

高速列车车轴抗冲击防护研究

赵文学, 徐 芳, 刘兆金

(中车长春轨道客车股份有限公司 转向架研发部, 吉林 长春 130062)

摘 要: 介绍了高速列车运用中普遍存在的不同程度的车轴受冲击现象, 分析了产生的原因, 说明了与车轴抗冲击防护相关的标准要求。着重研究了车轴抗冲击的各种防护方案, 包括已有应用的防护涂层方式和机械式防护方式, 以及其他处于研究阶段的防护方案, 并对各防护方案的优缺点进行了分析, 给出了高速列车车轴防护应用可行性结论及需进一步研究的建议。

关键词: 车轴; 抗冲击; 涂层防护; 机械式防护; 高速列车

中图分类号: U292.91⁺4; U260.331⁺.1

文献标识码: A

doi: 10.13890/j.issn.1000-128x.2017.06.017

Research on High-speed Train Axles Protection against Mechanical Impacts

ZHAO Wenxue, XU Fang, LIU Zhaojin

(Bogie Research and Development Department, CRRC Changchun Railway Vehicles Co., Ltd., Changchun, Jilin 130062, China)

Abstract: Kinds of different situations for axles impacted when the high-speed trains were running on the track was introduced. The impacts happened reasons were analyzed, and the standard requirements of axle anti-mechanical impacts were illustrated. Schemes of protection against mechanical impacts for axles were focused on, including coating protection and mechanical protection which had been put into application, as well as some other protection ways which were still in the research stage. For every solution, the advantages and disadvantages were analyzed, and the conclusion and the proposal about the protection against mechanical impacts for high-speed train axles were put forward.

Keywords: axle; anti-mechanical impacts; coating protection; mechanical protection; high-speed train

0 引言

车轴是列车转向架中最重要的部件之一, 是轮对转动的中枢, 其状态直接关系到列车的运行安全。由于车轴处于列车下部, 暴露在外部, 运行中不可避免受到外物冲击。高速列车由于运行速度高, 运行中车轴存在受冲击现象较普遍, 有必要对车轴采取抗冲击防护措施, 以避免车轴受到冲击而产生损坏, 进而影响列车的安全运行。本文从车轴防护已有相关标准规定、现有防护方式^[1-4]开始, 分析研究车轴可采取的防护措施, 给出车轴抗冲击防护的建议。

1 车轴运用中存在的受冲击分析

在对高速列车的日常运用维护中发现, 高速列车

运行中车轴轴身表面受到外物冲击产生损伤的现象较为普遍, 基于车轴损伤状态分析, 车轴轴身的损伤主要是由于砂石冲击所致, 而砂石来自有砟轨道路基的石砟。

同样在有砟轨道上运行, 我国速度 160 km/h 的快速铁路客车多年运用中并未发生车轴受砂石冲击的现象, 这说明车轴受冲击这一现象与列车的运行速度有着密切关联。各种对列车下部流场所作的研究分析表明, 高速运行的列车下部部件背风面形成负压, 同时由于转向架结构相对复杂、零部件多, 以及车体底架下平面在转向架区域外形改变剧烈, 因此列车高速运行时在转向架区域的流场比较混乱, 存在很多的涡状气流, 见图 1。

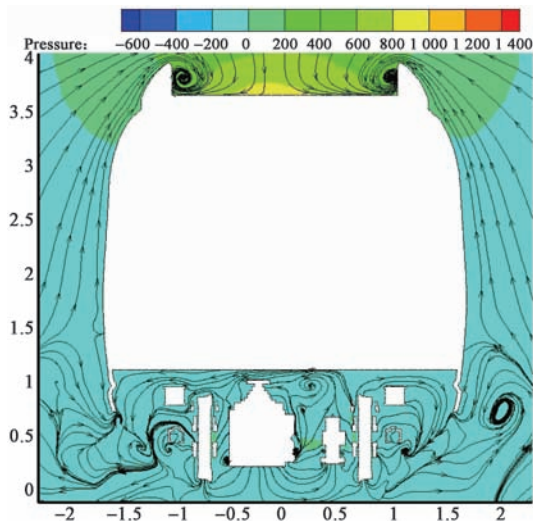


图 1 列车流场分布图

高速列车运行时, 列车底部由于负压和涡状气流的存在, 导致线路路基上的碎石被气流带起, 这一情况在雪天或线路积雪的环境中运行时更为明显和严重, 密度小的雪被车下气流卷起, 夹带着碎石, 与车轴产生冲击, 造成车轴受到冲击损伤, 见图 2。



