



全国高等职业教育规划教材

电机与电气控制 项目教程

第2版

徐建俊 居海清 主编

- 通过丰富的数字化资源构建自主学习型课程
- 教材内容与职业标准对接，融入项目导向、任务驱动的教学理念
- 适合“教学做”一体化的教学模式



电子课件下载网址 www.cmpedu.com



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

全国高等职业教育规划教材

电机与电气控制项目教程

第2版

徐建俊	居海清		主编
于建明	史宜巧	周奎	参编
马砚芳			主审



机械工业出版社

本书以“工学结合、项目引导、‘教学做’一体化”为编写原则,内容涵盖电机与拖动、工厂电气控制设备、PLC 和电气 CAD 共 4 个方面,共分为 5 个模块,包括三相异步电动机及其拖动控制、典型机床电气控制系统分析与设计、其他类型电机及变压器的运行与应用、三相异步电动机拖动控制系统的 PLC 控制和电气 CAD。每个项目由课程组从企业生产实践选题,再设计成教学项目,试做后编入本书,实用性极强。

本书可作为电气自动化等电气类专业和机电一体化等机电类专业的教材,也可供相关技术人员参考。

本书配套授课电子课件,需要的教师可登录 www.cmpedu.com 免费注册、审核通过后下载,或联系编辑索取(QQ: 1239258369, 电话: 010-88379739)。

图书在版编目(CIP)数据

电机与电气控制项目教程/徐建俊,居海清主编.—2版.—北京:机械工业出版社,2015.1

全国高等职业教育规划教材

ISBN 978-7-111-48406-6

I. ①电… II. ①徐…②居… III. ①电机学—高等职业教育—教材②电气控制—高等职业教育—教材 IV. ①TM3②TM921.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 250505 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:王颖 责任校对:陈越

版式设计:霍永明 责任印刷:刘岚

北京玥实印刷有限公司印刷

2015 年 1 月第 2 版第 1 次印刷

184mm×260mm·17 印张·413 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-48406-6

定价:36.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:(010) 88379833

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

读者购书热线:(010) 88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

教育服务网:<http://www.cmpedu.com>

封面无防伪标均为盗版

金书网:<http://www.golden-book.com>

前 言

“电机与电气控制”是高职高专电气类专业和机电类专业的一门专业基础课程。本书结合“电机拖动控制系统运行与维护”（原国家精品课程名为“电机与电气控制”）课程改革和国家精品课程资源共享课建设，由学校、企业及行业专家组成教材编写组，针对相关专业岗位群所从事维修电工、电机的拆装与维护、常用电机控制线路的制作与检修、机床电路运行与维护等典型工作任务的能力要求进行分析，比照维修电工国家职业标准，对第1版中的知识点和技能点进行了重新梳理，打破了理论和实践教学的界线，将第1版中“专题”的大部分内容渗透到项目或任务中，将第1版第1、2单元整合成模块1，将第1版第4、5单元整合为模块3，将第1版第6、7单元整合为模块4，并对第1版第2单元中所有的安装接线图按照绘制规范重新绘制，对第1版第3单元的机床型号进行了部分调整，模块3中增加了新型微电机的原理介绍。本书内容按照“知识学习、项目（或任务）实施、问题研讨、项目（或任务）拓展”4个方面有机组合，更加符合“工学结合、项目引导、‘教学做’一体化”的教学需求。

本书中的每个项目由课程组从企业生产实践选题，再设计成教学项目，试做后编入本书，做到学生需要什么就教什么，教什么就练什么，练什么就会什么，重视职业技能训练和职业能力培养。同时，本书加强了新技术、新工艺、新方法、新知识的介绍，特别是书中的电气图尽量采用了最新的《电气简图用图形符号》的国家标准。

本书内容丰富，不同专业在选用时可根据本专业的教学计划及教学要求合理选用。参考教学时数为60学时。

因篇幅有限，建议在教学中合理使用现代化的教学手段，如CAI及计算机网络，要求学生能使用电气CAD软件做有关习题，并利用网络查阅相关技术的发展动向、了解新产品知识。

本书由“电机拖动控制系统运行与维护”国家级精品课程资源共享课负责人、淮安信息职业技术学院徐建俊教授和居海清副教授担任主编，徐建俊、居海清共同编写模块1、2，居海清、周奎共同编写了模块3，史宜巧、于建明共同编写模块4，于建明编写了模块5。全书由居海清统稿，江苏清江电机制造有限公司大电机公司总经理马砚芳高级工程师担任主审。同时，还要感谢编写组的侍寿永高级工程师、徐敏捷高级工程师、彭波高级工程师在本书编写过程中给予的大力支持和帮助！

