

2

【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

(二)

[苏]M.A.萨多夫斯基 主编

梅世蓉 张肇诚 等译校
何世海 冯德益

地震出版社

1990

内 容 提 要

本文集译自苏联《地震预报》第2卷, 主要介绍苏联地震工作者在探索地震的时间、地点和强度预报方面的成果, 包括: 震前和震时地球深部力学过程的物理和数学模拟; 岩体内应力波传播的研究; 局部和全球地质构造特点的分析; 为寻找地震前兆和综合预报方法而开展的地震、地球物理、地球化学和地形变方面的试验研究。此外, 还涉及哈萨克斯坦一些地震危险区的地震地质构造特点, 以及观测工作和资料处理的自动化问题。

本书可供地震、地球物理、地球化学、构造地质和抗震建筑方面的专家参考。

苏联地震预报研究文集

(二)

〔苏〕М.А. 萨多夫斯基 主编

梅世蓉 张肇诚 何世海 冯德益 等译校

ПРОГНОЗ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

№ 2

Гл. редактор М.А. Садовский

Издательство "Дониш"

*

责任编辑: 曹可珍

责任校对: 王花芝

*

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 10 印张 253千字

1990年12月第一版 1990年12月第一次印刷

印数001—500

ISBN 7-5028-0390-4/P·253

(779) 定价: 5.50元

序

系列文集《地震预报》的这一册继续介绍有关苏联强地震地点、强度、时间预报问题的研究结果。这里提供的是哈萨克苏维埃社会主义共和国科学院地震研究所在理论与实验方面综合研究的新资料, 这些资料是关于北天山的地震活动特征的。在北天山地区的哈萨克首都阿拉木图附近曾发生过几次苏联大陆地区的最强地震。

这一地区特别复杂的地震环境老早就引起了科学家的注意。苏联科学院地球物理所综合地震考察队早期开创的工作由哈萨克的科学家来继续和发展, 近些年来则由重新建立的共和国科学院地震研究所来承担。

高兴地指出, 反映这一研究所成果的本书第二册的问世正逢所长、哈萨克苏维埃社会主义共和国科学院院士Ж.С.叶尔扎诺夫的60岁纪念。他认为开展理论研究具有重大意义, 缺了它地震预报综合问题的解决就不可想象。在解决这个问题上研究所的贡献取决于在两个方向上进行的科学研究——构造过程与地震过程的力学及哈萨克斯坦的区域地震活动性研究。

本册《地震预报》首先叙述北天山地震构造条件的现代概念。仔细研究区域地壳构造单元的形成特征, 讨论地震活动性与这些单元的关系(А.努尔玛加姆别托夫, А.В.基穆什, В.И.沙齐洛夫)。

在随后的四篇论文中叙述理论研究成果。根据弹性裂隙介质模型, 分析壳内地震的前兆形成条件, 这些前兆与地面局部位移及地震体波传播速度的变化有关(Ж.С.叶尔扎诺夫, И.А.加拉加什)。应用矩阵法研究周期性非均匀介质中的弹性振动时, 查明了透明区与非透明区的形成特点, 并获得确定弹性波频散的一般方程(Н.Ж.茹巴耶夫, С.К.特列乌克诺夫)。引用了有关软土在弹性限度以外自然动力性质的实验、理论研究结果(Н.Ж.茹巴耶夫, А.Я.西尼亚耶夫)。仔细研究了震源机制, 该机制被模拟为受预应力的弹性介质中伴随突然破裂的非平稳过程综合体(Ж.С.叶尔扎诺夫, А.С.基姆)。

随后的论文介绍阿拉木图预报实验场实验研究的情况与远景。给出了人员、机构及初步观测结果的综述(К.Б.阿尔达姆扎罗夫, А.Б.奥斯帕诺夫)。评价了寻找强地震前兆的地球物理方法的信息量, 并考虑地壳深部结构的特征(А.К.库尔斯克耶夫)。讨论了预报实验场内台网发展的基本先决条件, 该条件足以保证实验资料的综合分析(А.К.库尔斯克耶夫, В.А.米泽夫)。提出对地面现代运动组织观测的问题及初步结果(К.Б.阿尔达姆扎罗夫, В.С.佩列杰罗, А.В.季霍米罗夫)。

书中对在阿拉木图市建立地震预报自动化系统给予了特别注意。对提供信息过程的自动化进行了分析, 详细研究了地震预报自动化系统工作的初步结果与发展远景(В.А.乌斯京诺夫, Е.К.巴拉法诺夫)。提出了利用基于许多识别算式的分级评定模型, 以预测地震的危险性(В.С.库别科夫)。

书中还刊载了其它一些已完成的与解决地震预报综合问题有关的研究结果。如根据区域的局部物理地质特征预报地震强度的方法(Ж.С.叶尔扎诺夫, В.И.沙齐洛夫, А.努尔玛加姆别托夫, А.瑟迪可夫); 在软土地块记录劈裂现象的实验方法, 据此可估计地震时破坏应

力的特点与强度(А.Я.西尼亚耶夫, А.М.祖斯曼); 试验场内地震台任意分布的条件下大量测定地方震坐标的方法(В.И.沙齐洛夫)。

在有关构造与地震过程力学的文章中还包括地下建筑物的应力应变状态的解析与试验研究。给出了相对岩层走向和地震波传播方向不同方位的深埋水平坑道进行这类研究的结果(И.М.艾塔里耶夫, Ж.К.玛萨诺夫)。研究了卡拉干达盆地煤矿地下坑道动力现象的机制, 并制定了预测方法(Ю.А.维克斯列尔, Н.А.日丹金, С.С.萨塔罗夫)。

М.А.沙多夫斯基院士

(梅世蓉 译 张肇诚 校)

