

杨敏. 弯道桥梁上列车表面压力受强横风影响分析[J]. 智能计算机与应用, 2025, 15(7): 182–185. DOI: 10. 20169/j. issn. 2095–2163. 250727

弯道桥梁上列车表面压力受强横风影响分析

杨 敏

(青海民族大学 土木与交通工程学院, 西宁 810007)

摘 要: 本文对青藏线弯道桥梁上 NJ₂ “三机联挂”列车车体表面压力进行数值模拟计算, 提取了头车横向压差与侧偏角、桥梁高度间的变化曲线, 并与直线线路比较, 为大风条件下列车的安全运行提供参考。仿真实验结果表明: 直线线路上的列车横向压差特性曲线介于同条件下弯道上横风向弯道内、外的曲线之间; 弯道桥梁应重视侧偏角 60°~90°、桥高 40 m 的列车头部的气动性能; 单列车流体简易分析采用“SolidWorks 建模+SolidWorks/Flow Simulation 流体分析”一体化方案更便捷。

关键词: 横风; 列车; 侧偏角; 桥梁

中图分类号: U270; TP399

文献标志码: A

文章编号: 2095–2163(2025)07–0182–04

Analysis of the influence of strong crosswinds on the surface pressure of trains on curved bridges

YANG Min

(School of Civil and Transportation Engineering, Qinghai Minzu University, Xining 810007, China)

Abstract: In this paper, the numerical simulation of the surface pressure of NJ₂ “three-engine coupled” train on the curved bridge of Qinghai–Tibet line is carried out, and the change curves between the lateral differential pressure of the head car and the angle of lateral deviation and the height of the bridge are extracted, and compared with the straight line, so as to provide a reference for the safe operation of the train under the condition of high wind. The simulation results show that: the lateral differential pressure characteristic curve of the train on the straight line is between the curves inside and outside the curve of the crosswind curve on the curve under the same conditions; the curve bridge should pay attention to the aerodynamic performance of the head of the train with the side deflection angle of 60°~90° and the bridge height of 40 m; the simple analysis of the single-train fluid is performed by using the “SolidWorks Modeling + SolidWorks/Flow Simulation Fluid Analysis”. Flow Simulation” integrated program is more convenient.

Key words: cross-wind; train; sideslip angle; bridge

0 引言

侧风影响列车倾覆稳定性^[1]。已有文献应用 Fluent 等软件对大风环境下的列车气动性能进行了专业、系统、全面的研究, 为合理设定列车在直线桥梁、路堤、平地上运行速度限值, 保障列车安全通过大风区提供了宝贵的理论和实践经验借鉴^[2–3]。

分析强横风对弯道上列车气动性能的影响, 可为大风条件下列车的安全运行提供参考。本文应用 SolidWorks 2018/Flow Simulation “一体化”软件作为数值计算工具, 在简化列车及桥梁外形的情况下, 分

别对侧偏角 β' 变化、桥高 H_q 变化的弯道桥梁上的列车车体表面压力进行数值模拟计算, 提取了头车车体迎风背风面压力差 ΔP (横向压差) 随侧偏角、桥梁高度变化的曲线, 并进行了分析。

1 研究目标

列车受侧风的影响问题非常复杂。弯道上, 强横风作用下列车可能倾覆的作用力有: 列车各车辆通过曲线时的离心力、车辆横向振动的惯性力、车体和转向架为平衡离心力特设的内外轨超高而导致的重力分量、轮轨支反力、气动横向力以及气动升力。假设, 列车通过曲线桥梁时诸非气动力正好平衡, 即

作者简介: 杨 敏(1973—), 男, 硕士, 副教授, 主要研究方向: 载运工具, 计算机软件及应用。Email: yangmin7198279@163.com。

收稿日期: 2024–01–01

哈尔滨工业大学主办 ◆ 科技创见与应用

38 m/s,列车运行在高桥梁上,计算域与边界条件如图 4 所示,取 500 m×400 m×100 m 的长方体,由于选择的流场计算域足够大,故外围边界对列车周围流场的影响可忽略。

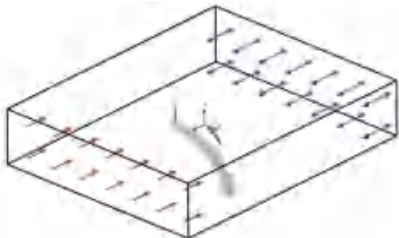


图 4 计算域与边界条件

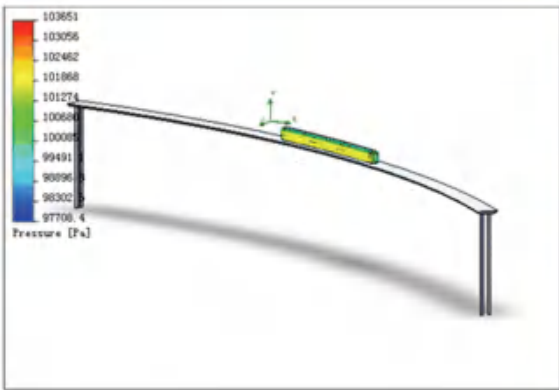
Fig. 4 Computational domain and boundary conditions

2.4 项目构建

借助于 Flow Simulation 计算向导,指定流体为空气,自定义高海拔线路的空气密度等参数,流动类型为湍流,计算域的基础网格和列车局部网格精度分别调整成 2 级、5 级。入口边界条件选取合成风速(选中湍流选项),出口边界条件取默认静压。

