

ND₅型内燃机车

(下册)

夏寅蓀 张 鑫 王长荣 姜恩沪 张宗鼎

徐起发 蒋影斐 杨大钧 韩世英 刘叶弟

吴鸿钧 编

中 国 铁 道 出 版 社

1988年·北 京

内 容 简 介

本书分上、下两册出版。下册主要介绍机车的电气部分和空气制动机部分。电气部分重点介绍机车的恒功励磁调节系统、粘着控制系统及电路图(见图袋),并对机车用电机、电器作了简要介绍。空气制动系统全面介绍了机车用26-L型空气制动机的结构及原理等。

ND₂ 型 内 燃 机 车

(下册)

夏寅荪 王长荣 张 鑫 姜恩沪 张宗毓
徐超俊 蒋影斐 韩世英 杨大钧 刘叶弟 吴鸿钧 合 编

中国铁道出版社出版、发行

河北省固安县印刷厂印

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 21.25 字数: 532千

1988年4月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—10000册 定价: 10.00元

(内部资料)

目 录

第四篇 ND₅型内燃机车电传动装置

第十三章	电 机	1
第一节	5GTA24A3型三相同步牵引发电机.....	2
第二节	5GE752AF8型直流牵引电动机.....	11
第三节	5GY27型辅助发电机和励磁机.....	29
第四节	其他辅助电机.....	33
第十四章	电 器	34
第一节	概 述.....	34
第二节	组合电器、接触器与继电器.....	37
第三节	传感器件.....	43
第四节	稳压电源调整器件.....	49
第五节	柴油机监控系统ESM.....	53
第十五章	恒功率励磁调节系统 (CHEC系统)	62
第一节	恒功率励磁调节系统的主要作用和组成.....	62
第二节	恒功率励磁调节系统的工作原理.....	63
第三节	FL246E1型励磁控制屏的组成及各插件板的工作原理.....	76
第四节	恒功率励磁控制屏试验规则及维修.....	104
第十六章	“警哨” (SENTRY) 粘着控制系统	112
第一节	概 述.....	112
第二节	FL243型牵引电动机速度控制屏 (MSP屏) 中主要插件板工作电路及其工 作原理.....	115
第三节	牵引电动机速度控制屏 (MSP屏) 的试验.....	142
第四节	故障检查与排除.....	152
第十七章	电 路 图	157
第一节	电路图说明.....	157
第二节	主 电 路.....	159
第三节	控制电路.....	162
第四节	自负荷试验及其工作电路.....	195
第五节	恒功率励磁调节系统中CHEC屏的主要工作电路.....	196
第六节	警哨 (SENTRY) 粘着控制系统中牵引电动机速度控制屏MSP的主要 工作电路.....	200

第五篇 26-L型空气制动机

第十八章	26-L型空气制动机概述	205
第十九章	3CDCL型空气压缩机	214
第一节	3CDCL型空气压缩机的构造	214
第二节	3CDCL型空气压缩机工作过程	221
第二十章	26-C自动制动阀、SA-26单独制动阀、26-F控制阀及其他阀类	223
第一节	26-C自动制动阀	223
第二节	SA-26单独制动阀	248
第三节	26-F控制阀	252
第四节	J1.4-14继动阀	275
第五节	P-2-A强迫制动阀	277
第六节	A-1撒砂及切断先导阀	284
第七节	26-L型空气制动机辅助阀类	289
第二十一章	26-L型空气制动机的综合作用	297
第一节	单阀手柄置于缓解位，自阀手柄在各个位置的综合作用	297
第二节	操纵单阀手柄时的综合作用	306
第三节	强迫制动、列车分离紧急制动、及同时使用电阻制动和空气制动的制动机综合作用	310
第二十二章	26-L型空气制动机机能试验、一般故障和判断及使用注意事项	313
第一节	制动机机能试验	313
第二节	26-L型空气制动机一般故障和判断	315
第三节	26-L型空气制动机使用注意事项	318
附 录		319

第四篇 ND₅型内燃机车电传动装置

第十三章 电 机

ND₅型内燃机车装有牵引发电机、牵引电动机以及辅助发电机、励磁机、燃油泵电动机、起动机油泵电动机、司机室风扇电动机、热风机电动机等辅助电机。上述电机除牵引发电机为三相交流电机外,其余均为直流电机。表13—1为ND₅型机车所用电机的一览表。

ND₅型内燃机车所用电机一览表 表13—1

电机名称	牵引发电机	牵引电动机	辅助发电机	励磁机	燃油泵电动机	起动机油泵电动机	司机室风扇电动机	热风机电动机
型 号	5GTA24 A3	5GE752 AF8	5GY27 L1	5GY27 M2	5BC49A B149	5BT1322 B133	3LC-72-S	PM5081 -2
类 型	三相交流发电机	直 流 电 机						
代 号	TA	TM1~TM6	AG	EXC	FPM	PLPDM	FAN1~FAN2	PM1~PM2
台 数	1	6	1	1	1	1	2	2
配 套 设 备 及 执 行 功 能	由柴油机驱动,发出电能,整流后供给牵引电动机	驱动车轮前进	由柴油机通过牵引发电机轴驱动,发出电能,供给机车照明、控制设备与蓄电池电源	由柴油机通过牵引发电机轴驱动,发出电能,供给牵引发电机励绕组电源	驱动燃油泵,供给燃油	驱动起动机油泵,供给机油	驱动风扇,供司机室散热	驱动风扇吹热风,供司机取暖
主要技术参数	功率 (千瓦)	2466	430	19.5	18.3	0.55	3.68	
	电压 (伏)	276	375	75	65	64/75	64	75
	电流 (安)	5430	1180	260	281	9.4	91	不大于0.51
	转速 (转/分)	1000	463	2372	2372	2350	1200	不大于1600
励磁方式	他励	串励	并励	他励	复励	并励	串励	永磁
绝缘等级	定H/转F	H	F	H	B			
工作制	连续	连续	连续	连续	连续	短时5分钟	连续	连续

这些电机在机车主电路及励磁、辅助电路的接线见第十七章各有关电路图。

第一节 5GTA24A3型三相同步牵引发电机

一、概述

牵引发电机又称主发电机，型号为5GTA24A3，是一台三相交流凸极式同步发电机，由柴油机直接驱动，它所发出的三相交流电，经过硅整流装置整流后，向六台牵引电动机供电，是牵引工况下牵引电动机的电源装置。

