

# 射频识别技术

### 内容提要

射频识别 (RFID) 技术是从 20 世纪 80 年代起走向成熟的一种自动识别技术, 它通过射频信号自动识别目标对象并获取相关数据。本章主要讲述 RFID 技术的发展历程、应用现状、技术基础和主要设备。

### 学习目标与重点

- ◆ 了解 RFID 技术的发展历程。
- ◆ 重点掌握 RFID 技术的应用现状和典型应用案例。
- ◆ 初步掌握 RFID 系统的基本构成、工作原理和技术特点。
- ◆ 掌握各类射频标签和 RFID 设备的主要特性和用途。

### 关键术语

RFID 技术、射频读写器、射频标签

### 【引入案例】

### 一张卡片引发的消费方式变革

从 20 世纪 90 年代中期起, 一种名片大小的塑料卡片, 逐步走进大众的视野, 并引起了极大的关注。

这种卡片有着各种各样的“身份”: 可以用来考勤, 代替传统的手工签名或者纸质打卡机的卡片; 可以代替钥匙, 打开房间的门锁; 甚至可以在企事业单位、学校的食堂, 取代传统的饭票, 进行消费结账……无论是哪种身份, 操作方式都极其简便, 只需在特定的设备指定区域内, 轻轻地刷一下, 弹指间, 便完成了要做的事情。更重要的是, 这种卡片防水、抗污染, 摆脱了磁卡、接触式 IC 卡的娇气, 即使掉进水中, 捞起来擦干净后, 仍可以继续使用。

由于它操作简单, 可以反复使用, 并且携带方便, 使得这种卡片及相关技术迅速普及。到了 21 世纪, 这种卡片在大中城市中几乎人手一张, 可以用来乘公交、地铁, 终结了纸质月票满天飞的时代。于是, 大众接受了这一新鲜的事物——射频卡和射频识别技术。同时, 国内外越来越多的工程师涌入到与射频技术相关的产品研发和项目推广领域中来。在众多的应用中, “校园一卡通”是最成功、最典型的案例之一。

“校园一卡通”概括起来就是在学校范围内，凡有现金、票证或需要识别身份的场所，均可采用一张射频卡来完成，系统涵盖了就餐、消费、考勤、洗澡堂、教室、图书及宿舍集中用电、用水、出入门禁等方面的管理。

“校园一卡通”的管理模式代替了传统的做法，在校内集学生证、工作证、身份证、借书证、医疗证、会员证、餐卡、钱包、电话卡、存折等于一卡，实现了“一卡在手，走遍校园”、“一卡通用、一卡多用”的目的。它为广大师生员工的工作、学习、生活带来了方便，使得学校的各项管理工作变得高效、便捷，既实现了对师生员工日常活动的管理，又为教学、科研和后勤服务提供了重要信息。同时，“校园一卡通”系统又是数字化校园的重要组成部分，是数字化校园中信息采集的基础工程之一，为学校提供了实时可靠的信息来源和决策依据。

## 第一节 RFID 技术的发展历程

射频识别（Radio Frequency Identification, RFID）技术是 20 世纪 80 年代发展起来的一种新兴的非接触式自动识别技术，是一种利用射频信号通过空间耦合（交变磁场或电磁场）实现非接触信息传递，并通过所传递的信息达到识别目的的技术。识别工作无须人工干预，可工作于各种恶劣环境。应用 RFID 技术，可识别高速运动的物体，并可同时识别多个标签，操作快捷、方便。

如图 3-1 所示，描述了射频识别系统的工作过程。

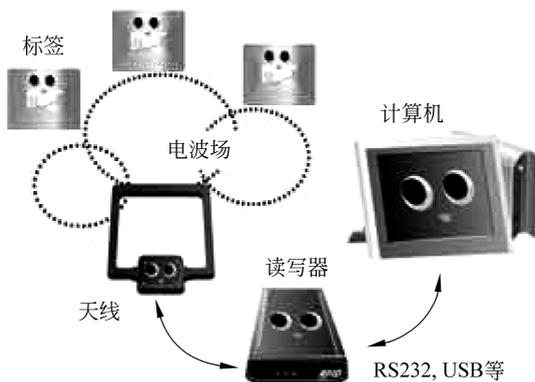


图 3-1 射频识别系统的工作过程

### 一、RFID 技术的发展简史

RFID 技术的发展可按 10 年为一个阶段，划分如下。

1941—1950 年，雷达的改进和应用催生了 RFID 技术，目前已发展为自动识别与数据采集（Auto Identification and Data Collection, AIDC）技术。其中，1948 年，哈里·斯托克

曼发表的《利用反射功率的通信》，奠定了 RFID 技术的理论基础。

1951—1960 年，早期 RFID 技术的探索阶段，主要处于实验室研究状态。

1961—1970 年，RFID 技术的理论得到发展，开始了一些应用尝试。例如用电子防盗器（EAS）来对付商场里的窃贼，该防盗器使用存储量只有 1bit 的电子标签来表示商品是否已售出，这种电子标签的价格不仅便宜，而且能有效地防止偷窃行为，是首个 RFID 技术在世界范围内的商用示例。

1971—1980 年，RFID 技术与产品研发处于一个大发展时期，各种 RFID 技术和测试得到加速，在工业自动化和动物追踪方面，出现了一些最早的商业应用及标准，如工业生产自动化、动物识别、车辆跟踪等。

1981—1990 年，RFID 技术及产品进入商业应用阶段，开始较大规模的应用。但在不同的国家对射频识别技术应用的侧重点不尽相同，美国关注的是交通管理、人员控制，欧洲则主要关注动物识别以及在工商业中的应用。

世界上第一个开放的高速公路电子收费系统在美国俄克拉荷马州建立。车辆的 RFID 电子标签信息与检测点位置信息及车主的银行卡绑定在一起，存放在计算机的数据库里，汽车可以高速通过收费检测点，而不需要设置升降栏杆阻挡以及照相机拍摄车牌。车辆通过高速公路的费用可以从车主的银行卡中自动扣除。

1991—2000 年，RFID 技术的厂家和应用日益增多，相互之间的兼容和连接成为困扰 RFID 技术发展的瓶颈，因此，RFID 技术的标准化问题日趋为人们所重视，希望通过全球统一的 RFID 标准，使射频识别产品得到更为广泛的应用，使其成为人们生活中的重要组成部分。

RFID 技术产品和应用在 1990 年后进入一个飞速的发展阶段，美国 TI（Texas Instruments）开始成为 RFID 方面的推动先锋，建立德州仪器注册和识别系统（Texas Instruments Registration and Identification Systems，TIRIS），目前被称为 TI-RFIS 系统（Texas Instruments Radio Frequency Identification System），这是 RFID 应用开发的一个主要平台。

德国汉莎航空公司采用非接触式的射频卡作为飞机票，改变了传统的机票购销方式，简化了机场安检的手续。

在中国，佛山市政府安装了 RFID 系统，用于自动收取路桥费以提高车辆通过率，缓解公路瓶颈。上海市也安装了基于 RFID 技术的养路费自动收费系统。广州市也将 RFID 系统应用于开放的高速公路上，对正在高速行驶的车辆进行自动收费。

