

煤矿电子电器新技术新产品丛书

电动机及其综合保护装置的 工作原理与使用

主编 武予鲁



煤炭工业出版社

中国及世界各反洗钱中心

中国及世界各反洗钱中心 工作指南与使用



煤矿电子电器新技术新产品丛书

电动机及其综合保护装置的 工作原理与使用

主 编 武予鲁

副主编 于励民 杨从孝 向 阳 李灿欣
陶建平 陈旭昌 李树伟

煤 炭 工 业 出 版 社

• 北 京 •

图书在版编目 (CIP) 数据

电动机及其综合保护装置的工作原理与使用/武予鲁主编. —北京:
煤炭工业出版社, 2004

ISBN 7—5020—2560—X

I. 电… I. 武… III. ①电动机—保护装置—理论②电动机—
保护装置—使用 IV. TM32

中国版本图书馆CIP数据核字 (2004) 第108425号

煤炭工业出版社 出版
(北京市朝阳区芍药居35号 100029)
网址: www.cciph.com.cn
煤炭工业出版社印刷厂 印刷
新华书店北京发行所 发行

*
开本 787mm×1092mm^{1/16} 印张 17^{1/2} 插页 3
字数 409 千字 印数 1—3,000
2004 年 12 月第 1 版 2004 年 12 月第 1 次印刷
社内编号 5331 定价 39.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 本社负责调换

编委会成员

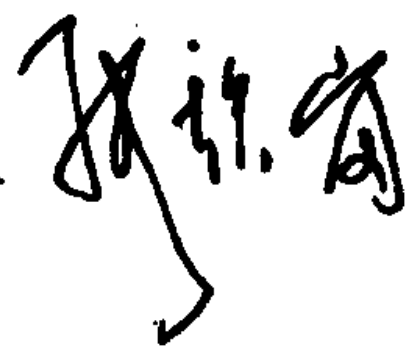
武予鲁	于励民	杨从孝	向 阳	李灿欣
陶建平	李树伟	陈旭昌	李 洪	陈启永
贾世坤	武 浩	孟庆伟	陈唯建	张传书
陶士斌	朱旭祥	席 波	李舒斌	陶 伟
张全成	薛千成			

序

人类已跨入21世纪，进入知识经济和信息时代，煤矿面临知识经济和我国加入世贸组织（WTO）的机遇和挑战。在这样一种世界经济环境条件下，新技术、新材料、新产品将加快进入煤炭行业，这就迫使我们不断掌握和运用新技术，改善煤矿井下作业条件和改造传统的工艺，提高煤矿安全和生产水平。这也就必须走以知识产权为依托的企业技术创新与发展之路。只要我们达到“任尔东西南北风，认定创新不放松”的境界，无论面对多么复杂的环境，我们都能从容应对。

目前，煤矿井下应用的电子电器种类越来越多，技术性能越来越先进，工程技术人员及有关应用人员学习掌握这些新技术需要一些参考书，而在煤矿现场很难找到这方面的资料；另外，青工培训、技术比武活动也需要一些培训教材。鉴于此，平顶山煤业（集团）有限责任公司组织部分专家学者及工程技术人员，在对新产品、新技术进行消化、总结的基础上，为提高广大干部职工的科学文化素质和业务技术素质，编写了《电动机及其综合保护装置的工作原理与使用》一书。希望本书的出版发行能推进煤矿技术的进步和新技术、新产品的普及，提高产品的使用效率，确保煤矿的安全生产。

中国工程院院士



2004年9月10日

前 言

随着经济与社会不断发展，各种各样的电动机已经在现代工业生产、产业部门以及我们日常生活中得到广泛应用。它们已是当今生产活动和日常生活中最主要的原动力和驱动装置。电动机的数量之多，应用范围之广，地位之重要，几乎没有其他设备能与之相比。电动机的类型很多，应用环境千差万别，其使用要求也各不相同。恶劣的使用环境常常造成电动机性能下降而导致故障。特别是在煤炭企业，随着煤矿双高矿井建设和现代化水平的提高，煤矿井下电动机的使用也越来越多。作为煤矿主要原动力的电动机，在煤矿安全生产中的作用至关重要。但是，由于煤矿井下环境条件恶劣，电动机经常遭受水、潮气、高温、煤尘的侵害，特别是生产运输区域的电动机时常被煤或杂物淹埋，使电动机运行条件严重恶化、各种性能下降，诱发各种事故，并且电动机的烧毁也时常发生，给安全生产造成较大损失。

为避免电动机事故的发生，国内许多厂家相继开发研制了电动机综合保护装置。这些装置针对电动机运行过程中的各种参数变化，适时地对电动机进行保护，保障电动机安全，从而防止电动机因过载、过流、漏电等造成的事故。

使用电动机综合保护装置的优越性有：

- (1) 电动机综合保护装置采用组合方式，设置灵活，操作方便，便于现场使用。
- (2) 保护功能齐全，具有过载、短路、漏电、过热等保护功能，实时监视电动机的运行状态，保护及时可靠。
- (3) 电路简单，维修方便。

