



石家莊鐵道大學
SHIJIAZHUANG TIEDAO UNIVERSITY

在线开放课程

高速铁路隧道

高速铁路的隧道-列车空气动力学效应

主讲：严战友

目录



在线开放课程

- 1.空气动力学效应
- 2.列车进入隧道引起的瞬变压力
- 3.列车进入隧道引起的微压波
- 4.列车进入隧道引起的行车阻力

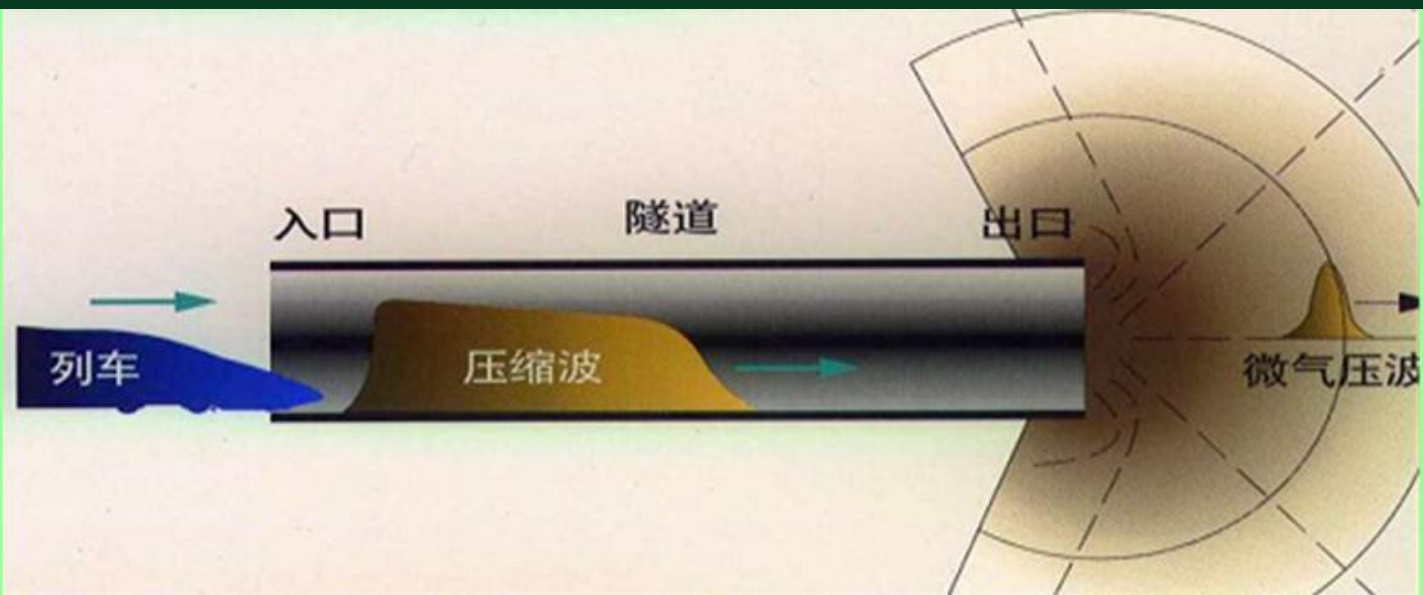
一.空气动力学效应

- 当列车进入隧道时，原来占据着空间的空气被排开。空气的粘性以及气流对隧道壁面和列车表面的摩阻作用使得被排开的空气不能象在隧道外那样及时，顺畅地沿列车两侧和上部流动，列车前方的空气受压缩，随之产生特定的压力变化过程，引起相应的空气动力学效应并随着行车速度的提高而加剧。

1. 空气动力学效应的组成

- 主要包括**瞬变压力**、**微压波**和**行车阻力**。
- **瞬变压力**：列车进入隧道时引起的瞬时压力变化。
 - 1) 列车移动时从挤压、排开空气到留下真空整个过程引起的压力变化；
 - 2) 列车车头进入隧道产生的压缩波以及车尾进入隧道产生的膨胀波在隧道两洞口之间来回反射产生的压力变化。

