

Adhesive Dispensing Robot Used for the Bonding Operation of Space Solar Cell

Yanzheng Zhao¹, Zhuang Fu¹, Qixin Cao¹, Mingbo Chen², Jun Zhang², Zeqi Tang²

¹⁾ The Robotics Institute, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030

(E-mail: yzh-zhao@sjtu.edu.cn; zhfu@sjtu.edu.cn; qxcao@sjtu.edu.cn)

²⁾ Research Institute of Space-power, Shanghai 200233 (Email: sispcc@online.sh.cn)

Abstract—To promote the bonding quality and the automatic level of the solar cell assembly, according to the characteristic of the space solar cell bonding operation's process, an adhesive dispensing robot used for the bonding operation is studied in this article. And we puts forward a way to continuously dispense adhesives, which can control the thickness of the adhesive layer on solar cell and even the position and volume of adhesives. It makes the thickness confined within 0.1mm. This article also shows another approach which can achieve the auto-bonding between thin cover-glass and the space solar cell. It not only no longer produces air bubbles in the adhesives layer under the condition of non-vacuum environment, but also make sure the assembly dislocation is in the range of 0.1mm. Compared with the conventional way, there is no fragment existing, and the adhesives no longer outflow onto the cover-glass and the solar cells.

Keywords—robot, space solar cell; dispensing adhesives; thickness control

用于空间太阳能电池封装作业的滴胶机器人研究

赵言正¹ 付庄¹ 曹其新¹ 陈鸣波² 张军² 唐则祁²

¹⁾ 上海交通大学机器人研究所, 上海 200030

²⁾ 上海空间电源研究所 上海 200233

摘要 为提高太阳能电池的封装质量和自动化水平, 根据空间太阳能电池封装操作的工艺特点, 本文研究了一种用于空间太阳能电池封装作业的滴胶机器人, 并提出了控制电池片胶层厚度的连续滴胶方法, 用该方法可以控制滴胶的位置和量, 从而将胶层的厚度控制在 0.1mm 内; 本文还提出了一种能实现薄形抗辐照玻璃盖片和空间太阳能电池的自动封装方法, 在无真空的环境条件下, 使封装胶层内无气泡产生, 并保证了封装边缘错位不大于 0.1mm, 与原有方法相比, 没有碎片现象出现, 盖片胶也不外溢、不污染玻璃盖片和电池片。

关键词 机器人, 空间太阳能电池, 滴胶, 厚度控制

1. 引言

目前全世界已发射的航天器几乎都采用空间太阳能电池阵作为航天电源 [1-5]。由于航天器运行在地球 150 公里以外的宇宙空间, 环境非常恶劣, 太阳辐照度为地面的 13~17 倍 (1360W/m²), 温度起伏大, 高能粒子多[1,2,3], 为了保证空间太阳能电池在恶劣的太空环境下能可靠运行, 在

太阳能电池布贴前, 必须进行抗辐照玻璃盖片的封装操作, 以达到保护太阳能电池的目的[6-8]。根据太阳能电池的物理特性, 玻璃盖片与太阳能电池封装的主要技术有静电封装、聚四氟乙烯封装、双面阵列封装和盖片胶封装等[9,10]。其中盖片胶封装原理最简单, 但还有一些工艺问题没解决。

盖片胶封装的工艺过程描述如下: 首先对太阳能电池片表面涂胶, 然后进行抗辐照玻璃盖片与电池片的封装, 加热固化, 最后进行测试。封装后胶层厚度是否均匀一致将

国家自然科学基金项目(资助号: 50390063、50390064、60304010、50128504)

影响电池的抗辐照能力和光电转化效率,气泡的大小和数量将影响太阳电池的寿命,盖片胶的外溢将影响封装的成品率和航天器的外观质量,进而影响航天器的可靠性。因此,盖片胶封装的主要工艺要求体现在以下几个方面:1)胶层均匀,厚度不大于 0.1mm;2)封装边缘错位不大于 0.3mm;3)封装后玻璃盖片与太阳电池片之间的气泡大小与数量有严格的限制;4)盖片胶不外溢、不污染玻璃盖片和电池片。

通常,空间太阳电池的质量越大,相应的研制成本和发射成本就越高,因此抗辐照玻璃盖片与太阳电池都变得越来越薄已成为第三代空间太阳电池的发展趋势[11]。但玻璃盖片和太阳电池片的变薄也给涂胶和封装操作带来困难,如还采用手工操作,不仅精度低、劳动强度大,而且成品率低,效率也不高,因此很不经济。手工操作的缺点主要体现在碎片、污染、胶层厚度不均匀、胶层厚度不可控等方面,有些粘结剂对操作人员的健康还具有一定的有害性。为了解决这一问题,本文采用滴胶机器人进行太阳电池的自动封装操作,达到了预期的设计指标及要求,取得了令人满意的效果。

