

# 轨道-箱梁结构振动传递的模型试验研究

欧开宽, 罗 锐, 雷晓燕

(华东交通大学铁路环境振动与噪声教育部工程研究中心, 江西 南昌 330013)

**摘要:**以京沪高铁常用的 32 m 无砟轨道箱梁结构为原型进行了模型试验,其中模型为轨道-箱梁结构。根据 1/10 的几何相似比,介绍了试验模型各结构的设计与制作过程,荷载激励由激振器施加。试验结果表明:轨道板振动在 500-1024 Hz 频段内衰减缓慢,底座板和顶板振动在 0-1024 Hz 频段内衰减较快;振动由顶板传递至翼缘板的过程中衰减最小,腹板其次,振动由顶板传递至底板的过程中衰减最大;腹板和底板振动在 0-1024 Hz 频段内中高频段衰减快。在 0-1024 Hz 频段内,轨道板振动沿纵向衰减很小;在 670-1024 Hz 频段内,底座板振动在跨中至四分之一截面的范围内衰减很大,在四分之一至端部截面的范围内衰减较小。在 700-1024 Hz 频段内,翼缘板振动在跨中至四分之一截面的范围内衰减较大,在四分之一至端部截面的范围内衰减较小。支座刚度值对轨道-箱梁跨中结构振动有一定影响,但影响很小。支座刚度值对隔振有一定影响,具体影响与分析频段有关。

**关键词:**轨道-箱梁;模型试验;振动响应;支座;隔振

**中图分类号:** U441; U213.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-4523(2021)01-0072-08

**DOI:** 10.16385/j.cnki.issn.1004-4523.2021.01.008

## 引 言

由于城市高架桥梁的大规模的应用,混凝土桥梁引起的结构振动噪声问题越来越严重。混凝土桥梁结构振动会产生桥梁结构噪声。桥梁结构噪声频率低、衰减慢,长期处于此环境中对人体健康有极大危害<sup>[1-2]</sup>。桥梁振动是桥梁噪声之源,因此,对桥梁结构的振动传递特性进行研究,找寻桥梁结构的减振降噪措施,具有重要的现实意义。列车荷载在高架桥梁结构上运行时,产生的桥梁结构振动沿着轨道、桥梁及路基等进行传递,振动较大时,会对各结构造成破坏,危害列车行车安全。国内外众多学者通过仿真和现场实测等手段对桥梁车致振动做了大量的研究,得到了很多可靠的结论。文献[3]通过现场锤击试验,验证了模型结构的可靠性,并研究了高速铁路 32 m 简支箱梁振动传递特性。文献[4]通过在轨道交通高架桥梁现场试验,研究了混凝土箱梁中高频振动传递特性。文献[5]通过在高架桥梁现场试验,研究了高架桥梁轨道结构减振性能。文献[6]通过对高速列车作用下槽型梁进行动力试验,研究结果对于桥梁行车设计,保证列车动力作用下桥梁及行车安全,具有实际的意义。文献[7]通过现场试验,对曲线梁桥振动响应进行了研究,研究结果

对列车过桥具有一定的指导意义。学者们不仅通过现场测试,还通过模型试验等方法进行分析研究。文献[8]基于箱梁模型,对铁路混凝土箱梁的结构性能及破坏状态进行了研究。文献[9]建立了风洞模型试验,研究了结构参数对大跨度悬索桥吊索等的振动影响。文献[10]利用大型振动平台,通过模型试验,研究了隧道软岩洞口段减震的措施。

目前,国内外学者在铁路桥梁结构振动噪声的研究中,采用混凝土箱梁相似模型研究箱梁结构振动噪声问题的相对较少,通过模型试验研究的也相对较少。本文基于京沪高铁常用的 32 m 无砟轨道箱梁结构,对无砟轨道箱梁结构进行了模型试验。介绍了模型试验中的箱梁、底座板及轨道板等的设计与制作过程,通过量纲分析法推导了模型结构与原型结构之间的相似关系,并以激振器施加的简谐荷载为激励,研究了模型结构在荷载作用下的振动传递规律及支座对振动的影响。通过轨道-箱梁模型试验,研究结果可为反演至箱梁原型结构提供一定依据,所采用的方法对桥梁结构振动与声辐射实验研究具有一定参考作用。

## 1 原型结构

原型结构为京沪高铁常用的 32 m 无砟轨道箱

收稿日期: 2019-04-19; 修订日期: 2019-06-18

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51868023, 51978264); 江西省自然科学基金资助项目(20202BABL204054); 江西省教育厅一般项目(GJJ200630)

梁结构,由梁体、底座板、CA砂浆层、轨道板等组成。其中,箱梁体为预应力混凝土结构,全长32 m,计算跨径31.40 m,顶板宽12.00 m,底板宽5.5 m,梁高3 m,采用C50混凝土浇筑,上部结构为CRTS-II型双线板式无砟轨道结构。

