

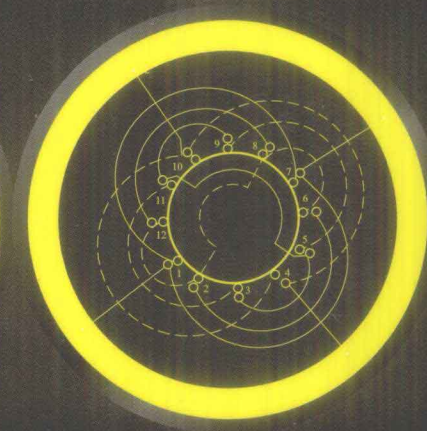
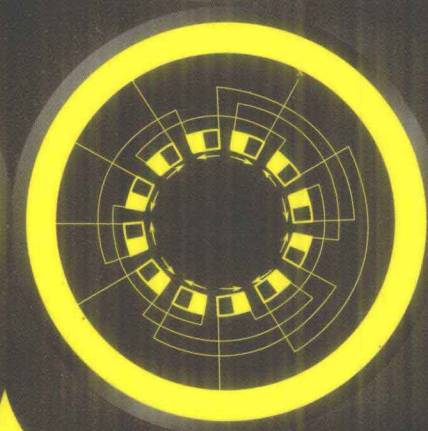
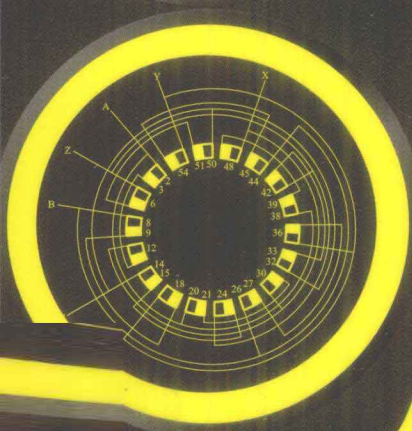
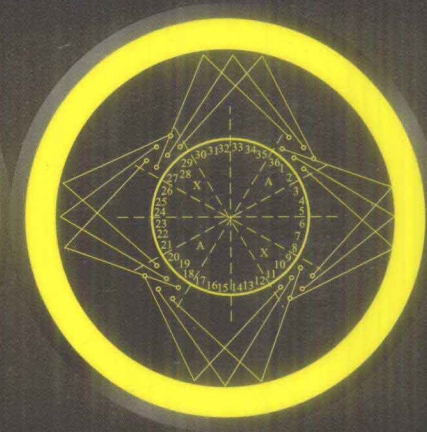
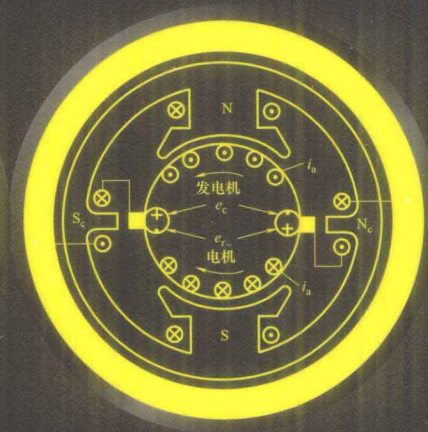
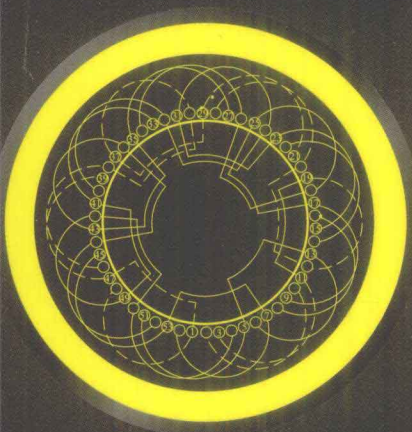


