

# HXN5型大功率交流传动内燃机车电传动系统

陈智豪, 张义, 杨格, 何良

(株洲南车时代电气股份有限公司, 湖南 株洲 412001)

**摘要:** 主要介绍了HXN5型大功率交流传动内燃机车电传动系统的系统组成、技术特点、性能参数和冷却系统, 重点阐述了电传动系统中各核心部件工作原理和功能特点。

**关键词:** HXN5型内燃机车; 交流传动; 辅助系统; 冷却系统

**中图分类号:** U262.33\*3

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1671-8410(2010)03-0046-05

## AC Drive Traction System of High-power HXN5 Diesel Locomotive

CHEN Zhi-hao, ZHANG Yi, YANG Ge, HE Liang

(Zhuzhou CSR Times Electric Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412001, China)

**Abstract:** This paper introduces the composition, technical characteristics, performance parameters and cooling system of AC drive traction system for high-power HXN5 diesel locomotive, focusing on the working principle and function features of core components in electric drive system.

**Key words:** HXN5 diesel locomotive; AC drive; auxiliary system; cooling system

### 0 引言

和谐5型(以下简称HXN5)内燃机车是在引进美国通用电气公司先进、成熟的设计技术和工艺技术的基础上,由南车戚墅堰机车有限公司与株洲南车时代电气股份有限公司联合生产的国产化新型大功率交流传动内燃机车。该型机车主辅传动系统均采用交流传动技术,同目前国内广泛运用的交传动内燃机车相比,具有牵引功率大、恒功率速度范围宽、启动牵引力大、黏着系数高、制动性能优良、牵引电动机结构简单且可靠性高、燃油效率高和消耗率低、低排放等一系列优点。

本文主要介绍HXN5型内燃机车的交流传动电气系统。

### 1 电传动系统

#### 1.1 系统组成

HXN5型内燃机车电传动系统主要由牵引系统、辅助电源系统、柴油机控制系统、ARCNET网络系统及空

冷系统等5个子系统组成。

牵引系统包括整流器、直流中间环节、逆变器、制动电阻等电气单元;辅助电源系统由牵引发电机励磁电源、蓄电池充电和辅助电机供电3个子系统组成;柴油机控制系统主要由核心单元ECU(柴油机电喷控制单元)组成,它主要用于柴油机的燃油给定调节、功率输出管理、状态诊断与保护。HXN5型机车电传动系统采用强迫风冷。冷却空气由牵引变流器柜顶的冷却风机吸入,在风道入口由风舌分为两部分:一部分进入中央风道,再流经整流器各整流模块子风道和逆变器各相位模块子风道,为牵引系统各功率模块散热;另一部分则通过空气滤清筒进入交流传动电气系统的电气屏柜,在柜内形成正气压(相对柜外气压),不仅为电气部件散热,还能有效地防止灰尘、沙粒、雨雪等的侵入。

同国内传统内燃机车相比,HXN5型内燃机车电传动系统有如下主要特点:

#### (1) 采用轴控方式

与架控方式相比,每台牵引电动机由一组逆变器供电,其频率、电压调节相对独立,可灵活地根据轮径

收稿日期: 2009-05-20

作者简介: 陈智豪(1975-),男,硕士,工程师,现从事交流传动系统的研究开发工作。

差或轴重转移要求调节牵引电动机转速和转矩,以发挥最大的牵引力,从而实现较高的粘着利用。另外,假如1台牵引电动机或1组逆变器出现故障时,机车仅损失一台电动机牵引力,其余牵引电动机或逆变器仍能正常运行,且利用其余逆变器的裕量机车也能维持额定的牵引工况。

(2)使用逆变器启动柴油机

传统内燃机车采用专门的直流启动电机并通过机械变速箱带动柴油机启动,这种启动方式占用空间大,机车设备布局困难。HXN5型内燃机车则通过蓄电池组、逆变器(2组,双冗余结构)和牵引发电机(工作于同步电动机工况)构成一套变频启动装置,启动柴油机。该方案可充分利用机车现有硬件设备,有效利用机车的空间,减少设备投入。

