

0348

高等学校教材

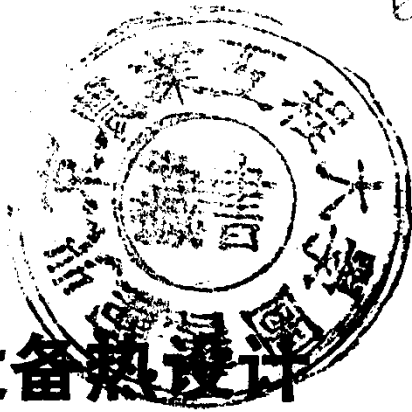
# 电子设备热设计

谢德仁 编



东南大学出版社

TN 03  
6



# 电子设备热设计

谢德仁 编

赠送母校图书馆

南京东南大学

赵小东 冯明琪赠

年 月 日

东南大学出版社

## 内 容 简 介

本教材叙述电子设备中的元器件、组件及整机设备或系统的温升控制问题。其中包括：电子设备用的肋片式散热器设计、印制电路板及其机箱的热设计、冷板设计、相变冷却设计、热管传热、温差电制冷、热测量技术以及热设计的方法、步骤等内容。对上述各种温控技术所涉及的基础理论，本书都用相当的篇幅，简明、扼要地进行了介绍。各章之后还附有计算例题，供工程应用时参考。

本书经高等学校工科电子类教材编审委员会《电子机械》教材编审委员会审查通过，作为电子设备结构专业的全国统编教材，也可供有关工程技术人员参考。

2420/18

### 电子设备热设计

谢德仁 编

---

东南大学出版社出版

南京四牌楼2号

江苏省新华书店发行 大丰县第二印刷厂印刷

开本 787×1092 毫米 1/32 印张 9.875 字数 222千字

1989年12月第1版 1989年12月第1次印刷

印数：1—3000册

---

ISBN7—81023—235—5

TH·8

定价 2.05 元

责任编辑 雷家煜

## 出 版 说 明

根据国务院关于高等学校教材工作分工的规定，我部承担了全国高等学校、中等专业学校工科电子类专业教材的编审、出版的组织工作。由于各有关院校及参与编审工作的广大教师共同努力，有关出版社的紧密配合，从1978年至1985年，已编审、出版了两轮教材，正在陆续供给高等学校和中等专业学校教学使用。

为了使工科电子类专业教材能更好地适应“三个面向”的需要，贯彻“努力提高教材质量，逐步实现教材多样化，增加不同品种、不同层次、不同学术观点、不同风格、不同改革试验的教材”的精神，我部所属七个高等学校教材编审委员会和两个中等专业学校教材编审委员会，在总结前两轮教材工作的基础上，结合教育形势的发展和教学改革的需要，制订了1986~1990年的“七五”（第三轮）教材编审出版规划。列入规划的教材、实验教材、教学参考书等近400种选题。这批教材的评选推荐和编写工作由各编委会直接组织进行。

这批教材的书稿，是从通过教学实践、师生反映较好的讲义中经院校推荐，由编审委员会（小组）评选择优产生出来的。广大编审者、各编审委员会和有关出版社为保证教材的出版和提高教材的质量，作出了不懈的努力。

限于水平和经验，这批教材的编审、出版工作还会有缺点和不足之处，希望使用教材的单位，广大教师和同学积极提出批评建议，共同为不断提高工科电子类专业教材的质量而努力。

电子工业部教材办公室

## 前 言

本教材是根据原电子工业部工科电子类专业教材1986~1990年编审出版规划,由电子机械教材编审委员会电子设备结构设计教材编审小组征稿、审定并推荐出版。责任编委为东南大学邱成悌。

本教材由东南大学机械工程系谢德仁编写,由北京邮电学院祝明德担任主审。

本教材叙述电子设备中的元器件、组件及整机设备或系统的温升控制问题。全书分两篇。第一篇简要地介绍传热的基础知识,第二篇较全面地介绍电子设备温度控制的各种方法。

本教材的参考学时数为40学时。

参加本教材初稿审阅工作的还有邱成悌同志和陈日景同志。在本专业课程的教学过程中,许多同学也对教材内容提出了不少宝贵的意见,在此一并表示感谢。由于编者水平有限,书中难免还存在一些缺点和错误,殷切希望广大读者批评指正。

