

面向21世纪

高职高专系列教材

电机拖动 与控制

◎张 勇 主编

◎邵良成 审



机械工业出版社
China Machine Press

面向 21 世纪高职高专系列教材

电机拖动与控制

张 勇 主编

邵良成 审



机械工业出版社

本书包括电机原理、电力拖动、电气控制三大部分，共分 14 章。主要内容包括：直流电动机基本理论、直流发电机、直流电动机的电力拖动、变压器、三相异步电动机基本理论、三相异步电动机的电力拖动、单相异步电动机和同步电机、微特电机、常用低压电器及基本控制环节、常用机床及其电气控制。并对电机的维护与选择、交流电机绕组的嵌线与联结、常见故障分析也做了较详尽的阐述。

本书是作为教材编写的，既注意了新颖性、理论性和系统性，又突出了实用性，既适合高等职业技术学校机、电类专业作为教材使用，也可作为同类专业大、中专学校的教材或参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

电机拖动与控制/张勇主编. —北京: 机械工业出版社, 2001.8

面向 21 世纪高职高专系列教材

ISBN 7-111-08295-8

I.电... II.张... III.①电机-电力传动-高等学校-教材 ②电机-控制-高等学校-教材 IV.TM3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 046339 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: 胡毓坚

责任编辑: 王琼先

责任印制: 郭景龙

北京铭成印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2001 年 8 月第 1 版·第 1 次印刷

1000mm×1400mm B5·9.25 印张·413 千字

0 001 - 5 000 册

定价: 26.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68993821、68326677-2527

面向 21 世纪高职高专 机电专业系列教材编委会成员名单

顾问	王文斌 陈瑞藻 李 奇 冯炳尧
主任委员	吴家礼
副主任委员	朱家健 任建伟 孙希羚 梁 栋 张 华 帕尔哈提 朱建风
委员	刘靖华 韩满林 丛晓霞 朱旭平 陈永专 吕 汀 刘靖岩 刘桂荣 杨新友 陈剑鹤 张 伟 何彦廷 陶若冰 陈志刚
秘书长	胡毓坚
副秘书长	郝秀凯

出版说明

积极发展高职高专教育，完善职业教育体系，是我国职业教育改革和发展的一项重要任务。为了深化职业教育的改革，推进高职高专教育的发展，培养 21 世纪与我国现代化建设要求相适应的，并在生产、管理、服务第一线从事技术应用、经营管理、高新技术设备运作的高级职业技术应用型人才，尽快组织一批适应高职高专教学特色的教材，已成为各高职高专院校的迫切要求。为此，机械工业出版社与高职高专计算机专业、电子技术专业和机电专业教材编委会联合组织了全国 40 多所院校的骨干教师，共同研究开发了一批计算机专业、电子技术专业和机电专业的高职高专系列教材。

各编委会确立了“根据高职高专学生的培养目标，强化实践能力和创新意识的培养，反映现代职业教育思想、教育方法和教育手段，造就技术实用型人才为立足点”的编写原则。力求使教材体现“定位准确、注重能力、内容创新、结构合理和叙述通俗”的编写特色。

本套系列教材是由高职高专计算机专业、电子技术专业、机电专业教材编委会分别会同各院校第一线专业教师针对高职高专计算机、电子技术和机电各专业的教学现状和教材存在的问题开展研讨，尤其针对目前高职高专教学改革的新情况，分别拟定各专业的课程设置计划和教材选题计划。在教材的编制中，将教学改革力度比较大、内容新颖、有创新精神、比较适合教学、需要修编的教材以及院校急需、适合社会经济发展的新选题优先列入选题规划。在广泛征集意见及充分讨论的基础上，由各编委会确定每个选题的编写大纲和编审人员，实行主编负责制，编委会通过责任编委和主审对教材进行质量监控。

担任本套教材编写的老师们都是来自各高职高专院校教育第一线的教师，他们以高度的责任感和使命感，经过近一年的努力，终于将本套教材呈现在广大读者面前。由于高职高专教育还处于起步阶段，加上我们的水平和经验有限，在教材的选题和编审中可能出现这样那样的问题，希望使用这套教材的教师和学生提出宝贵的意见和建议，以利我们今后不断改进，为我国的高职高专教育事业的繁荣而共同努力。

