

震源机制对近场地震动反应谱的影响^①

董 娣, 桑向国, 刘 锐, 李风军

(青岛市工程地震研究所, 山东 青岛 266003)

摘 要:将欧洲及其毗邻地区以及美国的部分近场强震记录按照震源机制进行分组, 详细的分析了震源机制对水平和竖向分量地震动加速度反应谱放大系数以及竖向与水平向反应谱比值的影响。结果表明震源机制对震级不同的地震动以及地震动不同分量反应谱的影响程度不同; 震源机制不仅影响反应谱峰值大小以及峰值位置, 还在一定程度上影响反应谱的形状。

关键词:震源机制; 反应谱; 谱比值; 地震动

中图分类号: P315.9

文献标识码: A

文章编号: 1000-0844(2008)01-0006-05

Effects of Focal Mechanism on Near Field Response Spectrum of Ground Motion

DONG Di, SANG Xiang-guo, LIU Rui, LI Feng-jun

(Institute of Engineering Earthquake of Qingdao, Shangdong Qingdao 266003, China)

Abstract: According to the focal mechanism the 92 groups of near field earthquake records from Europe, its neighbor regions and America are divided into 4 types. Based on the data, the effects of focal mechanism on near field response spectrum and response spectra ratio in vertical and horizontal component of the acceleration records are analyzed. The results show that the effect of focal mechanism on response spectrum of different magnitude and different components has different features. Focal mechanism has not only some effects on the peak and peak position of response spectrum, but also on the shape of response spectrum in a certain extent.

Key words: Focal mechanism; Response spectrum; Spectrum ratio; Ground motion

0 前言

影响地震动的因素包括震源特性、传播介质与途径和局部场地条件这三类。几十年来人们通过对大量地震记录和地震动特性的研究认识到地震动一般是不可预测的, 也是不会重复的, 原因在于发出地震波的震源破裂细节很复杂, 这会导致地震动本身的复杂多变性, 而人们目前尚不能精确预测这些复杂因素。目前一般只用震级作为表示震源特性的唯一参数。在以往地震动特性的统计研究中, 往往更重视潜在震源区的地震震级、震中距和所在的场地条件对其各种特性以及衰减规律的影响。各国规范中设计反应谱^[1-2]等也仅考虑震级、震中距以及场地条件的影响。即使在选择实际加速度时程作为抗震

验算^[3]时, 也仅把震级、震中距和场地条件作为选择依据, 而不考虑震源机制的影响。然而众多研究^[4-5]表明, 不同震源机制的地震对地震动特性的影响也还是较为显著的, 其中对地震动频谱的组成有时会有显著的影响。李新乐^[4]等研究表明, 在近断层震源机制不仅对峰值加速度竖向与水平比值的影响显著以外, 随着场地愈软, 走滑断层与逆断层加速度反应谱之间的差异尤为明显。这些都说明只用震级来表示震源的全部特性是不够的。

与场地条件相比, 由于很难直观的考虑震源机制对地震动特性的影响, 因此长期以来震源机制对地震动的影响仍没有作为一种必要的因素纳入重要

① 收稿日期: 2007-08-31

基金项目: 国家自然科学基金(50408005; 50578004)

作者简介: 董 娣(1975-), 女(汉族), 陕西三原人, 博士, 主要从事结构抗震减灾以及地面运动方面的研究。

工程的抗震设计规范中。我国现行建筑抗震设计规范^[8] (GB 50011- 2001) 规定, 对一般的建筑结构宜采用振型分解反应谱法。绝对加速度反应谱除以地震动加速度时程最大绝对值所得结果称为正规化加速度反应谱, 也称为动力放大系数, 在我国常简称为反应谱。在现行的建筑抗震设计规范中, 所应用的建筑结构地震影响系数曲线是根据烈度、场地分类和设计地震分组来确定影响系数曲线的最大值以及形状, 还没有考虑震源机制的影响。实际研究表明, 震源机制对地震动频谱特性有明显的影响。鉴于规范反应谱在我国结构抗震验算中的重要性, 本文试图采用根据震源机制分组的强震数据来分析震源机制对反应谱的影响以期得出有参考价值的结论, 以便为建筑抗震设计规范的修订提供一些基础数据。如今震源机制及近场强震记录的丰富为此研究提供了强大的数据支持。尽管本文所采用的数据根据震源机制的划分还是很粗糙的, 但是与仅以震级大小来反应震源的特性相比, 考虑震源机制对地震动特性的影响无疑是对分析震源特性影响地震动有价值的补充。

