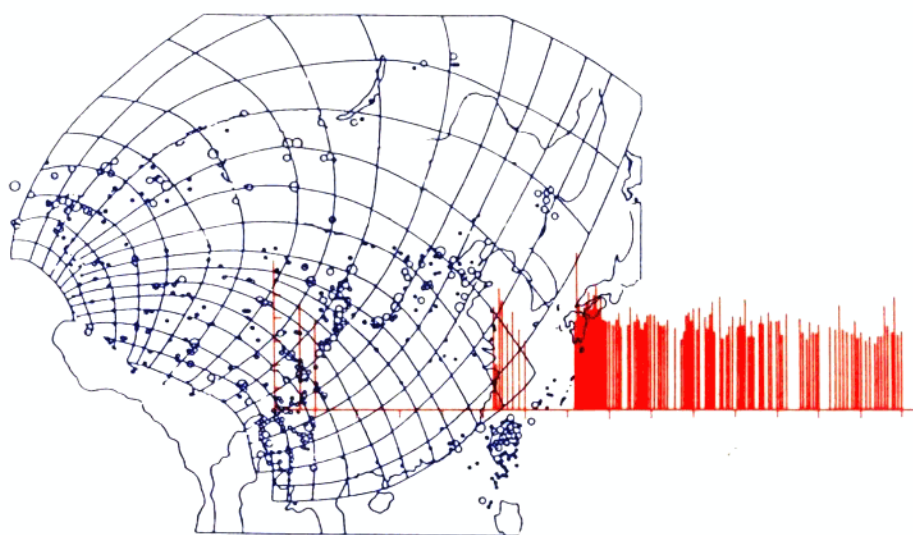


国家地震局预测预防司

# 地震短临预报的 理论与方法

——“八五”攻关三级课题论文集



地震出版社

P315/60

地震科学联合基金资助

# 地震短临预报的理论与方法

——“八五”攻关三级课题论文集

国家地震局预测预防司

地震出版社

1997

## 内 容 提 要

地震预报是世界公认的科学难题,地震的短临预报则是难中之难。本文集汇集了国家地震局“八五”期间三级课题论文 61 篇,内容分为四个部分:地震短临预报的前兆方法研究;地震短临预报的地震学方法研究;地震短临预报的机理和实验研究;地震短临预报的综合预报方法研究。

文集内容广泛,“八五”短临预报多方面学科的进展可以从本文集中得到借鉴。可供从事地震监测、预报、科研的科技人员及地球物理、地球化学等大专院校师生参考。

### 地震短临预报的理论与方法

——“八五”攻关三级课题论文集  
国家地震局预测预防司

责任编辑:马 兰

责任校对:李 珩

\*

地 震 出 版 社 出版

北京民族学院南路 9 号 邮编:100081

中国地质大学轻印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经售

\*

787×1092 1/16 35.125 印张 899 千字

1997 年 10 月第一版 1997 年 10 月第一次印刷

印数 0001-600

ISBN 7-5028-1406-X/P·873

(1876) 定价:50.00 元

# 地震短临预报的理论与方法

——“八五”攻关三级课题论文集

## 编辑委员会

主 编 李宣珣

副主编 张国民 陈建民 郭大庆

编 委 梅世蓉 朱传镇 罗兰格 韩渭宾 高 旭

汪成民 马 瑾 刘蒲雄 刘祖荫 徐京华

李志雄 刘升礼 王瑜青 康 建

## 前 言

地震预报是世界公认的科学难题,地震的短临预报则是难中之难。近 30 年的中国地震预报探索研究和实践表明,地震的短临预报是体现我国地震预报工作服务于社会防震减灾,造福于人民的最重要的环节。“八五”期间我国地震短临预报攻关研究就是朝着地震短临预报实际水平明显提高这一目标进行的。根据“八五”攻关研究安排,国家地震局共设置了 10 个一级课题,43 个二级课题,250 个三级课题。目前所有二级课题和三级课题全部完成。从专家评审的结果来看,60%以上的二级课题研究成果达到了优秀,80%以上的三级课题研究成果达到了优良。总之,我国“八五”期间地震短临预报的攻关研究在“新”与“实”的目标要求下取得了明显的进展。1995 年 7 月 12 日中缅边界孟连 7.3 级地震的成功短临预报,就是一个很突出的例证,说明我国地震的短临预报水平有了进一步的提高。

推广和使用“八五”期间短临地震预报的研究成果是一项非常重要的工作。我们在以往的工作中已经通过《地震学报》(1994, vol. 16, Supp.),《中国地震》(1994, vol. 10, Supp.),《地震》(1994, Supp.; 1995, Supp.),《地壳形变与地震》(1993, vol. 13, Supp. 2;)发表了二级课题和三级课题最终研究论文 84 篇。并且还组织了《地震形变前兆特征的识别与研究》、《首都圈地震短临预报方法观测与研究》等专题论著的出版,部分“八五”短临地震预报的攻关研究论文在专著中得到发表。

本文集汇集了“八五”期间三级课题论文 61 篇,内容分为四个部分:地震短临预报的前兆方法研究;地震短临预报的地震学方法研究;地震短临预报的机理和实验研究;地震短临预报的综合预报方法研究。其中第一部分收集论文 20 篇,第二部分 26 篇,第三部分 7 篇,第四部分 8 篇。在所收集的 61 篇论文中,每篇都是做了比较严格的编审,并经作者修改后选入文集的。

