



全国高等院校规划教材

电器及其控制技术

DIANQI JIQI KONGZHI JISHU

杨丰萍 李中奇 许智榜 主 编



江西科学技术出版社
北 京 出 版 社

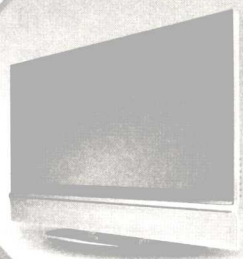


全国高等院校规划教材

电器及其控制技术

DIANQI JIQI KONGZHI JISHU

杨丰萍 李中奇 许智榜 主 编



江西科学技术出版社
北 京 出 版 社

图书在版编目 (CIP) 数据

电器及其控制技术/杨丰萍主编. -南昌: 江西科学技术出版社, 2007.9

ISBN 978-7-5390-3088-3

I.电… II.杨… III.电气控制 IV.TM571

中国版本图书馆CIP数据核字 (2007) 第138457号

国际互联网 (Internet) 地址:

<http://www.jxkjcs.com>

电器及其控制技术

杨丰萍 主编

出版发行	江西科学技术出版社 北京出版社
社 址	南昌市蓼洲街2号附1号 邮编: 330009 电话: (0791) 6623491 6639342 (传真)
印 刷	北京通县华龙印刷厂
经 销	各地新华书店
开 本	787mm×1092mm 1/16
字 数	486千字
印 张	20.75
版 次	2007年9月第1版 2007年9月第1次印刷
书 号	ISBN 978-7-5390-3088-3
定 价	32.00

目 录

第一章 电器的发热与电动力	1
1.1 电器的允许温度和热稳定性	1
1.2 电器的基本热源	2
1.2.1 导体通过电流时的能量损耗	3
1.2.2 磁滞、涡流损耗	4
1.2.3 电介质损耗	4
1.3 电器的散热及综合散热系数	5
1.3.1 热传导	5
1.3.2 对流	7
1.3.3 辐射	7
1.3.4 综合散热系数与牛顿公式	8
1.4 电器的发热计算	8
1.5 电器的发热工作制	10
1.5.1 长期工作制	10
1.5.2 短时工作制	10
1.5.3 反复短时工作制	11
1.6 短路时的发热过程	12
1.7 电器中的电动力	14
1.8 载流导体系统的电动力计算	15
1.8.1 用比奥——沙瓦定律计算电动力	15
1.8.2 用能量平衡公式计算电动力	17
1.9 交变电流下的电动力	18
1.9.1 单相系统中的电动力	18
1.9.2 三相系统的电动力	19
1.10 短路电流下的电动力	21
1.10.1 单相系统短路时的电动力	21
1.11 电器的电动稳定性	22
习题	23
第二章 电接触与电弧理论	24
2.1 电接触与触头	24
2.1.1 电接触联接的分类	24

2.1.2 触头的基本参数和工作状况	25
2.2 电弧的形成过程	26
2.2.1 气体的电离	26
2.2.2 消电离及其形式	28
2.2.3 气体放电过程	29
2.3 电弧的电位分布和特性	30
2.3.1 电弧的电位分布和电压方程	30
2.3.2 直流电弧的伏安特性	30
2.3.3 交流电弧的伏安特性	32
2.3.4 电弧的能量平衡	32
2.4 直流电弧及其熄灭	33
2.5 交流电弧及熄灭	34
2.5.1 弧隙介质恢复过程	34
2.5.2 弧隙电压恢复过程	36
2.5.3 交流电弧的熄灭	37
2.6 灭弧装置	38
2.6.1 熄灭火花电路	38
2.6.2 简单灭弧	38
2.6.3 磁吹纵缝灭弧装置	38
2.6.4 栅片灭弧装置	39
2.6.5 固体产气灭弧装置	40
2.6.6 石英砂灭弧装置	40
2.6.7 油吹灭弧装置	40
2.6.8 压缩空气灭弧装置	40
2.6.9 六氟化硫气体灭弧装置	40
2.6.10 真空灭弧装置	41
2.7 触头接触电阻及其影响因素	41
2.7.1 接触电阻	41
2.7.2 影响接触电阻的因素	42
2.8 触头的发热与电动力	44
2.8.1 触头的发热	44
2.8.2 触头间的电动力	45
2.9 触头的电侵蚀	46
2.9.1 桥蚀	46
2.9.2 弧蚀	47
2.10 触头的熔焊和冷焊	48
2.10.1 触头的熔焊	48
2.10.2 触头的冷焊	48
2.11 触头材料	49
习题	51

