

Analysis of Aerodynamic Effects of Unidirectional Trains on Platform Canopy Engineering

Yuan Ren Yaguang Yan Jianheng Shao Limin Gao Binbin Yang

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

Abstract

In view of the influence of wind on the platform canopy engineering of high-speed trains, this paper uses the hydrodynamic calculation software Fluent and uses viscous N-S equation and k-ε equation model based on three-dimensional, incompressible and unsteady fluids, establishes an equal-size model with Qinghe Railway Station as the engineering background, and uses slip grid technology to simulate and calculate the influence of the aerodynamic effect of the train passing through the station under different working conditions on the platform canopy.

Keywords

high speed train; canopy structure; train-induced wind pressure; numerical simulation

单向列车对站台雨棚工程的气动效应分析

任远 闫亚光 邵健恒 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

针对高速列车风对站台雨棚工程的风致效应影响, 论文基于三维、不可压缩、非定常流体, 运用流体力学计算软件 Fluent 并采用粘性 N-S 方程、k-ε 两方程模型, 以清河火车站为工程背景建立等尺寸模型, 运用滑移网格技术进行模拟计算, 分析列车不同工况下过站产生的气动效应对站台雨棚的影响。

关键词

高速列车; 雨棚; 列车风; 数值模拟

1 引言

结果表明: 列车运行速度与雨棚受到列车风压成正比, 且最大正压值均出现在雨棚入口处; 列车行驶近轨雨棚受到的列车风较于远轨雨棚更加显著; 列车行驶靠近站台最边缘时, 雨棚受到的列车风最大^[1]。

2 计算模型

2.1 模型建立

论文选用复兴号 CR400 型高速列车模型, 由于列车外形复杂, 计算模型对列车外表进行简化处理, 车体断面积 13.608m^2 , 车宽 3.36m , 高 4.05m , 模型采用三车编组, 即头车 + 中间车 + 尾车, 全长 208.8m 。CR400 动车组列车模型如图 1 所示。雨棚模型长度 186m , 正线敞口宽度 75.48m , 车站敞口宽度 86.15m , 雨棚距离车顶高度 7m , 雨棚厚度 0.5m , 正线宽度 21m , 车站模型如图 2 所示。



图 1 列车模型

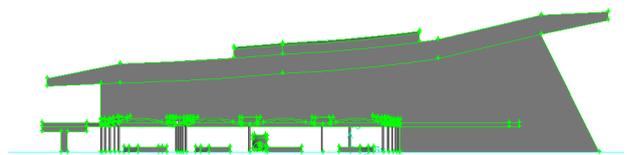


图 2 车站模型

2.2 边界条件

计算域模型尺寸为 $200\text{m} \times 30\text{m} \times 1000\text{m}$, 场内气压为标准大气压 101325Pa 。

车体表面: 粘性流体在固定边界上应满足滑移边界条件, 车体表面均按光滑壁面处理, 在车体表面和计算域之间建立起 interface 面。

出口: 在出口截面处, 出口静压为 0, 设为压力出口。

地面、站台、雨棚及站厅结构: 地面、站台、雨棚及

【作者简介】任远 (1997-), 男, 中国河北邯郸人, 硕士, 从事隧道空气动力学研究。

站厅结构均设为壁面 Wall。

2.3 雨棚测点布置

论文对雨棚测点布置采用纵向、横向布置。单向列车通过雨棚下表面共布置 36 个测点，近轨雨棚下表面沿轨道方向每 12.4m 布置一个测点，测点高度距地面 7m，垂直轨道方向测点布置在列车通过雨棚入口下表面处，每 3.44m 布置一个测点，测点高度距地面 7m^[2,3]。

3 数值模拟

3.1 雨棚下表面风压分布机理

列车行驶通过站台雨棚时，车头部分挤压前方空气，气体一部分向前运动，一部分气体向四周扩散，对周围雨棚下表面造成风压。研究高速列车过站对雨棚带来风致效应的关键，在于分析雨棚下表面受到列车风压极值大小以及风压分布特点。

3.2 不同车速下单车过站雨棚气动压力对比分析

以单车固定轨道行驶为研究对象，分析列车以不同速度的行进工况下对近轨上雨棚带来的风致效应。利用数值模拟绘制时程曲线并分析风压分布特点，根据产生的不同风压参数绘制风压参数变化曲线，结合风压参数及参数变化曲线分析不同速度下雨棚受到的气动压力变化。具体工况参数如表 1 所示。

