

新疆南天山西段地震波参数前兆 识别预报指标及效能评价

王筱荣

(新疆维吾尔自治区地震局, 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要: 系统总结了新疆南天山地区5个地震台记录的共计49年的地震波资料, 提取了异常判据、预报指标, 并对计算结果做了R评价。

关键词: 新疆; 地震波参数; 前兆识别; 预报指标; 效能评价

中图分类号: P315.7 文献标识码: A 文章编号: 1000-0844(2002)02-0150-07

0 引言

地震波的研究在地震学基础研究中具有重要作用。早在20世纪50、60年代研究人员发现在时间、空间和震级一定的情况下, 不同的台站记录的地震尾波具有相同的衰减形态, 这一发现对以后的地震波研究工作起到了推动作用。20世纪60年代末Aki提出了尾波散射理论, 使得研究人员可以由多台多震资料同时得到各个地震的震源因子和场地因子资料。20世纪80年代末Aki将其进一步完善, 形成目前通用的表达式 $Q(f) = Q_0 f^a$ 。尚铁梁等人之后又提出了尾波多次散射理论, 进一步完善了上述表达式。随着尾波研究工作的深入, 出现了利用尾波进行预报尝试的方法, 如地震尾波衰减系数、地震尾波持续时间比等。本文在利用振幅比、地震波衰减系数、地震尾波持续时间比对新疆地震危险区进行短临动态跟踪的经验基础上, 系统总结了新疆南天山西段5个地震台记录的共计49年的地震波资料, 认为利用地震波资料预报地震有一定的预报意义。

1 研究方法及资料概述

利用地震波运动学和动力学特性可提取地震前可能出现的异常信息。振幅比是一种简单的地震波动力学特性, 它不依赖于地震波振幅的绝对值, 即基本上不依赖于地震的震级; 当台站的频率特性较为平坦时, 其对地震仪的放大倍数和频率特性的依赖也很小^[1]。可从地震图上量取清晰的P、S波的振幅, 得到其比值。尾波衰减系数 $a = (\log A_1/A_2 - 0.5 \log t_2/t_1) / (t_2 - t_1)$ 实际上反映了台站周围介质的性质^[2]。尾波持续时间比 $\tau_H/\tau_V = (I_H/I_V) \cdot (Q_H/Q_V)^{1/4} \cdot (B_H/B_V)$ 反映了研究区地壳横向和纵向不均匀性的差异而引起的在不同方向上次生波激发和衰减性能的差异^[3]。

收稿日期: 2001-02-20

基金项目: 中国地震局 95-04-01-01-13(课题部分成果)。

作者简介: 王筱荣(1957-), 女(汉族), 陕西米脂人, 高级工程师, 主要从事地震活动性、地震波及地震预报工作。

本文量取了新疆多震的南天山地区乌恰、喀什、巴楚、阿合奇、乌什 5 个地震台站共计 49 年的地震波资料, 查图上万张, 建立了 4 000 余条地震波参数数据库. 乌恰、喀什台以台站为中心 200 km 范围内发生的 6 级以上地震作为目标地震; 其余各台以台站为中心 200 km 范围内发生的 5 级以上地震作为目标地震. 在上述时段共发生目标地震 25 例(双震与余震记为一次地震事件), 相关资料见图 1 及表 1.

表 1 各台站资料基本参数

| 台站 | 台站经纬度 | 资料时段 | 目标地震震级 |
|-----|----------------------|--------------------------|--------|
| 乌恰 | 39° 42' N; 75° 11' E | 1993 ~ 1997 | ≥ 6.0 |
| 喀什 | 39° 32' N; 75° 58' E | 1975 ~ 1985, 1994 ~ 1997 | ≥ 6.0 |
| 巴楚 | 39° 49' N; 78° 45' E | 1985 ~ 1997 | ≥ 5.0 |
| 阿合奇 | 40° 56' N; 78° 27' E | 1994 ~ 1997 | ≥ 5.0 |
| 乌什 | 41° 12' N; 79° 12' E | 1985 ~ 1997 | ≥ 5.0 |

