

# 危险品智能仓储及运输管理系统的电磁安全

张蕊, 姚洪志, 惠蕾, 付东晓, 赵团, 纪向飞  
(陕西应用物理化学研究所 应用物理化学重点实验室, 西安 710061)

**摘要:** **目的** 开发满足炸药、火工品等危险品使用的智能仓储及运输管理系统, 以提高危险品物流的信息化和智能化管理水平。**方法** 采用 RFID 技术设计危险品信息识别系统, 分析炸药和火工品等危险品在系统常用频率和电场强度下的响应特性, 并研究其电磁安全性。**结果** 危险品信息识别系统在 13.6 MHz 和 915 MHz 等 2 种频率下可以用于危险品仓储和运输管理。**结论** 研制了危险品智能仓储及运输管理系统, 明确了其安全使用要求。应根据具体场景综合分析危险品的特征频率和安全射频功率, 建立适合的安全性评价方法和标准, 以保证安全。

**关键词:** RFID 技术; 危险品; 炸药; 火工品; 安全性

中图分类号: TQ086.5 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2020)01-0173-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.01.027

## Electromagnetic Safety of Intelligent Storage and Transportation Management System for Dangerous Goods

ZHANG Rui, YAO Hong-zhi, HUI Lei, FU Xiao-dong, ZHAO Tuan, JI Xiang-fei

(National Defense Key Laboratory of Applied Physics and Chemistry, Shaanxi Applied Physics and Chemistry Institute, Xi'an 710061, China)

**ABSTRACT:** The work aims to develop an intelligent storage and transportation management system that meets the use of dangerous goods such as explosives and pyrotechnics, and to improve the information and intelligent management level of dangerous goods logistics. RFID technology was used to design a dangerous goods information identification system. The response characteristics of dangerous goods such as explosives and pyrotechnics at the system's common frequency and field strength were analyzed, and their electromagnetic safety was studied. Dangerous goods information identification system could be used for dangerous goods storage and transportation management at the frequency of 13.6 MHz and 915 MHz. The intelligent storage and transportation management system for dangerous goods is developed, and its safe use requirements are clarified. The characteristic frequency and safe RF power of dangerous goods should be comprehensively analyzed according to specific scenarios to establish a suitable safety evaluation methods and standards to ensure safety.

**KEY WORDS:** RFID technology; dangerous goods; explosives; explosives; safety

军事物流是将各类军事物资从供给地向配置地转移或战争消耗的全过程<sup>[1]</sup>, 其中既包括军事装备物资信息采集、物资运输和包装等环节, 也包括对军事物资的加工、仓储与供应等环节<sup>[2]</sup>。军事物流是现代

物流的一个重要分支, 在整个军事系统中发挥着重要作用<sup>[3]</sup>。在众多的军用物资中, 军用爆炸品是一类具有一定危险性的特殊物资, 包括炸药、火工品、火药、推进剂、弹药等<sup>[4]</sup>。随着电子信息技术的发展, 特别

收稿日期: 2019-09-19

作者简介: 张蕊 (1968—), 女, 研究员, 主要研究方向为火工品安全性可靠性评估。

是 RFID (Radio Frequency Identification) 技术在零售业、物流业及某些军事项目上的成功应用,提高了物流管理效率、减少了人力物力和监控成本,具有良好的应用前景<sup>[5]</sup>。危险品是一类特殊的军事装备物资,无论是生产、运输、储存还是使用,每个环节都涉及到自身安全和公共安全<sup>[6]</sup>。其特殊性要求从生产到最后使用全寿命周期内都不能离开管理者的视线和掌控,同时,炸药和火工品等危险品对电磁辐射和储存运输条件有特殊要求,其特殊性表现在以下 4 个方面<sup>[7-8]</sup>。

