

文章编号 1004-924X(2011)11-2724-07

## 时间/压力型 pL 级微点胶技术

史亚莉\*, 张文生, 徐 德, 张正涛, 张 娟  
(中国科学院 自动化研究所 精密感知与控制中心, 北京 100190)

**摘要:** 针对惯性约束核聚变实验装配冷冻靶中靶丸与充气管零件时对用胶量的要求(3 pL), 对时间/压力型 pL 级微点胶技术进行了研究。将细胞实验用的微注射器改造成时间/压力型微量点胶机, 并使用针尖最小内径为 0.5  $\mu\text{m}$ , 由石英材料制作的毛细针进行点胶。搭建了一个微点胶实验平台, 设计了分辨率为 1.57  $\mu\text{m}$  的双目显微视觉检测系统, 对毛细针尖的位置和胶滴大小进行实时检测, 并使用分辨率为 3  $\mu\text{m}$  的三自由度微运动平台对针尖位置进行控制。介绍了微点胶实验平台的硬件组成、控制系统以及点胶流程, 并在该平台上进行了胶量控制、胶滴定位实验和胶斑测量实验, 研究了影响胶量控制的主要因素和最小可控胶量等关键微点胶工艺。实验结果表明, 在常温下使用黏度为 5P 的紫外固化环氧胶, 该平台可实现的最小点胶量为 2 pL, 可用于需要 pL 级点胶的微装配中。

**关键词:** pL; 微点胶实验平台; 时间/压力型点胶技术

**中图分类号:** TH16 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20111911.2724

## Time/pressure pL micro-bonding technology

SHI Ya-li\*, ZHANG Wen-sheng, XU De, ZHANG Zheng-tao, ZHANG Juan

(Center for Precision Perception and Control, Institute of Automation,  
Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

\* Corresponding author, E-mail: shiyali0825@126.com

**Abstract:** To satisfy the requirement of assembling a capsule and a fill tube for the cryogenic targets in ICF experiments for the 3 pL adhesive volume, the time/pressure micro-bonding technology was studied. A microinjector for life science research was changed to a time/pressure pL micro-bonding device, and a capillary needle made of quartz with inside diameter of 0.5  $\mu\text{m}$  was used for dispersing. A micro-bonding station was built for experiments. Two microscopes interfaced with CCD and resolution of 1.57  $\mu\text{m}$  were designed to detect the position of the capillary tip and the size of the glue drop, and a XYZ motion stage was employed to control the position of the capillary tip. The hardware composition, control system, dispensing process of the micro bonding station was introduced, and the dispensing control, adhesive volume detection, and glue drop positioning experiments were performed to research the key dispensing processes, such as the main factors that affects the volume control and the minimum volume that can be controlled. Experimental results indicate that the designed station can control the minimum adhesive drop in 2 pL using UV Epoxy adhesive with viscosity of 5P in the nor-

收稿日期: 2011-05-04; 修订日期: 2011-06-25.

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向资助项目; 国家基金委重大研究计划资助项目(No. 90924026)

mal temperature environment, which satisfies pL dispensing requirements in the micro assemblies.

**Key words:** pL; micro bonding experimental station; time/pressure bonding technology

## 1 引言

近几年,胶接技术和胶粘剂发展迅速,尤其是微量点胶技术在微机械和微电子装配过程中的应用日益广泛。微装配中用到的胶主要有紫外光固化环氧树脂胶和双组份化学固化胶,用到的胶接技术有时间/压力型、活塞式、螺杆式等接触式点胶和机械微喷、压电微喷等非接触式点胶 2 种<sup>[1-4]</sup>。微点胶技术的研究主要围绕减小毛细针尖的内径、采用新型的点胶方式、在点胶平台上集成视觉检测系统等方向开展<sup>[5-8]</sup>。

惯性约束核聚变实验用冷冻靶中填充氘氚燃料的靶丸与充气管在装配完成后需要用胶将二者进行联接和密封,该处的胶量要求控制在 2.5 ng(3 pL 左右)以内<sup>[9-10]</sup>,胶斑直径不超过 40  $\mu\text{m}$ ,否则将会对物理实验的均匀性内爆产生影响。目前商业用点胶机的最小胶量可以控制在 2 nL 级别,国内微机械装配中使用到的最小单滴胶量大约为 10 nL 左右,不能满足靶丸充气管装配时的胶量控制要求。

