

第30届国际地质大会论文集



第5卷

现代岩石圈运动 地震地质

叶洪主编



地质出版社

第 30 届国际地质大会论文集

第 5 卷

现代岩石圈运动 地震地质

叶 洪 主编

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 简 介

本卷文集由 22 篇论文组成,它们选自第 30 届国际地质大会“现代岩石圈运动”专题讨论会及“地震地质”学科讨论会上的交流论文。按其内容可分为两大部分:第一部分是地球动力学与活动构造,内容涉及全球规模和区域性的地球动力学研究、现代地球动力学模型、地壳应力场、活动断层、活动褶皱、古地震、破坏性大地震的地震构造研究及火山活动等;第二部分是地震机制与地震预报,主要讨论大地震形成的构造物理环境和地震预报新技术、新方法以及与地震预报和地震危险性评价有关的地震地质问题等。本论文集较好地涵盖与反映了第 30 届国际地质大会上关于这两个讨论会的学术内容,有助于读者更好地了解现代岩石圈运动与地震地质的国际研究新进展,为我国进一步开展资源、环境、灾害及地球整体规律的研究提供有益借鉴。

本书可供从事地球动力学、岩石圈构造、地震地质研究的地质工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代岩石圈运动 地震地质/叶洪主编. -北京:地质出版社,1999. 11

(第 30 届国际地质大会论文集;第 5 卷)

ISBN 7-116-02929-X

I. 现… II. 叶… III. ①岩石圈-现代地壳构造运动-国际学术会议-文集②地震地质学-国际学术会议-文集 N. P5-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 63538 号

地质出版社出版发行

(100083 北京海淀区学院路 29 号)

责任编辑:郝梓国 周继荣

责任校对:田建茹

*

北京印刷学院实习工厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本:787×1092 1/16 印张:13.875 字数:325000

1999 年 11 月北京第一版·1999 年 11 月北京第一次印刷

印数:1—500 册 定价:32.00 元

ISBN 7-116-02929-X

P·2074

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)

第 30 届国际地质大会论文集英文版共 26 卷,已由荷兰国际科学出版社(VSP)于 1997 年全部出版。中文版由第 30 届国际地质大会组织委员会编辑,地质出版社出版。

第 30 届国际地质大会论文集卷目

- 第 1 卷:地球的起源和历史
- 第 2 卷:地学与人类生存、环境、自然灾害
- 第 3 卷:全球变化
- 第 4 卷:岩石圈构造和深部作用
- 第 5 卷:现代岩石圈运动 地震地质
- 第 6 卷:全球构造带 超大陆的形成与裂解
- 第 7 卷:造山带 地质填图
- 第 8 卷:盆地分析 全球沉积地质学 沉积学
- 第 9 卷:21 世纪能源矿产和矿产资源 矿床地质 矿产经济学
- 第 10 卷:地学新技术方法
- 第 11 卷:地层学
- 第 12 卷:古生物学 地史学
- 第 13 卷:海洋地质学 古海洋学
- 第 14 卷:构造地质学 地质力学
- 第 15 卷:火成岩岩石学
- 第 16 卷:矿物学
- 第 17 卷:前寒武纪地质学和变质岩石学
- 第 18 卷:化石燃料地质——石油、天然气和煤
- 第 19 卷:地球化学
- 第 20 卷:地球物理
- 第 21 卷:第四纪地质
- 第 22 卷:水文地质
- 第 23 卷:工程地质
- 第 24 卷:环境地质
- 第 25 卷:数学地质和地质信息
- 第 26 卷:比较行星学 地质教育 地质学史

中文版序言

当代地球科学正在以服务于社会可持续发展的需求为导向,改造和重组自己的传统学科。资源、环境、灾害和地球整体规律的研究构成了当前地球科学的时代主旋律。在 30 届国际地质大会上,“现代岩石圈运动”专题讨论会及“地震地质”学科讨论会的许多论文从不同侧面反映了当代地球科学这一主流趋向。

在现代岩石圈运动专题讨论会上,许多论文涉及全球规模和区域性的地球动力学研究,全球性的或洲际规模及大区域尺度的地壳应力场模型以及它们与地震及火山作用的关系。不少论文着重用动力学模型解释所观察到的地壳运动和变形现象,以及这些现象的地球内部过程,从而加深对地球变动机制和规律性的理解。一些研究结果表明,目前板块构造模型及地幔对流模型提供的仅是初步的框架。无论是全球尺度还是区域性范围,尚有许多构造运动现象需要进一步寻找合理解释。特别是大陆内部的复杂构造现象,远远超出了目前板块理论的预测能力范围。因此需要在近 30 年来积累的新的观测资料的基础上,开展地球整体动力学原理的研究,建立新的全球和区域尺度的动力学模型,推动地球科学的发展,为解决资源、环境、灾害问题提供科学依据。在这个讨论会上还有一些论文论述了将地球动力学及现代构造应力场的研究应用于资源开发及地震、火山等灾害的预测。

在地震地质专题讨论会上大量论文涉及区域活动构造(特别是大陆内部的活断层)、古地震、破坏性大地震的地震构造研究、大地震形成的构造物理环境,地震预报的新技术、新方法以及与地震危险性评价有关的地震地质问题等一些当前的热点问题。论文涉及的区域也相当广泛,不仅有大陆内部,特别是亚洲大陆内部(包括中国大陆、中东、远东、南亚)、北美东部、东北欧等地,也有大陆边缘的日本、新西兰、美国西部等地。针对不同区域特点提出了各自的特殊问题。

讨论亚洲大陆内部的活动构造及地震问题的论文数量最多。特别是涉及中国大陆内部、伊朗、以色列、土耳其以及希腊、亚美尼亚、格鲁吉亚等一些地震活动地区的论文,反映了这些地震灾害严重地带对研究地震及有关地质问题的重视与迫切性。

