DOI:10.14075/j.jgg.2024.09.443

文章编号:1671-5942(2025)10-0997-09

中国大陆及邻区 8.0 级左右地震周期划分、主体活动区迁移与地球自转加减速的关系

朱红彬[1]　李　红[1]　胡乐银[1]　陈宇轩[1]

1　北京市地震局,北京市苏州街 28 号,100080

摘　要:通过研究中国大陆及邻近区域 $M_S \geq 7.8$ 地震周期的划分和主体活动区的迁移,结合地球自转速度的加速与减速变化,探讨研究区 8.0 级左右地震活动的时空规律及其驱动机制,得出以下结论:1)1879 年以来,研究区经历了 6 个 8.0 级左右地震的活跃幕,其中第 2 活跃幕的主体活动区位于帕米尔-贝加尔湖地震带,第 3 活跃幕位于青藏高原东北缘,第 4 活跃幕位于青藏高原东南缘,第 5 活跃幕位于云南和华北地区,第 6 活跃幕则位于青藏高原内部的巴颜喀拉地块周边,目前可能正处于一个新的活跃幕起始阶段。2)1867 年以来,地球自转日长变化曲线可划分为 4 个加速-减速幕和 16 个加速-减速段,构造应力场的 S 向叠加减速变化有利于帕米尔-贝加尔湖地震带发生 8.0 级左右地震,而 NE 向构造应力场叠加加速变化则有利于青藏高原周缘及内部发生 8.0 级左右地震;地球自转从加速段向减速段的转变导致青藏高原及周边构造应力场从 NE 向主导转变为局部恢复近 NS 向,是第 3、第 4、第 6 活跃幕在加速段起始至减速段结束的主要驱动因素。3)中国大陆及邻近区域百年来的构造应力场经历了从 NS 向到 NE 向再到 NE 偏 E 向的顺时针偏转,这一过程可能与地球自转在 1913 年以前的大减速和之后总体加速的过程相关。此外,这一过程尚未结束,目前未出现类似第 2 活跃幕 8.0 级左右地震集中爆发的迹象,但应警惕青藏高原构造应力场可能继续向 NE 偏 E 向偏转,未来不排除出现新的主体活动区的可能。

关键词:中国大陆及邻区;8.0 级左右地震;地震周期划分;主体活动区;地球自转加速和减速变化

中图分类号:P315　　**文献标识码**:A

中国大陆及邻区 1897 年以来发生了 29 次 8.0 级左右($M_S \geq 7.8$)地震,其中除 1976 年唐山 7.8 级地震发生在东部,其他地震都发生在西部地区。中国西部地区 1879 年以前曾出现近 46 a 的 8.0 级左右地震平静期;1897—1912 年出现地震集中活跃期,发生了 12 次 8.0 级左右地震,至今仍是最活跃的一组地震,且基本都发生在帕米尔-贝加尔湖 NE 向构造带;此后又相继发生 1920 年宁夏海原 8.5 级、1927 年甘肃古浪 8.0 级地震和 1950 年西藏察隅 8.5 级、1951 年西藏当雄 8.0 级地震 2 组 8.0 级左右地震,分别发生在青藏块体东北缘和东南缘;1976 年唐山 7.8 级地震后曾出现长达 25 a 的平静期,被 2001 年昆仑山口西 8.1 级地震打破后又连续发生多次 8.0 级左右地震,表明中国大陆及邻区的 8.0 级左右地震无论是在时间还是空间上都具有一定的活动规律。

为减少太平洋板块对中国大陆及邻区浅源地震的影响,本文按中国活动地块划分方案[1-2]将研究区域划分为青藏块体、滇缅块体、西域块体、华北块体、东北亚块体(不包括吉林珲春等地的深源地震)及南华块体(不包括福建沿海)。1900 年以前的中国大陆及邻区 $M_S \geq 7.0$ 地震目录采用《全球地震灾害信息目录》[3],1900 年以来采用中国地震台网中心提供的全球强震目录;近期 $M_S \geq 5.0$ 地震目录采用中国地震台网中心提供的全国速报目录,时间截至 2024-12-31,地球自转日长变化(LOD)数据(单位 ms)来源于 IERS 网站(https://www.iers.org/),并统一转换成年平均值。

1　研究思路和研究背景

我国地震活动受印度板块和太平洋板块双重驱动力作用,表层为各种尺度地块及边界活动断裂,受控于印度板块的碰撞与推挤,中层为某种滑移网络,深层则受太平洋板块向西俯冲的影响,为浅层运动提供能量来源[4]。

有关中国大陆地区大震周期性和主体活动

收稿日期:2024-09-23

项目来源:中国地震局地震科技星火计划(XH250103A);青海省重点研发与转化计划(WXSX)。

第一作者简介:朱红彬,高级工程师,主要从事华北强震背景和中国大陆及邻区大地震跟踪预测等研究,E-mail:zhb65@sina.com。

区,许多专家学者开展了大量研究工作[4-7],虽然各位专家对活跃幕起止时间的界定和主体活动区的命名稍有不同,但普遍认为中国大陆及邻区19世纪末以来地震活动大体可以划分为5个活跃幕。其中,第1幕主体活动区位于帕米尔-贝加尔湖NE向构造带,第2幕主体活动区为海原-古浪地震系列,第3幕主体活动区为察隅-当雄地震系列,第4幕主体活动区包括川滇和华北[4-7],第5幕主体活动区为巴颜喀拉地块的昆仑-汶川地震系列[6-7],第2、第3、第5活跃幕主体活动区都位于青藏块体及周缘地区。

地壳构造运动的动力与地球自转角速度的变化有关[8]。针对强震活动与地球自转的关系,大量专家学者相继开展研究[9-11],本文在此基础上针对中国大陆及邻区M_S≥7.8地震的周期性进行地震活跃幕划分,研究各活跃幕M_S≥7.8地震的空间分布、主体活动区和迁移规律,并结合地球自转加减速变化讨论其驱动机制。

2 中国大陆及邻区8.0级左右地震活动周期划分

中国大陆及邻区自1833年云南嵩明8.0级地震后进入平静期,此后M_S≥7.8地震平静近46 a,直到1879年甘肃文县8.0级地震打破平静,进入新的活跃期。表1列出1879年文县8.0级地震后中国大陆及邻区M_S≥7.8地震的时间间隔,考虑到1879年文县8.0级和1889年吉尔吉斯斯坦8.3级地震之间的地震记录可能不全,暂将其作为新活跃期第1活跃幕。本文着重从1889年吉尔吉斯斯坦8.3级地震后开始进行统计和研究,结果发现:

1)地震时间间隔3 a以内的地震有17次,占59%。其中,间隔1.0 a以内的7次,间隔1.1～2.0 a的7次,间隔2.1～3.0 a的3次,合计约59%的8.0级左右地震发震时间间隔在3 a以内,主要发生在第2活跃幕(10次),且主要发生在西部帕米尔-贝加尔湖地震带。研究认为,震后3 a内8.0级左右地震易于成丛发生,可能是受印度板块和欧亚板块之间持续、剧烈相互作用的影响,积累巨大能量,仅1次8.0级左右地震并不能完全释放,属于一次板块作用的同场效应,只是破裂的时间和地点有所不同。

2)地震时间间隔3～7 a的地震有7次,占24%。其中,间隔3.1～5.0 a的2次,分别为1927年甘肃古浪8.0级和1931年新疆富蕴8.0级地震的4.2 a、1946年缅甸7.8级和1950年西藏察隅8.5级地震的3.9 a,都相隔不远,可能仍为一次板块作用的同场效应或过渡阶段;间隔5.1～7.0 a的5次,分别为1897年印度8.7级和1902年新疆喀什北8.1级地震的5.2 a,1921年阿富汗7.8级和1927年甘肃古浪8.0级地震的5.5 a,1951年西藏当雄8.0级和1957年蒙古查干湖南部8.3级地震的6.1 a,1970年云南通海7.8级和1976年河北唐山7.9级地震的6.6 a,2008年四川汶川8.0级和2015年尼泊尔8.1级地震的7.0 a,都相距很远且分属不同构造块体,既有可能为一次板块作用的同场效应或过渡阶段,也可能是经过较长时间的震后调整,再度积累了能够发生8.0级左右地震的能量,是一次新的能量积累和释放过程。

3)地震时间间隔8 a以上的地震有5次,占17%。分别为1889年吉尔吉斯斯坦8.3级和1897年印度阿萨姆邦8.7级地震的8.0 a,1912年缅甸8.0级和1920年海原8.5级地震的8.6 a,1934年尼泊尔8.3级和1946年缅甸7.8级地震的12.7 a,1957年蒙古查干湖南部8.3级和1970年云南通海7.8级地震的12.1年,1976年河北唐山7.8级和2001年昆仑山口西8.1级地震的25.3 a。除1934年尼泊尔8.3级和1946年缅甸7.8级地震都位于印度板块和欧亚板块的接触带附近,其他间隔8 a以上的8.0级左右地震之间空间跨度巨大,显示构造应力场出现显著变化。研究认为,发震时间间隔8 a以上(尤其12 a)可以作为进入新活跃幕的重要背景依据,其中间隔25 a以上推测与全球性大震平静期有关。

以间隔8 a以上作为中国大陆及邻区M_S≥7.8地震活跃幕的划分依据,新活跃期自1879年甘肃文县8.0级地震开始已经历6个活跃幕(表1)。此外,自2015-10兴都库什7.8级地震后,研究区M_S≥7.8地震已平静9 a多,有可能进入新的第7活跃幕。

3 中国大陆及邻区8.0级左右地震主体活动区及迁移规律

3.1 M_S≥7.8地震分布和主体活动区

以M_S≥7.8地震分布为主要研究对象,并结合M_S≥7.0地震分布特征,研究主体活动地区。考虑到第1活跃幕(1879—1889年)仅发生2次M_S≥7.8地震,且处于19世纪,相关地震记录可能不全,本文从第2活跃幕开始研究其主体活动区和迁移规律。

1)第2活跃幕:1897—1912年发生12次M_S≥7.8地震(图1,表1),除1897年印度阿萨姆邦

表 1　中国大陆及邻区 1879 年以来 $M_S \geqslant 7.8$ 地震及周期划分

Tab. 1　$M_S \geqslant 7.8$ Earthquakes and period division in China mainland and adjacent areas since 1879

序号		活跃周期	时间	纬度/(°)	经度/(°)	震级 M_S	地点	间隔/a
1			1879-07-01	33.2	104.7	8.0	甘肃文县	45.9
2		第 1 活跃幕	1889-07-12	43.2	78.7	8.3	吉尔吉斯斯坦	10
3			1897-06-12	26.0	97.0	8.7	印度阿萨姆邦	8.0
4			1902-08-22	39.9	76.2	8.1	新疆喀什北部	5.2
5			1903-02-01	48.0	98.0	7.8	蒙古	0.4
6			1905-04-04	33.0	76.0	8.0	印度坎格拉	2.2
7			1905-07-09	49.0	99.0	8.1	蒙古库苏古尔南部	0.3
8	新	第 2 活跃幕	1905-07-23	49.0	98.0	8.1	蒙古布勒奈	0.04
9			1906-12-22	43.9	85.6	8.0	新疆沙湾西南	1.4
10			1907-10-21	38.0	69.0	8.0	塔吉克斯坦	0.8
11			1909-07-07	36.5	70.5	7.8	阿富汗	1.7
12			1911-01-03	43.5	77.5	8.3	哈萨克斯坦阿拉木图	1.5
13	活		1911-02-18	40.0	73.0	7.8	吉尔吉斯斯坦	0.1
14			1912-05-23	21.0	97.0	8.0	缅甸	1.3
15			1920-12-16	36.5	105.7	8.5	宁夏海原	8.6
16			1921-11-15	36.5	70.5	7.8	阿富汗	0.9
17		第 3 活跃幕	1927-05-23	37.7	102.2	8.0	甘肃古浪	5.5
18			1931-08-11	47.1	89.8	8.0	新疆富蕴	4.2
19	跃		1934-01-15	26.5	86.5	8.3	尼泊尔加德满都	2.4
20			1946-09-12	23.9	96.2	7.8	缅甸	12.7
21		第 4 活跃幕	1950-08-15	28.5	96.5	8.5	西藏察隅	3.9
22			1951-11-18	31.1	91.4	8.0	西藏当雄	1.3
23			1957-12-04	45.15	99.21	8.3	蒙古本查干湖南部	6.1
24	期	第 5 活跃幕	1970-01-04	24.15	102.46	7.8	云南通海	12.1
25			1976-07-28	39.63	118.18	7.8	河北唐山	6.6
26			2001-11-14	36.2	90.9	8.1	昆仑山口西	25.3
27			2003-09-27	50.04	87.81	7.9	俄罗斯阿尔泰边疆区	1.9
28		第 6 活跃幕	2005-10-08	34.54	73.59	7.8	巴基斯坦	2.0
29			2008-05-12	30.95	103.4	8.0	四川汶川	2.6
30			2015-04-25	28.2	84.7	8.1	尼泊尔	7.0
31			2015-10-26	36.5	70.8	7.8	兴都库什地区	0.5