第三章 电磁机构理论	52
3.1 电磁机构的种类和特性	52
3.1.1 静态吸引特性和动态特性	53
3.1.2 机械特性	53
3.2 电磁机构中的磁场及其路化	54
3.2.1 磁场的基本物理量	54
3.2.2 磁场的基本性质	55
3.2.3 磁场的路化	57
3.3 磁路的基本定律和计算任务	58
3.3.1 磁路的基本定理	58
3.3.2 磁路的参数与等效磁路	58
3.3.3 磁路的特点	59
3.3.4 磁路计算的任务	59
3.4 气隙磁导和磁导体磁阻的计算	60
3.4.1 概述	60
3.4.2 解析法求气隙磁导	61
3.4.3 磁场分割法求气隙磁导	61
3.4.4 磁导体的磁阻和磁阻抗	68
3.5 磁路的微分方程及其解	69
3.5.1 磁路的微分方程	69
3.5.2 不计铁心磁阻时的计算	70
3.6 不计漏磁时的磁路计算	70
3.6.1 无分支磁路计算	71
3.6.2 有分支磁路计算	73
3.7 交流磁路的计算	74
3.7.1 交流磁路的特点	74
3.7.2 交流磁路的基本定律	74
3.7.3 交流磁路和铁心电路的相量图	75
3.7.4 交流磁路的计算方法	75
3.8 电磁机构的吸力计算	76
3.8.1 电磁机构中的能量转换与电磁力	76
3.8.2 麦克斯韦电磁力计算公式	78
3.9 交流电磁机构的电磁力与分磁环原理	80
3.9.1 交流电磁吸力的特点	80
3.9.2 分磁环及其作用	81
3.9.3 三相电磁机构的电磁吸力	82
3.10 静特性及其与机械反力特性的配合	82
3.10.1 转动式U型电磁机构	83
3.10.2 直动式U型电磁机构	83

3.10.3 直动式E型电磁机构	83
3.10.4 转动式E型电磁机构	84
3.10.5 有止座壳式电磁机构	84
3.10.6 静特性与机械反力特性的配合	84
3.11 电磁机构的动态特性	85
3.11.1 直流电磁机构的动态特性	85
3.11.2 交流电磁机构的动态特性	88
习 题	90
第四章 常用电器	92
4.1 概述	92
4.1.1 低压电器的作用与分类	92
4.1.2 低压电器的发展方向	93
4.2 刀开关	94
4.2.1 概述	94
4.2.2 常用的刀开关	94
4.2.3 刀开关的选用及图形、文字符号	96
4.3 组合开关	96
4.4 接触器	97
4.4.1 交流接触器	98
4.4.2 直流接触器	99
4.4.3 接触器的主要技术参数及常用的接触器	100
4.4.4 接触器的选用	104
4.5 熔断器	105
4.5.1 熔断器的结构及保护特性	105
4.5.2 熔断器的主要技术参数	106
4.5.3 常用的熔断器	106
4.5.4 熔断器的选择与维护	109
4.6 继电器	110
4.6.1 概述	110
4.6.2 电磁式继电器	110
4.6.3 时间继电器	114
4.6.4 热继电器	117
4.6.5 速度继电器	121
4.6.6 干簧继电器	122
4.6.7 固态继电器	123
4.7 主令电器	126
4.7.1 控制按钮	126
4.7.2 行程开关	128

4.7.3 接近开关	130
4.7.4 光电开关	130
4.7.5 主令控制器	131
4.7.6 万能转换开关	132
4.8 智能控制电器	133
4.8.1 概论	133
4.8.2 智能接触器	135
4.8.3 智能继电器	137
4.8.4 智能断路器	143
4.8.5 可编程控制器 (PLC)	145
本章小结	152

