

HXN6 型大功率混合动力内燃机车 微机控制系统

吴柏华^{1,2}, 张东方¹, 何良¹, 鲍睿¹, 赵军伟¹, 刘松柏¹

(1. 株洲中车时代电气股份有限公司, 湖南 株洲 412001;
2. 动车组和机车牵引与控制国家重点实验室, 湖南 株洲 412001)

摘要: 介绍了HXN6型混合动力内燃机车微机控制系统的拓扑结构和新技术特点, 详细阐述了控制系统的硬件、软件设计和适应性优化设计。实际运用表明, 该车控制系统运行稳定可靠, 完全满足用户的各项需求。

关键词: 特性控制; 调速控制; 混合动力; MVB通信; 蓄电池控制; HXN6型内燃机车

中图分类号: U267.1; U262.7⁺3

文献标识码: A

doi: 10.13890/j.issn.1000-128x.2017.06.006

Microprocessor Control System of HXN6 Hybrid Diesel Locomotive

WU Baihua^{1,2}, ZHANG Dongfang¹, HE Liang¹, BAO Rui¹, ZHAO Junwei¹, LIU Songbai¹

(1. Zhuzhou CRRC Times Electric Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412001, China;

2. State Key Laboratory for Traction and Control System of EMU and Locomotive, Zhuzhou, Hunan 412001, China)

Abstract: Topology and new technic characteristic of HXN6 hybrid diesel locomotive microprocessor control system were introduced. The control system hardware and software and their optimized design were expatiated in detail. Application indicated that the control system run steadily and met all the demands of user.

Keywords: characteristic control; speed control; hybrid power; MVB communication; battery control; HXN6 hybrid diesel locomotive

0 引言

目前国内铁路站场调车作业一般由内燃机车承担, 由于调车作业工况切换频繁, 采用原来单一的柴油机动源存在柴油机装车功率偏大、燃油消耗高以及噪声大等缺点。为了降低柴油机装车功率, 实现制动能量回收, 降低燃油消耗和减少废气排放, 采用柴油机发电机和动力蓄电池作为动力源的混合动力调车机车应运而生。2010年, 中车资阳机车有限公司(简称资机公司)与中车株洲电力机车研究所有限公司(简称株洲所)联合, 成功研制了混合动力机车CKD6E-5000^[1], 机车运行稳定可靠, 具备良好的节油效果。2014年, 资机公司与株洲所再次联合, 研制了目前国内最大功率柴

油机和蓄电池混合动力机车——HXN6型混合动力内燃机车, 机车柴油机装车功率1 250 kW, 动力电池电量1 500 kW·h。该机车微机网络控制系统采用成熟稳定的MCF5235产品新平台和MVB网络, 人机界面采用新型触摸式彩色液晶显示器。微机网络系统实现了机车工况转换和特性控制、柴油发电机功率控制、新型蓄电池管理控制和制动系统控制, 具有稳定可靠、性能优异等特点, 充分体现了“先进、成熟、适应、可靠”的设计原则。

1 微机控制系统网络拓扑

HXN6型混合动力内燃机车微机控制系统是机车的控制核心, 负责协调机车各部件运行, 实现机车级控制及保护, 实现柴油机发电机组部件级控制及保护, 实施动力蓄电池充放电控制及通信管理等。