8.7 级(该幕最大地震)、1905 年印度坎格拉 8.0 级和 1912 年缅甸 8.0 级地震位于喜马拉雅弧地震带(其中该幕开始和结束的阿萨姆邦 8.0 级和缅甸 8.0 级地震都位于地震带东部,1905 年坎格拉 8.0 级地震位于地震带西部并接近帕米尔-贝加尔湖地震带),该幕其他 9 次 $M_S \geqslant 7.8$ 地震都发生在帕米尔-贝加尔湖地震带。该活跃幕主体活动地区为帕米尔-贝加尔地震带,体现青藏块体整体向 N 运动。

2)第 3 活跃幕:1920—1934 年发生 5 次 $M_S \geqslant 7.8$ 地震(图 1,表 1),其中开幕地震 1920 年海原 8.6 级(该幕最大地震)及 1927 年古浪 8.0 级地震都位于青藏块体东北缘,结束地震 1934 年尼泊尔 8.3 级地震位于喜马拉雅弧地震带,1921 年阿富汗 7.8 级和 1931 年新疆富蕴 8.0 级地震均位于帕米尔-贝加尔湖地震带。除帕米尔-贝加尔湖地震带和喜马拉雅弧地震带外,该活跃幕主体活动区为以 1920 年海原 8.6 级和 1927 年古浪 8.0 级地震为代表的青藏高原东北缘地区,$M_S \geqslant 7.0$ 地震也显示地震主体围绕青藏块体周缘,体现青藏块体整体向 NE 方向运动。

3)第 4 活跃幕:1946—1957 年发生 4 次 $M_S \geqslant 7.8$ 地震(图 1,表 1),其中 3 次位于青藏块体的东南缘,分别为 1946 年缅甸 7.8 级(开幕地震)、1950 年西藏察隅 8.5 级(该幕最大地震)和 1951 年西藏当雄 8.0 级地震,结束地震为位于帕米尔-贝加尔湖地震带东北的 1957 年蒙古查干湖南部 8.3 级地震,$M_S \geqslant 7.0$ 地震也显示地震主体围绕青藏块体周缘。该活跃幕以青藏块体东南缘为主体活动地区,反映青藏块体整体向 NE 运动。从第 3 活跃幕主体青藏块体东北缘到第 4 活跃幕主体青藏块体东南缘,有自北向南收缩迁移的趋势。

4)第 5 活跃幕:1970—1976 年未发生 $M_S \geqslant 8.0$ 地震,仅发生 2 次 $M_S \geqslant 7.8$ 地震,为 1970 年云南通海 7.8 级和 1976 年河北唐山 7.8 级地震(图 1,表 1),为活跃期迄今为止最弱的一幕。其中,1975—1976 年中国大陆及邻区 $M_S \geqslant 7.0$ 地震都分布在从云南到辽宁的一条线上(图 2),1976-

05-29 云南龙陵 7.3 级和 7.4 级、1976-07-28 唐山 7.8 级和 7.1 级、1976-08-16 四川松潘 7.2 级和 08-23 四川平武 7.2 级地震为 3 组双震，从缅甸-云南-四川-唐山-海城整体贯通，有可能是一种在印度板块和太平洋板块共同作用下的特殊剪切触发机制，反映青藏块体继续整体向 NE 运动。

5)第 6 活跃幕：2001 年以来发生 6 次 $M_S\geqslant 7.8$ 地震，其中 2003 年俄罗斯阿尔泰边疆区 7.9 级、2005 年巴基斯坦 7.8 级、2015 年兴都库什地区 7.8 级地震都位于帕米尔-贝加尔湖地震带，2015 年尼泊尔 8.1 级地震位于喜马拉雅弧地震带，2001 年昆仑山口西 8.1 级(开幕地震)和 2008 年汶川 8.0 级地震位于青藏块体巴颜喀拉地块周缘(图 1，表 1)，且 1997 年西藏玛尼 7.5 级地震后，青藏块体内部 $M_S\geqslant 7.0$ 地震全部分布在巴颜喀拉地块周缘(图 2)，可能反映青藏块体向 NE 偏 E 运动导致巴颜喀拉地块向 E 滑脱。

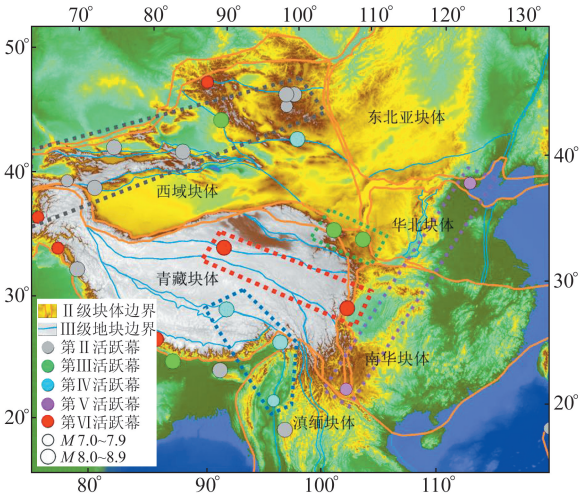


图 1 中国大陆及邻区 1897 年以来 $M_S\geqslant 7.8$ 地震分布和活跃幕主体活动区示意

Fig. 1 Sketch of $M_S\geqslant 7.8$ earthquakes distribution and major seismic activity areas of active episodes in China's mainland and adjacent areas since 1897

3.2 主体活动区迁移规律

从各地震活跃幕主体活动区来看，喜马拉雅弧地震带除第 5 活跃幕外，各活跃幕都发生了8.0 级左右地震；帕米尔-贝加尔地震带第 2 活跃幕极为活跃，为主体活动地区，其他活跃幕也都发生 8.0 级左右地震。考虑到本文研究重点仍是中国大陆地区(包括青藏块体、西域块体等)，除第 2 活跃幕外，这 2 个地震带的中国域外部分一般不作为其他活跃幕的主体活动地区。