(3)采用动态电阻制动

在制动工况下,通过传感器对牵引电动机进行监测,牵引电动机控制器(TMC)实时计算并对逆变器的频率及电压施以控制,以便使每台电机以给定的减速度和转矩运行,最终实现机车的动态电阻制动。采用这种制动方式,可以使机车速度降到1~2 km/h,而无需增加制动硬件。但整个制动工况中,牵引电动机对中间回路产生的能量因无法返馈电网,而需消耗在制动电阻上。

(4)辅助模块通用性强

该型机车有1组励磁模块和3组跳波模块,各模块之间可以相互替换,通用性好。采用跳波模块,可根据工况选择适当的跳波比率确定风机运行功率,具有节能的优点。

(5)采用先进的网络控制系统

采用ARCNET网络将智能显示器与柴油机控制系统、辅助电气控制系统、牵引控制系统等设备互联起

来,同时与第三方设备进行通信。

1.2 系统布置

HXN5型内燃机车的电气系统集成在一个屏柜内。该屏柜分为上下两层,上层安装制动电阻和冷却风机,下层安装电气系统所有电气部件,这里仅介绍屏柜下层中的系统布置情况。

屏柜下层按照空间分为4个区域(图1)。其中CA2区域主要包括电子燃油控制系统、牵引发电机励磁控制器、牵引电动机控制器、牵引通风机控制器、逻辑电源、二次滤清机构等关键部件;CA3区域主要包括支撑电容和IGBT模块;CA4区域主要包括冷却风扇控制器、蓄电池充电控制器、辅助发电机励磁控制器、各类接触器等关键部件;CA5区域主要包括支撑电容、整流模块和IGBT模块等部件。

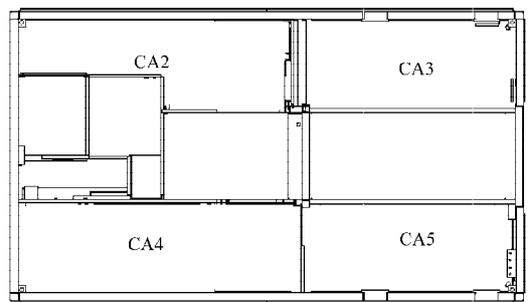


图1 HXN5型内燃机车电气系统布置示意图  
Fig.1 Layout schematic of electrical system for HXN5 diesel locomotive

