

周永波. 基于大数据分析的城市地下管线地震安全性分析 [J]. 华南地震, 2020, 40 (3): 148-154. [ZHOU Yongbo. Seismic Safety Analysis of Urban Underground Pipelines Based on Large Data Analysis [J]. South China journal of seismology, 2020, 40 (3): 148-154]

基于大数据分析的城市地下管线地震安全性分析

周永波

(山东正元地球物理信息技术有限公司, 济南 250000)

摘要: 针对传统城市地下管线地震安全性分析方法放大拟合性能较差的问题, 提出一种基于大数据分析的城市地下管线地震安全性分析方法, 通过有限元分析软件: ANSYS 对城市地下管线实施有限元建模, 其中地下管线直管部分采用可以改变方向的管道, 在改变方向处, 通过弯管对直管进行连接, 利用构建的城市地下管线有限元模型对城市地下管线进行地震位移响应分析, 根据地震位移响应分析结果, 构建地震下的土 - 管相互作用模型, 基于大数据分析对城市地下管线进行地震安全性分析。为了验证基于大数据分析的城市地下管线地震安全性分析方法的放大拟合性能较强, 将传统城市地下管线地震安全性分析方法与该方法进行对比, 实验结果证明该方法的放大拟合性能优于传统方法, 说明该方法更适用于城市地下管线地震安全性分析。

关键词: 大数据分析; 城市地下管线; 地震安全性分析; 弹性弹簧; 稀疏分布网格; 有限元建模

中图分类号: TU352.11 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-8662 (2020) 03-00148-07

DOI: 10.13512/j.hndz.2020.03.019

Seismic Safety Analysis of Urban Underground Pipelines Based on Large Data Analysis

ZHOU Yongbo

(Shandong Zhengyuan Geophysical Information Technology Co., Ltd., Jinan 250000, China)

Abstract: Aiming at the problem of poor amplification and fitting performance of traditional seismic safety analysis methods for urban underground pipelines, a seismic safety analysis method for urban underground pipelines based on large-scale data analysis is proposed. The finite element model of urban underground pipelines is established by ANSYS, in which the underground pipelines directly adopt pipelines that can change direction. At the same time, the seismic displacement response of urban underground pipelines is analyzed by using the finite element model of urban underground pipelines. According to the results of seismic displacement response analysis, the soil-pipe interaction model under earthquake is constructed, and the seismic safety of urban underground pipelines is analyzed based on large data analysis. In order to verify the strong magnification and fitting performance of the seismic safety analysis method for urban underground pipelines based on large data analysis, the traditional seismic safety analysis method for urban underground pipelines is compared with this method. The experimental results show that the magnification and fitting performance of the method is better

收稿日期: 2019-10-10

作者简介: 周永波 (1976-), 男, 工程师, 主要研究领域为地下管线探测、测绘工程、地理信息。

E-mail: wu18232152248@163.com.

than the traditional method, which shows that the method is more suitable for seismic safety analysis of urban underground pipelines.

Keywords: Large data analysis; Urban underground pipelines; Seismic safety analysis; Elastic-plastic spring; Sparse distributed grid; Finite element modeling

0 引言

燃气供应系统、城市供热系统、城市供水系统、通信系统、交通系统、电力系统等等，在当前社会中，所有工程系统都与百姓的生活和社会的稳定息息相关，因此这些工程系统也被称为社会的生命线工程系统^[1]。生命线工程系统通常是指对区域经济功能与现代城市功能可以起到维系作用的所有基础性设施工程系统，作为维持人类生活与现代城市生产的基础，生命线工程系统一旦失效，就会造成巨大的经济损失与大面积的社会困难^[2]。而生命线工程系统作为维系社会功能、区域经济以及现代城市的基础性系统与工程设施，其典型对象涵盖着社会生活的方方面面，在遭遇风暴、地震等强烈灾害袭击时，生命线工程系统的受损会导致区域、城市经济功能与社会功能的瘫痪，特别是地震灾害，会对生命线工程系统的运行造成不可估量的影响与破坏^[3]。城市越发达、规模越大，对生命线工程系统就会有越大的依赖性。在发生地震的区域，没有进行抗震设计的那些系统对城市是一种潜在的巨大威胁，发生地震时，随时可能使整个城市遭受巨大的人员损失与财产损失^[4]。这个问题已经在上世纪发生的多次大型地震震害中得到了十分充分的证明。