由此可知，1897 年以来中国大陆及邻区 8.0 级左右地震主体活动区依次为：第 2 活跃幕的帕米尔-贝加尔地震带、第 3 活跃幕的青藏块体东北缘、第 4 活跃幕的青藏块体东南缘、第 5 活跃幕的

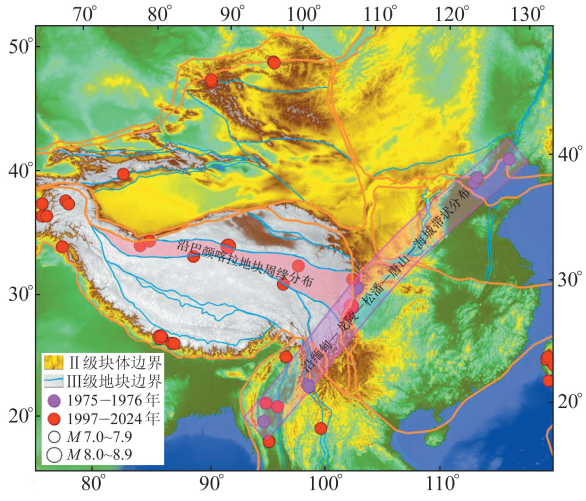


图 2 中国大陆及邻区 1975—1976 年和 1997 以来 2 次特殊的 $M_S\geqslant 7.0$ 地震分布

Fig. 2 Special distribution of two $M_S\geqslant 7.0$ earthquakes in 1975 to 1976 and since 1997 in China's mainland and adjacent areas

云南和华北(沿辽宁到云南的出现 NE 向 7 级条带)及第 6 活跃幕的青藏块体内部巴颜喀拉地块(7.0 级以上地震沿块体周缘分布)，体现青藏块体 N 向-NE 向-NE 偏 E 向相对运动导致的主体活动区顺时针迁移。

4 地球自转加速和减速对地震期幕划分和主体活动区迁移的影响

利用 1867 年以来地球自转日长变化的加速和减速变化，划分加(减)速幕和加(减)速段，研究其对中国大陆及邻区地震期幕划分和主体活动区迁移的可能影响。

4.1 地球自转加(减)速幕与加(减)速段划分

图 3 为中国大陆及邻区 1834 年以来 $M_S\geqslant 7.8$地震 M-T 图(黑线)与地球自转日长变化曲线(蓝线)对比，图中红框为 6 个活跃幕，蓝色虚线和红色虚线分别为减速幕和加速幕。地球自转日长变化曲线在经历 1868—1912 年长达 45 a 的大减速后总体处于加速过程，依据 1867 年以来曲线变化的总体趋势，将地球自转日长变化曲线划分为减速-加速-减速-加速 4 个幕，并设定持续加速或减速 3 a 以上作为加速段或减速段(表 2)。

1)第 1 减速幕：1868—1912 年，历时 45 a，总体处于大减速状态，大体经历减速-加速-减速-加速-减速 5 段，其中 1912 年为 1867 年以来速度最慢年。

2)第 2 加速幕：1913—1929 年，历时 17 a，处于持续加速状态(仅 1921 年有短暂减速)。

3)第 3 减速幕：1930—1972 年，历时 43 a，总体处于减速状态，大体经历减速-加速-减速-加速-

减速 5 段。

4）第 4 加速幕：1973—2022 年，历时 50 a，总体处于加速状态，大体经历加速-减速-加速-减速-加速 5 段。

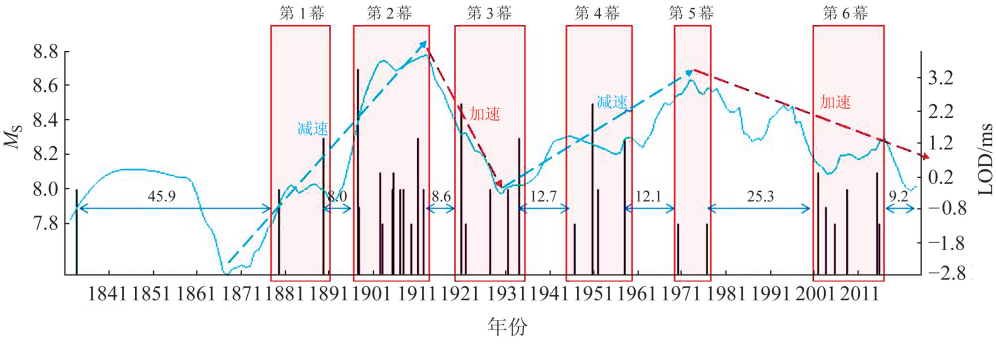


图 3　中国大陆及邻区 1834 年以来 M_S≥7.8 地震 *M*-*T* 与地球自转日长变化曲线

Fig. 3　*M*-*T* diagram of M_S≥7.8 earthquakes in China's mainland and adjacent areas since 1834 and variation curve of the length of day of Earth's rotation

表 2　1868 年以来地球自转日长变化的分幕、分段与中国大陆及邻区 M_S≥7.8 地震

Tab. 2　Episodes and stages of variations of the length of dayof earth rotation since 1868 and M_S≥7.8 earthquakes in China's mainland and adjacent areas

