

1596
36.258

赠阅

地震预报

[苏]M·A·萨多夫斯基 主编



地震出版社

地 震 预 报

〔苏〕 M. A. 萨多夫斯基 主编

陈英方 张 炜 等译

张肇诚 陈英方 等校

地 震 出 版 社

1986

内 容 提 要

本文集主要介绍了在苏联塔吉克斯坦境内，特别在杜尚别地球物理试验场进行的地震预报研究的成果，其中包括地震学、地球物理学、地球化学等方法，以及资料综合分析和震害预测等方面的研究成果。本文集可供从事地震预报的地球物理、地球化学工作者以及从事抗震建筑工作的科技人员参考。

ПРОГНОЗ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

№ 1

КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ

Главный Редактор Академик М.А. Садовский

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ДОНИШ»

ДУШАНБЕ 1982

地 震 预 报

〔苏〕М. А. 萨多夫斯基 主编

陈英方 张 炜 等译 张肇诚 陈英方 等校

责任编辑：姚家榴

*

地 震 出 版 社 出 版

北京复兴路63号

北 京 印 刷 二 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 14.25 印张 354 千字

1986年2月第一版 1986年2月第一次印刷

印数 0001—2000

统一书号：13180·292 定价：3.40元

前 言

地震预报是地球科学中一个最复杂，同时也是最迫切的问题。目前，预报大地震的地点、震级及发震时间这样的单项课题，正处在不同的解决阶段。

现在难以相信，15年前我们对于地震前震源内所发生的物理过程实质上连个基本的概念都没有。虽然在1948年阿什哈巴德地震之后，立即在苏联开始了系统地寻找震兆的工作，但是没有取得成果；那时取得成果也是不可能的，因为所采用的方法和仪器显然没有足够的精度和灵敏度。

只是在六十年代末，地震预报问题才获得了第二次生机。首先在苏联科学院大地物理研究所，而后在国家其他地震研究机构的科研计划中这一课题得到恢复。很自然，这是在较高水平上，重新恢复了地震预报研究。在当时国内外地球物理学所取得的所有成果（无论是在寻找震兆方面，还是在提出地震预报基础研究课题方面）的基础上，编制了研究工作计划。其中，震源物理及岩石变形时岩石内部过程的研究是有很意义的。提出了在各种地球物理场中寻找地震前兆的课题，并强调了使用综合分析方法解决预报问题的必要性。

1971年在莫斯科国际地球物理学代表大会上，发表了新研究阶段的第一批成果。主要成果是苏联科学院地球物理研究所综合地震考察队及塔吉克共和国科学院建筑抗震和地震学研究所（ТИССС）在塔吉克斯坦共同取得的。

研究规模的迅速发展和研究质量的不断提高是目前地震预报研究的特点。

这有助于在一些地震活动区，包括塔吉克斯坦有成效地开展日常的强震预报实验，这也说明我们为达到所提出的目标确立了正确的途径。

对至今尚未攻克的地震科学堡垒展开广泛的研究，协调力量，组织攻关，交流实现预报研究方面的经验，专门出版地震预报问题的文集是很必要的。

在解决预报问题的同时，提出了一些新的课题，其中之一是研究与地震作斗争的积极办法，即预防措施。所以，目前我们的设想和工作应当着眼于未来。新的出版物也应当反映出这一点。

《地震预报文集》将在杜尚别出版。这种选择不仅是因为ТИССС有可能进行组织和管理，而且还因为塔吉克地震学家取得了不少成就。在苏联中亚和高加索，建立了第一个区域地震预报中心，形成了第一个自动地震预报系统。在这方面，读者读了文集的第一期就会相信的。在文集中还考虑到了研究所科学家广泛参加研究的各种地震学问题的国际合作，这个文集包括了苏美合作得到的地震预报研究方面的论文。

文集的名称决定着它的内容，它由五个部分组成，总共24篇文章。前两部分叙述地震预报的地震学方法（第一部分）和地球物理与地球化学方法（第二部分）。由于建筑抗震和地震学研究所的研究工作有悠久的历史，所以第一部分内容比第二部分要重一些。文集的第三部分综合前两部分所述的各种前兆的分析结果，并用具体震例估计了预报地震的可能性。第四部分是震害预测问题，对建筑抗震有重要的意义。最后第五部分给出了地震过程的理论研究结果。

文集一开始是涅格马图拉耶夫和米尔佐耶夫关于塔吉克预报观测的发展史和进一步研究地震预报前景的论文。然后，米尔佐耶夫的文章介绍了塔吉克的地震构造特征，描述了主要地震带，讨论了该共和国的地震区划及震害预测问题。马拉穆德、米尔佐耶夫等人的文章介绍了塔吉克近期可能发生的 $M \geq 5.5$ 级地震的预报图。未来将证明这种预报真实到什么样的程度，但是，编制预报图这个事实本身，在地震预报问题中，已经向前迈了一大步。

