

Research on the Aerodynamic Load of Freight Vehicle Driving on a Mountain Bridge under Crosswind

Jianheng Shao Yaguang Yan Yuan Ren Limin Gao Binbin Yang

School of Civil Engineering, HUE, Handan, Hebei, 056000, China

Abstract

In recent years, China's rapid economic development, the transportation network has been constantly improving, and with the increase of people's demand, the demand for transportation has gradually increased. This paper adopts the numerical simulation method, using the results obtained by Starccm+ software simulation, and selects 13.7m/s, 17.1m/s, 20.7m/s, and There are six different wind speeds of 24.4m/s, 28.4m/s and 32.6m/s, and the wind level of each working condition is different by one level and 15°, 30°, and 45°, 60°, 75°, 90° six different wind angles, each wind angle difference of 15°. The pneumatic load of freight vehicles traveling at a speed of 80km/h on a mountain bridge is simulated and subjected to crosswinds with different wind speeds and different wind angles, and its change law is studied and analyzed.

Keywords

high pier bridges in mountainous areas; numerical simulation; aerodynamic load

侧风行驶在山区桥梁上货运汽车气动荷载研究

邵健恒 闫亚光 任远 高利民 杨彬彬

河北工程大学土木工程学院, 中国·河北 邯郸 056000

摘要

近年来, 中国经济发展迅速, 交通运输网不断趋于完善, 随着人们的需求增大, 对交通运输的需求也逐渐攀升。论文采用数值模拟的方法, 运用Starccm+软件仿真得到的结果, 论文选取13.7m/s、17.1m/s、20.7m/s、24.4m/s、28.4m/s、32.6m/s六种不同风速, 每种工况风级相差一级以及15°、30°、45°、60°、75°、90°六种不同风向角, 每种风向角相差15°。模拟计算货运汽车在山区桥梁上以80km/h的速度行驶, 受到不同风速以及不同风向角的侧风时的气动荷载并对其变化规律进行研究分析。

关键词

山区高墩桥梁; 数值模拟; 气动荷载

1 引言

货运汽车行驶在山区高墩桥梁上时, 因为车辆体积较大, 近似于长方体, 其相较于其他车型而言具有较大的侧面积。车辆在高速行驶的过程中在受到不同侧风作用时, 车辆的气动荷载会发生较为明显的变化, 对驾驶员的安全性以及驾驶稳定性产生巨大影响。

国内外学者对此进行了一些研究, Zhang Qianwen, Su Chuqi, Zhou Yi 等运用耦合方法对行驶时的车辆在受到强侧风影响时的车辆操作稳定性进行分析, 同时研究了在风向角发生变化时, 汽车受到的气动荷载的变化规律^[1]。F. Cheli, R. Corradi, E. Sabbioni 等研究了车体形状、侧风风速、车辆速度以及地形和道路情况等对车辆气动特性的影响, 采用

风洞试验对货运汽车侧翻进行分析^[2]。吉林大学李杰等以汽车系统动力学为基础, 运用 Trucksim 软件建立卡车和驾驶员模型, 并通过改变风速、风向角以及车速等参数, 对侧风环境下, 直线行驶的卡车操作稳定性进行研究^[3]。西南交通大学李尧等根据相对运动原理, 建立参数化汽车动力模型, 对侧风环境下, 车辆气动荷载变化规律以及侧风对车辆操纵的稳定性影响进行研究。为侧风环境下汽车稳定性提供了参考依据^[4]。

论文利用 CFD 仿真技术模拟山区较为复杂的流场环境, 通过改变侧向来风的速度以及风向角, 得出货运汽车气动荷载随相关变量变化的规律。

2 理论基础

2.1 重叠网格技术

论文采用的地形模型较为复杂, 重叠网格可以对复杂几何部件进行网格划分, 不同计算区域可选择最恰当的网络

【作者简介】邵健恒(1999-), 男, 中国内蒙古呼伦贝尔人, 硕士, 从事桥梁抗风研究。

形式，节约计算机资源同时保证数值模拟计算的准确度。

2.2 湍流模型

RNG $k-\varepsilon$ 模型对车辆、桥梁以及地形周围的流场环境模拟效果较好，因此研究使用数值模拟仿真软件 Starccm+，采用 $k-\varepsilon$ 两方程模型，对在侧风环境下行驶在山区高墩桥梁上的货运汽车气动荷载进行模拟计算。

