

时间离散格式对微气压波幅值精度比较

宋军浩¹ 柳宁¹ 郭迪龙²

(1.中车青岛四方机车车辆股份有限公司 山东青岛 266000;2.中国科学院力学研究所 北京 100190)

摘要:隧道洞口微气压波随着列车通过速度的提高对洞口周围环境的影响恶劣。高速磁浮列车设计需要对隧道洞口的微气压波幅值进行估计。该文首先通过数值模拟和实验验证,比较了时间离散格式对车体表面压力波动和微气压波幅值仿真精度的影响,结果表明,采用二阶精度的离散格式能够较为准确地模拟洞口微气压波噪声现象。最后评估了高速磁浮列车550km/h单车通过隧道的微气压波幅值,为工程设计提供有效指导。

关键词:隧道 微气压波 动模型试验 高速磁浮列车

中图分类号: U451.5

文献标识码: A

文章编号: 1672-3791(2020)05(b)-0035-03

高速列车进入隧道入口时产生的压缩波以当地声速传播至隧道出口时向外辐射会产生微气压波,如图1所示,对周围的环境和居民会产生不利影响^[1]。当列车速度较低时,列车设计主要关注隧道内压力波叠加到列车车体,对车体结构疲劳强度和车体气密性的影响。随着列车速度越来越高,特别是高速磁浮列车最高速度将达到600km/h,列车进入隧道产生的微气压波现象将更为明显,隧道洞口微气压波幅值大小成为列车气动设计中不可忽视的重要指标,精确地预测微气压波幅值成为实际工程中急需解决的问题。

该文基于三维、非稳态、可压缩流体控制方程,结合k-ε两方程湍流模型,采用有限体积法,分别在一阶和二阶时间离散格式条件下,对列车通过隧道产生的压力波和洞口微气压波进行了仿真分析,结合动模型试验比较了两种方法的仿真精度,最后评估了高速磁浮列车通过单线隧道的微气压波幅值,对工程设计有指导意义。

1 洞口微气压波仿真评估方法

1.1 控制方程

基于有限体积法和滑移网格技术求解列车通过隧

道流场需要考虑空气的可压缩性,求解理想气体流场的Navier-Stokes方程为^[2]:

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \text{div}(pu) = 0$$

$$\frac{\partial pu}{\partial t} + \text{div}(puu) = -\frac{\partial p}{\partial x} + (\mu \text{grad}u)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \text{div}(pvu) = -\frac{\partial p}{\partial y} + (\mu \text{grad}v)$$

$$\frac{\partial(\rho e)}{\partial t} + \text{div}(peu) = -p \text{div}(u) + \text{div}(k_r \text{grad}pw)$$

其中,ρ为密度;t为时间;div(·)为散度算子;grad(·)为梯度算子;u为速度;在3个方向上的分量分别为u、v、w,p为压力;e为内能;k为热传导系数;T为温度;μ为动力黏性系数。湍流模型选择工程上应用广泛的k-ε两方程湍流模型。

1.2 几何模型

列车模型采用CRH380A三编组车体1:8缩比三维模

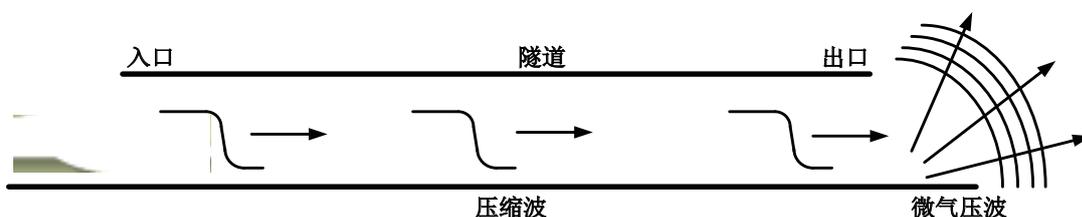


图1 微气压波形成过程

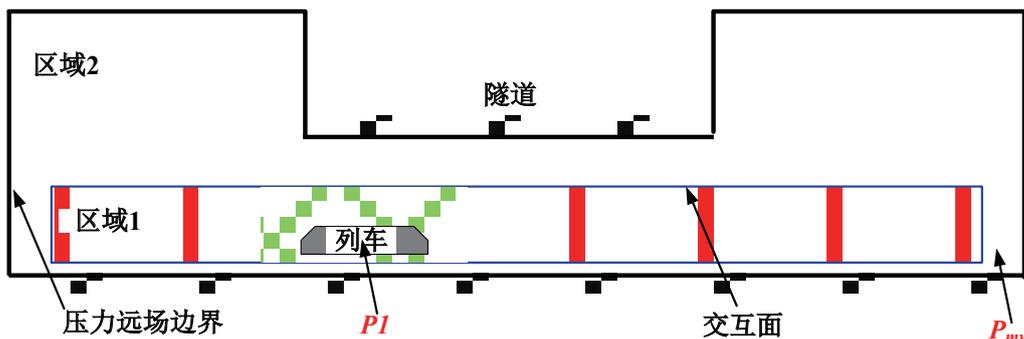
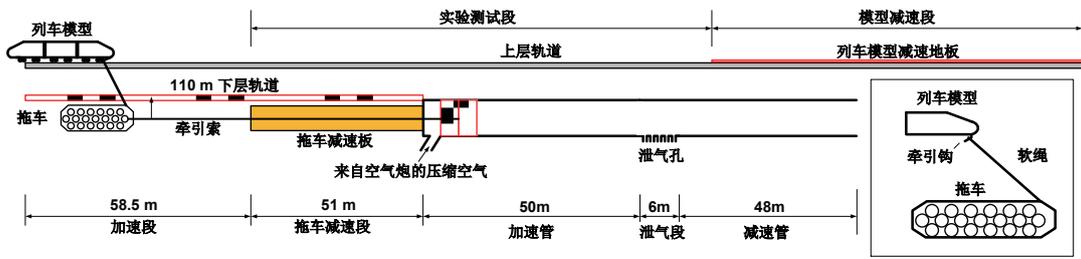


