

鄢家全, 俞言祥, 潘华, 郝玉芹, 2007. 不同级别安评工作确定设防地震参数的要点. 震灾防御技术, 2(3): 297—304.

# 不同级别安评工作确定设防地震参数的要点<sup>1</sup>

鄢家全 俞言祥 潘华 郝玉芹

(中国地震局地球物理研究所, 北京 100081)

**摘要** 本文依据作者多年来编写和评审地震安全性评价报告的体会, 分别论述了设防地震的原则, 以及 I 级、II 级、III 级和 IV 级地震安全性评价确定设防地震参数的要点及缘由, 并列举了一些实例, 以期对地震安全性评价更加科学和有序的发展有所帮助。

**关键词:** 设防地震参数 安评级别

## 引言

在地震灾害中, 建(构)筑物的破坏与倒塌, 是造成人员伤亡和财产损失的主要原因。因此, 要防御和减轻地震灾害损失, 最根本的办法就是要对地震区的建设工程采取切实有效的防震措施。

通常情况下, 建设工程从选址到使用寿命内的防震措施可分为 3 个阶段: 抗震设计、保证施工质量和合理的维护保养。其中的抗震设计是至关重要的龙头环节。抗震设计要遵从抗震设计规范的设防标准。该标准包括工程设防类别、设防目标、设防地震等内容。设防地震是指针对不同重要性类别的工程, 采用特定安全水准的地震作用参数作为设防依据。这个特定安全水准的地震作用参数, 常以一定概率水平的地震烈度或地震动参数来表述。

设防地震是抗震设计中采取抗震措施和进行抗震验算的必要依据。全国性的地震区划图有其自身的局限性, 不可能满足所有建设工程确定设防地震的需要。对于极少数不能直接用全国性地震区划图确定设防地震的建设工程, 需要开展工程场地地震安全性评价(以下简称安评)工作来确定设防地震。设防地震单独存在的意义不大, 只有通过工程师的抗震设计实践应用, 才能发挥其防震减灾的作用。因此, 要想保证安评结果得到实际应用, 就必须注意设防地震同抗震设计规范的衔接问题。

在《工程场地地震安全性评价(GB17741-2005)》(中华人民共和国国家标准, 2005)中, 规定了不同级别安评工作的评价内容。在《地震安全性评价技术教程》(胡聿贤, 1999)和《工程场地地震安全性评价》宣贯教材(卢寿德, 2006)中, 着重阐述了有关评价方法的原理与技术要求, 对于确定设防地震参数方面的内容却较为简略, 不够具体。

本文依据多年来编写和评审安评报告的体会, 先论确定设防地震的原则, 再论各级安评

1 中国地震局“十五”重点项目“地震安全性评价与结构抗震技术研究”资助。中国地震局地球物理研究所论著号: 07AC2009

【收稿日期】2007-01-18

【作者简介】鄢家全, 男, 生于 1941 年。研究员。主要研究领域: 工程地震与地震区划。

工作确定设防地震参数的要点及缘由, 希望有助于促进安评工作的发展。

## 1 确定设防地震的原则

因开展安评工作的主要目的在于, 为不同类别的建设工程确定其符合场地地震环境条件的设防地震参数。为了保证安评结果的实际应用价值, 在确定设防地震时, 必须强调其科学性和实用性并重的原则。科学性应该体现在研究方法和其结果的可重复性上, 要切实按“安评技术规范”做工作。实用性则是体现在安评结果同相关抗震设计规范的衔接上。因为只有通过抗震设计中的实际应用, 安评结果才能发挥其防震减灾的效能。以下将确定设防地震的原则概述如下:

### (1) 所确定的设防地震应有明确、合理的风险水准

我国的抗震设计正在由确定性的安全系数法向以极限状态为安全标准的概率法过渡。在概率设计方法中, 各类工程的抗震设防都允许冒一定的地震风险, 只是不同重要性的工程所冒的风险不同而已。这个地震风险水准可由设防地震的概率水平来体现。需要注意的是, 并非所有的工程都是按三级设防来设计的, 只有一般工业和民用建(构)筑物(丙类)的设防地震风险水准是取50年63%、10%、2%—3%, 许多重大工程和可能发生严重次生灾害的工程, 其设防地震的风险水准都不是这样, 必须区别对待。

