

第五章 三相交流电动机——低压电动机

第一节 概 述

一、工 作 原 理

(一) 三相异步电动机的工作原理

1. 三相交流电动机的旋转磁场

图5-1-1所示为一台具有六个槽的三相交流电动机定子，槽中嵌有互成 120° 的三个线圈AX、BY、CZ。三个线圈成星形或三角形连接，并通入如图5-1-2所示的三相交流电。设电流为正值时，从线圈的首端(A、B、C)流入(用符号 $\otimes$ 表示)，由末端(X、Y、Z)流出(用符号 $\odot$ 表示)；电流为负值时，从线圈的末端(X、Y、Z)流入，而由首端(A、B、C)流出。

当时间为 t_0 时， $I_A = 0$ ，AX线圈中没有电流；此时 I_B 为负值，即BY线圈内的电流由线圈的末端Y流入，由首端B流出；而此时 I_C 为正值，故CZ线圈中的电流方向是由首端C流入，由末端Z流出。根据右手螺旋定则可以确定三相线圈的磁力线方向如图5-1-3 t_0 所示，其合成磁场为一个N极在下，S极在上的2极磁场。

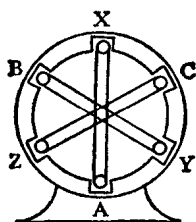


图 5-1-1 三相互成 120° 的绕组

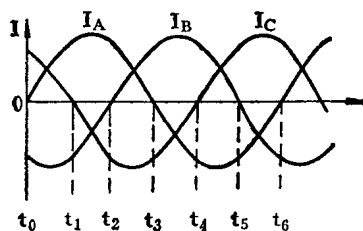


图 5-1-2 三相对称电流波形

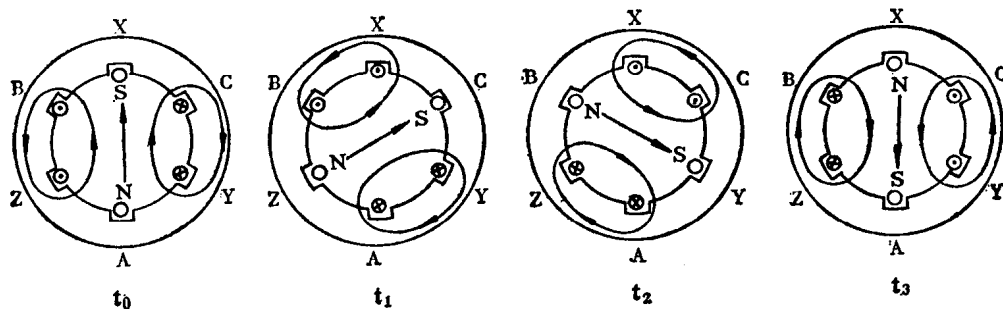


图 5-1-3 在不同瞬间三相绕组的磁场

当时间为 t_1 时， I_A 为正值，电流从A流入，X流出； I_B 仍为负值，电流由Y流入，从B

流出；而 $I_C = 0$ ，CZ线圈没有电流，三相线圈产生的合成磁场方向如图5-1-3 t_1 所示。和 t_0 比较，合成磁场按顺时针方向旋转了 60° 。同理，可以确定时间 t_2 和 t_3 时合成磁场方向，如图5-1-3 t_2 、 t_3 所示。从图5-1-3中不难看出：当通入三相线圈的三相电流不断按正弦规律变化时，产生了一个在空间旋转的两极磁场，当电流变化半个周期（从 t_0 至 t_3 ），磁场在空间转了 $1/2$ 转，即 180° 空间角度，电流变一个周期，磁场就转了一圈，即 360° 空间角度，也就是说，磁场转动了一对磁极的距离。4极、6极……电动机产生旋转磁场的原理与两极电动机相同，只是每对磁极在空间的角度不是 360° 。例如4极的，每对磁极在空间只有 180° ，当电流变化一周，旋转磁场在空间只移动 180° ，即半个圆周；6极的，则旋转磁场在空间移动 $1/3$ 圆周。所以旋转磁场每分钟转速可用下式表示：

$$n_s = 60f_1/p \quad (\text{r.p.m}) \quad (5-1-1)$$

式中 n_s ——旋转磁场每分钟转速；

f_1 ——交流电频率，赫；

p ——极对数。

2. 三相异步电动机的工作原理

给图5-1-4所示的异步电动机的定子三相绕组（AX、BY、CZ）通以对称三相电流，就产生一个两极的旋转磁场，转向如图中 n_1 箭头所示，其转速为 n_1 。当磁场掠过转子的闭合导体时，导体就切割磁力线产生感应电势和电流。感应电流的方向根据右手定则来确定，这个电流与旋转磁场相互作用，产生电磁力 F ，其方向由左手定则来确定。显然上述电磁力对转子形成了与 n_1 同方向的电磁力矩，在此转矩的作用下，转子就以 n 的转速顺着 n_1 的转向旋转。但 n 总是小于 n_1 ，只有这样，转子的闭合导体才能切割磁力线，在其中感应电势，流过电流，产生电磁力矩，带动负载。这就是异步电动机简单的工作原理。

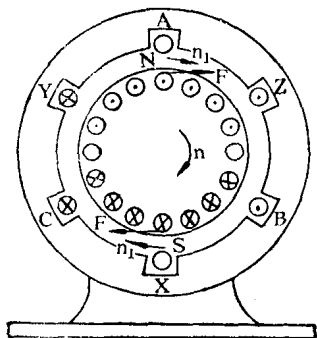


图 5-1-4 三相异步电动机工作原理图

（二）同步电动机的工作原理

同步电动机的定子绕组与三相异步电动机的定子绕组基本相同；它的转子则是由与定子相同极数的固定极性的磁极

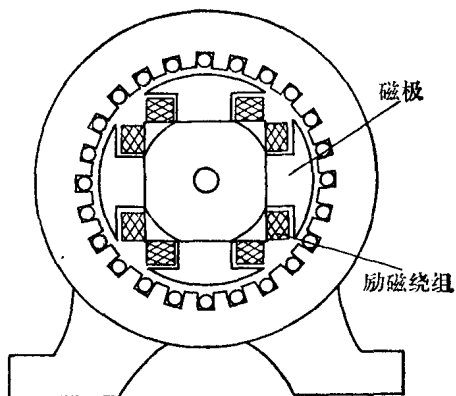


图 5-1-5 四极同步电动机的结构示意图

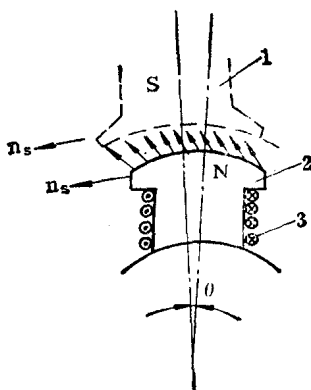


图 5-6 旋转磁场的磁极吸引转子磁极同步旋转
1—气隙旋转磁场虚拟磁极；2—转子磁极；3—励磁绕组

组成,这固定极性的磁极是由通入磁极励磁绕组中的直流电流产生的。图 5-1-5 是一台四极同步电动机结构示意图。当定子对称三相绕组,接上对称三相电源,流过对称三相电流,就在电动机的气隙中产生一个与转子同极数的旋转磁场,旋转磁场的磁极将根据异性相吸的原则,吸引转子磁极以相同的转速旋转,如图 5-1-6 所示。因转子的转速和旋转磁场的转速相同,故称之为同步电动机。

