

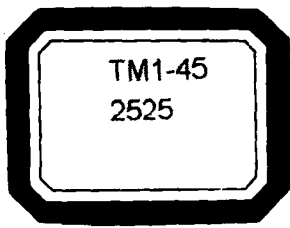
高等工程专科学校电工 电子实习系列教材

电工实习(Ⅱ)

牛维扬 主编



中国电力出版社



高等工程专科学校电工、电子实习系列教材

电 工 实 习 (Ⅱ)

牛维扬 主编

中 国 电 力 出 版 社

内 容 提 要

本书为《高等工程专科学校电工、电子实习系列教材》之一。全书共四个单元,包括鼠笼式异步电动机的检修、小型直流电动机与变压器、成套配电装置与电气控制柜的安装调试、高压开关的检修。每个单元均围绕实习项目介绍应用知识及实际操作方法,适当介绍必需的基本理论知识。各单元附有思考题与习题。

本书可作为高等工程专科学校电力、电子类专业电工实习教材,以及电工技术类课程实践训练的辅助教材,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工实习(Ⅱ)/牛维扬主编.-北京:中国电力出版社,
1996

高等工程专科学校电工、电子实习系列教材
ISBN 7-80125-178-4

I. 电… II. 牛… III. 电工技术-实习-高等学校-
教材 IV. TM-45

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 10810 号

中国电力出版社出版、发行
(北京三里河路 6 号 邮政编码 100044)
北京市地矿局印刷厂印刷
各地新华书店经售

1996 年 10 月第一版 1996 年 10 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 10.5 印张 233 千字
印数 0001—5070 册 定价 12.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

高等工程专科学校电工、电子实习教材 编委会名单

编委会主任 邱坤荣
编委会副主任 牛维扬 李顺汀 施 复
编委会委员 王晓天 胡宴如 陈小虎 郭永贞

本册编写人员名单

主 编 牛维扬
参 编 王克勤 宋维宁

ABE 17/04

序 言

实践性教学在工程专科人才培养中有着特殊重要的地位。近十年来,为落实国家教委[1993]3号文件《关于加强普通高等专科教育工作的意见》精神,各高等工程专科学校在实践教学环节、内容和方法诸方面的深化改革上,都做了大量工作。其中,建设具有综合性、工程性的校内实习基地一项,已逐渐形成工程专科办学的一些特点。

在总结各高等工程专科学校实践教学改革经验的基础上,国家教委的[1993]185号文决定建设电工、电子、建筑工艺等三个校内实习基地,制定了《教学基本要求》和《实习基地评估指标体系》,以便推动对电类、土建类专业学生进行基本工程能力和工程素质的培养和训练。经过两年多的实践,有关学校都投入大量资金和人力,积极进行基地建设,这对学生完成专业基本工作能力的培养有明显作用。

江苏省教育委员会教学处在进行电工、电子实习基地检查评估的基础上,为进一步提高实习教学质量,规范实习内容,牵头组织编写了“高等工程专科学校电工、电子实习系列教材”。这是一套针对工程专科教学特点而编写的实习教材,以自学和实践训练为主进行教学,以使学生在训练和自学中提高工程素质、自学能力和综合分析、解决实际工程问题的能力,这个大方向是应予充分肯定的,是做了一项重要的贡献。

希望随着专科教学改革的深入,专科教学能更着眼于培养面向21世纪的工程技术应用型人才(综合性复合型人才),多产生适合需要的教材,从而形成工程专科特有的教材体系,办出工程专科的特色。

刘志鹏

1996年2月

前 言

江苏省教育委员会根据国家教育委员会 [1994] 99 号和 153 号通知要求, 于 1995 年 2 月底组织专家组对全省七所普通高等工程专科学校和职业大学电工、电子实习基地建设和教学情况进行了检查评估。评估表明, 参检学校都积极进行了电工、电子校内基地建设, 并已初具规模; 电工、电子实习教学普遍受到教师重视和学生欢迎, 一致认为这是进行工程师初步训练必不可少的环节。但由于基地建设时间不长, 缺少经验, 对教学基本要求、实习内容和项目选择等方面尚不统一, 大家希望能编写一套教材, 以确定统一的教学内容, 保证教学水平, 提高教学实习质量。为此, 江苏省教委经国家教委高教司同意, 决定成立以国家教育委员会普通高等工程专科教学改革咨询评议委员会副主任、江苏省教育委员会高校教学处处长邱坤荣教授为主任, 南京电力高等专科学校副校长牛维扬副教授、南京动力高等专科学校副校长李顺汀副教授、南京机械高等专科学校副校长施复副教授为副主任, 以王晓天、胡宴如、陈小虎、郭永贞为成员的编委会, 组织编写“高等工程专科学校电工、电子实习系列教材”。

