

国际地震预报现状 讨论会译文集

(1991. 10. 15—18, 法国斯特拉斯堡)

何永年 等译 冯树文 王晓萍 等校

地震出版社

1993

国际地震预报现状 讨论会译文集

(1991.10.15-18, 法国斯特拉斯堡)

何永年 等译 冯树文 王晓萍 等校

地震出版社

1993

(京)新登字 095 号

内 容 提 要

本译文集是“欧洲地震预防和预报中心”主办的,于 1991 年 10 月在法国斯特拉斯堡召开的“国际地震预报现状讨论会”上宣读的部分论文的译文。重点收集了美国、前苏联、日本、德国、法国、土耳其、意大利、希腊、西班牙、奥地利、冰岛、保加利亚等十几个国家的地震学者在地震活动性及有关理论、地球化学和地下水、地球物理学、地震科学研究等方面的综合报告 33 篇。

国际地震预报现状讨论会译文集

(1991.10.15-18,法国斯特拉斯堡)

何永年 等译 冯树文 王晓萍 等校

责任编辑:冯树文 陈尚平

*

地震出版社 出版发行

北京民族学院南路 9 号

中国地质大学轻印刷厂印刷

*

787×1092 1/16 12.5 印张 320 千字

1993 年 11 月第一版 1993 年 11 月第一次印刷

印数 001—600

ISBN 7-5028-1034-X/P·624

(1427) 定价: 8.50 元

序 言

由“欧洲地震预防和预报中心”发起主办的“国际地震预报现状讨论会”于1991年10月15日至18日在法国斯特拉斯堡举行。来自21个国家的150多名专家学者及管理决策人员参加了此次会议。我局派出了以国家地震局何永年副局长为团长的代表团一行五位专家参加了会议；代表团各位成员在会上作了具有中国特色的地震预报研究方面的学术报告，引起了与会代表的关注和重视。

此次会议围绕地震预报问题安排了7个专题进行交流和讨论。7个专题是：1. 地震活动性及有关理论；2. 地球化学和地下水；3. 地球物理学；4. 综合报告；5. 地壳形变；6. 地震预报的评价和战略；7. 地震的社会和经济影响。各国代表围绕这7个专题重点交流了各自地震预报的现状，并就地震预报的思路、途径、理论与方法、动向与后效等开展了较为广泛深入的讨论。大会旗帜鲜明地表达了地震科学家对实现地震预报这一地球科学重大目标的决心。也可以说，这是一次鼓舞和激励地震科学家增强对地震预报的信心和士气的群英会，既看到了地震预报的未来，又正视着在攻克地震预报难关的征途上所面临的难题。

地震是全球性的灾难，不分国界。要解决地震预报问题和最大限度地减轻地震灾害，需要各国政府和地震专家们的共同努力和密切合作。各国在地震研究方面所积累的文明成果和取得的微小进展，通过互相学习交流，互相取长补短，这有助于推进全球地震预报研究工作的深入开展，使地震预报研究取得突破性的进展。

此次国际地震预报现状讨论会集各多震国家的地震英才于一堂，共商攻克这一难关的方法和途径。与会专家的各种思路和意见，必将对我国同行有所启发和借鉴。希望本文集能作为他山之石，而受益于更多的国内同行。

国家地震局国际合作司

1993年7月20日

目 录

国际地震预报讨论会：学科发展现状	(1)
用人工智能技术监测地震活动性	(5)
大地震发生前后微震参数的时间变化	(11)
意大利前兆地震活动图象的稳定性和中期地震预报的可行性	(19)
孤立震群对地震前兆研究的重要性	(28)
中期地震预报算法：十年回顾和现时可能性	(33)
前震分维随时间的前兆性变化	(43)
强地震和前兆地震活动性图象的规律性：简明评论	(48)
希腊预测烈度的模式	(54)
西班牙东南部大震时空分布	(58)
在距震源多远的地方能观测到地电前兆	(63)
作为地震前兆的剪切波分裂过程中的时间变化	(70)
监测震前的应力变化：关于确定性预报的可能性	(76)
根据希腊北部 VAN 台站最大 SES 记录的一次虚报	(79)
土耳其穆杜尔努谷活动地震实验场地震信号随时间的变化	(83)
地球物理前兆——技术现状	(91)
为构造与地震预报研究服务的沿海伦尼克弧的微重力观测	(96)
土耳其穆杜尔努谷的重力复测	(103)
地形与地震构造	(108)
弗留利（意大利东北）地震区的长期应变变化	(112)
地震预报研究中的地壳变形——评述	(118)
由局部倾斜和井水位资料求区域应变积累：一种新方法	(120)
一种可能的地震前兆：意大利井水位变化资料的统计分析	(130)
奥地利泉水中氡浓度连续观测与地震发生关系的可能性分析	(133)

