

优化设计输入和分析方法以提高核电厂抗震安全性

张超琦, 杨建华

(中国核电工程有限公司, 北京 100840)

[摘要] 日本福岛事故后核电厂抵御极端自然灾害能力受到广泛关注,世界上各个国家都积极开展相关研究,而地震一直是核电厂工程安全问题的主要威胁之一,因此核电厂的抗震安全性更是成为业界分析研究的重点。楼层反应谱作为核电厂系统、结构和部件抗震设计的输入,其计算分析是核电厂抗震分析的重要环节,其结果对于核电厂的抗震安全水平起着举足轻重的作用。本文以中国核电工程有限公司自主研发的三代机型 ACP1000 标准设计为例,通过介绍楼层反应谱的输入、分析过程和方法,来阐述合理确定符合国情的地震输入、采用先进的建模和分析方法,对完善核电厂的抗震设计、提高核电厂的抗震安全性具有重要意义。

[关键词] 核电厂; ACP1000; 抗震分析; 楼层反应谱; 三维有限元模型; 土结相互作用

[中图分类号] TU352 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2013)00-0083-08

1 前言

日本福岛事故后核电厂抵御极端自然灾害能力受到广泛关注,世界上各个国家都积极开展相关研究,而地震一直是核电厂工程安全问题的主要威胁之一,因此核电厂的抗震安全性更是成为业界分析研究的重点。楼层反应谱作为核电厂系统、结构和部件抗震设计的输入,其计算分析是核电厂抗震分析的重要环节,其结果对于核电厂的抗震安全水平起着举足轻重的作用。

在以往二代核电厂的抗震分析中,用于楼层反应谱计算的结构模型普遍采用简化的集中质量杆单元模型,并将地基简化成弹簧来考虑土结相互作用的影响,这种分析方法在当时的计算机软硬件条件下较好地满足了核电厂抗震分析的需要,保证了核电厂的地震安全。随着计算机技术的飞速发展,计算分析技术也有了很大改进,采用更为精确的分析模型及方法成为可能。本文以中国核电工程有限公司自主研发的、拥有自主知识产权的三代机型

ACP1000 标准设计为例,通过介绍计算楼层反应谱的地震输入、三维建模及土结相互作用分析方法,来阐述合理确定符合国情的地震输入、采用先进的建模和分析方法,对完善核电厂的抗震设计、提高核电厂的抗震安全性具有重要意义。

2 抗震分析方法

核岛厂房的抗震分析一般可以采用时程分析法、谱分析或拟静力分析的方法。在楼层反应谱的计算中普遍采用的是时程分析法。楼层反应谱的分析,也随着分析技术的不断提高而不断在改进优化。在对核岛进行抗震分析之初,不管地基条件如何,均采用固定端的分析而不考虑结构与土壤的相互作用;进而发展到考虑地基土与上部结构的相互作用。考虑土结相互作用的分析方法也经历了一个过程,从简单的采用地基弹簧的分析方法发展到目前较为通用的方法——空间子结构分析法。采用这一分析方法的软件主要有美国的 CLASSI 和 SASSI 软件。

[收稿日期] 2013-01-16

[作者简介] 张超琦(1965—),女,辽宁凤城县人,研究员级高级工程师,研究方向为核电站抗震分析、土建结构设计;

E-mail: zhangcq@cnpe.cc

简单的地基弹簧是根据地基在结构物的第一振动形态下的影响计算出来的3个方向的弹簧刚度,将此弹簧刚度赋予代表地基的弹簧单元上,进行时程分析。在整个时程分析的过程中,此弹簧的刚度不发生变化,这一点,与整个地震过程中,地基在结构物的影响下发生了不同的形变的实际状况有一定的出入。

