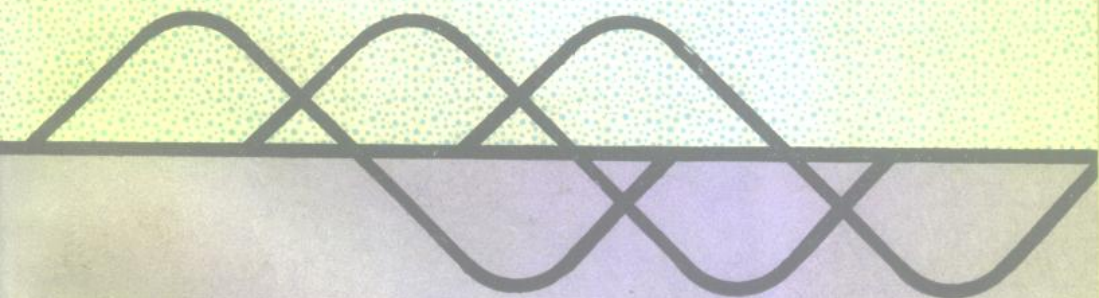


高等学校教材



# 异步电机发电原理及其应用

史仪凯 编著



● 西北工业大学出版社

高等学校教材

# 异步电机发电原理 及其应用

史仪凯 编著

西北工业大学出版社

1994年12月 西安

(陕) 新登字 009 号

DIY 66. 114

【内容提要】 本书系统地介绍了异步电机自励发电原理及其应用。全书共八章。主要内容包括：异步电机的基本结构与运行状态；自励发电的机理与条件；励磁电容的作用、计算与使用；发电系统电路的特性与故障诊断方法；安全发电与用电等。本书注重理论与实际应用相结合，便于读者自学。书中编入了一定的例题、思考题和习题。

本书可作为理工科大专院校各专业本科生和专科生的选修课教材，也可供厂矿、农村业余自学人员和有关工程技术人员阅读参考。

高等学校教材

## 异步电机发电原理及其应用

史仪凯 编著

责任编辑 付高明

责任校对 郑 刚

© 1994 西北工业大学出版社出版

(710072 西安市友谊西路 127 号 电话 5269046)

陕西新华书店发行

西北工业大学出版社印刷厂印装

ISBN 7-121-0712-9 TM·9 (课)

开本 850×1168 毫米 1/32 印张：5.625 字数：132 千字

1994 年 12 月第 1 版

1994 年 12 月第 1 次印刷

印数：1—1 000 册

定价：5.60 元

购买本社出版的图书，如有缺页、错页的，本社发行部负责调换。

# 前 言

众所周知，电的应用范围极其广泛，各行各业都与电有着密切的关系。电力的发展标志着一个国家的现代化程度。随着我国经济建设事业的蓬勃发展和人民生活水平的日益提高，对电力的需要量越来越大。目前我国电力供不应求的矛盾仍然很突出，尤其在偏僻的山村和远离电网的地方电力供应相当不足，而且这种紧张局面在近期内是不会很快得到缓解的。为了满足现代科学技术和人民生活日益增长的需要，开发各种小型能源，采用异步电动机自励发电，是满足各用户用电的有效辅助手段，也是解决近期内电力供应不足的主要有效途径。

我国能源十分丰富。不仅油、煤可作为异步电机发电的原动力，而且水力，风力和沼气等同样可作为异步电机发电的原动力。建造的各种异步电机发电系统，设备简单、投资小、运行可靠、维修方便、经济效益高。在有原动机的情况下，花一天时间就可以解决百数户人家的照明和家用电器等用电问题。因此，异步电机自励发电收效较快，大有作为。

本书是在作者 1989 年编写的校内讲义基础上，经过几年教学实践，修订后而出版的。

本书由西安石油学院朱宝帆副教授进行了认真、仔细的审阅，提出了许多宝贵意见。另外，在编写和教学过程中还得到西北工业大学电工学教研室许多同志的关心和支持。在此谨向他们致以衷心的感谢。

