

车轮不圆度治理措施即列车经济型镟修方案制定

张智皓

中铁建（天津）轨道交通投资发展有限公司 天津 300073

摘 要：列车运行中车轮不圆度影响安全与平稳性，增加成本与风险。6号线2期列车出现车轮磨耗、径跳等不圆度问题。本文分析车轮不圆度现状，包括磨耗、轮径值超差等情况。基于此提出治理措施，如加强轮轨维护、优化制动方式等。同时制定列车经济型镟修方案，涵盖放宽径跳值标准、优化镟修工艺参数、合理规划镟修周期及控制镟修成本等方面，旨在提高车轮使用寿命，降低维修成本，保障列车安全稳定运行。

关键词：车轮不圆度；列车镟修；经济型方案；治理措施

1 引言

在列车运行过程中，车轮不圆度问题直接影响列车的运行安全性和平稳性，同时增加维修成本和运营风险。6号线2期列车在运营过程中逐渐出现车轮磨耗、径跳等不圆度问题，对列车运行质量产生不良影响。因此，深入研究车轮不圆度治理措施并制定列车经济型镟修方案具有重要的现实意义。

2 列车车轮不圆度现状分析

2.1 车轮磨耗问题

车辆检修分中心于2023年3月—2024年1月对全部15

列运营列车进行整体镟修后，近期列车又普遍出现径跳情况增多、同轴/同架/同车轮径差超限等问题。如表1所示：对比首次镟修前与本次统计的车轮踏面磨耗状况发现，相对首次镟修前车轮运行轮径磨耗率有较大幅度上升，运行轮径磨耗率从0.17mm/万公里升至0.26mm/万公里，综合轮径磨耗速度从0.23mm/万公里升至0.38mm/万公里。根据理论切削量及磨耗计算，车轮理论寿命由215.4万公里下降至172万公里，随着整体直径的减少磨耗率会持续增大，进一步降低车轮寿命预期，接近160万公里的大修公里数。

表1 列车首次镟修前与本次统计车轮踏面磨耗状况统计对比

项目	首次镟修前情况	本次统计情况
样本介绍	首次镟修的前9列车	近期进行完成镟轮床测量的5列车
镟前平均里程数（万公里）	18	18.19
镟前平均轮径值（mm）	842.18	836.16
平均单轮径跳	0.5	0.47
镟前运行平均轮径磨耗量（mm）	3	4.68
镟修平均轮径损失量（mm）	1.2	2.16（注1）
综合轮径损失量(mm)	4.2	6.84
运行轮径磨耗率（mm/万公里）	0.17	0.26
综合轮径磨耗速度（mm/万公里）	0.23	0.38
按综合轮径磨耗速度计算轮对寿命（万公里）（注2）	283.47	172

注：根据初始轮径845.2mm，安全裕量最小轮径780mm测算。数据来自刚刚完成镟修的807列车，本次除了径跳，轴/架/车轮径差也有增加，故镟修量会有明显提升

2.2 轮径值超差情况

对全部15列车最近一次均衡修的轮径值数据进行统计分析，如图1所示：发现807、801、815、811共4列车存在轮径值超差问题，其余10列车轮径值差虽未超出标准，但存在已接近镟修标准的轮对。统计还发现一位侧车轮磨耗速度高于二位侧的轮对偏磨现象，平均差异为0.07mm，这一现象会较快造成轮径超差情况的出现，影

响车轮寿命。例如，平均差异会在平均33万km时导致同轴轮径超差，平均50万km导致同架超差，平均25万km导致同车超差。

2.3 车轮轮缘磨耗情况

通过对车号一位侧和二位侧轮缘净磨耗率的数据统计，发现轮缘“增厚”现象基本消失，普遍处于相对踏面缓慢磨损状态，轮缘磨耗二位侧0.048略大于一位侧

0.043，其中左侧的轮缘磨损稍快。

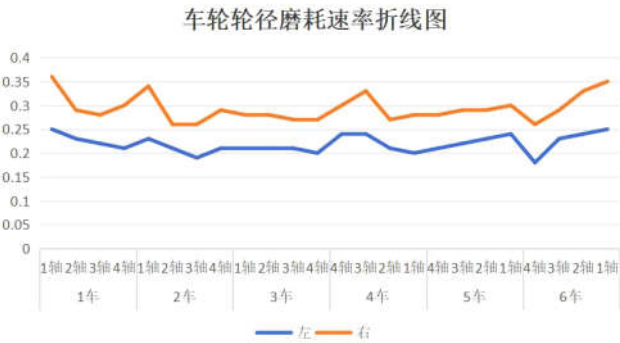


图1 车轮轮缘磨损速率

2.4 车轮劣化（径跳增长）情况

列车径跳增长存在明显不均衡现象，一位侧（右侧）径跳增长速率明显高于另一侧，平均高出0.012mm/万公里，右侧车轮在运行14.33万公里后径跳普遍超过0.5mm。第一轮镟修时劣化（径跳）平均速率0.025mm/万公里，与第一轮镟后劣化（径跳）平均速率0.022mm/万公里基本持平；第一轮镟修的平均径跳值为0.47mm，与本次测量平均径跳值0.45mm基本持平，第一轮镟修时平均公里数为18.6万km，与本次测量列车的平均公里数18.7万km基本持平。

