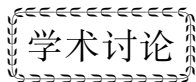


文章编号: 0253-3782(2004)01-0094-08



## 一致概率谱与规范谱<sup>\*</sup>

沈建文<sup>1)</sup> 石树中<sup>2)</sup>

1) 中国上海 200062 上海市地震局

2) 中国上海 200092 同济大学

**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, 有时甚至会有较大的差异. 一致概率反应谱低于相应的规范反应谱时, 可能会产生重大工程抗震设防标准低于一般工业与民用建筑抗震设防标准的问题. 本文利用理想简化的潜在震源, 对一致概率谱与规范设计反应谱之间的关系进行了讨论. 分析结果表明, 对于较为普遍的主要受直下型地震和近震潜源影响的地区, 在长周期部分, 一致概率谱总体小于规范谱. 规范谱长周期部分值得深入研究, 且应尽可能与区划工作的概率法相结合. 由于地震安全性评价工作存在较大的不确定性, 故重大工程的抗震设防标准, 据地震安全性评价结果将长周期部分降至规范谱(一般工民建)之下宜慎重.

**关键词** 一致概率谱 规范谱 抗震设计标准 潜在震源 长周期

**中图分类号:** P315.9 **文献标识码:** A

### 引言

在我国, 对一般工业与民用建筑通常采用抗震设计规范与地震烈度或地震动参数区划图相结合的方法确定抗震设防标准. 目前的做法是, 根据工程所处的地理位置, 从地震动参数区划图(国家质量技术监督局, 2001)查得工程的设计基本地震动加速度和反应谱特征周期, 再据场地类别调整特征周期, 并从建筑抗震设计规范(中华人民共和国建设部, 2001)得到相应设计反应谱. 而对于必须进行地震安全性评价的重大工程和可能发生严重次生灾害的工程, 则应根据地震安全性评价(下称“安评”)的结果, 确定抗震设防要求, 进行抗震设防. 实际上, 抗震设计规范的设计反应谱(下称“规范谱”)是根据地震学研究和强震观测资料统计分析规定的(项宗方等, 1998; 陈厚群, 郭明珠, 2002); 而地震安全性评价则采用概率地震危险性分析方法, 给出不同超越概率水准的地震动参数, 作为工程的抗震设防要求. 我国工程场地地震安全性评价技术规范(国家质量技术监督局, 1999)规定的工作流程是: 首先在综合工程场地周围地震环境的基础上, 用概率法得到场地下卧基岩面特定超越概率的一致概率谱, 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特定超越概率的场地相关设计反应谱. 但上述一致概率谱似并未能在重大工程中广泛

\* 上海市科技发展基金(022512065)和上海市建设技术发展基金(A0206101)共同资助.  
2002-11-11 收到初稿, 2003-03-05 收到修改稿, 2003-03-14 决定采用.

应用,陈厚群和郭明珠(2002)分析了其中的主要问题. 另一方面,场地相关一致概率谱的应用问题已不是单纯的理论问题,在安评提交设计反应谱结论或评审时,必然会遇到安评结果与规范标准比较的问题. 许多重大工程安评的反应谱,在 50 年超越概率 10%,即与地震区划概率标准相同的情况下,长周期部分可能低于用于一般工民建的规范谱,从而引起讨论或争论. 由于地震安全性评价工作已在我国广泛推开,比较讨论规范谱和一致概率谱具有重要的现实意义.

本研究比较安评一致概率谱与规范谱,探讨二者的关系,提出了自己的见解.

1 一致概率谱与潜源的震级-距离关系

在通常情况下,地震越大、震中距越远,则场地上记录到的地震动的反应谱越宽. 但对于危险性分析的概率法而言,按相同的超越概率标准,对同一组潜在震源,据不同周期反应谱的衰减规律得到的一致概率谱,其物理意义与地面运动记录显然是不同的. 一致概率谱的宽度与所有潜源的地震活动性参数有关,与潜源至场地的距离有关,且又与衰减规律有关,情况较为复杂.