图 2 高速列车运行中卷起积雪

当速度 350 km/h 级别的高速铁路线路采用无砟轨道时, 车轴轴身受冲击的现象明显缓解, 但由于列车速度高, 线路存在积雪或列车存在雪天运行情况, 以及线路不能绝对清洁而存在沙粒, 这些因素导致高速运行在无砟轨道上的列车车轴也会存在不同程度的受冲击现象。

2 标准中对车轴抗冲击的相关规定

高速列车车轴存在受冲击现象, 车轴受冲击后, 轴身表面金属母材产生损伤缺口, 导致车轴轴身抗疲劳强度降低^[5]。目前在世界范围内, 欧洲的高速铁路线路较多采用有砟轨道, 高速列车车轴受冲击是一直面临的问题, 对车轴的抗冲击防护也一直受到关

注。在国内外与车轴相关的各个标准中, 欧洲标准 EN 13261《铁路应用 – 轮对和转向架 – 车轴 – 产品要求》^[3]中对车轴防腐保护和防机械冲击保护有较详细规定, 该标准中将车轴防护等级分为 4 个等级^[1]:

- 等级 1: 车轴应符合防止大气腐蚀和机械冲击的保护等级;
- 等级 2: 车轴应符合防止特殊腐蚀性产品的作用的保护等级;
- 等级 3: 车轴应符合防止大气腐蚀的保护等级;
- 等级 4: 当根据 EN 13103 和 EN 13104 标准计算得到的应力小于极限应力值的 60% 时, 车轴应符合防止大气腐蚀的保护等级。

每种等级所具有的防护能力不同, 其中等级 1 的车轴具有抗冲击防护能力, 车轴采用 1 级防护时, 车轴涂层需要进行涂层厚度、涂层粘接性、抗冲击性、抗飞砂性、抗盐雾性、抗周期性机械应力能力检测。

对于采用等级 1 的车轴, EN 13261 标准中同时规定了抗冲击性能的评估方法, 描述了该项试验的原理、设备、程序及试验结果等, 规定了抗冲击性能试验中采用一台发射器发射冲击物, 来冲击试验样轴。发射物直径 32 mm, 顶角 105°, 质量 60 g, 维氏硬度值为 400, 发射初速度为 19.4 m/s (冲击能量为 12 kJ), 试验环境分为 -25℃和室温 2 种, 试验后检查评估试验样轴的表面状态^[4]。

EN 13261 标准中明确描述了采用抗冲击防护的 1 级防护是为了保护车轴免于抛射物如砂石的冲击; 明确 1 级防护适用于类别 1 的车轴, 类别 1 车轴为运行速度大于 200 km/h 的车轴。

EN 13261 标准中对于某一车轴具体应采用何种等级防护未作直接要求, 明确这需由列车车辆的供需双方协定。

我国高速列车车轴根据运用条件一般采用 1 级防护或 3 级防护。对于 3 级防护, 除不进行抗冲击检测外, 其他检测与 1 级防护相同。

除了 EN 13261 标准对车轴抗冲击防护有规定外, 俄罗斯标准 GOST 4835《火车车辆轮对技术条件》中也规定了车轴抗冲击性能的评估方法, 其方法与标准 EN 13261 基本相同, 仅是试验环境温度不同, GOST 4835 规定的试验环境温度分为 -40℃和 -25℃2 种。这与其标准所对应的实际应用环境相关。

3 车轴抗冲击防护研究

为了解决列车特别是高速列车运行中车轴受冲击问题, 有必要对车轴进行有效防护。由于车轴在列车运行中高速旋转, 且与周围部件存在相对运动关系, 因此对于车轴的有效防护具有一定难度。目前在车轴的抗冲击防护方面已研究出多种方案, 抗冲击防护的方式主要分为涂层防护和机械式防护 2 种。

3.1 涂层防护

1) Lursak 防护涂层

轮轴制造商意大利 Lucchini 公司与 AKZO NOBEL 公司曾联合开发了一种名为“Lursak”的车轴抗冲击防护涂层，并曾在中国国内高速列车上应用。Lursak 涂层采用附着底漆、环氧底漆、环氧面漆 3 道涂层的防护结构，见表 1。

