

# 无线射频识别技术在核保障中的应用

寇宁宁, 苗 强

中国原子能科学研究院, 北京 102413

**摘要:** 为防止核材料的非法使用, 增强我国的核材料管制能力, 对无线射频识别(RFID)技术在核保障中应用的可靠性进行了研究。结果表明, 采用一系列补充手段, 可以解决核材料包装容器金属材料对 RFID 系统信号干扰的影响, 增强目标移动探测能力, 使 RFID 成为一种保障核材料安全的有效技术手段。

**关键词:** 射频识别技术; 核保障; 应用研究

**中图分类号:** X924.3    **文献标志码:** A    **文章编号:** 0253-9950(2014)S0-0111-05

**doi:** 10.7538/hhx.2014.36.S0.0111

## Application of Radio Frequency Identification Technology in Nuclear Safeguards

KOU Ning-ning, MIAO Qiang

China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413, China

**Abstract:** To avoid illegal application of nuclear materials, and enhance our country's capability on nuclear materials control, this paper studied the reliability of radio frequency identification(RFID) technology in nuclear safeguards. The results show that applying a series of supplement measures, the interference effect resulted from the metal materials is eliminated, including nuclear materials to RFID system signals. Then the detection capability for target movement is improved. It makes RFID become a kind of effective technical means to secure nuclear materials.

**Key words:** RFID; nuclear safeguard; applied research

《中华人民共和国核材料管理条例》<sup>[1]</sup>中规定了要保证核材料的安全与合法利用, 防止被盗、破坏、丢失、非法转让和非法使用, 保护国家和人民群众的安全, 促进核能事业的发展。采取安全、有效的技术措施对铀-239、铀-233、铀-235、锂-6 等其它需要管制的核材料实行严格控制与管理, 开发有助于降低核安全风险的保障技术, 防止核材料的非法使用。

核材料保护基本要求之一是核材料的安全储存。IAEA 在国际核保障监督工作中早已采用电子封记、视频监控等技术保护核材料, 这些技术对保障核材料的安全起着及早探知、及时处理作用。随着当今信息技术的不断发展, 一些不法分子对偷、盗用核材料的手段更加多样, 必须采用新型技术手段, 起到预先探知、防患未然的作用。

从国外情况来看, 俄罗斯<sup>[2]</sup>对于无线射频识

别(radio frequency identification, RFID)技术在核材料控制中的应用进行过研究,提出了在核材料储存库中使用 RFID 技术,对电子封记进行实时监控。美国的阿贡实验室<sup>[3]</sup>也开展了相关工作,并研发出 ARG-US 系统,主要包括 RFID 标签、识读器和相关软件。其中,RFID 标签为有源标签,集成了电子封记、温湿度传感器、电子数据处理模块。该系统可广泛用于对核材料罐、桶及其他重要物资在固定场所的存储及运输过程的实时监控。

RFID 是近年来国内外迅速发展起来的一种非接触式自动识别技术,其最大的优点在于非接触,可实现批量读取和远程读取,可识别高速移动的物体,可实现真正的“一物一码”管理物品<sup>[4]</sup>。基于无线射频识别技术的射频监控系统与现有技术不同的是有着预先探知、智能化管理相结合的技术,更好地满足不同环境中核材料保护工作的需求。

## 1 RFID 系统组成

对通用 RFID 系统进行研究,发现我国核材料包装容器具有金属特性,会对系统无线射频信号产生干扰,影响系统的整体性能,误报、漏报情况不断发生,无法直接使用 RFID 系统。通过核材料包装容器对 RFID 技术的影响的深入研究,解决了核材料包装容器对系统的干扰,使 RFID 技术能够应用在我国核保障领域中。

系统主要分为硬件和软件两部分。硬件部分主要包括:射频电子标签、监控器、圆极天线、外设

警报装置;软件部分主要包括人机界面、监控模块、报警机制。系统原理是在一定区域内放置适合的监控器,主动探知管辖范围内的射频电子标签信息和对每个装在核材料储存罐启封处的射频电子标签进行主动发出射频信号,采用双通道接收与发射的模式,排除信号冗余,通过监控器接收的异常信号转换成模拟信号通过网络传输的形式传送到信息监控中心,信息中心将读取到的信号做出相应判断,外设警报装置启动。