目前商业点胶机多使用金属材料制作点胶针头,针头内径最小只能做到 200  $\mu\text{m}$  左右,而针头内径与胶量大小之间又是三次方的关系,从而限制了点胶机的最小控制胶量<sup>[9-10]</sup>。本文对细胞实验中使用的时/压力型微量注射器进行了改造,使用末端最小内径为 0.5  $\mu\text{m}$ 、石英拉制的毛细针作为点胶针头进行点胶,设计了集成显微成像监测系统与针尖定位运动控制的微点胶实验平台,在该平台上进行了胶量控制、胶量测量和胶滴定位实验,对最小可控制的点胶量等关键时/压力型 pL 级微点胶工艺进行了实验研究。

## 2 时间/压力型 pL 级点胶原理

时间/压力型点胶通过调节压缩空气的压强与作用时间来控制点胶量,因此气压大小和点胶时间的长短直接影响点出的胶体体积。这种方法设备简单,只需采用脉动的空气压力和针管就能实现点胶,如图 1 所示,该方法适用于中等黏度的

胶体,成本低,操作、维护方便。在半导体封装设备中,70%以上的点胶机采用这种技术。

对于时间压力型点胶器,nL 以下流量计算公式可简化为式(1):

$$V=0.179\ 52\times r^3\times p\times t, \quad (1)$$

其中, $V$  是点胶体积,单位为  $\mu\text{m}^3$ ;  $r$  是针尖最小内径,单位为  $\mu\text{m}$ ;  $p$  是针管内的作用压力,单位为 psi(1 psi $\approx$ 6.895 kPa);  $t$  是压力作用时间,单位为 s。可以看出,点胶体积大小和毛细针内径的三次方、压力和时间之间是成正比例的关系。根据公式(1),当  $r$ ,  $p$  和  $t$  足够小时, $V$  是可以达到 pL 量级的,当  $r$  取 0.5  $\mu\text{m}$ ,  $p$  取 0.2 psi,  $t$  取 0.5 s 时, $V$  约为 2.25 pL。

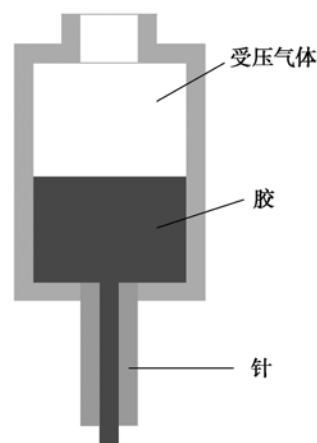


图 1 时间/压力型点胶原理图

Fig. 1 Schematic diagram of the time/pressure dispensing technique

## 3 微点胶实验平台设计

### 3.1 平台组成

平台的布局如图 2 所示,主要由一个电动平台,3 个手动平台,2 套由显微镜头和 CCD 组成的显微成像系统、工件和点胶器等组成,整个系统放置在一个隔振平台上。出胶针头安装在三维电动平台的 Z 轴机架,工作时上下运动,X、Y 轴实现水平方向的前后左右运动。2 路显微成像系统光轴相互垂直,对针尖位置、胶量大小和点胶位置进行监测,视觉系统的最高分辨率为 1.57  $\mu\text{m}$ 。

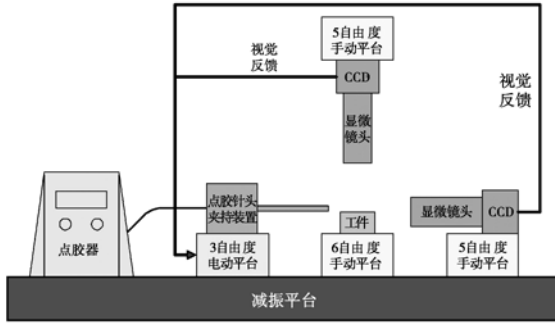


图 2 点胶平台示意图

Fig. 2 Diagram of dispensing system

表 1 给出了各个平台的自由度、行程以及分辨率的大小情况。其中  $xy$  平面为水平面,  $z$  轴与水平面垂直,  $\theta_x, \theta_y, \theta_z$  分别指沿 3 个坐标轴的转动量。

