21世纪

高等学校电子信息类系列教材

常用低压电器与可编程序控制器

刘 淀 编著



西安电子科技大学出版社

http://www.xduph.com

★ 21 世纪高等学校电子信息类系列教材

常用低压电器与可编程序控制器

刘 淦 编著

西安电子科技大学出版社
2005

内 容 简 介

本书是根据高等学校电气工程及自动化类专业课程的教学大纲和电气技术的应用及发展情况编写的。全书分为上、下篇。上篇从工程应用的实际和便于教学的角度出发，主要介绍低压电器的工作原理、常用低压电器、三相异步电动机基本控制环节与基本电路及电器控制线路设计。下篇针对目前应用日益广泛的可编程序控制器，以 OMRON CPM1A 为对象，对可编程序控制器的工作原理、程序编制、程序设计方法、通信系统、设计步骤与抗干扰以及编程工具等进行了较为详细的介绍。上、下篇均附有适量的习题。

本书可作为高等学校电气工程及自动化类专业的教材，也可作为电气工程类技术人员的参考书。

★ 本书配有电子教案，需要者可与出版社联系，免费提供。

图书在版编目（CIP）数据

常用低压电器与可编程序控制器／刘涇编著.

—西安：西安电子科技大学出版社，2005.2

（21 世纪高等学校电子信息类系列教材）

ISBN 7–5606–1482–5

Ⅰ. 常… Ⅱ. 刘… Ⅲ. ①低压电器—高等学校—教材 ②可编程序控制器—高等学校—教材

Ⅳ. TM52 TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2004）第 141190 号

责任编辑 刘宇坤 云立实

出版发行 西安电子科技大学出版社（西安市太白南路 2 号）

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

http: //www.xduph.com E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2005 年 2 月第 1 版 2005 年 2 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 20.75

字 数 489 千字

印 数 1～4000 册

定 价 22.00 元

ISBN 7-5606-1482-5/TP・0787(课)

XDUP 1753001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜，谨防盗版。

前　言

本书是根据高等学校电气工程及自动化专业的教学大纲，充分考虑了当前高等学校教学的实际要求和电气技术的实际应用与发展情况而编写的。

本书深入浅出，通俗易懂，突出应用，力求使对计算机不很熟悉的读者也能读懂，便于教学和读者自学。

全书共 11 章，分上、下两篇。上篇为第 1～4 章，主要介绍低压电器的原理、常用低压电器、三相异步电动机基本控制环节与基本电路及电器控制线路设计。下篇为第 5～11 章，主要讲述可编程序控制器的原理、程序编制、程序设计方法、通信系统、设计步骤与抗干扰以及编程工具。上、下篇的末尾均附有适量的习题。

本书可作为高等院校工业自动化、电气技术及相近专业的教材，也可作为电气工程技术人员的参考书。

西安交通大学虞鹤松教授和长安大学巨永锋教授对本书进行了仔细的审阅，并提出了许多宝贵意见。在本书编写过程中，编者参考了有关文献的相关内容，并得到了西安西昱自动化控制工程有限公司田刚民高级工程师及陕西省测绘局马晓萍高级工程师的大力支持和帮助。在此，编者对上述个人以及所列主要参考文献的作者一并表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，书中难免有错误和不妥之处，敬请读者批评指正。

编者

2004 年 12 月

目　　录

上篇　常用低压电器

第 1 章　低压电器的基本原理 3
1.1　低压电器的基本结构 3
1.1.1　电磁机构 3
1.1.2　触头和电弧 8
1.2　低压电器的主要技术性能和参数 15
1.2.1　开关电器的通断工作类型及相关参数 16
1.2.2　与低压电器有关的电网参数 16
1.2.3　与开关电器动作时间有关的参数 18
1.2.4　颜色标志 18
1.3　电气控制技术中常用的图形和文字符号 19

第 2 章　常用低压电器 24
2.1　常用低压电器的分类 24
2.2　刀开关 25
2.2.1　常用刀开关 25
2.2.2　隔离器和刀开关的选用原则 27
2.3　熔断器 27
2.3.1　熔断器的结构及工作原理 28
2.3.2　常用典型熔断器 29
2.3.3　熔断器的选用原则 30
2.4　低压断路器 31
2.4.1　低压断路器的结构和工作原理 31
2.4.2　典型低压断路器简介 32
2.4.3　低压断路器的选用原则 33
2.5　接触器 33
2.5.1　接触器的结构及工作原理 34
2.5.2　常用典型交流接触器 34
2.5.3　接触器的选用原则 37

