

西宁地区黄土土层厚度对场地地震动参数的影响^{*}

刘 薇^{1,2}, 刘 彬³, 张晓清¹

(1. 青海省地震局, 青海 西宁 810001; 2. 中国科学技术大学, 安徽 合肥 230026;

3. 青海省规划设计研究院, 青海 西宁 81001)

摘要: 对西宁地区具有不同厚度黄土场地内的黄土土层进行地震动反应分析, 得到场地有效峰值加速度随黄土层厚度的增加而产生变化; 峰值速度和峰值位移随着黄土层厚度的增加而缓慢减小; 随着黄土层厚度的增大, 加速度反应谱峰值点向长周期移动, 厚层黄土场地具备软弱土场地的某些特性。以上结论可为该地区今后开展地震危险性分析及建筑抗震设防工作提供参考意见。

关键词: 西宁地区; 黄土层; 土层厚度; 地震动参数

中图分类号: TV411.8

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2014)增刊-00104-05

0 引言

汶川地震、玉树地震发生以后, 建筑抗震设防越来越为人们所重视, 工程场地条件对地震动影响的研究也日渐深入。不同土类的场地在地震发生时所产生的震害也不相同(李小军, 彭青, 2001), 西宁地区覆盖土层为黄土, 黄土特殊的物质来源、沉降方式和堆积环境决定了其具有地区性差异, 这也在客观上决定了黄土具有地区性的地震地面运动特征(石玉成等, 1998)。大量的理论分析和实际震害经验表明, 黄土地区的地面运动参数特点服从于地震地面运动的总体规律, 即影响场地地震动参数的基本因素仍然是区域性条件和场地条件, 但土层的厚度与地形因素在黄土地区所起的作用要大得多(石玉成等, 1999)。

西宁地区晚更新世马兰黄土(Q₃)和全新世黄土(Q₄)分布最为广泛, 其中与建设工程活动相关的黄土场地主要分布在湟水河两岸I-IV级阶地上和其支流南川河、北川河的两岸阶地上, I-II级阶地一般厚度3~10 m, III-IV级阶地厚度10~50 m(奉新平, 盖东玲, 2008)。本文选取了位于西宁市湟水河南岸和北川河两岸阶地具有不同厚度黄土覆盖层的场地作分析研究, 采用一维等效线性化土层地震反应分析法(胡聿贤, 1999)

对场地内不同厚度的黄土土层进行计算, 期望所得结论可供今后工程建设参考使用。

1 主要计算参数的确定

1.1 计算场地选择

为了研究西宁黄土土层厚度对地震动参数的影响, 分别对位于西宁市湟水河南岸阶地和北川河两岸阶地黄土覆盖层厚度为3、6、9、15、20、30 m及10、15、20、30、40、50、60 m共13种情况下的场地进行场地地震反应分析; 为了使结果表述方便, 将选用的湟水河南岸阶地具有不同厚度黄土覆盖层的几个场地定义为区域A, 北川河两岸阶地的几个场地定义为区域B, 西宁地区大量的城市建设工程位于这两个区域。

1.2 地震动选取

本次工作中输入地震动以西宁附近地震背景为主, 通过拟合得到人造地震动(编号: x5011、x5012), 模拟震中Ⅶ度区的地震效应, 输入峰值加速度为105 Gal, 持时为10 s(图1、图2)。

1.3 土力学模型确定

依据现场钻探工作所得场地地层分布实际情况建立土层模型, 在场地内分别布设钻孔, 各组黄土波速由现场(检层法)测试得到; 土层的非线性参数取各场地实测值的平均值(表1~3)。

^{*} 收稿日期: 2014-08-30.

基金项目: 青海省地震局地震科学基金(2012A02)和青海省科技厅资助项目(2013-Z-710)共同资助.

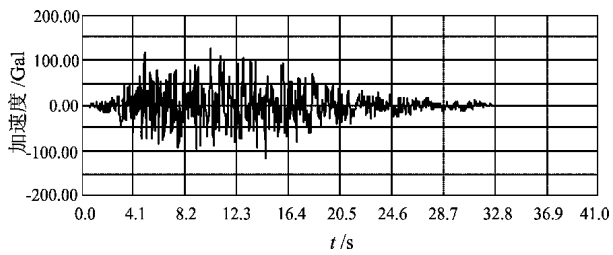


图 1 人工拟合输入地震动（x5011）
Fig. 1 The inputting seismic ground motion
of artificial fitting（x5011）

