

基于 BIM 技术的大跨度桥梁结构抗震仿真分析

安烁骏¹ 龚熊伟¹ 汪志超*

沈阳航空航天大学; 航空宇航学院; 工程训练中心

DOI: 10.12238/ems.v6i10.9295

[摘要] 为研究大跨度桥梁的抗震结构特性, 本文以苏通大桥为例, 应用 BIM 技术对苏通大桥主桥进行参数化建模, 使用 Midas Gen 软件进行地震仿真分析, 输入四种不同地震波, 运用时程分析法, 分析桥梁结构在地震波输入下的应力、弯矩情况, 研究结构应力分布情况及主要变形情况, 探究大跨度桥梁在地震作用下的反应规律, 展现了 BIM 技术在桥梁工程领域中的优势。

[关键词] BIM 技术; 大跨度桥梁; 有限元分析; 时程分析法; 抗震结构; Midas Gen

Seismic Simulation Analysis of Long-Span Bridge Structures Based on BIM Technology

An Shuojun, Gong Xiongwei, WangZhichao

School of Aeronautics and Astronautics, Shenyang Aerospace University

[Abstract] To investigate the seismic structural characteristics of long-span bridges, in this paper we use the Sutong Bridge as a case study. BIM technology is applied to parametrically model the main bridge of the Sutong Bridge. Midas Gen software is utilized for seismic simulation analysis, incorporating four different seismic waves. Time-history analysis method is employed to analyze the stress and bending moment of the bridge structure under seismic wave input and examine the stress distribution and major deformations of the structure. This study explores the response laws of long-span bridges under seismic action. It showcases the advantages of BIM technology in the field of bridge engineering.

[Keywords] BIM technology; long-span bridge; finite element analysis; time-history analysis method; seismic-resistant structure; Midas Gen

引言

大跨度桥梁在工程领域扮演着重要的角色, 其在城市建设、跨海跨海工程等领域的应用价值不言而喻。由于其跨度大, 结构复杂性高等因素影响, 一旦发生地震可能会受到严重破坏, 对交通和人民的生命、财产造成严重影响, 因此大跨度桥梁的抗震设计变得尤为重要。

在传统的桥梁抗震设计中, 设计人员通常依靠二维平面图纸和手工计算来进行手工分析, 这存在着信息不够全面、准确性不高等问题。而随着信息的发展, BIM 技术为桥梁结构分析带来了革命性的变革。^[1] BIM 作为一种数字化建模和协同设计的技术, 可以实现对桥梁结构的精确建模和信息管理, 通过 BIM 技术, 设计人员可以将桥梁结构以三维模型的形式呈现, 其可以准确反应结构的几何形态, 材料特性和荷载情况。BIM 技术的引用为大跨度桥梁抗震结构设计带来了新的思路和方法, 为提升桥梁抗震结构质量提供了有力的支持。

本文以苏通大桥为例, 通过 BIM 技术及使用 Midas Gen 软件进行有限元分析的方法, 分析苏通大桥的结构抗震效果, 体现出 BIM 技术在大跨度桥梁抗震结构设计中有着高建模精度,

数据集成性强和动态仿真能力强等优势。其为桥梁结构的安全平稳运行提供更科学的支持。

1 BIM 技术在大跨度桥梁结构分析中的优势

1.1 三维建模

BIM 技术可以直接展示建筑的几何形状、构建连接关系、材料属性等信息。设计人员可以通过构建建筑信息模型更直观的了解建筑各部分结构数据, 方便了设计人员设计出更合理的建筑结构, 极大提高了建筑结构设计水平, 为建筑工程项目的施工安全及建成后续的使用安全保驾护航。

1.2 协同设计

伴随着社会不断的发展, 我国对大跨度桥梁需求量不断提升, 其工程项目具备广泛性和结构多元性等特点, 使得大跨度桥梁的设计工作难度不断加大。BIM 技术可以实现多个设计团队之间的协同工作, 促进信息共享和团队间沟通, 避免设计冲突和错误, 提高设计一致性和设计效率。协同设计可提升不同设计团队对建筑结构的可视化管理。^[2]