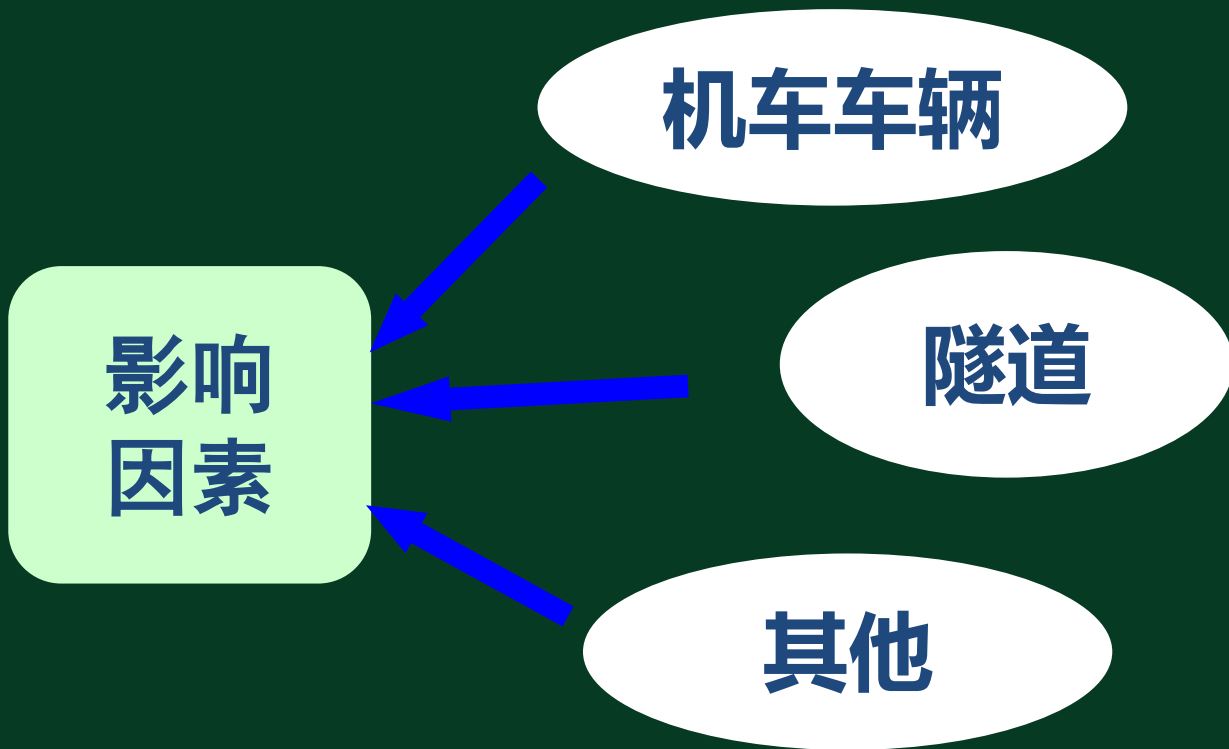
- **微压波**：隧道出口微气压波的简称。
- **表现形式**：列车进入隧道时产生的压缩波在隧道另一端释放时产生爆破声。