为了讨论安评中工程场地一致概率谱与潜源的震级和距离的关系,方法之一是用各实际场地安评的结果为基础作统计. 但实际工程场地安评都涉及许多个潜源,不易得到清晰的规律性的结论,且实际安评的例子不一定能涵盖各种潜源情况. 故本研究采用理想简化的潜源方案(表 1).

表 1—假设潜源参数

衰减	潜源	距离/km	震级范围	发生率	$\beta$ 值
地 表	潜源 $A_{11}$	0	4.0~5.0	0.009 0	1.5
	潜源 $A_{12}$	0	5.0~6.0	0.003 3	
	潜源 $A_{13}$	0	6.0~7.0	0.002 3	
	潜源 $A_{21}$	50	5.5~6.5	0.040 0	
	潜源 $A_{22}$	50	6.5~7.5	0.004 5	
	潜源 $A_{31}$	100	6.0~7.0	0.055 0	
	潜源 $A_{32}$	100	7.0~8.0	0.005 0	
	潜源 $A_4$	250	7.0~8.0	0.100 0	
基 岩	潜源 $B_1$	0	4.0~5.0	0.012 0	1.5
	潜源 $B_2$	50	5.5~6.5	0.070 0	
	潜源 $B_3$	100	6.0~7.0	0.100 0	
	潜源 $B_4$	250	7.0~8.0	0.150 0	

设场地位置固定在 121.5°E、31.0°N. 为了考虑潜源可能出现的各种情况,本研究采用以下较为极端的理想化潜源方案:潜源采用单一的 0.2°×0.2°的小正方形,变更其中心位置,使之与场地距离分别为 0, 50, 100 和 250 km. 其中,0 km 潜源的震级范围分别为 4.0~5.0, 5.0~6.0, 6.0~7.0; 50 km 潜源的震级范围分别为 5.5~6.5, 6.5~7.5; 100 km 潜源的震级范围分别为 6.0~7.0, 7.0~8.0; 250 km 潜源的震级范围为 7.0~8.0 级.  $\beta$  值对本研究的讨论也会有影响,但也可归结为地震的大小,此处简单地全部取为 1.5. 为了讨论方便,将距离场点 0, 50, 100 和 250 km 的潜源分别称为直下型地震、近震、中远震和远震潜源. 以上潜源参数及起算震级以上的年平均发生率列于表 1. 对不同的潜

源, 发生率有差别, 目的是使 50 年超越概率 10% 的峰值加速度大体相同, 以便比较其反应谱(相当于  $\beta$  谱).

地震动衰减规律对概率法地震危险性分析结果有比较大的影响. 本研究取使用较多的华北地表与基岩两种地震动衰减关系(霍俊荣, 1989), 其衰减公式为

$$\lg Y = C_1 + C_2 M + C_4 \lg [R + C_5 \exp(C_6 M)] \tag{1}$$

式中,  $Y$  为地震动的峰值加速度或反应谱;  $C_1, C_2, C_4, C_5, C_6$  为衰减回归系数;  $M$  为震级,  $R$  为震中距.

用通常的地震危险性分析的概率法, 我们得到上述各潜在震源在地表地震动衰减和基岩地震动衰减两种情况下的结果. 表 2 给出了土层地表 50 年超越概率 10% 的一致概率谱. 在各种潜源参数和衰减规律的组合下, 所有方案 50 年超越概率 10% 的峰值加速度均为  $1.2 \text{ m/s}^2$  左右.

