

煤矿工人手册

(修订本)

第一分册

电机与电器(下)

煤炭工业出版社

煤矿电工手册

(修订本)

主编 顾永辉 范廷瓚

第一分册 电机与电器 (下)

主 编	<u>范廷瓚</u>	袁世鹰	王文博	丁钟旦
编写人	丁钟旦	李 玲	陈在学	张庆奎
	王文博	郑福昌	林文赞	路启昆
	袁世鹰	<u>季子英</u>	和存佑	高庆余
	张固藩	江文达	金正三	苑经纬
	秦 文	王世杰	焦留成	汪学农

(以章次为序)

煤炭工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

煤矿电工手册(修订本):电机与电器 第一分册/顾永辉
等编. - 北京:煤炭工业出版社,1994

ISBN 7-5020-1040-8

I.煤… II.①顾… ②范… III.煤矿-电工学-技术手册
IV.TD6-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(94)第 08741 号

煤矿电工手册(修订本)

第一分册

电机与电器(上、下)

顾永辉 等编

责任编辑:姜庆乐 顾建中

*

煤炭工业出版社 出版

(北京朝阳区霞光里 8 号 100016)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 $787 \times 1092\text{mm}^{1/16}$ 印张 $140^{1/2}$

字数 3377 千字 印数 1-4,055

1999 年 2 月第 1 版 1999 年 2 月第 1 次印刷

书号 3808 E0163 定价 227.00 元

目 录

第八章 直流电机	1
第一节 直流电机的基本原理与结构	1
一、直流发电机原理	1
二、直流电动机原理	1
三、电枢反应及其影响	3
四、换向与换向极	4
五、电枢反应的补偿	5
六、直流电机的结构	6
七、电枢绕组	10
八、分类及运行特性	19
九、牵引电机的特点	21
十、铭牌	25
第二节 直流电机的故障检查	32
一、总体检查	32
二、拆卸	34
第三节 直流电机定子磁极的检修	38
一、磁极极性的检查	38
二、磁极绕组匝间短路的检查	42
三、气隙检查及调整	45
四、磁极修理	47
五、接线图	64
第四节 直流电机电枢绕组的检修	67
一、电枢绕组的检查	67
二、电枢绕组的修理	71
三、换向器的检查	88
四、换向器的修理	90
五、电枢嵌线	99
第五节 直流电机其它部件的检修	117
一、换向器竖板(升高片)焊接的检查	117
二、刷架及电刷的检修	117
三、导线束及轴的检修	119
第六节 直流电机试验	120
一、电刷中性位置测定	120
二、绝缘电阻测定	121
三、绝缘介电强度试验	121
四、负载试验及温升规定	121
五、换向火花等级的测定	127
六、超速试验	128
七、电枢绕组的匝间绝缘强度试验	129
八、振动	129

第七节 直流电机的增容与改压	129
一、增容	129
二、改压	133
三、增容与改压的几个校验数据	140
第八节 直流电机的外形尺寸与技术数据	143
一、Z2系列直流电机	143
二、Z3系列直流电机	180
三、Z4系列直流电机	209
四、ZF ₂ 及ZD ₂ 系列直流电机	227
五、ZZY系列起重冶金用直流电动机	248
六、ZZJ ₂ 系列起重冶金用直流电动机	253
七、ZZJ-800系列直流电动机	265
八、ZF、ZD、ZJF、ZJD、Z710型大型直流电机	266
九、单斗电铲用ZFW、ZDW、ZZKC、ZZW型直流电机	275
十、直流牵引电机	278
第九章 变压器	284
第一节 概述	284
一、基本工作原理	284
二、运行性能	286
三、主要技术参数	288
四、并联运行	309
第二节 变压器结构	311
一、结构概况	311
二、器身结构	317
三、组件结构	356
第三节 变压器的修理	381
一、铁芯的修理	381
二、线圈的修理	384
三、绝缘筒及撑条的配制	400
四、器身组装及干燥	402
五、一般修理	407
第四节 变压器计算	411
一、常用计算公式及经验数据	411
二、计算举例	426
三、高能耗变压器的改造	444
第五节 变压器试验	455
一、中间试验	455
二、成品试验	456
第六节 互感器	487
一、电压互感器	488
二、电流互感器	491
三、互感器检验	494
第七节 变压器油	500