表 1 平台参数

Tab. 1 Parameters of the stages

编号	自由度	行程	分辨率	类型
1	$x, y, z$	$T_x, T_y, T_z: 200 \text{ mm}$	$3 \mu\text{m}$	电动
2	$x, y, z$ $\theta_x, \theta_z$	$T_x, T_y, T_z: 13 \text{ mm}$ $\theta_y, \theta_z: \pm 5^\circ$		
3	$x, y, z$ $\theta_x, \theta_y$	$T_x, T_y, T_z: 13 \text{ mm}$ $\theta_x, \theta_y: \pm 5^\circ$	$5 \mu\text{m}$	手动
4	$x, y, z$ $\theta_x, \theta_y, \theta_z$	$T_x, T_y, T_z: 13 \text{ mm}$ $\theta_x, \theta_y, \theta_z: \pm 5^\circ$		

点胶器选用德国 Eppendorf 公司的 Femto-Jet 细胞注射器进行改造来实现点胶功能, 该注射器的特点和参数是: (1) 压力范围:  $0 \sim 87 \text{ psi}$ , 最小调整量  $0.1 \text{ psi}$ ; (2) 注射时间  $0 \sim 100 \text{ s}$ , 最小调整量  $0.1 \text{ s}$ ; (3) 高重复精度; (4) 内置气体压缩机, 除注射压力外, 可提供补偿压力; (5) 可提供  $7\ 000 \text{ hPa}$  的瞬时高压; (6) 内置气泵, 体积小。使用末端最小内径尺寸为  $0.5 \mu\text{m}$  毛细针, 毛细针尖的显微照片如图 3 所示。

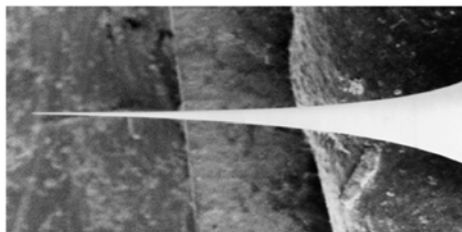


图 3 毛细针尖显微图像

Fig. 3 Microscopic image of capillary tip

### 3.2 控制系统

如图 4 所示, 控制系统主要由工控机、平台运动控制卡、图像采集卡和点胶机 I/O 控制卡组成, 其中, I/O 控制卡为双向数据传输, 平台运动控制卡和图像采集卡为单向数据传输。平台的运动由运动控制卡执行, 通过在工控机上编写软件, 控制平台在各个方向的运动。控制界面如图 5 所示, 主要由垂直图像显示区、垂直相机参数调节区、水平图像显示区、水平相机参数调节区、图像处理区、运动平台控制区、和实验流程控制区组成。

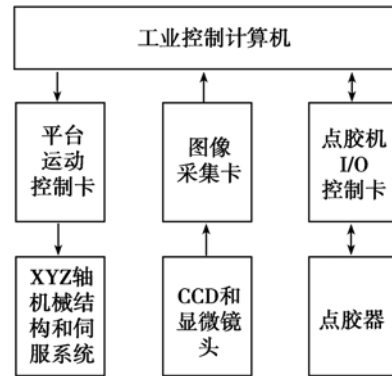


图 4 控制系统组成

Fig. 4 Diagram of the control system

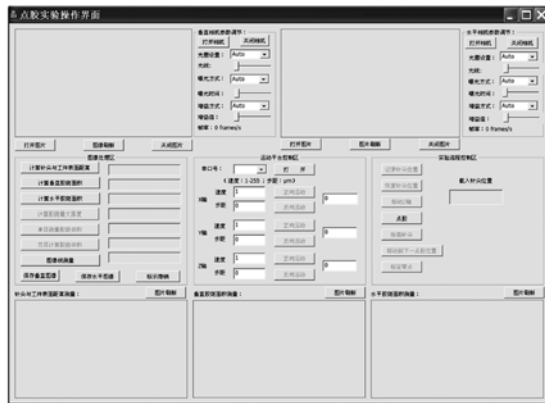


图 5 控制界面

Fig. 5 Control interface

### 3.3 点胶工艺流程

点胶工艺流程如图 6 所示:

