

老帕 讲 低压电器技术

张白帆 (@Patrick Zhang) 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

老帕讲低压电器技术

张白帆 (@ Patrick Zhang) 编著



机械工业出版社

本书以技术规范和标准为准绳来展开有关低压电器的讨论,同时对重要的理论知识和技术规范做了较为深入的介绍,为新入职的工程技术人员尽快掌握有关低压电器的理论和技术知识提供了一条捷径。本书内容包括低压电器的基础知识与标准、低压电器在低压配电系统图中主电路和辅助电路中的应用与配置方法、控制及数据交换原理和方法以及在居家配电中的应用等,并对常见的应用问题做出了解析。

本书适合刚走上工作岗位的低压电器公司或设计院等企事业单位从事低压电器及配电工程的设计人员阅读,也可作为电气工程、工业自动化、自动控制专业的高年级学生及教师的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

老帕讲低压电器技术/张白帆编著. —北京:机械工业出版社, 2016. 12
ISBN 978-7-111-55368-7

I. ①老… II. ①张… III. ①低压电器—基本知识 IV. ①TM52

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第274873号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:吕潇 责任编辑:吕潇

责任校对:陈延翔 封面设计:陈沛

责任印制:李洋

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

2017年1月第1版第1次印刷

184mm×260mm·22.25印张·540千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-55368-7

定价:69.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88361066

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-68326294

机工官博:weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网:www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

教育服务网:www.cmpedu.com

作者的话

这本书是写给刚离开校园的职场新人看的。职场，对学生来说，一切都是新的。职场需要我们补充新生力量，而我们也需要通过职场来历练自己，期望尽快掌握工作所必需的技术知识。本书为职场新人们尽快掌握有关低压电器的理论和技术知识提供了一条捷径。

低压电器是开关电器的一大门类，是使用最多的一类电器产品。低压电器不但大量应用在社会各行各业的配电和控制中，甚至在居家配电中，低压电器也占有重要的地位。

职场的学习和校园学习有很大的不同，最突出的就表现在规范和标准上。在校园，我们学习了各种理论分析方法，但在职场，为了便于使用，各种理论和知识都以规范和标准的形式出现。而标准和规范，恰恰是校园学习中的弱项。

本书的写作特点是：以各种技术规范 and 标准为准绳来展开有关低压电器的讨论。同时，对重要的理论知识和技术规范做了较为深入的介绍。

本书共分为 8 章。

第 1 章的内容是低压电器的基础知识与标准，阐述了有关低压电器的结构和使用参数，讨论了低压电器的电网条件、使用条件和人身安全防护等。

第 2 章对应用在主电路中的低压电器进行系统性概述，并给出了具体范例。

第 3 章对应用在辅助电路中的低压电器进行系统概述，并对测控仪表及低压电动机测控装置给予了较为详尽的说明。

第 4 章对低压配电和控制电器的应用及配置方法做了详尽介绍，并且给出了具体的设计范例。

第 5 章阐述了低压电器的控制原理，同时对配电电器的控制技术和控制电器的应用技术做了详尽探讨。

第 6 章阐述了低压电器的数据交换技术，并以 RS485/MODBUS 现场总线为基础，以电动机控制中心（MCC）为范例做了详尽解析。

第 7 章介绍了低压电器在居家配电中的应用，内容包括交流电如何送到家里来，居家配电的设计方法等，并给出了设计范例。

第 8 章以低压电器故障解析为实例，通过解析故障，让读者了解低压电器故障发生的前因后果，学会全面地分析问题。

在本书的写作过程中，部分章节内容在知乎网上做了一定程度的披露，由此了解了网友们的看法和需求。因此，这本书从某种意义上讲，是网友们共同策划，由我来具体执笔编写而成。

Patrick Zhang 这个名字是我在知乎网的网名，也是我在公司上班的英文名，还是我在旺点电气网担任技术探讨板块版主的网名“帕特里克”的音译，也有网友在留言中直呼我为老帕，于是就把《老帕讲低压电器技术》作为书名吧。

