

水利工程启闭机实用技术系列培训教材

SHUILI GONGCHENG QIBIJI DIANQI BUFEN

水利工程启闭机 电气部分

水利部综合事业局 组织编写
陈同生 单方庆 张晓兰 编

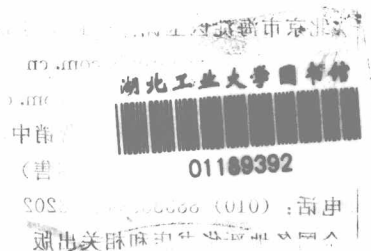


中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

水利工程启闭机实用技术系列培训教材

水利工程启闭机 电气部分

水利部综合事业局 组织编写
陈同生 单方庆 张晓兰 编



内 容 提 要

本书概述了启闭机电控制系统的组成及特点、启闭机电控系统的发展、启闭机电控系统的性能要求；介绍了交流电动机、低压电器、继电接触控制及变频调速及电气系统远程监控，结合实例论述、讲解了启闭机在电气系统方面的常见故障及解决办法，以及启闭机的制造安装及验收方面的知识。

本书可作为启闭机专业技术人员进行培训的教材，亦可供启闭机科研、设计、施工、运行单位的技术人员学习参考。

图书在版编目（C I P）数据

水利工程启闭机实用技术系列培训教材. 水利工程启
闭机电气部分 / 水利部综合事业局组织编写；陈同生，
单方庆，张晓兰编. -- 北京：中国水利水电出版社，
2009.12

ISBN 978-7-5084-7206-5

I. ①水… II. ①水… ②陈… ③单… ④张… III.
①闸门启闭机—电气设备—技术培训—教材 IV.
①TV664

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第135461号

书 名	水利工程启闭机实用技术系列培训教材 水利工程启闭机电气部分
作 者	水利部综合事业局 组织编写 陈同生 单方庆 张晓兰 编
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京纪元彩艺印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 11印张 261千字
版 次	2009年12月第1版 2009年12月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	38.00元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

序

启闭机是水利工程中用于实现闸门开启和关闭、拦污栅起吊和安放的专用设备，启闭机的质量会对水利工程的防洪、发电、灌溉和供水安全产生直接影响，而水库的安全运行直接关系到下游人民群众生命和财产安全。

国家历来重视启闭机产品质量管理工作，水利部自 1992 年起对启闭机实行使用许可管理制度。2004 年，《启闭机使用许可证核发》被国务院作为确需保留的行政审批项目设定行政许可（国务院 412 号令第 166 项）。十几年来，严格的管理大大提高了启闭机产品质量，有效地保护了水利工程安全。

随着市场经济的发展，启闭机制造企业的竞争日趋激烈，交通、船舶、冶金等行业的企业，以及一些外资公司、民营企业都纷纷进入该领域，进一步推动了启闭机行业的改革发展和技术创新。但在管理中我们也清楚地看到启闭机制造企业仍然存在很多问题，有些企业制造设备陈旧，工艺水平落后，生产能力不强；企业专业技术人才短缺，现有专业技术人员知识老化，专业水平和业务能力有待提高；不少新企业对启闭机制造基础理论、技术标准等掌握不够，无法保证产品的技术和质量，这将会影响到水利工程的运行安全。

为全面提升启闭机制造企业专业技术人员的业务素质，提高企业技术创新能力，推动启闭机行业技术进步，水利部综合事业局精心策划、组织有关专家编写了这套系列培训教材，全面介绍水利工程启闭机实用技术。教材分别从机械、焊接和电气等方面，全面介绍了启闭机的设计、加工制造技术、质量检测、质量管理及安全管理等专业理论，以及许多相关的科技知识，同时编入了许多产品设计和生产制造的实例。该教材理论联系实际，图文并茂，具有针对性和实用性，内容深入浅出，通俗易懂，既适用于课堂教学需要，又能满足读者自学的要求。

我相信本套教材的出版可以使水利工程启闭机设计制造企业及相关单位技术人员全面了解、掌握启闭机的设计制造技术，为推动企业的技术进步、强化质量管理、提升产品科技含量、提高产品现代化水平、保障启闭机的安全运行起到很好地促进作用。