高职高专系列教材编委会
机械工业出版社

前 言

本书是高等职业技术学校机电类专业“电机拖动与控制”课程的教材。它是根据目前高等职业技术的要求，为适应职业教育改革和发展的需要而编写的。在编写过程中，充分考虑了职业技术教育的特点，坚持科学性、实用性、综合性和新颖性。

本教材将电机原理、电力拖动基础、工厂电气控制设备三本教材的内容进行了有机组合，在学习电工基础等课程的基础上进行授课，并为调速系统、可编程序控制器等后续课程打好基础。通过本课程的学习，能掌握一般直流电机、变压器和三相异步电动机的工作原理、结构特点和电磁能量关系；掌握交、直流电动机的起动、调速、制动的工作原理和控制方法，并能具有对一般电机及控制的维护、选择、设计及故障排除能力。

本书的特点是：注重应用，删除了较为繁琐的数学推导，着重于电机在电力拖动系统中的应用，并把电机、电力拖动与控制系统的维护、故障分析合为一体，力求深入浅出，通俗易懂。书中电气器件图形、文字符号均采用了国家新的标准。

本书由张勇任主编，并编写第 10、第 13 章；陶若冰(副主编)编写第 1、3 章；余健敏编写第 2 章；顾旭编写第 4、8 章；杨天明编写第 5、9 章；徐建俊编写第 6 章；范郁宝编写第 7 章；陈红编写第 11 章；孙琳编写第 12、14 章。

本书由邵良成高级讲师审稿，并得到了高职高专机电专业教材编委会的指导。由于编者水平有限，本书难免存在缺点和错误，恳望读者提出批评和指教。

编 者

目 录

出版说明

前言

第 1 章 直流电机基本理论及结构	1	1.8 小结	21
1.1 直流电机的基本工作原理	1	1.9 习题	22
1.1.1 直流电动机的基本工作原理	1	第 2 章 直流发电机	24
1.1.2 直流发电机的基本工作原理	2	2.1 他励直流发电机稳态运行的方程式	24
1.2 直流电机的结构及铭牌	3	2.1.1 平衡方程式	24
1.2.1 结构	3	2.1.2 他励直流发电机的功率关系	25
1.2.2 电机的铭牌	5	2.2 他励直流发电机的运行特性	26
1.3 直流电机的电枢绕组	7	2.2.1 空载特性	26
1.3.1 电枢绕组的常用术语	7	2.2.2 外特性	27
1.3.2 单叠绕组	9	2.3 并励直流发电机	28
1.3.3 单波绕组	11	2.3.1 并励直流发电机的自励条件	28
1.4 直流电机的磁场	13	2.3.2 空载特性	29
1.4.1 空载时的主磁场	13	2.3.3 外特性	29
1.4.2 负载时的电枢磁场	14	2.4 小结	29
1.4.3 电枢反应	14	2.5 习题	29
1.5 电枢绕组的感应电动势与电磁转矩	15	第 3 章 直流电动机	31
1.5.1 电枢电动势	15	3.1 电力拖动系统的运动方程式	31
1.5.2 电磁转矩	16	3.1.1 电力拖动系统简介	31
1.6 直流电机中的换向	17	3.1.2 直流电动机的基本方程	32
1.6.1 换向过程的基本概念	17	3.2 负载的机械特性	34
1.6.2 换向元件中的电动势	18	3.2.1 恒转矩负载的机械特性	34
1.6.3 改善换向的方法	19	3.2.2 泵类负载的机械特性	35
1.7 直流电动机的分类	20	3.2.3 恒功率负载的机械特性	35
1.7.1 他励式直流电动机	20	3.3 他励直流电动机的机械特性	35
1.7.2 并励式直流电动机	21	3.3.1 机械特性方程	35
1.7.3 串励式直流电动机	21	3.3.2 固有机特性	36
1.7.4 积复励式直流电动机	21	3.3.3 人为机械特性	37
1.7.5 差复励式直流电动机	21		

