

PP 聚类在震群分析中的应用研究^{*}

周仕勇¹⁾ 朱令人¹⁾ 杜宇梅¹⁾ 邓传玲²⁾

1) 中国乌鲁木齐 830011 新疆维吾尔自治区地震局

2) 中国乌鲁木齐 830002 新疆八一农学院

摘 要

以 1972—1992 年新疆 98 个震群为样本, 用 U , K , ρ 最大地震序列的能量比等 8 个参数作为测量震群形态的特征量, 应用 PP 聚类方法对它们进行了数值聚类分析。结果表明: 这 98 个震群大体可分为 A, B, C, D 四类。A 类震群有 24 个, 其中 18 个震群发生后, 未来 12 个月内, 震群周围有强震发生; 而在共计 61 个 C, D 类震群中, 只有 7 个在震群发生后, 未来 12 个月内, 震群后周围有强震发生; B 类震群后的强震发生率仅为 3/11, 可见, 采用 PP 聚类方法, 能有效地识别出前兆震群(A 类), 正确地判断震群周围地区的中短期地震趋势。

PP 聚类方法是一种有效的新兴分类法, 能广泛地应用于地震序列的类型判别等多项分类中。

主题词 地震群; 新疆; PP 聚类; 震群特征参量

引 言

地震序列研究无论对及时判断大震之后的地震趋势, 还是对探讨大震的孕育和预测大震的发生都有重要的意义。近年来, 如何合理地对地震序列分类, 从不同方面研究震群和大震的关系, 用前兆震群预报未来强震的发生, 已成为地震预报研究中较为活跃的课题。

对震群的研究大致可分为两类: 一类是根据震群序列本身时、空、强的某些特征, 或在序列发展的物理背景上(如地震波形态变化、震源参数等), 寻找表征震群特征的指标, 如 b 值、 U 值、 K 值等, 或几项联合指标, 如 $U-K$, $U-K-\rho$ 等(宋俊高等, 1989); 另一类是用 Fisher 聚类、模糊聚类等方法(王碧泉等, 1984; 陈荣华、冯德益, 1985), 综合分析具有众多特征参量的震群, 按相近综合特征分类原则, 将具有大震前兆信息的震群分离出来。

在地震序列性质的识别研究中, 特征的提取诚然是十分重要的。人们已经提出了几个甚至几十个特征量。由于地震孕育的动力学过程及酝酿环境的复杂性, 这众多特征中哪一个或哪一些能决定序列的性质, 我们难以在物理上作出判断。因而, 采用单个特征

* 1994 年 3 月 29 日收到初稿, 1994 年 8 月 26 日收到修改稿并决定采用。

量的判据, 或几个特征量的联合判据识别前兆震群和非前兆震群过于简单, 且从已有研究来看, 成功率也是很低的; 其次, 这颇为大量的特征中, 有些对序列分类起重要作用, 有些又是可舍弃的; 第三, 单个特征量只能表述震群在某一方面的性质, 综合分析表征序列的多项特征量, 显然更能有效判断序列性质, 然而在特征量太多的情况下进行综合分析, 有必要进行降维分析, 但又要尽可能减少因降维带来的信息损失.

近年来 PP(投影寻踪)在国际统计界兴起, 它是应用数学、现代统计、计算机技术相结合的产物. 它对统计数据不需要做任何假定、任何变换、门限分割等人为干预, 而是利用计算机对数据进行投影降维优化处理, 客观地审视数据结构. 本工作的目的就是将 PP 原理引入地震序列研究中, 使用 PP 聚类来分析具有多特征参量的地震序列, 探索一种新的更有效地区分地震序列性质的方法.

1 PP 聚类理论的基本原理和方法

设有 n 个用于作聚类分析的样本 (X_1, X_2, \dots, X_n), 且描述样本特征的参数有 P 个. 聚类分析就是把由上述 n 个样本构成的 P 维数据点, 相近的聚成类.

