

# Numerical Analysis on the Vibration Isolation Effect of Continuous Barrier under Subway Loads

Liang Chang, Ying Luo

School of Civil Engineering and Architecture, Nanchang Hangkong University, Nanchang Jiangxi  
Email: 405184264@qq.com, 98239680@qq.com

Received: Jan. 7<sup>th</sup>, 2016; accepted: Jan. 23<sup>rd</sup>, 2016; published: Feb. 2<sup>nd</sup>, 2016

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.  
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).  
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

3D finite element model of soil-tunnel-barrier was established by ANSYS 14.0 under the background of certain four-holes overlapping multi-tunnels of Wuhan metro line 2 and line 4. The isolation effect of continuous barrier when subway operates; and the relationship between isolation effect and width of barrier, depth of barrier, as well as stiffness of barrier were analyzed. The results showed that an enlarged vibration region existed in front of barrier when continuous barrier was set; the barrier width was different, and the vibration isolation effect was also different; the isolation effect was enhanced if the width of barrier increased; the isolation effect was obvious if the depth of barrier increased, but the isolation effect was not obvious with increasing depth of barrier when barrier depth was deeper than vibration sources; the isolation effect of open trench was the best, the second was foam barrier plate, and the last was concrete underground continuous wall.

## Keywords

Subway, Continuous Barrier, Vibration Isolation

---

# 地铁运行时连续屏障隔振效果数值分析

常亮, 罗颖

南昌航空大学土木建筑学院, 江西 南昌  
Email: 405184264@qq.com, 98239680@qq.com

收稿日期: 2016年1月7日; 录用日期: 2016年1月23日; 发布日期: 2016年2月2日

## 摘要

选取武汉地铁2号线和4号线某区间四孔交叠隧道为研究对象, 运用ANSYS 14.0有限元软件建立了土体 - 隧道 - 屏障的三维有限元模型, 分析四孔交叠隧道地铁运行时连续屏障的隔振效果, 以及连续屏障隔振效果与屏障宽度, 屏障深度和屏障刚度的关系。分析结果表明: 设置连续屏障时, 屏障前存在一个振动放大区域; 屏障宽度不同, 隔振效果也不同, 宽度增加, 隔振效果增强; 屏障深度增加, 隔振效果越明显, 但当屏障深度超过振源深度时, 屏障深度增加, 隔振效果不明显; 空沟隔振效果最好, 其次为泡沫阻隔板, 混凝土地下连续墙。

## 关键词

地铁, 连续屏障, 隔振

## 1. 引言

随着经济不断发展及人口数量急剧增长, 交通拥堵越来越明显, 人们开始将眼光从地上空间转向地下空间。地铁作为一种有效手段, 其建设也在不断地深入, 城市地铁建设开始向多线、交叠、复杂化的趋势发展 [1]。地铁不但方便人们的生活, 同时也带来了振动和噪声问题。

对于传统的单线、双线隧道地铁引起的环境振动问题国内外诸多学者都进行了深入的研究, 并取得了一定的成果。Woods [1] 1968 年第一次在实验的基础上研究了空沟的隔振效果, 并提出了用振幅衰减系数来衡量隔振效果。Pablo Zoccali 等 [2]用有限元模型研究不同回填材料对隔振效果的影响, 以振幅衰减系数分析振动在时域和频域的衰减规律。高广运等 [3]对层状地基 WIB 的主动隔振效果以及二维地基中波阻板的隔振效果进行了分析。雷晓燕等 [4]根据饱和土 Biot 理论及移动荷载特性, 采用积分变换方法, 推导了半无限饱和土体频域 - 波数域内的边界积分方程, 分析了空沟对移动荷载引起饱和土体振动的被动隔振效果。谢伟平等 [5]对武汉中南剧场的隔振措施进行了数值分析, 结果表明连续墙加减振材料的隔振效果较好。

对于多线、交叠式地铁隧道的研究目前主要集中在施工可行性及施工过程中的变形控制问题 [6]-[8], 交叠隧道地铁引起的环境振动问题及相关的隔振措施缺乏相关研究。本文以武汉某区间四孔交叠隧道为研究对象, 利用有限元法, 建立 ANSYS 14.0 三维有限元模型, 分析设置连续隔振屏障时, 隔振效果与屏障宽度, 屏障深度, 和屏障刚度的关系, 为四孔交叠隧道周边建筑物的隔振设计提供参考依据。

