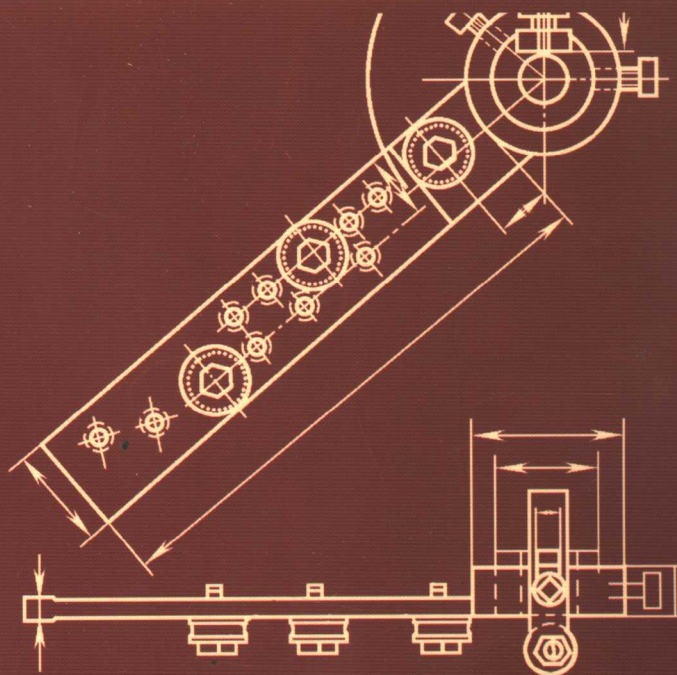


电 气 设 备 丛 书

电热设备

张培寅 主编

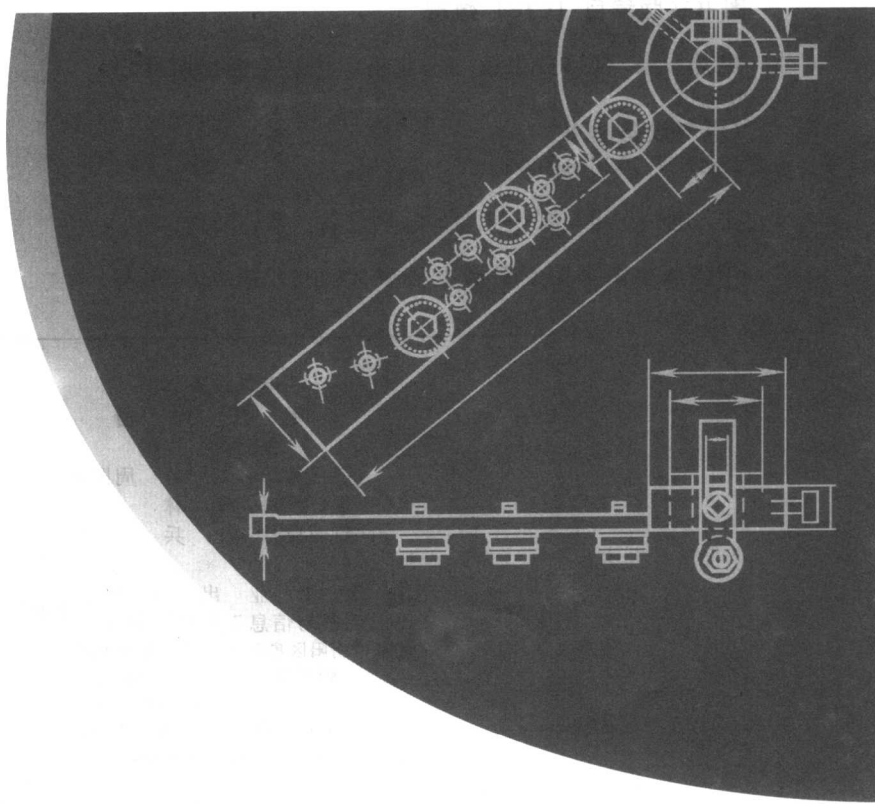


化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

电 气 设 备 丛 书

电 热 设 备

● 张培寅 主编



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

· 北 京 ·

内 容 提 要

电热设备从家用电器,农业生产加工器具,工业加热、电解、熔焊、合成、冶炼、热处理,一直到航天等领域,都得到广泛的应用,是人类生活、生产中重要装备之一。

本书就电热元件、控温和设备结构特点分别作了诠释,对电热设备的主要技术参数、运用场合、操作技术、维护和检测、安全技术要素作了精练的论述。

本书具有适用性、通用性、科学性强的特点,适合机械、冶金、石油化工、轻工、食品、家电、航空等与电热相关学科教师师生作教学参考书,以及电热设备、器具研究、生产、营销、使用的科技工作者作电气设备资料参阅。

图书在版编目 (CIP) 数据

电热设备/张培寅主编. —北京:化学工业出版社,
2005.12
(电气设备丛书)
ISBN 7-5025-8108-1

I. 电… II. 张… III. 电热设备 IV. TM924

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 156698 号

电气设备丛书 电 热 设 备

张培寅 主编

责任编辑:刘 哲 周国庆

责任校对:李 林

封面设计:于 兵

*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行
工业装备与信息工程出版中心
(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询:(010) 64982530

(010) 64918013

购书传真:(010) 64982630

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

*

新华书店北京发行所经销

北京永鑫印刷有限责任公司印刷

三河市前程装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 17 $\frac{3}{4}$ 字数 426 千字