目前较常用的一些聚类方法如 Fisher 聚类、模糊聚类及主成分分析, 虽然在一些样品分类研究中发挥了很好的效应(王碧泉等, 1984; 陈荣华、冯德益, 1985; 陈锦标等, 1985), 但由于这些聚类方法虽说也能用投影降维研究, 然而由于缺乏自动寻优最佳投影的能力, 所采用的降维是简单的投影降维, 因而可能人为地丢失原有高维数据的结构特征的信息, 其投影也不能很好地反映原有高维数据的结构特征. PP 聚类分析中将计算机技术与极值分析有效地结合, 基本方法是: 将高维数据采用投影到低维($K=1, 2$)子空间上, 对投影得到的构形, 定义投影指标; 用计算机寻找使投影指标达到极大的一个或几个投影方向; 它们给出的直线(或平面)上的数据投影, 由计算机显示出来. 为发现聚类结构, 希望找到的投影构形: 局部上投影点要密集——凝聚成若干类; 整体上, 投影上要散开——类与类之间要尽可能分离. PP 聚类即可将这两个要求组合成一个指标来定量表示(陈平、李国英, 1986; Friedman, and Stuetzle, 1981).

本研究中采用的是一维投影 PP 聚类分析, 将长度为 n 的 P 维观测标本 (X_1, X_2, \dots, X_n) 向 A 投影轴方向投影, 得到投影序列 $Y_i (i=1, \dots, n)$ 即

$$Y_i = A^T \cdot X_i \quad (1)$$

式中, A 为 $P \times 1$ 的投影矩阵, $X_i = [X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{ip}]$. 将得到的投影数值序列 $Y_i (i=1-n)$ 从小到大排序, 形成新的序列 Z_i

$$Z_1 \leq Z_2 \leq Z_3 \cdots \leq Z_m \quad (2)$$

定义 $S(A)$ 为 A 方向投影的散开度, 且采用切尾标准差, 即令

$$S(A) = \left[\sum_{i=l}^{n-l} (Z_i - Z)^2 / (1 - 2l)n \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

其中, 切尾均值

$$Z = \sum_{i=l}^{n-l} Z_i / (1 - 2l)n \quad (4)$$

$S(A)$ 是稳健刻度估计, 它将 Z_i 中最小的和最大的 ln 个值剔除掉, 对剩下的中间部分的数据求样本标准差. 由于剔除了两头的极端数据, 避免了离群值的过分影响.

$d(A)$ 反映投影点的局部密集度, 计算中采用平滑技术, 即令

$$d(A) = \sum_{i < j} f(Y_{ij}) \cdot U(R - r_{ij}) \quad (5)$$

其中

$$Y_{ij} = |Z_i - Z_j| \quad (6)$$

式中, $f(t)$ 是平滑函数, 对 $t > 0$ 是光滑、正值递减的, 且 $f(R) = 0$, $U(t)$ 是单位阶跃函数即

$$U(t) = \begin{cases} 1 & t \geq 0 \\ 0 & t < 0 \end{cases} \quad (7)$$

R 是截断半径, 是一个视具体问题调整的一个控制参数. 它既要使包含在窗内的样本点的平均个数不太小, 以免滑动平均偏差太大; 又不要它随 n 增加得太高(比 n 的阶要低).

显然, 对于较理想的聚类构形, 希望 $S(A)$ 大, 也希望 $d(A)$ 大, 这本是一指标的优化问题; 将它们组合成单指标, 定义 X 投影指标

$$Q(A) = S(A) \cdot d(A) \quad (8)$$

解极值方程

$$Q(A) = \max \quad (9)$$

求得的投影矩阵 A 便为最佳投影矩阵, 这个方向的投影最能反映高维数值的聚类构形.