而城市地下管线作为生命线工程系统中最为重要的组成部分，在城市现代化的进程中起到了重要作用。影响城市地下管线安全性的主要因素就是强烈灾害，其中地震作用的破坏性最强^[5]。对地震过程中城市地下管线的破坏规律进行研究已经成为提升城市地下管线抗震性能的主要手段，也是城市防灾减灾的主要手段之一。而城市地下管线由于有土包围，因此其地震作用的管线震动特性与地上结构存在很大差异，具备独特的特点。针对这种特性，深入分析城市地下管线的地震安全性，提出一种基于大数据分析的城市地下管线地震安全性分析方法。

1 设计基于大数据分析的城市地下管线地震安全性分析方法

1.1 建立城市地下管线有限元模型

通过有限元分析软件：ANSYS 对城市地下管线实施有限元建模，其中地下管线直管部分采用可以改变方向的管道，在改变方向处，通过弯管对直管进行连接，而地下管线接头处采用水泥钢丝网砂浆对接口进行抹带，管道则选取 C30 混凝土^[6]。建立城市地下管线的有限元模型前，首先假设城市地下管线的地面运动属于平动并且不存在转动分量，并且管道属于介质性质均匀的连续管道。

将城市地下管线简化为处于弹性地基之上的连续梁对其进行分析，通过分布均匀的土弹簧对管道受到的土介质作用进行模拟，并且土体与管道处于共同运动状态^[7]。

选取实体单元 solid65 作为管道模型的管道单元；将土体的运动简化为阻尼器与弹塑性弹簧的组合，选取弹簧单元 combin14 作为土体单元，利用“*m*”法可以获取其刚度系数^[8]。具体如下式：

$$K=mbzh \tag{1}$$

其中，*K* 代表土弹簧的整体刚度系数；代表管周土体的具体“*m*”值；*b* 代表土弹簧在水平向的具体计算间距；*z* 代表土弹簧在垂直向的具体计算间距；*h* 代表管道的埋深^[9]。其中，土体的“*m*”值具体如表 1 所示。

表 1 土体的 *m* 值
Table 1 *m* value of soil

序号	土体分类	<i>m</i> (MN/m ²)
1	密实漂卵石，粗砂密实夹卵石	80~121
2	卵石、碎石、圆砾、角砂、砾砂	31~82
3	粗砂、半坚硬与坚硬粘性土 $I_p < 0$	20~32
4	中砂、细砂、硬塑粘性土 $0.5 > I_p > 0$	11~20
5	粉砂、软塑粘性土 $1 > I_p > 0.5$	5~12
6	淤泥 / 流塑粘性土 $I_p > 1$	3~6

而城市地下管线的材料特性与尺寸特性如表 2 所示^[10]。

表 2 城市地下管线的材料特性与尺寸特性
Table 2 Material characteristics and dimension characteristics of underground pipelines in cities

序号	尺寸特性		材料特性	
1	内径长 (m)	1	管道材料	C30 混凝土
2	管道壁厚 (m)	0.095	弹性模量	$E=38\text{ GPa}$
3	埋设深度 (m)	3	密度	$\rho=2600\text{ kg/m}^3$
4	直管段长度 (m)	10	泊松比	$\mu=0.25$
5	弯曲管段 曲率半径 (m)	1.5	管道材料	C30 混凝土

城市地下管线的网格划分方式如下：壁厚方向共划分两层单元；直管段的网格采取稀疏分布网格；而弯管段则采取细致分布网格；划分的实体单元共 3200 个，弹簧单元共 400 个^[11]。构建的城市地下管线有限元模型具体如图 1 所示。

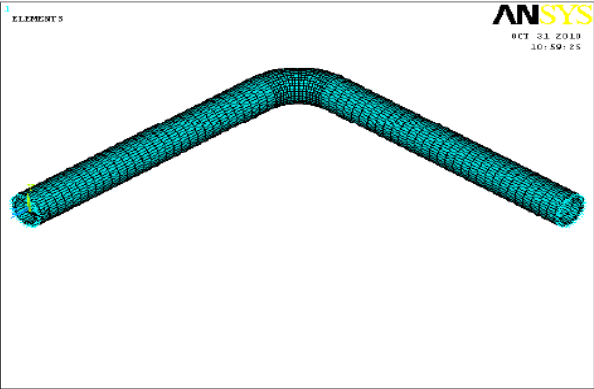


图 1 构建的城市地下管线有限元模型
Fig.1 Finite element model of urban underground pipeline

完成有限元模型的构建后，需要通过人工边界的建立来对连续介质发生的阻尼作用进行模拟，以确保地震波在穿越城市地下管线时不被反射，因此建立一个弹 - 粘性人工边界，利用该边界计算地震作用下的地震作用下动力反应^[12]。

