

太阳能屋顶清扫机的结构设计

俞雯, 季乾

浙大城市学院, 浙江 杭州

Email: yuw@zucc.edu.cn, 31403271@zucc.edu.cn

收稿日期: 2021年2月19日; 录用日期: 2021年3月17日; 发布日期: 2021年3月24日

摘要

为解决太阳能电池板积尘问题, 本课题设计了一款太阳能屋顶清扫机。基于太阳能电池板尺寸和控制器尺寸设计了清扫机框架; 基于直流电机的驱动方式和清扫机的工作环境, 设计了行走机构; 基于无水扫清的需求, 选择了毛刷式清扫方式, 并设计了清扫机构; 基于屋顶的工况设计了辅助结构, 包括运行轨道和停机位; 完成了直流电机的选型。结合对应的控制系统, 进行了清扫机运行调试, 试验结果表明, 该太阳能屋顶清扫机结构可靠, 工作稳定。

关键词

太阳能电池板, 清扫机, 结构设计, 积尘问题

The Structural Design of Solar Roof Sweeper

Wen Yu, Qian Ji

City College of Zhejiang University, Hangzhou Zhejiang

Email: yuw@zucc.edu.cn, 31403271@zucc.edu.cn

Received: Feb. 19th, 2021; accepted: Mar. 17th, 2021; published: Mar. 24th, 2021

Abstract

In order to solve the problem of dust accumulation of solar panels, a solar roof cleaner is designed. Based on the size of solar panel and controller, the cleaning machine frame is designed. Based on the driving mode of DC motor and the working environment of the sweeper, the walking mechanism is designed. Based on the requirement of waterless cleaning, the brush cleaning mode is selected, and the cleaning mechanism is designed. Based on the working condition on the roof, the auxiliary structure is designed, including running track and parking space. Completed the selection of DC motor. Combined with the corresponding control system, the sweeper operation debugging, the test results show that the solar roof sweeper structure is reliable, stable work.

文章引用: 俞雯, 季乾. 太阳能屋顶清扫机的结构设计[J]. 设计, 2021, 6(1): 1-8.

DOI: 10.12677/design.2021.61001

Keywords

Solar Panels, Cleaning Machine, Structural Design, Dust Problem

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

太阳能电池板表面积尘会引起发电效率大幅下降,保持面板表面清洁在提高光伏发电效率上非常重要[1][2]。现在常用的除尘方式有人工清洁、电帘除尘、纳米自清洁薄膜、机械除尘等方式[3]。对于屋顶光伏发电系统而言,人工清洗危险性高,人力成本高,且太阳能电池板需要经常性地清洗,因此不是最佳选择。电帘清洁方法虽然非常有效,成本太高,不适合民用领域。纳米自清洁薄膜的应用是国内外研究热点,但目前尚未见到纳米自清洁薄膜在太阳能电池板上大规模应用的报道。机械除尘是目前最适合屋顶太阳能电池板的清洗方式,不少公司都有相应产品,如苏州科沃斯电器有限公司的无水太阳能电池板清洁机器人-锐宝(RAYBOT),瑞士 GEKKO 公司的产品 SERBOT 等[4][5]。机器人清洁效果好,并且可以实现对太阳能电池板的定期定时自动清洗,值得大力推广[6]。但是目前市场上的清洁机器人的配置和维护成本较高,对于规模较小的屋顶光伏系统而言,并不是很好的选择[7]。针对这些情况,本文设计了适合家庭太阳能屋顶的结构精简、成本适宜、操作便利的清扫机,完成了清扫机机械结构设计和相关器件的选型。

2. 方案设计

太阳能屋顶清扫机的基本功能要求:在不损坏光伏组件前提下实现无水清扫,行走行程可达 200 米,工作可靠稳定;能顺利跨越电池板的铝合金边框和电池板之间 2 cm 的安装间隙;自带蓄电装置,利用太阳能充电,实现自主供电;易于安装、维护和调试,机械结构稳定可靠[8][9]。

