

# 地震安全性评价中的多方案比较工作方法

刘建达 黄永林

(江苏省地震工程研究院, 南京中山门外卫岗3号, 南京 210014)

**摘要** 在对秦山核电二期工程建设项目地震动参数的复核中采用了多方案比较方法。由于新增的地震地质资料不会改变原报告对地震地质研究的结论, 近十多年地震的活动对工作区地震背景的影响没有发生根本变化。在分析研究本地区具有代表性的不同潜在震源区的划分方案后, 采用相对应的地震动参数衰减关系进行地震危险性概率分析计算, 与确定性方法计算结果比较后确定秦山核电二期扩建工程厂址极限安全地震动 SL-2 复核结果为 0.15g。本次复核工作的技术路线可以为相似类型的重大工程地震参数复核参考。

**关键词:** 核电厂 地震安全性评价

## 引言

地震危险性的概率分析方法是目前国际上广泛采用的地震安全性评定方法。我国的地震区划和工程场地地震安全性评价工作中也广泛使用概率法。

概率法由 Cornell 在 1968 年完成, 其主要步骤是在地震地质研究的基础上划分工程场地附近的潜在震源区、确定它们的地震活动模型、统计得到符合本地区的地震动衰减关系, 采用概率法进行场地地震危险的概率计算。这一方法从概率的观点出发, 给出了不同震级(烈度或地震动)的地震发生的可能性, 给出了工程场址在一定年限内不同概率水平的地震动参数。

受震源机制、地震波传播途径和局部场地条件等许多因素的影响, 用概率法进行地震安全性评价的每个环节上都存在不确定性, 在计算时需要进行不确定性校正以消除这些不确定性的影响。降低不确定性的影响是改进概率法的重要内容之一。

地震安全性评价结果不确定性的主要来源之一是不同专家对工程场地附近地震地质条件、地震活动性模型资料和地震动衰减关系等方面的认识差异。尽管计算过程中的不确定性校正可以部分消除这部分的不确定性, 但这种认识差异通过多方案比较来消除更加合理和有效。在中国地震动参数区划图(GB18036-2001)的编制中就有采用多方案比较方案的工作方法。

秦山核电工程是我国首批开工建设的核电工程之一。1984年, 江苏省地震局承担了该项工程的地震危险性分析工作。这是我国最早的采用地震危险性分析方法进行重大工程项目地震安全性评价的工程之一。1990年前后, 秦山核电的二期工程开始建设, 原江苏省地震局地

[收稿日期] 2006-01-09

[作者简介] 刘建达, 男, 生于 1963 年。1984 年毕业于成都地质学院应用地球物理专业, 高级工程师。主要从事地震工程、地球物理探测与工程质量检测的技术研究与开发工作。E-mail: jd-liu@163.com

震工程研究所和国家地震局地质研究所联合承担了本项工程的地震地质与工程地震专题研究,确定了本项目设计地震动参数,编制了《秦山核电二期三期工程地震地质与工程地震研究报告》(以下简称为《90报告》)。2004年,秦山核电二期工程的建设进入了设计的最后阶段。有关管理部门要求依据现有的法律和规范要求,采用最新的地震活动资料和最新的地震安全性评价成果、地震背景变化等资料,依据《工程场地地震安全性评价技术规范》(GB17741-1999)、《核电厂抗震设计规范》(GB50267-97)和《核电厂厂址选择中的地震问题》[HAF0101(1)]等对《90报告》的研究结果进行复核。复核不仅应当采用最新的研究资料和方法以得到符合目前研究水平的地震安全性评价结论,在表达地震危险性分析结论时还要考虑与相关结果的协调。为此,我们采用多方案比较方法来研究不同专家对工程场地附近的地震地质条件、地震活动性模型资料和地震动衰减关系等方面的认识差异对分析结果带来的不确定性的影响,最大限度综合不同专家对本地区地震危险性的研究成果。多方案比较工作方法在具体工程中是不常用的,本文的工作可供在研究程度较高,不同专家意见有一定差异的时候参考使用。

