

重载电力机车多轴空转故障原因分析与优化措施

何 强

国能朔黄铁路车辆分公司 河北 肃宁 062350

【摘要】：文章针对交流传动重载电力机车在朔黄铁路出现的多轮对同时空转引起监控牵引封锁或者触发紧急制动的行车问题，通过理论分析及现场试验，对机车黏着控制策略进行了优化，有效解决了机车主控机车多轴同时发生空转时黏着控制失效的问题。

【关键词】：电力机车；轮对空转；黏着

1 概述

电力机车依靠轮轨滚动之间产生的黏着力来实现牵引力、制动力的传递，当轨面黏着状况不良时，车辆将可能出现空转现象^[1]，此时若不能及时将空转趋势抑制住，发生空转的轮对转速将会失控，造成轮对、踏面磨损，甚至可能导致严重的铁路安全事故。

朔黄铁路2台交流传动重载电力机车陆续发生几起轮对空转并引起紧急制动的行车问题，发生地点位于肃宁北至黄骅港运行区间，牵引吨位3000t。通过分析车载网络数据发现，发生故障时机车操纵节四个轮对同时出现了不同程度的空转现象。

2 故障原因分析

从机车发生多轴同时空转的故障现象看，有如下特点：

- (1) 集中发生在两台机车上；
- (2) 发生地点在肃宁北至黄骅港运行区间；
- (3) 机车操纵节四轴均发生空转现象。

机车本身的软硬件构成以及运行线路条件是影响机车轮轨黏着的主要因素^[2]，针对以上情况，由于线路条件不便于勘察，考虑从机车软硬件构成上着手，从以下两个方面进行分析与排查：

(1) 机车硬件状态是否良好，硬件配置与其他同车型是否存在差异；

(2) 分析机车黏着控制逻辑是否合理。

2.1 机车硬件检查

从硬件角度考虑，造成上诉机车多轴空转、并因此引起紧急停车现象的原因可能有以下几点：

- (1) 机车硬件设计（如主要部件选型、牵引装置结构型式、悬挂系统刚度等）不合理^[3]，或硬件存在故障；
- (2) 机车重量分配不合理；
- (3) 速度传感器故障，造成监控系统误判。

按照以上思路进行分析和排查，得到以下结论：

(1) 出现异常的电力机车硬件设计、主要技术参数（如车钩高度、悬挂刚度、转向架中心距等）、主要部件型号及供应商均与其他同型机车无异；同时，对机车钩缓、轮对踏面、牵引装置、悬挂等重要部位开展常规检查，未发现异常。

(2) 机车重量管理执行 GB3317-1982《电力机车通用技术要求》的相关规定，出厂重量检测符合标准要求；

(3) 对2台机车速度传感器进行检查，传感器无故障且安装正常。

即，经过排查，机车硬件上未发现异常，上诉故障现象与机车硬件无直接关联。

2.2 机车黏着控制软件分析

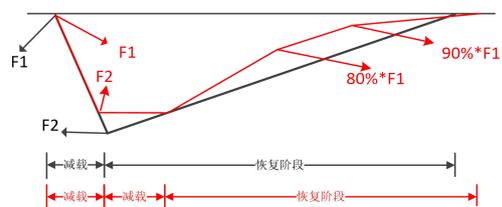
2.2.1 黏着控制策略

黏着软件根据判据法判断轮对是否发生空转滑行^[4]。判断轮对空转滑行的依据主要有轮对加速度信号、蠕滑速度（轮对速度与车辆速度差值）信号。

(1) 加速度保护策略

加速度保护策略是通过设定加速度阈值，在轮对加速度超出设定的阈值时，根据加速度的大小降低电机黏着力矩设定值以抑制空转和滑行现象^[5]。

当轨面黏着条件改变、轮轨间的黏着状态由稳定区域进入不稳定区域时，轮轨间实际黏着力减小，轮对发生空转/滑行的表征现象为加速度信号突然增大。如图1所示，加速度保护策略通过检测轮对加速度信号，可以预判轮对空转/滑行趋势，并基于此进行力矩调节。



A: 计算加速度值; B: 设定加速度阈值; Ta: 黏着输出力矩;
O: 无力矩减载

图1 加速度保护策略原理

(2) 蠕滑速度保护策略

蠕滑速度保护策略的原理是利用轮对当前蠕滑速度作为反馈, 并以预设蠕滑速度阈值作为控制目标进行最小超调控制, 从而使得轮对在发生空转和滑行时能够迅速恢复轮轨间正常黏着状态。

