



【苏】M. A. 萨多夫斯基 主编

苏联地震预报 研究文集



地震出版社



苏联地震预报研究文集

(一)

〔苏〕 M. A. 萨多夫斯基 主编

占巴扎布 译 冯德益 校

地震出版社

1990

内 容 简 介

本书介绍了苏联的地震预报研究现状、问题和前景；论述了震源物理的基本假说，指出了一些研究课题，包括单项前兆研究、各种前兆的合理配套、建立预报观测网的最佳方案，以及预报破坏性大地震的时间、强度和地点的算法。

参加本书编写的有М.А.萨多夫斯基、О.М.巴尔苏科夫、В.И.凯里斯-鲍罗克、В.Н.米亚齐金、Н.Л.涅尔赛索夫、Г.А.索勃列夫等一批著名的学者。

本书可供从事地震预报研究的地质、地球物理、地球化学工作者和有关专业的大专院校师生参考。

Основы Прогноза Землетрясений

Главный Редактор М.А.Садовский

Издательство “Дониш”

苏联地震预报研究文集

(一)

〔苏〕М. А. 萨多夫斯基 主编

占巴扎布 译 冯德益 校

责任编辑：宋炳忠

责任校对：李和文

*

地震出版社 出版

北京民族学院南路9号

一二〇一工厂印刷

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 8.25印张 211千字

1990年7月第一版 1990年7月第一次印刷

印数001—700

ISBN 7-5028-0356-4/P·231

(746) 定价：5.00元

编 者 序

中国与苏联是位于欧亚板块内的邻国。两国地震都具有分布广、强度大、破坏力强的基本特点。主要地震带都受到印度洋板块与太平洋板块的推挤作用。在地震活动性的动力环境、地震成因、前兆特征及机理等方面具有不少相似的特点。因此,探索地震本质、寻找地震预报有效途径取得的科研成果,对两国都具有相互借鉴的作用。

然而,由于各自面临的实际要求与起点的不同,两国采取的地震预报战略是不相同的。在苏联地震预报探索可谓源远流长,最早可以追溯到本世纪初加里津时代,作为现代地震学的奠基人,加里津院士提出了从地震波速度、地下水等方面进行地震预报探索的可能性。1948年阿什哈巴德地震后,Г.А.甘布尔采夫院士又提出了这个课题,并在中亚加尔姆地区开展了初步试验。由于技术上与方法上的准备不足,五十年代的探索没有取得显著成果。到了六十年代,萨道夫斯基院士重新要求恢复地震预报方面的工作。这时狠抓两头,一头是地震学与破裂理论联系的研究,一头是前兆探索的野外研究,经过20—30年不懈的探索,取得了一系列重大进展,在国际上享有盛誉。在理论上建立了地震物理学与孕震物理学,提出了众所周知的IPE前兆模式;在地震预报方法上率先提出了地震空区理论,地震波速度比预报地震,地下水动态及地下水化学预报地震,地电预报地震,电磁波预报地震等等方法;在实验场内取得了若干次地震预报成功的震例。理论与实践的成果使苏联地球物理学家对地震预报建立了坚定的信念与把握了正确的方向。

在我国,地震预报遵从“广泛实践、多路探索”和“边实践、边预报、边研究”的方针,走的是另一条路。在1966—1976年间发展很快,地震预报机构和队伍从数百人发展为上万人,台站从数十发展到数百,地震预报方法如雨后春笋,总数不下数十种之多。迅猛发展与广泛实践的积极效果是:取得了丰富的前兆观测资料;在人类历史上首次预报了海城大地震,破除了对地震预报的神秘感,解放了思想;同时也积累了不少成功与失败的经验教训;发现了许多有探索价值的苗头与问题。然而,迅猛发展与基础薄弱的矛盾不久就成为继续发展的重要障碍,唐山大震后大家都认识到基础研究的重要性。经过近10多年来的努力,取得了显著的进展,但仍有很多不足,与国外相比在某些方面尚存在不小差距。

中苏两国各具特色的发展道路取得了各有侧重的成就。苏联在基础理论与预报实验场研究方面取得的成就对我国有重要价值,而我国在“广泛实践、多路探索”中取得的认识和经验对他们也有启迪作用。互相交流、互相学习是双方共同的愿望。

这些年来,在我国的刊物上已经介绍了一些苏联的论文,但是,广度、深度、系统性和实用性尚嫌不足。广大读者从译文中得到的知识是零碎的。为了增加人们对苏联地震预报工作的了解,在国家地震局科技监测司的支持下,我们将编译出版《苏联地震预报研究文集》,系统地介绍苏联在地震预报探索中取得的重要成果。编译组将负责文集文章的选定及翻译、审校的组织和编辑工作。