2. 系统介绍

空间太阳电池自动封装机器人由 X、Y、Z 直角坐标移动机构、计算机控制系统、滴胶、封装装置及电池片、玻璃片的定位托盘等部分组成。为了实现太阳电池的自动滴胶操作,不但要求滴胶轨迹合理,而且要求滴胶机构的定位精度高。我们采用气动滴胶技术与 X、Y、Z 直角坐标伺服控制相结合的自动滴胶方法,提高了滴胶效率,可滴出高精度的复杂曲线。考虑胶的流动性和固化特性,通过调整滴胶的针头直径、滴胶速度、滴胶轨迹的间距和针头的高度等控制参数,使胶在电池片上从一条连续线均匀扩散成一个平面,从而将胶层的厚度限制在要求的范围内。电池托盘的定位机构,针头高度和角度的调整方法进一步保

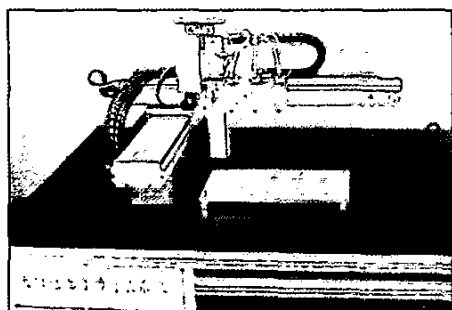


图 1 空间太阳电池自动封装机器人

证了滴胶的精度。滴胶完毕后,为了实现太阳电池与玻璃盖片的自动封装操作,我们采用气动吸盘吸附玻璃片,由 Z 轴移动机构将玻璃片定位到电池片的上方,最后将玻璃片与电池片保持一定的小角度,使玻璃片在自身表面张力的作用下与电池片自然封装在一起,既可使两个薄片自动对准,又避免了气泡的出现。控制系统由监控计算机、直角坐标运动控制系统和气动系统组成,机器人的传感器信息和工作状态反馈到计算机,计算机也可以设置机器人参数或选择工作方式。空间太阳电池自动封装机器人如图 1 所示。

3. 滴胶系统

3.1 滴胶机构及滴胶方法

太阳电池片的滴胶系统由 XYZ 三自由度自动移动机构、控制器、滴胶机、针筒、针头和气动控制装置组成。太阳电池片放在托盘上,托盘放在自动移动机构下,移动机构夹持针筒进行滴胶作业。控制器可以编制 XYZ 三自由度移动机构的运动轨迹、设定速度,控制气动装置的压力。滴胶后,要求太阳电池片上的胶层在一定的厚度范围内,并厚度均匀,才能减少玻璃盖片封装后气泡出现,同时也可以防止胶不外溢、不污染玻璃盖片和电池片。

图 2 是针头直径和滴胶轨迹间距变化时所对应的胶层厚度曲面,从图 2 可知,在轨迹间距从 0.5 到 1mm,针孔直径从 0.1 到 0.4mm 的范围内,胶层的厚度可控制在 0.1mm 内。因此通过控制滴胶机构的移动速度和针头出胶的速度,结合一定的针头直径和滴胶的轨迹间距,就可实现胶层的厚度控制。在滴胶的过程中,需要协调滴胶机构的移动速度与出胶的量,使胶在表面张力和粘滞力的作用下不被拉断。如果滴胶机构的移动速度变慢,则胶层的厚度会增加,为了防止胶外溢。