在库拉金及哈利莫娃的文章中，分析了杜尚别-瓦赫什地区某些地震带范围内的地震迁移问题。根据定量标准，对地震之间的特征关系进行了尝试性解释。索波列夫的论文研究了震源机制的时间变化与杜尚别地区强震的关系，确定了震中带及其外部发生的这种变化在特性方面的定性差异，并根据雪崩式不稳定裂隙形成理论解释了这种差异。

在别列洛夫斯基的论文中，讨论了在预报中应用地震平均能量的问题。不能全部同意作为他提出的预报方法的基础的所有原则，但是他的分析方法是新颖的。

在马拉穆德的文章中，描述了较强地震之前地震动的持续时间及最大振幅随时间的变化。在库拉金等人的论文中，详细分析了努列克水库地区较长时期内纵波和横波波速比变化的时间序列。发现比值的变化比较明显，并在统计上与强震的发震时间有关。

米尔佐耶夫等人在文章中介绍了用深源地震对塔吉克地区进行地震探测的首批结果。采用有同一时间联测系统的遥测地震台，做出了恰当的结论。在库拉金等人的文章中，对贝尼奥夫曲线作了新的分析，并在地震预报中加以应用。

文集的第二部分有四篇文章，涉及地球物理与地球化学观测的结果。在塔吉克地区，虽然进行了长时间的地倾斜-地形变测量，但是只是在最近才获得了大规模的发展。斯塔尔科夫等人的文章描述了这种观测台网及所得到的结果。可以确信，它们是解释其他场中分离出来的震兆的基础。

在塔吉克，不久前才开展地磁和地球化学观测，是试验性质的。然而，从阿布拉莫夫等人和萨拉莫夫等人的文章可以看出，在地震预报中，这种研究方向无疑是有前景的。在这部分文章中，有一些新的独特的工作。巴诺夫布鲁内，米尔佐耶夫及涅格马图拉耶夫用特制的仪器观测了震前的高频辐射。

文集的第三部分毫无疑问会引起兴趣。在文集所述材料中，作者在一些程度上在综合分析强震初期观测到的全部现象标志方面做了重要尝试。在阅读这些文章时会发现，提出综合分析方法对提高地震预报（时间、地点、震级）的可靠性，显然是必要的。这些研究工作对弄清预报问题中的实际课题是重要的，也是没有争论的。在这方面，涅格马图拉耶夫和米尔佐耶夫的文章值得注意。他们汇总了所有预测材料，预报了塔吉克近期最有可能发生的强震的地点、震级和时间。提出在卡拉切金山脉的南支，最近1—2年内将发生 $M = 6$ 级的地震。我们希望预报的准确性随着时间的增长而提高，由于地震危险性的及时预测及采取的预防措施，在发生灾害时，能把地震造成的可能损失减到最低程度。

第四部分有三篇文章，涉及震害预测这个重要课题。文章根据努列克地区及罗贡水电站建设区内的选频（ЧИСС）地震台资料，研究了弱震的频率-时间特征的变化规律。计算了水坝上可能发生的震害，并提出最危险地震带内可能发生的强震的合理曲线。

文集的第五部分是地震过程理论领域内的研究结果。卢克及云加的文章讨论了岩石块体的地震构造形变问题及其可能的原因。茹拉夫廖夫根据加尔姆地区多年收集的4万多条地震目录，研究了用傅氏分析探讨地震动态的问题，及用自相关模型方程描述该动态的可能性。

提出了地震过程的多维模型，讨论了所得结果用于预报的可能性。

编辑部对改进本文集所提出的所有意见和建议表示感谢，并希望这本新的文集对解决地震科学的最重要课题，做出自己力所能及的贡献。

主编M.A.萨多夫斯基院士
(陈英方译)

目 录

第一部分 塔吉克斯坦境内预报地震的地震学方法

- 塔吉克斯坦地震预报研究的发展史 C.X.涅格马图拉耶夫等(1)
- 塔吉克斯坦地震活动的基本特征 K.M.米尔佐耶夫(5)
- 塔吉克斯坦地区强震发生地点的预报 A.C.马拉穆德等(16)
- 塔吉克加盟共和国瓦赫什地区地震带中等强度地震震中迁移及
发震地点的判定 B.K.库拉金等(24)
- 震源机制参数在长期预报中的应用 O.B.索波列娃(32)
- 地震的单位平均能量及其在地震预报中的应用 M.Л.别列洛夫斯基(38)
- 地震动的持续时间和最大振幅标定值的时间变化 A.C.马拉穆德(50)
- 地震波速比 V_p/V_s 变化和预报不同强度地震的可能性
..... M.B.库拉金娜等(60)
- 用帕米尔-兴都库什壳下地震探测塔吉克斯坦地震带的试验
..... K.M.米尔佐耶夫等(71)
- 用贝尼奥夫曲线预报地震的可能性 B.K.库拉金等(77)

第二部分 塔吉克斯坦地区地球物理学和地球化学观测

- 杜尚别地球物理试验场内地倾斜和地形变测量 B.И.斯塔尔科夫等(83)
- 杜尚别-加尔姆地震活动区内的地磁观测 O.K.阿布拉莫夫等(93)
- 杜尚别地球物理试验场内地震的地球化学前兆的探索
..... H.Г.萨洛莫夫等(100)
- 震前的声发射 Ю.А.巴诺夫等(115)

