

文章编号: 1006—2106(2009)01—0001—06

地屏障在铁路环境振动治理工程中的应用研究^{*}

罗 锬^{*} 雷晓燕 刘庆杰

(华东交通大学, 南昌 330013)

摘要: 研究目的: 京津城际铁路正式运营标志着我国铁路开始全面进入“高速时代”。随着铁路运行速度的提高, 铁路沿线环境振动问题日益突显, 因此, 如何缓解由高速铁路所带来的环境振动影响, 提高沿线居民生活质量, 是目前迫切需要研究的课题。

研究结论: 本文通过建立车辆—轨道—路基—大地和大地—隔振屏障耦合振动模型, 运用 ANSYS大型有限元通用软件对 5种地屏障, 即空沟、夹心墙、刚性墙、排桩和三排蜂窝桩的隔振效果进行了研究。结果表明: 三排蜂窝桩减振效果可达 15 dB左右, 空沟为 6~8 dB左右, 夹心墙、刚性墙和三排桩为 5 dB左右。

关键词: 高速铁路; 大地振动; 屏障; 隔振

中图分类号: U216.9 文献标识码: A

Research on the Application of Ground Barrier in Reducing the Vibration Along High-speed Railway

LUO Kun, LEI Xiaoyan, LIU Qingjie

(East China Jiaotong University, Nanchang, Jiangxi 330013, China)

Abstract: Research purposes: Operation of Beijing-Tianjin intercity railway indicates that the "High-speed era" has come to China. However, with the increase of the train speed, the environmental vibration along the railways has become more serious. Therefore, it is urgent to do the study on how to reduce the vibration caused by high-speed railway for the purpose of improving the life quality of the people living along the railway.

Research conclusions: By means of establishing models of the vehicle-track-roadbed-ground coupling system and the ground-barrier coupling system, the studies have been done on the vibration isolation effects of five barriers, i.e., open trench, in-filled trench, stiff trench, piles and three-rows of honeycomb WIB, with the universal finite-element software ANSYS. The results show that 15 dB vibration can be reduced by using three-rows of the honeycomb WIB, reducing 6~8 dB vibration by open trench and reducing 5 dB vibration by in-filled trench, stiff trench and three-rows of the Piles respectively.

Key words: high-speed railway; ground vibration; barrier; vibration isolation

2008年 8月 1日, 时速 350 km的京津城际铁路正式通车运营, 这标志着我国铁路开始全面进入“高速

时代”。高速铁路在给人民生活带来种种便利的同时, 其运行时产生的大地振动对沿线居民生活环境和

^{*} 收稿日期: 2008-10-06

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目(2007CB416607); 江西省教育厅青年科学基金项目(GJJ09510); 华东交通大学校立科研基金资助(07G401)

^{**} 作者简介: 罗锬, 1978年出生, 男, 助教。

工作环境的影响,已经引起了公众的普遍关注,国际上也已经将其列为 7大环境公害之一^[1-2]。铁道部劳动卫生研究所对我国几个典型城市的铁路环境振动进行了现场实测,结果表明,距离轨道中心线 30 m之内区域的振级,大部分接近 80 dB。因此,在我国铁路大发展的同时,对铁路引起的环境振动控制问题展开研究具有重要意义。

1 铁路环境隔振的主要方法

在治理由列车诱发的大地振动时一般采用屏障隔振技术,即在振源与被保护的對象之间设置一道隔振屏障,以阻断波能的传播。屏障隔振的方式主要有沟屏障(图 1 a)、排桩(图 1 b)和波阻块(WB)(图 1 c)等 3种措施。