表 1 Lursak 抗冲击涂层		
涂层	油漆	干膜厚度 / μm
第一层	附着底漆	8~15
第二层	环氧底漆	2.6~3
第三层	环氧面漆	1.8~2.2

喷涂 Lursak 抗冲击防护涂层后的车轴表面见图 3。

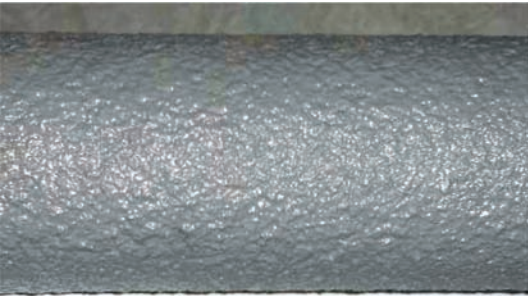


图 3 喷涂 Lursak 涂层后的车轴表面

此种抗冲击涂层需要解决涂层与车轴金属基体粘接层分离的问题，以及受外物冲击后涂层产生裂纹、脱落的问题。

2) REVOTECT 防护涂层

德国高速列车、快速列车的车轴抗冲击防护普遍采用高分子聚合物涂层，中国国内高速列车也有采用此种涂层的车轴。该种涂层材料主要由 REVOTECT 公司提供，“REVOTECT”作为一个防护品牌也细分了多种型号，如 VBA88、VBA92、VBA92(XP)、VBA80LC、VBA90(XP)、VBA86CI(XP)、VBA601 等，产品包括耐腐蚀型、长寿命型、耐低温型等。涂层由防腐涂层（底漆、面漆）、抗冲击涂层组成，涂层结构见表 2。

表 2 聚合物涂层		
涂层	油漆	干膜厚度 / μm
第一层	1K-PVB 底漆	至少 40
第二层	1K- 共聚物面漆	至少 150
第三层	2K- 聚脲系统	6~9

喷涂 REVOTECT 抗冲击防护涂层后的车轴如图 4 所示。



图 4 喷涂 REVOTECT 涂层后的车轴

此种抗冲击涂层需要解决涂层与车轴金属基体粘接层分离的问题，以及涂层与轮座、盘座结合部位的防腐、密封的问题。

车轴采用抗冲击涂层防护能够抵抗外物冲击，但由于高速列车车轴涂层随着车轴高速转动产生离心力，以及受附近牵引、制动部件影响反复循环加热 / 冷却，需要注意涂层与车轴金属基体粘接层的粘接强度问题^[2]，以及涂层与轮座、盘座结合部位的防腐、密封的问题，而车轴防腐问题如果不能有效处理也会导致更严重的后果发生。

3.2 机械式防护

涂层防护可被视为“传统”的车轴防冲击解决方案。尽管涂层防护可以抵抗车轴受到的外物冲击，但同时也存在列车日常运用和检查维修中对车轴的检查、维修不便，拆卸去除抗冲击涂层也很困难，需要加工才能去除，因此对车轴采用机械式防护也进行了研究。

1) 钢板型机械式防护

钢板型机械式防护是其中的一种防护型式。在车轴外部包裹一层薄钢板，将一整片薄钢板沿着车轴轴身卷成圆筒形，同时用钢制束带扎紧，内部与车轴基体形成必要的支撑。此种钢板型防护在欧洲 250 km/h 速度等级的高速列车上有应用，见图 5。

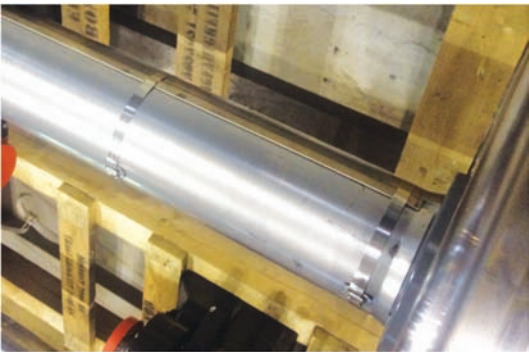


图 5 车轴采用钢板型机械式防护

此种钢板型防护需要关注重量的增加导致离心力增大问题，以及内部对车轴基体的抗磨问题，对于在 300 km/h 及以上更速度级的高速列车上采用，需要进行进一步的论证研究。

