

地震危险性

预测研究

(1994 年度)

国家地震局地质研究所

地震出版社

目 次

我国大陆地区近期地震危险性综合评估 (代前言)	
..... 国家地震局地质研究所地震中长期预报小组	(1)
* 论文 *	
中国大陆地震趋势的构造物理方法预测.....	王绳祖 (4)
中国大陆近期强震活动性分析	叶文华 汪良谋 尤惠川 刘培洵 (20)
强震危险区预测	邓志辉 (38)
青藏高原和华北地区几条主要活动断裂带的	
地震危险性评价	楚全芝 汪良谋 孟永琦 刘 静 (43)
我国东部主要地震区地震趋势研究	董瑞树 冉洪流 (53)
北京地区两条活动断层上的地震预测	刘 洁 宋惠珍 巫映祥 刘贵梅 (61)
* 短文 *	
全球地震活动规律及其	
与中国大陆地震活动的相关性	李闽峰 刘培洵 (69)
根据二氧化碳总量参数对 1994 年度我国西南地区	
地震趋势的预测研究	上官志冠 (77)
根据地震分布图象进行地震幕划分	刘培洵 汪良谋 李闽峰 (80)
中强震平静期与强震关系以及	
1994 年强震背景预测	王湘南 徐道一 (84)
磁暴地震二倍法预报地震的进展	徐道一 王湘南 沈宗丕 (90)
* 前兆监测报告 *	
首都圈地区地震前兆监测	
及 1994 年地震活动趋势.....	国家地震局地质研究所地震短临预报小组 (95)
首都圈地区地下水动态与 1994 年震情分析	
.....	朱清钟 田竹君 谷园珠 杨会年 梁华峰 张大维 (104)
首都圈地区 1993 年水化监测与 1994 年震情分析	
.....	张培仁 王基华 孙凤民 朱克文 金晓微 王志敏 陶京玲 (110)
首都圈地区 1993 年断层气监测及 1994 年震情趋势分析	
.....	王基华 高清武 孔令昌 林元武 孙凤民 金晓微 李秋珍 (116)

我国大陆地区近期地震危险性综合评估

(代前言)

国家地震局地质研究所地震中长期预报小组^①

本文集是专为 1994 年度全国地震趋势会商会准备的，共收进有关近期地震危险性预测文章 12 篇。其中有相当一部分是结合研究课题进行的，反映的研究面比较广，方法、手段较多。考虑到现阶段地震预测仍处于探索阶段，过多强调统一思路往往会受到某些限制，不利于充分发挥个人研究特长和广开思路的目的，因而事前未制定统一的研究思路。

12 篇文章中从预测的空间域大致可分为三种类型，第一类属地震大形势研究，对中国大陆和某些地震区的近期地震活动水平作出预测；第二类是对某些地区或地震带近期地震活动水平作出预测；第三类给出近期强震发生的具体危险区或危险点。从预测的时间域也可以分成以下几个时间段，第一类预测的时间可以到年，如 1994 年或 1993 年底到 1994 年；第二类预测的时间到 2000 年前或未来 5 年；第三类无明确的时间含义，发震时间可从 1994 年到今后若干年。从预测的强度看，大多数方法预测的震级为 $M > 7$ 级，也有一些方法对 6 级地震作了预测。

现将各种方法预测结果分述如下：

(1) 关于地震大形势预测

有三篇文章属地震大形势研究范畴，具体的预测意见包括：

①根据欧亚地震带 7 级以上地震时、空演变特点认为，1993—1997 年地震活动主体地区在欧亚地震带西部 (60°E 以西)，中国大陆发生 7 级以上地震的可能性较小。

②根据地震序列和时空变化分析预测，华北和东南沿海地区近期发生 7 级以上地震可能性不大。

③根据中强震平静期与强震关系预测，1994 年在新疆、云南地区存在发生 $M > 7$ 级地震的可能性。

(2) 区域地震危险性预测

根据多种方法的地震危险性统计预测认为，南天山地震带、阿尔泰山地震带、冈底斯山地震带在 2000 年前存在发生 $M > 7$ 级地震的可能性 (图 1, 表 1)。

(3) 根据地球物理方法、强震活动特征尺度规律、 CO_2 总量参数、活断层分段及其地震危险性预测等多种方法预测结果认为，汾渭地震带、甘宁青交界地区、川滇藏交界地区，以及青藏高原中部存在发生 6—6.9 级地震或 $M > 7$ 级地震的危险区 (图 1, 表 1)。

^①执笔：汪良谋。

综上所述可以得到以下几点认识:

(1) 中国大陆近期存在发生强震的危险性, 其中 $M > 7$ 级地震主要发生在中国西部, 在中国东部发生 7 级以上的地震可能性不大, 但仍存在发生 6 级地震的可能性;

(2) 1994 年存在 4 个强震危险区, 其中东部的山西临汾地区有可能发生 6—6.9 级地震, 西部的安宁河地震带、马边-雷波地震带、红河-金沙江地震带均存在发生 6—7 级地震的可能性 (图 1),

(3) 凡是预测 2000 年前或未来 5 年发生强震的危险区, 在 1994 年也存在发震的可能性。

有关首都圈的地震危险性预测, 本文集共收到四篇文章, 并对四种方法的预测结果进行了综合评定, 故在本文内不再重述, 请详见有关文章。

由于本文集涉及的内容较多, 研究面较广, 在本文中不可能对每篇文章的预测结果及其预测依据进行详细介绍, 建议在参阅本文的同时, 应查阅有关文章, 以便全面了解各种方法的可行性及预测结果的可信度。

本文集的各篇文章在研究的深度上, 论证的合理性和预测结果的可靠性上都存在一定的差异, 为了给商会提供来自各种方法的预测结果, 我们一并将编入本文集, 不妥之处, 敬希批评指正。

