

图解电路设计与制作系列

传感器实用电路

设计与制作

■ [日] 松井邦彦 著

■ 梁瑞林 译

 科学出版社
www.sciencep.com

图解电路设计与制作系列

传感器实用电路设计与制作

〔日〕松井邦彦 著

梁瑞林 译



科学出版社

北京

图字: 01-2005-1155 号

内 容 简 介

本书是“图解电路设计与制作系列”之一。全书每章首先简要地介绍传感器的基础知识,接下来介绍一些最基本的电路,最后介绍实用电路的设计与制作。内容涉及热电偶、铂电阻、光敏传感器、霍尔效应传感器、磁敏电阻器、压力传感器、交流电流传感器、超声波传感器的使用方法。

本书实用性强,可供从事传感器和计算机应用、自动化技术和计量测试等涉及传感器领域的科技人员参考,也可作为大专院校相关专业的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

传感器实用电路设计与制作/(日)松井邦彦著;梁瑞林译。—北京:科学出版社,2005

(图解电路设计与制作系列)

ISBN 7-03-014688-3

I. 传… II. ①松…②梁… III. 传感器-电路设计-图解 IV. TP212-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 001164 号

责任编辑:杨 凯 崔炳哲 / 责任制作:魏 谨
责任印制:刘士平 / 封面设计:朱 平

科 学 出 版 社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京东方科龙图文有限公司 制作

<http://www.okbook.com.cn>

源海印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005 年 4 月第 一 版 开本: B5(720×1000)
2005 年 4 月第一次印刷 印张: 16 1/2
印数: 1—4 000 字数: 313 700

定 价: 30.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(环伟))

译者序

本书原文第一版发行于1990年,其后每年修订增补改版一次,内容与与时俱进,长期畅销不衰。这部中译本依据的原书是其2003年的第14版。

人们为了描述计算机的聪明,习惯上把它称为电脑。众所周知,没有感官的“聪明人”只是一个瞎子、聋子、没有知觉的人。计算机如果不与传感器结合,充其量也只能算是一个又瞎、又聋、没有知觉的“聪明人”;即使具有友好人机对话界面的计算机,也需要有人为其“导盲”才能开启其聪明的思维。在计算机迅速普及的今天,如果能够为计算机安装上眼睛、耳朵等感觉器官,显然将会使计算机发挥更大的作用。另外,在自动检测、自动控制、自动报警系统中也越来越多地使用传感器。这就解释了为什么在全世界范围内兴起计算机热的同时也掀起了传感器热的原因。本书内容虽然只局限于传感器的自动检测、自动报警功能,然而在这些功能方面的知识普及之后,将其与计算机结合的日子应当说为时不远了。

目前,关于传感器方面的书籍已经很多。在许多这类书籍中,有的主要从物性的角度介绍传感器的工作原理,以及制作这些传感器(或者称为传感头、探头、敏感元件)所使用的材料和制作工艺;有的主要讲解电子电路的理论。以上这两方面的内容往往相互之间不够衔接。虽然这些内容对于希望从不同角度深入研究传感器的人来说无疑是必要的,然而对于许多工程技术人员,尤其是对于那些初涉传感器技术领域的人来说,在结合实际使用时,却不得不从浩如烟海的大量知识信息中筛选出部分适合自己所需要的、即学即用的知识。为了解决这个问题,原来曾经从事传感器研究、开发、制作的原书作者在改行从事传感器实用电路方面的工作之后,结合自己曾经亲历上述两方面知识领域的体会,写成了这部广受欢迎的《传感器实用电路设计与制作》一书。

本书的着眼点在于传感器的实际应用。也就是说,它的重

点不是基本知识的传授,而是基本技能的培养。纵观全书,可谓是一部很好的能够用于基本技能训练方面的教科书与参考书。书中详细介绍了热电偶、铂电阻、光敏传感器、霍尔效应传感器、磁敏电阻器、压力传感器、交流电流传感器、超声波传感器等的使用方法。在最后的附录中还介绍了3½位A-D转换器的使用方法。本书的美中不足之处在于对传感器的介绍不够全面,例如缺少常见的热敏电阻器的使用方法和气敏(包括湿敏)传感器的使用方法。不过,所幸的是前面这些传感器电路中所使用的线性化方法、零点调整方法、不平衡电压调整方法、温度漂移解决方法等都具有通用性,可以沿用到没有介绍到的传感器电路中。