日本科学家对 1995 年阪神大地震进行了详细研究,该地震是 1923 年关东大地震以来,日本损失最大的一次地震。他们提交的报告中探讨了阪神地震的地震构造、地面断层、地貌反映、活动断裂及古地震探槽开挖、大震复发间隔、地震的近海影响、海下的活断层、城市市区的活断层问题、余震的构造活动、表部断层与隐伏断层的关系等问题,集中反映了对发生在大城市附近的强破坏性地震的最新研究动向。

对一些地壳相对稳定但人口稠密的地区,近年来加强了地震危险性评价工作。对在这些地区发生过的孤立强震问题(如美国东部的 Charleston 地震和 Virginia 地震等)开展了大量工作。随着古地震研究的开展,已陆续揭示出这类地区存在的潜在危险性。在美国东部揭露的大量古砂土液化现象及其年代资料的研究,对该区过去 5000 年来的古地震事件的复发间隔问题提出了新看法。对北欧斯堪的纳维亚的大量古地震遗迹及其年代学的研究,结合冰川

纹泥的资料,使一些事件的测年精度已达 1 年甚至季度。

近海地区的活断层,地震对海底沉积和地形的影响等研究近年来也取得了显著进展。如对美国西部沿岸 Cascadia 海下构造地貌变形的研究,对日本阪神大地震近海效应的研究等均是这方面的突出例子。这对一些活动边缘地区,如日本、新西兰、阿拉斯加、南亚等国家或地区以及我国东南沿海地区是很有意义的。

在地震预报方面,除了国际上常用的地震活动性、地形变化、地球物理场等方法外,近年又出现了多种地震预报的新技术和新方法。尤其是空间技术在地震预报中的应用、深部气体地球化学前兆的探索、非线性理论的引入、在断裂力学基础上提出的加卸载响应以及孕震模型、孕震动力学方程组、动力动态预报方法等,都反映了地震预报近期的国际新进展。

总之,可以说在第 30 届国际地质大会这两个讨论会上交流的地震科学前沿问题,内容是相当丰富的。相信本论文集中文版的出版将有助于国内读者更好地了解这两个讨论会的内容,为在我国进一步开展资源、环境、灾害及地球整体规律的研究提供有益的借鉴。

丁国瑜 马宗晋

英文版序言

本卷的论文选自第 30 届地质大会“现代岩石圈运动”专题讨论会及“地震地质”学科讨论会。

“现代岩石圈运动”专题讨论会由三个讨论分会组成：①全球地壳运动、空间测量及大陆内部现今运动的测量；②现今地壳应力场、活动断裂与褶皱以及地震与火山活动的现今动力学信息；③现今地球动力学模型。“地震地质”学科讨论会由 4 个讨论分会组成：①地震、古地震与活动构造；②地震与构造物理环境；③地震预报；④工程地震与减轻地震灾害。

在上述 7 个讨论分会上，总共有 166 篇论文参加学术交流。本论文集所发表的 22 篇论文主要是根据各讨论分会的召集人在会议期间及会后的推荐意见确定选用的。

论文的选择主要依据下列两条原则：①论文是否提出了新的学术问题或对以前的问题提出了新的学术观点及研究思路；②论文是否包含有特殊价值的研究成果。需要说明的是，尽管我们努力遵循上述原则选择论文，但由于种种原因，仍可能有不少很优秀的论文未能被收集在本论文集中，所以如果有读者希望更全面地了解这两个讨论会的内容，建议各位从第 30 届国际地质大会的论文摘要集中浏览这两个讨论会的内容并检索作者。

本论文集按内容可分为两大部分：第一部分为地球动力学与活动构造。这部分由前面的 14 篇论文组成。内容涉及到现代地球动力学模型、地壳应力场、活动断层、活动褶皱及火山活动等。第二部分为地震机制与地震预报，由后面的 8 篇论文组成。这一部分主要讨论地震形成的构造物理环境及地震预报方法。

“我们生活在同一颗蓝色的行星上”。现在，越来越多的人开始认识到这句话的内涵对我们人类的未来所具有的份量。资源与环境是人类赖以生存及发展的两项最基本的条件，资源与环境问题是 21 世纪人类所面临的最严重的挑战。地球科学的使命就是为人类合理开发利用地球资源及保护人类生存环境提供必要的地学知识与科学准则。在第 30 届国际地质大会“现代岩石圈运动”专题讨论会及“地震地质”学科讨论会上，各国科学家对有关问题进行了广泛的交流与热烈讨论，希望本论文集的内容能较好地涵盖与反映这两个讨论会上的学术活动，从而对地球科学的发展尽一点微薄之力。

本人非常感谢丁国瑜、马宗晋、马瑾、张国民、张培震、X. Le Pichon、V. Trifonov、J. Mercier、R. Yeats、T. Shimamoto 及 L. Serva 对在本论文集的贡献，感谢他们推荐论文及提出许多宝贵的建议。本人在此要对几位亲密的同事：陈国光、周庆、郝重涛表示诚挚的谢意，感谢他们在本论文集的编辑过程中对我的大力支持与协助。

