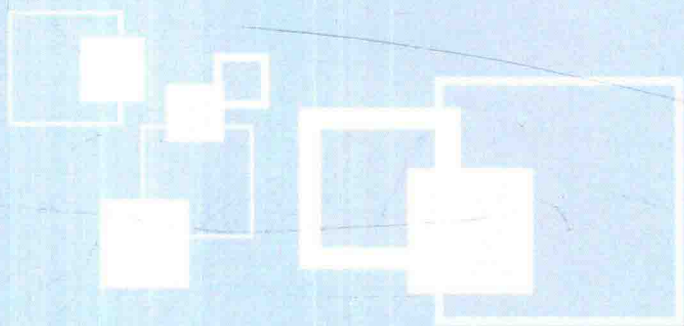




# 现代 电热设备

Xiandai Dianre Shebei

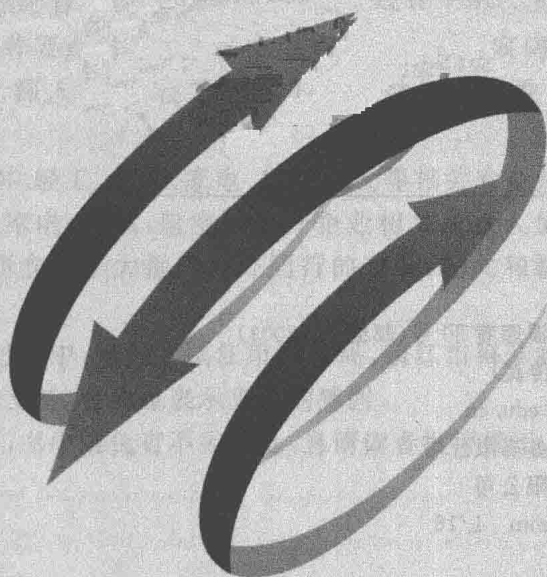
张培寅 邢国权 ©编著



# 现代 电热设备

Xiandai Dianre Shebei

张培寅 邢国权 ©编著



 江苏大学出版社  
JIANGSU UNIVERSITY PRESS

镇江

## 内 容 提 要

现代电热设备广泛运用于工农业生产、科研开发、航空航天、国防和日常生活中,是加热、电解、熔焊、合成、冶炼、热处理等生活、生产的重要装备之一。

本书注重现代电热设备的结构特点、主要技术参数、应用特性、运用场合、常用设计内容和方法的介绍,列举了设计计算实例。对电热设备的操作技术、维护和检测、安全技术要素作了必要的论述。就电热元件、控温和设备结构特点分别作了诠释。

本书具有先进、系统、完整、实用、可操作性强的特点,并附有大量实践应用案例,适合作为工科院校相关专业教学用书,对产品设计研发、生产制造、管理销售的人员也有较高的参考价值,也可作为相关企业设备选型指南。

## 图书在版编目(CIP)数据

现代电热设备 / 张培寅, 邢国权编著. — 镇江 :  
江苏大学出版社, 2017. 6  
ISBN 978-7-5684-0499-0

I. ①现… II. ①张… ②邢… III. ①电热设备  
IV. ①TM924

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 132352 号

## 现代电热设备

Xiandai Dianre Shebei

编 著/张培寅 邢国权

责任编辑/杨海濒

出版发行/江苏大学出版社

地 址/江苏省镇江市梦溪园巷 30 号(邮编: 212003)

电 话/0511-84446464(传真)

网 址/http://press. ujs. edu. cn

排 版/镇江华翔票证印务有限公司

印 刷/虎彩印艺股份有限公司

开 本/787 mm×1 092 mm 1/16

印 张/18.5

字 数/462 千字

版 次/2017 年 6 月第 1 版 2017 年 6 月第 1 次印刷

书 号/ISBN 978-7-5684-0499-0

定 价/48.00 元

如有印装质量问题请与本社营销部联系(电话:0511-84440882)

# 前 言

加热设备广泛运用于工农业生产、科研开发、航空航天、国防和日常生活中,其热能主要来源于电力、燃气、燃油、焦煤、蒸汽等。而以电能为热源的加热设备则是当今社会最常见、使用最广泛、用量最大的加热设备和器具。

现代电热设备以现代材料技术和电器技术为核心,融合了机械、加工、计算机、自动控制等多领域、多学科方面的知识,具有很强的综合性。现代电热设备相较于传统加热设备具有温度高、加热快、热效率高、自动化程度高、污染少、绿色环保等特点。不仅大大拓展了传统热处理加工领域,提高了加工精度和质量,为社会和人们的日常生活提供了更加丰富精良的产品,提高了人们的生活品质,而且,降低了劳动强度,减少了对自然的破坏,保护了环境。未来,随着科学技术的进一步发展,尤其是材料科学如纳米技术、石墨烯技术,以及人工智能技术方面的不断突破,现代电热设备必将发展到一个新的更高的阶段。

《现代电热设备》在充分消化、吸收现有电热设备理论和应用技术的基础上,分八个章节系统地介绍了电热设备的分类和发展趋势、电热设备主要原材料、电热元件的设计与制造、温度与时间控制元件、电热设备典型的控制电路、电热设备(产品)使用安全技术标准、各种典型的电热设备及电热设备能耗改善研究等。在具体编写的过程中侧重于从实用性出发,力求理论与实际相结合,重点介绍电热设备所使用的材料、结构特点、工作原理、技术参数、适用场合、技术操作要点、运行与维护经验等,融入应用实例,突出技能和技巧,并遵循认知规律,循序渐进、深入浅出,注重知识的系统性和完整性,便于教学和指导实际操作。