目 录

序.....	(I)
扎坎·苏列麦诺维奇·叶尔扎诺夫.....	(1)
哈萨克斯坦东南部地壳发展的特点与地震活动性	A. 努尔玛加姆别托夫等 (3)
壳内地震前兆现象力学	Ж. С. 斯. 叶尔扎诺夫等 (14)
周期不均匀性与波传播的特殊性.....	Н. Ж. 茹巴耶夫等 (31)
用于估计地震作用的土动力学性质的研究.....	Н. Ж. 茹巴耶夫等 (37)
震源非稳态过程的机制.....	Ж. С. 叶尔扎诺夫等 (46)
阿拉木图预报试验场的实验研究	К. Б. 阿尔达姆扎罗夫等 (57)
地球物理方法在地震预报中的作用	A. К. 库尔斯克耶夫 (66)
阿拉木图预报试验场地球物理和水文地球化学网发展的基本设想	A. К. 库尔斯克耶夫等 (76)
阿拉木图预报试验场现代地面运动的综合研究及其与地震活动的关系	К. Б. 阿尔达姆扎罗夫等 (84)
震源区单侧分布的地震烈度预测.....	Ж. С. 叶尔扎诺夫等 (93)
地震作用下的土特性研究.....	A. Я. 西尼亚耶夫等 (101)
确定大量地方震震源坐标的方法.....	В. И. 沙齐洛夫 (106)
阿拉木图预报试验场的地震预报自动化处理系统	В. А. 乌斯季诺夫等 (122)
地震危险性评估和预测的双循环模型	Б. С. 库别科夫 (133)
延伸较长的深埋地下构筑物地震反应的预测.....	И. М. 艾塔利耶夫等 (139)
煤矿井中动力学现象的机制研究与预报.....	Ю. А. 维克斯列尔等 (145)

扎坎·苏列麦诺维奇·叶尔扎诺夫

(为迎接60周年诞辰而作)

1982年2月10日是哈萨克苏维埃社会主义共和国科学院院士,《地震预报》文集编委扎坎·苏列麦诺维奇·叶尔扎诺夫60岁诞辰及从事科学、教育、社会活动40周年纪念日。

Ж.С.叶尔扎诺夫在哈萨克工学院毕业后,留在哈萨克苏维埃社会主义共和国科学院作研究生。副博士论文答辩后,在1949年他转到科学、教育工作岗位,从1951年起成为第聂泊尔彼得罗夫斯克矿业学院副教授。在此于1959年加入苏联共产党,1960年被聘请到共和国科学院,在那里一直从事多方面的科研、组织与社会工作。Ж.С.叶尔扎诺夫是数学与力学研究所的组织者之一(1965),是该所包括许多实验室的力学研究室主任。从1968年起是哈萨克共和国科学院主席团的院士秘书,而从1976年起为地学部的院士秘书和新建的地震研究所所长。

Ж.С.叶尔扎诺夫的活动促进了这个研究所的建立,该所是由数学与力学研究所力学研究室的实验室与К.И.萨特帕叶夫命名的地质科学研究所的地震学研究室为基础组建而成的。研究所不久就进入共和国科学院大科研机构的行列,从事有关构造与地震过程力学的基础研究及共和国的区域地震活动性综合实验研究。这些研究都是为了解决地震时间、地点、强度预报的紧迫问题及估计人烟稠密地区的地震危险性。

1963年Ж.С.叶尔扎诺夫通过了博士论文答辩,1969年当选为教授,1970年成为哈萨克苏维埃社会主义共和国科学院正式院士。

Ж.С.叶尔扎诺夫是位著名的力学科学家,他的名字在哈萨克斯坦总是与形变固体力学的发展连在一起。由他创立的崭新学派旨在研究地球内部力学性质的各种过程,包括自然界的及与人类活动有关的过程。系统地应用力学方法于地球科学的各个领域的尝试是非常有效的,这可为设计不同用途的地下建筑;选择矿产开采的技术参数;在构造地质学中和地震学中选择定量的分析方法;查明孕育地震的机制及预测地下建筑的抗震性能提供科学依据。

Ж.С.叶尔扎诺夫的早期工作是用塑性理论方法对岩石层的变形进行分析。岩石中流变过程的广泛实验与理论研究及传统的固体力学方法使他建立了岩石蠕变理论的起始方程与原则。在此基础上提出并解决了许多有关地下建筑应力应变状态及时间因素对它们的影响问题。后来,这个理论推广到成层的与构造裂隙的地块,被概括为岩石(包括盐块)粘弹性大规模形变与破裂的计算。这个理论在矿山技术计算中得到广泛应用,实际结果已在煤矿规范中采用。Ж.С.叶尔扎诺夫这一系列研究在1974年被授予哈萨克苏维埃社会主义共和国的国家奖。

Ж.С.叶尔扎诺夫在60年代形成的另一个工作方向是构造与地震过程的力学。该方向旨在运用定量分析方法,预测产生地质构造与震前、震时伴生现象的物理条件。Ж.С.叶尔扎诺夫和他的学生们首先提出了形成作为地壳内剪切运动产物的褶皱构造的数学理论。建立了各类褶皱和褶皱作用的模型。它的产生代表着多层岩层平衡弹性稳定性消失的表现形式及其随后

的发展与成形——粘性与粘弹性层的弯曲。生长过程中褶皱封闭部分的破坏,可理解为翼部变形小的透镜体形成与解体,即粘塑性流的不稳定性。估计了褶皱形成力的大小与构造形态形成过程。

通过广泛的计划对地震过程进行研究,特别是强震前兆的发生条件、机制与预报信息量的研究。研究了应力波在结构不均匀介质中的传播规律。拟定了定量准则与方法,以预测地震对层状褶皱岩层中地下建筑结构单元的应力应变状态及强度的效应。

这些结果得到了普遍承认。我国进行的构造与地震过程力学的工作是由全苏科学院主席团的部际地震与地震工程联合委员会下的一个以叶尔扎诺夫领导的工作组进行协调的。

行星的与地壳的整体运动是Ж.С.叶尔扎诺夫新的研究方向,这是为了解决整个地球构造发展的物理机制的论证问题,因为现存的概念全是臆测性的。他把近2亿4千万年以来的构造运动看成是全球的海西期构造岩浆活动的产物。首先在物体的前进式旋转运动问题的无限制提法下,研究了地球转动的规律性。证实地球存在着世纪变化,由结构的重力位势确定的力系及地球的动力非平衡性。许多结果的取得就是基于这些结论与现实论原则及有关行星模型问题的解决——天然的陀螺仪及粘性岩石圈与软流层的相互作用。说明了地球形状的三轴性质及在过去地质年代中不可能有与行星转动或岩石圈的固有运动有关的极移。阐明了大陆与海洋沿纬度带的分布;海洋裂谷的全球系统;海洋下与大陆下岩石圈的变薄与变厚;全球性的南东旋卷构造等的形成机制。因此,这些有关地球力学的基础性结果容许人们建立一个统一的引起与维持全球构造运动的物理机制。