叶 洪

目 录

中文版序言	丁国瑜 马宗晋
英文版序言	叶 洪
全球构造及其动力学	马宗晋(1)
欧亚大陆的活断层和现代地球动力学	
..... V. Trifonov, G. Vostrikov, R. Trifonov, O. Soboleva(7)	
中国大陆地震构造及现今地球动力学若干问题	叶 洪, 陈国光, 郝重涛, 周 庆(18)
青藏高原北缘及东缘地壳动力学演化特征	谢富仁, 张世民, 舒塞兵, 窦素芹(30)
美国南卡罗来纳海岸平原新构造活动的证据	P. Talwani, R. T. Marple(41)
亚得里亚地块与第勒尼安岩石圈	
..... M. Bernabini, L. Orlando, D. Di Bucci, M. Parotto, M. Tozzi(53)	
希腊活断层的几何学和运动学	
..... S. Pavlides, D. Mountrakis, N. Zouros, A. Chatzipetros(61)	
山西六棱山北麓晚第四纪不规则断裂作用的地貌学研究	
..... 徐锡伟, 米仓伸之, 铃木康弘, 邓起东, 汪一鹏, 王存玉, 竹内章(74)	
四川西部主要走滑活动断裂带的地震潜势	闻学泽(86)
喀喇昆仑断层及其地球动力学探讨	郑剑东(98)
台湾历史断层概述	Ming-Sheng Yu, Shin-Nan Cheng, Yeon-Tien Yeh(105)
1995 年日本兵库南部(阪神)地震和城区活断层	
..... Takao Miyata, Jingpeng Hong, Yasuhide Nigauri, Yasuo Maeda(112)	
印度地盾陆内构造复活的地球动力学模型	
..... G. C. Naik, A. K. Srivastayva, V. N. Mishra(119)	
日本硫磺岛的火山现象	Norio Yoshida, Masahisa Kakiuchi(136)
M8 算法在新西兰地震数据中的应用	D. Vere-Jones, 马 丽, M. Matthews(141)
加卸载响应比理论——一种预测地震及其他地质灾害的新理论	尹祥础, 王裕仓(150)
CN 算法在意大利的应用——中期地震预报与地震构造模式的确定	
..... G. Costa, A. Peresan, I. Orozova, G. F. Panza, I. M. Rotwain(159)	
地震前异常的阶段性及其空间分布特征	马 瑾, 马胜利, 刘力强(168)
雁列式断层的变形与地震活动性的实验研究	
..... 马胜利, 邓志辉, 马文涛, 刘力强, 刘天昌, 马 瑾, 曾正文(176)	
地震断层运动时沿模拟断层的温度测量	Akito Tsutsumi, Toshihiko Shimamoto(189)
利用地面效应评定宏观地震烈度	
..... E. Esposito, S. Porfido, G. Mastrolorenzo, A. A. Nikonov, L. Serva(197)	
板内地震的非线性模型研究	李 丽, 张国民, 石耀霖(206)

全球构造及其动力学

马 宗 晋

(中国地震局地质研究所, 北京 100029)

摘 要 大陆与大洋的全球分布显示出南北向与东西向的双重非对称性。大地水准面高的分布格局具有一级与二级异常。全球活动构造可以分成 3 个一级构造系统: 环太平洋构造系、洋中脊构造系和北半球大陆构造系。这些构造系同样表现出南北与东西非对称性。全球板块总体向西运动的机制可能与地壳、地幔、地核之间的角速度差异有关。这些全球尺度的构造特征也许起源于地球早期演化留下的内部构造非均匀性以及多种来源作用力的联合效应。

关键词 构造系统 大地水准面 非对称分布 动力加载

1 引言

现今地球动力学的基本任务之一, 是利用可观察或可测量的现象与过程, 对全球尺度的构造现象进行几何学与运动学的描述与概括, 探索在全球尺度框架下构造系统的协调运动的规律性, 从而获得统一的动力学解释。本文概述了在这几个方面的研究结果。

2 大陆与大洋的全球分布及大地水准面

2.1 大陆与大洋全球分布的双重非对称性

固体地球表面的基本特征是由大陆与大洋的地貌单元决定的。地球表面总面积的 70% 被大洋覆盖。三个主要大洋(太平洋、印度洋、大西洋)中, 每一个的面积都超过欧亚大陆。太平洋是地球上最大的大洋与地貌单元, 加上它的相邻海域, 太平洋的面积占地球总面积的 35.4%。因此, 大洋地区的构造作用对全球构造格局的形成起了主要控制作用。

现在大陆在地球上的分布是不均匀的, 全部大陆的 65% 位于北半球。北美、南美、非洲、亚洲和印度次大陆都是三角形, 锐角朝南, 它的北部相互连接、环聚在北极周围。所有陆地表面的大约 81% 位于北方的大陆半球, 它的极点在西班牙(0°E , 38°N); 在这个半球上大陆占总面积的 47%, 大洋占 53%。与其相反的南方大洋半球包含 11% 的大陆和 89% 的大洋, 它的极点在新西兰。这是全球大陆与大洋分布的南北半球非对称性。

如果定义以经线 180° 为轴的半球是 180° 半球, 以经线 0° 为轴的半球是 0° 半球; 那么 180° 半球包含了太平洋的大部分和少量大陆, 相当于大洋半球; 而 0° 半球包含了地球的大部分陆地, 相当于大陆半球。这是全球大陆与大洋分布的 $0^{\circ}/180^{\circ}$ (东—西) 半球非对称性。

2.2 大地水准面高度

人造卫星轨道已提供了关于地球相对于球对称的大尺度偏离的很精确的证据, 即卫星

大地水准面。图1表示这个大地水准面的形态,它代表由卫星数据并结合地面重力测量得到的平衡椭球^[4]。这张图的总特征是,南北高纬度地区具有负异常,大地水准面的最低点在南极(-110 m)和北极(-60 m 和 -70 m)。正异常区集中在中低纬度带。这是一级异常分布格局。此外,中低纬度区还有正负异常带或槽沿北西向相间排列的特征。例如,新几内亚正异常带(+100 m),印度洋负异常带(-60 m),非洲西部正异常带(+50 m),北太平洋负异常槽(-40 m),这些都可从图1中看出,是重要的二级特征。

