

工学结合

中等职业教育课程改革规划新教材

理实一体

电机及其应用

葛永国 主编

DIANJI JIQI YINGYONG



赠电子教案



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

掌握就业的技能

体验学习的快乐



中等职业教育课程改革规划新教材

电机及其应用

主 编 葛永国

副主编 程 鹏

参 编 姚锦卫 付丽芬 朱玉冉

王会东 张顺新



机械工业出版社

本书为理论与实践一体化教材。通过对机电类专业岗位群所需知识与技能进行分析,将培养学生的操作技能的实训穿插于基本理论知识的讲述过程中,体现“做中学、学中做”的职业教育特色,意在培养学生的学习兴趣,为其毕业后顺利就业打下基础,同时培养学生主动探索知识、理论联系实际的良好习惯。

全书共分9章,包括:直流电机的结构和原理;直流电机的特性与应用;三相异步电动机的结构和原理;三相异步电动机的特性与应用;三相异步电动机的运行维护与故障检修;单相异步电动机;电力拖动系统中一些问题的讨论;三相同步电机及其他电机简介;变压器应用与维修。每章以“学习目标”概括全章内容,使读者一目了然;每节及实训后有思考与分析,以利于学生总结与深化。

本书可作为职业院校的机械、数控、机电技术应用、电工电子等专业的教材,也可作为维修电工考证培训用书或在岗人员的自学用书。

为了方便教学,本书配有电子教案,供选本书作为教材的单位免费索取,可登录www.cmpedu.com下载。

图书在版编目(CIP)数据

电机及其应用/葛永国主编. —北京:机械工业出版社, 2009. 8

中等职业教育课程改革规划新教材

ISBN 978-7-111-27912-9

I. 电… II. 葛… III. 电机学—教材 IV. TM3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 130740 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:王 娟 责任编辑:王 娟 责任校对:樊钟英

封面设计:马精明 责任印制:李 妍

北京铭成印刷有限公司印刷

2009 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·13 印张·315 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-27912-9

定价:23.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)88379934

封面无防伪标均为盗版

前言

本书是依据《教育部关于进一步深化中等职业教育教学改革的若干意见》等教育部文件编写的。在编写过程中,借鉴最近颁布的《教育部关于印发中等职业学校机械制图等9门类专业基础课程教学大纲的通知》的指导精神,坚持“做中学、做中教”,积极探索理论和实践相结合的教学模式,突出职业教育特色,强化学生的实践能力和职业技能培养,提高学生的实际动手能力,实现了理论与实践一体化。

“电机及其应用”是中等职业学校机电类专业的一门重要的专业课程,理论要求较高,往往难以引起学生的学习兴趣。基于以上情况,本书尽量简化理论,注重基础知识的应用,并将与生产生活实际紧密结合的实训项目穿插在理论知识的学习过程中,让学生参与实践,感受到动手做的乐趣,主动去探索知识,掌握职业技能,为其以后走向工作岗位打下基础。实训项目实现容易,所用器材便宜、常见,同时加入了职业资格证书考核内容,具有很强的实用性和可操作性。每个实训项目后,结合实训内容设有思考与分析,以培养学生实际问题、学以致用能力,利于学生职业生涯的可持续发展。

全书共分9章,每章以“学习目标”概括全章内容,使读者对本章内容及要求一目了然;每节及实训后有思考与分析,方便学生总结与深化,培养学生解决实际问题的能力;所涉及的电机包括直流电机、三相异步电动机、单相异步电动机、三相同步电机、无刷直流电动机、步进电动机、伺服电动机和单相串励电动机;最后一章对变压器的应用与维修进行了简单介绍。

本书参考学时约为80学时,各个学校可根据自己的专业方向,选讲有关内容。授课过程中,要以问题引导学生,让学生独立完成实训项目。

本书由葛永国任主编,程鹏任副主编,葛永国编写了第1、8章,程鹏编写了第3章,朱玉冉编写了第4章,姚锦卫编写了第7、9章,付丽芬编写了第6章,王会东编写了第5章,张顺新编写了第2章。

编者在编写过程中参考了大量参考资料,在此向这些资料的所有著作者表示感谢!

