

# 高速铁路减振CRTS-Ⅲ型无砟轨道桥梁振动噪声研究

罗 源

重庆市轨道交通(集团)有限公司 重庆 400000

**摘要:**在我国高速铁路快速发展的过程中,CRTS-Ⅲ型无砟轨道的应用愈加广泛,逐渐成为当前高速铁路建设中的主型轨道之一。为了解决高速铁路环境振动噪声问题,需要对减振CRTS-Ⅲ型无砟轨道进行深入研究。本文主要研究对象为减振CRTS-Ⅲ型无砟轨道,在简要论述其优势和基本原理的基础上,对其振动噪声进行分析探究。

**关键词:**高速铁路;减振CRTS-Ⅲ型无砟轨道;桥梁;振动噪声

## 前言:

近几年,我国经济高速发展,促进了铁路建设事业的不断发展,我国在高铁领域上的优势逐渐为世界所知。虽然高铁建设的脚步不断加快,但仍然没有满足人们的出行需求。在之前的高速铁路中,主要为有砟轨道的形式,在长时间的运行中,日益凸显出噪声问题。现阶段,在我国高速铁路中,无砟轨道技术的应用愈加普遍,CRTS-Ⅲ型轨道系统目前已经应用到多条高速铁路中,进一步推动了我国高铁“走出去”战略的实施。因此,对无砟轨道减振领域进行深入探究具有重要的现实意义。

## 1 减振 CRTS-Ⅲ型无砟轨道系统

### 1.1 减振CRTS-Ⅲ型无砟轨道的优势

我国通过学习多国先进的无砟轨道技术,先后研发出了CRTSI、II型板式无砟轨道,形成了设计和施工等成套技术。但在实际运营过程中,无砟轨道仍然存在一些不足,需要不断优化完善。其中CRTSI轨道整体效果不够理想,CRTSII轨道存在严重的裂缝问题,不仅施工工艺具有较强的复杂性,可修复性也不足。主要由于二者均使用水泥乳化沥青砂层作为填充层,不能有效保障轨道结构的耐久性。为了有效弥补二者存在的不足,我国高速铁路轨道技术在总结现有经验的基础上,学习借鉴国外的先进技术,成功研发出了CRTS-Ⅲ型无砟轨道系统。在此基础上,为了解决轨道结构逐渐暴露出来的振动噪声问题,开始对CRTS-Ⅲ型无砟轨道进行减振研究。

相较于常规的CRTS-Ⅲ型轨道系统来说,减振CRTS-Ⅲ型无砟轨道系统具有较强的优势,它主要由自密实混凝土和底座等结构部件组成,由于采用橡胶减振垫层进行隔离,所以不仅具有良好的隔振效果,成本也比较低。根据相关专家的仿真计算以及现场实际测量,发现通过采用减振垫能够降低桥梁结构和地面的振动,但同时也会加大轨道板和钢轨之间的振动。并且减振垫

设置位置的差异,也会对钢轨和路基导纳等产生不同的影响。相关研究人员在一座具有较大噪声的钢桥上铺设了橡胶垫层,经过前后噪声的测试对比,发现总噪声降低了6dB(A)。相关学者以某高架桥为研究对象,将减振垫和声屏障进行组合降噪,发现通过增加减振垫的方式,能够使得桥梁结构的噪声降低,但同时,也会放大轮轨噪声。通过大量的实践证明,将减振垫设置在轨道系统中,能够降低桥梁结构的振动和低频噪声。但由于该减振型轨道运营时间较短,还需进行长期不断地研究,改进轨道结构参数<sup>[1]</sup>。同时,轨道振动问题不仅影响周围居民生活,也制约我国高速铁路的发展,因此,对减振型轨道的研究具有重要的战略意义。

### 1.2 无砟轨道隔振的基本原理

通过对轨道进行减振,能够减小振动和噪声对轨道结构的影响,也能防止其影响周围环境。由于轨道结构特征的影响,所以振动能量在各结构层间的传播过程具有较强的复杂性,并且由于它们之间的连接往往为刚体连接,难以减少振动。在对无砟轨道进行减振时,通常都是爱爱不同结构层间加入弹性材料,以不断削弱振动能量,达到隔振的目的<sup>[2]</sup>。