2 各台地震波参数时间进程异常概述

图 2、3、4 分别为各台地震波振幅比、尾波持续时间比、尾波衰减系数时间进程曲线, 异常时间与地震的对应关系参见表 2. 总体来看各台振幅比在震前有一定的反映, 异常模式为低值一回返一发震; 也有以突跳为异常的震例(8 例). 尾波持续时间比及尾波衰减系数震前异常形态为低值一回返一发震. 总体来看尾波持续时间比在 6 级地震发生前有较明显的异常, 而 5 级地震发生前的异常不是很显著. 由此认为尾波持续时间比可监视台站 200 km 范围内发生的 6 级以上地

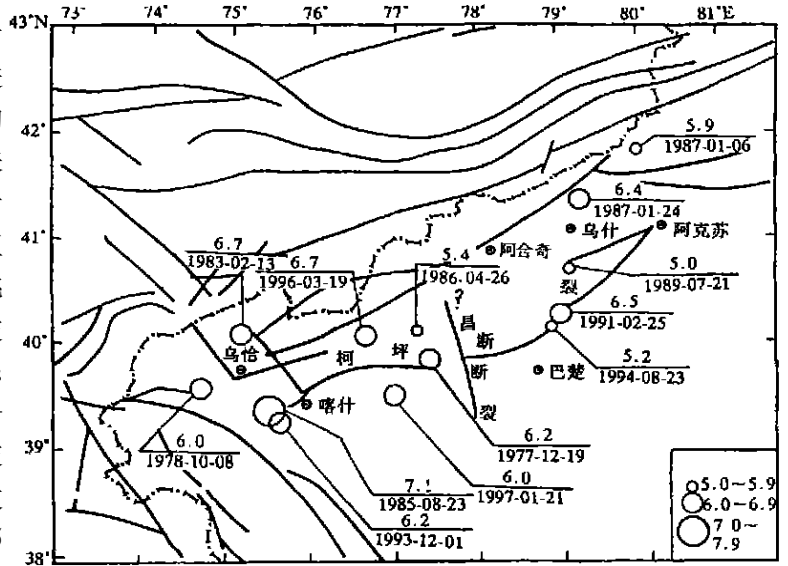


图 1 研究时段目标地震分布

Fig. 1 Distribution of seismicity in studing time.

震. 尾波衰减系数受采样条件的限制稳定性较差, 这一现象在乌什台尾波衰减系数曲线中表现较明显, 其他台站也存在 1 年之内仅有一个或两个数据点的情况, 这对于地震预报十分不利. 综合认为振幅比可作为短临预报手段, 尾波持续时间比有较强的中短期预报能力, 尾波衰减系数因采样条件限制仅作为辅助预报手段.

3 前兆识别预报指标及预报效能评价

由上节分析可大致看出地震波参数震前一般表现为低值, 地震大多发生在曲线回返后或回返过程中, 当然也有异常过程出现后无目标地震对应以及有目标地震发生而无异常过程与之对应的例子. 但从整体上看, 地震波参数出现低值并维持数月后回返可以作为地震前兆.

