

# 广州地铁LM型车轮踏面奇数轮缘厚度等级镟修研究

唐 宋 赵 锐

(广州地铁集团有限公司运营事业总部, 510308, 广州//第一作者, 工程师)

**摘 要** 在地铁车辆现有偶数轮缘厚度等级基础上,通过安全性仿真计算、镟修试验和跟踪、平稳性测试等方法,研究增设奇数轮缘厚度等级的可行性,以减少在恢复轮缘厚度情况下所造成的车轮直径浪费,延长车轮使用寿命,降低车轮维修成本,提高车轮镟修经济性。研究成果可为地铁车辆推广奇数轮缘等级镟修提供参考。

**关键词** 车轮镟修; LM型踏面; 奇数轮缘等级; 轮缘厚度

**中图分类号** U279.4

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2020.04.008

## Study on Grade Lathing of LM-type Wheel Tread with Odd Rim on Guangzhou Metro

TANG Song, ZHAO Rui

**Abstract** Based on the existing even rim thickness grades of subway vehicles, through safety simulation calculation, lathing test and tracking, stability test, the feasibility of setting odd rim thickness grades is researched, to reduce the wheel diameter wastage in the rim thickness recovering, extend wheel life, cut wheel maintenance cost, and improve wheel repair economics. The research results can provide a reference for the promotion of the odd rim repair in the whole subway industry.

**Key words** wheel repair; LM type tread; odd rim; rim thickness

**Author's address** Guangzhou Metro Group Co., Ltd., 510308, Guangzhou, China

根据TB/T 449—2003《机车车辆车轮轮缘踏面外形标准》规定,目前广州地铁车轮镟修技术要求中,将LM型踏面车轮轮缘镟修厚度等级分为LM-26 mm、LM-28 mm、LM-30 mm、LM-32 mm共4个偶数等级,并规定镟轮时可根据车轮尺寸和镟修要求进行轮缘厚度选择。原铁道部2013年发布的《铁路客车轮轴组装检修及管理规则》中规定,车轮轮缘踏面分为10种类型,轮缘厚度不但存在偶数等级,也存在奇数等级。但奇数轮缘厚度等级在广州地铁尚未应用。

通常情况,镟修时轮缘厚度由小向大恢复,消耗的踏面直径与轮缘厚度之间的比值约是4:1。例如,恢复2.0 mm轮缘厚度约需消耗踏面直径8.0 mm,按照0.4 mm/万km磨耗率计算,8.0 mm踏面直径的磨耗量可供列车运行20万km,可见恢复轮缘厚度造成了车轮直径极大的浪费。

为了减少恢复轮缘厚度造成的车轮直径浪费,延长车轮使用寿命,降低车轮维修成本,提高车轮镟修经济性和生产效率,广州地铁通过理论研究和实际镟修验证,在原有4个轮缘厚度等级的基础上,提出增设LM-27 mm、LM-29 mm、LM-31 mm共3个奇数轮缘镟修厚度等级。

## 1 安全性计算

能否增设奇数轮缘镟修厚度等级,关键是要验证奇数轮缘厚度等级下的车轮及列车安全性。广州地铁通过与国内某高校合作,对奇数轮缘等级踏面车轮的动力学性能进行了安全性仿真验证。

### 1.1 轮轨接触关系对比

LM型不同轮缘厚度等级踏面的轮轨接触关系对比如图1所示。

### 1.2 曲线通过安全性对比

LM型不同轮缘厚度踏面的曲线通过安全性对比的计算工况如下:

1) 车辆段内半径 $R=145\text{ m}$ 曲线+美国5级谱,计算车辆的曲线通过安全性,曲线设置如表1所示;

2) 正线半径 $R=600\text{ m}$ 曲线+美国5级谱,计算车辆的曲线通过安全性,曲线设置如表2所示。

车辆以10~30 km/h的速度通过车辆段内 $R=145\text{ m}$ 曲线的安全性指标如图2—图8所示,计算结果如下:

1) 随着LM型踏面的轮缘减薄,轮对横移量逐渐增加,而曲线通过安全性指标无明显差别;