2.6 继电器 38
2.6.1 继电器的结构及工作原理 38
2.6.2 常用典型继电器 39
2.6.3 继电器的选用 48
2.7 主令电器 49
2.7.1 常用主令电器 49
2.7.2 主令电器的一般选用原则 52

第 3 章 三相异步电动机基本控制环节与基本电路 53
3.1 基本控制环节 53
3.1.1 启动、自锁和点动控制 53
3.1.2 可逆控制与互锁环节 55
3.1.3 联锁控制 56
3.1.4 多地点控制 57
3.2 三相异步电动机的启动控制 58
3.2.1 星—三角形(Y-D)降压启动控制线路 58
3.2.2 自耦变压器降压启动控制线路 59
3.2.3 三相绕线转子异步电动机的启动控制 59
3.2.4 固态降压启动器 62
3.3 三相异步电动机的制动控制 65
3.3.1 反接制动控制电路 65
3.3.2 能耗制动控制电路 67
3.4 三相异步电动机的转速控制 67
3.4.1 三相笼型电动机的变极调速 68
3.4.2 异步电动机的变频调速 69
3.5 常用机床电气控制 71
3.5.1 车床的电气控制 72
3.5.2 钻床的电气控制 74

第 4 章 电器控制线路设计 78
4.1 电器控制系统设计的一般要求和基本规律 78
4.2 电器控制线路的图形符号和文字符号 78
4.3 电力拖动方案的确定和电动机的选择 79
4.4 设计控制线路的一般要求 79
4.5 电器控制线路的设计方法 84
4.5.1 一般设计法 84
4.5.2 逻辑设计法 86
上篇习题 92

下篇　可编程序控制器

第 5 章　可编程序控制器原理 95
5.1　可编程序控制器简介 95
5.2　可编程序控制器的特点 96
5.3　可编程序控制器的发展趋势 98
5.4　可编程序控制器的基本组成 99
5.4.1　中央处理单元(CPU) 100
5.4.2　存储器 100
5.4.3　输入/输出接口 101
5.4.4　电源部件 103
5.5　可编程序控制器的工作原理 104
5.5.1　PLC 的扫描周期与工作过程 104
5.5.2　PLC 的主要性能指标 106
5.5.3　PLC 的编程语言 107
5.5.4　OMRON PLC 系列产品 110

第 6 章　OMRON CPM1A 系列 PLC 111
6.1　CPM1A 系列 PLC 简介 111
6.1.1　CPM1A 系列 PLC 主机 111
6.1.2　CPM1A 系列 I/O 扩展单元及特殊功能单元 113
6.2　CPM1A 系列 PLC 主要功能简介 113
6.3　CPM1A 系列 PLC 的存储区分配 115

第 7 章　可编程序控制器程序编制 126
7.1　梯形图的编程规则 126
7.2　OMRON PLC 指令系统概述 127
7.3　CPM1A 系列常用指令 128
7.3.1　梯形图指令 128
7.3.2　锁存继电器指令——KEEP 132
7.3.3　置位指令和复位指令——SET、RESET 133
7.3.4　上微分指令和下微分指令——DIFU、DIFD 133
7.3.5　空操作指令和结束指令——NOP、END 134
7.4　CPM1A 系列应用指令 135
7.4.1　定时/计数指令 135
7.4.2　互锁指令和解除互锁指令——IL、ILC 138
7.4.3　暂存继电器——TR 139

7.4.4 跳转指令和跳转结束指令——JMP、JME 140
7.4.5 数据移位指令 141
7.4.6 数据传送指令 148
7.4.7 数据比较指令 156
7.4.8 数据转换指令 159
7.4.9 数据运算指令 165
7.4.10 逻辑运算指令 174
7.4.11 子程序指令 176
7.4.12 高速计数器 179
7.4.13 脉冲输出指令 186
7.4.14 中断控制 187
7.4.15 步进指令 193
7.4.16 特殊指令 195