当电源频率 f_1 和电动机的极对数 p 一定时,同步电动机的转速是固定不变的, $n_s = 60 f_1 / p$,称之为具有恒转速特性。

二、分 类

(一) 按机壳结构型式分类

1. 开启式 电机的转动部分及带电部分没有专门的保护。
2. 防护式 电机的机壳及轴承座的结构可以防止电机的转动及带电部分不能与外物接触。按照通风口防护结构的不同,又可以分为下列三种:
 - 1) 网罩式 电机的通风口用穿孔物遮盖起来,能使电机的转动部分及带电部分,不能与外物接触。
 - 2) 防滴式 电机通风口的结构,可以防止下落的液体、铁屑或其它杂物垂直掉入电机内部^①。
 3. 封闭式 电机的机壳能阻止机壳内、外空气的自由交换,但并不要求完全密封。
 4. 隔爆式 电机外壳具有足够的强度可以承受内部气体的最大爆炸压力,外壳所有隔爆结合面具有一定隔爆间隙,有一定的结合面宽度和一定的光洁度,以保证当壳内发生爆炸时,不会引起外部可燃气体或煤尘发生爆炸。

(二) 按额定工作方式分类

1. 连续定额电机 按照规定的全部电量和机械量的数值,不受时间的限制连续运行的电机,称为连续定额电机。
2. 短时定额电机 按照规定的全部电量和机械量的数值,在规定的持续时间限值内运行(由实际冷却状态开始)的电机,称为短时定额电机。
标准的持续时间限值分为10、30、60或90分钟四种。
3. 断续定额电机 按照规定的全部电量和机械量的数值,长期运行于一系列完全相同的周期的电机,称为断续运行电机。此周期包括一个额定负载时间和一个停止时间,在停止时间内电机完全停止,所有电的或机械的输入功率(不包括直流电机中不允许切断的激磁电源)均被切断。

额定负载时间与整个周期之比称为负载持续率,用百分数表示。

标准的负载持续率为15%、25%、40%、60%。每个周期为10分钟。

如铭牌上只标明断续运行而无负载持续率,则按25%运行。

(三) 按尺寸范围分类

异步电动机按机座号或中心高和定子外径可分为大型、中型、小型和微型。16号机座以上的电动机称为大型电动机;11~15号机座的电动机,称为中型电机;10号及以下机座号的电动机,称为小型电动机。按其尺寸范围分类情况如表5-1-1所列。

① 国产防护式电动机,也有制成沿垂直方向成45°防滴角的。例如 Z2 系列和 JR (小型) 系列。

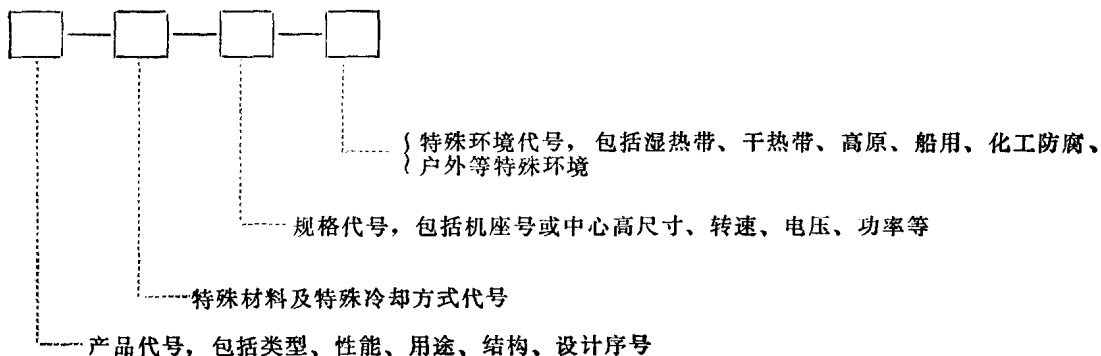
表 5-1-1 异步电动机按尺寸范围分类

类	型	机座中心高 mm	定子铁芯外径 mm
大	型	大于 630	大于1000
中	型	355~630	560~1000
小	型	80~315	125~560
微	型	小于 80	小于 125

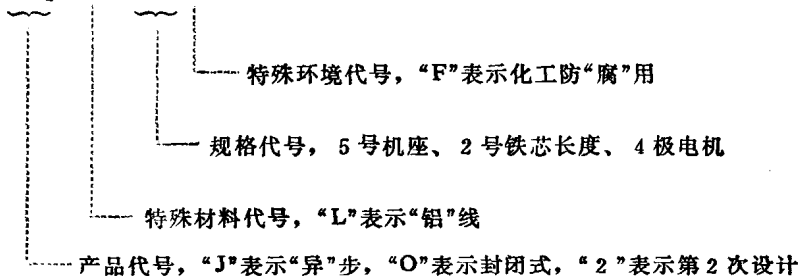
三、型号、结构和用途

(一) 常用三相异步电动机的型号、结构和用途

1. 产品型号的组成及排列顺序

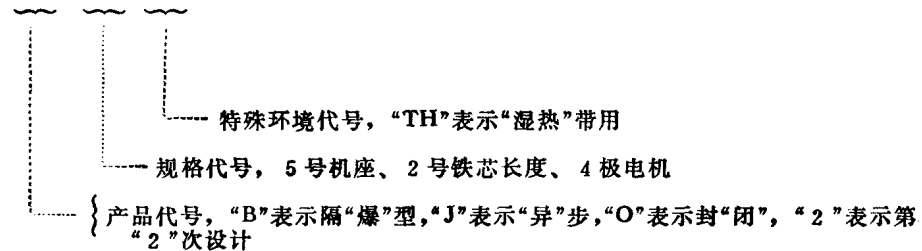


如:

JO₂ -L- 52-4F

其含意是: 封闭式异步电动机, 定子绕组采用铝线, 4极, 5号机座, 2号铁芯长度, 化工防腐用, 第2次设计。

又如:

BJO₂ 52-4-T H

其含意是: 隔爆型异步电动机, 5号机座, 2号铁芯长度, 4极, 湿热带用, 第二次改型设计。

产品代号、特殊材料代号和特殊环境代号分别如表5-1-2、表5-1-3和表5-1-4所列。

表 5-1-2 产 品 代 号

名 称	汉语拼音字母、代号	名 称	汉语拼音字母、代号
交流“异”步	J(Y)	“安”全	A
封“闭”型	O	“阀”门	F
“绕”线型	R	“管”道	G
防“爆”型	B	水“泵”	B
“多”速	D	采“煤”机用	M
高“起”动转矩	Q	装“岩”机用	I
“高”速	K	回“柱”绞车	Z
“双”鼠笼运“输”机	S	“通”风机	T
高“滑”差	H		