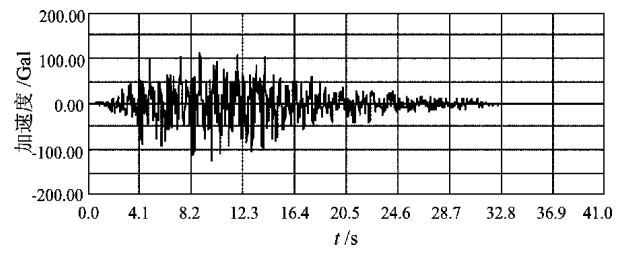


图 2 人工拟合输入地震动（x5012）
Fig. 2 The inputting seismic ground motion
of artificial fitting（x5012）

表 1 区域 A 土层力学模型资料
Tab. 1 Data of soil mechanic model in area A

序号	土类	厚度 /m	层底埋深 /m	密度 ρ /g · cm ⁻³	剪切波速 V_s /m · s ⁻¹
1	黄土	3.0	3.0	1.85	182
2	黄土	3.0	6.0	1.77	206
3	黄土	3.0	9.0	1.86	220
4	黄土	6.0	15.0	1.93	270
5	黄土	5.0	20.0	1.94	339
6	黄土	10.0	30.0	2.03	379
7	卵石	3.0	33.0	2.10	450
8	基岩			2.15	>500

表 2 区域 B 土层力学模型资料
Tab. 2 Data of soil mechanic model in area B

序号	土类	厚度 /m	层底埋深 /m	密度 ρ /g · cm ⁻³	剪切波速 V_s /m · s ⁻¹
1	黄土	5.0	5.0	1.90	231
2	黄土	10.0	15.0	1.96	280
3	黄土	10.0	20.0	1.94	352
4	黄土	10.0	30.0	1.97	377
5	黄土	10.0	40.0	1.98	395
6	黄土	10.0	50.0	2.01	419
7	黄土	10.0	60.0	2.07	437
8	卵石	2.0	62.0	2.10	470
9	基岩			2.15	>500

表 3 场地土的非线性资料
Tab. 3 The nonlinear data of site soil

土类	参数	剪应变 $\gamma / \times 10^{-4}$							
		0.05	0.1	0.5	1	5	10	50	100
黄土	G/G_{\max}	0.998 2	0.996 4	0.982 2	0.965 1	0.846 8	0.734 3	0.356 0	0.216 6
	λ	0.001 8	0.003 5	0.016 5	0.030 9	0.101 6	0.142 1	0.208 9	0.222 0
卵石	G/G_{\max}	0.990 0	0.970 0	0.900 0	0.850 0	0.700 0	0.550 0	0.320 0	0.200 0
	λ	0.004 0	0.006 0	0.019 0	0.030 0	0.075 0	0.090 0	0.110 0	0.120 0

2 计算结果及分析

利用一维等效线性化土层地震反应分析法计算求得了 A、B 两个区域内不同厚度黄土的地震动基本参数，包括峰值加速度、峰值速度、峰值位移、有效峰值加速度（EPA）、加速度反应谱（SA）等（王兰民，2003）（表 4、表 5）。

2.1 峰值加速度和有效峰值加速度

地面运动的峰值加速度是一个不稳定的数值，

它伴随着高频地震动。为了使峰值加速度不受高频分量的控制变得过大，并且更为准确地反映地面运动幅值的特点，在讨论场地地面运动的加速度特点时，采用了有效峰值加速度（EPA），即相当于周期为 0.1 ~ 0.5 s 的反应谱加速度的平均值（胡聿贤，2006）。从表中可以看出，区域 A 中，EPA 随黄土覆盖层厚度的增加减小；区域 B 中，黄土层厚度在 10 ~ 30 m 时，EPA 随着黄土层厚度的增加而减小，但当黄土层达到一定厚度（50 m 左右）后 EPA 却缓缓增加。

表 4 区域 A 不同厚度黄土场地的地面运动参数结果

Tab. 4 The result of ground motion parameters of loess site with different thickness in area A

输入时程	黄土覆盖	峰值	峰值	峰值加	有效峰值
	层厚度	位移	速度	速度	加速度
	/cm	/cm	/cm·s ⁻¹	/cm·s ⁻²	/cm·s ⁻²
西宁人造 地震动时程 x5011. dat	3.0	49.09	20.05	171.5	168.8
	6.0	49.07	19.75	161.7	153.6
	9.0	48.96	18.16	119.8	100.2
	15.0	48.71	16.75	102.3	77.4
	20.0	48.36	16.07	101.7	82.2
	30.0	48.01	15.58	78.32	71.8
西宁人造 地震动时程 x5012. dat	3.0	20.26	15.73	163.2	160.2
	6.0	20.25	15.59	152.7	147.2
	9.0	20.16	14.91	116.0	105.5
	15.0	20.0	13.08	94.12	82.0
	20.0	19.77	12.32	95.89	82.6
	30.0	19.05	11.73	85.58	78.4

表 5 区域 B 不同厚度黄土场地的地面运动参数结果

Tab. 5 The result of ground motion parameters of loess site with different thickness in area B

