

HXD1 型电力机车智能供电系统研究

李晶¹ 冯厉鹏¹ 孙尚林² 曾凡军¹ 邵明霞¹

1. 中车株洲电力机车有限公司, 中国·湖南 株洲 412001

2. 株洲国创轨道科技有限公司, 中国·湖南 株洲 412001

摘要: HXD1 型电力机车在运营中面临多个技术瓶颈, 包括无接触网区段的运行灵活性受限、库内动车技术不足、无火回送模式下的能源浪费以及司机室舒适性无法保障等问题。为此, 论文提出了一种智能供电系统设计方案, 通过在既有主电路基础上增加蓄电池柜和控制电源柜, 实现库内动车、空调独立供电及无火回送自发电等功能。经验证该系统可显著提升机车运行效率和能源利用率, 改善司乘环境, 降低运营成本和碳排放。为铁路运输的智能化、可持续发展提供了有力支持。

关键词: 电力机车; 智能供电系统; 无火回送; 库内动车

The Research on the Intelligent Power Supply System for HXD1 Electric Locomotives

Jing Li¹ Lipeng Feng¹ Shanglin Sun² Fanjun Zeng¹ Mingxia Shao¹

1. CRRC Zhuzhou Electric Locomotive Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan, 412001, China

2. Zhuzhou National Innovation Railway Technology Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan, 412001, China

Abstract: The HXD1 electric locomotive faces several technical bottlenecks during operation, including limited operational flexibility in catenary-free sections, inadequate technology for moving within depots, energy waste in the dead-in-tow mode, and the inability to ensure the comfort of the driver's cab. To address these issues, this paper proposes a design scheme for an intelligent power supply system. By adding a battery cabinet and a control power supply cabinet to the existing main circuit, the system enables depot movement, independent air conditioning power supply, and self-generation in the dead-in-tow mode. It has been verified that this system can significantly improve the operational efficiency and energy utilization rate of the locomotive, enhance the driving environment, and reduce operational costs and carbon emissions. This provides strong support for the intelligent and sustainable development of railway transportation.

Keywords: electric locomotive; intelligent power supply system; dead-in-tow; depot movement

0 前言

铁路运输作为国民经济的大动脉, 承载着货物与人员流动的重要使命, 其高效、安全、环保的运行对国家经济发展和社会稳定具有重要意义。电力机车作为现代铁路运输的核心动力装备, 凭借其牵引力强、能耗低、污染少的优势, 已成为铁路运输的主力军。然而, 在实际运营中, 电力机车仍面临诸多技术瓶颈与挑战, 制约了其性能的充分发挥。为此, 论文提出了一种创新的重载货运机车智能供电系统设计方案。该方案旨在解决电力机车在无接触网区段、库内动车以及无火回送模式下的供电问题, 同时通过智能化技术实现能量的高效回收与利用, 为铁路运输的可持续发展提供技术支撑。

1 电力机车面临的技术瓶颈与挑战

首先, 电力机车在无接触网区段的运行灵活性受到限制。由于缺乏外部电力供应, 机车无法自主移动, 导致调车作业效率低下, 增加了运营成本和消耗。其次, 现有的库内动车技术存在明显不足。目前, 库内动车主要依赖外部电源

供电, 不仅运行距离受限, 而且在无库内电源的情况下无法实现动车操作。最后, 供电线缆过长容易造成磨损, 操作不当还可能引发安全隐患, 进一步增加了维护难度和运营风险。

此外, 电力机车在天窗点作业或无火回送模式下, 司机室的舒适性无法得到保障。由于机车无法为空调及暖风机供电, 司乘人员在极端天气条件下可能面临高温或低温环境, 影响工作状态和健康。更为重要的是, 在无火回送模式下, 机车通过被牵引机车的牵引电机发电时, 会产生大量电能。这些电能目前尚未得到有效利用, 造成了能源的浪费。如果能将这部分能量回收并加以利用, 不仅可以降低电气化铁路的电能消耗, 还能显著减少运营成本, 提升铁路运输的经济效益和环保水平。

2 电力机车主辅电路简介

根据电力机车整体制造设计, 采用主辅一体化的主电路模式, 也就是牵引变流器和辅助变流器共用一个直流回路, 使变流器结构更紧凑, 具有更高的可靠性。其主电路示意图如图 1 所示。

