

全球地震活动性的定量研究(一)

——全球浅源和深源地震活动性随时间的变化

吴佳翼 曹学峰

(国家地震局地球物理研究所)

J. 口

摘要

本文利用地震活动性指数 $A(b)$ 对本世纪初以来的全球地震活动性作定量的研究,着重探讨全球地震活动随时间的变化。根据求 $A(b)$ 指数的结果,对阿部胜征和巴特、杜达的两种不同的世界地震目录作了对比分析。本世纪的全球地震活动总趋势是一种有起伏的衰减。全球深震和浅震活动水平分别在 1950—1952 年和 1952—1955 年有一个显著的下降,使得后半世纪的浅震活动水平普遍降低了 0.3 左右,浅震和深震的总体水平下降了 0.2 左右。浅震和深震的总体变化幅度小于二者的相对变化幅度。1959 年以后,相对变化的成分十分显著。

一、引言

全球地震活动性问题历来是地球物理学的基本问题之一。地震活动本来就是地球本体的一种基本属性。自从地震预测走上地震学的前沿以后,地震活动性研究即成为实现地震预测的一项必要的基础工作,而全球地震活动性的历史和现状,对于分析预测一个特定地区的地震趋势,也就随之成为一个不可缺少的背景条件。

地震活动性 (seismicity) 一词本来没有明确的、普遍承认的定义。按这一词语的实际运用,作者把它的含义归纳为以下三点:

- ① 某一时空范围内地震活动的强弱程度;
- ② 某一地区地震活动的时、空、强分布特征;
- ③ 世界各不同区带上地震活动所显示的差异性,即地震地理学。

在地震学发展史上人们最早注意到的,是地震活动的地区差异。早在本世纪初,法国地震学者蒙泰苏斯·德·巴洛尔 (Montessus de Ballore) 和英国科学家约翰·米尔恩 (J. Milne) 都研究了世界各地区的地震活动性,并分别作出最早的全球地震区带分布图。德·巴洛尔所著《地震地理学》一书^[1]是地震学史上第一部讲述全球地震活动性的专著。四十年代初,美国地震学家拜尔利 (P. Byerly) 研究了加利福尼亚州的地震活动性^[2,3]。他把加州各县分为 22 个组,以烈度为根据求出各组的相对地震活动性。1953 年,巴特 (M. Bath) 发表了他对芬诺斯堪地亚地区地震活动性的研究结果^[4]。他用经纬网格划分

本文 1985 年 10 月 15 日收到,1986 年 1 月 23 日收到修改稿。

095193

小区,评定每一小区内释放的地震能量.

1954年,古登堡和里克特出版了《地球的地震活动性及相关现象》一书^[5],这本书的出版使全球地震活动性的研究提高到一个新的水平. 这本书搜集了从本世纪初至1952年的全球地震资料,成为尔后研究、编辑地震目录的一个蓝本. 但是,关于全球地震活动性随时间变化的研究则发展较晚. 1951年,贝尼奥夫(H. Benioff)用阶梯形的应变回跳(strain rebound)曲线第一次提出了 $M \geq 8.0$ 大地震随时间的衰减问题^[6]. 1965年,杜达(S. J. Duda)发表了一份全球7级以上地震目录(1897—1964年)^[7],并于1979年续编了1965—1977年的部分^[8]. 金森博雄(H. Kanamori)和阿部胜征(K. Abe)等人对整理全球地震的震级资料方面和研究地震活动强度随时间变化方面做了大量的工作^[9—11],其中金森和阿部^[9,11]提出了本世纪初的震级测定偏高的问题,并在后来的工作中作了校正. 阿部和野口(Sh. Noguchi)最后发表的三篇文章^[13—15]给出了一份1897—1980年的 $M_s \geq 7$ 的地震目录. 这份目录基本上能反映出近百年来全球地震活动的历史.

金森和阿部在文献[10]和[12]中分别讨论了全球深源地震和浅源地震随时间的变化趋势,作了大致的估计. 茂木清夫(K. Mogi)发现了全球各大地震带上地震活动的持续期和间歇期^[16—17]. 但迄今为止,全球地震活动性还有待进一步整理、发掘和探讨. 过去工作的弱点是,震级下限较高, $M_s \geq 8.0$ 或 $M_s \geq 7\frac{3}{4}$. 另外,标志地震活动性水平的特征量不十分理想,用频数 N 或用能量 E 都有片面性. 没有一个一元化的严格规定的尺度,给互相比较和正确评价带来困难. 本文的目的就是在现有震级资料的基础上,对全球浅震和深震,用统一的较为合理的尺度去考察它们随时间的变化,尽可能地发掘出现实存在的规律性,或者发现某些尚待继续验证的现象,为今后在更丰富的资料基础上进行更深入的研究打下基础.

二、地震活动性指数 $A(b)$

如上所述,用地震频数 N 或能量 E 来表征地震活动性的做法是片面的、不确切的. 因为频数 N 忽略了震级的差异,而能量 E 只不过是从震级 M 换算来的,不能充分体现地震活动性的含义. 我们需要一个统一的参数来表达地震活动的强弱程度. 作者为此于1983年提出“地震活动性指数 $A(b)$ ”(可简称为 $A(b)$ 指数)的建议^[18]. 从能量出发,我们首先得出

$$A(k) = \frac{1}{k} \lg \sum_{i=1}^N 10^{kM_i}$$

然后再证明当 $k=b$ 时, $A(k)$ 能充分体现地震活动性的含义. 事实上,地震活动性指数 $A(b)$ 可以由地震活动度很方便地导出. 由地震重复率曲线(震级-频度公式)

