第10卷 第3期 西北地震学报 Vol.10,No.3
1988年9月 NORTHWESTERN SEISMOLOGICAL JOURNAL Sept.,1988

1967—1982年康定—炉霍带$M_S \geqslant 6.0$级地震前的地震活动图象

成尔林
（江苏省盐城工业专科学校）
庞明虎
（四川省地震局）

摘 要

本文按照克依利斯博罗克和诺波夫等关于强震前兆的三种图象—即余震爆发图象b、震群图象S以及加权和图象Σ的定义，以康定—炉霍地震带为例，检验了这三种图象的存在及其预报效果。结果表明，1967—1982年，该带5次$M_S \geqslant 6.0$级的强震前，可能生成一种、两种甚至全部三种图象。这三种图象的预报效果都是相当令人满意的，尤其是图象Σ的预报效果更佳。

一、引 言

克依利斯博罗克和诺波夫等认为，前兆性地震活动图象的研究至今没有获得重大突破的原因之一，是对具有较高预报能力的余震序列研究得不够，他们认为余震序列的某些特征确实包含着有价值的预报信息，提出了余震爆发图象b、震群图象s以及加权和图象Σ[1、2]。

本文以康定—炉霍带为例，检验了这三种图象的存在及其预报价值。

二、资 料

资料的选取范围如图1所示，即北纬29°—34°、东经97°—103°间的矩形区域，以经纬度1°×1°划分成30个方格。它包括了文献〔3〕中提出的康定—炉霍地震带的范围。康定—炉霍带以其地震频度高、强度大为国内外地震工作者所关注，1967—1982年在该带上发生了5次$M_s \geqslant 6.0$级的地震，地震参数列于表1。

关于地震资料，1970年7月以前使用原昆明地球物理研究所编制的地震目录，1970年7月以后使用四川省地震局编制的地震目录。

指标j表示按时间顺序排列的康定—炉霍带地震目录中某次地震的序数。我们试图寻找震级$M \geqslant M_0$的前兆性地震活动图象。将$M \geqslant M_0$的地震为称强震，取$M_0 = 6$级。

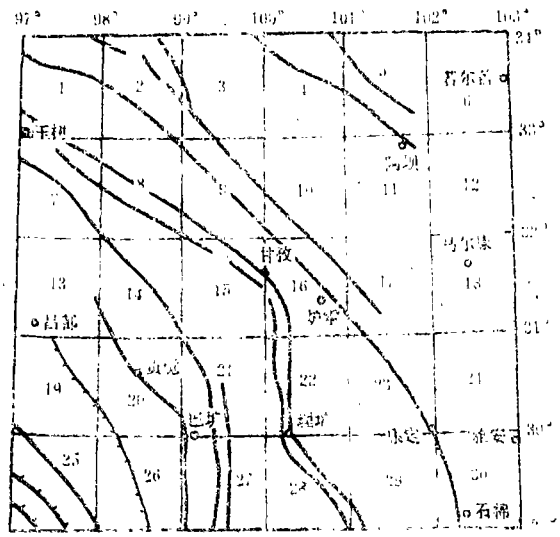

图1 研究区范围

Fig.1 Studied range

表1 1967—1982年康定—炉霍带$M_S \geqslant 6.0$级地震目录

地震时间	震中位置 φ_N	λ_E	地区	震级	震源深度（公里）
1967年8月30日	31°.6	100°.3	甘孜	6.8	10
1973年2月6日	31°.5	100°.4	炉霍	7.9	17
1975年1月15日	29°.5	101°.8	九龙	6.2	
1981年1月24日	31°00′	101°10′	道孚	6.9	12
1982年6月16日	31°49′	99°57′	甘孜	6.0	27

本文所研究的图象是由震级区间在 $M_2 = M_0 - \mu_2 \leqslant M \leqslant M_0 - \mu_1 = M_1$、时间间隔T内的地震所组成，震级下限 $m = M_0\mu_3$，对三种图象均取 $\mu_3 = 3.5$。引进震级下限是因为对更小的震级来说，地震目录是不完整及不均匀的。