有一点需要特别强调的是,书中所采用的交流电源电压都是100V。这是因为日本的市电在关东地区为50Hz、100V,在关西地区为60Hz、100V。因此设计制作时,应当使其适应于中国大陆的市电国情,即对应于50Hz、220V。

该书的翻译出版如果能够对我国传感器技术的发展起到某些推动作用,译者将深感荣幸。另外,对于本书翻译中的不正确或者不确切之处,敬请读者不吝赐教与斧正。

在本书翻译过程中,西安电子科技大学教工李小琳,以及研究生高超、常乐、王党朝、韩兆等人参与了文字的校对工作。尤其是在本书的出版过程中,始终得到了科学出版社相关人士的指导与帮助。值此《传感器实用电路设计与制作》中译本出版之际,对关心、指导、帮助过本书翻译和译稿整理工作的所有人士表示衷心的感谢。

译者

前 言

我最初接触到传感器是 20 多年前的事。当时我在一个研究所里承担传感器的开发任务。开发的第一个项目是热敏电阻器(一种温度传感器),并以此为契机,逐渐接触到一些其他各种各样的传感器(压力传感器与辐射传感器等),并且尝试着制作这些传感器。不过,当时并没有承担这些传感器实用电路的设计与制作任务,研究开发的重点都是些与其物性和材料有关的内容。

从开发霍尔效应传感器(一种磁敏传感器)时起,本人逐步承担了开发实用电路的任务,并真实地感受到“制作传感器原来是这么有趣。”这是我发自肺腑的一种看法。

有了这种想法,我突然冒出了一个念头:为什么不出版一本传感器电路设计与制作方面的书呢。但是,出书谈何容易,首先遇到的问题就是“怎么写?”,接下来就是“写什么?”。当然,不管怎么写,也不管写什么,所写的东西必须是开卷有益。出于这种考虑,我决定写一本介绍大量实用电路的书,使读者一边学习一边就可以自己组装具有实用价值的传感器。

在本书中,每一章都首先简要地介绍传感器的基础知识,接下来介绍一些最基本的电路,最后介绍实用电路的设计与制作。由于一本书中不可能包罗万象,所以作者只能根据自己的武断、主观和偏见,选择一些自认为常见、通用而又易于制作的传感器加以介绍。

本书第 1 章是传感器概述。从第 2 章到第 9 章分门别类地介绍了一些实际的传感器,它们分别是热电偶、铂电阻、光敏传感器、霍尔效应传感器、磁敏电阻器、压力传感器、交流电流传感器、超声波传感器。而且在每一章中都尽可能地附有让读者马上就可以动手设计制作的传感器元器件表。

不少人为这部书的出版付出了心血,我本人也以这部书为

契机结识了不少朋友。对此我感到由衷的感激与欣慰。

最后,在本书出版发行之际,谨对 CQ 出版株式会社出版部的各位人士表示诚挚的感谢。

著 者

目 录

| | |
|------------------------------|----|
| 第 1 章 传感器电路基础知识 | 1 |
| 1.1 传感器电路设计须知 | 1 |
| 1.1.1 传感器 | 1 |
| 1.1.2 传感器最好具有较小的参数分散性 | 4 |
| 1.1.3 怎样处理参数的温度漂移现象 | 7 |
| 1.1.4 为了能够用电池供电必须降低消耗 电流 | 7 |
| 1.1.5 传感器的互换性越好调试起来就越 方便 | 8 |
| 1.2 传感器的驱动电路与电路元器件 | 9 |
| 1.2.1 驱动传感器所必需的电路 | 9 |
| 1.2.2 传感器的特征电路 | 10 |
| 1.2.3 制作电路所必备的元器件 | 10 |
| 第 2 章 热电偶的使用方法 | 13 |
| 2.1 热电偶的原理与测量方法 | 14 |
| 2.1.1 热电偶产生与温差成比例的热电动 势 | 14 |
| 2.1.2 热电偶的最高使用温度因芯线粗细 而异 | 17 |
| 2.1.3 热电偶如果直接以裸线使用其寿命会 缩短 | 18 |
| 2.1.4 补偿线的使用方法 | 20 |
| 2.2 热电偶的基本电路 | 23 |
| 2.2.1 热电偶的放大电路 | 23 |
| 2.2.2 线性化电路 | 25 |
| 2.2.3 用运算放大器集成电路制作平方律 电路 | 25 |

