



21世纪高等职业技术教育 机电一体化 数控技术专业规划教材

数控机床

电气控制

■ 主编 陈子银 屈海军

Shukong jichuang
dianqi kongzhi



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

21 世纪高等职业技术教育机电一体化·数控技术专业规划教材

数控机床电气控制

主编 陈子银 屈海军

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书以培养技能型人才为依据,从应用的角度出发介绍了数控机床电气控制技术。全书分为7章,包括数控机床常用低压电器、数控机床电气控制基本环节、计算机数控系统、数控机床伺服驱动系统、PLC及在数控机床中的应用、数控机床电气控制电路设计实例、数控机床电气故障维修基础等。

本书可作为数控技术、机电一体化和机械制造及自动化等专业教学用书,也可作为本科院校教学参考书以及技术与维修人员的自学参考书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

数控机床电气控制 / 陈子银, 屈海军主编. — 北京: 北京理工大学出版社, 2006. 8

ISBN 7-5640-0777-X

I. 数… II. ①陈… ②屈… III. 数控机床-电气控制-高等学校: 技术学校-教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 088890 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京国马印刷厂

开 本 / 787 毫米 × 960 毫米 1/16

印 张 / 13.5

字 数 / 260 千字

版 次 / 2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷

印 数 / 1 ~ 3000 册

定 价 / 18.00 元

责任校对 / 郑兴玉

责任印制 / 李绍英

图书出现印装质量问题, 本社负责调换

出版说明

当前，高度发达的制造业和先进的制造技术已经成为衡量一个国家综合经济实力和科技水平的重要标志之一，成为一个国家在竞争激烈的国际市场上获胜的关键因素。

如今，中国已成为制造业大国，但还不是制造业强国。我们要从制造业大国走向制造业强国，必须大力发展以数控技术为主的先进制造技术，提高计算机辅助设计与制造（CAD/CAM）的技术水平。

制造业要发展，人才是关键。尽快培养一批高技能人才和高素质劳动者，是先进制造业实现技术创新和技术升级的迫切要求。高等职业教育既担负着培养高技能人才的任
务，也为自身的发展提供了难得的机遇。

为适应制造业的深层次发展和数控技术的广泛应用，根据高等职业教育发展与改革的新形势，北京理工大学出版社组织知名专家、学者，与生产制造企业的技术人员反复研讨，以教育部《关于加强高职高专人才培养工作的若干意见》等文件对高职高专人才培养的要求为指导思想，确立了“满足制造业对人才培养的需求，适应行业技术改革，紧跟前沿技术发展”的思路，编写了这套高职高专教材。本套教材力图实现：以培养综合素质为基础，以能力为本位，把提高学生的职业能力放在突出位置，加强实践性教学环节，使学生成为企业生产服务一线迫切需要的高素质劳动者；以企业需求为基本依据，以就业为导向，增强针对性，又兼顾适应性；课程设置和教学内容适应技术发展，突出机电一体化、数控技术应用专业领域的新知识、新技术、新工艺和新方法；教学组织以学生为主体，提供选择和创新的空間，构建开放、富有弹性、充满活力的课程体系，适应学生个性化发展的需要。

本套教材的主要特色有：

1. 借鉴国内外职业教育先进教学模式，顺应现代职业教育教学制度的改革趋势；
2. 以就业为导向，进行了整体优化；
3. 理论与实践一体化，强化了知识性和实践性的统一。

本套教材适合于作为高职高专院校机电一体化、数控技术、机械制造及自动化、模具设计与制造等专业的课程教学和技能培训用书。

北京理工大学出版社

前 言

数控技术的广泛应用,给传统制造业的生产方式、产品结构、产业结构带来深刻的变化,也给传统的机电类专业人才的培养带来新的挑战。根据教育部数控技能型紧缺人才的培养方案的指导思想和数控车工国家职业技能鉴定标准,更全面地适应高职高专的教学计划,适应市场经济需要,编者总结了多年的教学实践经验编写了《数控机床电气控制》一书。

本书编写的目标是解决数控机床电气控制的技术及应用问题,培养和提高学生分析问题和解决问题的能力,只有掌握了一定的基本原理、基本方法,通过基本技能的训练和实践,才能达到本课程的目标。