本书适合冶金、材料、轻工、食品、家电、航空航天等相关专业师生作教学用书,也适合冶金、材料、电器、轻工、家电、食品、航空等生产企业相关从业人员及研发机构人员参考。在本书编写过程中,作者参阅了大量国内外同行的专著、论文和教材等,在此表示由衷的感谢。

另外,本书在编写过程中,得到了镇江市科技局,镇江市科学技术协会,镇江市生产力促进中心领导的关心和支持,在此也表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中难免有不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2017 年 4 月

# 目 录

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 第1章 概 述 .....              | 001 |
| 1.1 电热设备的分类 .....          | 001 |
| 1.1.1 按加热方法与加热速度分类 .....   | 001 |
| 1.1.2 按电压带分类 .....         | 002 |
| 1.1.3 按频率分类 .....          | 002 |
| 1.1.4 按被加热物的形态分类 .....     | 002 |
| 1.1.5 按电源及用途分类 .....       | 003 |
| 1.2 电热设备的应用 .....          | 003 |
| 1.3 电热方法 .....             | 004 |
| 1.3.1 电热设备的特点 .....        | 004 |
| 1.3.2 供电条件 .....           | 005 |
| 1.3.3 安装和布置 .....          | 005 |
| 1.3.4 控制和联锁 .....          | 005 |
| 1.4 电热设备的发展趋势 .....        | 005 |
| 第2章 电热设备常用原材料 .....        | 007 |
| 2.1 金属电热材料及特性 .....        | 007 |
| 2.1.1 电阻式电热元件的材料及其性能 ..... | 007 |
| 2.1.2 导体的电阻率与温度系数 .....    | 008 |
| 2.1.3 脆性和高温强度 .....        | 009 |
| 2.1.4 合金电热元件最高使用温度 .....   | 010 |
| 2.1.5 表面负荷 .....           | 011 |
| 2.1.6 合金电热材料的化学特性 .....    | 014 |
| 2.2 非金属电热材料 .....          | 015 |
| 2.2.1 硅钼棒 .....            | 016 |
| 2.2.2 碳化硅棒 .....           | 023 |
| 2.2.3 多孔玻璃态碳 .....         | 029 |
| 2.2.4 PP型电热材料 .....        | 029 |
| 2.2.5 PTC半导体电热材料 .....     | 030 |
| 2.3 复合材料构成的电热设备加热材料 .....  | 044 |
| 2.3.1 配阻材料构成的电热材料 .....    | 044 |
| 2.3.2 远红外线辐射材料 .....       | 044 |

|                                |            |
|--------------------------------|------------|
| 2.3.3 远红外辐射加热器用材料形状 .....      | 047        |
| 2.4 重金属及其合金与石墨类电热材料 .....      | 053        |
| 2.4.1 重金属材料与石墨的特性 .....        | 053        |
| 2.4.2 石墨类电热材料 .....            | 056        |
| <b>第3章 电热元件的设计与制造</b> .....    | <b>060</b> |
| 3.1 电热丝的设计 .....               | 060        |
| 3.1.1 线径计算 .....               | 060        |
| 3.1.2 形状设计 .....               | 065        |
| 3.1.3 设计计算参数整理 .....           | 067        |
| 3.2 电热元件发热体的制作 .....           | 072        |
| 3.2.1 缠绕工艺 .....               | 072        |
| 3.2.2 引出棒与圆丝的连接 .....          | 074        |
| 3.2.3 引出带与圆丝的连接 .....          | 075        |
| 3.2.4 引出带与扁丝的连接 .....          | 075        |
| 3.2.5 并股引线 .....               | 075        |
| 3.2.6 焊 接 .....                | 076        |
| 3.2.7 复合连接 .....               | 076        |
| 3.2.8 金属电热元件在电热设备中的布置和安装 ..... | 076        |
| 3.3 金属管状电热元件 .....             | 077        |
| 3.4 带状电热元件 .....               | 085        |
| 3.5 电热板 .....                  | 087        |
| 3.6 薄膜电热元件(电热膜) .....          | 091        |
| <b>第4章 温度、时间控制元件</b> .....     | <b>098</b> |
| 4.1 热双金属片温控元件 .....            | 098        |
| 4.1.1 缓动式温控元件 .....            | 101        |
| 4.1.2 闪动式温控元件 .....            | 102        |
| 4.1.3 U形及螺旋形热双金属元件 .....       | 102        |
| 4.1.4 碟形热双金属元件 .....           | 103        |
| 4.1.5 热双金属温控器的选用与维修 .....      | 103        |
| 4.2 磁性温控元件 .....               | 104        |
| 4.2.1 磁性控温原理 .....             | 104        |
| 4.2.2 磁性温控元件的特点 .....          | 106        |
| 4.3 形状记忆温控元件 .....             | 106        |
| 4.3.1 形状记忆效应 .....             | 107        |
| 4.3.2 形状记忆效应的应用实例 .....        | 107        |
| 4.4 热敏电阻温控元件 .....             | 108        |
| 4.4.1 热敏电阻的工作原理 .....          | 108        |
| 4.4.2 热敏电阻的结构形式和规格 .....       | 108        |
| 4.4.3 热敏电阻温控元件的特点 .....        | 109        |