由于编者水平有限，书中疏漏之处在所难免，欢迎广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言	
绪论	1
模块1 三相异步电动机及其拖动控制	3
1.1 项目1 小容量三相异步电动机的拆装	3
1.1.1 任务1 三相异步电动机的拆卸(内部结构、工作原理)	3
1.1.2 任务2 三相异步电动机的装配(铭牌、异步含义)	6
1.1.3 任务3 三相异步电动机的检查(空载与短路实验、定子绕组首尾端判别)	9
1.2 项目2 三相异步电动机的单向起停控制与实现	12
1.2.1 任务1 基本低压电器的检测(SB、KM、QS、FU及电气图认识)	12
1.2.2 任务2 单向点动控制与实现(线路制作方法、机械特性)	26
1.2.3 任务3 单向连动控制与实现(热继电器、保护环节)	32
1.3 项目3 三相异步电动机的正反向起动控制与实现	38
1.3.1 任务1 双重联锁的正反向起动控制与实现(断路器、漏电保护器、起动要求)	38
1.3.2 任务2 电动机的自动往复循环控制与实现(行程开关、绕线转子异步电动机的 起动方法)	44
1.4 项目4 笼型异步电动机的Y-Δ起动控制与实现	48
1.4.1 任务1 手动Y-Δ起动控制与实现(手动起动机、笼型异步电动机的降压起动)	48
1.4.2 任务2 时间继电器转换的Y-Δ起动控制与实现(KT、KI、KA、KV)	51
1.5 项目5 异步电动机的调试与制动控制与实现	57
1.5.1 任务1 双速电动机控制与实现(调速、三相异步电动机选配)	57
1.5.2 任务2 电源反接制动控制与实现(速度继电器、三相异步电动机的日常维护与故障 处理)	61
1.5.3 任务3 能耗制动控制与实现(制动方法、电控线路的故障诊断与维修)	67
模块2 典型机床电气控制系统分析与设计	73
2.1 项目1 CA6140普通车床的电气控制系统分析	73
2.2 项目2 M7130平面磨床的电气控制系统分析	77
2.3 项目3 Z3040型摇臂钻床的电气控制系统分析	80
2.4 项目4 X62W万能铣床的电气控制系统分析	86
2.5 项目5 龙门刨床横梁升降控制电路设计(电气控制系统设计的主要内容、方法、 原则及注意事项)	92
模块3 其他类型电机及变压器的运行与应用	99
3.1 项目1 直流电动机的运行与应用	99

3.1.1	任务1 直流电动机的检查与试验（基本知识、机械特性）	99
3.1.2	任务2 直流电动机的拖动与实现（常见故障及处理方法）	107
3.2	项目2 变压器的运行与应用	118
3.2.1	任务1 小型变压器的重绕修理（基本认识、运行与试验方式）	118
3.2.2	任务2 三相变压器的并联运行（联结组、并联运行条件）	127
3.2.3	任务3 特种变压器的使用（变压器的常见故障及处理）	133
3.3	项目3 单相异步电动机的故障分析及排除	136
3.4	专题 特种电机及其应用	140
3.4.1	交流测速发电机	140
3.4.2	交流伺服电动机	141
3.4.3	反应式步进电动机	142
3.4.4	毫米压电微型电动机	144
模块4 三相异步电动机拖动控制系统的 PLC 控制		145
4.1	专题 PLC 的基础知识	145
4.1.1	PLC 概述	145
4.1.2	PLC 的组成与工作原理	148
4.1.3	PLC 的编程语言与编程方法	150
4.1.4	FX _{2N} 系列 PLC 的型号、安装与接线	152
4.1.5	SWOPC-FXGP/WIN-C 编程软件的使用	157
4.1.6	GX Developer 编程软件的使用	165
4.2	项目1 三相异步电动机的点动控制——基本指令（LD、LDI、LDP、LDF、OUT、END）和编程元件（X、Y）	172
4.3	项目2 三相异步电动机的连续运行——基本指令（AND、ANI、ANDP、ANDF、OR、ORI、ORP、ORF、SET、RST）和编程元件（M、C）	178
4.4	项目3 三相异步电动机的正反转控制——块指令与堆栈指令	185
4.5	项目4 两台电动机顺序启动逆序停止控制——定时器和延时控制方法	192
4.6	项目5 Y-Δ降压启动控制——主控指令	202
4.7	项目6 离心式选矿机的自动控制系统——步进顺控指令及单序列结构的状态编程法	208
4.8	项目7 组合钻床——选择序列与并行序列结构的状态编程法	215
模块5 电气 CAD		222
5.1	项目 典型电气控制电路的绘制	222
5.1.1	任务1 标准方案的建立	222
5.1.2	任务2 点动、连续控制电路绘制	230
5.1.3	任务3 正反转控制电路	236
5.2	专题 高级绘图功能	238
5.2.1	层、高度	238
5.2.2	参考指示	239

5.2.3 单线图	239
5.2.4 插入图片	240
5.2.5 布置接线端子和电缆符号	240
5.2.6 创建符号	244
5.2.7 PLC 功能	249
附录	251
附表 A FX _{2N} 系列 PLC 基本指令一览表	251
附表 B FX _{2N} 系列 PLC 一般编程元件种类和编号	252
附录 C 维修电工国家职业技能标准	252
参考文献	265