2.5 低速通过棚测设备测试情况

经过验证棚测设备的最低通过速度为6km/h，如小于此速度设备则判定列车为停车状态，无法输出径跳值数据。列车以6-7km/h的速度通过棚测设备，可提高测量车轮径跳值的平均准确率34%，达到73%，但与镟床设备测量值仍存一定误差。

3 列车车轮不圆度治理措施

3.1 加强轮轨维护

（1）轨道平顺性维护：定期对轨道进行检测和维修，及时消除轨道的不平顺、钢轨波浪形磨损等问题。采用先进的轨道检测设备，如轨道检测车、激光测量仪等，对轨道的几何尺寸、不平顺度等进行精确测量，根据检测结果制定合理的维修计划，确保轨道处于良好的技术状态。

（2）轮轨润滑：在轮轨接触面涂抹润滑剂，减少轮轨之间的摩擦力和磨损。可以采用自动润滑装置，定期向轮轨接触面喷射润滑剂，提高润滑效果^[1]。同时，要选择合适的润滑剂，确保其具有良好的润滑性能和附着力，能够在轮轨表面形成稳定的润滑膜。

3.2 优化制动方式

（1）采用先进的制动技术：推广应用盘形制动、再生制动等先进的制动技术，减少闸瓦与车轮踏面之间的

摩擦，降低制动过程中产生的热量和磨损。盘形制动具有制动平稳、散热性好等优点，能够有效减少车轮踏面的热损伤和塑性变形。再生制动可以将列车的制动能量反馈回电网，实现能量的回收利用，同时减少制动对车轮的磨损。

（2）合理控制制动频率和强度：加强对列车制动系统的管理和控制，避免频繁的紧急制动和长时间制动。根据列车的运行速度、载重等情况，合理调整制动参数，确保制动过程平稳、柔和，减少制动对车轮的冲击和磨损。

3.3 选用优质车轮材料

（1）提高车轮材料的性能：选用硬度高、韧性好、耐磨性和抗疲劳性能优异的车轮材料。通过优化材料的化学成分和热处理工艺，提高车轮的综合性能，延长车轮的使用寿命^[2]。例如，采用贝氏体钢等新型车轮材料，具有较高的强度和韧性，能够有效抵抗轮轨相互作用力和制动热损伤，减少车轮不圆度的发生。

（2）加强车轮质量检测：在车轮生产过程中，要严格按照质量标准进行检测，确保车轮的尺寸精度、表面质量和内部组织符合要求。采用无损检测技术，如超声波检测、磁粉检测等，对车轮进行全面检测，及时发现车轮内部的缺陷和隐患，避免不合格的车轮投入使用。

4 列车经济型镟修方案制定

4.1 放宽径跳值标准

主管技术人员重点添乘径跳值超过0.5的点位的列车，同时也完成了其余全部列车的添乘工作。发现径跳值小于0.7的车轮，客室不会感受到明显振动；径跳值大于0.7的车轮，客室会感受到轻微振动，但无明显冲击感；径跳值大于1的车轮，客室会感受到轻微振动且在高速状态时出现冲击感。根据长客提供《地铁车辆转向架轮对组成维修维护及限度要求》中径跳值的运用要求为 ≥ 1 ，结合添乘结果可将径跳值标准由0.5放宽至0.7，在保证乘客舒适度的前提下，适当延长车轮镟修周期，降低维修成本。

4.2 镟修工艺参数优化

（1）切削深度：切削深度是影响镟修效率和车轮质量的重要参数之一。切削深度过大，会导致切削力急剧增大，加剧刀具磨损，同时可能引起车轮表面烧伤和裂纹等缺陷，严重影响车轮的使用寿命。切削深度过小，则会增加镟修次数和时间，降低镟修效率，增加运营成本。因此，要根据车轮的材料、磨损程度和镟床的性能等因素，通过大量的实验和数据分析，合理选择切削深度^[3]。一般来说，对于碳钢车轮，切削深度可控制在1-3mm之间，在

实际操作中,还需要根据具体情况进行适当调整。

(2) 进给速度:进给速度直接影响镟修的表面质量和生产效率。进给速度过快,会使车轮表面粗糙度增大,影响车轮的耐磨性和抗疲劳性能,同时可能导致切削力不稳定,影响镟修精度。进给速度过慢,则会延长镟修时间,增加成本。通常,进给速度应根据切削深度、刀具材料和车轮材料等因素进行优化选择。例如,当切削深度较大时,应适当降低进给速度,以保证切削过程的稳定性;当使用高性能刀具时,可以适当提高进给速度,提高镟修效率。一般情况下,进给速度在0.5-2mm/r之间较为合适。

