

中国地震学会第五次学术大会 论文摘要集

庆祝中国地震学会成立十五周年
(1979—1994)

中国地震学会 编辑

地震出版社 出版

中国地震学会第五次学术大会 论文摘要集

庆祝中国地震学会成立十五周年
(1979—1994)

主 编 丁国瑜

副主编 陈运泰 梅世蓉

马 瑾 许绍燮

中国地震学会 编辑
地震出版社 出版

1994

(京)新登号 095 号

中国地震学会第五次学术大会
论文摘要集

丁国瑜 主编

责任编辑:吕苑苑 顾玲

*

地震出版社出版发行

北京民族学院南路9号

文兴胶印厂印刷

*

787×1092 1/16 12.25印张 357千字

1994年12月第一版 1994年12月第一次印刷

印数:001-400

ISBN 7-5028-0470-6/P·302

(858) 定价:30.5元

前 言

中国地震学会成立于 1979 年 11 月。十五年来,中国的地震学研究,无论是在数量上,还是在质量上,均有长足的发展。为了庆祝中国地震学会成立十五周年,交流研究成果,促进地震研究繁荣,中国地震学会将于 1994 年 12 月 11 日至 15 日在北京召开第五次学术大会。

这次大会共收到论文 175 篇,涵盖了地震学的大多数领域,从地震预测研究、地震研究、地震观测与数据处理、构造物理与高温高压岩石力学、地震地质、工程地震、直至历史地震研究以及地震灾害与对策和地震文献与信息学研究。论文的作者既有从事地震科技工作多年的中老年地震专家,也有一些在地震科研工作中,表现突出的青年地震科技工作者。我们热忱地希望,通过这次大会的学术交流活动的,能够检阅近年来我国地震研究工作所取得的进展,推动地震学各分支学科之间、以及地震学与其他学科的交叉渗透,促进我国地震科技研究工作在深度和广度上的发展,为认识地震、减轻地震灾害,为国民经济的发展,做出更大的贡献。

《中国地震学会第五次学术大会
论文摘要集》编委会

《中国地震学会第五次学术大会 论文摘要集》编委会

主 编 丁国瑜

副主编 陈运泰 梅世蓉
马 瑾 许绍燮

编 委 孙其政 邹其嘉 庄灿涛 金 严
李学良 丁梦麟 吴雪芳 曹学峰
孙君秀 赵和平 钱 静 郝记川

责任编辑 吕苑苑 顾 玲

目 录

地震预报

算法复杂性与地震预报的研究	韩渭宾 等 (1)
复杂构造应力扰动场的数值模拟——兼论场源关系	马 瑾 等 (2)
前震活动特征及其识别的研究	朱传镇 等 (3)
地震波在地震短临跟踪预报中的应用	冯德益 等 (4)
华北北部地震前兆场时空演化模型的研究	冯德益 等 (5)
地震的构造前兆和震源前兆	张肇诚 等 (7)
研究“源兆”的若干问题及途径	王贵宣 等 (8)
近期 1—3 年强震危险性的层次分析	李海华 吴德珍 (9)
中国大陆及其邻区浅源强震的空间分布不均匀性和地震力学研究	傅征祥 等 (10)
用蕴震系统图象动力学研究地壳形变场现今演化	周硕恩 等 (11)
公里尺度地震预报实验的一些结果	郑治真 刘万琴 (13)
伴随岩石破裂的 VLF MF HF VHF 电磁辐射特征的研究	钱书清 等 (15)
地震序列的有序度及多分形特征的研究	王琳瑛 舒 曦 (16)
四川地区微观短临前兆与综合地震预报的研究	程万正 (17)
强震前地震活动 3 种有预报意义的“平静”异常	孙加林 曹井泉 (18)
试论地震预报研究——是经验论性的抑或是确定论性的	王六桥 (19)
北京磁测与宝坻地震的预测研究	詹志佳 等 (20)
唐山地震地电阻率各向异性度 S 变化特征研究	毛桐恩 等 (21)
板内孕震的重要动力环境因子——壳幔结构比 R 值	毛桐恩 姚家榴 (22)
板内塑性流动波的能量分布及其对震源发震概率的影响	王绳祖 张宗淳 (23)
断层运动与地震孕育的关系之研究	吴 云 等 (24)
华北地壳结构与地震	嘉世旭 刘昌铨 (26)
用单键群方法研究青藏高原地震的空间群集特征	胡 强 周蕙兰 (27)
青海祁连托来 6.0 级地震的 MT 重复测量预测研究	张云琳 等 (28)
论东南沿海地震区(带)的现代构造应力场	魏柏林 等 (29)
逾渗与岩石破裂——计算机研究	彭自正 王殚业 (30)
震源成核与前震序列分析方法研究	左兆荣 等 (31)
介休、连云港地区地震时间序列的增量方差法分形	刘长海 (32)
赫兹接触问题的断裂力学解及其在下侵震源模型中的意义	李世愚 (33)
地震前兆场的演化过程与地震预报	郑熙铭 (34)
影响地震孕育过程的两类热弹性理论的准静态问题	赵永安 (35)
短期、短临及临震震情追踪预报方法及机理的研究	马兴国 王勤彩 (36)
对地震预报的认识	马兴国 (37)

