

ICS 25. 200

L 99

# 团 体 标 准

T/CIESC XXXX-2020

---

## 工业微波设备加热均匀性标准

Standard for heating uniformity of industrial microwave  
equipment

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国化工学会 发布

# 目录

前 言.....	3
1 范围和目的.....	4
2 规范性引用文件.....	4
3 术语与定义.....	4
4 技术要求.....	6
附录 A （规范性附录）工业微波加热的均匀性试验方法 .....	8
附录 B （规范性附录）无线探测传感器系统 .....	14

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1-2020 给出的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准的附录 A 和附录 B 为规范性附录。

本标准由中国化工学会提出并归口。

本标准起草单位： 四川大学、电子科技大学、中国测试技术研究院、烟台北方微波技术有限公司、深圳麦格米特电气股份有限公司、南京三乐微波技术发展有限公司、京信通信系统（中国）有限公司、四川宏图普新微波科技有限公司、成都沃特塞恩电子技术有限公司

本标准主要起草人： 黄卡玛、张兆镛、季天仁、王佑铭、朱铎丞、刘长军、杨阳、曾葆青、林先其、李兴兴、王爱华、张奇、王荣川、樊奇彦、李俊宏

# 微波工业设备加热均匀性标准

## 1 范围和目的

本标准规定了应用于工业微波加热过程中的均匀性等级、均匀性测试方法。

本标准适用于利用频率在工、科、医（ISM）频段（433MHz、915MHz、2450MHz、5800MHz）电磁能量来加热工业物料的额定输入功率在 1000W 以上的工业微波设备，包括微波单功能的工业设备、与其他形式能量源组合激励以及加热的工业设备。

本标准并不是旨在说明与其使用有关的所有安全问题，使用者有责任采取适当的安全和健康措施，并保证符合国家有关法规的规定。

本标准不适用于家用领域的微波设备。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

本文件没有规范性引用文件。

## 3 术语与定义

以下术语及定义适用于本标准

### 3.1

**工业微波加热装置 Industrial microwave heating device**

利用频率在 ISM 的 433MHz、915MHz、2450MHz 和 5800MHz 频段微波能量来加热工业生产物料的设备及装置。

### 3.2

**传送带 Conveyor belt**

在连续式微波加热装置中，用于移动待加热物料的传送装置。

### 3.3

**额定电压 Rated voltage**

制造商在器具上标称的电压。

### 3.4

### 无线探测传感器 Wireless sensor

测量微波加热腔内被加热物料的温度值并将数据发送给无线接收机的球形传感器。内置数据处理模块、无线通信模块、温度传感器、通信发射天线、整流天线以及一个用于通信的天线，通信频率为非加热频率。探头表面镀金属防电磁干扰。

