

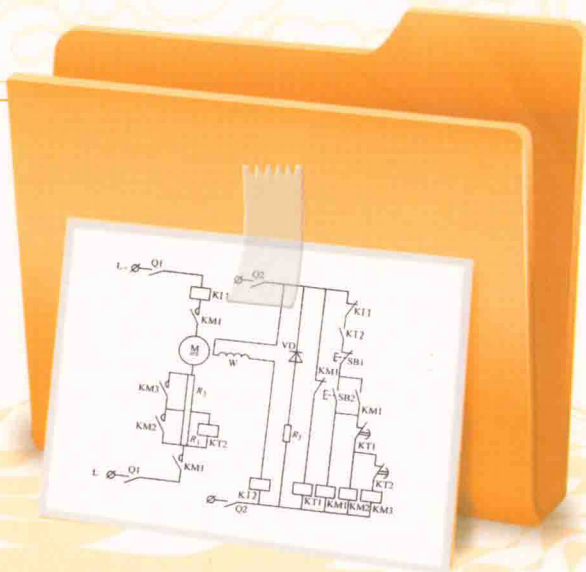


高等职业教育机电类专业“十二五”规划教材

电机与电气控制

代礼前 主编

任雪鸿 牛晓玲 副主编



高等职业教育机电类专业“十二五”规划教材

电机与电气控制

代礼前 主 编

任雪鸿 牛晓玲 副主编

内 容 简 介

“电机与电气控制”是一门实用性强又具有一定理论知识的电类专业必修课。本书根据高等职业教育课程改革的精神,对传统的教材《电机与电气控制》按照项目教学的模式,将其内容及授课方式进行了全面调整。其内容包括交流电机、典型低压电气控制系统、直流电机、变压器、控制电机五个模块。各模块均以一系列任务的实施为载体,使学生了解并掌握相关电机的基础知识及其控制方法。各个任务均配有思考题,每个模块还配有思考与练习题,以利于学生加深理解,掌握操作方法。

本书各任务涉及的基础知识由简单到复杂,对于一些典型的控制系统,考虑到各学校实训设备不同,配有多种实际电路图,方便教学时选择。

本书适合作为高等职业院校电气自动化、机电一体化、数控维护等相关专业的教材,特别适用于配备了“理实一体化”教学设施的学校教学,也可作为相关技术人员的培训教材或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电机与电气控制 / 代礼前主编. — 北京 :
中国铁道出版社, 2012. 2
高等职业教育机电类专业“十二五”规划教材
ISBN 978-7-113-14067-0

I. ①电… II. ①代… 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(2012)第012270号

书 名: 电机与电气控制
作 者: 代礼前 主编

策 划: 秦绪好 读者热线: 400-668-0820
责任编辑: 何红艳 鲍 闻
封面设计: 付 巍
封面制作: 白 雪
责任印制: 李 佳

出版发行: 中国铁道出版社(100054, 北京市西城区右安门西街8号)
网 址: <http://www.51eds.com>
印 刷: 三河市华业印装厂
版 次: 2012年2月第1版 2012年2月第1次印刷
开 本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 18.25 字数: 433千
印 数: 1~3 000册
书 号: ISBN 978-7-113-14067-0
定 价: 33.00元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社教材图书营销部联系调换。电话:(010) 63550836

打击盗版举报电话:(010) 63549504

“电机与电气控制”是机电控制类专业的一门专业基础核心课程，其内容涵盖“电机与拖动”、“高低压电器”、“工厂电器设备”等内容。本教材是编者集多年的高职教育经验和企业实践经验，按项目教学法编写而成的。其项目是经过了大量的现场调研、分析，结合由简单到复杂，由单一到综合的学习认知规律而设计的。通过对一系列典型任务的分析、讨论、实施、评价，达到学习的目的。相关知识点均渗透于各任务中。

本教材以培养高级应用型人才为目标，强化了在做中学、学中做的思想，减少了繁杂的公式推导，突出了任务的实用性和可操作性。编写本教材的指导思想就是激发学生思考的积极性和学习的主动性，为培养学生的职业能力和学习能力打下良好的基础。目标是为高等职业院校机电类专业提供一本以培养学生职业能力为主要目标的、基于项目教学的规范教材。

本教材以交、直流电机的控制为主线，并以三相异步电机的控制为主，穿插一些控制电机和变压器的相关知识。还对电气控制原理图的设计以及实际运用中常用的电气维护检修、电气接线图等知识也做了适当的介绍。以期培养学生分析问题、解决问题的能力 and 进行简单电气控制系统设计的能力。本教材在特色和教学方法方面有如下考虑：

(1) 以做中学、学中做教学模式为出发点，对任务的取舍、难易程度和实际应用等问题进行了细致考虑和精心安排，在内容表述中力求准确、精练；在涉及相关规定中力求采用最新规定。

(2) 为便于组织教学，本教材对于认识性的内容，如结构认识等采用任务提出、任务目标、任务分析、相关知识、任务实施、任务评价、思考题的构架模式；对于操作性强的任务，由于任务分析时需要用到相关知识，所以采用先学习相关知识，再进行任务分析的模式。

(3) 为增强高职学生的可持续发展能力，在部分任务中增加了拓宽任务、部分模块中增加了拓展阅读材料，供学有余力的学生选学。为适应各校实训设备的要求，书中增加了一些典型设备电气控制图，便于在教学中根据本校实际情况进行选择讲解。

