

广州地铁3号线轮对运用情况分析

陈小南

(广州地铁集团有限公司运营事业总部, 广东 广州 511430)

摘要: 为使列车轮对参数既能满足运营要求, 又能提升轮对使用寿命, 节约成本, 通过使用 JMP 软件分析往年轮对运用数据, 从轮对踏面磨耗、轮缘磨耗两方面阐述其影响因素及相互关系, 并研究制定了符合现场生产实际的预测方法及更为有效的解决途径。同时采用科学的方法指导生产, 确保了3号线列车轮对处于健康可控状态。

关键词: 踏面磨耗; 轮缘磨耗; 寿命; 广州地铁3号线

中图分类号: U231; U260.331⁺.1 **文献标识码:** B

doi: 10.13890/j.issn.1000-128x.2016.04.027

目前认为引起踏面偏磨的原因主要有2点: ①轴重偏差; ②线路不平顺和出车方向不均衡。

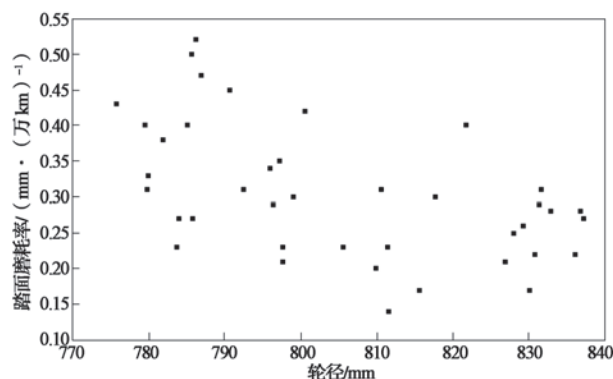


图1 踏面磨耗的散点图

0 引言

列车高速运行要求轮对的各项参数符合标准, 以确保列车运行满足安全性及舒适性的要求。广州地铁3号线列车轮对采用整体辗钢车轮, 踏面为磨耗型踏面, 材料为ER8, 为直辐板形式。影响轮对使用性能的主要因素为轮径及轮缘参数, 而轮径上又分为同轴左右轮径偏磨和圆跳动2个影响因素, 轮缘磨耗是影响轮缘值的关键因素。对上述因素的分析, 无现有的公式可供计算, 只能通过对往年轮对数据的分析得出结论。

1 踏面磨耗

车轮踏面磨耗是指车轮踏面在运用过程中直径尺寸减小, 并改变了踏面标准轮廓。目前并没有数据支持轮径越小, 踏面磨耗越大的结论。

通过随机选取40组不同时期的踏面磨耗率计算值, 可以判定踏面磨耗率与轮径大小不具有相关性, 即可表达为

$$\text{COV}(I, D)=0 \quad (1)$$

式中: I 为磨耗率; D 为轮径值。

由式(1)的数据得到散点图如图1所示, 可以看出踏面磨耗率与轮径大小无明显关系。

广州地铁3号线踏面偏磨的主要特点为: 踏面偏磨只发生在列车一侧, 并且存在不固定性, 即列车在某时间段内左侧磨耗大于右侧, 另一时间段内右侧磨耗大于左侧; 即便将轴重调整至合格, 列车运行不久后也会出现踏面偏磨情况。由此可见轴重偏差引起的踏面偏磨可能性极小。

为证实3号线出车方向是否会引起踏面偏磨, 结合观察到的踏面偏磨情况及列车出厂方向的记录, 对两者的关系作了以下的研究:

①车往番禺方向出车的次数占总次数的65%, 01车整列车左侧踏面磨耗大(02C也是左侧磨耗大)。

②车往天客方向出车的次数占总次数的62%, 03车整列车右侧踏面磨耗大(03C则是左侧磨耗大)。

③车往番禺方向出车的次数占总次数的60%, 19车整列车左侧踏面磨耗大(20A则是右侧磨耗大)。

④车往番禺方向出车的次数占总次数的71%, 21车整列车左侧踏面磨耗大(22A则是右侧磨耗大)。

⑤车往番禺方向出车的次数占总次数的64%, 33车整列车左侧踏面磨耗大。

以上5列车均在某时间段内出现了向同一方向出车的比例大于60%的情况, 同时出现了踏面偏磨。而考察其他未出现偏磨的列车出车方向, 该比例小于55%。因此可以判断列车出车方向不均衡是导致轮对踏面偏磨的原因之一。具体为往天客方向看(即列车下