1 数据概况

为了使得所得结论具有不分区域的普遍性, 本文对收集到的欧洲、美国等不同国家、地区的强震记录进行分析, 研究震源机制对地震动若干特性的影响, 以期为抗震设计和规范修订提供有参考价值的见解。由于考虑到近场区震源机制对地震动特性的影响较显著, 且场地类别对地震动频谱的影响已有许多学者研究, 因此本文所采用皆为震中距小于 50 km 且场地类别均为 C 类场地的强震记录共计 92 组(每组包含两条水平一条垂直分量)。欧洲地震动记录采用欧洲 8 场地分类标准^[6], 美国等记录采用 1997 UBC 场地类别划分标准^[7]。由于欧洲 8 规范中 C 类场地的平均剪切波速范围为 360~ 800 m/ s, 1997 UBC 规范中 C 类场地的平均剪切波速范围为 360~ 760 m/ s, 因此按照两种场地划分所得的强震记录分组会有些误差。但是在本文的统计分析中以欧洲记录居多, 平均剪切波速相差也不大, 对所得结论影响也不会很大。面波震级范围为 5~ 7. 8。

表 1 不同震源机制的强震记录分布

震级	震源机制			
	正断层	斜断层	走滑断层	逆断层
5~ 6	81	15	27	27
> 6	15	42	42	27

震源机制也称断层机制。断层按它们的几何学及相对滑移方向分类。本文的震源机制就是根据以上方法划分为四种: 正断层, 斜断层, 走滑断层, 逆断层。不同震源机制强震记录分布情况见表 1。

2 不同震源机制地震动反应谱放大系数的统计特性

以往的研究表明, 影响地震动加速度反应谱的因素有震级、震中距、场地类别等。震级与震中距决定反应谱幅值的大小; 在抗震设计规范中主要由场地类别与设计地震分组决定反应谱的形状也就是特征周期的大小。众多研究结果都表明, 地震动水平分量与竖向分量特性差异较大, 在此也分别讨论震源机制对竖向与水平向反应谱的影响。为了使所得结果能明显的体现震源机制对地震动反应谱的影响, 本文对所得平均反应谱进行了高次多项式拟合, 所采用的多项式为 18 次。图 1、2 分别为震级大于 5 小于 6 的地震动水平分量、竖向分量反应谱。由图 1 可知, 震源机制对震级小于 6 的地震动水平分量反应谱的峰值大小影响甚微, 对峰值位置略微有些影响。在短周期段反应谱幅值差别不大; 而在峰值之后的长周期范围内, 不同震源机制的反应谱便有了一定的差别; 逆断层反应谱随周期的增加下降的速度是略快于其他三类震源机制的反应谱, 斜断层反应谱随周期的变大下降的速度最慢。此外还应注意到, 斜断层反应谱在中短周期以后有一个明显的波动, 初步推测是斜断层强震数据较少的原因引起的(仅有 5 组)。由图 2 可知, 震源机制不仅影响地震动竖向分量反应谱的形状, 也影响反应谱幅值。震源机制为走滑断层的地震动反应谱峰值明显的小于其它三类震源机制地震动幅值, 且在峰值之前的短周期其变化非常平缓; 而在长周期范围内, 不同震源机制地震动反应谱随周期的变化与水平分量反应谱相同, 即逆断层反应谱随周期的增加下降的速度最快, 斜断层反应谱下降的速度最慢, 斜断层在周期 1 秒之后同样有明显的波动。

图 3- 4 分别为震级大于 6 的地震动水平与竖向反应谱。由图可知, 对于震级大于 6 的地震动, 不同震源机制的地震动水平和竖向分量反应谱峰值大小、位置以及反应谱形状都有不同程度的差别。由图 3 可以看出水平分量逆断层地震动反应谱峰值最大, 走滑断层是最小的, 且它们的反应谱峰值对应的周期较小, 这也就意味着逆断层与走滑断层水平分量的卓越频率比正断层与斜断层对应的卓越频率大,