## 2. 工程概况

选取武汉地铁 2 号线和 4 号线洪山广场站至中南站之间 I 区段为研究背景, 隧道区间分区示意图如图 1 所示。区间隧道相互平行交叠, 从粉质黏土中通过, 区间起点和终点位置的横断面图如图 2 和图 3 所示。2L 表示二号线左线, 2R 表示二号线右线, 4L 表示四号线左线, 4R 表示四号线右线。隧道外径为 6 m, 内径为 5.4 m, 隧道上下竖直净距为 1.5 m, 隧道顶部的埋深为 10 m, 即 2L 与 4L 隧道中心埋深均为 13 m, 2R 与 4R 隧道中心埋深均为 20.5 m。

## 3. 有限元模型

根据区间地质条件, 进行分层处理, 土层总厚度取为 40 m。隧道断面简化为圆形, 内径为 5.4 m,

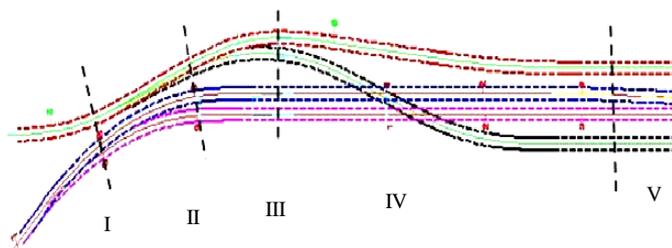


Figure 1. Zoning map of tunnel interval (planar graph)

图 1. 隧道区间分区示意图(平面图)

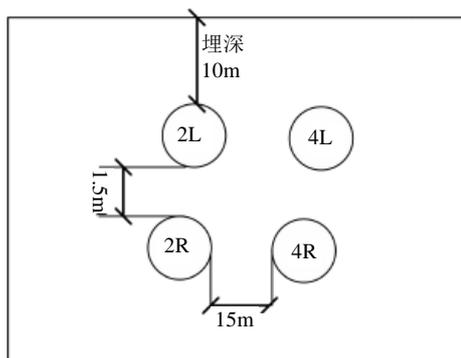


Figure 2. Cross-sections of starting location in tunnel

图 2. 区间起点位置隧道横断面图

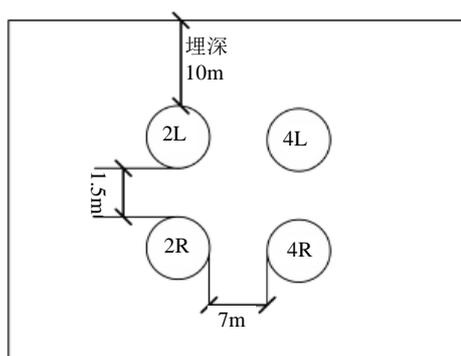


Figure 3. Cross-sections of ending location in tunnel

图 3. 区间终点位置隧道横断面图

隧道管片衬砌厚度为 0.3 m，上行隧道即 2L 与 4L 隧道的最顶点距离地面为 10 m。建立有限元模型如图 4，模型尺寸 100 m × 100 m × 40 m。通过改变材料属性，控制单元生死得到设置不同连续屏障时的有限元模型。施加列车移动荷载，进行瞬态动力分析，提取不同测点的振动加速度时程数据。

在有限元模型中选取地表上的 8 个观测点，如图 5，分别距 2L 隧道中心水平距离为 9.062 m、13.625 m、18.188 m、22.750 m、24.75 m、29.062 m、33.375 m、37.688 m，屏障距 2L 隧道中心线为 23.75 m。

#### 4. 隔振效果与屏障宽度的关系

按表 1 中工况 0、1、3 和 4 的参数设置屏障。为反映其它 3 种工况的隔振效果，工况 0 未设置屏障。工况 1、3 和 4 在相同位置设置等深度等刚度而宽度分别为 0.5 m、1 m、2 m 的 3 种不同的混凝土连续屏障。