第一步, 将工件放置在 6 自由度手动平台上并固定。

第二步, 通过 2 路正交显微成像系统对工件的位姿进行监测, 调节平台使得工件上表面与上

方光路垂直且位于上方 CCD 视场中心、并且成清晰像。另外工件的上表面应该和侧方 CCD 中心重合。

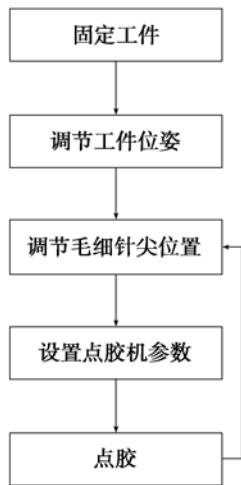


图 6 点胶工艺流程图

Fig. 6 Flow chart of the dispensing processes

第三步,通过 2 路正交显微成像系统对毛细针的针尖位置进行监测,将该监测结果反馈给 3 自由度电动平台,通过调节电动平台,将毛细针头调节到点胶位置。

第四步,设置点胶机的时间和压力参数,调节点胶量。

第五步,启动点胶按钮点胶。

## 4 实验研究

如图 7 所示是搭建完成的微点胶平台,在该平台上开展了胶量控制实验、胶量测量实验和胶

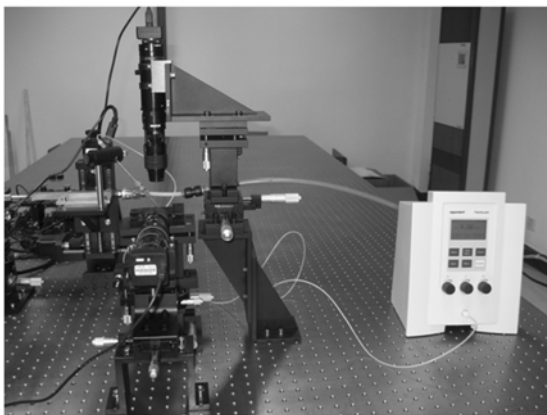


图 7 微点胶平台实物图

Fig. 7 Picture of micro bonding station

滴定位实验。下文分别详细介绍了各个实验的方案和原理,以及相应的实验结果和分析。

### 4.1 胶量控制实验

胶量控制实验主要研究杂质、粘度、时间、压力等主要因素对最小可控制点胶量的影响情况。

#### 4.1.1 最小可控胶量实验

使用粘度为 5P(1 P=0.1 Pa·s)的紫外固化环氧树脂胶进行实验,实验室温度 25℃左右,更换点胶针头重复进行最小可控胶量实验,重复 5 次,实验结果如表 2 所示。从表 2 可以看出,每次最小可控制的胶斑体积都在 2 pL 以内。

表 2 最小胶量控制实验数据

Tab. 2 Experimental results of minimum glue volum

实验次数	1	2	3	4	5
最小胶斑体积(pL)	1.58	1.89	1.63	1.55	1.72

#### 4.1.2 杂质影响实验

使用蒸馏水和矿泉水进行了对比试验研究,结果表明胶中的杂质对胶量大小影响非常明显。主要是因为点胶毛细针头的内径为 0.5 μm,当胶中含有杂质比较多时,很容易引起毛细针堵塞,即使最大的压力 87 psi,也没有胶从针尖流出。

#### 4.1.3 时间和压力影响实验

使用蒸馏水进行时间和压力影响实验,表 3 列出了几组压力和时间参数下的水滴直径,可以看出随着压力和时间等参数的变化,水滴的大小有明显的变化。

表 3 时间压力影响实验数据

Tab. 3 Impact of time and pressure

参数/组数	1	2	3	4
输入压力 $p_i$ (psi)	24.5	24.5	24.5	24
保持压力 $p_c$ (psi)	4.43	4.37	4.41	4.39
压力作用时间 $t_i$ (s)	2.1	0.6	0.2	0.1
水滴直径 $\phi$ (μm)	65~75	40~50	20~30	10~20