由于编者水平有限,书中难免有不妥或错漏之处,恳请读者批评指正。

编者

目 录

前言

第1章 直流电机的结构和原理 1

1.1 直流电机的基本工作原理 1

实训 单线圈直流电机的制作
与测试 3

1.2 永磁式直流电机的结构和原理 6

实训 玩具电动机的拆卸及发电实验 7

1.3 电磁式直流电机的结构、分类 与铭牌 13

1.4 电枢反应和改善换向的方法 20

实训 电刷中性面位置的确定 22

第2章 直流电机的特性与应用 24

2.1 直流电机的机械特性 24

2.2 直流电机的起动、反转和调速 29

实训1 他励直流电机的起动、调速和
反转 32

实训2 积复励直流电动机的正确连接 33

2.3 直流电机的制动 34

2.4 直流发电机 39

实训1 他励直流发电机电压的建立与
特性测试 41

实训2 并励直流发电机电压的建立与
特性测试 43

实训3 积复励、差复励直流发电机的
判别与特性测试 44

实训4 并励直流电动机调速特性测试
和能耗制动 44

第3章 三相异步电动机的结构和 原理 47

3.1 三相异步电动机的基本工作原理 47

3.2 三相异步电动机的基本结构与分类 51

实训 三相笼型异步电动机的拆装与
通电试车 53

3.3 三相异步电动机的铭牌 58

3.4 定子绕组的分类及展开图的绘制 62

实训 三相对称绕组展开图的绘制 63

第4章 三相异步电动机的特性

与应用 72

4.1 三相异步电动机的机械特性和 工作特性 72

4.2 三相异步电动机的起动 76

实训 三相异步电动机起动电流的
测量 82

4.3 三相异步电动机的反转和制动 83

4.4 三相异步电动机的调速 88

实训 三相异步电动机额定转速的
判断 94

第5章 三相异步电动机的运行维护

与故障检修 95

5.1 三相异步电动机的正常维护 95

实训 三相异步电动机运行监视
与记录 99

5.2 电动机故障判断与排除方法 99

实训1 三相异步电动机定子绕组首尾端的
判别 102

实训2 双刀闸控制的缺相保护电路
设计 103

5.3 电动机常见故障的检修 105

5.4 三相异步电动机定子绕组拆换 工艺及测试 110

第6章 单相异步电动机 116

6.1 单相异步电动机的脉振磁场与自起动 原理 116

6.2 单相异步电动机的结构 118

6.3 单相异步电动机定子绕组布线 方法 122

6.4 单相异步电动机的机械特性与 控制 127

实训 三相异步电动机改接成单相异步
电动机使用 131

6.5 单相异步电动机的故障及排除 方法 132

6.6 单相异步电动机的检修 134

实训1 离心开关的检修 134

实训2 电容器的检修	135	8.1 三相同步电机	160
实训3 单相绕组匝间短路的检修	136	8.2 无刷直流电动机	165
实训4 单相定子绕组手绕法和束绕法 重绕工艺	137	8.3 步进电动机	169
第7章 电力拖动系统中一些问题的 讨论	140	8.4 伺服电动机	176
7.1 生产机械的负载特性	140	8.5 单相串励电动机	180
7.2 电力拖动系统运行的稳定性	143	第9章 变压器应用与维修	183
7.3 电动机调速时的功率和转矩问题	147	9.1 变压器的基本原理与结构	183
7.4 传动机构的作用	150	9.2 变压器的运行特性	186
7.5 电动机的发热与工作方式	154	9.3 三相电力变压器	188
7.6 电动机的选择	157	9.4 自耦变压器和仪用互感器	191
第8章 三相同步电机及其他电机 简介	160	9.5 小型变压器的故障与修理	193
		实训1 小型变压器的修理	194
		实训2 变压器绕组同名端的判定	197
		参考文献	199

第1章 直流电机的结构和原理



学习目标

1. 掌握直流电动机的工作原理。
2. 能够制作单线圈直流电动机，并会通电测试。
3. 能够拆卸玩具电动机，并说出其结构及各部分名称。
4. 理解玩具电动机的旋转原理和可逆原理。
5. 会画玩具电动机电枢绕组的展开图。
6. 能够描述直流电动机的结构和分类。
7. 理解直流电动机铭牌数据的含义。
8. 了解电枢反应，掌握改善换向的方法。
9. 能够正确调整电刷的位置。

直流电机是将直流电能与机械能相互转换的装置。它可用作直流发电机或直流电动机：直流发电机将机械能转变为电能，为负载供电；直流电动机将直流电能转换为机械能，用以拖动负载工作。直流电机的功率大小和用途虽然不同，但其基本结构和原理大体都是相同的。

1.1 直流电动机的工作原理

包括直流电机在内的一切旋转电机，实际上都是依据两条基本原则制造的：一条是导线切割磁力线运动产生感应电动势；另一条是载流导体在磁场中会受到电磁力的作用。

1.1.1 两条定则和两条定律

1. 左手定则与右手定则 左手定则也称“电动机定则”，如图 1-1a 所示。它是判断通电导体在磁场中受力方向的定则。判断方法是：伸开左手，使拇指与其余四指垂直，并都与手掌在同一平面上；设想将左手放入磁场中，使磁力线垂直穿过手心，除拇指外的其余四指指向电流方向，这时拇指所指的方向就是磁场对电流作用力（电磁力）的方向。

右手定则也称“发电机定则”，如图 1-1b 所示。它是判断导体在磁场中

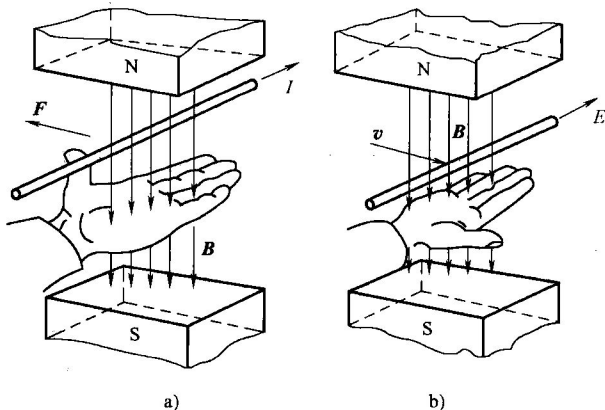


图 1-1 左手定则与右手定则

a) 左手定则 b) 右手定则

运动时导体中感应电动势方向的定则。判断方法是：伸开右手，使拇指与其余四指垂直，并都和手掌在同一平面上；设想将右手放入磁场中，让磁力线垂直穿过手心，使拇指指向导体运动的方向，这时其余四指所指的方向就是感应电动势的方向。