## 2 模型结构

完整的模型结构为无砟轨道箱梁系统,按照1/10的几何尺寸制作的缩尺模型结构。为了研究振动从轨道板向箱梁体的竖向传递规律,文中的模型结构为轨道-箱梁结构,即轨道板-CA砂浆层-底座板-箱梁结构,从下到上依次为梁体、底座板、CA砂浆层及轨道板,不含有钢轨。为进行不同工况研究,先安装一侧轨道板结构,进行相应试验后,再安装另一侧结构。轨道-箱梁结构如图1所示,几何尺寸如图2所示。



图1 轨道-箱梁模型结构

Fig. 1 Track-box girder model structure

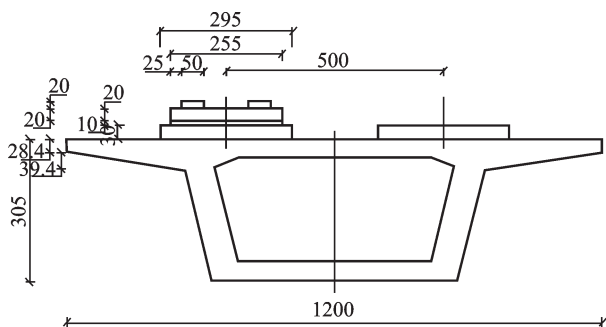


图2 轨道-箱梁结构几何尺寸(单位:mm)

Fig. 2 Geometric size of track-box girder (Unit: mm)

### 2.1 模型设计及制作

#### 2.1.1 箱梁

箱梁原型结构为单孔双线钢筋混凝土简支梁。模型结构按照几何相似比1/10进行设计,采用自密实混凝土和钢丝等材料现场制作,使用性能相似的4 mm钢丝代替受力钢筋,使用2 mm钢丝代替箍筋,经验证,其强度能够满足本试验要求。待养护28天后,测得梁体密度为2203 kg/m<sup>3</sup>、弹性模量为

30 GPa。模型箱梁和桥墩之间通过弹性支座连接,支座刚度为 $2.8 \times 10^8$  N/m。箱梁模型如图3所示。

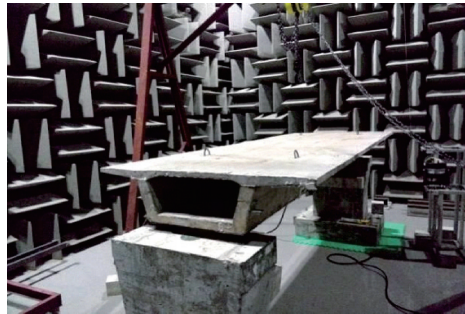


图3 箱梁模型

Fig. 3 Box girder model

#### 2.1.2 底座板

根据模型设计,混凝土底座板宽度为295 mm,厚为30 mm,两条底座板的中心相距500 mm。为保证底座板的强度、完整性及与原型能够相似,在底座板内布置一定数量的钢筋网结构。钢筋网结构中主筋为2 mm细钢筋,钢筋网用扎丝扎牢。经验证,其强度能够满足试验要求。养护后测得底座板密度为2149 kg/m<sup>3</sup>、弹性模量为32.7 GPa。底座板结构如图4所示。

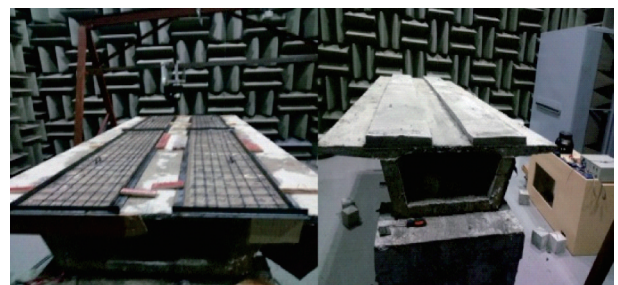


图4 底座板结构

Fig. 4 Base plate structure

#### 2.1.3 橡胶板层

在原型结构中,底座板与轨道板之间为CA砂浆层。在模型设计中,用橡胶板代替原型结构中的CA砂浆层,数值仿真计算时,使用弹簧单元进行模拟。橡胶板层厚度为10 mm,底座板与轨道板之间为橡胶板,通过阻尼膏粘结。经测定,密度为1550 kg/m<sup>3</sup>,刚度为 $3.5 \times 10^7$  N/m,弹性模量为3.6 GPa,橡胶板层如图5所示。

#### 2.1.4 轨道板

轨道板单独预制,安装时只需将预制好的轨道板粘结在橡胶板层上。由于制作工艺的限制,轨道板上凸台设计为长方体凸台。根据模型设计,轨道板模型长为645 mm,宽为255 mm,厚为30 mm,两条轨道板的中心相距500 mm。轨道板内布置纵向直径为2 mm、横向直径为2 mm的钢筋片网结构,

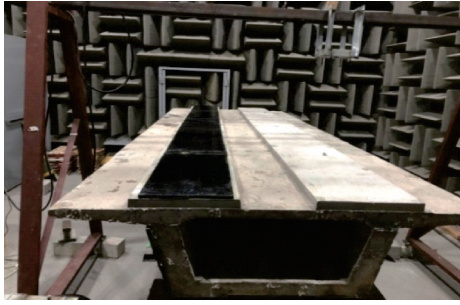


图5 橡胶板层结构

Fig. 5 Rubber sheet structure

为确保凸台与轨道板完整性,在凸台部分设计了一部分弯起钢筋。经过验算,钢筋网的强度满足试验要求。养护后测得轨道板密度为  $2253 \text{ kg/m}^3$ 、弹性模量为  $28.8 \text{ GPa}$ 。轨道板模型如图 6 所示。