|                                   |            |
|-----------------------------------|------------|
| 4.5 热电偶温控元件 .....                 | 109        |
| 4.5.1 热电偶的工作原理 .....              | 110        |
| 4.5.2 热电偶定则 .....                 | 110        |
| 4.5.3 热电偶的种类 .....                | 110        |
| 4.5.4 热电偶的选择、安装与维修 .....          | 111        |
| 4.6 超温保护器 .....                   | 112        |
| 4.6.1 温度保险丝 .....                 | 112        |
| 4.6.2 热断型热保护器 .....               | 113        |
| 4.7 时间控制元件 .....                  | 114        |
| 4.7.1 机械发条式定时器 .....              | 114        |
| 4.7.2 电动式定时器 .....                | 115        |
| 4.7.3 电子式定时器 .....                | 116        |
| <b>第5章 电热设备典型的控制电路 .....</b>      | <b>122</b> |
| 5.1 不带温控元件的电路(开关电路) .....         | 122        |
| 5.2 整流二极管调功控制电路 .....             | 123        |
| 5.3 电子调功控制电路 .....                | 124        |
| 5.4 低压调压型电路 .....                 | 124        |
| 5.5 微型温度断电器控温型电路 .....            | 125        |
| 5.6 二极管半波整流的调温型电路 .....           | 126        |
| 5.7 具有双向可控硅调节器的调温型电路 .....        | 126        |
| 5.8 电容调温型电路 .....                 | 127        |
| 5.9 电阻调温型电路 .....                 | 128        |
| 5.10 单检测线型电子控温电路 .....            | 128        |
| 5.11 双检测线型电子控温电路 .....            | 129        |
| 5.12 电子恒温电路 .....                 | 130        |
| 5.13 PTC 温控型电路 .....              | 131        |
| <b>第6章 电热设备(产品)使用安全技术标准 .....</b> | <b>132</b> |
| 6.1 低压配电网供电 .....                 | 132        |
| 6.2 对供电连接的要求 .....                | 132        |
| 6.2.1 一般要求 .....                  | 132        |
| 6.2.2 对固定连接的要求 .....              | 133        |
| 6.2.3 对可移动连接的要求 .....             | 133        |
| 6.3 电源设备 .....                    | 133        |
| 6.3.1 专用变压器 .....                 | 133        |
| 6.3.2 变频电源装置 .....                | 133        |
| 6.3.3 三相供电电路平衡装置 .....            | 134        |
| 6.4 电热设备的使用环境 .....               | 134        |
| 6.5 产品安全性能试验方法 .....              | 134        |
| 6.5.1 工作温度下和湿热试验后的电气绝缘和泄漏电流 ..... | 134        |

|            |                          |            |
|------------|--------------------------|------------|
| 6.5.2      | 防触电保护 .....              | 138        |
| 6.5.3      | 接地装置 .....               | 140        |
| 6.5.4      | 发热试验 .....               | 140        |
| 6.5.5      | 爬电距离和电气间隙 .....          | 142        |
| 6.6        | 产品安装 .....               | 143        |
| 6.7        | 产品使用方面 .....             | 144        |
| 6.8        | 产品检修方面 .....             | 145        |
| 6.9        | 电热设备防火 .....             | 145        |
| <b>第7章</b> | <b>典型电热设备介绍 .....</b>    | <b>148</b> |
| 7.1        | 空间电热设备 .....             | 148        |
| 7.1.1      | 生活用电热设备(器、具、炉、装置) .....  | 148        |
| 7.1.2      | 工业类电阻炉 .....             | 158        |
| 7.1.3      | 可控气氛电热设备 .....           | 171        |
| 7.2        | 液体(相)类电热设备 .....         | 181        |
| 7.2.1      | 普通电热式油炸设备 .....          | 181        |
| 7.2.2      | 水油混合式油炸设备 .....          | 181        |
| 7.2.3      | 外热式浴炉 .....              | 184        |
| 7.2.4      | 内热式电极盐浴炉 .....           | 186        |
| 7.2.5      | 流动粒子(假液态)电加热设备 .....     | 191        |
| 7.3        | 真空电热设备 .....             | 199        |
| 7.3.1      | 真空熔炼或热处理 .....           | 200        |
| 7.3.2      | 真空热处理炉类型 .....           | 200        |
| 7.4        | 电弧炉 .....                | 211        |
| 7.4.1      | 电弧炉的基本原理 .....           | 211        |
| 7.4.2      | 电弧炉的分类和用途 .....          | 212        |
| 7.4.3      | 电弧炉设备 .....              | 213        |
| 7.4.4      | 操作安全技术措施 .....           | 215        |
| 7.5        | 电渣炉 .....                | 220        |
| 7.6        | 工业微波加热设备 .....           | 221        |
| 7.6.1      | 工业微波加热设备的基本工作原理与特点 ..... | 221        |
| 7.6.2      | 工业微波加热的应用 .....          | 221        |
| 7.6.3      | 工业微波设备的安全使用 .....        | 222        |
| 7.6.4      | 电磁场强度与微波漏能测量 .....       | 223        |
| 7.7        | 感应加热设备 .....             | 226        |
| 7.7.1      | 感应加热设备的原理 .....          | 226        |
| 7.7.2      | 常用感应加热设备的电气参数 .....      | 227        |
| 7.7.3      | 电源装置 .....               | 229        |
| 7.7.4      | 电容器 .....                | 230        |
| 7.7.5      | 三相平衡装置 .....             | 231        |