一、性能标准	500
二、净化和再生	503
第八节 常见的变压器及互感器主要技术数据	516
一、SJ ₁ 系列电力变压器	516
二、SJ ₂ 系列电力变压器	522
三、SJ ₃ 系列电力变压器	528
四、SJ ₄ 系列电力变压器	532
五、SJL系列电力变压器	536
六、SJL ₁ -35kV 及以下系列电力变压器	542
七、SJL ₁ -60kV 系列电力变压器	552
八、SJL ₂ 系列电力变压器	554
九、SL ₇ (低损耗) 系列电力变压器	558
十、S ₇ (低损耗) 系列电力变压器	562
十一、S ₉ (低损耗) 系列电力变压器	564
十二、KSJ 系列矿用电力变压器	566
十三、KSJ ₁ 系列矿用电力变压器	566
十四、KSJ ₂ 系列矿用电力变压器	568
十五、KSJ ₄ 系列矿用电力变压器	570
十六、KSJL系列矿用电力变压器	572
十七、KSL ₁ 系列矿用电力变压器	574
十八、KS ₇ (低损耗) 系列矿用电力变压器	576
十九、KSG型矿用防爆干式变压器	576
二十、矿用防爆型移动变电站	578
二十一、矿用移动变电站用干式变压器	578
二十二、德国艾柯夫公司生产的THEB型干式变压器	580
二十三、常用电流互感器	583
二十四、常用电压互感器	584

第十章 高压开关

第一节 一般参考资料

一、概述	586
二、主要技术参数的意义	588
三、高压开关使用环境条件	589
四、高压开关的绝缘水平	590
五、高压开关在长期工作时的发热	593

第二节 高压开关的结构与检修

一、油断路器及其操动机构	596
二、真空断路器	618
三、隔离开关	629
四、负荷开关	637
五、熔断器	641
六、矿用高压隔爆配电装置	648

第三节 通用检修工艺

一、绝缘部件检修	678
----------------	-----

二、导电回路的检修	685
三、隔爆面的检修	687
第四节 高压开关试验	694
一、机械操作试验	694
二、机械特性试验	695
三、导电回路电阻测量	699
四、绝缘试验	701
第十一章 低压开关	704
第一节 一般参考资料	704
一、概述	704
二、低压电器使用的环境与条件	704
三、电气间隙与爬电距离	707
四、工频耐压	711
五、温升	712
六、额定工作制使用类别代号	713
第二节 低压开关设备的结构与维修	714
一、断路器	714
二、接触器	728
三、低压开关保护器	750
四、磁力起动器	781
五、矿用低压隔爆开关	781
第三节 低压开关的检查与试验	799
一、检查	799
二、空气式开关触头参数测定	800
三、真空开关管的测试	802
四、动作值测定	804
五、绝缘试验	811
六、发热试验	812
第十二章 小型电器计算	816
第一节 小型单相变压器与整流变压器计算	816
一、小型单相变压器计算	816
二、整流变压器计算	822
第二节 空心电抗器及脉冲变压器计算	827
一、空心电抗器计算	827
二、脉冲变压器计算	828
第三节 电磁铁的估算	831
一、电磁铁结构型式选择	831
二、电磁吸力的计算公式	832
第四节 电磁线圈的估算	837
一、更换线圈的简单换算	837
二、数据不明时线圈的简单估算	841
三、线圈的简捷估算法	845

