

文章编号: 1674—8247(2022)01—0078—05  
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2022.01.014

## 叶片式导风屏障挡风性能优化研究

吕 娜<sup>1</sup> 刘 伟<sup>2</sup> 谢海清<sup>2</sup> 徐锡江<sup>3</sup> 王超凡<sup>1</sup>

(1. 成都亚佳工程新技术开发有限公司, 成都 610031;  
2. 中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031; 3. 四川铁拓科技有限公司, 成都 610031)

**摘 要:**本文以某钢桁梁斜拉桥为原型,采用数值模拟方法研究一种叶片式导风屏障对横风环境下列车周围流场、列车气动性能、桥梁气动性能的影响。结果表明:(1)叶片式导风屏障改变了桥梁内部的风场环境,减小了列车周围风速,风速最少减小 20%;(2)高度为 3 m 时,列车周围的风速最低,列车三分力系数最优;(3)透风率为 20%~25% 时,列车周围风场受回流影响小,列车三分力系数中仅升力系数增大;(4)导风角为 20° 时,列车、桥梁三分力系数最小,且叶片式导风屏障自身承受的风荷载最小。综合考虑行车安全和建造成本,叶片式导风屏障的最佳高度为 3 m,最佳透风率为 20%~25%,最佳导风角为 20°。

**关键词:**铁路;桥梁;叶片式导风屏障;风屏障;三分力系数;风速折减率;透风率  
**中图分类号:**U443.7 **文献标志码:**A

78

## Study on Optimization of Wind-proof Performance of Vane-type Wind Deflector

LV Na<sup>1</sup> LIU Wei<sup>2</sup> XIE Haiqing<sup>2</sup> XU Xijiang<sup>3</sup> WANG Chaofan<sup>2</sup>

(1. Chengdu Yajia Engineering New Technology Development Co., Ltd., Chengdu 610031, China;  
2. China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China;  
3. Sichuan Tietuo Technology Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

**Abstract:** Based on a case study of a cable-stayed bridge with steel truss girders, the paper makes numerical simulation to study the impact of a vane-type wind deflector on the flow field around the train, the aerodynamic performance of the train, and the aerodynamic performance of the bridge under crosswind. The results show that: (1) The vane-type wind deflector changes the wind field inside the bridge, and reduces the wind speed around the train by at least 20%. (2) When the height of the deflector is 3 m, the wind speed around the train is the lowest and the three coefficients of the train are the optimal. (3) When the air permeability is 20%~25%, the wind field around the train is less affected by the backflow and only the lift coefficient increases. (4) When the wind guide angle is 20°, the three coefficients of the trains and bridges are the smallest, and the wind load borne by the vane-type wind deflector is the smallest. Considering the safety of train operation and construction cost, the optimal height of the vane-type wind deflector is 3 m, the optimal air permeability is 20%~25%, and the optimal air guide angle is 20°.

**Key words:** railway; bridges; vane-type wind deflector; wind deflector; three coefficients; wind speed reduction rate; air permeability

收稿日期:2020-10-29

作者简介:吕娜(1982-),女,工程师。

引文格式:吕娜,刘伟,谢海清,等.叶片式导风屏障挡风性能优化研究[J].高速铁路技术,2022,13(1):78-82.

LV Na, LIU Wei, XIE Haiqing, et al. Study on Optimization of Wind-proof Performance of Vane-type Wind Deflector[J]. High Speed Railway Technology, 2022, 13(1):78-82.