本书取材较好地结合了专业特点,教学内容的深度和广度体现了先进性、灵活性和实用性。从计算机的诞生到数控机床的出现和应用,数控机床已经成为机电一体化产品的结果。而电气控制技术也在数控机床应用中产生了重要作用。本书以数控原理为理论基础,以数控机床的计算机数控系统、常用低压电器、执行部件(进给伺服电机、主轴电机等)与控制部件(伺服驱动单元、PLC 可编程控制器等)及其组成的数控机床自动控制线路为主线,是学习者更好地掌握数控机床电气控制原理、结构及初步设计技能,并具有一定的数控机床电气控制设计的创新能力。全书内容主要包括数控机床常用低压电器、数控机床电气控制基本环节、计算机数控系统、数控机床伺服驱动系统、PLC 及在数控机床中的应用、数控机床电气控制电路设计实例、数控机床电气故障维修基础等。

本书共有 7 章,由江苏联合职业技术学院徐州机电分院陈子银主编和统稿。其中第 1 章由陈子银和屈海军编写、第 2 章由屈海军编写;第 3 章由陈子银和季晓明编写、第 4 章由赵广新编写、第 5 章由李海峰编写、第 6 章由屈海军编写、第 7 章由陈子银编写。另外,本书

在编写中得到了武汉华中数控股份有限公司潘安远工程师的大力支持和技术指导，特此表示感谢。

限于编者的水平，许多问题还有待探讨。因此，本书的谬误与不妥之处在所难免，恳请读者不吝赐教，提出批评意见。

编者

目 录

第 1 章 数控机床常用低压电器	(1)
1.1 概述	(1)
1.1.1 电器分类	(2)
1.1.2 低压电器的结构	(3)
1.2 接触器	(6)
1.2.1 接触器的主要技术参数	(7)
1.2.2 接触器的型号含义	(10)
1.2.3 交流接触器的选择	(11)
1.2.4 接触器使用中的注意事项	(11)
1.3 继电器	(11)
1.3.1 电磁式继电器	(11)
1.3.2 时间继电器	(15)
1.3.3 热继电器	(17)
1.3.4 速度继电器	(20)
1.3.5 固态继电器	(20)
1.4 低压断路器	(21)
1.4.1 塑料外壳式断路器	(22)
1.4.2 小型断路器	(23)
1.4.3 低压断路器的选择	(24)
1.5 熔断器与主令电器	(25)
1.5.1 熔断器	(25)
1.5.2 开关	(27)
1.6 电源变压器	(33)
1.6.1 变压器	(33)
1.6.2 直流稳压电源	(36)

第2章 数控机床电气控制基本环节	(39)
2.1 数控机床电气原理图的绘图规则	(39)
2.1.1 电气控制线路的图形及文字符号	(39)
2.1.2 电气控制线路的绘制	(41)
2.1.3 数控机床电气原理图	(43)
2.2 数控机床电气控制的逻辑表示	(43)
2.2.1 机床电气的逻辑表示	(43)
2.2.2 逻辑运算法则	(43)
2.3 数控机床电气控制线路的基本规律	(44)
2.3.1 自锁控制	(44)
2.3.2 互锁控制	(45)
2.3.3 实现按顺序工作的联锁控制	(46)
2.3.4 自动循环	(46)
2.3.5 数控机床电气控制线路应用示例	(47)
第3章 计算机数控系统	(51)
3.1 数控系统及其组成	(51)
3.1.1 数控装置	(51)
3.1.2 输入输出装置	(52)
3.1.3 伺服单元和驱动装置	(52)
3.1.4 主轴驱动系统	(53)
3.1.5 可编程控制器 (PLC)	(53)
3.1.6 测量装置	(53)
3.1.7 辅助装置	(54)
3.2 数控系统的类型	(54)
3.2.1 按被控机床运动轨迹分类	(54)
3.2.2 按伺服系统分类	(55)
3.2.3 按数控系统功能水平分类	(57)
3.3 计算机数控 (CNC) 系统结构	(58)
3.3.1 CNC 的硬件结构	(59)
3.3.2 CNC 的软件结构	(64)
3.4 SIEMENS 和 FANUC 数控系统	(70)
3.4.1 德国 SIEMENS 数控系统	(70)

