

7300 56.54

现代地壳运动

国家地震局地壳应力研究所情报资料室 编译

现代地壳运动

54



地震出版社

现代地壳运动

国家地震局地壳应力研究所

情报资料室 编译

地震出版社

1988

内 容 提 要

本书根据国外现代地壳运动的大量文献资料精选出30篇文章,较全面地介绍了近几年国外现代地壳运动研究的新成果、新进展。主要包括:地壳运动学、动力学等方面的研究成果;现代地壳运动的地球物理解释等方面的理论研究;研究地壳运动的地质地貌方法、大地测量的地面方法和人造卫星、甚长基线干涉测量等空间技术;现代地壳运动与地震的关系等。

本书可供地质、地球物理、矿山和水电工程等方面的科技人员及有关大专院校师生参考。

现代地壳运动

国家地震局地壳应力研究所

情报资料室 编译

责任编辑:吴兵

地震出版社 出版

北京复兴路63号

天津静一胶印厂印刷

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 20.125印张 512千字

1988年8月第一版 1988年8月第一次印刷

印数0001—2100

ISBN7-5028-0092-1/P·61

(494)

定价: 8.30元

目 录

现代地壳运动的有关问题——代前言	刘光勋 (1)
构造运动及形变力学的现代概念	B. E. 哈因 (7)
论现代地壳运动的性质	K. Ф. 佳普金 (19)
现代地壳运动构造物理解释的若干问题	A. C. 格里戈里耶夫等 (27)
岩石圈板内地壳垂直运动的起源	E. V. 阿尔久什柯夫等 (40)
地壳构造单元活动性的地球物理标志	Ж. С. 叶尔扎诺夫等 (54)
阿尔卑斯区的现代动力学、地壳结构及重力	汉斯·格特·卡尔等 (63)
芬诺斯堪的亚古陆的地壳运动与地球动力学	尼尔斯-阿克塞尔 莫纳 (72)
瑞士现代地壳运动及其地球物理解释	E. 古布勒等 (77)
苏联地球动力学试验场的现代地壳运动研究 (综述)	关玉奎 (90)
测量地球板块的运动	笠原庆一 (105)
根据地质地貌和潮汐资料确定千岛群岛的地壳垂直运动	G. G. 亚库肖科 等 (112)
缅甸及其邻区的活断层作用及构造	安娜·伊冯娜·勒·达恩等 (118)
美国现代地壳垂直运动: 精密水准测量资料	L. D. 布朗 等 (133)
用大地测量方法监测构造形变 (摘译)	美国地壳运动测量委员会 (146)
研究现代地壳运动的地貌学方法 (综述)	关玉奎 (157)
论研究现代地壳水平运动的大地测量学方法	Л. М. 布兰克等 (167)
精确测量现代地壳运动的方法	P. L. 本德 (172)
根据水准和重力测量资料确定现代地壳垂直运动	B. 赫克 等 (178)
地球动力学领域内甚长基线干涉测量的现状与展望	川尻 鑫大 (187)
月球激光定位及其在解决地球动力学任务中的应用	B. K. 阿巴拉金 等 (197)
应力场、活断层和日本大地沟带南部的新构造运动	星野一男 (202)
据宇航资料研究最新构造运动与地形	A. B. 佩伟等 (214)
日本现代地壳运动与长期地震预报	佐藤裕 (219)
日本岛弧东北部地壳应变、地壳应力及微震活动	石井纘等 (229)
日本地壳垂直运动与群震关系的研究	H. 佐藤 (238)
本州中部的地壳水平运动与破坏性地震的关系	饭川健胜 (244)
与“东海地震”有关的特A级活断层	恒石幸正 (262)
1978年希腊北部萨洛尼卡地震震中区现代活动断层构造分析及区域应力状态	雅克·路易斯·默西埃等 (268)
与1980年10月10日阿斯南地震有关的形变: 大地测量确定的地壳垂直运动	
和水平运动	J. C. 鲁格 等 (287)
用萨克斯-埃弗森应变仪在南非深矿井内记录的同震应变变化与其他短期应变变化	A. 麦加 尔 等 (299)

现代地壳运动的有关问题——代前言

刘光勋

“现代地壳运动”这一领域的研究工作大致始于50年代末期，主要是由苏联学者首先提出的。不久，就引起国际上地质学者和大地测量学者、地球物理学者的关注。1960年，在赫尔辛基召开的第十二届国际大地测量和地球物理学会议上，正式成立了国际现代地壳运动委员会，并由苏联学者Ю. А. 梅谢里亚科夫担任第一任主席。以后，大约每隔2年就召开一次国际学术会议，并多次出版了会议论文集。此外，还多次召开了区域性的学术讨论会由此可见，现代地壳运动已成为国际地学界各种学科综合研究的重要领域，成为岩石圈研究的重要课题。

