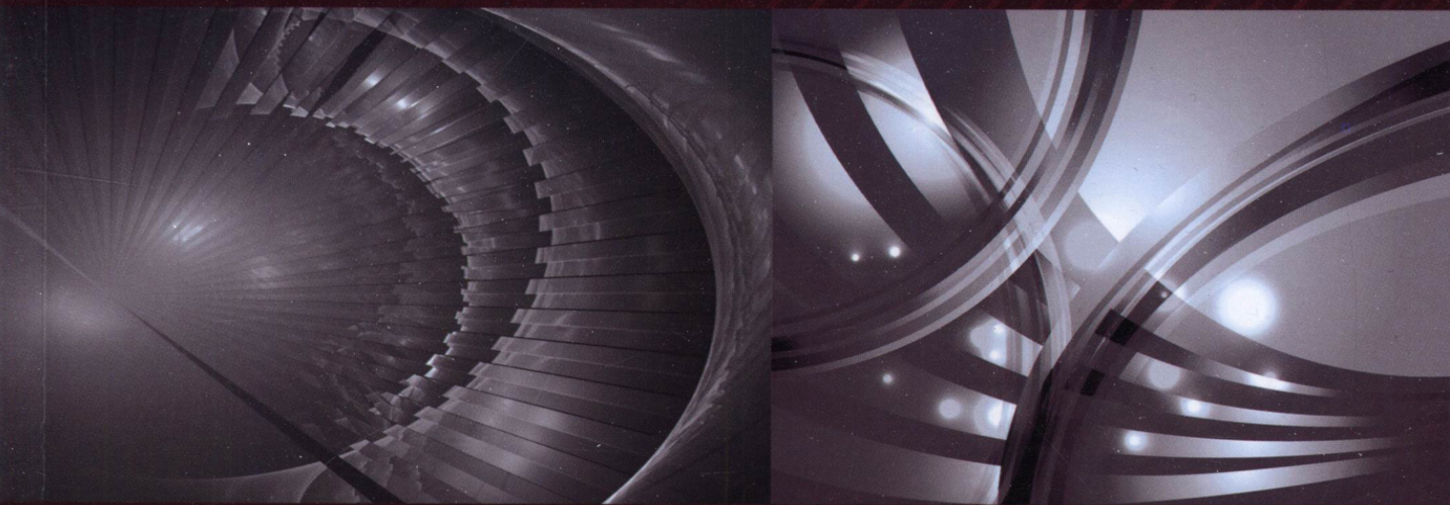


电机实用 设计技术



DIANJI SHIYONG SHEJI JISHU

杨万青 陈兴卫 编著



电机实用设计技术

杨万青 陈兴卫 编著



机械工业出版社

本书结合企业的现状,针对近年来步入工厂的学生在电机设计中产生的困扰,以使青年设计员尽快进入角色为宗旨,阐述了怎样从电磁、结构入手全面地完成电动机(本书简称电机)的设计任务。同时,本书向设计人员展示从招标、调研、签订技术协议、施工设计,直至试验完成、电机投放市场这样一个全过程,以培养设计人员在企业中独立处理各类技术问题的能力。

书中附有几代产品的数据表,也可供电机的检修人员查阅及质量管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电机实用设计技术 / 杨万青, 陈兴卫编著. —北京: 机械工业出版社, 2014.8
ISBN 978-7-111-47179-0

I. ①电… II. ①杨… ②陈… III. ①电机—设计 IV. ①TM302

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 135104 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 牛新国 责任编辑: 牛新国

版式设计: 霍永明 责任校对: 丁丽丽

封面设计: 马精明 责任印制: 李洋

三河市宏达印刷有限公司印刷

2014 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·20 印张·490 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-47179-0

定价: 58.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换
电话服务 网络服务

社服务中心: (010) 88361066 教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售一部: (010) 68326294 机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销售二部: (010) 88379649 机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

前言

企业的电机设计由电磁、结构两部分构成，与教科书中的“电机设计”不尽相同，特别是结构部分的设计，近年来这方面的书籍较少，使得青年设计人员迟迟不能进入角色。

随着新技术、新材料的不断涌现，有些设计数据，如高压电机主绝缘的厚度，也在变化着。本书在为青年设计人员寻求入门捷径，尽快地掌握设计要领的同时，也纳入了新技术，使其设计能力处于本行业较先进的水平。同时，将一项完整设计应包含的内容及设计人员应参与的生产、实践的全过程展现给设计人员。

为与节能、安全生产、文明生产的国策合拍，将提高产品的性能、质量，减少运行中的故障，降低振动、噪声、成本的诸项对策也融入书中。

因书中在如何确定电磁参数、阐述主要零部件设计要点的同时，附有几代产品的数据表，故对电机检修、质量管理人员也有参考价值。

为节省篇幅，共性的部分在三相异步电机中阐述。对同步电机、永磁电机、变频调速电机，则侧重阐述其特殊部分；对于被间接涉及的理论部分，仅向读者介绍其来源的有关书目；对于设计、检修能用到的其他文献，本书仅向读者推荐，不予重复引述。

本书第二、三、七章中同步电机、永磁电机及电磁、结构、试验、附录中与之相关的内容，以及第五、六章由陈兴卫撰写；第二、三、七章中异步电机、变频调速电机及电磁、结构、试验、附录中与之相关的内容，以及第一、四、八章由杨万青撰写。陈兴卫、杨万青将各自撰写的手稿互校后，由中国工程院院士、哈尔滨电气集团原总工程师梁维燕终审。