孙克军
安国庆

主编

梁永春 副主编

电机绕组图的 绘制与识读



化学工业出版社



孙克军 主编
安国庆 梁永春 副主编

电机绕组图的 绘制与识读



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

电机绕组图的绘制与识读/孙克军主编. —北京: 化学工业出版社, 2012. 4

ISBN 978-7-122-13422-6

I. 电… II. 孙… III. ①电机-绕组-制图②电机-绕组-图集-识别 IV. TM303.1-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 019263 号

责任编辑: 高墨荣

装帧设计: 刘丽华

责任校对: 徐贞珍

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印刷: 北京云浩印刷有限责任公司

装订: 三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 11¼ 字数 238 千字 2012 年 6 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 38.00 元

版权所有 违者必究

电机绕组

前言

随着国民经济的飞速发展,电机在工农业生产、军事、科技及人民日常生活中的应用越来越广泛。各行各业对电机的需求越来越多,从事电机制造、使用与维修的技术人员不断涌现,新知识也需要不断补充。

本书是根据广大电机制造与修理人员的实际需要而编写的。书中不仅介绍了电机绕组的分类和各类电机绕组的常用技术术语,以及有关计算方法和实例,而且还介绍了各种常用电机绕组展开图、定子绕组端部布线图、定子绕组接线圆图的构成原则、绕组特点、绕组绘制的方法步骤、注意事项以及绕组识读技巧。以帮助电机制造与修理人员提高电机绕组的理论水平,并掌握电机绕组绘制与识读的能力。

在编写过程中,从当前电机制造与修理的实际情况出发,面向生产实际,搜集、查阅了大量有关资料,归纳了大量有代表性的实例,详尽介绍了三相异步电机单层链式绕组、单层同心式绕组、单层交叉式绕组、双层叠绕组的展开图、端部布线图、接线圆图的绘制方法与识读技巧。还重点介绍了变极多速电机绕组、单相正弦绕组的绘制方法。并简要介绍了直流电机的单叠绕组、单波绕组、复叠绕组、复波绕组的绘制方法与特点。编写时考虑到了系统性,力求突出实用性,努力做到理论联系实际。

本书是突出了简明实用、通俗易懂、可操作强的特点。书中列举了大量的实例,简要、直观地介绍了电机绕组制造与修理的基础知识和基本操作技能。本书不仅适用于广大从事电机制造与修理的技术人员,还可作为农村进城务工人员,以及没有相应技能基础的广大城乡待业、下岗人员的就业培训用书,也可作为职业院校有关专业师生的教学参考书。

本书由孙克军主编,安国庆、梁永春副主编。第1章由贾红编写,第2章及附录由孙克军编写,第3章由李争编写,第4章由梁永春编写,第5章由赫苏敏编写,第6章由安国庆编写,第7章由于静编写。编者对关心本书出版、热心提出建议和提供资料的单位和个人在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平所限,书中难免有不妥之处,希望广大读者批评指正。

编 者

CONTENTS

目录

第 1 章

电机绕组的基础知识

- 1.1 交流电机绕组的基础知识 / 3
 - 1.1.1 交流绕组的常用名词术语 / 3
 - 1.1.2 交流电机绕组的分类 / 6
- 1.2 直流电机绕组的基础知识 / 9
 - 1.2.1 直流绕组的常用名词术语 / 9
 - 1.2.2 直流电机绕组的分类 / 12
- 1.3 对绕组的技术要求 / 13

第 2 章

三相交流异步电机定子绕组展开图

- 2.1 交流绕组的基本要求 / 17
- 2.2 利用槽电动势星形图绘制三相交流电机定子绕组展开图 / 17
 - 2.2.1 交流电机定子绕组槽电动势星形图的绘制 / 17
 - 2.2.2 绘制三相交流电机定子绕组展开图的步骤 / 20
 - 2.2.3 三相双层叠绕组展开图的绘制 / 20
 - 2.2.4 三相双层波绕组展开图的绘制 / 25
 - 2.2.5 三相单层等元件绕组展开图的绘制 / 29
 - 2.2.6 三相单层交叉式绕组展开图的绘制 / 31
 - 2.2.7 三相单层链式绕组展开图的绘制 / 33
 - 2.2.8 三相单层同心式绕组展开图的绘制 / 37
 - 2.2.9 三相单双层混合绕组展开图的绘制 / 43