表 2 假设潜源土层地表一致概率谱(50 年 10%)

反应谱 周期/s	反应谱/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$							
	潜源 $A_{11}$	潜源 $A_{12}$	潜源 $A_{13}$	潜源 $A_{21}$	潜源 $A_{22}$	潜源 $A_{31}$	潜源 $A_{32}$	潜源 $A_4$
8.00	0.03	0.04	0.04	0.11	0.10	0.16	0.15	0.32
6.00	0.04	0.06	0.08	0.22	0.22	0.36	0.35	0.90
5.00	0.05	0.07	0.10	0.30	0.30	0.50	0.50	1.37
4.00	0.08	0.11	0.16	0.39	0.43	0.62	0.68	1.56
3.00	0.12	0.17	0.24	0.54	0.60	0.83	0.92	1.98
2.40	0.16	0.22	0.31	0.69	0.76	1.05	1.14	2.39
2.00	0.19	0.27	0.38	0.78	0.87	1.15	1.29	2.56
1.50	0.33	0.45	0.60	1.16	1.25	1.65	1.79	3.34
1.20	0.58	0.72	0.90	1.48	1.57	1.92	2.05	3.28
1.00	0.75	0.92	1.16	1.64	1.79	2.05	2.24	3.21
0.80	1.06	1.23	1.44	1.88	1.98	2.17	2.31	2.99
0.70	1.34	1.48	1.65	2.16	2.18	2.43	2.49	3.16
0.60	1.6	1.74	1.90	2.39	2.40	2.65	2.70	3.30
0.50	1.97	2.03	2.11	2.62	2.54	2.79	2.75	3.25
0.44	2.38	2.39	2.42	2.98	2.83	3.11	3.00	3.48
0.40	2.64	2.60	2.58	2.99	2.83	3.04	2.94	3.21
0.36	2.85	2.80	2.79	3.02	2.90	2.99	2.94	3.06
0.34	2.93	2.90	2.90	3.04	2.95	2.99	2.97	3.03
0.30	3.13	3.01	2.93	3.17	2.99	3.12	3.02	3.10
0.26	3.17	2.97	2.82	3.21	2.94	3.14	2.94	3.09
0.24	3.26	2.99	2.77	3.26	2.90	3.16	2.88	3.08
0.20	3.34	3.03	2.76	3.18	2.83	3.07	2.79	2.92
0.18	3.34	3.00	2.71	3.05	2.70	2.89	2.62	2.68
0.16	3.37	2.95	2.61	2.89	2.52	2.69	2.40	2.39
0.14	3.12	2.76	2.45	2.69	2.36	2.50	2.26	2.24
0.12	2.68	2.43	2.21	2.42	2.16	2.27	2.09	2.08
0.10	2.43	2.21	2.03	2.17	1.97	2.04	1.90	1.87
0.07	1.77	1.67	1.59	1.66	1.56	1.59	1.53	1.51
0.05	1.47	1.43	1.41	1.46	1.41	1.42	1.40	1.40
0.04	1.40	1.37	1.35	1.40	1.35	1.37	1.35	1.35
0.00	1.20	1.22	1.27	1.19	1.22	1.19	1.25	1.19

图 1 给出了地表衰减各种潜源方案 50 年超越概率 10% 的一致概率谱. 比较各种情况

下的反应谱不难注意到，随着潜在震源的远离，或潜在震源震级的升高，场地一致概率谱的宽度逐渐加宽，但是距离因素对一致概率谱宽度的影响大于震级因素。基岩衰减与地表衰减趋势相同，但相同情况下地表一致概率谱明显宽于基岩一致概率谱。

2 不同超越概率的一致概率谱

上面所讨论的固定 50 年超越概率 10% 的峰值加速度，相当于讨论了  $\beta$  谱的形态。但设计实际采用的反应谱  $S_a(T)=a\beta(T)$ 。式中， $a$  为峰值加速度。计算中  $a$  和  $\beta$  均有概率意义。同时改变  $a$  和  $\beta$  使情况复杂化。限于篇幅，此处仅给出同一潜源不同超越概率一致概率谱的一个例子。我们计算了潜源  $A_{12}$  和  $A_{22}$  不同超越概率的一致反应谱，控制发生率使 50 年超越概率 10% 的峰值加速度大体相同。表 3 为地表衰减规律，50 年超越概率 10% 和 3% 以及 100 年超越概率 10% 和 3% 的 8 条一致概