须指出的是, 在计算中为了使 P 维变量有统一测度, 对它们进行了平方和归一处理, 即用 R_{ij} 代替 X_{ij} 作为观测到的样本资料

$$R_{ij} = [X_{ij} - X_i] / \sum_{i=1}^p E(X_{ij} - X_i) \quad (10)$$

2 应用实例

2.1 基本资料

根据震群研究的实用化程式的要求, 及新疆小震活动的具体特征, 选取小震活动震群的标准如下: ① 地震序列的震中分布在 $40' \times 40'$ 的矩形区域内, 最大日频次 ≥ 3 , 总频次 ≥ 6 ; ② 地震序列中最大地震震级 $3.0 \leq M_L \leq 5.2$. 最大与次最大地震震级 $\Delta M_L \leq 1.1$; ③ 在序列开始前和结束后连续 7 天未记录到 $M_L \leq 1.0$ 地震. 则以第一个地震所在日为序列的起始日, 以最后一个地震所在日期为序列的终止日.

选取伊宁—乌鲁木齐和乌什—库尔勒, 即东经 74° — 90° , 北纬 41° — 44° 作为研究区.

按照上述研究区范围和震群选取标准, 从地震目录库中选取了 1972—1992 年的震

群 98 个，并参照近年震群研究取得的主要成果，选取了 U 值、 K 值和 ρ 值等 8 个参量作为描述震群的特征参量，图 1 给出了研究区中部分震群的分布图。震群起止时间及与大震的对应关系见表 1。