#### 4.1.4 粘度影响实验

使用粘度分别为 24.7 cP 与 1 300 cP 的两种胶进行对比实验,实验结果表明,24.7 cP 胶的点胶现象和蒸馏水相似,胶量可以控制得比蒸馏水更小,而 1 300 cP 胶因为粘度太大,最大作用压力时仍无胶体流出。

4.1.5 表面浸润力影响实验

在相同实验环境和点胶参数设置下,选择玻璃、铜、塑料几种不同材料制作的工件,实验结果显示胶滴大小相差很大。说明在 pL 级接触点胶时,材料的表面浸润力成为影响胶量大小的主要因素。

4.2 胶斑测量实验

使用双目显微测量方法,实现胶斑体积、胶斑直径、厚度的在线检测。

4.2.1 胶斑图像获取实验

因为实验用到的胶体为无色透明,而且胶滴面积和厚度小,很难获得能够将胶斑轮廓从背景中提取出来的高质量图像。考虑到照明光源和点胶工件的材质对图像质量的影响最大,选择无色玻璃、铜片、锡箔纸、深色塑料作为点胶工件进行对比实验;对未使用照明、在上方使用环形散射光源照明、在背面使用平行光照明、同时在背面使用平行光和在上

行对比实验。实验结果表明,在玻璃背面加平行背光时,图像最均匀,最清晰,噪声最小。

4.2.2 胶斑图像处理实验

测量原理:假设胶斑是一个标准的椭圆球缺,可以从水平 CCD 图像中得到其最大厚度信息,从垂直 CCD 图像中得到其截面轮廓,之后代入椭球缺的计算公式便可以计算出胶斑的体积。

根据胶斑图像的特点:胶体为无色透明,胶斑和基底的对比度低;实验使用的显微镜镜头的放大倍数小,分辨率低;胶斑在 CCD 中的位置不确定。考虑到使用图像处理方法很难从整幅图像中直接精确提取出胶斑的轮廓,采用人工参与的测量方案。当点胶完成后,先人工选取胶斑所在的一个矩形区域,程序将该矩形区域自动放大到指定窗口;然后再在放大图像窗口上加椭圆模板,通过调整椭圆的长轴和短轴将椭圆调节到与胶斑轮廓尽量重合;最后使用调整后的椭圆参数计算出胶斑的体积,如图 8 所示。