加(减)速幕	加(减)速段	持续时间	历时/a		中国大陆及邻区 M_S≥7.8 地震及其对应的地震活跃幕	
第 1 减速幕 1868—1912 年	减速	1868—1887 年	20	45	1879 年甘肃文县 8.0 级	第 1 活跃幕
	加速	1888—1891 年	4		1889 年吉尔吉斯斯坦 8.3 级	
	减速	1892—1902 年	11		1897 年印度阿萨姆邦 8.7 级、1902 年新疆喀什北部 8.1 级	
	加速	1903—1905 年	3		1903 年蒙古 7.8 级、1905 年印度坎格拉 8.0 级、1905 年蒙古库苏古尔南部 8.1 级、1905 年蒙古布勒奈 8.1 级	第 2 活跃幕
	减速	1906—1912 年	7		1906 年新疆沙湾西南 8.0 级、1907 年塔吉克斯坦 8.0 级、1909 年阿富汗 7.8 级、1911 年哈萨克斯坦阿拉木图 8.3 级、1911 年吉尔吉斯斯坦 7.8 级、1912 年缅甸 8.0 级	
第 2 加速幕 1913—1929 年	加速	1913—1929 年	17	17	1920 年宁夏海原 8.5 级、1921 年阿富汗 7.8 级、1927 年甘肃古浪 8.0 级	第 3 活跃幕
第 3 减速幕 1930—1972 年	减速	1930—1945 年	16	43	1931 年新疆富蕴 8.0 级、1934 年尼泊尔加德满都 8.3 级	
	加速	1946—1955 年	10		1946 年缅甸 7.8 级、1950 年西藏察隅 8.5 级、1951 年西藏当雄 8.0 级	第 4 活跃幕
	减速	1956—1958 年	3		1957 年蒙古本查干湖南部 8.3 级	
	加速	1959—1961 年	3		—	
	减速	1962—1972 年	11		1970 年云南通海 7.8 级	第 5 活跃幕
	加速	1973—1986 年	14		1976 年河北唐山 7.8 级	
	减速	1987—1993 年	7		—	
第 4 加速幕 1973—2022 年	加速	1994—2003 年	10	50	2001 年昆仑山口西 8.1 级、2003 年俄罗斯阿尔泰边疆区 7.9 级	
	减速	2004—2016 年	13		2005 年巴基斯坦 7.8 级、2008 年汶川 8.0 级、2015 年尼泊尔 8.1 级、2015 年兴都库什地区 7.8 级	第 6 活跃幕
	加速	2017—2022 年?	6?		—	

除 1913—1929 年加速幕历时 17 a 且为持续加速外，其他加速幕或减速幕历时 43～50 a，包括大约 5 个比较显著的加速段或减速段，每段持续 3～20 a 不等。1868—1912 年减速幕的大减速后，虽然经历加速幕、减速幕、加速幕，2022 年的地球自转速度已成为 1913 年以来第 2 快的年份（仅次于 1929 年），但都没有回到 1867 年的高速水平。此外，地球自转速度 2023 年曾出现减速，但 2024 年又转为加速，都仅持续 1 a，未来呈加速或减速趋势仍不明确。

4.2　地球自转加减速变化与 M_S≥7.8 地震活跃幕和主体活动区

表面上看，中国大陆及邻区 1879 年以来的 6 个地震活跃幕与 1868 年以来的地球自转日长变化 4 个加速或减速幕并不一致（图 3），且 31 次 M_S≥7.8 地震中 17 次发生在减速段、14 次发生在加速段（表 2），表明总体上加速段或减速段对发生 M_S≥7.8 地震都没有明显的优势（M_S≥7.0 地震也基本上各占一半）。

进一步研究其中地球自转 4 个加（减）速幕、16 个加（减）速段与中国大陆及邻区 6 个活跃幕 M_S≥7.8 地震时间和空间分布关系，除第 1 活跃幕发生在 1868—1912 年减速幕的中期，地震可能缺记或震级可能有误、规律不典型之外还发现：

1）第 2 活跃幕：作为最活跃的一幕，发生 12 次 M_S≥7.8 地震，主要发生在 1868—1912 年减速幕

的后期(速度最低的时段),主体活动区为帕米尔-贝加尔地震带,该活跃幕以减速段起到减速段终(其间有3 a的加速段)。

2)第3活跃幕:发生5次$M_S\geqslant7.8$地震,该幕主体活动区青藏块体东北缘的海原8.5级和古浪8.0级地震都发生在1913—1929年加速幕(段)的中后期,尼泊尔8.3级地震发生在此后减速幕的1930—1945年减速段早期,以加速段起到减速段终。

3)第4活跃幕:发生4次$M_S\geqslant7.8$地震,本幕主体活动区青藏块体东南缘的察隅8.5级和当雄8.0级等地震都发生在1930—1972年减速幕的1946—1955年加速段,蒙古8.3级地震发生在此后1956—1958年减速段,以加速段起到减速段终。

4)第5活跃幕:发生2次$M_S\geqslant7.8$地震,通海7.8级地震发生在1930—1972年减速幕最后的1962—1972年减速段,唐山7.8级地震发生在1972—2022年加速幕最早的1973—1986年加速段,从减速段起到加速段终,地震最弱且不典型。

5)第6活跃幕:发生6次$M_S\geqslant7.8$地震,主体活动区以巴颜喀拉地块周缘的昆仑山口西8.1级和汶川8.0级地震为代表,以加速段起到减速段终,其中昆仑山口西8.1级等地震发生在1973—2022年加速幕的1994—2003年加速段后期,汶川8.0级、尼泊尔8.1级等地震发生在此后的2004—2016年减速段。

综上所述,除第2活跃幕主要发生在减速幕及第5活跃幕弱而不典型外,其他第3、第4、第6活跃幕都是以加速段起到减速段终,或者说第3、第4、第6地震活跃幕都是在加速到一定阶段后开始,然后在减速段结束。

5 有关问题探讨

5.1 地球自转加减速变化导致的浅层地壳运动与主体地震活动区迁移机制探讨

一般认为,中国大陆最新的构造活动主要与印度板块对欧亚板块向N的持续挤压作用有关[7]。但中国大陆及邻区1897年以来从第2活跃幕到第6活跃幕,主体活动区顺时针迁移,显示构造应力场由NS向NE向NE偏E顺时针偏转,其中肯定有叠加的外力改变了其构造应力场的方向。本文主要想通过地球自转加减速变化的动力学机制,结合周期划分和主体活动区迁移,探讨其发生和迁移的机制。

地球自转产生的离心力水平分力由极地指向赤道。通常认为,地球自转加速的离心力会导致北半球岩石圈板块向南运动,减速会导致北半球岩石圈板块向北运动。但难以解释为何以青藏块体及其周缘为主体活动区的第3、第4和第6活跃幕都从加速阶段开始(如第3活跃幕1920年海原8.5级和1927年古浪8.0级地震、第4活跃幕1950年察隅8.5级和1951年当雄8.0级地震、第6活跃幕2001年昆仑山口西8.1级地震都发生在加速段,见表2和图3),大致体现青藏块体向NE向运动。

