

薛艳, 刘杰, 李纲. 2011. 2010年2月27日智利 $M_w 8.8$ 地震前全球地震活动特征分析. 地震学报, 33(3): 292-303.
Xue Yan, Liu Jie, Li Gang. 2011. Characteristics of seismic activity before 27 February 2010 Chile $M_w 8.8$ earthquake. *Acta Seismologica Sinica*, 33(3): 292-303.

2010年2月27日智利 $M_w 8.8$ 地震前 全球地震活动特征分析*

薛艳^{1,2)*} 刘杰²⁾ 李纲²⁾

1) 中国北京 100081 中国地震局地球物理研究所

2) 中国北京 100045 中国地震台网中心

摘要 通过对智利地震前全球不同时空范围地震活动特征分析,发现:①智利地震前出现了两类地震空区:第一类空区为1900年以来形成的360 km长的 $M_w \geq 8.0$ 地震空段,第二类空区为震前5年形成的780 km长的 $M \geq 5.5$ 地震空段;②1986—2010年,智利中南部仅发生1次 $M_w 7.1$ 地震,表现为显著的 $M_w \geq 7.0$ 地震平静异常;③2007—2009年,南美板块 $M \geq 6.5$ 地震显著平静,平静打破后3个月发生了智利 $M_w 8.8$ 地震;④1993年以来,南美板块中、深源地震活动显著增强;⑤智利地震的发生是2004年开始的全球 $M_w \geq 8.5$ 地震活跃时段的继续发展,根据前2个活跃时段的特点,认为今后数年全球还将发生数次 $M_w \geq 8.5$ 地震,且环太平洋地震带是 $M_w \geq 8.0$ 地震的主体活动地区。

关键词 智利地震 地震空区 中、深源地震 南美板块 环太平洋地震带

doi:10.3969/j.issn.0253-3782.2011.03.003

中图分类号: P315.5

文献标识码: A

Characteristics of seismic activity before 27 February 2010 Chile $M_w 8.8$ earthquake

Xue Yan^{1,2)*} Liu Jie²⁾ Li Gang²⁾

1) Institute of Geophysics, China Earthquake Administration, Beijing 100081, China

2) China Earthquake Networks Center, Beijing 100045, China

Abstract: Spatio-temporal variation of seismic activity before the great Chile earthquake on February 27, 2010, is studied. Some results are as follows: ① Two types of seismic gaps appeared before the Chile $M_w 8.8$ shock. One is the background gap of $M_w \geq 8.0$ earthquakes with 360 km long since 1900. The other is the seismogenic gap of $M \geq 5.5$ earthquakes with 780 km long 5 years before the Chile earthquake. ② There was only one earthquake with $M_w 7.1$ in middle and southern part of Chile from 1986 to 2010. This is the long-term background anomaly of the obvious quiescence of $M_w \geq 7.0$ earthquakes before the Chile earthquake. ③ The quiescence of earthquakes with $M \geq 6.5$ appeared

* 基金项目 国家“973”项目(2008CB425704)资助. 中国地震局地球物理研究所论著 11AC1008.

收稿日期 2010-03-30 收到初稿, 2010-07-01 决定采用修改稿.

† 通讯作者 e-mail: xueyan5619@seis.ac.cn

in South American Plate and its vicinity during 2007—2009, and the quietude state has been disappeared three months before the $M_w 8.8$ shock. ④ The deep and intermediate-depth earthquake activity has been noticeably strengthened in the subduction zone of South American Plate since 1993. ⑤ The great Chile earthquake shows that the global seismicity is still in the active period of $M_w \geq 8.5$ earthquakes since 2004. Based on the characteristics of the former two active periods, several $M_w \geq 8.5$ great earthquakes would take place in a few years. In addition, the circum-Pacific seismic belt would be the main region for $M_w \geq 8.0$ earthquakes.

Key words: Chile earthquake; seismic gap; deep and intermediate-depth earthquake; South American Plate; circum-Pacific seismic belt

引言

据中国地震台网测定,北京时间 2010 年 2 月 27 日 14 时 34 分智利(35.8°S , 72.7°W , 震源深度 33 km)发生 $M_w 8.8$ 巨大地震,并引发海啸。截至 2010 年 3 月 4 日已经造成 802 人死亡,经济损失可能达到 300 亿美元^①。

根据 USGS(<http://www.usgs.gov/>)提供的全球地震目录,本次智利 $M_w 8.8$ 地震是 1900 年以来全球发生的第五大地震,也是继 2004 年 12 月 26 日印尼苏门答腊 $M_w 9.0$ 地震后全球发生的第三次 $M_w \geq 8.5$ 的地震。

关于板间强震前地震活动图像的研究已经取得了很多有意义的结果(Fedotov, 1965; Mogi, 1979, 1987, 1990)。Fedotov(1965)首次提出了“空区”的概念,即第一类地震空区(大地震之间的空段)。Mogi(1979)提出了两类地震空区的概念,且将由较低震级地震构成的空区称为第二类空区(Mogi, 1990)。Mogi(1973, 1987, 1988)通过研究汤加海沟、马里亚纳海沟及日本地区大的浅源地震前的地震活动异常特征时发现,在大的浅源地震前后,中、深源地震会出现明显的增强活动,且震源深度逐渐增大。

薛艳等(2005a, b, 2008)研究了 2004 年以来印尼苏门答腊地区几次巨大地震前后的地震活动特征,发现在这几次巨大地震前均出现第一类和第二类空区,且在巨大地震前 10 年尺度,俯冲带上中、深源地震会出现明显的增强活动。

考虑到 8 级地震存在震级饱和的问题,本文使用全球 1900 年以来的 $M_w \geq 7.0$ 地震目录(其中 1900—1999 年的资料引自 Engdahl 和 Villaseor(2002)修订的全球目录,2000 年以后采用的是 Harvard 大学提供的全球目录(<http://www.seismology.harvard.edu/>)),并使用美国国家地震信息中心(<http://earthquake.usgs.gov/>)提供的 1973 年以来全球中强以上地震目录,对全球地震活动、智利地区的历史地震及余震活动、智利地震前不同时空尺度地震活动演化特征进行分析。

1 历史地震活动及两类地震空区

2010 年智利 $M_w 8.8$ 地震发生在纳兹卡板块与南美板块的边界部位,纳斯卡板块向下逆冲到南美洲板块之下,相对挤压速率为 80 mm/a(Melnick *et al.*, 2008)。USGS(<http://>

① 中国新闻网. 2010. <http://news.qq.com/a/20100304/001063.htm>.

www.usgs.gov/)给出的质心矩张量解显示,该地震为低角度、逆冲型破裂.

