

基于FLAC3D的并排式桩板墙的动力响应分析

李亚男

兰州交通大学, 甘肃 兰州
Email: 601033495@qq.com

收稿日期: 2021年6月22日; 录用日期: 2021年7月6日; 发布日期: 2021年7月22日

摘要

地震滑坡往往造成重大灾害, 桩板墙作为重要的边坡防护结构, 研究其抗震性能具有重要的工程意义。本研究依托项目工程, 基于FLAC3D有限差分软件, 对简化的模型从纵横两个维度, 研究桩板墙的桩后加速度、土压力、位移的分布规律。结果表明加速度, 位移沿桩身有明显的放大效应, 相对于桩的变形, 桩体更倾向于发生倾覆破坏。加速度, 位移最大值在不同强度地震波作用下成倍数变大, 土压力最大值在不同强度地震波作用下有明显的上移趋势。该研究对于桩板墙的工程实际应用以及对后续桩板墙结构研究提供参考。

关键词

桩板墙, 地震作用, 动力响应, FLAC3D

Dynamic Response Analysis of Side-by-Side Pile Slab Wall Based on FLAC3D

Yanan Li

Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou Gansu
Email: 601033495@qq.com

Received: Jun. 22nd, 2021; accepted: Jul. 6th, 2021; published: Jul. 22nd, 2021

Abstract

Earthquake landslides often cause major disasters. Pile-slab wall is an important slope protection structure. It is of great engineering significance to study its seismic performance. Relying on the project and based on FLAC3D finite difference software, this study studies the distribution law of post-pile acceleration, earth pressure and displacement of the pile-slab wall from the horizontal and vertical dimensions of the simplified model. The results show that the acceleration and dis-

placement have obvious amplifying effect along the pile body, and the pile is more inclined to overturn than the pile deformation. The maximum acceleration and displacement increase exponentially under the action of seismic waves of different intensities, and the maximum earth pressure has an obvious upward trend under the action of seismic waves of different intensities. This study can provide reference for the practical application of pile slab wall and the subsequent study of pile slab wall structure.

Keywords

Pile Plate Retaining Wall, Seismic Action, Dynamic Response, FLAC3D

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

我国幅员辽阔,地形复杂,众多活跃的地震带分布在我国境内,导致了我国地震频发。一方面地震对于人民群众的生命财产安全造成了巨大的威胁;另一方面随着我国在高烈度地区的基础设施不断完善,地震对于建筑设施以及支挡防护结构也造成了威胁。挡土墙作为重要的支挡防护结构,具有繁多的种类形式,近年来众多学者不断探究其在抗震性能的效果表现。

唐文卿[1]等结合项目工程,分析了在既有结构下桩板式挡土墙的设计方法和设计难点。于玉贞[2]等利用离心试验对抗滑桩加固过的边坡进行抗震分析。喻琨皓[3]研究了预应力锚索桩板墙在地震作用下的抗震理论,建立了桩板墙土压力在地震作用下的计算模型,得到了土压力的基本方程,并且在此基础上推导出地震土压力合力与合力作用点的公式。潘樾富[4]等利用振动台试验,探究了在地震作用下桩的受力变形规律,为路堤桩板墙结构的抗震稳定性分析提供评价依据。石志龙[5]等以某条既有铁路线路扩建为项目背景,运用 Midas GTS 有限元分析软件,研究了既有一新建组合桩板墙结构的受力特性。胡聿贤[6]通过分析我国早期的几次地震的破坏情况,总结得到了由地形效应导致的宏观破坏现象。艾挥[7]等,通过振动台试验以及数值模拟的方式探究了冠梁约束型抗滑桩对普通抗滑桩的抗震效果提升。王宇[8]等、王思敬[9]、刘汉香[10]等通过振动试验对坡体的动力响应进行研究。祁生文[11],利用数值模拟软件探究了不同边坡高度对边坡动力响应的影响,提出了存在临界高度对边坡地震响应规律的影响,并给出了临界高度的计算公式。何思明[12]等,利用薄层分析法研究地震动土压力与地震加速度的关系,拟动力法结果普遍认为动土压力和地震加速度基本同步变化。马少俊[13]等,通过拟动力方法,在考虑墙背倾角、土摩擦角、填土内摩擦角等条件下,探究了挡土墙的抗滑稳定性。姚令侃[14]等,通过分析汶川地震中挡土墙的破坏形式以及模型振动台试验,得到了土压力在挡土墙后面的分布形式和规律。