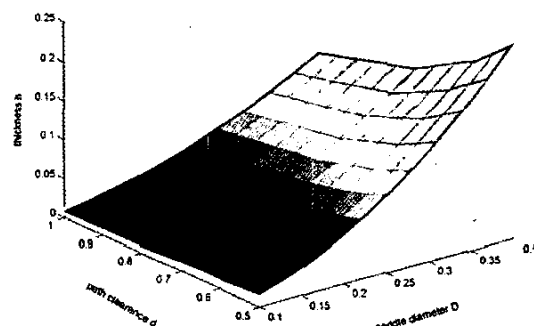


图 2 滴胶厚度三维仿真结果

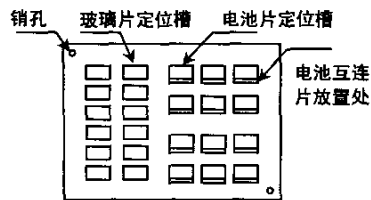


图3 定位托盘

3.2 托盘定位装置

空间太阳能电池自动封装机器人在每个工作循环都要精确滴胶，然后进行封装。为了保证电池片和玻璃盖片的位置准确，操作方便，本文设计了一个托盘（见图3）。机器人开始工作前，先用镊子将太阳能电池和玻璃片放在托盘内，然后将托盘放在机器人的工作平台上。工作平台上有两个销钉，可使托盘定位。托盘的左边12个凹槽用于放置玻璃片，托盘的右边12个凹槽用于放置电池片，玻璃片和电池片紧靠着凹槽的上边缘。电池凹槽的下边有一个台阶，比凹槽的上边深，使电池片放置后互连片不被翘起，从而保持电池片的整个平面相对于工作平台水平。

3.3 滴胶气动系统

滴胶气动系统与一般的滴胶机气动系统基本相同，包括气源、截止阀、减压阀、节流阀、真空发生器、电磁阀、针筒、专用针头。压缩空气从气源出来经过截止阀后，分成两路：一路经过减压阀，接入电磁阀；另外一路经节流阀后通过真空发生器再接入电磁阀。电磁阀的出口与固定在针筒定位夹具中的针筒连接，专用针头旋转卡入针筒。在电气装置的控制下，滴胶装置的电磁阀接通，压缩空气从气源流出，经截止阀、减压阀进入针筒，盖片胶开始从针筒定位夹具夹持的多个专用针头中流出，同时X、Y轴移动单元开始按指定的轨迹运动。电气控制装置可以控制X、Y、Z三自由度自动移动装置的运动轨迹及其速度，使盖片胶连续地滴到太阳能电池的表面。滴胶完毕后，电气装置控制专用针头上移，同时关闭电磁阀，滴胶通路被截断。此时，压缩空气通过节流阀后，进入真空发生器，从而产生一定的负压，使盖片胶不会从专用针头流出。

4. 玻璃盖片封装

当太阳能电池片滴胶作业完成、胶层自由扩散均匀后（约1分钟左右），就可进行玻璃盖片的封装操作。空间太阳能电池自动封装机器人安装了一个吸盘，因此每次只能封装一片电池。封装序列以运动距离最短为原则进行规划，具体工作过程如下：首先将吸盘定位夹具固定在机器人Z轴的

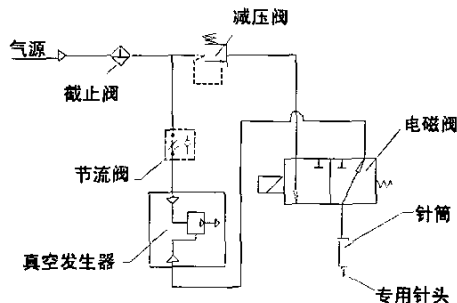


图4 封装气动系统

移动单元的滑台上，然后将真空吸盘连接在吸盘定位夹具的活动连接板上。玻璃片的封装角度不合适，将会产生气泡。本文设计了吸盘角度调整机构，通过调整两个旋转调节螺钉，使真空吸盘与水平面成一微小角度，角度的大小由试验确定。

封装气动系统包括气源、截止阀、减压阀、带电磁阀的真空发生器、真空吸盘、气管、吸盘定位夹具等（见图5）。气源与截止阀的进气口用气管相连，截止阀的出气口用气管连出后经过减压阀，再连入真空发生器。真空发生器与固定在吸盘定位夹具中的吸盘连接。在电气装置的控制下，真空发生器的电磁阀接通，压缩空气从气源流出经过截止阀、减压阀进入真空发生器，使固定在吸盘定位夹具中的真空吸盘产生负压，于是玻璃盖片被吸盘吸住。Z轴移动单元在程序的控制下，连同固定在上方的真空吸盘一起运动，直至玻璃盖片的一边与水平工作台上的太阳能电池相应的边线接触，使玻璃盖片与电池托盘内的电池成一微小角度。然后，真空发生器在电气装置的控制下关闭，玻璃盖片在重力的作用下下落，实现太阳能电池的封装操作。

5. 试验与结论

如果采用手工封装操作，既不能精确控制涂胶的位置和量，也不能精确控制封装的位置。封装后常常发生溢胶现象，污染电池片，因此必须进行清胶操作。清胶操作会带来以下问题：

- 1 银互连片发生变形和损伤；
- 2 导致碎片现象发生；
- 3 清胶质量将影响互连片的焊接。

此外，手工封装过程还会发生碎片，产生气泡。而采用本文设计的空间太阳能电池自动封装机器人可以从根本上解决上述问题。由于本文采用自动滴胶与位置伺服技术，封装后的电池片根本不需要清胶操作，气泡和碎片也得到了避免。采用手工操作方式，过去每人每天最多只可封装