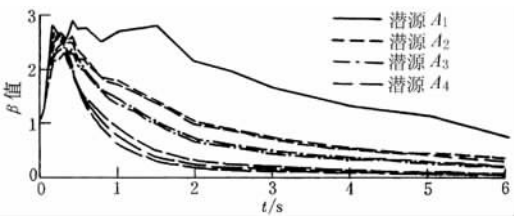


图 1 不同潜源方案的土层地表一致概率谱  
从下至上分别为  $A_{11}$ ， $A_{12}$ ， $A_{13}$ ， $A_{21}$ ， $A_{22}$ ，  
 $A_{31}$ ， $A_{32}$  和  $A_4$  潜源方案的一致概率谱

表 3 潜源  $A_{12}$  和  $A_{22}$  不同超越概率的反应谱

反应谱 周期/s	潜源方案 $A_{12}$				潜源方案 $A_{22}$			
	50 年 10%	100 年 10%	50 年 3%	100 年 3%	50 年 10%	100 年 10%	50 年 3%	100 年 3%
8.00	0.04	0.08	0.13	0.20	0.10	0.20	0.29	0.43
6.00	0.06	0.15	0.26	0.43	0.22	0.48	0.75	1.19
5.00	0.07	0.20	0.34	0.60	0.30	0.69	1.12	1.84
4.00	0.11	0.30	0.51	0.86	0.43	0.94	1.48	2.37
3.00	0.17	0.44	0.72	1.19	0.59	1.25	1.93	3.03
2.40	0.22	0.58	0.94	1.54	0.76	1.57	2.40	3.72
2.00	0.27	0.67	1.06	1.70	0.87	1.75	2.63	4.00
1.50	0.45	1.05	1.63	2.54	1.25	2.41	3.54	5.27
1.20	0.72	1.58	2.39	3.59	1.57	2.88	4.10	5.91
1.00	0.92	1.94	2.86	4.18	1.79	3.15	4.38	6.16
0.80	1.23	2.52	3.65	5.27	1.98	3.39	4.65	6.44
0.70	1.48	3.03	4.38	6.33	2.18	3.74	5.12	7.08
0.60	1.74	3.47	4.97	7.09	2.40	4.04	5.47	7.48
0.50	2.03	3.99	5.66	8.00	2.54	4.22	5.66	7.67
0.44	2.39	4.69	6.65	9.40	2.83	4.68	6.27	8.49
0.40	2.60	5.01	7.04	9.87	2.83	4.61	6.13	8.23
0.36	2.80	5.35	7.48	10.40	2.90	4.68	6.18	8.25
0.34	2.90	5.50	7.66	10.60	2.95	4.74	6.25	8.31
0.30	3.01	5.75	8.03	11.20	2.99	4.83	6.37	8.49
0.26	2.97	5.77	8.13	11.40	2.94	4.79	6.38	8.57
0.24	2.99	5.85	8.28	11.70	2.90	4.77	6.37	8.58
0.20	3.03	5.91	8.36	11.80	2.83	4.64	6.18	8.32
0.18	3.00	5.93	8.44	12.00	2.70	4.46	5.98	8.09
0.16	2.95	5.88	8.40	12.00	2.52	4.18	5.61	7.61
0.14	2.76	5.51	7.88	11.30	2.36	3.93	5.29	7.19
0.12	2.43	4.87	6.99	10.00	2.16	3.61	4.87	6.63
0.10	2.21	4.44	6.37	9.11	1.97	3.29	4.42	6.02
0.07	1.67	3.26	4.62	6.52	1.56	2.55	3.40	4.58
0.05	1.43	2.78	3.90	5.48	1.41	2.29	3.04	4.07
0.04	1.37	2.61	3.66	5.10	1.35	2.18	2.88	3.84
峰值加 速度	1.22	2.25	3.09	4.22	1.22	1.90	2.47	3.23

注：反应谱的单位为  $m/s^2$ 。超越概率 50 年 10%、100 年 10%、50 年 3%、100 年 3% 的复发周期分别为 475，950，1 642 和 3 283 年。

率谱. 表中的列按超越概率减小排列. 从表中可见, 随着超越概率的减小, 反应谱的宽度也呈增加趋势. 试算表明, 其它潜源情况也大体如此.

