

The background of the cover features a complex, abstract circuit diagram. It consists of numerous blue lines representing circuit traces, some straight and some curved, intersecting at various points. Small blue circles and dots are placed at many of these intersection points, suggesting nodes or components in a network. The overall shape of the diagram is somewhat hemispherical or bowl-like, curving from the top left towards the bottom right.

电器原理

DIANQI YUANLI

张文义 刘宏达 主编

A decorative element in the bottom left corner, consisting of a series of parallel red and white diagonal stripes forming a corner shape.

HEUP 哈尔滨工程大学出版社

电 器 原 理

主编 张文义 刘宏达

内 容 简 介

本书共分7章,书中主要介绍了电器中关于发热与电动力、电接触与电弧、电磁机构等的理论基础,还介绍了低压电器中的主令电器、继电器、接触器、刀开关、熔断器、断路器等和高压电器中的断路器、隔离开关、熔断器等的基本结构、工作原理、主要技术参数与设计选用方法,同时介绍了典型的组合电器和成套电器的结构、工作原理与技术要求,最后介绍了电器控制线路的相关知识。本书将使读者对电器的基本理论、典型电器产品的基本结构、工作原理和电器控制线路的设计与应用等有较深入的了解。

本书可作为高等院校电气工程及自动化类专业的本科生教材,也可供从事高低压电器设计、制造、试验与运行和电器控制线路设计方面工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电器原理/张文义,刘宏达主编. —哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社, 2017. 1

ISBN 978 - 7 - 5661 - 1459 - 4

I. ①电… II. ①张… ②刘… III. ①电器学—高等学校—教材 IV. ①TM501

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 021714 号

选题策划 史大伟
责任编辑 张玮琪
封面设计 卓印堂设计

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号
邮政编码 150001
发行电话 0451 - 82519328
传 真 0451 - 82519699
经 销 新华书店
印 刷 哈尔滨工业大学印刷厂
开 本 787 mm × 1 092 mm 1/16
印 张 17
字 数 458 千字
版 次 2017 年 1 月第 1 版
印 次 2017 年 1 月第 1 次印刷
定 价 41.80 元

<http://www.hrbeupress.com>

E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

前 言

本书是根据教育部普通高等教育“十三五”国家级规划教材以及工信部“十三五”规划教材建设规划的教学计划编写的。

为适应高等学校教学改革的要求以及满足加强基础理论、拓宽知识面、实行模块式教学的需要,专业调整后,“电器”以外的其他一部分专业要求讲授这门实际需要、知识面广、理论基础知识相对“淡化”的电器原理。为满足这种需要,编者决定编写本教材。因为学生在今后的学习和工作中有电器控制的知识需求,所以本教材拓展电器控制的内容。

本书的主要内容包括电器的发热与电动力理论、电器的电接触与电弧理论、电器的电磁机构理论、低压电器、高压电器和电器控制线路。由于学时较少,内容较多,取舍不当之处在所难免。

本书由张文义副教授和刘宏达副教授主编。张文义对全部书稿进行了编校及删改,使其内容尽量满足现行的教学计划。

全书共分7章,其中绪论,第1、2、3、4、7章和附录由张文义编写,第5、6章由刘宏达编写,全书的修改和统稿由张文义完成。

本书可作为高等院校电气工程及自动化类专业的本科生教材,也可供从事高低压电器设计、制造、试验与运行和电器控制线路设计方面工作的工程技术人员参考。

感谢在审稿中给予巨大帮助的付家才教授,同时感谢许志红教授提出的宝贵意见。

由于编者水平有限,时间仓促,书中错误和不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2016年11月

主要符号表

A	截面积、散热面积;
B	磁感应强度;
B_r	剩磁感应强度;
B_s	饱和磁感应强度;
B_m	最大磁感应强度;
C	电容;
c	弹簧刚度、比热容;
d	直径;
E	电场强度;
e	电子电荷;
F	力;
F_x	吸力;
F_c	斥力;
F_f	反力;
F_j	接触压力;
F_0	触头初压力;
F_z	触头终压力;
F_{pj}	平均力;
f	频率, 电路振荡频率;
G	电导;
H	磁场强度;
H_c	矫顽磁力;
H_-	直流磁场强度;
H_+	交流磁场强度;
I, i	电流;
I_c	触头电流;