智利是一个强震频发、地震及其引发的海啸灾害严重的国家. 1900 年以来智利共发生 8 次 $M_w \geq 8.0$ 的地震,最大为 1960 年 5 月 22 日 $M_w 9.6$ 地震,该地震引发了太平洋地区的海啸,地震及海啸在智利造成了约 1600 人死亡,并造成了日本、夏威夷和菲律宾地区约 200 人死亡.

1.1 第一类空区

图 1 是智利及其附近地区 1900 年以来的 $M_w \geq 8.0$ 地震破裂区(表 1)分布图. 其中发生在 1900—1972 年地震的震源破裂尺度引自 Back 等人的研究结果(Beck *et al*, 1998; Kelleher, 1972; Melnick *et al*, 2008),而发生在 1973 年以来的地震的震源破裂尺度是本文根据美国国家地震信息中心提供的全球地震目录确定的余震区尺度. 图 2 给出了这些地震的震源破裂区随时间的分布,图中纵坐标表示沿海沟从图 1 中的 A 点至 B 点的空间距离,起点为 A 点.

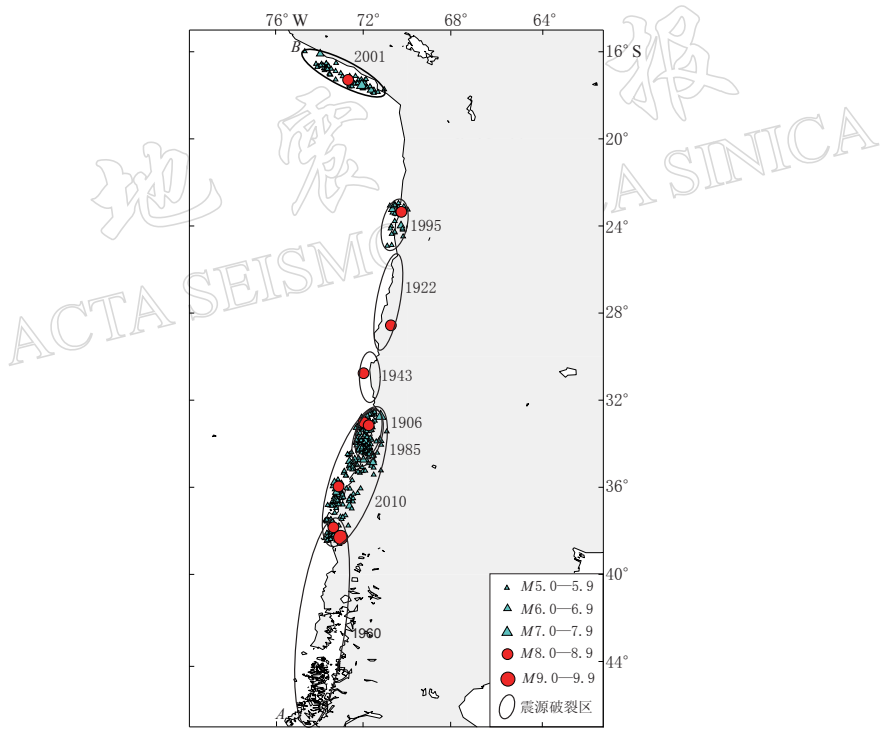


图 1 智利地区 1900 年以来 $M_w \geq 8.0$ 地震破裂区分布

实心圆和三角形分别表示 $M_w \geq 8.0$ 地震序列的主震和余震

Fig. 1 Source rupture areas of $M_w \geq 8.0$ earthquakes in Chile coastal region since 1900
Circles and triangles denote mainshocks and aftershocks of $M_w \geq 8.0$ earthquakes respectively

由图 1, 2 可见,在 2010 年智利 $M_w 8.8$ 地震的南部,曾发生过 1960 年 $M_w 8.2$ 和 $M_w 9.6$ 地震,该地震为单侧破裂,破裂区长约 1000 km. 在 $M_w 8.8$ 地震的北部,曾发生过 1906 年 $M_w 8.5$ 地震,破裂尺度约 400 km. 值得注意的是,在 1906 年 $M_w 8.5$ 地震的破裂区内,1985 年又发生了一次 $M_w 8.0$ 地震,形成了约 210 km 的破裂区,这可能表明智利地区 8 级地震的原地复发时间超过 80 年. 在 1906 年和 1960 年两个地震破裂区之间,存在一

表 1 1900 年以来智利地区 $M_w\geq 8.0$ 地震震源破裂尺度
Table 1 Source rupture lengths of $M_w\geq 8.0$ Chile earthquakes since 1900

地震时间 /年-月-日	震中位置		M_w	破裂尺度/km	破裂区尺度来源
	纬度/ $^{\circ}$ S	经度/ $^{\circ}$ W			
1906-08-17	33.0	72.0	8.5	400	Beck 等, 1998
1922-11-11	28.55	70.75	8.7	470	Kelleher, 1972
1943-04-06	30.75	72.0	8.2	360	Kelleher, 1972
1960-05-21	37.83	73.38	8.2	1000	Melnick 等, 2008
1960-05-22	38.29	73.05	9.6		
1985-03-03	33.14	71.76	8.0	210	本文根据余震区确定
1995-07-30	23.34	70.26	8.0	220	本文根据余震区确定
2001-06-23	17.28	72.71	8.4	410	本文根据余震区确定
2010-02-27	35.95	73.15	8.8	650	本文根据余震区确定