5GTA24A3型同步牵引发电机的主要参数如表13—2所示。

5GTA24A3型同步牵引发电机主要参数 表13—2

电 机 型 号	5GTA24A3	定子槽数	90
电 机 类 型	三相交流发电机	定子绕组型式	双层叠绕组
额定容量 (千伏安)	2596	定子绕组联接方式	双星形
额定功率 (千瓦)	2466	每极每相槽数	3
额定电压 (伏)	276	每相串联匝数	9
额定电流 (安)	5430	定子绕组节距	1~9槽
额定转速 (转/分)	1000	定子绕组线规 (毫米)	2.56×9.27
额定输入功率 (千瓦)		转子直径 (毫米)	1086.5
冷却风扇为高转速工况时	2760	磁极线圈匝数	45
冷却风扇为低转速工况时	2834	磁极线圈线规 (毫米)	1.6×34.93
整流后最大电压 (伏)	1490	气 隙 (毫米)	4.76
整流后最大电流 (安)	9600	电刷型号	GE-R318
额定频率 (赫)	83.3	电刷尺寸 (毫米)	19×(2×22.25)×76.2
额定功率因数	0.95	每台电刷数量	6
额定效率 (%)	97	集电环	钢质，有螺旋槽
极对数	5	集电环直径 (毫米)	392.68
励磁方式	他励	定子绕组每相电阻 (欧)	
励磁电压 (伏)	65	20℃时	0.00163
励磁电流 (安)	281	115℃时	0.01117
通风方式	强迫通风	励磁绕组电阻 (欧)	
额定风量 (升/分)	175	20℃时	0.18
绝缘等级 (定子/转子)	H/F	115℃时	0.246
工作制	连续	定子绕组温升 (双星形串联时) (℃)	142
旋转方向 (面向集电环端)	逆时针	励磁绕组温升 (双星形串联时) (℃)	117
定子铁芯外径 (毫米)	1483.36	轴承温升 (双星形串联时) (℃)	27.1
定子铁芯内径 (毫米)	1096	滑环温升 (双星形串联时) (℃)	30.4
定子铁芯长度 (毫米)	243.6	电机总重 (千克)	6070

二、5GTA24A3型牵引发电机的结构

(一) 结构特点

5GTA24A3型同步牵引发电机是一台凸极、双星形联接、单轴承他励三相交流发电机。发电机的一端直接与柴油机曲轴的法兰相连，将柴油机的机械能转换成电能，因此称为传动端。电机的另一端称为非传动端（又称辅助传动端），通过辅助传动齿轮装置，驱动装在发电机齿轮箱盖上的辅助发电机、励磁机和通风机。其外形如图13—1所示。

同步牵引发电机与直流牵引发电机相比较，在结构上的主要差别是没有换向器，因此结构简单，维修方便。它的励磁绕组布置在转子上，而电枢绕组却布置在定子上，刚好与直流电机相反。因为同步牵引发电机的转速较低，故采用结构简单的旋转磁极式转子，磁极形状凸出，与直流电机相似，所以又称凸极式转子。5GTA24A3型同步牵引发电机在结构上的主要特点是采用了双星形联接的定子绕组（见图13—2），该绕组可根据列车运行速度的高低，两个星形绕组接成串联或并联，为牵引电动机的调速带来方便。

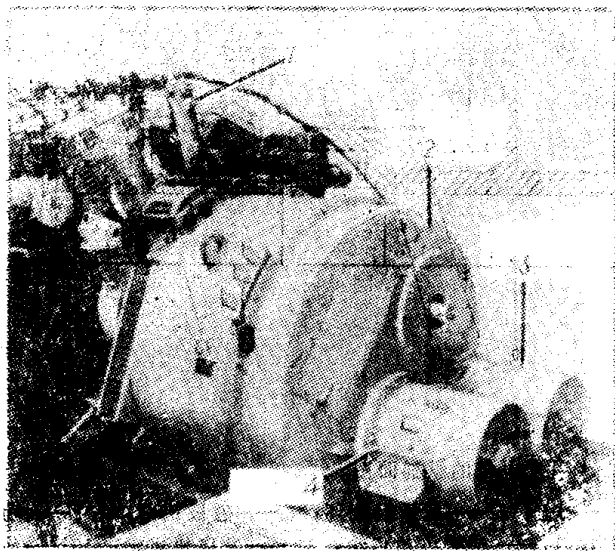


图13—1 5GTA24A3型同步牵引发电机及辅助设备外形图
1——柴油机；2——牵引发电机；3——辅助发电机；4——励磁机。

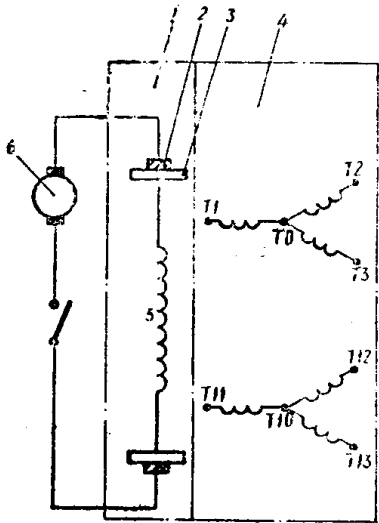


图13—2 5GTA24A3型同步牵引发电机原理图
1——转子；2——电刷；3——集电环；4——定子，两个星形绕组；5——励磁绕组；6——励磁机。

图13—3是5GTA24A3型牵引发电机纵剖面图，它由定子、转子和气隙三部分组成。定子上装有两个三相对称绕组，各相绕组的空间位置彼此相差 120° 电角度。转子上装有励磁绕组，当直流电通过电刷和集电环送到励磁绕组时，使相邻磁极产生固定的N极和S极极性，在气隙中形成主磁场。由于转子由柴油机带动旋转，将在定子绕组中产生感应电势，发出三相交流电。所以，转子的功用是产生主磁场，而定子则是完成能量转换和能量传递的部件。