第三部分 综合分析的分析结果

- 在综合分析地震前兆的基础上进行地震预报的新途径 B.K.库拉金等(122)
- 杜尚别地球物理试验场内强震的长期预报 C.X.涅格马图拉耶夫等(137)
- 1977年伊斯法拉-巴特肯地震及实现预报的可能性
..... C.X.涅格马图拉耶夫等(144)
- 1978年11月1日阿拉依地震的孕育与发生 P.C.米哈依洛娃(149)

第四部分 地震作用的预报

努列克水电站地区最大可能地震作用的参数计算

..... M.M. 尼基福罗娃等(159)

努列克地区地震谱特性的研究B.Л.戈卢比亚特尼科夫等(169)

罗贡水电站建设区内地方地震时振动的频率和时间特征及地震作用

的预测 B.Л.戈卢比亚特尼科夫等(177)

第五部分 地震过程理论

研究地震活动岩体的形变机制的可能性A.A.卢克等(191)

加尔姆地区地震活动性的谱分析结果 B.И.茹拉夫廖夫(205)

加尔姆地区地震活动性的相关分析结果 B.И.茹拉夫廖夫(213)

第一部分 塔吉克斯坦境内预报地震的地震学方法

塔吉克斯坦地震预报研究的发展史

C.X.涅格马图拉耶夫, K.M.米尔佐耶夫

文中叙述了塔吉克斯坦境内,包括地震预报的提出和发展在内的地震研究历史。为制定有效的地震预报综合方法,讨论了地球物理试验场观测系统发展的一些问题。

1948年和1949年发生了二次 $M = 7.5$ 级的破坏性地震,土库曼的首都阿什哈巴德,塔吉克斯坦地区中心哈依特遭到了破坏。这些事件促使人们开始积极研究与地震成因和预报地震可能性有关的一系列问题。

1949年,国家认为有必要改组、大力扩展并在组织上加强地震和抗震方面的工作。破坏性地震的预报方法和苏联领土的地震区划被作为主要课题提了出来。为了统一领导地震学方面的研究和协调抗震建筑方面的工作,在苏联科学院主席团下面建立了地震委员会,由Г.А.甘布尔采夫担任主席,1949年10月31日至11月1日召开了第一次会议。1949年组织了临时的加尔姆综合考察队,在其面前提出的主要课题就是地震预报。该研究队长达三年(1949, 1950和1952)的野外季节工作的结果为以后的定点观测打下了基础。按照Г.А.甘布尔采夫的建议,在1954年底组织了塔吉克综合地震考察队(ТКЦЭ),该队的主要任务是制定地震区划的方法和评价预报地震的可能性。

1957—1961年,由于一系列原因,对地震预报的兴趣明显减弱。该阶段研究队的主要力量放在了制定详细的地震区划原则方面。1960年在著名的专著中对所开展的研究进行了总结。至此时,在杜尚别—加尔姆地区已大大扩展了地震观测网,对地震台进行了重新装备,研究了资料的解释方法。И.Л.涅尔谢索夫在顺利完成所有这些组织-安排措施方面作出了很大的贡献。在他的直接领导下,至1961年在这里建立起了相当密集的高精度的地震观测基地,它堪称为大范围内布设现代台网的楷模。

五十年代末,塔吉克地震综合考察队把位于杜尚别区的地震台网移交给了塔吉克加盟共和国科学院抗震建筑与地震研究所,在此基础上形成起了塔吉克地震系统。六十年代初,该所与苏联科学院大地物理研究所合作,编制了第一个相当详细的塔吉克斯坦地震区划图,它为预报强震的地点、强度和平均重复时间打下了基础。

谈到具体的预测项目,强震前观测地表倾斜变化则为最早的项目之一。1962年И.Л.涅尔谢索夫和 А.М.康德拉坚科在加尔姆地区发现了中等强度地震前地震的横波和纵波波速比值(V_p/V_s)随时间变化。目前在世界性的地震学实践中,普遍观测这个参量随时间的变化。

在六十年代中期,地震预报问题重新引起了人们的关注。由于科学院院士 М.А.萨多夫斯基有目的地加强了这项工作,在建立预报研究课题方面,采取了重要的措施。他提出在各

种地球物理场探索强震前兆的任务。通过工作总结发现在较强 ($M \geq 4$) 地震前一系列参量随时间发生变化。

后来在杜尚别和加尔姆地球物理试验场开始利用地震重复率曲线倾角、震源机制、地震动的总延续时间、不同深度地壳中小震次数及其他参量随时间变化以及地震平静作为预报指标。当时所获得的令人鼓舞的成果,为首批地震预报尝试打下了基础,在1976年实现了预报。在杜尚别和加尔姆试验场进行的地震前兆的连续观测,使我们发现了一些预报参量明显地偏离正常值的长期异常,同时还有地倾斜和地表形变、地球化学组分、震源机制、弱震震中迁移方向和其他指标的短期异常变化。根据这些已取得的资料,塔吉克共和国科学院抗震建筑与地震研究所(和苏联科学院大地物理研究所综合地震考察队一起)在1976年4月和6月发布了理由充分的地震警报。在研究地区和距其不远处发生了一系列 $M = 4.0-6.3$ 级地震,其中包括著名的1977年1月31日的伊斯法拉-巴特肯地震。这些地震在地表引起的震动烈度为5至8度。

