

板内地震填空与断层运动型式

向宏发 魏顺民

(国家地震局地质研究所)

摘 要

根据人们对板缘地震填空的认识,本文用震级—断层长度的经验关系式分析了我国郯庐断裂带、张家口—烟台断裂带、鲜水河和塔里木盆地北缘等断裂带的地震活动与地质构造的关系。指出在板块内部同样存在着地震沿带逐渐“填满补齐”的现象。这种地震填空,主要发生在那些扭压型和剪滑型的断裂带上。一个基本连续的活动断裂带是板内地震填空所必需的地质条件。

作者认为,板内地震填空与断层现代运动的不同型式(或状态)密切相关。一个活动断裂带由稳滑、相对闭锁到破裂位错正是地震空区形成、发展直至发生大地震的带内地震填空过程,与此相应的应变积累段、闭锁段和释放松动段在地质上的差别是:断面上新沉积物覆盖程度依次减小,断层泥粘结度逐次降低而其厚度依次增厚,因而对于那些全新世以来有过活动而断面上新沉积物覆盖较大的一类活断层尤应引起注意。

引 言

近些年来,有关“地震空区”的问题,已经引起了国内外学者的广泛注意。还在六十年代中期,当苏联学者 Fedotov (1965)沿千岛—勘察加弧画出大地震的破裂带后,就发现在一些地段存在着明显空缺,并预料,过去几十年处于应变积累的地段是未来大震的位置。果然于1968、1969和1971年在所预测的范围内发生了多次七级以上地震^[1]。Mc Cann等^[2]根据环太平洋地区地震的时空分布、破裂带的延伸和扩展方向等,比较系统地分析了那些逆冲型和转换型板块边界上的地震活动,指出七级以上大震沿带的连续分布现象与板块的逆冲、剪切活动相关,因而,可以用地震空区的概念来评价这类边界断裂上未来地震的危险性。Mogi^[3]还把地震空区分为带内地震破裂带空区和大震前震源区中小地震空区两类。在我国,用地震空区来讨论地震危险性的文章也时有出现。尤其是近几年来,不少大震出人意料地落在那些过去从未有过地震的地区,这就更引起了人们对“地震空区”的重视。同时也出现了一种倾向,即一谈到“地震围空”就同未来的大震联在一起,不大注意地质背景和特定条件的分析。必须看到,过去,地震“填空”一说主要用在板块边界上,这一概念能否用

在大陆板块内部,有持否定态度的〔2〕,也有持肯定态度的〔8〕。究竟大陆板块内部有无这种填充特征,有哪些条件限制?地震填充与断层运动之间究竟有何关系?这些问题正是本文试图研究和讨论的主要内容。在此基础上,就用地震空区作为地震的中长期预测和短期预报的一种方法提一些看法。

一、中国大陆地区一些活动断裂带的地震填充现象

1. 郯城—庐江活动断裂带

这是我国东部规模最大的活动断裂之一。它起始于早元古代,经历古生代的倾向运动和中生代开始的“裂谷”化以后,到了新生代晚期表现出明显的挤压右旋扭动特征〔4〕〔5〕。该断裂发育于华北断块区的开原—嘉山一段,第四纪以来活动明显而强烈,同时具有强度较大的地震活动(图1)。

从图1不难看出,7.0级以上大震主要集中在安丘—郯城、渤海中南段和海城等三个地区(或称强震活动区)。用我国扭压型和扭张型地震的震级—断层长度经验关系式 $M = 2.51(\log L + 2.4)^1$ 计算出每个6.0级以上地震的破裂长度并用斜线画在图上,作出地震破裂带分布图(图1)。从图1来看,郯庐带6.0级以上大震的震源破裂区很少有重叠(即相邻震源破裂区有 $\frac{1}{3}$ 以上重叠部分者)的现象,也就是说,相继发生的大震具有某种填充性,至今在新沂—嘉山、渤海东南部、渤海西北部和沈阳等几个地区仍为6.0级以上地震的空区。

此外,以图1还可以看出,郯庐带(开原—嘉山段)作为一个整体,在过去的近500年内,强震并未呈现沿带重复的现象。但在渤海中南部地区自1597年至今已发生了三个7.0级以上地震²⁾,暂可基本视作原地重复的现象。这一例外可能与渤海中南部现代的强烈活动和北西向的张家口—烟台断裂带活动的迭加有一定的关系。