这本书与我写的另外一本书《低压成套开关设备的原理及其控制技术（第 2 版）》是姐妹



篇，本书以低压电器技术为主，而《低压成套开关设备的原理及其控制技术（第2版）》则以低压开关柜技术为主。

读者若对本书有任何看法，或者需要了解更多的知识，可以直接和我联系。我的邮箱地址是：baifan_zhang@163.com。另外，也可以在知乎网和我交流。

真诚地欢迎读者们提出宝贵意见和建议，我将在今后的修订工作中进行补充和完善。

对于参与本书的编辑和出版的朋友们，在此表示诚挚的感谢！

张白帆

2016 年底于厦门

目 录

作者的话

第1章 低压电器的基础知识与标准	1
1.1 低压电器的结构和原理概述	2
1.1.1 低压电器的电磁机构	3
1.1.2 低压电器的触头系统概述	6
1.1.3 低压电器的灭弧系统概述	12
1.2 低压电器的电网条件和使用条件	20
1.2.1 低压电器的电网条件	20
1.2.2 低压电器的温升	23
1.3 低压电器的主要应用参数	26
1.3.1 低压电器的通断任务	26
1.3.2 有关低压电器的特性参数	27
1.4 有关低压电器的国家标准和应用规范	33
1.5 低压配电网的各类接地系统	36
1.5.1 低压配电网的系统接地和保护接地	36
1.5.2 各类低压接地系统	39
1.5.3 低压电器对接地故障的线路保护和人体电击防护	48
1.5.4 低压电器中接地故障电流的测量方法	54
1.5.5 低压电器和低压开关控制设备中的人身安全防护措施	56
1.6 电气制图图符和低压电器中的电气标识	61
第2章 低压配电主电路中的低压电器	65
2.1 用于主电路的低压电器分类	65
2.2 熔断器	67
2.3 隔离开关和开关熔断器组合	74
2.3.1 隔离开关及其组合电器概述	74
2.3.2 开关和熔断器的组合及选用	78
2.4 双电源互投开关 ATSE	81
2.4.1 ATSE 开关概述	81
2.4.2 ATSE 开关产品	83
2.5 低压断路器	86
2.5.1 概述	86
2.5.2 断路器的主要技术术语和参数设置方法	93



2.5.3	框架断路器 ACB 的实用技术数据	109
2.5.4	塑壳断路器 MCCB 的实用技术数据	113
2.5.5	微型断路器 MCB 的实用数据	120
2.5.6	剩余电流保护器概述	123
2.6	交流接触器和热继电器概述	129
2.6.1	交流接触器	129
2.6.2	热继电器	133
2.7	软起动器	139
2.8	若干种低压开关电器的型式试验	142
2.8.1	断路器短路接通和分断能力型式试验	142
2.8.2	断路器短时耐受电流的型式试验	144
2.8.3	接触器过载耐受能力试验的型式试验	147
2.8.4	接触器与短路保护低压电器间的协调配合型式试验	148
第3章	辅助电路的低压电器和测控仪表	152
3.1	辅助电路低压电器的分类与特性	152
3.2	继电器的分类与特性	153
3.3	电磁式继电器	155
3.4	时间继电器	159
3.5	主令电器	162
3.6	低压电流互感器	165
3.7	低压多功能电力仪表和测控模块	167
3.8	低压开关设备和控制设备中的接线端子	183
第4章	低压电器在配电系统中的应用和配置方法	185
4.1	低压配电系统设计要点	185
4.1.1	负荷分级和配电系统分级	185
4.1.2	负荷计算的几个原则和方法	188
4.1.3	三相和单相混合配电方式线路损耗的影响和计算	195
4.2	低压配电电器的配置方法	196
4.2.1	低压进线和母联主电路的设计及低压电器配置方法	196
4.2.2	低压接地系统与进线、母联主电路断路器的极数问题	204
4.2.3	低压配电系统双电源互投主电路的设计和配置方案	209
4.2.4	馈电回路设计要点	210
4.2.5	电动机控制主电路	220
4.2.6	无功功率补偿主电路	228
4.3	低压配电电器设计范例	236
第5章	低压电器的基本控制原理	248
5.1	低压电器的基本控制原理	248



5.1.1	若干逻辑关系和基本逻辑运算定理	248
5.1.2	继电逻辑函数表达式	251
5.1.3	辅助电路的分类和工作条件	252
5.1.4	低压电器的基本控制接线	258
5.2	低压配电电器的控制方法	260
5.2.1	利用分立元件构建两进线单母联手控投退电路原理	261
5.2.2	利用分立元件构建两进线单母联自控投退电路原理	265
5.2.3	利用分立元件构建馈电电路原理	271
5.2.4	无功补偿电路的原理	273
5.3	低压控制电器的应用技术	274
5.3.1	基本电路分析	275
5.3.2	MCC 电动机控制中心中的电动机控制原理	278
5.3.3	利用 MCU 电动机综保装置实现电动机控制的原理	286
第 6 章	低压电器的数据交换原理和方法	290
6.1	低压电器的数据通信	291
6.1.1	现场总线的定义及物理层接口规约	291
6.1.2	现场总线的数据链路层和网络层接口规约	297
6.1.3	RS485/MODBUS 通信规约和通信协议的应用举例	304
6.2	建立低压配电网信息交换的方法	305
6.3	在低压进线回路中对断路器实施测控和数据交换的范例	308
第 7 章	低压电器在家居配电中的应用	312
7.1	交流电是怎么送到家里来的	312
7.2	家居配电系统的设计方法	314
7.2.1	家居中的负荷类型及耗电量表	315
7.2.2	家居配电设计方法	318
7.2.3	家居配电设计范例	318
7.3	智能家居配电系统中的低压电器	322
第 8 章	低压电器常见应用问题解析	325
8.1	若低压断路器的进出线方向接反,会有什么影响	325
8.2	这台低压电动机为何烧毁了	330
8.3	低压继电器的长控制线带来的问题	336
8.4	低压电气设备是如何满足现场条件和工况的	341
参考文献		346



