

地铁活塞风的模拟

西南科技大学土木工程与建筑学院 刘东 唐中华

摘要: 我国的交通问题日益严峻,促使地铁得到了大力发展。随着列车一次次的提速,活塞风问题引起人们的关注。文中对隧道地铁列车模型进行简化,基于 FLUENT 动网格技术对二维的简化模型进行了模拟。

关键词: 活塞风 数值模拟 动网格

0 引言

目前地铁已经成为缓解城市交通阻塞和解决居民乘车难等问题的有效途径,成为现代城市交通运输设施的重要组成部分。地铁列车在隧道中运行及进出隧道时会产生诸如活塞风、压缩波、噪音等,影响乘客舒适性并可能会引发安全问题。随着客运量的增加,要求列车提速、增大车流密度,这就使得活塞风的速度增大。目前对活塞风的研究有风洞实验和数值模拟。

1 数值方法

1.1 模型的简化与假设

真实的地铁系统结构复杂。地铁的特点是庞大、细长、近地运动。因此就不同于航空和汽车空气动力学。地铁运行时由于壁面的限制所排开的空气不能完全绕流至后方,就有部分顺着列车前进方向流动。所形成的气流称为活塞风。活塞风大大小小与列车速度、阻塞比等因素有关。若为单洞多线则流场比较复杂。

将问题简化为二维,列车、隧道都简化为长方形。将空气看做不可压缩流体。流动视为湍流。无自然风。

1.2 控制方程

$$\text{连续方程 } \frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0$$

$$\text{动量方程 } \frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \rho g_i + F_i$$

$$\text{能量方程 } \frac{\partial}{\partial t}(\rho h) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i h) = \frac{\partial}{\partial x_i}(k + k_i) \frac{\partial T}{\partial x_i} + S_h$$

1.3 边界条件

压力入口和压力出口。

1.4 网格

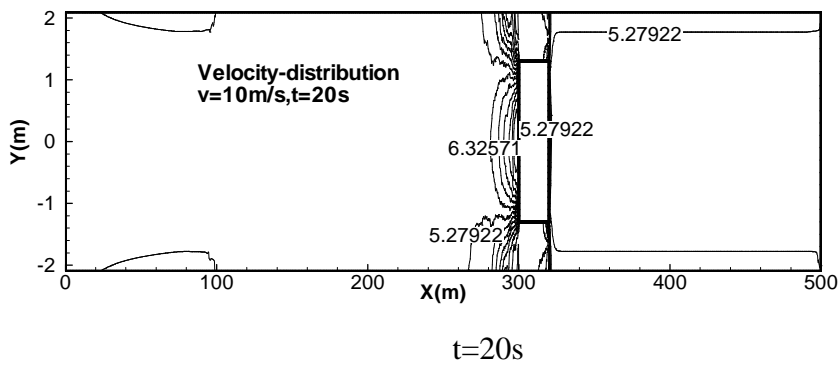
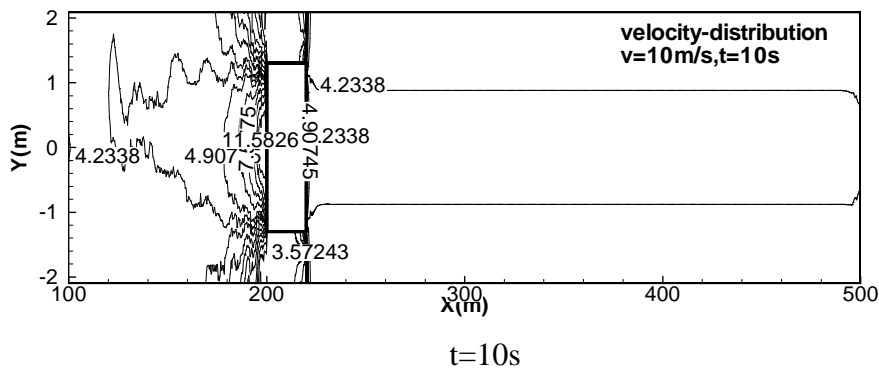
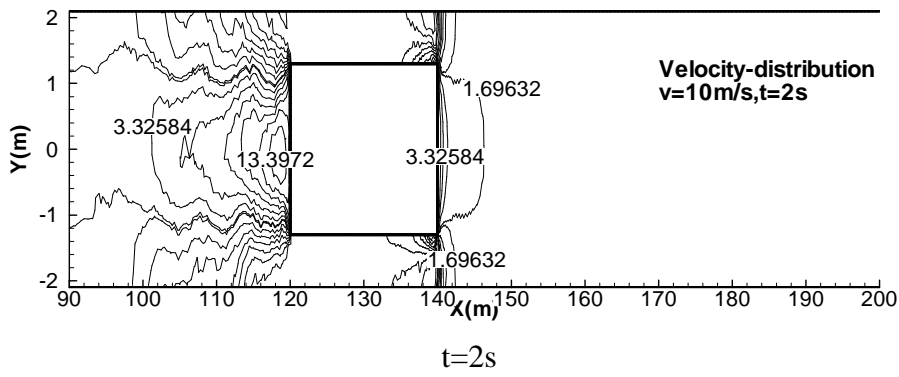
采用动网格,用 profile 给定不同的列车速度。对列车周围网格加密。

