

国内外不同抗震设计规范中场地分类方法的 内在关系研究¹

黄雅虹 吕悦军 彭艳菊

(中国地震局地壳应力研究所, 北京 100085)

摘要 目前国内外不同行业(如建筑、铁路、公路、构筑物、电力、水利等)在抗震设计的场地分类方面,主要考虑各自的应用特色和具体需求,尚无一套所有相关行业统一认可的标准和依据。本文归纳和对比了国内外多种行业规范在场地土和场地类别划分方面的依据和方法,并讨论和分析了各规范之间的主要异同和内在关系。在此基础上,指出我国在抗震设计方面,应制定一种兼顾多行业需求的通用型场地分类规范,以更好地适应各类工程建设的需求。

关键词: 抗震设计 场地分类 规范 内在关系

引言

场地条件的好坏对工程建设的抗震安全性起着至关重要的作用。地震作用下不同场地条件对地震动的影响一直是地震学家和工程学家共同关注的问题(薄景山等,2003)。场地条件的差异可通过场地分类进行表征,明确而合理的场地分类方法和指标,可为工程场地的优劣判定和抗震设计反应谱提供重要依据。因此,无论是在岩土工程勘察、地质灾害危险性评估还是地震安全性评价工作中,均涉及到场地类别的划分和判定问题。但是,到目前为止,无论是国外还是国内,不同工程行业(如建筑、铁路、公路、构筑物、电力、水利等)在抗震设计的场地分类方面,均或多或少地表现出各自的应用特色和侧重面,因此,尚无一套所有行业统一认可的标准和依据。那么每种行业规范在场地划分的依据和方法上有何内在联系?能否为不同的工程行业提供一套统一的场地划分标准?本文将对这一问题进行探讨。

场地分类的重要目的之一是确定不同场地上的设计反应谱,并在地震作用的计算中定量考虑场地条件对设计参数的影响(薄景山等,2004)。为了考虑场地条件对设计反应谱的影响,以便采取合理的设计参数和得当的抗震措施,国内外目前的做法是将场地按某些定性指标和特征划分为若干类。但由于现有的强震动资料还不足以用更细的尺度与之对应,所以场地分

¹ 基金项目 国家科技支撑计划项目(2006BAC13B01)、科研院所基本科研业务专项(J2207813)资助

[收稿日期] 2008-08-28

[作者简介] 黄雅虹,女,生于1963年。副研究员。水文地质与工程地质专业。长期从事工程地质勘查、土工试验、地震安评和地质灾害危险性评估等方面的研究工作。E-mail: huangyyhh@yahoo.com.cn

类一般至多分为 3 类或 4 类，划分指标也以覆盖层厚度及其软硬程度描述为最多，其中，覆盖层软硬的判断有传统的标准贯入试验方法和近年来逐渐增多的剪切波速法。这些方法虽然只是一种定性的划分，但因其精度和效果能够大致满足实际工程需求，故已被各国规范所认同。我国近年来修订的抗震设计规范，如《建筑抗震设计规范（GB 50011-2001）》、《构筑物抗震设计规范（GB 50191-93）》等都采用了上述方法进行场地分类。此外，为避免场地分类所引入的设计反应谱跳跃式变化，我国《构筑物抗震设计规范（GB 50191-93）》、《公路工程抗震设计规范（JTJ 004-89）》还采用了连续场地指数对应连续反应谱的处理方式。

自从 1932 年 M. Biot 提出地震反应谱的概念并将其应用于抗震设计以来，对设计反应谱的标定大致经历了 3 个阶段。最初是对不同程度的地震区采用不同的地震系数 k ，并采用同样的标准反应谱（ β 谱），如美国早期的统一规范、前苏联 1959 年地震区规范等。而后随着研究的深入，采用按地震区划图对不同等级的地震区采取不同的地震系数 k ，并将标准化反应谱按场地类别进行分类，如我国 1974 颁布 1978 年修订的《建筑抗震设计规范》、1987 年颁布的《铁路工程抗震设计规范（GBJ 111-87）》，以及目前还在使用的《公路工程抗震设计规范（JTJ 004-89）》均是采用这种方式处理的。20 世纪 80 年代以后，随着强震资料的迅速积累，开始注意到除场地条件外，震源和传播途径对设计反应谱有着不可忽视的影响，并纳入有关规范，如美国 ATC-3 规范，采用有效峰值加速度 A_a 和有效峰值速度 A_v 来考虑上述影响（Applied Technology Council, 1996）。我国《建筑抗震设计规范（GB 50011-2001）》采用设计地震分组来反映上述影响，可以看作是进入第三阶段的代表。