2009年9月

前 言

为推动水利机械行业的技术进步，提高水利工程启闭机生产企业的技术水平和自主创新能力，全面提升专业技术人员的整体素质，以适应企业对启闭机专业技术人才培养的需要，水利部综合事业局组织有关专业技术人员成立编委会，编写了《水利工程启闭机实用技术系列培训教材》。

全套培训教材共分三部分：即水利工程启闭机机械部分、水利工程启闭机焊接部分、水利工程启闭机电气部分。

本书是水利工程启闭机电气部分，全书共分六章：第一章，概述，第二章，电机及控制，第三章，电气系统远程监控，第四章，启闭机电气系统设计，第五章，启闭机的制造安装及验收，第六章，启闭机电气系统故障诊断。

其中第一章、第四章、第五章，由单方庆编写，第二章，由陈同生编写，第三章、第六章，由张晓兰编写。

本书在编写过程中，得到了许多单位的领导和专家的关心支持与帮助，在此谨向为本套教材的调研、策划、编写和出版付出艰辛劳动的全体人员表示衷心的感谢！

由于时间和编写水平有限，本教材难免存在一些缺点和不足之处，恳请业内专家和广大读者批评指正。

编 者

2009年9月

目 录

序

前言

第一章 概述	1
第一节 启闭机电气系统的组成及特点	1
第二节 启闭机电气系统的发展	3
第三节 启闭机电气系统的性能要求	4
第二章 电机及控制	7
第一节 三相异步电动机	7
第二节 常用低压电器	27
第三节 启闭机继电器接触控制	35
第四节 变频调速	40
第五节 可编程控制器(PLC)及其应用	53
第三章 电气系统远程监控	61
第一节 工业控制网络	61
第二节 分布式控制系统	66
第三节 现场总线控制系统	73
第四节 工业以太网	80
第五节 人机界面和组态软件	84
第四章 启闭机电气系统设计	89
第一节 电气控制线路设计的基本内容	89
第二节 启闭机电气系统	100
第三节 启闭机电气系统设计	106
第四节 启闭机电气系统设计实例	117
第五章 启闭机的制造安装及验收	126
第一节 启闭机的设计原则及技术资料	126
第二节 启闭机的制造与安装	127
第三节 启闭机的试验与验收	128

第六章 启闭机电气系统故障诊断 132

 第一节 电气系统常见故障 132

 第二节 电气系统故障查找 134

 第三节 状态监测与故障诊断 147

 第四节 启闭机的电气调试及常见故障分析 162

参考文献 167

第一章 概 述

第一节 启闭机电气系统的组成及特点

在水利水电工程中,将启闭闸门用的起重机械统称为启闭机,其作用主要用于操作门叶的移动,达到开启、关闭孔口的目的。启闭机具有防洪、供水、发电、通航、排除漂浮物等功能。

启闭机电气又称为电力传动控制或电力拖动控制,它的基本目的是将电能转化为机械能,并通过对其控制完成生产工艺过程的要求。为了实现生产过程自动化的要求,启闭机电气不仅包括拖动闸门提升机构的电动机,而且还包含控制电动机的一整套控制系统,也就是说,电气控制系统是由各种传感与检测元件、信息处理元件和控制元件组成的自动控制系统。

一、启闭机电气系统的构成

启闭机根据水利工程的要求有不同的种类,结构形式千差万别,其控制系统也不同,但是归纳起来,同其他控制系统一样,也是由受令部分、分析判断部分和执行部分构成,其功能与其他控制系统相同。从电路上看,启闭机电气电路可分为主要被控回路(即主回路)和控制回路,它们都有电源供给部分,也有自己的保护电路;为了能感受系统信息,有时还采用传感器及其他转换部件,一般由以下部分构成:

(1) 电源部分——分别为主回路和控制回路提供电源。

(2) 电源保护部分——保护主回路和控制回路电源,以保证设备电路在发生短路故障时及时切断电源。

(3) 控制部分——一般为串接在主回路中的开关或其他电气设备,使得控制系统输出信号得到响应。

(4) 执行部分——即电机、电磁铁、开关等电气执行元件。

(5) 测量部分——由传感器、变换元件等组成,专门检测外部参量,如传感温度的温度继电器,传感位置的位置开关等。

(6) 保护部分——也属于测量的一部分。当设备出现过热、过压、缺润滑等特殊情况时,必须立即切断电源,以保护设备不致损坏。

(7) 指示部分——分为故障指示、状态指示和操作指示等。可以是灯光指示,也可以是声音指示或其他指示。

(8) 受令部分——即接受操纵命令的部分。一般为主令电器,如按钮、主令开关等。

各部分之间的关系如图 1-1 所示。

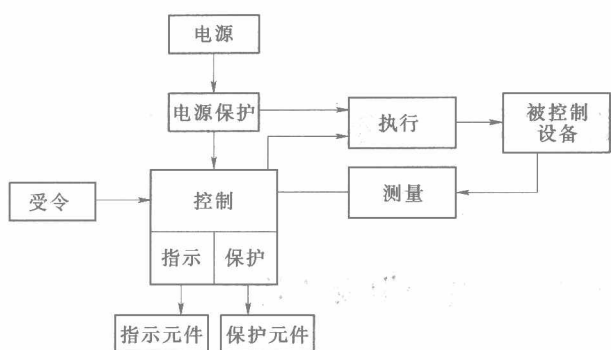


图 1-1 电气控制系统各部分之间的关系

对于电气设备来讲，控制信号的种类十分繁多，但很多情况下，只要将电气设备的电源加上，设备就开始正常工作。因此要实现对设备的控制，只需控制其电源的通断，即通过使用合适的开关信号就可实现对设备的控制。虽然这仅是一般情况，但在大多数情况下仍然适用。因为如果把复杂的系统进行分解，就会发现它们通常是由一个或几个供电工作的设备组合而成，控制信号也可简化成多个

开关信号。因此，电气控制系统的执行部分往往是一个开关，或是由开关控制的电动机（输出位移或随位移改变的电阻、电感、电压、电容、压力等）、电灯（输出光强）、电热丝（输出热量）等用电设备。

对开关信号，电气控制电路的逻辑判断部分，可以由电气元器件的触点按串并联等连接方法，实现信号的联锁与逻辑关系，也可以依靠电子电路或数字集成电路来实现。

不同的电路有不同的特点，也有各自应用上的局限性。目前在启闭机生产中，复杂的或精密的设备普遍采用可编程控制器或微电脑进行控制，它们是利用事先编写好的程序来实现所需要的逻辑关系的，其输出可以是开关信号，也可以是模拟信号，或者是其他信号。

电气控制系统按逻辑判断部分的结构，可分为接触器、继电器控制系统、可编程顺序控制系统和交磁放大机系统等。随着科学技术的发展，不同类型的控制系统互相渗透，有些时候界限已不十分明显。

接触器、继电器控制系统以其结构简单、工作可靠、寿命长和易于维修而广泛应用于各种电气控制中。可编程控制器及微电脑控制器功耗小、控制灵活，容易实现较复杂的控制，但其成本较高，且需要专门的维修知识，因而在小型控制系统中的应用受到了限制。

二、启闭机电气系统的特点

启闭机是一类特殊的起重设备，因此其控制和普通起重机的控制有相似之处，但是，作为一种专门启闭水利工程闸门的专用起重设备有它自己的特点。

首先，启闭机拖动的荷载变化大。下降时，闸门及其附件的重力足以克服摩擦阻力，载荷几乎为 0；上升时，因意外原因，可能会出现卡阻，最大负荷往往大于额定负载，所以中等以上启闭机一般要求设置负荷指示和负荷限制器。

其次，启闭运动速度低，一般为 $1\sim 2\text{m/min}$ ，通常不超过 5m/min ，甚至为 0.1m/min ；工作级别低，但要求绝对可靠；除一些船闸以及泄洪用的闸门启闭较频繁外，有些闸门几个月才启闭一次。