3.4	他励电动机的起动和反转	38	4.4.1	变压器的空载试验	74
3.4.1	起动转矩和起动电流	38	4.4.2	变压器的短路试验	75
3.4.2	电枢回路串电阻起动	39	4.5	变压器的运行特性	76
3.4.3	减压起动	41	4.5.1	电压变化率和外特性	76
3.4.4	直流电动机的反转	42	4.5.2	效率	77
3.5	他励直流电动机的制动	42	4.6	特殊变压器	78
3.5.1	能耗制动	42	4.6.1	互感器	78
3.5.2	倒拉反接制动	44	4.6.2	自耦变压器	80
3.5.3	电源反接制动	44	4.7	变压器的铭牌	81
3.5.4	回馈制动(再生制动)	45	4.8	变压器的维护及故障分析	82
3.6	他励电动机的调速	46	4.8.1	变压器的维护	82
3.6.1	电枢回路串电阻调速	47	4.8.2	变压器常见故障分析	82
3.6.2	降低电源电压调速	47	4.9	小结	85
3.6.3	弱磁调速	48	4.10	习题	85
3.7	直流电机的故障分析及维护	49	第5章 三相异步电动机基本理论及结构		87
3.7.1	直流电机运行时的换向故障	50	5.1	三相异步电动机基本理论	87
3.7.2	直流电机运行时的性能异常及维护	53	5.1.1	三相交流电机的旋转磁场	87
3.8	小结	54	5.1.2	三相异步电动机的工作原理	90
3.9	习题	54	5.1.3	转差率	90
第4章 变压器		56	5.2	三相异步电动机的结构与铭牌	90
4.1	变压器的结构及其分类	56	5.2.1	三相异步电动机的结构	91
4.1.1	铁心	57	5.2.2	三相异步电动机的铭牌数据	92
4.1.2	绕组	58	5.3	交流电动机定子绕组的基本知识及分类	93
4.1.3	变压器的分类	58	5.3.1	交流绕组的基本知识	93
4.2	单相变压器	59	5.3.2	定子绕组的分类	94
4.2.1	变压器的基本工作原理	59	5.4	绕组的感应电动势	95
4.2.2	单相变压器的空载运行	59	5.4.1	线圈的感应电动势	95
4.2.3	单相变压器的负载运行	63	5.4.2	线圈组电动势	96
4.3	三相变压器	66	5.4.3	相电动势	97
4.3.1	三相变压器的磁路系统	66	5.5	三相异步电动机的空载运行	98
4.3.2	三相心式变压器的磁路	67	5.5.1	电磁关系	98
4.3.3	变压器绕组的极性	68	5.5.2	空载时的定子电压平衡关	
4.3.4	三相变压器的联结组	70			
4.3.5	变压器的并联运行	72			
4.4	变压器参数的测定	74			

系	99	6.4.5 串级调速	126
5.5.3 空载时的等效电路	99	6.5 三相异步电动机的反转与 制动	127
5.6 三相异步电动机的负载运 行	100	6.5.1 三相异步电动机的反转 ..	127
5.6.1 三相异步电动机负载运行时 的电磁关系	100	6.5.2 三相异步电动机的制动 ..	127
5.6.2 异步电动机的等效电路	101	6.5.3 三相异步电动机运行状态小 结	132
5.6.3 基本方程式	104	6.6 三相异步电动机故障分析及 维护	133
5.7 三相异步电动机的功率和转 矩关系	105	6.6.1 起动前的准备	133
5.7.1 功率关系	105	6.6.2 起动时的注意事项	133
5.7.2 转矩关系	106	6.6.3 运行中的监视	134
5.8 三相异步电动机的工作特 性	106	6.6.4 电动机的定期维修	134
5.9 小结	108	6.6.5 常见故障及排除方法	135
5.10 习题	108	6.7 小结	136
第 6 章 三相异步电动机的电力拖 动	110	6.8 习题	137
6.1 三相异步电动机的电磁转 矩	110	第 7 章 其他用途的电动机	139
6.1.1 电磁转矩的物理表达式	110	7.1 单相异步电动机	139
6.1.2 电磁转矩的参数表达式	110	7.1.1 单相单绕组异步电动机的工作 原理	139
6.1.3 电磁转矩的实用表达式	111	7.1.2 单相异步电动机的类型及起 动方法	140
6.2 三相异步电动机的机械特 性	112	7.1.3 单相异步电动机的调速 ..	143
6.2.1 固有机械特性	112	7.1.4 三相异步电动机的单相运 行	144
6.2.2 人为机械特性	114	7.2 三相同步电动机	145
6.3 三相异步电动机的起动	115	7.2.1 同步电机的特点	145
6.3.1 直接起动	115	7.2.2 同步电机的结构	145
6.3.2 笼型异步电动机的减压起 动	116	7.2.3 三相同步电动机的工作原 理	146
6.3.3 绕线转子异步电动机的起 动	120	7.2.4 同步电机的电磁关系 ..	146
6.4 三相异步电动机的调速	122	7.2.5 功角、矩角特性	146
6.4.1 变极调速	122	7.2.6 V 形曲线	147
6.4.2 变频调速	124	7.2.7 三相同步电动机的起动 ..	147
6.4.3 改变定子电压调速	124	7.3 小结	148
6.4.4 转子串电阻调速	125	7.4 习题	149
		第 8 章 微特电机	150
		8.1 伺服电动机	150

