

海河港口工人技术培训教材

电机修理

大连港装卸联合公司 编

人民交通出版社

海河港口工人技术培训教材

电机修理

大连港装卸联合公司 编

人民交通出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本：787×1092_{1/32} 印张：7.25 字数：155千

1984年2月 第1版

1984年2月 第1版 第1次印刷

印数：0001—35,000册 定价：0.76元

内 容 提 要

为了适应工人技术培训需要，交通部教育局组织上海、天津、青岛、湛江港务局和大连港装卸联合公司编写了这套海河港口工人技术培训教材，共计十三种，供机械装卸司机、电机修理工、电工、充电工等学习使用。

本书共分四章，第一、二章重点阐述交、直流电机的构造和分类，对电机绕组也作了较详细的介绍；第三、四章结合港口电机修理的实际情况，讲述了电机修理的一般工艺和试验方法。

本书为一至三级电机修理工技术培训教材，也适合具有相当初中文化水平的其他技工自学使用。

本书由矫惠志、于淑云、林世章、从家祥编写，陈传诗主审。

目 录

| | |
|----------------------------------|----|
| 第一章 直流电机 | 1 |
| 第一节 概述 | 1 |
| 第二节 直流电机的结构 | 1 |
| 一、定子..... | 2 |
| 二、转子..... | 5 |
| 第三节 直流电机电枢绕组的展开图 | 7 |
| 一、概述..... | 7 |
| 二、电枢绕组的构成原则和节距..... | 7 |
| 三、单叠绕组..... | 12 |
| 四、复叠绕组..... | 16 |
| 五、单波绕组..... | 19 |
| 六、复波绕组..... | 22 |
| 七、伪元件波绕组..... | 24 |
| 八、人为闭合回路的波绕组..... | 25 |
| 九、复合（蛙形）绕组..... | 26 |
| 十、均压线..... | 30 |
| 第二章 交流电机 | 34 |
| 第一节 三相异步电动机的分类和基本结构 | 34 |
| 一、分类..... | 34 |
| 二、基本结构..... | 35 |
| 第二节 三相异步电动机的定子绕组 | 38 |
| 一、基本概念..... | 39 |

| | |
|------------------------------------|-----|
| 二、三相单层绕组..... | 46 |
| 三、三相双层绕组..... | 63 |
| 四、单双层绕组..... | 75 |
| 五、多速电机绕组..... | 78 |
| 六、分数槽绕组..... | 80 |
| 七、波绕组..... | 83 |
| 第三节 单相交流异步电动机 | 88 |
| 一、结构与分类..... | 88 |
| 二、电枢绕组..... | 88 |
| 三、定子绕组..... | 91 |
| 第三章 电机修理一般工艺 | 93 |
| 第一节 电机常见故障的检查及分析和处理方法 | 93 |
| 一、电机常见故障及其原因..... | 93 |
| 二、绕组接地故障..... | 94 |
| 三、绕组开路故障..... | 107 |
| 第二节 绕组的大修 | 117 |
| 一、记录原始数据..... | 117 |
| 二、拆出旧绕组..... | 118 |
| 三、选择和制作线模..... | 120 |
| 四、选用绝缘材料..... | 124 |
| 五、绕制新线圈..... | 128 |
| 六、嵌线..... | 131 |
| 七、转子的捆绑..... | 136 |
| 八、绕组的改绕和简单的计算..... | 138 |
| 第三节 换向器的加工 | 140 |
| 一、换向器的作用及基本结构..... | 140 |
| 二、拱形换向器的制造和组装..... | 142 |