第三，双吊点启闭机的运动要求同步。多数闸门，特别是大跨度闸门上具有两个吊点，所以这类闸门的启闭机具有两套额定容量相同的起升机构，为保证闸门的顺利启闭，



就要求保证双吊点同步。

第四,根据水利工程的不同,启闭机的控制也有特殊的要求,比如带充水阀的闸门,要求开启充水阀后自动停机,待充水平压后再提升闸门;对于快速事故闸门,要求快速闭门,但并不需要快速启门,因此闸门要求具有两种运行速度。

第二节 启闭机电气系统的发展

现代科学技术的发展,极大地推动了不同学科的相互交叉与渗透,导致了几乎所有工程领域的技术革命与改造,纵向分化、横向综合已成为当代科学技术发展的重要特点。在机械工程领域,由于微电子技术的飞速发展及其向机械工业的渗透所形成的机电一体化,使机械工业的技术结构、产品结构、功能与构成、生产方式及管理体系均发生了巨大的变化,使工业生产由“机械电气化”迈入了以“机电一体化”为特征的发展阶段。

机电一体化的发展趋势可以概括为以下三个方向:性能上向高精度、高效率、高性能、智能化的方向发展,功能上向小型化、轻型化、多功能方向发展,层次上向系统化、复合集成化的方向发展。机电一体化技术的研究与应用强调技术的融合与学科交叉。机电一体化技术依赖于相关技术的发展,同时也促进了相关技术的发展。

自从以电动机作为启闭机的原动机以来,伴随着电气控制技术的发展,启闭机控制的发展经历了以下几个阶段。

一、继电器接触器控制

最早的自动控制是20世纪20~30年代出现的传统继电器接触器控制,它可以实现对控制对象的启动、停车、调速、自动循环以及保护等控制。该方式优点是所使用的控制器件结构简单、价廉、控制方式直观、易掌握、工作可靠、易维护等特点,因此,在设备控制上得到了广泛的应用。但是,经过长期使用,人们发现这种控制方式存在不足之处,那就是体积大、功耗大、控制速度慢、改变控制程序困难。由于是有触点控制,在控制系统复杂时可靠性降低。所以,不适合对生产工艺及流程经常变化的控制要求。

二、顺序控制器控制

20世纪60年代,随着半导体技术的发展出现了顺序控制器。它是继电器和半导体元件综合应用的控制装置,具有程序改变容易、通用性好等优点,被广泛使用。后来随着微电子技术和计算机技术的发展,电气控制技术出现了两个分支,即可编程控制器和数字控制技术,今天它们已成为典型的机电一体化技术和产品。

三、可编程控制器(PLC)控制

可编程控制器又简称为PLC,是计算机技术与继电器接触器控制技术相结合的产物。它是以微处理器为核心,顺序控制为主的控制器,不仅具有顺序控制器的特点,而且具有微处理器的运算功能。PLC的设计以工业控制为目标,因而具有功率级输出、接线简单、通用性好、编程容易、抗干扰能力强、工作可靠等一系列优点。它一问世就以强大的生命



力,大面积地占领了传统的控制领域。PLC 的一个发展方向是微型、简易、价廉,以适应单机控制和机电一体化相结合的控制,使 PLC 更广泛地取代传统的继电器控制;而另一个发展方向是大容量、高速、高性能,实现 PLC 与管理计算机之间的通信网络,形成多层分布控制系统,对大规模复杂控制系统能进行综合控制。

综上所述,可以看到当今的启闭机控制技术是微电子、电力电子、计算机、信息处理、通信、检测、过程控制、伺服传动及自动控制等多种技术相互交叉、互相渗透、有机结合而成的一种综合性技术。

第三节 启闭机电气系统的性能要求

对电气系统的要求,大致可分为两类:一类是系统应具备的一般特点;另一类是系统本身技术性能应能达到的指标。

一、一般要求

1. 经济性强,成本低

这是针对任何一个系统提出的最基本的要求,因为所有系统都存在着成本问题和更新换代问题。

2. 低功耗和易维护

如果功耗较大,不仅仅是一种能源浪费,更重要的是消耗的电能被转化为热量,增加了电气控制系统的散热负担,恶化了电气控制系统的工作环境。事实上,功耗大的设备必然伴随着元器件体积的庞大和可靠性的降低,这不但增加了电气控制系统的成本,也减弱了设备使用的灵活性。电子技术和其他新技术的应用,使这一问题得到了较好的解决,然而仍大有潜力可挖。易于维护也是电气控制系统的基本要求。只有易于维护、易于修理,才能增加系统运行的可靠性。