书中引用的许多电机设计常用的计算公式，参数变量很多来自国外的文献和行业的工程习惯，为了尊重原文和工程习惯，并未统一为我国法定计量单位，请读者谅解。

由于作者水平所限，难免有疏漏、谬误之处，敬请读者不吝指正。

作者

目 录

前言

第一章 概述.....1

第一节 电机常识.....1

一、电机的分类、型号、机座号.....1

二、电机的运行原理.....3

三、电机的性能指标及公差、电机的主要技术参数.....5

四、电机遵循的主要标准.....6

五、系列型谱.....7

六、安装、外形尺寸代号.....8

七、安装方式代号.....9

八、电压、绝缘、防护、防爆、防腐蚀等级.....9

九、通风散热方式.....11

十、选型.....12

第二节 工厂开展设计的过程与内容.....12

一、设计人员应具备的理论与实践知识.....12

二、工厂开展设计的过程.....12

三、工厂开展设计的内容.....13

四、设计方案的评定.....16

五、产品投入批量生产的三个阶段.....17

第二章 电磁设计.....18

第一节 设计前的准备工作.....18

一、确定技术标准.....18

二、初步确定总体结构.....18

三、计算机程序的使用与编制.....18

第二节 三相异步电机.....19

一、铁心尺寸的初步确定.....19

二、电磁负荷的确定.....20

三、线规及绕组.....22

四、选择槽配合、槽形.....30

五、气隙.....38

六、绝缘厚度、绕组联结方式、路数的选择.....39

七、电磁计算.....40

八、线圈设计.....45

九、给出确定后的电磁方案.....53

十、温升计算.....54

第三节 变频调速电机.....58

一、概述.....58

二、设计要点.....60

三、额定功率的确认.....61

四、变频器容量的选择.....61

五、他冷式配用风机的选择.....62

第四节 同步电机.....62

一、同步电机电磁设计说明.....62

二、凸极同步电机电磁计算.....74

三、小型三相同步发电机电磁计算.....93

第五节 永磁电机.....124

一、永磁电机概述.....124

二、永磁同步电机电磁计算.....127

参考文献.....133

第三章 结构设计.....134

第一节 通风散热结构.....134

一、通风散热方式的选择.....136

二、风路结构的设计.....140

三、通风组件的设计.....142

第二节 支撑件.....148

一、机座.....148

二、端盖.....152

第三节 导磁件.....153

一、定子铁心.....153

二、转子铁心.....154

第四节 旋转件.....154

一、转子铁心安装	154	三、通风噪声	218
二、轴	155	参考文献	221
三、焊筋轴的设计	157	第五章 电机继电保护系统的选择	
四、其他旋转件	158	与设计	222
第五节 热套件	159	第一节 电机差动保护	222
一、热套件的过盈量	160	第二节 电机过热保护	225
二、热套件的应力计算	161	第三节 电机振动保护	228
第六节 密封件	162	第六章 接线盒设计	231
一、静止结合面的密封	163	第一节 电源接线盒	231
二、活动结合面的密封	163	第二节 辅助接线盒	239
第七节 轴承结构	164	第七章 电机的试验、检验	243
一、滚动轴承	164	第一节 三相异步电机	243
二、滑动轴承	170	一、半成品试验、检验	243
第八节 绝缘结构	171	二、成品型式试验	245
一、电动机绝缘的构成	171	三、出厂试验	246
二、每部分绝缘的构成及选用	171	四、工业试验	247
三、防电晕处理	178	第二节 变频调速电机	248
四、嵌线间隙及槽满率	178	一、半成品试验	248
第九节 同步电机结构设计	179	二、成品试验	248
一、同步电机概述	179	第三节 同步电机的产品试验、安装	
二、同步电机结构形式	179	调试与验收试验	249
三、同步电机常见的安装方式	181	一、无刷励磁同步电机的产品试验	250
四、同步电机常见的冷却方式		二、无刷励磁同步电机三阶段试验方法	251
和防护等级	182	三、同步电机的产品检查、试验项目	258
五、同步电机的分类及应用场所	183	参考文献	262
六、同步电机设计关键点	187	第八章 编写技术文件	263
第十节 图样绘制	207	第一节 技术条件	263
一、绘制零部件图	207	第二节 使用维护说明书	267
二、绘制总装配图	208	第三节 试验鉴定大纲	269
参考文献	209	第四节 试制总结	269
第四章 振动与噪声	210	第五节 产品样本	269
第一节 振动	210	附录 技术数据	270
一、机械上产生振动的原因及降低措施	210	附录 A 三相异步电机技术数据	270
二、电磁上产生振动的原因及防止措施	211	附录 B TZYW 系列正压外壳型同步	
第二节 噪声	211	电机技术数据与性能指标	306
一、电磁噪声	212	附录 C 变频电机技术数据	307
二、机械噪声	218		