1 各行业抗震设计规范场地划分现状

1.1 场地土的划分

在抗震设计中，场地土的分类从本质上讲是对岩土强度或坚硬程度的分类。因为所强调的是区分岩土的工程抗震性质和地震动响应效果，所以与工程地质中基于矿物组成、颗粒大小、胶结状况及结构特征等的岩土分类有明显的不同。目前国内各行业自 1993 年至 2006 年的抗震设计规范主要是从工程抗震和地震动响应的角度出发，依据岩土的强度特征、坚硬程度或剪切波速等指标，粗略地将场地土划分成 4 类，具体见表 1。

表 1 国内各行业抗震设计规范中的场地土分类对比

Table 1 Comparison of site classification standards in seismic design for different industries in China

规范	场地土分类			备注
	类别	分类依据		
		岩性描述	剪切波速 (m/s)	
建筑抗震设计规范 (GB 50011-2001) 室外给水排水和燃气热力工程抗震设计规范 (GB 50032-2003)	坚硬土或岩石	稳定岩石，密实的碎石土	$V_s > 500$	f_{ak} 为地基承载力特征值； V_s 为岩土剪切波速
	中硬土	中密、稍密的碎石土，密实、中密的砾、粗、中砂， $f_{ak} > 200\text{kPa}$ 的粘性土和粉土，坚硬黄土	$500 \geq V_s > 250$	
	中软土	稍密的砾、粗、中砂，除松散外的细、粉砂， $f_{ak} \leq 200\text{kPa}$ 的粘性土和粉土， $f_{ak} \geq 130\text{kPa}$ 的填土，可塑黄土	$250 \geq V_s > 140$	
	软弱土	淤泥和淤泥质土，松散的砂，新近沉积的粘性土和粉土， $f_{ak} \leq 130\text{kPa}$ 的填土，流塑黄土	$V_s \leq 140$	

续表

规范	场地土分类			备注
	类别	分类依据		
		岩性描述	剪切波速 (m/s)	
铁路工程抗震设计规范 (GB 50111-2006)	坚硬场地土	岩石、密实的碎石类土	$V_s > 500$	土的名称和性状应按国家现行标准《铁路工程岩土分类标准 (TB 1007—2001)》取用
	中硬场地土	中密、稍密的碎石类土, 密实、中密的砾、粗中砂, 基本承载力 $\sigma_0 > 250\text{kPa}$ 的黏性土、粉土和老黄土 (Q_1 、 Q_2)	$250 < V_s \leq 500$	
	中软场地土	稍密的砾、粗、中砂, 除松散外的粉细砂, 基本承载力 $\sigma_0 \leq 250\text{kPa}$ 的黏性土、粉土和可塑状黄土 (Q_3 、 Q_4), $\sigma_0 \geq 140\text{kPa}$ 的填土	$150 < V_s \leq 250$	
	软弱场地土	淤泥和淤泥质土, 松散的砂, 新近沉积的黏性土、粉土和流塑状黄土, 基本承载力 $\sigma_0 < 140\text{kPa}$ 的填土	$V_s \leq 150$	
公路工程抗震设计规范 (JTJ 004-89)	I类场地土	岩石, 紧密的碎石土		
	II类场地土	中密、松散的碎石土, 密实、中密的砾、粗、中砂; 地基土容许承载力 $\sigma_0 > 250\text{kPa}$ 的粘性土		
	III类场地土	松散的砾、粗、中砂, 密实、中密的细、粉砂, 地基土容许承载力 $\sigma_0 \leq 250\text{kPa}$ 的粘性土和 $\sigma_0 \geq 130\text{kPa}$ 的填土		
	IV类场地土	淤泥质土, 松散的细、粉砂, 新近沉积的粘性土; 地基土容许承载力 $\sigma_0 > 130\text{kPa}$ 的填土		
水运工程抗震设计规范 (JTJ 225-98)	坚硬场地土 (坚硬土)	稳定岩石, 密实的碎石土	$V_s > 500$	V_s 为土层剪切波速, V_{sm} 为土层加权平均剪切波速, 计算深度取地面下 15m 范围或厚度小于 15m 的场地覆盖层范围。 括号内为缺少波速值时的场地土类别与分类依据
	中硬场地土 (中硬土)	中密、稍密的碎石土, 密实、中密的砾、粗中砂, $f_{ak} > 200\text{kPa}$ 的粘性土和粉土	$500 \geq V_{sm} > 250$	
	中软场地土 (中软土)	稍密的砾、粗、中砂, 除松散外的细、粉砂, $f_{ak} \leq 200\text{kPa}$ 的粘性土和粉土, $f_{ak} \geq 130\text{kPa}$ 的填土	$250 \geq V_{sm} > 140$	
	软弱场地土 (软弱土)	淤泥和淤泥质土, 松散的砂, 新近沉积的粘性土和粉土, $f_{ak} \leq 130\text{kPa}$ 的填土	$V_{sm} \leq 140$	
水工建筑物抗震设计规范 (DL 5073-2000)	坚硬场地土	岩石及密实的砂卵石层	$V_s > 500$	V_s 为土层剪切波速, V_{sm} 为土层加权平均剪切波速, 计算深度取建基面下 15m 内且不深于场地覆盖层厚度的范围
	中硬场地土	中密、稍密的砂砾石, 粗、中砂及坚硬粘土	$500 \geq V_{sm} > 250$	
	中软场地土	稍密的砾、粗、中砂, 软粘土	$250 \geq V_{sm} > 140$	
	软弱场地土	淤泥、淤泥质土, 松散的砂, 人工杂土	$V_{sm} \leq 140$	
构筑物 (GB 50191-93)、电力设施抗震设计规范 (GB 50260-96)	对场地土均未进行专门的分类, 但在场地分类中都说明了不同场地中所含岩土的类型			

