

声 明

本电子书由中国农业出版社数字出版，相关权利归中国农业出版社拥有。读者、著作权人和（或）依法可以行使著作权的权利人如有疑问，请与中国农业出版社联系：

地址：北京市朝阳区麦子店街18号楼

邮编：100026

电话：010-64194921 010-65005894

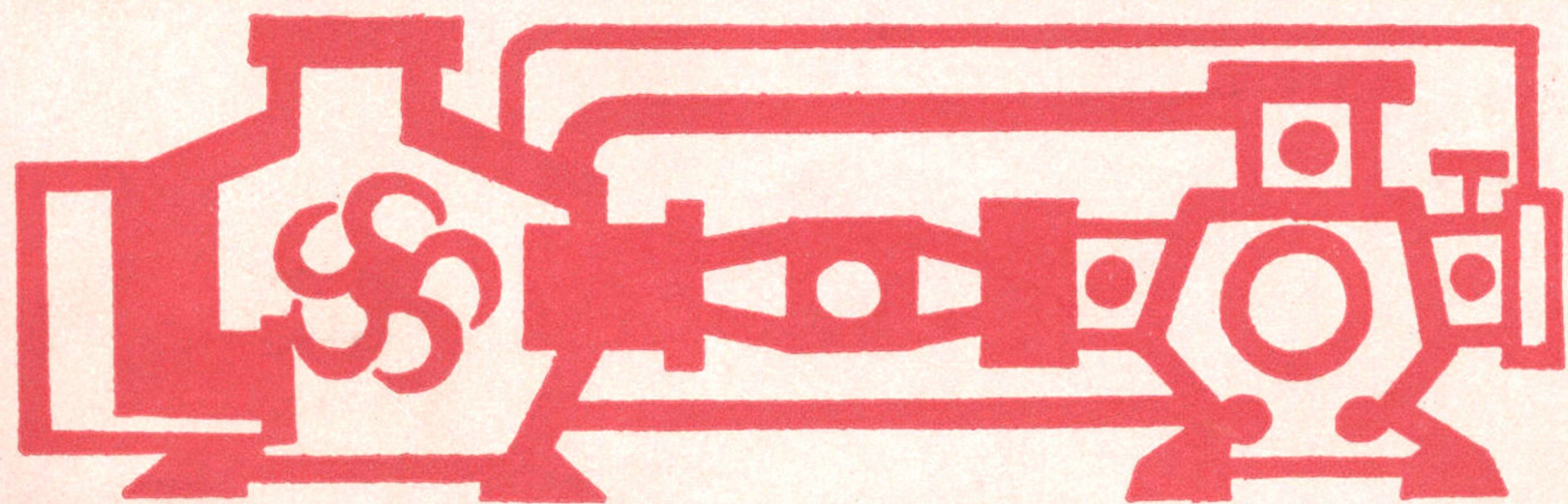
E-mail:lishanzhao@sina.com

中国农业出版社

中央农业广播电视学校试用教材

电机电气控制与供电

(机电专业)



中国农业出版社

中央农业广播电视学校试用教材

电机电气控制与供电

(机电专业用)

中国农业出版社

编者 解海滨 李国瑞
审稿 李丽英

编写说明

本套教材是专为中央农业广播电视学校中等机电专业编写的。全套教材共16册，即《数学》（上下册）、《语文》、《物理》、《中国革命史》、《马克思主义基础》、《机械制图》、《机械基础》、《机械制造基础》、《电工基础》、《电机电气控制与供电》、《拖拉机》、《农业机械》、《农业经济学基础》、《农机管理》、《机电修理》。通过本套教材的学习，力求使学员掌握拖拉机、农业机械和电气设备所需要的基本理论、基本知识和基本技能，具有一定的分析和解决问题的能力。

为了适应广播电视教学和农村广大机电人员、知识青年以及乡镇企业职工学习的需要，本套教材的编写力求深入浅出，通俗易懂，并安排适当的插图及表格，以加强直观。每章后附有本章提要及复习思考题。配合这套教材，备有讲课录音、录像磁带，以便于各级学校开展教学。

《电机电气控制与供电》是中等机电专业的专业课。全书分别介绍了交直流电机、变压器的结构、原理、特性及其使用；讲授了常用的低压电器和基本控制环节及有关供电等方面的内容，并附有实验实习。本教材由解海滨、李国瑞同志编写，李丽英同志审稿，并编写了第七章。

中等机电专业全套教材由张博文、王维仁、文承辉同志任责任教师，负责按照农业广播电视学校远距离教学特点，对教材的内容及其深、广度提出意见，以使教材适合学员学习要求。

编写中等机电专业的广播电视教材还是初次尝试，由于经验不足，时间仓促，教材的缺点错误一定不少，希望广大读者提出宝贵意见，以便今后修正。

中央农业广播电视学校

目 录

第一篇 电 机

第一章 直流电机	1
第一节 直流电机的工作原理	1
第二节 直流电机的构造	3
第三节 直流电机的电枢绕组	5
第四节 电枢反应与换向	11
第五节 直流电机的分类和直流并励发电机	14
第六节 直流电动机	17
复习题	22
内容提要	23
第二章 变压器	24
第一节 单相变压器的工作原理	24
第二节 变压器的构造和铭牌	26
第三节 三相变压器	29
第四节 三相变压器的联接	32
第五节 三相变压器的并联运行和容量选择	37
第六节 特种变压器	38
复习题	41
内容提要	42
第三章 交流异步电动机	43
第一节 异步电动机的种类和构造	43
第二节 异步电动机的工作原理	45
第三节 异步电动机的特性	49
第四节 异步电动机的起动、调速和使用	50
第五节 单相异步电动机	56
复习题	58
内容提要	58
第四章 同步电机	60
第一节 同步电机的基本结构	60
第二节 同步发电机的原理	62
第三节 同步电机的电枢反应	64
第四节 同步发电机的运行特性	65
第五节 同步发电机的并联运行	67

第六节 同步电动机	68
复习题	70
内容提要	71

第二篇 电气控制

第五章 低压电器	73
第一节 电器的基本知识	74
第二节 低压开关	76
第三节 主令电器	81
第四节 熔断器	84
第五节 接触器	86
第六节 继电器	88
第七节 低压电器的故障分析与检修	95
复习题	98
内容提要	98
第六章 基本控制线路	99
第一节 电气控制线路的原理图与接线图	99
第二节 三相鼠笼式异步电动机直接起动控制线路	106
第三节 三相鼠笼式异步电动机降压起动控制线路	113
第四节 绕线式异步电动机的起动控制线路	118
第五节 三相异步电动机的制动控制线路	121
复习题	126
内容提要	128

第三篇 供 电

第七章 农村变电所及架空线路	129
第一节 电力系统概述	129
第二节 所址选择及主结线方式	131
第三节 农村变电所一次设备的选择	133
第四节 农村变电所的配电装置及平面图	136
第五节 农村变电所的继电保护和二次回路	143
第六节 农村电力网	152
复习题	156
内容提要	156
第八章 工厂变配电所	159
第一节 工厂电力负荷及短路电流的计算	159
第二节 变配电所及一次系统	171
第三节 选择电气设备的一般原则	179
复习题	180
内容提要	181

第九章 线路装置	182
第一节 电力线路及其接线方式	182
第二节 导线和电缆截面的选择	183
第三节 动力电气平面布置图	185
第四节 室内布线	188
第五节 架空线路的敷设	190
第六节 电缆线路的敷设	200
复习题	203
内容提要	203
第十章 工厂的电气照明	205
第一节 照明技术的基本知识	205
第二节 工厂常用的电光源和灯具	207
第三节 人工照明的照度计算	208
第四节 照明供电系统及导线截面的选择	211
复习题	215
内容提要	215
第十一章 防雷、接地和电气安全	216
第一节 雷电和防雷措施	216
第二节 接地的基本概念和作用	217
第三节 接地电阻的要求值及其测量	219
第四节 接地装置的种类、型式及安装	221
第五节 电气安全	222
复习题	224
内容提要	224
实验一 直流并励发电机的空载和负载实验	225
实验二 直流电动机的起动、调速与反转	227
实验三 单相变压器的空载和短路实验	228
实验四 三相变压器的极性和连接组的判定	230
实验五 三相异步电动机的理相与起动方法	232
实验六 三相异步电动机点动和自锁控制线路	235
实验七 三相异步电动机的正、反控制线路	236
实验八 三相异步电动机反接制动控制线路	238
部分复习题答案	240

第一篇 电机

电机是一种转换能量的机器。由于电能在工农业生产、科学实验和人们生活中占有愈来愈重要的地位，因而电机的应用也愈来愈广泛。

同步发电机是电力系统的电源设备；变压器是输、配电的关键设备；异步电动机是许多种转动机械的原动机；直流电机在许多场合也起重要的作用。所以电机是极重要而又应用得很广泛的设备。

本篇就直流电机、变压器、异步电机和同步电机的结构和基本原理进行讨论，并介绍四种设备的特性，为培养学员的专业知识和解决实际问题的能力打下基础。

第一章 直流电机

直流电机包括直流发电机和直流电动机。直流发电机将机械能转换为电能，供负载用电；直流电动机将直流电能转换为机械能，用以拖动工作机械。

直流发电机是工农业生产上直流电的主要电源之一。例如电镀、电解、蓄电池充电等化学工业，普遍采用直流电源；汽车、拖拉机等机动车辆大都采用直流发电机作为车用电源。

直流电动机有良好的起动性能、调速性能和稳定性能，因而被广泛地应用在需要均匀调速和重载起动的机械设备上。例如，龙门刨床、汽车、拖拉机上；家用电器如录音机、录相机要求转速稳定，也都采用直流电动机来拖动。

第一节 直流电机的基本工作原理

一、直流发电机的基本原理

图1-1表示一台两极直流发电机原理图。在一对静止的磁极N和S之间，装有一个能转动的圆柱形铁心，铁心上绕着一个矩形线圈 $abcd$ 。线圈两端 a 和 b 分别接到两个互相绝缘的半圆形铜片1和2上。这两个铜片叫做换向片，两片之间互相绝缘，共同组成最简单的换向器。换向器上装有接通外电路的静止的电刷A和B，外电路中的用电器称为负载。

铁心、线圈及换向器组成的旋转部分称为电枢，意思是产生电的枢纽，是重要部分。当电枢被原动机拖动，以等速 n 沿逆时针方向旋转时，线圈的 ab 边和 cd 边便切割磁力线产生感应电动势。感应电动势的方向可用右手定则判断，在图1-1(a)所示位置时， ab 边在N极范围内运动，感应电动势方向是从 b 指向 a 。而 cd 边在S极范围内运动，感应电动势方向是从 d 指向 c 。从整个线圈来看，感应电动势方向是 $d \rightarrow c \rightarrow b \rightarrow a$ 。如接通外电路，电流就从电刷A流出，经负载从电刷B流进。

