

## 西昌市海河沿岸场地地震动分析

金喆,李世龙,张大龙,凌佩

(河北工程大学 河北省资源勘测研究重点实验室 河北 邯郸 056038)

**摘要:**根据西昌市海河沿岸地区的地质环境,选取21个工程场地的钻孔资料,运用一维土层地震反应程序计算其峰值加速度与峰值速度。依照中国GB5001-2001规范和美国FEMA-NEHRP规范确定了特征周期与平台值,经过加速度反应谱归一化,进而得到该场地在50年超越概率水平为63%、10%和3%的设计反应谱。结果表明,土层软硬程度对地震动加速度的幅值和频谱影响显著,软土场地对峰值加速度的放大倍数较高,且加速度反应谱谱形较宽。

**关键词:**地震动参数;工程抗震;特征周期;设计反应谱

**中图分类号:**P65

**文献标识码:**A

## Ground motion analysis for coast of Haihe River in Xichang city

JIN Zhe, LI Shi-long, ZHANG Da-long, LING Pei

(Key Laboratory of Resource Exploration Research of Hebei Province, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China)

**Abstract:** According to the geological environment of the coastal areas of the Haihe in Xichang city, 21 boreholes data of the engineering site were selected and counted by the soil seismic response procedures. Characteristic periods and platform values were confirmed by the Chinese GB5001-2001 code and recommended provisions of HEHRP. This paper provided the design response spectrums of exceeding probability of 63%, 10% and 3% in future 50 years. The results showed that the amplitude and spectrum of ground motion acceleration were obvious influenced by the hardness of the engineering site. The soft site could be expanded the amplification of the peak acceleration and be widened the acceleration response spectrum.

**Key words:** ground motion parameter; earthquake resistant engineering; characteristic period; design response spectrum

场地地震动参数的合理确定是工程场地地震安全性评价的一个重要组成部分,关系到上部结构抗震设防的安全性。陈国兴<sup>[1]</sup>对南京河西地区软土场地地震动参数的确定进行了研究,吕悦军<sup>[2]</sup>讨论了烟台海岸软土场地对地震动参数的影响。本文采用一维土层等效线性化的方法对西昌市海河沿岸软土场地进行地震动效应的讨论分析。

### 1 区域地质概况

西昌市海河沿岸地区第四系覆盖层厚度60 m左右,部分地段或深或浅,且基本上为全新世

(Q4)沉积土,下部为冲积相,上部为冲积相夹漫滩相、沼泽相,主要为淤泥质粉土、淤泥质粘土、粉质粘土、粉土、砾砂石等,属软土场地。而第四纪覆盖沉积层对地震波起过滤作用,为抗震不利地段。

### 2 场地地震动参数的计算

#### 2.1 场地基岩地震动的输入

该场地的基岩输入地震动是根据地震危险性综合概率方法得到的<sup>[3]</sup>。设计基准期为50年的不同超越概率水平的基岩水平加速度峰值和反应谱,采用强度非平稳随机地震动数学模型,合成了具有场地地震动特征的基岩输入地震动。

表1 各钻孔在不同概率水平下的平均加速度峰值和平均速度峰值

Tab.1 Average peak acceleration and average speed peak of drilling in different probability levels cm/s<sup>2</sup>

