

基于 CAD和 CAM的 AFM和 STM机电装置的故障诊断和设计研究*

张振宇¹, 李鸿琦¹, 刘美华¹, 周红秀², 王 静¹

(1. 天津大学机械学院力学系, 天津 300072; 2. 天津大学燃烧学国家重点实验室, 天津 300072)

摘要: 通过 CAD和 CAM的实体建模技术, 并对 SPM的工作情况进行仿真研究, 得到了 SPM的失效原因。使用 CAM技术对 SPM进行设计研究, 提出了一种针对 SPM的新型偏心升降装置, 使得 SPM的测试高度大大增强; 并设计了过载保护装置, 解决了 SPM测试较高样品时的失效问题。

关键词: AFM; STM; SPM; CAD; CAM; 故障诊断; 设计

中图分类号: TP206.3 文献标识码: A 文章编号: 1001 - 3881 (2005) 7 - 180 - 3

Default Diagnosis and Design Research of Mechaonics Device with AFM and STM Based on the CAD and CAM Technology

ZHANG Zhen-yu¹, LI Hong-qi¹, LU Mei-hua¹, ZHOU Hong-xiu², WANG Jing¹

(1. Department of Mechanics, Tianjin University, Tianjin 300072, China;

2. State Key Laboratory of Engine Combustion, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: Failure reason of SPM was presented with solid modeling technology of CAD and CAM and simulating research of work conditions of SPM. A novel eccentric hoisting device was designed adapting to the SPM through the CAM technology, which increased the measuring height. At the same time, a kind of overload protection parts was proposed by the CAM technology. The failure problem at measuring higher samples was resolved by above instruments.

Keywords: AFM; STM; SPM; CAD; CAM; Fault diagnosis; Design

0 前言

扫描探针显微术 (SPM) 的基本原理最初在 20 世纪 50 年代由 J. A. O'Keefe 提出。1982 年, Binnig 和 Rohrer 等人研制成功第一台 SPM - 扫描隧道显微镜 (STM)^[1], 并因此获得了 1986 年诺贝尔物理学奖。此后, Binnig 又与 Quate 等人合作, 于 1986 年推出第一台原子力显微镜^[2]。SPM 家族的典型代表 AFM 和 STM 将人们认识事物的水平推进到纳米时代, 使人们多年来操纵原子的愿望成为现实。AFM 和 STM 促使了纳米科技的形成, 对社会的发展起到了巨大的促进作用。

1 研究背景

从 1987 年起, 中国科学院化学所白春礼院士参与研制成功了我国第一台 STM、AFM 等显微镜以来^[3], AFM 和 STM 为我国的纳米科技做出了重要贡献。但是 AFM 和 STM 作为新型的光机电一体化设备, 经过短短的十几年, 还存在着缺点和不足之处。本实验室的 STM 和 AFM 一体化显微镜——CSPM-930b 所测样品高度很小, 为了完成一个塑料加入纳米粉体的改性表现断口力学实验, 本室科技人员在降低样品高度以便观测的准备阶段, 经常磨破手指。在退针的过程中, 一到底部就发生传动失效的问题, 而且时间长了将损坏步进电机, 使仪器瘫痪。目前, 国内外有关 SPM 的改造研究鲜有报道。一个小的部件损坏, 而使得整个贵重精密仪器瘫痪, 在精度能达到测试要求的情况下, 研究显微镜的失效原因, 无疑将

是一种必然的选择。对于科技人员来说具有重要的应用价值, 对仪器开发商来说则具有广阔的市场前景。

2 基于 CAD 和 CAM 的实体建模技术

随着计算机软硬件的快速发展, 计算机辅助设计 (CAD) 和计算机辅助制造 (CAM) 成为各种机器设计、改造以及故障诊断的重要手段。本文采用 CAD 和 CAM 技术, 对物体进行 1:1 的实体建模, 然后对模型的实际运动状况进行仿真, 找出机器失效的原因, 然后再对机器进行改造设计, 对设计的部件进行实际工况模拟, 达到设计的优化。

3 CAD 技术的显微镜失效分析

3.1 显微镜的机电传动设备失效分析

由于显微镜在退针距离较大的过程后屡次发生进针失效, 而在小范围内却工作正常, 而且扫描图像质量也很好。从图 1 中可看出, 连轴器由螺栓固定在步进电机轴上, 传动件和滚珠轴承内圈过盈配合, 外圈固定在外套上, 从理论上说, 连轴器和传动件不可能发生脱离。由于仪器在运行状态下从外部看不到内部的运行情况, 故这种失效的发生很难找出真正的原因所在。为了在研究过程中保护贵重精密仪器, 避免重复拆装, 采用 CAD 技术进行 1:1 实体

