

文章编号:1005-0523(2015)02-0008-05

# 高铁外流场对站台建筑物的影响

吴中,陶帅

(河海大学土木与交通学院,江苏 南京 210098)

**摘要:**采用LS-DYNA数值模拟计算的方法,对高铁某站台列车进站时造成的空气扰动对雨棚的受力进行分析。主要分别模拟了两列车同时同向进站,两列车不同方向进站,单独一辆车进站4种不同情况下造成的空气扰动对雨棚的影响,给出其在不同时刻的等效应力云图,同时给出其不同情况下的最大应力值。

**关键字:**雨棚; LS-DYNA; 数值模拟; 受力分析

**中图分类号:**U491.1

**文献标志码:**A

伴随着列车运行速度的大幅度提高,列车的空气动力问题逐渐浮出水面<sup>[1]</sup>。高速列车在行驶时,具有粘性的空气被列车表面带动,被迫与列车一起运动,并同时向列车周围扩散,因此会在列车周围很大一块区域形成所谓的“列车风”。列车风对车站内候车人员以及站台建筑物都会产生不同程度的影响,尤其是高速列车引起的空气运动,其影响不容忽视。列车站台上的雨棚结构因靠近铁道,且本身结构较为单薄,故较容易受到列车高速行驶产生空气扰动的影响<sup>[2]</sup>。而关于风荷载对站台建筑物所产生的影响,国内外从事建筑或风工程的学者们主要关注的是自然风对建筑物的影响,以及列车振动所引起的建筑物响应。而关于列车行驶产生的列车风直接对站台建筑物的影响问题,其研究成果及相关文献还较为少见。

因此,研究列车风对高速列车车站空间大跨度雨棚结构的影响问题迫在眉睫,具有理论与现实意义。本文利用通用结构分析非线性有限元软件LS-DYNA<sup>[3-4]</sup>,分别对两列车在速度 $300\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 下,同时进站,两列车不同方向进站,单独一辆车进站4种不同情况进行数值模拟,给出雨棚在四种情况下的受力云图,得出其最大值以及最危险区域。

## 1 计算模型的建立

### 1.1 列车模型

本文主要参考CRH380A型列车进行列车模型的建立,并对真实列车模型作一些简化。列车选定为三车编组(头车+中间车+尾车)模型。尺寸为 $65\text{ m}\times 3\text{ m}\times 3.6\text{ m}$ 。当前国内外处理长细比较大的问题<sup>[5]</sup>,大多采用缩短研究对象长度这一简化方法<sup>[6]</sup>。由于真实列车表面并非光滑,有小至螺钉、车灯、门把手,大至受电弓、转向架等凸出物,对于缩短的列车模型,不可能精确模拟出其边界层的真实情况<sup>[7]</sup>,所以本文忽略车顶电机及受电弓等凹凸结构,将列车表面视为光滑曲面。所建模型列车见图1。

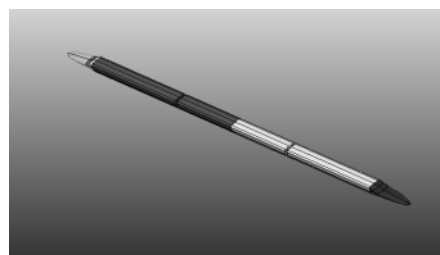


图1 列车模型图

Fig.1 The diagram of train model

收稿日期:2014-02-08

作者简介:吴中(1964—),男,教授,博士,主要从事交通运输规划与管理、交通运输信息与控制、交通安全等方面。

## 1.2 站台-空气模型

本文主要参照某高铁站台建立其简化模型,站台雨棚长100 m,雨棚柱每8.5~9 m一根。对于空气流场,理论上是无限大的,且计算结果的真实性正比于计算区域的范围,但实际计算空间不可能为无限大区域,模拟区域增大的后果会导致网格总数的增多。相应的,对计算硬件的要求也会提高,同时,模拟时间将增大。如此,也就无法体现数值模拟计算的优越性。当计算区域的规模大至一定程度后,增大计算区域,对计算结果的准确性影响甚微,所以,应选取大小合适的流体区域,使之既符合计算硬件的要求,又同时满足计算结果的精度要求,本文所建立的空气域模型尺寸为180 m×50 m×20 m。其整体站台-空气-列车模型图见图2。