2. 电磁力定律 载流导体在磁场中将会受到力的作用，若磁场与载流导体互相垂直(见图 1-1a)，则作用在导体上的电磁力大小为

$$F = BIl \quad (1-1)$$

式中 F ——电磁力(N)；

B ——磁感应强度(T)；

I ——导体中的电流(A)；

l ——导体的有效长度(m)。

3. 电磁感应定律 在磁场中切割磁力线运动的导体将会产生感应电动势，若磁场、导体和导体的运动方向三者互相垂直(见图 1-1b)，则导体中产生的感应电动势大小为

$$E = Blv \quad (1-2)$$

式中 E ——感应电动势(V)；

B ——磁感应强度(T)；

l ——导体有效长度(m)；

v ——导体运动速度(m/s)。

1.1.2 直流电动机的工作原理

1. 电磁转矩的产生 现在用图 1-2 所示直流电动机的物理模型来分析电磁转矩产生的过程。

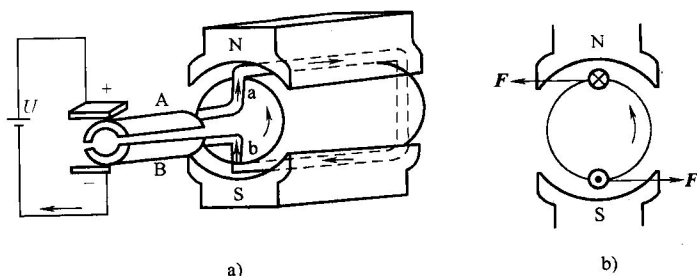


图 1-2 最简单的直流电动机的物理模型

a) 简化模型 b) 截面图

图 1-2a 所示为最简单的直流电动机的模型，N 和 S 是一对固定的磁极(称为主极或主磁极，一般是电磁铁，也可以是永久磁铁)。磁极之间有一个可以转动的铁质圆柱体，称为电枢铁心。铁心表面固定着一个用 a 和 b 两根绝缘导体构成的电枢线圈，线圈的两端分别接到相互绝缘的两个圆弧形铜片 A 和 B 上。这两个圆弧形铜片称为换向片，它们的组合体称为换向器。在换向器上放置着固定不动而且与换向片滑动接触的电刷，线圈通过换向器和电刷接通外电路。电枢铁心、电枢线圈和换向器构成的整体称为直流电动机的转子或电枢。

当接通电源 U 时，直流电流将从 a 边流入，b 边流出，由电磁力定律可知线圈 a 边和 b 边将受到一对大小相等、方向相反的电磁力的作用，其方向由左手定则确定。由于这对电磁

力不在一条直线上,因此它们将形成一个转矩,使电动机的转子沿逆时针方向加速旋转。这个转矩是由电磁力产生的,称为电磁转矩。

由于换向片随转子一起转动,当线圈转到水平位置时(两磁极中间,即磁极的几何中性线上),换向器与电源断开,线圈中没有电流流过,此时线圈不会受到电磁转矩的作用,但因惯性,电枢会继续旋转。当线圈a边旋转至S极附近,b边旋转至N极附近时,电枢线圈中的直流电流将改变方向。此时,电流从a边流出,b边流入,而电磁力和电磁转矩的方向不变,这就保证了转子能连续转动。可见,电枢线圈ab每旋转半圈,其中的直流电流就改变一次方向,相当于接入的是交流电。这正是换向器产生的效果。

由此可知,要使电枢受到一个方向不变的电磁转矩的作用,关键在于当线圈边在不同极性磁极下时,如何将线圈中的电流方向及时地加以变换,即进行所谓“换向”。为此必须增添一个称为换向器的装置,配合电刷使用以保证每个极下线圈边中的电流始终是一个方向,电动机就能连续旋转了。这就是直流电动机的转动原理。

2. 恒定转矩的产生 由于主极磁场在空间上近似于正弦分布,只有一个线圈的直流电动机产生的电磁转矩是脉动的,如图1-3a所示。当线圈处在主磁极磁场轴线上时,转矩最大;线圈位于相邻主磁极之间时,电磁转矩为零。如果使用两组电枢线圈,让它们在空间上垂直相交(相互角度成 90°)并串联,换向片增加到4片,则转矩波形如图1-3b所示。

实际的直流电动机,电枢四周上均匀地嵌放许多线圈,相应地,换向器由许多换向片组成,使电枢线圈所产生的总电磁转矩足够大并且比较均匀,电动机的转速也就比较均匀。

3. 直流电动机的运行过程 直流电动机与电源接通后,运行过程如图1-4所示。电枢电流 I_a 流过导体产生电磁转矩 T ,克服负载转矩 T_L 和空载转矩 T_0 ,从而驱动电枢旋转。电磁转矩是原动转矩,其方向决定着电动机的转向。同时,转动的电枢导体在磁场中切割磁力线会产生感应电动势 E_a ,其方向与电流方向相反,是反电动势,外电源电压克服反电动势送入电流而做功,从而将电能转换成机械能。直流电动机稳定运行时的转矩平衡方程式为

$$T = T_L + T_0 \quad (1-3)$$

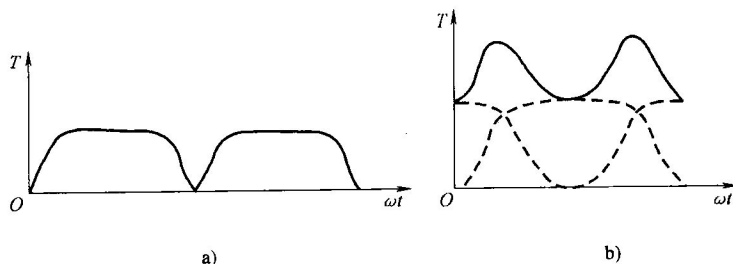


图 1-3 直流电动机的脉动转矩

a) 一个线圈时 b) 两个线圈串联时

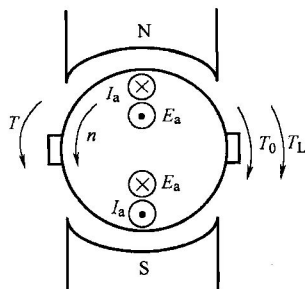


图 1-4 直流电动机的运行过程

实训 单线圈直流电动机的制作与测试

1. 实训目的 通过亲身制作与测试,了解直流电动机的基本结构,理解换向器的作用和原理,掌握电动机的起动与运行情况。制作完成的单线圈直流电动机如图1-5所示。

2. 材料与工具 所需材料与工具如图 1-6 所示。

(1) 材料：8cm×12cm 木板一块、直径为 1mm 的漆包线 1m、5 号电池夹 1 个、鳄鱼夹 2 个、曲别针 2 个、小螺钉 2 个、磁铁 1 块、双面胶若干。