2 空气动力学效应对铁路运营的影响

- 由于瞬变压力造成乘员舒适度降低，并对车辆产生危害
- 微压波引起爆破噪声并危及洞口建筑物
- 行车阻力加大
- 空气动力学噪声
- 列车风加剧

3 高铁隧道空气动力学效应的影响因素



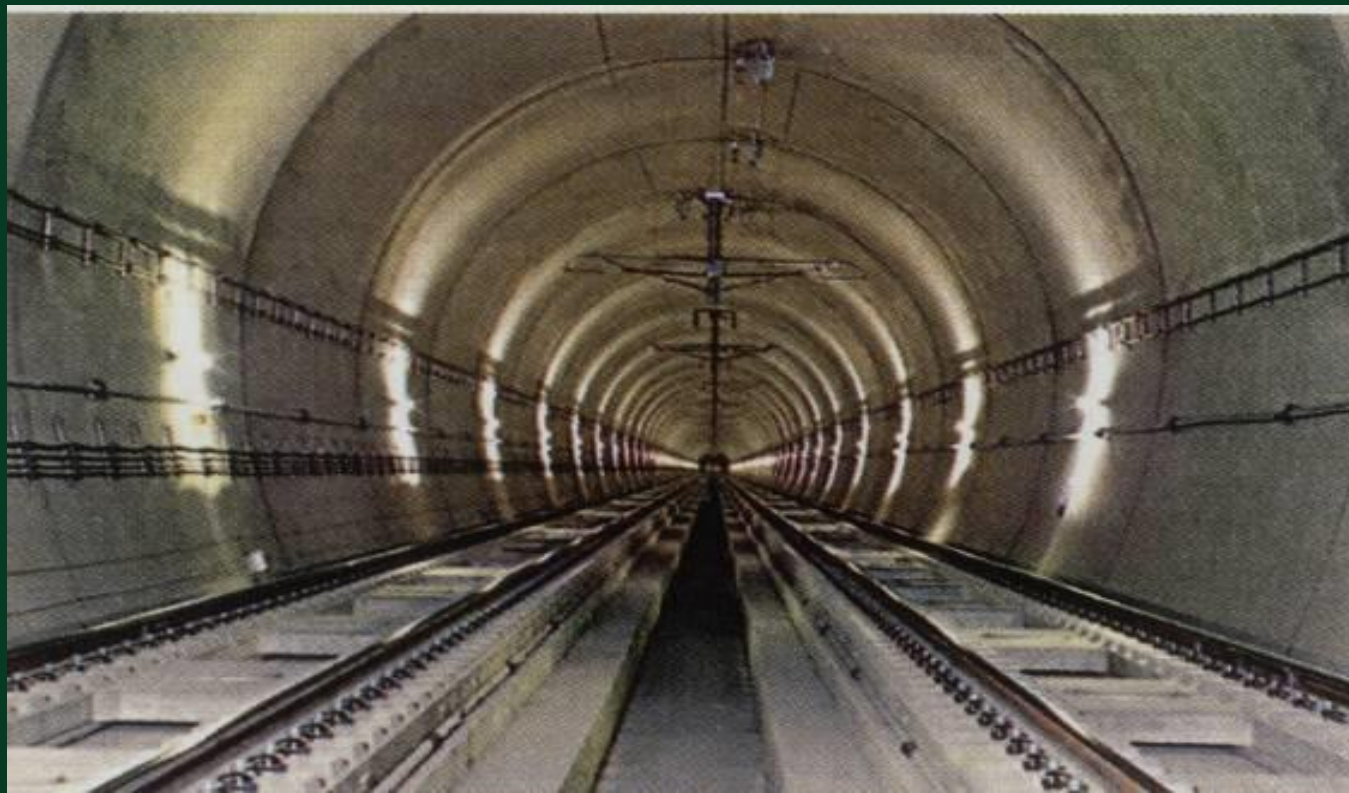
- 机车车辆方面：
 - ✓ 行车速度
 - ✓ 车头和车尾形状
 - ✓ 列车横断面
 - ✓ 列车长度
 - ✓ 列车外表面形状和粗糙度
 - ✓ 车辆的密封性等。



在线开放课程



- 3.2 隧道方面：
 - ✓ 隧道净空断面面积
 - ✓ 双线单洞还是单线双洞
 - ✓ 隧道壁面的粗糙度
 - ✓ 洞口及辅助结构物形式
 - ✓ 竖井、斜井和横洞
 - ✓ 道床类型等。
- 3.3 其它方面：
 - ✓ 列车在隧道中的交会等。



二.列车进入隧道引起的瞬变压力

- 高速列车进入隧道引起的压力变化由两部分叠加，一是列车移动时从挤压、排开空气到留下真空整个过程引起的压力变化；二是列车车头进入隧道产生的压缩波以及车尾进入隧道产生的膨胀波在隧道两洞口之间来回反射产生的压力变化。当双线隧道中同时有不同方向列车相向行驶时，叠加所产生的情况则更为复杂。

1. 瞬变压力的阈值和舒适性准则

- 高速列车运行时的**舒适度与高速列车通过隧道时产生的压力波动**有关，这也是**高速列车通过隧道时产生的主要效应**。当这种压力波动，特别是在**极短时间内的压力突变**（称为瞬变压力）传到人体时，**会产生生理上的不适**——即**耳膜压感不适**，从而大大降低乘车的舒适度。