地震系列及其在地震预报中的应用	蒋明先 陈晓发 (38)
地震发生的空间环境及影响研究	刘德富 黎令仪 (39)
地形变与地震预报探讨	周友华 (40)
太原 4.3 级和灵石 4.4 级地震前后的重力场变化	李清林 (41)
地震前兆假说——地壳表层特异效应	张治洮 (42)
信息系数 S_D 定义地震预报中视电阻率的监测深度	许秀芬 等 (43)
地震地下水映震能力的再认识	王国英 (44)
地表潮汐应变响应比理论的应用及前兆响应的研究	张雁滨 等 (45)
唐山地震前后区域重力场变化机制	李瑞浩 等 (47)
孔隙水压力测量——一种新的前兆观测方法	苏恺之 等 (47)

地震学

21 世纪地震学的几个研究方向	臧绍先 冯会芙 (48)
地震核查与地震研究	许绍燮 (49)
各国地壳上地幔深地震反射研究计划与进展	梁慧云 (50)
日本海东缘的地震空区	石川有三 (51)
中国大陆强地震时间间隔的概率	李钦祖 等 (52)
周期性、随机性和有序性	徐道一 (53)
四川省境内强地震活动的周期分析与可能发生 7 级以上大震的探讨	沈宗丕 (54)
台湾省东部地区强震活动的周期分析与可能发生 8 级左右大震的探讨	沈宗丕 (55)
1604 年泉州大震区的近期微震重新定位	汪素云 等 (56)
地震震级分布偏离度	严尊国 等 (58)
一个地震活动的分形模型及 D 与 b 值之间关系的初步研究	蒋海昆 刁守中 (59)
用于估计初始剪应力值的地震破裂模式	陈培善 等 (60)
北京地区尾波 Q 值分布特征的研究	马云生 等 (61)
震源和场地特征的尾波研究方法	张天中 等 (62)
地震波衰减机制的研究及其在辽西地区的应用	焦明若 赵 振 (63)
地震波相位谱的物理意义及其应用研究	聂永安 等 (64)
京津唐地区地壳结构与强震的发生	孙若昧 刘福田 (66)
四川盆地西部边缘震区居里等温面与孕震环境的研究	张 先 等 (67)
中国东部陆缘地带的地幔低速层	滕吉文 等 (68)
俯冲带引起的地震波速异常及其推论	臧绍先 宁杰远 (69)
麻粒岩地体的结构-岩石特征及下地壳动力学	张家声 (70)
由斜井钻孔崩落资料反演冀中拗陷应力状态	俞言祥 许忠淮 (71)
裂缝扩展前后波速场变化特征的实验研究	马文涛 马 瑾 (72)
地震次声波	谢金来 谢照华 (74)

观测与数据处理

地质层析成像——监测震前应力状态的新方法	孙次昌 等 (75)
ULF 和 VLF 地震电磁辐射的观测与研究	袁家治 等 (76)
开展南中国海地震观测必要性及其 V-NET 遥测台网技术方案	李海华 等 (77)
数字地震信号处理的几个问题	郑治真 (78)
地震走时数据的空间平均及其方差模拟	左兆荣 吴建平 (80)
关于依据时域曲线特征的采样原理	陈中林 (81)
辅助地震分析预报的一个工具软件	王孝铤 (82)
多波工程地震勘探——TVR 超声综合测强在过江隧道工程中的应用	李于民 (83)
GPS 技术用于中国大陆地壳形变场研究现状	夏治中 (83)

构造物理与高温高压岩石力学

构造物理场的演化过程与地震预报	马 瑾 等 (84)
塑性流动网络与稳态蠕变“幕次-线性”组合流动律	王绳祖 (86)
板块内部塑性流动网络的物理模拟	李建国 等 (87)
岩石变形过程中的非线性行为及其与系统失稳之间的关系	张 流 等 (88)
应力-应变线性组合控制下岩体的失稳行为	张 流 等 (89)
大理岩粘塑性本构模型	陈祖安 等 (89)
蒙脱石的脱水作用对断层摩擦本构行为的影响	马胜利 嶋本利彦 (90)
不同摩擦理论下单自由度系统中刚度对应力降的影响	何昌荣 张 流 (91)
岩石的物理性质与节理变化的关系	田景瑞 (92)
裂缝型储集层定量预测研究方法	宋惠珍 (93)
轮南地区奥陶系灰岩储层裂缝发育的组合单元模型模拟方法研究	孙君秀 宋惠珍 (94)
一定温压条件下含流体砂岩波速实验研究	伍向阳 等 (94)
油田钻井前后地应力分布的模拟计算	刘 洁 等 (95)
轮南地区奥陶系灰岩储层三维构造应力与构造裂缝的数值模拟研究	曾海荣 宋惠珍 (96)
轮南地区奥陶系碳酸岩储集层裂缝密度定量预测研究	黄辅琼 等 (97)
胜利油田地层岩芯三轴抗压强度实验研究	徐济银 等 (98)
高温高压深井钻进模拟井筒的研究	李洪乾 等 (99)
利用镜质体反射率与热传递的非稳定有限元模拟相结合恢复盆地古热史	孙 雄 洪汉净 (100)
华北岩石圈高导低速层成因的实验研究	高 平 等 (101)
高温高压下岩石、矿物波速测量技术的新进展及其应用	高 平 等 (103)
岩石在实验变形过程中声发射系列特征的多样性	赵树清 等 (104)
孔隙水压力对花岗岩摩擦性状的影响	张伯崇 (105)