值得一提的是，20 世纪 90 年代中期，中国铁道部建设的铁路车号自动识别系统（ATIS），确定 RFID 技术为解决“货车自动抄车号”的最佳方案。在所有区段站、编组站、大型货运站和分界站，安置地面识别设备（AEI），对运行的列车及车辆信息进行准确的识别。并在此基础上建立的铁路列车车次、机车和货车号码、标识、属性和位置等信息的计算机自动报告采集系统，实现了铁路车辆管理系统统计的实时化、自动化，成为 RFID 技术最典型的应用之一。尤其在高速铁路列车开始运行以来，利用 RFID 技术来进行自动、快速、高效的管理尤为必要，它能降低温州动车事故再次发生的概率。

2001 年至今，RFID 技术的理论得到丰富和完善，RFID 产品的种类更加丰富，有源电子标签、无源电子标签及半无源电子标签均得到发展，单芯片电子标签、多电子标签识读、无线可读可写、无源电子标签的远距离识别、适应高速移动物体的射频识别技术与产品

正在成为现实并走向应用。

进入 21 世纪以来, RFID 标签和识读设备成本不断降低, 使其在全球的应用也更加广泛, 应用行业的规模也随之扩大, 甚至有人称之为条码的终结者。几家大型零售商和一些政府机构强行要求其供应商在物流配送中心运送产品时, 产品的包装盒和货盘上必须贴有 RFID 标签。除上述提到的应用外, 诸如医疗、电子票务、门禁管理等方面, 也都用到了 RFID 技术。

同时, RFID 技术的标准化纷争, 促使出现了多个全球性技术标准和技术联盟, 其中主要有 EPC global、AIM global、ISO/IEC、UID、IP-X 等。这些组织主要在标签技术、频率、数据标准、传输和接口协议、网络运营和管理、行业应用等方面, 试图达成全球统一的平台。目前, 我国 RFID 技术标准主要参考 EPC global 的标准。

1999 年, 美国麻省理工学院 Auto-ID 中心正式提出产品电子代码 (Electronic Product Code, EPC) 的概念。EPC 的概念、RFID 技术与互联网技术相结合, 将构筑出无所不在的“物联网”, 尤其是在奥巴马总统提出“智慧地球”之后, 这个概念引起了全球的广泛关注。

### 【知识链接 3-1】

### 产品电子代码 (EPC)

产品电子代码是由标头、厂商识别代码、对象分类代码、序列号等数据字段组成的一组数字。

产品电子代码是下一代的产品标识代码, 它可以对供应链中的对象 (包括物品、货箱、货盘、位置等) 进行全球唯一的标识。EPC 存储在 RFID 标签上, 这个标签包含一块硅芯片和一根天线。读取 EPC 标签时, 它可以与一些动态数据连接, 例如该贸易项目的原产地或生产日期等。这与全球贸易项目代码 (GTIN) 和车辆鉴定码 (VIN) 十分相似, EPC 就像是一把钥匙, 可以用它来解开 EPC 网络上相关产品信息的这把锁。

与目前商务活动中使用的许多编码方案类似, EPC 包含用来标识制造厂商的代码以及用来标识产品类型的代码。但 EPC 使用额外的一组数字——序列号来识别单个贸易项目。EPC 所标识产品的信息保存在 EPC global 网络中, 而 EPC 则是获取这些有关信息的一把钥匙。

EPC-96 码包括:

- (1) 标头: 8 位, 识别 EPC 的长度、类型、结构、版本号。
- (2) 厂商识别代码: 28 位, 识别公司或企业实体。
- (3) 对象分类代码: 24 位, 类似于库存单位 (SKU)。
- (4) 序列号: 36 位, 加标签的对象类的特例。

具体结构如表 3-1 所示。当前, 出于成本等因素的考虑, 参与 EPC 测试所使用的编码标准采用的是 64 位数据结构, 未来将采用 96 位的编码结构。

表 3-1 EPC-96 码的编码结构

	标头	厂商识别代码	对象分类代码	序列号
EPC-96 码	8	28	24	36

EPC 具有以下特性:

- (1) 科学性: 结构明确, 易于使用、维护。
- (2) 兼容性: EPC 码的编码标准与目前广泛应用的 EAN、UCC 编码标准是兼容的, GTIN 是 EPC 编码结构中的重要组成部分, 目前广泛使用的 GTIN、SSCC、GLN 等都可以顺利转换到 EPC 中去。
- (3) 全面性: 可在生产、流通、存储、结算、跟踪、召回等供应链的各环节中全面应用。
- (4) 合理性: 由 EPC global、各国 EPC 管理机构(中国的管理机构称为 EPC global China)、被标识物品的管理者分段进行管理, 共同维护、统一应用, 具有合理性。
- (5) 国际性: 不以具体国家、企业为核心, 编码标准全球协商一致, 具有国际性。
- (6) 无歧视性: 编码采用全数字形式, 不受地方色彩、语言、经济水平、政治观点的限制, 是无歧视性的编码。

摘编自: <http://baike.baidu.com/view/3478929.htm>

2009 年 8 月, 温家宝总理到无锡物联网产业研究院考察物联网建设工作时提出“感知中国”的概念, RFID 技术必将和传感器网一起构成物联网的前端数据采集平台, 是物联网技术的主要组成部分。很多业内人士把 2010 年定义为“物联网元年”。

物联网发展的空间无比巨大, 预计将是互联网产业之后最有市场潜力的产业, 同时为 RFID 技术打开了一个新的巨大的市场。我们有理由相信, 随着 RFID 产品成本的不断降低和标准的统一, RFID 技术将在无线传感网络、实时定位、安全防伪、个人健康、产品溯源管理等领域有更为广阔的应用前景。

### 【知识链接 3-2】

### 射频识别技术的基础——电磁能

RFID 技术实现的基础是利用电磁能。电磁能量是自然界中存在的一种能量形式。

追溯历史, 公元前中国先民即发现并开始利用天然磁石, 并用磁石制成指南车。到了近代, 越来越多的人对电、磁、光进行深入的观察及数学基础研究, 其中的代表人物是美国人本杰明·富兰克林。

1846 年, 英国科学家迈克尔·法拉第发现了光波与电波均属于电磁能量。

1864 年, 苏格兰科学家詹姆斯·克拉克·麦克斯韦发表了他的电磁场理论。

1887 年, 德国科学家亨瑞士·鲁道夫·赫兹, 证实了麦克斯韦的电磁场理论, 并演示了电磁波以光速传播并可以被反射, 具有类似光的极化特性。赫兹的实验不久后被俄国科学家亚力山大·波普重复。

1896 年, 马克尼成功地实现了横越大西洋的越洋电报, 由此开创了利用电磁能量为人类服务的先河。

1922 年, 诞生了雷达(Radar)。雷达作为一种识别敌方空间飞行器(飞机)的有效兵器, 在第二次世界大战中发挥了重要的作用, 同时雷达技术也随之得到极大的发展。至今, 雷达技术还在不断发展, 人们正在研制各种用途的高性能雷达。

## 二、RFID 技术在国内外的发展状况

目前, RFID 技术的应用已趋成熟。在北美、欧洲、大洋洲、亚太地区及非洲南部, 都得到了相当广泛的应用。典型的应用领域如下所述。

(1) 车辆道路交通自动收费管理(见图 3-2 (a)), 如北美部分收费高速公路的自动收费管理、中国部分高速公路的自动收费管理、东南亚国家部分收费公路的自动收费管理。