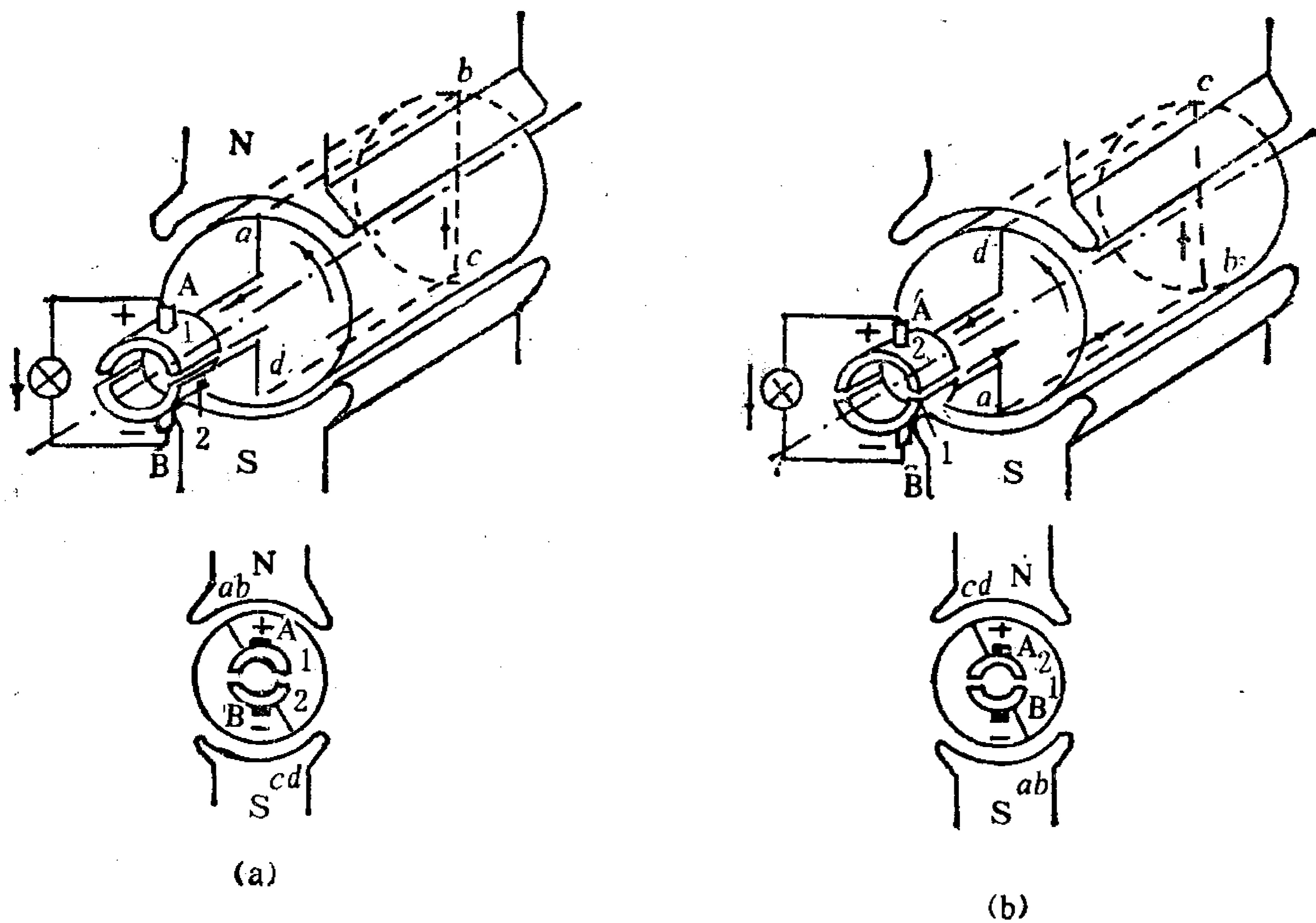


图 1-1 直流发电机工作原理

当线圈的 ab 边从 N 极范围转入 S 极范围, cd 边从 S 极范围转入 N 极范围时, 线圈中感应电动势方向改变为 $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d$, 如图 1-1(b) 所示。由于换向器随同电枢铁心一起旋转, 而电刷 A 、 B 则固定不动, 因此电刷 A 总是接通 N 极范围内的导线, 而电刷 B 总是接通 S 极范围内的导线, 所以电流仍从电刷 A 流出经负载从电刷 B 流进。即 A 永远为正极, B 永远为负极。因此外电路的电流方向不变。

从线圈内部来看, 感应电动势仍然是交变的, 而外电路电流方向不变, 主要原因是换向器和电刷的作用。旋转的换向器及时地改变线圈与电刷的连接方向, 将线圈产生的交变电势改变为电刷两端方向恒定的电势, 使外电路的电流按一定方向流动, 所以叫做直流发电机。

二、直流电动机的基本原理

图 1-2 表示一台两极直流电动机原理图。其基本结构和发电机完全相同。将电刷 A 接至电源的正极, 电刷 B 接至负极。电流将从电源正极流出, 经过电刷 A 、换向片 1、线圈 $abcd$ 到换向片 2 和电刷 B , 最后回到电源负极。

根据电磁感应定律, 载流导体在磁场中受到电磁力的作用, 其方向应用左手定则确定。在图 1-2 所示瞬间, 导体 ab 中的电流方向由 a 至 b , 且导体 ab 处于 N 极下, 由左手定则确定导体 ab 所受电磁力的方向向左; 导体 cd 所受电磁力的方向向右。这样便产生

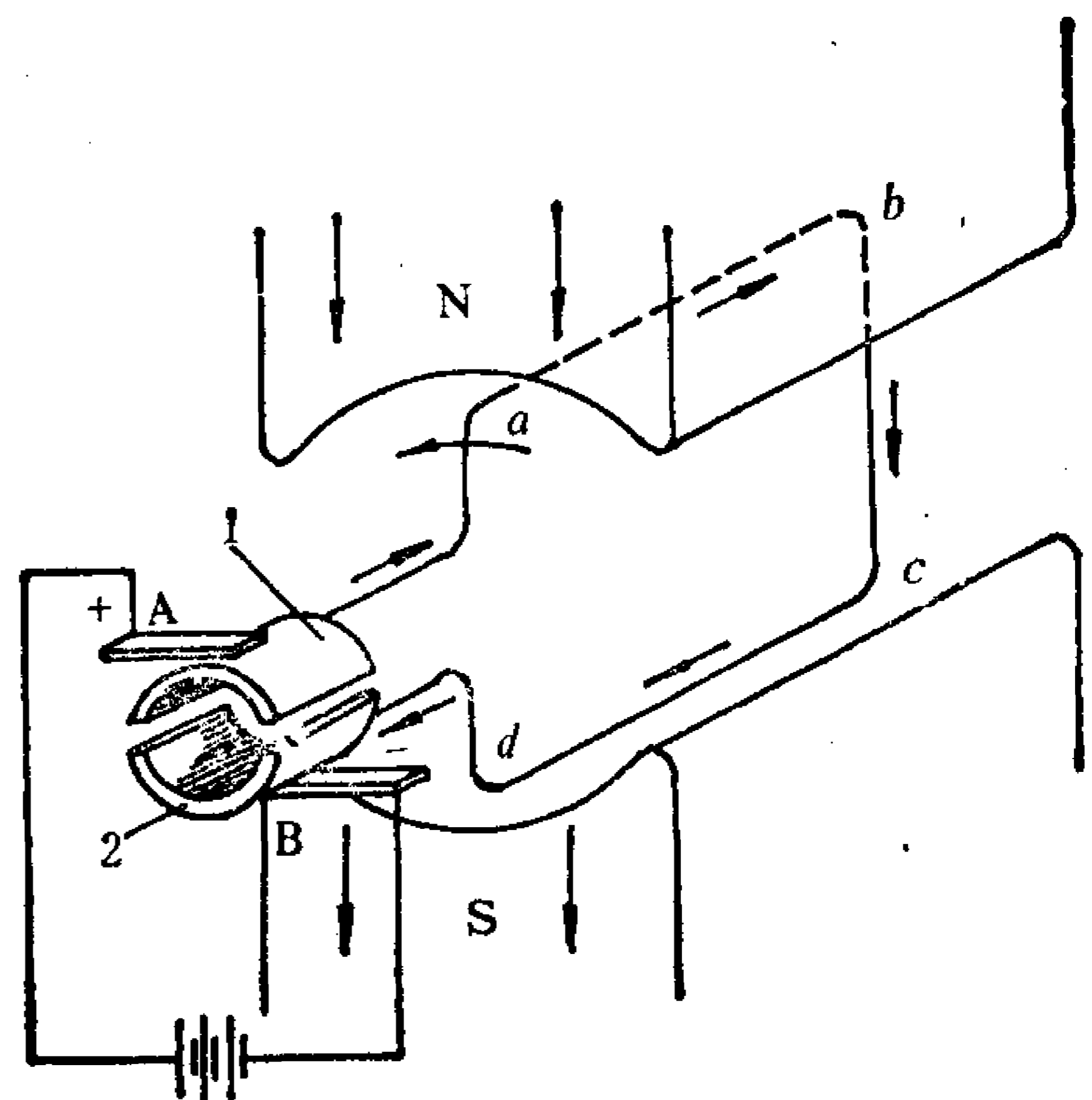


图 1-2 直流电动机原理图
1、2. 换向片

了一个转矩。在这个转矩的作用下，电枢按逆时针方向旋转起来。电枢自图1-2位置转过 90° 时，换向片不与电刷接触，两换向片中间的绝缘物与电刷接触，此时线圈中没有电流，电枢转矩消失。但是，由于机械惯性的作用，电枢仍能转过一个角度，使电刷A与换向片2、电刷B与换向片1接触，线圈中又有了电流流过。这时电流将从电源正极流出，经过电刷A、换向片2、线圈 $dcba$ 到换向片1和电刷B，最后回到电源负极。导体 ab 中的电流改变了方向，由 b 至 a ，并且已由N极范围转到S极范围，故 ab 所受电磁力方向向右。同理，处于N极范围内的导体 cd 所受的电磁力方向向左。在两个电磁力产生的转矩作用下，电枢继续沿着逆时针方向旋转，且一直旋转下去。这就是直流电动机的工作过程。

直流电动机是输出机械能的装置，实际电动机的匝数要多得多。匝数多产生的电磁转矩大，才能拖动工作机械。

第二节 直流电机的构造

直流电机由两个主要部分组成：一个是静止部分，叫做定子；另一个是转动部分，叫做转子或电枢。定子与转子之间的间隙，称做空气隙。其结构如图1-3所示。

一、定子部分

直流电机定子是用来产生磁场和作为电机机械支撑物的。它由主磁极、机座、端盖和电刷装置等组成。

(一) 主磁极 主磁极的作用是产生主磁场。它包括主磁极铁心和励磁绕组两部分。如图1-4所示。

主磁极铁心一般用 $0.5\text{--}1.0\text{mm}$ 厚的钢片冲制后叠压起来，再用铆钉铆紧。磁极用螺杆固定在机座上。铁心靠近电枢的一端称极掌，极掌的作用是使定子与转子之间形成空气隙，并且使空气隙中的磁感应强度按一定规律分布。励磁绕组固定在铁心上。