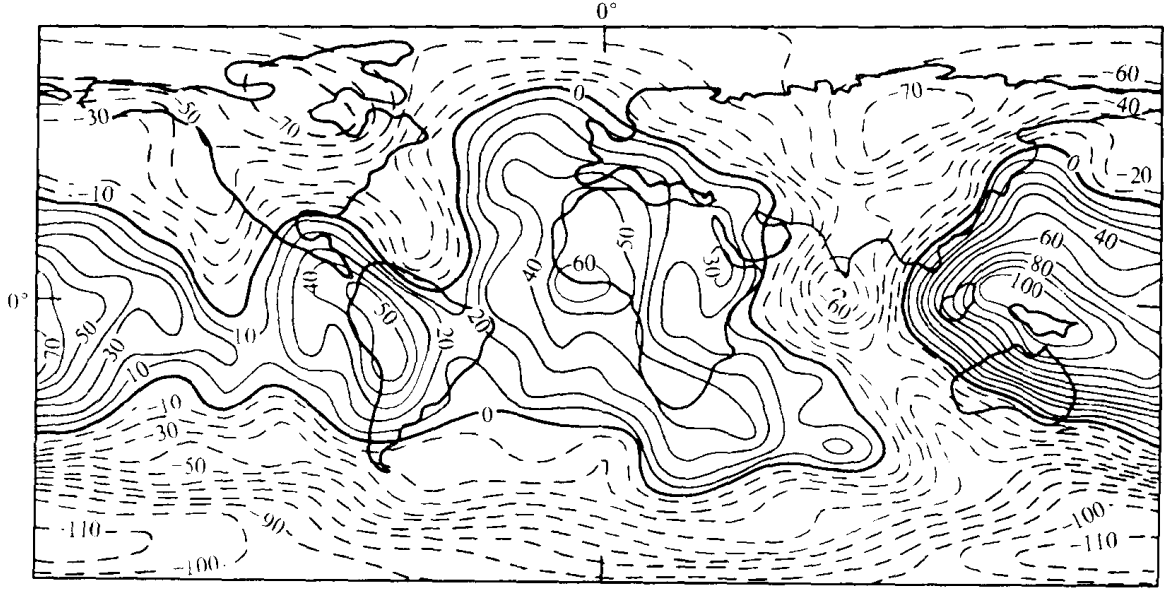


图1 根据18阶18次系数得到的大地水准面等值线
它表示相对于扁率为1/299.76的参考椭球的偏离^[4]。图中数值单位为m

另一显著特征是,除非洲之外,北半球的大陆都是大地水准面低区,而南半球的大陆几乎都位于大地水准面高区。虽然大地水准面的大尺度特征与地表高程(大陆与大洋)没有明显相关性,但在一定程度上大地水准面反映出控制全球构造格局的深部地幔运动,影响大地水准面特征的质量异常位于上地幔几百千米深度^[7]。

3 全球构造系统的非对称性

根据全球地震分布及其运动学与动力学特征,可以把全球活动构造分为3个一级构造系统:①环太平洋构造系统,它以大洋岩石圈向大陆岩石圈的深俯冲为特征;②洋中脊构造系统,其标志是大洋岩石圈裂谷与转换断层的组合;③北半球大陆构造系统,它主要分布在北纬20°~50°的环形带上,具有大陆岩石圈的断层网络特征,形成4个相似的地震构造区域(图2)。

如上所述,为描述方便,定义以经线180°为轴的半球为180°半球,以经线0°为轴的半球为0°半球。于是,几乎整个环太平洋构造系统都位于180°半球的外环上。洋中脊裂谷系统,看起来像是残缺的灯笼骨架,由三条经向洋中脊及一条环南极的纬向洋中脊连接组成。按长度计,85%的洋脊轴位于南半球,这与南半球以大洋为主相联系,表明南半球相对较热并略

