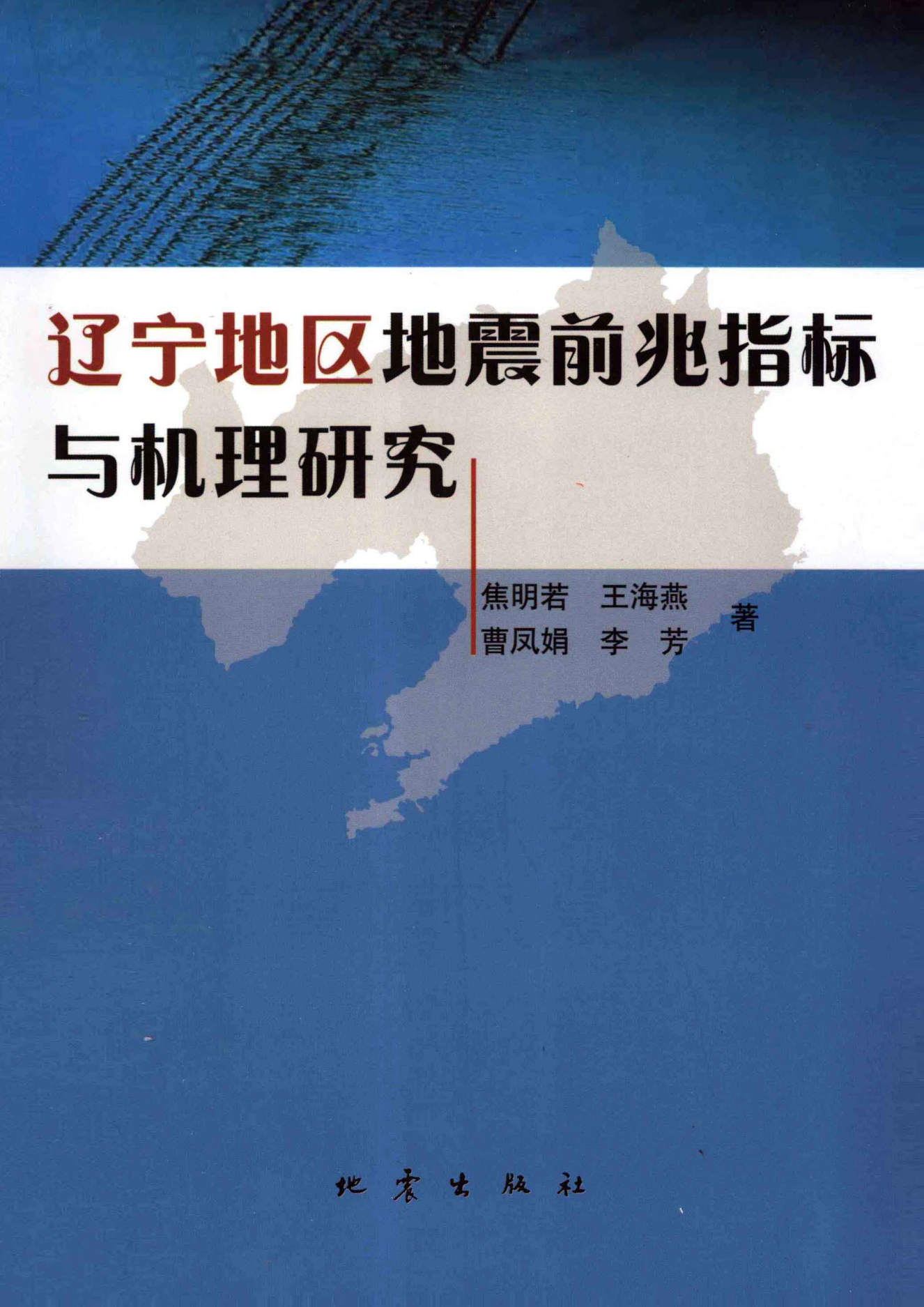




辽宁地区地震前兆指标 与机理研究

焦明若 王海燕 著
曹凤娟 李 芳

地震出版社

辽宁地区地震前兆指标 与机理研究

王 强 王 强
王 强 王 强

■ ■ ■ ■ ■

辽宁地区地震前兆指标与机理研究

焦明若 王海燕 曹凤娟 李 芳 著

地震出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

辽宁地区地震前兆指标与机理研究 / 焦明若等著.

—北京: 地震出版社, 2011.10

ISBN 978-7-5028-3518-7

I. ①辽… II. ①焦… III. ①地震前兆—研究—辽宁省

IV. ①P315.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 149891 号

地震版 XM2397

辽宁地区地震前兆指标与机理研究

焦明若 王海燕 曹凤娟 李 芳 著

责任编辑: 刘晶海

责任校对: 庞亚萍

出版发行: 地震出版社

北京民族学院南路 9 号

邮编: 100081

发行部: 68423031 68467993

传真: 88421706

门市部: 68467991

传真: 68467991

总编室: 68462709 68423029

传真: 68455221

专业图书事业部: 68467982 68721991

网址: <http://www.dzpress.com.cn>

经销: 全国各地新华书店

印刷: 北京鑫丰华彩印有限公司

版 (印) 次: 2011 年 10 月第一版 2011 年 10 月第一次印刷

开本: 787×1092 1/16

字数: 333 千字

印张: 13

印数: 001~500

书号: ISBN 978-7-5028-3518-7/P(4563)

