

地铁车辆车轮几何参数运用限度分析

范家振

南京地铁运营有限责任公司

DOI:10.12238/jpm.v3i7.5097

[摘要] 介绍了我国地铁车轮几何参数的安全运用限度的发展、现状,通过分析轮对几何参数变化对列车运行、稳定性、舒适性的影响,对地铁车辆车轮几何参数的制定策略和轮对镟修标准提出了建议。

[关键词] 车轮; 轮缘; qR; 径跳; 轮径差; 限度; 镟修

中图分类号: U231+.92 **文献标识码:** A

Analysis of Wheel Geometric Parameters

Jiazhen Fan

Nanjing Metro Operation Co., Ltd

[Abstract] This paper introduces the development and current situation of the safe application limit of the subway wheel geometric parameters in China, and analyzes the influence of the wheels on the train operation, stability and comfort.

[Key words] wheel; wheel rim; qR; diameter jump; wheel diameter difference; limit; repair

引言

轮对是地铁车辆的重要组成部分。随着列车轮轨磨耗的增加,车轮踏面和轮缘的几何参数值会发生变化,该参数的变化会影响列车行驶的平稳性和舒适性。控制轮对几何参数不超运用限度、及时镟修轮对是保证地铁列车运行品质的重要方法之一。

1 国内地铁车辆轮对几何参数运用限度的发展历程及运用现状

上世纪末期至本世纪初,我国开始引进Alstom、西门子、庞巴迪等公司的轨道车辆技术,当时,一同引进了车辆轮对几何参数的运用限度。至今,CRH动车组、国内多家城市(南京、福州、杭州、常州)地铁列车的轮对几何参数运用限度的部分条款(qR限度、踏面滚动圆径向跳动限度)仍然一直沿用欧盟BS EN 15313^[1]的维护标准。

虽然CRH动车组、地铁列车同为引进技术,但是国铁列车轮对几何参数的运用限度由国家层面(铁路总公司)经过科学论证后发布《铁路动车组运用维修规则》^[2],执行统一标准。由于运营企业性质和管理模式不同,地铁列车轮对几何参数的运用限度由各公司自行制定,并没有国家层面的相关法规可以遵循,也没有权威的运用标准。

2 欧盟标准的轮辐维护要求和国内地铁车辆轮对几何参数运用限度调查

2.1 欧盟标准的轮辐维护要求

《BS EN 15313 Railway applications-In-service wheelset operation requirement-In-service and off-vehicle wheelset

maintenace》对轮对几何参数的定义见图1,运用限度见表1。

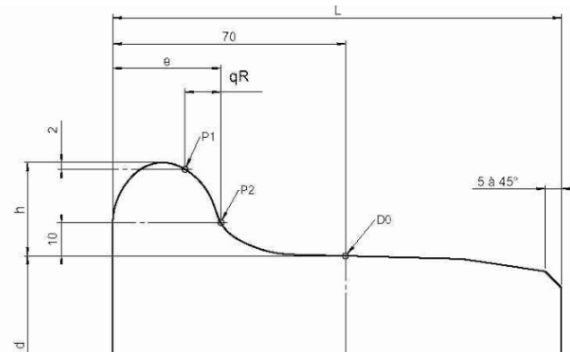


图1 轮缘廓形

表1 BS EN 15313标准轮对几何参数运用限度

Flange height "h" (mm)	d (mm)	d ≤ 630	630 < d ≤ 760	760 < d
	h minimum		31.5	29.5
h maximum		36		
Flange thickness "e" (mm)	d (mm)	d ≤ 760	760 < d ≤ 840	840 < d
	e minimum	27.5	25	22
e maximum		33		
qR dimension (mm)	qR minimum	6.5		
radial run-out (mm)	V (km/h)	v ≤ 120	120 < v	
		0.5	0.3	
Diameter difference between wheels on the same axle (mm)	V (km/h)	v ≤ 200		200 < v
		0.5		0.3
d ₁ - d ₂ maximum (mm)		0.5		0.3