概述

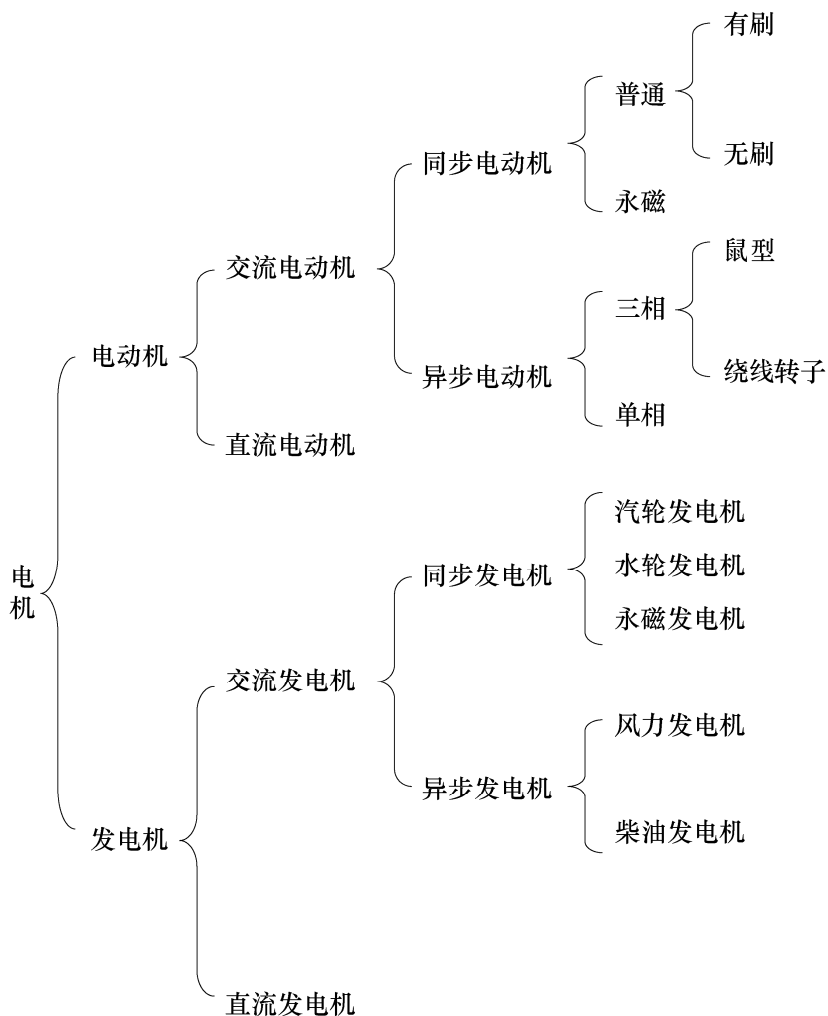
第一节 电机常识

一、电机的分类、型号、机座号

1. 电机的分类

电机有很多分类方式，通常可按种类、大小、外观形式、用途等方式分类。

(1) 按种类可以粗略地划分如下：



由以上划分可见：“电机”是电动机与发电机的通称。本书主要讲述电动机，故本书所述的“电机”多指“电动机”。

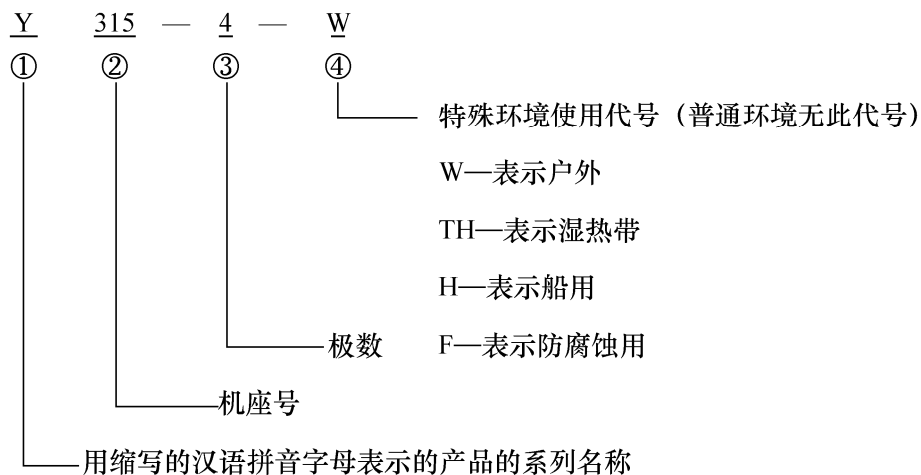
(2) 按大小、外观形式，可以粗略划分见表 1-1。

表 1-1 按大小、外观形式划分的电机种类

分类方式	类别			
按定子铁心 外径/mm	大型 >1000	中型 500~1000	小型 120~500	微型 <120
按防护型式	开启式 IP00、IP11			
	防护式 IP22、IP23			
	封闭式 IP44、IP54、IP55、IP65…			
按通风散热方式	自冷式 IC410			
	自扇冷式 IC411、IC511、IC611、IC81W			
	他冷式 IC15			
	管道通风式 IC17			
	液体冷却式 ICW37			
	自循环通风冷却式 IC01			
按安装方式	卧式 IMB3、IMB35…			
	立式 IMV1、IMV3…			
	悬臂式 IMB5、IMB10…			
按用途划分	对于异步电机，因应用范围广、产量大、品种杂，且从大到小差别大，故也可用电机使用场所及用途对其分类加以补充说明，以清晰、明了。如：潜水电机、锥形转子电机、多速电机、变频调速电机、盘式制动电机、伺服电机、实心转子电机、直线电机，等等			
备注	表中代号含义见本节七、八、九部分			

