

东风₄型内燃机车结构和原理

(修订本)

下 册

刘达德 朱志英 沈祥林 曹福南 蒋影斐
张世芳 张 鑫 杨建林 陆冠东 李占杰 合 编

中 国 铁 道 出 版 社

1985年·北京

内 容 提 要

全书分上、下两册出版。上册主要介绍了东风₄型内燃机车的总体结构、布置、机车的牵引经济性能；机车及其主要零部件的技术参数和一些重要的技术指标的分析。着重介绍了16240ZA型和16240ZB型柴油机各组成部分的结构和工作原理。此外，对柴油机的配气机构动力学、增压问题、燃烧理论和调速器的控制原理均有较详细的分析。

下册着重介绍了东风₄型内燃机车交—直流电力传动装置的工作原理；对各种牵引电机、牵引电器的构造、作用、性能均作了系统的分析。另外，对内燃机车各式车体、转向架的构造、作用均作了介绍与分析；并对消减内燃机车噪声的理论和措施，某些机车动力学问题作了阐述。此外，对东风₄型内燃机车辅助装置、空气制动机的特点也作了介绍。

本书可供从事内燃机车设计、制造、检修、运用等方面的人员及有关院校师生参考。

东风₄型内燃机车结构和原理

(第二版)

下 册

刘达德 朱志英 沈祥林等合编

中国铁道出版社出版、发行

责任编辑 杨宾华 封面设计 翟 达

中国铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092毫米 1/32 印张：20.75 插页：3 字数：493 千

1981年8月 第1版 1983年9月 第2版

1986年12月 第2版 第5次印刷

印数：19,501—34,500册 定价：3.50元

目 录

第三篇 东风4型内燃机车电传动装置

第十三章 电传动装置概述	1
第一节 内燃机车电力传动装置	1
第二节 东风 ₄ 型内燃机车电力传动装置概述	3
第十四章 电机	7
第一节 东风 ₄ 型内燃机车电机	7
第二节 同步牵引发电机	10
第三节 牵引电动机	26
第四节 启动发电机	57
第五节 同步牵引励磁机	60
第十五章 电器	64
第一节 概述	64
第二节 接触器	68
第三节 组合式控制电器	72
第四节 继电器	79
第五节 无触点及晶体管电器	86
第六节 汞氙灯及仪表	108
第七节 电阻器	114
第八节 熔断器与自动开关	118
第九节 电器的整体布置	120
第十节 硅整流柜	124
第十六章 东风 ₄ 型内燃机车电力传动工作原理	126
第一节 东风 ₄ 型内燃机车主电路	126
第二节 同步牵引发电机的励磁调节	137
第三节 牵引电动机的磁场削弱	150
第四节 牵引特性和主要参数	157
第五节 电阻制动	163
第十七章 东风 ₄ 型内燃机车电路图	168
第一节 概述	168
第二节 主电路	175
第三节 启动辅助发电机、同步牵引发电机和同步励磁机的励磁电路	176
第四节 牵引电动机磁场削弱自动过渡控制电路	179
第五节 控制电路	181
第六节 保护电路及信号显示电路	191
第七节 辅助电路	197
第十八章 水阻试验和试运行	202

第一节	水阻试验前的准备	
第二节	空载试验	
第三节	保护装置的试验	
第四节	负载试验（同步牵引发电机外特性调整）	205
第五节	试运行	20

第四篇 车体和转向架

第十九章	机车车体	209
第一节	内燃机车车体概述	209
第二节	东风 ₄ 型内燃机车车体	214
第三节	内燃机车噪声的控制与减弱	219
第四节	车体隔热、通风和采光	231
第五节	司机室设备	233
第二十章	转向架	236
第一节	转向架概述	236
第二节	轮对	238
第三节	轴箱	241
第四节	牵引电动机悬挂装置	245
第五节	构架	248
第六节	旁承	250
第七节	牵引杆装置	252
第八节	弹簧悬挂装置	255
第九节	基础制动装置	263
第十节	机车轴重转移	267
第十一节	机车的动力性能	271
第十二节	机车能通过的最小曲线半径	276

第五篇 辅助装置

第二十一章	东风 ₄ 型内燃机车的辅助传动装置	280
第一节	辅助机械传动装置	282
第二节	机械传动装置的主要部件	285
第三节	静液压传动装置	291
第四节	静液压系统	295
第五节	静液压系统的主要部件	297
第六节	牵引电动机通风机	30
第二十二章	空气制动系统	308
第一节	EL—14改型空气制动系统	308
第二节	JZ—7型空气制动系统	312
第二十三章	撒砂和风动装置供风系统	315
第一节	撒砂系统	315
第二节	风动装置供风系统	315
附录	DLJ6-05-01-002-8电路图	316

第三篇 东风₄型内燃机车电传动装置

第十三章 电传动装置概述

第一节 内燃机车电力传动装置

内燃机车通常都是用柴油机作为动力的。由于柴油机的特性不能符合机车牵引性能的要求，因此从柴油机曲轴到机车动轴之间需要一个中间环节，即传动装置。不管是机械传动、液力传动，还是电力传动，它们所需要完成的任务是一致的，即完成机车柴油机到轮对之间功率的理想传递。传动装置的输入端直接和柴油机曲轴相连，要能适应柴油机工作特性的需要；输出端则通过驱动装置驱动机车的轮对，要能满足机车理想牵引特性的要求。