微机控制系统网络拓扑结构如图 1 所示, 关联对象包括制动控制单元、110 V 电源、机车电气设备、传动控制单元、蓄电池管理系统、辅变控制单元、显示器、网关等。

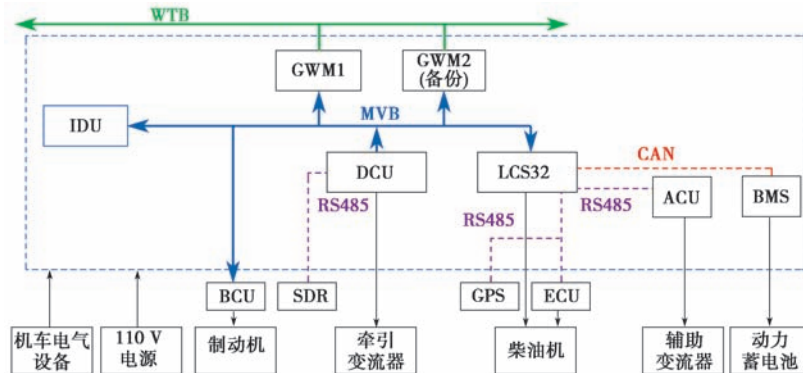


图 1 微机控制系统网络拓扑图

2 微机控制系统硬件设计

硬件设计基于成熟稳定的 LCS32 产品平台, 微机控制装置采用母板总线结构的插箱式机箱, 插箱内有 20 个标准插槽, 所有插件均通过连接器经由母板总线

互连, 插箱对外连线通过安装在母板上的对外插座进行连接, 对外插座与插件间的连线采用绕接方式。微机控制装置以飞思卡尔公司 32 位微处理器芯片 MCF5235 为核心, 扩充有数字量 I/O、模拟量 I/O、频率量处理、励磁控制、信号转换等外围插件, 还有负责柴油机调速的柴油机控制板、MVB 通信网卡板等插件。微机控制装置通过 MVB 总线实现与 GWM 网关的通信。微机控制系统硬件组成如图 2 所示。

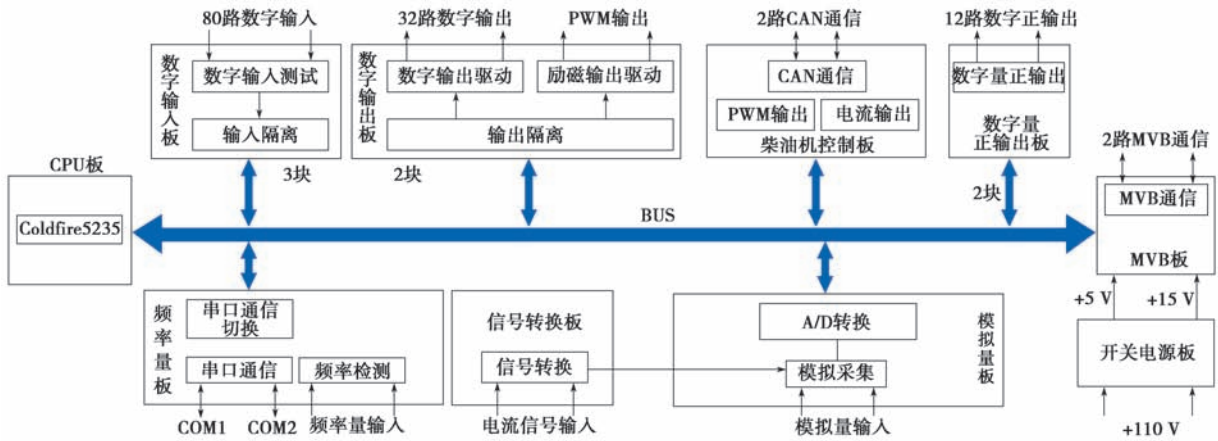


图 2 微机控制系统硬件结构

机箱内各插件布置如图 3 所示。

控制系统具体控制功能如下:

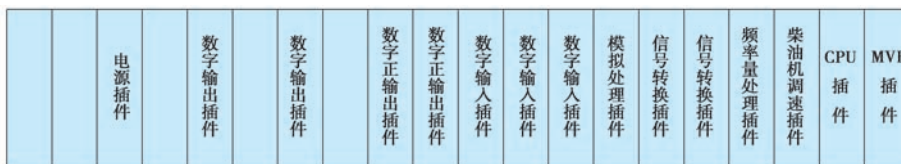


图 3 插件布置图

1) 柴油机控制

根据司机指令完成柴油机的启、停控制; 接收来自司机控制器的挡位编码信号, 并将挡位编码信号转换为柴油机转速信号,

通过输出 4~20 mA 电流信号用于柴油机调速, 同时采集柴油机实时转速, 并使之与柴油机 ECU 给定的目标值保持一致, 实现柴油机转速的闭环控制。

2) 逻辑控制

根据司机操作命令, 结合机车内各部件当前运行状态, 驱动相应的继电器、接触器, 完成机车工况转换、主发励磁接触器控制、动力电池投入/切除控制、加载控制、卸载控制、风管控制、撒砂控制、换端操作等逻辑控制功能。

3) 机车特性控制

按照司机手柄位置、柴油机转速、动力电池剩余电量以及机车速度, 综合牵引/制动特性曲线, 计算出机车当前运行所需的功率和牵引/制动力。LCS32 将牵引力转化为力矩并通过 MVB 总线发送给 DCU, DCU 根据 LCS32 的力矩给定通过对牵引电动机的特性控制,

3 微机控制系统主要功能

HXN6 型机车微机控制系统实现机车级控制, 主要包括协调机车各部分的运行, 实施机车部分逻辑控制、牵引特性控制、故障诊断及处理、主发电机输出电压特性控制, 实现机车的牵引特性给定及柴油机恒功率控制、动力电池充放电控制。

机车运行分为地面电源充电、牵引蓄电池故障、小运转、调车、柴油机保温、机车待机 6 种模式和牵引、惰转、制动 3 种工况, 模式与工况如表 1 所示。

表 1 模式与工况关系表

模式	机车待机	柴油机保温	地面电源充电	牵引蓄电池故障	小运转	调车
惰转	√	√	√	√	√	√
牵引	×	×	×	√	√	√
制动	×	×	×	×	√	√

最终实现机车的牵引/电制动特性控制。机车牵引特性曲线及制动特性曲线分别见图 4 和图 5。

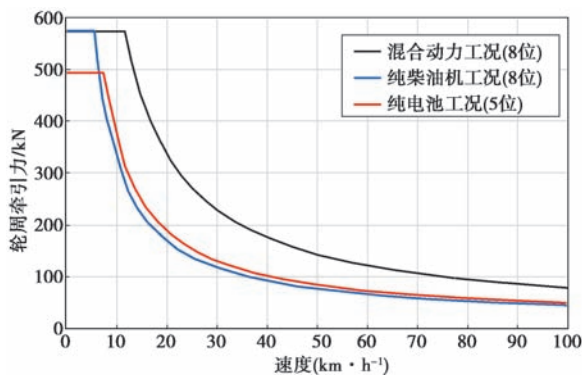


图 4 机车牵引特性曲线

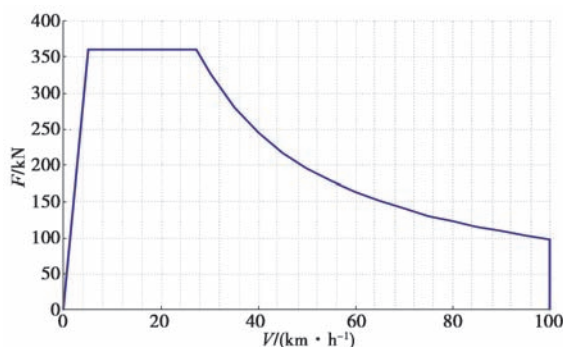


图 5 机车电制动特性曲线

4) 中间直流电压控制

根据司机手柄位置及柴油机转速，计算中间直流电压给定值，通过比较给定值与实际电压反馈值，调节主发电机励磁电流，改变主发电机的输出电压，最终使中间直流电压跟随给定值，控制原理见图 6。



图 6 中间直流电压控制

5) 动力电池充放电控制

通过司机指令实现地面充电、柴油机充电和制动能量回收功能，微机接收蓄电池管理系统提供的动力电池组剩余容量 (SOC)、蓄电池组允许充/放电电流以及单体电池电压等动力电池组状态信息，计算出最合理的蓄电池组允许充/放电电流目标值，对动力电池组进行充放电控制，确保动力电池不过充、不过放。