励磁绕组一般用绝缘铜线绕制，套装在主磁极铁心上。励磁绕组、铁心与外壳牢固地装在一起，形成一个整体。

(二) 机座 机座就是电机的外壳，一般用铸钢或钢板焊接而成，小型电机也有采用铸铁的。

机座是电机的机械支架，主磁极、端盖等部件就固定在上面。机座下部两边焊接或铸出两个底脚，以便与基础固定。

机座是磁路的一部分，其传导磁通的部分叫磁轭。主磁极、极掌、空气隙、电枢铁心和

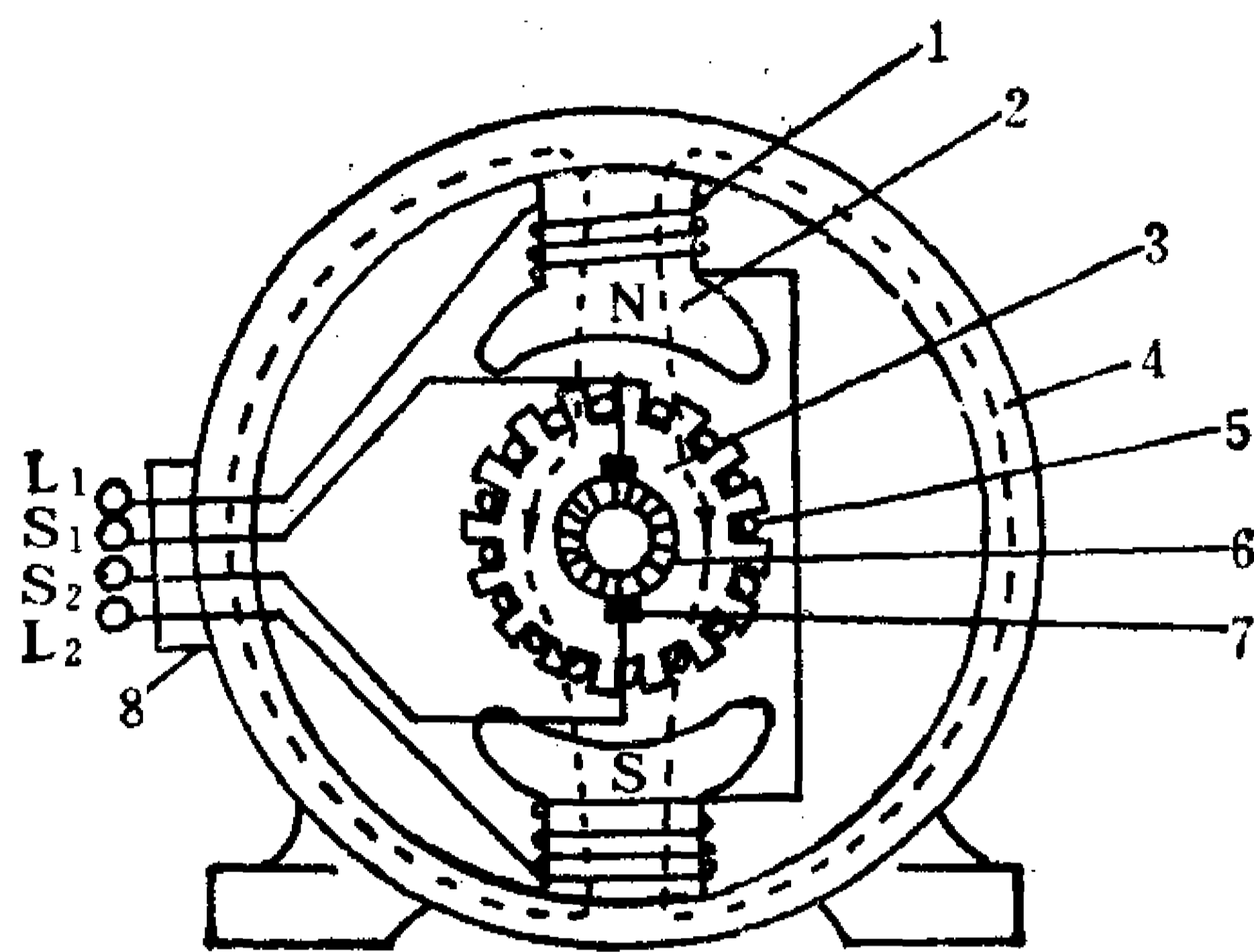


图 1-3 直流电机构造简图

- 1.励磁绕组 2.磁极 3.电枢铁心 4.磁轭
5.电枢绕组 6.换向器 7.电刷 8.出线盒

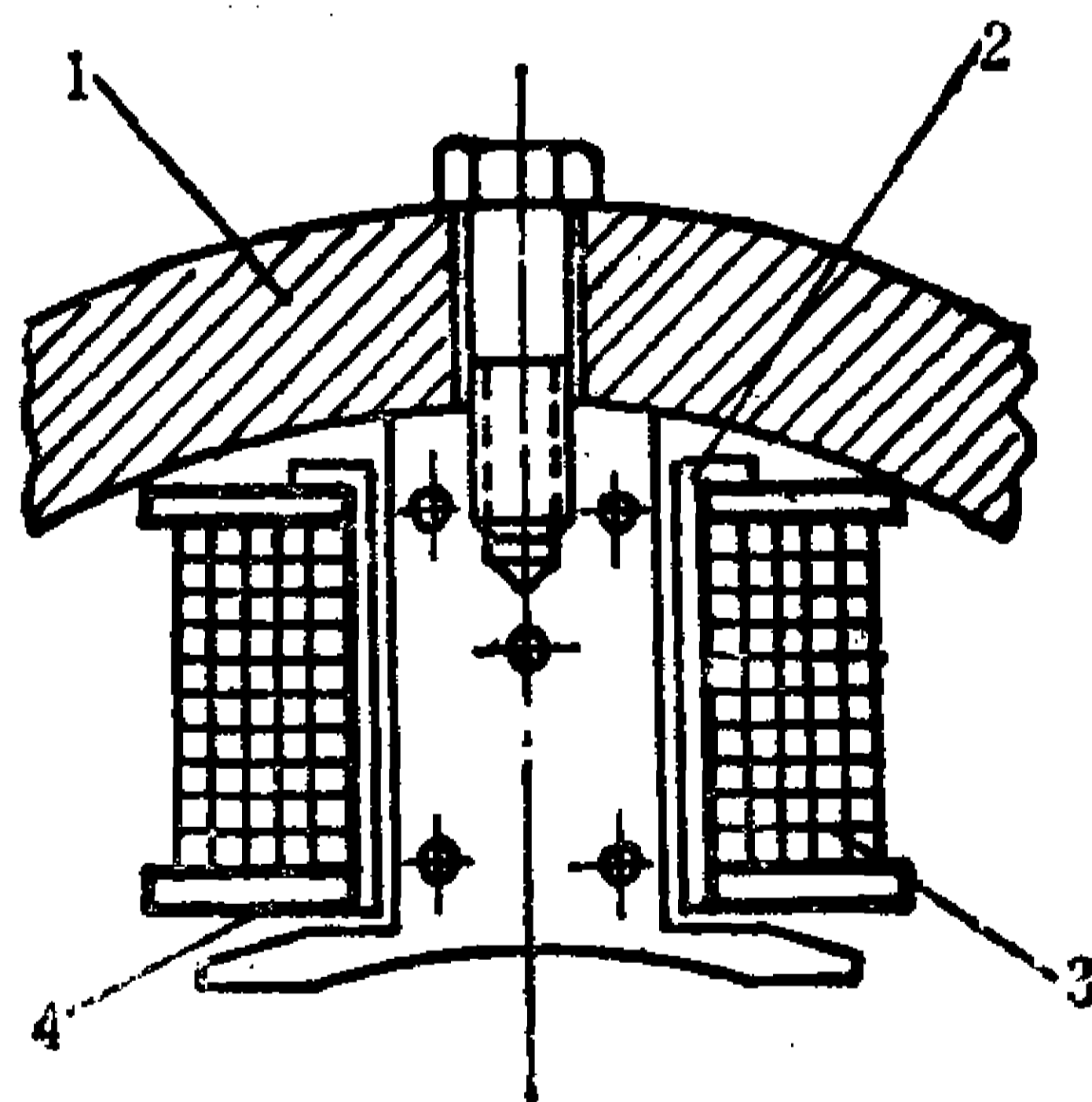


图 1-4 直流电机的主磁极

- 1.机座 2.铁框 3.励磁绕组 4.绝缘材料

磁轭形成了电机的磁路。磁通通过整个电机的情况如图1-4所示。

(三) 电刷装置 电刷装置的作用是通过固定的电刷和旋转的换向器之间的滑动接触，把电枢绕组中的交变电势变换为电刷上的直流电势（对发电机来说），输出直流电能。对于电动机来说，电刷装置把外电路的电能输送到电动机的绕组内，以产生机械能。

电刷装置由电刷、刷握、刷杆和刷杆座等零件组成。如图1-5所示。电刷放在刷握上的刷盒中，利用弹簧把电刷压在换向器上。刷握固定在刷杆上，刷杆装在刷杆座上，刷杆与其座之间是绝缘的。刷杆座与外壳相连接。刷杆与电刷之间用软铜线连接，再从刷杆上接引线与外电路相通。