$$\lg n(M) = a - bM \quad (1)$$

可知,表达式

$$\sum_{i=1}^N 10^b (M_i - M_0) \quad (2)$$

的含义是, N 个震级为 M_i 的地震在地震活动性上相当于几个震级为 M_0 的地震. (2)式

的计算结果是震级为 M_0 的地震个数，这已经被定义为地震活动度。 N 个 M_i 中有一个 $M_i = M_0$ ，求和号下就有一项为 1。如果欲求 N 个震级为 M_i 的地震相当于一个震级多大的地震，只须令

$$\sum_{i=1}^N 10^{b(M_i - M_0)} = 1 \quad (3)$$

解出 M_0 即得。于是我们定义，满足(3)式所示条件的 M_0 称为地震活动性指数，特记为 $A(b)$ ，其计算公式是

$$A(b) = \frac{1}{b} \lg \sum_{i=1}^N 10^{bM_i}. \quad (4)$$

$A(b)$ 的实用价值和可靠性由两个因素决定：① N 个 M_i 本身的取值是否可靠，即地震的震级目录是否经过同一标准下的校核和订正。② b 值的测定是否合理，即要求(1)式的回归分析有较高的相关系数或 b 值的误差在一定范围之内。由于震级 M 是个表示地震相对大小的量，故按(4)式求出的 $A(b)$ 指数也只有相对意义。我们只在同一范围内使用(4)式来比较同一类地震的 $A(b)$ 指数。例如对于全球浅源地震可取 $M_s \geq 7$ 或 $M_s \geq 6$ 的地震；对全球深源地震则取 $m_B \geq 7$ 或 $m_B \geq 6$ ；对于地方性地震则取 $M_L \geq 3$ ，等等，即在不同问题上可采取不同的震级标度。对于 b 值，计算中可取为长期稳定值，也可令 b 值随时间变化。

三、1897—1980 年全球浅源地震的 $A(b)$ 指数

五十年代以来，一般认为本世纪初的全球地震活动性偏高，后来下降，至今保持偏低的水平。但学者对于其中细节的描述则尚不具体。古登堡于 1956 年指出，全球地震活动最低年是 1954 年^[19]。贝尼奥夫^[6]首先提出全球 $M_s \geq 8.0$ 地震随时间的衰减。但他同时也指出，如果把 $M_s \geq 7\frac{1}{2}$ 级地震（即古登堡所规定的“ a 类”地震）全包括在内，则除 1904—1908 年那一小段外，应变回跳曲线的绝大部分就基本上消去了锯齿状而变得相当平滑，基本上可看作线性。因此用贝尼奥夫的方法并不能断定全球地震活动是随时间衰减的。阿部和金森^[12]用每年全球发生的“ a 类”地震的频数作图，看出 1953—1977 年期间全球地震活动比上半世纪偏低。但他们只用“ a 类”地震的频数作图，难免显得粗略一些，一些细节难于进一步发现。

自从杜达^[7,8]和阿部^[13]分别编出全球地震目录 ($M_s \geq 7$) 之后，我们开始有条件进一步探讨全球地震活动性随时间变化的问题。我们用杜达和阿部（1981 年发表的）的目录（以下简称目录 D 和目录 A）分别计算了 1897—1980 年期间每年的浅源地震活动性指数，计算中取 $b = 1.00$ （图 1 和附录 I）。所以不用后来阿部和野口^[14,15]校正的目录，是因为目录 A 便于同目录 D 的结果作比较。目录 A 只有 1904—1980 年期间的地震 922 个，其中缺 M_s 数据的地震有 8 个，用阿部和金森提出的换算公式^[12]

$$m_B = 0.65M_s + 2.5 \text{ 即 } M_s = 1.54m_B - 3.85$$

从 m_B 求出 M_s 以补足之。目录 D 是 1897—1977 年期间的共计 1111 个地震。为了消除三年以内的短期变化干扰，图 1 直方图的数据已经经过了三年滑动平均。

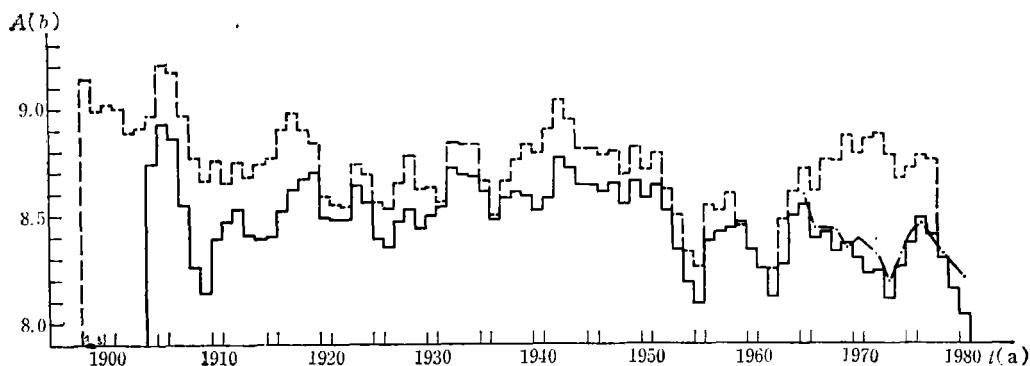


图 1 1897—1980 年全球浅源地震 ($M_s \geq 7$) 的地震活动性指数

实线直方图: 根据阿部胜征(1981);

虚线直方图: 根据杜达(1965)和巴特、杜达(1979)

Fig. 1 Yearly seismicity indexes of global shallow earthquakes ($M_s \geq 7$) during 1897—1980

Full line histogram: data from Abe (1981);

