

2013年岷县 $M_s6.6$ 地震区域台阵强震动记录衰减与烈度线比较分析

何新社¹, 刘旭宙^{1,2}, 潘颖凌¹, 田秀丰¹

(1. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000;

2. 中国地震局地震预测研究所兰州科技创新基地, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 2013年7月22日甘肃岷县6.6级地震是十年来发生在甘肃省破坏性最大的地震。本文对距震中距18~218 km以内的22个强震动台所获取的主震记录进行了分析处理,研究了该次地震在强震动台站分布方向上的衰减规律。将根据衰减规律得出的烈度区域与震后灾害评估的烈度图比较后发现,分析得出的Ⅷ度、Ⅶ度区范围相对略大,Ⅵ度以下区域范围则大致相当,其原因应该与近场的强震动记录较少有关系。

关键词: 岷县 $M_s6.6$ 地震; 强震动记录; 衰减; 烈度区

中图分类号: P315.914

文献标识码: A **文章编号:** 1000-0844(2013)04-774-06

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2013.04.774

Strong Motion Records and Attenuation Analysis of July 22, 2013, Minxian $M_s6.6$ Earthquake

HE Xin-she¹, LIU Xu-zhou^{1,2}, PAN Ying-ling¹, TIAN Xiu-feng¹

(1. Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou Gansu 730000, China;

2. Lanzhou Base of Institute of Earthquake Science, CEA, Lanzhou Gansu 730000, China)

Abstract: The Minxian $M_s6.6$ earthquake, the largest earthquake to occur in Gansu province during the past decade, devastated areas in Minxian and Zhangxian and affected counties in Longnan and the Gannan Tibetan Autonomous Prefecture more than 100 km from the epicenter. During the tenth five-year plan, 20 strong-motion stations have been erected in southeastern Gansu, most of which recorded the main shock. In addition, several stations in Lanzhou also recorded strong motion. After preliminary processing of the strong motion data, we determined that the majority of stations that recorded the main shock are broadly distributed with same strike; therefore, a simplified mathematical model was developed to analyze the attenuation of these strong motion records.

The epicentral distances of the strong motion stations recording the main shock are 18 km to more than 200 km. The largest peak ground acceleration was recorded by the Minxian strong motion station at 172.5 cm/s^2 with an epicentral distance of 18 km. For the free-field soil observation conditions, these values essentially reflect the local ground acceleration; therefore, the extent of damage reached VIII°. Stations near Lanzhou with epicentral distances close to 200 km also recorded the mo-

收稿日期: 2013-08-15

基金项目: 中国地震局地震预测研究所基本科研业务专项(2012IESLZ03)

作者简介: 何新社(1957-),男(汉族),工程师,主要从事强震观测。

tion, with peak acceleration between 1 cm/s^2 and 8 cm/s^2 .

Chinese ground motion attenuation data originally used ground motion data observed in the United States as a reference before such information was recorded in China. In recent years, a Chinese digital strong motion observation network was been created to provide important data in earthquake-prone regions for in-depth research of Chinese ground motion attenuation. Therefore, the study of Minxian $M_6.6$ earthquake ground motion attenuation also has practical significance in areas outside of southeast Gansu.

In the study of peak ground acceleration attenuation, the following formula is often used:

$$\lg y = c_1 + c_2 M + c_3 M^2 + c_4 \lg [R + c_5 \exp (c_6 M)], \dots\dots\dots(1)$$

where y is the peak ground acceleration, M is the magnitude, R is the epicentral distance, and $c_1, c_2, c_3, c_4, c_5,$ and c_6 are regression coefficients. When the magnitude is determined, equation (1) can be simplified to:

$$\lg y = A + B \lg (R + R_0). \dots\dots\dots(2)$$

The correspondence of the parameters is as follows:

$$A = c_1 + c_2 M + c_3 M^2; B = c_4; R_0 = c_5 \exp (c_6 M).$$

We fit the peak ground acceleration attenuation curve by using formula (2). Because the peak ground acceleration from the station on a thick layer (bedrock) would be significantly greater (smaller), data from five stations were removed during the attenuation curve fitting. We took R_0 as 30 for $\lg y$ and $\lg (R + R_0)$ to obtain the best linearity. The results show that the peak ground acceleration attenuation curves of the three components had the same shape. However, the value of limit acceleration, or the value of $A + B \lg (R_0)$ differed. The formulas of the peak ground acceleration attenuation of three components are:

$$\text{EW: } \lg y = -2.8477 \lg (R + 30) + 7.0569; R^2 = 0.8466$$

$$\text{NS: } \lg y = -2.7935 \lg (R + 30) + 6.9844; R^2 = 0.8603$$

$$\text{UD: } \lg y = -2.7969 \lg (R + 30) + 6.7518; R^2 = 0.8497.$$

We compared the results with the disaster assessment intensity map to determine that the ranges of VIII and VII degrees given by our results are slightly larger because of fewer near-field strong motion records were used.

Key words: Minxian $M_6.6$ earthquake; strong motion record; attenuation; seismic region

0 引言

2013年7月22日07时45分甘肃岷县-漳县交界地区发生 $M_6.6$ 地震,这次地震是多年来对甘肃省造成最严重破坏的一次地震,地震不仅使岷县-漳县受灾严重,距震中100 km以外的陇南市、甘南藏族自治州的部分县(区)也遭受不同程度的震害。“十五”期间甘肃省在甘东南地区架设了20个固定强震动台,大部分台站都获取了此次地震主震的记录,此外兰州市强震动烈度速报台网的部分强震台站也获得了这次地震的地表加速度记录。这些强震动观测信息不仅对于抗震救灾部署、震后趋势判定和震害评估起到了重要的作用,并且对于甘肃省的工程抗震、地震动衰减规律的研究和地震小区划也有着重要的意义。

地震烈度及地震动参数(加速度、速度等)的衰减关系

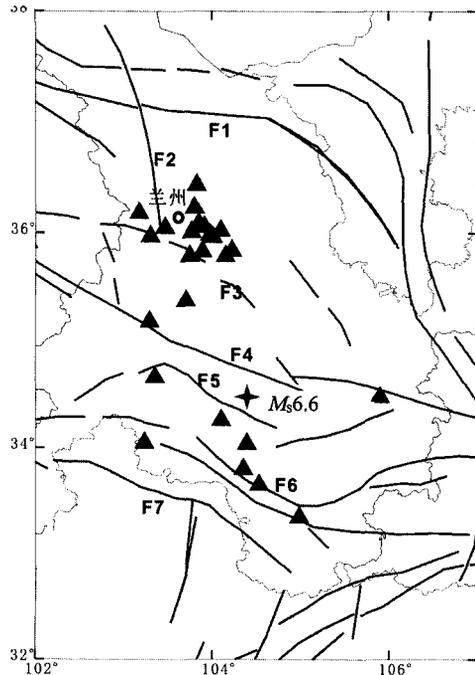
分析对于地震区划、快速灾评预判等工作具有不可或缺的意义。其中利用实际观测到的强地震动记录回归得到的强地震动加速度衰减关系更是直接反应了地表运动的真实衰减程度。本世纪前,我国大部分地区缺少足够多的强地震动记录,因此一些学者根据既有的资料提出一种方法,即首先利用我国丰富的地震烈度等震线资料研究我国分区地震烈度衰减关系,然后选择既有丰富的强震记录又有烈度衰减关系的美国西部地区作为参考区,转换得到相应的地震动衰减关系^[1-7]。近年来,随着我国强震动台站的大规模布设,已经有越来越多的强地震动资料被获取,这些记录对建立不同地区的地震动加速度衰减关系起到了积极的作用。

我们在初步处理收集到的岷县 $M_6.6$ 地震的强震动资料后,发现获得此次地震记录的大部分台站大致分布在

一个走向上(图1),因此可以利用简化的数学模型来分析此次地震中强震动记录的衰减规律。

1 资料

在我们收集到的岷县 $M_s6.6$ 强地震动记录中,最小震中距的记录来自于固定强震动台站岷县台,其震中距为



F1: 海源断裂; F2: 庄浪河断裂; F3: 马衔山断裂; F4: 西秦岭北缘断裂; F5: 临潭-宕昌断裂; F6: 光盖山-迭山断裂; F7: 塔藏断裂; F8: 岷江断裂 ▲ 强震台站