表 5-1-3 特殊材料及电机特征代号

名 称	汉语拼音字母、代号
“铝”线	L
“水”冷	S
“风”冷	F

表 5-1-4 特殊环境代号

名 称	汉语拼音字母、代号
“热”带用	T
“湿热”带用	TH
“干热”带用	TA
“高”原用	G
“船”(海)用	H
化工防“腐”用	F
户“外”用	W

2. 型号、结构和用途

常用三相异步电动机的型号、结构和用途列于表5-1-5。

表 5-1-5 三相异步电动机的型号、结构和用途

名 称	型 号	型号意义	结 构 型 式	用 途
防护式异步电动机	J J ₂ J ₃	异	防护式，铸铁外壳，铸铝转子	用于一般机器设备上。如拖动水泵、鼓风机、车床、铣床、钻床等机器与设备
封闭式异步电动机	JO JO ₂ JO ₃	异闭	封闭式，铸铁外壳上有散热筋，外风扇吹冷，铸铝转子	用途同上。一般用于灰尘较多，水土飞溅的场所。如球磨机、碾米机、磨面机、脱谷机等
防护式铝线异步电动机	J-L J ₂ -L	异-铝	结构同J、J ₂ 型，电磁线采用铝线	用途同J型

续表

名 称	型 号	型号意义	结 构 型 式	用 途
封闭式铝线异步电动机	JO-L JO ₂ -L	异闭-铝	结构同JO、JO ₂ 型,电磁线用铝线	用途同JO型
防护式铝壳异步电动机	JL	异 铝	铸铝外壳其它同J型	用途同J型。一般用于要求减轻重量的机械上
封闭式铝壳异步电动机	JLO	异铝闭	铸铝外壳,其它同JO型	用途同JL型。一般用于灰尘较多,水土飞溅的场所
防护式高起动转矩异步电动机	JQ JQ ₂	异 起	同J、J ₂ 型	用于起动静止负载,惯性负荷较大的机械。如压缩机、粉碎机等
封闭式高起动转矩异步电动机	JQO JQO ₂	异起闭	同JO、JO ₂ 型	用途同JQ、JQ ₂ 型。一般用于灰尘较多,水土飞溅的场所
防护式高滑率异步电动机	JH	异 滑	同J型	用于拖动较大飞轮惯量和不均匀冲击负载的金属加工机械。如垂击机、剪切机、冲压机等,还适用于小功率活塞式压缩机、小绞车等
封闭式高滑率异步电动机	JHO	异滑闭	同JO型	用途同JH型。一般用于灰尘较多,水土飞溅的场所
力矩异步电动机	JLJ	异力矩	强迫通风式,铸铝外壳,鼠笼转子,转子导条采用高电阻材料	用于纺织、印染、造纸、电线、电缆、橡胶、冶金等具有恒转矩特性的负载上
防护式绕线转子异步电动机	JR JR ₂	异 绕	防护式,铸铁外壳,绕线转子	用于电源容量不足以起动鼠笼式电动机及要求起动电流小、起动转矩高的场所
防护式多速异步电动机	JD	异 多	同J型	同J型。它使用在要求2~4速的拖动系统
封闭式多速异步电动机	JDO JDO ₂	异多闭	同JO、JO ₂ 型	同JO型。它用于要求2~4速的拖动系统
齿轮减速异步电动机	JTC	异(齿)减	由封闭式异步电动机和减速器两部分组成	用于要求低速、高转矩的机械,如运输机、矿山机械、炼钢机械、造纸、制糖、化工搅拌机械等
船用封闭式异步电动机	JO ₂ -H	异闭-(船)	同JO ₂ ,机座由钢板焊接而成	用途同JO ₂ ,一般在船舶上用
起重冶金用异步电动机	JZ JZB	异 重 异重(B级绝缘)	封闭型,铸铁外壳上有散热筋,外风扇吹冷,鼠笼铜条转子	用于起重机及冶金辅助机械
起重冶金用绕线转子异步电动机	JZR JZRB	异重绕 异重绕(B级绝缘)	封闭式,铸铁外壳上有散热筋,外风扇吹冷,鼠笼铜条转子	用于起重机及冶金辅助机械
起重冶金用绕线转子异步电动机(管道通风)	JZRG	异重绕管	管道通风冷却式,绕线转子	用于钢铁冶炼及轧制的辅助设备的拖动

续表

名 称	型 号	型号意义	结 构 型 式	用 途
浅水排灌潜水异步电动机	JQB	异潜泵	由水泵、电机及整体密封盒三大部分组成	用于农业排灌及消防等场合
中型绕线转子异步电动机	JR JRQ	异 绕 异绕 (加强绝缘)	防护式或管道通风式, 铸铁外壳, 绕线转子	用于拖动各种不同的机械, 如通风机、空压机、水泵、粉碎机、切削机、运输机等
中型鼠笼转子异步电动机	JS JSQ	异 鼠 异 鼠 (加强绝缘)	防护式或管道通风式, 铸铁外壳, 双鼠转子	同 上
中型绕线转子异步电动机	YR JRZ	异 绕 异绕座	防护式, 钢板外壳, 绕线转子, 座式轴承	用于矿井卷扬机和其它需要限制起动电流和要求调速的拖动设备作原动机
中型高速异步电动机	JK	异 高	防护式, 铸铁外壳, 铸铝转子	用于电力、冶金、炼焦、化工及煤矿等部门的鼓风机、水泵等的拖动
隔爆异步电动机	1JB JB	异 爆	隔爆式、钢板外壳, 铸铝鼠笼转子	用于有爆炸性危险环境中。本系列制成“矿用”和“厂用”二类。“矿用”适用于煤矿井下, 及其它空气中含有甲烷和煤尘的场合; “厂用”适用于化工、石油等工业中存在有爆炸性气体的场合。根据爆炸性混合物的不同传爆能力和自然温度, 制成 1、2、3级和 a、b、c、d 组
整流子异步电动机	JZS	异整速	防护式, 铸铁外壳, 有手动调速和遥控调速两种	用于纺织、印染、化工、造纸、船舶等要求变速的机械上。它的效率和功率因数较高
电磁调速异步电动机	JZT	异磁调	由封闭式异步电动机和电磁转差离合器组成	用途同 JZS, 但它的效率和功率因数不如 JZS 高
锥形转子制动异步电动机	JZZ JZD (JZP)	异锥制 异锥旁	封闭式, 转子呈圆锥形	它能在断电后 0.5~1 秒以内迅速制动, 用于电葫芦、卷扬机、行车、电动阀门等设备
化工防腐蚀异步电动机	JO-F JO ₂ -F	异闭-腐	同 JO、JO ₂ 型, 为满足防腐性能采取密封及防腐措施	同 JO、JO ₂ 型, 一般用于化肥、氯碱系统等化工厂的腐蚀环境中
户外用异步电动机	JO ₂ -W	异闭-外	同 JO ₂ 型	用于户外环境下不需加防护措施传动机械上
船用防护式异步电动机	J ₂ -H	异-(船)	同 J ₂ 型, 机座由钢板焊接而成	同 J ₂ , 一般用在船舶上
隔爆异步电动机	BJO ₂ BJO ₃	爆异闭	隔爆式, 高强度铸铁机座, 铸铝转子	适用空气中含有煤尘或爆炸性混合物的场合
隔爆高起动转矩异步电动机	BJQO ₂	爆异起闭	同 上	适用于有甲烷或煤尘的爆炸危险场所, 主要用作驱动煤矿井下运输机械及其辅助设备
阀门用隔爆异步电动机	BJF	爆异阀	隔爆型结构, 高强度铸铁机座, 铸铝鼠笼转子	多用于石油工业的厂内或露天场所, 具有 a、b、c、d 组爆炸性混合物场所

