

摩擦摆支座曲面半径对连续梁桥抗震性能的影响分析

游科华

(南昌市城市规划设计研究总院集团有限公司, 江西 南昌 330000)

摘要: 为探究摩擦摆支座曲面半径对连续梁桥地震响应的影响,以某一级公路上的(83+143+83)m连续梁桥为基础,建立有限元模型,设置了5种不同曲面半径支座方案,分析比较了不同曲面半径下桥梁动力特性,纵桥向和横桥向桥墩内力及支座位移等地震响应结果。研究表明:采用较大曲面半径摩擦摆支座可以适当地减少下部结构的内力,采用较小曲面半径摩擦摆支座可以有效地减少墩梁之间滑动位移。因此实际工程中需在下部结构受力和墩梁位移之间进行适当平衡以满足桥梁实际抗震需求。

关键词: 摩擦摆支座;连续梁;减隔震

中图分类号: U443.36

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2025)05-0116-04

Analysis on Influence of Curved Surface Radius of Friction Pendulum Support on Seismic Performance of Continuous Beam Bridge

YOU Kehua

(Nanchang General Institute of Urban Planning and Design Group Co., Ltd., Nanchang 330000, China)

Abstract: To explore the influence of the curved surface radius of friction pendulum support on the seismic response of continuous beam bridge, based on a continuous beam bridge with a span of (83+143+83) m on a first-class highway, a finite element model is established. Five different support schemes with different surface radius are set up. The seismic response results of dynamic characteristics, longitudinal and transverse pier internal forces and support displacements of bridges under different curved surface radius are analyzed and compared. The study shows that using friction pendulum supports with a larger curved surface radius can appropriately reduce the internal forces of the substructure, while using supports with a smaller curved surface radius can effectively reduce the sliding displacement between the piers and the beams. Therefore, in practical engineering, an appropriate balance between the forces on the substructure and the displacement between the piers and beams is needed to meet the actual seismic requirements of the bridge.

Keywords: friction pendulum support; continuous beam; seismic isolation

0 引言

为减小收缩徐变以及温度等作用的影响,大跨度连续梁纵向一般仅设置一个固定桥墩。因而在地震下,固定墩需承受较大的地震荷载^[1]。抗震设计时,可以通过设置减隔震支座,减少传递给下部结构的荷载。摩擦摆支座由上下支座板、金属球冠、耐磨板、密封环、剪板及锚固件等构件组成^[2]。强震发生时,支座抗震销可以发生剪断,允许支座自由滑动,是一种良好的减隔震装置。由于其具有位移大、承载力高、耐久性好、隔震效果好以及自复位等优点,

目前在工程上得到较为广泛的应用^[3]。

本文以某一级公路上的(83+143+83)m连续梁为例(见图1),研究摩擦摆支座曲面半径取值对大跨连续梁桥抗震性能的影响。其成果可为类似桥梁抗震设计提供参考。

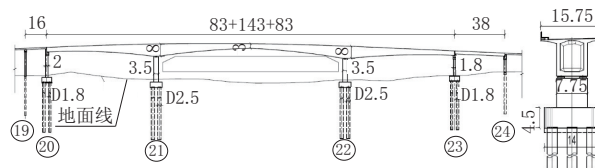


图1 桥型立面及平面布置示意图(单位:m)

1 工程概况

某桥梁上部结构为变截面混凝土连续箱梁,跨径组合(83+143+83)m,单幅桥宽15.75m,如图1所示。

收稿日期: 2024-10-24

作者简介: 游科华(1990—),男,硕士,高级工程师,从事桥梁设计研究工作。

主桥两侧分别为 16 m 跨空心板梁和 38 m 跨小箱梁。主桥中墩处梁高 8.0 m,边墩及跨中处梁高 3.0 m,横断面为单箱单室直腹板箱梁。主墩下部结构采用矩形墩,墩高 4.26 m,截面尺寸 7.75 m(横)×3.5 m(纵),承台厚 4.5 m,平面尺寸 14 m(横)×9.0 m(纵),承台下设 6×2.5 m 直径桩基。

2 有限元模型及地震动参数

2.1 有限元模型

利用 MIDAS 建立桥梁抗震分析模型,如图 2 所示。将主桥和两侧引桥一并建模以考虑相邻联之间的影响。采用程序中梁单元模拟桩基础、桥墩以及主梁,在桩周建立土弹簧以模拟桩-土相互作用,土弹簧的刚度通过 m 法^[4]确定,采用滞后单元模拟摩擦摆支座,其本构关系如图 3 所示^[5-6]。