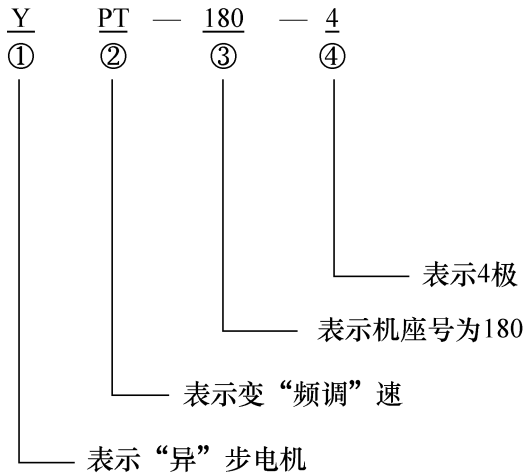
2. 电机的型号

(1) 异步电机 由①~④部分构成，如：

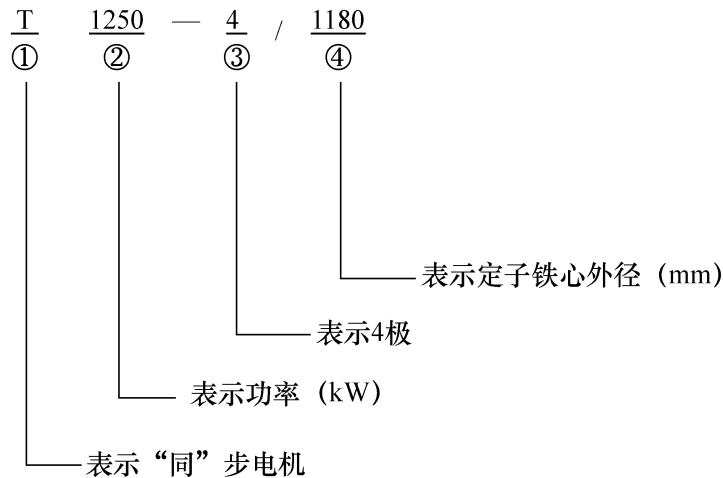


Y—表示“异”步电机、YB—表示“异”步隔“爆”型电机等。

(2) 变频调速电机



(3) 同步电机



再如，TAW—表示“同”步、增“安”型“无”刷电机，等等。

3. 机座号

机座号用 mm 为中心高 H 值表示。

有的产品在机座之后加 S、M、L，它们代表同一机座中短、中、长三种 B 的尺寸。S、M、L 之后再加的“1”“2”“3”，表示与功率有关的各自的铁心长度，与安装尺寸无关。

大中型电机，有的在机座号之后加数字 1、2、3…它们也表示各自的铁心长度，也与安装尺寸无关。如 Y450 4-4：表示 450 机座号中的第 4 挡铁心长的功率的 4 极电机。

二、电机的运行原理

(一) 三相异步电机

三相交流电机的定子绕组接上三相交流电源后，要在定、转子铁心中产生旋转磁场。以 4 极为例，如图 1-1 所示。产生的磁场，通过定、转子间的气隙 g ，在定、转子铁心中形成一个闭合磁路。此闭合磁路要以旋转磁场的转速 $n_1=60f/p$ 旋转。旋转时，切割转子导条产生感

应电动势，因导条已成为闭合回路，即转子绕组的一部分，故有电流流过。而载流的导体在磁场中要受到电磁力的拉动，这个拉力便使转子旋转。由法拉第电磁感应定律得知，导体只有在与磁场间产生相对运动，即切割磁力线才能产生感应电动势，形成闭路后产生电流，如图 1-1 所示。如果转子转速 $n = n_1$ ，即转子线圈与旋转磁场间相对静止，线圈中就不能产生电流，导条就得不到磁场的拉动力。要想使转子正常旋转，只有在 $n < n_1$ ($n > n_1$ 为发电机状态)，旋转磁场才能与转子导条间产生相对运动，导条中有电流，受到旋转磁场的拉动，电机才能正常旋转。感应电机又被称为异步电机，就是因为转子的转速 n 必须与旋转磁场的转速 n_1 相“异”才能工作，即这种电机就是靠 n_1 与 n 之间存在转差 s 而运行。因为 s 的存在，异步电机的转速总是不规整，同一极数下的不同电机，其转速间也存在小小的差异。如 4 极电机，有的电机 $n = 1486 \text{ r/min}$ ，有的 $n = 1492 \text{ r/min} \cdots \cdots$

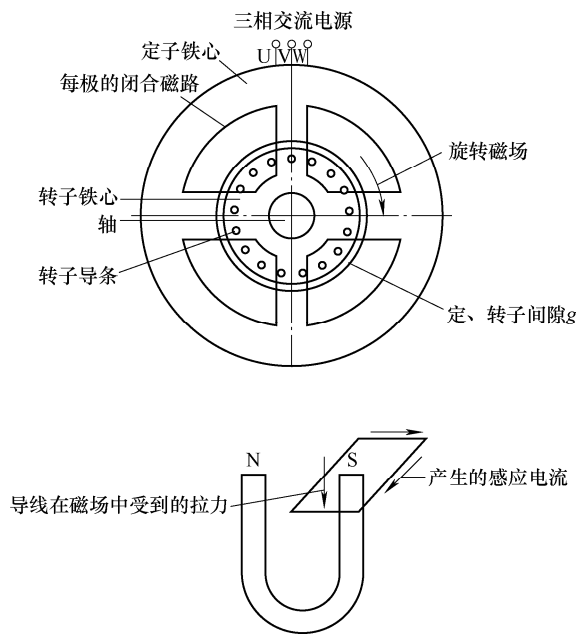


图 1-1 异步电机运行原理示意图

异步电机靠“异”数 s 的存在而工作， s 越大，转子导条中产生的电流越大，产生的损耗也越大，电机的效率就要受较大损失。但电机要运行，不能没有 s 。 s 不宜太大，也不可能很小（转差电机除外）。转子损耗仅是异步电机五部分损耗之一。通常，设计者在权衡电机诸项指标之后才能顾及到转子损耗。