2. 张家口—烟台活动断裂带

该断裂带由一系列规模小、数量多、成群出现的断层和断陷盆地斜列组成。根据新第三纪以来的地层分布、沉积厚度的变化和断裂活动判定,该断裂带现今主要表现为左旋剪切活动〔6〕,山区表现为挤压剪切,平原区为拉张剪切。地震沿带分布,并主要集中在与北东向构造的交汇部位(图2)。

分析沿这一北西带所发生的地震的时空关系,可以看出,唐山1976年7.8级大地震是处在该带1337—1976年六百多年内6.0级以上地震的空缺区段。从1337年至1597年,6级以上地震从西往东,先后在延怀地区(1、2号地震)、北京—平谷地区(3号地震)、鲁北地区(4号地震)和渤海中南部地区(5号地震)相继发生,而唐山南部地区却没有6级以上地震(图2)。在间隔了68年之后,从1665年到1975年的300多年里,强震又从西部开始,依次在北京—平谷地区(7、8、10号地震)、延怀地区(9号地震)、渤海中南部地区(11、13号地震)和鲁北地区(12号地震)不断发生,唐山南部地区仍为地震空区。这种情况一直延续到1976年7月28日,在唐山地区发生了7.8级地震及一系列6级以上余震,才最后填补了带内的这一空区。时至今日,该北西带已基本为强震的破震带所勾通(图2),仅

1) 向宏发,用地震和地形变资料研究活断层现代活动特征的几个问题,1980。

2) 1597年渤海7 $\frac{1}{2}$ 级地震系由天津市博物馆调查确定。

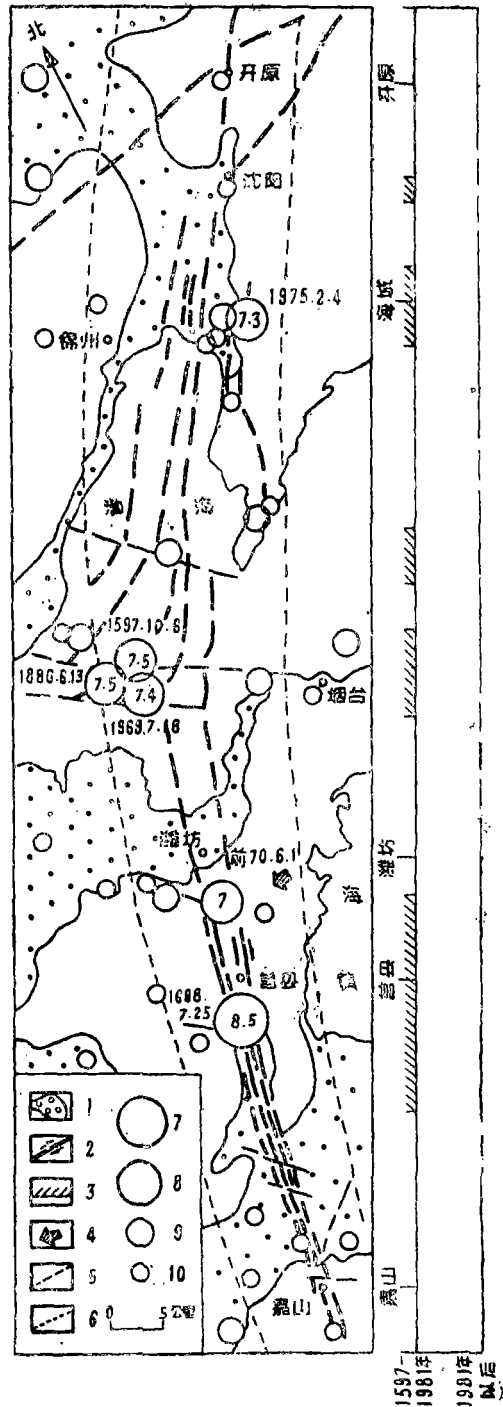


图 1 郯庐带中段（开原—嘉山）地震构造图

1. 新生代盆地边界 2. 活动断裂及其水平扭动方式 3. 地震破裂带长度投影 4. 区域构造应力方向 5. 现今地震空区段及其长度投影 6. 统计断裂带范围 7. $M \geq 8.0$ 8. $M = 7.0 - 7.9$ 9. $M = 6.0 - 6.9$ 10. $M = 5.0 - 5.9$

Fig. 1 The seismic tectonic diagram of the mid-section of Tancheng—Lujiang fracture zone (Kaiyuan—Jiashan).