本文基于重力式挡土墙动力响应分析的研究现状,利用广泛使用且成熟的数值模拟软件 FLAC3D。以实际项目工程为背景,选取简化的桩板墙模型,通过施加不同的峰值加速度,探究其在不同动力条件下的变形受力特性。

2. 模型构建

依据兰州某边坡防护工程为项目背景,为便于模型的计算与分析,进行缩小和简化处理。建立一个长 30 m,宽 7.5 m,厚 10 m 的卵石土地基。桩板墙板的厚度为 0.4 m,高 0.5 m;桩长 1.5 m,宽 1 m,高

10 m, 其中 5 m 嵌入卵石土地基。板后填土长 19 m, 宽 7.5 m, 高 5 m。模型建立后, 对相关土体, 桩板结构进行赋值处理, 参数取值见表 1。首先对模型进行初始地应力计算, 得到初始的土压力分布。然后在模型的底部施加静态边界条件, 在模型四周施加自由场边界条件, 以减少地震波在边界处反射造成的误差影响。再选取合适的地震波输入模型进行动力计算。模型施加自由场边界条件后如图 1。

Table 1. Model material parameters

表 1. 模型材料参数

名称	重度(KN/m ³)	泊松比	弹性模量(Mpa)	内摩擦角(°)	粘聚力(Kpa)
人工填筑土	19	0.30	5	15	27
卵石土	20	0.25	30	30	10
挡土板	25	0.20	31500	-	-
桩	25	0.20	31500	-	-

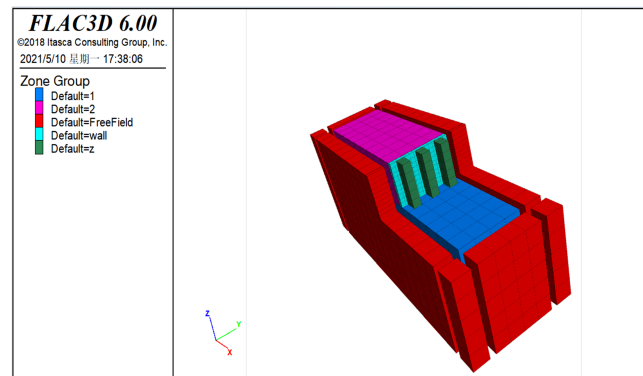


Figure 1. Free field boundary model

图 1. 自由场边界模型

地震波选取 El-centro 波能量集中的前三十秒部分, 并且通过调整地震波的整体比例, 分别得到 0.1 g, 0.2 g, 0.3 g, 0.4 g 四种峰值加速度的地震波, 用来模拟不同能量等级的地震。并且在 FLAC3D 中进行滤波和基线校正处理。以 0.2 g 为例, 滤波和基线校正后的加速度时程曲线如图 2。

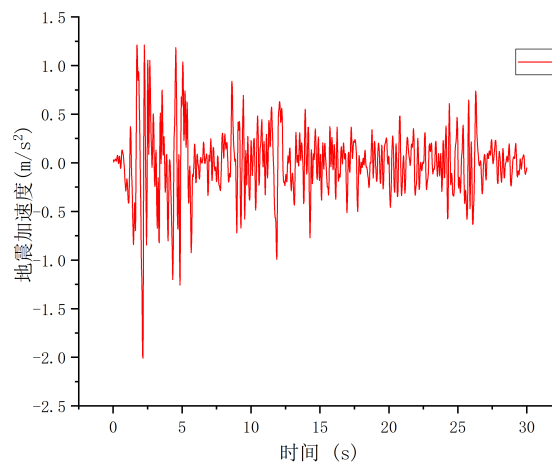


Figure 2. Acceleration time history curve

图 2. 加速度时程曲线

3. 在 0.2 g 地震波作用下结果分析

3.1. 桩后加速度监测结果

探究地震加速度在桩身的传播规律，在中间桩的桩底 0 m，桩中 5 m，桩顶 10 m 处设置监测点。加速度时程监测曲线如图 3。根据监测结果，桩身各点的加速度时程曲线基本与输入的地震波加速度时程曲线变化趋势相同，加速度峰值都处于 2.5 s 附近。地震波随着桩身向上的传递过程中，其加速度逐渐变大。且加速度在嵌入土体的桩身部分放大较小，从 0 m 到 5 m 处，放大约为 15.8%。加速度在桩体的悬臂端部分放大较大，从 5 m 处到 10 m 处，放大约为 25.4%。