## 1 风屏障研究应用现状

随着列车运营速度的不断提高,强风区高速列车运行的安全性问题日益突出。已有研究表明<sup>[1-3]</sup>,风屏障是解决高速列车桥梁风环境下行车安全问题的一种有效途径,沿线路一侧或两侧设置风屏障,为高速列车创造一个相对低风速的局部运行环境,可显著提高高速列车的临界车速。目前,国内外研发应用较多的铁路桥梁风屏障产品主要有以下几种<sup>[4]</sup>。

### (1) 并置式风屏障

风屏障与桥梁并行设置,由钢桁式承重梁和带孔挡风板组成,侧面以防风缆索锚固于地面。该风屏障结构在兰新高速铁路“百里风区”有应用。

### (2) 与梁体连接的格栅式风屏障

风屏障由竖向立柱加不同开孔率、不同高度的挡风板组成,以达到保障行车安全和减小桥梁受力的目的。

### (3) 梁体风屏障

将梁体与防风结构做成整体。该结构防风效果显著,景观效果好。在西班牙马德里-萨拉格萨-法国边境高速铁路线上的 Ebro 桥有应用。

梁体风屏障的挡风效果最佳,且后期养护维修少,景观效果好,但造价高、工艺复杂。并置式风屏障的最大优点是桥梁和风屏障分别设计、施工,各自受力明确,缺点是投资高、桥墩阻水面积大,且不适用于新建高桥。格栅式风屏障是目前研究应用较多的结构形式,可通过结构的挡风作用满足安全行车,但作用在风屏障上的风荷载全部传递到桥梁结构,使得桥梁承受的风荷载较大,给桥梁设计和运营带来较大问题,且结构笨重、安装繁琐。

随着桥梁跨度的增加及斜拉、双层等桥型结构的应用,桥梁对风荷载愈加敏感,因此必须综合考虑风屏障对列车及桥梁气动特性的影响<sup>[5-7]</sup>。本文从挡风和改变横风的角度出发,研发了一种叶片式导风屏障,并以某双层钢桁梁斜拉桥为例,分析其对横风环境下列车、桥梁气动性能的影响。

## 2 叶片式导风屏障结构特点及工作原理

本文研究的叶片式导风屏障由导风叶片、纵向连杆和预埋件组成,导风叶片等间距安装于桥面外侧,如图1所示。单根导风叶片挡风面为扇形,设置有导风角、通风孔等,如图2所示。挡风面和导风角均与桥梁纵向成一定角度安装,横桥向可外倾。



图1 叶片式导风屏障示意图

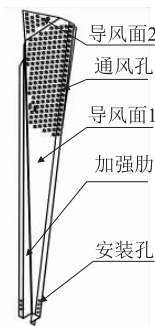


图2 叶片式导风屏障叶片示意图

该结构可大幅降低桥面横向风速,并适当改变横风风向,大幅削弱桥面风场,保障列车运行的安全性和平稳性;同时导风叶片下部尺寸小,可减小受力面积,改变风荷载方向,从而减小导风叶片自身及主梁受力。

## 3 叶片式导风屏障的设计参数

根据国内外路铁路桥梁风屏障挡风机理、结构参数、风洞试验、抗风分析等的相关研究成果和应用现状,总结出影响风屏障防风效果的主要因素,分别为有风屏障结构形式、桥梁结构、风速、风偏角、列车运行速度等。对于格栅式风屏障结构,研究者们给出的风屏障最佳高度为  $2.5 \sim 5 \text{ m}$ <sup>[8-9]</sup>,透风率最佳范围为  $10\% \sim 30\%$ <sup>[10]</sup>。

结合叶片式导风屏障的结构特点和挡风、导风原理,参照已有研究成果<sup>[11]</sup>,本文通过数值模拟的方法分析叶片式导风屏障高度( $2.5 \sim 3 \text{ m}$ )、透风率(叶片自身透风率为  $8\% \sim 10\%$ ,安装后整体透风率为  $20\% \sim 40\%$ )和导风角( $0^\circ \sim 30^\circ$ )对列车周围流场、列车与桥梁气动性能及风速折减率的影响。

## 4 计算模型

### 4.1 模型及简化

某双层钢桁梁斜拉桥主跨跨度  $425 \text{ m}$ ,叶片式导风屏障设置于上层桥面两侧。桥梁三维模型仅考虑了钢桁梁外形轮廓和桥面铺装层,对其他桥面附属结构简化处理,车型采用 CRH380A 型高速列车。