本文设计的清扫机需要满足在不同倾斜角度的屋顶上安装和运行,其机械结构主要包括清扫机框架、行走机构、清洁机构等部分。所需的主要器件包括:太阳能电池板、蓄电池、清扫电机、行进电机、限位装置、清扫机控制器等,其中清扫机控制器需要另行设计,其余器件可根据要求购买。技术要求:太阳能电池板:12 VDC;铅酸蓄电池:12 VDC, 4.2 AH;清扫电机:12 VDC, 直流无刷电机;步进电机:12 VDC, 直流无刷电机。

3. 清扫机结构设计

3.1. 清扫机框架设计

框架部分包括清洁机的外壳、安装蓄电池和控制器的控制箱、太阳能电池板三部分。其中,太阳能电池板用于清扫机自供电,为自带蓄电池充电,保障清扫机的电量供应,安装在外壳上部。根据目前市场情况,选用最为常用的 12 VDC 太阳能电池板,尺寸为 1340 mm * 280 mm * 35 mm。清扫机外壳上部还需安装控制盒,控制盒长度约 500 mm 以内,故清扫机的长度大致是一块太阳能电池板的长度加上一个控制盒的长度。已知电池板长度为 1340 mm,控制盒的预留 500 mm,故外壳长度设定为 1840 mm。太阳能电池板宽 280 mm,安装时两边各留 10 mm 的余量,加上外框的厚度,故清扫机宽度设定为 304 mm。清扫机框架如图 1 所示,尺寸参数如表 1 所示。

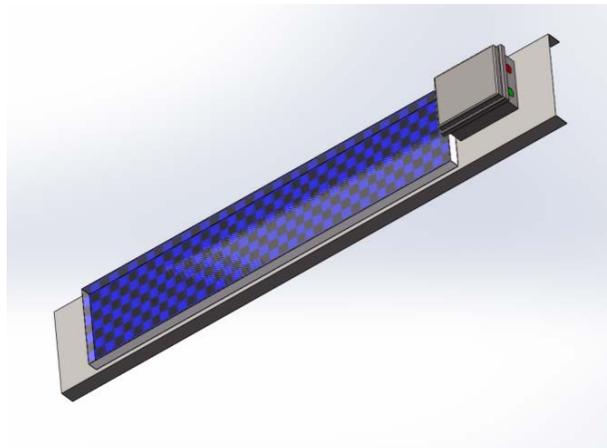


Figure 1. Outer frame structure
图 1. 外框结构

Table 1. Frame dimension parameter

表 1. 框架尺寸参数

部件	12VDC 太阳能电池板	控制盒	清洁机的外壳
尺寸	1340 mm * 280 mm * 35 mm	长度 < 500 mm	长*宽: 1840 mm * 304 mm

控制盒内需要放置清扫机控制器、蓄电池及相关电线线路。因为外界天气情况复杂且内部装有电路模块，所以要选择密封性好，内部空间合适的控制盒。同时为了减轻重量，选用塑料材质控制盒，盒上留有控制按钮的安装孔位，所设计的控制盒如图 2 所示。

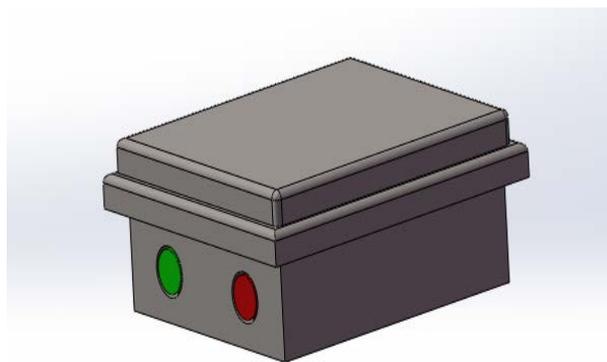


Figure 2. Control box
图 2. 控制盒

3.2. 行走机构设计

尽行走机构主要由驱动电机，驱动轴，驱动轮，联轴器和固定板组成。行走机构如图 3 所示。

驱动电机②：驱动电机主要负责动力输出，有行走驱动电机和毛刷驱动电机，上图中为行走驱动电机。
传动轴①③：负责动力传输，主要将驱动电机产生的动力，传输给车轮。为了保证运行的平稳性将两根传动轴通过链轮和链条相互连接，实现同步传动的目的。同时为了降低安装的难度，适应不同尺寸的铺设要求，将传动轴分为三段，通过联轴器⑤进行连接。