1976年7月,在苏联科学院副院长,科学院院士A.B.西多连科的领导下,成立了部门间地震预报委员会,这是解决地震预报问题采取的极重要步骤,对组织和发展广泛的预报研究系统给予了新的推动。

由于实施了该委员会制定的各种措施,在短时间内对各种具有预报价值的地球物理参量开展了综合观测。在塔吉克斯坦,塔吉克共和国科学院抗震建筑与地震研究所和科学院大地物理研究所进行了多年的详细的地震观测。当然这种大规模的综合性工作仅有二个单位是难于完成的,除它们外,还有一些重要的研究所如地球化学研究所、全苏矿物原料研究所、苏联科学院科拉分院矿山研究所以及塔吉克加盟共和国部长会议地质局和测绘总局第十二企业公司均参加了工作。1976—1977年由于共同努力,在塔吉克斯坦扩大了地倾斜、形变测量、地球化学、地磁测量、大地电流和其他类型的观测网。为了提高接收和处理地震、地球物理、地球化学信息的效能,采取了措施,组织了专门的计算和遥测系统。为了将预报信息迅速集中和传递到统一的中心,在组织服务方面制定了具体的办法。并责成塔吉克加盟共和国科学院抗震建筑与地震研究所领导集中资料工作及完成所有的预报措施。

近几年来,预报观测的经验证明,各种预报参量的异常不仅出现在未来强震震中附近,而且也出现在距其相当远的地方。一系列前兆的这种远距离作用说明,地壳的巨大范围甚至于上地幔都参与了大震的孕育过程。

如此规模的大地变形本身是缓慢进行的大范围构造活动的结果。因此在大区域内可记录到强震的长期前兆,这种前兆发生在不仅一个而是几个孕震区的形成之前,进而超前于一系列强震。至于预报参量的短期变化可以发生在长期进程的背景上,因此有必要采取相应的处理方法。

这种情况使得如果仅在局部地区进行前兆观测,那么在预报未来发生地震的地点方面将具有很大的不确定性。因此提到日程上的问题是把中亚和哈萨克斯坦地区整个范围内的预报观测联合,成立一个统一的中心,并在这里建立颇为广泛的统一台网。为了观测所有的已知的预报参量,在地震台装备统一的配套仪器。

塔吉克斯坦地区的观测经验清楚地说明,建立地震预报业务服务问题已提到日程。为了保证在收集、传递和处理地球物理资料方面有高的业务效能,必须建立台网并将观测预报系统用现代化计算技术进行装备。为了预报中亚和哈萨克斯坦地震,目前在塔吉克科学院抗震建

筑与地震研究所已建成了大型的区域中心计算系统。这里装备有EC-10-33型电子计算机,两台M-40-33, ИВК-4, ИВК-7, M-7000型机器。建立了地震和地球物理资料的数据库,并已部分用以解决地震预报的任务。

在杜尚别和努列克预报试验场建立了遥测台站系统,台站总数已达20个,由于遥测台网的建立,实现了一系列预报参量的连续监测。这种系统可以作为今后收集、传递和整理所有资料的典型。

图1给出了各种前兆现有的和规划中的观测点。最近几年扩大了测震、形变、倾斜、地磁、地球化学和其他类型的观测网。当前还需要完善和统一地球物理仪器,开展全部的自动化观测并将原始资料直接输入电子计算机。大大地扩大地球物理观测系统,使得用最现代化的仪器和设备装备这一系统成为了现实。

我们可以预计今后预报观测发展的一些前景。例如应当用高频扩大一些观测形式的频率范围。为此目的,有必要在不同地球物理场的高频干扰中探索可能的地震前兆,它有可能携带新的预报信息。

可以预见,为了建立物理学上得到论证的地震成因理论,将积极吸引相邻科学领域的专家(物理学家、力学家)来解释强震前地球物理场中出现的各种不同现象。目前积累的大量实验资料,为上述理论研究奠定了足够的基础。

在未来地震的震源区,在不大量释放地震弹性能的情况下,研究人工解除已积累应力的可能性,是最近发展起来的重要的预报研究方向之一。这项工作已在努列克水库区和在模型上进行了多年试验。为了减少水库区的地震活动,就水库水位最佳变化范围提出了建议。

地震过程的模拟试验研究具有十分重要的意义。最近塔吉克科学院抗震建筑与地震研究所阐明了一些规律,据此可以将突变变形改变成为更小的或平稳的塑性变形。这就为控制自然条件下释放积累的地震能的进程提供了可能性。已取得了一些有希望的成果,因此可预期在孕震区可用人工振动释放这里积累的弹性能,同时引起大量小震——震动。但是在选择震源区的振动频度和振动方法方面还要进行认真的研究。