输入时程	黄土覆盖	峰值	峰值	峰值加	有效峰值
	层厚度	位移	速度	速度	加速度
	/cm	/cm	/cm·s ⁻¹	/cm·s ⁻²	/cm·s ⁻²
西宁人造 地震动时程 x5011. dat	10.0	48.82	18.98	138.5	132.4
	15.0	48.72	17.34	96.31	80.0
	20.0	48.45	15.91	84.98	60.8
	30.0	48.14	16.09	86.86	64.8
	40.0	47.68	15.53	64.11	67.8
	50.0	47.34	14.98	80.15	66.8
西宁人造 地震动时程 x5012. dat	60.0	47.25	14.63	72.94	68.4
	10.0	20.62	14.92	127.3	125.1
	15.0	20.53	13.24	94.44	84.0
	20.0	20.34	12.83	70.92	61.2
	30.0	20.09	11.47	74.03	64.0
	40.0	19.71	11.49	71.2	68.0
	50.0	19.39	10.81	80.60	66.4
	60.0	18.62	10.71	77.98	73.6

2.2 峰值速度和峰值位移

峰值速度 (PGV) 和峰值位移 (PGD) 的变化情况与加速度的变化不同。场地 A 中, 当黄土

层的厚度在 6 m 以内时, PGV 具有较高的数值, 随着黄土层厚度的增加, PGV、PGD 都缓慢减小; 场地 B 中, 当黄土层的厚度在 10 m 以内时, PGV 具有较高的数值, 当黄土层的厚度继续增加时, PGV、PGD 均缓缓下降。

2.3 加速度反应谱

图 3、4 给出了不同厚度黄土场地上阻尼比为 0.05 的加速度反应谱 SA (T)。从图中可看出加速度反应谱的形状随土层厚度的变化非常显著。区域 A 内, 随着黄土层厚度的增大, 反应谱峰值点均明显向长周期移动, 从图中可以看出移动趋势较为平缓; 而区域 B 内, 随着黄土层厚度的增大, 反应谱峰值点也具有向长周期移动的趋势, 区别于区域 A 的是随着土层厚度的增加, 峰值点移动趋势较为剧烈。由此可见, 场地内土层厚度对反应谱的峰值点影响较大, 该厚层黄土场地在运动特性方面也具备软弱土地地的某些特性。

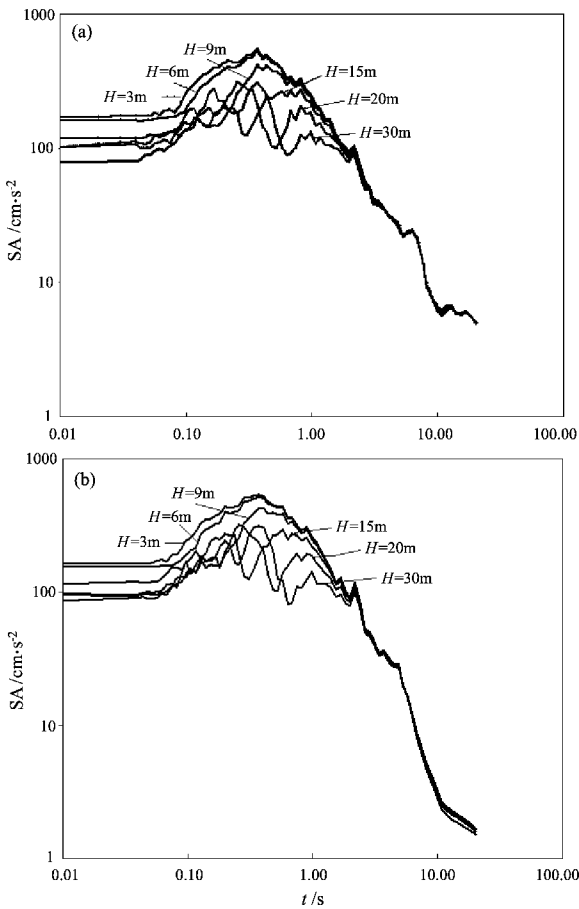


图 3 区域 A 不同厚度黄土场地的加速度反应谱
Fig. 3 Acceleration response spectrums of loess site with different depth in area A