岩石的水饱和度和对纵、横波速度及衰减的影响	施行觉 等 (107)
橄榄岩和麻粒岩的波速及部分熔融研究	白武明 等 (109)
高温高压下二辉橄榄岩蠕变特性的实验研究	肖晓晖 等 (110)
粘滑、蠕变实验条件下含有层状硅酸盐断层泥和天然断层泥微结构特征的研究	张秉良 等 (111)
高温高压下花岗质岩石部分熔融对变形影响的实验研究	周永胜 等 (112)
花岗岩中钾钠长石相的转变实验与壳内高导层	顾芷娟 等 (113)
地壳运动指标与地震动力学特征	黄秀铭 (114)

地震地质

龙泉山西坡断裂地面断错量初步研究	钱 洪 唐荣昌 (115)
四川活动断裂带的基本特征	唐荣昌 黄祖智 (116)
东亚大陆的地震迁移——从西太平洋海沟到中国大陆内部的地震迁移	赵根模 姚兰予 (117)
福建东南沿海近岸海域断裂的活动性及其研究	丁祥焕 (118)
简单剪切——中国活动构造主要变动机制	王业新 等 (119)
中国大陆现代构造活动特征	汪一鹏 (120)
海南岛地壳深部构造三维重力反演结果及其地震地质意义	赵文俊 等 (121)
根据活动构造和古地震研究评价北天山的地震危险性	邓起东 等 (122)
四川强震发生条件的综合分析	黄祖智 唐荣昌 (123)
强震构造条件分析及其孕震断裂的危险性判定	杨主恩 等 (124)
新疆当前地震危险性的评估	柏美祥 (125)
塔里木盆地深部探测的地质解释	郑剑东 等 (126)
首都圈地区地质地球物理资料数据库	刘力强 等 (127)
大洋热点的潮汐加热机制	池顺良 等 (128)
台湾海峡南部 7.3 级地震的地质构造背景	陈园田 (129)
河北平原地震带地裂缝与地震活动	王景明 倪玉兰 (130)
台湾的板块运动、地震活动性及地震减灾问题研究	任文菊 等 (131)
华北东部地壳中角闪岩变化和地震孕育、发生	顾芷娟 等 (132)
中国地震活动性分区特征	时振梁 等 (133)
1604 年泉州海外 7½ 级大地震发震构造研究	环文林 等 (134)
湖南省五强溪水库地质条件和诱震分析	张玉岫 (135)

工程地震

石油输油管线泵站系统地震危险性估计方法	高孟潭 等 (136)
地震危险性分析中参数的敏感性研究	王 健 高孟潭 (137)
关于地震动衰减关系、不确定性和设防标准的讨论	张天中 等 (138)
海水对海底地震动的影响	聂永安 等 (139)

底层框架与内框架结构震害预测的一种方法	罗奇峰 (141)
地震动持续时间在抗震设计中的应用	陶能付 章在塘 (142)
洛杉矶北岭地震考察及地质构造背景	杨主恩 黄建发 (143)
震害预测中的场地因素调正	苏 刚 等 (144)

历史地震

1833 年西藏聂拉木 8 级地震强度判定	江在雄 (145)
1604 年泉州海外大地震惠安烈度的调查评定	杨玉林 等 (146)
新编中国历史强震目录	吴 戈 刘昌森 (147)
1647 年 5 月 22 日凤阳 5.3 级地震序列	孟宪东 谢 智 (148)
1830 年磁县大地震的序列研究	孟宪东 王文旭 (149)
北宋熙宁元年瀛州大地震	孟宪东 孙松林 (150)
关于新疆有争议的几次历史大震的研究	陈祥玉 (151)
民国初期的 3 次地震科学调查	高继宗 (152)
北魏时期山西的地震记录	齐书勤 (153)

地震灾害与对策

海南省自然灾害与区划	雍幼予 (154)
中国长期地震区划图简介	鄢家全 潘 华 (155)
利用历史地震影响烈度进行地震区划的研究	贾素娟 (155)
强余震的灾害影响	吴开统 (156)
震灾保险新制式的技术思路及其科学论证	巫孟还 等 (157)
云南地震保险的构想	罗荣联 杨光宇 (158)
海城 7.3 级地震灾害及其对社会经济的影响	陈梦初 (159)
珠江三角洲地区房屋建筑地震破坏和地震损失预测研究	尹永年 吴淑筠 (160)
廊坊市地震灾害及对策研究	步克功 田树德 (161)
保险对企业震后恢复的作用	毛国敏 顾建华 (162)