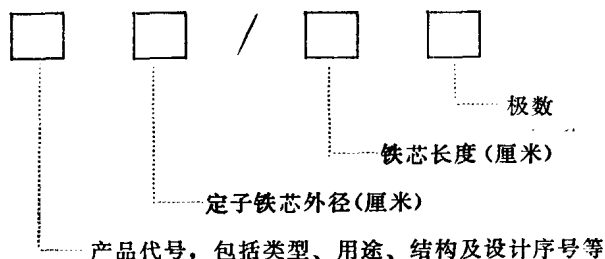
名 称	型 号	型号意义	结 构 型 式	用 途
管道泵用隔爆异步电动机	BJGB	爆异管泵	同BJO ₂ 型	适用于有爆炸性混合物的场所, 主要用作驱动输送管道上的轴流泵
隔爆绕线转子异步电动机	JBR	异爆绕	绕线转子自扇冷式防爆型。4~5号机座制成“KB”型结构, 6号机座制成“KB”、“B2d”型两种结构	“KB”型适用于有甲烷或煤尘爆炸性混合物的矿井中; “B2d”型适用于有1、2级a、b、c、d组爆炸性混合物的场合
隔爆轴流式局部通风机	JBT	异爆通	隔爆型, 分为电机和风机两大部分	适用有甲烷或煤尘的爆炸性混合物的场所。主要用作矿井巷道中的局部通风
绞车用隔爆异步电动机	JBj	异爆绞	隔爆型, 机壳用钢板卷焊, 表面有散热筋, 端盖用高强度铸铁制成, 铸铝鼠笼转子	适用于有甲烷或煤尘的矿井中, 作为拖动DJ11.4、DJ4.5调度绞车
装岩机用隔爆异步电动机	JB1 ₂	异爆岩	隔爆型, 主体外壳用QT40-10高强度稀土镁铸铁制成, 双鼠笼转子, 定子为双迭绕组	适用于有甲烷或煤尘的爆炸性混合物的矿井中拖动ZYC-21(H600)、华-1和GD116型电动装岩机
装岩机用隔爆异步电动机	JB10.5	异爆岩	隔爆型结构, 机座用钢板卷焊而成, 前后端盖为铸钢件, 鼠笼转子	适用于有甲烷或煤尘的爆炸性混合物的矿井中, 拖动600毫米轨距的装岩机用。额定功率为10.5千瓦, 8极, JC%为25%
防爆安全型异步电动机	AJO ₂	安异闭	防爆安全型结构, 高强度铸铁机座, 铸铝鼠笼转子	适用于Q ₂ 级场所, 即在正常情况下无爆炸危险, 只有在事故情况下才有2、3级a、b和c组爆炸危险的场所
回柱绞车用隔爆异步电动机	JBZ	异爆柱	隔爆型结构, 机座用钢板焊成, 鼠笼铸铝转子	适用于有瓦斯或煤尘的矿井中拖动回柱绞车用
装岩机用隔爆电动机	DZB	电装爆	隔爆结构, 钢板焊接机座, 铜条鼠笼转子, 卧式法兰安装	适用于有甲烷或煤尘的爆炸性混合物的矿井中拖动装岩机
采煤机用隔爆电动机	DMB-60	电煤爆	隔爆结构, 卧式方形机座由钢板焊接而成, 自扇冷式, 定子为双层迭绕组, B级绝缘, 转子为双鼠笼	适用于有甲烷或煤尘的矿井中拖动采煤机
采煤机用隔爆电动机	DMB-50S	电煤爆-水	隔爆结构, 卧式方形机座由钢板焊接而成, 水冷, 定子为双层迭绕组, F级绝缘, 转子为双鼠笼	适用于有甲烷或煤尘的矿井中拖动采煤机
装煤机用隔爆电动机	DZB-17	电装爆	隔爆型结构, 机座用钢板焊成, 自扇冷式, 卧式法兰安装结构, 定子双层迭绕组, 双鼠笼铸铝转子	适用于有甲烷或煤尘的矿井中拖动装煤机
装岩机用隔爆电动机	DZ ₂ B-17	电装爆	同DZ ₂ B-17	适用于有甲烷或煤尘的矿井中拖动耙斗装岩机
采煤机用隔爆电动机	DM ₂ B-150S	电煤爆-水	钢板箱形机座, 隔爆结构, 螺旋水冷, 定子为双层同心	适用有甲烷或煤尘的矿井中拖动MLS ₁ -150双滚筒采煤机

续表

名 称	型 号	型号意义	结 构 型 式	用 途
			式绕组, H级绝缘, 双鼠笼铜条转子	
采煤机用隔爆电动机	DMB-170S	电煤爆-水	同DM ₂ B-150S	适用于有甲烷或煤尘的矿井中拖动采煤机
采煤机用隔爆电动机	JDMB-200S	异电煤爆-水	同DM ₂ B-150S	同DMB-170S
运输机用隔爆电动机	DSB-40	电输爆	隔爆结构, 机座由钢板卷制而成, 机座上外表焊有散热筋, 自扇冷式, 卧式法兰安装, 定子为双层迭绕组, B级绝缘, 转子为双鼠笼铸铝	适用于有甲烷或煤尘的矿井中拖动SGW-160型输送机
运输机用隔爆电动机	DS ₂ B-22	电输爆	隔爆结构, 机座由钢板卷制而成, 机座表面焊有散热筋, 自扇冷式, 卧式底脚安装, 定子为双层迭绕组, B级绝缘, 双鼠笼铜条转子	适用于有甲烷或煤尘的矿井中拖动运输机
隔爆型煤电钻电动机	MZ ₂ -12 MSZ-12	煤 钻 煤小钻	隔爆型结构, 外壳用铝合金铸成(开关也装入其中), 自扇冷式, 定子为双层迭绕组, 鼠笼铸铝转子	适用于有甲烷或煤尘的矿井中拖动煤电钻
隔爆型岩石电钻电动机	EZ ₂ -2.0	岩 钻	隔爆型结构, 铝合金铸造机座, 外表有散热筋, 自扇冷式, 定子为双层迭绕组, 单鼠笼铸铝转子	适用于有甲烷或煤尘的爆炸性混合物的矿井中拖动岩石电钻
隔爆型岩石电钻电动机	YZ ₂ S	岩钻水	除采用水冷外壳外, 其余结构与EZ ₂ -2.0型岩石电钻电动机相似	适用于有甲烷或煤尘的爆炸性混合物的矿井中拖动岩石电钻

