

号 01 字 登 准 51

东风₄型内燃机车

电力传动

铁道部大连机车车辆工厂编
大连理工大学出版社

(辽)新登字 16 号

内 容 提 要

本书比较系统地介绍了东风₄型内燃机车的电力传动系统。对各种电机、电器元件、整流装置、电测仪表等主要电气设备的作用原理、结构特点、技术要求、运用维修、故障分析及处理、电路图说明、机车水阻试验和线路试验等多方面的知识,均作了比较详细、系统的分析与说明。

本书可供东风₄型内燃机车的司乘人员和检修人员使用,也可作为从事机车电机、电气的设计、制造人员和教学人员的参考资料。

东风₄型内燃机车电力传动

Dongfengsixing Neiranjiche Dianlichuandong

铁道部大连机车车辆厂编

大连理工大学出版社出版发行 (邮编:116023)	大连海运学院印刷厂印刷 大连市凌水桥	
开本:787×1092 1/16	印张:17.5	字数:437千字
1994年1月第1版	1994年1月第1次印刷	
印数:00001—10000册		
责任编辑:王佳玉	封面设计:姜严君	
责任校对:玉 洁		

ISBN 7-5611-0891-5/U·35 定 价:12.00元
图册定价:6.00元

目 录

	第一章
第一节 内燃机车电力传动装置的作用	第一章
第二节 东风 ₄ 型内燃机车电力传动装置概述	第二章
第三节 东风 ₄ 型内燃机车电气设备的总体布置	第三章
第二章 电机	第四章
第一节 同步主发电机	第五章
第二节 牵引电动机	第六章
第三节 启动发电机	第七章
第四节 感应子牵引励磁机	第八章
第五节 空气压缩机电动机	第九章
第六节 其它电动机	第十章
第三章 硅整流装置	第十一章
第一节 概述	第十二章
第二节 牵引整流柜	第十三章
第三节 励磁整流柜	第十四章
第四节 硅整流柜的维护	第十五章
第四章 机车电器	第十六章
第一节 概述	第十七章
第二节 接触器	第十八章
第三节 司机控制器、转换开关	第十九章
第四节 继电器	第二十章
第五节 联锁电磁铁、差示压力计、电控阀	第二十一章
第六节 电阻器、熔断器和自动开关	第二十二章
第七节 刀开关、方能转换开关和按键开关	第二十三章
第八节 调光汞氙灯	第二十四章
第五章 半导体装置	第二十五章
第一节 概述	第二十六章
第二节 时间继电器	第二十七章
第三节 电压调整器	第二十八章
第四节 过渡装置	第二十九章
第五节 步进电机驱动器	第三十章

第六节	电阻制动控制箱	144
第七节	直流电源变换器	151
第八节	温度控制盒	154
第六章	电测量指示仪表	156
第一节	概述	156
第二节	直流电流表和直流电压表	159
第三节	电测压力表和电测温度表	163
第四节	电测转速表和机车速度表	169
第七章	蓄电池	173
第一节	概述	173
第二节	蓄电池组	174
第八章	机车电传动调节原理	181
第一节	恒功率调节	181
第二节	机车速度自动调节	187
第三节	机车牵引特性	190
第四节	电阻制动	194
第九章	电气线路图	201
第一节	概述	201
第二节	主电路	204
第三节	励磁电路	211
第四节	辅助电路	212
第五节	控制电路	215
第六节	电阻制动工况电路	229
第七节	自负载试验电路	233
第八节	预热锅炉控制电路	233
第九节	照明及信号灯电路	235
第十节	东风C、B型机车电路图中的不同点	237
第十章	机车水阻试验和试运行	239
第一节	机车水阻试验	239
第二节	电阻制动调整试验	250
第三节	机车试运行	251
第十一章	应急电气故障及处理	253
第一节	柴油机启动前电气故障及处理	253
第二节	柴油机启动时电气故障及处理	257
第三节	辅助发电工况的电气故障及处理	258
第四节	空气压缩机工作时的电气故障及处理	260
第五节	机车启动时的电气故障及处理	261
第六节	机车牵引运行时的电气故障及处理	263
第七节	电阻制动时的电气故障及处理	271
第八节	柴油机转速控制的电气故障及处理	275

第一章 东风₄型内燃机车电力传动概述

第一节 内燃机车电力传动装置的作用

内燃机车的原动机一般都是柴油机。从柴油机曲轴到机车动轮之间，需要一套速比可变的中间环节，这一中间环节称为传动装置。由电气设备组成的这个中间环节，就叫做电力传动装置。它的任务是使柴油机的工作特性适合于机车特性的要求。

对于任何内燃机车都要求能经常利用其动力装置的额定功率，这就要求机车的牵引力与机车的运行速度接近于反比的变化关系。机车的牵引力与机车速度之间的关系是：

$$(N_e - N_f) \cdot \eta = \frac{F \cdot V}{3600} \quad (1-1)$$

式中 F —— 机车牵引力(N);
 V —— 机车速度(km/h);
 N_e —— 柴油机运用功率(kW);
 N_f —— 机车辅助装置消耗功率(kW);
 η —— 机车传动装置的总传动效率。

要保持内燃机车运用功率不变，(假设传动效率 η 不变而机车辅助装置消耗功率 N_f 一般与机车运行情况无关)可用一等边双曲线来表示 F 与 V 之间的关系，即 $F \cdot V = C$ (C 为常数)，如图1-1所示，这一曲线称为内燃机车理想牵引特性，亦称恒功率特性曲线。由图1-1可见，当机车按理想牵引特性运行时，柴油机功率在机车主要的运行速度范围内都能保持恒定，也就是说柴油机功率经常被充分利用。

对机车牵引特性的主要要求是尽可能扩大这种特性的范围。但实际上机车速度和牵引力的提高都是有限度的。机车最大速度 V_{max} 受牵引电动机和机车结构速度的限制。而恒功率的最大速度则受牵引电动机换向等的限制。机车最大牵引力 F_{max} 受机车动轮和钢轨之间粘着牵引力的限制，亦受牵引电机温升限制。