3 安评一致概率谱与规范谱的比较

3.1 不同潜源方案的一致概率谱与规范谱的对比

我国建筑抗震设计规范所采用的设计反应谱, 通常以地震影响系数曲线的形式给出. 地震影响系数根据场地类别、设计地震分组、结构自振周期以及阻尼比确定. 其水平地震影响系数的最大值按地震区划图确定. 设计反应谱的形状主要受特征周期的控制, 特征周期根据场地类型和设计地震分组确定. 设计地震分组反映地震环境对设计反应谱的影响, 主要取决于地震的震级和距离. 不同场地类型和设计地震分组的规范谱的特征周期  $T_g$  见表 4(中华人民共和国建设部, 2001).

表 4 设计反应谱特征周期  $T_g$ (单位: s)

设计地震分组	场 地 类 型			
	I	II	III	IV
第一组	0.25	0.35	0.45	0.65
第二组	0.30	0.40	0.55	0.75
第三组	0.35	0.45	0.65	0.90

本文主要讨论一致概率谱和规范谱的相对大小. 为了便于进行对比, 我们统一采用  $\beta$  谱, 阻尼比取 0.05. 为了讨论震级和距离的影响, 我们将不同设计地震分组的设计反应谱与相应理想潜源的一致概率谱进行对比, 即直下型和近震潜源的一致概率谱与第一组规范谱对比, 近震和中远震潜源的一致概率谱与第二组规范谱对比, 中远震和远震潜源的一致概率谱与第三组规范谱对比.

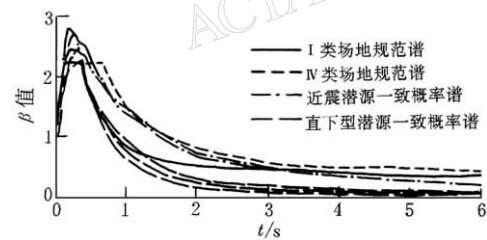


图 2 直下型和近震潜源一致概率谱与第一组不同类型场地规范谱对比

由于地表衰减大体为 II 类~IV 类场地, 图 2 给出了直下型和近震潜源土层地表 50 年超越概率 10% 的一致概率谱与第一组 II 和 IV 类场地规范谱的对比. 从图中可以看出, 对于 II 类场地, 直下型潜源的一致概率谱与规范谱的特征周期  $T_g$  基本接近. 但在周期约 0.7 s 后, 一致概率谱的谱值逐渐比规范谱小, 潜源震级小的谱值小; 在小于 1 s 周期范围内, 5~6、6~7 级潜源的谱值与规范谱相当; 周期大于 1.2 s 后, 随着周期增大, 一致概率谱与规范谱相差越来越大. 对于近震潜源, 周期小于 3 s 时, 一致概率谱相对较大; 周期在 3 s 以后, 规范谱相对较大.

对于 IV 类场地, 直下型潜源的一致概率谱的特征周期  $T_g$  和长周期谱值均比规范谱要小. 近震潜源的一致概率谱, 特征周期  $T_g$  比 IV 类场地的 0.65 s 小, 与 III 类场地的 0.45 s 相当. 在 1~3 s 周期范围内, 一致概率谱与规范谱基本接近; 大于 3 s, 一致概率谱相对较小, 随着周期的增大, 两者之间的差距逐渐增加. 说明在高频段, 第一组 II 类场地规范谱与直下型地震潜源的一致概率谱相当, 第一组 IV 类场地规范谱与近震潜源一致概率谱相

