

# 金属介质对超高频 RFID 被动标签读取效能的影响及可用于金属表面标签的设计

赵 犁<sup>1</sup>, 郜 笙<sup>2</sup>, 虞俊俊<sup>2</sup>

(1. 香港科技大学 工业工程及物流管理学系, 香港 九龙; 2. 浙江香港科技大学 先进制造研究所, 浙江 杭州 311100)

**摘 要:** 金属介质对射频信号的干扰一直以来影响着射频识别技术(RFID)的有效应用. 为了研究导致干扰发生的机理以及解决办法, 以超高频段 RFID 系统为对象, 依据电磁场相关理论, 进行了一系列实验. 通过对实验所得数据的分析, 验证了金属介质对 RFID 被动标签读取率的影响, 并进一步发现标签和金属介质表面间隔距离与读取率之间的变化关系. 另外, 发现了附加金属层产生的同相位电场对标签读取性能的放大作用. 最后, 根据实验研究结果, 提出一种可用于金属表面的 RFID 被动标签的设计方案, 该设计方案不但可以有效消除金属干扰的负面影响, 还可在原有读取性能的基础上进一步提高读取率, 同时兼顾使用方便性和制造成本两方面.

**关键词:** 无线射频识别; 射频信号; 金属标签; 电磁场

**中图分类号:** TP202; TB21

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1006-754X(2006)06-0416-05

## Research on impact of metal media on RFID passive tag and design method of metal-surface-usable RFID tag

ZHAO Li<sup>1</sup>, GAO Sheng<sup>2</sup>, YU Jun-jun<sup>2</sup>

(1. Department of Industrial Engineering and Logistics Management, The Hong Kong University of Science and Technology, Kowloon, Hong Kong, China; 2. Zhejiang Advanced Manufacturing Institute, The Hong Kong University of Science and Technology, Hangzhou 311100, China)

**Abstract:** Disturbance of metal media on radio frequency signal is always influencing the effective application of RFID. To explore the principle of triggering this disturbance and the methods to solve this problem, by taking UHF RFID system as a target, according to relevant theory of electromagnetic field, a series of experiments are designed. Through analysis of data gained from experiments, impact of metal media on RFID passive tag readability is verified. Furthermore, relationship between distance from tag to metal media surface and readability is discovered. Moreover, the magnifying effect of an extra metal layer to readability is found too. Finally, according to the results of experiments, a design plan which can be used on RFID passive tag on metal surface is proposed. This plan can not only eliminate negative effect of metal disturbance, but enhance readability, which considers the convenience for use and manufacture cost as well.

**Key words:** radio frequency identification; radio frequency; metal tag; electronic magnetics

无线射频识别(radio frequency identification, RFID)技术作为一种非可视的数据采集和目标识别技术,因其具有读取距离远、传输速率快、防冲撞大批量读取以及运动过程读取等优势,在物流供应链

管理、生产自动化管理和商品零售等众多领域具有广泛的潜在应用空间.

目前,射频识别的工作频率包括低频、高频、超高频及微波段,其中尤以高频和超高频的应用最为

收稿日期:2006-05-25.

基金项目:浙江省科技厅重点科研项目资助(2004E60051).

作者简介:赵 犁(1972—),男,浙江杭州人,副研究员,博士,从事协同设计的系统理论及应用、产品物理模型的共享及数据交互、流程的优化及数值化分析、知识库的创建及管理、软件智能体的开发及应用、多任务并行化等研究, E-mail: lizhao@ust.hk.