(4) 每个任务后面的思考题主要供学生在完成任务的过程中思考、讨论，并作为该任务的一个考核内容。每个模块后面的练习题，主要用于复习本模块内容时进行练习。

全书分为交流电机、典型低压电气控制系统、直流电机、变压器、控制电机五个模块。模块一主要介绍了三相异步电机的基础知识，并通过对三相异步电动机启动、调速、制动、正反转、顺序控制等典型任务的实施，使学生掌握三相异步电动机的结构、原理及控制方法；模块二通过一系列任务的实施，主要介绍了电气原理图、电气接线图的绘制方法，一般低压控制系统的故障诊断维修方法，以及对平面磨床等几种典型的机床电气控制线路的故障诊断与检修方法。同时还介绍了控制系统电气原理图的设计方法；模块三主要介绍了直流电机的基本知识及其机械特性，并对直流电机的启动、调速、制动、正反转控制等任务进行实施；模块四主要介绍了变压器的结构、参数、运行特性以及变

压器的绕组联结；模块五主要介绍了交流伺服电动机、直流伺服电动机、步进电动机、交流测速发电机、直流测速发电机等基本结构和特性。

本教材总课时为 90 课时，在实际教学中，可根据所教授的对象对内容做适当增减，合理的授课课时为 60~90 课时，具体课时安排可参照下表。

序 号	授 课 内 容	参 考 课 时
1	三相异步电动机的基础知识	8
2	三相鼠笼式异步电机的全压起动	6
3	三相鼠笼式异步电机的降压起动	4
4	三相绕线式异步电动机的起动控制	4
5	三相异步电动机的制动	4
6	三相异步电动机的调速	4
7	其他交流电机	4
8	低压电气控制系统的分析与维修	6
9	典型电气控制系统分析	10
10	低压电气控制系统设计	4
11	直流电机基础知识	6
12	他励直流电机特性测定	4
13	直流电动机的控制	8
14	认识变压器	6
15	三相变压器的联结	2
16	认识伺服电动机	4
17	认识步进电动机	2
18	认识测速发电机	4
19	合计	90

本教材由西安铁路职业技术学院机电系主任代礼前担任主编，任雪鸿、牛晓玲任副主编。编写具体分工如下：代礼前编写模块二和模块三；任雪鸿编写模块一中的项目二和项目三；牛晓玲编写模块四和模块五；陕西科技大学闫永志编写模块一中的项目一。同时在本书的编写过程中要感谢丁万霞、梁新平、刘宏利、李金堂、师利娟等的大力帮助与支持。

本教材可作为三年制高职及五年制高职高专机电一体化专业、数控加工、数控维护等机电类相关专业的教材，也可作为相关专业教师及工程技术人员的参考书。

本教材在编写过程中，参阅了许多同行和专家编著的教材和资料，得到了不少启发和教益，在此表示诚挚的感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在错误和不足之处，敬请读者批评指正。

编 者
2011 年 12 月

模块一 交流电机	1
项目 1 三相异步电动机基础知识.....	1
任务 1 三相异步电动机的结构.....	1
任务 2 三相异步电动机的运行原理分析.....	8
任务 3 从三相异步电动机的铭牌参数了解电机性能.....	12
任务 4 三相异步电动机定子绕组的拆换.....	16
任务 5 三相异步电动机的机械特性分析及应用.....	22
拓展阅读 1 生产机械的负载转矩特性.....	29
拓展阅读 2 三相异步电动机的工作特性.....	30
项目 2 三相异步电动机的控制.....	31
任务 1 三相鼠笼式异步电动机的全压起动.....	31
子任务 1 三相鼠笼式异步电动机直接起动控制线路的实现.....	32
子任务 2 三相鼠笼式异步电动机正反转控制线路的实现.....	44
子任务 3 三相鼠笼式异步电动机位置控制线路的实现.....	51
子任务 4 三相鼠笼式异步电动机顺序控制线路的实现.....	55
任务 2 三相鼠笼式异步电动机的降压起动.....	59
任务 3 三相绕线式异步电动机的起动控制.....	68
子任务 1 转子回路串电阻起动线路的实现.....	68
子任务 2 转子回路串频敏变阻器起动线路的实现.....	75
任务 4 三相异步电动机的制动.....	80
子任务 1 反接制动控制线路的实现.....	80
子任务 2 能耗制动控制线路的实现.....	86
任务 5 三相异步电动机的调速.....	91
子任务 1 三相异步电动机调速控制线路的实现.....	91
子任务 2 变频器的认识及使用.....	96
项目 3 其他交流电机.....	107
任务 1 单相异步电动机故障分析与排除.....	107
任务 2 同步电动机的认识.....	113
拓展阅读 三相异步电动机的选择、使用及维护.....	117
思考与练习.....	121
模块二 典型低压电气控制系统	123
项目 1 低压电气控制系统的分析与维修.....	123
任务 1 低压电气控制系统的分析.....	123
任务 2 根据系统电气原理图设计电气接线图.....	127
任务 3 低压电气控制系统故障诊断与维修.....	135
项目 2 典型电气控制系统分析.....	142
任务 1 卧式车床电气控制线路故障诊断与维修.....	142
任务 2 平面磨床的电气控制线路故障诊断与维修.....	147

