

再论工程抗震建筑场地类别的划分

张 苏 民

(机械工业部勘察研究院 西安 710043)

【提要】 本文对现行有关国家标准中场地类别的划分方法和划分标准进行了探讨,在此基础上提出了相应的看法和建议。

【Abstract】 The classified method and the classified standard about the site classification in the exist national standard are discussed in this paper, and some views and suggestions are proposed based on the discussions.

0 前言

判定地震区场地和地基的地震效应是岩土工程勘察的一项重要内容,而建筑场地类别的划分又是其中不可缺少的组成部分。

随着工程抗震科学技术的发展,建筑场地类别的划分已经从单因素(岩土类型)发展到多因素(岩土性质和覆盖层厚度),从不连续的定性划分发展到连续型的定量划分。这些进展已经先后在近年来我国发布的有关标准、规范中得到了反映,并已在工程实践中施行。

本文就实际工作中对建筑场地类别划分所遇到的一些问题和学习有关国家标准中的一些体会提出来供同行们共同探讨。

1 场地土类型和场地类别

在《建筑抗震设计规范》GBJ11—89(以下简称《建抗规》)中,场地土类型与场地类别是既有相关又有区别的两个术语。前者指的是具有一定性状的土类,这些性状可以用岩土名称、密度、强度(承载力)和其它参数来表征,特别是用土层剪切波速作为场地土类型划分的主要根据。我们可以比较形象地用软硬程度来概括说明不同类型场地土的主要特点。而场地类别的含义则相对来说要广泛得多。划分场地类别的主要基点应该是场地所具有的地震效应影响,具体来说主要表现为场地的反应谱特征,它既包括

了组成场地各土层(主要是地面下一定深度范围内的土层)的软硬性状,也就是场地土类型,还包括了岩土层的埋藏条件(土层厚度、覆盖层厚度等)。场地类别的划分以次序表示,分为I、II、III、IV四类,每一类别分别对应不同的反应谱曲线,突出地表现在反应谱曲线特征周期的不同,也就是长周期情况下的不同反应谱特性。

上述概念应该说是比较明确清晰的。目前存在的问题是有些资料过分地强调了场地类别和场地土类型的共性关连部分,而忽略了两者的不连同性。由于岩土层埋藏条件的不同,场地土的软硬(类型)并不完全与场地类别相对应。即使是中软场地土或软弱场地土,如果厚度不大,覆盖层厚度较小,就不一定是III、IV类场地,有可能会是II类甚至I类场地。所以用表征场地土类型的软硬程度来冠予场地类别(如硬场地,中硬场地,中软场地和软场地)是不甚确切的,容易使概念产生混淆。在尚未产生能确切表征不同反应谱特性的适宜形容词之前,场地类别还是冠以次序数更恰当。

2 用土层平均剪切波速划分场地土类型

用剪切波速划分场地土类型是我国80年代场地地基工程抗震科学技术的一个重大进步,同时也有力地推动了我国波速测试技术的迅速发展。今天,我国已在这方面积累

了较多的数据资料和工程经验。回想起十多年前的热烈讨论情景,更感到当时这一重要决策的科学性和正确性。

用土层平均剪切波速划分场地土类型,除了波速测试数据本身以外,主要与下列两方面有关,即:(1)平均值的取值方法和取值深度范围;(2)场地土类型划分的剪切波速界限值。

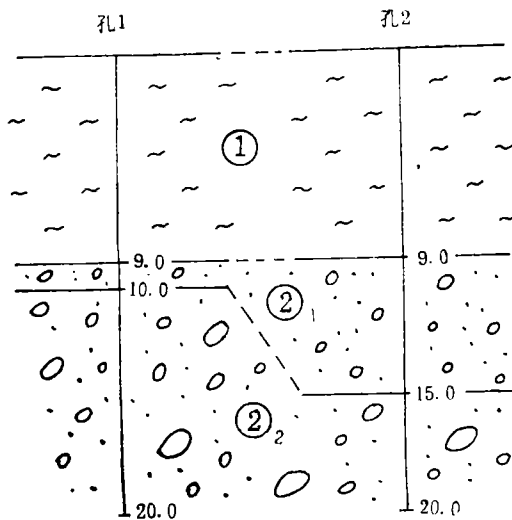
《建抗规》规定:“土层平均剪切波

速,取地面下15m且不深于场地覆盖层厚度范围内各土层剪切波速,按土层厚度加权的平均值”。“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”。在实际施行中,上述取值有时会出现一些不尽合理的情况。图1是两个简化后的典型假设场地的土层剖面。

