) 光伏组件倾斜面接收的散射辐射 K_T 的计算。

假设散射辐射为各向同性，则 K_T 为：

$$K_T = \frac{1}{2} K_p (1 + \cos \beta) \quad (12)$$

式中， K_p 为水平面接收到的散射辐射。

3) 光伏组件倾斜面接收的反射辐射 L_T 的计算。

由于硅太阳能电池光谱响应主要集中在短波区，地表反射辐射主要是长波，大部分的地表反射辐射对硅太阳能电池是没有作用的，因此， L_T 可以近似为零。

4) 光伏组件倾斜面接收的总辐射 Q_T 值。

综上所述， Q_T 可表示为：

$$Q_T = R_B P_Z + \frac{1}{2} K_p (1 + \cos \beta) \quad (13)$$

理论上，当给定地理纬度等参数，光伏组件一年内接收到的总辐射 Q_z 是一个关于变量 β 的函数 $Q_z(\beta)$ ，对 $Q_z(\beta)$ 关于变量 β 取导，导数等于零，可得到光伏组件安装的最佳倾角，即：

$$\frac{dQ_z(\beta)}{d\beta} = 0 \quad (14)$$

在实际工程设计中，对角度 β 的精度要求不高，采用近似计算即可。

采用遍历算法对建立的模型进行求解：①以倾角 β 为变量，范围为 $[-90^\circ, 90^\circ]$ ，步长为 0.1° ，通过遍历搜索取 β 的不同值；②在 β 为某一值时，计算一年内该光伏组件倾斜面的总辐射强度 Q_z ；③比较倾角 β 不同时 Q_z 的值，当总辐射能 Q_z 最大时，即为理论所求的最佳倾角 β 。

1.2 光伏组件安装朝向角设计

假设北京的太阳时为 t ，所仿真地区的太阳时为 t_s ，经度为 j ，则：

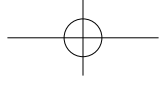
$$t_s = t + \frac{j - 120^\circ}{15^\circ} \quad (15)$$

所仿真地区的时角 ω 及此时太阳高度角 α 可按式(5)、式(6)计算得到。

所仿真地区每隔 1 h 的法向直射强度为 $P_{\text{法}}$ ，是关于 α 的函数，当所仿真地区的太阳高度角为 α 时，与其对应的铅垂面直射强度为：

$$P_{\text{垂}} = P_{\text{法}} \cos \alpha \quad (16)$$

由于 $P_{\text{法}}$ 和 $\cos \alpha$ 均是关于 α 的函数，令



$\frac{dP_{\perp}}{d\alpha} = 0$ ，可求出一年之中使 P_{\perp} 达到最大值的太阳高度角 α_0 。

根据式(18)~式(19)可计算出此时的太阳高度角：

$$D = L \cos a + H / \tan b \quad (17)$$

$$H = L \sin a - h \quad (18)$$

其中， D 为光伏组件间距； L 为光伏组件的长度； b 为太阳光的倾角； H 为光伏组件的高度； h 为前后排光伏组件的高度差； a 为光伏组件的倾角。

同理，使用与上述最佳倾角相似的搜索算法，可计算出最佳朝向角 A_0 。

1.3 光伏组件安装间距的确定

1.3.1 太阳方位角与高度角的关系^[6]

在《光伏电站设计规范》中，太阳方位角与高度角的关系角 α_s 标出了但没有说明，如图 1 中所示；而在有些资料中，说 α_s 是太阳高度角或直接标为太阳高度角符号，这是不对的，容易造成误解。