Broken line histogram: data from Duda (1965) and Bath, Duda (1979)

从图 1 可以看出, 目录 D 的震级标度系统偏高, 但两套目录的计算结果从整体趋势来说是基本相同的。特别是 1952—1955 年这四年的 $A(b)$ 指数连续下降, 在两套目录的结果是完全一致的。目录 A 和目录 D 从资料来源上和整理校订的原则上都有不相同之处, 因此二者所共同显示的 1952—1955 年连续四年的大幅度下降就不能认为是偶然的和主观随意的, 而应认为具有充分的客观性。图 1 中所示的三年滑动平均值以 1955 年为最低水平, 而实际计算值是以 1954 年为最低值(见附录 I), 这点与古登堡的认识一致。可以注意到, 自 1952—1955 年的下降以后, 至今 $A(b)$ 指数未能恢复到上半世纪的水平, 而只在一个较低的水平上起伏变化。还可以看出, 本世纪以来地震活动的衰减不是均匀的、缓慢的, 而只表现为 1952—1955 年这四年内的急速下降, 而在 1952 年以前, 从 1910 年起 $A(b)$ 指数甚至还有缓慢升高的趋势。在 1918—1963 年期间, 两套目录的结果相差不是很大, 46 年内平均差值为 0.14, 但在 1904—1917 年和 1964—1977 年期间, 平均差值分别为 0.34 和 0.40, 比较大。特别是 1964—1977 年期间, 年差值最高达到 0.67, 而且两套目录所得结果的变化趋势是截然相反的, 目录 A 的结果是先降后升, 目录 D 则是先升后降。究竟谁的结果更反映真实情况, 需要研究。在上述两个期间, 目录 D 引用了乌普萨拉(Uppsala)和基律纳(Kiruna)两个台的震级测定值^[13], 而这两个台的震级测定历来是偏高的。这似乎能够满意地解释分歧的原因。为了进一步校核这个问题, 作者使用美国 USCGS 和 USGS 在 ISC 分区目录和 PDE 月报上发表的数据, 独立地整理了 1964—1980 年的地震目录并重新计算 $A(b)$, 经过三年滑动平均并从 1969 年开始将每年的 $A(b)$ 值减去 0.18^[13], 结果如图 1 中所示 1965—1980 年的折线。这一段折线与目录 A 所得直方图基本相符, 而与目录 D 的结果相差较远。我们的初步印象是, 目录 A 是一份比较好的资料。

四、1904—1980 年全球深震和浅震的相关变化

浅源地震只是全球地震活动的一个方面。只有同时考察深震活动随时间的变化并把二者加以比较，才能看出全球地震活动的大趋势和可能具有的相关变化规律。

全球深震资料的不完善程度更甚于浅震。现在只能认为，从 1910 年起的深震活动随时间的变化是有意义的。在研究深震的问题时，作为比较的浅震目录取自阿部和野口最后修订的目录^[14,15]，共得浅源地震 1127 个（1897—1980 年）。因为 1918 年以前的震级在修订时被压低了，所以这部分 $A(b)$ 值比原来大大降低，使得金森和阿部^[11]原来讨论过的上世纪末至本世纪初的地震活动高峰期完全消失了（图 2 中曲线 1）。这样的校正是否完全妥当，还不能十分肯定。1910 年以前的部分看来还有些疑问，也许扣除得过多。

计算浅震的 $A(b)$ 值，使用从阿部目录^[13-15]中提取的 b 值， $b = 1.17$ ，所得曲线 1 已

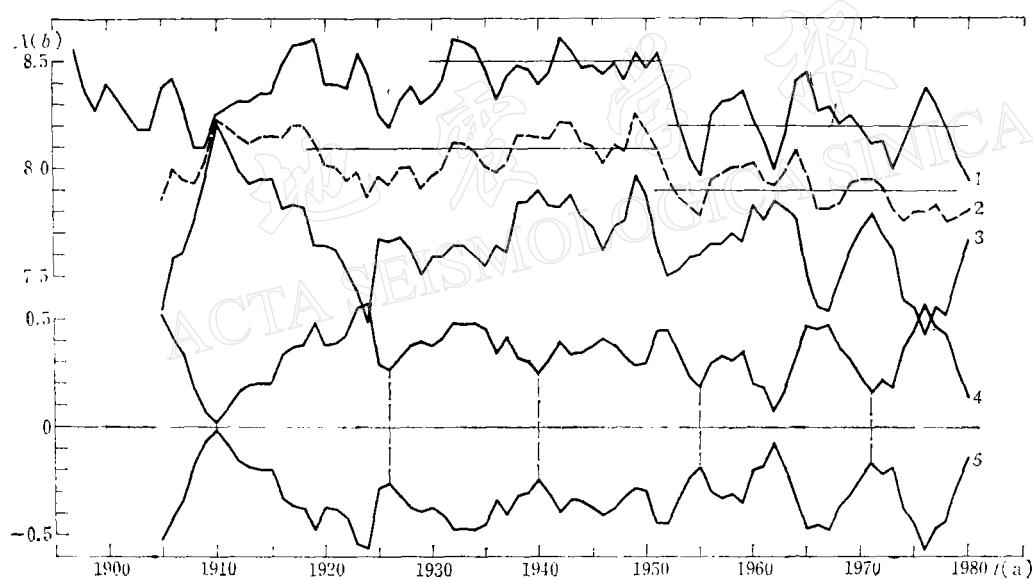


图 2 1904—1980 年全球深震和浅震的相关变化

1—浅源地震的 $A(b)$ 指数；2—深、浅震的总体变化 $T(t)$ ；3—深源地震的 $A(b)$ 指数；4—深、浅震的相对变化 $R(t)$ ；5— $R(t)$