文献与信息学

国家地震局科技文献资源调查分析和合理布局的研究	王洪珍 等 (163)
地球科学文献数据库	梁慧云 梁郑丽 (164)
略谈大地形变测量数据库建立问题	王政祥 (165)
关于地震文献信息系统整体化建设的思考与构想	梁凯利 (166)
《地震科技情报》的社会效益和经济效益	李桂莲 (167)
会议资料刍议	鞠文萍 (167)
谈谈震灾资料的收集利用	王雪芳 (167)
浅谈地震科技文献开发利用的成效与启示	高 珑 宋计娥 (168)
地震科技资料剔旧初探	傅桂华 (168)

发展我国地震科技信息工作的新思路	陈宇卫 等 (168)
努力提高期刊质量为地震科研和防震减灾服务	陈尚平 (169)
各国概况数据库	罗 伟 等 (169)
浅议地震科普报的社会效益和经济效益	田 力 (170)
提高地震信息工作水平适应市场经济发展需求	孙铁珊 (171)
坚持改革、促进地震科技信息工作的发展	刘天铭 (172)
在市场经济条件下科技情报工作要适应新的需求	丁正中 (173)
适应改革开放需要发展地震科技信息服务	郭世凤 (174)
对行业信息数据服务工作改革的一点思考	薛宏交 (174)
剪切波波速资料管理工作初探	董 梅 等 (175)
地震科技档案应纳入科技管理	傅长庄 (175)
社会主义市场经济条件下的图书馆	刘庆斋 (176)
刍议智力资源的开发	唐韵恒 等 (176)

地震预报

算法复杂性与地震预报的研究

韩渭宾^① 江道崇^① 邓建平^① 袁海良^① 洪时中^②

算法复杂性 $C(n)$ 是一种新的描述时间序列复杂性的表征量。汪秉宏 (1992) 把这种方法介绍给中国地震界时指出, 算法复杂性可以用来鉴别地震过程究竟是完全随机的涨落还是受某种决定论动力学规律支配的混沌过程。 $C(n)$ 至少也可以类似于维数、熵和 Lyapunov 指数用作某种前兆的定量刻画。而且, 由于它不要求大量数据, 不要求时间序列的等时性, 特别适用于地震时间序列分析。吕悦军、陆远忠 (1993) 用算法复杂性分析由地震细胞自动机模型产生的地震时间序列的震级分布和空间分布的演化规律, 认为它有可能作为一种研究地震活动演化及地震活动图象的有力工具。

按照 Kolmogorov (1965) 的原始定义, 一个给定的字符串的复杂性度量可由产生这一字符串的最短计算机程序的字节数来表征。Lempel, A. 和 Ziv, J. (1976) 从所有可能的程序中挑出只允许“复制”和“插入”两种操作的一类程序, 计算复制长为 n 的字符串的最短程序的字节数作为算法复杂性 $C(n)$ 。

假设有一个由 0 和 1 两种符号构成的长为 n 的字符串: $S_1S_2\cdots S_r\cdots S_n$ 。如果最前面的一部分 $S_1S_2\cdots S_r$ 已从程序中构造出来, 其最后一位数 S_r 必须作一新的插入。于是问: 字符 S_{r+1} 是否包含在词组 $S_1S_2\cdots S_r$ 的词汇中? 如果回答是, 那么我们就问词组 $S_{r+1}S_{r+2}$ 是否被包含于词组 $S_1S_2\cdots S_{r+1}$ 的词汇中等等。直到发现 S_{r+k} 使词组 $S_{r+1}\cdots S_{r+k}$ 不再被包含于词组 $S_1\cdots S_{r+k-1}$ 的一任一个词汇中为止。这时, 必须对符号 S_{r+k} 作一次新的插入, 在其后加上一。点。 $C(n)$ 就是所有这样插入的点数再加 1。

对于川滇 11 个地震带 (区), 以 1 年为时间窗, 半年为滑动步长, 组成许多时间间隔不相等的时间序列。按 $2.5 \leq M < 3.5$, $3.5 \leq M < 4.5$, 和 $M \geq 4.5$ 分成三档, 变成由三种符号组成的字符串。计算每一个地震带 $C(n)$ 随时间变化曲线及其平均值和均方差线。

规定下列预报规则: ①如 $C(n) > \bar{C}(n) + \sigma_{n-1}$ 或 $C(n) < \bar{C}(n) - \sigma_{n-1}$, 则预报本带下一个半年段可能发生 5 级以上地震; ②若半年过去, 所预报的地震尚未发生, 则可延长预报半年, 直到所预报的地震发生, 或预报期满 3 个半年段, 预报意见自动失效。

预报评分 R 值为 0.20。在这种情况下, 置信度为 97.5% 的区分随机瞎报的临界评分值 $R_0 = 0.13$ 。这说明, 按上述预报规则, 将算法复杂性 $C(n)$ 作为一种预报指标用于川滇 11 个地震带 (区), 可得到略高于随机瞎报的预报评分 R 值, 有一定的研究前景。