## 2 工程概况

以某高速铁路32m双线预应力混凝土简支箱梁为例,桥梁跨径为32m,中心线处梁高3.05m,梁底和梁顶分别宽5.5m和13.4m。对于箱梁和轨道板,采用C50混凝土,而对于自密实混凝土,则选用C40混凝土。在实际进行模拟的过程中,为了更好地对比,不仅对减振CRTS-Ⅲ型板式无砟轨道进行模拟,也对常规CRTS-Ⅲ型板式无砟轨道进行模拟。车辆以和谐号CRH3型动车为例,运行速度为200km/h。钢轨的弹性模量为 $2.1 \times 10^{11} \text{N} \cdot \text{m}^{-2}$ ;截面惯性矩为 $3.217 \times 10^{-5} \text{m}^4$ ;截面面积为 $7.745 \times 10^{-3} \text{m}^2$ ;截面系数为0.5331。扣件的刚度为 $6.0 \times 10^7 \text{N} \cdot \text{m}^{-1}$ ;损耗因子为0.25。减振垫层的刚度为 $1.8 \times 10^7 \text{N} \cdot \text{m}^{-1}$ ;损耗因子为

0.25。桥梁的截面惯性矩为 $11.06\text{m}^4$ ；截面面积为 $8.99\text{m}^2$ 。桥梁支座的刚度为 $2.0 \times 10^8 \text{MN} \cdot \text{m}^{-1}$ ；损耗因子为0.25。

### 3 桥梁振动噪声分析

#### 3.1 轮轨力分析

轮轨力的数值高低、峰值频率等因素，都会对高速铁路车辆、轨道的振动等产生一定影响，导致噪音产生的幅度也发生变化，所以对轮轨力分析至关重要。在进行轮轨力分析时需要采用专业的编辑程序，提前设置好高铁车辆的行使速度，对频域轮轨力进行精确计算。常规型轨道系统轮轨力峰值频率变化情况表现为 $0\text{Hz}$ -- $40\text{Hz}$ 之间呈逐渐上升趋势，在 $40\text{Hz}$ 左右时达到峰值，在 $60\text{Hz}$ 、 $80\text{Hz}$ 、 $100\text{Hz}$ 逐渐降低。减振CRTS-Ⅲ型板式无砟轨道在 $0$ -- $20\text{Hz}$ 之间呈逐渐上升趋势，在 $20\text{Hz}$ -- $35\text{Hz}$ 之间呈逐渐下降趋势，在 $35\text{Hz}$ -- $70\text{Hz}$ 时成上升趋势，在 $70\text{Hz}$ 左右达到峰值，在 $80\text{Hz}$ 、 $100\text{Hz}$ 逐渐降低。出现该种情况的原因是高铁车辆在运行的过程中，车辆、轨道、轨道板以及桥梁形成一个系统，高铁车辆在受自身重力和轨道、轨道板的反作用力作用下，在车辆速度不断变化的过程中会产生共振，当达到峰值时整个系统会出现共振，峰值也就是共振的频率。通过对轨道的相关参数进行调整，能够对共振频率产生一定影响，轮轨力峰值频率也会发生一定改变。与常规轨道系统相比减振CRTS-Ⅲ型板式无砟轨道的轮轨力峰值能够降低25%左右，借助减震垫，能够显著降低轮轨力，避免和轨道产生共振效果，降低由于共振效果产生的振动噪音。

