

地震危险性

预测研究

(1996年度)

国家地震局地质研究所

地震出版社

前 言

根据国家地震局震发科[1995]293号文件《关于召开1996年度全国地震趋势会商会的通知(一号)》的要求,本书汇集了有关论文和研究报告10篇,重点突出未来1年时间尺度的重点地震危险区的研究和1~3年地震活动趋势的跟踪研究。

尽管我所地震预报及其研究工作面临着经费严重不足的困难局面,但广大科技人员对地震预报及其研究工作仍给予了极大的支持和关注。他们克服各种困难,结合自己的研究课题,尽可能地在地震预报研究和震情会商多作贡献。值此本书与大家见面之际,向关心和支持我所地震预报工作的国家地震局各级领导和为我所1996年度地震趋势会商工作及本书编撰出版工作付出辛勤劳动的所有人员致以衷心的感谢!

鉴于地震预报目前仍处于探索阶段,我们在本书的编纂过程中继续坚持“百花齐放、兼收并蓄、求同存异”的原则,尽可能吸收不同学术观点、不同预报思路的文章,以利于争鸣、促进和提高。

科研处主持了本书的编纂出版工作。张崇立、车用太、汪良谋、朱向军等同志负责本书的征稿、稿件处理与编辑工作。本所学术委员会审定了文章内容,并提出了重要的修改意见。

由于时间仓促,书中不妥之处请专家和读者批评指正。

国家地震局地质研究所科研处

1995年10月31日

目 次

我国大陆 1996 年度地震危险性预测

..... 国家地震局地质研究所地震预报研究组 (1)

地震监测预报工作的主要进展

——1995 年度地震监测预报工作总结 张崇立 孔令昌 (11)

* 近期地震危险性预测 *

中国大陆 1996 年度地震趋势预测:“涡旋-网络”模型与

TP 法的应用 王绳祖 张宗淳 (19)

应用地震构造活动势态追踪方法对未来三年

震情的预测与预报 高名修 (31)

近期(约一年尺度)地震活动趋势分析 邓志辉 (41)

中国东部沿海地区地震危险性估计

..... 董瑞树 付昌洪 冉洪流 任国强 (47)

首都圈地区地下流体监测与 1996 年度震情预测

..... 鱼金子 车用太 (56)

利用卫星图象预测华北地区 1996 年度地震趋势

..... 李建华 叶文华 胡玉台 李望洲 (64)

* 前兆监测 *

北京地区地下水物理动态趋势与 1996 年度震情分析

..... 朱清钟 田竹君 谷园珠 杨会年 高松升 (69)

首都圈地区水化监测与未来地震活动趋势判断

..... 张培仁 王基华 孙凤民 金晓微 王志敏 陶京玲 (77)

断层气 Hg 正常动态分析及首都圈地区

1996 年度震情预测 王基华 (83)

我国大陆 1996 年度地震危险性预测

国家地震局地质研究所地震预报研究组^①

摘 要 本文首先对我所 1995 年度的强震危险性预测结果进行了检验, 其结果表明地点预测成功率为 30%; 然后, 以 1995 年度预测结果为基础, 进一步吸收新的研究成果, 提出了我国大陆 1996 年度地震危险性预测意见。1996 年度最危险的地区是新疆的乌恰—喀什—乌什一带 (6.0~6.9 级) 与塞里木湖区 (6.0 级)、青藏高原的当雄以北 (6.0~6.9 级)、山西的忻州—大同区 (6.0~6.9 级) 及山东的黄河河口海域 (6.0 级), 此外还提出了 8 个较危险区与 8 个有一定危险区。

关键词: 地震中期预报 中国大陆 首都圈 1996 年度

1 1995 年震情及其预测结果的检验

1994 年 10 月以不同作者利用不同方法得到的预测研究结果为基础, 对 1995 年度中国大陆的地震危险性作了如下预测:

- (1) 首都圈及其外围地区发生 $M_s > 6.0$ 级地震的可能性很小;
- (2) 玛纳斯—奎屯—博乐、乌恰—喀什—乌什、茫崖—安南坝、康定—冕宁—巧家、剑川—大理 5 个地区发生 $M_s 6.0 \sim 7.0$ 级地震的可能性很大;
- (3) 太原—临汾—运城、长江下游—南黄海地区发生 $M_s 5.0 \sim 6.0$ 级地震的可能性很大。

1995 年 1~10 月我国大陆及其邻海共发生 $M_s > 5.0$ 级地震 20 次, 其中, 5.0~5.9 级 16 次, 6.0~6.9 级 3 次 (1995 年 1 月 15 日北部湾 6.2 级、1995 年 7 月 10 日中缅边界 6.2 级及 1995 年 10 月 24 日云南武定 6.5 级) 与 7.3 级 1 次 (1995 年 7 月 12 日中缅边界 7.3 级)。

把 1994 年 10 月提出的预测结果与 1995 年 1~10 月实际发生的地震作比较 (图 1), 对预测结果可作出如下评价:

- (1) 首都圈及其外围地区发生 $M_s > 6.0$ 级地震的可能性很小的预测完全正确;
- (2) 在玛纳斯—奎屯—博乐、乌恰—喀什—乌什及康定—冕宁—巧家等 3 个预测发生 $M_s 6.0 \sim 7.0$ 级地震的危险区内, 均发生了地震, 但预测的震级除康定—冕宁—巧家区发生 $M_s 6.5$ 级地震外, 其余两个地区高一个档次, 实际发生的震级分别为 5.8、5.3 与 5.1 级;

^① 执笔人: 车用太、张培仁; 参加本文的汇总与编写工作的还有张崇立、鱼金子等。

(3) 其他预测的 4 个危险区，茫崖—安南坝（6.0~7.0 级）、剑川—大理（6.0~7.0 级）、太原—临汾—运城（6.0 级）、长江下游—南黄海（5.0~6.0 级）内均未发生 $M_S > 5.0$ 级地震；