第 1 章

低压电器的基础知识与标准

低压电器，是低压开关电器的简称。

注意这里有两个词汇，第一个是开关，第二个是低压电器。

开关是一个非常重要的概念。我们来看国家标准 GB 14048.3—2008 中的定义：

标准号	GB 14048.3—2008
标准名称	低压开关设备和控制设备 第3部分：开关、隔离器、隔离开关以及熔断器组合电器
条目	2.1
内容	2.1（机械）开关 switch（mechanical） 在正常电路条件下（包括规定的过载工作条件），能够接通、承载和分断电流，并在规定的非正常电路条件下（例如短路），能在规定时间内承载电流的一种机械开关电器。 注1：开关可以接通但不能分断短路电流。

由此我们看到开关具有两个重要的功能性参数：

第一个功能性参数：开关具有接通电流的功能，因此它必须具有额定电流这个参数。

第二个功能性参数：当线路中出现短路电流时，开关必须能承受短路电流的热冲击和电动力冲击。这种能力用开关电器的动、热稳定性来表征。这两个功能性参数与电网条件密切相关。

那么什么是低压电器呢？

在电力系统的发电、输变电、配电和用电的各个环节中，大量使用对电路起到分配、控制、保护、调节和测量作用的低压开关电器和控制电器。这些电器可以粗分为两类，即高压电器和低压电器。

我们看国家标准 GB 14048.1—2012 对低压电器的定义：

标准号	GB 14048.1—2012
标准名称	低压开关设备和控制设备 第1部分：总则
条目	1.1
内容	1.1. 适用范围和目的 低压开关设备和控制设备（以下简称“电器”），该电器用于连接额定电压交流不超过 1000V 或直流不超过 1500V 的电路。

请注意，这里所指的交流电压值是 1000V，并且加载在低压电器各极之间，或者加载在某极对外壳（或对地）之间。

在本章中，我们将会看到有关低压电器的结构概述、低压电器工作的电网条件、低压电器基本原理和低压电器的最主要参数等内容，这些都属于低压电器的基础知识。



1.1 低压电器的结构和原理概述

低压电器的最典型代表就是接触器，接触器的典型结构如图 1-1 所示。

由图 1-1 可以看出，接触器的结构由电磁机构、触头系统和灭弧系统组成。

低压电器由这三部分结构按功能要求组态设计而成。

不管是高压电器还是低压电器，它们所涉及的主要理论都包括电磁机构理论、电接触理论、电弧理论、发热理论和电动力理论。

电磁机构是电磁类电器的测控部分，在电器中占有十分重要的地位。由于低压电器的电磁机构的磁路不同于变压器类静止铁心，也不同于旋转电机类不变的均匀磁极气隙，因此在理论计算方面有自己独特的方法。电磁机构的理论涉及磁路理论和电磁场理论，其设计计算内容包括：电磁场的分布计算、铁心磁路的非线性计算、静态和动态吸力特性的分析计算、气隙磁通/漏磁通的分布规律等。

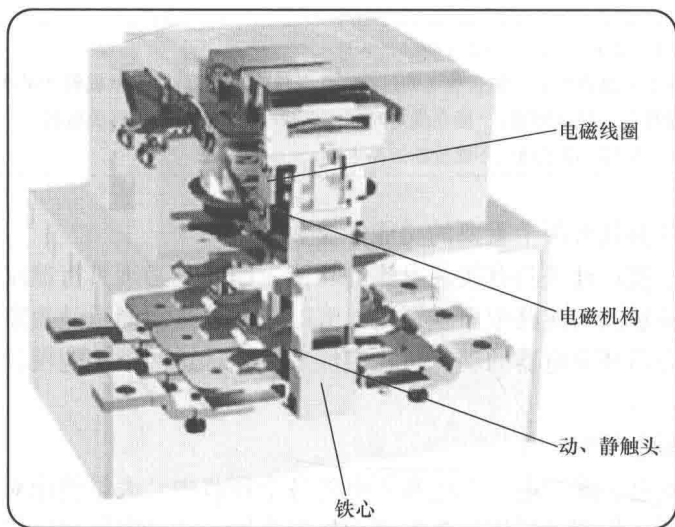


图 1-1 交流接触器的典型结构

低压电器的电磁机构型式众多，各有各的特点。

触头是低压电器的执行部分，是有触点开关电器的重要组成部分。低压电器的触头系统工作好坏直接关系到开关电器质量特性指标。因此，电接触理论是开关电器的最基本理论之一。

低压电器的触头系统涉及电接触的物理和化学过程和计算、触头闭合过程的振动、磨损和熔焊。

电器的电接触理论的主要研究内容包括电接触的物理与化学过程，电接触的热、电、磁以及金属变形等各种效应，接触电阻的物理化学本质及其计算，电接触元件当接触和分开过程中的腐蚀磨损和金属迁移，触头在闭合操作过程中的振动、磨损和熔焊等。

