

考虑 SSI 效应的核电站厂房楼层反应谱对比分析

朱秀云¹ 潘 蓉^{1,2} 李建波³

1 (环境保护部核与辐射安全中心 北京 100082)

2 (中国地震局 工程力学研究所 哈尔滨 150080)

3 (大连理工大学 海岸与近海国家重点实验室抗震分室 大连 116024)

摘要 在集总参数表征的场地阻抗框架内,国内外主要核电厂抗震设计规范均推荐单一常系数弹簧-阻尼器并联体系表征均质场地动力模型。结合土-结构相互作用数值分析的最新发展,本文以 CPR1000 型反应堆厂房的集中质量简化模型作为研究对象,基于 ASCE4-98 规范、RCC-G 规范、集 10 参数等适用于均质场地的集总参数地基模型以及适用于非均质复杂场地的粘弹性人工边界场地模型,开展了直接法和阻抗子结构法两种时程分析方法的对比研究,并将得到的楼层加速度反应谱与 SASSI 程序计算结果进行对比,互相验证了不同地基动力数值模型以及计算方法的有效性,对于评价核电厂地基适应性具有一定的指导与参考意义。

关键词 楼层反应谱,土-结构相互作用,粘弹性边界场地模型,集总参数地基模型,SASSI 程序

中图分类号 TL48

由于核电站本身具有刚度、重量都很大而地基往往又相对较柔软的特点,故刚性地基假设不再合理,所以土-结构相互作用(SSI)分析成为核工程抗震设计与安全分析中的重要课题,这就要求必须采用合理的方法模拟 SSI 效应。国内外核电领域相关抗震规范,包括我国的《核电厂抗震设计规范》(GB20267-97)^[1]、美国的 ASCE 4-98^[2]及法国的 RCC-G^[3]等,均建议采用相对较简单的单一弹簧-阻尼器并联系统表征的常系数集总参数模型,此常系数集总参数模型均只适用于均质场地。为了克服粘性边界精度不高和低频漂移失稳等缺点,Deeks 等^[4]和刘晶波等^[5]提出了二维、三维粘弹性动力人工边界。其特点是不但可以模拟散射波由有限域向无限域的传播,同时也模拟了人工边界外场地介质的弹性恢复性能,克服了粘性边界引起的低频漂移问题,有良好的频率稳定性。

核电站厂房楼层反应谱作为核电设备抗震设计及抗震试验的输入数据,在核电站地震响应分析中具有举足轻重的意义。受土-结构相互作用(SSI)的控制,楼层反应谱综合反映了场地土、厂房结构及地震动输入等条件的影响。而在输入地震动和厂房结构参数确定的条件下,显然地基土参数取值及其动力数值模型的合理性将直接关系到核电厂抗震的安全性及经济性。同时,作为翻版设计的核电站,为了保证结构及其相关子结构的安全性,应该将计算的厂房结构楼层反应谱与其相对应的设计反应谱对

比,判断是否能够满足设计反应谱的要求,以保证安全性,这也是判断地基适应性与否的关键。

本文以 CPR1000 型反应堆厂房作为研究对象,分别选用不同的半无限域均质、分层场地动力数值模型进行土-结构相互作用的模拟,运用直接法与阻抗子结构法求解楼层反应谱,并与适用于分层场地三维分析程序 SASSI 的计算结果进行了分析对比,互相验证了精度的有效性。

1 土-结构相互作用计算分析方法

土-结构相互作用分析经过几十年的发展,形成了很多分析方法。按对结构系统不同的处理方法,可以划分为直接法和子结构法。直接法和子结构法是各相关学科分析相互作用时较常用的方法,具有概念清晰、物理意义明确的优点^[6]。对于直接法,本文主要借助于刘晶波等^[7]提出的三维集中粘弹性动力人工边界,采用粘弹人工边界场地模型耦合上部厂房结构进行整体计算。地震波动的输入是通过粘弹性边界和等效荷载共同实现的^[5],作用在于模拟实际波场的应力边界条件,通过完全积分法进行求解,一步即可求得上部厂房结构节点的绝对响应。另外,本文也进行了工程上应用较多、计算结果偏保守的无质量地基模型耦合上部厂房结构进行整体计算。对于子结构法,本文采用的半无限均质场地集总参数简化模型,主要基于 ASCE4-98 规范^[2]、