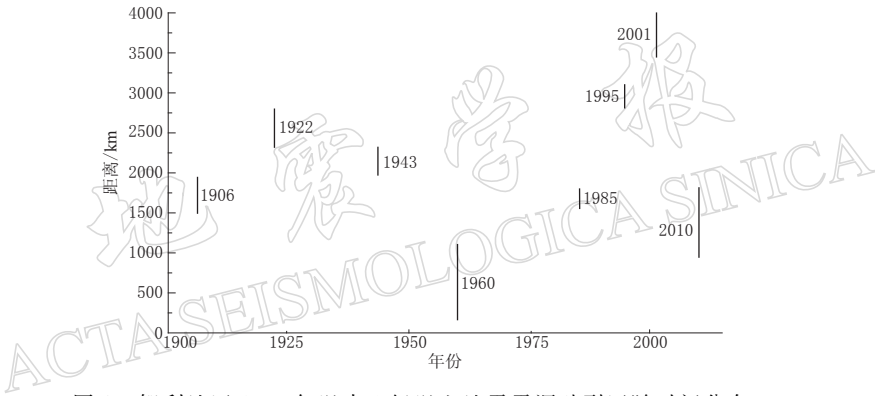


图 2 智利地区 1900 年以来 8 级以上地震震源破裂区随时间分布
Fig. 2 Source rupture length vs. time of $M_w\geq 8.0$ earthquakes in Chile since 1900

个约360 km长的 8 级地震破裂空段，本次 $M_w8.8$ 地震就发生在该破裂空段内，即第一类地震空区。该 $M_w8.8$ 地震的余震活动显示，这次地震为双侧破裂，余震区长约 650 km，余震不仅填满了 360 km 长的 8 级地震空段，而且还扩展到 1985 年 $M_w8.0$ 地震的余震区及 1960 年 $M_w9.6$ 地震破裂区的北端。

由图 1，2 还可以看出，在智利北部(18.0°S—22.7°S)存在一个约 450 km 长的 8 级地震破裂空段，一百多年未发生 8 级地震。

1.2 第二类空区

2005 年 4 月 14 日—2010 年 2 月 26 日，智利 $M_w8.8$ 地震震中及其附近出现了长约 780 km、宽约 300 km 的 $M\geq 5.5$ 地震空区(图 3a)。图 3b 是该空区 1973 年以来 $M\geq 5.5$ 地震活动 $M-t$ 图。由图可见，正常情况下，该区地震活动水平很高，年均发生 2.8 次 $M\geq 5.5$ 地震，因此，近 5 年的 $M\geq 5.5$ 地震平静是 1973 年以来最为突出的现象。本次 $M_w8.8$ 地震及其余震(图 3a 中虚线区域内的深色圆)全部发生在 $M\geq 5.5$ 地震空区内。

由图 3a 还可以看出，在 $M\geq 5.5$ 地震空区南部 2005 年以来仅发生 1 次 5 级多地震(2009 年 11 月 23 日 $M5.9$)，地震活动也很弱。但是由图 1 已知，本次 $M_w8.8$ 地震余震区以南为 1960 年 $M_w9.6$ 地震的破裂区，由于其离逝时间尚短，故认为本次 $M_w8.8$ 地震南部近期再次发生 $M_w\geq 8.5$ 地震的可能性不大。

