内 容 提 要

本书系统地介绍了常用中、小、微型各类三相和单相交流异步电动机试验方面最新的技术标准、检测设备、仪器仪表及电气线路、操作方法、试验报告的编写和电机性能数据分析、故障判定等内容。

本书采用了图文并茂和以实例说明的形式，通俗易懂、可操作性强。

本书可作为电机生产和修理单位试验人员的培训教材，也可作为从事电机设计、制作、修理、教学和研究技术人员的参考资料。

图书在版编目（CIP）数据

图解交流异步电动机试验技术与质量分析/才家刚编著. —北京：中国电力出版社，2007

ISBN 978-7-5083-5198-8

Ⅰ. 图… Ⅱ. 才… Ⅲ. ①异步电动机-试验-图解②异步电动机-质量分析-图解 Ⅳ. TM343. 06-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2007）第 011903 号

中国电力出版社出版、发行

（北京三里河路 6 号 100044 http：//www. cepp. com. cn）

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2007 年 4 月第一版 2007 年 4 月北京第一次印刷

850 毫米×1168 毫米 32 开本 13. 625 印张 554 千字

印数 0001—4000 册 定价 25. 00 元

敬 告 读 者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

需要全本请访问 www. ertongbook. com

[前言]

电机试验及检测是电机研究、生产和维修过程中不可缺少的重要环节。因此，对于从事电机研究、生产和维修行业的单位来讲，具备一套符合要求的电机试验检测设备和一定数量具有一定技术水平的试验技术人员，是非常必要的。另外，对于从事电机设计和制造的技术人员，若不了解电机试验的有关知识，也将给自己的工作带来一定的困难。

本书从解决上述问题出发，汇集了我国现行最新的有关中、小、微型交流异步电动机试验、检测方面的技术标准（所采用的标准截止到2007年1月），并结合作者近30年的实践经验，对电机试验方面的理论、设备选用和组建、试验操作方法、试验数据的采集和处理、试验报告的编写和性能数据分析、故障判定等多方面内容，进行了详细介绍。本书采用了图文并茂和以实例说明的形式，各项内容都很容易理解和实施。

上海海鹰机电检测设备厂董事长兼总经理吴亚旗先生，为本书提供了有关匝间绝缘试验等方面的技术资料，在此表示诚挚的感谢。

限于作者的经验和技术水平，书中难免有不妥之处，欢迎广大读者批评指正。

编著者

2007年2月

PREFACE

第一节 概 述

电机试验是利用仪器、仪表及有关设备，按照相关标准的规定，对电机制造和修理过程中形成的半成品和成品（或以电机为主体的配套产品）的电气性能、力学性能、安全性能及可靠性等技术指标进行的检验和试验。通过这些检验和试验，可以全部或部分地反映出被检产品的有关性能数据。用这些数据，可以判断被检产品是否符合预想的要求、品质的优劣，以及改进的目标和方向。由此可见，电机试验无论是对新产品的研制，还是对电机的批量生产及修理，都是一个极其重要的环节。

在电机生产制造和修理过程中，试验工作主要分为半成品试验和成品试验两个阶段。半成品试验主要是针对电机电工元件或组件的试验。如绕组的直流电阻测量、绕组的匝间耐电压试验、绕组对机壳和绕组相互间绝缘电阻的测定和介电强度试验（即耐电压试验）等。成品试验则是为了得到部分或全部的性能数据，而对组装成整机后的电机进行的试验。根据需要，成品试验又分为型式试验和检查试验两大类。

所谓型式试验，是指那些能够较确切地得到被试电机有关性能参数的试验。根据需要，试验可以包括标准或有关技术要求中所规定的全部项目，也可以是其中的部分项目。按国家标准规定，对电机生产单位，在下述情况下应进行型式试验。