叶片式导风屏障仅考虑有效挡风面、导风角、高度等重要结构参数,简化处理加强肋、折弯倒角、安装孔等参数,简化后结构如图3所示。

### 4.2 控制方程、计算区域及边界条件

本次研究中,列车设计速度为  $350 \text{ km/h}$ 。列车高速运行时,周围流场处于紊流状态,故选取  $k-\varepsilon$  两方程紊流模型。当列车以  $350 \text{ km/h}$  稳态运行时,对应的马赫数小于  $0.3$ ,流动按不可压缩流体流动计算。

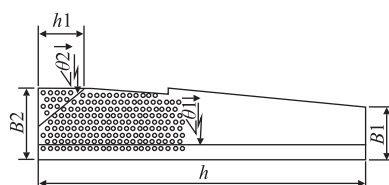


图3 导风叶片简化示意图

列车运行中周围流场区域会产生响应变化,但距列车足够距离后,流场逐渐趋于稳定。故计算区域为 $82\text{ m} \times 160\text{ m} \times 60\text{ m}$ ,如图4所示。

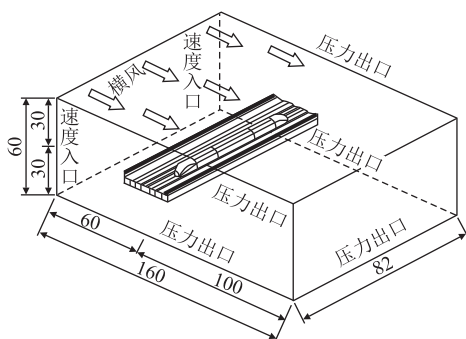


图4 流场区域示意图(m)

横风作用下,高速列车的流场计算涉及的边界条件为:在入口截面处,横风方向与桥梁横截面呈 $90^\circ$ ,风速为 $30\text{ m/s}$ 。

## 5 计算结果及分析

### 5.1 高度对流场、气动力系数、风速折减率的影响

#### 5.1.1 高度对风速流场的影响

选取高度为 $3\text{ m}$ 和 $2.5\text{ m}$ 的叶片式导风屏障进行分析,两种声屏障高度下,列车周边风速流场如图5所示。

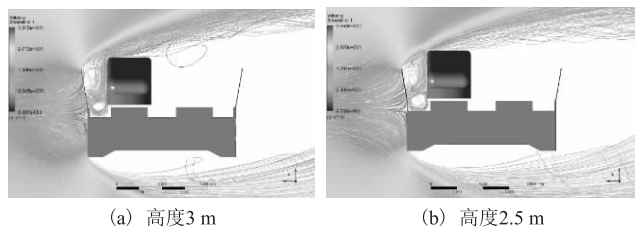


图5 高度对列车周边风速流场的影响图

从图5可以看出,由于叶片式导风屏障的遮蔽效应,列车和桥梁周围的风速显著降低。两种高度下,列车和桥梁周围的风速流场类似,在叶片式导风屏障与列车之间均形成明显的漩涡。 $3\text{ m}$ 高导风屏障列车顶部的低速风区远小于 $2.5\text{ m}$ 高导风屏障。

#### 5.1.2 高度对气动力系数的影响

高度对列车桥梁全动力系数的影响如图6所示。

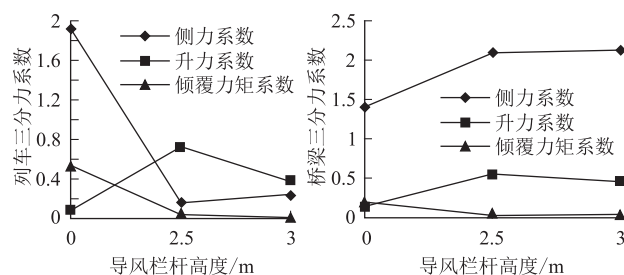


图6 高度对列车气动力系数、桥梁气动力系数的影响图

从图6可以看出,安装叶片式导风屏障后,列车的侧力系数显著降低,升力系数和倾覆力矩系数基本不受影响, $3\text{ m}$ 高叶片式导风屏障的升力系数明显小于 $2.5\text{ m}$ 高叶片式导风屏障,该结果与风速流场对列车顶部的影响完全呼应。

