



计算机类专业“十三五”规划教材



# 射频识别技术 原理与应用实战

**S**HEPIN SHIBIE JISHU  
YUANLI YU YINGYONG SHIZHAN

主编 杨美霞

航空工业出版社

计算机类专业“十三五”规划教材

# 射频识别技术原理与 应用实战

主编 杨美霞

航空工业出版社

北京

## 内 容 提 要

本书结合实际应用场景深入浅出地介绍了低频、高频、超高频和微波 4 种频段的 RFID 读写器设计与调试知识,同时还详细介绍了 RFID 的相关基础知识及物联网的知识,并且涵盖了用 Keil  $\mu$ Vision4 开发 RFID 读写器应用的基本知识。

本书内容翔实、循序渐进、操作性极强,可作为计算机、物联网、电子信息与电气类专业的教材,也可供相关领域的工程技术人员参考。

### 图书在版编目 (C I P) 数据

射频识别技术原理与应用实战 / 杨美霞主编. -- 北京: 航空工业出版社, 2017.8  
ISBN 978-7-5165-1294-4

I. ①射… II. ①杨… III. ①无线射频识别—教材  
IV. ①TP391.45

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 210285 号

## 射频识别技术原理与应用实战 Shepin Shibie Jishu Yuanli yu Yingyong Shizhan

航空工业出版社出版发行

(北京市朝阳区北苑 2 号院 100012)

发行部电话: 010-84936597 010-84936343

北京谊兴印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经售

2017 年 8 月第 1 版

2017 年 8 月第 1 次印刷

开本: 787×1092

1/16

印张: 14.5

字数: 326 千字

印数: 1—2000

定价: 39.80 元

# 前言

物联网是通过射频识别（RFID）装置、红外感应器、全球定位系统、激光扫描器等信息传感设备，按照约定的协议，把任何物品与互联网相连接，进行信息交换和通信，以实现智能化识别、定位、跟踪、监控和管理的一种网络。

作为继计算机与互联网后席卷全球的又一次信息产业革命浪潮，物联网已被确定为中国战略性新兴产业之一。一系列物联网发展规划的陆续出台，无疑给正在发展的中国物联网吹来一股强劲的东风。射频识别（RFID）技术作为物联网发展的最关键技术之一，其应用市场也必将随着物联网的发展而不断扩大。

射频识别（RFID）技术是一种自动识别技术，它无须与被识别物体直接接触，即可完成信息的输入和处理，能快速、实时、准确地采集和处理信息，广泛应用于零售、物流、交通、医疗、制造、防伪等各个领域，并且抗干扰能力强，非常符合物联网的要求。可以说，射频识别（RFID）是实现物联网的重要前提和关键技术。

## 本书主要内容

本书主要介绍了 RFID 应用技术中低频、高频、超高频和微波 4 种频段的读写器设计与调试知识，同时还详细介绍了 RFID 的相关基础知识及物联网的知识，并且涵盖了用 Keil  $\mu$ Vision4 开发 RFID 读写器应用的基本知识。

## 本书主要特色

（1）书中每个项目均以具体任务为线索，串联各个任务的基础知识点，由浅入深地通过多个任务实训来训练读者编写和调试程序的技能，并在每个任务实训的成果检验和自我考核环节，进一步巩固读者对基础知识的掌握情况，扩展读者编写和调试程序的能力。

（2）书中各项目的任务实训都提供了实训准备、实训目的、实训内容、实训设备、知识链接、实施步骤、成果检验、参考程序和自我考核等环节，并借助开发软件 Keil  $\mu$ Vision4 完成实训程序的编写、运行和结果验证等。结合各种实际应用场景开发 RFID 读写器应用，可以迅速提高编程技能。

通过本书的学习,读者应有能力和信心开发出属于自己的 RFID 读写器应用程序,并具备在大型项目中应用 RFID 读写器进行设计与调试的技能。

### 本书编者队伍

本书由天津现代职业技术学院信息工程学院的老师共同编写,由杨美霞担任主编,高磊磊、许晶、郭海礁、邢铁燕担任副主编,参加编写的还有庞恩彤、刘玥、赵明、张莉、刘建新、张红。由于编者水平有限,书中错误之处在所难免,恳请各位读者批评指正。