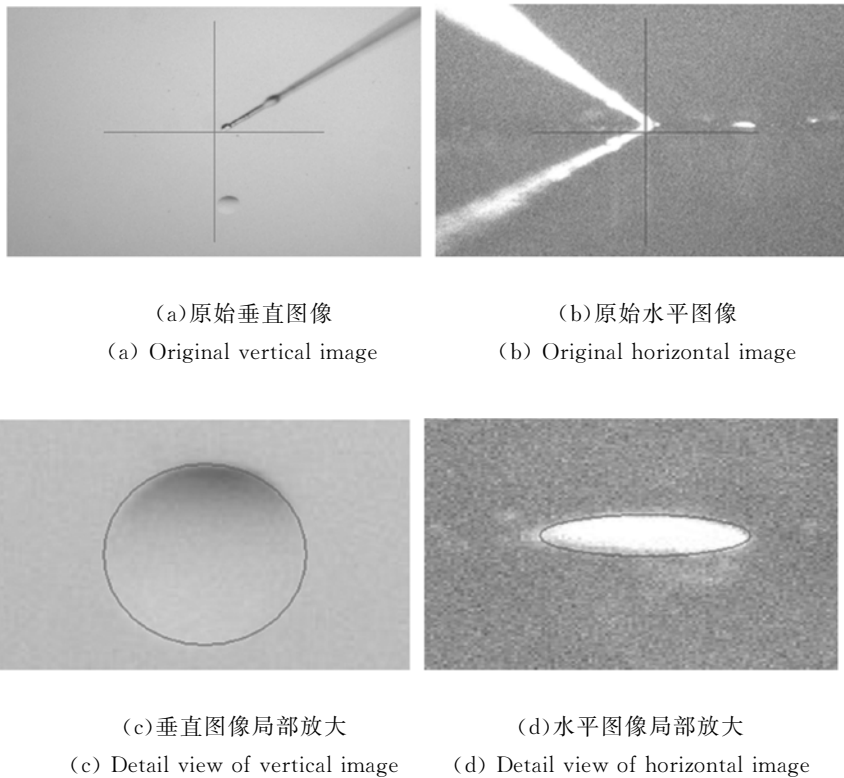


图 8 胶斑测量方法示意图

Fig. 8 Diagram of adhesive drop detection

表 4 给出了一组胶斑的测量结果,分别对 6 个胶斑的体积和最大直径进行了测量。

表 4 胶斑测量结果

Tab. 4 Measuring results of adhesive drops

序号	1	2	3	4	5	6
胶斑体积 / $\mu\text{m}^3$	9 343	4 990	2 254	2 694	1 971	25 581
胶斑最大 直径/ $\mu\text{m}$	30	23	17	19	15	40

### 4.3 胶滴定位实验

该部分实验研究如何将胶滴定位到工件上的指定位置上,主要包括针尖弹性测试实验、胶滴转移实验和胶滴定位实验。对毛细针针尖弹性测试,如图 9 所示,针尖弯曲长度约为  $288.9 \mu\text{m}$ 。

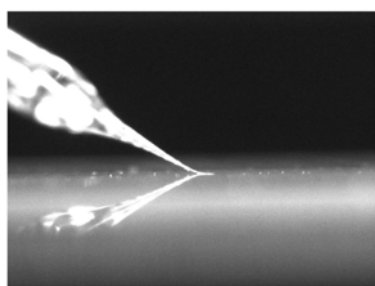


图 9 针尖弹性测试

Fig. 9 Elasticity of the capillary tip

### 参考文献:

- [1] 马维民, HESSELBACH J, 卞极. 一种微型步进电机的微胶接装配方法的研究[J]. 中国机械工程, 2007, 18(9):1024-1027.  
MA W M, HESSELBACH J, HUAN J. Experimental study on assembling a micro step motor using adhesive bonding technology[J]. *China Mechanical Engineering*, 2007, 18(9):1024-1027. (in Chinese)
- [2] 丁争荣, 陶凯, 邓圭玲. 基于 AT89C52 单片机的喷射点胶控制系统[J]. 制造业自动化, 2010, 32(3):48-49.  
DING ZH R, TAO K, DENG G L. Fluid jet-dispenser control system based on AT89C52 single-chip microcomputer [J]. *Manufacturing Automation*, 2010, 32(3):48-49. (in Chinese)
- [3] 赵翼翔, 陈新度, 陈新. 微电子封装中的流体点胶技术综述[J]. 液压与气动, 2006, 2:52-54.  
ZHAO Y X, CHEN X D, CHEN X. An overview of fluid dispensing technology for micro-electronics packaging[J]. *Chinese Hydraulics & Pneumatics*, 2006, 2:52-54. (in Chinese)
- [4] 洪彬, 王红美, 曹建军, 等. 定量点胶技术的研究进展[J]. 信息化纵横, 2009, 16:1-6.  
HONG B, WANG M H, CAO J J, et al.. Research progresses of quantitative dispensing technology[J]. *Microcomputer & Its Applications*, 2009, 16:1-6. (in Chinese)
- [5] 舒霞云, 张鸿海, 刘华勇, 等. 高粘度微量喷射系统的实验研究[J]. 中国科学, 2010, 40(2):171-176.  
ShU X Y, ZHANG H H, LIU H Y. Experimental study on high viscosity fluid micro-droplet jetting system[J]. *Sci China Tech Sci*, 2010, 42(2):171-176. (in Chinese)
- [6] 耿鑫, 侯丽雅, 章维一. 微流体数字化喷点技术的实现[J]. 光学精密工程, 2009, 17(8):1902-1907.  
GENG X, HOU L Y, ZHANG W Y. Implementation of digital dispensing technology for micro fluids [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009, 17(8):1902-1907. (in Chinese)