三、检验结果

1.余震爆发图象b

为了从地震目录中区分出主震和余震，需要给余震下一个明确的定义。考虑序数为 i和 j（j>i）的两次地震，如果满足下述条件，则第二次地震是第一次地震的余震：它们震中之间的距离小于 $R(M_i)$；$t_j - t_i \leqslant T(M_i)$；$h_j - h_i \leqslant H(M_i)$；$M_j \leqslant M_i$。此处R（M）、T（M）和H（M）是根据经验确定的函数。我们所取的数值同文献〔1〕，即取R（M）=50公里；当5.0≤M≤5.4时，T（M）=0.5年；5.5≤M≤6.4时，T（M）=1年；M≥6.5时，T（M）=2年。由于带内地震的震源深度相差不大，取H（M）=10公里。把上述定义应用于康定—炉霍带的地震目录，从第一个地震开始，就可以区分出主震和它们的余震。

令bi（e）是第i次主震后在时间间隔e天内的余震次数。本文只研究震级在M_2和M_1之

间的主震，和震级大于或等于某一阈值$m = M_0 - \mu_2$的余震。这里取$\mu_1 = 0.1$，$\mu_2 = 1$，$e = 2$ 天。

图象b由主震和它的 $b_i \geqslant C$ 个余震组成。C值根据回溯预报的效果确定，这里取 $C = 10$。图象b出现后的τ年发出警报，取$\tau = 3$ 年。

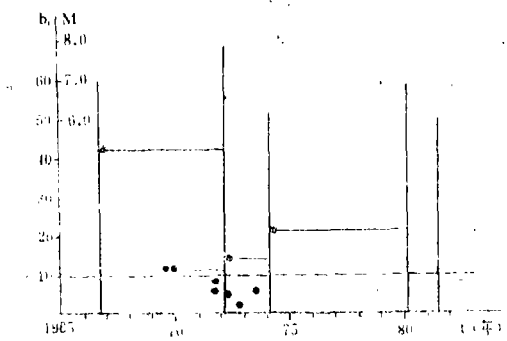

图 2　余震爆发图象b

Fig. 2　The pattern b of aftershock burst

图 2 是康定—炉霍带的余震爆发图象 b。一共生成 5 个图象，若取 $\tau = 3$ 年，则有 3 个图象分别对应1973年 2 月 6 日炉霍7.9级地震和1975年 1 月15日九龙 6.2 级地震。有 2 个图象的τ分别为5.4和 6 年，属于虚报。如果把τ取为 6 年，则这 5 个图象都可对应$M \geqslant 6.0$级的地震。1967年 8 月30日甘孜6.8级地震前没有生成图象 b，这是因为我们所使用的资料的起始年代为1966年，实际上四川省的区域地震台网是1970年以后才逐步完善的，1970年以前的地震目录是不完整同时也是不均匀的。

2.震群图象s

将图 1 所示的研究地区按经纬度 1°×1°分成30个方格。用$N(t)$表示整个研究地区内剔除了余震后的地震数目，$\overline{N}(t)$表示$N(t)$的年平均地震数目，$n(t_i)$表示第t_i年的地震数目（不包括余震），$r(t_i)$表示第t_i年在一个不大的矩形（经纬度1°×1°）内剔除了余震后的地震数目。如果$n(t_i) > a\overline{N}(t)$，$r(t_i) > bn(t_i)$，若在$t_i - T$到$t_i$的时间内发生一组地震，其震中位于一个矩形内，则这组地震称为震群。这里取 $a = 1$，$b = 0.5$，$T = 1$ 年。图象s出现后的τ年发出警报，这里也取$\tau = 3$ 年。

图 3 是康定—炉霍带的震群图象S。图中一共生成了 7 个图象，若取 $\tau = 3$ 年，则有 6 个图象对应了以后的$M \geqslant 6.0$级的地震。