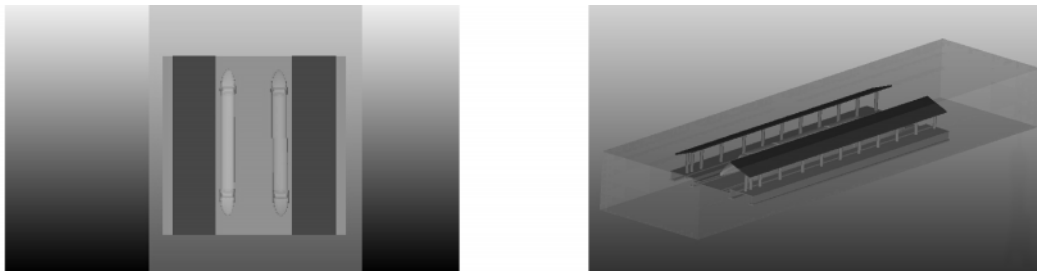


图2 站台-空气-列车模型图

Fig.2 The diagram of platform - air - train model

## 1.3 模型的设置

### 1.3.1 列车的设置

由于本文讨论的侧重点在于列车运行造成的空气扰动对雨棚的受力情况,故车体采用MAT\_RIGID材料<sup>[8]</sup>,可以加快计算速度,也便于后期在LS-PrePost中对雨棚受力结果云图的提取。模型设置的列车单元的属性为SECTION\_SHELL。在约束方面,仅对车体表面所有节点在列车前进方向上释放其移动自由度,限制其他两个方向上的移动自由度和所有3个方向上的转动自由度。对于列车的速度的设置,因为列车速度越大,对空气的扰动越大,雨棚受力越大,我国的高铁运行速度最大一般在300 km·h<sup>-1</sup>左右,所以本次主要模拟列车在最大运行速度300 km·h<sup>-1</sup>下对雨棚的受力影响。因为列车头部线性较为复杂,所以本次模拟中对其采用四边形网格和三角形网格混合的方式划分。两列车共34 256个节点,34 500个单元。

### 1.3.2 雨棚的设置

本次模拟中雨棚采用MAT\_ELASTIC材料,其单元属性为SECTION\_SHELL。限制雨棚底端边界上所有节点在3个方向上的移动自由度和转动自由度。由于四边形网格单元的应变为一次函数关系,其计算精度高,故雨棚所用网格均采用规则的四边形网格。本文重点分析雨棚的受力情况,故本次模拟中雨棚网格划分得较为细密,共89 309个节点,89 758个单元。

### 1.3.3 空气域的设置

本次模拟空气采用MAT\_NULL材料,单元属性为SECTION\_SOLID\_ALE,状态方程采用关键字EOS\_LINEAR\_POLYNOMIAL\_WITH\_ENERGY\_LEAK。为了进一步减小空气域边界对雨棚的受力的干扰,防止其对模拟结果的准确性产生影响,故设定空气域的6个面均为无反射边界条件,采用关键字BOUNDARY\_NON\_REFLECTING。空气域与雨棚及列车的接触均设置为CONSTRAINED\_LAGRANGE\_IN\_SOLID。由于空气域形状较为规则,为了使计算结果更容易收敛,尽量减小计算时间和网格离散误差,其网格均采用正六面体网格,共136 836个节点,125 460个单元。

### 1.3.4 计算时间的设置

由于本次所建立的空气域模型尺寸为180 m×50 m×20 m,所以时间的设置要保证两辆列车从车头进入空气域到车尾离开空气域,这样才能更加与实际列车进站的情况贴切,所以本次模拟中所设置的计算时间

为5 s。

## 2 计算结果及分析

### 2.1 4种情况受力分析

雨棚在列车进站时所受应力是由于列车在明线上高速行驶时,会带动列车附近区域内的空气随之一起运动,形成了“列车风”这种特殊的非定常流。随着列车速度的加快,列车风会逐渐加强,周围空气的扰动就随之加大。由于列车风的存在,必然会对列车周围的空气流动产生影响,从而改变了周围建筑物及列车自身所受的风荷载。下面重点分析雨棚在 $t=0.5$ 和 $t=1.06$  s时,左边列车进站,右边列车停靠在站台内(以下简称A种情况),右边列车进站,左边列车停靠在站台内(以下简称B种情况),两列车同向进站时(以下简称C种情况),两列车逆向行驶过站台(以下简称D种情况)的受力情况。

在 $t=0.5$  s时,如图3,列车头才驶入站台,由于列车头部挤压空气,造成流场内空气扰动,对雨棚表面产生受力。A种情况下,如图3(a),靠近列车头的雨棚单元受力比较明显,且左边雨棚受力区域明显比右边雨棚受力区域大。B种情况下,如图3(b),右边雨棚受力比左边大,且受力区域在右边雨棚上呈条状分布。C种情况下,如图3(c)两列车的车头同时挤压空气,造成空气的扰动更加明显,左右两边的雨棚的受力明显增大。D种情况下,如图3(d),两边的空气都被车头挤压,可以明显的看出雨棚的受力区域增大,整个雨棚都处在受力状态下。