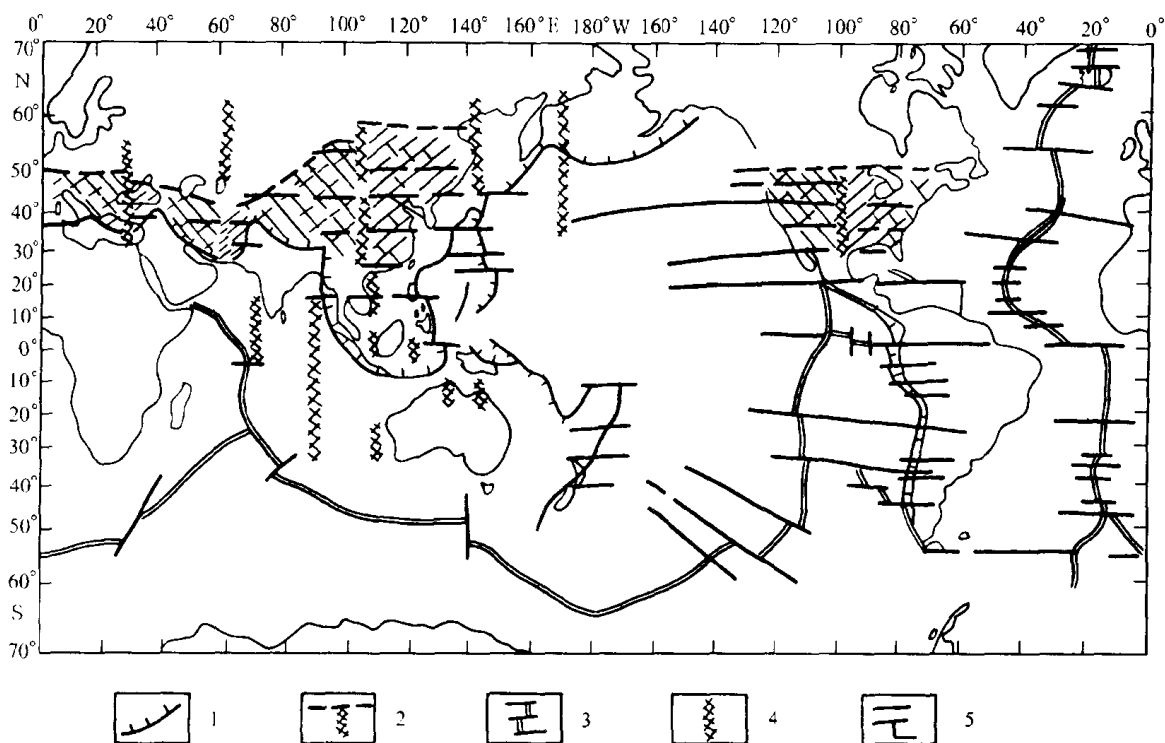


图2 全球构造系统

1—环太平洋构造系统;2—大陆构造系统;3—洋中脊构造系统;4—经向构造系统;5—断层

有膨胀。若从经向方向看,三条洋中脊与大陆裂谷相对地集中在 0° 半球上,表明它是一个次级膨胀半球。环太平洋深俯冲带的几何形状表明 0° 半球向 180° 半球仰冲。大陆构造系统的主体是北纬 $20^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 范围的陆内造山带,形成一个宽阔的大陆活动构造纬向环。它的区域应力场表明,这个纬向带的构造变形主要由两个作用力决定,一个是南北向挤压力,另一个是由螺旋状地球表面显示的左旋扭动力^[3]。

在球坐标系中对大陆构造系统与环南极洋中脊作比较是有意义的。这两个构造系都是纬向构造带,环南极洋中脊位于略有膨胀的南半球,而大陆构造系位于略有收缩的北半球。这个对比表明南北半球在热状态方面的非对称性。另一个重要现象是近南北向(经向)构造带两侧的非对称性。例如,西太平洋具有边缘构造特征,即完整的海沟、岛弧和弧后盆地系统,西倾的俯冲板具有较大的倾角(一般超过 45°)。而东太平洋的构造相对较简单,没有沿边缘的弧后盆地,东倾的俯冲板倾角较小(一般小于 45°),但东太平洋洋底板条构造具有微小差异的东向运动,造成了科迪勒拉造山带及地震与火山分布的有规律的分段性。在洋中脊两侧,由洋底磁异常条带显示的洋脊扩张速率,经常是一侧较快而另一侧较慢。在北半球的纬向大陆构造带内,可以看出有4个具有类似构造变形格局的地震区,它们都被中央经向轴分为东西两个半区。西半区主要是造山带与高原,地震活动性较强,活动构造以NW走向为主;而东半区主要是平原和丘陵,地震活动性较弱,活动构造主要是NE走向(图3)。这些现象表明,以巨型经向构造带为轴的东西非对称性,是全球尺度的构造特征。

