

# 强震作用下大跨度连续刚构桥动力响应研究

王弘谋

重庆市市政设计研究院有限公司

DOI:10.12238/jpm.v3i8.5183

**[摘要]** 为了探究强震作用下高墩大跨连续刚构桥动力响应问题,首先结合设计文件建立有限元模型,并探究了连续刚构桥基本振动特性;其次结合桥址处的基本设防烈度得到目标反应谱,并基于反应谱人工合成地震动加速度时程;最后从反应谱和时程分析的角度对连续刚构桥进行地震响应分析。研究表明:在纵向+竖向和横向+竖向反应谱计算工况下的主梁竖向最大值分别为0.058m和0.055m,说明主梁竖向位移对地震激励方向不敏感;在纵向+竖向和横向+竖向反应谱计算工况下的结构弯矩和结构剪力最大值分别为 $5.40\text{E}+05\text{kN}\cdot\text{m}$ 、 $6.34\text{E}+05\text{kN}\cdot\text{m}$ 和 $1.99\text{E}+05\text{kN}$ 和 $2.06\text{E}+05\text{kN}$ ,在纵向+竖向地震作用下的内力响应更小;时程计算工况下的位移和内力随时间变化规律与加速度波形基本吻合,且时程计算结果要略大于反应谱计算结果。

**[关键词]** 桥梁工程; 强震作用; 连续刚构桥; 动力响应

中图分类号: U445 文献标识码: A

## Study on Dynamic Response of Long-span Continuous Rigid Frame Bridge under Strong Earthquake

Hongmou Wang

Chongqing Municipal Design and Research Institute Co., Ltd

**[Abstract]** In order to explore the dynamic response of high pier and long-span continuous rigid frame bridge under strong earthquake, a finite element model is established in combination with the design documents, and the basic vibration characteristics of continuous rigid frame bridge are explored; Secondly, combined with the basic fortification intensity at the bridge site, the target response spectrum is obtained, and the acceleration time history of ground motion is synthesized based on the response spectrum; Finally, the seismic response of continuous rigid frame bridge is analyzed from the perspective of response spectrum and time history analysis. The research shows that the vertical maximum values of the main beam under the longitudinal + vertical and transverse + vertical response spectrum calculation conditions are 0.058m and 0.055m respectively, indicating that the vertical displacement of the main beam is not sensitive to the direction of seismic excitation; The maximum value of structural bending moment and structural shear force under longitudinal + vertical and transverse + vertical response spectrum calculation conditions are  $5.40\text{E}+05\text{kN}$  respectively m、 $6.34\text{E}+05\text{kN}\cdot\text{m}$  and  $1.99\text{E}+05\text{kN}$  and  $2.06\text{E}+05\text{kN}$ , the internal force response under longitudinal + vertical seismic action is smaller; Under the time history calculation condition, the variation law of displacement and internal force with time is basically consistent with the acceleration waveform, and the time history calculation result is slightly larger than the response spectrum calculation result.

**[Key words]** Bridge engineering; Strong earthquake action; Continuous rigid frame bridge; dynamic response

### 引言

近年西南地区地震频发,尤其是高烈度地区的强震作用,会对形如连续刚构桥的结构安全和行车舒适度产生十分严重的影响,因此有必要探究强震作用下大跨度连续刚构桥动力响应规律<sup>[1-3]</sup>。

而学者们对连续刚构桥的地震响应进行了广泛研究<sup>[4-5]</sup>。陈晓栋<sup>[6]</sup>等为了得到地震作用下某连续刚构桥桥墩以及主梁的翘曲力矩反应谱及时程曲线,在建模时考虑了结构的约束扭转。张俊<sup>[7]</sup>等基于随机振动和虚拟激励理论探究了地震作用下三跨连续刚构桥力学特征;雷虎军<sup>[8]</sup>等研究了近断层地震作用下的某

高铁连续刚构桥减震控制问题; 李聪林<sup>[9]</sup>、张玥<sup>[10]</sup>等研究了高烈度地震作用下连续刚构桥设计关键技术以及参数敏感性分析。上述研究的连续刚构桥跨径不大, 主跨在100-130m范围内, 属于常规跨径的连续刚构桥, 而对160m及以上的超大跨度连续刚构桥地震响应研究较少。

