

# 一种低地板铰接动车组转向架及构架的结构设计与强度分析

李 稳<sup>1</sup> 陆海英<sup>1</sup> 米彩盈<sup>2</sup> 韩俊臣<sup>1</sup>

(1. 中国中车长春轨道客车股份有限公司, 130062, 长春; 2. 西南交通大学机械工程学院, 610031, 成都//第一作者, 工程师)

**摘 要** 介绍了一种低地板铰接动车组转向架及其构架的结构。该转向架采用模块化设计理念, 实现了铰接动力转向架和铰接非动力转向架最大化的可互换性。使用 ANSYS 软件对构架强度进行计算分析。仿真计算结果表明, 构架强度满足强度要求。

**关键词** 动车组; 铰接转向架; 构架; 结构组成; 强度分析

**中图分类号** U270.331

**DOI:** 10.16037/j.1007-869x.2019.04.005

## Structure Design and Strength Analysis for the Articulated EMU Bogie and Frame of A Low-floor Car

LI Wen, LU Haiying, MI Caiying, HAN Junchen

**Abstract** A low-floor articulated EMU bogie and the frame structure are introduced. This bogie adopts the modular design idea to realize maximum interchangeability between articulated power bogie and articulated non-power bogie. Then, ANSYS software is used to calculate and analyze the frame strength, the calculation results show that the bogie frame could meet the strength requirements.

**Key words** EMU; articulated bogie; frame; structural composition; strength analysis

**First-author's address** CRRC Changchun Railway Vehicles Co., Ltd., 130062, Changchun, China

在国外, 铰接动车组转向架已经大量投入运用, 主要用在城际或市郊列车上, 如法国的 TGV、日本的 E993 系市域车及新干线高速试验列车、德国的 ET425 系列动车组以及加拿大庞巴迪的 Sprinter 列车等。但在国内, 铰接动车组转向架技术仍处于研究的起步阶段。为填补我国铰接转向架的技术空白, 中国中车长春轨道客车股份有限公司研制了一种用于低地板铰接动车组的铰接转向架。本文对该转向架进行介绍, 并重点分析铰接转向架中最主要的承载部件——构架的结构与强度。

在传统结构的车辆上, 每辆车配置有 2 个转向架以支撑车体。相邻 2 辆车之间通过钩缓装置连接。铰接动车组在相邻两车之间共用 1 个铰接转向架, 且 2 车通过铰接转向架上的铰接机构连接。这一特点减少了转向架在整列车中的配置数量, 不仅降低车辆制造成本, 也对整车的减重大有帮助<sup>[1]</sup>。

目前铰接转向架主要有两种结构形式<sup>[2]</sup>: 一种是有摇枕的铰接转向架, 另外一种是无摇枕的铰接转向架。无摇枕的铰接转向架一般采用空气弹簧支撑车体。与有摇枕的铰接转向架相比, 无摇枕铰接转向架更便于维护保养, 可减轻转向架整体质量<sup>[3]</sup>。此外, 空气弹簧也能更好地保证车辆运行的舒适性和安全性。另外, 在车体与转向架之间不设置摇枕, 也可在一定程度上降低地板面高度。本文介绍的铰接动车组转向架即为无摇枕的空气弹簧支撑形式的转向架。