方位角 γ_s 、太阳高度角 α 和 α_s 这 3 个角度的关系为：

$$\tan \alpha = H / \sqrt{A^2 + B^2} \quad (19)$$

$$\tan \gamma_s = B / A \quad (20)$$

$$\tan \alpha_s = H / A \quad (21)$$

求解可得：

$$\tan \alpha_s = \tan \alpha \sqrt{1 + \tan^2 \gamma_s} \quad (22)$$

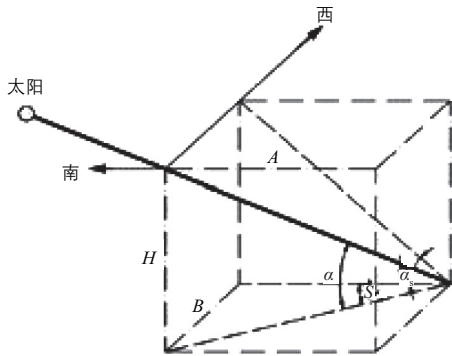


图1 太阳方位角与高度角的关系图

1.3.2 确定光伏组件安装间距

光伏组件安装一般有 3 种情况：前后排光伏

组件等高，前排光伏组件高，后排光伏组件高。分别对 3 种情况光伏组件安装的间距问题分进行析。

1) 当前后排光伏组件等高时，如图 2 所示，光伏组件安装的间距为：

$$D = L \cos a + H / \tan \alpha_s \quad (23)$$

$$H = L \sin a \quad (24)$$

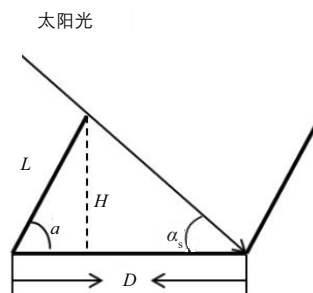


图2 前后排光伏组件等高时光伏模型图

2) 当前排光伏组件高于后排光伏组件时，如图 3 所示，光伏组件安装的间距为：

$$D = L \cos a + H / \tan \alpha_s \quad (25)$$

$$H = L \sin a + h \quad (26)$$

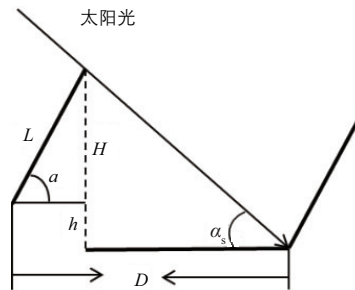


图3 前排光伏组件高于后排光伏组件时光伏模型图

3) 当后排光伏组件高于前排光伏组件时，如图 4 所示，光伏组件安装的间距为：

$$D = L \cos a + H / \tan \alpha_s \quad (27)$$

$$H = L \sin a - h \quad (28)$$

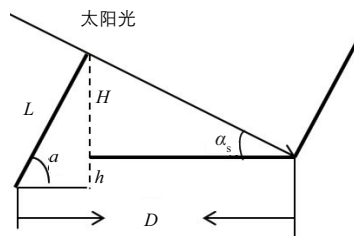
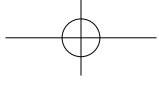


图4 后排光伏组件高于前排光伏组件时光伏模型图



2 光伏组件安装参数设计仿真平台的实现

根据文献[7-8]设计了光伏组件安装参数设计仿真平台。该平台通过 MATLAB 图形用户界面的设计环境来实现人机交互界面设计,主要包括了 GUI 界面的设计和回调函数的设计,分别对应生成 .fig 和 .m 文件。光伏组件安装参数设计仿真平台的设计如图 5 所示(后文图中的光伏板指文中的光伏组件)。



图5 光伏组件安装参数设计仿真平台

光伏组件安装参数设计仿真平台有多个功能模块,每一个模块通过编写菜单和各个控件的控制函数程序来实现相应功能。每一个函数的编写均采用 M 语言来编写;每个功能模块包含多个子程序。该平台的结构控制流程图如图 6 所示。