目前，电动机综合保护装置已在煤矿逐步得到推广应用，并已从模拟电路发展到数字电路，从分立元件、集成电路发展到单片机技术，从器件到技术都有了很大的提高。

为了更好地使用与维护电动机综合保护装置，提高专业技术人员和现场使用维护人员的专业知识水平，提高广大干部职工的科学文化素质和业务技术素质，提高知识创新能力和技术创新能力，学习和掌握本职工作岗位所必需的专业知识，具备熟练的操作技能和处理问题的能力，平顶山煤业（集团）公司技术中心组织人员编写了本书。本书针对目前煤矿实际应用产品，简单介绍了电动机的基本原理、启动运行和节能措施，并收集了具有代表性的几种电动机综合保护装置的电路图，深入浅出地介绍了其工作原理、结构特点、安装使用方法、常见故障分析及处理方法。此外，并在附录部分增加了熔断器、继电器、电动机综合保护装置的基础知识、管理规定等内容。本书可供工程技术人员及使用维护人员学习与参考使用，也可作为职工专业技术培训教材使用。

本书为《煤矿电子电器新技术新产品丛书》之三。为跟踪煤矿新技术新产品的发展，满

足工程技术人员及实际维护人员掌握新技术的需要，我们将陆续组织编写有关煤矿井下电气产品、设备及装备的工作原理、使用及维修方面的图书。

本书由武予鲁同志担任主编并负责统审定稿工作。本书在编写过程中得到了安徽理工大学陶瑞生教授、焦作工学院邹有明教授的支持和帮助，在此一并表示衷心的感谢。因作者水平有限，书中难免有遗漏和不当之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

2004 年 10 月

目 录

第一章 电动机概述	1
第一节 三相异步电动机的构造与工作原理.....	1
第二节 异步电动机的运行特性.....	3
第三节 电动机型号与铭牌.....	4
第二章 电动机的损坏与保护	8
第一节 电动机的损坏.....	8
第二节 电动机过载保护.....	9
第三节 电动机断相保护	15
第四节 电动机短路保护	18
第五节 电动机漏电保护	19
第三章 电动机的故障检测	23
第一节 电动机发热的检测	23
第二节 电动机负载电流的检测元件	26
第三节 电动机过载、过流、断相故障的检测	31
第四章 电动机综合保护装置的基本电路	36
第一节 设计一般原则	36
第二节 保护电路原理	37
第三节 基本组成单元电子电路	40
第四节 直流稳压电源电路	58
第五章 电动机电子保护器	62
第一节 JDB—120/225 型电动机综合保护器.....	62
第二节 JDB—5 型电动机综合保护器.....	71
第三节 DZB—1 型电动机综合保护器	74
第四节 JDB—80 型电动机综合保护器	79
第五节 JDB—120/225—A 电动机综合保护器	88
第六节 DB5—B 型集成化电动机综合保护器	100
第七节 DSZB—225/120A 型电动机全数字化综合保护器.....	110
第六章 真空磁力起动器的保护装置	126
第一节 DQZBH—300/1140 型真空磁力起动器电子保护系统	126
第二节 QJZ—200/1140 型矿用隔爆兼本安型真空电磁起动器 的保护装置.....	144
第七章 交流异步电动机启动、制动、控制和保护	148
第一节 交流异步电动机的启动和制动方法.....	148

第二节	异步电动机运行的控制与保护设备.....	153
第三节	异步电动机的控制与保护.....	186
第八章	电动机的经济运行与无功功率补偿.....	191
第一节	无功补偿的基础知识.....	191
第二节	JKGB—Z/380—1140 无功功率智能补偿装置	204
第三节	BBW660 系列隔爆型无功功率终端补偿器.....	211
第四节	TBBX 型系列无功就地补偿器.....	215
附录一	常见电器开关动作值及保护特性.....	219
附录二	低压熔断器.....	221
附录三	低压过电流继电器.....	233
附录四	热继电器及其整定计算.....	237
附录五	BXL1—200/400K 型相敏过流保护器.....	240
附录六	矿用隔爆型电磁起动器用电子保护器技术条件（摘录）	250
附录七	电动机常见故障及处理方法.....	259
附录八	常用电气图形符号.....	263

