

南北地震带强震迁移特征及其预测意义

毛 可 石特临 杨立明

(国家地震局兰州地震研究所, 兰州 730000)

摘要 在分析南北构造带构造体系的基础上, 研究了该带强震的时空动态图象演化. 结果表明, 南北带的地震活动有如下特征: ① 经向迁移, 其空间演化有步进型和步进折返型两种形态; ② 远程的快速响应; ③ 诱发地震的链锁分布, 该特征反映了强震间的相互耦合, 对未来强震具有示踪意义; ④ 时空可公度性. 该结果对分析判定本带的地震趋势从而实现正确的预测具有实际意义.

主题词 南北构造带 地震预报 地震迁移 时空动态图象演化

1 引言

在中国大陆东西部之间有一条狭长的过渡地带($99^{\circ} \sim 106^{\circ}\text{E}$). 它不仅是地势、重力和地壳厚度的梯度带, 而且其地震活动水平之高也为世人所瞩目. 通常人们把它称为“南北地震带”.

自 50 年代以来许多学者从不同的角度对该带进行了深入的研究, 但对南北带的选取范围一直存在争议. 有些学者甚至认为, 从地震地质观点来看, 该带地震的成带性并不显著, 所谓“南北地震带”并不是一条具有严格意义的地震带.

现在较为一致的看法是, 该带以北的银川断陷具有张性断裂性质, 其地震活动主要受华北地块控制. 南北地震带包含 7 条主要地震构造带(图 1): ① 祁连山北缘地震构造带, ② 祁连山-西秦岭北缘地震构造带, ③ 花石峡-玛曲地震构造带, ④ 龙门山地震构造带, ⑤ 鲜水河-安宁河-小江地震构造带, ⑥ 金沙江-红河地震构造带和, ⑦ 澜沧江弧形构造带. 所谓南北地震带是上述一系列北西向、北西西向、北东向及近南北向断裂组合而成的大而复杂的构造系. 实际上它主要是由青藏高原内部几条规模巨大的北西向弧形地震构造带绵延汇集而成的青藏高原东部及其边邻地区. 确切地说, 南北地震带指的就是青藏高原东部及其边邻地区(图 1).

本文仍沿袭多数人习惯把该区称为“南北地震带”. 确定其范围为 $21^{\circ} \sim 40^{\circ}\text{N}$, $99^{\circ} \sim 106^{\circ}\text{E}$. 选取 1900 年元月至 1996 年 2 月上述范围内 $M_s \geq 6 \frac{1}{2}$ 强震(余震除外, 双主震则取其中较大的一个)及发生在缅甸曼德勒至喜马拉雅山和那加山之间的 $M_s \geq 7.6$ 中深震为研究样本(图 1). 这样的选取既可以避免历史地震的遗漏, 又可以较好地研究该带强震迁移规律. 据地震地质背景及南北地震带强震空间分布特征, 本文规定, 32°N 线以北为甘青区, 26.5°N 线以南为滇缅区, 两者之间为川区.

2 南北地震带强震迁移特征

尽管南北地震带并非严格意义上的地震带, 但该带强震的迁移特征却非常明显. 历史地震资料研究结果表明, 从 1739 年 1 月 3 日银川 8 级巨震至今, 南北地震带 7 级以上强震具有南北往返迁移的特点^[1]. 强震地点并不是随意的, 而是主要集中在几个方向构造交汇处及构造转折部位. 带内大震很少原地重复发生, 往往具有跳跃和填空的特点^[2].

强震规则迁移的原因在于, 南北地震带地处青藏高原东部, 青藏高原内部的构造格架与统一力源有关. 作为青藏高原一部分的南北地震带强地震活动受同一区域应力场支配, 主要受控于印度板块, 特别是其东北楔角的推挤与碰撞. 该带强震迁移实质上反映了这一特定的构造背景下应力场变异的动态图象. 正因为如此, 南北地震带强震的空间迁移具有下列特征:

(1) 研究该带强震经向迁移表明, 自 1912 年以来该带总是以缅甸 7.6 级以上中深震或滇南、滇西南 7 级以上浅震为牵头震, 出现 8 个活跃时段, 每个活跃时段至少发生 3 次 6.5 级以上地震. 1991 年元月 5 日缅甸曼德勒 7.6 级地震发生标志着南北地震带第 9 个活跃时段的开始 (表 1、图 2). 由图 2 可见, 除第 1 活跃时段强震组发生在中国大陆第 2 地震活跃期内的平静幕外, 其它 8 个时段均发生在活动幕内. 因此, 南北地震带与中国大陆的强震活动具有协同性. 此外, 除第一活动幕外, 每个活动幕内均有两个活跃时段. 同一活动幕两个活跃时段的间隔较短, 如第 2, 3 活跃时段之间间隔为 44 个月, 第 4, 5 活跃时段间隔为 20 个月, 第 6, 7 活跃时段间隔为 24 个月, 第 8, 9 活跃时段间隔为 8 个月. 而不同活动幕活跃时段之间间隔较长, 均在 120 个月以上, 如第 3, 4 活跃时段间隔为 125 个月, 第 5, 6 活跃时段间隔为 171 个月, 第 7, 8 活跃时段间隔为 144 个月.

从空间迁移来看, 每个活跃时段强震的迁移路径总体上都是由南向北. 迁移类型有两种, 一种为步进型(A 型), 迁移路径为: 滇缅区→川区→甘青区; 另一种为步进折返型(B 型), 迁移路径为: 滇缅区→川区→甘青区→川区. 前 8 个活跃时段的强地震组有 6 个呈 B 型迁移, 即以步进折返型为主. 由图 2 还可以看出, 前 8 个活跃时段强震活动范围全都越过 32°N 线, 涉及到甘青区. 图中括弧内的阿拉伯字数表示活跃时段序号, A、B 表示迁移类型.

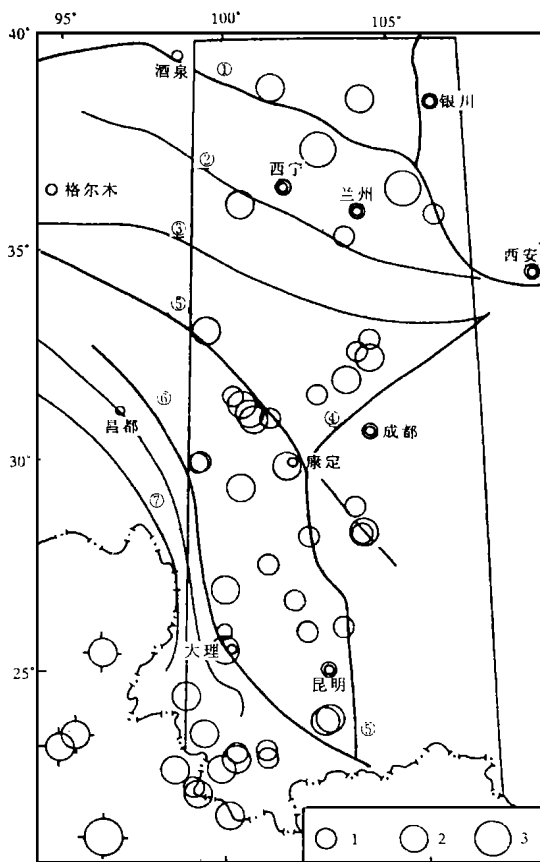


图 1 南北地震带主要地震构造及 1900 年以来 $M_s \geq 6 \frac{1}{2}$ 强震分布

Fig. 1 The main seismotectonics in the North-South earthquake belt and the distribution of strong earthquakes with $M_s \geq 6.5$ since 1900.