2006 年 2 月第 1 版 2006 年 2 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-8108-1

定 价: 38.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

《电气设备丛书》编委会名单

主 任 孙玉坤

副主任 赵德安 李金伴 陆一心

委 员 方昌林 张培寅 王尽余 张植保

周新云 周 洋 沈培坤 谭延良

黄永红 杨 东 盛占石

前 言

随着科学技术的迅猛发展,电气设备发展日新月异。尤其是以计算机、信息技术为代表的高新技术的发展,使制造技术的内涵和外延发生了革命性的变化,传统的电气设备设计、制造技术不断吸收信息控制、材料、能源及管理等领域现代成果,综合应用于产品设计、制造、检测、生产管理和售后服务。在生产技术和生产模式等方面,许多新的思想和概念不断涌现,而且,不同学科之间相互渗透、交叉融合,衍生新的研究领域,迅速改变着传统电气设备制造业的面貌,产品更新换代极为频繁。21世纪电气设备发展的总趋势是:强弱电技术的融合更为密切;多学科、多专业的交叉更为深入;我国电气产品与国际接轨的步伐将迈得更大,国内外的技术交流也将更为广泛。

当今世界,科学技术发展迅速,知识经济发展显现端倪,综合国力的竞争日趋激烈。国力的竞争,归根结底是科技与人才的竞争。为了适应社会主义现代化建设的需要,我们组织编写了这套《电气设备丛书》(以下简称《丛书》),满足广大电气工作者和爱好者的迫切需要。

《丛书》编写时从实用出发,力求理论与实际相结合,突出新颖性,介绍电气设备的结构、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,并注重理论联系实际,融入应用实例,突出技能和技巧。

《丛书》本着求精避繁的原则,对电气设备的基础理论、材料、器件、应用电路、安装、调试、运行与维修等适用面广、使用频率高和实用性强的技术内容作了详细的阐述。同时,还从实际出发,介绍反映电工电子、电力电子、计算机、自动控制、传感器技术、机电一体化的相互交叉、纵横结合的发展大趋势。

本套丛书共10个分册,包括:《防爆电器》、《防雷与接地装置》、《电气测量设备》、《电热设备》、《开关电源技术》、《漏电保护器》、《高压电器》、《低压电器》、《变压器原理与应用》、《电机原理与应用》。