### 3.5

#### 通信发射天线 Transmitting antenna for communication

连接在无线探测传感器上，用于把无线探测传感器测量到的信号发射出去。

### 3.6

#### 温度传感器 Temperature sensor

能感受温度并转换成可用输出信号的传感器，放置在无线探测传感器内部。

### 3.7

#### 通信接收机 Wireless receiver

微波加热腔体外置的无线接收天线，与无线探测传感器同频段通信，接收并处理无线探测传感器发送的数据，同时与上位机通过串口连接。

### 3.8

#### 通信接收天线 Receiving antenna for communication

连接在无线接收机上，放置于腔体内壁侧面，用于接收无线探测传感器发出的信号。

### 3.9

#### 整流天线 Rectenna

连接在无线探测传感器上，用于将接收到的电磁能量传递给用于给传感器供电的直流整流模块。

### 3.10

#### 变异系数 COV (Coefficient of variation)

由各个无线探测传感器测试到的温度数据计算得到，用于评估工业微波设备的加热均匀性。

### 3.11

#### 上位机 Host computer

用于接收接收机收到的信息、发出操控命令和计算并显示加热设备的 COV 数据等参数。

### 3.12

#### 系统隔离度 Isolation between two systems

衡量无线探测传感器上加热系统与通信系统之间的通道隔离程度，单位为分贝（dB）。

### 3.13

**能量转换模块 Energy conversion module**

把整流天线传送来的微波能量转换成直流电，为无线探测传感器供能的模块。

### 3.14

**采样周期 Sampling period**

相邻两次收集数据之间的时间差值，单位为秒（s）。

### 3.15

**微波驱动充电时间 Microwave-driven recharging time**

无线探测传感器能量转换模块接收到微波能量后，达到能使传感器稳定工作的时间。单位为秒（s）。

### 3.16

**微波加热腔限定温度值 Temperature limit value of microwave heating cavity**

本标准规定测试条件下微波加热腔最大允许加热温度，单位为摄氏度（℃）。

### 3.17

**测试框架 Test framework**

连接并支撑无线探测传感器的支架，材料为聚四氟乙烯，每一根长度约 80mm。

## 4 技术要求

### 4.1 均匀性等级标准

根据工业微波应用的要求与实际效果，将工业微波设备加热均匀性等级定义为 3 级，工业微波加热均匀性等级如表 1 所示。

表 1 工业微波加热均匀性等级

	微波加热 COV 等级	指标 (COV 值)
均匀性标准	1 级	$COV \leq 0.40$
	2 级	$0.40 < COV \leq 0.55$
	3 级	$0.55 < COV \leq 0.7$

\*本均匀性等级要求的设定依据参考附录 A.

## 5. 实验测试方法

### 5.1 工业微波加热均匀性

按附录 A 的规定进行测定。

### 5.2 测定工业微波加热均匀性的无线探测传感器

按照附录 B 的要求进行设计装配。

附录 A  
(规范性附录)  
工业微波加热的均匀性试验方法

A.1 试验条件

A.1.1 试验环境

试验在无强制对流空气的环境且环境温度为  $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$  的场所进行。

A.1.2 试验电源

市电  $220\text{V} \pm 1\%$  电压，谐波失真不能超过 5%；

工业用电  $380\text{V} \pm 1\%$  电压，谐波失真不能超过 5%；

A.1.3 试验仪器

无线探测传感器：直径为 1cm 的金属球体，通信发射天线为单极天线；金属球内部共形贴片传感器，天线的通信频率为非加热系统的工作频率，详细参数见附录 B。

无线接收机：和无线探测传感器通信使用同一频段；

上位机：通过串口连接无线接收机，计算和显示 *COV* 值；

微波加热腔：限定测试温度不超过  $260^{\circ}\text{C}$ 。

A.1.4 试验物料

本测试只针对粉末状或液体状物料样品，不包含带有搅拌或加热物料为矿石等大块物料无法放置探头的情况，且测试的方形物料各边长均需大于 30 厘米，圆柱形物料直径和高度均须大于 30 厘米。

A.2 试验方法

A.2.1 试验器具的放置

A.2.1.1 固定式微波加热

用于固定式微波加热均匀性测试的系统示意图如 A-1 所示。根据实际工况将待加热物料置于微波加热腔指定位置，无线接收机在微波加热腔外，接收天线通过同轴线与无线接收机连接。上位机与无线接收机以有线的方式连接。