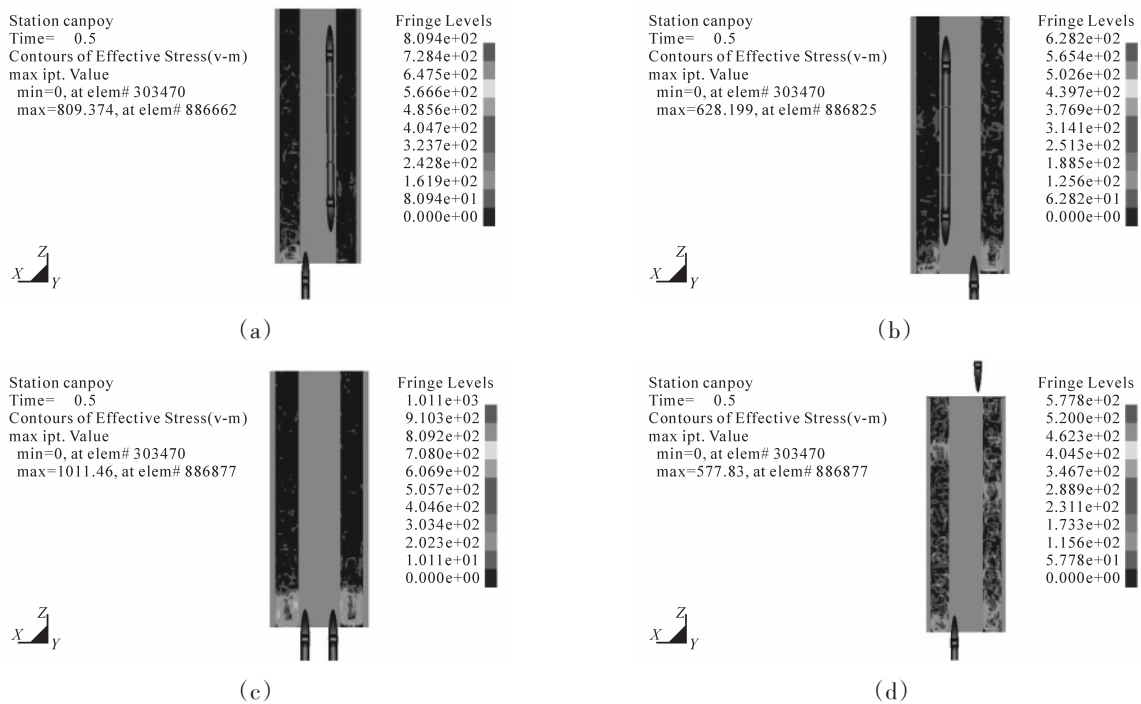


图3  $t=0.5$ s时雨棚等效应力图

Fig.3 The diagram of canopy's Von Mises stress when the time is 0.5 seconds

在 $t=1.06$  s时,如图4,此时列车头基本驶入站台内,a种情况下,如图4(a),右边雨棚受力区域没有左边大,这是因为右边有列车停靠,对右边雨棚起到一定的保护作用,同理在b种情况下,如图4(b)左边雨棚受到左边停靠的列车的保护作用,受力也比右边小,c种情况下,如图4(c),此时两列车头附近的雨棚受力较其它地方雨棚更大,且呈块状分布,d种情况下,如图4(d)左右两边雨棚受力情况比较复杂,块状分布明显。由于两车即将会车,造成空气扰动更加剧烈。