3. 工作可靠

一个设计良好的电气控制系统,应该具有可靠的工作性能。它包括两方面的内容:一是在恶劣环境和恶劣工况下,系统本身可靠性高,不出故障,这主要是由设备元器件质量和安装工艺决定的;二是系统有较强的容错或者是纠错能力。例如,按键选台的老式电视机(非遥控型),如果不采取一定的措施,所有按键被同时全部按下时,按键将无法复位。所以此类电视机频道选择按键总有几个是互锁的,保证不被同时按下。类似这类系统的设计就是比较成功的。在电气控制系统中也是如此,在各种操作甚至是误操作下也不出问题,或者有一定的预防措施,不至于出现误操作。例如电动机起、停控制电路,当起、停按钮同时按下时,电动机是起动还是停止?或当正、反转按钮同时按下时,电动机正转还是反转?如果系统设计得好,这些问题都可避免,不至于误动甚至出事故,这主要取决于电路设计是否完善。

二、控制系统的性能

电气系统的一些数据是衡量系统性能的指标。控制系统的性能,是指控制系统的被控



制量或输出量能否迅速、准确地按控制输入量的变化而变化，两者之间保持一定的函数关系，并且这种函数关系尽可能地不受外界扰动的影响。

例如：对于一发电机组，在转速恒定不变时，调压器设定值为 380V。如果由于负荷发生了较大的变化，使发电机的电压降低到 360V，则是我们所不希望的。一旦设备的电压误差过大时，自动恒压系统应能减少这种误差。

当负荷突然增加时，电压的降低过程如图 1-2 所示。从图 1-2 中可以看出，负荷突然增加时，电压从 380V 跌落。电压首先降低到 360V 以下，然后又回升，并超过 360V，然后又降低到 360V 以下，再回升。经过多次振荡，振荡幅度越来越小，最终稳定在 360V 上。

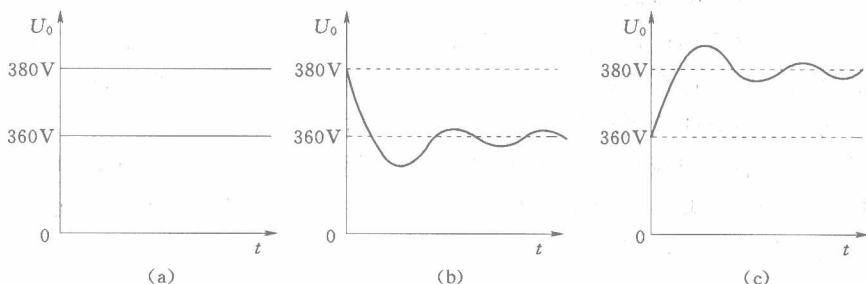


图 1-2 发电机负荷增加时电压的变化过程

(a) 稳态时的输出电压；(b) 负荷突然增加时的电压变化过程；(c) 调节调压器时的电压变化过程

如果需要将电压调整到 380V，应将调压器的电位器朝电压升高的方向调节，即使不计调节电位器的时间，发电机输出电压也不是立即上升，而是经历一个过程，即首先输出电压上升，然后下降，经过一段振荡时间后，电压才稳定在 380V。

在响应过程中，有几个参量是比较重要的：一个是系统的自身调整能力，即在受到扰动并且系统达到稳态后，输出值与理想值之间的差值；另一个是系统受到扰动时的振荡强度，用最大振幅或超调量来表示；还有一个参量是系统的振荡时间，它反映了系统在受到扰动时自动调整所需的时间，这些参量可通过电气系统的阶跃响应得到反映，如图 1-3 所示。各参量在电气控制系统中的具体含义如下。

1. 稳态误差

稳态误差是指电气控制系统在给定输入时，当 $t \rightarrow \infty$ 时稳态输出与希望输出之间的偏差，它表达了系统实际输出与希望值之间的最终偏差，包括在任何扰动下的偏差。显然，不同的输入对应的稳态误差是不同的，有时甚至是个变化的数值。为了具有可比性，就需要指定稳态误差对应的输入信号，例如单位阶跃输入信号或斜坡函数等。