8.1.1	直流伺服电动机	150	10.1.2	电动机的冷却过程	174
8.1.2	交流伺服电动机	152	10.2	电动机的允许温升和工作方式及额定功率	174
8.2	测速发电机	154	10.2.1	电动机的允许温升	174
8.2.1	直流测速发电机	154	10.2.2	电动机的工作方式及额定功率	175
8.2.2	交流测速发电机	155	10.3	额定功率的选择	176
8.3	步进电动机	156	10.3.1	常值负载时电动机额定功率的选择	177
8.3.1	步进电动机的结构和分类	156	10.3.2	变化负载时电动机额定功率的选择	178
8.3.2	反应式步进电动机的工作原理	156	10.4	小结	181
8.4	自整角机	157	10.5	习题	182
8.4.1	自整角机的分类	158	第 11 章	常用低压电器及基本控制电路	183
8.4.2	工作原理	158	11.1	常用低压电器	183
8.5	小结	159	11.1.1	低压电器的基本知识	183
8.6	习题	160	11.1.2	开关电器	185
第 9 章	交流电机绕组的嵌线与连接	161	11.1.3	熔断器	187
9.1	绕组嵌线与连接的原则	161	11.1.4	主令电器	187
9.1.1	基本原则	161	11.1.5	接触器	191
9.1.2	制绕组展开图的基本操作步骤	162	11.1.6	继电器	192
9.2	单相交流异步电动机绕组	162	11.2	电气控制系统图	196
9.2.1	同心式绕组	164	11.2.1	电气控制系统图中的图形符号和文字符号	196
9.2.2	链式绕组	164	11.2.2	电气控制系统图分类	196
9.2.3	交叉式绕组	165	11.2.3	电气原理图的阅读分析方法	197
9.3	三相交流异步电动机绕组	167	11.3	三相笼型异步电动机全压起动控制电路	198
9.3.1	单层绕组	168	11.3.1	单向运行控制电路	198
9.3.2	双层绕组	168	11.3.2	可逆运行控制电路	200
9.4	绕组嵌线的一般方法	171	11.3.3	自动往复运行控制电路	201
9.4.1	基本方法	171	11.3.4	多地点控制	202
9.4.2	双层绕组嵌线方法	171	11.4	三相笼型异步电动机减压起动控制电路	203
9.4.3	单层绕组嵌线方法	172	11.4.1	定子绕组串接电抗器(或电阻)减压起动控制电路	203
9.5	小结	172			
9.6	习题	172			
第 10 章	电动机额定功率的选择	173			
10.1	电动机的发热与冷却	173			
10.1.1	电动机的发热过程	173			