第一章 电动机概述

第一节 三相异步电动机的构造与工作原理

一、三相异步电动机的构造

三相异步电动机和其他电动机一样，分为定子与转子两大部分。

(一) 定子

定子主要由定子铁芯、定子绕组和机座3部分组成，如图1-1所示。

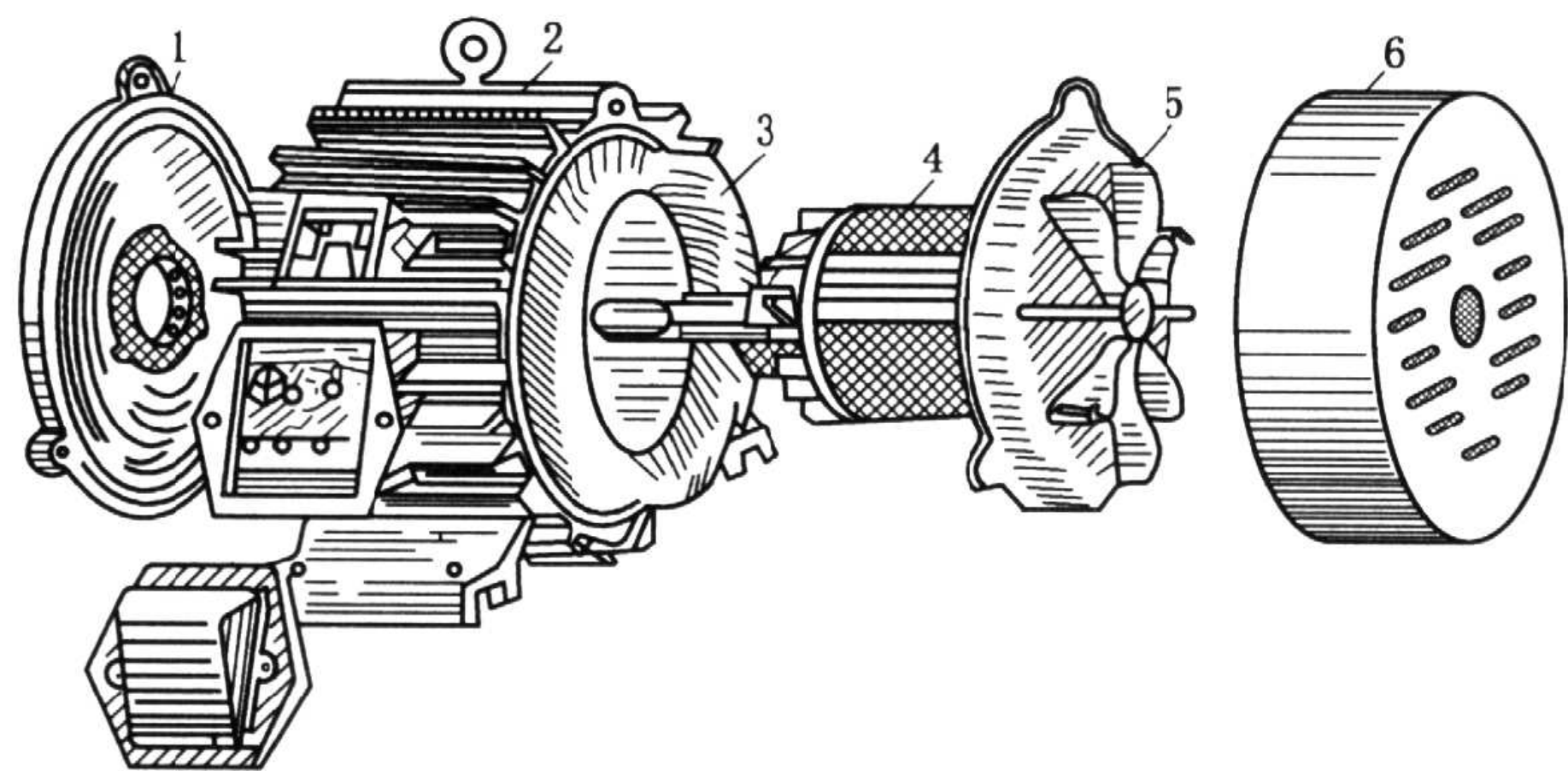


图1-1 鼠笼式电动机

1—端盖；2—定子；3—定子绕组；4—转子；5—风扇；6—风扇罩

1. 定子铁芯

定子铁芯是磁路的一部分。定子铁芯一般用0.35~0.5mm厚，表面涂有绝缘漆的硅钢片做成。硅钢片的形状如图1-2a所示，呈一个圆环状，内圆周冲有若干一定形状的槽口。把若干片叠压之后装在机座的内部，如图1-2b所示。铁芯表面形成了若干平行的槽，用来嵌装定子绕组。