限于本人水平，书中不妥和错误之处在所难免，望读者给予批评指正。

作 者

1994年2月于西北工业大学

## 本书主要符号说明

|          |          |          |            |
|----------|----------|----------|------------|
| $B$      | 磁感应强度    | $p$      | 瞬时功率, 磁极对数 |
| $C$      | 电容       | $Q$      | 电荷, 无功功率   |
| $C_0$    | 主励磁电容    | $R$      | 电阻         |
| $C_1$    | 辅助励磁电容   | $R_d$    | 人体电阻       |
| $D$      | 传动轮直径    | $R_0$    | 接地电阻       |
| $E$      | 交流电动势有效值 | $S$      | 视在功率, 西门子  |
| $F$      | 磁动势      | $s$      | 转差率        |
| $f$      | 频率       | $T$      | 周期, 转矩     |
| $f_0$    | 谐振频率     | $t$      | 时间         |
| $H$      | 磁场强度     | $T_r$    | 变压器        |
| $I$      | 交流电流有效值  | $T_{st}$ | 起动转矩       |
| $i$      | 交流电流瞬时值  | $U$      | 交流电压有效值    |
| $I_f$    | 励磁电流     | $u$      | 交流电压瞬时值    |
| $I_l$    | 线电流有效值   | $U_l$    | 线电压有效值     |
| $I_\phi$ | 相电流有效值   | $U_N$    | 额定电压       |
| $j$      | 虚数单位     | $U_\phi$ | 相电压有效值     |
| $L$      | 电感       | $X$      | 电抗         |
| $N$      | 绕组匝数, 中线 | $X_c$    | 容抗         |
| $n$      | 转速       | $X_L$    | 感抗         |
| $n_0$    | 同步转速     | $Z$      | 复阻抗        |
| $n_N$    | 额定转速     | $ Z $    | 阻抗的模       |
| $P$      | 功率       | $Y$      | 复导纳        |

# 目 录

|                    |    |
|--------------------|----|
| 第一章 异步电机的基本结构与运行状态 | 1  |
| 1-1 异步电机的基本结构      | 2  |
| 一、定子               | 2  |
| 二、转子               | 4  |
| 1-2 异步电机的工作原理      | 5  |
| 一、异步电机转动原理         | 5  |
| 二、定子旋转磁场           | 7  |
| 1-3 异步电机的极数与转速     | 11 |
| 1-4 异步电机的三种运行状态    | 15 |
| 一、电动机运行状态          | 15 |
| 二、发电机运行状态          | 17 |
| 三、电磁制动运行状态         | 17 |
| 1-5 异步电机的铭牌与系列     | 18 |
| 一、型号与系列            | 19 |
| 二、铭牌数据含义           | 20 |
| 本章小结               | 24 |
| 习题                 | 25 |
| 第二章 异步发电机的工作原理     | 26 |
| 2-1 概述             | 26 |
| 2-2 异步发电机机理与条件     | 27 |

|                             |           |
|-----------------------------|-----------|
| 一、发电机理 .....                | 27        |
| 二、发电条件 .....                | 29        |
| 2-3 异步发电机的运行方式 .....        | 29        |
| 一、并网运行 .....                | 30        |
| 二、自励运行 .....                | 31        |
| 2-4 异步发电机与原动机的匹配 .....      | 33        |
| 本章小结 .....                  | 35        |
| 习题 .....                    | 35        |
| <b>第三章 励磁电容的作用与计算</b> ..... | <b>37</b> |
| 3-1 励磁电容的作用 .....           | 37        |
| 一、增强励磁电流 .....              | 37        |
| 二、稳定电压频率 .....              | 39        |
| 3-2 励磁电容的计算 .....           | 41        |
| 一、总励磁电容 .....               | 41        |
| 二、主励磁电容 .....               | 43        |
| 三、辅助励磁电容 .....              | 44        |
| 3-3 经验公式 .....              | 45        |
| 一、星形联接 .....                | 45        |
| 二、三角形联接 .....               | 46        |
| 三、经验公式 .....                | 47        |
| 本章小结 .....                  | 65        |
| 习题 .....                    | 65        |
| <b>第四章 电容器的选择与使用</b> .....  | <b>66</b> |
| 4-1 电容器的选择 .....            | 66        |
| 一、种类 .....                  | 66        |
| 二、选择原则 .....                | 68        |

|                         |        |
|-------------------------|--------|
| 4-2 电容器的联接 .....        | 72     |
| 一、串、并联 .....            | 72     |
| 二、星、三角形联接 .....         | 75     |
| 4-3 电容器的使用 .....        | 79     |
| 一、对电容器要求 .....          | 79     |
| 二、容量与电压测量 .....         | 80     |
| 三、质量检查方法 .....          | 81     |
| 4-4 电容器的安装、运行与维护 .....  | 84     |
| 一、安装 .....              | 84     |
| 二、运行 .....              | 84     |
| 三、维护 .....              | 87     |
| 本章小结 .....              | 89     |
| 习题 .....                | 90     |
| <br>第五章 发电系统电路与特性 ..... | <br>91 |
| 5-1 发电系统电路 .....        | 91     |
| 5-2 空载特性 .....          | 94     |
| 一、空载特性 .....            | 94     |
| 二、工作点确定 .....           | 97     |
| 三、电压与电容关系 .....         | 99     |
| 四、电压与转速关系 .....         | 100    |
| 5-3 外特性 .....           | 102    |
| 一、对称负载外特性 .....         | 102    |
| 二、不对称负载外特性 .....        | 106    |
| 5-4 系统操作 .....          | 108    |
| 一、开机 .....              | 108    |
| 二、接载 .....              | 109    |
| 三、停机 .....              | 110    |