(二) 常用同步电动机的型号、结构和用途

1. 产品型号的组成及排列顺序



如: TDK 173/29-24

——极数, 24极

——铁芯长度, 29厘米

——定子铁芯外径, 173厘米

——产品代号, “T”表示同步, “D”表示电动机, “K”表示空压机用

其含意是: 空压机用同步电动机, 24极, 定子外径173厘米, 铁芯长度29厘米。

2. 型号、结构和用途

常用同步电动机的型号、结构和用途列于表5-1-6。

表 5-1-6 常用同步电动机的型号、结构和用途

名 称	型 号	型号意义	结 构 型 式	用 途
TD系列同步电动机	TD	同 动	防护式, 卧式结构, 单(双)轴伸, 直流励磁机或可控硅励磁装置	通风机, 水泵, 电动发电机组等
TDK 系列同步电动机	TDK	同动压	一般为开启式, 必要时制成防爆安全型或管道通风型, 可控硅整流励磁装置	空压机、棒磨机、磨煤机等
TDQ系列球磨机用同步电动机(包括老系列CTZ)	TDQ	同动磨	开启式, 自冷通风, 卧式结构, 设有两个轴承座及整块电机底架, 用直流发电机励磁或可控硅励磁	球磨机、棒磨机、磨煤机等
TDZ系列轧钢用同步电动机(包括老系列TZ)	TDZ	同动轧	一般为管道通风卧式结构, 直流发电机励磁或可控硅励磁	拖动各种类型的轧钢设备
TDG 系列高速同步电动机	TDG	同动高	封闭式轴向分区通风隐极结构, 异步起动, 直流发电机或可控硅励磁	化工、冶金或电力部门拖动空压机, 水泵及其它设备
TDL 系列立式同步电动机	TDL	同动立	立式, 开启式自冷通风, 悬吊式结构, 单独励磁机用异步电动机拖动	拖动立式轴承泵或离心式水泵
TT系列同步移相机	TT	同 移	卧式, 户内, 全封闭式气体闭路循环冷却结构	改善电网功率因数, 调整电网电压

四、绕 组

(一) 分类及应用范围

交流电机常用绕组的分类及应用范围见表5-1-7。

(二) 绕组结构及特点

1. 四个基本概念

1) 电角度 从磁场的角度来看, 每一对极, 磁场就交变一周, 这一对极(一个N极, 一个S极)所对应的机械角度为 360° 电角度。如果电机有 P 对极, 则电角度 $= P \times 360^\circ$ 。如图5-1-7所示。

2) 绕组的节距(俗称跨距) 绕组元件两边之间的距离(用槽数计)称为绕组的节距, 以字母 Y 来表示。

表 5-1-7 交流电机绕组的分类及适用范围

绕组型式			可接成的最大并联支路数	适用范围
层数	端部连接方式	绕组排列方式	a_{max}	
单层	同心式	60°相带整数槽绕组	$2p$ (q 为偶数) p (q 为奇数)	常用于10千瓦以下电机的定子绕组
	同心链式	60°相带整数槽绕组	$2p$ (q 为偶数) p (q 为奇数)	常用于10千瓦以下 $q=4、6、8$ 等 2、4 极电机定子绕组
	等元件链式	60°相带整数槽绕组	$2p$ (q 为偶数) p (q 为奇数)	常用于10千瓦以下 $q=2$ 的 4、6、8 极电机定子绕组
	交叉链式	60°相带整数槽绕组	$2p$ (q 为偶数) p (q 为奇数)	常用于10千瓦以下 $q=3、5、7$ 等的 2、4、6、8 极电机定子绕组
双层	迭式	60°相带整数槽绕组	$2p$	10千瓦以上的电机定子绕组, 小型绕线式转子绕组
		分数槽绕组	$2p/p'$ (p' 为分数 q 约净后的分母)	常用于多极 (8 级以上) 电机定子绕组, 小型绕线转子绕组
		散布绕组	$2p$	q 值较大的中、大型 2 极电机定子绕组可考虑采用
		星形-三角形混合连接绕组	$2p$ (q 为偶数) p (q 为奇数)	定子绕组可考虑采用
	波式	分数槽绕组	$2p/p'$ (p' 为分数 q 约净后的分母)	常用于中、大型绕线式转子绕组
		60°相带整数槽绕组	$2p$	常用于大、中型绕线式异步电动机转子绕组和中小型水轮发电机定子绕组
单双层	同心式	60°相带整数槽绕组	$2p$ (一相带单层槽数为偶数) p (一相带单层槽数为奇数)	适用于 q 大于 2 的中小型异步电动机定子绕组可考虑采用

为了得到尽可能大的元件电势，元件两边应嵌放在等于或接近于一个极距的两个槽内，如图 5-1-8 所示。当节距等于极距 ($Y=\tau$) 时，称为整距绕组；当节距小于极距 ($Y<\tau$) 时，称为短距绕组；当节距大于极距 ($Y>\tau$) 时，称为长距绕组。单层绕组常

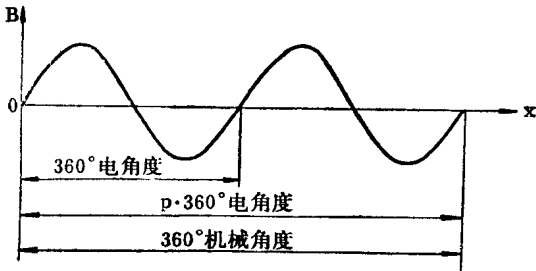


图 5-1-7 电角度和机械角度

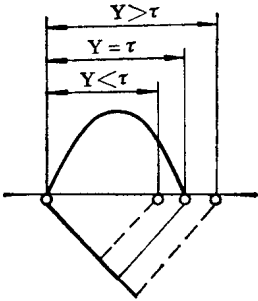


图 5-1-8 绕组元件的节距

用整距；双层绕组一般采用短距，使 $Y \approx 5/6 \tau$ ；长距一般用于变极绕组。

3) 每极每相槽数和极相组 若电机的槽数为 Z_1 ，极数为 $2p$ 和相数为 m ，则每极每相槽数 $q = Z_1 / 2p \cdot m$ ， q 值为整数叫做整数槽绕组， q 值为分数叫做分数槽绕组。

将属于同一相的 q 只元件，按照一定方式连接成一组，叫做极相组。单层绕组每相的极相组数等于极对数，双层绕组每相的极相组数等于极数。

2. 60° 相带整数槽绕组

1) 分布规律

三相绕组的分布原则，是每相有相同的元件数，相与相之间在槽内的分布间隔为 120° 电角度，符合这个条件的绕组称为对称三相绕组。

60° 相带绕组在每极下每相占 60° 电角度的位置。因为每个极对应 180° 电角度，分成三相带并根据相与相之间在槽内间隔 120° 电角度的原则，可以得到三相绕组的相带分布次序为 $A \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow A \rightarrow C \rightarrow B \dots$ 依次类推。图5-1-9表示24槽4极电动机定子槽展开后三相绕组相带分布情况及分布次序。极距 $\tau = Z_1 / 2p = 24 / 4 = 6$ （槽），相应的电角度为 180° ，每极下A相占 60° 相带，B相占 60° 相带，C相占 60° 相带（各对应两个槽），A-B相相间间隔 120° 电角度，B-C相相间间隔 120° 电角度，C-A相相间间隔 120° 电角度（各对应4个槽）。同理，图5-1-10画出了36槽4极电机定子槽展开后三相绕组相带的分布情况及分布次序。对称三相整数槽 60° 相带绕组，都可以按此方法来确定三相绕组相带的分布情况及分布次序。