本文集汇集的“八五”三级课题研究的内容是比较广的,“八五”短临预报的多方面的科学进展可从本文集中得到借鉴。在地震短临预报的机理和实验研究部分,收集了梅世蓉等关于《华北北部强震前测震学的主要异常及其机理的初步解释》,冯德益等《华北北部地震前兆场时空演化模型的非线性有限元研究》,以及张流、赵树清、李世愚、陆阳泉、宋治平等关于地震预报岩石实验和理论模型方面的研究论文,他们的研究结果在国内外相关学术领域中都是高水平的。关于地热、断层气、水汞、电磁波等新方法用于地震短临预报的探索研究,许多作者做了比较充实、深入和客观的震例对比研究,在方法的科学性和实用性方面都有比较独到的见解。有关地震学短临预报的方法研究,涉及到地震活动的图像演化、地震波动力学参数、前震序列、非线性地震活动信息、地震活动短临预报新参数和地震活动综合判定指标研究等。这些文章都在以往有关学科的研究基础上,有了新的见解和认识,它们在日常地震

预报的实践中都有很好的应用前景。在短临预报的综合方法研究方面，尽管文集的 8 篇文章，只是“八五”攻关研究中综合预报方法研究的一小部分，但不乏其代表性。《首都圈地区地震中期预报指标研究》、《西北地区地震 1~3 年预报指标研究》等论文在方法的综合思路上都很有特色，突破了以往综合预报方法主要依据于统计方法的框架，在有物理基础的综合分析和判断的科学预测方法上有新进展。

作为地震短临预报“八五”攻关研究的三级课题论文集，本书是上百名作者借鉴“八五”短临预报攻关成果作出的集体努力的成果。文集是在各位作者与编者的密切合作与通力支持才得以问世。

在编辑论文集过程中虽然编者尽了很多的努力，由于论文涉及的内容太广、太多，对编者的各方面要求很高。因此，文集中出现不足甚至错误之处敬请广大读者提出批评指正。

国家地震局预测预防司

1996 年 9 月

# 目 录

## 第一部分 短临预报的地震学方法研究

|                                             |            |
|---------------------------------------------|------------|
| 华北地区强震前地震活动长期演变过程的共性 .....                  | 梅世蓉等 (3)   |
| 短期预报中地震活动图像演化方法 .....                       | 陆远忠等 (13)  |
| 中国大陆 7 级大震中期预报定量化指标体系的研究 .....              | 高 旭等 (22)  |
| 前震活动特征及其识别的研究 .....                         | 朱传镇等 (32)  |
| 使用 $M_f$ 值、 $C$ 值、 $D$ 值判定地震趋势的神经网络方法 ..... | 王 炜等 (38)  |
| 大地震空间分布特征及强震危险性定量方法 .....                   | 罗 伟等 (45)  |
| 邢台、海城、大同地震前震序列的特征 .....                     | 林邦慧等 (53)  |
| 地震活动时空分布的广义分维研究 .....                       | 孙加林等 (62)  |
| 川滇分带地震学短期综合预报方法的研究 .....                    | 韩渭宾等 (72)  |
| 尾波参数短临判别指标的研究 .....                         | 顾瑾平等 (81)  |
| 中国大陆 7 级大震系列时间特征及中期预测方法 .....               | 李志雄等 (86)  |
| 余震波形特征和地震类型的早期判定研究 .....                    | 赵荣国等 (94)  |
| 华北北部 5 级以上地震地震学异常的研究 .....                  | 丁韞玉等 (103) |
| 利用 $b$ 、 $c$ 、 $\eta$ 值探讨中强震短期预报 .....      | 虞雪君等 (120) |
| 强余震前的小震破裂特征 .....                           | 刘文龙等 (127) |
| 利用熵值及多分形方法研究地震序列类型的早期判定 .....               | 王林璞等 (136) |
| 地震序列中显著地震的时间分布及预测方法 .....                   | 刁守中等 (143) |
| $h$ 值的最优拟合与后续地震预测指标 .....                   | 王铮铮等 (150) |
| 华北中强以上地震前 $M_f$ 值空间异常分析 .....               | 戴维乐等 (158) |
| 空区参数 $\sigma_H$ 在新疆天山地区地震预报中的应用 .....       | 苏乃泰等 (170) |
| 地震序列类型的早期判断 .....                           | 周翠英等 (176) |
| 强余震“等待时间”预报效能的评价 .....                      | 华爱军等 (189) |
| 地震序列的功率谱及其分形特征 .....                        | 黄蓉良 (197)  |
| 我国大陆断层现代形变与地震活动关系的研究 .....                  | 张 超等 (204) |
| 云南地区单发前震的识别 .....                           | 蔡静观等 (212) |