| | | |
|--------------|--|-----------|
| 2.2.4 | 基准接点补偿电路 | 28 |
| 2.2.5 | 用 2 端式温度传感器集成电路测量 基准接点的温度 | 29 |
| 2.3 | 用热电偶制作测温电路 | 32 |
| 2.3.1 | 用 J 型热电偶制作温度计(两个量程:0~ 300℃和 300~600℃) | 32 |
| 2.3.2 | 用 K 型热电偶制作温度计(两个量程、总测 温范围为 0~1000℃) | 37 |
| 专栏 2.1 | 热电偶的精度 | 41 |
| 专栏 2.2 | 求解热电偶近似表达式的程序 | 43 |
| 2.4 | 使用温度传感器的 RMS-DC 转换器 | 48 |
| 2.4.1 | 交流电压的平均值与有效值 | 48 |
| 2.4.2 | 热转换型 RMS-DC 转换器集成电路 LT1088 | 49 |
| 2.4.3 | RMS-DC 转换器的基本电路 | 51 |
| 2.4.4 | 实际的特性 | 53 |
| 第 3 章 | 铂电阻的使用方法 | 57 |
| 3.1 | 铂电阻 | 57 |
| 3.1.1 | 利用铂电阻的电阻值随温度变化的规律 测量温度 | 57 |
| 3.1.2 | JIS(日本工业标准)与 DIN(德国工业标准) 中的铂电阻 | 58 |
| 3.1.3 | 温度系数的分散性会极大地影响测量 精度 | 60 |
| 3.2 | 铂电阻的基本电路 | 60 |
| 3.2.1 | 恒电流工作 | 60 |
| 3.2.2 | 恒电压工作 | 66 |
| 3.3 | 用铂电阻制作温度测量电路 | 68 |
| 3.3.1 | 制作测温范围为 0~200℃的 DMM 用温度 计探头 | 68 |
| 3.3.2 | 制作测温范围为 0~500℃的 DMM 用温度 计探头 | 72 |
| 3.3.3 | 用电流为 4~20 mA 的环形电路测量 0~ 600℃的温度 | 73 |

- 3.3.4 制作测温范围为 $0\sim 600^{\circ}\text{C}$ 的带有线性化电路的环形电流电路 78

专栏 3.1 在需要延长传感器的长度时将其制作成 3 线式连线 82

专栏 3.2 铂电阻的散热常数与测量误差 84

第 4 章 光敏传感器的使用方法 86

- 4.1 光敏传感器的种类与特征 86
- 4.1.1 光敏二极管的短路电流与开路电压 86
- 4.1.2 光敏二极管的暗电流 90
- 4.1.3 光敏二极管的分光灵敏度 90
- 4.1.4 光敏二极管的响应速度 92
- 4.1.5 光敏三极管的特征 93
- 4.1.6 光敏三极管的分光灵敏度与响应速度 94
- 4.2 光敏传感器的基本电路 95
- 4.2.1 光敏二极管的基础是照度测量 95
- 4.2.2 用 BS500B 作光敏二极管 95
- 4.2.3 简单的照度计电路 96
- 4.3 用光敏传感器制作便携式照度计 98
- 4.3.1 用 TFA1001W 作光敏传感器 98
- 4.3.2 为了拓宽动态范围而采用对数输出型 100
- 专栏 4.1** 辐射量与测光量 102
- 专栏 4.2** 观察红外遥控器的波形 104
- 专栏 4.3** 热释电红外传感器 107
- 4.4 用热电堆进行非接触式温度测量 110
- 4.4.1 非接触式温度计电路的设计 110
- 4.4.2 4 次方根运算电路的制作方法 115