按照规范规定,两个场地分别计算土层平均剪切波速 $v_{s,m}$ 和场地土类型划分见表1。

表1 按《建抗规》计算土层平均剪切波速和划分场地土类型

场 地	取值深度范围 d_0 (m)	土 层	剪切波速 $v_{s,i}$ (m/s)	土层厚度 d_i (m)	剪切波速厚度加权平均值 $v_{s,m}$ (m/s)	场地土类型	场地类别
孔 ₁	10.0	①淤泥	100	9.0	138	软弱场地土	Ⅲ
		② ₁ 中密卵石	480	1.0			
孔 ₂	15.0	①淤泥	100	9.0	252	中硬场地土	Ⅱ
		② ₁ 中密卵石	480	6.0			



土层序号	土层名称	$\bar{v}_{s,m}$ (m/s)
①	淤 泥	100
② ₁	中密卵石	480
② ₂	密实卵石	520

图1 典型假设场地土层剖面

从图1可以明显看出,孔1的②₂密实卵石层(坚硬场地土)比孔2埋藏浅,场地土的性质孔1要比孔2好,场地的抗震条件孔1比孔2有利,但是按《建抗规》计算得出结果却完全相反,孔2的平均剪切波速反而比孔1高出83%,场地土类型反差两个档次,简直使人难以置信。

问题何在?如果撇开剪切波速界限值这个因素暂且不论,得出的平均剪切波速 $v_{s,m}$ 所呈现出来的矛盾反差主要是由于平均值取值方法不当所造成的。

首先,用土层厚度加权平均方法计算平均剪切波速不具有甚至不符合统计的物理意义。平均剪切波速应该是一个等量物理值,

其等量的物理意义是剪切波穿过具有不同波速不同厚度的多层土的总传播时间应等量于剪切波穿过具有相同总厚度, 相当于平均剪切波速的均质土层所需要的传播时间, 也就是:

$$\sum \frac{d_i}{v_{s,i}} = \frac{\sum d_i}{v_{s,m}} \quad (1)$$

于是, 平均剪切波速 $v_{s,m}$ 应等于

$$v_{s,m} = \frac{\sum d_i}{\sum \frac{d_i}{v_{s,i}}} \quad (2)$$

式中 d_i 和 $v_{s,i}$ 分别为第 i 层土的厚度(m)和剪切波速(m/s)。

如果按式(2)再分别计算孔1、孔2的平均剪切波速, 可得 $v_{s,m1} = 108.6\text{m/s}$ 和 $v_{s,m2} = 146.3\text{m/s}$ 。两者的相对差值从83%减小到35%。

上述计算方法虽然在物理意义方面前进了一步, 但是仍然没有完全解决孔1和孔2到底哪个场地更好些的矛盾。要彻底解决这个矛盾, 除了平均值取值方法外, 还需要解决取值深度范围问题。上述计算所考虑的取值深度范围是不同的, 因此在对比时存在一个“条件不对等”的问题。比较合理的是在采用式(2)计算平均值时应该采用相同的取值深度范围, 按《建抗规》取15m, 此时按式(2)计算可得孔1和孔2的 $v_{s,m}$ 分别为:
 $v_{s,m1} = 147.5\text{m/s}$, $v_{s,m2} = 146.3\text{m/s}$ 。前者略大于后者, 与场地土层剖面实际情况相符合。

再深入分析一下, 孔1和孔2在深度10m以上的土层是完全相同的, 剪切波在穿过这一深度范围内所需要的传播时间都是92.1ms。所不同的只是在深度10~15m范围内, 剪切波在穿过这一深度范围内所需要的传播时间是不同的, 孔1是9.6ms, 孔2是10.4ms, 孔1比孔2快了0.8ms, 所以平均剪切波速 $v_{s,m1}$ 略大于 $v_{s,m2}$, 物理意义是明确的。

因此, 对平均剪切波速的取值可考虑作

以下改进:

a. 按式(2)计算平均值代替厚度加权平均;

b. 采用相同的取值深度范围, 即地下15m(建议改为20m), 在此深度范围内土层剪切波速凡大于500m/s者皆按500m/s考虑;

c. 划分场地土类型, 包括计算土层平均剪切波速时, 不考虑场地覆盖层厚度而只考虑土层本身的性质, 将场地覆盖层厚度作为划分场地类别的考虑因素;

d. $v_{s,m}$ 的分类界限值作适当调整提高。

3 场地类别的不连续型划分

《建抗规》规定, 对建筑的场地类别, 应根据场地土类型和场地覆盖层厚度分为四类。如果将划分场地土类型的土层平均剪切波速 $v_{s,m}$ 和场地覆盖层厚度 $d_{0,v}$ 作为二维平面坐标, 场地类别的划分可见图2。

