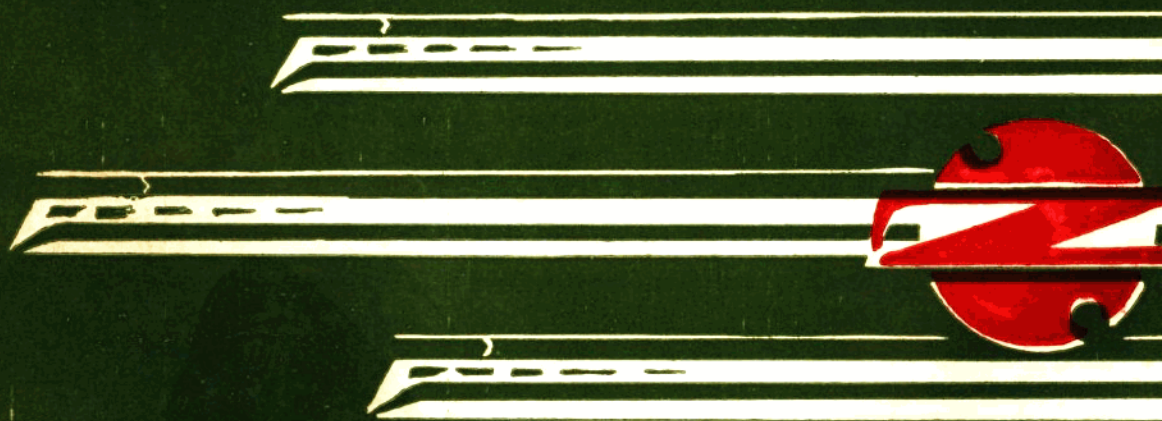


DIANLI CHEJISHU 電力機車技術

(韶山型系列資料)

輔助電動機分冊



1989 增刊

V_{264.1}
002

電力機車技術

1990年增刊
(辅助电动机分册)

目 录

第一章 辅助电动机的基本技术要求	(1)
第一节 电 压	(1)
第二节 电 流	(2)
第三节 功率与功率因数	(3)
第二章 辅助电动机	(3)
第一节 压缩机电动机	(3)
第二节 通风机	(5)
第三节 电动油泵	(8)
第三章 劈相机的结构及工作原理	(9)
第一节 异步劈相机的工作原理	(9)
第二节 劈相机的基本参数和铭牌数据	(10)
第三节 劈相机的结构	(11)
第四节 几种劈相机的电气和结构参数	(14)
第四章 劈相机起动继电器与辅机保护装置	(17)
第一节 劈相机起动继电器	(17)
第二节 辅机保护装置	(20)

本分册撰稿：高培庆

第一章 辅助电动机的基本技术要求

SS型电力机车上各种用途的辅助电动机都应满足TB1608—85“机车、车辆用三相异步电动机基本技术条件”。

第一节 电压

从电机端子上量，对劈相机系指在运行时单相输入电压，即为变压器辅助绕组的单相输出电压，减去变压器至辅助柜和辅助柜至劈相机端子之间的联接线、库用电源转换闸刀、接触器等电器触头的电压降。这些压降在劈相机正常运行时是非常小的，一般可以不考虑。但在劈相机、辅助电机启动时将起作用，特别是在最低电压下启动有比较大的影响。因此电压必须在电机端子上测量。对电动机来说系指运行时的三相线电压。

一、最高电压和最低电压

电机的最高电压一般出现在机车惰行或者电阻制动的工况，这时牵引变压器的牵引绕组不工作，牵引变压器的漏抗压降小，网压又是在最高的29kV下。电机所能承受的最高电压为460V，在该电压下所有辅机均能可靠工作。电机所能承受的最高工作电压由两个因素决定：一是启动电流、电压一高漏磁磁路饱和，启动电流非线性增大，启动电流一旦太大，其一是电动机的电磁转矩增大，转子上传递的机械转矩也大，辅机迅速加速，转轴轴伸处的键槽因此受到机械设备的反作用力矩也大，键与槽的侧面受挤压的应力也随着增大，因此要求联轴节配合紧，装配要求高，否则久而久之造成键槽变形。其二是启动电流大，定子线圈端部导线所受的电力也大，电力的方向使端部往外胀，

因此要求端部绑扎和浸漆比一般用途的电机高。其三是主磁路饱和，定子电流加大，功率因数显著下降，在劈相机供电情况下，电流不平衡系数增大，所以定子绕组温升会升高。因此电机所能承受的最高工作电压受启动电流和温升、转轴联接三个条件的限制。

电机的最低电压出现在机车牵引负荷大、接触网离变电所远和接触网负荷重的区段。伴随而来的是电压波形畸变率也大，相应的电压高次谐波分量也随之增大。电机所能承受的最低电压受两个条件的限制：一是启动转矩。在最低电压时，电压的正序分量与额定电压时的比值会低于电网电压与额定网压，而电动机的启动转矩与正序电压的平方成正比，因此在最低电压时电动机启动转矩也最低，所以电动机启动困难。二是电压高次谐波分量增大。这个因素在机车型式试验时反映不出来，因为试验电源的波形不畸变。而实际运行时高次谐波分量相当大，电压的高次谐波产生电流的高次谐波，致使电机的转子发热严重。

SS型电力机车辅助电机的额定电压为380V、最高电压为460V、最低电压为270V。

二、电压波形和对称性

实际电压波形如图1—1所示。

各类电源供电的电压波形用正弦性畸变率来衡量，正弦性畸变率为电压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与基波有效值的百分比。作为电力机



图1—1 辅助电源的电压波形

车用的辅助电机来讲，必须能承受30%左右的高次谐波电压的作用。

三相电压的对称度系指三相电压不对称度，作为电力机车的辅机来讲在最高电压时规定为7%，一般出现在辅助系统轻载的时候，在最低电压时规定为10%，出现在辅机系统重载的时候。三相电压的不对称度指三相电压的负序分量与正序分量之比。电压不对称度用 α_v 表示，可用下式计算：

$$\alpha_v = \frac{\sqrt{(U_{UV} - U_{VW})^2 + 2U_{UV}U_{VW}(1 - \cos(\theta_u - 60^\circ))}}{\sqrt{(U_{UV} + U_{VW})^2 + 2U_{UV}U_{VW}(1 - \cos(\theta_u + 60^\circ))}} \quad (1)$$

式中 U_{UV} 为辅助回路单相电网电压， U_{VW} 和 U_{WU} 是经劈相机分相后变换出来的线电压。

当 $\theta_u = 0^\circ$ 时，由式(1)可得：

$$\alpha_v = \cos \theta_u = \frac{U_{UV}^2 + U_{VW}^2 - U_{WU}^2}{2U_{UV}U_{VW}}$$