2) LM型不同轮缘厚度的踏面通过车辆段内 $R$

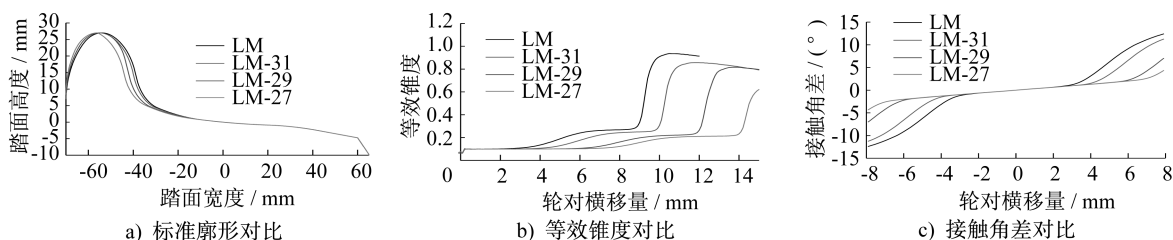


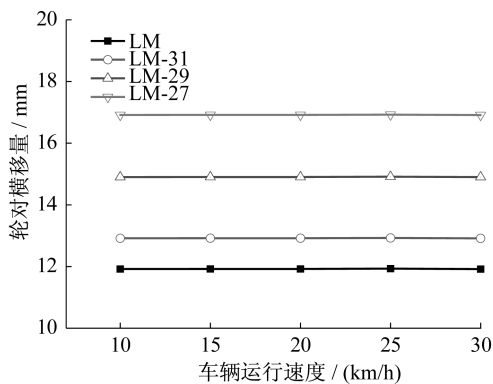
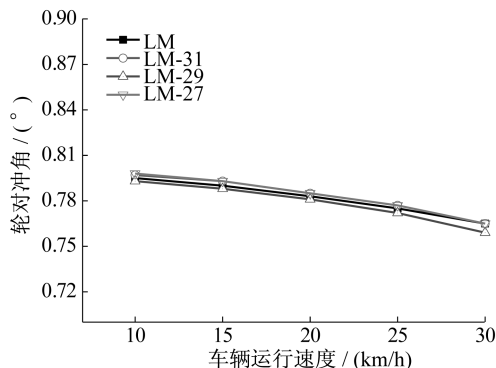
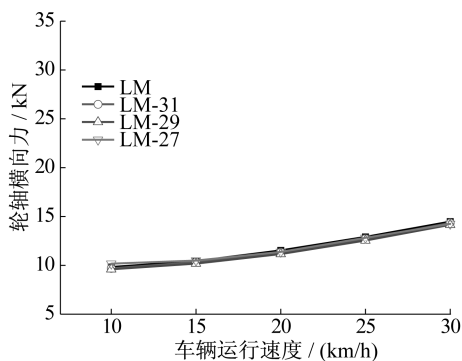
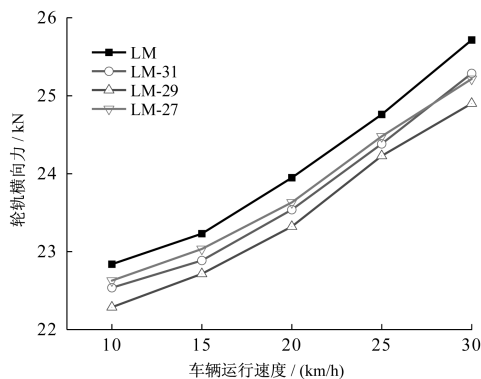
图1 LM型不同轮缘厚度等级踏面的轮轨接触关系对比

表1  $R=145\text{ m}$  曲线计算工况

| $R/\text{m}$ | 超高/<br>mm | 缓和曲<br>线长/m | 圆曲线<br>长/m | 顺坡<br>率/% | 车速/<br>(km/h) | 欠超高/<br>mm |
|--------------|-----------|-------------|------------|-----------|---------------|------------|
| 145          | 0         | 15          | 100        | 0         | 10            | 8.1        |
|              |           |             |            |           | 15            | 18.3       |
|              |           |             |            |           | 20            | 32.6       |
|              |           |             |            |           | 25            | 50.9       |
|              |           |             |            |           | 30            | 73.2       |

表2  $R=600\text{ m}$  曲线计算工况

| $R/\text{m}$ | 超高/<br>mm | 缓和曲<br>线长/m | 圆曲线<br>长/m | 顺坡<br>率/% | 车速/<br>(km/h) | 欠超高/<br>mm |
|--------------|-----------|-------------|------------|-----------|---------------|------------|
| 600          | 70        | 80          | 332        | 0.875     | 30            | -52.3      |
|              |           |             |            |           | 40            | -38.5      |
|              |           |             |            |           | 50            | -20.8      |
|              |           |             |            |           | 60            | 0.8        |
|              |           |             |            |           | 70            | 26.4       |
|              |           |             |            |           | 80            | 55.9       |
|              |           |             |            |           | 90            | 89.3       |