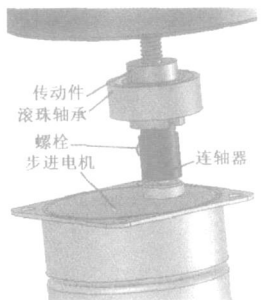


图 1 失效部件连接结构模型图

* 基金项目: 天南大共建纳米研究中心资助项目

建模, 并对实际工况进行仿真研究, 以期找出真正的原因所在。

3.2 显微镜的机电装置原理

图 2 和图 3 分别为 AFM 和 STM 实物全貌和所建立的显微镜机电装置模型。

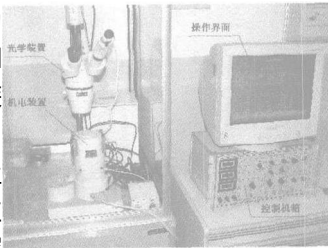


图 2 CSFM - 930b显微镜系统

在图 2 中机电装置的上部为 AFM 探头, 左边的圆形探头为 STM 探头, AFM 探头和 STM 探头共用一套机电装置, 即为图 2 中所标识机电装置的中下部。图 3 为 AFM 探头和机电装置模型。图 4 中联轴器固结在步进电机轴上, 传动件和滚珠轴承内圈过盈配合, 轴承外圈固结在上部外套上。步进电机旋转带动联轴器和传动件旋转, 传动件和微型丝杠固结, 带动微型丝杠旋转, 相当于微型丝杠固结在滚珠轴承上, 轴

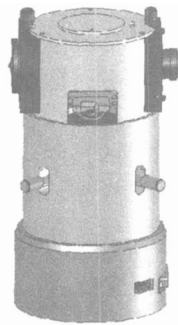


图 3 显微镜机电装置

承是非运动件, 故丝母运动时, 丝母带动升降台沿上部外套和定位槽上下移动, 扫描管下部装有磁铁放在升降台上, 丝母运动即可完成进针、退针的动作, 由软件控制进退的距离和停止动作。这就是 AFM 和 STM 机电传动装置的原理。

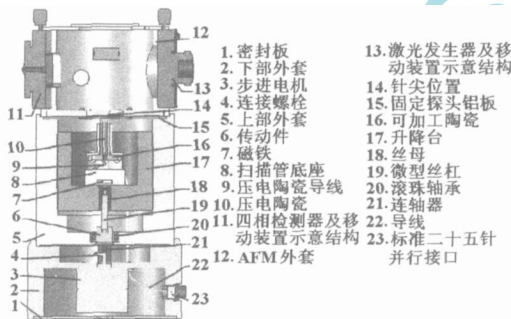


图 4 AFM 和机电装置

3.3 显微镜机电装置失效仿真及故障诊断

对实体进行 1:1 的 CAD 建模, 模型中的所有尺寸均为实际尺寸, 所使用的测量工具为精确到 0.1mm 的游标卡尺。首先进行联轴器和传动件的面面重合配合连接, 如图 5 所示, 因为只有面面重合连接才能更好地进行传动, 提高传动效率。但是通过模型仿真研究发现, 这种连接实际上是不可能的, 如图 5 所示, 连接螺栓没有和步进电机轴接触。下一步, 从装配工艺上讲, 只有螺栓顶部和电机轴平齐, 才能

