

论中国大陆地区地震的重复性及其意义

阎志德 万夫领

(国家地震局兰州地震研究所)

摘 要

本文从统计角度研究发现,我国大陆地区以烈度为标志和以距离为标志的地震的重复率,其时间间隔的比值一致且符合0.618,说明不同强度地震的重复时间过程是不一样的,又是互为关联的,这是自然界一切事物的共性。

一、引 言

对大地震重复性的研究显然有着不同的看法,从地质学的角度,一些学者认为,粗略地说地震具有重复性是可以承认的,但是地震在时间、空间、强度上怎样重复,至少强度巨大的地震在原地重复发生的情况还没有历史记录的先例,大地震常常在意料不到的地方突然发生。近年来对于一些活断层上古地震的研究表明,巨大地震即便重复,其重复周期往往长达数百年以上以至数千年,这样已大大超出了地震记录的时间,给人们加深了大地震不在一地重复,而在意料不到的地方突然发生的印象。地震是能量积累到释放的过程,当然可以再积累再释放,从这个观点出发,地震在历史地震的震源区内是可以重复发生的。观测实践表明,大量的地震发生在经常发生地震的地方,地震在地震区或地震带内重复发生,地震在某些构造上的特殊地段重复发生,同时相当数量的大地震具有突出的原地重复的特点。因之研究大地震的重复性是有实际意义的。

二、大地震重复的空间特征

对于浅源地震一般都把重复的概念局限在地面上的两度空间范围内,以在前发生的地震代表历史地震,以次后一定时间发生的地震代表重复地震,依两次地震极震区等震线或高烈度(八度以上)等震线重合的情况,以及两次地震震中位置相距的距离,表明重复的特征。对于依据等震线重合为指标的情况,我们收集了发生在我国大陆地区31个大震资料组成的21对震例,这些地震均有详尽的历史资料,和详细的宏观考察记录,以及完整的宏观烈度等震线图。以震中烈度表示地震的不同强度,以等震线烈度标志重复,21对震例中,两次地震的

极震区重复的占11对，次后地震的极震区在前地震的高烈度区重复的有4对，次后地震的高烈度区在前地震的极震区内重复的有3对，两次地震的高烈度区重复的有3对，图1给出这些以烈度为标志重复地震的震中分布图。如不考虑等震线极震区和高烈度区重复的情况，仅以不同时间同一地区两震震中相距情况表征重复的特征，（因为具有等震线图的地震重复情况，凡是两震震中相距小于45公里的地震，极震区和高烈度区必然重复。）我们统计了自公元180年秋甘肃高台西7.5级地震起至今的资料均取两震震中相距小于45公里的地震，个别相距50、60或70公里。以震级表示地震的强度，以距离标志地震的重复，分别以历史地震6、7、8级为区间，每个区间又分重复发生6、7、8级地震三种情况，选取了发生在我国大陆地区的133个地震组成76对具有重复特征的震例，图2给出这些以距离为标志重复地震的震中分布图。