绪 论

1. 电机与电气控制在国民经济中的作用

电能是现代社会最常用且极为普遍的一种二次能源。电能具有许多优点，它的生产、传输、控制和使用都比较方便，且效率较高，因而广泛应用于工农业生产、交通运输、科技研发、信息传输及日常生活中，极大地推动了科学技术的进步和生产力的发展。

电机是与电能的生产、传输和使用有着密切关系的电磁机构。将自然界的一次能源如水能、热能、风能和原子能等转换为电能需用发电机，它是电厂的主要电气设备。为了经济地使用和分配电能，需用变压器，它是电力系统的主要电气设备之一。其他各行业都大量使用各种电动机作为原动机，用以拖动各种机械设备，这称为电力拖动。在军事、信息和各种自动控制系统中，则应用大量的控制电机，作为检测、执行和计算等元件。在医疗、文教和日常生活中，电机的应用也十分广泛。

随着电机及电力拖动技术的发展，电机控制技术也发展迅速。特别是随着数控、电力电子、计算机及网络等技术的发展，电力拖动也正向自动控制系统——无触点控制系统、计算机控制系统迈进。

2. 课程的性质和任务

“电机与电气控制”是电气信息类专业和机电类专业等相关专业的一门专业基础课，在专业的整个课程体系中，它起着承上启下的作用。与它密切相关的先行课程是电路基础，它所服务的后续课程是电力电子技术、工厂供电、自动控制与系统等课程。

本课程的任务是培养学生掌握相关的基本理论、学会电机控制的基本实现方法与维修技能，能借助计算机及相关软件来帮助该课程的学习，最后形成较高的专业技术应用能力。

3. 学习本课程应掌握的基本电磁理论

(1) 载流导体在磁场中受力

带有电流的直导线放在磁场中将受到磁场力的作用。力的方向由左手定则确定，即让磁力线穿过掌心，若四指的指向为导体中电流方向，则拇指的指向即为导体的受力方向。

(2) 电磁感应定律

导体切割磁力线时，导体中会产生感应电动势。感应电动势的方向由右手定则判断，即让磁力线穿过掌心，若拇指所指方向为导体在磁场中的运动方向，则四指的指向即为导体中感应电动势的方向。

4. 课程教学方法建议

(1) 实施“四个嵌入”模式的课程体系改革

“将中高级电工、电气 CEAC 培训体系嵌入学历教育体系，将职业资格认证体系嵌入课程体系，将行业标准嵌入课程标准，将企业文化嵌入课程培育环境”。保证教学要求与岗位技能要求对接，保证专业课程内容与职业标准对接。

(2) 充分发挥网络教学资源的作用，开辟“第二课堂”，实施“翻转式”教学。

充分利用网络教学资源,设计好课程的“第二课堂”,通过课堂思考题和咨询学习交流等教学环节,激发学生自主地利用网络资源,收集信息去发现问题、分析问题和解决问题。网络中“动画库”展现的电气控制线路控制功能的实现过程即是电气控制原理的分析;“虚拟学堂”中的具体操作视频的演示与讲解即是电气排查故障的程序和操作方法;“虚拟实训”可以身临其境地完成典型电气线路模拟接线和排查故障练习;“在线测试”及时检验学习效果;“在线问答”老师可以在线解决学生学习过程中遇到的问题……

开辟“第二课堂”,是实施“翻转式”教学的有力保障,让课堂变成教师与学生之间和学生与学生之间互动的场所,激发学生学习兴趣,大大提升学生自主学习能力,也将课堂教学推向更高层次。

(3) 构建“双师”型结构的课程团队,全面培养学生的职业能力和职业素养

课程教学团队应由专任教师和兼职教师构成,本课程与行业联系较为紧密,专任教师主要负责课程的主要知识点和技能点的讲解及课堂组织,兼职教师主要负责企业行业规范要求、员工职业素养以及现场电气设备维护和新技术的教学。

(4) 多样化的考核方式,常规化的“技能竞赛”,实现以赛促教,以教促学

依据课程不同阶段的特点,遵循考核规律和全程化的原则,构建一个将理论知识考核与实践技能考核相结合、过程性考核与结果性考核相结合、多种考核方式(笔试、实操与面试)相结合、课程评价标准与职业标准相结合的考核模式。课程中以“技能竞赛”的形式组织实操考核,模拟维修电工技能考核形式,切实推进教师、学生对“能力培养、习惯养成”的重视,充分调动了教与学的积极性。考评主体在分组教学阶段既有任课教师的考评、又有学生自我评价,激发和培养学生的团结协作能力。

模块1 三相异步电动机及其拖动控制

1.1 项目1 小容量三相异步电动机的拆装

1.1.1 任务1 三相异步电动机的拆卸（内部结构、工作原理）

任务描述：按照步骤对三相笼型异步电动机进行拆卸，记录操作中的工艺要求，对拆卸后的三相异步电动机进行内部结构的认识，并分析三相异步电动机的工作原理。

1. 任务实施

在拆卸前，应准备好各种工具，做好拆卸前记录和检查工作，在线头、端盖和刷握等处做好标记，以便于修复后的装配。三相笼型异步电动机的内部结构见图 1-1，具体步骤如下：