在几个局部地段有一些尺度较小的空区。因此，预计在该带内除个别点外，在近几十年内发生7级以上地震的可能性不大。

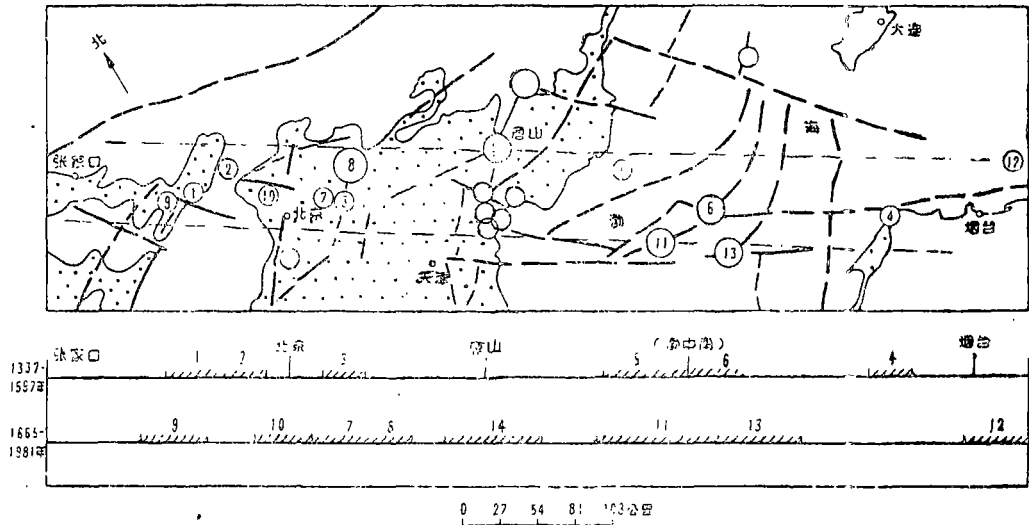


图2 张家口—烟台活动断裂带地震构造图(图例同图1)

Fig. 2 The seismic tectonic diagram of active fault from Zhangjiakou to Yantai.

3. 鲜水河断裂带

作为甘孜—盐源断块和色达—松潘断块的分界线的鲜水河断裂带至少始于印支期，有资料表明，它对晚三迭统地层有明显的控制作用，並表现出强烈的挤压剪切运动¹⁾，第四纪以来的地层错断和水系变动等表明，该断裂现今可能继承了其左旋挤压剪切运动性质⁽⁸⁾。一些区段水平滑动速率达0.5—1.0厘米/年¹⁾(7)。这就决定了带内地震活动的强度和频度都相对比较高。在大约200年的时间内，6.0级以上强震就基本完成了沿带重复的过程(图3)。