在空间子结构分析法中,地基机理和结构被描述为两个独立的数学模型——子结构^[1]。他们之间的连接是通过幅值相等,但方向相反,作用在两个子结构上的相互作用力所提供。在交界面发生的总运动是没有附加结构的土在交界面的自由场运动与相互作用引起的附加运动之和。根据这些运动写出交界面自由度的动力平衡方程,然后求解以确定最终位移,这是目前国际通用的计算方法的原始理论基础。在这种方法中,地基的刚度与阻尼是与频率相关的,不同的频率对应不同的地基阻尼与刚度,因此地基刚度依赖于整个体系的震动状态而不是一成不变的。图1为典型的土壤结构相互作用分析示意图^[2]。

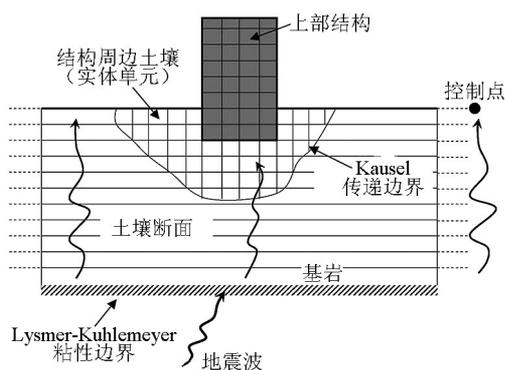


图1 土壤结构相互作用分析示意图

Fig.1 Schematic picture of soil-structure interaction analysis

注:土壤结构相互作用线性分析包括场地地震相应分析、波散射及传播的动力学土结相互作用分析、整体阻抗分析、动力反应及惯性力的土结相互作用分析

近几十年来,土壤与结构的相互作用分析主要有刚性边界法、弹性边界法、弹性体积法、弹性界面法。这些都是空间子结构方法的基本原理下衍生出来的具体计算方法,有的改善了计算的效率,也有一些新的功能在发展中得到了完善。例如,地震波的散射问题得到了解决,可以很方便地考虑结构物的埋置,可以考虑长度较大构筑物的多点输入

的问题等。总之,抗震分析方法在不断地发展提高中,这些不断优化的分析方法将结构抗震的细节问题越来越多地考虑其中,使得分析的精度越来越高。

3 地震动输入

在核电厂的抗震分析中,地震动输入一般包括极限安全地震动地面加速度峰值(SL-2)、设计反应谱以及与之匹配的加速度时程。SL-2 值的大小以及设计反应谱的谱型直接反映核电厂的抗震设防水平。SL-2 是与厂址相关的参数,是核电厂地震调查及地震安全性评价工作的重要结论之一。按照我国现行核安全导则的相关规定,地震动加速度峰值应按地震构造法、最大历史地震法和综合概率法确定结果中的最大值取值^[3]。目前我国绝大部分在建、拟建厂址的水平地震动加速度峰值不超过0.2g,但随着核电的不断发展,现有的厂址肯定不能满足需要,就需要开发新的厂址;另一方面,为了促进我国核电技术出口,新研发的堆型应能适应更广泛的厂址类型。因此在 ACP1000 标准设计中,确定了 SL-2 取值水平和竖向均为 0.3g,较好地满足不同厂址的需要,同时提高了核电厂的抗震安全性。

设计反应谱也是非常重要的输入。在以往国内的核电厂中,大都沿袭了法国 M310 的设计,采用了美国核管制委员会的 RG1.60 标准反应谱,它是基于美国西部地震动衰减关系得到的曲线,对于美国东部地区它的高频部分偏低。美国在 AP1000 的标准设计中为了能够适应美国东部地区的厂址情况,对 RG1.60 谱进行了改进,即提高了高频区段的加速度谱值。由于目前我国没有适应国内大部分地区厂址的标准反应谱,而从导则里给出的华北地区的反应谱来看,高频谱值也是比 RG1.60 谱高,因此,ACP1000 决定采用改进的 RG1.60 谱以扩大厂址的适应性。但是我们也意识到,毕竟我国的地震动情况与美国还是有一定差别的,参考美国的使用还是会有不合适的地方,也许在有些频率上放大过大,而有些频率范围又放大得不太够,造成不同频率范围安全度不一致。因此能否根据我国地震动衰减关系的特点做出符合我国厂址特性的标准反应谱是值得业界考虑的问题。