行), 轮对右侧的踏面磨耗普遍大于左侧, 所以均衡列车出厂方向将会大大降低轮对踏面偏磨概率。

2 轮缘磨耗

广州地铁 3 号线采用以时间控制的喷射式轮缘润滑装置, 为保证轮缘磨耗在合理范围, 需要制定一个合理的喷油周期。此处需引入轮喷指数的概念。所谓轮喷指数, 是指将线路上单边运行一次, 所有带轮喷车总的喷油次数平均到正线运行的每一列车上。轮喷指数越大, 说明正线喷油越丰富, 计算公式为

$$LI = \frac{\sum n}{N} \quad (2)$$

式中: LI 为轮喷指数; n 为带轮喷车单边运行一次的喷油次数; N 为正线运营的总列车数。

通过定期改变列车轮喷周期, 并收集了 20 组列车不同时期轮缘磨耗的数据, 再计算每组数据所属时间段内的轮喷指数, 拟合得到了如图 2 所示的轮喷指数与轮缘磨耗率关系。

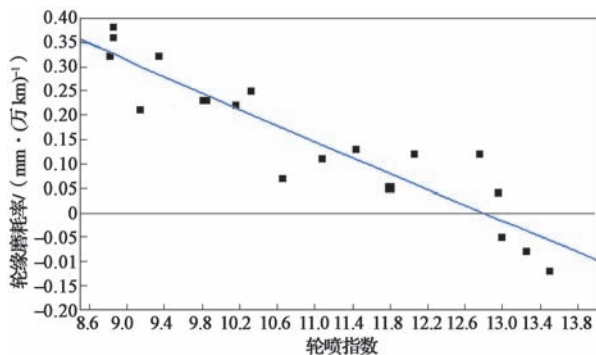


图 2 轮喷指数与轮缘磨耗率的关系

由图 2 可见, 当轮喷指数大于 12.4 时, 轮缘磨耗率极有可能低于 0, 轮缘厚度反而会增加; 当轮喷指数小于 9.2 时轮缘的磨耗率将极有可能大于 0.3 mm/ 万 km, 轮缘出现磨耗过快的情况, 同时钢轨的磨损也会加剧。因此, 合适的轮喷指数可以极大地改善轮缘磨耗率。

3 踏面磨耗与轮缘磨耗的关系

实践中, 往往会出现踏面或者轮缘的异常磨耗情况。从机车动力学上分析, 轮对在运用的过程中, 随着列车运行公里数增大, 踏面磨耗加大, 其踏面锥度将变得越来越大, 导致轮对横向晃动加剧, 踏面磨耗增加^[1]。轮缘磨耗率较小的踏面锥度变大的趋势就比轮缘磨耗率大的来得更快, 所以轮缘磨耗率与踏面磨耗率就应该呈现负相关。