| | |
|-----------------------|-----|
| 三、塑料换向器····· | 153 |
| 四、绑环式换向器····· | 153 |
| 第四节 换向器的故障及修复····· | 154 |
| 一、换向器接地故障及修复····· | 154 |
| 二、换向片短路故障及修复····· | 155 |
| 三、换向器松动故障及修复····· | 156 |
| 四、换向器歪扭变形故障及修复····· | 157 |
| 第五节 电枢绕组与换向器的焊接····· | 159 |
| 一、焊接工艺和技术要求····· | 159 |
| 二、各种焊接原理及应用····· | 161 |
| 第六节 直流电机转子的压降试验····· | 164 |
| 第七节 电刷····· | 166 |
| 一、电刷的分类····· | 166 |
| 二、电刷的结构形式····· | 168 |
| 三、电刷的选择····· | 173 |
| 四、电刷的故障及修理····· | 175 |
| 第八节 电机的拆卸与组装····· | 180 |
| 一、拆装电机常用工具及其使用方法····· | 180 |
| 二、电机拆装步骤····· | 186 |
| 三、各零部件拆装方法····· | 187 |
| 第九节 电机的清洗····· | 192 |
| 第十节 电机绕组的浸漆与烘干····· | 193 |
| 一、绕组浸漆与烘干的作用····· | 193 |
| 二、浸漆烘干的工艺要求····· | 194 |
| 三、烘干方法····· | 196 |
| 第四章 电机试验····· | 199 |
| 一、异步电动机的试验····· | 199 |

| | |
|--------------------|-----|
| 二、直流电机的试验..... | 211 |
| 三、同步电动机的试验..... | 219 |
| 四、轴承与定转子间隙的检查..... | 220 |

第一章 直流电机

第一节 概 述

直流电机是直流发电机和直流电动机的总称。直流发电机是将机械能转换为直流电能的旋转电机。直流发电机，可作各种直流电源，如直流电动机的直流电源、同步电机的励磁机、汽车、拖拉机、特种车辆、船舶、内燃机、化学工业中电解和电镀用的低电压大电流的直流电源等。直流电动机是将直流电能转换为机械能的旋转电机。直流电动机具有较优良的起动性能和调速性能，能够在较广的范围内平滑地调节速度。其设备简单、操作方便，因此被广泛地用于机床设备、起重设备、搬运机械、电力机车和轧钢设备等方面。从直流发电机将机械能转换为直流电能及直流电动机将直流电能转换为机械能的关系来看，直流电机实际上是电能和机械能相互转换的一种旋转电机，也就是说，直流电机本身也具有可逆性。