电工、电子实习是高等工程专科电类专业学生在校期间获得工程师素质培养的基本环节, 是电类学生必须具备的基本能力。为此, 本系列教材的编写, 是以国家教育委员会高教司 [1994] 99 号文, 即《高等学校工程专科电工 (电子) 实习教学基本要求 (试行)》(以下简称《基本要求》) 以及试行的评估指标体系为根据, 紧扣高等工程专科电类专业培养目标和对本专业的基本要求, 努力体现工程专科的特色。经过大家努力, 本教材在以下三方面具有自己的特点:

(1) 三个“注意到”: 注意到教材内容的先进性和必需够用的理论分析, 以区别于技工培训教材; 注意到作为实习教材, 应以技能训练为主; 注意到学生通过自学、实践、教学指导, 应获得工程师的初步训练。

(2) 按“训练项目”组织教材内容, 以使学生在综合性较强的工程环境中接受教育。为完成训练项目所必需的基本知识、基本技能和相关的工程知识, 教材按其内在联系规律组成每单元的教学内容。各单元教学内容既按《基本要求》构成应用能力培养系统, 但又相对独立, 可供不同学校选用。

(3) 符号、图表使用新颁国家标准, 文理通顺, 便于自学。

本系列教材分为 I、II、III 册, I、II 册是实习基本内容 (不同专业可以选用), 第 III 册为实习知识和技能的测试题, 将随后出版。

本系列教材在编写过程中得到国家教育委员会高教司工科处、江苏省教委高校教学处的指导, 也得到南京电力高等专科学校、南京动力高等专科学校、南京机械高等专科学校、扬州大学水利学院、盐城工业专科学校的支持和配合, 在此一并表示衷心感谢。

《高等工程专科学校电工、电子实习系列教材 电工实习（Ⅰ）》共四个单元，内容包括鼠笼式三相异步电动机的检修、小型直流电动机与变压器、成套配电装置与电气控制柜的安装调试、高压开关的检修，每个单元后附有思考题与习题，习题前打“*”号，表示选做的操作题。每个单元均围绕实习项目介绍应用知识及实际操作方法，并适当介绍必需的基本理论知识。实习项目侧重于电工基本技能的训练，在项目组织上尽量体现到综合性、工程性，以达到初步培养工程技术应用能力的目的。本书由南京电力高等专科学校牛维扬任主编，并编写第六、七单元；第八单元由南京动力高等专科学校王克勤编写；第九单元由南京电力高等专科学校宋维宁编写。

实施《面向 21 世纪普通高等工程专科教学内容和课程结构体系改革计划》，是教学改革的重点和难点所在，其最后要落脚在改革方案和教材上。这次组织编写电工、电子教学实习系列教材是面向 21 世纪、面向实际的一次尝试，一定会有不少不足或不妥之处，恳请方家批评指正。

邱坤荣

1996 年 1 月 31 日于南京

目 录

序言

前言

第六单元 鼠笼式三相异步电动机的检修	1
第一节 异步电动机的拆装及运行维护.....	1
一、概述；二、异步电动机的拆卸；三、异步电动机的组装；四、异步电动机的运行维护	
第二节 三相交流电动机绕组基本知识.....	5
一、单层同心式绕组；二、单层链式绕组；三、单层交叉链式绕组；四、三相双层叠绕组	
第三节 小型异步电动机定子绕组的重绕与更换	11
一、记录旧电动机有关技术数据；二、旧绕组拆除方法；三、线圈绕制；四、嵌线与接线；五、绝缘处理简介	
第四节 异步电动机常见故障检查及局部修理	18
一、概述；二、绕组故障的检查和局部修理；三、鼠笼转子断条检查及处理；四、异步电动机常见故障及处理方法	
第五节 异步电动机修后检查试验	23
一、对电动机绕组的检查试验；二、电动机总装后的检查试验	
思考题与习题	28
第七单元 小型直流电动机与变压器	29
第一节 小型直流电动机的使用与维护	29
一、一般知识与结构简介；二、直流电动机励磁方式与接线图；三、直流电动机的维护与修理	
第二节 小型单相变压器的计算与制作	35
一、结构简介；二、小型单相变压器的计算；三、小型单相变压器制作及检测	
第三节 100kVA 配电变压器的拆装检修	48
一、配电变压器主要结构；二、配电变压器检查项目；三、变压器吊芯检修；四、变压器常见故障、原因及处理	
思考题与习题	57
第八单元 成套配电装置和电气控制柜的安装调试	59
第一节 电气读图基本知识	59
一、电气图的分类与用途；二、电气图形标准；三、电气图的一般特点	
第二节 电气读图训练	63
一、三相异步电动机正反转起动控制线路；二、电气系统图的阅读；三、二次回路图的阅读	
第三节 成套配电装置的安装与调试	82
一、成套配电装置的认识；二、低压配电盘的安装接线；三、二次线的检查与试验	
第四节 电气控制柜的安装与调试	99
一、C620-1 型车床电气控制柜的安装与调试；二、M7130 型平面磨床电气控制柜的安装与调试	