|                           |            |
|---------------------------|------------|
| 本章小结.....                 | 111        |
| 习题.....                   | 111        |
| <b>第六章 电能质量与故障诊断.....</b> | <b>113</b> |
| 6-1 电能质量分析.....           | 113        |
| 一、质量指标.....               | 113        |
| 二、频率与负载影响.....            | 114        |
| 三、电压与负载影响.....            | 115        |
| 6-2 失磁与处理.....            | 116        |
| 一、失磁原因.....               | 116        |
| 二、失磁判别.....               | 117        |
| 三、失磁处理.....               | 118        |
| 6-3 照明与动力负载.....          | 119        |
| 一、照明负载.....               | 119        |
| 二、动力负载.....               | 123        |
| 6-4 过压与处理.....            | 128        |
| 一、过电压原因.....              | 129        |
| 二、过电压处理.....              | 130        |
| 本章小结.....                 | 132        |
| 习题.....                   | 132        |
| <b>第七章 怎样搞好自励发电.....</b>  | <b>134</b> |
| 7-1 异步发电机的特点.....         | 134        |
| 一、优点.....                 | 134        |
| 二、缺点.....                 | 135        |
| 7-2 异步发电机的经济效益.....       | 136        |
| 一、应用条件.....               | 136        |
| 二、经济效益.....               | 139        |

|                     |            |
|---------------------|------------|
| 7-3 异步发电机的维护与检修     | 139        |
| 一、发电机维护             | 139        |
| 二、发电机检修             | 140        |
| 三、安全发电              | 140        |
| 7-4 因地制宜搞好发电        | 141        |
| 本章小结                | 143        |
| 习题                  | 143        |
| <b>第八章 安全用电</b>     | <b>144</b> |
| 8-1 触电              | 144        |
| 一、电流对人体危害           | 144        |
| 二、触电方式              | 145        |
| 8-2 防止触电的保护措施       | 147        |
| 一、绝缘保护              | 147        |
| 二、接零或接地             | 147        |
| 8-3 安全用电须知与触电急救常识   | 153        |
| 一、安全用电须知            | 153        |
| 二、触电急救常识            | 154        |
| 本章小结                | 154        |
| 习题                  | 155        |
| 附录一 Y 系列三相异步电动机技术数据 | 156        |
| 附录二 并联电容器           | 160        |
| 附录三 金属化膜并联电容器       | 165        |
| <b>主要参考文献</b>       | <b>168</b> |

# 第一章 异步电机的基本结构与运行状态

电能是现代能源的主要形式。与电能密切关联的电机，是实现电能与机械能或电能与电能相互转换的设备。前者即旋转电机，后者即变压器。旋转电机通常分为交流电机和直流电机，交流电机又分为异步电机和同步电机。把机械能转换为电能的电机称为发电机，同步电机主要用作发电机；把电能转换为机械能的电机称为电动机，异步电机主要用作电动机；把某一交流电能转换为另一同频率电能的设备称为变压器。应该指出，从基本原理上看，发电机和电动机只不过是电机的两种运行状态，它们本身是可逆的。

由于异步电机结构简单、运行可靠、维护方便和价格便宜，所以，是现代工业、农业、交通运输业、航运和航空事业等各种生产机械中应用最广泛的一种。如各种机床、高炉运料装置、轧钢机、起重机、搅拌机和水泵，以及各种农副产品的加工等都普遍使用三相异步电动机拖动。此外，在各种家用电器、医疗器械和自动化系统检测计算装置中，还经常用到单相异步电动机和各种控制电动机。目前，异步电机的容量从几十瓦到几百千瓦。据统计，在电网的总负载中，动力负载占 59%，而三相异步电机约占全国动力负载总容量的 85%。

本章首先介绍异步电机的结构、原理和运行状态，最后以电动机为例简要介绍异步电机的铭牌和系列。

## 1-1 异步电机的基本结构

异步电机的结构由两个基本部分组成，一个是固定不动的部分，称为定子；另一个是旋转部分，称为转子，如图 1-1 所示。定子和转子之间有一定的空气隙，中、小型电机的空气隙厚度一般为  $0.2 \sim 1.0 \text{ mm}$ 。