值得指出的是,提出上述研究任务本身就已证明,在认识地震本质方面已取得了重大的进展,因为在某种程度上在预报地震的同时产生了解决更重要问题——防止地震的可能性。

(张炜译)

塔吉克斯坦地震活动的基本特征

K.M. 米尔佐耶夫

文中给出了塔吉克斯坦及其相邻地区地震活动的简要特征, 叙述了地震观测系统。文章还介绍了塔吉克斯坦地震区划图, 研究了详细地震区划的一些方法问题。

引言

塔吉克斯坦地区是苏联地震最活跃的地区之一。它的高地震活动性由其极复杂的地质-构造环境所决定。帕米尔和天山二大山脉的接触带位于共和国境内。有人认为印度和亚洲板块在这个地区发生了碰撞。深度达400公里的帕米尔-兴都库什深源地震区的出现可以认为是这种碰撞的结果。

塔吉克斯坦基本是构造运动明显分异的山区, 这里密布有大型的断裂网, 从很长的地质时期到现在这些断层一直在活动, 并能发生震级达8级 ($M = 8$, $K = 18$) 的地震。在这里每年发生能级 $K \geq 10$ 的地震大约有600多次, 几乎占中亚地区发生地震总数的80%, 不包括土库曼的地震, 那里每年还发生100次 $K \geq 10$ 的地震。

由于共和国90%以上的领土被高山覆盖, 因此在塔吉克斯坦非常迫切的任务就是开发和有效的利用这些不宜使用的土地, 并保证城市和工业设施的安全, 使之摆脱自然灾害。共和国地震区划图的编制很大程度上促进了这一问题的解决, 区划图提供了地震现象的长期的非确定性预报信息。它在预报强震的地点、强度和发震时间方面走出了第一步。

中亚, 其中亦包括塔吉克斯坦, 第一批地震区划图是于1933年由 Д.И. 穆什克托夫以及 1940, 1949和1951年由 Г.П. 戈尔什科夫编制的。当时该地区的地震和地质研究还很不充分, 在这些图上已经可以看到区域构造和地震活动性之间存在有明显的联系。地震危险最大的地带正好位于大型构造断裂上, 这些断裂在很长的地质历史时期一直是活动的。

1957年在С.В. 麦德维杰夫领导下曾编制了例行的规范化的地震区划图。编图时主要用了地震资料, 而地质资料用得不完全。

在И.Е. 古宾的专著中给出了塔吉克斯坦的地震区划图, 编图时考虑了最大地震引起的烈度分布。作者以全新的观点进行地震区划, 这在后来方法的发展中得到了肯定。但是图上展布的地质断裂和强震有着十分密切的关系, 这一点远超过了测定震中坐标的精度, 特别以前更是如此。我们认为编制这张图时, 强震孕震区的范围未被充分估计。

В.Н. 加伊斯基, В.М. 列伊曼, А.П. 卡托克在1964年编制了另一张塔吉克斯坦地震区划图。编图时采用了地震重复率统计方法, 并作出了震动等值线。区划工作是在广泛应用地震资料和部分应用地质资料的基础上进行的。

1977年又编制了一张新的塔吉克斯坦地震区划图, 图上不仅利用了地震资料还利用了地

质-地球物理资料，第一次从定量角度勾划了地震带的具体范围，后者决定了地震烈度和震动重复率分布的界限。图中按文献的建议给出了30—300年和300—3000年范围的地震烈度重复率等级，较好地反映了现阶段我们对地震活动性本质的认识。

随着地震科学的进一步发展，计划、设计和建筑部门当前要求进一步完善地震区划图的内容。所以目前把不少的力量放在了改进地震危险区的详细的地震区划的方法方面。本文除了研究地质和地震活动等一般的问题外，亦要讨论一些方法问题。

地震观测网的发展

1940年前塔吉克斯坦的震源坐标靠安集延、塔什干、萨马尔坎德、奇姆肯德四个地震台测定。在这种情况下塔吉克斯坦地震震中测定精度不超过100公里。1940年在杜尚别建立了测震台。1946年建立了奥比-加尔姆台，1947年建立了穆尔加勃台，1948年库利亚勃台开始正常观测，1949年建立了加尔姆测震台，1950年又建立了霍罗格台，1951年建立了德日尔加塔尔台。这样到1951年在塔吉克斯坦境内已建立了地震观测的基准台网。台网建成后，震中坐标测定精度达到 ± 25 公里。但是震源深度的测定还相当差。只能定出震源位置是在地壳中还是位于超过100公里的上地幔。

