

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2020.11.024

# 新型桥梁板式橡胶降噪减振伸缩装置仿真分析

甘露, 闫兴非, 侯伟

(上海市城市建设设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200125)

**摘要:** 基于国家对防治交通干线环境噪声污染、大力倡导绿色交通的要求,同时考虑到现阶段各类伸缩装置的降噪功能和效果均有所欠缺,研发了一种新型的性能优良的降噪减振伸缩装置以减少公路、城市桥梁工程噪声对环境污染。对伸缩装置的承载能力极限状态、正常使用极限状态及疲劳性能有限元模拟分析,分析结果满足规范要求。

**关键词:** 斜拉桥;成桥自振频率;纵飘;有限元分析;双质点模型估算公式;模态测试

中图分类号: U443.31

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2020)11-0085-03

## 1 背景与概述

桥梁伸缩装置是公路及城市桥梁的重要组成部分,主要用于适应桥梁的温度伸缩、混凝土及预应力混凝土桥梁的收缩和徐变以及桥梁上部结构在荷载作用下所引起的桥梁伸缩位移,从而保证车辆通行的安全性和舒适性。

目前国内桥梁伸缩装置主要有模数型、异型钢单缝型、梳齿板型、板式橡胶型等几种类型,都有各自的优点和不足之处<sup>[1-5]</sup>。总体来讲,在公路、城市高架桥梁中,各类伸缩装置的降噪功能和效果或多或少有所欠缺,因此,有必要研发一种性能优良的降噪减振伸缩装置以减少桥梁噪声对环境的污染。

随着我国公路、城市高架道路建设的发展,国家对防治交通干线环境噪声污染、降低桥梁伸缩装置噪声也愈加重视,大力倡导绿色交通。在此背景下,研发了一种新型、安全有效的桥梁降噪减振橡胶伸缩装置应用于公路、城市高架桥梁。伸缩装置在上海嘉闵高架、上海中环线浦东段高架道路等工程建设中均有应用,使用期间伸缩装置功能正常,具有明显的降噪作用,且并未发现任何质量问题。

桥梁降噪减振橡胶伸缩装置的研究成果经由中国公路学会组织专家委员会进行科技成果鉴定,并由上海市建科委建设科技推广中心组织专家委员会进行新产品的评估鉴定,均认为该成果总体达到国际先进水平。并且根据研发成果编制的标准《公路桥梁板式橡胶伸缩装置》(JT/T 1269—2019)已经于2019年09月01日颁布实施。

收稿日期: 2020-07-02

作者简介: 甘露(1989—),男,硕士,工程师,从事桥梁设计工作

## 2 伸缩装置创新设计

(1)装置由有多个标准节段和非标准节段组成,整体伸缩量分为80/120/160/200(mm)四个种类;

(2)伸缩装置采用边钢梁与支承抗拉钢板相结合,橡胶伸缩体与边钢梁热硫化形成本体,不用螺栓与钢构件固定,避免伸缩装置松动脱落,保障行车安全可靠;

(3)橡胶伸缩体表面采用波形伸缩槽,其表面覆盖轮胎花纹的高强度橡胶耐磨层,从而提高耐久性,汽车轮胎着地面积始终与波形伸缩槽沿口呈斜交接触,不仅能充分降低轮胎冲击伸缩槽时产生的噪声,而且在伸缩量最大时也能保持伸缩槽变位均匀和伸缩装置平整;

(4)在伸缩体支承钢板下设置高阻尼减振橡胶支座,增加了结构阻尼和吸能效果,有效吸收车辆轮胎的冲击动能,使梁端振动大幅减小,同时减小了轮胎冲击伸缩装置产生的振动噪声。