表 1 速度变化的工况参数

工况	轨道 (编号)	速度 (km/h)
1	4	250
2	4	300
3	4	350
4	4	400

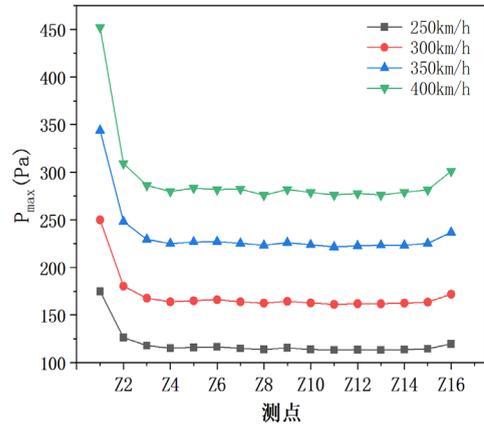
3.2.1 不同速度下雨棚风压分布特点

通过数值模拟计算，以 Z1 号点为例，不同速度下雨棚下表面风压时程曲线如图 3 所示。不同速度下，雨棚下表面风压分布趋势相似，列车行驶靠近雨棚时，雨棚所受风压迅速攀升，当车头到达即将雨棚 Z1 号测点时产生头波，正风压达到极值，当车头经过测点处时，风压迅速下降产生负压极值；列车中部经过测点处时，雨棚下表面风压回升并保持稳定；当车尾经过该测点时，风压产生先负后正的波动，即尾波。根据风压时程曲线可知，列车车头、车尾通过或离开测点时会产生瞬时脉冲，雨棚下表面受到气流脉冲作用产生交替的正负压风压变换，交替时间为车头、车尾通过时间。

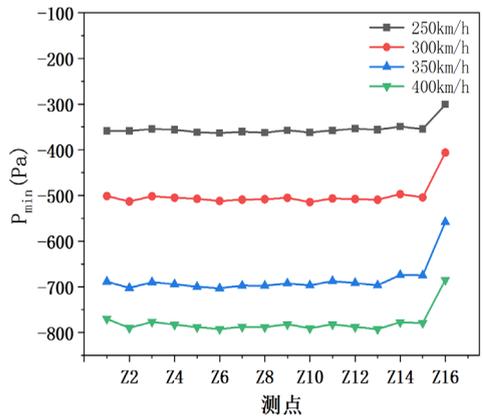
3.2.2 不同速度下纵向测点风压参数变化分析

列车以不同速度通过雨棚时，纵向测点风压参数变化曲线如图 3 所示，各工况下测点风压参数曲线变化趋势相似，风压正压力极值、负压力极值绝对值与车速成正比。由表 2 的风压参数变化曲线以及风压参数极值表可知，不同速度下风压正压力极值均出现在雨棚纵向测点 Z1 处，即在雨棚入口附近产生最大值，且随速度越大，正压力极值越大。当列

车行驶进入雨棚后，雨棚中部持续受到风压影响，中部测点受压曲线呈现稳定趋势。负风压力极值曲线保持稳定，且负压力极值均产生在雨棚中部测点，在列车行驶雨棚出口处时负压力峰值最小。



(a) P_{max} 对比



(b) P_{min} 对比

图 3 各速度下纵向测点风压参数变化曲线

表 2 各速度下风压参数极值测点位置表

参数 工况	正压极值测点位置	负压极值测点位置
1	测点 Z1	测点 Z6
2	测点 Z1	测点 Z10
3	测点 Z1	测点 Z6
4	测点 Z1	测点 Z13