11.4.2	星形-三角形(Y- Δ)减压起 动控制电路	204	12.3.3	控制电路分析	236
11.4.3	自耦变压器减压起动控制 电路	206	12.3.4	常见故障及排除	238
11.4.4	延边三角形减压起动控制 电路	207	12.4	铣床的电气控制	238
11.5	三相绕线转子异步电动机 起动控制电路	208	12.4.1	主要结构及运动形式 ..	238
11.5.1	转子绕组串接电阻起 动控制电路	208	12.4.2	电力拖动要求	239
11.5.2	转子绕组串接频敏变阻器 起动控制电路	211	12.4.3	控制电路分析	240
11.6	三相异步电动机电气制动 控制电路	212	12.4.4	常见故障及排除	243
11.6.1	反接制动控制电路	213	12.5	镗床的电气控制	244
11.6.2	能耗制动控制电路	216	12.5.1	主要结构及运动形式 ..	244
11.7	三相异步电动机的调速控 制电路	218	12.5.2	电力拖动要求	245
11.7.1	改变磁极对数调速控制电 路	219	12.5.3	控制电路分析	245
11.7.2	转子电路串电阻调速	220	12.5.4	常见故障及排除	248
11.7.3	电磁调速异步电动机调速控 制电路	221	12.6	小结	248
11.8	小结	222	12.7	习题	249
11.9	习题	223	第 13 章 桥式起重机的电气控制 ..	251	
第 12 章 常用机床的电气控制	226		13.1	桥式起重机概述	251
12.1	普通车床的电气控制	226	13.1.1	桥式起重机的结构及运动 情况	251
12.1.1	主要结构及运动形式	226	13.1.2	桥式起重机的供电特点 ..	252
12.1.2	控制电路分析	227	13.1.3	桥式起重机对电力拖动的 要求	252
12.1.3	常见故障及排除	229	13.1.4	起重用电动机的工作状 态	252
12.2	磨床的电气控制	230	13.1.5	起重机的电气保护	254
12.2.1	主要结构及运动形式	230	13.2	凸轮控制器控制电路	254
12.2.2	电力拖动要求	230	13.3	磁力控制器控制电路	255
12.2.3	控制电路分析	231	13.3.1	提升重物时的工作情况 ..	256
12.2.4	常见故障及排除	234	13.3.2	下降重物时的工作情况 ..	256
12.3	钻床的电气控制	235	13.3.3	电路的联锁与保护	258
12.3.1	主要结构及运动形式	235	13.4	桥式起重机控制电路	259
12.3.2	电力拖动要求	235	13.4.1	桥式起重机电气线路分 析	259
			13.4.2	桥式起重机常见故障分 析	259
			13.5	小结	263
			13.6	习题	263
			第 14 章 继电器控制系统的设计 ..	264	
			14.1	生产机械电力装置设计的	

基本原则及内容	264	14.4.1 经验设计法	268
14.2 电力拖动方案的确定	264	14.4.2 逻辑设计法	270
14.2.1 拖动方式的选择	264	14.5 常用控制电器的选用	272
14.2.2 拖动电动机的选择	265	14.5.1 接触器的选用	272
14.3 继电-接触器控制系统设计		14.5.2 继电器的选用	273
的一般要求	266	14.5.3 熔断器的选用	274
14.3.1 电气控制系统应满足生产		14.5.4 其他控制电器的选用 ...	274
机械的工艺要求	266	14.6 生产机械电气设备的施工	
14.3.2 控制和信号电路的电源和		设计	276
保护	266	14.6.1 绘制电器布置图	276
14.3.3 控制电路电压的优选值 ...	266	14.6.2 绘制电气控制装置的接	
14.3.4 保证电气控制电路工作的可		线图	277
靠性	267	14.6.3 电力装备的配线及施工 ...	277
14.3.5 保证电气控制电路工作的		14.6.4 检查、调整与试验	279
安全性	268	14.7 小结	279
14.3.6 便于操作和维修	268	14.8 习题	279
14.4 电气控制电路的设计	268	参考文献	281

第 1 章 直流电机基本理论及结构

直流电机是实现直流电能和机械能相互转换的电气设备。其中将直流电能转换为机械能的叫做直流电动机，将机械能转换为直流电能的叫做直流发电机。

直流电动机的主要优点是起动性能和调速性能好，过载能力大，因此，应用于对起动和调速性能要求较高的生产机械。例如大型机床、电力机车、内燃机车、城市电车、电梯、轧钢机、矿井卷扬机、船舶机械、造纸机和纺织机等都广泛采用直流电动机作为原动机。

直流电机的主要缺点是存在电流换向问题。由于这个问题的存在，使其结构、生产工艺复杂化，且使用有色金属多，价格昂贵，运行可靠性差。随着近年电力电子学和微电子学的迅速发展，在很多领域内，直流电动机将逐步为交流调速电动机所取代，直流发电机则正在被电力电子器件整流装置所取代。不过在今后一个相当长的时期内，直流电机仍将在许多场合继续发挥作用。