第一作者:朱秀云,女,1985年出生,2009年于大连理工大学获硕士学位,工程师,主要从事结构抗震数值模拟分析

收稿日期:2012-10-31,修回日期:2013-03-12

RCC-G 规范^[3]、集 10 参数场地动力模型^[8]，以及适用于非均质场地的集中粘弹边界场地模型求解无限地基的动力刚度^[9]，进而耦合上部厂房结构进行运动方程的求解。下面对本文所采用的半无限域地基动力数值模型进行简要介绍。

1.1 美国 ASCE4-98 规范的场地动力模型

ASCE4-98 规范保持了场地动力模型上的一致性，忽略各向运动间的耦合作用，以 6 个独立的单一弹簧-阻尼器的并联体系来模拟场地在平动、摇摆及扭转方向上的力与变形关系。在数值关系上，其反映出一种不随频率改变的场地常数动阻抗形式，即单一参数的集总模型。各方向场地动阻抗的相应的具体公式可参见文献[2]。我国现行的《核电厂抗震设计规范》(GB20267-97)与美国 ASCE 4-98 规范体系采用了类似的场地模型。

1.2 法国 RCC-G 规范的场地动力模型

采用与 ASCE4-98 规范相类似的模拟形式，RCC-G 规范也建议以单一弹簧-阻尼器的并联体系来独立反映场地在各个方向上动加载与变位间的频域关系，只是公式有所差异。为体现场地动阻抗是激振频率的函数，提高上部结构-地基相互作用系统抗震数值分析的精度，RCC-G 规范建议采用与动力系统一阶固有频率相对应的弹簧-阻尼实常数系数作为场地的实际计算参数。这一点体现在场地弹簧系数的具体计算中，以水平向 K_H 为例，公式如下^[3]：

$$K_H = G \cdot r \cdot F_H = G \cdot r \cdot \frac{f_{H1}}{(f_{H1})^2 + (f_{H2})^2} \quad (1)$$

其中， G 为地基的动剪切模量， r 为基础底板的等效半径， f_{H1} 和 f_{H2} 可查表获得，是地基材料泊松比 μ 和结构-地基动力系统无量纲特征频率 a 的函数。无量纲频率 a 的定义如下：

$$a = 2\pi \cdot f_1 \cdot r \cdot \sqrt{\rho / G} \quad (2)$$

其中， ρ 为地基的材料密度， f_1 为结构-地基系统的水平向一阶固有频率值。可见，在地基参数确定的条件下，弹簧系数 K_H 是动力系统固有频率的函数，具体计算时，采用迭代法来确定该弹簧系数，一般迭代次数为 2-3 次。

1.3 集 10 参数场地动力模型

Wen-yu 等^[8]基于 Luco 等所求得的半空间上圆盘动力柔度函数解答，分别针对水平、竖直、摇摆与扭转等不同激振方式，给出了含 3 个自由度，10

个或 18 个独立参数的等效模型，其中 10 参数模型由质量块、阻尼器和弹簧物理元件组合而成，与地基无限域真实频响曲线进行对比，该模型能够有效地在地震载荷的主要频段范围内逼近半无限空间理论解。如图 1 所示的质量、弹簧和阻尼器参数，由于在拟合获得的过程中均进行了无量纲处理，在实际应用时，水平振动、竖向振动、摇摆振动和扭转振动需分别进行转化，由此便可得各质量块的质量或转动惯量以及弹簧系数和阻尼系数。

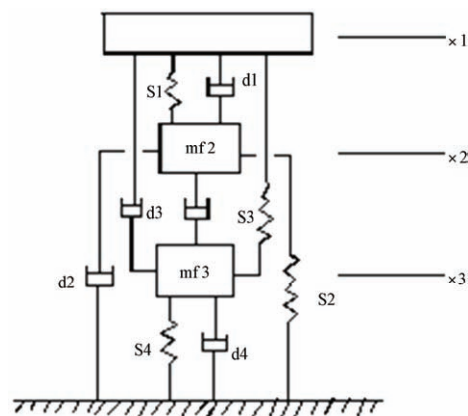


图 1 无限地基的集总 10 参数模型
Fig.1 The lumped 10-parameter model.