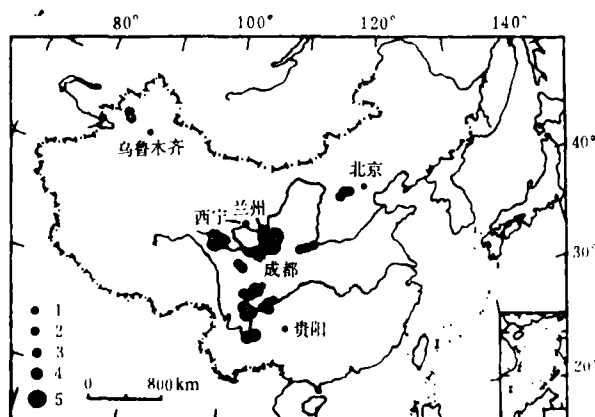


图1 以烈度为标志重复的地震震中分布图

1—5 分别为6°—7°、8°—11°度区内发生的重复地震

Fig. 1 Epicenter distribution of repetition earthquakes in term of intensity

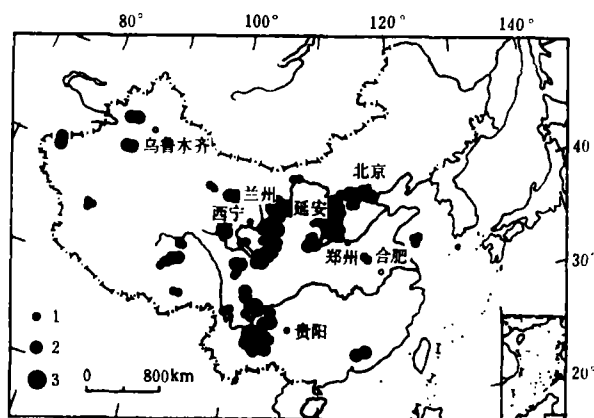


图2 以距离为标志重复地震震中分布图

1—3 分别表示6—8级历史地震分别重复6—8级地震

Fig. 2 Epicenter distribution of repetition earthquakes in term of the distance

研究上述这些具有重复特征的震例,通过实际发生地震的部位分析认为:

1. 极震区重复,无疑是原地重复

地震是震源区应力的释放岩体的错动。在测震学里,常常将震源作为一个点源,这仅是一个粗略的近似。实际上,震源是一个空间区域。因此,原地重复绝不能指代表两次地震震中点的绝对重合。一次强震在地表造成的破坏,其极震区的范围可以认为是震源体的中心在地表的投影。极震区是震源断裂区,也是震源的完全破裂区。如果两次强震的极震区搭边,在震源深度相近的情况下,即可说是两次强震原地重复。

2. 震源体重复,也应认为是原地重复

震源体即震源体积的概念,不同的地震学家各有不同的解释^[1]。布伦(K. E. Bullen)、吉山良一(R. YoshiYama)等人认为震源体即地震时岩石的破裂区;劳姆尼兹(C. Lomnitz)将震源体看成是释放应变的区域;苏联塔吉克考察队则认为震源体应包括破裂区和剩余形变区;坪井忠二(C. Tsuboi)等人提出震源体就是主震和余震的分布范围。提法虽然各有不同,但实际计算的震源体积差别并不大。

从大地震发生时震源区应力的分配看,断裂、错动、弹性波能离开震源了,还有一部分应力能立即分配到震源断层的端部,形成应力集中(此端部还有原来未释放的应力),所以大地震后强余震发生主要集中于极震区的端部,这个端部余震集中活动区,是不完全破裂区,和震源断层区完全破裂区,一并考虑为其震源体,似乎更接近实际。从一些地震的观测实际看,如邢台、通海、海城、唐山地震,这些地震余震集中活动区的范围,不论各自地震的极震区震中烈度如何(九度、十度或十一度),均和各自八度等震线所包围的区域相吻合。这一事实表明,震源体的大小并非各自的极震区及其九度等震线反映的完全破裂区所能完全表征出来,实际震源体的大小,还应包括不完全破裂区的八度等震线。对于震中烈度等于和大于九度的地震,八度等震线所包围的面积、八度等震线面积折合的直径或八度等震线长轴的长度,可以用来表征震源体的大小^[2]。分析地震具体重复的部位,震源体完全重合并地震大小完全相等的例子几乎没有,因为震源极震区应力积聚效率低,震源体的非极震区部分应力积累效率高,故多重在历史地震震源区的八度区或与八度区相衔接的部位,也就是容易在极震区震源断层面的两头八度区及其外延八度区相衔接的部位重复发生,多属于大小不相等的地震重复^[3]。考察以等震线烈度为标志所选31个大震组成的21对震例,绝大多数是极震区重复,全部都是高烈度区以上的重复,即八度以上等震线的重复;以两次地震震中相距距离为标志所选133个地震组成的76对震例,绝大多数小于45公里,相当一部分小于30公里或20公里甚至10公里,只有个别震例相距小于50公里、60公里或70公里。这些震例可谓原地重复,或震源体重复。

3. 孕震体重复,也可视为地震重复

孕震体的范围更大一些,孕育一个强震构造的作用是显然的。在应力集中过程中,震源体及其外围区域构造的介质随时间是会变的,如果震源孕育到一定时期介质性质变得相对塑性了,则在大范围构造力的继续作用下,应力将在震源外围某些地域内集中,总体上讲是一个储能体,从而外围区可能较小地震相对活跃些,(相对于余震集中活动的震源体而言),随着时间介质性质的变化储存应力,于是这个外围地区,相当于余震扩散稀疏分布区的包体,应该统称孕震体。相似于震源孕育组合模式^[4]的积累单元和调整单元的总称。