## 2.2 相似关系的确定

相似模型中,涉及的物理量较多,通过分析整理,共有 28 个独立的物理量,具体如下:荷载  $F$ 、几何尺寸  $L$ 、截面惯性矩  $I$ 、质量  $m$ 、重力加速度  $g$ 、阻尼  $c$ 、时间  $T$ 、频率  $f$ 、箱梁弹性模量  $E_1$ 、箱梁泊松比  $\sigma_1$ 、箱梁密度  $\rho_1$ 、箱梁位移  $\delta_1$ 、支座刚度  $k_1$ 、箱梁速度  $v_1$ 、箱梁加速度  $a_1$ 、底座板弹性模量  $E_2$ 、底座板密度  $\rho_2$ 、底座板泊松比  $\sigma_2$ 、底座板位移  $\delta_2$ 、底座板速度  $v_2$ 、底座板加速度  $a_2$ 、橡胶板刚度  $k_2$ 、轨道板弹性模量  $E_3$ 、轨道板密度  $\rho_3$ 、轨道板泊松比  $\sigma_3$ 、轨道板位移  $\delta_3$ 、轨道板速度



图6 轨道板模型

Fig. 6 Track plate model

$v_3$ 、轨道板加速度  $a_3$ 。以几何尺寸、箱梁密度、箱梁弹性模量作为控制参数,通过量纲分析法<sup>[11-13]</sup>可推导出模型结构各参数间的相似关系,并根据实测参数值,可得到原型与模型间各参数的相似比,结果如表 1 所示。模型试验中,模型结构要容易制作、装拆方便、节省材料、方便试验等。文中先确定箱梁原型结构的弹性模量值,再实验测得箱梁模型结构的弹性模量值,二者弹性模量的比值即为弹性模量相似比,同理可确定箱梁密度相似比。经过分析最终确定箱梁几何尺寸相似比为 10,箱梁弹性模量相似比为 1.2067,箱梁密度相似比为 1.1345。

## 2.3 模型试验

在轨道-箱梁模型试验中,荷载激励由激振器施加在轨道结构上,分别在模型结构各观测点布置振动传感器采集振动响应。

表 1 轨道-箱梁结构的相似关系

Tab. 1 Similarity relationship of track-box girder structure

参数	相似关系	相似比	备注	参数	相似关系	相似比	备注
几何尺寸 $L$	$S_L$	10	控制量	支座刚度 $k_1$	$S_{k_1} = S_{E_1} S_L$	12.0667	导出量
箱梁弹性模量 $E_1$	$S_{E_1}$	1.2067	控制量	底座板弹性模量 $E_2$	$S_{E_2} = S_{E_1}$	1.2067	导出量
箱梁密度 $\rho_1$	$S_{\rho_1}$	1.1345	控制量	底座板密度 $\rho_2$	$S_{\rho_2} = S_{\rho_1}$	1.1345	导出量
荷载 $F$	$S_F = S_{E_1} S_L^2$	120.6667	导出量	底座板泊松比 $\sigma_2$	$S_{\sigma_2} = 1$	1	导出量
截面惯性矩 $I$	$S_I = S_L^4$	10000	导出量	底座板位移 $\delta_2$	$S_{\delta_2} = S_L$	10	导出量
质量 $m$	$S_m = S_{\rho_1} S_L^3$	1134.4557	导出量	底座板速度 $v_2$	$S_{v_2} = (S_{E_1}/S_{\rho_1})^{0.5}$	1.0313	导出量
重力加速度 $g$	$S_g = 1$	1	导出量	底座板加速度 $a_2$	$S_{a_2} = S_{E_1}/(S_{\rho_1} S_L)$	0.1064	导出量
阻尼 $c$	$S_c = S_L^2 (S_{E_1} S_{\rho_1})^{0.5}$	117.0043	导出量	橡胶板刚度 $k_2$	$S_{k_2} = S_{E_1} S_L$	12.0667	导出量
时间 $T$	$S_T = S_L (S_{\rho_1}/S_{E_1})^{0.5}$	9.6962	导出量	轨道板弹性模量 $E_3$	$S_{E_3} = S_{E_1}$	1.2067	导出量
频率 $f$	$S_f = S_L^{-1} (S_{E_1}/S_{\rho_1})^{0.5}$	0.1031	导出量	轨道板密度 $\rho_3$	$S_{\rho_3} = S_{\rho_1}$	1.1345	导出量
箱梁泊松比 $\sigma_1$	$S_{\sigma_1} = 1$	1	导出量	轨道板泊松比 $\sigma_3$	$S_{\sigma_3} = 1$	1	导出量
箱梁位移 $\delta_1$	$S_{\delta_1} = S_L$	10	导出量	轨道板位移 $\delta_3$	$S_{\delta_3} = S_L$	10	导出量
箱梁速度 $v_1$	$S_{v_1} = (S_{E_1}/S_{\rho_1})^{0.5}$	1.0313	导出量	轨道板速度 $v_3$	$S_{v_3} = (S_{E_1}/S_{\rho_1})^{0.5}$	1.0313	导出量
箱梁加速度 $a_1$	$S_{a_1} = S_{E_1}/(S_{\rho_1} S_L)$	0.1064	导出量	轨道板加速度 $a_3$	$S_{a_3} = S_{E_1}/(S_{\rho_1} S_L)$	0.1064	导出量