3.4.2	FANUC 数控系统	(72)
3.5	计算机数控装置的接口	(73)
3.6	经济型与标准型数控系统	(76)
3.6.1	经济型数控系统	(76)
3.6.2	标准型数控系统	(81)
3.7	数控系统的电磁兼容性	(83)
3.7.1	电磁兼容性概述	(83)
3.7.2	接地技术	(84)
3.7.3	屏蔽技术	(93)
3.7.4	滤波技术	(96)
第4章	数控机床伺服驱动系统	(104)
4.1	数控机床驱动系统的概念	(104)
4.1.1	伺服系统的概念	(104)
4.1.2	对伺服驱动系统的要求	(105)
4.1.3	伺服驱动系统的组成	(106)
4.1.4	伺服驱动系统的分类	(106)
4.1.5	伺服驱动系统的工作原理	(107)
4.1.6	伺服驱动系统电机类型	(108)
4.2	数控机床的进给驱动系统	(110)
4.2.1	步进电机驱动的进给系统	(110)
4.2.2	直流伺服进给驱动	(116)
4.2.3	交流伺服电机驱动的进给系统	(121)
4.3	数控机床的主轴系统	(123)
4.3.1	直流主轴驱动	(124)
4.3.2	交流主轴驱动	(126)
4.4	位置检测装置	(130)
4.4.1	数控系统位置检测元件的要求及分类	(130)
4.4.2	增量式光电编码器	(131)
4.4.3	绝对式光电编码器	(132)
4.4.4	旋转变压器	(133)
4.4.5	光栅	(134)

第 5 章 PLC 及在数控机床电气控制中的应用	(137)
5.1 可编程序控制器概述	(137)
5.1.1 可编程序控制器的产生和定义	(137)
5.1.2 可编程序控制器的特点	(139)
5.1.3 可编程序控制器的分类	(140)
5.2 可编程序控制器组成及工作原理	(142)
5.2.1 可编程序控制器的组成	(142)
5.2.2 可编程序控制器的工作原理	(145)
5.2.3 可编程序控制器的特点及分类	(147)
5.3 可编程序控制器及其指令系统	(148)
5.3.1 FX2 系列可编程序控制器简介	(148)
5.3.2 FX2 系列 PLC 指令系统及其应用	(149)
5.4 可编程序控制器的程序设计	(159)
5.4.1 梯形图的特点及设计规则	(159)
5.4.2 典型单元梯形图分析	(160)
5.4.3 PLC 的设计方法	(161)
5.5 PLC 在数控机床上的应用	(168)
5.5.1 数控机床上 PLC 的功能	(168)
5.5.2 数控机床上 PLC 的形式	(169)
第 6 章 数控机床电气控制电路设计实例	(171)
6.1 数控机床电气控制电路设计原则	(171)
6.1.1 电气控制电路设计原则	(171)
6.1.2 数控系统功能的选择	(172)
6.2 TK1640 数控车床电气控制电路	(173)
6.2.1 TK1640 数控车床的功能	(173)
6.2.2 TK1640 数控车床的电气控制电路	(175)
6.3 XK714A 数控铣床电气控制电路	(180)
6.3.1 机床的功能	(180)
6.3.2 XK714A 数控床身铣床的电气控制电路	(183)
第 7 章 数控机床电气故障维修基础	(187)
7.1 数控机床维修的基本要求	(187)

7.1.1	维修人员素质的要求	(187)
7.1.2	技术资料的要求	(189)
7.1.3	工具及备件的要求	(191)
7.2	数控机床故障分析的方法	(193)
7.2.1	常见故障及其分类	(193)
7.2.2	故障分析的基本方法	(195)
7.2.3	CNC 的故障自诊断	(196)
7.2.4	维修的基本步骤	(199)
参考文献		(204)