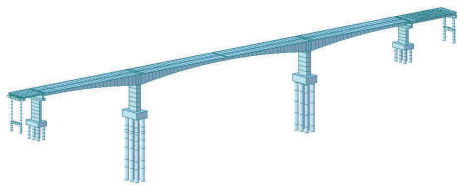


图2 计算模型

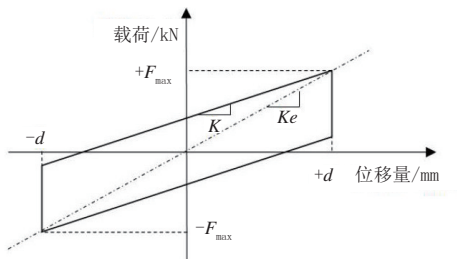


图3 摩擦摆支座水平力滞回曲线图

初始刚度 $K_0 = \frac{\mu V}{d_0}$, 屈服后刚度 $K = \frac{V}{R}$, 等效刚度为 $K_e = V \times \left(\frac{1}{R} + \frac{\mu}{d} \right)$, 等效阻尼比为:

$$\xi_{eff} = \frac{2\mu}{\pi(d/R + \mu)}$$

式中: V 为恒载下支座竖向力, kN; R 为滑面的半径, m; d 为水平位移, mm; μ 为滑动摩擦系数, 该工程取 0.03; d_0 为支座屈服位移, 取 0.002 m。

2.2 地震输入

根据桥位处地震安全性评价报告, 该桥梁场地类别为 II 类, 设计加速度反应谱采用以下形式确定:

$$S_a(T) = \begin{cases} S_{Amax}(0.45 + 5.5T) & 0.04s \leq T < 0.1s \\ S_{Amax} & 0.1s \leq T < T_g \\ S_{Amax}(\frac{T_g}{T}) & T_g \leq T \leq 8.0s \end{cases}$$

5% 阻尼比反应谱特征参数取值如表 1 所列。

表 1 设计加速度反应谱参数取值表

特征参数	100 a 63%	50 a 2.5%
S_{Amax}/g	0.146	0.453
T_g/s	0.42	0.47
γ	1.00	1.00

地震加速反应谱见图 4 所示。

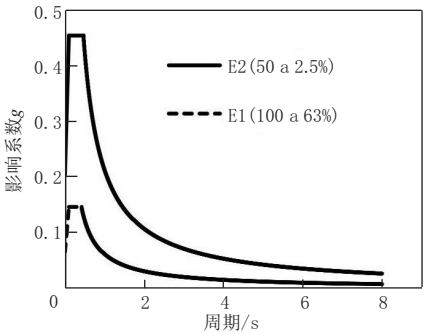


图4 地震加速度反应谱

在强震下, 摩擦摆支路座抗震销剪断, 支座力学性能为非线性, 地震分析采用非线性时程分析, 加速度时程采用对应于 50 a 2.5% 的加速度时程, 如图 5 所示。

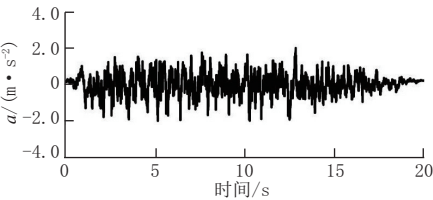


图5 地震加速度时程曲线图

3 摩擦摆支座参数分析

主桥支座型号选择由静力工况确定, 边、中支座吨位分别采用 6、50 MN。在确定了支座吨位后, 选择何种支座滑面半径对地震下桥梁的受力有一定影响。本文通过设定不同的参数组合, 研究摩擦摆支座曲面半径对大跨连续梁桥抗震性能的影响。

根据边支座及中支座型号, 选定了五种不同曲面半径的支座方案, 如表 2 所列。其中方案五曲面半径取无穷大, 对应着常规的球钢支座, 以此作为其余摩擦摆支座的参考。

3.1 不同曲面半径下结构动力特性

通过计算, 当不考虑支座抗震销剪断时, 桥梁第一阶振型为主梁一阶竖弯, 对应的振型周期为 1.50 s, 以摩擦摆支座抗震销剪断后的等效刚度计算桥梁的动力特性, 计算的振型周期结果如表 3 所列。由此可以看出支座抗震销剪断后能够明显延长结构的周期, 第一阶振型由主梁竖向振动变为主梁纵向振动, 且振动周期均在 3.2 s 以上, 具有很好的隔震效果。