电器电接触方面的研究与电工学科是同时起步的。电接触理论和电弧理论都是研究开关电器触头系统的关键理论。



对于有触点的电器来说,电弧是开断过程中必然伴随着的物理现象。

开关电器触头上的电弧,不但延缓了电路断开的时间,还烧蚀了触头表面,缩短了触头的使用寿命。但同时,电弧又是电路电磁能的泄放通道,减轻了电路开断时的过电压。对于低压电器来说,电弧的近阴极效应还能对短路电流起到限流作用。

开关电器的电弧理论涉及气体放电理论、弧柱的离子平衡物理化学状态、温度分布、交流电弧电流过零后的介质恢复过程和电压恢复过程、近极区空间电荷分布等方面的理论。

低压电器的熄弧方式十分重要,是低压开关电器的关键结构设计之一。

电器的各种导电部件,例如导电杆、触头和线圈等,都有电阻,因此它们都存在发热损耗,这些损耗与开关电器的温升有关。当流过开关电器的电流比较大时,电流会产生磁效应,例如电流对开关电器钢结构产生的涡流发热效应,会引起开关电器结构和工作特性改变;而短路电流对开关电器产生的热冲击,会严重影响开关电器及其结构部件的工作性能。

开关电器抵御短路电流热冲击的能力叫作热稳定性。

短路电流会对开关电器的导电部件及其结构部件产生电动力作用。开关电器抵御短路电流电动力冲击的能力叫作动稳定性。

总之,低压电器的结构设计,与上述这些理论关系密切。也因此,低压电器的总体设计,是一项综合工程,是人类科技知识和电气技术的集大成者。

图1-2所示为ABB的Emax断路器结构图,我们能从图中看到断路器结构的复杂性。

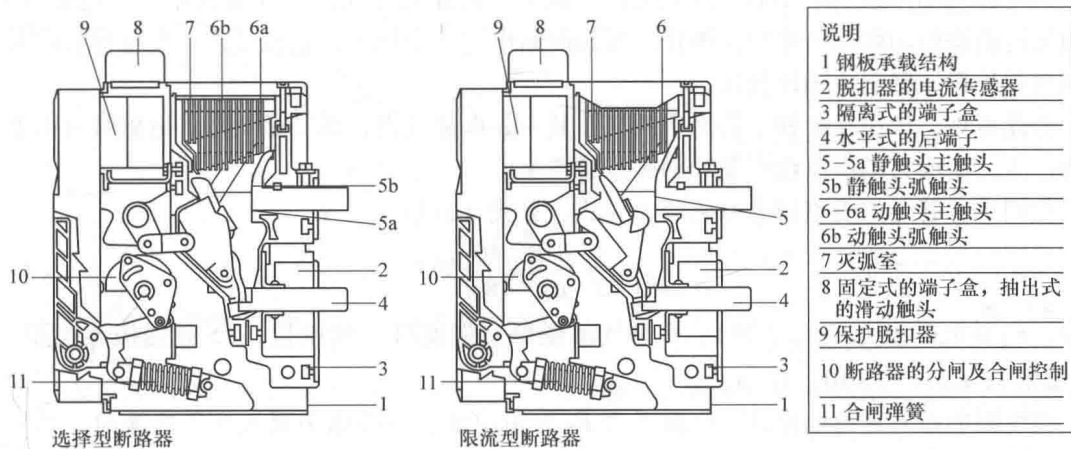


图1-2 ABB的Emax断路器结构图

1.1.1 低压电器的电磁机构

低压电器的电磁机构由电磁线圈、铁心和衔铁三部分组成。电磁线圈分为直流线圈和交流线圈两种。直流线圈需通入直流电,交流线圈则需通入交流电,如图1-3所示。

【交流电磁机构的吸力特性】

在交流电磁机构中,由于交流电磁线圈的电流与气隙 δ 成正比,所以在线圈通电瞬间而衔铁尚未闭合时,电流可能达到额定电流的5~6倍。如果衔铁卡住不能吸合,或频繁操作,线圈可能因过热而烧毁,所以在可靠性要求较高或操作频繁的场所,一般不采用交流电磁机构。