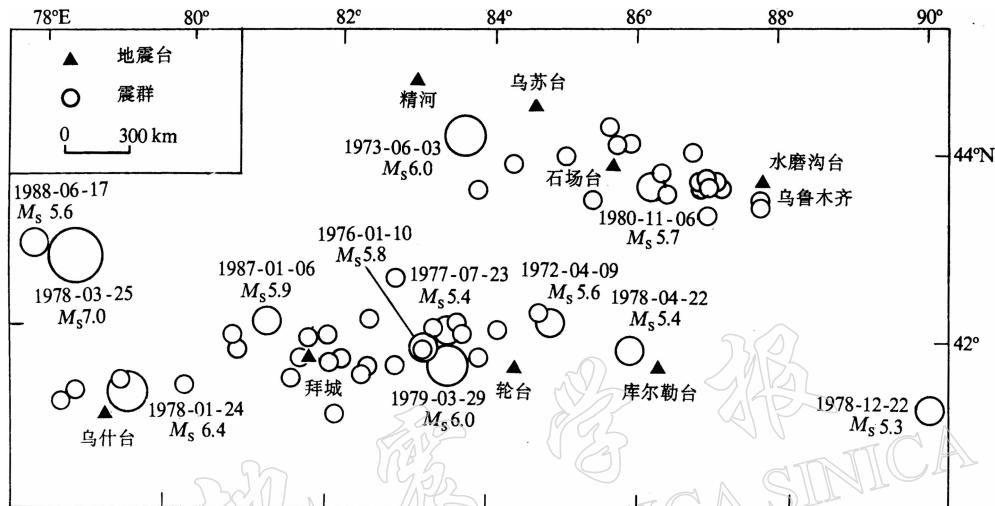


图 1 研究区及部分震群和 $M_s \geq 5.5$ 地震震中分布图

表 1 震群及其与相应强震的关系

震 群				参 考 地 震			参 考 与 震 群		对应情况
序号	地 点	起 止 时 间 年-月-日	类 别	时 间	地 点	震 级 M_s	相 隔 时 间 月	距 离 km	
1	乌鲁木齐	1972-03-12—1972-03-14	B	1973-06-03	精河	6.0	14	300	✓
2	乌什	1972-04-23—1972-06-17	D				13	428	
3	石河子	1972-05-04—1972-05-19	A				12	165	
4	拜城	1972-05-24—1972-05-28	A				12	285	
5	乌鲁木齐	1972-07-17—1972-07-19	C				11	292	
6	拜城	1973-01-24—1973-02-18	D				4.3	345	
7	乌恰	1972-10-31—1972-11-14	D	1974-08-11	乌兹别里山口	7.3	21.3	128	✓
8	轮台	1973-07-12—1973-07-21	D				11.8	712	
9	喀什	1973-01-13—1973-02-25	C				18.9	188	
10	乌恰	1973-11-17—1973-12-02	B				8.8	135	
11	巴楚	1974-08-01—1974-08-13	C				0.3	330	
12	石河子	1975-02-27—1975-03-02	C	1976-01-10	库车	5.8	11.4	285	✓
13	乌什	1975-04-16—1975-04-20	C				8.8	352	
14	巴楚	1975-05-15—1975-08-19	D				5.2	525	
15	石河子	1975-12-15—1976-04-15	C				0.5	308	
16	乌鲁木齐	1976-08-17—1976-08-25	D	1977-07-23	库车	5.5	11.2	352	✓
17	库车	1977-05-10—1977-05-17	A				2.4	16	
18	乌鲁木齐	1978-01-08—1978-01-23	A	1978-04-22	库尔勒	5.4	3.5	216	✓
19	新源	1978-03-15—1978-04-09	A				1.2	232	
20	拜城	1978-05-23—1978-05-26	A	1979-03-29	库车	6.0	10.2	104	✓
21	拜城	1978-06-04—1978-06-23	A				9.8	160	

续表 1

震 群				参 考 地 震			参 考 与 震 群		对应情况
序号	地 点	起 止 时 间 年-月-日	类 别	时 间	地 点	震 级 M_s	相 隔 时 间 月	距 离 km	
22	拜城	1978-06-27—1978-06-30	A				9.1	200	✓
23	乌鲁木齐	1978-07-29—1978-08-11	C				8.0	344	
24	呼图壁	1978-11-17—1978-11-19	D				4.4	304	
25	阿克苏	1978-11-15—1978-12-12	B				4.5	264	✓
26	拜城	1979-01-15—1979-02-27	A				2.5	160	✓
27	呼图壁	1979-01-25—1979-02-08	C				2.1	352	
28	巴楚	1979-06-27—1979-08-14	D				16.3	950	
29	库车	1979-11-14—1979-11-14	D				11.7	400	
30	乌鲁木齐	1979-10-11—1979-12-28	A				12.8	97	✓
31	乌鲁木齐	1980-01-17—1980-02-15	A	1980-11-06	玛 纳 斯	5.7	9.6	72	✓
32	乌鲁木齐	1980-08-18—1981-03-25	A				2.6	92	✓
33	乌苏	1980-08-19—1980-09-16	A				0.5	80	✓
34	巴楚	1980-10-21—1980-12-09	B				10	963	
35	库车	1980-12-20—1980-12-21	C				56.2	696	
36	库车	1982-03-11—1982-04-02	C				41.1	682	
37	阿合奇	1983-06-10—1983-06-25	D				26.4	240	
38	拜城	1983-12-15—1983-12-31	D				20.3	560	
39	巴楚	1983-12-13—1984-01-05	C				20	152	
40	轮台	1984-03-01—1984-04-05	D				17.7	736	
41	库车	1984-03-20—1984-03-21	D	1985-08-23	乌 恰	7.4	17.1	592	
42	石河子	1984-04-28—1984-06-08	D				15.8	888	
43	拜城	1984-07-03—1984-07-04	C				13.7	568	
44	库车	1984-06-26—1984-08-07	B				13.9	672	
45	巴楚	1984-12-02—1984-12-22	C				8.7	400	✓
46	库车	1985-06-12—1985-06-29	C				2.4	704	
47	新源	1985-06-19—1985-07-02	A				2.1	784	
48	呼图壁	1985-06-26—1985-08-18	D				1.9	1016	
49	乌苏	1985-08-12—1985-08-16	D				17.4	472	
50	阿合奇	1985-10-03—1985-10-07	C				15.7	192	
51	石河子	1986-07-03—1986-08-14	C	1987-01-24	乌 什	6.4	6.7	592	
52	巴楚	1986-08-07—1986-08-22	C				5.6	208	✓
53	拜城	1987-06-01—1987-06-12	C						
54	巴楚	1987-07-10—1987-09-18	C	1987-04-30	乌 恰	6.0			
55	乌鲁木齐	1987-10-18—1987-11-19	A	1987-12-22	罗 布 泊	5.5	2.1	360	
56	拜城	1988-04-18—1988-04-27	D						
57	阿合奇	1988-05-06—1988-06-19	D						
58	库车	1988-09-06—1989-01-13	D						
59	轮台	1989-02-04—1989-04-01	C						
60	巴楚	1989-03-13—1989-03-24	C	1990-04-17	乌 恰	6.4	14.4	246	
61	阿合奇	1989-03-15—1989-04-19	D				13.0	328	
62	乌 什	1989-05-25—1989-06-06	C				10.7	392	
63	喀 什	1989-06-19—1989-06-20	D				3.5	80	✓