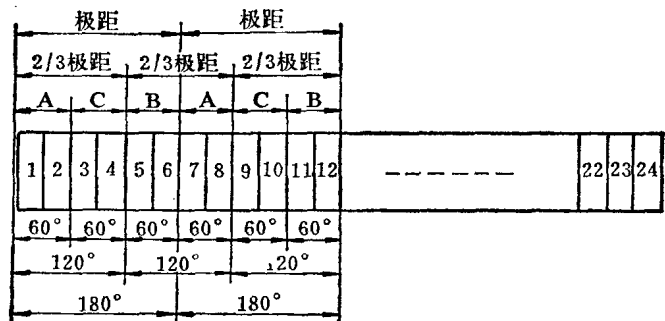


图 5-1-9 24槽4极定子槽展开图

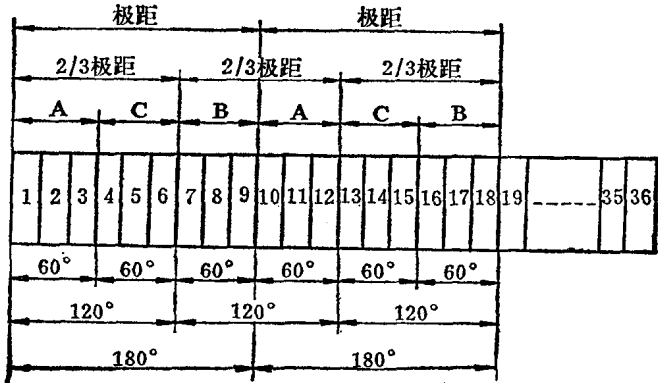


图 5-1-10 36槽4极定子槽展开图

2) 构成及其特点

(1) 单层绕组 单层绕组在10千瓦以下的小容量电动机中得到广泛的应用,这是由于它有以下优点:槽内无层间绝缘,小电动机线槽较小,槽绝缘占槽的比例相当大,少一层间绝缘对槽满率的影响较大;在槽内不可能发生相间击穿;单层绕组元件数少,绕线、下线都较省工时;无层间绝缘有利于实现下线机械化。但单层绕组也有以下缺点:单层绕组不容易采用短矩,电气性能较差;端部弯曲变形较大、较厚,不易整形,排列较困难。单层绕组有同心式、等元件链式、交叉链式和同心链式几种。

① 同心式 同一相相邻相带槽内的导体,按电流方向相同的原則串在一起组成极相组,同一极相组的元件轴线重合,同心地套在一起,每一个线圈具有不同的节距。图5-1-11是三相24槽4极电动机按图5-1-9所确定的三相绕组导体在槽内的分布规律,作出的同心式绕组的展开图。

② 等元件链式 同一相相邻相带槽内的导体,按电流方向相同的原則依次串在一起组成极相组,所有元件具有相同的尺寸。它与同心式绕组比较,端部较短,但重迭层数比较多。图5-1-12是上述同一台电动机,三相绕组导体在槽内的分布规律也一样,作出的等元件链式绕组的展开图。

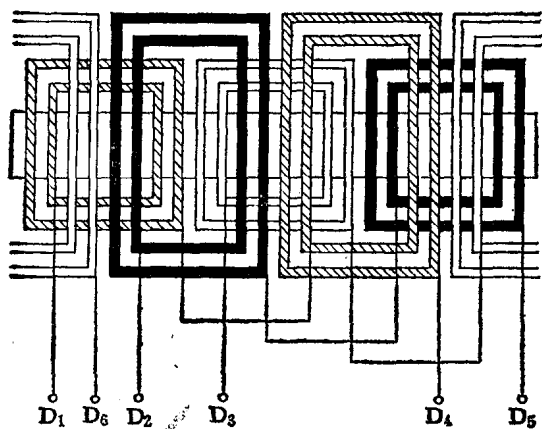


图 5-1-11 24槽4极同心式绕组展开图
($q=2$, $a=1$, 节距1-8, 2-7)

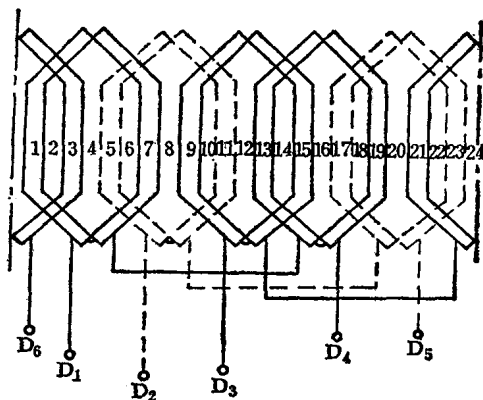


图 5-1-12 24槽4极等元件链式绕组展开图
($q=2$, $a=1$, 节距1-7)

③ 交叉链式 每极相组由两组元件反串而成,因采用了适当的短矩后,端部用铜较省,而且嵌线方便。图5-1-13是三相36槽4极电动机,按图5-1-10所确定的三相绕组导体在槽内的分布规律,作出的交叉链式绕组展开图。

④ 同心链式 同一相相邻相带的导体分两组按电流方向相同的原則串联组成极相组,这两组元件分别同心地套在一起。图5-1-14是三相24槽2极电动机同心链式绕组展开图。

(2) 双层绕组 一个槽中嵌有上、下两层元件边的绕组称为双层绕组。它的主要优点是:可以灵活地选择最有利的节距,以改善电磁波形,使电机的性能和能力指标都比单层绕组好。10千瓦以上的异步电动机和同步电动机的电枢一般都采用双层绕组。双层绕组常用的有双层迭绕组、双层波绕组和同心式双层绕组。

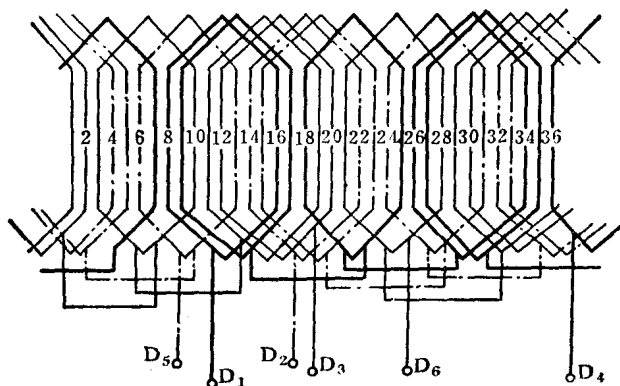


图 5-1-13 36槽 4 极交叉链式绕组展开图
($q=3$, $a=1$, 节距 1-9, 2-10, 11-18)

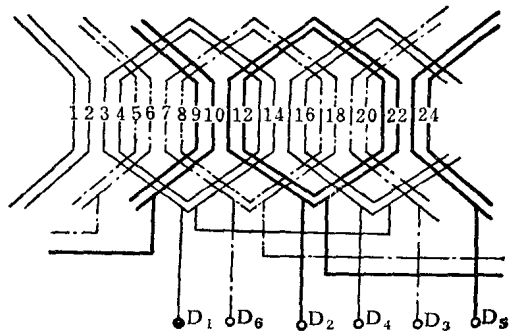


图 5-1-14 24槽 2 极同心链式绕组展开图
($q=4$, $a=1$, 节距 1-12, 2-11)