为证实踏面磨耗与轮缘磨耗的关系, 在此收集了 34 组数据, 计算出同一时期的轮缘和踏面磨耗率, 得到轮缘磨耗率与踏面磨耗率散点图如图 3 所示。

由图 3 可以看出轮缘磨耗率与踏面磨耗率无关。加拿大 Kelsan 公司的一项研究成果表明, 踏面与轨顶之间的摩擦系数有一个最佳值, 过大会引起踏面磨耗

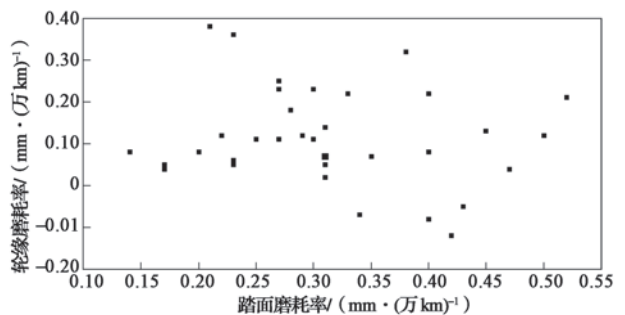


图 3 轮缘磨耗率与踏面磨耗率的散点图

增加, 过小则影响牵引力, 轮对易发生空转打滑。轮缘润滑装置所喷射的油脂, 不仅降低了轮缘磨耗, 而且减小了轨顶与踏面的摩擦系数。因此, 轮缘磨耗越小, 说明轮喷越丰富, 轨顶与踏面的摩擦系数减小, 踏面磨耗相应减小。从机车动力学角度分析, 轮缘与踏面磨耗是负相关的, 但现场表现出来的却是轮缘磨耗与踏面磨耗无关的现象, 证明了轮喷越丰富, 轮缘及踏面磨耗相应减小的结论。

4 踏面磨耗率分布

由于轮对的磨耗是分散的, 并未有一个恒定不变的值可以用作标准来判断轮对踏面磨耗是否正常, 因此需要求出一个标准范围。随机选取的 40 组镟床数据计算得到的踏面磨耗率, 通过 JMP 软件拟合, 呈现出正态分布的特性, 如图 4 所示。

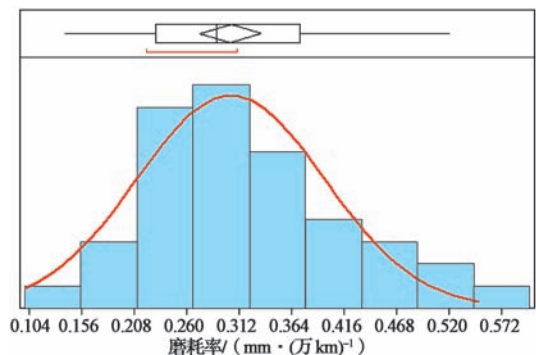


图 4 踏面磨耗率的分布

由图 4 可见轮对的踏面磨耗率服从正态分布特性, 有 90% 的概率落在 [0.16, 0.45] 的区间上。在需要用到轮对的踏面磨耗率进行计算时, 推荐值为 0.31 mm/ 万 km。当轮对踏面磨耗率小于 0.16 mm/ 万 km 或者超过 0.45 mm/ 万 km, 属于发生小概率事件, 即可认为是磨耗异常, 建议进行调查。

5 轮对全寿命分布

计算轮对全寿命, 即求出轮对的消耗率。所谓轮对的消耗率指的就是轮对每万公里的绝对消耗, 包括镟轮和磨耗等各种影响在内的总消耗。了解轮对的全寿命, 便能够更加准确地预测轮对的到限时间。而以往的预测方法, 则是简单地按照轮对运行的磨耗率计算, 未综合考虑镟轮的影响, 所以误差较大, 影响生产安排。就目前的情况看, 动车和拖车在运行时的踏面磨耗率

并没有太大不同。实际上，动车轮对的寿命远远低于拖车轮对，原因便是动车镟轮次数较多，消耗较大。

对拖车轮对的踏面消耗率进行计算，发现计算出的消耗率数值呈现正态分布的情形。对拖车轮对的消耗率做了正态分布的拟合，拟合程度非常好。由此得出的结论是拖车轮对的消耗率也服从正态分布，期望值为 0.448 mm/ 万 km。其中，有 80% 的概率是落在 [0.26, 0.64] 这个区间内的，如图 5 所示。在做拖车轮对使用寿命的到限预测计算时，需要考虑镟轮的影响，推荐使用 0.45 mm/ 万 km。