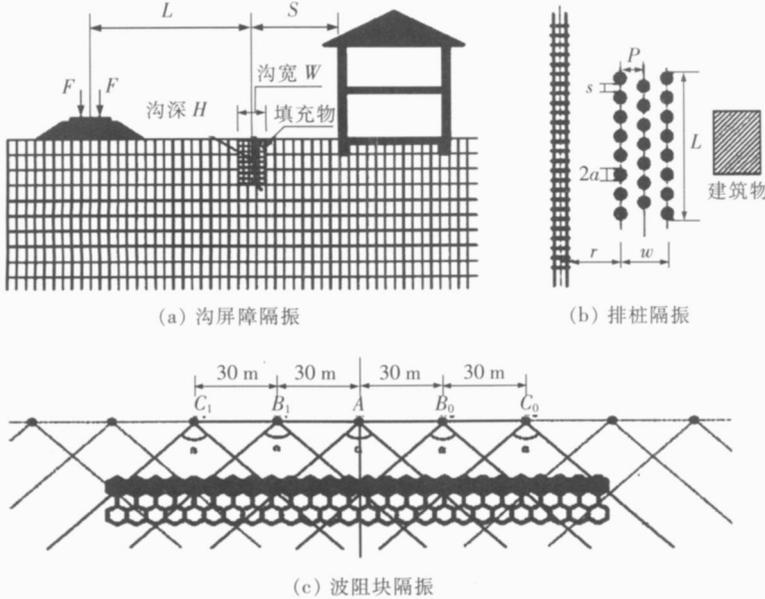


图 1 屏障隔振示意图

2 屏障隔振机理

运行的列车与轨道相互作用产生振动,振动主要以表面波的形式在大地表面传播。在线路与建筑物之间设置隔振屏障,可以阻隔振动传播的路径,从而起到隔振的作用。振波受到屏障的阻隔,仍然会有一部分

能量通过各种途径传播到屏障后面的区域,地屏障的隔振效果主要是由这些透过能量的大小所决定。透过屏障的能量越大,则屏障效果越差,反之,则屏障效果越好。表面波穿透屏障的主要路径主要有:绕射、透射和散射,如图 2所示。

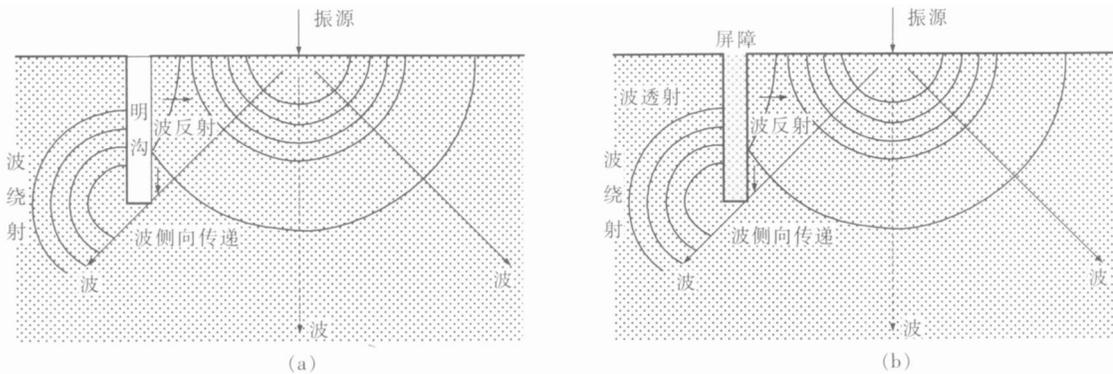


图 2 屏障隔振原理示意图

2.1 绕射波

表面波的能量主要集中在大地表面一定深度内,以圆柱面的形式向周围传播。当地屏障的深度小于这一深度时,就会有一部分能量绕过屏障向远处传播。绕射波的大小取决于屏障的设置深度、位置、大地参数和