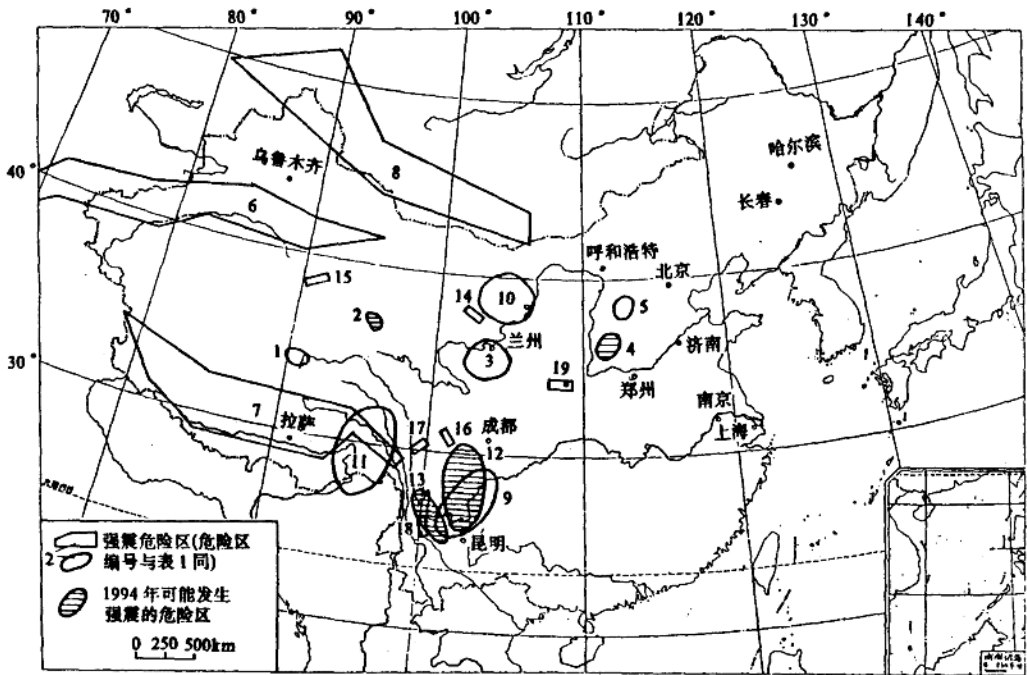


图 1 中国大陆近期强震危险区分布图

表 1 中国大陆近期地震危险性预测一览表

危险区 序号	预测的发展地点	预测的 发震时间	预测的 发震强度	发震可能性 (发震概率)	研究的范围	研究方法	备注
1	青海克天以北	1996 年	6.0—6.4	有可能	中国大陆及 邻近地区	地球物理 方法	本方法认为 概率大于 10% 即 有发震可能
2	青海锡铁山	1994 年	6.0±	0.132			
3	甘肃兰州—临夏	1995 年	6.0—6.9	0.117			
4	山西临汾	1994 年	6.0—6.9	0.120			
5	山西忻定—五台	1997 年	6.0—6.9	0.110			
6	南天山地震带	2000 年前	$M > 7.0$	0.990	中国大陆及 邻近地区	地震活动性 统计分析	
7	冈底斯山地震带	2000 年前	$M > 7.0$	0.753			
8	阿尔泰地震带	2000 年前	$M > 7.0$	0.753			
9	川南地区	未来 5 年	$M > 7$	高概率	中国大陆	强震活动特 征尺度规律	
10	银川北部	未来 5 年	$M > 7$				
11	西藏东南部	未来 5 年	$M > 7$				
12	康定—石棉—渡口和 马边—雷波—川滇东部	1994 年	7±	据震例经验 存在发震的 可能性	川滇地区	二氧化碳总 量参数	
13	中甸、剑川、永胜、 姚安和双柏地区	1993 年底— 1994 年	6±				
14	祁连山中段	未来 5 年	$M > 7$	0.0112	祁连山地震带	活断层分段	本发震概 率是根据 古地震重 复周期得 到, 虽然 很小, 但 具有发震 的可能性
15	青海茫崖东	未来 5 年	$M > 7$	0.0114	阿尔金地震带		
16	四川乾宁	未来 5 年	$M > 7$	0.0773	鲜水河地震带		
17	四川巴塘	未来 5 年	$M > 7$	0.2013	金沙江地震带		
18	云南大理	未来 5 年	$M > 7$	0.2997	红河地震带		
19	秦岭北缘	未来 5 年	$M > 7$	0.0044	汾渭地震带		

中国大陆地震趋势的构造物理方法预测^①

王 绳 祖

摘 要 在探索地震成因机制的基础上, 针对震源过程和驱动背景两个方面, 分别运用潜在震源区发震概率预测方法和能量背景区预测方法, 对中国大陆(中东亚塑性流动网络系统的主体部分)的地震趋势进行了研究, 并结合其它方法的研究结果, 提出了预测意见, 主要包括 1994 年中国大陆地震能量背景区分布图和青藏高原至华北平原若干地区地震危险性预测意见, 可作为地震综合预报的依据。

关键词: 塑性流动网络 塑性流动波 地震迁移 能量背景区 潜在震源区 发震概率

1 引 言

经过十多年的研究, 作者及其同事们在力求揭示物理机制的基础上, 逐步地建立和发展了一种用于中、长期地震预测的多判据构造物理方法。众所周知, 地震的孕育、发生涉及震源过程和动力学背景两个方面, 前者关系到震源的构造、介质、物理环境和直接的驱动背景等方面因素, 后者则与更大空间范围的驱动力源、能量传递和涨落等因素有关。针对地震过程的上述复杂性, 多判据构造物理方法相应地发展了以震源过程为着眼点的潜在震源区发震概率预测法^[1-3]和以地球动力学背景为着眼点的能量背景区预测法^[4-9]。同时, 考虑到驱动力源的多样性, 尽可能采纳其它原理和方法所得结果中的合理部分。