续表 1

震 群				参 考 地 震			参 考 与 震 群		对应情况
序号	地 点	起 止 时 间 年-月-日	类 别	时 间	地 点	震 级 M_s	相 隔 时 间 月	距 离 km	
64	巴楚	1989-08-29—1989-10-15	D				7.6	240	✓
65	库车	1989-10-16—1989-11-17	C				11.9	392	
66	库车	1989-11-24—1989-12-10	C	1990-11-12	巴 依 沙 隆	6.7	11.6	424	
67	库车	1990-01-01—1990-02-28	B				15.8	392	
68	温泉	1990-05-08—1990-07-22	C				6.1	328	
69	喀什	1990-05-12—1990-10-08	C				4.8	288	✓
70	阿合奇	1990-08-01—1990-08-19	A	1991-02-25	柯坪	6.5	6.8	112	✓
71	乌什	1990-08-20—1990-09-30	A				6.2	120	✓
72	富蕴	1990-10-01—1990-10-11	B						
73	呼图壁	1991-01-04—1991-03-11	D				19.5	1040	
74	拜城	1991-01-06—1991-02-25	B				19.4	616	
75	巴楚	1991-01-12—1991-03-19	B				19.2	416	
76	呼图壁	1991-03-31—1991-04-24	D				16.6	1064	
77	库车	1991-03-27—1991-04-12	D				16.7	712	
78	喀什	1991-05-01—1991-05-25	C				15.6	320	
79	拜城	1991-05-05—1991-05-11	D				15.5	656	
80	轮台	1991-06-14—1991-06-28	A	1992-08-19	苏 萨 梅 尔	7.5	14.2	856	
81	呼图壁	1991-08-02—1992-03-08	D				12.6	1040	
82	乌恰	1991-06-20—1991-07-26	D				14.0	296	
83	精河	1991-09-27—1991-10-12	C				10.7	776	
84	阿合奇	1991-10-05—1991-11-12	D				10.5	352	✓
85	乌苏	1991-10-28—1991-11-10	C				9.7	856	
86	富蕴	1991-10-28—1992-03-24	C						
87	新源	1991-11-28—1992-01-24	D				8.7	712	
88	温泉	1991-12-03—1992-03-27	C				8.5	632	
89	巩留	1992-02-25—1992-03-10	B				5.8	672	
90	阿合奇	1992-02-27—1992-03-29	A				5.7	384	✓
91	乌鲁木齐	1992-06-30—1992-08-03	A				7.1	163	✓
92	乌鲁木齐	1992-08-08—1992-11-30	A				5.5	167	✓
93	石河子	1992-08-09—1992-09-27	B	1993-02-03	和 静	5.4	5.7	174	✓
94	拜城	1992-10-31—1992-11-21	A				2.4	412	
95	新源	1992-07-20—1992-09-29	A				1.4	160	✓
96	乌恰	1992-07-31—1992-11-30	A		(待 对 应)				
97	乌恰	1992-12-02—1992-12-21	C						
98	乌恰	1992-12-16—1992-12-30	D						