思考题与习题	105
第九单元 高压开关的检修	107
第一节 概述	107
一、常用高压开关设备的类型及用途；二、开关设备的型号含义；三、开关设备的技术参数；	
四、开关设备的操动机构；五、SN10 系列断路器的基本结构	
第二节 SN10 系列断路器的检修与调整	124
一、检修周期；二、检修项目；三、检修工具；四、断路器高压导电回路的拆卸；五、高压导电回路的检修与质量标准；六、高压导电回路的组装；七、断路器有关参数的调整	
第三节 CD10 型电磁操动机构的检修	131
一、分、合闸电磁铁的检修与调整；二、连杆系统的检修与调整；三、辅助开关的检修与调整；	
四、合闸接触器的检修与调整；五、断路器控制回路接线	
第四节 SN10 系列断路器与 CD10 型直流电磁操动机构的试验	134
一、CD10 型直流电磁操动机构的试验；二、分、合闸速度测量；三、分、合闸时间测量；四、高压导电回路接触电阻测量	
第五节 常见故障的原因及处理方法	139
一、断路器本体部分；二、直流电磁操动机构部分	
思考题与习题	141
附录 A Y 系列小型异步电动机简介	142
附录 B 常用漆包圆导线线规表	146
附录 C Z2 系列直流电动机简介	148
附录 D 10kV 级 SL7 系列电力变压器简介	150
附录 E 高压开关柜主要技术数据	152
附录 F PGL 系列低压配电盘	154
附录 G SN10 系列断路器技术数据和大修报告	156

第六单元 鼠笼式三相异步电动机检修

基本要求：本单元通过对鼠笼式小型异步电动机拆装、维修、检查试验等训练，使学生掌握鼠笼式电动机基本结构，能够独立拆装小型异步电动机，了解该电动机使用的材料以及初步判断故障的方法，从而具有初步使用维护电动机的基本能力。

第一节 异步电动机的拆装及运行维护

一、概述

鼠笼式异步电动机结构简单、工作可靠、维修方便、寿命长而价格低，还具有令人满意的工作特性，因此是目前应用最广泛的一种电动机。它通常做成三相的，用于工农业生产等场合；1kW以下的电动机，也做成单相的，在日用电器、仪器仪表及办公用具等场合用作驱动电动机。这里仅介绍三相异步电动机。

图 6-1 为一台拆卸开的鼠笼式三相异步电动机。由图 6-1 可见，它由定子（包括定子铁芯、三相绕组和机座等部分）、转子（包括转子铁芯、鼠笼绕组、转轴及风扇等部分）以及其它一些结构部件组成。为保证转子能自由转动，在定子铁芯内圆与转子铁芯外圆之间，留

电动机的铭牌

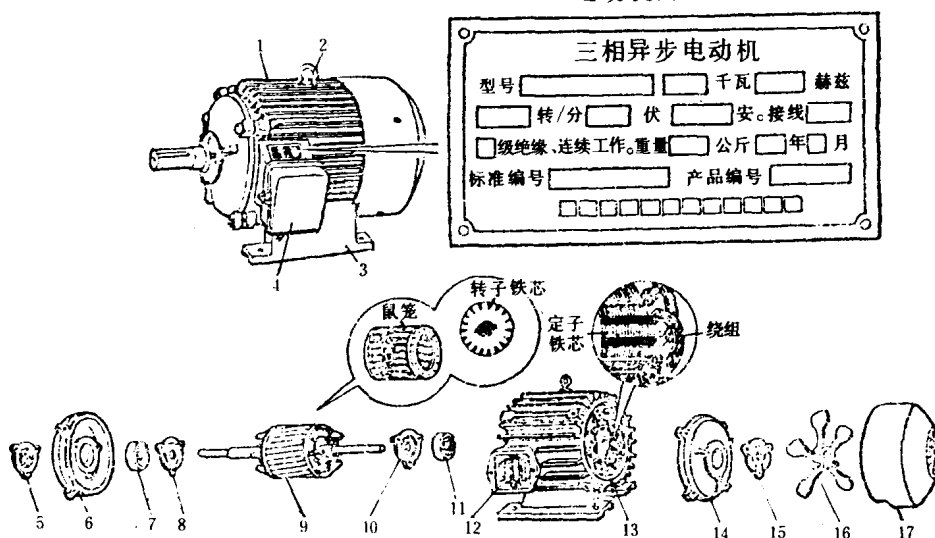


图 6-1 鼠笼式三相异步电动机的结构图

1—散热筋；2—吊环；3—机座；4—接线盒；5—前轴承外盖；6—前端盖；7—前轴承；8—前轴承内盖；9—转子；10—后轴承内盖；11—后轴承；12—接线板；13—定子；14—后端盖；15—后轴承外盖；16—风叶；17—风罩