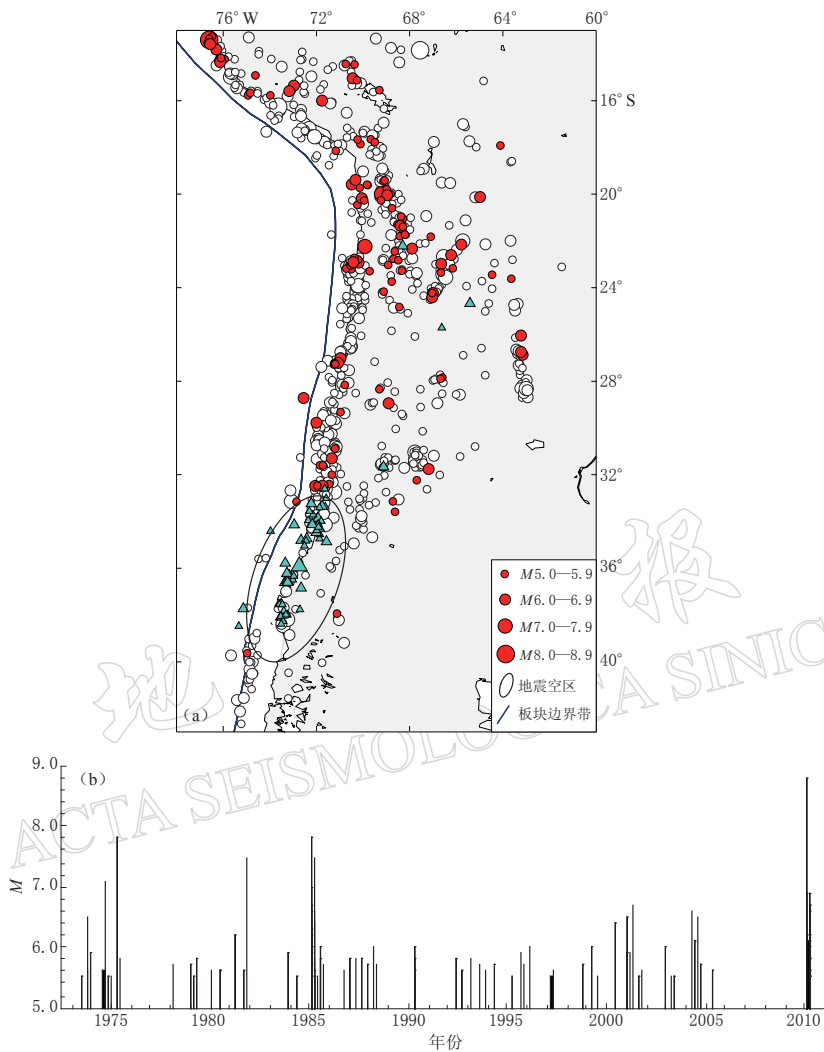


图 3 智利及其附近 $M \geq 5.5$ 地震震中分布(a)及 $M \geq 5.5$ 地震空段内 1973 年以来地震活动 $M-t$ 图(b). 空心圆、实心圆和三角形分别表示 1973-01-01—2005-04-13, 2005-04-14—2010-02-26 和 2010-02-27—2010-03-23 期间发生的地震

Fig. 3 $M \geq 5.5$ earthquakes in Chile and its vicinity (a) and $M-t$ plot of the earthquakes in the seismogenic gap depicted by the ellipse in Fig. 3a since 1973(b). In Fig. 3a, hollow circles, solid circles and triangles denote the earthquakes during 1973-01-01—2005-04-13, 2005-04-14—2010-02-26 and 2010-02-27—2010-03-23, respectively

2 智利地震前南美地区地震活动特征

2.1 智利中南部显著的 $M_w \geq 7.0$ 地震平静

图 4a 是智利及其附近 1900 年以来的 $M_w \geq 7.0$ 地震震中分布图. 由图可见, 在智利中南部(24.7°S—45.7°S), 1900—1985 年地震非常活跃, 共发生 44 次 $M_w \geq 7.0$ 地震, 最大为 1960 年智利 $M_w 9.6$ 地震, 平均每年发生 0.5 次. 而在 1986—2010 年智利 $M_w 8.8$ 地震前, 该区仅发生 1 次 $M_w 7.1$ 地震(1997 年 10 月 15 日), 即智利 $M_w 8.8$ 地震前 24 年, 智利

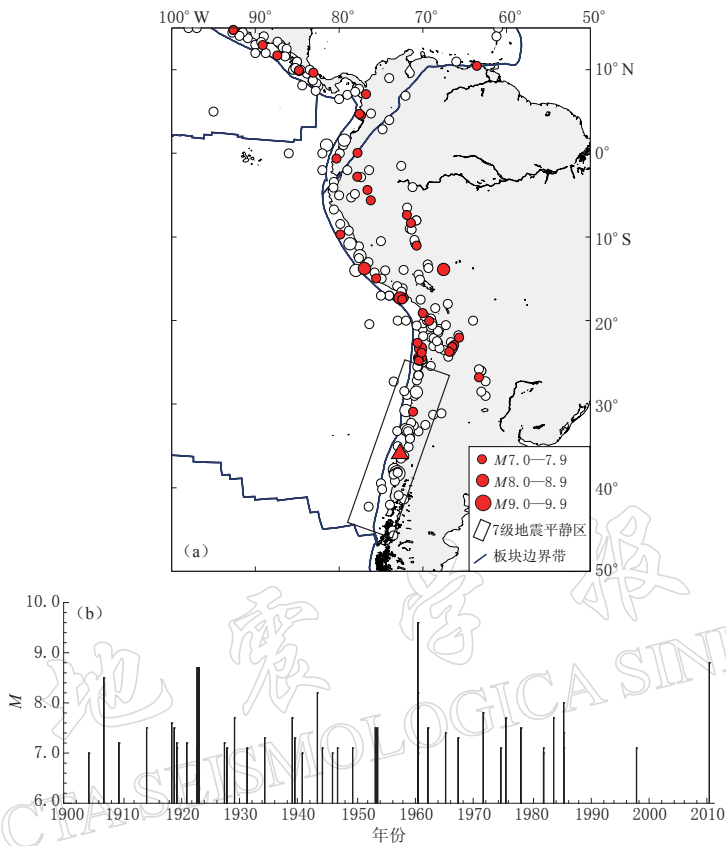


图 4 智利及其附近 1900 年以来 $M_w \geq 7.0$ 地震震中分布(a)及 $M_w \geq 7.0$ 地震平静区(图 a 中方框)内地震活动 $M-t$ 图(b). 图 4a 中空心圆和实心圆分别表示 1900-01-01—1985-12-31 和 1986-01-01—2010-02-26 发生的地震, 三角形表示 2010 年智利 M_w 8.8 地震

Fig. 4 $M_w \geq 7.0$ earthquakes in South American Plate and its adjacent region (a) and the $M-t$ plot of $M_w \geq 7.0$ earthquakes in southern Chile coastal region (the quietude area in Fig. 4a) since 1900 (b). In Fig. 4a, hollow circles and solid circles denote the earthquakes during 1900-01-01—1985-12-31 and 1986-01-01—2010-02-26 respectively, triangle represents the 2010 Chile M_w 8.8 earthquake

中南部长约 2300 km 的范围内, $M_w \geq 7.0$ 地震活动显著平静(图 4b).

2.2 智利 M_w 8.8 地震前 2 年南美洲板块 $M \geq 6.5$ 地震显著平静

图 5a 是 1973 年以来环太平洋地震带 $M \geq 6.5$ 地震震中分布图. 由图可见, 在地震非常活跃的南美洲板块及其附近, 在 2007 年 11 月 17 日—2009 年 11 月 12 日出现了 2 年的 $M \geq 6.5$ 地震显著平静, 该平静是 1973 年以来最为突出的现象(图 5b, c). 2009 年 11 月 13 日智利中部 $M6.5$ 地震打破平静(图 5a 中虚线框中的三角形), 3 个月后发生了智利 M_w 8.8 地震. 打破平静的 $M6.5$ 地震距离本次智利 M_w 8.8 地震约 1800 km. 可见, 2 年的 $M6.5$ 地震平静为智利 M_w 8.8 地震前的中短期异常.