1.4 粘弹性边界场地模型

粘弹性人工边界是在粘性边界的基础上发展起来的，不仅反映了远场介质的辐射阻尼效应，而且体现了远场介质对近场地基区域的弹性支撑作用。可适用于不均匀地基的土-结构相互作用模拟，且较成熟，在核电厂抗震分析中有广泛应用。基于商业软件的二次开发^[10]，粘弹性动力人工边界可以方便地与有限元方法结合使用，集中粘弹性人工边界的实现只需要在场地人工截断外边界各节点处布置单一的弹簧-阻尼器并联系统。弹簧元件的弹性系数及粘性阻尼器的阻尼系数的计算公式可参见文献[10]。

2 地震分析的基本数据

2.1 简化模型参数^[11]

对于 CPR1000 反应堆厂房(RX)，其结构由 3 大部分组成：筏板基础、安全壳结构、内部结构。厂房整体结构采用集中质量-梁单元模型来模拟，结构的质量和转动惯量均集中在各节点上，而两相邻节点间的惯性矩和剪切面积则由连接节点的梁单元来表示，结构在水平 X 和 Y 方向对称，简化模型如图 2 所示。各节点的相对坐标、集中质量和转动惯量列于表 1，各梁单元的特性参数列于表 2，混凝土的材料性能列于表 3。

表 1 集中质量模型节点坐标、质量及转动惯量
Table 1 Nodal coordinates, mass and moment of inertia.

节点号 Node number	坐标值 Coordinate Z /m	质量 Mass /10 ³⁶ kg	转动惯量 Moment of inertia /10 ⁶ kg·m ⁻²	
			$J_{XX}=J_{YY}$	J_{ZZ}
1	-10.00	8425	843	1643
2	-4.50	13420	1260	1931
3	-0.585	2288	424	824
4	9.875	3033	568	1087
5	20.00	2960	554	1063
6	30.00	2960	554	1063
7	39.15	3068	562	1081
8	50.02	6271	910	1727
9	4.00	5710	370	0
10	10.32	5970	394	0
11	19.15	6750	500	0
12	29.00	1270	110	0

表 2 梁单元特性参数
Table 2 Property parameters of beam elements.

梁号 Beam number	横截面积 Cross area /m ²	惯性矩 Inertia moment /m ⁴	剪切系数 Shear coefficient	剪切面积 Shear area /m ²
		$I_{XX}=I_{YY}$	$a_x=a_y$	$S_{ax}=S_{ay}$
①	1204	115436	1.11	1084.7
②	176	30570	2.00	88.0
③—⑦	107	19241	2.00	53.5
⑧	50	5720	2.632	19.0
⑨	110	8160	1.571	70.0
⑩	140	8160	2.00	70.0
⑪	60	325	2.00	30.0

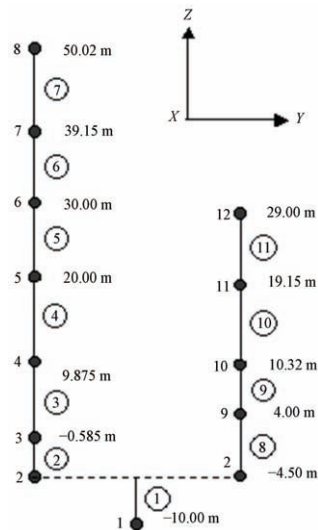


图 2 反应堆厂房(RX)集中质量模型
Fig.2 The lumped mass model of RX.

表 3 混凝土材料性能参数
Table 3 Parameters of material property of concrete.

动弹性模量 Dynamic elastic module /N·m ⁻²	泊松比 Poisson	质量密度 Mass density /kg·m ⁻³	阻尼比 Damping
4×10 ¹⁰	0.2	2500	7%

2.2 地震动输入

本文以 RG1.60 地震时程作为输入地震动，水平和竖向地面运动输入的加速度时程如图 3 所示，总持时为 28 s，时间步长 0.01 s，水平向地面运动峰值加速度取为 0.932 m/s²，竖向取为 0.54 m/s²。