1.2 场地类别的划分

为了考虑抗震设计中场地条件的影响，需要对场地进行分类，并以此为基础提供相应的设计地震动参数（或反应谱）和抗震结构措施。从抗震设计角度进行场地划分需要同时考虑两个基本条件，一是所划分的场地应能反映出地震震害的特点和地震动差别；二是所考虑的场地划分指标应有一定的代表性和实际可操作性（蒋溥等，1993）。在国内外现行的各种抗震设计规范中，所用场地划分指标和分类方法不尽一致，目前已提出的场地划分指标主要有：土质岩性、土层的剪切波速、覆盖层厚度、平均剪变模量、抗压强度、抗剪强度、地基承载力、标贯击数、脉动卓越周期、反应谱峰值和特征周期、干容重、相对密度和地下水位等。表 2 是国内各主要抗震规范对场地类别划分的归纳。表 3 列举了国外一些抗震设计规范中场地的划分类别和主要依据¹（胡聿贤，1996；王广军，1988；周锡元等，1991）。从中可以看出，场地类别数以 3—4 种居多，约占 70%—80%，其它类别数所占比例较少。场地划分所采用的指标也以单指标和双指标为主，多指标的较少。

表 2 国内各抗震规范对场地类别的划分

Table 2 Site classification standards in seismic design for different industries in China

1、建筑抗震设计规范、燃气热力工程抗震设计规范：依据等效剪切波速 v_{se} 和覆盖层厚度 d_{ov} 分类				
等效剪切波速 v_{se} (m/s)	覆盖层厚度 d_{ov} (m) 和场地类别			
	I	II	III	IV
$v_{se} > 500$	$d_{ov} = 0$			
$500 \geq v_{se} > 250$	< 5	≥ 5		
$250 \geq v_{se} > 140$	< 3	3—50	> 50	
$v_{se} \leq 140$	< 3	3—15	$> 15—80$	> 80
2、构筑物抗震设计规范、电力设施抗震设计规范：依据场地土层刚度、覆盖层厚度、土层分层密度、分层剪切波速等参数，确定场地指数 μ ，由此进行分类。有充分依据时，场地指数划分范围可适当调整				
场地指数	$1 \geq \mu > 0.80$	$0.80 \geq \mu > 0.35$	$0.35 \geq \mu > 0.05$	$0.05 \geq \mu \geq 0$
场地分类	硬场地	中硬场地	中软场地	软场地
3、铁路工程抗震设计规范：根据场地计算深度（25m）内土层的等效剪切波速 v_{se} 值划分场地类别				
场地类别	I	II	III	IV
等效剪切波速 (m/s)	$v_{se} > 500$	$250 < v_{se} \leq 500$	$150 < v_{se} \leq 250$	$v_{se} \leq 150$
4、公路工程抗震设计规范：对场地分类没有作明确规定。在使用中场地类别一般与场地土的分类相对应				
5、水工建筑物抗震设计规范、水运工程抗震设计规范：根据场地土类型和覆盖层厚度 d_{ov} 划分场地类别				
场地土类型	覆盖层厚度 d_{ov} (m) 和场地类别			
	0	$0 < d_{ov} \leq 3$	$3 < d_{ov} \leq 9$	$9 < d_{ov} \leq 80$
坚硬场地土	I	—		
中硬场地土	—	I		II
中软场地土		I	II	III
软弱场地土		I	II	III
6、核电厂抗震设计规范：没有明确的规定				

注：场地覆盖层厚度应按地面至剪切波速大于 500m/s 的土层或坚硬土顶面的距离确定。

1 薄景山，1998. 场地分类和设计反应谱调整方法研究. 哈尔滨：中国地震局工程力学研究所.