采用电力传动装置的内燃机车，具有下列特点：

1. 机车的牵引力和运行速度都有一个比较宽广的变化范围，能满足列车运行的要求。
2. 在一个较大的机车速度范围内，柴油机都始终在额定工况下工作，即柴油机的功率能够得到充分发挥和利用。
3. 当内燃机车在部分工况下工作时，采用适当的调节系统，可使柴油机在接近经济特性的区域工作，达到省油的目的。
4. 由于牵引电动机具有短时间的过载能力，因此机车的牵引力可以在短时间内超过额定电流限制的牵引力值。在机车起动时，有可能充分利用机车的粘着重量。
5. 电力传动装置本身的传动效率较高，工作比较可靠。

采用电力传动装置的内燃机车，缺点是机车的重量较大，尤其是簧下重量大；传动装置的用铜量较多；但随着科学技术的发展，这方面的不足之处正在逐步克服。

内燃机车电力传动装置有两个主要部件，即牵引发电机和牵引电动机。目前根据所用牵引发电机和牵引电动机的电流制的不同，电力传动装置可分为下列几种类型：

一、直-直流电力传动装置

东风型、东风₂型以及ND₂型内燃机车均为直-直流电力传动的内燃机车。图13—1为直-直流电力传动的示意图。柴油机直接驱动一台直流牵引发电机。牵引发电机把柴油机的机械能转变成直流电能，供给六台直流牵引电动机使用。六台牵引电动机再把电能转变成机械能，并通过减速齿轮驱动机车的轮对。

六十年代以后，随着柴油机制造水平的提高，柴油机的转速和单机功率也不断增加。目前，机车柴油机的单机最大功率已超过4000马力。由于大功率直流牵引发电机受到换向条件和机车限界尺寸的限制，制造功率大

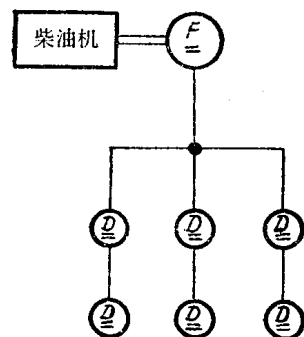


图13—1 直-直流电力传动装置示意图

于3000马力的直-直流电力传动装置已很困难。

二、交-直流电力传动装置

采用交-直流电力传动装置是在半导体技术飞速发展,大功率硅整流器出现以后才成为可能的。六十年代以来,在大功率的内燃机车上,世界各国已普遍采用交-直流电力传动装置。东风₄型、东风₅型、ND₄型内燃机车采用的都是交-直流电力传动装置(图13—2)。柴油机直接驱动一台同步牵引发电机。同步牵引发电机发出的三相交流电,经过大功率的硅整流装置以后,整流为直流电,以供给六台直流牵引电动机使用。

同步牵引发电机与直流牵引发电机相比,由于同步发电机没有换向器,所以结构简单、省铜、重量较轻、运行可靠、维护方便。如东风₄型内燃机车的TQFR-3000型同步牵引发电机,容量为2985千伏安,电机总重为4850公斤。

而东风型机车所用的ZQFR-1350型直流牵引发电机,功率为1350千瓦,电机重达8600公斤。两者相比,交流同步发电机功率增加一倍以上,但重量几乎减轻一半。

在交-直流电力传动装置中,同步牵引发电机加上硅整流装置,就相当于直-直流电力传动装置中的直流牵引发电机。但是同步牵引发电机不会像直流牵引发电机那样受到换向条件的限制。

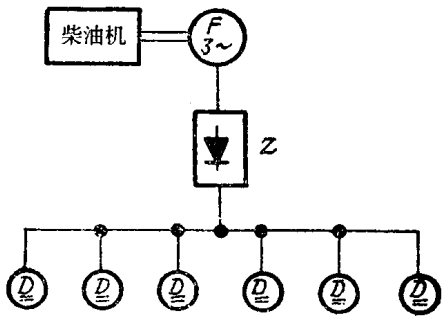


图13—2 交-直流电力传动装置示意图

三、交-直-交流电力传动

具有直流环节的间接变频的交流电力传动装置,称为交-直-交电力传动装置(图13—3)。柴油机直接驱动一台同步牵引发电机。同步牵引发电机发出来的三相交流电,经过硅整流装置Z,把三相交流电转变成直流电,再经过可控硅逆变装置N,把直流电转变成所需可变频率的三相交流电,以供给各个交流牵引电动机使用。逆变装置可以是独立的,也可以是组合的。经过逆变后的三相交流电的频率和同步牵引发电机三相交流电的频率并无直接关系。