4 结构建模方法

选择合理的分析模型是核电厂抗震分析的一个重要环节,而分析模型中一个重要的部分就是结

构模型。在 HAD102/02《核电厂抗震设计与鉴定》中规定：“一般核电厂的物项按其结构特征可用下列办法之一进行模拟：集中质量模型，在二维和三维空间的一维、轴对称、二维或三维的有限元模型。”^[4]这是一个总的要求，其规定的核心是可以采用各种方式以获得与实际结构物的动力特性相一致的分析模型。

从核电厂设计的历史来看，核电厂抗震分析的结构模型也是一个不断变革的过程，由于过去计算机水平的限制，当初的计算模型更加倾向于精炼的模型，在模型中加入了更多的假定，例如，二维模型的采用，忽略的是结构物所受地震有可能是与结构物的主轴方向存在一定角度的影响。又如，集中质量杆单元模型假定了各个楼层均是无穷刚性，而忽略了楼板平面外的弯曲会对结构动力特性带来一定的影响。这样的精炼模型，一般来说都会带来一定的数值上的误差，这一误差一般经过分析后认为在设计允许的范围之内，或者采取进一步分析的方式来解决。在美国核安全相关结构抗震规范 ASCE4-98 里就规定：采用集中质量杆单元模型进行第一步的竖向反应分析后，可以考虑采用对竖向进行局部分析的方式来最终确定楼板的应力和楼板上的设备系统的地震输入^[5]。

随着计算机软硬件水平的不断提高，采用越来越精细模拟结构动力特性的模型成为了抗震分析的趋势。即使同样是集中质量杆单元模型，在参数的提取方面，也是在不断优化的过程中。最早采用的参数提取的方式是简单的材料力学方法，这种方法在大亚湾、岭澳一期、秦山二期核电站中得到了应用；在方家山核电站的设计中，集中质量杆单元模型的参数提取得到了改进，其模型参数是在结构力学的虚功原理的基础上运用三维模型推导而得到。这一方法，在 AP1000 堆型的抗震设计中也有运用。而在 AP1000 堆型中，更进一步的是，根据三维模型的动力特性对集中质量杆单元模型进行了修正。这一点，也是采用精炼模型时值得借鉴的。

目前，运用三维有限元模型进行抗震分析也开始在核电站的设计中得到了尝试，AP1000 堆型的抗震设计采用了这一方法。而我们也进行了一系列的对比分析后，将之用于我们国产化第三代核电站 ACP1000 堆型的抗震分析中。虽然采用三维模型进行抗震分析有一些需要克服的难点，例如，三维模型的板壳元如何与实体元连接、三维模型的

单元尺寸如何划分既能满足计算精度又能满足计算机的软硬件要求等，尤其是数据量很大，给分析比较以及结果整理带来很大的难度。但通过在 ACP1000 抗震分析中的应用实践，仍然发现了三维模型的不少优势。

由于 ACP1000 堆型的核岛厂房采用了整体大底板的设计，为了考虑核岛各厂房地震作用的相互影响，若各厂房均采用有限元模型模拟会增大很多的计算量，于是采用了分块分析的方式，即分析的部分采用三维有限元模型，其他部分耦合集中质量杆单元模型，分析模型示意图如图 2。