注:  $S$  表示相似常数,如  $S_{E_1}$  表示箱梁密度的相似关系

测试设备: 西门子公司的 LMS 振动、噪声数据采集与分析系统(SC05 数据采集系统, A/D24 位; LMS TEST.Lab 分析系统, 包括 MIMO FRF Testing 模块等)、PCB 三向加速度传感器及力传感器、激振器及连杆、笔记本电脑, 如图 7 所示。

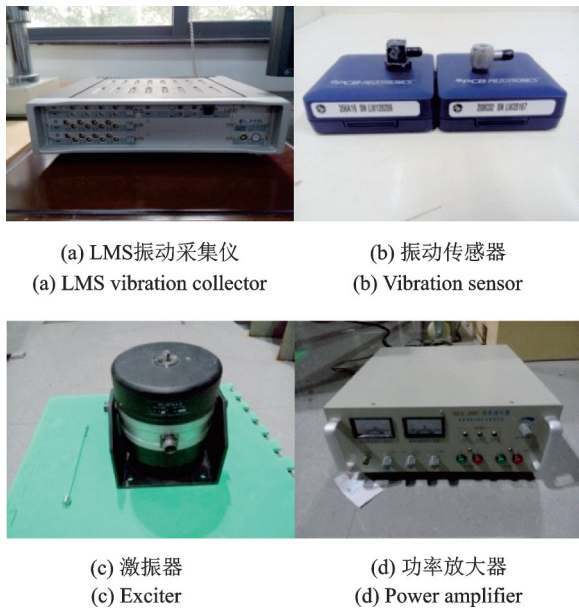


图 7 试验仪器  
Fig. 7 Test Instruments

测点布置: 激励点位于结构跨中截面、轨道板外侧凸台位置, 观测点位于轨道板、底座板及箱梁典型位置处。激励点及测点的位置如图 8 所示, 其中, 测点 1 为轨道板处, 测点 2 为底座板处, 测点 3 为顶板处, 测点 4 为翼缘板处, 测点 5 为腹板处, 测点 6 为底板处, 测试过程如图 9 所示。

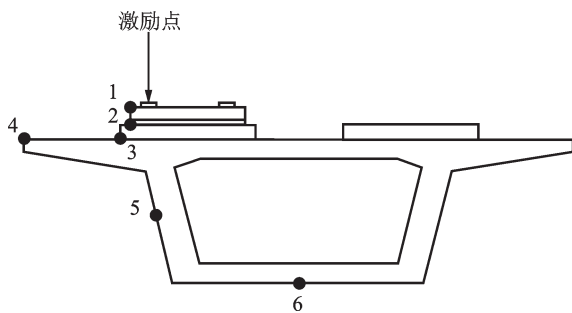


图 8 激励点及响应点的位置  
Fig. 8 Excitation point and response point position

### 3 振动传递特性分析

模型试验中, 研究振动在轨道-箱梁结构中竖向传递规律时, 以跨中截面为分析对象。研究振动沿纵向传递规律时, 对跨中截面、四分之一截面及桥梁端部截面比较有代表性的轨道板、底座板及翼缘板处分析。轨道-箱梁结构跨中截面各位置测点加速

度导纳曲线如图 10 所示。各板件不同截面位置处的加速度导纳曲线如图 11 所示。



图 9 加速度导纳测试过程  
Fig. 9 Acceleration admittance test process

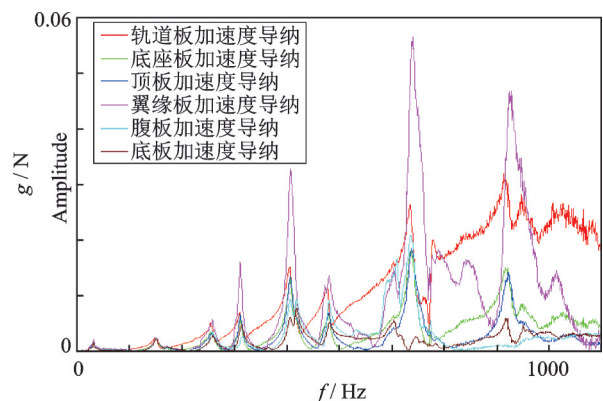


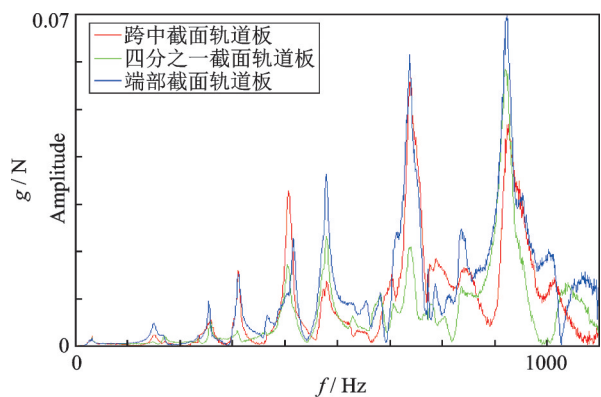
图 10 轨道-箱梁结构跨中截面各位置测点加速度导纳  
Fig. 10 Acceleration admittance of measuring points at mid-span section of track-box girder structure

