

Research and Application of Central Locomotive Monitoring and Train Control Optimization of Shuohuang Heavy-load Combined Train

Zhidan Sun

Inner Mongolia Branch of Guoneng Railway Equipment Co., Ltd., Ordos, Inner Mongolia, 017000, China

Abstract

According to the problems exposed in the central locomotive of Shuohuang Railway, the final technical results play the locomotive operation control optimization and wireless reconnection performance improvement, which has great practical significance and promotion value in the field of synchronous control of wireless reconnection train in China.

Keywords

heavy load train; wireless reconnection; moving wheel relaxation; control optimization

朔黄重载组合列车中部机车监测及列车控制优化研究与应用

孙志丹

国能铁路装备有限责任公司内蒙古分公司, 中国·内蒙古·鄂尔多斯 017000

摘要

论文针对朔黄铁路万吨重载组合列车中部机车所暴露的问题, 进行列车控制优化研究和应用, 最终技术成果对机车运行控制优化及无线重联性能改善发挥了积极作用, 在中国重载列车无线重联同步控制领域具有重要的现实意义和推广价值。

关键词

重载列车; 无线重联; 动轮弛缓; 控制优化

1 引言

中国重载组合列车大面积应用无线重联控制系统, 以提升列车动力分布控制优势及载重量, 朔黄铁路万吨重载组合列车应用无线重联同步控制系统进行编组, 在万吨列车开行过程中暴露出了中部机车车钩力不平衡以及中部机车动轮弛缓等问题, 极大影响了列车运行效率与安全。

2 研究背景

2009年, 朔黄铁路公司对SS4B型机车进行了技术改造, 加装了无线重联同步控制系统, 并于当年正式开行万吨组合重载列车。万吨组合重载列车运营多年来情况良好, 达到了预期效果, 为提高朔黄线的运输能力起到了很大作用。同时, 在运行过程中也暴露出一些问题, 比较突出的是中部机车动力作用及制动时的受力问题, 其中多次出现中部机车在制动

转缓解状态时, 重载列车中部机车动轮有弛缓现象。电力机车动轮弛缓是机车重大故障之一, 对于行车安全危害极大, 特别是对于万吨重载列车来说, 必须针对故障现象进行分析研究, 防患于未然。

由于中国无线重联重载技术发展的时间不长, 国外公司存在技术封锁, 所以导致在重载重联技术领域面临的技术难点和技术空白比较多, 针对重联编组重载列车的研究和技术专利成果还比较少, 本研究是基于目前朔黄铁路无线重联万吨重载运输的应用基础展开新的探索与研究。

3 技术路线

为了分析研究弛缓发生的原因, 提出最佳的解决方案, 项目组对万吨重载列车的中部机车及相关车辆工作状态进行系统测试, 采集包含机车车钩纵向力、垂向力及横向力测试数据、弛缓状态检测、机车牵引/制动状态反馈信息、机车操纵数据以及机车动态安全检测数据等在内的数据进行分析整理, 创建模型形成一套优化策略及控制算法(见图1)。