## 1 场址附近不同潜在震源划分方案比较

1990年以来,区域范围内有大量建设工程开展了地震安全性评价工作,对许多重要的隐伏断裂进行了勘探。最重要的有长江口海域和河谷构造的隐伏断裂探测,上海及宁波地区隐伏断裂探测,南黄海邻近陆域隐伏断裂探测等。通过对区域和近区域地震地质背景的研究,肖山-球川断裂、江山-绍兴断裂和余姚-宁波断裂等从近区域通过的区域性断裂的活动性结论没有发生变化;近区域的几条断裂及活动性评价增加了新的资料,但离场址较长的长河盆地北缘断裂( $f_2$ )和嘉善-壹山断裂( $f_7$ )等新发现的几条断裂都不是活断层,它都没有在第四纪晚期活动的证据。因此,近区域新发现的断裂不会影响原有不同研究报告中对近区域地震地质条件评价和潜在震源区划分的结果。

通过收集补充新的地震资料,特别是1989年以来的地震资料,吸收本区域完成的其它工程场地地震安全性评价工作成果,对区域和近区域地震活动性进行补充分析研究。校核后的地震目录中,增补了1989年以来的2次破坏性地震。它们是1990年2月10日江苏常熟-太仓间5.1级地震和1996年11月9日长江口以东海域6.1级地震。校核结果表明,1990年以来十几年内发生的地震不会改变长江中下游-南黄海地震带以及工作区地震活动的时、空分布特征等地震活动性特点,也不会影响原有不同研究报告中对潜在震源区划分的结果。这就意味着可以直接比较已有的潜在震源区的划分方案。

潜在震源区的划分是地震危险性分析结果不确定性的主要来源。工程场址地震危险性分析的结果受几个贡献值较大的潜在震源区参数控制。据《90报告》,对场址地震动参数SL-2的贡献全部来自杭州潜在震源区。复核中潜在震源区划分的比较重点是杭州潜在震源区的划分方案。

杭州湾地区最近几年正在进行大规模建设。在秦山核电二期扩建工程附近的杭州湾大桥、上海国际航运中心洋山港工程等重要建设项目进行的地震安全性评价中都有杭州潜在震源区划分的研究。在中国地震动参数区划图工作中也对杭州潜在震源区划分做了工作。这些工作是由不同单位完成的,代表了不同研究单位的观点,但对杭州潜在震源区的划法并不一致,且选取的参数也不相同。本次工作中分析比较了我国主要研究单位不同潜在震源区划分

方案中杭州潜在震源区的差异。

### (1) 方案一

方案一是江苏省地震工程研究院在近十年来的地震安全性评价工作中,根据本单位对本地区地震地质、地震活动性以及地球物理场研究结果,对本地区的潜在震源区进行了系统的划分,形成的一套适合于本地区的潜在震源区方案。图 1 中杭州潜在震源区的划分结果曾在杭州三门核电站地震安全性评价中使用过。三门核电站地震安全性评价工作是由中国地震局地质研究所和江苏省地震局于 1994 年联合完成的,其潜在震源区划分方案代表了这两个单位专家的观点。

在三门核电站工程潜在震源区划分方案中,松江潜在震源区与东北方向的杭州潜在震源区和长江口潜在震源区组成一条 NE 向潜在震源带。在杭州潜在震源区内有 NE 向肖山 - 球川断裂和乌镇 - 马金断裂(中段)等通过,在肖山附近有一个多条断裂交叉点。在肖山 - 球川断裂上取断层泥测龄,ESR 年龄为 22.9 万年左右。杭州附近是 NW 向大别山北麓 - 杭州湾南岸地貌断阶带通过处,新构造差异运动显著,重力上反映为重力梯级带。历史上曾发生 929 年杭州 5 级地震、1856 年富阳 4 $\frac{3}{4}$ 级地震、1867 年海宁 4 $\frac{3}{4}$ 级地震和 1678 年海盐 4 $\frac{3}{4}$ 级地震。

本方案的杭州和松江潜在震源区已经包含了本地区的活动断裂和可能发生地震的地点。1678 年海盐 4 $\frac{3}{4}$ 级地震距杭州潜在震源区边界稍近,但仍然包括一定的安全距离。

### (2) 方案二

方案二是一个二级潜在震源区划分方案。2002 年由浙江省工程地震研究所、中国地震局地球物理研究所和江苏省地震工程研究院联合完成的杭州湾大桥工程地震安全性评价(设计地震动参数)工作,其潜在震源区划分方案的基础是地球物理研究所的高震级段和低震级段二级潜在震源区边界划分方案。秦山核电二期工程厂址所在的长江下游 - 南黄海地震带,高震级段包括上限 7.0 和 6.5 两个震级段,低震级段包括上限 6.0 和 5.5 两个震级段。厂址附近为低震级段的杭州 - 上海潜在震源区组,该组潜在震源区的主要发震构造为肖山 - 球川断裂带。根据该区地震发生的地震地质条件,在该断裂带附近划出一个震级上限为 6 级的潜在震源区,其南北边界间距离由西南往东北沿肖山 - 球川断裂带逐步加宽。秦山核电二期工程厂址就在此震源区内的南侧边界附近。