基于上述研究, 以西南山区某高烈度地区的超大跨度连续刚构桥进行强震作用下动力响应分析。

### 1 工程概况

#### 1.1 总体概况

为探究强震作用下大跨度连续刚构桥地震响动力响应, 以西南山区某3跨连续刚构桥为工程背景, 其跨径组成为(86+160+86)m, 主墩采用等截面双肢薄壁墩, 以适应地震作用下的变形。该桥的桥型布置如图1。

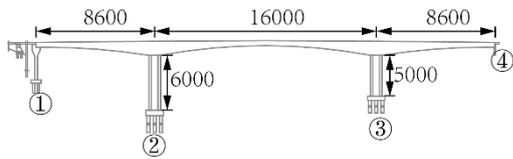


图1 桥型布置 (cm)

#### 1.2 材料参数

该桥主梁采用C55混凝土, 其中铺装采用 C50混凝土, 桥墩及承台采用C40混凝土, 桩基采用C30混凝土。预应力钢筋采用抗拉强度为1860MPa的钢绞线。

### 2 地震参数及计算工况

#### 2.1 地震参数

该桥位于西南地区贵州省高烈度地区, 基本设防烈度为VIII度。依据最新的公路桥梁结构抗震规范可得到该桥址处的地震动加速度反应谱, 见图2所示。

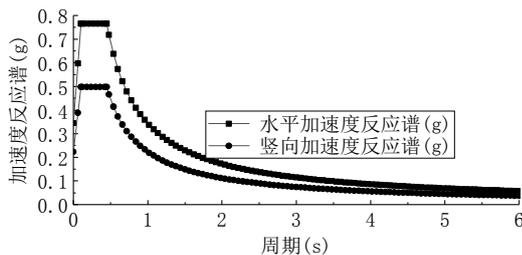


图2 反应谱加速度 (g)

为了后续进行时程分析, 以规范反应谱为目标谱, 利用三角级数法合成人工地震动, 见图3所示。

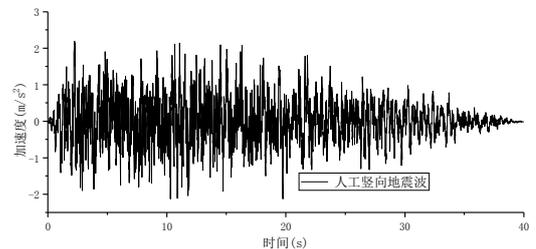
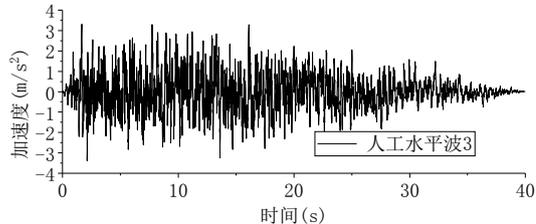
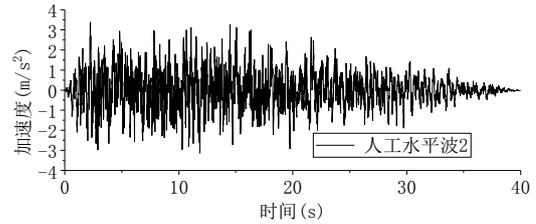
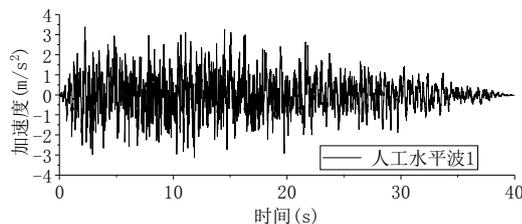


图3 加速度时程

#### 2.2 计算工况

为探究反应谱和地震时程对大跨度双肢薄壁联系刚构桥地震响应的规律, 按表1进行工况组合。

表1 计算工况

工况编号	地震类型	地震组合
1	反应谱	横向+竖向
2		纵向+竖向
3	人工时程波 1	纵向+横向+竖向
4	人工时程波 2	纵向+横向+竖向
5	人工时程波 3	纵向+横向+竖向

注: 表1中纵向、横向和竖向分别表示沿桥梁行车方向、垂直于行车方向的水平方向和竖直向上的方向。

### 3 有限元模型及自振特性

#### 3.1 有限元模型

便于后续反应谱和时程分析, 以Midas Civil为有限元平台, 建立该连续刚构桥的有限元模型, 由于该桥采用嵌岩桩, 因此桩身各节点进行固结, 用以模拟岩石对桩身的约束, 桩底固结。在桥台处约束横向和竖向位移, 放开纵向位移, 其有限元模型见图4。