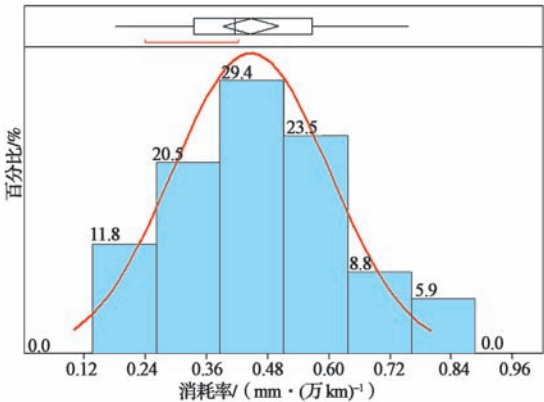


图5 拖车轮对的消耗率（含镟床消耗）分布

同样，对动车轮对消耗率进行拟合的结果也符合正态分布。动车轮对的消耗率的期望值为 0.7 mm/ 万 km。由此可见，拖车轮对平均寿命是动车轮的 1.6 倍。

6 改进措施

为使列车轮对参数既能满足运营要求，又能提升使用寿命，节约成本，综合前文所述，得出如下改进措施：

- ①制定合理镟修策略，轮对镟修尽量保留轮缘处

耐磨的黑皮，降低轮缘磨耗率；在恢复轮缘厚度的情况下，对黑皮允许量进行规范，尽量多留黑皮，降低磨耗率，左右轮缘镟修采用相同程序，防止偏磨造成的轮缘磨耗加剧。

- ②均衡列车出厂方向，降低轮对踏面偏磨概率。

③建议工建部对短轨枕的小半径曲线加强涂油，定期打磨钢轨，降低钢轨内侧与轮缘的摩擦系数；调整合适的轮喷指数，有条件的话将轮缘润滑装置喷油控制方式采用弯道加时间控制模式。

④合理选配轮对，以延长轮对使用寿命。轮对的硬度很大程度上决定了轮轨关系的好坏，因此要合理选用轮对材质。若能综合考虑钢轨的材质硬度来选用车轮材质，将会大大改善轮轨关系。

7 结语

广州地铁3号线通过制定合理镟修策略措施、均衡列车出厂方向、加强轮缘润滑等措施，降低了轮缘及踏面磨耗率，使轮对使用寿命由原来的 72 个月提高到 86 个月。通过精确的轮对寿命计算，提前制定临修计划及备件采购计划，使生产作业高效有序地开展，节约了运行成本。

参考文献：

[1] 孙效杰, 周文祥. 踏面磨耗及其对轮轨接触几何关系的影响[J]. 铁道车辆, 2010(7): 48.
[2] 李霞, 温泽峰, 金学松. 地铁车轮踏面异常磨耗原因分析[J]. 机械工程学报, 2010(8): 46.
[3] 陈建平, 藏建刚. 改善轮缘磨耗, 延长轮对寿命[J]. 机车车辆工艺, 2004(10): 5.
[4] 孟宏, 黄猛, 翟婉明. 机车轮对轮缘偏磨分析研究[J]. 铁道机车车辆, 2006(4): 26.

(上接第 85 页)

4 结语

本文对有轨电车混合动力系统中电源箱系统、网络系统、电机等关键系统的常见故障进行了梳理，重点针对超级电容组和动力电池组提出了相应的容错控制策略及多种优化实施方案，可有效提高有轨电车的运行可靠性，降低运行成本，提高运行效率。本文研究的容错控制策略，也可以作为有轨电车其他系统安全可靠提升设计的参考方法。

参考文献：

[1] 陈维荣, 钱清泉, 李奇. 燃料电池混合动力列车的研究现状与发展趋势[J]. 西南交通大学学报, 2009, 44(1): 1-6.
[2] Osawa M. 新能源车——世界第一辆混合动力车[J]. 变流技术与电力牵引, 2005(2): 40-43.
[3] 王仲生. 智能故障诊断与容错技术[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2005.

[4] 霍志红. 网络化控制系统故障诊断与容错控制[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2009.
[5] 王修虎. 镍氢电池的故障诊断与容错策略研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2012.
[6] 李江, 李国庆. 容错控制在电力系统中的应用研究综述[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(3): 140-146.
[7] 王岩岩, 刘伟, 孔令志. 数据包丢失的不确定性奇摄动网络化容错控制[J]. 华东师范大学学报, 2012, 30(12): 46-51.
[8] 彭高丰, 马振中, 夏明霞. 传感器部分失效的网络控制系统 H_∞容错控制[J]. 电光与控制, 2012, 19(11): 58-61.
[9] 王国荣. 广义系容错控制的相关理论研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2008.



作者简介: 李明(1982-), 男, 博士, 高级工程师, 现从事新能源及轨道交通车辆综合节能技术研究。