将算法复杂性 $C(n)$ 超出 $\bar{C}(n) + \sigma_{n-1}$ 或低于 $\bar{C}(n) - \sigma_{n-1}$ 作为预报将发生 5 级以上地震的一种指标的物理含义是什么呢? 它实际反映, 强震前地震序列中各次地震的震级变化或很剧烈, 或非常微弱。 b 值方法预报地震主要根据强震前一段时间里地震震级分布规律的变化。不强调这些地震的排列顺序。 $C(n)$ 变化则揭示这些地震的震级大小依次变化的复杂性。我们正是根据这种复杂性的变化预报地震。

参考文献

汪秉宏, 地震时间序列的非线性分析 (非线性科学在地震预报中的应用), 北京: 地震出版社, 1992。

① 四川省地震局, 成都, 610041。

② 成都市地震局, 成都, 610015。

复杂构造应力扰动场的数值模拟

—兼论场源关系—

马 瑾 刘力强 马胜利 邓志辉

(国家地震局地质研究所 北京 100029)

在地震前较长时间范围内和相当大的区域范围内往往出现一些异常,临近地震时在震区附近出现一些异常。前者被很多作者称为“中长期前兆”,后者则被称为“短临前兆”。在唐山地震前的异常现象中“中长期前兆”和“短临前兆”不出现在同一地区。与此同时,一些作者把在震前较大范围(也在较长时期中)出现的异常称为“场兆”,而把发震地点附近的异常称为“源兆”。

地震前是否出现前兆归根结底是一个力学问题。一个地点出现异常是由于外界力学条件变化在该地点引起力学扰动造成。这些应力扰动在一些地点可以引起力学失稳,造成地震。在另一些地点则仅仅引起异常。外界力学条件变化可由两种因素引起:其一是外部驱动力的变化,其二是区域内其他构造部位变形力学状态发生变化。这些构造部位可以是区域上的任意构造,也可能是未来的震源。

我们把区域力作用下不同构造部位的基本应力场称为基本场。而把由上述外部因素引起的应力变化量称为扰动场。

自然界存在的不是孤立的典型构造,而是由很多不同构造型式复杂地组合在一起。一条断层带可以由一系列的型阶不同的雁列构造、拐折构造等组成。这些复杂的断层带又可以以不同的间距平行成束。自然界的条件千变万化,我们的研究不能包罗万象。本文侧重研究复杂构造背景下不同原因对不同构造组合型式引起的应力扰动场的差异。主要以雁列组合、雁列-拐折组合为例来加以说明。组合的方式分两种:构造型式间呈串行排列或是呈平行排列。目的在于通过这些研究说明不同构造部位间的相互作用,进而探讨场源关系。为了分析不同阶段异常出现地点不同的原因以及这些异常的分布与未来震源的关系,针对区域应力场增强、部分构造部位弱化、断层开始扩展以至连通的全过程设计计算程序并进行分析。

通过研究发现,在串行排列的复杂雁列组合下,局部断裂扩展造成的扰动场以扩展部位为中心,扰动量随距离而衰减。应力扰动区随扩展后的断层大小而变化。局部断裂的扩展对串行排列的相邻雁列部位也产生应力扰动。扰动量明显高于距离相同无构造存在的部位。这些部位的应力扰动场随它们与扩展部位的雁列类型是否相同而变化。在相邻部位存在型阶相反的雁列时,应力扰动量变小。与扩展断层相邻的雁列区可以形成独立的扩容区和挤压区。

在平行排列的断层束中,一条断层部分段落弱化,可使弱化部位两旁应力上升,但却使平行断层相应部位应力下降。应力扰动区范围随弱化断层段的长度及相邻断层的距离而变化。

通过一束含不同障碍体的平行断层系模拟平行断层系中可能的扰动场。其中有的部位可能反复出现异常,但是它既可能反映同一条断层上的应力变化,也可能反映平行断层上的应力变化。

拐折构造与雁列构造组合以及断块构造组合时应力扰动场则更加复杂。

前震活动特征及其识别的研究

朱传镇 王琳璞 舒 曦 王秀英

(国家地震局地球物理研究所 北京 100081)

前震活动特征及其判别的研究,多年来,一直是国内外地震学者所十分关注的热点,也是难点之一。有效地识别前震,无疑将大大推动地震预测的实用化进程,同时对加大大地震发生物理过程的规律性认识有重要意义。本文侧重于广义前震中区域前兆地震活动的研究,首先分析了近20多年来,华北地区强震和首都圈地区中强震前后地震时间序列和空间分布的多分形特征,计算其广义分维谱 D_∞ 和相应标度指数谱 $f(\alpha)$,以及 D_∞ 随时间的变化,结合岩石大样品破裂实验声发射序列的多分形分析,探讨了高次广义分维谱 D_∞ 变化的物理意义及其应用于地震预测的途径。以地震现象的自组织临界性假说为基础,从多分形和 $1/f$ 功率谱角度探讨了直接前震的某些性质,寻求判别它们的可能指标。