1954年为了研究地震的动态，根据科学院院士Г.А.甘布尔采夫的建议，在加尔姆和杜尚别地区组织了塔吉克综合地震考察队。1954年在塔吉克加盟共和国的杜尚别-瓦赫什地区有以下地震台开始工作：塔维利-达拉、卡拉苏、吉沙尔、康达拉、霍隆冈等台。1956年又建立了齐穆丘鲁德、努列克、楚扬-加隆，1957年建立了舒尔霍克、穆斯基纳巴德、苏尔坦-马扎尔，1958年建立了桑格-图达，1959年建立卡莱达什特、鲍利朱安、苏尔赫-达拉、图特卡乌尔、卡赞-加佐尔，苏尔霍勃-莫斯特、希凡赛、萨雷-哈素尔等测震台。除此之外，此时苏联科学院大地物理研究所在塔吉克加盟共和国的加尔姆地区还建立了10多个地震台。

在杜尚别-瓦赫什地区震中坐标的测定精度达到了 ± 5 公里，而震源深度达到 ± 10 公里，在相邻的加尔姆地区测量的精度大约为其两倍。在杜尚别-瓦赫什地区如果以前最低能记录到 $K \geq 9$ 的地震，通常记录的是 $K \geq 11$ 的地震，那么自1959年开始，这个地区代表性的震级成为了 $K = 7$ ，而相邻的加尔姆地区则为 $K = 6$ 。在塔吉克斯坦的其他地区，地震坐标的测定和地震记录的完全程度得到了很大的改善。

这种地震观测网，为研究塔吉克斯坦地震动态的长期特征提供了条件。对于规划建设世界上最大型的水工建筑物努列克水电站和一些其他大型工业设施，这种研究是十分重要的。在此期间出版了一批实际上在国内开辟了详细研究地震动态的新纪元的科学著作。在我国其他的地震活跃区也开始了类似的工作。

以后，在塔吉克斯坦，塔吉克加盟共和国科学院抗震建筑与地震研究所在杜尚别和努列克地区进一步加密了地震观测网，苏联科学院大地物理研究所在加尔姆地区加密了地震观测网。这些工作与解决地球物理试验场的地震预报任务以及深入评价大型工业建筑地区的地震危险性密切相关。

1974年在建设中的努列克水电站大坝地区为补充原有台网又新建了五个地震台：坎古尔特、鲍利德茹安、鲍基-扎冈、佩什塔瓦、依格隆。1975年在努列克区建立了密集的遥测地震台网。这使该地区震中位置的测量精度达到了几百米。这种精度使我们有可能阐明断裂和

地震活动的直接联系。据震中的密集排列可以很好地勾划出地壳的已知和隐伏的断层。在杜尚别和加尔姆地区在1974年也建立了类似的遥测台网。今后计划在塔吉克斯坦的南部和北部以及帕米尔加大地震观测网的密度。

地震活动简要特征

图1中给出了塔吉克斯坦及其相邻地区能级 $K \geq 13$ 强震的震中。自1895年起在研究区内逐渐积累了有关大震的可靠资料。随着中亚和哈萨克斯坦地震观测网的发展,逐渐可靠地记录到下列震级的地震:1895年起可记录 $K \geq 15$,1927年起可记录 $K \geq 14$,1934年起可记录 $K \geq 13$,1940年起可记录 $K \geq 12$,1954年起可记录 $K \geq 10$ 的地震。

至今在全境内尚不能完全记录能级为10和11的地震,特别是边远的东南和西南地区。根据文献资料,在这些地区代表性的能级为 $K = 11$,部分为 $K = 10$ 。但由地震重复率曲线上可