本书是《电热设备》分册。

电热设备是以世界上所谓清洁能源——电为热源的加热设备,是为食品、机械、冶金、石油化工、人类日常生活和现代农业等服务的重要器具。

本书共分10章,系统地介绍了电热设备(electric heating installation)的分类和发展趋势、电热设备用主要原材料、电热元件的设计与制造、温度控制元件、时间控制元件、电热设备典型的控制电路、供电及安全用电,并对典型电热设备作了诠释。各章论述中着重在举实例、点数据、教技巧,并以较大篇幅介绍了相关产品的型号、性能参数,为工程技术人员提供了传统、常用、新颖、简明、较系统和完整的电热设备参考资料。

本书由张培寅高级工程师主编,李金伴教授主审。在编写过程中参阅了大量国外同行的专著、教材、论文等,在此表示致谢。

本书在编写过程中,得到江苏大学领导、镇江市科学技术协会、镇江市老专家协会的关注与支持,得到江苏大学老科技工作者协会专家的指导,在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中有不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者
2005年12月

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 电热设备的分类	1
1.1.1 按加热方法与加热速度划分类别	1
1.1.2 按电压带分类	2
1.1.3 按频率分类	2
1.1.4 按被加热物的形态变化分类	2
1.1.5 按用途分类	2
1.2 电热设备的应用	3
1.3 电热方法	4
1.3.1 电热设备的特点	4
1.3.2 供电条件	4
1.3.3 安装和布置	5
1.3.4 控制和联锁	5
1.4 电热设备的发展趋势	5
第 2 章 电热设备用主要原材料	7
2.1 金属电热材料	7
2.1.1 电阻式电热元件的材料及其性能	7
2.1.2 导体的电阻率与温度系数	8
2.1.3 脆性和高温强度	9
2.1.4 合金电热元件最高使用温度	9
2.1.5 表面负荷	10
2.1.6 合金电热材料的化学特性	13
2.2 非金属电热材料	14
2.2.1 硅钼棒	15
2.2.2 碳化硅棒	22
2.2.3 多孔玻璃态碳	27
2.2.4 PP 型电热材料	28
2.2.5 PTC 半导体电热材料	29
2.3 复合材料构成的电热设备加热材料	42
2.3.1 配阻材料构成的电热材料	42
2.3.2 远红外线辐射材料	42
2.3.3 远红外辐射加热器用材料形状	45
2.4 重金属及其合金与石墨类电热材料	51
2.4.1 重金属材料与石墨的特性	51

2.4.2 石墨类电热材料	54
第3章 电热元件的设计与制造	57
3.1 电热丝的设计	57
3.1.1 线径计算	57
3.1.2 形状设计	61
3.1.3 设计计算参数整理	63
3.2 电热元件发热体的制作	68
3.2.1 缠绕工艺	68
3.2.2 圆丝与引出棒的连接	71
3.2.3 引出带与圆丝的连接	72
3.2.4 引出带与扁丝的连接	72
3.2.5 并股引线	72
3.2.6 焊接	72
3.2.7 复合连接	72
3.2.8 金属电热元件在电热设备中的布置和安装	73
3.3 金属管状电热元件	74
3.4 带状电热元件	83
3.5 电热板	84
3.6 薄膜电热元件(电热膜)	89
第4章 温度控制元件	95
4.1 热双金属片温控元件	95
4.1.1 缓动式温控元件	98
4.1.2 闪动式温控元件	99
4.1.3 U形热双金属元件	99
4.1.4 碟形双金属元件	99
4.1.5 热双金属温控器的选用与维修	100
4.2 磁性温控元件	100
4.2.1 磁性控温原理	100
4.2.2 磁性温控元件的特点	102
4.3 形状记忆温控元件	103
4.3.1 形状记忆效应	103
4.3.2 形状记忆效应的应用实例	103
4.4 热敏电阻温控元件	104
4.4.1 原理	104
4.4.2 结构形式和规格	105
4.4.3 热敏电阻温控元件的特点	105
4.5 热电偶温控元件	106
4.5.1 原理	106
4.5.2 热电偶定则	106