表 3 部分国外抗震设计规范的场地划分和主要依据

Table 3 Site classification methods and standards in seismic design of some industries abroad

编号	规范名称	完成时间	分类数	依据指标
1	日本新抗震设计法(草案)	1977年	4	土质岩性、覆盖层厚度
2	日本海港建筑抗震设计标准	1976年	3	土质岩性、覆盖层厚度
3	印度结构设计抗震规范	1975年	3	土质岩性、标贯击数
4	罗马尼亚工业与民用建筑抗震设计规范	1981年	2	土质岩性、地下水位
5	新西兰建筑物抗震设计	1976年	3	土质岩性、覆盖层厚度、快剪强度
6	日本新抗震设计法工民建部分(草案)	1977年	4	土质岩性、脉动卓越周期
7	土耳其地震区建筑结构规范	1975年	4	土质岩性、剪切波速、标贯击数、相对密度、无侧限抗压强度、地基周期、反应谱峰值周期
8	日本公路桥梁抗震设计新规程	1981年	4	脉动周期
9	美国建筑物抗震设计暂行条例	1978年	3	土质岩性、剪切波速、覆盖层厚度
10	苏联地震区建筑设计规范	1969年	3	土质岩性、地下水位、覆盖层厚度、冻土特性
11	南斯拉夫地震区建筑技术规范	1981年	3	土质岩性、覆盖层厚度
12	希腊抗震规范(草案)	1978年	4	土质岩性、标贯击数、相对密度、无侧限抗压强度、剪切波速、覆盖层厚度、承载力
13	秘鲁抗震设计规范	1977年	3	土质岩性、脉动卓越周期
14	阿根廷抗震设计条例	1978年	3	承载力
15	阿尔及利亚建筑结构抗震设计准则	1982年	3	土质岩性、剪切波速、覆盖层厚度
16	保加利亚地震区建筑法规	1962年	3	土质岩性
17	智利抗震设计条例	1972年	3	土质岩性、卓越周期
18	法国地震区条例	1967年	4	土质岩性
19	联邦德国地震区建筑设计规范(草案)	1976年	3	土质岩性
20	葡萄牙结构抗震设计规范	1961年	2	土质岩性
21	日本铁道规范	1967年	3	土质岩性、标贯击数、覆盖层厚度
22	罗马尼亚主编八国抗震规范	1963年	5	土质岩性
23	秘鲁、加拿大国家建筑法规	1980年	3	土质岩性、覆盖层厚度
24	古巴结构设计标准——地震荷载	1964年	2	土质岩性
25	埃塞俄比亚实用荷载法规(CPI)	1978年	3	土质岩性、覆盖层厚度、标贯击数
26	印度尼西亚抗震规范	1978年	2	土质岩性、不排水抗剪强度、覆盖层厚度
27	以色列建筑地震荷载标准(S1413)	1975年	5	土质岩性、覆盖层厚度、卓越周期、无侧限抗压强度
28	墨西哥抗震设计规定	1977年	3	土质岩性
29	菲律宾建筑结构法规	1972年	3	土质岩性
30	委内瑞拉结构抗震设计标准	1967年	2	土质岩性
31	美国建筑抗震法规(FEMA, 1995)	1995年	6	剪切波速平均值、无侧限剪切强度平均值、标贯击数平均值、土层厚度、塑性指数和含水量
32	美国(ATC-32)	1996年	3	土质岩性、覆盖层厚度
33	美国统一建筑规范(UBC)	2000年	6	剪切波速平均值、无侧限剪切强度平均值、标贯击数平均值、土层厚度、塑性指数和含水量