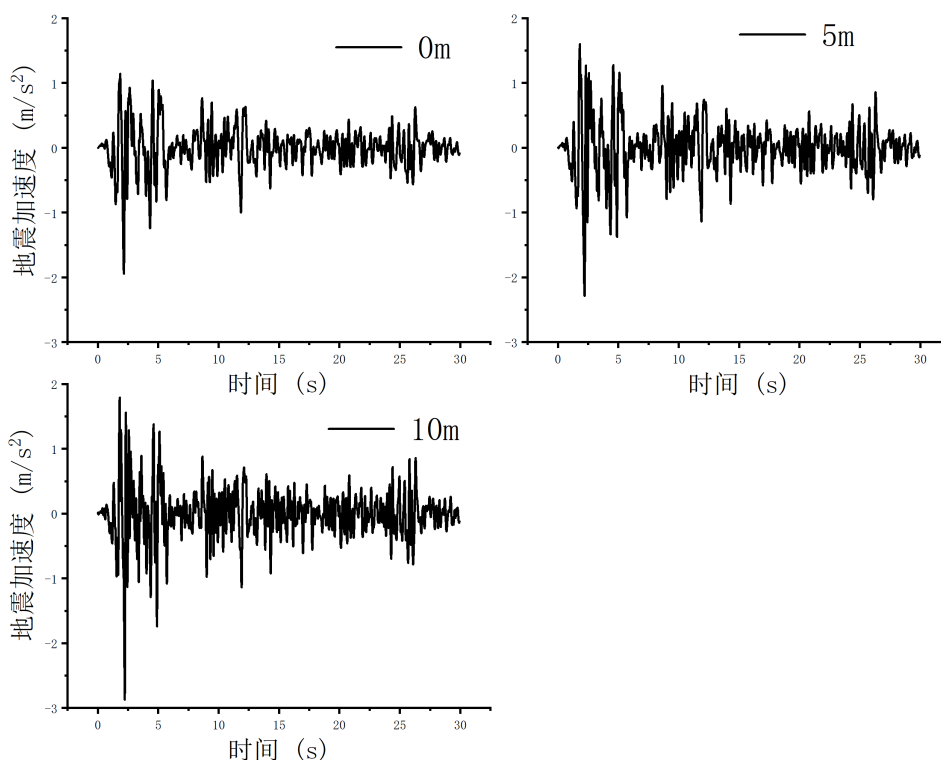


Figure 3. Acceleration time history monitoring curve

图 3. 加速度时程监测曲线

3.2. 桩后土压力分布

针对桩后土压力分布，对地表以上的桩每隔 1 m 设置监测点。经过数据处理和分析后，桩顶存在较大误差，选取距地表高度 0~4 m 进行分析，监测结果如图 4。由图可得土压力时程曲线分布基本与加速度时程曲线趋势相同，其中峰值出现在 2.5 s 处附近。土压力在地震作用下波动较大，变化较为复杂。

3.3. 桩体位移

在地震荷载的持续作用下桩和土体不仅会共同发生较大的水平位移，而且桩和土体会发生一定的挤压变形，此外桩体本身也会发生一定的变形以及倾覆。忽略地表处桩和土的相对位移，选取桩中心 5 m 处作为参考节点，数据经过处理后桩身各点相对于桩中心 5 m 处的水平位移如图 5。桩身位移不断波动，且随地震持续作用不断累积，在 2.5 s 地震波波动剧烈处桩身位移起伏较大。随着桩的高度和深度变大，位移也随之变大，桩身最大位移在桩顶处，为 2.98 cm。根据《铁路路基支挡结构设计规范》规定：“桩

板墙顶位移应小于桩悬臂段长度的 1/100，且不宜大于 10 cm”，在 0.2 g 峰值加速度的地震波作用下，此模型结构处于安全变形范围内。桩底的相对水平位移为 2.87 cm 且地表以上和地表以下桩身变形趋势基本对称分布，可大致判断桩体在此地层条件下主要发生倾覆作用，与实际地震情况下部分挡墙结构发生倾覆破坏相符。