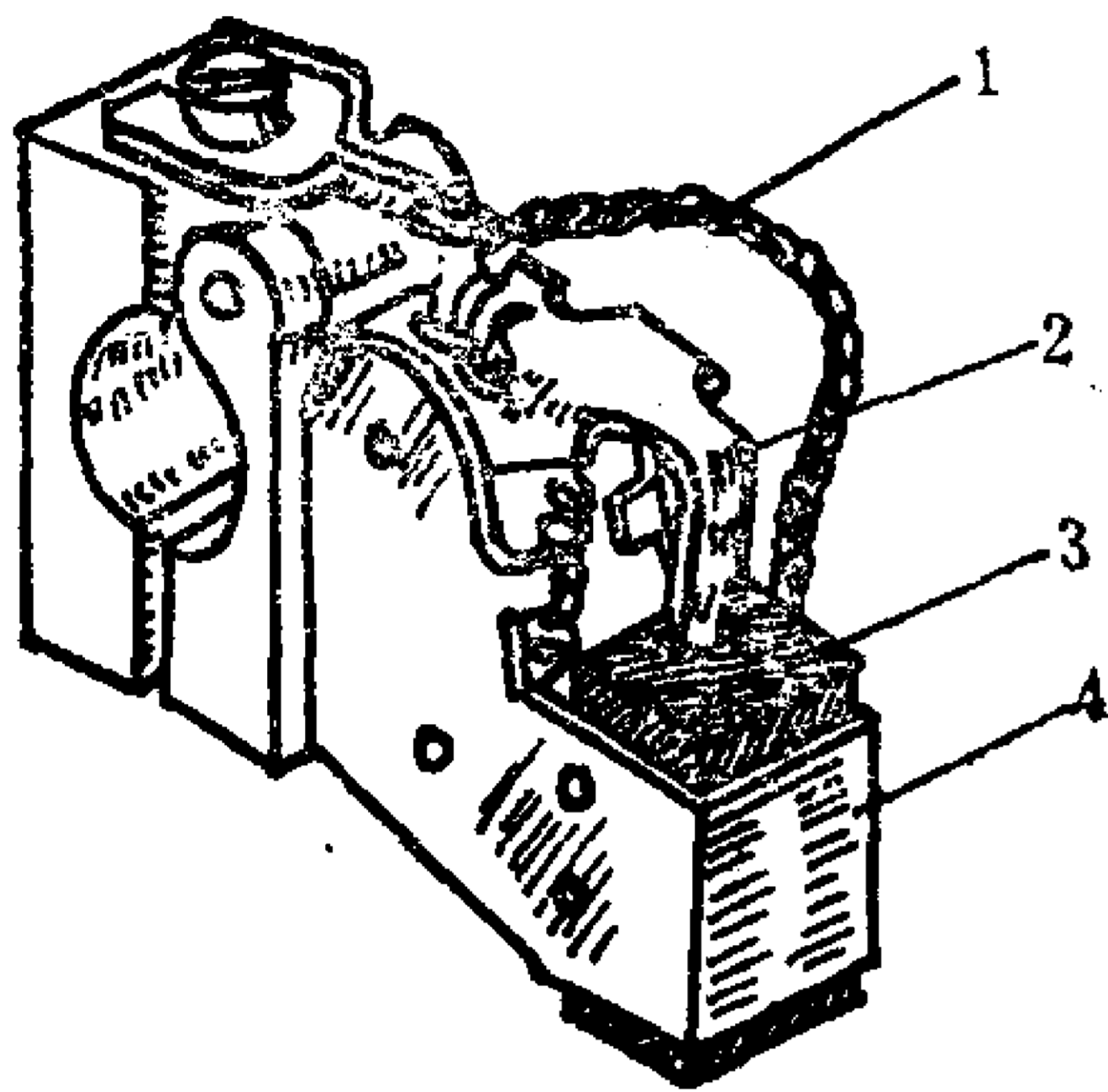


图 1-5 直流电机的电刷装置

1.铜丝辫 2.弹簧压板 3.电刷 4.刷握

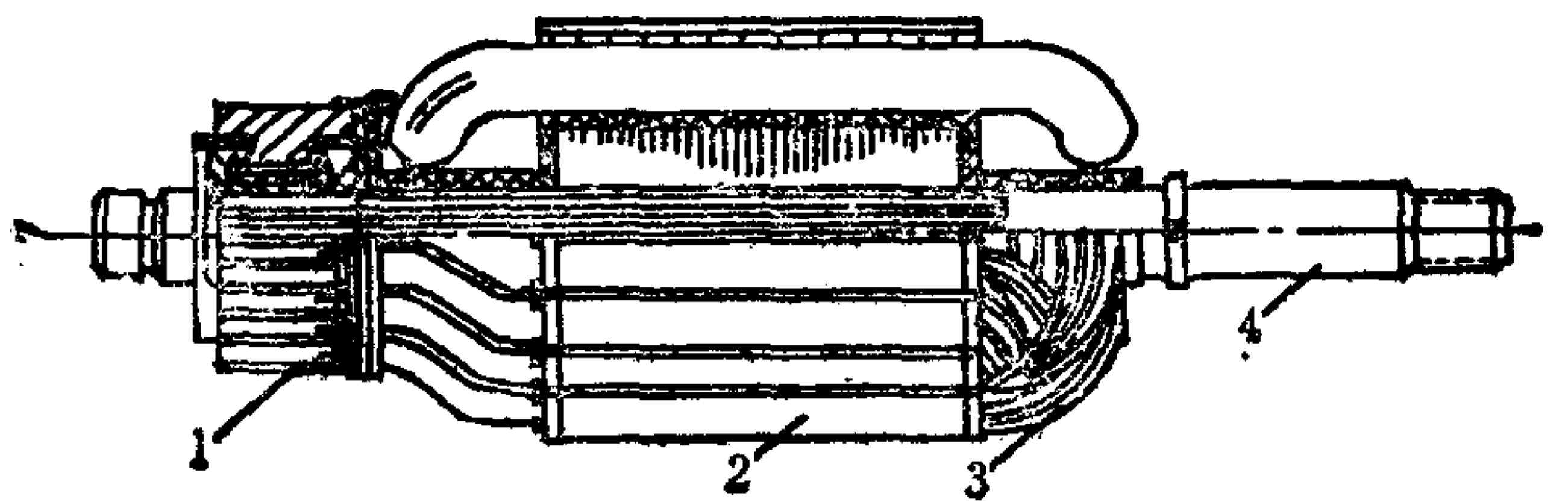


图 1-6 直流电机的转子

1.换向器 2.铁心 3.电枢绕组 4.轴

二、转子部分（电枢）

电枢的作用是产生感应电势（发电机）或电磁转矩（电动机）。从而实现能量转换。它包括电枢铁心、电枢绕组、换向器、风扇和转轴等部件，如图1-6所示。

(一) 转子铁心 转子（电枢）铁心的主要作用是放置电枢绕组和形成磁力线通路。其铁心一般用0.5mm厚的硅钢片冲制叠压而成。冲片形状如图1-7所示。为了减少涡流损耗，冲片之间用漆和氧化物绝缘。电枢铁心槽的形状有梨形和矩形两种，如图1-8所示。

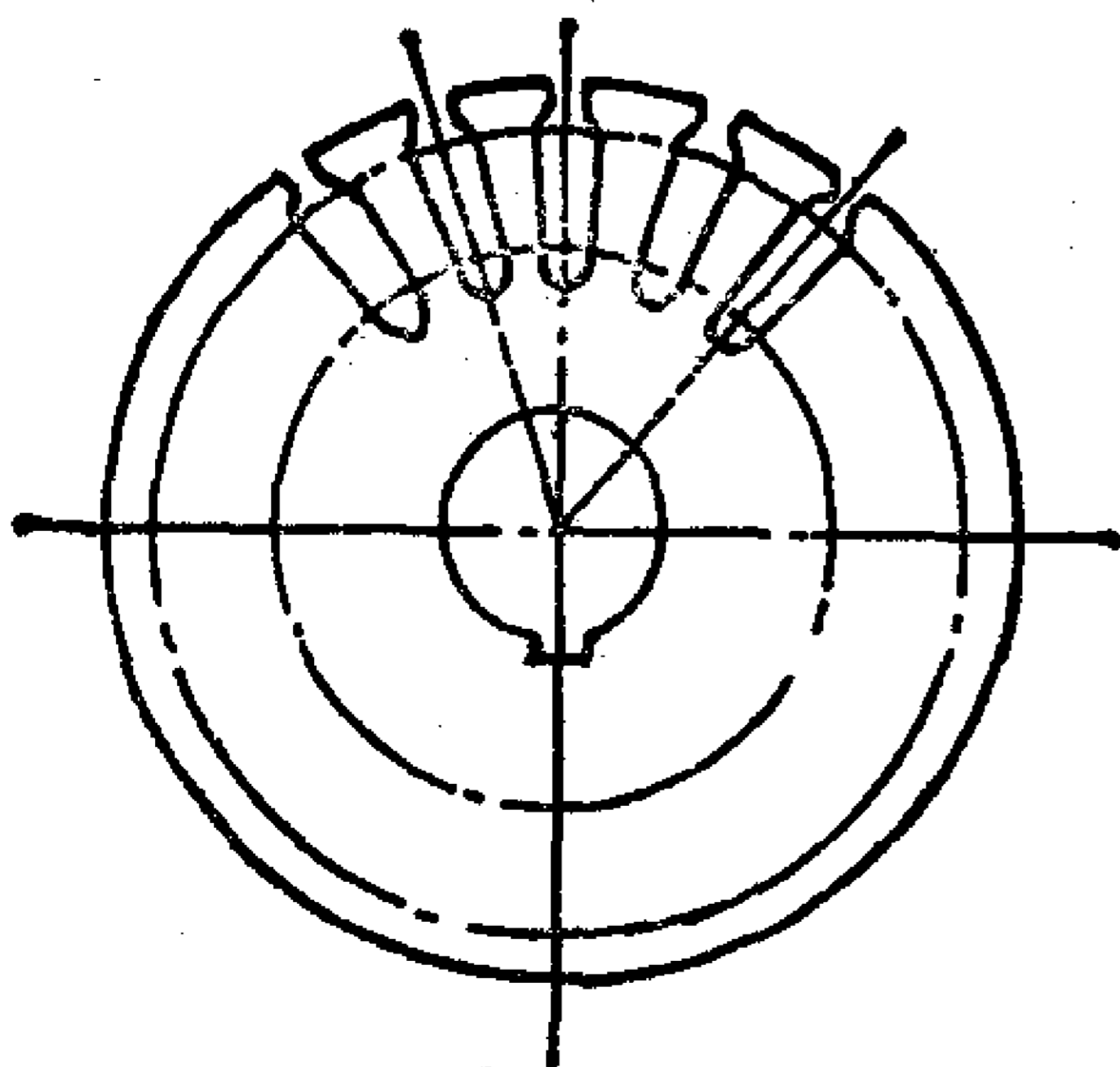


图 1-7 电机铁心冲片

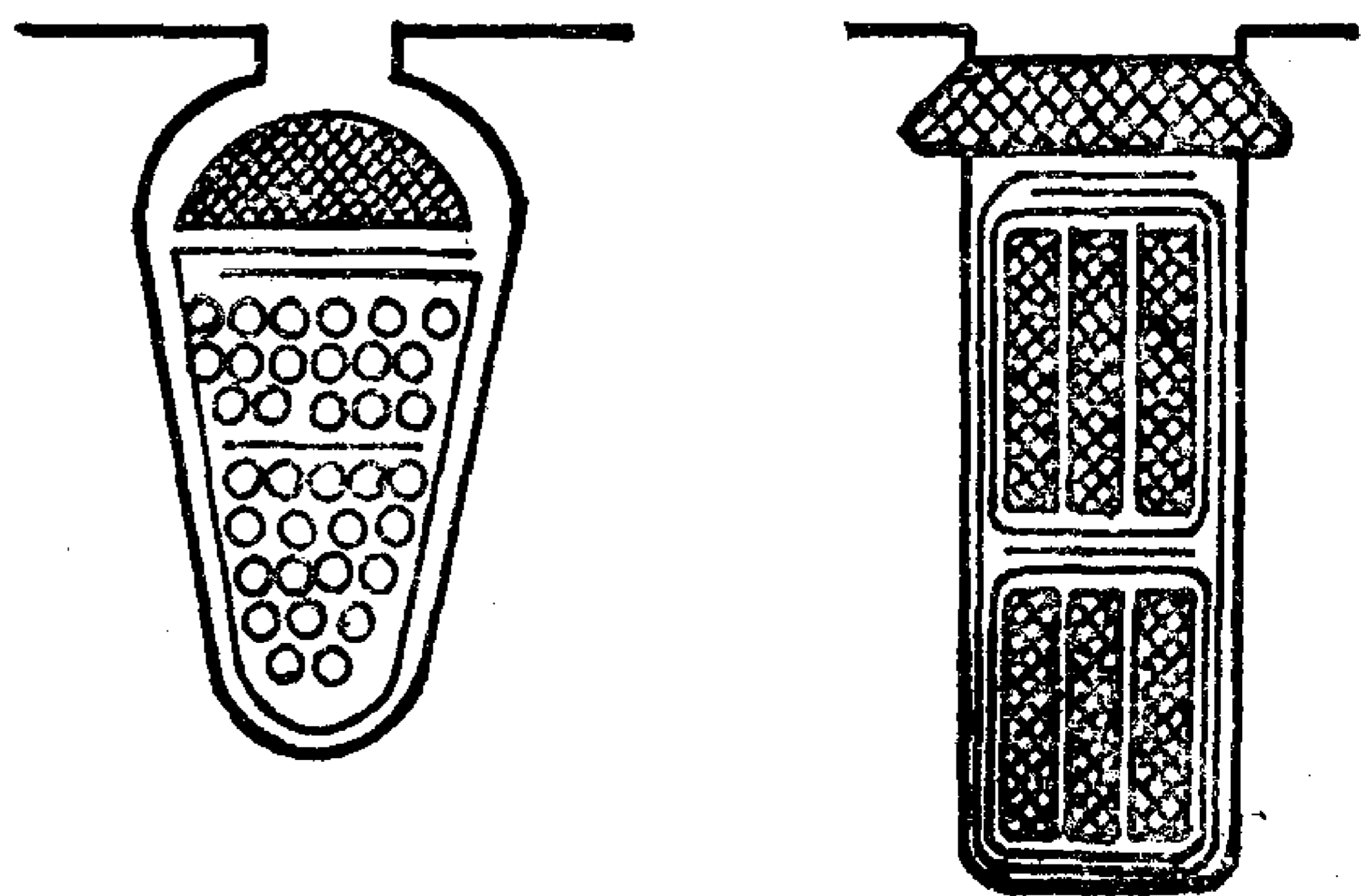


图 1-8 电枢铁心槽截面形状

(二) 电枢绕组 电枢绕组是电机的主要部件之一，它的作用是产生感应电动势并通过电流，使电机实现能量转换。电枢绕组通常是将绝缘铜线在模型上绕成线圈后按一定规律嵌入铁心槽中。绕组与铁心之间以及上下层线圈之间都放有绝缘材料。在槽口用槽楔把线圈压住，以防止电枢绕组在旋转时飞散出来。