2 牵引系统

2.1 整流器和逆变器

HXN5型内燃机车主电路(图2)由牵引发电机、整流器、冷却风机、中间直流环节、逆变器、牵引电动机、制动电阻等装置组成。其中中间直流环节上并联有滤

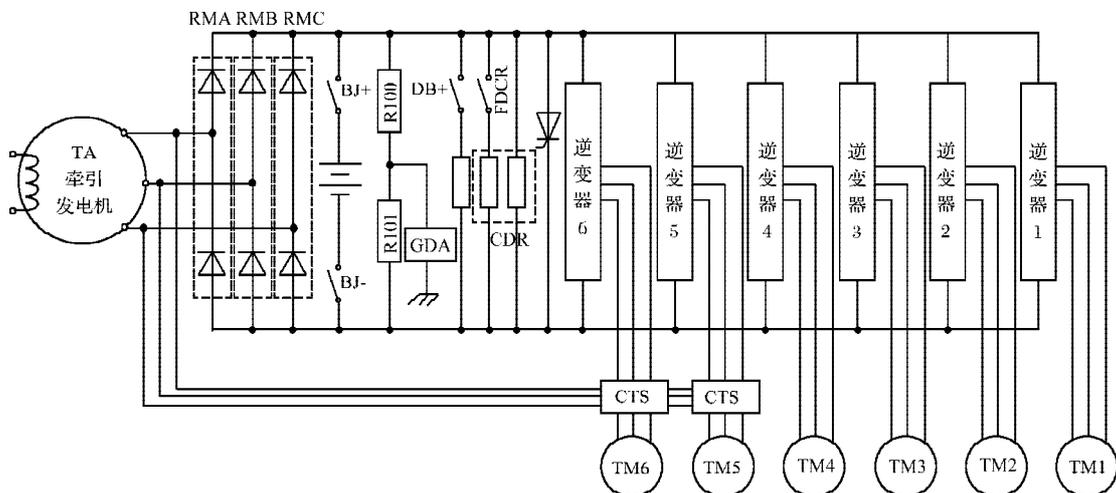


图2 主电路原理  
Fig.2 Principle of the main circuit

波电容、制动电阻和放电电阻。每组逆变器为一台牵引电动机供电。逆变器和发电机及牵引电动机均由独立的风机进行冷却。

牵引变流器的主要技术参数如下：

整流器

输入电压 1 093 V

逆变器(单组)

最大输入电压 DC 1 400 V

最大输入电流 530 A

额定输出电压 三相AC 0~1 100 V

额定输出电流 760 A

最大输出电流 853 A

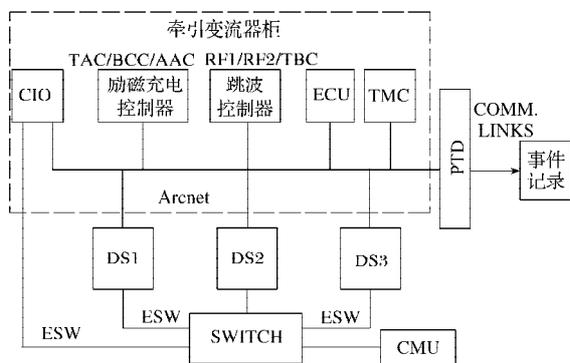
输出容量 745 kVA

效率  $\geq 98\%$

冷却方式 强迫风冷

## 2.2 网络控制系统

HXN5 型内燃机车采用分布式网络控制系统,各控制单元执行相对独立的任务,且通过ARCNET网络互联,共同控制机车的电传动系统。网络控制系统示意图如图3所示。



CIO——集成输入输出；TAC——主发电机励磁控制器；TBC——牵引通风机励磁控制器；AAC——辅助发电机励磁控制器；RF1——冷却风扇电动机控制器1；RF2——冷却风扇电动机控制器2；BCC——蓄电池充电控制器；ECU——柴油机电喷控制单元；TMC——牵引电动机控制器；DS1、DS2、DS3——智能显示器；PTD——协议转换器；SWITCH——交换机；ESW——以太网；CMU——通信单元

图3 网络控制系统

Fig.3 Network control system

网络控制系统分为机车控制级、传动控制级和人机界面3级结构。机车控制级主要负责管理、协调机车各控制部分的工作,实现主发电机、辅助发电机的控制以及机车逻辑控制和柴油机功率的控制；传动控制级主要负责牵引变流器的控制,实现牵引电动机的调速；人机界面级主要负责人机对话,智能显示器(DS1、DS2、

DS3)提供人机对话的界面,综合显示机车各部件的重要运行状态信息。机车控制级和传动控制级与人机界面级之间通过总线实现命令传递和信息交换。机车控制网络采用ARCNET网络和以太网,ARCNET网络负责传输机车控制信息,以太网负责数据统计、事件记录、数据转储、软件下载等工作。

HXN5型内燃机车上还装有根据用户特定要求配备的第三方设备,包括电子空气制动机、列车端装置、事件记录仪以及燃油液位计等。这些装置发送相关信息到智能显示器以用于显示和控制,并通过智能显示器实时采集司乘人员操作和准备指令,所有数据信息的传送都通过协议转换器(PTD)来进行,PTD用作信息翻译和传送主要渠道。

## 2.3 牵引电动机控制

机车运行时,智能显示器通过ARCNET控制网络向HXN5型内燃机车上每台牵引电动机发送工况和牵引力给定指令信号,而牵引电动机控制器(TMC)的主要任务是将机车接收到的指令信息转化为逆变器组驱动信号,输送至与牵引电动机相连接的逆变器。TMC通过驱动其内部的6个微机-I/O(CPU-I/O)插件和2个光纤转换插件来实施这项工作。图4为TMC信号接口框图。