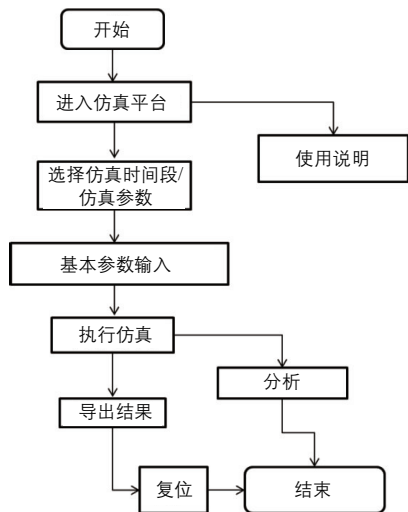


图6 结构控制流程图

2.1 仿真平台功能

从功能角度来看,仿真平台主要是由倾角/朝

向角仿真模块、间距仿真模块与仿真平台介绍模块构成。

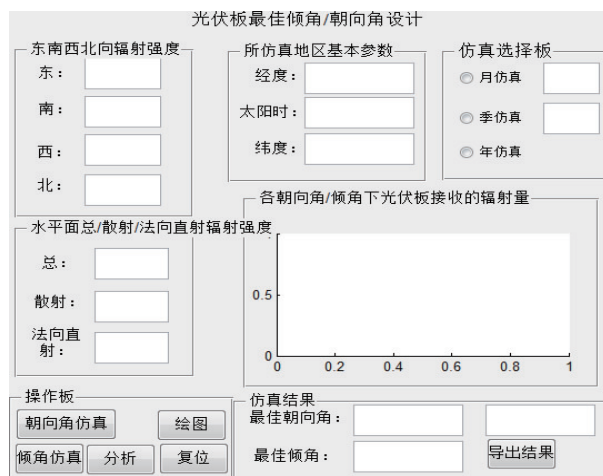


图7 倾角/朝向角仿真模块



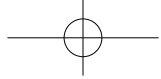
图8 间距仿真模块

从平台的构成角度看,光伏组件安装参数设计仿真平台主要包括输入设置模块、操作计算模块、输出分析模块,平台说明模块。

1)输入设置模块主要是基本参数输入。主要参数包括所分析地区的东南西北的总辐射强度、水平面的辐射强度、水平面散射强度、法向直射强度、太阳时、经纬度。

2)操作计算模块主要调用光伏组件参数设计程序分析,得出所在地区最佳的光伏组件安装参数。

3)输出分析模块主要是输出求得的最佳安装参数呈现所在地区一年的光伏组件的总辐射能,便于根据实际情况对光伏组件的安装作出调整,



并可读取 TRM 测试系统的数据与仿真结果进行对比分析, 检验仿真的精度。此外, 可以把仿真结果、曲线对比图导出保存为 word 文件, 便于后续分析。

4)平台说明模块主要是对该平台进行简单介绍, 并对平台的使用进行说明, 便于使用者能够快速上手。

3 仿真运用实例

实例采用山西大同市一年逐时的东南西北的总辐射强度、水平面辐射强度、水平面散射强度的参数进行仿真运用, 并与实际情况作比较, 为其他地区的光伏组件安装倾角的选取提供一定借鉴。大同市的坐标为 40.1°E 、 113.3°S , 由于仿真数据量大, 表 1 呈现为部分实验数据。

表 1 山西大同市 1 月 1 日的逐时数据

时段	水平面辐射强度/ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$	水平面散射强度/ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$	东/ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$	南/ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$	西/ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$	北/ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$
0:00~08:00	0	0	0	0	0	0
08:00~09:00	11.10	11.10	5.50	5.50	5.50	5.50
09:00~10:00	94.40	78.00	89.00	90.00	39.00	39.00
10:00~11:00	202.00	97.00	204.00	295.00	48.00	48.00
11:00~12:00	266.00	113.00	161.00	372.00	56.00	56.00
12:00~13:00	341.00	143.00	932.00	462.00	71.00	71.00
13:00~14:00	386.00	74.00	37.00	661.00	171.00	37.00
14:00~15:00	269.00	90.00	45.00	437.00	242.00	45.00
15:00~16:00	175.00	73.91	36.00	309.00	262.00	36.00
16:00~17:00	75.00	40.44	20.00	175.00	212.00	20.00
17:00~18:00	5.56	0	0	0	0	0
18:00~24:00	0	0	0	0	0	0