一、现代地壳运动研究的背景和意义

现代地壳运动，作为一个独立的学科领域和学术范畴而出现，既有它的理论和学术背景，也有人类社会发展的实际需要。从对漫长的地质时期的地壳运动的研究，发展到新构造运动的研究，进而必然发展到探索最近时期的地壳运动。赖依尔提出“将今论古”的原则，已统治地质学界150年，但我们要问：对地壳运动的“今”又了解多少呢？要了解活生生的正在运动着的地球，决不能对近期和正在我们眼前发生的地壳运动熟视无睹。现代地壳运动是地球活动的一部分，是亿万年地壳运动发展至目前的自然延伸。不仅如此，它还是地球动力学研究的重要内容和基础。因为要研究地球动力学的演化和规律，首先要研究岩石圈的组成、变形和运动，而现代地壳运动正是上述诸方面的可以直接察觉、观测的反映。从空间上看，当今的地壳正是地球内部作用和外部作用（包括地球以外的星际空间）的交接地域。可以说，现代地壳运动是这两种相互作用的结果。地壳运动研究的趋势，必然要从定性研究走上定量研究，而现代地壳运动正是发生在不久的过去时期和现今，可以用仪器直接进行观测。大地测量学和地球物理学等学科也确实观测到大量地壳运动的信息数据，也发现许多与地壳运动有关的重要现象，这些都需要得到解释，因此，必然促使将现代地壳运动作为独立学科而提到日程上来。

人类直接生活在地球上，无时无刻不受到现代地壳运动的影响和制约。尤其我国正在进行宏伟的社会主义“四化”建设，许多与现代地壳运动有关的问题提到地学工作者的面前，使我们不能不重视它，地震灾害就是其中重要问题之一。实际上，现代地壳运动在苏联首先提出，就直接与地震预测预防的需要有关。地震是现代地壳运动的表现形式之一，它直接威胁人类的生存、生活和各项建设事业，要解决地震预测预报，要减轻地震带来的危害，必须研究现代地壳运动的时、空规律。尽管我们可以从各自的学科，利用不同的手段、方法去研究，不管其自觉不自觉，但其中心是探索现代地壳运动。

矿山建设、水工建设和城市建设都存在一个稳定性问题，这又涉及现代地壳运动的研究

究。人类的活动又反过来影响地壳运动，如水利建设或其它工程建设会引起诱发地震或增强地震活动的强度和频度，大规模矿产和石油开发会造成现代地壳运动的不均衡和重新调整，城市生活、工业用水可能引起地面大面积沉降。如苏联的卡拉楚尔油田，经水准测量表明其地面原来下降速率为 $15-25\text{mm/a}$ 。但从1928年至1937年大量提取石油、天然气和地下水，其结果，通过1935年至1937年水准测量证明，恰在这个时期下降速率降低为 $3-9\text{mm/a}$ ，说明这一时期地壳相对抬升。又如，我国有些油田因发生大批油井被错断变形而破坏，甚至有的油田为此而报废油井几百口，造成重大经济损失。这不能不说是与地壳运动破坏了平衡状态有关。

总之，现代地壳运动直接影响人类的生存、生活，而人类的活动又反过来影响地壳运动，从而使这一研究复杂化。

二、现代地壳运动的概念

尽管现代地壳运动的研究至今已近30年了，但具有讽刺意味的是对“现代地壳运动”这一概念，仍无统一而确切的认识，甚至一定程度上可以说处于混乱状态。

从历届国际现代地壳运动学术会议内容来看，似乎其内涵越来越广泛，既有研究最近几年、几十年地壳运动的内容，也有研究全新世运动或新构造运动的内容。从我国来看，虽然目前尚未形成力量集中的专门研究，但从各自学科、手段去探讨某一侧面还是不少的。而且，很多文章、文集的名称用“现代地壳运动”一词，可实际内容与名称不一致，甚致把新生代地壳运动的内容也包括进去。这一切都进一步造成人们对“现代地壳运动”的错误理解，造成概念上的混乱，不利于现代地壳运动研究的发展。

本来，“现代地壳运动”这一概念的提出，其含义就比较含混。一般指现今和近几年、几十年的地壳运动，但究竟从何时开始，无明确的界线，因此就出现了对现代地壳运动的不同理解，其关键在于与新构造运动在时间上如何划分。对此可以概括为两种基本意见。第一种认为：应以研究的方法、手段来进行划分，以仪器观测为主要手段进行研究的范畴为现代地壳运动，以地质地貌法为主要手段的为新构造运动。另一种意见认为：应以明确的时间界限加以划分，但从何时划分又有不同意见。如苏联B. E. 哈因（1973）曾主张把最近6000年的运动称为现代运动。H. N. 尼古拉耶夫（1965）认为应指最近几十年。A. A. 尼科诺夫在他的《全世界和现代地壳运动》一书中（1977），提出应用“全新世运动”一词，而在其中再划分现代地壳运动，但并未提出如何划分的具体意见。

显然，以上两种意见各有它们的根据，也各自存在问题。现代地壳运动最初的研究确实是在地质构造基础上，主要以大地测量为主要观测手段而开始的，目前仍然是主要手段之一。问题也是显而易见的，仪器观测可以涉及不同时间的地壳运动，可长可短，长可达千年，短可以是当前发生的一瞬间。由于各地区文化历史发展的不同，不同地区仪器观测的时间也不同。就是发生在当前的地壳运动，也不仅可用仪器观测进行研究，也可用地质地貌法进行研究。例如，我国近年来开展的活动断裂、地震断层和地裂缝带的研究，便既可以用仪器观测，也可以用地质地貌法研究。可见这种意见是很不严谨的。以具体时间界限来区分的意见，原则上是正确的，但具体如何划分却存在问题。选择的时间界限必须是明确的、客观的，并有一定地质意义，而不能是人为强加上去的。实际情况表明，在全新世1万年期间内，

