

中国大陆地区历史大地震震源区 内地震重复图象的讨论

谢原定 杨天锡

(兰州地震研究所)

大地震震源区内地震重复性的研究,直接关系到我国历史上发生过大地震的地方近百年内能否进行大规模建设。因此它是地震长期预报和烈度区划中一个很重要的问题。目前对大地震重复性的研究,国内外还持有不同的看法,大地震重复的空间概念和物理解释也有种种不同的观点。本文所提出的地震重复的概念,系指历史大地震震源区内再次积累应力发生地震,而不包括一次积累应力的分期释放。震源区的大小,取大地震八度等震线分布范围^[1]。地震重复的最短时间,根据目前对强余震延续时间的认识,取地震重复时间 ≥ 20 年。地震的重复强度,取震级 $M \geq 5\frac{1}{2}$ 级的中强破坏性地震。在此基础上,本文讨论了我国大陆地区内历史大地震的重复图象,并对其物理实质进行了初步解释。

(一) 空间特征

据有等震线图的震中烈度大于等于九度、震级 $\geq 6\frac{3}{4}$ 级的地震统计^{[2][3][4]},震源区内有地震重复的历史大地震,就其重复的部位而言,可分两类:一类是重叠在历史大地震震源区的八度区内,如图1所示;一类是重叠在历史大地震的极震区内(九度等震线所包围的区域内),如图2、图3、图4、所示(详见表1)。

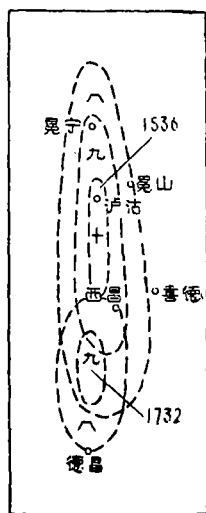


图1 Fig. 1

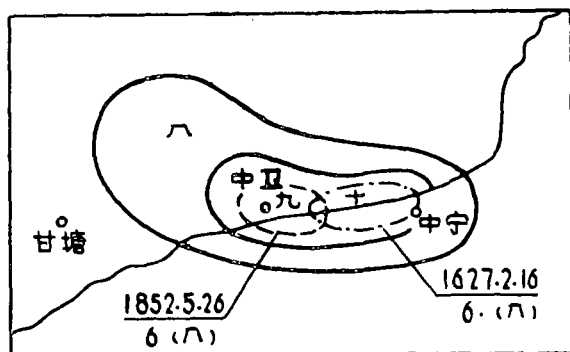


图2

Fig. 2

表1

震源区内表现地震重复的历史大地震目录

Table1. The great historical earthquake list of repeated earthquakes in focus area.

编号	地震时间 (年、月、日)	震中位置		地震强度		发生在八度区内的 $M \geq 5\frac{1}{2}$, $I_0 \geq 7$ 度地震			发生在九度区(九度区)内 $M \geq 5\frac{1}{2}$, $I_0 \geq 7$ 度地震		
		纬度 (北纬)	经度 (东经)	震中地名	震级	震中烈度	地震时间 (年、月、日)	震级	地震时间 (年、月、日)	震级	与大震的 时间间隔(年)
1	1500.1.4	24.9	103.1	宜良	$6\frac{3}{4}$	九	1540.4	$5\frac{1}{2}$	1952.9.30	6.5	40
2	1536.8.19	28.2	102.2	冕宁西昌间	$\geq 7\frac{1}{2}$	≥ 10	1732.1.29	6.7	1913.8.19	八	196
8	1561.7.25	37.4	106.2	中宁	$7\frac{1}{4}$	九—十	1608.9.23	$5\frac{1}{2}$	1927.2.16	八	48
4	1622.10.52	36.5	106.3	固原北	7	九—十	1616.2.10	$5\frac{1}{2}$			
5	1652.7.13	25.4	100.5	弥渡	$6\frac{3}{4}$	九	1748.11.21	$5\frac{1}{2}$			
6	1654.7.21	34.3	105.5	天水	8	十	1921.4.12	$6\frac{1}{2}$			
7	1709.10.14	37.4	105.3	中卫南	$7\frac{1}{2}$	九—十	1803.2.1	6	1885.1.14	七~八	299
8	1718.6.19	35.0	105.2	通渭南	$7\frac{1}{2}$	九~十			1852.5.16	八	151
9	1733.8.2	26.2	103.1	东川	$7\frac{1}{2}$	十	1765.9.2	$6\frac{1}{2}$			
10	1833.9.6	25.2	103.0	嵩明	8	十一			1966.2.5	$6\frac{1}{2}$	47
11	1870.4.11	30.0	99.0	巴塘	$6\frac{3}{4}$	九	1923.10.20	6	1927.8.15	八	53
12	1887.12.16	23.7	102.5	石屏	$6\frac{3}{4}$	九	1972.1.23	$5\frac{1}{2}$			
13	1902.8.22	39.5	76.0	阿图什	$8\frac{1}{4}$	十~十一	1953.6.21	$5\frac{1}{2}$			
14	1906.12.23	44.0	85.5	玛纳斯	8	十一—十二	1941.8.14	$5\frac{3}{4}$			
15	1920.12.16	36.5	105.7	海原	$8\frac{1}{2}$	十二			1970.12.8	$5\frac{1}{2}$	35
16	1937.1.7	35.5	87.9	阿兰湖东	$7\frac{1}{2}$	十一	1972.4.9	5.6	1970.2.24	八+	50
17	1949.2.24	42.0	84.0	轮台	$7\frac{1}{4}$	九					
18	1951.1.18	31.1	91.4	当雄附近	8	十一			1072.7.23	七	33