Ж.С.叶尔扎诺夫发表了230多篇科学论文,包括21本专著,其中2本用德文在民主德国出版。

Ж.С.叶尔扎诺夫的科学报告登载在有关地球力学和地球物理的各种全苏会议和国际会议的文选中。这些会议在各国举行,如布达佩斯(1964),贝尔格莱德(1970),丹佛(1974),魏玛(1976),瓦尔纳(1977),巴黎(1979),柏林(1980)。他曾是在阿拉木图举行的一些全苏学术讨论会〔岩石力学(1965),地质数学方法(1968),波动动力学(1971),冰川学(1976),地震学(1977),地震预报(1980)〕组织委员会的主席。

Ж.С.叶尔扎诺夫作为研究生与求教者的杰出导师,在培养科学干部方面作出了巨大贡献。在他领导下有62人完成了副博士论文,5人完成了博士论文。

Ж.С.叶尔扎诺夫进行着科学组织与社会工作,多年来一直是哈萨克苏维埃社会主义共和国科学院主席团的成员,领导了地学部 and 地震研究所。他是哈萨克共和国科学院编辑出版委员会地球学部特别委员会的主席,苏联理论与应用力学国家委员会的成员,全苏科学院主席团的部际地震与地震工程联合委员会(MCCCC)的成员,哈萨克苏维埃社会主义共和国国家科技奖委员会的成员。

由于他在发展科学与培养科学干部方面的功绩,Ж.С.叶尔扎诺夫获得哈萨克共和国功勋科学家的称号,被授予劳动红旗勋章、荣誉勋章、奖章,哈萨克共和国最高苏维埃的荣誉证书。

编辑部同仁

(梅世蓉 译 张肇诚 校)

哈萨克斯坦东南部地壳发展的特点与地震活动性

A. 努尔玛加姆别托夫 A. B. 基穆什

B. И. 沙齐洛夫

文中研究了古生代和最新时期地壳构造单元形成的特点, 讨论了这些单元与地震活动性的联系。

哈萨克斯坦东南部以其特有的地质构造条件为特征, 久已引起研究者的关注。在И. Б. 穆什克托夫、К. И. 鲍格达诺维奇、Г. А. 加姆布尔采夫、И. Л. 涅尔谢索夫、В. Н. 克利斯特尼科夫、Н. М. 恰勃达罗夫及其他作者的著作中研究了这一地区的地质、构造和地震活动性, 特别是与地震危险区划分和地震区划有关的问题。近年来取得的地质、地球物理资料使区域地震构造特点及地壳结构特点与地震事件的联系的概念得到明确。

中生代前地壳发展阶段的活动带和活断层

哈萨克斯坦东南部前中生代基底的地质发展, 极大程度上受到古生代褶皱岩系底部存在的更古老的前震旦和震旦地块的制约, 后者具有大陆和海洋型地壳^[1]。古生代初期这里形成了地台和地槽动态的构造系。

地台型发展的构造是相对坚硬的块体——中央地块。狭窄伸展的地槽带显然形成于海洋型或者过渡型地壳^[2], 具有活动性特征: 垂直和水平方向的相变, 大量的不同埋深的断层, 岩石的变质作用, 褶皱变形发育, 各种年代的岩浆岩系等。尽管这些带的形成时期不同, 在整个古生代他们都保持了活动性^[3]。

古生代时期地壳上部形成了最大的地质构造单元^[4-6]。如: 楚-伊犁、肯迪克塔斯-外伊犁、中央准噶尔(巴尔喀什)活动带和巴尔喀什、北准噶尔、南准噶尔、伊塞克湖相对稳定地块(图1)。

楚-伊犁带的地质构造中有前寒武纪和古生代形成物^[4]。贝加尔期之初这里形成了细碧辉绿岩建造。中期沿断层产生差异运动, 产生了凹陷和隆起, 并颇明显地分出了巴尔喀什^[6]和阿塔苏-准噶尔^[7]地块。此期的岩浆岩为辉长岩、闪长岩和花岗闪长岩。此带发展的后期(震旦)楚伊地块和巴尔喀什地块继续上升, 因此贝加尔期造山运动显示不够完整或不够强烈。这一点可由浅水的陆源-碳酸盐和陆源建造得到证明。这一时期的末期曾为地台条件。

加里东期始于早寒武世, 表现为巴尔喀什和楚伊断层之间地区的强烈下沉。地槽阶段以形成奥陶纪超基性杂岩而告终。中期以沉积复理石和复理石状的建造, 以及复杂的褶皱运动和沿断层的小幅度错动为特点^[3]。