广泛。RFID 标签按照供电原理划分,可分为主动(有源)标签和被动(无源)标签<sup>[1]</sup>。相比主动标签,被动标签由于成本低、体积小而备受青睐。然而,超高频波段的射频对金属十分敏感,导致目前这种工作频率的被动标签无法在具有金属表面的物体上(例如钢质货架、集装箱等)正常工作,而只能使用于非金属表面(例如塑料、木材等)。射频识别应用最为广泛的物流行业多为金属环境,所以金属敏感性这一缺点大大限制了其在物流行业的应用。

就目前技术而言,可以通过对 RFID 标签表面施加隔离涂层来解决其在金属表面的应用问题<sup>[2]</sup>,但是这一方法施工难度大,生产成本高。所以,本文提出一种成本相对较低并且简单易用的可用于金属表面的超高频 RFID 被动标签。

## 1 金属介质对 RFID 被动标签的影响

RFID 系统主要由阅读器、天线和标签组成。当标签进入射频识别范围内,系统利用交流电磁场的原理对标签进行读写操作以实现信息数据识别、自动化控制和现代化管理的目的。其系统结构示意图如图 1 所示。

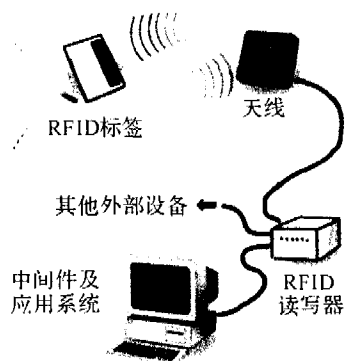


图 1 RFID 系统基本结构示意图

Fig. 1 The typical structure of RFID system

根据无线射频识别系统的工作原理,RFID 被动标签进入磁场后,接收阅读器发出的射频信号,凭借感应电流所获得的能量发送出存储在芯片中的产品信息。阅读器读取信息并解码后,送至中央信息系统进行有关数据处理<sup>[3]</sup>。可见,RFID 被动标签正常工作的前提是通过场强变化提供激活标签芯片工作和进行数据传输的能量。根据电磁场原理,金属介质对 RFID 被动标签的影响主要有以下两方面的原因,这两方面的合力导致标签在金属环境下的读取率(每秒读取标签次数)大大降低。

### 1.1 能量转换的影响

当金属靠近天线时,由于电磁感应作用,其内部

会产生涡流,同时吸收射频能量转换成自身的电场能,因此减弱了原有射频场强的总能量。

### 1.2 涡流自身的感应磁场影响

前述的涡流也会产生自身的感应磁场,该场的磁力线垂直于金属表面,且方向与射频场强相反。这种感应磁场对原磁场的阻碍效果使得射频场强的分布在金属表面发生“变形”,磁力曲线趋于平缓,在很近的区域内甚至平行于金属表面,如图 2 所示。因此当标签贴附在金属表面或非常接近金属表面时,该空间内实际并无射频场强分布,标签天线无法切割磁力线而获得电磁场能量,在这种情况下,RFID 被动标签无法正常工作<sup>[4]</sup>。

