文章编号: 1006-2467 (2005) 06-0888-04

# 空间太阳电池封装机器人

**赵言正<sup>1</sup>**, **付** 庄<sup>1</sup></sub>, **曹其新<sup>1</sup>**, **陈鸣波<sup>2</sup>**, **张** 军<sup>2</sup>, **唐则祁<sup>2</sup>** (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:研究了一种用于空间太阳电池封装的机器人系统 它包括三自由度直角坐标机器人、滴胶 机构、封装机构、电池片及玻璃盖片的定位托盘、控制系统等 提出了控制电池片胶层厚度的连续滴 胶方法与机构,以及一种能实现薄形抗辐照玻璃盖片和空间太阳电池的自动封装方法与机构 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 1 mm. 与原有人 工封装方法相比,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: 空间太阳电池; 玻璃盖片; 滴胶; 封装; 机器人 中图分类号: TP 24 **文献标识码**: A

# A Space Solar Cell Bonding Robot

ZHAO Yan<sup>-</sup>zheng<sup>1</sup>, FU Zhuang<sup>1\*</sup>, CAO Q i<sup>-</sup>x in<sup>1</sup>, CH EN M ing<sup>-</sup>bo<sup>2</sup>, ZHAN G J un<sup>2</sup>, TAN G Ze<sup>-</sup>qi<sup>2</sup>

(1. Research Inst of Robotics, Shanghai Jiaotong Univ., Shanghai 200030, China;
 2 Research Inst of Shanghai Space-Power, Shanghai 200233)

Abstract: A space solar cell bonding robot was studied, which consists of a three-axis Cartesian coordinates robot, coating device, bonding device, orientation plate and control subsystem. A method which can control the thickness of adhesive layer on the solar cell was put forward and the mechanism was designed. Another method which can achieve the auto-bonding between thin cover-glass and the space solar cell was studied and realized. It produces no air bubble in the adhesives layer under the condition of without vacuum environment and ensures the assembly dislocation 0.1 mm. Compared with the conventional method, it has such advantages that there is no fragment exists, and no adhesives outflows onto the cover-glass and solar cells.

Keywords: space solar cell; cover-glass; dispensing adhesives; bonding; robots

目前全世界已发射的航天器大多数采用空间太 阳电池阵作为航天电源的主电源<sup>[1~5]</sup>.由于航天器 运行在地球 150 km 以外的宇宙空间,环境非常恶 劣,太阳辐照度约为地面的 1.3 倍(1 360 W /m<sup>2</sup>), 温度起伏大,高能粒子多<sup>[1~3]</sup>,为了保证空间太阳电 池在恶劣的太空环境下能可靠运行,在太阳电池布 贴前,必须进行抗辐照玻璃盖片的封装操作,以达到 保护太阳电池的目的<sup>[6~8]</sup>. 根据太阳电池的物理特性, 玻璃盖片与太阳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<sup>[9,10]</sup>. 其中盖片胶封装原理最简单, 但手工盖片胶封装还有一些工艺问题有待改进

盖片胶封装的工艺过程描述如下: 首先对太阳 电池片表面涂胶, 然后进行抗辐照玻璃盖片与电池

收稿日期: 2004-05-26

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50390063, 60304010 和 50128504)和上海交通大学校内青年启动基金资助项目 作者简介: 赵言正(1965-), 男, 山东龙口人, 教授, 主要从事特种机器人研究 电话(Tel): 021-62932750; Erm ail: yzh\_ zhao@sjtu edu cn 片的封装,加热固化,最后进行测试 盖片胶封装的 主要工艺要求体现在下列方面: 胶层均匀,厚度 不大于0.1mm; 封装边缘错位不大于0.3mm;

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; 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和太阳 电池变得越来越薄已成为第三代空间太阳电池的发 展趋势<sup>[11]</sup>.但玻璃盖片和太阳电池片变薄也给涂胶 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因此,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,取得了满意的效果

# 1 系统介绍

空间太阳电池自动封装机器人如图 1 所示, 它 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



图 1 X YZ 机器人平台 Fig 1 X YZ robot table

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本 文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,本文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,使玻璃片在盖片胶自身 表面张力的作用下与电池片自然封装在一起,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

## 2 滴胶和封装

#### 21 滴胶机构及滴胶方法

太阳电池片的滴胶控制系统由*x*、*y*、*z* 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*x*、*y*、*z* 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,并且厚度 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 所示为针头直径和滴胶轨迹间距变化时所 对应的胶层厚度曲面 由图可见, 在轨迹间距从 0 5 ~ 1 mm, 针孔直径从 0 1~ 0 4 mm 内, 胶层的厚度 可控制在 0 1 mm 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 过程中, 需要协调滴胶机构的移动速度与出胶量, 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, 轨迹的间距和边界余量也要增大



图 2 滴胶厚度三维仿真结果



#### 2 2 托盘定位装置

空间太阳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.