氦测量——保加利亚一种可能的地震前兆	(141)
地下水氦的时空异常：土耳其—德国地震预报联合研究规划的成果	(146)
加州帕克菲尔德和美国地震预报计划	(152)
安纳托利亚西北部土耳其—德国地震预报研究：多学科方法研究应力场 ...	(156)
日本的地震预报计划	(163)
苏联的地震预报研究	(170)
南冰岛低地计划：南冰岛低地地震预报的背景和前景	(171)
不同类型的地震预报和它们对地震减灾策略的作用	(181)
区域地球动力学综合方法与地震预报	(187)

国际地震预报讨论会：学科发展现状

(斯特拉斯堡, 1991 年 10 月 15—18 日)

结 论

1. 学科发展现状

会上宣读的学术报告以及所开展的讨论都清楚地表明, 地震预报研究正在迅速发展, 但是我们还远未达到在有限的时间范围内提供确定性的或高概率的预报这一目标。人们强调, 科学家不应该隐瞒消极的预报结果, 而应受到鼓励, 积极发表这些结果, 以便促进对地震发生过程的全面了解。

目前, 短期预报的概率较低。然而地球科学的发展已达到对预报较大时间范围内(几年至几十年)的地震有较大的把握和较高概率的水平。

人们普遍认为, 如果根据各种前兆现象的观测、对比和解释来预报地震, 则预报地震的能力将会大大提高。如果传感器同时记录到不同的前兆, 诸如: 地震活动性变化、地震波各向异性、各种地球物理场、地面变形、地下水位变化、岩石和岩石流体内的物理和化学成分变化的测量, 则资料的获取和对比分析就便利多了。所以除了全球性的研究之外, 建议在试验场实施多学科的综合地震预报计划。某些观测必须采用井下仪器进行。应建立多种学科的综合预报试验场, 以便集中开展地震预报研究的协调和合作活动, 并对预报结果和方法进行反复检验。

特别重视利用空间技术获取大量密集性地壳形变资料。必须研究将这种具有区域和全球特点的高密度资料与记录多学科活动的地方地面台网的结果有效地结合起来的方法。

还必须指出, 地震目录对于中长期预报是必不可少的, 这就要求加强参量数据的收集、标准化和质量评估。虽然地震参数是能够得到的最普通的数据, 但还应注意关于形变和震源等方面的数据。

另一方面, 根据物理-数学模式所作的预测显然是有希望的, 需要诸如随机范畴和非线性动力学的新方法, 这特别适用于地震活动性图像异常的识别。

会上, 与会者还指出, 进一步发展与时间相关的地震活动性模型及有关的观测, 特别是结合用概率方法研究的地震活动性图像及其它地球物理观测是很实用的。

2. 地震预报的类型和地震安全政策

更准确地说, 根据规定的警报时间, 地震预报可分为长期预报、中期预报和短期预报。这种划分除了其学术意义外, 也是必要的, 因为各种预报的预期效益和影响亦不相同。另一方面, 上述各类型的预报均会引起政府和公众的不同反应, 因此, 地方和国家当局应根据不同类型的预报制定相应的策略。

会上有一些论文介绍了主要根据强震发生的规律和地震活动性图像作出的中长期预报。

会上还介绍了根据地震、地球物理、大地测量、地球化学、水文地质前兆现象的确定和评估,运用模式识别方法研究地震活动性的定量变化的尝试情况,这种尝试适用于中期预报。

中长期预报为政府对有关地区提出系统而周密的对策提供了机会,这些对策是全国防灾计划的组成部分。

然而,某些广大地区中长期预报的发布可能会导致某些消极后果,包括至少在某种程度上降低财产价值和生产率,以及对旅游业的影响,引起公众的忧虑及减少投资。

关于短期预报问题,不同学科(地震、地球物理、地球化学等)的作者介绍了许多地震前兆现象。所有的论文都分析研究了许多证据,这些现象的复杂性是显而易见的。这进一步证实,虽然国际上已在野外做了许多工作,但短期或准确的预报仍是一个非常难以达到的目标。国际地震学与地球内部物理学协会评估分会进行前兆评估的方法表明了根据前兆现象进行预报的可能性。