从响应曲线上，稳态误差是指稳态输出值与理想值之间的差值。例如发电机电压调节

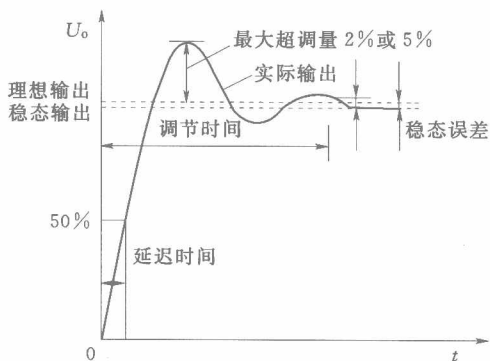


图 1-3 电气控制系统的阶跃响应



系统,如果调节电位器,使其指针指向 380V,但由于某种原因,输出电压达到稳态后仅为 360V,那么稳态误差就是 20V。所以稳态误差是系统误差的一种表现形式。

2. 瞬态性能

理论上希望电气控制系统输出值能紧跟输入值变化,但实际系统中有电感、电容等储能元件或转动件的惯性,往往使输出值不能对输入值的变化立即响应,而需要经历一个过程。在衡量这个响应过程中采用了最大超调量、延滞时间、上升时间、峰值时间、调节时间等指标,

各参量的意义为:

最大超调量——阶跃响应曲线超过理想输出的最大值,常以百分比表示。

延迟时间——阶跃响应曲线上升到稳态值的 50%所需的时间。

上升时间——阶跃响应曲线从稳态值的 5%上升到 95%或从稳态值的 10%上升到 90%所需的时间。对有振荡系统,常用从第一次上升至稳态值所需的时间来表示。

峰值时间——响应曲线到达第一个峰值所需的时间。

调节时间——响应曲线衰减到与稳态值之差不超过 2%或 5%所需的时间。

电气控制系统中一般要求响应输入的速度高一些为好,即要求延迟时间、上升时间、峰值时间、调节时间要短,超调量要小。

3. 系统稳定性

系统稳定性能可分为大范围内稳定、小范围内稳定和系统不稳定三种。对应于小范围内稳定的参数有稳定点和稳定半径的要求。

因此,对电气控制系统在性能上的要求是:系统稳定,裕量较大(特殊情况下除外),瞬态响应迅速,调节灵敏,无过调现象或阻尼振荡衰减迅速,稳态误差小。只有这样才能满足启闭机控制技术的需要。

第二章 电机及控制

第一节 三相异步电动机

三相异步电动机是根据电磁原理，把电能转换为机械能的电气设备，有鼠笼式和绕线式两种。异步电动机结构简单，维护容易，运行可靠，价格便宜，具有较好的稳态和动态特性，因此，它是启闭机中广泛应用的动力设备。