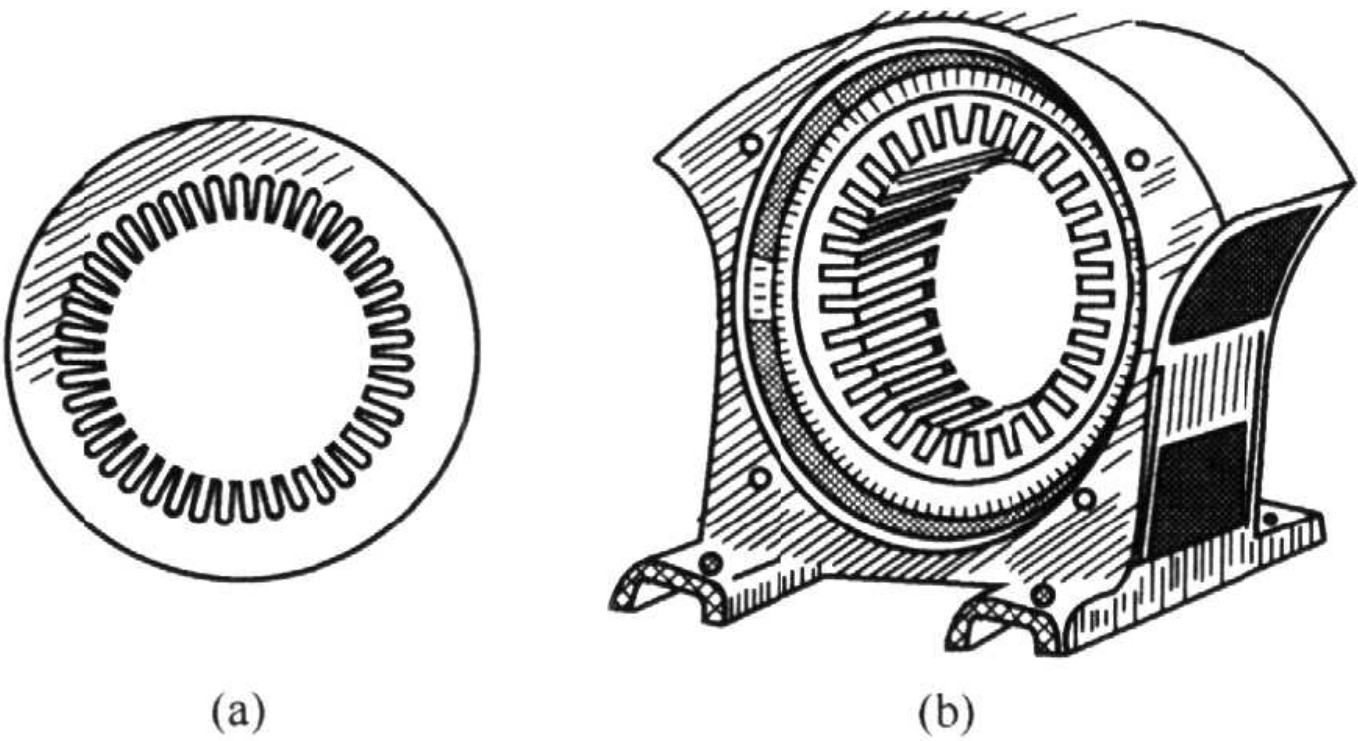


图1-2 定子铁芯冲片与装有定子铁芯的机座

a—定子铁芯冲片；b—定子铁芯装在机座内

2. 定子绕组

三相异步电动机有3个独立的绕组，统称三相绕组。每相绕组由若干个线圈

按一定规律制成。线圈由绝缘的铜导线或铝导线做成，所有线圈对按一定规律嵌装入定子铁芯的槽中。三相绕组的作用是：当三相绕组接通三相交流电时，可以产生旋转磁场。三相绕组的3个首端和3个尾端，都从机座上的接线盒内引出，以便根据需要把绕组接成星形或三角形。