### (2) 所提供的设防地震动参数应有针对性

不同的工程结构类型对地震作用的敏感成分不同, 用于进行抗震设计验算或模型实验的地震动参数也就不同。比如: ①不是所有结构的阻尼系数都是5%, 有的高柔结构的阻尼仅为1%—3%; ②不是所有结构都只需要加速度参数, 对于埋地管线需要速度参数, 也需要跨越断层处的剪切波速值、加速度峰值、断层产状和滑动速率等; ③不是只给水平向地震动参数就行了, 有些高耸结构需要竖向地震动参数, 特别是在强地震活动区的场地, 不能简单地按水平向地震动参数乘上系数换算, 必须认真研究确定; ④不是所有的工程都需要自由地表的参数, 有的工程需要桩尖或承载台底面的地震动参数; ⑤有的工程结构需要地震动扭转参数; ⑥有的长跨度工程需要地震差动参数等。凡此种种, 必须区别对待。

### (3) 在场地地震危险性分析中, 应注重各技术环节的科学性

在地震危险性分析中要注意的环节是: ①应根据地震活动环境和地震构造评价结果, 对场地影响较大的潜在震源区边界、震级上限和地震活动性参数, 进行认真细致的复核确认或修订, 尤其是要对低概率地震参数的合理性给予充分论证; ②对确认或建立的地震动衰减关系的适宜性进行必要的论证; ③采用地震主管部门认可并推荐的计算程序进行分析计算, 如果是未经审定的程序计算结果, 则应用推荐程序进行复核算。

### (4) 在进行场地地震动力反应分析与评定设防地震动参数时, 应注意科学性和实用性

在场地地震动力反应分析与评定设防地震动参数中要注意的环节是: ①应根据场地勘测和土工实验所得的土动力参数建立土动力反应分析模型, 当钻孔未达基岩面时, 必须论证地震波输入基底面的确定依据; ②用于土层动力反应分析输入的地震动时程, 应以地震危险性分析所得相应风险水准的基岩反应谱为目标谱, 拟合生成三个以上随机相位的地震动时程; ③用于计算分析的程序, 应是地震主管部门认可并推荐的计算程序; ④在确定设计地震动参数时, 应考虑分析结果的误差范围, 工程使用方便和安全性, 以及同相关规范的衔接等因素, 综合评定该工程场地的设计地震动参数。如果评价结果同相关规范取值差别显著时,

应对评价结果的合理性做必要的说明，以便使用。

#### (5) 应有设防烈度的评价内容

考虑建设工程抗震设计的需要，特别是进行概念设计采取防震措施时，都是按烈度分档设计的。因此，在《地震安全性评价管理条例》第十四条中规定，应当提供设防烈度的评价内容。一些工程的建设单位在委托地震安全性评价任务时，也要求提供地震基本烈度的评价内容。

## 2 I 级安评工作确定设防地震的要点

这里，首先要讨论的是 I 级安评工作的工程范围。因为从安评工作规范（DB001-94）到安评技术规范（GB17741-2005）的工作分级条文中，对 I 级工作的适用范围都只谈到：“适用于核电站等重大建设工程项目中的主要工程”。虽然在《地震安全性评价技术教程》中也提到：“该级要求适用于核电站以及特殊重要的大坝等工程”，但近 10 年来的实践情况表明，只有核电站、核供热站和部分核试验堆等极少数工程场地的安评工作才作为 I 级工作对待。技术教程中提及的“特殊重要的大坝”，可能由于界定不清楚，近年来完成的若干大（I）型水库大坝，没有一个按 I 级工作对待。并非只有核电站一类的核工程场地之安评工作才属 I 级工作范畴。本文建议 I 级安评工作的工程范围如下：核 I 级工程（包括核电厂、核供热站和核燃料后处理厂等）、甲类水工建筑（大（I）型水库大坝）、I 类公路工程（高速公路和一级公路上的特大型桥梁和隧道工程）和甲类建、构筑物（包括甲类电视塔）等。这些归为 I 级安评工作范围的工程，不仅仅是特别重要，且一旦遭受地震破坏的后果与社会影响极其严重，又因其抗震设防地震的重现期均 $\geq 2000$  年。