至少目前还很难找出一个符合上述要求的明确时间界限。

考虑到以上情况,似乎目前就把全新世时期的地壳运动称为现代地壳运动较为合适。这在地质意义上是清楚的,在时间划分上是明确而一致的。澳大利亚活动构造和构造地貌学者C.D.奥利尔(C.D.Ollier)于1985年编辑的构造地貌名词汇编的初稿中,也把“现代”(Recent)一词定义为最近1万年,即全新世。当然,这种划分并未完全解决问题,但至少比目前混乱状态的概念要好。随着研究的深入,今后会有进一步更合适的划分意见出现。

三、现代地壳运动研究的主要内容

从目前世界各国对现代地壳运动的研究情况来看,其涉及内容是相当广泛的。从学科上,包括地质学、地球物理学、大地测量学、海洋学、天文学、考古学等各种学科。从研究的问题上看,既包括运动学,也包括动力学,以及引起地壳运动的各种因素,甚至还包括观测地壳运动的方法手段。

现代地壳运动作为独立的学科领域,首先要着重研究现代地壳运动基本性质和基本类型。最初,通过地质地貌法和大地测量法,主要研究垂直运动,在这方面,苏联学者做了大量工作。随着对现代地壳运动的深入,以及各种大地构造学说的发展和引入,对大范围的水平运动研究也逐步深入。如众所周知的美国对其西部圣安德烈斯断裂的多种手段综合观测和研究。太平洋西部的日本、新西兰开展的观测研究,对认识亚洲、印度洋和太平洋几个板块交界处的现代地壳运动具有重要意义。日本利用大地测量方法来研究垂直运动、水平运动都取得了较好的结果。

将地壳运动划分为垂直运动和水平运动两种基本类型,只不过是简单的划分方法,实际上运动类型要复杂的多,如掀斜运动、旋转运动。

现代地壳运动在时间上所表现的特征,也是极为复杂的。可以说,现代地壳运动囊括了各种不同尺度周期的运动,长至几百年、几十年,短至几秒钟。过去,一般划分为缓慢的和快速的运动,这种划分是极不严格的。如果根据运动在时间上表现的特性,定量地划分为不同周期的运动类型,可能更切实际。这也便于针对不同类型的运动采取不同的研究方法和观测手段。此外,值得注意的是还有一种突发性运动,它不依赖于运动的逐步演化和加速,在目前尚不完全掌握的某种触发因素作用下,在任何时间突然发生急速运动。对这种类型运动进行研究要困难得多。地震活动作为地壳运动的一种表现形式,既可能是一种逐步演化加速的快速运动,也可能是一种突发性运动,或二者兼有之。因此,在进行地震预测预报的研究工作中,其指导思想和有关技术方针中要清醒地认识这一特点,以免陷入茫途而贻误时机。

另外一重要研究方面,就是全球运动和区域运动特征的研究。全球运动有它的统一性,如有人认为年周期的现代地壳运动具有全球性。这种统一性可能与作为星球之一的地球本身运动有关,如地球自转、地极运动。也有可能与地球以外的星球作用有关。区域运动对人们的关系更加直接。不同区域的运动性质不同,我国东部与西部的现代地壳运动有显著差别,就是典型一例。这与不同区域的大地构造位置和属性及其动力学环境有关。既要注意研究它的全球统一性,也要研究它的区域性,这不论从理论上,还是实际上,都具有重要意义。

此外,不同型式、不同周期运动的对比研究极为重要,如全球运动周期、区域运动周期、断层活动周期、地震活动周期的综合对比,这是认识现代地壳运动本质的重要途径。

在这里需要提出的是地壳块体运动性质和形式的研究。目前,国际上极重视以古地磁学方法研究地质时期外来块体的长距离漂移和块体的旋转。当然,这不是现代地壳运动研究所完全能胜任的,但它可以帮助我们认识现代地壳运动以启发。既然地质时期存在这种运动形式,那末现代地壳运动也必然存在这种形式,只不过幅度小而已。

断层运动在现代地壳运动中起着重要作用,它不但是研究地球动力学的重要课题,也是关系人类活动和工程建设的实际问题。地震与断层运动的密切关系已被越来越多的人所认识。活动断裂的研究,不论在国外,还是国内,普遍受到重视,并且取得长足的进展。但如何有目的、有重点地根据断层运动不同类型来加强现代运动的观测,加强地壳深部断层运动特性的研究,加强不同学科综合研究,仍然是亟待解决的问题。

要了解现代地壳运动的本质,必须重视现代地壳运动与现代地球物理及深部介质组成、结构的关系,这包括重力场、地磁场、热流场的观测以及为了解地壳介质结构为目的的地震测深和大地电磁测深。如美国在圣安德烈斯断裂带上,近年来通过地球物理综合观测和地震测深工作,发现有明显的显示,证明该断裂带已深入中、下地壳。又如苏联喀尔巴阡试验场地区,从1965年就开始了重力场与构造断裂关系的研究,同时也发现了深断裂上的地磁异常,而且建立了大地测量和地球物理场综合对比观测的标准路线。我国以南北构造带为界,东西两地区的现代地壳运动绝然不同。这与深部介质特性和地壳结构有关,两侧不仅地壳厚度差别很大,而且地壳介质特性和细结构也不同。