第五章 机车电器

5.1 概述	153
5.1.1 分类	153
5.1.2 工作条件和特点	153
5.2 受电弓	154
5.2.1 概述	154
5.2.2 主要技术参数	155
5.2.3 结构及作用	155
5.2.4 动作原理	156
5.2.5 受电弓的维护和调整	158
5.3 主断路器	160
5.3.1 概述	160
5.3.2 主要技术参数	160
5.3.3 基本结构及主要部件作用	161
5.3.4 动作原理	165
5.3.5 使用维护注意事项	166
5.4 真空断路器	166
5.4.1 概述	166
5.4.2 技术参数	167
5.4.3 结构	167
5.4.4 动作原理	170
5.5 转换开关	171
5.5.1 概述	171
5.5.2 主要技术参数	171
5.5.3 结构	172
5.5.4 开关动作原理	176
5.6 电空接触器	176

5.6.1 技术参数	176
5.6.2 结构	177
5.6.3 工作原理	179
5.7 司机控制器	179
5.7.1 主司机控制器	179
5.7.2 辅助司机控制器	181
5.8 电空阀	183
5.8.1 结构及工作原理	183
5.8.2 主要技术参数	184
5.9 万能转换开关及按键开关	184
5.9.1 万能转换开关	184
5.9.2 按键开关	185
本章小结	188
第六章 电器控制典型环节的分析	189
6.1 概论	189
6.1.1 电器控制电路绘图准则	189
6.1.2 电器控制电路读图方法	190
6.2 电器控制系统的基本环节	192
6.2.1 电器控制系统的通电控制环节	193
6.2.2 电器控制系统的断电控制环节	194
6.2.3 电器控制系统的基本保护环节	194
6.3 电动机的常用环节	197
6.3.1 电动机点动运行控制环节	197
6.3.2 电动机长期单向运行直接启停控制环节	198
6.3.3 电动机正反转运行控制环节	199
6.3.4 电动机限流启动控制环节	200
6.3.5 电动机制动控制环节	205
6.3.6 电动机调速控制环节	210
6.3.7 电动机分处控制和集中控制环节	218
6.3.8 多台电动机的制约控制环节	219
6.3.9 电动机驱动工作台的行程控制环节	220
6.4 常用机械驱动装置的电器控制环节	222
6.4.1 机械滑台电器控制环节	222
6.4.2 机械动力头电器控制环节	224
6.4.3 机械手电器控制环节	225
6.5 常用液压驱动装置的电器控制环节	227
6.5.1 一次“进-工-退”电器控制环节	228
6.5.2 多次“进-工-退”器控制环节	230

6.5.3 终端停留无进给电器控制环节	232
6.5.4 跳跃循环电器控制环节	233
小结	236
习题	236
第七章 电器控制系统应用实例分析	238
7.1 概论	238
7.1.1 电器控制电路图	238
7.1.2 电器控制电路布置图	242
7.1.3 电器控制电路接线图	243
7.1.4 电器控制电路一般分析方法	243
7.2 典型车床电器控制电路	243
7.2.1 车床运动队电器控制电路的要求	243
7.2.2 车床电器控制电路分析	243
7.3 典型钻床电器控制电路	245
7.3.1 钻床运动对电器控制电路的要求	245
7.3.2 钻床电器控制电路分析	245
7.4 典型磨床电器控制电路	247
7.4.1 磨床运动对电器控制电路的要求	247
7.4.2 磨床电器控制电路分析	248
7.5 典型铣床电器控制电路	252
7.5.1 铣床运动对电器控制电路的要求	252
7.5.2 铣床电器控制电路分析	252
7.6 典型起重机电器控制电路	258
7.6.1 起重机运动对电器控制电路的要求	258
7.6.2 起重机电器控制电路分析	258
小结	263
习题	263
第八章 电气控制电路设计	265
8.1 电气控制电路设计的基本内容	265
8.1.1 电气控制电路设计的内容	265
8.1.2 电气控制电路设计的技术要求	266
8.1.3 电气控制电路设计原则	266
8.2 电气控制电路设计的一般程序	267
8.3 电气控制电路设计方案的确定	268
8.3.1 电气传动设计	269
8.3.2 控制方案设计	270
8.4 提高电气控制电路可靠性的基本要领	271