安装叶片式导风屏障后,桥梁的侧力系数、升力系数稍有增加,但倾覆力矩系数降低。

#### 5.1.3 高度对风速折减率的影响

风速折减率 $R$ 反应了叶片式导风屏障对桥梁内部风速衰减的情况,具体指叶片式导风屏障对近侧轨道中心线处(如图7所示),从轨底到列车高度范围内风速减小的百分比。

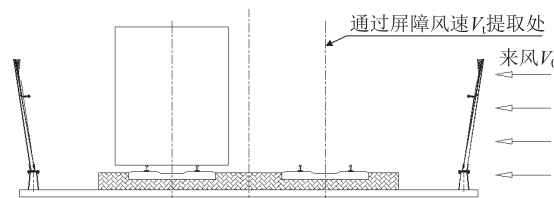


图7 风速提取示意图

$$R = \left(1 - \frac{V_t}{V_0}\right) \times 100\%$$

式中: $V_0$ ——来风风速;

$V_t$ ——近侧轨道中心线处,从轨底到列车高度范围(透风率对风速折减率影响图中横轴用 $Y$ 表示)内风速的最小值。

高度对风速折减率的影响如图8所示。从图8可以看出,在 $0 \sim 4\text{ m}$ 内,有导风屏障的风速折减率显著大于无导风屏障的风速折减率,风速折减率最少减小 $20\%$ ,且导风屏障越高,靠近列车顶部的风速折减率减小越小。

由此可见,叶片式导风屏障对桥梁内部的风场影响显著,对列车周围风速有明显的抑制作用,减小了列车周围风速,降低了列车三分力系数,从而使列车受风的影响更小,行车更安全,同时对桥梁气动力影响不大。