## 第二部分 短临预报的前兆方法研究

|                                  |            |
|----------------------------------|------------|
| 构造活动、地震孕育过程中断层气释放机理及预报方法研究 ..... | 杨玉荣等 (221) |
| 首都圈地区断层带土壤气的观测与研究 .....          | 车用太等 (233) |
| 华北水汞地震前兆观测数据的初步分析 .....          | 魏家珍等 (242) |
| 地热前兆预报指标及预报效能评价 .....            | 王喻青等 (250) |
| 首都圈地热前兆异常特征与震例分析 .....           | 陈沅俊等 (261) |

|                                      |            |
|--------------------------------------|------------|
| 地热前兆干扰因素分析及干扰排除实验 .....              | 刘永铭等 (270) |
| 地热前兆观测技术研究和现场实验 .....                | 高福兰等 (278) |
| 地热前兆数据处理软件系统 .....                   | 陈桂兰等 (284) |
| 唐山地震前后区域重力场变化机制 .....                | 李瑞浩等 (289) |
| 广东、海南地区断层气与构造活动研究 .....              | 魏柏林等 (300) |
| 云南省断层气 Hg、Rn 背景及震兆特征综合对比分析 .....     | 李永强等 (311) |
| 云南省断层气 Hg 短临前兆特征分析 .....             | 杨杰英等 (323) |
| 地震与电磁辐射异常关系初探 .....                  | 关华平等 (332) |
| 地磁绝对值时空变量统一拟合法与强震危险区判定 .....         | 龚绍京等 (340) |
| 首都圈地区构造应力场及未来强震危险区预测的数学模拟 .....      | 陈沅俊等 (351) |
| 地震预报的电学方法与动态等值图 .....                | 张洪魁等 (357) |
| 唐山、大同地震前后跨断层形变资料的分析 .....            | 高忠宁等 (364) |
| 滇西地震实验场现代构造应力场空间分布与强震危险性分析 .....     | 王绍晋等 (378) |
| 潮汐响应的地震前兆特征与识别研究 .....               | 何 翔等 (387) |
| 1989 年大同-阳高 6.1 级地震前兆异常震后变化的研究 ..... | 王秀文等 (396) |

### 第三部分 短临预报的综合预报方法

|                                  |            |
|----------------------------------|------------|
| 首都圈地区地震中期预报指标研究 .....            | 高 旭等 (413) |
| 西北地区地震 1~3 年预报指标研究 .....         | 郭大庆等 (423) |
| 江苏地区震后异常与新异常的识别 .....            | 谢华章等 (434) |
| 首都圈强震危险地点的跟踪技术方案的研究 .....        | 孙士宏等 (446) |
| 地震波特性变化指标在短临预报中的应用 .....         | 冯德益等 (455) |
| 模式识别和模糊数学在震后趋势早期综合判断中的应用研究 ..... | 韩渭宾等 (468) |
| 华北地区波速、震源介质及地震活动性的综合研究 .....     | 马 林等 (476) |
| 前兆群体异常的综合识别 .....                | 王海涛等 (483) |

### 第四部分 短临预报的机理及实验研究

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| 华北北部强震前测震学的主要异常及其机理的初步解释 .....     | 梅世蓉等 (495) |
| 华北北部地震前兆场时空演化模型的非线性有限元研究 .....     | 冯德益等 (505) |
| 岩石变形破坏过程中的非线性行为及其与系统失稳之间的关系 .....  | 张 流等 (514) |
| 岩石在实验变形过程中声发射系列特征的多样性及系统失稳前兆 ..... | 赵树清等 (519) |
| 包体模型的力学场特征及其在地震活动性分析中的应用 .....     | 宋治平等 (529) |
| 大尺度岩石破裂声发射序列的实验研究 .....            | 李世愚等 (537) |
| 地震孕育及前兆物理机制的大尺度模拟实验 .....          | 陆阳泉等 (546) |

# 第一部分

## 短临预报的地震学方法研究



# 华北地区强震前地震活动长期演变过程的共性

梅世蓉 薛 艳 宋治平

(国家地震局分析预报中心)

## 1. 引言

大震前地震活动图像异常是最基本、最广泛的异常现象。与其他前兆相比,它是反映前兆场时空变化最客观的一种手段。因为,它受台站的布局影响不如其他手段大,台站的布局只能影响地震的定位精度,而不会涉及现象的有无。其他前兆现象的时空分布则受观测台站和观测路线不均匀分布的影响很大。而且,地震前兆的观测工作起步较晚,即使像唐山大地震,也只有震前数年的观测资料。对于强震而言,其前兆的出现不会局限在震前几年。如何了解大震前数年至数十年的前兆场的时空演变?在这方面地震活动图像分析是可以做出贡献的。我国丰富的地震历史资料有助于探索大震前区域地震活动的长期演变过程。

关于大地震前活动图像异常的研究工作已进行了很多,但是,适应建立前兆场物理模式的需要,以抓住整个孕震过程中具有本质意义的现象为目的的研究成果在文献中尚未见到。我们希望通过系统的研究,找出那些普适性最强的现象及其服从的经验规律。在此基础上,结合其他前兆特征与机理研究,首先建立一个地震孕育的物理模型,为进一步开展定量计算奠定基础。最后再综合实验与计算结果,建立一个初步的地震孕育的数学物理模型。

从以往的研究中有一个广为人知的现象,即在强震前一定时空范围内经常出现地震活动的相对增强现象。但是,感觉的东西并不一定为人们所认识和理解。这种现象究竟是否普遍存在?若普遍存在,它与主震间的关系如何?服从什么规律?这种图像的机制是什么?所有这些问题至今仍然说不清楚。我们要深入研究的对象正是这个广为人知的,而又未充分认识和理解的现象,以弄清其普适性的程度及其服从的规律。为此,仅仅依靠少量震例是不够的。我们按统一的思路、方法和内容研究了38次 $M \geq 6.0$ 级地震(历史的与现代的地震)前数十年以上的地震活动全过程,通过详细的剖析与对比研究,分出特性与共性。据此回答上述拟研究的问题。历史地震资料中有许多有感以上的地震记载,这是可以开发利用的资源。我们在研究巨大地震前活动图像时,对这部分资料已作过专门的处理<sup>[1]</sup>,本文将利用它们来研究6级以上地震前的活动图像。