有均匀的、必要大小的空气隙。从满足电机性能上讲，气隙小些好；但从加工、装配等工艺要求上讲，气隙不可能太小。通常，异步电动机气隙在 $0.2 \sim 2\text{mm}$ 范围内。为保证气隙的大小和均匀，小型异步电动机都采用端盖轴承结构，即依靠转轴与轴承、端盖止口与机座止口、定子铁芯外圆与机座内膛等处的机械加工精度和尺寸配合来实现，为此，在拆装和维修电机时，必须保证这些尺寸的完好无损。

在电动机出线盒的上方，钉有该电动机的铭牌。在铭牌上写有该电动机的简要数据，例如型号、功率、电压、电流、接线方式……等，称为额定数据，是电动机运行时应当遵循的数值。电动机在额定数据情况下运行时，称为额定运行状态，它可以保证电动机运行性能和寿命达到国家标准规定水平。三相异步电动机定子三相绕组与电源相接，就电动机绕组内部连接成三相的方式看，有Y形和 Δ 形两种。图6-2表示电动机在出线板上接成Y形或 Δ 形的两种连接办法。

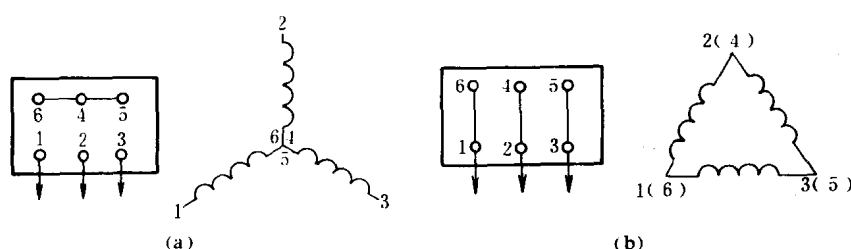


图 6-2 电动机三相绕组连接方式

(a) Y 接法；(b) Δ 接法

二、异步电动机的拆卸

维护和检修异步电动机，首先应会正确拆卸电动机。不正确的拆卸方法会损伤电机，甚至扩大故障，增加修理难度。要正确拆卸电动机，可把握下述要点。

1. 拆卸前的检查

拆卸电动机前，应进行必要的检查，并做好记录，以便作为判定组装后电动机是否恢复到原状态的依据。根据检修任务要求，可选择以下常规检查项目。

(1) 外观检查。观察机座、端盖、风扇等零部件是否有裂纹、损伤；检查转轴是否弯曲；转子可否灵活转动；轴承是否松动或卡死。

(2) 测量绝缘电阻。用兆欧表测量各相对地、各相绕组间的绝缘电阻，其值应大于 $0.5\text{M}\Omega$ ，否则说明绕组已受潮。

(3) 测量绕组直流电阻。用电桥或万用表进行测量，三相电阻差别应不大于平均值的 2% ，否则说明某相存在短路。

2. 电动机拆卸的一般程序及注意事项

为维修而拆卸电动机，往往是单台拆卸，因此对卸下来的零部件、螺杆、螺母等均要妥善保管；拆卸端盖、轴承盖时，要在恰当位置做好记号，以便组装时复位。小型异步电动机转子尚不太重，往往只须拆卸传动端的轴承盖及端盖、皮带轮等，即可将转子连同风扇端端盖整体抽出来。具体拆卸步骤如下。

- (1) 拆卸电动机地脚螺钉、接地线以及一切外部接线。
- (2) 拆卸电动机传动端皮带轮或联轴器、轴承等。
- (3) 从风扇侧整体抽出转子。

对电动机拆卸时，应注意以下事项。

(1) 皮带轮、联轴器、轴承的拆卸，要使用专用拉具。图 6-3、图 6-4 表示用拉具拆卸皮带轮和轴承的使用方法。使用拉具时，拉脚应均匀对称布置，拉具丝杠应对准轴中心线上的顶尖孔，转动丝杠时应缓缓转动。拆卸皮带轮时拉脚应钩住轮外缘；拆卸轴承时，卡脚应卡在轴承内圈上。

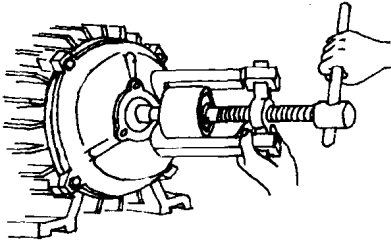


图 6-3 用拉具拆卸皮带轮

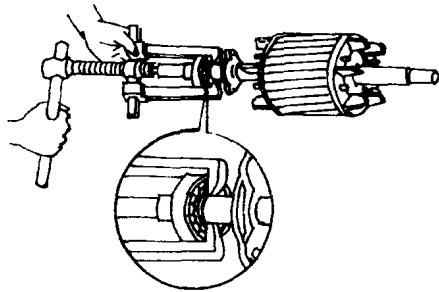


图 6-4 用拉具拆卸轴承

(2) 拆卸端盖时，要注意保护好端盖止口和机座止口。首先卸下端盖紧固螺钉，再沿端盖四周轻敲端盖边缘，使端盖与机座逐渐分离，切忌猛敲猛撬！

(3) 抽出转子时，要严防碰伤绕组端部。要使转子沿转轴中心线平行移动，不可斜着往外抽。稍大些电动机，转子自身较重，则要使用抽转子专用设备。图 6-5 示出大、中型电动机转子抽出方法及专用设备，供参考。