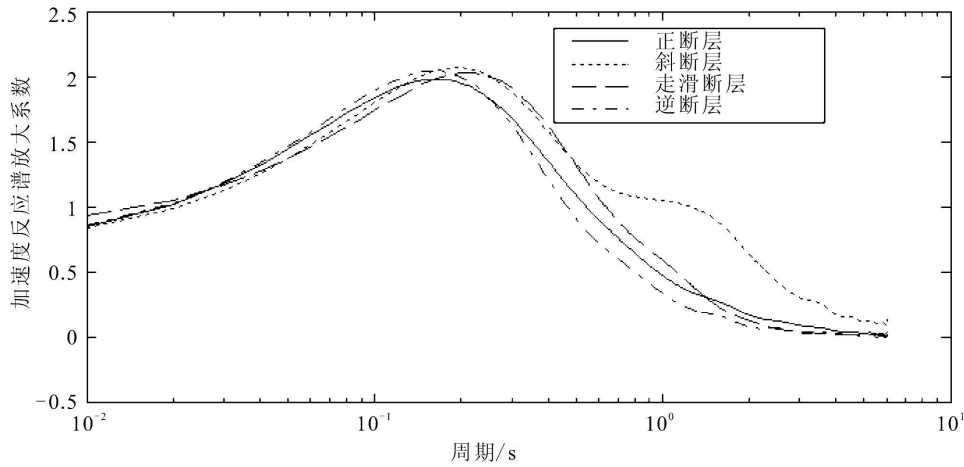


图 1 震源机制不同的地震动水平分量加速度反应谱($5 < M < 6$)

Fig. 1 The response spectra of acceleration in horizontal component with different fault mechanism($5 < M < 6$) .

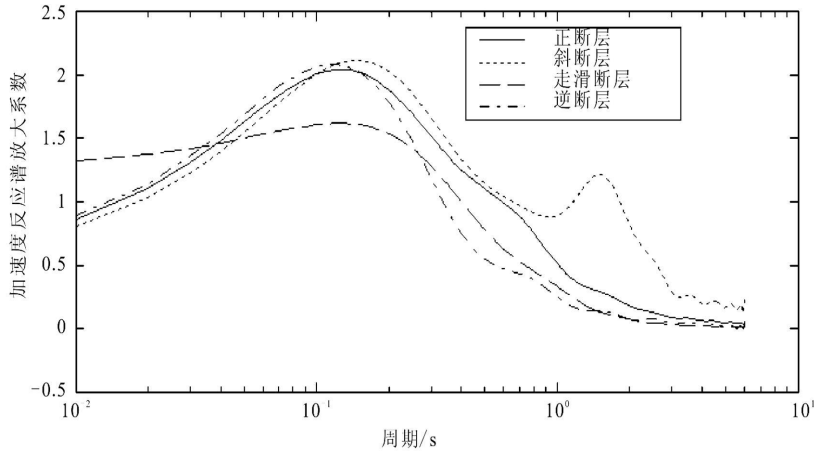


图 2 震源机制不同的地震动竖向分量加速度反应谱($5 < M < 6$)

Fig. 2 The response spectra of acceleration in vertical component with different fault mechanism($5 < M < 6$) .

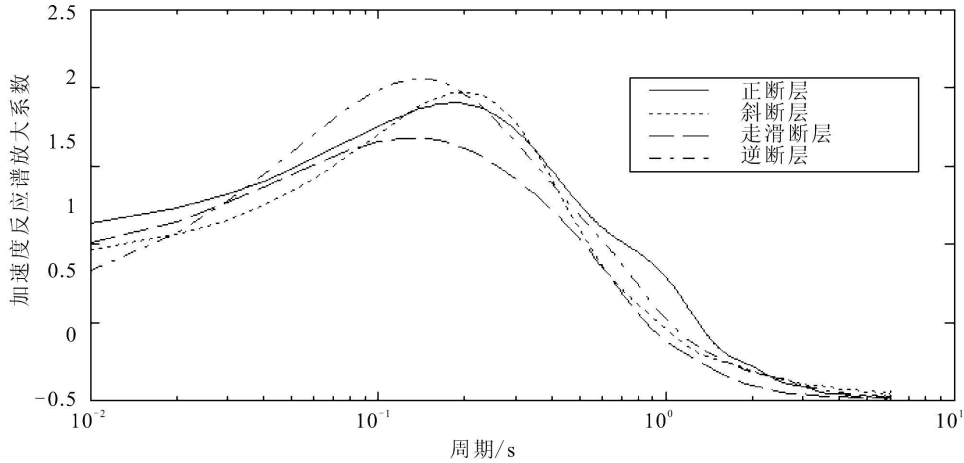


图 3 震源机制不同的地震动水平分量加速度反应谱($M > 6$)

Fig. 3 The response spectra of acceleration in horizontal component with different fault mechanism($M > 6$) .