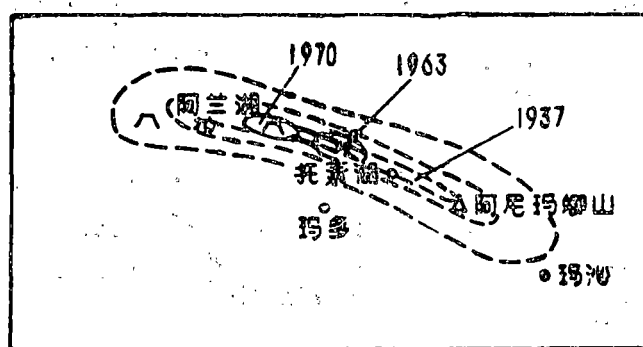


图3
Fig. 3

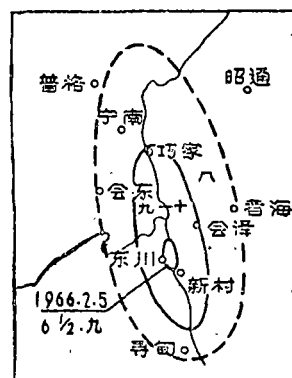


图4
Fig. 4

就其区域构造分布而言，它们多集中分布在我国现代构造运动强烈的西南和西北地区，其中重复率最大的地带和省、区是青藏高原隆起地区东部边缘拗陷带，即南北地震带上的宁夏、甘肃、青海、四川和云南。其中青海、宁夏和云南重复率高达50%以上（表2）。

大陆各省（区）历史大地震

震源区地震重复率 表2

Table 2. The history large earthquake repetition ratio in its focal region in the continent of China.

序号	省(区)名	发生次数 ($M \geq 6 \frac{8}{4}$ 三 $\geq$ 九)	强震完全重复次数	强度不完全重复率
1	甘肃	13	2	15%
2	青海	2	1	50%
3	宁夏	5	4	80%
4	陕西	3	0	0
5	新疆	7	3	43%
6	山西	6	0	0
7	四川	8	2	25%
8	云南	8	5	62%
9	西藏	3	1	33%
10	河北	3	0	0
11	山东	2	0	0
12	辽宁	1	0	0
13	广东	2	0	0

（二）强度特征

震源区完全重合类型的地震重复强度明显地受历史大地震强度的制约，比历史大地震的强度均小，一般震中烈度递减1—2度，最多递减5度。震中烈度递减的多少，与历史大地震的强度，两次地震相隔的时间长短以及震源区重合的部位有关，历史大地震震中烈度高、震级大、重复时间相隔长、震源区重合的部位在极震区内，重复性地震的强度较其历史大地震强度递减得多，反之递减得少。如1920年海原地震与1561年中宁地震相比，地震重复的时间间隔差不多，都只相隔50多年，但海原地震比中宁地震强度大，结果海原地震极震区内重复地震的强度比中宁地震极震区内重复地震的强度递减得多。又如1733年云南东川地震比中宁地震、海原地震强度小，但相隔时间比中宁和海原地震的重复时间间隔长，结果在东川地震的极震区内重复发生了1966年的九度地震，比1733年的历史大地震震中烈度只减少了一