着眼于地震活动强震震中分布的图象,注意到强震的发生与活动构造的关系,强震具有

在活动构造带上及其附近的某一区域，或某一特殊地段比较密集分布的特征，说明这一部位强震多次发生，这种特征谓之强震活动在孕震体内的重复。孕震体可以在同一构造带上，或跨属不同的构造带，因此把历史上不同时间发生的两次相距在一定距离的地震视为重复，把这个相距距离，在所选震源体重复地震的尺度上（45公里）再适当增大一些，以70公里为限度，即两震震中相距小于70公里为判据，考察我国大陆地区（不包括大陆边界地区部分震中不确切的地震）6级以上大地震的分布^[5]，可以划分出84个这样的孕震体，图3给出孕震体图，包含8级以上地震12次，7—7.9级地震52次（除去余震），6—6.9级地震213次（除去余震），这是一个不容忽视的具有重复特征的地震数量及其分布面积。

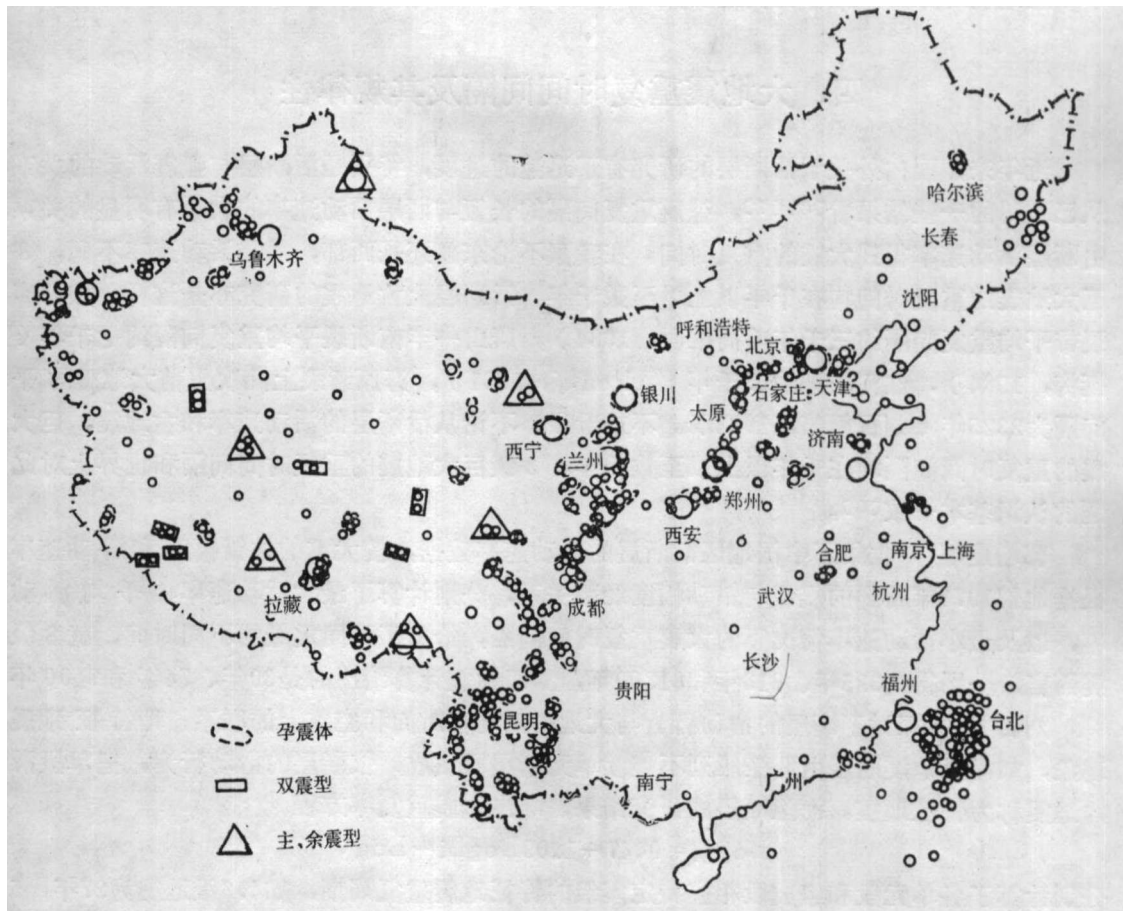


图3 中国大陆地区孕震体图

Fig. 8 Seismogenic bodies in China continent

三、单个地震、双震型不重复的情况

显然，在从没有发生过地震的地方发生地震是常有的事，单个分布的地震仍占有相当大的比例。也有相继发生两次震级相近的大地震，一般称其为双震型，我国大陆地区这类地震不乏其例。我们亦考察了单个地震和双震型这类视为不重复的情况，以及在历史上以主震和余震或震群出现一次，也视为不重复的情况。我们的约定是：孤立分布70公里以内再无地震