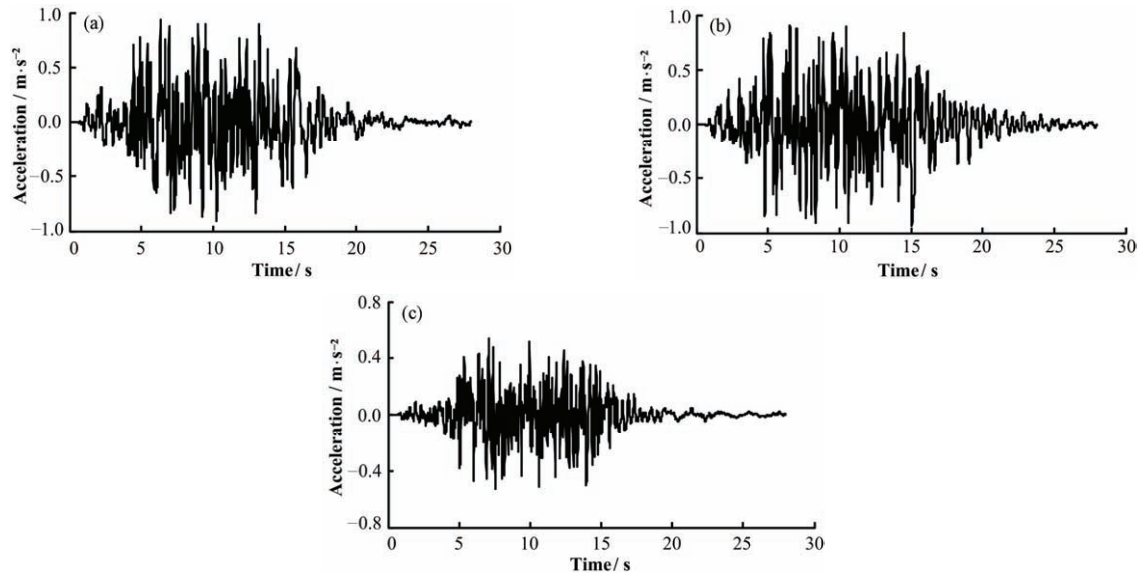


图3 地面运动加速度输入时程曲线 (a) 水平X方向; (b) 水平Y方向; (c) 竖直Z方向

Fig.3 Time-history curve of acceleration of ground motion.

(a) in the horizontal direction X; (b) in the horizontal direction Y; (c) in the vertical direction Z

2.3 计算模型

均质地基材料参数如下: 密度 $\rho=2500 \text{ kg/m}^3$, 动剪切模量 $G=3600 \text{ MPa}$, 泊松比 $\mu=0.30$, 剪切波速 $v_s=1200 \text{ m/s}$ 。分层地基材料参数: 上层参数同前述均质地基, 下层材料参数: 密度 $\rho=2600 \text{ kg/m}^3$, 动剪切模量 $G=10400 \text{ MPa}$, 泊松比 $\mu=0.25$, 剪切波速 $v_s=2000 \text{ m/s}$, 分层处为 30 m 。

2.3.1 直接法计算模型

分层场地耦合厂房结构整体模型如图4所示, 场地的具体计算范围选为, 水平面内 x 轴和 y 轴方向各边长 120 m , Z 轴方向深 60 m 。水平面内, 筏板中心区域的网格尺寸约为 $2.5 \text{ m} \times 2.5 \text{ m}$, 竖直深度方向, 按网格尺寸不大于最小波长的 $1/5$ 计算, 可通过 40 Hz 的高频剪切波, 符合要求。

2.3.2 子结构法计算模型

关于半无限均质场地集总参数简化模型在 ANSYS 中的实现, 弹簧和阻尼器物理元件选用

Combin14 单元模拟, 其实常数为各个自由度对应的弹簧系数和阻尼系数, 质量块选用 Mass21 单元模拟, 其实常数为各个自由度的对应质量或转动惯量。SASSI 程序计算模型需要包括无质量筏板基础。计算模型如图5所示。

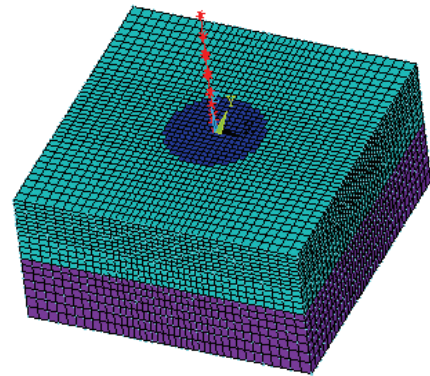


图4 分层场地直接法计算模型

Fig.4 The calculation model of half-space layer field for the direct method.

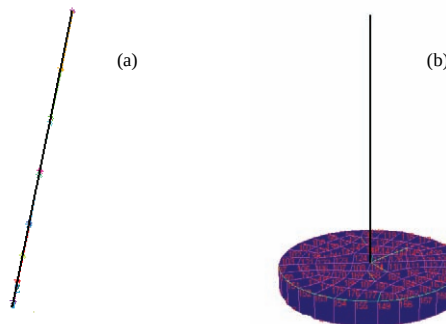


图5 阻抗子结构法计算模型 (a) ANSYS 计算模型; (b) SASSI 计算模型

Fig.5 The calculation model for the sub-structure method. (a) the calculation model ANSYS; (b) the calculation model of SASSI

3 楼层反应谱分析

分别选取安全壳和内部结构最高点楼层处，分析对比不同地基动力数值模型计算的 5%阻尼比楼层加速度反应谱。此顶点处的地震响应值较下部节点响应值大，相应的不同数值模型计算结果之间的差值也较下部节点的大，具有包络及代表性。