|                                      |            |
|--------------------------------------|------------|
| 7.7.6 保护设备及仪表 .....                  | 231        |
| 7.7.7 材 质 .....                      | 232        |
| 7.7.8 母线与电缆的选择 .....                 | 232        |
| 7.7.9 安 装 .....                      | 232        |
| 7.7.10 运 行 .....                     | 233        |
| 7.7.11 维 护 .....                     | 234        |
| 7.8 高能束加热设备 .....                    | 234        |
| 7.8.1 高能束加热原理和用途 .....               | 234        |
| 7.8.2 微/纳米热喷涂技术 .....                | 237        |
| <b>第8章 电热设备能耗改善研究</b> .....          | <b>242</b> |
| 8.1 性能试验 .....                       | 243        |
| 8.1.1 电加热设备的电能利用率 $\eta$ .....       | 243        |
| 8.1.2 减少热损失,提高电能利用率的途径 .....         | 243        |
| 8.1.3 电热元件冷态直流电阻与热态泄漏电流的测定 .....     | 244        |
| 8.1.4 额定功率的测定 .....                  | 244        |
| 8.1.5 空炉升温时间的测定 .....                | 245        |
| 8.1.6 空载功率的测定 .....                  | 245        |
| 8.1.7 炉温均匀度的测定 .....                 | 245        |
| 8.1.8 表面温升的测定 .....                  | 249        |
| 8.1.9 远红外加热 .....                    | 249        |
| 8.2 选用耐温、耐热、绝缘材料 .....               | 251        |
| 8.2.1 耐温材料 .....                     | 251        |
| 8.2.2 不定形耐火材料 .....                  | 258        |
| 8.2.3 耐火材料 .....                     | 259        |
| 8.2.4 绝缘材料 .....                     | 269        |
| 8.3 温度控制 .....                       | 271        |
| 8.3.1 基地式仪表组成的炉温自动控制系统 .....         | 271        |
| 8.3.2 控制温度的调节器 .....                 | 272        |
| 8.3.3 调节温度的执行器 .....                 | 273        |
| 8.3.4 单元组合仪表组成的炉温自动控制系统 .....        | 273        |
| 8.3.5 电热设备温度的位式控制 .....              | 274        |
| 8.3.6 电炉温度的时间比例控制 .....              | 275        |
| 8.3.7 可控硅调压器温度自动控制系统 .....           | 276        |
| 8.3.8 调功器调波(频)形式对电热设备控温的影响 .....     | 277        |
| 8.3.9 炉温程序控制 .....                   | 279        |
| 8.3.10 感应加热温度的自动控制 .....             | 279        |
| <b>附录A 常用材料的比热容、相对密度、热导率</b> .....   | <b>283</b> |
| <b>附录B 常用材料制图剖面标示图样</b> .....        | <b>284</b> |
| <b>附录C 世界各大洲主要城市用电的相数电压和频率</b> ..... | <b>284</b> |
| <b>参考文献</b> .....                    | <b>286</b> |

# 第 1 章 概 述

电热设备(electric heatings installation)是利用加热装置通电后将电能转换为热能的设备或器具。现代高能效比的电热设备及发热元件、控制显示元件的开发应用,已成为新世纪工业、农业、商业、日用家庭电器业诸领域的前沿风景。

## 1.1 电热设备的分类

### 1.1.1 按加热方法与加热速度分类

电热设备因加热原理、元件、调节控制方法不同,其热能增加形成温升速度不同,常见不同电热设备的加热方法与加热速度的比较分列如图 1-1 所示。

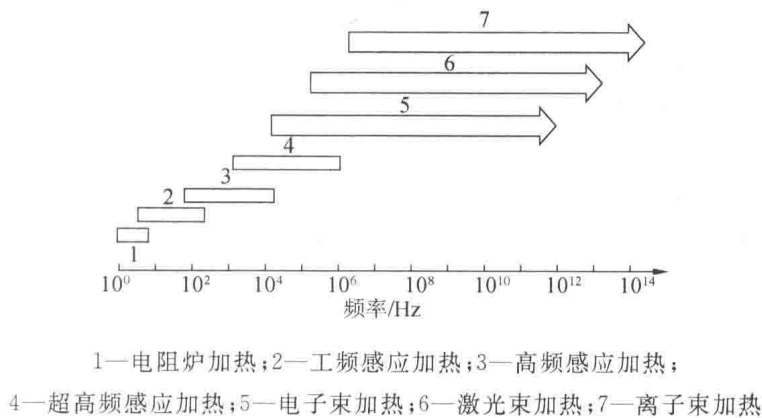


图 1-1 加热方法与加热速度的比较

主要加热设备如下:

- (1) 电阻式电热设备 这种电热设备是根据电流的热效应制成的,发热体是具有一定电阻值的金属导体或非金属导体。其产品有电炉、电灶、电熨斗、电暖器等。
- (2) 远红外线式电热设备 远红外线式电热设备是在电流热效应基础上利用远红外线辐射元件辐射远红外线加热物体的设备。远红外加热是一项先进节能技术,已广泛地应用于食品加工和烘烤、取暖等方面。其产品有远红外线电暖器、远红外电烤炉、远红外理疗器等。
- (3) 感应式电热设备 众所周知,导体在交变磁场之中会产生感应电流,并在导体内克服内阻流动而产生热能。这就是感应式电热设备的工作原理。电磁灶就是根据这一原

理制成的电热炊具。

(4) 微波式电热设备 微波式电热设备是一种新的加热技术,是利用微波器件组成超高频振荡器,然后通过波导、天线辐射电磁波——微波来烹调食品的设备。这类电热器一般称为微波灶(炉)。用微波灶烹饪食品,要比一般电灶或燃料炉快 4~12 倍。