与 $2.5\text{ m}$ 高导风屏障相比, $3\text{ m}$ 高叶片式导风屏

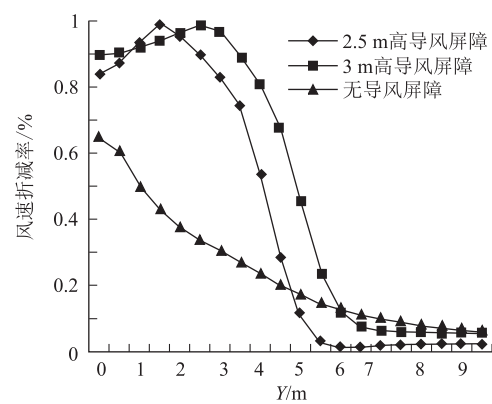


图 8 高度对风速折减率的影响图

障对列车周围风速的降低效果更显著,且不增大桥梁的气动力系数。因此,从列车挡风性能和桥梁安全的角度考虑,叶片式导风屏障的高度宜取 3 m。

5.2 透风率对流场、气动力系数、风速折减率的影响

5.2.1 透风率对流场的影响

透风率对列车周边风速流场的影响如图 9 所示。

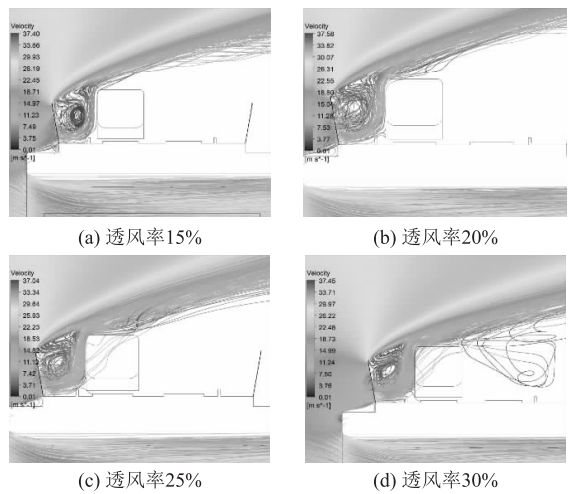


图 9 透风率对列车周边风速流场的影响图

从图 9 可以看出:透风率为 15% 时,叶片式导风屏障与列车之间有明显的漩涡(漩涡中心处速度应接近于 0);透风率为 20% 和 25% 时,未形成明显漩涡;透风率增加到 30% 时,漩涡重新形成。

结合叶片式导风屏障的结构特点,分析产生上述结果的原为:当透风率过小时,下部透过的横风未被上方横风抵消,对上方的回流影响较大,故形成漩涡;随着透风率的增大,上下横风趋于平衡,回流影响减小,漩涡被打乱;当透风率继续增大,超过该平衡时,又出现形成漩涡的趋势。

5.2.2 透风率对气动力系数的影响

叶片式导风屏障透风率按 5% 的幅值变化,变化范围为 15% ~ 30% 时列车、桥梁的气动力系数计算结

果如图 10 所示。

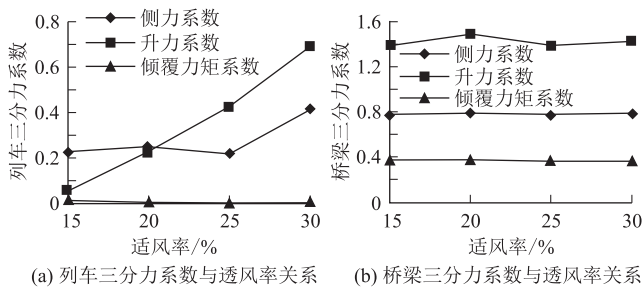


图 10 透风率对列车气动力系数、桥梁气动力系数的影响图

从图 10 可以看出:(1) 随透风率的增加,列车升力系数明显增加,倾覆力矩系数基本无变化;侧力系数在透风率小于 25% 时基本无变化,大于 25% 时突增;(2) 桥梁三分力系数基本一致,不随透风率的变化而变化。

透风率过高,列车三分力系数增加明显,不利于安全行车;透风率过低,叶片式导风屏障自身承受的风荷载较大,制造成本会显著增加。综合考虑安全行车和制造成本,透风率宜取 20% ~ 25% 。

5.2.3 透风率对风速折减率的影响

透风率对风速折减率的影响如图 11 所示。

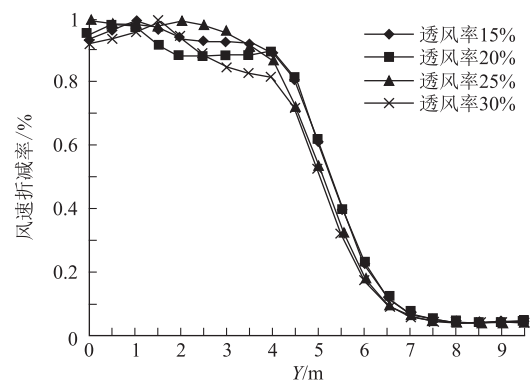


图 11 透风率对风速折减率的影响图

从图 11 可以看出:不同透风率下,叶片式导风屏障在列车高度范围内的风速折减率均达到 70% 以上;在列车中部以上高度(Y 坐标 2 m 以上)处,透风率为 30% 的风速折减率偏小。