(4) 预测值得注意的地区中，青藏高原中部发生了 2 个 5.0~5.9 级地震，锡铁山附近没发生 $M_S > 5.0$ 级地震。

由上可见，12 个预测的危险区中，4 个区内发生了地震，大陆范围内发生的 20 个 $M_S > 5.0$ 级地震中，6 个地震发生在预测的区内，因此地点的预测成功率达到 30% 以上，但预测的震级普遍偏高；对于 $M_S > 6.0$ 级的 4 个强震，只对一个强震作出了中期预测。

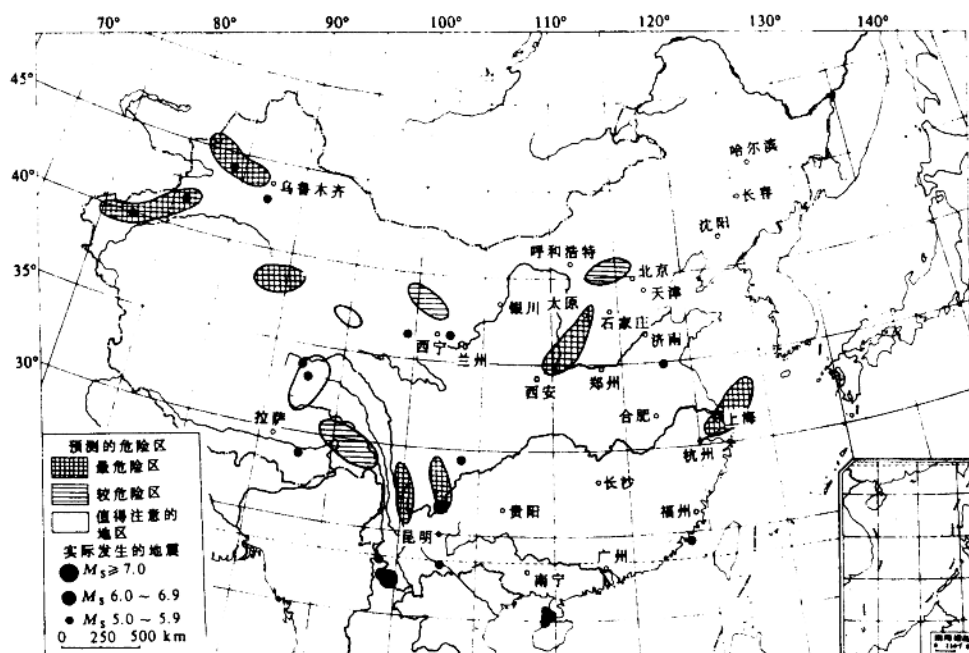


图1 对 1995 年度地震危险区的预测与实际发生的地震对比图

2 1996 年度我国大陆的震情分析

我所对未来全国震情的预测一般是以新构造活动的研究为基础，其时间尺度难以限定在 1 年尺度内，最短也只能限定在 1~3 年。因此，1994 年提出的对 1995 年度的震情预测，在一定程度上对 1996 年度震情预测仍然是有效的。鉴于这样的情况，对 1996 年度的震情预测，自然要考虑 1994 年的研究成果，在此基础上突出 1995 年新的研究成果，给出 1996 年度震情预测的新结果。但是，1994 年进行的对 1995 年度危险区的判定依据及其结果，已有专辑出版并已提交全国地震趋势会商会，这里不再赘述。1995 年对 1996 年度全

国震情的预测，主要从以下三个方面进行了新的研究。

2.1 新构造活动信息分析法的预测

高名修认为，地震是新构造运动表现形式之一，而新构造运动还有其他非震形式的表现。因此，强调不仅要研究地震活动本身的规律，而且还必须研究非震的新构造活动的规律，要在综合考虑两种规律的基础上进行未来地震危险性的预测。

根据这样的观点，首先对我国大陆划分出 10 条巨大的东北向块断地震构造带，分析每条带的历史地震活动规律和新近非震活动势态，提出了未来 1~3 年内各带的地震危险性与有可能发生强震的地区。其结果如表 1 所列。

表 1 我国大陆新构造活动分带及其未来 1~3 年的地震危险性预测 (据高名修, 本文集)

新构造活动势态分类	新构造活动带名称	带内危险区预测
新构造活动明显增强，有可能发生 $M_s7.0$ 级左右的地震	布拉马普特拉谷—松嫩平原带	藏滇缅边界(以 $28.3^\circ N$, $98^\circ E$ 点为中心 50km 半径区) 晋北地区(以 $39^\circ N$, $112^\circ E$ 点为中心 50km 半径区)
	东喜马拉雅—小兴安岭带	藏东边坝区 (以 $31^\circ N$, $94^\circ E$ 点为中心 50km 半径区)
	中喜马拉雅—大兴安岭带	中喜马拉雅区 ($28^\circ \sim 28.5^\circ N$, $87^\circ \sim 89^\circ E$) 内蒙狼山区 ($41^\circ \sim 42^\circ N$, $105^\circ \sim 107^\circ E$)
新构造活动明显，有可能发生 $M_s6.0$ 级左右的地震	滇东南—黄海带	云南新平区 (以 $24^\circ N$, $102^\circ E$ 点为中心 50km 半径区) 南黄海区 (以 $34^\circ N$, $122^\circ E$ 点为中心 100km 半径区)
	帕米尔—西阿尔泰带	新疆塞里木湖区 ($44.2^\circ \sim 44.7^\circ N$, $80.5^\circ \sim 81.5^\circ E$)
	东南沿海带	福建平潭岛区(以 $25.3^\circ N$, $119.9^\circ E$ 点为中心 50km 半径区) 福建东山岛区(以 $23.7^\circ N$, $117.5^\circ E$ 点为中心 50km 半径区)
新构造活动相对平稳，只可能发生 $M_s5.0$ 级左右的地震	西南—东北带 喀喇昆仑—阿尔泰带 北部湾—长江口带 冈齐波仁峰—北山带	