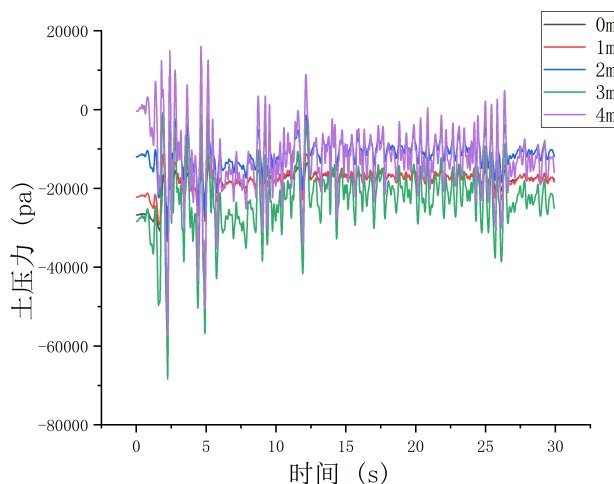


Figure 4. History curve of earth pressure intensity

图 4. 土压力强度时程曲线

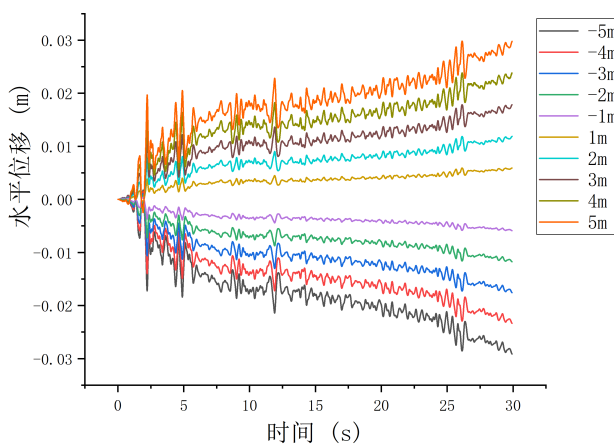


Figure 5. Relative displacement curve

图 5. 相对位移曲线

4. 不同峰值加速度下对比分析

4.1. 加速度调整

为了尽可能的减小地震波周期和频率等其他因素的影响，仅考虑峰值加速度变化对结构产生的影响。所以对所选取的 El-centro 地震波，将其加速度按照一定的比例系数进行放大或缩小处理，使其峰值加速度与设计的基本地震加速度值相符，得到 0.1 g, 0.2 g, 0.3 g, 0.4 g 四种峰值加速度的时程曲线。比例系数按公式 1 调整：

$$a'(t) = \frac{a'_{\max}}{a_{\max}} a(t) \quad (1)$$

4.2. 桩后加速度和最大土压力

不同峰值加速度下桩底，桩中，桩顶的加速度最大值如图 6。PGA 放大比如图 7。由两图显示数据可知，加速度沿桩身向上传递的过程中逐渐变大。且桩在土体部分加速度变大较为缓慢，说明周围土体对加速度的放大有一定的约束作用。随着加速度传递到桩的悬臂段，缺少了周围土体的约束，加速度的放大效应越来越明显。并且随着地震等级的提高，加速度在桩顶的放大系数有变大的趋势，输入 0.1 g 峰值加速度地震波，桩顶加速度比桩底加速度放大 1.43 倍，0.2 g 放大 1.52 倍，0.3 g 放大 2.02 倍，0.4 g 放大达到 2.75 倍。