前兆地震活动多分形分析:地震作为地壳中的大规模破裂现象,具有分形特征,即地震的发生在时间、空间和强度上呈现分形结构,近年的研究进一步表明,地震活动的空间分布为非均匀分形。因此,为表征地震活动图象的细结构,及其随时间的变化,必须采用多重分形的分析方法,由此,我们不仅可以描述地震空间分布的几何性质,同时可以了解访问区域任何部分的概率,另一方面,通过地震时空分布多重分形的研究,对建立地震活动复杂系统的动力学方程亦有重要意义。

研究表明:对广义前震活动,在所研究地区地震活动的时空分布上,均具有多分形结构的特征,而与这些地区内是否发生过大地震关系不大。在大地震($M \geq 7.0$)发生前一至半年,地震活动时空分布的高次分维 D_∞ 呈现下降趋势,这种降维特征亦为含水大样品岩石破裂实验所证实。大地震的孕育环境和介质条件,与中强地震孕育环境存在很大差别。现今地壳应力分布的高度不均匀性可能是影响板内大地震孕育和发生过程的本质因素之一。

前震序列的分形和功率谱特征:本研究从地震现象的自组织临界性角度,对直接前震特征做一些探讨。如何从一般的时、空丛集的地震活动中(如震群等),有效地识别出前震序列,从而预测强震的发生,一直被地震学者认为是攻克地震短临预测的“关口”,并为此进行了多方面的研究。我们试图从地震序列的多分形和 $1/f$ 功率谱特征,考察前震序列和一般地震或震群活动可能存在的差异。为此,仍按多重分形的方法,分别计算了直接前震序列,震群和一般主震余震序列的分维谱,给出了部分不同类型地震序列的分维谱。结果表明:直接前震序列与震群或一般主震余震($M_L: 4.5-5.5$)序列相比,似难以从分维谱形态上找出其识别特征。但值得注意的是,前兆震群与一般震群相比 D_∞ 偏低。根据序列震级随时间变化的功率谱衰减特征分析,一般主震余震序列 β 值普遍较低,直接前震的 β 值接近于1,而震群的 β 值分布范围较宽,有些与直接前震较接近,因此,从 $1/f$ 功率谱特征上来看,中等主震型地震序列可以较好的识别出来,但要识别直接前震与震群仍比较困难。不过若将序列的高分维 D_∞ 与 β 值结合起来考虑,也许可以从一般震群中识别出部分前兆震群。

综上所述,前震序列是在地壳介质自组织地演化到一个临界状态下发生的,前震序列在时间分布上呈现多分形结构。对比地震序列功率谱指数特征,可以从一般主震地震活动中大致区分出前震序列,但从震群活动中识别前震则仍较困难。

地震波在地震短临跟踪预报中的应用

冯德益^① 顾瑾平^② 张天中^③ 吴国有^① 陈化然^①

综合研究各种地震指标与方法在地震短临跟踪预报中的应用,主要包括以下三方面内容:地震波运动学特征和动力学特征变化指标在地震短临跟踪预报中的应用研究;尾波特征变化指标在地震短临预报中的应用研究;利用地震波方法探测介质性质和震源参数及其在短临跟踪预报中的应用。

第一项内容的研究结果表明,地震波运动学特征量中的 V_p 、 V_p/V_s 、S 波分裂及动力学特征量中的 P 波时间线性度 r 、空间线性度 a_1 、 a_2 、初始部分平均半周期 T_A 、P、S 波频谱特征量 f_m (或用 f_d 代替)、 f_c 、 f_0 、 Δf 、 S_m/S_0 、 $|b|$ 、P 波振动出射角 e 与方位角 A 以及地脉动的上述动力学特征量均可能作为短期地震预报 (约半年以内) 指标,而地脉动和前震的波形与频谱、极化方向的上述动力学特征量则可能作为临震预报 (9—15 天) 的指标。若将这些指标形成体系并加以综合应用,则可大大提高短临地震预报的效能。

对于重点研究的地震波与地脉动的动力学特征量预报指标,分别用唐山 7.8 级、海城 7.3 级、大同 6.1 级、常熟 5.1 级、松潘 7.2 级、小金 6.6 级、永善 7.1 级、澜沧 7.6 级、龙陵 7.4 级、共和 6.9 级等 10 次大地震和唐山 4.4 级中等地震来分析检验,发现地震前多数指标的异常 (半年以内) 及某些指标的临震异常 (9—15 天以内) 反应较明显。

第二项内容的研究结果表明,尾波的时间熵 S_T 、 Q_c 值及 a_c 、 b_c 、重新定义的尾波振幅比 r_{∞} 、持续时间变化量 $\Delta\tau$ 等均能较好地反映出大震前的短期异常,由 $\Delta\tau$ 的差值变化 $\Delta\tau_s$ 的突跳还可把预报时间推移到震前一个月,并对有无后续强震提供参考意见。研究和检验的震例包括甘肃永登 6.2 级,山西大同 6.1 级,南黄海 6.3 级及江苏地区 5 次 $M>5$ 中强震,对于江苏地区还作了 4 年以上的尾波参量动态追踪 (1989 年 4 月至 1993 年中)。