人类活动对现代地壳运动的作用和影响,不仅是一理论课题,更重要的是一个实际问题。如果说,过去它的重要性还没有足够重视,那末,随着我国“四化”建设的发展,这一问题已严肃地提到日程上来。大规模的工程建设、城市建设、矿产和油田的开采、地下水的大量抽取,都影响地壳运动的均衡和地壳的稳定。这一影响和作用的机制和规律,应该是现代地壳运动研究的重要课题。

现代地壳运动与天体运动关系的研究占有重要的地位,这是研究现代地壳运动动力学的关键课题之一。李四光教授很早就提出地球自转加速度与地壳运动的关系,但在国内长期并未得到广泛响应。近些年来,由于国际上对全球板块运动的统一性和“外来体”的长距离漂移的研究,讨论地球自转与现代地壳运动关系的文章似乎又多起来。当然,我们不能仅着眼于地球本身的运动,而还应该去探索宇宙空间的星体对地球的影响和它们的相互作用。在这方面,“天文地质学”的兴起,给我们打开了新的研究窗口。

四、现代地壳运动的研究方法和手段

前面已大致列举了研究现代地壳运动的研究方法和手段,这里仅就值得重视的几个问题做一简述。

地质地貌方法是现代地壳运动研究的基础。当前,我国地震界对活动断裂的研究极为重视,其中主要是运用构造地貌方法,并取得长足的进步。现在应该在此基础上,与大地测量方法相结合,开展现代活动构造地貌的研究,如与活动构造有关的现代河谷地貌的测量,侵蚀速度的测量与研究。要着重解决现代地壳运动,不论是垂直运动,还是水平运动。与地形的原生作用以及构造地貌演化的关系,研究现代地球物理场与地表的各种地貌类型之间的关系。把地质地貌法从定性研究过渡到定量研究,从过去形成的静态地貌研究走向近期发生的

动态地貌研究。

各种形变测量（大地测量、高精度形变测量、应变测量）方法是研究现代地壳运动的主要手段，它既可以研究全球块体运动和位移，又可以研究全球或区域应变。不论是国外还是国内，都开展了大范围区域性的水准测量、三角测量和重点活动断裂带的观测工作，并取得了丰富资料，为现代地壳运动研究做出了重大贡献。目前，首先应重点研制或引进适于不同尺度，精度适当的专门为现代地壳运动使用的仪器设备，包括超长基线测量仪器和应变观测仪器。目前，我们在这方面已取得不少成果，如中距离的测距仪、断层运动测量仪和不同类型的应变测量仪（压容式应变仪、体积式应变仪、石英丝伸缩仪等）。但总的来说，与国外相比，在技术上还有一定差距。其次，形变（大地测量）、应变测量必须以地质构造为基础，不论仪器的选择和部署都应充分考虑这一点。要做到测量布网目的明确，重点地区、地段要突出。再有就是对所取得的资料进行分析时，要以地质地貌研究结果为基础，与各种地球物理场研究相结合。从我国情况看，后两方面工作似乎还未引起足够重视。虽然，各个方法手段做了不少工作。但往往目的性不强，综合研究不够。在地震预报研究中，也存在类似问题，尽管学科、方法、手段很多，但多为各自为战，总的目标和指导思想不明确。对断层现代运动的观测研究在地震预报中的重要性已开始有所认识，但还不够充分。如岩石破裂应变为 10^{-4} 量级，震中区的震前异常是此值的1%（Sacks, 1978），远震区前兆应变一般小于 10^{-7} ，而跨断层的应变可比正常应变值大两个数量级，深断裂可使前兆应变放大到 10^{-4} 以上（Goodman, 1975; Grosenbaugh, 1979）。拉蒂尼娜（Latynina）认为亚洲的跨活断层测量的固体潮幅度能比理论值大3倍。由此可见，为捕捉地震前兆的应变观测及其有关观测（如地下水观测和各种地球物理场观测），到底如何部署，不是很值得我们深思吗！

对古地磁研究，目前在国际上极为重视，主要用来研究地壳各个块体的运动和变形。在现代地壳运动研究中，应给以足够的重视。

测震学方法在现代地壳研究中发挥了重要作用，它能提供的信息量极为丰富，不仅为现代地壳运动的运动学研究起到它应有的作用，而且是动力学研究所不可缺少的重要手段。如震源机制的研究不仅提供现代断层运动的信息，而且给现代构造应力场研究提供丰富资料。又如，以地震的近场观测来监测断层的深部运动，就是近年发展起来的值得重视的手段。

海平面的研究是现代地壳运动研究中的重要领域。尽管影响海平面变化的因素很多，但一般多认为绝对海平面升降主要由气候、地壳运动和重力场所决定，因此海平面变化的研究是现代地壳运动研究不可回避的重要课题。

以上仅列举了研究方法手段方面的几个值得重视的方面。但不管怎样，各种方法、手段的综合观测、互相结合、互相渗透是关键。当前，我国由于部门所有和传统狭隘思想意识的限制，不同方法、不同手段、不同学科往往是各自为战，隔行隔山，不相往来，这不能不影响我国现代地壳研究的深入开展。

这本文集是由国家地震局地壳应力研究所情报资料室的同志们辛苦几年而编辑成的。其目的在于向大家介绍一下国外有关这方面研究的动向、情况和经验，以引起有关人士和有志于从事现代地壳运动研究的同志们的重视，促进我国现代地壳运动研究的发展，尤其是地震预报研究与现代地壳运动关系至关重要，更要加强这一领域的研究工作。

