

解读发震构造含义与判定原则

安艳芬 韩竹军

(中国地震局地质研究所, 北京 100029)

摘要 通过对《核电厂厂址选择中的地震问题》(HAF0101(1))有关条款的详细剖析,发震构造包括两个方面的含义:一是曾经是地震震源的地质构造;二是未来可能发生破坏性地震的地质构造。地震重演原则和构造类比原则是判定发震构造的两条基本依据,但在实际工作中构造类比原则的应用往往存在较大难度,对中强地震发震构造的判定尤其如此。文中提出:对中强地震构造带地貌差异性和第四纪地层分布特征的研究有可能提供识别发生中强地震地质构造的标志。

关键词: 发震构造 地震重演原则 构造类比原则

引言

随着中国经济的快速发展,对电力的需求与日俱增。核电是一种安全、清洁、经济的能源,因而核电厂选址和建设也呈现出令人鼓舞的发展前景(戴联筠,2000)。核电厂以核燃料为动力,在反应堆内通过放射线物质的裂变产生大量的核能,使水变成蒸汽,推动气轮发电机旋转发电。核燃料具有放射性,一旦发生核泄漏,后果不堪设想。因此,核电厂对地震安全性要求很高,在厂址初步可行性和可行性研究阶段,都要做详细的地震安全性评价工作。其中一项重要的工作内容是科学合理地确定极限安全设计基准地震动参数 SL-2。

核电厂厂址的地震安全性评价不仅涉及到核电厂建设和运行中十分重要的核安全问题,而且也直接关系到核电厂建设的投资规模。根据国际上的经验估计,如果核电厂厂址的抗震设计基准水平峰值加速度由 0.1g 提高到 0.2g,抗震费用的增加约占工程总投资的 1%—2%;如果由 0.1g 提高到 0.3g,抗震费用的增加约占工程总投资的 3%—4%(田胜清,2003)。由此可见,地震安全性评价结果(SL-2 高值)对工程造价的影响很大,过于保守地进行 SL-2 参数的估计将加大不必要的工程投资规模。

按照《核电厂厂址选择中的地震问题》(HAF0101(1))(国家核安全局,国家地震局,1994)中 5.1.1 条的规定,设计基准地面运动参数的确定必须以区域地震构造模型为基础。区域地震构造模型是由“发震构造”和“弥散地震活动”两个要素构成的(鄢家全等,2006),因此,发震构造和与之相关的最大潜在地震的确定是核电厂地震安全性评价中一项非常重要

[收稿日期] 2006-06-26

[作者简介] 安艳芬,女,生于1980年。2004年毕业于吉林大学地球科学学院,获学士学位。现就读于中国地震局地质研究所,攻读博士学位,构造地质学专业。E-mail: anyf_04@163.com

的工作(张裕明等, 2006)。但在近年来核电厂地震安全性评价实践中, 对发震构造概念的理解时常引起争议。这一方面是发震构造的重要性决定了该问题必然引起各方专家的重视; 另一方面也与一些基本层面的问题不很清楚有关。本文将主要围绕发震构造的含义以及如何判定发震构造进行初步探讨。

1 发震构造的基本概念

根据 HAF0101 (1) (国家核安全局, 国家地震局, 1994), 发震构造是指“显示地震活动性的、或有历史地表破裂的、或古地震活动性影响的, 在现代构造条件下曾是地震震源的构造。在关心的时期内很可能发生显震的构造考虑为发震构造。”

由于该段文字是从国际原子能委员会相关的安全导则中直译过来的(International Atomic Energy Agency, 1991), 因而简单地从字面上很容易引起不同的理解。例如, 有些专家根据该定义的前一句, 强调发震构造曾是地震震源的构造, 即曾经发生过破坏性地震的构造; 或者是小震密集条带(显示地震活动性)。而对于尚未发生过破坏性地震, 小震活动也较稀疏, 也未发现古地震遗迹, 但根据区域破坏性地震标志经过构造类比, 表明其与已知发震构造具有相类似的地质构造, 则不应作为发震构造。简而言之, 构造类比原则与现行的核安全导则中发震构造相悖。一些专家、尤其是地震部门的专家普遍认为: 构造类比原则是确定发震构造的一条基本依据(卢寿德主编, 2006)。

为了对 HAF0101 (1) (国家核安全局, 国家地震局, 1994) 有关发震构造的定义有比较准确的理解, 现把国际原子能委员会英文原文摘录如下: “Seismogenic Structure: Structures that display earthquake activity, or that manifest historical surface rupture, or effects of palaeoseismicity. Seismogenic structures are those considered likely to generate Macroearthquake with a period of concern.” 从这段英文原文可以看出: 发震构造是由两个独立的语句组成的, 相应地包括了两个方面的含义: 一是曾经是地震震源的地质构造; 二是未来可能发生破坏性地震的地质构造。如何确定发震构造呢? 判定曾经是地震震源的地质构造比较容易, 但如何确定未来可能发生破坏性地震的地质构造却存在较大的困难。因而, 在发震构造的定义中, 第一层意义解释得比较清楚; 第二层意义比较隐晦, 更多的内容放在 HAF0101 (1) (国家核安全局, 国家地震局, 1994) 中“4.2 发震构造的鉴定”, 其中用较大篇幅论述了如何通过构造类比的方法确定未来可能发生破坏性地震的地质构造。如: 4.2.5 条和 4.2.6 条论述了研究破坏性地震发生的构造标志; 4.2.8 条中谈到“按照形成时代、运行方向和运动历史详细比较这种特征和区域内的其它特征是必不可少的。然后, 则应考虑与地震活动性有可靠联系的地质特征为发震构造。”该条款明确指出: 可以“从(地质构造)形成时代、滑动方向和活动历史等方面, 在区域范围内确定与已知发震构造相类似的地质构造, 应判定为发震构造。”