图1 岷县 $M_s6.6$ 地震及部分强震动台分布

Fig.1 $M_s6.6$ earthquake and distribution of strong motion stations

18 km;最大震中距的记录来自于赵家岔台,该台站属于兰

州市强震动烈度速报台网,震中距为260 km。本文在初步挑选和分析后,得到了来自于23个强震动台站的清晰、完整的加速度记录,并读取了各台站的加速度峰值绝对值(表1)。其中最大加速度峰值记录获取于岷县台,为 172.5 cm/s^2 ,该台站场地条件为自由场地土层观测,记录基本反映了当地的地表加速度,其破坏程度接近VIII度。震中距较远的兰州市强震动烈度速报台网的台站获取到的加速度峰值绝对值在 $1.0\sim 8.1 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-2}$ 之间。

图2是较为典型的强震动波形记录,分别来自岷县台和兰州观象台。

2 地震衰减初步分析

近年来,我国的数字强震动观测网覆盖了地震多发地区,获得了汶川、玉树地震的大量观测资料,为深入研究中国地震动衰减关系提供了翔实的数据。研究岷县 $M_s6.6$ 地震的地震动衰减关系不仅对于研究甘东南地区地震衰减规律具有现实意义,而且也是对中国地震动衰减规律研究的重要补充。

在研究地震动加速度峰值的衰减规律时,常采用公式^[2-3]:

$$\lg y = c_1 + c_2 M + c_3 M^2 + c_4 \lg [R + c_5 \exp(c_6 M)] \quad (1)$$

式中 y 为地表加速度峰值; M 为震级; R 为震中距; $c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6$ 为回归系数。当震级确定时公式(1)可以简化为

$$\lg y = A + B \lg (R + R_0) \quad (2)$$

其中 A, B, R_0 与公式(1)中各参数的对应关系为

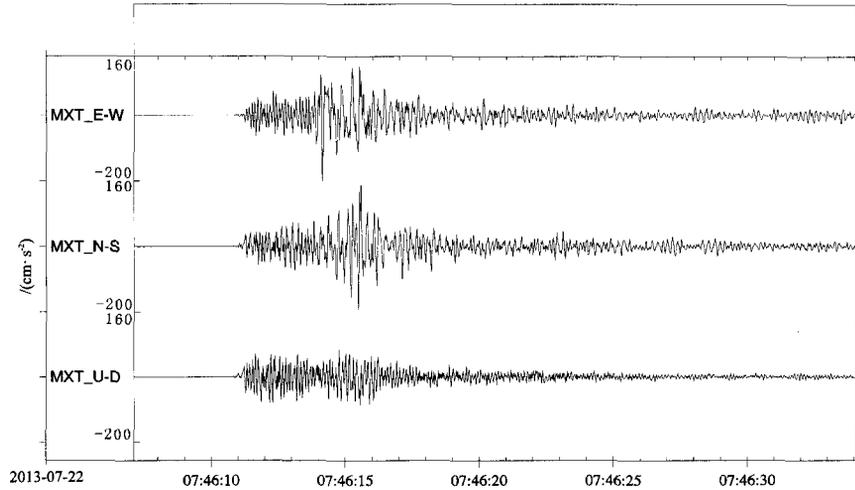
$$A = c_1 + c_2 M + c_3 M^2, B = c_4, R_0 = c_5 \exp(c_6 M)$$

