

汽车制动力对不同结构体系斜拉桥的 受力响应研究

张剑锋, 陈权川

(贵州省交通规划勘察设计研究院股份有限公司, 贵州 贵阳 550081)

摘要: 为探究汽车制动力对斜拉桥受力性能的影响, 基于有限元, 建立参数相同的 3 种不同结构体系斜拉桥主桥模型, 分析了 3 种不同结构体系斜拉桥的受力性能受汽车制动力的影响情况。结果表明: 刚构体系斜拉桥的受力性能受汽车制动力的影响最小, 相较于漂浮体系和半漂浮体系斜拉桥, 其主梁梁端纵向位移分别减小了 96.49% 和 96.46%; 3 种结构体系斜拉桥的主梁内力响应受汽车制动力的影响均较小; 刚构体系斜拉桥的主塔塔底弯矩受汽车制动力的影响较小, 相较于漂浮体系和半漂浮体系斜拉桥, 其主塔塔底弯矩分别减小了 79.5% 和 79.6%; 制动力对 3 种结构体系斜拉桥主塔的轴力和剪力影响很小。通过综合对比以及对实际建设情况的分析, 选择了刚构体系作为斜拉桥的最终结构体系。

关键词: 汽车制动力; 斜拉桥; 结构体系; 主塔; 主梁

中图分类号: U448.27

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2025)10-0074-04

Study on Stress Response of Automobile Braking Force to Cable-stayed Bridges with Different Structural Systems

ZHANG Jianfeng, CHEN Quanchuan

(Guizhou Provincial Transportation Planning, Survey and Design Institute Co., Ltd., Guiyang 550081, China)

Abstract: To explore the impact of vehicle braking forces on the mechanical performance of cable-stayed bridges, based on finite element, three main bridge models of cable-stayed bridges with the same parameters but different structural systems are established to analyze the influence of the braking force of automobiles on the mechanical performance of cable-stayed bridges with three different structural systems. The results show that the mechanical performance of the rigid-frame system cable-stayed bridge is least affected by the braking force of the vehicle. Compared with the floating system and semi-floating system cable-stayed bridges, the longitudinal displacements at the ends of its girder have decreased by 96.49% and 96.46% respectively. The internal force responses of the girders of the three structural systems of cable-stayed bridges are all less affected by the braking force of automobiles. The bending moment at the bottom of the main pylon of a rigid-frame cable-stayed bridge is less affected by the braking force of the vehicle. Compared with the floating system and semi-floating system cable-stayed bridges, the bending moments at the bottom of its main pylon have been reduced by 79.5% and 79.6% respectively. The braking force has little influence on the axial force and shear force of the pylons of the three structural systems of cable-stayed bridges. Through the comprehensive comparison and analysis of the actual construction situation, the rigid-frame system is selected as the final structural system of the cable-stayed bridge.

Keywords: braking force of vehicle; cable-stayed bridge; structural system; main pylon; girder

0 引言

伴随着社会经济的发展, 交通运输的压力逐年增大, 现有道路运输通行能力不能满足日渐增长的

汽车数量的需求。因此, 为缓解交通运输压力, 新建高速公路的数量也在逐年增加, 逐渐形成了全国性的高速公路网。高速公路的建设不仅可以缓解交通运输压力, 而且还缩短了运输时间, 对促进社会的发展具有重要意义。桥梁工程作为高速公路建设的枢纽工程, 是跨越峡谷河流的纽带。跨越峡谷的桥梁以斜拉桥和悬索桥为主, 其中斜拉桥主要有漂浮体系、半漂浮体系和刚构体系 3 种。针对 3 种结构体系

收稿日期: 2025-03-19

基金项目: 贵州省重大科技专项基金项目(黔科合重大专项[2016]3013)