造山运动阶段始于志留纪末—泥盆纪初。由于札拉依尔-纳伊曼系断裂的重新活动, 形成了同名的地堑-复向斜。强烈的岩浆活动决定了研究带地壳的形成。

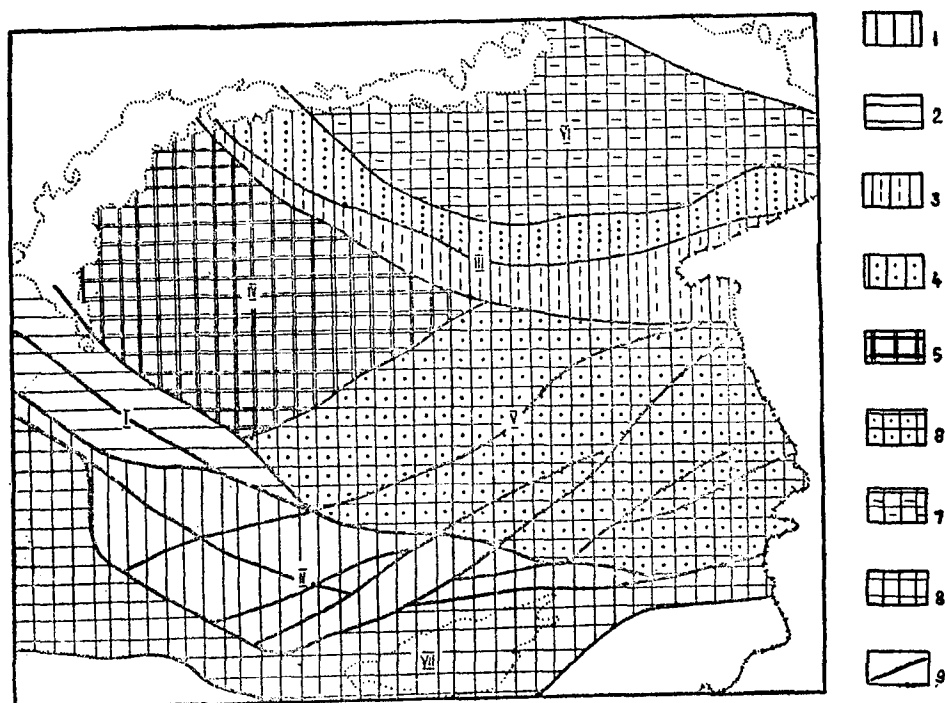


图1 古生代基本地质构造单元分布图

不同时期形成的活动带：1—奥陶纪(Ⅱ—肯迪克塔斯-外伊犁活动带)；2—志留纪(Ⅰ—楚-伊犁活动带)；
3—奥陶纪和泥盆纪复活动；4—奥陶纪和中石炭世再活动(Ⅲ—中央准噶尔活动带)
相对稳定地块：5—中生代活动(Ⅳ—巴尔喀什地块)；6—上古生代活动(Ⅴ—南准噶尔地块)；7—下沉
为主(Ⅵ—北准噶尔地块)；8—叠加里东期后的凹陷(Ⅶ—穆尤恩库姆-纳拉特地块)；9—最主要断层

在肯迪克塔斯-外伊犁活动带前寒武建造包括优地槽杂岩，属于阿克丘兹、克明和捷尔斯基伊系⁽³⁾。加里东期的早期阶段阿拉木图和肯迪克塔斯断裂以南及奇利克-克明和北孔格伊断裂以北地区下沉，形成巨厚的寒武纪火山-沉积地层，有辉长岩状岩和超基性岩侵入。这些构成了此期的特点。中期的构造差异运动制约了奥陶纪和志留纪火山-沉积建造的形成。与此期相关，花岗岩类岩侵入，地壳进一步固结。仅在个别的下沉地块保存有晚期(泥盆纪)的建造。这主要是陆相的磨拉石、粗粒碎屑岩和安山岩-流纹岩类火山岩。泥盆纪花岗岩类岩浆侵入活动未得到证实⁽³⁾。

上述带在海西期以短期发展阶段交替为特点。沉积作用始于强差异运动条件下的早石炭世粗碎屑红层。差异运动波及了与南准噶尔相对稳定地块相毗邻的地区。沉积作用和火山活动受到北东方向断层的制约。中石炭世构造运动以花岗岩类岩的侵入而结束。二叠纪火山-沉积岩层的形成与南准噶尔地块活化有关。不仅这一地块(伊犁复向斜)活化，而且外伊犁活动带边缘部分亦活化。中心型和裂隙型火山喷发沿北东向大断裂发生。火山活动延续到三叠纪，随着它的结束这一阶段的沉积停止。

中央准噶尔(巴尔喀什)活动带。关于准噶尔-巴尔喀什地槽系的发展史没有统一的看法。它分为内部构造-建造带和外部构造-建造带⁽⁷⁾。认为内带以整套地槽建造的彻底发育为特征；而外带，即我们称为中央准噶尔(巴尔喀什)带，位于阿塔苏-准噶尔地块边缘部位，并与

该地块和内带以萨尔坎德、梅恩丘库尔和南准噶尔深大断裂为界。断裂除了深部物质通向地壳的最好的穿透带，从早古生代起就对区域沉积作用和岩浆活动发生影响。

古生代活动带的构造发展中，断裂在基底块状结构形成上起了重要作用。最典型的是北西(卡拉套)、东西和北东东(天山)方向的断裂。以北西向为主的大断裂(巴尔喀什断裂，札拉伊尔-纳伊曼断裂，南准噶尔断裂，梅恩丘库尔断裂等)长期控制了地质构造的发展。他们多次重新活动，大多被岩浆物质所充填。属天山方向长期活动的一组断裂主要有：阿尔蒂恩-埃麦利断裂，阿拉木图断裂、契利克-克明断裂和北孔格伊断裂。