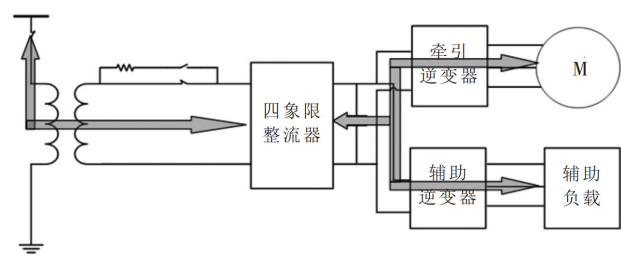


图 1 电力机车主电路示意图

3 智能供电系统总体方案设计

3.1 方案需求说明

在 1 台 HXD1 型电力机车上加装钛酸锂电池组及充电、放电等管理模块和显示终端，使机车实现：

①以钛酸锂电池组为动力源，实现机车在库内及无接触网区段低速、短距离移车，锂电池在无其他负载条件下，机车速度不大于 6km/h 时，能满足驱动机车单机运行不小于 5000m 的距离。

②电力机车在天窗点及无火回送模式时改善生活供电问题，满足在开天窗期间司机正常生活用电需求（不少于 4 个小时）。

③无火回送自发电功能，由牵引电机励磁自发电，通过电源转换模块整流后给钛酸锂电池组充电，同时用于生活电器供电。

3.2 关键设备方案设计

3.2.1 蓄电池方案

根据 3.1 章节的方案需求说明，对用电量进行分析，进行蓄电池的选型设计。

①司机室生活用电所需容量。

根据现场实际情况，司机室的生活用电负荷：有司机室暖风机、空调、卫生间加热、微波炉，生活用电所需功率为 8.5kW，开天窗时间按 4h 计算，生活用电所需电量为 34kWh。

②库内动车用电所需容量。

库内动车启动功率约需要 20kW，稳定运行功率约为 5kW，仅生活用电容量即可满足库内动车 5km 以上，所以电池容量设计不再考虑库内动车消耗。

综合上述分析，储能电池容量共需要 34kWh。考虑到长期使用的衰减，选用钛酸锂电池电量为 54.1kWh，以满足生活用电和库内动车用电。蓄电池的主要技术参数如表 1 所示。

3.2.2 充电机方案

充电机用于给钛酸锂电池充电，充电机输入端直接接到车载辅助逆变器的输出，当车辆升弓或无火回送自发电时，即可启动对储能电池的充电。考虑车载辅助逆变器负荷情况，设计最大充电电流 50A 并可根据实际情况调整充电电流。充电机的主要技术参数如表 2 所示。

表 1 蓄电池主要技术参数

名称	参数
电芯规格	钛酸锂 40Ah/2.35V
模组方案	4P12S
模组数量	12 个
电池成组方式	12P48S
电池组容量	480Ah
电池组可用电量	54.1kWh
最大充电功率	20kW
最大放电功率	60kW
电池组额定电压	112.8V
电压范围	92~127.2V
使用循环寿命	> 10000 次
控制系统供电电压	110VDC
控制系统用电功率	200W
温度过高保护值	60℃
整柜 IP 等级	IP65
电气性能	过压、过流、过热、过载、短路保护等保护报警功能
电池管理系统	单体电压、总电压、总电流、SOC、SOH、接触器控制、温度控制
通信接口	RS-485/MVB/ 以太网可选

表 2 充电机的主要技术参数

名称	参数	
输入电压	典型值	440V 60Hz
	最小值	95V
	典型值	110V
	最大值	150V
	稳压精度	± 0.5%
	稳流精度	± 1%
	输出功率因数	≥ 0.93
	充电机效率	≥ 94%
输出电压可调范围	最大噪声（dB）	≤ 50dB
	输出电流	50A
	功率	10kW
充电时间	储能电池充电时间（54.1kWh）	≤ 10h
功能保护	自动限流、输出过压保护、输出短路保护	

3.3 关键设备方案设计

针对 3.2 章节中提出的重载货运机车在实际工作中面临的问题，对电力机车智能供电系统进行方案设计，如图 2 所示为电力机车智能供电系统电路拓扑图，在既有电力机车主电路基础上增加蓄电池柜、控制电源柜。蓄电池柜采用钛酸锂电池储能，具备高安全性、长循环寿命和快速充放电能力。控制电源柜集成双向 AC/DC 变流模块，支持机车在不同工况下的充放电需求。