2 结果分析

分析了单辆列车不同速度和两辆列车相对行驶时的情况

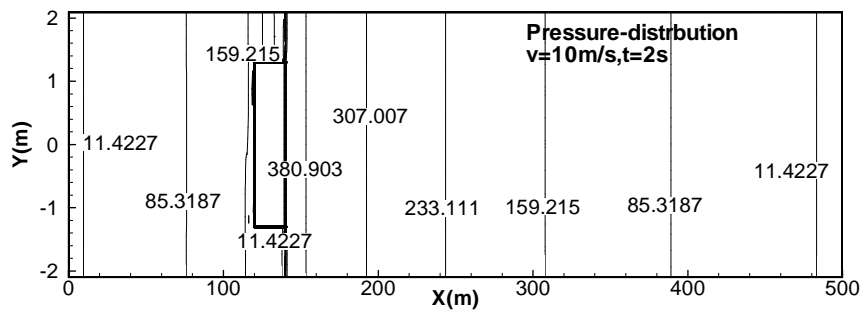
2.1 隧道 500m*4.2m, 列车 20m*2.6m, 行驶速度 10m/s。运行时间为 2s、10s、20s 时的情况

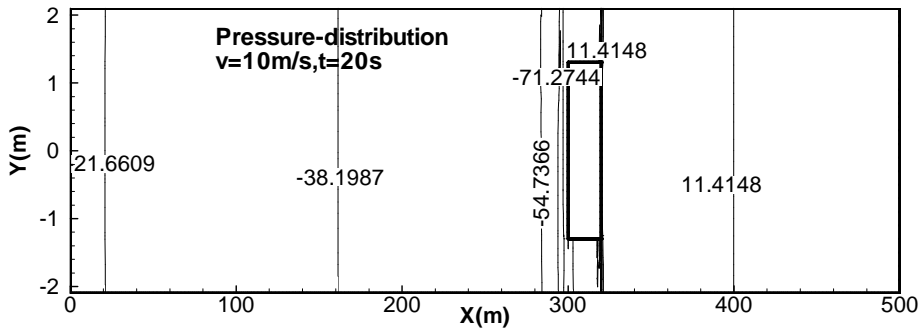
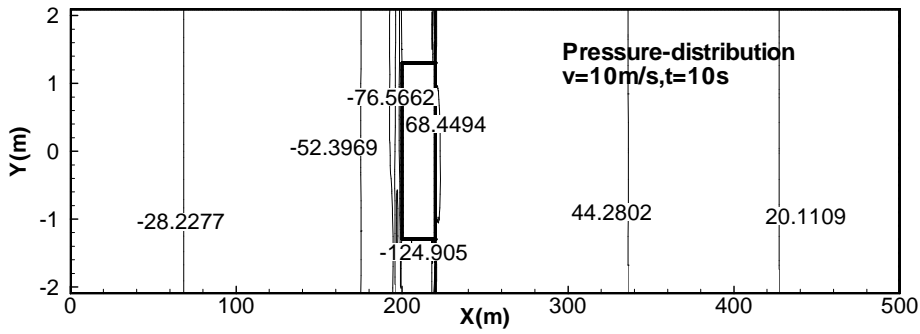
不同运行时间下的速度分布情况:



活塞风的最大风速与行驶时间无关，但随着行驶时间的增大，活塞风的影响范围扩大。

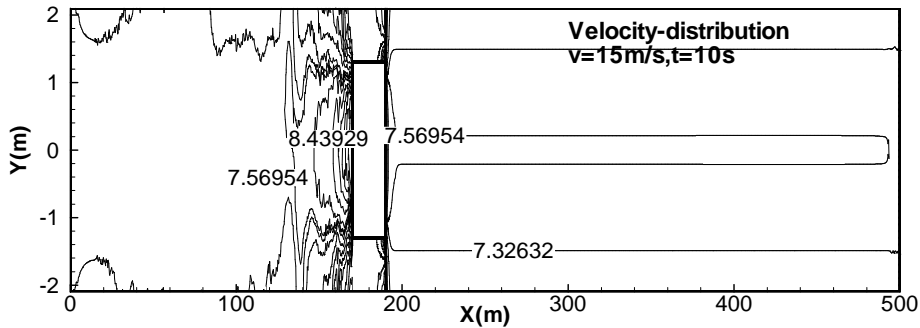
不同运行时间下的压力分布：



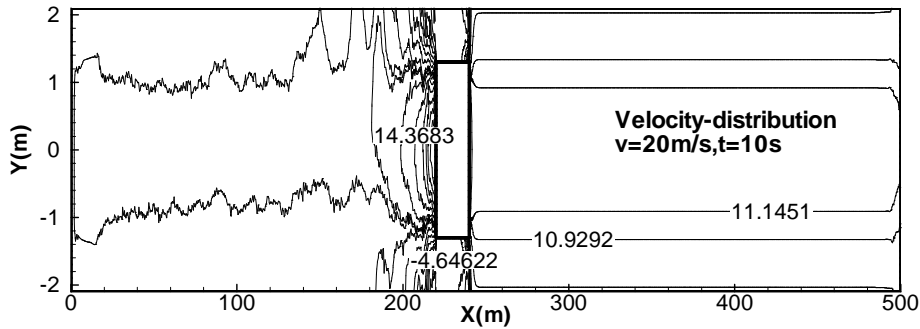


由压力分布图可以看出由于列车推动气体前进，前方产生正压后方产生负压，峰值都在贴近列车壁面的地方。

2.2 隧道 500m*4.2m，列车 20m*2.6m，行驶速度 15m/s、20m/s 运行时间为 10s 的速度分布图



V=15m/s 时速度分布图



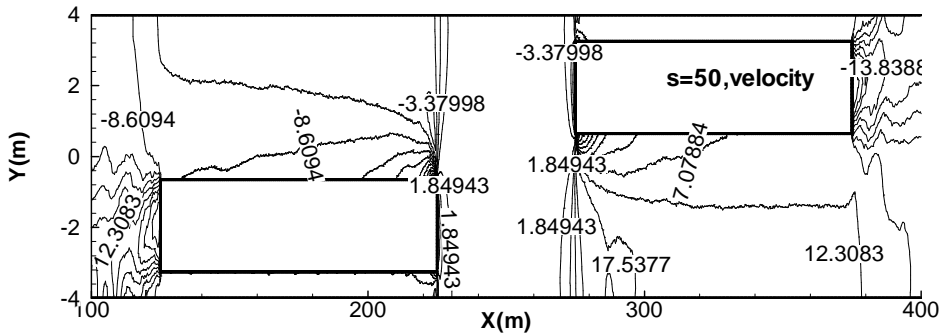
V=20m/s 时速度分布图

结合 2.1 中的结论，都取行驶时间为 10s 时的结果。当列车以 10m/s 运动时，

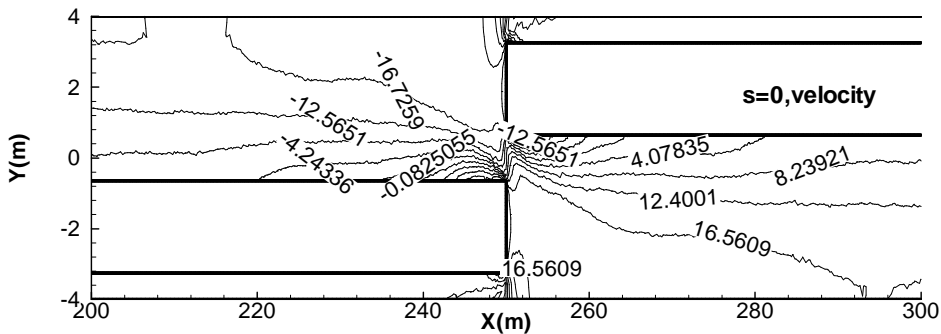
前方活塞风速度约为 4m/s ;以 15m/s 运动时活塞风速度约为 7.5m/s ;以 20m/s 运动时活塞风速度约为 11m/s 。明显可以看到随着运行速度的提高活塞风速度变大。

2.3 双列车相对运动时的模拟

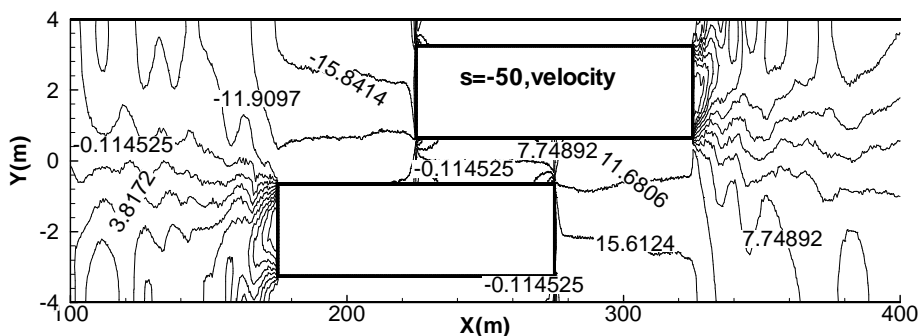
隧道 $500\text{m}\times 8\text{m}$,列车为 $100\text{m}\times 2.6\text{m}$, 两车间距 1.3m , 列车速度 25m/s 。
相遇前 50m , 相遇时, 相遇后 50m 的速度分布