本章主要分析直流电机的基本理论及结构。

1.1 直流电机的工作原理

1.1.1 直流电动机的工作原理

直流电动机的工作原理，可以用一个简单的模型来说明，图 1-1 是一台最简单的直流电动机的模型。N 和 S 是一对固定的磁极，可以是电磁铁，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。铁心表面固定一个用绝缘导体构成的电枢线圈 $abcd$ ，线圈的两端分别接到相互绝缘的两个弧形铜片上，弧形铜片称为换向片，它们的组合体称为换向器，换向器是跟转轴一起转动的，在换向器上放置固定不动而与换向片滑动接触的电刷 A 和 B，线圈 $abcd$ 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电枢。

此模型作为直流电动机运行时，将直流电源加于电刷 A 和 B。例如将电源正极加于电刷 A，电源负极加于电刷 B，则线圈 $abcd$ 中流过电流，在导体 ab 中，电流由 a 流向 b 。在导体 cd 中，电流由 c 流向 d 。载流导体 ab 和 cd 均处于 N、S 极之间的磁场当中，受到电磁力的作用，电磁力的方向用左手定则确定，可知这一对电磁力形成一个转矩，称为电磁转矩，转矩的方向为逆时针方向，使整个电枢逆时针方向旋转。当电枢旋转 180° ，导体 cd 转到 N 极下， ab 转到 S 极下，如图 1-1b 所示。由于电流仍从电刷 A 流入，使 cd 中的电流变为由 d 流向 c ，而 ab 中的电流由 b 流向 a ，从电刷 B 流出，用左手定则判别可知，电磁转矩的方向仍是逆时针方向。

由此可见，加于直流电动机的直流电源，借助于换向器和电刷的作用，使直流电动

机电枢线圈中流过的电流，方向是交变的，从而使电枢产生的电磁转矩的方向恒定不变，确保直流电动机朝确定的方向连续旋转。这就是直流电动机的基本工作原理。

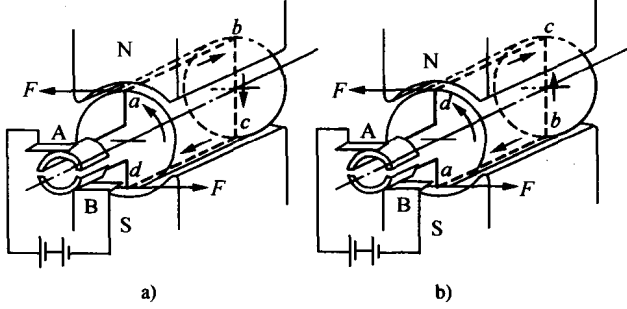


图 1-1 直流电动机的工作原理

实际的直流电动机，电枢圆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的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。

1.1.2 直流发电机的基本工作原理

直流发电机的模型与直流电动机相同，不同的是电刷上不加直流电压，而是用原动机拖动电枢朝某一方向例如朝逆时针方向旋转，如图 1-2 所示。这时导体 *ab* 和 *cd* 分别切割 N 极和 S 极下的磁力线，产生感应电动势，电动势的方向用右手定则确定。在图 1-2 中，导体 *a* 中电动势的方向由 *b* 指向 *a*，导体 *cd* 中电动势的方向由 *d* 指向 *c*，所以电刷 A 为正极性，电刷 B 为负极性。电枢旋转 180° 时导体 *cd* 转至 N 极下，感应电动势的方向由 *c* 指向 *d*，电刷 A 与 *d* 所连接换向片接触，仍为正极性；导体 *ab* 转至 S 极下，感应电动势的方向变为 *a* 指向 *b*，电刷 B 与 *a* 所连接换向片接触，仍为负极性。可见，直流发电机电枢线圈中的感应电动势的方向是交变的，而通过换向器和电刷的作用，在电刷 A、B 两端输出的电动势是方向不变的直流电动势。若在电刷 A、B 之间接上负载（如灯泡），发电机就能向负载供给直流电能（灯泡会发亮）。