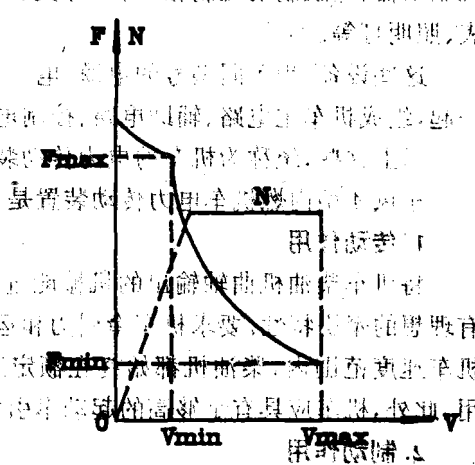


图1-1 内燃机车理想牵引特性曲线和所对应的柴油机功率曲线

图 1-2 中曲线①和曲线②分别为柴油机转矩特性 $[M = f(n)]$ 和功率特性 $[N = f(n)]$ 。由特性曲线可分析出柴油机的特性有以下特点：

1. 柴油机转速的变化有一个最低限度转速 n_{\min} 和最高限度转速 n_{\max} 。当转速低于 n_{\min} 时，便会“灭火”而停止运转；当超过 n_{\max} 时会造成柴油机机械损坏，因而其转速变化范围很窄。
2. 柴油机曲轴输出的转矩 M ，几乎只与柴油机每循环的供油量有关，当不调节柴油机高压油泵齿条的位置时（供油量不变），转矩 M 几乎不随转速 n 变化。如图 1-2 中曲线①所示。
3. 柴油机输出功率 N 随转速 n 增加而增加，基本上是一条直线，如图 1-2 中曲线②所示。
4. 一般的柴油机只能单方向运转。

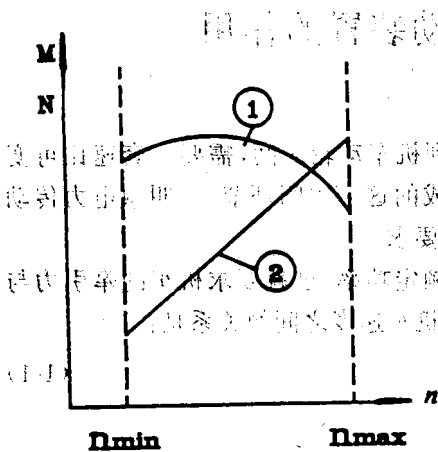


图 1-2 柴油机转矩特性和功率特性

5. 柴油机承受过载的能力很差，稍有过载就会“灭火”而停止运转。

如果在内燃机车上不采用任何传动装置而将柴油机曲轴直接与机车动轴连接，即构成所谓直接驱动，则柴油机的转矩 M ，决定了机车的牵引力 $F(F \propto M)$ 。柴油机的转速 n ，决定了机车速度 $V(V \propto n)$ 。从这两种特性比较可知，柴油机的特性和机车牵引所要求的特性之间存在着很大矛盾，不能满足机车牵引特性的要求。此外，柴油机的输出功率极不稳定，经常处于过载或轻载的工作状况，而且机车和柴油机本身都无法启动，机车不能低速运行，不能改变运行方向，无法牵引列车运行。

东风 4 型内燃机车采用交—直流电力传动装置。传动装置有许多设备，如同步主发电机、牵引电动机、启动发电机、励磁机、蓄电池、硅整流柜、电阻制动装置等。

为了控制、保护和监视这些设备的正常工作，还装设许多辅助设备，如励磁调节系统、电压调整器、电源变换器、过流控制装置、步进电机驱动器、电阻制动控制箱、转换开关、接触器、继电器、控制器、闸刀、按钮、自动开关、计量仪表、照明灯等。

这些设备，用不同型号的电缆、电线、联接板、多线插锁、接线端子等，按一定的规律联接在一起，组成机车主电路、辅助电路、控制电路、照明及其它电路。

以上这些，统称为机车的电力传动装置。

东风 4 型内燃机车电力传动装置是机车的重要组成部分，它们的主要作用是：

1. 传动作用

将机车柴油机曲轴输出的机械能进行能量变换，传递给轮对，驱动机车运行，并使机车具有理想的牵引特性。要求机车牵引力和运行速度都有一个比较广泛的变化范围，并且在较大的机车速度范围内，柴油机都始终在额定工况下运行，即柴油机的功率能够得到充分发挥和利用。此外，机车应具有足够高的起动牵引力。

2. 制动作用

利用直流电机的可逆原理，在电阻制动工况时，将直流牵引电动机改为直流发电机，通过轮对将列车的动能转变为电能，消耗在制动电阻上，再以热能的形式逸散到大气中。在这过程中，牵引电动机轴上所产生的反力矩作用于机车动轮上而产生制动力。这种制动作用称为电阻

制动。传动装置应保证机车电阻制动性能的要求。

3. 辅助作用

驱动机车辅助装置的一些泵组工作,或对机车系统中的油水进行预热,以及机车照明、取暖等。

4. 控制作用

按照机车设计要求和操纵顺序,自动或手动完成有关器件的动作,以保证柴油机在无负载情况下启动,进行转速调节,保证机车在启动过程中的平稳,并能保证机车换向运行等。以达到操纵控制机车正常运行的目的。

5. 监视及保护作用

使机车操纵者能正确了解机车各部分的工作状态,及时显示某些必要的参数值。当机车某部位出现故障时,能自动显示或采取有效措施,以尽量维持机车运行和避免事故的扩大。

对传动装置的要求:必须工作可靠、结构紧凑、重量轻、维修方便、造价便宜。

第二节 东风₄型内燃机车电力传动装置概述

图1-3所示为东风₄型内燃机车电力传动装置的主要电气系统示意图。

同步主发电机F的转子轴端通过弹性联轴器与柴油机C相联,电机座端与柴油机联接箱连接,电机轴伸为锥度结构,它通过带有橡胶减震装置的万向联轴节经变速箱增速后带动启动发电机QF和感应子励磁机L以及测速发电机CF等运转。