第十三章 特殊用途的电机电器	850
第一节 电机扩大机	850
一、用途	850
二、分类和结构	850
三、工作原理	850
四、特性	851
五、去磁效应对电机扩大机特性的影响	852
六、选用原则	854
七、运转与维护	855
八、故障及其处理方法	855
九、技术数据及型号说明	857
第二节 自整角机	862
一、用途	862
二、分类和结构	862
三、工作原理	865
四、特性	867
五、选用原则	868
六、常见故障及其原因	868
七、技术数据及型号说明	868
第三节 交流测速发电机	874
一、用途	874
二、分类和结构	874
三、工作原理	875
四、特性	875
五、选用原则	876
六、技术数据及型号说明	876
第四节 直流测速发电机	878
一、用途	878
二、分类和结构	878
三、工作原理	878
四、特性	879
五、选用原则	880
六、技术数据及型号说明	881
第五节 交流伺服电动机	883
一、用途	883
二、分类和构造	883
三、工作原理	884
四、主要特性	885
五、使用注意事项	887
六、技术数据及型号说明	887
七、新型SL系列交流伺服电动机	887
第六节 直流伺服电动机	890
一、用途	890

二、分类和结构	890
三、工作原理	891
四、特性分析	892
五、选用原则	893
六、技术数据及型号说明	894
七、新产品性能介绍	896
第七节 三相整流子电机	900
一、概述	900
二、分类	900
三、结构	900
四、工作原理	901
五、特性	904
六、主要优缺点	904
七、三相整流子发电机	904
八、故障检修	907
九、技术数据及型号说明	908
第八节 步进电动机	909
一、概述	909
二、反应式步进电动机	909
三、永磁式步进电动机	914
四、步进电动机的优缺点	917
五、步进电动机的应用	917
六、步进电动机的主要技术数据	917
第九节 直线电机	923
一、概述	923
二、直线电机的分类	923
三、直线感应电动机的结构及工作原理	923
四、直线电机的应用	925
五、直线电机生产情况	926
六、技术数据及型号说明	927
第十节 滑差电动机	928
一、概述	928
二、电磁转差离合器的结构	928
三、工作原理	929
四、机械特性及其应用	930
五、型号说明及技术数据	931
第十一节 振动电机	932
一、概述	932
二、分类和结构	933
三、主要参数	934
四、YZO系列振动电机的技术数据	936
第十二节 力矩电机	937
一、结构特点	937

二、机械特性	938
三、应用范围	938
四、选型要点	939
五、控制方式	940
六、技术数据及型号说明	940
第十三节 磁放大器	943
一、概述	943
二、分类和结构	943
三、工作原理	943
四、典型线路与控制特性	947
五、技术数据	948
第十四章 家用电器用电动机	954
第一节 家用电器用电动机的主要类型、结构特点及工作原理	954
一、单相异步电动机	954
二、微型直流电动机	959
三、单相串励电动机	964
第二节 风扇电动机	966
一、风扇电动机的类型及转速控制	966
二、交流台扇电动机	972
三、吊扇电动机	973
四、换气扇用电动机	977
五、箱式风扇用电动机	978
第三节 洗衣机用电动机	979
一、波轮式简易型洗衣机用电动机	980
二、脱水机用电动机	982
三、全自动波轮式洗衣机用电动机	983
四、滚筒式洗衣机用电动机	983
第四节 电冰箱用电动机	984
一、压缩机用电动机	984
二、蒸发器用风扇电动机	991
第五节 空调器用电动机	992
一、压缩机电动机	992
二、空调器风扇电动机	993
第六节 音像设备用电动机	994
一、盒式录音机用电动机	994
二、磁带录像机用电动机	995
第七节 吸尘器用电动机	997
一、吸尘器用永磁直流电动机	997
二、吸尘器用串励电动机	997
第八节 其它小型家用电器用电动机	1000
一、电动玩具用电动机	1000
二、电动剃须刀用电动机	1001
三、电吹风机用电动机	1002

四、家用缝纫机用电动机	1002
五、家用食物拌碎器用电动机	1003
六、电动窗帘用直线电动机	1004
第九节 家用电器用电动机绕组计算	1005
一、单相异步电动机的绕组计算	1005
二、罩极电动机磁极线圈的计算	1011
三、单相串励电动机绕组计算	1012
参考书目	1015