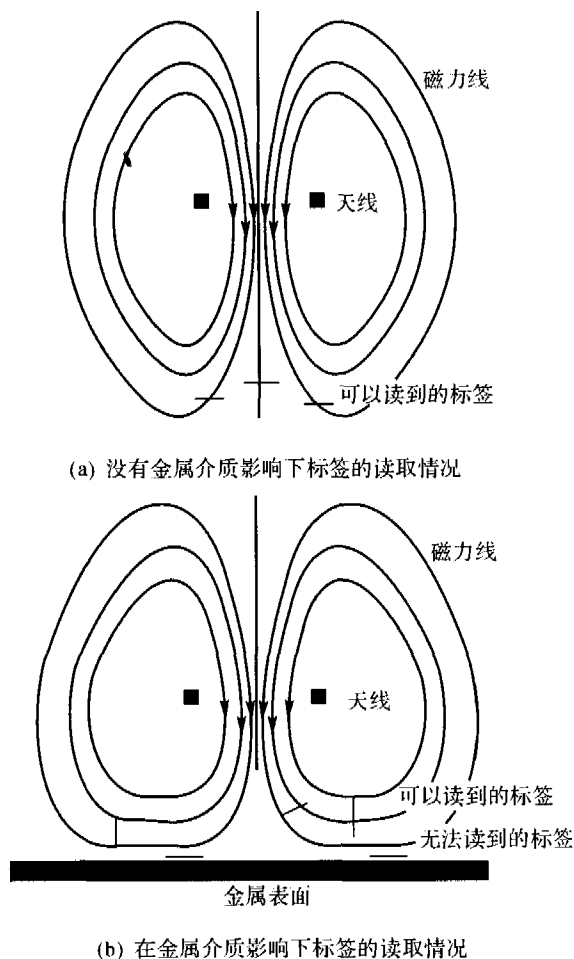


图 2 金属介质对感应磁场的影响作用

Fig. 2 The metal impact on magnetic field

另外,在 RFID 超高频段,当由于金属对电磁波的反射作用所产生的电场刚好和原来的电场位相同时,那么电场对标签的感应强度反而增强,从而提高了标签在金属表面的读取率<sup>[5]</sup>。因此,可以设法在金属表面设置对电磁波进行二次反射,从而使其电场位相与原始电场相同,提高标签的读取率。

## 2 金属介质对 RFID 被动标签读取率影响测试

依据上述研究,可以看出,当标签紧贴金属表面时,标签完全平行于分布在金属表面的磁力线,从而没有角度进行磁力线切割获取能量,也就无法与 RFID 读取器进行数据通讯;但是,那些远离金属表面的磁力线当中开始出现不与金属表面平行的弯曲的磁力线,此时,处在离金属表面一段距离的 RFID 标签可以发生切割磁力线运动,从而获取能量并进行数据通讯。

因此,可以设想,当 RFID 标签与金属表面的间隔距离在射频场强范围不断变化时,标签所能切割的磁通量也应该随着间隔距离的不同而相应发生变化,这一变化直接导致标签获取能量的多寡,并最终影响标签读取率。另外,由于金属反射造成的同相位电场对标签读取率的正面效应也是此项研究的重要目的之一。为此,将进行一系列实验以验证上述研究结论的正确性。

### 2.1 实验设置

该实验所使用的标签为封装 RFID 被动超高频标签,工作频率为 915 MHz;读取器为固定式 RFID 超高频读取器,采用分体式独立天线,天线增益为 5.8 dBi;数据载波协议为 ISO-18000-6;读取器天线和标签的距离约为 1 m,属于该套设备的有效数据通讯范围,并且对标签只进行读操作,不进行写操作。

### 2.2 实验内容及结果

实验一:将该标签直接贴附于金属表面上,分别

测 5 次读取率。

与预想一致,贴附于金属表面的标签根本不能被读取,读取率为零。

实验二:将该标签置于距离金属表面 10 mm 处,分别测 5 次读取率。

发现标签能够正常工作,并且读取率比较稳定。此实验结果部分验证了标签与金属介质的间隔距离对标签读取率的正面作用。

实验三:逐步增加标签与金属表面的间隔距离,并且选取合适的距离来测试此时标签的读取率,从而进一步分析标签与金属表面距离对标签读取率的影响。



鉴于塑料材质对标签的读取率基本不构成影响,因此在实验过程中,采用可调整高度的塑料隔离架来隔离标签和金属表面的接触,即通过改变塑料隔离架的高度来改变标签与金属表面的间隔距离,并测量在每一隔离架高度下 RFID 读取器对标签的读取率。

实验四:在实验三的基础上,在塑料隔离架和金属表面之间放置 2 mm 厚的塑料层和 1 mm 厚的金属层,即金属表面+塑料层(2 mm)+金属层(1 mm)+可调高的塑料隔离架+标签。采用额外加设的金属层反射原始电场而产生与原始电场同相位的电场,以期得到比实验三更高的读取率。由于塑料层和金属层合高为 3 mm,因此在本实验将塑料隔离架的高度每次相应降低 3 mm 进行测量,使得结果是在标签和金属表面间隔距离与实验三相同的条件得到,从而具有可比性。