作者简介: 张剑锋(1993—), 男, 硕士, 工程师, 从事桥梁结构设计分析工作。

斜拉桥的受力性能研究已经较为成熟,其中:刘桂超^[1]采用有限元分析法,对非对称单侧悬臂斜拉桥的受力性能进行了研究分析;张星宇等^[2]基于有限元,分析了大跨度钢混组合梁斜拉桥的静动力性能,并对运营阶段桥梁的受力性能进行了计算分析;余鹏等^[3]以矮塔斜拉桥为研究对象,主要分析了W形腹板箱梁的力学性能;陆军等^[4]研究了钢混组合梁斜拉桥结合段的构造参数变化对桥梁整体受力性能的影响;程磊科^[5]针对大跨度组合梁斜拉桥结合段的构造受力进行了研究,并依据受力性能分析结果,对结合段的构造进行了优化分析;何振华等^[6]采用有限元分析了独塔钢混组合梁斜拉桥施工过程中主塔和主梁的受力性能;高碧波等^[7]研究了在不同曲率半径下,曲线矮塔斜拉桥的受力性能,并结合分析结果,给出了考虑曲率半径时的几个因素;田引安^[8]探究了大跨度钢混组合梁斜拉桥施工阶段主塔和主梁的受力和变形,并通过Ernst公式进行了修正分析。由上述研究可知,针对3种不同结构体系斜拉桥受力性能的对比分析较为罕见,且由于大跨度斜拉桥的结构受力复杂,大型车辆的制动力对桥梁结构的力学性能有较大影响,因此,研究大跨径桥梁在车辆制动力下的受力变化规律,是进行合理结构设计的前提,具有重要的理论和现实意义。本文基于上述研究,开展了汽车制动力下不同结构体系斜拉桥的主塔和主梁响应,依据分析结果,确定合理的斜拉桥结构体系。

1 工程概况

依托某桥梁分析了汽车制动力对不同结构体系斜拉桥的受力性能影响。该桥全长482 m,为预应力混凝土双塔斜拉桥,引桥采用装配式T梁,主塔最高为100 m,采用承台群桩基础。

2 有限元模型

2.1 模型条件

依据实际桥梁工程设计图,采用Midas有限元,建立了主桥有限元模型。模型包含梁单元810个、桁架单元144个,斜拉桥的主塔、主梁及桩均为梁单元,拉索为桁架单元。3种结构体系斜拉桥的桩基底部和侧面均完全固结,桩基侧向设置横向支撑。半漂浮体系斜拉桥的主塔与过渡墩支座位置主要设置竖向及横桥向的约束;漂浮体系斜拉桥的塔梁自由,无约束;刚构体系斜拉桥的塔梁固结。计算模型见图1。

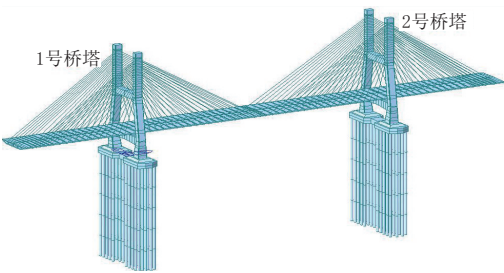


图1 某桥梁工程有限元模型

2.2 模型参数

模型材料参数见表1。

		表1 模型材料参数				单位:MPa
构件	材料	弹性模量	设计强度		标准强度	
		E_c	f_{cd}	f_{td}	f_{ck}	f_{tk}
桥塔	C50	3.45×10^4	22.4	1.83	32.4	2.65
主梁	C55	3.55×10^4	24.4	1.89	35.5	2.74

3 计算结果分析

3.1 主梁位移响应分析

在制动力作用下,提取了3种不同结构体系斜拉桥主梁梁端纵向位移,比较分析制动力作用下3种不同结构体系斜拉桥主梁纵向位移(见表2)。

		表2 主梁纵向位移			单位:m
截面位置	漂浮体系	半漂浮体系	刚构体系		
主梁梁端	0.019 9	0.019 8	0.000 7		

由表2可以看出,在汽车制动力作用下,半漂浮体系斜拉桥和漂浮体系斜拉桥主梁梁端的最大纵向位移相差较小,两者的最大纵向位移分别为0.019 8 m和0.019 9 m,而刚构体系斜拉桥的主梁梁端纵向位移最小,为0.000 7 m,比漂浮体系斜拉桥主梁梁端最大纵向位移减小了96.49%,比半漂浮体系斜拉桥主梁梁端最大纵向位移减小了96.46%。根据上述分析可知,由于塔梁固结作用,刚构体系斜拉桥的整体刚度较大,受制动力作用的影响较小,因此,刚构体系斜拉桥主梁的梁端最大纵向位移与其他两种结构体系相比显著降低。