I_w ——稳态电流;
 I_b ——开释电流;
 I_h, i_h ——电弧电流;
 I_m ——正弦电流幅值;
 I_0 ——生弧电流、起始电流;
 I_- ——直流电流;
 I_+ ——交流电流;
 j ——电流密度;
 K_f ——返回系数;
 K_T ——综合散热系数;
 l ——长度;
 m ——质量;
 N ——匝数;
 P ——功率;
 p ——导体截面周长、压强;
 n_p ——功率过载系数;
 n_i ——电流过载系数;
 Q ——热流, 热量;
 R ——电阻;
 R_b ——束流电阻;
 R_f ——膜层电阻;
 R_h ——电弧电阻、弧柱电阻;
 R_j ——接触电阻;
 R_M ——磁阻;
 R_T ——热阻;
 r ——半径;
 r_h ——弧柱半径;
 T ——时间常数、热力学温度;
 T_h ——弧柱温度;
 t ——时间;
 t_c ——触动时间;
 t_d ——吸合时间;
 t_f ——释放运动时间;
 t_k ——开释时间;

t_{rh}	燃弧时间;
t_s	释放时间;
t_{sh}	熄弧时间;
t_x	吸合运动时间;
U, u	电压;
U_a	近阳极区电压降;
U_c	近阴极区电压降;
U_p	弧柱电压降;
U_f	释放电压;
U_h, u_h	电弧电压;
U_m	交流电压幅值、磁压降;
U_0	生弧电压、近极区压降;
U_δ	气隙磁压降;
U_{hf}	电压恢复强度;
U_{if}	介质恢复强度;
V	体积;
v	速度;
W	能量;
W_M	磁能;
X	电抗;
X_M	磁抗;
Z	电阻抗;
Z_M	磁阻抗;
α	电阻温度系数;
γ	恢复电压振幅系数、密度;
δ	气隙长度, 介质损耗角, 恢复电压振幅衰减系数;
θ	温度;
θ_0	周围介质温度;
Λ	磁导;
Λ_σ	漏磁导;
Λ_δ	气隙磁导;
λ	热导率, 单位长度漏磁导;
μ	磁导率;
μ_r	相对磁导率;

μ_0 ——真空磁导率;
 ρ ——电阻率;
 σ ——漏磁系数;
 τ ——温升,电弧时间常数;
 τ_s ——稳态温升;
 Φ ——磁通;
 Φ_f ——释放磁通;
 Φ_m ——交变磁通最大值;
 Φ_x ——吸合磁通;
 Φ_g ——漏磁通;
 Φ_δ ——气隙磁通;
 φ ——电压和电流的相角差;
 Ψ ——磁链。