3.1 均质场地模型的楼层计算谱对比

不同均质场地模型计算的节点 8 和节点 12 的水平向和竖直向加速度反应谱对比曲线分别如图 6 和

图 7 所示。其中，图例“ASCE4-98”表示按照 ASCE4-98 规范求解计算的结果；“RCC-G”表示按照 RCC-G 规范求解计算的结果；“10 PARA”表示应用 10 参数-集总参数模型求解计算的结果；“VE_sub”表示基于均质自由场地粘弹边界模型通过谱响应分析求解动阻抗^[9]，然后应用子结构法求解计算的结果；“VE-lumped”表示采用了图 4 所表示的均质场地粘弹边界^[10]整体模型直接法计算的结果。基于以上的不同场地模型及计算方法，节点 8 和节点 12 的水平向和竖直向楼层谱峰值加速度以及对应频率具体对比见表 4。

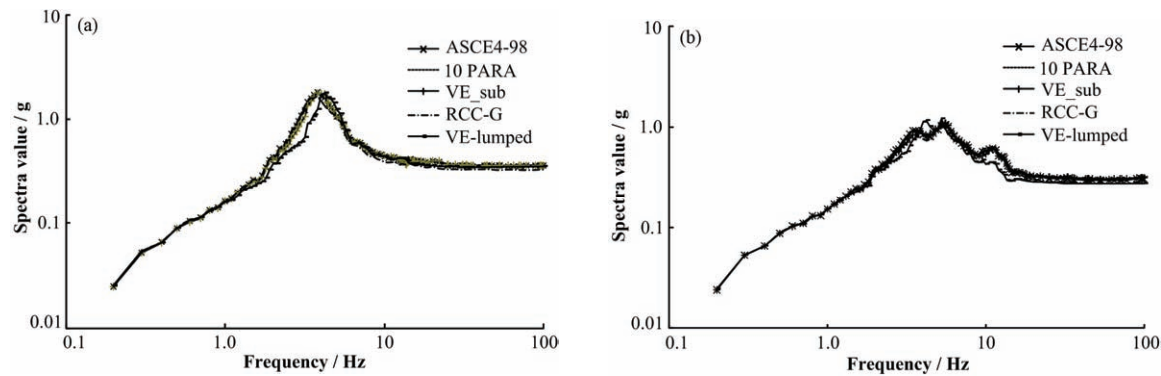


图 6 水平向楼层加速度反应谱对比 (a) 节点 8; (b) 节点 12
Fig.6 Comparison of FRS in the horizontal direction. (a) node 8; (b) node 12

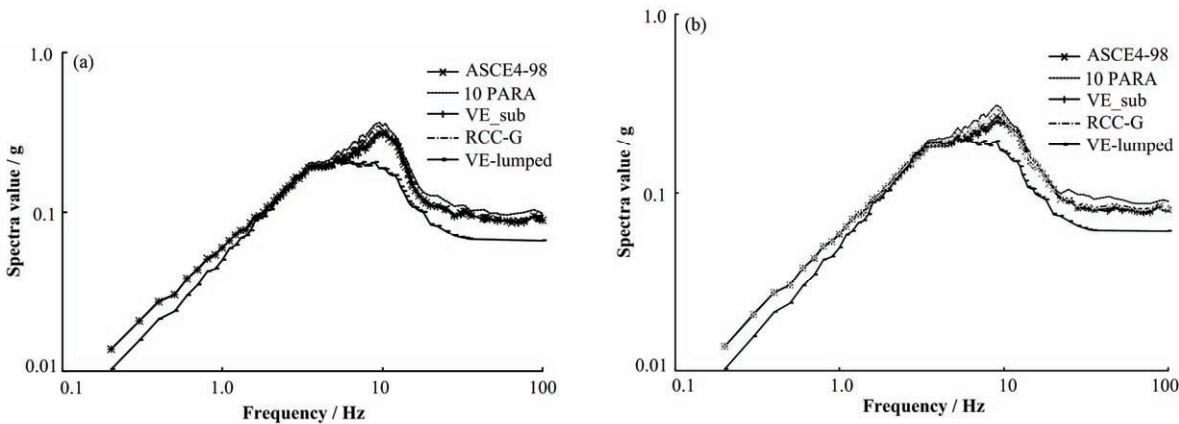


图 7 竖直向楼层加速度反应谱对比 (a) 节点 8; (b) 节点 12
Fig.7 Comparison of FRS in the vertical direction. (a) node 8; (b) node 12

表 4 楼层反应谱的峰值加速度以及对应频率对比
Table 4 Comparison of peak acceleration and the corresponding frequency of FRS.