文集包括三部分：即与现代地壳运动有关的基本理论；现代地壳运动研究方法；现代地壳运动与地震活动的关系。其中也有一两篇综述文章。

尽管这些文章在大量文献基础上经过再三筛选，但由于现代地壳运动这一学科本身存在的问题，以及我们水平所限，所以文章仍不够全面，仍会存在这种或那种问题，望读者给予批评指正。不管怎样，只要这本文集能在现代地壳运动研究的长河中，激起点滴浪花，我想编译者就会感到欣慰！

1987.5.20.于西三旗

构造运动及形变力学的现代概念

B. E. 哈 因

现代固定论：别洛乌索夫和别梅连的构造观点

别洛乌索夫观点 按别洛乌索夫的观点，地核与地幔边界上的物质分异是地球发展的基础（现在很多学者赞同这一观点）。重的成分进入地核，使地核逐渐增大，较轻的成分上浮，聚集于上地幔的软流圈。热物质的渗入使软流圈粘性降低，玄武岩浆熔化，并加剧软流圈与岩石圈之间密度的递增。这就引起软流圈的底劈作用并形成玄武岩的凸起，并使“软流圈巨块”从软流圈中分离出来。如果岩石圈具有足够的渗透性，那么玄武岩浆便可侵入，首先是沿深部断裂侵入，部分可溢于表面，其中包括超基性岩浆（哈因认为，这一过程的机制尚不清楚）。基性岩浆为超基性岩浆的凝固使得岩石圈“基性岩化”并加重，形成优地槽拗陷。然后，冷却传递到软流圈，使熔化较早的一部分玄武岩发生结晶并分离出热液，热液穿入地壳又在其中引起区域变质和花岗岩化（哈因认为，是何原因也不很清楚）。这些过程导致地壳和整个岩石圈丧失原来很高的渗透性，因此，底劈作用便不能再使软流圈巨块进入岩石圈，只能引起岩石圈的局部上升，成为优地槽逆转的原因。同时，在沉积物区域变质和花岗岩化的影响下，地壳中的“深部底劈作用”加强，使褶皱发育。

在岩石圈渗透性降低和软流圈大量增热的条件下（显然是由于下地幔热物质的大量侵入），造山阶段开始，发生在软流圈表面的强大底劈作用碰上深部断裂切割成长形断块的岩石圈。岩石圈早已重新结晶，因而失去较弱的渗透性。所以，底劈作用将岩石圈推挤向上，而在底劈作用的空隙处，岩石圈断块则逐渐下降。此时，上升活动超过下降活动。

根据别洛乌索夫的意见，如果岩石圈非常结实而无渗透性，就会产生大陆裂谷。于是，广泛“激发”的岩石层面上升代替了局部的软流圈底劈作用，也就是说，在强烈受热的软流圈上，岩石圈因受拉伸而破裂。由于不很深处的气体高压，碱性玄武岩逐渐熔化并替代拉斑玄武岩。

别洛乌索夫将地台状态的形成与稳定的即受热不大的软流层状态联系在一起，他认为：“脉冲状的软流层变热现象等，在这里仅仅表现为地台整体上升与下降交替的形式。”

至于大洋的形成，别洛乌索夫认为，大陆岩石圈无扩张“基性岩化”是大洋形成的直接原因（哈因认为，扩张可能形成大陆裂谷）。这样的基性岩化可用导致古生代末—中生代初现代大洋开始形成时的非常强烈的玄武岩火山作用来解释。根据别洛乌索夫的意见，这样的基性岩化可导致地幔物质均匀化而不是地幔物质分异。

别洛乌索夫用以下的话解释地壳构造的总演化：“由全面活动阶段（哈因认为这是太古代特征）向不稳定的原始地槽阶段（哈因认为这是元古代特征）的过渡表明，下地幔热物质上升引起的软流层激发作用最初几乎是大陆壳的整个面积上均匀分布，随后的过程则越来越

趋向于空间的局部化，开始是不稳定的，然后是稳定的。活动范围，即地槽区的缩小与稳定范围，即地台区的增大与软流层激发过程的逐渐局部化有关。”

别洛乌索夫上述概念的出发点并没有引起反对意见，甚至当代的一些假说，其中包括大陆活动假说，也接受了这一概念的出发点。但是对这位学者的其它一些理论却引起了强烈的反对意见。这些理论包括大洋与优地槽形成时大陆地壳没有移动和假设大陆地壳通过基性岩化转化为大洋地壳，忽视贝尼奥夫带在地槽发展过程中和洋壳变为陆壳过程中的决定性作用，否定总剪切挤压在褶皱体系，特别是在推覆体和平移断层形成时的作用；完全没考虑古地磁资料。总的说来，别洛乌索夫的概念所论述和解释的现象比起现代大陆活动论的概念，尤其是后来所说明的“板块构造”的概念，要狭窄得多。

别梅连观点 自60年代初，在海洋构造方面的新资料和古地磁资料的影响下，作者在自己的观点中引进一系列新的原理，在很大程度上将自己的概念从纯固定论转变为大陆活动论，正如他自己喜欢说的，是转变成“相对论的”综合性的概念，按他的意见，也就是转变成固定论和大陆活动论。