当。在长周期部分，规范谱总体上大于一致概率谱。

图 3 给出了近震和中远震潜源的土层地表 50 年超越概率 10% 的一致概率谱与第二组 II 和 IV 类场地规范谱的对比。从图中可以看出，就特征周期而言，一致概率谱介于 II 类和 IV 类场地的规范谱之间，与 III 类场地的特征周期大体相当。在高频段，周期小于 3 s，近震潜源的一致概率谱相对较大。在长周期部分，周期在 3 s 以后，规范谱相对较大；中远震潜源的一致概率谱，在周期小于 5 s 的范围内，比规范谱要大；5~6 s 周期范围，与规范谱比较接近。

对于 IV 类场地，近震潜源的一致概率谱，无论是特征周期  $T_g$  还是长周期谱值，与规范谱相比均总体偏小。中远震潜源的一致概率谱，在周期小于 4.5 s 的范围内，比规范谱偏大；在 4.5 s 以后，随着周期的增大，一致概率谱逐渐变小。说明在高频段，第二组 II 类场地规范谱比近震潜源的一致概率谱低，第二组 IV 类场地规范谱比中远震潜源一致概率谱低，但长周期部分规范谱偏大。

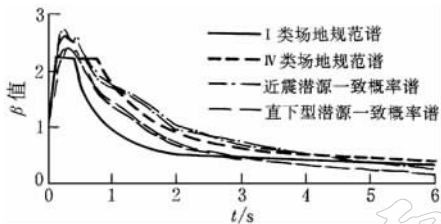


图 3 近震和中远震潜源的一致概率谱与第二组不同类型场地规范谱对比

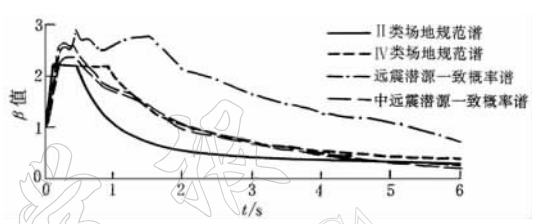


图 4 中远震和远震潜源的一致概率谱与第三组不同类型场地规范谱对比

图 4 给出了中远震和远震潜源的土层地表 50 年超越概率 10% 的一致概率谱与第三组 II 和 IV 类场地规范谱的对比。从图中可以看出，中远震潜源一致概率谱的特征周期介于 II 类和 IV 类场地的规范谱之间。对于 II 类场地，在小于 4.5 s 的周期范围内，中远震潜源的一致概率谱比规范谱要大；而在 4.5~6 s 周期范围，则与规范谱比较接近。

对于 IV 类场地，在小于 4 s 的周期范围内，中远震潜源的一致概率谱与规范谱比较接近；周期在 4 s 以后，一致概率谱的谱值逐渐减小。远震潜源的一致概率谱，无论是特征周期  $T_g$  还是长周期谱值，均比 II 和 IV 类场地的规范谱高。说明第三组 II 类场地规范谱总体上比中远震和远震反应谱低，第三组 IV 类场地规范谱与中远震反应谱大体接近，但长周期部分，规范谱偏大。

根据建筑抗震设计规范的场地划分原则，I 类场地相当于基岩场地。图 5 给出了基岩场地 50 年超越概率 10% 的一致概率谱与第三组 I 类场地规范谱的对比。对于基岩场地而言，在小于 2 s 周期范围内，规范谱介于直下型潜源与近震潜源一致概率谱之间。直下型地震潜源的一致概率谱与第一组