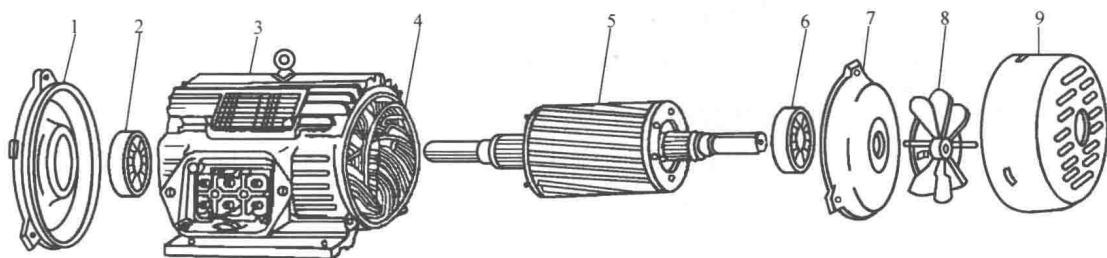


图 1-1 三相笼型异步电动机的内部结构

1、7—端盖 2、6—轴承 3—外壳 4—定子绕组 5—转子 8—风扇 9—风罩

- 1) 拆除电动机的所有引线。
 - 2) 拆卸皮带轮或联轴器。先将皮带轮或联轴器上的固定螺钉（或销子）松脱（或取下），再用专用工具“拉马”转动丝杠，把皮带轮或联轴器慢慢拉出。
 - 3) 拆卸电风扇或风罩。拆卸皮带轮后，就可把风罩卸下来。然后取下电风扇上定位螺栓，用锤子轻敲电风扇四周，旋卸下来或从轴上顺槽拔出，卸下电风扇。
 - 4) 拆卸轴承盖和端盖。一般小型电动机都只拆电风扇一侧的端盖。
 - 5) 抽出转子。对于笼型转子，可直接从定子腔中抽出。对于一般电动机，都可依照上述方法和步骤，由外到内顺序地拆卸。对于有特殊结构的电动机，应依具体情况酌情处理。
- 当电动机容量很小或电动机端盖与机座配合很紧不易拆下时，可用锤子（或在轴的前端垫上硬木块）敲，使后端盖与机座脱离，把后端盖连同转子一同抽出机座。
- 对三相笼型异步电动机进行拆卸时，可将相关情况记入表 1-1 中。

表 1-1 三相笼型异步电动机的拆卸训练记录

步 骤	内 容	工 艺 要 求
1	拆卸前的准备工作	1. 拆卸地点_____。 2. 拆卸前所做记号：(1) 联轴器或带轮与轴的距离_____ mm；(2) 端盖与机座间记号做于_____方位；(3) 前后轴承记号的形状_____；(4) 机座在基础上的记号_____。
2	拆卸顺序	1. _____ 2. _____ 3. _____ 4. _____ 5. _____ 6. _____
3	拆卸皮带轮或联轴器	1. 使用工具_____。 2. 工艺要点_____。
4	拆卸端盖	1. 使用工具_____。 2. 工艺要点_____。
5	检测数据	1. 定子铁心内径_____ mm，铁心长度_____ mm。 2. 转子铁心外径_____ mm，铁心长度_____ mm，转子总长_____ mm。 3. 轴承内径_____ mm，外径_____ mm。 4. 键槽长_____ mm，宽_____ mm，深_____ mm。
6	拆卸绕组	1. 使用工具_____。 2. 工艺要点_____。

2. 知识学习——三相异步电动机的基本结构

三相异步电动机主要有定子和转子两大部分组成，定子与转子之间是气隙，如图 1-1 所示。

(1) 异步电动机的定子

异步电动机的定子由机座、定子铁心和定子绕组 3 部分组成。

1) 机座。机座的作用主要是为了固定与支撑定子铁心，必须具备足够的机械强度和刚度。另外，它也是电动机磁路的一部分。中小型异步电动机通常采用铸铁机座，并根据不同的冷却方式采用不同的机座型式。对大型电动机，一般采用钢板焊接机座。

2) 定子铁心。定子铁心是异步电动机磁路的一部分，铁心内圆上冲有均匀分布的槽，用以嵌放定子绕组，异步电动机定子铁心及冲片如图 1-2 所示。为降低损耗，定子铁心用 0.5mm 厚的硅钢片叠装而成，硅钢片的两面涂有绝缘漆。