1 $6.5 \leq M_s < 7.0$; 2 $7.0 \leq M_s < 8.0$; 3 $M_s \geq 8.0$

表 1 1900 年以来南北地震带 $M_s \geq 6.5$ 强震迁移路径及类型

中国大陆强震活跃期	南北地震带 $M_s \geq 6.5$ 强震迁移路径	迁移 活动时 类型 段序号
I 活动幕 1900~1912		
平静幕 1912~1920	1912 缅甸 8.0→1913 峨山 7.0→1917 大关 6 $\frac{3}{4}$ →1920 海原 8.5→ 1921 固原 6 $\frac{1}{2}$ →1923 炉霍 7 $\frac{1}{4}$	B 1
II 活动幕 1920~1938	1923 中缅边境 7.3→普洱 6 $\frac{1}{2}$ →巴塘 6 $\frac{1}{2}$ →1925 大理 7.0→1927 古浪 8.0 1931 缅北 7.6→1933 迭溪 7.5→1936 康乐 6 $\frac{3}{4}$ →马边 6 $\frac{3}{4}$ 震群	A 2 B 3
平静幕 1938~1946	1941 耿马 7.0、1941 勐海 7.0、1942 思茅 6 $\frac{3}{4}$	
III 活动幕 1946~1957	1946 缅甸 7 $\frac{3}{4}$ →1947 达日 7.7→1948 理塘 7 $\frac{1}{4}$ 1950 勐海 7.0→1952 冕宁 6 $\frac{3}{4}$ →1954 山丹 7 $\frac{1}{4}$ →阿拉善左旗 7.0 →1955 康定 7.5→会理 6 $\frac{3}{4}$	B 4 B 5
平静幕 1957~1966	1960 松潘 6 $\frac{3}{4}$ 、1966 东川 6.5、1967 炉霍 6.8	
IV 活动幕 1966~1976	1970 峨山 7.7→1971 思茅 6.7→1973 炉霍 7.6→松潘 6.5→ 1974 大关 7.1 1976 龙陵 7.6→松潘 7.2→盐源 6.7	B 6 B 7
平静幕 1976~1988	1979 普洱 6.8、1981 道孚 6.9	
V 活动幕 1988~1988	耿马 7.6→1989 巴塘 6.7 震群→小金 6.6→1990 共和 7.0 1991 缅甸 7.6→1992 中缅边境 6.9→1995 中缅边境(孟连)7.3→武定 6.5 →1996 丽江 7.0→?	A 8 ? 9

但发生在第 3, 4, 5 活动期平静幕内的强震则不具备上述迁移特征. 如第 3 活跃期平静幕内南北带虽发生两次 7 级地震, 它们均在滇西南附近徘徊(1941 年 5 月 16 日耿马 7 级 →12 月 26 日勐海 7 级 →1942 年 2 月 1 日思茅 6 $\frac{3}{4}$ 级地震); 第 4, 5 活跃期平静幕内, 既未发生 7 级地震, 更不具有北迁特征.

(2) 青藏高原北部地区对印度板块东北楔附近的强震往往产生快速响应. 即缅北、缅滇边境或滇西南发生 7 级以上强震后十余天或数十天, 地处上千公里之外的青藏高原北部地区通常发生 5 级以上中强震与之呼应, 此后 1~3 年该中强震 300 km 左右范围内将发生 7 级以上地震. 这种短期内南北遥联现象 1923 年以来共出现 5 次(见表 2), 显然不是偶发事件. 由于历史资料不全, 青藏高原北部地区 5

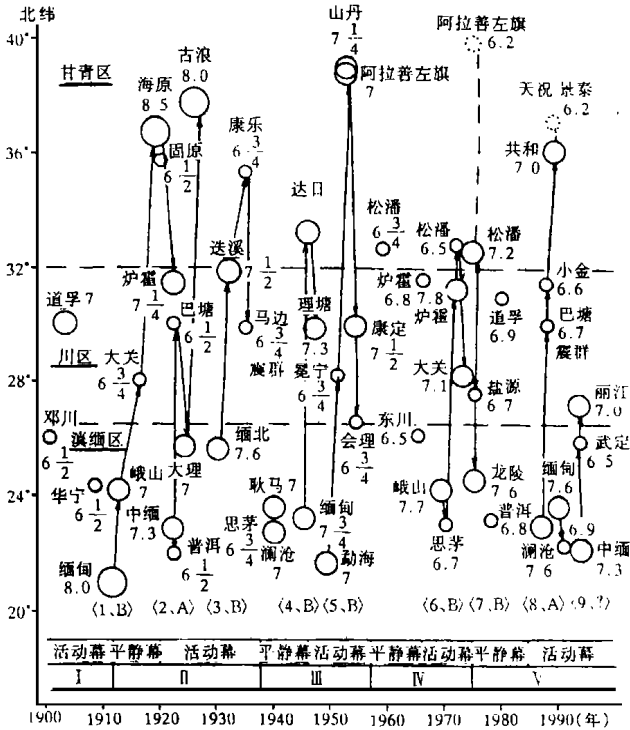


图 2 1900 年以来南北地震带 $M_s \geq 6.5$ 强震纬向迁移

Fig. 2 The migration of strong earthquakes along the latitude direction in the North-South seismic belt since 1900.

级地震遗漏在所难免,因此更早时间的呼应现象仍可能存在.