第八章 直 流 电 机

直流电机包括直流发电机与直流电动机。直流电动机具备许多突出的特点，它有优良的转矩速率特性，能在大范围内平滑地调速，因此，在轧钢、矿井提升、电力机车等方面得到广泛应用；直流发电机已逐渐被各种类型的整流装置所取代而日益减少，但在某些特定场合仍有适当地位。

第一节 直流电机的基本原理与结构

一、直流发电机原理

图8-1-1为一台最简单的直流发电机，其磁极N、S垂直放置不动，形成主磁场。当电枢（转动部件的总称）被原动机拖动，它的绕组（即图中矩形线圈 $a b c d$ ）在均匀磁场中绕轴线逆时针方向旋转。根据发电机右手定则：上边导体 ab 切割磁极N、S形成主磁通而产生感应电势，其方向朝外，使固定在上方的电刷A为正极；下边导体 cd 同样产生感应电势，其方向朝内，使固定在下方的电刷B为负极。当导体 ab 和与它连接的半圆形换向片一起旋转到下边位置时，它的感应电势方向与在上边位置时的方向相反，但由于半圆形换向片与电刷的滑动转换，使导体 ab 通过换向片而转换到与电刷B相接，故仍然保持电刷B为负极；导体 cd 的情况与此相反。因此，无论何时，电刷A总是与上边N极下的导体相连而为正极；电刷B总是与下边S极下的导体相连而为负极。当矩形线圈 $a b c d$ 转到水平位置时，它位于磁场的中性位置，其感应电势为零。此时恰是换向片由一个电刷滑动到另一个电刷的临界时刻，两换向片虽被电刷短路而并没有短路电流。导体 bc 段在旋转中不切割磁通，没有感应电势，只起连接作用，称端接线。导体 da 段（中间连着换向片）的情况与 bc 段一样。可以看出，导体在N极下和S极下交替切割磁通而运动，其中的感应电势为交变电势，其波形如图8-1-1a所示；电刷A、B间的电势则是一个波动很大的脉动直流，其波形如图8-1-1b所示。在实际应用的发电机中，电枢绕组的导体数和换向片数都很多，它们均匀分布在电枢圆周的不同位置，这些不同位置导体的脉动峰值出现于不同时间，诸多导体电势叠加的合成结果，就形成了大体上平稳的直流电。

二、直流电动机原理

图8-1-2表示一台最简单的电动机的转动过程。在水平方向放置不动的主磁场里，能随轴旋转的矩形线圈 $a b c d$ （即电枢绕组）经换向片及电刷与直流电源（如电池）相接，构成了电流的通路。当线圈处于图8-1-2a的位置时，右侧导体 ab 中的电流方向朝内，根据电动机左手定则，它在磁场中受到向上的力；左侧导体 cd 中的电流方向朝外，它在磁场中受到向下的力。电枢受此力偶的作用而朝逆时针方向转动。当转到图8-1-2b的位置时，正

