

一致概率谱衰减指数的取值方法探讨

兰宏亮 许丽萍 崔永高

(上海岩土工程勘察设计研究院有限公司, 上海 200002)

摘要 在重大工程的地震安全性评价工作中,根据概率法地震危险性分析得到的一致概率反应谱,与建筑抗震设计规范给出的设计反应谱常常不一致,特别是在长周期部分,一致概率谱一般均低于相应的规范谱。为解决地震安全性评价得到的一致概率谱在抗震设计中的应用,本文通过比较、分析一致概率谱和规范谱,针对一致概率谱标定得到的衰减指数 γ 较规范谱明显偏大的特点,提出了一致概率谱衰减指数的取值方法。

关键词: 一致概率谱 规范谱 衰减指数 地震安评

引言

在重大工程的地震安全性评价工作中,根据概率法地震危险性分析得到的一致概率反应谱,与建筑抗震设计规范给出的设计反应谱(规范谱)常常不一致,特别是在长周期部分,一致概率谱一般均低于相应的规范谱,如图1所示(沈建文等,2004)。表现在反应谱下降段衰减指数一致概率谱与规范谱相差较大,一致概率谱衰减指数 γ 一般为 1.1—1.7,而规范谱 γ 为 0.9,即一致概率谱较规范谱在长周期部分衰减更快。而根据建筑抗震设计规范,对重大工程应按批准的地震安全性评价结果作为抗震设防标准。由此带来的后果是,在长周期部分,一致概率谱设防标准低于规范谱,这给建筑结构抗震审查带来较大困难,也影响了地震安全性评价结果的合理应用。

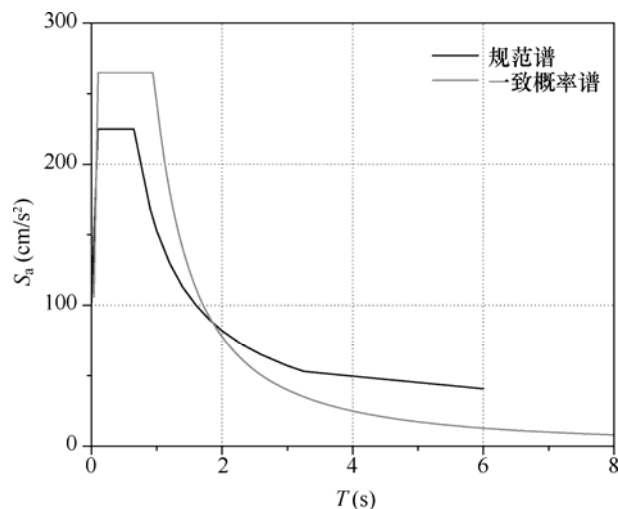


图1 规范谱与一致概率谱的比较
(50年10%, 阻尼比5%)

Fig.1 Comparison of code spectrum and consistent spectrum (50a 10%, $\zeta=5\%$)

[收稿日期] 2009-04-23

[作者简介] 兰宏亮,男,生于1976年。硕士,注册土木(岩土)工程师、注册二级地震安全性评价工程师。主要从事岩土工程设计咨询与地震安全性评价工作。E-mail:lhlan999@yahoo.com.cn

1 规范谱的由来及特性

1.1 规范谱的由来

实际地震的反应谱是根据一次地震中强震仪记录的加速度记录计算得到的谱,也就是具有不同周期和一定阻尼的单质点结构在地震地面运动影响下最大反应与结构自振周期的关系曲线。

在抗震设计规范中所使用的抗震设计反应谱(简称规范谱)通常是大量实际强震记录的反应谱进行统计分析,并结合经验判断、当前国家的经济水平加以确定的。在抗震设计中最常用的是加速度反应谱。取同样场地条件下的许多加速度记录,并取阻尼比 ζ 为0.05,得到相应于该阻尼的加速度反应谱,除以每一条加速度记录的最大加速度,进行统计分析取综合平均并结合经验判断给予平滑化得到放大系数谱,将反应谱乘以地震系数(相当于Ⅶ度、Ⅷ度、Ⅸ度烈度峰值加速度与重力加速度的比值),即为规范采用的地震影响系数,这也就是传统意义上所说的抗震设计反应谱。