## 1 铰接转向架

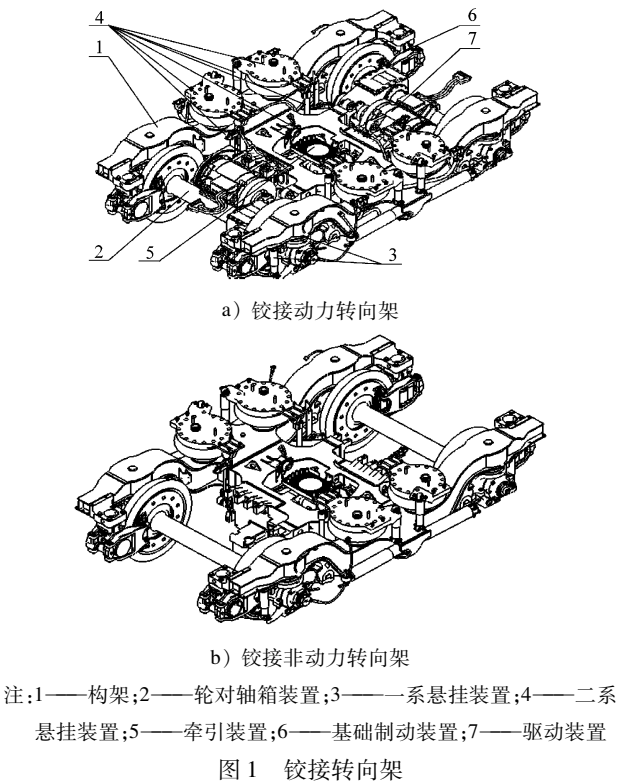
### 1.1 转向架结构组成

本文介绍的铰接转向架整体结构如图 1 所示。铰接动力转向架和铰接非动力转向架均采用模块化设计。除车轴外, 其他关键零部件均具有良好的互换性。

铰接转向架主要由轮对轴箱装置、一系悬挂装置、构架、二系悬挂装置、牵引装置、驱动装置、制动装置及辅助装置等结构组成。

构架采用整体焊接结构。车轴采用孔径尽量大的空心车轴, 从而最大程度地降低簧下质量, 提高车辆的整体动力学性能。车轮采用直径相对较小( $\phi 850$  mm)的钢轮, 对降低车辆地板面高度有着积极的作用。

一系悬挂装置由叠层橡胶垫、螺旋钢弹簧组及一系垂向减振器等零部件组成, 且轴箱定位方式为转臂式轴箱定位。一系悬挂装置采用这种配置既



可以保证车辆在较高的速度时具有良好的稳定性,还可以有效减少来自轨道的振动和冲击,避免簧上的零部件因振动过大而产生破坏或失效,对改善乘客的乘坐舒适度也起到一定作用。

二系悬挂装置采用 4 个空气弹簧来支撑相邻 2 辆车的车体。空气弹簧由空气胶囊和紧急弹簧组成,在转向架和车体之间提供合适的悬挂刚度,能有效降低振动和冲击,使旅客乘坐更加舒适。

车体与转向架之间的牵引力和制动力是通过安装在转向架中部的牵引装置来传递的。牵引装置主要由中心销、牵引梁及“Z”字型双牵引拉杆等零部件组成。基础制动形式为轮盘制动,同时,车辆还设置了电制动。两种制动形式配合以确保车辆制动性能满足要求。每个动力转向架设置 2 套驱动装置,每套驱动装置包括牵引电机、减速齿轮箱和联轴节,采用长径比较大的牵引电机,降低牵引电机直径,从而降低转向架上方的地板面高度。牵引电机通过金属橡胶节点吊装到构架横梁上。齿轮箱的一端通过轴承支承在车轴上,另一端通过装有橡胶节点的吊杆悬挂在构架横梁上,在牵引电机和减速齿轮箱之间采用联轴节传递扭矩。

为提高车辆的整体动力学性能,铰接转向架二系悬挂装置中还设置有抗侧滚扭杆、横向减振器、

垂向减振器、抗蛇行减振器及横向止挡。为了保证车辆的运营安全,在转向架上还设置有各类监控装置。轴端设置了轴温传感器、防滑传感器及信号传感器;构架上设置了转向架横向加速度传感器,用来实时监控转向架的运行状态。为避免轴箱轴承发生电化学腐蚀,每轴的轴端还设置有接地装置。

### 1.2 技术及性能参数

本文介绍的铰接转向架主要技术及性能参数见表 1。

表 1 转向架主要技术及性能参数	
项目	数值
适用轨距/mm	1 435
最高运行速度/(km/h)	160
轮对内侧距/mm	1 353
车轮直径/mm	850
允许的最大轴重	19
固定轴距/mm	2 700
铰接动车转向架质量/t	≈9
铰接拖车转向架质量/t	≈7

当然,表 1 中的转向架参数还可根据具体的运行条件进行相应调整。轮对内侧距可根据采用的钢轨进行调整。固定轴距可根据曲线半径的大小进行调整。当线路最小曲线半径较大时,为提高车辆的运行稳定性可适当增大固定轴距,但由此将带来转向架质量增加的问题。因此,转向架的参数设置要综合各方面因素进行考虑。

