

# 核电厂地震安全性评价中的断裂构造调查与评价

田胜清

(核工业第二研究设计院, 北京 100840)

**摘要** 本文针对当前工作中存在的问题,对核电厂地震安全性评价工作中断裂构造调查与评价的技术思路、发震构造鉴定、能动断层鉴定与调查、地表断裂影响评价、发震构造与能动断层的关系等方面的问题,从核安全法规的层面进行了分析和讨论,认为对核安全法规的正确认识和理解,是较好地解决当前问题的重要途径。

**关键词:** 核电厂 地震安全性评价 断裂调查与评价 发震构造 能动断层

从1987年以来,关于核电厂厂址的地震调查与安全性评价,国家核安全局和国家地震局先后共同发布了核安全导则HAD101/01《核电厂厂址选择中的地震问题》的0版本和1版本(国家核安全局,1994),并且又经过了近20年的实践,积累了许多宝贵经验,应当说,我国核电厂厂址的地震安全性评价工作,已能比较好地按法规要求进行了。但在现行实践中,还是提出了一些需要讨论的新问题,有些属于对现行法规的理解问题,有些是在现行法规中规定得不够详尽的问题。断裂构造的调查与评价就是其中的主要问题之一。该问题深究起来仍然属于对法规中讲到的程序和要求的问题。例如,有些地震安全评价报告的技术思路不符合核安全导则HAD101/01中规定的程序和要求;在有的地震调查和评价报告中,当鉴定某一断层为能动断层或活动断层时,在计算该断层的地震动加速度影响时,似乎遵循了这样一个公式:“活动断裂=能动断裂=发震断裂”。为了较好地解决核电厂地震调查与安全分析中的问题,还得从进一步理解现行的核安全导则HAD101/01的规定做起。正是因为这样,在这里提出和讨论以下的一些问题,可能是有益的。

## 1 关于断裂构造调查与评价的技术思路

核电厂厂址地震安全性评价中的断裂调查与评价的根本目的有两个:一是鉴定其是否为发震断层,并以其为背景评定厂址地区的设计基准地震动;二是鉴定其是否为能动断层,并评价其可否在厂址地区引起地表断裂影响。为此,核安全导则HAD101/01(国家核安全局,

[收稿日期] 2005-12-15

[作者简介] 田胜清,男,生于1933年。1955年毕业于湖南大学,教授级高级工程师。主要从事核安全、核工程厂址选择、工程地质勘察、地震调查和有关设计的技术管理和研究。地址:北京840信箱,邮编:100840