第 1 章

数控机床常用低压电器

■ 本章要点

- ① 掌握电器的概念、分类及结构组成。
- ② 掌握接触器的功能、图形符号及文字符号、主要技术参数、型号意义、选择方法和使用注意事项。
- ③ 掌握继电器的类型，特别是电磁式继电器、时间继电器、热继电器、速度继电器的功能和应用。
- ④ 掌握低压断路器的类型、功能、图形符号和文字符号及选择方法。
- ⑤ 掌握熔断器的功能、类型、主要参数及选择方法；掌握各种开关的图形符号和文字符号、基本结构及主要技术参数。
- ⑥ 掌握各种按钮、指示灯的功能和应用。
- ⑦ 掌握电源变压器的功能、图形符号和文字符号及选择方法。

数控机床主要是由机械和电气两大部分组成。其中机械部分与普通机床结构相似，电气部分又有“强电”和“弱电”之分。“弱电”部分是指控制系统中以电子元器件、集成电路为主的控制部分。数控机床的弱电部分包括 CNC、PLC、MDI/CRT 以及伺服驱动单元、输入输出单元等。“强电”部分是指控制系统中的主回路或高压、大功率回路中的继电器、接触器、开关、熔断器、电源变压器、电机、电磁铁、行程开关等电气元器件及其所组成的控制电路。

数控机床的控制电路是由各种不同的控制电器元器件组成的，要了解、分析和设计数控机床的控制电路首先要熟悉各种控制电器元器件。

1.1 概 述

电力拖动是用电机来带动生产机械运动的方式。生产上广泛采用的控制系统为继电器 -

接触器控制系统,即由按钮开关、接触器、继电器等有触点电器组成。其优点是结构简单、价格低、维修方便;缺点是体积大、工作寿命短。用这类电器组成较复杂控制系统时,显得触点多,易出故障。

电器是一种能控制电能的设备。它能够根据外界信号的要求,手动或自动地接通或断开电路,断续或连续地改变电路参数,以实现电路或非电对象的切换、控制、保护、检测、变换和调节作用。