【作者简介】孙志丹(1982-), 男, 中国河北石家庄人, 本科, 工程师, 从事铁路运输研究。

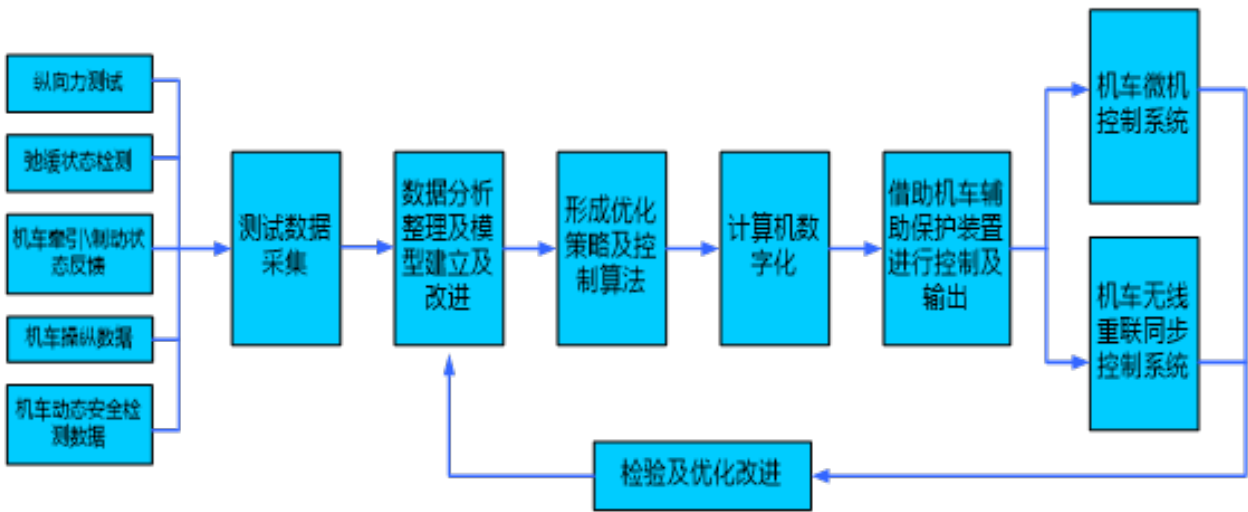


图 1 研究方案技术路线

4 方案实施

4.1 相关数据的传输及处理

4.1.1 速度信号

速度信号的采集主要通过速度传感器来实现，速度传感器兼容采用机车原有的速度传感器。AIO 模拟量采集速度信号，每一块 AIO 插件的 4 路频率采集输入信号对应单节 4 路速度传感器信号，以 8 轴 SS4 机车为例，速度信号的采集方式（见图 2）。

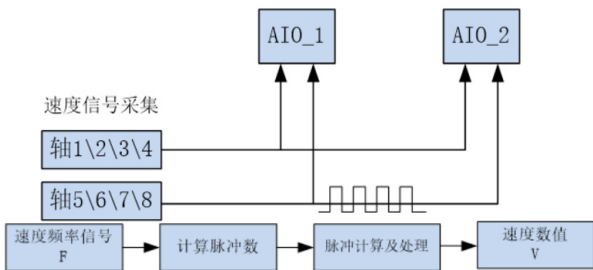


图 2 8 轴 SS4 机车速度信号的采集方式

速度信号的处理通过 AIO 板卡的频率信号采集通道，进入板卡硬件处理器处理，通过计算脉冲数并将脉冲进行处理，最终得到速度数值，这种速度信号采集的方式，区别与传统的通过频率和电压转换的方法，减少了速度信号的干扰，提高了速度采集精度。

4.1.2 司机控制器指令

主车司机控制器指令转换成数字信号后向主车的后节车传输，并传输给主车后节机车同步控制系统中，解决主车后节车同步控制系统采集司机控制器指令问题，实现全冗余功能；由于司机控制器模拟量信号，其最高电压幅值不超过 15V，当主车操纵端同步控制装置出现问题时，主车反向端装置无法通过操纵端同步装置获取司机控制器指令，从而无法向从车发出司机控制器指令信息。

同时司机控制器模拟指令信号直接向后节车传输将出现较大失真，通过第三方装置传输是一种有效可行的办法。本装置采集主车操纵端司机控制器模拟量指令信息，通过数字通信向反向端该装置传输该信息。主车反向端该装置获取该模拟量信号后，通过通信方式向机车无线重联同步控制装置传输操纵端的司控器模拟量信息。