钻孔 编号	63%		10%		3%		钻孔 编号	63%		10%		3%	
	A <sub>max</sub>	V <sub>max</sub>	A <sub>max</sub>	V <sub>max</sub>	A <sub>max</sub>	V <sub>max</sub>		A <sub>max</sub>	V <sub>max</sub>	A <sub>max</sub>	V <sub>max</sub>	A <sub>max</sub>	V <sub>max</sub>
1	108.5	13.9	215.3	1	108.5	13.9	12	175.9	14.1	301.3	12	175.9	14.1
2	117.3	15.4	218.6	2	117.3	15.4	13	137.2	13.7	275.4	13	137.2	13.7
3	101.7	14.8	88.3	3	101.7	14.8	14	113.8	13.1	233.0	14	113.8	13.1
4	97.2	13.7	202.5	4	97.2	13.7	15	138.7	14.0	270.4	15	138.7	14.0
5	118.3	12.6	243.7	5	118.3	12.6	16	79.8	13.5	153.0	16	79.8	13.5
6	108.0	12.4	236.3	6	108.0	12.4	17	87.0	13.8	160.8	17	87.0	13.8
7	113.5	13.6	216.8	7	113.5	13.6	18	89.4	14.4	170.9	18	89.4	14.4
8	163.5	13.9	307.0	8	163.5	13.9	19	132.8	15.2	256.5	19	132.8	15.2
9	158.5	15.5	252.7	9	158.5	15.5	20	124.2	14.7	270.4	20	124.2	14.7
10	168.1	16.3	318.1	10	168.1	16.3	21	140.3	16.0	267.2	21	140.3	16.0
11	144.3	15.1	297.1	11	144.3	15.1	均值	124.7	14.3	236.0	均值	124.7	14.3

表2 特征周期的对比

Tab.2 Comparison of characteristic periods

超越概率	特征周期		
	中国地震 动区划	FEMA-450 (2003)	概率法 (97%)
63%	0.57	0.99	0.53
10%	0.98	1.76	0.91
3%	0.98	1.96	1.05

表3 各超越概率下的平台值与特征周期

Tab.3 Platform values and characteristic periods of different exceeding probability

超越概率	平台值	特征周期
63%	2.85	0.55
10%	2.45	0.95
3%	2.35	1.02

## 2.2 峰值加速度与峰值速度的计算

一维土层地震反应分析程序是目前工程上常用的等效线性化土层地震反应分析方法,等效线性化土层地震反应分析方法是在频域线性波动分析方法的基础上利用等效线性化手段来计算分析土层地震反应的方法<sup>[4]</sup>。当强烈地震波穿过土层时,一般认为土壤具有非线性,尽管土的非线性本构问题至今没有圆满解决,但理论上可将土层地震反应问题采用等效线性化的办法加以解决<sup>[5]</sup>。表1为21个钻孔点在不同超越概率63%、10%和3%的平均峰值加速度和峰值速度。

## 2.3 特征周期与平台值的确定

特征周期在地震影响系数曲线中,是水平段与下降段交点的横坐标,反应了地震震级、震源机制(包括震源深度)和震中距等方面的影响,同时也反映了场地的特性<sup>[6]</sup>。在抗震设计规范<sup>[7]</sup>中,设计特征周期与场地类别有关,场地类别越高,越大,地震影响系数的平台越宽<sup>[8]</sup>。

对于特征周期的确定常用方法有中国地震动参数区划编制报告上对特征周期的求法<sup>[9]</sup>,美国FEMA-450(2003)<sup>[10]</sup>法和概率法(97%)<sup>[11]</sup>,根据这三种方法求得特征周期平均值见表2。

中国地震动参数区划编制报告上特征周期的求法与概率法(97%)所得数据更符合我国的抗震设计规范<sup>[7]</sup>,所以本文的特征周期选取二者的平均值。而平台值的确定,本文选取各标准反应谱在一定范围内,特征周期包含各值的平均值,见表3。

## 2.4 设计反应谱的计算

该工程场地属于滨海地区,淤泥层分布非常广泛,土层的含水量、密度、软硬程度等相差较大,尤其是软土层的厚度相差甚多。对于大多数软土层分布相对不是很厚的钻孔点(2#、4#、5#)来说,加速度反应谱表现出的总体趋势大体一致;对于个别软土层厚度相对较大的钻孔点(3#、16#、17#),加速度反应谱表现出来的形势与其它点差异很大。