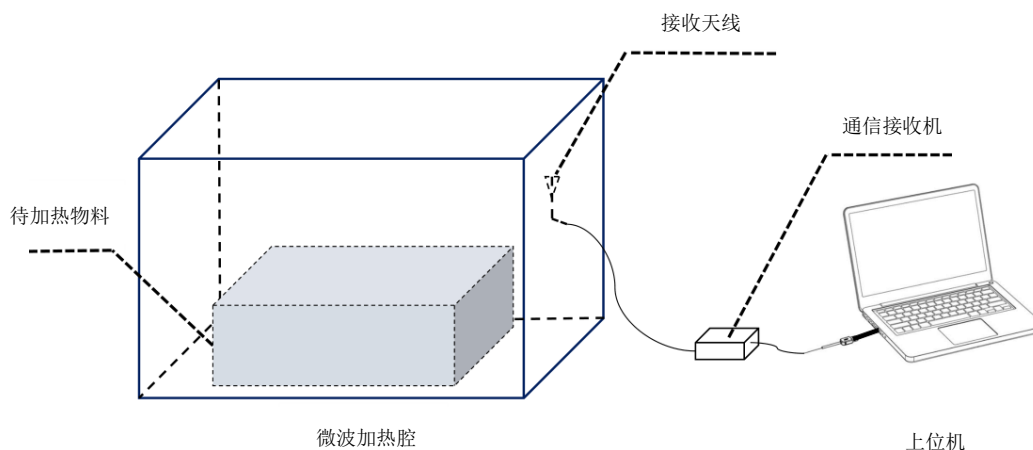


图 A-1 固定式微波加热均匀性测试系统示意图

### A. 2. 1. 2 连续式微波加热

用于具有传送带的连续式微波加热设备均匀性测试的系统示意如图 A-2 所示。无线接收机和上位机等试验器具放置同固定式微波加热所述，待加热物料依据实际工况置于传送带上，待加热物料宽度不超过传送带宽度。

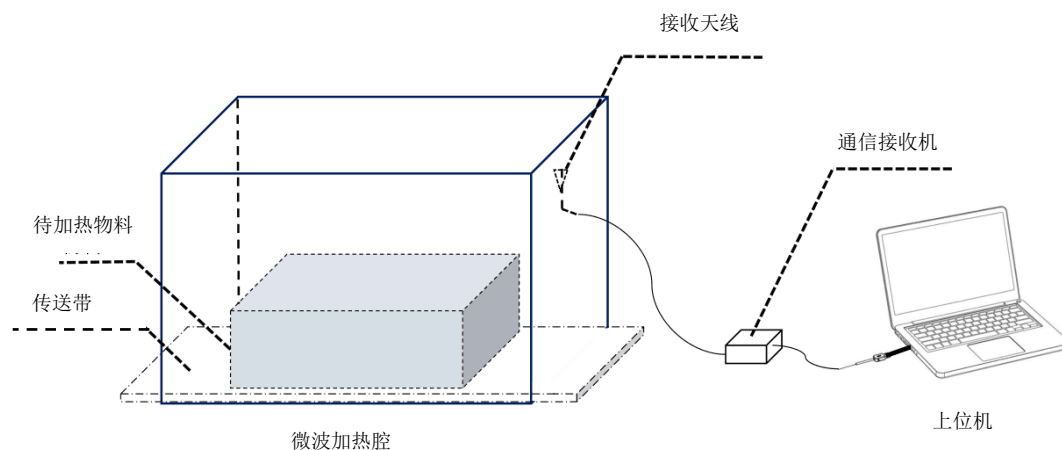


图 A-2 运动式微波加热均匀性测试系统示意图

注 1：图 3、图 4 中待加热物料示意图中未示出传感器布置方式，传感器布置结构图详见 A. 2. 2；

注 2：带加热物料可以是长方体式 and 圆柱体式。

### A. 2. 2 无线探测传感器布置

测量时，采用聚四氟乙烯棒作为测试时传感器搭建的测试框架，测试框架加工成直径为 2mm，长度为 80mm，且两端预留直径 1mm、长 2mm 的凹槽用以固定无线探测传感器。