2 实例分析

强震原地复发的特征已经为国内外大量的实际资料所证实, 如土耳其北安托尼亚断裂带、美国圣安德烈斯断裂带以及我国的鲜水河断裂带等地表破裂带分布、古地震资料 and 现代地震活动都表明它们是强震重复发生的地震构造带(韩竹军等, 2000; Sieh et al., 1989; 唐荣昌等, 1993)。不仅如此, 根据我国丰富的历史地震记录资料 and 现代地震目录, 也可以看出中强地震也具有原地复发的特征。如江苏溧阳茅山一带有历史记载以来先后发生过: 1679 年

5¼级地震、1839年4¾级地震、1974年5.5级地震和1979年6级地震；湖南常德太阳山一带发生过：1516年5级地震、1631年6¾级地震、1843年4¾级地震和1906年5级地震。破坏性地震重演的原则是确定发震构造的一条基本原则（卢寿德主编，2006）。

如果仅仅根据破坏性地震重演的原则，即曾经是地震震源的地质构造才能确定为发震构造，那将有可能导致低估地震危险性的结果。例如，1976年唐山M7.8级地震发生之前，在唐山震区及其邻近地区，历史上没有破坏性地震的记载，地表也未见明确的古地震遗迹，小震活动也较平静，也正是在这样一个地区却发生了M7.8级地震（国家地震局《一九七六年唐山地震》编写组，1982）。从地质构造特征来看，在唐山发生如此强烈的地震也是可以理解的。第一，该地区位于北西西向张家口—渤海地震构造带上，该地震构造带历史上和现代发生过多次 $M \geq 7$ 级的大震；第二，唐山地区位于北西西向构造与北东向构造（唐山—河间—磁县地震构造带）相互交汇的地段。这种构造特征与同样发生在张家口—渤海地震构造上的1679年三河—平谷M8级地震具有类似的地质构造背景。在三河—平谷地区，存在北西西向构造和北东向构造（夏垫断裂）相互交汇的地质构造特征。

在我国地壳运动相对较稳定的长江中下游一带，对中强地震发震构造的判定也不能仅仅依据地震重演的原则。如2005年11月26日发生在瑞昌盆地中的瑞昌M5.7级地震，该盆地历史上没有破坏性地震的记载，现今的地震仪器记录资料也未能勾画出明显的小震密集带。按照曾经是地震震源或者显示出明显的地震活动性特征等判定发震构造的依据，则很难将瑞昌盆地一带划分为发震构造。

对瑞昌盆地邻近地区的地质构造研究表明：在该盆地西南边还分布着范镇盆地、武宁盆地、铜鼓盆地等一组北北东向盆地，它们除了在几何学特征上具有一定的类似性外，在沉积建造和演化历史上也具有相同的特征。这些盆地内最老的沉积为早第三纪紫红色砂岩；晚第三纪被剥蚀夷平，区内缺失上第三系的地层，未见任何堆积；第四纪以来又表现出一定的继承性活动，但规模较小，差异性活动幅度不大。在2005年11月26日瑞昌地震发生之前，2005年在范镇盆地发生过M4.9级地震，319年在武宁盆地南侧的罗溪发生过M5½级地震，1888年在铜鼓盆地发生过M5¼级地震。根据构造类比的原则，沿着瑞昌盆地同样存在发生中强地震的构造条件。2005年瑞昌M5.7级地震的发生从一个角度证实了构造类比的合理性，同时也说明仅仅依据曾经是地震震源的地质构造才能确定为发震构造，将有可能低估地震危险性。因此，在核工程地震安全性评价中需要合理地运用构造类比的原则来确定发震构造。

根据构造类比原则判定的发震构造也可称为“预测的发震构造”（卢寿德主编，2006），其判定的难度很高，尤其是中强地震发震构造的判定更是一件挑战性很强的工作。其中，重要的原因在于对中强地震发生的构造标志的认识还不很深入。因此，对中强地震构造带发震构造条件，尤其是对新构造活动特征的重点解剖，提出中强地震发震构造的识别依据及其最大潜在地震的评价方法将是我们今后需要重点解决的关键技术（高孟潭等，2006）。