定价: 40.00 元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题, 本社负责调换)

序 言

中国是世界上大陆地震最为频繁、地震灾害最为严重的国家之一，防震减灾工作与社会经济发展和人类生命财产安全息息相关，尤其是地震监测预报工作，是防震减灾工作的重要内容和基础环节，通过成功预报以减轻地震灾害更是地震工作者始终追求的目标。

自 20 世纪 60 年代以来，日本、美国、前苏联、中国等全球主要地震研究国家有计划地开展地震预报研究以来，已走过近半个世纪的艰难历程。虽然所取得的进展与解决地震预报的科学目标之间还存在很大的距离，但半个世纪的地震预报研究与实践及其科学积累为地震预测预报的进一步发展建立了重要的基础。这些基础包括：地震观测系统的建设与发展，震例资料的积累和典型前兆的遴选，地震预报方法和技术的研究，以及孕震模式和预报理论的探索等。

在近半个世纪的艰难历程中，我国地震工作者通过多学科前兆的广泛监测，大量震例与前兆资料的系统积累，对前兆异常及其与地震关系的深入分析，预报方法的研究与检验，以及对孕震过程和前兆机理的探讨，在地震预报上初步总结出一些具有一定物理基础的判别依据和试验性预测指标和方法，形成了长、中、短、临地震预测预报方法和工作思路，并在实践中不断地进行检验和修正。

辽宁的地震工作在我国防震减灾的历程中有着特殊的地位和重大的贡献。1975 年海城 7.3 级地震的成功预报震动了全球地震界。1979 年联合国教科文组织在巴黎召开第一次国际地震预报讨论会上，会议组织委员会主席、新西兰地球物理学家埃维森教授在开幕词中称中国海城地震预报成功是地震科学史上的一个新里程碑。其后，辽宁地震科技工作者又对 1999 年岫岩 5.4 级地震做出了成功预报。这些成果，为地震预报树立了值得颂扬的旗帜。

为发扬成绩，总结经验，辽宁省地震局地震预报研究中心的科技人员作了有益的工作，他们在前人地震分析预报工作、成功预报实例和研究成果的基础上，从辽宁地区区域地质构造和地震活动特征出发，系统分析研究了辽宁地区中强震前各前兆手段以及测震学手段的典型异常特征；研究了地震前兆异常由中期阶段向短临阶段过渡的标志，提

取前兆和测震学科前兆异常短临指标,初步建立了辽宁省中强震综合预报的短临盘踞和方法。利用数值模拟技术,并结合岩石破裂实验对短临前兆异常产生机理进行了初步研究。汇总完成了一个适用于辽宁地区的较为系统、科学的辽宁省中强震综合预报的短临指标判据——《辽宁地区地震前兆指标及机理研究》。为今后辽宁地区的日常预报工作提供应用并在实践中不断检验和改进,也可为其他地区地震分析预报工作提供借鉴。

张国民

2011年1月

前 言

我国是一个地震灾害及其严重的国家,地震预报是全世界公认的科学难题,我国自1966年正是开展地震预报研究和实践,虽然我们曾经有过一些成功预报的喜悦,但多年来我们更多地遭受了预报失败或根本毫无预报的挫折。21世纪以来世界各地发生的一系列灾难性地震,几乎都是在毫无预报的情况下发生的(如汶川8.0和海地7.3级地震),地震预报再次面临新的挑战。随着经济的不断持续发展,对地震预报的社会需求也越来越强烈,而保障人民生命财产安全、减少因地震而导致的各种损失是我们必须承担的责任,这些都需要我们地震工作者坚持不懈的努力。

辽宁省地处华北断块区北部,由辽东断块隆起带、下辽河—辽东湾断块凹陷带及辽西断块隆起带组成。郑庐断裂北延带贯穿辽宁全省,是一条主要的地震活动带。在大地构造分区上,辽宁南部处于华北及东北活动地块交界处,北部处于东北活动地块内。辽宁地区地震活动属于华北地区中等活动水平的地区。区内多数地震的震源深度在10~20km范围内,并且分布在隆起和凹陷的边缘、活动断裂带内的强烈活动地段以及中、新生代凹陷盆地的边缘和深部构造变异带上。历史上辽宁曾成功实现了1975年2月4日海城7.3和1999年11月29日岫岩5.4级地震的短临预报。

本书是在前人的工作经验、辽宁成功预报实例和研究成果的基础上,归纳、编辑、汇总了作者在就读博士期间的研究成果及近几年所负责的“十一五”科技支撑项目、辽宁省科委项目、辽宁省地震局重点项目等的研究成果,从辽宁地区区域地质构造和地震活动特征出发,系统分析研究了辽宁地区中强震前各前兆手段以及测震学手段的典型异常特征;研究地震前兆异常由中期阶段向短临阶段过渡的标志,提取前兆和测震学科前兆异常短临指标,初步建立辽宁省中强震综合预报短临指标体系。利用数值模拟技术,并结合岩石破裂实验方法对短临前兆异常产生机理的进行初步研究。为最终实现地震的时间、地点、强度预测奠定基础。为今后辽宁地区的日常预报工作提供一些有益的认识。本书主要包括以下部分:

第一章根据辽宁地区地震地质背景、历史地震分布,大地震的重复特征、地震活动迁移等区域特征,认为渤海、营口、鸭绿江口、朝阳-义县、普兰店、盖县-熊岳等地,将是潜在发生破坏性地震的地区。

第二章主要从地震学、地球物理学、水文地球动力学和地球化学及宏观异常等方面对地震前兆现象进行了详细的分析,总结了辽宁地区震前中短期前兆特征并对地震前兆复杂性及其成因机理进行了初步探讨。

第三章基于辽宁地区7次典型的中强震(即海城、营口、天摩山、殷栗、彰武、岫岩、巴林左旗),从空间分布和时间进程两方面系统总结了7次震例前映震效果较好

的缺震、频度、 b 值、 η 值、 $A(b)$ 值、 YH 值、 S 值和 Rm 值等测震学指标；同时对辽宁及其邻区发生的 23 个震群作了详细研究，并由此给出了辽宁地区震群序列特征及性质判定方法。

第四章主要对辽宁及邻区中强以上震例进行全面深入分析，寻求震前活动共性和区域性特征以及场兆和源兆的异常对比。总结单项、群体的前兆异常时空强特征，进行预报判据的确定，并提取地震前兆的异常特征和综合信息量。对不同地区，不同类型的地震前兆差异深入研究，综合配套，确定辽宁地区短临预报指标。同时对近年来辽宁开展数字化前兆资料观测应用进行了初步探索。

第五章利用第三章和第四章的研究结果，根据辽宁地区的地质构造与地震活动特点，结合 1970 年以来辽宁地区中强震震例，分辽南和辽蒙交界两个小区分别提炼了中强震预警判据。在此基础上，利用层次分析法，建立了辽宁地区地震震情指标预警模型。

第六章是近年数字资料和地震预报新方法在辽宁地区的应用探索汇编，主要有：震源机制解、尾波振动持续时间比 τ_H/τ_V 、振幅比、波速比、拐角频率异常、地方平太阴时、波谱、应力降和地脉动等在震前显示的短期异常特征研究；新方法包括：区域中小地震视应力的计算方法及应用、应力调制方法在辽宁地震预报中的应用、辽宁地区 $M_L \geq 5.0$ 地震前中等地震集中活动的震兆研究、地震综合信息量 S 值在辽宁及邻近地区中强地震前变化特征研究、剪切波分裂研究、AMR 及精定位等在辽宁地区的应用探索。

第七章主要介绍了部分前兆机理的数值模拟及岩石破裂实验研究，其中包括孕震过程的数值模拟研究——概念模型、前震产生物理机制的数值模拟研究（岩石中不含裂纹）、前震产生的数值模拟研究（岩石含裂纹）、含断层岩石前兆产生机制的数值模拟研究及前兆产生物理机制的岩石破裂实验研究。

全书七章的具体分工是：第一章主要由李芳编写；第二章由焦明若、王海燕编写；第三章由李芳、孙文福编写；第四章由王海燕、王玉莹编写；第五章由曹凤娟编写；第六章由曹凤娟、张萍等编写；第七章由焦明若、王海燕编写。本书在编写过程中，得到钟以章、雷清清等的大力协助，也得到了辽宁省地震局单位领导的大力支持，在此表示衷心感谢。

另外，本书只针对辽宁地区依据现有的观测资料进行了有限的探讨，得到的认识也是阶段性的，因此，本书中观点和结论可能存在很多不完善的方面，甚至错误，真诚欢迎读者批评指正。

焦明若

2010 年 8 月

目 录

第一章 辽宁省地质构造背景及地震活动概况	1
1.1 地质构造背景	1
1.2 地震活动概况	6
1.3 辽宁地区与周边地区地震活动关系分析	7
第二章 地震前兆现象分析及中短期前兆特征研究	14
2.1 地震前兆现象分析	14
2.2 地震中短期前兆基本特征的研究	30
2.3 地震前兆复杂性及其成因机理探讨	37
第三章 辽宁地区中强震前测震学指标研究	48
3.1 测震学指标研究	48
3.2 辽宁地区震群序列特征及性质判定方法	64
第四章 辽宁省前兆学科中短期预测方法研究	78
4.1 前兆资料和分析方法	78
4.2 辽宁震例研究	80
4.3 辽宁地区前兆短临预测指标研究	88
4.4 辽宁数字化前兆观测资料应用探索	90
第五章 辽宁地区中强震预测预警技术研究	98
5.1 研究分区与各区预警判据的提炼	98
5.2 辽宁地区预警等级判断模型的建立	100
5.3 确立辽宁地区中强震预警等级	107
5.4 问题与讨论	108
第六章 数字地震学及地震预报新方法在辽宁地区的应用研究	109
6.1 基于地震波的前兆指标研究	109
6.2 地震预报新方法在辽宁地区的应用探索	126