2.3 利用三相电流的正方向绘制定子绕组展开图 / 45

- 2.3.1 三相电流的正方向 / 45
- 2.3.2 利用电流的正方向绘制绕组展开图的方法步骤 / 47
- 2.3.3 三相单层链式绕组展开图的绘制 / 49
- 2.3.4 三相单层同心式绕组展开图的绘制 / 53
- 2.3.5 三相单层交叉式绕组展开图的绘制 / 55
- 2.3.6 三相双层叠绕组展开图的绘制 / 58

2.4 三相异步电机定子绕组展开图识读实例 / 61

- 2.4.1 三相异步电机定子绕组展开图识读方法步骤 / 61
- 2.4.2 三相异步电机常用定子绕组展开图识读实例 / 63

第 3 章

三相异步电机定子绕组端部布线图

3.1 定子绕组端部布线图的特点和绘制方法 / 71

- 3.1.1 定子绕组端部布线图的特点 / 71
- 3.1.2 定子绕组端部布线图的绘制方法 / 71

3.2 三相单层绕组端部布线图的绘制 / 74

- 3.2.1 三相单层链式绕组端部布线图的绘制 / 74
- 3.2.2 三相单层同心式绕组端部布线图的绘制 / 77
- 3.2.3 三相单层交叉式绕组端部布线图的绘制 / 79

3.3 三相双层叠绕组端部布线图的绘制 / 83

3.4 三相异步电机常用定子绕组端部布线图实例 / 86

第 4 章

三相异步电机定子绕组接线圆图

4.1 定子绕组接线圆图的特点和绘制方法 / 91

- 4.1.1 定子绕组接线圆图的特点 / 91
- 4.1.2 定子绕组接线圆图的绘制方法 / 91
- 4.1.3 定子绕组接线圆图的连接规律 / 93

4.2 常用定子绕组接线圆图的绘制实例 / 94

- 4.2.1 三相双层叠绕组接线圆图的绘制 / 94
- 4.2.2 三相单层交叉式绕组接线圆图的绘制 / 97

- 4.2.3 三相单层链式绕组接线圆图的绘制 / 100
- 4.2.4 三相单层同心式绕组接线圆图的绘制 / 102
- 4.3 三相异步电机定子绕组接线圆图识读实例 / 103**
 - 4.3.1 定子绕组接线圆图识读的方法步骤 / 103
 - 4.3.2 定子绕组接线圆图识读实例 / 105

第5章

变极多速三相异步电机定子绕组图

- 5.1 变极多速三相异步电机的特点和分类 / 113**
 - 5.1.1 变极多速三相异步电机的特点 / 113
 - 5.1.2 变极多速三相异步电机的分类 / 113
 - 5.1.3 变极多速三相异步电机的变极方法 / 113
- 5.2 反向变极法 / 114**
 - 5.2.1 反向变极法的特点 / 114
 - 5.2.2 反向变极的原理 / 114
- 5.3 换相变极法 / 117**
- 5.4 不同节距变极法 / 117**
 - 5.4.1 不同节距变极法的特点 / 117
 - 5.4.2 不同节距变极的原理 / 117
- 5.5 变极多速三相异步电机三相绕组的联结 / 120**
 - 5.5.1 单绕组双速电机 $2Y/\Delta$ 联结 / 120
 - 5.5.2 单绕组双速电机 $2Y/Y$ 联结 / 121
- 5.6 变极多速三相异步电机绕组图实例 / 121**
 - 5.6.1 反向变极的绕组图 / 121
 - 5.6.2 不同节距变极的绕组图 / 127

第6章

单相异步电机定子绕组展开图

- 6.1 单相异步电机的同心式绕组 / 131**
- 6.2 单相异步电机的正弦绕组 / 131**
 - 6.2.1 正弦绕组的构成 / 131
 - 6.2.2 正弦绕组的种类及各槽内导体的分配 / 132