本卷文集为苏联《地震预报》文集第三册(地震预报基础)的全文译本。他是苏联1981年制

订的《地震预报科学研究纲要》修改补充后的正式版本，全面论述了苏联地震预报研究的科学思路、地质和物理力学基础、地震前兆和监测系统等重要问题，提出了今后的方向和任务。将它编为本文集的第一卷，可使读者从中较完整地了解苏联地震预报的进展和现状，并会获得有益的启示。继后的各卷将转为介绍某地区或某领域的研究成果。

《苏联地震预报研究文集》是不定期出版的文集系列，每卷都将有一个中心内容。前几卷的论文选自苏联《地震预报》论文集，而后将不限于此，一些重要的论文，如刊在《苏联科学院院报》、《苏联科学院地球物理学报》和其他刊物和文集上的最新论文亦将有重点地选入。

为了使译文能够完全正确而又通达地翻译出来，论文的译者一般是有关领域的专家，尽量避免使用难懂的语言，能否达到此项要求，既需要编者、译者的共同努力，也需要广大读者的批评指正。

《苏联地震预报研究文集》编译组

张肇诚 梅世蓉 曹可珍

1990年3月

前 言

本书是对苏联过去所制订的地震预报计划和任务的进一步发展。编写本书的必要性在于,近几年来在地震预报方面积累了不少新的资料,地震观测及其组织方面的要求更加明确。解决地震预报问题,需要有地震物理、震源实质、孕震过程的动力学等各方面研究的明确配合。确定各方面研究的主攻方向和明确研究课题是本书的主要目的。

在我国,地震预报问题作为复杂的综合性地球物理课题,一直是不仅具有重要的科学意义,而且对于中亚细亚、哈萨克、高加索、乌克兰、西伯利亚、远东等地震危险区来说,还是个极其重要的社会经济问题。

早在 50 年代,当奠定地震预报这个新学术方向的基础时,Г.А.甘布尔采夫院士就认为,只有吸收各加盟共和国的学术力量,地震预报问题的解决才能取得成就。系统地开展预报研究已过三个10年,今天可以肯定地说,在各加盟共和国与全苏科学院各研究所之间已建立起了密切的学术合作;在我们的各加盟共和国成长起了一支训练有素的科技干部队伍,他们取得了很大的成就。在中亚细亚建立了地震预报区域中心,在这个中心里联合了中亚各加盟共和国研究所在地震预报方面的科研力量。类似的区域中心在高加索也正在筹建。

所有这些都说明了苏联共产党所执行的列宁主义民族政策的胜利,以及这个政策对发展苏联的科学事业所产生的有利影响。这一科学规划综合了各加盟共和国学者在地震预报领域里所取得的最新成就。

地震预报现状的特点是,研究内容急剧增加,在各加盟共和国和各地区不断有新的部门和新的研究单位参加这项工作。地震预报问题还得到了社会公众的广泛重视。目前,参加地震预报研究工作的有苏联科学院、各加盟共和国科学院、苏联高教部、苏联地矿部、苏联部长会议直属测绘总局及其他部门的共100多个科研集体。苏联科学院大地物理研究所的任务是对苏联的地震预报的科学基础作分析。

在研究地震的科学即地震学形成之前,就已出现了地震预报的问题,它由三个独立的预报课题组成,即对地震的时间、地点和强度的预报。长期以来,这个问题的解决仅限于查明地震活动区,并估计该区可能发生的地震强度。在这方面已取得了很大成绩,如苏联绘制的地震区划图已被公认为是正式文件,对于地震活动区内的任何工程建设都是必不可少的。而预报发震时间的问题,只是近20年才得到部分解决,并已在地震学领域占据了应有的地位。过去为解决这一问题所作的大量尝试屡遭失败,其原因不仅是由于对未来地震的震源物理过程缺乏应有的了解,而且还由于观测和分析地球物理资料的技术条件不足。固体物理学(首先是断裂物理和力学)现已取得的成就,以及电子学在地球物理实验中应用的巨大可能性,为全面解决地震预报问题奠定了基础。同样很清楚,综合应用关于地壳结构和状态的地质、地球物理资料,以及在现代技术条件下所取得的地震区划资料,是解决时间预报问题的基础。

现在,地震预报问题已迅速成为重大科学问题之一,有许多国际组织参与此项工作。苏联、日本、美国和其他国家所完成的大量野外观测工作毫无疑问地表明,地震前存在着一系

列地球物理异常现象。这些异常的实质各不相同(有力学的、电学的、磁学的、地球化学的,等等),其数量相当可观,并且还在继续增加。利用观测到的前兆异常正确预报发震时间的震例已有很多。