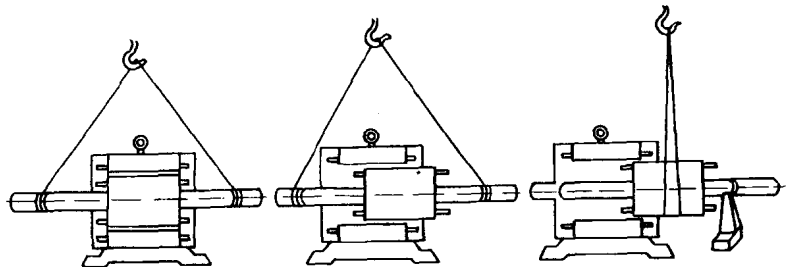


图 6-5 大、中型电动机转子抽出方法

三、异步电动机的组装

电动机修理后的组装顺序，大致与拆卸时相反。组装时要注意使原拆卸时做好的记号复位。具体组装步骤如下：

(1) 清理铁芯内膛、绕组端部、槽口，应无杂物或突起的绝缘材料；灰尘应用压缩空气吹净。

(2) 端盖安装要靠端盖止口和机座止口配合定位，不可硬性敲入，也不可靠端盖螺钉硬性拉入，端盖螺钉的主要作用是拉紧机座与端盖。在拧紧端盖螺钉时，应按对角线上的

螺钉逐次拧紧的方法操作，不可一次就完全拧紧某个螺钉，否则会使端盖安装不正。

(3) 轴承应清洗后安装。清洗轴承时，先刮去轴承和轴承盖上的残留废油脂，再用煤油清洗，用干净布擦干。清洗后的轴承要检查是否损坏，检查时可用手拨动轴承外圈，看转动是否灵活、平稳，有否卡死或松动现象。要仔细检查滚道、保持架、滚珠（滚柱）表面是否有锈斑、疤痕、裂纹等。不合格的轴承一定要更换。

安装轴承前，要在轴承滚珠间隙中及轴承盖内装填洁净的润滑脂，一般只装到空腔容积的 2/3。轴承安装可采用用套管将轴承敲入轴颈或热套法这两种办法，如图 6-6 所示。使用热套法加热轴承时，油温不要超过 120℃，以免降低轴承硬度。由于每拆装一次轴承都会影响轴承质量，所以维修时一般不要轻易拆卸轴承。