机车的前转向架装有1D~3D三台牵引电动机,后转向架装有4D~6D三台牵引电动机。

同步主发电机F产生的三相交流电经牵引整流柜IZL三相桥式全波整流后,输送给六台全并联的牵引电动机(图1-3中只示出二台牵引电动机1D、5D),再由牵引电动机通过传动齿轮驱动车轮旋转,从而使机车运行。从牵引整流柜到牵引电动机之间,电路的通断由六台主接触器(图中示出1C、5C)分别控制。

由前变速箱驱动一台直流启动发电机QF,它有两套励磁绕组。在柴油机启动工况下,启动发电机QF为直流串励电动机,控制启动接触器QC主触头闭合,蓄电池组XDC(96V)向串励绕组供电,QF转动,驱动柴油机——发电机组启动运转;在柴油机运转工况下,将其串励绕组切断改为他励直流发电机工作,他励绕组由蓄电池组XDC供给(辅助发电机励磁接触器FLC闭合时),经电压调整器DYT自动地控制励磁电流,使其发出110V恒定直流电,一方面向蓄电池组充电,一方面向空气压缩机电机1~2YD、车体通风机1~2TD、燃料泵电机1~2RBD以及控制电器、照明设备等供电。

机车的工况选择是由司机控制器SK的换向手柄来决定。依靠工况转换开关1~2HK₁来完成。如图1-3所示之状态位置,当1~2HK₁的动断触头闭合,动合触头断开,将六台牵引电动机接成串励直流电动机电路,机车处于牵引工况状态;当1~2HK₁动断触头断开,动合触头闭合时,将六台牵引电动机分别改接成他励直流发电机电路,而六台牵引电动机的励磁绕组被串联在一起,由同步发电机F经牵引整流柜IZL、制动电空接触器ZC供给励磁电流,机车处于制动工况状态。

机车的运行方向选择也是由司机控制器SK的换向手柄来决定。依靠换向转换开关1~

2HK₁来完成。当1~2HK₁动断触头闭合,动合触头断开时,控制六台牵引电动机励磁绕组(C₁、C₂)的电流方向,使机车处于前进工况。当其动合触头闭合,而动断触头断开时,改变了6台牵引电动机励磁绕组电流方向,从而改变牵引电动机旋转方向,则机车处于后退工况。

同步主发电机F的励磁,是由柴油机通过启动变速箱带动的励磁机L发出的三相交流电经过励磁整流柜2ZL整流后,给同步主发电机转子上的励磁绕组励磁。机车在牵引工况,为充分而经济地利用柴油机功率,使机车具有较大的牵引力并具有较宽的恒功率速度。励磁机的励磁是通过柴油机联合调节器上的功率调整电阻器R₁自动改变测速发电机1CF的励磁电流来控制的,使柴油机在规定的同步主发电机电压范围内实现恒功率控制;考虑到主发电机效率,如不计牵引整流柜效率和机车辅助功率的变化,同步主发电机的外特性磁规定额电流范围内对应每一柴油机转速应是一条等边双曲线,即电压与电流的乘积近似为一常数。

在同步主发电机恒功率最高电压限制下,为扩大机车的恒功率速度范围,对牵引电动机进行两级磁场削弱,磁场削弱的“过渡控制”是采用了一套电子过渡控制装置GDZ,由装在机车第二轮对上的测速发电机1CF供给的速度信号进行自动控制磁场削弱接触器(1~2XC₁、1~2XC₂)的动作,达到两级磁场削弱的目的。磁场削弱接触器为组合式,共有两组,每组可同时控制三台牵引电动机一级或二级磁场削弱。

同步主发电机F的电流测量和过电流保护是通过V形联接的两个穿心型电流互感器1LH、2LH来实现的。其副边由整流装置3ZL整流,其输出接三块电流表2A和过流继电器LJ。

机车在电阻制动工况,两个转换开关1~2HK₂将牵引电动机改接成他励直流发电机电况,6台牵引电动机的励磁绕组被串联在一起,由同步主发电机F经牵引整流柜1ZL制动电空接触器ZC供给励磁,而电机转子通过传动齿轮由轮对驱动,将列车运行动能转化成电能,并分别输往制动电阻1~6RZ,转化为热量再由轴流式风机将热量散到大气中从而实现电阻制动。

东风₄型内燃机车上安装有电阻制动控制箱DZT。为充分发挥制动功率,在机车一定速度范围内,通过控制励磁机的励磁电流来自动调整牵引电动机的励磁电流,实现制动电流的恒流控制。通过改变柴油机的转速能控制制动电流的恒流值,即随柴油机转速的升高制动功率也随之增加。牵引电动机最大励磁电流的稳定也是根据柴油机的转速信号,以保证电阻制动工况下的牵引电动机通风冷却要求。在最大制动电流限制下,为提高机车低速区段的制动力,机车还具有制动功率扩展功能,以机车速度为信号能自动进行二级电阻制动的控制,使机车在低速区段具有较高的电阻制动性能。

东风₄型内燃机车具有自负载试验功能。机车在静止状态,通过操纵自负载刀开关1~6ZPK将6个制动电阻元件并联起来直接在牵引整流柜输出端作为柴油机的自负载电阻,而自负载的工作点将在同步主发电机的恒功率外特性上,因此可通过自负载试验方便地检测到柴油机各转速下的牵引功率。

柴油机的转速控制是通过设在正操纵台里的司机控制器手柄来控制调速驱动装置WJT,以控制柴油机联合调节器的步进电机BD旋转,实现柴油机无级调速控制。此外,为了在司机室内显示柴油机转速,采用与柴油机凸轮轴相联的测速发电机2CF,其输出交流电经整流后的电压信号使表针指示柴油机转速。

电气传动装置还设有主电路接地、同步主发电机过流、轮对空转、电阻制动过流、电阻制动通风机差动等控制保持环节,以保证机车正常安全运行。此外,机车还装有预热锅炉控制柜,以保证预热锅炉的正常运用。