监控报警情况分为 2 种:一是当有人蓄意打开核材料储存罐偷取部分核材料,则触发丢失报警机制;二是当有人偷取整个核材料罐,则触发转移报警机制。如图 1 所示,RFID 系统由安装在模拟核材料库房的射频监控器和贴在核材料罐上的电子标签、机房的数据库主机、办公室的软件终端和手持式 RFID 读取器组成。当核材料罐发生移动或脱离射频监控器信号覆盖范围时,系统自动发出报警。

## 2 金属对 RFID 信号的影响

RFID 技术已在常规物品管理领域上实现智能化管理,但由于核材料金属容器罐的特性对 RFID 系统信号强度造成衰减,影响无线电信号的传输。射频监控器与电子标签之间的数据交换是通过空中电磁波的传播实现的,电子标签如贴近金属,其无线信号收发易被金属削弱。核材料属金属类放射性物质,其包装、贮存容器也是金属材料,会影响 RFID 信号的传输。使用聚对苯二甲酸乙二醇酯(polyethylene terephthalate, PET)材料可有效解决上述问题。将 PET 材料包覆在

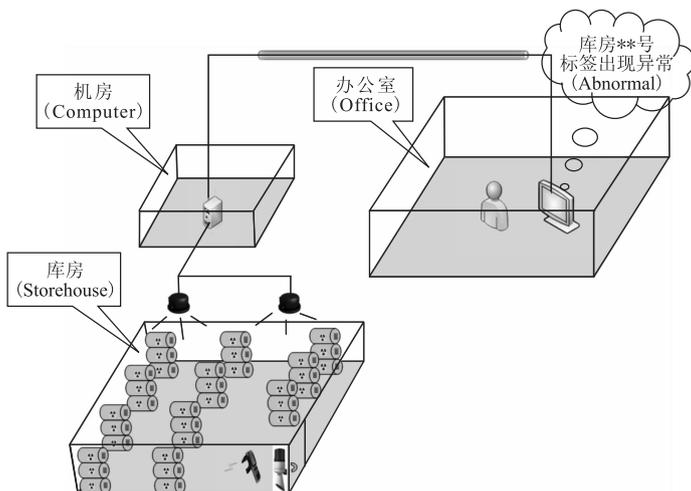


图 1 RFID 系统示意图

Fig. 1 RFID system

电子标签上后,可有效提高电子标签的识读率(正常探测到标签的次数与应获取到数据的次数之比)。实验结果表明,在电子标签与射频监控器的距离为 10 m 的条件下,随着 PET 材料厚度的增加,两组电子标签的识读率会随之提高。当 PET 材料的厚度达到 3 mm 时,识读率可达到 100%。

### 3 接收信号强度的影响

在开放空间,理论上根据电子标签的接收信号强度值(received signal strength indication, RSSI)可以计算出标签与 RFID 监控器之间的距离  $D$ :

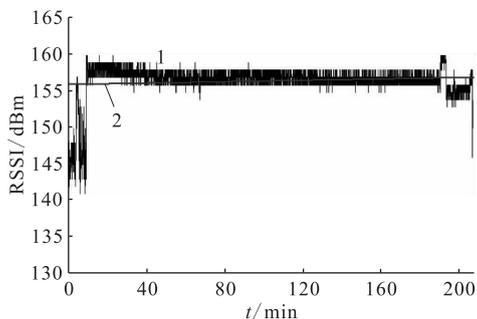
$$D = \lambda \times 10^{(Loss-22)/20} \quad (1)$$

式中: $\lambda$  为波长;Loss 为空间衰落,Loss=发射功率-接收到的信号强度(RSSI)-天线损耗。

电子标签和 RFID 监控器固定好后,假设在某一环境下接收信号强度值是稳定的,当 RSSI 值发生变化时则可认为电子标签发生了位移;如接收信号强度值不稳定,则不能简单根据 RSSI 变化认为电子标签发生了位移。因此,观察接收信号强度在不同环境和条件下的波动情况,有助于分析是否可仅根据信号强度变化来判断贴有电子标签的核材料罐是否发生移动。