度，显然比上述距历史大震时间短的重复性地震的强度递减得少。此外，在相同时间内，重合在极震区内比重合在八度区内的地震重复强度递减得多。不少重复性地震是重合于历史大地震的八度区，而不重合于历史大地震的极震区，如1923年四川炉霍7 $\frac{1}{2}$ 极十度地震，1973年

在其八度区内发生了7.9级十度地震,而在其极震区内并未发生如此大的地震;又如1622年宁夏固原九度地震,1921年在其八度区内发生了固原北八度地震,在其极震区内至今并未重复发生过地震;再如1718年甘肃通渭南发生的九—十度地震,1765年在其八度区内发生了武山、甘谷八度地震,而在其极震区内也尚未发生地震。

大地震震源区内地震重复的强度,若以历史大地震极震区为应变能的主要释放区,那么极震区内发生的重复性地震,我们认为这种地震的能量不是一次积累分期释放的能量,而是大地震能量释放后,震原区内再次积累起来的能量,从此出发,统计了历史大地震极震区内重复性地震的强度,发现历史大地震在其极震区内重复性地震的最大强度与历史大地震强度之间,有很好的线性关系,如图5所示。

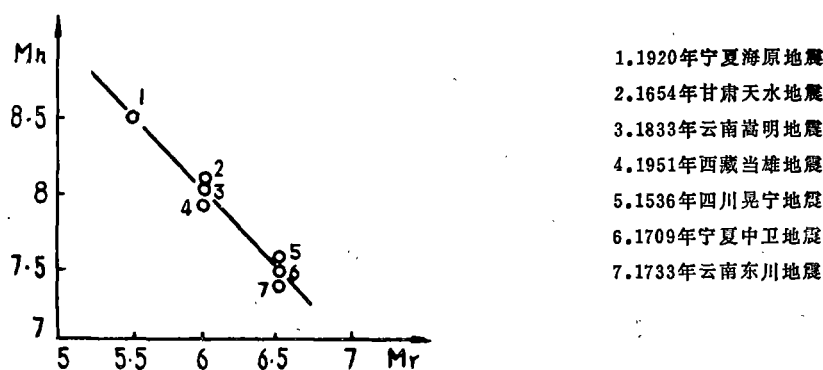


图5 历史大地震震极与历史大地震极震区地震重复震级关系

Fig. 5 Relationship between the great historical earthquake magnitude and the repeated magnitude of great historical earthquake pleistoseismic region.

用回归分析求得下列经验关系

$$M_R = 14 - M_H \quad (1)$$

式中: M_R 表示极震区内地震重复的最大震级,

M_H 表示历史大地震的震级。

由上式可以看出,历史上发生过的某些大地震,其强度如果小于7级,意味着在原来极震区的基础上还得扩大极震区发生震级大于7级的地震,这种震例在我国是不少的,据统计约占历史大地震总数的37%左右。有关历史大地震极震区内早期发生的中强震和历史大地震的强度关系,这里不再赘述。应当指出,历史大地震的强度和历史大地震极震区内早期发生的中强地震的强度之间,不像历史大地震的强度和历史大地震极震区内重复发生地震的强度之间的关系那么明显,但仍可看出,历史大地震极震区内发生的早期中强地震如果小于7级九度的话,则历史大地震极震区内早期发生的地震强度越大,意味着后来大地震的强度也越大,但超过7级九度的历史地震,从历史大地震实际震例的统计,就不存在上述关系,而转变为公式(1)大地震极震区内地震重复的强度关系,也就是说,当历史地震的强度达到7极九度时,在通常情况下就不能再扩大极震区发生震级大于7级的更大地震,而只能发生小于7级的地震。这和实际情况是相符的(详见表1)。只有在其附近还存在有由其它发震构

造孕育更大的地震时,才有可能扩大7级地震的极震区而发生比7级九度更大的地震,如1501年陕西朝邑的7级九度地震后,1556年在该极震区发生了陕西华县8级十一度地震(图6);又如1622宁夏固原北的7级九度地震后,于1920年在该极震区发生了海原8½级十二度大震(图7)。

以上扩大强烈地震极震区重复更大地震的例子,和一般历史大地震极震区重复性地震是不尽相同的,其中一个显著不同的地方,就是两地震极震区的长轴不是斜交,就是平行,它们的能量不是来自同一发震断层面,而是来源于两个断层面,这种大地震的重复,从地震成因的断层粘滑理论来说,和极震区的长轴重合还是不同的。而1973年四川炉霍的7.9级地震虽然发生在1923年炉霍7½级地震的极震区的长轴延长方向上,但两次地震极震区并未完全重合,1973年地震的极震区完全分布在1923年极震区的八度区和八度区以外的构造部位,因此不能把这两个地震视做极震区长轴重合就此得出可以扩大强烈地震极震区重复更大地震的看法。