1) 对电磁、静电敏感,容易产生安全事故。对设备、环境电磁场和静电安全性有严格要求。

2) 对热和火焰敏感,在生产、运输和储存过程中要控制温度、湿度和明火,对环境温、湿度和防火设施有严格要求。

3) 对冲击振动敏感,需要在生产、运输和储存过程中控制振动频率和冲击强度,对运输振动和运输冲击有严格要求。

4) 军用危险品等还同时存在保密的要求。

要实现基于 RFID 技术的危险品储运信息化和智能化,必须解决 2 项关键技术:危险品的安全性阈值确定;智能仓储和运输管理系统安全性评估。由此可见,能否针对危险品的特殊要求,将 RFID 技术用于军用爆炸品仓储和运输监控和管理,提高军用爆炸品的物流管理效率和安全性<sup>[9]</sup>,是当前的 1 个热点研究领域。文中针对火工品等危险品的特点,开展基于 RFID 技术危险品智能仓储及运输管理系统的设计研发及其电磁安全性研究,分析炸药等危险品在该系统下的响应特性,明确安全使用要求,研制基于 RFID 技术危险品信息识别和智能仓储管理系统样机,进行适用性研究,为提高危险品物流的信息化和智能化管理水平提供解决方案,为提高危险品物流管理安全性提供技术支撑。

## 1 危险品智能仓储及运输管理系统组成

危险品智能仓储及运输管理系统主要由危险品信息识别系统、库房监控系统、运输监控系统和智能监控

平台等部分组成,各部分既可以独立工作,也可以通过智能监控平台进行协调工作。系统总体框架见图 1。

智能监控平台是危险品各类信息汇总与管理的软件平台,主要包括多库房/多车辆危险品物流信息控制、危险品统计与调配业务、危险品库存与运输管理业务、库房/车辆定位、库房/车辆环境条件监控业务等,同时结合库房/车辆大数据方案优化库房和车辆的物流管理。由于危险品信息识别系统是电磁能量的主要来源,因此,文中重点对危险品信息识别系统对炸药和火工品的安全性的影响进行了研究。

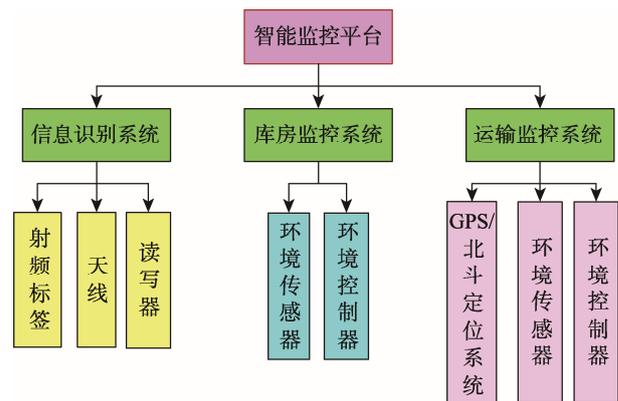


图 1 危险品智能仓储及运输管理系统组成示意

Fig.1 Schematic diagram of the composition of the intelligent storage and transportation management system for dangerous goods

### 1.1 危险品信息识别系统

危险品信息识别系统主要用于危险品信息的自动录入、批量识别和统计管理,包括专用射频标签、专用天线、读写器、信息识别管理软件等。信息识别系统的工作示意图见图 2。文中针对 RFID 技术及主要协议,以 125, 13.56, 915 MHz 等无源技术为主要研究对象,开展基于 RFID 技术的危险品信息识别系统研发,并对炸药和火工品在常用的 RFID 识别设备频段下的安全电场强度以及天线辐射场安全性进行研究,确定了监控系统技术参数;通过标签、读写器、网络监控系统和后台控制软件等设计研发,建立了可用于炸药和火工品的仓储和运输信息识别系统。

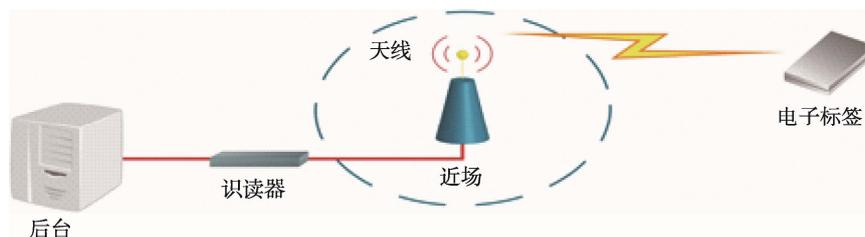


图 2 危险品信息识别系统工作示意

Fig.2 Schematic diagram of the information identification system for dangerous goods