(2) 动物识别(养牛、养羊、赛鸽等, 见图 3-2 (b)), 如大型养殖场、家庭牧场、赛鸽比赛。

(3) 生产线产品加工过程的自动控制(见图 3-2 (c)), 主要应用在大型工厂的自动化流水作业线上。

(4) 地铁票(见图 3-2 (d))、校园卡、饭卡、高校手机一卡通、乘车卡、会员卡、城市一卡通、驾照卡、健康卡(医疗卡)等, 在国内外均有很大范围的应用。

(5) 集装箱、物流、仓储的自动管理(见图 3-2 (e)), 如大型物流、仓储企业。

(6) 储气容器的自动识别管理(见图 3-2 (f)), 如危险品的管理。

(7) 铁路车号的自动识别管理, 如北美铁路、中国铁路、瑞士铁路等。

(8) 旅客航空行包的自动识别、分拣、转运管理, 如北美部分机场。

(9) 车辆出入控制, 如停车场、垃圾场、水泥场的车辆出入、称重管理等。

(10) 汽车遥控门锁、门禁控制、电子门票等。

(11) 文档追踪、图书管理, 如图书馆、档案馆。

(12) 邮件/快运包裹自动管理, 如北美邮局、中国邮政。

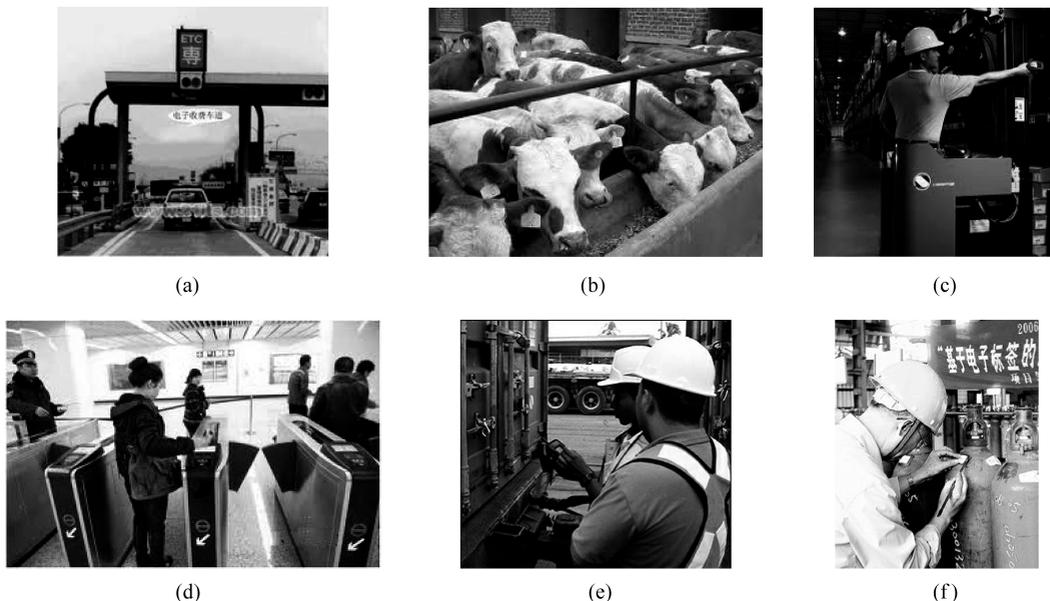


图 3-2 典型的 RFID 应用系统

目前, 国内 RFID 成功的行业应用有中国铁路的车号自动识别系统, 其辐射作用已涉及铁路红外轴温探测系统的热轴定位、轨道平衡、超偏载检测系统等。正在计划推广的应

用项目还有电子身份证、电子车牌、铁路行包自动追踪管理等。在近距离的 RFID 应用方面，许多城市已经实现了公交射频卡作为预付费电子车票的应用，预付费电子饭卡等。

在 RFID 技术研究及产品开发方面，国内已具有了自主开发低频、高频与微波 RFID 电子标签与读写器的技术能力及系统集成能力。与国外 RFID 先进技术之间的差距主要体现在 RFID 芯片技术方面。尽管如此，在标签芯片设计及开发方面，国内也已有多个成功的低频 RFID 系统标签芯片面市。

### 三、相关技术标准

在 RFID 技术发展的前十年中，有关 RFID 技术的国际标准的研讨空前热烈，国际标准化组织 ISO/IEC 联合技术委员会 JTC1<sup>1</sup> 下的 SC31 下级委员会成立了 RFID 标准化研究工作组 WG4。尤其是在 1999 年 10 月 1 日正式成立的，由美国麻省理工学院(MIT)发起的 Auto-ID Center，它是一个非营利性组织，在规范 RFID 应用方面所发挥的作用将越来越明显。Auto-ID Center 在对 RFID 理论、技术及应用研究的基础上，所作出的主要贡献如下所述。

(1) 提出产品电子代码 (Electronic Product Code, EPC) 概念及其格式规划，为简化电子标签芯片的功能设计、降低电子标签的成本、扩大 RFID 的应用领域奠定了基础。

(2) 提出了实物互联网的概念及构架，为 EPC 进入互联网搭建了桥梁。

(3) 建立了开放性的国际自动识别技术应用公用技术研究平台，为推动低成本 RFID 标签和读写器的标准化研究开创了条件。

目前，可供射频卡使用的几种标准有 ISO 10536、ISO 14443、ISO 15693 和 ISO/IEC 18000。其中应用最多的是 ISO 14443 和 ISO 15693，这两个标准都是由物理特性、射频功率和信号接口、初始化和防冲撞以及传输协议四部分组成。ISO/IEC 18000 标准体系是基于物品管理的射频识别的通用国际标准，按工作频率的不同，可分为以下 7 部分：

- ① 全球公认的普通空中接口参数；
- ② 频率低于 135kHz 的空中接口；
- ③ 频率为 13.56MHz 的空中接口；
- ④ 频率为 2.45GHz 的空中接口；
- ⑤ 频率为 5.8GHz（注：规格化终止）的空口接口；
- ⑥ 频率为 860~930MHz 的空中接口；
- ⑦ 频率为 433.92MHz 的空中接口。

## 第二节 RFID 技术的应用现状

下面分别介绍 RFID 技术在零售、有害材料管理、物品追踪、医疗机构、铁路运输、世博会门票、二代身份证等几方面的成功应用案例。<sup>2</sup>

1 1987 年原 ISO/TC 97、IEC/TC 83 和 IEC/ SC 47B 合并，共同组成 ISO/IEC JTC1（简称为 JTC1）。JTC1 的成员是各个国家的具有代表资格的标准化团体。

2 案例摘编自：<http://wenku.baidu.com/view/976c3217866fb84ae45c8d1f.html>

## 一、国外应用现状

### 案例一：沃尔玛的“新式武器”

2003年6月19日，在美国芝加哥召开的“零售业系统展览会”上，沃尔玛宣布将采用RFID技术，以最终取代目前广泛使用的条形码，成为第一个公布正式采用该技术时间表的企业，如果供应商们在2008年还达不到这一要求，就可能失去为沃尔玛供货的资格。而沃尔玛的供应商大约有70%来自中国。