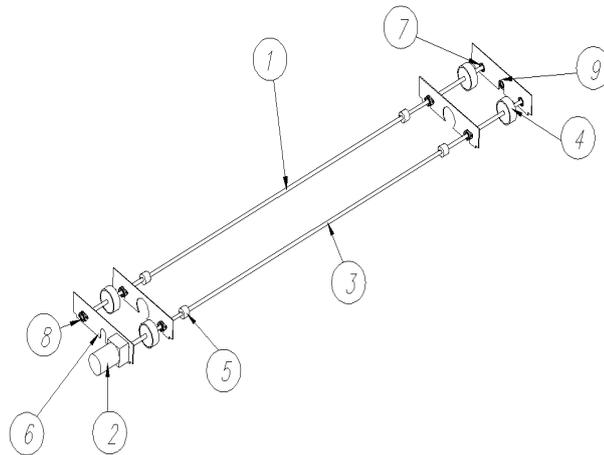


Figure 3. Walking mechanism
图 3. 行走机构

车轮④：清扫机在轨道上运行，轨道由金属材料制作而成，表面较为光滑，所以为了防止车轮在运行过程中打滑，需要将车轮表面用橡胶或硅胶套包裹起来。车轮是重要的执行元件，必须要用顶丝将车轮固定在传动轴上，使车轮随着传动轴一起转动，驱动清扫机向前运行。考虑两根驱动轴和一根毛刷杆安装在同一高度，为了保证毛刷能具有较好的清洁效果，毛刷要比驱动轮占用更多的空间，设定车轮直径为 70 mm，具体尺寸如图 4 所示。

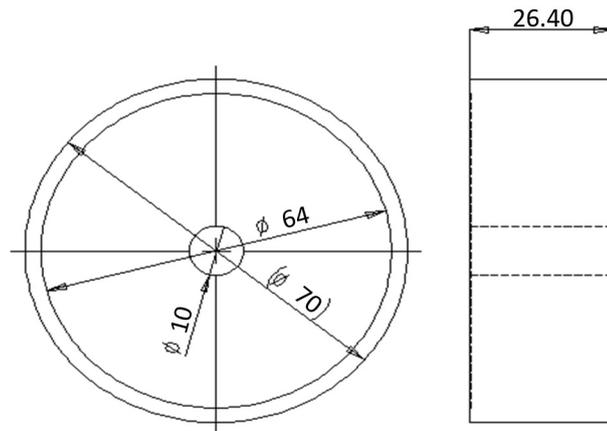


Figure 4. Wheel
图 4. 车轮

联轴器⑤：用于传动轴间的连接固定，也用于传动轴与驱动电机的连接，负责传递扭矩，使从动端与主动端同步运转。因此，联轴器要根据传动力的大小和轴径进行选择。

固定板：固定板用于为驱动电机和传动轴提供支撑，传动轴通过卧式带座轴承固定在固定板上，固定板上预先留有安装卧式轴承所需要的安装孔位。固定板有三种，第一种是提供电机安装位的上固定板⑥，上面留有行走驱动电机和清扫驱动电机的安装位置，其结构如图 5 所示。