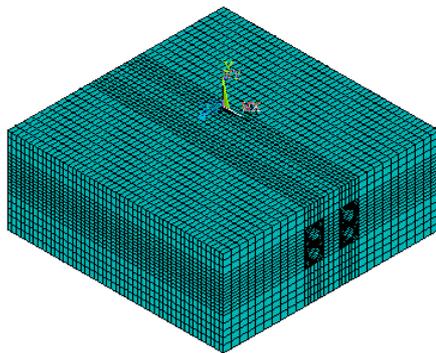


Figure 4. 3D FE model of four-holes overlapping multi-tunnels

图 4. 四孔平行交叠隧道三维有限元模型

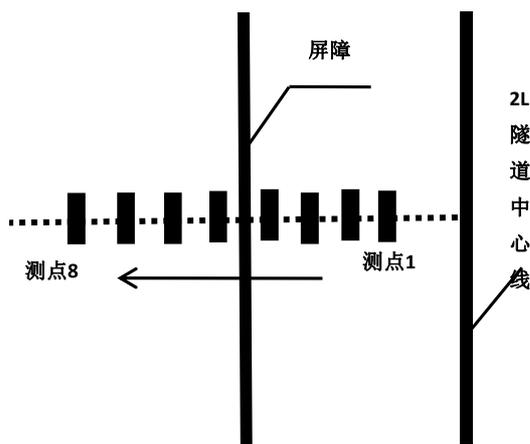


Figure 5. Arrangement of observation points

图 5. 地面观测点位置示意图

Table 1. Some parameters of barrier in different width

表 1. 屏障宽度不同时连续屏障相关参数

工况	宽度(mm)	深度(m)	位置(m)	弹性模量(MPa)	备注
0	0	0	0	0	无屏障
1	500	8.5	23.75	30	混凝土连续墙
3	1000	8.5	23.75	30	混凝土连续墙
4	2000	8.5	23.75	30	混凝土连续墙

注：屏障位置是指距 2L 隧道中心线的水平距离。

4 种工况下，地面 8 个观测点的竖向振动加速度级的变化规律如 图 6 所示。

在不同宽度的屏障下，屏障前的观测点振级有增大的趋势，而且越靠近屏障增大趋势越明显，屏障后的观测点振级有减小趋势，且越靠近屏障，减小趋势越明显。设置屏障后，屏障前的观测点振级有所增大，这是入射波和反射波相互叠加的结果，屏障后的观测点振级有所减小，且屏障宽度越大，隔振效果越好。

为了深入研究隔振效果，利用 Woods [1]提出的振幅衰减系数  $A_R$ ，分析混凝土地下连续墙的隔振效果。振幅衰减系数  $A_R = \text{有隔振的竖向振幅} / \text{无隔振的竖向振幅}$ 。选取的观测点其振幅衰减系数  $A_R$  如 表 2 所列。

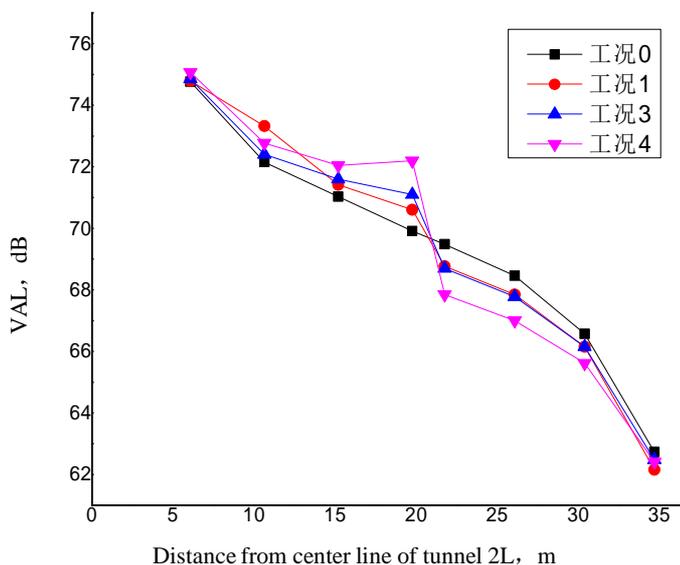


Figure 6. VAL of observation point in different width of barrier  
图 6. 不同屏障宽度时各点振动加速度级

Table 2.  $A_R$  of observation point in different width of barrier  
表 2. 屏障宽度不同时观测点振幅衰减系数  $A_R$

观测点	宽度		
	0.5 m	1 m	2 m
4 号	1.010	1.017	1.033
5 号	0.990	0.989	0.977

由表 2 可知, 屏障前的 4 号观测点在不同屏障宽度时, 振幅衰减系数均大于 1, 说明设置连续屏障时屏障前存在振动放大区; 屏障后的 5 号观测点在不同屏障宽度时, 振幅衰减系数均小于 1, 说明连续屏障起到了隔振效果。设置 2 m 宽的屏障与 0.5 m 和 1 m 宽的屏障相比, 屏障前振幅衰减系数  $A_R$  最大, 说明屏障越宽振动放大区域越明显, 而在屏障后振幅衰减系数  $A_R$  最小, 因此屏障宽度增加, 隔振效果更有效。采用振幅衰减系数分析和振动加速度级两者获得了相同的结论。