振波的频率。一般振波频率越低,表面波波长越长,需要设置的屏障深度也就越深。

2.2 透射波

振波从一种介质传播到另一种介质,一部分能量会反射回去,另一部分能量会穿透界面,穿透界面的波

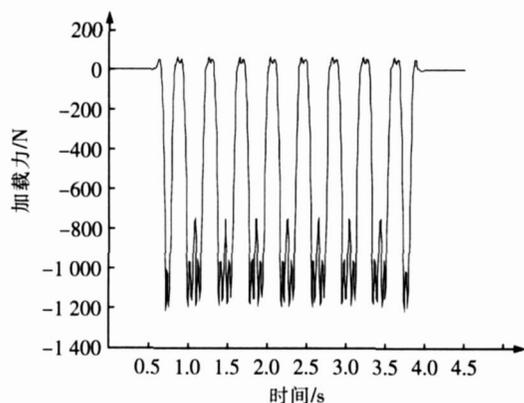
就是透射波。透射波的能量主要取决于屏障的材料和屏障结构布置。

2.3 散射波

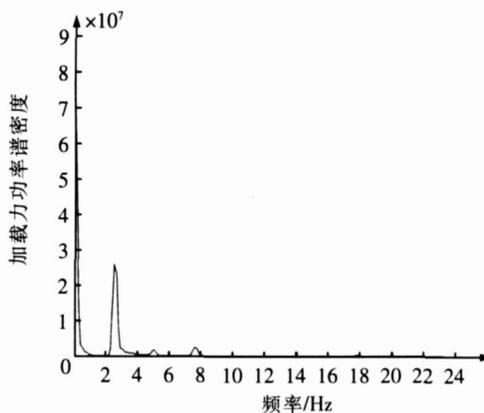
非连续屏障(排桩等)的基本隔振机理就是散射。散射的效果主要取决于桩径与桩间的距离。

3 屏障隔振效果分析

为了计算高速铁路诱发的环境振动问题, 分别建



(a) 加载力时程曲线



(b) 加载力频谱

图 3 轨道对大地的作用力及作用力频谱图

第 2 个子模型使用大型有限元分析软件 ANSYS 建立大地—隔振屏障耦合系统振动分析有限元模型, 采用瞬态动力分析求解地面响应。

3.1 振动传播场地主要地质参数^[4]

作为应用实例, 现选取北京某铁路工程为研究对象, 建立大地有限元模型, 有效模拟振波在大地中的传播与衰减, 该工程地质参数如下:

(1) 地面共分 5 层, 由上至下的厚度和剪切波速分别为: 0 ~ -5 m; $V_s=178$ m/s; -5 ~ -15 m; $V_s=223$ m/s; -15 ~ -23 m; $V_s=285$ m/s (粉质粘土); -23 m 以下, $V_s=350$ m/s

(2) 重度 $\lambda=1.9$ t/m³; 泊松比 $\mu=0.33$ 土的阻尼比 0.05;

(3) 地面脉动的卓越周期频率为 2.83 Hz, 卓越周期为 0.35 s, 地面最大速度幅值为 $(0.18 \sim 3.03) \times 10^{-5}$ m/s;

(4) 场地地下水位于 -2.2 ~ -5.5 m, 地下水对混凝土无腐蚀作用。

3.2 沟屏障隔振效果分析

3.2.1 屏障方案

为了研究不同沟屏障的隔振效果, 选用以下方案进行建模分析:

(1) 空沟: 深度 $H=15$ m, 宽度 $D=2$ m;

(2) 刚性墙: 深度 $H=15$ m, 宽度 $D=3.5$ m, 材料为 C20 混凝土。

立车辆—轨道—路基—大地耦合系统和大地—屏障耦合系统 2 个振动计算子模型, 通过第 1 个子模型计算车辆通过时轨道对大地的作用力, 将计算所得作用力加到第 2 个子模型上, 得出铁路附近地面的振动响应, 从而对隔振屏障的隔振效果进行评价。