本书在编写过程中参考了大量的相关文献与资料,在此向相关作者表示感谢,同时感谢深圳市讯方技术股份有限公司给予的大力支持。

### 教学资源下载

本书配有优质教学资源包,读者可从网站 (<http://www.bjjqe.com>) 下载。

编者  
2017年7月

# 本书编委会

主 编 杨美霞

副主编 高磊磊 许 晶 郭海礁 邢铁燕

参 编 庞恩彤 刘 玥 赵 明 张 莉

刘建新 张 红

# 目录

Contents.....

项目一 认识射频识别 (RFID) .....	1	二、EPCglobal 标准体系 .....	16
任务一 初识 RFID 技术 .....	1	三、Ubiquitous ID 标准体系 .....	17
一、RFID 技术概述 .....	1	任务三 了解智能卡信息安全 .....	18
二、RFID 的发展历程 .....	2	一、智能卡的分类 .....	18
三、RFID 系统的工作原理 .....	3	(一) 按芯片分类 .....	18
四、RFID 系统的分类 .....	5	(二) 按接触面分类 .....	19
(一) 按照频率分类 .....	5	二、智能卡应用系统 .....	21
(二) 按照供电方式分类 .....	6	三、智能卡的生存周期 .....	22
(三) 按照信息存储方式分类 .....	6	(一) 设计阶段 .....	22
(四) 按照耦合方式分类 .....	7	(二) 制造阶段 .....	22
(五) 按照工作方式分类 .....	7	(三) 发行阶段 .....	23
(六) 按照技术方式分类 .....	7	(四) 使用与回收阶段 .....	23
五、条形码技术 .....	7	四、金融卡的用卡过程 .....	23
(一) 一维条形码 .....	8	(一) 磁卡金融卡购物过程 .....	23
(二) 二维条形码 .....	8	(二) 智能卡金融卡购物过程 .....	25
(三) RFID 与条形码 .....	10	五、智能卡的安全性 .....	26
任务二 学习 RFID 三大标准 .....	11	(一) 威胁信息安全的因素 .....	27
一、ISO/IEC 标准体系 .....	11	(二) 智能卡的安全技术 .....	27
(一) ISO 10374 .....	11	任务四 熟悉 RFID 与物联网 .....	30
(二) ISO 11784/11785 .....	12	一、物联网的体系架构 .....	31
(三) ISO/IEC 14443 .....	12	(一) EPC 编码体系 .....	31
(四) ISO/IEC 15693 .....	13	(二) EPC 射频识别系统 .....	32
(五) ISO/IEC 18000 .....	13	(三) EPC 信息网络系统 .....	32
(六) ISO/IEC 14443, 15693, 18000		二、基于 RFID 的物联网应用 .....	33
三个体系分析与比较 .....	14	(一) 零售业 .....	34
		(二) 物流业 .....	34

(三) 制造业 .....	34	实施步骤 .....	66
(四) 有效防伪 .....	34	成果检验 .....	76
(五) 军事领域 .....	34	参考程序 .....	76
自我考核 .....	34	自我考核 .....	83
项目二 RFID 基础认知 .....	37	项目三 低频 RFID 读写器设计 .....	85
任务一 二维码识别 .....	37	任务一 125 kHz 读写器读卡 .....	85
实训准备 .....	37	实训准备 .....	85
一、QR Code 二维码 .....	37	实训目的 .....	85
二、二维码开源工具 ZXing .....	41	实训内容 .....	85
实训目的 .....	41	实训设备 .....	86
实训内容 .....	41	一、硬件部分 .....	86
实训设备 .....	42	二、软件部分 .....	86
实施步骤 .....	42	知识链接 .....	87
成果检验 .....	48	一、125 kHz 读写器原理 .....	87
自我考核 .....	48	二、蜂鸣器原理 .....	87
任务二 LED 灯控制 .....	48	实施步骤 .....	87
实训准备 .....	48	成果检验 .....	97
一、读写器 .....	48	参考程序 .....	97
二、控制器 .....	48	自我考核 .....	109
三、GPIO 简介 .....	49	任务二 125 kHz 卡 ID 应用 .....	109
四、Keil $\mu$ Vision4 软件 .....	50	实训准备 .....	109
五、J-Link 仿真器 .....	55	实训目的 .....	110
实训目的 .....	61	实训内容 .....	110
实训内容 .....	61	实训设备 .....	110
实训设备 .....	61	一、硬件部分 .....	110
一、硬件部分 .....	61	二、软件部分 .....	110
二、软件部分 .....	61	知识链接 .....	110
知识链接 .....	62	实施步骤 .....	111
一、按键点亮 LED 灯 .....	62	成果检验 .....	112
二、按键的电路原理图 .....	62	参考程序 .....	113
三、GPIO 模式配置 .....	62	自我考核 .....	117
四、GPIO 寄存器介绍 .....	63		