1.2 城市地下管线地震位移响应分析

利用构建的城市地下管线有限元模型对城市地下管线进行地震位移响应分析，首先需要

对城市地下管线实施模态分析，获取其振动特性^[13]。利用子空间法对城市地下管线结构的周期与固有频率进行计算，获取如表 3 的数据^[14]。通过获取数据描述城市地下管线的振型，共包括六阶振型，完成地下管线的模态分析。

表 3 城市地下管线结构的周期与固有频率
Table 3 Period and natural frequency of urban underground pipeline structure

振型序号	周期 / (s)	固有频率 / (Hz)
1	0.1378	7.3111
2	0.2331	0.095
3	0.2688	4.3098
4	0.3414	2.9386
5	0.3622	2.7698
6	1.2091	0.8287

接着选取地震位移响应分析的场地，场地的具体类别如表 4 所示。

表 4 场地的具体类别
Table 4 Specific categories of the site

场地类别	岩土性质	岩土名称	场地土类型	剪切波速 / (m/s)
I	密实碎石土	稳定岩石	岩石或坚硬土	$V_s>500$
II	中密、密实的粗中砂、砾中砂	稍密、中密的碎石土	中硬土	$500\geq V_s\geq 250$
III	除松散之外的粉砂、细砂	稍密的中砂、粗砂、砾砂	中软土	$250\geq V_s\geq 140$

并绘制城市地下管线的地震响应谱，其纵坐标选择地下管线质点的最大反应；其横坐标选择地下管线体系的自振周期^[15]。对各种周期的地下管线单自由度体系输入同一地震波，并按照各种阻尼比对其进行计算，即可获得城市地下管线的地震响应谱，具体如图 2 所示。

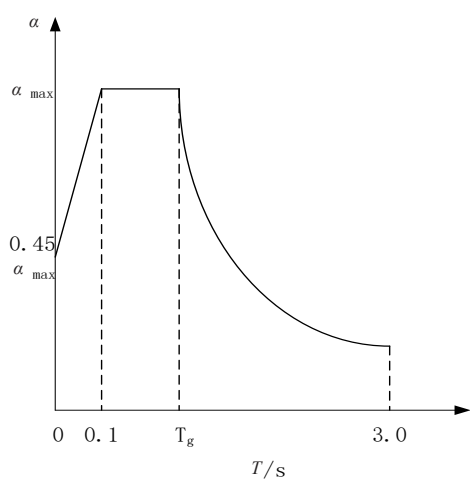


图 2 城市地下管线的地震响应谱
Fig.2 Seismic response spectrum of urban underground pipelines

其中， α_{\max} 与 T_g 的选取具体如表 5 所示。

表 5 T_g 与 α_{\max} 的选取

Table 5 Selection of T_g and α_{\max}				
振型序号	T_g 取值	α_{\max}	场地	烈度
1	0.4	0.32	I	0.4
2	0.3	0.16	II	0.3
3	0.2	0.08	III	0.2

为方便地震位移响应分析，将地震响应谱划分为 3 段，具体如下式：

$$\begin{cases} \alpha_1=(0.45+5.5T)\alpha_{\max}, 0\leq T\leq 0.1 \\ \alpha_2=\alpha_{\max}, 0.1\leq T\leq T_g \\ \alpha_3=(\frac{T_g}{T})^{0.9}\ast\alpha_{\max}, T_g\leq T\leq 3 \end{cases} \quad (2)$$

其中， T_g 为最优时间值，对城市地下管线进行地震位移响应分析，获取城市地下管线节点的具体位移值，如表 6 所示^[16]。

表 6 城市地下管线节点的具体位移值

Table 6 Specific displacement value of urban underground pipeline node							
场地类型	6127	6370	6677	1036	6844	6893	6697
I	-1.215	-1.211	-1.212	-1.211	-1.211	-1.211	-1.213
II	-1.414	-1.412	-1.412	-1.411	-1.413	-1.412	-1.412
III	-1.714	-1.711	-1.712	-1.711	-1.713	-1.712	-1.713