与各种传统的地震预测方法不同, 本方法除了对上述两方面进行综合考虑以外, 在基本原理和实际操作上还具有以下特点:

(1) 关于震源整体突发失稳导致地震的观点^[1, 2]

在震源过程方面, 强调震源处于“高”围压、强约束状况的特点, 以及由此而引起的地震失稳的特殊性, 其中包括: 破裂及其扩展不一定导致力学系统的整体失稳; 失稳有渐进式与突发式之分, 突发失稳才可能地震。因此, 仅仅根据应力水平和强度的高低, 不足以判定地震的发生与否, 必须以多判据代替单一的强度判据。

(2) 关于岩石圈塑性流动网络和塑性流动波^[4-9]

在驱动力源和能量背景条件方面, 强调地震的条带状和网络状分布主要受岩石圈下层

^①地震科学联合基金资助课题 (91088)。

塑性流动网络的控制，地震的迁移主要受塑性流动波的控制，提出以板块边界起波年份分期取代按发震年份分期、分幕的传统做法，从而根据塑性流动波的传播和塑性流动网络的分布预测地震的迁移。

(3) 关于从“经验预测”到“物理预测”^[2, 3, 7-9]

本方法，一方面，在建立确定性物理模型的基础上解释地震的成因、机制和条件，求算相应的定量参数；另一方面，尽可能地运用地震以及其它地质、地球物理探测资料所提供的信息，建立统计模型和关系，作为分析、对比和反演的依据，从而成为一种确定论与概率论相结合的预测方法。这是一种以揭示物理实质为基础的“以震报震”，体现了地震的“经验预测”向“物理预测”的发展。

作为构造物理预测方法的一种尝试，本文将在简要阐述本方法的基本思路和实施步骤的基础上，就中国大陆大部分地区 1994 年地震趋势的问题进行研究，所得结果可作为多学科、多手段综合预报的依据。

2 关于地震预测的基本思路

2.1 多层构造、多力源、多判据

地震是一种复杂的、受多种因素的控制或影响的地球动力过程。就浅源构造地震而言，导致地震及其预测复杂性的主要原因，主要在于震源所处的多层构造环境、地震能量和驱动力的多种来源、以及由此而造成的发展条件和判据的多重性。地震学、构造物理学和地球动力学等长期的研究积累和进展，其中包括作者及其同事们关于岩石圈多层构造模型和塑性流动网络、塑性流动波和地震预测的能量背景区方法、以及浅源强震多判据原理和预测方法等方面所作的研究，为认识地震的多层构造、多力源和多判据等特点并建立相应的预测方法提供了依据。

地震过程包含着两个相互关联的环节，即震源过程和驱动背景。震源过程主要是指震源的孕育和发展过程，它取决于震源所在地段的构造、介质、物理环境和直接的驱动条件（近场应力状况和应变积累程度）。驱动背景指的是更大尺度的动力学背景，主要可归结为地震所需能量来源的背景条件，它涉及地球不同层次之间和不同构造单元之间的力学作用和能量的传递。

岩石随所处深度的增大而由脆性到延性的转变，这种转变决定了浅源地震主要发生于脆性和半脆性的上部地壳，形成壳内的多震层。震源所处的深度范围则导致了震源过程的特殊性，表现为“高”围压、强约束等不同于地球浅表岩体力学过程的一系列特点，包括破裂作用与摩擦作用的主次替换、渐进失稳与突发失稳的区分、断层闭锁部的“促震”与“抑震”二重性等。在这种特殊的情况下，破裂及其扩展并不直接导致地震失稳，断层闭锁部的破裂并不等于震源体系的力学失稳；断层错动不一定失稳，即使失稳也不一定是突发式的地震失稳；导致浅源构造地震的主要是已有的或新生的断层的突发式失稳错动。因此，仅仅根据强度判据或临界应变判据，以累积应力水平或应变量的高低，无法判断地震的发生与否。发生地震的必要条件是多方面的，对于地震的判断和预测必须以多判据代替单判据。

岩石的脆性-延性转变还决定了下地壳及更深层介质的半延性和延性性状。研究证

明, 在一定的温度、围压条件下, 处于半延性、延性状态的岩石因剪切变形而产生近于正交的共轭网络状宏观结构, 即塑性流动网络结构, 其相应的深度层次主要是岩石圈下层, 包括下地壳和岩石圈地幔。板块边界的推挤伴随着板块内部因厚度和地势变化而引起的重力势作用, 通过岩石圈下层的网络状塑性流动, 实现板内驱动力能量的远程传递。地震的发生, 一方面要求具备脆性、半脆性的介质和构造条件, 故震源位于上部地壳; 另一方面, 要求具备必要的能量来源, 依赖于塑性流动带的远程传递, 故震源群体的平面分布受塑性流动网络的控制。地震发生条件的这种双重特性导致了“塑性流动-地震”双层网络系统的形成。岩石圈下层的网络状塑性流动构造层、其上的剪切破裂构造层(即多震层)和地壳浅部的张性破裂构造层, 以及这些构造层之间起调节和过渡作用的低速高导层(体), 组成了大陆岩石圈的多层构造。

欧亚板块内部分布着多个塑性流动网络系统^[10], 其中以喜马拉雅弧为驱动边界的中东亚网络系统遍及中国及邻近地区的大部分面积。完整、统一的网络系统不仅表明了岩石圈下层的网络状塑性流动对于板内构造变形和地震活动, 在传递能量方面所起的基本作用, 而且还意味着这一层的存在对软流圈及更深层物质运动的向上传递起着缓冲、调节或隔离的作用。因此, 岩石圈板块在软流圈或更深层地幔运动的曳引下产生整体“漂移”和相互作用, 而控制板块内部构造变形的主要是板缘挤压驱动下的塑性流动网络, 同时, 岩石圈下方不同尺度等级的地幔运动有可能对板内构造变形造成程度不同的辅助驱动作用或触发作用。上述的各种运动, 包括岩石圈板块内部变形、板块整体“漂移”、以及地幔和深部物质的运动, 都发生在行星地球及天体作用的大环境之中, 从而受到各种全球性的和天文的因素直接或间接地作用。因此, 作为地震的孕育和发生过程, 存在着多种类型的驱动力源。