6.2.3 单相正弦绕组展开图的绘制 / 135

6.2.4 单相正弦绕组展开图实例 / 136

6.3 单相异步电机的罩极式绕组展开图 / 139

第7章

直流电机电枢绕组展开图

7.1 直流电机电枢绕组的分类 / 143

7.2 叠绕组展开图的绘制 / 143

7.2.1 叠绕组的特点 / 143

7.2.2 叠绕组展开图绘制的方法步骤 / 143

7.2.3 单叠绕组展开图的绘制 / 145

7.2.4 复叠绕组展开图的绘制 / 148

7.3 波绕组展开图的绘制 / 149

7.3.1 波绕组的特点 / 149

7.3.2 波绕组展开图绘制的方法步骤 / 150

7.3.3 单波绕组展开图的绘制 / 151

7.3.4 复波绕组展开图的绘制 / 154

7.4 换向极与换向极绕组 / 155

7.5 补偿绕组 / 156

7.6 直流电机常用电枢绕组展开图实例 / 157

附录

电机绕组绝缘结构及绝缘规范

1. 交流电机绕组的绝缘结构及绝缘规范 / 161

2. 直流电机绕组的绝缘结构及绝缘规范 / 163

3. 变频调速异步电机加强绝缘的措施 / 164

4. 并用潜水电机定子绕组的绝缘结构 / 165

参考文献 / 167



第1章

电机绕组的基础知识

- 1.1 交流电机绕组的基础知识 / 3
- 1.2 直流电机绕组的基础知识 / 9
- 1.3 对绕组的技术要求 / 13

交流电机绕组的基础知识

1.1.1 交流绕组的常用名词术语

绕组是电机的主要部件之一。交流电机定子绕组常用名词术语如下。

(1) 线圈

线圈是构成绕组的最基本单元，所以也称为绕组元件。线圈可能由一匝电磁线绕成，也可能由多匝电磁线绕成。常见的线圈有菱形（又称梭形）线圈和弧形（又称半圆形）线圈。常用线圈及其简化画法如图 1-1 所示。

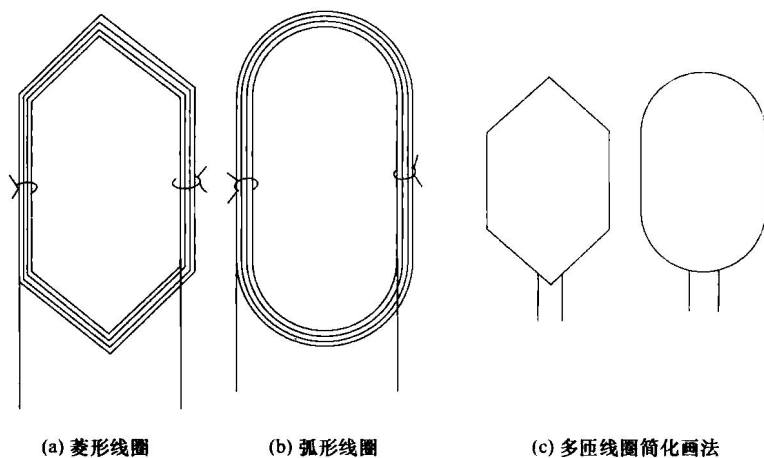


图 1-1 常用线圈及其简化画法

(2) 线圈组

由多个线圈按一定方法组成一组，称为线圈组。

(3) 绕组

由多个线圈或线圈组按照一定规律连接在一起就形成了绕组。

(4) 有效边

每个线圈都有两个直线边，这两条直线边分别嵌入铁芯槽内，电磁量转换主要通过嵌入铁芯槽内的直线部分进行，故称它为有效边。

(5) 端部

两个有效边之间的连线称为端部，仅起到把有效边连接起来的作用。

(6) 电角度

计量电磁关系的角度单位称为电气角度, 简称电角度。电机圆周在几何上占有角度为 360° , 称为机械角度。而从电磁方面看, 对于一个按一定周期变化的物理量 (磁动势、电动势、电压或电流等) 完成一个交变周期, 其相位即变化了 360° ($2\pi\text{rad}$)。我们把这种无形的角度称为电角度。因此, 一对磁极占有空间电角度 360° 。而对于 4 极 (磁极对数 $p=2$) 电机, 其电角度为机械角度的两倍。一般而言, 对于 p 对极电机, 其电角度为机械角度的 p 倍, 即