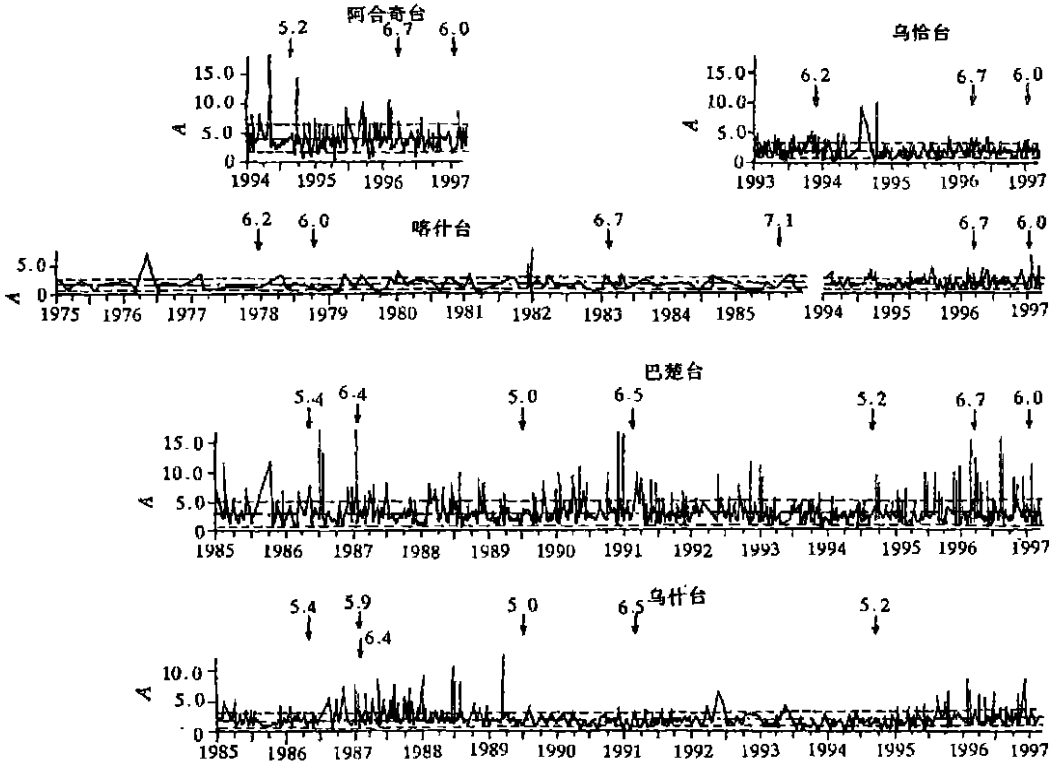


图2 地震波振幅比时序图

Fig. 2 The time sequence of amplitude ratio of seismic wave.

突跳值达 10 以上, 或低值过程达 2 个月以上, 且有 2 个以上点低于 2 倍均方差下限, 可作为振幅比的异常标志. 尾波持续时间比及尾波衰减系数的异常参数值处于均值线以下至少 2 个月, 同时满足多个点处于 2 倍均方差以下为标志. 将尾波持续时间比出现异常作为判定地震波参数异常的必要条件, 振幅比和尾波衰减系数作为辅助判定手段, 在此基础上预报未来 6~12 个月内预测区 5 级以上地震(喀什、乌恰台 6 级以上地震).

以 6 个月为预报时段对各台振幅比和尾波持续时间比做 R 值评价, 结果见表 3. 由表看出地震波参数用于地震预报有一定的预报效能.

4 结论与讨论

4.1 结论

- (1) 利用地震波参数进行地震预报有一定的预报效能.
- (2) 地震波参数前兆异常模式为低值—回返—发震.
- (3) 对 6 级地震而言, 尾波持续时间比有较强的预报能力; 振幅比突跳有短临预报意义.

4.2 讨论

4.2.1 可能影响异常的因素

地震或台站处于不同的构造能影响地震波参数的异常显示. 由巴楚台振幅比曲线看出, 震前仅有突跳显示的 1986 年西克尔地震、1996 年阿图什地震和 1997 年伽师地震均位于柯坪块