第七章 前兆机理的数值模拟及岩石破裂实验研究.....160

7.1 孕震过程的数值模拟研究——概念模型.....160

7.2 前震产生物理机制的数值模拟研究——岩石中不含裂纹.....166

7.3 前震产生的数值模拟研究——岩石含裂纹情况.....175

7.4 含断层岩石前兆产生机制的数值模拟研究.....185

7.5 前兆产生物理机制的岩石破裂实验研究.....189

参考文献.....195

第一章 辽宁省地质构造背景及地震活动概况

辽宁地处华北断块区北部，由辽东断块隆起带、下辽河—辽东湾断块凹陷带及辽西断块隆起带组成。历史上辽宁地区发生多次中强震，郯庐断裂北延带贯穿辽宁全省，是一条主要的地震活动带。

1.1 地质构造背景

辽宁属华北断块区，由不同级别的块体和块体间线性接合带镶嵌而成。根据地层、岩石、构造及地球物理特点，辽宁可分为 3 个次级断块，即辽东断块隆起，辽西断块隆起和下辽河断块拗陷。

辽东断隆是一个古老的隆起带，前震旦系变质岩系在区内有着广泛的分布。震旦纪—古生代时期处于振荡运动阶段，瓦房店—大连、太子河流域为浅海盆地，盖县—步云山一带为山间盆地。自奥陶纪以后，全区上升遭受剥蚀。古生代时期经历了断块差异运动，并伴随有大量的岩浆侵入和喷发活动，在局部地区形成了小型的断陷盆地，由于 NE—NNE 向断裂发育形成了一系列北东向断块，这种状况一直延伸到新生代。

辽西断块隆起的古老变质岩系和古生代地层出露很少，而中生代火山岩却广泛分布。NE—NNE 向断裂在区内也很发育，由于这组构造作用使辽西形成了一系列相同排列的 NNE 向隆起带和断陷带，自东而西分为医巫闾山隆起、阜新一锦州断陷、凤凰山—松岭隆起、朝阳—建平断陷、努鲁儿山隆起、凌源断陷。隆起带出露的多半是古老地层，断陷区主要是古生代至中生代海—陆相沉积和火山岩建造，隆起与断陷之间均以断裂为界，如闾山西侧断裂、朝阳—北票断裂、橙岭子—叨尔登断裂等。

下辽河断陷为中、新生代断陷盆地，经历了先断陷后拗陷两个发展阶段。侏罗纪以前，本区与华北断块区为统一的整体。三叠纪以后，由于构造运动形成了一些零星分割的侏罗系盆地。燕山运动为盆地开始形成阶段，喜山运动为盆地的强烈分异阶段。早第三纪时期，在多字形断裂控制下，盆地发生大幅度断陷或下沉，接受了巨厚的第三系沉积。新构造运动时期（新第三纪时期）为盆地整体拗陷时期，堆积了较厚的上第三系和第四系。

省内断裂构造十分发育，按方向可分为 EW 向、NE 向、NNE 向和 NW 向四组。据粗略估计，省内长度大于 5km 的断层大约有 1500 多条，如果按长度进行筛选，长度大于 50km 的断裂只有 40 条左右，其中比较著名的断裂有：EW 向的开原—赤峰断裂、胡家岭—析木断裂；NE 向的营口—佟二堡断裂、太子河断裂、庄河断裂、鸭绿江断裂、浑河断裂；NNE 向断裂有朝阳—北票断裂、金州大断裂；NW 向的有海城河断裂、凌河断裂等。总的说来，EW 向断裂最早产生，反映了区域最老的构造；NE 和 NNE 向断裂最为发育，形成了一系列长条状断块，奠定了区域构造的基本轮廓，NW 向断裂形成最晚，活动最新，它使区域构造面貌复杂化（钟以章、王国新等，1991），见图 1-1。