然而,根据在一个地震预报试验场内集中进行的实验研究,对某些短期预报方法进行评估似乎是很有意义的。

有根据的短期预报使我们能够通过从不安全的房屋中撤离,切断煤气和输油管道,关闭原子能发电厂,存放好放射性和有毒物品,限制危险道路和桥梁的交通,并向消防和抢救队发出警报等措施来挽救人类的生命并减少财产损失。

一次短期预报的发布产生的消极影响是不可避免的,某些学术报告也强调了这一点。这些影响可归纳为心理影响(恐惧感、紧张感);次生影响(火灾事故,抢劫,心脏病发作,病人死亡,公用事业、发电站和通讯系统等遭受破坏)。

3. 建议

根据各国和国际上正在实施的计划和其它研究工作所显示的对地震预报的共同兴趣(如 EPOCH 社区计划,联合国教科文组织的巴尔干计划, HEXAGONALE 计划, WEGENER 计划,北欧人的 SIL 计划,等等),为了使正在各试验场(冰岛、希腊、意大利、土耳其、高加索、加尔姆地区、吉尔吉斯等)开展的多学科实验和专门实验更有价值,出席 1991 年 10 月 15—18 日在斯特拉斯堡召开的“国际地震预报预报现状讨论会”的代表们强调有必要充分利用设备齐全的试验场,以便促进多国合作,及对先进的多学科方法的应用;建议建立以地震预报为目的的信息网,以便有效地改进信息交流和数据交换,目的是:

- (1) 保证与此有关的数据(专用数据库)的收集、存贮和检索;
- (2) 促进存贮数据人员对数据进行分析 and 解释(包括用基本算法所做的标准化和处理);
- (3) 促进最新数据的快速交换,以使数据分析的速度加快并多样化。

与会者最后建议,负责起草的特别工作组在 6 个月内与国家研究机构和适当的欧洲地球物理机构共同就改进试验场和建立地震预报信息网提出建议(包括财政要求),并提交给严重自然灾害与技术灾害预防、抗御及救灾组织的官员们,供他们与其它有关的欧洲和

国际机构合作，就欧洲地震预报研究计划作出决策。

4. 关于欧洲地震预报的道德规范

4.1 序言

如果地震预报的信息不以限定科学和社会之间关系的各种道德标准为基础的话，则这种信息会对社会产生惊人的冲击。错误的震情会引起社会、心理、政治、经济等方面的后果，造成社会恐慌和紧张，导致公众对科学家和公共当局的不信任。

从事地震预报工作的科学家们专业行为的关键是诚实正直。他们必须面向公众、面向公共当局、面向新闻媒介、面向其雇主及同行，以自己的良知、责任与奉献精神从事工作，并用他们的专门知识为人类造福。

当一个科学家通过研究和工作而作出一次地震预报时，他有责任做到：

- (1) 与其他科学家一道检验他用以预报地震的科学数据和方法是否恰当；
- (2) 告知他所属或为之工作的科技机构的高级官员。

科学家有责任通过预知的渠道，使自己的预报引起自己为之工作的国家当局的注意。

科学家不应通过不合适的渠道把预报意见告知新闻媒介或公众，除非他被授权或公共当局要求他这么做。

4.2 欧洲地震预报咨询评定委员会

如果需要和可能，建议成立地震预报领域的国家级评定委员会。

下述机构可与欧洲地震预报咨询评定委员会接触：

- (1) 尚未成立国家评定委员会的国家政府当局，或要求与之联系的机构；
- (2) 为了得到其公正观点的国家评定委员会。

在任何情况下，都不应将欧洲地震预报评定委员会视为一个发布官方事实的机构，而应视为一个负责表明观点，包括表明对它自己的理解和判断能力的怀疑程度的正式机构。不能让该委员会代替国家评定委员会或国内当局，后者不论他们所得情报的质量如何，都必须有所决策。

欧洲咨询评定委员会最多将由 15 名科学家组成，他们由欧洲地震委员会（ISC）与国际大地测量与地球物理联合会（IUGG）及欧洲其它专门学术机构协商后推荐，为了给欧洲咨询评定委员会提供意见，将拟订一份顾问名单。