8.4.1 尽量提高控制系统的性价比	271
8.4.2 合理选择电气元件和控制电路	273
8.4.3 设计完善的保护环节	274
8.5 经验设计方法	277
8.5.1 经验设计法的基本步骤	277
8.5.2 设计实例	278
8.6 电气控制电路的逻辑设计法	283
8.6.1 设计方法	283
8.6.2 逻辑设计法举例	285
8.7 常用控制电器及保护电器的计算与选择	290
8.7.1 元器件的参数计算	290
8.7.2 元器件的选择方法	292
8.8 电路图的绘制	295
8.8.1 图纸幅面及格式	295
8.8.2 电路图的绘制规则	296
8.9 位置图与接线图的绘制	298
8.9.1 电气设备总体配置设计	298
8.9.2 元器件的接线设计	299

第九章 电气控制实验与课程设计	301
9.1 电气控制实验	301
9.1.1 电气控制实验的目的和任务	301
9.1.2 实验方法	301
9.1.3 实验报告及要求	302
9.1.4 参考实验项目、内容及要求	303
9.2 电气控制课程设计	309
9.2.1 课程设计的目的和要求	309
9.2.2 任务书、方法步骤及结果评定	310
9.2.3 课程设计题选	311

第一章 电器的发热与电动力

各种电器都有载流系统，在工作过程中不可避免地伴随着热效应和电动力效应。在正常工作条件下它们不至于影响电器的正常运行。但若遇到短路故障，不论是热效应还是电动力效应都可能破坏电器的工作，损坏电器，甚至引起灾害性事故。因此，对此类问题要引起重视。

本章主要讨论发热过程以及载流体受到的电动力的计算方法，以及载流体在大电流情况下的热稳定性和电动稳定性的校核。

1.1 电器的允许温度和热稳定性

电器在运行中会产生各种损耗，大部分会转变为热能，其中一部分散发到周围介质，另一部分加热电器的零部件，使其温度升高。

金属载流体的温度超过某一极限值后，机械强度明显下降。轻则使电器发生形变，影响电器的正常工作，重则使电器损坏，进而影响电器所在系统的工作。材料的机械强度开始明显降低的温度称为软化点，它不仅与材料品种有关，而且与加热时间的长短有关。图 [1-1] 所示为导体材料机械强度 σ 与温度 θ 关系，其中曲线1为冷拉铜线迅速加热10秒时的 $\sigma=f(\theta)$ 曲线，曲线2是冷拉铜线缓慢加热两小时的变化规律。由两曲线可知，缓慢加热时铜的软化点在100~200℃，而迅速加热时可达300℃。这说明迅速加热、发热时间很短时电器零部件的发热温度极限比缓慢加热、发热持续时间很长时要高得多。因此，通常规定短路故障时电器零部件的发热温度极限比正常负载时要高得多。

图 [1-1] 中曲线3表示铝线迅速加热10秒时而曲线4表示铝线缓慢加热两小时的机械强度 σ 随温度 θ 的变化规律。

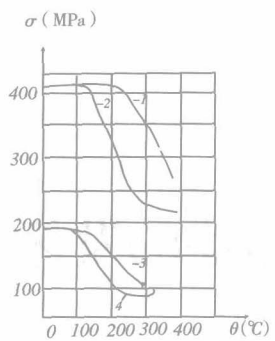


图1-1 $\sigma=f(\theta)$ 特性曲线

温度升高会加剧电接触联接表面和周围大气中某些气体间的化学反应，生成氧化膜和其他膜层，会引起接触电阻增加，并进一步使接触面温度再升高，形成恶性循环。因此，对电接触的温度也必须加以限制。

绝缘材料温度过高、发热持续时间过长会迅速老化，缩短使用寿命，甚至使介质损耗增加，发热更厉害。导致其介电强度下降，严重时引起击穿而损坏。故绝缘材料的极限允许温度同样要受到限制。

尽管决定电器各类零部件工作性能的是它们的温度，但考核电器的质量时却是以温升作为指标。温升 τ 是指零部件温度 θ 与周围介质温度 θ_0 之差。

$$\tau=\theta-\theta_0$$

(1-1)