本章重点是介绍直流电机的结构、电枢绕组的构成原则及其展开图的画法等，现分别叙述如下。

第二节 直流电机的结构

图1-1是直流电机的剖面图。

图1-2是直流电机结构示意图。

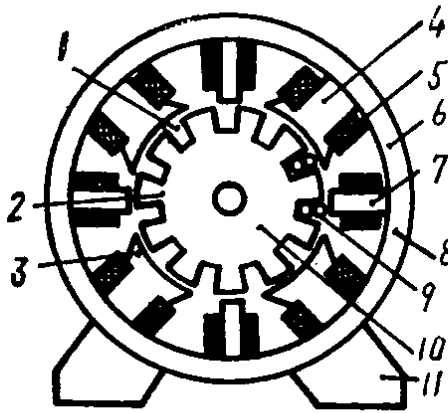


图1-1 直流电机剖面图

- 1-电枢槽；2-电枢齿；3-极靴；
- 4-主磁极；5-励磁线圈；6-磁轭；
- 7-换向极；8-换向极绕组；9-电枢绕组；10-电枢铁芯；11-底脚

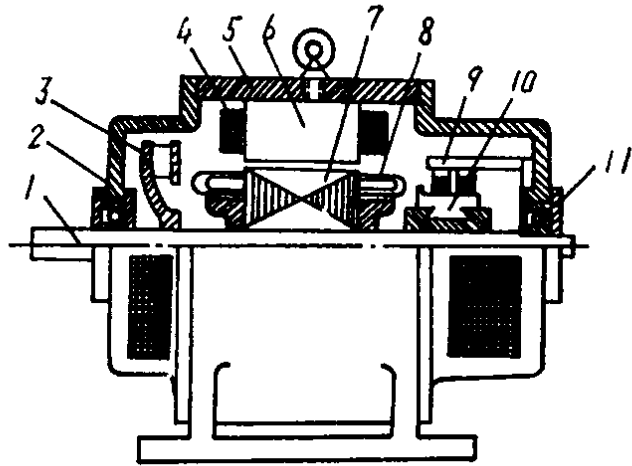


图1-2 直流电机结构示意图

- 1-轴；2-端盖；3-风扇；4-励磁绕组；5-机座；6-磁极；7-电枢；
- 8-电枢绕组；9-电刷；10-换向器；11-轴承

从图1-1和图1-2基本上可以看出直流电机的结构大致可分为两个主要部分——定子和转子。

一、定 子

电机的静止部分称为定子。它主要由主磁极、附加磁极和机座构成。此外，还包括端盖、电刷装置和吊环等。

1.主磁极（又叫主极）：它是用来产生磁场的，其中包括铁芯和套在铁芯上面的励磁绕组（或线圈）两部分（图1-3）。

铁芯下面扩大部分称为极掌，其作用是使通过空气隙磁

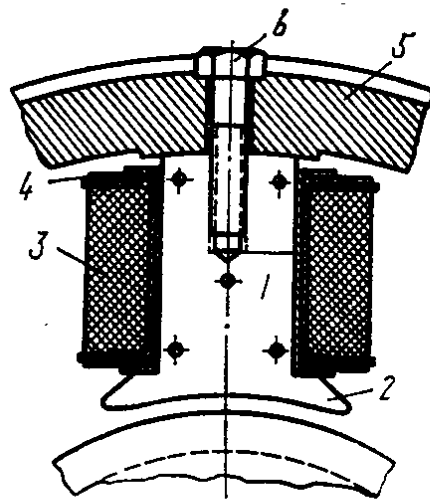


图1-3 直流电机的主磁极

- 1-磁极铁芯；2-极靴；3-励磁绕组；4-线圈框架；5-机座；6-螺杆

通的磁阻减小，同时可以改善磁密的分布，并使励磁绕组能更牢固地套在铁芯上。

为了降低由于电枢转动时齿和槽相对于磁极移动、在极靴表面引起磁通密度的变化而产生的涡流损耗，磁极铁芯一般采用0.5~1毫米钢片迭集而成，钢片之间用氧化膜层绝缘后再用沉头铆钉铆接，最后靠螺杆固定在机座上。

励磁绕组分并励和串励等。并励绕组由匝数很多、截面为圆形铜线绕成。绕组通常是用纱包线、漆包线先在模型上绕好，然后经过浸漆处理，套在磁极铁芯上；有时绕组直接绕在框架上，并一起套入磁极。

串励绕组一般是由匝数很少、截面较大的矩形裸铜线制成，每匝之间都垫以绝缘纸。并励绕组与串励绕组都要妥善地和铁芯绝缘。

2.附加磁极（换向极）：
它是用来改善电机的换向性能的。这种磁极要准确地装在主磁极的几何中性线上，因此也称为间极（图1-4）。由于附加磁极对转子有较大的气隙，因此涡流损耗不大，并且形状简单，一般采用整块钢加工而成，只有在大型电机和负载变化急剧的电机中，极芯才采用钢片叠成。附加磁极的绕组一般由矩形铜线绕制后套入极芯上，每匝之间要处理好绝缘，整个附加磁极绕组也要妥善地与磁极铁芯绝缘。最后装配好的附加磁极要用螺栓固定在机座上。