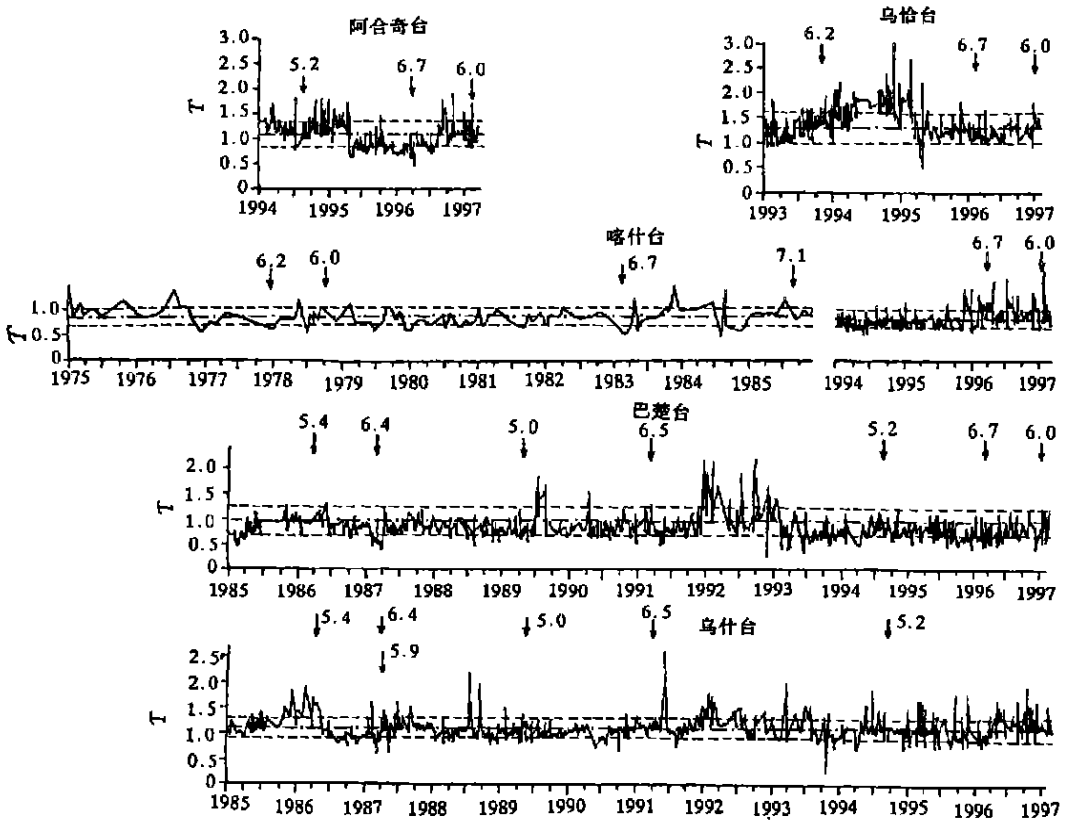


图 3 地震波尾波持续时间比时序图

Fig. 3 The time sequence of duration time ratio of coda wave.

体西段的柯坪断裂和普昌断裂交汇点偏西一侧, 此地为块体中小地震多发区也是示震区^①, 强震有其特殊性. 位于普昌断裂东侧的巴楚、阿合奇、乌什台振幅比曲线形态与位于西侧的乌恰、喀什台明显不同: 从异常形态上看乌恰、喀什台以震前低值为主, 而巴楚、阿合奇、乌什台振幅比曲线震前突跳和低值兼而有之; 从数据的起伏幅度上看, 乌恰、喀什台振幅比值明显低于巴楚、阿合奇、乌什台. 另外, 相当于 1 次 7 级地震的伽师地震震前各台地震波参数异常程度整体偏低, 表明位于沙漠边缘的地震异常显示度可能要低于其他地区.

震级和震中距的不同对异常时间有一定的影响. 总体来看, 震中距与异常持续时间成反比, 震级与异常持续时间成正比(表 4).

时序曲线所反映的异常实际上不能反映异常区真实的异常起止时间, 时序图描述的是台站四周记录到的地震波参数的变化信息, 实际上是正常信息与异常信息的叠加. 研究表明^[4], 空间图像的分析将大大提高地震波参数对地震时空强三要素的预报, 尤其会对地震震级和地点的确定提供较为合理的参考.

观测误差也是影响异常判定的因素之一. 据文献[5], 尾波持续时间达 90 s 以上时观测误差可忽略不计. 但为最有效地利用现有资料, 文中也使用了尾波持续时间达 90 s 以下的资料,

① 王筱荣. 特殊构造体的地震活动特征.