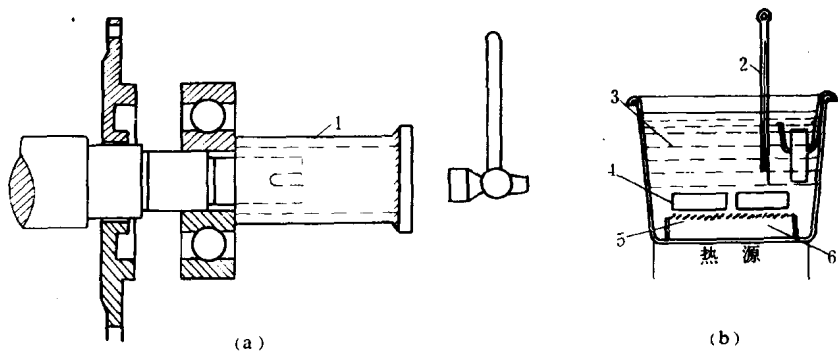


图 6-6 轴承安装方法

(a) 用套管安装轴承；(b) 热套法

1—套管；2—温度计；3—润滑油；4—轴承；5—钢丝网；6—污物集结处

表 6-1 给出中小型电动机滚动轴承常用润滑脂的牌号、性能和应用场合，供维修时选用润滑脂。

表 6-1 中小型电动机滚动轴承润滑脂选用表

名 称	钙基润滑脂				钠基润滑脂		钙钠基润滑脂		复合钙基润滑脂				复合铝基润滑脂	二硫化钼润滑脂
牌 号	SYB1401-62				SYB1402-62		SYB1403-59		SYB1407-59					SYB $\frac{101}{103}$
序 号	1	2	3	4	1	2	1	2	1	2	3	4		
最高工作温度 (℃)	70	75	80	85	120	140	110	125	170	180	190	200	200	200
最低工作温度 (℃)	不低于-10				不低于-10		不低于-10		不低于-40				—	不低于-40
外 观	黄色到暗褐色 软膏状				深黄色到 暗褐色软膏 状		黄色到深 棕色软膏状		淡黄色到暗褐 色透明油膏状				黄褐色软膏状	灰色或褐色光 泽软膏状
抗 水 性	不易溶于水， 抗水性较强				易溶于水， 亲水性强		抗水性弱		抗水性强				抗水性强	抗水性强
适用场所	一般工作温 度，有水分或 与水接触的条 件，适用于封 闭式电动机				较高工作 温度，清洁、 无水分条件 ，适用于开 启式电动机		较高工作 温度有水蒸 气条件下， 适用于开启 式及封闭式 电动机		高温工作条 件，有水接 触或严重水 分的场所， 适用于封闭 式电动机				高温工作条 件下有水接 触及严重水 分场所，适 用于开启式 及封闭式电 动机	

四、异步电动机的运行维护

1. 起动前常规检查

(1) 长期不用的电动机，使用前应用 500V 兆欧表检查绕组绝缘电阻，阻值不得低于 $0.5\text{M}\Omega$ ，否则应干燥处理。

(2) 检查地脚螺栓及各接触螺栓、螺母是否拧紧，用压缩空气吹掉灰尘，尤其要除去电动机内部杂物。

(3) 检查电动机铭牌电压、频率、使用条件等与现场情况是否相符，接地线是否可靠、电源线是否合适等。

(4) 检查轴承油脂是否合适。

(5) 对要求转向确定的电动机，起动前还应检查转向标志，注意电动机实际转向与要求是否一致。

2. 电动机运行监视与维护

(1) 应经常保持电动机清洁、干燥，不允许有油污、水滴、飞尘进入电动机内部。

(2) 监视电动机负载工作电流，一般不允许超过额定值。一旦超过，应查明原因并判断是否能继续运行。

(3) 经常巡视、检查轴承发热、机组漏油等情况。

(4) 监视电动机铁芯、绕组、轴承等处温升，不得超过允许值。电动机各部分允许温升值视电动机绝缘等级而定，国家标准对此有明确规定，如表 6-2 所示。

表 6-2 小型鼠笼式异步电动机允许温升（周围环境温度 +40℃）

电动机部位	E 级 绝 缘				B 级 绝 缘			
	最高允许温度 (℃)		最大允许温升 (℃)		最高允许温度 (℃)		最大允许温升 (℃)	
	温度计法	电阻法	温度计法	电阻法	温度计法	电阻法	温度计法	电阻法
定子绕组	105	115	65	75	110	120	70	80
定子铁芯	115		75		120		80	
滚动轴承	95		55		95		55	

(5) 电动机运行中不应有摩擦声、尖叫声及其它杂声，若有不正常声响，应及时停车检查，并排除之。

(6) 各种型式的电动机都必须保持通风状况良好，电动机进风口及出风口必须保持通畅，以利通风。

第二节 三相交流电动机绕组基本知识

绕组是电动机的“心脏”部分，是感应电势、流通电流进行机电能量转换的关键部件。同时，它又是最容易发生故障的部分，通常，对电动机的修理，绝大部分工作是对电动机

绕组进行修理。

对故障的电动机绕组进行修理，有时只需进行局部修补即可恢复正常工作；有时则需重新更换全部定子绕组。无论是进行绕组局部修补，还是重新更换绕组，都需要对三相交流绕组的基本理论和结构有所了解。本节将从绕组构成原理及结构上，分析三相交流电动机绕组结构、嵌线特点和规律，以有助于进行电动机绕组的修理。

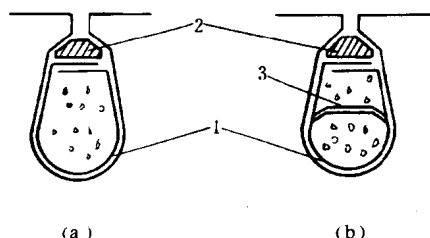


图 6-7 单层与双层绕组

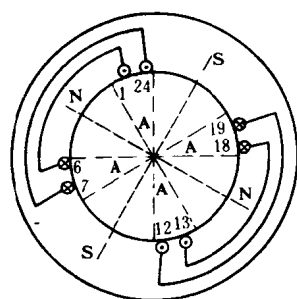
(a) 单层绕组；(b) 双层绕组

1—槽绝缘；2—槽楔；3—层间绝缘

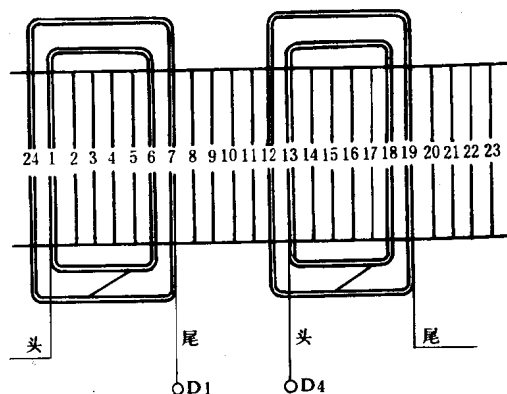
异步电动机的定子绕组是三相对称交流绕组，即三相绕组具有相同的结构和匝数，但空间彼此错开 120° 空间电角度。根据嵌入铁芯槽内有效边数，交流绕组可以分成单层绕组和双层绕组两类，如图 6-7 所示。根据绕组端部的连接方式不同，单层绕组又可分成同心式、链式、交叉式等不同型式；双层绕组则分成叠绕组和波绕组两种。根据绕组线圈节距大小，双层绕组又可分成整距绕组和短距绕组两种。三相异步电动机多采用双层短距叠绕组和单层绕组，现分述如下。