交流牵引电动机结构简单、运用可靠、外形尺寸小,为内燃机车的大功率和高速度创造了条件。

目前国内外对内燃机车采用交-直-交流电力传动装置仍处在科研、试用阶段。

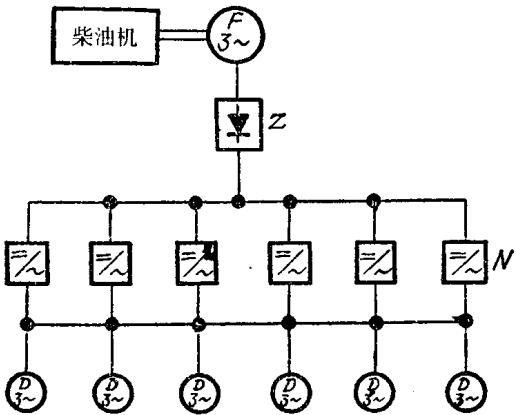


图13—3 交-直-交流电力传动装置示意图

四、交-交流电力传动装置

没有中间直流环节的直接变频的交流电力传动装置，称为交-交流电力传动装置（图13-4）。柴油机直接驱动一台同步牵引发发电机。同步牵引发发电机发出的三相交流电，送给一个或数个变频装置BP后，直接成为三相变频电源，供给交流牵引电动机用电。

目前交-交流电力传动装置尚在探索阶段。

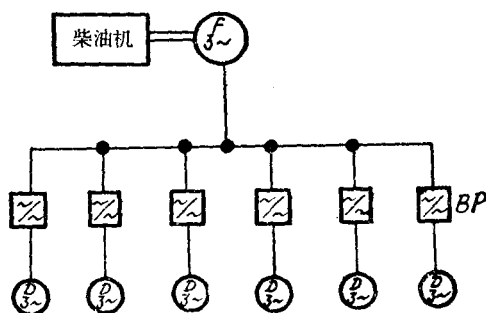


图13-4 交-交流电力传动装置示意图

第二节 东风₄型内燃机车电力传动装置概述

东风₄型内燃机车采用的是交-直流电力传动装置，它自1974年正式批量生产以来，目前已在许多区段担当着客、货运输任务，在铁路运输事业中发挥着一定的作用。同时大连机车车辆工厂又根据生产情况和运用中积累的经验，不断对它作了某些改进。从电力传动装置的角度来看，主电路部分，即同步牵引发发电机、硅整流装置、牵引电动机以及主电路线路等部分变化甚小；励磁电路、电压调整器、过渡继电器等半导体电器的变化较多；控制电路，照明电路以及一般电器和其它辅助电气设备也略有改变。本书主要以介绍近期生产的内燃机车中的电气设备和线路为主要对象，也适当介绍一些采用过的，而且目前尚在部分机车上使用的设备和线路。机车电路图采用大连机车车辆工厂的DLJ-05-01-001-7（主电路及辅助设备电路）和DLJ-05-01-002-7（控制电路和照明电路）电气线路图，简称为7号电路图。

图13-5为东风₄型内燃机车的主电路图。

牵引发发电机是三相交流同步发电机，型号为TQFR-3000型。牵引发发电机通过半刚性联轴节与柴油机曲轴相连，构成动力机组，安装在动力室中央。牵引发发电机发出的三相交流电，经过硅整流装置1ZL整流后，供给直流牵引电动机以驱动机车。硅整流装置是由三十六个硅整流管所组成的三相桥式整流电路。整流元件型号为2CZ500/1200P型风冷平板式。在东风₄型内燃机车上，柴油机-牵引发发电机-硅整流装置完成了将柴油机的机械能转变为直流电能的任务。由于同步牵引发发电机输出的交流电压、交流电流和硅整流装置输出的直流电压、直流电流分别有一固定的比例关系（详见第十六章第一节），并且考虑到机车在实际使用中，是以直流输出为标准的，因此本书中一般在不加说明时，主电路的电压和电流均指硅整流装置的直流输出电压和电流。

经硅整流装置整流后的直流电源，通过电空接触器1C~6C供给六台并联的直流牵引电动机。牵引电动机的型号为ZQDR-410型。牵引电动机采用全并联的形式，是大功率电力传动内燃机车的一个特点。它有利于防止轮对的空转，粘着重量利用好；此外，在个别牵引电动机发生故障时，机车牵引力也不致明显降低。但全并联的主电路，支路较多，因此主接触器、磁场削弱接触器，以及其它有关电器的数量也就相应增多。