(二) 单相异步电机

单相电机的绕组在未改造之前只能产生脉振磁场，要想让它工作，必须使这脉振磁场变为旋转磁场。改变办法有两种：

1) 在一相绕组中串入电容，所以这种结构又被称为“单相电容电机”。

这种结构的定子由两套绕组组成，故从结构上讲，它是一台两相的异步电机。只是因为单相网络上运行，故而被称为单相电机。

两套绕组中，一套为起动绕组，一套为运行绕组，电容与前者串联。当这两套绕组一并接入同一电网上时，流入起动绕组的电流则要比运行绕组的电流超前一个时间相角，于是便

产生一个椭圆形旋转磁场，它从起动绕组转向运行绕组，拉动嵌有绕组（一般为笼型）的转子旋转。

2) 将定子铁心制成凸极式，每个磁极上绕有工作绕组，与单相电源相接。在磁靴的一边开有嵌入短路铜环的小槽，这铜环被称为罩极线圈，它环绕极靴的一角，约占全部极靴面积的 1/3。转子仍为笼型。接通电源后，在罩极线圈极面下的磁通建立较迟，这就使极面下的磁通分为两部分。这两部分磁通在时间轴和空间轴上都不同相，于是便产生一个椭圆形的旋转磁场。旋转方向从未罩极的部分转向罩极的部分。同理，它拉动转子旋转。

(三) 同步电机

同步电机的定子与异步电机相同。只是转子磁场靠外加的直流电源建立。因此，工作时转子的转速与定子旋转磁场的转速相同，即电机的转速 n_1 。但起动时还要靠转子上的阻尼绕组，亦称起动绕组，在定子旋转磁场的作用下，像异步电机那样，靠异步起动。在转速达到 $0.95 n_1$ 左右时，转子绕组送入直流电源，电机便可按 n_1 正常运行。为避免在起动瞬间转子绕组（亦称励磁绕组）中感应很高的电压，在转子绕组中产生的较大电流而形成的附加转矩使电机起动发生困难，在起动时，转子绕组要串入为本身阻值 10 倍左右的电阻。起动完成后，将该回路中的这个电阻剔除，电机进入正常运行状态。

(四) 直流电机

直流电机的定子磁场由磁极及绕在其上的励磁绕组通入直流电流后而建立，称之为励磁磁场。转子，亦称电枢，也通入直流电，但经电刷传给换向器，再经换向器将此直流电转化为交流电送入电枢绕组，形成电枢磁场。它与定子合成为气隙磁场，电枢绕组切割气隙合成磁场，使电枢产生转矩而旋转，由于换向器的功能，使旋转的电枢中的磁极的极性始终与定子极性呈相斥状态而被“推”动旋转。

为避免运行时换向片处因电压偏高而产生火花，在定子两磁极间增设由换向绕组、磁极组成的换向极。功率较大、转速又较高的电机，为了同一目的，在励磁磁极极靴处开槽，嵌入补偿绕组，它和电枢绕组串联。

三、电机的性能指标及公差、电机的主要技术参数

电机的性能指标，也称技术指标，是用来标志、考核电机水平、质量的参数（见表 1-2 序号 1~7 及 9、10）。电机的性能指标及公差、主要技术参数的代号、含义见表 1-2。表 1-2 中其他参数，如 U_2 、 t_E …分别为按技术协议或防爆规程确定的数值，与电机的水平及质量关系不大。

表 1-2 电机的性能指标及公差、电机的主要技术参数

序号	技术指标代号	参量的含义或名称	公差	备注
1	η	效率	-15% ($1 - \eta$), 功率 $\leq 150\text{kW}$ 电机 -10% ($1 - \eta$), 功率 $> 150\text{kW}$ 电机	
2	$\cos \phi$	功率因数	-1/6($1 - \cos \phi$), 最小绝对值 0.02; 最大绝对值 0.07	
3	T_m	最大转矩/额定转矩	保证值的-10%, 但计及公差后, 对于 $I_{st} < 4.5$ 的电机转矩值可以不小于额定值的 1.5 倍	
4	T_{st}	堵转转矩/额定转矩 同步电动机牵入转矩/ 额定转矩	保证值的-15%~25% (经协商可 $> 25\%$)	

(续)