第 1 个子模型根据文献 [3] 中的理论, 考虑轨道不平顺的影响, 计算出列车通过时轨道对大地的作用力及作用力频谱, 如图 3 所示。

(3) 夹心墙: 深度 $H=15$ m, 宽度 $D=4$ m, 材料为 C20 混凝土, 夹心层厚度 $h=600$ mm, 夹心材料为泡沫塑料。

3.2.2 计算模型

由于此 3 种屏障为连续隔振屏障, 可以按照平面应变模型进行计算, 几何尺寸为: 长 120 m × 宽 80 m。在 ANSYS 软件中, 有限元模型中采用平面矩形单元 Plane42 划分网格, 网格边长为 0.5 m, 单元数为 38 280, 节点数为 38 711, 右边界和底边界采用固接方式, 左边界采用对称边界。图 4、图 5 分别为空沟、填充沟(刚性墙、夹心墙)的计算模型图。

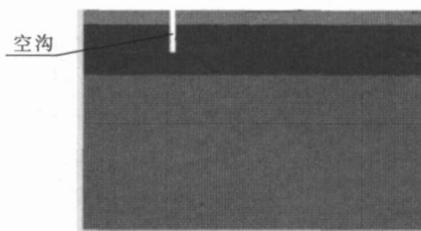


图 4 空沟有限元模型

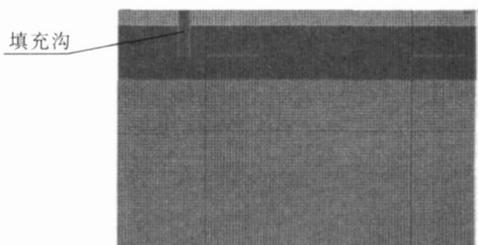


图 5 填充沟(刚性墙、夹心墙)有限元模型

3.2.3 计算结果

当沟屏障设置于距离振源 20 m 处时, 计算结果如图 6 和图 7 所示。图 6 为沟屏障设置前后振动等级对比, 图 7 为不同沟屏障隔振效果对比。

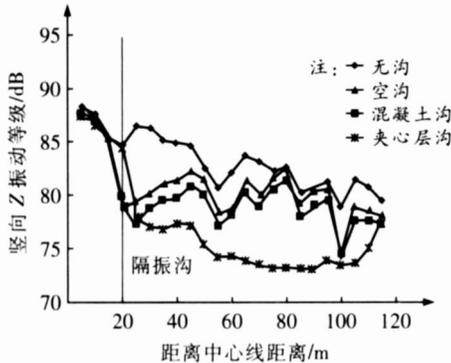


图 6 沟屏障设置前后振动等级对比图

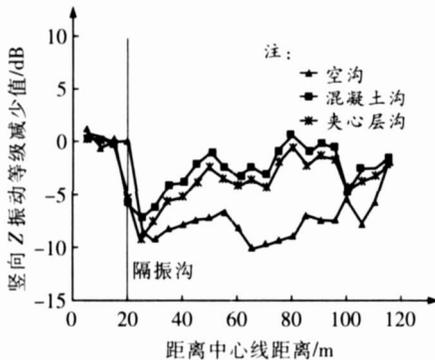


图 7 不同沟屏障隔振效果对比图

从图中可以看出, 3 种屏障中空沟的隔振效果最好, 夹心墙次之, 刚性墙最差。空沟在 20~100 m 的范围内效果较为稳定, 隔振效果平均 6~8 dB。夹心墙在墙后 10 m 的范围内有超过 5 dB 的隔振效果, 10 m 之后隔振效果逐渐减弱, 平均 1~3 dB。刚性墙的隔振规律与夹心墙相似, 但效果比前者差 1 dB 左右, 在距离振源 80 m 处, 振动甚至出现了放大。