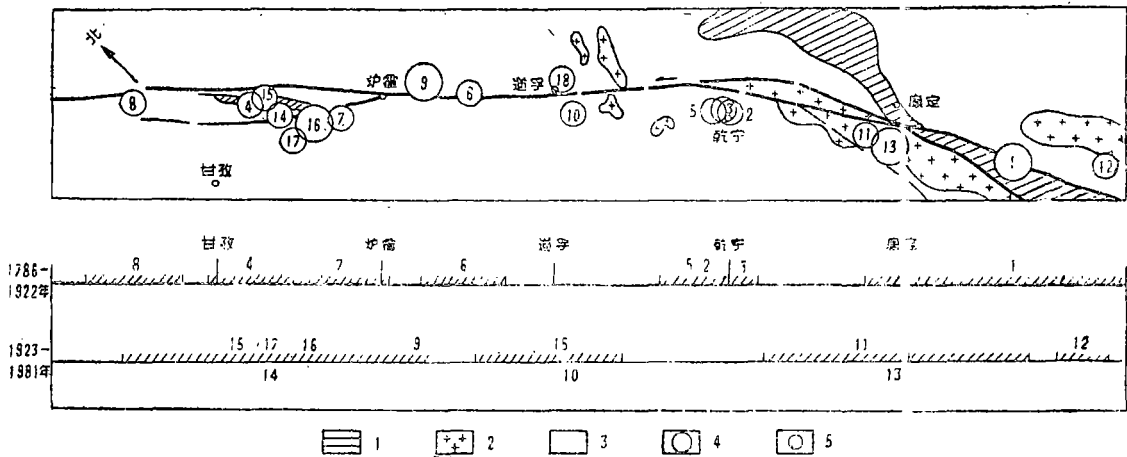


图3 鲜水河断裂带地震构造简图

1.上古生界2.燕山期花岗岩3.三迭系4.M=7.0-7.9 5.M=6.0-6.9 其余同图1
Fig. 3 The seismic tectonic map of Xianshuihe fault.

1)唐荣昌, 道孚6.9级地震的地质构造背景与发展构造条件分析, 1981.

1786—1922年, 6.0级以上地震自东南而西北, 依次在康定东南、乾宁、道孚北、炉霍以北先后发生, 而康定、道孚、炉霍南等处则是几个空区。1923—1981年, 在这几个空区内发生了1923年炉霍7 $\frac{1}{4}$ 级地震, 康定1955年7 $\frac{1}{4}$ 级地震和道孚1981年6.9级地震, 6.0级以上地震的破裂带已基本沿带“填满补齐”。但若考虑7.0级以上地震, 在道孚—乾宁一带似为一空缺地段。

鲜水河断裂带上强震活动的一个显著特征是沿带的往返迁移现象(图3), 因此, 当用地震空区预测未来地震位置时应该认真考虑这一点。

4. 塔里木盆地北缘活动断裂带

该断裂也是第四纪以来有强烈活动的逆平推断裂, 根据国家地震局地质研究所(1979)资料, 自1900年以来, 带内共发生6.0级以上地震18次, 其中7.0级以上地震4次, 8 $\frac{1}{4}$ 级地一次。这些地震大体以120—160公里的相同间距自西而东集中在乌恰西北、喀什、巴楚、乌什—阿克苏、新和等几个地区。

1900—1955年, 6.0级以上地震相继发生在喀什、新和、巴楚等处, 而在新和—巴楚之间、巴楚西和乌恰以西为空区。1956—1981年的几个地震则正好落在上述几个空区内。但在巴楚—新和之间的阿克苏地区仍属空区。

除了地震沿带的填空特征以外, 在一些强震区, 大震前也有中小地震相对较少的“空区”。如1975年海城7.3级地震前, 震源区却很平静(图4)。唐山地震前也有类似情况, 这里不再详细讨论了。需要强调指出的是, 这类填空也需要一定的构造条件。

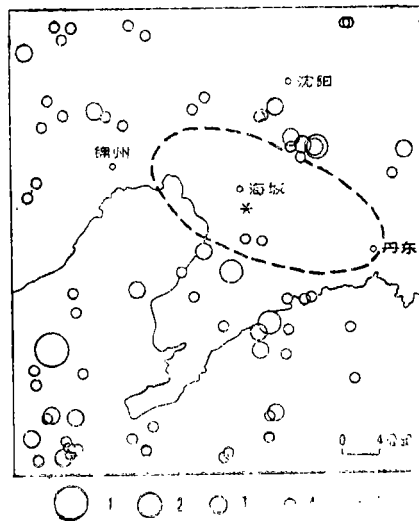


图4 1975年海城7.3级地震前(1970—1974年底) $M \geq 2.0$ 级地震分布图(据国家地震局分析预报室资料)

1. $M \geq 5.0$ 2. $M = 4.0-4.9$ 3. $M = 3.0-3.9$ 4. $M = 2.0-2.9$ 5. 7.3级主震

Fig. 4 The distribution of earthquakes of $M \geq 2.0$ (from 1970 to 1974) prior to Haicheng earthquake ($M = 7.3$) in 1975.