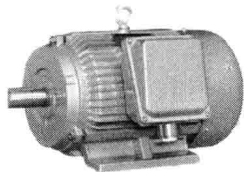
任务 3 摇臂钻床的电气控制线路故障诊断与维修	155
任务 4 铣床的电气控制线路故障诊断与维修	161
任务 5 卧式镗床的电气控制线路故障诊断与维修	173
项目 3 低压电气控制系统的设计	181
任务 1 电气控制系统的原理设计	182
任务 2 电气控制系统的保护设置	189
思考与练习	193
模块三 直流电机	195
项目 1 直流电机的基础知识	195
任务 1 直流电机的工作原理	195
任务 2 直流电机的结构、励磁方式	199
任务 3 从铭牌数据了解直流电机性能	203
任务 4 直流电机的运行原理认识	205
项目 2 他励直流电动机的机械特性测定	208
项目 3 直流电动机的控制	215
任务 1 直流电动机的起动控制	215
任务 2 直流电动机的正反转控制	218
任务 3 直流电动机的调速控制	220
任务 4 直流电动机的制动控制	225
思考与练习	232
模块四 变压器	233
项目 1 认识变压器	233
任务 1 变压器的拆装	233
任务 2 变压器的参数确定	236
任务 3 变压器的运行特性	245
项目 2 三相变压器	248
任务 三相变压器的绕组联结	249
拓展阅读 其他常用变压器	258
思考与练习	260
模块五 控制电机	262
项目 1 认识伺服电动机	262
任务 1 直流伺服电动机的认识及特性	263
任务 2 交流伺服电动机的认识及特性	266
项目 2 认识步进电动机	270
任务 步进电动机的认识及特性	271
项目 3 认识测速发电机	276
任务 1 直流测速发电机的认识及特性	277
任务 2 交流测速发电机的认识及特性	279
拓展阅读 自整角机	282
思考与练习	284
参考文献	285

电机是电动机和发电机的总称，是实现电能和机械能相互转换的装置。将电能转换为机械能，拖动生产机械的电机称为电动机。将机械能转换为电能，作为电源的电机称为发电机。按供电电源不同，电机分为交流电机和直流电机两大类。在交流电机中，根据电机工作原理的不同又分为异步电机和同步电机。

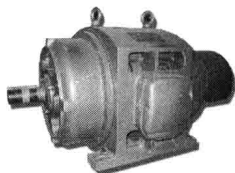
项目 1 三相异步电动机基础知识

异步电动机分为单相异步电动机和三相异步电动机。异步电动机具有结构简单，制造、使用、维护方便，运行可靠，价格便宜等优点，现已广泛应用于现代生产及日常生活中。例如：在工业生产中，各种机床、中小型轧钢设备、轻工机械、矿山机械等；在农业生产中，水泵、脱粒机、粉碎机及其他农副产品的加工设备；在日常生活中，家用洗衣机、电扇、空调、电冰箱等，这些都是用异步电动机来拖动的。据有关部门统计，在电力拖动系统中，90%左右的设备都是由三相异步电动机拖动的。图 1-1 为三相异步电动机实物图。但它也存在调速、起动性能较差、功率因数低等缺点。

本项目的主要任务是学习三相异步电动机的结构、工作原理、运行特性等基础知识。



(a) 三相鼠笼式异步电动机



(b) 三相绕线式异步电动机

图 1-1 三相异步电动机实物图

任务 1 三相异步电动机的结构

任务提出

对电动机进行日常保养、维护和检修时，需要对电动机进行拆装。现需要对一台 Y112M-4 型三相异步电动机进行日常检修。

任务目标

- ① 掌握三相异步电动机的结构及各部件的名称及作用。

② 能够完成三相异步电动机的检修、拆装任务。

任务分析

对电动机进行定期保养、维护和检修时，首先需要将电动机拆开，问题解决后，再将电动机装好。如果拆装方法不当，就会造成部件损坏，引发新的故障。因此，正确拆装电动机是确保维修质量的前提。要做到正确拆装电动机就需要掌握三相异步电动机结构等相关知识。

相关知识

三相异步电动机主要由定子和转子两部分组成。转子装在定子腔内，定子和转子之间由气隙分开。图 1-2 为三相异步电动机结构示意图。

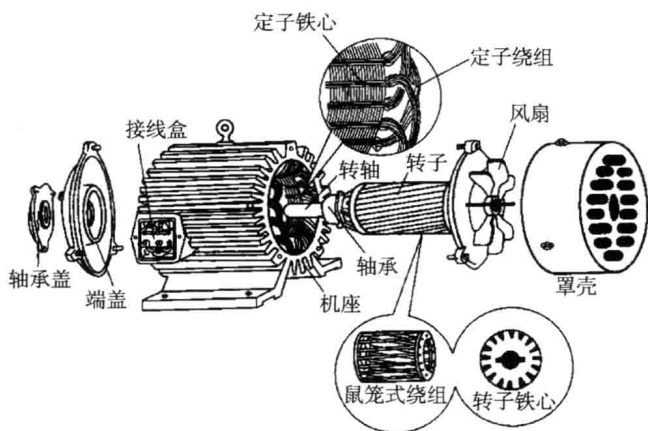


图 1-2 三相异步电动机结构

一、定子部分

定子部分用于产生旋转磁场，主要由定子铁心、定子绕组、机座三部分组成。

1. 定子铁心

定子铁心装在机座内，是电动机磁路的一部分，为了减少在交变磁场中铁心产生的涡流损耗和磁滞损耗，定子铁心用厚 0.35~0.5 mm 涂有绝缘漆的硅钢片叠成，铁心内圆周上有许多均匀分布的槽，用来嵌放三相定子绕组，图 1-3 所示为三相异步电动机的定子铁心及冲片。