2.2 聚类分析结果

用 PP 类聚方法[式(1)—(10)]及所设计的相应软件对上述 98 个震群的形态特征资料进行了处理, 寻找出清晰显示两个类的聚类构形的最佳投影矩阵为

$$A = [14, 510, 457, 235, -1300, -770, -830, 97]$$

将投影矩阵代入式(1), 得到线性函数(非规格化)

$$Y = 14X_1 + 510X_2 + 457X_3 + 235X_4 - 1300X_5 - 770X_6 - 830X_7 + 97X_8$$

式中, X_1, X_2, \dots, X_8 所代表的含义具体参见王桂岭等的研究^①.

第一类包含有 35 个震群, 它们分别是 1, 3, 4, 10, 17—22, 25, 26, 30—34, 44, 47, 55, 67, 70, 71, 72, 74, 85, 80, 80, 90—96 号震群; 第二类包含着其余 63 个震群.

对以上两类, 又按同样算法, 各分成两类. 第一类分成 A 类和 B 类, 其投影矩阵和相应线性函数为

$$A_1 = (-430, 612, 337, 1200, -930, 530, -773, 170)$$

$$Y = -430X_1 + 612X_2 + 337X_3 + 1200X_4 - 930X_5 + 530X_6 - 773X_7 + 170X_8$$

第二类分成 C 类和 D 类, 其投影矩阵和相应的线性函数为

$$A_2 = (21, 9200, -30, 1140, 50, -41, -810, -11)$$

$$Y = 21X_1 + 9200X_2 - 30X_3 + 1140X_4 + 50X_5 - 41X_6 - 810X_7 - 11X_8$$

A, B, C, D 各类所包含的震群序号详见表 1.

2.3 预测效能分析

某些震群, 虽然本身不是前震序列, 却预示着周围地区正孕育着大震, 从而具有一定的预测能力; 而另一些震群可能与大震孕育发生无关, 因而不具有预测大震的能力. 本节将详细比较.

2.3.1 预报方案的确定

已有研究表明, 不同强度的大震所引起的前兆异常范围是不一样的, 异常范围的大小与未来大震的震级是正相关的, 异常范围半径与未来大震 M 的关系可表示为(国家地震局科技监测司, 1989)

$$\lg R = 1.48 + 0.51M \pm 0.13$$

参照此式, 在表 2 中分别给出了预报 4 个不同震级档次的大震所对应的范围. 表 2 中所给出的预报时段均为 12 个月. 这主要考虑到一般震群发生可能是其附近构造应力增强所致, 其附近大震震源可能趋于危险状态, 因而震群大都用于年度预报之中.

表 2 预报方案

预 报 震 级 M_S	预 报 范 围 km	预 报 时 段 月
5.4—5.9	232	12
6.0—6.4	276	12
6.5—6.9	327	12
7.0—7.5	403	12

2.3.2 预测能力分析

按表 2 给定的预报规则, 分析表 1, 可得到各类震群的预报效能一览表(表 3).

表 3 中检验评分 S, R 的计算方法详见朱传镇和王琳瑛(1989), 计算公式如下:

有震报准率

$$P = \frac{m+1}{n+1}$$

^① 王桂岭、敖雪明、周仕勇, 1991. 新疆震群与强震关系研究.

虚报率

$$q = \frac{n-m+1}{n+2}$$

漏报率

$$Y = \frac{t+1}{m+t+2}$$

式中,

$$t = n - k(\text{漏报次数}), R^* = P - q, S^* = P - Y.$$

表 3 各类震群预报能力分析

震群类别	数量	地震次数 N	震前 12 个月出现的情况		大震状况		评分		检验是否通过	
			震群次数 M	所占百分比	报准地震次数	百分比	S*	R*	有震预报检验	无震预报检验
震群	95	16	28	29.5%	12	75.0%	0.152	-0.402	通过	不通过
I 类震群(AB类)	34	16	21	61.8%	9	56.3%	0.344	0.222	通过	通过
II类震群(CD类)	61	16	7	11.5%	6	37.5%	-0.429	-0.746	不通过	不通过
A类震群	23	16	18	78.3%	8	50.0%	0.439	0.520	通过	通过
B类震群	11	16	3	27.3%	3	18.8%	-0.470	-0.385	不通过	不通过
C类震群	31	16	4	12.9%	4	25.0%	-0.571	-0.697	不通过	不通过
D类震群	30	16	3	10.0%	2	12.5%	-0.664	-0.750	不通过	不通过