4.1.3 制动缸压力信号

两节机车制动缸压力信号的相互传输，并将其中的信息传输给 LKJ 装置。分别将原输出给 LKJ 的制动缸信号改为输出给各车的本装置进行采集；两节车的该装置相互进行通信，分别采集另一节车的制动缸信息；在各节车装置中，判断两个制动缸信号的有效性，当本节车制动缸信息无效时，选择另一节车的制动缸信息；当两节车的制动缸信息均有效时，选择平均值作为本机车的制动缸信息。各节车的装置将有效的制动缸信息传输给 LKJ 装置^[1]。

4.2 装置控制原理

4.2.1 控制基本原理及功能

首先进行机车基准速度信号的计算。由于中部机车出现过单节车全部轮对擦伤现象，原来控制系统基于各节车四个速度信号进行基准速度的处理不能满足该问题的解决，因此采集机车八个轴的速度信号能有效增加基准速度的计算准确性，各节车该装置采集本节车四个速度信号并通过相互的数字通信来传输，在各装置中进行计算及处理；其次通过与机车同步控制系统通信，选取其 GPS 速度信号进行参考计算；第三，通过与机车同步控制系统通信，选择重载列车中其他机车的速度信号进行参考计算，第四，选择 LKJ 速度信号进行参考计算。将以上方式获取的速度值的综合修正值本机车的实际运行基准速度。

4.2.2 抑制弛缓基本原理

通过各轴的速度信号与基准速度信号进行比较，包括速度差、加速度信号等等判断本机车各轮对空转、滑行以及

弛缓的出现情况，当判断现象正在发生时或即将发生时，通过微机控制系统发出相应卸载指令，快速调整主变流器的晶闸管导通角，调整整流桥的输出电压，快速减少电机力矩，从而产生抑制作用。其次，如产生严重的滑行现象，通过无线方式发送给主车，进行全列车的局部卸载。

4.3 阶段性测试试验

2013 年 9 月朔黄铁路相关技术团队完成了技术研究方案评审，2013 年 11 月完成了样机研制，2014 年 3 月完成了样机系统功能测试和现场试验，项目经过不同阶段的测试和试验，逐步推进项目进度并实现技术功能。研究过程中，主要经过以下几个重要的试验阶段。

弛缓状态数据采集试验：

2013 年 10 月，项目组通过对弛缓现象出现的记录和观测，特别是下坡道制动后又缓解的特征，制定相应的监测及抑制策略，利用目前在段已安装的机车辅助空转保护装置设备，同时结合原 SS4B 机车微机控制系统中的单车弛缓基本检测，增加全机车轮对弛缓检测及记录，同时进一步完善全车监测功能^[2]。

在列车运行过程中，需要在不同的运行工况下，实时检测机车运行工况，并进行有效记录及保存。在制动转缓解工况下，机车动轮发生弛缓现象时，记录下当时机车工况数据。记录存储功能在原有 CPU 处理器卡上增加及扩大存储记录能力，可实现全车全程机车数据的记录。

4.4 结合重载重联研究试验

结合 2012 年 11 月开始进行的朔黄铁路 2 万吨无线重联重载试验，由于本次试验在机车车钩位置安装有应力传感器，并在机车中安装应力监控主机进行线路运行测试，该测试包含了对车钩应力检测等参数数据。由此根据本项目的研究重点，联合中国铁路科学院车辆所进行该方面的数据获取。同时根据该测试得到的数据，结合 2 万吨无线重联重载列车运行情况，针对性分析及研究整理，最终形成优化方案及改进建议。

编组方式两台 SS4B 机车“1+1”编组试验，213 机车为中部机车的从车。通过主机监测机车运行状态数据，包括机车牵引制动工况，网压、单轴速度、全车综合速度等信息（见表 1）。

表 1 测试结果

序号	测试内容	结果
1	坡道启动	坡起正常，未发生空转
2	平稳道路数据	正常，速度稳定
3	平稳道路牵引转电制动	工况转换正常，运行平稳
4	上坡道电制动转牵引工况转换	工况转换正常，未发生空转
5	下坡道牵引转工况电制动转换	工况转换正常，未发生滑行