;同轴线圈——A

;同轴线圈——A

;同轴线圈——A

;同轴线圈——A

;同轴线圈——A

;同轴线圈——A

;同轴线圈——A

;同轴线圈——A

;同轴线圈——A

;同轴线圈——A

;同轴线圈,同轴线圈——A

;同轴线圈,同轴线圈——A

;同轴线圈——A

;同轴线圈——A

;同轴线圈——A

;同轴线圈——A

;同轴线圈——A

;同轴线圈——A

;同轴线圈——A

;同轴线圈——A

;同轴线圈——A

;同轴线圈——A

;同轴线圈——A

;同轴线圈——A

;同轴线圈,同轴线圈——A

;同轴线圈,同轴线圈,同轴线圈——A

;同轴线圈——A

;同轴线圈——A

;同轴线圈——A

;同轴线圈——A

;同轴线圈——A

;同轴线圈,同轴线圈,同轴线圈——A

;同轴线圈——A

;同轴线圈——A

目 录

绪 论	1
0.1 电器的定义、用途与分类	1
0.2 电器在电力系统和电器控制系统中的作用	3
0.3 电力系统和电器控制系统对电器的要求及电器的正常工作条件	5
0.4 电器研究的主要理论范畴	7
0.5 电器技术的发展过程和国内外电器工业发展概况	10
0.6 本课程的任务	11
第1章 电器的发热与电动力理论	12
1.1 电器中发热的基本概念	12
1.2 电器中发热的计算	19
1.3 短路时的发热和热稳定性	25
1.4 电器中电动力的基本概念	27
1.5 电器中电动力的计算	28
1.6 短路时的电动力和电动稳定性	37
习题	41
第2章 电器的电接触与电弧理论	43
2.1 电接触的基本概念	43
2.2 触头在不同工作状态时的电接触	47
2.3 触头材料	54
2.4 电弧的基本概念	57
2.5 电弧及其熄灭	64
2.6 灭弧装置	71
习题	76
第3章 电器的电磁机构理论	78
3.1 电磁机构的基本概念	78
3.2 电磁机构的计算	89
3.3 交流电磁机构的电磁力与分磁环原理	99

3.4 吸力特性及其与反力特性的配合	102
习题	104
第4章 低压电器	106
4.1 低压电器的共性问题	106
4.2 低压控制电器	112
4.3 低压配电电器	138
习题	159
第5章 高压电器	161
5.1 高压电器的共性问题	161
5.2 高压断路器	165
5.3 其他高压电器	185
习题	199
第6章 组合电器和成套电器	200
6.1 低压组合电器和成套电器	200
6.2 高压组合电器	204
6.3 高压成套电器	207
习题	210
第7章 电器控制线路	211
7.1 概述	211
7.2 基本控制逻辑	212
7.3 电动机的基本控制线路	214
7.4 电器控制线路的设计方法	219
习题	246
附录A 电器常用图形符号	247
附录B 电器常用基本文字符号	248
附录C 电器常用辅助文字符号	249
附录D 解析法气隙磁导计算公式	250
附录E 磁场分割法气隙磁导计算公式	253
附录F 常用电器术语中英文对照表	258
附录G 与电器有关的学术组织、学术会议及期刊	260
参考文献	262

绪 论

0.1 电器的定义、用途与分类

广义地说,凡属电气器具均可称为电器。但电工行业所说的电器是指能够根据外界指定信号或要求,自动或手动地接通和分断电路,断续或连续地改变电路参数,以实现对电路或非电量对象的切换、控制、保护、检测、变换和调节用的电气器具。简单地说,电器就是接通、分断、调节、控制、保护电路以及其中电气设备用的电工器件和装置。

电器具有以下用途^[1]:

- (1)对电力系统或者电路实行通、断操作转换和电路参数变换;
- (2)对电动机实行启动、停止、正转、反转、调速,完成控制任务;
- (3)对电路负载和电工设备或电机设备等进行过载、过电压、欠电压、短路、断相、三相负载不平衡、接地等保护;
- (4)在电路中传递、变换、放大电的或非电的信号,实现自动检测和参数自动调节的功能。

电器是电气化和自动化的基本元件。电器元件与电器成套装置是发电厂、电力网、工矿企业、农林牧副渔业和交通运输业以及国防军事等方面的重要技术装备。电器在电力输配电系统、电力传动和自动控制设备中起着重要作用。据估计,每新增 10^4 kW 的发电容量,就需要大小高压电器 500 ~ 600 件,以及各种低压电器 6 万件左右^[2]。