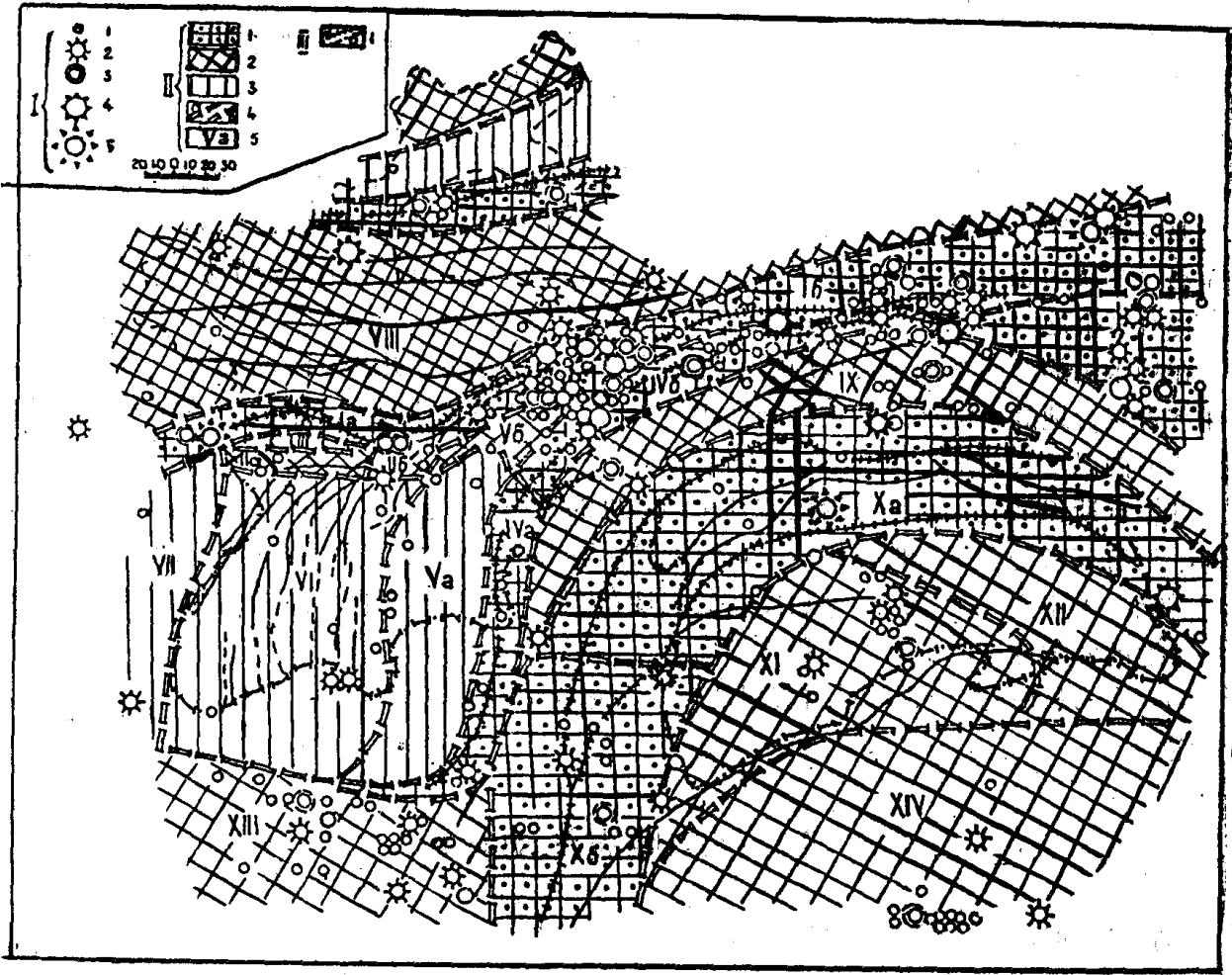


图1 塔吉克斯坦地区孕震带分布示意图
(编图者: A.M.巴巴耶夫, R.M.米尔佐耶夫)

I —— 地震的能级 (K): 1 —— $K = 13$, 2 —— $K = 14$, 3 —— $K = 15$, 4 —— $K = 16$, 5 —— $K = 17$;
II —— 孕震带及其中可能的地震: 1 —— $K \geq 17.5$ ($M = 7.5 - 8$), 2 —— $15.5 \leq K \leq 17.4$ ($M = 6.3 - 7.4$), 3 —— $K \leq 14.5$ ($M < 6.0$), 4 —— 孕震带和亚带 (a), (b) 的界限, 5 —— 带和亚带的符号;

II —— 其它图例: 1 —— 最重要的边缘断层 (a), 其它断层 (b)

以看出, 这里明显缺少这种震级的地震。因此在东南和西南边缘地区代表性地震震级最多为 $K \geq 12$ 。

本世纪在塔吉克斯坦发生了三次灾难性地震——1907年卡拉塔格地震 ($M = 7.4$), 1911年萨列兹地震 ($M = 7.4$), 1949年哈依特地震 ($M = 7.4$)。

最强地震震源分布在深度可达40公里的地壳内。除此之外, 这个地区的特点是, 有特殊的帕米尔-兴都库什地震带, 该地震带内地震震源还位于深度达80—400公里的上地幔中。在这个地区每年可记录到1500次以上 $K \geq 8$ 的壳下地震。而代表性的能级是 $K \geq 10$ 。此带上发生的强震振动可传播很大的范围, 波及相邻的共和国——乌兹别克斯坦、吉尔吉斯、土克曼、哈萨克斯坦。但是由于震源深度很大, 它们对地表的影响烈度不超过7度。

塔吉克斯坦境内南天山是最活跃的震中带(图1)。

在这些带上发生了以下有名的地震, 如卡拉塔格地震(1907), 法依扎巴德地震(1930, 1943), 加尔姆地震(1941), 哈依特地震(1949), 马尔坎苏地震(1974), 阿拉依地震(1978)及一系列其他地震。按震中密度可以将该带划分为东西二部分, 东部大致以法依扎巴德开始震中的数量明显增多。西部, 加上较小地震, 可用肉眼将其划分为北西和南西亚带(小震活动更为活跃)。在南西亚带则发生了最大的卡拉塔格7.4级地震。

在帕米尔和塔吉克盆地间, 根据其显著程度划分出了第二个地震带, 它正好位于达尔瓦兹-卡拉库里断层。在东北方向上该带的地震活动性增强, 在帕米尔的北部该带实际上与南天山地震带合并。塔吉克斯坦的绝大多数强震都发生在这两个地震带内。实际上共和国及其相邻地区地震动态主要取决于南天山和达尔瓦兹-卡拉库里地震带的地震活动性。因此下面我们将对这个地区给予特别的注意。