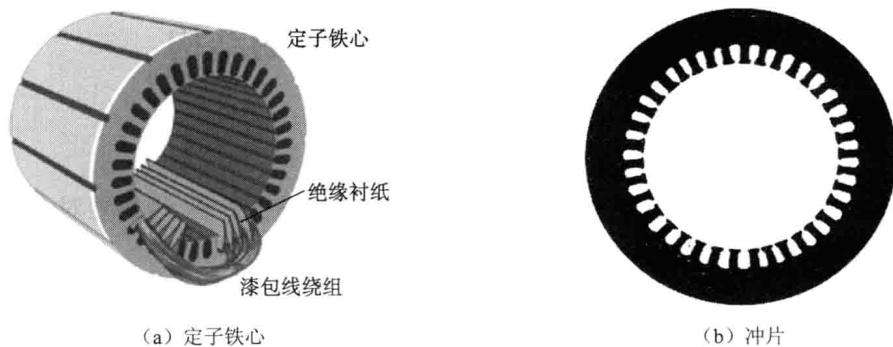


图 1-3 三相异步电动机定子铁心及冲片

2. 定子绕组

定子绕组是电动机的电路部分，它嵌放在定子铁心的内圆槽内，用于产生旋转磁场。为满足异步电动机的运行要求，三相定子绕组 U_1U_2 、 V_1V_2 、 W_1W_2 ，每相绕组的形状、尺寸、匝数都相同，每个绕组又由若干线圈组成。对于中小型电动机线圈多采用漆包线绕制，大中型电动机多采用绝缘铜导线绕制。三相定子绕组在空间按相位差 120° 电角度对称嵌入定子铁心槽内，当给电动机通入三相交流电时，定子绕组中产生旋转磁场，如图 1-4 所示。三相定子绕组的连接方式有：星形联结或三角形联结。三相绕组的六个出线端都引至接线盒上，首端分别为 U_1 、 V_1 、 W_1 ，末端分别为 U_2 、 V_2 、 W_2 ，如图 1-5 所示。有的电机用 AX、BY、CZ 表示三相绕组，A、B、C 表示绕组的首端，X、Y、Z 表示绕组的末端。

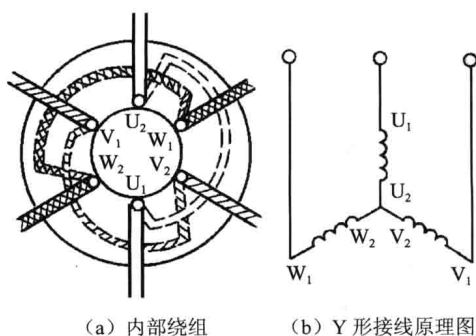


图 1-4 三相异步电动机定子绕组连接示意图

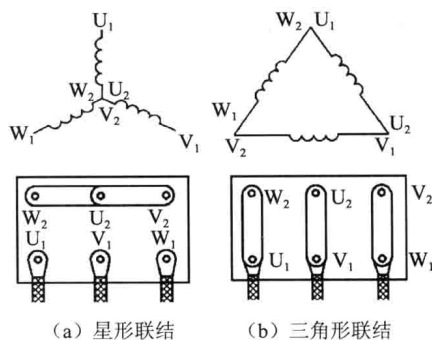


图 1-5 三相异步电动机的接线

3. 机座

机座的作用是固定和支撑定子铁心及端盖，因此应有足够的机械强度和刚度。中小型电动机一般采用铸铁机座，大型电动机则多采用钢板焊接而成。为了增加散热面积，一般电动机的机座外表面设计为散热片状。

二、转子部分

主要用于感应电磁转矩输出机械能。转子由转子铁心、转子绕组、转轴和风扇等部分组成。

1. 转子铁心

转子铁心也是电机磁路的一部分，用 0.5 mm 厚硅钢片冲成转子冲片叠成圆柱形，压装在转轴上。其外围表面冲有凹槽，用于安放转子绕组，如图 1-6 所示。

2. 转子绕组

转子绕组是转子的电路部分，用来产生转子电动势和转矩。三相异步电动机按转子绕组的形式不同，可分为绕线式和鼠笼式两种。

① 鼠笼式转子绕组：是在转子铁心的每个槽内插入一根导条，在铁心两端再用两个短路环焊接而形成自身闭合的对称短路绕组。若把铁心拿出来，整个转子绕组外形很像一个鼠笼，故称鼠笼式转子，如图 1-7 所示。对于中小功率的电动机，目前常用铸铝工艺把鼠笼式绕组及冷却用的风扇叶片铸在一起，大型电动机则多采用铜导条。

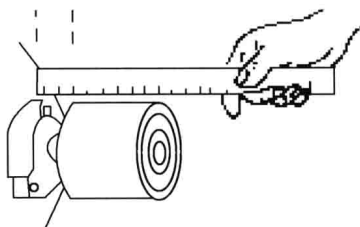
② 绕线式转子绕组：和定子绕组一样，也是三相绕组，绕组的三个末端接在一起（Y 型），三个首端分别接在转轴上三个彼此绝缘的集电环上，再通过滑环上的电刷与外电路的变阻器

- ① 卸皮带轮或联轴器，拆电机尾部风扇罩。
- ② 卸下定位键或螺钉，并拆下风扇。
- ③ 旋下前后端盖紧固螺钉，并拆下前轴承外盖。
- ④ 用木板垫在转轴前端，将转子连同后端盖一起用锤子从电动机中敲出。
- ⑤ 抽出转子。
- ⑥ 卸前端盖，最后拆卸前后轴承及轴承内盖。