我们利用式(2)对收集到的强震动资料进行拟合。在

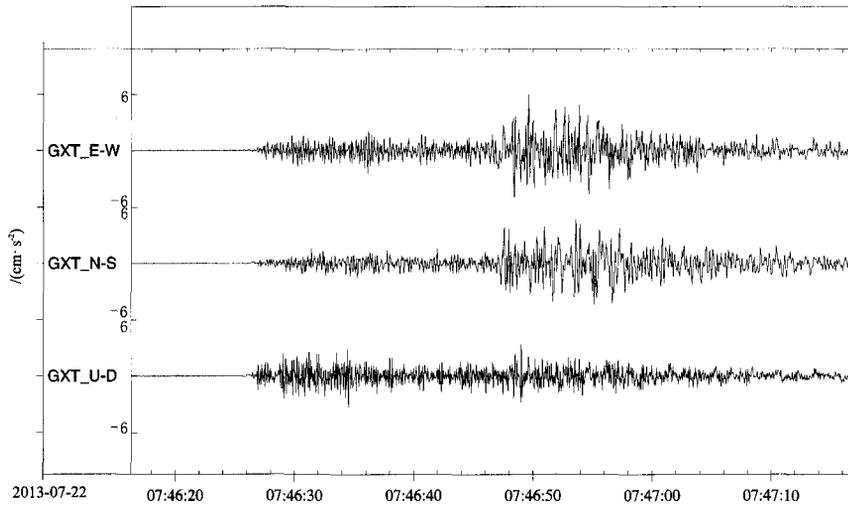
表1 各测点记录的加速度峰值

Table1 The large peak ground accelerations recorded at each station

台站名称	台站代码	场地类型	观测对象	仪器型号	震中距/km	最大加速度绝对值/($\text{cm}\cdot\text{s}^{-2}$)		
						东西	北南	垂直
岷县	62MXT	土层台	自由地表	MR2002	18	160.7	172.5	78.4
宕昌	62TCH	土层台	自由地表	ETNA	53	70.5	73.1	49.7
临潭	62LTA	基岩台	自由地表	MR2002	79	4.9	7.2	5.5
舟曲	62ZHQ	基岩台	自由地表	CPU32	79	14.1	15.7	11.8
沙湾	62SHW	土层台	自由地表	MR2002	98	7.8	11.4	5.5
迭部	62DIB	土层台	自由地表	ETNA	101	14.1	13.5	11.1
康乐	62KLE	土层台	自由地表	ETNA	106	7.0	6.8	5.4
八松	62BAS	土层台	自由地表	MR2002	111	8.6	7.8	5.6
武都	62WUD	厚土层台	自由地表	ETNA	147	28.7	16.3	0.5
天水	62TSH	厚土层台	自由地表	CPU32	156	29	37.2	21.2
赵家岔	62ZJC	厚土层台	自由地表	2004IP	260	7.4	5.2	4
小康营	62XKY	土层台	自由地表	2004IP	143	2.9	3.8	1.7
银山	62YSH	土层台	自由地表	2004IP	151	1.8	2.0	1.2
定远	62DYU	土层台	自由地表	2400IP	164	2.8	2.6	2.3
雁滩	62YTA	土层台	自由地表	2400IP	175	2.6	2.4	1.0
忠和	62ZHH	土层台	自由地表	2400IP	195	3.0	2.6	1.5
观象台	62GXT	土层台	自由地表	GeoDAS	179	5.9	4.5	3.4
金崖	62JAI	土层台	自由地表	GeoDAS	169	7.6	8.1	3.0
团庄	62TZH	土层台	自由地表	2400IP	218	5.0	4.6	2.6
花庄	62HZU	土层台	自由地表	2400IP	209	4.4	4.2	1.1
中铺	62ZPU	土层台	自由地表	GeoDAS	149	7.6	8.1	3.0
西果园	62XGY	土层台	自由地表	2400IP	172	2.0	6.6	4.0
永靖	62YUJ	土层台	自由地表	2400IP	183	2.0	2.6	1.5



(a) 岷县台



(b) 观象台

图2 典型强震动波形记录
Fig.2 Typical recorded waveforms

资料处理的时候,我们注意到基岩台记录到的地震动加速度明显小于一般自由地表的地震动加速度,而厚土层台记录到的地震动加速度则明显偏大。因此,在研究衰减规律的时候我们特别将表1数据中基岩台和厚土层台的数据去掉,其中基岩台有:临潭台、舟曲台;厚土层台有:天水台、武都台、赵家岔台。

在拟合中发现, R_0 为30的时候, $\lg y$ 和 $\lg(R + R_0)$ 具有最佳线性度,因此对于此次地震的强震动衰减分析我们取 R_0 为30。图3为地震动加速度随震中距增大而衰减的拟合直线。