第 5 章 霍尔效应传感器的使用方法 119

- 5.1 霍尔效应传感器的工作原理与特征 119
- 5.1.1 霍尔效应传感器是一个四端器件 119
- 5.1.2 霍尔效应传感器的输出电压与磁场强度成正比 120
- 5.1.3 霍尔效应传感器的线性度 121
- 5.1.4 GaAs 霍尔效应传感器与 InSb 霍尔效应传感

| | | |
|---------------|--------------------------------|-----|
| | 器的特征 | 122 |
| 5.2 | 霍尔效应传感器的基本电路 | 124 |
| 5.2.1 | 简单的恒电压工作电路 | 125 |
| 5.2.2 | 适于高精度测量的恒电流工作电路 | 126 |
| 5.2.3 | 作为霍尔效应传感器放大电路基础的 差动放大器 | 127 |
| 5.2.4 | 用来测量变压器的漏磁 | 129 |
| 5.3 | 霍尔效应传感器的使用 | 130 |
| 5.3.1 | 制作通用型高斯计 | 130 |
| 5.3.2 | 磁极检测器的制作 | 133 |
| 专栏 5.1 | 使用 InSb 霍尔效应传感器时应当注意 其自加热效应 | 136 |
| 5.4 | 关于霍尔效应传感器的不平衡电压 | 137 |
| 5.4.1 | 最好选择不平衡电压小的霍尔效应 传感器 | 137 |
| 5.4.2 | 不平衡电压不稳定时应当考虑是不是 产生了热电动势 | 137 |
| 5.4.3 | 使用交流电流作为控制电流可消除热 电动势 | 139 |
| 5.4.4 | 关于霍尔效应传感器的噪声 | 141 |
| 第 6 章 | 磁敏电阻器的使用方法 | 143 |
| 6.1 | 磁敏电阻器的工作原理与特征 | 143 |
| 6.1.1 | 半导体磁敏电阻器的特征 | 144 |
| 6.1.2 | 铁磁体磁敏电阻器的特征 | 146 |
| 6.2 | 磁敏电阻器的基本电路与输出波形 | 148 |
| 6.2.1 | 半导体磁敏电阻器的基本电路与输出 波形 | 148 |
| 6.2.2 | 铁磁体磁敏电阻器的基本电路与输出 波形 | 152 |
| 6.3 | 磁敏电阻器的使用 | 157 |
| 6.3.1 | 非接触式交流电流检测器的制作 | 157 |
| 专栏 6.1 | 磁学单位 | 160 |

第 7 章 压力传感器的使用方法 164

- 7.1 压力传感器的特征与基本电路 164
 - 7.1.1 半导体应变片的灵敏度高 164
 - 7.1.2 用半导体应变片制作半导体压力传感器 166
 - 7.1.3 压力传感器的工作模式 167
 - 7.1.4 零点的温度特性 168
 - 7.1.5 表压压力传感器与绝对压力传感器 169
- 7.2 半导体压力传感器的基本电路 170
 - 7.2.1 恒电流工作的压力传感器的基本电路 170
 - 7.2.2 恒电压工作的压力传感器的基本电路 175
- 7.3 半导体压力传感器的应用 177
 - 7.3.1 数字显示流体压力计的制作 177
 - 7.3.2 模拟显示流体压力计的制作 180
 - 7.3.3 汽车用压力检测器的制作 181
 - 7.3.4 可以显示高度的气压计的制作 184
 - 7.3.5 高度计的制作 187
- 专栏 7.1** 与压力传感器相关的术语 189

第 8 章 交流电流传感器的使用方法 191

- 8.1 非接触式电流传感器的原理与测量方法 191
 - 8.1.1 利用电阻器上的电压降 191
 - 8.1.2 变流器型电流传感器 192
- 8.2 交流电流传感器的基本电路 193
 - 8.2.1 用电阻器将交流电流转换为交流电压 194
 - 8.2.2 交流电流传感器的输出波形 195
 - 8.2.3 负载电阻值的选取方法 195
 - 8.2.4 用运算放大器构成的电流-电压转换电路 197
- 8.3 交流电流传感器的使用 198
 - 8.3.1 制作烙铁(包括电熨斗)使用的报警电路(烙铁警铃) 198
 - 8.3.2 制作电脑电源忘记切断的报警电路 200
 - 8.3.3 制作音响电路用的峰值功率计 204
 - 8.3.4 桌面插头式功率计的制作 214

