

多足电控吸附攀爬机器人的设计

代光辉, 崔光照, 过金超

(郑州轻工业学院 河南省信息化电器重点实验室, 河南 郑州 450002)

摘要:通过引入电流变胶 ERG(electro-rheological gel) 充当绝缘层来制备电控吸附阵列,以改进阵列的吸附性能.在此基础上设计了多足攀爬机器人.攀爬试验显示,机器人可吸附在玻璃、木材和混凝土壁面,静止吸附在玻璃壁面上最大承载力接近 1.0 kg.

关键词:电流变胶;电控吸附;吸附阵列;多足攀爬机器人

中图分类号:TP242.6 **文献标志码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.2095-476X.2013.02.005

Design of multiped climbing robot based on the electro adhesion technology

DAI Guang-hui, CUI Guang-zhao, GUO Jin-chao

(He'nan Province Key Laboratory of Information Electric Appliances, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: A new adhesion method for multiped climbing robot was designed to enhance the adhesion force and reliable adhesion by introducing ERG(electro-rheological gel) instead of the ordinary insulating gel, to fill the insulating layer of adhesion array and improve adsorption performance. The climbing experiments showed that the robots can adsorb the surface of glass, wood and concrete, the largest carrying capacity of static adsorption in surface of glass is 1.0 kg.

Key words: ERG; electro adhesion; adhesion array; multiped climbing robot

0 引言

攀爬机器人作为一种能够在垂直壁面或高空位置进行作业的特种智能机器人,得到了越来越广泛的关注^[1-2].目前,攀爬机器人已在消防、核工业、石化行业、造船业和太空作业等领域得到了广泛应用.要成功实现攀爬应用,攀爬机器人必须具备吸附能力、移动能力及载重能力.吸附能力是机器人实现墙体攀爬的先决条件,是目前国内外攀爬机器人的研究重点.

传统的吸附方式有负压吸附、磁力吸附、推力与夹持力吸附及仿生吸附^[3-10]等.负压吸附技术具有吸附力大、不受壁面材料限制、容易控制等优点,但是要求壁面光滑;磁力吸附吸附机构简单,也不

存在气体泄漏现象,对凸凹不平的壁面适应性较强,但是只适合在导磁面上吸附工作;推力吸附结构简单,但是效率低,受环境影响大,且不易控制;夹持力吸附不需要提供额外的吸附装置,易于小型化,但是要求壁面粗糙度高或硬度低且容易插入;仿生吸附灵活性强,可实现小型化设计,但是制造成本较高,加工难度大.

电控吸附技术是一种新颖的吸附技术,本质上为静电控吸附.2007年,东京大学首先提出了柔性电极的概念^[11],并采用柔性电路板工艺制成了柔性电极.2008年,美国斯坦福大学 SPI 公司设计了采用薄膜电极作为吸附装置的攀爬机器人^[12],它能够在多种材质壁面上实现可靠吸附,吸附力最大可达 2 N/cm².在国内,哈尔滨工业大学机器人技术与系

收稿日期:2012-12-28

基金项目:河南省基础与前沿技术研究计划资助项目(122102210123)

作者简介:代光辉(1984—),男,河南省浥池县人,郑州轻工业学院硕士研究生,主要研究方向为智能机器人.

统国家重点实验室用铝箔薄膜做电极,开发了滚轮式静电控吸附攀爬机器人^[13]。

相对于传统的吸附方式,电控吸附功耗低、噪声小、隐蔽性强且能在宽泛的材质对象(木材、玻璃、金属、混凝土等)上实现可靠吸附,为多足攀爬机器人吸附方式的设计提供了一种新的方法。但电控吸附技术也存在吸附力较小、吸附阵列易受表面灰尘影响等问题。本文拟引入电流变胶 ERG(electro rheological gel)充当绝缘层制备吸附阵列,提升其吸附力,以增强攀爬机器人的可靠性和稳定性。在此基础上设计制作多足攀爬机器人。

1 电控吸附阵列

目前,电控吸附阵列的研究主要有以下几个方面:1)电极吸附阵列模型构建;2)吸附力“开/关”可控性研究,目的是既能快速地实现稳定吸附,又能够迅速地实现脱附;3)自清洁电极阵列的制备;4)综合考量各种参数及相互间的耦合对吸附力的影响,进而实现电极及阵列结构整体布局的优化设计。

1.1 电控吸附

电控吸附阵列按结构可分为单极型阵列和双极型阵列。鉴于攀爬机器人的可移动性和稳定可靠吸附的要求,电控吸附阵列通常为双极型吸附阵列。电控吸附阵列通过将梳状电极附着在绝缘性好的柔性材料(如PVC薄膜)上,并且在电极阵列整个表面涂上绝缘层制备而成。