能坐上零售业的头把交椅，沃尔玛的成功宝典上写满了有关搭建高效物流体系的密笈，以保证在竞争中的成本优势。可以看出，所有技术无一例外地，都是围绕着改善供应链与物流管理这个核心竞争能力展开的。

作为沃尔玛历史上最年轻的CIO凯文·特纳，曾说服了公司创始人山姆·沃顿建立了全球最大的移动计算网络，并推动沃尔玛引进电子标签技术（见图3-3）。



图3-3 沃尔玛使用的纸质电子标签

如果RFID计划实施成功，沃尔玛闻名于世的供应链管理将又朝前领先一大步。一方面，可以即时获得准确的信息流，完善物流过程中的监控，减少物流过程中不必要的环节及损失，降低在供应链各个环节上的安全存货量和运营资本；另一方面，通过对最终销售实现的监控，可以及时报告消费者的消费偏好，帮助沃尔玛调整优化商品结构，进而获得更高的顾客满意度和忠诚度。

### 【知识链接 3-3】

### 是什么让零售商如此推崇 RFID?

据 Sanford C. Bernstein 公司的零售业分析师估计，通过采用 RFID，沃尔玛每年可以节省约 83.5 亿美元，其中大部分是因为不需要人工查看进货的条码而节省的劳动力成本。尽管另外一些分析师认为 80 亿美元这个数字过于乐观，但毫无疑问，RFID 有助于解决零售业两个最大的难题：商品断货和损耗（因盗窃和供应链被搅乱而损失的产品）。现在单是盗窃一项，沃尔玛一年的损失就差不多有 20 亿美元，如果一家合法企业的营业额能达到这个数字，就可以在美国 1000 家最大企业排行榜中名列第 694 位。研究机构估计，这种 RFID 技术能够帮助把失窃和存货水平降低 25%。

### 案例二：NASA 下属机构用 RFID 系统管理有害材料

NASA<sup>1</sup>下属机构正在执行 Chem Secure 项目，此项目是在美国国防部基于 Web 的有害材料管理系统（HMMS）数据库上，集成了无线射频识别和传感器技术，自动、实时的管理有害材料，如有害材料的使用、运送、跟踪和储存。

NASA 的 Dryden 飞行研究中心在与美国国防部和 Oracle、Intermec 科技、EnvironMax、

1 美国国家航空航天局（National Aeronautics and Space Administration, NASA），台湾译作“美国国家航空暨太空总署”，香港译作“美国太空总署”。

Patlite（美国）等领先公司的紧密合作下，开发了 Chem Secure 项目，这是同类项目中的第一个。

Chem Secure 项目是在有害材料容器上放置 RFID 标签（见图 3-4），采用 Oracle 传感器服务（Oracle Sensor-Based Services）软件捕获、管理和分析任何材料的移动或化学变化，并对移动或变化做出响应。NASA Dryden 根据 HMMS 数据库中的实时信息，就可以对有害材料的运输和储存做出有根据的决策。如有需要，系统会自动以文本信息、语音和电子邮件形式，向负责保安、安全、保健和环境的专业人员发出警报，警告他们发生了化学变化。



图 3-4 有害材料的管理



图 3-5 寻找遗失的物品

### 案例三：寻找遗失的物品

美国华盛顿大学的研究人员 Gaetano Borriello 和他的同事们日前为 RFID 技术找到了一个新的用武之地——寻找遗失的物品（见图 3-5）。

科研人员和工程师们已研制出了一种手表式的原型机，它能够提醒主人在出门时不要遗忘了重要的文件、钥匙、雨伞或是其他一些需要随身携带的物品。在工作时，这种手表还会监视各种物品（如文件袋和试验材料）的摆放是否正确以及它们在房屋中所处的位置。总而言之，这种曾经的间谍专用设备现在已可以用来提醒那些健忘的人，帮助他们规整自己物品的摆放，指明所需物品当前所处的位置等。研究人员介绍说，将 RFID 技术和其他一些产品有机地结合在一起，不但可以用来寻找遗失的物品，还可以追踪它们在一天当中的运动轨迹。

### 案例四：美国将 RFID 技术应用于医院，以防手术失误

美国政府同意将无线射频电子标签像绷带一样贴到病人手术处，以确保医生对适当的病人进行适当的手术。据记录，美国每年因手术失误而死亡数千病人。由 Surgi Chip 公司生产的这种标签，目的就是为了防止出现失误手术。

病人的名字和手术位置被打印在 Surgi Chip 的标签上，通过一种粘合剂将标签贴到病人实施手术的附近处，其内置的芯片还编码记录了手术的类型、日期和名称。在实施手术前，先对标签进行扫描，然后对病人进行询问来证实标签上的信息是否真实。到了手术日，在对病人实施麻醉前，医院手术室的工作人员再次对标签进行扫描，并与病人名册上的信息进行比较，再次对病人进行验证。实施手术前，该标签才被取下。据 Surgi Chip 估计，包括标签、扫描仪、打印机和每个医院都需下载的版权软件在内的这一套设备，大约花费

几千美金。

## 二、国内应用现状

### 案例一：铁道部的调度利器

我国铁路的车辆调度系统是应用 RFID 技术最成功的案例之一。铁道部在中国铁路车号自动识别系统的建设中，推出了拥有完全自主知识产权的远距离自动识别系统（见图 3-6）。

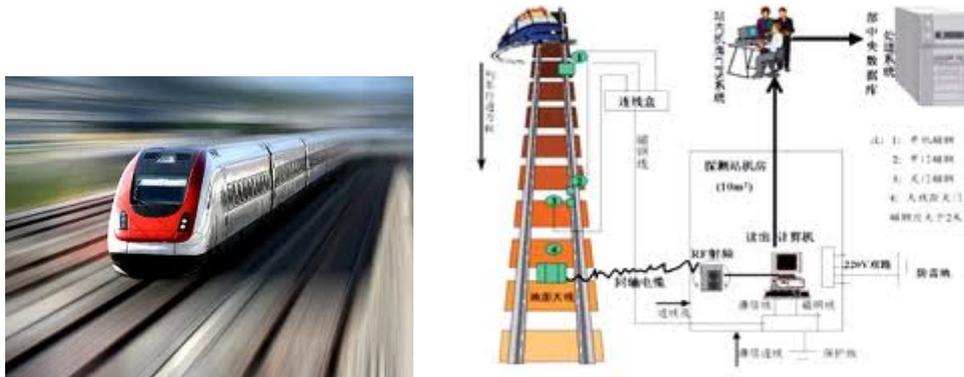


图 3-6 我国铁路的车辆调度系统

20 世纪 90 年代中期，国内有多家研究机构参与了该项技术的讨论，在多种实现方案中，最终确定了 RFID 技术为解决“货车自动抄车号”的最佳方案。

过去，国内铁路车头的调度都是靠手工统计、手工进行，费人、费时，还不够准确，造成资源极大的浪费。铁道部在采用 RFID 技术以后，实现了统计的实时化、自动化，降低了管理成本，提高了资源利用率。该系统可以为铁路运输带来的直接效益主要体现在以下三个方面。