Fig. 2 The correlative variation of global deep and shallow earthquakes during 1904—1980
1— $A(b)$ index curve of shallow shocks; 2—Total variation $T(t)$; 3— $A(b)$ index curve of deep and intermediate shocks; 4—Relative variation $R(t)$; 5— $R(t)$

经经过三年滑动平均。从这条曲线可见，1952 年以前有三个高峰期：1917—1920 年，1931—1934 年，1942—1943 年。从 1931 到 1951 年，这 20 年中 $A(b)$ 值围绕着 8.5 均值线上下波动，振幅渐小。到 1952 年开始大幅度下降以后，则围绕着 8.2 均值线上下波动。1952—1955 年四年的连续下降，使全球浅源地震的活动水平普遍下降了 0.3 左右。

关于深震（包括中深震），我们采取阿部 1981 年的目录^[13]和 1984 年^[20]补充的共计 427 个地震（1904—1980 年），震级标度是 m_B 。如果根据这 427 个地震提取 b 值，则得出

$b > 2$, 显然不合理。造成不合理的原因可能是由于资料不完整, 特别是回归的数据点只有 5 个 ($m_B = 7.0, 7.25, 7.5, 7.75, 8.0$), 缺少 $7.0 > m_B \geq 6.0$ 的深震资料。为了取得合理的 b 值用于 $A(b)$ 的计算, 我们引用 1964—1983 二十年的 ISC 和 USGS 震级资料, 共 1944 个地震, 求得 b 值为 1.34。深震目录中, 1925 年没有 7 级以上深震。为了资料的连续性, 从文献[5]中补充了 17 个 7 级以下地震, 并据此算出了 1925 年的深震 $A(b)$ 值为 7.38(见附录 II)。

图 2 中的曲线 3 是计算所得的 1904—1980 年期间全球深震的 $A(b)$ 指数(已经经过三年滑动平均)。由图可见, 1910 年是深震的一个最高的峰值, 从 1910 年至今, 深震 $A(b)$ 的总趋势也是下降的。1910 年以前的 $A(b)$ 值不太可信, 但 1910—1924 年期间, 深震 $A(b)$ 值大幅度持续下降应该是可信的。此后至 1949 年又有一个平缓的上升, 1950—1952 年则又一次急速下降, 以后则进入一个大幅度起伏的长趋势下降时期。这期间, 1950—1952 年的急速下降与全球浅震 1952—1955 年的急速下降恰好在时间上是紧相衔接的。因此可以说, 从 1950 年至 1955 年, 全球地震活动从总体上有一个大的下降。这很可能反映地球内部此时发生了一个重大的变动。

从曲线 1 和曲线 3 的对比来看, 可以发现浅震和深震的变化似乎有时是同步的, 有时又是反向的。为了研究这种变化趋势, 我们设浅震和深震的 $A(b)$ 指数分别为时间 t 的连续函数 $S(t)$ 和 $D(t)$, 则有

$$T(t) = \frac{1}{2} [S(t) + D(t)] \quad (5)$$

$$R(t) = \frac{1}{2} [S(t) - D(t)] \quad (6)$$

$T(t)$ 称为全球地震活动性的总体变化或称同步性变化, 它代表 $S(t)$ 与 $D(t)$ 的平均变化情况(图 2 中曲线 2); $R(t)$ 称为浅震与深震的相对变化或称补偿性变化, 它表示浅震与深震在活动性上的差异(图 2 中曲线 4)。曲线 5 是 $-R(t)$ 。由图中可见, $T(t)$ 在 1950—1955 年期间有一个大幅度连续下降, 是整个 $T(t)$ 曲线中幅度最大的变化。这一变化使 $T(t)$ 的平均活动水平下降了约 0.2。

如果浅震与深震完全同步, 则差值为常数, 即 $S(t) - D(t) = d$, $R(t) = d/2$, $R'(t) = 0$, $S'(t) = D'(t) = T'(t)$ 。(此处 $R'(t)$ 理解为曲线上二相邻数据点之间的差商, 其余亦同) 这表明浅震与深震之间的相对变化为零, 且浅震、深震、总体变化三者的波形完全相同。如果浅震与深震作完全相反的变化, 即二者的变化能够完全互相补偿, 二者的和数为常数, 则有 $S(t) + D(t) = S$, $T(t) = S/2$, $T'(t) = 0$, $S'(t) = -D'(t)$, 即浅源与深源地震的变化趋势完全相反。

在一般情况下, $S(t)$ 与 $D(t)$ 的变化既具有同步性变化的成分, 也具有补偿性变化的成分。由(5),(6)两式可得

$$S(t) = T(t) + R(t), \quad D(t) = T(t) - R(t)$$

即浅源与深源地震的 $A(b)$ 值随时间的变化可看作 $T(t)$ 与 $R(t)$ (或 $-R(t)$) 两部分之和。从图 2 看来, 曲线 2 所代表的总体变化 $T(t)$ 除 1950—1955 年期间有一个大幅度的下降外, 其余时段的变化幅度较小。相比之下, $R(t)$ 和 $-R(t)$ 则起伏较大。据统

计, $R(t)$ 与 $T(t)$ 的平均变化幅度之比大约为 5:4, 如果同时考虑 $R(t)$ 与 $-R(t)$ 的相对变化, 则可见相对变化比总体变化约强一倍多。