2.2 构造物理学方法的预测

王绳祖等人对构造物理预测地震危险性的方法 (TP 法) 进行了新的改进, 一是考虑塑性流动网络及其网络波传递的板块边缘驱动力的同时, 进一步考虑了地幔涡旋对流及涡旋波引起的板块底界驱动力源; 二是发震概率的预测计算中采用了“权”指数。在此基础上, 对我国大陆内的青藏高原至华北平原区范围内的 1996 年地震危险性进行了预测。预测结果如表 2 所列。

表 2 TP 法对青藏高原至华北平原 1996 年的震情预测 (据王绳祖等, 本文集)

地 区		不同震级的发展总概率				预测震级 (M_s)	备 注
		5.0~ 5.9	6.0~ 6.4	6.5~ 6.9	7.0~ 7.4		
青藏高原中部	当雄以北		0.103	0.089		6.0~6.4	
	崩错		0.114	0.111	0.086	6.0~6.4	1993 年已发生 6.3 级
	沱沱河沿以西	0.100	0.082			(5.0~5.9)	1994 年已发生 5.1 级
柴达木中东部	锡铁山附近	0.125	0.092	0.084		6.0±	1991 年在其邻区已发生 5.1 级
南北带北段	兰州	0.100	0.093	0.093	0.084	(5.0~5.9)	1995 年已发生 5.8 级
山西带	忻定一五台	0.131	0.117	0.111	0.089	6.0~6.9	
北京地区	无 $M > 5$ 级地震危险区					(<5.0)	

注: ①表中概率值为多种计算结果的平均值;

②预测震级中带括号者表示近年已发生相当震级的地震, 故排除再发生类似地震的可能性。

2.3 地震地质与地球物理学方法的综合预测

董瑞树等人以 1990 年地震区划图的潜在震源区为基础, 利用 Tip 方法 (根据地震流函数的总体特征给出地震概率增长时段) 与贝叶斯方法 (用先验概率求得诸验后概率), 分析了郯庐地震带与长江中下游地震带的发展构造、地震网络、地震线、地球重力场等地震活动条件, 提出如下预测意见:

郯庐地震带内有三个发生 $M_s > 6.0$ 级地震的危险区。一是渤海区, $38^{\circ} 00' \sim 38^{\circ} 45' N$, $118^{\circ} 45' \sim 120^{\circ} 30' E$ 区有一定的危险性, 其中, $38^{\circ} 15' \sim 38^{\circ} 45' N$, $119^{\circ} 15' \sim 119^{\circ} 20' E$ 区危险性很大, 发震的概率大于 50%。二是苏、鲁交界区, 其中山东莒南县以东区及江苏泗阳以北区与宿迁以东区的危险性较大。三是辽宁岫岩县一带也不排除发震的可能性。

长江中下游带内有 2 个发生 $M_s 5.0 \sim 5.9$ 级地震的危险区。一是南黄海的大沙、黄子沙以东地区, 该区发震的危险性较大; 二是江苏太湖以北地区, 不排除发震的可能性。

2.4 综合判定的结果

以 1994 年进行的对 1995 年度全国地震危险区的预测结果为基础, 结合 1995 年实际

发生的地震与新近研究成果，对 1996 年度我国大陆的震情作了预测。预测结果如图 2 所示。

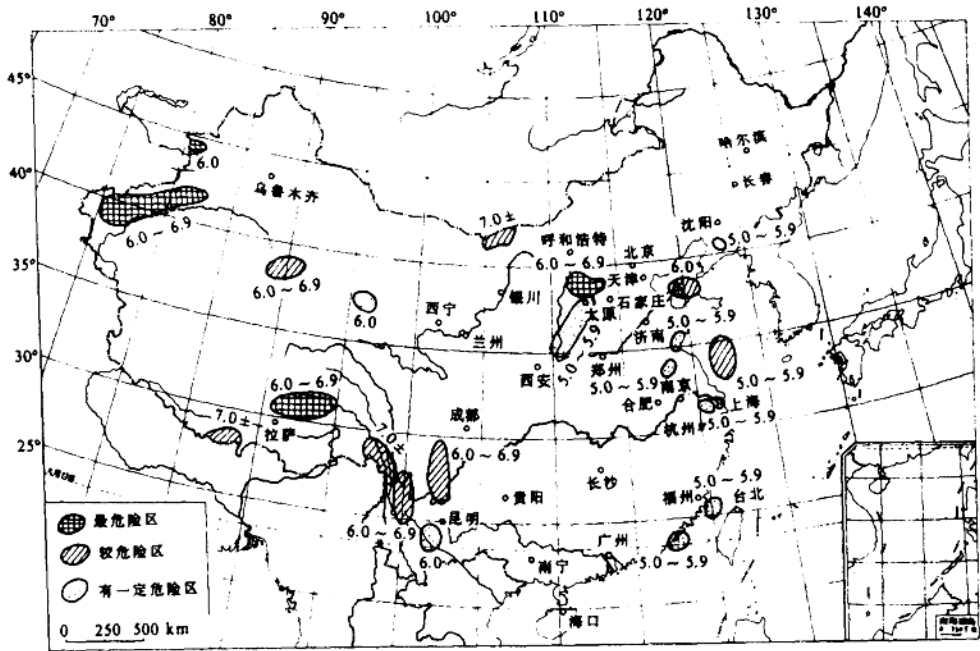


图 2 1996 年度我国大陆地震危险区预测图

3 首都圈及其外围地区的震情分析

首都圈及其外围所指的地区是 $38.5^{\circ} \sim 41^{\circ} \text{N}$, $115^{\circ} \sim 120^{\circ} \text{E}$ 范围。该区是我所近年来地震监测预报的重点地区，不仅对潜在危险区的研究程度较高，而且还布设有水位、水温、流量、水氧、水汞、断层气等 30 多个测项的地下流体动态监测，近年来还开展了卫星像片信息的动态跟踪等。因此，对这个地区的震情分析有一定的深度。