第 8 章 PLC 控制系统程序设计方法 200
8.1 PLC 程序设计的基本要求 200
8.2 程序设计方法 201
8.2.1 逻辑设计法 201
8.2.2 顺序控制设计法 211
8.2.3 继电器控制电路图转换设计法 218
8.2.4 PLC 经验控制与基本环节 220
8.3 PLC 控制系统实例 226
8.3.1 机械手的 PLC 控制 226
8.3.2 半精镗专用机床的 PLC 控制 234

第 9 章 可编程序控制器通信系统简介 238
9.1 数据通信基础 238
9.1.1 并行通信与串行通信 238
9.1.2 串行异步传输与同步传输 238
9.1.3 奇偶校验与循环冗余校验 239
9.1.4 RS-232C、RS-422/RS-485 串行通信接口 240
9.2 OMRON PLC 的通信与扩展 243
9.2.1 通信与扩展系统简介 244
9.2.2 通信与扩展系统的特点及性能对照 246
9.2.3 数据链接和信息通信 248
9.3 CPM1A 通信功能 250
9.3.1 CPM1A 系列 Host Link 通信 251
9.3.2 CPM1A 系列 1:1 链接通信 257
9.3.3 NT Link 通信 259

第 10 章　PLC 控制系统设计步骤与抗干扰 260
10.1　被控系统的工艺要求和基本工作流程 260
10.2　控制方案的确定 260
10.2.1　PLC 机型选择 261
10.2.2　输入/输出点数的简化 263
10.2.3　输入/输出的定义 266
10.2.4　系统控制软件的设计 267
10.3　PLC 的输入/输出连接 267
10.4　PLC 控制系统的测试 269
10.5　提高系统可靠性的措施 270
10.5.1　系统运行环境 270
10.5.2　控制系统的冗余 272
10.5.3　控制系统的供电 273
10.6　控制系统的抗干扰措施 275
10.6.1　抗电源干扰 275
10.6.2　控制系统接地 275
10.6.3　防 I/O 信号干扰 276
10.6.4　防外部配线干扰 278

第 11 章　可编程序控制器的编程工具 280
11.1　编程器的使用和基本操作 280
11.1.1　编程器面板组成及可实现的功能 280
11.1.2　编程器的操作 282
11.1.3　程序输入 283
11.1.4　程序校验 285
11.1.5　程序读出 286
11.1.6　指令检索 286
11.1.7　触点检索 287
11.1.8　指令的插入与删除 287
11.1.9　I/O 监视 288
11.1.10　I/O 多点监视 289
11.1.11　修改 TIM／CNT 的设定值 290
11.1.12　修改当前值 290
11.1.13　强制置位/复位 291
11.1.14　读出扫描周期时间 292
11.2　编程软件 CX-P 292
11.2.1　CX-P 软件简介 292
11.2.2　CX-P 的主窗口 293
11.2.3　建立工程 294

11.2.4 CX−P 编程 300
下篇习题 306

附录 1 实验 311
附录 2 CPM1A 继电器一览表 315
附录 3 CPM1A 指令一览表 316
附录 4 CPM1A 各种单元的规格 318
附录 5 ASCII 码表 321

参考文献 322

常用低压电器

上篇

第 1 章　低压电器的基本原理

根据我国电工专业范围的划分与分工，低压电器通常是指在交流 1200 V 及以下和直流 1500 V 及以下电路中起通断、控制、保护和调节作用的电器设备。低压电器包括配电电器和控制电器两大类。根据构成方式的不同，可将低压电器分为以下几种：采用电磁原理构成的低压电器元件称为电磁式低压电器；采用集成电路或电子元件构成的低压电器元件称为电子式低压电器；采用现代控制原理构成的低压电器元件或装置称为自动化电器、智能化电器或可通信电器；根据电器的控制原理、结构原理及用途，又可分为终端组合式电器、智能化电器和模数化电器等。

低压电器是现代工业过程自动化的重要基础元件，是组成电器成套设备的基础。一套自动生产线的电器设备中，可能需要使用几万件低压电器，其投资费用可能接近或超过主机的投资。

随着电子技术、自动控制技术和计算机技术的迅猛发展，一些电器元件可能被电子线路所取代，但是由于电器元件本身也朝着新的领域扩展(表现在提高元件的性能，生产新型的元件，实现机、电、仪一体化，扩展元件的应用范围等方面)，且有些电器元件有其特殊性，因此，低压电器在现代工业自动化设备中是不可能被完全取代的。