3. 机座

有的机座用铸铁铸造而成，有的机座用钢板卷焊接而成，小容量电动机机座有时也用铝合金铸成。封闭式电动机的机壳外面还铸有散热片，如图1-1所示。

机座的主要作用是作为整个电机的支架，用于固定定子铁芯、定子绕组和端盖。整个电动机还需通过机座进行固定安装。

(二) 转子

转子是电动机的转动部分，作用是带动其他机械设备旋转。转子由转子铁芯、转轴和转子绕组组成。

1. 转子铁芯

转子铁芯用互相绝缘的硅钢片冲制叠压而成，如图1-3a所示。转子铁芯外圆周上冲有均匀分布的槽口，若干冲片叠压之后，外面圆周上形成平行槽，槽内可以安装转子绕组。

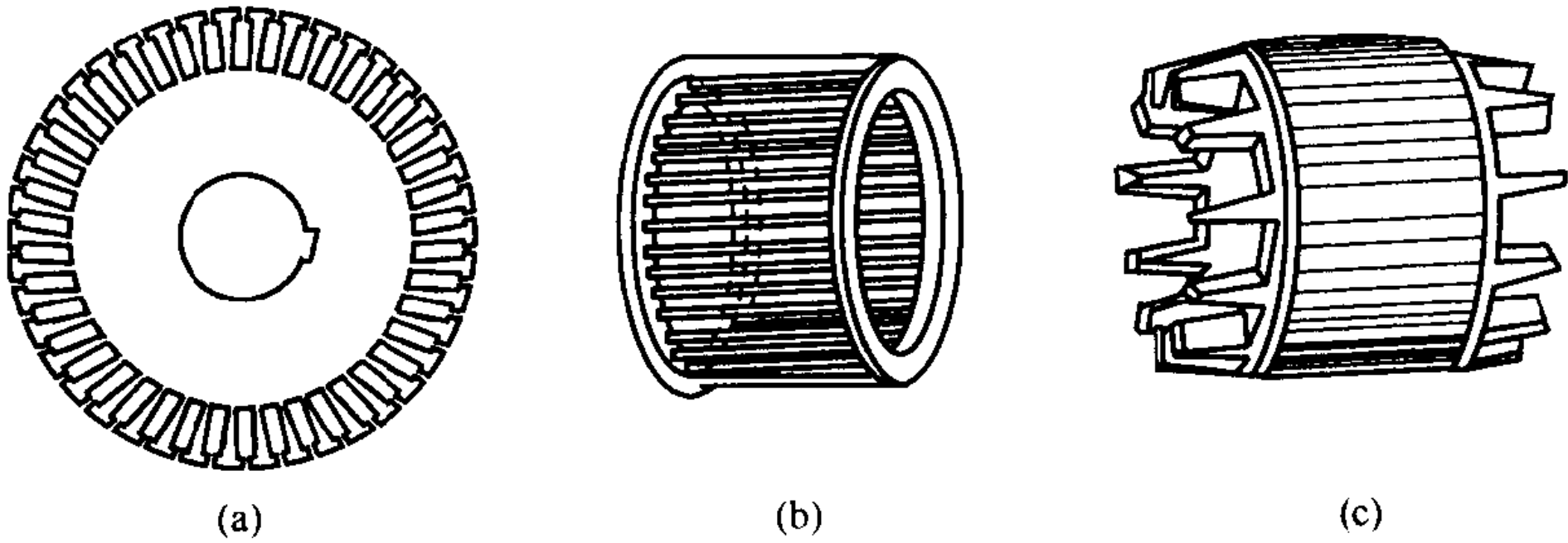


图1-3 鼠笼式转子的构成
a—转子铁芯冲片；b—鼠笼绕组；c—铝铸转子

2. 转子绕组

转子绕组是在转子铁芯的槽中装入未绝缘的裸铜条，铜条两端用铜环焊接成鼠笼形式，如图1-3b所示。所有铜条构成短路，形成一个鼠笼的样子，因此称之为鼠笼式或短路式电动机。为了节约用铜，多数转子绕组已改用铝浇铸而成，如图1-3c中所示转子即用铝铸成。

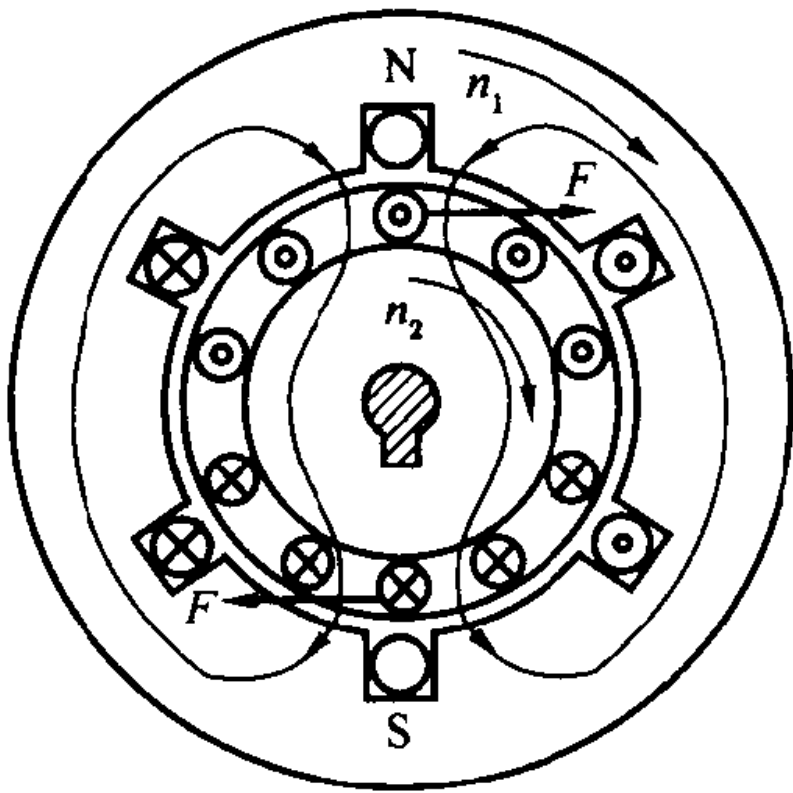


图1-4 异步电动机工作原理

二、三相异步电动机的工作原理

异步电动机的定子绕组在接通三相交流电时即产生旋转磁场。假设两极旋转磁场的方向如图1-4所示，磁场顺时针旋转。由于转子在定子绕组接通电流时是静止的，而磁场是旋转的，所以转子与磁场产生相对运动。

上半部鼠笼转子相当于向左切割磁力线，产生感应电势，感应电势的方向用右手定则判断为方向朝外；下半部鼠

笼转子相当于向右切割磁力线，产生感应电动势的方向朝里。因为鼠笼转子是短路的，所以转子在感应电动势的作用下产生电流。而通电导体在磁场中要受电磁力的作用，作用力的方向用左手定则判断。因此，上部转子受力向右，下部转子受力向左。左、右两个力对轴形成转矩，因此转子在转矩的作用下而旋转起来了。

转子的转动方向与旋转磁场的旋转方向相同。转子的转速一定小于磁场转速。如果转子与磁场转速相同，则鼠笼转子就不能切割磁力线，而转子中就不可能有电动势和电流存在，作用力矩就无从产生，转子也就无法转动，所以转子转速必然低于磁场的同步转速。因此，此种电动机称为异步电动机。

第二节 异步电动机的运行特性

当异步电动机定子绕组与三相交流电接通时，定子电流将产生一系列的旋转磁场。旋转磁场将在短路的转子绕组中产生感应电流，受电磁力的作用，转子转动，电动机启动运行。

异步电动机的许多特性，如损耗、效率、功率因数、输入功率、输出功率等都可以通过计算方法而获得。按不同的转差率 s （由 $s=0$ 开始）对磁场转速 n_1 、电磁力矩 M 、输出力矩 M_2 （减去机械损耗和附加损耗力矩后所得的力矩）、输出功率 Q_2 、效率 η 和功率因数 $\cos\varphi$ 等进行计算，将计算结果列成表格，绘制出异步电动机的特性曲线，如图1-5所示。