设计反应谱不能直接用单个地震动记录的反应谱,一般采取一组反应谱的统计平均值。而我国的抗震设计规范中规定,需要使用归一化的动力放大系数谱,进而得到设计反应谱,所以这里将加速度反应谱归一化,给出无量纲的动力放大系数谱<sup>[7]</sup>:

$$\beta(T) = \frac{S_a(T)}{a} \quad (1)$$

式中: $\beta(T)$ —动力放大系数,亦称标准反应谱; $S_a(T)$ —地震动加速度反应谱; $a$ —地震动峰值加速度。各超越概率下的标准反应谱见图1。

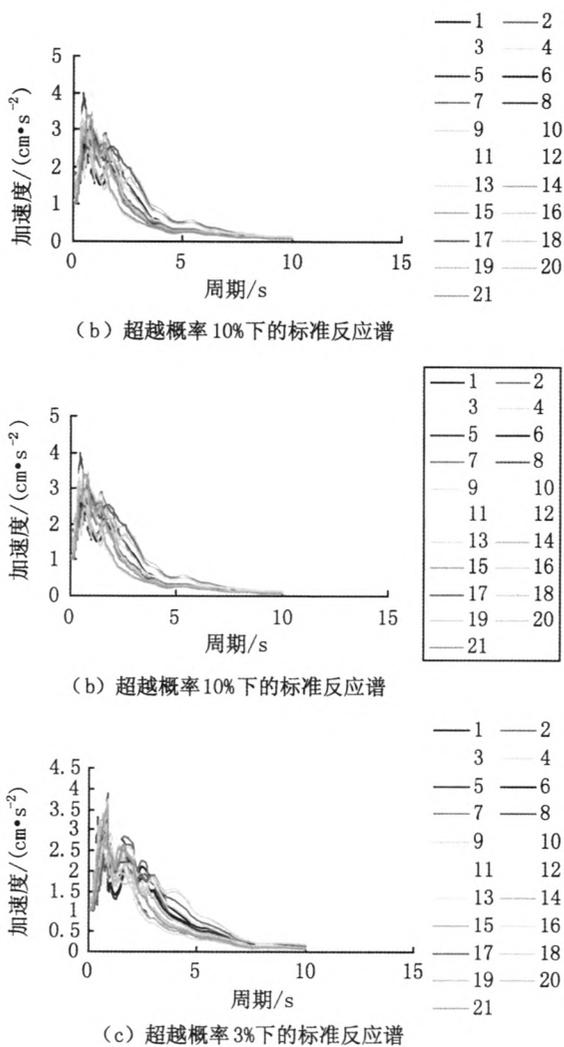


图1 各超越概率下的标准反应谱

Fig.1 Standard response spectrum of different exceeding probability

我国现行的《建筑抗震设计规范(GB50011-2001)》给出的设计反应谱,用地震影响系数曲线表示。地震影响系数公式如下:

$$a(T) = \kappa\beta(T) \quad (2)$$

$$\kappa = \frac{a}{g} \quad (3)$$

式中: $\kappa$  - 地震系数; $g$  - 为重力加速度。

地震影响系数  $a(T)$  曲线,它由四段组成:

①直线上升段:自振周期小于0.1s的区段为直线上上升段,表示为 $[0.45 + 10(\eta_2 - 0.45)T]a_{max}$ ;

②水平段:周期自0.1s至特征周期  $T_g$  区段为水平段,应取最大值  $\eta_2 a_{max}$ ;