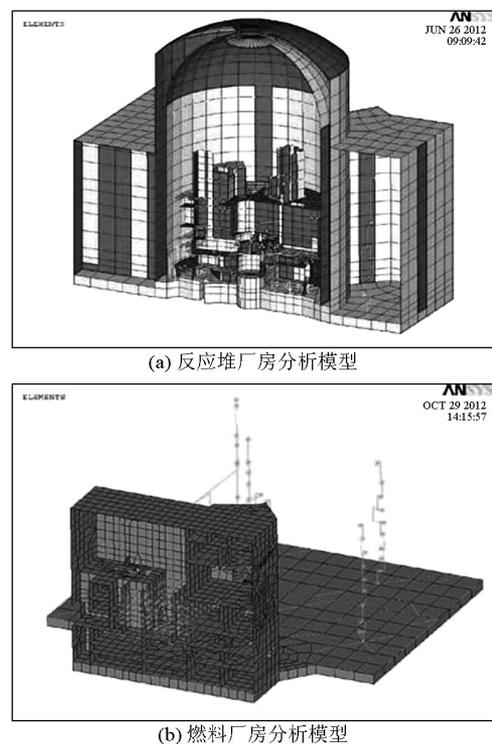


图 2 ACP1000 堆型抗震分析模型示意图

Fig.2 Seismic analysis model of building for ACP1000

在 ACP1000 堆型的核岛厂房的抗震分析中，燃料厂房是一个比较好的例子。燃料厂房左侧功能主要涉及到新燃料、乏燃料的储存清洗与转运，右侧则是设冷水及重要常用水系统的一些管道、设备。厂房结构布置较为复杂，结构楼板跨度比较大，又由于它包含乏燃料水池，其错层较多，水池墙体跨越了 3 个楼层，而中间没有楼板支撑，在转运大厅的上方，也是一个布置吊车的大空间。根据这一厂房特点，采用能够精确模拟结构动力特性的模型对其进行抗震分析显得尤为重要。研究人员分

别计算该厂房三维有限元模型和集中质量杆单元模型的模态,并对其进行了对比。结果见表1~表3。

表1 三维有限元模型各模态质量参与系数表

Table 1 List of participation factor of modes for 3D finite element model

方向	项目	第一阶模态	第二阶模态	第三阶模态	第四阶模态
X方向	频率	5.052	5.575	6.466	11.700
	质量参与系数	14.25 %	31.74 %	13.70 %	17.77 %
Y方向	频率	4.047	9.466	—	—
	质量参与系数	43.11 %	15.07 %	—	—
Z方向	频率	12.864	13.626	17.397 5	—
	质量参与系数	10.32 %	10.48 %	6.95 %	—

表2 三维有限元模型刚化楼板后各模态质量参与系数表

Table 2 List of participation factor of modes for 3D finite element model with stiffness slabs

方向	项目	第一阶模态	第二阶模态
X方向	频率	6.776	14.060
	质量参与系数	63.55 %	24.91 %
Y方向	频率	4.535	12.123
	质量参与系数	57.19 %	28.64 %
Z方向	频率	14.060	15.987
	质量参与系数	14.99 %	52.71 %

表3 集中质量杆单元模型各模态质量参与系数表

Table 3 List of participation factor of modes lumped mass stick model

方向	项目	第一阶模态	第二阶模态
X方向	频率	6.619	14.364
	质量参与系数	60.61 %	25.33 %
Y方向	频率	4.584	12.277
	质量参与系数	55.86 %	29.49 %
Z方向	频率	15.839	—
	质量参与系数	55.14 %	—

从表1至表3可以看出,燃料厂房的三维有限元模型的模态比较分散,每一个模态的质量参与系数都不高,造成这一结果的主要原因就是燃料厂房具有较多的错层和比较大跨度的楼板和墙体,从而使结构物包含了较多的局部震动。而集中质量杆单元模型的主要模态相对就比较明显,因为它体现不出结构的局部震动。从频率值看,三维模型明显

没有杆单元模型的刚度大。将三维模型中的楼板刚度提高到无穷大后,得到了频率值如表2所示,可以看出其与杆单元模型的频率就比较接近了。这一结果也充分体现出,三维模型与集中质量模型的差异,主要是因为楼层的刚性化假定而引起的。

频率在很大程度上集中体现了结构物的动力特性,从上述的分析可以看出,对于燃料厂房这种较为复杂的空间结构,采用三维有限元模型是十分必要的,杆单元模型不能很好地反映这一类构筑物的动力特性。刚性化楼层的假定实际上人为的提高了模型的刚度,使其与实际结构不符。而即使采用了一些技术手段进行调整,也比较难将结构物的刚度分布调整到与真实结构一致,并且也很难反映墙体与楼板的平面外刚度。