1994) 明确规定了断裂构造调查与评价的技术思路和程序 (见图 1)。在实际工作中, 应当按规定的思路和程序进行工作。

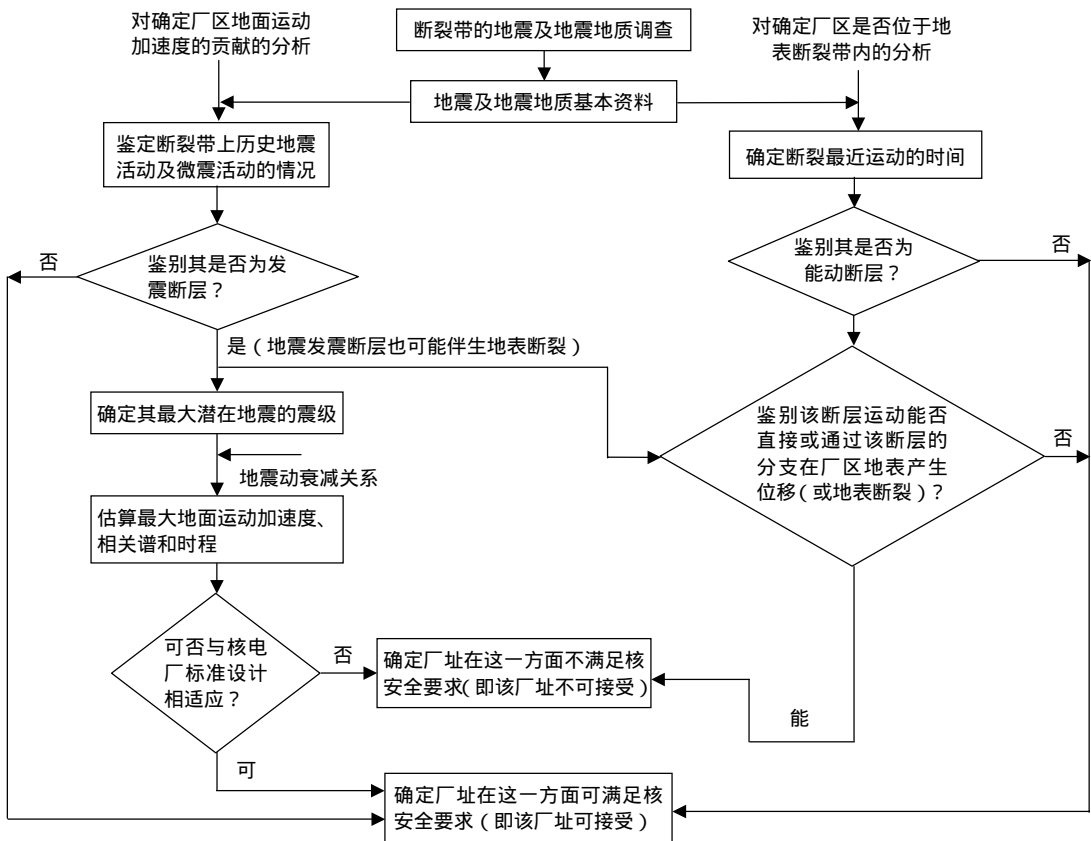


图 1 分析断裂构造对厂址安全影响的程序

Fig. 1 Flowchart of safety evaluation of construction site concerning to active faults

## 2 关于发震构造鉴定

发震构造一词, 在核安全导则 HAD101/01 (国家核安全局, 1994) 中定义为“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。”该定义的主题词是“现代构造条件下曾是地震震源的构造”。“在关心的时期内”是指核电厂寿期内。其他的添枝加叶, 都是多余的。

核安全导则 HAD101/01 (国家核安全局, 1994) 的第 4.2 节, 对发震构造的鉴定一共作了 9 条规定: 第 1、2 两条是讲鉴定发震构造的目的和意义的, 第 3 条是对已鉴定为发震构造的构造, 还应鉴定其是否为能动断层。第 4 条至第 9 条, 规定了发震构造鉴定的准则。其中的第 4.2.4 条是核心内容。该条规定: “以地质、地球物理或地震资料为基础所进行的能够提供直接或间接证据证明在现代构造条件下, 该构造曾是地震震源”者, 应鉴定为发震构造。其他 5 条规定则是第 4.2.4 条的延伸和补充。可见, 在发震构造鉴定时应很好地把握第 4.2.4

条规定的关键词：“能够提供直接或间接证据证明在现代构造条件下，该构造曾是地震震源”，不然的话就可能偏离核安全导则的规定。

### 3 关于能动断层鉴定与调查

能动断层一词，在核安全导则 HAD101/01（国家核安全局，1994）中定义为：“在地表或接近地表处有可能引起明显错动的断层”。对于能动断层鉴定的准则，在核安全导则 HAD101/01 的第 6.2.2 条中作了 3 条明确规定。对此，经过了近 20 年的磨合，现在已不存在什么异议了。但对鉴定能动断层所需的调查，认识和作法都各不相同。