别梅连在1964—1966年的著作中将地壳和地幔的波动分成三种主要类型。地壳巨波状运动是最重要和最深部的运动，它产生于下地幔，从1000km的深处到地核的边界，在那里发生深部分异过程，从而导致地幔物质的减密和扩散。这一过程也引起了上地幔和大陆地壳的上升，然后又引起地壳和地幔顶部的断裂和滑向两边以及上地幔下部的露头和新洋壳的形成。这样就必然发生冈瓦纳大陆和劳亚大陆的分离，从而形成大西洋和印度洋（认为太平洋是古老的大洋）。按照他的分类，波动的第二种类型是地壳波动。这一波动由地壳巨波状运动演化而成，也是上地幔和软流圈物理化学变化过程的必然产物。地槽就与地壳波动有关。地槽下陷则与上地幔的固结有联系，随后，因玄武岩熔化，地幔开始增热和上升，并引起壳下侵蚀，然后流向一旁和下面，在那里地幔物质逐渐冷却并随着密度的增大而发生相变。在玄武岩上升的地区形成造山中心，同时在壳下物质下沉的地区发生复理层拗陷。壳下重力对流引起基底的复活和上升，并引起地槽沉积物由其底层向外的重力滑动和形成构造盖层。盖层填充复理层拗陷导致均衡平衡的破坏，而均衡平衡的恢复又导致复理层上升和磨拉面拗陷的共轭下沉。这是地壳波动的第三种类型——中波状运动。在山脉后缘和早期“造山中心”随着密度的增大和这些地带的下沉，发生玄武岩岩浆的冷却与结晶。因此，“造山中心”经历了“地中海”型的大洋化，这与描述地壳巨波状运动时所说的“大西洋”型的大洋化不同，不是由地壳的重力分离，而是由壳下侵蚀和熔化引起的。

从以上简单的叙述中可以看出，别梅连与别洛乌索夫（以及其他一些学者）所持构造成因的基本理由有共同点，都承认海洋开断层的成因，这一观点是正确的。但是用重力机制解释开断层以及对褶皱和逆冲断层的类似解释是不能令人满意的。地槽发展的图象很复杂，别梅连未考虑它们在洋壳上的形成和贝尼奥夫带的作用，而关于两种类型大洋化的对比也不够恰当。别梅连的观点现在未能得到广泛的承认，这是不奇怪的，但它很有历史意义。

大陆活动论：岩石圈板块构造

我们已经知道大陆活动论的第一种说法——曾经失宠的大陆漂移假说。50年代初期它曾一度注定要被人们遗忘，但很快又积累起一些新的论据，于是人们不得不重新对这些想法给

予很大的注意。第一步是开始研究一个新的领域——岩石剩余磁性，即古地磁学。原来，无论是沉积岩，还是喷出岩，在铁磁性矿物上都保留着当时磁场方向的“记忆”，在当时磁场的条件下发生过岩石的沉积和冷却。测量古磁场方向的首批结果表明，岩石越古老，它与现代的岩石差别越大。最初，人们曾试图用地球历史上磁极的迁移来解释这一现象，但后来得知，取自同一年代不同大陆的岩石，它们的磁场方向也不相同。人们试图吻合不同大陆的磁极视迁移曲线，却获得了大陆本身的吻合，魏格纳所作的联合古陆复原就是一例。时间也相符，从侏罗纪起大陆开始被现今的大西洋分隔开来。再往后，英国地球物理学家布拉尔德及其同事在60年代用电子计算机按2km等深线检查对比大陆轮廓，得出了非常令人满意的结果，

对洋盆的研究是使大陆活动论复活的另一次推进。首先是发现了大洋中脊及其轴部裂谷的世界体系，随后又证实大洋壳与大陆壳的根本不同，并发现向中脊方向沉积层显著变薄和轴部地带热流升高。还应补充的是，查明了上地幔的波导层，这是地质学家和地球物理学家很早就假设的软流层的具体化。

1961—1962年美国岩石学家赫斯和地球物理学家迪茨总结了这些论据，主要是有关海洋的论据，摆出了洋盆扩张的假说。还在50年代末，这一假说几乎立即就获得明显的证实，但只是在1963年才由英国学者瓦因和马修斯用线性磁异常给予解释。接着出现加拿大人威尔逊的著作，论及转换断层和火山岛离中洋脊轴部越远年代越久。地震资料对新概念的形成起着很大作用。全球地震台网的建立使人们可以更准确地确定震中位置并揭示绝大多数地震位于狭窄的地带，如洋中裂谷，大洋边缘的贝尼奥夫带，地中海区域年轻的阿尔卑斯褶皱山脉。地震学家还研究了确定震源应力的方法，确定了在大洋裂谷以拉张应力为主，在贝尼奥夫带以挤压应力为主，在转换断层上以剪切应力为主。这些资料以及1967年根据瓦因-马修斯外推假说制定的中生代全期和晚白垩纪末磁异常年代表，为大陆活动论这一新概念的建立提出了准备条件。1968年美国《地球物理研究》杂志以一系列文章发表了这一概念。这一概念被命名为“新全球构造”或“板块构造”。后一个名称比较简单明了，后来得到普遍的承认。这一概念的基本论点可以总结如下：

1. 地壳和地幔的最上部厚度达几十公里，构成相当巨大的弹性地球表面硬壳，即岩石圈，其下是粘性较小，塑性较大的一层，即软流层。软流层的存在已为地震（波导）和大地电磁测深资料所证实。