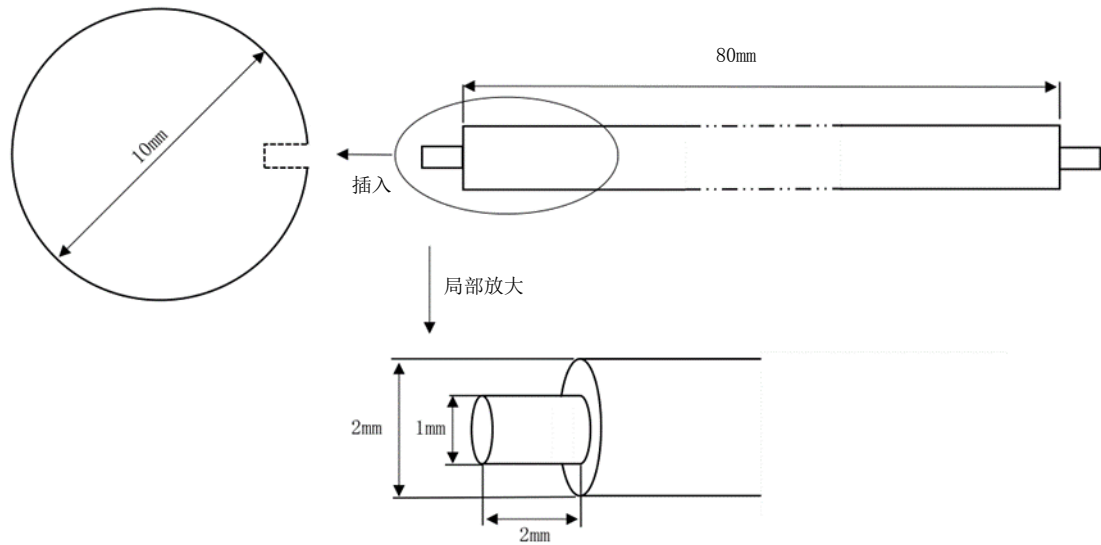


图 A-3 无线探测传感器与骨架连接示意图

#### A. 2. 2. 1 固定式微波加热设备的安装

对于方形物料

对于固定加热方形物料的情况，传感器放置呈立方体放置，两传感器之间距离为 10cm，传感器以连接骨架的方式进行连接，传感器以中心对称的方式填充于物料内。最终排列方式如图 A-4 所示。

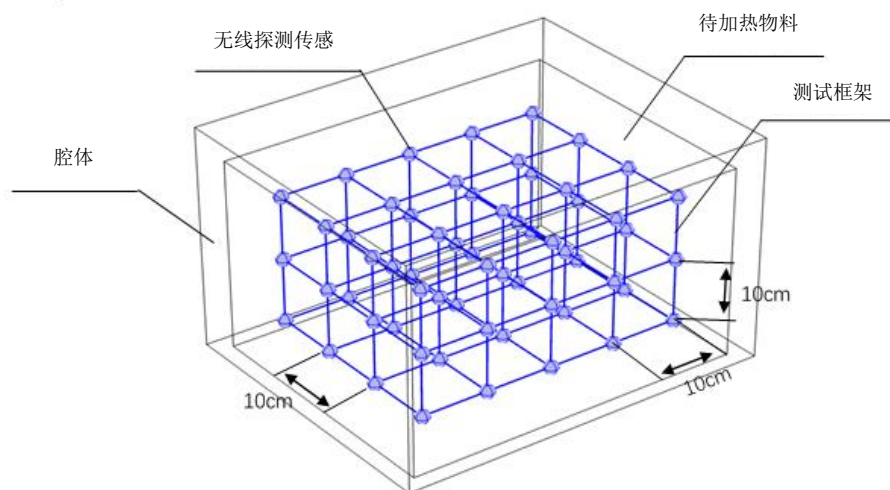


图 A-4 长方体式物料传感器分布图

对于圆柱式物料

对于固定加热圆柱形物料的情况，传感器放置以物料中心轴线为基线，呈正六边形柱放置，两传感器中心距离 10 厘米，传感器以连接骨架的方式进行连接。最终排列方式如图 A-5 所示。