3) 定子绕组。定子绕组是三相对称绕组，当通入三相交流电时，能产生旋转磁场，并与转子绕组相互作用，实现能量的转换与传递。

(2) 异步电动机的转子

异步电动机的转子是电动机的转动部分，由转子铁心、转子绕组及转轴等部件组成。它的作用是带动其他机械设备旋转。

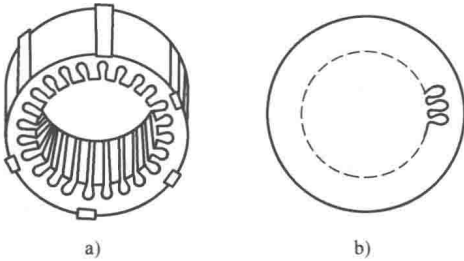


图 1-2 异步电动机定子铁心及冲片
a) 定子铁心 b) 定子铁心冲片

1) 转子铁心。转子铁心的作用和定子铁心的作用相同，也是电动机磁路的一部分，在转子铁心外圆均匀的冲有许多槽，用来嵌放转子绕组。转子铁心也是用 0.5mm 的硅钢片叠压而成，整个转子铁心固定在转轴上。图 1-3 是异步电动机转子铁心冲片槽形图。

2) 转子绕组。三相异步电动机按转子绕组的结构可分为绕线转子和笼型转子两种。根据转子的不同，异步电动机分为绕线转子异步电动机和笼型异步电动机。绕线转子绕组与定子绕组相似，也是嵌放在转子铁心槽内的对称三相绕组，通常采用Y接法。转子绕组的 3 条引线分别接到 3 个滑环上，用一套电刷装置以便与外电阻接通。一般把外接电阻串入转子绕组回路中，用以改善电动机的运行性能，绕线转子异步电动机定、转子绕组接线方式如图 1-4 所示。笼型转子绕组与定子绕组大不相同，它是一个短路绕组。在转子的每个槽内放置一根导条，每根导条都比铁心长，在铁心的两端用两个铜环将所有的导条都短路起来。如果把转子铁心去掉，剩下的绕组形状像个鼠笼，因此称为笼型转子。槽内导条材料有铜的，也有铝的，三相异步电动机的笼型转子如图 1-5 所示。

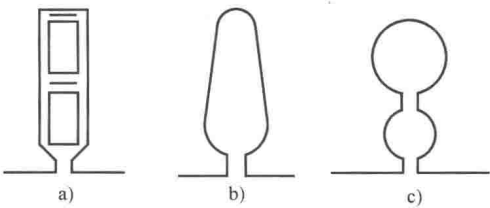


图 1-3 异步电动机转子铁心冲片槽形图
a) 绕线式异步电动机转子槽形
b) 单笼型转子槽形
c) 双笼型转子槽形

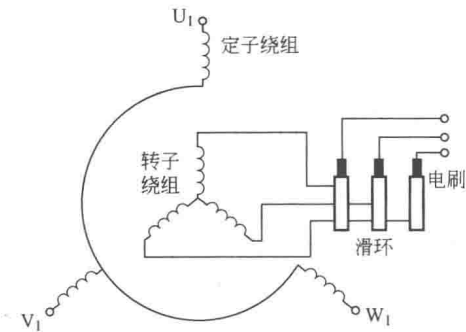


图 1-4 绕线转子异步电动机定、转子绕组接线方式

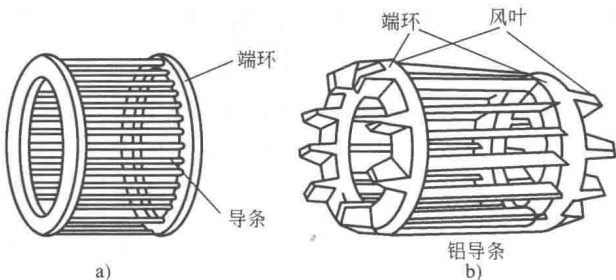


图 1-5 三相异步电动机的笼型转子
a) 铜条转子 b) 铸铝转子

(3) 气隙

异步电动机的气隙比同容量的直流电动机的气隙要小得多。中型异步电动机的气隙一般为 0.12 ~ 2mm。

异步电动机的气隙过大或过小都将对异步电动机的运行产生不良影响。因为异步电动机的励磁电流是由定子电流提供的，气隙大则磁阻也大，要求的励磁电流也大，从而降低了异步电动机的功率因数。为了提高功率因数，应尽量让气隙小些。但也不能过小，否则，装配困难，转子还有可能与定子发生机械摩擦。另外，从减少附加损耗及高次谐波磁势产生的磁通来看，气隙大点也有好处。

3. 问题研讨——三相异步电动机如何实现能量转换

(1) 有电生磁——旋转磁场的产生

所谓旋转磁场就是一种极性和大小不变，且以一定转速旋转的磁场。从理论分析和实践证明，在对称三相绕组中流过对称三相交流电时会产生这种旋转磁场。

所谓三相对称绕组就是 3 个外形、尺寸、匝数都完全相同、首端彼此互隔 120° 、对称地放置到定子槽内的 3 个独立的绕组。由电网提供的三相电压是对称三相电压，由于对称三相绕组组成的三相负载是对称三相负载，每相负载的复阻抗都相等，所以，流过三相绕组的电流也必定是对称三相电流。

对称三相电流的函数式表示为：

$$\begin{aligned} i_u &= I_m \sin \omega t \\ i_v &= I_m \sin(\omega t - 120^\circ) \\ i_w &= I_m \sin(\omega t + 120^\circ) \end{aligned} \quad (1-1)$$