项目四 高频 RFID 读写器设计	119	实训内容	135
任务一 13.56 MHz 读写器寻卡	119	实训设备	135
实训准备	119	一、硬件部分	135
实训目的	119	二、软件部分	135
实训内容	120	知识链接	135
实训设备	120	读卡过程及其信号传递	135
一、硬件部分	120	实施步骤	136
二、软件部分	121	成果检验	138
知识链接	121	参考程序	138
13.56 MHz 读写器原理	121	自我考核	142
实施步骤	121	任务四 13.56 MHz 读写器写卡	142
成果检验	123	实训准备	142
参考程序	123	实训目的	143
自我考核	125	实训内容	143
任务二 13.56 MHz 读写器识卡		实训设备	143
授权	126	一、硬件部分	143
实训准备	126	二、软件部分	143
一、高频	126	知识链接	143
二、标准	126	实施步骤	143
实训目的	126	成果检验	145
实训内容	127	参考程序	145
实训设备	127	自我考核	148
一、硬件部分	127	任务五 13.56 MHz 读写器	
二、软件部分	127	密钥设置	149
知识链接	127	实训准备	149
RFID 基本原理——电磁感应/电磁		实训目的	149
传播	127	实训内容	149
实施步骤	128	实训设备	149
成果检验	130	一、硬件部分	149
参考程序	130	二、软件部分	150
自我考核	134	知识链接	150
任务三 13.56 MHz 读写器读卡	134	实施步骤	150
实训准备	134	成果检验	151
实训目的	135	参考程序	152

自我考核 .....	155	实训设备 .....	173
任务六 13.56 MHz 读写器		一、硬件部分 .....	173
防碰撞 .....	155	二、软件部分 .....	173
实训准备 .....	155	知识链接 .....	173
实训目的 .....	155	实施步骤 .....	173
实训内容 .....	156	成果检验 .....	175
实训设备 .....	156	参考程序 .....	175
一、硬件部分 .....	156	自我考核 .....	179
二、软件部分 .....	156	任务三 UHF 读写器写卡 .....	179
知识链接 .....	156	实训准备 .....	179
RFID 系统中的碰撞问题 .....	156	实训目的 .....	179
实施步骤 .....	157	实训内容 .....	180
成果检验 .....	158	实训设备 .....	180
参考程序 .....	159	一、硬件部分 .....	180
自我考核 .....	161	二、软件部分 .....	180
项目五 超高频 RFID 读写器设计 .....	163	知识链接 .....	180
任务一 UHF 读写器寻卡 .....	163	实施步骤 .....	180
实训准备 .....	163	成果检验 .....	182
实训目的 .....	163	参考程序 .....	182
实训内容 .....	164	自我考核 .....	185
实训设备 .....	164	任务四 UHF 读写器密钥设置 .....	186
一、硬件部分 .....	164	实训准备 .....	186
二、软件部分 .....	165	实训目的 .....	186
知识链接 .....	165	实训内容 .....	186
实施步骤 .....	166	实训设备 .....	186
成果检验 .....	168	一、硬件部分 .....	186
参考程序 .....	168	二、软件部分 .....	187
自我考核 .....	172	知识链接 .....	187
任务二 UHF 读写器读卡 .....	172	实施步骤 .....	187
实训准备 .....	172	成果检验 .....	188
实训目的 .....	172	参考程序 .....	189
实训内容 .....	173	自我考核 .....	192