6) 机车上实施混合制动控制功能

为充分利用机车动力电池，使机车更加节能、环保，机车制动时优先使用电制动。电制动牵引电机反馈的能量由蓄电池进行回收。同时为避免动力电池 SOC 值过高，机车电制动力不足，HXN6 型机车上实施了混合制动控制功能，使空气制动和电制动联合使用，满足机车制动力需求。

7) 故障保护

微机控制系统主要完成柴油机的故障诊断、记录及保护，机车级的故障诊断、记录及保护，同时接收牵引变流器和辅助变流器的故障并进行记录。

4 关键技术研究

HXN6 机车动力电池电量 1 500 kW·h，蓄电池功率占机车总功率比重大，实现机车对动力电池的合理应用及蓄电池的智能充放电管理，对机车动力电池的使用寿命以及节能减排等性能指标具有重大影响。

4.1 混合制动功能

司机根据列车的运行情况（如运行速度等）推动空气制动手柄或动力制动手柄，当采用动力制动手柄进行制动时，会对应产生一个动力制动力目标值。微机控制系统将动力制动力目标值和空气制动力目标值中的较大者作为制动力申请值。微机根据机车运行状态计算得到机车能够提供的动力制动力。

当动力制动力大于制动力申请值时，优先采用动力制动，此时动力制动产生的电能能够存储在动力电池中，同时动力制动能够减少空气制动中对闸瓦的磨损，提高闸瓦使用寿命。

当动力制动中提供的动力制动力小于制动力申请值时，依靠动力制动提供的动力制动力不能满足制动要求，此时应该辅助以空气制动。混合制动控制过程见图 7。

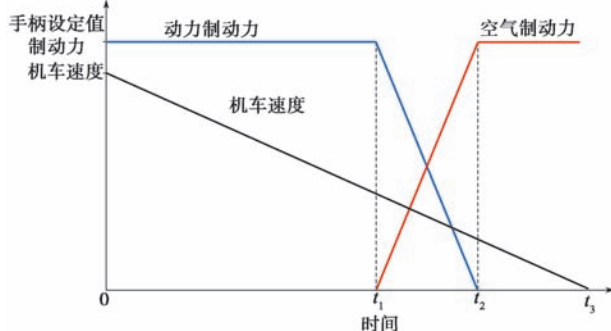


图 7 混合制动预期控制曲线

图 7 中，横坐标代表时间，纵坐标代表制动力申请值，3 条曲线分别为动力制动力曲线、空气制动力曲线和机车速度曲线。图 7 中，刚开始采用制动时，实际动力制动力的大小与制动力申请值的大小相同， t_1 时刻之前，实际动力制动力能够达到机车的制动力申请值，此时只进行动力制动；在 t_1 时刻，随着机车速度值下降，实际动力制动力开始减小，不能满足制动力申请值的要求，此时需要补充空气制动；随着实际动力制动力的不断减小，空气制动力值越来越大，在 t_2 时刻，实际动力制动力为零，但此时机车速度还有一定值，仍然需要制动，此时空气制动提供所有的制动力；在 t_3 时刻，机车速度为零，机车完全停止。

4.2 动力电池充放电控制功能

蓄电池管理系统经 CAN 总线实时给机车微机提供动力电池允许充放电电流 I_2 、蓄电池组剩余容量 (SOC) 及单体电池电压等动力电池组状态信息。微机控制系统根据动力电池的温度、SOC 等变化情况计算出允许充放电电流 I_1 , 蓄电池充放电电流的目标值 I_3 [目标值 $I_3 = \min(I_1, I_2)$]。通过 MVB 网络将 I_3 实时发送给 DCU。DCU 通过 4 个斩波回路控制蓄电池充放电, 避免动力电池组发生过充或过放。