⑴ 新设计试制的产品。本类型试验又称为“鉴定试验”。

⑵ 经鉴定定型后，小批量投产的产品。

⑶ 设计或工艺上的变更足以引起电机某些特性和参数发生变化的产品。

⑷ 检查试验结果与以前型式试验结果发生不可容许的偏差的产品。

⑸ 产品自定型投产后的定期抽查，本类型试验又称为“周期抽检试验”，简称“周检”，一般规定 1 年或 2 年为 1 个周期。

检查试验习惯称为“出厂试验”。它是在电机定型后批量生产时，对每台组装为成品的电机进行的部分性能试验。检查的项目中，有的能直接反映出被试电机的性能，如耐电压、绝缘电阻、噪声和振动等；有的则不能直接反映出被试电机的性能，而只能与合格样机相应的试验参数相比较后，才能粗略判断该项性能参数是否符合要求，如用空载电流、堵转电流、空载损耗和堵转损耗来判定异步电动机的功率因数、堵转电流、堵转转矩、最大转矩

及效率等性能指标水平。

对于修理后的电机试验，其试验项目和考核方法一般和电机生产时的检查试验基本相同。参考的标准有原电机附带的出厂试验数据和同规格电机的试验数据等。

本章将对有关电机试验的通用知识进行简要介绍，以便在实际工作中查阅，其中大部分也是本书中将要反复涉及的内容。

第二节 电机及电机试验常用术语及其定义

GB/T2900.25—1994《电工术语 旋转电机》规定了旋转电机常用术语及其定义。与电机试验有关的部分见表1-1。除此之外，本书中还将涉及到其他的术语和定义，届时将根据情况给出其内容。

表1-1 电动机及电动机试验常用术语及其定义

序号	名 称	内 容
1	额定值	通常由制造厂对电机在规定运行条件下所指定的一个量值
2	定额	一组额定值和运行条件
3	额定输出	定额中的输出值
4	负载	在给定时刻，通过机械装置施加于电机的全部机械量的数值
5	空载（运行）	电机处于零功率输出的旋转状态（其他均为正常运行状态）
6	满载；满载值	电机以其额定运行时的负载；电机满载运行时的负载
7	停机和断能	电机处于既无运动，又无电能输入时的状态
8	工作制	电机所承受的一系列负载状况的说明，包括起动、电制动、空载、停机和断能及其持续时间和先后顺序等
9	工作制类型	工作制可分为连续、短时、周期性或非周期性几种类型。周期性工作制包括一种或多种规定了持续时间的恒定负载；非周期性工作制中的负载和转速通常在允许的范围内变化
10	负载持续率	工作周期中的负载（包括起动和电制动在内）持续时间与整个周期时间之比，以百分数表示
11	堵转电流	电动机在额定频率、额定电压和转子在所有角度位置堵住时，从供电线路输入的最大稳态电流有效值
12	堵转转矩	电动机在额定频率、额定电压和转子在所有角度位置堵住时，所产生的转矩最小测得值
13	起动过程中的最小转矩（简称为最小转矩）	电动机在额定频率和额定电压下，在零转速与对应于最大转速之间所产生的稳态异步转矩的最小值。本定义不适用于转矩随转速增加而连续下降的异步电动机①
14	最大转矩	电动机在额定频率和额定电压下，所产生的无转速突降的稳态异步转矩最大值。本定义不适用于转矩随转速增加而连续下降的异步电动机
15	冷却	一种热量传递过程。电机中因损耗而形成的热量被传递给初级冷却介质，该介质可以连续地被更换或在冷却器中被次级冷却介质所冷却