正是因为 I 级安评工作所涉及的工程特别重要，其抗震设防地震的重现期又特别长，所以要对确定设防地震提出特殊的要求。

#### (1) 应采用概率法、构造法和历史地震法的结果综合评定设防地震

安评工作所得的设防地震，是对工程寿命期内场地可能遭遇的地震风险水平的估计。这种估计又是以现有资料和科学认识水平为基础的。由于受到资料和认识水平的局限，当前还没有哪一种方法可以确切地得到重现期长达 2000 年以上的设防地震。正是因为概率法和历史地震法都要借助外推，才能得到重现期长达 2000 年以上的设防地震，而构造法的结果虽没有明确的概率含义，却可以大致作为极限状况看待，所以要用三种方法的结果相互佐证，综合评定场地相关的设防地震。

目前，工程建设对风、雨、雪、洪水、海潮和海啸等灾害的防御，仍然是由历史和观测资料的统计分析结果评定设防参数的。虽然洪水和海啸都可以用一定的模型来计算，但模型计算结果不能直接作为设计依据，而是历史和观测资料统计分析结果的旁证，是综合评定设防参数的依据之一。特重大建设工程的抗震设防地震，应根据多方面的分析研究结果综合评定为妥。

#### (2) I 级安评工作中的地震危险性分析，宜采用综合概率法

在上世纪 80 年代中后期，国内外学者就开始重视地震危险性分析中的不确定性，研究潜在震源区划分、地震活动性参数估计和地震衰减关系中的不确定性，并探讨合理的表达方法。McGuire 等人曾用逻辑树分析方法研究了美国东部已建核电厂地区地震危险性评定中的不确定性。胡聿贤等（1990）以华北地区为例，详细研究了地震危险性分析中的不确定性，

提出了不确定性估计方法,并出版了相应的专著《地震危险性分析中的综合概率法》。目前,多方案的综合概率法已逐渐在特别重要的工程场地地震危险性评定中采用,并得到国际同行的认可。中国地震局地球物理研究所从1990年起,先后在《长江三峡三斗坪坝址区地震危险性分析和设计地震动参数研究》、《吉化低温核供热厂址地震危险性分析》、《南口10MW高温气冷堆厂址地震安全性评价报告》、《福建惠安山前核电厂厂址地震详细调查及安全性评价报告》和《丹江口水利枢纽大坝加高工程场地地震安全性评价报告》等中采用过该方法。其中,《长江三峡三斗坪坝址区地震危险性分析和设计地震动参数研究》曾获国家地震局科技进步二等奖。因此,本文建议I级安评工作宜采用综合概率法,以考虑不确定因素的影响,提高其结果的科学性。

(3) 在采用构造法时,应合理评定近场区内与发震构造有关的最大潜在地震和与发震构造无关的本底地震强度,以及相应的震源深度

这是因为上述地震参数是构造法中最重要的基本数据。它们的合理性也就决定了构造法结果的合理性。所以要特别强调:①首先要充分利用近场和区域地震构造的研究结果,合理识别发震构造,评定其最大潜在地震;②利用近场地震活动性和区域新构造运动分区特征等研究结果,综合分析评定近场区内,特别是场地所在新构造单元内的本底地震强度;③以近场区地震震源的平均深度为基础,结合区域内地震震源深度的分布特征,综合评定近场区内最大潜在地震与本底地震的震源深度。

(4) 采用历史地震法,得到不同平均重现期的场地影响烈度值

这里的历史地震法,是根据各次历史地震对场地的影响烈度,建立场地影响烈度目录,分析各阶烈度的频次特征;可应用冈贝尔极值分析方法,得到场地不同重现期相应的影响烈度值(高孟潭等,1988;贾素娟,1993)。与地震危险性概率分析方法相比,历史地震法的不确定因素要少得多。因此,可以利用我国悠久的历史地震资料,得到场地不同重现期相应的影响烈度值。尤其是位于烈度异常区内的场地,历史地震法所得结果更为合理、可信。