相遇前 50 米速度分布



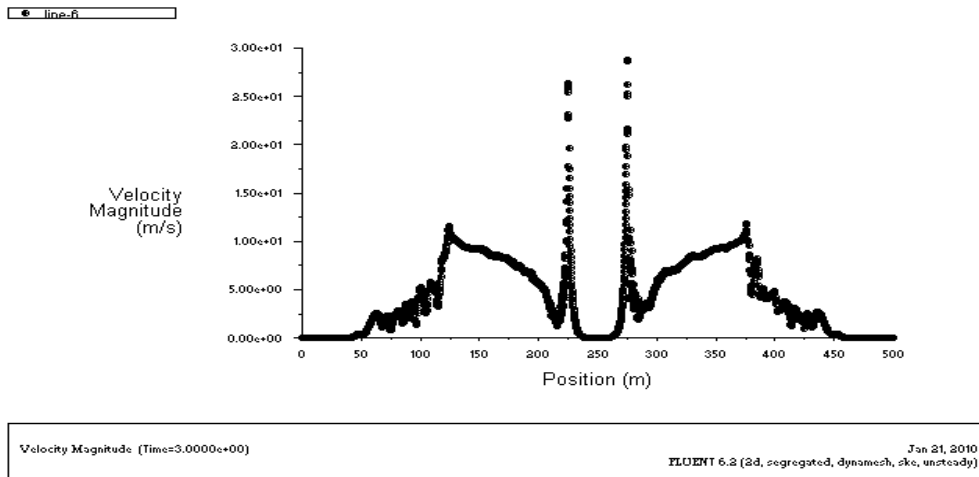
相遇时速度分布



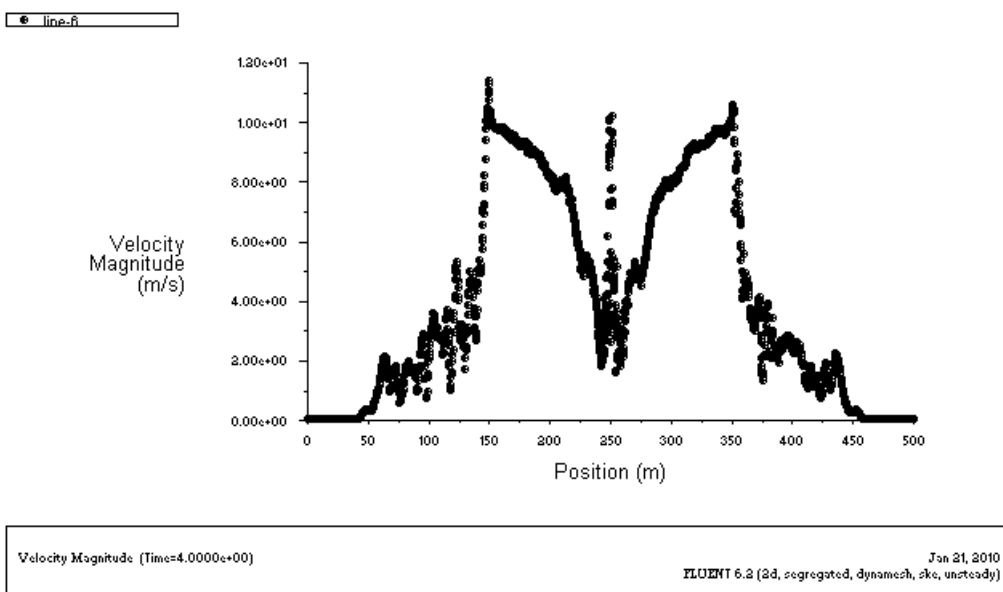
相遇后 50 米

由中轴线速度图可以看到在中轴线上速度变化复杂。列车行相遇 50m 时呈大一小一大一小的分布, 最小速度 1m/s , 而最大到 25m/s 多。相遇时最大为 11m/s , 而最小约为 2m/s 。相遇后 50m 最小风速不到 1m/s , 最大风速约为 12m/s 。