曲线 4, 5 的一个显著特征是, 1962 年以后的相对变化非常强, 特别是 1976 年, 当全球浅震达到峰值时, 深震同时下降到本世纪以来的最低值。这种现象赋予 1976 年这个浅震峰值年以新的意义。看来深震释放能量的减少大部分已由浅震释放能量的增加予以补偿。这样强的相对的补偿性变化在上半世纪则并非如此。由此我们发现, 1950—1955 年的大幅度下降似乎把本世纪的全球地震活动划分为两个阶段: 1929—1958 年以同步性变化为主; 自 1959 年起至今又以补偿性变化为主。而 1910—1928 年, 似乎也以相对变化为主。值得注意的是, 同步性变化显著的时候恰是总体变化逐渐加强的时期; 相对的补偿性变化显著的时期又恰是总体变化逐渐减弱的时期。对此, 我们初步设想了一个物理模式: 当地球内部物质运动增强时, 无论深震活动或浅震活动都呈现活跃, 即因内部能量充足, 地球表层的能量释放与深部的能量释放一样能够得到及时的能量供应, 因而出现深浅震变化的同步性。当地球内部物质运动减弱能量出现亏损时, 对地震活动的能量供应将不敷分配。如果深震活动较强, 占用了较多能量, 则浅震活动就会削弱; 只有当深震活动趋于缓和时, 浅震活动才能相对增强。如此就会出现深浅震变化的补偿性。上述规律如果属实, 我们将可根据同步变化与相对变化的比率判断全球地震活动的发展趋势。

我们不能完全排除外界因素(例如太阳活动、气象因子等)促成地震发生的可能性, 但无论如何, 外界因素毕竟是次要的、第二位的因素。有些事实是不能用外界因素来加以说明的。例如, 全球地震活动的总体变化于 1950—1955 年期间大幅度下降, 如果以太阳黑子相对数 $R^{[21]}$ 来解释就比较困难, 因为最大的 R 年均值是出现在 1957 年, 即在 1950—1955 年的过程之后。如果以地极的钱德勒运动振幅的变化来对应地震活动的下降则较为可信。文献[22]的图 3 描绘的是本世纪钱德勒振幅平方的逐年变化率。这种变化率的大幅度下降也是从 1950 年开始的。实际过程似乎是这样的: 1930—1950 年期间全球地震活动与钱德勒摆动同时加强, 1950—1955 年期间又同时减弱。二者可能同时反映了地球内部的某一种变化过程。按文献[22]图 3, 1910 年前后钱德勒振幅平方的年变率也有一次大幅度下降。根据现有资料, 1910 年以后全球深震的 $A(b)$ 指数确有一次大幅度下降, 但并无深、浅震基本同步的下降。如果按阿部 1981 年的目录, 1905 年以后浅震本来有一个大幅度下降(图 1), 但后来经过阿部和野口的校订^[14, 15], 这一特征已不存在。这里也提出一个校订是否过正的问题。总之, 对于 1910 年以前的全球地震活动的实况, 我们目前的了解还不能说已经很确实, 还存在一些疑问。

五、结论与讨论

本文得出的主要结果如下:

(1) 研究表明, 本世纪以来的全球地震活动在总体上是逐渐衰减的。这八十余年来地震活动可能属于一个超长周期变化(周期为几百年)的下降支。但全期地震活动水平在细节上是有起伏的, 不是时间轴上的均匀衰减。

(2) 全期中最明显的变化是 1950—1955 年期间的地震活动性指数的连续下降。先

是深源地震于 1950—1952 年连续三年的下降，然后是浅源地震于 1952—1955 年连续四年的下降。浅震 $A(b)$ 指数的变化基线(均值线)向下移动了 0.3，使得总体变化的水平向下移动了 0.2。

(3) 全球深震活动与浅源地震活动存在着某种相关关系。深、浅震之间的相对变化幅度大于总体变化幅度，平均变幅之比约为 5:4。1950—1955 年的总体下降在时间轴上划分出两个时段：1929—1958 年深、浅震以同步变化为主；1959—1983 年深、浅震以相对变化为主。

(4) 自 1910 年起，全球深、浅震的变化趋势可分为以下五个阶段：

时段(年)	浅 震	深 震	相关变化
1910—1928	起伏变化较大	1910—1924 年持续下降	相对变化为主，总体缓慢下降
1929—1949	缓慢上升，振幅渐小	有起伏地缓慢上升	同步变化为主，总体缓慢上升
1950—1955	1952—1955 大幅度下降	1950—1952 年大幅度下降	同步变化为主，总体大幅度下降
1956—1958	小回升	缓慢回升	同步变化为主，总体缓慢回升
1959—1983	大幅度起伏	大幅度起伏，长趋势下降	相对变化为主，总体长趋势下降

(5) 本文利用 $A(b)$ 指数为指标，重新肯定了古登堡于 1956 年提出的，1954 年是二十世纪全球地震活动最低年。

本工作所提出的若干问题今后仍需进一步讨论：

(1) 本工作利用地震活动性指数 $A(b)$ 作为衡量地震活动性的一元化的指标，应当是无可非议的。但此法的正确运用，关键在于震级资料是否完善。如果所用的震级标度和震级目录存在缺陷或有不妥之处，则将影响结果的合理性。本工作是在承认阿部目录较为优越的基础上进行的。现存的震级标度当然不是完美无缺的，许多学者正在从事改进震级标度的研究。今后 $A(b)$ 指数的运用将随着震级标度的发展而发展。当然，维持历史的延续性是个重要问题。

(2) 如本文所指出的，1910 年以前的地震目录疑点较多。本世纪初和上世纪末的地震活动性问题，目前仍无定论。金森和阿部的工作提出了很好的见解，今后当有更多的成果。研究全球地震活动性的长期变化，必须握有几百年以上的地震资料和标准前后一致的震级目录。目前的工作只是一个开端。完全弄清地震历史客观过程的真相有待于今后几代人的努力。