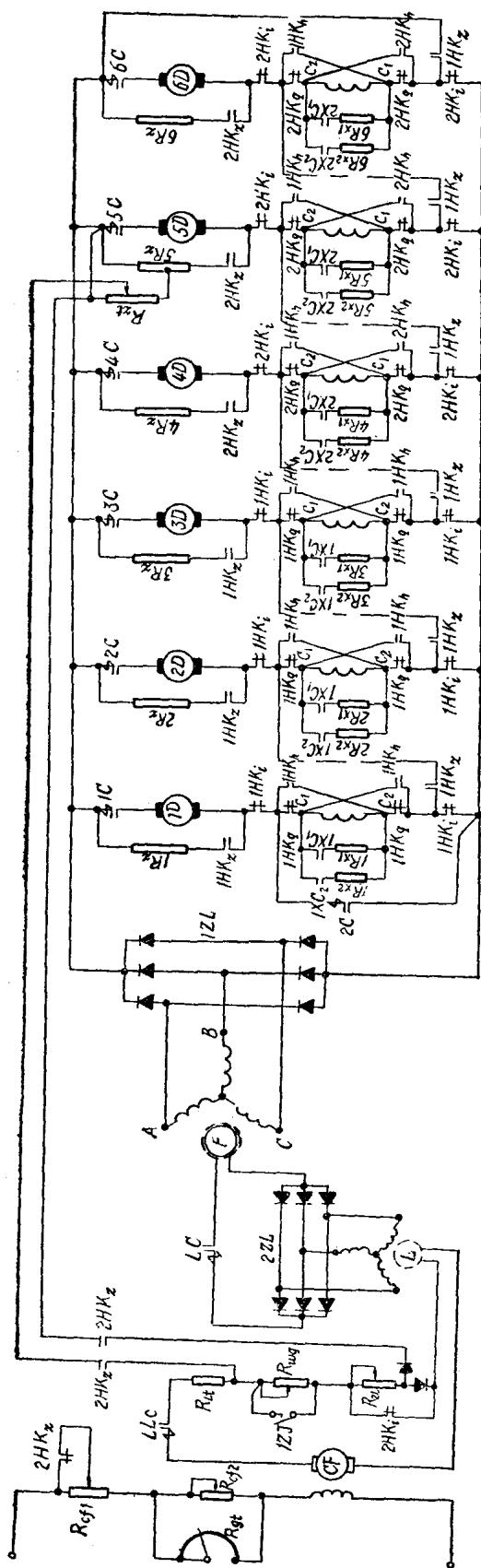


图13-5 东风型内燃机车主电路

F——牵引发电机，1D~6D——牵引电动机，L——励磁机，CF——测速发电机，1C~6C——电空接触器，1HK~2HK——转换开关（i：牵引，z：制动，q：前进，h：后退），1XC~2XC——励磁削弱组合接触器，1RX~6RX——磁场削弱电阻，LC——励磁接触器，LLC——励磁机励磁接触器，1ZL——主整流柜，2ZL——励磁整流柜，1Rz~6Rz——制动电阻，R₁——电阻制动反馈电阻，R₁₁——他励电阻，R₁₂——平穩启动电阻，R₁₃——电阻制动励磁电阻，R₁₄——联合调节器励磁电阻，R₁₅~R₁₈——测速发电机励磁电阻。

东风₄型内燃机车牵引电动机在转向架上采用顺置排列。顺置排列的牵引电动机可减轻机车在运行时的轴重转移现象。

柴油机在同步牵引发发电机的一端，还通过万向联轴节与启动变速箱连接，从而驱动启动发电机、励磁机和测速发电机。

启动发电机为直流发电机，型号为ZQF-80型。在交-直流电力传动的内燃机车上，由于同步牵引发发电机不能完成启动柴油机的任务，因此柴油机的启动由启动发电机来承担。当柴油机启动时，启动发电机由蓄电池供电，作为电动机使用，并通过变速箱带动柴油机转动。柴油机正常运转后，启动发电机即作为辅助发电机，通过电压调整器的调整，使输出电压保持为 110 ± 2.5 伏，向机车各辅助电机、控制电路、照明电路、测速发电机励磁电路等供电，同时对蓄电池充电。

2、励磁机为三相同步发电机，型号为TQL-45型，它是一台普通的交流发电机。励磁机的励磁电流由测速发电机供给。励磁机的输出电流经过三相桥式整流装置2ZL整流后，供给同步牵引发发电机励磁绕组。

东风₄型内燃机车上的励磁电路、半导体电器、控制电路等方面的变化都可从其历次改进的机车电气线路图上来说明。按图号DLJ-05-01-001-05和DLJ-05-01-002-05电气线路图生产的内燃机车（货运0026号车开始、客运2032号车开始）与按此以前图纸生产的内燃机车在电气线路上有较大的不同*，其主要变化为：

1. 改变了恒功率调节系统的方案，取消了恒功率调节系统中的可控硅励磁调节器和联合调节器上的功调开关。改用液压伺服马达控制功调电阻的恒功率调节方案。原来由辅助发电机供电的励磁机的励磁电流，改为由测速发电机供电（图13—5）。测速发电机也改用Z2-12型直流电机（0.6千瓦），替代了原ZCF-14型（0.24千瓦）直流电机。
2. 取消了可控硅电压调整器中的多谐振荡器和功率放大器环节，改为使用单管逆变器的振荡电路。
3. 取消了启动发电机的故障励磁工况，改用固定发电工况。
4. 改变了对牵引电动机磁场削弱的控制信号。原来的过渡继电器是用主电路的电压和电流作为控制信号的，改变后的过渡继电器则是用机车的速度作为控制信号。
5. 改变了启动发电机的过电压保护电路，取消了原来的过电压保护装置。
6. 由于在改进的励磁系统中，取消了可控硅的励磁调节器，因而电阻制动电路也作了较大的变化。