需要全本请访问 www.ertongbook.com

续表

序号	名　　称	内　　容
16	冷却介质	传递热量的气体或液体介质
17	实际冷状态	电机每一部件的温度与冷却介质温度之差≤2K 时的状态
18	热稳定	电机的发热元件的温度在 1h 内的变化不超过 2K 时，称该电机达到了热稳定
19	实际平衡的电压系统	在多相电压系统中，如电压的负序分量不超过正序分量的 1%（长期运行）或 1.5%（不超过几分钟的短时运行），且电压的零序分量不超过正序分量的 1%，即称为实际平衡的电压系统
20	实际对称回路	由平衡电压供电的回路中，如电流负序分量和零序分量均不超过正序分量的 5%，即称该电气回路为实际对称回路
21	实际正弦波形	正弦性畸变率不超过 5% 的波形
22	实际无畸变回路	当用正弦波电压供电时，电流的正弦性畸变率不超过 5% 的电气回路
23	电压（电流）波形正弦性畸变率	电压（电流）波形中，不包括基波在内的所有各次谐波有效值平方和的平方根占该波形基波有效值的百分数
24	电压谐波电压因数 HVF	正弦波交流电各次谐波电压标幺值 U_n（以额定电压 U_N 为基值）的平方与本次谐波次数 n（对三相电动机不包括 3 和 3 的倍数，通常取到 13 就足够了）之商的和的平方根

① 在某些特定的转速下，除了稳态异步转矩外，还会产生与转子功角成函数关系的谐波同步转矩。在这些转速下，对应于某些转子功角的加速转矩可能为负值。经验和计算表明，这是一种不稳定的运行状态，谐波同步转矩不会妨碍电动机的加速，可从本定义中排除。

第三节 电机的工作制与定额

电机的工作制是指电机在运行时承受负荷的情况，包括起动、电制动、空载、断能停转，以及这些阶段的持续时间和先后顺序。

GB 755—2000《旋转电机 定额和性能》中规定了旋转电机的10种工作制，分别用S1～S10表示。其中S1为连续工作制；S2为短时工作制；S3～S8为各种周期工作制；S9为非周期变化工作制；S10为离散恒定负载工作制。在产品试验时，如果没有特殊要求，S2工作制的运行时间为10、30、60min或90min；S3～S8工作制的1个周期时间定为10min，负载持续率可为15%、25%、40%或60%。这10种工作制的内容见表1-2。

表1-2 电机工作制分类及各工作制的内容

代码	名称	电机运行状态
S1	连续工作制	保持在恒定负载下运行至热稳定状态
S2	短时工作制	在恒定负载下按给定的加载时间运行，电机在该时间内不足以达到热稳定，随之停机和断能，停机时间足以使电机冷却到与冷却介质温度之差在2K以内 标注示例：S2 60min
S3	断续周期工作制	按一系列相同的工作周期运行，每一周期包括一段恒定负载运行时间和一段停机并断能时间 标注示例：S3 25%
S4	包括起动的断续周期工作制	按一系列相同的工作周期运行，每一周期包括一段对温升有显著影响的起动时间、一段恒定负载运行时间和一段停机和断能时间 标注示例：S4 25% $J_M=0.15kgm^2$，$J_{ext}=0.7kgm^2$（J_M和J_{ext}分别为电机和负载的转动惯量）
S5	包括起动和电制动的周期工作制	按一系列相同的工作周期运行，每一周期包括一段起动时间、一段恒定负载运行时间、一段电制动时间和一段停机并断能时间 标注示例：S5 25% $J_M=0.15kgm^2$，$J_{ext}=0.7kgm^2$
S6	连续周期工作制	按一系列相同的工作周期运行，每一周期包括一段恒定负载运行时间和一段空载运行时间，无停机并断能时间。标注示例：S6 25%
S7	包括电制动的连续周期工作制	按一系列相同的工作周期运行，每一周期包括一段起动时间、一段恒定负载运行时间和一段电制动时间，无停机和断能时间 标注示例：S7 $J_M=0.15kgm^2$，$J_{ext}=0.7kgm^2$
S8	包括变速变负载的连续周期工作制	按一系列相同的工作周期运行，每一周期包括一段按预定转速运行的恒定负载时间和一段或几段按其他转速运行的其他恒定负载时间（如变极多速电动机），无停机和断能时间 标注示例：S8 $J_M=0.15kgm^2$，$J_{ext}=0.7kgm^2$ 16kW 740r/min 30%；40kW 1460r/min 30%；25kW 980r/min 40%