2) 非金属型机械式防护

非金属型机械式防护也是一种防护形式。结构上采用 2 个半圆筒形防护罩，2 个半圆防护罩通过多个钢制束带紧固在车轴上，起到防护作用。其特点是材质为非金属材质，降低了防护装置的重量。此种非金属机械式防护在欧洲 200~250 km/h 速度等级的高速列车上有应用测试，见图 6。



图 6 车轴采用非金属型机械式防护

此种非金属型机械式防护同样需要关注离心力问题, 以及圆形防护罩内部对车轴基体的磨损问题, 对于在 300 km/h 以上更高速度级的高速列车上采用, 还需要进行进一步的论证研究。

车轴采用机械式抗冲击防护能够抵抗外物冲击, 同时机械式抗冲击防护便于拆卸和更换, 相对便利了高速列车车轴的检修维护。由于机械式防护随着车轴高速转动产生离心力, 需要注意防护装置安装的防松脱问题, 以及内部对车轴基体的磨损问题。

上述机械式防护装置安装在车轴上, 并在列车运行中随着车轴旋转。此外, 与上述机械式防护方式不同的, 不随车轴旋转的相对静止安装的车轴防护装置也处于研究阶段, 其防护装置安装支撑在构架上, 或安装支撑在车轴附近的牵引电机、齿轮箱外壳体上, 装置罩在车轴外部, 对车轴起到防护作用。

此外, 其他如缠绕式等车轴防护方式也均处于研究阶段。

综上, 为解决高速列车运行中车轴受冲击问题, 目前在车轴的抗冲击防护方面已研究出多种方案, 但无论是涂层防护方式, 还是机械式防护方式, 或其他类型的防护方式, 均还需要进行进一步的研究。

4 结语

①高速列车由于运行速度高, 运行中车轴存在受冲击现象较普遍。对列车下部流场分析表明高速列车运行中带起路基上的石砟, 与车轴产生冲击, 列车在有雪的环境下运行时车轴受冲击更为严重。高铁采用无砟轨道使得车轴抗冲击情况有明显缓解, 但也存在不同程度的受冲击现象。对车轴采取抗冲击防护措施很有必要。

②基于运用实践, 目前欧洲标准中对于车轴的防护有较为明确的描述。

③车轴采用抗冲击涂层防护能够抵抗外物冲击, 但由于高速列车车轴涂层随着车轴高速转动产生离心力, 以及受热/冷却影响, 需要注意涂层与车轴金属基

体的粘接强度问题, 以及涂层与轮座、盘座结合部位的防腐、密封的问题。

④车轴采用机械式抗冲击防护能够抵抗外物冲击, 但由于机械式防护随着车轴高速转动产生离心力, 需要注意防护装置安装的防松脱问题, 以及内部对车轴基体的磨损问题。对于在速度 300 km/h 及以上更高速度级的高速列车上, 需要进行进一步的论证研究。

⑤高速列车车轴的状态直接关系到列车的运行安全, 高速列车车轴防护受到长期关注, 其他类型的车轴防护方式也处于研究阶段, 更加理想的车轴防护方式正在持续研究中。

⑥我国目前的高速铁路总量大, 分布范围广, 既有 300 km/h 及以上速度级的无砟高速铁路线路, 又有 250 km/h 高速客运专线, 列车运用环境温度为 $-40\sim+40^{\circ}\text{C}$, 温度跨度大。根据我国的高速线路条件和列车运用条件, 制定与之相符合的车轴抗冲击防护标准, 进一步研究并采用更为适合的车轴防护方案, 是一项有必要进行的工作。

参考文献:

- [1] 刘鑫贵, 吴毅, 项彬, 等. 动车组车轴标准研究及其技术发展展望[J]. 铁道机车车辆, 2014, 34(6): 18-22.
- [2] 杜存山. 高速列车车轴防护涂料的研究[J]. 现代涂料与涂装, 2012(6): 22-24.
- [3] Railway applications-Wheelsets and bogies-Axles-Product Requirements: BS EN 13261[S]. 2009.
- [4] 杨松柏, 赵民, 张宝祥. 铁道车辆涂层抗石击性能试验方法[J]. 铁道技术监督, 2013, 41(11): 5-8.
- [5] 周素霞. 高速列车空心车轴损伤容限理论与方法研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2009.

作者简介: 赵文学 (1977-), 男, 高级工程师, 主要从事机车车辆转向架设计工作。