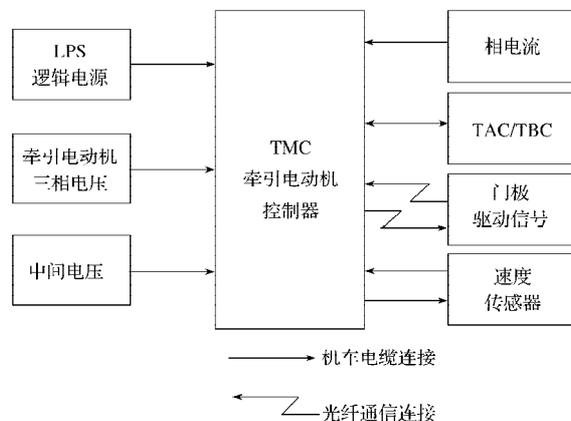


图4 TMC信号接口框图

Fig.4 Diagram of TMC signal interface

牵引电动机控制器功能主要包括：

(1)通过ARCNET网络接收来自智能显示器的牵引/制动力矩给定值,同时采样中间直流电压、电机相电流、电机转速及元件的驱动反馈信号,利用直接转矩控制技术控制逆变器模块IGBT元件的开关状态,从而控制逆变器的输出电压、相位和频率,使牵引电动机的输出转矩与给定转矩一致。

(2)通过电压传感器检测牵引电动机的相电压和主直流母线上的电压值；通过电流传感器检测各牵引电动机A相和B相电流。

(3)接收速度传感器的信号,读取4个频率变化的反馈方波信号。该信号的频率显示出牵引电动机转子的转速,信号间的相位关系显示出牵引电动机转子的旋转方向。

(4)与机车网络控制系统中的其他设备进行通信,其采用的方式是沿着ARCNET网络到达离其最近的网络邻居。

### 3 辅助电源系统

HXN5型内燃机车采用1个490 kVA的交流辅助发电机发出68~402 V的三相交流电,为整台机车提供辅助电源。辅助发电机包括自身的励磁线圈和3个独立的输出线圈。3个独立的输出线圈主要给励磁系统、辅助电机供电系统和蓄电池充电系统供电。辅助控制系统示意图如图5所示。

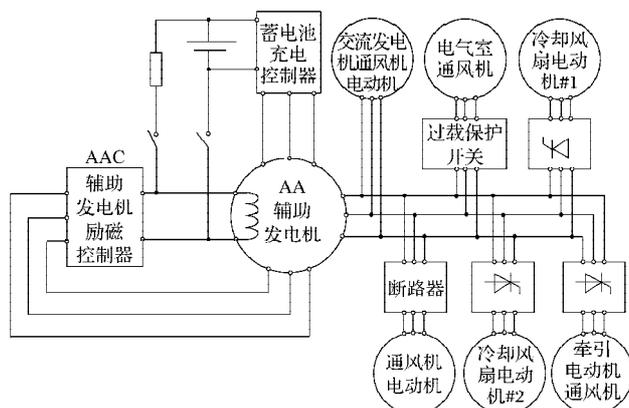


图5 辅助控制系统示意图

Fig. 5 Diagram of the auxiliary control system

辅助发电机可为电加热器提供电源,柴油机可在较高的转速下驱动辅助发电机发电,改善机车的燃油性能,节省燃油,同时减少了废气的排放。辅助发电机绕组参数见表1。

表1 辅助发电机绕组参数

Tab.1 Parameters of auxiliary generator winding

部件	输出电压/V	压频比/V·Hz <sup>-1</sup>
励磁供电线圈	68	0.638
蓄电池充电供电线圈	201	1.92
辅助电动机供电线圈	402	3.83