### 1.2 信息识别系统中标签设计

在危险品信息识别系统中,标签主要用于储存危险品的信息,如名称、批次、厂商、基本性能参数等。标签通过与客户端、固定识别器天线激活建立通讯,获得货品各种状态。这个通讯过程是产生电磁危害的主要来源。对于炸药和火工品等对电磁较敏感的危险品,文中采用被动式无源一次性标签,主要有以下 4 个原因:避免在设计初期通讯协议存在漏洞情况下信息被篡改;危化品多为一次性使用情况;克服有源标签识读过程中局部电场强度增强等问题;降低标签激活所需射频功率<sup>[10]</sup>。为了提高标签的识读率,火工品专用标签设计中增加了标签天线增益,同时采用了激活功率更小的存储芯片,相对传统电子标签激活功率降低了 40%。设计的火工品专用标签及其电磁强度分布的仿真结果见图 3。

### 1.3 信息识别系统中读写器设计

读写器是系统中的 1 个重要物理组件,读写器需要发射接收射频与标签进行通信、与后台网络进行通信,贯穿前台与后台,因此,危险品的读写器不仅需要至少 1 个天线进行射频的接收与发射,同时还需要适当的网络接口与后台进行通讯。文中设计开发 2 种读写器,该读写器是一种兼容 ISO

18000-6C 协议的多通道电子标签读写器。为了避免在危险品读写过程中产生局部高电场强度,针对危险品的安全阈值,通过读写器的功率可调设计,进行了读写器识读距离的优化设计和二次开发。开发的读写器具有两路触发功能,同时外接光电或者机械触发装置,控制读写器的工作状态。读写器的电路设计和样机照片见图 4。

### 1.4 信息识别系统中的天线设计

天线主要用于标签和读写器之间数据通讯通道的建立,其性能优劣直接影响系统外部电磁场的控制以及标签信息识读的距离和准确性。针对危险品的特点,在保证识读率的同时,尽量减小电磁场辐射。文中在天线设计过程中,采用环形天线的设计方法,严格控制其波束范围及其增益,并通过仿真获得了环形天线面积与天线直径的最佳关系,对天线进行了优化。利用 HFSS 建立了天线结构模型,驻波比小于 1.7,通过仿真优化设计,增强了识读天线的方向性和增益,该天线的增益达到了 1.4 dB。