可以看出,台站记录的三个分量有十分相似的衰减规律,区别在于极限加速度的大小,即 $A + B \cdot \lg(R_0)$ 项的大小。三个分量的加速度峰值衰减大致遵从下面给出的公式, r^2 为拟合线性度。

$$EW: \lg y = -2.8477 \cdot \lg(R+30) + 7.0569, r^2 = 0.8466;$$

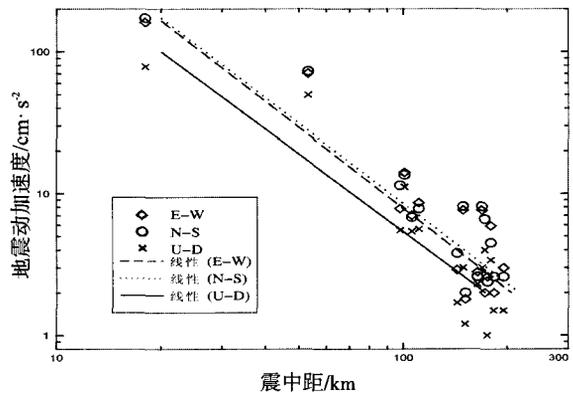


图3 岷县 $M_s6.6$ 地震地表加速度衰减规律
Fig.3 Acceleration attenuation of Minxian $M_s6.6$ earthquake