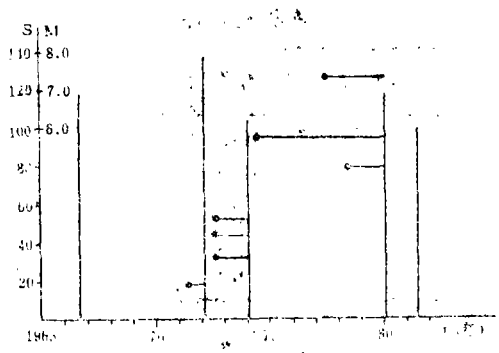

图 3　震群图象S

Fig. 3　The pattern S of swarms

图4表示震群的空间位置。1973年2月6日炉霍7.9级地震前在23区出现震群，震群距7.9级地震的震中约180公里；1975年1月15日九龙6.2级地震前，1973和1974年在16区出现震群，作者认为这主要与炉霍7.9级地震的余震活动有关，但1973年21区出现的震群可视为1975年1月15日九龙6.2级地震的前兆震群，震群距6.2级地震的震中约240公里；1981年1月24日道孚6.9级地震和1982年6月16日甘孜6.0级地震前，1975年在29区出现震群，作者认为这同样与九龙6.2级地震的余震活动有关，但1979年在27区出现的震群可视为道孚6.9级地震和甘孜6.0级地震的前兆震群，震群与这两次地震震中的距离分别为240公里和260公里。

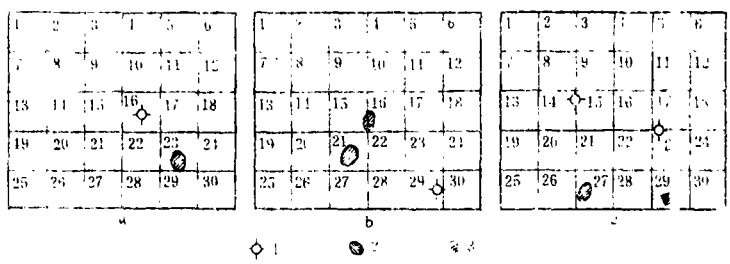

图4 震群位置

1.强震震中 2.震群位置 3.余震活动区

a.1973年炉霍7.9级地震前 b.1975年九龙6.2级地震前 3.1981年甘孜6.0级和道孚6.9级地震前

Fig. 4 The positions of swarms

表2列出了震群与后随强震的时空关系，这里我们所要强调的是，所研究的强震的震级范围从6.0级到7.9级，被认为是这些强震的前兆震群与强震的距离不超过260公里。那种不管空间上的距离，不给出震群的明确定义，把在强震之前出现的一组地震统统视为前兆震群的观点显然缺乏足够的证据。

3.加权和图象Σ

早在1964年，克依利斯博罗克等在文献〔1〕中首次引进加权和图象Σ(t)，并以苏联中亚和喜马拉雅地区为例，研究了强震前加权和图象Σ(t)的时间特征。在文献〔2〕中，又进一步检验了美国加利福尼亚和阿拉斯加、日本以及新西兰地区强震前加权和图象Σ(t)的存在性和预报能力，结果表明，图象Σ(t)在回溯预报中获得成功。作者在文献〔4〕中也检验了1976年四川省松潘7.2级地震前加权和图象Σ(t)，结果显示Σ(t)出现了一个明显的峰值。

表2 震群与后随强震的关系

地震时间	震级	震群时间	震群位置	震群与强震的距离（公里）
1973.2.6	7.9	1972	23区	180
1975.1.15	6.2	1973	21区	240
1981.1.24	6.9	1978 1979	27区	240
1982.6.16	6.0	1978 1979	27区	260

定义$\Sigma(t)=\sum_j G(M_j)=\sum_i 10^{d(M_j-f)}$，d和f是数值参数。这里Σ是指在$t_j$—T和$t_j$的时间区间和$M_j \geqslant m$的震级范围内求和。取d=0.91，f=4.5，T=1年〔1〕。

在图象Σ出现后，以与图象b和图象S同样的方式发出警报，即取警报时间$\tau = 3$年。

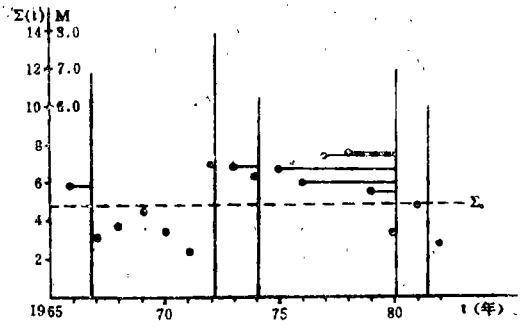

图5　加权和图象Σ

Fig. 5　The pattern Σ of weighted sum

图5为康定—炉霍带的加权和图象Σ（t），若取Σ（t）的阈值 $\Sigma_0 = 4.8$（大约相当于一个5¼级的地震），则一共生成10个加权和图象Σ，除了两个Σ 图象的警报时间 τ分别为4年和5年外，其余8个Σ图象的警报时间均不超过3年。和文献〔2〕中指出的一样，图象Σ的预报效果比图象b和图象S更成功。