### 1.5 信息识别系统软件的设计

软件平台是信息识别系统工作的核心,可以从一个或者多个数据源搜集多通道读写器原始数据记录,分别包括危险品出入库、移动情况。同时,该

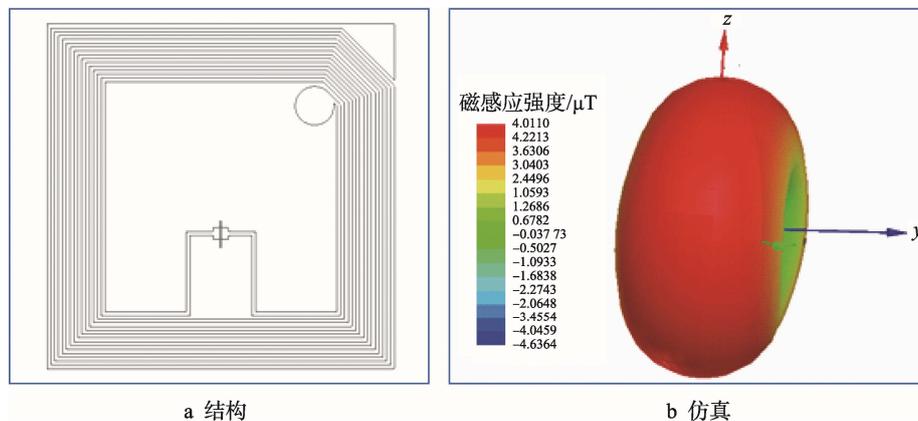


图 3 火工品专用标签的结构和仿真

Fig.3 Structure and simulation of special label for pyrotechnic products

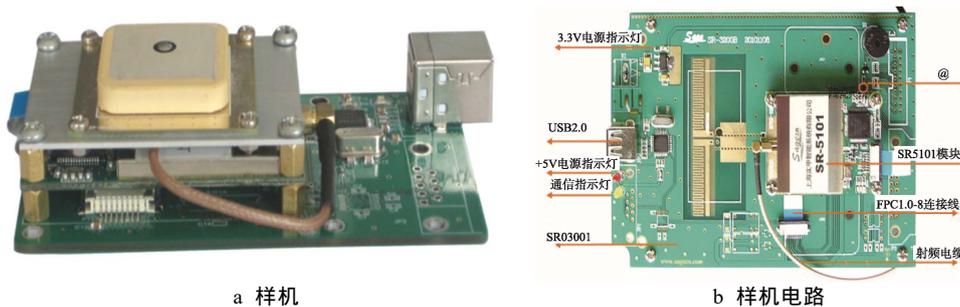


图 4 读写器的样机和样机电路照片

Fig.4 Prototype and Prototype circuit photo of the reader

软件平台可以与仓库环境监控信息，如温湿度、电场强度等集成，实现对接收数据进行记录、转换、过滤和分组，并通过有线和无线等2种方式将数据传送到应用系统控制终端，由控制终端库房的环境情况实时监测和控制。库房管理软件界面见图5。



图5 危险品仓储智能管理系统软件界面  
Fig.5 Software interface of the intelligent storage management system for dangerous goods

## 2 危险品信息识别系统的电磁安全性研究

### 2.1 危险品信息识别系统的电场特性分析

基于RFID技术的信息识别系统主要由射频标签、阅读器、天线和管理软件等部分组成。应用在多种场景<sup>[9]</sup>。其主要工作原理是射频标签中储存物品基本信息，当射频标签进入阅读器所发射电磁场中时，射频标签被激发产生感应电流，将标签中储存的信息发射到阅读器中，阅读器通过解码系统识别标签，并将识别信息进一步传递到信息处理系统进行分析处理。工作原理示意图见图6。

文中对目前国内最常用的125, 13.56, 915 MHz等3种频率，RFID设备的电磁特性进行了分析。重点对天线的不同距离处、不同角度、不同高度进行了多点测量，得到了不同空间电场的分布和最大电场强度。测量机位布置见图7，不同设备在不同距离、不同测量位置下的电场强度见表1—2。

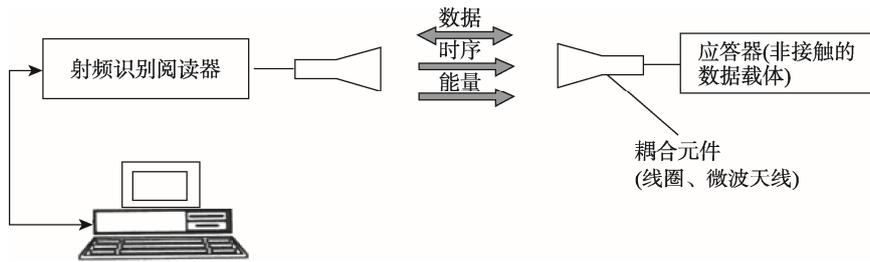


图6 危险品信息识别系统工作原理  
Fig.6 Working principle of the information identification system for dangerous goods



图7 RFID设备的电磁特性测量机位布置  
Fig.7 Arrangement of electromagnetic characteristic measuring machine of RFID equipment

表1 不同设备在不同距离下的电场强度  
Tab.1 Electric field strength of different equipment at different distances

距离/m	电场强度/(V·m <sup>-1</sup> )		
	125 kHz	13.6 MHz	915 MHz
0.05	127.4	13.82	72.7
0.1	52.9	1.39	60.4
0.3	12.9		32.3
0.5	3.9		20.7
0.7			15.2
1			10.8

表2 不同设备在不同测量位置的电场强度  
Tab.2 Electric field strength of different equipment at different measurement positions

位置	电场强度/(V·m <sup>-1</sup> )					
	125 kHz		13.6 MHz		915 MHz	
	1#	2#	1#	2#	1#	2#
1	123.8	100.2	13.82	13.4	72.7	70
2	127.4	110.4	10.8	10.6	68.2	69
3	126.4	97.1	4.64	4.6	58.6	50
4			2.09	2.78	55.4	54.5
5			5.35	5.3	57.5	55.2
6			4.68	5.68	72.7	68.6
7			11.8	10.2		

### 2.2 危险品的电场效应分析

以5种常用炸药为研究对象，在最不利电场条件下，选取一定裕度。在模拟试验装置中，通过

进行不同照射时长、不同照射方式开展电磁辐射效应试验。试验时，炸药的样品量为 60 mg，辐照频率分别为 125, 13.56, 915 MHz，对应电场强度分别为 500, 93, 200 V/m，裕度为 11.88, 16.5, 8.79 dB，辐照方式与时间分别为连续 60 min、连续 180 min、连续 10 min 间断 10 min 重复 6 次。结果表明，炸药均无燃爆现象。模拟试验装置示意图 8，采用同样的方法，对 3 种电雷管进行辐射试验。