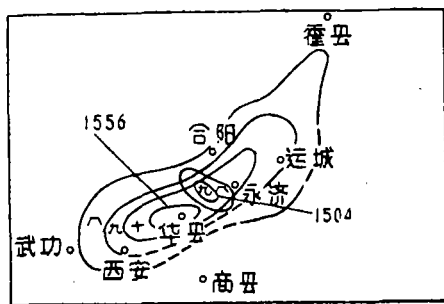


图6

Fig. 6

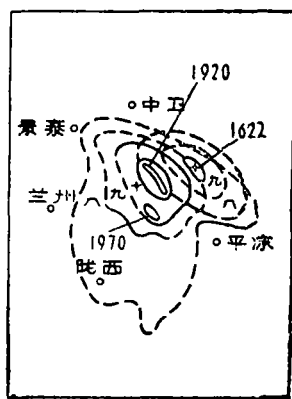


图7

Fig. 7

震级等于7级的历史大震,极震区内地震重复的强度,看来有明显的三重性。它既可扩大极震区发生比自身更大的地震,也可缩小极震区发生比自身为小的地震,还可以和原来极震区完全重合发生和自身大小一样的地震。但后一种情况,我们在大地震重复图像讨论的实际震例中还没有碰到。对此,我们称这个特定重复的震级为临界震级。公式(1)中的常数项是不是恰好反映矩震级的上限,还没有理由推断。因此公式(1)的应用范围还只能限于所统计的震级范围($M: 5\frac{1}{2}-8\frac{1}{2}$)来考虑,而不能做任意的外推。

(三) 时间特征

根据历史地震资料的统计,震源区内地震重复的滞后时间长的达300年,短的有20多年,多数在100年以内,少数在100年以上(详见表1)。时间间隔大于100年者,大都分布在青藏高原隆起区东侧边缘拗陷的南北地震带上,如1709年宁夏中卫南九—十度地震,相隔143年的1852年重复发生了八度地震;1654年甘肃天水的十度强地震,相隔231年的1885年重复发生了八度地震;1536年四川西昌冕宁间大于或等于十度的地震,相隔316年的1952年重复发生了九度地震;1733年云南东川十度地震,相隔233年的1966年重复发生了九度地震等,而不落在此带上的其它地区的历史地震重复的时间间隔都小于100年。南北地震带上的地震

重复时间间隔比其它地区长,这很可能与这个带上构造规模大、闭锁段相间盘错分布有关,一次地震发生后,应力易于向带内其它闭锁段调整而不容易在原地再积累。因此尽管这个带上现代构造运动的速度和幅度大,仍然加长了大地震震源区内地震重复的时间间隔。

二

有关地震重复的机理,国内外有过不少方面的讨论,但所有结果都很难满意地解释以上地震重复的种种差异。地震重复性不能依照某种简单的统一形式出现,从地震成因出发,我们认为地震在历史地震的震源区内是可以重复的。因为地震是大地构造活动的结果,而这种大地构造活动是永恒的,其构造格架于一定的地质时期内是难以发生根本改变的。只要大地构造活动不停止,构造格架不改变,历史大地震震源区内的应力积累和释放的矛盾就仍然存在,其震源区内就会不断再次积累应力而发生地震。但是大地震发生后,震源区内会留下破裂、高温、塑性化的后果〔5〕〔6〕,这种后果会导致历史大地震震源区内的应力分布和岩体结构发生不可逆的变化,因而震源区内的地震重复也就不会成为简单的完全重复,这正是历史大地震震源区内,地震不完全重复基本特性形成的主要原因。