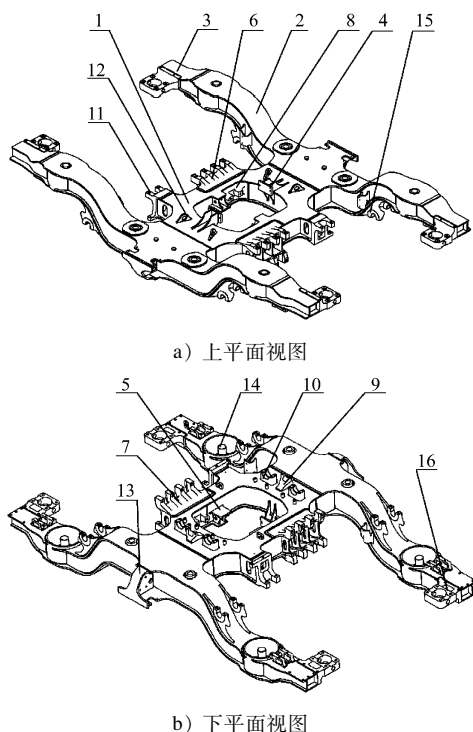
## 2 铰接转向架构架

### 2.1 构架结构设计

铰接转向架构架是铰接转向架中最主要的承载部件,也是本文阐述的重点。针对铰接转向架结构形式,设计了如图 2 所示的铰接转向架构架。该构架主要由横梁、侧梁及制动吊梁等 3 部分组成。横梁与侧梁之间通过上盖板存在高度差的箱型断面组焊形成整体构架。该结构保证了横侧梁连接具有良好的工艺性和高强度、高可靠性。同时,可有效地降低车辆中央过道的地板面高度。制动吊梁通过一系弹簧冒筒焊接于侧梁外侧。这种结构设计可节省固定轴距之间的空间,也便于制动夹钳的安装、检修与维护。

横梁通过上下盖板、内外立板等组焊形成箱型结构。横梁上设有电机吊座、齿轮箱吊座、牵引拉杆座、横向减振器座,抗侧滚扭杆座、横向止挡座及垂向止挡座等。为了实现转向架整体起吊,横梁上

盖板上还设有 4 个起吊座。为保证关键结构具有高强度、高可靠性和良好的制造工艺性,电机吊座采用结构简单的分体式锻件,齿轮箱吊座采用 U 形锻造结构,牵引拉杆座采用内凹式锻造结构。简单锻件的合理应用可最大限度地利用转向架轴距,还可有效降低成本。



注:1——横梁;2——侧梁;3——制动吊梁;4——横向止挡座;5——垂向止挡座;6——电机上部吊座;7——电机下部吊座;8——牵引拉杆座;9——横向减振器座;10——抗侧滚扭杆座;11——齿轮箱吊座;12——起吊座;13——抗蛇行减振器座;14——一系垂向止挡组成;15——转臂定位座;16——制动吊座

图2 铰接转向架构架

侧梁由上下盖板、立板及一系弹簧冒筒等组焊形成箱型结构。每个侧梁中部对称布置 2 个空气弹簧安装座。侧梁上盖板上设置了二系垂向减振器安装孔,侧梁外侧设置了抗蛇行减振器安装座。为了方便测量空气弹簧的高度,在每个侧梁上盖板上空气弹簧安装座附近还设置了 2 个空气弹簧测量基准块。为限制构架的向下位移,在一系弹簧冒筒内的中心位置焊有一系垂向止挡组成。该处采用的焊接结构可保证一系垂向止挡内腔的密封性,有效避免内腔腐蚀。转臂定位座为阶梯式锻造结构,焊接在侧梁下盖板上。这种结构设计不仅可以满足强度要求,而且,在固定轴距等限制下,既实现了转臂定位功能,也保证了转臂的长度和节点套筒的