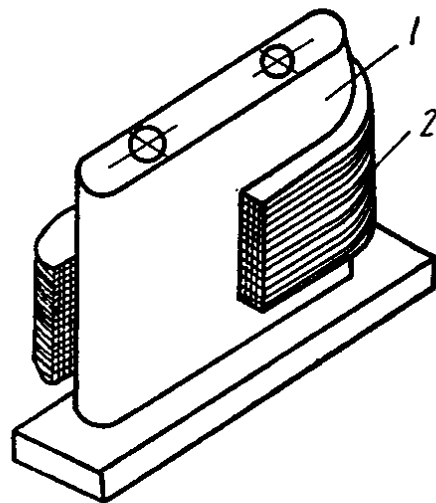


图1-4 换向极
1-铁芯；2-线圈

3.机座：直流电机的机座不仅是电机的外壳，而且又可

作为保护与支撑结构之用，同时还可以当作磁轭来形成磁通的闭合回路。图 1-5 为几种常见的机座形状。机座中圆筒状的导磁部分称为磁轭；底下向两侧伸出的部分称为底脚，它借用底脚螺栓把机座牢靠地固定在基础上。

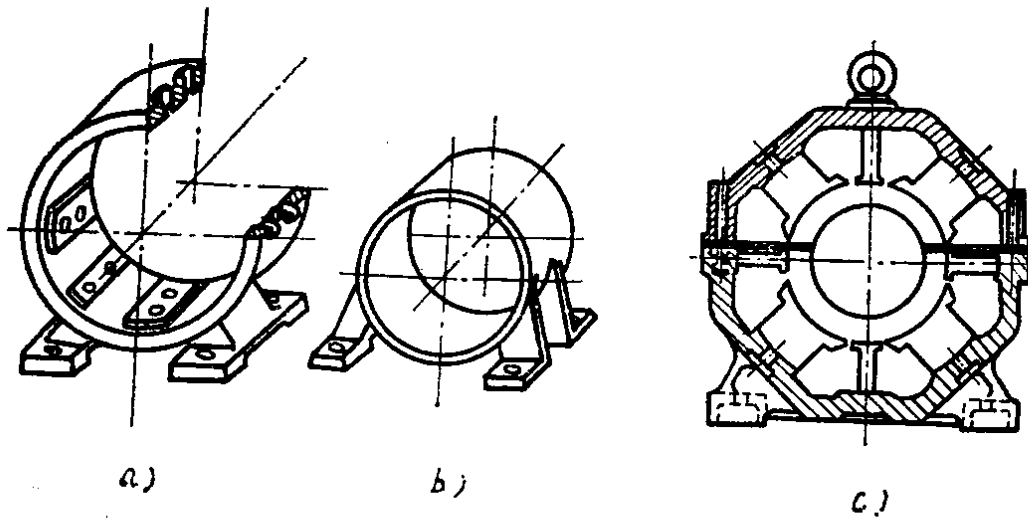


图1-5 直流电机的机座

a)铸钢机座；b)焊接机座；c)多角形机座

机座可分铸铁、铸钢和钢板焊接三种：铸钢的导磁性能和机械强度较高；铸铁导磁性能较差；钢板焊接的机座重量较轻而且便宜。

4.端盖：电机机座两端各装一个端盖，其作用：①保护电机免受外界损害；②保护运行人员安全，防止触电事故。另外，在中小型电机中，还有支持转动部分的任务。此时，滚动轴承应装在端盖中，且端盖必须保证具有足够的机械强度。

5.电刷装置：它是把电流由转动的转子线圈中引出到外电路的重要部件。其中最主要的零件是炭—石墨质作成的电刷，它装在刷杆上的特制的盒内，并靠弹簧压紧在换向器上。刷杆数目等于磁极数目，刷杆座是不带电的，它必须可靠地与刷杆绝缘。

6. 补偿绕组：它置于主极极靴（或叫极掌）的槽内并且和主电路串联，用以抵消极掌范围内的电枢反应磁势。当电机负载时，使极下磁密度能均匀分布，以提高电机工作的可靠性。但补偿绕组的加入使电机的成本提高，构造复杂，因此通常仅用于大容量、高电压、高速度以及冲击负载大和换向困难的电机中。