电器有以下分类方法^[1~3]。

1. 按电器在电路中所处的地位和作用分类

(1) 配电电器

用于电力系统中,如刀开关、熔断器、断路器等。对这类电器的主要技术要求是通断能力强、限流效果好、电动稳定性和热稳定性高、操作过电压低、保护性能完善等。

(2) 控制电器

用于电力拖动自动控制系统中,如主令电器、继电器、接触器等。对这类电器的主要技术要求是有一定通断能力、操作频率高、电气寿命和机械寿命长等。

(3) 弱电电器

用于自动化通信中,如微型继电器、舌簧管、磁性或晶体管逻辑元件等。对这类电器的主要技术要求是动作时间快、灵敏度高、抗干扰能力强、特性误差小、寿命长、工作可靠等。

2. 按电压高低、结构和工艺特点分类

(1) 高压电器

额定电压 3 kV 及以上的电器,如高压断路器、隔离开关、接地开关、高压负荷开关、高压熔断器、避雷器、电抗器等。

(2) 低压电器

额定电压为交流 1 200 V 及以下、直流 1 500 V 及以下的电器,如主令电器、继电器、低压接触器、刀开关、低压熔断器、低压断路器等。

(3) 自动电磁元件

微型继电器、逻辑元件等。

(4) 成套电器和自动化成套装置

高压开关柜、低压开关柜、电力用自动化继电保护屏、可编程序控制器、半导体逻辑控制装置、无触头自动化成套装置等。

3. 按操作方式分类

(1) 手动电器

主令电器、刀开关等。

(2) 自动电器

接触器、断路器等。

4. 按电器的使用场合及工作条件分类

(1) 一般工业用电器

适用于大部分工业环境,无特殊要求的电器。

(2) 矿用及化工用防爆电器

适用于矿山、化工等特殊环境而派生的电器。

(3) 农用电器

适用于农村环境而派生的电器。

(4) 热带用电器

适用于热带、亚热带地区而派生的电器。

(5) 高原用电器

适用于高原山区而派生的电器。

(6) 船用电器

适用于船舶而派生的电器。

(7) 航空及航天用电器

适用于航空及航天而派生的电器。

(8) 牵引电器

适用于电气铁道等的牵引而派生的电器。

5. 按电器执行功能分类

(1) 有触头电器

电器通断电路的执行功能由触头来实现的电器,如接触器、断路器等。其特点为有弧通断电路、接触电阻小、绝缘电阻大、通断能力强等。

(2) 无触头电器

电器通断电路的执行功能不是由触头来实现,而是根据开关元件输出信号的高低电平来实现,如饱和电抗器、晶闸管接触器及晶闸管启动器等,其特点为无弧通断电路、动作时间快、电气寿命及机械寿命长、无噪声等。无触头电器目前还不能完全切断电流,不如触头电器那样对电源起隔离作用。

(3) 混合式电器

它是无触头与有触头互相结合、相辅相成的电器新品种,有着广阔的发展前途,如低压断路器采用半导体脱扣器,高压断路器应用微型计算机控制智能断路器等。

有触头电器的主要问题是通断过程存在电弧和磨损、电气和机械寿命短;而无触头电器的主要问题是闭合时压降大和发热温升高,断开时绝缘电阻小和耐电压能力差。如果通断过程由晶闸管无弧转换来完成,而闭合状态和断开状态由触头来实现,则可以取长补短,提高电器性能。

此外,还有电器与电子器件相结合的智能化和机电一体化电器。

0.2 电器在电力系统和电器控制系统中的作用

由发电厂、电力网及电能用户组成的系统称为电力系统,由按钮、接触器、继电器等组成的系统称为电器控制系统。为说明电器在电力系统和电器控制系统中的作用,下面介绍几种典型的电气线路。

图 0-1 是高压电网线路图^[3]。发电机 G_1 和 G_2 发出的电力经断路器 QF、电流互感器 TA 和隔离开关 QS 输送到 10 kV 的母线上。此母线经隔离开关 QS 和熔断器 FU 接电压互感器 TV,并经隔离开关 QS、断路器 QF 和电抗器 L 接向近处的电力传输线路。此外,10 kV 母线还经隔离开关 QS、断路器 QF 及电流互感器 TA 接向升压变压器 TU,后者又经断路器 QF 及其两端的隔离开关 QS 接到 220 kV 母线上。与此母线连接的有:与熔断器 FU 串联着的电压互感器 TV、通向电力传输线路的断路器 QF 和接在这些线路中的电流互感器 TA。所有这些线路均通过隔离开关 QS 接到 220 kV 母线上。另外,220 kV 母线还经隔离开关 QS 接避雷器 F。