### (3) 方案三

方案三是一个综合方案。在编制地震区划图的过程中,不同单位提出了不同的潜在震源区方案。本方案是根据不同单位的方案综合形成的一个潜在震源区划分综合方案。在秦山核电二期扩建工程厂址附近,杭州潜在震源区、松江潜在震源区和长江口潜在震源区组成一条 NE 向潜在震源带上,松江潜在震源区和杭州潜在震源区是分开的两个潜在震源区,但它们的南北边界是连续的。秦山核电二期扩建工程厂址在杭州潜在震源区内南侧。

因为方案三是用于编制地震区划图的,计算时使用考虑近震饱和的衰减公式,计算结果主要是提供给普通的工业与民用建筑使用,可供核电站地震安全性评价进行参考。

### (4) 方案四

方案四是江苏省地震局提出的用于编制江苏及邻近地区地震区划图的潜在震源区划分方案。这个方案中松江潜在震源区和杭州潜在震源区的边界与方案一相同。

比较上述几个潜在震源区划分方案可知,对厂址影响最大的杭州潜在震源区应当完全包含肖山 - 球川断裂带和沿断裂带曾发生过破坏性地震的一定地区范围,即该地区可能发生地

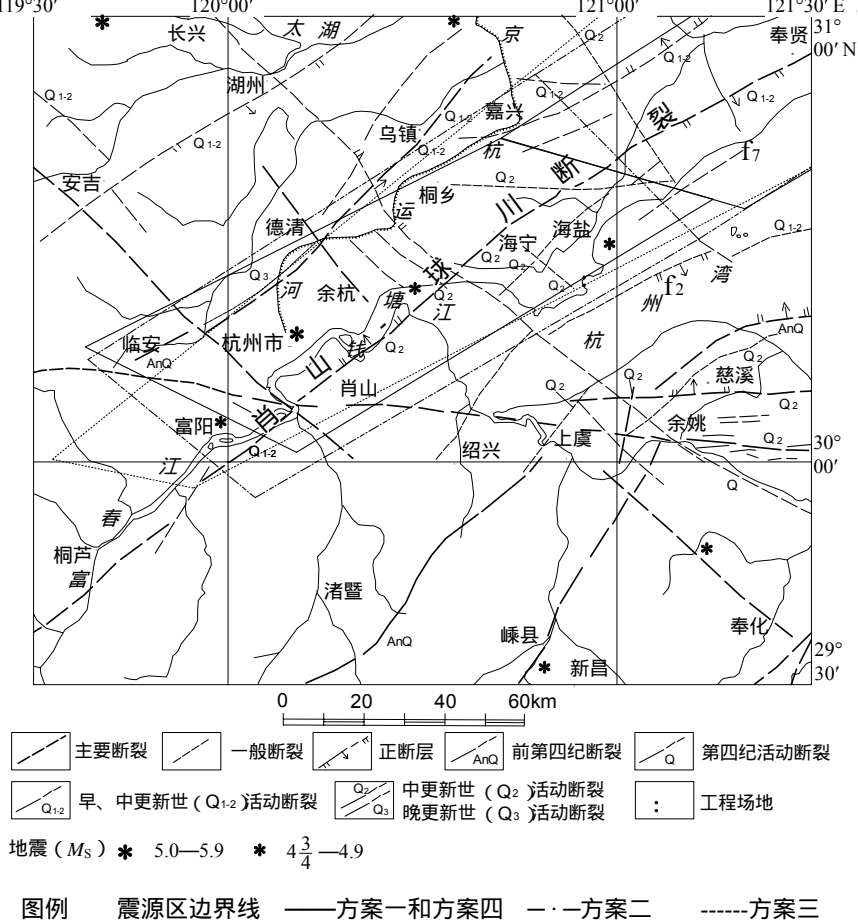


图 1 秦山核电站附近杭州潜在震源区边界与工程厂址的相对位置关系

Fig. 1 The location map of Hangzhou potential seismic source zone and Qingshan Nuclear Power Plant site