二、转 子

直流电机转动的部分叫做转子，又称电枢。它主要是由电枢铁芯、电枢绕组、换向器、风扇和转轴等部件组成。

1. 电枢铁芯：为了减小涡流损耗，提高效率，铁芯一般采用厚 0.5 毫米的带有氧化膜的硅钢片冲压成圆形后叠成，并将两端用夹件和螺杆压装成圆柱形，在外圆周上，有均匀分布的梨形槽或矩形槽等式样，槽内放置电枢绕组。大容量的电机，电枢铁芯在轴向分成几段，各段间留有约 8 ~ 10 毫米左右的间隙，此间隙称为通风沟。电机运行时冷空气可吹入沟内，冷却铁芯与绕组。为了加强冷却，在大容量电机中都装有风扇。在小容量电机中，电枢铁芯上装有风翼。

2. 电枢绕组：电枢绕组（图1-6）是直流电机中十分重要的部件之一。当直流电动机的电枢绕组中通电流后，在磁场中受到电磁力的作用，使电枢旋转起来，从而把电能转变为机械能。小容量电枢绕组用绝缘圆导线绕制而成，大容量电枢绕组用铜排绕制而成，嵌入电枢铁芯的槽内。线圈按一定的规律连接起来，导线和导线之间，槽内上下层之间，最外层导线与铁芯之间都要绝缘好，这些线圈叫做绕组元件，每个绕组元件的两端分别接到两个换向片上，通过换向片把这些独立的线圈互相连接起来。

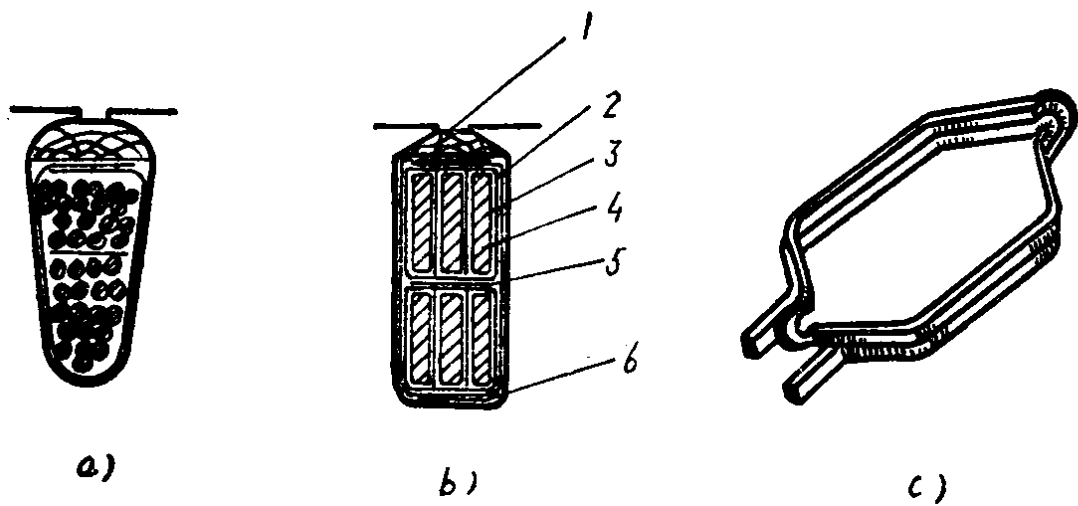


图1-6 直流电机的电枢绕组

a)小型电机电枢绕组；b)较大容量电枢绕组；c)模制绕组
1-槽楔；2-槽绝缘；3-匝间绝缘；4-铜线；5-层间垫条；6-槽底垫条

槽口用槽楔固定，外层绕组端部用镀锌钢丝捆扎或用无纬玻璃丝带绑扎，以防止在运转过程中，由于离心力的作用将电枢绕组甩出。

3.换向器：换向器的结构如图1-7所示。顾名思义，换向器起换向的作用，能使电枢绕组中的交流电压变成直流电压。它是直流电机中的重要部件之一，也是最容易出问题的部件之一，其质量好坏在很大程度上决定了电机的运行可靠性。换向器是由各种不同形状的换向片6压紧在一起组成，片间用0.4~1.2毫米厚的云母片5隔开。整个换向片组用V形钢环3和螺母7压紧固定在钢套2上。V形钢环间用