1.1　低压电器的基本结构

从结构上看，低压电器一般都具有两个基本组成部分，即感受部分与执行部分。感受部分接收外界输入的信号，并通过转换、放大与判断做出有规律的反应，使执行部分动作，输出相应的指令，实现控制的目的。对于有触点的电磁式电器，感受部分大都是电磁机构，执行部分则是触头系统。

1.1.1　电磁机构

电磁机构是电磁式电器的主要组成部分，其工作原理是将电磁能转换成为机械能，从而带动执行部分触头动作。

电磁机构由吸引线圈(励磁线圈)和磁路两部分组成。磁路包括铁心、衔铁和空气隙。当吸引线圈通入电流后，产生磁场，磁通经铁心、衔铁和工作气隙形成闭合回路，产生电磁吸力，将衔铁吸向铁心。与此同时，衔铁还要受到反作用弹簧的拉力，只有当电磁吸力大于弹簧拉力时，衔铁才可靠地被铁心吸住。其结构型式按铁心型式分有单 E 型、螺管型等；按动作方式分有直动式、转动式等，见图 1-1。

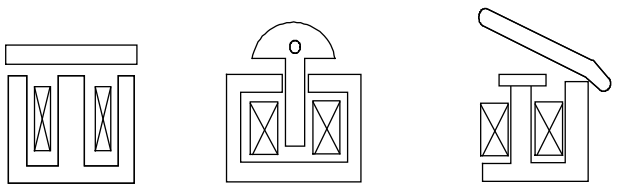


图 1-1　电磁机构的几种形式

(a) 单 E 型电磁铁；(b) 螺管型电磁铁；(c) 转动式

电磁机构按吸引线圈的通电种类可分为直流电磁线圈和交流电磁线圈。当交流电磁线圈接通交流电源时，铁心中有磁滞损失与涡流损失。为了减小由此造成的能量损失和温升，铁心和衔铁用硅钢片叠成，而且线圈粗短并有线圈骨架将线圈与铁心隔开，以免铁心发热传给线圈，使其过热而烧毁。当直流电磁线圈接通直流电源时，铁心中没有磁滞损失与涡流损失，只有线圈本身的铜损，所以直流电磁铁线圈没有骨架，且成细长形，铁心和衔铁可以用整块电工软钢做成。

线圈是电磁铁的心脏，也是电能与磁场能量转换的场所。大多数电磁铁线圈并接在电源电压两端，称为电压线圈。它的特点是匝数多，线径较细，阻抗大，电流小，常用绝缘性能好的电磁线绕制而成。当需反映电路电流时，则将线圈串接于电路中，成为电流线圈。它的特点是匝数少，线径较粗，常用扁铜带或粗铜线绕制。

电磁机构的工作特性常用吸力特性和反力特性来表达。电磁机构使衔铁吸合的力与气隙的关系曲线称为吸力特性。电磁机构使衔铁释放的力与气隙的关系曲线称为反力特性。

1. 直流电磁铁的电磁吸力

直流电磁铁的电磁吸力根据麦克斯韦公式计算：

$$F = 4B^2S \times 10^5 \propto \Phi^2 \propto \left(\frac{1}{\delta}\right)^2 \tag{1-1}$$

式中：F ——电磁铁磁极的表面吸力(N)；

B ——工作气隙磁感应强度(T)；

S ——铁心截面积(m^2)；

Φ ——气隙磁通；

δ ——磁路空气隙。

直流电磁铁的吸力特性如图 1-2 所示。

由图 1-2 可知，在电磁铁安匝数不变的情况下，电磁吸力与气隙大小的二次方成反比。它表明衔铁闭合前后吸力变化很大，气隙越小，吸力越大。由于衔铁闭合前后励磁线圈的电流不变，因此直流电磁机构适用于动作频繁的场合，且吸合后电磁吸力大，工作可靠性好。但是，当直流电磁机构的励磁线圈断电时，磁势会迅速接近于零。电磁机构的磁通 Φ 也会发生相应的变化，因此会在励磁线圈中感生很大的反电势。此反电势可达线圈额定电压的 10～20 倍，很容易使线圈因过电压而损坏。为减小此反电势，通常在励磁线圈 K 上需并联一个由电阻 R 和硅二极管 V 组成的放电回路，如图 1-3 所示。