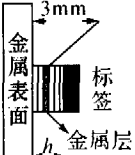
各实验具体数据如表 1 所列。

表 1 实验结果

Table 1 Experimental results

| 标签设置                                                                                | 间隔距离/<br>mm | 读取率/(次/s) |       |       |       |       | 平均值/<br>(次/s) |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------|-------|-------|-------|-------|---------------|
|                                                                                     |             | 第 1 次     | 第 2 次 | 第 3 次 | 第 4 次 | 第 5 次 |               |
| 实验一                                                                                 |             |           |       |       |       |       |               |
|  | 0           | 0         | 0     | 0     | 0     | 0     | 0             |
| 实验二                                                                                 |             |           |       |       |       |       |               |
|  | 1.0         | 7.2       | 7.1   | 7     | 6.3   | 6.2   | 6.8           |

续表

| 标签设置                                                                                      | 间隔距离/<br>mm | 读取率/(次/s) |       |       |       |       | 平均值/<br>(次/s) |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------|-------|-------|-------|-------|---------------|
|                                                                                           |             | 第 1 次     | 第 2 次 | 第 3 次 | 第 4 次 | 第 5 次 |               |
| 实验三<br>  | 1           | 0         | 0     | 0     | 0     | 0     | 0             |
|                                                                                           | 2           | 3.6       | 3.8   | 2.8   | 3.0   | 3.8   | 3.4           |
|                                                                                           | 3           | 4.6       | 4.1   | 5.4   | 3.6   | 4.1   | 4.4           |
|                                                                                           | 4           | 4.8       | 4.9   | 4.8   | 5.7   | 5.7   | 5.2           |
|                                                                                           | 5           | 5.1       | 5.1   | 5.9   | 5.6   | 6.1   | 5.6           |
|                                                                                           | 6           | 7.0       | 6.3   | 5.9   | 6.0   | 6.7   | 6.4           |
|                                                                                           | 7           | 6.1       | 6.5   | 6.7   | 6.8   | 6.9   | 6.6           |
|                                                                                           | 8           | 6.7       | 7.0   | 6.6   | 6.5   | 6.8   | 6.8           |
|                                                                                           | 9           | 6.7       | 6.6   | 7.7   | 7.0   | 6.8   | 7.0           |
|                                                                                           | 10          | 7.5       | 6.8   | 6.9   | 6.9   | 6.5   | 7.0           |
|                                                                                           | 11          | 7.3       | 7.0   | 7.1   | 6.9   | 7.0   | 7.1           |
|                                                                                           | 13          | 7.2       | 7.3   | 6.9   | 6.9   | 7.3   | 7.2           |
| 实验四<br> | 4           | 3.8       | 4.4   | 5.7   | 5.2   | 4.8   | 4.8           |
|                                                                                           | 5           | 5.3       | 7.0   | 5.5   | 6.2   | 6.0   | 5.7           |
|                                                                                           | 6           | 7.0       | 7.3   | 7.7   | 7.3   | 7.1   | 7.3           |
|                                                                                           | 7           | 7.4       | 7.8   | 8.3   | 9.0   | 8.2   | 7.9           |
|                                                                                           | 8           | 9.8       | 9.2   | 10.2  | 9.8   | 9.6   | 9.7           |
|                                                                                           | 9           | 10.5      | 10.0  | 11.3  | 10.6  | 9.5   | 10.5          |
|                                                                                           | 10          | 11.7      | 11.9  | 12.8  | 12.0  | 12.0  | 12.1          |
|                                                                                           | 11          | 13.4      | 12.5  | 13.5  | 13.5  | 12.6  | 13.1          |
|                                                                                           | 13          | 13.3      | 14.1  | 14.6  | 13.5  | 13.6  | 13.8          |
|                                                                                           | 16          | 14.3      | 14.9  | 14.1  | 13.8  | 13.1  | 14.0          |

### 2.3 实验分析

根据实验数据,在误差范围内,随着标签与金属表面的间隔距离不断增加,标签的读取率也在不断上升,这验证了前面理论分析中的观点,即随着标签远离金属介质,与金属介质表面不平行的磁力线逐渐增多,这样标签就可以更好地切割磁力线获取能量,以实现更高的读取率。