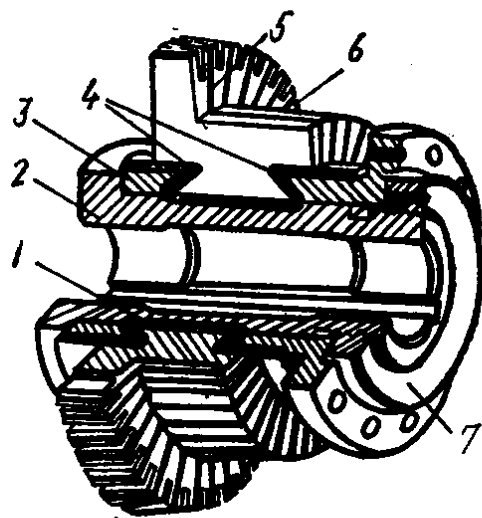


图1-7 换向器

1-绝缘套筒；2-钢套；3-V型钢环；4-V形云母环；5-云母片；6-换向片；7-螺母

特制的 V 形云母环 4 和绝缘套筒 1 来改善绝缘，常用换向片有鸽尾形、工字形和 Ω 形等。

第三节 直流电机电枢绕组的 展开图

一、概 述

电枢绕组的作用前面已经说明，这里不再重复，因为电枢绕组是直流电机中一个极为重要的部件，所以对电枢绕组有着极为严格的要求，那就是，绕组的连接方法要准确，而且应使在一定的导体数下能获得最大的电势，绕组的导线应有良好的导电性能，绕组应有良好的耐热性，足够的散热能力和机械强度，绕组在重量和效率两个方面都应具有良好的指标，绕组的制造应本着节省材料，嵌线和检修方便。

按照绕组的连接方法不同，电枢绕组可分为单叠绕组、复叠绕组、单波绕组、复波绕组、伪元件波绕组等。此外在有些大容量的直流电机中，还采用一种蛙腿绕组。本节还将介绍一下均压连接解决电势不对称的方法。