表1 自动滴胶参数

No.	测试参数	参数值
1	滴胶轨迹间距 d (mm)	0.9
2	边界余量 δ (mm)	1.45
3	针头直径(Gauge)	25
4	滴胶速度	1.5mm/s
5	封装速度	30mm/s

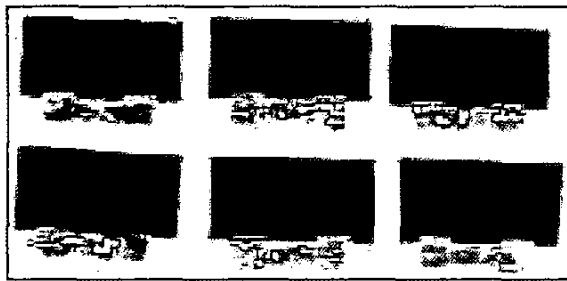


图5 封装后空间太阳能电池实物照片

200 片, 如果采用本文设计的机器人进行自动封装, 则效率可以大幅度提高。在低速运动情况下, 每次自动完成 6 片封装需要 6 分钟, 以每天工作 8 小时计算, 机器人系统的效率可达 480(片/人日), 是人工封装的 2.4 倍。以 960 片电池为样本, 空间太阳能电池自动封装机器人的自动滴胶参数如表 1 所示。封装后空间太阳能电池的实物照片见图 5。

封装完成后, 需要通过加热固化的方法进行固化。通过实验比较发现, 手动封装的碎片率达到 4%, 封装误差在 0.04~0.2mm 内分布; 而自动封装碎片率为 0, 封装误差在 0~0.1mm 内分布。

本文设计的空间太阳能电池自动封装机器人极大地提高了太阳能电池的封装质量和效率, 避免了有毒盖片胶对操作人员健康的危害, 达到的具体技术指标为:

- 1)封装效率 60 片/小时;
- 2)电池片胶层厚度均匀, 不大于 0.1mm;
- 3)封装后无气泡;
- 4)盖片胶不外溢、无污染;
- 5)封装边缘错位不大于 0.1mm。

经过为期一个多月的抗辐照试验, 采用机器人自动封装的空间太阳能电池完全符合航天领域对电池的要求, 达到了预期目标。

致谢: 感谢上海交通大学校内青年启动基金对本项目的资助。

参考文献

- [1] 林来兴. “现代小卫星及其关键技术”. 中国空间科学技术. 1995 No. 4, pp. 37-43
- [2] 王荣. “国产空间实用太阳能电池抗质子辐射性能研究”. 北京师范大学学报 (自然科学版). 37, No. 4. 2001 pp. 507-510
- [3] Green Martin. A., “Solar Cells: operating principles”, *Technology and System Applications*, Englewood Cliffs, N.J.; Sydney: Prentice Hall, 1992
- [4] P. A. Iles, “Evolution of space solar cells”. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 2001, No.68, pp.1-13
- [5] A. Freundlich et al. “Development of GaAs space solar cells by high growth rate MOMBE/CBE”, *Journal of Crystal Growth*, No. 209, 2000 pp.481-485
- [6] 李国欣. “20 世纪上海航天器电源技术的进展”. 上海航天. No. 3, 2000, pp. 42-48
- [7] Crabb,R.L., Dollery,A.A, “Direct glassing of silicon solar cells”, *European Space Power*, 2, 1989, pp.607-611
- [8] Nowlan,M.J., Tobin,S.P.& Darkazalli,G. “Direct cover glass bonding to GaAs and GaAs/Ge solar cells”, *IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, 22nd, Las Vegas, 1991 pp. 1480-1484
- [9] Norman Stockham, “Electrostatic bonding”, http://www.twi.co.uk/j32k/protected/and_3/ksnrs002.html
- [10] Mullaney K., Dollery, A.A., Jones, G.M., Bogus, K. “An optimized teflon bonding process for solar cell assemblies using Pilkington CMZ and CMG coverglasses”, *Photovoltaic Specialists Conference, Conference Record of the Twenty Third IEEE*, 1993, pp.1392-1398
- [11] Green Martin A. “Third generation for photovoltaics: high conversion efficiency for low cost”, *The 21st Century's New Technology of Solar Energy - Proceeding of 2003 Anniversary Solar Energy Conference of China Solar Energy Society*. Shanghai Jiao Tong University Press, 2003, pp.2-8