在早期的CP1000堆型的抗震分析中,同样采用燃料厂房对三维模型与杆单元模型的楼层反应谱结果做了一些计算对比,这一分析对比仅针对单方向的输入进行,而不考虑扭转偶联的影响,见图3、图4。

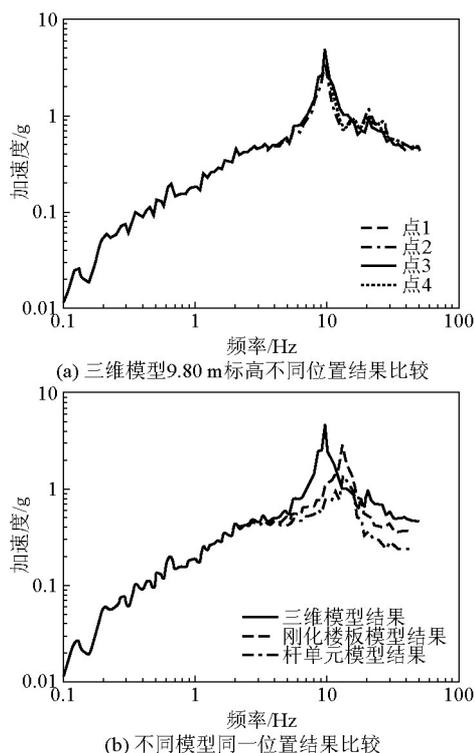


图3 燃料厂房9.80 m标高水平向(X向)反应谱
Fig.3 Floor response spectrum of fuel building on elevation of 9.80 m (X direction)

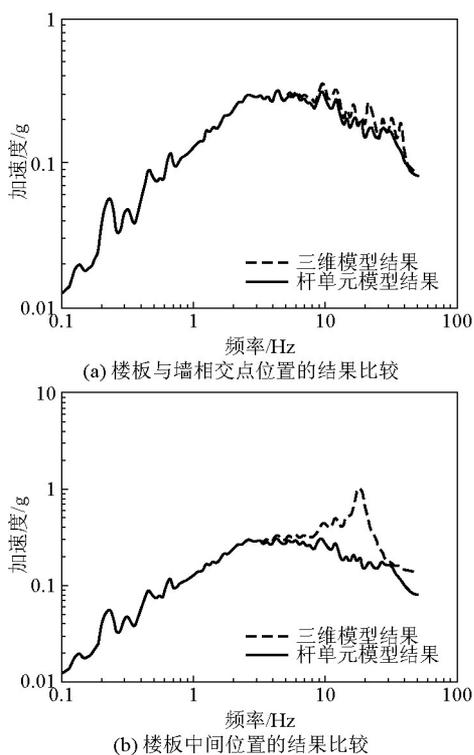


图4 燃料厂房 9.80 m 标高竖向反应谱

Fig.4 Floor response spectrum of fuel building on elevation of 9.80 m (vertical direction)

分析图 3 所示的水平向的结果,在三维模型下,同一楼层的各个点的结果还是基本一致的,这一点证明楼板的平面内刚度的确是非常之大。而三维模型的结果与杆单元模型的结果相比较,不仅存在谱值的差异,也存在频率的偏差。相应的三维模型楼层刚度设为无穷大后,其结果与杆单元模型的结果比较,就不再存在频率的偏移而只有谱值的差异了。这一点,与前面提到的频率的比较规律一致。对于竖向反应谱的比较,明显的三维模型的墙板相交节点处的反应谱与杆单元模型的竖向反应谱相差不大,而如果楼层反应谱取楼板跨度中间位置的点,其结果与杆单元模型的结果有很大差异。研究人员考察到三维模型的竖向反应谱的峰值点的位置正好是楼板的局部振型的频率。由上面的分析可以看出,燃料厂房采用三维模型与集中质量杆单元模型进行楼层反应谱的计算,其结果是有差异的,并且楼板局部振型的影响也不容忽视。

燃料厂房还包含有一个 8 m 宽,近 13 m 长,高度达到 14 m 的乏燃料水池,这 1 000 t 左右的水在地震作用下还存在晃动的效应,其质量集中在某一特