(三) 换向器 换向器是直流电机的特有部件。换向器对于直流发电机，是将电枢绕组的交变电势和电流转换成电刷之间的直流电压和电流；对于电动机则是将输入的直流电流转换为电枢绕组内的交变电流，并保证在每一磁极下电枢导体内的电流方向不变，以产生恒定方向的电磁转矩。因此，换向器是直流电机中一个关键的、也是最易出故障、难于维修的部件。

换向器结构如图1-9所示。它由许多铜片构成，铜片内侧做成燕尾形，嵌在换向器轴套和压环组成的“V”形槽中，外表面成为圆形，铜片靠里端突起形成接线凸缘，电枢绕组的首端就焊接在凸缘的小槽内。各铜片之间、铜片与轴套之间、铜片与压环之间均用云母绝缘。

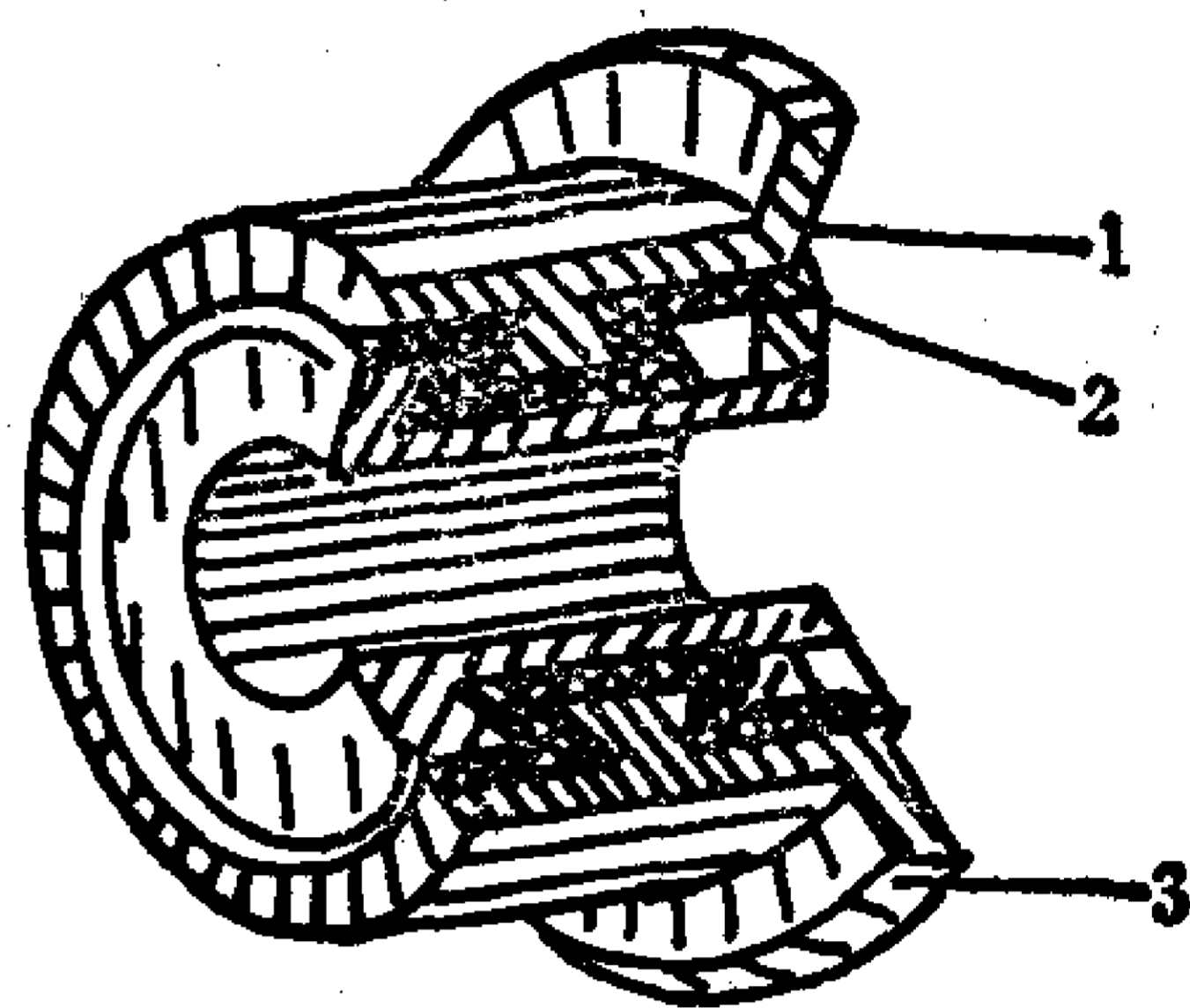


图 1-9 直流电机的换向器
1.换向片 2.绝缘云母 3.接线凸缘

三、空气隙

定子与电枢之间的间隙叫空气隙。由于定子固定不动，电枢高速旋转，它们既不能接触，又不能有过大间隙。因为空气隙是磁路的一部分，空气的磁阻非常大，气隙大，磁阻就大，磁场便减小，电机性能变坏。小容量的电机空气隙为 0.5—3mm，大容量电机为 10—12mm，在修理电机时，比如在拆卸、更换绕组、更换轴承或安装时要特别注意，不要改变间隙。

第三节 直流电机的电枢绕组

一、概 述

电枢绕组是由许多单个线圈组成的，这些线圈均匀地按照一定的规律嵌放在电枢铁心的槽内，其两端分别接在两个换向片上。根据连接方法的不同，电枢绕组可分为叠绕组和波绕组两种。

(一) 电枢绕组的名称

1. 元件、有效边、端接线 绕组元件：组成绕组的每一个线圈称作绕组元件，一个元件可以是一匝也可以是多匝绕成。

有效边、端接线：电枢槽中，元件在槽内能切割磁力线产生感应电动势的元件称为有效边。元件在槽外的部分不感应电动势，仅供连线之用，称为端接部分或称端接线。

2. 绕组元件数和换向片数 每个绕组元件有两个线端，这两个线端分别接在两个换向片上。每个换向片接有两个不同绕组元件的线端，因此，绕组元件数和换向片数是相等的。设换向片数为 K ，元件数为 S ，则

$$S = K$$

3. 上层边、下层边 电枢绕组一般做成双层，为了便于嵌线，绕组元件的两个有效边一个放在槽的上层叫上层边，另一个放在槽的下层叫下层边。绕组元件在槽内的放置法如图1-10所示。

4. 实槽、虚槽 电枢铁心表面具有一定几何形状的槽称作实槽，比如12槽、24槽、36槽等。一个电枢元件有两个有效边，一个有效边放在某一槽的下部，另一个有效边则要放在另一个槽的上部。一个电枢有许多元件，那么，每个实槽中至少有一个下层有效边和一个上层有效边。我们把上下两个有效边所占槽的空间称作一个虚槽（又称单元槽），可见，一个实槽就由若干个虚槽所组成。如图1-11所示。