3.1 卫星图象信息的跟踪分析

李建华等人近年来开拓出利用卫星图象信息预测未来 1 年左右的强震危险性的新方法，发现 1976 年 7 月唐山 7.8 级强震前的 13~17 个月在震中及其相关构造带上有明显的构造活动增强的异常信息显示。

根据这一原理，对 1995 年 3~5 月间的蓟县、唐山、天津、塘沽、濮阳 5 幅卫星图象进行了处理与分析。结果表明，在这一时段内没有任何构造活动增长的信息呈现，说明研究区范围内的构造活动相对平稳，不存在强震孕育的迹象。因此，认为 1996 年上半年在京津唐地区发生 $M_s > 7.0$ 级强震的可能性很小。

3.2 地下流体动态监测及其结果

我所在首都圈地区共有 7 个地下流体观测井 (点), 其分布如图 3 所示, 各井 (点) 的测项如表 3 所列。图、表中的水气实际上包括 H_2 、 He 、 CO_2 等多项气体, 断层气包括

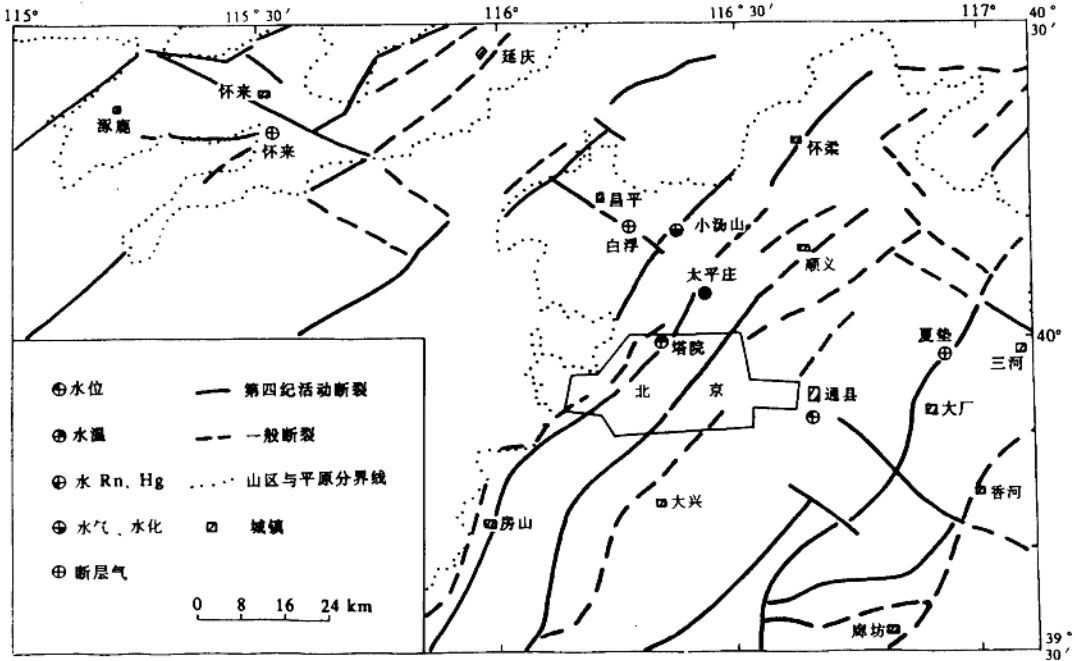


图 3 首都圈地区地下流体测点测项分布图
(据车用太等, 1995)

表 3 首都圈地区地下流体测点的测项及其异常统计表

井 (点) 名	断裂构造部位	井深 / m	观测层	水位	水温	水氡	水汞	水气	水化	断层气	流量
怀来	桑干河	500	Ar							○	
小汤山	小汤山—东北旺	76.5	Z			●?		○	●		
白浮	南口—孙河	2.5	Q							○	
塔院	黄庄—高丽营	357	J_2	○	○					○	
太平庄	黄庄—高丽营	472	J_2	○	○	○	○	○	○	○	○
通县	南口—孙河	320	$\epsilon \sim O$	○							
夏垫	夏垫	3.0	Q							○	

注: ○ 测项; ● 异常测项。

Hg、H₂、He、CO₂、N₂/Ar、⁴He/⁴⁰Ar、⁴He/²⁰Ne、³⁶Ar/⁴⁰Ar、CO₂/Ar等，水化中包括七大常量离子外还包括F⁻，电导率等，因此实际测项达45项。

上述诸测点与测项动态，在1994年10月~1995年9月间除了小汤山的水氧、Cl⁻、HCO₃⁻3项之外，其余均无中期异常显示，测项的异常率为7%。这样的监测结果，总体上说明该区地壳活动处于相对平稳的状态。

图4所示为白浮与塔院两个断层气测点的H₂、He、⁴He/²⁰Ne、³⁶Ar/⁴⁰Ar等部分断层带土壤气的1990~1995年动态及其同期地震活动性对比图。由图可见，首都圈及其外围地区中强地震活动期与平静期的断层带土壤气的动态有显著的差异，而1995年的动态则表现出典型的地震活动平静期的特征。