我国的国家标准、部标准和企业标准中，按电器不同零部件的工作特征，对其允许温升都有详细的规定。虽然在各类标准中对电器载流体短时通过短路电流时的极限允许温度未作统一规定，但多年来一直是以不超过表1-1规定为准则。

表1-1 短路时短时极限允许温度

载流部件		极限允许温度/℃			
		铜	黄铜	铝	铜
未绝缘导体		300	300	200	400
包绝缘导体	Y级	200	200	200	200
未绝缘导体	A级	250	250	200	250
包绝缘导体	B、C级	300	300	200	400

校核电器载流体部件的热稳定性——电器能够短时承受短路电流的热效应而不致损坏的能力，就是以不超过表1-1所规定的温度极限。

电器零部件工作时的温度应不超过其规定的温度极限，否则会降低工作可靠性，缩短使用寿命，甚至会烧损而导致严重故障。但各零部件的工作温度也不应过低，因为温度过低说明没有充分利用，导致电器体积大、耗材多、成本高。因此，热计算对于缩小体积、减轻重量、节省材料、降低成本以及提高工作可靠性、延长使用寿命等方面都具有重要意义。

1.2 电器的基本热源

电器在工作过程中，电流通过导体产生电阻损耗，铁磁体在交变磁场作用下产生磁滞和涡流损耗，绝缘体在交变电场作用下产生介质损耗。损耗变换为热能使电器发热，称为电器

的基本热源。至于机械摩擦等产生的热源，与基本热源相比是较小的，常常不予考虑。

1.2.1 导体通过电流时的能量损耗

根据楞茨—焦耳定律，当导体通过电流 I 时，能量损耗为：

$$W = \int_0^t I^2 R dt \quad (\text{J}) \quad (1-2)$$

式中： R —导体电阻 (Ω)

t —通电时间 (s)

此公式既适用于直流，也适用于交流（将 I 理解为交流的有效值）。对电流和电阻均不变时，则：

$$W = I^2 R t = I^2 \rho \frac{l}{s} t \quad (\text{J}) \quad (1-3)$$

式中 ρ ——导体材料的电阻率 (Ωm)

l ——导体长度 (m)

s ——导体截面积 (m^2)

通常导体电阻随温度升高而增加，即：

$$R = R_0 (1 + \alpha\theta + \beta\theta^2 + \dots) \quad (1-4)$$

式中 R_0 ——在 0°C 时的导体电阻 (Ω)

α 、 β ——电阻温度系数

当导线通以交变电流时，其中的能量损耗将增大，这是电流在导线内分布不均匀所致。因为交流电流通过导体建立交流磁通，导体中心部分匝链的磁通较其表面部分多，交变磁通感应电势和电流用以阻止原电流流通，因而使导体中心部分电流密度减小，导体表面部分电流密度增大，产生所谓集肤效应。它使导体的有效截面减少，使等效电阻值增大。