欧洲咨询评定委员会秘书处的工作将由部分开放协议的执行秘书处承担，并受到部分开放协议欧洲中心的顾问们的大力支持，并与欧洲地震委员会密切合作。

欧洲咨询评定委员会成员的连任期限为 6 年。成员更换将在中期进行，即每 3 年进行一次。

4.3 科学家对外国的预报行为

科学家为之工作的国家政府当局有责任通知外国政府当局。

根据序言中规定的道德规范科学家预报某国将发生一次地震，该国政府当局有责任将该预报意见告知公众和新闻媒介。

4.4 关于实验阶段 5 年试验周期的建议

实验性即意味着该系统将在专门时间内进行试验，在试验期结束时将提出评论意见，发表试验结果。在做相应的变动后，将用同样的方法和同样的参考术语采纳该实验系统。

4.5 实施办法及相应的措施

(1) 在 1991 年 10 月 15—18 日在斯特拉斯堡召开的“国际地震预报现状讨论会”上，科学家们通过了欧洲地震预报的职业道德规范。

(2) 欧洲理事会部分开放协议的部长们通过了欧洲道德规范的实施办法，并建立了欧洲地震预报咨询评定委员会及其内部规章。

(3) 在欧洲范围内开展欧洲和各国家机构间有关地震防御、监测和预报方面的信息交流活动。

在公共当局努力提高防震效果，科学家们努力开拓新的震情通报道德规范的同时，还必须通过指导公众当灾害来临时该怎么做，以及进行灾害模拟演习等，使公众担负起更多的集体和个人的责任。

公共当局必须：

(1) 根据欧洲咨询评定委员会基于短期、中期和长期地震预报的观点提出的意见，发起一项公众教育和信息交流计划，以减少震害的突发效应，并因此而减少可能会明显增大灾害后果的不恰当行为的产生。

(2) 制订和实施抗震设防和保护政策。

(张春艳译，顾 平校)

用人工智能技术监测地震活动性

Marco Cattaneo

(意大利热那亚大学地球科学系)

Claudio Chiaruttini

(意大利的里斯雅大学大地测量和地球物理研究所)

1. 引言

监视迁移性的地震破坏是一项需要科学家和当局合作的活动。发出地震警报后，当局需要进行充分的科学估计，而科学实验室则献身于进一步的研究，而不为日常分析的负担所困扰。

人工智能技术 (AI) 能对这种合作做出重要贡献。它提供了日常分析的工具，并且工作得象真正的地震学家一样好。

在过去二十年中，知识库系统 (亦称专家系统) 在许多领域中的工作如人类专家一样好。例如医学诊断，找矿，投资计划等 (见 Fros, 1986 年的回顾)。专家系统作为合作者，它能负责最繁重的任务，例如，处理大量的资料，或者充分地检查所有假定的一致性。它们也能将专家知识传播到极其广泛的用户手里。

我们在这里提出一个规划，它旨在建立一个地震台网分析器，用来解释微震台网所采集的资料 (Chiaruttini 等, 1989; Roberto 和 Chiaruttini, 1919)。

该领域中的研究很活跃，最近一个专家系统投入运行，用来对 NORESS 型微震台网所记录的资料作常规分析。该台网的设计是用来侦察核爆炸的 (Bache 等人, 1990)。Toksoz 等人 (1990) 已经建立了一个专家系统来发布警报：几十秒内有较大地震发生。

其他则是在不同的、附加的人工智能技术的基础上完成的。Joswig (1990)，Kluinpen 和 Joswig (1991) 在图象处理技术和地震模式识别确定判断基础上引入了地震图和震相检测器。Roberto 等人 (1990) 和 Bonnin 等人 (1991) 将 Syntactic 模式识别应用到地震讯号上。

2. 地震监测问题

众所周知，地震不是独立发生的，其间存在着时空上的相互关联。地震活动时空的成团性，震中迁移，活动和平静交替发生是最有希望的地震前兆 (Mogi, 1985)。

由于岩石圈的非线性属性 (Kcilis-Borok, 1990)，地震之间的相互作用和迁移发生在很大的时间、空间范围内。这意味着，为了能够预报在地球某一特定区域中的破坏性地震，我们必须记录相当长时间，较大范围内的地震活动。不仅是强震资料，有关的小震资料也是必要的 (Kagan 和 DnopoIT, 1977, 1987)。