3.2 主梁内力响应分析

在制动力作用下,提取了3种不同结构体系的主梁轴力,比较分析制动力下3种不同结构体系斜拉桥主梁轴力(见图2)。

由图2可以看出,在制动力作用下,漂浮体系斜拉桥主梁轴力与半漂浮体系斜拉桥主梁轴力的变化趋势完全一致。由于斜拉索索力在水平向的分力作用于主梁,因此使主梁产生轴向力。边跨位置处,刚构体系斜拉桥的主梁轴力受汽车制动力的影响最

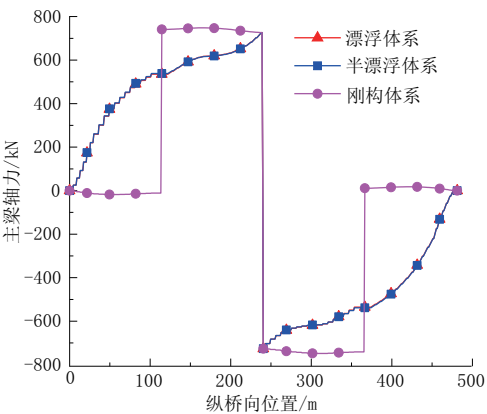


图2 主梁的轴力图

小;跨中位置处,3种结构体系斜拉桥主梁的轴力大小一致,说明中跨主梁的轴力主要是由制动力引起的,与结构体系无关。由上述分析可知,对于漂浮体系和半漂浮体系斜拉桥来说,其主梁的轴力主要是通过主梁传递给斜拉索,然后由斜拉索传递给主塔,对斜拉索的影响较大。由于塔梁固结,刚构体系斜拉桥的主梁轴力主要通过主梁直接传递给主塔,对斜拉索的影响较小。

在制动力作用下,提取了3种不同结构体系斜拉桥的主梁弯矩,比较分析制动力下3种结构体系斜拉桥主梁弯矩(见表3、图3)。

表3 主梁弯矩		单位:kN·m		
截面位置		漂浮体系	半漂浮体系	刚构体系
梁端	最大值	10 378.1	10 399.8	367.2
	最小值	-10 378.1	-10 399.8	-331.7
主塔1号桥塔下横梁位置	最大值	4 246.3	4 262.3	538.8
	最小值	-4 224.5	-4 240.4	-515.5
中跨跨中	最大值	2 986.6	2 975.1	178.9
	最小值	-2 978.8	-2 967.6	-184.8
主梁跨中		869.1	869.1	869.1

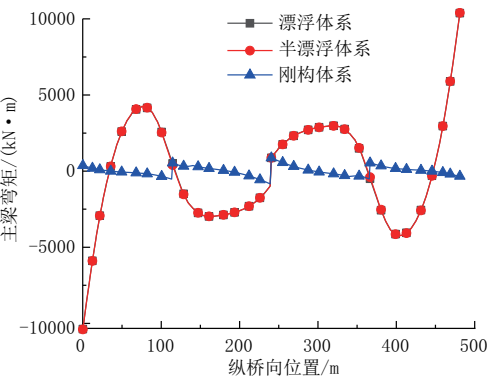


图3 主梁弯矩图

由表3和图3可以看出,漂浮和半漂浮体系斜拉桥的主梁弯矩响应受制动力的影响一致,刚构体系斜拉桥的主梁弯矩受汽车制动力的影响最小,在跨中位置处,3种结构体系斜拉桥的主梁弯距相等,说

明制动力对3种结构体系斜拉桥主梁跨中弯矩的影响相同。在边跨位置,刚构体系斜拉桥主梁弯矩最小,主要是由于塔梁固结,斜拉桥的整体刚度提升,因此作用在中跨的制动力对边跨主梁的影响很小。从数值大小来看,漂浮体系和半漂浮体系斜拉桥主梁弯距极值在辅助墩位置、1号桥塔下横梁位置和主梁中跨跨中位置的差别均很小。由上述分析可知,刚构体系可以显著减小制动力作用下斜拉桥主梁的弯矩,因此,选择刚构体系斜拉桥时能有效保证主梁的受力安全。