首先，是准确的货车占用费清算，避免了货车占用费的流失。过去，车号的抄录和汇总全靠口念、笔记、手抄的人工方式进行，错漏多、效率低、劳动强度大，而且由于漏抄车号，造成了铁道部货车占用费的大量流失。RFID 系统为列车的实时追踪提供了实时、准确的基础数据信息，有利于铁路的现场管理和车辆调度，提高了铁路运输的效率。仅这一项，每年为铁道部增收近 3 亿元。

其次，可配合“5T”系统，根据车次、车号、车辆的吨位，对运行车辆进行故障的准确预报和跟踪。举例来说，单 THDS（红外线轴温探测系统）一项，原来没有车次、车号信息，每年误扣、甩车的数量高达 1 万辆（即 1 万列）以上，由此而打乱行车秩序造成的经济损失更是无法估量。

此外，路用货车数量庞大，车辆分散于全国各地，铁道部每年都需抽调大量人力、物力进行清查、盘点，耗时费力。

### 【个案介绍 3-1】

### 铁路车号自动识别系统（ATIS）

ATIS 是我国最早应用 RFID 技术的系统，也是应用 RFID 技术范围最广的系统。深圳远望谷为铁道部开发的 ATIS，可实时、准确无误地采集机车、车辆运行状态的数据，如机

车车次、车号、状态、位置、去向和到发时间等信息，实时追踪机车车辆。目前，该系统已遍及全国 18 个铁路局、7 万多公里铁路线。包括拥有自备铁路线和自备车辆的大企业，也广泛地采用车号自动识别系统，进行车辆运输和调度管理。

### 案例二：2010 年上海世博会门票采用 RFID 技术

2005 年，爱知世博会的门票系统就采用了 RFID 技术，做到了大批参观者的快速入场。2006 年世界杯主办方也采用了嵌入 RFID 芯片的门票，起到了防伪的作用。这引起了大型会展主办方的关注。在 2008 年的北京奥运会上，RFID 技术已得到了广泛应用。

近年来，在上海举行的会展数量以每年 20% 的速度递增。上海市政府一直在积极探索如何应用新技术来提升组会能力，以更好地展示上海的城市形象。而 RFID 技术在大型会展中的应用，并由此带来的良好效应，已得到验证。2010 年世博会在上海举办，对主办者、参展者、参观者、志愿者等各类人群有大量的信息服务需求，包括人流疏导、交通管理、信息查询等，RFID 系统正是满足这些需求的有效手段之一。世博会的主办者关心门票的防伪。参展者比较关心究竟有哪些参观者参观过自己的展台，关心内容和产品是什么，以及参观者的个人信息。参观者想迅速获得自己想要的信息，找到所关心的展示内容。而志愿者需要了解全局，去帮助需要帮助的人。这些需求通过 RFID 技术，都能够轻而易举地实现。参观者凭借嵌入 RFID 标签的门票入场（见图 3-7），并随身携带。每个展台附近都部署有 RFID 读取器，这样对参展者来说，参观者在展会中走过哪些地方，在哪里驻足时间较长，参观者的基本信息是什么等，就了然于胸了。同时当参观者走近时，可以更精确地提供服务。而主办者可以在会展上部署带有 RFID 读取器的多媒体查询终端，参观者可以通过终端知道自己当前的位置及所在展区的信息，还能通过查询终端追踪到走失的同伴信息。



图 3-7 上海世博会门票

### 案例三：第二代居民身份证

居民身份证作为国家法定证件和公民身份号码的法定载体，已在社会管理和社会生活中得到广泛的应用。

我国从 1985 年实行居民身份证制度以来，已累计制、发居民身份证 13 亿个，实有持证人口近 9 亿人。面对这么多的人口，如何合理有效地管理好身份证，并充分发挥其作用，一直是政府长期以来面临的问题。特别是改革开放后，我国经济得到迅速发展，各城市、农村人口流动频繁，而传统的身份证由于缺乏机器识读功能，并且防伪性能相对较差，从而在许多关键部门无法对身份证进行有效验证和登记，使得公安机关不能全面掌握这些重要信息，给管理工作带来了很大困难。

尤其是近几年来，全国各地利用假身份证进行犯罪的事件屡有发生，使得国家一些重要部门遭受严重的损失，而公安机关却由于缺乏详实的资料，影响了打击力度。因此，改进现有的居民身份证，是提高公安部门执法力度的有效方法之一。我国的第二代居民身份证，正是在此背景下应运而生。

第二代居民身份证(见图 3-8)采用 RFID 技术制作,即在身份证卡内嵌入 RFID 芯片,内嵌芯片保存了证件本人(包括人像相片在内)的 9 项信息,芯片采用符合 ISO/IEC 14443-B 标准的 13.56 MHz 的电子标签。使用证件的单位利用二代身份证可以机读信息的特性,将第二代居民身份证内存储的信息读入相关单位、企业的信息应用系统,既快捷、便利,又准确。



图 3-8 我国第二代居民身份证样本正面和背面例样<sup>1</sup>

第二代居民身份证内嵌芯片的破解成本极高,这使得证件造假变成不可能,只要通过读卡机自动识别芯片的信息,便可知道真假。目前,有关用人单位和工作人员对核查持证人的证件真伪不再困难,在读卡机自动识别的基础上加以比对,便轻松、便捷地确认持证人的身份。在现实生活中,人们在投宿旅店、办理医疗保险、搭乘民航航班机、出入境登记、办理金融业务以及参加各类考试等活动时,均统一使用第二代居民身份证。

### 第三节 RFID 技术基础

#### 一、RFID 系统的构成

RFID 系统包括:射频(识别)标签、射频识别读写设备(读写器)、应用软件。一个典型的 RFID 应用系统的结构如图 3-9 所示。

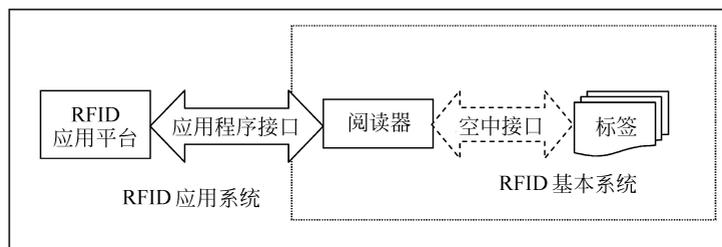


图 3-9 RFID 应用系统的结构图

**射频识别标签 (TAG):** 又称为射频标签、电子标签,主要由存有识别代码的大规模集成电路芯片和收发天线构成。每个标签具有惟一的电子编码,附着在物体上标识目标对象。

**读写器 (Reader):** 射频识别读写设备,是连接信息服务系统与标签的纽带,主要起到目标识别和信息读取(有时还可以写入)的功能。标签是被识别的目标,是信息的载体。

**应用软件:** 针对各个不同应用领域的管理软件。

#### 二、RFID 系统的基本工作原理

RFID 技术的基本工作原理是由读写器发射特定频率的无线电波能量,当射频标签进入

1 本图片来自互动百科: 第二代居民身份证 <http://www.hudong.com>

感应磁场后，接收读写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（Passive Tag，无源标签或被动标签），或者由标签主动发送某一频率的信号（Active Tag，有源标签或主动标签），读写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。工作原理如图 3-10 所示。