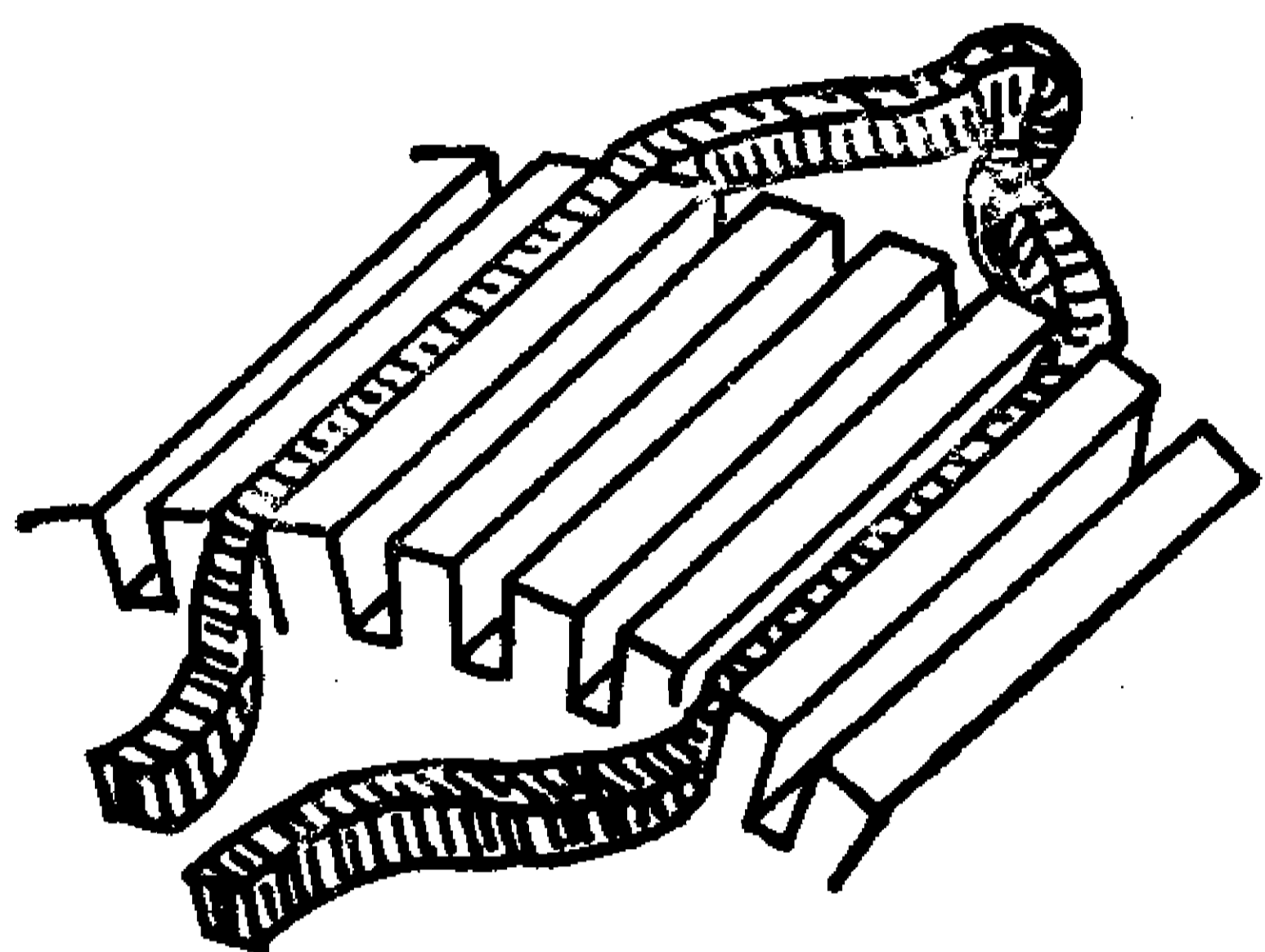


图 1-10 绕组元件在槽内的放置法

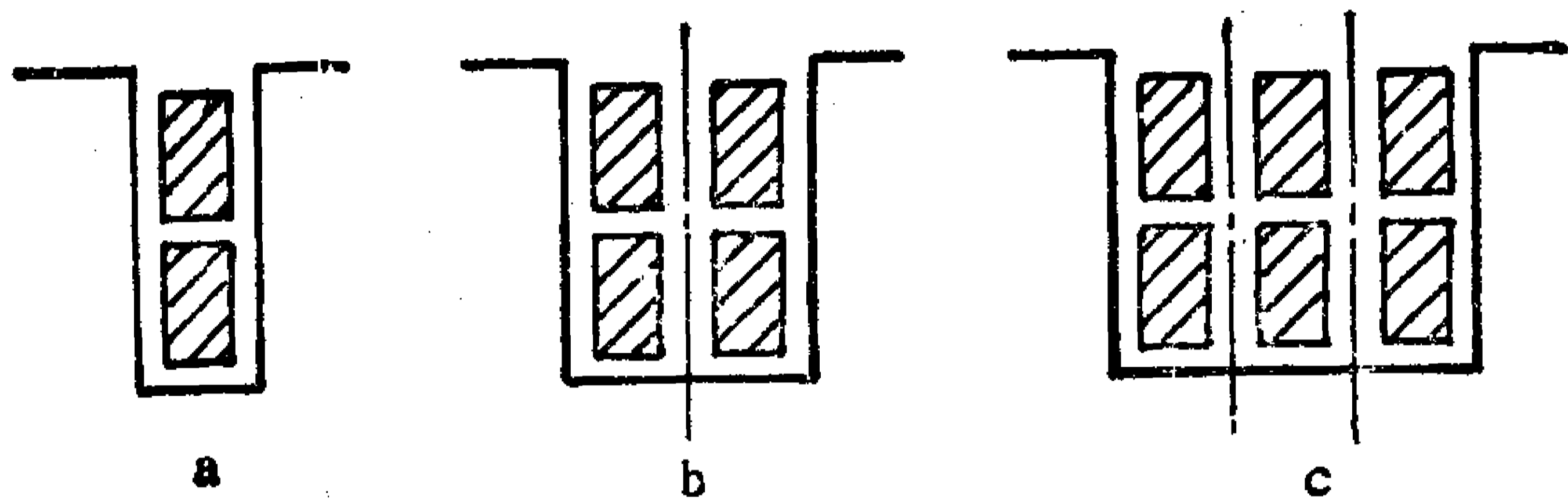


图 1-11 电枢的实槽和虚槽

a. 一个虚槽 b. 二个虚槽 c. 三个虚槽

因为每一虚槽有上下两个不同元件的有效边，而每一元件也有两个有效边，所以总虚槽数 Z 等于总元件数 S ，即

$$Z = S = K$$

(二) 节距 为了正确地把各元件及相应换向片互相联接起来，需要求出绕组的节距。绕组的节距包括以下四项内容：

1. 第一节距 Y_1 表示同一绕组元件两有效边之间的距离，以虚槽数表示。为了使每一元件感应电动势为其一有效边感应电动势的两倍，其中一有效边若处在 N 极下，另一个有效边就应处在 S 极下相应的位置，它们之间的距离应接近或等于一对磁极间的距离。

设 τ 为极距，以虚槽数表示，则

$$Y_1 \approx \tau$$

若以 P 表示磁极对数，则 Y_1 用虚槽数表示为：

$$Y_1 \approx \tau = \frac{Z}{2P}$$

但虚槽数常不能被 $2P$ 整除，而 Y_1 又必须为整数，因此

$$Y_1 = \frac{Z}{2P} \mp \epsilon$$

式中 ϵ 为使 Y_1 凑成整数的一分数值。负号表示 $Y_1 < \tau$ 。即为短距绕组；正号表示 $Y_1 > \tau$ ，即为长距绕组。当 $\epsilon = 0$ 时， $Y_1 = \tau$ ，表示为整距绕组。一般采用整距或短距绕组。

2. 第二节距 Y_2 第一个元件的下层有效边到与它相串联的第二个元件的上层有效边之

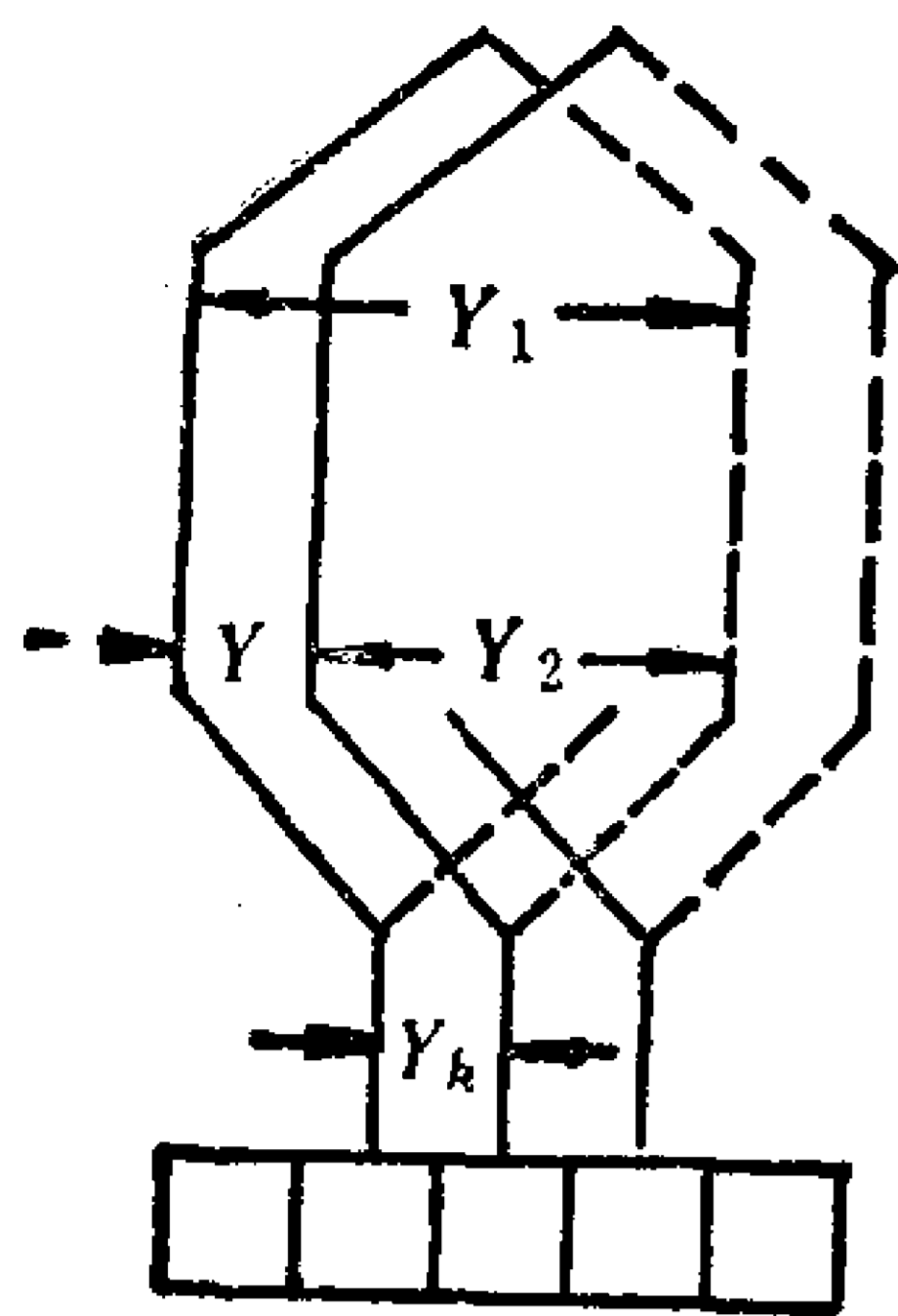


图 1-12 绕组元件

间的距离（或者说与同一换向片相连的两个有效边间的距离），以虚槽数表示。如图1-12。

3. 合成节距 Y 两只相连接的元件对应边间的距离，以虚槽表示。如图1-12所示。

4. 换向节距 每一元件的两端所联接的两片换向片间的距离，以换向片数表示。如图1-12所示。

为了使下线不混乱，应使相邻两元件的对应边在电枢铁心上相隔的虚槽数，与这两边端头所接的换向片间相隔的换向片数相等。也就是合成节距 Y 等于换向节距 Y_K ($Y = Y_K$)。

电枢绕组分叠绕组和波绕组。叠绕组又分单叠和复叠；波绕组又分单波和复波绕组。这里只简单介绍单叠和单波绕组。

二、单叠绕组及其展开图

单叠绕组的连接方法是将第一个元件的下层边与第二个元件的上层边通过换向片连接在一起，并且第二个元件放在第一个元件相邻的虚槽内。最后一个元件的下层边与第一元件的上层边通过最后一个换向片连接成一闭合回路。

单叠绕组分右行绕组和左行绕组两种型式，如图1-13。 $Y_K = 1$ 为右行绕组，表示第二个元件的首端在第一个元件的右边，依此类推。 $Y_K = -1$ 为左行绕组，表示第二个元件在第一个元件的左边，往左推进。两种绕组在原理上是一样的，但左行绕组端接部分互相交叉，引线长，一般不采用。