针对中强地震构造带，许多专家提出：仅仅从断裂的构造表现来研究中强地震的构造标志还是不够的，需要从新构造活动特征等方面来开展工作（周本刚，2006）。这种认识也是基于中强地震构造特征决定的。破坏性地震的发生是断裂活动的结果，但一般只有 $M \geq 6¾$ 级地震的发震构造才有可能在地表产生地震断裂，对于此类地震发震构造的判定可以从活动断裂的构造表现、滑动速率、活动历史等方面进行构造类比。发生中强地震（ $M=5.0-6.5$ ）的发震断裂很难直接出露地表（Serva, 1993），因而一般不能直接在地表观察到中强地震发震断

裂的构造表现。此时,如果仅仅从断裂构造的构造表现入手,则很难进行构造类比。在地壳活动相对稳定的地区,中强地震构造带又是相对活动的构造带,在长期的构造活动中,必然在地形地貌以及第四纪地层留下构造活动的迹象,表现在地形地貌差异性以及第四纪地层不对称分布或掀斜等,通过对这些方面特征的总结分析,将有可能为开展中强地震发震构造的构造类比提供依据。

3 小结与讨论

HAF0101(1)的发震构造同样包括两个方面的含义:一是曾经是地震震源的地质构造;二是未来可能发生破坏性地震的地质构造。通过强震重演原则和构造类比原则可以判定发震构造。在《工程场地地震安全性评价》(GB17741-2005)中,发震构造指“曾发生和可能发生破坏性地震的地质构造”,已经较好地概括了上述两层含义。由于HAF0101(1)中关于发震构造的含义比较隐晦,导致不同的理解,因此有必要做进一步的论述。

如何进行中强地震发震构造条件的类比,是非常具有挑战性的工作。对此,仅仅从断裂构造的研究着手显然不够,需要从地貌差异性、地层分布特征等方面开展进一步的工作,进而提出一些操作性较强的类比依据,科学合理地判定发震构造及其最大潜在地震震级,为核电厂地震安全性评价提供可靠的科学依据。

参考文献

- 戴联筠, 2000. 核电厂工程地质勘测与评价. 电力勘测, 第1期: 8—15.
- 高孟潭, 卢寿德, 2006. 关于下一代地震区划图编制原则与关键技术的初步探讨. 震灾防御技术, 1(1): 1—6.
- 国家地震局《一九七六年唐山地震》编写组, 1982. 一九七六年唐山地震. 北京: 地震出版社.
- 国家核安全局, 国家地震局, 1994. 核电厂厂址选择中的地震问题(HAF0101(1)). 北京: 法制出版社.
- 韩竹军, 张国民, 2000. 伊兹米特地震发生的构造环境分析. 国际地震动态, 第1期: 1—7.
- 卢寿德主编, 2006. GB17741-2005《工程场地地震安全性评价》宣贯教材. 北京: 中国标准出版社.
- 唐荣昌, 韩渭宾主编, 1993. 四川活动断裂与地震. 北京: 地震出版社.
- 田胜清, 2003. 核工程厂址地震安全性评价中的若干问题与对策——我国核电厂厂址安全法规执行中的问题. 核电, 第2期: 17—21.
- 鄢家全, 金严, 张裕明等, 2006. 论概率法与构造法之同源协调性. 国际地震动态, 第3期: 1—4.
- 张裕明, 周本刚, 沈得秀, 2006. 工程场地地震安全性评价中的两个问题的讨论. 震灾防御技术, 1(3): 181—185.
- 周本刚, 沈得秀, 2006. 地震安全性评价中若干地震地质问题讨论. 震灾防御技术, 1(2): 113—120.
- International Atomic Energy Agency, 1991. Earthquakes and associated topics in relation to nuclear power plant siting (A safety guide). Safety Series No. 50-SG-S1 (Rev.1).
- Serva L., 1993. An analysis of the world major regulatory guides for nuclear power plant seismic design. Energia Nucleare, 10(2): 77—96.
- Sieh K.E., Stuiver M. and Brillinger D., 1989. A more precise chronology of earthquakes produced by the San Andreas fault in southern California. J. Geophys. Res., 94: 603—623.

Discussion on the Meaning and Identification of Seismogenic Structure

An Yanfen and Han Zhujun

(Institute of Geology, China Earthquake Administration, Beijing 100029, China)

Abstract According to “Earthquakes and Associated Topics in Relation to Nuclear Power Plant Sitting” (HAF0101(01)), the seismogenic structure is defined with two meanings. One refers to the structure which once has been the source of earthquake and the second means that structure is potential to generate Macro-earthquake in the future. Two principles, i.e. the repeat rule of historical earthquake of seismogenic structure and the similarity rule of seismogenic structure, have been used to identify the seismogenic structure for a long time. However, it often has difficulty in application of the similarity rule of seismogenic structure in practice, especially in identification of the moderate-strong seismic seismogenic structure. This paper suggests that it is helpful to study the difference of the geomorphic features of moderate-strong seismic structure zone and the Quaternary stratigraphy distribution in order to identify the structure which is likely to generate moderate-strong earthquakes.

Key words: Seismogenic structure; The repeat rule of historical earthquake; The similarity rule of seismogenic structure