

车辆荷载作用下曲线桥桥墩静力性能研究

彭世超

(中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津市 300381)

摘要: 曲线匝道桥作为高架桥的一部分, 经受着巨大车流量的考验, 其桥墩静力性能在车辆荷载长期作用下会不断变化, 最不利位置可能会发生破坏。结合三明南站站前高架进口匝道桥, 通过理论分析, 研究了不同纵向坡度和行车位置对曲线匝道桥桥墩静力性能的影响。结果表明: 主梁纵向坡度越大, 随着车速增大, 桥墩应力增大较快, 在设计过程中应合理控制主梁坡度; 随着车速的增大, 桥墩变形值变化极小, 可以忽略, 车速不变时, 汽车于内车道行驶的桥墩应力值和变形值最小, 运营时应指示车辆靠内行驶。

关键词: 车辆荷载; 曲线桥; 桥墩; 静力性能

中图分类号: U441.2

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2025)01-0106-04

Study on Static Performance of Curved Bridge Piers under Vehicle Loads

PENG Shichao

(North China Institute of Municipal Engineering Design and Research Co., Ltd., Tianjin 300381, China)

Abstract: As a part of the elevated bridge, the curved ramp bridge is subjected to the test of huge traffic flow. The static performance of its piers will constantly change under long-term vehicle loads, and the most unfavorable position may be damaged. Combined with the elevated entrance ramp bridge in front of Sanming South Station, and through the theoretical analysis, the influence of different longitudinal slopes and driving positions on the static performance of curved ramp bridge piers is studied. The results show that the greater the longitudinal slope of the girder, the faster the pier stress increases with the increase of vehicle speed. In the design process, the slope of the girder should be controlled reasonably. With the increase of vehicle speed, the deformation value of pier changes very little and can be ignored. When the vehicle speed remains constant, the stress value and deformation value of the pier where the vehicle runs in the inner lane are the smallest, and the vehicle should be instructed to run in the inner lane during operation.

Keywords: vehicle load; curved bridge; bridge pier; static performance

0 引言

随着市政道路的不断发展, 曲线匝道桥作为高架桥的一部分同样也经受着更多的考验, 而且匝道桥多为曲线桥, 受力情况较直线桥更为复杂, 作为匝道桥支撑的桥墩更值得被关注。

在曲线桥车桥耦合振动方面, 李喜梅等^[1]得出运用经典最优控制和序列最优控制下的隔震曲线梁桥各个方向的动力响应都有明显减小, 且结构动力响应的非平稳特性也得到了明显的抑制。孙全利^[2]通过分析不同影响因素下的箱梁内外腹板及内外侧支座受力, 得出了影响曲线梁桥空间受力的主要因素, 对同类桥梁的设计有一定的指导意义。张子韩等^[3-4]进一步考虑了汽车悬架的刚度非线性特性、汽车变

速行驶、曲线桥表面不平顺, 应用数值积分方法, 分析了不同工况下曲线桥和汽车的动力学响应, 揭示了桥梁和汽车位移、加速度等指标的变化规律。Shen等^[5]基于非惯性参考系, 采用四自由度的车辆模型, 建立空间曲梁的车桥耦合动力系统模型。考虑到桥梁两支点非均匀地震激励下的车桥耦合振动特性, 基于哈密顿原理建立了三维空间曲线-车桥耦合动力控制方程。贺熏陶等^[6]得出行车速度对桥梁径向振动响应影响最大, 扭转振动次之, 竖向振动最小; 车道偏心越大, 桥梁振动响应越大的结论。

在曲线桥倾覆方面, 赵利强等^[7]分析了曲率半径对现行规范倾覆稳定性的影响, 为曲线柱墩桥梁倾覆稳定系数的计算提供了理论依据和指导。宋福春等^[8]对车辆超载及支座预偏心大小等影响因素的分析, 根据分析结果, 得出了一定的结论, 对曲线桥的设计等有一定的借鉴意义。王刚^[9]得出曲线桥的抗倾覆稳定性随着曲线半径在一定范围内增大逐渐减

收稿日期: 2024-03-20

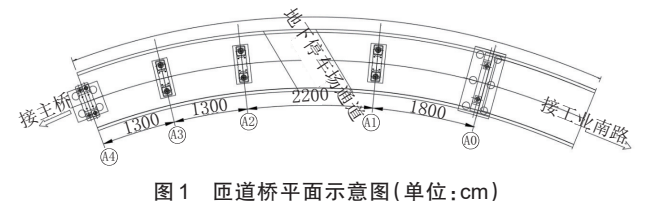
作者简介: 彭世超(1976—), 男, 本科, 高级工程师, 从事桥梁设计工作。