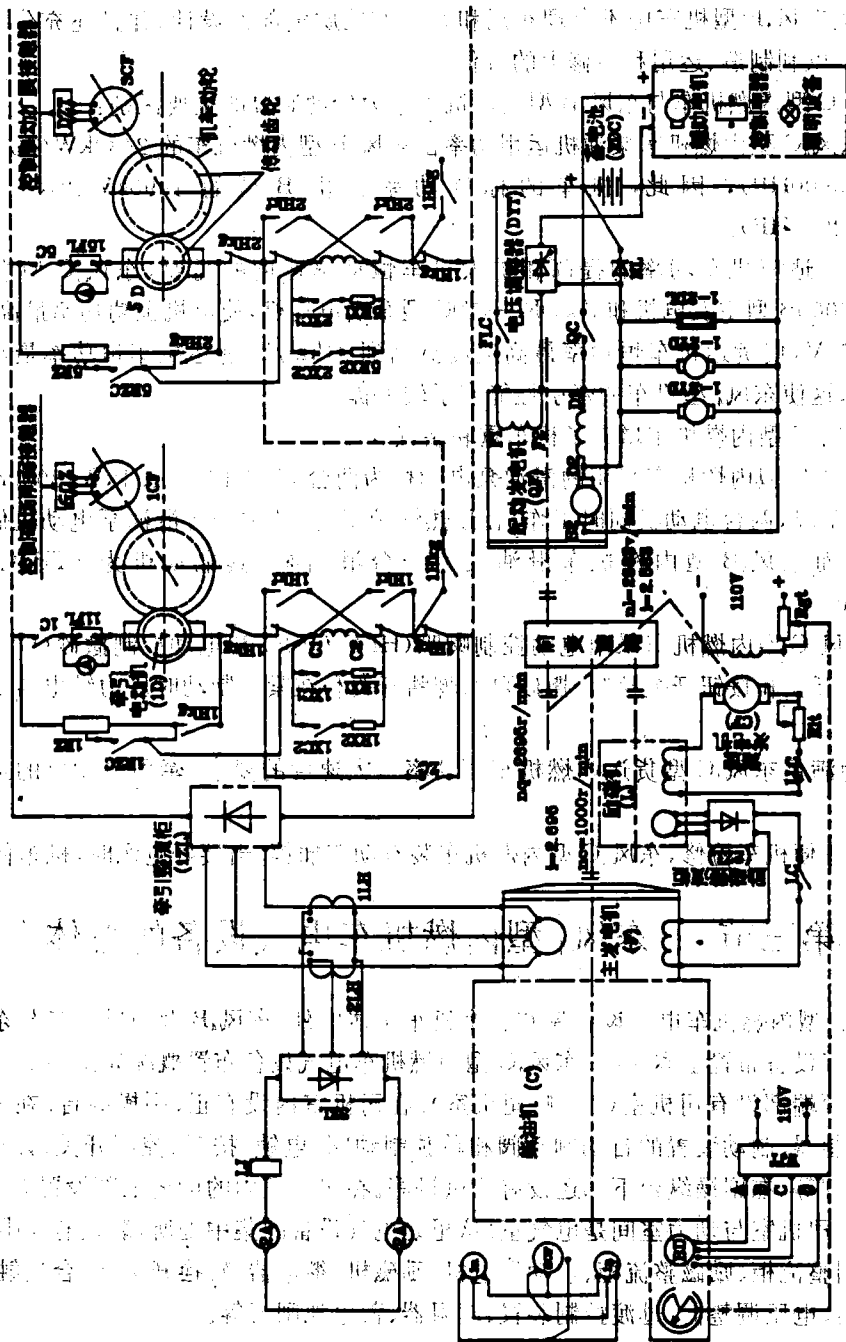


图 1-3 东风型内燃机车电力传动装置主要电气系统示意图

东风₄C型内燃机车是在东风₄B型内燃机车的基础上开发的换代产品。研制的主要宗旨是提高机车的运用功率、改善牵引性能和乘务人员劳动条件,提高机车经济性、可靠性、延长使用寿命,解决东风₄B型机车中不合理布局和改进惯性质量部件设计。并且还充分考虑了产品的通用互换,以利制造、运用和检修上的方便。

东风₄C型内燃机车与东风₄B型内燃机车电力传动装置的主要区别:

1. 东风₄C型内燃机车柴油机运用功率由东风₄B型内燃机车的2430kW(3300HP)提高为2650kW(3600HP),因此,机车的标称功率也由B型的1990kW(2700HP)提高为2165kW(2940HP)。

2. 为了适应机车功率的提高和扩大机车恒功率速度的需要,东风₄C型内燃机车装用TQFR—3000B型主发电机和ZQDR—410C型牵引电动机,使电机恒功率最高电压从720V提高至770V,使货运机车恒功率最高速度提高到91km/h,客运机车恒功率最高速度提高到120km/h。这使东风₄C型机车的牵引性能有了较大提高。

3. 东风₄C型内燃机车增设了机车重联装置。

4. 东风₄C型内燃机车采用的滑油泵电动机为两台ZTP-12型,1kW,3000r/min。机车启动滑油泵工况,两台电动机同时工作。在预热锅炉工况,其中一台滑油泵电动机做为辅助滑油泵工作。而东风₄B型内燃机车滑油泵为一台滑油泵,其电动机为ZTP-41型,4.5kW,2200r/min。

5. 东风₄C型内燃机车采用电动控制喇叭(HLF、QLF)和电动控制撒砂(HSF、QSF)喇叭可用脚踏开关和按钮开关控制。撒砂可用脚踏开关和在紧急制动时压力继电器5YJ动作来控制。

6. 为满足东风₄C型货运内燃机车恒功率最大速度的要求,牵引电动机的最小励磁率为42%。

7. 为方便机车检修,东风₄C型内燃机车装有动车插销,当接好电源时,机车便可走行。

第三节 东风₄C型内燃机车电气设备的总体布置

东风₄C型内燃机车电气设备遍布整个机车车体内外。东风₄B型内燃机车与东风₄C型内燃机车的电气设备布置基本相同。东风₄C型内燃机车电气设备布置概况如图1-4所示。

机车两端部设有司机室(I、II司机室)。在司机室内设有正、副操纵台。在操纵台上装设有司机控制器、制动装置的自动制动阀和单独制动阀、电锁、按钮、控制开关、计量仪表、电炉、信号显示灯等。在副操纵台下部还设有热风机等。在司机室内的前窗上部设置有两个电风扇。