### 2.3 炸药在辐照环境下的响应特性分析

电场辐照后对炸药进行性能表征和感度试验。经 915, 200 V/m 辐照前后，炸药的红外和 DSC 图谱见图 9—10。从图 9—10 可以看出，炸药的性能未发生本质变化<sup>[11—13]</sup>。除对炸药的理化性能进行分析外，还对炸药的摩擦感度、撞击感度、热感度、静电火花感度、试验感度进行了试验，结果表明，感度未出现敏感变化。

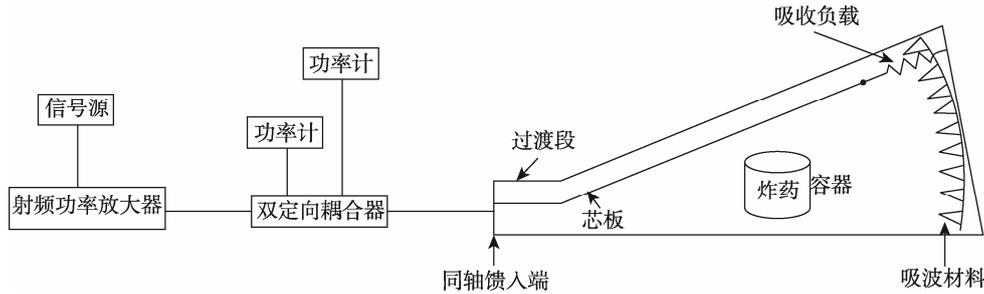


图 8 危险品电磁辐照效应模拟试验装置

Fig.8 Simulation test device for electromagnetic radiation effects of dangerous goods