尽管取得了一系列成绩,但对时间预报问题的探讨还只是刚刚开始。例如,到目前为止,对未来地震震源过程的实质还缺乏足够清晰的认识,对长期应力作用下的震源岩石破裂理论的研究工作只是刚刚开始,对地球物理介质的间断性、多相等实际性质目前还没有适当的概念,等等。

对前兆现象观测结果的统计分析也不够充分。因此,在加强震源物理理论研究和开展震源过程的物理及数学模拟的同时,还必须进一步扩大地震活动区的野外观测。为此需要完善现有的观测方法,并探索新的野外地球物理观测方法,其中应特别注意目前还研究得很少的一个领域,即孕震区的电磁过程。显然,这些观测取得成功的最重要条件是,要采用高质量的同类型仪器,并统一观测方法和分析处理方法。

显然,还有必要同时进行大范围的地质和地球物理调查(大地震的孕育区可达数万平方公里)。由于所观测的现象是大量的,需要使用能够观测、传输、储存和处理大量信息的自动化系统。

以上仅指出了地震预报问题的一些特点,并没有全面涉及建立技术上完善的地震预报体系的所有困难,但可看出,要建立这种体系其任务是何等复杂和繁重。

本项工作应被认为是一种尝试,它试图把在苏联开展的各项研究协调为统一的综合研究体系,以建立能够预报发震地点、强度和时间的我国地震预报系统。本书是根据目前的研究水平和技术条件而编写的。所述各种前兆观测方法的成熟程度并不相同,只要注意一下整个地震预报工作的飞速发展情况,和各种不同方法所包含内容的差别,就不难理解这一点。毫无疑问,本“地震预报基础”须补充关于研究各种地球物理场的专门的方法指南。

M. A. 萨多夫斯基

引 言

所谓地震预报,其最一般和最全面的含意是对预计可能发生的地震的地点、强度和时间进行预报。毫无疑问,地震活动是构造作用的表现形式之一。既然如此,那么在解决地震预报问题时就一定要尽可能深入地研究构造过程的物理学,揭示岩石圈中改造作用的因果关系,并了解内生作用的推动力。地震就是内生作用的后果之一。地震本身和地质过程之间的直接联系是显而易见的。同时也很清楚,地震科学应以固体物理学的基本成就为基础。现已有一些资料能证实地震和地球外部现象之间的相互关系。关于外部作用(首先是潮汐作用)的知识,可能有助于判断发震的时间。地震和化学、生物等现象之间的联系虽还不太明显,但也确实存在。

由此可以明白,地震预报任务的完成应以各种方法的综合为基础,从各个可能的方面去深入研究各种现象的实质。这就是地震预报本身的科学意义所在,也是实现地震预报计划和措施的科学意义所在。很清楚,地震预报问题的满意解决将意味着我们在某种程度上已了解地震这个复杂的自然现象的本质,而它又是地球内部一系列相互联系的内生作用的某个环节。

对地震危险性的预报具有相当明显的实际意义。但是,如果说根据现有知识,对地震的地点,在某种程度上也对强度的估计已有某种可靠性(尽管还不能完全避免“漏报”一类的错误),那么对发震时间的预报实际上现在才开始成为一个科学问题。要解决时间预报问题,还必须同时解决与之相联系的经济、社会、组织方式等许多实际问题。这是地震预报问题的一个完全必要的方面,因为应事先考虑到,发布一次地震预报所带来的物质和精神上的损失不能超过一次强烈地震本身所带来的损失。只有同时制定一套有科学依据的预防措施才能使地震预报取得真正的效果。

发震过程的实质就迫使我们把地震预报表述为一种概率性课题。于是就可把预报看作是对下述概率的估计:震级从 M 到 $\overline{M}$ 的地震在 t 到 $t+T$ 的时间段内发生在 S 区域。

在这种情况下,要使预报更加准确,就意味着既要缩小震级范围($M, \overline{M}$)和时间范围($t, t+T$),又要缩小区域面积 S 。

各国对地震前兆的研究经验表明,强震前的介质变化出现很早,而临近主震时逐步加速。以地震活动性变化和地面形变等为特征的长期孕震阶段假设性的叫做长期阶段,而把震前阶段,即出现一系列地球物理场和地球化学场变化的阶段叫做短期阶段。这种划分同时也意味着解决预报问题的渐进阶段。长期预报——几十年或几年,与地震区划问题密切相关,也就是确定预计可能要发生的地震的地点和强度。地震区划又可分为一般或概略区划(比例尺由1:5000000至1:1000000)和详细区划(比例尺大于1:1000000)。显然,提高区划的详细程度需要改进研究方法和提高地质、地球物理原始资料的精度。如果说现在已建立了一些成熟的方法来绘制概略性的地震区划图(尽管还需要改进),那么绘制详细区域图的方法还有待探索。这些新方法应以大大提高地质、地貌资料的信息量和精度为基础,对地震活动性资料的