## 2 3 滴胶气动系统

滴胶气动系统(见图4)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



#### 图 4 滴胶气动系统

Fig. 4 The pneumatic system for adhesives dispensing

#### 2 4 玻璃盖片的封装

7

当太阳电池片滴胶作业完成、胶层自由扩散均

匀后(1min 左右),就可进行玻璃盖片的封装操作. 空间太阳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(见图 5).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,因此,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,倾斜活动连接板,使真空吸盘 与水平面成一微小角度,然后旋紧夹紧螺钉.



#### 图 5 吸盘角度调整机构



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,如图 6 所示



#### 图 6 玻璃盖片封装气动系统



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

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

程序的控制下,连同固定在上面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,实现太阳电池的封装操作.

## 3 实验

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,还容易产 生气泡 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 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 在平台的低速运动情况下, 每次自动完成 6 片 封装需要 6 m in, 以每天工作 8 h 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, 空间太阳电池自动封装机器 人的实验参数如下: 滴胶轨迹间距 d = 0.9 mm, 边 界余量  $\delta = 1.45$  mm, 针头直径D = 25 Guage, 滴胶 速度 v = 1.5 mm/s

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,手工封装的碎片率达到 4%,封装误差在0 04~0 2 mm 内分布;而自动封 装碎片率为0,封装误差在0~0 1 mm 内分布

## 4 结 论

本文设计的空间太阳电池自动封装机器人极大 地提高了太阳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/h;
- (2) 电池片胶层厚度均匀, 不大于 0.1 mm;
- (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 0.1 mm.

### 参考文献:

[1] 林来兴 现代小卫星及其关键技术[J] 中国空间科 学技术, 1995, 15(4): 37-43

L N Lai-xing Modern small satellite and its key technologies [J]. Chinese Space Science and Technology, 1995, 15(4): 37-43.

[2] 王 荣 国产空间实用太阳电池抗质子辐射性能研 究[J] 北京师范大学学报(自然科学版), 2001, 37(4):507-510

WANG Rong A study on proton irradiation effects of home-made solar cell for space use[J] Journal of Beijing Normal University (Natural Science), 2001, 37(4): 507-510

- [3] Green M A. Solar cells: Operating principles Technology and System Applications [M] Englewood Cliffs, N J, Sydney: Prentice Hall, 1992
- [4] Iles P A. Evolution of space solar cells [J]. Solar
   Energy Materials & Solar Cells, 2001, 68: 1-13
- [5] Freundlich A. Development of GaAs space solar cells by high grow th rate MOMBE/CBE [J] Journal of Crystal Growth, 2000, 209: 481- 485.
- [6] 李国欣 20世纪上海航天器电源技术的进展[J]. 上 海航天, 2002, 3: 42-48
  LI Guo-xin. The progress of Shanghai spacecraft EPS technology in the 20th century [J]. Aerospace Shanghai, 2002, 3: 42-48
- [7] Crabb R L, Dollery A A. Direct glassing of silicon solar cells [J] European Space Power, 1989, 2: 607
   611.
- [8] Now lan M J, Tobin S P, Darkazalli G Direct cover glass bonding to GaA s and GaA s/Ge so lar cells [A]
   **EEE Photovolta ic Specialists Conference 22nd**[C]
   Las Vegas: [s n ], 1991. 1480- 1484
- [9] Noman S Electrostatic bonding [EB/OL] http:// www.twi co.uk/j32k/protected/and\_3/ksnrs002 html, 2003-11-23
- [10] Mullaney K, Dollery A A, Jones G M, et al An optimized teflon bonding process for solar cell assemblies using Pilkington CMZ and CMG coverglasses [A] Photovoltaic Specialists Conference, Conference Record of the Twenty Third IEEE[C] [s 1]: [s n], 1993 1392-1398
- [11] Green M A. Third generation for photovoltaics: high conversion efficiency for low cost [A] The 21st Century's New Technology of Solar Energy Proceedings of 2003 Anniversary Solar Energy Conference of China Solar Energy Society [C] Shanghai Shanghai Jiaotong University Press, 2003 2- 8