序号	技术指标代号	参量的含义或名称	公差	备注
5	T_{\min}	最小转矩/额定转矩	保证值的-15%	
6	T	同步电机失步转矩	保证值的-10%，但计及公差后，转矩值不得小于额定值的 1.35 倍（隐极同步电机）、1.5 倍（凸极）	
7	I_{st}	堵转电流/额定电流	保证值的+20%	
8	J	转动惯量	保证值的±10%	
9		振动速度有效值	不得超过标准规范的限值	
10		噪声	标准规定的限值+3dB	
11	s	转差率	保证值的±30% ($P_N < 1\text{kW}$) ±20% ($P_N \geq 1\text{kW}$)	
12	U_2	转子电压	按协议	
13	I_2	转子电流	按协议	
14	I_A/I_N	最初起动电流/额定电流	按 GB 3836.2—2010	仅增安型电机有此要求
15	t_E	允许堵转时间	按 GB 3836.2—2010	

四、电机遵循的主要标准（见表 1-3）

表 1-3 电机遵循的主要标准

序号	标准名称	标准号	对应的国际标准
1	旋转电机 定额和性能	GB 755—2008	IEC60034-1
2	旋转电机 整体结构的防护等级（IP 代码）分级	GB/T 4942.1—2006	IEC60034-5
3	旋转电机冷却方法	GB/T 1993—1993	IEC60034-6
4	旋转电机 圆柱形轴伸	GB/T 756—2010	IEC60072、IEC60072A
5	旋转电机尺寸和输出功率等级第 1 部分：机座号 56~400 和凸缘号 55~1080	GB/T 4772.1—1999	IEC60072
6	平键—键槽的剖面尺寸	GB/T 1095—2003	IEC60072、IEC60072A
7	三相异步电动机试验方法	GB/T 1032—2012	IEC60034-2、IEC60034-2A
8	三相同步电机试验方法	GB/T 1029—2005	
9	单相异步电动机试验方法	GB/T 9651—2008	
10	轴中心高 56mm 及以上电机的机械振动 振动的测量、评定及限值	GB 10068—2008	IEC60034-14
11	旋转电机噪声测定方法及限值第 1 部分：旋转电机噪声测定方法	GB/T 10069.1—2006	ISO1680-1
12	爆炸性气体环境用电气设备	GB 3836—2003~2010	IEC60079
13	热带型旋转电机环境技术要求	GB/T 12351—2008	
14	电机在一般环境条件下使用的湿热试验要求	GB 12665—2008	
15	可燃性粉尘环境用电气设备	GB 12476—2007~2013	
16	化工企业腐蚀环境电力设计技术规定	HG/T 20666—1999	
17	小功率电动机通用技术条件	GB/T 5171—2002	IEC34-1

(续)

序号	标准名称	标准号	对应的国际标准
18	井用潜水异步电动机	GB/T 2818—2002	
19	船用旋转电机基本技术要求	GB/T 7060—2008	
20	大型三相异步电动机基本系列技术条件	GB/T 13957—2008	
21	大型三相同步电动机技术条件	JB/T 8667—2011~2013	
22	Y 系列高压三相异步电动机技术条件(机座号 355~630)	JB/T 7593—2007	
23	高压三相异步电动机技术条件	JB/T 10315—2013	
24	Y 系列 10kV 三相异步电动机技术条件(机座号 450~630)	JB/T 10446—2004	
25	YR 系列高压绕线转子三相异步电动机技术条件(机座号 355~630)	JB/T 7594—2006	
26	高压绕线转子三相异步电动机技术条件	JB/T 10314—2013	
27	YR 系列 10kV 绕线转子三相异步电动机技术条件(机座号 450~630)	JB/T 10445—2004	
28	Y 系列(IP44)三相异步电动机技术条件(机座号 80~355)	JB/T 10391—2008	
29	Y2 系列(IP54)三相异步电动机技术条件(机座号 63~355)	JB/T 8680—2008	
30	Y3 系列(IP55)三相异步电动机技术条件(机座号 63~355)	JB/T 10447—2004	
31	Y3 系列(IP55)三相异步电动机技术条件(机座号 355~450)	JB/T 10868—2008	
32	YR 系列(IP44)绕线转子三相异步电动机技术条件(机座号 132~315)	JB/T 7119—2010	
33	中大型高、低压潜水泵电动机(机座号 315~710)	JB/T 10869—2008	

五、系列型谱

系列型谱是电机的机座号、功率、极数三者间的对应关系表。如表 1-4 所示摘录的 Y 系列 6kV 型谱中的 710 机座号部分。

表 1-4 Y 系列 6kV 型谱中的 710 机座号部分

功率/kW 机座号	极数					
	2	4	6	8	10	12
Y7101	3550	3150	2240	1800	1600	1120
Y7102	4000	3550	2500	2000	1800	1250
Y7103	4500	4000	2800	2240	2000	1400
Y7104	5000	4500	3150	—	—	—

机座号也有用中心高后加 S、M、L 表示的，见本节一。

六、安装、外形尺寸代号

卧式电机 (IMB3) 安装尺寸— A 、 B 、 C 、 D 、 E 、 F 、 G 、 H 、 K ，国际上通用，如图 1-2 所示，立式电机 (IMV1)、悬臂式电机 (IMB5) 安装尺寸— M 、 N 、 P 、 R 、 S 、 T 、 α (D 、 E 、 F 、 G 与卧式同) 如图 1-3 所示。