为其单个型地震；以两次地震震中相距小于60公里，相继发生的时间间隔在一年半内，且震级又相近的这类地震称其为双震型。

在84个孕震体之外，这几种不重复的情况，统计检索的结果是：单个型地震77次（8级2次，7—7.9级7次，6—6.9级68次），主余、震群型6次（8级2次，7—7.9级4次），双震型7次（7—7.9级1次，6—6.9级6次）。明显的是，单个型地震和双震型地震基本上分布在我国西部地区，单个型地震可能是由于历史记载的原因，有记载以来的时间尺度还远不及南北地震带及东部尤其是华北地区。

总括起来，具有几种重复特征的地震占全部地震包括不重复地震的75%，实际上考虑到单个型地震的原因，这个比例还要大。

四、大地震重复时间间隔及其规律性

近年来，国内外关于活断层的研究有了迅速的进展，特别是活断层与强震活动的关系，从已取得的一些结果看〔6〕〔7〕，强震重复间隔的长短与断层活动速率的大小有明显的关系，由断层活动速率得到大震的重复时间。在我国不论东部还是西部，虽是活动速率不同，8级巨大地震的重复时间均在千年以上以至数千年。活断层上古地震的研究亦是这样，如郯庐断裂带平均重复间隔约三千年（高维明，1984），唐山—丰南断裂平均重复间隔约七千年（王挺梅，1984），红河断裂约二千年（Allen等，1981），海原断裂上几次史前大地震的平均间隔为2325年（刘百箴等，1984）。不难看出，不论从活断层的活动速率和古地震，巨大地震的重复时间间隔均在千年以上以至数千年。8级巨大地震的重复时间间隔和世界上对此问题的认识基本一致〔8〕。

郭增建等〔9〕收集了中国地区活断层的活动速率数据，按大震的位错幅度和活动速率，根据他们1973年得到的震级与错动幅度经验关系，分别计算了最大活动速率、平均活动速率，以及最小活动速率情况下的大震重复时间间隔，给出了不同震级的不同时间，就8级地震而言，分别得到325年、813年和81300年，6级地震计算给出的是30年、74年和7400年。

刘百箴〔10〕探讨了断层的滑动行为与大地震活动在时间和空震上的联系，即特征地震的现象，如海原地震断层由几条雁列不连续单元断层段组成，依断层的滑动行为，把单段滑动的地震称为特征地震。海原断层的研究结果，导出地震重复率方程

$$\text{Log} t_1 = 0.47 + 1.09 \text{Log} L_i - \text{Log} \bar{V}$$

分别计算了各单元段和组成段相应特定震级的特征地震重复周期，如4.6级地震为27年，5.1级地震为50年，5.6级地震为91年，6.1级为168年，这个时间尺度与该断层带自1920年大地震以来中强地震活动的图象是一致的。

总起来说，利用断层活动速率和古地震的研究，确定地震的重复时间，对于中强地震尚无具体资料和参考的数据，唯一用来确定大地震的重复时间，且不能不说是一条重要的途径，然而，对于巨大地震而言，时间尺度太大，大于我们使用资料的记录时间，利用特征地震的研究，用以确定地震的重复时间，是接近中强地震活动的情况，对于大地震而尚未得到检验，按大震位错幅度和活动速率估算所得同一震级在不同速率情况下的重复时间，不论巨大地震还是中强地震，间隔跨度特大，使用中选用时存在困难。上述几种方法确定的同一震级地震的重复时间，非常离散，彼此差异亦很大。

我们从地震发生的实际震例出发, 探讨了南北地震带和东部地区地震的重复时间及其重复率问题。如前所述, 以烈度为标志具有重复特征的震例, 从图1可见, 主要分布在我国南北地震带地区, 为此检索出南北地震带中的震例, 对这些地震各烈度地震重复时间取对数, 作成以烈度为标志重复时间间隔图(图4), 用最小二乘法给出各烈度平均的重复时间关系式

$$\text{Log} t = 0.29I - 0.71$$

该式相关系数是 $r = 0.97$ 。根据该式推算南北地震带6级($I_0 \approx 8^\circ$)地震的重复时间约41年, 7级($I_0 \approx 10^\circ$)地震155年, 8级($I_0 \approx 11^\circ$)地震约302年。