2 建立模型与仿真分析

2.1 求解方法

地震过程中的运动学基本方程可根据达朗贝尔原理 (D'Alembert) 列出:

$$m\ddot{\delta} + C\dot{\delta} + k\delta = -m\ddot{\delta}_g \quad (1)$$

式中, m 为质量; C 为阻尼系数; k 为刚度; δ 为位移函数, $\dot{\delta}$ 和 $\ddot{\delta}$ 分别为对位移函数求导后得到的速度和加速度函数; $\ddot{\delta}_g$ 为加速度时程。^[3]

通过求解此方程即可得到地震时桥梁结构的动力响应。本文运用时程分析法对问题进行求解。

时程分析法的优点是可以模拟计算得到桥梁在地震全过程中的各个时刻的状态, 在线性和非线性分析中都适用, 属于一种精细化分析方法, 可用于复杂大跨度桥梁的模拟计算。

2.2 模型介绍

苏通大桥结构复杂, 为方便针对性地研究问题, 需对桥梁部分结构进行简化建模。

将模型导入 Midas gen 中设定节点单元, 其中斜拉索用桁架单元模拟, 主梁、索塔等结构用梁单元模拟。模型共设定 4915 个节点、4548 个单元, 如图 1 所示。

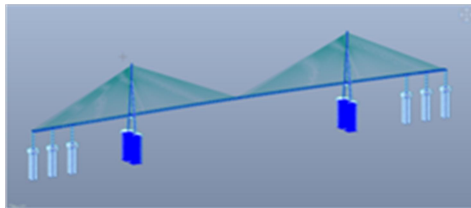


图 1 Midas gen 中模型节点展示

对大桥模拟施加地震波, 本文分别选择三种 EI Centro 波 (下文按顺序分别简称为 EI1、EI2、EI3) 和一种 Taft 波, 四种地震波的名称及参数见表 1。

表 1 各地震波名称及参数

地震波名称	绝对峰值 加速度/g	特征周期 /s
EI Centro Site, 270 Deg	0.3569	0.544
EI Centro Site, 180 Deg	0.2142	0.658
EI Centro Site, Vertical	0.2468	0.265
Taft Lincoln School, 69 Deg	0.1557	0.537

四种地震波的时程曲线见图 2。

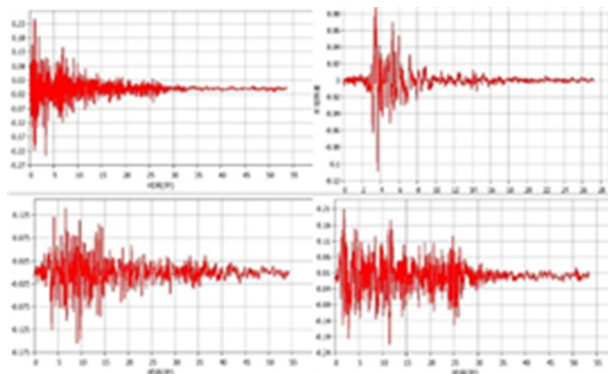


图 2 四种地震波时程曲线 (左上至右下依次为 EI1、EI2、EI3、Taft)