地壳发展新构造时期的活动带和断裂

按运动的优势方向，在哈萨克斯坦东南部可分出两种构造类型：造山运动上升区(山脉)和下降区(盆地)。下面讨论最新和古老构造的对比特点(图2)。

楚伊犁最新上升区与同名的古生代活动带相关，他与札拉伊尔-纳伊曼、萨雷图姆和巴尔喀什等深大断裂相应。垂直于走向地区结构不对称，沿断裂的地段抬升并被切割，而海西

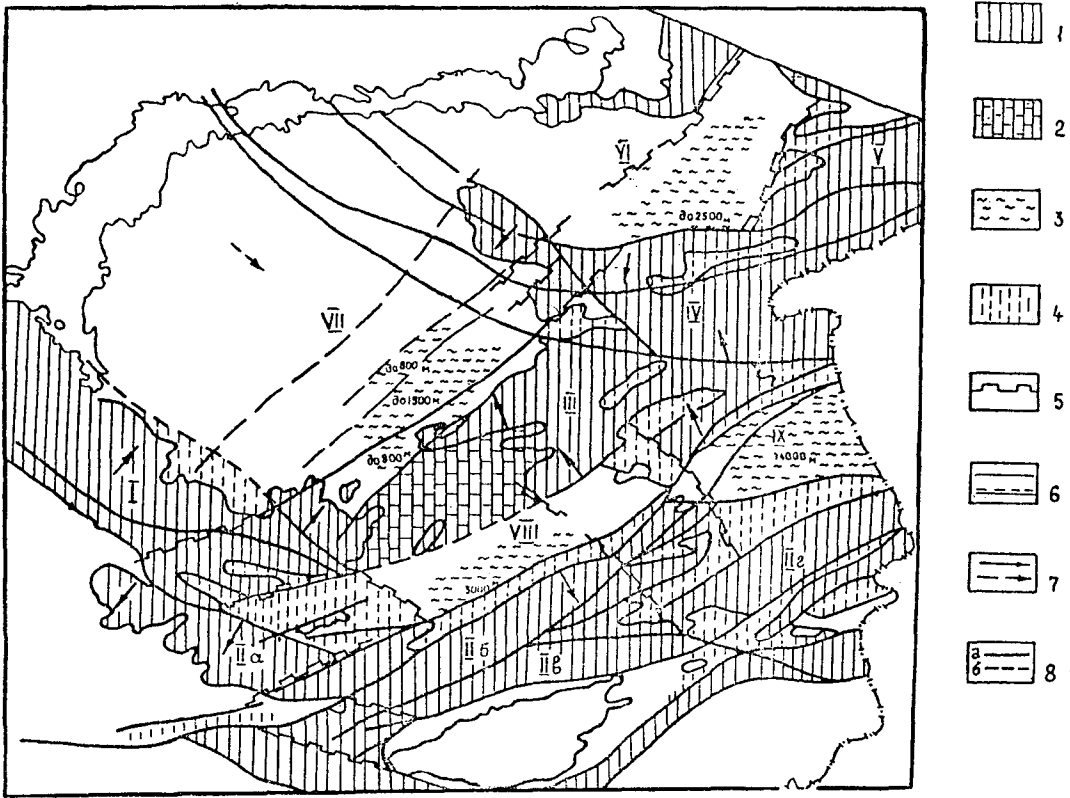


图2 最新活动期基本地质构造单元分布图

1—上升为主的地区(I—楚-伊犁区; 北天山地区; IIa—肯迪克塔斯区, IIb—外伊犁区, IIc—孔格伊区, IIr—克特姆区, III—南准噶尔区; IV—中央准噶尔区; V—北准噶尔区); 2—同上, 覆盖新生代地层薄壳; 3—下沉为主地区(VI—北准噶尔区; VII—南近巴尔喀什区; VIII—阿拉木图区; IX—潘菲洛夫区); 4—新生代地层最大厚度区; 5—上新世起以上升为主的差异运动区; 6—横向褶曲和构造形迹移动轴线; 7—海西期后准平原总倾斜方向; 8—断裂: a—出露的古生代基底断裂, b—新生代地层盖层下的断裂

期后的准平原表面向北东微倾。古断裂的重新活动造成新第三纪和第四纪地层与古生代地层的构造接触，并在地面形成阶地，剥蚀面错动达几十到几百米。在东南部，楚-伊犁上升区沿阿尔蒂恩-埃麦利断层与阿拉木图盆地西南端相接。

南准噶尔最新上升区是由同名的古老的相对稳定区的活动形成的。北东向断裂的重新活动最强烈，它们与围限巴尔喀什和南准噶尔古中央地块的断裂相切。反方向的上古生代构造(萨雷奥佐克复向斜)亦参与了最新抬升活动。海西期后的准平原在个别地区呈北西向倾斜，使现今的马拉依萨雷山脉、阿尔蒂恩-埃麦利山脉及其它山脉不对称。

中央准噶尔上升区与同名的古生代活动带相一致，表现为近东西向的山脉。重新活动的古老深断裂在构造上起了主要作用，它们是：萨尔坎德、梅尔丘库尔、索尔达特萨伊和南准噶尔等断裂。它们不仅对形成现代山地地形有影响，而且决定了南部近巴尔喀什盆地的沉积岩相特点^(3,9)。

北准噶尔上升区的构造是由塔斯塔乌构造-建造带的近东西向断裂所决定的⁽⁷⁾。北部为准噶尔深断裂，它在最新时期活化，断裂附近构造的地质和地震构造特征证实了这一点⁽¹⁰⁾。这一地区和北准噶尔盆地属于同名的古生代地块。

北准噶尔盆地充填新生代(可能为中-新生代)沉积。基底结构为阶梯状，由沿近东西和北东方向的断裂错动所造成，盆地内最大的断裂属北东方向。在盆地的西南延伸部位，在乌什卡尔山脉的近东西地段，剥蚀面有一些纵向褶曲。他们与同方向的重力和磁场异常相吻合，表明古老结构的深部变形。

南近巴尔喀什盆地具阶梯状褶曲，由纳伊曼苏耶克、巴克巴京和科克舍利等北东向的断裂所围限。沿纳伊曼苏耶克断裂古生代基底相对错动达0.2公里，沿莫伊厄恩库姆断裂为0.2—0.5公里⁽¹¹⁾。比较基底的现代标志与东南毗邻山脉的剥蚀面位置，估计断层的总错动可达2.0—2.5公里。这证明南准噶尔盆地东南部山前凹陷有明显的新构造运动。山前凹陷与相邻的上升地段构成基底的最新强烈错动的活动带，称作为库尔京带⁽¹²⁾。

阿拉木图盆地与外伊犁上升带相平行，属于南准噶尔古生代地块边缘部位。在其西南段盆地横切楚-伊犁隆起，致使古生代基底在此抬升，并部分出露(杰格列斯山)。沿伊犁-科努罗连断裂和阿拉木图断裂分布的剥蚀面横向褶曲表明了下沉的趋势，在盆地西南延伸部位的肯迪克塔斯山脉地区也观察到这种下沉趋势。基底的最大的下沉段(达3200米)位于盆地东南部的阿拉木图深断裂一带⁽³⁾。这一断裂与克明-乌什科努尔断裂围限出反向的最新强烈活动带。

潘菲洛夫盆地属于南准噶尔地块。基底的最大的下沉段位于伊犁-科努罗连深断裂北侧。古生代基底的阶梯状特点受北东和近东西向断裂的制约。

孔格伊-外伊犁上升区包括北天山的同名山脉，被几条古老深断裂所切割，对这些断裂的描述见文献[4]。海西期后的残存剥蚀面在本地区抬升到5公里高度，而它与阿拉木图盆地基底的相对总位移达8公里。

克特美尼隆起具总体北东走向，被断裂切割(琼真断裂、北和南克特美尼断裂、巴苏雷塔乌断裂等)。在乌什哈桑高原残存平原的最大高度达3.6公里，而在卡拉塔乌山上为3.7公里。原始剥蚀面与潘菲洛夫盆地基底比较，最大总位移近7公里。克特美尼隆起南北被差异运动带所包围。这些带内在上新世末或更新世初下降活动转为上升，古生代基底埋深浅，而在个别地方出露于地表(巴苏雷塔乌山，卡拉塔乌)。

克特美尼盆地与孔格伊-外伊犁盆地被断裂分割, 形成一些狭窄的和不太深的盆地。因此, 苏加京、札拉纳什、卡尔卡林及其它洼地与山脉一起组成串珠状联接结构, 切割现代地貌结构。洼地分布的西界与外伊犁和孔格伊山脉高度的阶梯状下降相吻合。类似的山地单元的横向褶曲在外伊犁山脉的北东端亦可见到。再往北, 在阿拉木图和潘菲洛夫盆地之间的基底隆起上也有表现。这些古生代基底的横向褶曲, 既包括凹陷, 也包括隆起, 可由地球物理资料测定⁽¹³⁾。