$$\text{电角度} = p \times \text{机械角度}$$

(7) 槽距角

定子相邻两槽之间的距离以电角度表示时, 称为槽距电角, 简称槽距角, 用 α 表示。其计算式为

$$\alpha = \frac{p \times 360^\circ}{Z_1}$$

式中 Z_1 —— 定子槽数。

(8) 极距

每个磁极在定子铁芯的内圆上所占的范围称为极距, 用 τ 表示。极距可以用槽数、对应的圆弧长度或电角度表示。即

$$\tau = 180^\circ \text{ 或 } \tau = \frac{\pi D_{11}}{2p} \quad \text{或 } \tau = \frac{Z_1}{2p}$$

式中 Z_1 —— 定子槽数;

D_{11} —— 定子铁芯内径。

(9) 线圈节距

一个线圈的两个有效边在定子铁芯内圆周所跨的距离称为节距, 用 y 表示。节距可以用槽数或对应的圆弧长度表示, 它有整距、短距和长距之分:

① $y=\tau$ 时为整距线圈, 它可以产生最大的感应电动势;

② $y<\tau$ 时为短距线圈, 它可以缩短线圈端部连线, 节省导线, 改善电机的性能;

③ $y>\tau$ 时为长距线圈, 浪费导线, 只在特殊电机 (如单绕组变极多速异步电机) 中采用。

节距 (又称跨距) 有两种表示形式, 例如用槽数表示节距时, 若 $y=8$, 可表示为 $y=1-9$; 同理, 若 $y=9$, 可表示为 $y=1-10$ 。

当在一台电机中使用不同节距的线圈时, 可用 y_1 、 y_2 、 y_3 等加下角标的方法区分。

(10) 每极每相槽数

每个磁极下面每相绕组所占的槽数称为每极每相槽数, 用 q 表示, 对于 60° 相带绕组, 每极每相槽数 q 为

$$q = \frac{Z_1}{2pm}$$

而对于 120° 相带绕组, 则每极每相槽数 q 为

$$q = \frac{Z_1}{pm}$$

式中 Z_1 ——定子槽数;

p ——极对数;

m ——相数, 对于三相异步电机, $m=3$, 对于单相异步电机, $m=2$ 。

(11) 相带

为了使异步电机的定子绕组对称, 通常令每个磁极下的每相绕组所占的范围相等, 这个范围称为相带。

对于三相异步电机。由于一个磁极相当于 180° 电角度, 分配到三相, 则每相的相带为 60° 电角度, 按 60° 相带排列的绕组称为 60° 相带绕组。三相异步电机还有一种划分相带的方法, 即将每一对磁极分为三个等分, 则每相占 120° 电角度, 也可以得到三相对称绕组。按 120° 相带排列的绕组称为 120° 相带绕组。由于 60° 相带绕组的合成电动势比 120° 相带绕组的合成电动势大, 故除了单绕组变极多速异步电机外, 一般都采用 60° 相带绕组。

(12) 极相组

将一个磁极下属于同一相 (即一个相带) 的 q 个线圈, 按照一定方式串联成一组, 称为极相组。

(13) 并联支路数

每相绕组中包含若干个线圈组 (或极相组), 这些线圈组可以按一定的方式连接 (如串联、并联等), 每相绕组能够并联所形成的支路数, 称为并联支路数, 用 a 表示 (若每相绕组中的全部线圈组串联成一条支路时, 则称并联支路数为 1, 即 $a=1$), 并联时要求每条支路的匝数和线径 (即电磁线截面积) 均应相同, 即要求每条支路的阻抗相同, 否则易造成环流, 并导致电机绕组发热。