3 全球中深源地震活动分析

3.1 全球中深源地震分布

传统上, 按照震源深度可以将地震分为 3 类: 震源深度小于 70 km 为浅源地震, 震源

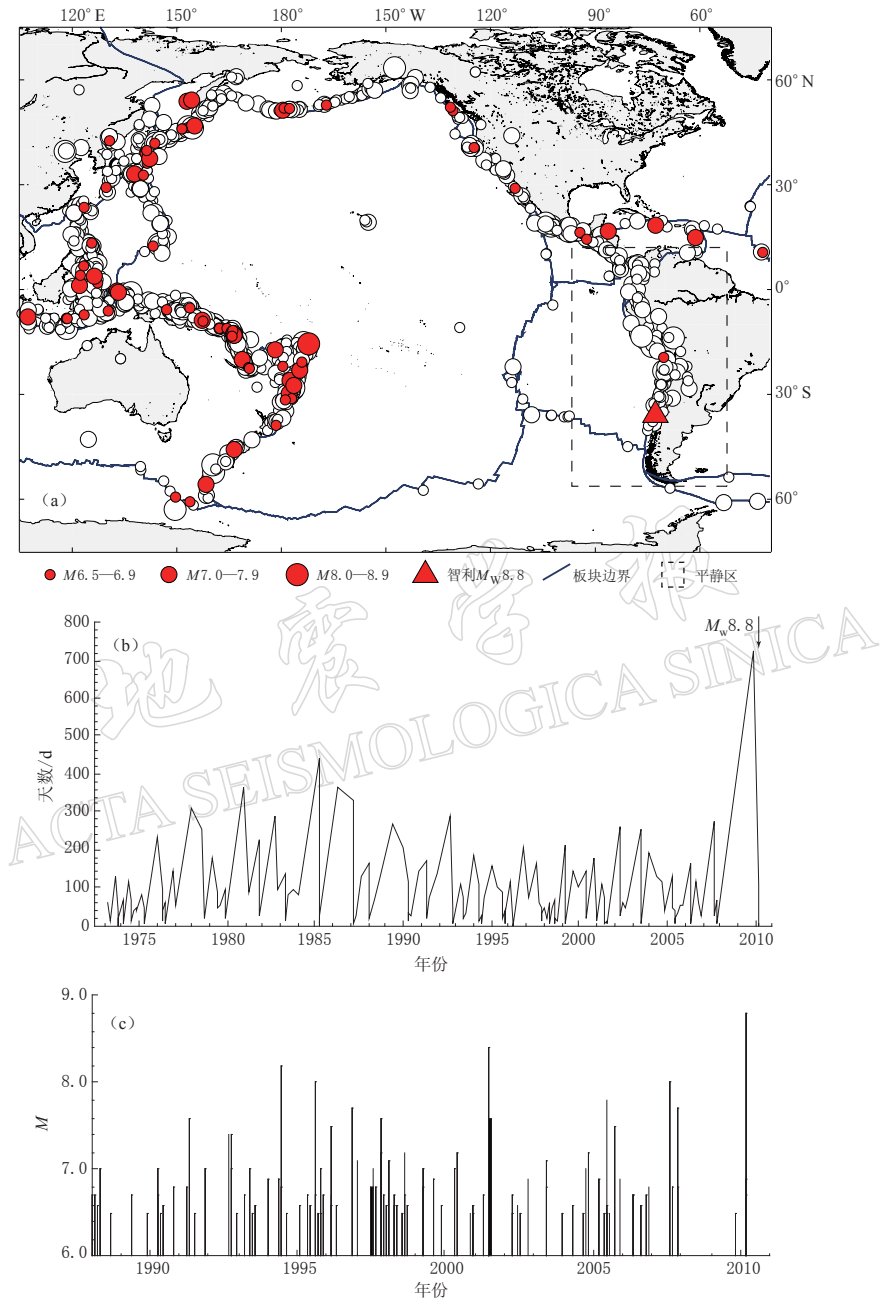


图 5 太平洋板块及附近地区 $M \geq 6.5$ 地震分布(a)和南美洲板块及附近地区(图 5a 中的虚线区) $M \geq 6.5$ 地震时间间隔(b)及其 $M-t$ 图(c). 图 5a 中空心圆和实心圆分别表示 1973-01-01—2007-11-16, 2007-11-17—2010-02-26 发生的地震, 三角形表示 2010 年智利 $M_w 8.8$ 地震

Fig. 5 $M \geq 6.5$ earthquakes in circum-Pacific seismic belt since 1973 (a), the time interval (b) and $M-t$ plot(c) of $M \geq 6.5$ shocks in South American Plate and its adjacent region (dashed area in 5a). In Fig. 5a, hollow circles and solid circles denote earthquakes during 1973-01-01—2007-11-16 and 2007-11-17—2010-02-26 respectively, triangle denotes the 2010 Chile $M_w 8.8$ earthquake

深度在 70—300 km 为中源地震，震源深度大于 300 km 为深源地震。根据美国国家地震信息中心提供的 1973 年以来的全球地震目录，1973 年以来全球记录到的最大的中、深源地震为 1994 年 6 月 9 日玻利维亚 $M_w8.2$ 地震(震源深度 635 km)，记录到的最深的地震为 1985 年 10 月 23 日斐济群岛海域 $M5.5$ 地震(震源深度为 700 km)。

图 6 是 1973 年以来全球中、深源地震震中分布图。由图可见，全球中、深源地震分布在有限的区域内，主要分布在南美板块、太平洋地震带的西北部 and 西南部，其次为巽他板块。另外太平洋板块的北部边界带、缅甸弧及兴都库什等地区也分布着一些中源地震。