2. 岩石圈分成数量不多的巨大坚硬板块（6—8块），其内部完整，实际上，所有的构造活动和地震活动都集中在板块的边缘。因此，根据震源分布可以勾划出板块的边界。

3. 在岩石圈板块中，一块相对于另一块的位移可分为三种类型：在大洋中脊裂谷带为张开型（这类边界称为分离型、增生型或扩张型边界）；在贝尼奥夫带为挤压型（这类边界称为会聚型、破裂型或吸收型边界）；在转换断层上为平移型（这类边界称为转换边界或滑动边界）。位移的特征已为震源应力的测定结果所证实。

4. 地球表面岩石圈板块的相对位移完全符合球面几何学的定律（艾勒定理）。这就表明，任意两个共轭点的位移轨迹应是一个圆，它对应通过虚设的扩张极。联接对立扩张极的轴经过地心，但与地球自转轴不重合。对应于这些圆的转换断层垂直于圆，相交于扩张极。扩张速度在对应穿过扩张极的赤道方向上突然加快。

5. 新洋壳产生在洋中脊扩张带（因此命名为“增生型边界”），新洋壳在贝尼奥夫带

插入地幔（因此命名为“破裂型边界”或“吸收型边界”，而过程本身仍称为俯冲）。假设俯冲完全补偿扩张，那么地球的体积保持不变。

6. 可以认为岩石圈板块相对位移的起因是地幔中的热对流。洋中脊裂谷位于对流环上外支流的上部，贝尼奥夫带与下降支流重合，对流环的水平段以传送带的方式拖曳大洋岩石圈，使其从裂谷向贝尼奥夫带移动。

岩石圈板块构造的基本论点就是这些。我们可以看出，这一原理既简单又合乎逻辑，这就决定了它能在很大程度上得到推广和受到广泛的欢迎，这一原理实质上与1929年霍姆斯提出的原理很相似，但那时还没有足够的实际资料能给予证实。霍姆斯假说也不过是魏格纳、安普费拉尔（壳下流）和焦尔（放射性热）等人概念的结合。岩石圈板块构造的概念在四个主要论点上与魏格纳古典的大陆活动论不同：1) 位移面不是地壳“花岗岩”层和“玄武岩”层的边界，而是岩石圈和软流圈之间的边界。2) 不是大陆块相对于海洋移动（这只是安第斯型边界上有时发生的情况），而是促使大陆壳和大洋壳一些地段联合的岩石圈板块相对于海洋移动。3) 板块位移严格遵循球面几何学的规律，从而开辟了利用电子计算机计算位移的途径，这是非常重要的。4) 这些位移的起因不是旋转力，而是地幔中的对流（霍姆斯和多伊特对此曾有过描述，甚至在魏格纳的著作中也有过猜测）。魏格纳的大陆活动论和板块构造活动论的这些区别使我们最后要谈一下新活动论。应该着重说一下板块构造两个重要的特殊情况。第一，是板块动力学以及岩石圈年龄和洋中脊轴距离与大洋深度的关系可以用数学形式表达。如上所述，这就开辟了一条利用电子计算机复原大陆位置和古代海洋深度的途径。第二，是根据瓦因-马修斯假说估算的大洋条带磁异常年代，后来在意大利北部通过钻探和对大陆上白垩纪和新生代地层中天然剖面的直接研究得到了证实。这两个特殊情况使我们可以认为，板块构造是大地构造历史上的第一个理论而不是假说。

当然，新活动论之所以博得好评，不仅在于它的基本论点简单而又扎实，更具有决定意义的是，它为1968年开始的深水钻探所取得的首批成果以及后来的潜水艇观测结果所证实。因此，从根本上来讲，大陆活动论的复活是以新的实际资料为基础，这些资料是借助新的技术手段获得的。这就完全有理由认为新活动论是最新科学技术的产物。

自从有关板块构造的主要著作发表以来，已过去了15年。这些著作不仅为这一理论提供了证据，同时著作中的原始概念也得到拓展，当然，也暴露了一些弱点（关于这些弱点将在下文中叙述）。问题是，在最新阶段这一概念基本上是针对年轻海洋而言，这些海洋的历史没有超出最近1.8亿年的范围。较为古老的褶皱系的蛇绿岩与现代洋壳的对比表明，海洋至多是在晚震旦纪才开始出现。应当说，板块构造机制从那时才开始起作用。贝尼奥夫带上岩石化学极性和变质极性的确定，为复原这些地带的位置和几何形状开辟了一条途径。看来，边缘海和内海的产生，与贝尼奥夫带和位于其上的一些岛弧的后缘上的地幔底劈作用有关系。人们开始将地貌学、古地磁学、岩石学、地球化学和古生物学所描述的地形形成、气候变化、岩浆活动、沉积作用和动物分移的时空规律，与岩石圈板块运动的历史联系起来。于是，岩石圈板块构造学就成为一切地质学科的共同理论基础。因此，它以前所未有的速度，加快了涉及地球构造与发展的各个方面各种实际资料的积累。虽然这些资料总的说来证明了活动论的基本原则，但同时也表明，板块构造的最初理论过于简单，上述的一切论点几乎都需要进一步加以明确乃至修正。