因此, 区域地壳最新结构有块状特点。块体边界为断层。需特别强调, 它们并不完全继承古生代构造布局。最新构造仅部分地利用了古生代活动带。在它们形成的过程中对古构造布局进行了改造, 表现为深凹陷和与之相邻的隆起, 沿与古生代活动带和相对稳定地块相切割的方向发展。这种结构布局的不协调正是地区深部构造的特点。

地壳的深部构造

Г. А. 加姆布尔采夫给出了北天山及其邻近地区地壳和上地幔深部结构的最初概念⁽¹⁴⁾。

研究地区地壳为层块状介质。地壳分为“花岗岩”和“玄武岩”层。经度方向上“花岗岩”层的厚度变化不大: 北天山范围内最薄(大约17公里); 天山南段略厚(20—23公里)。纬度方向上, 自西往东厚度由11—17公里增至24—25公里。

最明显的近水平界面为康氏面和莫氏面, 是地壳下部“玄武岩”层的界面。此层的厚度变化在地台区为24—25公里到天山山体下为40—50公里。典型的是, 康氏面形状平缓, 变化范围在2—5公里, 基本上与莫氏面起伏反向。地壳的总厚度总体上由北向南, 从45公里增至76公里(南天山)^(15, 16)。在天山北脉——外伊犁、孔格伊和捷尔斯克伊山, 地壳厚度基本不变(52—59公里); 往南厚度增至60—70公里。

地壳由地质形成物所组成, 其加权平均密度(σ)不超过 2.80 ± 0.02 克/立方厘米⁽¹⁾。地壳中纵波平均速度(V_p)为6.1—6.2公里/秒。区域坚硬地壳和上地幔基本结构层的特征参数, 纵横波速度(V_p , V_s)、泊松系数(γ)、以及 V_p/V_s 和 σ 的平均值列入表1。

表1 地壳和上地幔各层物理特性

物 理 层	V_p (km/s)	V_s (km/s)	σ (g/cm ³)	V_p/V_s	γ
花岗岩层	5.70/5.85	3.30/3.25	2.60—2.65	1.73/1.80	0.25/0.28
玄武岩层	6.7/7.20	4.05/4.15	3.00	1.65/1.73	0.21/0.25
壳下层	8.0/8.2	4.40/4.60	3.32	1.80/1.80	0.28/0.28

表中分子为外伊犁和孔格伊复背斜地区地壳的“花岗岩”和“玄武岩”层的值(这一地区地壳上部具有震源分布的最高密度), 分母为伊犁复向斜以北地区的值。引人注目的是: “花岗岩”层的 V_p 和 V_s 值在地壳南部和北部差别不大, 而参数 V_p/V_s 和 γ 则有较大的差别。震源密度最大的地区具有地壳典型的值 $V_p/V_s = 1.73$ 和 $\gamma = 0.25$, 而其它地区或具偏低值($V_p/V_s = 1.65$, $\gamma = 0.21$)或具偏高值($V_p/V_s = 1.80$, $\gamma = 0.28$), 这说明岩石破碎程度不同。

需指出, 区域莫氏面大体上是地表地形的镜向反映, 即山下为莫氏面的凹陷, 而盆地下为隆起。地壳向地幔的过渡经过波导层——地震波的低速层。波导层厚度在伊犁盆地地下不超

过4—5公里,在孔格伊复背斜下大于10公里⁽¹⁵⁾。

阿拉木图试验场电磁测深资料解释结果表明,地壳和上地幔为多层介质⁽¹⁾。同时地壳岩石的电阻率值为 10^3 — $10^4 \Omega m$ 。

研究地区上地幔异常速度层的位置是变化的。北天山现今山体下此层顶板埋深增加到360—400公里⁽¹²⁾。孔格伊复背斜下达最大值。伊犁深断裂以南异常速度层向南急剧下沉⁽¹⁾。在北天山褶皱系东部,到此层的深度变化更加剧烈。在西和西南方向上地幔达此层的深度逐渐增加。形态上莫氏面与异常速度层顶板有许多共同处,天山下沉,而在准噶尔山下抬升。

因此,北天山和准噶尔山地区地壳和上地幔为层块状介质。其近水平的层理由各种岩石组合的交替所构成,它们在物理性质上有明显差异⁽¹³⁾。地壳厚度高梯度带(过渡带)分割具有高厚度和低厚度的大块体,它们的存在反映了块状结构⁽¹⁷⁾。而且高厚度地块不总是或不完全是与古生代活动带吻合,不能认为它们是古生代造山带的残根。空间上它们与最新隆起更为相应。至于盆地,则属具低的或过渡的地壳厚度的地块⁽¹⁸⁾。典型的是,存在与现今山地构造垂直方向的低厚度带,它们或与最新差异运动带相吻合,或与地貌结构的横向褶曲或断褶相一致(见图2)。通常,横向带具有高地震活动性⁽¹⁷⁾。

地壳的地震活动性

根据研究地区强震震中的分布,可划分两个地震活动带:北天山带和准噶尔带(图3)。近100年最活跃的是北天山带,它呈近东西方向展布,大部分地震发生在外伊犁-孔格伊隆起和吉尔吉斯隆起。

准噶尔地震活动带亦呈近东西展布。大部分强震发生在其南部,震源组成窄带,沿婆罗科努山向东延伸入中华人民共和国境内。近年的最强地震(1958, 1962)向此带东部迁移。

在强震震中图上还可划分出腾格里带,呈北东方向展布(见图3)。近年来这条带的活动性明显提高,1965、1969和1971年这里发生了6级以上地震。

弱震震中(1951—1976年)与强震震中相比,在平面上分布更为分散(图4)。它们集中在一些边界不很清楚的宽带内;或者成组,勾划出区域地壳的块状结构。这些从图2和图4的比较中,可以看得很清楚。

研究地区中央部位是近东西向延伸的北天山带(见图4)。在此,大部分震中在外伊犁山和孔格伊山隆起带(Ⅲ和吉尔吉斯山东部Ⅴ)。在外伊犁山和孔格伊山与克特美尼山交接带地震密度更高,这里地壳厚度异常地减薄,与前面指出的地貌结构横向破损相符合。再往东北,为低地震活动的伊犁盆地,盆地以北是另一高地震活动带——准噶尔带(Ⅳ)。准噶尔带内大多数小地震集中在准噶尔山南坡,这里近百年来发生了5次能级 $K=15$ 的地震(沿中央准噶尔和南准噶尔地块间的南准噶尔断裂,图2)。