(2) 工具：万用表、电烙铁、螺钉旋具、尖嘴钳、斜口钳、壁纸刀。

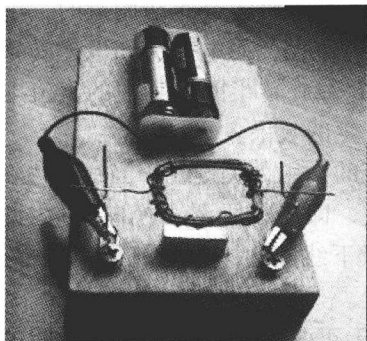


图 1-5 制作完成的单线圈直流电动机



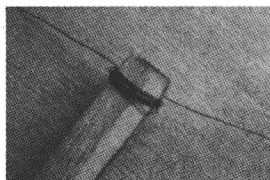
图 1-6 所需材料与工具

3. 制作步骤

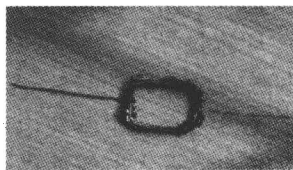
(1) 绕制线圈：带上手套，用手把漆包线抻直，如图 1-7a 所示，注意不要弄伤手。如果磁体是长方形的，可以在一个小木条上绕出长方形的线圈，如图 1-7b 所示；如果磁铁是圆形的，则绕制成圆形线圈好一些。漆包线两头各剩 10cm 左右时把线圈取下，然后用两头分别把线圈缠紧，只留 2~3cm 就可以了，如图 1-7c 所示。



a)



b)



c)

图 1-7 线圈绕制

a) 抻直 b) 绕制 c) 整形

(2) 制作电源：先用斜口钳把电池夹上的导线绝缘层剥掉，如图 1-8a 所示；把鳄鱼夹上的护套取下，预先套在导线上(注意颜色相配)，如图 1-8b 所示，否则有时候焊接完了才发现护套没法上了；然后将剥去绝缘层的电池夹，导线与鳄鱼夹焊接在一起，如图 1-8c 所示；最后把护套安装在鳄鱼夹上，电源部分就完成了，如图 1-8d 所示。

(3) 制作支架：用尖嘴钳分步骤把曲别针弯成图片最下端的样子，如图 1-9a 所示；把线圈套在磁体上以确定支架的位置，并用螺钉固定结实，如图 1-9b 所示；确定支架的高度，要求线圈尽量贴近下面的磁铁又不发生刮碰，如图 1-9c 所示；在支架确定好的位置处用尖嘴钳弯一下，支架就做好了，放上线圈，如果位置不合适再作进一步的调整，如图 1-9d 所示。

(4) 刮绝缘漆：用壁纸刀刮掉线圈与支架接触位置上漆包线的绝缘漆，如图 1-10 所示。该处漆包线一端的绝缘漆全部去掉，另一端的绝缘漆只去掉与线圈平面垂直方向上的半个