第三项内容重点研究了北京地区尾波 Q 值的时空分布特征,为北京地区尾波 Q 值的日常检测提供了可靠的分析预报方法和基础性软件,此外,还研究了应力降等震源参数在短期地震预报中的应用。

在所得研究结果的基础上,本文归纳了可用于地震短临预报的地震波指标的优选结果。初步优选出以下地震波特征量作为建立整个测震学预报指标体系的一部分:

(1) 短期预报指标 (半年以内)。①波速比 V_p/V_s (主要根据很多作者多年的研究成果) 及 V_p (可用改进的计算方法); ②地震波波形特征量 r 与 T_A 、 a_1 和 (或) a_2 ; ③地震波频谱特征量 f_c 与 f_m (或 f_0); ④尾波特征量 S_T 、 Q_c 、 a_c 、 b_c 、 r_{∞} 、 $\Delta\tau$ 、 $\Delta\tau_s$ 。

待进一步探索的指标有: ①地脉动的 r 与 T_A 、 a_1 与 a_2 、 f_c 与 f_m (或 f_0); ②振动极化方向 A 、 e ; ③尾波卓越频率 f_0 与主频宽度 Δf 、振幅熵 S_E ; ④震源参数变化。

(2) 临震预报指标 (9—15 天)。主要是地脉动 r 、 T_A 、 a_1 、 a_2 、 f_m 、 f_c 、 f_0 、 Δf 、 S_m/S_0 、 $|b|$ 、 A 、 e 。

待进一步探讨的指标是前震 (包括广义前震) 的波形、频谱、极化方向等各特征量。

最后,本文通过理论分析和实验分析,对孕震过程中地震波特征变化进行了一定的物理解释。

① 天津市地震局,天津,300201。

② 江苏省地震局,南京,310014。

③ 国家地震局地球物理研究所,北京,100081。

华北北部地震前兆场时空演化模型的研究

冯德益^① 舒立德^② 刘喜兰^① 梅世蓉^③

地震前兆时空演化模型的研究对于理解地震前兆的时空分布特征、探讨地震孕育过程与地震预报途径都有重要的意义。地震前兆的时空演化模型可通过震源外围应力场的计算来建立。

考虑含有地表及深部断裂的分层岩石圈模型不对称的加载方式,用长方体形的硬包体、软包体或软—硬包体来模拟孕震区,采用三维有限元法来计算应力场与位移场,以华北北部的唐山7.8级地震孕震区模型为例进行计算,并根据计算结果对唐山地震的前兆场时空演化特征及孕震过程进行了讨论。初步分析研究结果表明,所提出的前兆场时空演化模型比较合理,与实际观测结果基本相符,所介绍的应力场计算方法则有更大的应用前景,可用于更为复杂的理论模型的应力场计算。根据梅世蓉、朱岳清等(1992)的研究结果,可近似选取唐山地区岩石圈与孕震体模型,即含孕震体的岩石块体模型。岩石圈表面及深部某些单元内含有断裂。各层介质(分含断裂与不含断裂两类)的弹性模量 E (杨氏模量)、 γ (泊松比)、 P (容重)已给定。孕震体取3种模型:A硬包体,其内的弹性模量比外围介质增大1/3;B软包体,其内的弹性模量比外围介质减小1/3;C硬—软包体,X方向上最当中的两部分单元为软包体,其余六部分包围它们的单元为凹形硬包体。本文计算时选用了NFE有限元程序中的8节点等参单元。

1 理论模型计算结果分析

使用上述软件得出了不同理论模型的计算结果,包括地面及地下13 km与19 km处的平均应力 σ ,最大剪应力 τ ,平均水平应力 $\sigma_H = 1/2(\sigma_{xx} + \sigma_{yy})$ 及垂直向位移分量 W ,水平向位移矢量等;其中应力以MPa计,位移以 10^{-1} m计。各数据均为相应的经、纬度对应的节点值。可得出以下初步结论:①当介质无断裂及含断裂情况下的应力场与位移场有一定差别。当介质断裂时,应力要减小,位移要增大,这与物理分析结果相符;②当介质内出现包体时,更需要考虑含裂隙的实际介质。例如,在无包体情况下,含断裂与无断裂介质中的垂直位移最多只相差0.05,而在有包体的情况下则最多可相差0.4左右,应力值的差别也如此;③对于所计算的硬包体、软包体、硬—软包体等情况,应力场与位移场计算结果有较大的差异,因而可用于前兆场分析与地震孕育模式判别当中。本文主要考虑两个参量:一是地面位移的垂直分量 W ,它可通过水准测量结果来检验;另一个是地下13 km深处的平均水平应力 σ_H ,它可能与地震活动性及波速异常有关。在本文的计算模型中,应力垂直分量由重力场决定,平均水平应力 σ_H 的分布图象与总的平均应力 σ 的分布图象相同。图中给出含裂隙介质中4种包体模型对应的平均应力 σ 的空间分布。总的特点如下:(a)无包体:研究区中心部位应力呈均匀分布, $\sigma_H = 4-6.5$ MPa,外围 $\sigma_H \leq 2.5$ MPa;(b)软包体:中心部位应力较低,最大为 σ_H (6.5 MPa,且高应力地段呈环形分布,西侧不封闭),应力呈向中心逐渐递减的状态;(c)硬包体:中心部位应力递增,最中心形成一个高应力地段(117.2°—118° E, 40° N),平均水平压应力高达20 MPa以上;(d)硬—软包体:中心部位应力呈粗环状,正中的低应力区较小。