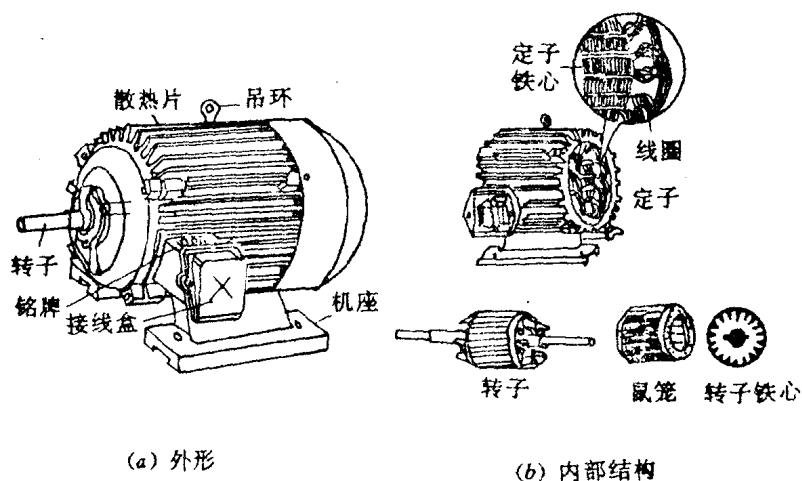


图 1-1 三相鼠笼式异步电机的结构

### 一、定 子

异步电机的定子由机座（外壳）、定子铁心、定子绕组和端盖等组成。

机座通常用铸铁制成，内装有  $0.5 \text{ mm}$  厚的硅钢片叠成的筒形（定子）铁心。机座的作用主要是固定和支撑定子铁心，要求有足够的机械强度和刚度，能承受运输和运行过程中的各种作用力。

定子铁心是电动机磁路的一部分,为了减小涡流和磁滞损耗,由互相绝缘的硅钢片叠成,内圆周表面有槽,如图 1-2 所示。定子铁心是用来放置定子绕组的。

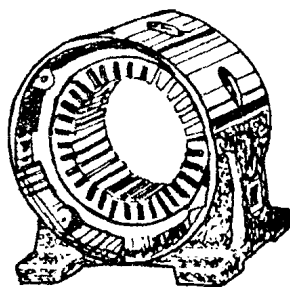
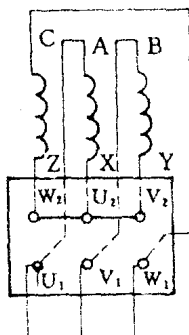
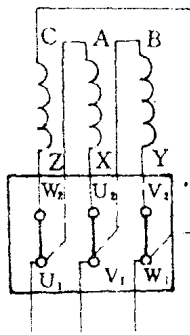


图 1-2 定子铁心和机座

定子绕组是定子的电路部分,中小型异步电机一般采用漆包线绕制,共分三组,分布在定子铁心槽内,它们在定子内圆周空间彼此相隔  $120^\circ$ ,构成对称三相绕组。三相绕组共有六个引出线端,通常接在置于电动机外壳上的接线盒中,三个绕组的首端接头分别用  $U_1$ 、 $V_1$ 、 $W_1$  表示,其对应的末端接头分别用  $U_2$ 、 $V_2$ 、 $W_2$  表示。三相定子绕组可以联接成星形或三角形,如图 1-3 所示。



(a) 星形连接



(b) 三角形连接

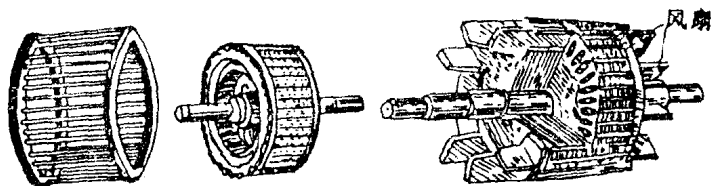
图 1-3 三相定子绕组的接法

## 二、转 子

三相异步电机的转子由转子铁心、转子绕组、转轴、风扇等组成。

转子铁心也是电机中磁路的一部分，也由硅钢片叠成。在转子铁心的外圆周上有槽，槽内放置转子绕组，转子固定在转轴上，如图 1-1 所示。

转子绕组的作用是感应电势、流过电流和产生电磁转矩。按转子绕组结构型式不同，异步电机可分为鼠笼式和绕线式两种，图 1-4 所示是鼠笼式转子的结构，它是在转子铁心的槽内放置铜条，其两端用端环连接，如图 1-4 (a) 所示。如果抽掉转子铁心，转子绕组便成鼠笼形状，所以称为鼠笼式转子绕组。有的转子是在其铁心槽内浇注铝液，铸成一个鼠笼，如图 1-4 (b) 所示。这种转子既经济又便于生产，中小型鼠笼式异步电机几乎都采用铸铝转子。