#### 3.1 人员活动对 RSSI 值的影响

将普通的电子标签放置在距离射频监控器 1 m 远处,系统每 2 s 读取一次数据,约持续 200 min,共采集数据约 6 000 个。实验开始和临近结束阶段,测试人员在实验室内活动;实验中期,测试人员离开实验室。实验结果示于图 2。图 2 中纵轴为代表信号强度的 RSSI 值,横轴为数据数。由图 2 可观察到前 400 和后 500 个 RSSI 值数据有较大的波动,中间相对平稳。这表



1——RSSI 值(RSSI value),

2——RSSI 拟合值(RSSI fitted value)

图 2 人员活动对 RSSI 值的影响

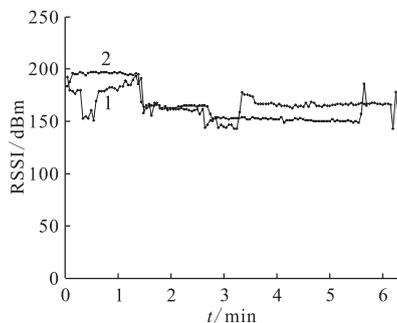
Fig. 2 Influence from human to the RSSI value

明,电子标签的接收信号强度会受到人员活动的影响,根据 RSSI 值变化来判断贴有电子标签的核材料罐发生位移的方法存在缺陷,易造成系统误报。应采取其他方法弥补。

#### 3.2 射频监控器信号覆盖范围重叠对 RSSI 值的影响

当核材料库房比较大时,需要部署多个射频监控器,使电子标签始终处于射频监控器的信号覆盖范围内。因此,会出现某些电子标签同时处于两个射频监控器的信号覆盖范围内的情况。设想当核材料罐在两个射频监控器信号覆盖范围内发生移动时,其上粘贴的电子标签对不同射频监控器的 RSSI 值在理论上应呈规律性变化。

选取 A、B 两个射频监控器,距离为 15 m。实验人员将一普通的电子标签放置在两个射频监控器之间且距 B 射频监控器 1 m 远处,逐渐向 A 射频监控器靠近。系统每 2 s 取一次数据,观察约 5 min。同一实验重复 5 次。实验结果示于图 3。图 3 结果表明,当一个标签同时处于两个射频监控器信号的覆盖范围内时,其 RSSI 值变化受测试人员移动影响,并不完全遵循公式(1)。这说明在有人员活动的情况下,不能根据电子标签在两个射频监控器上的 RSSI 值判断核材料罐是否发生了移动。



射频监控器(Radio frequency monitor): 1——A, 2——B

图 3 射频监控器信号覆盖范围重叠区域下的 RSSI 值  
Fig. 3 RSSI value of readers' signal superposition area

#### 3.3 射频监控器 RSSI 值差异分析

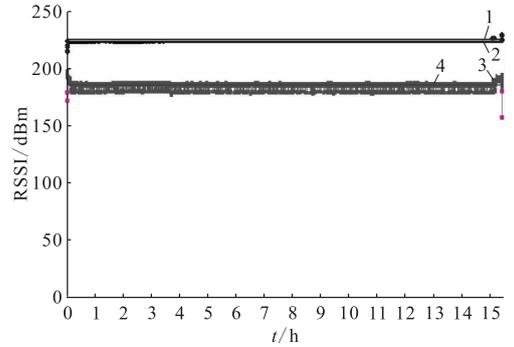
选取一普通电子标签和 A、B 两个射频监控器,将电子标签放置在距两个监控器均为 1 m 远处,在夜间每 2 s 取一次数据,持续 15 h,实验结果示于图 4。图 4 结果显示,去除实验开始和实验结束时人员在室内活动对信号强度的影响,监测时间内从 A 射频监控器上获取的数据稳定性非常好;

从 B 射频监控器上获取的数据的波动幅度较 A 稍大,但相对平稳,始终保持在预设的波动报警阈值范围 5%之内;由于不同监控器射频信号发射功率存在差异,B 较之 A 射频监控器的 RSSI 值平均低 40 左右。以上结果可说明,在实验环境无人的情况下,RSSI 值始终比较平稳,即在相对稳定的环境下,系统能平稳运行,发挥监控识别作用。