按使用说明输入相应的参数, 继续操作即可得到仿真结果。均在年仿真条件下, 该平台光伏组件最佳倾角/朝向角设计模块仿真结果如图 9 所示。

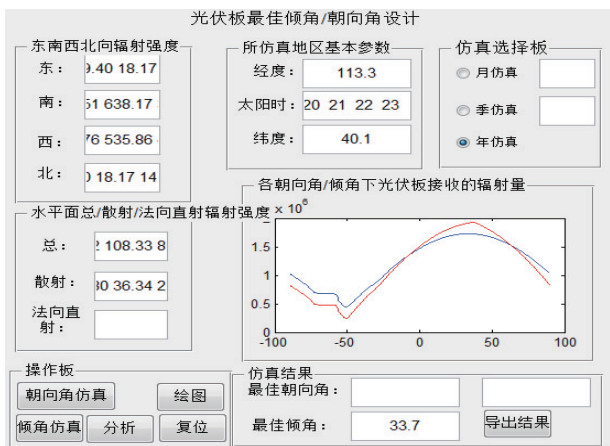
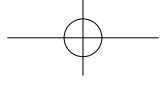


图 9 仿真结果

图 10 为大同市不同倾角下光伏组件接收的年辐射量图。可以看出, 仿真的大同市光伏组

件最佳安装倾角为 33.7° , 根据图中曲线, $23.7^{\circ}\sim 43.7^{\circ}$ 都是比较合适的安装角度, 可以根据项目实际情况对安装倾角进行一定调整。TRM 测试系统所测的光伏组件最佳安装倾角约为 37.5° , 略大于仿真结果, 两条曲线相差无几, 可验证仿真精度。

通过图 10 可对最佳倾角的选择做定性分析, 理论与实际可能存在差异, 所以理论的最佳倾角运用实际应该为一个范围, 如图 9 所示, 倾角为 $28.7^{\circ}\sim 38.7^{\circ}$ 时的年辐射量都较高, 这结果与现实生活中大同市的安装倾角也相符, 体现了仿真平台的准确性。在实际安装过程中, 可以在这个范围内合理选择一个角度进行安装, 给实际安装提供了便利。图 9 中也可发现, 倾角为 $-90^{\circ}\sim -50^{\circ}$ 时的年辐射量呈下降趋势, 然后随着倾角的增大, 年辐射量又上升达到顶峰。这一现象反映出有的地



区可能最佳的安装倾角范围不止一个, 根据实际情况还有更多的选择。

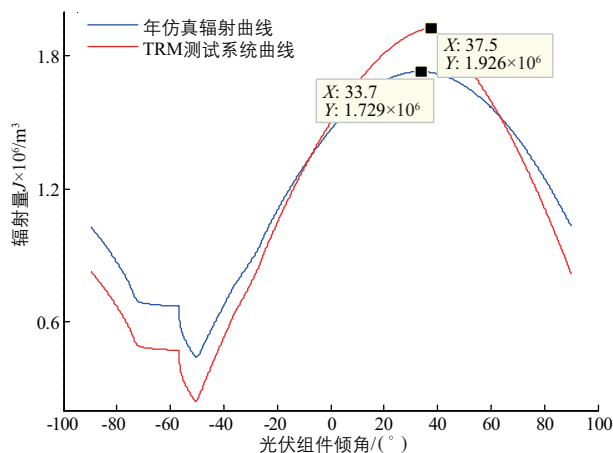


图 10 大同市不同倾角下的光伏组件接收的年辐射量

图 11 为光伏组件安装朝向角仿真结果, 结果显示, 大同市光伏组件最佳安装朝向角为 -142.6° , 即南偏西 37.4° ; 根据曲线图, 南偏西 $27.7^\circ \sim 47.7^\circ$ 都是比较适合的安装角度, 可以根据实际情况对安装朝向角进行一定调整。TRM 测试系统所测的光伏组件最佳安装朝向角约为南偏西 45° , 两曲线相比有一定差距, 仿真曲线出现了负辐射量, 而 TRM 测试系统曲线没有, 但这并不影响模型仿真的准确性, 考虑年度的气象影响, 仿真结果仍在合理的范围内。