续表

代码	名　称	电　机　运　行　状　态
S9	负载和转速非周期变化的工作制	负载和转速在允许的范围内作非周期性变化的工作制。这种工作制包括经常性过载
S10	离散恒定工作制	包括不多于4种离散负载值（或等效负载）的工作制。每一种负载的运行时间应足以使电机达到热稳定。在一个工作周期中的最小负载值可为零（空载或停机断能）

S1～S8工作制的输入电能-时间周期关系见图1-1，其中负值表示输出电能，即电机处于发电状态。

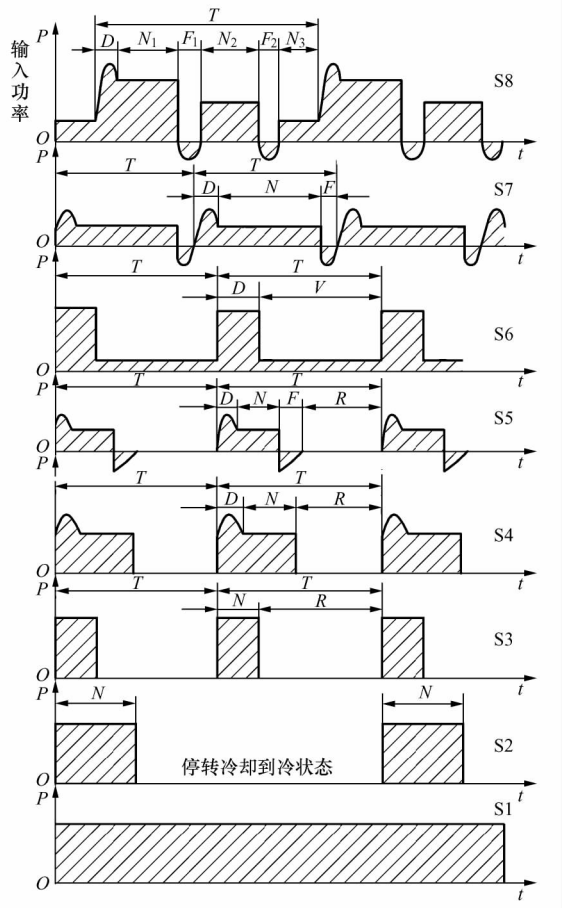


图1-1　电机S1～S8工作制输入电能-时间周期关系图

D—起动；N—运行；R—停转；V—空转；F—电制动

第四节　电机的安装方式及其代号

电机生产厂根据用户所用设备对电机安装方式的需要，将电机机座制成各种型式。GB/T 997—2003《旋转电机结构及安装型式》规定了各种电机结构及安装型式的代号。下面介绍其中常用部分。

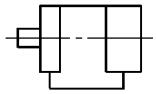
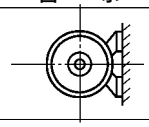
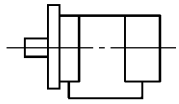
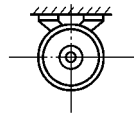
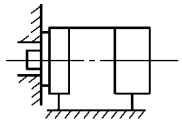
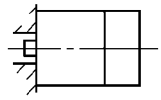
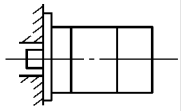
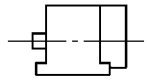
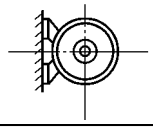
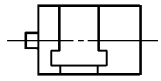
常用的电动机安装型式代号由三部分组成。