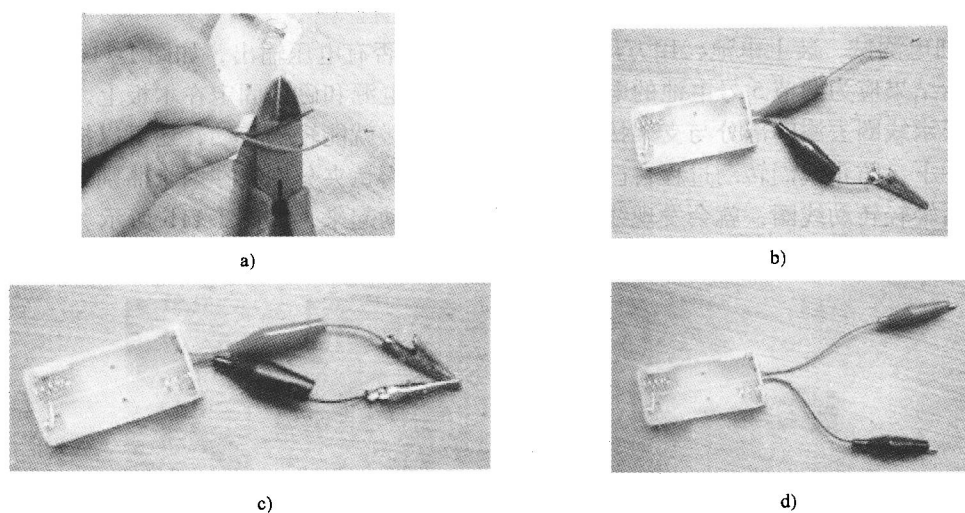


图 1-8 电源制作过程

a) 剥线头 b) 套上护套 c) 焊接 d) 装上护套

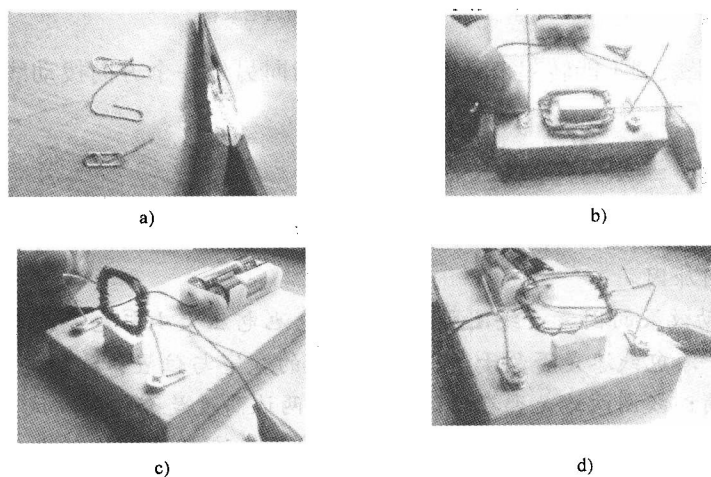


图 1-9 线圈支架制作过程

a) 曲别针 b) 确定位置 c) 确定高度 d) 调整

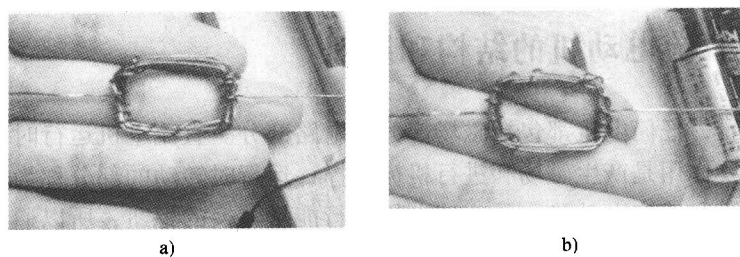
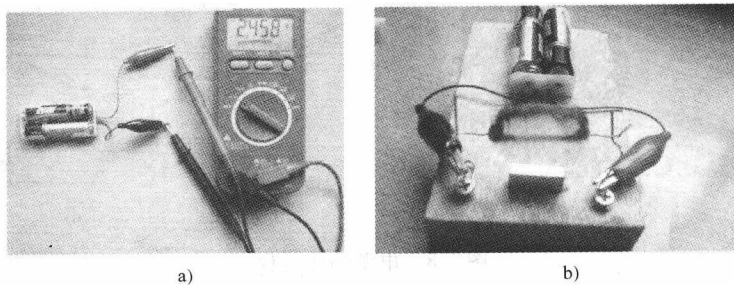


图 1-10 刮绝缘漆的位置

a) 左侧 b) 左侧与右侧

面。认真比较图 1-10a 与图 1-10b, 注意刮绝缘漆的位置。

4. 通电测试 装上电池, 用万用表测量鳄鱼夹是否有电压输出, 如图 1-11a 所示。万用表的显示结果应为两节 5 号电池的电压; 用双面胶把电源和磁铁固定在木板上, 线圈放在支架上, 要求线圈去漆的部分与支架接触良好, 轻轻一碰就能轻松转动, 还可以把线圈两端的导线弯一下, 防止线圈转动过程自己滑下来; 把两个鳄鱼夹分别夹在两个曲别针做成的支架上, 然后轻轻转动线圈, 就会发现线圈自己轻快地转动起来, 如图 1-11b 所示。如果电池是新的, 就可能会觉得这个电动机转动之快超乎想象。



a)

b)

图 1-11 通电测试

a) 测电池电压 b) 线圈通电旋转

① 注意: 如果线圈不能转起来, 请尝试用手指向另外一个方向拨动线圈或掉转线圈的两端。



思考与分析

(1) 通电测试中可能出现的问题: 线圈不转动; 线圈转动快慢不均; 线圈转动方向不固定。试分析为何原因。

(2) 影响转动效果的因素: 线圈匝数多少; 电池电压大小与电量; 电池连接情况; 永久磁铁磁场强弱; 漆包线漆是否刮干净; 半面漆刮的宽窄与位置; 线圈与磁铁之间的距离; 线圈形状是否平衡; 线圈两边是否在轴线上; 支架两边高度是否相同。试分析原因。

(3) 若有条件, 在电路中串联电流表, 或用稳压直流电源代替电池, 观察线圈起动时和运行时电路中电流的大小和方向。改变电源电压, 情况又怎样? 进行分析总结。

(4) 线圈为什么有时需要用手拨一下才能转动? 想想这种电动机能干什么用? 要能实用还需要进行哪些改进? 举例说明电动机在生产生活中的应用。

1.2 永磁式直流电动机的结构和原理

从结构上来看, 任何电机都包括磁场部分和电路部分。直流电机运行时静止不动的部分称为定子, 其主要作用是产生磁场和进行机械支撑; 运行时转动的部分称为转子, 其主要作用是产生电磁转矩和感应电动势, 是直流电机进行能量转换的枢纽, 所以通常又称为电枢。

定子产生磁场称为励磁, 直流电动机根据其励磁方式不同, 可分为永磁式和电磁式两种。所谓永磁式电动机, 指定子磁场是由永久磁铁产生的; 所谓电磁式电动机, 就是在电动机的定子内放有励磁绕组, 定子磁场是由励磁绕组通交流电流而产生的。

实训 玩具电动机的拆卸及发电实验

玩具电动机几乎都是小型永磁式有刷直流电动机，其外形如图 1-12 所示。这些电动机的基本结构完全相同，只是外形、定子磁极的形状和大小或转子的磁极数有所不同。从外部看，可以看到常用玩具电动机机体为钢结构，有一根轴、一个尼龙端盖和两个电池接线端子。

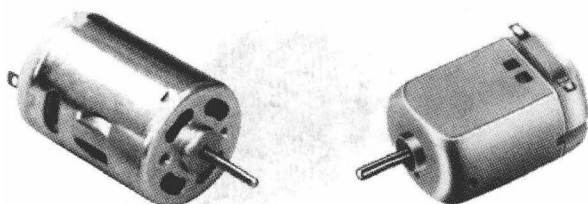


图 1-12 玩具电动机的外形

由于受到尺寸和成本的限制，玩具电动机的结构并不复杂，其分解图如图 1-13 所示。从图中可以看出，定子由外壳、定子磁极、端盖和电刷等组成；转子（也叫电枢）由转轴、叠片铁心、转子线圈和换向器等组成。