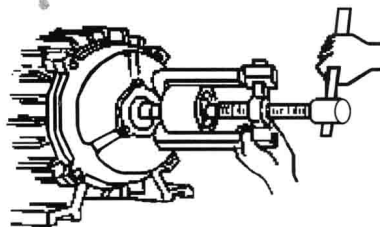
3. 主要部件的拆卸方法

(1) 带轮（或联轴器）的拆卸

先在带轮（或联轴器）的轴伸端（联轴端）做好尺寸标记，然后旋松带轮上的固定螺钉或敲去定位销，给带轮（或联轴器）的内孔和转轴结合处加入煤油，稍等渗透后，使锈蚀的部分松动，再用拉具将带轮（或联轴器）缓慢拉出，如图 1-10 所示。



(a) 带轮的位置标记



(b) 用拉具拆卸带轮

图 1-10 拆卸带轮

(2) 轴承的拆卸

轴承的拆卸可采取以下三种方法：

① 用拉具进行拆卸。拆卸时拉具钩爪一定要抓牢轴承内圈，以免损坏轴承，如图 1-11 所示。

② 用铜棒拆卸。将铜棒对准轴承内圈，用锤子敲打铜棒，如图 1-12 所示。用此方法时要注意轮流敲打轴承内圈的相对两侧，不可敲打一边，用力也不要过猛，直到把轴承敲出为止。

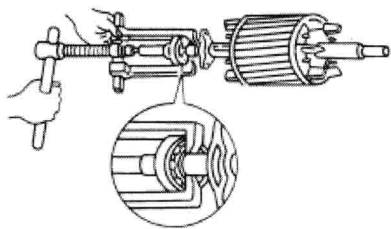


图 1-11 用拉具拆卸轴承

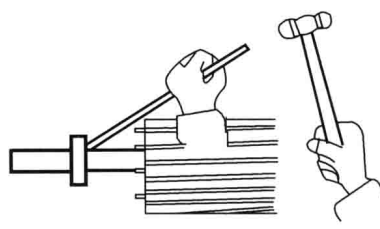


图 1-12 敲打拆卸轴承

③ 铁板夹住拆卸。用两块厚铁板夹住轴承内圈，铁板的两端用可靠支撑物架起，使转子悬空，如图 1-13 所示，然后在轴上端面垫上厚木板并用锤子敲打，使轴承脱出。

在拆卸端盖内孔轴承时，可采用图 1-14 所示的方法，将端盖内面向上平稳放置，在轴承外圈的下面垫上木板，但不能顶住轴承，然后用一根直径略小于轴承外沿的铜棒或其他金属管抵住轴承外圈，从上往下用锤子敲打，使轴承从下方脱出。

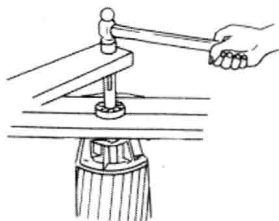


图 1-13 铁板夹住拆卸轴承

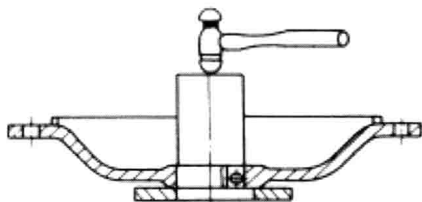


图 1-14 拆卸端盖内孔轴承

(3) 抽出转子

在抽出转子之前，应在转子下面气隙和绕组端部垫上厚纸板，以免抽出转子时碰伤铁心和绕组。对于小型电机的转子用手取出时，一手握住转轴，把转子拉出一些，随后另一手托住转子铁心慢慢往外移，如图 1-15 所示。

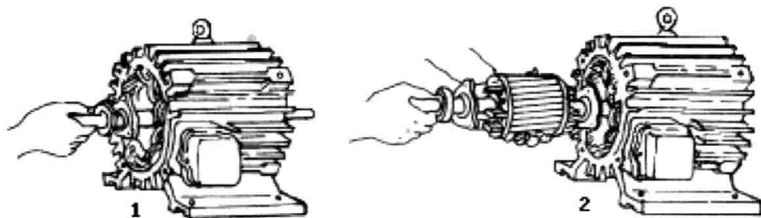


图 1-15 小型电机转子的拆卸

二、检修电动机

对异步电动机的定期维护和故障分析是异步电动机检修的基本环节，了解并掌握定期维修及故障分析的内容和方法是维修电动机的基本技能。对三相异步电动机的检修通常是一年进行一次，检修内容包括：

- ① 查电动机各部件有无机械损伤，若有则进行相应修复或更换。
- ② 对拆开的电动机进行清理，清除所有油泥、污垢。清理中，注意观察绕组绝缘状况。
- ③ 拆下轴承，浸在柴油或汽油中彻底清洗后，再用干净汽油清一遍。检查清洗后的轴承是否转动灵活，有无异常响声，内外钢圈有无晃动。根据检查结果，确定轴承是否进行更换。
- ④ 检查定子绕组是否存在故障。使用兆欧表测绕组绝缘电阻，绝缘电阻的大小可判断出绕组受潮程度或短路情况。若有，进行相应处理。
- ⑤ 检查定、转子铁心有无磨损和变形，若观察到有磨损处或发亮点，说明可能存在定、转子铁心相擦。可使用锉刀或刮刀将亮点刮低。
- ⑥ 对电动机进行装配、安装，测试空载电流大小及对称性，最后带负载运行。