小,当半径较大时抗倾覆性反而大幅提升;曲线桥的抗倾覆性能基本不会受桥台双支座间距影响,而设置合理的中墩单支座偏心距能够有效增强抗倾覆稳定性;曲线桥的抗倾覆性能随着边中跨比的减小逐渐减小。Huang 等^[10]建立了有限元模型,分析了超载、重车偏心荷载、支座间距和压力对桥梁抗倾覆性能的影响,得到了当车辆行驶在弯道桥外时,桥梁倾覆的风险增加;当偏心驱动的重卡与路缘石之间的距离变小时,最小承载反力明显下降;支座附近的压力可以有效提高抗倾覆的安全性能的结论。

国内外学者对曲线桥车桥耦合振动分析与曲线桥倾覆分析两方面已经取得了大量的研究成果,但是很少考虑到曲线桥桥墩受力性能的影响,尤其是匝道这种坡度较大的曲线桥,其桥墩所受的影响更不容忽视。因此,本文结合三明南站站前高架进口匝道桥,考虑在不同坡度、车速和行车位置影响下,开展基于车辆荷载的曲线匝道桥桥墩静力性能研究。

1 工程概况与模型建立

三明南站片区枢纽工程进口匝道桥梁在曲线上,曲线的曲率半径为 105 m,匝道桥的布跨,考虑到桥下通道平面及地下停车场通道位置确定,匝道桥分为 4 跨,共一联,跨径设置由辅路到高架桥平台为 (18+22+13+13) m,匝道桥采用单相双室截面,梁高 1.5 m,匝道与主桥相接位置,匝道端横梁变高为 1.9 m,与主桥一致,桥面总宽 10 m。匝道桥横坡最大控制坡度 1.5%。弧线位置按照远弧段高、近弧端低的原则,在弧线中央为 1.5% 的最大横坡。匝道桥主梁采用 C40 混凝土浇筑,桥墩与桥台采用 C35 混凝土。图 1 为匝道桥平面布置图。



采用有限元软件 MIDAS Civil 建立全桥模型,匝道桥均以梁单元模拟,包括主梁与桥墩,共 137 个单元,148 个节点,通过施加时程函数来模拟车辆速度,桥墩与大地采用固定连接,桥墩与匝道桥之间采用隔震支座进行模拟;荷载工况仅考虑匝道桥自重及车辆移动荷载。所建几何模型如图 2 所示。

带有纵向坡度的桥梁,桥墩受力情况较为复杂,

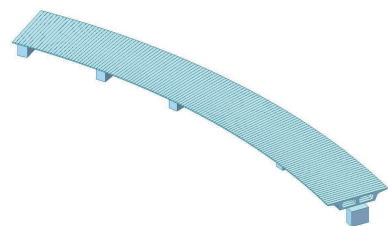


图 2 几何模型

受汽车冲击力作用,会产生垂直于桥墩的水平分力,其受力简图如图 3 所示,其中 $F_{\text{冲}}$ 为车辆冲击力, h 为桥墩高, α 为梁体与水平面的夹角,桥墩受车辆冲击力荷载引起的弯矩为

$$M = F_{\text{冲}} \times \sin \alpha \times h$$

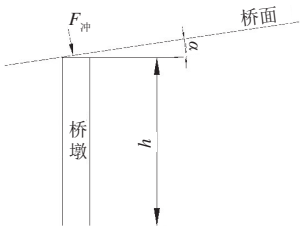


图 3 桥墩受力简图

车辆荷载采用《城市桥梁设计规范》(CJJ 11—2011)中的车辆荷载标准施加。汽车冲击系数利用 MIDAS Civil 中特征值分析计算,分析类型为特征值向量-Lanczos,计算结果为一阶振型下特征值为 0.48,即汽车冲击系数。汽车离心力经计算后按照水平方向的单元荷载施加在桥梁单元中线上,方向为由圆心向外,如图 4 所示。

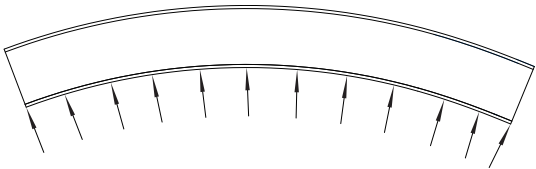


图 4 汽车离心力图示

2 车辆荷载下桥墩的力学性能分析

2.1 纵向坡度的影响

通过有限元软件模拟计算,探究曲线桥主梁坡度为 5%~7% 时主梁上车辆行车时速为 14 ~26 km/h 的桥墩应力与变形情况,结果如图 5 和图 6 所示。

由图 5 和图 6 分析可知:

(1)不同主梁坡度下,桥墩应力值均随着车速的增大而增大。

(2)当主梁上车辆车速相同时,主梁坡度为 7% 时的桥墩应力值最大;相同车速下不同坡度的主梁桥墩应力差值最大为 0.011 MPa。

(3)当坡度为 7%,车速处于 24 ~26 km/h 时,桥墩

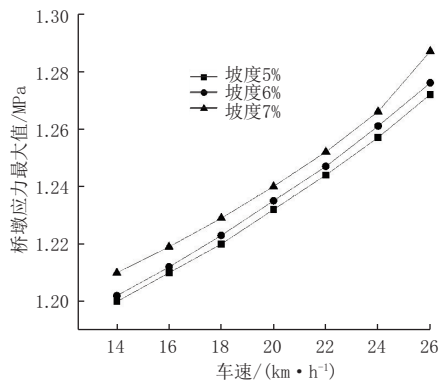


图5 不同坡度下桥墩应力曲线

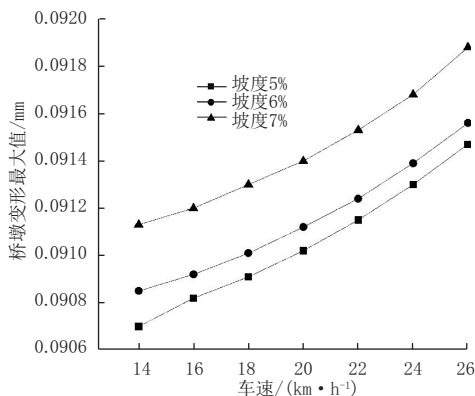


图6 不同坡度下桥墩变形曲线

应力值变化明显。

(4)不同主梁坡度下,桥墩变形值均随着车速的增大而增大。其中,主梁坡度为5%时,桥墩变形趋势为先增大后逐渐平缓。

(5)当主梁上车辆车速相同时,主梁坡度为7%时的桥墩变形值最大。当车速为14 km/h时,不同坡度下桥墩最大变形差值为0.000 28 mm。车速为26 km/h时,不同坡度下桥墩最大变形差值为0.000 32 mm。随着速度的增加,不同坡度下桥墩变形差值也在逐渐增加。

2.2 车道位置的影响

探究曲线匝道桥并行行车数量为1且处于内车道、中间车道和外车道三种不同行车位置时主梁上车辆行车时速为14~26 km/h的桥墩应力与变形情况,结果如图7和图8所示。

由图7和图8分析可知:

(1)当汽车处于不同车道,桥墩应力值均随着车速的增大而增大,应力值增长率变化情况均为逐渐增大,但变化较小。

(2)当主梁上车辆车速相同时,当车辆处于外车道时的桥墩应力值和变形值均最大,车辆处于内车道时的桥墩应力值和变形值均最小。

(3)不同车速下,车辆处于外车道与中间车道的

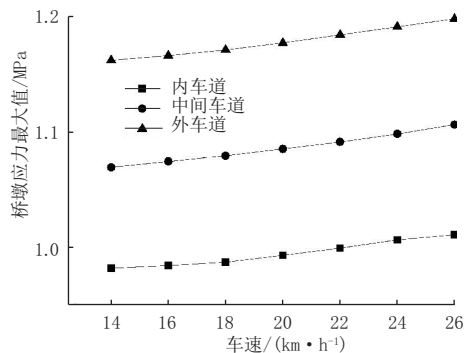


图7 不同行车位置下桥墩应力曲线

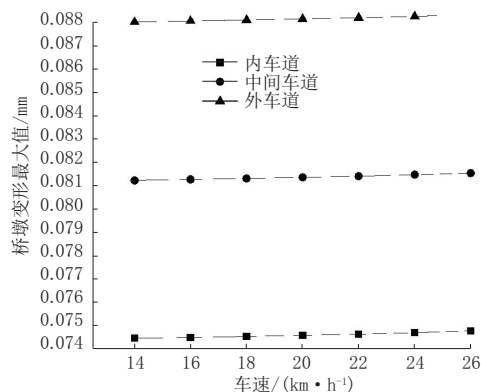


图8 不同行车位置下桥墩变形曲线

桥墩应力差值相同;车辆处于中间车道与内车道的桥墩应力差值接近相同;车速不变时,车辆处于外车道与中间车道的桥墩应力差值和车辆处于中间车道与内车道的桥墩应力差值趋于相等。