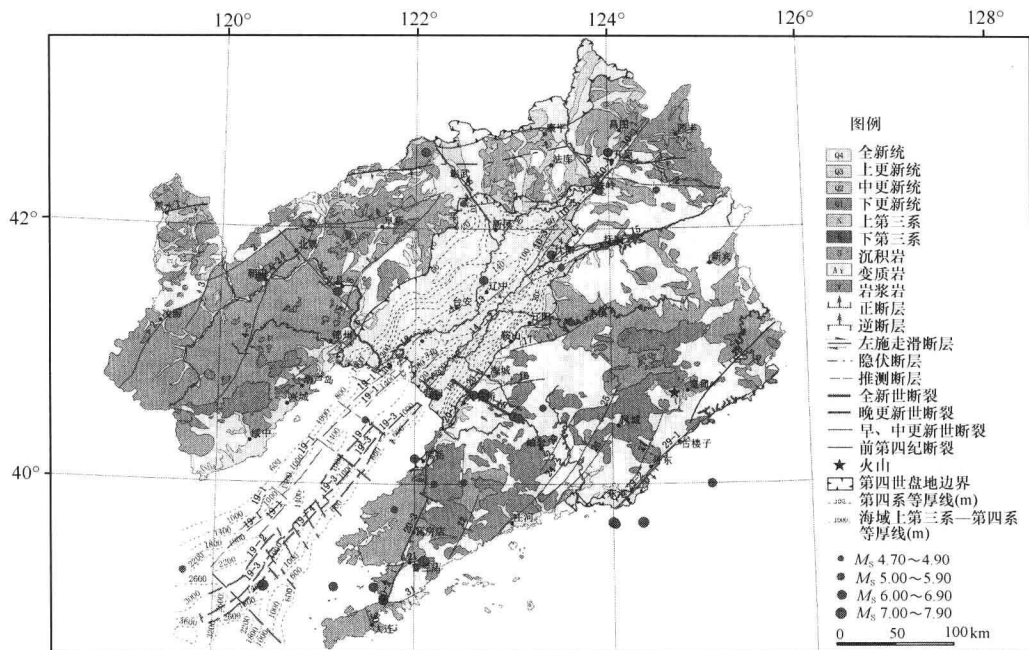


图 1-1 辽宁省地震构造图

如图 1-1，在辽东半岛上，第四纪期间老断裂的复活现象十分明显，并有 10 多条第四纪断裂。但是，从已有的资料来看，属于晚更新世全新世的活动断裂，只有 NE 向的金州断裂、鸭绿江断裂、太子河断裂和 NW 向的熊岳-庄河断裂、海城河-大洋河断裂。WN 向有郯庐断裂带北段的一条分支断裂—NNE 向牛居-油燕沟断裂，还有方向尚未完全确定的析木断裂，这两条断裂均为深部超壳断裂(卢造勋等，1990)，沿上述断裂均有 5.0 级以上地震发生。另外，在辽东半岛上还存在 4 条 NW 向活动构造带，这些构造带同时也是微震活动带，自北而南分别称为海城河-大洋河构造带，九寨-庄河构造带，东岗-普兰店-长海构造带和旅顺构造带。这些 NW 向的微震活动带与沿金州断裂分布的 NNE 向微震活动带相互穿插，构成了辽东半岛上的地震网络，海城—岫岩 5.4 级和 5.1 级地震就正好发生在 NW 向的海城河-大洋河活动构造带上(高长波、钟以章，2000)。

雷清清等依据对断裂出露点的调查，断裂浅埋段的探槽开挖，断裂的地质、地貌形态特征研究，对错切新地层和上覆地层的采样测年，断层泥的采样测年，隐伏断裂的浅层人工地震探测，跨断层钻探研究，小震活动的成团、成带，破坏性地地震震中分布等确定辽宁省共有第四纪以来活动断裂 29 条(表 1-1)，其中全新世断裂 1 条，晚更新世断裂 5 条，早、中更新世断裂 23 条。NE—NEE 向断裂以张扭性右旋正走滑活动为主，规模较大，多期活动，往往控制构造演化和地貌形态，如郯庐断裂辽东湾—下辽河段、沈阳—四平段及金州断裂等；NW 向断裂形迹显示以压扭性左旋走滑活动为主，规模较小，多呈隐伏状态，但活动时代较新，往往构成断续展布的活动构造带，如海城河隐伏断裂为 7.3 级地震的发震构造。北票—义县断裂、柳河断裂、柏家沟—平顶堡断裂均与破坏性地地震分布或现今小震活动条带相关。

表 1-1 辽宁活动断层（段）参数一览表（据雷清清）

序号	断层或段落名称	活动性质	存在状态	产状			长度/km	位置（经纬度）		地震活动	活动时代
				走向	倾向	倾角/(°)		起点/(°)	终点/(°)		
1	赤峰-开原断裂	逆断层	出露、 隐伏	近 EW	S	40~60	500	119.373 42.076	125.076 42.515	1970~2008 年 4 月小震活动微弱	前第四纪
2	凌源-北票-沙河断裂	逆断层	出露、 隐伏	近 EW	N	40~75	500	118.995 40.688	125.165 42.314	1970~2008 年 4 月小震活动微弱	早更新世
3	朱碌科-中三家断裂	逆断层	出露	NE	NW	60~75	70	120.013 41.727	119.648 41.179	1970~2008 年 4 月小震活动微弱	中更新世
4-1	朝阳-北票断裂北段	逆断层	出露	NE	NW	25~50	40	121.133 42.098	120.796 41.796	1970~2008 年 4 月有小震活动	中更新世
4-2	朝阳-北票断裂中段	逆断层	出露	NE	NW	25~50	40	120.796 41.796	120.476 41.683	公元 419 年 5½ 级地震，1970~2008 年 4 月 M _L 1.0~4.9 地震 780 次，呈 NE 向条带分布	晚更新世
4-3	朝阳-北票断裂南段	正断层	出露	NE	SE	60~80	120	120.476 41.683	119.927 40.612	有小震活动	中更新世
5	医巫闾山西侧断裂	正断层	出露	NE	NW	40~80	130	122.253 42.266	121.258 41.311	公元 1698 年 M _S 5 地震，1970~2008 年 4 月有小震活动	中更新世
6	锦州断裂	正断层	出露	NE	NW	50~65	90	121.551 41.299	120.739 40.805	小震活动微弱	中更新世
7	北票-义县断裂	左旋走滑 断层	出露、 隐伏	NW	NE	70~90	100	120.581 41.966	121.414 41.296	公元 1698 年 M _S 5 地震，1970~2008 年 4 月小震活动呈 NNW 向条带分布	中更新世
8	柳河隐伏断裂	左旋走滑 断层	隐伏	NW	NE	75~90	100	122.226 42.625	122.776 42.052	1318 年、1779 年、1988 年分别发生阜新 5 级、哈尔套 5 级、彰武 4.8 级地震，1970~2008 年 4 月小震活动微弱	中更新世
9	柏家沟-平顶堡断裂	左旋走滑 断层	隐伏	NW	NE	40~80	100	123.529 42.702	123.954 42.317	1775 年铁岭 M _S 5.5 地震，1970~2008 年 4 月小震活动微弱	中更新世
10-1	郑庐断裂沈阳-四平段 北段	正断层	出露、 隐伏	NE	SE, NW	40~60	40	124.423 42.867	124.064 42.541		中更新世
10-2	郑庐断裂沈阳-四平段 中段	正断层	出露、 隐伏	NE	SE, NW	40~60	30	124.064 42.541	123.832 42.341	1594 年、1596 年、1775 年、1875 年分别发生 M _S 4¾、M _S 5½、M _S 5½、M _S 4¾ 地震，1970~2008 年 4 月有小震活动	晚更新世
10-3	郑庐断裂沈阳-四平段 南段	正断层	隐伏	NE	SE, NW	40~60	100	123.832 42.341	123.130 41.660	1765 年沈阳发生 5½ 级地震	中更新世