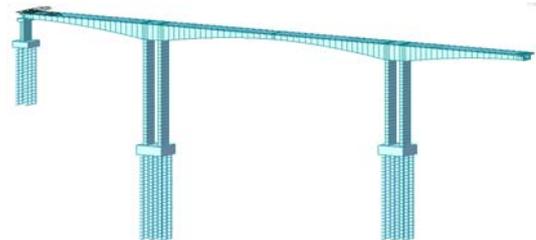


图4 有限元模型

3. 2结构自振特性

基于子空间迭代法对结构自振特性进行分析, 自振特性计算结果见表2所示。

表2 结构自振特性

模态号	频率/Hz	周期/s	振型
1	0.30	3.36	纵漂
2	0.34	2.95	一阶对称横弯
3	0.64	1.56	一阶反对称横弯
4	1.00	1.00	一阶对称竖弯
5	1.21	0.83	二阶对称横弯
6	1.81	0.55	一阶反对称竖弯
7	1.97	0.51	二阶反对称横弯
8	2.19	0.46	二阶对称竖弯
9	2.55	0.39	过渡墩纵弯
10	2.60	0.38	三阶反对称横弯

分析表2可知:

- (1) 该桥一阶模态为纵漂, 有助于强震区纵向地震能量的吸收。
- (2) 前10阶振型中, 大多为横弯, 说明该桥横向刚度也较低, 在横向地震作用下可能产生较大的横向位移。

4 结果分析

4. 1反应谱结果分析

(1) 主梁纵向位移。在两种反应谱计算工况下的主梁纵向位移见图5所示。

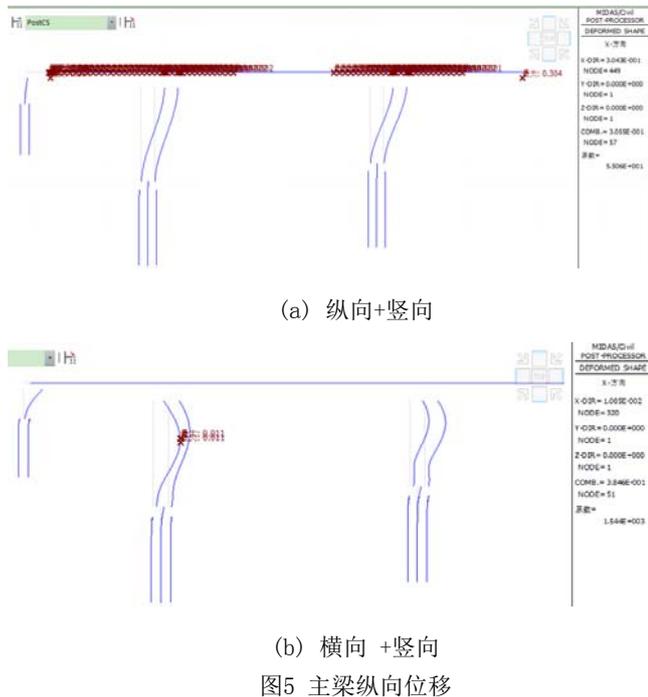


图5 主梁纵向位移

分析图5可知, 在纵向+竖向和横向+竖向反应谱计算工况下的主梁纵向位移最大值分别为0.304m和0.011m, 这是因为纵向地震容易激起结构的纵向振动, 因此在纵向+竖向地震下的主梁纵向位移值更大。