(4)当汽车处于主梁上不同车道,桥墩变形值均随着车速的增大而增大,变形增长率极小,可以忽略。

(5)不同车速下,主梁上车辆行驶时处于外车道与中间车道的桥墩变形值相等。车辆处于中间车道与内车道的桥墩变形差值相等。车速不变时,车辆处于外车道与中间车道的桥墩变形差值和车辆处于中间车道与内车道的桥墩变形差值相等。

3 结 语

通过对曲线桥桥墩在不同坡度、不同车速和不同车道位置下的应力和变形情况进行分析,得出结论:

(1)不同主梁纵向坡度下,桥墩应力值和变形值均随着车速的增大而增大,当坡度越大、速度越大时,桥墩应力及变形增大越明显。因此,在设计过程中应控制主梁坡度,并设置相应限速以减小对桥墩应力及变形的影响。

(2)汽车行车位置不变时,桥墩应力值和变形值

均随着车速的增大而增大,随着车速的增大,桥墩变形值变化极小,可以忽略;车速不变时,汽车于内车道行驶的桥墩应力值和变形值最小。因此,运营时应指示车辆靠内行驶。

参考文献:

- [1] 李喜梅,王建成,母渤海.多维非平稳随机激励下隔震曲线梁桥的非线性振动控制[J].振动与冲击,2022,41(12):67-74,187.
- [2] 孙全利.长联大跨曲线梁桥空间受力分析[J].城市道桥与防洪,2021(8):261-265.
- [3] 罗浩.公路曲线连续梁桥车桥耦合振动响应研究[D].上海:华东交通大学,2020.
- [4] 张子韩,谈世琪,刘焱林,等.变速汽车-曲线桥耦合系统动力学行为研究[C]//第十八届全国非线性振动暨第十五届全国非线性动力学和运动稳定性学术会议(NVND2021)摘要集.北京:中国力学学会动力学与控制专业委员会,2021:262.
- [5] Shen J, Wu L. Vehicle-bridge coupling vibration of curved beam bridge under earthquake excitation[J]. IOP Conference Series Materials Science and Engineering, 2019(3):109-115.
- [6] 贺熏陶,马志文.高墩小半径曲线桥行车动力分析[J].湖南交通科技,2020,46(3):104-109,119.
- [7] 赵利强,战鹏,樊峰宇.曲率半径对独柱墩桥倾覆稳定影响研究[J].山西交通科技,2022(3):78-81,93.
- [8] 宋福春,李孟臣,张国强.曲线桥抗倾覆稳定性分析[J].公路,2018,63(4):65-69.
- [9] 王刚.基于有限元的独柱墩曲线桥抗倾覆稳定性影响因素分析[J].山西交通科技,2017(5):31-33,45.
- [10] Huang Z, Dong yang L I, Guo X. Study on Anti-overtuning Performance of Long-span Simply Supported Steel Box Girder Curved Bridge[J]. Highway Engineering, 2019.
- [1] 数分析[J].桥梁建设,2018,48(4):17-21.
- [2] 石雄伟,刘海鹏,周勇军,等.双薄壁墩间距对连续刚构桥地震响应的影响[J].交通运输工程学报,2010,10(3):35-40.
- [3] Shi X W, Liu H P, Zhou Y J, et al. Effect of double-thin-wall distance on seismic response of continuous rigid frame bridge [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2010, 10(3): 35-40.
- [4] 李杰,陈淮,王艳.双薄壁高墩曲线连续刚构桥地震响应分析[J].世界地震工程,2012,28(4):36-43.
- [5] 齐秀廷,姚永春.高墩连续刚构桥地震响应影响因素分析[J].铁道科学与工程学报,2017,14(1):94-99.
- [6] Ingham T J, Rodriguez S, Donikian R, et al. Seismic analysis of bridges with pile foundations [J]. Computers & Structures, 1999, 72(1):49-62.
- [7] 叶爱君,刘伟岸,王斌斌.高桩承台基础与桥梁结构的动力相互作用[J].同济大学学报(自然科学版),2007,35(9):1163-1168.
- [8] 唐亮,凌贤长,徐鹏举,等.可液化场地高承台群桩-土-桥梁结构地震相互作用振动台试验[J].中国公路学报,2010,23(4):51-57.
- [9] 武崇福,刘贝贝.波浪和地震作用下高桩承台-土-结构动力响应[J].土木建筑与环境工程,2011,33(6):7-12,58.
- [10] 王君杰,赖伟,胡世德.深水高桩基础桥梁地震水动力效应分析[J].同济大学学报(自然科学版),2011,39(5):650-655.
- [11] JTG/T 2231-01—2020,公路桥梁抗震设计规范[S].

(上接第105页)