序号	断层或段落名称	活动性质	存在状态	产状			长度/km	位置(经纬度)		地震活动	活动时代
				走向	倾向	倾角/(°)		起点/(°)	终点/(°)		
11	长白乡-观音阁断裂	正断层	出露、 隐伏	NE	NW	65~80	45	123.849 42.032	123.284 41.710	1970~2008年4月小震活动微弱	中更新世
12	台安隐伏断裂	正断层	隐伏	NE	NW	50~60	68	122.475 41.393	121.589 40.901	1970~2008年4月小震活动微弱	早更新世
13	辽中隐伏断裂	正断层	隐伏	NE	SE	60~70	120	123.139 41.649	121.978 40.830	1599年发生 $M_s 4\frac{3}{4}$ 地震	中更新世
14	牛居-油燕沟隐伏断裂	正断层	隐伏	NE	NW	70~80	130	123.195 41.593	122.092 40.715	1859年、1885年在营口附近分别发生 $M_s 5\frac{1}{4}$ 、 $M_s 5$ 地震	中更新世
15	浑河断裂	正断层	出露	NE	NW	70	180	123.190 41.595	125.188 42.207	1970~2008年4月有小震群活动, 主要与煤矿开采空区诱发地震有关	中更新世
16	析木城-胡家岭断裂	正断层	出露	NEE	NW	50~60	65	122.685 40.682	123.318 40.827	1970~2008年4月有小震活动	中更新世
17	太子河断裂	正断层	出露	NE	NW	50~85	90	123.959 41.410	122.967 41.047	1970~2008年4月共发生 $M_L \geq 1.0$ 地震645次, 最大为侵窝1974年 $M_s 4.8$, 以震群活动为主, 略呈NE向条带分布	中更新世
18	海城河隐伏断裂	左旋走 滑断层	隐伏	300°	NE	80~90	70	122.386 40.817	123.101 40.484	1618年、1975年、1999年、2000年分别发生 $M_s 4\frac{3}{4}$ 、 $M_s 7.3$ 、 $M_s 5.4$ 、 $M_s 5.1$ 级地震, 现今小震活动呈密集的NNW向条带分布, 1970~2008年4月共发生 $M_L \geq 1.0$ 地震18400多次, 与海城河隐伏断裂走向一致	全新世
19-1	郑庐断裂辽东湾段隐伏 断裂	正断层	隐伏	NE	SE	50~70	270	121.766 40.913	119.972 39.317	1970~2008年4月小震活动微弱	中更新世
19-2	郑庐断裂辽东湾段隐伏 断裂	正断层	隐伏	NE	NW	50~70	270	121.582 40.456	119.963 39.116	1922年、1970年、1974年分别发生 $M_s 6\frac{1}{2}$ 、 $M_s 4.8$ 、 $M_s 4.7$ 地震, 1970~2008年4月小震活动微弱	晚更新世
19-3	郑庐断裂辽东湾段隐伏 断裂	正断层	隐伏	NE	NW	50~70	270	122.027 40.638	119.896 38.935	1922年、1970年、1974年分别发生 $M_s 6\frac{1}{2}$ 、 $M_s 4.8$ 、 $M_s 4.7$ 地震, 1970~2008年4月小震活动微弱	晚更新世
19-4	郑庐断裂辽东湾段隐伏 断裂	正断层	隐伏	NE	NW	50~70	270	122.063 40.618	119.970 38.896	1922年、1970年、1974年分别发生 $M_s 6\frac{1}{2}$ 、 $M_s 4.8$ 、 $M_s 4.7$ 地震, 1970~2008年4月小震活动微弱	晚更新世