对鉴定能动断层所需的调查，核安全导则 HAD101/01 作了以下明确规定：

1) 调查范围：第 3.2.3 条规定对“厂址附近的研究，应调查半径直到 5 公里的地区”，“目的是了解这个直接环绕厂址的地区的包括地表断裂在内的潜在永久性地面变形”。强调的是调查范围和目的，并且规定在这个范围内如果存在能动断层或潜在永久性地面变形可能影响厂址的安全性时，则该厂址便应评定为不合格厂址。

2) 调查程序：第 6.3.1 条规定“应从区域、近区域、厂址附近和厂址地区的调查中取得足够的地表和地下资料，以表明在厂址附近没有断层，或者，如果有断层存在，则描述它们的方向、范围和运动历史，并可靠地估计最新运动的年龄。”

3) 调查方法：第 6.3.3 条规定，“当已知或怀疑有断裂时，所需的调查应包括地层和地形分析、大地测量和地球物理调查、槽探、钻孔、沉积物或断层岩的年龄测定、当地的地震调查和任何其它用以弄清运动最近发生时间的适用技术，对在照片上由遥感成像显示的一切线性地形特征等，均应进行足够详细的调查，以解释它们的成因。”

4) 调查要求：第 3.2.3.2 条规定，“在大多数情况下，为了得到比区域研究更详细的基本数据，应进行诸如钻孔、槽探、物探、测距不大于 250 米的地质填图和垂直地质构造单元及穿越厂址的代表性实测剖面等附加研究，以保证不遗漏 300 米长的地质体”。在第 3.2.3.3 条规定“将这些资料有代表性地表示在比例尺不小于 1:25000 的图上”。对于这一规定，在实践中遇到了困难，主要是由于“测距不大于 250 米的地质填图”和“以保证不遗漏 300 米长的地质体”要求所致。这两点，是在编制核安全导则 HAD101/01（国家核安全局，1994）时沿引国际原子能机构核安全导则 50-SG-S1(Rev.1) (IAEA,1991)第 312 条基础上增加的。“以保证不遗漏 300 米长的地质体”来自于美国核管会规范 10 CFR Part 100 (NRC, 1993) 规定的不遗漏 1000 英尺的地质体。而为了达到此目的，又衍生出要求“测距不大于 250m 的地质填图。”显然，加上这两点要求以后，便与第 6.3.3 条不相协调了。因此建议：

保持与第 6.3.3 条相一致，“对在照片上由遥感成像显示的一切线性地形特征等，均应进行详细的调查，以解释它们的成因”。

对上述的一切线性地形特征和/或怀疑可能存在的断层，采用追索性调查，辅以必要的勘探和物探调查。

进行垂直地质构造单元及穿越厂址的代表性实测剖面等附加研究。

将这些资料有代表性地表示在比例尺不小于 1:25000 的图上，而不是 1:25000 的地质填图。

5) 水域调查：在现行的核安全导则中没有作出特定的规定。表明对水域是否存在断裂构造及其能动性的调查与陆域的调查没有什么特别的要求。对水域的断裂构造的调查，主

要应在充分研究和利用陆域调查资料及可能收集到的海域物探资料的基础上,本着以查明是否存在走向/或倾向朝向厂址的断裂构造及其能动性为目的,顺水流岸线布置 2—3 条物探剖面进行浅层地震勘探,如发现有走向/或倾向朝向厂址的断裂构造,则应分析其可否对厂址构成影响;如能肯定其可能或不能肯定其可否影响厂址的可接受性时,则应进行进一步的详细调查。

6) 年龄估计:可靠地估计断层最近运动的年龄,是鉴定断层构造是否为能动断层的重要标志。如何判定断层最近运动年龄呢?核安全导则 HAD101/01(国家核安全局,1994)第 6.3.2 条规定,“应特别注意厂址或厂址附近的地质和地貌特征,这些特征对鉴定断裂可能特别有用,并可用来判定断层运动的年龄”。在第 6.3.3 条也规定了“沉积物或断层岩的年龄测定”,并在 6.3.4 条中规定“采用一种以上的技术估计断层运动的年龄,将提高评定的可靠性。”这些规定表明在实际工作中,应采用以地质证据为主、包含地形、地貌特征及沉积物和断岩年龄测定在内的综合方法估计断层最近运动的年龄,才是比较可信的。