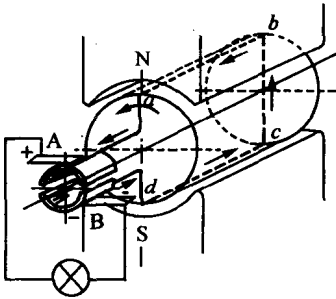


图 1-2 直流发电机的工作原理图

从以上分析看出：一台直流电机原则上既可以作为电动机运行，也可以作为发电机运行，电机的实际运行方式取决于外界不同的条件。将直流电源加于电刷，输入电能，将电能转换为机械能，作电动机运行；如用原动机拖动直流电机的电枢旋转，输入机械能，将机械能转换为直流电能，从电刷上引出直流电动势，作发电机运行。同一台电机，既能作为电动机运行，又能作为发电机运行的原理，称为电机的可逆原理。但是在设

计电机时，需考虑两者运行的特点有一些差别。例如如果作发电机用，则同一电压等级下发电机比电动机的额定电压值稍高，以补偿从电源至负载沿路的损失。

1.2 直流电机的结构及铭牌

1.2.1 结构

从直流电动机和直流发电机工作原理示意图可以看出，直流电机的结构应由定子和转子两大部分组成，直流电机运行时静止不动的部分称为定子，定子的主要作用是产生磁场。由机座、主磁极、换向极、端盖、轴承和电刷装置等组成。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。由转轴、电枢铁心、电枢绕组、换向器和风扇等组成。定子、转子间因有相对运动，故留有一定的空气隙，气隙大小与电机容量有关。图 1-3 是小型直流电机的纵剖面图，图 1-4 是横剖面示意图。直流电机根据不同的用途和产品系列，其结构也是多种多样的，下面对图中各主要结构部件分别作一简单介绍。

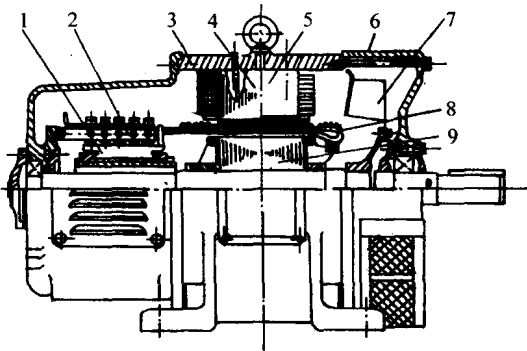


图 1-3 小型直流电机的结构

1—换向器 2—电刷杆 3—机座 4—主磁极
5—换向极 6—端盖 7—风扇 8—电枢绕组 9—电枢铁心

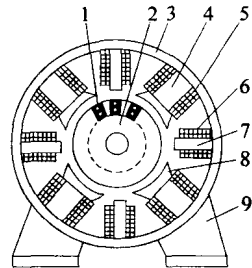


图 1-4 直流电机横剖面示意图

1—电枢绕组 2—电枢铁心 3—机座 4—主磁极铁心
5—励磁绕组 6—换向极绕组 7—换向极铁心 8—主磁极极靴 9—极座底脚

1. 定子

直流电机定子主要由机座、主磁极、换向极及电刷装置等部件构成。

(1) 机座。直流电机机座是用来固定主磁极、换向极和端盖的，起支撑、保护作用，也作为磁轭，构成了主磁路的闭合路径。机座通常由铸钢或钢板焊接而成，目前由薄钢板或硅钢片制成的叠片机座应用也相当广泛。

(2) 主磁极。主磁极的作用是在电机气隙中产生一定分布形状的气隙磁密，主磁极由主极铁心和主极绕组组成。主极铁心通常用厚 121.5mm 的低碳钢板冲片叠成。绝大多数直流电机的主磁极是由直流电流来励磁的，所以主磁极装有励磁绕组。图 1-5 是主磁

极的装配图。

(3) 换向极。换向极的作用是改善电机的换向性能。换向极由换向极铁心和换向极绕组构成,如图 1-6 所示。中小型电机的换向极由整块钢制成,而大型电机则做成钢板叠片磁极。换向极应装在电机两主极间的几何中性线上。换向极绕组应与电枢绕组串联。