集肤效应的强弱可用集肤效应系数来衡量。集肤效应系数可按下式计算：

$$K_f = \frac{S}{P} \sqrt{\frac{2\pi f \mu}{\rho}} \quad (1-5)$$

式中 S 、 P ——导线的截面积及其周长；

f ——交变电流的频率；

ρ 、 μ ——导线材料的电阻率和磁导率。

导体集肤效应越强，有效截面越小，等效电阻越大，集肤效应系数也越大。集肤效应系数恒大于1。

当两导体平行且靠得较近时，导体中的交流电流建立的交流磁通彼此耦合，使导体截面中的电流分布不均，这种现象称为邻近效应，如图 [1-2] 所示。

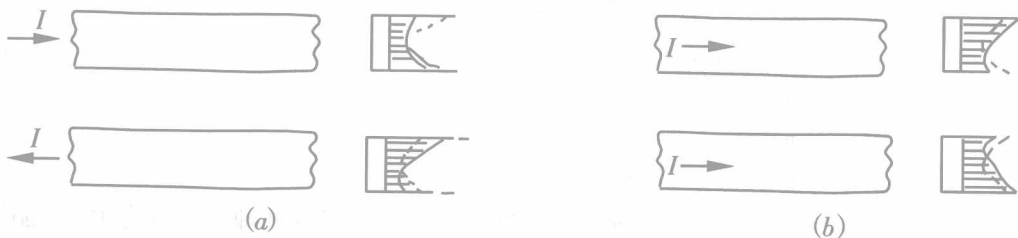


图1-2 邻近效应对电流分布的影响

(a) 两导体电流方向相反 (b) 两导体电流方向相同

邻近效应的强弱也可用邻近效应系数 K_l 来衡量。邻近效应系数与电流的频率、导线间距和截面的形状及尺寸、电流的方向及相位等因素有关，其值亦可以从有关的书籍及手册中查得。邻近效应系数值也大于1。但较薄的矩形母线宽边相对时，邻近效应部分地补偿了集肤效应的影响，改善了电流的分布，故 K_l 值略小于1。

集肤效应与邻近效应的存在使同一导线在通过交变电流（若交变电流的有效值与直流电流值相等）时的损耗比通过直流电流时的大，也就是有了附加损耗，通过交变电流和通过直流时产生的损耗之比称为附加损耗系数 K_f ，交流附加损耗系数是集肤效应系数与邻近效应系数的乘积，即：

$$K_{fe}=K_fK_l \tag{1-6}$$

集肤效应和邻近效应使电流分布不均，导体有效截面积减小，有效电阻增大。因此，附加损耗系数 K_f 总是大于1。

1.2.2 磁滞、涡流损耗

非载流铁磁质零部件在交变电磁场作用下产生的损耗称为铁损 P_{Fe} ，它包含磁滞损耗 P_n ，和涡流损耗 P_e 两部分，即

$$P_{Fe}=P_n+P_e \tag{1-7}$$

而

$$P_n=K_n \left(\frac{f}{100} B_m\right)^{1.6} \rho V \quad (B_m \leq 1T) \tag{1-8}$$

或

$$P_n=K_n \left(\frac{f}{100} B_m\right)^2 \rho V \quad (B_m > 1T)$$
$$P_e=K_e \left(\frac{f}{100} B_m\right)^2 \rho V \tag{1-9}$$

式中 f ——电源频率；
 B_m ——铁磁件中磁感应的幅值；
 ρ ——铁磁材料的密度；
 V ——铁磁质零部件的体积，

K_n 、 K_e ——磁质损耗系数和涡流损耗系数，其值与铁磁材料的品种规格有关，一般由实验来确定。

准确计算铁损是非常复杂的，通常进行近似估算。铁损亦可从工厂提供的产品样品中查得。

1.2.3 电介质损耗

电介质在交变电场作用下的损耗功率 P_d 为：

$$P_d=2\pi fCU^2tg\delta \tag{1-10}$$

式中 C ——电介质的电容
 U ——施加在电介质上的电压
 δ ——电介质的介质损耗角

介质损耗角与绝缘材料的品种规格、温度、环境状况以及处理工艺等有关。 $tg\delta$ 是电介质材料的重要特性和参数。高频及高压技术所用绝缘材料的 $tg\delta$ 值一般在 $10^{-4} \sim 10^{-3}$ 之间。这类

数据亦可从有关资料中查得。

在低压电器中,电压 U 很低,电介质中的电场强度不大,电介质损耗很小,通常不考虑。

在高压电器中,电压 U 很高,电介质中的电场强度很大,必须考虑电介质损耗及其产生的热量,以免引起过热而使绝缘老化加速,甚至引起热击穿而损坏。

1.3 电器的散热及综合散热系数

电器中损耗的能量转换为热能后,有一部分散失到周围的介质中。电器的散热方式有热传导、对流和辐射。发热和散热同时存在于工作的电器中。热计算的目的是充分利用材料而又不使电器及其零部件过热。既要减少损耗和发热,又要增强散热。

1.3.1 热 传 导

热传导是发热体的热量由较热部分向较冷部分传播,或由发热体向与它接触的物体传播。它是借分子热运动而实现的。参与金属热传导过程的是自由电子,它明显地加速了此过程。热传导是固体传热的主要方式,也可在气体和液体中进行,热量是借助于原子和分子的扩散以及弹性波的作用,在物体的质点间传播。温差的存在是热交换的充要条件。