第二种是中间固定板，结构如图 6 所示。其两边带有卧式带座轴承安装位，中间挖去是为了减轻重量，同时也为清扫毛刷运动提供空间。

第三种是下固定板，结构如图 7 所示。下固定板主要用来固定传动轴和毛刷轴，同时也起一定的支撑作用，其上有三个卧式轴承安装位。

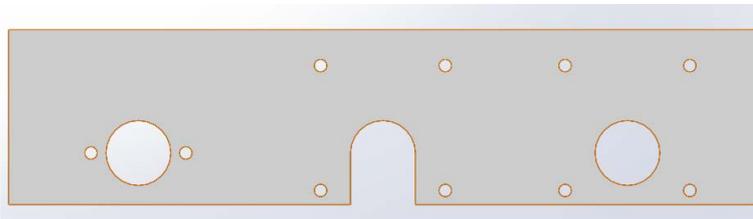


Figure 5. Motor mounting plate

图 5. 电机安装板

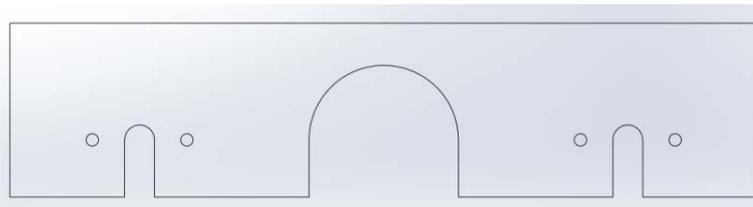


Figure 6. Intermediate fixing plate

图 6. 中间固定板

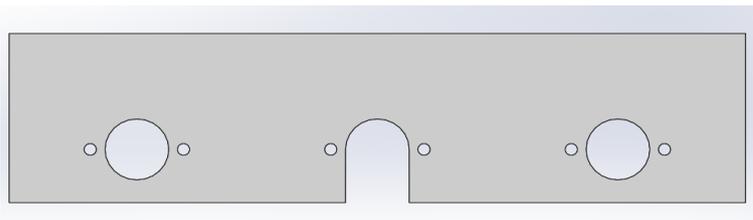


Figure 7. Lower fixing plate

图 7. 下固定板

3.3. 清扫机构设计

清扫结构比较精简, 具体如图 8 所示。只需将毛刷与驱动电机①相连接, 然后将其两端固定在固定板上即可。清扫毛刷选用高分子材料刷毛, 螺旋缠绕在空心轴③上, 通过电机的带动毛刷一同转动。毛刷②的螺旋结构能保证清扫的效果, 通过清洁机的移动使每块光伏面板都得到清洁。

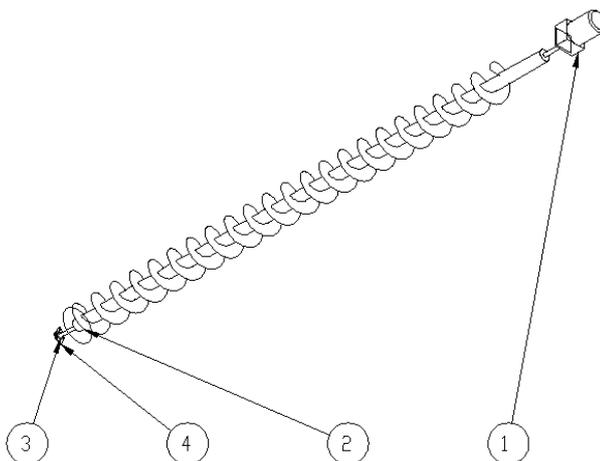


Figure 8. Cleaning mechanism

图 8. 清扫机构

3.4. 辅助机构设计

1) 清扫机运行轨道设计

整个清扫机重量较大, 因而不能直接将重量作用在光伏面板上。同时清扫机也要按一定的路径来完成清扫工作, 故设计了专门的运行轨道, 如图 9 所示。清扫机将在轨道内平稳运行。