2.2 驱动力源的分类

按照作用机制、传递方式及对地震的贡献不同, 可将驱动力源的类型作如下的归纳。

(1) 按照驱动力源的不同作用机制, 大致可分为:

全球性驱动力源(A) 受地球内部或天文因素控制, 如地球转速变化、太阳黑子活动、天体相互作用等;

非板块驱动力源(B) 跨板块或非板块体系的大尺度地球动力学过程所提供的驱动力源;

板缘驱动力源(C) 主要通过板缘的推挤和板内网络状塑性流动的传递, 为地震提供能量;

板内局部驱动力源(D) 地幔局部上隆和底辟作用等, 受岩石圈下层塑性流动网络构造层的控制、缓冲和阻隔。

(2) 按照对震源的驱动作用是否经过远距离传递, 可分为:

同步型: 不经过远距离水平传递;

延迟型: 经过远距离水平传递。

(3) 按照驱动力源对地震的能量贡献方式和程度, 可分为:

基本型: 地震所需能量的基本来源, 持续地、有起伏地为潜在震源提供能量;

辅助型: 地震所需能量的辅助来源, 主要对基本能量积累起补充和增强的作用;

触发型: 在地震能量积累接近临界值时起触发作用(基本和辅助源也可作触发源)。

板内地震驱动力源的可能状况则大致如表 1 所示。

表 1 板内地震驱动力源的类型

	同步型	延迟型
基本型		C
辅助型	B D	B
触发型	A	

2.3 浅源强震的发震条件和判据

针对地震过程的上述特点，可将发展的条件和判据归纳如表 2 所示。其中关于震源过程的发展条件和判据可详见有关的文献^[1-3]。

表 2 浅源强震的发震条件和判据

发展条件		基本要求	发震判据
震源过程	介质条件	脆性、半脆性	潜在震源多判据： 1. 突发失稳判据 $\Delta\tau > [\Delta\tau]?$ 2. 总能量判据 $\Gamma > [\Gamma]?$ 3. 临界应变判据 $\Delta\gamma > [\Delta\gamma]?$ 多判据的概率表达： $P = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3$ $P > [P]?$
	环境条件		
	构造条件	发震断层的存在	
	驱动条件	应力方向	
应变积累		达到临界应变 (应变率 × 孕震时间)	
驱动背景	基本能量背景条件	双重波峰区和地震网带范围内	基本能量背景判据： 是否在能量背景区内？
	辅助能量背景条件	受板内局部或跨板块驱动力的作用	(根据板内或非板块驱动机制建立相应判据)
	触发能量背景条件	受全球性或区域性触发因素的作用	(根据天文地震学或其它方法建立相应判据)

本文的目的即在于，在尽可能地考虑到这些条件和判据的前提下，根据作者在震源过程和驱动背景中基本能量背景条件等两方面所作的研究，预测地震的能量背景区和潜在震源的发展概率，同时结合运用其它能量背景条件方面的研究成果，以力求提高地震趋势预测的可靠性。

3 地震的能量背景区预测

3.1 塑性流动网络和塑性流动波

根据大陆岩石圈的多层构造模型^[5, 6], 在相邻板块推挤及板内重力势的联合作用下, 板块内部通过岩石圈下层(含下地壳和岩石圈地幔)的网络状塑性流动实现能量的远距离传递, 从而控制和影响构造变形、构造应力场、地震活动、及其它地质和地球物理过程; 浅源地震主要发生于中上地壳的剪切破裂构造层(即多震层)内, 受该层内的构造、介质及环境条件的控制, 而在能量来源上则受下层塑性流动网络的控制, 正因如此, 单个震源位于上层的发展断层, 而多个震源的分布却呈条带状和共轭网络状, 与塑性流动网络相对应, 以至形成由左向带和右向带交叉组成的“塑性流动-地震”双层网络系统如图 1 所示。

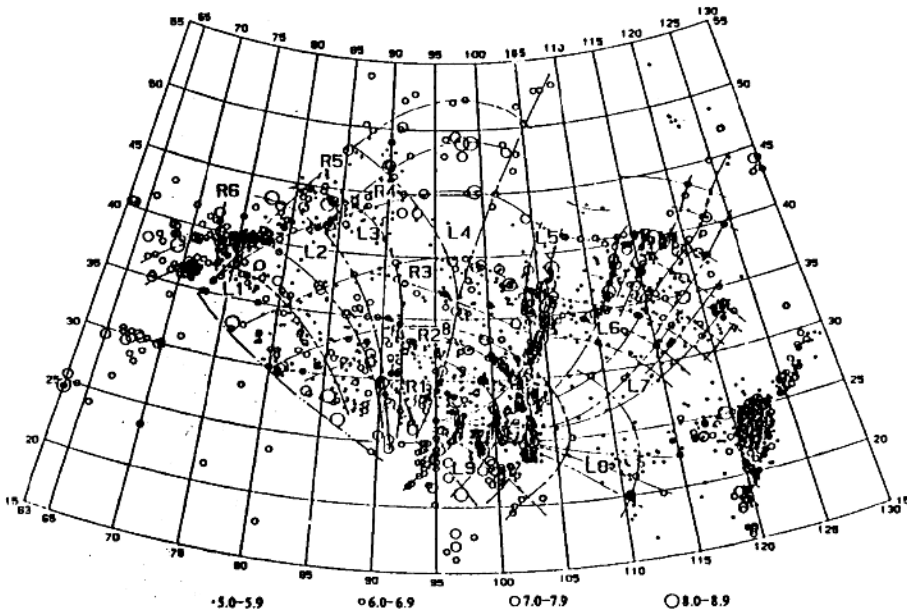


图 1 中东“塑性流动-地震”网络

大小不同的圆圈表示震中位置, 其震级范围于图下方注明;