新型桥梁板式橡胶降噪减振伸缩装置实样见图1,主要技术指标见表1。



图1 新型桥梁板式橡胶降噪减振伸缩装置实样图

## 3 仿真分析

对80~200 mm型桥梁板式橡胶降噪减振伸缩

表1 新型桥梁板式橡胶降噪减振伸缩装置主要技术指标

序号	项目	要求
1	拉伸压缩时最大水平摩阻力 /kN/m	80型不大于50;120型不大于60;160型不大于65;200型不大于75
2	拉伸压缩时变位均匀性 /mm	每单元位移偏差 -3~3
3	横向错位 / (°)	横向倾斜角度不小于3°
4	竖向错位 /%	相当顺桥向产生5%坡度
5	纵向错位纵向1.2m范围内两端相差 /mm	80型不小于40mm;120型不小于60mm; 160型不小于80mm;200型不小于100mm
6	防水性能	注水24h无渗漏
7	锚固性能	锚固件不脱落,钢构件不开裂,试样无重大裂纹和破损现象
8	高阻尼橡胶支座	达到JT/T 842—2012标准要求
9	噪声监测	达到降噪声6~8dB的设计目标

装置分别采用一般荷载工况与特殊荷载工况进行有限元仿真分析。对承载能力极限状态、正常使用极限状态以及疲劳性能进行验算,结构重要性系数、荷载分项系数、组合值系数根据规范选用。验算结果满足规范要求。现将一般荷载工况下200mm型伸缩装置及特殊荷载工况下80mm型伸缩装置验算结果列举如下。

3.1 一般荷载工况验算

3.1.1 验算荷载

一般荷载工况荷载参照JTG D60—2015《公路桥涵设计通用规范》中公路-I级标准要求,即以卡车后轮轴重为140kN,每个后轮荷载70kN,见图2。

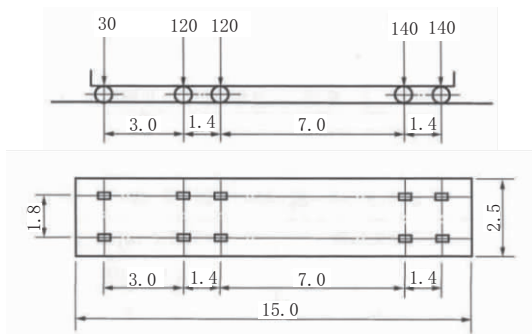


图2 伸缩装置设计荷载示意图(单位:m)

根据JTG D60—2015《公路桥涵设计通用规范》第4.3条,确定车辆荷载70kN;根据JTG D60—2015《公路桥涵设计通用规范》第4.1.5条,确定车辆荷载分项系数为1.8;根据JTG D60—2015《公路桥涵设计通用规范》第4.3.2条,确定冲击系数为0.3。

因而基本组合下,计算活载为:1.8×(1+0.3)×70=163.8kN。

3.1.2 200mm型伸缩装置

(1)强度验算

此型号板厚28mm,钢材Q345。根据JTG D64—2015《公路钢结构桥梁设计规范》第3.2.1条,设计强度 $f_d=270$ MPa, $f_{vd}=155$ MPa;根据JTG D60—2015《公路桥涵设计通用规范》第4.1.5条,确定重要性系数 $\gamma_0=1.1$ 。

基本组合下,恒载最大正应力为1.003MPa,最大剪应力为0.376MPa;活载最大正应力为133.162MPa,最大剪应力为44.214MPa。

故最大正应力为:1.003+133.162=134.165MPa

最大剪应力为:0.376+44.214=44.590MPa

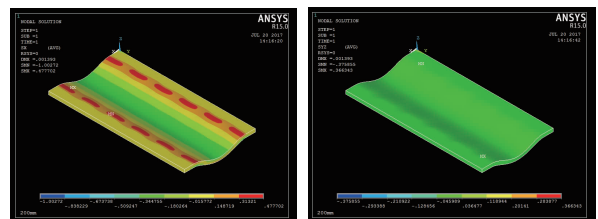
由此可得:

$$\gamma_0=1.1 \times 134.165=147.5815 \text{ MPa} < f_d=270 \text{ MPa}$$

$$\gamma_0 \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{f_d}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{f_{vd}}\right)^2} =$$