3.3 不同轨道下列车过站雨棚下表面风压分布

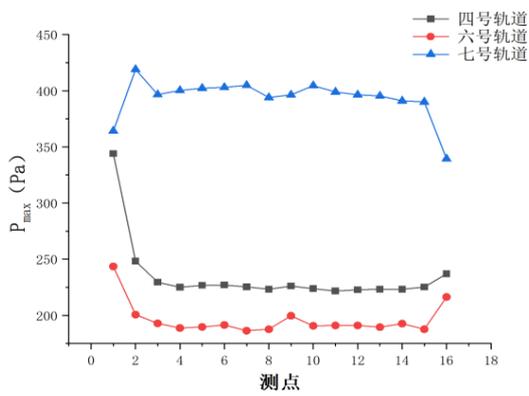
以单车时速 350km/h 为研究对象，分析列车以不同轨道的行进工况下对近轨上雨棚带来的风致效应，具体工况参数如表 3 所示。根据产生的不同风压参数绘制风压参数变化，结合风压参数及参数变化曲线分析列车不同行驶轨道下雨棚受到的气动压力变化，风压时程曲线趋势与上节相似本节

不再赘述。站台最侧方轨道不涉及列车行过站，故一号、八号轨道不采取列车通行，且站台雨棚模型可以近似看作对称模型，即考虑四号、六号、七号轨道的列车通行便可满足换轨模拟的需求。

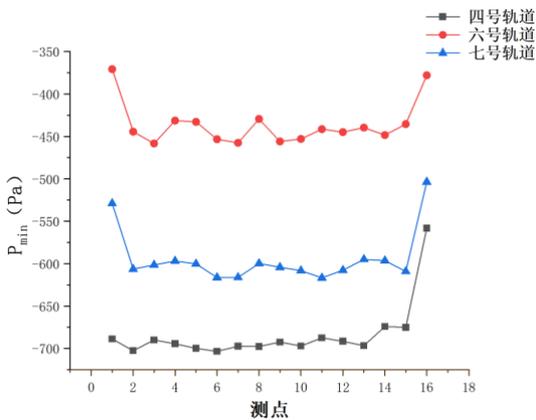
表 3 行驶轨道变化的工况参数

工况	轨道 (编号)	速度 (km/h)
5	4	350
6	6	350
7	7	350

当列车以 350km/h 分别通过不同轨道，纵向测点风压参数变化曲线如图 4 所示，因横向测点受到列车风影响较弱，即此部分只分析纵向测点受风压影响。



(a) P_{max} 对比



(b) P_{min} 对比

图 4 不同轨道行驶纵向测点风压参数变化曲线

根据表 4 可知，列车以不同轨道经过站台雨棚时，风压参数曲线趋势相似，由于六号轨道相比较四号轨道靠近站台边缘，列车风在站台周围建筑碰撞反射后被削减，工况 6 产生的列车风影响弱于工况 5；七号轨道距离边缘最近，列车行驶区域空气被挤压得更加强烈，工况 7 产生的列车风影响强于工况 5。当列车头部达到雨棚入口时，产生正压力极值，即工况 5、6、7 的最不利正压位置均为雨棚入口处；雨棚中部持续受到风压影响，测点受压曲线呈现稳定趋势。负压力峰值 P_{min} 在列车进入雨棚后，曲线保持稳定，且负压力峰值均产生在雨棚中部测点。与雨棚受到的正压力相同，工况 7 列车风产生的负压力峰值绝对值最大，其次是工况 5、工况 6。由以上分析可得，工况 6 列车风影响最小，列车在此轨道行驶为最优选择；工况 7 列车风对雨棚影响较大，应避免列车在过于靠近站台边缘轨道行驶，需要注意此轨道行驶下的雨棚结构检测、加固等措施。

表 4 不同轨道下风压参数极值测点位置表

参数 工况	正压极值测点位置	负压极值测点位置
5	测点 Z1	测点 Z6
6	测点 Z1	测点 Z14
7	测点 Z2	测点 Z11

4 结论

论文以京张高铁清河车站为工程背景，最终得到以下结论：①在变化车速工况下，车速越快，压力峰值越大。②在变化轨道行驶工况下，列车在不同轨道行驶中出现风压削减情况，六号轨道行驶时正、负风压峰值绝对值总体小于四号轨道行驶的风压参数，负压力峰值与正风压峰值趋势相似，均是在雨棚中部保持稳定，且在雨棚出口处变小。

参考文献

- [1] 田红旗. 列车空气动力学[M].北京:中国铁道出版社,2007.
- [2] 杨娜. 高速列车经过雨棚时的列车风致效应研究[J].铁道学报,2017,39(4):126-134.
- [3] 艾兵海. 高速列车通过跨线桥梁时的气动效应分析[D].邯郸:河北工程大学,2017.