该区的水氧、水汞、水气(He、H₂、CO₂)及水化(七大常量离子、F⁻、电导率)测项1995年绝大多数属于正常动态，只是小汤山的水氧、HCO₃⁻、Cl⁻三个测项有一定的上升型异常显示(图5)。对于这一异常，张培仁等进行了专题调查。调查的结果表明，1995年4~6月水氧动态值偏高是由于水泵长期失修，泵管被腐蚀成很多小孔，井水面以上的逸出氧回灌到泵管内引起的(该井逸出氧的含量较水中溶解氧含量高几十倍)，而6~8月的剧烈起伏则是水泵转动部分出现故障，排水效率不稳引起的。离子的异常，可能也与此有关。因此，这一组异常，基本上可以认为与地震孕育过程无关。

井水位、水温与流量动态，1995年的年动态特征属于正常动态，没有发现任何中期异常。

鱼金子等对1995年首都圈范围内包括其他单位负责监测的25个观测井(点)100个以上的地下流体测项的动态进行了调研，其结果只有2口井2个测项，即密云石城井与武清高村井水位有年变异常，包括小汤山井的水氧与2项离子，异常井(点)的总数只有3个，占全部井(点)数的12%；异常测项的总数为5项，占全部测项的5%以下。显然，异常只在少数井与个别测项中显示，没有发生强震的前兆显示。因此认为，首都圈地区的地壳活动较为平稳。

3.3 首都圈及其外围区的震情预测

根据上述情况，首都圈及其外围地区1996年度发生 $M_s > 6.0$ 级地震的可能性很小；在首都圈内的地震活动水平将保持1993年以来的 $M_L 4.0 \sim 4.5$ 级的水平，若有活动，可能在京东地区；在首都圈外围地区的地震活动水平，大体上也在 $M_s 5.0$ 级上下，发生 $M_s > 5.5$ 级破坏性地震的可能性较小。

4 1996年我国大陆地震危险性预测结果

根据全国震情分析与首都圈地区的震情分析结果，对1996年度我国大陆的地震危险性提出5个最危险区、8个较危险区及8个有一定危险的地区(表4)。

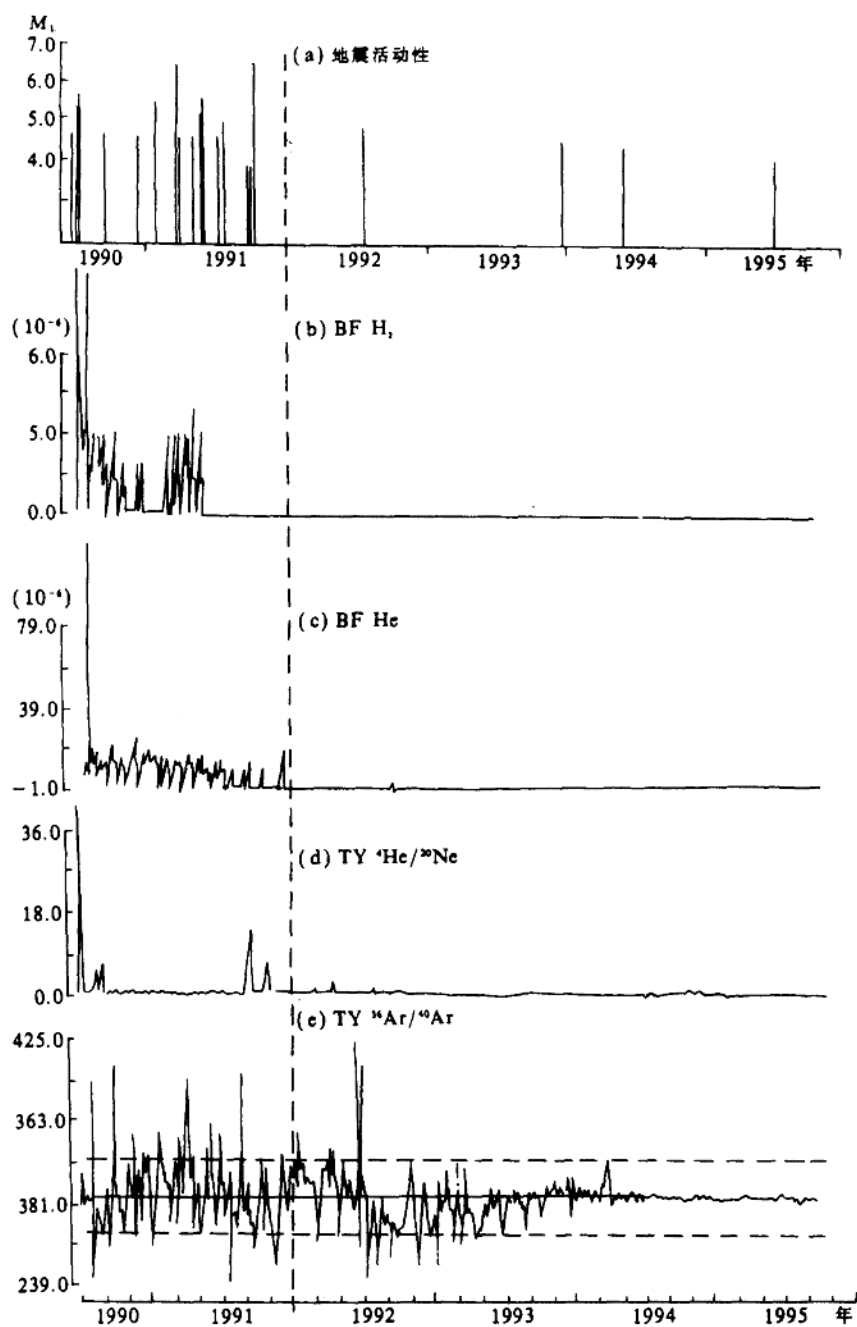


图4 首都圈地区断层带土壤气1990~1995年动态与其地震活动性对比图(据王基华等, 1995)