2.5 车体表面压力分布图及列车周围压力场

以列车在桥高 $H_q = 40\text{ m}$ 、合成风速 $V_{\text{合成风}} = 34.3\text{ m/s}$ (向曲线外)、侧偏角 $\beta' = 60.9^\circ$ 的情形为例,得到列车车体表面压力分布 Contour 图、X-Y 图及其值,得到距车头前端面 14 m 处列车周围压力场,如图 5 所示。



(a) 车身表面压力云图



(b) 列车周围压力场

图 5 桥梁上列车表面压力及周围压力场 ($R=450\text{ m}$)

Fig. 5 Surface pressure and surrounding pressure field of trains on bridges ($R=450\text{ m}$)

3 结果及分析

3.1 “向曲线外”、“向曲线内”和直线上的头车侧偏角 β' -横向压差 ΔP 特性曲线

弯道桥梁上桥高 $H_q = 60\text{ m}$ 、合成风速 $V_{\text{合成风}} = 27.8\text{ m/s}$ 的列车头车车体表面横向压差 ΔP 随侧偏角 β' 的变化曲线如图 6 所示。

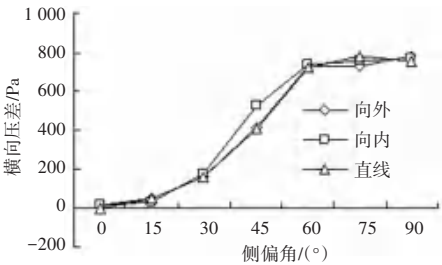


图 6 侧偏角-横向压差曲线 ($R=450\text{ m}$)

Fig. 6 Lateral deviation angle - transverse pressure difference curve ($R=450\text{ m}$)

可见,列车头车横向压差 ΔP 头车在 $\beta' \in [0^\circ \sim 60^\circ]$ 内随 β' 增加而快速增大,至 $\beta' \in (60^\circ,$

$90^\circ)$ 间落差不明显,接近一定值(最大值)。列车头车直线线路上的 $\beta' - \Delta P$ 头车曲线与弯道圆曲线桥梁上横风“向曲线外”和“向曲线内”基本重合。

3.2 “向曲线外”、“向曲线内”和直线上的头车桥梁高度 H_q -横向压差 ΔP 特性曲线

取桥梁高度 0~60 m(间隔 10 m)。合成风速 $V_{\text{合成风}} = 34.3\text{ m/s}$ 、侧偏角 $\beta' = 60.9^\circ$ 的列车头车表面压差 ΔP ,随路桥高的变化曲线如图 7 所示。

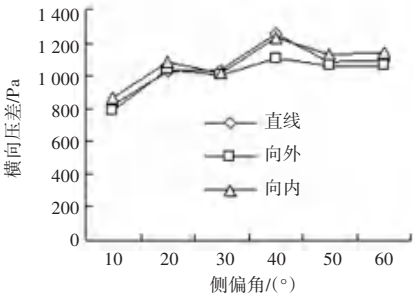


图 7 桥梁高度-横向压差曲线 ($R=450\text{ m}$)

Fig. 7 Bridge height-lateral pressure difference curve ($R=450\text{ m}$)

可见,随桥梁高度增大,横向压差先增后减,存在最大值点,对应 40 m 桥高。侧偏角 β' 变化,该最大值点仍对应约 40 m 桥高;为确保行车安全,需对高架桥和特大桥上的风速和风向进行监控。头车直线线路上的桥梁高度 H_q - 横向压差 ΔP 曲线上横风“向曲线外”和“向曲线内”的之间。

4 结束语

本文应用 SolidWorks 对列车车体及桥梁进行二次开发辅助几何建模,在 SolidWorks/Flow Simulation 环境下分析了强横风下列车表面压力在弯道圆曲线桥梁上受侧偏角和桥梁高度的影响特性。得出如下结论:

(1)直线桥梁上的头车侧偏角 β' - 横向压差 ΔP 特性曲线和桥梁高度 H_q - 横向压差 ΔP 特性曲线均基本介于弯道上横风向弯道外及向弯道内的特性曲线之间;

(2)列车头车横向压差 ΔP 在侧偏角 $\beta' \in$

$[0^\circ \sim 60^\circ]$ 内快速递增至一定值,在侧偏角 $\beta' \in [60^\circ, 90^\circ]$ 间落差不明显;

(3)应用“SolidWorks 二次开发辅助建模 + SolidWorks/Flow Simulation 流体分析”的一体化简易方案,使得列车在弯道桥梁上流场仿真分析的操作过程更加便捷和直观,可为相关工程应用提供参考。

参考文献

[1] 黄经宇,姚松,曹月昊,等. 双层高速动车组横风倾覆稳定性研究[J]. 铁道科学与工程学报,2023, 20(4): 1160 - 1170.
[2] 田红旗. 列车空气动力学[M]. 北京:中国铁道出版社,2007.
[3] 周丹,田红旗,杨明智,等. 强侧风下客车在不同路况运行的气动性能比较[J]. 中南大学学报(自然科学版),2008,39(3): 554-559.
[4] 高广军,田红旗,张健. 横风对双层集装箱平车运行稳定性的影响[J]. 交通运输工程学报,2004,4(2):45-48.
[5] 杨敏. 强横风下青藏线列车的两点气动特性[J]. 内燃机车,2011,447(5):4-6.
[6] 杨明智,袁先旭,鲁寨军,等. 强侧风下青藏线列车气动性能风洞试验研究[J]. 实验流体力学,2008, 22(3): 76-79.