2 不同场地分类的方法及特点

场地的基本组成要素是场地土，根据岩土强度特征或剪切波速可对场地土进行分类。我国现行的各类抗震设计规范对场地土的划分虽然各有其相应的规定，但所依据的指标大同小异，都是从考虑场地影响出发，依据岩土的强度特征（坚硬程度）粗略地将其分为 4 种类型（表 4），它们分别是：坚硬场地土（或 I 类土）；中硬场地土（或 II 类土）；中软场地土（或 III 类土）；软弱场地土（IV 类土）。其中，构筑物抗震设计规范与电力设施抗震设计规范对场地土采用“综合等效”方法进行分类，即多种岩土相组合，如果其综合效果达到了“某”类场地，则这种“混合土”被划分为“某”类场地土。其他规范的场地土划分均按“单一”效果进行分类，最终的场地类型由“多种”场地土的加权平均结果所决定。

表 4 不同抗震设计规范场地土分类比较

Table 4 Comparison of soil classification methods in different seismic design standards

规范名称	完成时间	分类数	依据指标	承载力界限值
建筑抗震设计规范 (GB 50011-2001)	2001 年	4	宏观描述，地基承载力特征值，土层的覆盖层厚度及剪切波速（地面下 20m 深度范围内）	200kPa, 130kPa
构筑物抗震设计规范 (GB 50191-93)	1993 年	4	按综合等效结果分类	
铁路工程抗震设计规范 (GB 50111-2006)	2006 年	4	宏观描述，地基承载力特征值，土层的剪切波速（地面下 20m 深度范围内）	250kPa, 140kPa
公路工程抗震设计规范 (JTJ 004-89)	1989 年	4	宏观描述，地基承载力特征值	250kPa, 130kPa
电力设施抗震设计规范 (GB 50260-96)	1996 年	4	按综合等效结果分类	
水运工程抗震设计规范 (JTJ 225-98)	2000 年	4	宏观描述及土层的剪切波速（建基面下 15m 内且不深于场地覆盖层厚度的各土层剪切波速）	未考虑
水工建筑物抗震设计规范 (DL 5073-2000)	1998 年			
室外给水排水和燃气热力工程抗震设计规范 (GB 50032-2003)	2003 年	4	宏观描述，地基承载力特征值，土层的剪切波速	200kPa, 130kPa
核电厂抗震设计规范 (GB 50267-97)	1997 年	没有明确规定，但要求建（构）筑物要座落在基岩或剪切波速>400m/s 的硬场地上		

在场地分类中，各类专业抗震规范为了考虑场地的影响，均依据场地条件对场地进行划分。各抗震规范及不同研究者提出的场地评定指标和分类方法虽不尽一致，但概括起来不外乎单指标法和双指标法两种，场地多分为 4 类（表 5）。值得注意的是，美国统一建筑规范是采用多指标法将场地细分为 6 类。

表 5 不同抗震设计规范场地分类比较

Table 5 Comparison of site classification methods in different seismic design standards

规范名称	分类方法	分类数	依据指标	反应谱的表述形式
建筑抗震设计规范 (GB 50011-2001)	双指标法	4	覆盖层厚度、等效剪切波速	地震影响系数 α
构筑物抗震设计规范 (GB 50191-93)	场地指数法	4	场地指数	地震影响系数 α
铁路工程抗震设计规范 (GB 50111-2006)	单指标法	4	土层的等效剪切波速	动力放大系数 β
公路工程抗震设计规范 (JTJ 004-89)	定性分析	未明确规定, 但基本上与场地土分类(4类)相对应		动力放大系数 β
电力设施抗震设计规范 (GB 50260-96)	场地指数法	4	场地指数	地震影响系数 α
水工建筑物抗震设计规范 (DL 5073-2000)	双指标法	4	场地土类型、覆盖层厚度	动力放大系数 β
水运工程抗震设计规范 (JTJ 225-98)	双指标法			
室外给水排水和燃气热力工程抗震设计规范 (GB 50032-2003)	双指标法	4	覆盖层厚度、等效剪切波速(同建筑抗震设计规范)	地震影响系数 α
核电厂抗震设计规范 (GB 50267-97)		没有明确规定, 但要求建(构)筑物要座落在基岩或剪切波速>400m/s的硬场地上		阻尼比、动力放大系数 β
美国统一建筑规范 (UBC, 2000)	多指标法	6	剪切波速平均值、无侧限剪切强度平均值、标贯击数平均值、土层厚度、塑性指数和含水量	地震影响系数 α 、特征周期 T_g