BF—白浮; TY—塔院

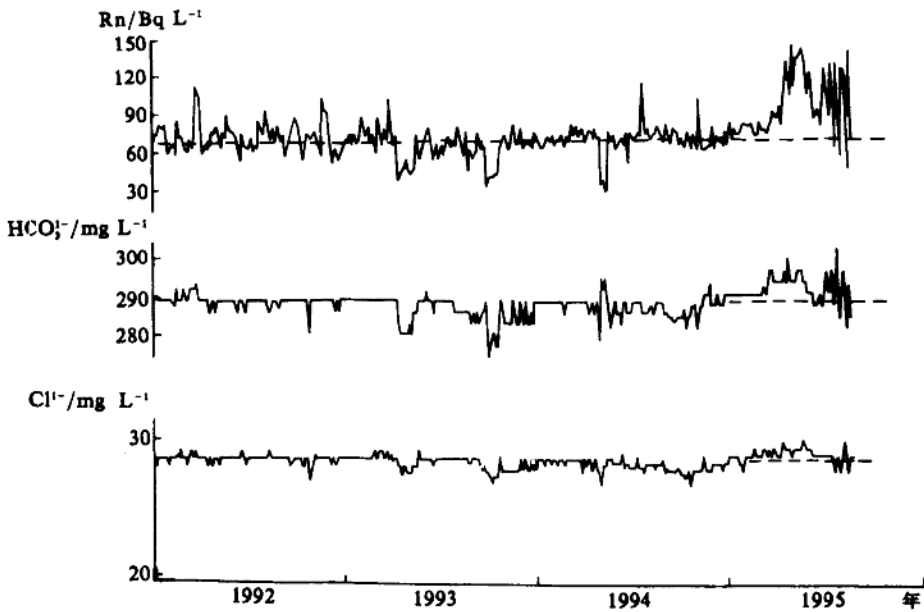


图5 小汤山水质与二项离子1992~1995年动态曲线(据张培仁等, 本文集)

表4 我国大陆1996年地震危险性预测结果

危险程度分级	危险区名称	震级 (M_s)
最危险的地区	南天山带(乌恰—喀什—乌什)	6.0~6.9
	帕米尔—西阿尔泰带(塞里木湖)	6.0
	青藏高原中部(当雄以北区)	6.0~6.9
	晋北区(忻州—大同区)	7.0±
	渤海(黄河河口海域)	6.0
较危险的地区	中喜马拉雅区(28~28.5°N, 87~89°E)	7.0±
	藏滇缅边界区	7.0±
	剑川—大理区	6.0~6.9
	康定—冕宁—巧家	6.0~6.9
	阿尔金(茫崖—安南坝)	6.0~6.9
	中蒙边界(狼山以西)	7.0±
	渤海南部	6.0
	黄海	5.0~5.9
有一定危险的地区	柴达木中东部(锡铁山)	6.0
	汾渭带(太原—运城—临汾)	5.0~5.9
	辽东半岛(岫岩)	5.0~5.9
	鲁南区(莒南以东)	5.0~5.9
	苏北区(宿迁以东、泗阳以北)	5.0~5.9
	江苏中南部(太湖以北)	5.0~5.9
	福建平潭岛附近	5.0~5.9
	福建东山岛附近	5.0~5.9

本报告是以我所有关专家从不同角度对 1996 年度震情预测结果为基础，经汇总与进一步分析研究后编写的。由于执笔人水平所限，在汇总与分析过程中难免对有关专家的观点与意见反映得不准或不妥，甚至有错，对此望专家们提出批评与指正。

地震监测预报工作的主要进展

——1995 年度地震监测预报工作总结

张崇立 孔令昌

摘 要 本文重点从地震孕育和发生的本质、断层活动与地震孕育和发生的关系、地震活动的非线性特性、现今地壳的异常运动与地震危险地点的关系以及孕震条件、危险程度和触发条件三者的对立统一关系等方面,阐述了近年来我所在中短期地震预报理论研究方面获得的新结果以及对地震孕育和发生的本质的新认识;综合评述了我所“八五”期间在大陆内部强震孕育构造环境和发生的构造条件研究、典型构造活动引起的物理场时空演化图象的理论与实验研究、前兆时空分布(场)的物理模式研究、地震前兆场物理机制的实验研究以及水、气、热新的短临预报指标体系研究与建立等方面所取得的新进展、新发现和新成果。

关键词: 地震监测 地震预报 进展

我所从事地震监测预报及其研究的科技人员,克服经费不足的严重困难,以对国家和人民生命财产高度负责的精神,为攻克地震预报难关,进行了坚持不懈的努力和孜孜以求的探索。通过不同学科、不同途径的潜心研究,尤其经过“八五”期间的艰苦努力,在地震监测、预报的基本思路、理论原理和方法技术以及实际运用效果等多方面都取得了新的进展。现择要分述如下。

1 地震中短期预报准确率有明显提高

尽管对我所地震预报工作的投资相对较少,但从我所对 1995 年度我国大陆地震趋势的综合预测意见与 1995 年度(截至 1995 年 10 月)实际发生地震的情况对比来看,预测的 12 个危险区中,4 个区发生了地震。大陆范围内发生的 20 个 $M_s > 5.0$ 级地震中,有 6 个地震发生在所预测的危险区内,地点预测成功率在 30% 以上。