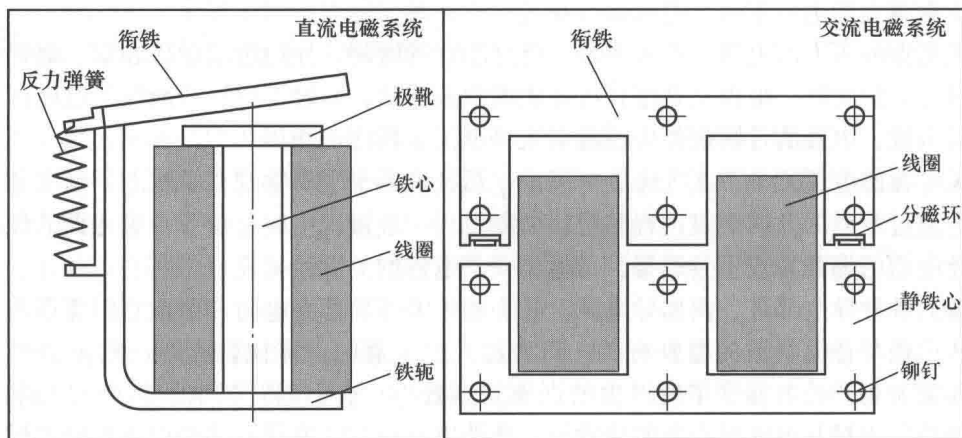


图 1-3 低压电器的直流电磁系统和交流电磁系统

【直流电磁机构的吸力特性】

在直流电磁机构中，电磁吸力与气隙的二次方成反比，所以衔铁闭合前后电磁吸力变化较大，但由于电磁线圈中的电流不变，所以直流电磁机构适用于动作频繁的场所。

【吸力特性与反力特性】

当电磁线圈中通入电流后，线圈会产生磁通，而磁通会在铁心和衔铁中产生电磁吸力，从而使得衔铁带动触头产生变位操作。当线圈断电后，衔铁失去电磁吸力，复位弹簧将其拉回到初始位置，触头也随即复位。

由此可见，作用在衔铁上的力有两个，其一是电磁吸力，其二是反力。电磁吸力由电磁机构产生，而反力则由复位弹簧和触头弹簧产生。

我们来看著名的麦克斯韦电磁吸力公式，见式 (1-1)。

$$F_x = \frac{1}{2} \frac{B^2 S}{\mu_0} = \frac{10^7}{8\pi} B^2 S \quad (1-1)$$

式中， F_x 是电磁吸力/N (牛顿)； B 是气隙磁感应强度/T (特斯拉)； S 是磁极截面积/ m^2 (平方米)； $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} H/m$ 。

当线圈中通入直流电流时，电磁吸力 F_x 为恒定值。当线圈中通入交流电流时，其气隙磁感应强度 B 仍按正弦规律变化。于是交

流电磁吸力的最大值是 $f_{\max} = \frac{10^7}{8\pi} SB_m^2$ ，最小值是 $f_{\min} = 0$ 。

【交流电磁机构的分磁环原理】

当交流电流过零时，交流电磁机构的衔铁和铁心在复位弹簧的作用下松开返回，而当交流电流过零后又重新吸合，于是衔铁和铁心之间会产生振动，如图 1-4 所示。

解决的办法是在磁极上增加分磁环，见图 1-3 交流电磁系统的磁极平面。

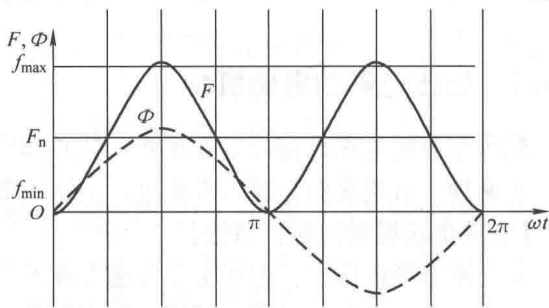


图 1-4 交流电磁吸力曲线



交变磁通的一部分将通过分磁环，在环内产生感应电动势和电流，根据电磁感应定律，此感应电流产生的感应磁通 Φ_2 与未通过分磁环的磁通产生接近 90° 的相位差，使得合成电磁吸力的最小值大于零，由此消除衔铁与铁心间的振动。

增加了分磁环后的电磁吸力曲线如图 1-5 所示。

由图 1-5 可见，未通过分磁环的磁通 Φ_1 产生的电磁吸力是 F_1 ，通过分磁环的磁通 Φ_2 产生的电磁吸力是 F_2 ，两者的相位差接近 90° ，合成电磁吸力是 F_h 。注意到 F_h 的最小值 $F_{\min} > 0$ 。

从以上分析中我们可以看出，造成交流电磁系统振动的主要原因是交流电磁吸力的脉动。虽然分磁环能部分地消除振动的影响，但并不能从根本上解决问题。

理论和实践证明，减小分磁环的电阻 r_c ，减小分磁环内磁极的气隙 δ ，加大分磁环内磁极的面积 S_2 ，则交流电磁吸力的脉动较小。但减小分磁环电阻 r_c ，则分磁环的温度会增高；分磁环内磁极气隙也不可能为零，受工艺条件限制，一般取为 $0.04 \sim 0.05\text{mm}$ ；分磁环内磁极面积 S_2 亦大于分磁环外的磁极面积 S_1 。这样处理后，交流电磁吸力的脉动能降至最小值，如图 1-6 所示。