一、三相异步电动机的结构与工作原理

(一) 结构

三相异步电动机主要由定子和转子构成，定子是静止不动的部分，转子是旋转部分，在定子与转子之间有一定的气隙，图 2-1 所示为其结构图。

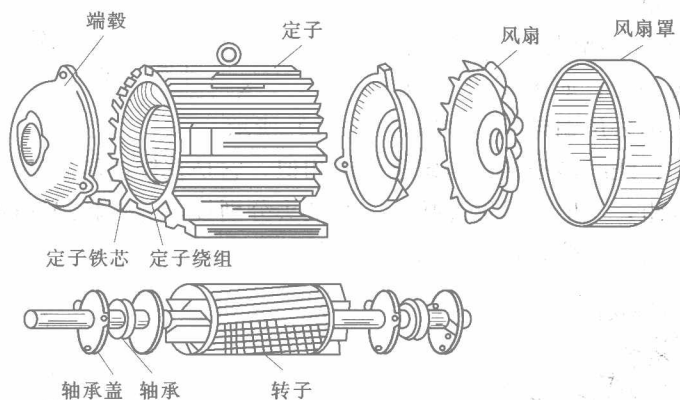


图 2-1 三相异步电动机的结构

1. 定子部分

定子部分主要由定子铁芯、定子绕组和机座三部分组成。

定子铁芯是电机磁路的一部分，为减少铁芯损耗，一般由 0.5mm 厚的导磁性能较好的硅钢片叠成，安放在机座内。定子铁芯叠片冲有嵌放绕组的槽，故又称为冲片。中、小型电机的定子铁芯和转子铁芯都采用整圆冲片，如图 2-2 所示。大、中型电机常采用扇形冲片拼成一个圆。为了冷却铁芯，在大容量电机中，定子铁芯分成很多段，每两段之间留有径向通风格，作为冷却空气的通道。

定子绕组是电机的电路部分，它嵌放在定子铁芯的内圆槽内。定子绕组分单层和双层两种。一般小型异步电动机采用单层绕组，大、中型异步电动机采用双层绕组。

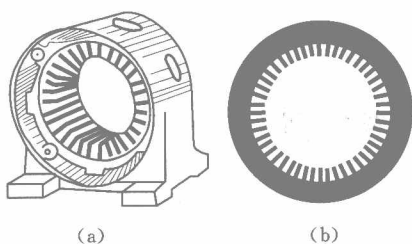


图 2-2 定子机座和铁芯冲片
(a) 定子机座；(b) 定子铁芯冲片

机座的作用是固定和支撑定子铁芯及端盖，因此，机座具有较好的机械强度和刚度。中、小型电动机一般用铸铁机座，大型电动机则用钢板焊接而成。

2. 转子部分

转子主要由转子铁芯、转子绕组和转轴三部分组成。整个转子靠端盖和轴承支撑着。转子的主要作用是产生感应电流，形成电磁转矩，以实现机电能量的转换。

转子铁芯是电机磁路的一部分，一般也用 0.5mm 厚的硅钢片叠成，转子铁芯叠片冲有嵌放绕组的槽。转子铁芯固定在转轴或转子支架上。

根据转子绕组的结构型式，异步电动机分为笼型转子和绕线转子两种。

(1) 笼型转子：在转子铁芯的每一个槽中，插入一根裸导条，在铁芯两端分别用两个短路环把导条连接成一个整体，形成一个自身闭合的多相短路绕组。如去掉转子铁芯，整个绕组犹如一个“松鼠笼子”，由此得名笼型转子，如图 2-3 所示。中、小型电动机的笼型转子一般都采用铸铝的，如图 2-3 (a) 所示。大型电动机则采用铜导条，如图 2-3 (b) 所示。

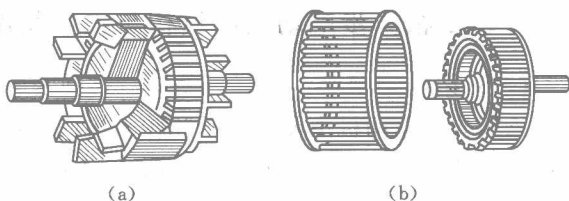


图 2-3 笼型转子
(a) 中、小型电动机；(b) 大型电动机

(2) 绕线转子：绕线转子绕组与定子绕组相似，它是在绕线转子铁芯的槽内嵌有绝缘导线组成的三相绕组，一般作星形连接，三个端头分别接在与转轴绝缘的三个滑环上，再经一套电刷引出来与外电路相连，如图 2-4 所示。

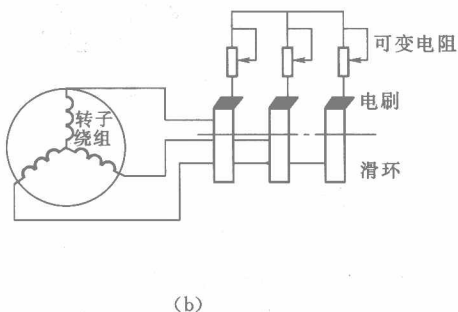
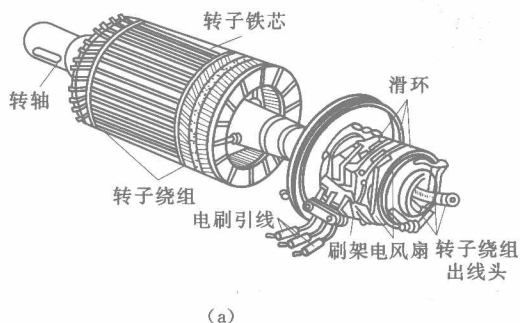