电控吸附实质上是电荷间静电力的矢量和。电控吸附包含了2种作用:一种是库伦作用,能耗小,产生的吸附力也小^[12];另一种是J-R(Johnsen Rahbek effect)效应^[14],能耗相对较大,产生的吸附力也较大。这2种作用在静电控吸附过程中同时存在,吸附电极与吸附壁面间绝缘层的电阻率决定了哪一种作用占主导地位。影响吸附阵列吸附力的因素主要有电极宽度、电极间距、电极占空比、施加电压大小与绝缘层厚度及柔韧性等。优化电极占空比、提高施加电压、在满足绝缘性能的前提下减小绝缘层厚度等措施都可以提升电控吸附阵列的吸附力。

1.2 改进的电控吸附

实验发现,引入电流变胶作为电极阵列的绝缘层,可以改善电极阵列的吸附效果。

电流变胶是将电流变微粒(electro rheological particle,简称ER微粒)混入绝缘胶体中形成的。电流变胶和电流变液一样都会发生电流变效应^[14]。图

1a)中,电流变胶被置于平行板电极中间,没有直流强电场时,ER微粒突出于胶体表面,这时电极板与电流变胶的接触面积很小。当在电极板上施加直流强电场(1~10 kV),在电场的作用下,ER微粒被极化并相互吸引,以至于原来突出于胶体表面的电流变微粒沉入了胶体内,这时,电极板和电流变胶的接触面积就增大了,如图1b)所示。

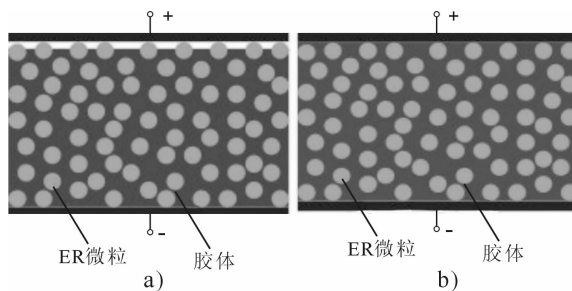


图1 ERG的电流变效应

图2是在高倍电子显微镜下观察到的电流变微粒的动态沉陷过程^[15]。没有施加电场时,ER微粒可以在胶体表面观察到,如图2a)所示;当施加电场时,电流变胶发生电流变效应,原来突出于胶体表面的ER微粒被极化,产生相互吸引,就沉陷进胶体内部,如图2b)所示。

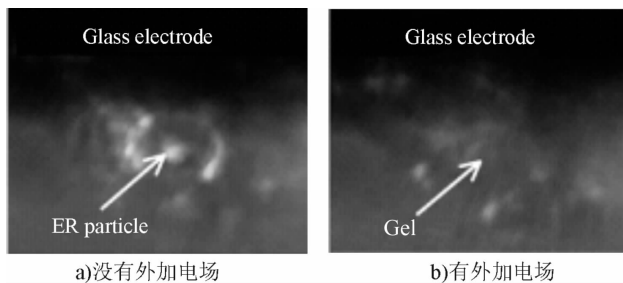


图2 电流变微粒的动态沉陷过程

实验发现,如果电流变胶代替普通的绝缘胶(RTV118高柔顺性绝缘胶)用作电极阵列的绝缘层,不仅能够满足阵列的绝缘要求,而且还能提升阵列的吸附力。这是因为当电流变胶发生电流变效应时,突出于胶体表面的ER微粒沉陷进胶体内,从而增大了静电吸附装置与壁面的接触面积,间接地减小了电极电荷与壁面电荷的间距,提升了阵列对壁面的吸附力。

ER微粒的动态变化不仅可以增大电极板和ERG的接触面积,而且当ER微粒在强电场作用下陷进胶体时,能够一同将其表面的灰尘等微小杂质带进胶体内,从而使电控吸附阵列得到一定程度的清洁,即电控吸附阵列拥有了一定的自清洁能力。

因此,将 ERG 用作多足攀爬机器人吸附阵列的绝缘层,不仅能够满足绝缘性和柔顺性的需要,还可以提升吸附阵列的吸附力,并且使电控吸附阵列具备一定的自清洁能力,从而确保机器人的可靠吸附和稳定攀爬.

2 电控吸附攀爬机器人的设计

基于电控吸附技术,笔者设计制作了单履带导轨式攀爬机器人,以验证 ERG 电控吸附阵列的性能,并在此基础上设计制作了多足攀爬机器人,以增强攀爬机器人的灵活性.

2.1 单履带导轨式电控吸附攀爬机器人

基于改进的 ERG 电极吸附阵列,设计的单履带导轨式电控吸附攀爬机器人主要由吸附履带、高压模块、导电轮、动力轮、控制器和电池等组成. 吸附履带尺寸 500 mm × 200 mm, 电极为碳粉, 绝缘层为 ERG; 导电轮为吸附阵列传递来自高压模块的直流高压; 控制器控制电机的运动.