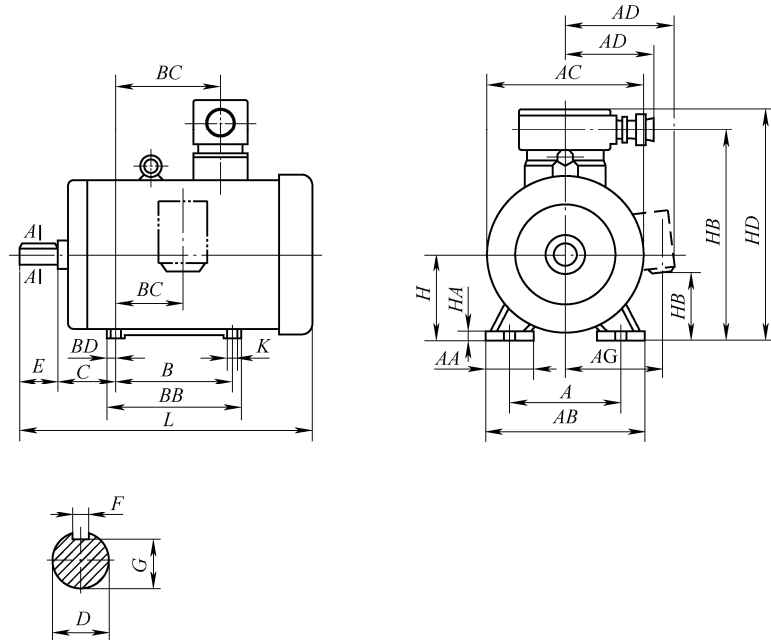


图 1-2 卧式电机 (IMB3) 安装尺寸 (国际通用)
 A 、 B 、 C 、 D 、 E 、 F 、 G 、 H 、 K 及外形尺寸代号

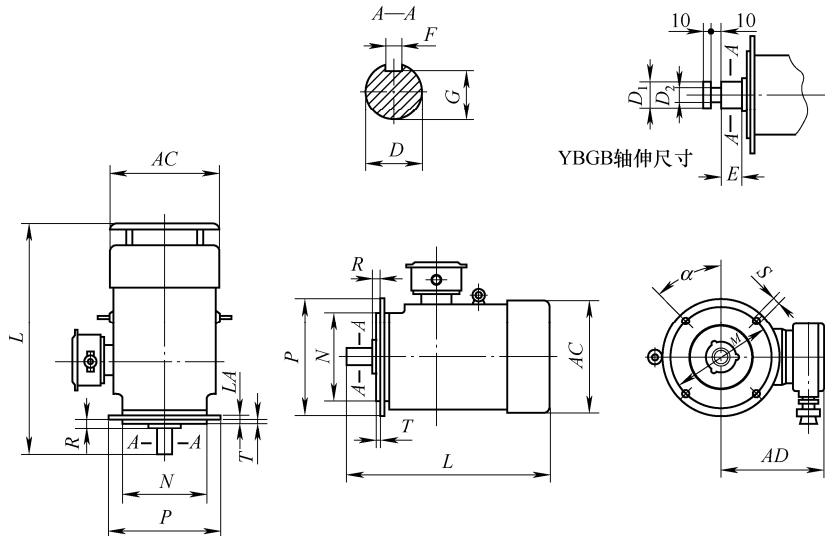
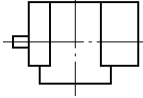
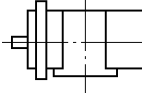
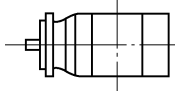
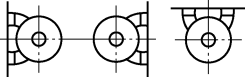
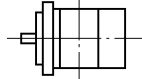
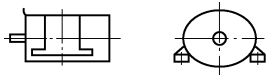
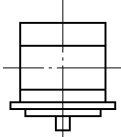
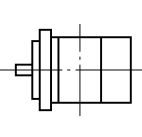
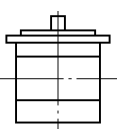
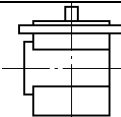
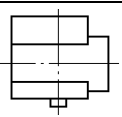
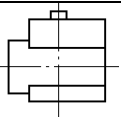
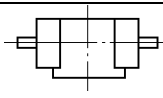
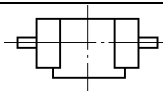
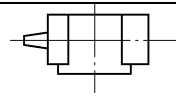
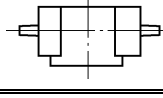
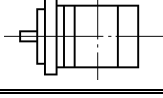
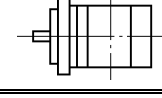
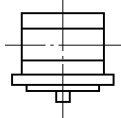
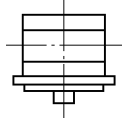
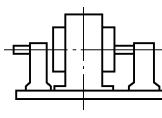
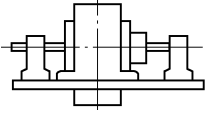
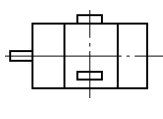


图 1-3 立式、悬臂式电机安装、外形尺寸示意图

注：V1、B5 的接线盒除特殊注明外，在圆周方向位于两个法兰安装孔的中间。

七、安装方式代号（见表 1-5）

表 1-5 安装方式代号

代号	IMB3	IMB35	IMB5
示意图			
代号	IMB6、IMB7、IMB8	IMB10	IMB20
示意图			
代号	IMV1	IMV15	IMV3
示意图			
代号	IMV36	IMV5	IMV6
示意图			
代号	IM1001	IM1002	IM1003
示意图			
代号	IM1004	IM3001	IM3003
示意图			
代号	IM3011	IM3013	IM7211
示意图			
代号	IM7311	IMB30	
示意图			