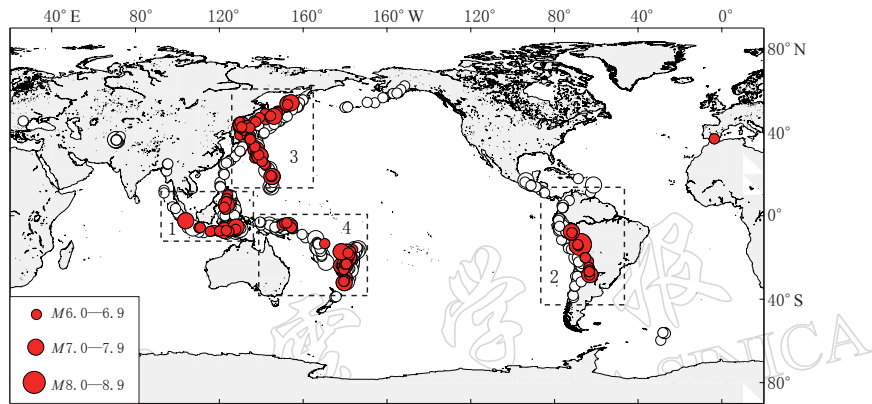


图 6 1973 年以来全球 $M \geq 6.0$ 中、深源地震震中分布图。

空心圆表示中源地震，实心圆表示深源地震

Fig. 6 Global deep and intermediate-depth $M \geq 6.0$ earthquakes from 1973 to Feb 2010.

Hollow circles and solid circles denote intermediate-depth earthquakes between 70—300 km and deep earthquakes over 300 km deep, respectively

3.2 智利地震前 10 余年太平洋板块东南边界带中、深源地震活动显著增强

图 6 显示，太平洋板块东部边界带的中、深源地震集中分布在中美州与南美州地区。图 7 为取出南美板块震源深度为 100 km 以上的地震(图 6 所示 2 号区域内的地震)作震源深度随时间的分布图。由图 7 可见，这些地震主要分布在深度为 100—300 km 和 500—600 km 范围内。1973—1992 年该区中、深源地震活动比较弱，共发生 $M \geq 6.5$ 地震 15 次，最大震

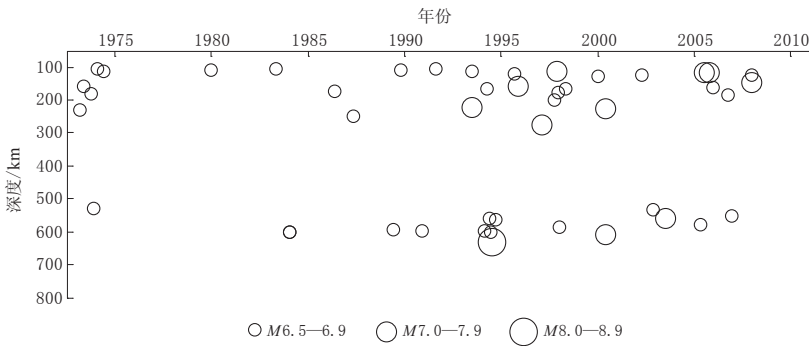


图 7 南美板块(图 6 所示 2 号区域) $M \geq 6.5$ 地震震源深度随时间分布(震源深度 ≥ 100 km)

Fig. 7 Focal depth variation with time for the $M \geq 6.5$ earthquakes with depth over 100 km in South American Plate and its adjacent region (No. 2 region in Fig. 6)

级 $M_{6.9}$, 平均每年发生 0.65 次 $M \geq 6.5$ 地震. 而 1993—2009 年, 该区共发生 30 次 $M \geq 6.5$ 地震, 其中 $M \geq 7.0$ 地震 11 次, 最大为 1994 年 6 月 9 日玻利维亚 $M_w 8.2$ 地震, 震源深度 635 km, 平均每年发生 1.8 次 $M \geq 6.5$ 地震. 显然, 1993 年以来该区中、深源地震活动增强显著. 在此背景上, 发生了本次智利 $M_w 8.8$ 地震.

通过比较 2004 年印尼苏门答腊 $M_w 9.0$ 地震(薛艳等, 2005a)和 2010 年智利 $M_w 8.8$ 地震, 我们发现一个共同特征, 即 1993 以来, 板块俯冲边界带上的中、深源地震出现显著的增强活动. 这一特征是否具有全球性呢? 为此我们将全球主要的中、深源地震活动区划分为 4 个区(图 6), 分别为巽他板块区、南美板块区、太平洋板块西北边界带及西南边界带. 分别作这 4 个区中、深源地震活动 $M-t$ 图(图 8). 由图 8 可见, 全球中、深源地震活动