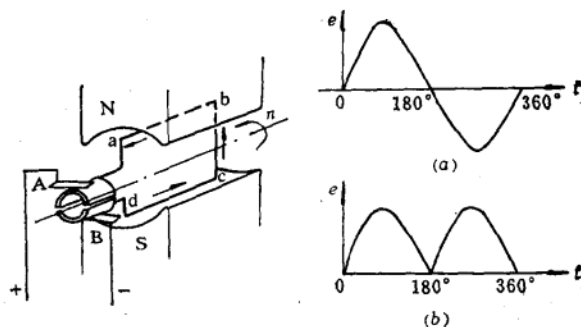


图 8-1-1 直流发电机原理

a —导体中的感应电势波形； b —电刷A、B间的电势波形

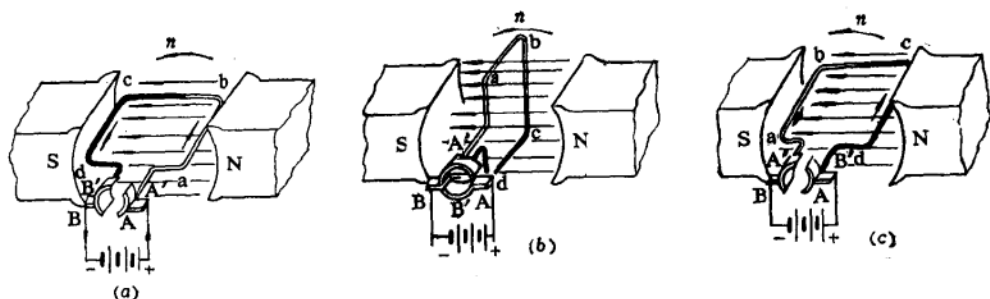


图 8-1-2 直流电动机原理

a —线圈在水平位置， ab 中电流方向朝内，有力矩； b —线圈在垂直位置，无力矩； c —线圈在水平位置， ab 中电流方向朝外，有力矩

值换向片由一个电刷滑到另一个电刷的瞬间，导体 ab 及 cd 处在磁场中的中性位置，没有力偶作用。电枢依靠惯性继续旋转以渡过中性位置，换向片通过滑动转换，调换了它所接触的电刷，转到图8-1-2 c 的位置，矩形线圈 $abcd$ 中的电流方向改变，导体 ab 转到了左侧，电流方向变为朝外，它在磁场中受到向下的力；导体 cd 转到了右侧，电流方向变为朝内，它在磁场中受到向上的力。在此力偶的作用下，电枢得以继续不断地旋转。在实际应用的电动机中，电枢绕组的导体数和换向片数都很多，它们均匀分布在电枢圆周的不同位置，除了个别处于中性位置的导体外，所有导体都受力的作用，所以，无论电枢在什么位置，都能产生一个基本恒定的转矩。

用直流发电机原理来观察直流电动机，就会发现电动机的导体 ab 与 cd 在主磁场中转动时，它也和发电机时一样切割主磁场的磁通而产生感应电势，其方向与电源电势相反，称为反电动势。同样，反过来用直流电动机原理来观察前述直流发电机，就会发现发电机若有负载，则电枢绕组导体中有了负载电流，这些导体也和电动机时一样，在主磁场中

将受力而形成力矩，其方向与原动机的拖动力矩相反，称为制动力矩。可见直流电动机与直流发电机是直流电机的两种运行方式，它们是可逆的。

三、电枢反应及其影响

(一) 电枢反应的表现

在直流发电机中，电机的主磁场通常由主极励磁绕组中的励磁电流来产生，它在气隙中的分布状态是对称于主轴线的，如图8-1-3 a所示。如果电机顺时针方向旋转而发电，且电枢绕组中有了负载电流，则根据右手螺旋定则，此电流产生一个新的磁势，其方向由右向左，与主极轴线垂直，称横轴磁势或交轴磁势。此磁势产生一个磁场称电枢反应磁场，其分布状况如图8-1-3 b所示。当此电枢反应磁场叠加于主磁场之后，使气隙磁场发生了扭曲变形，其合成结果如图8-1-3 c所示。这个现象称电枢反应。从图中可以看出，合成后的磁场被歪扭挤向旋转方向一边，即合成磁场的中性线朝旋转方向偏转一个角度 α ，这是电枢反应的一种表现。另外，在N极左侧的磁通密度减少，在N极右侧的磁通密度增加，由于磁路饱和的影响，右侧所增加的磁通量不足以补充左侧所减少的磁通量，因此总的磁通量减少，即相当于产生了去磁作用，这是电枢反应的另一种表现。