## 5. 隔振效果与屏障深度的关系

按表 3 中工况 0、1、3 和 4 的参数设置屏障。工况 0 未设置屏障, 工况 1、5 和 6 在相同位置设置等宽度等刚度而深度分别为 8.5 m、16.75 m、20.5 m 的 3 种不同的混凝土连续屏障。

4 种工况下, 地面 8 个观测点的竖向振动加速度级的变化规律如图 7 所示。选取的观测点其振幅衰减系数  $A_R$  如表 4 所列。

由图 7 可知设置不同深度的连续屏障时, 屏障前仍存在振动放大区域, 屏障后各观测点的振动加速度级相比未设置屏障时有所减小, 而且屏障深度越大, 振动加速度级减小越大, 但从图中发现屏障深度为 16.75 m 和 23.75 米时两者的隔振效果相差不大。

由表 4 可知, 屏障前观测点振幅衰减系数均大于 1, 振动放大区域仍然存在。16.75 m 深屏障与 8.5 m 深的屏障衰减系数  $A_R$  相差 0.007, 而与 20.5 m 深屏障相差 0.001, 因此, 屏障在 16.75 m 基础上再加深深度的, 隔振效果不明显, 数值计算时, 荷载施加在深度 15.388 m 处, 16.75 m 深屏障与荷载深度相当, 因此当屏障深度超过荷载深度时, 增加屏障深度隔振效果不明显。

**Table 3.** Some parameters of barrier in different depth

**表 3.** 屏障深度不同时连续屏障相关参数

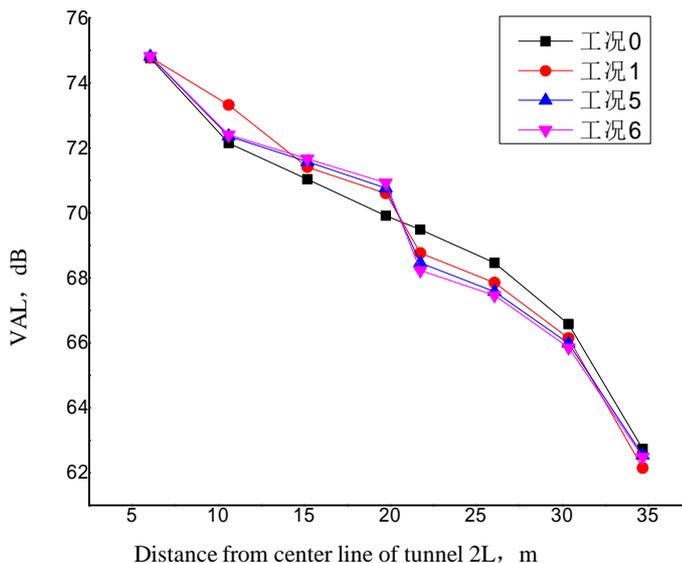
工况	宽度(mm)	深度(m)	位置(m)	弹性模量(MPa)	备注
0	0	0	0	0	无屏障
1	500	8.5	23.75	30	混凝土连续墙
5	500	16.75	23.75	30	混凝土连续墙
6	500	20.5	23.75	30	混凝土连续墙

注：屏障位置是指距 2L 隧道中心线的水平距离。

**Table 4.**  $A_R$  of observation point in different depth of barrier

**表 4.** 屏障深度不同时观测点振幅衰减系数  $A_R$

观测点	深度		
	8.5 m	16.75 m	20.5 m
4 号	1.010	1.014	1.015
5 号	0.990	0.983	0.982



**Figure 7.** VAL of observation point in different depth of barrier

**图 7.** 不同屏障深度时各点振动加速度级

## 6. 隔振效果与屏障刚度的关系

按表 5 中工况 0、1、7 和 8 的参数设置屏障。工况 0 未设置屏障，工况 1、7 和 8 在相同位置设置等宽度等深度而刚度分别为 30 MPa、2 MPa、0 MPa 的混凝土连续墙、泡沫隔振板、空沟 3 种不同的连续屏障。