(5) 对位于基本加速度峰值 $\geq 0.20g$ 地区的场地,应有场地竖向设防地震参数的专门评价内容

这是由于高烈度区的场地主要是受近场大地震的影响,甚至场地就位于未来大地震的极震区或其近旁,竖向加速度峰值与水平加速度峰值之比取 $2/3$ 未必安全。因为近年来多次强震记录资料表明,极震区内的竖向加速度峰值接近、甚至大于水平向加速度峰值。比如1999年8月17日土耳其伊兹米特7.4级地震,在震中以东105km的迪兹杰记录到竖向PGA为0.480g,水平向PGA为0.374g;1999年9月21日我国台湾南投7.6级地震,在极震区北端的TCU068号台记录到竖向PGA为0.519g,水平向PGA为0.501g。类似的例子还很多,不一一列举。已有的研究结果也表明(胡聿贤,1988),尽管地震动竖向峰值按 $A_v$ 与水平向峰值 $A_h$ 之比值的平均值大体在 $1/2-2/3$ 之间,但在接近震中时,其比值的离散性很大。当震中距较小而加速度峰值超过 $0.5g$ 时,上述比值变化于 $0.5-2.4$ 之间,平均而言, $A_v$ 接近或等于 $A_h$ 。

由于决定近场地震动影响场的因素很多,其中包括场地与震源破裂面之间的相对位置、震源孕育过程的力学环境、震源破裂方式和地震波传播路径的地质复杂性等有关。所以,安评工作要为重大建设工程提供科学合理的抗震设防依据,应对高烈度区的场地进行竖向设防地震参数的专门评价。

(6) 对于单孔跨径超过 400m, 且有地质上的不连续或明显的不同地貌特征, 以及总长大于 1000m 的特大型桥梁工程场地, 应有墩位之间地震动相位差动特征的评价内容

提出本要点的依据, 一方面是实际强震观测资料的解释已有这种结果, 另一方面是今后的《公路工程抗震设计规范》也有相应的要求<sup>1</sup>。

### 3 II 级安评工作确定设防地震的要点

II 级工作包含了各行业的重要工程, 或遭受地震破坏后可能引起严重次生灾害的工程等。因各行业的抗震设防原则和设计方法不同, 所以安评工作为其提供的设防地震也应有所区别。

(1) 应根据工程抗震设防的需要, 确定设防地震的概率水平

虽然地震工程和工程抗震的研究结果均表明, 采用“多级设防与分阶段设计验算”的理念较为合理。但目前只有部分行业(建筑、构筑物、广电等)采用了三级设防与两阶段验算的设计理念, 其余行业(公路、水工、水运、管线等)仍旧是一级设防。对于量大、面广的建、构筑物工程来讲, 也只有一般工业和民用建筑物(丙类)的设防地震风险水准是取 50 年 63%、10%、2%—3%。许多重大工程和可能发生严重次生灾害的工程, 其设防地震的风险水准都不是这样。因此, 应当根据工程抗震设防的实际需要来确定设防地震的风险水准。如果建设单位不清楚, 提不出具体要求, 则宜同有关设计院商定其设防地震的风险水准。

(2) 对于基础埋深较大的工程, 应给出承载基础底面的设防地震参数

宏观震害调查的经验表明, 当建(构)筑物的基础埋深较大时, 结构的防震性能较好, 震害较轻。场地土层动力反应分析结果也说明, 深埋基础底面的地震动幅值要比地表幅值小, 谱形态也与地表谱有差别。虽然使用地表地震动参数进行抗震设防偏于安全, 但要较客观地反映地震动参数随深度的变化, 还是应该给出建(构)筑物承载基础底面的设防地震参数。

(3) 对位于基本加速度峰值  $\geq 0.20g$  的地区需要进行竖向地震作用抗震验算的工程, 应有场地竖向设防地震动参数的专门评价内容

因为相关规范有规定, 对于高烈度区的大跨越输电塔架、大跨度设施、长悬臂结构和高耸结构等, 需要进行竖向地震作用下的抗震验算。由于高烈度区的场地主要是受近场大地震的影响, 甚至场地就位于未来大地震的极震区或近旁, 竖向加速度峰值与水平加速度峰值的比值取 2/3 未必安全。所以, 应对高烈度区场地的竖向设防地震动参数进行专门评价。