注意：旋转磁场的旋转方向是由通入三相绕组中的电流的相序决定的。当通入三相对称绕组的对称三相电流的相序发生改变时，即将三相电源中的任意两相绕组接线互换，旋转磁场就会改变方向，它的转速为：

$$n_1 = \frac{f_1}{p} (\text{r/s}) = \frac{60f_1}{p} (\text{r/min}) \quad (1-2)$$

式中， f_1 为交流电的频率 (Hz)； p 为磁极对数。

用 n_1 表示旋转磁场的转速，称为同步转速。

(2) 动磁生电——电磁感应定律的应用

图 1-6 是三相异步电动机的工作原理图。定子上装有对称三相绕组。当定子接通三相电源后，即在定、转子之间的气隙内建立了一同步转速为 n_1 的旋转磁场。磁场旋转时将切割转子导体，根据电磁感应定律可知，在转子导体中将产生感应电动势，其方向可由右手定则确定。磁场逆时针方向旋转，导体相对磁极为顺时针方向切断磁力线。转子上半边导体感应电动势的方向为进去的，用 $\otimes$ 表示；下半边导体感应电动势的方向为出来的，用 $\odot$ 表示。因转子绕组是闭合的，导体中有电流，电流方向与感应电动势方向相同。

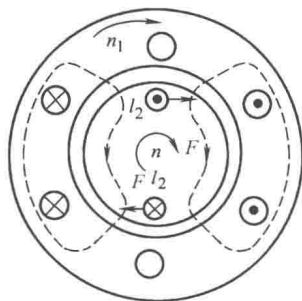


图 1-6 三相异步电动机的工作原理图

(3) 形成电磁转矩——电磁力定律的应用

载流导体在磁场中要受到电磁力，其方向由左手定则确定，如图 1-6 所示。这样，在转子导条上形成一个逆时针方向的电磁转矩。于是转子就跟着旋转磁场逆时针方向转动。从工作原理看，不难理解三相异步电动机为什么又叫感应电动机了。

综上所述，三相异步电动机能够转动的必备条件有两个，一是电动机的定子必须产生一个在空间不断旋转的旋转磁场，二是电动机的转子必须是闭合导体。

4. 任务拓展

- 1) 拆卸定子绕组并找寻每组线圈的连接规律。
- 2) 为什么交流电动机的会采用不同的转子形式？
- 3) 现代交流电动机在结构上有何发展趋势？
- 4) 交流电动机在生产生活中有哪些典型的应用？

1.1.2 任务 2 三相异步电动机的装配（铭牌、异步含义）

任务描述：完成一台小容量三相笼型异步电动机的装配任务，并整理装配步骤和工艺要

求，理解电机铭牌数据和“异步”的含义。

1. 任务实施

电动机的装配工序大体与拆卸顺序相反，装配时要注意各部分零部件的清洁，定子内绕组端部，转子表面都要吹刷干净，不能有杂物。

第1步：定子部分。这主要是定子绕组的绕制、连接、嵌放、封槽口、端部整形和接线、绕组的绝缘浸漆与烘干处理等程序。

第2步：安放转子。安放转子要特别小心，以免碰伤定子绕组。

第3步：加装端盖。装端盖时，可用木锤均匀敲击端盖四周，按对角线均匀对称地轮番拧紧螺钉，不要一次拧到底。端盖固定后，用手转动电动机的转子，应灵活、均匀、无停滞或偏轴现象。

第4步：装电风扇和风罩。

第5步：接好引线，装好接线盒及铭牌。

在重新装配三相笼型异步电动机时，将相关情况记入表1-2中。

表 1-2 三相笼型异步电动机的装配训练记录

步 骤	内 容	工 艺 要 求
1	装 配 前 的 准 备 工作	1. 装配地点_____
		2. 装配前的准备_____
2	装配顺序	1. _____ 2. _____
		3. _____ 4. _____
		5. _____ 6. _____
3	工艺要点记录	