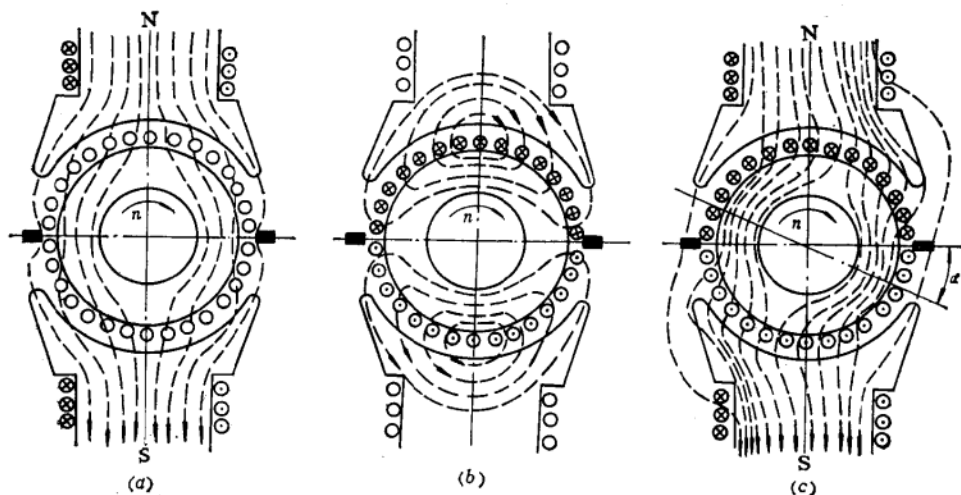


图 8-1-3 直流电机电枢反应磁场的影响

a —主极磁场，对称于主轴线； b —电枢反应磁场，垂直于主轴线； c —合成磁场，顺时针方向旋转一角度 α

在直流电动机中，电枢反应的形成与表现跟在发电机中一样。不过，由于电流方向与在发电机时的方向相反，故电枢反应的横轴磁势或交轴磁势方向相反，主磁场被歪扭的方向、磁场中性线偏转角度 α 的方向也相反，但同样还是产生去磁作用。

(二) 电枢反应的影响

(1) 电机中原来处于主磁场中性位置的元件被电刷短路, 也就是它正在换向, 此元件没有感应电势。由于出现了电枢反应的横轴磁场, 此元件切割该磁场的磁通而产生感应电势, 此电势被电刷短路而产生很大的短路电流。此电流的方向 (按右手定则决定) 与临换向前的负载电流方向相同, 因而增加了换向的难度, 电刷下冒出火花, 电机难以正常工作。

(2) 在磁路饱和的情况下, 电枢反应呈现去磁作用, 致使发电机的感应电势降低, 或使电动机的转速加快, 电机欠稳定。

(3) 电枢反应使主极某一侧的磁通密度增大, 故该处元件所产生的感应电势增高, 使该处元件所连接的换向片的片间电压增大, 当换向器的平均片间电压在设计时取值偏高时, 此处换向片间的最高片间电压会使电刷下的火花得以继续维持甚至发展。严重时, 火花跨过换向器表面而达到另一电刷, 形成危害很大的环火。

四、换向与换向极

电枢旋转时, 其绕组元件经过主磁场中性位置的瞬间, 从一个极转换到另一个极, 即元件从一条支路进入另一条支路, 导体中的电流从一个方向变为相反方向, 这个过程称换向。图8-1-4 a 为元件K 换向开始前的瞬间, 电刷仅与换向片1相接, 元件K 在右侧支路中, 其电流 i_a 为逆时针方向。当电枢绕组以线速度 V_a 由右向左移动到图8-1-4 c 所示的位置, 即元件K 换向终了的瞬间, 电刷已离开换向片1而仅与换向片2相接, 元件K 已移到左侧支路中, 其电流 i_a 为顺时针方向。图8-1-4 b 表示元件K 正在换向, 它通过换向片1与换向片2被电刷所短路, 其电流 i_a 逐渐减小到零, 再由零向相反方向逐渐增长到 $-i_a$ 。换向过程的时间极短, 只有千分之几秒。元件K 中的电流急剧变换方向, 就有感应电势 e_x , e_x 称电抗电势, 它力图阻止电流的变换以维持其原来的电流。另外, 换向元件K 的导体切割主磁极中性线处的电枢反应磁通, 感应另外一个电势 e_{aq} , 称电枢反应电势。电势 e_{aq} 与 e_x 的方向相同, 都是阻止元件K 中的电流变换其方向的, 它们的值越大, 换向越困难。为了抵消 e_x 、 e_{aq} 以利于换向, 在两主极之间的中性位置设置一个附加磁极, 极上绕有线圈, 通上电流之后, 使其产生适当的磁势, 其值大约相当于全部电枢反应安匝数的20%~30%。它产生适量磁通, 使中性位置正在换向的元件K 切割此磁通产生换向电势 e_k 以抵消 e_x 与 e_{aq} , 换向得到了改善, 此附加磁极称换向极。这是从电磁方面对换向的粗浅解释。