强度。

制动吊梁由上下盖板、立板及制动吊座等零部件焊接形成箱型结构。为保证制动夹钳吊挂安全可靠,制动吊座采用高强度且结构简单的锻造件。

## 2.2 构架强度

使用 ANSYS 软件建立铰接转向架构架的有限元分析模型,如图 3 所示。应用有限元分析模型,对铰接转向架构架进行静强度和疲劳强度计算分析。

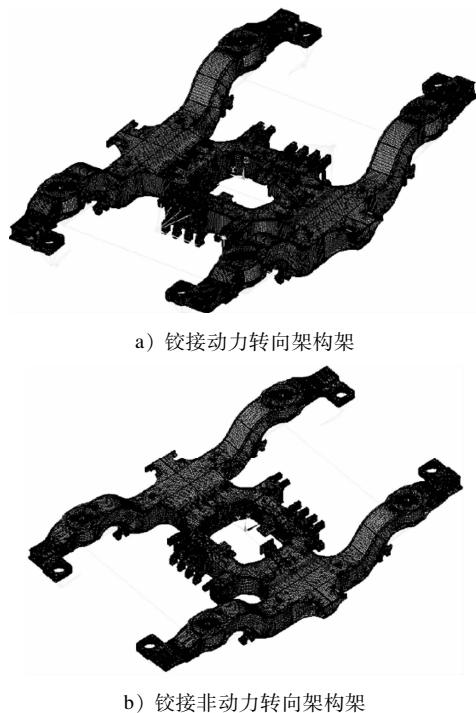


图3 铰接转向架构架有限元分析模型

### 2.2.1 材料属性

转向架构架所使用的材料为满足 EN 10025<sup>[4-5]</sup> 或 EN 10210<sup>[6]</sup> 的 S355 非合金结构钢,其弹性模量为 206 800 N/mm<sup>2</sup>,泊松比为 0.3,密度为 7 830 kg/m<sup>3</sup>。不同厚度的 S355 钢材的母材及焊缝区的许用应力及抗拉强度如表 2 所示,根据表 2 对构架静强度进行评价。

根据 DVS 1612<sup>[7]</sup> 中的 S355 疲劳强度曲线(如图 4 所示)来评估转向架构架的疲劳强度。该曲线所给出的疲劳强度许用应力值仅适用于厚度不大于 10 mm 的钢材。对于厚度大于 10 mm 的钢材,许用应力将根据式(1)按照比例降低。

$$\sigma_{z,t} = \sigma_{z,MKJ} (t_0/t)^{0.1} \quad (1)$$

式中:

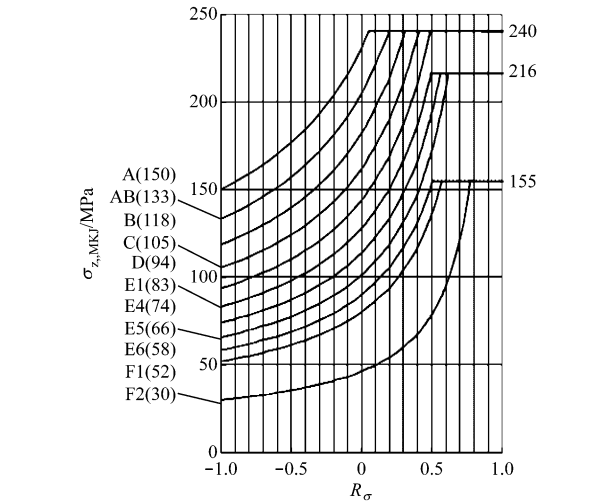
$t$ ——钢材厚度;

$\sigma_{z,t}$ ——疲劳强度许用应力;

$\sigma_{z,MKJ}$ ——厚度为 10 mm 时的疲劳强度许用应力;

$t_0$ ——钢材参照厚度,取 10 mm。

表 2 不同厚度的 S355 钢材的许用应力及抗拉强度			
厚度 $t/\text{mm}$	位置	许用应力/ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	抗拉强度/ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )
$\leq 16$	母材	355.0	470 ~ 630
	焊缝	322.7	470 ~ 630
$16 < \cdot \leq 40$	母材	345.0	470 ~ 630
	焊缝	313.6	470 ~ 630
$40 < \cdot \leq 63$	母材	335.0	470 ~ 630
	焊缝	304.5	470 ~ 630
$63 < \cdot \leq 80$	母材	325.0	470 ~ 630
	焊缝	295.5	470 ~ 630
$80 < \cdot \leq 100$	母材	315.0	470 ~ 630
	焊缝	286.5	470 ~ 630
$100 < \cdot \leq 150$	母材	295.0	450 ~ 600
	焊缝	268.2	450 ~ 600