(二) 定子结构和定子绕组

5GTA24A3型牵引发电机由定子铁芯、定子绕组、机座、端盖、转子支架和刷架等组成。

1. 机座

在交流电机中，机座已不作磁路用，仅仅起机械支撑和防护作用。5GTA24A3型牵引发电机的机座用铁板焊成圆筒形，以减轻重量。工作时水平放置，通过机座下部四个支承腿

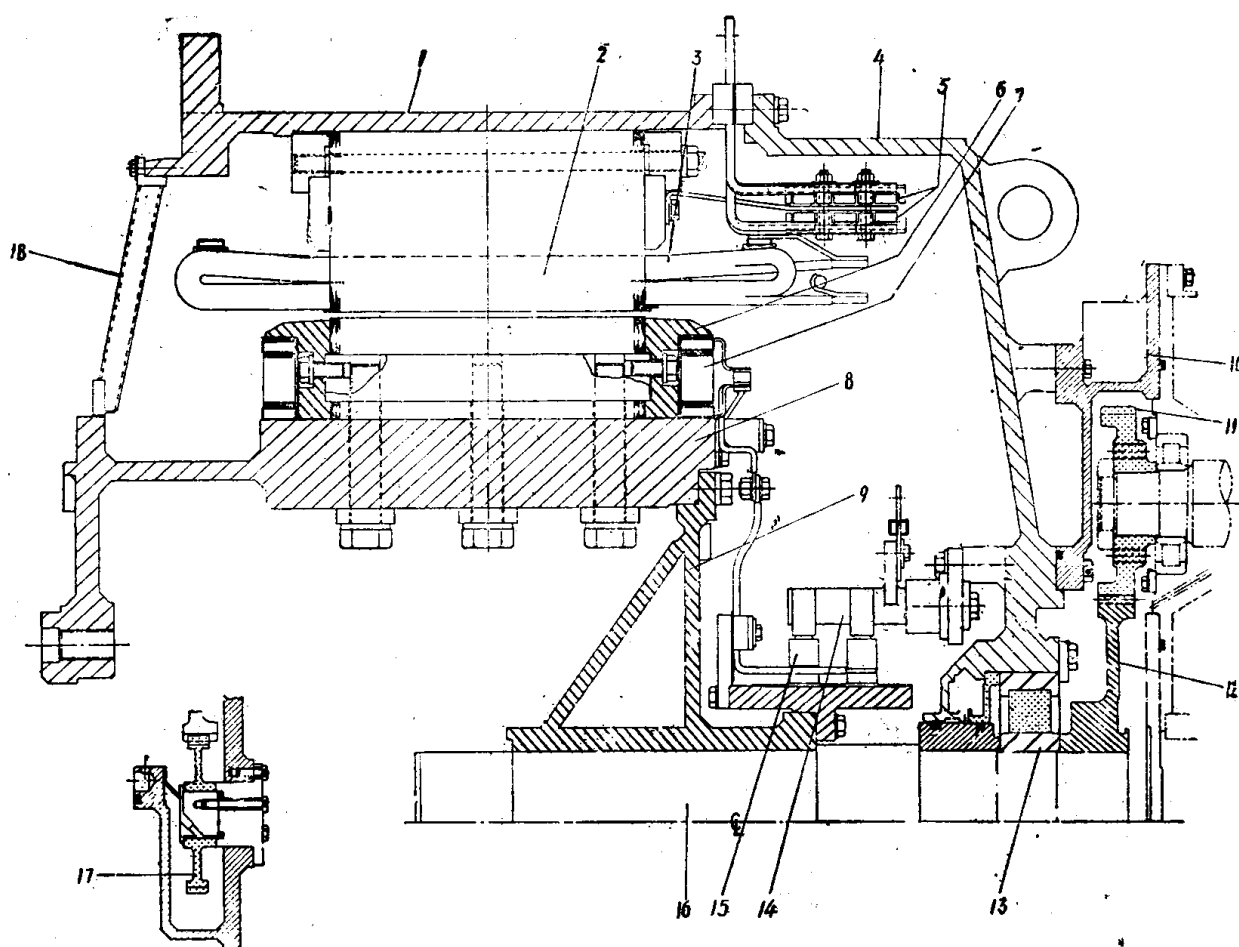


图13—3 5GTA24A3型同步牵引发电机的纵剖面图

1——机座；2——定子铁芯；3——定子绕组；4——端盖；5——定子汇流环；6——磁极铁芯；7——励磁绕组；8——转子支架轮；9——辐形转子支架；10——齿轮箱；11——辅助传动齿轮；12——发电机齿轮；13——轴承；14——刷握装置；15——集电环；16——轴；17——惰齿轮；18——转子支承。

安装在机车动力室中。电机大修时，须将发电机翻转直立，故在靠柴油机端的机座上有四个带螺栓孔的凸耳，凸耳平时用来固定发电机和柴油机机体，大修时用它撑在地面上，使电机直立。机座中部顶上有两个吊环，用来起吊和翻转电机用。

2. 端盖和转子支承

该电机有前、后二个端盖，图13—3中的转子支承18，实际上是牵引发电机在柴油机侧的后端盖。由于电机只有在集电环端一个轴承，当发电机转子和柴油机输出轴法兰分开时，转子的一端就搁在此端盖上，起支撑转子的作用，所以又称转子支承。转子支承呈圆环形，外径1387.348毫米（54.62英寸），内径876.3毫米（34.5英寸），用直径为9.5毫米的螺栓固定在机座上。

牵引发电机前端盖上部、左右各有一个视察窗，打开密封盖（图13—1可看出这二个盖），便可对发电机进行保养检查。端盖外部的凸缘用来固定发电机的辅助传动齿轮箱。端盖内部的凸缘用来固定刷架。整个端盖用12个螺栓紧固在机座上，依靠止口保证电机的同心度。端盖止口处的直径为1492.5毫米（58.76英寸）。

3. 定子铁芯

定子铁芯由定子叠片、前、后端板、前、后压板和拉紧螺杆组成。

定子叠片用0.5毫米厚的冷轧硅钢片DW300-50叠压而成,在铁芯内圆上,冲有90个槽,以安放定子绕组。由于定子铁芯外径已超过整张硅钢片的尺寸(超过1米),为了较好地利用硅钢片及限于冲床压力和台面尺寸,故用9张扇形冲片拼成。为了减少附加铁损耗,在叠放定子铁芯时,应把各层扇形片的接缝错开。

扇形冲片轭部的两个圆孔,用来穿过拉紧螺杆,把定子铁芯压紧,然后固定在机座内。冲片外圆处的圆孔为定子铁芯的径向通风孔。

4. 定子绕组

定子绕组采用三相双层短距叠绕组,双星形联接,共有90个线圈元件。每个线圈用三根 2.56×9.37 毫米铜导体并绕三匝制成。定子线圈的截面如图13-4所示。匝间绝缘3用0.2毫米厚聚酰胺薄膜半叠包一次而成。对地绝缘4用聚酰胺薄膜压成厚0.381毫米的“U”形绝缘材料,两面对扣而成。外包绝缘5用0.176毫米玻璃丝带1/3叠包一次组成。上述均为H级绝缘材料。定子绕组在25℃时的电阻值为0.00220欧。

根据已知的电机参数,如极对数 $p=5$,槽数 $Z=90$,相数 $m=3$,可求出每极每相槽数 q

$$q = \frac{Z}{2mp} = \frac{90}{2 \times 3 \times 5} = 3 \text{ (槽)} \tag{13-1}$$

两相邻磁极中心线间的距离,即极距 τ

$$\tau = \frac{Z}{2p} = \frac{90}{2 \times 5} = 9 \text{ (槽)} \tag{13-2}$$

因为采用短距绕组,定子绕组的节距 y

$$y = \frac{Z}{2p} - \epsilon = \frac{90}{2 \times 5} - 1 = 8 \text{ (槽)} \tag{13-3}$$