轮对速度与机车车辆速度之间的差值, 即为蠕滑速度。机车控制软件根据机车各个轮对的速度信号进行车辆速度估算, 并以估算的车辆速度作为实际车辆速度参与蠕滑控制。

未发生空转/滑行情况下, 轮对的蠕滑速度在一定范围之内, 一旦轮对发生空转/滑行, 轮对速度发生变化, 而车辆速度不会突变, 此时轮对蠕滑速度会快速增大。如图2所示, 蠕滑速度保护策略通过对实时检测轮对蠕滑速度, 判断轮对空转/滑行状态, 并基于此进行黏着力矩调节。

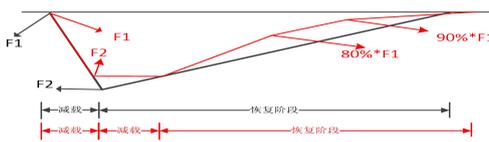


图2 蠕滑速度保护策略原理

2.2.2 原始数据分析

以机车某一次故障时监测数据为例, 空转过程中主控节车运行数据如图3、图4所示。

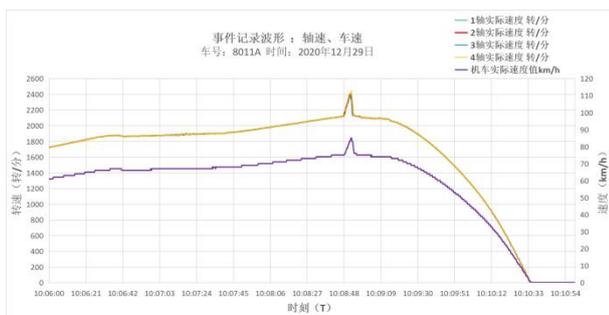


图3 主控节速度信号

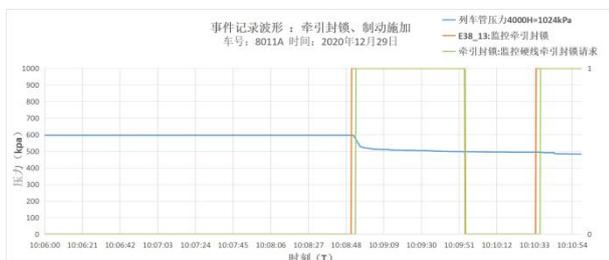


图4 牵引封锁指令

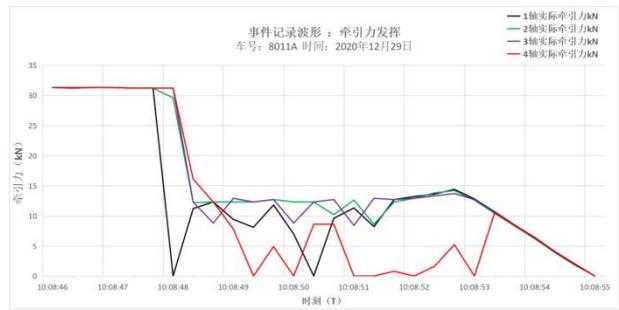


图5 主控节牵引力发挥

由图3、图4看出, 在10:08:48时刻, 主控节车4个轮对速度几乎同时开始升高, 机车速度迅速上升, 在短时间内突破80km/h, 之后触发监控牵引封锁指令, 此时开始施加常用制动(列车管压力降低), 机车速度逐渐回调, 空转现象消失; 结合图5看出, 在10:08:48至10:08:55的整个空转过程中, 主控节车各轴牵引力都存在抑制空转的调节过程, 但是未将机车各轴速度变化控制在理想范围内。