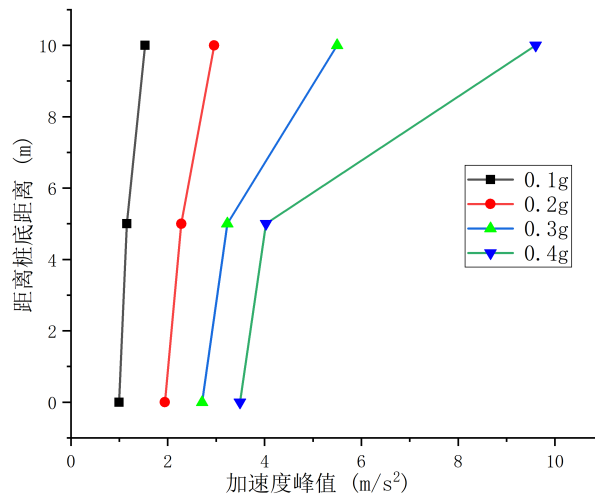


Figure 6. Peak acceleration

图 6. 加速度峰值

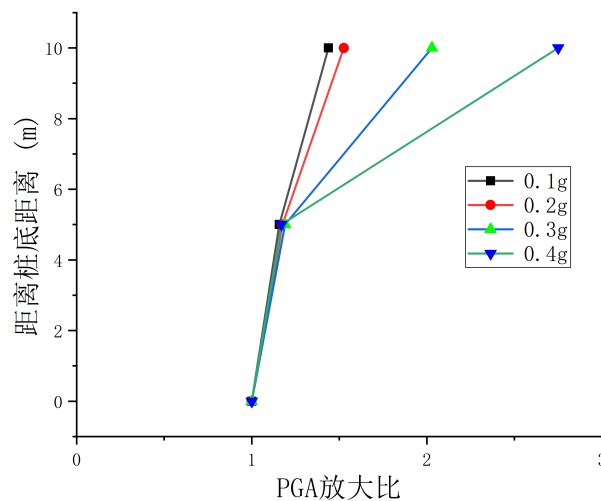


Figure 7. Acceleration amplification ratio

图 7. 加速度放大比

从模型模拟的结果出发，土压力的分布不仅与桩身的位置、地震峰值加速度的大小有关，还表现出与时间的关系。为了简化分析过程，本文不考虑时程的差异影响，选取从地表以上 0~4 m 位置 0.1~0.4 g 最大土压力进行对比分析，数据处理如图 8。地表以上桩后土压力随着峰值加速度的增大而逐渐变大，且最大土压力位置点有逐渐上移的趋势。桩后土压力主要由静土压力和动土压力组成，静土压力相对稳

定, 动土压力主要由传递的水平加速度产生, 随着桩身上方的加速度逐渐变大, 最大动土压力位置点上移, 所以最终土压力最大位置点呈现不断上移的态势。

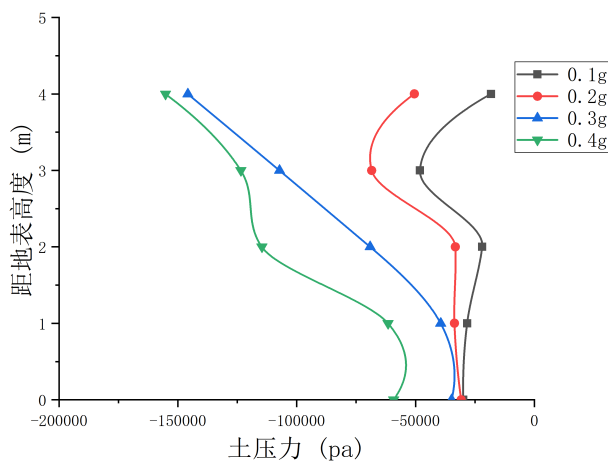


Figure 8. Maximum earth pressure

图 8. 土压力最大值

4.3. 水平位移对比

不同峰值加速度的地震波, 对桩身位移产生的影响十分明显, 如图 9。0.1 g 桩顶最大位移为 0.8 cm; 0.2 g 桩顶最大位移为 2.9 cm; 0.3 g 桩顶最大位移为 9.9 cm; 0.4 g 桩顶最大位移为 32.1 cm。说明地震峰值加速度与桩顶的位移不是简单的线性关系, 而是几何倍数关系。在四种峰值加速度地震波作用下, 桩身位移近似线性变化, 这也间接证明刚性挡土墙地震破坏主要为倾覆破坏。为有关项目提高刚性桩板墙的抗震性能提供借鉴意义。