区域的南部分布有捷尔斯克伊(Ⅶ)、腾格里(Ⅵ)、中央天山(Ⅷ)和其它地震带。按小震数量,捷尔斯克伊带不次于北天山带,尽管其内强震少得多。在此,伊塞克湖西南端震中密度最大。在普尔热瓦利斯克城以东小震震中集中。

腾格里带以小震数量最大为特征。它呈一条窄带沿北东方向延伸,占有较大的面积,震中密度向西南增长。中央天山(Ⅷ)、楚-伊犁山(Ⅸ)、伊犁盆地(Ⅷ)、克特美尼山(Ⅺ)是以地震数量少为特征的带,震中分布较为均匀。

各带相对地震活动性水平的估计,可以从重复率曲线确定的地震动态参数的评价中得出。为全区或为单个带或地段编绘的这类曲线示于图 5。

在测到不少于4—5次地震的地震能级范围内,所有曲线为直线。重复率曲线倾角平均值 $\gamma=0.47\pm0.035$ 。此值的离散度对单个带均在其测定精度范围内。吉尔吉斯山、腾格里山、外伊犁山、孔格伊山和捷尔斯克伊山以高地震活动性为特点,地震活动性水平 $A=0.14-0.19$ 。

表 2 给出地震动态参数值 A 和 γ , 取自外伊犁山和孔格伊山的地震重复率曲线。

山脉的中部1975—1977年表现出活动性水平升高。升高是 $K=9-10$ 的地震所造成,表现为重复率曲线倾角值降低(曲线据 $K=7-10$ 的地震绘制)。外伊犁山和孔格伊山东部的活动性水平比西部高得多。并且观测到活动性水平随时间的某些下降。如,1951—1960年活动性水平都高于随后时期1961—1974年的观测水平。

活动性综合图(图 6)展示了研究地区地震活动性水平的差异程度,可勾划地震活动带。地区的北部为准噶尔地震带,有两个活动性相同的亚带,中间为低活动区($A<0.10$)。此带向南,隔着活动弱的伊犁盆地,为北天山带。北天山带为东西向的两条窄带,属于吉尔吉斯山和外伊犁山及孔格伊山。带中山脉的东部活动性最高, $A=0.30$, 并为地壳和地形构造的异常地段⁽¹⁷⁾。捷尔斯克伊带在伊塞克湖以南,亦由若干高活动性水平的亚带组成($A=0.15-0.20$)。地区的东南部,有腾格里带,为北东走向的广阔条带,其活动值达0.50。