从各方案的对比来看,随着支座曲面半径增大,支座等效刚度减小,桥梁同阶振型的周期随之增大。且采用摩擦摆支座的桥梁振型周期均小于采用不具备屈后刚度的球钢支座的振型周期。

表2 不同曲面半径下支座位学参数表

工况	支座位置	型号/MN	恒载反力/kN	半径/m	摩擦系数	等效刚度/(kN·m ⁻¹)	初始刚度/(kN·m ⁻¹)	屈服刚度/(kN·m ⁻¹)
方案一	边支座	6	3 337	2.3	0.03	2 118	50 055	14 51
	中支座	50	36 547	5	0.03	14 619	548 205	7 309
方案二	边支座	6	3 337	3	0.03	1 780	50 055	1 112
	中支座	50	36 547	6	0.03	13 401	548 205	6 091
方案三	边支座	6	3 337	4	0.03	1 502	50 055	834
	中支座	50	36 547	7.5	0.03	12 182	548 205	4 873
方案四	边支座	6	3 337	5	0.03	1 335	50 055	667
	中支座	50	36 547	9	0.03	11 370	548 205	4 061
方案五	边支座	6	3 337	∞	0.03	667	50 055	0
	中支座	50	36 547	∞	0.03	7 309	548 205	0

表3 不同曲面半径下桥梁前五阶振型周期表

振型顺序	振型描述	方案一	方案二	方案三	方案四	方案五
		周期/s	周期/s	周期/s	周期/s	周期/s
1	主梁一阶纵向振动	3.31	3.45	3.62	3.74	4.62
2	主梁一阶对称横向振动	3.24	3.38	3.56	3.71	4.55
3	主梁一阶反对称横向振动	3.16	3.35	3.55	3.67	4.77
4	主梁一阶横弯	1.76	1.79	1.82	1.83	1.9
5	主梁的一阶竖弯	1.53	1.53	1.53	1.53	1.53

3.2 不同曲面半径下结构地震响应

在计算桥梁地震响应时考虑纵、横向地震输入。纵向桥向地震作用下不同曲面半径支座方案下桥墩墩底弯矩及剪力如图6所示。由图可知,过渡墩及主墩随着支座曲面半径的减小,墩底弯矩及剪力均呈现增大的趋势,相较于方案五(普通球钢支座)而言,过渡墩和主墩墩底弯矩最大分别增大了7.9%和8.7%,墩底剪力最大分别增大了11.24%和3.2%。

横桥向地震作用下不同曲面半径支座方案下桥墩墩底弯矩及剪力如图7所示。由图7可知,过渡墩及主墩随着支座曲面半径的减小,墩底弯矩及剪力均呈现增大的趋势。相较于方案五(普通球钢支座)而言,过渡墩和主墩墩底弯矩最大分别增大了11.5%和13.6%,墩底剪力最大分别增大了7.9%和10.9%。

综合纵横向地震的数据结果可以发现,工程中采用较大曲面半径摩擦摆支座可以适当地减少下部结构的内力。

纵向桥向地震作用下不同曲面半径支座方案下各桥墩支座位移如图8所示。由图可知,各桥墩随着支座曲面半径的减小,支座位移呈现减少的趋势,相

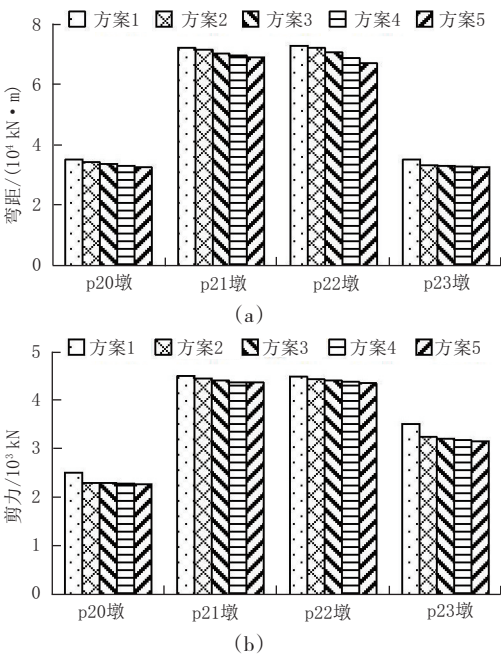


图6 纵桥向地震作用下桥墩内力响应图

较于方案五(普通球钢支座)而言,过渡墩和主墩支座位移最大分别减小了46.6%和53.8%。

横桥向地震作用下不同曲面半径支座方案下各桥墩支座位移如图9所示。由图可知,各桥墩随着支座曲面半径的减小,支座位移呈现减少的趋势,相较于方案五(普通球钢支座)而言,过渡墩和主墩支座位移最大分别减小了39.5%和46.3%。