7) 实测剖面:核安全导则 HAD101/01(国家核安全局,1994)第 3.2.3.2 条规定,为了获得比区域研究更详细的基本数据,应进行“垂直地质构造单元及穿越厂址的代表性实测剖面等附加研究。”应当说,这是调查厂址附近是否存在断裂构造及其能动性的一件非常重要的调查工作内容。为达此目的,实测剖面应足够长、表征剖面通过处地质特征的地质观测点应足够多,在剖面上应表示测点位置及编号,并附代表性观测点资料。

8) 观测点:为了证明断裂构造的存在及其能动性,在地质调查中应测绘并提供足够的代表性的地质观测点。地质观测点的资料一般应包括照片、素描图和地质剖面图,对特别重要的还应有实测剖面图。图上应表示其位置、走向、岩性及时代、构造线及其产状、采样点,并有相应文字描述。

#### 4 关于地表断裂影响评价

地表断裂一词定义为“在一次地震过程中,由断裂两侧的差异运动而产生的地表永久性位错或撕裂。”在核安全法规 HAF101(91)(国家核安全局,1991)中 4.4.1 条规定,“必须调查研究在厂址及其邻近地区是否发生过地表断裂现象。”还在核安全导则 HAD101/01(国家核安全局,1994)的第 6.2.1 条和第 6.2.2 条规定:“评定厂区的潜在地表断裂影响要回答的主要问题是,确定厂区或厂址附近的断层是否为能动断层。”因此,评价厂区的潜在地表断裂影响,首先要调查和鉴定厂区及厂址附近地区是否存在能动断层;然后,评价鉴定出的能动断层在该地区的可能最大潜在地震作用可否产生地表永久性位错或撕裂?再者,还要分析所选厂址是否位于该地表永久性位错或撕裂影响带内以及可否采用切实可行的工程措施?只有按图 2 所示程序评价之后,才能评定所选厂址是否会受到该地表断裂的影响,从而评定该厂址的可接受性。

核安全法规 HAF101(91)第 4.4.4 条明确规定,“如果厂址位于地表或接近地表处可能产生明显的错动的地表断裂带内,则必须认为这个厂址是不合适的,除非能证明所采取的工程措施是切实可行的”。