2.3 仿真分析

2.3.1 应力分析

将 EI1 波输入桥梁模型, 进行动力时程分析, 得到梁单元最大应力图像见图 3, 最大拉索应力图像见图 4。

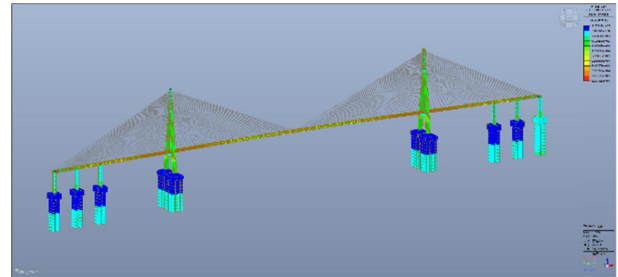


图 3 EI1 地震波输入下的梁单元应力图

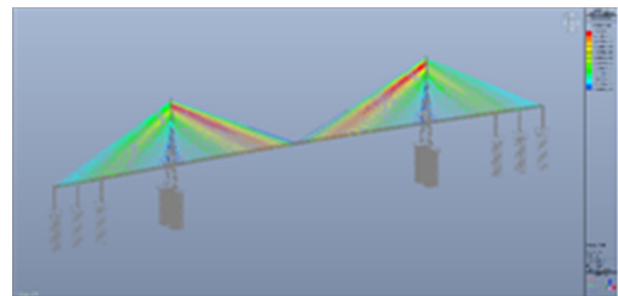


图 4 EI1 地震波输入下的拉索单元应力图

从 EI1 波输入时的梁单元应力图及拉索单元应力图可以看出, 主梁主要受斜拉索施加拉力, 其应力分布较为不均, 在跨中处的应力较大, 在塔梁相交处的应力最大; 索塔亦受斜拉索施加拉力, 其应力分布较为均匀; 主墩为主要承重结构, 载荷经斜拉索传导至索塔, 再由索塔传导至主墩, 故主墩与主梁、索塔不同, 受压力; 拉索在靠近跨中处应力最大, 在靠近索塔处应力最小。其余三种地震波输入时的应力图像与 EI1 波的总体趋势基本一致, 具体分析结果见下表 2。

表 2 各地震波输入下主梁与拉索最大应力值及截面位置

地震波	主梁最大应力值 (kN/m^2)	截面位置	拉索最大应力值 (kN/m^2)
EI1	50072.5	塔梁相交处	444345
EI2	48441.2	塔梁相交处	456228
EI3	49560.9	塔梁相交处	448013
Taft	49303.6	塔梁相交处	449573

由上表可知, 不同地震波输入时主梁及拉索的最大应力值有一定差异, 但数值相差不大。主梁应力主要集中于跨中及塔梁相交处, 应对这两处进行减振设计或加固。拉索应力主要集中于靠近跨中处, 而靠近索塔处应力值较小, 故应对不同位置的拉索设置不同的截面大小, 以提高其强度。

2.3.2 弯矩分析

桥梁结构在不同方向地震波输入下, 将发生不同方向的形变, 下文将研究地震波顺桥向及横桥向输入时主梁 s 与索塔的弯矩分布及形变规律。

将 EI1 波顺桥向输入得到梁单元弯矩 M_y 等值线图 5, 横桥向输入得到弯矩 M_z 等值线图 6。

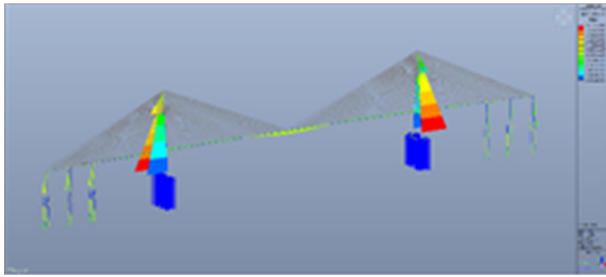


图5 EI1波顺桥向输入时梁单元弯矩 My 图

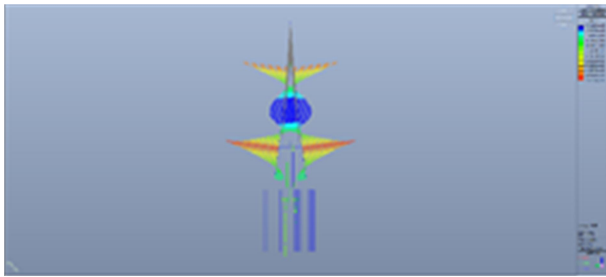


图6 EI1波横桥向输入时索塔弯矩 Mz 图

从图5可以看出,桥梁结构在顺桥向地震波输入下,其形变主要表现为索塔的纵向弯曲,以及主梁的竖向弯曲及纵飘。主梁的弯矩与索塔相比较小,在跨中处的弯矩最大;左右索塔的弯矩分布沿跨中中心对称,且最大(正值)和最小(负值)弯矩值均出现在塔底处。

不同地震波输入下的弯矩分布趋势大致相同,弯矩最大值为 $2143730 \text{ kN}\cdot\text{m}$ (EI2波输入下),最小值为 $-1990190 \text{ kN}\cdot\text{m}$ (EI1波输入下)。下表3为四种地震波顺桥向输入下索塔弯矩的最值数据。

表3 各地震波顺桥向输入下的索塔弯矩最值

地震波	最大值 ($\text{kN}\cdot\text{m}$)	最小值 ($\text{kN}\cdot\text{m}$)
EI1	2088260	-1990190
EI2	2237530	-1878030
EI3	2137030	-1951990
Taft	2143730	-1947710