(5) 电弧式电热设备 电弧式电热设备是由电弧热产生高温,实现熔融、焊接、烧痕的设备。其产品有电刻机、电烫笔、电熔炉、电弧炉、电渣炉、埋弧炉、电焊机等。

(6) 高能束式电热设备 利用电离高能粒子束产生的持续高温气流或射线的电热设备,如气相沉积、离子辉光设备、激光机等。

以加热方式分类,电加热方法可归纳为表 1-1。

表 1-1 电加热方法的种类

| 种 类   | 加 热 方 法                                                                                     |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| 电弧加热  | (1) 利用电极与炉料间的电弧直接熔化炉料,如电弧炼钢炉<br>(2) 利用电极与电极间的电弧间接熔化炉料,如炼钢电弧炉<br>(3) 利用电阻和电弧转化的热能综合熔化炉料,如矿热炉 |
| 感应加热  | 由置于交变磁场中导体内产生的涡流损失或磁滞损失进行加热,按结构分为有芯和无芯两种,按频率分别为工频、中频、高频 3 种                                 |
| 介质加热  | 利用交变电场中电介质的损失加热                                                                             |
| 电阻加热  | (1) 给受热物体通电,利用焦耳效应产生的热量直接加热<br>(2) 热量通过辐射、传导、对流或反射间接给物体加热                                   |
| 红外线加热 | 利用 300~300 000 Hz 电波对非导体进行加热                                                                |
| 电子束加热 | 在真空中利用电子束轰击物体进行加热                                                                           |

1.1.2 按电压带分类

- (1) 第一电压带的装置 指额定电压不超过交流 50 V 或直流 120 V 的装置。
- (2) 第二电压带的装置 指额定电压交流 50~1 000 V 或直流 120~1 500 V 的装置。
- (3) 第三电压带的装置 指额定电压交流大于 1 000 V 或直流大于 1 500 V 的装置。

1.1.3 按频率分类

- (1) 工频装置 指装置用交流公共供电网的频率。我国为 50 Hz,美国为 60 Hz。

$$f_{\text{工频}}=50\text{ Hz}$$

- (2) 低频装置 指装置工作频率低于工频。

$$f_{\text{低频}}<50\text{ Hz}$$

- (3) 中频装置 指装置工作频率高于工频,但低于或等于 10 kHz。

$$50\text{ Hz}<f_{\text{中频}}\leqslant 10\text{ kHz}$$

- (4) 高频装置 指装置工作频率高于 10 kHz,但低于或等于 300 MHz。

$$10\text{ kHz}<f_{\text{高频}}\leqslant 300\text{ MHz}$$

- (5) 微波装置 指装置工作频率高于 300 MHz,但低于或等于 300 GHz。

$$300\text{ MHz}<f_{\text{微波}}\leqslant 300\text{ GHz}$$

1.1.4 按被加热物的形态分类

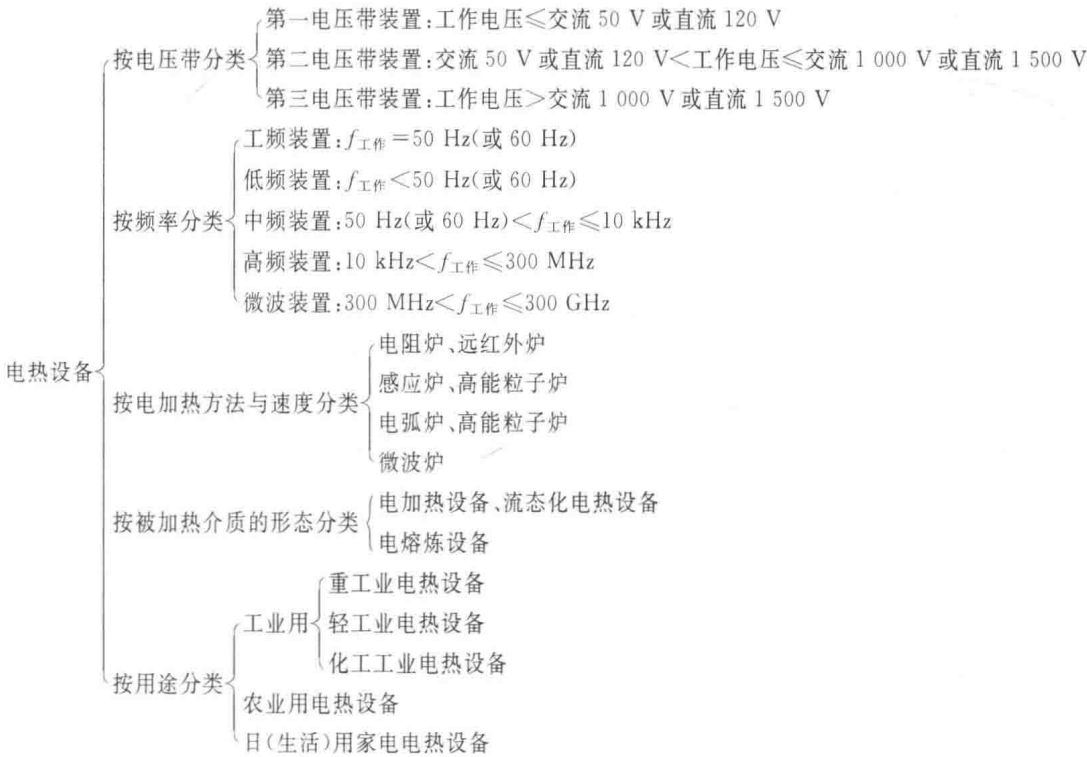
按被加热物的形态,电热设备可分为电加热设备、电熔炼设备、流态化电热设备。

1.1.5 按电源及用途分类

- (1) 电源电能取自电力系统供电网络的重工业、轻工业、石油化工、食品、橡胶、塑料等工业用电热设备。
- (2) 利用农用电源、自发电电源、可再生资源电能的育苗、孵化、热水等农业用电热器具、设施。
- (3) 以民用电源或便携储能电源供电的调湿、调温、烹调、杀菌、理疗、美容等人或动物用电热器具、设备。