(14) 每相绕组的串联匝数

一般将每相绕组中一条支路的匝数称为每相绕组的串联匝数。

(15) 对称三相绕组

三相交流电机中, 三相绕组的每相串联匝数及线径均相同 (即三相绕组的阻抗均相同), 相与相之间在空间分别间隔 120° 电角度的三相绕组, 称为对称三相绕组。

(16) 三相绕组首末端的标注方法

三相绕组的首端一般用 A、B、C (或 U₁、V₁、W₁) 表示; 三相绕组的末端一般用 X、Y、Z (或 U₂、V₂、W₂) 表示。

【例 1-1】 一台三相异步电机, 定子槽数为 48, 极数 $2p=8$, 求该电机的极距。

解

$$\tau = \frac{Z_1}{2p} = \frac{48}{8} = 6$$

【例 1-2】 一台三相异步电机, 定子槽数为 24, 极数 $2p=4$, 采用双层叠绕组, 取节距 $y = \frac{5}{6}\tau$, 求该电机的极距、节距、每极每相槽数及槽距角。

解 (1) 极距

$$\tau=\frac{Z_1}{2p}=\frac{24}{4}=6$$

(2) 节距

$$y=\frac{5}{6}\tau=\frac{5}{6}\times 6=5$$

(3) 每极每相槽数

$$q=\frac{Z_1}{2pm}=\frac{24}{4\times 3}=2$$

(4) 槽距角

$$\alpha=\frac{p\times 360^\circ}{Z_1}=\frac{2\times 360^\circ}{24}=30^\circ$$

1.1.2 交流电机绕组的分类

1.1.2.1 按定子绕组的形状与嵌装方式分类

三相异步电机定子绕组在定子铁芯槽内嵌放的形式是多种多样的，一般有以下的方法。

① 按定子铁芯槽内线圈有效边层数分类，有单层绕组、双层绕组和单双混合绕组三种。

② 按每极每相槽数 q 分类，有整数槽绕组（ q 为整数）和分数槽绕组（ q 为分数）两种。

③ 按线圈形状和端部连接方式分类，双层绕组又可分为叠式绕组和波式绕组等；单层绕组又可分为同心式绕组、链式绕组和交叉式绕组等。

④ 按相带分类，有 60° 相带绕组、 120° 相带绕组等。

三相异步电机定子绕组的分类、结构特点及应用范围见表 1-1。

表 1-1 三相异步电机定子绕组的分类、结构特点及应用范围

分 类		结 构 特 征	应 用 范 围	优 缺 点
单层同心式	单层两平面同心式	一个线圈内套另一个小线圈，绕组端部分成两个平面	用于 2、4 极，功率在 30kW 以下的较小容量电机中	优点：嵌线方便，节铜，不易击穿 缺点：磁动势波形不够好，谐波分量较大
	单层三平面同心式	一个线圈内套一个小线圈，绕组端部分成三个平面		
单层链式		各线圈都为同一个节距	应用于 $q=2$ 的 4、6、8 极较小功率电机中	
单层交叉式		两组绕组节距不等，且一组为偶数，一组为奇数，线模尺寸不同	应用于 $q=3、5、7$ 的 2、4、6 极较小功率电机中	
整数槽双层绕组		每极每相槽数等于整数。每个槽内的绕组都分两层，其间用绝缘材料隔开	应用于容量较大的电机中（一般为中心高 160mm 及以上的电机）	优点：磁动势波形好，谐波小，损耗低、启动及运行性能都较好 缺点：嵌线工时较长
分数槽双层绕组		每极每相槽数不为整数。每个槽内的绕组分两层，之间用绝缘材料隔开		
单双层绕组		有的槽内为双层，有的槽内为单层，混合使用	一般用于 45kW 以下的小型电机中	兼有单层、双层优点并克服上述两者缺点

1.1.2.2 按定子绕组形成的磁极数分类

根据电机的磁极数与绕组分布形式产生不同磁极数的关系，定子绕组可分为显极式与庶极式两种类型。

(1) 显极式绕组

每个线圈组形成一个磁极的绕组，一般称为显极式绕组。在显极式绕组中，每相绕组的线圈组数与电机的磁极数相等，为使磁极的极性 N 和 S 交替排列，每相相邻的两个线圈组中的电流方向必须相反，即每相相邻的两个线圈组的连接方式必须是反接串联，即常称为“头接头”、“尾接尾”。