叶片式导风屏障透风率的改变影响列车周围流场,对安全行车影响较大;但对桥梁受力和风速折减率影响较小。综合考虑安全行车和建造成本,透风率宜取 20% ~ 25% 。

5.3 导风角对流场、气动力系数、风速折减率的影响

5.3.1 导风角对流场的影响

导风角对列车周边风速流场的影响如图 12 所示,因 20° 与 10° 的三分力系数基本一致,故本文仅列出 0°



和 $20^\circ$ 的流线图。

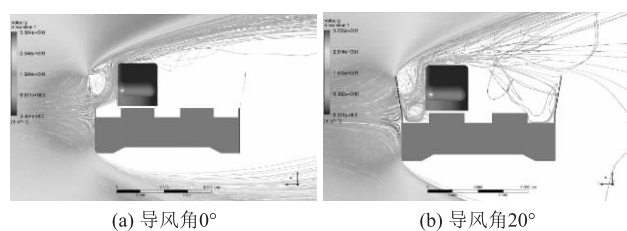


图12 导风角对列车周边风速流场的影响图

从图12可以看出,导风面角度为 $0^\circ$ 时,叶片式导风屏障与列车之间有明显的漩涡(漩涡中心处速度应接近于0),导风面角度为 $20^\circ$ 时,未见明显漩涡。

### 5.3.2 导风角对气动系数的影响

叶片式导风屏障导风叶片安装后与桥梁横向形成一个角度,导风角旨在改变强侧风方向,减小垂直穿过叶片式导风屏障的风荷载,从而减小横风对列车气动性能的影响;同时减小横风垂直作用下叶片式导风屏障和桥梁的受力。

透风率为25%,叶片式导风屏障导风角分别为 $0^\circ$ 、 $10^\circ$ 、 $20^\circ$ 时,列车、桥梁的气动力系数计算结果如图13所示。

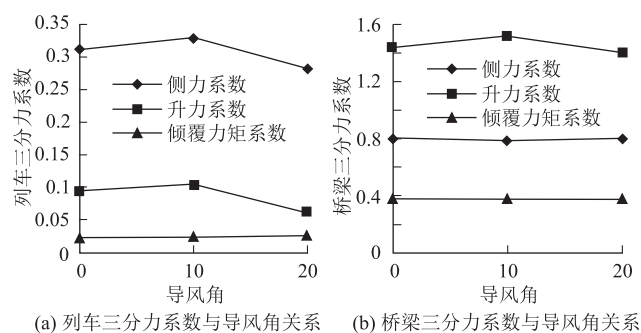


图13 导风角对列车、桥梁气动系数的影响图

从图13可以看出,列车的侧力系数、升力系数随导风角的增加而减小,倾覆力矩系数稍有增大;桥梁的三分力系数基本不随导风角的变化而变化。

### 5.3.3 导风角对风速折减率的影响

叶片式导风屏障导风角变化对风速折减率的影响如图14所示。

从图14可以看出,导风角的变化对风速折减率的影响不明显。

导风角为 $20^\circ$ 时,列车、桥梁三分力系数最小且叶片式导风屏障承受外荷载最小,对列车安全运行与桥梁受力最有利。

## 6 结论

本文以某钢桁梁斜拉桥为原型,采用数值模拟方

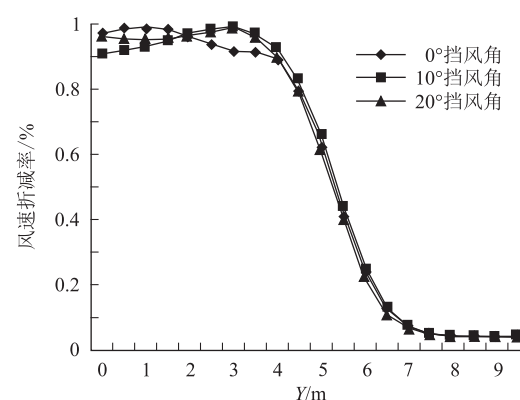


图14 导风角对风速折减率的影响图

法研究一种叶片式导风屏障对横风环境下列车周围流场、列车及气动性能桥梁气动性能的影响,得到以下主要结论:

(1)和不设置风屏障相比,安装叶片式导风屏障后列车周围的风速折减率最少减小20%;列车的侧力系数降低,升力系数和倾覆力矩系数基本不受影响;桥梁的侧力系数、升力系数稍有增加,倾覆力矩系数降低。

(2)与2.5 m高风屏障相比,3 m高叶片式导风屏障对列车周围的风速降低更显著,且不增大桥梁的气动力系数。因此,从列车挡风性能、桥梁安全的角度考虑,叶片式导风屏障的高度宜取3 m。

(3)叶片式导风屏障透风率为20%~25%时,列车周围风场受回流影响小,列车三分力系数中仅升力系数增大,侧力系数和倾覆力矩系数均不变,桥梁三分力系数也未增大;因此,透风率宜取20%~25%。

(4)叶片式导风屏障导风角为 $20^\circ$ 时,列车、桥梁三分力系数最小,且叶片式导风屏障自身承受风荷载最小,对列车安全运行最有利。

本文叶片式导风屏障对列车三分力系数、桥梁三分力系数的影响是通过数值模拟得出的,其对列车、桥梁安全性能的影响还需进一步通过-车-桥耦合分析及实桥测试进行验证。

## 参考文献:

- [1] 张田. 强风场中高速铁路桥梁列车运行安全分析及防风措施研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2013.  
ZHANG Tian. Study on Running Safety of Trains and Windproof Measures for High-speed Railway Bridges in Strong Wind Field[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2013.
- [2] 唐煜. 桥梁挡风屏对强侧风条件下列车运营安全性的影响[D]. 成都: 西南交通大学, 2010.  
TANG Yu. The Bridge-Windbreak Influence on the Operational Safety of Vehicle under Cross Wind[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2010.

(下转第88页)

(1)需提高 ZPW-2000 轨道电路系统设备抗不平衡牵引电流干扰能力。主要通过提高室外空芯线圈设备性能参数和采用具备 1 600 A 通流能力的大电流空扼流变压器等方案来保证 ZPW-2000 系统稳定可靠工作。

(2) 400 km/h 高速铁路动车组需满足 GB/T 28807.2-2017 标准限值要求。在各工况条件下动车组各载频频带及 1 500 ~ 3 000 Hz 工作带宽范围内牵引电流谐波满足 GB/T 28807.2-2017 标准限值要求时,ZPW-2000 轨道电路系统设备能够保证在 400 km/h 速度等级下可靠工作。

参考文献:

[1] 唐涛. 列车运行控制系统[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2012: 54-55.  
TANG Tao. Train Control System [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2012: 54-55.

[2] 张路. 一种牵引供电系统高次谐波滤除的新方法[J]. 高速铁路技术, 2020, 11(3): 67-70.  
ZHANG Lu. A New Method of Filtering Higher Harmonic in Traction Power Supply System[J]. High Speed Railway Technology, 2020, 11(3): 67-70.

[3] 杨世武. 铁路信号电磁兼容技术[M]. 北京: 中国铁道出版社,

2010.  
YANG Shiwu. Electromagnetic Compatibility Technology of Railway Signaling [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2010.

[4] 李新坡. 不平衡牵引电流对轨道电路干扰的研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2012.  
LI Xinpo. Research on Interference of Unbalanced Traction Current on Track Circuit[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2012.

[5] 中国铁路总公司. ZPW-2000A 型无绝缘移频自动闭塞系统[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2013.  
China Railway. ZPW-2000A Type of Jointless Frequency Shifting Automatic Block System [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2013.

[6] TB/T 3206-2017 ZPW-2000 轨道电路技术条件[S].  
TB/T 3206-2017 Technical Specification of ZPW-2000 Track Circuit [S].

[7] GB/T 28807.2-2017 轨道交通 机车车辆和列车检测系统的兼容性 第 2 部分: 与轨道电路的兼容性[S].  
GB/T 28807.2-2017 Railway Applications-Compatibility Between Rolling Stock and Train Detection Systems-Part 2: Compatibility With Track Circuits [S].