(3) 本文确认 1950—1955 年期间全球地震活动有一次明显的下降。作者相信这种现象应与地球本体的一种内在过程相联系。钱德勒运动的振幅变化与地震活动性水平的变化之间存在什么因果关系的问题尚不清楚。或许二者是一种同源现象，同时反映了地球内部的某种过程。作者认为此类问题的解决除需作一些理论的探讨外，主要有赖于对地球本体各种实质性变化的进一步了解。各方面大量的知识积累以及未知现象的发现将有助于最后阐明各种因素的复杂联系，并找出上述两种变化的根源。

(4) 全球深、浅震的相关变化是一种实际现象，特别是在 1959 年以后相对变化非常显著。本文只提出一种设想性的定性的解释，用以说明当总体变化下降时深、浅震活动的互相补偿。至于地震能量如何具体在地球上部的深层和浅层中进行分配，如何就能实现

这种补偿，则还没有说明。这种补偿性是全球规模的综合结果，是一种统计现象。具体到某一个地区是否有深、浅震交替发生的现象，则尚未见到此类研究报告。因此，用地幔对流在深部各层位引起的应力变化也很难说明这种现象。对这一问题的进一步探索需要更多的事实积累，所以目前还看不到明朗的前景。

本工作受到地震学联合基金会的资助。

附录 I 1897—1980 年全球浅源地震 ($M_s \geq 7$) 的地震活动性指数

Appendix I Yearly seismicity indexes of global shallow earthquakes ($M_s \geq 7$) during 1897—1980

年	根据阿部(1981)			根据杜达(1965)和巴特、杜达(1979)		
	N	A(b)	$\bar{A}(b)$	N	A(b)	$\bar{A}(b)$
1897				12	9.45	
1898				6	8.85	9.14
1899				11	9.12	8.99
1900				9	9.01	9.02
1901				8	8.92	9.00
1902				8	9.07	8.89
1903				5	8.69	8.91
1904	11	8.74		7	8.98	8.97
1905	6	8.91	8.93	21	9.25	9.21
1906	7	9.13	8.86	24	9.40	9.17
1907	7	8.55	8.55	17	8.87	8.97
1908	5	7.98	8.26	12	8.64	8.77
1909	7	8.24	8.14	20	8.79	8.66
1910	9	8.21	8.39	14	8.55	8.76
1911	12	8.73	8.47	7	8.94	8.65
1912	11	8.46	8.53	8	8.45	8.75
1913	8	8.40	8.41	14	8.85	8.68
1914	9	8.37	8.39	8	8.74	8.74
1915	7	8.41	8.40	9	8.63	8.77
1916	9	8.42	8.52	13	8.93	8.90
1917	11	8.73	8.62	14	9.13	8.98
1918	13	8.72	8.67	13	8.87	8.90
1919	10	8.55	8.70	10	8.71	8.84
1920	7	8.83	8.49	7	8.95	8.59
1921	6	8.08	8.48	6	8.10	8.55
1922	9	8.54	8.48	9	8.60	8.54
1923	22	8.83	8.64	22	8.91	8.74
1924	11	8.56	8.56	10	8.72	8.69
1925	17	8.30	8.39	17	8.44	8.56
1926	13	8.32	8.35	13	8.51	8.53
1927	14	8.42	8.47	13	8.63	8.65
1928	18	8.68	8.53	15	8.81	8.78
1929	14	8.49	8.44	13	8.91	8.62
1930	10	8.16	8.50	9	8.13	8.63
1931	21	8.84	8.54	21	8.86	8.56
1932	8	8.62	8.72	7	8.68	8.84
1933	10	8.69	8.69	9	8.99	8.83
1934	16	8.76	8.68	14	8.83	8.83
1935	17	8.60	8.61	16	8.67	8.66
1936	18	8.48	8.48	16	8.49	8.50
1937	11	8.36	8.58	10	8.35	8.66
1938	21	8.91	8.61	21	9.15	8.76

续附录 I

年	根据阿部(1981)			根据杜达(1965)和巴特、杜达(1979)		
	N	A(b)	$\bar{A}(b)$	N	A(b)	$\bar{A}(b)$
1939	11	8.57	8.59	11	8.77	8.83
1940	10	8.28	8.52	8	8.57	8.79
1941	17	8.70	8.58	16	9.02	8.90
1942	19	8.75	8.77	19	9.10	9.04
1943	29	8.86	8.72	28	9.01	8.95
1944	21	8.56	8.64	21	8.73	8.81
1945	21	8.50	8.64	21	8.70	8.81
1946	24	8.85	8.61	24	9.00	8.78
1947	22	8.47	8.65	22	8.63	8.80
1948	16	8.62	8.55	16	8.76	8.69
1949	20	8.57	8.66	19	8.69	8.82
1950	19	8.79	8.58	18	9.01	8.71
1951	10	8.37	8.64	9	8.42	8.79
1952	12	8.76	8.52	11	8.95	8.62
1953	13	8.43	8.34	12	8.49	8.50
1954	8	7.83	8.19	9	8.06	8.33
1955	10	8.32	8.09	13	8.43	8.26
1956	7	8.11	8.38	8	8.29	8.55
1957	21	8.71	8.42	24	8.94	8.52
1958	7	8.45	8.44	6	8.34	8.60
1959	9	8.15	8.47	7	8.50	8.45
1960	16	8.81	8.34	11	8.52	8.34
1961	10	8.07	8.25	6	7.99	8.25
1962	9	7.87	8.12	12	8.23	8.25
1963	10	8.43	8.27	11	8.52	8.48
1964	8	8.51	8.50	9	8.68	8.61
1965	16	8.57	8.55	14	8.64	8.72
1966	11	8.56	8.39	14	8.83	8.61
1967	7	8.03	8.42	12	8.35	8.76
1968	20	8.68	8.33	27	9.09	8.75
1969	6	8.29	8.37	18	8.80	8.87
1970	7	8.15	8.30	22	8.72	8.79
1971	7	8.47	8.23	12	8.85	8.86
1972	5	8.08	8.24	19	9.02	8.88
1973	7	8.16	8.11	12	8.76	8.78
1974	8	8.10	8.26	17	8.57	8.67
1975	9	8.51	8.37	17	8.69	8.72
1976	7	8.50	8.49	22	8.89	8.78
1977	9	8.46	8.41	15	8.76	
1978	9	8.28	8.30			
1979	5	8.15	8.16			
1980	5	8.04				
合计	922			1111		
平均		8.47			8.74	