总体来看, 各行业抗震规范中场地分类方法与建筑抗震规范大同小异, 1990年前颁布的抗震规范一般都没有建筑抗震规范的场地分类详细具体。1990年后的抗震规范大都是参照了建筑抗震规范进行的修订, 如: 构筑物抗震设计规范对中硬场地指数 μ 值变化范围的调整即参照了当时的 89 建筑抗震设计规范中 II 类场地指标的变化范围; 再如: 各行业规范的场地分类也由过去的 3—4 类完全统一成 4 类; 且各规范设计反应谱曲线形式基本相同, 只是其表述形式略有不同, 但基本上是以地震影响系数 α 或动力放大系数 β 来表述, 个别规范还考虑了阻尼比的影响。

3 不同场地分类方法的依据及适用性

由于场地条件的复杂性, 各行业抗震规范对场地分类的依据亦不尽相同, 主要体现在以下几个方面:

①国内建筑抗震设计规范以表层 20m 范围内等效剪切波速和覆盖层厚度双指标进行场地类别的划分, 同时还考虑到场地条件的复杂性以及与其它规范的协调性。②室外给水排水抗震设计规范在场地分类上基本与建筑规范保持了一致。③构筑物抗震设计规范所建议的

场地划分指标是场地指数法，该方法以场地土层的刚度（或平均剪变模量）和覆盖层厚度为指标，根据一个连续变化的场地指数 μ （0.0—1.0）进行场地分类。这是我国抗震规范中较具代表性的场地分类方法之一，其主要优点是可以把场地变化与设计反应谱用统一的公式表达，使用较方便，另外，该方法还克服了场地分类的跳跃变化以及由此引起的特征周期 T_g 和地震动参数的突变。但其缺点是计算方法烦琐，扩大了Ⅲ类场地，缩小了Ⅱ类场地的范围，而且有时经不起实际钻孔的检验。因此尚难以取代双指标法的地位而加以推广应用。④电力设施抗震规范在场地分类上基本与构筑物抗震设计规范相一致。⑤铁路工程抗震设计规范在场地分类上采用的是单指标分类法，即只考虑等效剪切波速，这一点与建筑抗震规范等所采用的双指标法有所区别；在软弱土层的剪切波速值界定方面，铁路工程抗震设计规范将Ⅳ类场地的等效剪切波速定为不大于 150m/s，这与建筑规范的 140m/s 并无太大的区别；但其计算深度的取值为地面或一般冲刷线以下 25m，并不得小于基础底面以下 10m，这与建筑规范的 20m 取值有所不同。⑥水运工程和水工建筑物抗震设计规范对场地土和场地分类的方法一致，场地类别划分的依据是场地土类型和覆盖层厚度，而场地土类型可根据剪切波速划分，也可根据代表性岩土的特征进行类比确定，因此，从根本上说，其划分依据与建筑规范没有区别。只是在一些细微的方面（如计算深度选取上）有所差异，如在深厚覆盖层条件下，水运工程抗震设计规范规定取 15m 深度内刚度较小的土层作为计算深度，而水工建筑物抗震设计规范在确定计算深度时则考虑了起始面，是以建筑基础面下 15m 内且不深于场地覆盖层的厚度作为计算深度，这样可排除地表为人工堆积层的情况，应该说更合理，但与建筑规范等其它抗震设计规范中计算深度取覆盖层厚度与地面下 20m 深度的较小值相比，若只从深度上看，20m 的深度应该说更趋于安全，但从考虑起始面来看，其合理性还有待深入研究探讨。

国外各抗震设计规范（表 3）中场地分类标准虽然很多，但亦以单指标和双指标为主，多指标的情况较少，即一般采用一个或二个指标（以土质岩性、覆盖层厚度居多）将场地划分为 3—4 类。如欧洲规范 EUROCODE 8（European Committee for Standardization, 2003）以表层 30m 范围内平均剪切波速和标贯击数作为场地分类的主要指标，将场地划分为 4 类。当然，也有一些国家将场地划分为 2 类（如印度尼西亚 1978 年规范、罗马尼亚 1981 年规范）或多达 6 类 [如美国 FEMA 发布的由 NEHRP 所推荐的新建筑抗震法规（Building Seismic Safety Council for the FEMA, 2003）]。虽然各国考虑的因素和分类方法各不相同，但主要的场地分类指标不外乎土质岩性、覆盖层厚度、剪切波速、卓越周期、无侧限抗压强度、快剪强度、相对密度、承载力、标贯击数、地下水位、塑性指数和反应谱峰值、周期等。以美国统一建筑规范（UBC, 1997）为例，该规范对场地土分类所采用的分类指标与我国的规范有很大的差别，它以表层 30m 范围内等效剪切波速 V_{30} 作为主要指标（Wills 等, 2000），并辅以无侧限剪切强度平均值、标贯击数平均值、塑性指数、含水量和土层厚度等，将场地划分为 6 大类。在计算剪切波速的平均值时深度取地面下 30m 范围，这与我国建筑抗震规范的 20m 取值大不相同。从理论上说，计算剪切波速平均值时的深度取值越大，其结果将越准确，当然，相应的勘探成本也会显著增加。