编者

# 目 录

绪论.....	( 1 )
---------	-------

## 第一篇 传热学基础

### 第一章 导热

§ 1-1 导热及其基本规律.....	( 7 )
§ 1-2 导热微分方程.....	( 8 )
§ 1-3 热阻及热电模拟关系.....	( 8 )
§ 1-4 导热问题的求解方法.....	( 13 )
§ 1-5 瞬态导热.....	( 25 )

#### 例题

### 第二章 对流换热

§ 2-1 对流的基本概念及其影响因素.....	( 32 )
§ 2-2 对流换热系数的确定.....	( 34 )
§ 2-3 对流换热的实验关系式.....	( 39 )
§ 2-4 混合对流换热.....	( 48 )
§ 2-5 具有相变的对流换热.....	( 51 )

#### 例题

### 第三章 热辐射

§ 3-1 热辐射的基本概念.....	( 58 )
1. 吸收率、反射率和透射率.....	( 58 )
2. 黑体.....	( 59 )
3. 单色辐射力与辐射力.....	( 59 )

4. 维恩位移定律	( 60 )
5. 斯蒂芬-玻尔茨曼定律	( 60 )
6. 黑率	( 61 )
7. 基尔霍夫定律	( 61 )
8. 灰体	( 63 )
9. 辐射强度与兰贝特定律	( 64 )
§ 3-2 黑体表面之间的辐射换热	( 64 )
§ 3-3 形状系数的确定	( 67 )
§ 3-4 灰体表面的辐射换热	( 69 )
§ 3-5 遮热板的效用	( 78 )

例题

## 第二篇 电子设备热设计

### 第四章 肋片式散热器

§ 4-1 概述	( 85 )
§ 4-2 肋片式散热器的传热性能	( 87 )
§ 4-3 肋片式散热器设计	( 92 )
§ 4-4 肋片式散热器在工程应用中的若干问题	( 97 )
1. 散热器生产、使用的技术要求	( 97 )
2. 减小电子器件与散热器的接触热阻	( 98 )
3. 合理选用散热器, 降低散热器热阻	( 100 )

例题

### 第五章 印制电路板及其机箱的热设计

§ 5-1 概述	( 109 )
§ 5-2 印制板的结构特点	( 109 )
§ 5-3 印制板上电子元件的安装	( 114 )

§ 5-4 印制板之间的合理间距	( 117 )
§ 5-5 自然对流条件下,印制板机箱的换热	( 120 )
1. 开式机箱的换热	( 122 )
2. 闭式机箱的换热	( 125 )
§ 5-6 强制对流条件下,印制板机箱的换热	( 126 )
1. 风机的选择	( 126 )
2. 风道的设计	( 139 )

### 例题

## 第六章 冷板设计

§ 6-1 概述	( 147 )
§ 6-2 冷板的结构类型及选用原则	( 148 )
1. 气冷式冷板	( 148 )
2. 液冷式冷板	( 155 )
3. 储热冷板	( 155 )
4. 热管冷板	( 157 )
5. 各类冷板的选用原则	( 158 )
§ 6-3 冷板的换热计算	( 158 )
1. 气冷和液冷式冷板计算	( 158 )
2. 储热冷板计算	( 166 )
3. 热管冷板的计算	( 168 )
§ 6-4 冷板的设计步骤	( 168 )
1. 均温冷板的换热计算	( 168 )
2. 非均温冷板的换热计算	( 172 )
§ 6-5 冷板的优化设计	( 174 )

### 例题

## 第七章 相变冷却

§ 7-1 概述	( 182 )
----------	---------



§ 7-2 相变冷却系统·····	( 183 )
1. 浸没式相变冷却系统·····	( 183 )
2. 间接式相变冷却系统·····	( 186 )
§ 7-3 相变冷却系统设计·····	( 188 )
§ 7-4 各类电子设备采用相变冷却时 应注意的事项·····	( 195 )
§ 7-5 汽-水二相流冷却系统·····	( 196 )

例题

第八章 热管传热

§ 8-1 概述·····	( 204 )
§ 8-2 热管类型及其工作原理·····	( 205 )
1. 普通热管·····	( 206 )
2. 重力辅助热管·····	( 210 )
3. 可变导热管·····	( 213 )
§ 8-3 普通热管的传热性能·····	( 214 )
§ 8-4 热管设计·····	( 223 )
§ 8-5 热管在电子设备中的应用·····	( 235 )

例题

第九章 温差电制冷

§ 9-1 概述·····	( 243 )
§ 9-2 温差电制冷的基本原理·····	( 244 )
§ 9-3 温差电制冷的基本方程·····	( 248 )
§ 9-4 多级温差电器件的性能·····	( 255 )
§ 9-5 温差电制冷器的结构·····	( 258 )