2 几种孕震模式对应的地面形变及测震学前兆标志时空演化特征的理论分析

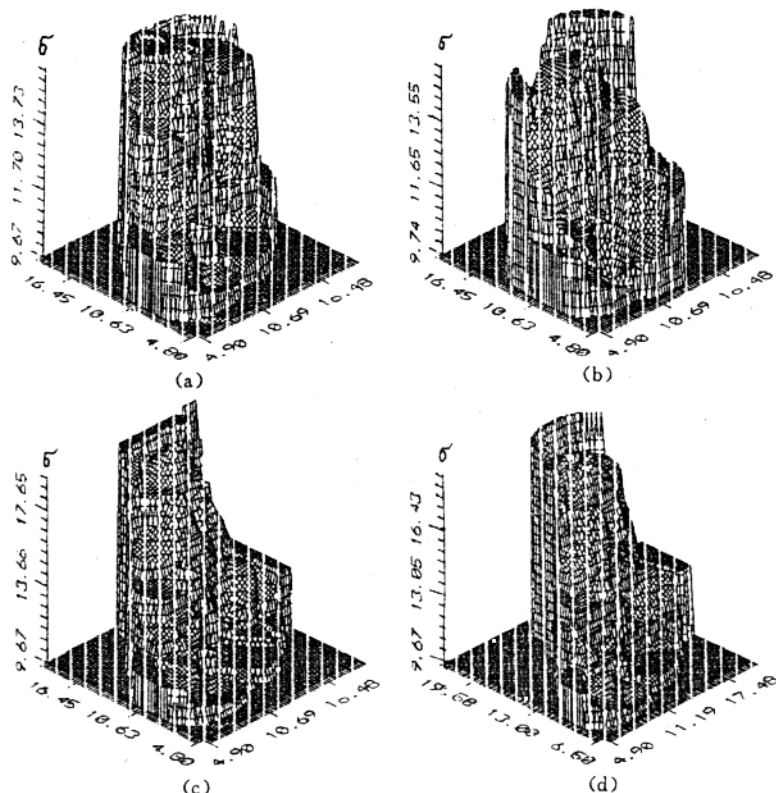
利用上述理论计算结果,将不同的孕震体(“包体”)模型按不同阶段进行排列组合,即可对一些孕震模式对应的地形变及测震学前兆标志的时空演化特征进行理论分析。下面是几个实例。

(1) 岩石膨胀—硬化模式。可近似模拟成以下阶段:无包体、软包体、硬包体。对应的地面形变演化

① 天津市地震局,天津,300201。

② 湖南省计算技术研究所,长沙,410012。

③ 国家地震局分析预报中心,北京,100036。



特征是先下沉再明显隆起,即先下降后回升到更高值,而测震学标志的变化特征是波速比先下降后回升到更高值,小震活动由随机均匀状态形成空区,然后在空区内发生地震。

(2) 雪崩式不稳定裂隙形成(IPE)模式。可近似模拟成以下阶段:无包体、软包体、硬—软包体。地面形变先下降后回升恢复;波速比先下降后回升恢复;小震先形成空区,然后空区缩小。

(3) 岩石膨胀—流体扩散(DD)模式。可近似模拟成以下阶段:无包体、软包体、较硬包体(充满流体后的含裂隙包体,比硬包体软一些)。地面垂直形变及波速比先下降后回升,小震形成空区,此后空区可能消失。

3 唐山地震的孕震模式与前兆时空演化特征

理论分析结果可证实梅世蓉等(1992)首先提出的唐山地震孕育模式——坚固体模式(或称硬包体模式)。该模式认为唐山大地震的孕育过程主要经过了3个大的阶段:

(1) 坚固体存在与发展阶段,震前200年以上,可用硬包体模型来模拟,当中形成一个应力很高的地段,也就是未来大震所发生的地段。此阶段后期地震活动频率可能增强,地面呈现隆起。

(2) 由岩石膨胀、裂隙形成及断层蠕动等引起坚固体软化,约在震前8—10年开始,可用软包体模型模拟。表现为中部地区明显下降,而外围地区微弱上升。波速比呈下降异常,小震形成空区及地震环。

(3) 临震前1—2年孕震体(包体)内的介质再次变硬或一部分变硬,可用较硬的包体或较硬—软包体模型来模拟。中心地区的垂直形变为上升,波速比回升,空区内可能发生地震。

参考文献

- 冯德益,震源外围应力场及地震前兆现象的初步讨论,地震科学研究,1,1982.
张肇诚,中国震例(1976—1980),北京:地震出版社,1990.