1.3 城市地下管线地震安全性分析

根据城市地下管线的地震位移响应分析结果，基于大数据分析对城市地下管线进行地震安全性分析。首先获取地震位移响应分析结果中城市地下管线地震安全性的大数据^[17]。也就是构建地震下的土 - 管互相作用模型，具体如图 3 所示。

将各种烈度下的地震波天津波数据与地震位移响应分析结果导入地震下的土 - 管互相作用模型中，获取多种烈度的地震波作用下，土壤与管道之间的动力响应大数据，并根据这些动力响应大数据，获取多种烈度的地震波作用下，土壤与管道之间的动力响应曲线，具体如图 4、图 5 所示^[18]。

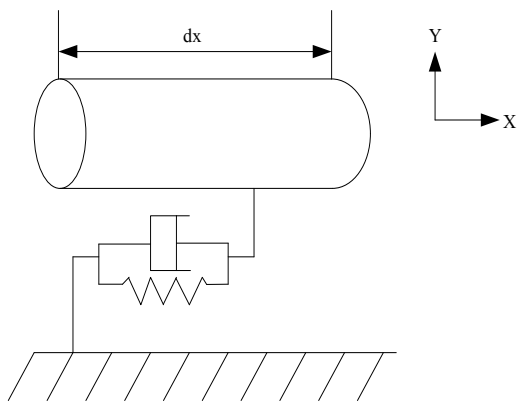


图 3 构建地震下的土 - 管互相作用模型
Fig.3 Construction of soil-pipe interaction model under earthquake

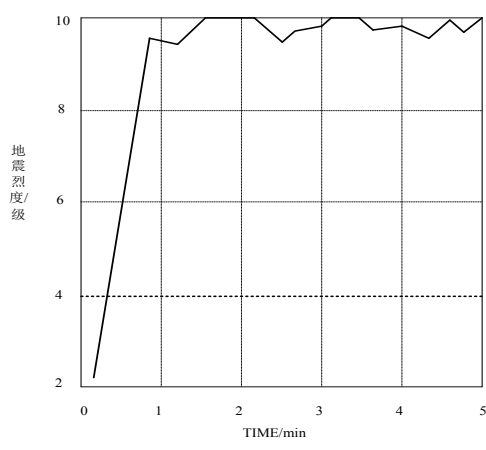


图 4 横向动力响应曲线
Fig.4 Transverse dynamic response curve

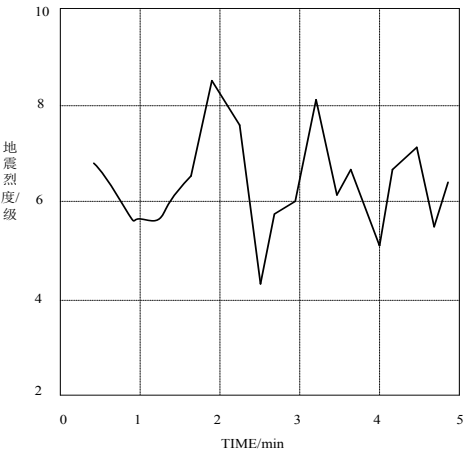


图 5 纵向动力响应曲线
Fig.5 Longitudinal dynamic response curve

根据获取的土壤与管道互相作用下的动力响应曲线分析城市地下管线的地震安全性，可以获取以下结论：城市地下管线在严重烈度的地震下会受到严重损坏，其地震安全性根据烈

度来划分，地震烈度 8 度以下，城市地下管线可以保持良好的地震安全性；地震烈度 8 度以上，会出现管道小直径断裂的情况，使地震安全性受到影响；而地震烈度 9 度以上，则会出现管道大直径断裂的情况，地震安全性较低^[19]。可以说城市地下管线的地震安全性随着地震烈度的升高而逐渐降低^[20]。

2 实验研究与分析

2.1 实验方法与流程

利用基于大数据分析的城市地下管线地震安全性分析方法对城市地下管线的地震安全性进行分析实验。首先随机选取一段城市地下管线，实验城市地下管线特性以及土体特性如表 7 所示。