张亚明[12]研究板块驱动的力学机制,提出地球动质量变化对岩石圈板块运动的影响,认为地球在宇宙中的运动并不是匀速的,地球运动速度增加时,地球动质量增加,导致地球半径减小、岩石圈自转加快和地核自转减慢。其中,地球浅部质点(如岩石圈)不仅受地球自转离心力影响,还受地球万有引力的影响,虽然离心力的切向分量指向赤道,但万有引力的切向分量指向两极,且二者的径向分力的合力随地球半径的减小(增加)而增加(减小)。因此,当地球动质量增加时,其万有引力与离心力径向分力的合力由赤道指向两极,地球浅部质点(岩石圈)由赤道向两极运动;反之,地球动质量减小时,其万有引力与离心力径向分力的合力由两极指向赤道,地球浅部质点(岩石圈)由两极向赤道运动。同时,浅部质点(岩石圈)在动质量增加时自转加快,即向E运动;动质量减小时自转减慢,即向W运动。因此,地球自转加速变化会导致北半球岩石圈板块向E、向N的运动,减速变化会导致北半球岩石圈板块向W、向S的运动,进而使构造应力场发生变化。

将中国大陆及邻区分为帕米尔-贝加尔地震带、喜马拉雅弧地震带和青藏块体及周缘3个区,对第2活跃幕以来29次$M_S\geqslant7.8$地震分别进行统计。其中,帕米尔-贝加尔湖地震带发生$M_S\geqslant7.8$地震15次,10次发生在减速段,5次发生在加速段(3次发生在减速幕中短暂加速段),$M_S\geqslant7.8$地震主要发生在减速段;喜马拉雅弧地震带(包括缅甸地区)发生$M_S\geqslant7.8$地震6次,4次发生在减速段、2次发生在加速段,没有显著区别;中国大陆内部的青藏块体及周缘(包括华北地区)发生$M_S\geqslant7.8$地震8次,6次发生在加速段、2次发生在减速段,$M_S\geqslant7.8$地震主要发生在加速段。

1)第2活跃幕:$M_S\geqslant7.8$地震主要发生在1868—1912年减速幕中后期的大减速过程中(包括18 a的减速和3 a的局部加速,发生12次$M_S\geqslant7.8$地震)。由于地球自转大减速过程会导致北半球岩石圈板块向W、向S的持续显著运动,

但考虑到帕米尔-贝加尔湖地震带位于欧亚大陆腹地,岩石圈板块向 W 运动受阻而显著弱于向 S 运动,形成近 NS 向构造应力场,作用于 NE 向帕米尔-贝加尔湖地震带。值得注意的是,形成本活跃幕帕米尔-贝加尔湖主体活动区和最活跃幕的背景是,印度板块相对欧亚板块近 NS 向推挤作用的基础上,叠加了 1868—1912 年大减速(从 1867 年地球自转最快到 1912 年地球自转最慢)积蓄的巨大的自北向南的近 NS 向构造应力场。

2)第 3 活跃幕:M_S≥7.8 地震以加速段起到减速段终。由于地球自转加速变化会导致北半球岩石圈板块向 E、向 N 的运动,考虑到青藏块体位于欧亚板块东部、岩石圈板块的向东运动受阻较小,1913—1929 年的持续加速幕会导致青藏块体整体叠加形成近 NE 向构造应力场,作用于青藏块体东北缘,形成以海原和古浪地震为代表的主体活动区;而此后 1930—1945 年转为减速段后,局部恢复的近 NS 向构造应力场又导致后续新疆富蕴和尼泊尔地震的发生。

3)第 4 活跃幕:M_S≥7.8 地震以加速段起到减速段终。主要发生在 1930—1972 年减速幕中的 1946—1955 年加速段,加速运动叠加形成北东向构造应力场,导致印度板块和拉萨地块向 NE 向运动,在青藏块体东南缘形成以察隅 8.5 级和当雄 8.0 级地震为代表的主体活动区,此后 1956—1958 年减速段发生蒙古 8.3 级地震,可能因为局部恢复的近 NS 向构造应力场。

4)第 5 活跃幕:本活跃幕仅发生通海和唐山 2 次 7.8 级地震,以减速段起到加速段终。该幕地震最弱,但值得注意的是,1975—1976 年沿辽宁海城-缅甸 NE 向条带发生 8 次 M_S≥7.0 地震,尤其是 1976 年 3 组 M_S≥7.0 地震都发生在 1973—1986 年加速段,推测可能是青藏块体 NE 向运动和太平洋板块 W 向运动在此阶段形成特殊的剪切模式,导致这一系列地震的发生。

5)第 6 活跃幕:M_S≥7.8 地震以加速段起到减速段终。1997 年西藏玛尼 7.5 级地震后,青藏块体内部 M_S≥7.0 地震全部分布在巴颜喀拉地块周缘,形成本活跃幕主体活动区。本活跃幕整体处于 1973—2022 年加速幕叠加形成的 NE 向构造应力场,1994—2003 年加速段导致青藏块体向 NE 向运动,发生 2001 年昆仑山口西 8.1 级地震,此后转为 2004—2016 年减速段,叠加的自北而南的构造应力场使原 NE 向构造应力场向 E 偏转,进一步导致巴颜喀拉地块向 E 滑脱,应力积累在龙门山断裂带上,发生 2008 年汶川 8.0 级地震。

地球自转从加速段转为减速段,导致青藏块体及周缘构造应力场从 NE 向为主到局部恢复至近 NS 向,是第 3、第 4、第 6 活跃幕以加速段起到减速段终的主要原因。加速段导致青藏块体 NE 向的构造应力场先后作用于青藏块体东北缘、青藏块体东南缘和青藏块体内部的巴颜喀拉地块,发生这 3 个活跃幕的主体甚至是首发地震,此后的减速段再叠加上自北而南的近 NS 向构造应力场,导致从青藏块体东北缘向东南缘的收缩及巴颜喀拉地块向 E 的滑脱。

地球自转加速变化叠加的 NE 向构造应力场有利于青藏块体周缘和内部发生 8.0 级左右地震,减速变化叠加的向 S 的构造应力场有利于帕米尔-贝加尔湖地震带发生 8.0 级左右地震,由于所有的构造应力场都是叠加在印度板块对欧亚大陆近 NS 向推挤的基础上,喜马拉雅弧地震带无论是加速段还是减速段都可能发生 8.0 级左右地震。