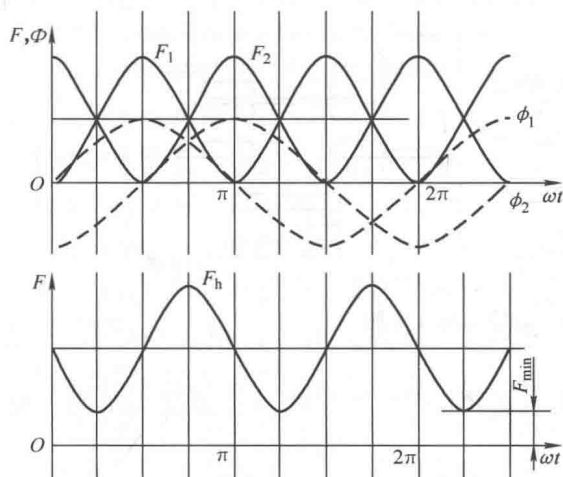


图 1-5 增加分磁环后的电磁吸力曲线

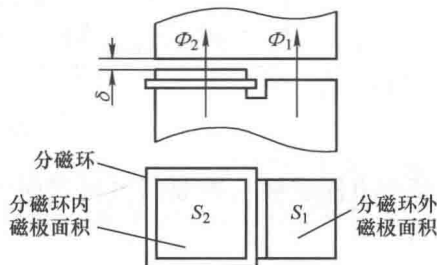


图 1-6 减小交流电磁吸力脉动的几个相关参数

【限制直流电路中电磁线圈开断时出现过电压的方法】

直流电磁机构的通电线圈断电时，由于磁通的急剧变化，在线圈中会感应出很大的反电动势，很容易使线圈烧毁，所以在线圈的两端要并联一个放电回路。放电回路中的电阻值为线圈电阻值的 $5 \sim 6$ 倍。

三种限制直流电路过电压的方法如图 1-7 所示。

当开关 K 从闭合状态打开时，接触器线圈电感会产生感应电动势 $e = -L \frac{di_L}{dt}$ ，注意其方向与电源 U 的方向相反。在图 1-7 的第 1 张图中，通过 $R-L-R_b$ 来建立环流，使电流不至于突然截断。同时，有一部分的磁场能消耗在电阻上，以此降低了过电压。

在图 1-7 的第 2 张图中，当线圈正常工作时，电阻 R_b 没有电流流过；当开关 K 断开后，接触器线圈产生的反向电动势使得电流流过电阻 R_b ，消耗了磁场能，降低了过电压。



在图 1-7 的第 3 张图中,当开关 K 断开后,电感电流回路是 $R_b-C-R-L$, 形成振荡衰减,消耗了磁场能,并降低了过电压。

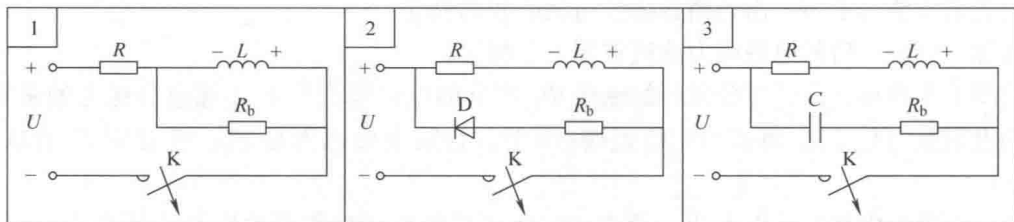


图 1-7 三种限制直流电路过电压的方法

1.1.2 低压电器的触头系统概述

1. 触头的接触形式

图 1-8 所示为触头的 3 种接触形式:点接触、线接触和面接触。其中点接触式常用于小电流电器中,线接触式常用于通电次数多、电流大的场合,面接触式用于较大电流的场合。