由表 3 可以看到, 大震发生前由于震源区应力已积累到相当程度, 因此大多数大震前一定区域内均有震群出现, 故用震群的出现作为异常前兆预报大震, 大震的被报准率往往较高; 但小震震群发生的机制是多方面的, 即有的可能是因为构造应力积累到相当危险的程度所致, 也有可能由于震群发生区域局部地壳应力调整破裂、外力触发等非大震级因素所引起, 故有相当多的震群发生后并无大震发生. 因此, 单纯用震群发生作为前兆预报大震, 虚报往往过高. 由表 4 第一栏可看出, 不对具体震群分析就进行预测, 有震预报往往勉强可以通过, 但无震预报往往是不合格的.

用 PP 聚类方法根据震群的综合特征进行聚类划分后, 由表 3 可清楚地看到, 有些震群(I类, 或 I类中的 A类)显然与大震发生的关系密切, 以这类震群发生作为前兆异常预报大震的发生, 预测能力较不分类预报要大大提高, 有震预报和无震预报均能检验通过(参见表 3 第二栏和第四栏).

2.3.3 与传统的 U, K, ρ 前兆震群预报能力的比较

制定出 U, K, ρ 前兆震群的判定指标如下:

(1) 单项指标. $U > 0.50$; $K > 0.62$; $\rho < 0.60$. 凡满足其中一项, 即判定为前兆震群.

(2) 联合指标. 若同时满足 $U > 0.50$; $K > 0.62$, 则认为是 $U-K$ 前兆震群. 若同时满足 $U > 0.62$, $\rho < 0.60$, 则认为是 $U-\rho$ 前兆震群.

若同时满足 $K > 0.62$, $\rho < 0.60$, 则认为是 $K-\rho$ 前兆震群.

若同时满足 $K > 0.62$, $U > 0.5$, $\rho < 0.60$, 则认为是 $U-K-\rho$ 前兆震群.

依据上述判别指标, 对所研究的 98 个震群的性质逐一进行了鉴别, 结果见表 4.

同样, 按表 2 给定的预报方案, 分析这 98 个震群的 U, K 和 ρ 值, 我们亦可得到用

传统的震群判别指标 U , K , ρ 判别震群, 进行预报的预报能力分析一览表(参见表 4).

表 4 U , K , ρ 类前兆震群预报能力分析

震群类别	数 量	地震 次数 N	震前 12 个月出现的情况		大震状况		评分		检验是否通过	
			震群次数 M	所占百分比	报准地震 次数	百分比	S^*	R^*	有震预 报检验	无震预 报检验
U	54	16	17	31.5%	11	68.8%	0.071	-0.375	通过	不通过
K	41	16	11	26.8%	10	62.5%	-0.089	-0.442	不通过	不通过
ρ	55	16	16	29.1%	9	56.3%	-0.022	-0.404	不通过	不通过
$U-K$	32	16	9	28.1%	8	50.0%	-0.180	-0.412	不通过	不通过
$U-\rho$	28	16	9	32.1%	8	50.0%	-0.140	-0.333	不通过	不通过
$K-\rho$	27	16	6	22.2%	6	37.5%	-0.370	-0.517	不通过	不通过
$U-K-\rho$	18	16	4	22.1%	4	25.0%	-0.472	-0.500	不通过	不通过
一般前兆震群	81	16	24	29.6%	11	68.8%	0.108	-0.398	通过	不通过