L1, L2, ... 和 R1, R2, ... 分别表示左向和右向网带的编号

岩石圈下层的塑性流动还具有波动起伏的特点。塑性流动波(或塑性波)是在板块边界间歇式或脉动式驱动作用和板内重力势作用下所形成的粘塑性变形波。势能相对聚集的波峰带为上覆多震层的发展提供必要的能量背景条件, 波的传播和波峰带的移动所构成的波动场决定了地震活动的迁移和涨落。

3.2 地震沿带迁移速度、波速场和起波年份^[9]

基于上述观点, 针对以喜马拉雅碰撞带为驱动边界的中东亚网络系统主体部分^[10], 研究了地震 (>5.0 级) 沿各大型地震带 (对应于塑性流动带) 的时、距分布特征。参照通常所采用的方法, 根据时、距图中地震的条带状分布及其斜率, 可确定地震的沿带迁移速度。各带的地震迁移速度不同, 但都明显地分布在两个速度域, 即

	左向带(9条)	右向带(6条)
第一速度域(km/a)	0.8—6.9	1.4—3.7
第二速度域(km/a)	12.4—45.3	21.5—42.2

地震的沿带迁移受塑性流动波的控制, 它们实际上反映的是波动场内波传播速度的分量, 故可根据左向带和右向带的走向, 由沿带的速度分量合成网络各结点的速度矢。速度矢的分布反映了塑性流动波的传播速度场, 并可根据波峰线 (即波峰带中线) 与结点速度矢正交的原则, 同时考虑到传播速度的大小, 绘制如图 2 和图 3 所示的第 1 和第 2 速度波的走时等值线, 简称等时线。等时线表示了塑性流动波从零等时线 (靠近驱动边界) 开始所经历的时间, 即边界起波后的相对走时。

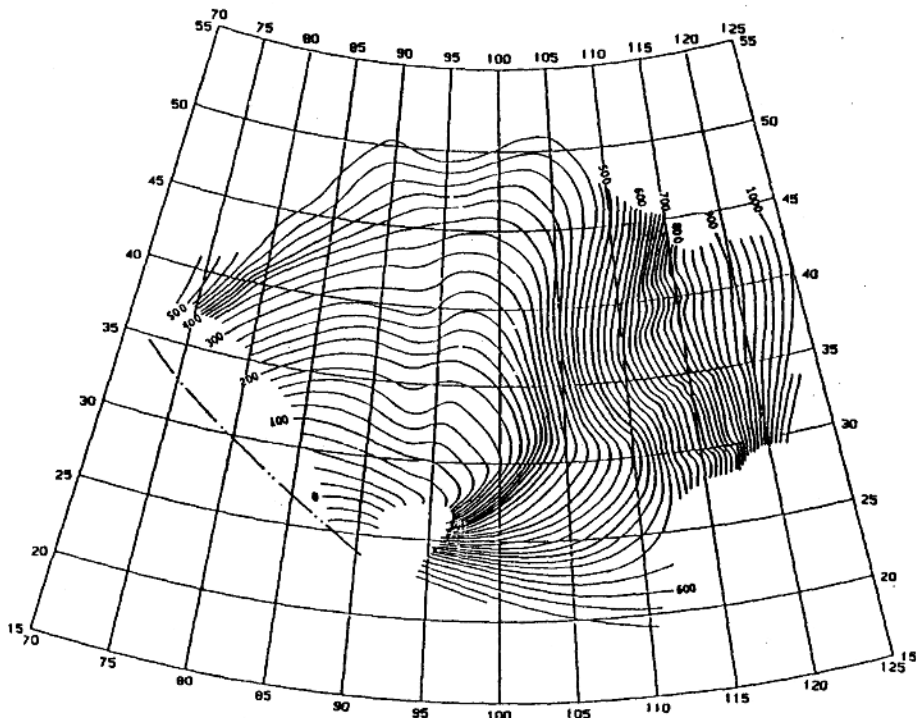


图 2 塑性流动波第 1 传播速度走时等值线图 (走时单位: a)

显然, 每一地震的震中都应落在某一波峰带内, 而该波峰带具有相应的边界起波时间

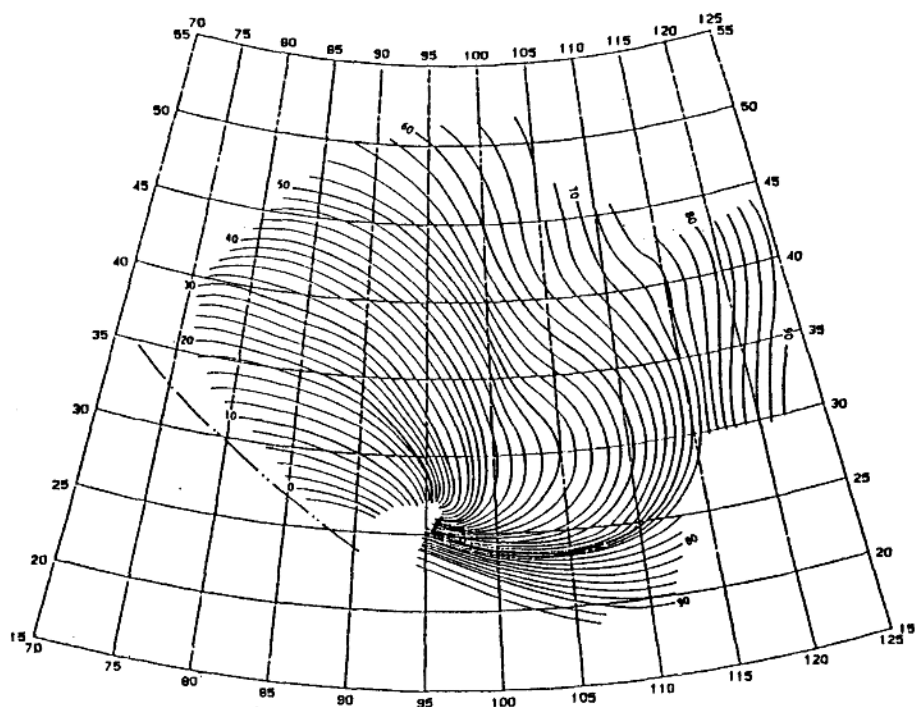


图3 塑性流动波第2传播速度走时等值线图 (走时单位: a)