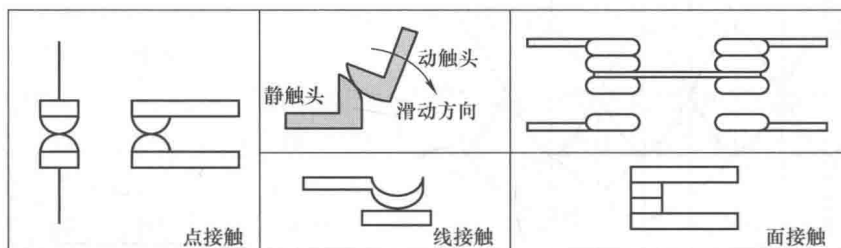


图 1-8 点接触、面接触和线接触

低压电器的触头有双断点桥式触头结构(见图 1-9)和单断点指形触头结构(见图 1-10)。

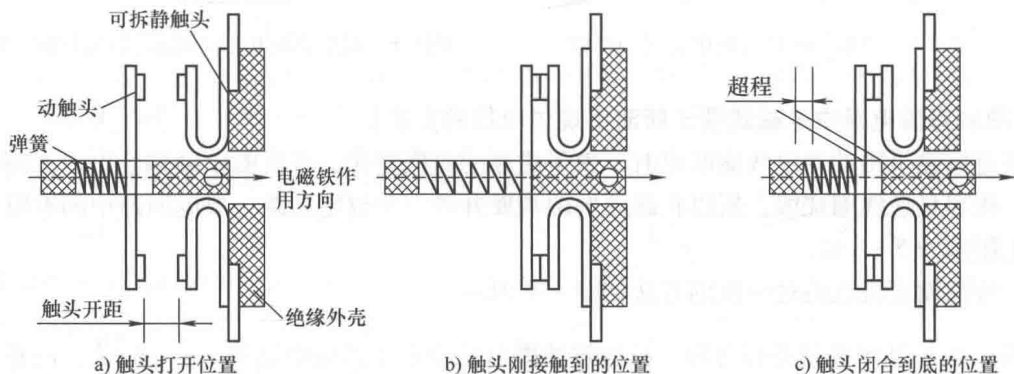


图 1-9 双断点触头的位置

双断点结构中动、静触头电流方向正好相反,因此动、静触头间的电动力是斥力。这种斥力有助于打开触头。

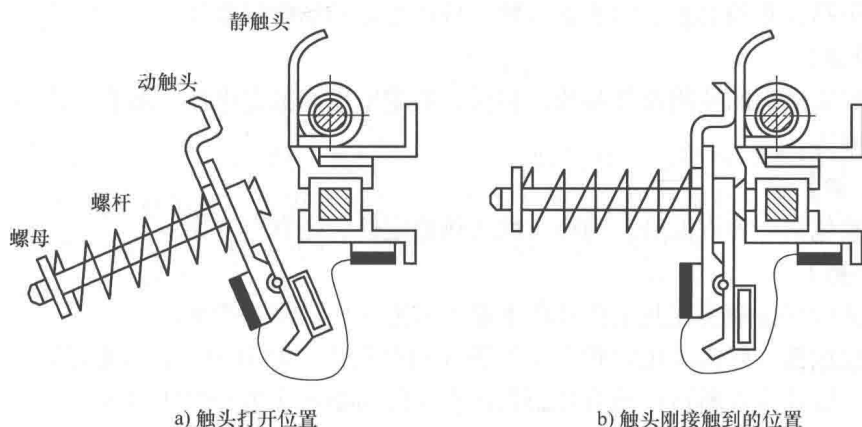


图 1-10 单断点的转动式交流接触器触头闭合过程

对于断路器等低压电器，因为电流较大，因此采用单断点的转动式触头。

图 1-9 中有两个很重要的概念，就是触头开距和触头超程：当触头处于打开位置时，动、静触头之间的最短距离被称为触头开距。显然，随着触头磨损，触头开距是不断增加的；当触头闭合后，若将静触头取下，动触头会在弹簧的作用下继续运行一段距离，这段距离被称为触头的超程。

触头开距与动、静触头间的介电能力有关；而触头的超程则确保触头磨损到近乎终了后，触头系统仍然能可靠闭合。显然，超程与低压电器的电寿命有关。

单触点转动式指形触头常采用铜质或者铜基合金材料制成，价格便宜，易于加工；由于在触头闭合过程中存在滚动和滑动摩擦，能清除触头表面的氧化层，可以保证接触电阻的稳定性；触头接触压力大，动稳定性高；触头参数容易调节。

单触点转动式指形触头的缺点是：仅一个断口，触头开距大，导致低压电器的体积较大；触头闭合时冲击能量大，并且有软连接，不利于延长机械寿命；由于采用铜基合金，触头压力大，所需电磁系统的控制功率也大。

双断点直动式桥式触头常采用银质或者银基合金材料制作，也可以采用铜基合金。

双断点直动式桥式触头具有两个串联的断口，有两个灭弧区域，触头开距小，使得开关电器的体积较小；触头闭合时的冲击能力较小，无需使用软连接，有利于延长机械寿命。

双断点直动式桥式触头的缺点是：触头闭合与打开时没有滚动和滑动摩擦，不能自动清除触头表面的氧化物；触头材料为银基合金，价格较贵；触头接触压力小，动稳定性较差；触头参数不易调节。

2. 有关电接触的知识

电接触是指两个导体之间通过接触面实现电流传递或信号传输的一种物理化学现象。

在电力系统、自动控制系统和信息传递系统中，电接触现象随处可见，电接触的产生、维持和消除过程是一种复杂的物理化学过程。

电接触理论正是研究在电接触的产生、维持和消除过程中，两导体接触面或导体与等离子体界面发生的物理化学过程的学科。该学科涉及面广、研究难度大，其最终目的是在满足一定经济利益前提下，提高电接触的工作可靠性和延长工作寿命。



任何触头都有它的参数，即工作参数、特性参数和结构参数。

【工作参数】

工作参数即触头的使用条件参数，包括：额定电压和额定电流，还有工作制、操作频率和通电持续率等。

【特性参数】

特性参数包括：容许温升、动稳定性和热稳定性，还有电寿命。

【结构参数】

结构参数指保证触头在其工作参数下能可靠地工作的结构措施。

结构参数包括：触头的极数和合分状态（动合触点、动分触点）；触头断口数：指形结构为单断口，桥式为双断口；触头开距和超程；触头初始压力和终压力等。

3. 触头的接触电阻和接触电压

低压电器的触头是执行机构的最重要部分。低压开关电器的触头用于接通和分断电路，因此要求的触头导电性和导热性都较好。通常触头材料是铜、银和镍的合金材料，也有在铜触头的表面电镀银和镍构成的。