三、装配电动机

1. 装配前的准备

先备齐装配工具，将可洗的各零部件用汽油冲洗，并用棉布擦拭干净，再彻底清扫定、转子内部表面的尘垢。接着检查槽楔、绑扎带等是否松动，有无高出定子铁心内表面的地方，并相应做好处理。

2. 装配步骤

按拆卸时的逆顺序进行，并注意将各部件按拆卸时所做的标记复位。

3. 主要部件的装配方法

(1) 轴承的装配

先将轴颈部分揩擦干净，把清洗好的轴承套在轴上，用一段钢管，其内径略大于轴颈直径，外径又略小于轴承内圈的外径，套入轴颈，再用手锤敲打钢管端头，将轴承敲进。也可用硬质木棒或金属棒顶住轴承内圈敲打，为避免轴承歪扭，应在轴承内圈的圆周上均匀敲打，使轴承平衡地行进，如图 1-16 所示。

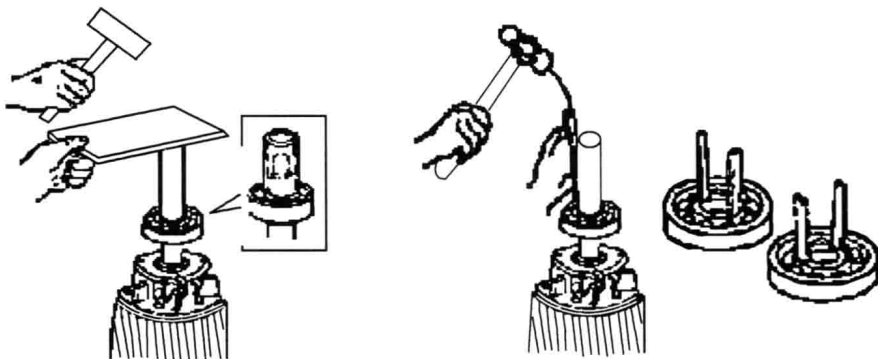


图 1-16 冷套法安装轴承

注意：安装轴承时，标号必须向外，以便下次更换时查对轴承型号。更换的轴承应与损坏的轴承型号相符。另外，在安装好的轴承中要按其总容量的 $1/3 \sim 2/3$ 容积加注润滑脂。

(2) 后端盖的装配

将轴伸端朝下垂直放置，在其端面上垫上木板，后端盖套在后轴承上，用木槌敲打，如图 1-17 所示。把后端盖敲进去后，装轴承外盖。

(3) 前端盖的装配

将前端盖套入转轴，在机座螺孔与前端盖对应的两个对称孔中穿入一个比轴承盖螺栓更长的吊紧螺钉，使内外轴承盖和端盖的对应孔始终拉紧对齐。待端盖到位后，先拧紧其余两个轴承盖螺栓，再用第三个轴承盖螺栓换下开始时用以定位的吊紧螺钉，如图 1-18 所示。

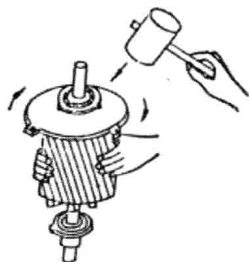


图 1-17 后端盖的装配

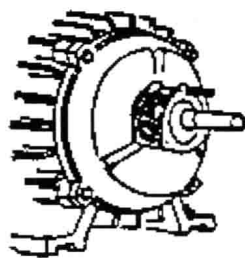


图 1-18 前端盖的固定

四、装配后检查

1. 机械检查

- ① 所有紧固螺钉是否拧紧。
- ② 用手转动转轴，转子转动是否灵活，无扫膛、无松动，轴承是否有杂音等。

2. 电气性能检查

① 三相绕组是否平衡。

② 电动机绝缘电阻测定：测定内容应包括三相相间绝缘电阻和三相绕组对地绝缘电阻，测得绝缘电阻大于 $1\text{ M}\Omega$ 为合格，最低限度不能低于 $0.5\text{ M}\Omega$ 。

五、通电检查

按要求接好电源线，在机壳上接好保护接地线，接通电源，观察电动机空载电流值，看是否符合要求。检查电动机运转中有无异常情况。

任务评价

序号	考核内容	考核要求	成绩
1	安全操作	符合安全生产要求，团队合作融洽（10分）	
2	拆卸电机	拆卸方法正确，顺序合理，定子绕组无碰伤、部件无损坏（20分）	
3	装配电机	装配方法正确，顺序合理，重要及关键部件清洗干净，装配后电机转动灵活（40分）	
4	电机检修	检修环节齐全、步骤规范，检修记录填写完整（20分）	
5	安装质量	电动机运行正常（10分）	

思考题

① 三相异步电动机主要由哪几部分组成？各部分的作用是什么？三相异步电动机的转子有几种类型？

② 电机的拆卸顺序是什么？

③ 电机进行检修的主要内容是什么？

任务2 三相异步电动机的运行原理分析

任务提出

给交流电动机通入三相交流电后电动机为什么就会旋转起来，电动机旋转方向和转速的大小与哪些因素有关？请分析它们之间的关系。

任务目标

① 掌握三相异步电动机的工作原理。

② 会分析三相异步电动机的运行过程。

任务分析

异步电动机转动原理如图 1-19 所示。根据电磁感应原理，鼠笼式转子在磁场 N、S 两级之间（图中只画出两根端部短接的铝导体条），当磁场向顺时针方向以 n_0 的转