① 双层迭绕组 它任何两个相邻的串联元件，都是后一个紧迭在前一个的上面，故称之为迭绕组。

图5-1-15是三相36槽 4 极电动机，按图5-1-10所确定的三相绕组导体在槽中的分布规律，作出的双层迭绕组展开图。图 5-1-16是MLS₁-150双滚筒采煤机电动机 (DM₂B-150S) 定子双层迭绕组展开图。图5-1-17是SGW-160型输送机电动机 (DSB-40) 定子双层迭绕组展开图。

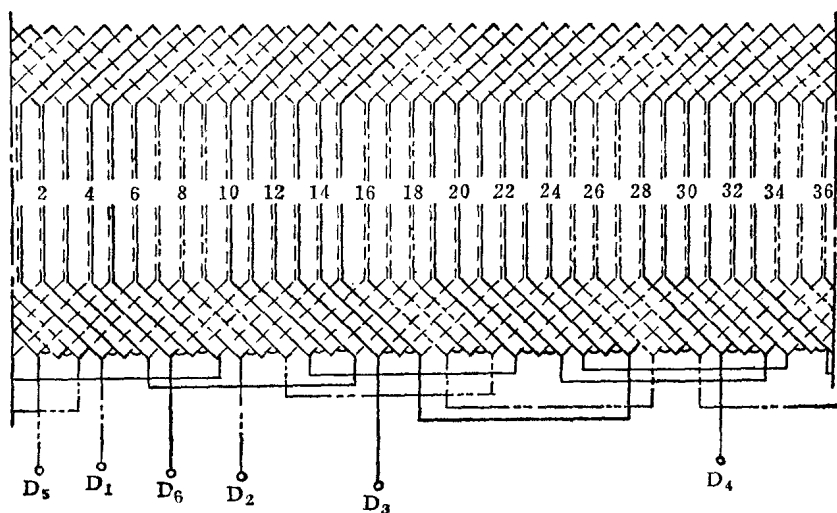


图 5-1-15 三相异步电动机双层迭绕组展开图
($Z_1=36$, $Y=7$, $2p=4$)

图5-1-18是SGW-44型输送机电动机 (DS₂B-22) 定子双层迭绕组展开图。

② 双层波绕组 它的任何两个相邻的串联元件沿绕制方向象波浪似地前进，故称为波绕组。波绕组突出的优点是减少线圈组之间的连线。在整数槽绕组中，如果采用同槽跳接法，可以取消极间连线，使每相只有两个出头。

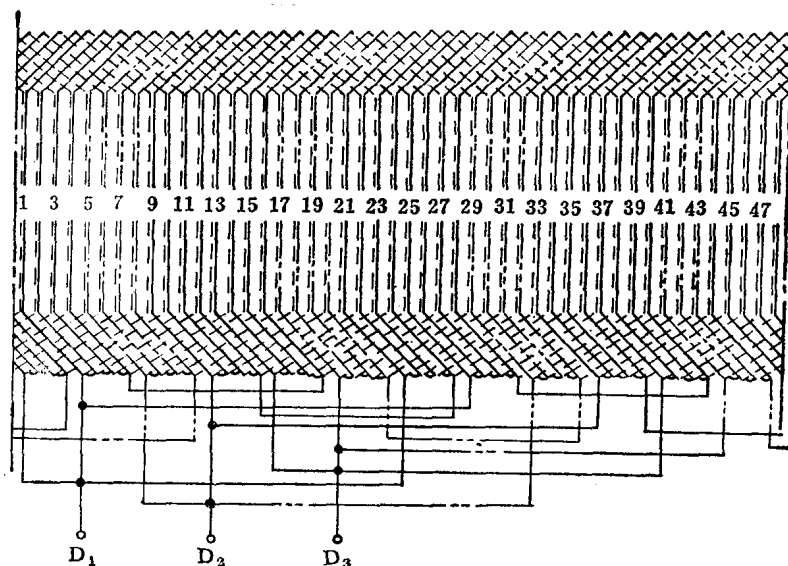


图 5-1-16 MLS₁双滚筒采煤机电动机(DM₂B-150S)定子绕组展开图
($Z_1=48$, $Y=9$, $2p=4$, 双层迭绕组两路角形接法)

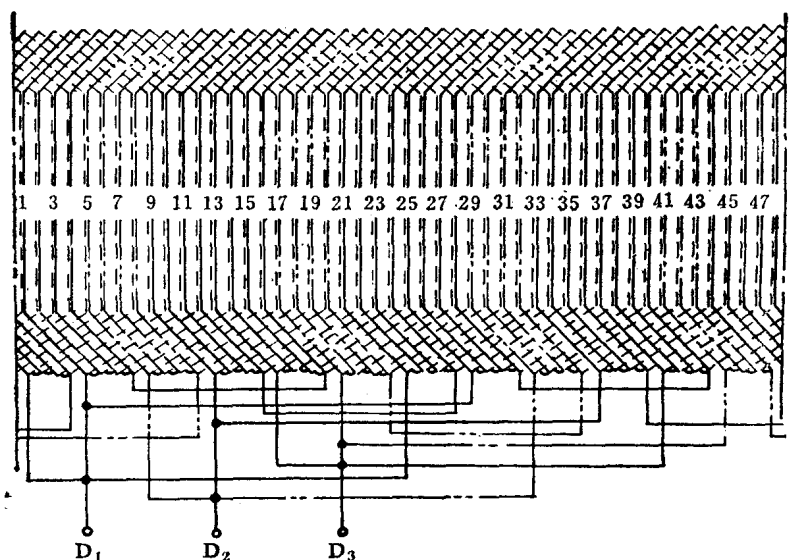


图 5-1-17 SGW-160型运输电动机(DSB-40)定子绕组展开图
($Z_1=48$, $Y=9$, $2p=4$, 双层迭绕组两路角形联接)

图 5-1-19 是 36 槽三相 4 极电动机转子，按图 5-1-10 所确定的三相绕组导体在槽中的分布规律，作出的双层波绕组展开图。图 5-1-20 是 42 槽 2 极波绕组展开图。图 5-1-21 是 60 槽 4 极波绕组展开图。图 5-1-22 是 54 槽 6 极波绕组展开图。图 5-1-23 是 84 槽 8 极波绕组展开图。图 5-1-24 是 60 槽 10 极波绕组展开图。图 5-1-25 是 105 槽 10 极波绕组展开图。图 5-1-26 是 108 槽 12 极波绕组展开图。图 5-1-27 是 34 槽 4 极波绕组展开图。图 5-1-28 是 72 槽 4 极波绕组展开图。图 5-1-29 是 72 槽 6 极波绕组展开图。图 5-1-30 是 75 槽 10 极波绕组展开图。