3.3 主塔内力响应分析

在制动力作用下,提取了3种不同结构体系斜拉桥的主塔的内力结果。塔底弯矩具体结果见表4和图4,塔底剪力具体结果见表4和图5,塔底轴力具体结果见表4和图6。

表4 主塔塔底内力结果			
内力	漂浮体系	半漂浮体系	刚构体系
弯矩/(kN·m)	32 189.6	32 280.1	6 591.4
剪力/kN	363.3	363.3	364.7
轴力/kN	149.6	152.7	3.2

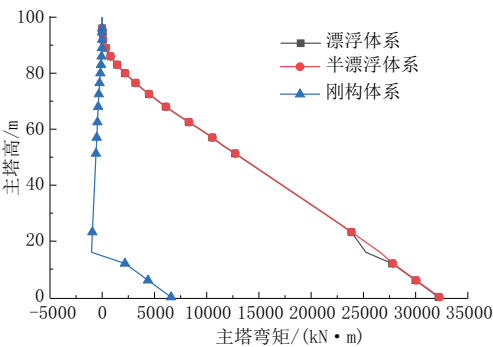


图4 主塔弯矩

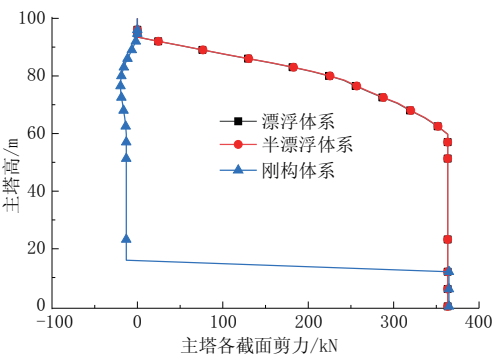


图5 主塔剪力

由表4和图4可以看出,漂浮和半漂浮体系斜拉桥的主塔弯矩受制动力的影响,其变化规律一致。由于刚构体系斜拉桥的塔梁固结,所受的汽车制动力主要通过主梁传递至主塔,主梁会分担一部分力,因此刚构体系斜拉桥主塔弯矩受制动力的影响

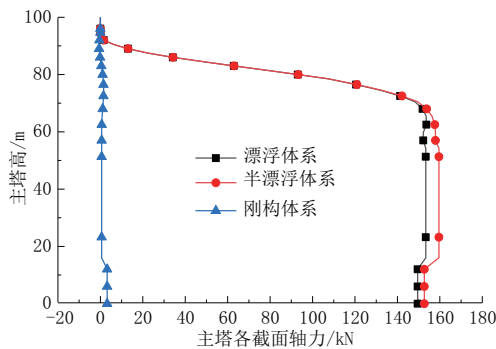


图6 主塔轴力

最小,与其他两种结构体系斜拉桥相比,主塔塔底弯矩显著减小。漂浮和半漂浮体系斜拉桥的桥塔塔底弯矩较为接近,分别为 32 189.59 kN·m 和 32 280.14 kN·m,刚构体系斜拉桥主塔塔底弯矩最小,为 6 591.35 kN·m,刚构体系斜拉桥的桥塔塔底弯矩相较于漂浮和半漂浮体系分别减小了 79.5% 和 79.6%。由上述分析可以看出,塔梁固结体系斜拉桥可以显著降低制动力作用下的主塔塔底弯矩。

由表 4 和图 5 可以看出,漂浮和半漂浮体系斜拉桥的主塔剪力受制动力的影响,其变化规律基本一致。在塔梁固结处,刚构体系斜拉桥的主塔剪力发生突变,主要是由于塔梁固结后主梁和主塔受到的水平推力作用一致,制动力直接作用于主梁,由主梁直接传递给主塔,相当于主塔的塔梁结合部位直接受到制动力的作用,产生水平推力,因此刚构体系斜拉桥塔梁结合部的剪力发生突变。从 3 种结构体系斜拉桥主塔的塔底剪力数值大小来看,漂浮体系和半漂浮体系斜拉桥的主塔塔底剪力分别为 363.25 kN 和 363.28 kN,刚构体系斜拉桥的主塔塔底剪力为 364.73 kN,3 种结构体系斜拉桥主塔塔底的剪力差值在 1% 以内。由上述分析可以看出,制动力对 3 种结构体系斜拉桥主塔的塔底剪力响应影响均较小。