2.2国内地铁公司轮对几何参数的运用限度管理情况及存在的问题

国内城市地铁的轮对运用限度,一般参考两个方面,一是车辆主机厂提供的《电客车维护手册》(以下简称《手册》),二是中国铁路总公司发布的《铁路客车轮轴组装检修及管理规则》^[3](以下简称《轮规》)。

经笔者调研,国内地铁公司的轮对几何参数运用限度差异较大,以广州地铁、南京地铁、武汉地铁为例,运用限度见下表:

表2 国内地铁公司轮对几何参数运用限度

单位: mm	广州地铁 ^[4]	南京地铁	武汉地铁 ^[5]
轮缘高度 h	$35 \geq h \geq 27$	$h < 31$ 且同轴差值不超过 2	**
轮缘厚度 e	$34 \geq e \geq 27$	$e \geq 26$ 且同轴差值不超过 2	$33 \geq e \geq 26$
踏面径向跳动 δ	$\delta < 0.35$	$\delta < 0.5$	$\delta < 0.5$
qR	**	$6.5 > qR > 12.7$	**
轮径差	同轴 ≤ 2 同架 ≤ 4 同车 ≤ 8	同轴 ≤ 2 同架 ≤ 4 同车 ≤ 7	动车:
			拖车:
			同轴 ≤ 2 同架 ≤ 4 同车 ≤ 7
			同轴 ≤ 2 同架 ≤ 4 同车 ≤ 7

注: **表示不对该参数进行控制

经调研,国内地铁行业关于轮对几何参数运用限度的管理存在以下几个问题:

(1)由于编制《手册》的车辆主机厂本身缺乏运用层面的研究,建议的轮对几何参数运用限度裕量较大,《轮规》条款与地铁运用环境适应性较低。

(2)主机厂缺乏运维经验,建议的运用限度裕量较大,按照主机厂的建议管理轮对运用限度,存在轮对磨损浪费的情况。

(3)地铁公司之间存在技术壁垒,运维数据、经验共享程度较低,轮对运用几何限度的制定依据存在片面性。地铁车辆轮对几何参数的安全运用限度是模糊的,不明确的。

3 地铁车辆轮对几何参数运用限度的研究现状

轮对几何参数的运用限度直接决定了轮对使用寿命和维修经济性的关键因素。鉴于此,国内大量轨道地铁车辆专业的从业者也展开了大量的研究。宗志祥^[6]利用整车车轮轮缘厚度值进行了统计推断和假设检验,给出了轮对厚度预警值,严松^[7]等研究了轮径差与机车安全性能的相互关系,姜建东^[8]等研究了踏面跳动与车辆平稳性的影响,吴井冰^[9]介绍了qR值与轮缘垂直磨损的关系。但是相关学者和从业人员均未研究轮对几何参数的最低安全运用限度。

4 轮对几何参数对列车运行品质的影响和安全限度

4.1 轮缘高度

轮缘高度是轮缘的重要参数。在列车通过弯道和爬坡时,轮缘高度是防止列车脱轨的重要支撑。在实际运用中,轮缘高度超限有3种情况:数值过大、数值过小、同轴两轮偏差过大。

4.1.1 轮缘高度数值过大,即“轮缘虚增高现象”。该现象是轮对踏面磨损速度大于轮缘磨损速度,导致轮缘测量尺基准点

偏移,轮缘高度测量值偏大的情况。轮缘虚增高现象,会降低车辆列车通过道岔能力,尤其是轮缘过高有可能切断鱼尾板螺栓导致车辆颠覆。

4.1.2 轮缘高数值过小,车辆通过弯道或者爬坡时容易脱轨。

4.1.3 同轴两轮偏差过大,即列车两侧车轮存在偏磨。

文献^[10]指出,轮缘通过平直道的最大允许高度34mm,通过道岔最大允许高度36mm,天津地铁确定运用限度为34mm。经笔者调研,各地铁公司轮缘高度运用限度不一,大部分地铁公司采用33mm或34mm但均不低于31mm,但是广州地铁7号线采用35mm的标准。