当沟屏障设置于距离振源 30 m 处时, 计算结果如图 8 和图 9 所示。图 8 为沟屏障设置前后振动等级对比, 图 9 为不同沟屏障隔振效果对比。

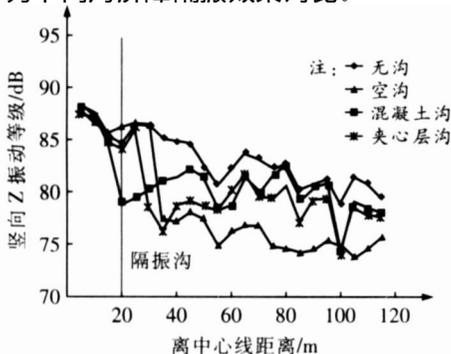


图 8 沟屏障设置前后振动等级对比图

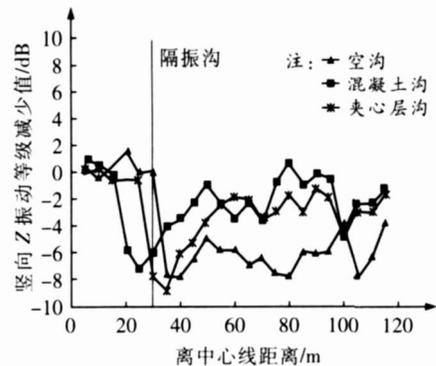


图 9 不同沟屏障隔振效果对比图

从图中可以看出, 各屏障隔振效果的规律与屏障设置在 20 m 处工况基本一致, 只是效果较前一工况差 2 dB 左右。

3.3 排桩隔振效果分析

3.3.1 计算模型

计算模型采用三维模型, 长 96 m, 宽 127.32 m, 深 60 m。排桩系统参数如表 1 所示。

表 1 排桩体系参数

排数	3排
排距(桩中心垂直间距)	1.6 m
同排桩体间距(桩中心间距)	1.6 m
距离轨道中心线距离	20 m 和 30 m
桩直径	0.8 m
桩长	15 m

排桩隔振有限元模型共有 40 445 个单元和 38 778 个节点。采用 ANSYS 全瞬态分析求解。土层用实体单元 SOLID45 模拟, 排桩用三维梁单元 BEAM188 模拟, 右边界和底边界采用固接方式, 左边界采用对称边界。模型如图 10 所示。

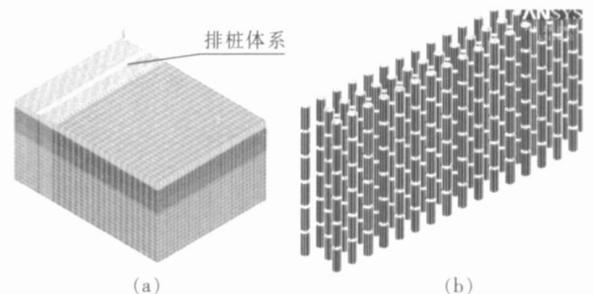


图 10 三排桩有限元模型

3.3.2 排桩计算结果

图 11 和图 12 分别为三排桩设置于距离轨道中心 20 m 和 30 m 处, 排桩设置前后振动等级对比图。

从图 11 和图 12 中分别可以看出, 在距离轨道中心线 20 m 处设置排桩体系时, 在桩后 40 m 的范围内都有减振效果, 其中在 20 m 的范围内可以达到 5~8 dB

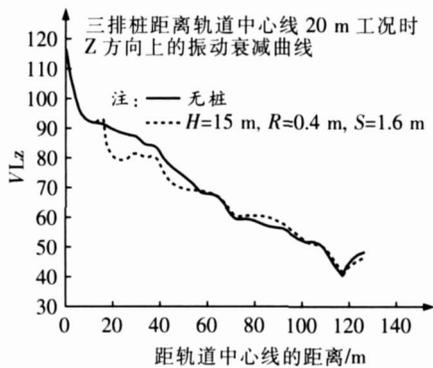


图 11 排桩设置前后振动等级对比 (20 m)

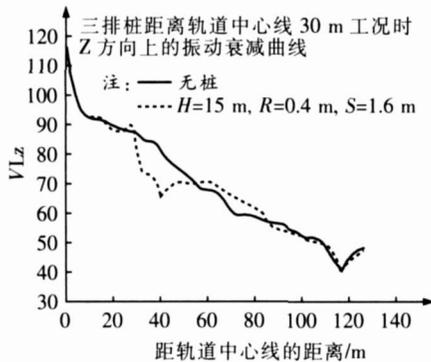


图 12 排桩设置前后振动等级对比 (30 m)