即线圈的上层边如放在第1槽内,下层边就应放在第9槽内,共跨过8个槽。式中的 ϵ 即为短距的槽数,视不同电机参数而变化,但必须使绕组节距为整数,不然线圈就无法嵌入槽内。

为了适应内燃机车牵引的需要,例如列车起动时,牵引电动机的速度低但电流很大,在

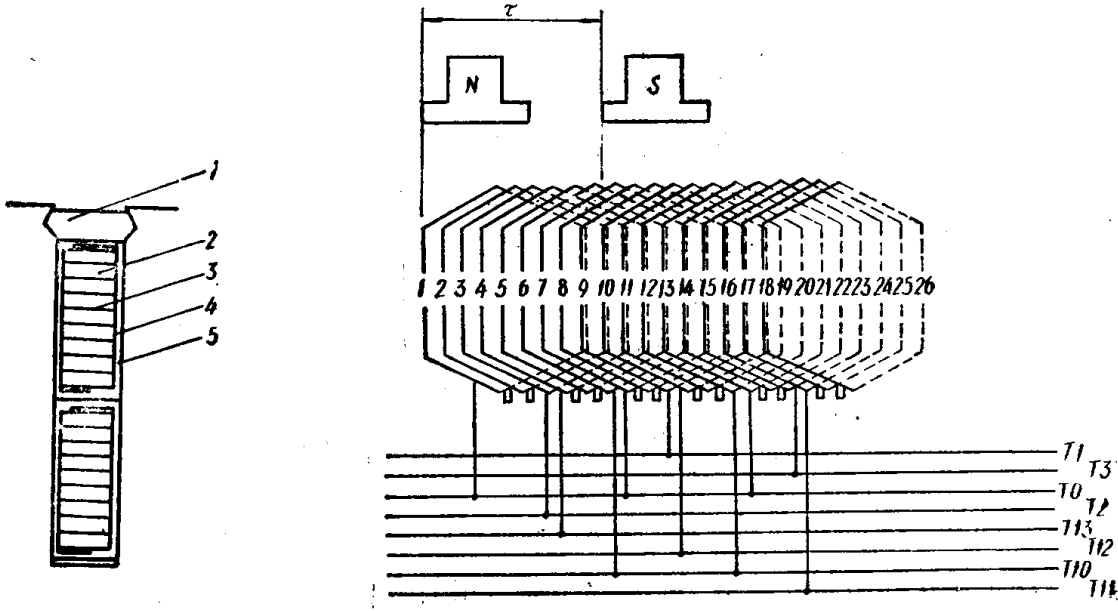


图13-4 定子线圈截面图
1——槽楔; 2—— 2.56×9.27 毫米铜导体, 三根并联; 3——匝间绝缘; 4——“U”形对地绝缘; 5——外包绝缘。

图13-5 牵引发电机定子绕组展开图

高速运行时，牵引电动机的电压又很高。为了扩大恒功率的调速范围，希望牵引发电机的输出电流电压能适应不同运行速度的实际需要。为此，5GTA24A3型牵引发电机的定子绕组采用双绕组结构，也即用两套完全相同的三相绕组，联接成两个星形。一个星形的端点为T1、T2、T3；另一个星形的端点为T11、T12、T13，如图13-5所示。图中画出一对磁极下的定子绕组，因为绕组节距为8，所以线圈1上层边放在第1槽内时，下层边应放在第9槽内。又因每极每相槽数为3，如B相绕组在N极放在第1、2、3槽中，其他两相应分别安放在第4、5、6或第7、8、9槽中。每一线圈组的端部联线分别接到T1、T2、T3、T0或T11、T12、T13、T10端部联线上，构成两个星形联接。这两个星形绕组通过两个外部的分接开关（即串并联转换接触器AS1、AS2），在机车低速运行时，电流比较大，两个绕组接成并联，每相绕组有10条支路并联，又称10环路；而在高速运行时，电压比较高，它能自动地过渡到串联联接，这时每相绕组有5条支路并联，又称5环路。ND₆型内燃机车若须加速运行，当速度超过64公里/小时时，开始“向上”转换，电路由低速时的并联转换到高速时的串联，即从并联联接转换到串联联接。机车减速时，当机车速度下降到61公里/小时时，开始“向下”转换，电路由串联联接转换为并联联接（具体转换详见第十七章）。

定子双绕组输出的三相交流电，由汇流排直接从辅助传动端端盖顶部通入左、右放置的整流装置内，把三相交流电变成直流电后送给直流牵引电动机。

5. 刷架

刷架装置与集电环一起，引入由励磁机供应的直流电源。两个互相绝缘的电刷支架，装在发电机前端盖的内侧。刷架呈圆弧形，每个刷架上用螺栓均匀紧固着三根刷杆，每根刷杆装一个刷握，刷握如图13-6所示。每个刷握的刷盒中安放牌号为GE-R318的石墨电刷，电刷的尺寸为 $19 \times (2 \times 22.25) \times 76.2$ 毫米，采用两分裂电刷的目的，是为了改善电刷的机械接触性能。当电刷高度用到30毫米时，必须更换同牌号的新电刷，以保持一定的电刷压力。为了便于保养和更换电刷，六个刷盒并不是沿集电环圆周均匀分布的，而是集中分布在上半个圆周上，这样只要打开端盖上方的视察窗盖，就可方便地检查和更换电刷了。运行时须保证刷盒底与集电环的距离为2.54~3.05毫米（0.10~0.12英寸）。

（三） 转子

凸极式转子由磁极铁芯、励磁绕组、转子支架、集电环和转轴等组成，如图13-7所示。

1. 磁极铁芯和励磁绕组

转子上共装有10个磁极，磁极铁芯用0.5毫米厚的DW360-50冷轧硅钢片冲制叠压后，通过两端的端板用螺栓紧固成一体，然后每个磁极用六个直径为31.6毫米的螺栓以180千克力·米（1300磅·英尺）左右的力矩紧固在转子磁轭上。由于转子旋转时磁极将产生很大的离心力，因此要求磁极螺栓具有足够的机械强度，更不允许出现松动。

励磁绕组由10个磁极线圈串联而成，每一个线圈用 1.6×34.93 毫米（ 0.063×1.375 英寸）扁铜线绕制45匝而成。匝间绝缘垫以一层0.25毫米Ceguín，对地绝缘只在励磁线圈的首、尾8匝