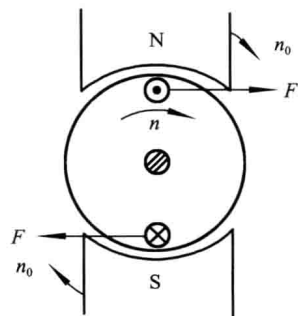


图 1-19 异步电动机转动原理示意图

速转动时, 转子中将产生感应电动势、感应电流, 按右手定则判定其方向, N 极下的导体电动势方向指出纸面, S 极下的导体电动势方向指向纸内, 这样载流导体在磁场中运动, 与磁场相互作用产生电磁力 F , 电磁转矩 T_e , 使转子以转速 n 旋转。可以看出转子的转向和磁极的转向是一致的, 但转子转速 n 小于磁场转速 n_0 , 因此把这种电动机称为异步电动机。结论: 欲使异步电动机旋转, 必须有旋转的磁场和闭合的转子绕组。

相关知识

怎样产生旋转磁场呢?



一、旋转磁场的产生

当电动机定子绕组通以三相交流电时, 绕组中的电流将产生磁场。由于电流随时间的变化而变化, 它们产生的磁场也将随时间的变化而变化, 三相交流电产生的合成磁场不仅随时间的变化而变化, 而且在空间是旋转的, 故称旋转磁场。

三相异步电动机的三相定子绕组 U_1U_2 、 V_1V_2 、 W_1W_2 , 首端用 U_1 、 V_1 、 W_1 表示, 末端用 U_2 、 V_2 、 W_2 表示, 它们在空间按相差 120° 电角度, 绕组星形连接的规律对称分布, 给这三相定子绕组通入对称的三相交流电:

$$i_u = I_m \sin \omega t \quad i_v = I_m \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \quad i_w = I_m \sin(\omega t - \frac{4\pi}{3})$$

为分析问题方便, 取流过 A 相绕组的电流 i_A 作为参考, i_A 的初相位为 0, 各相电流的瞬时值表示为 $U \rightarrow V \rightarrow W$, 如图 1-20 所示。

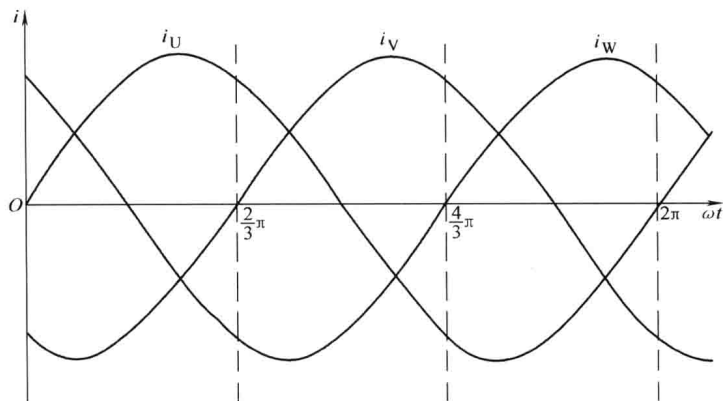


图 1-20 定子绕组中的交流电

下面结合图 1-21 来分析不同时刻电动机的合成磁场情况。

绕组中电流的实际方向, 可由对应瞬时电流的正负来确定, 我们规定: 当电流为正时, 绕组中实际电流方向从首端流入, 尾端流出; 当电流为负时, 绕组中实际电流方向从尾端流入, 首端流出。

当 $\omega t=0$ 时, $i_u=0$, U_1U_2 绕组无电流; i_v 为负, 电流实际方向与正方向相反, 即电流从 V_2 端流到 V_1 端; i_w 为正, 电流实际方向与正方向一致, 即电流从 W_1 端流到 W_2 端。按右手螺旋定则确定三相电流产生的合成磁场, 这个合成磁场此刻的方向是自上而下, 相当于一个 N 极在上, S 极在下的两极磁场, 如图 1-21 (a) 箭头所示。同理当 $\omega t=2\pi/3$, $4\pi/3$, 2π 时, 产生的合成磁场如图 1-21 (b)、(c)、(d) 所示, 合成磁场已从 $\omega t=0$ 瞬间所在位置顺时针方向旋转了 $2\pi/3$ 、 $4\pi/3$ 、 2π 。

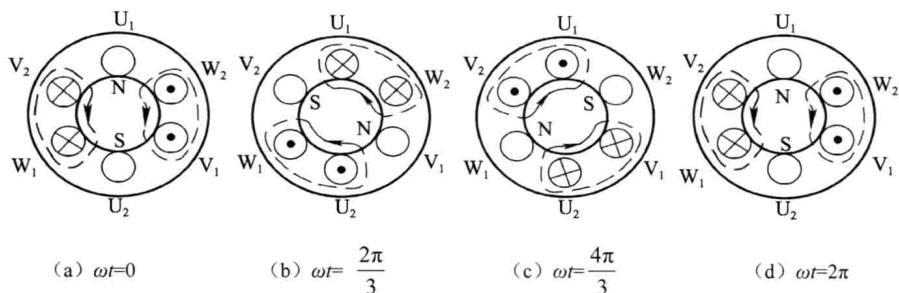


图 1-21 两极旋转磁场

以上分析说明：当正弦交流电变化一周时，合成的旋转磁场在空间正好旋转一周。

二、旋转磁场的旋转速度

以上讨论的旋转磁场，具有一对磁极（磁极对数用 p 表示）即 $p=1$ 。从上述分析可以看出，电流变化经过一个周期（变化 360° 电角度），旋转磁场在空间也旋转了一圈（转过了 360° 机械角度），若电流的频率为 f ，旋转磁场每分钟将旋转 $60f$ 转，即

$$n_0 = 60f \quad (1-1)$$

如果把定子铁心槽数增加 1 倍（12 个槽），每相绕组由两个部分串联组成，如图 1-22 所示。再将三相交流电接到这三相绕组，定子中便产生磁极对数 $p=2$ 的四极旋转磁场，如图 1-23 所示。