## 2. 华北地区 $M \geq 6.0$ 级地震前地震活动增强区与震级的关系

通过对华北地区38次 $M \geq 6.0$ 级地震前后地震活动图像的逐个剖析,发现每个 $M \geq 6.0$ 级地震前一定时空范围内都有一个地震活动增高的环形分布区存在,大震震中位于该区之中活动性较低或缺乏4级以上地震的空区或空段。地震活动增强区的空间尺度与震级关系密切,其形状多为椭圆,方向与区域构造的主要方向大体一致(表1)。利用表中数据,得出地震活动增强区的长度与震级的关系式: $\log L = 0.3M + 0.5$ 。由此式可见:增强区随着震级而增大。

对于巨大地震而言，其长度可达数百公里，乃至上千公里；对于  $M=7\sim 7.7$  级地震，其长度为 400 km 以上。

表 1 华北地区  $M\geq 6.0$  级地震前活动增强区的主要参数

| 地震时间         | 震中位置  |        | 震中地区  | 震级   | 增强区的参数 |      |     |        |
|--------------|-------|--------|-------|------|--------|------|-----|--------|
|              | 北纬(°) | 东经(°)  |       |      | 起止时间/d | 形状   | 方向  | 长度/km  |
| 1484. 2. 7   | 40. 5 | 116. 1 | 河北居庸关 | 6. 8 | 85     | 椭圆   | NW  | 250    |
| 1502. 10. 27 | 35. 7 | 115. 3 | 山东濮城  | 6. 5 | 34     | 椭圆   | SN  | 270    |
| 1524. 2. 14  | 34. 0 | 114. 1 | 河南许昌  | 6. 0 | 45     | 椭圆   | NE  | 160    |
| 1536. 11. 1  | 39. 8 | 116. 8 | 河北通县  | 6. 0 | 51     | 椭圆   | EW  | 220    |
| 1548. 9. 22  | 38. 0 | 121. 0 | 渤海    | 7. 0 | 63     | 椭圆   | NNE | 480    |
| 1556. 2. 2   | 34. 4 | 109. 7 | 陕西华县  | 8. 3 | 108    | 椭圆   | NE  | 1000   |
| 1568. 5. 5   | 39. 0 | 119. 0 | 河北乐亭南 | 6. 0 | 73     | 半个椭圆 | NW  | 至少 200 |
| 1587. 4. 10  | 35. 3 | 113. 7 | 河南修武  | 6. 0 | 44     | 椭圆   | NE  | 260    |
| 1597. 10. 6  | 38. 5 | 120. 0 | 渤海    | 7. 0 | 50     | 椭圆   | NE  | 540    |
| 1614. 10. 23 | 37. 2 | 112. 1 | 山西平遥  | 6. 5 | 57     | 椭圆   | NE  | 300    |
| 1622. 3. 18  | 35. 5 | 116. 0 | 山东郛城  | 6. 0 | 65     | 椭圆   | NW  | 240    |
| 1624. 2. 10  | 32. 3 | 119. 4 | 江苏扬州  | 6. 0 | 44     | 椭圆   | EW  | 220    |
| 1624. 4. 17  | 39. 8 | 118. 8 | 河北滦县  | 6. 3 | 86     | 椭圆   | EW  | 160    |
| 1626. 6. 28  | 39. 4 | 119. 2 | 山西灵丘  | 7. 0 | 46     | 椭圆   | NE  | 400    |
| 1628. 10. 7  | 40. 6 | 114. 2 | 河北怀安  | 6. 5 | 48     | 椭圆   | NEE | 220    |
| 1642. 6. 30  | 35. 0 | 110. 9 | 山西安邑  | 6. 0 | 56     | 椭圆   | NE  | 210    |
| 1658. 2. 3   | 39. 4 | 115. 7 | 河北涿水  | 6. 0 | 30     | 椭圆   | NE  | 165    |
| 1665. 4. 16  | 39. 9 | 116. 6 | 河北通县  | 6. 5 | 46     | 椭圆   | NE  | 250    |
| 1668. 7. 25  | 34. 8 | 118. 5 | 山东郛城  | 8. 5 | 100    | 椭圆   | NE  | 1200   |
| 1673. 10. 18 | 40. 5 | 113. 5 | 山西天镇  | 6. 5 | 45     | 椭圆   | EW  | 220    |
| 1679. 9. 2   | 40. 0 | 117. 0 | 三河平谷  | 8. 0 | 82     | 椭圆   | NWW | 590    |
| 1683. 11. 22 | 38. 7 | 112. 7 | 山西原平  | 7. 0 | 57     | 椭圆   | NEE | 420    |
| 1695. 5. 18  | 36. 0 | 111. 5 | 山西临汾  | 7. 8 | 95     | 椭圆   | NE  | 560    |
| 1720. 7. 12  | 40. 4 | 115. 5 | 河北沙城  | 6. 8 | 51     | 椭圆   | NEE | 300    |
| 1730. 9. 30  | 40. 0 | 116. 2 | 北京西北  | 6. 5 | 61     | 椭圆   | NW  | 250    |
| 1815. 10. 23 | 34. 8 | 111. 2 | 山西平陆  | 6. 8 | 50     | 椭圆   | NEE | 390    |
| 1820. 8. 6   | 34. 1 | 113. 9 | 河南许昌  | 6. 0 | 40     | 椭圆   | NWW | 180    |
| 1830. 6. 12  | 36. 4 | 114. 3 | 河北磁县  | 7. 5 | 93     | 椭圆   | SN  | 540    |
| 1888. 6. 13  | 38. 5 | 119. 0 | 渤海    | 7. 5 | 80     | 椭圆   | NEE | 540    |
| 1937. 8. 1   | 35. 4 | 115. 1 | 山东菏泽  | 7. 0 | 48     | 椭圆   | NE  | 420    |
| 1948. 5. 23  | 37. 7 | 121. 8 | 山东威海  | 6. 0 | 59     | 椭圆   | NE  | 240    |
| 1966. 3. 22  | 37. 5 | 115. 1 | 河北邢台  | 7. 2 | 135    | 椭圆   | NE  | 540    |
| 1969. 7. 18  | 38. 2 | 119. 4 | 渤海    | 7. 4 | 80     | 椭圆   | NEE | 540    |
| 1975. 2. 4   | 40. 7 | 122. 7 | 辽宁海城  | 7. 3 | 75     | 椭圆   | NW  | 450    |
| 1976. 4. 6   | 40. 2 | 112. 1 | 和林格尔  | 6. 3 | 46     | 椭圆   | NEE | 240    |
| 1976. 7. 28  | 39. 6 | 118. 2 | 河北唐山  | 7. 8 | 87     | 椭圆   | NW  | 720    |
| 1989. 10. 19 | 39. 9 | 113. 8 | 山西大同  | 6. 1 | 60     | 椭圆   | NE  | 300    |