仅据以上几例, 便可看出, 在大陆板块内部的活动断裂带上, 地震也有沿带“填空”发生的现象。与板缘地震“填空”不同的是, 板内“填空”的地震震级较小, 时间一般较长,

均匀性也较差些。这是因为与板缘断裂相比,在板内的一些活动断裂上,地壳介质、结构、应力等情况更为复杂。

二、地震填空与断层运动

地震的孕育和发生与断层的形成和发展有关。近年来,对活断层粘滑运动的发现和研究^{[9][10]},使人们对地震与断裂间关系的认识深入了一步。野外见到的断层阶段性的位错(即粘滑运动)很可能同一次大地震相伴随。通过对郟庐带第四纪以来活动性的对比研究,我们发现了一个有趣的事实,在历史上发生过8¹/₂级大地震的区段(即莒县—郟城一带)多处见到逆冲于第四纪甚至全新统之上的“通天”活断层(图5)。而且断层泥的厚度大,最宽达3—5米以上,断层泥粘结度差,不少地区常为柔软、细腻的稀泥。而这种情况在其它区段很少见。这种具有低粘度、厚断层泥的“通天”活断层很可能与1668年郟城—莒县大地震有一定关系。有意思的是,在这长约200公里的区段内,近10余年,中小地震密集成群(图6)。这一弱震密集带可能是历史上8¹/₂级大震的震源破裂区,表明了该断层段至今仍处在弱震活动的“松弛”状态。这就表明,历史上的大震破裂段现今有可能是蠕滑松动段。换言之,活断层的闭锁段和蠕动段的划分不是一成不变的,而是随着强震的发生,断层勾通,高应变积累段便转化为应变释放段,空区随即消失。也即地震空区的形成、发展和消失是与断层由稳滑、相对闭锁最后发展到破裂位错的运动型式相关联,或者说,活断裂带不同区段运动型式的这种周而复始的交替变化,正是空区沿带形成而后又为地震所充填的带内地震填空过程(图7)。

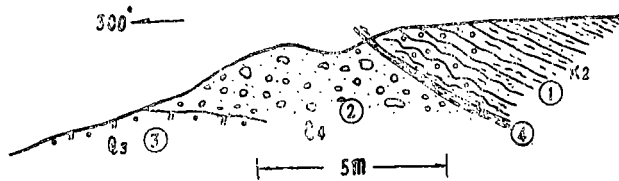


图5 郟城窑上第四纪“通天”活断层剖面

1.紫色砂页岩挤压带(K₂) 2.褐色含岩块碎石亚粘土(Q₄) 3.浅黄色含姜结石黄土(Q₃) 4.紫色断层泥

Fig. 5 The profile of Quaternary active fault in Yaoshang, Tancheng.

图7中给出的带内地震填空的地质模式,主要考虑的是倾滑型活断层上覆新沉积物的发育和断层泥的厚度与强度。一些实验研究,包括最近对红河断裂带断层泥的实验研究表明¹⁾:即使在较高的温度和压力条件下,断层泥也仍然显示为以塑性为主的变形机制。这就是说,断层泥的有无及其发育程度是衡量活断层蠕滑与粘滑的一个重要因素。红河断裂带南段(弥渡以南),活断层的断面上多无新沉积物覆盖,而断层泥却极为发育,有的厚达数米,如在腰街、深沟河等处所见(图8)。在南段至今未见有强震发生的任何记录。弥渡以北的红河带北段的情况却大不相同,那里强震及中强地震频频发生。活断层的研究表明:除

1) 李建国等1984年对红河断裂带断层泥的实验研究。

一部分沿袭老断层的“通天”断层外，更多的断面被新沉积物覆盖，断层泥也很不发育，常常表现为一个规模甚小的错动面。

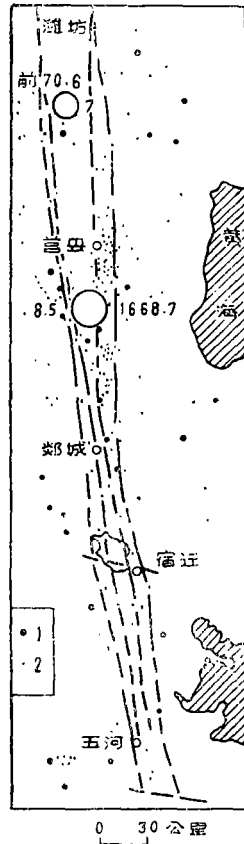


图6 莒县—郯城段地震震中分布图(1970.1—1980.6)

1. $M_L \geq 3.0$ 2. $M_L < 3.0$

Fig. 6 The epicenters of earthquakes in Juxian—Tancheng area.