图6、图7为中间节车运行数据。

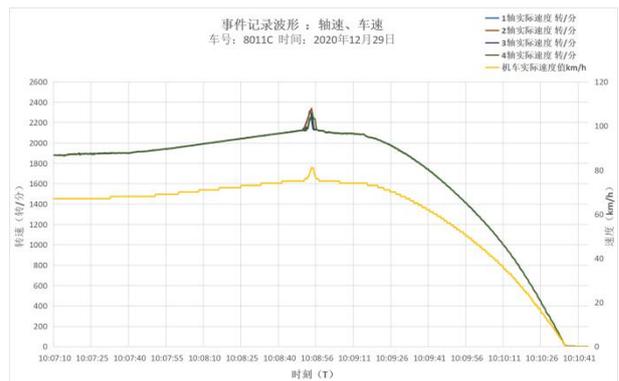


图6 中间节速度信号

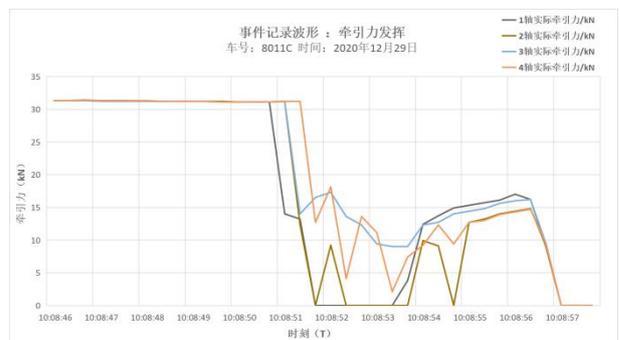


图7 中间节牵引力发挥

从图6、图7看出, 中间节车的情况与主控节类似, 在同时间段内, 也出现四轴速度同时升高的现象, 并且空转存

在过程中各轴牵引力都存在抑制空转的调节过程。

图8、图9为从控节机车的运行数据。

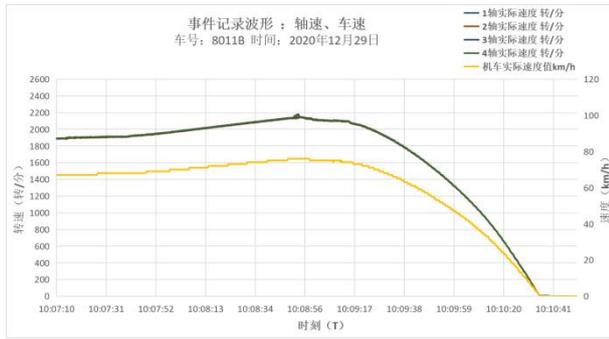


图8 从控节速度信号

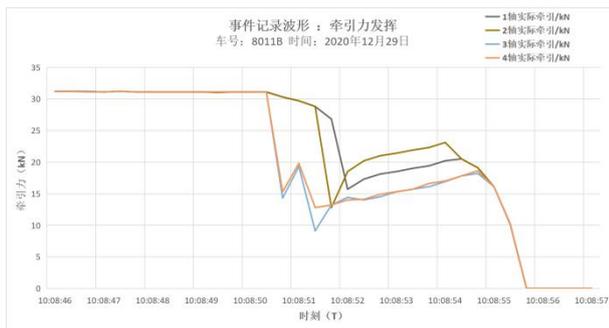


图9 从控节牵引力发挥

在同一时间段内，从控节车各轴速度仅存在微小变化，牵引力调节后各轴速度随即恢复正常，没有出现显著空转现象。

2.2.3 结论

现有机车的黏着控制策略能够应对一般的空转现象，但当机车遇到极端恶劣的运行条件，主控节车出现多轴同时空转现象时，无法起到有效的调控作用。

3 软件优化措施

根据硬件及软件分析结果，得到以下信息：

(1) 主控节车四轴发生同步空转，过程中各轴牵引力都存在抑制空转的调节过程，但未将空转现象抑制住；

(2) 中间节车也跟随主控节车出现四轴同步空转现象，从控节车速度基本稳定。

由于该型电力机车黏着软件仅采用了本节车4个轴速度估算车辆速度并以此作为黏着控制的依据，本节车4个轮对同时发生空转，导致车辆速度计算失真，无法依靠蠕滑速度进行空转保护。在这种情况下，仅依靠加速度保护无法有效抑制空转现象。

对此，考虑对黏着控制软件做以下优化，并加以试验验

证：

(1) 蠕滑速度保护策略优化

①引入他节车速度参与控制；机车发生同步空转现象时，从控节车4根轴速度基本保持稳定，引入从控节4轴速度参与机车速度计算，使得机车主控节车发生同步空转现象时仍然能够得到比较准确的机车速度值；

②采用特征轴控制策略；在从控车选取一根轴作为特征轴，特征轴在空转状态识别阈值、再黏着控制状态识别阈值等控制参数上与其他轴不同。采取特征轴的差异化控制，降低机车出现整车同步空转的可能，保障机车参考速度计算值的正确性和稳定性。

(2) 加速度保护策略优化

优化加速度保护阈值，提高加速度保护策略的可靠性。

4 试验验证

4.1 试验方法

选取此前发生异常的1台机车作为试验对象，在朔黄铁路肃宁北至黄骅港区间进行试验，在主控节车8个车轮的运行前方钢轨表面洒水，模拟出主控节车四轴同时空转的情况。试验步骤如下：