表 7 实验城市地下管线特性以及土体特性
Table 7 Characteristics of underground pipeline and soil in experimental city

序号	地下管线 X-56 Φ400×7	土体		
1	弹性模量 (Gpa)	210	土体摩擦角 (°)	30
2	材料屈服应变	0.0024	土体屈服位移 (m)	0.0075
3	管壁厚度 (mm)	7	土容重 (kN/m³)	18
4	材料极限拉伸应力所对应的应变	0.145		
5	埋深 (m)	1.5		
7	管径 (mm)	300		
8	材料允许拉伸应变	0.04		
9	泊松比	0.3		
10	拉断材料的应力值 (Pa)	508		

而实验城市地下管线的计算参数均服从正态分布，其具体计算参数如表 8 所示。

表 8 实验城市地下管线的计算参数
Table 8 Calculation parameters of underground pipeline in experimental city

参数名称	均值	符号	单位	变异系数
管道壁厚	7	<i>t</i>	mm	0.05
管道外径	300	<i>D</i>	mm	0.01
管道内压	8	<i>P</i>	MPa	0.1
沉陷位移	0.3	<i>H</i>	m	0.1

接下来测量实验城市地下管线接口的允许开裂拉力与允许变形拉力，其管口的接口做法

包括胶卷自应力灰、胶圈石棉灰、自应力水泥以及石棉水泥，对应的测量数据如表 9 所示。

表 9 对应的测量数据
Table 9 Corresponding measurement data

接口做法	渗漏位移极限 (mm)		开裂位移极限 (mm)		P(kN)	
	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值
胶卷自应力灰	4.26	24.98	0.76	0.76	42.38	177.7
胶圈石棉灰	3.63	25.67	1.89	1.89	54.83	248.6
自应力水泥	1.20	2.87	0.12	0.12	19.3	165.8
石棉水泥	1.09	2.66	0.18	0.18	21.21	20.6.8

将城市地下管线的相关数据作为基础大数据进行城市地下管线的地震安全性分析。为了保证实验结果的有效性,将传统城市地下管线地震安全性分析与本文设计的基于大数据分析的城市地下管线地震安全性分析方法共同进行对比实验,比较各个城市地下管线地震安全性分析方法的放大拟合性能,通常放大拟合性能的判断依据为放大拟合图形的拟合密集性,放大拟合图形的拟合密集性越高,则证明其放大拟合性能越强。

2.2 实验结果分析

传统城市地下管线地震安全性分析方法的放大拟合性能实验结果如图6所示。

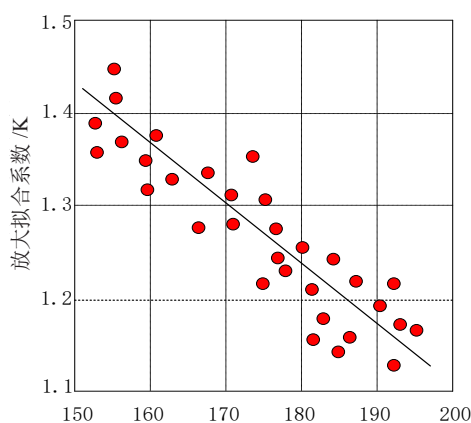


图6 传统方法的放大拟合性能实验结果

Fig.6 Experimental results of magnification fitting performance of traditional methods

而基于大数据分析的城市地下管线地震安全性分析方法的放大拟合性能实验结果如图7所示。

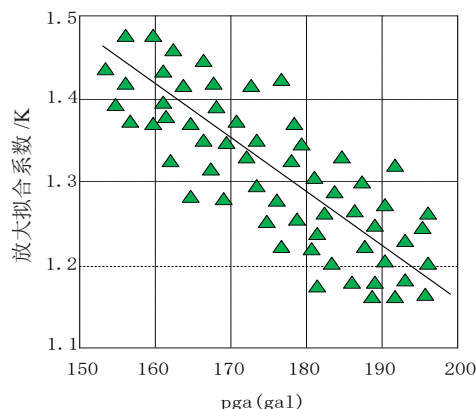


图7 本文方法的放大拟合性能实验结果

Fig.7 Experimental results of magnification fitting performance of this method

根据图6与图7的放大拟合性能实验结果可知,传统城市地下管线地震安全性分析方法放大拟合图形的拟合密集性低于本文提出的基于大数据分析的城市地下管线地震安全性分析方法,也就是本文方法的放大拟合性能优于传统方法。