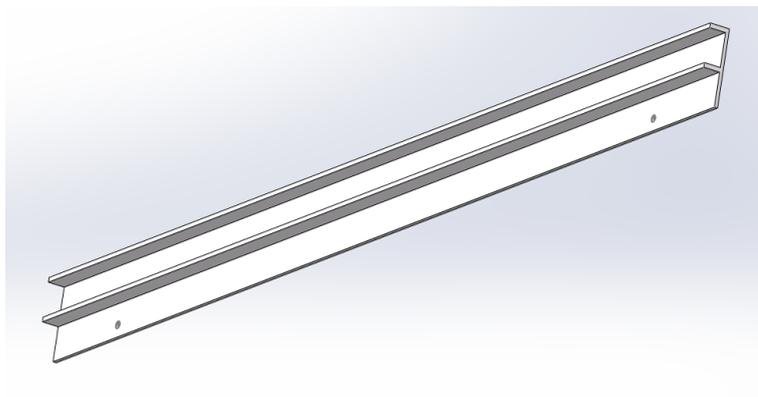


Figure 9. Operating track

图 9. 运行轨道

2) 清扫机停机位设计

停机位是清扫机器人在不工作时所处的位置。因为清扫机的工作时间大多是在早晚或夜里, 其工作时间远少于不工作的时间。而在白天为了防止清扫机影响到光伏系统的工作就需要有一个停放清扫机的位置。同时清扫机也需要启动光伏发电为自己充电。停机位上还设置一些触发开关, 当清扫机运行到该位置的时候, 会触动开关, 电机开始反向运行。清扫机停车位结构如图 10 所示。

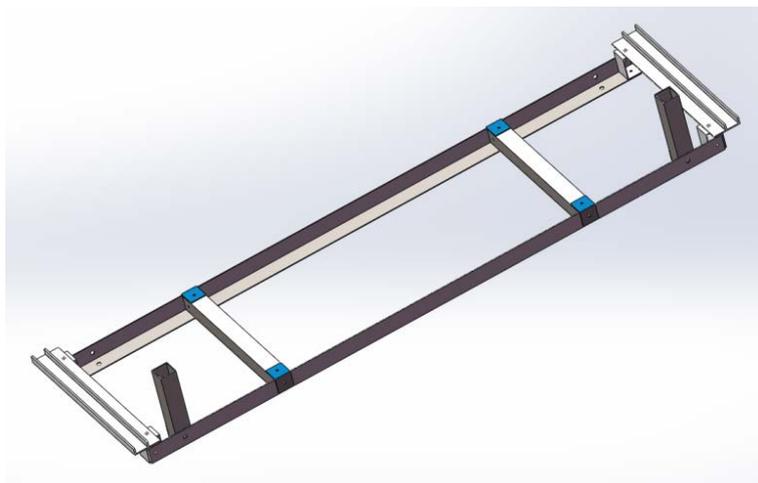


Figure 10. Parking space

图 10. 停机位

4. 元器件选型

4.1. 纸驱动电机选型

驱动电机有行走驱动电机和清扫驱动电机两种, 清扫部分的负载远小于行走部分的负载, 因而只需

对行走驱动电机进行选型, 清扫部分则选用相同型号不同减速比的电机即可。

本设计采用蓄电池供电, 且电机需具有低转速高转矩的特点, 故选用直流电机。已知: 清扫机在轨道上竖直方向所受重力约 300 N, 要求最快运行速度约 8 m/min, 电机供电电压为 12 V, 车轮直径为 70 mm。车轮与轨道摩擦系数为 0.45~0.7, 取 0.55, 电机输出功率约 22 W。

根据要求选择型号为 GPG-05SC 电机, 其具体技术数据如表 2 所示。

Table 2. Motor technical data

表 2. 电机技术数据

型号	电压/V	转速 r/min	转矩/mN*m	电流/A	功率/W
GPG-05SC	12	3000	350	4.17	30

4.2. 蓄电池的选型

根据清扫机的实际使用场景, 需选用易维护、寿命长、适用范围广、价格低廉的蓄电池。根据以上要求, 同时结合各种蓄电池的特点, 本次设计选用了胶体铅酸蓄电池。胶体铅蓄电池充电接受能力和大电流放电特性优异, 同时具有自恢复能力强, 使用寿命长的特点。本设计所选电池的型号及具体参数如表 3 所示。

Table 3. Battery technical data

表 3. 蓄电池技术数据

型号	额定电压/V	充电电流/A	容量/AH	尺寸 mm	重量 Kg
YTX5L-BS	12	0.7	5	114 * 70 * 105	2.5

蓄电池从零初始状态到满电量需要充电七小时, 电池满电量时可供清扫机工作一小时, 而清扫机在实际使用过程中每次仅需运行几分钟就可完成清扫工作。本次清扫机选用的光伏面板功率为 60 W, 输出电压为 18 V, 完全能满足蓄电池的充电需要。