(1) 采用初始黏着程序进行试验，观察出现四轴同步空转时机车的现象；

(2) 采用优化后的程序进行试验，验证当机车出现多轴同时空转趋势时，优化后的黏着软件是否能起到有效调控作用。

4.2 试验结果

(1) 采用初始程序

采用初始黏着程序进行试验时，在机车运行过程中，在司机室控制水泵对轮对运行前方的轨面进行洒水，对机车主控节各轴速度进行监测，得到图10、图11所示试验结果。

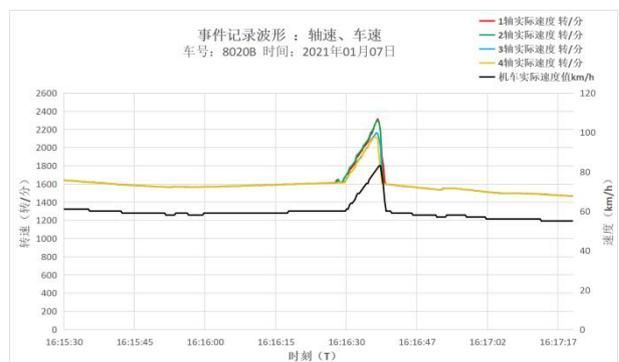


图10 试验车主控节速度信号

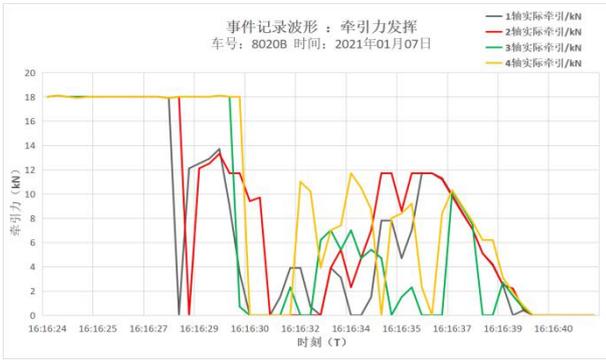


图 11 试验车主控节牵引力发挥

机车采用初始程序进行试验,对轨面进行洒水时,监测到在 16: 16: 30 至 16: 16: 45 时间段,主控节车 4 轴出现明显的同步空转现象,虽然此时机车牵引力存在抑制空转的调节过程,但未有效控制轮对速度变化。随后随着洒水停止,机车速度恢复正常。

本组试验还原了机车多轴同步空转的情形,并且再次证明,机车主控节出现多轴同步空转趋势时,现有黏着控制程序无法起到有效调控作用。

(2) 采用优化后程序

采用优化后完整的黏着控制程序进行试验,在对轨面洒水的过程中,得到如图 12 所示的机车主控节速度变化数据。



图 12 采用优化后程序的试验数据

试验过程中,主控节 4 个轮对存在不同程度的空转现象,黏着软件通过对电机转矩的调节及时抑制了轮对空转趋势进一步发展。试验过程中没有出现明显的同步空转现象,速度变化量控制在在 1km/h~3km/h 内,对网络计算机车速度基本无影响。

4.3 结论

试验结果如表 1 所示:

表 1 试验结果

序号	试验程序	试验条件	试验结果
1	初始程序	在主控节车八个车轮运行前方的轨面洒水	主控节出现明显四轴同时空转现象,轮对速度短时间内快速上升
2	优化后程序	在主控节车八个车轮运行前方的轨面洒水	主控节四轴都有空转趋势,没有明显四轴同步空转现象,机车速度变化基本控制在 1km/h~3km/h 内

试验证明,经过程序优化,当机车遇到恶劣轮轨黏着条件、出现多轴空转趋势时,黏着控制软件能够有效将各轴空转速度变化控制在理想范围内,避免空转现象进一步发展。

5 结束语

通过对黏着控制软件的优化,解决了机车主控节车出现多轴同步空转时黏着保护策略失效造成形成安全隐患的问题,提升了机车应对不良轮轨黏着运行条件的能力,也为后续重载机车黏着优化研究工作提供了参考。目前,新版黏着控制程序在段运用以来,未再出现类似异常现象。

参考文献:

[1] 高翔,陆阳.电力机车黏着控制研究[J].铁道机车车辆,2017,37(3).
 [2] 廖双晴,肖建,黄景春.机车黏着控制方法的研究现状综述[J].铁道机车车辆,2007,27(1).
 [3] 傅成骏.牵引装置的结构型式和布置对重载货运电力机车黏着重量利用率的影响[J].电力机车与城轨车辆,2009,32(2).
 [4] 蔡志伟,高磊.基于转速控制的机车防空转滑行控制方法[J].铁道机车车辆,2014,34(1).
 [5] 蒋曦光.机车空转滑行控制系统浅述[J].铁道机车与动车,2013,(9).