在机车处于库内动车工况时，蓄电池通过控制电源柜中的变流模块对辅助变流器提供三相交流电，并经过整流、

逆变后向牵引电机供电驱动机车。

在空调以及暖风机独立供电模式时,通过充电机中新增的双向 AC/DC 变流模块对空调及暖风机负载提供三相交流电,以改善司乘环境。

在无火回送自发电模式时,通过牵引电机励磁自发电,

经变流器整流、逆变后给恒压恒频辅助回路中钛酸锂电池组充电,同时用于生活电器供电。

在机车正常运行时充电机的变流模块将辅助回路三相交流电转换为直流为蓄电池充电,此时蓄电池相当于一个辅助负载。

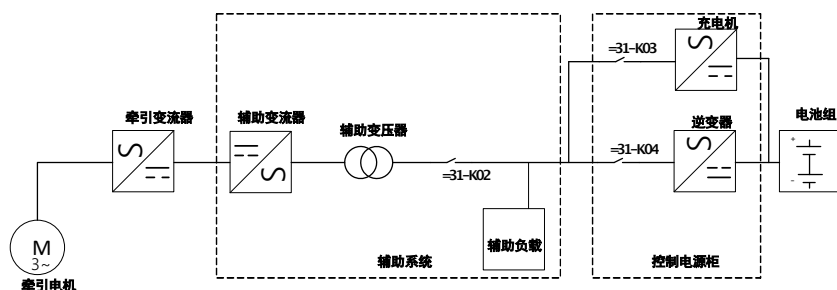


图 2 电力机车智能供电系统电路拓扑图

4 智能供电系统控制方案设计

电力机车设置蓄电池选择开关,可实现放电、充电、无火回送、0 位 4 种功能的选择。设置机车模式选择开关,可实现正常、辅机测试、蓄电池动车 3 种模式的选择。通过两个选择的配合实现智能供电系统库内动车、空调以及暖风机独立供电模式、无火回送自发电功能的选择。

4.1 库内动车功能

①机车所有主断路器断开,受电弓降下,主司控器在“0”位,方向手柄在“0”位;

②主风缸压力充足;

③对智能供电系统提供控制电;

④机车模式选择开关在“蓄电池动车”位置;

⑤本节机车电钥匙在闭合位;

⑥蓄电池选择开关在“放电”位置;

⑦当所有条件都满足的时候,结合主断路器扳键开关,推动司控器手柄至“牵引小零位”;通过主司控器移动机车,并通过空气制动来制动车。

4.2 空调以及暖风机独立供电模式

①机车所有主断路器断开,受电弓降下,主司控器在“0”位,方向手柄在“0”位;

②对智能供电系统提供控制电;

③蓄电池选择开关在“放电”位置;

④夏天模式:闭合空调供电自动开关,打开空调模式转换开关及空调风速转换开关,空调开始工作;冬天模式:闭合暖风机供电自动开关,打开暖风机转换开关,暖风机开始工作。

4.3 无火回送自发电模式

①机车无火回送状态模式下,整车电力控制系统上控制电;②闭合电钥匙,将司控器方向转换手柄转换至与列车行驶方向相同位置;③通过 IDU 显示屏主界面选择按压“检修模式”按键,进入“检修维护模式”,输入维护密码进入

“维护界面”;④选择按压“回送模式”按键;⑤蓄电池选择开关在“无火回送”位置;⑥确认机车速度大于 30km/h;⑦确认微机系统检测使用条件满足无火回送模式,微机显示屏“无火回送可使用”;⑧在微机显示屏选择按压“激活模式”按钮;⑨机车进入无火回送发电状态;⑩机车需恢复正常运用状态时,选择按压“退出模式”按钮;⑪断开无火回送电源开关,将机车无火回送状态模式恢复到正常模式状态。

5 结语

论文重点阐述了 HXD1 型电力机车智能供电系统的总体及控制方案,改造后的电力机车已在靖神铁路现场试装应用,验证了该智能供电系统方案的可行性。本设计方案的实施将显著提升电力机车的运行效率与能源利用率,降低铁路运输的运营成本,同时减少碳排放,助力绿色交通的发展。此外,通过改善司乘环境,还能提高工作人员的工作满意度与安全性,为铁路运输的智能化、现代化发展提供有力支持。电力机车智能供电系统的研究与推广,不仅是对现有技术瓶颈的突破,更是铁路运输领域迈向高效、智能、可持续发展的重要一步。

参考文献:

- [1] 樊运新,蓝正升.一种新型电力机车库内动车电路的设计[J].电力机车与城轨车辆,2009,32(1):6-11.
- [2] 徐海超.重载货运机车无火回送应急供电的研究[D].廊坊:华北科技学院,2024.
- [3] 闫柏辉,陈湘,王亚敏.HXD1D型机车无动力回送辅助系统供电研究[J].机电产品开发与创新,2018,31(6):44-46.
- [4] 倪强,马晓明.高速电动车组无火回送自发电系统原理分析[J].铁道技术监督,2018,46(8):40-43+50.

作者简介:李晶(1993-),女,中国辽宁锦州人,硕士,工程师,从事电力机车电气设计研究。