精度要求则更高。

应当指出，长期预报与地震区划之间的关系虽然显而易见，但并不是一回事。区划系统所要解决的是可能发生地震的地点和震级范围(有时这个范围很大)，长期预报应当确定每一次具体地震的地点和预计强度。

短期预报——达到一天或几小时的精度。为此需要进行综合观测，并以长期连续观测反映震源区岩石演变过程的动力学参数为主。在这种情况下，首先要做的是：正确组织观测台网，选择少量的、其变化能够被记录到的一些信息参量，评价来自观测台网的信息特征。最佳观测台网的选择本身取决于尽量符合实际的震源物理模式，同时还取决于区域地质构造和地震活动规律。当然，为此需要进行专门的理论和实验研究，并在解决问题的过程中根据具体自然条件不断进行改进。

科学地选择观测台网问题非常重要，因为随意布设的台站可能根本记录不到地震前兆，或者受外部因素的强烈干扰，主要是受气象因素的干扰，在这些干扰背景下难以识别有用信号。因此，为使各种观测达到最优化程度，首先要找出各种仪器的最优安装条件。

显然，在这种情况下，除了必须研究各种前兆外，还必须对孕震和发震过程进行理论探讨。

解决不同阶段的预报问题还必须与相应的综合性预防措施密切配合，而这些措施又取决于每个具体预报的可靠性和概率水平。对于制定综合性预防措施具有决定意义的是对地震危险性的认识，而地震危险性应被看作是地震损失分布的概率函数。经济效果的概率分布取决于预报的可靠水平。根据这一关系即可确定，预报和预防措施达到什么样指标，预报才是有用的。

如果是以经过检验的物理模式为基础，对地质环境较清楚的地区进行预报，则可探索一些更为有效的方法来控制发震构造处的能量积累过程，并应用工程办法来预防灾难性地震。目前已具备了创造这些方法的前提，但它们的可靠性和理论依据现在还很渺茫。为减轻地震的地面效应而采取的任何工程措施都应以足够成熟的震源理论为基础。

地震预报之所以可能，是由于地壳及其组成部分，以及岩石所固有的不均匀性和离散性是相对稳定的。对地壳的固体物质，或更广义地说是对整个构造圈起作用的构造运动的方向和速度是长期保持不变的。构造运动的这种相对保守性使我们原则上有可能进行可靠的地震预报，甚至比天气预报更为可靠，因为天气预报的根据是迅速变化着的大气过程。

近十年的最重要成就，是有可能观测地壳和岩石的一些特殊性质，如多相性(固相、液相和气相)及与此相关的电磁效应(摩擦、压电、趋肤、冲击等)，气体和液体的扩散和渗透效应等。利用现代观测技术去发现和记录这些效应，在很多情况下比对机械效应还要简单、可靠。电磁、无线电、地球化学和放射学等观测方法目前已在野外得到可靠的试用。研究这些效应的重要性在于，临震前有反应的许多动物的感官似乎能够接收这些效应。

以上所述使我们相当乐观地估计地震预报的前景。可以相信，依靠具有共同目标的各方面专家的一致努力和各有关单位的协力工作，在不久的将来一定会取得重大成果。

本书反映了地震预报问题的当前现状，包括预报的地质和物理基础，地震前兆方面的整套资料，预报工作的方法和技术手段，以及当前最为重要的一些研究课题。本书的基础是从50年代就已在苏联开始的为寻找和发展地震预报方法而从事的多年的研究经验。

在这些研究中最为重要的阶段是与Г.А甘布尔采夫院士的名字相联系的。在他领导下开

展了对地震活动性的详细研究，为寻找可能的地震预报方法而对一系列地球物理场也进行了详细研究^(1,2)。

本书由三个主要部分组成。这三个部分反映了地震预报的现状和进一步研究的前景。

1. 地震预报的地质学基础和物理-力学基础。
2. 地震前兆。
3. 地震监测系统。

附录 1 给出的是，对地震预报工作中所取得的地球物理、地球化学观测资料进行统计处理的一系列方法。附录 2 是推荐到联合国教科文组织和国际地震学与地球内部物理学协会 1983 年 8 月汉堡全会上讨论的地震预报实施规则草案。