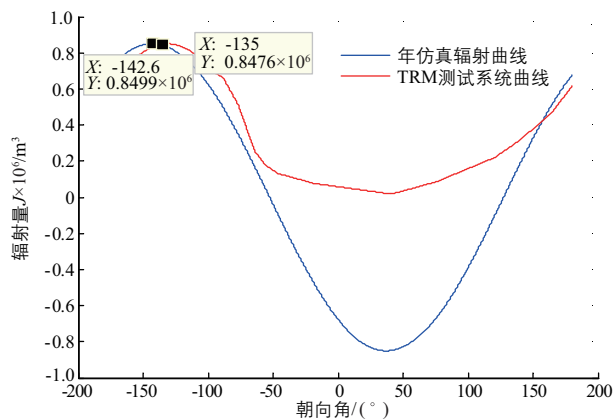


图 11 大同市不同安装朝向角下光伏组件接收的年辐射量

根据图 12 所示, 仿真得出的大同市光伏组件的适合安装间距为 2.2~2.5 m, 可以根据实际情况对安装间距进行一定调整。

本光伏组件安装参数设计仿真平台操作简单

方便, 计算费时短, 仿真效率高, 且所有计算结果可以导出保存为 Excel 文件, 以便于使用者查阅和后续分析。

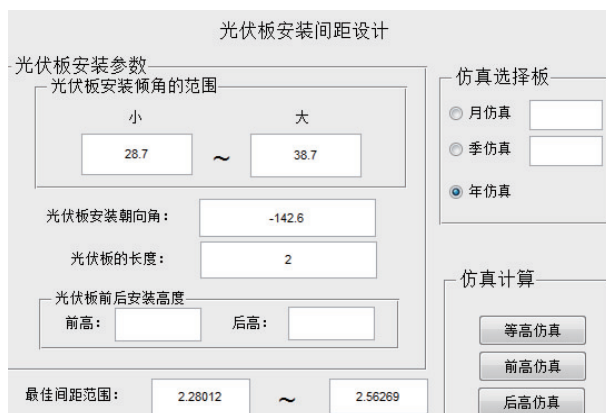


图 12 大同市光伏组件年等高仿真最佳间距范围

4 小结

本文建立了一个光伏组件安装参数筛选问题优化模型, 并通过 MATLAB 图形用户界面搭建仿真平台, 实现了光伏组件安装参数选取的可视化。结合山西大同地区太阳能辐射情况, 对光伏组件安装参数设计仿真平台进行实验验证, 结果显示, 理论值与实验值符合较好, 完全可以满足一般工程要求。在不同地区安装光伏组件时, 均可采用本平台进行仿真, 为实际工程中光伏组件安装参数的选择提供了一个较好的参照。

参考文献

- [1] 杨金焱. 固定式光伏方阵最佳倾角的分析[J]. 太阳能学报, 1992, 13(1): 86-92.
- [2] 韩斐, 潘玉良, 苏忠贤. 固定式光伏组件最佳倾角设计方法研究[J]. 工程设计学报, 2009, 16(5): 348-353.
- [3] 朱丹丹, 燕达. 太阳能板放置最佳倾角研究[J]. 建筑科学, 2012, 28(S2): 277-281.
- [4] 刘振宇, 冯华, 杨仁刚. 山西不同地区太阳辐射量及最佳倾角分析[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2011, 31(3): 272-276.
- [5] 申政, 吕建, 杨洪兴, 等. 太阳辐射接受面最佳倾角的计算与分析[J]. 天津城市建设学院学报, 2009, 15(1): 61-64, 75.
- [6] 刘随生. 光伏方阵间距的确定方法[J]. 应用能源技术, 2015, (12): 30-32.
- [7] 党丹凤, 周立勇, 王海涛. 基于 MATLAB 的图形用户界面设计[J]. 测绘技术装备, 2015, 17(3): 71-74.
- [8] 王巧花, 叶平, 黄民. 基于 MATLAB 的图形用户界面(GUI)设计[J]. 煤矿机械, 2005, (3): 60-62. 太阳能