项目六 微波 RFID 读写器设计	193	二、软件部分	204
任务一 2.4 GHz 读写器寻卡	193	知识链接	204
实训准备	193	实施步骤	205
实训目的	193	成果检验	206
实训内容	194	参考程序	207
实训设备	194	自我考核	210
一、硬件部分	194	任务三 2.4 GHz 读写器写卡	211
二、软件部分	195	实训准备	211
知识链接	195	实训目的	211
一、规约	195	实训内容	211
二、命令集表	195	实训设备	211
三、寻卡命令	195	一、硬件部分	211
实施步骤	198	二、软件部分	212
成果检验	199	知识链接	212
参考程序	199	实施步骤	212
自我考核	203	成果检验	214
任务二 2.4 GHz 读写器读卡	204	参考程序	214
实训准备	204	自我考核	218
实训目的	204	参考文献	219
实训内容	204		
实训设备	204		
一、硬件部分	204		

# 项目一 认识射频识别 (RFID)

物联网是通过射频识别 (RFID) 装置、红外感应器、全球定位系统、激光扫描器等信息传感设备,按照约定的协议,把任何物品与互联网相连接,进行信息交换和通信,以实现智能化识别、定位、跟踪、监控和管理的一种网络。物联网已被确定为中国战略性新兴产业之一,物联网发展规划的出台,无疑给正在发展的中国物联网吹来一股强劲的东风,而 RFID 技术作为物联网发展的最关键技术之一,其应用市场必将随着物联网的发展而不断扩大。

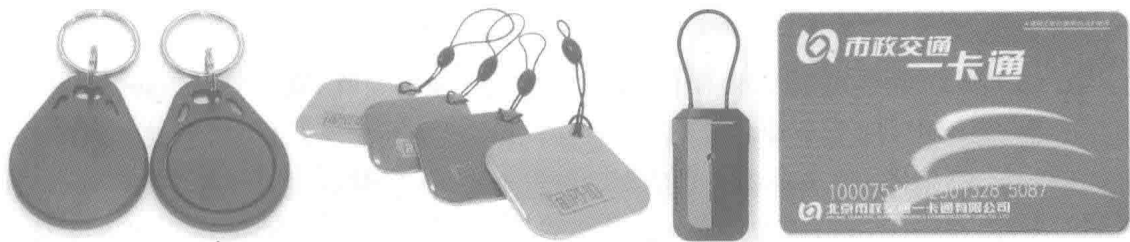
## 任务一 初识 RFID 技术

本任务主要学习 RFID 的基本概念和发展历程、RFID 系统的工作原理和分类、条形码技术等知识。

### 一、RFID 技术概述

RFID 是射频识别 (Radio Frequency Identification) 的英文缩写,是一种自动识别技术,它利用射频信号通过空间耦合 (电磁感应或电磁传播) 实现无接触信息传递,并通过所传递的信息达到物体识别的目的。

RFID 技术无须与被识别物体直接接触,即可完成信息的输入和处理,能快速、实时、准确地采集和处理信息,广泛应用于零售、物流、交通、医疗、制造、防伪等各个领域,并且抗干扰能力强,非常符合物联网的要求。所以说,RFID 是实现物联网的重要前提和关键技术。RFID 的常见应用形式如图 1-1 所示。