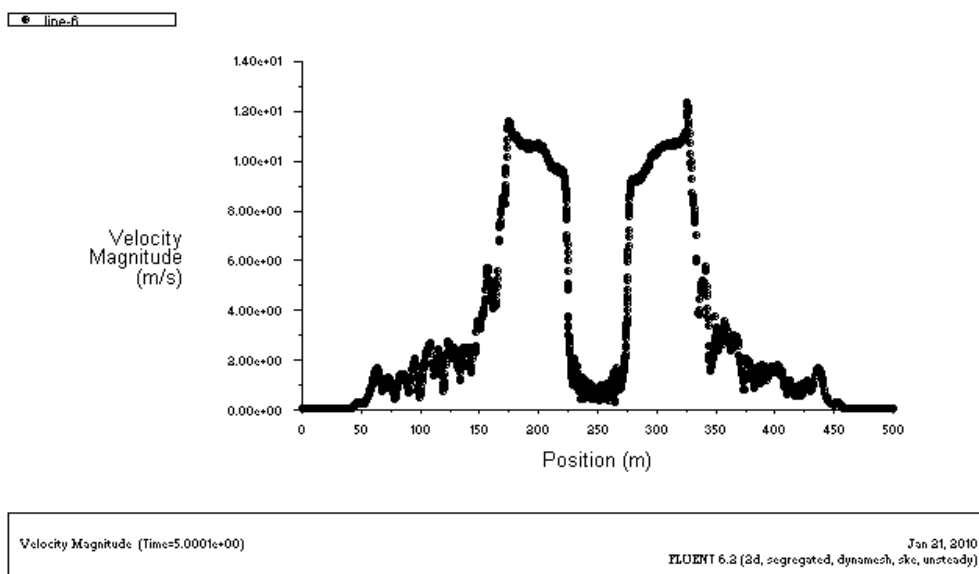
和单列车表现出明显不同的特性, 由于两辆车的相互作用其风速不只跟车的运行速度有关, 还与运行时间相关。



相遇前 50 米中轴线上速度图



相遇时中轴线上速度图



相遇后 50 米中轴线上速度图

3.总结

单列车运行时风速只与车速有关，两列车时还与运行时间、两车的间距有关。

参考文献：

- (1) 包海涛，“地铁列车活塞风数值模拟”，南京理工大学硕士学位论文 2005
- (2) 顾红生，赵毅山，“磁悬浮列车在隧道内影响活塞风的因素”，同济大学学报，2003（3）：324-328