4.5.3	热电偶的种类	106
4.5.4	热电偶的选择、使用与维修	107
4.6	超温保护器	108
4.6.1	温度保险丝	108
4.6.2	热断型热保护器	109
4.7	电子恒温电路	110
第 5 章	时间控制元件	112
5.1	机械发条式定时器	112
5.2	电动式定时器	112
5.3	电子式定时器	113
第 6 章	电热设备典型的控制电路	119
6.1	不带温控元件的电路（开关电路）	119
6.2	整流二极管调功控制电路	120
6.3	电子调功控制电路	121
6.4	微型温度断电器控温型电路	121
6.5	低压调压型电路	122
6.6	二极管半波整流的调温型电路	122
6.7	具有双向可控硅调节器的调温型电路	123
6.8	电容调温型电路	124
6.9	电阻调温型电路	124
6.10	单检测线型电子控制电路	125
6.11	双检测线型电子控制电路	126
6.12	PTC 温控型电路	126
第 7 章	电热设备（产品）使用安全技术标准	128
7.1	低压配电网供电	128
7.2	对供电连接的要求	128
7.2.1	一般要求	128
7.2.2	对固定连接的要求	128
7.2.3	对可移动连接的要求	129
7.3	电源设备	129
7.3.1	专用变压器	129
7.3.2	变频电源装置	129
7.4	电热设备的使用环境	129
7.5	产品安全性能试验方法	130
7.5.1	工作温度下和湿热试验后的电气绝缘和泄漏电流	130
7.5.2	防触电保护	133
7.5.3	接地装置	135
7.5.4	发热试验	136
7.5.5	爬电距离和电气间隙	137

7.6	产品安装	138
7.7	产品使用方面	139
7.8	产品检修方面	139
7.9	电热设备防火	140
第8章	典型电热设备介绍	143
8.1	空间电热设备	143
8.1.1	生活用电热设备（器、具、炉、装置）	143
8.1.2	工业类电阻炉	152
8.1.3	可控气氛电热设备	163
8.2	液体（相）类电热设备	174
8.2.1	普通电热式油炸设备	174
8.2.2	水油混合式油炸设备	175
8.2.3	外热式浴炉	177
8.2.4	内热式电极盐浴炉	178
8.2.5	流动粒子（假液态）电加热设备	183
8.3	真空电热设备	191
8.3.1	真空熔炼或热处理	191
8.3.2	真空热处理炉类型	192
8.4	电弧炉	201
8.4.1	基本原理	201
8.4.2	电弧炉的分类和用途	202
8.4.3	电弧炉设备	202
8.4.4	操作安全技术措施	205
8.5	电渣炉	209
8.6	工业微波加热设备	211
8.6.1	基本工作原理与特点	211
8.6.2	工业微波加热的应用	212
8.6.3	工业微波设备的安全使用	212
8.6.4	电磁场强度与微波漏能测量	213
8.7	感应加热设备	217
8.7.1	原理	217
8.7.2	常用感应加热设备的电气参数	218
8.7.3	电源装置	220
8.7.4	电容器	221
8.7.5	三相平衡装置	221
8.7.6	保护设备及仪表	222
8.7.7	材质	222
8.7.8	母线与电缆的选择	222
8.7.9	安装	223