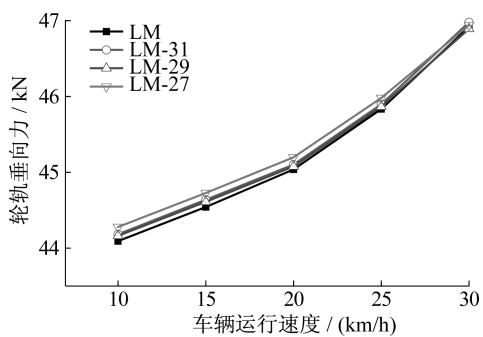
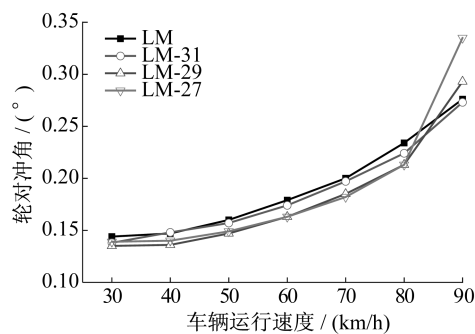
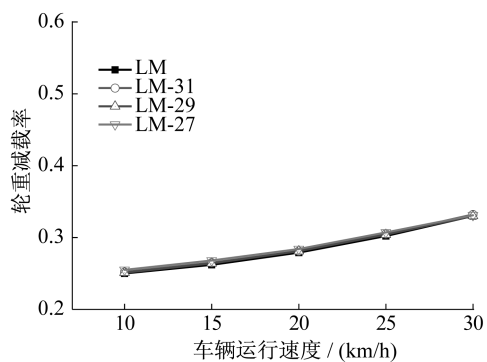
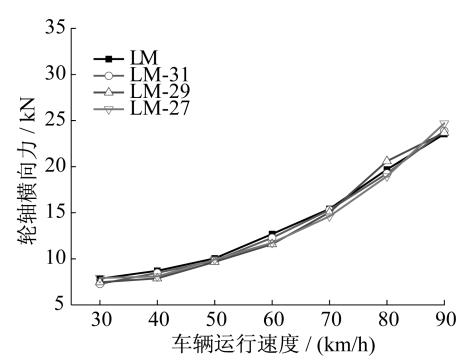
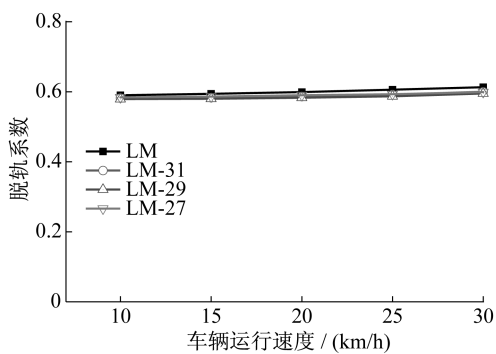
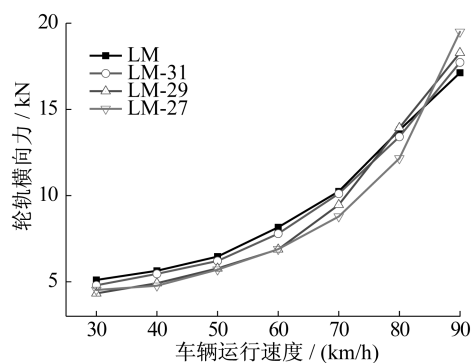
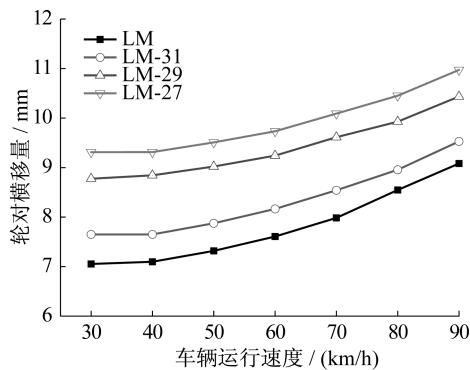
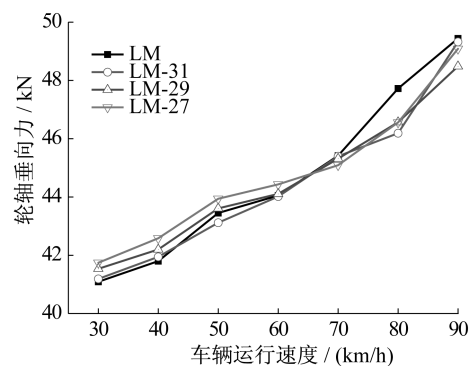
图2 轮对横移量( $R=145\text{ m}$ )图3 轮对冲角( $R=145\text{ m}$ )图4 轮轴横向力( $R=145\text{ m}$ )图5 轮轨横向力( $R=145\text{ m}$ )