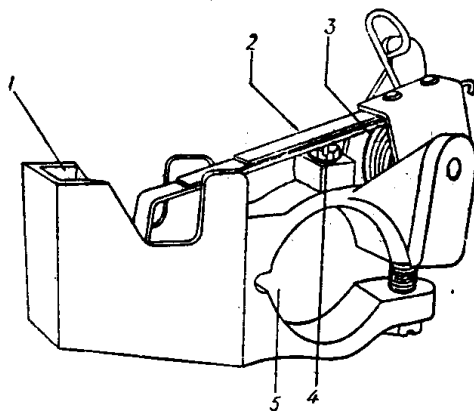


图13-6 牵引发电机刷握结构图

1——刷盒；2——压指；3——压力弹簧；
4——固定刷辫螺钉；5——刷杆孔。

包以0.1毫米玻璃粉云母带半叠包二次。外包绝缘用0.15毫米玻璃丝带半叠包一次组成，为F级绝缘，在25℃时的电阻值为0.18欧。

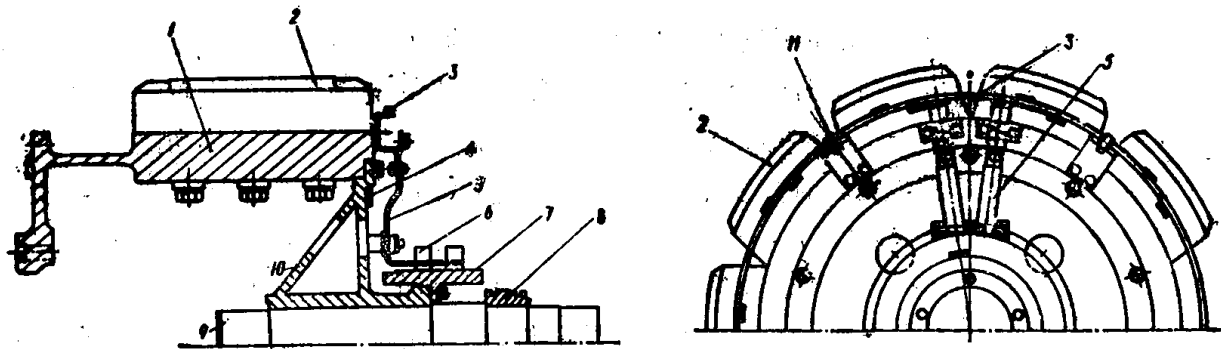


图13—7 牵引发电机的转子结构

1——磁轭；2——磁极和线圈；3——玻璃纤维支承环；4——平衡块；5——联接铜排；6——集电环；7——集电环座；8——轴承内侧压圈；9——轴；10——辐形支架；11——纤维环支撑及紧固件。

励磁线圈用裸铜线扁绕而成，线圈的两个端头分别焊到铜条连接片上，然后按图13—8依次用导线将各线圈的铜条连接片联接成串联电路。为了防止导线与铜条连接片间由于振动而松开，采用了一个用玻璃纤维制成的圆环，将联接线圈的铜条用玻璃布带绑扎在圆环上，该圆环则通过支撑和紧固件，固定在转子磁轭上（见图13—7）。串联联接后的励磁绕组两个端头，通过铜条分别接到两个相互绝缘的集电环上。

2. 转子支架

转子支架由磁轭1和辐形支架10组成（见图13—7）。磁轭不仅用来固定磁极，而且是磁路的一部分。辐形支架为轮辐形，用来固定磁轭，并形成电机的轴向风道。

磁轭是一个外径为868毫米（34.18英寸）的钢圆筒，10个磁极用螺栓紧固在圆筒上。磁轭的一端用10个螺栓与辐形支架相连接，构成完整的转子支架。由于转轴在发电机的传动端不外伸，柴油机输出轴的法兰只能与磁轭左侧的圆环相连接，以带动发电机转子旋转。

3. 集电环和转轴

集电环亦称滑环。它的功用是与电刷一起把直流励磁电流引入励磁绕组。集电环座7是加热后热套在辐形支架10上的，套上用五个均匀分布的螺栓固定，然后装上钢质集电环，两个集电环6之间及集电环与集电环座之间均须绝缘。集电环表面开有螺旋槽，以利散热。

发电机转轴长778.8毫米（30.65英寸），分成直径不等的六段。轴的右端装有滚柱轴承，轴承内侧装有压圈、密封环和毡油封，使轴承内的润滑油不致渗入牵引发电机内部。轴承外侧装有由发电机传动的辅助传动齿轮（装置参看图13—3），轴承采用辅助传动齿轮组件飞溅润滑，不需其他润滑剂。

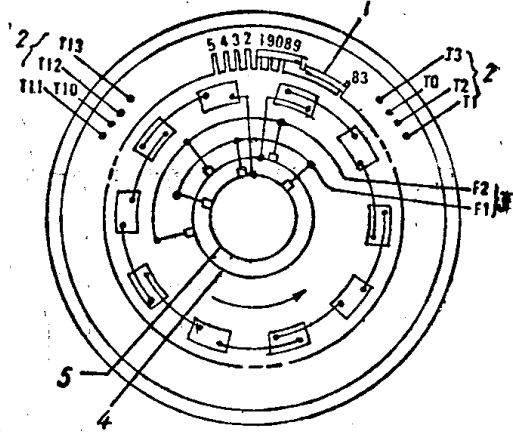


图13—8 牵引发电机接线图（辅助齿轮箱端视图）

1——定子线圈元件；2——定子双绕组引出线；3——励磁绕组引出线；4——外侧集电环；5——内侧集电环。

三、辅助传动齿轮装置和通风

辅助传动齿轮装置包括GA-29齿轮装置和惰轮组件两部分，位于牵引发电机前端盖的外侧，如图13—3所示。

GA—29齿轮装置是一个由牵引发电机的大齿轮驱动功率传递装置，用来驱动通风机。该装置由小齿轮、轴、两个轴承和一个法兰(端盖)组成，法兰的作用是把齿轮装置固定在牵引发电机的齿轮箱上。小齿轮直接与牵引发电机轴上的驱动齿轮啮合，其传动比为2.37/1。当牵引发电机由柴油机带动旋转时，发电机轴上的大齿轮即带动小齿轮转动，然后通过功率输出轴驱动通风机。

惰轮组件由惰轮、惰轮轴、滚珠轴承、挡板等组成。发电机的大齿轮通过惰轮、带动两个从动齿轮右面一个驱动辅助发电机，左面一个驱动励磁机。辅助传动齿轮的齿轮箱安装在发电机前端盖上，齿轮箱内加有2.84升低泡沫SAE-40柴油机机油。在齿轮箱右下方有一根油标尺，可检查传动齿轮箱的油位，该油标尺刻有“满”(FULL)和“添加”(ADD)字样，油位应保持在两刻度之间。加油不能过满，否则机油会通过发电机轴承进入集电环和绕组，易引起严重运行事故。