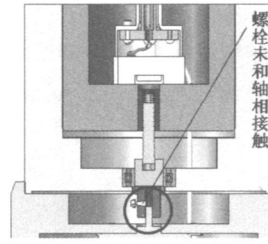


图 5 面面重合连接

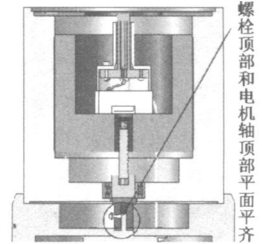


图 6 螺栓顶部和轴顶部重合

使螺栓和电机有最大的接触面积, 也才能使传动更为有效和稳定。故采用图 6 所示的连接方式, 螺栓顶部和电机轴顶部平齐, 测量联轴器和传动件连接部分高度

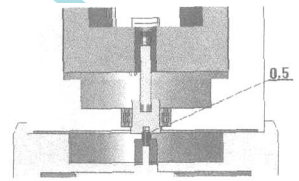


图 7 螺栓顶部和轴顶部重合时实际连接高度

却只有 0.5mm。如果增大连接高度, 就要减小螺栓和轴的接触面积, 导致传动不稳定和失效。也就是说 0.5mm 是此装置能获得的传动稳定的最大连接高度。至此, 失效原因可以解释如下, 当扫描管退针时, 也就是升降台向下运动, 当升降台不和上部外套底部相接触时, 0.5mm 的连接高度也可以稳定工作, 这就是为什么测量高度很小 (如纳米膜、薄片等) 仪器也能稳定工作的原因。仿真系统给出的升降台和底部接触时的扫描样品高度为 4.9mm, 除去样品台厚度 0.5mm, 针尖距离 0.4mm, 还有 4mm 的高度, 也就是说样品高度在 4mm 以内才能测量。而实际上由于针尖比较贵重, 观测者为了保护针尖, 实际所能测的样品高度不超过 2~3mm。在这种情况下, 测量者不知道最大的测试高度, 在较大样品高度时, 必然向下一直退针, 当升降台的底部和上部外套接触以后, 微型丝杠和丝母之间将产生很大的作用力。由于本装置没有过载保护, 必然使得丝杠向上拔, 由于滚珠轴承的间隙, 在较大作用力时, 可以使丝杠向上拔出 0.5mm, 使得联轴器和传动件脱离, 造成失效。如果连接高度超过 0.5mm, 使得轴承间隙不足以使联轴器和传动件分离, 时间一长, 必然损毁步进电机。

4 CAM 技术的显微镜改造研究

为了完成纳米测试方面的试验工作, 必须对显微镜进行改造, 使其能够胜任测试较高样品的微、纳观测测试, 而且长期稳定地工作, 就必须增加过载保护装置和柔性测试升降台。使用 CAM 技术可以对所设计的产品和相关的制造工艺进行研究。

4.1 一种新型偏心升降装置的设计

由于 AFM 和 STM 要求针尖必须和扫描平面垂直, 所以所设计的升降装置必须保证和水平面平行, 也就是和上部外套与探头的结合面平行, AFM 和

STM都要求其在测试的过程中非常稳定，故柔性测试装置必须带有自锁或者支撑装置。为了减少调节的操作时间，柔性测试装置在上升的过程中，必须保证水平，稳定后不用测试仪器校正。

根据 AFM 和 STM 的测试原理，作者设计了一种针对 AFM 和 STM 的新型偏心升降装置，如图 8 所示。

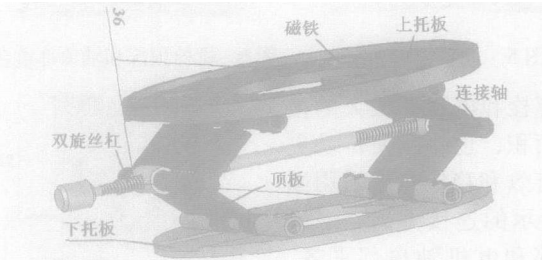


图 8 一种基于 AFM 和 STM 的新型升降装置

本装置的关键技术在于一根丝杠上同时具有两种不同方向的螺旋，即一根丝杠上左侧为左旋，右侧为右旋。由于本装置属于精密装置，通过小的螺距，可以精密控制在手轮加力情况下两个丝母移动相同的距离，故可保证上托板在升降的过程中始终与下托板平行，三角螺纹在反向加力下可自锁，在重力的作用下也可达到自锁，可以使 AFM 和 STM 在扫描的过程中保持稳定。由于针尖占据中心位置，所以本装置避开针尖的位置，采用丝杠偏心连接方式，由于 AFM 和 STM 探头均为铝合金制造，重量很小，故在偏心距离不大时，不会造成应力过分集中，而且四块顶板的连接处采用较长滑动轴承连接，也可将这种较小的偏心力分散，基本上对扫描图像没有影响。为了保持稳定，本装置上下托板上各安装了 3 个磁铁，可以和 AFM 及 STM 固定连接，和上部外套间也可实现固定连接。为了减轻重量，本装置的加工材料除丝杠、丝母和连接轴外，均可采用铝合金进行制造。