#### 3.1 辅助发电机启动

辅助发电机启动条件为:(1)柴油机转速在400~1 050 r/min之间,并至少持续20 s;(2)牵引变流器所有柜门关闭并锁好;(3)智能显示器的AA输入/输出开关必须在输入位置。辅助发电机启动是先通过蓄电池励磁,此时, $I_{励磁}=I_{蓄电池}$ ;当辅助发电机的压频比达到0.38 V/Hz时,辅助发电机励磁控制器工作,此时, $I_{励磁}=I_{蓄电池}+I_{AAC}$ ;

当辅助发电机的压频比达到3 V/Hz时,智能显示器断开蓄电池,由辅助发电机进行自励磁;当辅助发电机的压频比达到3.83 V/Hz时,辅助发电机的供电线圈开始向机车辅助系统正常供电。

#### 3.2 励磁控制器

辅助发电机的励磁供电线圈输出三相交流电,当柴油机处于第8档位时,可达到AC 67 V的最大线电压。励磁线圈输出的三相交流电被施加到TAC/AAC的输入端,励磁控制器通过内部整流电路三相交流电转换为直流,并根据智能显示器的工况和功率给定指令,通过移相触发方式调节励磁电流的大小,给牵引发电机(74 V/400 A)和辅助发电机(68 V/585 A)提供励磁电流。

#### 3.3 跳波控制器

跳波控制器将输入的三相交流电转换为电压和频率可调节的交流电,为2台冷却风扇电动机(80 kW)和1台牵引通风机电动机(80 kW)供电。智能显示器通过传感器实时侦测牵引电动机的温升和柴油机冷却水的温度,且计算出与所需冷却风量相对应的跳波比率,根据所需冷却风量,确定冷却风扇、通风机以全速、半速或1/4转速运行,或者停止运行。此外,冷却风扇还具有一种全速反向旋转的功能,主要用于清除吸附在散热器表面的灰尘。

#### 3.4 蓄电池充电控制器

机车运行时,辅助发电机通过集成于内部的独立绕组向蓄电池充电器提供三相交流电,该交流电被施加到蓄电池充电控制器的输入端,在智能显示器的控制下,将交流电转换为直流电,同时控制直流输出电压保持恒定。当机车上蓄电池电压较低时,例如启动柴油机后,蓄电池充电供电线圈可给蓄电池充电。蓄电池充电电路也为其他的低压电路设备,如加热器/空调、车窗加热器以及控制单元电源等供电。

### 4 冷却系统

冷却系统是内燃机车的一个重要组成部分,随着内燃机车朝大功率、高速、重载方向发展,冷却系统还对提高机车运行的经济性具有重要意义。

HXN5型内燃机车电气系统通风系统的特点是:主辅电气设备间冷却风道独立;电气柜体内为正气压,能有效防止雨雪、风沙的侵入;风道与设备隔离;有专门设计的空气滤清筒,能有效防止沙尘对车内电气设备的入侵。