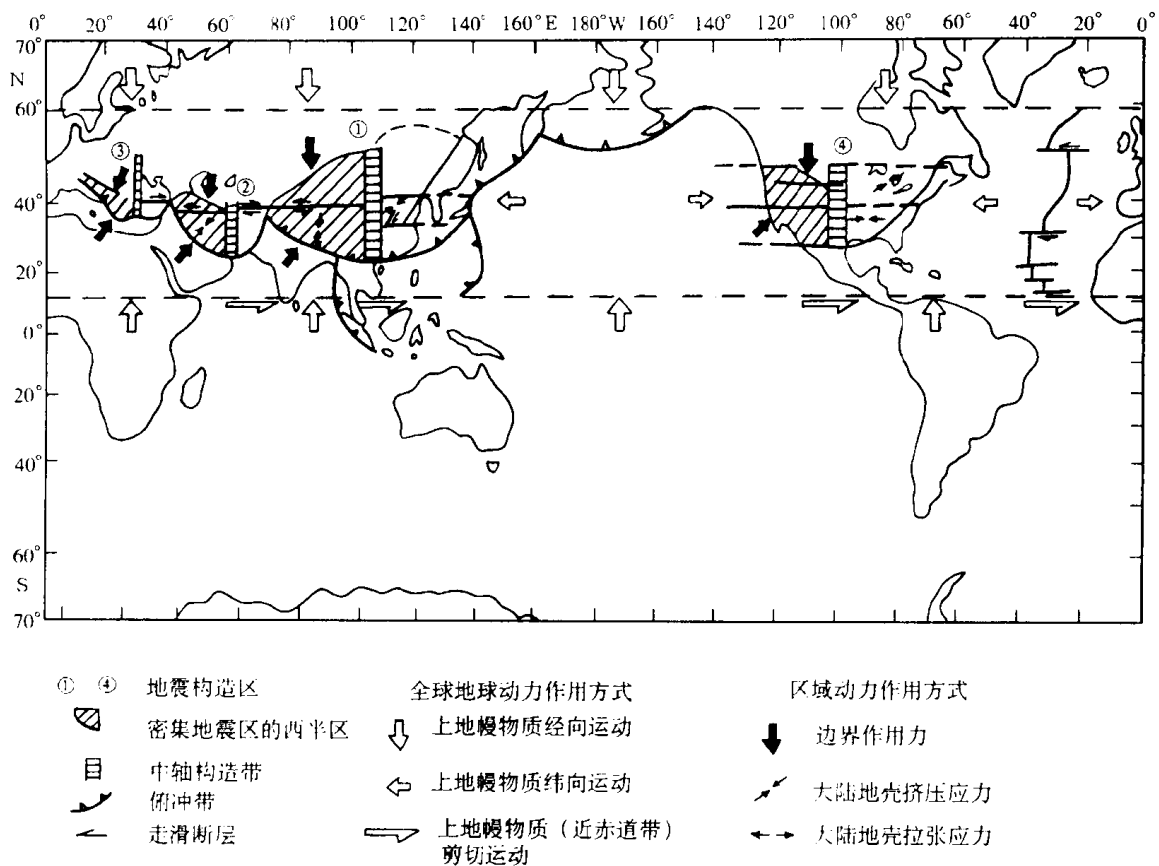


图3 北半球大陆构造及其地球动力学背景

4 动力学讨论

4.1 板块的西向运动与地壳、地幔、地核之间的角速度差异

全球相对板块运动模型 NUVEL-1^[1]表明,全球岩石圈板块总体上向西运动,板块之间有明显的速度差异。当西边的板块运动比东边的板块运动快时,出现像洋中脊和大陆裂谷那样的张性破裂。除了东太平洋隆起两边朝相反方向运动外,其他板块的运动都是由西向运动的速度差异决定的。大多数洋中脊都是南北走向,与板块总体的西向运动相垂直。当西边的板块运动比东边的板块慢时,就会出现碰撞或俯冲。可能有许多因素决定了板块西向运动的速度差异:①板块底部的起伏及岩石圈与下伏地幔间耦合强度的差异;②板块上表面的粗糙度,它同大陆地形与大气层运动之间摩擦阻力的差异相关;③地球自转突然变化时板块质量产生的惯性运动的差异;④地幔上涌引起的、作用于板块西向运动上的拉张力;⑤固体潮产生的对不同板块不同的滞后反作用力。这些可能的因素与大尺度的地幔对流无关。

板块运动模型的重要推论之一,是岩石圈与下伏地幔相脱离^[2]。因此,板块向西运动相当于地幔向西运动,这个相对运动的速率大约为 $5 \sim 10 \text{ cm/a}$ 。还有地幔与地核之间的相对运动。自 1580 年以来 400 多年基本地磁场的记录表明,它有长期的向西漂移,平均速率大约 $0.2^\circ/\text{a}$ ^[3,7]。假定产生地磁场的外核相对于内核是固定的,那么在地球表面观测到的地磁场

向西漂移意味着地壳的自转比地核快(因为地球自西向东旋转),但比地幔慢(考虑到板块相对于下伏地幔的西向运动)。由上述讨论,板块与下伏地幔之间的相对运动似乎是确定的。从另一个参考系看,地幔的自转比岩石圈板块快,可说明上述经向构造带两侧的非对称性。NUVEL-1 板块运动模型的图还表明,北半球的西向运动比南半球快。换句话说,北半球岩石圈的自转比南半球慢。因此在赤道附近的低纬度带形成左旋扭力。这个动力环境直接使印度板块、阿拉伯板块和非洲板块从西南向东北斜向推挤,造成三个弧形陆内山系,即阿尔卑斯山、扎格罗斯山和喜马拉雅山。不仅在低纬度带,在中、高纬度带也能找到南北半球之间西向运动差异的证据,在大地水准面高度图(图 1)中的北西走向带的存在就是一个例子。南北半球之间全球尺度的扭动必然产生 NE-SW 向的压扭,它可能与印度-澳大利亚板块较大速率的 NNE 向运动以及加拿大西北的 SSW 向运动有关(图 3)。

4.2 导致地球运动的多种力源

根据以壳、幔、核表示的地球层状结构以及行星起源的知识,推测地球 40 亿年前经历了下列早期演化过程:宇宙云尘吸积,地球热积累(温度高达 1000℃),分异与铁元素地核形成,因温度升高而普遍熔融,密度分层,初始地球形成。显然,在这个演化过程中重力与热的共同作用占优势。但应当记住,地球的早期演化与形成是在较高速率的地球自转状态下进行的。在 4.4 亿年前的志留纪,一年是 407 天,由此估计地球的自转相当于每年 700 天。因此,地球在熔融状态下的高速自转可能形成某些元素的侧向分异,如同在太阳与土星表面看到的带状结构。地球的这个早期结构与力学效应也许在最古老的岩石分布中留下某些痕迹。至少,在一些地盾地区的老岩石地层中有明显的纬向构造,以后才是经向与斜向构造带。这种古老岩带格局也许与地球的早期地质历史有关。

行星的南北非对称性具有广泛的表现。甚至在盘状银河系的上下,星体的数量与分布也是不对称的。有理由怀疑,银河系域外像潮汐力那样的定向作用力可能产生某种偏心效应,使星体的质量中心与其几何中心偏离。如果这个推论成立,那么地球的演化与运动自开始就处于包括重力、热、自转、潮汐等多种作用力的共同影响下,地球的质量中心可能偏向北半球一边,而它的热中心偏向南半球一边。这个配置决定了一系列全球非对称构造。

地球结构、构造与运动的目前状态也是由上述多种力的共同作用决定的。因为地球热状态和重力场的静态非对称分布决定了地球的形状、三大构造系统的非对称分布以及半球膨胀与收缩的摆动式调整运动,驱动地球构造运动的巨大能量很可能是来自下地幔的热柱以及带有重力调整的上地幔分层结构的上涌。应当考虑到热-重力作用过程中地球自转的定向性质以及由于自转速度改变产生的惯性力,它们会决定一系列构造和结构的方向,正像汽车方向盘的作用。此外,地球自转速度的变化还控制着地球扁率的改变以及它对向极和离极运动的导向效应,特别是控制因自转角速度差异而引起的壳、幔、核之间的相对运动。最后还应提到,以潮汐力为代表的不同周期的宇宙因素,甚至还有巨型陨石的冲击,都会对由重力、热力、自转力联合作用下形成的应力场产生长期与短期的调节与激发作用,这些宇宙因素也能触发像地震、火山和岩浆上涌这样的突然性过程。

致谢 本研究得到现代地壳运动及其动力学项目和国家自然科学基金(49272139)资助。

参 考 文 献

- [1] C. Demets, R. G. Gordon, D. F. Argus and S. Stein. Current plate motions. *Geophys. J. Int.*, 1990, 101: 425~478.