(4) 用于抗震验算或模型实验输入的地震动时程, 应以场地相关设计反应谱为目标谱进行人工拟合, 或者选用反应谱具有同场地相关设计反应谱相似特征的实际地震记录时程

在某些安评报告中, 曾有过将经过土层地震动力反应后的时程, 推荐作为抗震验算或模型实验的输入时程。这是不合适的。因为经过土层地震动力反应后的时程之谱形, 虽然是评定场地相关设计谱的依据之一, 但两者之间仍是有明显差异的。所以, 用于抗震验算或模型实验的输入时程, 应以场地相关设计谱为目标谱重新拟合, 并提供 3 个以上随机相位的人工时程。新规范(GB17741-2005)中的 12.1.5 条强调了这方面的要求。

尽管实际地震记录已有几万条, 但要从中找到具有同场地谱一样特征记录是十分困难的。因此, 只能挑选具有同场地谱相似特征记录时程, 推荐给设计单位使用。

1 中华人民共和国行业标准, 公路工程抗震设计规范(JTJ004-2005)(征求意见稿)

无论是人工时程, 还是挑选的实际地震记录时程, 都要十分注意在结构自振周期附近, 其谱值与场地设计谱的逼近程度。

(5) 对位于高烈度异常区的场地, 应考虑场地影响烈度的分析结果, 综合评定其设防地震

现有大地震目录中的等震线图表明(国家地震局震害防御司, 1995; 1999), 烈度异常区的存在是较为普遍的现象。造成烈度异常的因素较多, 至少同震源破裂、地震波传播路径和场地环境特性等有关。目前的衰减关系是在各向均匀的条件下建立的, 不能反映这种异常区的存在。因此, 常规的地震危险性分析和一维土动力反应分析, 对烈度异常区的论证都还无能为力。然而, 对于低烈度异常区的场地, 采用平均状态下的评价结果是偏于安全的; 对于高烈度异常区的场地, 采用平均状态下的评价结果则不够安全。所以, 对于高烈度异常区的场地, 应考虑场地影响烈度的分析结果, 综合评定其设防地震。

#### 4 III级安评工作确定设防地震的要点

III级工作包括地震小区划和区域性地震区划, 确定其设防地震的要点如下:

(1) 地震区划图的概率水平应按建设工程的需要而定

无论是服务于城市、工矿企业规划设计或抗震设防的地震动小区划, 以及长输管线和大型引水工程所需的区域性地震区划, 其概率水平都应根据工程设防的需要而定。比如在中国地震局地质研究所 2002 年完成的《南海石化工程场地地震安全性评价报告》中, 除了给出场区范围 ( $5.3\text{km}^2$ ) 1:12500, 50 年内超越概率分别为 63%、10%、3% 的地震动小区划结果外, 还根据石油化工设备抗震设防的需要, 给出了 30 年内超越概率 1% 和 50 年内超越概率 1% 的地震动小区划结果。又比如中国地震局地球物理研究所 2001 年完成的《宁波市白溪水库引水工程场地地震安全性评价报告》中, 该工程的线路总长 105km, 抗震设防级别为水工 II 级, 报告给出了工程沿线 1:50 万, 50 年内超越概率分别为 10% 和 5% 的地震动加速度峰值区划图, 以及典型场点上述两个概率水平的设计地震动参数。

(2) 地震动小区划的分区界线确定, 应考虑工程地质分区结果与使用方便相结合的原则

由于地震动小区划的主要目的在于, 揭示场区内不同场地条件下地震动力反应的差别, 为工程的抗震设防提供比全国区划更加符合场地条件的地震动参数。而且, 计算控制点数有限。因此, 在确定地震动小区划的分区界线时, 应充分考虑工程地质单元的分界线。对于某些场地而言, II 类场地的跨度较大, 需要进行细分, 可以参考第四纪等厚线来确定分区界线。如果场区范围不大, 场地工程地震地质条件的横向变化很小(包括戈壁滩或大型滨海平原区的场地), 从几  $\text{km}^2$  到十余  $\text{km}^2$  的范围内, 地震动参数变化也很小, 加速度峰值的差别在 20% 以内, 反应谱特征周期 ( $T_g$ ) 的差别在 0.1s 以内。在这种情况下, 没有必要硬性分区, 将场区范围归并为一组地震动参数即可。这样的区划结果, 更为方便、实用。还需要注意的是, 无论是分区界线或是等值线, 都要尽可能避免穿越单体工程场地。否则, 会给工程应用和结果解释带来困惑。