1.2 规范谱的特性

规范谱由斜直线上升段、平台段和指数衰减曲线段组成,其表达式为:

$$S_a(T) = \begin{cases} \alpha_m + \alpha_m(\beta_m - 1.0)(T/T_0) & 0 < T \leq T_0 \\ \alpha_m \beta_m & T_0 < T \leq T_g \\ \alpha_m \beta_m (T_g/T)^\gamma & T_g < T \leq T_m \end{cases}$$

式中, α_m 、 β_m 、 T_0 、 T_g 和 γ 分别表示地震动的峰值加速度、设计谱平台高度、第一拐点周期、第二拐点周期(特征周期)、下降段下降速度控制参数(衰减指数)。

规范谱在特征周期 T_g 后是以指数规律下降,其下降速度随 γ 的不同值而变化,一般 γ 在1—0.5之间。周锡元(1990)曾指出,我国抗震设计规范与其它国家规范相比,在中、长周期段有些偏低,这与中、长周期段谱曲线采用双曲线 T_g/T 有关。这一曲线形式达到了当时建议的国际标准的极限,但对用于高层建筑等情况可能有偏于不安全的一面。实际资料的统计分析结果也表明,谱曲线随周期增长而下降的坡度还可以稍缓和一点,其相应的 γ 值在0.8—0.9之间。

根据我国抗震设计反应谱的发展历程,1964年的《地震区建筑设计规范(草案)》(简称64规范)和1974年的《工业与民用建筑抗震设计规范(试行)(TJ 11-74)》(简称74规范),设计反应谱衰减指数均为1.0。1982年后,中国建筑科学研究院工程抗震研究所周锡元等依据我国海城、唐山地震强余震记录以及美国、日本等255条记录,对抗震设计反应谱加以分析,并最终形成了《建筑抗震设计规范(GBJ 11-89)》(简称89规范)。89规范设计反应谱衰减指数为0.9。64规范、74规范、89规范设计反应谱在 T_g 后均以单一衰减指数下降。而我国现行的《建筑抗震设计规范(GB 50011-2001)》中规定,规范谱 T_g — $5T_g$ 衰减指数 γ 取0.9,而后按线性下降。

2 一致概率谱的由来及特性

一致概率谱是在地震安全性评价中用不同周期衰减规律进行概率法地震危险性分析,得到场地基岩面反应谱,并以此为目标谱合成地震动,计算土层反应,得到工程场地地表的不同周期的结构在同一超越概率下的反应谱。

2.1 一致概率谱的标定

由于在场地地震反应计算中，利用人工地震动合成技术给出计算输入地震动时程，每一人工合成的地震动时程均只能看作是给定反应谱对应的一个样本时程，要提高反应计算结果的可靠性，在场地地震反应分析计算时，应利用多条样本时程作为计算输入地震动。根据《工程场地地震安全性评价（GB 17741-2005）》，I 级工作要求不少于 5 条，II 级和地震小区划工作要求不少于 3 条。

场地地震动参数中加速度反应谱宜以规准化形式表示，一般采用《建筑抗震设计规范（GB 50011-2001）》中的标准反应谱的形式。在加速度反应谱规准化处理时，应充分理解每一个特定工程场地的地震、地质环境和场地条件的不同而导致的场地地震动之间的差异，在合理地拟合场地地震动峰值加速度和加速度反应谱计算值的基础上，确定规准化加速度反应谱参数值，特别是反应谱的平台高度和特征周期值。一致概率谱的标定通常采用对计算地震动反应谱值的平均拟合方法或外包络拟合方法。