(a) 铜条构成的鼠笼式转子      (b) 铸铝的鼠笼式转子

图 1-4 鼠笼式转子

绕线式转子的绕组和定子绕组相似，也是由绝缘导线做成的绕组元件，放置在转子铁心槽内，然后联接成对称的三相绕组。转子三相绕组通常接成星形，星形绕组的三根端线接到装在转轴上的三个铜滑环上，通过一组电刷把转子绕组从三个接线端引出来

并与外电路相连接。绕线式转子的结构和接线如图 1-5 所示。绕线式转子的特点是可以通过滑环和电刷在转子电路中接入附加电阻，以改善异步电动机的起动性能或调节电动机的转速。在正常工作情况下，转子绕组是短接的，不接入附加电阻。

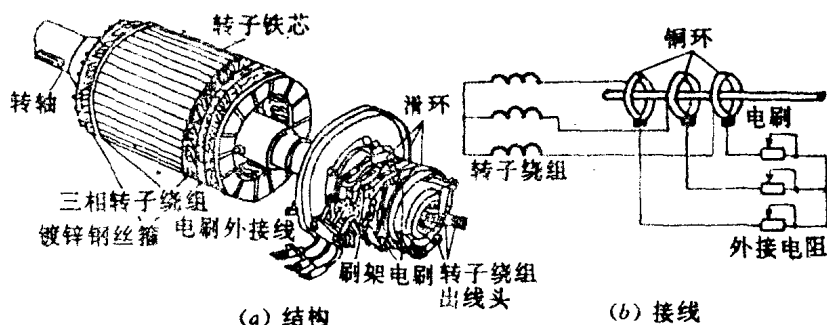


图 1-5 绕线式转子

绕线式异步电机由于其结构复杂，价格较高，一般只用于对起动和调速有较高要求的场合，如立式车床、起重机等。

鼠笼式和绕线式异步电机只是在转子的构造上不同，它们的工作原理是完全一样的。

## 1-2 异步电机的工作原理

以电动机为例来说明异步电机的工作原理。

三相异步电动机是利用定子绕组中三相交流电所产生的旋转磁场与转子绕组内的感应电流相互作用而工作的。因此我们先要分析异步电动机的转动原理，然后再讨论旋转磁场的产生和特点。

### 一、异步电机转动原理

图 1-6 所示是一装有手柄可旋转的永久磁铁，在它的两个磁

极之间，放着一个可以自由转动的鼠笼式转子，转子和磁极之间没有机械联系，这就是一个异步电动机的原理模型。

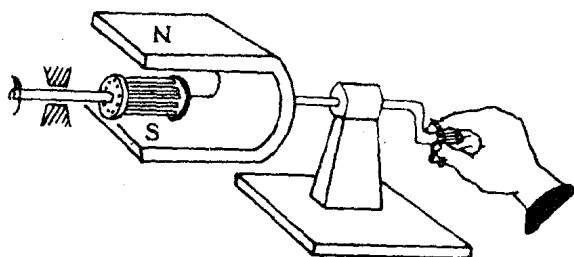


图 1-6 异步电动机转子转动演示

当我们摇动手柄带动永久磁铁的磁极旋转时，就会看到鼠笼式转子跟着磁极一起转动，摇动得快，转子转动得也快；摇动得慢，转子转动得也慢。如果反摇手柄使磁极反方向旋转，转子也就跟着反转。

我们可以用图 1-7 所示的原理图来说明图 1-6 中所示转子的转动原理。根据电磁感应原理，当导体和磁场之间有相对运动时，导体中就会产生感应电动势。在图 1-7 中，假定手柄按逆时针方向摇动，磁

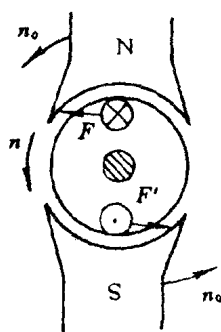


图 1-7 转子转动原理

极产生的磁力线（其方向从 N 极指向 S 极）将切割转子铜条（图中只画出两根铜条），于是铜条中产生感应电动势，电动势方向由右手定则确定。应用右手定则时，可假设磁极不动，转子铜条顺时针方向转动，N 极下铜条中产生的感应电动势方向为由外向内进入纸面，如图中的符号  $\otimes$  所示；而 S 极下铜条中的感应电动势方向是由内向外流出纸面，如图中的  $\odot$  所示。由于铜条两端被金