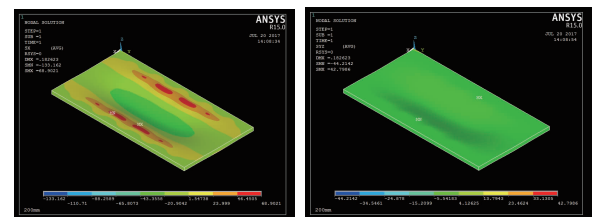
$$1.1 \times \sqrt{\left(\frac{134.165}{270}\right)^2 + \left(\frac{44.590}{155}\right)^2} = 0.632 < 1$$

综上所述,200mm型伸缩缝的强度满足要求,见图3。



恒载正应力图

恒载剪应力图



活载正应力图

活载剪应力图

图3 200mm型伸缩装置强度验算云图

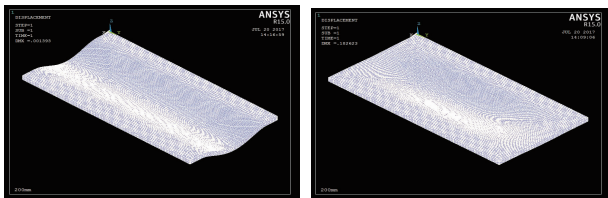
(2) 竖向挠度验算

根据 JT/T 327—2016 《公路桥梁伸缩装置通用技术条件》<sup>[6]</sup>附录 A.3.4, 竖向挠度应不大于计算跨径的 1/600。取计算跨径为伸缩缝纵桥向长度, 此型号为 626 mm。

标准组合下, 伸缩缝恒载挠度 0.001 mm, 活载挠度 0.183 mm。

总挠度为:  $0.001+0.183=0.184$  mm;  $626/600=1.043$  mm > 0.184 mm。

综上, 200 mm 型伸缩缝的竖向挠度满足要求, 见图 4。



恒载变形图 活载变形图

图 4 200 mm 型伸缩装置变形验算云图

3.2 特殊荷载工况验算

3.2.1 验算荷载

特殊工况验算荷载参照《城市桥梁设计规范》CJJ 11—2011 附录 A.0.1, 特种平板挂车车轮荷载 78.75 kN, 车轮着地尺寸 0.5 m × 0.2 m; 根据 CJJ 11—2011《城市桥梁设计规范》附录 A.0.3, 基本组合系数取 1.1, 作用效应的标准值提高 3%。

故计算荷载为:  $(1+0.1) \times (1+0.03) \times 78.75=89.22$  kN, 小于一般工况荷载, 因而不控制伸缩装置设计, 仅对 80 mm 型伸缩装置进行验算。

3.2.2 80 mm 型伸缩装置

(1) 强度验算

此型号板厚 16 mm, 钢材 Q345。根据 JTG D64—2015 《公路钢结构桥梁设计规范》第 3.2.1 条, 设计强度  $f_d=270$  MPa,  $f_{vd}=155$  MPa; 根据 JTG D60—2015《公路桥涵设计通用规范》第 4.1.5 条, 确定重要性系数  $\gamma_0=1.1$ 。

基本组合下, 恒载最大正应力为 0.286 MPa, 最大剪应力为 0.095 MPa; 活载最大正应力为 160.662 MPa, 最大剪应力为 48.115 MPa。