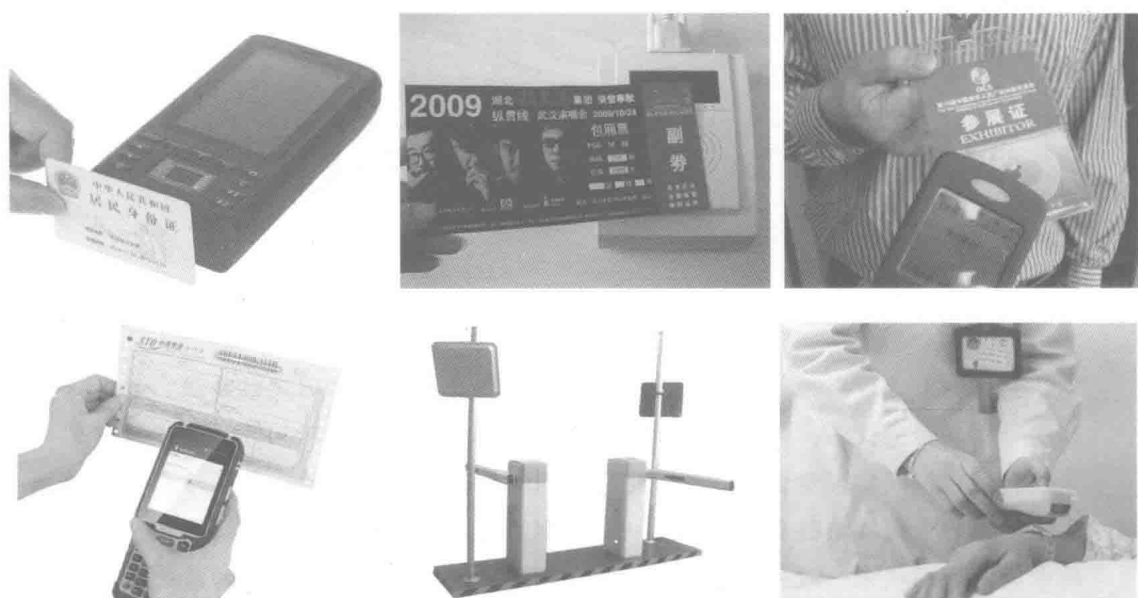


图 1-1 RFID 的常见应用形式

RFID 技术以电子标签来标识某个物体，电子标签包含电子芯片和天线，电子芯片用来存储物体的数据，天线用来收发无线电波。电子标签的天线通过无线电波将物体的数据发射到附近的 RFID 读写器，RFID 读写器就会对接收到的数据进行收集和处理。

RFID 技术较其他技术明显的优点是电子标签和读写器无须接触便可完成识别。它的出现改变了条形码依靠“有形”的一维或二维几何图案来提供信息的方式，而通过芯片来提供存储在其中的数量巨大的“无形”信息。

## 提示

目前 RFID 技术的应用范围已经非常广泛。对于 IT 业而言，RFID 技术被视为下一个“金矿”。各大软硬件厂商都对 RFID 技术及其应用表现出了浓厚的兴趣，相继投入大量研发经费，推出了各自的软件或硬件产品及系统应用解决方案。

在应用领域，以沃尔玛、麦德龙、UPS 快递等为代表的众多企业也已全面使用 RFID 技术对业务系统进行改造，以提高企业的工作效率、管理水平并为客户提供各种增值服务。

## 二、RFID 的发展历程

RFID 技术产生于 20 世纪 40 年代，最初单纯用于军事领域，随着物联网的不断发展，如今已经广泛运用到各行各业。

20 世纪 40 年代，由于雷达技术的改进和应用，产生了 RFID 技术。RFID 直接继承了雷达的概念，并由此发展成为一种生机勃勃的基于 AIDC (Auto Identification and Data

Collection, 自动识别与数据采集)的新技术。1948年,哈里·斯托克曼(Harry Stockman)发表的论文“利用反射功率的通信”,奠定了RFID技术的理论基础。

在20世纪中期,无线电技术的理论与应用研究是科学技术发展的最重要成就之一。早期RFID技术的探索,主要处于实训研究阶段。应用尝试推动了RFID技术理论的高速发展,同时也加速了RFID技术测试,出现了早期的RFID技术应用。

20世纪80年代开始,随着RFID技术及产品进入商业应用,各种规模应用铺天盖地。20世纪90年代,随着RFID应用的扩大,为了保证不同RFID设备和系统的相互兼容,人们开始认识到建立统一RFID技术标准的重要性。

ISO/IEC(国际标准化组织/国际电工委员会)等三个标准体系出台后,RFID产品种类不断丰富,有源电子标签、无源电子标签、半无源电子标签等均得到快速发展,电子标签成本不断降低,规模应用行业不断扩大,RFID产品得到广泛采用,逐渐成为人们生活中的一部分。同时RFID技术的理论也得以丰富和完善,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RFID正在成为现实。