比较表 4 与表 3 可以清楚地看到, 用 U , K 和 ρ 作为判据而挑选的一般前兆震群或 U 类前兆震群进行强震预报的能力仅与用一般震群(不对震群进行任何前兆性与非前兆性识别)进行强震预报的能力相当; 而用其它类型, 如 K 类、 ρ 类和 $U-K$ 类等的前兆震群进行强震预报的能力更差. 从表 3、表 4 列出的各类震群进行强震预报的效能来看, 用 PP 聚类分析挑选出来的 I 类震群和 A 类震群对强震的预报能同时通过有震预报和无震预报检验, 显示出较高的预报能力; 而用 K , U 和 ρ 参数作为判据所得的各类“前兆”震群进行预报无一能同时通过有震预报检验和无震预报检验. 由此可见, PP 聚类方法是识别真正的前兆震群, 提高震群对大震预报能力的一种有效途径.

3 结束语

初步研究表明, PP 聚类用于震群分析中, 通过投影追踪的方法对多元震群形态参数进行数值综合分析, 能有效地将具有较强预报意义的前兆震群如表 3 中的 A 类或 I 类震群从一般震群中分离出来, 帮助我们在震群发生后对震群附近区域的地震趋势作出较为正确的判断, 能达到提高应用震群预报大震能力的目的. 与传统地单纯应用 U , K 和 ρ 参数分离前兆震群的方法相比, PP 聚类方法有更为显著的效能.

宋俊高、王桂岭等先后分别对华北、新疆地区的震群与大震的关系进行了较为详细的研究, 制定了识别前兆震群的方法(主要是用 U , K , ρ 判据)及用前兆震群预报大震的基本程式. 从他们的研究结果看, 用 U , K 和 ρ 作为前兆震群的判据, 预报大震是可行的. 这与本文中表 4 所显示的结果似乎有很大不同. 仔细分析可知, 他们的预报时间及预报范围较本文的大得多, 预报检验当然也就容易通过. 从减灾设防的角度考虑, 预报时间及预报范围增大, 预报的实际价值也就相应减少.

本工作首次将 PP 理论应用于震群类型判别分析中, 因缺少经验和水平所限, 工作显得较为粗糙亦难免有错, 欢迎同仁们参与讨论. 并希望将 PP 聚类方法推广应用于华北等其它地区的震群分析中, 从中发现问题, 优化方法, 达到提高震群预报能力的目的, 以推动地震预报事业的发展.

本工作所用的震群形态参量均由王桂岭、敖雪明提供，并得到他们的支持和帮助，在此深表谢意。

参考文献

- 陈锦标、吕宏伯、聂金宗, 1985. 地震活动特征的主成分分析. 固体地球物理学术讨论会文集, 133—134. 国家地震局地球物理研究所, 北京.
- 陈平、李国英, 1986. 投影寻踪一类新兴的统计方法. 应用概率统计, 3, 1, 138—143.
- 陈荣华、冯德益, 1985. 模糊聚类分析及其在地震研究中的应用. 地震研究, 8, 551—558.
- 国家地震局科技监测司, 1989. 地震监测与预报方法清理成果汇编——综合预报分册, 1—30. 地震出版社, 北京.
- 宋俊高、陆远忠、施玉芳、叶峰, 1989. 震群用于地震预报的再研究. 地震预报方法实用化攻关文集, 地震学专辑, 204—229. 学术书刊出版社, 北京.
- 王碧泉、陈祖荫、王春珍, 1984. 用聚类分析法研究强震的孕震过程. 地震学报, 6, 121—128.
- 朱传镇、王琳瑛, 1989. 震群信息熵异常与地震预测. 地震预报方法实用化攻关文集, 地震学专辑, 229—248. 学术书刊出版社, 北京.
- Friedman, J. H. and Stuetzle, W., 1981. Projection pursuit regression. *J. Amer. Statist. Assoc.*, 76, 817—823.