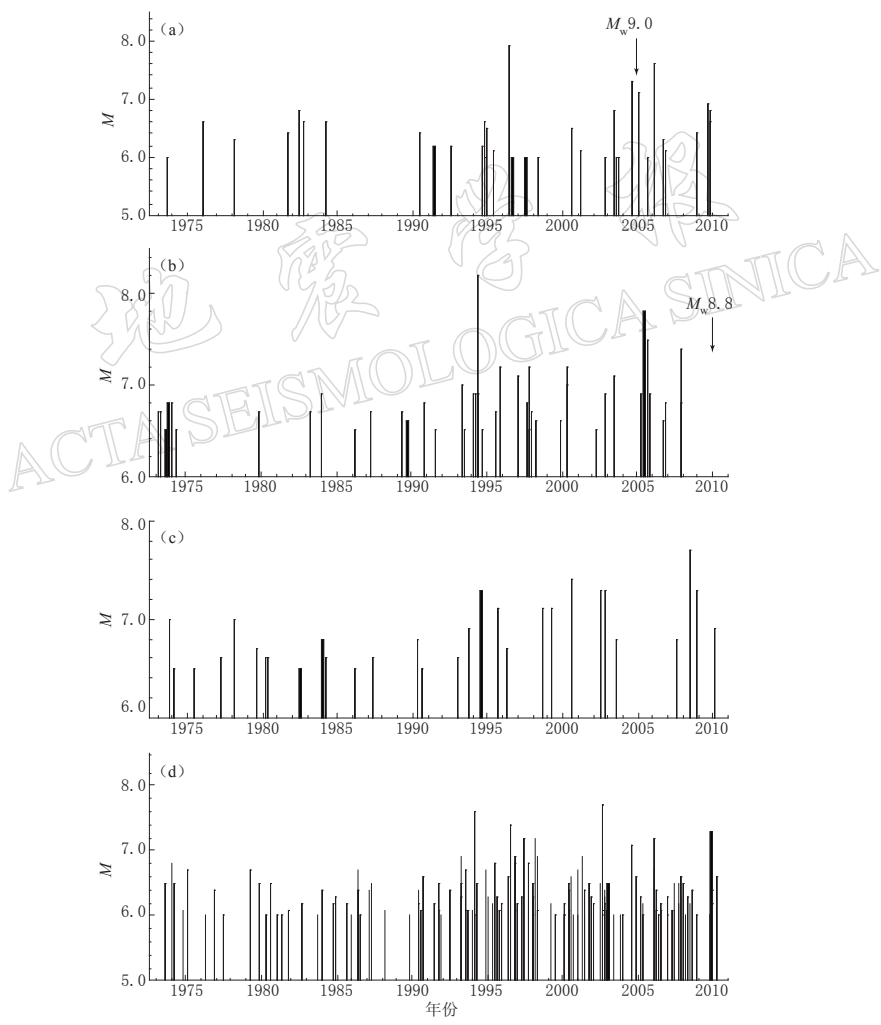


图 8 全球深源地震区中、深源地震活动 $M-t$ 图

(a) 图 6 中 1 区; (b) 图 6 中 2 区; (c) 图 6 中 3 区; (d) 图 6 中 4 区. 其中 1, 3 和 4 区为 300 km 以上深度的地震, 2 区为 100 km 以上深度的地震

Fig. 8 $M-t$ plot of global deep-focus earthquakes

Focus depth of shocks is over 300 km in No. 1 (a), No. 3 (c) and No. 4 (d) regions of Fig. 6, and the depth is over 100 km in No. 2 (b) region of Fig. 6

具有同步性,大致从 1993 年开始出现显著的增强活动.

2004 年至今,在图 6 所示的 1 区和 2 区都相继发生了 $M_w\geq 8.5$ 地震. 由此认为, 3 区和 4 区在今后数年存在发生 $M_w\geq 8.5$ 大震的可能.

4 全球 8.5 级以上地震活动时空特征

图 9 是 1900 年以来全球 $M_w\geq 8.5$ 地震活动 $M-t$ 图. 由图 9 可见, 近百年来, 全球 $M_w\geq 8.5$ 地震存在活跃—平静的交替特征, 共出现 3 个活跃时段和 2 个平静时段. 活跃时段分别为 1905—1923 年, 1950—1965 年及 2004 年至今; 平静时段分别持续 27 年和 38 年. 前 2 个活跃时段共持续活动了 18.6 和 14.5 年, 分别发生 $M_w\geq 8.5$ 地震 6 次和 7 次. 2004 年 12 月 26 日苏门答腊 M_w 9.0 地震开始的第三活跃时段至今已经持续了 5.3 年, 共发生 $M_w\geq 8.5$ 地震 3 次(表 2). 显然, 全球 $M_w\geq 8.5$ 地震大致存在 50 年左右的周期. 第三活跃时段仍将持续 10 年左右, 今后还可能发生 3—4 次 $M_w\geq 8.5$ 巨大地震.

由表 2 还可以看出, 在第一和第二活跃时段, 全球共发生 13 次 $M_w\geq 8.5$ 地震, 其中 11 次发生在环太平洋地震带上, 占总数的 85%. 可见, 环太平洋地震带的地震活动水平远远高于欧亚地震带.

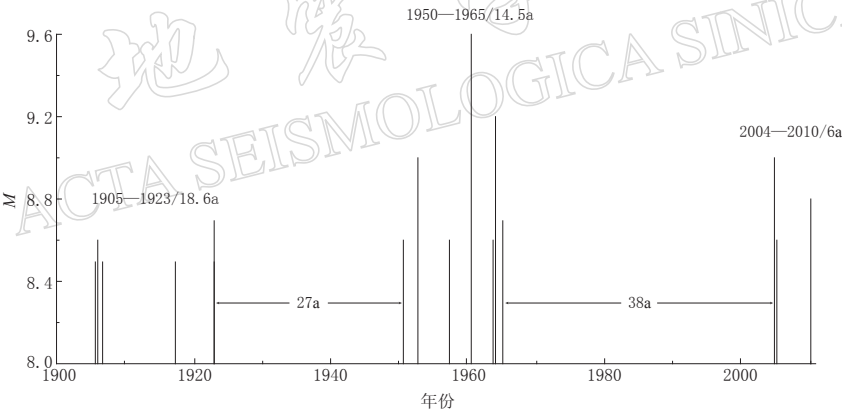


图 9 1900 年以来全球 $M_w\geq 8.5$ 地震活动 $M-t$ 图
Fig. 9 $M-t$ plot of global $M_w\geq 8.5$ earthquakes since 1900

表 2 1900 年以来全球 $M_w\geq 8.5$ 地震时空分布统计

Table 2 Statistics of spatial and temporal variation of global $M_w\geq 8.5$ earthquakes since 1900

序号	活跃时段 /起止年月	持续时间 /a	地震频度 $M_w\geq 8.5$	地震频度 $M_w\geq 8.0$	环太平洋地震带 发生地震数		欧亚地震带发 生地震数	
					$M_w\geq 8.5$	$M_w\geq 8.0$	$M_w\geq 8.5$	$M_w\geq 8.0$
1	1905-07—1923-02	18.6	6	14	5	10	1	4
2	1950-08—1965-02	14.5	7	13	6	10	1	3
3	2004-12—2010-02	5.3	3	10	1	7	2	3

在 2004 年开始的第三活跃时段, 共发生 3 次 $M_w\geq 8.5$ 地震. 其中前 2 次大震发生在欧亚地震带的印尼苏门答腊地区. 本次智利 M_w 8.8 地震标志着环太平洋地震带开始进入 $M_w\geq 8.5$ 地震的活跃时段. 参照前 2 个活跃时段的特点, 今后数年, 环太平洋地震带仍存在发生 $M_w\geq 8.5$ 地震的可能.