电子标签成本的降低、读写距离的提高、电子标签存储容量的增大、读写器处理时间的缩短等,都是RFID技术改进的重要方面。

### 三、RFID系统的工作原理

RFID系统是一种非接触式的自动识别系统,它通过无线射频信号自动识别目标对象,并获取相关数据。RFID系统主要由电子标签、读写器和计算机系统组成,如图1-2所示。其中,电子标签和读写器的内部都装有天线,电子标签所需要的能量可从读写器的射频场内取得(无源电子标签)或自带电源(有源电子标签)。

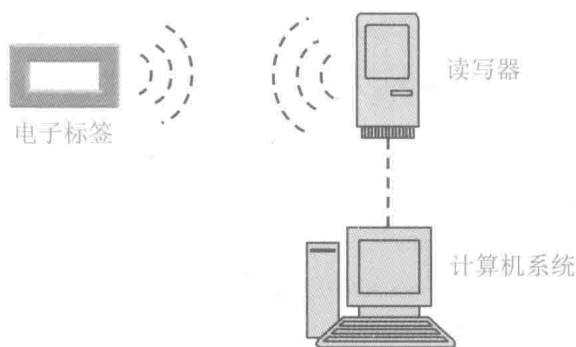


图 1-2 RFID 系统的组成

RFID系统的基本工作方式是:将电子标签安装在被识别物体上(粘贴、嵌入、佩挂或植入等),当被识别物体进入读写器的读写范围(射频场)时,电子标签与读写器之间建立起联系,其过程一般由读写器启动,然后电子标签向读写器发送自身信息(如标签编

号和标签内存储的数据等), 读写器接收信息并解码后, 传送给计算机系统进行处理。

## 提示

简单地说, 就是电子标签进入磁场后, 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(无源电子标签), 或主动发送出某一频率的信号(有源电子标签), 读写器读取信息并解码后, 送至计算机系统(即中央信息系统)进行有关数据处理。

构成 RFID 系统的三大组成部分如下。

- 电子标签: 由芯片及天线组成, 封闭于小型的介质中, 如图 1-3 所示。它附着在物体上标识目标对象。每个电子标签都具有唯一的电子编码, 存储着被识别物体的相关信息。

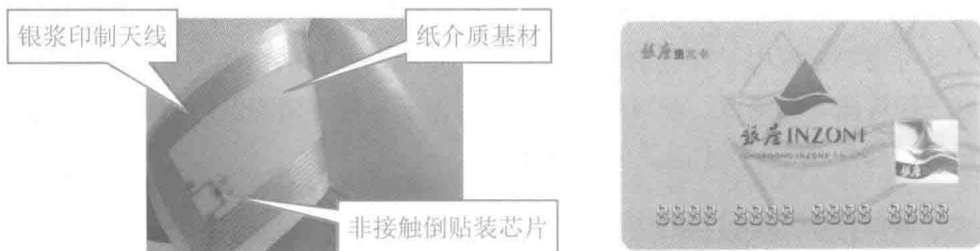


图 1-3 电子标签的构成

- 读写器: 又称读头、阅读器、读出设备等, 是利用射频技术读写电子标签信息的设备, 如图 1-4 所示。RFID 系统工作时, 一般首先由读写器发射一个特定的询问信号, 当电子标签感应到这个信号后, 就会给出应答信号, 应答信号中含有电子标签携带的数据信息。读写器接收这个应答信号, 并对其进行处理, 然后将处理后的应答信号返回给外部计算机系统, 进行相应操作。



图 1-4 各种外观的读写器

- 计算机系统: 复杂的 RFID 系统会有多个读写器, 每个读写器要同时对多个电子标签进行操作, 并要实时处理数据信息, 这就需要计算机网络系统处理问题。数

据交换与管理由计算机网络完成,读写器可以通过标准接口与计算机网络连接,计算机网络完成数据处理、传输和通信的功能。

影响 RFID 系统读写距离的因素主要有读写器产生的磁场、感应的灵敏度(尤其在复杂环境下)、电子标签本身获得能量并发送信息的能力等。

### 知识库

电子标签的特殊之处在于体积小且形状多样(见图 1-5)、抗污损能力强、数据安全性高、信息容量大、寿命长。

根据使用的结构和技术不同,读写器可以是读或读/写装置,也可以是 RFID 系统的信息控制和处理中心。最简单的 RFID 系统只有一个读写器,它一次只对一个电子标签进行操作,如公交车上的票务系统。