中国大陆及邻区百年来 8.0 级左右地震主体活动区的迁移活动,显示构造应力场自 NS 向 NE 再向 NE 偏 E 向顺时针偏转,可能与 1913 年以前大减速和以后总体处于加速过程有关,而且这一过程远未结束。一方面,中国大陆及邻区远没有出现第 2 活跃幕 8.0 级左右地震在帕米尔-贝加尔湖地震带集中爆发的迹象(如出现大幅度减速);另一方面,青藏块体构造应力场仍有可能继续向 NE 偏 E 向偏转,导致羌塘-川滇等地块向 SE 运动并在地块东缘孕育 8.0 级左右地震,不排除未来出现新的主体活动区。当然也不能排除帕米尔-贝加尔湖地震带和喜马拉雅弧地震带发生个别 8.0 级左右地震的可能。

5.2　青藏块体及周缘近期 8.0 级左右地震危险探讨

朱红彬[13]曾提出,1900 年以来青藏块体及周边地区 8.0 级左右地震前普遍出现中强地震有 2 个阶段演化现象。第 1 阶段 M_S≥5.0 地震沿板块边界分布,青藏块体内部平静,可能代表青藏块体上一次大地震后的应力调整已经结束,印度板块对青藏块体的推挤作用在板块接触带产生新一轮的应力积累;第 2 阶段 M_S≥5.0 地震向青藏块体内部扩展,形成大规模条带,可能代表在印度板块的持续作用下,构造应力向内传递,出现大地震前震源区非弹性变形引起的块体运动特征改变和区域应力快速重新分布[14];8.0 级左右地震主要发生在条带附近,尤其是条带交汇处。

在中国大陆及邻区有可能进入新活跃幕的背景下,青藏块体 2023-01-27—10-23 再次出现持续 9

个月的典型第 1 阶段图像(图 4),2023-10-24 肃北 5.5 级地震以来疑似出现第 2 阶段 NE 向大规模中强地震条带(图 4),如果该条带继续发展并逐渐清晰,未来 1～2 a 该 NE 向条带及附近地区有发生 8.0 级左右地震的可能。该 NE 向条带贯穿青藏块体,考虑到青藏块体内部及周缘(主要指东北缘和东南缘)8.0 级左右地震主要发生在加速段,但目前加速或减速的趋势不明;而喜马拉雅弧地震带加速段或减速段发生 8.0 级左右地震的概率相近,再结合上述 2 个阶段中强地震条带演化,近期需要重点关注第 2 阶段 NE 向大规模中强地震条带与喜马拉雅弧地震带交汇部位及其附近地区。

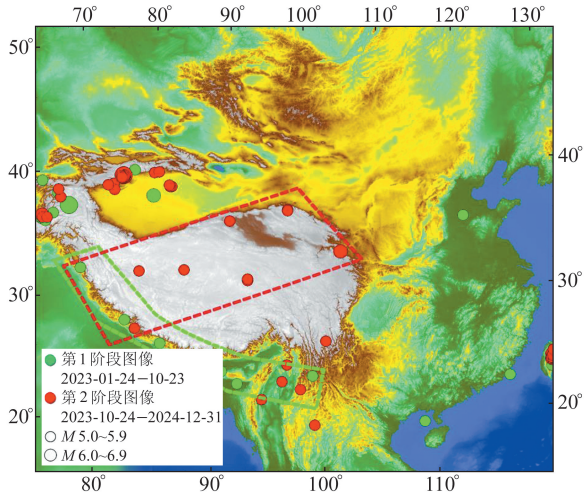


图 4 中国大陆及邻区近期 $M_S \geqslant 5.0$ 地震 2 个阶段演化示意

Fig. 4 Two-stage evolution sketch of $M_S \geqslant 5.0$ earthquakes in China's mainland and adjacent areas in recent years

6 结 语

通过研究中国大陆及邻区 $M_S \geqslant 7.8$ 地震周期划分和主体活动区迁移,并结合地球自转加速和减速变化讨论其驱动机制,得到以下认识:

1)中国大陆及邻区 1879 年以来 8.0 级左右地震已经历 6 个活跃幕,目前已平静超过 9 a,有可能进入新的活跃幕。

2)第 2 活跃幕主体位于帕米尔-贝加尔湖地震带,第 3 活跃幕主体位于青藏块体东北缘,第 4 活跃幕主体位于青藏块体东南缘,第 5 活跃幕主体位于云南和华北,第 6 活跃幕主体位于青藏块体内部巴颜喀拉地块周缘,体现青藏块体从 N 向 NE 再向 NE 偏 E 向运动导致的主体活动区顺时针迁移。

3)将 1867 年以来地球自转日长变化曲线划分为 4 个加减速幕和 16 个加减速段,减速变化叠加的向 S 的构造应力场有利于帕米尔-贝加尔湖地震带发生 8.0 级左右地震;加速变化叠加的 NE 向构造应力场有利于青藏块体周缘和内部发生 8.0 级左右地震。地球自转从加速段转为减速段,导致青藏块体及周缘构造应力场从 NE 向为主到局部恢复至近 NS 向,是第 3、第 4、第 6 活跃幕以加速段起到减速段终的主要原因。

4)中国大陆及邻区百年来构造应力场自 NS 向 NE 再向 NE 偏 E 向顺时针偏转,可能与地球自转 1913 年以前大减速和以后总体处于加速过程有关,且这一过程远未结束,没有出现类似第 2 活跃幕 8.0 级左右地震集中爆发的迹象,但应注意青藏块体构造应力场可能会继续向 NE 偏 E 向偏转,不排除未来出现新主体活动区的可能。

参考文献

[1] 张国民,张培震.“大陆强震机理与预测”中期学术进展[J].中国基础科学,2000,2(10):4-10(Zhang Guomin, Zhang Peizhen. Academic Progress on the Mechanism and Forecast for Continental Strong Earthquake in the First Two Years[J]. China Basic Science, 2000, 2(10): 4-10)

[2] 张培震,邓起东,张国民,等.中国大陆的强震活动与活动地块[J].中国科学 D 辑:地球科学,2003,33(增 1):12-20(Zhang Peizhen, Deng Qidong, Zhang Guomin, et al. Strong Earthquake Activity and Active Blocks in Chinese Mainland[J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 2003, 33(S1): 12-20)

[3] 宋治平,张国民,刘杰,等.全球地震灾害信息目录[M].北京:地震出版社,2011(Song Zhiping, Zhang Guomin, Liu Jie, et al. Disaster Information Catalog of Global Earthquakes[M]. Beijing: Seismological Press, 2011)