图 1-2 为具有四个凸极的显极式绕组示意图。除凸极式单相罩极异步电机及直流电机外，一般电机都没有凸出的磁极，本图采用示意画法，以便较形象地说明问题。

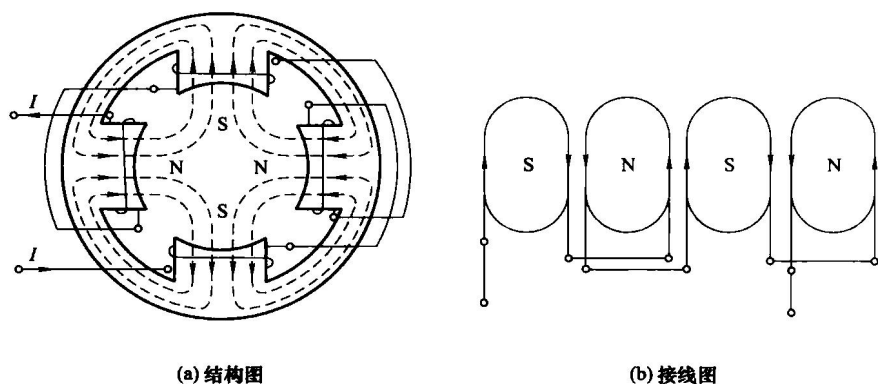


图 1-2 显极式绕组示意图

(2) 庶极式绕组

每个线圈组形成一对磁极的绕组，一般称为庶极式绕组（或称为隐极式绕组）。在庶极式绕组中，每相绕组的线圈组数为电机的磁极数的一半，因为另半数磁极由线

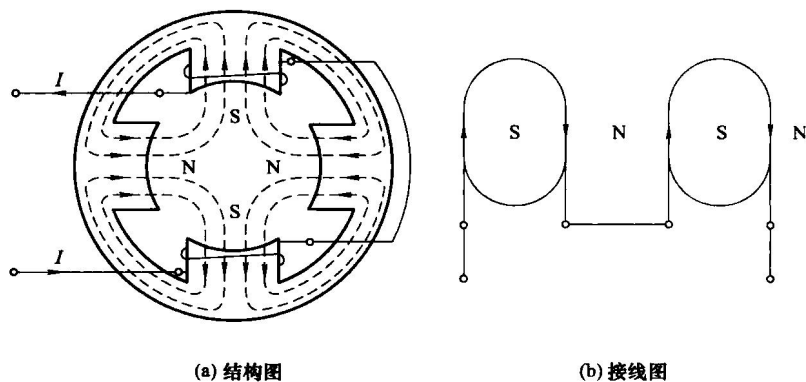


图 1-3 庶极式绕组示意图

圈组产生的磁通共同形成，如图 1-3 所示。

在庶极式绕组中，每相绕组中的各个线圈组所形成的磁极的极性都相同，因而各个线圈组中的电流方向都相同，即每相相邻的两个线圈组的连接方式必须是顺接串联，即常称为“尾接头”。