一、单层同心式绕组

同心式绕组的形状特点是：同一个极相组的线圈，大圈与小圈“同心”地套置在一起，嵌入铁芯槽中，如图 6-8 所示。图 6-8(b) 给出三相四极 24 槽同心式绕组的一相展开图。该绕组每极下每相占据的槽数 $q = 24 / (2 \times 3) = 2$ 。因单层绕组每槽仅放置一个有效边，而两个相带才构成一个极相组，故每相绕组的极相组数等于极对数 P 。这种“极相组数=极对数”的单层绕组，在连接相绕组时，应采用“头接尾、尾接头”（顺接）的接线规律，才能保证全部线圈电势串联相加构成相电势。



(a)



(b)

图 6-8 同心式绕组（第一相）

(a) 端视图；(b) 展开图

图 6-9 给出三相同心式绕组展开图，由图 6-9 可见，其嵌线特点是：① 全部 6 个极相组线圈中，有半数的端部压在另半数极相组端部之上，为此，处在下部的三个极相组端部

应向铁芯轭处压弯、整形，以便腾出空间使处于上部的 3 个极相组端部便于放置，最终使端部喇叭口平面低于铁芯内圆表面。例如图 6-9 中 1 和 3 极相组端部应压弯，以便使 2 极相组端部放置。② 嵌线时应首先将 3 个下部极相组嵌好并整形，然后嵌放另 3 个上部极相组。③ 每个极相组端部伸出铁芯长度在铁芯两侧不相等，一侧较长，另一侧较短。为保证三相阻抗对称，每相的二个极相组，若一个在左侧伸出较长，则另一个应为右侧伸出较长，以保证三相绕组依然是对称的。

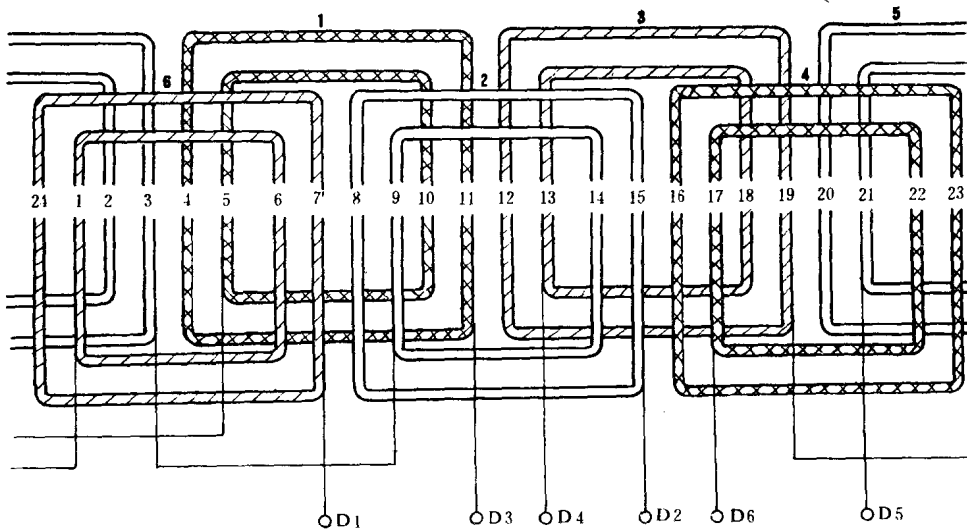


图 6-9 三相同心式绕组展开图 (4 极 24 槽)

二、单层链式绕组

线圈的直线部分嵌入铁芯槽内，是产生电磁作用、进行机电能量转换的有效部分，因此只要保证直线部分电流分布情况不变，端部如何连接并不会改变磁场性质和状态。为此，可将同心式绕组 (图 6-8) 的大线圈端部断开，并向两侧连接构成新的线圈，从而得到四个极相组的链式绕组，如图 6-10 所示。这样就变成了“极相组数=极数”的单层绕组，它的每相绕组各极相组间的连接规律是“头接头、尾接尾” (反串连)，这样才能保证全部相绕