强迫风冷给机车功率部件提供冷却空气,IGBT逆变和晶闸管相控整流采用模块化设计,内部集成有专

门冷却风道,冷却效果理想,结构紧凑、安装方便。由图6可知,冷却空气通过冷却风机从机车顶部吸入,通过上半部分柜体的一级V型多孔网滤清器滤清,再分别

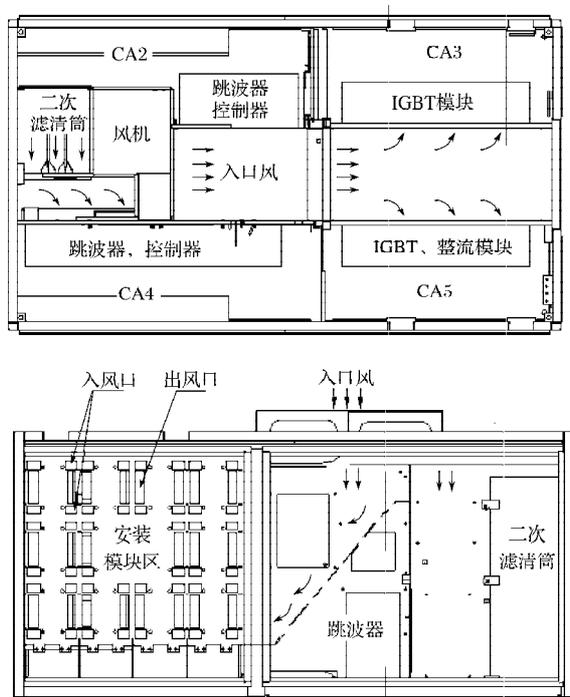


图6 风道走向示意图  
Fig.6 Schematic of the duct direction

流经牵引电气系统和辅助电气设备的风道,从两侧为功率部件提供冷却风。针对北方风沙大的特殊性,对控制模块系统采用滤清精度高、纳污能力强的纸质干式空气滤清筒,为变流器柜内的控制器及跳波控制器提供洁净的空气。但在寒冷季节,雪水容易粘附在滤纸表面结冰,会加大进气阻力,故空气滤清筒更换周期会比其他季节稍短。

## 5 结语

HXN5型内燃机车充分发挥了交流传动的优势,并结合中国铁路运输需求进行了适应性改进,具有功率大、操作简单、运行可靠等特点,得到机车运用部门的肯定。目前HXN5型内燃机车电气系统产品已经批量生产,正在逐步装车,该型机车的应用大力推动了内燃机车领域里交直传动向交流传动转换的进程。

## 参考文献:

- [1] 黄济荣. 电力牵引交流传动与控制[M]. 北京: 机械工业出版社, 1998.
- [2] 王兆安, 黄俊. 电力电子技术[M]. 4版. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [3] 郝金伟. HXN5型大功率交流传动内燃机车[J]. 机车电传动, 2009(2): 1-5.

(上接第37页)

## 4 结语

本文介绍了几种典型的恒速恒频风力发电机组和变速恒频风力发电机组及其变流器的拓扑结构,并对风电机组的并网作了简单的介绍,最后对不同类型的风力发电机组进行了对比分析,为风力发电机组的设计提供了一定的参考。随着大功率全控开关器件的出现,风力发电机组单机容量也逐渐增大,风力发电机组也会逐渐从目前的双馈异步风力发电机组向永磁直驱风力发电机组和电励磁半直驱风力发电机组发展。

## 参考文献:

- [1] 蔡宣三, 宋建国, 周伟松, 等. 风能, 一种清洁的可再生能源[J]. 电力电子, 2007(1): 3-7.
- [2] 郭红霞, 杨金明. 风力发电中的电力电子技术和控制技术[J]. 中国水运, 2007, 7(3): 70-73.

- [3] 高赐威, 何叶. 考虑风力发电接入的电网规划[J]. 电力科学与技术学报, 2009, 24(4): 19-24.
- [4] 徐建中, 冯遵安, 王恩荣. 电力电子技术在可再生能源发电系统中的应用[J]. 南京师范大学学报, 2007, 7(3): 21-25.
- [5] 岑海堂, 薛正福. 大型风电机组发展现状与关键技术[J]. 科技创新导报, 2008(24): 78-81.
- [6] 刘光德. 风力机控制系统原理、建模及增益调度设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- [7] Hua Geng. A Novel Control Strategy of MPPT Taking Dynamics of Wind Turbine into Account[C]. IEEE Conference of PESC 2006, 2006.
- [8] 叶航冶. 风力发电机组的控制技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [9] Carrillo C, Feijoo A E, Cidras J, et al. Power fluctuations in isolated wind plant[J]. IEEE Trans. on energy conversion, 2004, 19(1): 217-220.
- [10] Chen Z, Spooner E. Grid power quality with variable speed wind turbines[J]. IEEE Trans. on energy conversion, 2001, 16(2): 148-153.
- [11] Blaabjerg F, Chen Z, Kjaer S B. Power electronic as efficient interface in dispersed power generation system [J]. IEEE transactions on power electronics, 2004, 19(5).