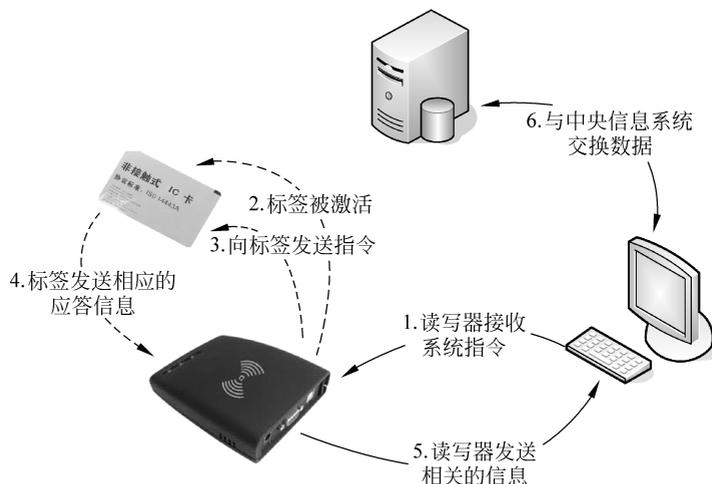


图 3-10 RFID 系统的基本工作原理

以 RFID 读写器及射频标签之间的通信及能量感应方式来看，大致上可以分为：感应耦合（Inductive Coupling）及后向散射耦合（Back Scatter Coupling）两种。一般低频的 RFID 大都采用第一种方式，而较高频的 RFID 大多采用第二种方式。

读写器根据使用的结构和技术不同，可以是只读或读/写装置，它是 RFID 系统的信息控制和处理中心。读写器通常由耦合模块、收发模块、控制模块和接口单元组成。读写器和射频标签之间一般采用半双工通信方式进行信息交换，同时，读写器通过耦合，给无源射频标签提供能量和时序。

在实际应用中，可以进一步通过以太网（Ethernet）或无线局域网（WLAN）等实现对物体识别信息的采集、处理及远程传送等管理功能。射频标签是 RFID 系统的信息载体，目前，射频标签大多是由耦合原件（线圈、微带天线等）和微芯片组成无源单元。

射频标签与读写器之间，通过两者的天线架起空间电磁波传输的通道，该通道包含两种情况：近距离的电感耦合与远距离的电磁耦合，亦即在低频段基于变压器耦合模型（初级与次级之间的能量传递及信号传递），在高频段基于雷达探测目标的空间耦合模型（雷达发射电磁波信号碰到目标后会携带目标信息返回雷达接收机）。

在电感耦合方式中，读写器一方的天线相当于变压器的初级线圈，射频标签一方的天线相当于变压器的次级线圈，因此，也称电感耦合方式为变压器方式。电感耦合方式的耦合中介是空间磁场，耦合磁场在读写器初级线圈与射频标签次级线圈之间构成闭合回路。电感耦合方式是低频、近距离、非接触式射频识别系统的一般耦合方式。

在电磁耦合方式中，读写器的天线将读写器产生的读写射频能量以电磁波的方式发送到定向的空间范围内，形成读写器的有效阅读区域，位于读写器有效阅读区域内的射频标签从读写器天线发出的电磁场中提取工作电源，并通过射频标签内部的电路及天线，将标

签内存储的数据信息传送到读写器。

### 【概念辨析 3-1】

### 电感耦合与电磁耦合的差别

在电感耦合方式中，读写器将射频能量束缚在读写器电感线圈的周围，通过交变闭合的线圈磁场，沟通读写器线圈与射频标签线圈之间的射频通道，没有向空间辐射电磁能量，因此，识读距离较近。在电磁耦合方式中，读写器将射频能量以电磁波的形式发送出去，从而实现远距离的识读。

对 RFID 系统，需要清楚认识到以下三点：

- ① 数据交换是目的；
- ② 时序是数据交换实现的方式；
- ③ 能量是时序得以实现的基础。

#### 1. 能量

读写器向射频标签供给射频能量。对于无源射频标签来说，其工作所需的能量由该射频能量中取得（一般由整流方法将射频能量转变为直流电源存储在标签中的电容器里）；对于（半）有源射频标签来说，该射频能量的到来起到了唤醒标签转入工作状态的作用；完全有源射频标签一般不利用读写器发出的射频能量，因此读写器可以用较小的能量发射取得较远的通信距离，移动通信中的基站与移动台之间的通信方式可归入该类。

#### 2. 时序

对于双向系统（读写器向射频标签发送命令与数据、射频标签向读写器返回所存储的数据）来说，读写器一般处于主动状态，即读写器发出询问后，射频标签予以应答，这种方式为读写器先讲方式。

另一种情况是射频标签先讲方式，即射频标签满足工作条件后，首先自报家门，读写器根据射频标签的自报家门，进行记录或进一步发出一些询问信息，与射频标签构成一个完整对话，从而达成读写器对射频标签进行识别的目的。

RFID 系统的应用中，根据读写器读写区域中允许出现单个射频标签或多个射频标签的不同，将 RFID 系统称为单标签识别系统与多标签识别系统。

在读写器的阅读范围内有多个标签时，对于具有多标签识读功能的 RFID 系统来说，一般情况下，读写器处于主动状态，即读写器先讲方式。读写器通过发出一系列的隔离指令，使得读出范围内的多个射频标签逐一或逐批地被隔离（令其睡眠）出去，最后保留一个处于活动状态的标签与读写器建立起无冲撞的通信。通信结束后，将当前活动标签置为第三态（可称其为休眠状态，只有通过重新上电，或特殊命令，才能解除休眠），进一步由读写器对被隔离（睡眠）的标签发出唤醒命令，唤醒一批（或全部）被隔离的标签，使其进入活动状态，再进一步隔离，选出一个标签通信。如此重复，读写器可读出阅读区域内的多个射频标签信息，也可以实现对多个标签分别写入指定的数据。

现实中也有采用标签先讲的方式来实现多标签读取的应用。多标签读写问题是 RFID

技术及应用中面临的一个较为复杂的问题，目前，已有多种实用方法来解决这一问题。解决方案的评价依据，一般考虑以下三个因素：

- ① 多标签读取时待读标签的数目；
- ② 单位时间内识别标签数目的概率分布；
- ③ 标签数目与单位时间内识读标签数目概率分布的联合评估。

理论分析表明，现有的方法都有一定的适用范围，需要根据具体的应用情况，结合上述三点因素对多标签读取方案给出合理评价，选出适合具体应用的方案。多标签读取方案涉及射频标签与读写器之间的协议配合，一旦选定，不易更改。

对于无多标签识读功能的 RFID 系统来说，当读写器的读写区域内同时出现多个标签时，由于多标签同时响应读写器发出的询问指令，会造成读写器接收信息相互冲突而无从读取标签信息，典型情况是一个标签信息也读不出来。

### 3. 数据传输

RFID 系统中的数据交换包含以下两个方面的含义。

#### (1) 从读写器向射频标签方向的数据交换

读写器向射频标签方向的数据交换主要有两种方式，即接触写入方式（也称有线写入方式）和非接触写入方式（也称无线写入方式）。具体采用何种方式，需结合应用系统的需求、代价、技术实现的难易程度等因素来确定。

在接触写入方式下，读写器的作用是向射频标签（中的存储单元）写入数据信息。此时，读写器更多地被称为编程器。根据射频标签存储单元及编程写入控制电路的设计情况，写入可以是一次性写入不能修改，也可以是允许多次改写的情况。