续表

序号	断层或段落名称	活动性质	存在状态	产状			长度/km	位置(经纬度)		地震活动	活动时代
				走向	倾向	倾角/(°)		起点/(°)	终点/(°)		
20-1	金州断裂北段	正断层	出露	15°~30°	NW	40~80	120	122.734 40.904	122.091 39.917	1940年、1970~2008年4月 $M_L \geq 1.0$ 地震1388次,呈NE向密集条带分布	晚更新世
20-2	金州断裂南段	正断层	出露	15°~30°	NW	40~80	100	122.139 39.891	121.720 39.052	1855年、1856年、1861年、1934年、分别发生 $M_S 5\frac{1}{4}$ 、 $M_S 5\frac{1}{4}$ 、 $M_S 6$ 、 $M_S 4\frac{3}{4}$ 、 $M_S 5\frac{3}{4}$ 地震,1970~2008年4月 $M_L \geq 1.0$ 地震190次,不显条带状分布	晚更新世
21	普兰店湾断裂	正断层	出露	EW	N	40~60	40	121.721 39.360	122.082 39.412	11970~2008年4月有小震活动	中更新世
22	皮口断裂	正断层	出露	NNE	SE	60~70	65	122.647 39.925	122.343 39.412	1970~2008年4月小震活动微弱	早更新世
23	红旗营子断裂	正断层	出露	NE	NW	70~85	60	123.636 40.565	123.267 40.102	1970~2008年4月小震活动微弱	中更新世
24	庄河断裂	正断层	出露	NE	SE	60~80	110	123.604 40.303	122.757 39.562	1970~2008年4月有小震群活动	中更新世
25	青堆子断裂	正断层	出露	NE	NW	55~66	120	124.100 40.794	123.304 39.873	1970~2008年4月小震活动微弱	中更新世
26	赫家堡子-辛家窑断裂	正断层	出露	NE	SE	60~80	85	123.998 40.398	123.404 39.821	1970~2008年4月小震活动微弱	中更新世
27	毛甸子-老古沟断裂	正断层	出露	NE	SE	70~75	75	124.526 40.559	124.120 39.971	1970~2008年4月小震活动微弱	中更新世
28	太平哨断裂	正断层	出露	25°~40°	NW	60~80	115	125.684 41.244	124.792 40.470	1970~2008年4月小震活动微弱	前第四纪
29-1	鸭绿江断裂北段	正断层	出露	NE	SE	50~80	130	125.784 40.898	124.434 40.167	1970~2008年4月小震活动微弱	中更新世
29-2	鸭绿江断裂南段	正断层	出露	NE	SE	50~80	55	124.509 40.190	124.007 39.796	1916年、1917年、1944年在鸭绿江口分别发生 $M_S 5.4$ 、 $M_S 6.1$ 、 $M_S 6\frac{1}{4}$ 地震,1970~2008年4月小震活动微弱	晚更新世
30	柞树岚-王家村断裂	正断层	隐伏	NW	NE	40~80	20	121.521 39.042	121.613 38.864	1970~2008年4月小震活动微弱	中更新世
31	大和尚山山前断裂	正断层	出露	NE	SE	60~80	35	121.678 39.102	122.085 39.174	1970~2008年4月小震活动微弱	中更新世

1.2 地震活动概况

1970 年以来, 辽宁地区 2 级以上地震年频次平均为 200 次左右, 3 级以上地震年均均为 36 次, 4 级以上地震年均 3.4 次, 最大地震为 1975 年 2 月 4 日海城 7.3 级 (图 1-2)。地震活动在时间、空间分布上都表现出非均匀特征, 即时间上表现成丛的特征, 空间上表现集中特征。辽宁地区地震主要分布在营-海老震区和张-渤地震带附近。一般来说, 辽西地区地震活动水平低于辽南地区地震活动水平。