超过 20 m 效果减弱到 3~5 dB, 40 m 后几乎没有效果甚至出现反弹。在距离轨道中心线 30 m 处设置排桩体系时, 仅在桩后 20 m 的范围内有减振效果, 平均可以达到 5~8 dB, 20 m 后振动出现放大的现象。

3.4 蜂窝桩隔振效果分析

3.4.1 蜂窝桩隔振研究方案

为了研究蜂窝桩排数、深度、宽度和桩径等参数对隔振效果的影响, 现选用以下方案进行建模分析:

(1) 多排蜂窝桩: 深度 $H=15$ m; 宽度 $D=19.615$ m; 桩径 $\varphi=600$ mm; 六边形边长为 3.923 m; 总宽度为 19.6154 m; 桩身材料为混凝土。

(2) 双排蜂窝桩: 深度 $H=15$ m; 宽度 $D=13.870$ m; 桩径 $\varphi=600$ mm; 六边形边长为 3.923 m; 总宽度为 13.87 m; 桩身材料为混凝土。三排蜂窝桩和两排蜂窝桩的六边形边长、总宽度、桩径尺寸如表 2 所示。

表 2 模型尺寸

计算方案	三排蜂窝桩 /m	两排蜂窝桩 /m
六边形边长	3.923	3.923
总宽度	19.6154	13.87
桩径	0.6	0.6

3.4.2 计算模型

土层用实体单元 SOLID45 模拟, 蜂窝桩用三维壳单元 SHELL43 模拟, 计算模型如图 13 所示。计算模

型尺寸长 120 m, 宽 108.716 m, 深 60 m。共有节点 33 936 个, 单元 32 256 个。大单元尺寸 4 m, 最小单元尺寸 1 m。

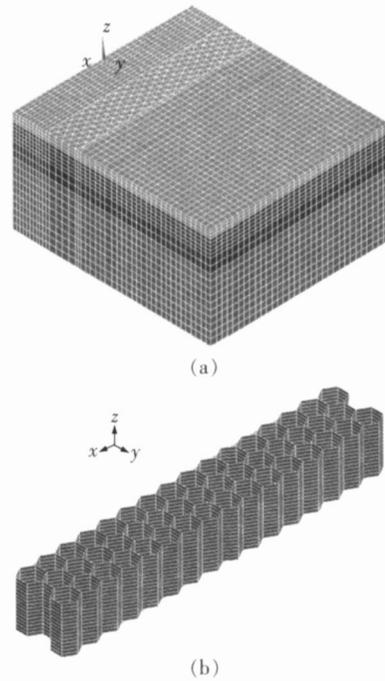


图 13 三排蜂窝桩计算模型

3.4.3 计算结果

当蜂窝桩设置于距离线路 20 m 处, 隔振效果如图 14 和图 15 所示。图 14 为屏障设置前后振动等级对比, 图 15 为三排和两排隔振桩隔振效果对比。从图中可以看出, 从桩后到距离线路 100 m 的范围内, 隔振效果平均可以达到 15 dB。三排蜂窝桩隔振效果略好于两排蜂窝桩但相差不大, 平均相差 2 dB。

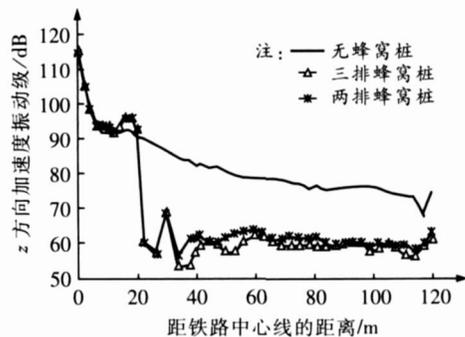


图 14 蜂窝桩设置前后振动等级对比图 (20 m)