牵引发电机采用强迫通风的冷却方式，冷却空气经底架内粗滤器滤清后，从发电机机座非传动端底部进风口进入电机，然后分成两路，大部分冷却空气沿电机轴向吹过线圈和铁芯表面，从传动端侧面排入动力室；小部分冷却空气通过装在非传动端机座顶上的硅整流装置，冷却整流元件。

四、5GTA24A3型牵引发电机的工作特性

电机采用不同的励磁方式，将会得到不同的特性曲线。5GTA24A3型牵引发电机的直流励磁电流由专门的励磁机供电，为他励励磁，其原理如图13—2所示。决定发电机运行性能的物理量主要有四个，即端电压 U ，负载电流(电枢电流) I ，励磁电流 I_L 和旋转速度 n 。它们之间的关系即为发电机的工作特性，它表征一台发电机的工作性能，以供选用发电机时参考。例如用于内燃机车上的牵引发电机，除了它的额定参数必须与牵引电动机参数相匹配外，为了满足机车运行的需要，希望发电机有较大的电枢反应以获得下降的自然外特性；为了满足机车的限压要求，希望发电机有较小的电压调整率；为了限制发电机短路故障时的短路电流，希望发电机有较小的短路电流倍数。

电机的工作特性通过制造厂的出厂试验获得，5GTA24A3型牵引发电机在美国伊利工厂曾进行温升试验、空载特性试验、负载饱和试验、短路试验和损耗等试验，所以下面将分别介绍该电机的空载特性、短路特性、外特性、调整特性和效率特性。

(一) 空载特性

牵引发电机的空载特性是指发电机转速为额定转速，负载电流等于零时(即空载)，每相绕组的空载电势 E_0 与励磁电流 I_L 之间的关系。即 $n=n_N$ ， $I=0$ 时， $E_0=f(I_L)$ 的关系曲线。空载工况是发电机最简单的运行状态，通过它可了解发电机的电与磁的关系。

牵引发电机的空载电势为：

$$E_0 = 4.44 f w K_{RZ} \Phi_m \times 10^{-8} \text{ (伏)} \quad (13-4)$$

式中 E_0 ——牵引发电机的相空载电势(伏)；

f ——交流电势的频率(周/秒)。它与电机的极对数 p 和转速 n 成正比，表示式为

$$f = \frac{pn}{60} \text{ (赫)};$$

w ——定子绕组每相串联元件匝数;

K_{RZ} ——绕组系数;

Φ_m ——每极磁通最大值(韦)。

从上式可以看出,对于一台已经制造好的牵引发电机,匝数 w 、极对数 p 和绕组系数 K_{RZ} 是一个不变的数,又因发电机的转速恒定时,频率 f 也是不变的,所以空载电势 E_0 只与每极磁通最大值 Φ_m 成正比。磁通 Φ_m 与励磁电流 I_L 的关系,即为牵引发电机的磁化曲线,因此空载特性的形状与磁化曲线的形状相似。图13—9为5GTA24A3型牵引发电机在转速为1000转/分时的试验空载特性曲线。曲线纵坐标为每相空载电势的有效值,横坐标为直流励磁电流。

(二) 短路特性

5GTA24A3型牵引发电机短路试验时,通过开关将定子绕组端接T1、T2、T3和T11、T12、T13全部短接,发电机的端电压等于零,这时流过定子绕组的电流称为短路电流 I_K 。这种短路情况是三相稳态短路运行状态,与发电机的突然故障短路情况不一样。

短路特性是指电机转速等于额定转速、端电压等于零时,短路电流与励磁电流之间的关系,即 $n=1000$ 转/分、 $U=0$ 时, $I_K=f(I_L)$ 的关系曲线。

同步牵引发电机三相稳态短路时,由励磁电流产生的主磁场的磁势,主要用来抵消由短路电流所产生的电枢反应磁势。由于同步牵引发电机的电枢反应是起去磁作用的,所以电机磁路总是处于不饱和状态。磁路不饱和时,主磁势与励磁电流成正比,电枢反应磁势与短路电流成正比,因此励磁电流 I_L 与短路电流 I_K 成线性关系。图13—10为5GTA24A3型牵引发电机的短路特性(试验值),是一条直线。图中纵坐标为定子绕组6个端部所测交流电流的平均值,即相电流的平均值。横坐标为励磁电流。

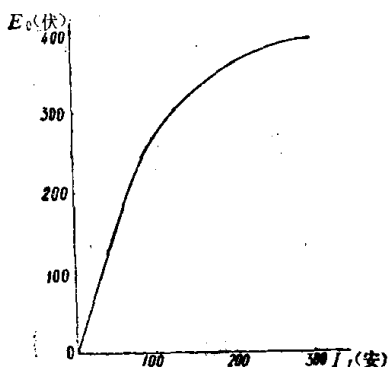


图13—9 牵引发电机的空载特性

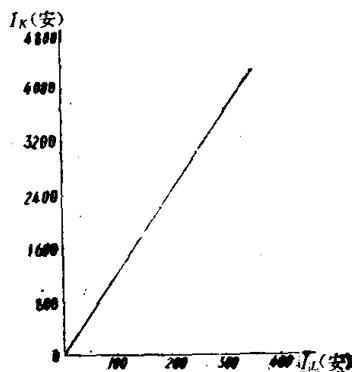


图13—10 牵引发电机的短路特性

(三) 外特性

牵引发电机的外特性是指发电机的转速一定、励磁电流一定的情况下,电机端电压随负载电流而变化的特性。即 $n=C$ 、 $I_L=C$ (C 为常数)时, $U=f(I)$ 的关系曲线。

图13—11为5GTA24A3型牵引发电机的外特性曲线。在实际应用中,外特性常用全波整流后的发电机直流电压 U_F 与直流电流 I_F 的关系来表示,即 $U_F=f(I_F)$ 。因此图中纵坐标为发电机整流后的

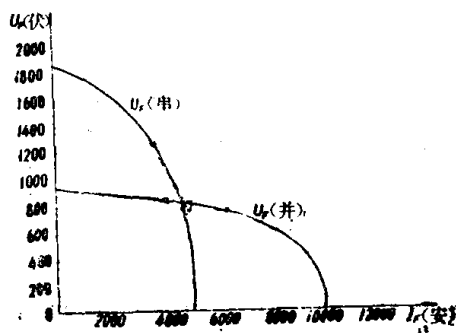


图13—11 牵引发电机的外特性

直流电压，横坐标为整流后的直流电流。曲线靠近纵坐标的一段为双星形定子绕组串联工况所得，右面一段则为改接成并联工况时所得。为了与人工调节后的外特性相区别，该特性又称自然外特性。