根据动力电池组特性, 混合动力机车充放电电流限制在 $1.5C(1068 \times 1.5 \text{ A})$ 以内; 在动力电池充电时, 根据蓄电池 SOC、温度等参数变化来调节主发电机励磁电流、主发电机输出功率, 控制充电电流, 避免动力电池组过充。充电电流最大限制见图 8 所示。

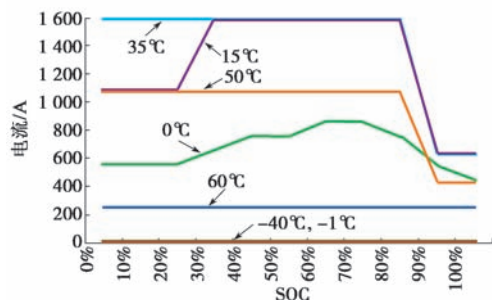


图 8 最大充电电流跟 SOC 及温度关系

在动力电池放电时, 根据蓄电池 SOC、温度等参数的变化来控制牵引功率输出, 避免动力电池组过放, 最大放电电流限制值见图 9 所示。

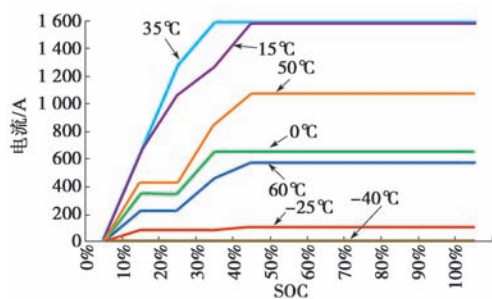


图 9 最大放电电流跟 SOC 及温度关系

5 结语

HXN6 型大功率混合动力内燃机车已完成铁道科学研究院整车型式试验, 目前在哈尔滨机务段进行最后的运用考核。该车微机网络控制系统在各种试验环境中验证了各项功能稳定可靠、软件控制技术合理, 节能减排效果显著。综合在哈尔滨机务段半年的运用考核数据来看, HXN6 型大功率混合动力内燃机车对比一般内燃机车节油约 30%, 为后续混合动力机车产品的研发积累了经验, 提升了内燃机车电传动系统的控制水平。

参考文献:

- [1] 孟玉发. CKD6E5000 混合动力交流传动内燃调车机车的研制 [J]. 铁道机车车辆, 2011; 31(4): 1-4.
- [2] 张东方, 肖功彬, 周少云. SDA1 型交流传动内燃机车微机控制系统设计 [J]. 机车电传动, 2013(4): 6-8.

作者简介: 吴柏华 (1986-), 男, 工程师, 主要从事机车控制的研发工作。

动态消息

巴基斯坦迎来首列“中国造”地铁车 将进入地铁时代

当地时间 10 月 8 日下午, 在巴基斯坦第二大城市——拉合尔为来自中国的地铁车举行了隆重的接车仪式, 标志着巴基斯坦正式进入地铁时代。

在 2017 年 5 月召开的“一带一路”国际合作高峰论坛召开期间, 由中国铁路总公司牵头与北方工业公司联合总包的中巴经济走廊的示范性项目——巴基斯坦拉合尔轨道交通橙线项目首列车在中车株洲电力机车有限公

司下线。

据悉, “橙线项目”线路大致为南北走向, 全长约 25.58 km, 共设车站 26 座, 该项目车为 3 动 2 拖 5 节编组的 B 型地铁列车, 初期购车数为 27 列, 采用不锈钢鼓型车体, 列车最高运营速度为 80 km/h。

该项目列车的设计, 采用了安全可靠的牵引系统、耐高温转向架和节能高效的空调系统, 使车辆能够在 60℃ 的高温下持续提供空调、照明和牵引动力, 并且在外观上融入了巴基斯坦国花 (素馨花)、皇家清真寺 (巴德夏希清真寺) 元素, 充分展现了巴基斯坦的热情与激情。

(朱一迪)