3 结束语

基于大数据分析的城市地下管线地震安全性分析方法实现了放大拟合性能的提升,对于城市地下管线抗震性能的全面提升具有重要意义。

参考文献

- [1] 房彩丽, 张书亮. 面向地下管线空间数据匹配的概念语义相似性方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2017, 29(34): 720-727.
- [2] 陈君, 庄义斐, 崔美莉. 基于 APTS 大数据的城市公交出行多维分析模型和方法[J]. 交通运输系统工程与信息, 2019, 19(21): 80-86.
- [3] 吴志强, 黄天印, 颜彦文. 基于大数据的城市轨道交通运营故障影响分析系统对客流影响的分析[J]. 城市轨道交通研究, 2019, 21(24): 31-34.
- [4] 蒋小荣, 汪胜兰. 中国地级以上城市人口流动网络研究——基于百度迁徙大数据的分析[J]. 中国人口科学, 2017(127): 35-46.
- [5] 唐伟, 杨强, 黄成, 等. 基于大数据分析和 IVE 模型的杭州市机动车污染物排放变化特征研究[J]. 环境科学学报, 2018, 38(41): 71-78.
- [6] 王梦雷, 余舒乐, 陈红斗. 基于大数据分析中国药典与其他质量标准所收载品种发生药品不良反应的差异[J]. 中国新药与临床杂志, 2017, 11(12): 752-756.
- [7] 樊佳佳. 人口常态化统计方法初探——人口统计数据评估与“大数据”运用实证研究[J]. 中国统计, 2017, 11(16): 50-51.
- [8] 赵俊兰, 王磊. 基于 GIS 的工程场地地震安全性分析系统数据库的设计与实现[J]. 建筑技术, 2017, 48(57): 755-757.
- [9] 杨艳梅, 罗洁滢, 陈勇, 等. 基于 GIS 的地下综合管线占压辨识方法研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2017, 13(28): 175-180.
- [10] 魏纲, 王彬, 许讯. Pasternak 地基中盾构隧道穿越引起地下管线竖向位移[J]. 科学技术与工程, 2017, 17(33): 164-171.
- [11] 杜子学, 何钦洪. 稳定轮失效对跨坐式单轨车辆运行安全性及舒适性的影响[J]. 城市轨道交通研究, 2018, 21(23): 15-18.
- [12] 梁建文, 梁佳利, 张季, 等. 深厚软土地中三维凹陷地形非线性地震响应分析[J]. 岩土工程学报, 2017,

- 39(47):1196-1205.
- [13] 卢啸, 陆新征, 李梦珂, 等. 地震作用设计参数调整对框架结构抗震设计及安全性的影响 [J]. 工程力学, 2017, 34(44):22-31.
- [14] 黄育凡, 吴庆雄, 袁辉辉. 地震作用下钢管混凝土组合桁梁-格构墩轻型桥梁行车安全性分析 [J]. 公路交通科技, 2018, 35(41):81-90.
- [15] 闫自海, 金威, 王明年. 火灾下城市隧道、轨道交通、综合管廊共用结构安全性研究 [J]. 现代隧道技术, 2018, 55(62):746-751.
- [16] 李雄威, 居尚威, 代国忠. 常州区域地铁施工对地下管线安全性影响的评定方法 [J]. 科学技术与工程, 2018, 18(28):295-301.
- [17] 李京生, 张湜, 赵林. 基于网闸技术的高速铁路地震预警监测系统安全性研究 [J]. 铁道运输与经济, 2018, 40(57):105-108.
- [18] 冯继威, 李山有, 宋晋东. 2016年8月24日意大利中部 $M_w6.2$ 地震强地面运动特征分析 [J]. 地震工程学报, 2018, 40(42):316-328.
- [19] 王春红, 郝彬彬, 李晓波, 等. 利用浅层地震反射波法评价工程场地的安全性 [J]. 工程抗震与加固改造, 2017, 39(41):144-148.
- [20] 魏纲, 黄文, 姜鑫, 等. 地面出入式盾构开挖对邻近地下管线的影响分析 [J]. 铁道科学与工程学报, 2017, 14(29):1934-1941.