## 2 本地区不同地震动参数衰减关系比较研究

地震动衰减公式是地震危险性评价的重要公式，与本地区的地震动传播特征有关。在本地区的地震安全性评价工作中，不同单位使用了不同的地震动衰减公式。应当对这些公式的差别进行比较，确定它们对地震安全性复核结果的影响。

本次复核中比较研究了本地区以下 3 个有代表性的地震加速度衰减公式。

### (1) 江苏省地震局公式

在《90 报告》中使用的地震动衰减公式是点圆形公式，如式 (1) 所示：

$$\ln A = 2.3872 + 1.5648M - 1.9505 \ln(R + 10) \quad (1)$$

由于当时本地区可供统计的强震记录十分缺乏，本公式统计的数据基础主要是 1976 年唐山 7.8 级地震中的 28 条基岩水平向加速度记录。本公式在当时曾应用于本地区的许多重要工程，如苏南核电站、华东浙江三门核电站（预可行性研究）等。随着地震记录资料的增多和

研究的深入，公式（1）得到了进一步的修正。

由于本地区有较厚的覆盖层，缺乏由仪器观测得到的基岩强震记录，难以直接统计得到本地区的基岩地震动衰减关系。采用胡聿贤提出的缺乏地震动加速度记录的映射法（胡聿贤等，1984），以强震记录较为丰富的美国西部地区作为参考区，经转换确定了本地区的基岩地震动衰减关系式，与《工程场地地震安全性评价技术规范》（GB17741-1999）推荐的方法一致，是当时国内普遍采用的方法。在（GB17741-2005）发布后应当谨慎使用。

自 1990 年以来，本地区又发生了几次较大的地震，可用于统计的地震记录得到了增加。我们最终选取中国东部地区自 1961 年以来的 24 个  $M_{4.1}$  级以上有仪器记录的近代地震和 61 条地震烈度 度以上经现场考察的地震等震线，按等烈度线的长轴方向和短轴方向进行统计，得到适用于本地区的地震烈度衰减关系。采用美国西部 88 个地震的等震线资料，统计得到参考区的地震烈度衰减关系。综合 59 个基岩峰值加速度数据，统计得到参考区基岩地震水平峰值加速度衰减关系。最终转换得到适合中国东部基岩地震动加速度衰减特点的衰减公式：

$$\begin{aligned} \ln Aa &= 6.592 + 0.679M - 1.598\ln(R+15) \\ \ln Ab &= 6.073 + 0.667M - 1.546\ln(R+10) \end{aligned} \tag{2}$$

在衰减公式（2）中， $A$  为加速度，单位为 gal； $M$  为震级； $R$  为震源距，单位为 km，平均震源深度取为 12km。

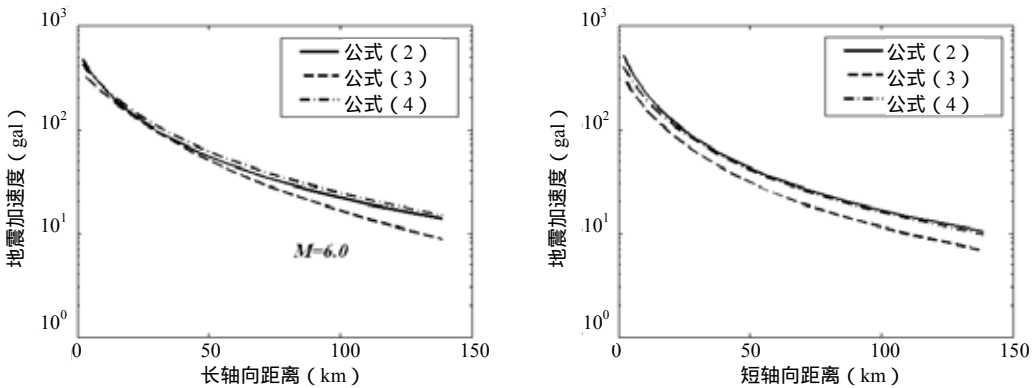


图 2 不同基岩地震动衰减关系曲线比较

Fig. 2 Comparison with different earthquake attenuation relation curves

（2）中国地震局地球物理研究所公式（汪素云等，2000）

本次复核中用于比较研究的中国地震局地球物理研究所地震衰减公式如（3）所示。

$$\begin{aligned} \text{Lg}Aa &= 2.304 + 0.747M - 2.590\text{Lg}(R + 2.789\exp(0.451M)) \\ \text{Lg}Ab &= 1.184 + 0.585M - 1.764\text{Lg}(R + 1.046\exp(0.451M)) \end{aligned} \tag{3}$$