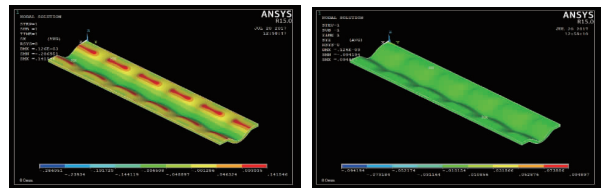
故最大正应力为:  $0.286+160.662=160.948$  MPa

最大剪应力为:  $0.095+48.115=48.210$  MPa

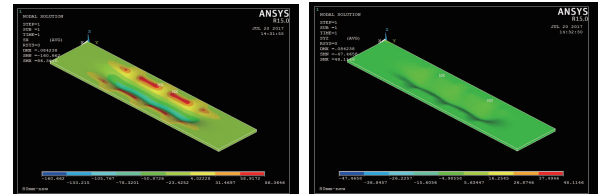
综上, 80 mm 型伸缩缝的强度满足要求, 见图 5。

(2) 竖向挠度验算

根据 JT/T 327—2016 《公路桥梁伸缩装置通用技术条件》附录 A.3.4, 竖向挠度应不大于计算跨径的 1/600。取计算跨径为伸缩缝纵桥向长度,



恒载正应力图 恒载剪应力图



活载正应力图 活载剪应力图

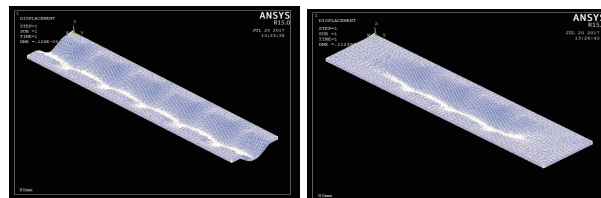
图 5 80 mm 型伸缩装置强度验算云图

此型号为 270 mm。

标准组合下, 此型号伸缩缝恒载挠度 0.000 126 mm, 活载挠度 0.112 mm。

总挠度为:  $0.000\ 126+0.112=0.112\ 126$  mm;  $270/600=0.45$  mm > 0.112 126 mm。

综上, 80 mm 型伸缩缝的竖向挠度满足要求, 见图 6。



恒载变形图 活载变形图

图 6 80 mm 型伸缩装置变形验算云图

4 疲劳验算

根据 JT/T 327—2016 《公路桥梁伸缩装置通用技术条件》以 80 mm 型伸缩装置为例, 对伸缩装置疲劳进行验算。

汽车荷载按 JTG D60 的规定, 取疲劳荷载计算模型 III。

根据 JT/T 327—2016 《公路桥梁伸缩装置通用技术条件》A.3.2, 疲劳性能验算按下式进行:

$$\begin{aligned} \gamma_{FF} \Delta \sigma_{E2} &= 1.0 \times 112.711 = 112.711 \text{ MPa} < k_s \Delta \sigma_c / \gamma_{Mf} = 1.0 \times 160 / 1.35 = 118.519 \text{ MPa} \\ \gamma_{FF} \Delta \tau_{E2} &= 1.0 \times 34.504 = 34.504 \text{ MPa} < k_s \Delta \tau_c / \gamma_{Mf} = 1.0 \times 100 / 1.35 = 74.074 \text{ MPa} \\ \left( \frac{\gamma_{FF} \Delta \tau_{E2}}{\Delta \sigma_c / \gamma_{Mf}} \right)^3 + \left( \frac{\gamma_{FF} \Delta \tau_{E2}}{\Delta \tau_c / \gamma_{Mf}} \right)^5 &= \\ \left( \frac{112.711}{160 / 1.35} \right)^3 + \left( \frac{34.504}{100 / 1.35} \right)^5 &= 0.143 < 1.0 \end{aligned}$$

疲劳性能满足规范要求。

5 结论

新型桥梁板式橡胶降噪减振伸缩装置通过创  
(下转第 103 页)