(3) 对于长输管线和大型引水工程的重要穿越地段, 应有二维场地地震动力反应分析的评价结果

这主要是指穿越长江、黄河、珠江或海湾、海峡等工程地震地质条件较复杂的地段, 用一维地震动力反应分析不能很好地反映场地条件, 应该采用二维模型来进行地震动力反应

分析。

(4) 对于埋地管线场地, 应给出地震动速度参数, 以及跨越断层处的剪切波速值、加速度峰值、断层产状、滑动速率和工程寿期内的可能位移量等

这是《输油(气)埋地钢质管道抗震设计规范》(SY/T0450-97)的要求。

## 5 IV级安评工作确定设防地震的要点

IV级工作仅限于场地加速度峰值复核。这种复核是针对《中国地震动参数区划图》(GB18306-2001)中4.3条b)、c)款规定的一般建设工程场地。对该级工作的要求, 已经在技术规范第14章的有关条款中做了明确的规定。需要再次提请注意的是, 14条a)款的规定: “应按第6章的要求, 对工程近场区地震活动和地质构造资料进行收集和补充调查, 对相关潜在震源区及参数进行论证”。

这是因为, IV级工作虽然是一般建设工程的基本加速度峰值复核, 但其针对的工程场地是有特定范围的: ①位于某些地震研究程度和资料详细程度较差的边远地区; ②位于地震动参数区划分界线附近的新建、扩建或改建建设工程。对于某些地震研究程度和资料详细程度较差的边远地区的工程场地, 全国区划图的精度有限, 只有通过对其近场区地震活动性和地震构造特征的补充调查研究, 对相关潜在震源区及参数进行复核论证, 方可得到较为合理的设防地震参数。对位于地震动参数区划分界线附近的工程场地, 因地震动衰减在近场范围内变化较快, 而全国地震区划图的基础图件比例尺为1:250万, 不能准确地反映近场区地震构造的细部特征。所以需要在1:25万地震构造图的基础上, 厘定潜在震源区的边界和参数, 才能得到更为确切合理的设防地震参数。特别是那些位于震级上限为6.5级以上潜在震源区边界附近的工程场地, 因6.5级以上地震的构造标志相对较为明确, 通过近场区地震活动性和地震构造特征的补充调查研究, 能够比较准确地厘定潜在震源区的边界和参数, 这样就可以得到比全国地震区划图更为确切的设防地震参数。

总之, IV级安评工作仍需要对近场区的地震活动性和地震构造开展必要的补充调查研究。在此基础上, 对潜在震源区及参数进行复核论证。如果未对近场区开展必要的调查工作, 而直接采用全国地震区划图的数据所得的结果是无意义的。

## 参考文献

- 高孟潭等, 1988. 极值理论在工程地震中的应用. 地震学报, 10(3): 317—325.
- 国家地震局震害防御司, 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.
- 国家地震局震害防御司, 1999. 中国近代地震目录(公元1912年—1990年 $M_S \geq 4.7$ ). 北京: 中国科学技术出版社.
- 胡聿贤, 1999. 地震安全性评价技术教程. 北京: 地震出版社.
- 胡聿贤, 1990. 地震危险性分析中的综合概率法. 北京: 地震出版社.
- 胡聿贤, 1988. 地震工程学. 北京: 地震出版社.
- 贾素娟, 1993. 全国52个城市历史地震影响烈度分析. 见: 中国地震区划文集. 北京: 地震出版社, 236—248.
- 卢寿德, 2006. 《工程场地地震安全性评价》宣贯教材. 北京: 中国标准出版.
- 中华人民共和国国家标准, 2005. 工程场地地震安全性评价(GB17741-2005). 北京: 中国标准出版社.

## **The Key Points in Determining Design Parameters of Ground Motion at Different Level of Seismic Safety Evaluation**

**Yan Jiaquan, Yu Yanxiang, Pan Hua and Hao Yuqin**

(Institute of Geophysics, China Earthquake Administration, Beijing 100081, China)

**Abstract** In this paper, the key points in determining design parameters of ground motion for different level of seismic safety evaluation are discussed, and main explanations and comments regarding to each point are given too. We hope that it is helpful to improve the similar work in practice.

**Key words:** Design parameters of ground motion; Level of evaluation of seismic safety