③曲线下降段:自特征周期  $T_g$  至5倍特征周期  $T_g$  区段为曲线下降段,衰减指数为0.9,表示为

$$\eta_2 a_{max} \left[ \frac{T_g}{T} \right]^{0.9};$$

④直线下降段:自5倍特征周期  $T_g$  至6.0s区

段为直线下降段,表达式为 $[\eta_2 0.27 - \eta_1 (T - 5T_g)] a_{max}$ 。

式中, $a_{max}$  - 地震动影响系数最大值; $\eta_2$  - 结构阻尼调整系数。

将特征周期和平台值代入地震影响系数  $a(T)$  的四段曲线中,得到图2所示的设计反应谱。此结果可作为海河沿岸地区工程抗震设计的参考数据。

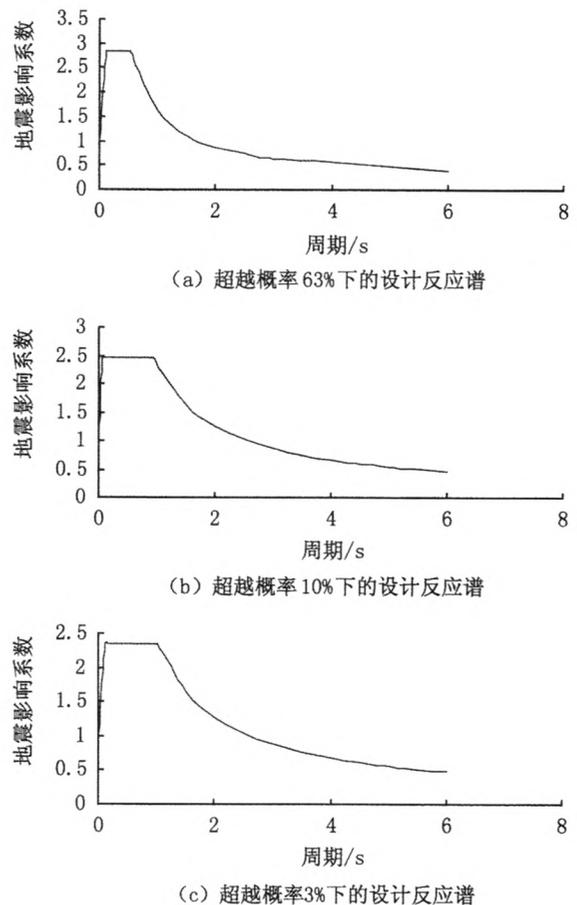


图2 各超越概率下的设计反应谱

Fig.2 Design response spectrum of different exceeding probability

### 3 结果与分析

#### 3.1 软土场地对地震动峰值加速度的影响

地震时工程场地的地震动特征与场地上覆土层有很大关系,地震波由下部基岩传到土层后,经土层的滤波、放大作用,特定频率范围内的地震动将会得到增强<sup>[12-13]</sup>。

由于该工程场地松软砂层和淤泥层的普遍存在,地面土层地震反应的加速度峰值和速度峰值都很低,其中3#、16#、17#和18#的加速度峰值和速度峰值明显低于其他各钻孔点,因为其土层结构

都以淤泥质粉土、粉土、粉质粘土为主,3<sup>#</sup>的软土层在50 m左右,16<sup>#</sup>和17<sup>#</sup>的软土层在65 m左右,而18<sup>#</sup>的软土层甚至高达70 m。这些软土沉积层厚度相对较大,当深部传来的剪切波速通过它向地面传播时就会发生多次反射,波的叠加而增强,使长周期的波尤为卓越<sup>[14-15]</sup>。当地震波的震动周期与地表岩石土体的自振周期相同时,由于共振作用而使地表振动加强<sup>[16]</sup>,所以有时即使是较小的基岩地震动,在经过厚的沉积层到达地面后,也可以使自振周期较长的高层建筑物遭受极大的破坏。

### 3.2 软土场地对地震动反应谱的影响

反应谱的形状十分重要,其“胖瘦”与特征周期(即拐点周期)有关。同时地表(或近地表)的地震动又是震源经介质(包括岩石、土层)衰减传播而至<sup>[17]</sup>。

西昌市海河沿岸场地在各超越概率下的加速度反应谱频带都很宽,特别是在超越概率水平较小、基岩地震动强度较大时,这是由于该地区的软土层分布很广泛且各控制点都具有一定厚度的软土层。当超越概率较小,输入的基岩地震动较大时,可清楚地看出其反应谱要比超越概率较大,输入的基岩地震动较小时的反应谱宽。但是不同的厚度对加速度反应谱的影响也不同,同一超越概率下,软土层厚度相对较小的9<sup>#</sup>,反应谱频带的宽度明显小于软土层厚度相对较大的16<sup>#</sup>和17<sup>#</sup>。这主要是由于土层的非线性特征所引起的,例如3<sup>#</sup>、16<sup>#</sup>、17<sup>#</sup>的反应谱明显不同于其他控制点,因为特征点的地层都属于松软地层,其含水量丰富、压缩性高、密度相对较小,这些因素都影响土的非线性。