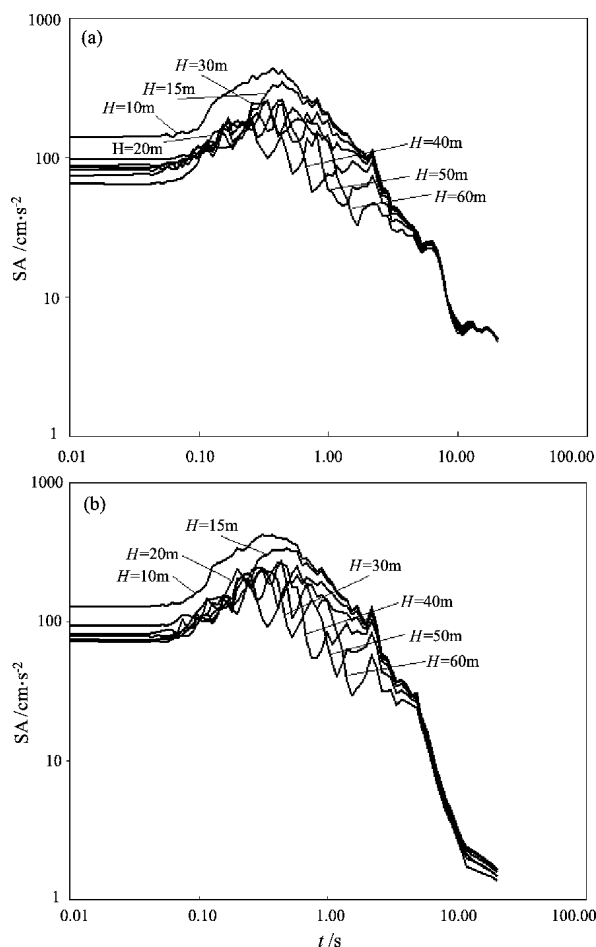


图4 区域B不同厚度黄土场地的加速度反应谱

Fig. 4 Acceleration sponse spectrums of of loess site with different depths in area B

3 结论

本文对西宁地区具有厚层黄土覆盖层的两个典型场地进行了黄土土层厚度对场地地震动参数影响的分析。笔者仅针对西宁地区黄土土层厚度

对场地地震动参数的影响做定性研究，目的是考察西宁地区黄土土层厚度对场地峰值加速度、峰值速度、峰值位移、有效峰值加速度（EPA）、加速度反应谱（SA）等参数的影响。经过实验计算分析，初步得到了以下几点结论：

（1）由于峰值加速度受高频分量的影响，为了准确地反映地面运动幅值的特点，讨论场地地面运动的加速度时采用有效峰值加速度（EPA）；通过计算分析得到场地EPA随场地内黄土层厚度的增加而减小，当黄土层达到一定厚度（50 m左右）后EPA缓缓增加。

（2）峰值速度（PGV）和峰值位移（PGD）值随着黄土层厚度的增加而缓慢减小。

（3）加速度反应谱（SA）随着黄土层厚度的增大，反应谱峰值点均明显向长周期移动；随着阶地的增高，土层厚度增加，尽管地面运动的峰值加速度（PGA）相对较低，但反应谱周期明显向长周期方向移动，反应谱类型分区与地貌分区基本吻合。从运动特性来看，该厚层黄土场地具备软弱土地场的某些特性。

参考文献：

- 奉新平, 盖东玲. 2008. 西宁地区湿陷性黄土状土层的工程特性及地基处理探讨[J]. 青海国土经略, (4): 35-37.
- 胡聿贤. 1999. 地震安全性评价技术教程[M]. 北京: 地震出版社.
- 胡聿贤. 2006. 地震工程学[M]. 北京: 地震出版社.
- 李小军, 彭青. 2001. 不同类别场地地震动参数的计算分析[J]. 地震工程与工程振动, (3): 29-36.
- 石玉成, 蔡红卫, 孙崇绍. 1998. 黄土地区场地的地震地面运动参数特征[J]. 西北地震学报, (3): 66-72.
- 石玉成, 王兰民, 张颖, 等. 1999. 黄土场地覆盖层厚度和地形条件对地震动放大效应的影响[J]. 西北地震学报, 21(2): 203-208.
- 王兰民. 2003. 黄土动力学[M]. 北京: 地震出版社.

Influence of Loess Soil Thickness on Site Ground Motion Parameter in Xining Region

LIU Wei^{1,2}, LIU Bin³, ZHANG Xiao-qing¹

(1. *Earthquake Administration of Qinghai Province, Xining 810001, Qinghai, China*)

(2. *University of Science and Technology of China, Hefei 230026, Anhui, China*)

(3. *Planning & Design Institute of Qinghai Province, Xining 810001, Qinghai, China*)

Abstract

Analyzing the site ground motion response of loess soil in different thicknesses in loess soil site in Xining region, we obtain the site effective peak acceleration changes with the increasing of the thickness of loess layer. The peak velocity and peak displacement decreases slowly with the increasing of thickness of loess layer, and the peak point value of acceleration response spectrum moves to the long cycle with the increasing of thickness of loess layer. The thick layer in loess soil site has the certain characteristics of the site of soft soil. These conclusions can provide some suggestions for carrying out seismic hazard analysis and building for seismic fortification in the study region in the future.

Key words: Xining region; loess layer; thickness of soil layer; ground motion parameter