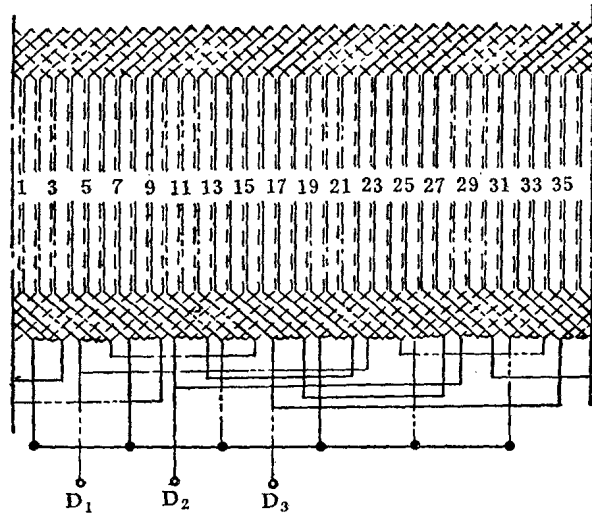


图 5-1-18 SGW-44型运输机电动机 (DS₂B-22) 定子绕组展开图
($Z_1=36$, $Y=7$, $2p=4$ 双层迭绕组两路星形接法)

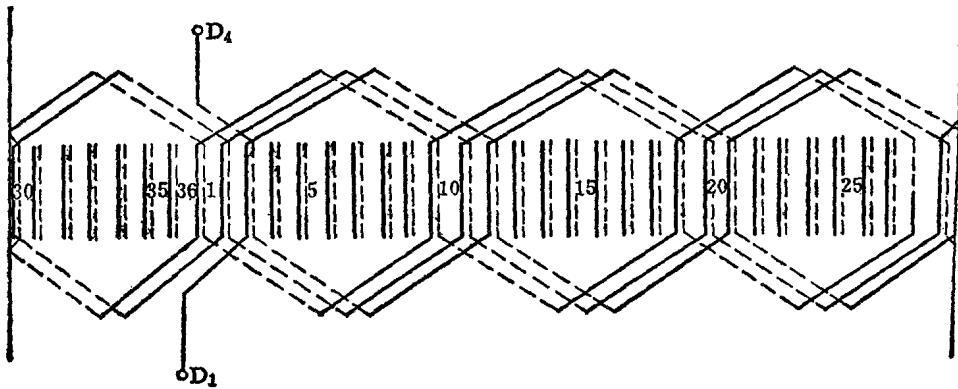


图 5-1-19 转子双层波绕组同槽跳接法一相绕组展开图
($Z_1=36$, $y_1=9$, $y_2=9$, $y=18$, $2p=4$)

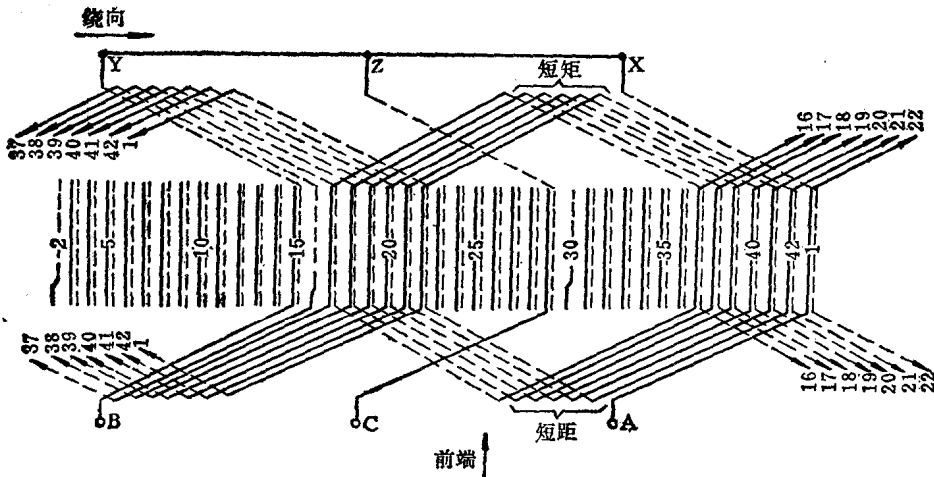


图 5-1-20 42槽 2 极波绕组展开图

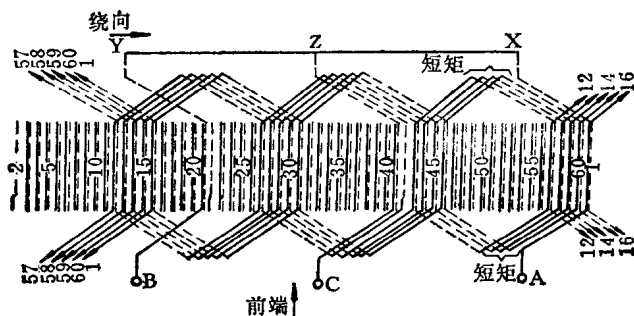


图 5-1-21 60槽 4 极波绕组展开图

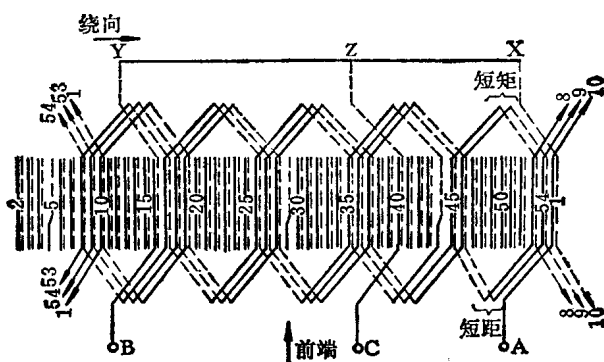


图 5-1-22 54槽 6 极波绕组展开图

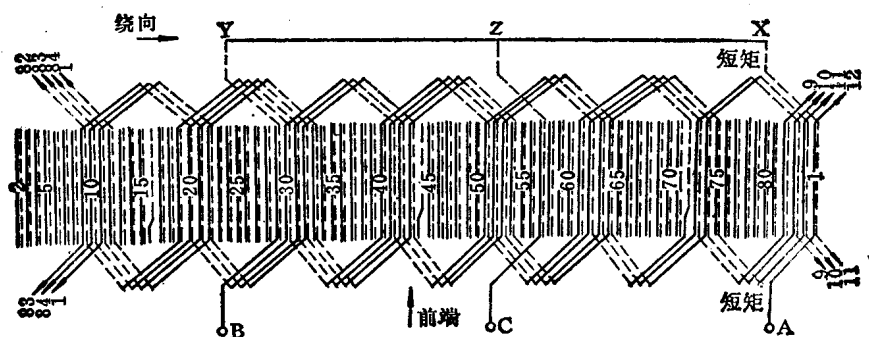


图 5-1-23 84槽 8 极波绕组展开图

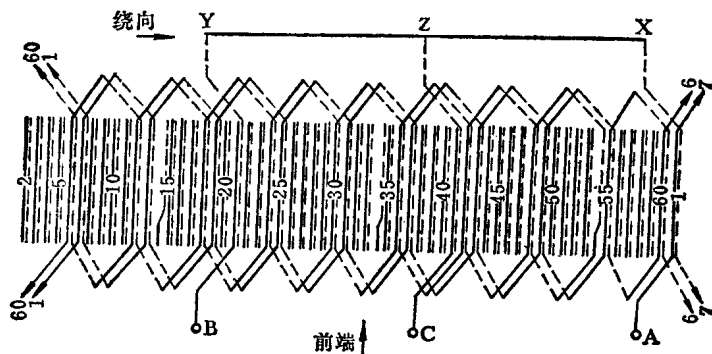


图 5-1-24 60槽 10 极波绕组展开图