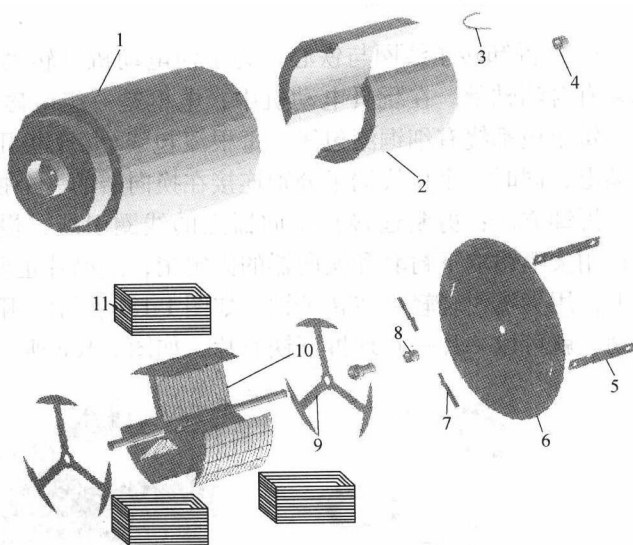


图 1-13 玩具电动机的分解图

1. 拆卸步骤 拆卸玩具电动机不需要专门的技术和工具。然而，凡是经过拆卸的电动机，虽然可以再次组装，但是难以保证轴的安装精度，也很难恢复原有的特性。所以尽可能拆装那些废弃的电动机，拆卸步骤如下：

(1) 开启固定爪、取下端盖。玩具电动机的尼龙端盖由构成钢壳的两个爪固定，如图 1-14 所示。用修理钟表的一字形螺钉旋具一点一点地撬开，就可以松开端盖并将其卸下。在端盖的内部可以看到电动机的电刷，如图 1-15 所示。

1—外壳 2—定子磁极 3—磁极销 4—衬套 5—端子 6—端盖
7—电刷 8—换向器 9—绝缘片 10—叠片铁心 11—转子线圈

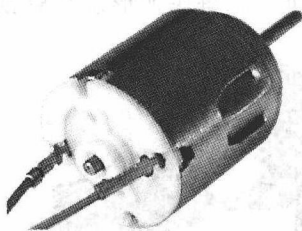


图 1-14 固定爪位置

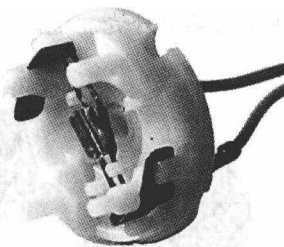


图 1-15 端盖内的电刷

(2) 取出转子。捏住转子轴并把转子从外壳中取出，转子如图 1-16 所示。随后将转子轴重新放进端盖的轴承中，可以看到转子、电刷及换向器，如图 1-17 所示。转子重新放入时注意先把两个电刷弯成孔状，避免安装时与换向器相碰。端盖上的电刷通过端子分别与电源正、负极相连接，电刷靠弹簧的压力紧压在换向器上。用手转动电动机轴，随着转子转动，电刷轮流接触每个换向片，将电池中的电能传输到电枢上。

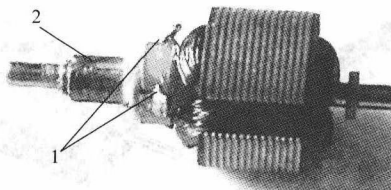


图 1-16 转子

1—电枢线圈终端 2—换向器

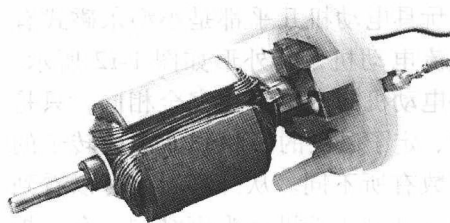


图 1-17 转子、电刷及换向器

(3) 拆卸转子线圈与铁心。为了使电动机轴转动灵活,在电动机的外壳和端盖的中央都装有含油轴承。在玩具电动机中,电枢是一组电磁铁,电枢铁心是一组叠在一起的薄铁片,每个极都绕有细铜漆包线。每根漆包线(每个极用一根漆包线)的两端均焊接在相邻接线端上,同时三个接线端子分别连接在换向器的一个换向片上。

拆卸方法:剪断连接在换向器上的线圈引线,慢慢拆除线圈的漆包线,如图 1-18a 所示;用尖嘴钳取下衬套和换向器的固定销,绝缘片也要取下,最后取下铁心;把转子立在铁板上,用尖嘴钳轻轻夹住转子轴,如图 1-18b 所示。用铁锤敲击尖嘴钳,铁心会向轴的下方移动,就可以一片一片地拆下铁心片,如图 1-18c 所示。

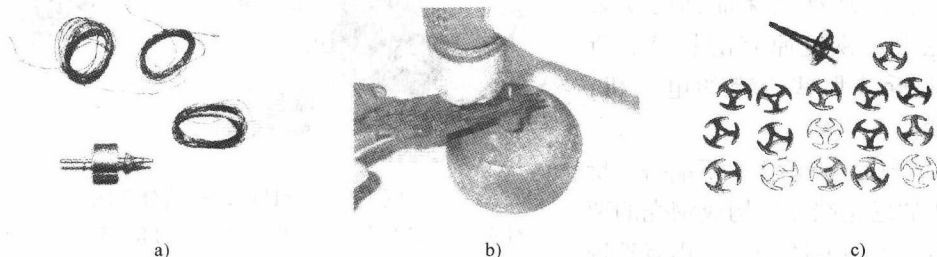


图 1-18 转子的拆卸

a) 电枢线圈 b) 敲出铁心 c) 铁心片

(4) 拆卸电动机外壳。电动机外壳的拆卸如图 1-19 所示。每块弧形永久磁铁的一端卡

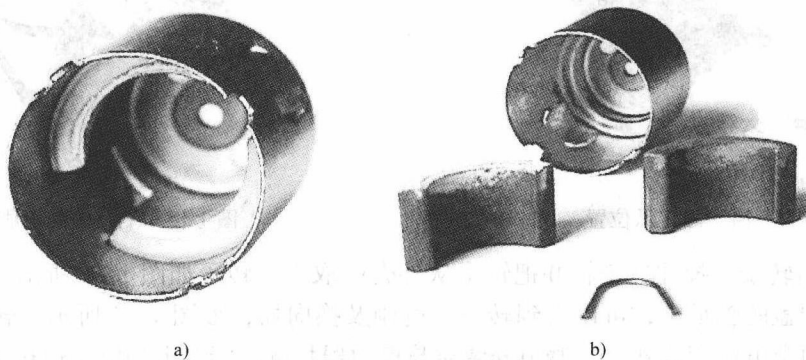


图 1-19 电动机外壳的拆卸

a) 外壳的组成 b) 拆卸后的组件

在外壳上切入的槽中，用固定夹压在两块磁铁的另一端。用尖嘴钳夹住固定磁铁的固定夹，并将其拔出，然后把被磁力吸引而紧贴外壳内部的永久磁铁取出，拆卸后的组件如图 1-19b 所示。至此，电动机拆卸完毕。