三相异步电动机在不对称电源供电时，电压的正序分量产生正序三相电流，它们把电网的电能转变成辅助机械所需要的机械能。电压的负序分量也要产生负序三相电流，由于三相异步电机的负序阻抗比较小，所以电流的负序分量大。因此，三相异步电机的电流不对称度大于电压的不对称度。作为电力机车用的辅助电动机，在劈相机供电时要求在最高电压下允许电压的不对称度为7%，在最低电压时允许电压的不对称度为10%。相应的电流不对称度与电机参数有关，一般可达50%，某些电机甚至会超过50%。由于电力机车供电的特点，从电压这一参数角度讲，要

求辅助电动机即能在三相不对称电压下工作，又能在非正弦波的电压条件下工作。

第二节 电 流

辅助电机铭牌上标称的电流是额定电流，而实际运行的电流一般总比额定电流小。

劈相机的额定电流有两项，一项是在额定电压额定负载下的单相输入电流，这时劈相机任何两相之间不并电容，所以单相电流为负载的U相电流和劈相机U相电流的总和，或者是负载的V相电流和劈相机V相电流的总和。另一项是额定电压额定负载下的三相输出电流。实际上劈相机输出给电动机的是W相电流，电动机U相和V相电流直接从电网输入，此时允许三相输出电流的不对称度不大于5%。

劈相机实际使用时的电流，随着负载的大小而变，其中W相电流最小，U相电流稍大，V相电流最大。一般选用机车牵引工况额定电压时的辅助电机需要输入的功率作为劈相机的额定工况。

电动机的额定电流为额定电压下输出额定轴功率的电流，此电流是指在试验台上由三相对称正弦波供电时的电流。电动机实际使用时输出的轴功率小于额定功率，所以实际使用时电动机的相电流小于额定电流，三相电流实际使用时是不对称的，尤其在最高电压和最低电压供电下三相电流不对称度很严重，因此选用或设计时需要考虑电动机容量和实际使用功率之间的差异，且电动机必需满足电压变化及不对称运行的要求。

无论是劈相机或是电动机在机车上运行时，因机车主电路整流工作的需要，牵引变压器辅助绕组提供的是单相非正弦电压，所以它们绕组上流过的电流也是非正弦的，这种非正弦的电流将使劈相机和电动机的发热增加。考虑了这些因素，电力机车辅助电机在设计和制造时要留出足够的裕量来保证

实际使用的要求。

第三节 功率与功率因数

电动机的功率因数为电动机三相输入的有功功率与三相输入的视在功率之比：

$$\begin{aligned}\cos\phi_D &= \frac{P_U + P_V + P_W}{U_U I_U + U_V I_V + U_W I_W} \\ &= \frac{P_{UV} + P_{VW}}{U_U I_U + U_V I_V + U_W I_W} \dots\dots(2)\end{aligned}$$

电动机输入的有功功率，可以用二瓦特计法，也可以用三瓦特计法测量。

电动机的三相相电压，在只能测取线电压的条件下可以用下式换算。

已知线电压 U_{UV} 、 U_{VW} 、 U_{WU}

则

$$\left. \begin{aligned}U_U &= \frac{1}{3} \sqrt{2(U_{UV}^2 + U_{UW}^2) - U_{VW}^2} \\ U_V &= \frac{1}{3} \sqrt{2(U_{UV}^2 + U_{VW}^2) - U_{UW}^2} \\ U_W &= \frac{1}{3} \sqrt{2(U_{UW}^2 + U_{VW}^2) - U_{UV}^2}\end{aligned} \right\} \dots(3)$$

劈相机的功率因数有两项，与输入对应的是输入功率因数，用 $\cos\phi_L$ 表示

$$\cos\phi_L = \frac{P_L}{U_{UV} I_L} \dots\dots\dots(4)$$

P_L ——单相输入的功率，

I_L ——劈相机的单相输入电流，

P_L 和 I_L 值在劈相机的单相电网侧测。

与三相输出相对应的是输出功率因数，用 $\cos\phi_P$ 表示：

$$\cos\phi_P = \frac{\Sigma P}{U_U I_{UD} + U_V I_{VD} + U_W I_{WD}} \dots(5)$$

式中： $\Sigma P = P_{UD} + P_{VD} + P_{WD}$

P_{UD} 、 P_{VD} 、 P_{WD} 是从劈相机三相负载测得劈相机输出的三相功率，不能错误理解为劈相三相绕组电流产生的功率。劈相机三相绕组产生的功率很小，远小于劈相机的输出功率，它仅是劈相机本身的损耗。

I_{UD} 、 I_{VD} 和 I_{WD} 为负载侧测得劈相机的三相输出电流，其中 I_{UD} 和 I_{VD} 是负载直接从电网获取的。从这一角度讲，劈相机的过载能力很强。因此在劈相机额定功率这一项里要附加上输出电流不对称度小于5%的要求。即要求：

$$\begin{aligned}\alpha_i &= \sqrt{\frac{(I_{UD} - I_{VD})^2 + 2I_{UD}I_{VD}[1 - \cos(\theta_i - 60^\circ)]}{(I_{UD} - I_{VD})^2 + 2I_{UD}I_{VD}[1 - \cos(\theta_i + 60^\circ)]}} \\ &\leq 5\% \dots\dots\dots(6)\end{aligned}$$

式中：

$$\theta_i = \cos^{-1} \left(\frac{I_{UD}^2 + I_{VD}^2 - I_{WD}^2}{2I_{UD}I_{VD}} \right)$$

第二章 辅助电动机

第一节 压缩机电动机

一、主压缩机电动机

空气压缩机是产生机车制动用压缩空气的机械，它与传动用的电动机一道组成电动压缩机组（简称压机组）。在SS型电力

机车上装设两台NPT5型空气压缩机，其中一台压缩机组压缩空气的生产量足够供机车与列车制动装置和其它气动机械的使用。装设两台的主要目的是为了保证行车安全。当一台压缩机发生故障不能工作时，另一台可以单独供气。

NPT5型压缩机的主要技术数据：

工作方式	间歇运行工作率25%
工作环境温度	+60~ -40℃
压缩级数	2
高压缸数	1
低压缸数	2
高压活塞(直径×行程)	101.6×130mm
低压活塞(直径×行程)	125×130mm
转速	970r/min
功率	30kW
气压	0.88MPa
排气量	2.3m ³ /min

1. J₂73—6型三相异步电动机

SS₁型7号~220号电力机车与NPT型压缩机配套的电动机为J₂73—6型交流电动机,系J₂72—6系列电动机的派生产品,该电动机的主要技术性能有

额定功率	30kW
额定电压	380V
额定电流	58.5A
转速	970r/min
起动转矩倍数	2.3
最大转矩倍数	2.4
起动电流倍数	6.5
绝缘等级	E级

电动机的中心高225mm,外型和安装尺寸与J₂72—6型三相异步电动机相同。定子铁芯外径327mm,内径210mm,铁芯长度210mm,气隙0.5mm,定子有54个半闭口槽,转子有44个槽,定转子铁芯采用D₂硅钢片叠成。

定子绕组由三根直径1.25mm的高强度聚酯漆包铜线QZ₂并绕而成,每个线圈19匝,并联路数为3,槽节距1~9,Y接法。

传动端轴承为2311,非传动端轴承为311。

2. JD301型三相异步电动机

自SS₁型221号电力机车开始,SS₂型及SS₃型电力机车与NPT5型空气压缩机配套的电动机为JD301型电动机,旧型号为YYD 280S—6。

该电动机相应的技术参数如下:

	额定电压 时的参数	最低电压 时的参数	最高电压 时的参数
电压	380V	270V	460V
功率	37kW	22kW	22kW
电流	70A	58A	45A
转速	983r/min	980r/min	993r/min
功率因 数cosφ	0.87	0.88	0.67
效率 η%	90	89	88
起动转 矩倍数	2.2	1.57	5.6
最大转 矩倍数	2.4	1.83	5.66
起动电 流倍数	6.5	5.1	13
绝缘等级	B级		

电动机的中心高280mm,铁芯长度250mm,定子铁芯外径423mm,内径300mm,气隙0.6mm,定子72个半闭口槽,转子56个刀形槽,转子斜槽宽度13mm。

定子绕组由4根直径1.25mm的QZ₂导线并绕而成,每个线圈有7匝,并联支路数3,槽节距为1~11。定子绕组连接见图2—1,图上仅画出A相,其它两相的接法和A相相同,定子绕组的槽绝缘和层间绝缘采用0.35DMD,槽楔采用3240环氧玻璃布板,浸渍漆用1032或5152环氧无溶剂漆,每个线圈端部用涤纶带包扎。

传动端采用2313轴承,非传动端采用313轴承。电动机外形尺寸见图2—2。

该电机的工作特性见图2—3。图中P₁为输入功率(kW);I为相电流(A);η为效率(%);cosφ为功率因数;S为转差率(%)。

二、辅助压缩机

为了解决机车长期停放后的升弓和主断路器合闸问题,机车上特地装置了一台辅助压缩机组。该压缩机采用CA—10型汽车用空气压缩机,当转速在1350r/min时,其生产量

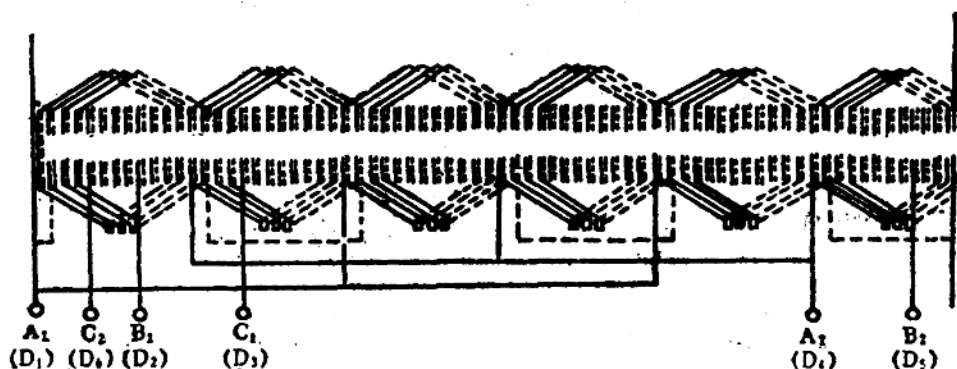


图2—1 JD301电动机定子绕组联接图

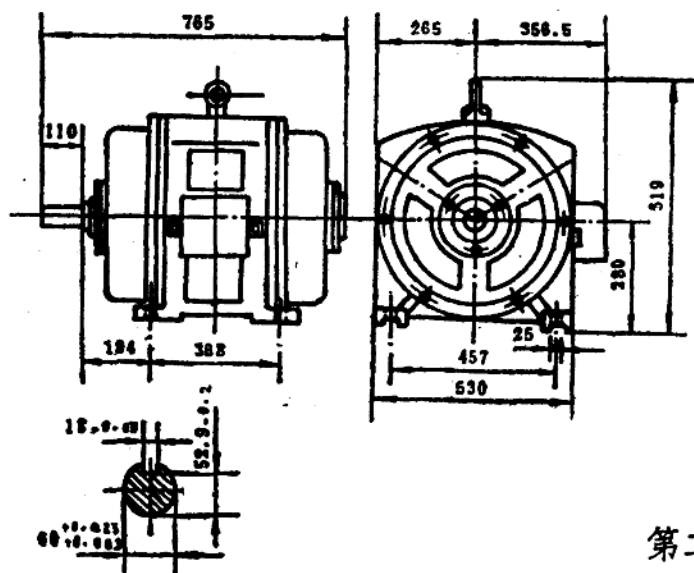


图2—2 JD301电动机外形图

活塞行程 38mm
 排气量 $0.027\text{m}^3/\text{min}$
 气压 $0.69\sim 0.88\text{MPa}$
 转速 $850\sim 1830\text{r}/\text{min}$
 辅助空气压缩机由直流电动机
 Z_2-22D_2 拖动, Z_2-22D_2 的主要
 参数:

额定电压 110V
 额定功率 1.1kW
 额定电流 13A
 转 速 1500r/min

第二节 通 风 机

通风机用来输送冷却空气, 克服通风道的流动损失, 保证一定的通风量。所以它所产生的压力不用太大, 一般都在9800Pa以下。SS型系列机车冷却牵引电动机等风量、风道长的电气设备, 采用13—50—№6型离心式通风机, 该离心风机在转速1500r/min时有以下主要性能:

风量(m^3/h) 全压(Pa) 效率(η) 轴功率(kW)

14400	2790	0.618	17.5
18000	3000	0.623	23
21600	3170	0.639	29
25200	3220	0.628	35
26000	3230	0.623	36
28800	3240	0.614	41.5

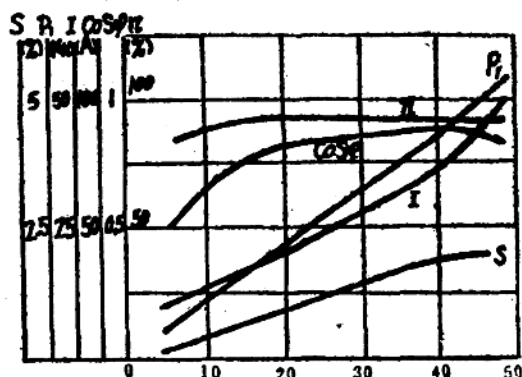


图2—3 JD301电动机工作特性曲线
 大于 $27 \times 10^{-3}\text{m}^3/\text{min}$ 。其主要技术数据为:
 型式 立式、双缸、一级压缩、气冷式
 气缸直径 52mm

拖动13—50—№6型离心风机的电动机有J₂73—4型电动机和JD302型电动机，目前车上装的是JD302型三相异步电动机。

一、J₂73—4型三相异步电动机

SS₁型37号~220号电力机车采用J₂73—4型电机，它是J₂72—4型三相交流异步电动机的派生产品，该电动机的主要技术数据如下：

额定功率	37kW
额定电压	380V
额定电流	71A
效率	92%
起动转矩倍数	1.8
最大转矩倍数	2.4
起动电流倍数	6.5
绝缘等级	E级

电动机中心高225mm，外形和安装尺寸J₂73—6相同。定子铁芯外径327mm，内径200mm，铁芯长度200mm，气隙0.6mm，定子有36个半闭口槽，转子有26个刀形槽，定转子铁芯采用D₂₃硅钢片叠成。