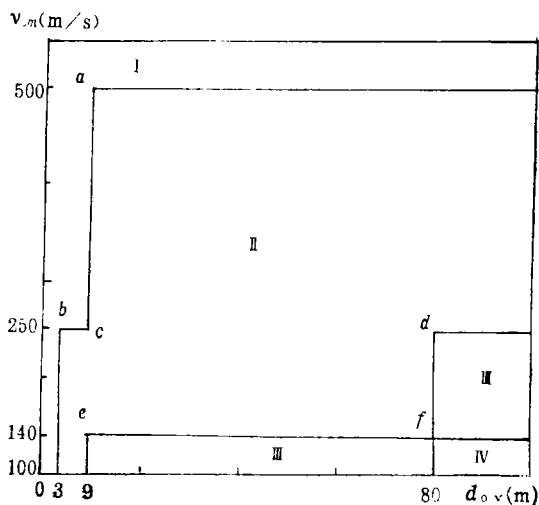


图2 按《建抗规》的场地类别划分

图2中的I、II、III、IV表示所划分的四类场地, 可见不同类别的界限是由平行坐标轴的直线或折线组成的。在这些界限上, 场地类别将产生不连续突变。特别在界限的转折点, $v_{s,m}$ 或 $d_{0,v}$ 的稍许变化, 将使场地被截然分为两种不同类别。以古城西安为例, 西安有很多场地地下15m深度范围内土层

平均剪切波速一般在250m/s左右。而场地覆盖层厚度据原有资料介绍约在80m左右。因而,按场地条件划分场地类别,西安有很多场地在图2上的位置将落于转折点 d 的界限值附近。在实际工程建设中就出现了同一场地相邻建筑物抗震设计分别采用Ⅱ、Ⅲ两种不同场地类别的情况。有时,场地内Ⅱ、Ⅲ类场地互相交错,给建筑物抗震设计造成不少麻烦。为了解决工程安全与节约投资的矛盾,提高学术水平,我院曾对西安地区建筑的场地类别作了一些专门的研究。近年来我院曾专门作过好几个试验深度超过100m的波速试验孔,基本查清了西安地区大多数场地的覆盖层厚度为80~110m,地面下15m深度范围内土层平均剪切波速一般都在240~270m/s幅度内波动。场地条件是基本搞清楚了,但场地类别的划分仍然不肯肯定地徘徊于Ⅱ、Ⅲ类之间,而场地类别的这种不同对建筑物抗震设计又是至关重要的。为了解决工程实际问题,有时需要根据工程的重要性和勘察资料的可靠度作出判断和决策。

场地类别的上述划分方法还存在一个完全是人为的突出问题。从图2可见,Ⅲ类场地在图2中的范围被不连续地分隔为左下和右上两部分,在转折点 f 附近 $v_{s,m}$ 和 $d_{0,0}$ 在界限值上下左右的稍许变化,将影响场地类别可以达到相差两个级别的程度。例如当 $v_{s,m}$ 从142m/s减少到138m/s,覆盖层厚度从78m增加到82m,场地类别将从Ⅱ类一跃而为Ⅳ类。

在编制规范确定有关的分类界限值时,一般的方法是理论结合实际,统计加上经验,并考虑一定的结构可靠度。严格地说,这些界限值实际上都应该是模糊的。人为地使得场地类别的划分在界限值附近产生跳跃突变是不完全适宜的。

4 场地类别的连续型划分

由于场地类别的不连续型划分存在着重要的矛盾,因而必然会导致向连续型划分的

改进和发展。1993年发布的国家标准《构筑物抗震设计规范》GB50191—93(以下简称《构抗规》)在这方面跨出了重要的一步。

该规范引入“场地指数 μ ”作为评定场地的定量指标。这个指标取决于场地土层的刚度和场地覆盖层厚度。而场地土层的刚度则以地面下20m深度范围内土层平均剪变模量为指标,并可从土层剪切波速计算求得。用场地指数 μ 非但可确定场地的分类,而且还赋予场地类别以定量的概念,实现了场地分类从不连续型向连续型的转变。《构抗规》规定场地分类根据场地指数划分为硬场地、中硬场地、中软场地和软场地四类,见图3。