2. 玩具电动机发电实验 玩具电动机的发电实验装置如图 1-20 所示，实验过程如下：

(1) 把电池连接到电动机的端子，并确认电动机已经旋转。这时要记住电池的正极和负极分别与哪个端子相连，还要记住电动机的旋转方向。

(2) 取下电池，把连接电动机的导线连接到检流计上（或万用表最小直流电流挡），按照刚才电池带动电动机旋转的方向转动电动机轴。随着转轴的转动，检流计的指针随之摆动，这说明电动机已经发电了。

(3) 根据检流计摆动的方向，就可以判断发电的极性，可以发现，虽然电动机的旋转方向相同，但是，发电时的电流方向和电池给电动机供电时的电流方向是相反的。

(4) 改变电动机轴转动的速度，从检流计指针摆动的幅度就可以确认发电电压发生了变化。可以得出结论：电动机转速越高，发电电压越高；转速越低，发电电压越低。

在这个实验装置中，无论怎样努力快速地转动电动机轴，也很难达到电池驱动电动机时的转速，发电电压较低，只能使检流计指针少许摆动。

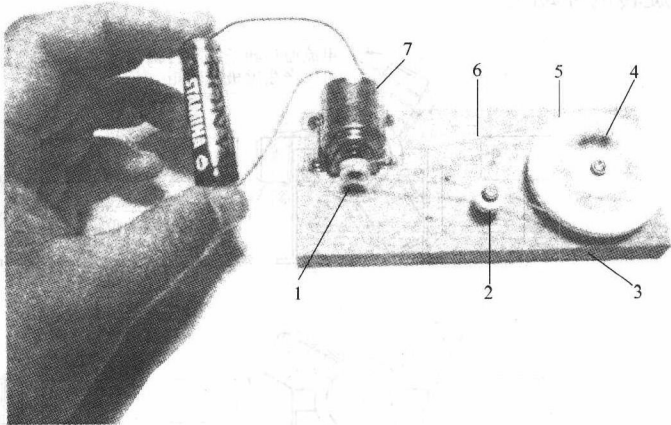


图 1-20 玩具电动机的发电实验装置

1—小带轮 2—导向带轮 3—板 4—手柄
5—大带轮 6—橡皮带 7—电动机

思考与分析

- (1) 电枢铁心为什么必须用薄铁片叠成？薄铁片之间绝缘吗？需要改进吗？
- (2) 电枢铁心或外壳换成木头或塑料，或把转子抽掉，电动机会怎样？
- (3) 这种电动机与单线圈电动机有何不同？两个电刷安放于什么位置？
- (4) 如果电枢铁心不是三极转子，即电枢铁心槽数为 5、7、9 或 11 个时，对电动机会怎样的影响？槽数可以为偶数吗？
- (5) 电动机能够发电是基于什么道理？发电电压大小与哪些因素有关？发电时的电压极性由谁来决定？

1.2.1 玩具电动机的转动原理

仔细观察玩具电动机电枢、电刷和磁极的位置，画出它们的立体位置图。转子的三个磁极在空间上互差 120° ，均匀配置形成三极转子。通入转子线圈电流，某一转子磁极与定子磁极位于同一直线上时，该转子磁极受到的电磁转矩为零，使装置处于不能转动的稳定状态，这时要想转动转子就必须切断通入该转子磁极线圈中的电流。

转子位于不同位置时各线圈通电情况和转子各极转矩如图 1-21 所示。三极转子，不论

哪一个磁极与定子构成稳定状态,都会有另外两个磁极处于不稳定状态。通入转子线圈电流,它们就会产生转矩,而位于稳定状态的转子线圈没有电流,就不产生转矩。磁极之间同性相斥、异性相吸而形成的作用力,通常称之为“磁力”,定、转子磁极之间的磁力是电动机旋转的原动力。

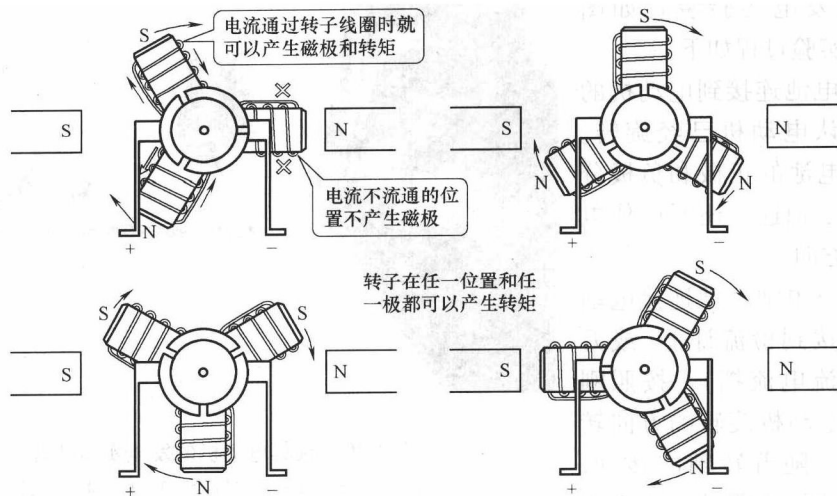


图 1-21 三极转子产生转矩的原理示意图



思考与分析

(1) 换向器与电刷组合的作用是什么? 电刷位置可以改变吗?