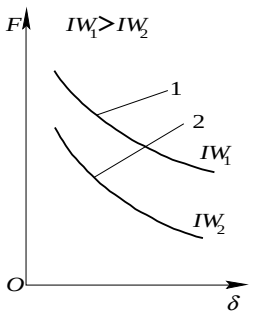


图 1-2　直流电磁铁的吸力特性

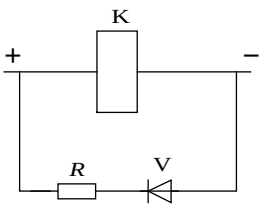


图 1-3　直流线圈并联放电电路

这样，当线圈断电时，放电电路使原先存储于磁场中的能量消耗在电阻上，不致产生过电压。通常，放电电阻的电阻值可取线圈直流电阻的 6～8 倍。

2. 交流电磁铁的电磁吸力

交流电磁铁的电磁吸力公式为

$$\begin{aligned} F &= 4B^2S\times10^5 \\ &= 4S\times10^5 B_{\mathrm{m}}^2 \sin^2\omega t \\ &= 2B_{\mathrm{m}}^2 S(1-\cos2\omega t)\times10^5 \\ &= 2B_{\mathrm{m}}^2 S\times10^5 - 2B_{\mathrm{m}}^2 S\times10^5 \cos2\omega t \end{aligned} \tag{1-2}$$

式中：B_{m} 为 B 的最大值。由式(1-2)可知，虽然交流电磁铁磁感应强度是正、负交变的，但电磁吸力却是脉动的、方向不变的。电磁吸力由两项组成：第一项为平均吸力 F_{av}，其值为最大吸力的一半；第二项为以电源频率两倍变化的交变分量，如图 1-4 所示。

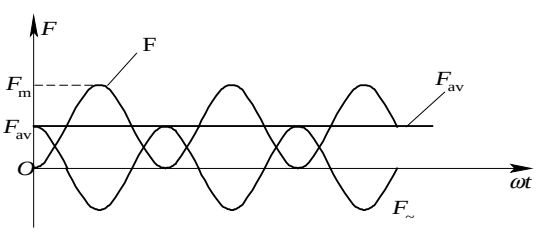


图 1-4　交流电磁铁吸力的变化情况

即式(1-2)中的第二项为

$$F_{\sim} = F_{\mathrm{av}} \cos2\omega t \tag{1-3}$$

交流电磁吸力是在最大值为 $2F_{\mathrm{av}}$ 和最小值为 0 的范围内以两倍于电源频率周期地变化的，因此在每一个周期内，必然有某一段时刻的吸力小于弹簧产生的反作用力。这时衔铁在反力作用下将开始释放，而当吸力再次大于反力时，衔铁又被吸合。如此周而复始，衔铁会产生振动。这种振动对电器工作十分不利，同时还会发出噪声。为此，必须采取措施消除振动。

3. **短路环的作用**

在单相交流电磁铁铁心极面上加装短路环可消除振动和噪声。

设将铁心极面上的磁通分成两部分 φ_{m1} **和** φ_{m2} **，其相应的截面积为** S_1 **和** S_2**。若使这两部分交变磁通间有一个相位差，则两部分磁通所产生的吸力间也有一个相位差。这样，虽然每部分吸力都有到达零值的时刻，但二者合成后的吸力却无零值的时刻。如果合成吸力在任一时刻都大于反力，就可消除振动和噪声。**

在一部分铁心极面上安装短路环即可达到磁通的分相作用，如图 1-5 **所示。**

短路环相当于在磁路参数中有一个磁抗。因此，被短路环包围的部分是一个有磁抗的分支磁路，而未被包围的部分则是一个只有气隙磁阻的分支磁路，其等效磁路如图 1-6 **所示，可以由式**(1-4)**表示。**