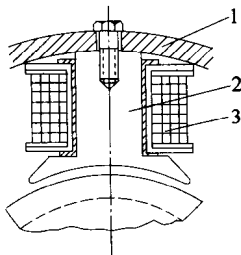


图 1-5 主磁极

1—固定主磁极丝 2—主磁极铁心 3—励磁绕组

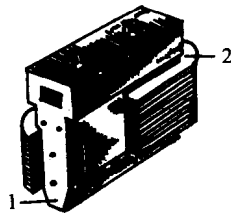


图 1-6 换向极

1—铁心 2—换向极绕组

(4) 电刷装置。电刷的作用前面已作介绍。电刷装置就是安装、固定电刷的机构,如图 1-7 所示。电刷装置通常固定在电机的端盖、轴承内盖或者机座上。

2. 转子

直流电机转子常称为电枢,主要由电枢铁心、电枢绕组、换向器和转轴等部件构成。

(1) 电枢铁心。电枢铁心一方面用来嵌放电枢绕组,另一方面构成主磁路闭合路径。当电枢旋转时,铁心中磁通方向发生变化,会产生涡流与磁滞损耗。为了减少这部分损耗,通常用 0.35~0.5mm 厚的硅钢片经冲剪叠压而制成电枢铁心。电枢铁心外圆上有均匀分布的槽,以嵌放电枢绕组。

(2) 电枢绕组。电枢绕组的作用是产生感应电动势和电磁转矩,从而实现机、电能量转换。它是直流电机的重要部件。电枢绕组由许多用绝缘导线绕制的电枢线圈组成,各电枢线圈分别嵌在不同的电枢铁心槽内,两端按一定规律通过换向片构成闭合回路。

(3) 换向器。换向器是直流电机的关键部件,它与电刷配合,在发电机中,能使电枢线圈中的交变电动势转换成电刷间的直流电动势;在电动机中将外面通入电刷的直流电流转换成电枢线圈中所需的交变电流。换向器的种类很多,这主要与电机的容量与转速有关。在中小型直流电机中最常用的是拱形换向器,其结构如图 1-8 所示。它主要由许多燕尾形的铜质换向片与片间云母片排列成形,再由套筒、螺母等紧固而成。

(4) 转轴、支架和风扇。对于小容量直流电机,电枢铁心就装在转轴上。对于大容量直流电机,为减少硅钢片的消耗和转子重量,轴上装有金属支架,电枢铁心装在支架上,此外,在轴上还装有风扇,以加强对电机的冷却。整个直流电机转子结构如图 1-9 所示。

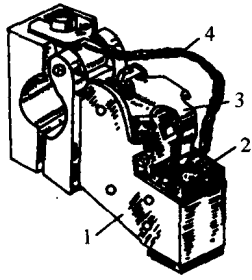


图 1-7 刷握与电刷

1—刷盒 2—电刷 3—压紧弹簧
4—铜丝软线 5—刷握

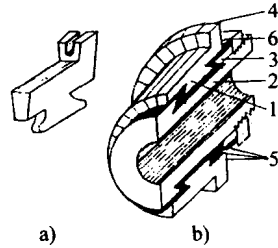


图 1-8 换向器的结构

1—换向片 2—套筒 3—V形环
4—片间云母 5—云母 6—螺母

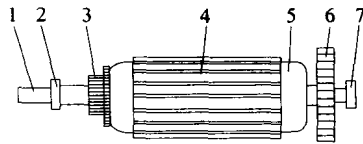


图 1-9 直流电机转子结构

1—转轴 2—轴承 3—换向器 4—电枢铁心
5—电枢绕组 6—风扇 7—轴承

1.2.2 电机的铭牌

电机的铭牌上标明了电机的型号及额定数据，供用户选择和使用电机时参考。

1. 铭牌数据

根据国家标准，直流电机的额定数据有：

- (1) 额定容量（功率） P_N （kW）。
- (2) 额定电压 U_N （V）。
- (3) 额定电流 I_N （A）。
- (4) 额定转速 n_N （r/min）。
- (5) 励磁方式和额定励磁电流 I_{fN} （A）

有些物理量虽然不标在电机铭牌上，但它也是额定值。例如在额定运行状态下的转矩、效率分别称为额定转矩和额定效率等，这些额定数据也叫铭牌数据。

关于额定容量，对直流发电机而言，是指发电机带额定负载时，电刷端输出的功率；对直流电动机而言，是指电动机带额定负载时，转轴上输出的机械功率。因此，直流发电机的额定容量应为

$$P_N = U_N I_N \quad (1-1)$$

而直流电动机的额定容量为