当计算控制点位于富水地区,一般土层较软,其剪切波速较低,土层地震反应结果显示地面加速度峰值较低、反应谱频带较宽;当计算控制点位于相对贫水的地区如山前地带,一般土层相对较硬,其剪切波速较高,土层地震反应结果显示地面加速度峰值较高、反应谱频带也相对较窄。

## 4 结论

海河沿岸场地对基岩地震动的影响效果受土层软硬程度的影响,软土场地对地震动有明显的放大作用,但受土层非线性的影响,放大效应逐渐减小。场地中个别地区上覆土层较厚、土质松软,应对其地震动效应予以充分重视。

### 参考文献:

- [1] 陈国兴,杨伟林,严新育. 南京河西地区软土地场地震动参数研究[J]. 南京工业大学学报, 2002, 24(1): 35-40.
- [2] 吕悦军,唐荣余,彭艳菊. 烟台海岸软土地场地特征及对地震动参数的影响[J]. 中国地震, 2004, 20(4): 323-329.
- [3] 薄景山,李秀领,李山有. 场地条件对地震动影响研究的若干进展[J]. 世界地震工程, 2003, 19(2): 11-15.
- [4] 廖振鹏,李小军. 地表土层地震反应的等效线性化解法[M]. 北京:地震出版社 1989.
- [5] 易朋莹. 地震作用下地裂缝的形成机理研究[J]. 四川理工学院学报:自然科学版, 2012, 25(6): 322-325.
- [6] 吕悦军,彭艳菊,兰景岩,等. 场地条件对地震动参数影响的关键问题[J]. 震灾防御技术, 2008, 3(2): 126-135.
- [7] 中华人民共和国国家标准. 《建筑抗震设计规范》(GB 50011-2001)[S]. 中国建筑工业出版社, 2001.
- [8] 陈鹏,刘文峰,付兴潘. 关于场地卓越周期和特征周期的若干讨论[J]. 青岛理工大学学报, 2009, 30(6): 30-35.
- [9] 胡聿贤,高孟潭,杜纬,等. GB18306-2001《中国地震动参数区划分》[S]. 北京:中国标准出版社, 2001.
- [10] 任秋道. 地动仪地震预测及数学模型[J]. 四川理工学院学报:自然科学版, 2010, 23(2): 134-136.
- [11] 刘文峰,付兴潘,于振兴,等. 反应谱特征周期的统计分析[J]. 青岛理工大学学报, 2009, 30(5).
- [12] 王元生,吴乃森,任绍章. 邻体结构摩擦阻尼控制体系地震反应分析[J]. 河北科技大学学报, 2009, 30(2): 237-242.
- [13] 李启成,张敬民. 汶川地震中都江堰地区地震动场模拟[J]. 黑龙江科技学院学报, 2011, 21(3): 120-123.
- [14] 刘砚越,李振海,付仲生,等. 天津软土地区设计地震动参数特征研究[J]. 建筑技术, 2005(增刊): 139-144.
- [15] 薄景山,李秀领,刘德东,等. 土层结构对反应谱特征周期的影响[J]. 地震工程与工程振动, 2003, 23(5): 42-45.
- [16] 李启成. 地震前兆的数值模拟[J]. 黑龙江科技学院学报, 2011, 21(6): 52-56.
- [17] 兰景岩,薄景山,吕悦军. 剪切波速对设计反应谱的影响研究[J]. 震灾防御技术, 2007, 2(1): 19-24.