| | | |
|--------|-----------------|-----|
| 专栏 8.1 | 提高交流电流传感器灵敏度的方法 | 217 |
| 专栏 8.2 | 交流电流传感器的输出端不可开路 | 217 |
| 专栏 8.3 | 真正显示有效值的交流电流探头 | 218 |

| | | | |
|--------------|---------------------------|-------|-----|
| 第 9 章 | 超声波传感器的使用方法 | | 221 |
| 9.1 | 超声波传感器的工作原理与种类 | | 222 |
| 9.1.1 | 超声波传感器的等效电路 | | 222 |
| 9.1.2 | 超声波传感器的种类 | | 225 |
| 9.2 | 超声波传感器的基本电路 | | 230 |
| 9.2.1 | 超声波传感器的驱动电路 | | 230 |
| 9.2.2 | 超声波传感器的接收电路 | | 233 |
| 9.3 | 超声波传感器的使用 | | 236 |
| 附录 3 | 1/2 位 A-D 转换器的使用方法 | | 242 |

第 1 章

传感器电路基础知识

1.1 传感器电路设计须知

1.1.1 传感器

对于突然接触到传感器这个新概念的人们来说，很容易提出这么一个问题，那就是什么叫做传感器。要回答这个问题，就先从我们身边的物体讲起吧。

事实上，现在我们的身边大量地使用着各种各样的传感器。例如，电视机的遥控器中就使用着光学传感器(见图 1.1)。这种遥控器所利用的是一种我们肉眼看不见的红外光，又称为红外线。另一个例子就是唱卡拉 OK 时使用的麦克风。这种麦克风是

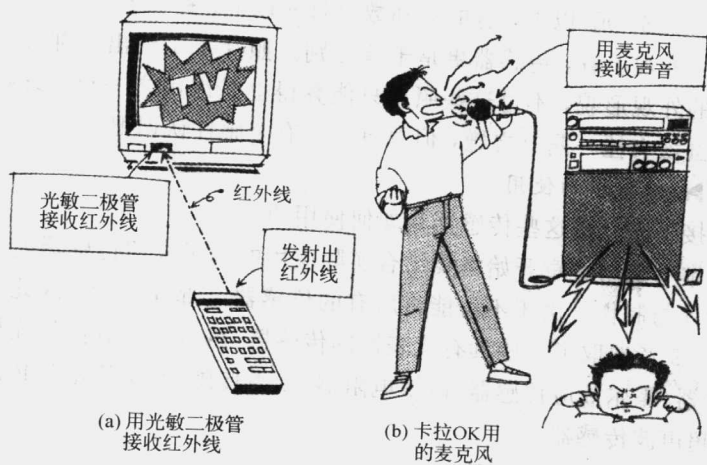


图 1.1 日常生活中使用的部分传感器

一种将声音信号转换为电信号的传感器。

总之,传感器就是将光、声音、温度等物理量,转换成为能够用电子电路处理的电信号即电压与电流的器件。严格地讲,在温度作用下能够变色的东西以及石蕊试纸之类的物体也应当划归传感器的范畴;然而本书中所讨论的仅限于将物理量转变为电学量的物体(见图 1.2)。

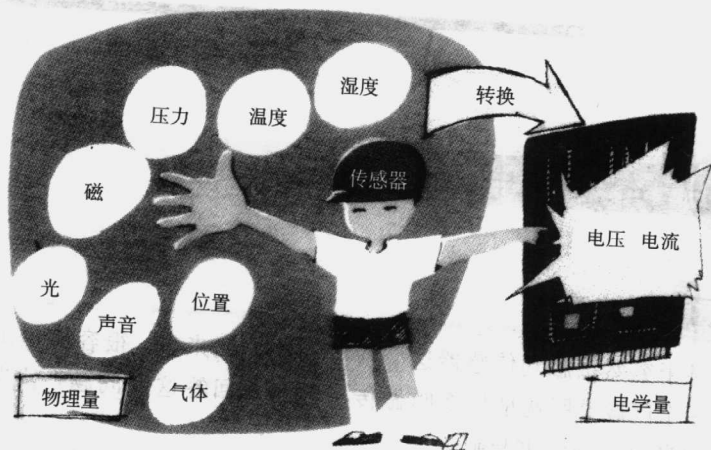


图 1.2 传感器将物理量转换为电学量

► 传感器的外观

就价格来讲,日本市场上传感器有的便宜到 100 日元(约合人民币 7.80 元)以下,有的贵到数万日元以上,种类繁多。

从外观上看,传感器更是千差万别。照片 1.1 给出了部分传感器的外观形貌,不过这些照片只能算得上是冰山之一角。这样的举例虽有挂一漏万之嫌,但总算是先有个感性认识吧。