#### 4 选取水银传感器降低误报

当贴有电子标签的核材料储存罐被移出射频监控器的有效信号范围(室内约 15 m,室外理论数据约 200 m)前,如果有另外一种探测手段做补充就能预先发现核材料罐被打开的问题。经实验发现,可使用水银传感器来实现这一设想。当有人蓄意打开核材料储存罐偷取部分核材料时,会使电子标签产生倾斜和振动,由此引发的水银滚动会触发两个金属导线的通断,通过判断通断情况来发出报警。水银传感器价格低,使用效果好。

综合考虑上述因素后,选用水银传感器加装到电子标签上,并对系统的标签移动报警判断条件进行修改,实验结果列于表 1。表 1 数据表明,射频监控器在距水银振动电子标签 10 m 范围内,系统可有效探测到目标的移动。



射频监控器(Radio frequency monitor): 1——A, 2——A ((拟合值(Fitted value)), 3——B, 4——B(拟合值(Fitted value))

图 4 射频监控器 RSSI 值差异分析  
Fig. 4 Difference analysis  
of radio frequency monitor on RSSI

表 1 选取水银传感器前后不同距离下的实验结果

Table 1 Test results in different distance before/after using mercury sensor

识别距离 (Identification distance)	持续时间 (Duration)	选取水银传感器前 (Before selection of mercury sensor)			选取水银传感器后 (After selection of mercury sensor)			实验环境 (Experimental environment)
		误报次数 (Number of false alarm) <sup>1)</sup>	漏报次数 (Number of omission) <sup>2)</sup>	实验次数 (Number of experiments)	误报次数 (Number of false alarm) <sup>1)</sup>	漏报次数 (Number of omission) <sup>2)</sup>	实验次数 (Number of experiments)	
1 m	0.5 h	1	1	10/10	0	0	10/10	室内(Inside)
1.5 m	0.5 h	2	1	10/10	0	0	10/10	室内(Inside)
2 m	0.5 h	1	3	10/10	0	0	10/10	室内(Inside)
3 m	0.5 h	2	0	10/10	0	0	10/10	室内(Inside)
5 m	0.5 h	2	2	15/15	0	0	15/15	室内、外 (Inside, outside)
8 m	0.5 h	3	1	15/15	0	0	15/15	室内、外 (Inside, outside)
10 m	0.5 h	2	2	15/15	0	0	15/15	室内、外 (Inside, outside)
12 m	0.5 h	3	3	15/15	3	2	15/15	室内、外 (Inside, outside)
13 m	0.5 h	6	2	15/15	5	6	15/15	室内、外 (Inside, outside)

注(Note): 1) 误报指电子标签未移动但系统发出移动报警(False alarm means the system sends movement alarm without the movement of tag electronics)

2) 漏报指移动电子标签后系统本应发出移动报警但未报警(Omission alarm means the system does not send the movement alarm with the movement of tag electronics)

## 5 结 论

针对核材料及其储存罐的特殊性质,开展了射频识别技术在核保障领域的应用研究,设计出基于 RFID 技术的核材料安全保护管理系统。通过大量实验研究,发现了金属材料 and 人员活动对 RFID 信号的影响。由此建立了关键技术,通过在电子标签上加装 PET 材料和水银传感器后降低了金属材料对 RFID 信号的影响和系统误报率。经实验室模拟环境影响分析,系统有效、可用,具有及时探知、抗干扰能力强、管理智能化等技术特点。今后将继续开展相关研究,为系统的应用推广奠定基础。

## 参考文献:

- [1] 中华人民共和国国务院. 中华人民共和国核材料管制条例[S]. 1987.
- [2] Gogolev A, Agamalyan V. Accounting and control of nuclear materials: application of RFID technology [C] // Pietri C E. INMM 51st Annual Meeting, Baltimore, MD USA, July 11-15, 2010. Illinois: Omnipress, 2010.
- [3] Chen K, Tsai H C, Liu Y, et al. ARG-US: an RFID-based tracking and monitoring system for nuclear material packages [C] // Pietri C E. INMM 50st Annual Meeting, Tucson, Arizona USA, July 12-16, 2009. Illinois: Omnipress, 2009.
- [4] 康东,石喜勤,李勇朋,等. 射频识别(RFID)核心技术与典型应用开发案例[M]. 北京:人民邮电出版社,2008:247.