图 2-4 绕线转子
(a) 绕线转子；(b) 绕线转子回路接线示意图

一般绕线转子电动机在转子回路中串电阻，若仅用于起动，则为减少电刷的摩擦损耗，还装有提刷装置。

转轴用强度和刚度较高的低碳钢制成。整个转子靠轴承和端盖支撑着，端盖一般用铸



铁或钢板制成，它是电机外壳机座的一部分。中、小型电机一般采用带轴承的端盖。

(二) 工作原理

1. 基本工作原理

在异步电动机的定子铁芯里，嵌放着对称的三相绕组 U_1-U_2 、 V_1-V_2 、 W_1-W_2 。转子是一个闭合的多相绕组笼型电机。图 2-5 为异步电动机的工作原理图，图中定、转子上的小圆圈表示定子绕组和转子导体。

由旋转磁场理论分析可知，当异步电动机定子对称的三相绕组中通入对称的三相电流时，就会产生一个圆形旋转磁场，这个磁场的转速 n_1 称为同步转速，它与电网的频率 f_1 及电机的磁极对数 p 的关系为

$$n_1 = \frac{60f_1}{p}$$

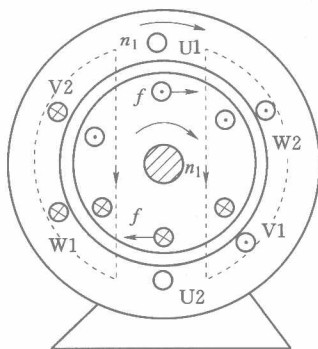


图 2-5 异步电动机的工作原理图

转向与三相绕组的排列以及三相电流的相序有关，图中 U 、 V 、 W 相以顺时针方向排列，当定子绕组中通入 U 、 V 、 W 相序的三相电流时，定子旋转磁场为顺时针转向。由于转子是静止的，转子与旋转磁场之间有相对运动，转子导体因切割定子磁场而产生感应电动势，因转子绕组自身闭合，转子绕组内便有电流流通。转子有功电流与转子感应电动势同相位，其方向可由“右手发电机定则”确定。载有功分量电流的转子绕组在定子旋转磁场作用下，将产生电磁力 f ，其方向由“左手电动机定则”确定。电磁力对转轴形成一个电磁转矩，其作用方向与旋转磁场方向一致，拖着转子顺着旋转磁场的旋转方向旋转，将输入的电能变成旋转的机械能。如果电动机轴上带有机机械负载，则机械负载随着电动机的旋转而旋转，电动机对机械负载做了功。

综上分析可知，三相异步电动机转动的基本工作原理是：①三相对称绕组中通入三相对称电流产生圆形旋转磁场；②转子导体切割旋转磁场产生感应电动势和电流；③转子载流导体在磁场中受到电磁力的作用，从而形成电磁转矩，驱使电动机转子转动。

2. 转差率

同步转速 n_1 与转子转速 n 之差 $(n_1 - n)$ 和同步转速 n_1 的比值称为转差率，用字母 s 表示，即

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1}$$

转差率 s 是异步电机的一个基本物理量，它反映异步电机的各种运行情况。对异步电机而言，当转子尚未转动（如起动瞬间）时， $n=0$ ，此时转差率 $s=1$ ；当转子转速接近同步转速（空载运行）时， $n \approx n_1$ ，此时转差率 $s \approx 0$ ，由此可见，作为异步电动机，转速在 $0 \sim n_1$ 范围内变化，其转差率 s 在 $1 \sim 0$ 范围内变化。

异步电动机负载越大，转速就越慢，其转差率就越大；反之，负载越小，转速就越快，其转差率就越小。故转差率直接反映了转子转速的快慢或电动机负载的大小。在正常运行范围内，转差率的数值很小，一般在 $0.01 \sim 0.06$ 之间，即异步电动机的转速很接近