⑴ 第一部分为代号“IM”。是国际通用安装方式的代号，又称为 IM 代码。

⑵ 第二部分是一个字母 B 或 V。其中：B 表示电机在使用时为卧式安装，即其轴线为水平方向；V 表示电机在使用时为立式安装，即其轴线与水平方向垂直。

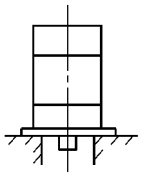
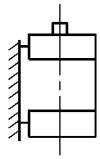
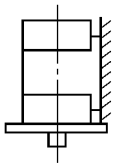
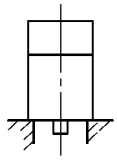
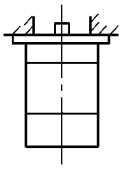
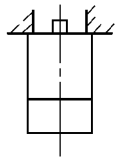
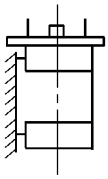
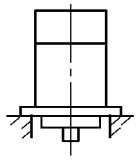
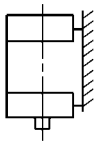
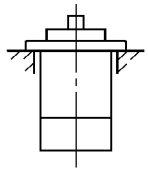
⑶ 第三部分紧跟在第二部分之后，用 1～2 个阿拉伯数字组成。现将其最常用的几种列于表 1-3 和表 1-4 中。表图中画斜线的部位是安装基础构件。

表 1-3　　第三部分由 1～2 个阿拉伯数字组成的常用卧式安装型式（IM B）图示和代号

代号	图　示	说　明	代号	图　示	说　明
B3		用底脚安装在基础构件上	B7		用底脚安装在墙上。从 D 端看，底脚在右边
B35		借底脚安装在基础构件上，并附用凸缘端盖安装配套设备	B8		用底脚安装在天花板上
B34		借底脚安装在基础构件上，并附用凸缘平面安装配套设备	B9		D 端无端盖，借 D 端的机座端面安装
B5		用凸缘端盖安装	B15		D 端无端盖，用底脚主安装，D 端机座端面辅安装
B6		用底脚安装在墙上。从 D 端看，底脚在左边	B20		有抬高的地脚，并用底脚安装在基础构件上

需要全本请访问 www.ertongbook.com

表 1-4 第三部分由 1～2 个阿拉伯数字组成的常用立式安装型式（IMV）图示和代号

代号	图示	说明	代号	图示	说明
V1		用凸缘端盖安装，D 端朝下	V6		用底脚安装在墙上，D 端朝上
V15		用底脚安装在墙上，并用凸缘作辅安装，D 端朝下	V8		D 端无端盖，借 D 端的机座端面安装，D 端朝下
V3		用凸缘端盖安装，D 端朝上	V9		D 端无端盖，借 D 端的机座端面安装，D 端朝上
V36		用底脚安装在墙上，并用凸缘作辅安装，D 端朝上	V10		机座上有凸缘，并用其安装，D 端朝下
V5		用底脚安装在墙上，D 端朝下	V16		机座上有凸缘，并用其安装，D 端朝上

注 “D”代表电机主轴伸，是指电动机的传动端轴伸；对于双轴伸电机，指直径大的一端。对于双轴伸电机，另一端用 N 表示。

第五节　电机的线端标志与旋转方向

GB 1971—2006《旋转电机　线端标志与旋转方向》（等同采用IEC60034-8：2002《旋转电机-第8部分：线端标志与旋转方向》）对电机的线端标志与旋转方向作出了原则性的规定。下面介绍其中与本书有关的主要内容。

一、线端标志符号

电机中的绕组及有关电气元件的两个（或多个）线端均应给出特定的标志，以便于用户接线和识别。标志符号一般使用大写拉丁字母和阿拉伯数字组成，字母表示绕组和元件的类别（为了避免与数字1和0混淆，不使用字母“I”和“O”），数字用于表示同一绕组（或同一套绕组，如一相绕组）和元件的线端序号。表1-5给出了字母标志符号。