#### 3.1 竖向传递特性

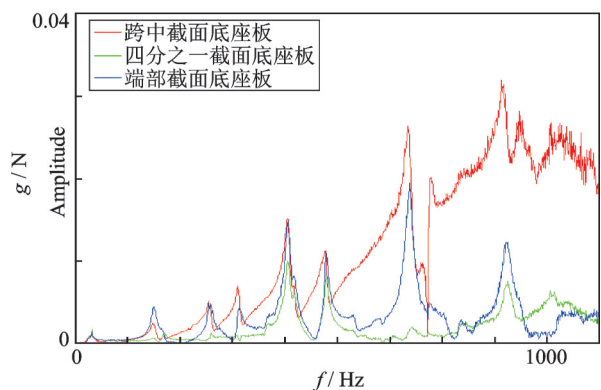
由图 10 可以看出: 轨道板处靠近激励点, 振动在沿着桥梁的轨道板、底座板、顶板等上部结构传递过程中, 轨道板处加速度导纳最大, 底座板处次之, 顶板处导纳最小, 在 500-1024 Hz 频率范围内, 轨道板处加速度导纳较大, 表明轨道板处的振动衰减缓慢, 在 0-1024 Hz 频率范围内, 底座板处及顶板处加速度导纳较小, 表明底座板处与顶板处的振动衰减较快; 对比翼缘板、腹板、底板处的加速度导纳, 发现翼缘板处的加速度导纳最大, 腹板次之, 底板处加速度导纳最小, 表明振动由顶板传递至翼缘板的过程中衰减最小, 腹板其次, 振动由顶板传递至底板的过程中衰减最大; 在 700 Hz 之后的频率范围, 腹板处加速度导纳很小, 表明腹板处的振动在此频率范围内衰减快; 底板处加速度导纳在 500 Hz 之后的频率范围内变化不大, 且幅值较小, 表明底板处的振动在 0-1024 Hz 频段内的中高频段衰减快。

#### 3.2 纵向传递特性

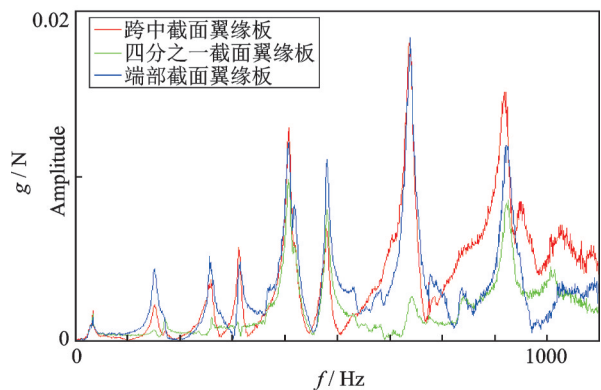
由图 11(a) 可知, 各截面轨道板处的加速度导



(a) 轨道板处各截面加速度导纳  
(a) Acceleration admittance at track plate



(b) 底座板处各截面加速度导纳  
(b) Acceleration admittance at base plate



(c) 翼缘板处各截面加速度导纳  
(c) Acceleration admittance at flange plate

图11 各板件不同截面位置处的加速度导纳

Fig. 11 Acceleration admittance at different cross section position of each plate

纳幅值很接近,且随着频率的增加而增加,表明轨道板振动在测试频段范围内沿纵向衰减很小;在640及830 Hz,各截面都存在较大峰值,且端部截面峰值最大,可能是支座造成的影响。由图11(b)可知,在670-1024 Hz频率范围内,跨中截面的加速度导纳很大,四分之一截面及端部截面加速度导纳较小,表明跨中至四分之一截面底座板处的振动沿纵向衰减很大,四分之一截面至端部截面底座板处的振动沿纵向衰减较小。由图11(c)可知,在0-660 Hz频

率范围内,各截面翼缘板处的加速度导纳幅值很接近,表明振动在测试频段此范围内沿纵向衰减很小;在700-1024 Hz频率范围内,跨中截面的加速度导纳较大,四分之一截面及端部截面加速度导纳较小,表明跨中至四分之一截面翼缘板处的振动沿纵向衰减较大,四分之一截面至端部截面翼缘板处的振动沿纵向衰减较小。

## 4 支座刚度对振动影响

研究支座刚度值对轨道-箱梁结构振动的影响时,利用A,B及C三种型号的弹性支座进行试验研究。将三种型号的弹性支座依次置于箱梁底部支座位置处,分别采集各型号支座条件下振动响应。三种型号支座如图12所示。其中,A型支座刚度值最大、B型支座刚度值次之、C型支座刚度值最小,刚度值如表2所示。