现代电热设备的分类见表 1-2。

表 1-2 现代电热设备的分类



1.2 电热设备的应用

现代化建设中,广泛采用新技术、新工艺、新材料和新设备,在提高劳动生产率的同时,改进产品质量,降低产品成本,减轻劳动强度,实现生产过程的机械化、自动化、智能化是一个非常重要的方向。将电能直接应用于生产工艺的所谓电工艺,是一个已逐步被普及的新技术、新工艺。目前,在工农业生产中应用的电工艺,包括各种电热、电化学、电脉冲、电腐蚀等加工方法,其中电热工艺应用最早、最广泛。

在重工业中,金属热处理应用电热的方法能保证金属结构件加热均匀,加热温度极为准确,从而大大提高了热处理的质量。此外,电热设备容易制成密闭式,能在其中保持所需要的气体或真空。借助于电热方法,还可对工件的某一部分或表面进行局部加热。因此,在机械制造及金属冶炼中,出现越来越多的专用热处理设备。尤其在铸造行业中,随着技

术的改进,形状复杂、薄壁、少切削或无切削的铸造越来越多,这样可以大大降低材料的消耗和工时定额,从而获得低廉的成本。但是,为了使金属液体很快地注满模腔,保持金属液体热量而又使其具有良好的流动性,模具常被做成带有电热装置的铸模。

在轻工业,如食品、木材、纸张、棉毛织品、印染等加热干燥工艺中,电热成了一项不可缺少的新工艺。无论是在老的橡胶硫化工艺中,还是在新发展的塑料工业中,模压和注塑都离不开电热,特别是在较复杂的产品或一模多件的工艺中,模具各部分均匀加热起着关键的作用。

在石油化工,如原油输送管线的伴热、油罐加热保温、油漆涂层的干燥等方面采用电热后,使工程投资减少,运行成本降低,工程质量也得到了保证。

在农业方面,随着现代化技术的发展和农业专业化的逐步形成,电热已被广泛应用在育苗、蚕桑催青、鱼苗培育、鸡场孵化、良种培育等领域中。如蚕桑催青,以前采用烧煤加温,温度不易控制,蚕卵出青率参差不齐,蚕房中二氧化碳气体浓度大,养蚕姑娘时有昏倒现象。改用电热加温、加湿后,室内空气新鲜,劳动环境大大改善,蚕卵出青整齐,出青率显著提高,深受蚕农的欢迎。

电热不但在工农业生产中发挥了巨大的作用,而且在人们日常生活中的使用也越来越广泛。随着人民生活水平的不断提高,对家用电热器具有越来越多的需求。首先,室内取暖保温有各种直接取暖的,诸如电热被、电热毯、电热垫、电热衣、电热鞋等;也有各种间接取暖的,诸如电暖器、电热油汀、红外线取暖器、热风器等。特别在没有集中供暖的我国南方意义尤其重大。

在烹调方面,电灶、电饭锅、电炖锅、电火锅、电烤炉、面包炉、微波炉、电磁灶、电咖啡壶等产品为人们提供了更加丰富的食品,减少了家庭主妇的劳动强度。

在清洁整容方面,电淋浴器、自动沸水器、电熨斗(普通型、调温型、蒸汽型和蒸汽喷雾型)、无线电熨斗、熨平机、电吹风、两用电熨斗以及电热梳、烫发器等已广泛进入家庭。

在医疗保健卫生方面,电热敷理疗器、高热按摩器、电热泡脚盆、桑拿浴加热器、电热消毒器以及妇科冲洗器等电热器具,也纷纷进入医疗单位和家庭。

## 1.3 电热方法

### 1.3.1 电热设备的特点

电能热源设备与其他形式能源的加热比较,具有如下优点:

- (1) 电加热清洁卫生,无烟灰、油污和环境污染。
- (2) 热效率高。煤的热效率为  $12\% \sim 20\%$ ,液体燃料的热效率为  $20\% \sim 40\%$ ,气体燃料的热效率为  $50\% \sim 60\%$ ,蒸汽的热效率为  $45\% \sim 60\%$ ,而电能的热效率为  $50\% \sim 95\%$ 。
- (3) 电热方法可以在极小的范围内集中产生大量热能,因而可以高速加热并达到预定的温度。
- (4) 电热功率可以方便地调节,因而易于调节温度,容易实现自动化控制。
- (5) 热惯性小,温度控制精度高,加热效果好。
- (6) 不需要环境气氛条件,不像燃料燃烧时需要借助于氧气,因此,被加热物不易氧化。

(7) 电热产品、电热设备结构紧凑,便于维修,可大大改善操作者的劳动条件。

(8) 虽然一次性投资较大,但维修费用少。

(9) 被加热物品在加热区可方便地实现移动机械化和自动化,为电热用于流水线、自动线中创造了极为有利的条件。

### 1.3.2 供电条件

(1) 电加热的一般负荷等级 在电加热装置中,当主电源突然停电时,一般不致引起重大设备损坏及人身伤亡,但会增加电能损耗、减少产量或造成废品,因此,除事故停电在经济上造成重大损失的大型电加热设备属于一级负荷外,其他可根据用途和容量的不同作为二级或三级负荷。例如,一般的电弧炉属于二级负荷;供修理及辅助用的电弧炉属于三级负荷;设置在生产线上的感应电炉、介质加热炉、电阻炉属于二级负荷,其他则为三级负荷。电加热装置的辅助设备,如冷却水泵、炉体辅助机械等,则根据停电所造成的损失和影响程度来定其负荷等级。

(2) 供电条件 多台单相电热装置应均匀地接在三相电路上。如容量较大,且不能均匀分布时,则应检验电路中连续运行时负序电流  $I_2$  与额定电流  $I_e$  的比值,并采取相应平衡措施。对于功率因数低的电加热设备,如感应电炉,则应采取补偿措施。