蜂窝桩设置于距离线路 30 m 处, 隔振效果如图 16 和图 17 所示。图 16 为有无蜂窝桩时垂向振动的对比, 图 17 为三排和两排蜂窝桩垂向减振效果对比。从图中可以看出, 从桩后到距离线路 100 m 的范围内, 隔振效果平均可以达到 15 dB。与距离振源 20 m 的蜂窝桩相比, 2 种工况效果差别不大。

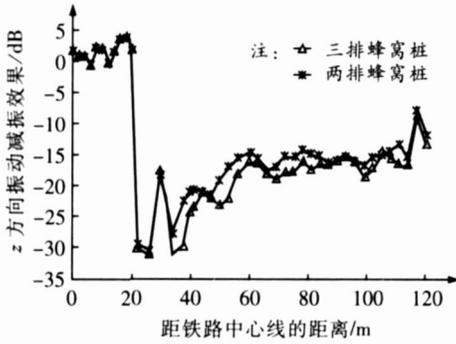


图 15 蜂窝桩隔振效果对比图 (20 m)

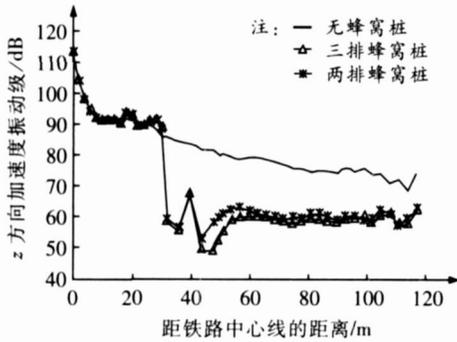


图 16 有无蜂窝桩时垂向振动的对比 (30 m)

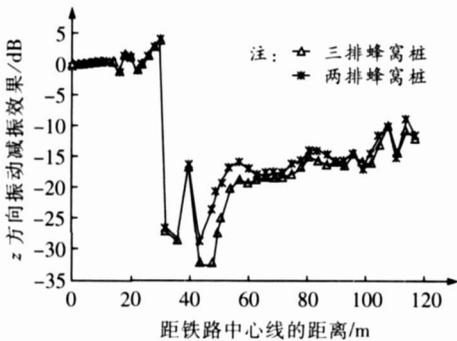


图 17 蜂窝桩垂向减振效果 (30 m)

4 结论

运用大型通用有限元软件 ANSYS对各种隔振屏障设置参数对隔振效果的影响进行了分析,得出以下结论:

(1)各种型式地屏障对减振均有一定作用,其中三排蜂窝桩减振效果可达 15 dB左右、空沟为 6~8 dB左右、夹心墙、刚性墙和三排桩为 5 dB左右。

(2)蜂窝桩设置在距离轨道 30m和 20m处的隔振效果相差不大,而空沟、夹心墙和刚性墙设置在距离轨道 20 m处,隔振效果更好。

(3)从隔振范围角度看,蜂窝桩的隔振效果可以达到 80 m且隔振效果较为稳定,平均在 15 dB左右;空沟的隔振范围与蜂窝桩相当,隔振效果也较稳定,平均降幅 6~8 dB左右;刚性墙、夹心墙在墙后 10 m的范围内,振级降幅大于 5 dB而 10 m之后隔振效果仅 1~3 dB;三排桩仅在桩后 40 m的范围内有减振效果。

参考文献:

- [1] 夏禾,吴莹.城市轨道交通系统引起的环境振动问题[J].北方交通大学学报,1999 23(4):1-7.
- [2] 守田荣.振动篇 公害防止管理者国家实验讲座[R].东京:日本工业新闻出版社,1988.
- [3] 雷晓燕,圣小珍.现代轨道理论研究[M].2版.北京:中国铁道出版社,2006.
- [4] 华东交通大学.东郊环行道沿线隔振方案研究与模型的建立隔振方案阶段性研究报告[R].南昌:华东交通大学,2008.