从—5号电路图以后，不同图号的电路图都作了些改进，但变化都是局部的、少量的。大致情况如表13—1所示。

最后，在我们详细讨论东风₄型内燃机车的电力传动装置前，还有两点情况必须加以说明。

1. 东风₄型内燃机车的牵引热工性能试验是1974年8月在东风₄型0001号机车上完成的。该车的电气部分与目前生产内燃机车的电气部分有不少的差别，但经过逐步改进的东风₄型内燃机车并没有进行过系统的全面试验。

我们在叙述有关电传动各部分的原理和结构时，仍须用到东风₄型0001号机车牵引热工性能试验中的很多资料。这些资料中的数据和特性与目前生产的机车可能会有些出入。对已作过明显改动的部分，我们将在有关章节中加以注明。

*除货运0011号车，客运2027号车以外。

东风₄型内燃机车电路图变化情况*（供参考）

表13—1

序号	图 号	变 化 内 容	生产机车
一	DLJ6-05-01-001-5 DLJ6-05-01-002-5 (共二张)	1. 励磁用油马达可变电阻器, 取消电触点与可控硅励磁; 2. 逆变器改用单管, 取消多谐振荡器; 3. 过渡控制用轮对速度信号; 4. 取消专门的故障励磁, 而采用油马达全电阻接入方式; 5. 过电压保护采用故障发电接触器线圈串联电阻后, 接至电压调整器的主可控硅阳极; 6. 故障发电分1~4位、5~8位、9~12位、13~16位四级;	0026~0061
二	DLJ6-05-01-001-5a DLJ6-05-01-002-5a (共二张)	1. 过电压保护改用空转继电器与充电电阻并联的方式; 2. 故障发电又改成分级; 3. 空气压缩机电动机由并励改为他励; 4. 启动发电机励磁电流从充电电阻后面引出; 5. 其它同一。	0062~0078; 0085~0086。
三	DLJ6-05-01-001-5a DLJ6-05-01-002-5a DLJ6-05-01-003-5a (过渡) (共三张)	1. 过渡仍用轮对速度信号, 但为了防止速度表二极管损坏, 把电桥线路改为电位转移方式; 2. 其它同二。	0087; 0089~0096; 0098。
四	DLJ6-05-01-001-6a DLJ6-05-01-002-6a (共二张)	1. 电器柜与外部联线改为插销形式; 2. 其它同三。	0088
五	DLJ6-05-01-001-6 DLJ6-05-01-002-6 (共二张)	1. 电器柜采用新结构, 把电压调整器与过渡控制安置在电器柜内; 2. 燃油泵由二个改为一个; 3. 其它同三。	0097; 0099~0169。
六	DLJ6-05-01-001-7 DLJ6-05-01-002-7 (共二张)	1. 信号灯加附加电阻, 经常暗亮, 显示时线路全亮; 2. 接地检测灯接线方式改变; 3. 取消励磁柜通风机, 采用500A元件; 4. 信号灯电源改为12伏; 5. 将电压调整器的逆变器取消; 6. 司机室左右风扇用一个开关控制。	0177~0217; 0219~0222。
七	DLJ6-05-01-001-7a	励磁整流柜采用200A带通风机, 其它与六同, 但电压调整器与五同。	0170~0176
八	DLJ6-05-01-001-7 DLJ6-05-01-002-7 DLJ6-05-01-003-7 (共三张)	1. 过渡控制采用全N-P-N管的抗干扰线路。 2. 其它同六。	0218; 0223以后

* 1. 本表未列出较早期的各种图号的电气线路图, 因按这些电路生产的机车在返厂修理时, 均作了改装, 故毋需赘述。
2. 图号相同的图纸, 其电气线路完全相同。

同样, 对引用大连机车车辆工厂和其它工厂的一些设计计算资料时, 也作相同的处理。

2. 东风₄型内燃机车电气线路图中的某些环节在机车上并未装设。如电阻制动、柴油机增压器防喘装置(差示压力计2CS)等。特别是电阻制动电路, 仅在东风₄型0001号机车上装置过, 并且还进行了性能试验, 在以后生产的内燃机车上均未装设。但为了完整起见, 对这些内容也将作一些简单介绍, 以供读者参考。

第十四章 电 机

第一节 东风₄型内燃机车电机

东风₄型内燃机车上共装有32台电机^{*}，其中除同步牵引发发电机、牵引励磁机和三台测速发电机为交流电机外，其余都是直流电机。这些电机归纳起来大致有如下三种类型：第一类为机车上的专用电机，它们是根据内燃机车电传动的性能与机车结构上的特殊要求而专门设计的。它包括牵引发发电机、牵引电动机、牵引励磁机以及启动发电机；第二类为系列产品的通用电机，如空气压缩机电动机、启动机油泵电动机、燃油泵电动机等；第三类为微型电机，这些电机功率较小。如车体通风机电动机、整流柜冷却风扇电动机、司机室风扇电动机、热风机电动机、各种测速发电机等。本章仅对内燃机车专用电机的原理与结构进行介绍。其它电机的主要额定参数，可见本节表14—1。