### 1.3.3 安装和布置

电加热设备所需的变压器或变流装置等与电炉或感应加热器的距离应尽量短,以减少阻抗和便于维修。大电流导线缩短后还可节约大量电能,减少电压降和提高电加热设备输出功率。在大电流母线附近,应尽量避免有铁磁物质,以免发热。导体的支架、保护遮板和紧固件等结构和材料的选择,应考虑避免在频率较高或电流较大时感应产生热量。高、中频及工频大电流导体截面的选择和布置,应尽量减少由于集肤效应和邻近效应所引起的导体中电流不均匀分布而增加的阻抗。

继电保护装置、测量仪表、控制电器等的安装位置应便于监视、操作和检修,并应尽量避免热、湿、撞击和聚集灰尘。

### 1.3.4 控制和联锁

必须设置电炉辅助机械的顺序操作、操作开关之间及操作开关与电炉辅助机械之间的联锁,设置 1 000 V 以上配电装置与电炉操作开关的联锁,以及当电压切除时才能打开内有带电体的保护门的联锁等,以满足机械和电气设备安全操作及其操作程序的要求。

## 1.4 电热设备的发展趋势

当今世界,电热设备的市场竞争主要是工业设计的竞争,而时尚的外观设计又是工业设计的重要内容。现代电热设备外观时尚性设计的总趋势如下:

(1) 美观、大方、简洁、整齐,便于清洁,便于使用。

(2) 突出金属饰件,又不过分显露。

(3) 色泽庄重、优雅,如黑、灰、深蓝色、琥珀色,不宜鲜艳,不要发亮,但妇女用品多用红、绿、白、奶油、粉红等流行化妆色。一家企业生产的几种产品的整体色调要尽可能一致。

(4) 轮廓外形为圆角,不要是棱角或直角。

(5) 整体设计协调紧凑,具有艺术性,且放置灵活,数模控制、数字化显示以体现个性。

(6) 内藏式、无线化、组合多功能化和触摸式控制装置,不同地点的安放也影响着外观造型及使用,如微波炉装在橱柜下,洗碗机放在水池下面等。

电热设备技术设计的总趋势如下:

(1) 在开发的电热设备产品中引入尖端技术和新技术,如微电脑技术的应用、传感技术的应用、远红外技术的应用、模糊逻辑控制和神经模糊逻辑控制的应用、远程控制技术的应用、移动互联技术的应用、电声技术的应用、多媒体技术的应用等。

(2) 电热设备产品的组合化和多功能化。

(3) 电热设备产品的智能化和无害化。

(4) 电热设备产品的节能与新能源、多能源化。

(5) 电热设备产品的人性化。

(6) 电热设备产品的无绳化。

(7) 电热设备的工艺生产线上伴侣化。

(8) 电热设备的电子化和机电一体化。

(9) 电热设备的高、低档两极分化。

(10) 电热设备自配套成组化。

(11) 电热设备采用新型基础元、部件。例如,金属管状电热元件(包括非均匀管表面负荷的金属管状电热元件)及翅片式金属管状电热元件、石英辐射管状电热元件、陶瓷包敷式电热元件、带状电热元件、薄膜型电热元件、电热板、PTC 电热元件、多孔玻璃态碳电热元件、硅钼棒电热元件、碳化硅电热元件、陶瓷电热膜电热元件、PP 混合物线状电热元件、自动调节电热元件、微电热(DZR)部件、热双金属片控温元件、磁性控温元件、热敏电阻控温元件、热电偶控温元件、形状记忆控温元件、温包式控温元件、超温保护元件、机械发条式时控元件、电动式时控元件、电子式时控元件、温度传感元件、湿度传感元件、温热传感元件、压力传感元件、气体传感元件、重量传感元件等。

(12) 电热设备采用新型材料。由于原材料成本在家电产品中占比很大,一般在 50%~60%,有些产品可达 70%,因此,世界各国都尽量采用新型的、性能相当但价格更低的新材料(金属材料、无机非金属材料、高分子材料、复合材料),或采用电子计算机辅助设计,以减少零件个数及材料用量,作为降低成本的主要手段。

手段一,传统金属材料向薄型化的结构钢板、预涂钢板、压花钢板、低噪声减震钢板(两张钢板夹以薄层树脂而成)、不锈钢板等新型材料方向发展。

手段二,在塑料材料方面,加强对工程塑料的研究,改性塑料和特殊功能塑料的用量在不断增加。ABS 塑料用量明显下降,取而代之的是 PS(聚苯乙烯)。另外,PE(聚乙烯)、PP(聚丙烯)、PVC(聚氯乙烯)、TPX 塑料、不饱和聚酯和聚砜等塑料用量比重较大。

手段三,玻璃材料主要采用新型高效节能复合玻璃陶瓷——高强度、低膨胀微晶陶瓷玻璃系列产品和新型耐高温(可抗 $>800\text{ }^{\circ}\text{C}$ 高温)、不透明的纤维加固玻璃,此类玻璃可以在其上拧螺丝和钉铁钉,强度比硬铅高 2 倍,在电热设备上应用较多。

## 第2章 电热设备常用原材料

电热设备的主要材料是发热材料。常用的发热材料按材质不同分为金属、非金属和半导体三大类;按结构不同可分为单一电热材料和复合电热材料两大类。这些发热材料的共同特点是通电后发热,但表面带电,因此,虽能形成独立的电热元件,却不能独立使用,需设置附加安全防护结构,以确保安全。