铜的表面极易氧化。若仅仅使用铜来作触头材料，则它将增加触头的接触电阻，使得触头的损耗和温度也随之增加。因此在中间继电器等小容量低压开关电器上，触头常常采用银质合金，它的氧化膜电阻仅仅只有铜质触头的十几分之一。

【膜电阻】

膜电阻是触头接触表面在大气中自然氧化而生成的氧化膜。氧化膜的电阻要比触头本身的电阻大数十到上千倍，且导电性极差。这种氧化膜电阻被称为触头膜电阻。

【收缩电阻】

由于触头表面的粗糙度造成触头的实际接触面积小于触头截面面积，从而造成触头的有效导电截面减小，当电流流过时会出现电流收缩的若干导电岛的现象。这种收缩现象增加的电阻称为触头的收缩电阻。

不同的触头材料接触电阻的表达式见式（1-2）。

$$R_J = \frac{K_J}{(0.102F)^m} \quad (1-2)$$

式中， R_J 是接触电阻； K_J 是系数； F 是接触压力（N）； m 是与接触形式、压力范围和实际接触点有关的指数，对于点接触， $m=0.5$ ；对于线接触， $m=0.5 \sim 0.8$ ；对于面接触， $m=1$ 。

各种触头材料的 K_J 值见表1-1。

表 1-1 各种触头材料的 K_J 值

触头材料	K_J	触头材料	K_J
Ag—Ag	60	Ag - CdO12—Ag - CdO12	170
Al—Cu	980	镀锡的铜—镀锡的铜	100
Cu—Cu	80 ~ 140	黄铜—黄铜	670
Al—黄铜	1900		



再看触头的温升，它的表达式见式 (1-3)。

$$\tau_m = \theta_m - \theta_0 = \frac{U_J^2}{8LT} \quad (1-3)$$

式中， τ_m 是触头温升； θ_m 和 θ_0 是触头接触点的温度和触头材料与导电杆连接处的温度； U_J 是接触电压； L 是洛伦兹系数；它的值是 $2.4 \times 10^{-8} (\text{V/K})^2$ ； T 是环境的热力学温度值。

利用式 (1-2) 和式 (1-3)，我们可以计算低压电器触头的温升。

我们来看图 1-11。

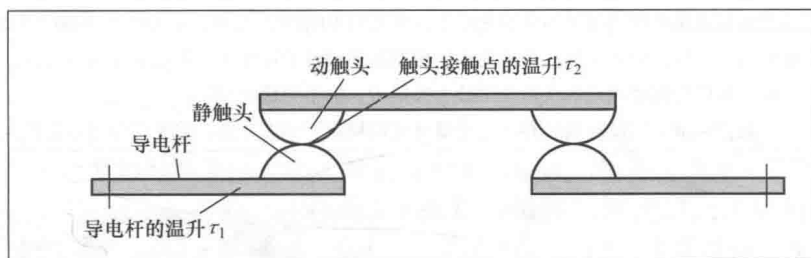


图 1-11 低压电器的导电杆和触头温升

现在的问题是：到底是导电杆的温升 τ_1 高还是触头的温升 τ_2 高？

有关触头温升的计算方法见式 (1-4)。

$$\begin{cases} \tau_1 = \frac{I^2 \rho_0 (1 + \alpha \theta)}{SK_T M} \\ \tau_2 = \tau_1 \left(1 + \frac{350 U_J}{\sqrt{\tau_1}} \right) + \frac{U_J^2}{8LT} \end{cases} \quad (1-4)$$

式中， I 是流过低压电器的电流； ρ_0 是导电杆金属材料在零度时的电阻率； α 是电阻温度系数； θ 是导电杆的温度（ $^{\circ}\text{C}$ ）； S 是导电杆的截面积； K_T 是综合散热系数； M 是导电杆截面的周长； U_J 是触头接触电压； L 是洛伦兹系数； T 是环境温度（热力学温度）。

【例 1-1】

设某交流接触器导电杆宽度为 31.5mm，厚度为 4mm，流过的电流是 630A，接触电压是 $6.3 \times 10^{-3}\text{V}$ ，综合散热系数 K_T 是 $15\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ，环境温度为 40°C 。

解：将这些参数代入式 (1-4)，得到： $\tau_1 = 46.7\text{K}$ ， $\tau_2 = 54.2\text{K}$ ，两者相差 0.14K。可见触头温升对导电杆温升的贡献并不是很高。

我们由此知道，低压开关电器的温升可以其导电杆的接线端子温升来取值。在故在 GB 14048.1—2012《低压开关设备和控制设备 第1部分：总则》中，把低压电器的温升定义为接线端子的温升。