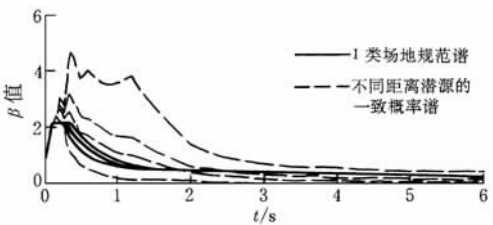


图 5 基岩场地 50 年超越概率 10% 的一致概率谱与第三组 I 类场地规范谱的对比

图中实线表示 I 类场地规范谱，从左至右分别为第一组、第二组、第三组；虚线表示不同距离潜源的一致概率谱，从下至上分别为直下型、近震、中远震、远震潜源

规范谱的特征周期  $T_g$  基本接近; 在大于 0.4 s 周期范围, 一致概率谱的谱值比规范谱小. 近震潜源和中远震潜源的一致概率谱, 在分别小于 2 和 2.5 s 的周期范围内, 一致概率谱相对较大; 在大于 2 和 2.5 s 周期范围内, 一致概率谱相对较小. 对于远震潜源, 无论是特征周期还是长周期谱值, 一致概率谱均比规范谱高.

3.2 不同超越概率的一致概率谱与规范谱的对比

图 6 给出了直下型潜源和近震潜源不同超越概率的一致概率谱与第一组 II 类和 IV 类场地规范谱的对比. 从图中可以看出, 对于 II 类场地, 直下型潜源的一致概率谱, 在小于 1 s

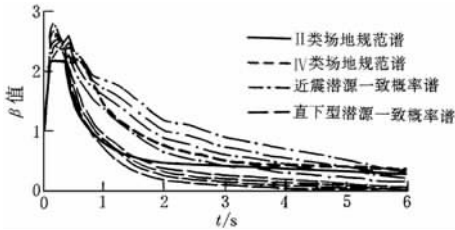


图 6 不同超越概率的一致概率谱  
与规范谱的对比

从下至上的超越概率分别为 50 年 10%、  
100 年 10%、50 年 3% 和 100 年 3%

周期范围内, 与规范谱比较接近; 在此周期以后, 一致概率谱比规范谱小, 且周期越大, 差距越大. 近震潜源的一致概率谱, 除超越概率 50 年 10% 的一致概率谱在周期 3 s 以后和超越概率 100 年 10% 的一致概率谱在周期 5 s 以后小于规范谱外, 其余各超越概率的一致反应谱的谱值均大于规范谱或与规范谱接近.

对于 IV 类场地, 直下型潜源的一致概率谱, 其特征周期和长周期谱值都明显小于规范谱. 近震潜源的不同超越概率的一致概率谱与规范谱相比, 其特征周期与规范谱比较接近, 而长周期部分比规范谱小. 对于超越概率为 50 年 10%、100 年 10% 和 50 年 3% 的一致概率谱, 分别在周期 2 s、4 s 和 5 s 以后小于规范谱.

4 讨论与结论

本研究通过对理想简化潜源作危险性分析的讨论方法, 比较了一致概率谱与规范谱, 得到了以下规律性的半定量或定性结论:

1) 对于以直下型地震和 50 km 左右潜源影响为主的情况, 在大于 1 s 的周期范围, 50 年超越概率 10% 的一致概率谱通常比规范谱小; 对于近震和中远震潜源影响为主的情况, 在周期大于 3 s, 50 年超越概率 10% 的一致规范谱比规范谱小; 在主要以 250 km 左右远震潜源影响的情况下, 无论是特征周期还是长周期谱值, 50 年超越概率 10% 的一致概率谱可以远大于规范谱, 但在实际工作中此类潜源方案几乎不存在.

2) 在多数情况下, 规范谱与 50 年超越概率 10% 的一致概率谱相比, 二者特征周期大体相当. 直下型和近震潜源一致概率谱的特征周期与第一组 II 和 III 类场地规范谱大体相当, 中远震一致概率谱的特征周期与第二组和第三组 III 类场地规范谱比较接近.