- 评定压力波动程度一般采用的参数有：
- ① “峰对峰” 最大值 ΔP_{\max} ，即最大压力变化的绝对值；
- ② 压力变化率的最大值

表 6-1 英国 British Railway Board (R. G. Gawthorpe) 提出的舒适度准则

铁路运营类型	隧道长度 (占线路比例)	瞬变压力 (kPa/4s)		车辆	不舒适度
		极端场合	正常场合		
A 常规型	<10%	4.0	2.5	不密封	4.5
B 常规型	>25%	3.0	2.0	不密封	3.5
C 高舒适型	>25%	1.25	0.8	密封	2.5
D 地铁及城市轨道交通	>50%	1.0	0.7	不密封	2.0

- 2. 车辆密封性
- 从人员**乘车的舒适度**出发，旅客关心的是**车内压力的瞬变情况**。车辆的密封使车内外压力波动情况产生差异。



- 3. 压力瞬变程度主要影响因素
 - (1) 隧道断面阻塞比 θ
 - (2) 车速
 - (3) 隧道长度
- 研究表明，隧道长度对压力瞬变特征有明显的影响。值得指出的是，压力波动的程度并不随隧道长度的减小而缓解。

- (4) 车辆密封性
- 计算结果表明，车辆对压力波动的影响可以归结为**车内压力波动相应于车外压力的“缓解”和“滞后”**。
- (5) 辅助坑道的影响
- 辅助坑道可以**减缓隧道内的空气动力学效应**，其效果与**坑道的个数、断面面积有关**。有关研究表明，当坑道的断面面积为**隧道断面面积的1/2时**，可使最大压力波动减少**40%左右**。

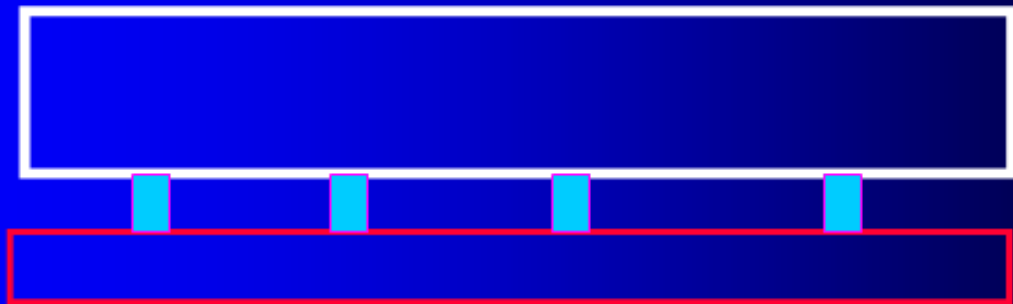
竖井、斜井

- 合理设置可降低50%的瞬变压力。
- 单线设置1~2个即可，双线可设置多个。
- 两竖井间距应大致等于两个竖井的长度
- 竖井的最大直径以不超过隧道直径的35%为最佳
- 其设置宜与施工阶段的需要综合考虑。



平行坑道

- 特长隧道，往往因埋深较大，不宜设置竖井，可采用辅助坑道，且每隔一定距离用横通道与隧道相连。
- 可兼做通风、排水、火灾通道
- 其设置宜与施工阶段的需要综合考虑。