定点上进行抗震分析显然是不合适的。在采用三维模型的分析中,可以采取先分析晃动水的比例,然后对其质量在三维模型上进行分配的方式来解决这一问题。从以上的数据对比中看出,由于三维有限元模型是根据结构构件的力学形态,选取合理的单元形式将结构物的各个部件在三维空间进行数字化模拟,从而更为真实地反映了结构物的刚度以及质量的分布。它的计算假设比较以往的各种精炼模型更少,因此其动力特性较集中质量杆单元模型更为接近真实的结构物,从而提高了抗震分析的精确度。并且,由于三维模型描述了更多的结构细节,使得其能够很容易地得到厂房具体位置的特定反应。在 ACP1000 的楼层反应谱的计算中,充分利用三维模型这一优势,抛弃以往一个楼层出一个反应谱值的方法,选取重点设备区域的典型节点,分区进行结果处理,一个区域出一套谱值,尤其是在乏燃料水池的闸门等确定的部位,仅出那个特定位置的谱。这一做法使设备、管道抗震分析更具有针对性,既保证了安全性也增强了设计的经济性。

5 地基模型

分析模型中另一个重要的部分就是地基模型。地基模型的可靠模拟依赖于地基参数的选取。然而,地基情况往往是复杂多变的,即使在同一个厂址的范围内,也可能存在一些差异,另外地基参数的变异性也比较大,在 ASCE4-98 里给出了考虑地基参数不确定性要在分析中对地基参数进行拓宽的考虑^[5]。因此,要提高核岛厂房的抗震安全性,首先就要提高地基模型的准确性。另外提高核岛厂房在抗震方面的厂址适应性也有助于保证核岛厂房的抗震安全。

地基土存在比较明显的非线性特征,在不同的荷载下,地基土会产生不同的形变,从而也具有不同的力学特性,也就是说,在不同的地震水平下,由于土壤压缩形变的程度不同,其剪切模量和阻尼比也不一样,对地震波的传播效果也不同。因此,为了提高分析的精确度,在抗震分析中要考虑这一影响。目前,一般采用一维波动法来分析土壤传播振动过程中的非线性,这一过程中,用到的等效线性的方法由修正的 Kelvin-Voigt 模型组成。典型的土壤应变与剪切模量比和阻尼比的关系见图 5。

在提高厂址适应性方面,目前的三代核电站在设计中都考虑了采用包络性的厂址参数,例如,法

国的 EPR 和美国的 AP1000。在 ACP1000 的抗震分析中,研究人员也采用了一个包络的厂址参数,地基范围包括软土到基岩,土壤的剪切波速取值如下:6 00 m/s、700 m/s、900 m/s、1 100 m/s、1 500 m/s、2 000 m/s、2 400 m/s、3 000 m/s 等。地基参数的范围考虑了核岛厂房所需的地基承载力以及潜在厂址的地基情况。而地基参数的选取是根据以往对核岛厂房进行地基敏感性分析而确定的,软土的参数取得较密而岩石的较疏。

在 ACP1000 的设计中,由于采用了将一个不变的地震动输入一直定义在了基底,因而避免了土壤非线性状况下地震波的传播问题。而对于分析模型中的土壤的非线性,在土结相互作用(SSI)的分析中考虑采用的是输入地震水平下的等效线性后的参数,这一数值与土壤小应变下的数值有一定的差异,但是其差异会包络在采用的地基参数的范围之内。表4是某工程上采用 Shake 程序计算的土壤等效线性的结果,可以看出,最大的等效线性化的剪切波速与初始剪切波速之差是 150 m/s,在计算分析的地基的剪切波速的间隔范围之内。而从图 5 的曲线表明阻尼比的影响是一个好的趋势,随