尽管大震前地震活动增强区的存在及其与震级的紧密关系是普遍的,然而,活动区内的活动水平、分布状态与发展过程却因主震震级与地区的不同而显示出某些差异,进一步揭示这些差异有助于深化认识。我们实际上按不同震级和不同构造条件下发生的强地震进行了分类剖析和综合概括,但是限于篇幅,这里仅以华北三次 8 级大震,唐山、海城地震及华北平原三次强震作为实例,进行阐述。

### 3. 华北地区三次 8 级大震前长期演变过程的共性

根据我们最新研究<sup>[2]</sup>,发现华北地区三次 8 级大震(1556 年华县 8.3 级,1668 年郾城 8.5 级,1679 年三河-平谷 8.0 级地震)前具有突出的特征。图 1a~f 是这三次地震前百余年的震中分布图与  $R-t$  图。通过分析,得到如下认识:

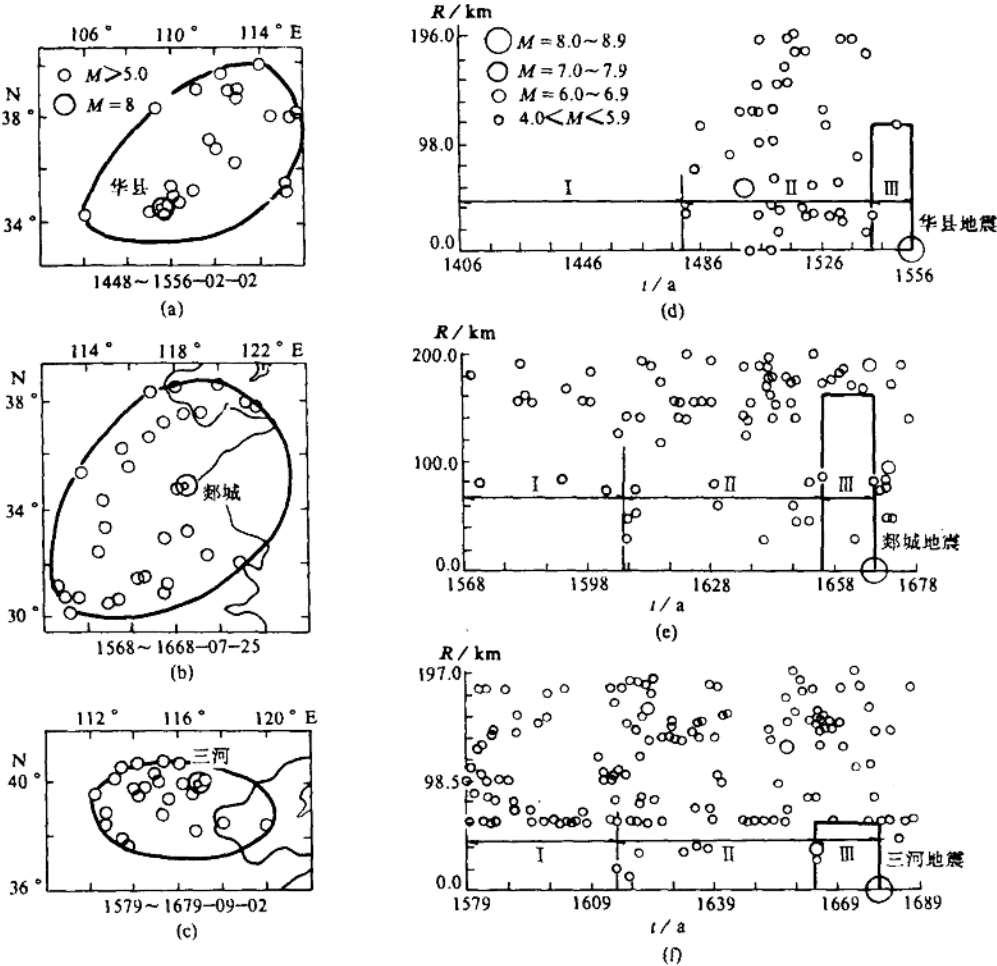


图 1 华北地区三次  $M \geq 8.0$  级地震百余年震中分布图与  $R-t$  图

(1) 8级大震前环绕主震震中形成一个中强以上地震 ( $M \geq 5.0$ ) 活动增强的环形分布区, 其形状为椭圆, 方向与区域构造一致, 其长度分别为 1000 km (1556 年地震), 1200 km (1668 年地震), 760 km (1679 年地震)。

(2) 地震活动环内的活动性在数十年至百余年内经历了三个大阶段。不同阶段有不同的水平与内部结构和表现形式。I 阶段的中等以上地震分布在主震震中以外, 而震中区及其附近表现为地震空区或空段, 环内水平一般不高; II 阶段的活动水平较前期显著增强; 地震分布也更广, 近源区参与活动, 从而使空区缩小或消失; 环内震丛活动加强; III 阶段活动环内水平降低, 且再度环绕主震震中出现空区 (图 1d~f)。

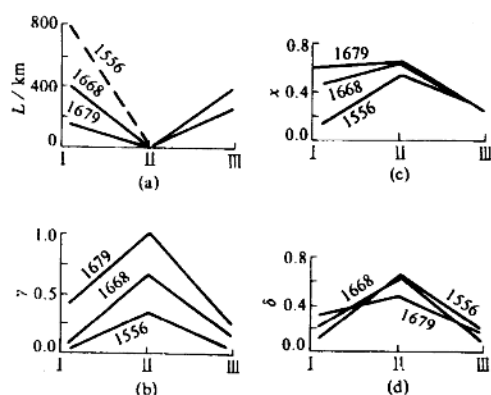


图 2 华北地区三次  $M \geq 8.0$  级地震前各参数的三阶段变化曲线