计算模型 Calculation models	$S_{ax-max} (g)/f (Hz)$		$S_{az-max} (g)/f (Hz)$	
	8 点	12 点	8 点	12 点
ASCE4-98	1.82/3.8	1.05/5.50	0.32/10.5	0.27/9.0
10 PARA	1.87/3.8	1.07/5.50	0.36/10.0	0.31/9.0
VE_sub	1.79/3.8	1.09/5.50	0.31/10.5	0.25/9.0
RCC-G	1.66/3.8	1.01/5.50	0.34/9.5	0.30/9.0
VE_lumped	1.77/4.2	1.20/5.25	0.25/9.0	0.20/9.0

通过对比图中曲线可得,在水平向,上述不同方法计算的反应谱形状相当,其中基于粘弹边界场地模型直接法计算的反应谱值在个别频段谱值差异略明显,其反应谱峰值以及零周期加速度值较其他几种集总参数地基模型以及基于粘弹边界的阻抗子结构法集总参数模型的计算结果相近;在竖直向,粘弹边界地基模型直接法计算的反应谱与其他子结构法计算的谱形差异较大,其零周期加速度值偏小,集 10 参数模型的计算结果较其他子结构模型计算的结果略偏大。总体来说,ASCE4-98 模型、RCC-G 模型、集 10 参数模型以及基于粘弹边界的阻抗子结构法集总参数模型的计算结果是相当的,满足工程精度,其优点就是利于工程实现。

3.2 分层场地模型的楼层计算谱对比

不同分层场地模型计算的节点 8 和节点 12 的水平向和竖直向加速度反应谱对比曲线分别如图 8、9 所示。其中,图例“VE_layer_sub”表示基于分层自由场地的粘弹边界模型通过谐响应分析求解的动阻抗,然后应用阻抗子结构法求解计算的结果;“Massless_layer”表示运用图 4 所示的分层场地无质量地基整体模型直接法计算的结果;“SASSI_layer”表示运用 SASSI 软件计算的结果;“VE_layer_lumped”表示运用图 4 所示的分层场地粘弹边界整体模型直接法计算的结果。基于以上的不同场地模型及计算方法节点 8 和节点 12 的水平向和竖直向楼层谱峰值加速度以及对应频率具体对比见表 5。

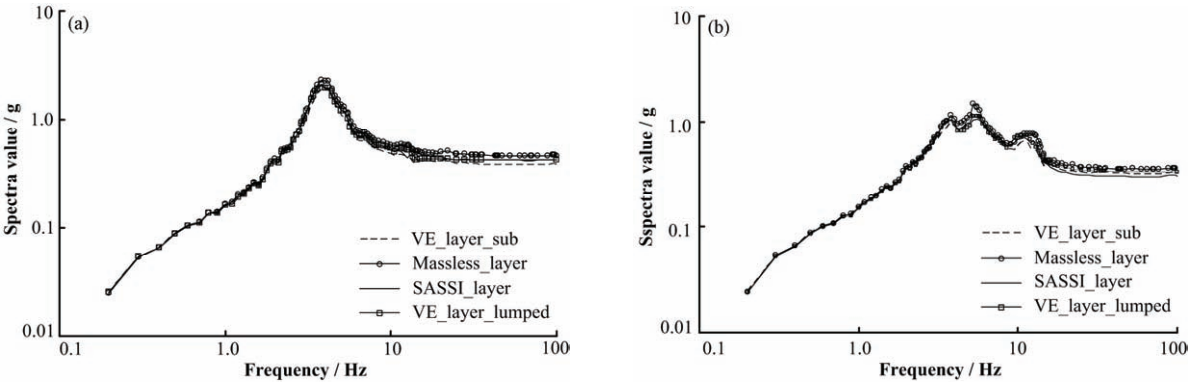


图 8 水平向楼层加速度反应谱对比 (a) 节点 8; (b) 节点 12
Fig.8 Comparison of FRS in the horizontal direction. (a) node 8; (b) node 12