第I司机室与动力室间是电气室。这里是电气设备的集中处所,装设有电阻制动装置、电器柜、牵引整流柜、励磁整流柜、启动发电机、励磁机、继电器、转换开关、组合接触器、保护继电器、驱动器、电压调整器、过渡控制装置、电阻器、蓄电池闸刀等。

在动力室,装有同步主发电机、启动滑油泵电动机组、燃油输送泵电动机组、油压继电器等。在动力室的后部装有预热锅炉,东风₄B型内燃机车预热锅炉控制柜是装在锅炉附近的动力室墙上,而东风₄C型内燃机车预热锅炉控制柜则装在II司机室与冷却室之间的辅助间内。锅炉的循环水泵电动机组、辅助滑油泵电动机组等均布置在预热锅炉周围。在动力室两侧壁设

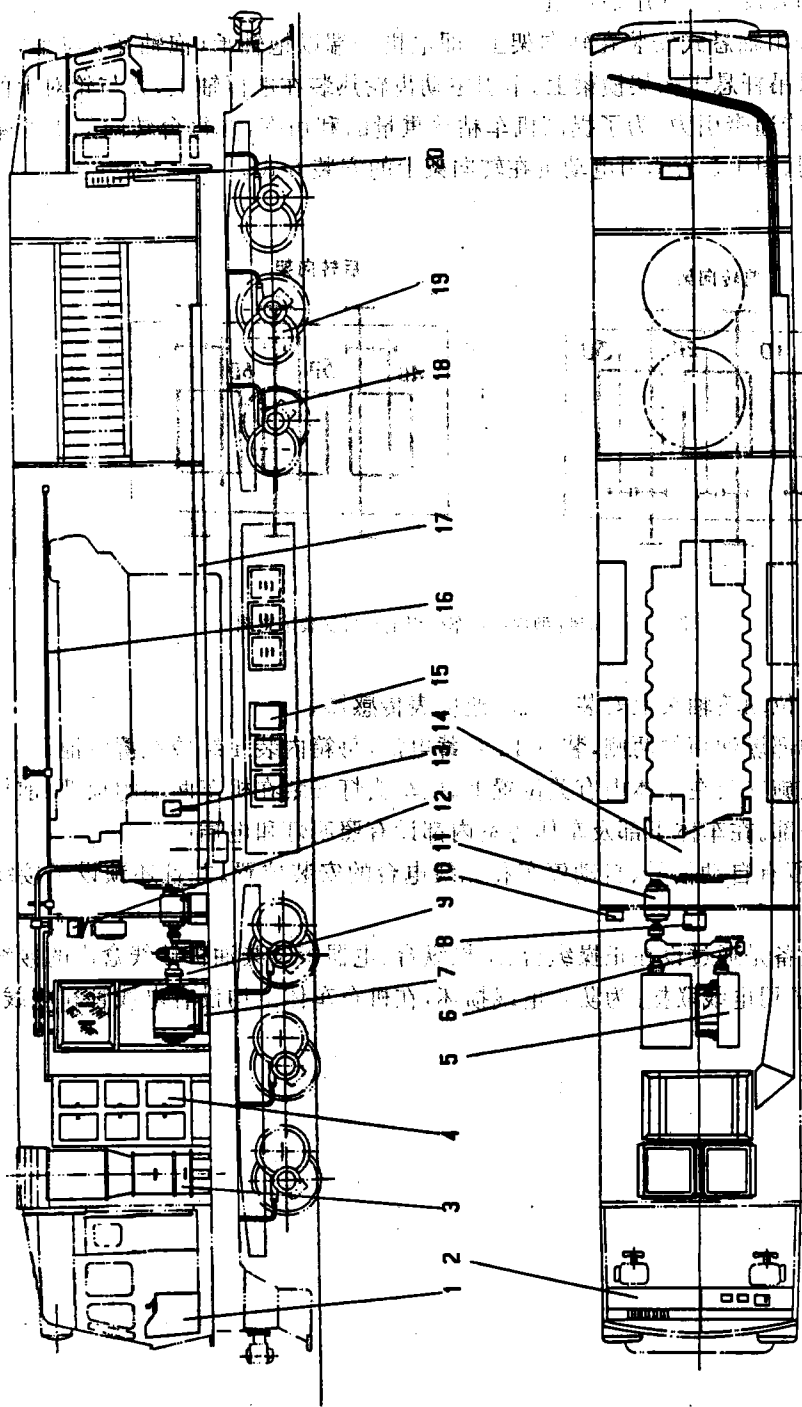


图1-4 东风₄C型内燃机车电气设备布置

1—正操作台; 2—副操作台; 3—电阻制动装置; 4—电器柜; 5—三项设备安装; 6—调速发电机; 7—启动发电机; 8—励磁整流柜; 9—牵引整流柜; 10—直流电源变换器; 11—励磁电机; 12—电阻制动控制箱; 13—柴油机电气设备安装; 14—同步主发电机; 15—蓄电池安装; 16—车体电气设备安装; 17—车架电气设备安装; 18—电气联接导线; 19—牵引电动机; 20—预热锅炉控制柜。

有车体通风机等。

在冷却室下部装设有空气压缩机组。

牵引电动机采用轴悬式安装在转向架上。即电机一端以抱轴承(抱轴瓦)与车轴连接,另一端通过橡胶座以吊杆悬于构架横梁上。牵引主动齿轮热装在电枢轴上,并与轮对上的牵引从动齿轮直接啮合,传递牵引力。为了提高机车粘着重量的利用率,在每台转向架上的牵引电动机均采用顺置排列。图 1-5 为牵引电动机在转向架上的安装方式。