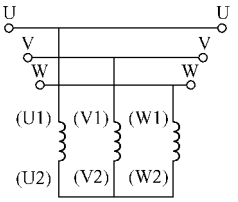
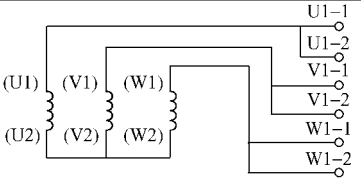
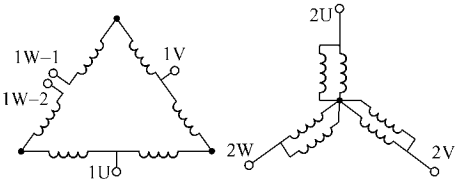
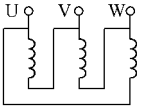
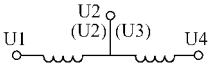
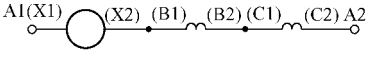
表1-5　　旋转电机线端标志符号

元件类别	元件名称	线端标志符号	元件类别	元件名称	线端标志符号
电源	供电导体	L	辅助器件	交流制动器	BA
保护	保护接地端	PE		直流制动器	BD
交流电机	定子绕组（第一相）	U		加热器	HE
	定子绕组（第二相）	V		电阻温度器	R
	定子绕组（第三相）	W		电容器	CA
	定子绕组的星点（中性导体）	N		浪涌电容器	SC
				浪涌保护器	SP
	转子绕组（第一相）	K		开关（包逆流制动开关）	S
	转子绕组（第二相）	L		随温度升高而断开的热动开关	TB
	转子绕组（第三相）	M			
	转子绕组的星点（中性导体）	Q		随温度升高而闭合的热动开关	TM
	单相电机的主绕组	U		热电偶	TC
				负温度系数的热敏电阻	TN
	单相电机的辅绕组（起动绕组）	Z		正温度系数的热敏电阻	TP

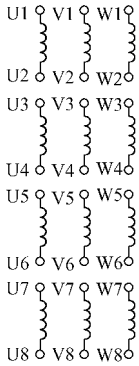
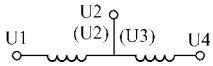
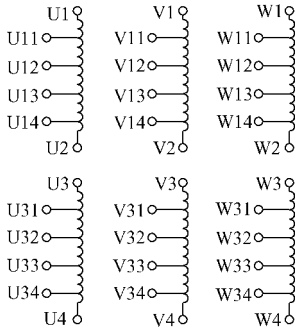
二、绕组线端标志的规则和示例

绕组线端标志的规则和示例见表 1-6。

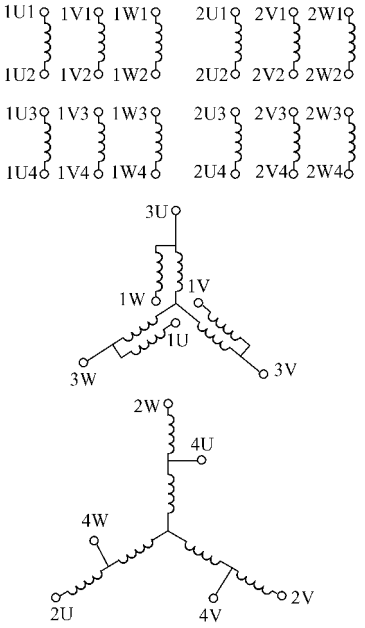
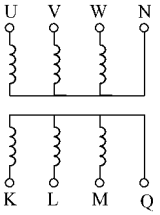
表 1-6　　绕组线端标志的规则和示例

分　类		说　明	图　例
通则	复绕组线端	一台电机的几个引接线可以有相同的标志，但每个引接线具有完全相同的电气功能。可以连接任一相同标志的引接线	
	共用线端	当用几根引接线或导体分流时，线端标志应由一个连字号分隔附加数字来表示	
		具有两套或多个独立绕组的一些多速电机，可能会在不接电的绕组内产生环流，在这种情况下，开路角接（以下用符号“Δ”表示角接）的线端标志应由一个连字号分隔附加数字后缀来表示	
	省略	在不会发生混淆的条件下，数字前缀和/或后缀可以省略	
		当两个或以上元件接到同一线端时，则应标注一个标志，应优先标注后缀数字较小的标志	
		当两个或以上不同功能的元件内连接时，应视为一个整体元件，线端标志应标注包含元件基本功能的字母	
	接地端	保护接地导体的线端应标注字母 PE	