[4] 中国地震局.大陆地震预报的方法和理论——中国“八五”地震预报研究进展[M].北京:地震出版社,1998(China Earthquake Administration. Methods and Theories of Earthquake Prediction in Mainland China—Progress in Earthquake Prediction Research during China's “Eighth Five-Year Plan”[M]. Beijing: Earthquake Press, 1998)

[5] 卢演俦,高维明,陈国星,等.新构造与环境[M].北京:地震出版社,2001(Lu Yanchou, Gao Weiming, Chen Guoxing, et al. Neotectonics and Environment[M]. Beijing: Seismological Press, 2001)

[6] 邓起东,程绍平,马冀,等.青藏高原地震活动特征及当前地震活动形势[J].地球物理学报,2014,57(7):2025-2042(Deng Qidong, Cheng Shaoping, Ma Ji, et al. Seismic Activities and Earthquake Potential in the Tibetan Plateau[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2014, 57(7): 2025-2042)

[7] 袁道阳,冯建刚,郑文俊,等.青藏地块区大地震迁移规律与未来主体活动区探讨[J].地震地质,2020,42(2):297-315(Yuan Daoyang, Feng Jiangang, Zheng Wenjun, et al. Migration of Large Earthquakes in Tibetan Block Area and Disscussion on Major Active Region in the Future[J]. Seismology and Geology, 2020, 42(2): 297-315)

[8] 李四光.地质力学概论[M].北京:科学出版社,1973(Li Siguang. Introduction to Geomechanics[M]. Beijing: Sci-

ence Press，1973）

[9] 傅征祥，邵辉成，丁香. 中国大陆浅源强震分布与地球自转速率变化的关系[J]. 地震，2004，24(3)：15-20（Fu Zhengxiang，Shao Huicheng，Ding Xiang. Relation between Distribution of Shallow Strong Earthquake in China's Continent and the Earth Rotation Rate Variation[J]. Earthquake，2004，24(3)：15-20）

[10] 陈学忠，陆小华. 全球不同地区强震与地球自转之间的关系分析[J]. 国际地震动态，2011，41(12)：34-40（Chen Xuezhong，Lu Xiaohua. Analysis of the Relationship between Earth Rotation and Strong Earthquakes in Different Regions of the World[J]. Recent Developments in World Seismology，2011，41(12)：34-40）

[11] 陈学忠，李艳娥，陈丽娟. 21 世纪全球三次 M_W9.0 左右地震的孕育过程研究[J]. 地球物理学报，2024，67(3)：1081-1092（Chen Xuezhong，Li Yan'e，Chen Lijuan. Investigation into the Seismogenic Process of Three Earthquakes with about M_W9.0 in the Globle in 21 Century[J]. Chinese Journal of Geophysics，2024，67(3)：1081-1092）

[12] 张亚明. 板块驱动的力学机制[D]. 阜新：辽宁工程技术大学，2005（Zhang Yaming. Mechanical Mechanism of Plate Drive[D]. Fuxin：Liaoning Technical University，2005）

[13] 朱红彬. 青藏块体 8 级左右地震前中强地震活动图像的相似性演化[J]. 地球物理学报，2010，53(7)：1611-1621（Zhu Hongbin. The Similar Evolution of Seismicity Patterns of Strong-Moderate Earthquakes before about M_S8.0 Earthquakes of Qinghai-Tibet Block[J]. Chinese Journal of Geophysics，2010，53(7)：1611-1621）

[14] 刘蒲雄，陈章立. 地震条带及其在地震预报中的作用[J]. 中国地震，1989，5(1)：23-32（Liu Puxiong，Chen Zhangli. Seismicity Band and Preceding Earthquakes and Its Application in Earthquake Prediction[J]. Earthquake Research in China，1989，5(1)：23-32）

The Relationship between Periodic Classification of Magnitude 8.0 Earthquakes in China's Mainland and Adjacent Areas，Migration of Major Active Zones，and Acceleration-Deceleration of Earth's Rotation

ZHU Hongbin[1]　*LI Hong*[1]　*HU Leyin*[1]　*CHEN Yuxuan*[1]

1　Beijing Earthquake Agency，28 Suzhou Street，Beijing 100080，China

Abstract：By dividing the seismic cycles of $M_S \geqslant 7.8$ earthquakes in China's mainland and adjacent regions and studying the migration of main active zones，combined with the acceleration-deceleration changes of Earth's rotation speed，this study explores the spatiotemporal patterns and driving mechanisms of *M*8.0 seismic activity in the study area. The main conclusions are as follows：1) Since 1879，the study area has experienced 6 active periods of *M*8.0 earthquakes. The second active period mainly occurred in the Pamir-Baikal seismic belt，the third in the northeastern margin of the Qinghai-Xizang plateau，the fourth in the southeastern margin，the fifth in Yunnan and north China，and the sixth around the Bayan Har block within the Qinghai-Xizang plateau. The region may currently be in the initial stage of a new active period. 2) Since 1867，Earth's length of day(LOD) variation curve shows 4 acceleration-deceleration cycles and 16 acceleration-deceleration phases. The superposition of S tectonic stress fields with deceleration changes favors *M*8.0 earthquakes in the Pamir-Baikal belt，while NE-oriented stress fields combined with acceleration changes facilitate *M*8.0 earthquakes along the Qinghai-Xizang plateau margins and interior. The transition from acceleration to deceleration phases causes the tectonic stress field around the Qinghai-Xizang plateau to shift from NE-dominated to locally restored NS orientation，serving as the main driver for the third，fourth，and sixth active periods. 3) The tectonic stress field in China's mainland and adjacent regions has experienced clockwise rotation from NS to NE and then to NEE orientations over the past century，potentially related to Earth's rotation changes involving significant deceleration before 1913 followed by overall acceleration. This process remains ongoing，with no current signs of concentrated *M*8.0 earthquakes similar to the second active period. However，vigilance is needed regarding possible continued NEE rotation of the Qinghai-Xizang plateau's stress field，and future emergence of new main active zones cannot be ruled out.

Key words：China's mainland and adjacent regions；*M*8.0 earthquakes；seismic cycle division；main active zones；Earth's rotation acceleration-deceleration variations

Foundation support：The Spark Program of Earthquake Technology of CEA，No. XH250103A；Key Research and Transformation Program Projects of Qinghai Province，No. WXSX.

About the first author：ZHU Hongbin，senior engineer，majors in background of the strong earthquake in north China and tracking prediction of major earthquakes in China's mainland and adjacent areas，E-mail：zhb65@sina.com.