在 II 级地震安全性评价工作中，一般采用平均拟合方法标定计算地震动反应谱。由于地震动反应谱的标定带有很强主观性，导致标定的反应谱参数差异较大。而在反应谱参数中，反应谱下降段的衰减指数 γ 的差异最为明显。反应谱标定在特征周期 T_g 后，有两种标法：其一是标定反应谱线明显偏离计算反应谱线，标定反应谱较计算反应谱明显上抬，衰减指数 γ 为 1.1；其二是标定反应谱线与计算反应谱拟合得更近一些，衰减指数 γ 为 1.65（图 2），两者相差近 50%。如果与规范谱 γ 为 0.9 相比，前者较为相近，较规范谱大 20%；而后者较规范谱大 83%。可以说，前一种标定方法是鉴于规范谱与平均拟合方法之间的一种折衷处理方法，但这样处理的结果是对 γ 的取值无法做出合理的解释，既不是按平均值拟合，也不是按规范谱取值。

图 2 所示的两种反应谱的标定方式在当前地震安全性评价中较为普遍。出现这两者相差较远的标定方式，主要是由于计算反应谱在长周期段下降速率过快，如果严格按照平均拟合方法进行拟合，所得衰减指数 γ 较规范谱明显偏大，这也导致了在长周期段安评一致概率谱较规范谱偏小，对抗震设防可能是偏于不安全的。而人为将标定反应谱往上抬的做法，是期望安评一致概率谱较规范谱较为接近，至少在衰减指数 γ 上不能较规范谱偏差更多。

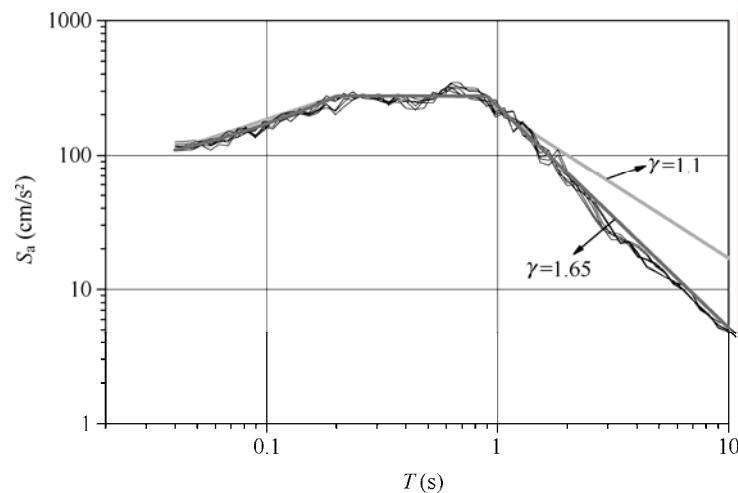


图 2 计算反应谱标定

Fig.2 Calibration of calculating spectrum

2.2 地震动参数衰减关系对一致概率谱的影响

通过地震危险性分析得到的地震动反应谱,较规范谱在长周期段下降速率更快,这与地震危险性分析时使用的地震动参数衰减关系密切相关。在地震危险性分析中采用不同的地震动参数衰减关系,其场地相关反应谱长周期阶段的下降速度差别很大(王绍博等,2006)。

地震动参数衰减关系通常需要利用强震观测记录资料回归分析来得到,但对于我国大部分地区由于缺少足够多的强震记录,无法直接基于强震记录资料来确定相应的地震动参数衰减关系。为此,采用胡聿贤等(1984)提出的缺乏强震资料地区地震动参数衰减关系的确定方法来确定本区地震动衰减关系,即利用本区的地震烈度等震线资料,确定地震烈度衰减关系,然后选择既有丰富的强震记录又有烈度衰减关系的美国西部地区作为参考区,转换得到本区的地震动参数衰减关系。

如前所述,我国建筑抗震设计规范给出的反应谱是大量地震记录反应谱统计平均的结果,而目前得到的强震观测数据中,绝大部分是由模拟式强震仪记录的,受其频谱特性的限制,难以真实可靠地总结出地震动长周期的特性,所以对长周期阶段作了较大的人为提高调整(俞言祥等,2005)。而地震动参数衰减关系是基于数字式强震记录,但在确定地震动参数衰减关系时并未调整。这也在一定程度上解释了一致概率谱较规范谱在长周期段下降更快的原因。当然,地震动衰减关系同样受强震记录的限制,特别是在长周期部分,其发展的水平将决定地震安评一致概率谱的可靠性。