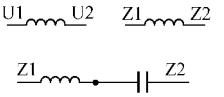
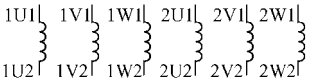
续表

分类		说明	图例
后缀	绕组单元	每套绕组的两端标注不同的数字后缀，按照GB/T 4026—1992《人机界面标志标识的基本方法和安全规则 设备端子和特定导体终端标识及字母数字系统的应用通则》的规定： 第一套绕组标注1、2 第二套绕组标注3、4 第三套绕组标注5、6 第四套绕组标注7、8 在所有的绕组中，与电源连接较近的绕组线端应标注较小的数字后缀	
	内连接	当几套绕组元件的几个线端连接时，线端标志应标注数字较小的后缀	
	抽头	绕组元件的抽头应按出现的顺序依次标注： 第一套绕组标注11、12、13等 第二套绕组标注31、32、33等 第三套绕组标注51、52、53等 第四套绕组标注71、72、73等 离绕组起头较近的抽头应标注较小的数字后缀	

续表

分类		说明	图例
前缀		几套绕组是独立的（或属于不同的电路），但具有相似的功能，这样的几套绕组应标注相同的字母、不同的数字前缀。每个线端应标注所在绕组（或电路）的相应数字前缀：第一套绕组标注1，第二套绕组标注2，第三套绕组标注3，… 对于多速电机来线端标志前缀的顺序与转速由小到大的排列相同	
不同类型电机的绕组标志	三相电机	三相电机的初级绕组线端标志应分别表示为U、V、W，有中性导体的表示为N；次级绕组线端标志应分别表示为K、L、M、Q	
	两相电机	两相电机的线端标志由三相电机的线端标志演变而来，省略字母W和N	

续表

分类		说明	图例
不同类型电机的绕组标志	单相电机	单相电机的初级主绕组线端标志为U，辅助绕组线端标志为Z。如果一套主绕组和一套辅助绕组接到一个共用线端上，则该线端标志应根据主相的规则来标注	
	复三相组（如六相）电机	每一相组的线端标志加一前缀（按本表“前缀”的规定），前缀的数字顺序应按每相组的U相达到最大值的顺序而增大	

三、常用电机绕组接线图

常用异步电动机绕组接线图如图1-2～图1-10所示。图中，L1、L2、L3分别为三相交流电源的三个线端，“△”为三角形连接符号，“Y”为星形连接符号，双电压的电压比为低电压与高电压之比。