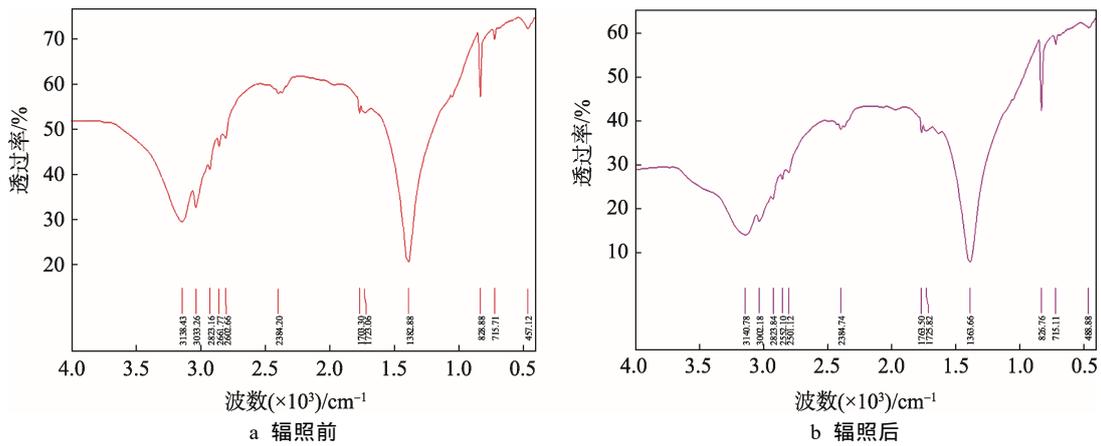


图 9 危险品辐照前后的红外图谱

Fig.9 Infrared spectra of dangerous goods before and after irradiation

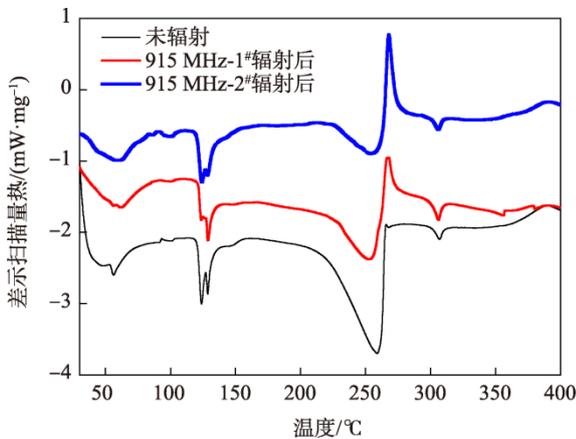


图 10 危险品辐照前后的 DSC 图谱

Fig.10 DSC spectrum of dangerous goods before and after irradiation

### 2.4 电火工品在辐照环境下的响应特性分析

采用接收天线有效孔径法，对火工品拾取电磁场能量特性和安全性进行了分析和试验验证<sup>[14—15]</sup>。结果表明，在 13.56 MHz 频率下，电雷管样品的发火功率均值为 0.917 W，最小全发火功率为 725 W，最大不发火功率为 0.487 W，安全裕度为 16.5 dB 时信息识别系统的安全射频功率不应大于 11 mW。同样，在 915 MHz 频率下，电雷管样品的发火均值为 86.04 mW，最小全发火功率为 128.76 mW，最大不发火功率为 57.5 W，安全裕度为 16.5 dB 时信息识别系统的安全射频功率不应大于 1.3 mW。验证测试的位置布置见图 11。通道边缘距离天线最小为 0.1 m，电场强度的试验验证测量结果见表 3。由表 3 可以看出，信息识别系统的安全性满足电火工品要求。

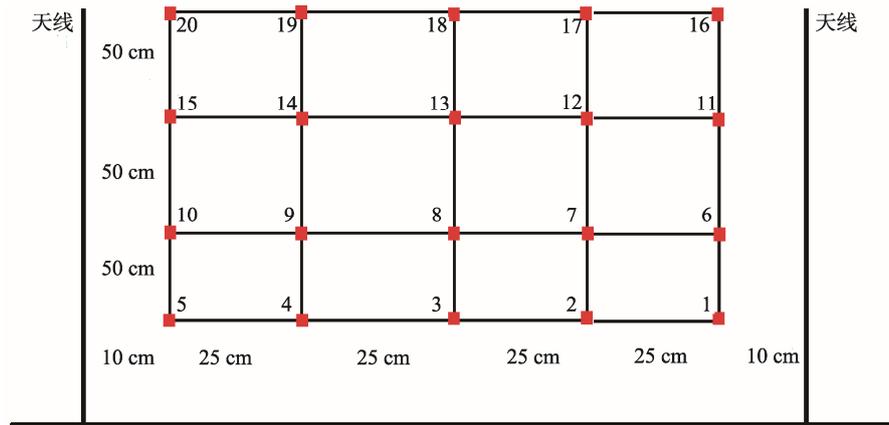


图 11 验证测试的位置布置  
Fig.11 Location of the verification test

表 3 适用于门 (宽为 1.2 m) 的信息识别系统不同位置的电场强度测量结果  
Tab.3 Field strength measurement results of information identification system suitable for 1.2 m wide doors

位置	电场强度/(V·m <sup>-1</sup> )						
1	4.43	6	13.18	11	16.6	16	19.63
2	2.84	7	8.83	12	8.86	17	4.39
3	2.59	8	2.78	13	4.12	18	3.7
4	3.01	9	8.34	14	10.37	19	7.37
5	4.01	10	12.98	15	16.78	20	21.33

### 3 结语

通过对危险品智能仓储及运输管理系统设计和安全性研究,可以得到以下结论。

1) 13.6 MHz 和 915 MHz 等 2 种频率的危险品信息识别系统可以用于炸药和火工品仓储和运输管理,为实现对军用爆炸器全寿命周期内的智能化管理提供了解决方案。该系统也可用于民爆器材料、炸药及化学危险品的管理。

2) 炸药作为危险品中重要的一类,由于其不具备拾取电磁场能量的有效途径,在电磁场中的响应主要以热效应为主,因此,当炸药这类危险品在使用 RFID 设备时,应综合分析识别效率和电磁场对炸药的热效应,建立适合的安全性评价方法和标准,以保证安全。

3) 火工品作为危险品中对电磁危害最敏感的一类,电火工品在电磁场中的响应主要通过桥丝响应电磁场中的电磁信号导致桥丝产生温升效应,进而引发火工药剂。综上所述,当火工品这类危险品在使用 RFID 设备时,应综合分析识别效率和电磁场对电火工品产生影响的特征频率和安全射频功率,建立适合的安全性评价方法和标准,以保证安全。

### 参考文献:

[1] 唐志跃. RFID 在军事仓储中的应用研究[D]. 济南: 山东大学, 2008: 1—2.  
TANG Zhi-yue. Research on RFID Application in Military Storage[D]. Jinan: Shandong University, 2008: 1—2.