附录 II 1904—1980 年全球浅源和深源地震的地震活动性指数
Appendix II Yearly seismicity indexes of global shallow and deep earthquakes
during 1904—1980

年	浅源地震 ($b = 1.17$)			深源和中深源地震 ($b = 1.34$)		
	N	A(b)	$\bar{A}(b)$	N	A(b)	$\bar{A}(b)$
1897	9	8.55				
1898	7	7.99	8.36			
1899	26	8.53	8.27			
1900	16	8.30	8.39			
1901	20	8.35	8.32			
1902	18	8.31	8.25			
1903	13	8.10	8.18			
1904	15	8.12	8.18	1	6.90	
1905	21	8.32	8.37	5	7.41	7.33
1906	25	8.67	8.42	5	7.68	7.58
1907	19	8.27	8.28	7	7.65	7.61
1908	13	7.91	8.10	3	7.50	7.76
1909	17	8.10	8.10	10	8.12	7.96
1910	23	8.30	8.25	16	8.26	8.21
1911	12	8.35	8.28	11	8.25	8.11
1912	10	8.18	8.31	9	7.83	7.99
1913	13	8.40	8.31	7	7.88	7.93
1914	10	8.33	8.35	10	8.08	7.95
1915	8	8.32	8.35	8	7.90	7.95
1916	13	8.41	8.48	9	7.88	7.81
1917	16	8.71	8.57	3	7.65	7.83
1918	13	8.59	8.58	8	7.97	7.82
1919	10	8.45	8.60	5	7.84	7.64
1920	7	8.75	8.39	1	7.10	7.64
1921	6	7.98	8.39	5	7.97	7.62
1922	9	8.45	8.37	5	7.78	7.52
1923	22	8.69	8.53	1	6.80	7.43
1924	11	8.46	8.43	7	7.70	7.29
1925	17	8.13	8.25	0	(7.38)	7.67
1926	13	8.17	8.19	6	7.92	7.66
1927	14	8.28	8.32	6	7.68	7.68
1928	18	8.52	8.38	4	7.45	7.63
1929	14	8.34	8.30	5	7.75	7.51
1930	10	8.03	8.34	3	7.33	7.59
1931	21	8.67	8.41	5	7.69	7.59
1932	8	8.52	8.60	5	7.74	7.64
1933	10	8.61	8.59	4	7.48	7.64
1934	16	8.63	8.56	6	7.69	7.60
1935	17	8.44	8.46	6	7.63	7.55
1936	18	8.31	8.32	3	7.33	7.64
1937	11	8.22	8.43	11	7.96	7.61
1938	21	8.76	8.48	4	7.54	7.84

续附录 II

年	浅源地震 ($b = 1.17$)			深源和中深源地震 ($b = 1.34$)		
	N	$A(b)$	$\bar{A}(b)$	N	$A(b)$	$\bar{A}(b)$
1939	11	8.45	8.46	10	8.02	7.85
1940	10	8.17	8.39	13	8.00	7.90
1941	17	8.56	8.45	8	7.69	7.83
1942	19	8.61	8.61	8	7.81	7.82
1943	29	8.66	8.55	12	7.95	7.88
1944	21	8.39	8.47	10	7.87	7.78
1945	21	8.35	8.48	5	7.51	7.73
1946	24	8.69	8.44	11	7.80	7.62
1947	22	8.29	8.49	3	7.55	7.73
1948	16	8.49	8.41	11	7.83	7.76
1949	20	8.44	8.54	11	7.91	7.97
1950	19	8.70	8.47	15	8.17	7.88
1951	10	8.26	8.54	5	7.55	7.65
1952	12	8.65	8.40	2	7.24	7.50
1953	13	8.29	8.21	5	7.70	7.53
1954	8	7.71	8.06	5	7.65	7.59
1955	10	8.18	7.97	3	7.43	7.60
1956	7	8.01	8.25	6	7.73	7.65
1957	21	8.56	8.31	6	7.79	7.65
1958	7	8.36	8.32	2	7.42	7.70
1959	9	8.03	8.36	6	7.88	7.66
1960	16	8.70	8.23	3	7.69	7.83
1961	10	7.95	8.13	7	7.93	7.76
1962	9	7.74	8.00	3	7.65	7.85
1963	10	8.32	8.17	5	7.97	7.82
1964	8	8.46	8.41	5	7.83	7.77
1965	16	8.45	8.45	1	7.50	7.51
1966	11	8.44	8.27	1	7.20	7.36
1967	7	7.92	8.29	3	7.39	7.34
1968	20	8.52	8.21	2	7.42	7.47
1969	6	8.19	8.25	3	7.60	7.62
1970	7	8.03	8.19	7	7.83	7.72
1971	7	8.36	8.12	4	7.72	7.79
1972	5	7.98	8.13	5	7.81	7.70
1973	7	8.05	8.00	2	7.58	7.63
1974	8	7.98	8.13	3	7.49	7.39
1975	9	8.37	8.25	1	7.10	7.36
1976	7	8.39	8.37	2	7.48	7.23
1977	9	8.35	8.30	1	7.10	7.36
1978	9	8.15	8.19	2	7.51	7.32
1979	5	8.06	8.05	2	7.34	7.51
1980	5	7.95		4	7.67	
合计	1127	8.33		427	7.66	
平均						