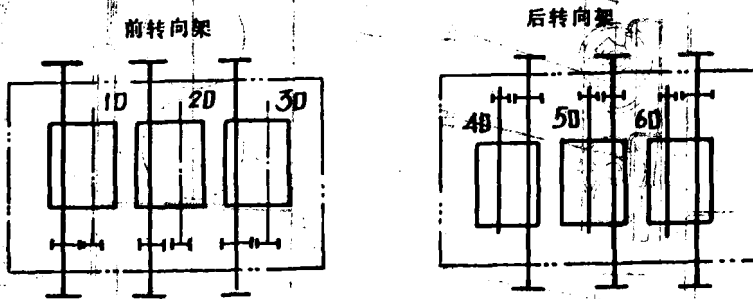


图 1-5 东风₄型内燃机车牵引电动机安装示意图

在机车第 2、5 位动轮轴头上安装有机车速度表传感器。

在机车车体中部燃油箱的两侧,装有 12 箱蓄电池,每箱内装 4 组酸性蓄电池。

机车的照明设施安装在车体内有关位置上。机车头灯安装在机车两端的顶部,前标志灯安装在机车两端的中部。在车体下部及车体各室内都设有照明灯和电插座。

此外,机车还留有自动信号、自动停车和无线电台的安装位置,并且还预设有接线柱和联接导线。

机车各电气设备是通过设在正操纵台、副操纵台、电器柜及柴油泵接线盒内的接线柱同电机、电器的接线端子用电缆联接。为防止电线损坏,在机车车体上均设有电线管和电线槽。

第二章 电机

东风₄型内燃机车使用的电机归纳起来可分如下三种类型：第一类为根据机车性能和结构上的特殊要求而设计的专用电机，如同步主发电机、牵引电动机、启动发电机、空气压缩机电动机及感应子牵励磁机等；第二类为ZTP型铁路机车车辆用直流辅助电机，如启动滑油泵电动机、燃油泵电动机、车体通风机电动机等；第三类为微型电机，如司机室风扇电动机、热风机电动机、预热锅炉用电机、测速发电机等。

本章主要对东风₄型内燃机车专用电机的原理、特性和结构进行介绍。

第一节 同步主发电机

一、工作原理

同步主发电机是将机械能转变为电能的旋转电机。它是根据电磁感应原理制造的。其工作原理可用一台结构为两极的同步发电机为例加以说明。如图2-1所示，在同步发电机的定子铁芯上嵌有三相对称线圈AX、BY和CZ，称为定子线圈（或电枢线圈）。它的对称条件是：这三组线圈的匝数和导线截面相等，在空间位置上彼此相差 120° 电角度。在电机的转子铁芯上绕有励磁线圈，借以通入直流励磁电流产生磁场。当原动机拖动转子旋转时，则定子线圈与转子磁场之间有相对运动，根据电磁感应原理，在定子线圈中将产生感应电势。例如，当转子磁极的几何中性线与AX线圈的轴线相重合时（即图2-1(a)所示位置， $\omega t = 0$ ），在AX线圈中感应的电势为零。而当转子磁极的几何中性线转到与AX线圈轴线相垂直时（ $\omega t = 90^\circ$ ），在AX线圈内感应的电势为最大。当转子再旋转 90° （ $\omega t = 180^\circ$ ）位置时，AX线圈内感应的电势又为零；当转子转到 $\omega t = 270^\circ$ 位置时，由于磁通方向改变了 180° ，因此，感应电势的方向也变为负值并且达到了负的最大值。按此规律变化下去，在AX线圈内即可感应出按正弦规律变化的交流电势。由于定子上的三相线圈匝数相同而在空间又互差 120° 电角度，因此在三相线圈中的感应电势大小相等，相位互差 120° 电角度，即三相交流电动势 e_A, e_B, e_C 。图2-1(b)、(c)示出了它们的波形图和向量图。

由于定子线圈的导体不断交替地处于不同极性的磁极下，故感应电势的方向也是交变的，在同步发电机中感应电势的频率 f 与磁极对数 p ，转子转速 n 之间存在固定的关系，转速愈高，对定子上任一导体而言，单位时间内对应的磁极极性变化次数愈多，感应电势的频率也就愈高。同样，极对数愈多，则转子每转一周，定子导体对应的磁极极性变化次数就愈多，感应电势的频率也就愈高，也就是说，感应电势的频率与转子转速、磁极对数成正比，如果转速 n 用r/min表示， p 为极对数，则此关系可用下式表示：

$$f = \frac{p \cdot n}{60} \quad (2.1)$$

同步主发电机空载电压就是发电机电势。当同步发电机接通对称的三相负载后,定子线圈内便有三相交流电流。这个三相对称的负载电流也会产生一个旋转磁场,我们把这个旋转磁场叫做电枢磁场。电枢磁场将对旋转的磁场发生影响,这一影响又称电枢反应。电枢反应有二种作用:其一是使磁极磁场歪扭(即畸变),其二是使磁场去磁。

定子产生的旋转磁场方向是与转子的旋转方向一致的。定子旋转磁场的转速可表示为:

$$n_1 = \frac{60f}{p} \quad (2.2)$$

式中 n_1 ——定子旋转磁场转速(r/min);
 p ——极对数。

将(2.2)代入(2.1)可得到 $n_1 = n$,即发电机定子旋转磁场的转速等于转子的转速,这就是“同步”的含义。故称定子旋转磁场的转速为同步转速。

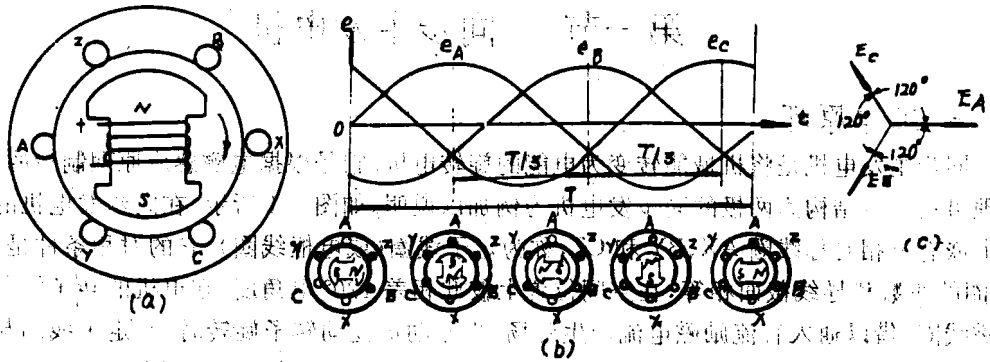


图 2-1 同步发电机原理图

二、同步主发电机的特性

同步主发电机的特性主要有空载特性、外特性、负载特性、短路特性和调节特性。

外特性和调节特性是主要的运行特性。根据这些特性,运行人员可以判断发电机的工作是否正常,以便及时进行调整。空载特性和短路特性则是检验发电机基本性能的重要依据。

1. 空载特性

空载特性是指发电机在空载运行时(电枢电流等于零),端电压 U_0 (即 E_0) 随着转子励磁电流 I_L 变化的关系,其表示式为 $U_0 = f(I_L)$ 或 $E_0 = f(I_L)$ 。同步主发电机定子每相绕组的感应电势可用下式表示:空载时, $E_0 = 4.44fWK_2\Phi_0$ (式中, K_2 为绕组系数, W 为每相绕组的总串联匝数)。由此可知,在发电机转速等于额定转速时,感应电势的频率 f 不变,故空载电势 E_0 仅正比于转子励磁磁通 Φ_0 ,而 Φ_0 与励磁电流 I_L 之间的关系即是发电机的磁化曲线。因此空载特性曲线的形状与发电机磁化曲线相似。图 2-2 为 TOFR-3000 型同步主发电机在转速 $n = 1000\text{r/min}$ 时的空载特性曲线,图中 U_0 为空载平均相电压。

2. 外特性

同步主发电机的外特性是指当发电机的转速 n 、励磁电流 I_L 、负载功率因数 $\cos\Phi$ 恒定时,

发电机的端电压 U 随电枢电流 I 的变化关系。即 $U = f(I)$ 。

图 2-3 为 TOFR-3000 型同步主发电机在 $\cos\Phi = 0.95, n = 1000\text{r/min}, I_L = 230\text{A}$ 时的外特性曲线(计算值)。

在电传动内燃机车上,必须对同步主发电机的外特性进行调整使其满足柴油机恒功率运行的要求。因此我们希望同步主发电机有较强的电枢反应,这样一方面能减小外特性调整范围,使发电机的外特性比较接近于所要求的外特性;另一方面使发电机稳态短路电流不致很大,对机车上的电气设备起到一定的保护作用。

由于在设计时,采用了小空气隙,磁路比较饱和,因此 TQFR-3000 型和 TQFR-3000B 型同步主发电机具有强电枢反应的电机,其外特性曲线为一凸起的下降曲线,当端电压 U 下降到零时的电流称为稳态时的短路电流。

3. 负载特性

当同步发电机转速 n 、电枢电流 I 和功率因数 $\cos\Phi$ 都恒定时,电机的励磁电流 I_L 与端电压 U 之间的关系,称为同步发电机的负载特性,即 $U = f(I_L)$ 。

图 2-4 为 TQFR-3000 型同步主发电机在转速 $n = 1000$ 转/分, $\cos\Phi = 1$, 在不同电枢电流下计算所得的负载特性曲线族。为便于比较,把 $I = 0$ 的空载特性曲线也画在图中,由图 2-4 可见,负载特性与空载特性曲线形状相似,但对应于同一励磁电流 I_L 下,电枢电流 I 愈大,则电枢反应的去磁作用愈强,因而端电压就愈低。

4. 短路特性

当同步发电机电枢绕组的三相接线端 D_1, D_2, D_3 全部短路时,端电压 U 等于零,此时流过电枢绕组的电流称为短路电流 I_k 。在同步发电机转速为额定值,三相维持短路情况下短路电流 I_k 与励磁电流 I_L 之间的关系称为发电机的短路特性,即: $I_k = f(I_L)$ 。

图 2-2 中 I_k 与 I_L 函数关系为 TQFR-3000 型同步主发电机的短短特性。

5. 调整特性

调整特性是指同步发电机转速 n 、功率 p 及功率因数 $\cos\varphi$ 均保持恒定时,同步发电机励磁电流 I_L 和电枢电流 I 之间的关系,即 $I_L = f(I)$ 。

东风₄B 型内燃机车同步主发电机实测调整特性见图 8-8。

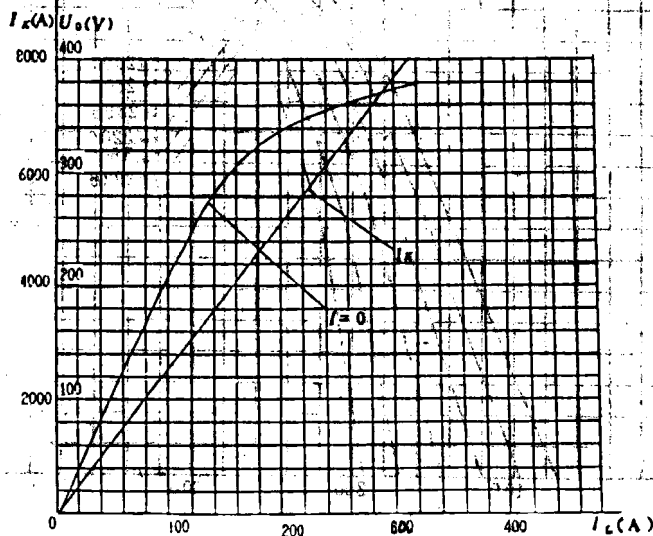


图 2-2 TQFR-3000 型同步主发电机空载特性和短路特性($n = 1000\text{r/min}$, 计算值)