表 6 为中美抗震规范中场地分类的比较。由于我国的场地分类标准需考虑覆盖层厚度的影响，在缺乏详细的场地地质资料的条件下，很难按照我国的抗震规范进行场地分类。一些学者曾以台湾集集地震为例研究了场地分类问题（王国权等, 2000；董娣等, 2005），认为根

据美国的场地分类标准,尤其是采用 Lee C.T.等(2001)的分类结果,可在缺乏详细的场地地质资料的条件下,较好地进行场地分类。

表 6 中美抗震规范场地分类比较(董娣等, 2005)

Table 6 Comparison of site classification standards in seismic design between China and USA

划分标准	场 地 分 类				
	$V=180\text{m/s}$		360m/s	760m/s	1500m/s
美国	E	D	C	B	A
中国	I ($h < 3$)	I ($h < 3$)	I ($h < 5$)	I ($h = 0$)	
	II ($3 < h < 15$)	II ($3 < h < 50$)			
	III ($15 < h < 80$)	III ($h \geq 50$)	II ($h \geq 5$)		
	IV ($h > 80$)				
	软弱土	中软土	中硬土	坚硬土或岩石	
		$v_{se}=140\text{m/s}$		250m/s	500m/s

注: h 为覆盖层厚度, 单位为 m; V 是覆盖层厚度为 30m 时的平均剪切波速; v_{se} 是覆盖层厚度为 20m 时的等效剪切波速。

4 讨论与结论

场地覆盖层的厚、薄、软、硬,对于地震发生时的震动特性无疑有显著的影响。对于那些覆盖层很厚,无法确定其覆盖层基底深度的地区,如何比较合理地确定其场地特征周期,为抗震设计和危险性评估提供可靠的依据,是一个难题。Borcherd (1994)曾提出了一个新的概念来解决这一问题,认为约 30m 深度范围内的土层对整个场地的动力行为影响最大。因此,在工程应用上,若因地质数据不足无法确定基底深度时,可用 30m 作为分析覆盖层基底的计算深度。美国目前的抗震规范中,即采用表层 30m 范围内等效剪切波速 V_{30} 作为主要指标,而我国目前的建筑抗震设计规范中深度取值为 20m。毫无疑问,基于 30m 资料的分类结果肯定更加可靠,但从经济性、实用性和实际需求等诸方面来全面考虑,其性价比如何?我们是否需要增加深度至 25m、30m 甚至 35m,是一个需要认真研究和详细调查分析的课题。

由于目前国内外各种抗震规范所提出的场地分类方法仍建立在粗略而定性的基础上,所以,同一场地被不同的行业规范划分成各异的类型司空见惯。当分类结果不一致时,笔者赞同应以最安全或最保守的设计为基准。这样的做法可能会增加经济成本,但也会降低安全风险。当然,从长远来看,需要逐渐提出一个较为定量的通用场地分类方法。

近年来有学者¹以台湾集集地震为例研究场地分类的合理性时,将基于标贯击数 STP-N、剪切波速 v_s 、场地特征周期 T_g 的场地分类与 Lee C.T.等(2001)的 GIS 分类结果做了比较,发现利用标贯击数 STP-N 分类的准确度相对较好;其次为利用场地的特征周期 T_g 进行的场地分类;而利用剪切波速 v_s 分类的准确度相对偏低。由此看来,美国规范中要求场地分类时考虑标贯击数也是值得借鉴的。

通过对比研究国内各行业的抗震设计规范,我们发现:凡是国标规范对场地土和场地类

1 王治国, 2008. 中央气象局强震网站之地盘效应分析与应用. 台湾国立中央大学图书馆硕士论文电子档.