考察我国东部地区以距离为标志具有重复特征的震例, 反映着更长的历史时间, 摘其不同震级重复时间的最大值, 作成以震级为强度以距离为标志重复时间间隔图(图5), 用最小的二乘法给出关系式

$$\text{Log} t = 0.24M + 0.69$$

该式相关系数 $r = 0.98$ 。根据该式推算东部地区6级地震的重复时间约134年, 7级地震约234年, 8级地震约407年。

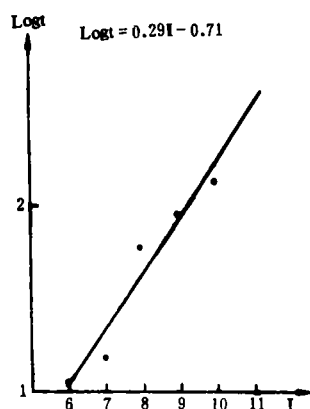


图4 南北地震带地震重复率
Fig. 4 Earthquake repetition rate in the North-South Seismic Zone

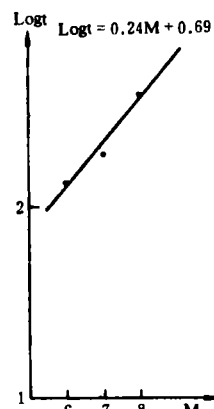


图5 我国东部地区地震重复率
Fig. 5 Earthquake repetition rate in the east of China

我国东部地区和南北地震带重复率的差异, 地区的特征是明显的, 是构造活动速率存在很大差异的结果。

阐明天然地震的重复性是个很复杂的问题, 各地区地震的重复率差异很大, 甚至可差1—2个数量级, 难以从中找出共同性的规律。着眼于事物最基本层次上的普适现象, 我们亦然笼统计算了我国大陆地区不分区域各级地震的重复时间, 仅从统计角度上作了探讨, 分别给出以烈度和距离为标志震例的重复时间关系式, $\text{Log} t = 0.21I - 0.22$ 和 $\text{Log} t = 0.21M + 0.71$, 计算出不同强度各级地震的重复年限, 发现计算给出的这个重复时间的比值, 意外的一致且十分接近黄金分割数0.618。这一比值是由公式中震级 M (或烈度 I)的常数项0.21决定的, 经过简单变换, 两式相减, 设 $M_1 = M_2 - 1$, 则 $\text{Log} t_1/t_2 = -0.21$, $t_1/t_2 = 0.617$ 。这似乎不是偶然的, 有明确的物理意义。地震是岩体内应力的集中到应变能的释放过程, 那么不同强度地震的这个时间过程是不一样的, 这个不一样又是有其关联的, 不同强度之间重复时间的比值一致并符合0.618, 正好说明这个关联, 是自然界一切事物的共性(11)。然而,

总体统计上成立的东西,局部(区域之间)并不符合,这是因为各区域孕育地震过程的震源不同的原因。

五、结论和讨论

1.大地震是可以重复的

中国大陆地区大地震的活动具有明显的重复特征。因为地震是地质构造活动的结果,而这种地质构造的格架,在一定的地质时期内是难以发生根本改变的,只要地质构造活动,应力的积累和释放就始终存在,发生过地震的地方亦仍然存在应力的再次积累和释放问题,重复发生地震。然而,大地震的重复发生又是不容易的。

2.中国大陆地区大地震重复的空间特征

通过实际发生地震的部位分析认为,极震区重复即震源体的中心在地表投影的重叠,震源完全破裂区的重复,无疑是原地重复;震源体重复,即余震集中活动的不完全破裂区高烈度区(8° 以上)的重复,也应认为是原地重复;孕震体重复,指余震稀疏分布扩散的包体即储能体的重复,也可视为地震重复。

3.中国大陆地区地震重复的时间间隔

以地震发生的实际震例出发,分别给出地震重复率关系式

$$\text{Log}t = 0.24M + 0.69 \quad (\text{东部地区})$$

和
$$\text{Log}t = 0.29I - 0.71 \quad (\text{南北地震带})$$

地区的差异是很大的,是构造活动速率存在很大差异的结果。

4.中国大陆地区具有重复特征的震例统计表明,在有记录的时间段里,重复地震277次,单个型等不重复的90次,总计震级等于大于6级的地震367次。由观测频率来近似的估算概率,如果以277次中的138次地震被重复或者重复了,则重复了或被重复的地震概率为0.38;如果以367次事件中138次与第一次发生的地震(历史地震)229次谓之重复,则重复地震的概率为0.60;或者粗略的说,重复地震277次占全部地震包括不重复地震的75%,考虑到单个型地震由于历史记载原因尚未达到重复的时间,还有重复地震发生的可能,实际上重复地震的次数还要多,重复地震的比例还要大。