当检测能力的阈值下降时，地震观测面临着所记录的地震数量急剧增加的状况。这就有可能充分满足地震学家及时分析的需要。显然，延迟几个月的分析结果对地震预报是没

有用处的。因此，自动检测和地震定量分析在现今是一项标准化的实际工作。

一般的自动系统获取初至和震中定位的能力是可以接受的 (Cattanco 和 Augliera, 1990); 但对其后的震相解释是很不确切的, 自动化的这一缺陷大大降低了地震报告的质量。

3. 用人工智能技术模拟地震知识

通用系统的局限性是很容易理解的, 只要我们考虑到它们是以数字计算为基础的, 因而只用了程序性的知识。这是一种特殊类型的知识, 用这种知识, 实际是用乘法规则产生的两个数字的乘积或者用 (波) 在弹性介质中两点之间的走时来估算震源的。程序性编程的可塑性有限是一特点, 其缺点是程序是按指令顺序进行的。

同其他领域里的专家一样, 地震学家能够以有限的计算结果了解讯号。对于一个熟练的分析家而言, 看一下记录通常就能估计出震中区、震级和事件性质 (地震还是爆破)。数字计算仅在分析的最后阶段需要, 来解决模糊性和获取精确参数的估算。

专家们的推断主要以定量和启发式推理为基础, 定量地推理性地处理项目、符号和不确切的数字信息之间的关系。举例如下:

- (1) 一个地方性地震的地震图是由震相 P_g 及其后面的震相 S_g 组成的。
- (2) 假如一个地震发生在台网内, 那么它的位置靠近第一个记录到它的那个台站。
- (3) 对于地方性地震, $S-P$ 时差的秒数乘以 7 大约等于以 km 为单位的震中距。
- (4) 同一地震的同一震相, 在两个台站的到时差不可能超过该震相走过这两个台站之间这段距离所用的时间 (可比较性条件)。

启发性知识是在年资料分析实践中得到的。震源、射线路径、记录场地等, 所有这些都留在记录上, 从而可能成为解释线索。众所周知, 例如, 熟练的分析者常常能从简单的波形来鉴定远震的震中区。

用专家系统, 地震专家能立刻排除噪声, 而将注意力集中到资料最有关的部分, 得到对讯号的粗略估计和事件本质并尽可能做出驱动推理性过程的解释模式。在下述分析中, 假设的条件既被确认过, 又被精练过或修改过其中的不相容性。

另一个重要的不同点是, 程序性系统局限于按照一个固定的操作流程进行, 而人类专家则不需要事先确定程序, 而是运用他们的知识, 以资料具体的特征为基础进行分析 (Chiaruttini 和 Roberto, 1988)。

人工智能技术研制了一种描述知识的工具。一些最广泛应用的技术是产生规则, 语意网络和框架 (Barr 和 Feigenbaum, 1982)。用这些手段, 很容易为我们这一节中所处理的知识进行编码。已经研制出来的编程序和执行控制的技术避免了程序性途径的缺陷。

在专家系统中, 知识是用确定性形式来描述的。于是提供了证明用自然语言推理是正确的可能性。其方式如下:

- (1) 系统很友好, 用户不需要知道知识工程;
- (2) 系统不是黑盒子, 用户能充分了解其工作方式;
- (3) 很容易判断出错误的解释, 这为扩充和修改知识库提供了线索。

这个系统能用来训练非专家用户。

4. 系统结构

地震台网分析器的结构以检验可容性问题的黑板模式为基础 (Englmore 和 Morgan, 1988)。图 1 表示了黑板系统的总框架。解释工作是通过一组模块 (知识源, KS 的有机协作进行的。这些模块在执行基本任务中被细分成几个部分。KS 构成了系统的知识库, KS 与黑板相通。黑板即临时数据库, 它用于储存数据、新发展起来的观点及与特定事件相关的所有信息。我们能够想象, KS 是一组专家, 他们在黑板之前解决了问题, 而且把他们的结论写在黑板上。

KS 可执行不同的业务: 由讯号到符号的转变 (例如, 检拾到时, 赋予震相符号和数字属性), 逻辑推理, 程序性计算, 解释的扩充和精细化, 假设的证实, 撤消错误猜测等。