4.2 轮缘厚度

轮缘厚度的大小与轮轨游间、轮对通过曲线能力、安全通过辙差均有重要影响。

《GB50157-2013地铁设计规范》规定,标准轨距为1435±2mm,半径小于250mm区段应进行轨距加宽,最大加宽值15mm;南京地铁运用限度规定为1351-1357mm。我国《铁路技术管理规程-2014》第42条规定,线路、道岔静态允许偏差为-2+6mm。故最小轨距1433mm,最大轨距1456mm。

4.2.1 轮轨游间

$$\delta = 1433 - (1357 + 32 \times 2) = 12 \text{mm}$$

由上式可知,轮缘与钢轨之间的评价最小游间为6mm,故能保证正常状态下能轮缘与钢轨不致发生严重偏磨。

4.2.2 安全通过曲线

南京地铁最小内侧距为1530mm,轮缘厚度最小为23mm,轮辋宽度135mm。假定一侧轮缘紧贴钢轨,另一侧车轮踏面的安全搭载量为h:

$$h = 1351 + 23 + 135 - 1456 = 53 \text{mm}$$

如果考虑到运用可能产生的不利因素:

- (1)钢轨头部圆弧半径最大为13mm。
- (2)钢轨负载后造成的弹性外挤开为8mm。
- (3)车轮踏面外侧圆弧半径为6mm。
- (4)轮对负载后内侧距离减小量为2mm。

按照最不利的条件累计后,则车轮踏面安全搭载量h为:

$$h = 53 - 13 - 8 - 6 - 2 = 24 \text{mm}$$

由上述计算可知,足以保证行车安全不会因为搭载量不足和导致车辆脱轨。

4.2.3 安全通过辙叉

《铁路技术管理规程-2014》辙叉心作用面至护轮轨头部外侧的距离不小于1391mm,而辙叉翼轨作用面至轮轨头部外侧的距离不大于1438mm。

$L_{\max} + S_{\max} \leq 1391 \text{mm}$ 时,列车过辙叉才不至于骑入辙叉另一次以致脱轨, $L_{\min} > 1358 \text{mm}$ 时,轮缘内侧面将被护轮轨挤压,不能安全通过道岔。

4.3 踏面径向跳动

随着列车运营速度的提升和运营里程的增加,车轮会出现非圆化磨损而产生多边形现象。当非圆化特性越来越明显时,

列车运行过程中的轮轨冲击作用增大,会引起列车的异常振动和噪声加大,降低乘坐舒适性。踏面径向跳动是衡量车轮不圆的重要指标。

文献^[11]基于UIC518评价指标研究了径跳值与车轮高阶多边形的关系,文^[12]基于GB5599-1985评价规范研究了镟修前后的径跳值与列车平稳性指标之间的关系。经过笔者调研,部分地铁公司执行径跳值大于0.5mm时镟修的运用标准,但个别线路出现列车异常振动的线路,提高列径跳运用限度,如广州地铁7号线执行0.35mm限度。南京地铁4号线、S3号线列车振动较为频繁,同样通过提高径跳运用限度提高列车舒适度,均执行0.2mm限度。

4.4 qR值

qR值是我国引进国外地铁车辆技术时一同引进的运用限度指标,很多地铁列车和高速动车组检修运用均引入了qR的概念,该指标的意义是保证了轮缘锥度。

我国的普速铁路运用检修规程是以轮缘“垂直磨耗”指标保证轮缘锥度的。经笔者调研,也并不是所有地铁公司的轮缘运用限度都采用qR的限度,部分地铁公司在检修运用中仍然借鉴了铁路总公司低速铁路中“垂直磨耗”指标。