=145 m 曲线的安全性指标(轮轴横向力、轮轨横向力、轮轨垂向力、脱轨系数和轮重减载率)没有超过国标 GB 5595—85 规定的限度值。

车辆以 30~90 km/h 的速度通过正线  $R=600\text{ m}$  曲线的安全性指标如图 9—图 15 所示, 计算结果如下:

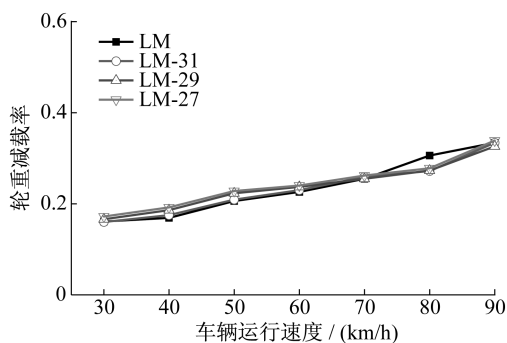
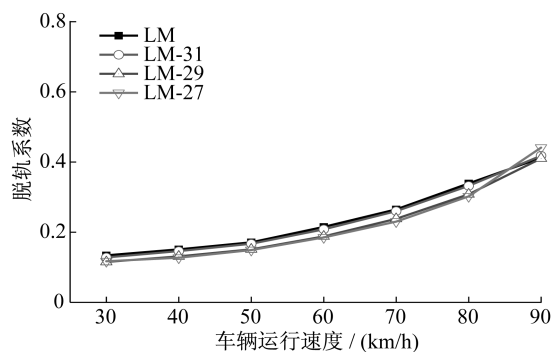
1) 随着 LM 型踏面的轮缘减薄, 轮对横移量逐渐增加, 而曲线通过安全性指标无明显差别;

2) LM 型不同轮缘厚度踏面通过正线  $R=600\text{ m}$  曲线的安全性指标(轮轴横向力、轮轨横向力、轮轨

图6 轮轨垂向力( $R=145\text{ m}$ )图10 轮对冲角( $R=600\text{ m}$ )图7 轮重减载率( $R=145\text{ m}$ )图11 轮轴横向力( $R=600\text{ m}$ )图8 脱轨系数( $R=145\text{ m}$ )图12 轮轨横向力( $R=600\text{ m}$ )图9 轮对横移量( $R=600\text{ m}$ )图13 轮轴垂向力( $R=600\text{ m}$ )

垂向力、脱轨系数和轮重减载率)没有超过 GB 5595—85规定的限度值。

通过上述计算,车辆采用轮缘厚度镟修等级为 LM-31mm、LM-29 mm、LM-27 mm 的踏面通过曲

图14 轮重减载率( $R=600\text{ m}$ )图15 脱轨系数( $R=600\text{ m}$ )

线( $R=145\text{ m}$ 和 $R=600\text{ m}$ )的安全性指标无明显差别,且都没有超过GB 5595—85规定的限度值。

## 2 镟修试验及测试分析

### 2.1 镟修试验

根据以上安全性仿真计算,证实奇数轮缘厚度等级对列车运行安全性无影响,且镟床已具备奇数轮缘厚度等级加工程序,可以开展镟修试验。选择广州地铁5号线一列车(035、036单元)开展奇数等级镟修试验,035单元、036单元分别按31 mm和29

mm轮缘厚度镟修踏面廓形。镟修过程无异常,采用奇数踏面廓形模板贴靠检查,显示结果吻合(见图16)。

### 2.2 磨耗情况分析

根据该车此前偶数镟修测量数据,计算得出的轮径与轮缘磨耗情况如表3所示。其中,035单元和036单元的轮径平均磨耗分别为0.62 mm/万 km和0.60 mm/万 km,轮缘平均磨耗分别为-0.16 mm/万 km和-0.13 mm/万 km(负值表示轮缘增厚),磨耗正常。