定子绕组由二根直径1.45mm和二根直径1.35mm高强度聚脂漆包线QZ₂并绕而成。每个线圈18匝，两路并联，槽节距1—9，Y接法。

传动端轴承为2311，非传动端轴承为311。

二、JD302型三相异步电动机

该电机原型号为YFD280—4，SS₁型电力机车从221号机车开始采用，SS₃型、SS₄型机车上均采用。该电动机是专为电力机车设计的，它能在电力机车的最高电压下长期工作，其相应的技术参数如下：

	额定电压	最低电压	最高电压
	时的参数	时的参数	时的参数
电压(V)	380	270	460
功率(kW)	37	22	22

电流(A)	68	56.2	41.35
转速(r/min)	1480	1475	1490
功率因数 $\cos\phi$	0.87	0.89	0.67
效率 $\eta(\%)$	90	89	88
起动转矩倍数	2.2	1.86	5.43
最大转矩倍数	2.2	1.86	5.55
起动电流倍数	6.5	5.6	13
绝缘等级		B级	

电机中心高280mm，定子铁芯长度195mm，气隙0.85mm，定子铁芯外径423mm，内径280mm，定子60个半闭口槽，转子50个刀形槽，铁芯由0.5mm厚的W465冷轧硅钢片叠成，转子斜槽宽度15mm，转子为铸铝结构。

定子绕组由三根直径为1.25mm的QZ₂高强度聚脂漆包圆铜线并绕而成。每个线圈11匝，并联支路数4，槽节距1—13，定子绕组连接见图2—1。槽绝缘和层间绝缘采用0.35mm厚的DMD，槽楔采用3240环氧玻璃布板，浸渍漆采用1032或5152环氧无溶剂漆，目前生产厂家为保证浸漆质量采用1032漆。每个线圈端部用涤纶带包扎，出槽口加强绝缘，定子绕组联接图见图2—4。

传动端采用2313轴承，非传动端采用313轴承。电动机外形尺寸见图2—5。

该电机的工作特性见图2—6。

SS型电力机车上还采用轴流风机来冷却风路短、风压低的需要冷却的电器。

轴流风机有JBT61—2和30K₂—11№4等。

JBT61—2风机的主要技术参数：

叶轮直径	700mm
工作风量	15000~18000m ³ /h
工作压头	1400~1600Pa
转速	2900r/min

电动机的主要技术参数：

功率	14kW
额定电压	380V

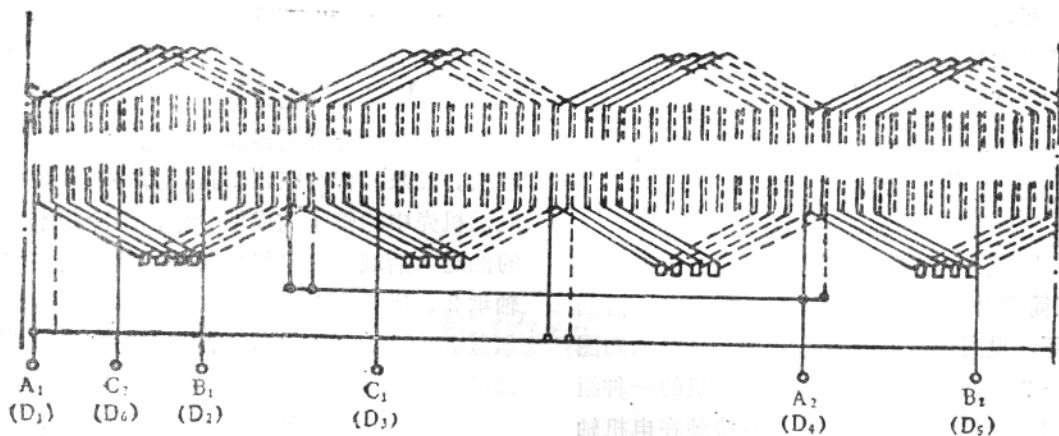


图2—4 JD302电动机定子绕组联接图

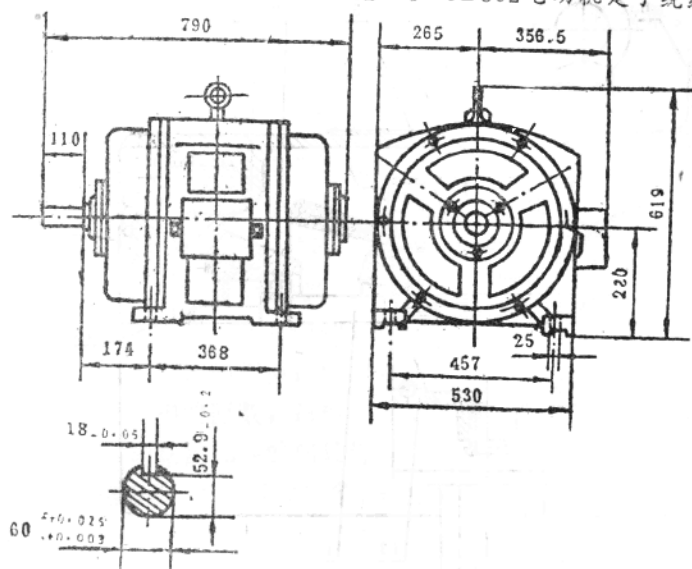


图2—5 JD302电动机外形图

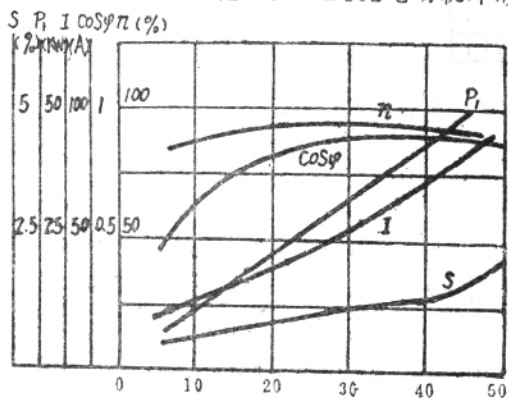


图2—6 JD302电动机工作特性曲线

额定电流 27.4A

效率 87%

功率因数 0.89

起动转矩/额定转矩 1.4

最大转矩/额定转矩 2.2

绝缘等级 B级

转速 2900r/min

该风机的工作特性:

风量 (m ³ /h)	全压 (Pa)	效率η (%)	轴功率 (kW)
15000	1410	0.537	11
18900	1300	0.63	10.8
22060	1000	0.632	9.7
23400	600	0.483	8.1

30K₄—11№4型轴流风机

的主要性能:

工作风量 7950m³/h

叶轮直径 400mm

工作压头 400Pa

转速 2860r/min

该风机配备JO₂—22—2电动机, 主要

技术数据有:

功率 2.2kW

电压 380V

电流 4.65A

效率 82.5%

功率因数 0.87

转速 2860r/min

起动电流/额定电流 7

起动转矩/额定转矩	1.4
最大转矩/额定转矩	2.2
绝缘等级	E级

第三节 电动油泵

SS型电力机车主变压器装的电动油泵(简称潜油泵),它的作用是强迫变压器油循环,提高变压器的散热能力,其结构如图2—7所示。潜油泵是油泵和电机的一种组合体,油泵为离心式,泵叶直接装在电机轴

端,靠叶轮9的升力与离心力在泵壳11的吸入口形成负压区,在泵的出口形成正压力区,强迫油沿着一定的方向在管道内流动。拖动电动机为与变压器油冷却配套的全密封电机。油泵工作时在出口正压力的一根装在电动机壳中的管子构成油分路,将冷却电机的油送入后端,由电机后端盖1的滤网15和轴承2、电机绕组、铁芯、前轴承17、前轴承盖7再进入负压区,由这部分在电机内部循环的油来冷却电机。

在泵的进出口处装两个M20×1.5的油

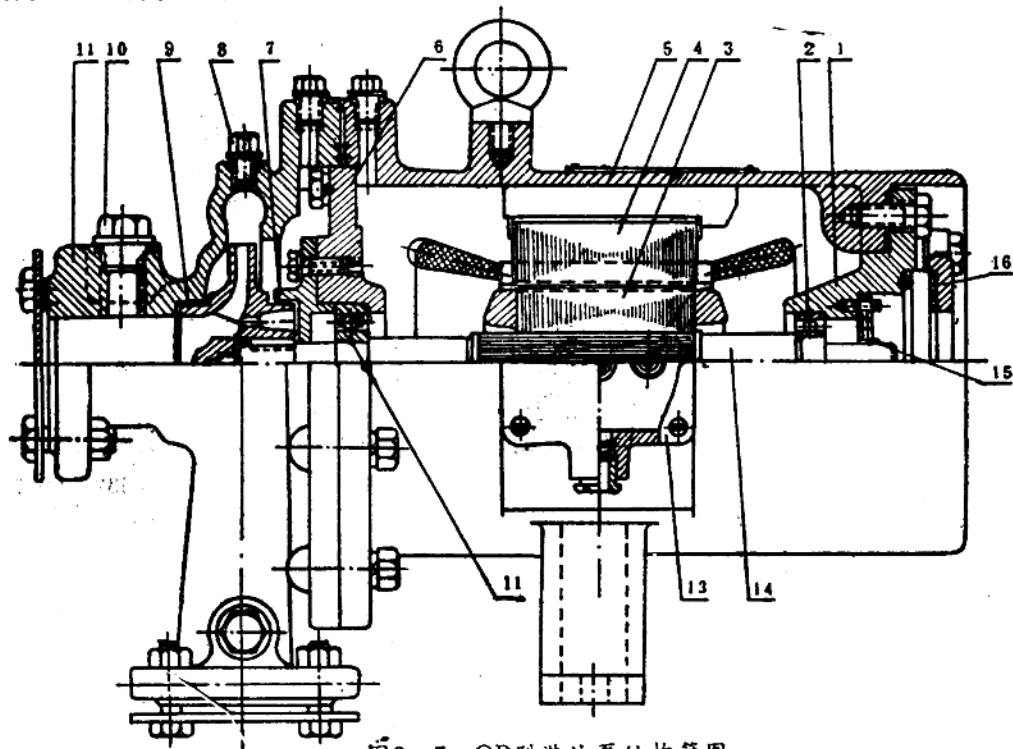


图2—7 QB型潜油泵结构简图

1—后端盖；2—后端轴承；3—转子；4—定子；5—机座；6—前端盖；
8—塞子；9—叶轮；10—油塞；11—泵壳；12—前端轴承；13—出油管；14—进油管；15—滤网；16—油分路

塞10,供测量泵内压力用。泵壳11上部装有放气塞子8,供排除气体用。电机前端采用305轴承,后端轴承为205。

SS₁型电力机车装有两台QB—25/16—2.2型潜油泵,其主要数据为:

流量	25m ³ /h
扬程	16m

电动机功率	2.2kW
电流	4.64A
电压	380V
质量	65kg
转速	2860r/min

SS₃型电力机车变压器装有一台潜油泵,型号为QB80—20/13—0/T,其主要参数

如下:

流量	80m ³ /h
扬程	20m
电压	380V
电流	24.3A

电动机功率	13kW
频率	50Hz
转速	2860r/min
质量	192kg

该油泵还用于SS₄型电力机车。

第三章 劈相机的结构及工作原理

第一节 异步劈相机的工作原理

为了改善三相电压的不对称度相应地要求提高或降低某些相的电势,使输出的三相电压对称。根据输出负荷的要求,劈相机三相绕组做成不对称的,以使 $E_W > E_U > E_V$ 。图3—1为JP402型异步劈相机的原理图,图上W相54匝、U相48匝、V相24匝。绕组选择有如下一些定性的规律:要使负载增加一方面要增加W相的匝数,每槽匝数增加10~50%左右,而增加15~20%较好;另一方面要减少V相匝数。W相匝数越多,输出负荷的率因数越低;V相匝数越少,输出的功率因数越高;U相匝数少,功率因数低。为了使输出的三相电压对称而设计的专用劈相机(简称劈相机)具有以下两个特点:

1. 定子的三相绕组不对称;

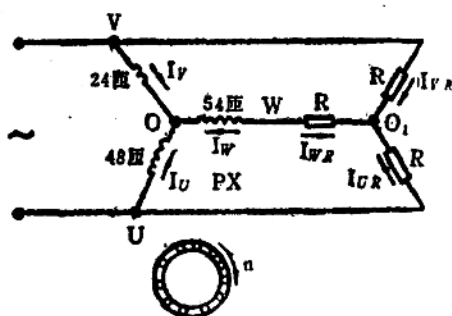


图3—1 JP402型异步劈相机原理图

2. 转子的槽形特殊,尽量减少交流的趋肤效果。

专用劈相机的工作原理如下,当劈相机的转子转动起来以后,若劈相机W相绕组不与外界联接,即不接电网,也不接负载,劈相机作为一台单相异步电动机运行。这时的脉振磁场就可以分解为两个幅值相同、方向相反的旋转磁场,即正序旋转磁场和负序旋转磁场,原理线路图见图3—1。单相电网与劈相机的U相绕组和V相绕组相接,单相电流由U相流入,从V相流出。产生的正序磁场用 F_2 表示,负序磁场用 F_1 表示。因为W相不与外界相接,W相没有电流输出,这种工况称为劈相机的空载工况。正序磁场与转子旋转的相对速度很低,约为0.042%,不足万分之五。而负序磁场与转子相对速度约为两倍同步速度,相对速度为199.958%,因而在转子导条中感应出接近两倍电网频率的电势和电流,此电流抵消了定子产生的负序磁场。因此在气隙中几乎只有正序的旋转磁场和磁通。正序磁通在转子导条上也要感应出转子的正序电流。转子正序磁通电流与气隙中的正序磁通相互作用产生电磁转矩,维持转子旋转。当劈相机W相接上负载以后,三相负载的U相和V相电流可直接从电网得到,W相电流由劈相机提供。这时正序磁场发生两种轻微的变化:一是由于 I_w 在转子中感应而产生的电磁阻力矩,或者说一半的转