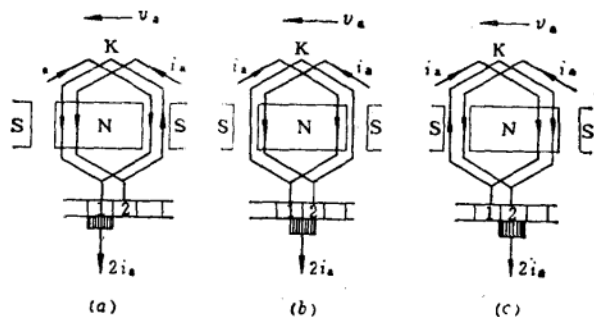


图 8-1-4 元件K 的换向过程

a—元件K 换向开始前, b—元件K 正在换向, c—元件K 换向完毕

产生换向火花的因素很多,也较复杂,除了电磁方面的因素之外,还有许多其它原因,如:

(1) 换向器偏心、椭圆、跳片、云母片凸出、表面不平、不洁,各极的换向片数分布不均匀,换向片片身不正。

(2) 电刷的压力不当,材质不符,电刷上下滑动不灵活,电刷与换向器接触面不好,电刷放置的位置不正确。

(3) 定子磁极位置偏歪,气隙不符,垫片厚度及材质错误。

(4) 电机本身震动,外界震动,电机过载或负载突变。

(5) 化学的因素,电热的因素,各种其它原因。

由此可知,换向火花是直流电机诸多技术问题的主要环节。

五、电枢反应的补偿

(一) 补偿绕组

为了补偿电枢反应所导致的气隙磁场扭曲变形,在最贴靠电枢导体的地方,即仅隔一主极的主极靴表面处,设置一批导体并通以电流,使其安匝数与各对应位置的电枢导体安匝数相等,但磁势方向相反。这些导体所构成的绕组称补偿绕组。不足之处是,引起电枢反应的电枢导体是均匀分布在电枢表面,而各主极靴表面却不是一个完整的圆周,故每两个主极靴中间的空处所应设的补偿导体,实际上没有地方安置,不得已只好绕在换向极上,合并到换向绕组之中。所以此时换向极有两种意义:一是产生换向电势 e_k ;一是补偿一部分电枢反应。这些绕在换向极上的两种用意的线圈仍称为换向绕组,换向绕组与补偿绕组同时存在。图8-1-5是补偿绕组与换向绕组的原理及其端部连接示意图。为了在各种不同的负载电流时抵消电枢反应并产生换向电势,补偿绕组及换向绕组中的电流应与电枢电流相应地同步变化,故它们都与主电路串联。采用补偿绕组是比较完善的补偿电枢反应的方法,但结构复杂,造价较高,故只用于转速较高、容量较大的电机中。通常,容量(kW)与转速(r/min)的乘积超过 4×10^6 的电机才设置补偿绕组。

(二) 换向极

在中小型电机里,无需设置复杂、昂贵的补偿绕组,把应设在主极靴表面的补偿绕组安匝数,集中绕制在换向极上,其安匝数约等于电枢反应安匝数的120%~130%。合并后的绕组仍称换向绕组。基于上面说过的理由,换向绕组应与主电路串联。这种补偿方法施工简便而效果颇佳,在中小型电机中广泛应用。不过,毕竟电枢反应没有得到最佳补偿,故局部磁密有偏高的情况,会出现较大的换向器片间最高电压。