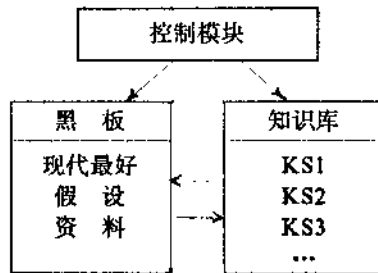


图 1 黑板系统框图

KS 由两部分组成: 启动和执行。启动部分阅读黑板, 并在适当条件下启动执行部分。

KS 独立地起作用, 它们相互不访问, 但在必要条件满足时, 进入执行阶段。作为一个例子, 我们的系统有一个 KS 估计事件的参数。当检拾到第一批震相到达时, 找出震相与用第三节定义的含义相兼容, 它就启动。因此, 编程序的核心是执行所需要的条件, 而不是程序的执行顺序。

不只一个 KS 同时启动的情况经常发生, 控制模块负责解决这一问题。出于解释的目的, 选择一个所预期的对分析能给出最相关贡献的来执行。恢复协作的隐含, 控制模块就像讨论会的领导者一样协调合作。

5. 标准地震台网分析器 SNA2

一个标准的地震台网分析器 (SNA2) 的运行对地震记录作了初步分析, 尽管该分析器对基本事件特征的描述是近似的, 但是可用它来解释地震图而且是相容的。Chiaruttini 等 (1989), Chiaruttini (1991), Roberto 和 Chiaruttini (1991) 给出了有关这种仪器的全面说明。输入资料是由九个短周期传感器所组成的微震台网的单分量扫描。

SNA2 的功能如下:

- (1) 检测信号并将地震图形和噪声、爆破区分开来;
- (2) 将地震图和事件按三个等级进行分类;
- (3) 按事件的距离分成地方震, 区域震, 远震;
- (4) 检测 P 波初至;

(5) 估计震中和震级:

(6) 用自然语言进行判断和逐步的推理, 由 11 个 KS 做的这些工作表现了逻辑推理和数字计算的两种功能。

SNA2 的战略包括两层意思, 首先, 给出假设的合理性和关于超出假设范围的修正; 第二, 优先推断全球事物 (如地震事件) 的详细情况 (如震相)。用这种方法, 只有当分析具有坚实的基础时, 系统才进入新发现事件中去, 并用整套记录来解释讯号的详细情况。下一步, 首先进入清晰地震图分析, 并形成一定积累, 从而解释不太清晰的讯号。这样帮助解决在弱讯号中存在的许多模糊的东西。

知识是由事件等级、产生规则和过程所表示的。用产生系统 OPS5 语言写出了 SNA2 的控制和推理模块 (Brownston 等, 1985)。数字计算是用 FORTRAN 77 编写的。图形是用 C 语言编写的。

6. 结果检验

用位于意大利东北部和西北部两个不同地震台网所采集的资料作检验, 其中包括了所有范围内的地震, 从地方性地震一直到远震。结果表明系统的解释与专家们的解释对 85-90% 的事件是一致的。误差主要来自信噪比低的地震图。

两个检验台网之间的最重要差别是噪声。意大利西北比东北更接近于海洋微震。对东北台网设置较高的检测阈值之后, 两个地区获得几乎完全一样的特性曲线。不必改变知识库, 它有能力处理来自不同组的资料。

SNA2 系统在 2000 机和 VAX3100 机的数字台站上运行, 具有 VMS 操作系统。在记录预处理中消除尖峰信号, 并将基线定于零处。按记录清晰程度, 分析一个事件取 45—90 秒。含有噪声的爆破记录在 10 秒钟就被排除。

图 2 给出了由意大利西北台网 (Carranco 和 Augoicra, 1990) 所记录到的一次地震的分析情况, 这个例子显示了 SNA2 执行的某些详情及其工作方式。

图 2 的右上部是关于在 ROB 台记到的第一个到时的推理的合理性。跟踪的第一个扫描 (记录上 1 秒长的一段) 正确地检测了在 ROB 台的地震图 (Chiaruttini, 1991), 由于噪声的轻度不稳定性, 错误地把第一个到时定在 8 秒。因为这个事件经分类后属于地方震, 作出了震相的一个假设, 其类型是 P_g 。检测出 STV (18.7 秒) 处定时的不一致性, 且 ROB 震相被错认, 是由于有一个很低的讯噪比。从其他地震图的前后关系中确定了一个可期望的到时窗, 并由频率范围检测区扫描 (Roberto 和 Chiaruttini, 1991)。改正的震相时间接近于 25 秒。