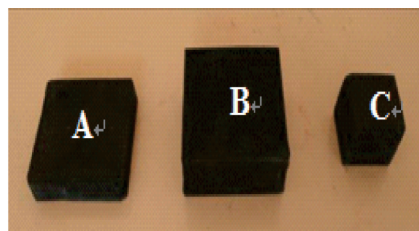


图12 弹性支座

Fig. 12 Elastic bearings

表2 支座刚度值

Tab. 2 bearing stiffness value

型号	几何尺寸/mm <sup>3</sup>	支座刚度/(N·m <sup>-1</sup> )
A	100×100×25	9.860×10 <sup>6</sup>
B	100×100×50	2.027×10 <sup>6</sup>
C	50×50×50	6.260×10 <sup>5</sup>

### 4.1 支座刚度的影响

研究支座刚度值对模型结构振动的影响时,以跨中截面为分析对象,三种型号支座条件下跨中截面各测点的加速度导纳如图13所示。

由图13可以看出,三种型号支座条件下轨道板、底座板、顶板、翼缘板及底板处测点的加速度导纳几乎重合,仅在对应频率处的峰值有所不同。对于腹板处加速度导纳稍有不同:在320 Hz及460 Hz存在不同的峰值,在840-1024 Hz范围,振动幅值稍有差别,如图13(e)所示。因此,支座刚度值对轨道-箱梁结构跨中截面各测点的振动有一定影响,但影响很小。

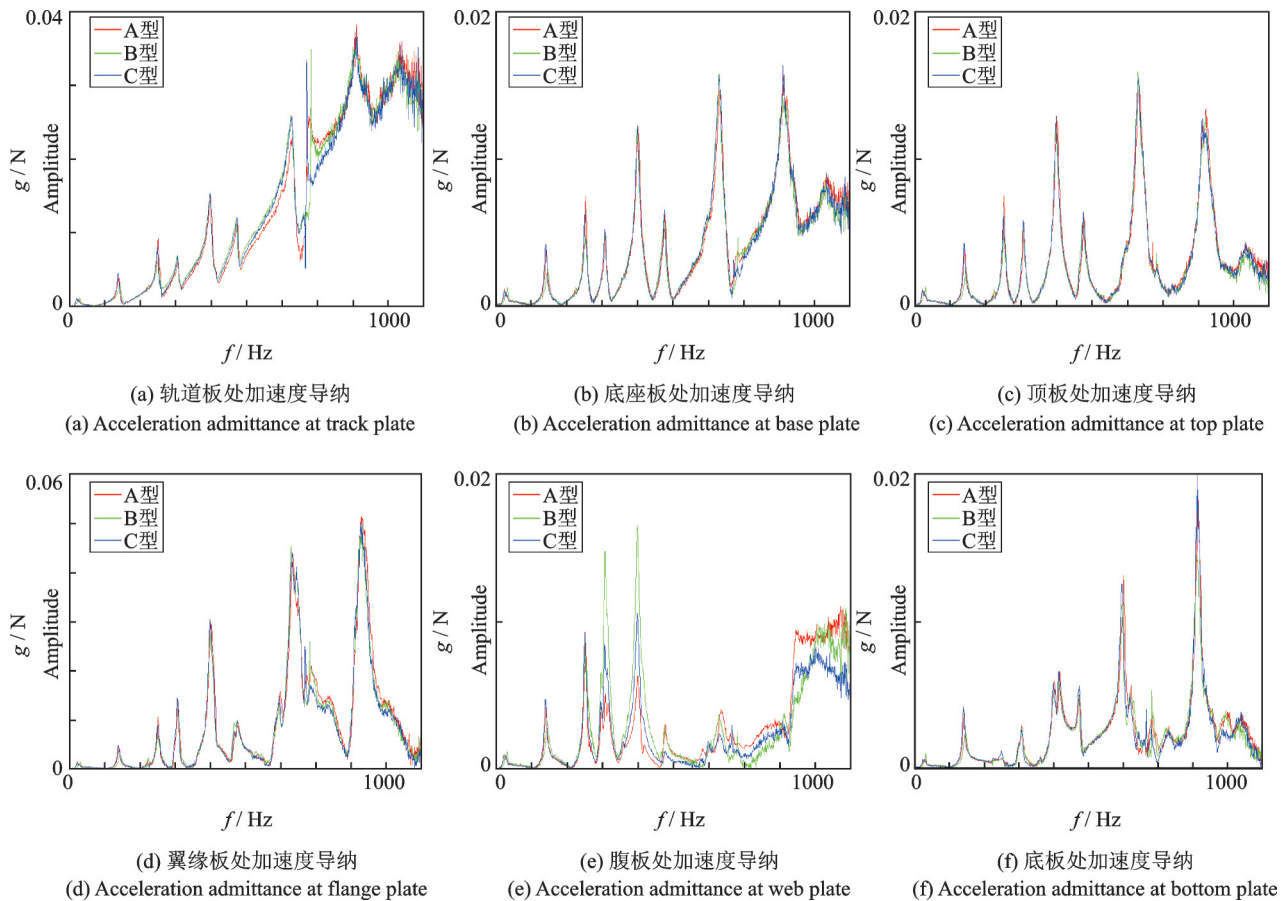


图 13 轨道-箱梁结构跨中截面各位置测点加速度导纳

Fig. 13 Acceleration admittance of measuring points at mid-span section of track-box girder structure