### 2.1 金属电热材料及特性

#### 2.1.1 电阻式电热元件的材料及其性能

电阻式电热元件中的电热材料是制成电热器的关键。材料性能的优劣,直接影响电热器的质量。电热材料除了应具备一般的力学、物理性能外,必须具有电和热等方面的特殊性能,如较高的电阻率,较小的电阻温度系数,抗氧化、耐腐蚀性好,耐高温,良好的加工性能(见表2-1)。

我国的电热材料已形成了完整的体系,镍铬合金、铁铬铝合金、钼、钨、钽等成批生产的常用金属电热材料的种类及特性见表2-1。其中使用纯金属及非金属材料的工作温度虽高于合金型材料,但纯金属材料大部分需要在保护环境中使用,以防止氧化。纯金属与非金属材料的电阻温度系数大、电阻率低,使用时还需配以低电压、大电流的调压装置,从而导致设备增大,使用受到局限。合金材料优于前者,使用简便。铁铬铝系电热合金材料的工作温度可达1400℃,足以满足电热器的需要。

高熔点金属钼、钨、钽制成的电热元件,有丝材、带材和板材等形式。为了固定电热元件,需采用耐火材料和绝缘材料。当电热元件和耐火材料、绝缘材料接触时,在一定条件下(指温度、压力)会发生化学作用,形成低熔点合金,使电热元件寿命急剧缩短。钼在氧化性气氛中会生成氧化钼,氧化钼极易升华,在渗碳性气氛中会产生碳化物,使电阻率增加,甚至造成电热元件断裂。用这类材料制成的电热元件在真空中使用时,随着使用温度与真空度的提高会严重蒸发。钼在1800℃、钽在2200℃、钨在2400℃以上使用时,蒸发更为迅速。为了抑制蒸发,在炉内可通入一定压力的惰性气体或高纯氮气。如在惰性气体中使用,则其使用温度均能相应地提高。

表 2-1 常用金属电热材料的物理与力学性能

| 性 能                                                  | 材 料       |           |             |             |           |           |
|------------------------------------------------------|-----------|-----------|-------------|-------------|-----------|-----------|
|                                                      | 铁 铬 铝 合 金 |           |             |             | 镍 铬 合 金   |           |
|                                                      | 1Cr13Al4  | 0Cr25Al5  | 0Cr13Al6Mo2 | 0Cr27Al7Mo2 | Cr15Ni60  | Cr20Ni80  |
| 密度/(g/cm <sup>3</sup> )                              | 7.4       | 7.1       | 7.2         | 7.1         | 8.2       | 8.4       |
| 线胀系数(20~1 000 ℃)/(10 <sup>-6</sup> ℃ <sup>-1</sup> ) | 15.4      | 16        | 15.6        | 16.6        | 13        | 14        |
| 比热容/[cal <sup>①</sup> /(g·℃)]                        | 0.117     | 0.118     | 0.118       | 0.118       | 0.110     | 0.105     |
| 热导率/[kcal/(m·h·℃)]                                   | 12.6      | 11.0      | 11.7        | 10.8        | 10.8      | 14.4      |
| 熔点约值/℃                                               | 1 450     | 1 500     | 1 500       | 1 520       | 1 390     | 1 400     |
| 抗张强度/(kg/mm <sup>2</sup> )                           | 60~75     | 65~80     | 70~85       | 70~80       | 65~80     | 65~80     |
| 伸长率/%                                                | ≥12       | ≥12       | ≥12         | ≥10         | ≥20       | ≥20       |
| 反复弯曲次数 <sup>②</sup>                                  | ≥5        | ≥5        | ≥5          | ≥5          |           |           |
| 电阻率/(Ω·mm <sup>2</sup> /m)                           | 1.26±0.08 | 1.40±0.10 | 1.40±0.10   | 1.50±0.10   | 1.12±0.05 | 1.09±0.05 |

注：① 1cal=4.18 J，全书同；  
② 反复弯曲次数按 GB/T 238—2013“金属材料 线材 反复弯曲试验法”进行测定。

2.1.2 导体的电阻率与温度系数

导体具有电阻，导体的电阻  $R$  与它的长度  $l$  成正比，与它的横截面积  $S$  成反比。用数学式表示为

$$R=\rho \frac{l}{S} \tag{2-1}$$

式中， $\rho$  叫为导体材料的电阻率，它的大小决定于导体材料的性质。如果  $R$  的单位是  $\Omega$ ， $l$  的单位是 m， $S$  的单位是 mm<sup>2</sup>，则  $\rho$  的单位为  $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 。它在数值上等于长度为 1 m、横截面积为 1 mm<sup>2</sup> 的导体的电阻值。

不同的材料，电阻率的数值不同；同一材料，在不同的温度下电阻率也不一样。表 2-1 中列出一些材料在 20℃时的电阻率数值，一般用  $\rho_{20}$  表示。

合金电热材料的电阻值  $R$  与电阻率  $\rho$  成正比。由于电阻值的变化直接影响发热功率  $P$  和发热量  $Q$  的大小，因此电阻率的变化成为合金电热材料的一个主要技术指标。正常使用过程中，电阻值随着温度变化，电阻率也随温度变化，这个变化数值叫作电阻温度系数。

具有正值的电阻温度系数，其值越小，即说明合金电热元件随着工作温度的升高电阻变化越小，电功率的变化也越小，这样容易得到较平稳的工作温度。

在工作温度下的电阻率  $\rho_t$  与 20℃时的电阻率  $\rho_{20}$  之比称为电阻率修正系数  $C_t$ ，即为电阻温度系数

$$C_t=\frac{\rho_t}{\rho_{20}} \tag{2-2}$$

常用的合金电热材料电阻率修正系数与温度的关系见图 2-1、图 2-2 和表 2-2。