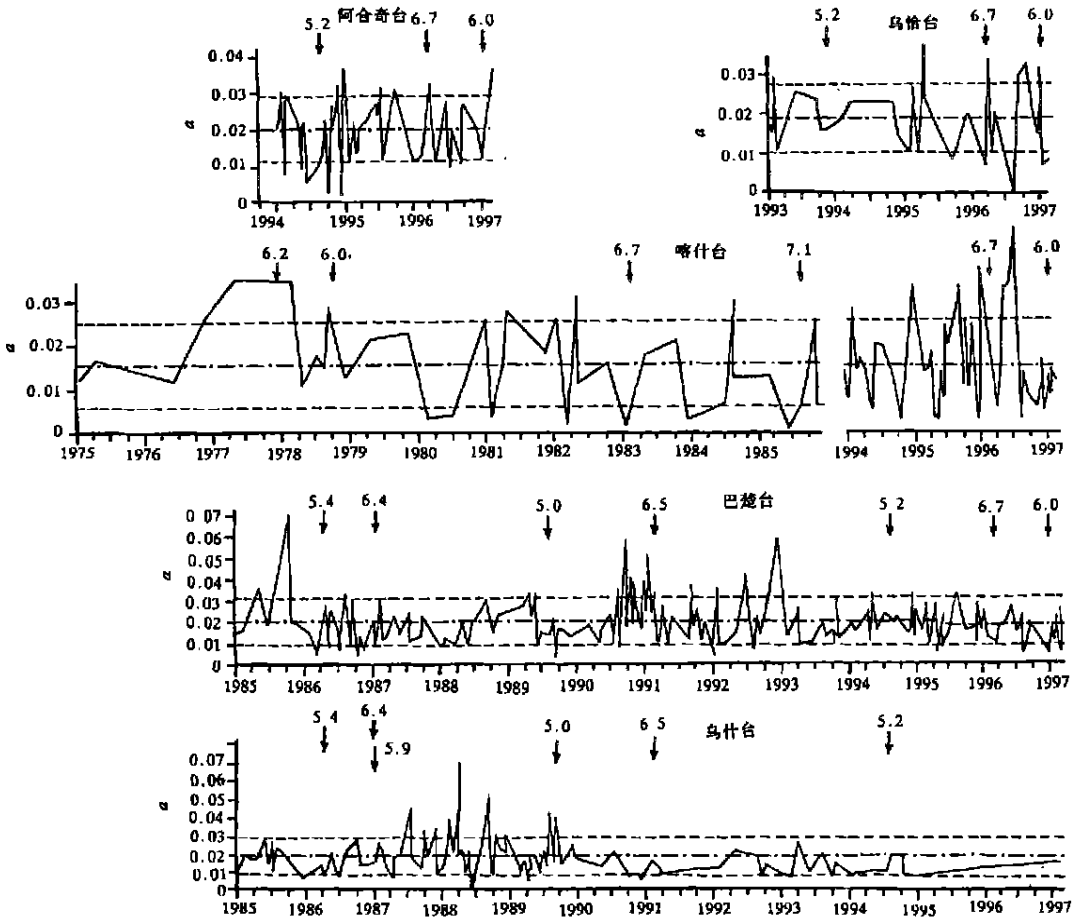


图4 地震波尾波衰减系数时序图

Fig. 4 The of time sequence of attenuation coefficient of coda wave.

并采取了数据点低于均值且至少两个点低于 2 倍均方差的方法避免单一点对异常判定的影响. 相同的标准也使用在振幅比及尾波衰减系数分析中. 但最佳的方法是时序与空间图像的联合分析.

4.2.2 强震前地震波参数的多次异常起伏

我们注意到台站位置相近的乌恰和喀什台 1994 年 10 月到 1995 年 4 月振幅比曲线先后表现出趋势性低值, 但附近地区并未有目标地震与其相呼应, 1995 年 9 月至 1996 年 1 月以及 1996 年 9 至 10 月两台再次先后出现异常, 说明伽师地震前(相当于发生了一次 7 级地震)这一地区的应力场经历了 3 次调整过程. 强震前地震前兆经历 3 次起伏加剧具有普适性, 而各台前兆起伏加剧同时出现表明震源区即将失稳^[5]. 1985 年乌恰地震前喀什台振幅比曲线也经历了 3 次起伏加剧过程.

4.2.3 分析中存在的问题

多数震例表明震前地震波参数呈现低值, 地震发生在曲线回返之后, 但 1977 年 6.2 级地震却发生在喀什台振幅比低值异常发展过程中, 而 1978 年 6.0 级地震则发生在曲线回返之后, 这两次地震震级相当距离相当, 表明后一地震的异常过程可能叠加在前一地震中. 我们不易将二者的异常时间区别开, 而这将影响后续地震的判定.