本公式也是采用胡聿贤提出的缺乏地震动加速度记录的映射法得到的基岩地震动衰减关系式，也是中国地震动参数区划图（2001）编图所用的地震动衰减公式之一。本公式采用的资料是我国东经  $105^\circ$  以东的近代有仪器记录的从  $M_{5.0}$  到  $M_{7.9}$  级的 68 个现代地震资料。因此，该公式适用于中国东部地区。这组公式含有与震级相关的衰减项，用于反映高震级地震的近震饱和效应。和江苏省地震局的衰减关系相比，这组公式在近场区高震级地震中衰减较快。在  $M_{6.0}$  级左右，这两组衰减关系还是相当接近的（图 2）。由于控制秦山核电二期工

程厂址地震动参数的是杭州潜在震源区，其震级上限为 6.0 级，这两组公式对本项目的结果影响是相近的。

### (3) 上海市地震局公式 (石树中等, 2003)

上海市地震局公式与中国地震局地球物理研究所公式有相同的表达形式，采用的统计方法也是胡聿贤提出的缺乏地震动加速度记录的映射法由美国西部数据得到的。由于基础资料来自同一地区，得到的本地区基岩地震动衰减关系式形态也基本相似 (公式 (4))。

$$\begin{aligned} \text{Lg}Aa &= 1.7662 + 0.5536M - 1.7738\text{Lg}(R + 1.842\exp(0.418M)) \\ \text{Lg}Ab &= 1.3067 + 0.5402M - 1.6297\text{Lg}(R + 0.844\exp(0.465M)) \end{aligned} \quad (4)$$

对比衰减关系曲线可见，江苏省地震局的地震动衰减曲线在长轴向基本在上海市地震局公式与中国地震局地球物理研究所公式的衰减曲线之间。由于江苏省地震局公式没有表达近场特点的指数衰减项，在长轴向，当距离小于 8km 时，衰减速度是 3 个公式中最慢的；在短轴向，江苏省地震局公式的地震动衰减曲线位于上海市地震局和中国地震局地球物理研究所衰减曲线之上。

由于影响场地的主要是中等地震，且场地不在潜在震源区内，在当时的工作中，3 个不同的衰减关系用于不同的计算方案是适宜的。

## 3 地震危险性分析结果复核

为了吸收不同研究单位对本地区最新的地震安全性评价研究成果，地震危险性复核计算采用多方案进行。分别采用不同研究单位在本地的计算方案，用概率法对秦山核电二期扩建工程厂址的地震危险性进行复核计算，在对结果进行分析比较的基础上，最终取平均值确定场址的地震动工程参数 SL-2。

表 1 列出了 4 个代表性计算方案的年超越概率  $10E^{-4}$  的基岩地震加速度结果。不同方案采用与方案对应的地震动衰减公式，取 4 个方案计算结果的平均值作为秦山核电二期扩建工程厂址概率法复核计算结果，即年超越概率  $10E^{-4}$  的基岩地震加速度为 149gal。

表 1 不同方案计算结果的比较

Table 1 Comparison of results derivated from different methods

潜在震源区划分方案	衰减关系	地震加速度 ( $P_1 = 0.0001$ ) (单位: gal)
方案一	公式 (2)	143
方案二	公式 (4)	143
方案三	公式 (4)	158
方案四	公式 (2)	150
平均结果		149

## 4 地震构造法的多方案比较

根据《核电厂厂址选择中的地震问题》[HAF0101 (1)]的规定，地震构造法首先要划分地震构造区并确定其最大弥散地震，还要确定发震构造和其相关的最大潜在地震，在此基础上计算得到核电厂厂址基岩地震动加速度。地震构造法也是采用多方案比较的方法进行的。

在区域范围内共划分出了 8 个地震构造区，秦山核电二期扩建工程厂址在长江三角洲的

杭嘉湖地震构造区。各地震构造区名称、断裂最新活动时代、最大历史地震震级、最大弥散地震及到场址的距离等参数见表 2。评价地震构造区及邻近地震构造区最大弥散地震的主要依据有 4 点：(1) 与发震构造无关的最大地震；(2) 考虑历史地震记录和地震整体记录；(3) 研究程度的详略；(4) 以往地震危险性分析中对华东地区本底地震的认识。