目 录

前言	(Ⅲ)
引言	(Ⅴ)
第一编 地震预报的地质和物理-力学基础	(1)
第一章 地震活动区的地质-地球物理综合研究	(1)
1. 任务和途径	(1)
2. 地震区划	(2)
3. 地震预报试验场的地质工作保障	(6)
4. 孕震机制和地震预报	(7)
5. 古地震断层的研究	(8)
6. 地质研究阶段的工作内容	(8)
第二章 地震预报的物理基础	(9)
1. 地震孕育模式	(12)
2. 雪崩式不稳定裂隙形成模式	(15)
3. 沿断裂跳跃式运动(粘滑)作为一种地震模式	(17)
4. 几种模式的对比	(19)
5. 实现地震预报和减轻地震损失的途径	(21)
6. 地震活动的外因	(26)
第二编 地震前兆	(29)
第三章 关于前兆类型的基本概念	(29)
1. 前兆分类	(29)
2. 前兆显示的时空尺度	(30)
3. 算法与前兆	(33)
第四章 地震学前兆	(38)
1. 地震学方法的一般特点	(38)
2. 地震周期	(40)
3. 地震活动统计和前兆“余震爆发” $\textcircled{B}$ 、“弱震群”(SW)、“西格玛”——总破裂面积急剧增加(Σ)	(41)
4. 地震活动性和震情的时空变化	(45)
5. 天然源和人工源波动场特征的时间变化	(47)
6. 震源机制的时间变化	(50)
第五章 地球物理前兆和地球化学前兆	(52)
1. 形变测量	(52)
2. 流体地球动力学前兆	(58)

3. 水文地球化学前兆·····	(60)
4. 电磁前兆·····	(64)
5. 震源电测深和视电阻率变化前兆·····	(66)
6. 大地电场前兆·····	(70)
7. 构造地磁前兆·····	(72)
8. 声前兆·····	(76)
9. 生物前兆·····	(76)
10. 关于地震控制问题·····	(77)
第三编 地震监测系统·····	(78)
第六章 地震预报观测工作的组织·····	(78)
1. 概述·····	(78)
2. 关于地震预报观测方法问题·····	(79)
3. 综合观测网和预报试验场的建设·····	(87)
4. 预报观测系统·····	(89)
第七章 地震预报观测资料的处理·····	(93)
1. 地震预报观测资料的低层次处理·····	(93)
2. 地震预报观测资料的高层次处理·····	(96)
3. 地震预报观测资料的综合·····	(98)
附录 I 地球物理和地球化学信息的统计压缩方法·····	(100)
附录 II 地震预报实施规则(草案)·····	(107)
参考文献·····	(109)

第 一 编

地震预报的地质和物理-力学基础

第一章 地震活动区的地质-地球 物理综合研究

1. 任务和途径

地震预报工作自然要集中在发生地震的危险性最大的地区。为了认识地震孕育的标志,在某些地震危险区已开始对地球内部状态的变化进行综合性观测。

苏联境内具有潜在地震危险的各地区在地质构造方面极不相同。这里有:由于新第三纪、第四纪造山运动而形成的年轻的阿尔卑斯褶皱带——喀尔巴阡, 克里米亚, 高加索, 科彼达克, 帕米尔; 在新第三纪—第四纪时期活化的老地台区——天山, 萨彦岭, 阿尔泰; 大陆裂谷带地区——内贝加尔和外贝加尔; 由陆地向海洋过渡的地区——远东及其沿海地区。由于不同地震活动区的构造条件不同, 使得地震预报更为复杂。这是因为, 每个构造带地震活动的直接原因和地震活动性的标志显然都有其各自的特征, 甚至地震危险性的标志, 即地震活动性的标准也可能不同。与此同时, 苏联境内各地震活动区地质构造的这种多样性对解决地震预报问题却非常有意义, 因为它提供了全面解决地震预报问题的条件, 使我们有可能对各种孕震构造条件进行对比分析, 以最终实现地震预报问题的全面解决。事实上, 苏联领土上的地震活动区几乎包括了发生壳内地震的所有各种不同类型的大陆区。在进行地震预报工作时应最大限度地利用这种优越条件。

在地震危险性预测工作中, 应用地震构造方法的主要课题之一就是确定未来地震的震源所在地区。这是开展地震预报试验场工作的基础。为了划分可能发生地震的区域和确定可能的震源区, 同时为了选择观测仪器布局的最佳方案, 以及进而解释观测资料, 需要相应了解的不仅是整个地震危险区的地质构造, 而且是预报试验场区的地质构造及其在总区域地质构造中的位置, 每个具体地点新构造活动的方向性、强烈程度及其基本特征。这些要求也就确定了地震构造研究工作在寻找地震预报方法的综合性工作中所应起的作用。

此外, 地震构造方法还应当用于发震机制的研究, 即确定地壳中应力局部积累的地点和条件, 从而使对地震事件的长期预报过渡到短期预报。古地震的研究也应以地质考察和地貌分析为基础。很清楚, 所有这些课题都是综合性的。在解决这些课题时, 地震构造方法及其资料应该与地震学和地震统计学的资料密切配合使用。