► 传感器的使用

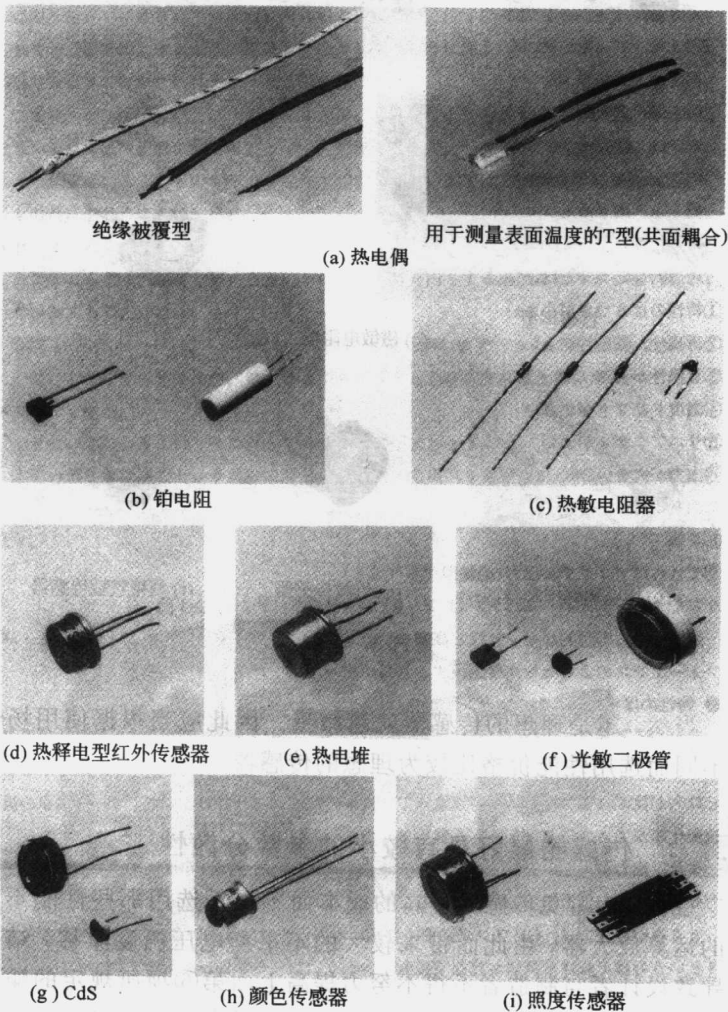
接下来介绍这些传感器是如何使用的。

本书从第 2 章开始将要结合实际应用的例子介绍传感器电路的设计与制作。由于不可能将所有的传感器全部介绍到,因此在第 2~9 章选取了一些具有代表性的传感器:热电偶、铂电阻、光敏传感器、霍尔效应传感器、磁敏电阻器、压力传感器、交流电流传感器、超声波传感器。

► 如何选择传感器

理想的传感器应当是:

- ① 参数分散性小；
- ② 重复性好、稳定性好；
- ③ 具有互换性；
- ④ 温度漂移小；
- ⑤ 线性度好；
- ⑥ 输出信号大；
- ⑦ 耗电量小；
- ⑧ 价格便宜；
- ⑨ 尽可能提供数字化输出(最好是绝缘型的)。



照片 1.1 各种不同形状的温度传感器



照片 1.1(续)

当然，越是理想的传感器就越昂贵。因此应当根据使用场合的不同而选用性能价格比较为理想的传感器。

1.1.2 传感器最好具有较小的参数分散性

过去，为避免传感器过高的成本而不得不选用那些性能不太好的运算放大器，由此而带来较大的不平衡电压温度漂移，结果就导致设计者与制造者不得不努力提高上面第⑥项所规定的输出电压(或电流)。从这种意义上讲，在当时的条件下，与其他的温度传感器相比，选用电阻变化率较大的热敏电阻器更具有吸