这与文献[9]中的数据是一致的;在反应谱峰值对应周期之后的范围内,除了正断层反应谱曲线有点波动之外,其它震源机制的反应谱相差不大。由图 4

可知,竖向分量正断层反应谱峰值是最大的,仍是走滑断层的最小;至于峰点对应的周期与水平分量相同,逆断层与走滑断层反应谱峰值周期较小,这也说

明逆断层与走滑断层竖向分量的卓越频率同样比正断层与斜断层对应的卓越频率大;而在反应谱峰值对应周期之后的范围内,正断层与走滑断层的反应

谱曲线都有较明显的波动,推测这应该也是由于数据较少引起的(正断层仅有 5 组)。

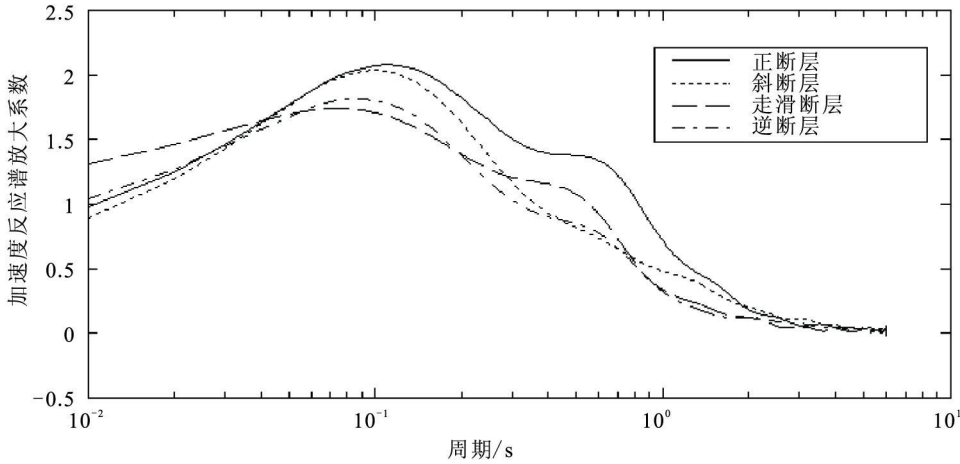


图 4 震源机制不同的地震动竖向分量加速度反应谱($M > 6$)

Fig. 4 The response spectra of acceleration in vertical component with different fault mechanism($M > 6$).

由以上有关不同震源机制的反应谱分析结果可知,震源机制不仅影响反应谱峰值,还影响反应谱形状,且对反应谱水平分量与竖向分量的影响程度不同。当然以上只是做了定性的分析,若想得到对修订规范反应谱有价值的参考数据还需收集更多的强震数据做定量的分析。

3 不同震源机制地震动竖向与水平分量反应谱比值

在我国现行的建筑抗震设计规范中,对一般建筑采用振型分解反应谱法进行抗震计算。但现有规范中仅有水平方向的地震影响系数曲线,在竖向地震作用计算中竖向地震影响系数的最大值一般取水平地震影响系数的 65%。研究表明,竖向加速度反

应谱与水平加速度反应谱的比值在反应谱整个频段内不是简单的常数关系,而是与震级、震中距、场地类别等因素相关的。文献[10]通过对集集地震的研究表明,竖向反应谱与水平向反应谱的比值基本上都大于 2/3,与规范中竖向地震影响系数的最大值一般取水平地震影响系数的 65% 相比较是偏于不安全的。震源机制对竖向与水平加速度反应谱比值是否有影响似乎还未引起大家的关注。本文按照震源机制分组分析了其对竖向与水平向反应谱比值的影响。文中比值皆指地震动竖向与水平向反应谱比值 H/V 。鉴于文献[10]已对反应谱比值作过比较详细的讨论,在此仅以震级大于 5 小于 6 的地震动为例来说明不同震源机制反应谱比值的差异。由图 5 可知,四类震源机制的反应谱比值中,除了走滑断

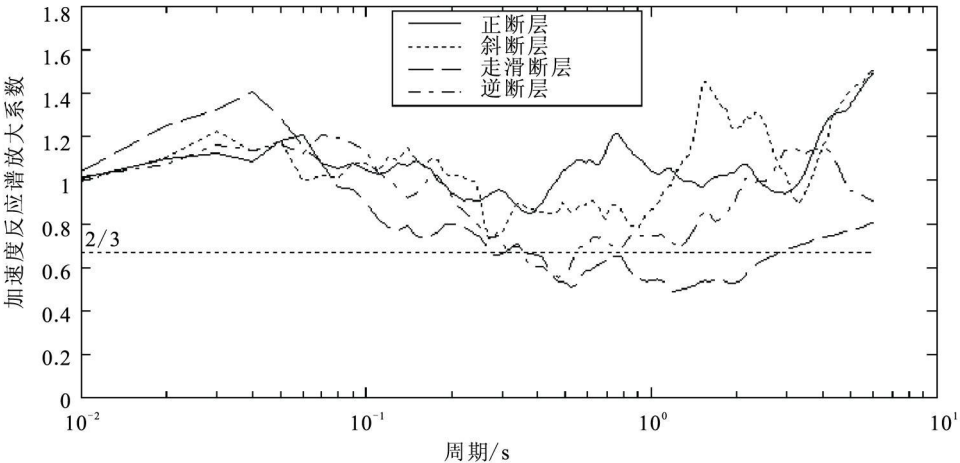


图 5 不同震源机制的地震动竖向与水平分量加速度反应谱的比值($M < 6$)