参 考 文 献

- [1] Dc Ballore, Montessus, *La Géographie Séismologique*, Paris, 1906.
- [2] Byerly, P., Seismicity of the northern Pacific coast of the United States, *BGSA*, **51**, 255—260, 1940.
- [3] Byerly, P., *Seismology*, New York, 85—87, 1942.
- [4] Båth, M., Seismicity of Fennoscandia and related problems, *Gerl. Beitr. zur Geophys.*, **63**, 173, 1953.
- [5] Gutenberg, B. and C. F. Richter, *Seismicity of the earth and associated phenomena*, Princeton Univ. Press, 1954.
- [6] Benioff, H., Global strain accumulation and release as revealed by great earthquakes, *BGSA*, **62**, 331—338, 1951.
- [7] Duda, S. J., Secular seismic energy release in the circum-Pacific belt, *Tectonophys.*, **2**, 409—452, 1965.
- [8] Båth, M. and S. J. Duda, Some aspects of global seismicity, *Seism. Inst. Rep.* No. 1—79, Uppsala, 1979.
- [9] Geller, R. J. and H. Kanamori, Magnitudes of great shallow earthquakes from 1904 to 1952, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **67**, 587—598, 1977.
- [10] Abe, K. and H. Kanamori, Temporal variation of the activity of intermediate and deep focus earthquakes, *J. Geophys. Res.*, **84**, B7, 3589—3595, 1979.
- [11] Kanamori, H. and K. Abe, Reevaluation of the turn-of-the-century seismicity peak, *J. Geophys. Res.*, **84**, 6131—6139, 1979.
- [12] Abe, K. and H. Kanamori, Magnitudes of great shallow earthquakes from 1953 to 1977, *Tectonophys.*, **62**, 191—203, 1980.
- [13] Abe, K., Magnitudes of large shallow earthquakes from 1904 to 1980, *Phys. Earth Planet. Int.*, **27**, 72—92, 1981.
- [14] Abe, K. and Sh. Noguchi, Determination of magnitudes for large shallow earthquakes 1898—1917, *Phys. Earth Planet. Int.*, **32**, 45—59, 1983.
- [15] Abe, K. and Sh. Noguchi, Revision of magnitudes of large shallow earthquakes, 1897—1912, *Phys. Earth Planet. Int.*, **33**, 1—11, 1983.
- [16] Mogi, K., Active periods in the world's chief seismic belts, *Tectonophys.*, **22**, 265—282, 1974.
- [17] Mogi, K., Global variation of seismic activity, *Tectonophys.*, **57**, T43—T50, 1979.
- [18] 吴佳翼、曹学锋, 地震活动性的量化问题, 地震, 1983, 6: 13—22.
- [19] Gutenberg, B., Great earthquakes 1896—1903, *Trans. Am. Geophys. Uni*, **37**, 608—614, 1956.
- [20] Abe, K., Complements to "Magnitudes of large shallow earthquakes from 1904 to 1980", *Phys. Earth Planet. Int.*, **34**, 17—23, 1984.
- [21] 高 旭、刘滨兴, 全球地震活动与宇宙环境的关系, 地震, 1981, 3: 2—4.
- [22] Myerson, R. J., Evidence for association of earthquakes with the Chandler wobble, using long term polar data of the ILS-IPMS, in «Mansinha, L. et al. (ed.), *Earthquake displacement fields and the rotation of the earth*», 1970.

QUANTITATIVE STUDIES OF GLOBAL SEISMICITY (1)

—TEMPORAL VARIATIONS OF GLOBAL SHALLOW AND DEEP SEISMIC ACTIVITY

WU JIAYI AND CAO XUEFENG

(Institute of Geophysics, State Seismological Bureau)

Abstract

The authors previously introduced a parameter $A(b)$ to describe the level of seismic activity. It is named "seismicity index". In this paper, $A(b)$ is used to show the temporal variation of global seismicity by assigning an index number to each year up to the beginning of the 20th century. The magnitude data in catalogues of global earthquakes prepared by Duda and Abe were used to calculate the seismicity index. It has been found that the seismicity level derived from Duda's data is much higher than that derived from Abe's, especially for the time interval 1964—1977. The authors thought that it would be better to choose the Abe's catalogue as the principal basis to conduct the calculation.

The secular variation of $A(b)$ in the 20th century is a slow decrease with short period fluctuations. Maybe the variation belongs to a descending branch of a long-term periodic variation, which has a period of hundreds of years. The most dominant feature of $A(b)$ of global shallow earthquakes is that there was a sudden drop of $A(b)$ in the time interval of 1952—1955, and this kind of sudden drop of $A(b)$ for deep and intermediate earthquakes happened in 1950—1952. The variations of shallow and deep (including intermediate) seismicity are nearly synchronous before the 1950—1955 sudden drops, and after that time interval the variation tendencies appear to be opposite and complementary to each other. This phenomenon may probably lead to the supposition that the earthquake potential energy storage controls the seismicity pattern from the earth's interior.