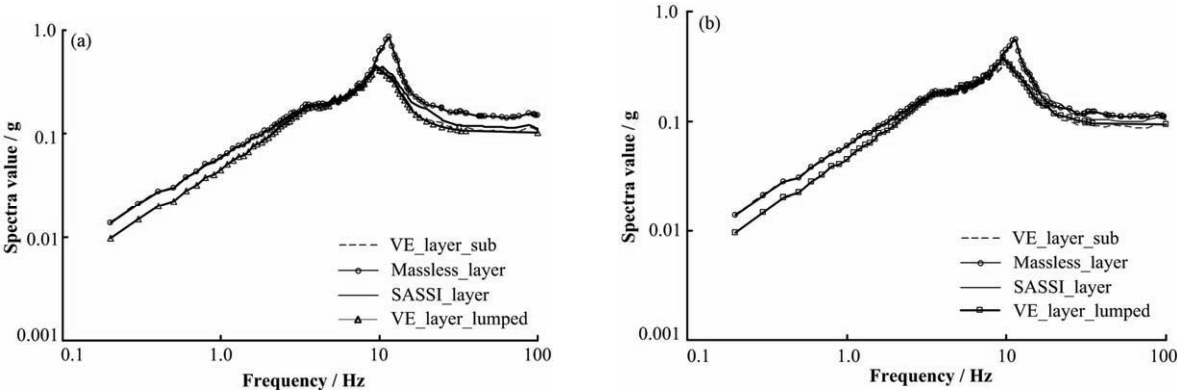


图 9 竖直向楼层加速度反应谱对比 (a) 节点 8; (b) 节点 12
Fig.9 Comparison of FRS in the vertical direction. (a) node 8; (b) node 12

表 5 楼层反应谱的峰值加速度以及对应频率对比
Table 5 Comparison of peak acceleration and the corresponding frequency of FRS.

计算模型 Calculation models	$S_{ax-max} (g)/f (Hz)$		$S_{az-max} (g)/f (Hz)$	
	8 点	12 点	8 点	12 点
VE_layer_sub	1.90/4.2	1.13/5.53	0.40/10.5	0.31/9.5
Masless_layer	2.29/4.2	1.49/5.25	0.86/11.5	0.55/11.5
SASSI_layer	2.11/3.8	1.07/5.53	0.46/9.5	0.39/9.5
VE_layer_lumped	2.13/3.8	1.13/5.25	0.44/9.5	0.37/9.5

通过对比图中曲线可得, 总体来说, 上述不同方法计算的反应谱形状吻合较好, 其中无质量地基模型计算的反应谱值不论在水平向还是竖直向均偏大, 因为此种模型只考虑地基弹性作用, 忽略了振动能量在无限地基中的耗散效应, 所以偏大是合理的。在水平向, 这几种不同地基模型以及 SASSI 程序计算的反应谱是相当的, 基于粘弹边界的阻抗子结构法集总参数模型的计算结果较 SASSI 程序以及粘弹边界地基模型直接法计算的反应谱值略偏小; 在竖直向, 粘弹边界地基模型直接法计算的反应谱谱形与阻抗子结构法以及 SASSI 程序计算谱形相当, 只是在低频段略偏小。

4 结语

(1) 本文对土-结构相互作用(SSI)计算分析方法以及目前常用的半无限域地基动力数值模型进行了简要介绍。其中, 集总参数地基模型只适用于均质场地, 粘弹性人工边界场地模型可适用于复杂非均质场地。

(2) 在均质场地条件下对反应堆厂房进行了楼层反应谱计算分析。结果表明, 各种集中参数地基模型计算的谱值相当; 在水平向, 基于粘弹性边界场地模型直接法计算的谱值较集总参数地基模型子结构法计算值在个别频段谱值差异略明显, 在竖直向, 直接法计算的谱形较其他子结构法计算的谱形差异较大。

(3) 在分层场地条件下对反应堆厂房进行了楼层反应谱计算分析。结果表明, 无质量地基整体模型计算的反应谱值不论在水平向还是竖直向均偏大。在水平向, 总体来说, 这几种不同地基模型以及 SASSI 程序计算的反应谱是相当的; 在竖直向, 粘弹边界地基模型直接法计算的谱形与阻抗子结构法以及 SASSI 程序计算谱形相当, 只是在低频段略偏小。

(4) 本文采用不同的均质与分层自由场地模型以及不同的计算方法进行楼层反应谱分析, 互相验证了不同地基动力数值模型以及计算方法的有效性, 对于评价核电厂地基适应性具有一定的指导与参考意义。对于均质场地, 集总参数地基模型能够满足工程精度, 其优点就是施加简单, 值得推荐使用; 对于分层等复杂不均质场地推荐使用 SASSI 商业软件或粘弹性人工边界场地模型进行计算。