综合纵横向地震的数据结果可以发现,由于摩擦摆支座具备屈后刚度,其支座位移明显小于不具备屈后刚度的球钢支座。工程中采用较小曲面半径摩擦摆支座可以有效地减少支座位移,减少墩梁之间的滑动。

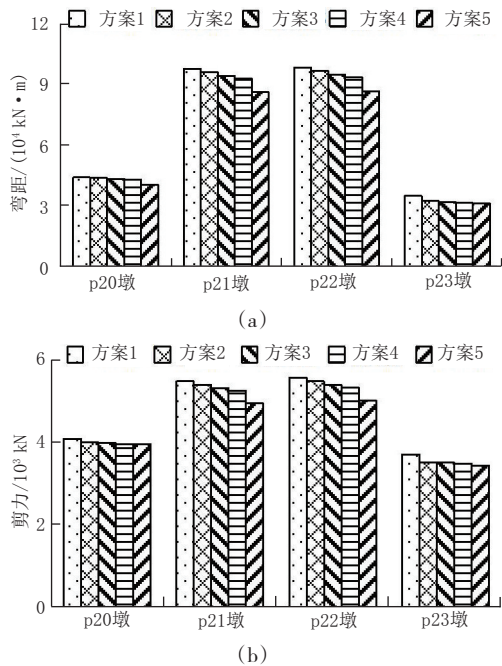


图7 横桥向地震作用下桥墩内力响应图

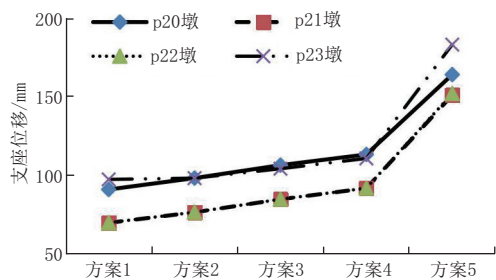


图8 纵桥向地震作用支座纵向位移图

4 结 语

本文以某一级公路上的(83+143+83)m连续梁为例,研究了不同曲面半径摩擦摆支座对桥梁动力特性、桥墩地震响应、支座位移的影响,得出以下结论。

(1)摩擦摆支座抗震销剪断后能够明显延长结

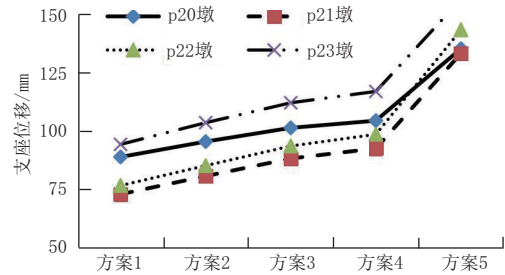


图9 横桥向地震作用支座横向位移图

构的周期,体现了其良好的隔震性能。

(2)摩擦摆支座曲面半径影响桥梁振动特性,曲面半径增大,支座等效刚度减小,桥梁同阶振型的周期随之增大。

(3)摩擦摆支座抗震销剪断后沿曲面滑动,具有一定的复位刚度。故此地震作用下,其支座位移明显小于不具备复位刚度的球钢支座。

(4)大曲面半径摩擦摆支座可以适当地减少下部结构的内力,小曲面半径摩擦摆支座可以有效地减少支座位移,减少墩梁之间的滑动。实际工程中需在下部结构受力和墩梁位移之间进行适当平衡以满足桥梁抗震需求。

参考文献:

- [1] 王常峰.桥梁结构非线性地震反应研究(支座摩擦·限位装置·基础非线性)[D].兰州:兰州交通大学,2010.
- [2] 何宇森.基于摩擦摆支座的城巿高架桥隔震性能研究[D].郑州:华北水利水电大学,2019.
- [3] 李哲,张光伟.高速公路梁桥抗震支座减震效果对比分析[J].四川建筑科学研究,2021,47(5):10-15.
- [4] JTG/T 2231-01-2020,公路桥梁抗震设计规范[S].
- [5] CJJ 166-2011,城市桥梁抗震设计规范[S].
- [6] JT/T 852-2013,公路桥梁摩擦摆式减隔震支座[S].

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

官方网址: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:roadbridgeflood@163.com