BS EN 15313标准规定,qR的最低运用限度为6.5mm,最高限度并未做出规定。但采用qR指标的地铁公司均执行最低6.5mm-12.7mm的运用限度。按照南京地铁公司10条线路的多年的运用经验,轮对镟修后随着运营里程的增加,qR尺寸逐步减小,轮对尺寸超限度均表现为qR指标低于6.5mm的最低限度,截稿之前,未发现qR超过12.7mm的最高限度。

4.5 轮径差

轮径差是轮对几何尺寸的另一个重要参数。文献^[13-14]研究了轮径差对机车车辆动力学性能的影响。分析各种轮径差组合工况下地铁车辆的临界速度、平稳性、安全性和磨耗功率及其变化规律。结果表明:轮径差增大会使地铁车辆的临界速度有较大幅度降低,会使地铁车辆的横向平稳性和磨耗功率明显增大。

针对轮径差,BS EN 15313没有明确规定。《铁路客车轮轴组长检修及管理规则》3.7条第(3)款规定:段修、厂修时同一车轮两直径差超过规定限度时应加工修理。《铁路客车运用维修规程》、《铁路动车组运用维修规则》均对相关客车车型的轮径差限度做出了详细要求。

南京地铁公司执行同轴、同架、同车分别不超过2mm、4mm、7mm的运用限度。

5 制定轮对几何参数运用限度的建议

轮轨关系是轨道交通领域的复杂运动关系之一,实际运用中,轮对在钢轨上的运动状态也是多种运动的耦合。轮轨摩擦时轮对的所有几何参数均会发生变化,但是变化速率不同,故不同线路、不同工况环境下的轮对几何参数超限的形式并不一样。

制定轮对几何参数的运用限度应该遵循以下三个原则:确保安全,不降低舒适性,能提高经济性。即研究轮对几何参数运用限度的目标是:在保证列车的安全性(稳定性)和平稳性的前提下,优化轮对运用限度,避免列车轮对的过度镟修,提高列车轮对运用的经济性。

[参考文献]

[1]BS EN 15313 Railway applications-In-service wheels et operation requirements-In-service and off-vehicle wheelset maintenance.2016.

[2]铁路动车组运用维修规则.中国铁路总公司.2017.9

[3]铁路客车轮轴组检修及管理规则.中国铁路总公司,2014:1.

[4]熊亮.基于圆跳动发展跟踪的镟修策略优化方法[J].机电信息,2019,(14):31-33.

[5]陈思,梅进武,朱威,等.地铁车辆轮对异常状态及镟修[J].技术与市场,2020,27(05):91+93.

[6]宗志祥.地铁车辆车轮轮缘厚度预警区间研究[J].铁道机车车辆,2021,41(06):138-142.

[7]严松,姜毅,王欢.轮径差对机车安全性能的影响分析[J].重庆理工大学学报(自然科学),2019,33(08):30-37.

[8]姜建东,张峰,蔺高.车轮踏面跳动对车辆运行平稳性的影响分析[J].铁道车辆,2007,(07):24-26+47-48.

[9]吴井冰.对南京地铁电客车轮缘综合值(qR)的一点思考[J].铁道机车车辆,2008,(01):49-50.

[10]臧磊.城轨车辆车轮轮缘运用限度探讨[J].交通标准化,2013,(23):108-110.

[11]杨晓璇.A型地铁车辆车轮多边形形成机理初步研究[D].西南交通大学,2018.

[12]张凯轩,周劲松,官岛,等.车轮非圆化对地铁车辆振动的影响研究[J].机械设计与制造工程,2018,47(04):82-86.

[13]严松,姜毅,王欢.轮径差对机车安全性能的影响分析[J].重庆理工大学学报(自然科学),2019,33(08):30-37.

[14]蒋益平,池茂儒,周橙,等.组合轮径差对地铁车辆动力学性能的影响[J].润滑与密封,2019,44(10):115-120.