着地震水平的提高,土壤应变的增加,阻尼比呈上升的趋势。

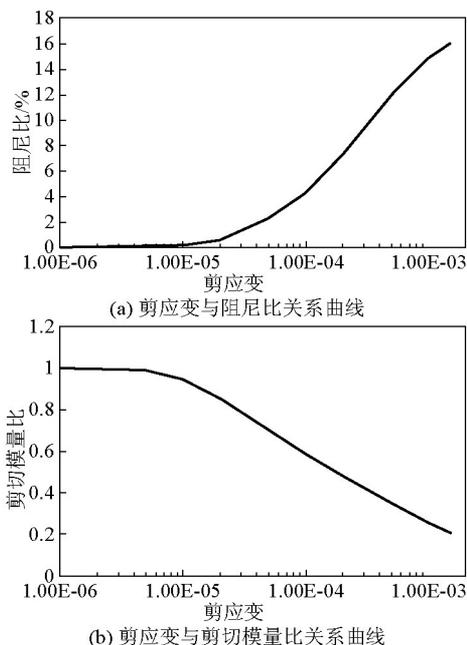


图5 某工程卵石层的动变形特征试验结果
Fig.5 Test result of dynamic deformation of scree foundation

表4 地基参数的等效线性化对比

Table 4 Comparison of soil equivalent parameters with initial parameters

土壤厚度/m	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.3	1.0	7.1	5.4	2.1	50
初始剪切波速/(m·s ⁻¹)	448	448	448	448	770	770	770	770	770	770	770	878	878	878	1 041	878	1 160	900
最终剪切波速/(m·s ⁻¹)	408	392	379	368	647	641	636	631	627	623	619	737	733	730	987	805	1 096	899
阻尼比/%	0.9	1.6	2.2	2.8	4.9	5.0	5.1	5.2	5.3	5.3	5.4	5.2	5.3	5.3	5.1	5.5	6.1	3.0

另外,尽管 ASCE4-98 中规定了地基的剪切波速达到 2 400 m/s 后,可以考虑采用固定端的分析,但在分析中研究人员仍然都考虑了土结相互作用^[9]。这里有两个原因,首先是能够采用三维模型专门计算反应谱的软件 SASSI 无法分析固定端,要分析固定端就要借助于通用的有限元软件如 ANSYS。在采用通用有限元软件计算时,要采用 rayleigh 阻尼输入,这一阻尼是与频率相关的,跟采用的频率无关的阻尼比有一定的差异,在计算中会造成一定的误差。其次,土壤的剪切波速达到 2 400 m/s 后,其 SSI 结果已经基本收敛,这一点可以通过剪切波速是 2 400 m/s 与 3 000 m/s 的计算结果得到证明,见图 6。

研究人员也进一步比较了采用固定端分析结

果与基岩剪切波速为 3 000 m/s 的 SSI 的结果,当 rayleigh 阻尼的输入选择控制频率很好,输入误差较小的情况下,其结果与基岩剪切波速为 3 000 m/s 的 SSI 的结果非常接近。因此,采用基岩的 SSI 的结果取代固定端的分析是合适的。

6 结语

ACP1000 是中国核电工程有限公司自主研发的、拥有自主知识产权的第三代核电技术的机型,其标准设计技术是我国核电技术发展 30 多年的集成和结晶,充分借鉴吸收三代核电技术的先进理念和我国现有压水堆核电厂设计、建造、调试、运行的经验,以及利用近年来核电发展及研究领域的成果,同时还考虑了应对日本福岛核事故的安全措施,

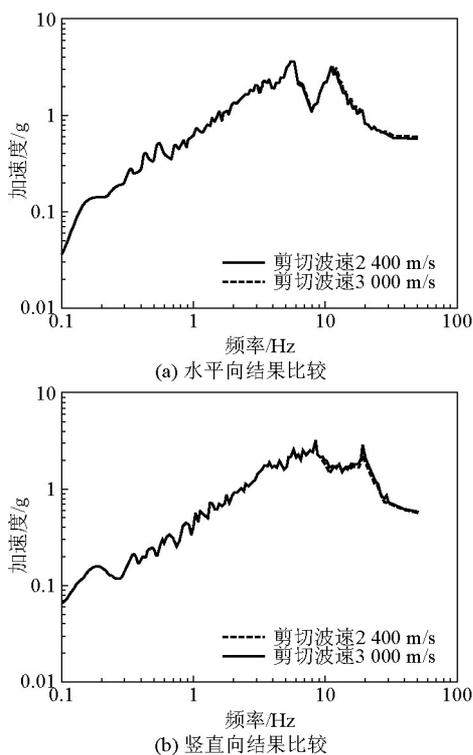


图6 燃料厂房 9.80 m 标高不同地基楼层反应谱对比
Fig.6 Comparison of floor response spectra of fuel building on elevation of 9.80 m for different groundsill