就单学科(手段)的预测效果而言,命中率也有较大提高。例如,王绳祖等提出的构造物理预测方法,在实际试用中显示出较好的效果。其预测的能量背景区与实际震情对比表明,1994 年至 1995 年 9 月,预测范围内 75% 的 5 级以上地震及全部 6 级以上强震都发生在能量背景区内,其中包括山东苍山、费县间 5.2 级、永登 5.8 级以及中缅边境 6.2、7.3 级地震。1995 年,他们对该方法进行了改进,在考虑塑性流动网络及其网络波传递板块边缘驱动力的同时,进一步考虑了地幔涡旋对流及涡旋波引起的板块底界驱动力源,并在发展概率计算中增加了“权”系数,可望能够进一步提高地震预报的准确率。

在首都圈地区,尽管我所前兆监测点较少,资料有限,但我们注意充分发挥多手段配

套观测、综合分析研究的优势，依赖该地区全面深入的地震地质研究基础，各前兆监测手段在首都圈地区的地震中短期预报中发挥了积极作用。例如，1994年我所作出了“1995年度首都圈及其外围地区发生 $M_s > 6.0$ 级地震的可能性很小，不排除发生 $M_L = 5.0$ 级地震的可能性”的预测意见；在1995年7月召开的大华北片区的年中震情会商会上，我所提出“（1995年）下半年首都圈及其邻区发生 $M_s > 6.0$ 级地震的可能性不大；北京地区发生大于5.0级地震的可能性较小，但不排除发生4.0级左右地震的可能性。”到目前（1995年10月）为止的实际震情表明，这些预测意见是正确的。

2 地震中短期预报及其理论研究进展显著

2.1 对于地震孕育和发生的本质在理论上取得了新认识

地震是现代地壳运动引起的构造变形不均匀积累，致使局部地段岩体突发性失稳破裂的具体表现。近年来理论与实验研究获得的新结果，使我们对于地震孕育和发生的本质有了更进一步的认识，这主要表现在以下几个方面：

2.1.1 地震的孕育和发生是一种地壳不协调性运动的过程

理论与地震预报的实践表明，地震的孕育和发生是现代地壳运动从区域到局部孕震体不协调性运动的一个动态过程。这种不协调性运动的过程具体反映了地壳的物质组成、结构和构造的现代活动等方面在空间和时间上的不均匀性，也就是说，要使应力-应变高度集中并最终发震的孕震体应具备一定的地质构造条件和介质条件。这是地震孕育和发生的根本原因和物质基础。不难理解，要提高地震预报的准确率，必须给予现今正在活动着的构造以高度重视。实际上，地壳变形的不协调反映的是地壳构造运动格局的变革，地震前地壳变形的不协调必然会导致小震活动格局的变化，如空区、条带、离散、集中、共轭断层交替活动等现象的出现。因此，一个地区发震的危险程度可用局部能量不协调、地形变的不协调以及小震活动的不协调来定量刻划（邓志辉、张崇立等，1995）。

2.1.2 地震不仅是先存构造新活动的产物，而且还寓于产生新生断层的过程之中

不同的构造有不同的孕震能力，不同时期有不同的主体构造活动。构造活动的新生性在地震预报中具有特别重要的意义。在一定的构造背景下，伴随着地震的孕育过程会出现区域性或局部性的地震活动、地下流体、地壳形变、地球物理等各种前兆异常现象，这些异常场的形成和演化，无疑也是构造活动新生性的标志。因此，作为地震预报工作基础的地震地质研究，有必要在活动构造研究所取得的丰硕成果的基础上，进一步努力寻找现今正在活动着的构造格架，然后再进一步结合地壳形变、地下流体等各种动态资料，给地质意义上的静态结构赋予动态特性。只有在把握住大陆内部现代变形的动态规律，了解构造变形场正在发生的微细变化的基础上，才有可能预测可能的错动部位，进而找到其中不连续的突发性失稳事件——地震发生的时间、地点和强度。

显而易见，如何把地质意义上万年时间尺度的活动构造图象与现今正在孕震的现代构造活动图象，如地壳形变场、地球物理场、地球化学场的变化结合起来，建立起可操作的孕震动力学模型，是地震地质学家和地震预报专家在“九五”期间的共同任务。

2.1.3 孕震条件、危险程度及触发条件的研究是不可分割的统一体

实质上，地震预报的研究内容，主要包括孕震条件、危险程度及触发条件的研究，三

者密不可分。地震的触发因素具有多样性特征。实验结果表明,在一定的温压条件下,岩体内应变能积累到一定程度后将达到饱和,但不一定立即失稳。每次失稳事件在时间上存在很大差异。这说明岩体应变能达到饱和状态时,触发因素的作用是非常重要的。震源体在自然界可能会受到各种各样触发因素的影响,有的来自地球内部,有的来自天文因素,等等。近年来我所在这方面的研究取得了新的重要进展。例如应变波(马宗晋,1992)、塑性流动波(王绳祖,1994)、地幔自组织对流(邓志辉、马瑾,1992)及涡旋运动(王绳祖,1995)、磁暴-地震二倍关系(徐道一,1993,1994)、周期性地震轮回(杜品仁,1994)等一系列新概念的提出,较好地解释了地震时空分布的不均一性和地震有规律性的迁移问题,相应的预测方法为地震预报开辟了新的途径。

孕震条件、危险程度及触发条件三个方面的研究密切相关,互相补充。换言之,如果已经证明一个震源体已发育成熟,则只需很小的触发作用便可以发震,即使震源未完全达到临界状态,如果触发条件足够强大,也会导致地震发生。另一方面,即使局部地区能量有相当的积累,甚至出现某种场兆,但由于构造条件的不利,也可能使能量转移或耗散。