表 2 地震构造区划分简表

Table 2 Seismotectonic zonation of the study area

地震构造区名称	新构造分区	断裂最新活动时代	最大历史地震	地震区带	最大弥散地震 (M)	最近距离 (km)
杭嘉湖地震构造区( ) (厂址所在地震构造区)	杭嘉湖平原沉降区( 2) 浙北低山隆起区( 2)	Q <sub>3</sub>	5	长江中下游—南黄海地震带	5.0	0
长江口地震构造区( )	长江下游平原沉降区( )	Q <sub>3</sub>	5.1	长江中下游—南黄海地震带	5.5	34
茅山地震构造区( )	杭嘉湖平原沉降区( 2)	Q <sub>3-4</sub>	6.0	长江中下游—南黄海地震带	5.5	150
浙皖地震构造区( )	浙-苏-皖中低山隆起区( 2)	Q <sub>1-2</sub>	5½	雪峰—武夷地震带	5.5	103
浙东南地震构造区( )	浙-闽中低山隆起区( )	Q <sub>1-2</sub>	< 4¾	雪峰—武夷地震带	5.0	57
舟山地震构造区( )	浙江沿海低山隆起区( 1)	Q <sub>3</sub>	4¾	长江中下游—南黄海地震带	5.0	87
东南南部盆地地震构造区( )	东海北部拗陷沉降区(I <sub>2</sub> )	Q <sub>2</sub>	5¾		6.0	190
南黄海地震构造区( )	南黄海南部拗陷沉降区(I <sub>1</sub> )	Q	7.0	长江中下游—南黄海地震带	6.5	150

在本工程研究区域内的发震构造主要表现为两种构造形式，一种是晚更新世以来有明显活动的断裂构造，即地震活动断层；另一种是特定的活动构造，即崇明东凹陷活动构造带，1996 年曾发生 6.1 级地震。研究确定的本区域内有关发震构造，其名称、代号、性质、最新活动时代、最大潜在地震等见表 3。

表 3 区域发震构造特征及最大潜在地震

Table 3 The characters of the active faults and belts and their maximum potential earthquake

发震构造名称及代号		规模 (km)	断层性质	最新活动时代	最大历史地震震级	最大潜在地震	离厂址最近距离(km)	
地震活动断层	茅山断裂中段	50	正断裂	Q <sub>3-4</sub>	6.0	6.5	198	
	乌镇-马金断裂中段	28	逆断裂	Q <sub>3</sub>	5	6.0	67	
	镇海-温州断裂	镇海-东钱湖段	27	正断裂	Q <sub>3</sub>	4¾	6.5	93
		岱山-定海段	≥35	正断裂	Q <sub>3</sub>	< 4¾	6.5	117
	昆山-嘉定断裂千灯段	30	正断裂	Q <sub>3</sub>	5	6.0	87	
	幕府山-焦山断裂带东段	30	正断裂	Q <sub>3</sub>	5½	6.0	241	
活动构造带	崇明东凹陷活动构造带	80×40		Q	6¾	7.0	177	

根据各地震构造区的最大弥散地震(表 4)和各发震构造的最大潜在地震(表 5)，应用适合本区域的地震动衰减公式，计算它们对厂址的影响。根据优势面控制的原理(黄永林，1994)表中列出的是相同震级最近距离的控制性参数。计算时所用的地震动衰减公式分别是：公式(1)，江苏省地震局 1990 年秦山二期三期工程用的地震动衰减公式；公式(2)，江苏省地震工程研究院近几年研究的新地震动衰减公式；公式(3)，中国地震局地球物理研究所在

中国地震动参数区划图(2001年)研究中采用的地震动衰减公式;公式(4),上海市地震局的地震动衰减公式。

由发震构造最大潜在地震得到的基岩最大水平向峰值加速度为 37.8gal;由地震构造区最大弥散地震得到的基岩最大水平向峰值加速度为 112.2gal。从表 4 和表 5 的计算值,可以得出本工程厂址地震构造法确定的基岩最大水平向峰值加速度为 112.2gal,即 0.112g。