图 1-5 各种外观的 RFID 电子标签产品

## 四、RFID 系统的分类

RFID 系统的分类方法有很多,常用的有以下几种。

### (一) 按照频率分类

通常情况下,读写器发送的频率称为系统的工作频率或载波频率。根据工作频率的不同,RFID 系统可以分为低频(LF)、高频(HF)、超高频(UHF)和微波(MW)系统。

- 低频系统:工作频率范围是 30 kHz~300 kHz,典型工作频率为 125 kHz 和 134.2 kHz。此类系统的特点是电子标签内保存的数据量较少,识读距离较短,电子标签外形多样,识读天线方向性不强。低频系统目前已比较成熟,一般都有相应的国际标准,主要用于距离短、数据量低的 RFID 系统中。
- 高频系统:工作频率范围是 3 MHz~30 MHz,典型工作频率为 13.56 MHz。此类系统的特点是可以传送较大的数据,是目前应用比较成熟、使用范围较广的系统。目前高频系统一般都有相应的国际标准,电子标签及读写器成本较高,标签内保存的数据量较大。
- 超高频系统:工作频率范围是 300 MHz 以上,典型工作频率为 433 MHz, 860 MHz~960 MHz。此类系统的特点是识读距离一般大于 10 m,其电子标签可分为有源标



签和无源标签两类，有源标签识读距离可达百米。超高频系统主要用于物流、铁路车辆自动识别、集装箱识别、货箱标识等。

- 微波系统：典型工作频率为 2.45 GHz 和 5.8 GHz。此类系统的工作原理与超高频系统一样，都是通过电磁波传递能量和交换信息，其识读距离大于 10 m，有源标签识读距离可达百米。微波系统主要应用于同时对多个电子标签进行操作、需要较长的读写时间和高读写速度的场合，如公路车辆识别与自动收费等。

### 提示

超高频系统和微波系统的工作频率都大于 300 MHz，且特点类似，故也常将两者合称为微波系统或超高频系统。它们是目前 RFID 系统研发的核心，是物联网的关键技术。

### （二）按照供电方式分类

电子标签按照供电方式可分为有源电子标签、无源电子标签和半无源电子标签 3 种，对应的 RFID 系统称为有源供电系统、无源供电系统和半无源供电系统。

- 有源供电系统：其电子标签内有电池，电池可以为电子标签提供全部能量。有源电子标签电能充足，工作可靠性高，信号传送的距离较远，读写器需要的射频功率较小。但有源电子标签寿命有限，随着标签内电池电力的消耗，数据传输的距离会越来越小，影响系统的正常工作。有源电子标签的缺点是体积较大、成本较高，且不适合在恶劣环境下使用。
- 无源供电系统：其电子标签内没有电池，电子标签利用读写器发出的波束供电，电子标签将接收到的部分射频能量转化成直流电，为标签内电路供电。无源电子标签的作用距离相对较近，但寿命长且对工作环境要求不高，可以满足大部分实际应用系统的需要。此类系统读写器要发射较大的射频功率，识别距离相对较近，电子标签所在物体的运动速度不能太快。
- 半无源供电系统：半无源电子标签内有电池，但电池仅对维持数据的电路及维持芯片工作电压的电路提供支持。电子标签未进入工作状态前，一直处于休眠状态，相当于无源标签，标签内部电池能量消耗很少，因而电池可以维持几年，甚至可以长达 10 年。电子标签进入读写器的工作区域后，受到读写器发出的射频信号的激励，标签进入工作状态，电子标签的能量主要来源于读写器的射频能量，标签内部电池主要用于弥补标签所处位置射频场强的不足。

### （三）按照信息存储方式分类

电子标签存储信息的方式有只读式和读写式两种，具体可分为以下 4 种形式。

- 只读电子标签：最简单的一种电子标签，其内部只有只读存储器，标签内的信息由制造商在出厂前写入，此后无法更改。