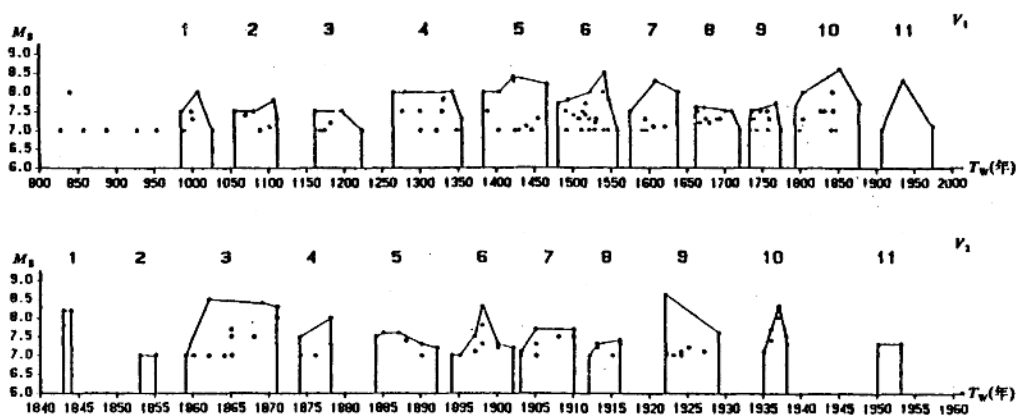


图4 与各次地震 (震级 >7.0) 对应的边界起波年份分布

V_1 , 第1传播速度, 地震的时间范围为公元1216—1936年;

V_2 , 第2传播速度, 1903—1990年; M_s , 震级; T_w , 起波年份

(年份)。因此，可根据震中在等时线图上的位置估计所经历的传播时间：对应于某次地震的塑性流动波传播时间等于驱动边界处的相对起波年份与该地震发震年份之差。根据地震目录，分别计算 1500—1934 年间（第一速度）和 1903—1993 年间（第二速度）各次地震（ >7.0 级）的起波年份，则由图 4 所示的起波年份分布状况可见，地震在驱动边界处的起波，表现出脉动式群集分布的特点，每一群集对应于一次起波期。第 1 和第 2 速度波的起波期间隔分别为 68—131（平均 93.4）和 7—18（平均 10.8）年，具有准周期性。后者是否受控于太阳黑子的周期性活动，而前者是否与其它天文因素的作用有关，都有待进一步的研究。看来，这些天文的、全球性的作用并不是直接施加于板块边界，而是通过地幔对流或其它的深部过程造成板块运动及板块之间的相互作用。

在确定波速和起波期间隔的同时，根据地震沿带迁移的离散宽度（置信度为 80%，震级 >5.0 ）估计波峰带的宽度，还可求得第 1 和第 2 速度条件下波峰带的单侧宽度分别为 98.3 和 146.3 km。根据波峰线位置和波峰带宽度，则可绘制不同年份的波峰带分布图。图 5 和图 6 所示为 1994 年波峰带的分布状况。

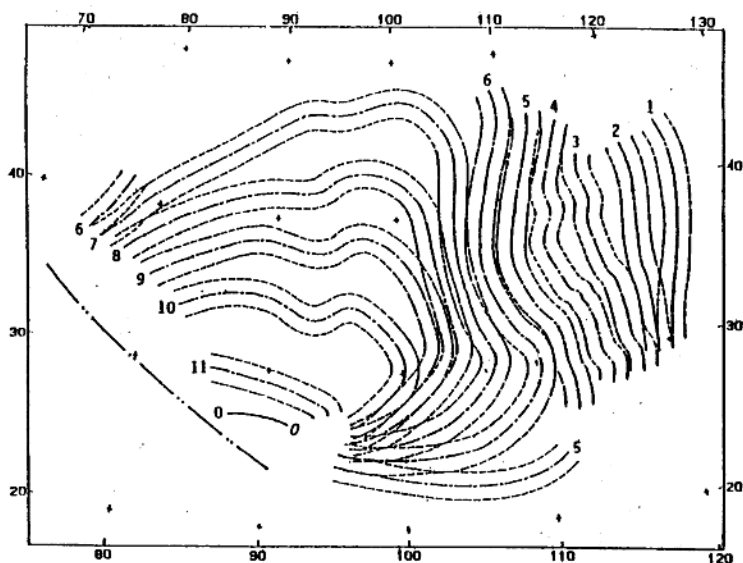


图 5 第 1 传播速度的波峰带位置（1994 年）

双点划线是驱动边界；0-0 线是靠近驱动边界的相对零走时线；

各波峰带以点划线为中线，虚线为两侧边界，所注数字按先后顺序编的起波期序号

3.3 塑性流动波的有效传播范围^[9]

鉴于各起波期传递能量的大小、传播路径及衰减程度不同，势必导致波峰带在传播方向和范围上的差别以及不同震级地震迁移和分布范围的不同。经过对两种波速各个起波期波峰带的传播范围和 7 级以上地震的分布范围进行对比分析，可就塑性流动波的有效传播

范围得到以下几点认识:

(1) 第 1 波速, 各起波期波峰带已扫过的地区绝大部分都有 7 级以上地震发生, 因此, 宜将所有波峰带都划入有效作用之列。

(2) 第 2 波速, 除华北地区外, 大部分起波期的波峰带所到之处有 7 级以上地震发生, 因此, 在无法作出进一步的判别之前, 也以按全部有效进行考虑为宜。

(3) 南北地震带北段 (属 L5 网带) 及以西至 L4 网带的地区与大华北地区 (不含南北带北段) 之间, 在第 2 波速波峰带的有效性上具有呼应关系。由此推断, 图 6 中第 7、8 和 10 起波期的波峰带在进入后一地区时都将因衰减而失效, 即不可能提供 7 级以上地震的能量背景条件。

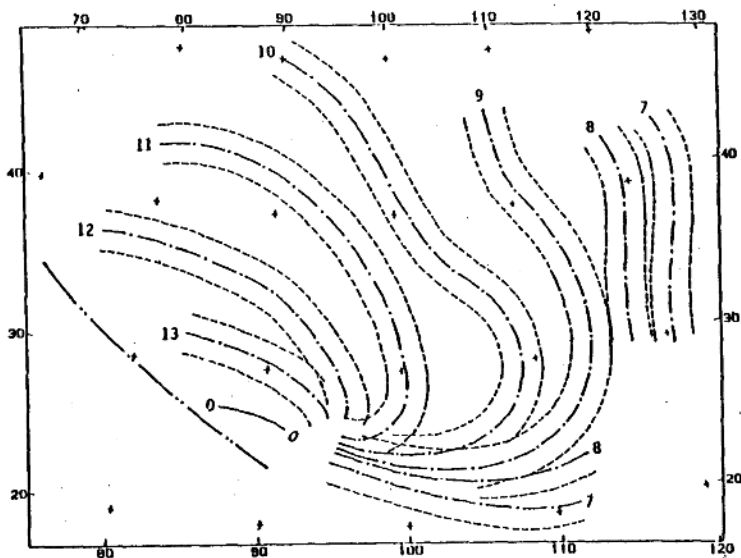


图 6 第 2 传播速度的波峰带位置 (1994 年)

(图例说明同图 5)

3.4 双重波峰区和能量背景区^[9]

两种波速波峰带相重的部分, 即双重波峰区, 积聚能量相对较高。由于在地震沿带迁移速度的计算中, 每一地震 (5 级以上) 同时作为确定两种波速的依据, 故 5 级以上地震主要应分布在双重波峰区内, 而且主要是在与“塑性流动—地震”网带重叠部的范围内; 其中双重波峰区与含 6 级以上地震的网带重叠部具备发生 6 级以上地震的能量背景条件; 而处于波峰带有效作用范围内的这些重叠部则具备发生 7 级以上地震的能量背景条件。因此, 可根据双重波峰区、地震网带和波峰带有效作用范围的分布状况相应地圈定 >5.0 、 >6.0 和 >7.0 级地震的能量背景区。根据 1976 年地震能量背景区和实际发生的地震震中位置进行对比表明, 如表 3 所示, 落在相应震级下限能量背景区内的地震或地震群约占总数的 80%—90%, 显示了较高的置信度。

表3 中国大陆1976年发生在能量背景区的地震百分数

震级范围	按地震次数统计			按地震群数统计		
	总数	区内	百分比	总数	区内	百分比
$M > 5.0$	68	61	89.7%	14	11	78.6%
$M > 6.0$	19	17	89.5%	6	5	83.3%

鉴于可能存在的其它驱动力源, 最终确定的有效的能量背景区应该是多种驱动力源综合作用的结果。故本文将在同时考虑到其它力源的情况下, 预测1994年地震有效能量背景区的分布状况。

4 潜在震源区发震概率的预测

潜在震源区发震概率的多判据构造物理方法预测^[1-3], 主要根据震源区构造、介质、物理环境和直接驱动背景等方面的若干基本参数, 运用强约束、匀阻化椭圆形震源简化模型及有关的计算式, 计算潜在震源区的震源参数, 包括应力降、应变量和总能量参数等, 并通过与已有地震之间相应统计关系式的对比计算, 确定发震概率(见上表2)。

计算所需基本参数的合理确定, 无疑是本方法能否有效运用的关键环节之一。为此, 作者已发展了一系列相应的取值方法, 其中尤其是解决了最大主应力方向、应变速率、有效孕震时间的确定方法, 从而使发震概率的预测计算成为可能。由于这些参数的确定很大程度上有赖于已有的地震资料积累, 因此, 本方法具有“以震报震”的特点, 但这是一种与纯经验方法不同的、建立在物理基础上的“以震报震”。

作者采用多判据构造物理方法及专用的HPSP程序, 迄今已对青藏高原中部^[3]、柴达木盆地中东部和山西^①、北京^[11]和银川-兰州-武都等地区进行了测算, 分布位置如图9所示, 其中包括参与扫描计算的潜在震源区共142个。以北京地区为例, 如图7所示, 根据断层及可能发生错动的断层错动角范围, 初步圈定的潜在震源区25个。然后, 按照给定的预测年限和震级范围, 计算各个潜在震源区的发展概率。银川-兰州-武都地区计算所用的基本参数主要根据地震目录和有关文献^[6, 12]提供的资料加以确定。

根据计算结果, 可从上述各研究区中筛选出发震概率超过0.10的潜在震源区, 如表4所列。就震源的发震条件而言, 这些潜在震源区具备发震的必要条件。如果同时具备必要的能量背景条件, 则表示在给定的预测年限内有发生相应震级范围地震的可能性。

有必要指出的是: 1992年7月30日拉萨西北(29.9°N, 90.9°E)6.5级地震与QT06潜在震源区预测的6.0—6.4级地震相比, 相差仅0.1级和震中偏离约20km; 1993

①王绳祖. 潜在震源区多判据构造物理预测方法及其应用. 地震科学联合基金资助课题(89-047)成果报告, 北京: 1991.