此例显示了 SNA2 中令人注意的震源控制: 随着记录的细微增加进行多次扫描, 只对精选的讯号间隔才用时间耗费算法 (像频率范围检测器)。迄今为止, 分析是粗略的: 时间误差定在一秒之内, 地震位置误差定在 20km 范围内 (由快速算法, 根据第一到时顺序算出, Anderson, 1981; Roberto 和 Chiaruttini, 1991)。然而, 该系统能了解在记录中所含有的信息, 而且解释也是一致的。从此, 直接用数字程序进行精确定时和定位。

我们已经展示了专家系统提供的有价值的工具。它能把地震学家从日常资料分析中解放出来, 让他们致力于尚未解决的地震灾害迁移的科学问题。

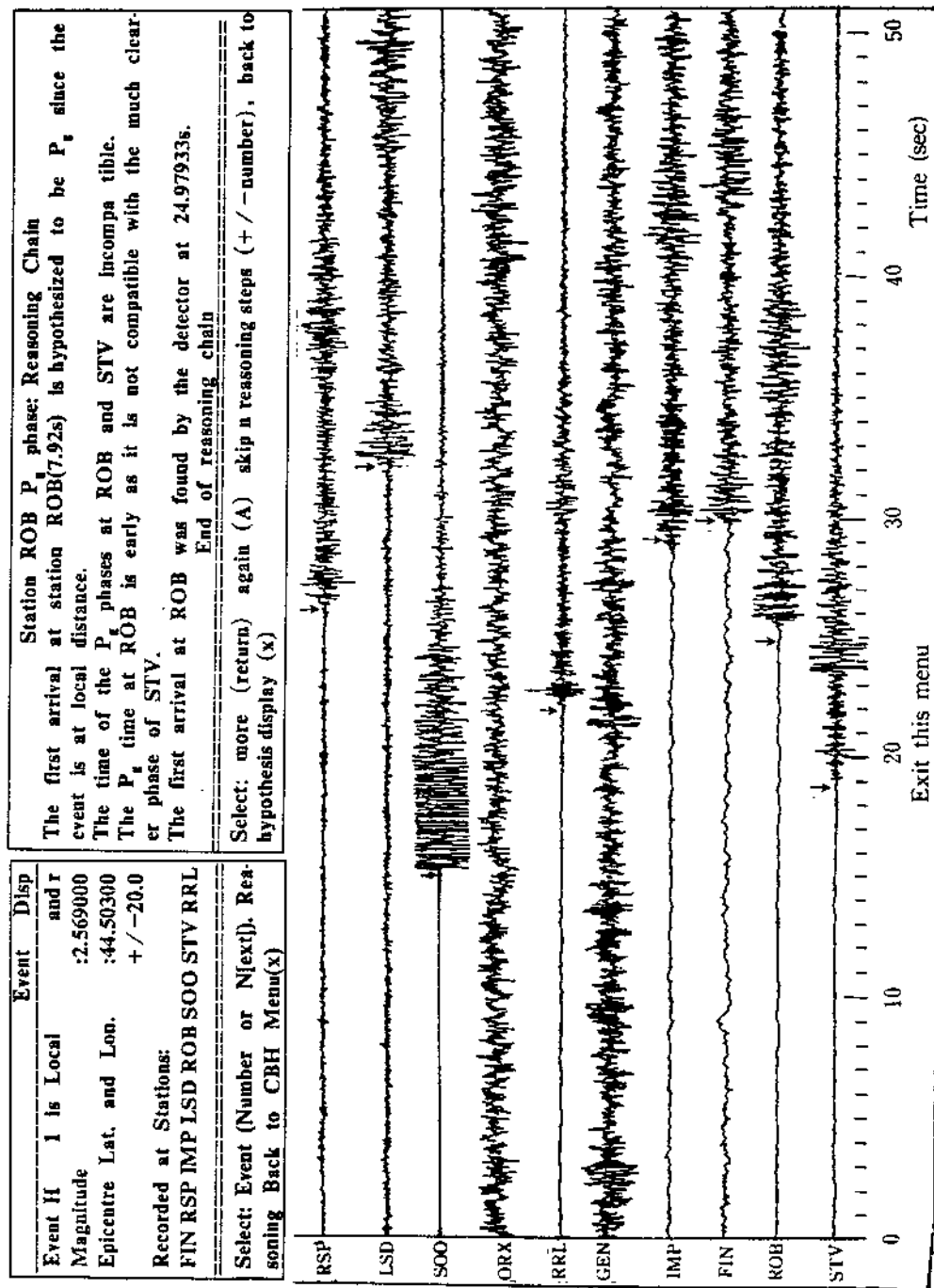


图2 SNA2 显示的硬拷贝。在图的左上方显示了事件标志，图的右上方显示了震相推理链，图中的箭头表示由系统所检索到的 P_s 震相的大约时间

具有资料库管理系统、地震算法程序库和图形用户接口的专家系统的组合能对地震研究提供一个有效的环境。如图 3 中所示的地震工作站可做如下的事情：

- (1) 自动分析由一个台网所采集的资料；
- (2) 能提供一个方便的环境来评价对所选择事件的工作和分析的情况；
- (3) 将新数据存入由地震目录、波形程序库和推理判断所组成的数据库中。

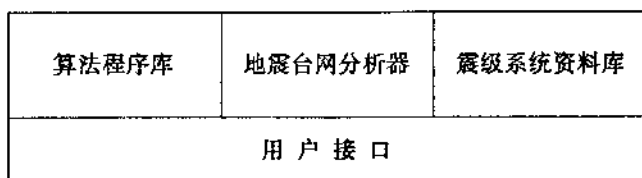


图 3 地震工作站框图

如果将该工作站和开放台站的其他观测台站相联结的话，将最好地证明它的真实性。当相关的事件发生在监测区域内，该系统能与其他中心相连接，以肯定和证实分析工作。在这种情况下，可以验证发布自动地震警报的可能性。

(马秀芳译，陈运泰 冯树文校)

大地震发生前后微震参数的时间变化

Artur Cichowicz

(南非威特沃特斯兰德大学)

1. 引言

在南非深部的金矿作业引发了大量的地震。本项工作的目标是分析震级为-3到-1的微震物理参数的时间变化,以寻找0.5级以上地震的前兆。大量短期前兆可作为天然地震的前兆指标。