断路器 QF 的作用是在电力系统的正常工作条件下和故障条件下接通与分断电路。熔断器 FU 的作用是对线路及其中的设备提供过载和短路保护。隔离开关 QS 的作用是在母线与其他高压电器之间建立必要的绝缘间隙,以保障维修时的人身安全。避雷器 F 的作用是为高压线路提供过电压保护。电抗器 L 的作用是限制短路电流,以减轻断路器 QF 等的工作,并在出现短路故障时使母线电压能维持一定的水平。电压互感器 TV 和电流互感器 TA 的作用是将高压侧的电压和电流变换为与它们成正比的低电压和小电流,便于安全测量,并为继电保护装置和自动控制线路提供信号。

图 0-2 是低压电网线路图^[3]。高压电网输送来的电力经降压变压器 TD 变换为低压后,通过刀开关 QS 和低压断路器 QF 送到中央配电盘母线上。这段线路称为主线路,电能由此或经刀开关 QS 和断路器 QF 接向动力配电盘母线,或经刀开关 QS 和熔断器 FU 直接接向负载。两级母线之间的线路称为分支线路,接向负载的线路称为馈电线路。一条馈电线路经熔断器 FU_2 、接触器 KM_1 和热继电器 FR_1 接向负载 M_1 ;另一条馈电线路经断路器 QF_4 、接触器 KM_2 和热继电器 FR_2 接向负载 M_2 。断路器 QF 是一种多功能的保护电器,当线路出现过载、短路、失压或欠压故障时,能自动切断故障线路。刀开关 QS 用于维修线路时隔离电源用,以保证维修时非故障线路的安全进行。接触器 KM 用于正常工作条件下频繁地接通或分断线路,但不能分断短路电流。熔断器 FU 主要用于过载及短路保护,热继电器 FR 主要用于电动机的过载保护。