#### 3.2 振动分析

在常规CRTS-Ⅲ型板式无砟轨道中，对于混凝土与底座之间的隔离，主要采用土工布，而对于减振CRTS-Ⅲ型板式无砟轨道，在隔离自密实混凝土和底座时，主要采用的是橡胶垫，后者具有较好的隔离效果，并且能够传递振动能量。通过制作桥梁跨中计算点振动加速度频域曲线，发现减振型轨道系统桥梁振动加速度存在明显的消减现象，橡胶减震垫充分发挥了其作用，阻断了振动能量的进一步传递，进而降低桥梁构件的振动。相较于常规型轨道系统桥梁加速度的峰值，减振型轨道系统桥梁振动加速度的峰值降低了69.9%，并且平均加速度降低了60.4%。为了进一步评估桥梁的振动衰减情况，采用了插入损失，发现在 $1\text{Hz}$ -- $30\text{Hz}$ 范围内，只有个别点的插入损失将要达到0，说明这时减震垫并没有很大作用。而在 $30\text{Hz}$ -- $50\text{Hz}$ 范围内，发现插入损失明显增大，已经达到 $49\text{Hz}$ 处，说明在这一范围内减震垫能够充分发挥其作用，降低桥梁结构的振动<sup>[3]</sup>。根据《铁道车辆动力学性能评定和试验鉴定规范》GB5599-85的规范，采用减振型

CRTS-Ⅲ型板式无砟轨道的振动幅度小于规定范围，能够有效提高高速铁路车辆运行的稳定性，并且与常规轨道系统相比，其能够有效的提高乘客的舒适度。

#### 3.3 噪声分析

由于相较于常规型轨道系统而言，采用减振型CRTS-Ⅲ型板式无砟轨道能够有效降低桥梁振动，而其能够引起桥梁结构噪声，所以在对振动进行探究的基础上，还应深入分析桥梁结构的噪声。首先，需要建立桥梁结构空间有限元模型，在此基础上，采用有限元对桥梁结构噪声进行计算。由于桥梁结构噪声为低频噪声，所以应据此确定计算频率范围，即 $20\text{Hz}$ -- $100\text{Hz}$ 。同时，可以确定桥梁模型的网格尺寸，即为 $0.25\text{m}$ 。在对桥梁结构噪声进行计算时，主要通过离散减振垫弹簧作用力，将其作用于桥梁有限元模型上。合理确定计算点布置图，然后选择近场点和远场点这两个计算点。然后再对常规型轨道系统和减振CRTS-Ⅲ型板式无砟轨道的桥梁结构噪声进行计算，并对结果进行对比分析。在 $20\text{Hz}$ -- $25\text{Hz}$ 的范围内，两种轨道系统的噪声计算点具有良好的吻合性，减振CRTS-Ⅲ型板式无砟轨道还不能降低噪声。在 $31.5\text{Hz}$ -- $100\text{Hz}$ 范围内，相较于常规型轨道系统来说，采用减振CRTS-Ⅲ型板式无砟轨道的桥梁噪声明显降低，常规型轨道系统两个计算点的最大值分别为 $94.21\text{dB}$ 和 $83.75\text{dB}$ ，而减振CRTS-Ⅲ型板式无砟轨道的两个计算点的最大值分别为 $98.06\text{dB}$ 和 $75.39\text{dB}$ 。可以明显发现，在采用减振型轨道系统后，这两个计算点分别降低了 $8.15\text{dB}$ 和 $8.36\text{dB}$ 。这就充分表明通过采用减振CRTS-Ⅲ型板式无砟轨道之后，能够有效降低桥梁结构噪声<sup>[4]</sup>。另外，常规型轨道系统和减振CRTS-Ⅲ型板式无砟轨道两个计算点的桥梁结构噪声峰值分别为 $50\text{Hz}$ 和 $63\text{Hz}$ ，说明在采用减振垫之后，使得噪声峰值发生了偏移，与其他区域的噪声相比，在跨中区域的噪声值最小。

#### 3.4 声贡献度

为了有效控制结构噪声，需要找出声贡献量最大的结构板，为之后的研究提供数据支持。由于混凝土高架箱梁由多个部分组成，如底板和顶板等，由于列车结构受力特点的影响，再加上荷载作用位置等因素的影响，导致各个结构件之间的噪声水平存在一定差异，因此需要对其声贡献度进行分析<sup>[5]</sup>。根据距离远场噪声点的距离，将近距离的腹板作为近腹板，将远距离的腹板作为远腹板，同时，将近距离的翼缘作为近翼缘，将远距离的翼缘作为远翼缘。在此基础上，对六个子结构选择两个计算点，并对其声压级进行计算。由于各个子结构板处于不同的中心频率范围，所以导致声压级也存在一定