通过对4种情况的数值模拟,如下表5给出雨棚在不同情况下的受力最大值,及最大值所在的单元以

及出现的时间。

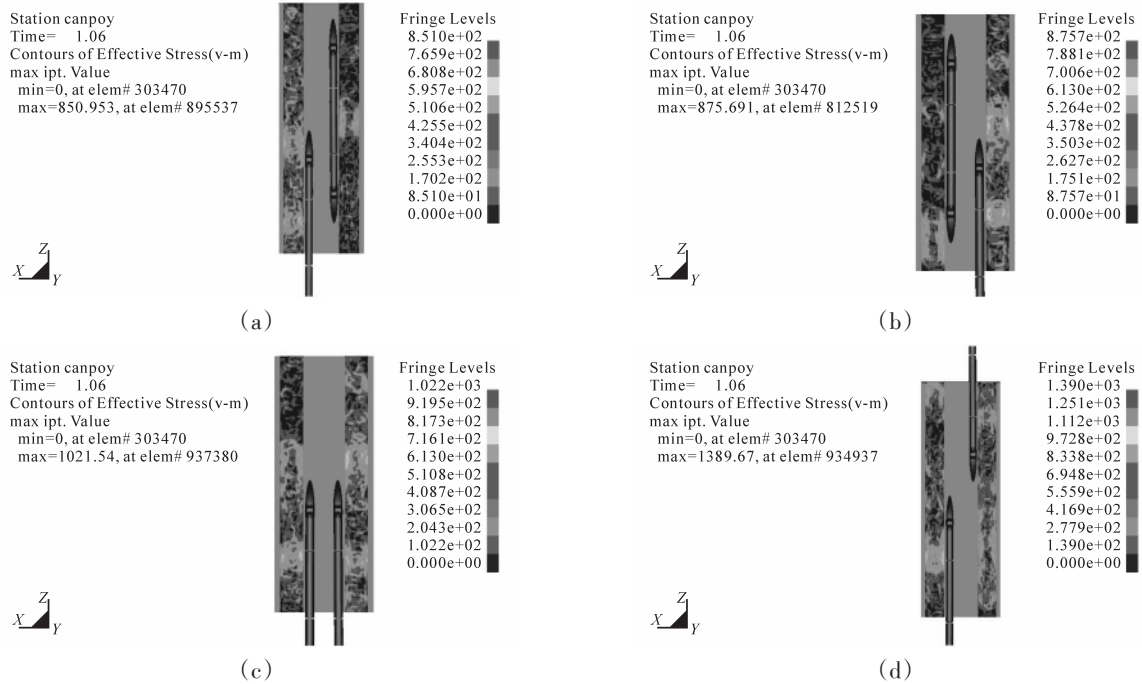


图4 t=1.06 s时雨棚等效应力图

Fig.4 The diagram of canopy's Von Mises stress when the time is 1.06 seconds

表5 雨棚在不同情况下的最大应力值

Tab.5 The maximum stress of canopy in different situations

不同情况	最大等效应力值/Pa	最大应力出现时/s	最大应力出现位置(单元号)
A	1 401.59	1.168	886149
B	1 307.75	0.803 99	800330
C	2 081.46	0.979 99	939383
D	1 877.83	1.1	900665

### 3 结论

本文就列车行驶过站台对雨棚受力这一问题上,通过对4种情况的数值模拟,可以知道当两列车同时驶入站台后,雨棚的受力较其它3种情况都大。且通过后期的数据提取我们也知道了其最大应力值,以及其所在的单元。通过对列车驶过站台雨棚受力的模拟可以为以后高速列车车站新型雨棚的设计提供参考依据,还能成为雨棚改造的理论基础,从而保证大跨度空间建筑结构的安全性。由于本模拟内容较大,没有进行实测校验和风洞实验。因此,本模拟仅具有定性意义,期待实际工程的修正与检验。

### 参考文献:

[1] 前田达夫,江慧.高速铁路的空气动力学现象与环境问题[J].变流技术与电力牵引,2000,15(2):35-37.  
 [2] 张江,尹越,罗跃名.某火车站站台雨棚结构风振系数计算[J].沈阳理工大学学报,2011,30(4):91-94.  
 [3] Livermore Software Technology Coporation.LS-DYNA Theoretical Manual[M]. 2876 Waverley Way Livermore, California, 2007: 18-28.

- [4] Livermore Software Technology Coporation.LS-DLYNA Keyword user manual version[M]. 2876 Waverley Way Livermore, California, 2007:32-40.
- [5] GERD MATSCHKE. Computational simulation of aerodynamic forces and side wind behavior of railway vehicles[C]//European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering,Barcelona: 2000:11-14.
- [6] 崔涛,张卫华,张曙光,等.列车高速通过站台时的流固耦合振动研究[J].中国铁道科学,2010,31(2):50-55.
- [7] 宋洋,任尊松.强侧向风作用下的高速列车动力学性能研究 [J].铁道车辆,2006,44(10):4-8.
- [8] 吴中,苏治北.室内停车场防撞带设计的碰撞仿真分析[J].华东交通大学学报,2014,31(4):21-25.

## Influence of External Flow Field on High-speed Rail Station Buildings

Wu Zhong,Tao Shuai

(College of Civil and Transportation Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** By adopting LS-DYNA numerical simulation calculation, this study analyzes the stress on canopy when the trains run into the station. Simulations are carried out in four situations, including the single train into the station, two trains into the station in the same direction and two trains into the station in different directions. It discusses the equivalent stress contours at different time and also gives the maximum value of stress under different conditions.

**Key words:** canopy; LS-DYNA; numerical simulation; stress analysis

(责任编辑 王建华)