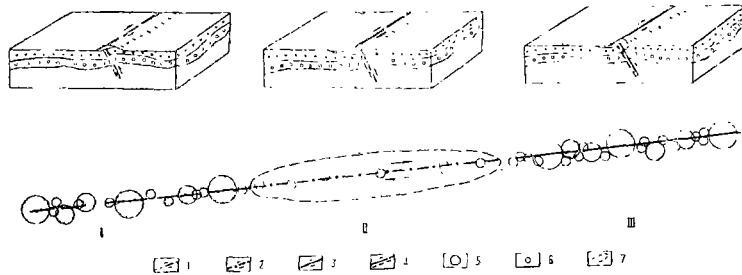


图7 断层运动型式与地震填充关系图

1.一般积累段(I) 2.断层闭锁段(II) 3.释放松动段(III) 4.活断层剖面,段线表示断层泥,其宽度示断层泥厚度 5.现今及近期历史地震 6.远期历史地震(圆圈的大、中、小分别表示破坏大震、中强地震及小地震) 7.现今地震空段

Fig. 7 The relation between the earthquake filling and the type of fault motion.

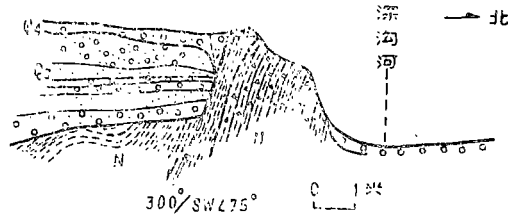


图8 元江县深沟河第四纪断层剖面

N. 晚第三纪断层泥和挤压带 $Q_3(?)$. 上更新统砂砾层 Q_4 . 全新世砾石、砂层

Fig. 8 The profile of Quaternary fault in Shenguohe, Yuanjiang County.

因而，断层泥厚而软、断面“通天”、没有或有较少的新沉积物覆盖可能是断层处在应变释放段（或松动段）的典型而简单的地质模型（图7Ⅱ）；与之相反，若断层泥不发育或其强度大、活断层面上有一定厚度的新沉积物覆盖（至少表明现今断层倾向运动不明显），可能意味着断层已经积累了相当的应变能，甚至进入了高应变的闭锁状态（图7Ⅰ）；而一般积累段的情况介于上述两者之间（图7Ⅰ）。

当然，这只是一种理想情况，若在基岩出露的新隆起区，不一定都有覆于活断层之上的新沉积物。另外断层泥的发育程度也受两盘岩石类型和活动性状、强度和水文气候等条件的影响，因此必须根据具体情况作过细的工作。

四、结论与讨论

1. 带内地震“填空”是指一定震级的地震在一定时间段内沿着一个活动断裂带的逐渐“填满补齐”的现象。这种“填空”不仅适用于板块边缘的活动断裂，也同样适用于大陆板块内部，具有一定的普遍性。而大震前震源区中、小地震的相对“空区”则决定于不同的地质条件和地震的破裂类型。

2. 大陆板块内部地震填空所必需的地质条件是：具有一个基本连续的活动断裂带，这个活动断裂带的连续性和整体性越好，地震沿带填空的特征就越明显，特别是那些扭压型和剪滑型的活动断裂带，强震沿带填空的特点更为明显。

3. 带内地震填空与断层运动型式密切相关，对于绝大多数情况，一段时间内的地震空区正是活动断裂带内部暂时处在高应变积累状态的断层闭锁段，从高应变积累段（或闭锁段）向应变释放段（或松动段）的转变正是通过断层突然的错动来完成的。因而，与闭锁段、正常段和松动段相对应的简单、理想地质模型是覆于断面上的新沉积物厚度依次减薄，断层泥的强度（或粘结度）依次降低而其厚度逐渐增大。然而，它们在定量上的细微标志随地而异，比较复杂，有待于深入的研究。对于少数以中、小地震或“无震蠕滑”表现出来的断层松动段是否为永久性的蠕滑段或者是处在时间尺度更长的释放松动段，目前还难以定论，我们倾向后者。但从地震预报角度考虑，将地震空区分为“无震蠕滑”和暂时的“应变释放松动”两类也是有意义的。