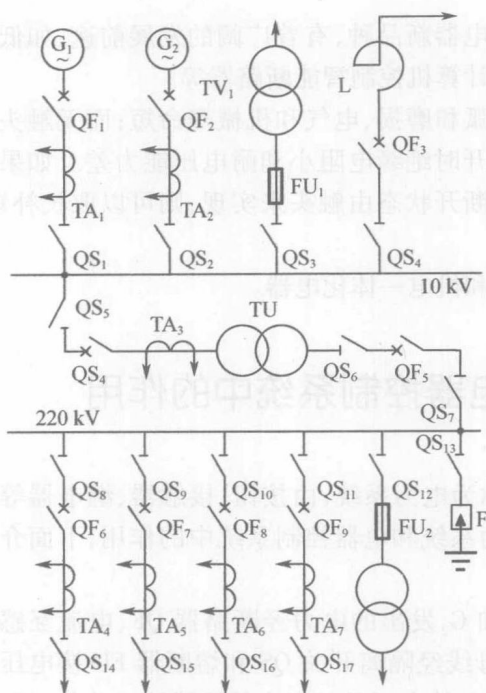


图 0-1 高压电网线路图

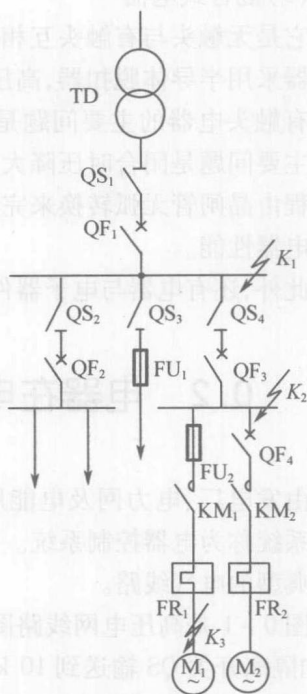


图 0-2 低压电网线路图

低压电网线路中还要使用其他种类的电器,如各种控制继电器、主令电器、启动器及调节器等。它们在线路中起着不同的作用,以满足不同的要求。

图 0-3 为三相鼠笼型异步电动机直接启动控制线路图^[2]。由三相交流电源经刀开关 QS、熔断器 FU、接触器 KM 的动合主触头、热继电器 FR 的热元件接到异步电动机 M 定子绕组的电路称为主电路。由按钮 SB₁ (动断按钮)、SB₂ (动合按钮)、接触器 KM 的线圈及其动合辅助触头、热继电器 FR 的动断触头组成的电路称为控制电路。

启动时,首先合上刀开关 QS,引入电源。按下启动按钮 SB₂,交流接触器 KM 的线圈接通电源,三对主触头闭合,电动机 M 启动运转。与此同时,并联在按钮 SB₂ 两端的辅助触头 KM 也闭合。这样,当手松开而按钮 SB₂ 自动复位后,接触器 KM 的线圈也不会断电,所以称此动合辅助触头为自锁触头。这种电路具有自锁功能,同时具有失压保护和过载保护的功能。

失电压保护:电动机 M 运行时,如果遇到电源临时停电,在恢复供电时,如果未加防范措施而让电动机自行启动,很容易造成设备或人身事故。采用自锁控制电路,由于自锁触头和主触头在停电时一起断开,控制电路和主电路都不会自行通电,所以在恢复供电后,如果不按下启动按钮 SB₂,电动机 M 就不会自行启动。

过载保护:电动机 M 在运行过程中,如果由于过载、操作频繁、断相运行等原因使电动机电流超过额定值,将引起电动机 M 过热。串接在主电路中的热继电器 FR 的热元件因受热而弯曲,产生推力,使串联在控制电路中的热继电器 FR 的动断触头断开,切断控制电路,接触器 KM 的线圈断电,接触器 KM 的主触头断开,电动机 M 停转。

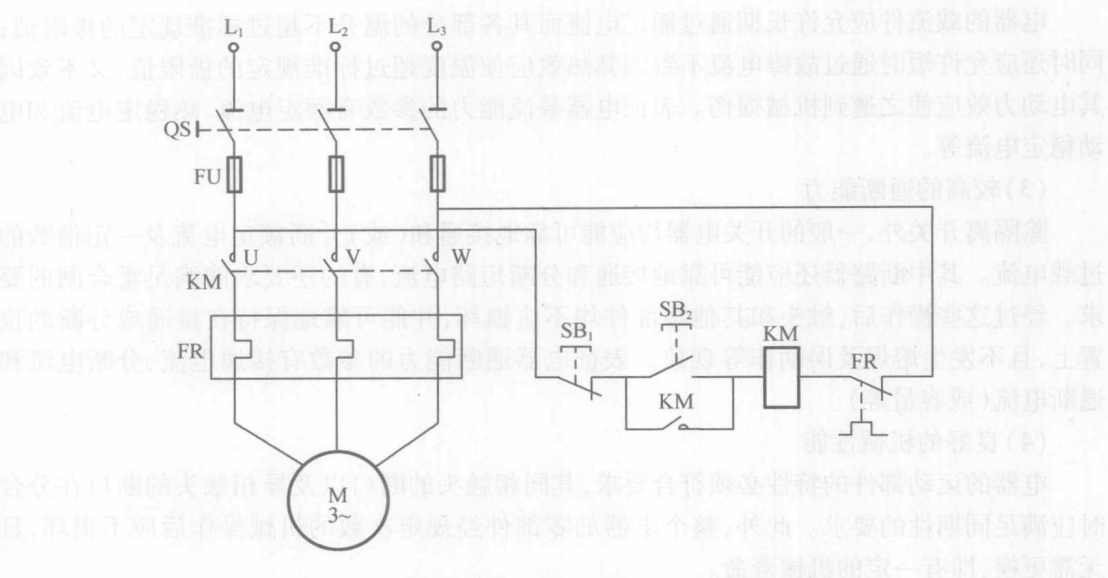


图 0-3 三相鼠笼型异步电动机直接启动控制线路图

KM—接触器;FR—热继电器;SB—按钮;QS—低压隔离开关;