4.5 动态动力学试验

2014 年 1 月，通过加装辅助空转保护装置，获取机车运行的动态动力学运行参数，计算得到各轴速度、全车基准速度、加速度，加加速度等参数，将参数传输到机车辅助保护及优化控制系统，通过结合 SS4 系列机车动力学特性的专家系统进行实时分析，同时输出到机车微机控制系统，结合重联运行工况来实现优化操作^[3]。

5 安全导向及优化操作

经过专家系统得到的优化算法及策略，结合机车无线重联同步控制系统故障安全导向和机车辅助防空转保护机制，实现中部机车弛缓发生的抑制及安全导向，针对重载列车运行平稳方面，最大限度减小组合列车中车钩的纵向冲击力，提高列车运行的安全性。

另一方面，结合试验数据，在机车司机操作规范上需要进一步细化操作流程，尤其是提升万吨重联状态下牵引及制动操作的规范性和合理性，根据朔黄线重载试验数据和线路情况，对不同区段、不同列车运行工况、不同通信状态、不同牵引辆数、不同列车组合方式下的列车操纵控制技术进行系统研究，提出重载组合列车优化操纵办法。

应对策略模式总结：在万吨重联编组模式下，针对中部机车动轮的弛缓，从机车远程同步控制及机车牵引/制动控制角度出发，采用同步控制和异步控制相结合的方式。在弛缓现象发生的中部机车实行异步控制，实时通过微机柜调整机车的牵引特性，降低驱动力或者切除牵引力。另一方面，通过优化机车远程同步驾驶操纵办法、驾驶操纵控制策略，进一步减少由操纵带来的列车纵向力冲击，优化列车运行品质。

6 研究成果及其社会效益

6.1 解决重载组合列车运行问题

本研究针对中部机车动轮弛缓及作用力冲击大的现象，研究出了进一步优化并提升重载列车机车无线重联同步控制性能的控制方法，形成一套优化策略及控制算法，同时研制出一套机车辅助空转保护装置，并在此硬件基础上结合使用优化控制算法，实现本台机车的重联保护及弛缓抑制，实现全机车的优化控制。

6.2 社会效益

朔黄重载组合列车中部机车监测及列车控制优化研究与应用，可以在目前机车无线重联同步控制系统装置的基础上进一步优化及改进，改善其控制性能，特别是防止轮对擦伤及弛缓现象，提高万吨重载组合列车的运行品质和运行安全性。同时结合优化操纵策略提升操纵的平稳性，改善中部机车的动态运行条件及受力情况，保证万吨重载组合列车的运行安全，避免因事故引起的巨大损失，消除因此类原因而引起的列车途停现象。同时，可利用本研究成果，针对机车运行及维护进行优化和改进，减少维护成本。

7 结语

目前中国的机车无线重联技术处于世界领先水平，并且中国重载货运铁路无线重联技术的应用广泛性和机车运用的复杂度都高于世界水平。在重载组合列车的优化控制研究领域，本课题研究出了在复杂应用环境下，万吨编组列车中部机车的优化控制和算法。同时，研制开发了一套机车辅助空转保护及传输装置，装置的优化控制策略输出控制信息和机车动轮弛缓保护信息，通过通信总线及机车电气线路与机车无线重联控制系统、机车微机控制系统进行数据交换，从而控制机车重联优化操纵，实现运行控制改善。所研究的

控制算法经过了工程验证，并已批量装车使用，有效地解决了中部机车在由于工况变化产生的多个轮对的空转和滑行以及动轮迟缓的问题，推动了中国重载组合列车无线重联控系统的优化和发展。

参考文献

- [1] 钱立新.世界铁路重载运输技术[J].中国铁路,2007(6):45-73.
- [2] 耿志修,钟章队.网络化无线机车同步操作控制的研究与应用[J].铁道学报,2008,30(2):103-107.
- [3] 朔黄铁路发展有限责任公司.朔黄铁路联合运输行车组织及安全管理细则[S].2009.