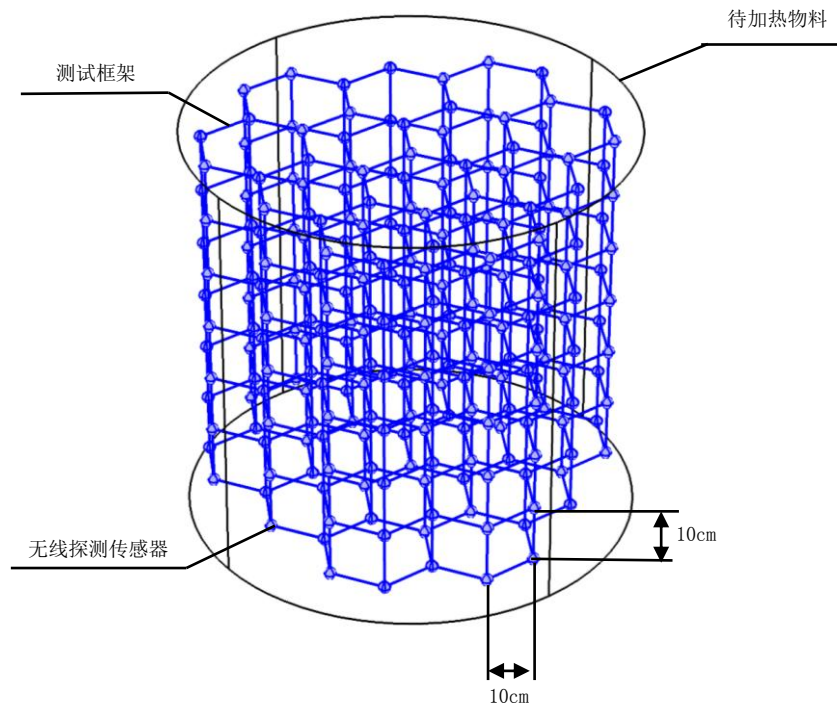


图 A-5 圆柱式物料传感器分布图

#### A. 2. 2. 2 连续式微加热设备

对于连续加热物料的情况，传感器放置呈立方体放置，两传感器中心距离 10 厘米，传感器以中心对称的方式填充于物料内，宽度与高度与物料一致，长度与宽边一致。如图 A-6 所示。

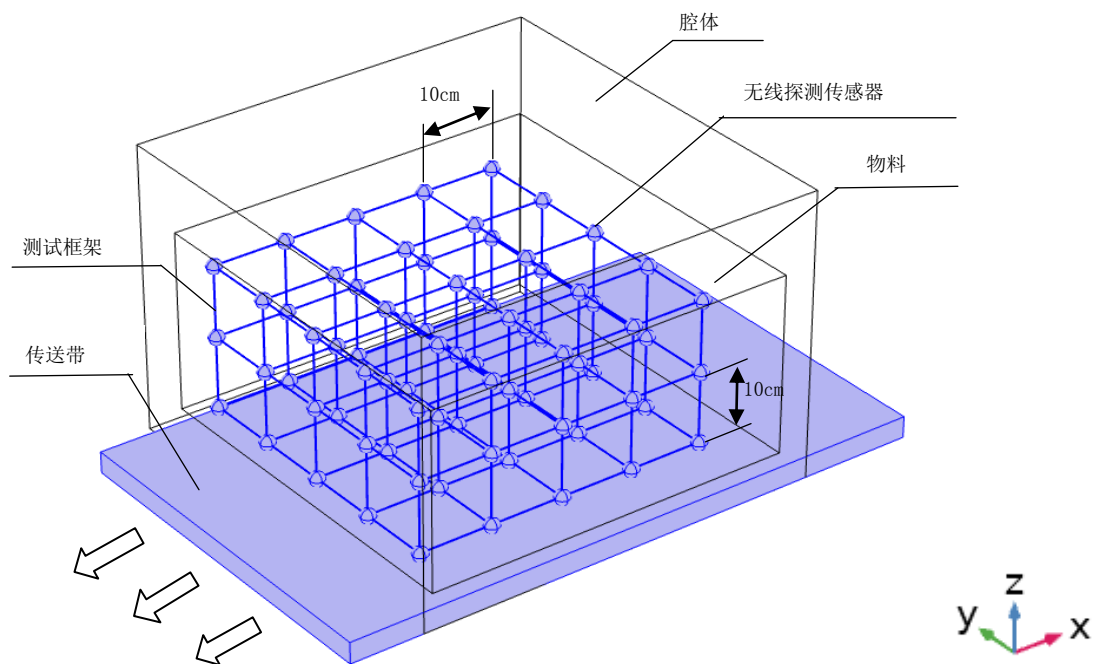


图 A-6 运动式加热物料传感器分布图

### A. 2. 3 测量过程

#### A. 2. 3. 1 固定式微波加热设备

测量前完成待加热物料放置以及测试器具的布置，该步骤需保证微波加热腔未启动。

设置测量时间间隔，测量间隔设置方式为微波源开启后一分钟开始测量，将1分钟至结束的时间均分9等份，在每个时间点完成一次测量，合计测量10次温度分布结果。

测量开始时，打开微波源，待输出功率1分钟，等待无线探测传感器微波驱动充电。无线探测传感器系统启动后自动初始化，向无线接收机发出组网请求，加入组网后向无线接收机发送位置坐标并建立通信链路，同时初始化完成后开始测量物料温度。若加入组网的无线探测传感器数量小于连接的传感器数量，无线接收机向上位机报告传感器缺省信息。