(2) 怎样改变电动机的旋转方向和转速的大小?

(3) 电吹风上的小型永磁式直流电动机(三极转子), 必须用手拧一下转轴, 才能起动, 但转动无力。试分析故障原因。

1.2.2 直流发电机的发电原理及直流电机的可逆原理

1. 直流发电机的发电原理 直流发电机发电原理示意图如图 1-22 所示。线圈在图 1-22a 和图 1-22b 所示位置时, 虽然位于相同磁极下的线圈边不同, 但感应电动势方向相同, ab 和 cd 两边中的感应电动势方向由右手定则确定。由于主磁极磁场在空间呈正弦规律分布, 当线圈转到水平位置(即几何中性线上)时, 线圈中无感应电动势产生。虽然线圈中的感应电

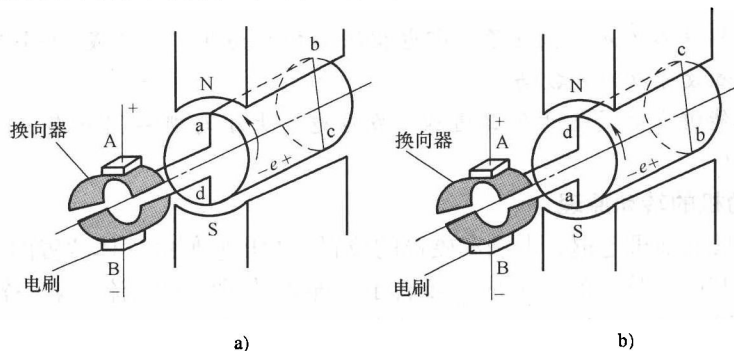


图 1-22 直流发电机发电原理示意图

a) 线圈位置一 b) 线圈位置二

动势是交变的,但从整个线圈来看,电刷 A 的极性总为正,电刷 B 的极性总为负,在电刷 A、B 之间可获得如图 1-23a 所示的脉动直流电压。与电动机相同,直流发电机也需要在电枢上装许多线圈,以获得平稳的输出电压,其波形如图 1-23b 和图 1-23c 所示。

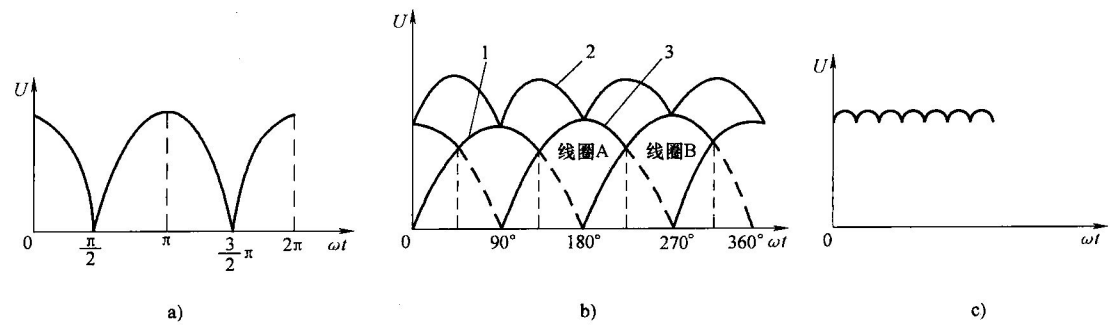


图 1-23 直流发电机的脉动电压

a) 一组线圈时 b) 两组线圈串联时 c) 有许多线圈时
1—线圈 B 输出电压 2—线圈 A、B 的合成电压 3—线圈 A 输出电压

2. 直流发电机的运行过程 当原动机拖动电枢旋转时,如图 1-24 所示,电枢导体切割磁力线产生感应电动势,其方向可用右手定则确定。从线圈内部来看,感应电动势 e_a 是交变的,但由于换向器和电刷的作用,将线圈产生的交变电动势变换为电刷两端方向恒定的电动势 E_a ,使外电路的电流按一定方向流动。另一方面,电枢上通电导体在磁场中会受到电磁力的作用,并产生与电枢转向相反的电磁转矩 T ,即制动转矩,原动转矩 T_1 克服此制动转矩与空载阻转矩 T_0 而做功,将机械能转换成电能。

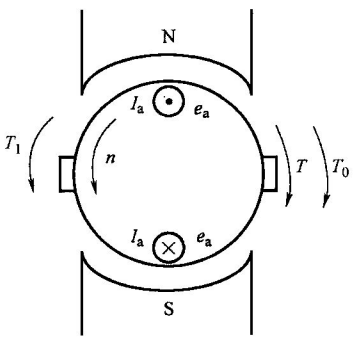


图 1-24 直流发电机运行过程

直流电机稳定运行时,转速恒定,其轴上的拖动转矩必须与轴上的阻转矩(制动转矩)保持平衡。直流发电机稳定运行时的转矩平衡方程式为

$$T_1 = T + T_0 \tag{1-4}$$

3. 直流电机的可逆性 直流电机在一定的条件下,可作为发电机运行,把机械能转变为电能供给直流负载;而在另外的条件下又可把电能转换为机械能拖动机械负载,这就是直流电机的可逆性。但并不是说厂商提供的直流电机可以不分发电机和电动机了,这是因为电机是有额定工作状态的,制造厂家为该电机设计了最佳工作状态,若混用,电机不同程度地偏离最佳工作状态,使性能变坏。

 思考与分析

直流发电机和电动机的电磁转矩、电枢电动势、电枢电流、端电压的方向有何不同?

1.2.3 玩具电机电枢绕组绕制方法及展开图

1. 线圈的绕制方法 详细查看电枢中线圈的连接关系,把电枢从某一槽中间沿轴向切开、分左、右方向展开成一个平面,可画出其示意图,如图 1-25 所示。