子铝耗使正序磁场中电流的有功分量增加；二是由于 I_U 和 I_V 造成的漏抗压降增加，使反电势减少，磁化电流相应减少，但总起来的正序磁势变化是很有限的，可认为劈相机在输出电负荷的前后正序磁势基本上是不变的，因此相应在三相绕组上感应出电势。由于W相电势高出W相的端电压，所以W相电流源源不断地向外输出。因为在 I_W 向外输出电流以后，正序磁场需要从U相和V相输入相应的电流才能保持正序磁势不变。因此劈相机从单相电源把电能变换到三相电网上去是直接依靠正序旋转磁场传递的。图3—2表示正序旋转磁场与旋转转子的相对关系。W相输出电流以后既然要维持正序旋转磁场不变，必然要使负序磁场发生变化，定子的负序磁场随着W相电流 I_W 的增加而增加，同样由于转子的阻尼作用，这些新增加的负序磁场由转子产生新的负序电流去抵消，同样保持气隙的负序磁场几乎为零的特点。这样就起到了保证劈相机分相后，W相电流引起的负序磁场不需要从U相和V相来补充，因此它起到了间接传递能量的作用。所以，劈相机中正序和负序磁场的相互关系是相辅相乘的，达到了分相的全功能。

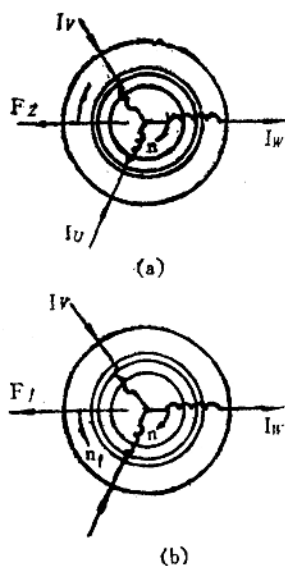


图3—2 劈相机的旋转磁场

第二节 劈相机的基本参数和铭牌数据

劈相机供电时，首先要解决的问题是如何在加上负载以后保证输出三相电压的对称性，以便在三相负载方面得到实际对称的电压和电流。劈相机的基本参数都是规定在三相电压对称的条件下进行测量和考核的，这些基本参数介绍如下。

一、电压和电流不对称度

在国际GB755-81“电机基本技术”中规定，三相实际对称的电压其电压不对称度应小于2%，而在劈相机供电给异步电动机时，2%的不对称电压在三相异步电动机侧引起的电流不对称度，一般会在12~20%左右。如果再要求减小电压不对称度，就要求电压测量仪表的精度更高，一般来说测量方面的误差在1~2%左右。为了确切反映劈相机供电电压的对称性，我们要求劈相机供电时，用一个空载的三相异步电动机作为感性负载，在输出端测量到的三相电流不对称度小于10%。铁标“机车车辆用三相异步电动机基本技术条件”中规定，劈相机系统的三相不对称度用三相电流不对称度小于10%来测量和考核。

二、额定功率

对劈相机而言是指它在额定单相输入电压下能输出三相对称电压的功率，更具体地讲要求负载三相电流的不对称度不大于10%，劈相机在这样的负载下能连续工作，温升不超过定子绝缘材料规定的限值。在满足这种要求的前提下得到的劈相机输出三相电功率为额定功率。

三、额定电压

劈相机只是把单相电源直接变换成三相

电源，它的电压取决于单相电网的输入电压，一般讲同一劈相机在低电压时输出对称的三相负载要比在高电压时输出的负载小。其他两相的线电压由单相电网电压来决定，因此劈相机的额定电压是指单相电网的电压。我国和苏联劈相机的额定电压规定为380V，日本劈相机的额定电压有400V和440V两种。

四、额定电流

劈相机的额定电流是指与额定功率相对应的相电流，劈相机输出的三相功率中实质上只有W相电流与劈相机发生关系，三相负载的其它两相电流是直接从单相电网来的。劈相机本身的U相电流和V相电流都取决于W相电流。因此劈相机的额定电流首先是指它的三相输出电流 I_W 。为了清楚地表示出单相变换的概念，我们用输入的单相电流 I_L 表示劈相机的第二个额定电流。

只要知道单相的输入功率和单相电流 I_L 值就可确定单相电流 I_L 的相位，即能表示出 I_L 是一个矢量；同样知道三相输出功率和三相输出电流 I_W 也就可把 I_W 表示成一个矢量，其矢量图见图3—3。劈相机中由于磁化电流的存在，V相的电流 I_V 始终为最大。

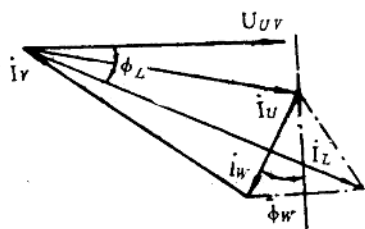


图3—3 矢量图

五、功率因数

劈相机输出的功率因数 $\cos\phi_W$ 已由劈相机的额定功率、额定的三相输出电流和额定电压给出，因此在铭牌上不必再重复给出。因为单相输入没有给出，所以在铭牌上需要写明输入功率因数 $\cos\phi_L$ ，它为劈相机单相输入的有功功率与视在功率之比。一般

情况下劈相机的输入功率因数 $\cos\phi_L$ 低于输出功率因数 $\cos\phi_W$ 。所以说劈相机的功率因数有两项，即输入功率因数和输出功率因数，前者在铭牌数据上给出，因为它可以把劈相机磁路饱和程度以及损耗都同时给出，后者虽然没有在铭牌数据上写明，却可以通过输出功率即额定功率间接给出。

六、效率

劈相机的效率表示劈相机把单相电源变换成三相电源的损耗，它为三相输出的额定功率与单相输入的功率之比。因为能量是直接变换的，而且只变换W相功率，所以效率比较高，一般在90%以上，越是过载效率就越高，这是它的节能所在，但输出三相电压的对称性变差。

根据铁道部标准TB1608—85“机车车辆用三相异步电机基本技术条件”的规定，劈相机铭牌数据应标明的项目有：

- 制造厂名；
- 产品名称；
- 产品型号；
- 额定功率；
- 额定电压；
- 额定电流（应标明输入单相电流和输出三相电流）；
- 额定功率；
- 额定转速；
- 功率因数；
- 接线方式；
- 绝缘等级；
- 产品编号；
- 标准编号；
- 质量；
- 出厂年月。

第三节 劈相机的结构

劈相机是鼠笼式异步电机中一种，根据

其运行特点需要一种趋肤效应差的单鼠笼转子。鼠笼转子可以是铜条的，也可以是铸铝的。从运行经验看铜条转子不如铸铝的好，铜条易疲劳损坏而使转子端环处断裂，所以寿命不及铸铝的高。其次是转子铁芯两端需要压圈，增加了电机的重量和零部件的数量。铸铝式转子不需要压圈，可利用端环和导条把铁芯压得很紧。更主要的是，由于导条、铁芯和端环铸成一体后消除了端环和导条之间的相对运动和转子旋转时的疲劳应力，从根本上解决了端环处导条断裂的问题，因此铸铝结构比导铜条结构可靠。