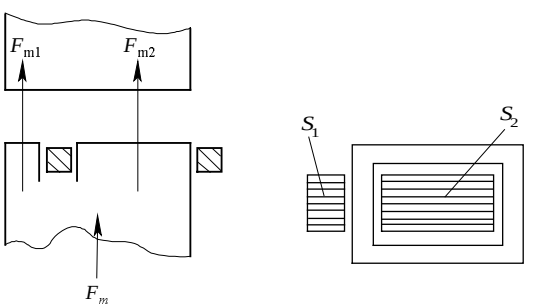


图 1-5　**短路环**

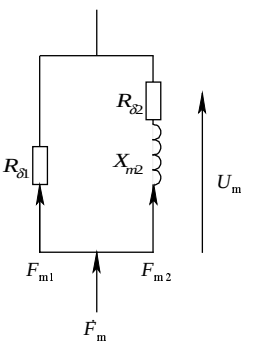


图 1-6　**有短路环的局部等效磁路**

$$\left.\begin{aligned} U_m &= \Phi_{m1}R_{\delta 1} = \Phi_{m2}(R_{\delta 2} + jX_{m2}) \\ &= \Phi_{m2}\sqrt{R_{\delta 2}^2 + X_{m2}^2}\ e^{j\psi} \\ \psi &= \arctan\frac{X_{m2}}{R_{\delta 2}} \\ R_{\delta 2} &= \frac{\delta_2}{\mu_0 S_2} \\ X_{m2} &= \frac{\omega W^2}{r} = \frac{\omega}{r} \end{aligned}\right\} \tag{1-4}$$

式中：X_{m2} **——短路环的磁抗(**Ω**)；**

r **——短路环的电阻(**Ω**)；**

ψ **——磁通** Φ_{m1} **与** Φ_{m2} **的相位差；**

W**——短路环匝数，通常** $W = 1$**。**

磁通 φ_1**、** φ_2 **可表示为**

$$\varphi_1 = \Phi_{m1}\sin\omega t \tag{1-5}$$

$$\varphi_2 = \Phi_{m2}\sin(\omega t - \psi) \tag{1-6}$$

则由式(1-4)可得 φ_1 和 φ_2 在衔铁上产生的电磁吸力分别为

$$F_1 = F_{av1}(1-\cos 2\omega t) \tag{1-7}$$

$$F_2 = F_{av2}[1-\cos 2(\omega t-\psi)] \tag{1-8}$$

由 F_1 和 F_2 相加构成的合成吸力即为电磁铁的电磁力，图 1-7 所示为 $\varphi_1(\omega t)$ 、 $\varphi_2(\omega t)$ 、 $F_1(\omega t)$ 和 $F_2(\omega t)$ 、 $F(\omega t)$ 的关系曲线。图中，F_{max} 为合成电磁吸力的最大值，F_{min} 为合成电磁吸力的最小值，F_r 为反力，只要 $F_{min}>F_r$，即可满足消除振动和噪声的要求。但必须指出，即使满足 $F_{min}>F_r$，吸力仍是脉动的。为减小脉动，应取 ψ = 50°～80°，而 $S_2/S_1\approx 3\sim 4$。短路环应采用导电性能好、机械强度高的材料制作。

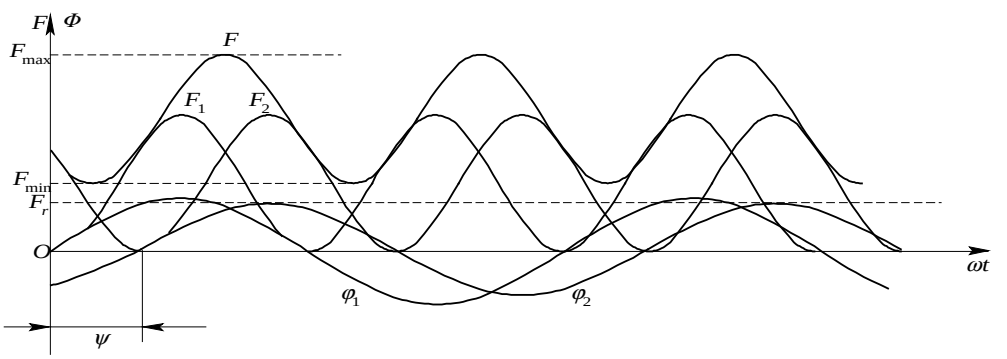


图 1-7　有短路环时的吸力变化曲线

4. 交流电磁机构的吸力特性

交流电磁机构励磁线圈的阻抗主要取决于线圈的电抗(电阻相对很小)，则

$$U \approx E = 4.44 f\Phi W \tag{1-9}$$

$$\Phi = \frac{U}{4.44 fW} \tag{1-10}$$

式中：U ——线圈电压(V)；

E ——线圈感应电势(V)；

f ——线圈外加电压的频率(Hz)；

Φ ——气隙磁通(Wb)；

W ——线圈匝数。

当频率 f 、匝数 W 和外加电压 U 为常数时，由式(1-10)可知，磁通 Φ 亦为常数，因此电磁吸力 F 的幅值也为常数。由于线圈外加电压 U 与磁路空气隙 δ 的变化无关，因此电磁吸力 F 亦与气隙 δ 的大小无关。实际上，考虑到漏磁通的影响，吸力 F 随气隙 δ 的减小会略有增加。其吸力特性如图 1-8 所示。