两等温线的温差 $\Delta\theta$ 与等温线间距 Δn 之比的极限称为温度梯度,即

$$\lim_{\Delta n \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta\theta}{\Delta n} \right) \frac{d\theta}{dn} = \text{grad}\theta \quad (1-11)$$

根据傅立叶定律, dt 时间沿等温面 S 的法向 $\mathbf{n}$ 经热传导传播的热量 dQ 与该面积 S 及温度梯度成正比,即:

$$dQ = -\lambda S \text{grad}\theta dt \quad (1-12)$$

式中 λ ——传热系数或热导率

由于热量是向温度降低的方向扩散,而温度梯度则是指向温度升高的方向,故上式有一负号。

单位时间通过等温面 S 的热量称为热流,用 Φ 表示,则

$$\Phi = \frac{dQ}{dt} = -\lambda S \text{grad}\theta \quad (1-13)$$

在单位时间内通过垂直于热流方向单位面积的热量称为热流密度,用 Φ_0 表示即

$$\Phi_0 = \frac{1}{S} \cdot \frac{dQ}{dt} = -\lambda \text{grad}\theta \quad (1-14)$$

热导率 λ 表示物体的传热能力,其单位为 $\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ 。它相当于沿热流方向单位长度上的温差为 1°C 时在单位时间内通过单位面积的热量。一般来说,热导率会随温度而变化:

$$\lambda = \lambda_0 (1 + \beta_\lambda \theta) \quad (1-15)$$

式中 λ_0 ——发热体温度为 0°C 时的热导率;

θ ——发热体的温度;

β_λ ——热传导温度系数。

热导率与物体材料的性质、结构、容积、重量、温度、压力、湿度等许多因素有关,其值范围很广,银为425、铜为390、铝为210、黄铜为85、某些气体为0.006。金属的传热系数最大,非金属次之,液体和气体最小。

现列举最简单的热传导计算实例。

厚度为 δ 的无穷大单板的热传导

根据式 (1-14)，单位时间内通过单位等温面的热流密度 Φ_0 为：

$$\Phi_0 = \frac{1}{S} \cdot \frac{dQ}{dt} = -\lambda \frac{d\theta}{dn} = -\lambda \frac{d\theta}{dx} \tag{1-16}$$

上式移项积分得：

$$\theta = -\frac{\Phi_0}{\lambda} x + C \tag{1-17}$$

式中 C 积分常数，由边界条件确定。

当 $x=\delta$ 时， $\theta=\theta_2$ ，代入上式得：

$$\theta_1 - \theta_2 = \frac{\Phi_0}{\lambda} \delta \tag{1-18}$$

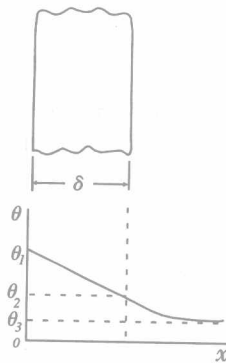


图1-3 平板的温度曲线

在无穷大平面的简单情况下，温度 θ 沿厚度 δ 的变化是线性的。

表1-2 热参数与电参数对照表

电 参 数	热 参 数
电量 $dQ = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \varphi}{\partial n} S dt$	热量 $dQ_T = -\lambda \frac{\partial \theta}{\partial n} S dt$
电流 $I = \frac{dQ}{dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \theta}{\partial n} S$	热流 $\Phi = -\frac{dQ_T}{dt} = -\lambda \frac{\partial \theta}{\partial n} S$
电流密度 $I = \frac{I}{S} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \varphi}{\partial n}$	热流密度 $\Phi_0 = \frac{\Phi}{S} = -\lambda \frac{\partial \theta}{\partial n}$
电导率 $\nu = \frac{1}{\rho}$	热导率 λ
电位差 $U = \varphi_1 - \varphi_2$	温差 $\Delta\theta = \theta_1 - \theta_2$
螺母定律 $I = \frac{U}{R} = U \frac{S}{\rho l}$	热流欧姆定律 $\Phi = \frac{\Delta\theta}{R_T} = \Delta\theta \cdot \frac{\lambda S}{\delta}$
均质等截面导体电阻 $R = \rho \frac{l}{S}$	均质平板热阻 $R_T = \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{\delta}{S}$