天然地震和诱发地震活动性之间既有差别又有相似性。由于开矿时提取含金矿脉和有规律地使用炸药而扰动了应力,薄层状的倾斜矿脉宽约1米,而现有回采而长度可能由30米到数百米。回采工作面掘进率是有变化的。

2. 方法

2.1 计算微震参数的方法

用一个联机的数字程序进行微震物理参数的估算,处理一次微震大约用6秒钟。该程序估算地震矩,地震能量,拐角频率,动力应力降,S波尾波 Q 值以及P波偏振度(degree of polarization)。前4个参数描述微震震源,而后两个参数则描述岩石的特点。

震源参数是用微震谱的积分法自动地、客观地得到的(Andrews, 1986)。积分上限可以是大于拐角频率的任何有限频率。唯一的限制是它必须小于奈奎斯特频率。这后一项限制的理由是高频噪声会改变积分值。

2.2 尾波 Q 值

大地震前后尾波 Q 值的时间变化已有多次报道,两个实例是Jin和Aki(1986)以及Sato(1988)的工作。所报道的研究基于尾波持续时间和 $1/Q_{\text{尾波}}$ 的测量这两类分析。其中某些报道表明,主震前散射和衰减度都随时间增大。Aki和Chouet(1975)以及Sato(1977)建立了单个各向同性散射并且散射体均匀分布的尾波能量密度模型。因回采工作面的环境而对尾波能量密度的最初模型做了些修正,回采面处散射体被限制在一个特定的体积内(Cichowicz和Green, 1989),于是有关系式:

$$E(t) = W_0 g_0 G(t) \exp(-2\pi f t / Q_{\text{尾波}}) \quad (1)$$

$$\text{及} \quad G(t) = \frac{1}{8\pi r^2 t_n} \ln \frac{t_n + W_2}{t_n - W_2} - \ln \frac{t_n + W_1}{t_n - W_1} \quad (2)$$

这里: $E(t)$ 是能量密度, W_0 是S波震源能量, g_0 是总散射系数, f 是频率, Q 是尾波 Q 值,是描述尾波衰减的现象学参数, $t_n = t/t_0$, t_0 是S波走时, W_1 和 W_2 是定义包含散射体在内的介质体积的参数。

2.3 偏振度

隐含在这一参数背后的主要思想是,在一种非均匀介质中传播的地震信号中大量脉冲