(2) 主梁横向位移。在两种反应谱计算工况下的主梁横向位移见图6所示。

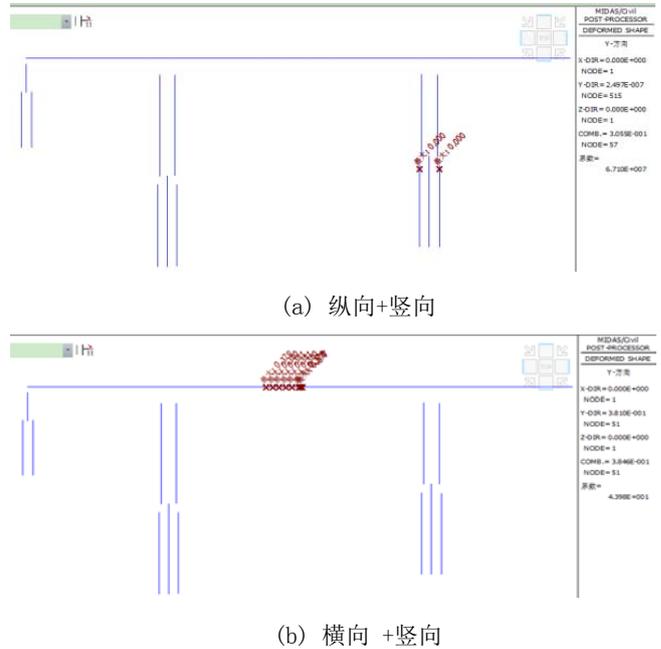


图6 主梁横向位移

分析图6可知, 在纵向+竖向和横向+竖向反应谱计算工况下的主梁横向位移最大值分别为0.000m和0.381m, 这是因为横向地震容易激起结构的横向振动, 因此在横向+竖向地震下的主梁横向位移值更大。

(3) 主梁竖向位移。在两种反应谱计算工况下的主梁竖向位移见图7所示。

分析图7可知, 在纵向+竖向和横向+竖向反应谱计算工况下的主梁竖向最大值分别为0.058m和0.055m, 说明主梁竖向位移对地震激励方向不敏感, 主要与结构自重、混凝土收缩徐变和竖向有效预应力有关。

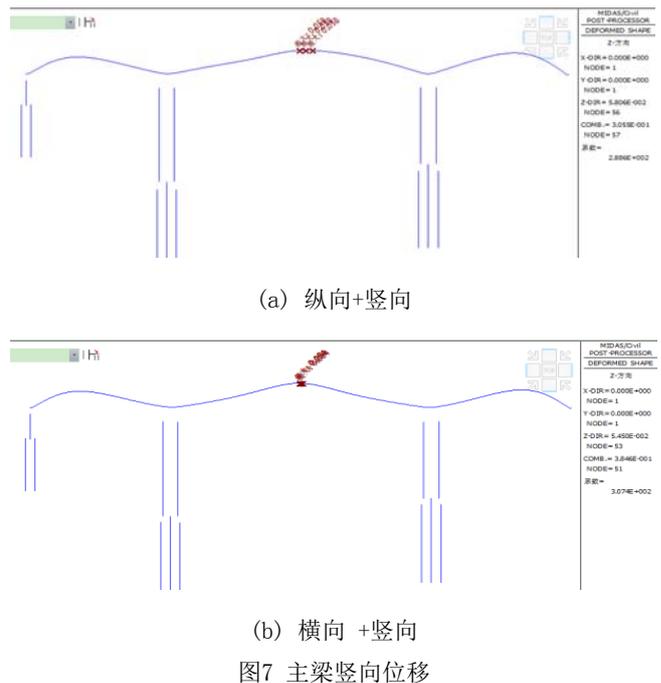
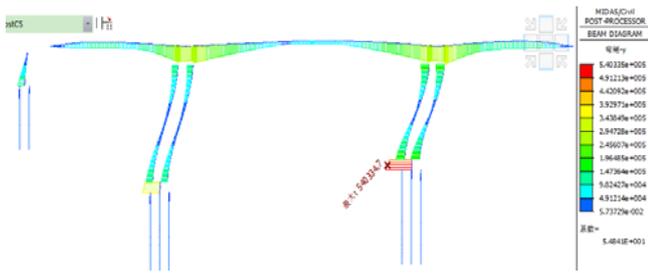
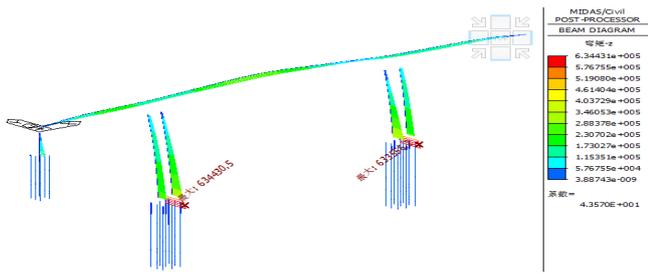