差异,难以对其贡献度进行分析。根据相关研究对20Hz和40Hz中心频率板贡献率的研究,发现在这两个范围内箱梁的辐射声功率比较大。本文主要针对各个子结构板两个计算点的总声压级进行计算,结果依次为:远翼板两个计算点的总声压级分别为74.58dB和63.95dB;远腹板分别为78.10dB和66.0dB;底板分别为84.62dB和71.93dB;近腹板分别为78.72dB和68.59dB;近翼缘分别为76.03dB和67.84dB;顶板分别为89.71dB和78.81dB。各结构板占总声压级贡献率的大小分别为0.2%和0.3%;0.6%和0.5%;20%和15%;0.1%和0.7%;0.4%和0.6%;65%进而68%。明显可以看出,不管是近场计算点还是远场计算点,顶板的贡献率远远高于其他结构板。之所以出现这种情况,主要由于列车荷载作用的影响,其直接作用于顶板,再加上顶板本身比较宽等因素的影响。并且顶板近场计算点和远场计算点的声压级贡献率存在一定差异,后者明显更大一些<sup>[6]</sup>。除了顶板之外,可以发现底板的声压级贡献率更高一些,主要由于近场计算点处于底板的正下方,所以声压级贡献率较高,而远场计算点的声压级贡献率就稍微小一些。另外,翼板和腹板所占的声压级贡献率均比较小。

#### 结束语

综上所述,相较于常规型轨道系统,采用减振CRTS-Ⅲ型板式无砟轨道系统的桥梁振动加速度的峰值和平均值均有所下降,达到的效果包括:依靠减震垫,能够显著降低轮轨力,降低由于共振效果产生的振动噪音;减震垫能够充分发挥其作用,降低桥梁结构的振动,并且能够有效降低桥梁结构噪声;采用减振垫之后,使得噪声峰值发生了偏移,31.5Hz-100Hz之间,采用

减振CRTS-Ⅲ型板式无砟轨道的桥梁噪声更小;通过对桥梁各子结构板的分析,发现桥梁噪声主要来源于顶板振动、底板振动。减振CRTS-Ⅲ型板式无砟轨道在实际使用的过程中需要对桥梁顶板和底板进行科学控制,尽可能降低噪声,同时保证高速铁路能够安全、稳定的运行,保障乘客安全的同时,也提高乘客的舒适感。

#### 参考文献:

- [1]张旭东. 高速铁路斜拉桥CRTSⅢ型无砟轨道施工技术[J]. 铁道建筑技术, 2020(3):4.
- [2]于东东, 徐富刚. 沿海地区高速铁路桥梁CRTS I型双块式无砟轨道施工控制技术研究[J]. 中国水运, 2022(4):3.
- [3]刘林芽, 牛振宇, 秦佳良, 等. 弹性垫层温频变特性对减振型CRTSⅢ板式无砟轨道振动响应影响研究[J]. 中南大学学报:自然科学版, 2021(10):12.
- [4]杨明勇. 高速铁路CRTSⅢ板式无砟轨道自密实混凝土性能研究[J]. 交通世界, 2021(14):3.
- [5]陈登玉. CRTSⅢ型无砟轨道自密实混凝土工艺性试验研究[J]. 山西建筑, 2020(9):3.
- [6]张玮. 研究先张CRTSⅢ型轨道板蒸养技术[J]. 信息周刊, 2020(5):1.
- [7]宋瑞, 刘林芽, 徐斌, 曾开华. 铁路桥上减振CRTS-Ⅲ型无砟轨道振动响应及车辆平稳性分析[J]. 铁道科学与工程学报, 2019(04):835-842.
- [8]袁菁江, 唐进锋, 刘文峰, 王浩. 客货共线铁路桥上减振型CRTSⅢ板式无砟轨道减振层刚度动力学影响分析[J]. 铁道科学与工程学报, 2019(07):1614-1621.