2. 知识学习——异步电动机的铭牌数据含义

异步电动机的机座上都有一个铭牌，铭牌上标有型号和各种额定数据。

(1) 型号

为了满足工农业生产的不同需要，我国生产多种型号的电动机，每一种型号代表一系列电机产品。同一系列电机的结构、形状相似，零部件通用性很强，容量是按一定比例递增的。

型号是选用产品名称中最有代表意义的大写字母及阿拉伯数字表示的。例如：Y 表示异步电动机，R 代表绕线式，D 表示多速等，异步电动机型号的表示如图 1-7 所示。

国产异步电动机的主要系列如下所述。

Y 系列：为全封闭、自扇风冷、笼型转子异步电动机。该系列具有高效率、起动转矩大、噪声低、振动小、性能优良和外形美观等优点。

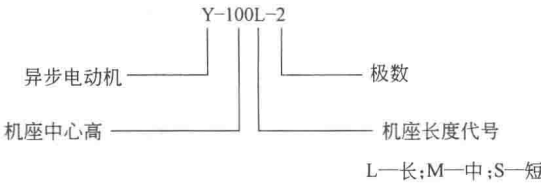


图 1-7 异步电动机型号的表示

DO₂系列：为微型单相电容运转式异步电动机。广泛用做录音机、家用电器、电风扇、记录仪表的驱动设备。

(2) 额定值

额定值是设计、制造、管理和使用电动机的依据。

① 额定功率 P_N ——是指电动机在额定负载运行时，轴上所输出的机械功率，单位为 W 和 kW。

② 额定电压 U_N ——是指电动机正常工作时，定子绕组所加的线电压，单位为 V。

③ 额定电流 I_N ——是指电动机输出功率时，定子绕组允许长期通过的线电流，单位为 A。

④ 额定频率 f_N ——我国的电网频率为 50Hz。

⑤ 额定转速 n_N ——是指电动机在额定状态下，转子的转速，单位为 r/min。

⑥ 绝缘等级——是指电动机所用绝缘材料的等级。它规定了电动机长期使用时的极限温度与温升。温升是绝缘允许的温度减去环境温度（标准规定为 40℃）和测温时方法上的误差值（一般为 5℃）。

⑦ 工作方式。

电动机的工作方式分为连续工作制、短时工作制与断续周期工作制 3 类，选用电动机时，不同工作方式的负载应选用对应的工作方式的电动机。

此外，铭牌上还标明绕组的相数与接法（接成 Y 或 Δ ）等。对绕线转子异步电动机，还标明转子的额定电动势及额定电流。

（3）铭牌举例

Y 系列三相异步电动机的铭牌如表 1-3 所示。

表 1-3 Y 系列三相异步电动机的铭牌

三相异步电动机					
型 号	Y90L-4	电 压	380V	接 法	Y
功 率	1.5kW	电 流	3.7A	工作方式	连续
转 速	1400r/min	功率因数	0.79	温 升	75℃
频 率	50Hz	绝缘等级	B	出厂年月	×年×月
×××电机厂		产品编号	重量	公斤	

3. 问题研讨——为什么是“异步”电动机

转子的旋转方向与旋转磁场的转向相同，但转子的转速 n 不能等于旋转磁场的同步转速 n_1 ，否则磁场与转子之间便无相对运动，转子就不会有感应电动势、电流与电磁转矩，转子也就根本不可能转动了。因此，异步电动机的转子转速 n 总是略小于旋转磁场的同步转速 n_1 ，即与旋转磁场“异步”地转动，所以称这种电动机为“异步”电动机。若三相异步电动机带上机械负载，负载转矩越大，则电动机的“异步”程度也越大。在分析中，用“转差率”这个概念来反映“异步”的程度。 n_1 与 n 之差称为“转差”。转差是异步电动机运行的必要条件。将其与同步转速之比称为“转差率”，用 s 表示。

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} \tag{1-3}$$

转差率是异步电动机的一个基本参量。一般情况下，异步电动机的转差率变化不大，空载转差率在 0.005 以下，满载转差率在 0.02 ~ 0.06。可见，额定运行时异步电动机的转子转速非常接近同步转速。

【例 1-1】 已知一台四极三相异步电动机转子的额定转速为 1430r/min，求它的转差率。

解：同步转速

$$n_1 = \frac{60f_1}{p} = \frac{60 \times 50}{2} = 1500 \text{ r/min}$$

转差率

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} = \frac{1500 - 1430}{1500} = 0.047$$

【例 1-2】 已知一台异步电动机的同步转速 $n_1 = 1000 \text{ r/min}$ ，额定转差率 $s_N = 0.03$ ，问该电动机额定运行时转速是多少？

解：由 s 表示式可得：

$$n_N = n_1 (1 - s_N) = 1000 \times (1 - 0.03) = 970 \text{ r/min}$$

4. 任务拓展

1) 完成一台三相异步电动机的装配任务，其定子槽数 $Z_1 = 24$ 槽，磁极数 $2p = 4$ ，每槽匝数为 100 匝，单层，600 相带，跨距采用短距式，绕组节距 $y = 5$ 。

2) 分析如何改变三相异步电动机的转向。

1.1.3 任务3 三相异步电动机的检查（空载与短路实验、定子绕组首尾端判别）

任务描述：对三相异步电动机进行通电前检查和试车检查，记录相关检查数据，理解三相异步电动机空载和短路试验的目的和方法，掌握定子绕组首尾端的判别方法。

1. 任务实施

（1）三相异步电动机通电前的检查

1) 检查机械部分的装配质量。包括所有紧固螺钉是否拧紧，转子转动是否灵活，无扫膛、无松动；轴承是否有杂声等。

2) 测量绕组的绝缘电阻。用绝缘电阻表测量电动机各相绕组之间及每相绕组与地（机壳）之间的绝缘电阻。对于绕线转子异步电动机，还要测量转子绕组、集电环对机壳和集电环之间的绝缘电阻。测量前应首先对绝缘电阻表检验，同时要拆除电动机出现端子上的所有外部接线、星形或三角形连接片。按要求，电动机每 1kV 工作电压，绝缘电阻不得低于 $1 \text{ M}\Omega$ ；电压在 1kV 以下、容量为 1000kW 及以下的电动机，其绝缘电阻应不低于 $0.5 \text{ M}\Omega$ 。