3 一致概率谱衰减指数的确定方法

《中华人民共和国防震减灾法》规定:“重大建设工程和可能发生严重次生灾害的建设工程,必须进行地震安全性评价;并根据地震安全性评价的结果,确定抗震设防要求,进行抗震设防。”这就表明,经批准的地震安全性评价的结果应为建筑设计单位使用,为建筑抗震设计服务。而地震安全性评价的设计地震动反应谱——一致概率谱,在长周期段与建筑设计单位熟悉的规范谱间存在较大差异,表现为衰减指数更大,造成在长周期段安评一致概率谱较规范谱安全度降低的现象。为了弥补两者之间的差距,方便建筑设计单位使用,地震安全性评价设计地震动反应谱的确定有不同的方法(王绍博等,2006),主要有以下2种方法:

方法一:按计算反应谱的平均拟合值作为设计地震动反应谱,该一致概率谱与规范谱比较,建议在不同频段取大值,即综合一致概率谱与规范谱确定设计地震动反应谱。

方法二:在特征周期 T_g 之前采用场地相关反应谱的平均拟合值,在特征周期 T_g 之后的下降段采用抗震设计规范中的衰减指数 $\gamma=0.9$ 。

应该说方法一兼顾了场地一致概率谱和规范谱,并且取大值,保证了重大工程抗震设计的安全度,但按此设计地震动反应谱(多段函数)拟合地震动时程则非常困难,而且从物理概念上,一致概率谱和规范谱并不能直接嫁接。

方法二比较好地克服了安评一致概率谱与规范谱在长周期段的差异,并且衰减指数取规范谱值,对建筑抗震设计人员较易接受,也更利于地震安全性评价结果的应用。随着超高层建筑的日益增多,该方法不失为一种较好的解决途径。

4 结语

(1) 规范谱是根据大量实际强震记录的反应谱进行统计分析,并结合经验判断、当前国

家的经济水平加以确定的。《建筑抗震设计规范 (GB 50011-2001)》中规定, 规范谱 T_g — $5T_g$ 衰减指数 γ 取为 0.9。

(2) 地震安全性评价得到的一致概率谱是基于地震危险性分析和土层反应得到的, 由于受地震动参数衰减关系等诸多因素的影响, 计算反应谱在长周期段较规范谱衰减速率更快。

(3) 一致概率谱的标定可按计算地震动反应谱值的平均拟合方法进行, 特征周期 T_g 之后衰减指数应按实际计算结果标定, 无需人为抬高。

(4) 在确定设计地震动反应谱时, 一致概率谱在特征周期 T_g 之前采用场地相关反应谱的平均拟合值, 在特征周期 T_g 之后的下降段采用衰减指数 $\gamma=0.9$, 即设计地震动反应谱的峰值加速度、平台高度、第一拐点周期、第二拐点周期 (特征周期) 是由工程场地地震安全性评价得到, 反应谱下降段衰减指数则按照现行国家抗震设计规范。

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.
- 沈建文, 石树中, 2004. 一致概率谱与规范谱. 地震学报, **26** (1): 94—101.
- 王绍博, 李斌, 徐海云, 2006. 关于工程场地地震安全性评价中设计地震动反应谱的讨论. 震灾防御技术, **1** (4): 302—307.
- 俞言祥, 胡聿贤, 2000. 关于上海市《建筑抗震设计规程》中长周期设计反应谱的讨论. 地震工程与工程振动, **20** (1): 27—34.
- 周锡元, 1990. 场地·地基·设计地震. 北京: 地震出版社.

Discuss of Method to Determine Consistent Spectra Decaying Constant

Lan Hongliang, Xu Liping and Cui Yonggao

(Shanghai Geotechnical Investigations & Design Institute Co. Ltd. Shanghai 200002, China)

Abstract Acceleration spectra determined by seismic safety evaluation for engineering site are often inconsistent with code spectra. Especially in long -period range, acceleration spectra determined by seismic safety evaluation are generally lower. In order to make usage of spectra determined by seismic safety evaluation in anti-earthquake design, we propose a method to determine consistent spectrum decaying constant γ .

Key words: Consistent spectra; Code spectra; Decaying constant; Seismic safety evaluation