八、电压、绝缘、防护、防爆、防腐蚀等级

(一) 电压等级

国内在电机上采用的标准电压为：

低压：220V、380V、660V、1140V

高压：3kV、6kV、10kV

(二) 电气绝缘结构热分级 (绝缘等级)

目前在电机上采用以下 5 种绝缘等级:

- 1) 120 (E) 级绝缘, 允许的最高温度为 120℃。
- 2) 130 (B) 级绝缘, 允许的最高温度为 130℃。
- 3) 155 (F) 级绝缘, 允许的最高温度为 155℃。
- 4) 180 (H) 级绝缘, 允许的最高温度为 180℃。
- 5) 200 (C) 级绝缘, 允许的最高温度为 200℃。

但绝大部分电机均采用 F 级绝缘, E、B 级仅在修理的老系列电机上见到; H、200 级用在特殊产品上, 如轧钢用电机, 因环境温度较高, 有采用 H 级绝缘的。

(三) 防护等级

电机常用的防护等级有三大类, 即

开启式: IP00、IP11。

防护式: IP22、IP23。

封闭式: IP44、IP54、IP55、IP65…

IP 是 International (国际的) Protection (防护) 的缩写, 其后第一个数字表示防尘等级, 第二个表示防水等级。

开启式、防护式多用在同步电机上, 防护式、封闭式多用在异步、直流电机上。

有些特殊用途的, 如潜水轴流式、贯流式电机, 其防护等级较高, 为 IP68; 用于粉尘环境中的防爆电机, 其外壳的防尘等级为 6 级。

(四) 防爆等级

1. 用于气体环境中的防爆电机

目前国内在役的防爆电机有 4 种类型:

- 1) 隔爆型, 在电机型号中加“B”, 如“YB”, 则表示 YB 系列隔爆型异步电机;
- 2) 增安型, 在电机型号中加“A”, 如“YA”, 则表示 YA 系列增安型异步电机;
- 3) 正压外壳型, 在电机型号中加“ZY”;
- 4) 无火花型, 在电机型号中加“N”。

后两种在国内防爆场所中用的较少, 前两种用得较多。

隔爆型的防爆等级有 d I、d II A、d II B、d II C、d I 用于煤矿井下, 后三种用于石油、化工的易燃、易爆场所中; 增安型的防爆等级有 e II T2、e II T3 两种。

2. 用于粉尘环境中的防爆电机

用于粉尘环境中的防爆电机在型号中加“F”, 如 YFB 表示用于爆炸性粉尘环境中的隔爆型异步电机, 其防爆等级依据场所危险程度的级别—“10 级”、“11 级”, 粉尘的特性划定为 IIIA 级、IIIB 级。

3. 用于腐蚀性环境中的防爆电机

用于腐蚀性环境中的防爆电机被称为“防爆防腐电机”, 也在型号中加“F”。为了与粉尘防爆相区别, 在型号中加“-”, 如 YB-F 表示用于腐蚀性环境中的隔爆型异步电机。同理, 其等级亦称防腐类型, 也是依据场所状况、腐蚀性物质本身特性划定, 其代号分别为:

W——户外防轻腐蚀型

WF1——户外防中等腐蚀型

WF2——户外防强腐蚀型

F1——户内防中等腐蚀型

F2——户内防强腐蚀型

这些代号加在型号之后的文字说明中。

上列三种防爆类型，其使用环境中的爆炸性混合物还按不同介质的自燃温度划分不同的组别，它们体现在电机的防爆标志中。如 d II B T4，表示 II B 级隔爆，用于 T4 组的隔爆型电机（d 表示隔爆型，e 表示增安型，T1~T6 的划分）。

（五）防腐蚀等级

腐蚀性环境状况指腐蚀性物质释放的严酷程度，物质本身腐蚀强度是界定其级别的依据，并由此确定在腐蚀性环境中使用的电机的防腐蚀级别。

腐蚀性物质释放的严酷性按其浓度分为 3 个等级，即 1 级、2 级和 3 级；按其泄漏状况分为 3 类，即 0 类、1 类和 2 类。

在选用电机的防腐蚀的类型 W~F2（见八、（四）3）时，环境条件也是主要依据，它们被分为 6 类：

- 1) 气候条件，代号为 K；
- 2) 特殊气候条件，代号为 Z；
- 3) 化学活性物质条件，代号为 C；
- 4) 机械活性物质条件，代号为 S；
- 5) 机械条件，代号为 M；
- 6) 生物条件，代号为 B。

以上详见 JB/T 4375—2013。

九、通风散热方式

通风散热方式对电机的性能、质量、寿命及成本的构成均起到至关重要的作用，设计者务必要权衡方方面面的利弊，设计合理的结构，不可草率。在电机上可供选择的通风散热方式见表 1-6。

表 1-6 电机上可供选择的通风散热方式

通风散热方式	代号	注	
自冷式	IC410		
自扇冷式	IC411	不带内循环通风	
	IC511	带内循环通风	内风路为轴向
			内风路为径向
			内风路为轴径向
	IC611		带空/空冷却器
IC81W		带空/水冷却器	
他冷式	IC15		
管道通风式	IC17		
液体冷却式	ICW37		
自循环通风冷却式	IC01		

注：IC 为 International Cooling 的缩写。