图7 主梁竖向位移

(4) 弯矩。在两种反应谱计算工况下的结构弯矩见图8所示。



(a) 纵向+竖向

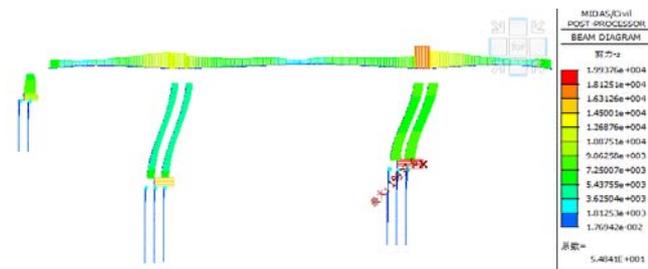


(b) 横向+竖向

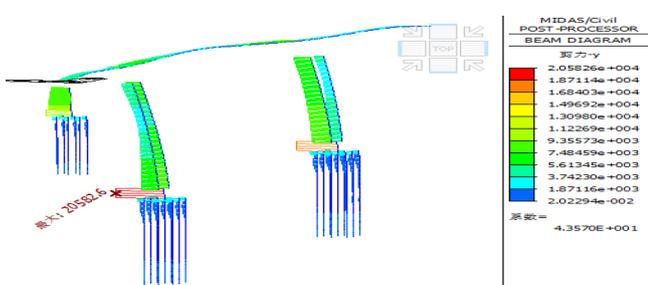
图8 结构弯矩

分析图8可知,在纵向+竖向和横向+竖向反应谱计算工况下的结构弯矩最大值分别为 $5.40E+05\text{kN}\cdot\text{m}$ 和 $6.34E+05\text{kN}\cdot\text{m}$ ,说明在纵向+竖向地震作用下的弯矩更小,而在横向+竖向地震作用下弯矩较大,这是因为该桥为双肢薄壁墩,纵桥向抗推刚度较小,在地震作用下会产生较大变形,消耗一部分地震能量,因此产生的弯矩较小。

(5) 剪力。在两种反应谱计算工况下的结构剪力见图9所示。



(a) 纵向+竖向



(b) 横向+竖向

图9 结构剪力

分析图8可知,在纵向+竖向和横向+竖向反应谱计算工况下

的结构剪力最大值分别为 $1.99E+05\text{kN}$ 和 $2.06E+05\text{kN}$ ,分别发生在3号和2号墩承台底面。

#### 4. 2时程结果分析

(1) 位移响应。在三种时程计算工况下的主梁纵向位移、横向位移和竖向位移分别见图11至图13所示。

分析图11至图13可知:

①主梁纵向、横向和竖向位移最大值分别为 $0.369\text{m}$ 、 $0.408\text{m}$ 和 $0.071\text{m}$ ;②整体分析可知,主梁位移在三条人工合成的地震波下变化趋势基本保持一致。