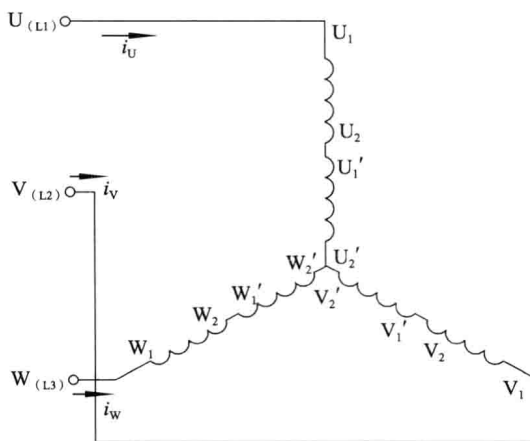


图 1-22 四极旋转磁场的定子绕组示意图

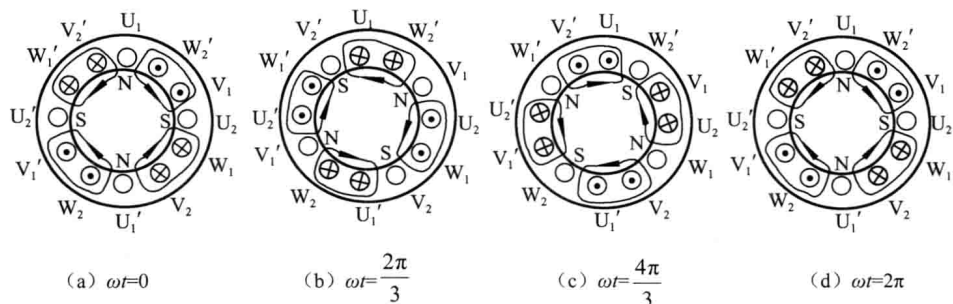


图 1-23 四极旋转磁场

从图 1-23 中可以看出, 对应于不同时刻, 旋转磁场在空间转到不同位置, 此情况下电流变化半个周期, 旋转磁场在空间转过了 $1/4$ 圈, 电流变化一个周期, 旋转磁场在空间只转了 $1/2$ 圈。

由此可知, 当旋转磁场具有两对磁极 ($p=2$) 时, 其旋转速度仅为一对磁极时的一半。以此类推, 当有 p 对磁极时, 其转速为

$$n_0 = \frac{60f}{p} \quad (1-2)$$

所以, 旋转磁场的旋转速度与电流的频率成正比而与磁极对数成反比。我国的电源标准频率 $f=50\text{Hz}$, 因此不同磁极对数的电动机所对应的旋转磁场转速也不同, 如表 1-1 所示。旋转磁场的转速 n_0 也称为同步转速, 转子的旋转速度称为电动机的转速, 用 n 表示。

表 1-1 磁极对数与磁场转速

磁极对数 p	1	2	3	4	5
磁场转速 $n_0 / (\text{r/min})$	3 000	1 500	1 000	750	600

三、旋转磁场的旋转方向

图 1-20 和图 1-21 中, 三相交流电的相序为 $U \rightarrow V \rightarrow W$, 旋转磁场的旋转方向也为 $U \rightarrow V \rightarrow W$, 即向顺时针方向旋转。

如果将接到定子绕组的三根电源线中的任意两根线对调, 例如, 将 V 、 W 两根线对调。此时旋转磁场的旋转方向将变为 $U \rightarrow W \rightarrow V$, 即向逆时针方向旋转, 与未对调前的旋转方向相反。读者可自己分析证明。

四、转差率 s 的计算

异步电动机中, 转子和旋转磁场之间的转速差 ($n_0 - n$) 是保证转子旋转的主要因素, 将转速差与旋转磁场的同步转速 n_0 的比值, 称为异步电动机的转差率, 用 s 表示, 即

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0} \quad (1-3)$$

转差率 s 是异步电动机的一个重要的物理量。

在电动机起动瞬间, 转子的起动转速 $n=0$, 这时转差率 $s=1$ 。运行时, 电动机转速 $n < n_0$, 转差率 $s < 1$ 。所以, 转差率 s 的变化范围在 $0 \sim 1$ 之间。随着转子转速的升高, 转差率变小。异步电动机在额定状况运行时, 电动机转速与同步转速很接近, 转差率很小, 转差率一般为 $0.01 \sim 0.07$ 。

例 1-1 有一台三相异步电动机, 其额定转速 $n=1\,440 \text{ r/min}$, 电源频率 $f=50 \text{ Hz}$, 求电动机的极数和额定负载时的转差率 s 。

解: 由于电动机的额定转速接近而略小于同步转速, 而同步转速对应于不同的极对数有一系列固定的数值。显然, 与 $1\,440 \text{ r/min}$ 最相近的同步转速 $n_0=1\,500 \text{ r/min}$, 与此相应的磁极对数 p 为

$$p = \frac{60f}{n_0} = \frac{60 \times 50}{1500} = 2$$

额定负载时的转差率为

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0} \times 100\% = \frac{1\,500 - 1\,400}{1\,500} \times 100\% = 4\%$$