图16 奇数轮缘厚度等级踏面镟修后模板检查现场



根据该车奇数轮缘厚度等级两次测量数据,计算得出的轮径磨耗及轮缘磨耗情况如表4所示。其中,LM-31 mm、LM-29 mm轮缘镟修厚度等级踏面外形的轮径平均磨耗分别为0.53 mm/万 km和0.54 mm/万 km,轮缘平均磨耗分别为-0.15 mm/万 km和-0.16 mm/万 km。

奇数轮缘厚度磨耗情况与此前偶数轮缘厚度磨耗情况的对比如表5所示。由表5可见,奇数轮缘厚度情况下,轮径磨耗率有所下降,035单元LM-31 mm等级踏面情况下的磨耗率下降了0.09 mm/万 km,036单元LM-29 mm等级踏面情况下的磨耗率

下降了0.06 mm/万 km,且轮缘磨耗率无明显变化。

### 2.3 平稳性测试

车轮踏面镟修后,分别在列车运行了0 km及8.3万 km后进行平稳性测试。选取035单元和036单元安装加速传感器(两次测试传感器位置相同)。

将本次测试与前期另一列车(001002车)的镟轮周期内平稳性测试结果进行对比,其中东圃站至三溪站上行区间内测试结果对比如表6及图17所示。由此可见,采用LM-32 mm、LM-31 mm和LM-29 mm的轮缘镟修厚度等级进行轮对镟修后,

表3 035/036车正常镟修的轮对磨耗情况

| 车号     | 轴号 | 轮径磨耗/mm | 轮厚磨耗/mm |
|--------|----|---------|---------|
| 05A035 | 1  | 4.37    | -1.34   |
|        | 2  | 5.05    | -1.42   |
|        | 3  | 3.60    | -0.99   |
|        | 4  | 3.90    | -0.81   |
| 05B035 | 1  | 3.26    | -0.74   |
|        | 2  | 3.15    | -0.69   |
|        | 3  | 3.83    | -1.26   |
|        | 4  | 3.05    | -0.60   |
| 05C035 | 1  | 3.12    | -0.58   |
|        | 2  | 2.89    | -0.70   |
|        | 3  | 3.51    | -0.73   |
|        | 4  | 3.71    | -1.15   |
| 05A036 | 1  | 4.31    | -0.97   |
|        | 2  | 3.81    | -0.77   |
|        | 3  | 3.24    | -0.80   |
|        | 4  | 3.69    | -1.12   |
| 05B036 | 1  | 3.02    | -0.65   |
|        | 2  | 4.02    | -0.90   |
|        | 3  | 3.19    | -0.68   |
|        | 4  | 4.22    | -0.87   |
| 05B036 | 1  | 2.81    | -0.54   |
|        | 2  | 2.91    | -0.47   |
|        | 3  | 3.02    | -0.82   |
|        | 4  | 3.19    | -0.78   |

表4 035/036车轮缘厚度奇数等级镟修的轮对磨耗情况

| 车号     | 轴号 | 轮径磨耗/mm | 轮厚磨耗/mm |
|--------|----|---------|---------|
| 05A035 | 1  | 4.61    | -1.14   |
|        | 2  | 5.65    | -1.88   |
|        | 3  | 3.79    | -1.07   |
|        | 4  | 4.53    | -1.25   |
| 05B035 | 1  | 4.66    | -1.23   |
|        | 2  | 4.35    | -1.34   |
|        | 3  | 4.01    | -1.13   |
|        | 4  | 4.05    | -1.10   |
| 05C035 | 1  | 4.75    | -1.24   |
|        | 2  | 4.06    | -1.11   |
|        | 3  | 4.25    | -1.20   |
|        | 4  | 4.57    | -1.36   |
| 05A036 | 1  | 4.43    | -1.26   |
|        | 2  | 5.58    | -1.71   |
|        | 3  | 3.84    | -1.06   |
|        | 4  | 4.89    | -1.52   |
| 05B036 | 1  | 4.19    | -1.15   |
|        | 2  | 4.15    | -1.19   |
|        | 3  | 4.41    | -1.26   |
|        | 4  | 4.92    | -1.51   |
| 05B036 | 1  | 4.34    | -1.22   |
|        | 2  | 4.08    | -1.15   |
|        | 3  | 4.14    | -1.11   |
|        | 4  | 4.57    | -1.36   |