在实验四中,可以看出附加金属层反射电磁波而产生的同相位电场的增益作用是比较明显的,实验后期所测得的读取率甚至超过实验三中同等间隔距离下所测数据的 1 倍。对于在间隔距离在 4 mm 和 5 mm 分别产生的低于和近似实验三相应结果的现象,可能的解释为:此时标签距离附加金属层过近,金属层自身产生的反相位电场效应强于其反射金属表面电磁波产生的同相位电场,从而进一步削弱了标签的感应能量,降低读取率。

将实验三和实验四各数据在二维坐标中进行描绘(图 3)。可以看出,在实验三中,标签读取率受到标签与金属表面距离的影响开始比较强烈,中后期则趋于平缓。也就是说,金属介质对标签读取率的负面作用是在一定间隔距离范围才有效的,当间隔距

离超出一定范围,标签就可以摆脱金属介质的影响。例如,在本实验的设备环境下,金属表面对标签读取率的影响是在间隔距离 7 mm 以内有效,而当间隔距离超过 7 mm,金属介质就失去其负面作用,标签基本恢复正常工作状态。

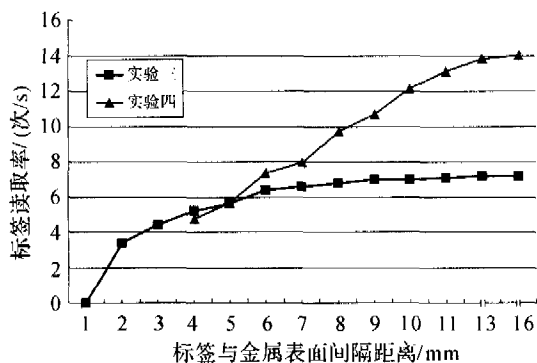


图 3 实验三和实验四结果示意图

Fig. 3 The results of experiment 3 and 4

实验四中,在各个间隔距离所测得读取率一直保持着快速的上升趋势,并且,当实验三中读取率趋于平缓的时候(7 mm 以后),实验四中的数据依然快速增加。这说明,实验四所附加的金属层不是简单缓解金属表面对读取标签的负面效应,而是与金属

表面配合起到了大大增强射频信号对标签的感应能力。所以说,对于超高频段的 RFID 标签来说,恰当的标签结构设计能显著提高标签在金属环境下的工作性能。

### 3 可用于金属介质表面的 RFID 被动标签的设计方案

根据本研究及实验数据,在一定范围内,RFID 被动标签与金属介质表面的距离越大,读取效果(读取率)越好,并且,标签中合理附加金属层可以有效增强读取率。所以,将实验三和实验四中使用塑料隔离架和金属层的想法运用到标签设计当中,利用塑料隔离架在标签与金属介质之间产生一定的间隔距离,并在隔离架中距离金属表面 2 mm 处嵌入金属

层来保证标签在金属表面获得较高的读取性能;同时,兼顾成本以及使用方便性,将塑料隔离架的高度控制在最佳数值,例如,在本实验环境下的塑料隔离架的最佳高度为 10 mm 左右。

该标签设计可分为三个部分:第一部分为正常的射频识别标签,包括内嵌芯片和天线;第二部分为塑料隔离架,用于支撑标签,使其远离金属表面一段距离,隔离架的高度和大小可根据实际承载的 RFID 标签和工作环境作相应调整;第三部分为金属层,它镶嵌在隔离架中间,距离金属表面 2 mm 处,为降低标签成本和重量,金属层高可考虑少于 1 mm,例如,可为 0.5 mm 左右。图 4 是以标准卡状 RFID 标签为例而设计的用于金属表面的标签结构示意图和安装图。