[2] 赵新光, 李文学, 郭凌. 美军联合全资产可视化系统及其对我军的启示[J]. 军事经济学院学报, 2005(12): 93—96.  
ZHAO Xin-guang, LI Wen-xue, GUO Ling. U.S. Army Joint Full Asset Visualization System and Its Enlightenment to Our Army[J]. Journal of Military Economics Academy, 2005(12): 93—96.

[3] 刘磊, 基于物联网的军事物流精细化管理研究[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2016: 1—2.  
LIU Lei. Research on Refinement Management of Military Logistics Based on Internet of Things[D]. Lanzhou: Lanzhou Jiaotong University, 2016: 1—2.

[4] 王丰, 罗少锋, 蒋宁, 等. 军用物资组套集装模式与对策探讨[J]. 包装工程, 2017, 38(3): 197—200.  
WANG Feng, LUO Shao-feng, JIANG Ning, et al. The Countermeasures and Models of Military Materials Set-forming Containerization[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(3): 197—200.

[5] 夏田, 舒蕾, 蒋新萍. RFID 技术在仓储管理系统中

- 的应用[J]. 包装工程, 2008, 29(7): 94—95.
- XIA Tian, SHU Lei, JIANG Xin-ping. Development of RFID Technology in Warehouse Management System[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(7): 94—95.
- [6] 张娜. 军事物流中心危险品物资的储备管理与库存优化[D]. 天津: 天津大学, 2012: 2—3.
- ZHANG Na. The Materials Reserve Management and Inventory Optimization of Dangerous Goods in Military Logistics Center[J]. Tianjin: Tianjin University, 2012: 2—3.
- [7] 荀焯, 龙绵伟, 陈新明, 等. 基于模糊聚类法的军事物流仓储资源聚合研究[J]. 军事交通学院学报, 2014(9): 54—59.
- XUN Ye, LONG Mian-wei, CHEN Xin-ming, et al. Study on Storage Resource Aggregation in Military Logistics Based on Fuzzy Clustering Algorithm[J]. Journal of Military Transportation University, 2014(9): 54—59.
- [8] 李界杏, 刘英娜, 徐增幅. 浅析火工品安全运输存储要求[J]. 化工管理, 2017(4): 105.
- LI Jie-xing, LIU Ying-na, XU Zeng-fu. Analysis on the Requirements for the Safe Transportation and Storage of Pyrotechnic Products[J]. Chemical Management, 2017(4): 105.
- [9] 张立新, 沈云秋, 李锦东, 等. 基于 RFID 技术的导弹武器装备管理与保障应用研究[J]. 计算机测量与控制, 2012, 20(1): 122—124.
- ZHANG Li-xin, SHEN Yun-qiu, LI Jin-dong, et al. Research on Application of Management and Indemnification for Missiles Based on RFID[J]. Computer Measurement & Control, 2012, 20(1): 122—124.
- [10] 周晓光, 王建华. 射频识别(RFID)技术原理与应用[M]. 北京: 北京人民邮电出版社, 2006: 1—2.
- ZHOU Xiao-guang, WANG Jian-hua. Principles and Applications of Radio Frequency Identification (RFID)[M]. Beijing: Beijing People's Posts and Telecommunications Publishing House, 2006: 1—2.
- [11] WJ/T 9052.1—2006, 工业炸药感度试验方法 第 1 部分: 摩擦感度[S].
- WJ/T 9052.1—2006, Industrial Explosives Sensitivity Test Method Part 1: Friction Sensitivity[S].
- [12] WJ/T 9052.2—2006, 工业炸药感度试验方法 第 2 部分: 撞击感度[S].
- WJ/T 9052.2—2006, Industrial Explosives Sensitivity Test Method Part 2: Impact Sensitivity[S].
- [13] GJB 772A—1997, 炸药试验方法[S].
- GJB 772A—1997, Explosive Test Method[S].
- [14] GJB 151A—1997, 军用设备和分系统电磁发射和敏感度要求[S].
- GJB 151A—1997, Military Equipment and Subsystems Electromagnetic Emission and Sensitivity Requirements[S].
- [15] GJB 152A—1997, 军用设备和分系统电磁发射和敏感度测量[S].
- GJB 152A—1997, Military Equipment and Subsystems Electromagnetic Emission and Sensitivity Testing[S].