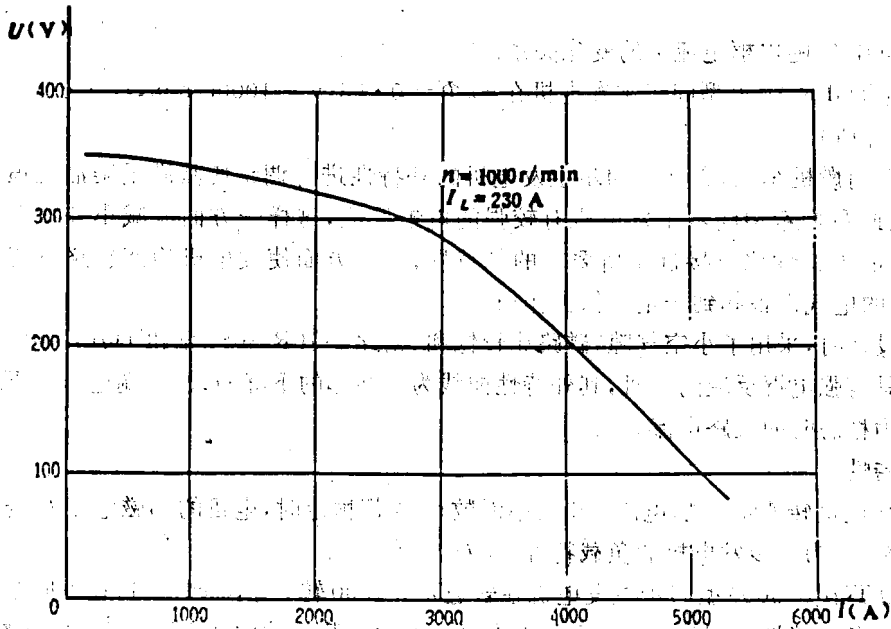


图 2-3 TQFR—3000 型同步主发电机外特性 ($n = 1000 \text{ r/min}$, 计算值)

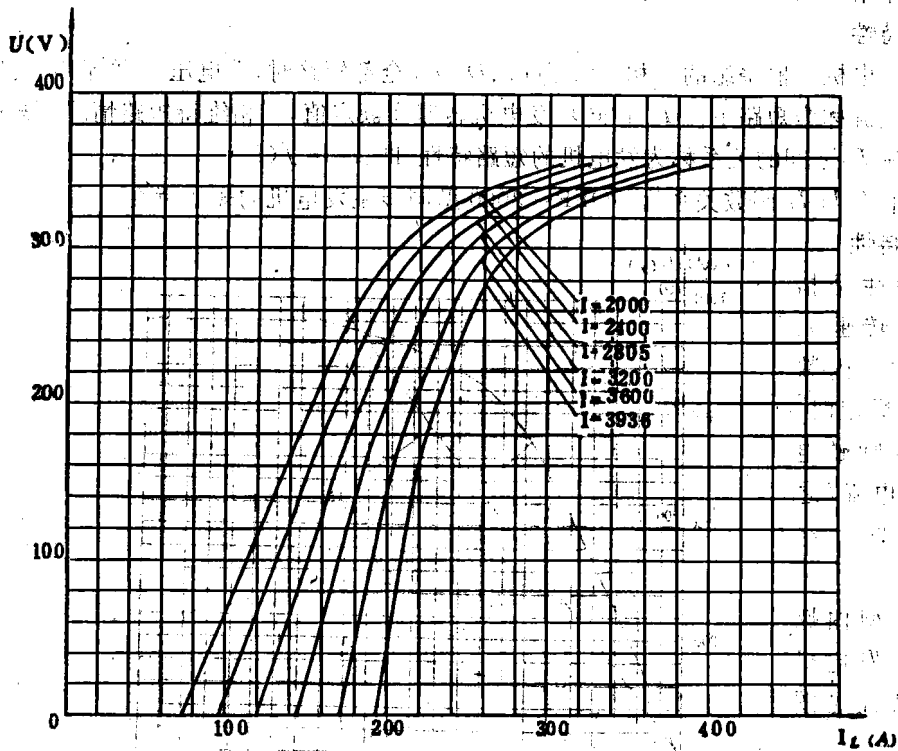


图 2-4 TQFR—3000 型同步主发电机负载特性 ($n = 1000 \text{ r/min}$, 计算值)

三、主要技术数据和结构

1. 主要技术数据

东风₄型内燃机车同步主发电机主要技术数据见表 2-1。

表 2-1 东风₄型内燃机车同步主发电机主要技术数据

车 型		DF ₄ B(货)	DF ₄ G(客、货)			
型 号		TQFR-3000	TQFR-3000B			
额定容量(KVA)		2985	2570			
额定电压(V)		438/613	386/606			
额定电流(A)		3936/2805	3840/2844			
额定转速(r/min)		1100(实际装车为1000)	1000			
额定频率(HZ)		165(实际装车为150)	150			
额定功率因数		0.95	0.95			
励磁方式		他	他			
额定励磁电压(V)		101/112	90/112			
额定励磁电流(A)		244/272	213/267			
绝缘等级(定子/转子)		F/F	E/F			
冷却方式		径向自通风	径向自通风			
相数		3	3			
定子接线方式		Y	Y			
工作制		连续	连续			
气隙(mm)		3	3			
重量(kg)		4985	5100			
绕组电阻值	绕组名称	电枢绕组 (线电阻)	励磁绕组 (总电阻)	电枢绕组	励磁绕组 (总电阻)	
	电 阻 值 (Ω)	15℃	0.001125	0.2464	0.00121(实测)	0.2533
		115℃	0.001575	0.34496	0.00159(实测)	0.35526(实测)

2. 结构

TQFR-3000 和 TQFR-3000B 型同步主发电机均为卧式单轴承结构的三相凸极同步发电机。它们的结构基本相同。图 2-5、图 2-6 为 TQFR-3000 型同步发电机的外形图和结构图。

在电机滑环端装有一个 3G3626 双列向心球面滚子轴承(轴承径向游隙为 0.145 ~ 0.19mm)。电机的输入端轴伸为法兰盘形式,通过弹性联轴节与柴油机连接。电机的输出端为锥度轴伸,用于传动辅助装置。机座端法兰用 28 根 M24 × 2 双头螺柱与柴油机连接箱连接。

该电机的冷却为径向自通风式,冷却风扇为括板式结构,其风扇叶轮装在转子支架两端,冷却风从端盖的进风口进入电机,由机座上下两排风孔排出。