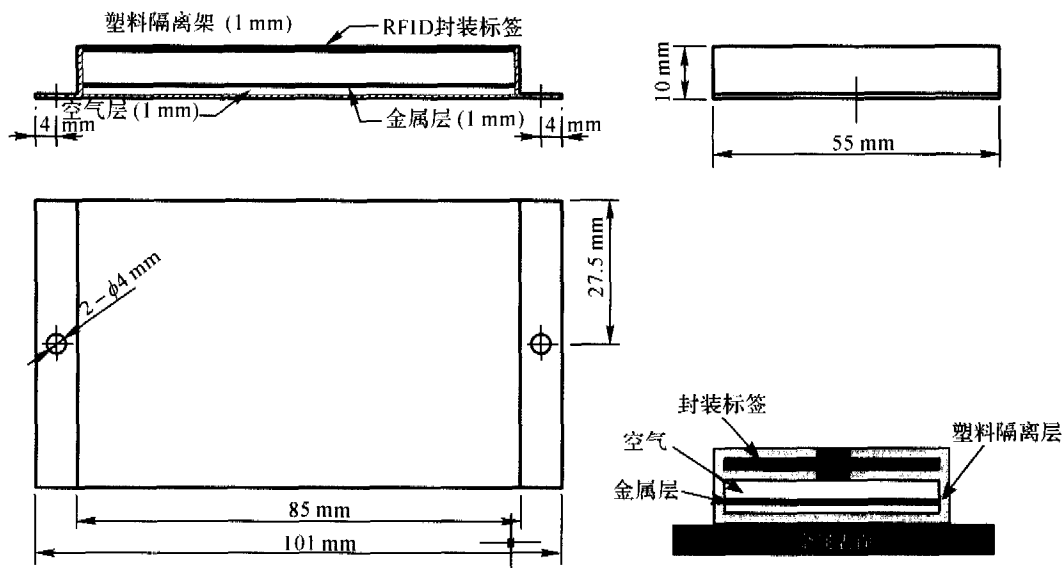


图 4 可用于金属表面的 RFID 标签结构安装图及示意图

Fig. 4 The design of metal-surface-usable RFID tag

### 4 结束语

超高频段 RFID 被动标签的金属干扰问题始终阻碍着这一新兴识别技术的有效应用。基于电磁场相关理论,本文设计并进行一系列实验,最后的实验数据说明,虽然金属介质对 RFID 被动标签读取率的影响较为明显,但是这种影响会随着标签与金属介质表面距离的加大而迅速衰减,并在超出一定范围之后趋于消失;在标签和金属表面之间附加金属层会大大增强标签对射频信号的感应性能,提高读取率。根据此研究结果,本文提出一种可用于金属表面的 RFID 被动标签设计方案。该标签设计不但可以有效消除金属介质对标签读取率的负面作用,并且在原有性能的基础上进一步提高了读取率,同时

兼顾了经济性和方便性,是解决金属干扰问题的理想途径。本研究成果已申请国家实用新型专利。

### 致 谢

感谢香港科技大学工业工程及物流管理系曾明哲教授,从项目的启动、规划到项目的实施、完成所给予的杰出指导。感谢湖州德马物流系统有限公司无偿提供配送中心实验室所需的物流机械设施。

### 参考文献:

- [1] 游战清,李苏剑. 无线射频识别技术(RFID)理论与应用[M]. 北京:电子工业出版社,2004.

(下转第 430 页)