注: $R_\sigma$  为应力比; $\sigma_{z,MKJ}$  为  $R_\sigma$  所对应的最大许用应力

图 4 S355 钢材 MKJ 疲劳曲线<sup>[7]</sup>

2.2.2 静强度

根据 UIC 615-4<sup>[8]</sup>和 EN 13749<sup>[9]</sup>标准来计算构架载荷及载荷组合工况。铰接动力转向架构架静强度计算可分为超常载荷工况、纵向牵引工况、齿轮箱振动和冲击工况、牵引电机短路工况、牵引电机振动和冲击工况以及紧急制动工况等 6 种工况。铰接非动力转向架构架静强度计算可分为超常载荷工况、纵向牵引工况及紧急制动工况等 3 种工况。受篇幅限制,本文仅以铰接动力转向架构架超常载荷工况中的一种情况为例进行分析计算。计算结果如图 5 所示。通过计算可知,构架在超常载荷工况下的最大 von-Mises 应力出现在侧梁上盖板的母

材区域,最大 von-Mises 应力值为 246.41 MPa,小于许用应力值(355 MPa),材料的利用率为 0.694 1。因此,在该工况下构架的静强度满足要求。同样,对其他工况及组合也进行了静强度计算,计算结果均满足要求。故本文中的铰接转向架构架静强度满足设计及标准要求。

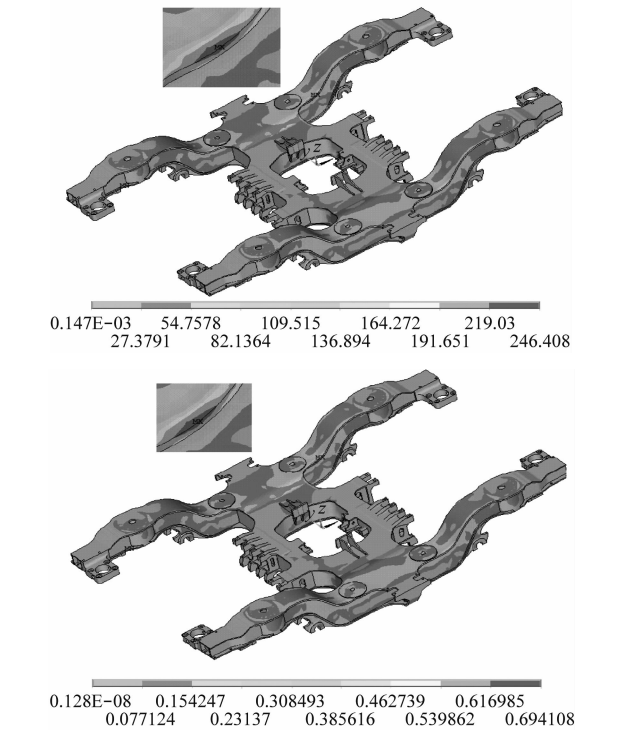


图 5 一种超常载荷工况下构架静强度计算结果

2.2.3 疲劳强度

根据 UIC 615-4<sup>[8]</sup>和 EN 13749<sup>[9]</sup>标准计算转向架构架垂向载荷、横向载荷、扭曲载荷及各主要零部件安装座的各向载荷,并按照标准规定对各种载荷进行工况组合。再根据 UIC 615-4 标准和 ERRI B 12/RP 17 报告中的方法进行转向架构架疲劳强度计算。由图 4 可知,不同的应力循环将对应不同的许用应力值。根据构架的有限元计算结果,可以确定每个节点的应力循环,从而确定各节点的许用应力值。比较节点的最大等效应力与许用应力,如最大等效应力小于许用应力,则说明该结构的疲劳强度满足要求;反之,则说明该处结构不满足疲劳强度要求。即满足疲劳强度的条件是:

$$U = \frac{\max(|\sigma_{\max}|, |\sigma_{\min}|)}{[\sigma]} \leq 1 \quad (2)$$

式中:

$U$ ——材料利用率;

$|\sigma_{\max}|$ ——最大等效应力的绝对值;

$|\sigma_{\min}|$ ——最小等效应力的绝对值;

$[\sigma]$ ——许用应力值。

构架主结构疲劳强度仿真计算结果如图 6 所示。由图 6 可知,整个构架材料利用率最高的位置位于侧梁上盖板与内侧立板焊接处,利用率为 0.999 8,小于 1,说明该转向架整体结构满足疲劳强度要求。同样,对齿轮箱吊座、电机吊座、二系横向止挡座、二系减振器座、一系减振器座和制动吊座等关键受力部件进行了疲劳强度计算。根据仿真计算结果,材料利用率均小于 1,说明本文中的铰接转向架构架满足疲劳强度要求。