例题

第十章 电子设备热测量技术

§ 10-1 概述·····	( 265 )
----------------	---------

§ 10-2	温度传感器和温度测量 .....	( 266 )
§ 10-3	压力传感器和压力测量 .....	( 277 )
§ 10-4	流量测量 .....	( 281 )
§ 10-5	微型计算机在热测量技术中的应用 .....	( 291 )
§ 10-6	测量误差 .....	( 292 )
第十一章 热设计的方法与步骤		
§ 11-1	概述 .....	( 295 )
§ 11-2	电子设备的工作环境 .....	( 296 )
§ 11-3	热设计步骤 .....	( 300 )
附录一	气体的物性参数 .....	( 304 )
附录二	饱和水的物性参数 .....	( 305 )
主要参考书	.....	( 307 )

## 绪 论

电子设备热设计系指对电子设备的耗热元器件（即具有实际电阻的载流元件，如电源变压器、电子管、晶体管、扼流圈、功耗电阻、功率微波器件…等），以及整机设备或系统的温升进行控制。目的在于保证电子设备或系统正常、可靠地工作。

任何电子设备均处于一定的环境条件下生产、运输、储存和使用。这些环境包括：气候、机械、电磁、生物、化学以及特种环境等。在这些环境因素的作用下，如不采取有效的环境保护措施，将导致电子设备或系统功能的降低、失效或损坏。而诸多环境因素中，气候因素中的温度（高、低温及其循环），对电子设备或系统的影响，尤为人们所关注。

电子设备(或系统)的运行实践表明，随着温度的增加，元、器件的失效率呈指数增长，不同程度上降低了设备的可靠性。例如，超过一定值的高温，带来的影响是：材料的绝缘性降低；晶体管、集成电路的电流增益变化；磁芯参数、电容量、阻值改变，从而引起电信号失真或频率产生漂移等等。过低的温度，造成的影响是：橡胶硬化、密封失效，减震器损坏，润滑剂粘度加大，水份凝冻，缝隙扩大等。同样，温度循环或冲击，也将使电子元件或机械部分的热稳定性降低。因此，热设计的目的，就是针对温度超过规定（许用）值后，为了避免引起电子设备发生故障所必需采取的各种控制温升的措施。

一般认为，电子设备经受热应力的作用，源自于三个方

面：

- 电子设备工作过程中，功率元件耗散的热量，即由电能转换为热能；
- 电子设备周围的工作环境，通过导热、对流和热辐射的形式，将热量传给电子设备；
- 电子设备与大气环境产生相对运动时，各种摩擦引起的增温（如动力增温等）。

所以，热设计的总原则就是自热源至耗散空间（环境）之间，提供一条尽可能低的热阻通路。

解决热阻的办法，主要从二方面着手：一是控制电子元件的内热阻（或结热阻）；二是控制电子元器件或整机设备的外热阻。

降低电子元器件的内热阻，主要是从制造工艺上采取措施。例如，合理选用电子元器件的材料、严格生产工艺、完善检测手段等各方面来解决。近年来，随着功率密度的增加，已经开始直接在大规模集成电路的芯片上，采取冷却措施。

电子设备外热阻的控制，包括下面几种形式：

### 1. 散热

利用空气或液体（如水、丙酮、酒精、氟利昂等）作为冷却介质，靠自然对流或强制对流的方式，带走电子设备的耗热。

### 2. 制冷

利用温差电制冷、固体升华过程吸热、液氮蒸发过程吸热等方式进行制冷，使设备或器件的工作环境温度低于周围的环境温度。

### 3. 恒温

利用相变材料的吸、放热过程，可变导热管的控温特性

以及温差电效应，使设备或器件的工作温度严格恒定在某一温度值，保证其工作的稳定性。

#### 4. 热管传热

利用热管高效传热的特性，解决大温差环境条件下温度的均衡，密闭机箱内热量的传递，减少温差对设备的危害。

由此可见，电子设备热设计涉及的基础学科比较多，如传热学、工程流体力学、制冷工程学等。考虑到这些基础学科在工程上的应用以及本专业教学需要，本书内容分成二部分：第一篇为传热学基础；第二篇为电子设备热设计。前者为后者的工程应用提供必要的理论基础。