图2 仿真模型



(a)动模型试验台原理



(b)隧道模型

图3 动模型实验平台系统

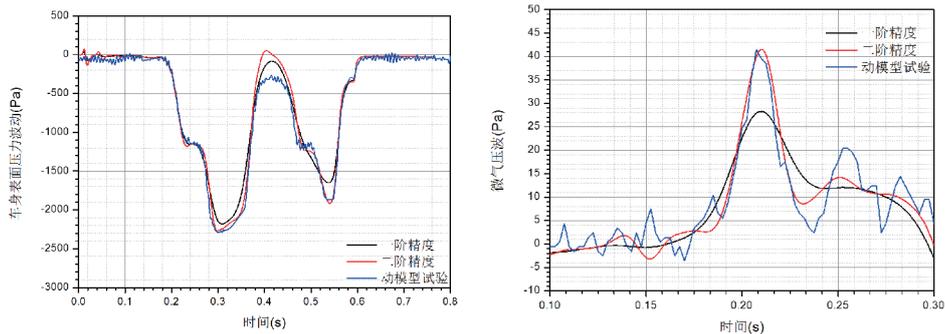
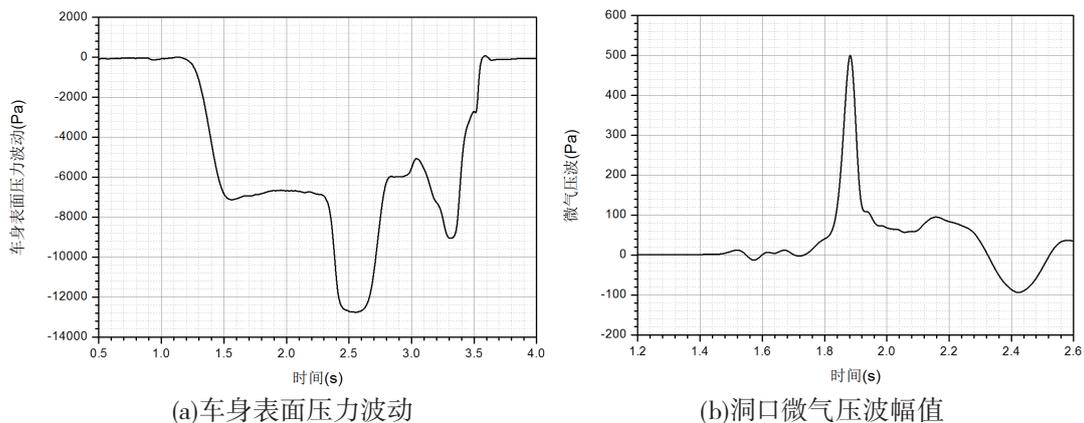


图4 不同时间离散格式下仿真与试验结果比较



(a)车身表面压力波动

(b)洞口微气压波幅值

图5 高速磁浮列车以550km/h通过80m²隧道

型,长度约为10m,标准客运双线隧道长度37.6m,计算域边界条件如图1所示,外场设置为压力远程边界条件,采用滑移网格技术模拟列车通过隧道整个过程,区域1和区域2设置交互面进行数据交换,列车运行速度300km/h。列车表面压力波动监测点 P_1 为中间车中部,出口微气压波

测点 P_{mw} 设置为距离隧道出口2.5m位置。

2 动模型试验验证

列车动模型试验能够实现列车与隧道的相对运动,是研究隧道压力波的有效方法。试验在中科院力学所动

(下转38页)

要求,对于初压环节,重要的保证温度在120℃以上,复压的温度要控制在90℃以上,而终压则需控制在70℃以上即可。在进行碾压的过程中,对碾压的方向也有着严格的控制,碾压的方向应该为纵向碾压,并且应该在摊铺材料较低的部分开始,逐渐向较高的部分延伸。另外,如果在碾压的过程中,碾压机要保持匀速的状态,不能出现急刹车或者是突然加速度的现象,否则会对路面压实的质量产生影响。