8.7.10 运行	224
8.7.11 维护	225
8.8 高能束加热设备	225
8.8.1 高能束加热和用途	225
8.8.2 微/纳米热喷涂技术	227
第9章 电热设备能效改善研究	233
9.1 性能试验	234
9.1.1 电加热设备的电能利用率 η	234
9.1.2 减少热损失, 提高电能利用率的途径	234
9.1.3 电热元件冷态直流电阻与热态泄漏电流的测定	235
9.1.4 额定功率的测定	235
9.1.5 空炉升温时间的测定	236
9.1.6 空载功率的测定	236
9.1.7 炉温均匀度的测定	237
9.1.8 表面温升的测定	239
9.1.9 远红外加热	239
9.2 选用耐温、耐热、绝缘材料	242
9.2.1 耐温材料	242
9.2.2 不定型耐火材料	249
9.2.3 耐火材料	249
9.2.4 绝缘材料	257
9.3 温度控制	260
9.3.1 基地式仪表组成的炉温自动控制系统	260
9.3.2 控制温度的调节器	261
9.3.3 调节温度的执行器	262
9.3.4 单元组合仪表组成的炉温自动控制系统	262
9.3.5 电热设备温度的位式控制	263
9.3.6 电炉温度的时间比例控制	264
9.3.7 可控硅调压器温度自动控制系统	265
9.3.8 调功器调波(频)形式对电热设备控温的影响	265
9.3.9 炉温程序控制	267
9.3.10 感应加热温度的自动控制	267
附录A 常用材料的比热容、相对密度、热导率	270
附录B 常用材料制图剖面标示图样	271
附录C 世界各大洲主要城市用电的相数电压和频率	271
参考文献	273

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 21 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划分类别

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对比分列如图 1-1。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而制成的。其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,辐射了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时便产生了热。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而制成的电热炊具。

(4) 微波式电热设备 微波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,可归纳为表 1-1 所示。

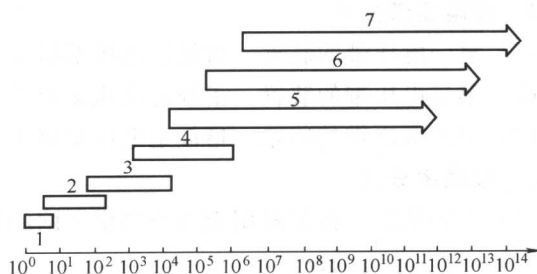


图 1-1 加热方法与加热速度的比较

1—电阻炉加热; 2—工频感应加热; 3—高频感应加热; 4—超高频感应加热; 5—电子束加热; 6—激光束加热; 7—离子束加热



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 (2)利用电极与电极间的电弧间接熔化炉料,如炼钢电弧炉 (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、高频三种
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 (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 300~3000000Hz 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 50V 或直流 120V 的装置。
- (2) 第二电压带的装置 指额定电压交流 50~1000V 或直流 120~1500V 的装置。
- (3) 第三电压带的装置 指额定电压交流大于 1000V 或直流大于 1500V 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 50Hz, 美国为 60Hz。

$$f_{\text{工频}} = 50\text{Hz}$$

- (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 10kHz。

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

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

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

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

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

1.1.4 按被加热物的形态变化分类

可分为电加热设备、电熔炼设备、假液态电热设备。

1.1.5 按用途分类

(1) 取自电力系统供电网络电源电能的重工业、轻工业、石油化工、食品、橡胶、塑料工业等工业用电热设备。

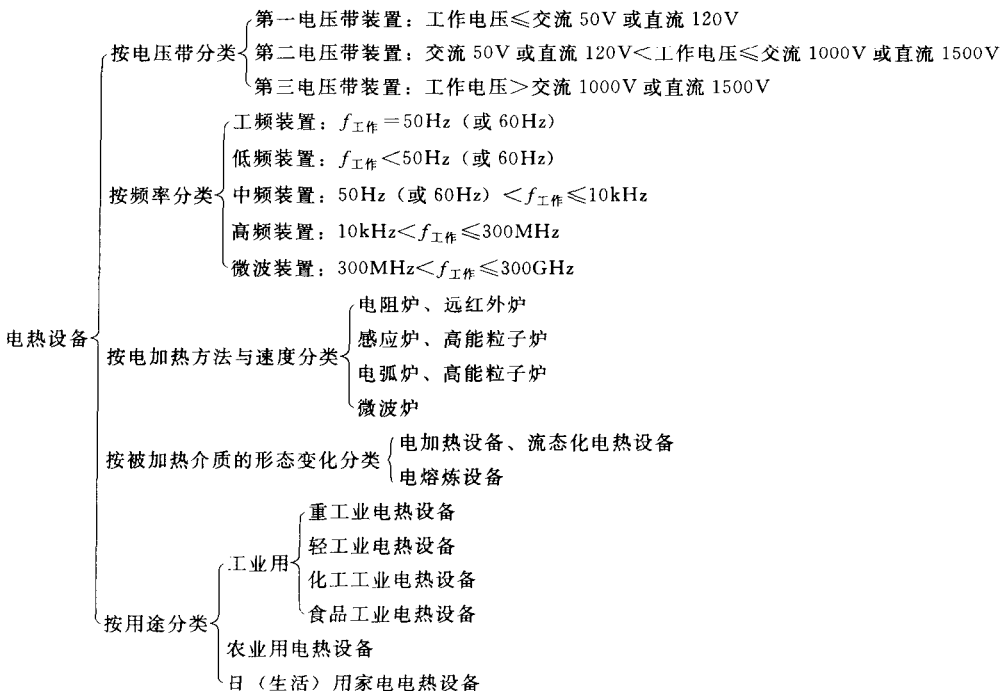
(2) 利用农用电源、自发电电源、可再生资源电能的育苗、孵化、热水等农业用电热器具、设施。