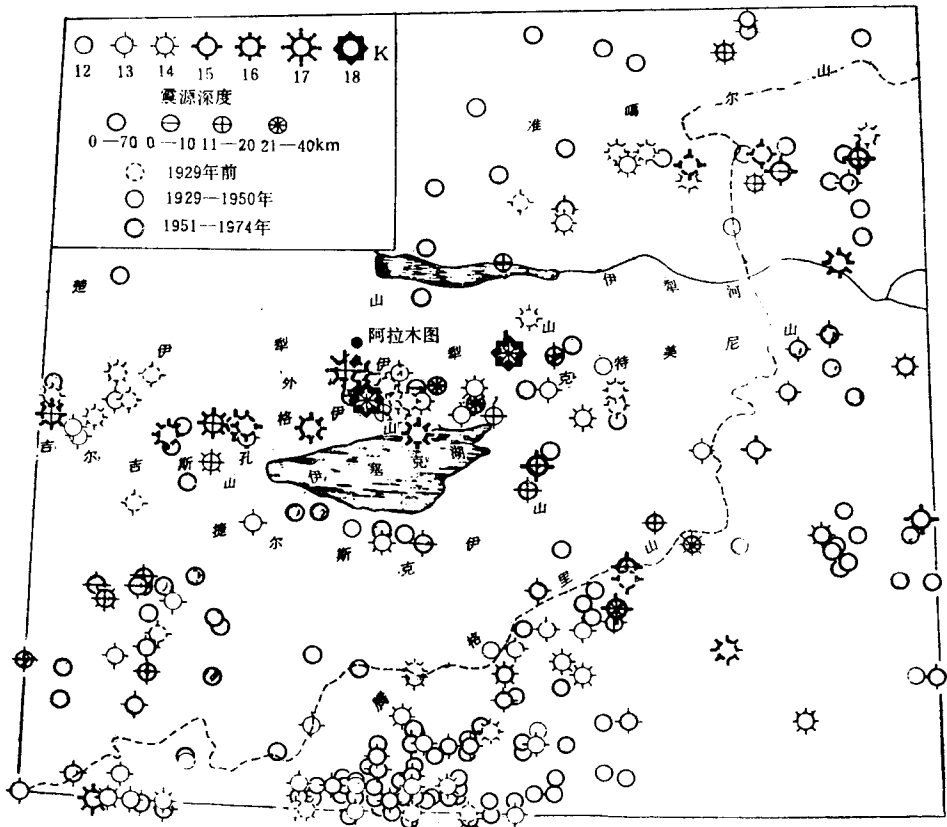


图3 东天山和准噶尔山地区强震震中分布图

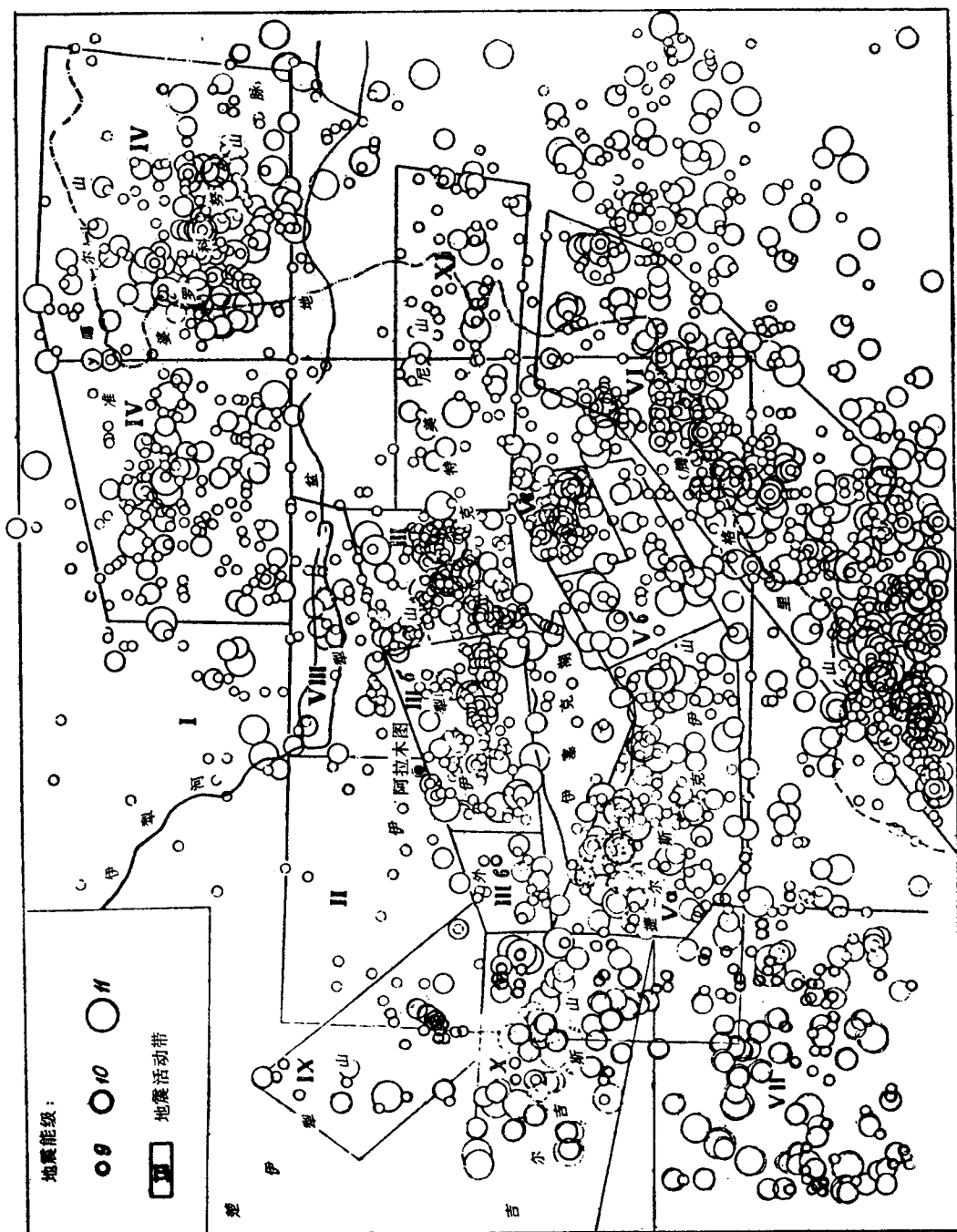


图4 东天山和准噶尔地区弱震震中分布图

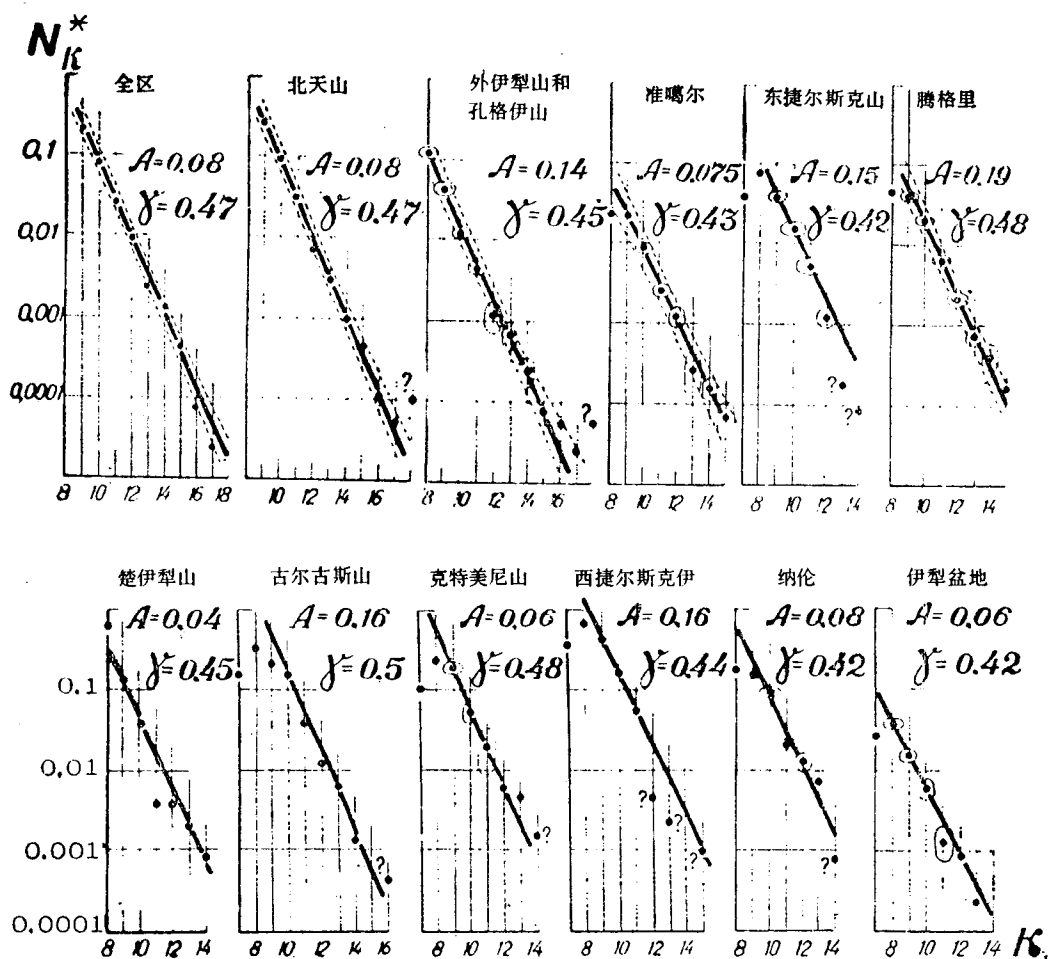


图5 地震重复率曲线

表2 外伊犁山和孔格伊山地震动态参数

地 区 名 称	观 测 期 (年)	A	γ
外伊犁山和孔格伊 山 地 区 山脉东部 山脉中部 山脉西部	1951—1974	0.14	0.45
	1951—1960	0.22	0.50
	1961—1974	0.09	0.55
	1975—1977	0.13	0.50
	1951—1974	0.22	0.49
	1951—1960	0.30	0.49
	1961—1974	0.16	0.49
	1975—1977	0.14	0.50
	1951—1974	0.12	0.57
	1951—1960	0.19	0.50
	1961—1974	0.085	0.47
	1975—1977	0.23	0.36
	1951—1974	0.08	0.50