从图中可以看出，负载电流为零时，发电机的电压即为空载电势。电机有负载时，由于电枢反应的去磁效应和定子绕组的电阻压降、漏抗压降的作用，使发电机的端电压小于空载电势，曲线缓慢向下倾斜。随着负载电流的增大，电枢反应的去磁作用增强，端电压下降愈多，曲线下降也愈快。因为同步牵引发电机是有强电枢反应的电机，故其外特性是一条凸起的下降曲线。这种下降的特性对电机本身及机车上所用的电气装置起到一定的保护作用。如牵引电动机发生环火或短路故障时，发电机的短路电流将突然增加，从外特性曲线可以看出，随着短路电流的增大，发电机的端电压迅速下降，使短路电流不会超过9600安，不会损坏电机及其他电气装置。为此，设计时牵引发发电机的磁路是比较饱和的。

(四) 调整特性

牵引发发电机的调整特性是指电机转速和功率保持恒定时，发电机的励磁电流 I_L 和负载电流 I_F 之间的关系，即 $n=C$ 、 $P_2=C$ 时， $I_L=f(I_F)$ 的关系曲线。

图13—12为5GTA24A3型牵引发电机在 $n=1000$ 转/分时的调整特性曲线（试验值）。图中纵坐标为直流励磁电流，横坐标为发电机全波整流后的直流电流。曲线的前半段1为双星形定子绕组串联工况所得，后半段2为双星形并联时所得。

(五) 效率特性

牵引发发电机的效率可用下式表示

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \Sigma \Delta P}{P_1} \times 100\% \quad (13-5)$$

式中 η ——效率（%）；

P_1 和 P_2 ——分别为牵引发发电机的输入和输出功率（千瓦）；

$\Sigma \Delta P$ ——牵引发发电机的总损耗（千瓦）。它包括铜损耗、机械损耗、铁损耗和附加损耗。

发电机的效率特性是指电机转速保持恒定时，发电机的效率和负载电流之间的关系，即 $n=1000$ 转/分时， $\eta=f(I_F)$ 的关系曲线。

图13—13为5GTA24A3型牵引发发电机的效率特性（试验值）。图中曲线段1为发电机双星形定子绕组串联工况所得，曲线段2为双星形并联工况所得。横坐标为经整流后的直流电流值。

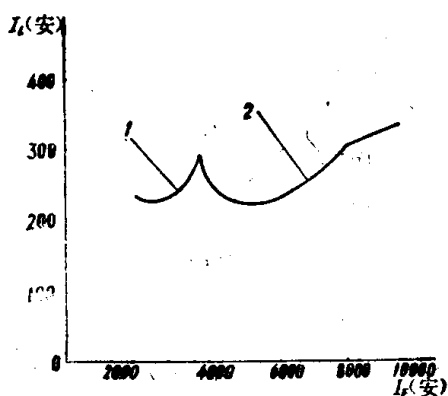


图13—12 牵引发发电机的调整特性

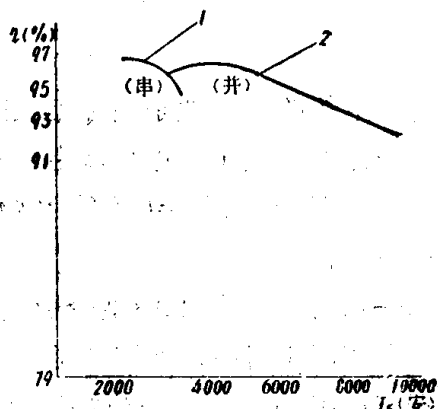


图13—13 牵引发发电机的效率特性

第二节 5GE752AF8型直流牵引电动机

ND₅型内燃机车上装有六台5GE752AF8型直流牵引电动机。它是四极串励直流电动机，抱轴式悬挂，强迫通风冷却。六台牵引电动机为固定的并联联接，从牵引发电机获得电能并转换成机械能后，通过齿轮传动装置，驱动机车动轮前进。

当机车采用电阻制动时，直流牵引电动机改接成他励发电机工况运行。这时电机由轮对驱动，将列车的动能转换成电能，通过制动电阻，以热能的形式散发到大气中。这时牵引电动机轴上的反转矩作用于机车动轮，从而产生制动力。

直流串励电动机的优点是可以在宽广的范围内实现无级稳定调速，起动转矩较大，适宜用于带负载起动以及需要经常调速和反转的场合。直流牵引电动机的最大弱点是有电流换向问题，换向器结构复杂，容易发生故障，维护检修工作量大。

牵引电动机悬挂在机车车体外部的下方，工作条件比较特殊，具有下列特点：

1. 空间小

牵引电动机悬挂在机车转向架上，能够安放电机的空间尺寸受到很大限制，其轴向尺寸受到轨距1435毫米限制，径向尺寸受到机车动轮直径1050毫米的限制。电动机的功率愈大，矛盾愈加突出。所以要求牵引电动机的结构必须紧凑。

2. 冲击大

对抱轴式悬挂的牵引电动机来说，线路对机车的动力作用将直接传给牵引电动机。例如机车经过道岔和钢轨接缝处时，牵引电动机会受到很大的冲击和振动。这不但使电动机的换向恶化，而且容易使电机的零部件损坏、紧固件松动。

3. 环境差

牵引电动机悬挂在车体下，四周环境条件恶劣，直接受风砂、雨雪、潮气的侵袭。

4. 换向难

牵引电动机换向比普通直流电机换向困难，其原因是多方面的。首先是机械动力使电机受到冲击和振动。其次是机车运行时，电动机须经常起动、过载、制动，而且负载变化较大。另外，对于采取磁场削弱进行调速的牵引电动机来说，深度的磁场削弱将使主磁场产生严重畸变。所有这些都将使牵引电动机在电刷和换向器间产生火花，甚至产生环火。

5. 温升高

由于安放牵引电动机的空间尺寸受到限制，所以要求牵引电动机的结构尺寸减小，为此不得不提高电机的电磁负荷，使电机的发热因素加大，电机温升提高。因此牵引电动机一般都采用强迫通风冷却，以改善电机的散热条件。GE752型牵引电动机是既可用于内燃机车也可用于电力机车的通用电机。表13-3所示为该型电机用于ND₅型内燃机车时的主要参数，当用于电力机车时，额定参数（额定功率等）比表中所示值要高得多。另外表中电机型号为第一批机车上牵引电动机的型号，第二批机车上牵引电动机的型号为5GE752AF15，主要参数未变。

一、牵引电动机的传动和悬挂装置

ND₅型内燃机车采用由一台牵引电动机驱动一个动轮轴的个别传动方式。与组合传动相比较，个别传动的优点是：当某一台牵引电动机发生故障时，可以单独切除该电机，所以目前广泛应用。