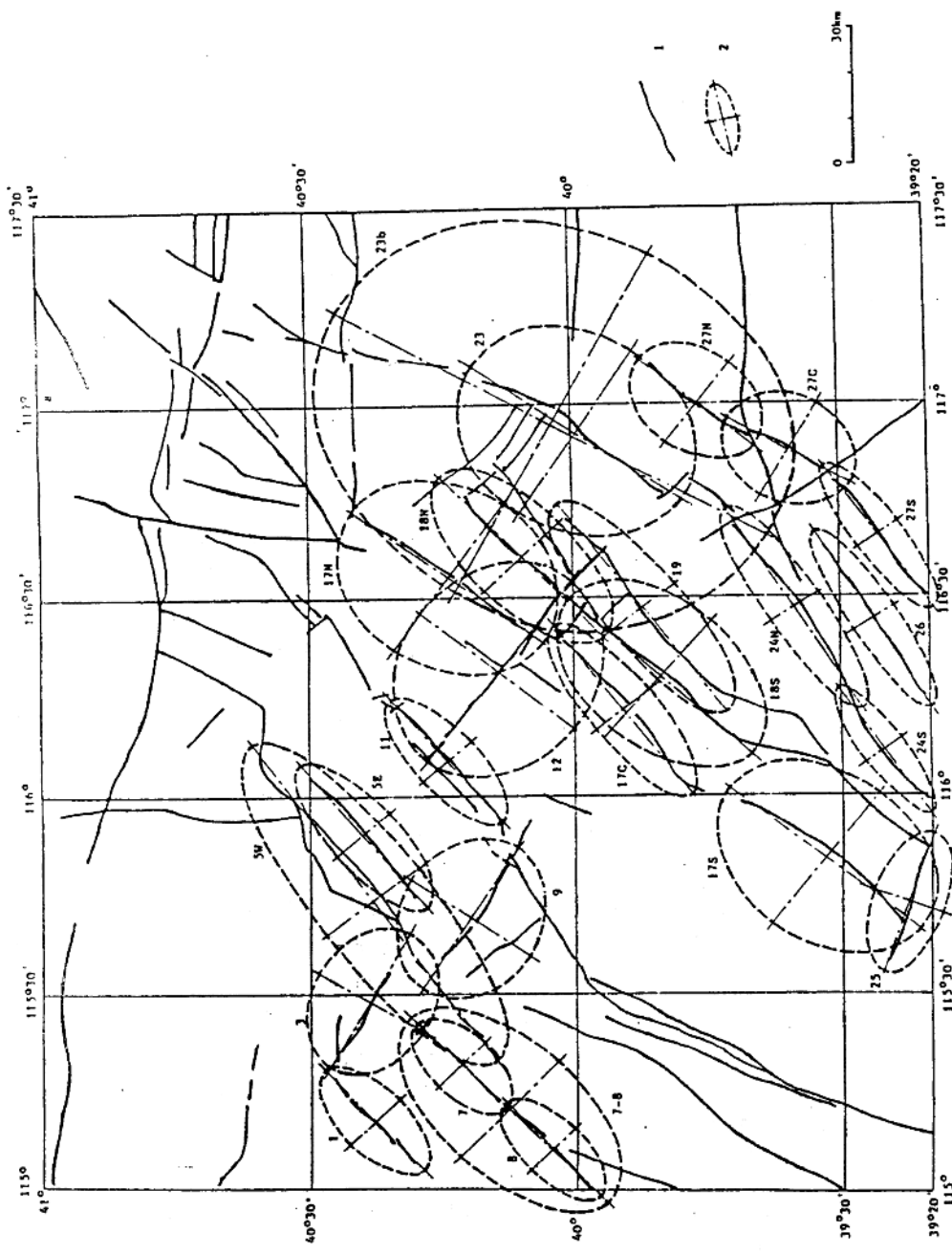


图7 北京地区潜在震源区分布图

1. 断层; 2. 潜在震源区及编号

年1月18日当雄以西 (31.1° N, 90.6° E) 6.3级地震与QT08潜在震源区预测的7.0—7.4级地震相比,震中偏离约25km,震级偏低。上述二次6级以上地震后,QT05, 06, 07和08潜在震源区的发展概率降低,QT05和06近期已失去再次发展的可能,QT07和08则分别存在发生6.0—6.4和6.0—6.9级地震的可能性。

表4 青藏高原至华北平原部分地区潜在震源的发展概率 (>0.10)

地区	预测年限	潜在震源区所在地段		不同震级范围的发展概率			
		名称	编号	6.0—6.4	6.5—6.9	7.0—7.4	7.5—7.9
青藏高原中部地区	1989—1999	拉萨西北	QT05	0.101			
		拉萨西北	QT06	0.102			
		当雄以北	QT07	0.138	0.119		
		崩错	QT08	0.154	0.150	0.131	
		洛隆	QT10	0.241	0.224	0.163	
		和平	QT15	0.147	0.106		
		克天以北	QT20b	0.113			
		巴青	QT26	0.175	0.135		
		楚玛尔河沿西	QT35	0.109			
柴达木中东部	1985—1995		Qd1a	0.172	0.132		
		锡铁山附近	Qd1b	0.118			
			Qd1c	(<0.10)			
银川—兰州—武都	1991—2000	银川	YL06	0.107	0.106		
		兰州	YL17	0.128	0.128	0.127	0.117
		临夏	YL22	0.115	0.114	0.108	
		迭部	YL30b	0.105	0.105	0.100	
山西地区	1990—1999	忻定—五台	Sx2.1	0.145	0.117		
			Sx2.2S	0.165	0.156	0.120	
		临汾	Sx4.2	0.116	0.116	0.110	
			Sx4.4	0.118	0.108		
北京地区	1992—2001	夏垫断裂	Bj23	0.113			
			Bj23b	0.101			