组网完成后，上位机通过无线接收机发出开始测量指令，无线探测传感器接收指令后，向无线接收机发送温度数据。

单次采样完成后，上位机保存、计算和显示COV数值并执行采样间隔时间，采样间隔后开始下一次测量。

完成10次数据探测后，关闭微波电源。

#### A. 2. 3. 2 连续式微波加热设备

测量前完成测试器具的布置，将待加热物料放置于传送带上，该步骤保证微波加热腔未启动且待加热物料未送入加热腔。

依据工况设定微波加热时间，同时设置测量时间间隔，测量间隔设置方式为微波源开启后一分钟开始测量，将1分钟至测试框架完全离开微波加热腔的时间均分9等份，在每个时间点完成一次测量，合计测量10次温度分布结果。

先将传感器框架完全放置于加热腔中，测量开始时，打开微波源，待输出功率1分钟，给无线探测传感器微波驱动充电。传送带开始运行，同时无线探测传感器系统启动后自动初始化，向无线接收机发出组网请求，加入组网后向无线接收机发送位置坐标并建立通信链路，同时初始化完成后开始测量物料温度。

组网完成后，上位机通过无线接收机发出开始测量指令，无线探测传感器接收指令后，向无线接收机发送温度数据。

单次采样完成后，上位机保存、计算和显示COV数值并执行采样间隔时间，采样间隔后开始下一次测量。

完成10次数据探测后，关闭微波电源。

### A.3 均匀性计算

测量完成后,上位机读取保存的测量数据并抓取单次测量数据和同一编号探头多次测量结果计算出时间和空间上的 COV 值。

$$\bar{T} = \sum_{j=1}^n T_{i,j} / n \quad (1)$$

$$COV_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (T_{i,j} - \bar{T})^2}{n}} / \bar{T} \quad (2)$$

$$\overline{COV} = \sum_{i=1}^{10} COV_i / 10 \quad (3)$$

式中:

$COV_i$  —— 单次采样后温度 COV 值;

$\overline{COV}$  —— 10 次采样后时间上的温度 COV 值;

$T_{i,j}$  —— 第  $i$  次采样过程中第  $j$  个无线探测传感器探测的温度值,单位为摄氏度( $^{\circ}\text{C}$ );

$\bar{T}$  —— 第  $i$  次采样过程  $n$  个无线探测传感器探测温度的平均值,单位为摄氏度( $^{\circ}\text{C}$ );