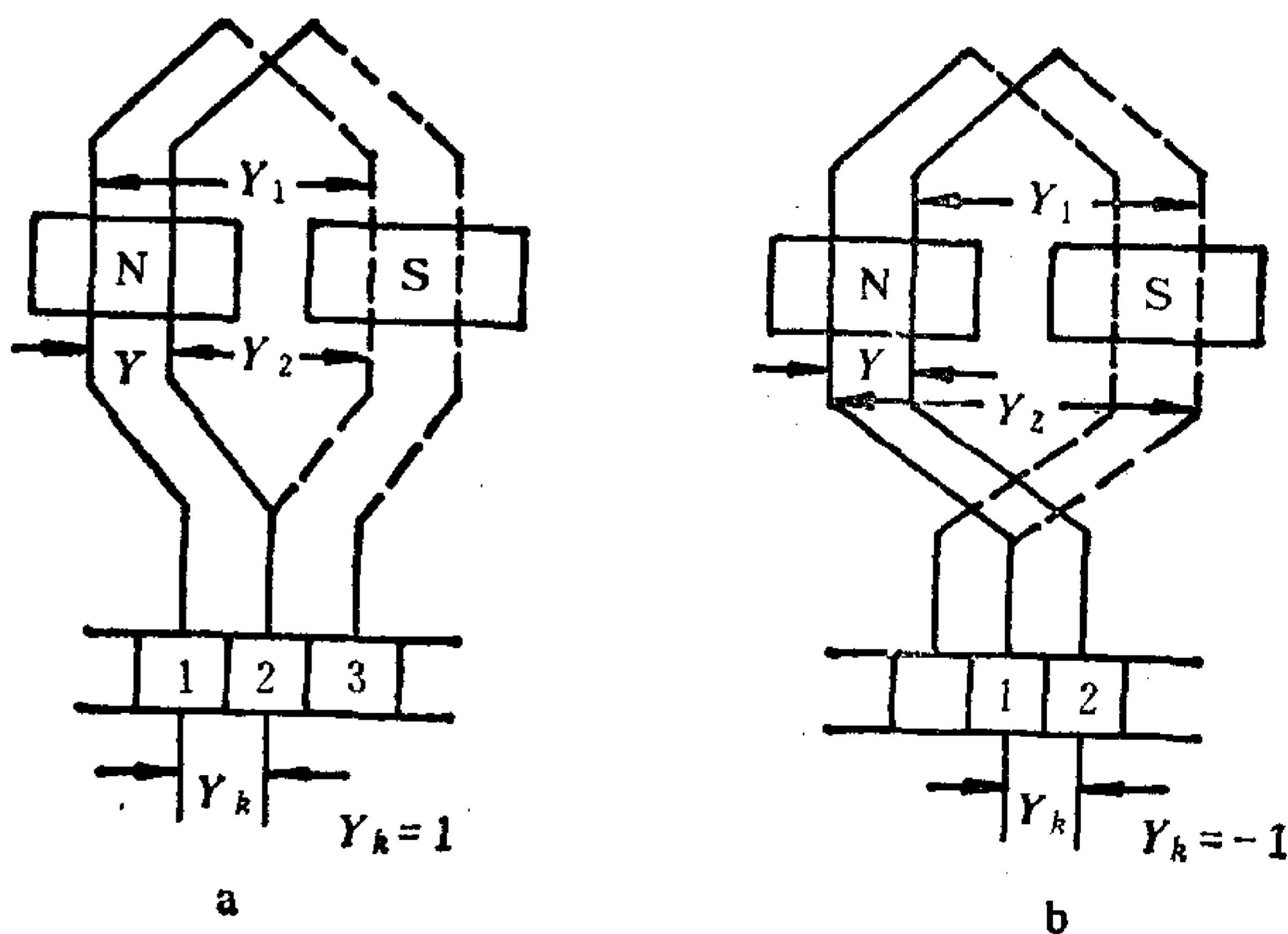


图 1-13 单叠绕组的两种型式
a. 右行绕组 b. 左行绕组

绕组的联接，可以用展开图来分析。绕组展开图是假设将电枢从某齿中间沿轴向剖开，再展开成一个平面，能够清楚地显示出绕组的联接关系。作图步骤如下：

设 $2P = 4$ ， $Z = S = K = 16$ 。作单叠绕组展开图。

(一) 画虚槽和换向片 实际电机的电枢表示有齿有槽，槽内每一层放置几个元件边。在绕组展开图上习惯以虚槽表示，而且是等分的，每一虚槽内放置两个有效边。上层有效边以实线表示，下层有效边以虚线表示。

在展开图上，换向器与电枢等宽。如图1-14所示。

(二) 计算节距

根据公式：

$$Y = Y_K = 1$$

$$Y_1 = \frac{Z}{2P} \mp e = \frac{16}{4} = 4 \quad \text{为全距绕组}$$

$$Y_2 = Y_1 - Y = 4 - 1 = 3$$

(三) 联接绕组元件 绕组元件的联接是根据绕组节距数据进行的。如1号元件的上层边位于1号槽的上层，其下层边经过 $Y_1 = 4$ 位于5号槽的下层。1号元件的首端分别接到1号和2号换向片上。联接时应注意元件在展开图上要对称，1号元件的下层边经 $Y_2 = 3$ 接到2号元件的上层边，依此类推，把各个元件依次联接起来。各元件的联接关系如图1-14所示。图中数字表示元件有效边所在的虚槽号。上层的数字同时也表示元件号。

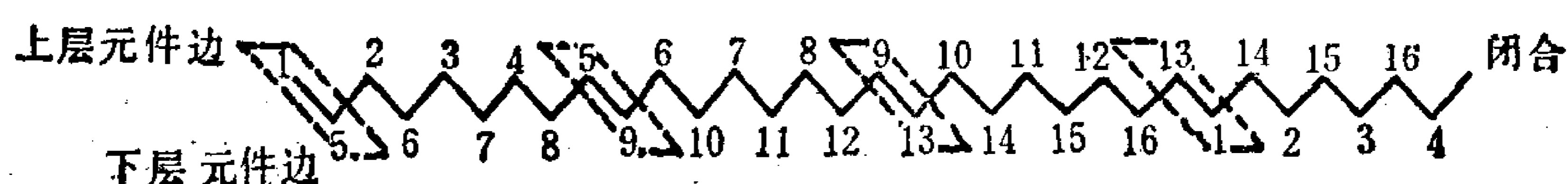


图 1-14 单叠绕组元件联接次序

图1-15为单叠绕组放射图，图1-16为展开图，两图可对应分析。从1号元件上层有效边开始绕电枢一周，将全部元件边都联了起来，又回到1号元件上层边，可见单叠绕组在内部自成一闭合回路。

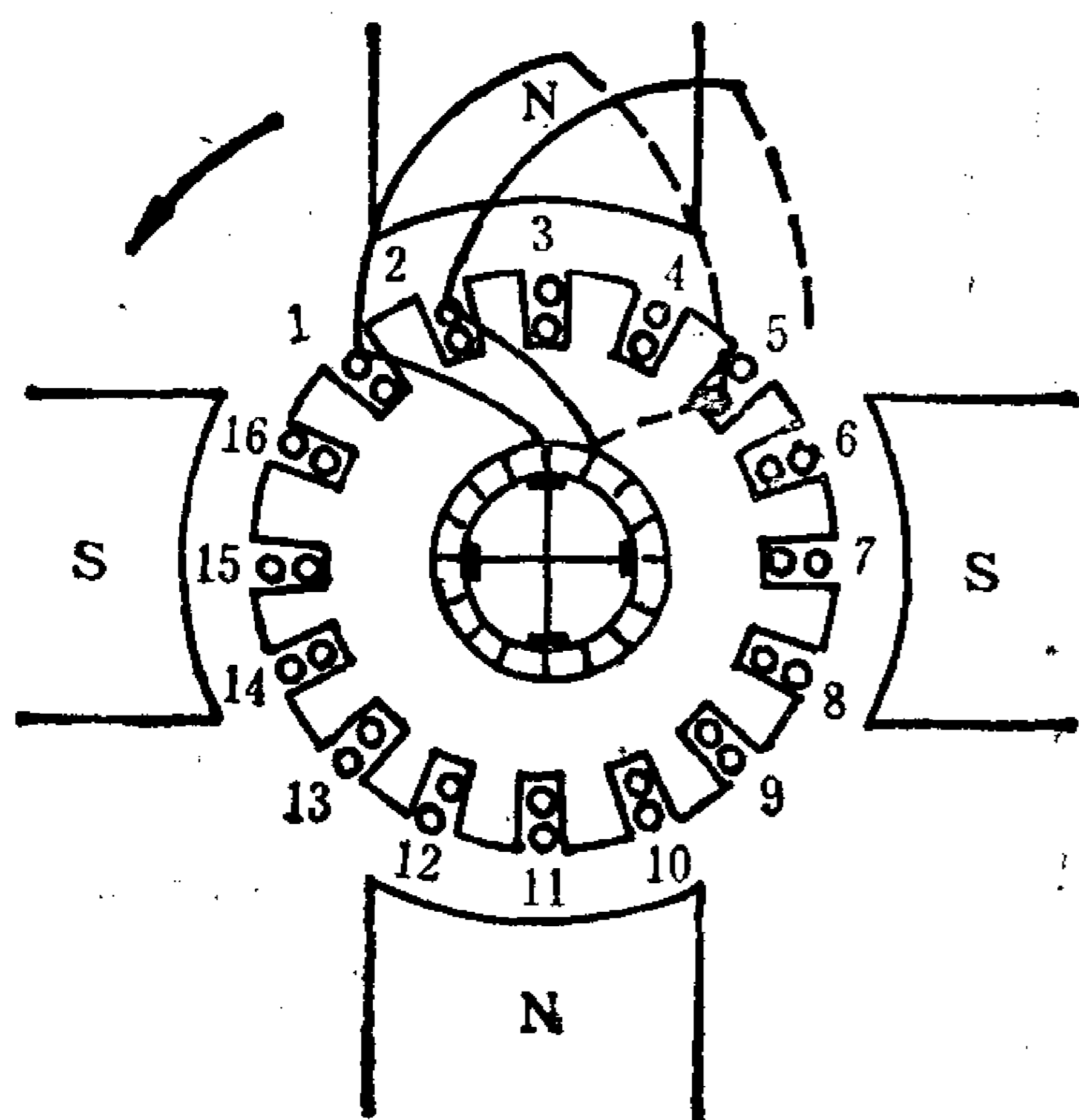


图 1-15 单叠绕组元件放射图

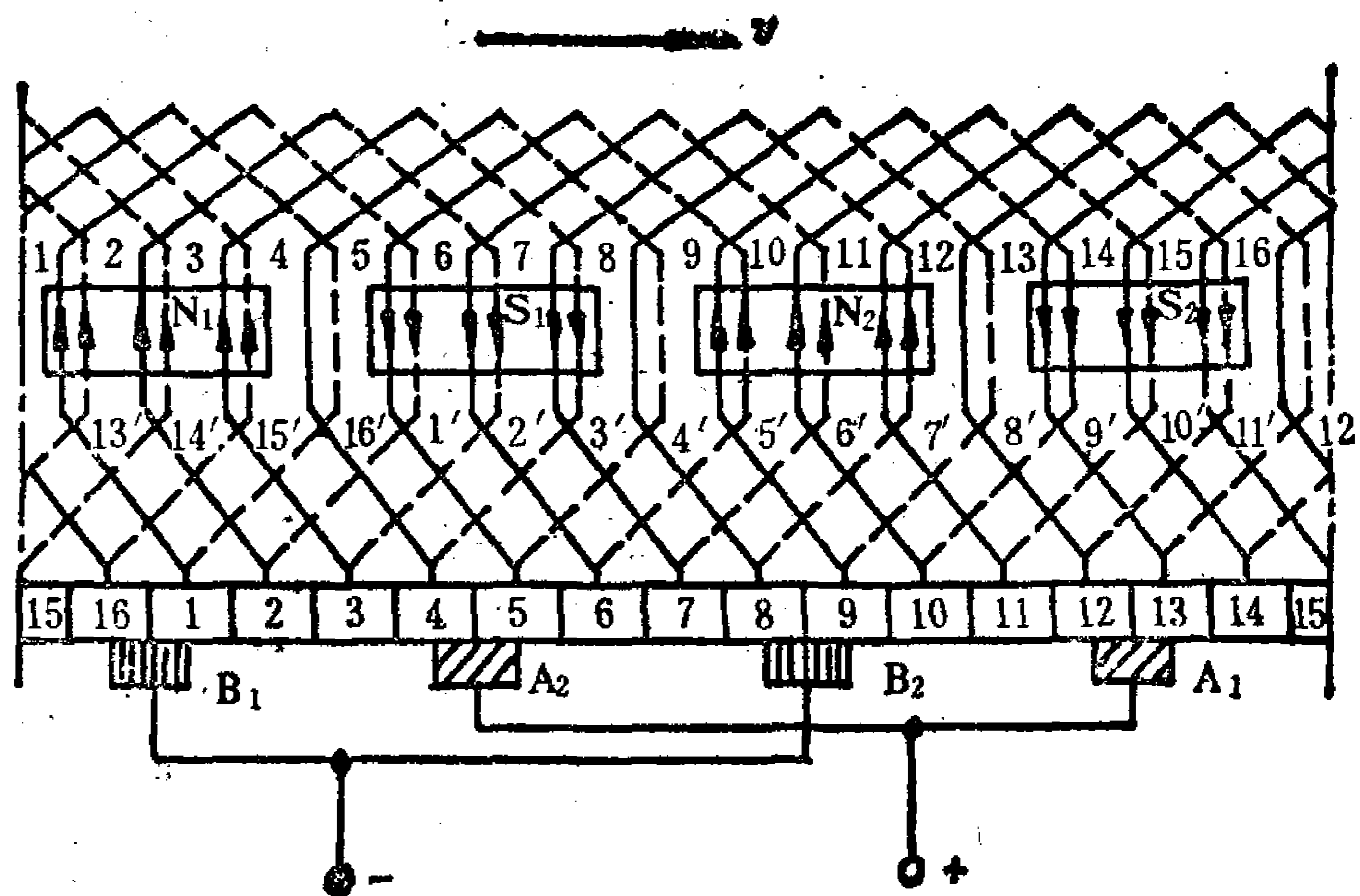


图 1-16 单叠绕组展开图

(四) 放置磁极和电刷 电机磁极在圆周上对称分布，因而在展开图上须均匀布置。磁极的宽度一般为0.7倍极距。图上表示的磁极是在电枢表面展开图的上面，即靠近读者一边，因此，N极的磁力线方向是进入纸面的，而S极则是钻出纸面。