别的划分标准基本一致, 而一些行业抗震规范(如公路、水工建筑物和水运工程抗震设计规范等), 其划分标准则有一定的差异, 特别是较早期制定的标准。那么, 我国能否充分兼顾各行业的需求和特色, 给出一种统一的场地土和场地类别划分标准, 然后根据建筑类别对场地要求的重要性与敏感性加以区别对待呢? 笔者对此持乐观态度。就目前的各行业规范来看, 建筑抗震设计规范对场地类别的划分无论从实用性、安全性还是详细程度等诸方面均相对较为完善, 笔者认为可以作为多行业统一抗震设计规范的框架基础。

参考文献

- 薄景山, 翟庆生, 刘红帅, 孙超, 2004. 场地分类及其在我国的演变. 自然灾害学报, **13**(3): 44—49.
- 薄景山, 李秀领, 李山有, 2003. 场地条件对地震动影响研究的若干进展. 世界地震工程, **19**(2): 11—15.
- 董娣, 周锡元等, 2005. 9.21 台湾集集地震中场地类别对地震动若干特性的影响. 地震研究, **28**(4): 365—372.
- 国家地震局, 1996. 核电厂抗震设计规范(GB 50267-97). 北京: 中国计划出版社.
- 胡聿贤, 1996. 地震工程学. 北京: 地震出版社.
- 蒋溥, 戴丽思, 1993. 工程地震学概论. 北京: 地震出版社.
- 交通部公路规划设计院, 1989. 公路工程抗震设计规范(JTJ 004-89). 北京: 人民交通出版社.
- 室外给水排水和燃气热力工程抗震设计规范(GB 50032-2003). 北京: 中国建筑工业出版社.
- 王广军, 1988. 场地选择和场地类别的划分. 建筑科学, 2 期: 49—53.
- 王国权, 周锡元, 马宗晋等, 2000. 9.21 台湾地震近断层强地面运动反应谱与规范设计谱的对比研究. 工程抗震, 增刊: 1—10.
- 周锡元, 王广军, 苏经纶, 1991. 场地·地基·设计地震. 北京: 地震出版社.
- 中华人民共和国建设部, 2001. 建筑抗震设计规范(GB 50011-2001). 北京: 中国建筑工业出版社.
- 中华人民共和国冶金工业部, 1993. 构筑物抗震设计规范(GB 50191-93). 北京: 中国计划出版社.
- 中华人民共和国铁道部, 2006. 铁路工程抗震设计规范(GB 50111-2006). 北京: 中国计划出版社.
- 中华人民共和国电力工业部, 1997. 电力设施抗震设计规范(GB 50260-96). 北京: 中国计划出版社.
- 中国水利水电科学研究院, 2000. 水工建筑物抗震设计规范(DL 5073-2000). 北京: 中国电力出版社.
- 中交水运规划设计院等, 1998. 水运工程抗震设计规范(JTJ 225-98). 北京: 人民交通出版社.
- Applied Technology Council, 1996. ATC-32, 365.
- Building Seismic Safety Council for the FEMA, 2003. NEHRP recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures. BSSC: Washington D.C.
- European Committee for Standardization, 2003. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance, part 1: General rules, Seismic action and rules for buildings.
- FEMA, 1995. NEHRP Recommended Provisions for the Seismic Regulations for New Buildings. Berkeley: NCEER.
- Field, H. Edward and Petersen, D. Mark, 2000. A Test of Various Site-Effect Parameterizations in Probabilistic Seismic Hazard Analyses of Southern California. Bull. Seism. Soc. Am., **90**(6b): S222—S244.
- Lee C.T., Cheng C.T., Lian C.W. et al., 2001. Site classification of Taiwan free-field strong-motion stations. BSSA, **91**(5): 1283—1297.
- Wills C.J., Petersen M., Bryant W.A. et al., 2000. A site-condition map for California based on geology and shear-wave velocity. Bull. Seism. Soc. Am., **90**(6b): S187—208.

Study on the Relations of Site Classification Methods in Seismic Design Standards between China and Abroad

Huang Yahong, Lu Yuejun and Peng Yanju

(Institute of Crustal Dynamics, China Earthquake Administration, Beijing 100085, China)

Abstract At present, different industries, such as architecture, railway, highway, construction, electric power and hydraulic engineering in China and abroad have their own site classification methods and standards in seismic design. Because each industry has its own specific considerations and requirements, the site classification methods and standards are somewhat different from each other, and there is no a set of universal methods or standards of site classification which are suitable for all industries. In this paper, we summarized similarities and differences of site classification methods and standards in seismic design of different industries in China and abroad, and discussed the relations among different site classification methods and standards. Finally, we concluded out that it is necessary for China to establish a set of universal site classification methods and standards in seismic design in order to meet the requirement of engineering constructions for different industries.

Key words: Seismic Design; Site Classification; Standards; Relation