劈相机的结构和一般鼠笼式异步电动机的结构相似，主要是由定子和转子两部分组成(图3—4)，定转子中间有气隙，此外还有端盖，转承和出线盒等部件，现简单介绍。

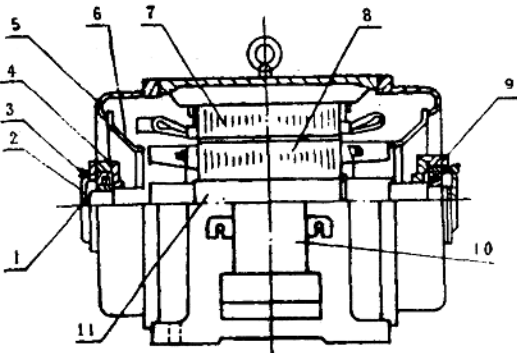


图3—4 劈相机结构图

- 1—轴承；2—轴承外盖；3—油杯；4—轴承内盖；
5—端盖；6—挡风板；7—定子组装子；8—鼠笼转
9—轴承；10—接线罩组装；11—转轴。

一、定 子

定子是劈相机的静止部分。劈相机定子和异步电动机相似，由定子绕组、定子铁芯和机座组成(见图3—5)。劈机定子绕组是不对称的三相绕组，由它产生劈相机的旋转磁场。更主要是通过它直接把单相电源变换成三相电源，由它决定劈相机的主要电气性能，各相绕组的匝数按性能要求设计决定。

定子绕组线圈按一定规律依次嵌入定子

槽中，并按一定的接线方式联接起来。SS型机车用的劈相机因容量较大采用了双层绕组，每一槽内的导线分为上下两层，上层和下层导线需要用层间绝缘隔开。定子绕组为软绕组，一般采用高强度漆包线作为匝间绝缘，导线按一定要求绕制而成。漆包线是散嵌入槽的，线圈的成形、制造和修理都很方便，端部尺寸短可靠性高。国外多数采用半开口槽的硬绕组结构，总之。劈相机定子绕组的成形、嵌制和结构形式与一般异步电动机相同。

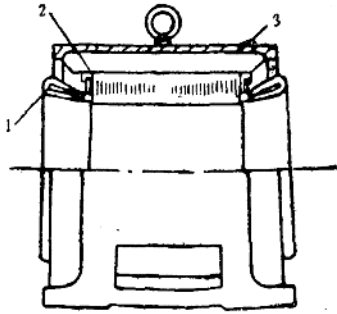


图3—5 劈相机定子

- 1—转组；2—铁芯；3—机座。

定子铁心是劈相机的磁路，它由定子冲片叠压而成，定子采用0.5mm的硅钢片，双面涂以硅钢片漆。目前使用导磁性能好的冷轧硅钢片W465，因硅钢片双片有氧化膜故可不涂漆。在冲片内圆均匀冲有形状相同的槽，定子槽形采用半闭口的梨形槽(图3—6)，槽口宽度至少允许通过两根并排的导线，但不能大于槽宽的一半。梨形槽的气隙磁场脉振小，因此而引起的磁场齿谐波损耗小，起动过程中谐波附加力矩也小。

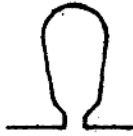


图3—6 定子槽形

定子冲片叠压成铁芯后压入机座的称为外压装式，外压装的工艺可保证定子内圆和转子外圆同心，不需要叠压后再镗定子内圆

和机座止口，是一种较好的铁芯结构。机座的主要作用是固定和支撑铁芯，装配端盖、轴承和转子，并起保证定、转子同心和气隙均匀的作用。目前生产的几种劈相机一般都采用铸铁机座，为了加强散热能力采用开启式的结构，两侧和下部有通风孔。

二、气 隙

定子铁芯与转子铁芯之间的气隙是很小的，气隙大小根据劈相机容量而定，目前生产的几种劈相机气隙在1mm左右。气隙小，不但装配困难、同心度要求高，而且谐波电流产生的寄生力矩也大。气隙大磁阻就大，需要的激磁电流也就越大，为了减小激磁电流，气隙应尽可能小些。这两方面的要求是互相矛盾的，因此劈相机的气隙值要由几方面的因素决定，比一般同尺寸的三相异步电动机要大出15~25%。

三、转 子

转子是劈相机的旋转部分(见图3—7)，也是劈相机变换相数的主要部件。劈相机转子旋转起来以后，旋转着的转子对定子负序磁场有很强的阻尼作用或者说是抵消作用，气隙中负序磁场的大小与转子负序阻抗成比例，转子绕组中的负序电流有双倍电源的频率，因此趋肤效应很强。劈相机的鼠笼转子以单鼠笼为佳，转子槽形设计时要考虑到在转子导条中负序电流渗透的有效高度范围内，槽形面积尽可能要大些。

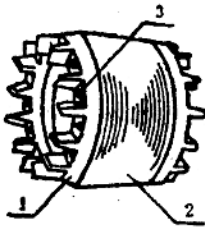


图 3—7 劈相机转子

1—鼠笼；2—铁芯；3—平衡块。

劈相机转子是由转子铁芯、转轴和鼠笼

组成(在图3—7中示出不带转轴的鼠笼转子)。转子铁芯一般用0.5mm厚的硅钢片冲片叠成，转子冲片外圆均匀分布形状相同的槽形，槽形一般采用梨形槽或者组合槽形，见图3—8(a)和(b)，铸铝转子的导条、两端的端环和导条风叶一起铸出，铸铝转子的风叶间铸有校动平衡用的短圆柱，用来固定平衡块。为了削弱齿谐波的影响，转子槽铸成斜槽，倾斜一个定子齿距。

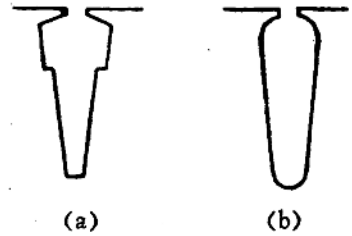


图 3—8 转子槽形

a—组合槽形；b—梨形槽

转轴(见图3—4)因为不需要传递大的电磁转矩，因此对材料的强度要求不高，而对其刚度要求较高，一般用A5中碳钢锻制而成。转轴两端轴颈安装轴承处的加工精度直接影响电机轴承的噪音，因此加工精度要求较高。为了降低轴承噪音，还需选择低噪音的轴承。

防护式结构的端盖上设有三个扇形面积的进风口，端盖是电机通风系统的重要部件，又是定子与转子定位与支撑的重要部件，由它来保证定子与转子同轴旋转，以及保证转子与定子间的气隙均匀。在端盖上装有挡风板和轴承盖，挡风板使冷却空气沿一定的路径吹拂线圈表面、定子铁芯，再由机座两侧和底面的出风口吹出。端盖中间的轴承孔为安装滚动轴承的轴承室，轴承室的轴线应与机座的轴线重合，否则不仅使电机噪音大，严重的还要影响轴承的使用寿命。