### 4.2 支座隔振效果

研究支座的隔振效果时,在墩顶靠近支座附近布置加速度传感器,采集该位置处的振动。选取靠近支座附近的墩顶测点进行分析。加速度传感器位置如图 14 所示。不同支座条件下测得加速度导纳对比如图 15 所示。



图 14 传感器位置

Fig. 14 Arrangement of the acceleration sensor

从图 15 可以看出,支座刚度值大小对弹性支座的隔振效果有一定影响,但并未呈现出绝对的规律。三种支座条件下,在 0-150 Hz 及 680-740 Hz 范围内,墩顶加速度导纳幅值比较大,其他频段范围内幅值比较小。墩顶加速度导纳峰值出现在 714 Hz 处, B 型支座的加速度导纳峰值最大, A 型支座次之, C

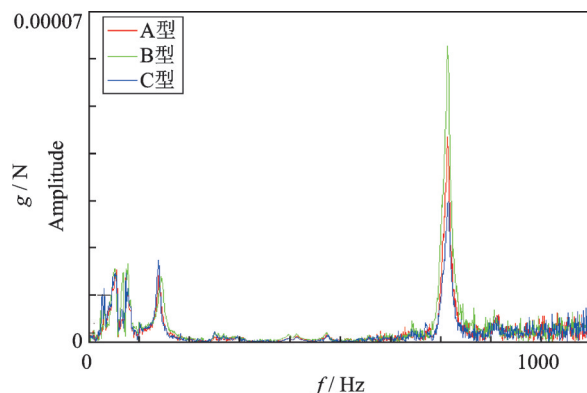


图 15 不同支座条件下加速度导纳

Fig. 15 Acceleration admittance under different support condition

型支座的峰值最小,表明在此频率附近, C 型支座的隔振效果较好,对于桥梁减振设计时,应特别注意。在 50 Hz 时,三种支座的隔振效果相差不大;在 79 Hz 时, B 型支座的隔振效果较好;在 139 Hz 时, C 型支座的隔振效果较好。

### 5 结论

本文基于京沪高铁常用的 32 m 无砟轨道箱梁

结构,对无砟轨道箱梁结构进行了模型试验。文中介绍了模型实验中的箱梁、底座板及轨道板等设计与制作过程,通过量纲分析法推导了模型结构与原型结构之间的相似关系。并通过激振器施加的简谐荷载为激励,研究了模型结构在荷载作用下的振动传递规律及支座的影响,试验结果表明:

(1)轨道板振动在 500-1024 Hz 频段内衰减缓慢,底座板及顶板处振动在 0-1024 Hz 频段内衰减较快;振动由顶板传递至翼缘板的过程中衰减最小,腹板其次,振动由顶板传递至底板的过程中衰减最大;腹板和底板处振动在中高频段衰减快。

(2)在 0-1024 Hz 频段内,轨道板振动沿纵向衰减很小;在 670-1024 Hz 频段内,底座板振动在跨中至四分之一截面范围内的衰减很大,在四分之一截面至端部截面范围内的衰减较小。在 0-660 Hz 频段内,翼缘板振动沿纵向衰减很小;在 700-1024 Hz 频段内,翼缘板振动在跨中至四分之一截面范围内的衰减较大,在四分之一截面至端部截面范围内的衰减较小。

(3)在 0-1024 Hz 频段内,支座刚度值对轨道板、底座板、顶板、翼缘板及底板振动无较大影响,仅对应频率处的峰值有所不同;在 840-1024 Hz 频段内,支座刚度值对腹板振动有一定影响,且在 320 及 460 Hz 处存在较大的峰值。

(4)支座刚度值对隔振有一定影响。在 0-150 Hz 及 680-740 Hz 频段内,三种条件下墩顶振动都比较大;在 714 Hz 附近,C 型支座的隔振效果较好;在 79 Hz 时,B 型支座的隔振效果较好;在 139 Hz 时,C 型支座的隔振效果较好。