采用了能动和非能动相结合的安全措施,在抗震方面,更是采用了SL-2为0.3g、并取包络我国绝大部分厂址地基条件的设防标准,显著地提高了电厂的可靠性和安全性。

在ACP1000的抗震分析中,采用了目前国际上

先进的抗震分析方法,得到了合理可信的结果。为了使今后我国核电厂的抗震设计更加科学合理,现提出如下3点建议。

1) 建议地震安全性评价部门研究适合我国大部分地区厂址的中国标准反应谱,以在保证地震安全的前提下做到设计的经济合理。为了对核电厂的抗震安全有一个科学的认识,核电厂的地震概率风险分析(SPRA)和抗震裕度分析(SMA)的工作势在必行,也使得具有置信度含义的适合我国大部分地区厂址的中国标准反应谱显得尤为重要。

2) 建议今后我国新设计的核电厂尽可能采用三维有限元结构模型进行抗震分析,以更好地满足不断提高的抗震设计标准要求。

3) 在厂址基岩剪切波速足够大可以采用固定端边界时,应注意 rayleigh 阻尼的合理取值以减小由此带来的结果误差,或可直接采用土结相互作用的分析方法。

参考文献

- [1] 克拉夫 R, 彭津 J. 结构动力学[M]. 王光远译. 第二版. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [2] Ghiocei Predict Technologies Inc. ACS SASSI mainus' s guide (version 2.2, 2006)[CP]. 2006.
- [3] 国家核安全局. HAD101/01 核电厂厂址选择中地震问题[S]. 1994.
- [4] 国家核安全局. HAD102/02 核电厂的抗震设计与鉴定[S]. 1996.
- [5] American Society of Civil Engineers. ASCE 4-98 seismic analysis safety - related nuclear structures: Standard and commentary [S]. 1998.

Optimize the design input and analysis methods to improve the seismic safety of nuclear power plants

Zhang Chaoqi, Yang Jianhua

(China Nuclear Power Engineering Co., LTD., Beijing 100840, China)

[Abstract] The competence of resisting nature extreme disaster is widely concerned after Fukushima nuclear incident in Japan. Many countries carry through investigation actively. The seismic is one of primary threats for nuclear power plant safety. Therefore the seismic ability of nuclear power plants becomes the investigative emphasis. The floor response spectra is the input of the seismic design for nuclear plant systems, structures and components, and the important part of the seismic design, which is holding the balance in nuclear plant seis-

mic safety. In this paper we use the third generation nuclear power plant example that is ACP1000 normal design excogitated by the China Nuclear Power Engineering Co., LTD. themselves to expatiate the reasonable seismic input and the advanced analysis method for China. Through introducing the input, the analysis process and the method about the ACP1000 floor response spectra are calculated. Then it has significant effect for improving the nuclear power plant seismic design and seismic safety.

[Key words] nuclear power plant; ACP1000; seismic analysis; floor response spectra; 3D finite element model; SSI

(上接 82 页)

special problem considered; b. the controlling effects of the computed results from the probabilistic method and deterministic method on the determination of site specific design ground motion are affected by the seismicity in the study area; c. in the weaker seismicity areas, site specific design ground motion parameters are mostly controlled by the computed results from the deterministic method, especially from the approach of diffuse earthquake, but in relatively strong seismicity areas, site specific design ground motion parameters are more likely controlled by the computed results from the probabilistic method.

[Key words] nuclear power plant; design ground motion; deterministic method; probabilistic method; ground motion attenuation relation; diffuse earthquake; uncertainty