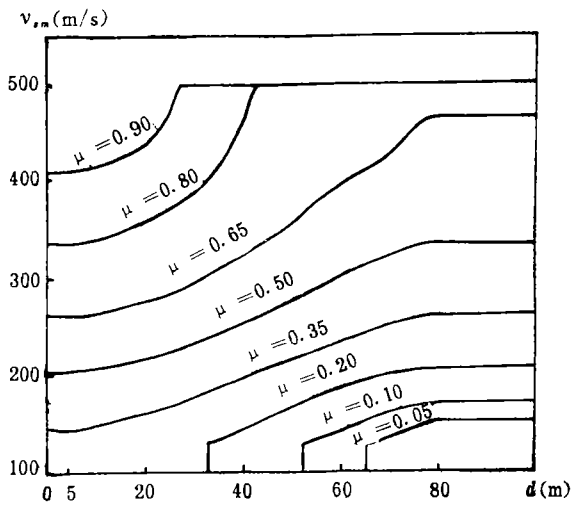


图3 按《构抗规》的场地分类

如果将前述两本国家标准的场地分类作对比,如图4所示。

可以看出,虽然两本国家标准都根据平均剪切波速(剪变模量)和覆盖层厚度将场地分为四类,但划分的界限标准有很大的差别。《构抗规》的中硬场地在图上的范围要比《建抗规》的Ⅱ类场地小得多,如表2。

产生这种差别的原因一方面是由于两本国家标准对场地类别(分类)的含义不尽相同,另外更重要的是由于规范的分界本

表 2 相同场地条件的不同场地分类

示 例	平均剪切波速 $v_{s,m}$ (m/s)	平均剪变模量 G (MPa)	覆盖层厚度 d_{ov} (m)	按《建抗规》 划分场地 类 别	按《构抗规》	
					场地指数 μ	场地分类
例1	450	403	20	II	0.91	硬场地
例2	175	57.7	60	II	0.18	中软场地

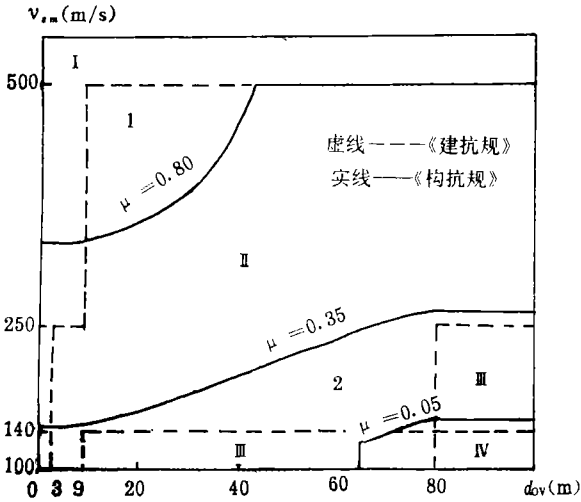


图 4 《建抗规》与《构抗规》场地分类的对比

身还存在着一些问题。《建抗规》场地类别划分界限存在的问题已如前述。《构抗规》虽有改进,但从图4可见,以场地指数 $\mu = 0.80$ 所示曲线位置作为划分硬场地与中硬场地的分界可能还值得研究。

《构抗规》场地分类方法存在的另一个问题是在根据场地土层刚度计算场地指数时,要从土层剪切波速先计算平均剪变模量这一中介指标。相对来说,计算要多经一个过程。而且,用土层厚度加权平均的方法得出平均剪变模量,其物理意义不完全明确。

在此基础上,正在编制中的《工程抗震场地划分等级标准(征求意见稿)》(暂名,以下简称《场地标准》)提出了进一步的改进。该标准保留了《构抗规》以综合的场地指数进行场地分类的基本思路,但计算时不再经过计算场地土层平均剪变模量这一中间过程,而直接根据覆盖层厚度 d_{ov} (m)和土层平均剪切波速 $v_{s,m}$ (m/s)按下式计算

场地指数 μ 。

$$\mu = 1 - 38(d_{ov} - 3)^{0.3} / v_{s,m} \quad (3)$$

《场地标准》除了按场地指数划分场地等级以外,还同时列出了与《建抗规》相似的不连续型场地分类,对平均剪切波速 $v_{s,m}$ 和覆盖层厚度 d_{ov} 的分类界限值作了部分调整,见图5。可以看出,图5中不连续型分类和用场地指数分类两种方法确定的场地类别还是存在着明显的差别。