二、电枢绕组的构成原则和节距

电枢绕组是由绕组元件组成的。所谓绕组元件是指一匝或多匝串联的导线，其两端分别和两个换向片相连接（如图 1-8、1-9 所示）。

直流电机的电枢绕组采用双层绕组。所谓双层绕组，即元件的一个有效边放在槽的下层叫做下层边，另一个有效边放在相邻磁极下槽的上层叫做上层边，如图 1-10。元件的两

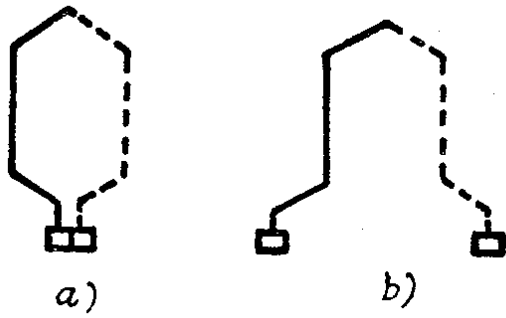


图1-8 单匝的绕组元件
a)叠绕组; b)波绕组

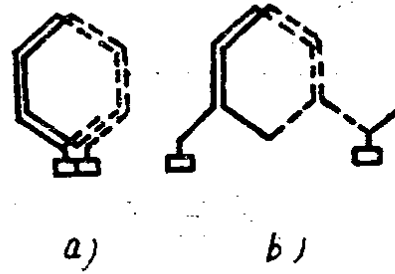
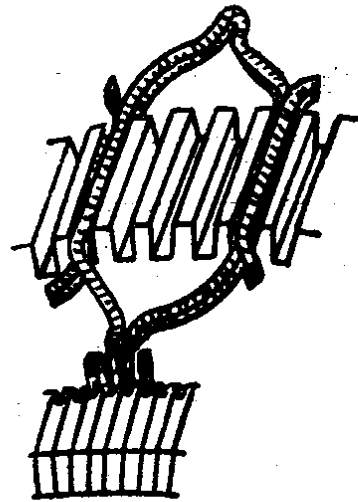


图1-9 两匝绕组元件
a)叠绕组; b)波绕组

个出线端分别焊接在两个换向片上，与上层边相连的出线端称为始端，与下层边相连接的出线端称为末端。伸出槽外的部分叫做端部，在换向器一端的叫做前端部，另一端的叫做后端部。在槽内切割磁力线的部分叫做有效边。



从图 1-10 可知，当电枢

图1-10 元件在槽内的安排

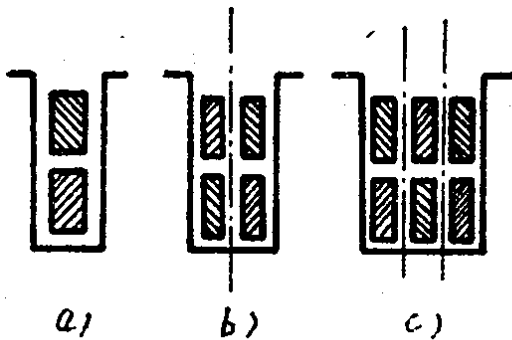


图1-11 由虚槽组成的电枢实槽
a)一个虚槽; b)两个虚槽;
c)三个虚槽

铁芯上有 Z 个槽时，每个槽中嵌放上、下两个元件边，所以元件数 S 等于槽数 Z 。一般电机中，元件数是实际槽数的 μ 倍 (μ 为整数)，即每个实槽中有 μ 个虚槽，如图1-11所示。因此虚槽数 Z_μ 等于实槽数的 μ 倍。很明显，元件数和虚槽数存在下列关系，即