列车横向平稳性指标最初的差异不大,三者在东圃站至三溪站上行区间内分别为2.86、2.89和2.84。在镟轮周期末期,采用LM-32 mm镟修的001002车横向平稳性为2.60,而采用LM-31 mm镟修的035单元和采用LM-29 mm镟修的036单元分别为2.17

和2.07。通过平稳性测试对比,表明LM-29 mm和LM-31 mm奇数轮缘厚度等级对平稳性无影响。

### 3 结语

通过理论研究和实际镟修验证,得出了采用

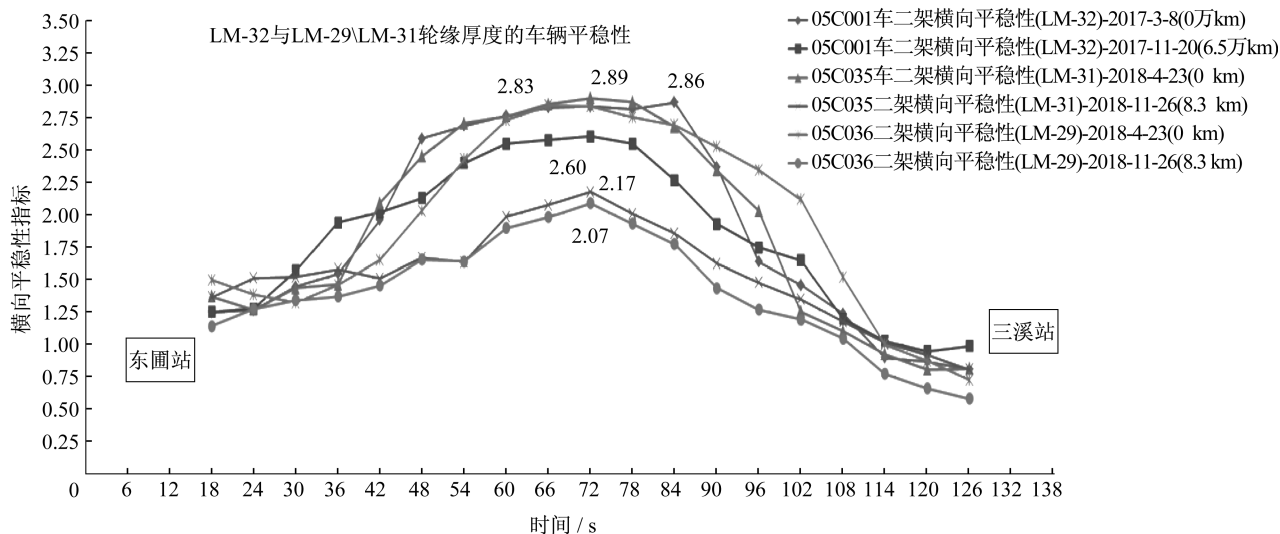


图17 不同等级轮缘厚度的车辆横向平稳性测试曲线

表5 奇数轮缘厚度与正常轮缘厚度磨耗对比

| 参数               | 轮径磨耗率/<br>(mm/万 km) | 轮缘磨耗率/<br>(mm/万 km) | 运行里<br>程/km |
|------------------|---------------------|---------------------|-------------|
| 035 偶数轮缘厚度       | 0.62                | -0.16               | 57 861      |
| 036 偶数轮缘厚度       | 0.60                | -0.13               | 57 861      |
| 035 LM-31 奇数轮缘厚度 | 0.53 ↓              | -0.15               | 84 682      |
| 036 LM-29 奇数轮缘厚度 | 0.54 ↓              | -0.16               | 84 682      |

表6 不同等级轮缘厚度的车辆横向平稳性测试对比

| 测试日期       | 测试位置     | 横向平稳<br>性最大值 | 备注             |
|------------|----------|--------------|----------------|
| 2017-03-08 | 05C001 车 | 2.86         | 新镟轮 LM-32      |
| 2017-11-20 | 05C001 车 | 2.60         | 6.5 万 km LM-32 |
| 2018-04-23 | 05C035 车 | 2.89         | 新镟轮 LM-31      |
|            | 05C036 车 | 2.84         | 新镟轮 LM-29      |
| 2018-11-26 | 05C035 车 | 2.17         | 8.3 万 km LM-31 |
|            | 05C036 车 | 2.07         | 8.3 万 km LM-29 |