4.2 运用 CAM 技术对装置进行仿真研究

CAM 系统给出本设计的最小板间距离为 15mm，如图 9 所示。

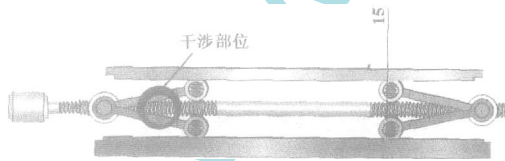


图 9 偏心装置的下极限位置及干涉部位图
图中距离为 15mm，由 CAM 系统给出。对本装

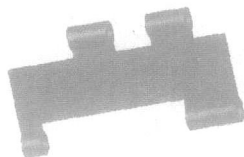


图 10 未开槽托板

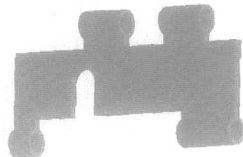


图 11 开槽托板

置于极限距离状态下进行干涉检查，由于设计的顶板没有在丝杠相应位置开出槽，如图 10 所示，实际上在上下托板没有达到下极限位置时便已经干涉，如图 9 所示。经过开槽后的托板，如图 11 所示，在下极限状态下不发生干涉，如图 12 所示。图 12 中右半部

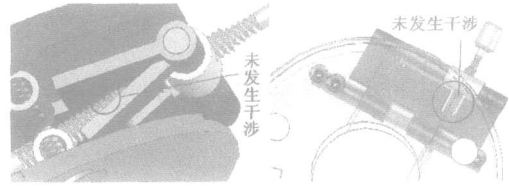


图 12 不同部位未发生干涉图

分图由于上图板将开槽部位挡住，采用材质半透明处理，开槽部位可见。对装置进行干涉检查，系统给出无干涉部分，证明设计合格。本装置的所测得的上极限高度为 55mm，如图 13 所示。从上下极限位置可知丝杠设计的长度合理与否，因为为了防止托板向内弯挤压测试样品，螺纹位置到达图中位置时刚好合适。将这个装置安装到显微镜上，如图 14 和图 15 所示。

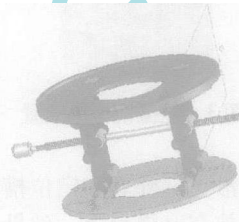


图 13 上极限位置

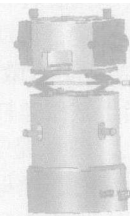


图 14 装置与显微镜安装图

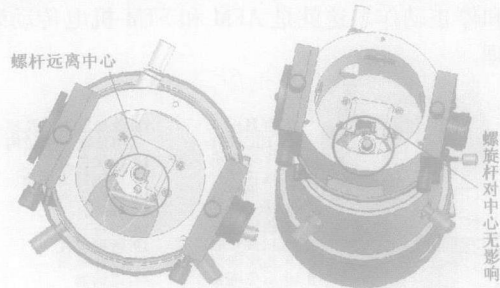


图 15 俯视图和斜视图中的双旋丝杠位置

4.3 过载保护装置的 CAM 设计

如果要避免步进电机损坏，则必须增加过载保护装置。作者针对 STM 和 AFM 机电装置设计了过载保护装置，如图 16 所示。

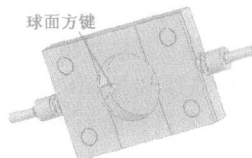


图 16 过载保护装置

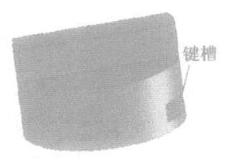


图 17 所设计的连接件

本装置为了避免键的滚动，采用方形球面键，即
(下转第 166 页)

信息。

2.5 多智能体系统 (MAS) 结构

一个典型的多智能体系统 (MAS) 结构如图 2 所示。

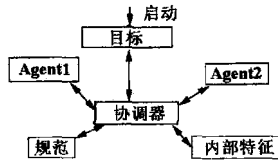


图 2 典型 MAS 结构

3 多智能体系统发展及应用现状

目前，用多智能体系统的方法来设计计算机程序给人们展现了美好的应用前景。当人们用单个智能体去解决高层次的问题遇到困难时，人们想到使用多智能体的方法。多智能体系统的应用已经扩展到了工业（包括制造、过程控制、远程通讯、空中交通控制、运输系统等）、商业（包括电子商务等）、娱乐（游戏等）等领域，但目前多智能体系统最主要是应用在互连网上以及国际机器人足球比赛^[7]。尽管在理论上已经论证了多智能体系统的实现，但多智能体的发展在技术上还有较多的难点，除了设计分布式程序比较困难外，还有设计具有协作功能的系统所带来的一系列复杂的问题。