#### 参考文献:

- [1] Wayne K P. Effects of low frequency noise and vibrations: environmental and occupational perspectives[J]. Encyclopedia of Environmental Health, 2011, 2: 240-253.
- [2] Thompson D J, Jones C J C. A review of the modeling of wheel/rail noise generation[J]. Journal of Sound & Vibration, 2000, 231(3):519-536.
- [3] 李小珍,宋立忠,张 迅.基于现场锤击试验的高铁简支箱梁振动传递特性研究[J].土木工程学报,2016,49(5):120-128.  
Li Xiaozhen, Song Lizhong, Zhang Xun. Study on vibration transmission characteristics of high-speed railway simply-supported box-girders based on in-situ hammer excitation test[J]. China Civil Engineering Journal, 2016, 49(5):120-128.
- [4] 宋立忠,李小珍,高 慰,等.城市轨道交通箱梁中高频振动导纳特性试验研究[J].噪声与振动控制,2018,38(S2):477-482.  
SONG Lizhong, LI Xiaozhen, GAO Wei, et al. Study on mid-and high-frequency mobility characteristics of urban rail transit box-girders[J]. Noise and Vibration Control, 2018, 38(S2):477-482.
- [5] 邓玉姝,夏 禾,善田康雄,等.城市轨道交通梯形轨枕轨道高架桥梁试验研究[J].工程力学,2011,28(3):49-54.  
DENG Yu-shu, XIA He, ZENDA Yasuo, et al. Experimental study of ladder track on a rail transitelevated bridge[J]. Engineering Mechanics, 2011, 28(3):49-54.
- [6] 夏 禾,张 楠,张鸿儒,等.300 km/h 高速铁路 PC 槽型梁动力试验研究[J].工程力学,2003,20(6):99-105.  
XIA He, ZHANG Nan, ZHANG Hong-ru, et al. Experimental study of a prestressed trough bridge for high speed railway[J]. Engineering Mechanics, 2003, 20(6):99-105.
- [7] 宋郁民,吴定俊,李 奇.小半径反向曲线桥梁车致振动试验研究[J].铁道学报,2017,39(9):126-133.  
SONG Yumin, WU Dingjun, LI Qi. Experimental study on train-induced vibration of small radius and reverse curve bridge[J]. Journal of the China Railway Society, 2017, 39(9):126-133.
- [8] 王 苇,苏永华,班新林.活性粉末混凝土简支箱梁模型试验研究[J].铁道建筑,2019,59(1):10-13.  
WANG Wei, SU Yonghua, BAN Xinling. Model test study on simply supported box girder of reactive powder concrete[J]. Railway Engineering, 2019, 59(1):10-13.
- [9] 李寿英,黄 君,邓羊晨,等.悬索桥吊索尾流致振的气弹模型测振试验[J].振动工程学报,2019,32(1):10-16.  
LI Shou-ying, HUANG Jun, DENG Yang-chen, et al. On the wake-induced vibration of hangers of suspension bridges by elastic wind tunnel tests[J]. Journal of Vibration Engineering, 2019, 32(1):10-16.
- [10] 崔光耀,王李斌,王明年,等.强震区隧道软岩洞口段刚柔并济抗减震措施模型试验研究[J].振动工程学报,2019,32(1):29-36.  
CUI Guang-yao, WANG Li-bin, WANG Ming-nian, et al. Model test study of rigid-flexible combined anti-seismic measures of soft rock tunnel portal part in meizo-seismal area[J]. Journal of Vibration Engineering, 2019, 32(1):29-36.
- [11] 杨俊杰.相似理论与结构模型试验[M].武汉:武汉理

- 工大学出版社,2005.
- [12] 马永欣. 结构实验[M]. 北京:科学出版社,2001.
- [13] 林 皋,林 蓓. 结构动力模型试验的相似技巧[J]. 大连理工大学学报, 2000,40(1):1-8.
- YANG Junjie. Similarity Theory and Structural Model Test [M]. Wuhan: Wuhan University of Technology Press, 2005.
- LIN Gao, LIN Bei. Similarity technique for dynamic structural model test[J]. Journal of Dalian University of Technology, 2000,40(1):1-8.

## Model test study on vibration transmission of track-box girder structure

*OU Kai-kuan, LUO Kun, LEI Xiao-yan*

(Engineering Research Center of Railway Environment Vibration and Noise, Ministry of Education, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

**Abstract:** Taking the 32 m ballastless track box girder structure commonly used in Beijing-Shanghai high-speed railway as the prototype, a model test is conducted. The model is a track-box girder structure. According to the geometric similarity ratio of 1/10, the design and fabrication process of each structure of the test model are introduced, the load excitation is applied by the exciter. The results show that the vibration of the track plate attenuates slowly in the frequency range of 500-1024 Hz, and the vibration of the base plate and the top plate attenuates rapidly in the frequency range of 0-1024 Hz. The vibration attenuation is the least in the process of transmission from the top plate to the flange plate, followed by the web, and the vibration attenuation is the greatest in the process of transmission from the top plate to the bottom plate. The vibration of the web and the bottom plate attenuates most rapidly in the middle and high frequency bands in the frequency range of 0-1024 Hz. In the frequency range of 0-1024 Hz, the vibration of the track plate reduces slightly along the longitudinal direction. In the 670-1024 Hz frequency band, the vibration of the base plate attenuates greatly from the middle to the quarter section, and the attenuation of vibration is small from the quarter to the end section. In the frequency range of 700-1024 Hz, the vibration of the flange plate attenuates greatly from the middle to the quarter, and the attenuation of vibration is small from the quarter to the end section. The stiffness value of the bearing has a certain but small influence on the vibration of each measuring point of the mid-section of the structure, but the influence is small. The stiffness value of the bearing has a certain influence on the vibration isolation, and the specific influence is related to the analysis of the frequency band.

**Key words:** track-box girder; model test; vibration response; support; vibration isolation

**作者简介:** 欧开宽(1989-),男,博士研究生。电话:15797872930; E-mail:673221676@qq.com

**通讯作者:** 罗 隰(1978-),男,博士,副教授。电话:13979149881; E-mail:381718594@qq.com