[8] TB/T 3073-2003 铁道信号电气设备电磁兼容性试验及其限值[S].  
TB/T 3073-2003 EMC Tests and Limits for Railway Electrical Signaling Apparatus [S].

(上接第 82 页)

[3] 金学松, 郭俊, 肖新标, 等. 高速列车安全运行研究的关键科学问题[J]. 工程力学, 2009, 26(S2): 8-22.  
JIN Xuesong, GUO Jun, XIAO Xinbiao, et al. Key Scientific Problems in the Study on Running Safety of High Speed Trains[J]. Engineering Mechanics, 2009, 26(S2): 8-22.

[4] 郑继平. 南疆铁路大风区桥梁挡风结构研究与设计[J]. 铁道标准设计, 2008, 52(11): 27-29.  
ZHENG Jiping. Research and Design of Bridge Windshield Structure in Windy Area of South Xinjiang Railway [J]. Railway Standard Design, 2008, 52(11): 27-29.

[5] 李波, 张剑, 杨庆山. 桥梁风障挡风性能的试验研究[J]. 振动与冲击, 2016, 35(8): 78-82.  
LI Bo, ZHANG Jian, YANG Qingshan. Experimental Study on Windbreak Performance of Wind Barriers on Bridge[J]. Journal of Vibration and Shock, 2016, 35(8): 78-82.

[6] 郭薇薇, 夏禾, 张田. 桥梁风屏障的气动效应及其对高速列车运行安全的影响分析[J]. 工程力学, 2015, 32(8): 112-119.  
GUO Weiwei, XIA He, ZHANG Tian. Analysis on Aerodynamic Effects of Bridge Wind Barrier and Its Influence on Running Safety of a high-speed Train [J]. Engineering Mechanics, 2015, 32(8): 112-119.

[7] 邢烨炜, 戴龙钦. 350 km/h 高速铁路缓和曲线与旅客乘车舒适度分析[J]. 高速铁路技术, 2019, 10(6): 8-14.  
XING Yewei, DAI Longqin. Analysis on the Transition Curve and

Ride Comfort of 350 km/h High Speed Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2019, 10(6): 8-14.

[8] 张洁, 高广军, 李靓娟. 高速铁路桥梁上透风式挡风墙高度优化[J]. 交通运输工程学报, 2013, 13(6): 28-35.  
ZHANG Jie, GAO Guangjun, LI Liangjuan. Height Optimization of Windbreak Wall with Holes on High-speed Railway Bridge [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2013, 13(6): 28-35.

[9] 姜翠香, 梁习锋. 挡风墙高度和设置位置对车辆气动性能的影响[J]. 中国铁道科学, 2006, 27(2): 66-70.  
JIANG Cuixiang, LIANG Xifeng. Effect of the Vehicle Aerodynamic Performance Caused by the Height and Position of Wind-Break Wall [J]. China Railway Science, 2006, 27(2): 66-70.

[10] 何玮, 郭向荣, 邹云峰, 等. 风屏障透风率对车-桥系统气动特性影响的风洞试验研究[J]. 振动与冲击, 2015, 34(24): 93-97.  
HE Wei, GUO Xiangrong, ZOU Yunfeng, et al. Wind Tunnel Test on the Effect of Wind Barrier Porosity on Train-Bridge System [J]. Journal of Vibration and Shock, 2015, 34(24): 93-97.

[11] 陈列, 徐锡江, 谢海清, 等. 沪昆高铁北盘江特大桥导风栏杆防风效果风洞试验研究[J]. 铁道标准设计, 2019, 63(10): 76-80.  
CHEN Lie, XU Xijiang, XIE Haiqing, et al. Wind Tunnel Test of Wind Guide Railing Effect of Beipanjiang Major Bridge on Shanghai-Kunming High Speed Railway [J]. Railway Standard Design, 2019, 63(10): 76-80.