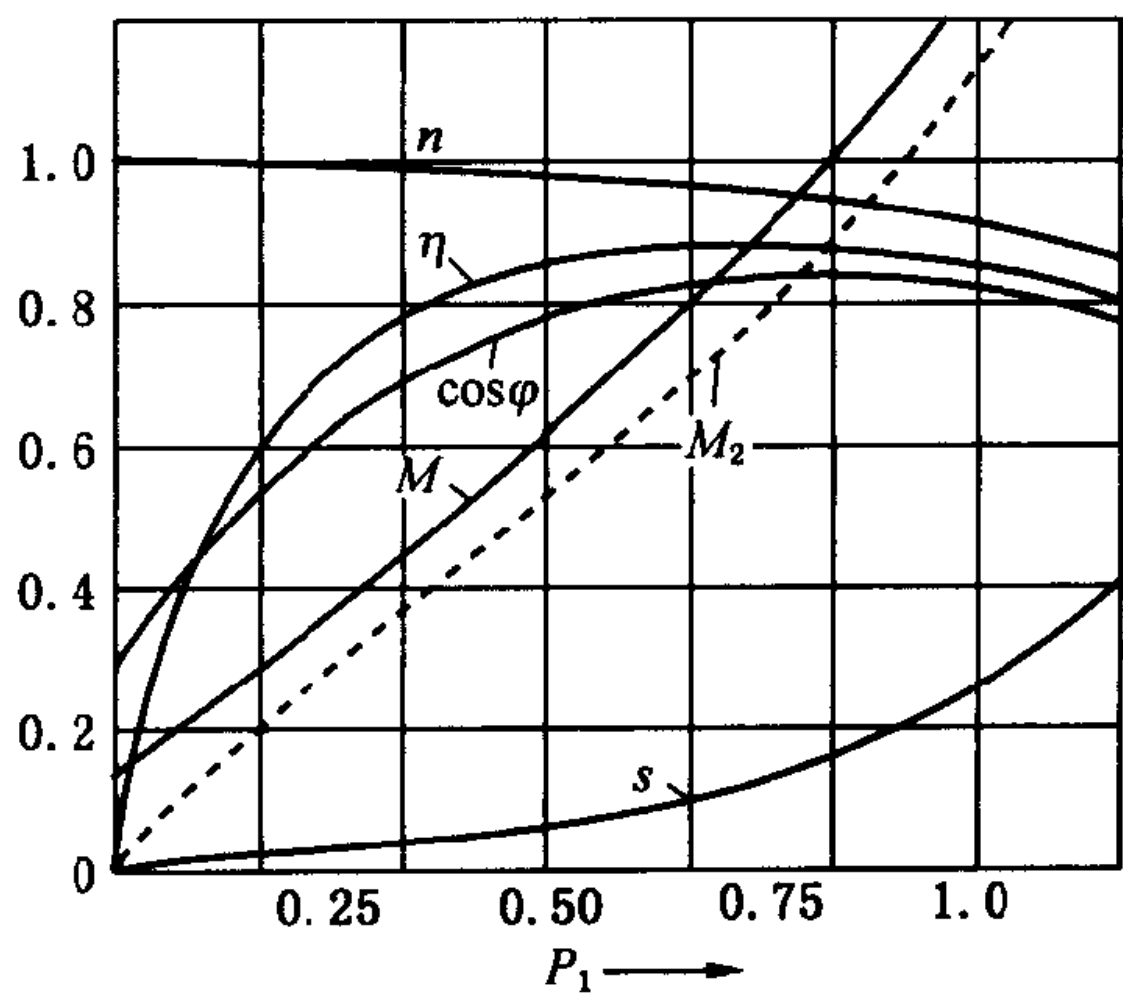


图1-5 异步电动机的特性曲线

一、异步电动机转差率

电动机的转差率 s 等于电动机的磁场转速 n_1 （亦称电动机同步转速）与转子的转速 n 之差比同步转速，即：

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

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

式中 f_1 ——电源频率，Hz；
 p ——电动机的极对数。

电动机的转速 n 一般略小于同步转速，其转差率为0.02~0.05。电动机功率越大，效率越高，转差率越小。不同的转差率 s ，表现出异步电动机不同的运行范围。但在同一运行范围，小的转差率变化会引起大的电流和功率等变化。

二、异步电动机的损耗及效率

异步电动机的损耗有定子铜损耗、转子铜损耗、定子铁损耗、机械损耗和附加损耗。定子铜损耗是因在大型电机中使用扁铜线时的集肤效应引起。如果定子设计合理，因

集肤效应引起的有效电阻增量将很小。

转子铜损耗是因电动机启动时有集肤效应而产生。若电动机运行时的转子转速很低时 ($n_1 < 3\text{r/s}$)，转子铜损耗可以不考虑。

定子铁损耗包括定子轭及定子齿中的磁滞损耗及涡流损耗。

转子铁损耗在电动机启动时同样存在。但若在电动机运行中转子转速较低时，转子铁损耗可忽略不计。

附加损耗为铜中的附加损耗及铁中的附加损耗。铜中的附加损耗主要是指因集肤效应所引起的损耗，铁中的附加损耗是由于气隙磁通中的高次谐波所引起。气隙磁通中的高次谐波是因定转子磁势中的高次谐波与定转槽口的存在，从而使气隙磁导不均匀。电机中的附加损耗的计算比较复杂且不准确，所以规定在异步电动机的附加损耗为输入功率的0.5%。