5GE752AF8型牵引电动机的主要参数

表 13—3

电 机 型 号	5GE752AF8	磁极线圈外圈 (毫米)	10.16×28.8
电机类型	直流电动机	主极气隙 (毫米)	5
额定功率 (千瓦)	400	换向器直径 (毫米)	422.3
额定电压 (伏)	375	换向器片数	184
额定电流 (安)	1180	换向器片间云母厚 (毫米)	1.52
额定转速 (转/分)	463	电刷牌号	GE-T900
额定转矩 (千克力·米)	8360	电刷型式	带有橡胶垫的两分裂电刷
最大电压 (伏)	1340	电刷尺寸 (长×宽×高)(毫米)	57×(2×9.5)×70
最大电流 (安)	1600	电刷电流密度 (安/厘米 ²)	18.4
最大允许转速 (转/分)	2445	电刷压力 (千克力)	3.6~4.5
额定效率 (%)	90	换向极线圈匝数	15
极 对 数	2	换向极线圈线规 (毫米)	8.763×31.75
励磁方式	串励	换向极气隙 (毫米)	8.96
绝缘等级	H	换向极第二气隙 (毫米)	4.4
通风方式	强迫通风	平均片间电压 (伏)	28
额定风量 (米 ³ /分)	69	最大片间电压 (伏)	45
传动方式	个别传动, 单边	电枢绕组电阻 (欧)	
悬挂方式	抱轴式悬挂	25℃时	0.007887
工作制	连续	115℃时	0.010623
电枢直径 (毫米)	489	主极绕组电阻 (欧)	
电枢铁芯长度 (毫米)	384	25℃时	0.005404
槽 数	46	115℃时	0.007279
电枢绕组型式	单叠绕组	换向极绕组电阻 (欧)	
每槽元件数	4	25℃时	0.004721
电枢绕组第一节距 (虚槽)	1~45	115℃时	0.006358
电枢绕组导体线规 (毫米)	3.51×6.05	电刷电阻 (欧)	0.001975
电枢绕组并联支路数	4	电枢绕组温升 (℃)	146
均 压 线	全均压	主极绕组温升 (℃)	161.3
均压线线规 (毫米)	φ2.3/2.66	换向极绕组温升 (℃)	118.4
均压线换向器节距 (片)	1~93	电枢重量 (千克)	931
磁极线圈匝数	14	电机重量 (千克)	3269
磁极线圈线规 (毫米)	9.347×28.2		

5GE752AF8型牵引电动机采用抱轴式悬挂,图13—14中牵引电动机(1)的一侧通过机座的抱轴轴承5支承在车轴6上,而电机的另一侧通过弹性吊挂装置2吊挂在机车转向架构架的横梁上。因此,牵引电动机约有一半重量为簧下部分重量,另一半重量为簧上部分重量。这种悬挂方式的优点是结构简单,制造方便,工作可靠。但因这时牵引电动机的簧下重量直接传到车轴上,电动机将不断受到冲击和振动,特别是当机车通过钢轨的接缝和道岔时,使电动机的工作条件更为不利。因此一般来说当机车速度大于110公里/小时,就不适宜采用抱轴式悬挂。

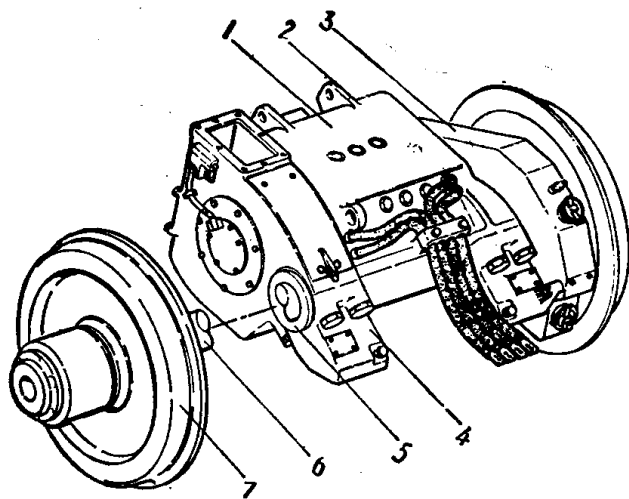


图13—14 5GE752AF8型牵引电动机的悬挂图

1——牵引电动机; 2——牵引电动机吊挂装置;
3——齿轮箱; 4——抱轴轴承油箱; 5——抱轴轴承; 6——车轴; 7——车轮。

在上、下可以开启的齿轮箱中安放牵引电动机的小齿轮和车轴上的大齿轮组成的减速齿轮装置,大、小齿轮的齿数分别

为82和21,通过相互啮合的大、小齿轮,将牵引电动机的转矩变成轮对上的牵引力。由于大、小齿轮的齿形偏差将直接影响转矩的平稳传递,所以,必须定期检查齿厚的磨损量和测量齿形的偏差值,以确定是否能继续使用。所谓齿形偏差是指轮齿磨损后,使其与相配合齿轮啮合齿面的原有形状发生的变化。当大、小齿轮的偏差小于或等于0.20毫米(0.008英寸)时,齿轮可以继续使用,偏差大于0.35毫米(0.015英寸)时,齿轮不准使用。如果偏差介于0.20~0.35毫米之间,可以由用户根据自己的保养记录和运行经验,决定齿轮是否准予继续使用。

齿轮传动装置采用D50E8C机油进行润滑,齿轮箱内的机油不能装得太满,以免机油进入电枢轴承与轴承润滑脂混合,造成电枢轴承损坏。为此,在齿轮箱的下半箱体上开有一个较低的加油口,使过量的机油可从此加油口溢出。同时,油位也不得低于加油口底部25.4毫米(1英寸)。

二、5GE752AF8型牵引电动机的结构

5GE752AF8型牵引电动机的结构示于图13—15它由定子,转子和空气隙三部分组成。定子部分包括机座1、主极铁芯2、主极绕组3、换向极铁芯28、换向极绕组27、电刷装置25和飞弧环24等部件。转子部分包括电枢轴18、电枢铁芯19、电枢绕组21、电枢压环,换向器22、滚柱轴承等部件。

(一) 结构特点

5GE752AF8型牵引电动机重量较轻(3269千克),转矩较大(8360千克力·米),调速范围广(调速比达5.32)。在ND₅型内燃机车速度为22.2~118公里/小时范围内,具有保持恒功率的良好特性。在电机结构方面,具有如下特点:

1. 重量轻

机座采用钢板焊接结构,比钢铸件的重量轻。

电枢绕组和定子上的主极绕组、换向极绕组均采用较高级的H级绝缘。根据国内外的制造