(3) 地震活动增强区内, 主震震源区于大震前通常有 1~3 期活动, 被称为早期前震、中期与晚期前震活动。

(4) 震丛活动十分突出。震丛指某个地点重复发生的多次震级相差不大的地震, 其间隔时间比震群要长。在三次 8 级大震前的第 II、III 阶段都出现了相当数量的震丛, 且沿活动构造带分布。

(5) 地震活动增强区内频度、强度、活动度、集中性、分布广度、应变释放率经历了起伏性的变化。图 2a~d 是三次大震前这些参量的变化曲线。由图可见, 这些参量的变化可以归纳为峰型与谷型变化。属于前者有最大震级、震丛数、分布面积。属于后者有活动度与空区长度。

#### 4. 海城地震与唐山地震前长期演变过程的共性

海城地震与唐山地震是华北北部具有代表性的强烈地震, 又是 1888 年渤海大地震后同期孕育, 先后发生的地震。其震前活动特征显示出若干共性, 并显示出明显的阶段性。分析两次地震前 80 年的震中分布图 (图 3a~b), 得到以下几点结果:

(1) 两次强震前都有一个与区域构造方向一致的  $M \geq 4.0$  级地震活动增强存在。海城地震前增强区为北北东走向, 长度为 450 km, 唐山地震前则为东西向, 长度为 720 km。

(2) 两次强震前都有明显的震丛与震群活动。海城地震前有沈阳震丛 (5 次), 营口震丛 (12 次), 大连震丛 (19 次)。震前 1~2 个月内在本溪发生突出的震群活动。这些震丛与震群均顺着北东构造带分布。唐山地震前有天津震丛 (8 次), 北京震丛 (7 次), 怀来震丛 (5 次以上), 通县震丛 (4 次), 深县震丛 (6 次), 沧州震丛 (4 次), 昌黎震丛 (4 次), 这些震丛均沿北西带和北东带分布。震前数年至十余年有沙城震群, 怀柔震群, 震前数月有庙岛震群活动, 滦县震群等<sup>[3]</sup>。

(3) 两次地震前都出现了明显的地震条带活动。海城地震前 70 余年出现北东向与北西向地震条带分布。早期的地震条带呈北东向, 与金州大断裂方向一致。震前 10 年的地震条带转