FU—熔断器;M—异步电动机

热继电器 FR 的热元件有热惯性,即使通过它的电流超过额定值的几倍,也不会瞬时动作,因此它仅能作为过载保护用,对于电动机 M 的短路保护,要靠熔断器 FU 来完成。

要电动机 M 停止运转,按下停止按钮 SB₁,控制电路断电,接触器 KM 的线圈失电,接触器 KM 的衔铁打开,主触头即断开,电动机 M 停止运行。

以上简单介绍了高低压电器在电力系统和电器控制系统中的作用,可以对电器功能及其与电力系统和电器控制系统的联系有初步概念。

随着工业自动化及农业机械化程度的不断提高,电器的使用范围日益扩大,对品种、产量及质量的要求日益提高,电器制造业已成为国民经济建设中重要的一环。

0.3 电力系统和电器控制系统对电器的要求及电器的正常工作条件

不同的电力系统和电器控制系统对工作于其中的电器有不同的要求,这些要求又决定了电器的主要参数。在此,仅就一些共同性的要求加以叙述^[3]。

1. 电力系统和电器控制系统对电器的要求

(1) 安全可靠的绝缘

电器应能长期耐受最高工作电压和短时耐受相应的大气过电压和操作过电压。在这些电压的作用下,电器的触头断口间、相间以及导电回路对地之间均不应发生闪络或击穿。表征电器绝缘性能的参数有额定电压、最高工作电压、工频试验电压和冲击试验电压等。

(2) 必要的载流能力

电器的载流件应允许长期通过额定电流而其各部分的温升不超过标准规定的极限值；同时还应允许短时通过故障电流不致因其热效应使温度超过标准规定的极限值，又不致因其电动力效应使之遭到机械损伤。表征电器载流能力的参数有额定电流、热稳定电流和电动稳定电流等。

(3) 较高的通断能力

除隔离开关外，一般的开关电器均应能可靠地接通和（或）分断额定电流及一定倍数的过载电流。其中断路器还应能可靠地接通和分断短路电流，有的还要求能满足重合闸的要求。经过这些操作后，触头和其他零部件均不应损坏，并能可靠地保持在接通或分断的位置上，且不发生熔焊及误动作等现象。表征电器通断能力的参数有接通电流、分断电流和通断电流（或容量等）。

(4) 良好的机械性能

电器的运动部件的特性必须符合要求，其同相触头的断口以及异相触头的断口在分合时应满足同期性的要求。此外，整个电器的零部件经规定次数的机械操作后应不损坏，且无需更换，即有一定的机械寿命。

(5) 必要的电气寿命

开关电器的触头在规定的条件下应能承受规定次数的通断循环而无需修理或更换零件，即具有一定的电气寿命。

(6) 完善的保护功能

凡保护电器以及具备某些保护功能的电器，必须能准确地检测出故障状况，及时地做出判断并可靠地切除故障。至于本身不具备保护功能但具有切断故障电路能力的电器，在从保护继电器取得信号后，亦应能及时而可靠地切除故障。同时，为了充分利用各种电气设备的过载能力、缩小故障范围及保障供电的连续性，各类电器的保护功能还应能相互协调配合、实行有选择性地分断。

2. 电器的正常工作条件

(1) 周围环境温度

此温度对电器的工作影响很大。温度过低，作为电介质和润滑剂的各种油的黏度将上升，影响电器的正常动作和某些电气性能。温度过高，将使电器的载流能力降低，以及导致密封胶渗漏等，因此对电器的周围环境温度必须在标准中加以限定。如高压电器的使用环境温度户外型为 $-30 \sim +40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；户内型为 $-5 \sim +40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；低压电器的使用环境温度为 $-5 \sim +40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，而且日平均值不超过 $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。若实际使用环境温度超过此范围，就必须按照标准或技术文件的规定采取相应措施，如减小负载电流和提高耐压试验电压等。