通过试验,该机器人可以在玻璃、木材和混凝土壁面上稳定攀爬,静止吸附在壁面上最大承载能力大约为 1.5 kg(玻璃窗),如图 3 所示.

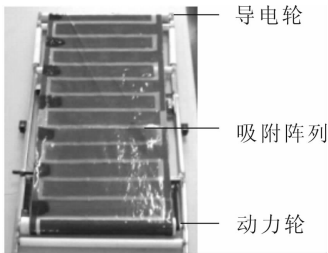


图 3 单履带导轨式电控吸附攀爬机器人

2.2 多足电控吸附攀爬机器人

为了进一步提升攀爬机器人运动的灵活性、可控性及避障能力,笔者又设计了多足仿生机器人,该机器人的设计主要包括吸附足、机械结构设计和控制器设计等.

该机器人吸附足由 ERG 吸附阵列附着在 PVC 薄板上制作而成. 设计完成后的机器人总质量约为 750 g, 根据机器人重量和吸附阵列的承载能力(约为 2.2 g/cm²), 每个吸附足尺寸为 80 mm × 80 mm, 电极宽度 10 mm, 电极间距 8 mm. 6 条足吸附阵列面积共 384 cm², 承载能力接近 800 kg, 可以保证机器人可靠稳定地吸附在壁面上.

机器人的机械机构主要由支撑基盘和 6 条足组成. 支撑基盘用于固定机器人的 6 条足, 并承载控制器、电源等负载. 机器人的 6 条足具有类似的结构,

每条足有 3 个舵机构成 3 个自由度, 分别实现前后、左右和上下转动. 另外, 机器人左右两侧的 3 条足反向对称, 设计时需注意. 图 4 是利用 AutoCAD 2010 设计的机器人的支撑基盘和足关节连接部件.

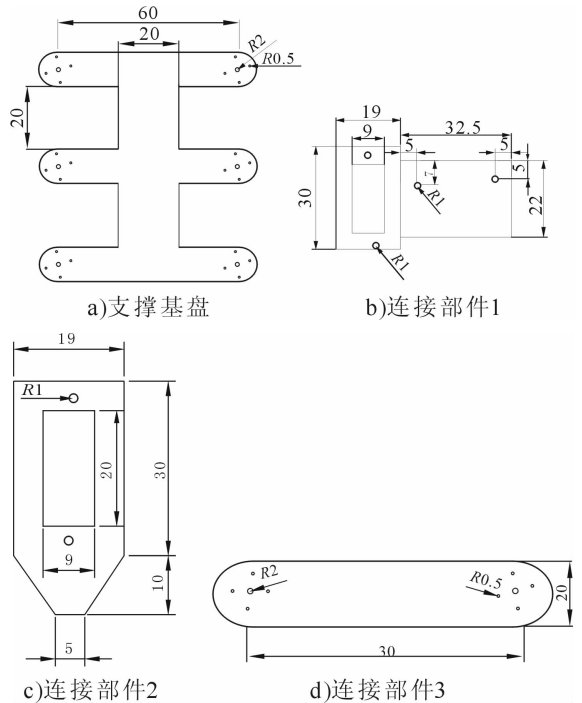


图 4 支撑基盘和足关节连接部件/mm

支撑基盘和足关节连接部件制作完成后, 将舵机安装在足关节连接部件的相应位置, 制成机器人的 6 条足, 将 6 条足安装在机器人支撑基盘的对应位置. 该机器人使用的舵机有 2 种, 每条足的关节 1 使用的舵机型号为 XIANGYU DIGITAL SERVO DS7.0, 关节 2,3 使用的舵机型号为 Ultra Micro Servo.

机器人的控制器以 SPCE061A 单片机为核心, 采用 555 构成的振荡器作为外部中断源, 单片机的 IOB2 口作为外部中断源 EXT1 的输入端, 下降沿触发, 每次中断, 单片机分别在各 IO 口输出高电平或低电平, 通过对 555 振荡器产生的脉冲进行计数来产生 PWM 信号, 从而实现对每个舵机的控制. 控制器硬件组成如图 5 所示.

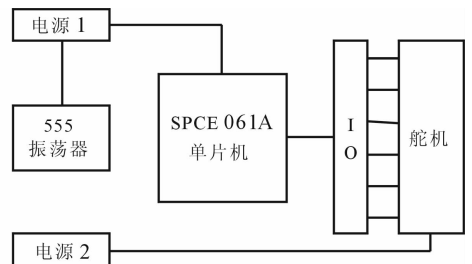


图 5 控制器硬件组成

将机器人的吸附足、机械机构和控制器组装在一起,最终完成的多足电控吸附机器人如图6所示.多足电控吸附机器人在多种材料壁面(玻璃、木材和混凝土)上进行了吸附攀爬试验.试验中,机器人

可以可靠吸附在玻璃、木材和混凝土壁面上,并能向上和向下攀爬.静止吸附在玻璃壁面上最大承载能力接近1.0 kg.