参考文献

- 1 中华人民共和国(GB 50267-97). 核电厂抗震设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 1998
- 2 ASCE STANDARD 4-98, Seismic Analysis of Safety-Related Nuclear Structures and Commentary[S]. Society of Civil Engineers, 1998
- 3 RCC-G. Adaptation for the Model M310 (1000 M We-PWE) of the RCC-G 900 MWe-PWE-Edition[S]. 1986
- 4 Deeks A J, Randolph M F. Axisymmetric time-domain transmitting boundaries[J]. *Journal of Engineering Mechanics*, 1994, **120**(1): 25-42
- 5 刘晶波, 吕彦东. 结构-地基动力相互作用问题分析的一种直接方法[J]. *土木工程学报*, 1998, **31**(3): 55-64
LIU Jingbo, LU Yandong. A direct method for analysis of dynamic soil-structure interaction[J]. *China Civil Engineering Journal*, 1998, **31**(3): 55-64
- 6 杜建国. 基于 SBFEM 的大坝-库水-地基动力相互作用分析[M]. 大连: 大连理工大学, 2007
DU Jianguo. The dynamic interaction analysis of dam-reservoir-foundation based on SBFEM[M]. Dalian: Dalian University of Technology, 2007
- 7 刘晶波, 王振宇, 杜修力, 等. 波动问题中的三维时域粘弹性人工边界[J]. *工程力学*, 2005, **22**(6): 46-51
LIU Jingbo, WANG Zhenyu, DU Xiuli. Three-dimensional viso-elastic artificial boundaries in time domain for wave motion problems[J]. *Engineering Mechanics*, 2005, **22**(6): 46-51
- 8 Wen-yu Jean, Tsung-wu Lin, Joseph Penzien. System parameters of soil foundations for time domain dynamic analysis[J]. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 1990, **19**(4): 541-553
- 9 朱秀云, 李建波, 林皋, 等. 基于谐响应的核电厂地基动阻抗数值求解算法研究[J]. *建筑科学与工程学报*, 2009, **26**(3): 65-70
ZHU Xiuyun, LI Jianbo, LIN Gao, et al. Numerical solution to the soil dynamic impedance for the nuclear power plant based on harmonic response analysis[J]. *Journal of Architecture and Civil Engineering*, 2009, **26**(3): 65-70
- 10 刘晶波, 杜义欣, 闫秋实. 粘弹性人工边界及地震动输入在通有限元软件中的实现[J]. *防灾减灾工程学报*, 2007, **4**(27): 37-42
LIU Jingbo, DU Yixin, YAN Qiushi. Application of viso-elastic artificial boundaries and seismic input in general finite element software[J]. *Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering*, 2007, **4**(27): 37-42

- 11 李忠献, 李忠诚, 沈望霞. 核反应堆厂房结构楼层反应谱的敏感性分析[J]. 核动力工程, 2005, 26(1): 44-50
LI Zhongxian, LI Zhongcheng, SHEN Wangxia. Sensitivity analysis for floor response spectra of nuclear reactor buildings[J]. Nuclear Power Engineering, 2005, 26(1): 44-50

FRS comparative analysis of the nuclear power plant considering SSI effect

ZHU Xiuyun¹ PAN Rong^{1,2} LI Jianbo³

1(Nuclear and Radiation Safety Center, Ministry of Environmental Protection, Beijing 100082, China)

2(Institute of Engineering Mechanics, China Earthquake Administration, Harbin 150080, China)

3(Laboratory of Earthquake, State Key Lab. of Coast. and Offs. Eng., Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract Background: In the framework of lumped-parameter numerical models, the traditional soil dynamic impedance models, recommended by the main international seismic design codes of the nuclear power plant, are only expressed by a single parallel connection system of spring and damper. **Purpose:** In order to combine the recent development of soil-structure interaction analysis. **Methods:** Comparative study of both the direct method and substructure method history analysis is carried out based on the lumped parameter models recommended by seismic design codes of ASCE4-98, RCCG which are both applicable to the homogeneous site and also massless foundation model and viscous-spring artificial boundary model of especially fit for the numerical simulation of non-homogeneous site. **Results:** Finally, by taking the analysis of FRS for a certain CPR1000 reactor plant as an example, comparison analyses of homogeneous and inhomogeneous layer site conditions for various soil dynamic numerical models above-mentioned are carried out. In addition, the calculated results are compared to that of SASSI program. It can be concluded that the calculation results are similar based on different methods. **Conclusions:** This paper validates the applicability of different soil dynamic numerical models mentioned above and will provide some reference and guidance significance in the aspect of evaluation the seismic suitable for the site of nuclear power plant. **Key words** Floor response spectra (FRS), Soil-structure interaction (SSI), Viscous-spring artificial boundary model, Lumped parameter models, SASSI program

CLC TL48