在帕米尔的西南观测到大量地震, 近数十年内这里发生了几次6级的地震。共和国的北部和塔吉克盆地的中部地区地震活动性相对不高。但是在盆地南部, 在接近兴都库什山系的支脉范围内以及其北部, 地震活动性明显上升。

塔吉克斯坦地壳中的地震活动有别于纯随机的泊松过程。65%的 $K \geq 10$ 地震都是成组发生的, 只有35%为个别事件。约一半成组地震以震群形式发生, 其最大地震的能量比组内其他地震能量大不到一个量级。地震的密集程度在空间上亦略有变化, 南天山的东部地区和塔吉克盆地的北部地区, 地震密集程度最高。

帕米尔-兴都库什深源地震密集程度较低, 它的动态不论是空间上或时间上都具有较大的稳定性。

孕震带和地震活动参数

强震孕育时, 应力最高地带被称为孕震带。不过这纯属一种相对概念, 因为应力的绝对值尚不清楚, 孕震带局限的范围难于确定, 并且, 最高应力集中带是根据间接标志判定的。

地震烈度分布界限与孕震带的范围直接相关, 确定孕震区范围至为重要。除此之外, 区域振动的计算值和重复率曲线的水平和斜率有关, 重复率曲线一般把全区做为整体, 包括少震区在内一起考虑。由于介质成分、介质的有效强度、构造运动的强度的不同, 一个孕震带的重复率曲线斜率和另一孕震带可以有明显的区别。利用包括不活跃区弱震的综合重复率曲线图, 绘出的是不同地带地震重复率的均值。如果据每个孕震带内的地震编制重复率曲线,

它们在水平和斜率方面会有区别，从而区别出地震危险性在真正危险带内上升，而在少震带下降。在上述平均状态下少震带的地震危险性由于相邻带强震影响被提高。因此将整个地区划分成为孕震带是非常必要的和重要的。

塔吉克境内主要孕震带的宽度为10—30公里。

最高地震活动带包括有现今活动的边缘（深的）断层，分析所有已取得的资料作出的图给出了塔吉克斯坦最主要的地震带。当然，随着地质-地球物理和地震资料的积累，今后此图将会更为详尽，但是每个地震带内重复率曲线参数的颇为稳定的时间平均值，以及不同地震带内稳定的差异，使我们相信在总体上把整个地区划分成孕震带的正确性。孕震带的最主要参数列于表1

表1

带和 亚带	每1,000平方公里单位面积内, 16年 $K \geq 10$ 地震总数	γ	M_H	M_{max}	K_H	各带内不同能级 K 地震平均重复率(年)					
						13	14	15	16	17	18
I a	6	-0.45 ± 0.03	7.4	7.5	17.5	25	70	200	500	1,400	—
I 6	34	-0.44 ± 0.03	7.5	8.0	18	1	2.5	7	20	55	160
I		-0.43 ± 0.03									
II a	32	-0.36 ± 0.03	4.5	6.3	15.5	20	43	100			
II 6	117	-0.38 ± 0.02	5.25	6.5	16	5	12	30	60		
II		-0.38 ± 0.02									
III	5	-0.41 ± 0.06	5.25	5.5	14	143	330				
IV a	20.5	-0.47 ± 0.04	5.5	7.5	17.5	5.5	15	50	150	430	
IV 6	30	-0.47 ± 0.02	7.2	8.0	18	1.5	5	15	45	130	400
IV		-0.49 ± 0.02									
V a	12.2	-0.73 ± 0.05	5.25	5.8	14.5	15	80	400			
V 6	28	-0.39 ± 0.03	5.1	6.5	16	4	10	20	50		
V		-0.57 ± 0.01									
VI	5	-0.54 ± 0.01	5.5	5.8	14.5	6	20	55	200		
VII	3.4	-0.53 ± 0.02	7.0	7.2	17	5	17	55	200	630	
VIII	5.9	-0.59 ± 0.04	5.4	7.3	17.5	10	40	150	550	2,200	
X a	4.2	-0.62 ± 0.05	7.25	7.5	17.5	10	40	170	700	3,000	—
X 6	21	-0.60 ± 0.01	7.8	8.0	18	15	70	300	1,300	5,400	
XI	16	-0.47 ± 0.02	6.0	7.5	17.5	2	7	25	75	260	950
XII	1.1	-0.49 ± 0.11	4.5	6.9	16.5	40	125	400	1,250		
XIII	16	-0.54 ± 0.01	6.2	6.3	15.5	2.5	8	30	100		
XIV	1.5	-0.37 ± 0.02	6.25	7.0	16.5	9	20	50	125		
I a深	14.9	-0.55 ± 0.01	5.5	7.0	16.5	2.5	9	32	110		
I 6深	170	-0.53 ± 0.01	7.3	8.0	18	0.23	0.8	3	10		
XIII深	16	-0.54 ± 0.01	5.5	7.0	16.5	2.5	8	30	100	35	120

表中列入重复率曲线斜率 γ ，最大可能的地震的能级（ K_H ），震级和各孕震带内不同能级地震的平均重复率。在把震级折算为能级时，能级值 K 平均增加0.5级，因此（ K_H ）被称作临界能级。