在异步电动机的损耗中，定转子铜耗随电流的平方而变化；定子铁损耗、机械损耗及附加损耗因为在运行范围内变化很小，而作为不变损耗。

三、异步电动机的功率分配

输入功率 = 定子铁耗 + 传给转子的功率 + 定子铜耗

传给转子的功率 = 转子铜耗 + 机械功率

机械功率 = 输出功率 + 机械损耗 + 无载附加损耗

传给转子的功率称为电磁功率 P_M ，它与机械功率 P_{MX} 、转子铜耗 P_{M2} 的关系是：

$$P_{MX} = (1 - s)P_M \quad P_{M2} = sP_M$$

四、电动机的转速

如图1-5所示，随着负载的增加，电动机转速 n 略有降低，亦即转差率 s 略有增加。一般电动机在额定负载时，转差率约为1.5%~5.0%。电动机满载时，转差率 s_H 的大小与电动机的效率有密切的关系。在额定负载时，电磁功率 P_M = 输出功率 P_2 ， $s_H = P_{M2}/P_2$ ， P_{M2} 是电动机满载时的转子铜耗。过大的 s_H 就意味着有过大的 P_{M2} ，它会使电动机效率降低并引起电动机温升。

五、电动机的功率因数

异步电动机的功率因数永远小于1，这主要是因激磁电流和电动机的漏抗所引起。

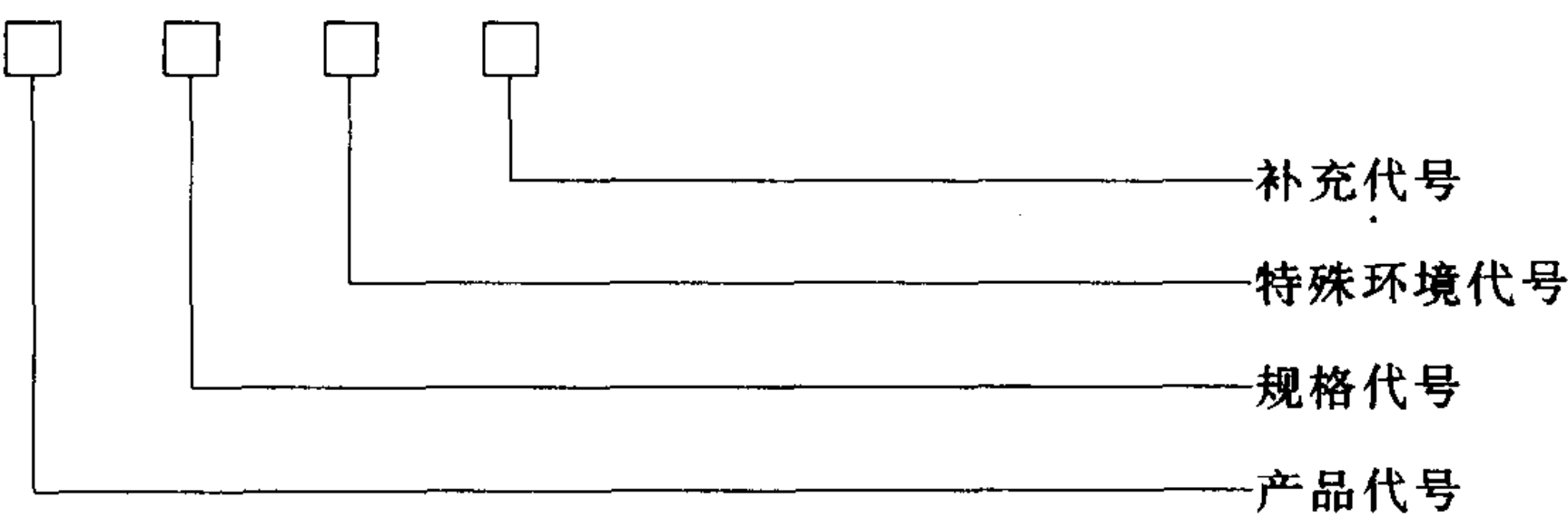
电动机的功率因数在空载时很低，常常不超过0.2。当电动机的负载增加时，功率因数增加；在负载接近额定负载时，功率因数为最大。

第三节 电动机型号与铭牌

一、电动机型号及表示方法

(一) 产品型号组成及排列顺序

电动机型号表示电动机的品种、性能、防护型式、转子类型等。国产异步电动机的型号用汉语拼音字母和阿拉伯数字组成，其排列顺序如下：



如电动机型号Y132M26中，Y为产品代号，Y表示异步电动机；132M26为规格代号，表示中心高132mm，M表示机座长度代号；2表示铁芯长度代号，6表示极数。电动机型号YB132S1—4WF中，YB为产品代号，Y表示异步电动机，B表示隔爆型；132S1—4为规格代号，表示中心高132mm，短机座，短铁芯4极；WF为特殊环境代号，W表示户外，F表示化工防腐用。