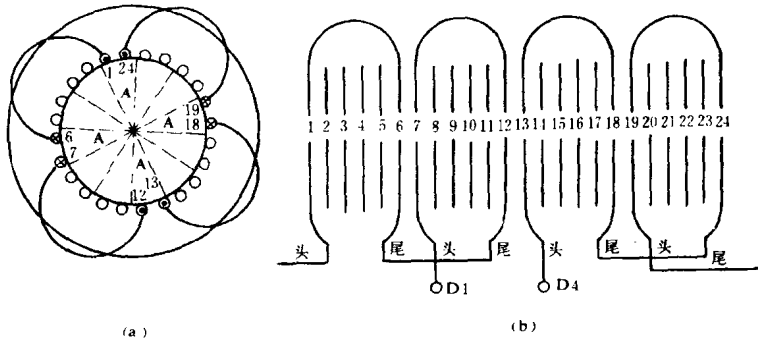


图 6-10 单层链式绕组 (一相)

(a) 端视图; (b) 展开图

组的线圈电势串联相加。

单层链式绕组是等元件绕组，制造线圈方便，且线圈跨距和端部长度均较短，省铜线是其优点。图 6-11 示出三相链式绕组展开图，由图 6-11 可见，其嵌线特点是：① 存在着“吊把线圈”。当 1、2 极相组下层边嵌入 6、8 槽后，其上层边应压在 11、12 极相组下层边之上，为此应等待 2、4 槽嵌好下层边之后，才可嵌放 1、2 极相组的下层边。这样，1、2 极相组的上层边应垫好绝缘，空悬在铁芯内圆上，称为吊把线圈。② 此种绕组的嵌线规律是“嵌一槽，空一槽”。如嵌放 1 极相组下层边 6 之后，空 7 槽；再嵌 2 极相组下层边 8，再空 9 槽；嵌 3 极相组下层边 10 之后，再空 11 槽……如此继续。注意，因 3 极相组上层边只压住 6、8 槽，当 1、2 极相组下层边嵌好之后，6、8 槽已嵌放线圈边，所以从 3 极相组上层边开始，此后各极相组嵌放，上、下层边均可一次嵌好。

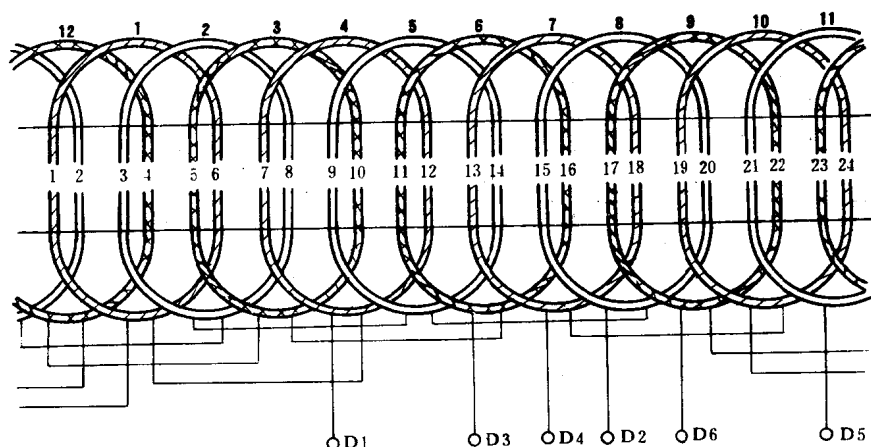


图 6-11 三相链式绕组展开图 (4 极 24 槽)

三、单层交叉链式绕组

同心式绕组适用于 $q=2$ 的二极电机，嵌线时工艺较方便；链式绕组较同心式绕组节省铜线，适用于 $q=2、4$ 的四极及以上极数的电机；当所需绕组 $q=3$ 时，则往往选用单层交叉链式绕组。

图 6-12 示出四极 36 槽单层交叉式绕组 (第一相) 展开图。此绕组 $q=36/(4 \times 3)=3$ ，若采用同心式，则需绕制大、中、小三种线圈，工艺复杂；若采用链式，因 q 为奇数而不能实现；采用交叉式时，线圈由“2 大 1 小”构成。单层交叉式绕组中每个极相组线圈数不同，但“极相组数=极数”，故其每相各极相组间的连接规律仍同于链式，即“头接头、尾接尾” (反串联)。

图 6-13 示出三相交叉链式绕组展开图及其端部排列图，可见其嵌线特点是：① 嵌线规律是“嵌 2 个元件后空 1 槽，嵌 1 个元件后空 2 槽”。如图 6-13(b) 所示，当嵌 1 极相组的 2 个元件下层边后，空 11 槽；当再嵌 2 极相组的 1 个元件下层边后，空 13、14 二个槽……如此继续。② 由图 6-13(b) 可见，3 极相组线圈的上层边压在 1、2 极相组线圈下层边之上，因此，1 及 2 极相组的三个线圈上层边为吊把线圈，从 3 极相组线圈开始，此后各线圈嵌放二个边可以一次嵌完。