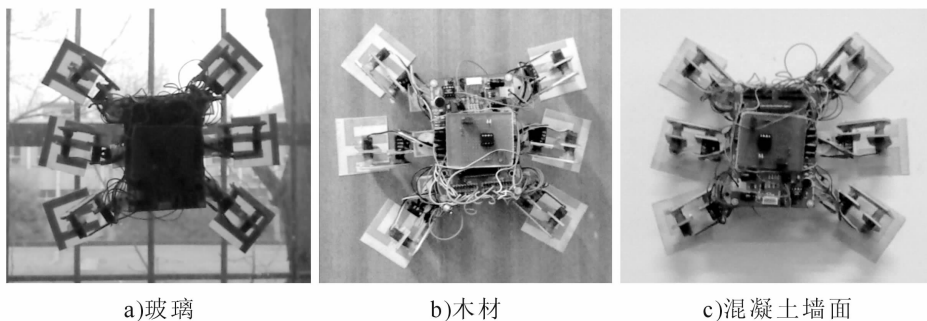


图6 多足攀爬机器人攀爬实验

3 结论

本文引入ERG对电控吸附阵列进行了改进,提升了阵列的吸附力.以此为基础设计制作了多足攀爬机器人.试验情况表明该机器人可以在玻璃、木材和混凝土壁面上稳定吸附,并能完成简单的运动.该机器人还有许多需要完善的地方:1)选择合适的步态,使得机器人能够稳定、快速攀爬,并且消耗较少能量;2)为机器人身上附加力、角度和位置等传感器,使得机器人及时反馈环境信息完成自我调整.

参考文献:

- [1] Baeksuk C, Kyungmo J, Chang-Soo H, et al. A survey of climbing robots: locomotion and adhesion[J]. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, 2010, 11(4): 633.
- [2] Surachai P. Development of a wall climbing robot[J]. Journal of Computer Science, 2010, 10(6): 1185.
- [3] Wang W, Wang K, Zong G H, et al. Principle and experiment of vibrating suction method for wall-climbing robot[J]. Vacuum, 2010, 85(1): 107.
- [4] Yan W, Shuliang L, Dianguo X, et al. Development and application of wall-climbing robots[J]. IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2009(2): 1207.
- [5] Wolfgang Fischer, Fabien Tache, Roland Siegwart. Magnetic wall climbing robot for thin surfaces with specific obstacles[J]. Springer Tracts in Advanced Robotics, 2008(42): 551.
- [6] Tosun O, Akin H L, Tokhi M O, et al. TRIPILLAR: Miniature magnetic caterpillar climbing robot with plane transition ability [C]//12th International Conference on Climbing and Walking Robots and the Support Technologies for Mobile Machines, Istanbul: CLAWAR, 2009: 343

- 350.
- [7] Kennedy B, Okon A, Aghazarian H, et al. Lemuriib: A robotic system for steep terrain access[J]. Climbing and Walking Robots, 2009(34): 1077.
- [8] Sattar J, Dudek G. A boosting approach to visual servo-control of an underwater robot[J]. Experimental Robotics, 2009(54): 417.
- [9] Yasong L, Ausama A, Dan S, et al. Abigaille II: toward the development of a spider-inspired climbing robot[J]. Robotica, 2012(30): 79.
- [10] 王周义,王金童,吉爱红,等.壁虎的运动行为与动力学研究:竖直面内运动方向的影响[J].科学通报, 2010(23): 2339.
- [11] Yamamoto A, Nakashima T, Higuchi T. Wall climbing mechanisms using electrostatic attraction generated by flexible electrodes[J]. International Journal of Advanced Robotic System, 2013, 10(36): 1.
- [12] Prahlad H, Pelrine R, Stanford S, et al. Electroadhesive robots—Wallclimbing robots enabled by a novel, robust, and electrically controllable adhesion technology [J]. IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2008(978): 3028.
- [13] 黄之峰,王鹏飞,李满天,等.基于柔性静电吸附技术的爬壁机器人研究[J].机械设计与制造, 2011(6): 166.
- [14] Yasuhiro Kakinuma, Tojiro Aoyama, Hidenobu Anzai. Basic performance of ER gel on one-sided structured electrodes[J]. Proceedings of the 6th JFPS International Symposium on Fluid Power, 2005(6): 584.
- [15] Yasuhiro Kakinuma, Tojiro Aoyama, Hidenobu Anzai, et al. Application of ER gel with variable friction surface to the clamp system of aerostatic slider[J]. Precision Engineering, 2006(30): 280.