表 2 各台地震波参数与地震的对应情况

| 台站 | 异常时间 | | | 对应地震 | | |
|-----|------------------|-----------------|-----------------|------------|-----|-----|
| | 振幅比 | 尾波持续时间比 | 尾波衰减系数 | 发震时间 | 震级 | 地点 |
| 乌恰 | 1993-09~10 | 1993-02~03 | 无 | 1993-12-01 | 6.2 | 乌恰 |
| | 1995-09~10 | 1995-08~09 | 1995-08~10 | 1996-03-19 | 6.7 | 阿图什 |
| | 1996-09~10 | 1996-05~07 | 无 | 1997-01-21 | 6.0 | 伽师 |
| | 1995-01~02 | | | 无 | | |
| | 1977-02~12 | 1976-10~1977-04 | 无 | 1977-12-19 | 6.2 | 西克尔 |
| | 1977-02~12 | 1977-12~1978-04 | 无 | 1978-10-08 | 6.0 | 乌恰 |
| 喀什 | 1982-09~12 | 1982-11~1983-02 | 无 | 1983-02-13 | 6.7 | 乌恰 |
| | 1984-11~1985-08 | 1984-08~1985-03 | 1984-08~1985-08 | 1985-08-23 | 7.1 | 乌恰 |
| | 无 | 1995-06~1995-07 | 无 | 1996-03-19 | 6.7 | 阿图什 |
| | 无 | 无 | 无 | 1997-01-21 | 6.0 | 伽师 |
| | 1994-11~1995-01 | 1979-03~08 | 1980-02~09 | 无 | | |
| | 1978-09~1979-02 | 1979-12~1980-06 | | 无 | | |
| 巴楚 | 1985-09* | 1985-01~1985-04 | 1985-10~1986-04 | 1986-04-26 | 5.4 | 西克尔 |
| | 1986-08~10* | 1986-11~1987-01 | 1986-10~1987-01 | 1987-01-24 | 6.4 | 乌什 |
| | 1989-05~07 | 无 | 无 | 1989-07-21 | 5.0 | 柯坪 |
| | 1990-06~08* | 1990-04~09 | 无 | 1991-02-25 | 6.5 | 柯坪 |
| | 无 | 1994-02~04 | 无 | 1994-08-23 | 5.2 | 柯坪 |
| | 1995-12~1996-03* | 1995-09~1996-01 | 无 | 1996-03-19 | 6.7 | 阿图什 |
| | 1996-08~1997-01* | 1996-04~05 | 无 | 1997-01-21 | 6.0 | 伽师 |
| | 1992-11~1993-01* | 1991-04~05 | 1987-10~1988-04 | 无 | | |
| 阿合奇 | 1994-06~08* | 无 | 无 | 1994-08-23 | 5.2 | 柯坪 |
| | 1994-09* | 1995-04~1995-07 | | 无 | | |
| | 1995-09~1996-02* | 1995-11~1996-03 | 无 | 1996-03-19 | 6.7 | 阿图什 |
| | 无 | 1995-03~1996-08 | 无 | 1997-01-21 | 6.0 | 伽师 |
| 乌什 | 无 | 无 | 无 | 1986-04-26 | 5.4 | 西克尔 |
| | 1986-12~1987-01 | 1986-07~1987-01 | 无 | 1987-01-06 | 5.9 | 汗峰 |
| | 1986-12~1987-01 | 1986-07~1987-01 | 无 | 1987-01-24 | 6.4 | 乌什 |
| | 1988-07~1989-03* | 无 | 无 | 1989-07-21 | 5.0 | 柯坪 |
| | 无 | 1989-04~1990-09 | 1990-10~12 | 1991-02-25 | 6.5 | 柯坪 |
| | 1993-11~1994-01 | 无 | 1994-08-23 | 5.2 | 柯坪 | |

注: * 突跳

表 3 地震波参数效能评价

| 台站 | 效能评价 | | | 均值 | | |
|-----|---------|-------------|-----|---------|--------|--|
| | 振幅比 R | 尾波持续时间比 R | 振幅比 | 尾波持续时间比 | 尾波衰减系数 | |
| 乌恰 | 0.50 | 0.63* | 2.2 | 1.32 | 0.018 | |
| 喀什 | 0.35 | 0.39* | 2.0 | 0.87 | 0.016 | |
| 巴楚 | 0.42 | 0.28 | 3.4 | 0.98 | 0.018 | |
| 阿合奇 | 0.17 | 0.17 | 4.2 | 1.15 | 0.021 | |
| 乌什 | 0.28 | 0.23 | 2.0 | 1.19 | 0.020 | |