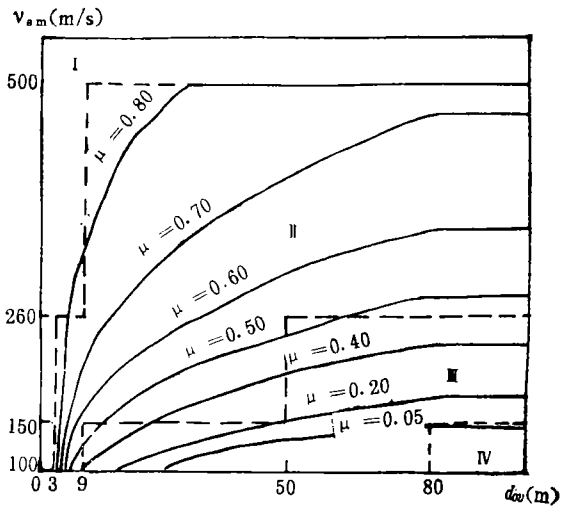


图 5 按《场地标准》的场地分类

5 对场地分类的建议意见

5.1 连续型定量分类和不连续型定性分类暂时并存,各有所用

根据《建抗规》和《构抗规》,场地分类对工程抗震设计的作用主要体现在下列两方面:

5.1.1 确定地震影响系数,也就是设计反应谱;

5.1.2 确定结构选型,是否需要抗震验算以及应采取的构造措施等。

对于场地分类的第一个作用，场地的影响应该用场地指数来定量表示，采取连续型的渐变方式，而不宜采用划分等级的不连续型突变方式。

仅仅用场地指数来表征场地的工程抗震特性的渐变还不能算作完全连续型定量方法，还有一个重要环节是场地指数反映到反应谱上也必须是连续渐变的。《构抗规》规定，地震影响系数曲线的特征周期 T_g 应根据场地指数 μ 按下式计算。

$$T_g = 0.65 - 0.45\mu^{0.4} \quad (4)$$

图6是特征周期 T_g 与场地指数 μ 的关系曲线。图上还用实线表示按场地类别得出的近震特征周期，用虚线表示远震的特征周期。可以看出，式(4)的曲线关系与现行规范比较接近，是比较容易被接受的。

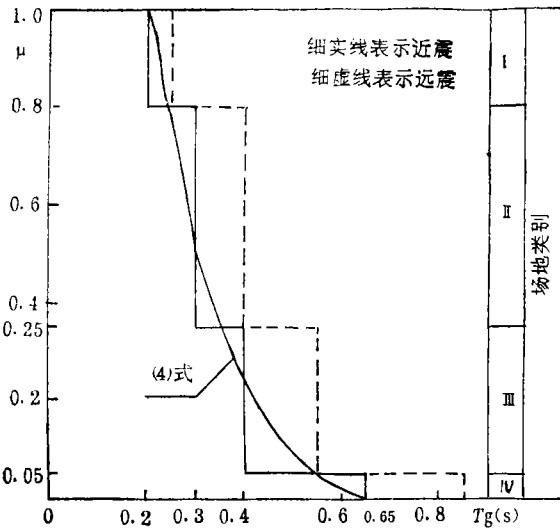


图 6 特征周期与场地指数的关系曲线

对于场地分类的第二个作用，可暂时保留将场地类别定性划分为 I、II、III、IV 四个类别，这样有利于与现行抗震规范中的有关条文规定相对应。

5.2 场地类别的划分标准

场地类别的划分最好只有一个标准而不宜同时存在两个标准以免引起矛盾。

对于确定地震影响系数(反应谱)来说，

没有必要再考虑场地类别，场地条件的影响主要用场地指数来定量表示。

只有在确定结构选型，是否需要抗震验算以及采取构造措施等需要考虑场地条件的影响时，为了叙述的方便，作为一种定性的代词，才用得着对场地类别作次序划分。这种划分的标准应该是既具有相对合理的物理意义，又与现行规范有关条文规定有一定的继承性。建议采用图7用粗实线表示的场地分类方法。