- (6) 列车交会的影响
- 双线隧道列车在隧道中交会引起压力波动的叠加，情况十分复杂。

三.列车进入隧道引起的微压波

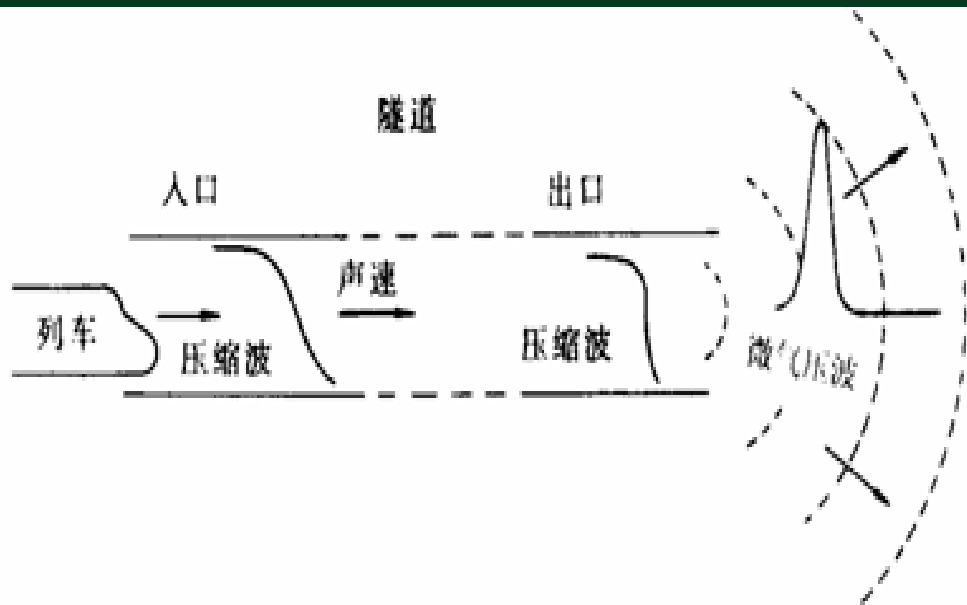


图 6-4 隧道微气压波的产生过程

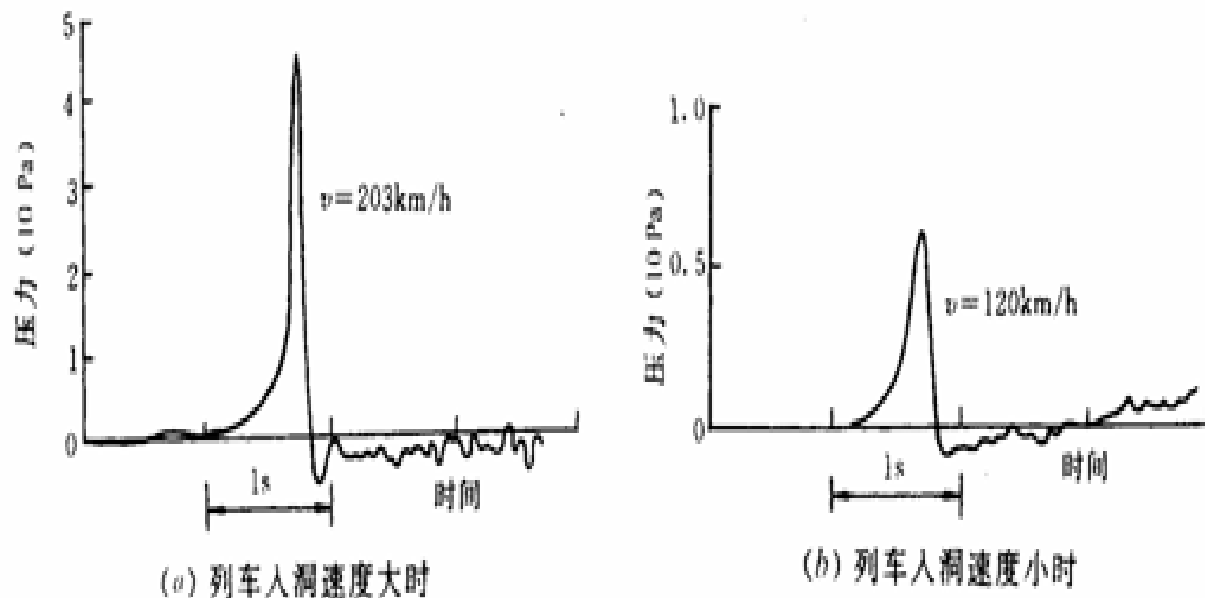


图 6-5 大仓隧道微压波测试实例 (测点距离: 18m)