表 4 各地震构造区最大弥散地震对秦山核电二期扩建工程厂址影响的计算结果

Table 4 Maximum ground acceleration resulted by maximum dispersion earthquakes

地震构造区 名称及代号	最大弥散 地震( $M_s$ )	距厂址最近 距离(km)	最大潜在 地震( $M_s$ )	基岩最大加速度(gal)				SL-2 (gal)
				方案 1	方案 2	方案 3	方案 4	
杭嘉湖( )	5.0	0	6.5	65.5	112.2	85.1	104.9	112.2
长江口( )	5.5	34	6.0	33.9	56.9	44.0	56.3	
浙东南( )	5.0	57	6.0	7.2	22.8	11.1	23.8	

表 5 发震构造的最大潜在地震对秦山核电二期扩建工程厂址影响的计算结果

Table 5 Maximum ground acceleration resulted by maximum potential earthquakes

发震构造名称及代号		最大潜在 地震( $M_s$ )	离厂址最 近距离 (km)	基岩最大加速度(gal)				SL-2 (gal)
				公式(1)	公式(2)	公式(3)	公式(4)	
地震活 动断层	乌镇-马金山断裂中段	6.0	67	26.5	36.7	31.7	37.8	37.8
	镇海-温州断裂中的镇海-东钱湖段	6.5	93	33.2	33.5	35.7	35.1	
活动构造带	崇明东凹陷活动构造带	7.0	177	22.9	18.9	22.6	20.8	

综合概率法和构造法复核计算结果,场地的年超越概率  $10E^{-4}$  的基岩地震加速度取为 149gal。归档后为 0.15g。

## 5 结语

在分析研究了本地区具有代表性的不同潜在震源区的划分方案基础上,采用 4 个不同的潜在震源区划分方案和对应的地震动参数衰减关系进行地震危险性概率分析计算,取 4 个方案计算结果的平均值作为概率分析的结果,即秦山核电二期扩建工程厂址概率法计算的年超越概率  $10E^{-4}$  的基岩地震动水平向峰值加速度为 149gal。确定论法复核结果得到的最大加速度为 112.2gal。根据《核电厂厂址选择中的地震问题》[HAFOI01(1)]的规定,取两者的最大值作为 SL-2。因此,秦山核电二期扩建工程厂址极限安全地震动 SL-2 值复核结果为 0.15g。这与《秦山核电二期三期工程地震地质及工程地震研究报告》(1990 年)中结论一致。

虽然复核结果与原结论相同,但本结论是综合比较不同计算方案后得到的,结论更可靠,也统一了不同专家的意见。对建设中或使用中的工程进行地震动复核时,多方案比较分析方法可以较好地综合不同专家的意见与研究结果。这为今后类似重大工程的地震动参数复核提供了可以借鉴的工作方法。



## 参考文献

- 胡聿贤, 张敏政, 1984. 缺乏强震观测资料地区地震动参数的估算方法. 地震工程与工程振动, 4 (1): 1—11.
- 李起彤, 毛正毅, 1986. 江山—绍兴断裂带在杭州湾延伸的探讨. 地质科学, 21 (3): 211—216.
- 上海市地震局, 1992. 上海地区地震危险性分析基本烈度复核. 北京: 地震出版社, 74-76.
- 石树中、沈建文, 2003. 上海及邻近地区地震动衰减规律研究. 中国地震, 19 (4): 315-323.
- 汪素云, 俞言祥等, 2000. 中国分区地震动衰减关系的确定. 中国地震, 16 (2): 99-106.
- 中国地震局震害防御司, 1995. 《中国历史强震目录》(公元前 23 世纪—公元 1911 年). 北京: 地震出版社.

# Method of Multiple Plan Comparison in Seismic Safety Evaluation

Liu Jianda and Huang Yonglin

(Earthquake Engineering Institute of Jiangsu Province, Nanjing, 210014)

**Abstract** A multiple schedules comparison method is applied for seismic safety evaluation in Qinshan Nuclear Power Plant construction in the second period. The previous conclusions on the seismo-geological and seismic activity in the report of seismic safety evaluation for Qinshan Nuclear Power Plant is confirmed by new data. The average depth of the earthquake occurred in recent 10 years is about 12.1km in the region, which is slightly different from 15km in whole China. The safety limit ground motion (SL-2) is 0.15g, which is resulted from several calculation plans and agrees with the existed result. The method presented in this paper may be applied for the seismic safety evaluation work of the similar engineer constructions.

**Key words:** Nuclear Power Plant; Seismic safety evaluation