$$NS: \lg y = -2.7935 \cdot \lg(R+30) + 6.9844, r^2 = 0.8603;$$

$$UD: \lg y = -2.7969 \cdot \lg(R+30) + 6.7518, r^2 = 0.8497.$$

岷县 $M_s6.6$ 地震后,甘肃省地震局在第一时间派出了

灾害评估组对于地震造成的破坏进行了调查和评估,最终形成了灾后评估烈度分布(图4)。在我们分析的沿强震动台站分布的方向上,其地震动衰减程度与图4比较,Ⅷ

度、Ⅶ度区范围相对略大,Ⅵ度区范围则大致相当,其原因应该与近场的强震动记录较少有关系。

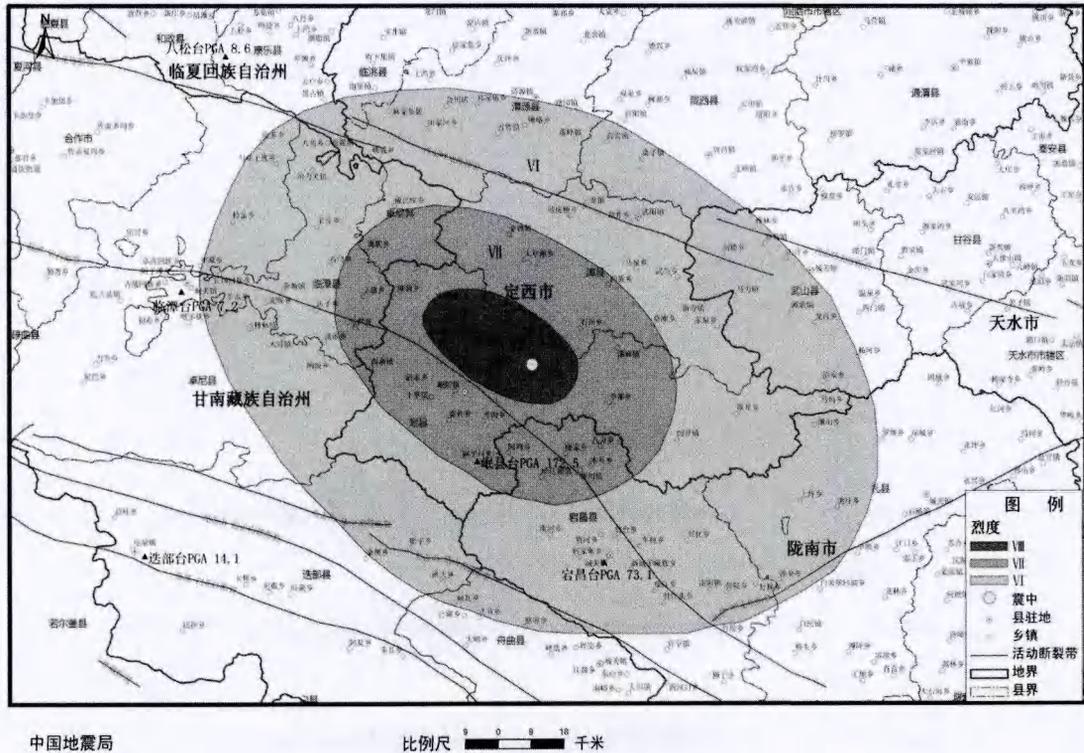


图5 岷县 Ms6.6地震震后灾评烈度图

Fig. 5 Intensity map of disaster assessment after Min xian Ms6.6 earthquake

3 结论

本文在对甘肃省“十五”期间架设的强震动台站记录到的岷县 Ms6.6地震的强震记录进行分析后得出,甘肃省东南部分地区的地震动衰减规律的经验公式为 $\lg y = -2.8477 \lg(R+30) + 7.0569$ (以EW向为例),对照震后宏观调查得出的烈度图,发现根据本文强震动资料分析得到的Ⅷ度、Ⅶ度区范围相对略大,Ⅵ度以下区域则与震后灾评烈度图大致相当。

参考文献(Referens)

[1] 胡聿贤,周克森,阎秀杰.缺乏地震动加速度记录地区地震动估计的映射法[J].地震工程与工程振动,1996,16(3),1-10.
HU Yu-xian,ZHOU Ke-sen,YAN Xiu-jie.A Method for Evaluation of Ground Motion in Regions with few Acceleration Observation Data[J]. Earthquake Engineering and Engineering Vibration,1996,16 (3):1-10.(in Chinese)

[2] 汪素云,俞言祥,高阿甲,等.中国分区地震动衰减关系的确定[J].中国地震,2000,16(2):99-106.

WANG Su-yun,YU Yan-xiang, GAO A-jia,et al. Development of Attenuation Relations for Ground Motion in China[J]. Earthquake Research in China, 2000,16 (2) : 99-106.(in Chinese)

[3] 霍俊荣,胡聿贤.地震动峰值参数衰减规律的研究[J].地震工程与工程振动,1992,12(2):50-55.
HUO Jun-rong, HU Yu-xian. Study on Attenuation Laws of Ground Motion Parameters[J]. Earthquake Engineering and Engineering Vibration,1992,12 (2):50-55.(in Chinese)

[4] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.中国地震烈度表 GB/T 17742-2008 [S].北京:中国标准出版社,2008.
General Administration of Quality and Technical Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. The Chinese Seismic Intensity Scale GB/T 17742-2008[S].Beijing:Chinese Standand Press,2008. (in Chinese)

[5] 刘旭宙,姚凯,何新社,等.2008年5月12日汶川 Ms8.0地震甘肃强震记录与初步分析[J].西北地震学报,2008,30(3): 266-269.
LIU Xu-zhou,YAO Kai,HE Xin-she, et al. The Strong Motion

- Records in Gansu Province for Wenchuan $M_s8.0$ Earthquake on May 12, 2008 and Preliminary Analysis[J]. Northwestern Seismological Journal, 2008,30(3):266-269.(in Chinese)
- [6] 卜玉菲,张元生,万永革,等.P波极性揭示的甘东南地区构造应力场特征[J].地震工程学报, 2013, 35(1):160-165.
BU Yu-fei,ZHANG Yuan-sheng,WAN Yong-ge,et al.The Tectonic Stress Field in Southeastern Area of Gansu Province Deduced from P Wave Polarity Data[J].China Earthquake Engineering Journal, 2013, 35(1):160-165.(in Chinese)
- [7] 高见,张元生,郭飏,等,甘东南流动台阵微震监测结果[J].地震工程学报, 2013, 35(1):177-182.
GAO Jian,ZHANG Yuan-sheng,GUO Biao,et al.Microearthquake Location Determined by Portable Seismic Array Data in Southeast Gansu Province[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2013, 35(1):177-182.(in Chinese)
- [8] 石树中,沈建文.美国西部地震烈度衰减规律[J].世界地震工程, 2003, 19(3):50-55.
SHI Shu-zhong, SHEN Jian-wen. Attenuation Laws of Earthquake Intensity in the West of the United States[J]. World Earthquake Engineering, 2003, 19 (3) : 50-55.(in Chinese)
- [9] 中国地震局.中国数字强震动台网技术规程[S].北京:地震出版社,2005.
China Seismological Bureau. Stipulation on China Digital Strong Motion Network[S]. Beijing: Seismological Press, 2005.(in Chinese)