根据图6可以看出,桥梁结构在横桥向地震波输入下,形变主要表现为索塔和主梁的横向弯曲。索塔的左右两侧弯矩沿中线对称分布,弯矩有两处极小值(负值),一处出现在索塔顶部截面变化处,另一处出现在塔底,其中,塔底处为弯矩最小值(负值),弯矩最大值(正值)出现在索塔中部。

不同地震波输入下,索塔弯矩最大值为 $301683 \text{ kN}\cdot\text{m}$,最小值为 $-571816 \text{ kN}\cdot\text{m}$ 。四种地震波输入下的详细索塔弯矩最值数据见下表。

表4 各地震波横桥向输入下的索塔弯矩最值

地震波	最大值 ($\text{kN}\cdot\text{m}$)	最小值 ($\text{kN}\cdot\text{m}$)
EI1	301682	-571812
EI2	301683	-571809
EI3	301683	-571813
Taft	301683	-571816

总体而言,地震波顺桥向输入下,形变主要为索塔的纵向弯曲和主梁的竖向弯曲及纵飘;横桥向输入下,形变主要为索塔和主梁的横向弯曲。桥梁结构的地震反应依赖于地震波的选择,不同地震波输入下,弯矩数值存在差异,但总体趋势一致。主梁的弯矩最大值出现在跨中,索塔的弯矩绝对最大值出现在塔底。

3 结论

结合苏通大桥工程背景,应用BIM技术对大跨度桥梁结构进行参数化设计及可视化分析研究,分析在苏通大桥地震效果作用下的其主体部分的应力及弯矩,得出结论如下:

(1) 应用BIM技术仿真分析结果与其他相关文献^[6-8]进行对比,结果相似可以说明,BIM技术的合理性和实用性,为大跨度桥梁工程提供了更好的技术保障。

(2) 本文共输入了四种不同地震波进行时程分析。分析结果表明,不同地震波输入下桥梁结构的应力及弯矩的最大数值有一定差异,结果具有一定离散性,但总体分布趋势一致。因此在进行抗震设计时,可先对模型输入工程常用地震波进行分析,根据分析结果初步拟定或检验设计方案。

(3) 不同方向地震波输入对桥梁结构的产生的影响不同。地震波顺桥向输入时,桥梁形变主要表现为索塔的纵向弯曲,以及主梁的竖向弯曲及纵飘;横桥向输入时,形变主要为索塔和主梁的横向弯曲。索塔受地震动影响较大,易发生形变,弯矩数值最大处位于塔底,进行抗震设计时应优先考虑索塔的振动控制;主梁受顺桥向地震动影响较大,易产生竖向弯曲,跨中及塔梁相交处的应力较大,应考虑对这两处进行减振设计或增大结构强度。

[参考文献]

- [1]肖春红,朱明,袁松.公路常规桥梁BIM模型结构化组织方法研究[J].公路交通科技,2023,40(1):106-112. DOI: 10.3969/j.issn.1002-0268.2023.01.012.
- [2]朱旭,康婷.BIM技术在建筑设计中的应用及推广策略[J].砖瓦世界,2020(4):48. DOI: 10.3969/j.issn.1002-9885.2020.04.045.
- [3]王麒,于建立,郑亚林.基于Midas的桥梁不同抗震分析计算方法的对比研究[J].河南科技,2023,42(11):78-81. DOI: 10.19968/j.cnki.hnkj.1003-5168.2023.11.016.
- [4]林家浩,张亚辉,赵岩.大跨度结构抗震分析方法及近期进展[J].力学进展,2001,(03):350-360.
- [5]彭德运,彭晔丹.苏通大桥主桥设计与施工[J].现代交通技术,2007,(04):34-38.
- [6]张太玥,温巍,杨化奎.基于BIM技术的苏通大桥远程监测预警技术研究[J].工程技术研究,2023,8(22):30-33. DOI: 10.19537/j.cnki.2096-2789.2023.22.009.
- [7]董金武.特大跨度斜拉桥地震反应分析与振动控制[D].哈尔滨工业大学,2015.
- [8]张永奎.基于Midas Civil的桥梁下部构造抗震计算分析及应用[J].科学技术创新,2023,(13):205-208.