由于各地区的地质构造背景不一样,孕育地震的大小和构造过程不同,也都会使震源区内的地震重复特性产生差异。根据文献〔1〕的研究,大地震发生后,震源体的性状立即会发生改变,体内将会产生两种物理力学性质完全不同的区域。极震区为完全破裂和高温塑性化了的剩余形变区,非极震区是为不完全破裂而只受极震区影响的弹塑性形变区,这两个区在震后力学状态恢复期间,它们积累应力的效率是不同的。震后极震区应力积累效率低,震源区的非极震区部分应力积累效率高,故地震重复图象多重合于历史大地震震源区的八度区和与八度区相衔接的部位。从其强度来说,震源区完全重合、地震大小完全相等的重复是没有的,多属于地震大小不相等的地震重复。这一点可以从断裂力学和热力学的研究得到证实。凡具有裂纹的材料,在一定的力学条件下,材料裂纹的尖端,往往引起应力集中,破裂总是会沿着破裂面发展〔7〕〔8〕。地壳内一旦热区形成,这种热区的四周,特别是破裂面的两端的切应力更大〔5〕。基于以上原因,地震就容易在极震区震源断层面的两头八度区及其外延和八度区相衔接的部位重复发生。在没有其它发震构造参入下,震源区完全重合的地震其强度总是会比历史大震小。

历史大地震重复图象的讨论是一个极其复杂的问题,一方面不仅由于各地区的地质构造条件复杂,很多问题不易一下搞清楚,另一方面,大地震发生后,留在极震区破裂高温塑性化的后果也难以在很短的时期内掌握,加之重复性地震孕育过程和历史大地震震源孕育过程的特性存在的种种差异,也难以为我们所认识。到目前为止,世界上有关地震重复性的各种理论计算方法,也都难以解答历史大地震震源区内地震重复发生的大小。对此,在应用上述地震重复的时、空、强特征时,还须强调地震重复的区域特点,对于震源区很少地震重复的我国华北、华南和东北地区的历史大地震,就不能采用上述历史地震震源区地震重复的时、空、强特征来分析,而对震源区具有一定地震重复的西南和西北地区,在分析历史大地震震源区的地震重复性时,首先应注意震源区既有重合又有迁移的地震重复,因为这类重复性地震一般强度大,潜伏的危险性大;其次注意震源区内地震重复的危险性。在考虑震源区内地震重复时,对时间的估计,南北地震带上的地震重复时间比相邻其它地区的重复时间要长些。在判断地震重复的强度时,震源区内的非极震区,除了参考历史大地震的强度外,还

需考虑相距历史大地震发生时间的长短，历史大地震的强度大，重复地震的强度也大。相距历史大地震的时间越长，重复地震的强度也越大。因之，只有分地区和综合性地研究地震重复性，才能发挥上述研究结果在地震危险区划和烈度区划中的有效作用。

（本文1982年4月收到）

参 考 文 献

- 〔1〕谢原定、杨天锡，震源区内一些宏观现象的讨论——烈度分布与震源体积的关系，西北地震学报，第二卷，第三期，1980年。
- 〔2〕中央地震工作领导小组办公室主编，中国地震目录，科学出版社，1970年。
- 〔3〕国家地震局全国地震烈度区划编图组汇编，中国地震等震线图集，地震出版社，1979年。
- 〔4〕中国地震简目，地震出版社，1976年。
- 〔5〕郭增建、秦保燕编著，震源物理，地震出版社，1979年。
- 〔6〕付承义编著，地球十讲，科学出版社，1975年。
- 〔7〕叶洪等，从破裂模拟实验探讨破坏性地震发展条件一些初步成果，地质科学，第1期，1973年。
- 〔8〕中国科学院地质所，地震迁移和破裂发展，地质科学，1期，1977年。

DISCUSSION ON THE HISTORY LARGE EARTHQUAKE
REAPPEARANCE PATTERN IN ITS FOCAL REGION
IN THE CONTINEN OF CHINA

Xie uanding Yang Tianxi
(*The Selsmological Institute of Lanzhou*)

Abstract

This paper discusses the historical large earthquake reappearance pattern in its focal reigon of China. It has been Found that a number of the historical large earthquakel reappearances were distributed on the active tectonic zone in the western geosyncline of China. Most of the spatial locations earthquake in the focal region are repeated within the intensity VII area on the stretch reorientation of a main repture plane where the historical largest earthquake occurred. The empirical relationship between the magnitude of such earthquake reappearance in the magistoseismic area and the magnitude of the historical large shock is rectilinear as shown by the formulas (1) in the text. These can be used to determine the magnitude of the reappearance earthquake occurred in the magisto-seismic area.

Most of the interval reappeared earthquakes are within.....100 years. the relationship between the earthquake reapearnce time and the regional active tectonic dimension and extent: is as follows the larger and more intensiv the active tectonic dimension is the longer the interval reappeared historical large earthquake in the magistoseismic area will be.

At last the characteristics mentioned above are physically explained and give a supplementary explan ation of how to make use of them.