在第一篇内容中，以简明扼要的方式，介绍导热、对流、辐射三种传热形式的基本概念、定律和工程计算公式。在每一章之后，结合工程应用，给出例题。在第二篇热设计中，则围绕上述的外热阻控制问题，进行较详细的叙述。第二篇共分八章：第四章肋片式散热器，介绍该型散热器的结构形式、热特性以及工程应用中的若干问题。第五章印制电路板的热设计，介绍印制板的结构类型、安装特点，自冷条件下印制板组成机箱的温升控制、强制风冷条件下印制板组成机箱中有关风机的选择、风道设计等问题。第六章电子设备冷板设计，包括冷板的类型、结构特点、传热计算及设计的具体步骤。第七章相变冷却，介绍液体蒸发冷却原理、系统组成、冷却系统的设计要点以及其它相变冷却方法在工程上的应用等。第八章热管，主要介绍电子设备上应用的普通热管、重力辅助热管和可变导热管等几种类型，包括它的工作原理、传热特性及设计方法。第九章温差电制冷，介绍温差电的基本效应、热泵性能及其在工程上的应用。第十章电子设备热测量技术，介绍电子设备中应用的有关温度、压力和流量等

几个技术参数的测试方法、常用仪表及其选用原则。第十一章热设计的方法与步骤，主要是综合以上各章叙述的各种温升控制措施，介绍热设计通用的原则和步骤，为如何进行热设计提供一个整体的概念。

本书内容系根据编者多年来从事本专题的教学讲稿整理而成。在取材上尽量反映当前一些较新、较成熟的技术内容。力求做到，既有一定的理论深度，又有较强的工程适用性。

## 第一篇 传热学基础

电子设备热设计主要的理论基础是传热学。其中某些内容还涉及到流体（空气和液体等）的运动规律，即属于工程流体力学的一些基本概念。这里，主要是介绍传热学的基础知识以及热设计需用的一些计算公式。

电子设备属于一种有源物体，它在工作的过程中，有相当一部分电能将转化为热能而耗散至空间。因此，应了解热量传递的基本规律，分析解决存在于电子设备中的传热问题。

传热的过程可分为稳态和瞬态过程两类。设备内的温度不随时间变化的传递过程，称稳态传热；温度随时间变化的传热过程，则称瞬态传热。例如，处于稳定工况运行的设备，属于稳态传热；而当设备起动、停止和工况变动时，则属于瞬态传热。

传热过程的分析方法，随电子计算机技术的普及和应用，使得它的分析范围和计算精度有较大的提高。但由于传热问题的复杂性，加上电子设备结构本身的多样性，给工程上的分析、计算带来了相当的困难。因此，对实验技术和模化技术的研究，仍为不可缺少的内容。

另外，由于电子设备的温度控制，关系到散热、制冷和恒温各个独立的技术问题所涉及的广泛专业范围，它给理论基础的阐述带来一定的局限性。为此，只能将传热学的基本内容作一些简明的介绍，至于更全面的理论分析，无疑应参

阅各有关学科的专门著作。



# 第一章 导 热

## § 1-1 导热及其基本规律

导热是指相互接触并具有温差的二个物体中或物体由于各部分温度不同,经过分子、原子和自由电子微观运动而引起的换热现象。热量传递的方向是从高温物体传至低温物体。

导热的基本规律,由傅利叶定律给出。该定律指出,在纯导热过程中,通过物体的热流量与该处的温度梯度和垂直于热流方向的导热面积成正比。其数学表达式为

$$dQ_n = -\lambda dA \frac{\partial t}{\partial n} \quad (1-1)$$

式中,  $\frac{\partial t}{\partial n}$ ——沿等温面法线方向的温度梯度, ( $^{\circ}\text{C}/\text{m}$ );

$dA$ ——与热流方向相垂直的微元面积, ( $\text{m}^2$ );

$\lambda$ ——导热系数, ( $\text{W}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$ )。

公式中的负号表示热量传递的方向与温度梯度的方向相反,  $dQ_n$  的单位为  $\text{W}$  (瓦)。

单位时间内通过给定面积的热量,称为热流量( $Q$ );单位时间内通过单位面积的热量,称为热流密度( $q$ ),其单位为  $\text{W}/\text{m}^2$ 。因此,导热基本定律的另一种表达式为

$$q_n = \frac{dQ_n}{dA} = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n} \quad (1-2)$$

导热系数( $\lambda$ )是表征物质导热能力的物性参数。其物理意义是指单位时间内、单为长度温度降低  $1^{\circ}\text{C}$  时,单位面积通过导热传递的热量。它的值决定于材料的成份、内部结构、