LM-27 mm、LM-29 mm、LM-31 mm 奇数轮缘厚度等级进行车轮镟修的结论如下:

1) 车辆采用 LM-31 mm、LM-29 mm、LM-27 mm 等级镟修的车轮踏面,在通过曲线( $R=145$  m 和  $R=600$  m)时的安全性指标无明显差别,且都未超过 GB 5595—85 规定的限度值。

2) 按 LM-29 mm 和 LM-31 mm 等级进行镟修试验,结果发现轮径磨耗率有所下降,轮缘磨耗率基本无变化。试镟列车运行至 8 万 km 时运营状态正常。

3) LM-29 mm 和 LM-31 mm 奇数轮缘厚度等级对车辆平稳性无消极影响。

根据上述结论,能够验证奇数轮缘厚度等级镟修对列车的安全性和平稳性没有影响,建议在地铁车辆的镟修中推广使用,并可将奇数轮缘厚度等级镟修纳入镟轮原则,修订相关技术文件。实现奇数轮缘厚度等级镟修功能后,还可按照《铁路客车轮轴组装检修及管理规则》进一步开展 LM-27.5 mm、LM-29.5 mm、LM-31.5 mm 这 3 种奇数轮缘厚度等级踏面镟修程序的开发,以便可提供更多的轮对廓形选择,进而实现 LM-26 mm—LM-32 mm 全廓形等级镟修,使轮对的镟修原则变得更为灵活,减少恢复轮缘厚度造成的车轮直径浪费,延长车轮使用寿命,降低镟修成本和提高镟修经济性。

## 参考文献

- [1] 朱士友,潘丽莎,员华. 轮对等级镟修对车辆平稳性的影响分析[J]. 城市轨道交通研究, 2006(7):46.
- [2] 员华,肖胜强,汪洋. 基于磨耗量统计的轮对等级镟修可行性分析[J]. 城市轨道交通研究, 2006(1):43.
- [3] 李鑫. LM 磨耗形踏面轮对全廓形等级镟修的实现方法[J]. 城市轨道交通研究, 2017(5):153.
- [4] 中华人民共和国铁道部. 机车车辆车轮轮缘踏面外形:TB/T 449—2003[S]. 北京:中国铁道出版社, 2003.
- [5] 中华人民共和国铁道部. 铁路货车轮轴组装、检修及管理规则:TG/CL 206—2013[S]. 北京:中国铁道出版社, 2007.

(收稿日期:2019-07-15)

## 京广铁路列车脱轨事故调查组成立

记者从广铁集团了解到,针对 2020 年 3 月 30 日在京广铁路湖南郴州段发生的列车脱轨事故,目前已成立了由国家铁路广州铁路监督管理局为组长单位,郴州市人民政府为副组长单位,湖南省交通运输厅、湖南省应急管理厅等为成员单位的事调查组。据介绍,调查组将对事故原因及公众关注的相关问题进行全面深入的调查,调查及处理结果将及时向社会公布。同时,铁路部门对殉职乘警表示深切哀悼,对受伤旅客、铁路职工及其家属表示歉意和慰问。记者了解到,伤员救治和善后工作正在有序开展。(摘自 2020 年 4 月 1 日新华网,记者 史卫燕报道)

## T179 次列车脱轨事件追踪

2020 年 3 月 30 日 11 时 40 分许,从济南开往广州的 T179 次客运列车行经京广线湖南省永兴县路段时,因突发山体滑坡,导致列车撞上塌方体脱轨。事故造成 1 死 127 伤,京广线部分区段一度运行受阻。根据“新华视点”记者现场调查,事故发生前曾有村民拨打 110 电话报警,但很遗憾没能阻止这场事故。专家认为,通过“人防+技防”全面升级,提高普速列车安全防护能力迫在眉睫。有专家建议:对标高铁以“端的多能化”让普速列车也具有环境安全风险感知能力;以“网的物联化”让普速铁路车、线、站等各系统“万物互联”;以“脑的智能化”将环境监测结果运用于列车运行控制。普速铁路和高速铁路同步构造“全局可视、提前预判、主动预警、立体防护”的高科技防护体系,铁路运输安全才更有保障。(摘自 2020 年 4 月 2 日新华网、《人民公安报》)