由表 4 和图 6 可以看出,刚构体系斜拉桥的主塔轴力变化较为平缓,基本为一条直线,刚构体系斜拉桥的主塔轴力受制动力的影响最小,且塔底轴力值也最小,为 3.21 kN。就主塔的塔底轴力大小来看,漂浮体系斜拉桥和半漂浮体系斜拉桥的主塔塔底轴力相差较小,分别为 149.55 kN 和 152.69 kN。与漂浮和半漂浮体系斜拉桥的塔底轴力相比,刚构体系斜拉桥的塔底轴力分别减小了 97.85% 和 97.9%。由上述分析可以看出,采用塔梁固结的刚构体系斜拉桥时,可以显著减小制动力作用下主塔塔底的轴力。

由上述分析可知,3 种结构体系斜拉桥的主塔塔底剪力受制动力影响均较小,制动力对主塔塔底的

弯矩和轴力影响较大。采用半漂浮体系斜拉桥时,主塔的塔底弯矩和轴力均较其他两种体系大,主要是由于半漂浮体系斜拉桥的横向和竖向有约束,而纵向为放开的,虽然半漂浮体系斜拉桥受制动力影响较大,但纵向的自由可以减弱汽车制动时对桥梁整体的振动作用,使其在一定程度上能够保护主塔和主梁。相较于半漂浮体系斜拉桥,刚构体系斜拉桥的美观性略有不足,但刚构体系斜拉桥的内力受制动力作用的影响较小,能够保证桥梁结构的安全运营。因此,为保证桥梁建设的安全性能,选择刚构体系作为斜拉桥最终的结构体系。

4 结 论

本文以某斜拉桥为依托工程,利用 Midas 软件,建立了参数相同的刚构体系、漂浮体系和半漂浮体系斜拉桥计算模型,对比分析 3 种结构体系斜拉桥在制动力作用下的力学响应,得出以下结论:

- (1)刚构体系斜拉桥的主梁纵向位移较漂浮体系和半漂浮体系分别减小了 96.49% 和 96.46%,主梁的纵向位移得到了显著减小;
- (2)刚构体系斜拉桥的主梁内力较其他两种结构体系显著减小;
- (3)刚构体系斜拉桥的主塔弯矩较漂浮体系和半漂浮体系分别减小了 79.5% 和 79.6%,主塔轴力较漂浮体系和半漂浮体系分别减小了 97.85% 和 97.9%,主塔内力受汽车制动力的影响最小;
- (4)由不同斜拉桥结构体系的整体受力性能的参数化分析结果可知,刚构体系斜拉桥整体受力性能受汽车制动力的影响小,自身的稳定性能良好,故最终选择刚构体系作为斜拉桥的设计桥型。

参考文献:

[1] 刘桂超.非对称单侧悬臂斜拉桥受力性能与稳定性研究[J].铁道建筑技术,2023(7):141-144.
[2] 张星宇,裴辉腾,刘语涵.某大跨钢-混组合梁斜拉桥静动力特性探究[J].中国公路,2023(15):101-103.
[3] 余鹏,焦亚萌.铁路矮塔斜拉桥 W 形腹板箱梁力学性能分析[J].铁道标准设计,2024,68(5):68-74.
[4] 陆军,王贤强,张建东,等.混合-叠合梁斜拉桥钢混结合段受力性能与构造参数研究[J].建筑结构,2023,53(24):110-117.
[5] 程磊科.大跨径组合梁斜拉桥塔梁结合段构造优化分析[J].交通世界,2023(35):122-124.
[6] 何振华,罗国.钢混叠合梁独塔斜拉桥施工过程受力性能研究[J].中国高新科技,2023(23):140-142.
[7] 高碧波,黄昊.曲线矮塔斜拉桥在不同曲率半径下力学性能分析[J].铁道勘察,2022,48(6):139-143.
[8] 田引安.大跨钢-混凝土组合梁斜拉桥施工阶段受力性能分析[J].建筑结构,2022,52(12):121-126.