(2) 海拔高度

高海拔地区大气压低，使散热能力和耐压水平都降低。但随着海拔高度的升高，环境温度也会降低一些，故海拔高度主要影响耐压水平及灭弧能力。根据我国的地形和工业布局的情况，高压电器使用环境的海拔高度为 $1\,000\text{ m}$ ，低压电器为 $2\,000\text{ m}$ 。如果实际运行地点的海拔高度超过上述规定值，则应适当提高耐压试验电压及降低容量。

(3) 相对湿度

相对湿度高会导致电器产品中的金属零件锈蚀、绝缘件受潮以及涂覆层脱落，其后果是使电器绝缘水平降低和妨碍电器的正常动作。因此，标准中对电器工作环境的相对湿度

做了限制,而且在超出限制范围时应采取相应的工艺措施。

(4)其他条件

影响电器工作的其他条件还有污染等级、振动、介质中是否含易燃易爆气体以及是否有风霜雨雪等天气条件。

在选择和使用各种电器时,只有了解其正常工作条件后,才能保证安全可靠地运行。

0.4 电器研究的主要理论范畴

电器在运行时存在着电、磁、光、热、力、机械等多种能量转换,这些转换规律大多是非线性的,许多现象又是一种瞬态过程,因此使电器的理论分析、产品设计、性能检验变得极为复杂。在分析与设计电器产品时,除采用电器传统理论,即对发热理论、电动力理论、电接触理论、电弧理论、电磁机构理论等进行必要的理论推导、分析计算之外,还使用了大量的经验数据。即使这样,有时设计计算数据与产品实际性能仍然存在较大差异,需要反复修改和试验,导致开发周期长、资金投入大,要设计出性能优良、价格合理的电器产品十分困难。同时,电网容量的不断增大及控制要求的不断提高,配电与控制系统日益复杂化,对电器产品的性能与结构提出了更高的要求。另外,科学技术的进步和新技术、新材料、新工艺的不断出现给电器的发展提供了良好的发展空间。因此掌握电器的结构原理及设计计算需要广泛的知识和相应的理论基础。

作为一个学科,电器的基本理论范畴主要有以下几个方面^[1]。

1. 发热理论

电器的导电部件如触头、母线和线圈都有电阻,因而都有损耗。此外,交流铁芯有涡流磁滞损耗,在高电场下有介质损耗。所有这些损耗均为热源,由它们形成的温度场有时是很复杂的。在大电流情况下,不仅产生巨大的热效应,还产生巨大的磁效应,使交流导电部件内部电流线分布不均匀,使相邻的交流母线在各自导体上的电流线分布不均匀,这就是集肤效应和邻近效应。一般来讲,由于集肤效应和邻近效应,载流体产生附加损耗,影响发热温升,从而降低了它的允许载流量。

为了提高电器的工作可靠性和确定过载能力,有必要研究电器在长期、短时和断续周期工作制下的发热冷却过程和过载能力计算,还要研究导电部件在大电流但作用时间极短(例如导线上存在短路电流)的情况下,电器的发热温升计算,校验导体在短时温升下的可靠程度(即热稳定性)。

采用传统的热路计算方法对电器进行热分析,通过经验参数、实验校准等手段修正,在一定程度上,可以了解电器在工作中的温升情况,但是其计算中,忽略不计的因素较多,不易得到准确的结果,无法掌握电器中的各个部件的温升分布规律,只能计算电器的平均温升,无法考虑热参数随温度变化情况,需要精确计算时遇到困难。20世纪90年代后期,研究者开始采用场的数值方法来分析计算电器的发热问题,建立三维温度场计算模型,这样不仅可以计算电磁场、温度场耦合发热问题,还可以清楚了解电器中各部件的温升分布规律,为全面提高电器产品的整体性能指标提供理论依据。