(二) 代号

1. 电机类型代号

电机的类型代号是为表明电机的类型而采用的汉语拼音字母，如表1-1所示。

表1-1 电机类型代号

电 机 类 型	代 号	电 机 类 型	代 号
异步电动机	Y	测 功 机	C
同步电动机	T	交流换向器电动机	H
同步发电机（汽轮和水轮发电机除外）	TF	潜 水 泵	Q
直流电动机	Z	纺织用电动机	F
直流发电机	ZF		

2. 电机规格代号

中小型电机主要系列的规格代号见表1-2。

表1-2 中小电机主要系列规格代号

系 列 产 品	规 格 代 号
中小型异步电动机	中心高-机座长-铁芯长-极数
中小型同步电机	中心高-机座长-铁芯长-极数
中小型水轮发电机	功率-极数定子铁芯外径
小型直流电机	中心高-机座长
中型直流电机	中心高或机座号-铁芯长-电流等级
测 功 机	功率-转速
分马力电动机	中心高或机壳外径-（或）机座长-铁芯长、电压、转速
交流换向器电机	中心高或机壳外径-铁芯长-转速

注：1. 中心高、定子铁芯外径、机壳外径均以mm为单位表示；
2. 机座长用国际通用符号表示，S—短机座、M—中机座、L—长机座；
3. 铁芯长、电流等级依次用数字代号1、2……表示；
4. 功率以kW为单位表示；转速用数字代号表示，如9表示9000r/min。

3. 特殊环境代号

中小型电机的特殊环境代号见表1-3。

表1-3 特殊环境代号

序 号	特殊环境	代 号	序 号	特殊环境	代 号
1	“高”原用	G	5	“热”带用	T
2	“船”（海）用	H	6	“湿热”带用	TH
3	户“外”用	W	7	“干热”带用	TA
4	化工防“腐”用	F			

4. 产品代号

矿用防爆型电动机的主要产品代号见表1-4。

表1-4 矿用防爆型电动机主要产品代号

序 号	产 品 名 称	产品代号	代号汉字意义	老产品代号
1	隔爆型绕线转子三相异步电动机	YBR	异爆绕	JBR、JBRO
2	隔爆型高起动转矩三相异步电动机	YBQ	异爆起	JBQ（BJQ）
3	隔爆型高转差率（滑率）三相异步电动机	YBH	异爆（滑）	
4	隔爆型多速三相异步电动机	YBD	异爆多	
5	装岩机用隔爆型三相异步电动机	YBI	异爆（岩）	JBI
6	耙斗式装岩机用隔爆型三相异步电动机	YBB	异爆（耙）	YBB
7	隔爆型轴流式局部通风机（通风机）	YBT	异爆通	JBT
8	刮板运输机用隔爆型三相异步电动机	YBY	异爆运	JBY
9	绞车用隔爆型三相异步电动机	YBJ	异爆绞	JBZ
10	回柱绞车用隔爆型三相异步电动机	YBHJ	异爆回绞	
11	采煤机用隔爆型三相异步电动机	YBC	异爆采	
12	采煤机用隔爆型水冷三相异步电动机	YBCS	异爆采水	
13	矿用隔爆型三相异步电动机	YBK	异爆矿	
14	掘进机用隔爆型三相异步电动机	YBU	异爆（掘）	
15	掘进机用隔爆型水冷三相异步电动机	YBUS	异爆（掘）水	
16	输送机用隔爆型三相异步电动机	YBS	异爆输	

二、异步电动机的铭牌

每一台电动机上都有铭牌，它给用户提供了简要的正确使用和维修这台电动机的数据。

异步电动机的铭牌上一般包含有以下内容：

（1）型号 表示电动机的品种、性能、防护型式、转子类型等，常用产品代号如表1-4所示。型号YBS—40表示40kW输送机用隔爆型三相异步电动机。

(2) 功率 表示满载运行时电动机轴上所输出的额定功率，单位kW。

(3) 电压 接到电动机绕组上的额定线电压。电动机所接的电压一般不应超过额定值的 $\pm 5\%$ ，单位为V。

(4) 电流 电动机在额定工作状况下运行时，电源输入电动机绕组的线电流，单位为A。

(5) 频率 电动机所接交流电源的频率。我国交流电源的频率为50Hz。电源频率的偏差不应超过 $\pm 1\%$ 。

(6) 转速 在额定电压、额定频率和额定负载下，电动机每分钟的转数。同步电动机的转速决定于电源频率和电动机的极数，与负载无关。

(7) 绝缘等级 表示电动机所用绝缘材料的等级，它决定了电动机的允许温升。有些电动机铭牌上不标明绝缘等级而标明允许温升，其表达方式不同，表达的意思相同。

(8) 工作定额 按电动机运行的持续时间，分为连续定额、断续定额和短时定额3种。

(9) 标准编号 表示设计制造这台电动机时所依据的技术文件。标有“GB”的为国家标准，标有“JB”的为原一机部颁发的标准，其后的数字表示技术文件编号。

如果是绕线式异步电动机，铭牌上还标有转子绕组开路电压和转子额定电流，作为配用启动电阻时的依据。

同步电动机的铭牌上还应标明：

(1) 励磁电压 表示电动机额定工作状态下的励磁电压，单位为V。

(2) 励磁电流 表示电动机额定工作状态下的励磁电流，单位为A。