(三) 偏移电刷

在小型、微型电机里,仍嫌换向极有些复杂,故采用偏移电刷的方法以改善换向。其方法是将发电机(电动机)的电刷位置,自中性位置处顺(逆)旋转方向略微偏移,这样也可使电枢反应得到补偿,同时也获得适当的换向电势。此方法可以理解为在发电机(电动机)中,相当于把下一个(上一个)主极的一小部分转移到中性位置充当换向极,故换向火花有所改善。偏移电刷方法有较大的缺点,因为电枢反应随负载大小而变化,而电机在运转中不能依负载大小随时变换电刷位置,故只能在某一负载值时才有稍好的补偿,其它负载情况下补偿便差,换向不良。由于电机小,换向本不十分困难,故电机也能正常运行。

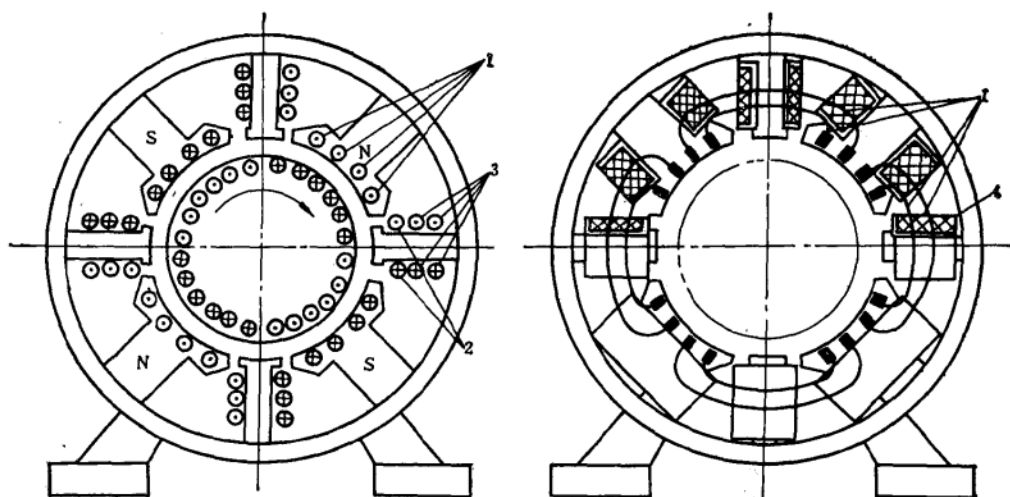


图 8-1-5 补偿绕组与换向绕组的原理及其端部连接示意图

1—补偿绕组；2—换向绕组中抵消电枢反应的匝数；3—换向绕组中产生换向电势的匝数；
4—换向绕组

六、直流电机的结构

直流电机是由定子、电枢、气隙和其它零部件组成,如图8-1-6所示。

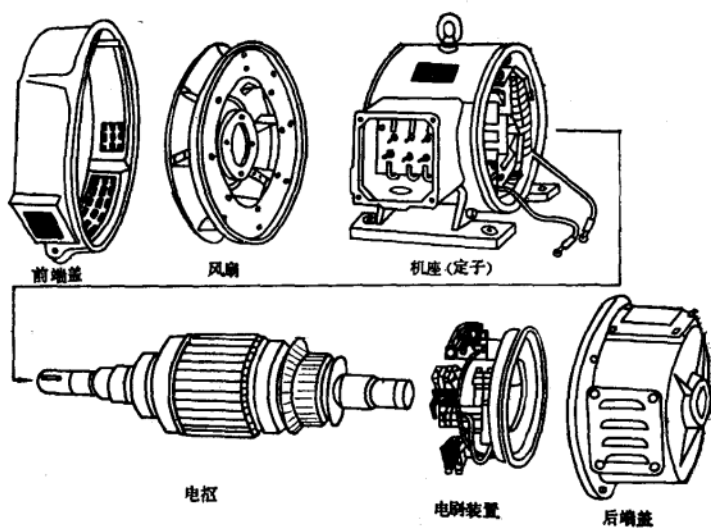


图 8-1-6 直流电机部件图