表 2 同时还统计了 $M_w \geq 8.5$ 地震活跃时段全球发生的 $M_w \geq 8.0$ 地震情况. 由表 2 可见, 在前 2 个活跃时段, 全球分别发生了 14 次和 13 次 $M_w \geq 8.0$ 地震. 其中环太平洋地震带分别发生了 10 次, 占总数的 74%. 2004 年开始的第三活跃时段, 目前已经发生了 10 次 $M_w \geq 8.0$ 地震. 其中 7 次发生在环太平洋地震带, 3 次发生在欧亚地震带.

5 结论

综上所述, 本研究得到以下几点结论:

1) 智利地震发生在 1900 年以来的 $M \geq 8.0$ 地震空段内, 且震前 5 年震中附近形成 $M \geq 5.5$ 地震空区, 智利地震及其余震全部发生在该空区内. 与 2004 年印尼苏门答腊 $M_w 9.0$ 地震不同, 本次智利地震破裂区的南、北两侧历史上均有 $M \geq 8.0$ 大震发生且离逝时间尚短, 因此, 该地区短时间再次发生 $M \geq 8.0$ 地震的可能性不大.

2) 智利 $M_w 8.8$ 大震前 24 年, 震中附近 2300 km 范围内南美板块出现 $M \geq 7.0$ 地震明显平静, 这是本次 $M_w 8.8$ 地震发生的区域长期背景地震活动异常. 震前 2 年, 整个南美板块 $M \geq 6.5$ 地震出现显著平静, 震前 3 个月平静被打破, 这是智利 $M_w 8.8$ 地震的中短期异常.

3) 与 2004 年苏门答腊 $M_w 9.0$ 地震前相似, 本次智利 $M_w 8.8$ 地震前 16 年南美板块中、深源地震也出现显著的增强活动. 可见, 中、深源地震的增强活动是浅源巨大地震的长期背景异常, 且对发震地点有指示意义.

4) 本次智利 $M_w 8.8$ 地震的发生进一步证实, 自 2004 年印尼苏门答腊 $M_w 9.0$ 地震开始, 全球已进入了一个新的 $M \geq 8.5$ 地震活跃时段. 目前该活跃时段已经持续了 5.3 年, 根据前 2 个活跃时段的特点, 今后数年全球还将发生数次 $M \geq 8.5$ 地震, 且环太平洋地震带为 $M \geq 8.0$ 地震活动的主体地区.

参 考 文 献

- 薛艳, 宋治平, 梅世蓉. 2005a. 印尼苏门答腊 9.0 级地震前地震活动图像异常特征研究[J]. 中国地震, **21**(3): 311–319.
- 薛艳, 刘杰, 宋治平. 2005b. 印尼苏门答腊两次巨大地震序列特征对比分析[J]. 国际地震动态, (10): 1–8.
- 薛艳, 宋治平, 梅世蓉, 马宏生. 2008. 印尼苏门答腊几次巨大地震前的地震活动异常特征[J]. 地震学报, **30**(3): 321–325.
- Beck S, Barrientos S, Kausel E, Reyes M. 1998. Source characteristics of historic earthquakes along the central Chile subduction zone[J]. *Journal of South American Earth Sciences*, **11**(2): 115–129.
- Engdahl E R, Villaseor A. 2002. Global seismicity: 1900–1999[M] // Lee W H K, Kanamori H, Jennings P C, Kisslinger C eds. *International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology*. San Diego: Academic Press, Part A: 665–690.
- Fedotov S A. 1965. Regularities of the distribution of strong earthquakes in Kanchatka, the Kuri Island and northeast Japan[J]. *Tr Inst Fiz Zemli, Acad Nauk SSSR*, **36**: 66–93.
- Kelleher J. 1972. Rupture zones of large South American earthquakes and some predictions[J]. *J Geophys Res*, **77**(11): 2089–2103.
- Melnick D, Moreno M, Lange D, Strecher M R, Echtler H P. 2008. Tectonic control on the 1960 Chile earthquake rupture settlement[C]. *7th International Symposium on Andean Geodynamics (ISAG 2008, Nice), Extended Abstracts*: 326–329.
- Mogi K. 1973. Relationship between shallow and deep seismicity in the western Pacific region[J]. *Tectonophysics*, **17**(1–

2): 1–22.

Mogi K. 1979. Two kinds of seismic gaps[J]. *Pure Appl Geophys*, **117**(6): 1172–1186.

Mogi K. 1987. Recent seismic activity in the Tokai (Japan) region where a large earthquake is expected in the near future[J]. *Tectonophysics*, **138**(2–4): 255–268.

Mogi K. 1988. Downward migration of seismic activity prior to some great shallow earthquakes in Japanese subduction zone: A possible intermediate-term precursor[J]. *Pure Appl Geophys*, **126**(2–4): 447–463

Mogi K. 1990. Seismicity before and after large shallow earthquakes around the Japanese islands[J]. *Tectonophysics*, **175**(1–3): 1–33.

ACTA SEISMOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 3, pp271–405, May, 2011

ACTA SEISMOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 3, pp271–405, May, 2011