在绝大多数通用 RFID 系统应用中，每个射频标签要求具有惟一的标识，这个惟一的标识被称为射频标签的 ID 号。ID 号的固化过程可以在射频标签芯片生产过程中完成，也可以在射频标签应用指定后的初始化过程中完成。通常情况下在标签出厂时，ID 号已被固化在射频标签内，用户无法修改。对于声表面波（SAW）射频标签以及其他无芯片射频标签来说，一般均在标签制造过程中将标签 ID 号固化到标签记忆体中。

非接触写入方式是 RFID 系统中读写器向射频标签方向数据交换的另外一种情况。根据 RFID 系统实现技术方面的一些原因，一般情况下应尽可能地不要采用非接触写入方式，尤其是在 RFID 系统的工作过程中。这种建议的主要原因有以下几点。

① 非接触写入功能的 RFID 系统属于相对复杂的系统。能够采用简单系统解决应用问题即采用简单系统是一般的工程设计原理。其背后隐含着简单系统较复杂系统成本更低、可靠性更高、培训、维护成本更低等优势。

② 采用集成电路芯片的射频标签写入信息要求的能量比读出信息要求的能量要大得多，这个数据可以以 10 倍的量级进行估算，这就会造成射频标签非接触写入过程花费的时间要比从中读取等量数据信息花费的时间要长许多。写入后，一般均应对写入结果进行检验，检验的过程是一个读取过程，从而造成写入过程所需时间进一步增加。

③ 写入过程花费时间的增加非常不利于 RFID 技术在鉴别高速移动物体方面的应用。这很容易理解，读写器与射频标签之间经空间传输通道交换数据的过程中，数据是一位一位排队串行进行的，其排队行进的速度是 RFID 系统设计时就决定的。将射频标签

看作数据信息的载体，数据信息总是以一定长度的数据位组成，因此，读取或写入这些数据信息位要花费一定的时间。移动物体运动的速度越高，通过阅读区域所花费的时间就越少。当有非接触写入要求时，必然将限制物体的运动速度，以保证有足够的时间用于写入信息。

④ 非接触写入过程中面临着射频标签信息的安全隐患。由于写入通道处于空间暴露状态，这给蓄意攻击者提供了改写标签内容的机会。

另一方面，如果将注意力放在读写器向射频标签是否发送命令方面，也可以分为两种情况，即射频标签只接受能量激励和既接受能量激励也接受读写器代码命令。

射频标签只接受能量激励的系统属于较简单的射频识别系统，这种射频识别系统一般不具备多标签识别能力。射频标签在其工作频带内的射频能量激励下，被唤醒或上电，同时将标签内存储的信息反射出来。目前在用的铁路车号识别系统即采用这种方式工作。

同时接受能量激励和读写器代码命令的系统属于复杂 RFID 系统。射频标签接受读写器的指令无外乎是为了做两件事，即无线写入和多标签读取。

#### (2) 从射频标签向读写器方向的数据交换

射频标签的工作使命是实现由标签向读写器方向的数据交换，其工作方式包括：

① 射频标签收到读写器发送的射频能量时即被唤醒，并向读写器反射标签内存储的数据信息；

② 射频标签受到读写器发送的射频能量被激励后，根据接收到的读写器的指令情况，转入“发送数据”状态或“睡眠/休眠”状态。

从工作原理上来说，第一种工作方式属单向通信，第二种工作方式为半双工双向通信。

### 三、射频标签的基本工作原理

射频标签又称为电子标签、应答器、数据载体等。电子标签与读写器之间通过耦合元件实现射频信号的空间（非接触）耦合，在耦合通道内，根据时序关系，实现能量的传递和数据的交换。与其他数据载体相比，射频标签具有以下特性。

- (1) 数据存储：容量更大，数据可随时更新，可读写。
- (2) 读写速度：读写速度更快，可多目标识别、运动识别。
- (3) 使用方便：体积小，容易封装，可以嵌入产品内。
- (4) 安全：专用芯片、序列号惟一、很难复制。
- (5) 耐用：无机械故障、寿命长、抗恶劣环境。

#### 【概念辨析 3-2】

#### 射频标签与条形码比较

- (1) 射频标签可以识别单个的非常具体的物体，条形码一般是识别一类物体。
- (2) 射频标签可以透过外部包装材料读取数据，条形码必须在无遮挡情况下正面对准扫描来读取信息。
- (3) 利用射频标签可以同时多个物体进行识读，而条形码只能一个一个地识读。
- (4) 射频标签储存的信息量比条形码储存的信息量大得多。

## 1. 射频标签的常见形态<sup>1</sup>

射频标签常见的标签形式有以下几种。标准尺寸的卡式标签（见图 3-11（a）），钥匙扣标签（见图 3-11（b）），玻璃管标签（见图 3-11（c）），禽类脚环标签（见图 3-11（d）），纸质电子标签（见图 3-11（e）），酒类防伪标签（见图 3-11（f）），手表腕带式标签（见图 3-11（g））。



图 3-11 常见的射频标签形式

## 2. 射频标签的内部结构

射频标签的样式虽然多种多样，但其内部结构基本一致。射频标签的内部结构，如图 3-12 所示。

电子标签控制部分主要由编解码电路、微处理器（CPU）和 E<sup>2</sup>PROM 存储器等组成，其结构如图 3-13 所示。

编解码电路工作在前向链路时，将电子标签接收电路传来的数字基带信号进行解码后，传给微处理器；工作在反向链路时，将微处理器传来的处理好的数字基带信号进行编码后，送到电子标签发送电路端。

1 以下引用的图片，来自谷歌图片搜索和 RFID 世界网，网址：[www.rfidworld.com.cn](http://www.rfidworld.com.cn)

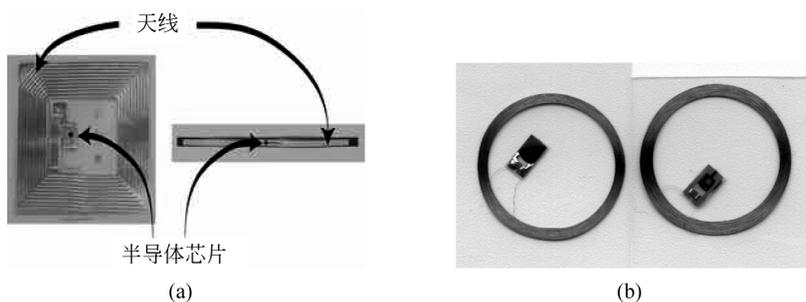


图 3-12 射频标签内部结构图  
(a) 蚀刻式天线标签的内部结构；(b) 绕线式天线标签的内部结构

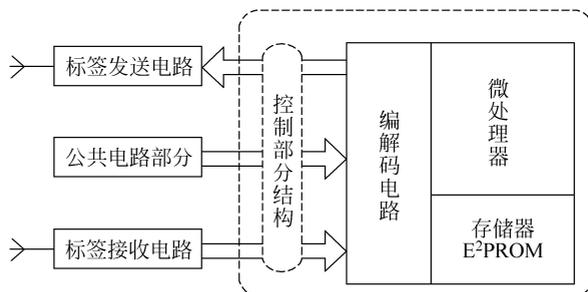


图 3-13 电子标签控制部分的结构

微处理器用于控制相关协议、指令及处理功能。

E<sup>2</sup>PROM 存储器用于存储电子标签的相关信息和数据，存储时间可以长达几十年，并且在没有供电的情况下，其中存储的数据信息也不会丢失。

### 【知识链接 3-4】

### 电子标签的封装工艺

从应用案例看，电子标签的封装形式已经是多姿多彩，它不但不受标准形状和尺寸的限制，其构成也是多种多样，甚至可以根据各种不同的需求进行特殊的设计。电子标签所标识的对象可以是人、动物和物品，其构成当然就会千差万别。