3 计算模型

3.1 计算模型的建立

论文研究依托胭脂河大桥以及周围地形，建立桥梁及地形模型。以沃尔沃重型货运汽车为原型建立车辆模型。建立桥梁以及地形模型的过程中，忽略了大桥防护栏等细节构造件，简化了桥梁的细节构造以及车辆外观细节构造。该货运汽车空载重量为 18 吨，车辆长 16.5m，车辆长宽高比为 7.2 : 1.2 : 1.6。车辆模型如图 1 所示。桥梁全长 387m，宽 12.75m，桥面厚度为 3m。桥梁及地形模型如图 2 所示。

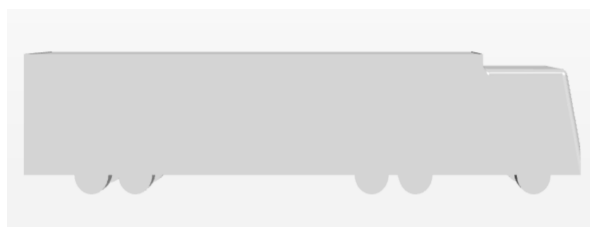


图 1 车辆模型

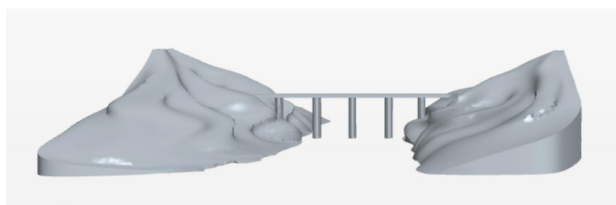


图 2 桥梁、地形模型

3.2 计算域及边界条件

由于计算机计算能力有限，在进行模拟时，常常需要用有限的计算区域来代替无限大的流场环境，需要选取合适的计算域。经过多次模拟计算结果对比，论文在侧风环境下的车辆 - 桥梁 - 地形模型的计算域大小选为 $700\text{m} \times 250\text{m} \times 150\text{m}$ ，将计算域右侧设置为速度进口，除底面外，其余四个面均为压力出口。底面、车辆表面、桥梁表

面以及地形表面设置为壁面。

4 数值模拟结果分析

4.1 风速对车辆气动荷载的影响

货运汽车在不同风速下气动荷载的值如表 1 所示。

由于货运汽车行驶在山区高墩桥梁上，随着风速的改变的货运汽车六分力气动荷载均会发生变化，为了更加直观的展示货运汽车气动荷载变化规律，将表 1 数据绘制成曲线图如图 3 所示。

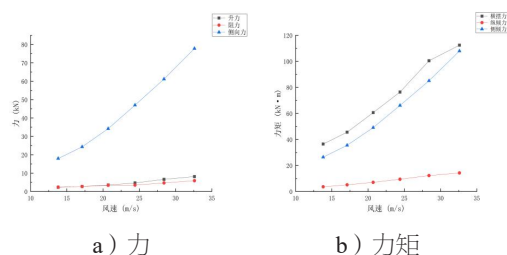


图 3 车辆气动荷载随风速的变化规律

由表 1 及图 3 可知，在侧风环境下，货运汽车行驶在山区高墩桥梁上，随着侧风风速的不断增大，车体本身受到气动荷载不断增大。货运汽车所受到的侧向力、侧倾力矩以及横摆力矩远大于其受到的阻力、升力和纵倾力矩，在风速达到 32.6m/s 时其侧向力、横摆力矩以及侧倾力矩分别达到了 77.800kN、112.384kN·m、107.951kN·m，且随着侧风风速的变大，货运汽车所受的侧向力、侧倾力矩以及横摆力矩变化最为显著。

由此可见，货运汽车在行驶过程中，受到侧风时，随着车速的提高，车辆所受侧向力、横摆力矩和侧倾力矩对车辆安全性的影响要远大于其他气动荷载。

4.2 风向角对车辆气动荷载的影响

风向角是指侧风与货运汽车行进方向的夹角，风向角示意图如图 4 所示。

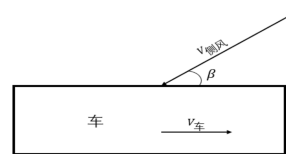


图 4 风向角示意图

表 1 不同风速下车辆的气动荷载

风速 (m/s)	升力 (kN)	阻力 (kN)	侧向力 (kN)	横摆力矩 (kN·m)	纵倾力矩 (kN·m)	侧倾力矩 (kN·m)
13.8	2.318	2.416	17.955	36.494	3.677	26.423
17.1	2.770	2.745	24.315	45.576	5.171	35.527
20.7	3.550	3.409	34.210	60.607	7.091	49.110
24.4	4.686	3.512	46.996	76.388	9.437	66.132
28.4	6.649	4.689	61.197	100.455	12.246	85.043
32.6	8.163	5.922	77.800	112.384	14.311	107.951