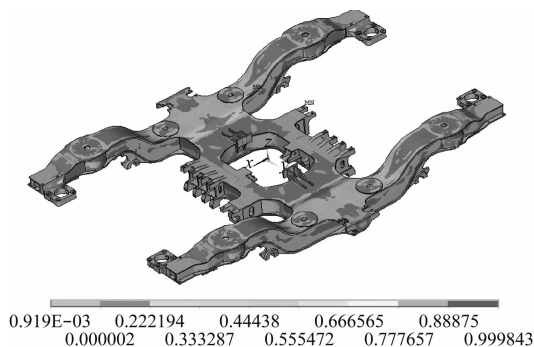


图 6 构架主结构疲劳强度计算结果

### 3 结语

本文中的铰接转向架能满足铰接动车组的运用需求,且动力转向架和非动力转向架的主体结构能够实现完全互换。铰接转向架整体的结构设计能满足低地板面(约 800 mm)的要求,同时,构架的设计也能满足强度要求。

铰接转向架及其构架的设计与研究,填补了我

国低地板铰接动车组转向架技术领域的空白,为日后铰接式列车在国内的研制和推广使用提供参考。

### 参考文献

- [1] 王福天,杨国桢. 铰接式高速客车转向架的设计与研究[J]. 铁道学报,1997,19(增刊):1.
- [2] 邓睿康,黄运华,冯帅,等. 铰接式转向架的特点及其发展[J]. 现代城市轨道交通,2013(6):21.
- [3] RYOHEI S. 日本铰接式转向架的开发[J]. 国外铁道车辆,2015,43(3):25.
- [4] European Committee for Standardization. Hot rolled products of structural steels-Part2; Technical delivery conditions for non-alloy structural steels; EN 10025-2—2004[S]. Brussels: Management Centre,2004:5.
- [5] European Committee for Standardization. Hot rolled products of structural steels-Part5; Technical delivery conditions for structural steels with improved atmospheric corrosion resistance; EN 10025-5—2004[S]. Brussels: Management Centre,2004:5.
- [6] European Committee for Standardization. Hot finished structural hollow sections of non-alloy and fine grain steels-Part1; Technical delivery conditions; EN 10210-1 [S]. Brussels: Management Centre, 2006:4.
- [7] German association for welding and allied processes e. v. Design and endurance strength evaluation for welded steel joints in railway vehicle construction; DVS 1612—2009 [S]. Dusseldorf: German association for welding and allied processes e. v., 2009:1.
- [8] International Union of Railways. Power vehicle-Bogie and running gear-Strength test of bogie frame; UIC 615-4-2003[S]. Paris: FrameMaker,2003.
- [9] European Committee for Standardization. Railway application-Wheelset and bogie-Method of specifying structural requirements of bogie frames; EN 13749—2011 [S]. Brussels: Management Centre,2011:5.

(收稿日期:2017-08-17)

(上接第 6 页)

通乘客总量,则说明轨道交通线网在城市综合交通中的作用更大了,为该城市的综合交通网络优化做出了更大的贡献。

### 参考文献

- [1] 宋敏华. 我国城市轨道交通发展回顾与思考[J]. 城市轨道交通研究,2018(5):8.
- [2] 中国城市轨道交通协会. 城市轨道交通 2017 年度统计和分析报告[J]. 城市轨道交通,2018,26(4):8.
- [3] 戴小辉,安栓庄,俞懿宸,等. 城市轨道交通客流预测宏观指标统计分析[J]. 都市轨道交通,2017,30(6):39.

- [4] 张铮,张子栋,宗晶. 成都市轨道交通客流特征分析及启示[J]. 城市轨道交通,2017(4):75.
- [5] 陈必壮,王忠强,王祥. 上海市轨道交通网络化客流特征分析及启示[J]. 城市轨道交通,2013(6):28.
- [6] 刘剑锋,陈必壮,马小毅,等. 城市轨道交通网络化客流特征及成长规律——基于京沪穗深城市轨道交通网络客流数据分析[J]. 城市轨道交通,2013(6):6.
- [7] 中国城市轨道交通协会. 城市轨道交通 2016 年度统计和分析报告[J]. 城市轨道交通,2017(1):20.
- [8] 中国城市轨道交通协会. 城市轨道交通 2015 年度统计和分析报告[J]. 城市轨道交通,2016(2):14.

(收稿日期:2019-02-25)