牵引发发电机、牵引电动机、牵引励磁机和启动发电机是内燃机车电力传动装置的主要组成部分，并以这些电机为核心组成机车的主电路和励磁电路，如图13—5所示。

牵引发发电机是一台三相交流同步发电机，它由柴油机直接驱动。由图可以看到，它所发出的三相交流电，在经硅整流装置整流后，向六台并联连接的直流牵引电动机供电。因此加到每一台牵引电动机上的电压是牵引发发电机经整流后的全部电压。通过牵引电动机的电流是牵引发发电机经整流后的六分之一输出电流。

牵引电动机为直流串励电机。在主电路中，前面三台牵引电动机的励磁绕组和后面三台牵引电动机的励磁绕组的接线方向是相反的，即1D~3D励磁绕组的接法是由C₁到C₂，而4D~6D励磁绕组的接法是由C₂到C₁。这是由于牵引电动机在转向架上的安装方式所确定的。图14—1为牵引电动机在转向架上的安装方式。由于前转向架上的三台牵引电动机和后转向架上的三台牵引电动机的安装方向相反。因此，必须使牵引电动机4D~6D的转向和1D~3D的转向方向相反（从小齿轮端看），才能保证前、后转向架按同一方向运动。

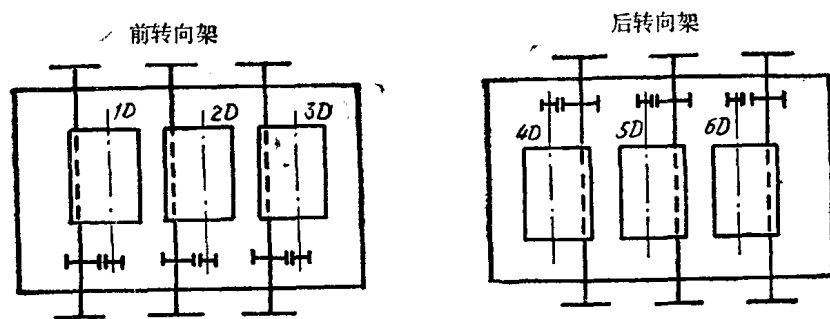


图14—1 东风₄型内燃机车牵引电动机安装示意图

^{*}指没有装置电阻制动的内燃机车。否则，还应加上两台制动电阻柜的通风机电动机。

在装有电阻制动的机车上，牵引电动机有两种不同的功用。在牵引工况时，它是一台直流串励电动机，为驱动机车的动力。在制动工况时，它成为一台直流他励发电机，把轮对的机械能转变成电能消耗在制动电阻上，产生机车的制动转矩。

启动发电机在机车上有两个用途，一是作为机车上的辅助发电机，供应 110 伏的直流电源；另一个用途是启动柴油机。它通过启动变速箱与柴油机-发电机组相连。启动柴油机时，它为串励电动机工况，由蓄电池供电，经启动变速箱带动柴油机转动。当柴油机启动完成后，它即转为他励发电机工况，发出110伏直流电，供给机车的辅助设备、控制电路、蓄电池充电及照明设备等用电。

牵引发发电机的励磁由一台专用的励磁机供电，它是一台三相交流发电机，由柴油机经变速箱驱动，发出三相交流电，经励磁硅整流装置，把交流电变成直流电，向牵引发发电机的励磁绕组供电。

东风₄型内燃机车电机一览表

表14—1

序号	名 称	符 号	电 机 型 号	主 要 额 定 参 数	数量
1	牵引发发电机	F	同步牵引发发电机 TQFR-3000	容量：2985千伏安 电压：438/613伏 电流：3936/2805安 转速：1100转/分 频率：165赫芝 励磁方式：他励	1
2	牵引电动机	D	直流牵引电动机 ZQDR-410	功率：410千瓦 电压：550/770伏 电流：800/570安 转速：640转/分 励磁方式：串励	6
3	启动发电机	QD	启动发电机 ZQF-80	功率：80千瓦 电压：110伏 电流：728安 转速：2684/1220转/分* 励磁方式：发电机工况为他励 电动机工况为串励	1
4	励磁机	L	同步牵引励磁机 TQL-45	容量：45/36千伏安 电压：105/94伏 电流：248/221安 转速：2581/1173 转/分* 频率：129/58.6 赫芝 励磁方式：他励	1
5	司机室风扇电动机	SD	直流电动机 DYF-300	功率：33瓦 电压：110伏 电流：0.4安 转速：大于1350转/分 励磁方式：并励	4
6	热风机电动机	RFD	直流电动机 DYF-300	同上	2