因此, 在地震预报的综合性工作中, 对地震构造研究工作可提出下列基本课题:

1. 根据地震活动性的综合构造指标, 划分不同强度(震级)的地震可能发生的地区;

2. 查明地震预报试验场的地质和深部构造, 以及现代地球动力作用的特征;
3. 为进行地震预报, 以地壳块体结构为基础, 研究发震机制;
4. 发现和研究古地震断错。

让我们详细研究解决这些课题的途径和为此所必需的原始资料。这里应注意到, 对于解决第一项课题已积累了一定的经验, 甚至有几种在不同地震危险区都试验过的方法, 但其他几项课题或多或少都是新提出的, 并带有探索性。这就说明所提出的各课题的研究程度是不相同的。

2. 地震区划

上述第一项课题实质上就是预报地震的地点和强度。解决这个问题可能性在于, 多年来在苏联境内研究了构造作用和现象与地震活动之间的联系^[3,4,5], 并提出了一些基本原则和概念。所提出的一些方法曾在苏联的一系列地震危险区(高加索、克里米亚、喀尔巴阡)得到了验证^[6,7,8], 在一些根据国际计划, 如联合国教科文组织的巴尔干计划、社会主义国家科学院行星地球物理综合研究多边合作委员会(КАПГ)计划和保加利亚计划所开展的工作中也得到了验证^[7,9-11]。

预报地震地点和强度的课题就是, 对地震活动区的每一处给出可能发生地震的最大震级 $M_{\max}$ 。这实际上就是地震区划问题。对于无论多长的时间段都可找出一个确定的 $M_{\max}$ 估计值。做出这种估计在原则上之所以可能, 是因为每一地区的弹性能量都能积累到一定的最终值。但从实际观点看, 这种估计值是偏高的。因此, 估计值 $M_{\max}$ 对给定的 S 地区和 T 时间段来说是可能发生的最大震级。

在地震区划工作中应用构造资料的根据是: 构造现象和地震活动都是地壳和上地幔中同一种内生作用的结果。应用构造资料的必要性在于, 强震震源区的形成是以地质时代为尺度的, 因此现今的地震监测方法未必到处都能察觉它。

利用构造资料可划分出未来可能发生地震的地带, 其方法是将已有地震记载地区的地质条件外推到至今尚无地震或地震活动不明显的地区。不用构造资料, 而单靠测震资料去解决这个问题是非常不可靠的。

现在知道, 地震活动性的构造判据可以分成两种基本类型。这两种类型的判据对解决地震预报问题都同等重要^[12]。第一类是与区域构造活动的强烈程度和介质性质有关的一些判据。这些判据能够反映足以引起某种强度地震的能量在地壳中积累的可能性。在这类判据中所使用的参数来自下列几个方面: 构造作用的特征(它的类型、走向及剧烈程度); 介质的性质(岩石的物质成分, 地壳不同深度上的物理-化学性质和状态, 深部和表部构造之间的关系)。既然构造作用具有一定的保守性, 即构造运动的方向长期稳定不变, 那么反映构造作用强烈程度的重要标志应该是构造运动的方向和强度。构造运动的速度、幅度、明显程度和分异程度等性质不仅可以定性地, 并且还能定量地表示出来, 而这些参数是地震活动性的第一类构造判据的重要组成部分。对构造运动的这些性质可按其发展的各个时期和阶段分别进行评价: 整个阿尔卑斯构造运动, 最新的, 第四纪的(及其各阶段)和现今的构造运动。进行这些评价的基础是地质、地貌、大地测量、地震和地球物理研究的资料。很显然, 将所研究的地质历史时期划分多少段, 这要取决于划分的依据是否充分。对年轻的和现代的沉积层,

无可靠根据而进行不合理的过分详细划分不仅没有必要，而且是有害的。但为了查明构造作用的基本趋势和特征，对构造运动进行定性和定量分析又是目前唯一可靠的方法。

介质性质是区域构造发展历史的函数，一定程度上可以根据历史构造及其分析、深部构造和各种地球物理场分布的综合资料间接地加以描述。

总之，地震活动性的第一类构造判据可被认为是地震构造势的综合特征，即表示在地壳某地段发生某能量级地震的原则可能性。

地震活动性的第二类构造判据是用以判断给定地震构造势可能引起强震的地点。这一类判据由关于地壳结构的各种资料组成，其中包括关于各种类型的断裂(深的，区域性的，各种走向的)和挠褶，关于存在上述构造要素的一些间接迹象(明显的连接区，构造运动速率的高梯度区，各种地球物理场的突变带，用各种方法划分出的区域构造线)，以及关于各级断裂的交汇处和沿各种破裂面的运动类型，等等。为取得这类构造判据，需要根据地球物理、地貌和地震等方面的资料及航空和卫星照片的解译结果，在各个地质时期之间进行对比，并与现代构造加以对比。