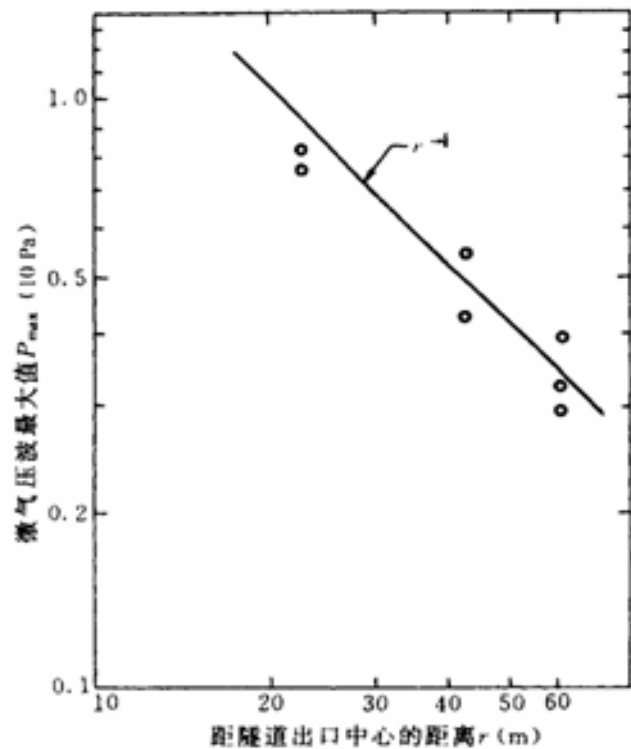


图 6-6 微压波最大值的距离衰减图

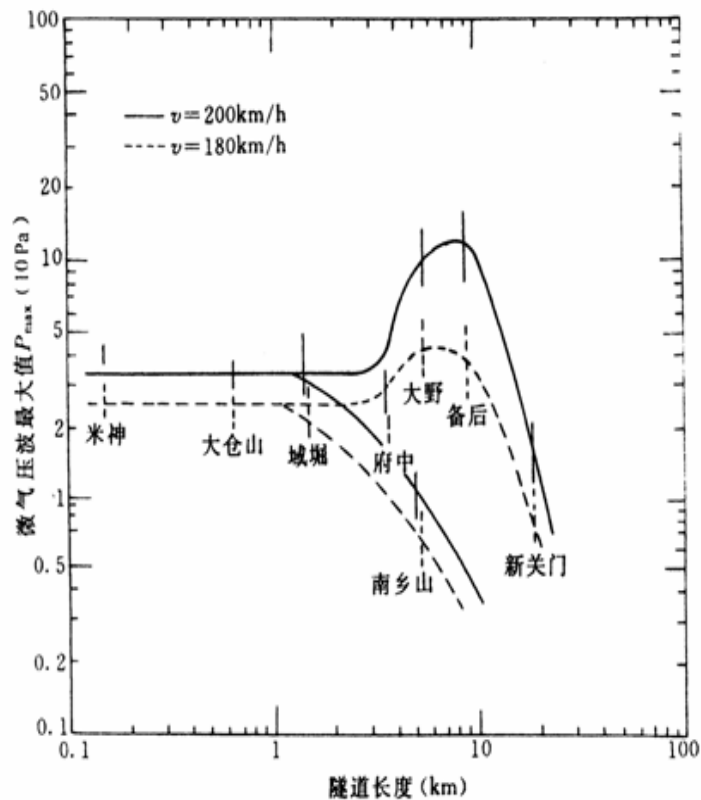


图 6-7 微压波最大值和隧道长度的关系

四.列车进入隧道引起的行车阻力

- 当车速超过200 km/h时，**空气阻力成为行车总阻力的主要组分**。在隧道中，**这种阻力又将比在明线运行时有明显的增加**，这是在线路设计时要考虑的。隧道内空气阻力的大小**同车速、车头形状、隧道长度和断面大小有关**。此外，**由于气流的非恒定性，列车在隧道中运行的过程中，空气阻力并不是常数**。



轨道上行驶火车

- 解决行车阻力问题主要是加大隧道断面面积，根据铁道科学研究所的研究报告，在隧道净空面积为 100m^2 时，最大行车阻力只比明线增大 $15\%\sim 30\%$ ，会车时的空气阻力比明线的增大值也不超过 30% 。

小结

- 本节主要介绍了以下内容：
- 1.空气动力学效应
- 2.列车进入隧道引起的瞬变压力
- 3.列车进入隧道引起的微压波
- 4.列车进入隧道引起的行车阻力