续上表

序号	名 称	符 号	电 机 型 号	主 要 额 定 参 数	数量
7	空气压缩机电动机	YD	直流电动机Z2-82	功率: 22千瓦 电压: 110伏 电流: 238安 转速: 1000转/分 励磁方式: 他励	2
8	直流励磁调速发电机	CF	直流电动机Z2-12	功率: 0.6千瓦 电压: 110伏 电流: 7.68安 转速: 2680转/分 励磁方式: 他励	1
9	励磁整流柜通风机电动机	LD	直流电动机Sbb1	功率: 0.23千瓦 电压: 110伏 电流: 不大于3.58安 转速: 2400~2750转/分 励磁方式: 并励	1
10	动力室通风机电动机	DFD	直流电动机Sbb1	同 上	1
11	燃油泵电动机	RBD	直流电动机Z2-12	功率: 0.6千瓦 电压: 110伏 电流: 7.68安 转速: 1500转/分 励磁方式: 并励	2
12	启动机油泵电动机	QBD	直流电动机Z2-41	功率: 4.5千瓦 电压: 110伏 电流: 57.8安 转速: 2200转/分 励磁方式: 并励	1
13	预热锅炉燃油泵电动机	YRD	直流电动机Sbb1J	功率: 0.2千瓦 电压: 110伏 电流: 不大于2.6安 转速: 3000转/分 励磁方式: 并励	1
14	预热锅炉通风机电动机	YFD	直流电动机11SZ59	功率: 0.4千瓦 电压: 110伏 电流: 不大于5.4安 转速: 3000转/分 励磁方式: 并励	1
15	预热锅炉机油泵电动机	YHD	直流电动机Z2-12	同第11项	1
16	预热锅炉水泵电动机	YSD	直流电动机ZKB-1-TH	功率: 0.8千瓦 电压: 110伏 电流: 不大于10安 转速: 3000转/分 励磁方式: 并励	1

续上表

序号	名 称	符 号	电 机 型 号	主 要 额 定 参 数	数量
17	转速表交流测速发电机	2CF	交流测速发电机 FSY-8	电压：40伏 电流：不大于7.5毫安 转速：5000转/分 励磁方式：永磁	1
18	机车速度表交流测速发电机		交流测速发电机	同 上	2
19	制动电阻鼓风机电动机	RZD	直流电动机 ZZT-200/30H	功率：20千瓦 电压：220伏 电流：101安 转速：3000转/分 励磁方式：并励	2

• 因前变速箱齿轮传动比改为61:25（启动发电机）和61:26（励磁机），所以启动发电机的转速从2730/1115转/分变为2684/1220转/分，励磁机的转速从2625/1175转/分变为2581/1173转/分。

第二节 同步牵引发电机

和东风型内燃机车上所用的ZQFR-1350型直流发电机相比，同步牵引发电机有很大的优越性，现列于表14—2中：

表14—2

	TQFR-3000型同步牵引发电机	ZQFR-1350型直流牵引发电机
用 途	东风 ₄ 型内燃机车	东风、东风 ₂ 、东风 ₃ 型内燃机车
功 率	2840千瓦*	1350千瓦
重 量	4850公斤	8600公斤
单位功率重量	1.7公斤/千瓦*	6.4公斤/千瓦
用铜量	约半吨	约2吨
制造工艺	因没有换向器，制造工艺简单	有由444片换向片箍成的换向器，制造工艺较复杂
运行维护	由于没有换向器，检查维护较方便	要较仔细地检查内部，特别是换向器与电刷的表面情况
检修工作	故障率低	换向器表面烧损严重时，要加工换向器表面

• 同步牵引发电机的有功功率为发电机的容量乘以功率因数0.95，即2985×0.95=2840千瓦，所以，单位功率重量为4850/2840=1.7公斤/千瓦。

一、同步牵引发电机的主要参数

额 定 数 据

型号..... TQFR-3000
额定容量.....2985千伏安

额定电压	438/613伏
额定电流	3936/2805安
相电压	253/354伏
相电流	3936/2805安
额定功率因数	0.95
额定转速	1100转/分
额定频率	165赫芝
相数	3
极对数	9
励磁方式	他励
励磁电压	89/101伏
励磁电流	242/275.5安
绝缘等级 (定/转)	B/H
接线方式	星形
电机通风方式	自通风

结构参数

1. 定子结构

定子铁芯外径	1340毫米
定子铁芯内径	1140毫米
定子铁芯长度	440毫米
槽数	108
每极每相槽数	2
定子绕组线规	$3 \times 1.95 \times 8$ 毫米
定子绕组第一节距	1—6槽
每相串联匝数	8
绕组系数	0.934

2. 磁极结构

磁极线圈匝数	26.5
磁极线圈线规	2.63×15.6 毫米
极靴/极身宽	141/100毫米
极靴/极身高	27/91毫米
极靴/极身长	460/460毫米
最小气隙	3毫米
最大气隙	4.5毫米
有效气隙	3.5毫米

3. 阻尼绕组

每极阻尼条数	5
阻尼条直径	8毫米
阻尼环尺寸	7×18 毫米

电 磁 参 数

定子绕组电流密度	10.11/7.22安/毫米 ²
线负荷	527/376.5安/厘米
发热因数	5335/2720
磁极绕组电流密度	5.97/6.8安/毫米 ²
空载额定电压每极磁通	$4.55/6.37 \times 10^6$ 麦克斯韦
气隙磁通密度	6710/9390高斯
定子齿磁通密度	12400/17370高斯
空载额定电压时磁势	6130.81/10112.6安匝
电枢反应安匝	6950/4960安匝
直轴同步电抗	1.559/0.7961 (标么值)
横轴同步电抗	0.95/0.4846 (标么值)
短路比	0.754/1.742 (标么值)
短路电流有效值	7.436/14.23 (标么值)