如果对第二类判据加以综合，即可圈出一些在其边界上有可能发生破坏性地震的地壳块体，并对每一个给定地壳区段描绘出地震活动的区域构造线。

所谓地震活动区域构造线或孕震区域构造线，是指地球表面上划分出的一些地带，这些地带能够分割根据某种标志相互区别的一些相邻的岩石圈块体，并且沿这些地带地震活动性记录。区域构造线是通过对所有反映岩石圈结构和发展特征的综合资料进行全面分析后确定的。这些资料包括：从宇宙空间对地球拍摄的地质、地貌、地震、地球物理和地球化学照片。为研究区域构造线的不同地段，这些资料应有不同的配合方案。区域构造线体系要比构造图上的断裂体系完整得多。特别是与基本构造走向交插的那些区域构造线更是如此，因为对这类区域构造线通常只根据一些间接标志进行断续追索。极为重要的是，根据其大小、埋深和被其分割的块体的差异程度，应划分为不同等级的区域构造线。

绘制区域构造线图的方法及实例在文献[11]中有描述。

为了绘制地震活动性判据图(区域构造线和地震构造势)，并据此划分出可能发生地震的地区，必须有地质-地球物理方面的完全可靠的原始资料^[6,7,9-13]。包括：

1. 所研究区域在阿尔卑斯、最新、第四纪、全新世等发展阶段的历史构造和历史结构区划图；
2. 根据各种地球物理观测结果编制的区域深部结构图，以及各种地球物理异常场的资料；
3. 根据大地测量结果编制的地壳现代构造运动图；
4. 根据不同比例尺、不同走向的航空与宇宙照片判读结果编制的各种等级的区域构造线分布图；
5. 根据地震研究结果得到的地震区域构造线、地震活动层厚度及地震活动性分布图；
6. 在分析地貌资料的基础上得到的地貌结构图。

上述资料的总和和可使我们认识每个地段在地质构造方面的特征。这些特征表现为关于地震活动性的一系列地质判据，其中既包括对该地段地震构造势的评价，也包括关于这个构造势可能引起强烈地震的地点。

为地震预报而开展的地震构造研究工作的第一项课题的最终结果应该是，判断可能发生

地震的最大震级和可能的震源区。为解决这一问题可用几种方法或途径。这些方法以大致相同的原始资料为基础。

如果说在划分可能的震源区所采用的原始构造资料问题上,各研究者之间目前没有什么特别大的分歧的话,那么圈定这些地区所用的方法却是相当多样的。在研究这些方法之前,首先需要明确它们所应满足的一些要求。正如文献[12]所指出的,以下几点是应满足的最低要求。

1. 在分析中必须应用地震活动性的两组构造判据,即既要有综合反映所研究地区地震构造势的判据,又要有确定该构造势引起地震的可能地点的判据。

2. 在分析中应当考虑这种或那种地震活动性构造判据与 $M_{\max}$ 的不同联系程度(即它们的重要性),并考虑用来识别地震活动性判据的原始资料的可靠性。考虑这些因素的最为普遍的方法是对用于分析的各种地震活动性构造判据引进一定的权系数。

3. 地震危险区的特点是其地震构造状态在空间上要发生一些快速变化。因此,识别可能震源区的各种方法必须与之相对应,把所研究地区按 $M_{\max}$ 的大小进行足够详细的划分。显然,可能震源区图的详细程度主要取决于两个基本因素,即地震活动性构造判据的数量和进行地震构造研究的区域范围。随着判据数量的增多和区域范围的缩小,可能震源区图的详细程度将会提高。

4. 对于编制可能震源区图的整个过程应易于进行检查。因此,必须制定统一的一些规则,使参加工作的全体人员在编制阶段图和最终图时都能遵守,以排除作出一些无规则决定的可能性。

现简述应用构造资料划分可能震源区的一些现有方法。

定性分析

这个方法实际上是在我国编制标准地震区划图时考虑构造资料的唯一方法。定性分析的现有方法在许多著作中均有详细描述,其中主要的有[5—7, 9, 13, 14]。

这种方法的实质在于,对给定的具体区域确定了地震活动性的判据后,研究提出这些判据的配合和结合方案,并在此基础上划分出具有相似判据和相似危险程度的“准均匀区域”。地震危险性的相对区别水平主要是只根据一组构造判据来确定,即根据判断发震地点的判据(根据某些指标确定的构造断裂带和断裂交汇处)。将所确定的相对地震危险区与已记录到的地震活动分布情况进行对比,然后把观测到的地震震级外推到所有相应等级的地区上去。