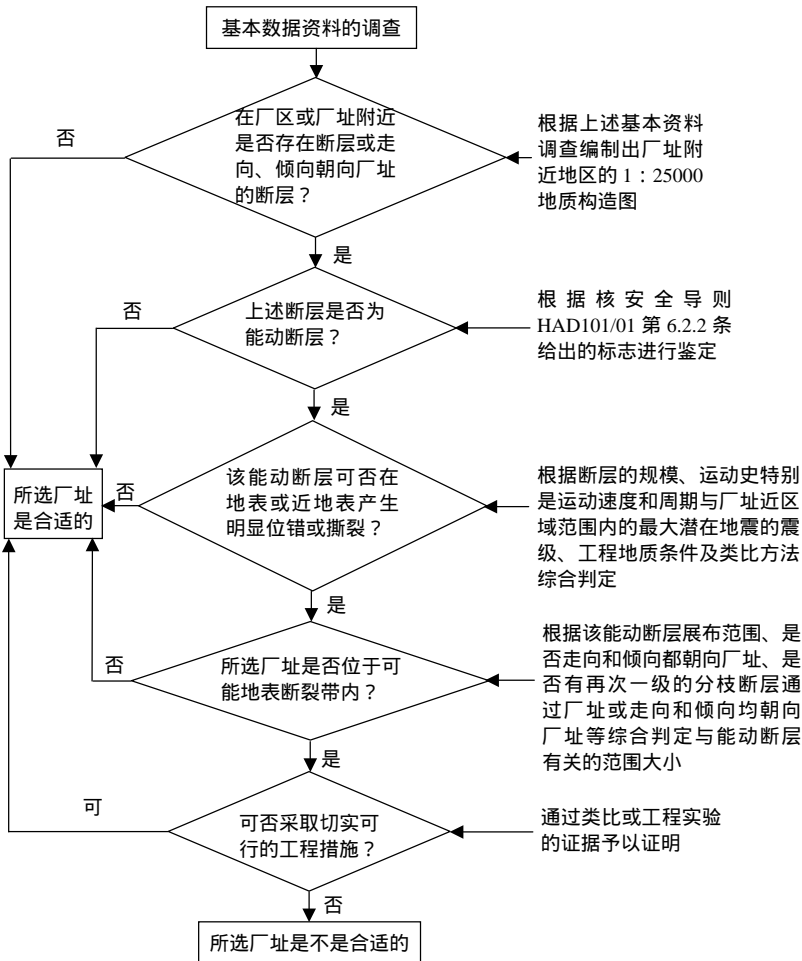


图 2 评价厂区潜在地表面断裂影响的程序

Fig. 2 Flowchart of evaluation of potential faulting effect at surface on construction site

## 5 关于发震构造与能动断层

核安全导则 HAD101/01 (国家核安全局, 1994) 第 4.2 节中规定, “鉴定发震构造的必要性最终是与它们在厂区的地面运动或地表断裂危险性的意义联系在一起的”, “在地面运动危险性评价方面, 关心的是那些发震构造的位置与潜在地震的组合能够影响厂址的地面运动水平的发震构造”, “在地表断裂危险性评价方面, 关心的是那些靠近厂址的地表或近地表处有潜在相对位移的发震构造 (对这种发震构造也应同时鉴定为能动断层)”。因为 “与发震构造有关的最大潜在地震的震级足够大和震源位于某一深度, 以致可合理地推论在地表或接近地表处能够发生运动”。

该导则第 6.2.1 条规定, “评价厂区的潜在地表断裂影响要回答的主要问题, 是确定厂区或厂址附近的断层是否为能动断层”。

这些规定说明: 对那些靠近厂址的在地表或接近地表处有潜在相对位移的发震构造, 也

应同时鉴定为能动断层，并评价其对厂址可否产生地表断裂的影响。而鉴定为可能引起地表断裂影响的能动断层，只与评价厂址的地表断裂影响方面相关，不涉及到地震地面运动评价。即是说发震构造有可能也同时鉴定为能动断层，但能动断层不等于发震断层，这是不能混为一谈的。

## 参考文献

国家核安全局，1991. 核电厂厂址选择安全规定（HAF101）.

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（HAD101/01）.

International Atomic Energy Agency (IAEA), 1991. SAFETY SERIES No. 50-SG-S1 (Rev.1). A Safety Guide, Earthquakes and Associated Topics in Relation to Nuclear Power Plant Siting.

U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC), 1993. Title10, Code of Federal Regulations (CFR), Appendix A to Part 100. Seismic and Geologic Siting Criteria for Nuclear Power Plants.

# Faults Investigation and Evaluation for Seismic Safety Assessment of Nuclear Power Plants

Tian Shengqing

(No. 2 Research and Designing Academy of the Nuclear Industry, Beijing, 100840)

**Abstract** Aiming at the solutions of actual problems raised by practical work, this paper discusses the relevant topics of faults investigation and evaluation for SSA of NPP from nuclear safety standards, including the technical methodology, identification of seismogenic structures, surveying and identification of capable faults, hazard evaluation of surface faulting and the relation between seismogenic structures and capable faults. The author believes that a thorough grasp of nuclear safety regulations may be a good way to solve these actual problems.

**Key words:** Nuclear power plant; Seismic safety assessment; Fault investigation and evaluation; Seismogenic structure capable fault