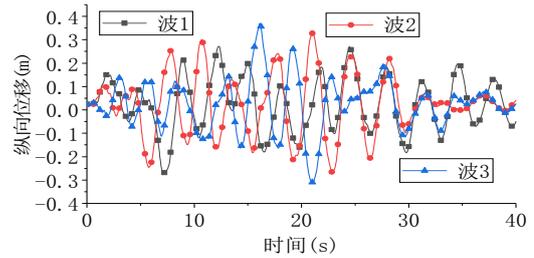


图11 主梁纵向位移

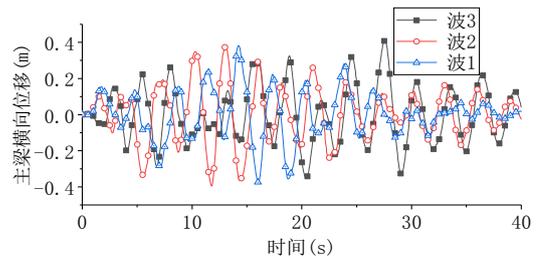


图12 主梁横向位移

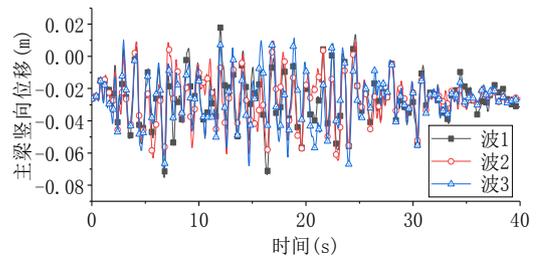


图13 主梁竖向位移

#### (2) 内力响应

在三种时程计算工况下的结构弯矩、剪力和轴力分别见图14至图16所示。

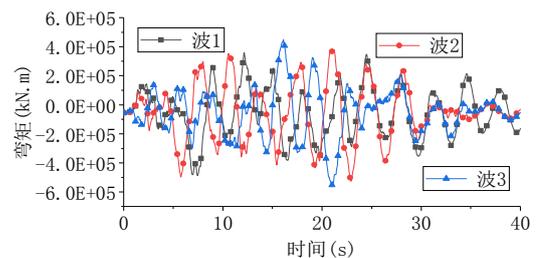


图14 结构弯矩

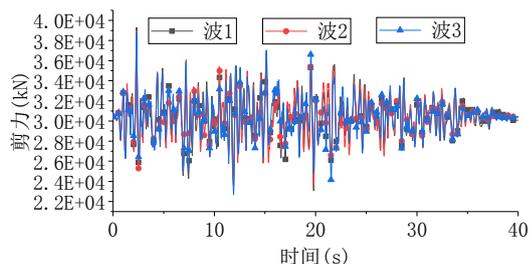


图15 结构剪力

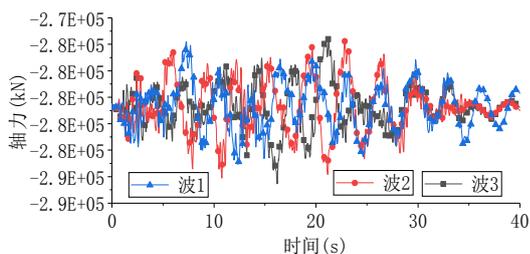


图16 结构轴力

分析图14至图16可知,结构弯矩、剪力和轴力最大值分布为 $5.62E+05\text{kN}\cdot\text{m}$ 、 $3.95E+04\text{kN}$ 和 $2.79E+05\text{kN}$ ,且与地震加速度时程波形相吻合。

## 5 结语

主要结论如下:

(1) 结构一阶振型为纵漂,一阶频率为 $0.3\text{Hz}$ ,有助于消耗纵向地震能量。

(2) 在纵向+竖向和横向+竖向反应谱计算工况下的主梁竖向最大值分别为 $0.058\text{m}$ 和 $0.055\text{m}$ ,说明主梁竖向位移对地震激励方向不敏感。

(3) 在纵向+竖向和横向+竖向反应谱计算工况下的结构弯

矩最大值分别为 $5.40E+05\text{kN}\cdot\text{m}$ 和 $6.34E+05\text{kN}\cdot\text{m}$ ,在纵向+竖向和横向+竖向反应谱计算工况下的结构剪力最大值分别为 $1.99E+05\text{kN}$ 和 $2.06E+05\text{kN}$ ,在纵向+竖向地震作用下的弯矩更小。

(4) 时程计算工况下的位移和内力随时间变化规律与加速度波形基本吻合,且时程计算结果要略大于反应谱计算结果。

## 【参考文献】

- [1]郭红雨,曹学勇.基于延性设计的高烈度区大跨刚构桥减震分析[J].交通科技,2019,(04):14-19.
- [2]解欣.强震区大跨径连续刚构桥超高墩受力特性分析[J].四川建筑,2017,37(02):212-214.
- [3]元兴军,孙庆凯.强震下斜交刚构连续梁桥倒塌特性研究[J].工程抗震与加固改造,2015,37(06):78-85.
- [4]刘文华,鄢芳华.大跨度连续刚构桥梁的地震响应分析[J].公路,2013,(02):107-112.
- [5]代攀,杨涛,胡大琳.高墩大跨曲线连续刚构地震响应分析[J].世界地震工程,2009,25(04):181-187.
- [6]陈晓栋.连续刚构桥考虑约束扭转的动力(地震)响应[J].铁道建筑,2005,(06):5-8.
- [7]张俊生,张祖军.基于虚拟激励法的大跨径连续刚构桥地震作用下力学特征分析[J].公路工程,2022,47(02):20-25+31.
- [8]雷虎军,陈奕涵,孙昱坤.近断层地震作用下高铁连续刚构桥减震控制研究[J/OL].铁道科学与工程学报:1-9[2022-07-03].
- [9]李聪林,户东阳,李冲杰,等.高烈度地震区高墩大跨连续刚构桥的设计关键技术及创新[J].科学技术与工程,2020,20(34):14251-14256.
- [10]张玥,薛磊,陈帅,等.地震作用下高烈度区连续刚构桥参数敏感性分析[J].地震工程学报,2020,42(02):311-317.