(责任编辑 马立)

[1] 陈国兴,杨伟林,严新育. 南京河西地区软土地场地

作者: [金喆](#), [李世龙](#), [张大龙](#), [凌佩](#), [JIN Zhe](#), [LI Shi-long](#), [ZHANG Da-long](#), [LING Pei](#)  
作者单位: [河北工程大学河北省资源勘测研究重点实验室 河北邯郸056038](#)  
刊名: [河北工程大学学报\(自然科学版\)](#)   
英文刊名: [Journal of Hebei University of Engineering\(Natural Science Edition\)](#)  
年, 卷(期): 2013, 30(1)  
被引用次数: 1次

## 参考文献(17条)

1. [陈国兴](#); [杨伟林](#); [严新育](#) [南京河西地区软土地震动参数研究](#)[期刊论文]-[南京工业大学学报\(自然科学版\)](#) 2002(01)
2. [吕悦军](#); [唐荣余](#); [彭艳菊](#) [烟台海岸软土地特征及对地震动参数的影响](#)[期刊论文]-[中国地震](#) 2004(04)
3. [薄景山](#); [李秀领](#); [李山有](#) [场地条件对地震动影响研究的若干进展](#)[期刊论文]-[世界地震工程](#) 2003(02)
4. [廖振鹏](#); [李小军](#) [地表土层地震反应的等效线性化解法](#) 1989
5. [易朋莹](#) [地震作用下地裂缝的形成机理研究](#)[期刊论文]-[四川理工学院学报\(自然科学版\)](#) 2012(06)
6. [吕悦军](#); [彭艳菊](#); [兰景岩](#) [场地条件对地震动参数影响的关键问题](#)[期刊论文]-[震灾防御技术](#) 2008(02)
7. [中华人民共和国国家标准](#). 《[建筑抗震设计规范](#)》 2001
8. [陈鹏](#); [刘文峰](#); [付兴潘](#) [关于场地卓越周期和特征周期的若干讨论](#)[期刊论文]-[青岛理工大学学报](#) 2009(06)
9. [胡聿贤](#); [高孟潭](#); [杜纬](#) [中国地震动参数区划分](#) 2001
10. [任秋道](#) [地动仪地震预测及数学模型](#)[期刊论文]-[四川理工学院学报\(自然科学版\)](#) 2010(02)
11. [刘文峰](#); [付兴潘](#); [于振兴](#) [反应谱特征周期的统计分析](#)[期刊论文]-[青岛理工大学学报](#) 2009(05)
12. [王元生](#); [吴乃森](#); [任绍章](#) [邻体结构摩擦阻尼控制体系地震反应分析](#)[期刊论文]-[河北理工学院学报\(自然科学版\)](#) 2009(02)
13. [李启成](#); [张敬民](#) [汶川地震中都江堰地区地震动场模拟](#)[期刊论文]-[黑龙江科技学院学报](#) 2011(03)
14. [刘砚越](#); [李振海](#); [付仲生](#) [天津软土地区设计地震动参数特征研究](#)[期刊论文]-[建筑技术](#) 2005(增刊)
15. [薄景山](#); [李秀领](#); [刘德东](#) [土层结构对反应谱特征周期的影响](#)[期刊论文]-[地震工程与工程振动](#) 2003(05)
16. [李启成](#) [地震前兆的数值模拟](#)[期刊论文]-[黑龙江科技学院学报](#) 2011(06)
17. [兰景岩](#); [薄景山](#); [吕悦军](#) [剪切波速对设计反应谱的影响研究](#)[期刊论文]-[震灾防御技术](#) 2007(01)

## 引证文献(1条)

1. [王帮圆](#); [李世峰](#); [王帮团](#); [齐朝华](#) [邯郸市市区场地土剪切波速与埋深相关性分析](#)[期刊论文]-[河北工程大学学报\(自然科学版\)](#) 2013(3)

本文链接: [http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_hbjzkjxyxb201301010.aspx](http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_hbjzkjxyxb201301010.aspx)