- [2] C. Doglioni. The global tectonic pattern. *J. Geodynamics*, 1990, 12: 21~38.
- [3] 傅承义. 地球十讲. 北京: 科学出版社, 1976.
- [4] B. M. Gaposchikin. Earth's gravity field to the eighteenth degree and geocentric coordinates for 104 stations from satellite and terrestrial data. *J. Geophys. Res.*, 1974, 79: 5377~5411.
- [5] Ma Zongjin and Chen Qiang. Global seismotectonic systems and Earth's asymmetry. *Science in China(B)*, 1990, 33 (1): 121~128.
- [6] F. Press and R. Siever. *Earth*. W. H. Freeman and Company, San Francisco, 1982.
- [7] F. D. Stacey. *Physics of the Earth*. John Wiley & Sons, New York, 1977.

欧亚大陆的活断层和现代地球动力学

V. Trifonov G. Vostrikov R. Trifonov O. Soboleva

(Geological Institute of Russian Academy of Sciences, 7 Pyzhevsky,
Moscow, 109017, Russia)

摘 要 本文叙述在完成国际岩石圈计划项目Ⅰ-2《世界主要活断层图》的过程中对欧亚大陆活断层的研究结果;讨论了欧亚大陆活断层作用的一般规律性:板块边界区的宽断层带,以走向滑动运动为主,现代拆离构造的表现,以及计算活动带内现代地球动力学参数的方法和结果。

关键词 活断层 全新世 晚更新世 拆离构造 变形率张量

1 引言

在 40 年代美洲作者和欧洲作者分别引用同义词“active fault”和“Living fault”(中文译为“活动断层”和“活断层”),来标明与新近发生的或最近的将来可能发生的构造运动有关的断裂。由于断层构造运动在时间上是不均一的,这就产生了用于恰当说明断层活动、运动方向、平均速率和有关的自然现象的特征时间问题。对于活动带,这种时间段为晚更新世和全新世,即约为最近 10 万年^[1,2]。但是,这个时间段不足以估算地台区活断层作用的参数,那里的断层运动强度要低得多,与强地震有关的脉动也比活动带内的要少得多。因此,确定地台断层的活动性不仅应基于最近 10 万年间发生的运动,而且还应基于中更新世即最近 70 万年间发生的运动^[3]。

1989 年,考虑到研究活断层的重要性,国际岩石圈计划确定了以 V. G. Trifonov 为组长的项目Ⅰ-2“世界主要活断层图”^[4]。此项目的参加者建立了世界上唯一的活断层数据库,包括断层的表现、参数和地震效应的数据库。对欧亚大陆的研究进展最大。欧亚大陆的活断层已编制成 1:500 万的初步图件,对许多地区还编制了较详细的图件和说明书。

本文提供了对欧亚大陆活断层的分析结果,讨论了活断层位置和位移的一般规律性,以及利用活断层数据计算现代地球动力学参数的结果。

2 欧亚大陆活断层的构造位置和位移的一般特征

分析欧亚大陆活断层的断错表明,其位移的垂直分量通常是由于冲断层或逆断层运动产生的,而不是由于正断层运动产生的。这对于活动带及中等和弱活动区域的断层是真实的。因此,本大陆的大部分现在处于附加的侧向挤压状态下,这与利用不同方法得出的现今应力的估算值是一致的^[5]。

欧亚大陆活动带的活断层半数以上具有走向滑动的运动分量,这个分量相当于或大于

垂直分量。在走向滑动带,最常观测到内陆运动的最大速率。这个事实说明,走向滑动消耗的能量,小于冲断层、逆断层甚至正断层的运动消耗的能量。我们对近几十年来最强的大陆地震震级与每次地震产生的效应作了相关分析。这种效应表现为地震破裂长度及长度乘最大地震位移。走向滑动地震断层的这些特征比起相同震级地震产生的其他特征要明显得多^[6]。

欧亚大陆主要活断层图(图1)上标出运动速率大于1 mm/a的活断层。该图说明最长的断层构成现代板块和小板块的边界。这种边界通常不以单一断层显示,而是表现为活动断裂带。大多数活断层集中在活动断裂带内及活动断裂带之内的活动构造带内。图2给出所有的活断层,不管其运动速率大小,这两种带都表现得很好(图2)。

造山带(例如亚洲的阿尔卑斯造山带)上的活动带,在地形上表现为山脉或山脉系,其间的稳定断块形成具有现代沉积作用的相对拗陷。这种稳定断块在活动带汇聚的地区是窄的,形成山间盆地。这正是在塔里木小板块延续部分的帕米尔与天山之间各个盆地的成因。活动带内的活断层控制着较小的抬升(山脉)与下降(盆地)的新构造形态。与相邻的山脉相比,这类盆地通常对应于较致密岩石(例如超基性岩体中的蛇绿岩及其碎块)构成的地区。盆地的地表已在新构造运动前发生了均衡沉降。所以现代挤压造山带的许多或者全部山间盆地,不能定为 Argan 的(术语)“基底向斜”^[7]。它们是由于基底不均一性决定的,相当于活动带之间的稳定断块的残余,或者相当于活动带内密度较高的地壳区。

在造山运动期间,山脉与山间盆地的地形差异增大了。山脉受侵蚀,成为负荷较轻的,而盆地受碎屑物质充填,成为负荷较重的。这种均衡不平衡在深部得到岩石侧向运动所补偿。侧向运动体现在较为破碎的或较塑性的、因而其密度比相邻层位要低的岩层中。于是,盆地的基底富含与盆地成因无关的较重的组分。