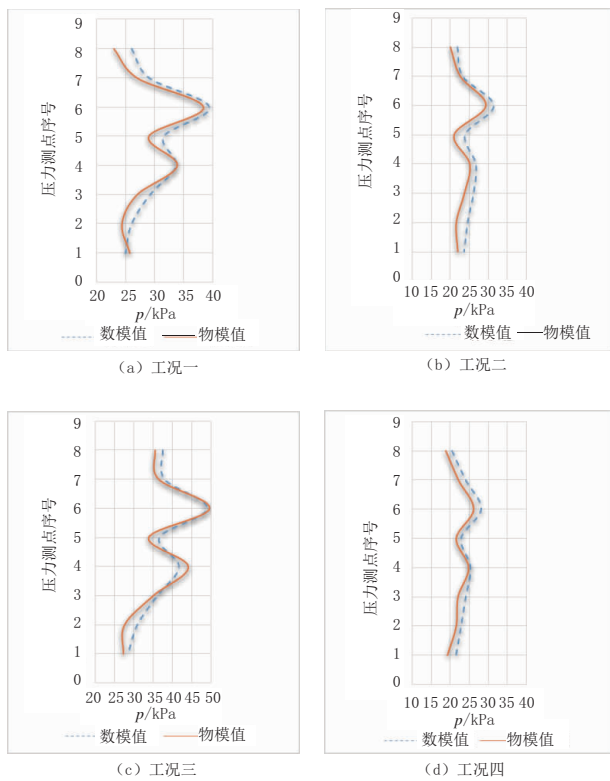


图5 挡浪墙迎浪面波压力物模试验与数模结果对比  
差都在15%以内,波压力分布规律也比较一致。

各工况下挡浪墙迎浪面各测点波压力始终保持不为0,而波压力主要集中于挡浪墙中下部分,自拐点向两端逐渐减小。在控制其他波要素保持

一致条件下,各测点波压力随着堤前水深和波周期的增大而增大。

## 5 结 语

(1)海堤挡浪墙是承受波浪水流冲击作用,保护海堤安全的重要结构。在波浪作用条件下,由于波浪集中的现象,墙身受到不均匀波浪力影响,与《海堤工程设计规范》给出的计算假设不一致。在外海波浪较大条件下,类似工程设计应考虑因波浪力作用的不均匀分布造成的挡浪墙不稳定因素。

(2)在不同工况条件下,数值模型计算得到的波压力分布与物理模型试验结果比较一致。说明数值模型方法在计算海堤挡浪墙波浪力方面具有较高的精度,可以为类似工程设计提供参考。

### 参考文献:

- [1] 张丽佳,刘敏,陆敏,等.中国东南沿海地区台风危险性评价[J].人民长江,2010(3):26-35.
- [2] 严恺.海岸工程[M].北京:海洋出版社,2002:7-9.
- [3] 兰雅梅,郭文华,宋秋红,等.基于VOF方法的造波、消波技术[J].中国海洋平台,2010,25(1):22-25.
- [4] GE Jarlan. A perforated vertical wall breakwater[J].The Dock and Harbour Authority, 1961, 41(486):394-398.
- [5] 顾挺锋.海洋工程水池波浪生成的数值模拟[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2012.

(上接第87页)

新性设计,具有满足桥梁梁端的多向变位;无螺栓连接,使用过程中不产生松动;耐久性好、不渗水;降低车辆通过噪声污染及振动的优点。

通过对新型桥梁板式橡胶降噪减振伸缩装置的有限元分析,表明伸缩装置强度、挠度以及疲劳性能均满足规范要求,伸缩装置安全可靠。

### 参考文献:

- [1] 赵煜,蒲广宁,贺栓海.基于外观调查的桥梁伸缩装置破损评价方法[J].公路交通科技,2013,24(11):61-65.

- [2] 辛荣亚,张启伟.桥梁旋转式伸缩装置的缝宽控制性能[J].公路交通科技,2013,30(5):53-57.
- [3] 王建波.公路桥梁伸缩装置模数式与梳齿板式之比较与选型研究[J].公路交通科技应用技术版,2019(2):194-195.
- [4] 平树江,田芳,郭斌,等.大跨径3塔斜拉桥伸缩缝的设计与施工应用研究[J].公路交通科技应用技术版,2012(1):159-162.
- [5] 刘炜勃,李锋,张健,等.多向变位桥梁伸缩装置在西南高速公路特大桥梁中的应用[J].公路交通科技应用技术版,2012(3):141-144.
- [6] JT/T 327—2016,公路桥梁伸缩装置通用技术条件[S].