- [3] 陈立周. 稳健设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 1999.  
CHEN Li-zhou. Robust design [M]. Beijing: China Machine Press, 1999.
- [4] 周继胜, 张圣坤. 结构鲁棒设计方法及其应用[J]. 力学与实践, 2000, 22(1): 11-15.  
ZHOU Ji-sheng, ZHANG Sheng-kun. Structures robust design and its application [J]. Mechanics and Practice, 2000, 22(1): 11-15.
- [5] 王安麟, 朱学军, 张惠侨. Pareto 多目标遗传算法及其在机械健壮设计中的应用[J]. 机械设计与研究, 2000, 16(1): 10-12.  
WANG An-lin, ZHU Xue-jun, ZHANG Hui-qiao. Robust design for mechanical/structural system using Pareto multi-objective optimization GA [J]. Machine Design and Research, 2000, 16(1): 10-12.
- [6] WEI Chen, KEMPER Lewis. A robust design approach for achieving flexibility in multidisciplinary design[C]//  
Proceedings of 7th AIAA/NASA/ISSMO Symposium on Multidisciplinary Analysis and Optimization. St. Louis, 1998; 1833-1842.
- [7] 方卫国, 酆正能. 基于全局敏感度方程方法的飞机方案优化设计[J]. 航空学报, 1998, 19(3): 293-298.  
FANG Wei-guo, LI Zheng-neng. Aircraft scheme optimization design based on global sensitivity equation method [J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 1998, 19(3): 293-298.
- [8] GU Xiao-yu. Uncertainty in simulation based multidisciplinary design optimization[D]. Nortre Dame, Indiana: University of Notre Dame, Department of Aerospace and Mechanical Engineering, 2003.
- [9] 李为吉. 飞机总体设计[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2005.  
LI Wei-ji. Aircraft configuration design [M]. Xi'an: Press of Northwestern Polytechnical University, 2005.

(上接第 420 页)

- YOU Zhan-qing, LI Su-jian. Radio frequency identification theory and application [M]. Beijing: Press of Electronics Industry, 2004.
- [2] 郭长佑. RFID 超距扫描力之规划与选定[EB/OL]. [2006-01-15]. <http://www.itpub.net/478417.html>.  
GUO Chang-you. The planning and selection for RFID scanning bility [EB/OL]. [2006-01-15]. <http://www.itpub.net/478417.html>.
- [3] Alawn. 系统工作原理[EB/OL]. [2006-03-08]. <http://www.rfidclub.cn/wiki/wiki.asp?title=RFID>.  
Alawn. RFID system principals [EB/OL]. [2006-03-28]. <http://www.rfidclub.cn/wiki/wiki.asp?title=RFID>.
- [4] 牛中奇, 朱满座, 卢智远, 等. 电磁场理论基础[M]. 北京: 电子工业出版社, 2001.  
NIU Zhong-qi, ZHU Man-zuo, LU Zhi-yuan, et al. Fundamental theory of electronic magnetics [M]. Beijing: Press of Electronics Industry, 2001.
- [5] 胡洪洲. RFID 工作频率指南和典型应用[EB/OL]. [2006-03-28]. [http://www.eetchina.com/static/site/designtalk\\_huhz\\_eetc.htm](http://www.eetchina.com/static/site/designtalk_huhz_eetc.htm).  
HU Hong-zhou. The guideline for RFID working frequency and typical applications [EB/OL]. [2006-03-28]. [http://www.eetchina.com/static/site/designtalk\\_huhz\\_eetc.htm](http://www.eetchina.com/static/site/designtalk_huhz_eetc.htm).

(上接第 425 页)

- [3] MALKIN S. 磨削技术理论及应用[M]. 蔡光起, 巩亚东, 宋贵亮, 译. 沈阳: 东北大学出版社, 2002: 137-140.  
MALKIN S. Grinding technology theory and applications of machining with abrasives [M]. Translated by CAI Guang-qi, GONG Ya-dong, SONG Gui-liang. Shenyang: Northeastern University Press, 2002: 137-140.
- [4] 星铁太郎. 机械加工颤振的分析与对策[M]. 顾崇衡, 译. 上海: 上海科学技术出版社, 1984: 30-34.  
HOSHITETSU Taro. The analysis and countermeasure on mechanical machining chatter [M]. Translated by GU Chong-xian. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Press, 1984: 30-34.
- [5] HAHN R S, PRICE R L. A nondestructive method of measuring local hardness variations in grinding wheels [J]. Annals of the CIRP, 1967, 16: 19-23.
- [6] LING Yin, HAN Huang. Ceramic response to high speed grinding [J]. Machining Science and Technology, 2004, 8(1): 21-37.