实验证明,轻微接触工件点胶时不会引起针尖折断现象发生,可以通过接触方式将胶滴转移定位到指定的点胶位置。

## 5 结 论

目前商业点胶机能达到的最小胶量为 nL 级,国内微装配中用到的最小胶量也未达到 pL。本文设计和搭建了一个 pL 级微点胶平台,在平台上集成了显微视觉检测系统和针尖运动控制系统,实现了针尖的自动定位和点胶,以及胶斑体积的在线光学检测。在该平台上进行的胶量控制实验、胶斑测量实验和胶滴定位实验说明:(1)使用该平台能够满足靶丸充气管装配时 pL 量级点胶的要求,但是胶的粘度最好不要高于 5P;(2)显微镜镜头虽然分辨率高,但是景深小,不能对胶斑进行三维重建,只能提取出胶斑的二维轮廓;(3)毛细针尖有很好的弹性,接触点胶工件不会令其损坏,但要做到既不接触工件,又能达到接触点胶的目的,需要针尖与工件之间的距离不大于  $0.25 \mu\text{m}$ ,对点胶平台的视觉检测和运动平台的分辨率都有很高的要求。另外该平台对环境的温度和洁净度要求也比较高。

- [7] 陈从平,方子帆,秦武,等. 基于单幅灰度图像的微胶点体积测量[J]. 计算机测量与控制, 2010, 18(10):2238-2240.  
ChEN C P, FANG Z F, QIN W, *et al.*. Measuring micro adhesive dot volume based on single gray image[J]. *Computer Measurement & Control*, 2010, 18(10):2238-2240. (in Chinese)
- [8] 刘斌,杨小平,任涵文,等. 基于图像匹配的自动点胶系统[J]. 机械设计与制造, 2007(9):21-23.  
LIUB, YANG X P, REN H W, *et al.*. The automatic dispenser based on pattern matching[J]. *Machinery Design & Manufacture*, 2007(9):21-23. (in Chinese)
- [9] FREDERICK C A, BACK C A, NIKROO A, *et al.*. Fabrication of multiple fill tube targets for sandia national laboratory[R]. General Atomics Report GA-A25656, 2007.
- [10] SAITO K M, HUND J F, PAGUIO R R, *et al.*. Fill tube assembly development for omega and nif shell applications[J]. *Fusion Science and Technology*, 2009, 55:337-342.

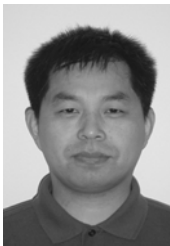
#### 作者简介:



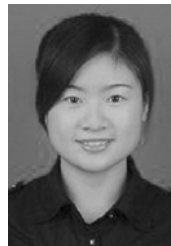
史亚莉(1982—),女,山西运城人,博士,助理研究员,2009年于中国科学院长春光学精密机械与物理研究所获博士学位,现主要从事精密机械方面的研究。E-mail: shiyali0825@126.com



张正涛(1981—),男,山东烟台人,助理研究员,2010年于中国科学院自动化研究所获博士学位,主要从事微装配与显微视觉方面的研究。E-mail: zhengtao.zhang@ia.ac.cn



张文正(1966—),男,河南郑州人,研究员,博士生导师,于中国科学院自动化研究所获博士学位,主要从事模式识别与机器学习、精密感知与智能控制、人机交互与虚拟现实、三维数字物理仿真等方面的研究。E-mail: wensheng.zhang@ia.ac.cn



张娟(1985—),女,河南驻马店人,博士研究生,主要从事精密视觉测量与控制方面的研究。E-mail: juan.zhang@ia.ac.cn



徐德(1965—),男,山东日照人,研究员,博士生导师,1981年、1990年于山东工业大学分别获得学士和硕士学位,2001年于浙江大学获得博士学位,主要从事机器人视觉测量与控制方面的研究。E-mail: xude@compsys.ia.ac.cn