$$S = Z_\mu = \mu Z \quad (1-1)$$

如果 μ 个元件的上层边都在一个实槽内的上层，而它

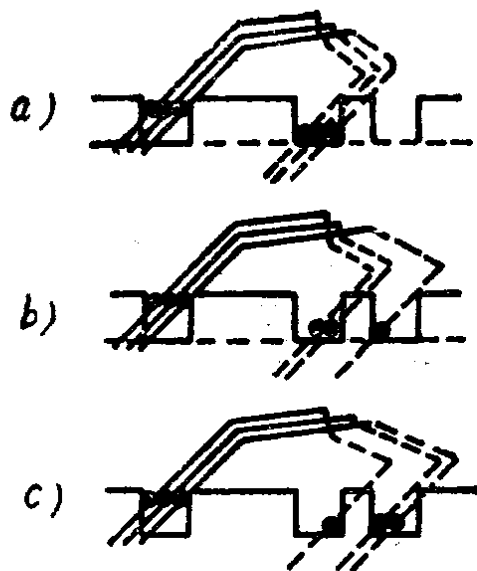


图1-12 同槽式和异槽式元件

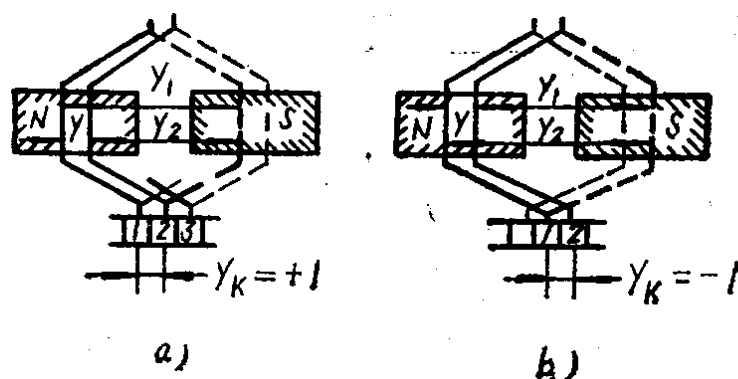


图1-13 单叠绕组

a)右行; b)左行

们的 μ 个下层边也都在另一个实槽的下层，如图 1-12a) 所示。所有元件都具有相同的尺寸，叫做同槽式绕组。如果 μ 个元件的上层边同在一个实槽内，而其下层边不在同一个实槽内，如图 1-12b)、c) 所示，显然这些元件端部尺寸不相同，叫做异槽式绕组。

为了正确地将绕组元件嵌放在电枢槽内和将出线端连接在换向片上，还必须知道绕组元件和元件相互之间各个节距，图1-13和图1-14分别表示单叠绕组和单波绕组部分元件

的连接规律。

下面分别叙述各个节距的定义和计算方法。

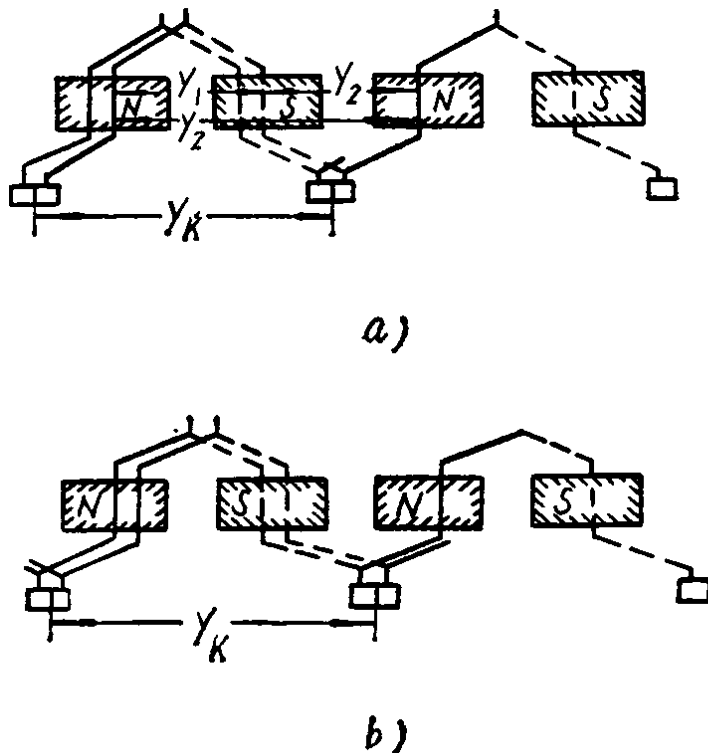


图1-14 单波绕组

a)左行; b)右行

第一节距 Y_1 ：一个元件的上层边和下层边在电枢表面上所跨的距离，称为第一节距，用 Y_1 表示，如图1-13和图1-14所示。节距 Y_1 应等于或接近于一个极距 τ 。极距 τ 可以用电枢表面圆弧长度表示，即 $\tau = \frac{\pi D_0}{2p}$ （式中 D_0 为电

枢直径， p 为极对数）； τ 也可以用虚槽表示，即 $\tau = \frac{\mu Z}{2p}$ 。

$Y_1 = \tau$ 时叫做全距绕组； $Y_1 < \tau$ 时叫做短距绕组； $Y_1 > \tau$ 时叫做长距绕组，如图1-15所示。采用全距绕组，可以获得最大的电势，采用短距绕组能够改善换向和减少端部材料，所以一般采用短距绕组。