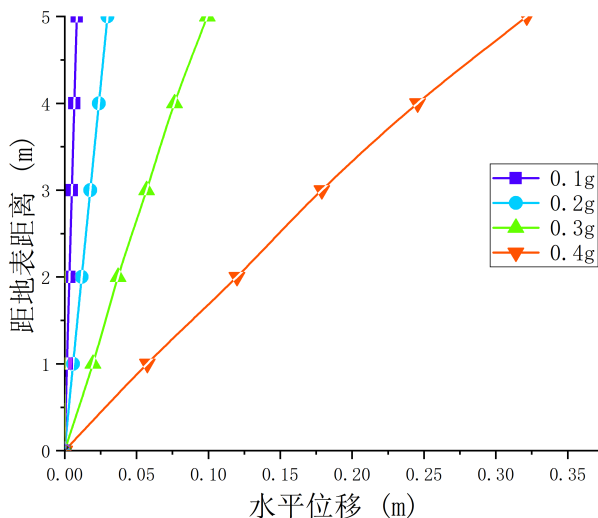


Figure 9. Horizontal displacement

图 9. 水平位移

5. 结论

本文借助有关项目背景, 利用 FLAC3D 软件, 对简化的并排式桩板墙模型进行了在地震波作用下,

探究其桩后加速度、土压力、位移沿桩身的分布规律。以及在不同峰值加速度地震波作用下，探究其桩后最大加速度、土压力、位移的变化规律。通过横纵两个维度得到以下结论：

1) 在 0.2 g El-centro 地震波作用下，桩板墙桩后加速度形态基本与输入的地震波加速度形态一致，且沿桩身传播有一定的放大效应；土压力在地表以上 3 m 附近达到最大值；位移呈现波动增大现象，在桩顶处出现最大值达到 2.98 cm，符合《铁路路基支挡结构设计规范》中的规定值。

2) 在不同峰值加速度地震波作用下，桩板墙桩后加速度，随着输入峰值的增大，地表以上加速度的放大效应越来越明显；桩后最大土压力位置点出现了上移的现象，与加速度放大效应导致的最大动土压力上移有关；桩顶最大位移呈现几何倍数增大，且桩身出现明显的倾覆变形。

参考文献

- [1] 唐文卿, 贺劲松, 张树生. 抗滑桩-桩板式挡土墙设计浅析[J]. 工程建设, 2011, 43(5):16-20+59.
- [2] 于玉贞, 邓丽军. 抗滑桩加固边坡地震响应离心模型试验[J]. 岩土工程学报, 2007(9): 1320-1323.
- [3] 喻琨皓. 预应力锚索桩板墙与岩土体相互作用分析[D]: [硕士学位论文]. 成都: 西南交通大学, 2014.
- [4] 潘樾富, 段晓涛. 路堤桩板式挡土墙的振动台试验研究[J]. 铁道工程学报, 2012, 29(3): 35-39.
- [5] 石志龙. 既有线条件下路基桩板墙帮宽结构数值研究[J]. 路基工程, 2019(2): 82-86.
- [6] 胡聿贤, 孙平善, 章在墉, 田启文. 场地条件对震害和地震动的影响[J]. 地震工程与工程振动, 1980(1): 34-41.
- [7] 艾挥, 吴红刚, 冯文强, 陈小云. 冠梁约束型抗滑桩与普通抗滑桩的抗震性能对比试验研究[J]. 防灾减灾工程学报, 2017, 37(2): 194-200.
- [8] 王宇, 贾洪彪, 赵轩, 唐为民. 地震作用下均质土坡动力特性的振动台试验研究[J]. 地震工程学报, 2017, 39(1): 100-106.
- [9] 王思敬. 岩石边坡动态稳定性的初步探讨[J]. 地质科学, 1977(4): 372-376.
- [10] 刘汉香, 许强, 周飞, 杨峥, 王峰. 含软弱夹层斜坡地震动力响应特性的振动台试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2015, 34(5): 994-1005.
- [11] 祁生文, 伍法权, 孙进忠. 边坡动力响应规律研究[J]. 中国科学 E 辑: 技术科学, 2003, 33(Z1): 28-40.
- [12] 何思明, 王忠福, 王娟. 考虑地震加速度时程影响的挡土墙动土压力分布[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2015, 47(4): 31-37.
- [13] 马少俊, 胡安峰, 王奎华. 地震作用下挡土墙的滑动稳定性分析[J]. 工程力学, 2012, 29(7): 209-213.
- [14] 姚令侃, 冯俊德, 杨明. 汶川地震路基震害分析及对抗震规范改进的启示[J]. 西南交通大学学报, 2009, 44(3): 301-311.