货运汽车在不同风向角下气动载荷的值如表 2 所示。

表 2 不同风向角下车辆的气动荷载

风向角 (°)	升力 (kN)	阻力 (kN)	侧向力 (kN)	横摆力矩 (kN·m)	纵倾力矩 (kN·m)	侧倾力矩 (kN·m)
15	0.709	6.479	0.876	9.155	1.024	0.184
30	1.179	5.979	8.837	24.409	1.309	12.132
45	1.594	5.143	15.688	28.316	2.061	23.229
60	1.953	4.004	20.517	34.540	2.999	30.829
75	2.486	3.361	23.884	39.102	4.279	35.435
90	2.770	2.745	24.315	45.576	5.171	35.527

为了深入研究货运汽车在不同风向角下气动载荷变化规律,将表 2 数据绘制成曲线图不同风向角下,货运车辆的气动载荷变化曲线如图 5 所示。

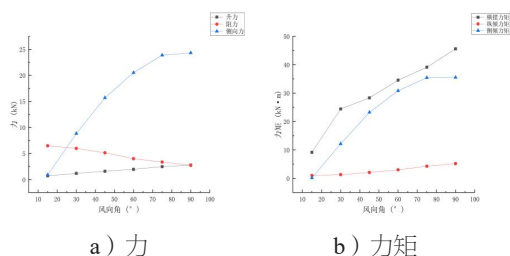


图 5 车辆气动载荷随风向角的变化规律

由表 2 及图 5 可知,在侧风环境下,货运汽车行驶在山区高墩桥梁上,随着风向角的不断增大,车体本身受到气动载荷除其所受到的气动阻力外均不断增大。货运汽车受到的阻力随风向角的增大而减小。货运汽车所受到的侧向力、侧倾力矩以及横摆力矩远大于其受到的阻力、升力和纵倾力矩,且随着风向角的变大,货运汽车所受的侧向力、侧倾力矩以及横摆力矩变化最为显著。

由此可见,货运汽车在行驶过程中,受到侧风时,随

着风向角的增大,货运汽车安全性主要受到侧向力、横摆力矩和侧倾力矩的影响。

5 结论

论文通过对车辆—桥梁—地形模型的模拟仿真计算,通过改变侧风风速以及风向角这两个参数,对货运汽车气动载荷变化规律进行研究分析得到以下结论。

①货运汽车气动载荷均随着侧风参数的改变发生较大的变化。

②随着侧风风速的增大,货运汽车以 80km/h 在山区高墩桥梁上行驶时,其气动载荷均随着风速的增大而增大。

③随着侧风风向角的增大,除车辆所受到的阻力外,其余气动载荷均随着风向角的增大而增大。阻力随着风向角的增大而减小。

④随着侧风风速和侧风风向角的不断增大,货运汽车受到的侧向力、横摆力矩以及侧倾力矩是影响车辆安全稳定行驶的主要因素。

参考文献

- [1] Zhang Qianwen, Su Chuqi, Zhou Yi, et al. Numerical Investigation on Handling Stability of a Heavy Tractor Semi-Trailer under Crosswind[J]. 2020,10(11):56-58.
- [2] F. Cheli, R. Corradi, E. Sabbioni, et al. Wind tunnel tests on heavy road vehicles: Cross wind induced loads-Part 1[J]. Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics, 2011,99(10):1000-1010.
- [3] 李杰,张英朝,张喆.侧风对直线行驶卡车操纵稳定性的影响[J]. 吉林大学学报(工学版),2009,39(2):255-259.
- [4] 李尧.汽车侧风气动特性及操纵性影响的研究[D].成都:西南交通大学,2018.
- [5] 王艳.道路地形对货车侧风行驶气动特性的影响研究[D].吉林:吉林大学,2015.