1.1.1 电器分类

通常,凡是对电能的生产、输送、分配和使用起控制、调节、检测、转换及保护作用的电工器械均可称为电器。电器的用途广泛,功能多样,构造各异,种类繁多。

1. 按工作电压等级分类

(1) 低压电器

用于交流 50 Hz 或 60 Hz 额定电压 1 200 V 以下,直流额定电压 1 500 V 以下的电路中起通断保护、控制或调节作用的电器称为低压电器。

(2) 高压电器

用于交流 50 Hz 或 60 Hz 额定电压 1 200 V 以上,直流额定电压 1 500 V 以上的电路中起通断保护、控制或调节作用的电器称为高压电器。

2. 按操作方式的原理分类

(1) 手动电器

由人工直接操作才能完成任务的电器称为手动电器,如刀开关、按钮和转换开关等。

(2) 自动电器

不需要人工直接操作,按照电的或非电的信号自动完成接通、分断电路任务的电器称为自动电器,如低压断路器、接触器和继电器等。

3. 按用途分类

(1) 低压配电电器

低压配电电器主要用于低压供电系统,如刀开关、低压断路器、转换开关和熔断器等。

(2) 低压控制电器

低压控制电器主要用于电力拖动控制系统,如接触器、继电器、控制器、控制按钮、行程开关、主令控制器和万能转换开关等。

4. 按工作原理分类

(1) 电磁式电器

电磁式电器是根据电磁感应原理来工作的电器,如交直流接触器、电磁式继电器等。

(2) 非电量控制电器

非电量控制电器的工作是靠外力或非电物理量的变化而动作的电器,如刀开关、行程开

关、按钮、速度继电器、压力继电器和温度继电器等。

1.1.2 低压电器的结构

电磁式电器在低压电器中占有十分重要的地位，在数控机床电气控制系统中应用最为普遍。电磁式电器主要由电磁机构、触头系统和灭弧装置等组成。

1. 电磁机构

电磁机构的主要作用是将电能转换成机械能，将电磁机构中吸引线圈的电流转换成电磁力，带动触头动作，完成通断电路的控制作用。

电磁机构由铁心、衔铁和线圈等几部分组成，其作用原理：当线圈中有工作电流通过时，电磁吸力克服弹簧的反作用力，使得衔铁与铁心闭合，由连接机构带动相应的触头动作。

从常用铁心的衔铁运动形式上看，铁心主要可分为拍合式和直动式两大类。如图 1-1 (a) 为衔铁沿棱角转动的拍合式铁心，其铁心材料由电工软铁制成，它广泛用于直流电器中；图 1-1 (b) 为衔铁沿轴转动的拍合式铁心，铁心形状有 E 形和 U 形两种，其铁心材料由硅钢片叠成，多用于触头容量较大的交流电器中；图 1-1 (c) 为衔铁直线运动的双 E 形直动式铁心，它也是由硅钢片叠成，多用于触头为中、小容量的交流接触器和继电器中。电磁线圈由漆包线绕制而成，也分为交、直流两大类，当线圈通过工作电流时产生足够的磁动势，从而在磁路中形成磁通，使衔铁获得足够的电磁力，克服反作用力而吸合。在交流电流产生的交变磁场中，为避免因磁通过零点衔铁的抖动，需在交流电器铁心的端部开槽，嵌入一铜短路环，使环内感应电流产生的磁通与环外磁通不同时过零，使电磁吸力总是大于弹簧的反作用力，因而可以消除交流铁心的抖动。

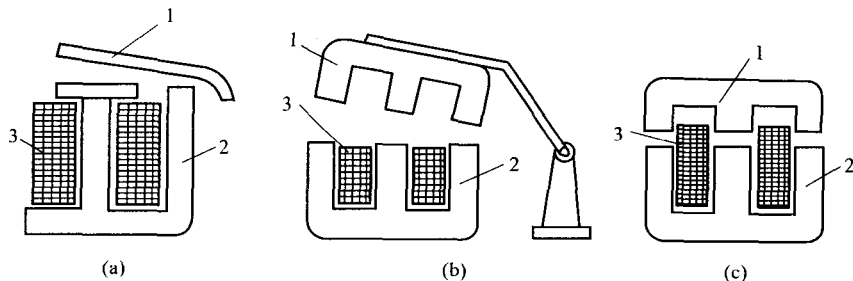


图 1-1 常用的磁路结构

(a) 衔铁沿棱角转动的拍合式铁心；(b) 衔铁沿轴转动的拍合式铁心；

(c) 衔铁直线运动的双 E 形直动式铁心

1—衔铁；2—铁心；3—吸引线圈

2. 触头系统

触头的作用是接通或分断电路，因此要求触头要具有良好的接触性能，电流容量较小的电器常采用银质材料作触头，这是因为银的氧化膜电阻率与纯银相似，可以避免触头表面氧化膜电阻率增加而造成接触不良。

触头的结构有桥式和指式两类。图 1-2 (a)、(b) 所示为桥式触头，其中 (a) 为点接触形式，适用于电流不大、触点压力小的场合，(b) 为面接触形式，适用于较大电流的场合；图 1-2 (c) 所示为指式触头，其接触区域为一直线（长方形截面），触点在结构设计时，应使触点在接通或断开时产生滚、滑动过程，以去除氧化膜，减少接触电阻，适用于接通次数多、电流大的场合。

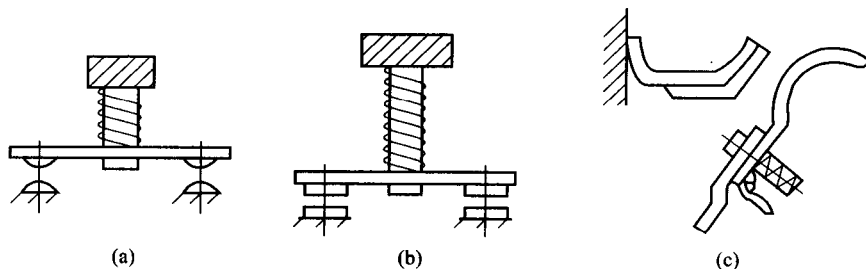


图 1-2 触点结构形式

(a) 点接触形式；(b) 面接触形式；(c) 指形触点

为了使触点在接触过程中消除振动，闭合时接触得更紧密，减少接触电阻，因此，在触点上装有接触弹簧，加大触点间的压力。触点间的接触电阻还与接触表面的状况有关。

3. 灭弧装置

电器的动静触点在断开电路的瞬间，由于气体中少量正、负离子在电场强度作用下加速运动，与中性气体分子碰撞，使其发生游离。同时，触点金属内部的自由电子从阴极表面逸出奔向阳极，也撞击中性气体分子，使其激励和游离，这些离子在电场中定向运动时伴随着强烈的热过程，致使在电流通道的内形成等离子体，并伴有强烈的声、光和热效应的弧光现象，即为电弧。