这一办法的第一个后果是,在分析中实际上漏掉了另一组构造判据的许多信息,即关于介质性质和构造活动强度的信息。因此,对历史发展中构造不同的地区,包括构造作用的强度和介质性质显著不同的地区,如果继续采用上述方法来划分可能的震源区,则将会导致明显的错误(尤其是像“虚假警报”一类的错误)。上述方法的另一个后果是,最终的可能震源区图的详细程度特别低。在这种情况下,划分可能震源区是以构造断裂资料为基础的,这些构造断裂只以2—3种指标相区别(延伸长度,构造位置,在最新构造阶段的活动事实)。

最近曾试图改进定性分析的方法,并用于编制保加利亚的新一代地震区划预报图^[7, 11, 12]。

这种新方法的实质是,在地震构造分析的第一阶段主要要准备两种图,把所研究区划分为具有不同地震构造势的地区,并划分出这种地震构造势可能引起地震的地区。

在编制这些图件时,曾试图引进相应的权系数,以评估地震活动性的各种构造判据与 $M_{\max}$ 之间关系的性质,以及赖以提出各种判据的原始资料的可靠性。所引进的权系数的值

是由专家确定的。在编制地震构造势图时,对与下列因素有关的构造判据引进了不同的权系数(依次递减):新构造运动的强度,阿尔卑斯时期的发展历史,均一分布的重力异常及其梯度,地震活动强度 A_{10} ,地震活动层的厚度分布,现代构造运动强度,地壳厚度的分布情况。编制地震构造势图的方法如下:

- 1) 将研究区域划分为 $15' \times 15'$ 大小的基本单元;
- 2) 对每一个基本单元进行统一的描述,取得一系列数据,这些数据的值取决于各种构造判据的数量和显示的程度(等级);
- 3) 汇总每一个基本单元数据,然后绘制出地震构造势相对值的等值线图。

如果把地震构造势图与发震构造线图(包括断裂交汇)加以重叠,即可反映出研究区域的相对地震危险性的全部情况。这种方法比以前的方法更准确地确定,当某一级构造断裂从高地震构造势地区进入低地震构造势地区时,它的地震危险程度应降低;在地震构造势相同的地区内,构造断裂的等级越高,它的地震危险性越大。

在地震构造分析的最后阶段(即划分可能震源区的阶段),对比了相对地震危险性图与已知地震的震中分布图,并对其进行了空间分布规律的研究。

因此,在对保加利亚领土的研究工作中,充分利用了所有原始资料和关于地震活动性的两组构造判据。在利用这些资料时引进了不同的权系数。在分析中考虑了有关地震活动性的大量的各种构造判据的信息,基本单元划分得很小,并对每个基本单元进行详细的地震构造描述,所以保证了最终的可能震源区图具有很高的详细程度。编制可能震源区图的全部程序都按一定规则进行,这样避免了一些不可靠因素,也易于对最终图件的编制过程进行监督检查。

标准格式分析

此方法详细描述在文献[6, 7, 15, 16]中。

用网格将所研究的整个地区分成等面积单元。对每个单元进行标准格式化描述,即根据所确定的地震活动性判据进行综合描述。所选择的每个判据应适用于全区。从构成“实验材料”的所有单元中选取一定数量的单元,用以进行训练并统一规划。为此优先选取对全区来说已发生过最强地震的一些单元。用一维非线性转换法评价每个标志在地震危险性预测中的作用。这一问题的数字表述是:找出一种预测函数形式,其加权平均值与估计的 $M_{\max}$ 加权平均值之差为最小。方法和规则得到统一后便可运用,即将其推广至全区所有单元。本方法是对高加索地区提出的^[6,15,16],并在地中海地震带的一系列地区得到了验证^[7,17-19]。

标准格式分析,和定性分析的一些最新方案一样,在很大程度上能满足划分震源区的各种要求。在这种方法中能利用关于地震活动性的两组构造判据的大量信息及其与 $M_{\max}$ 的不同程度的关系,不同等级的判据在确定最大震级中的作用,把研究区域划分得相当细,并对每一个很小的基本单元进行了地震构造描述。

标准格式分析的一些最新方案曾用于克里米亚-高加索-土库曼地区^[5,8]。

逻辑分析

在地震活动区内对那些发生过不同震级地震的地点进行对比。对这些地点要用统一的“调查表”或“地震构造目录”进行描述,其中列有关于地震活动性的各项构造判据。用识别计算找出标准,用以区别具有各种不同 $M_{\max}$ 值的地点。然后,进行一系列检验来评价这些标志的可靠性。最后,区域构造线被划分成为具有不同 $M_{\max}$ 值的地段。