面向智能体的模型建立后，需要系统化的方法来设计和开发多智能体系统。所以要使多智能体系统的开发向商业化发展，必须对多智能体系统化的设计方法建立一个开放的标准即多智能体系统结构标准化。

尽管智能体技术的研究已经展开二十多年了，智能体系统结构还是没能够获得一个广泛认同的定义。原因或许在于在设计多智能体系统的项目时，系统的结构框架设计的首要原则是符合项目的实际需求，需求不同导致对系统机构的定义的理解不同。尽管对于单个项目，使用特定的符合实际需求的结构框架后更加便捷，但结果是在其它系统中使用这个系统的结构

框架时变得很困难。因此，人们希望有一个支持多智能体的分布交互的更形式化和标准化的机制和协议，使多智能体技术得到更加广泛的应用。近几年已经有一些独立的商业化的或纯粹研究性质的团体如 the Object Manager Group (OMG) 等开始从事多智能体系统技术的标准化工作。

4 结论

多智能体系统结构是软件工程学上的一个很有价值的理论，对计算机系统的发展有深远的影响。特别是，互联网作为一个开放的环境且广泛普及，以及越来越多的跨平台的计算机编程语言的出现（例如 JAVA），为多智能体技术的发展打下了基础。

参考文献

- [1] Roberto A. Flores - Mendes. zTowards the Standardization of Multi - Agent System Architectures: An Overview. Intelligent Agent, Association for Computer Machinery. Issue 5.4, Summer 1999: 18 ~ 24.
- [2] 高波, 费奇, 陈学广. 思考型 Agent 的基本结构. 华中科技大学学报, 2001, 29 (2).
- [3] 赵龙文, 侯义斌. Agent 的概念模型及其应用技术. 计算机工程与科学, 2000, 22 (6).
- [4] 杨煜普, 李晓萌, 许晓鸣. 多智能体写作技术综述. 信息与控制, 2001, 30 (4).
- [5] Bratman M. Intentions, Plans and Practical Reasoning. Harvard Univ. Press, Cambridge, MA, 1987.
- [6] 康小强, 石纯一. 一种理性 Agent 的 BD 模型. 清华大学软件学报, 1999, 10 (12).
- [7] 薛宏涛, 叶媛媛, 沈林成, 常文森. 多智能体系统体系结构及协调机制研究综述. 机器人, 2001, 23 (1): 85 ~ 90.

收稿时间: 2004 - 03 - 29

(上接第 182 页)

电机转动方向为退针向时用球面对准转动方向，进针时用矩形面稳定连接，图 17 为连接件的键槽孔。图

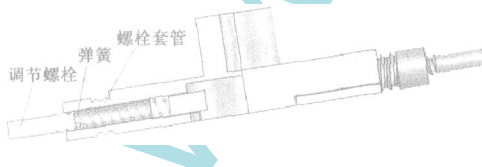


图 18 过载保护装置半剖图

18 为装置半剖图，方形圆键的后面有弹簧，在升降台接触到上部外套时，转矩突然增大，方键推动弹簧使得方键退到连轴器里面，使电机在过载下空转，实现过载保护。根据 CAM 设计考虑

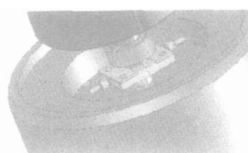


图 19 过载保护装置和显微镜安装图

加工工艺性的要求，连轴器的方孔采用铣削方式加工，上部为活动板用螺栓固定。将装置安装到显微镜上，如图 19 所示。

5 结束语

运用 CAD 和 CAM 技术解决了 SPM 的故障诊断和改造问题，由于 CAM 技术能够直接给出加工机械图纸，故可以直接加工。CAD 和 CAM 技术对于 SPM 仪器的保护和研究是一种重要的手段。

参考文献

- [1] Binnig G., Rohrer H. Appl. Phys. Lett., 1981, 40: 178 ~ 181.
- [2] Binnig G., Quate C. F., Gerber Ch. Phys. Rev. Lett., 1986, 56: 930 ~ 933.
- [3] 本原显微仪器开发中心. 扫描探针显微镜系统介绍资料.

收稿时间: 2004 - 03 - 29