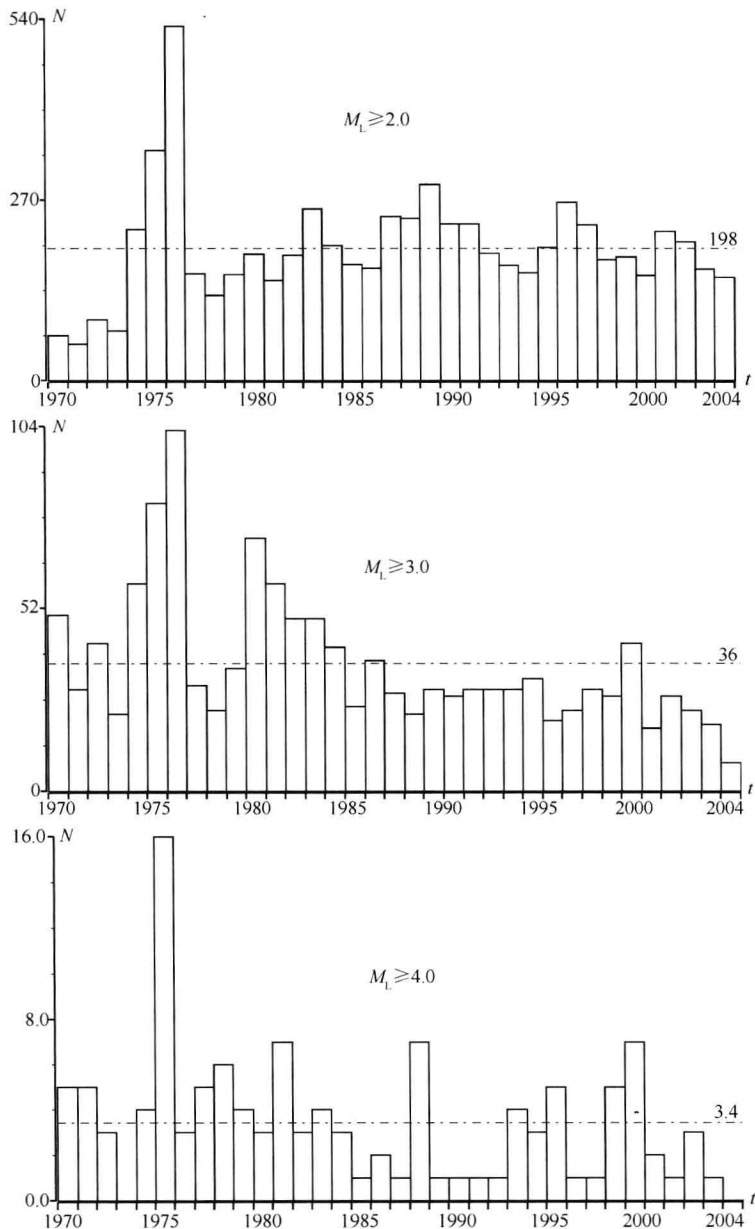


图 1-2 辽宁地区 1970 年以来地震频次图

此外，辽宁海城-岫岩地区中强地震前一般有前震发生，多属于前震—主震—余震型，震前也会出现一定的前兆异常和宏观异常，而辽西地区地震多属于孤立型地震。这可能与区域地震介质结构有关，后面的章节中将会对其继续讨论。

辽宁地处华北断块区北部，由辽东断块隆起带、下辽河-辽东湾断块凹陷带及辽西断块隆起带组成。郯庐断裂北延带贯穿辽宁全省，是一条主要的地震活动带。在大地构造分区上，辽宁南部处于华北及东北活动地块交界处，北部处于东北活动地块内。境内主要断裂为鸭绿江断裂、金州断裂、大洋河-康家岭断裂、太子河断裂、依兰-伊通断裂、密山-敦化断裂、赤峰-开原断裂、松岭-凌原断裂、朝阳-北票断裂及医巫闾山断裂。辽宁地区地震活动属于华北地区中等活动水平的地区。区内多数地震的震源深度在 10~20km 范围内，并且分布在隆起和凹陷的边缘、活动断裂带内的强烈活动地段以及中、新生代断陷盆地的边缘和深部构造变异带上。1975 年海城 7.3 级大地震和 1999 年岫岩 5.4 级地震发生在 NW 向大洋河-康家岭断裂带上（图 1-3）。

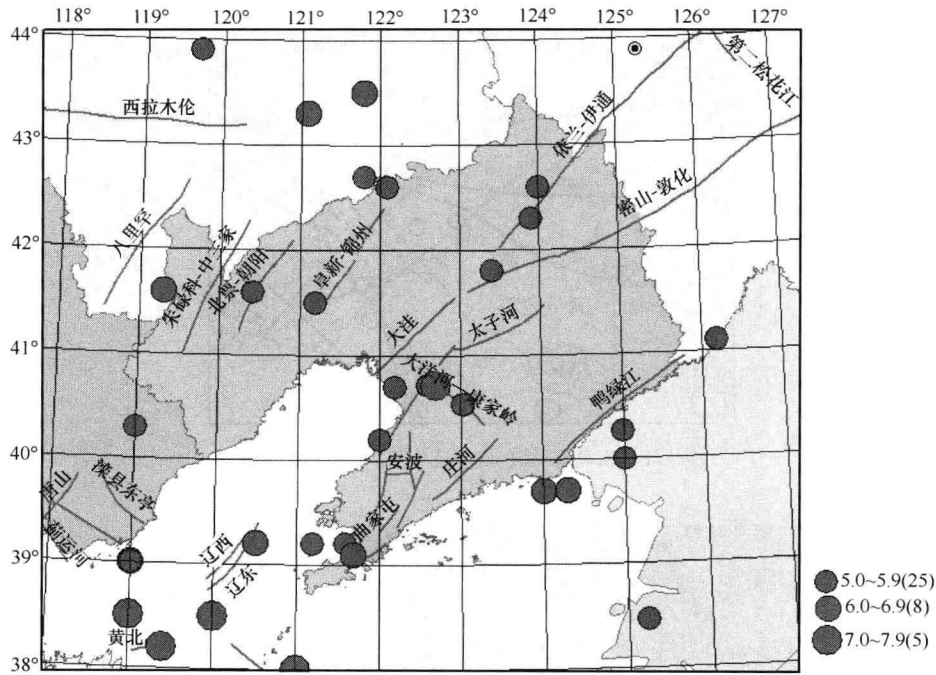


图 1-3 辽宁地区 $M \geq 5.0$ 地震分布图（公元 419~2009）

1.3 辽宁地区与周边地区地震活动关系分析

辽宁地区的地理构造位置比较特殊，从块体上区分介于华北地震区和东北地震区之间，即具有华北地震区的某些特征又具有东北地震区的某些特点，在发震时间上具有承接华北地震活跃时段和东北地震活跃时段的特点，下面依据现代构造、地震分布等确定辽宁地区范围及其影响因素。