目前已得到应用的传输邦 (Transponder) 的尺寸从  $\phi 6\text{mm}$  到  $76\text{mm} \times 45\text{mm}$ ，小的甚至使用灰尘级芯片制成，包括天线在内也只有  $0.4\text{mm} \times 0.4\text{mm}$  的大小；存储容量从 64 ~ 200bit 的只读 ID 号的小容量型，到可存储数万比特数据的大容量型 (例如 E<sup>2</sup>PROM32kb)；封装材质从不干胶，到开模具注塑成型的塑料等。

总之，在根据实际要求来设计电子标签时要发挥想象力和创造力，灵活地采用切合实际的方案。同时，实践证明，电子标签的构成是保证应用成功的重要因素之一。主要的电子标签形式如下所述。

#### (1) 卡片类 (PVC、纸、其他)

##### ① 层压

有熔压和封压两种。熔压是由中心层的 INLAY 片材和上下两片 PVC 材加温加压制作而成。PVC 材料与 INLAY 熔合后，经冲切成 ISO 7816 所规定的尺寸大小。当芯片采

用传输邦时，芯片凸起在天线平面上（天线厚 0.01~0.03mm），可以采用另一种层压方式——封压。此时，基材通常为 PET 或纸，芯片厚度通常为 0.20~0.38mm，制卡封装时仅将 PVC 在天线周边封合，而不是熔合，芯片部位又不受挤压，可以避免芯片被压碎的情况出现。

## ② 胶合

采用纸或其他材料通过冷胶的方式使传输邦上下材料胶合成一体，再模切成各种尺寸的卡片或吊牌。

## (2) 标签类

### ① 粘贴式

成品可制成人工或贴标机揭取的卷标形式，粘贴式电子标签是应用中最多的主流产品，即商标背面附着电子标签，直接贴在被标识物上。如果在标签发行时还须打印条码等操作，打印部位必须与背面的传输邦定位准确，如航空用行李标签、托盘用标签等。

### ② 吊牌类

对应于服装、物品等被标识物一般采用吊牌类产品，其特点是尺寸紧凑，可以打印，也可以回收。

## (3) 异形类

### ① 金属表面设置型

大多数电子标签不同程度地会受到接触的（甚至附近的）金属的影响而不能正常工作。这类标签经过特殊处理，可以设置在金属上，并可以读写。所谓的特殊处理指的是需要增大安装空隙、设置屏蔽金属影响的材料等。产品封装可以采用注塑式或滴塑式。多应用于压力容器、锅炉、消防器材等各类金属件的表面。

### ② 腕带型

可以一次性（如医用）或重复使用（如游乐场、海滩浴场等）。

### ③ 动、植物使用型

封装形式可以是注射式玻璃管、悬挂式耳标、套扣式脚环、嵌入式识别钉等多种形式。

## 四、射频读写设备的基本工作原理

### 1. 射频读写设备的结构与工作原理

读写器从接口上来看主要有：并口读写器、串口读写器、USB 读写器、PCMICA 卡读写器和 IEEE 1394 读写器。

射频标签读写设备根据具体实现功能的特点，也有一些其他较为流行的别称，如阅读器（Reader）、查询器（Interrogator）、通信器（Communicator）、扫描器（Scanner）、读写器（Reader and Writer）、编程器（Programmer）、读出装置（Reading Device）、便携式读出器（Portable Readout Device）、AEI 设备（Automatic Equipment Identification Device）等，最常用的为读写器。

读写器本身从电路实现角度来讲，又可划分为两大部分，即：射频模块（射频通道）与基带模块。读写器的内部结构示意图如图 3-14 所示，典型的一体式高频读写器实物照片如图 3-15 所示。

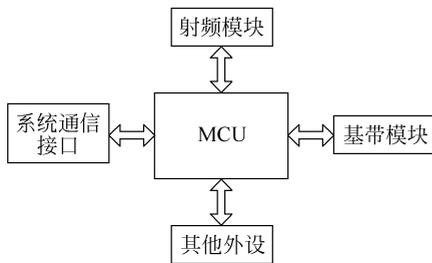


图 3-14 读写器内部结构示意图

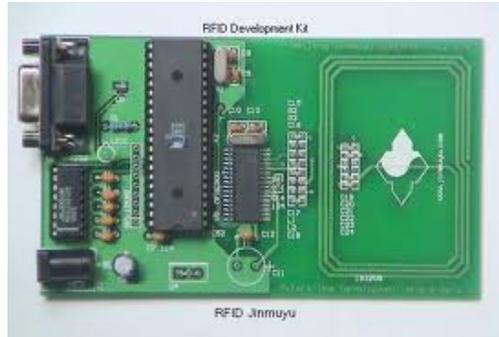


图 3-15 典型的一体式高频读写器实物图片

射频模块实现的任务主要有以下两项。

(1) 将读写器欲发往射频标签的命令调制（装载）到射频信号（也称为读写器/射频标签的射频工作频率）上，经由发射天线发送出去。发送出去的射频信号（可能包含有传向标签的命令信息）经过空间传送（照射）到射频标签上，射频标签对照射其上的射频信号作出响应，形成返回读写器天线的反射回波信号。

(2) 将射频标签返回到读写器的回波信号进行必要的加工处理，并从中解调（卸载）提取出射频标签回送的数据。

基带模块实现的任务也包含以下两项。

(1) 对读写器智能单元（通常为计算机单元 CPU 或 MPU）发出的命令进行加工（编码），实现为便于调制（装载）到射频信号上的编码调制信号。

(2) 对经过射频模块解调处理的标签回送数据信号进行必要的处理（包含解码），并将处理后的结果送入到读写器智能单元。

一般情况下，读写器的智能单元也划归为基带模块部分。智能单元从原理上来说，是读写器的控制核心，从实现角度来说，通常采用嵌入式 MPU，并通过编制相应的 MPU 控制程序，对收发信号实现智能处理以及与后端应用程序之间的接口——API。

射频模块与基带模块的接口为调制（装载）/解调（卸载），在系统实现中，通常射频模块包括调制/解调部分，并且也包括解调之后对回波小信号的必要加工处理（如放大、整形）等。射频模块的收发分离是采用单天线系统时射频模块必须处理好的一个关键问题。

## 2. 射频读写设备的工作过程

射频读写设备的工作过程如图 3-16 所示，具体过程描述如下。

(1) 读写器通过发射天线发送一定频率的射频信号，当射频卡进入发射天线的工作区域时，产生感应电流，射频卡获得能量被激活。

(2) 射频卡将自身编码等信息通过卡内置的发送天线发送出去。

(3) 读写器的接收天线接收到从射频卡发送来的载波信号，经天线调节器传送到读写器，由读写器对接收到的信号进行解调和解码，然后送到后台主系统进行相关处理。