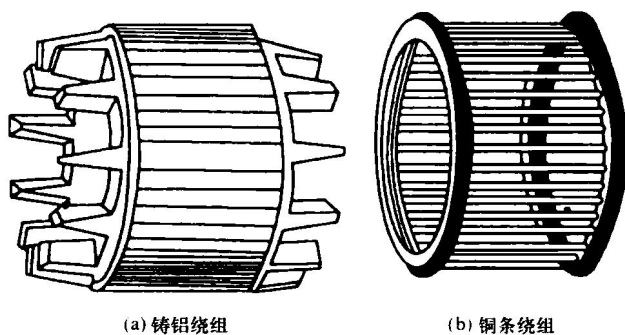


图 1-4 笼型转子绕组

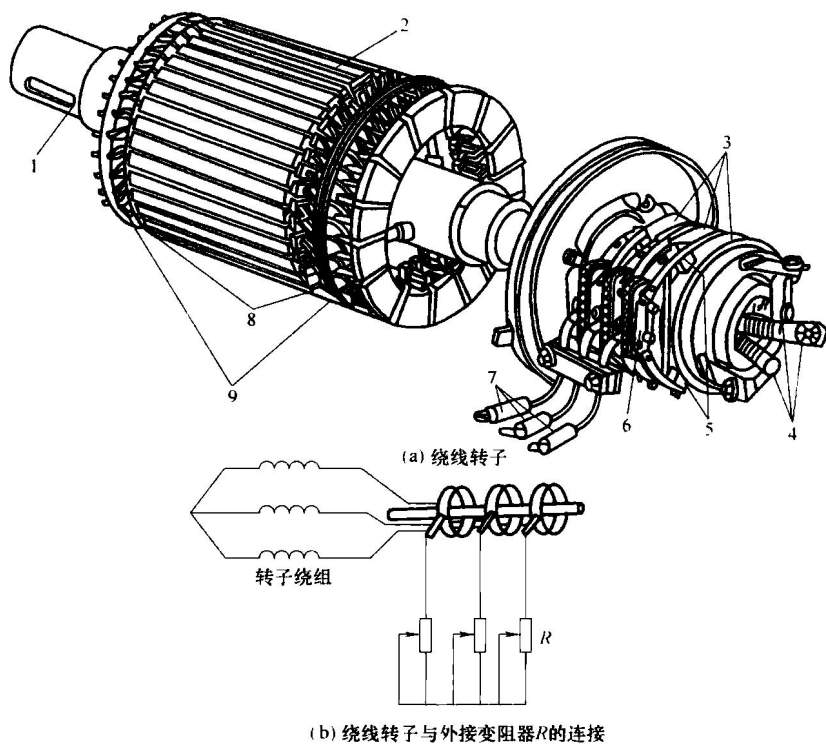


图 1-5 绕线型转子绕组

- 1—转轴；2—转子铁芯；3—集电环；4—转子绕组引出线头；5—电刷；
6—刷架；7—电刷外接线；8—三相转子绕组；9—镀锌钢丝箍

1.1.2.3 转子绕组的分类

转子绕组分为笼型和绕线型两种。

(1) 笼型转子绕组

该绕组是由插入每个转子铁芯槽中的裸导条与两端的环形端环连接组成。如果去掉铁芯，整个绕组就像一只笼子，故称为笼型转子绕组，如图 1-4 所示。中小型异步电机的笼型转子绕组，一般都用熔化的铝液浇入转子铁芯槽中，并将两个端环与冷却用的风扇翼浇注在一起，如图 1-4 (a) 所示。对于容量较大的异步电机，由于铸铝质量不易保证，常用铜条插入转子槽中，再在两端焊上端环，如图 1-4 (b) 所示。

(2) 绕线型转子绕组

绕线型转子绕组与定子绕组相似，也是把绝缘导线嵌入槽内，接成三相对称绕组，一般采用星形 (Y) 连接，三根引出线通过转轴内孔分别接到固定在转轴上的三个铜制的互相绝缘的集电环 (俗称滑环) 上，转子绕组可以通过集电环和电刷与外接变阻器相连，用以改善电机的启动性能或调节电机的转速。绕线转子如图 1-5 (a) 所示。绕线转子绕组与外加变阻器的连接，如图 1-5 (b) 所示。

1.2

直流电机绕组的基础知识

1.2.1 直流绕组的常用名词术语

直流电机电枢绕组的有关术语如下。

(1) 元件

元件指两端分别与两个换向片连接的单匝或多匝线圈。

(2) 元件边

元件在槽内的放置，如图 1-6 所示。每一个元件有两个放在槽中能切割磁通、感应电动势的有效边，称为元件边。每个元件的两个元件边嵌在电枢的不同槽内，放在槽下层的有效边称为下层元件边，画绕组展开图时，用虚线表示；放在槽上层的有效边称为上层元件边，画绕组展开图时用实线表示。

(3) 实槽与虚槽

为了改善电机的性能，往往希望用较多的元件来组成电枢绕组。但是，由于工艺等原因，电枢铁芯有时不便开太多的槽，故只能在每个槽的上、下层各放置若干个元件边，如图 1-7 所示。这时，为了确切说明每一个元件所处的具体位置，引入了“虚槽”的概念。设槽内每层有 u 各元件边，则把每一个实际的槽看作包含 u 个“虚槽”，