表 2 青藏块体北部对印度板块东 北楔附近强震的快速响应

缅滇边界 7 级地震	ΔT (天)	青藏块体北部中强震	ΔT (年)	Δ (km)	对应强震
1923-06-23 中緬 7.3	50	1923-08-12 兰州 5.0	3.8	190	1927-05-23 古浪 8.0
1946-09-12 緬甸 7.7	141	1947-01-21 鄂陵湖 5.3	0.15	250	1947-03-17 达日 7.7
1950-02-03 云南勐海 7.0	135	1950-06-18 同德 5.0	3.7	380	1954-02-11 山丹 7.2
1988-11-06 云南耿马 7.6	16	1988-11-22 肃南 5.7	1.5	280	1990-04-26 共和 7.0
1995-07-12 中緬边境 7.3	10	1995-07-22 永登 5.8	?	?	?

(3) 在强震由南向北迁移过程中往往在短期内发生一系列链锁式的诱发地震,它们对未来 6.5 级强震具有示踪意义.即诱发地震集中地区或其 300 km 范围内,可能是下一个 6.5 级以上强震发生的场所³.如在第 6 活跃时段中,1970 年 1 月 5 日云南峨山 7.7 级地震后两个月内发生两次诱发地震.一次是 1970 年 2 月 7 日普洱 6.2 级地震,并于 1971 年 4 月 28 日在思茅发生 6.7 级地震;另一次是 1970 年 2 月 24 日大邑 6.2 级地震,并于 1973 年 2 月 6 日在其 300 km 范围内发生炉霍 7.6 级地震.炉霍地震后 3 个月内也发生两次诱发地震.一次是 5 月 8 日松潘 5.1 级地震,并于当年 8 月 11 日在松潘发生 6.5 级地震;另一次是 4 月 22 日彝良 5 级地震,并于次年 5 月 11 日在大关发生 7.1 级地震(表 3).

表 3 1970~1974 年南北带上的诱发地震

A	F	B	ΔAB (km)
1970-01-05 峨山 7.7	1970-02-07 普洱 6.2→1971-04-28 思茅 6.7		210
	1970-02-24 大邑 6.2→1973-02-06 炉霍 7.6		825
1973-02-06 炉霍 7.6	1973-05-08 松潘 5.1→1973-08-11 松潘 6.5		345
	1973-04-22 彝良 5.0→1974-05-11 大关 7.1		465

1988 年以来南北地震带第 8 活跃时段强震组的诱发地震链锁分布特征更为明显.某强震既是上一强震的 B 震,又是下一强震的 A 震.某强震(A_i)可能诱发几个 F 震,其中一个为 B_i 震的诱发地震,另外几个是 B_{i+1}, B_{i+2}, …震的诱发地震.有趣的是,耿马 7.6,巴塘 6.7,小金 6.6 级强震的诱发地震分别为 3,2,1 个(图 3,表 4).以上事实说明,南北地震带活跃时段内的强震是同期孕育先后发生的.强震由南向北跃迁,并产生一系列链锁式诱发地震,表明各强震之间存在明显的耦合关系;在北迁过程中诱发地震数减少,表明强震间的耦合作用大体呈逐步减弱之势.

(4) . 6 个活跃时段内 5 个强震的时间间隔分别为 15,21,6,9 个月; 7 个活跃时段内 3 个强震的时间间隔都为 3 个月; 8 个活跃时段内 5 个强震的时间间隔均为 6 个月左右; 9 个活跃时段内已发生的 5 个强震的时间间隔分别为 15,27,3,3 个月. , 3 个月.

8 活跃时段内巴塘 6.7 级强震群视为一个 7 级地震(7.0 级地震相当),7 级地震均发生在 100°E 左右, (7.6 级地震- 6.7 级地震- 7.0 级地震) , 700 km. 6 级地震发生在 103°E 左右, 6.7→ 6.6 及共和 7.0→ 6.2 级地震的迁移方向皆为北东, 300 km 以上. 9 个活跃时段

7.3、7.0 级地震均发生在 100°E 左右. 7.3 $\rightarrow$ 6.5, 510 km; 6.5 $\rightarrow$ 7.0, 240 km.