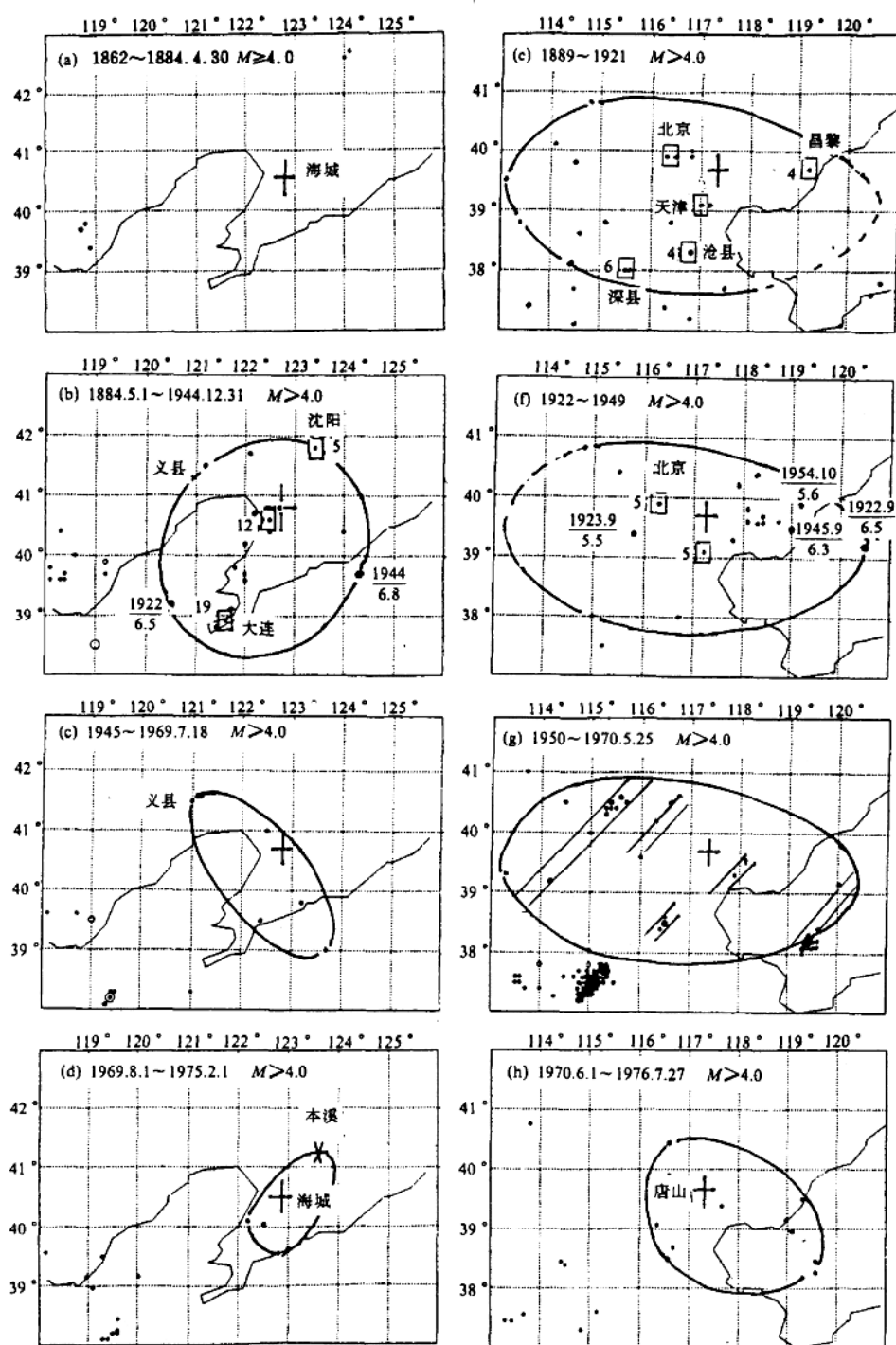


图3 海城、唐山地震广义前震分布图  
 十字表示主震；方块表示震丛，旁边数字表示地震次数

为北西向，震前 2~3 年又转为北东向。主震位于该带的空段。

唐山地震前 70 余年顺着三个北东向构造带呈条带分布，它们是：代县—蔚县—张家口带；获鹿—新城—密云带；深县—河间—唐山—昌黎带。其中以深县—河间—唐山—昌黎带最强且最多，震丛活动也最强。震前 10 年，先后出现北西与北东向地震条带。主震震中正好位于该带上的空区。

(4) 两次地震前都有 4.0~6.9 级地震发生，但频度不同。海城地震前，活动环内共发生  $M \geq 4.0$  级地震 62 次，4~4.9，5~5.9，6~6.9 级地震的频次分别为 60 次，1 次，1 次。唐山地震前，活动环内共发生  $M \geq 4.0$  级地震 95 次，4~4.9，5~5.9，6~6.9 级地震的次数分别为 82 次，9 次，3 次。

(5) 两次地震前震源区内都有早期前震发生，并出现数十年的相对平静期。海城地震前 76 年，即 1899 年 2 月 22 日和 1899 年 2 月 28 日发生两次 4 级地震后，主震震源区一直保持平静。唐山地震前 52~28 年，唐山地区曾发生不下 7 次 4 级以上地震。

(6) 两次地震前的增强区内都经历了一个发展过程。震前数年  $M \geq 4.0$  级地震向唐山块体收缩的现象很突出。表 2 是两次强震前四个阶段活动特征的对比表。由该表可清楚地看出它们的相似性。