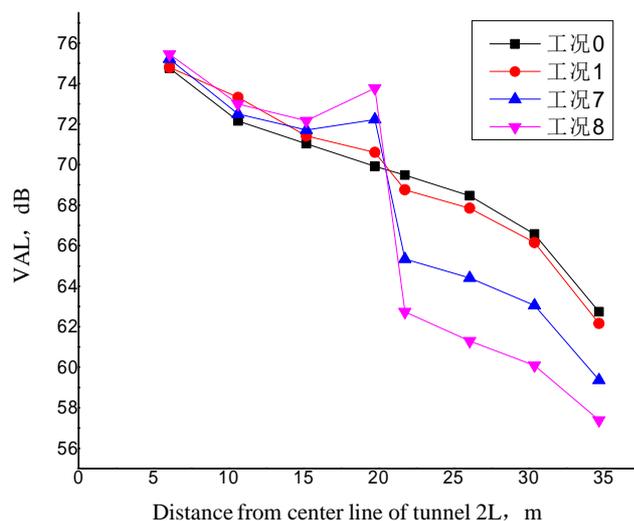
4 种工况下，地面 8 个观测点的竖向振动加速度级的变化规律如图 8 所示。

由图 8 可知，场地上设置屏障后，屏障前观测点的振动加速度级增加，屏障后观测点的振动加速度级减小，不同屏障材料振动加速度级减小的幅度不一样。屏障前 4 号观测点，设置空沟屏障时振动加速度级增大了约 4 dB，设置泡沫阻隔板时振动加速度级增大了约 2 dB，设置连续墙时振动加速度级增大了 1 dB 左右。屏障后观测点 5，设置空沟时振动加速度级减小幅度最大，约 6 dB；其次，设置泡沫阻隔板

**Table 5.** Some parameters of barrier in different stiffness**表 5.** 屏障刚度不同时连续屏障相关参数

工况	宽度(mm)	深度(m)	位置(m)	弹性模量(MPa)	备注
0	0	0	0	0	无屏障
1	500	8.5	23.75	30	混凝土连续墙
7	500	8.5	23.75	2	泡沫隔板
8	500	8.5	23.75	0	空沟

注: 屏障位置是指距 2L 隧道中心线的水平距离。

**Figure 8.** VAL of observation point in different stiffness of barrier**图 8.** 不同屏障刚度时各点振动加速度级

时振动加速度级减小约 4 dB, 设置连续墙时振动加速度级减小约 0.5 dB。因此, 空沟隔振效果最好, 泡沫阻隔板的隔振效果一般, 混凝土地下连续墙最差。

## 7. 结论

通过对四孔交叠隧道地铁运行时不同工况下连续屏障隔振效果的数值分析, 得出以下结论:

- 1) 设置连续屏障时, 屏障前存在一个振动放大区域。
- 2) 屏障宽度不同, 隔振效果也不同, 宽度增加, 隔振效果增强。
- 3) 屏障深度增加, 隔振效果越明显, 但当屏障深度超过振源深度时, 屏障深度增加, 隔振效果不明显。
- 4) 当设置空沟隔振时, 效果最好, 其次为泡沫阻隔板, 混凝土地下连续墙。

## 参考文献 (References)

- [1] Woods, R.D. (1968) Screening of Surface Waves in Soils. *Journal of Soil Mechanics and Foundation Engineering*, ASCE, **94**, 951-979.
- [2] Zoccali, P., Cantisani, G. and Loprencipe, G. (2015) Ground-Vibrations Induced by Trains: Filled Trenches Mitigation Capacity and Length Influence. *Construction and Building Materials*, **74**, 1-8.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.09.083>
- [3] 高广运, 冯世进, 李伟. 二维层状地基波阻板隔振分析[J]. 振动工程学报, 2007, 20(2): 174-179.
- [4] 徐斌, 雷晓燕, 徐满清, 刘林芽. 饱和土体中空沟对移动荷载被动隔振的 2.5D 边界元法分析[J]. 岩土力学, 2012,

33(4): 1079-1087.

- [5] 谢伟平, 常亮, 杜勇. 中南剧场隔振措施分析[J]. 岩土工程学报, 2007, 29(11): 1720-1725.
- [6] 徐林生. 公路隧道施工围岩稳定性监测预报系统与隧道工程数值模拟研究[R]. 同济大学博士后研究工作报告, 2001.
- [7] 陈炳志, 路林海, 王清标. 不同开挖方法对交叠隧道影响的模拟研究[J]. 施工技术, 2011, 40(350): 86-89.
- [8] 李朋. 紧邻四孔交叠盾构隧道施工影响分析[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 武汉理工大学, 2011.