轴承盖上的空腔为轴承的储油室，轴承盖有内外盖之分，靠转子侧的为内盖，在端盖另一侧的为外盖。轴承外盖上的注油环供注

润滑油用。

第四节 几种劈相机的电气和结构参数

现将我国生产过的劈相机的电气参数列在表3—1中。表上列出的苏联制造的H₁B-455型劈相机参数供比较。

现将表上的劈相机电气参数介绍如下：

表3—1 劈相机的电气参数

型号	输入单相				输出三相				
	U (V)	I (A)	P (kW)	$\cos\varphi_L$	U (V)	I (A)	P (kW)	$\cos\varphi_D$	η (%)
YQP113	380	270	82.5	0.8	380	173	78	0.67	0.89
J ₂ PX82-4	380	231	73.8	0.84	380	103	66.8	0.987	0.91
JP402	380	200	64.8	0.8	380	90	57	0.96	0.98
YPX2-280 M-4	380	147	36	0.645	380	53	31.5	0.84	0.88
H ₁ B-455	380	280	85.1	0.8	380	174	78		0.89

型号	分相电容	劈相机电流(A)			
	电 容 (μ F)	I_U (A)	I_V (A)	I_C (A)	重量 (kg)
YQP113	1200	78	107	52	690
J ₂ PX82-4	0	132	184.5	105	480
JP402	0	115	162	90	590
YPX2-280 M-4	0	92	115	57	560
H ₁ B-455	1200	80	110	53	700

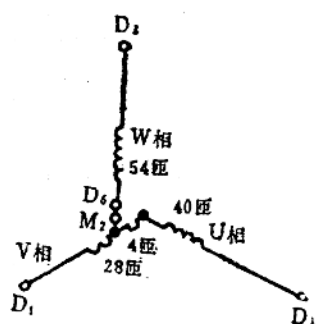


图3—9 YQP113型劈相机接线原理图

1. YQP113型劈相机

SS₁型121号机车以前用YQP113型劈相机，YQP113型劈相机为仿苏产品，与苏联的H₁B-453型和H₁B-455型劈相机性能相似，它是J92-4型的派生产品，定子外径493mm，内径315mm，铁芯长度220mm，中心高315mm。定子60槽，其槽形是半闭口梨形槽。转子50槽，转子采取矩形深槽，转子是铸铝的鼠笼结构，YQP113型劈相机的定子绕组规范见表3—2。

为了调节电压，在V相绕组第28匝处留一个抽头M₂，实际使用时把发电相绕组即W相绕组的终点D₃接至M₂时，负载上的三相电压对称性较佳，接线原理图如图3—9。

YQP113劈相机的定子绕组分电动相和发电相两类，定子绕组为篮形，端部呈圆弧，电动相绕组由12根QZ₂1.35和12根QZ₂1.45共24根漆包线并绕绕制而成。由于绕制时并联根数太多，故线圈成型困难、嵌线困难。发电相绕组由QZ₂1.35和QZ₂1.45各两根并绕绕制而成，发电相绕组总根数

较少，因此发电相绕组所在槽比较空而需要用绝缘塞紧，该电机的绕组规范见表3—2。

2. J₂PX82-4型劈相机

SS₁型机车从121号~221号车用J₂PX82-4型劈相机，其电机中心高为250mm，定子冲片外径423mm，内径280mm，长度270mm。定子60槽，采用半闭口梨形槽，定转子槽形见图3—10。

转子采取“中”字形槽，其目的是增加100Hz频率的导电面积，提高频率并降低转

表3-2 YQP113型劈相机绕组规范

项目 \ 绕组	V 相	D 相	W 相
线端标志	D ₁ D ₄	D ₂ D ₃	D ₅ D ₆
节 距	1~14	1~14	1~14
槽 数	4	5	6
极 数	4	4	4
线 规	QZ ₂ 1.85 1.45	QZ ₂ 1.35 1.45	QZ ₂ 1.35 1.45
并联导线数	各12	各12	各2
并联支路数	1	1	4
每线圈匝数	2	2	9
每相串联匝数	32	40	54

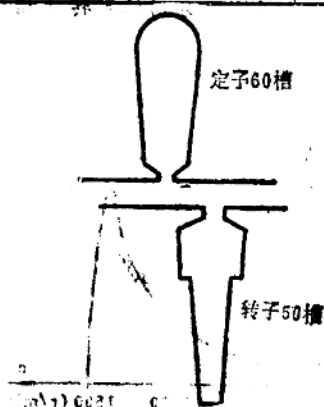


图 3-10 J₂PX82-4型劈相机定转子槽形

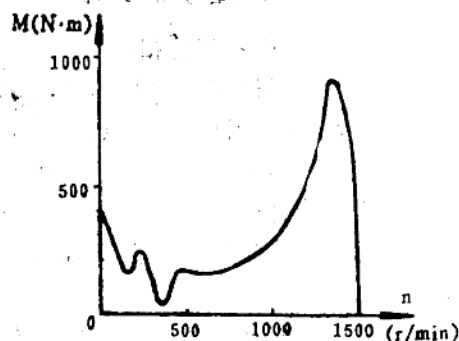


图 3-11 J₂PX82-4型劈相机机械特性

的起动电流,提高它们的起动转矩,与此同时又可提高劈相机系统低电压工况的电气稳定性。从某种意义上讲劈相机转子槽形的取舍是提高劈相机出力、降低损耗、提高效率 and 系统性能的关键措施。转子槽沿轴向采取斜槽15 mm,目的是降低齿谐波的空间高次谐波磁势,降低齿谐波引起的附加转矩。

本电机短矩系数为 $\frac{13}{15}$,

所以五次谐波的空间谐波磁势的影响比较大,电机起动过程中的机械特性

见图3-11,从图中可以看出五次谐波的附加转矩比较大。

J₂PX82-4型劈相机定子绕组规范接线图见图3-12,相应的定子绕组规范见表3-2。

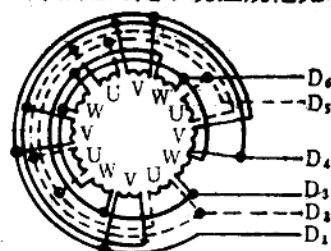


图 3-12 定子绕组接线简图

由于J₂PX82-4采取了“中”字形转子槽形,降低了转子中劈相机电流的损耗。该电机加大了转子的风叶。而J₂PX82-4劈相机有较大的进风口和出风口,电机的冷却效果好,所以它的出力大、重量轻。

3. JP402型劈相机

SS₁型机车从221号车开始使用JP402型劈相机,JP402型劈相机与J₂PX82-4相比,加大了定子铁芯,采用了导磁性能较好的W465冷轧硅钢片,因此它适合于网压偏高地区工作,工作电压范围可在0.7~1.3倍额定电压