注: * 为通过了具有 97% 置信水平的 R 值检验

表4 地震波参数异常时间与距离及震级的关系

| 发震时间 | 震级 | 地点 | 震中距 | | | 乌恰 | | | 震中距 | | | 喀什 | | | 震中距 | | | 巴楚 | | | 震中距 | | | 阿合奇 | | | 震中距 | | | 乌什 | | | | | |
|------------|-----|-----|-----|---|--------|----|-----|----|--------|----|-----|----|--------|---|-----|---|--------|----|-----|---|--------|---|-----|-----|--------|-----|-----|---|--------|----|---|---|---|---|---|
| | | | /km | A | τ | a | /km | A | τ | a | /km | A | τ | a | /km | A | τ | a | /km | A | τ | a | /km | A | τ | a | /km | A | τ | a | | | | | |
| 1985-08-23 | 7.1 | 乌恰 | — | — | — | — | 36 | 10 | 8 | 13 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 1997-01-21 | 6.0 | 伽师 | 150 | 2 | 3 | / | 84 | / | / | / | 152 | * | 2 | / | 186 | / | 6 | / | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| 1983-02-13 | 6.7 | 乌恰 | — | — | — | — | 96 | 4 | 4 | / | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| 1996-03-19 | 6.7 | 阿图什 | 126 | 2 | 2 | 3 | 96 | / | 2 | / | 168 | * | 5 | / | 162 | * | 4 | / | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| 1991-02-25 | 6.5 | 柯坪 | — | — | — | — | — | — | — | — | 90 | * | 6 | / | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 102 | / | 6 | 3 | — | — | — | — | | |
| 1987-01-24 | 6.4 | 乌什 | — | — | — | — | — | — | — | — | 196 | * | 3 | 4 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 30 | 2 | 7 | / | — | — | — | — | | |
| 1977-12-19 | 6.2 | 西克尔 | — | — | — | — | 132 | 11 | 7 | / | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| 1993-12-01 | 6.2 | 乌恰 | 66 | 2 | 2 | / | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| 1978-10-08 | 6.0 | 乌恰 | — | — | — | — | 100 | 11 | 5 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| 1987-01-06 | 5.9 | 汗峰 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| 1986-04-26 | 5.4 | 西克尔 | — | — | — | — | — | — | — | — | 126 | * | 4 | 7 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 1994-08-23 | 5.2 | 柯坪 | — | — | — | — | — | — | — | — | 48 | / | 3 | / | 102 | * | / | / | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 1989-07-21 | 5.0 | 柯坪 | — | — | — | — | — | — | — | — | 120 | 3 | / | / | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |

* 突跳; / 无异常; A 代表振幅比; τ 代表尾波持续时间比; a 代表尾波衰减系数

[参考文献]

[1] 冯德益. 地震波速异常[M]. 地震出版社, 1981. 186—219.
 [2] 国家地震局科技监测司. 地震学专辑[C]. 北京: 学术书刊出版社, 1989. 395—408.
 [3] 夏玉胜. 尾波持续时间比 τ_H/τ_V 在强震短临预报中的应用[J]. 西北地震学报, 1992, 14(3): 1—12.
 [4] 王筱荣. 利用地震波参数进行地震预报的新探索[J]. 高原地震, 1999, 11(3): 49—57.
 [5] 王筱荣. 新疆南天山部分地区尾波衰减特征[J]. 内陆地震, 1999, 5(2): 132—137.
 [6] 秦保燕. 共和地震前兆起伏加剧的层次性与大震的跟踪预报[J]. 西北地震学报, 1995, 17(3): 1—9.

PRECURSOR RECOGNITION AND PREDICTION INDEXES FOR THE PARAMETER ANOMALY OF SEISMIC WAVE FOR WESTERN OF SOUTH TIANSHAN IN XINJIANG AND EVALUATION FOR THEIR PREDICTION EFFICIENCY

WANG Xiao-rong

(Seismological Bureau of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830011, China)

Abstract: The information of seismic wave in south Tianshan is analyzed systematically by using records of 49 years on 5 stations, extracted anomalous criterion and prediction indexes, and R evaluation are given.

Key words: Xinjiang; Parameter of seismic wave; Precursor recognition; Prediction index; Efficiency evaluation