(3) 以民用电源或便携储能电源供电的调湿、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如表 1-2 所列。



表 1-2 电热设备的分类表



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的，而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，在机械制造以及黑色、有色金属冶炼中，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。

在轻工业中，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。

在石油化工中，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了电热后，使工程投资减少，运行成本降低，工程质量也得到保证。

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、电热水汀、红外线取暖器、热风机等。特别在没有暖气设备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、桑那浴加热器、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中，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。与其他能源相比，煤的热效率约为 12%~20%，液体燃料的热效率约为 20%~40%，气体燃料的热效率约为 50%~60%，蒸汽热效率约为 45%~60%，而电能热效率约为 50%~95%。

(3) 电热方法有可能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、电热设备容易做得结构紧凑，便于维修，可大大改善操作者的劳动条件。

(8) 一次性投资较大，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，但将增加电能损耗、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而定其负荷等级。

(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,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 1000V 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

21 世纪的到来,电热设备的市场竞争主要是工业设计的竞争。时代性外观设计是工业设计的重要内容,其外观时代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) 轮廓外形要圆角,不要棱角或直角。

(5) 整体设计协调紧凑,具有艺术完整性,灵活放置的数模式化以体现个性。

(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,如微波炉装在厨柜下,洗碗机放在水池下面等。

技术设计的总趋势如下。

(1) 在开发电热设备产品中引入尖端技术和新技术,例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、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、低档两级分化。
- (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例很大，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、性能相当但价格更为低廉的新材料（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，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 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 and 一种新型耐高温（可抗 $>800^{\circ}\text{C}$ 高温）、不透明的纤维加固玻璃，它可以在玻璃上拧螺丝和钉铁钉，强度比硬铅高 2 倍，在电热设备上应用较多。

第 2 章

电热设备用主要原材料

2.1 金属电热材料

电热设备的主要材料是发热材料。常用的发热材料中按材质不同分为金属、非金属和半导体三大类；而按其结构来分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。

2.1.1 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，主要有金属和非金属材料两种，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（见表 2-1 所示），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。

表 2-1 常用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 ³)	7.4	7.1	7.2	7.1	8.2	8.4
线胀系数(20~1000℃)/10 ⁻⁶ ℃ ⁻¹	15.4	16	15.6	16.6	13	14
比热容/[cal ^① /(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/℃	1450	1500	1500	1520	1390	1400
抗张强度/(kg/mm ²)	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 ^①	≥5	≥5	≥5	≥5		
电阻率/(Ω·mm ² /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

① 反复弯曲次数按 GB 238 “线材弯曲试验法”进行测定。

我国的电热材料已形成了完整的体系，成批生产的常用电热材料的种类及特性见表 2-1 所示。其中纯金属及非金属材料的使用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。

① 1cal=4.18J，全书同。