2.3 优化水损

在沥青混凝土道路施工中,经常出现的影响道路施工质量的一个因素是水分经常也会渗透到道路的缝隙中去,这种现象称之为水损,指的就是由于水分涌入缝隙而导致的道路损坏现象,这种现象对道路工程质量的影响是很大的,如果水损的情况较严重,甚至可能拓展到矿质材料内,这样给道路工程造成的影响更是十分巨大。水损的发生能够在最短的时间内使路面的张力变大,将会导致沥青的粘附性大大降低,将会发生开裂或者是与路面瓦全剥离的现象,因此对于水损现象,施工单位在施工进行的过程要有一定的防护措施,可以在施工的过程中对集料做进一步处理,使集料的表面更加洁净,在集料的表面使用液体抗剥离剂,这是有效对抗路面水损的措施,通过加大处理措施,可以提高沥青与路面的粘附性,提高市政道路的施工质量。

2.4 对缝施工

在以往沥青混凝土路面施工中,很多导致路面施工质量低下的原因是由于对缝施工工艺没有做好把控,这是影

响路面施工质量的重要原因,因此使用单位要将对缝施工工艺的重要性重视起来,在进行对缝施工的过程中要及时对出现的对缝进行修补,只有及时地将出现的对缝做好弥补,才可以避免很多因质量而产生的后续问题。在对缝施工过程中,施工的质量会鲜明地体现出来,使用人员的施工技能会直接反映在施工中,施工水平的高低会影响到对缝施工的质量,因此施工人员进行对缝施工之前,要做好施工前的准备工作,在施工中做好接缝的处理是最重要的一环,也是首要环节,在施工中,最关键的一个步骤就是做好接头的切除工作。在接头的处理上,要配合使用切割机,需要将残缺的沥青混凝土钢筋材料进行完全切割清除后再进行对缝施工。

3 结语

总之,在当前我国市政道路工程的施工中,沥青混凝土的应用频率很高,应用的范围也十分宽广,这与其得天独厚的优势密不可分。沥青混凝土路面的施工速度快、成本低,路面性能好,对路基的保护作用十分好,施工单位在具体的施工中,应该注重4个方面的内容,分别是混合料的摊铺环节、混合料的压实环节、水损的优化环节以及对缝施工环节等,只有注意做好每一个施工环节的质量把控,才能够最大程度地保证市政道路工程的施工质量。

参考文献

- [1] 林应淦.市政道路施工中的沥青混凝土道路施工技术[J].四川建材,2019,45(11):84-85.
- [2] 陈仁明.沥青混凝土施工技术在道路施工中的应用[J].建材与装饰,2019(30):274-275.

(上接36页)

模型试验平台上进行^[3],试验平台原理及安装隧道模型如图3所示。利用压缩空气驱动的方式使模型运动速度达到300km/h,完成试验测试,测点布置与仿真设置相同。

3 结果比较分析

图4给出了一阶时间离散格式、二阶时间离散格式及动模型试验3种条件下列车通过隧道表面压力波动和洞口微气压波幅值,可以看出列车表面压力波仿真和试验结果基本重合,最大负压值在-2186~-2273Pa之间,相差4%,但不同离散精度下的洞口微气压波仿真幅值相差较大,与动模型试验结果比较可以看出,二阶精度下的仿真结果与试验结果较为吻合分别为41.5Pa和40.6Pa,而一阶精度仿真结果为28.2Pa,与试验值相差31%。说明计算列车表面压力波动时,一阶迎风格式离散可以获得较高精度数值解,在工程上满足应用。而洞口微气压波由于本质是低频振动噪声问题,具有明显的声学特性,对插值精度要求更高,需要采用二阶迎风格式才能保证仿真精度。

4 高速磁浮微气压波幅值评估

利用上述验证二阶时间离散精度仿真方法评估了高速磁浮列车以550km/h通过400m长度单线隧道的列车表面压力波动和洞口微气压波幅值,如图5所示。可以看出,磁浮列车通过隧道列车表面压力波动幅值和洞口微气压波幅值分别为-12763Pa和498Pa,和目前运行的动车组相比,微气压波幅值远大于安全范围,需要对列车-隧道耦合设计来减缓隧道洞口微气压波值。

5 结语

该文研究了时间离散精度对车体表面压力和洞口微气压波幅值仿真精度的影响。与试验结果相比较,一阶迎风格式离散可以保证列车通过隧道车体表面压力波动的仿真精度。而当计算洞口微气压波幅值大小时,通过试验验证,二阶离散精度下的仿真方法可以较高精度获得列车通过隧道过程中的洞口微气压波特性,适合以后列车-隧道气动效应工程设计采用方法。

参考文献

- [1] 刘金通,李人宪.高速列车进入隧道出口微气压波声学特性计算分析[J].声学与振动,2018,6(2):62-69.
- [2] 杜健,梁建英,田爱琴.高速列车受电弓气动噪声特性分析[J].西南交通大学学报,2015(5):935-941.
- [3] Yang QS,Song JH,Yang GW.A moving model rig with a scale ratio of 1/8 for high speed train aerodynamics[J].Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics,2016,15(2):50-58.