2.1.4 地震前兆与地震活动的非线性特性

从场源关系角度出发,人们开始使用描述混沌运动的参量来研究地震活动和地震前兆的时空分布规律,比如分维、熵等及与其相关的方法,而且取得了一定的进展。不过,要将有关的理论和方法应用到实际的中、短、临地震预报中,还存在明显差距。进一步研究表明,非线性不等于混沌,混沌是非线性的一种状态,而不是唯一状态。实际的地震活动是有特征尺度(比如等间距分布)(邓志辉,1994)和无特征尺度(分维)结构并存的复杂图象。地震可能发生在非线性的分岔阶段。八瓣构造(马瑾等,1995)、特征构造域、共轭断层交替(选择)活动及异常活动的阶段分岔特征等的提出是地震预报思想的创新,它们反映的规律既非随机,也非混沌,而是非线性分岔(邓志辉、马瑾,1992)。

一个地区出现异常并不等于有地震危险,它们可以由系统背景值的涨落或局部干扰所致。但如果运动格局发生了变化,则意味着危险程度大大增加了。系统进入非线性分岔阶段最重要的特征就是运动格局的变化。但由于初始条件的敏感性,新选择的运动格局可能会各不相同,比如条带、空区、八瓣构造、地壳形变趋势性的改变等。尽管识别这些构造活动是困难的,但它们共同的成因都是运动格局的变化。

2.1.5 现今地壳异常运动与地震活动的关系

地壳形变与地震关系的进一步研究揭示:地震不一定发生在形变速率最高的时空域内,而是多发生在其变化最大(或突变)的时空域内;滑动速率最大的断层段,不一定是地震危险程度最大的地点,地震危险程度最大的地方应在现代断层滑动方向(或活动方式)转换部位(张崇立,1995,1994)。实验结果也证实,声发射事件不一定发生在应变能最高的地方,而常发生在应变能突变带上(邓志辉、马瑾,1995)。这些结果恰好是“地壳形变速率大小仅是衡量地震危险程度的必要标志,但不是充分标志”(张崇立,1994,1993,1992)的一个佐证。显然,能量突变带也正是岩石应变积累最大的地方。所以在空间上确定应变能突变带是判别发震危险区的重要标志。运动的不协调是能量和变形突变带形成的前提,也是区别地震异常与非震异常的重要方面。

2.1.6 活断层与地震孕育和发生的关系

近年来活断层与地震断层的研究表明,地震和断层密不可分。根据产生地震的破坏方

式,可分为形成新生断层的“破裂型地震”和沿先存断层发生的“摩擦型地震”两类。它们各自具有一定的地震活动型式。震例剖析和地壳温压条件下岩石力学实验的初步结果表明,破裂型地震具有丰富的前震活动,主震前会非线性地增加;而摩擦型地震的前震活动则相对稀少(徐锡伟、何昌荣,1995)。如果这种现象客观上普遍存在的话,那么根据破裂型地震与摩擦型地震前震活动序列的这种差异,就可以迅速判断地震类型并用于临震预报。显然,更为详细地研究与这两种类型地震相伴生的其他前兆特征,将有助于提高地震预报的准确率。

总之,现代地壳运动的不协调将导致震源能量积累与释放失衡,使震源系统发生非线性分岔,导致能量分布突变及地壳形变态势畸变等。可见,定量描述地壳运动的不协调性,是降低地震预报虚报率的技术关键。衡量地壳运动的不协调程度,应包括多个侧面。亦即从构造和介质的角度看,首先应圈定有利于产生能量和运动方式突变(如由剪切变为拉张或由上升变为下降等)的孕震构造部位;从地壳形变的角度看,应着重寻找正在发生着的变形与趋势性地壳运动不协调的时空域;从能量的角度看,应分析计算能量突变带和能量的输入和输出关系;从地震活动的角度看,应研究地震活动的不协调规律;从触发条件看,应对地幔自组织对流、应变波、塑性流动波及涡旋运动以及天文因素等进行深入研究(邓志辉、张崇立等,1995)。

2.2 “八五”期间,我所地震预报的基础理论、预报方法和模拟实验研究取得了新的进展

2.2.1 我国大陆强震孕育构造环境和发生构造条件研究

“八五”期间,我所汪良谋研究员等承担的“我国大陆强震孕育构造环境和发生构造条件研究”重点课题,着重研究中长期强震发生地点和强度预测,取得了下列重要进展:

(1) 系统收集了中国大陆及邻区有关活断层研究的专著、论文、活断层大比例尺地质填图及工程地震工作中有关近场区活断层研究成果,编制了带有时间意义的《中国大陆及邻近地区第四纪活断层分布图(1/600万)》。把活断层从时间上划分为全新世、晚更新世、和第四纪三个时间段,为强震危险区划分提供可靠依据;

(2) 通过大量震例分析,结合实验研究,提出强震发生分级、定性-定量标志和强震构造类型划分,从强震发生的构造应力条件、构造变形条件、介质结构条件、蓄能体积条件,分析讨论了中国大陆强震发生的动力学机制,为强震危险区划分提供理论和实际依据;

(3) 系统收集中国大陆公开发表的古地震事件177次,编制古地震简目,分析了各地震区主要活断裂带上古地震($M>7$)重复周期,使得有可能进一步认识断裂长期活动习性和估算未来大地震复发的可能时间;

(4) 以活断层资料为主,参考地壳形变、地球物理等方面的资料,对中国大陆11条强震构造带内晚更新世以来的活断层进行分段,提出分段地震危险性评价的PSR模型和NB模型的“非通用分布”。为利用活断层研究成果直接进行地震危险性评价拓宽了研究领域;

(5) 根据活断层、古地震、历史地震资料,在中国大陆及邻近地区划分出 $M>6$ 危险区338个(东6、西7),其中8级危险区61个,7级危险区166个,6级危险区111个。并依据断层活动性和地震活动性,对危险区进行分类,Ⅰ类(危险程度最高)危险区42