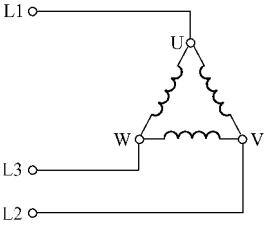


图1-2 三相单速单电压电机定子三相△接绕组

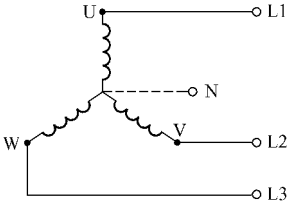


图1-3 三相单速单电压电机定子三相Y接绕组（虚线和符号N表示中性线）

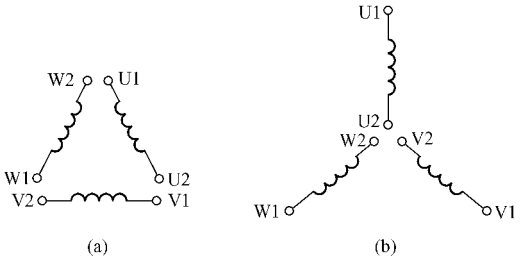


图 1-4 三相单速双电压（1/√3）电机定子三相绕组（6 个出线端）
(a) 低电压－△接；(b) 高电压－Y 接

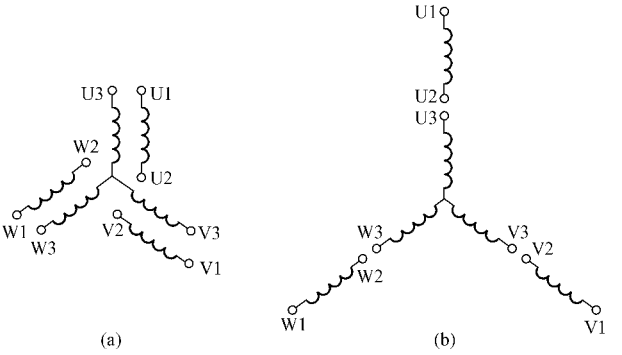


图 1-5 三相单速双电压（1/2）电机定子三相绕组（9 个出线端，Y 接）
(a) 低电压－并联 Y 接（双 Y），连接端子 U1-U3，V1-V3，W1-W3，U2-V2-W2；
(b) 高电压－串联 Y 接（单 Y），连接端子 U2-U3，V2-V3，W2-W3

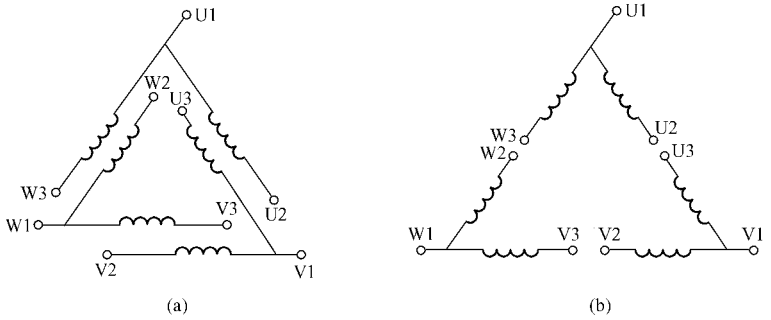


图 1-6　三相单速双电压（1/2）电机定子三相绕组（9 个出线端，△接）

(a) 低电压－并联△接（双△），连接端子 U1-U3-W2，V1-V3-U2，W1-W3-V2；

(b) 高电压－串联△接（单△），连接端子 U2-U3，V2-V3，W2-W3

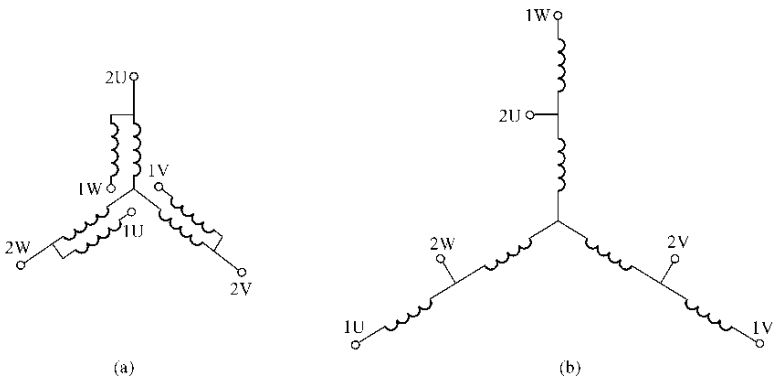


图 1-7　三相单绕组双速变转矩电机定子三相绕组（6 个出线端，Y 接）

(a) 低速－串联 Y 接（单 Y），连接端子 L1-1U，L2-1V，L3-1W，2U、2V、2W **悬空；**

(b) 高速－并联 Y 接（双 Y），连接端子 L1-2U，L2-2V，L3-2W，1U-1V-1W

四、旋转方向

如无特殊规定，旋转方向应是面对电机 D 轴伸端观察轴时，轴的旋转方向。D 端的定义见表 1-4 **的注，在必要时，也可按专门规定。**

对于本节介绍的接线方式，在未加说明时，其旋转方向应为顺时针。有必要时（如与上述规定相反时），应在电机的明显部位用箭头标注旋转方向。

需要全本请访问 www.ertongbook.com