5.应用大地震重复的空间特征,依据原地重复,震源体重复,孕震体重复,以及单个型等不重复的概念,判定未来强地震重复发生的危险区域。应用地震重复时间的规律性,结合地区地震活动的高潮平静周期,冠以未来50年、100年的时间尺度,如果重复时间还未到,则认为该地区不甚危险,烈度判定可降低一度或二度;如果重复时间已经接近或超过,则可视作危险时段,相应烈度判定需提高。

6.8级地震的重复问题

有记载以来,我国发生8级地震17次,发生在大陆地区内14次,就其两次地震最近的距离而言,其中12次相距在240公里以上,唯有1303年的洪洞地震与1695年的临汾地震相距仅是40公里,两次地震的相隔时间392年^[12]。依据前述关于地震重复空间特征的定义,洪洞和临汾这两次8级地震,无论从相距距离(小于45公里),还是等震线烈度区重合的情况(9度高烈度区),无疑是重复震例。武烈^[13]资料,这两次地震的极震区重合65%,认为是原地重复,文献^[12]亦认为是重复。然而,一般的概念,在一定短的时间尺度内,对同一断裂构造

而言, 从介质积累强大应变能的条件分析, 确是可疑的。以至于8级大震前后发生的6—7级地震, 在几十年的时间尺度内, 是反映着增强和衰减的过程, 还是论作单个的重复? 从单点源分别积累应变能的观点出发, 从预测意义和烈度、灾害防御角度考虑, 依据震中距离和烈度为标志, 论及重复还是可以的。1303年洪洞和1695年临汾8级地震的重复问题, 8级大震前后发生的6—7级地震问题, 存在着不同的观点和认识, 是可以讨论的。

(本文1989年8月19日收到)

参 考 文 献

- [1] 朱传镇, 有关震源体积的理论, 地球物理学报, Vol.12, No.2, 1963.
- [2] 谢原定、杨天锡, 震源区内一些宏观现象的讨论, 西北地震学报, Vol.2, No.3, 1980.
- [3] 谢原定、杨天锡, 中国大陆地区历史大地震震源区内地震重复图象的讨论, 西北地震学报, Vol.5, No.2, 1983.
- [4] 郭增建、秦保燕, 震源物理, 地震出版社, 55—57, 1979.
- [5] 顾功叙, 中国地震目录(公元前1831—公元1969), 科学出版社, (1970—1979)地震出版社, 1983.
- [6] 丁国瑜, 中国的活断层, 大陆地震活动和地震预报国际学术讨论会论文集, 地震出版社, 161—162, 1984.
- [7] 丁国瑜, 有关地震地质研究的一些动向, 中国地震, Vol.1, No.1, 1985.
- [8] 闻学泽, 活断层的滑动速率与地震的重复周期, 世界地震译丛, No.11, 1982.
- [9] 郭增建、秦保燕, 大震重复性与减震作用, 西北地震学报, Vol.6, No.4, 1984.
- [10] 刘百冀, 活断层研究在烈度区划中的应用, 西北地震学报, Vol.9, 增刊, 1987.
- [11] 郭增建, 黄金分割数在灾害科学中的意义, 西北地震学报, Vol.8, No.4, 1986.
- [12] 郭增建、马宗晋, 中国特大地震研究(一), 地震出版社, 32—33, 1988.
- [13] 武烈, 山西断陷盆地内强震的原地重复特点, 西北地震学报, Vol.7, No.8, 1985.

THE DISCUSSION ON EARTHQUAKE REPEATABILITY AND ITS IMPLICATION IN CHINA CONTINENT

Yan Zhide, Wan Fuling

(Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB, Gansu, China)

Abstract

From statistics it is discovered that the earthquake repetition rate in terms of intensity and the distance in China continent has the constant ratio between the intervals and follows the number of 0.618. It shows the repetition process of time of earthquakes with different magnitudes doesn't keep the same but are correlative. This indicates the generality of all natural things.