5. 清扫机屋顶安装效果

清扫机在平屋顶的安装效果如图 11 所示。下方为混凝土配重块, 是为光伏支架提供安装位置, 同时增加整体系统结构的稳定性和安全性[10] [11] [12]。光伏支架为太阳能电池板提供安装位置, 同时可设置太阳能电池板的安装角度。两边是清扫机的停机位, 当清扫机不工作的时候停在该区域, 同时也起到限位的作用, 防止清扫机掉落。清扫机的轮子在上下两端轨道上运行不会对光伏面板产生影响。

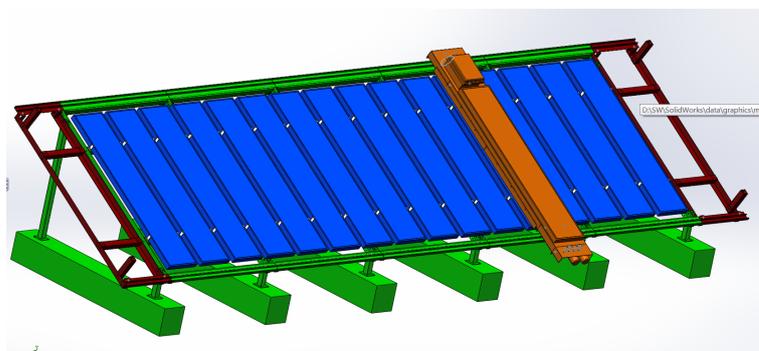


Figure 11. Installation effect of sweeper

图 11. 清扫机安装效果图

基金项目

杭州市农业科研自主申报项目, 编号: 20191203B41; 省教育厅科研计划项目, 编号: Y201941355。

参考文献

- [1] 孟伟君, 朴铁军, 司德亮. 灰尘对光伏发电的影响及组件清洗研究[J]. 太阳能, 2015(2): 22-27.
- [2] Mejia, F., Kleissl, J. and Bosch, J.L. (2014) The Effect of Dust on Solar Photovoltaic Systems. *Energy Procedia*, **49**, 2370-2376. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.03.251>
- [3] 袁亚飞, 刘民, 柏向春. 电帘除尘技术研究现状[J]. 航天器工程, 2010, 19(5): 89-94.
- [4] Hee, J.Y., Kumar, L.V., Danner, A.J., Yang, H. and Bhatia, C.S. (2012) The Effect of Dust on Transmission and Self-Cleaning Property of Solar Panels. *Energy Procedia*, **5**, 421-427. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.02.051>
- [5] 龚芳馨, 刘晓伟, 王靓. 光伏电站太阳能板的清洁技术综述[J]. 水电与新能源, 2015(5): 71-73.
- [6] Mohammad, A.-N. (2017) Solar Panels Cleaning Frequency for Maximum Financial Profit. *One Journal of Energy Efficiency*, **6**, 80-86. <https://doi.org/10.4236/ojee.2017.63006>
- [7] 闫九祥, 王亚丽, 魏盼盼, 张国辉, 姬芳. 一种新型太阳能光伏板清洁机器人控制系统的设计[J]. 山东科学, 2017, 30(4): 112-117.
- [8] 姚雨雨, 姜照丰. 太阳能电池板清扫车[J]. 中国科技博览, 2016(17): 304.
- [9] 刘飞飞, 古帅奇, 高堂盼, 林飞. 太阳能面板清扫系统自动卸尘机构的研究与优化[J]. 江西理工大学学报, 2017, 38(3): 75-80.
- [10] 常泽辉, 田瑞. 固定式太阳电池方阵最佳倾角的实验研究[J]. 电源技术, 2007(4): 312-315.
- [11] 李鹏, 陈永当, 张媛, 等. 太阳能小屋光伏电池的优化铺设[J]. 河北工业科技, 2014(2): 133-136.
- [12] 吴炜, 邓胜祥, 李勇. 屋顶光伏系统阵列布局研究[J]. 太阳能, 2016(7): 58-63.