由于电弧的高温能将触头烧损，并可能造成其他事故，因此应采用适当措施迅速熄灭电弧。其主要措施有：① 迅速增加电弧长度（拉长电弧），使得单位长度内维持电弧燃烧的电场强度不够而使电弧熄灭。② 使电弧与流体介质或固体介质相接触，加强冷却和去游离作用，使电弧加快熄灭。电弧有直流电弧和交流电弧两类，交流电流有自然过零点，故其电弧较易熄灭。

低压控制电器常用的具体灭弧方法有：

(1) 机械灭弧

机械灭弧是通过机械装置将电弧迅速拉长。这种方法多用于开关电器中。

(2) 磁吹灭弧

如图1-3所示是磁吹灭弧装置示意图。由磁吹线圈、引弧角和导弧磁夹板等组成。由图可见,磁吹线圈产生的磁场其磁通比较集中,它经铁心和导弧磁夹板进入电弧空间。于是,电弧在磁场的作用下,在灭弧罩内部迅速向上运动,并在引弧角处被拉到最长。在运动过程中,电弧一方面被拉长,另一方面又被冷却,因此电弧能迅速熄灭。引弧角除有引导电弧运动的作用外,还能把电弧从触点处引开,从而起到保护触点的作用。

这种灭弧装置称为串联磁吹灭弧装置。由于磁吹线圈是与主电路串联,作用于电弧的磁场力随电弧电流的大小而改变,电弧电流越大,灭弧能力越强,且磁吹力的方向与电流方向无关。除外,还有并联磁吹灭弧装置,其优点是弱电流时磁吹效果比串联磁吹灭弧效果好,其缺点是当触点上电流方向改变时,必须同时改变线圈电流的极性,否则磁吹力会反方向,电弧不但不易熄灭,甚至可能损害电器。

(3) 窄缝(纵缝)灭弧法

如图1-4所示是利用灭弧罩上的窄缝实现灭弧的装置。当触点断开时,电弧在电动力的作用下进入窄缝内,窄缝可将电弧柱的直径压缩,使电弧与缝壁紧密接触,加快冷却和去游离作用,从而使电弧加快熄灭。灭弧罩常用耐高温陶土、石棉水泥等材料制成。目前有采用多个窄缝的多纵缝灭弧装置,电动力将电弧引入纵缝,被分劈成若干段直径较小的电弧,以增强冷却和去游离作用,提高灭弧效果。

(4) 栅片灭弧法

如图1-5所示是栅片灭弧示意图。由灭弧栅片(由多片镀铜薄钢片组成)、绝缘夹板等组成。当触点断开时,电弧在吹弧电动力的作用下被推向栅片,它们彼此间是相互绝缘的。电弧进入栅片后,被分成一段段串联短电弧,而栅片变成短弧的电极。栅片的作用还在于能导出电弧的热量,使电弧迅速冷却,同时每两片灭弧栅片可以看成一对电极,而每对电极间都有150~250 V的绝缘强度,使整个灭弧栅的绝缘大大加强,而每个栅片间的电压却不足以达到电弧燃烧的电压。所以,电弧进入灭弧栅后就很快地熄灭。

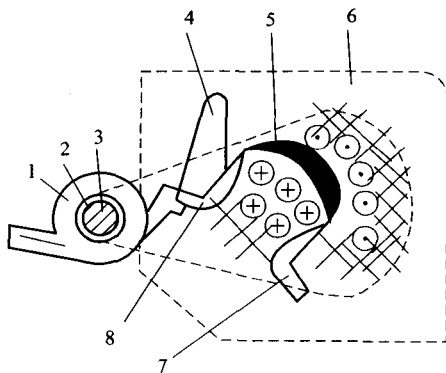


图1-3 磁吹灭弧装置

- 1—磁吹线圈；2—绝缘套；3—铁心；
4—引弧角；5—导弧磁夹板；6—灭弧罩；
7—动触点；8—静触点