Fig. 5 The response spectra ratio of vertical component to horizontal component with different fault mechanism ($M < 6$).

层以及逆断层反应谱比值有很少一部分小于 $2/3$ 以外,其余部分反应谱比值在整个频段内都大于 $2/3$ 。尤其在短周期以及长周期内,反应谱比值明显的大于 $2/3$,且反应谱比值形状与文献[10]中不同场地类别上的比值形状类似,即呈“Z”。然而不是很明显,也即整个频段内比值变化幅度较平缓。这也说明震源机制对反应谱比值的影响不如场地类别的影响大。具体来看,在反应谱短周期,走滑断层地震动反应谱比值最大;在反应谱曲线相对凹陷的部分正断层反应谱比值较大;在长周期范围内斜断层、正断层反应谱比值较大。此外从图 5 中还可知,正断层地震动反应谱比值在整个频段内变化不是很大,大约在 1 左右,这也说明与其它震源机制的地震动比较而言,正断层地震的竖向分量较大。以上不同震源机制反应谱比值的曲线也表明简单以 $2/3$ 倍的水平地震影响系数作为竖向地震影响系数进行结构抗震验算有时是偏于不安全的。

4 结论

本文根据欧洲及其毗邻地区以及美国的部分近场强震记录研究了震源机制对地震动反应谱及竖向与水平向谱比值的影响,结果表明:震源机制对震级不同的地震动以及地震动不同分量反应谱的影响程度不同;震源机制不仅影响反应谱峰值大小以及峰值位置,还在一定程度上影响反应谱的形状。以上所得有关不同震源机制地震动频谱特性不同的结论,是在一定数量强震记录的基础上得到的,由于数据分布也不是很均匀,结果有一定局限性,与以往的研究也有些不同。此外文中对震源机制的划分也是比较粗糙的,仅根据断层滑动方向,没有详细考虑震源模型的参数,这些还有待进一步深入的研究。在

实际应用方面,还需要对照我国地震震源机制的特点更有针对性地提出如何在抗震规范中和重大工程的抗震设计中考虑震源机制影响的具体方案。

[参考文献]

- [1] International Association for Earthquake Engineering. Regulations for Seismic Design - A World List - 1996[S]. Tokyo Japan, 1996.
- [2] International Association for Earthquake Engineering. Regulations for Seismic Design - A World List Supplement 2000 [S]. Tokyo Japan, 2000.
- [3] Julian J Bommer. The use of real earthquake accelerograms as input to dynamic analysis[J]. Journal of Earthquake Engineering, 2004, 8(1): 43-91.
- [4] 郭明珠,毛志清,魏秀丽,等.伽师强震群地震动特点与震源机制关系的研究[J].地震工程与工程振动,2002,22(1):28-31.
- [5] 李新乐,朱唏.考虑场地和震源机制的近断层地震动衰减特性的研究[J].工程地质学报,2004,12(2):141-147.
- [6] Ambraseys N, P Smit, R Berardi, et al.. Dissemination of European Strong Motion Data (CD-ROM collection) [S]. European Council, Environment and Climate Research Programme.
- [7] Lee C T, C T Cheng, C W Liao, et al.. Site classification of Taiwan free field strong motion stations [J]. Bull. Seism. Soc. Am., 2001, 91(5): 1283-1297.
- [8] 建筑抗震设计规范(GB 50011-2001)[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2001.
- [9] 董娣.地震动特性的影响因素与不确定性分析[D].北京:北京工业大学,2006:78.
- [10] 董娣,周锡元,徐国栋,等.921集集地震中场地类别对地震动若干特性的影响[J].地震研究,2005,28(4):365-372.
- [11] 龙海英,高国英,聂晓红.1997-1998年伽师强震群震源区应力场特征[J].西北地震学报,2007,29(2):145-149.
- [12] 吴子泉,谭捍东,王成虎.电阻率横向剖面探测走滑断层的数值模拟研究[J].西北地震学报,2005,27(2):146-149.