表3　　图象b、s和Σ的预报效果

图象名称	生成图象数	$\tau \leqslant 3$年的图象数	$N_{对应}$
b	8	8	2
S	7(4)	6(4)	3
Σ	10	8	5

表3中$N_{对应}$表示图象生成后，在警报时间$\tau \leqslant 3$年的时间内伴随有$M_s \geqslant 6.0$级强震的次数。在表3中所列的S行内，括弧中的数表示扣除了1973年2月6日炉霍 7.9级地震后 1973年和1974年连续两年在16区形成的震群。由表可见，这三种图象的预报效果都是相当令人满意的，尤其是图象Σ的预报效果更佳。1967—1982年，康定—炉霍带内发生的5次$M_s \geqslant 6.0$级的地震前，均出现Σ图象，当然它们之间的关系并不是一一对应的，在$M_s \geqslant 6.0$级的地震前，可能不止一次地出现某种图象。

四、几点结论

1.综合图2—5以及表3的结果得出，在康定—炉霍带上发生一次 $M_s \geqslant 6.0$级的强震前，可能出现一种、两种甚至全部三种图象。无疑，两种、三种图象同时生成可以消除虚报，提高预报的准确率。

2.三种图象中的常数都是根据经验加上回溯预报的效果确定的。不能说没有一点人为的因素。但这些常数以及阈值一旦确定之后，处理实际资料过程中都是严格遵循的。很可能，这些常数和阈值对于不同的地区可能是不一样的。

3.为了获得前兆性地震活动图象，需要一个具有高监测能力的均匀地震台网。为了获取

完整的余震序列资料，从余震序列中提取未来强震的预报信息，在强地震发生后应立即架设一组流动地震台网。许多地区往往需要在强震发生后2—3天甚至更长的时间才能架设几个流动台，这显然漏记了最初两三天内的大量余震，损失了部份有价值的预报信息。同样，认真测定余震序列的地震参数也是应当引起高度重视的问题。

（本文1986年6月2日收到）

参 考 文 献

[1]V.I.Keilis--borok, L.N. Malinovskaya, One regularity in the occurrence of strong earthquakes, J.G.R., Vol. 69, No.14, 1964.

[2]V.I. Keilis--borok, L.Knopoff et al., Burst of aftershocks of strong earthquakes, Nature, Vol.283, No.5744, 1980.

[3]成尔林、庞明虎，康定—炉霍带的地震活动性及震源机制，地震科学研究，№2，1983.

[4]成尔林、李桂芳、陈和川，1976年四川省松潘—平武7.2级地震前后主压应力轴的方向特征，地震学报，Vol.4，№ 2，1982.

SEISMIC PATTERNS OF KANGDING-LUHUO SEISMIC ZONE BEFORE STRONG EARTHQUAKES (M≥6.0) DURING 1967—1982

Cheng Erlin

(*Yancheng Industry College of Jiangsu Province*)

Pang Minghu

(*Seismological Bureau of Sichuan Province*)

Abstract

In this paper, according to three kinds of seismic patterns as precursory of strong earthquakes, i. e. aftershock burst pattern b, earthquake swarm pattern s and weight sum pattern Σ, put forward by Keilis-borok and Knopoff et al., taking Kangding-Luhuo seismic zone as a example, the existence and prediction effect of three kinds of seismic patterns are tested. The results show that, during 1967—1982, one, two and all of three kinds of seismic patterns can be produced in the seismic zone before 5 strong earthquakes (M≥6.0). The prediction effect of three kinds of patterns are rather satisfactory. Particularly, the prediction effect of the weight sum pattern Σ is better. When the value of the pattern Σ exceeds certain threshold value, there always were earthquakes (M≥0.6) to occur afterwards. Simultaneous appearance of two or three kinds of patterns can eliminate false forecast and improve the accuracy of earthquake prediction.