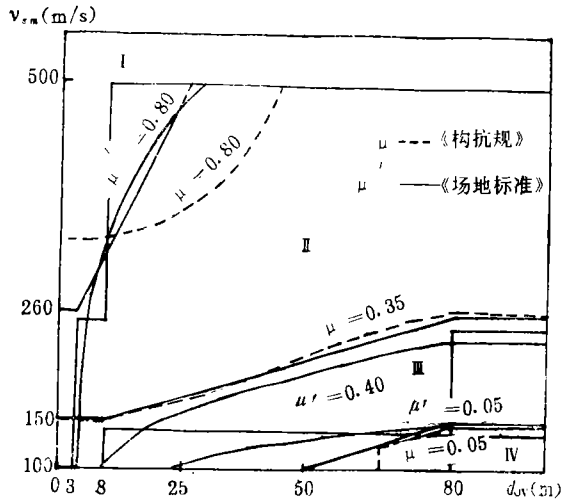


图 7 建议的场地类别划分

图7中还绘示了《建抗规》的场地类别划分和《构抗规》及《场地标准》(征求意见稿)按场地指数的场地分类，可以看出建议的场地类别划分比《建抗规》有所改进而与按场地指数的分类比较接近，特别是 II、III 类场地之间的分界，其优点更为明显。由于 II、III 类场地划分是实践中最常遇的工程问题，而且在现行抗震规范有关条文中常常把 I、II 类和 III、IV 类分别归并叙述，所以 II、III 类场地的划分标准具有特别重要的工程意义，理应给予特别的重视。

6 结束语

本文在学习领会《建抗规》、《构抗规》和《场地标准》(征求意见稿)的基础上，提出以下几点主要看法供参考：

(下转第15页)

5 经济分析

武汉市汉华房地产开发建筑有限公司在汉口汉正街万安片同一场地同时开发A、B、C三栋九层综合楼，A栋采用静压桩，B、C两栋将原拟采用的静压桩改为夯扩桩，通过经济分析对比（详见表5），采用夯扩桩每

m^2 建筑面积桩基造价（56.7元/ m^2 ）是采用静压桩每 m^2 建筑面积桩基造价（114.1元/ m^2 ）的49.7%，仅此一项，就为甲方节省210余万元人民币的工程投资，取得了较大的经济效益。

表5 不同桩型经济分析与对比表

楼号	桩型	桩数	平均桩长(m)	桩径(mm)	单桩承载力标准值 R_k (kN)	建筑面积(m^2)	造价(万元)	每 m^2 建筑面积造价(元/ m^2)
B+C	夯扩桩	1522	16.0	426	550	37059	210	56.7
B+C	静压桩	1047	29.0	350×350	800	37059	423	114.1
A	静压桩	652	29.0	350×350	800	21385	244	114.1

6 结论

1.本工程夯扩桩成功地利用了 $\bar{p}_s = 1.1MPa$ 的(2-2)层粉土与淤泥质粉质粘土互层作为夯扩桩的桩端持力层，突破了桩基规范对桩端持力层的要求，扩大了夯扩桩的应用领域。

2.夯扩桩利用粉土与淤泥质粉质粘土互

层作为桩端持力层的成功，为今后全国桩基规范的修订提供了依据。

3.夯扩桩在处理软弱地层中的工艺改进，可提高生产效率、延长机器寿命、提高夯扩效果。

4.利用夯扩桩处理软弱地层的成果，具有重大的经济效益和推广意义。

（上接第6页）

1.场地的地震效应和工程抗震特性最好以场地指数作为连续型定量指标表达。场地指数可按(3)式计算，其中土层平均剪切波速 $v_{s,m}$ 可按(2)式计算，计算的深度范围为20m而不必考虑场地覆盖层厚度，在此深度范围内土层剪切波速 $v_{s,i} > 500m/s$ 时按 $v_{s,i} = 500m/s$ 参加计算。

2.用不同场地的不同特征周期来表征场地的反应谱特性。特征周期可按(4)式根据场地指数计算而得。在需要考虑远震影响、软弱夹层或工程结构的不同阻尼比的影响时，反应谱的形状参数可按有关规范作适当调整。

3.场地按平均剪切波速 $v_{s,m}$ 及覆盖层厚度 $d_{w,0}$ 或场地指数 μ 分级定性确定场地类别，仅是为了在应用现行规范中有关条文规定时叙述的方便，其划分方法建议参考图7。最好不再用查表法进行场地分类。

4.场地勘察应分别提供场地指数和场地类别，而以场地指数为先。

参 考 文 献

- 1 《建筑抗震设计规范》GBJ11—89及其条文说明，1989
- 2 《构筑物抗震设计规范》GB150191—93及其条文说明，1993
- 3 《工程抗震场地划分等级标准》（征求意见稿）及其条文说明，1995