电刷的位置必须使相邻的两个电刷间的电压达到最大值。因此，电刷应放在感应电动势改变方向处。图1-16中电刷放置在磁极中心线上，使电刷与几何中心线上的元件相联接。几何中心线位于两相邻磁极之间，此处磁通由一方向改变为相反方向，显然磁通为零。处在此处的元件感应电动势也为零。该处元件经过电刷短路，不会产生短路电流。

在单叠绕组中，元件电势改变方向的次数和磁极数目相等，所以电刷的数目应等于磁极数目。电刷在换向器上对称分布，在展开图上也应均匀布置。图中电刷的宽度为一片换向片宽，实际上一一般为2—3个换向片宽，因太窄了电刷易磨损，强度不够。

(五) 确定元件感应电动势方向和电刷极性 在磁极极性和电枢旋转方向确定之后, 对于发电机来说, 就可确定电势方向与电刷的极性。根据图1-16, 利用右手定则可确定元件感应电势方向, 电流自电刷 A_1 和 A_2 流出, 故 A_1 和 A_2 为正电刷, 而 B_1 和 B_2 为负电刷。极性相同的电刷, 即 A_1 和 A_2 、 B_1 和 B_2 并联后引向外电路的用电器。

(六) 并联支路 从展开图中可以看出, 在同一极下的元件上层有效边(或下层有效边)电势方向是相同的, 循着一个方向环绕电枢绕组闭合回路前进, 每经过一个磁极, 绕组电势方向改变一次。比如 N_1 极下面的上层有效边和相邻的 S_1 极下层有效边相串联, 实际上就是把元件 1、2、3 各有效边串联起来, 它们组成了一条支路, 这些有效边中的电势沿绕线方向是相加的。同理元件 5、6 和 7 组成第二条支路; 元件 9、10 和 11 组成第三条支路; 元件 13、14 和 15 组成第四条支路。全部绕组对外电路来说, 形成了 4 条并联支路。如图1-17所示。

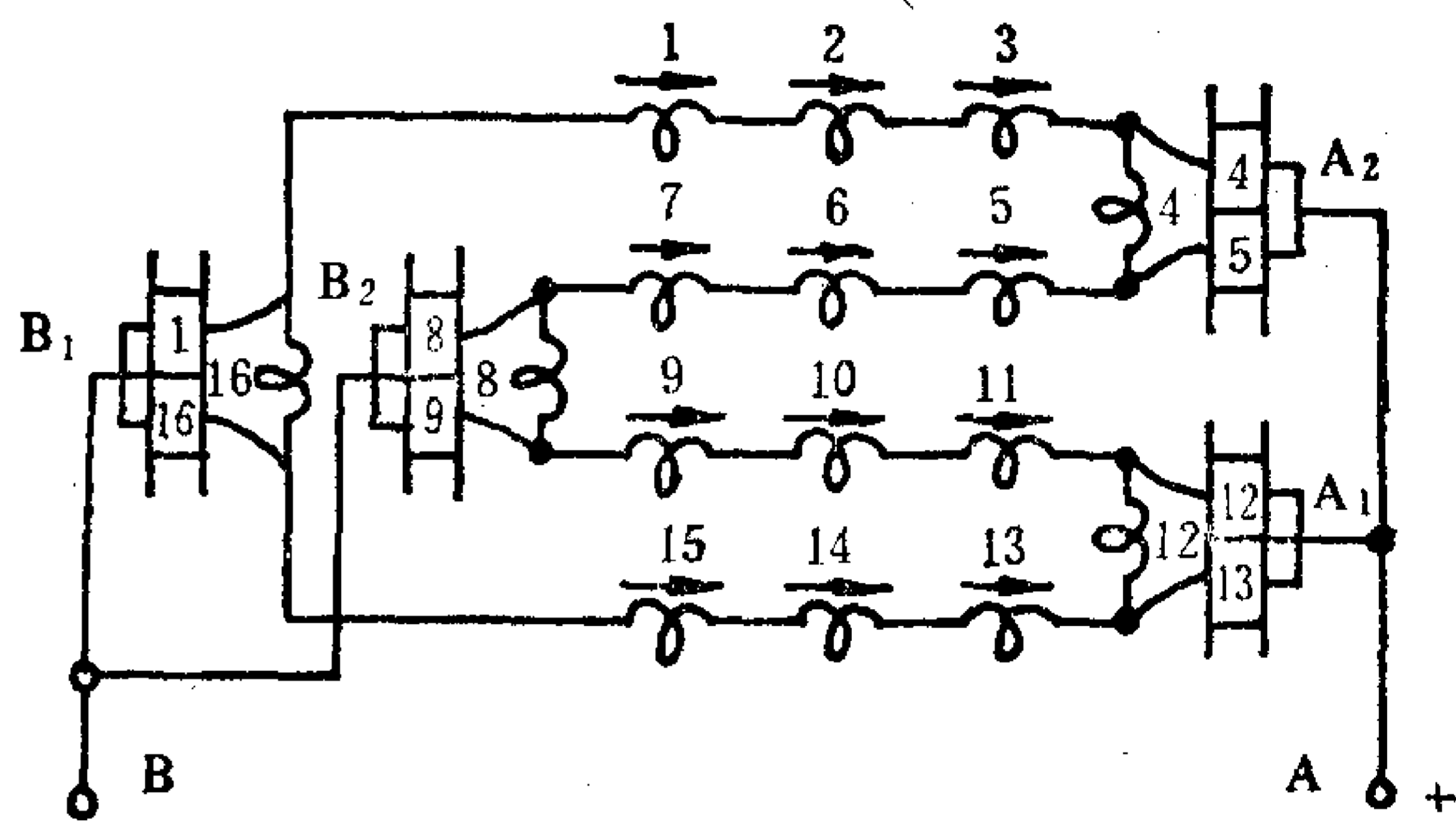


图 1-17 单叠绕组的电路图

从绕组并联支路中可以看出, 直流发电机的端电压, 由一条支路的电势决定。而输给外电路的总电流则等于各条支路电流之和。

(七) 例题 拖拉机上常用的 F-29 型直流发电机, 已知其为单叠绕组, 磁极对数 $P=1$, 实槽数 $Z_{实}=15$, 换向片数 $K=30$, 试画绕组展开图。

解: 因为是单叠绕组, 所以 $Y = Y_K = 1$

又因虚槽数 $Z = S = K = 30$, 而实槽数为 15, 因此每个实槽等于两个虚槽, 每一实槽中有 4 个元件边 (此例题, 第一节距以实槽计算更为方便), 则

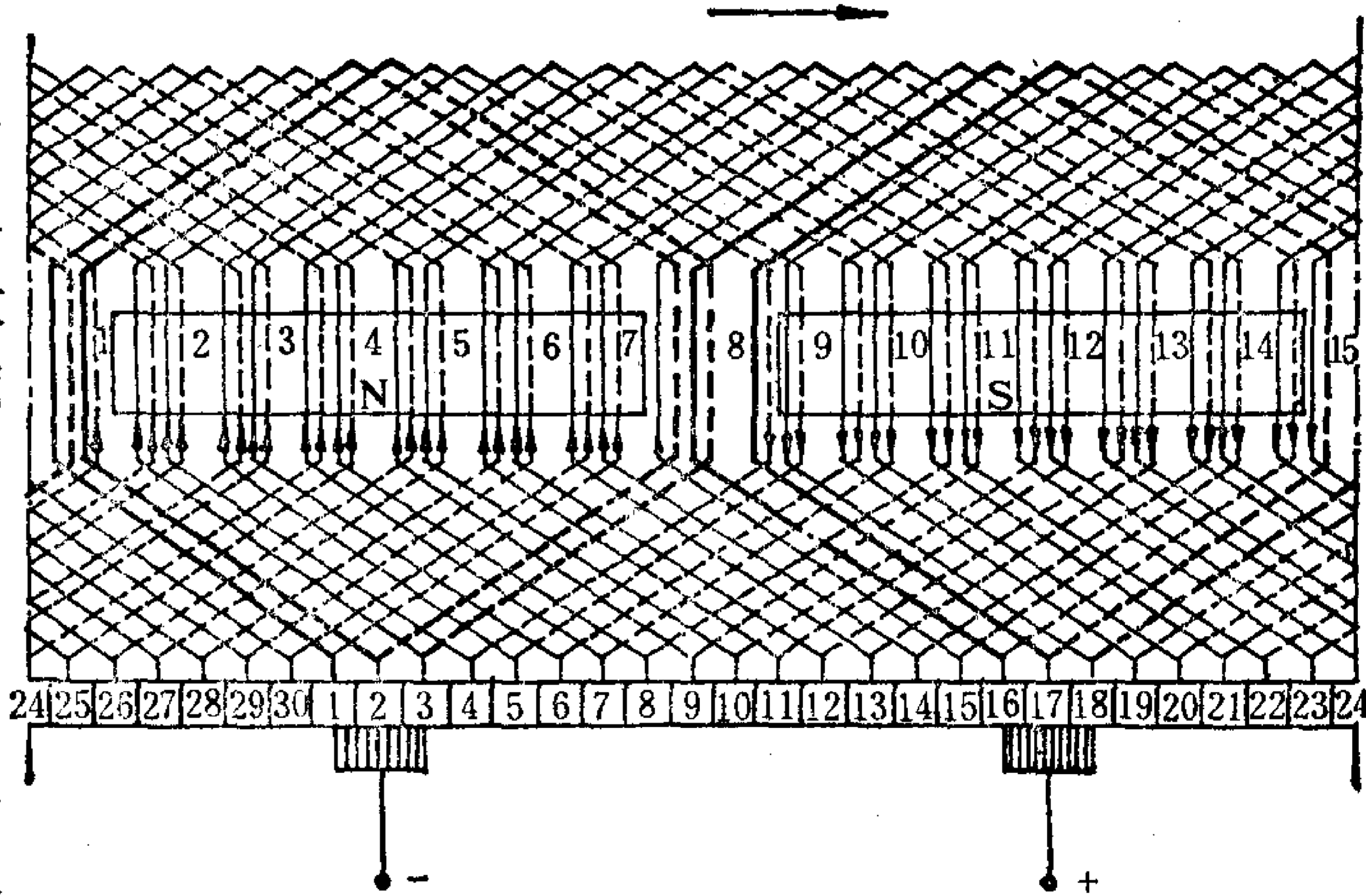


图 1-18 F-29 型直流发电机电枢绕组展开图

$$Y_1 = \frac{Z_{实}}{2P} \mp e = \frac{15}{2} - \frac{1}{2} = 7$$

因 e 为负, 故为短矩绕组。由以上数据, 可画绕组展开图, 如1-18所示。

电枢绕组连接方法是, 第一元件起端与换向片 1 联接, 起边放在 1 号槽内, 末边放在 8 号槽内, 末端与换向片 2 相接。第 2 号元件起端与换向片 2 相接, 起边放在 1 号槽内, 末边也放在 8 号槽内, 末端与换向片 3 相接……。以此类推, 直到最后一个元件末端与换向片 1 相接, 成为一个闭合回路为止。

此种电机有两只磁极, 两个电刷, 两条并联支路。