3) 同一潜源不同概率水准下的一致概率谱, 随着复发周期的增加, 谱宽度增大. 对于主要受直下型地震影响的地区, 在 1 s 以下的高频部分, 一致概率谱总体上小于或接近规范谱; 在周期大于 1 s 后, 一致概率谱小于规范谱, 且周期越大, 差距越大. 对于主要受近震影响的地区(距离为 50 km 左右), 在高频段, 不同超越概率的一致概率谱大于规范谱或与规范谱比较接近, 但长周期部分, 则规范谱大于一致概率谱.

4) 在许多工程场地的安评中, 50 km 左右以内的潜源影响通常是主要的, 故我国现行新规范给出的反应谱长周期部分, 与绝大部分地区的安评结果相比其反应谱下降指数显然是保守的. 规范谱的确定是直接以强地面运动记录资料为基础的, 而安评的一致概率谱是

场地周围潜源概率贡献的结果,二者思路不同,有差异是自然的。但本研究结果提示,对绝大多数场地而言,规范谱是“概率不一致谱”,长周期地震动概率水准低(复发周期长)。结构抗震是否需要提高长周期结构部分的设防水准,值得研究。

5) 本文的讨论是粗略的。例如,没有讨论衰减规律差异可能对分析结果的影响。实际上,衰减规律依据的地震动记录的长周期部分(3 s 以上)目前资料也不充分。此外,安评方法也有较大的不确定性。故无论在编制规范时,还是在安评提交重大工程的设计反应谱时,长周期部分的结论宜慎重。鉴于该问题事关重大,设计反应谱的长周期部分的确定,值得地震工程界和结构工程师们共同重视;有关一致概率谱与规范谱的讨论有待进一步深入。

## 参 考 文 献

- 陈厚群,郭明珠. 2002. 重大工程场地设计地震动参数选择[A]. 见:王亚勇,李爱群,崔杰主编. 现代地震工程进展[C]. 南京:东南大学出版社, 25~39
- 霍俊荣. 1989. 近场地面运动衰减规律的研究[D]: [学位论文]. 哈尔滨:国家地震局工程力学研究所, 206~207
- 项宗方,李英民,王亚勇,等. 1998. 基于统计分析的长周期反应谱特性[A]. 见:中国地震学会地震工程专业委员会, 中国建筑学会地震工程学术委员会编. 第五届全国地震工程学术会议论文集[C]. 117~123
- 中华人民共和国建设部. 2001. 建筑抗震设计规范(GB50011-2001)[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 26~40
- 国家质量技术监督局. 2001. 中国地震动参数区划图(GB18306-2001)[M]. 北京:中国标准出版社, 1~2
- 国家质量技术监督局. 1999. 工程场地地震安全性评价技术规范(GB17741~1999)[M]. 北京:中国标准出版社, 1~10

## PROBABILITY-CONSISTENT SPECTRUM AND CODE SPECTRUM

Shen Jianwen<sup>1)</sup> Shi Shuzhong<sup>2)</sup>

1) *Seismological Bureau of Shanghai, Shanghai 200062, China*

2) *Tongji University, Shanghai 200092, China*

**Abstract:** In the seismic safety evaluation (SSE) for key projects, the probability-consistent spectrum (PCS), usually obtained from probabilistic seismic hazard analysis (PSHA), is not consistent with the design response spectrum given by Code for Seismic Design of Buildings (GB50011-2001). Sometimes, there may be a remarkable difference between them. If the PCS is lower than the corresponding code design response spectrum (CDS), the seismic fortification criterion for the key projects would be lower than that for the general industry and civil buildings. In the paper, the relation between PCS and CDS is discussed by using the ideal simple potential seismic source. The results show that in the most areas influenced mainly by the potential sources of the epicentral earthquakes and the regional earthquakes, PCS is generally lower than CDS in the long periods. We point out that the long-period response spectra of the code should be further studied and combined with the probability method of seismic zoning as much as possible. Because of the uncertainties in SSE, it should be prudent to use the long-period response spectra given by SSE for key projects when they are lower than CDS.

**Key words:** probability-consistent spectrum; seismic code spectrum; seismic fortification criterion; potential seismic source; long period