电 阻

定子绕组每相电阻	
15°C时	0.56×10^{-3} 欧姆
110°C时	0.826×10^{-3} 欧姆
励磁线圈电阻	
15°C时	0.2515欧姆
110°C时	0.3465欧姆

损耗和效率

空载时总损耗 (438/613伏)	15.34/31千瓦
短路时总损耗 (3936/2805安)	78.4/36.7千瓦
总机械损耗	29.1千瓦
效率	95.86/96.7%
电机用铜量	375.95公斤
电机总重	4850公斤

二、同步牵引发电机的工作原理

同步牵引发电机是根据电磁感应原理，将机械能转变为电能的旋转电机。工业频率的同步电机有两种结构型式，一种是旋转电枢式；另一种是旋转磁极式。绝大多数的同步电机，特别是功率较大的电机，都采用旋转磁极式的结构，如图14—2所示。从图中可以看出，同步发电机由定子、转子和空气隙三部分组成。

同步牵引发电机是怎样发出三相交流电的呢？现用一台结构最简单的同步发电机（图14—3）为例加以说明。图14—3是一台两极同步发电机，定子上装有三相对称绕组AX、

BY和CZ。它们在空间位置上彼此相差 120° ，分别代表定子绕组的A、B、C三相。

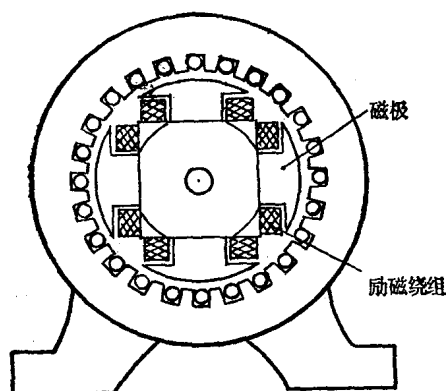


图14-2 旋转磁极式同步发电机的结构示意图

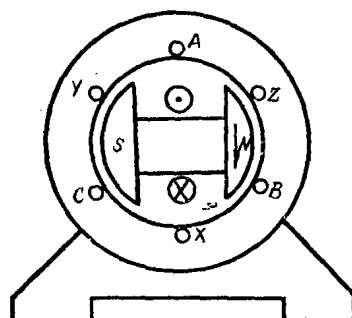


图14-3 同步发电机原理图

转子上装有励磁绕组。当直流电通过电刷和滑环送到励磁绕组时，使相邻磁极产生固定不变的N极和S极极性，在气隙中形成主磁场。由于设计时采用特殊形状的极弧表面，所以磁场在气隙中的分布为正弦形状，以便在定子绕组中产生正弦波形的感应电动势。当转子由原动机带动旋转时，主磁场在空间旋转，形成旋转磁场，它与定子绕组导体产生相对运动。根据电磁感应定律，只要导体与磁场之间有相对运动，而且导体切割了磁力线，就会在导体中产生感应电动势，它的方向可用右手定则确定。这里要特别注意，右手定则的运动方向是指电枢绕组的运动方向。在直流电机中，磁场不动，导体在磁场中运动；而在同步发电机中，却是磁场在运动，而导体不动。根据相对运动的原理，可以把磁场运动的反方向作为定子绕组导体运动的方向，以确定感应电势的方向，图14-4 (b) 为转子在不同位置时各相绕组感应电动势的方向。在发电机中，电流与电动势方向相同。根据电工学中的规定，在发电机中，电流为正时，电流从每相绕组的始端（A、B、C）流出，而从每相绕组的尾端（X、Y、Z）流入，电流为负时则方向相反。因此可得三相交流电动势 e_A 、 e_B 和 e_C ，如图14-4 a所示。

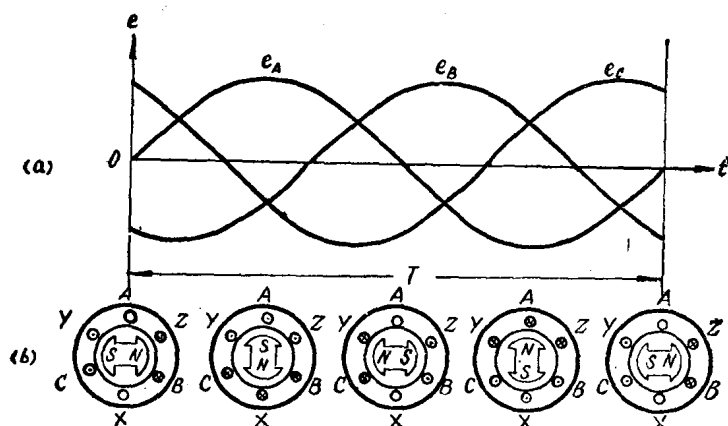


图14-4 三相正弦交流电动势的产生

从图中可以看出，在两极电机中，当转子转过一圈时，定子绕组AX中的感应电动势变化二次。由于三相绕组在定子铁芯中放置的位置不同，当磁极正对着AX绕组的线圈边时，