3

1990 年 4 月 26 日青海共和 7.0 级地震发生后许多专家指出,

10 月 20 日甘肃天祝 6.2 级地震. 1995 年 7 月 12 日云南孟连 7.3 级地震后, 9 月西安召开的“

1991 年元月 5 日缅甸曼德勒 7.6 级地震是南北地震带第 9 活跃时段的牵头震. 1995 年 7 月 12 日孟连 7.3 级地震发生标志着该时段北迁开始,

3 个多月, 6.5 级地震. 6.5 级地震将继续在康滇菱形地块内迁移, 0.5.3 个月后云南丽江发生 7.0 级地震,

表 4 1988~1990 年南北带上的诱发地震

A	F	B	$\Delta AB(\text{km})$
1988-08-06 印缅交界 7.2	$\rightarrow$ 1988-08-15 澜沧 5.1	$\rightarrow$ 1988-11-06 耿马 7.6	576
1988-11-06 耿马 7.6	$\rightarrow$ 1989-01-19 理塘 5.3	$\rightarrow$ 1989-04-16 巴塘 6.7 震群	774
	$\rightarrow$ 1989-01-21 马尔康 5.1		
	$\rightarrow$ 1988-11-22 肃南 5.7		
1989-04-16 巴塘 6.7 震群	$\rightarrow$ 1989-06-09 石棉 5.3	$\rightarrow$ 1989-09-22 小金 6.6	342
	$\rightarrow$ 1989-06-16 同德 4.8		
1989-09-22 小金 6.6	$\rightarrow$ 1989-11-02 固原 4.7	$\rightarrow$ 1990-04-26 共和 7.0	576
		$\rightarrow$ 1990-10-22 景泰 6.2	270

1~3 年尺度中期预报提出如下意见:

3.1 9 活跃时段地震的总体活动水平

该带第 1~9 活跃时段的持续时间分别为 10.8, 4.9, 5.2, 1.7, 5.6, 4.3, 0.4, 1.5 和 5.1 年.

7.6 级以上中深震或活跃时段的持续时间大于 4 年时, 7.5 级以上地震. 9 个活跃时段同时满足上述两条件, 1~3 年内南北地震带中北段发生 7.5 级左右地震的可能性较大.

3.2

9 活跃时段与第 8 活跃时段有基本类似的活动格局.

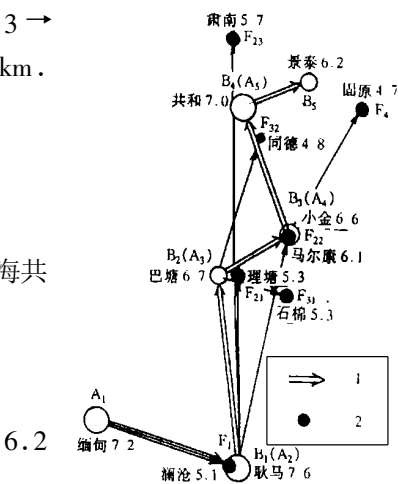


图 3 南北地震带第 8 活跃时段内的诱发地震
Fig. 3 The induced earthquakes in the North-South seismic belt during the 8th active period.

, 1996 年 2 月 3 日丽江 7.0 级地震后, , 32°N 线.
7.3 → 7.0 级地震的迁移距离为 570 km, , 7.0 级地震应发生于甘青川
交界地区和祁连山地震带中东段.
3.3

3 个月推算, 1996 年 5 月和 8 月.
, 1996 年 5 月 3 日包头 6.4 级地震和 6 月 1 日天祝 5.4 级地震.
, .
本文得到刘百麓研究员的指导和帮助, 在此表示诚挚感谢.

1 . (B), 1986, (3): 311 ~ 320.
2 , , . : , 1985. 77 ~ 78.
3 , , . , 1995, 7(2): 1 ~ 11.

THE MIGRATORY CHARACTER OF STRONG EARTHQUAKES IN THE NORTH-SOUTH
SEISMIC BELT AND ITS SIGNIFICANCE FOR PREDICTION

MAO Ke SHI Telin YANG Liming
(Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB, Lanzhou 730000)

Abstract

On the basis of analysis about the tectonic systems of the North-South seismic belt, the evolu-
tion of time-space dynamic pattern of seismicity is studied. The results show that the seismicity
has the characteres as follow: ① migration along the latitude direction, there are two kinds of mi-
gratory states in space, i. e. stepforward style and stepforward-return style; ② the rapid respond
in far distance; ③ chain distribution of induced earthquakes, this feature indicates the coupling be-
tween strong quakes, and supports the trace for the position of future strong events; ④ common
repeat basis quality in space and time. The conclusions have certain practice values for judging the
trend and realizing the correct prediction.

Key words North-South tectonic belt. Earthquake prediction. Earthquake migration,
Time-space dynamic pattern evolution