3) 检查绕组的三相直流电阻。要求电动机的定子绕组、绕线式异步电动机转子绕组的三相直流电阻偏差应不小于 2%，对某些只更换个别线圈的电动机，直流电阻偏差应不超过 5%，若出现短路、断路及接地现象等，需对相关故障进行处理。

（2）电动机的空载试车

空载试车的目的是检查电动机通电空转时的状态是否符合要求。按铭牌要求接好电源线，在机壳上接好保护接地线进行空载试车，具体内容与要求如下：

1) 运行时检查电动机的通风冷却和润滑情况。电动机的通风是否良好，电风扇与电风扇罩无互相摩擦现象，轴承应转动均匀，润滑良好。

2) 判断电动机运行音量是否正常。电动机运行音量应均匀，不得有嗡嗡声、碰擦声等异常声音。

3) 测量空载电流。在保证三相电压平衡的情况下，可以用配电柜上的电流表或钳形电

流表检测空载电流，检测时应注意两个问题：一是空载电流与额定电流的百分比，应在规定范围内；二是三相电流的不平衡程度，应在 5% 左右即视为合格，若超过 10% 应视为不合格（即故障）。

4) 检查电动机温升是否正常。

可将三相异步电动机运行中所检测的有关数据记入表 1-4 中。

表 1-4 三相异步电动机运行中所检测的有关数据记录

铭牌 额定值	电压_____ V，电流_____ A，转速_____ r/min，功率_____ kW，接法_____						
实际 检测	三相电源电压		U_{UV} _____ V， U_{VW} _____ V， U_{WU} _____ V				
	三相绕组电阻		$U_{相}$ _____ Ω ， $V_{相}$ _____ Ω ， $W_{相}$ _____ Ω				
	绝缘 电阻	对地绝缘	$U_{相对地}$ _____ M Ω ， $V_{相对地}$ _____ M Ω ， $W_{相对地}$ _____ M Ω				
		相间绝缘	UV 间_____ M Ω ，VW 间_____ M Ω ，WU 间_____ M Ω				
	三相 电流	空载	I_U _____ A， I_V _____ A， I_W _____ A				
		满载	I_U _____ A， I_V _____ A， I_W _____ A				
	转速	空载	r/min		满载	r/min	

2. 知识学习——三相异步电动机的空载实验、短路实验

通过异步电动机的空载与短路试验，可以确定异步电动机的参数。

(1) 空载试验

空载试验是指在额定电压和额定频率下，轴上不带任何负载时运行。其目的是测定异步电动机的空载电流 I_0 和空载功率 P_0 ，进而求得异步电动机的励磁阻抗 r_m 和 x_m ，并分离出铁耗 p_{Fe} 和机械损耗 p_{mec} 。异步电动机空载试验接线如图 1-8 所示。线路中将三相自耦调压器一次侧接至三相电源，二次侧接至异步电动机的定子三相绕组端。采用自耦调压器的目的：一是用来控制电动机起动时的冲击电流值，二是用以调节定子端电压从 $0.5 \sim 1.2 U_N$ 范围，并测取对应的空载电流 I_0 与空载功率 P_0 。试验时一般测取 6~8 组数据，可绘得 $I_0 = f(U_1)$ 和 $P_0 = f(U_1)$ 两条特性曲线，异步电动机的空载特性曲线如图 1-9 所示。从空载特性曲线上求取额定电压下的空载电流与空载损耗。

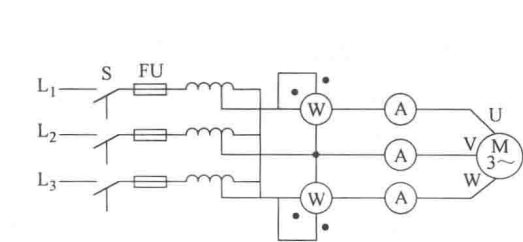


图 1-8 异步电动机空载试验接线图

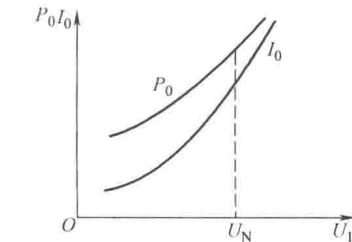


图 1-9 异步电动机的空载特性曲线

空载试验前，一般应先进行绝缘电阻检查与绕组直流电阻测定，试验时应注意三相电流是否对称。

空载时，输出功率 $P_2 = 0$ 。同时因转子电流很小，转子铜耗 p_{cu} 。附加损耗 p_{ad} 可略去不计，所以输入功率 P_1 近似等于铁耗 p_{Fe} 和机械损耗 p_{mec} 。试验时应保证转速基本不变，在求