虽然交流电磁机构的气隙磁通 Φ 近似不变，但气隙磁阻随气隙长度 δ 而变化。根据磁路定律：

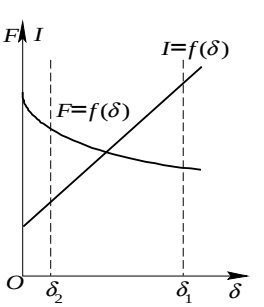


图 1-8　交流吸力特性

$$\Phi = \frac{IW}{R_{\mathrm{m}}} = \frac{IW}{\dfrac{\delta}{\mu_0 S}} = \frac{(IW)(\mu_0 S)}{\delta} \tag{1-11}$$

得出交流励磁线圈的电流 I 与气隙 δ 成正比。

一般当 U 形交流电磁机构的励磁线圈通电而衔铁尚未动作时，其电流可达到吸合后额定电流的 5～6 倍；E 形电磁机构电流则达到额定电流的 10～15 倍。因此，当衔铁卡住不能吸合或者频繁动作时，交流励磁线圈很可能因过电流而烧毁。所以在可靠性要求高或操作频繁的场合，一般不采用交流电磁机构。

5. 吸力特性与反力特性的配合

电磁铁中的衔铁除受电磁吸力作用外，同时还受到与电磁吸力方向相反的作用力。这些反作用力通常包括反作用弹簧力、触点弹簧所产生的力、运动部分的重力与摩擦力等几部分。若不计后两种力，则反力特性如图 1-9 所示。

为了使电磁铁能正常工作，衔铁在吸合时，吸力必须始终大于反力，即吸力特性始终处于反力特性的上方；衔铁释放时，吸力特性必须处于反力特性的下方。图 1-10 为吸力特性与反力特性的配合情况。

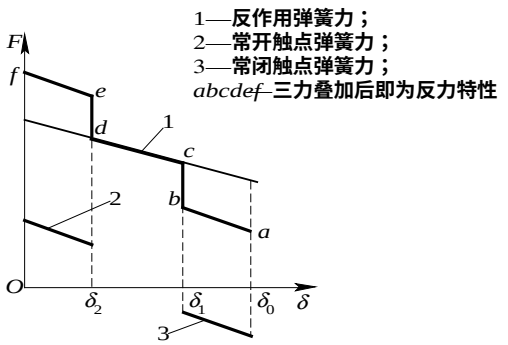


图 1-9　反力特性

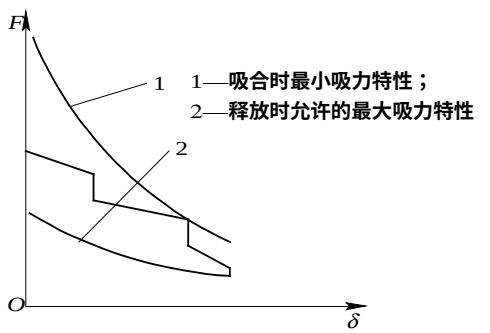


图 1-10　吸力特性与反力特性的配合

由图 1-10 可见，在吸力特性与反力特性曲线之间有一块面积，这块面积代表了衔铁在运动过程中积聚的能量。此面积越大，表示衔铁积聚的能量越大，其动作速度也越大，动静触头接触时的冲击力也越大，严重时会导致触头的熔焊或烧损。因此，吸力特性与反力特性应尽可能靠近，以利于改善电器的性能。

1.1.2　触头和电弧

触头是一切有触点电器的执行部件，这些电器就是通过触头的动作来接通或分断电路的。

1. 触头的接触电阻

触头亦称触点，起接通和分断电路的作用。在有触头的电器元件中，电器元件的基本功能是靠触头来完成的，所以要求触头导电、导热性能良好。触头通常用铜、银、镍及其合金材料制成，有时也在铜触头表面电镀锡、银或镍。铜的表面容易氧化而生成一层氧化