表 2 海城、唐山地震前不同阶段活动特征对比

| 地震名称<br>阶段与依据 | 1975. 2. 4 海城地震 $M=7.3$                                           | 1975. 7. 28 唐山地震 $M=7.8$                                              |
|---------------|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| I 阶段起止时间      | 1862. 1. 1~1884. 4. 30                                            | 1889. 1. 1~1921. 12. 31                                               |
| 划分依据          | 1861. 7. 19 金州发生 6.0 级地震<br>1884. 5. 18 海城发生 4.0 级地震              | 1888. 6. 13 渤海发生 7.5 级地震后<br>1922 年活动环内 6 级地震前                        |
| 活动特征          | 海城震源区内外大面积平静，<br>表征能量积累                                           | 唐山震源及其附近均表<br>现为平均，表征应力积累                                             |
| II 阶段起止时间     | 1884. 5. 1~1944. 12. 31                                           | 1922. 1. 1~1949. 12. 31                                               |
| 划分依据          | 1944. 12. 19 丹东海外发生 6.8 级地震                                       | 1922. 9. 29 渤海发生 6.5 级地震                                              |
| 活动特征          | 环绕震中形成活动环；环内出现<br>北东条带，它穿越震中；震丛活跃                                 | 环绕震中形成活动环；环内出现<br>北东条带穿越震中区；震丛活跃                                      |
| III 阶段起止时间    | 1845. 1. 1~1969. 7. 18                                            | 1950. 1. 1~1970. 5. 25                                                |
| 划分依据          | 1969. 7. 18 渤海发生 7.4 级地震                                          | 1970. 5. 25 丰南发生 4.2 级地震                                              |
| 活动特征          | 活动环收缩并转向；环内活<br>动减弱；震源区转为平静                                       | 环内活动减弱；出现多条地震条<br>带；震源区及附近转为平静                                        |
| IV 阶段起止时间     | 1969. 8. 1~1975. 2. 1<br>渤海大地震发生后<br>地震活动环收缩至海城周围，<br>海城及附近处于平静状态 | 1970. 6. 1~1976. 7. 27<br>丰南 4.2 级地震后<br>地震活动环收缩至唐山周围，<br>唐山及附近处于平静状态 |

## 5. 华北平原三次 7 级地震前长期演变过程的共性

1830 年磁县 7.5 级地震, 1937 年菏泽 7 级地震, 1966 年邢台 7.2 级地震是华北平原第四活动期以来具有代表性的强烈地震, 三次地震前百余年的地震活动过程显示出下列阶段特征: (见图 4a~f)。

(1) 1830 年 6 月 12 日河北磁县 7.5 级地震前的阶段特征。

I 阶段 (1737~1791): 地震活动水平较低,  $M \geq 4.0$  级地震的平均频度为 0.55 次/年。这些地震大致均匀地分布在主震震中周围, 形成一个南北走向的椭圆, 纵长为 540 km, 宽为 260 km。II 阶段 (1792~1820): 地震活动强度、频度、集中度都增加,  $M \geq 4.0$  级地震的平均频度为 0.62 次/年, 最大为 6.0 级地震。武陟震丛 (6 次), 永年震丛 (3 次), 两个震丛与中强震均沿北北东带分布。地震活动区的长度较前期有所减小。III 阶段 (1821~1830.6.12): 地震活动强度、频度转向减弱。10 年中仅发生 4~4.9 级地震 9 次, 地震活动区的长度较 II 阶段进一步减小。

(2) 1937 年 8 月 1 日菏泽 7 级地震前的阶段特征。

I 阶段 (1830.7.1~1888.5.31):  $M \geq 4.0$  级地震环绕菏泽 (200~300 km) 呈均匀分布, 菏泽地区则处于地震的空区或空段; II 阶段 (1889~1923): 地震强度、频度、集中度均增大。共发生  $M \geq 4.0$  级地震 33 次, 其中 5 级多地震 3 次。有南乐震丛 (8 次), 滑县震丛 (7 次); 菏泽附近曾于震前 41 年发生了一次早期前震, 以后保持平静直到 7 级大震发生。这些地震分布在一个北东向的地震活动环内, 其长轴为 420 km, 短轴为 160 km; III 阶段 (1923.9.19~1937.6.30): 地震活动频度、强度、集中度均减弱, 分布面积缩小, 由前期的纵长 420 km 减为 300 km, 菏泽附近的空区范围更加扩大。

(3) 1966 年邢台强震前的阶段特征。

I 阶段 (1831~1850): 活动水平不高, 平均频度为 0.25 次/年。它们分布在邢台地区外围, 邢台及其附近处于平静状态; II 阶段 (1851~1922): 活动水平大增, 共发生  $M \geq 4.0$  级地震 60 余次, 平均 1.88 次/年, 其中  $M=5 \sim 6$  级地震 5 次, 最大震级为 6.0 级, 地震分布甚广; 震丛活动与条带均很突出; 安阳—邢台—文安带活动最强, 且穿过大震震源区; III 阶段 (1923~1966.2.28): 活动水平大为减弱, 43 年中只发生  $M \geq 4.0$  级地震 8 次, 平均 0.18 次/年, 是 130 余年来活动水平最低的阶段。同时, 空间分布范围也大大缩小。大震震中区再度转为平静。

## 6. 20 次 $M \geq 6.0$ 级地震前演变过程的共性

为了探寻上述现象普遍程度, 弄清它们是否为 7 级以上地震所特有的现象; 特选择发生在华北不同构造环境下的 20 余次 6 级多地震进行研究, 结果列于表 3 中。

从表中数据可见:

(1) 所有被研究的 6~6.9 级地震前, 在一定时空范围内都存在一个地震活动相对增强区, 但比 7 级以上地震的尺度要小; 多数增强区的方向与区域构造方向一致。

(2) 地震活动增强区内增高的程度一般弱于 7 级以上地震, 但彼此间比较相近, 若以年