切削速度:切削速度对切削力和切削温度有重要影响。提高切削速度可以降低切削力,减少刀具磨损,但同时会使切削温度升高,可能导致车轮表面质量下降,如出现烧伤、裂纹等问题。因此,要根据车轮材料和刀具性能,通过实验确定最佳的切削速度。一般对于碳钢车轮,切削速度可控制在80-120m/min之间。在实际镟修过程中,还需要根据车轮的实际状态和镟修要求,对切削速度进行动态调整。

4.3 镟修周期合理规划

(1) 基于磨损量的镟修周期确定:通过对车轮磨损量的定期监测和分析,建立科学合理的车轮磨损模型,预测车轮的剩余使用寿命。可以采用在线监测系统对车轮的磨损情况进行实时监测,将监测数据传输到数据处理中心进行分析处理。当车轮磨损量达到一定阈值时,安排进行镟修。这种方法能够根据车轮的实际磨损情况进行镟修,避免过早或过晚镟修,提高车轮的使用效率^[4]。例如,根据车轮的材料和使用条件,设定车轮的最大允许磨损量为3mm,当监测到车轮磨损量接近3mm时,及时安排镟修。

(2) 基于运行里程的镟修周期确定:根据列车的运行里程和车轮的磨损规律,制定固定的镟修周期。例如,每运行一定里程(如10万公里)对车轮进行一次镟修。这种方法简单易行,便于管理和操作,但缺乏对车轮实际状态的考虑,可能会导致部分车轮在镟修周期内磨损过大或过小。因此,在实际应用中,需要结合车轮的实际磨损情况进行适当调整。

(3) 综合确定镟修周期:综合考虑车轮磨损量、运行里程、运行环境等因素,采用加权平均等方法确定合理的镟修周期。例如,根据车轮磨损量、运行里程和运行环境对车轮磨损的影响程度,分别赋予不同的权重,通过计算得出综合评分,根据综合评分确定镟修周期。同时,要根据实际情况对镟修周期进行动态调整,如当列车运行

环境发生较大变化或车轮出现异常磨损时,及时缩短或延长镟修周期,确保车轮始终处于良好的技术状态。

4.4 镟修成本控制

(1) 优化镟修方案:通过合理选择镟修工艺参数、规划镟修周期等方式,减少镟修次数和切削量,降低镟修成本。例如,采用多次少量镟修的方式,逐步恢复车轮的圆度,避免一次性大量切削造成车轮寿命缩短和成本增加。同时,根据车轮的实际磨损情况,制定个性化的镟修方案,对于磨损较轻的车轮,采用较小的切削深度和进给速度进行镟修,减少材料去除量,降低镟修成本。

(2) 提高镟床利用率:合理安排镟修作业计划,提高镟床的使用效率。可以采用集中镟修的方式,将多个列车的车轮集中安排在一段时间内进行镟修,减少镟床的空闲时间。同时,要加强对镟床的维护和保养,建立完善的设备维护管理制度,定期对镟床进行检查、保养和维修,确保镟床的正常运行,降低设备故障率,减少因设备故障导致的停机时间和维修成本。

(3) 加强废料回收利用:镟修过程中产生的铁屑等废料可以进行回收利用,降低原材料成本。建立废料回收管理制度,对废料进行分类收集和存放,定期将废料出售给回收企业,实现资源的循环利用。同时,加强对废料回收过程的管理,确保废料回收的质量和安全,避免废料对环境造成污染。

结语

车轮不圆度治理与经济型镟修方案制定对列车运行意义重大。通过全面分析车轮不圆度现状,针对性地提出加强轮轨维护、优化制动方式、选用优质车轮材料等治理措施,从多个方面改善车轮运行环境,减少不圆度产生。同时,制定的经济型镟修方案,在放宽径跳值标准、优化工艺参数、规划镟修周期及控制成本等方面进行探索,在保障乘客舒适度与列车安全运行的前提下,有效降低维修成本。未来需持续关注车轮状态,不断优化方案,提升列车运行质量。

参考文献

- [1]刘家豪,陈洪轩,沈钢,等.地铁车轮不圆度测试及评判方法研究[J].铁道车辆,2024,62(05):179-185.
- [2]李哲豪.地铁车轮不圆度控制方案分析[J].机械设计与制造工程,2024,53(01):131-134.
- [3]马进火,江亚男,陈俊栋,等.地铁车辆车轮镟修踏面的优化方案[J].城市轨道交通研究,2020,23(08):162-164+168.
- [4]杨洋,柯露露,林凤涛,等.异常振动的磨耗车轮镟修型面研究[J].制造业自动化,2022,44(12):166-171.