4. 地震重复有带内重复和原地重复两种，而地震填空是地震沿带逐渐“填满补齐”的现象。因此，它是带内地震完成一次重复过程中，强震取空区依次发生的现象，可见，填空性

与重复性是相关的。

5. 用地震空区来作地震中长期预测时，必须考虑活动断裂带内的特殊部位。没有这种地质背景的所谓地震“空区”，在预报上没有多大意义。大震破裂带的空区和大震前中、小地震活动的空区是含义相似、时间尺度不同的两种空区，前者可作为中长期预测的一个标志，后者是中短期乃至临震的一个信息。当我们用大震破裂带的空区来作地震预测时，必须同时考虑带内地震的重复性与填空性。不同区域、不同类型的断裂带和不同震级的地震，重复的时间间隔都不相同。因此我们必须具体地做过细的工作，并从地质、形变、地震等多种途径的综合分析中去确定空区，然后用历史类比法研究空区相关范围内强震重复的时间间隔，估计未来强震可能发生的时间段，评价今后百余年、几十年或十余年的地震危险性，同时应密切注视与地震相关的其它前兆场的变化，积极捕捉大地震。

本文1982年2月完成初稿，后经丁国瑜、邓起东、张步春、方仲景等同志审阅，并提出重要修改意见。在此，作者深表谢意。

(本文1985年1月2日收到)

参 考 文 献

- [1] Fedotov, S.A., Regularities of the distribution of strong earthquakes in Kamchatka, the Kurile Islands and northeastern Japan, Trudy Inst. Phys. Earth. Acad. Sci., USSR., №36, 1965.
- [2] Mc Cann, W.R. et al., Seismic gaps and plate tectonics; Seismic potential for major earthquakes, Pure and Applied Geophysics, Vol. 17, №1082, 1979.
- [3] Mogi, K., Two kinds of seismic gaps, Earthquake prediction and seismicity patterns, Max Wyss, Birkhausei, 1979.
- [4] 中国科学院地质研究所山东地震地质考察小组，山东块断构造特征与地震带的初步划分，地质科学，№4，1976.
- [5] 方仲景等，郯庐带中段第四纪断裂活动特征与地震地质条件述评，地质科学，№4，1976.
- [6] 郑柄华等，燕山地区北西向和北西西向断裂构造特征初步探讨，地震地质，Vol. 3，№2，1981.
- [7] 刘本培、李建中，鲜水河断裂的活动特征，地震科学研究，№3，1981.
- [8] 国家地震局西南烈度队，西南地区地质及烈度区划探讨，地震出版社，1977.
- [9] 方仲景等，郯庐断裂带地震活动的地质分析，地震地质，Vol. 2，№4，1980.
- [10] Kerry, E.Sien., Prehistoric large earthquakes produced by slip on the San Andreas fault at Pallett Creek, California, J.G.R., Vol. 83, №6, 1978.

THE EARTHQUAKE FILLING OF INTERPLATES AND THE TYPES OF FAULT MOTION

Xiang Hongfa Gui Shunmin

(*Institute of Geology, State Seismological Bureau*)

Abstract

In accordance with the knowledge of earthquake packing in the edges of plate, an analysis is made in this article, by means of empirical formula about magnitude and the length of fault, on the relation between the geological structure and the earthquake activities in these fracture zones; Tancheng—Lujiang, Zhangjiakou—Yantai, Xianshuihe and the northern edge of Tarim Basin. It is pointed out that inside plates, there also exists such a phenomenon that earthquakes can always be filled and packed along the fracture zones. This kind of earthquake filling and packing is mainly on the zones of torque—compression type and shear slip type. A continuous active fracture zone is on imperative geological condition for earthquake filling inside plates.

The authors propose that there is very close relation between the earthquake filling and the different type (or state) of modern fault motion. The progress in which an active fault develops from stable sliding and relative close and lock to rupture and displacement, is just the process in which gap of earthquake forms, develops and even a great earthquake begins. What is corresponded with this is the segment of stress accumulation, locked and release. In geology, the difference between them is, new sediment cover on fault is less and less in order, the bond strength of gouge decreases but its thickness increases. So, a special attention must be paid to those active faults with more new sediment on them, which have been activated since Holocene.