3 活动的拆离构造

地表上确定的大部分活断层只切割上地壳,不一定能切割到下岩石圈中,在下岩石圈中是以其他方式变形的。有关现代拆离构造作用的证据已发表在 V. G. Trifonov et al., 1984, Yu. M. Pushcharovsky 和 V. G. Trifonov, 1990 的文章中。与受侵蚀出露地表的较老的拆离构造特征不同,现代拆离构造不能被直接观察到。它们呈现为近水平带内的震中密集分布,或表现为岩石圈不同层位上构造形式和活断层作用的差异。在这种情况下,无法用有关的地球物理和地球化学异常确定出深部活动构造单元。这种构造单元与地表活动构造相比,有时在地表上表现为不一致的构造特征。活动构造在不同深度的差异,大多是由流变性质不同的岩石对基本上同等载荷的不同反应引起的。然而,在日本中部、东天山,以及其他一些地区,岩石圈不同层位上的应力定向和运动方向是不同的。在受挤压的活动带内,已发现最复杂的活动拆离构造特征。它们的表现形式取决于区域的构造位置。

俯冲作用是大洋岩石圈和次大洋岩石圈的特征,而且在亚洲东缘普遍与俯冲岩板的碎块或受改造的物质以相当低的角度下冲在外来板块的地壳之下有关^[10]。克里特岛和小安德烈斯型的岛弧是特殊情况,因为那里的俯冲作用伴有外来板块或它的地壳部分的上叠。在爱琴海地区,这种上叠现象是由于向西运动的安纳托里亚小板块侧向挤压,以及由于该区域岩石圈构造破坏产生的异常地幔上升引起的同时拉张造成的。这种机制是在分析活断层作用

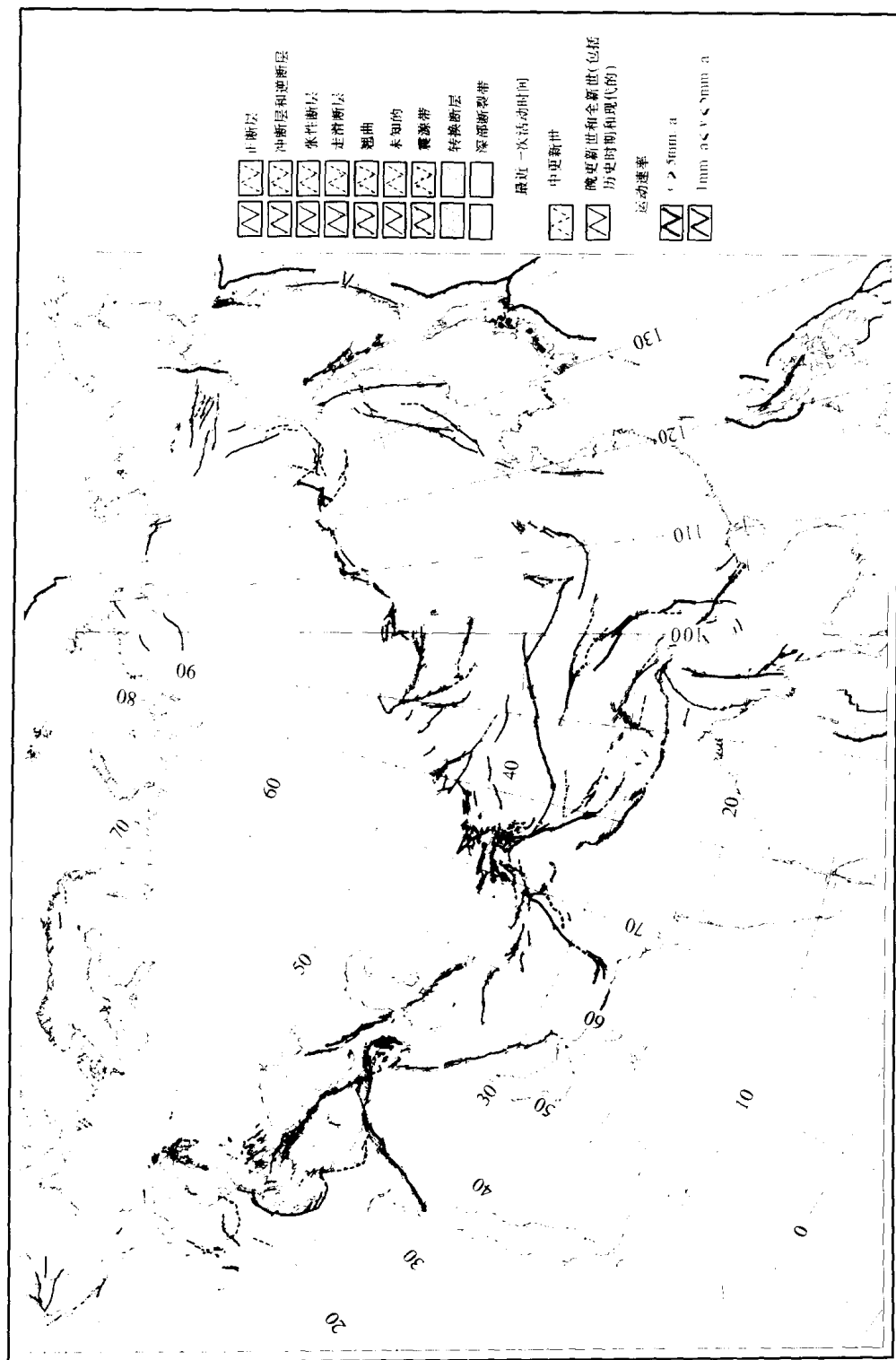


图1 欧亚大陆主要活断层图

(图上只表示出运动速率大于 1 mm/a 的断层)

本图是由 V. G. Trifonov、丁国瑜、A. I. Kozhurin 和 R. V. Trifonov 利用国际岩石圈计划项目 1-2“世界主要活断层图”数据库编制而成