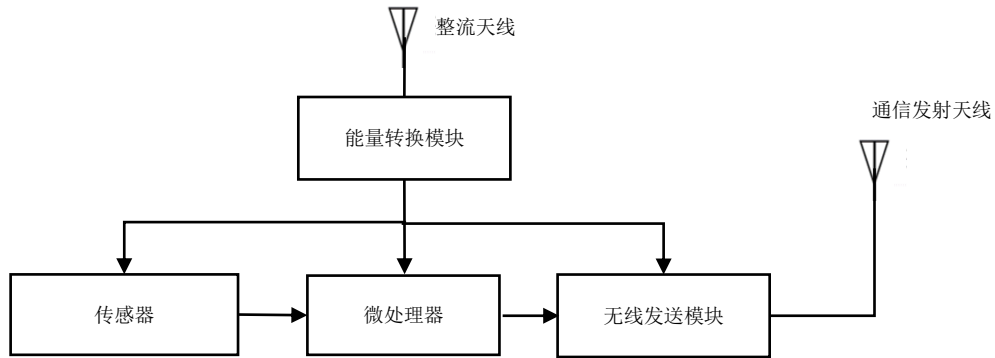
10 —— 温度数据采样次数,单位为次。

$n$  —— 布置的无线探测传感器数量,单位为个。

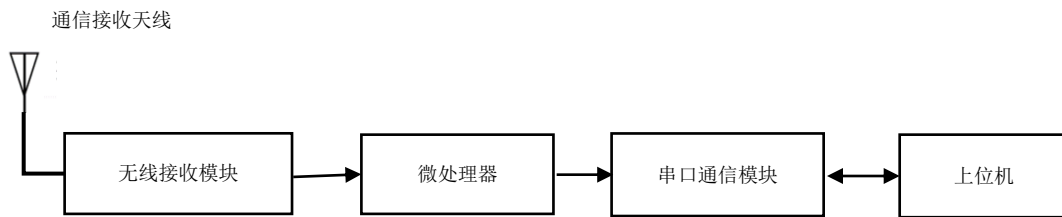
附录 B  
(规范性附录)  
无线探测传感器系统

B.1 系统组成

无线探测传感器系统的主要组成部分为无线探测传感器、无线接收机以及上位机，见图 B-1 所示。



(a) 无线探测传感器模块示意图



(b) 通信接收机模块示意图

图 B-1 无线探测传感器系统

B.2 无线探测传感器

**无线探测传感器：**该传感器是以工业设备的微波功率作为动力，对所在区域的温度进行实时测量，系统集成温度传感器、能量转换模块、微控制单元和通信的无线发射模块等单元。

该无线探测传感器为直径 1cm 的球体，球内集成数据采集模块（3 个温度传感器紧贴于金属球内壁）、微控制器模块、无线发送模块、能量转换模块为一体的传感器。放置在待测腔体内部，能量转换模块可以在 1 分钟内为无线探测传感器供电，使其正常工作。

无线探测传感器总体参数：

球体直径：10mm；

工作温度：-45℃~85℃；  
整流频率：与加热频率一致；  
通讯频率：非加热频率；  
防护等级：IP67；  
测温传感器：铂电阻；  
球体外壳：钝化 316 不锈钢。

### B.3 温度传感器

温度传感器：

在无线探测传感器组件内放置了三个温度传感器，连接金属球内壁，通过 3 组温度求平均的方式获得物料的温度。

温度传感器具体参数：

供电电压：3V  
测量动态范围：-10℃~300℃；  
精度：±0.1℃；  
温度响应时间：500ms

### B.4 微波整流

#### B.4.1 整流天线

采用的是 1 个单极微波天线，工作在与加热频率一致的频率

规格参数：

工作频段的中心频点：与加热频率一致  
带宽：±50MHz  
输入阻抗：50Ω  
长度：伸出球形无线探测传感器外 5mm

#### B.4.2 能量转化模块

对接收到的微波能量进行整流，输出直流信号，为传感器内部模块供电。

工作频率：与加热频率一致

输出形式：直流

输出电压：5.5V

输入阻抗：50Ω

输入信号动态范围：55dBm

输出功率：30dBm

## B.5 通信

在无线探测传感器外置 1 个用于与上位机通信的通信发射天线，天线为单极天线

### B.5.1 通信发射天线

通信发射天线将无线探测传感器获取的温度信息发射出去。

规格参数：

工作频率：非加热频率

带宽：±50MHz

输入阻抗：50Ω

电压驻波比 VSWR<1.5

工作频率与加热频率隔离度：40dB

### B.5.2 通信接收机

通信接收机：用于接收无线探测传感器信息的通信设备。

该通信接收机集成了通信接收天线、电源模块、微控制单元。将无线探测传感器发射的数据接收，并通过串口通信传给上位机。

放置在腔体内部，上壁的正中央，接收无线探测传感器发出的信号。

全向天线：单极天线

工作频率：与通信发射天线的频率一致

输入阻抗：50Ω

## B.6 上位机

上位机即一台 PC，对无线接收机传输过来的数据通过 Visual Studio 软件编写 COV 计算和显示界面。