让我们依照上述论点的次序看一下所发生的疑难问题：

1.首先,我们承认,岩石圈与软流圈之间的边界处处都很明显,这一界面所处的深度在大洋下为50—60km,在大陆下为100—120km,在各处软流圈本身与岩石圈深度的差别程度都比较一致。但实际的图象却复杂得多。在洋中脊轴向地带的许多地方,软流圈直接处于洋壳次生层下,深度约为3km(东太平洋隆起的北部),在年轻的山脉中其深度约为20—25km,也就是说大大超过莫霍面,而在大陆其深度大大超过100km。根据一些资料,在古老的地层下深达250多公里的地方,用地震方法或大地电磁法也“探查”不出软流圈。研究者由此得出结论,总的说来那里没有软流圈。很明显,这样的结论生硬地将岩石圈物质运移的可能范围只限制在地盾之间的空隙处。然而,根据若干理由,这一点是不能接受的。首先,正是地盾有均衡调整的明显趋向,尤其是在不受第四纪冰川覆盖的地方它强烈地上升(如,波罗的地盾、加拿大地盾),在格陵兰和南极洲巨厚的冰冠之下则下沉到海平面以下。在地盾下没有软流圈这几乎是不可能的。我们记得,正是根据冰期后上升的速度才能测定软流圈的粘性。其次,地台下的玄武岩浆,特别是暗色岩浆,说明地台下存在软流圈,在暗色岩石壳下不很深处形成的时期里,地幔必然是在几百万公里的面积上熔化。很明显,实际情况是,在水平方向上无论是软流圈的埋藏深度,还是它的厚度或粘性都经历过巨大的变化。尽管用地震方法和大地电磁测深法不能将它都测出来,但是,它却到处分布着。关于这一问题,在阿尔丘舍科夫的《地球动力学》一书中有详细的叙述。

但是,还应注意一个复杂情况。苏联学者塔拉卡诺夫曾首先指出,软流圈不是由一层,而是由若干低粘性层构成的。在“主要的”连续软流层面之上可能有个别的“软流圈透镜体”,在地壳中,特别是在莫霍面附近和地壳中部以及“花岗岩”层基底,也可能有这样的“透镜体”。而在活动带上尤其如此。所有的软流层和透镜体在地壳和地幔中形成相对滑动的位势面,由此佩韦提出了岩石圈分层的概念,但不排除最主要的位势面仍是软流层的底面,而不是地壳的层面。

软流圈的埋藏深度很大,因此,地台下岩石圈的厚度也就很大,这就说明,为什么含有地幔根(如地槽、陆背斜、陆向斜)的巨大地台构造的位置具有相对守恒性,以及为什么在同一地方有根部深达150km以上的碱性超基性岩浆(如环状深成岩体、金伯利岩筒)的多次侵入。最后了解到,为什么地台象古地磁学家所证明的那样,在地质时期内一些相当长的时间间隔里是准稳态的;显然,这与热流下降期有关,因此,也与地台软流圈的粘性升高期有关。一般地说,地台岩石圈根部会对岩石圈板块运动起制动作用,并促使板块内部应力积累。

2.构造板块的第二个论点涉及岩石圈可分成几个板块,且根据地震资料可划分出它们之间的边界。关于这一问题必须指出,地震的实际分布从一开始就促使我们除了划分出6—8块主要的板块以外,还划分出同样多的“小”板块。但是,这一划分方法仍留下几个震中在板块边界外。经过更仔细的分析,我们不得不又从非洲块的主体(东非裂谷系)划分出阿拉伯板块和索马里“小”板块,从欧亚板块按红河断裂及其北西向延伸部分划分出印度支那板块,按贝加尔裂谷系划分出黑龙江板块,按切尔斯基山脉的裂谷、断层和其它地质条件划分出科累姆斯卡亚板块,按东印度山脉断裂及其它地质条件将印度-澳大利亚板块划分为2个亚板块。此外,我们还注意到具有明显地震活动性特征的阿尔卑斯地中海地带和北美科迪勒拉山脉,其特征与那里存在许多“微型板块”有关。这些微型板块在进行古构造分析时显得特别明显;其中,许多微型板块(不是全部)与微型大陆(中等地块)相对应。现已查明,古

地槽带是蛇绿岩缝合线连结起来的微型板块镶嵌，而蛇绿岩缝合线是分割微型大陆并具大洋型地壳盆地的残余。

一些研究者认为，象这样扩大板块的数目会破坏划分板块构造的基本原则。而实际上应当考虑，将板块分成小板块和微型板块基本上只涉及活动带，也就是涉及地槽期后和地台期后的造山带，而地台和大洋板块仍是主要板块的组成部分。小板块之间的相对位移距离为几百公里，微型板块之间为100—200km，而主要板块之间则为几千公里。因此，一般说来在全球构造中微型板块可以忽略不计。当然，在复原活动带时必须考虑到它们。

其次，关于岩石圈板块的绝对刚性和弹性的假设与实际不完全相符。人们已经清楚地了解并论述过大陆地台和海洋板块范围内称之为板内断错的大小断错。这些位错以及板内的岩浆活动具有实质性、理论性和实践性的意义，石油和天然气储层、金属和非金属矿物与其相关。板内构造和岩浆活动问题是板块构造领域中还没有解决的问题，我们还必须回到这个问题上来。

但是这里需要指出，板内变形的规模与板块之间的变形无法比拟，从全球的观点来看，它们仍然没有什么重要意义，特别是当我们研究主要板块时更是如此。至于活动带范围内的微型板块，它们的横断面只相当于或者小于它们的厚度，这些微型板块位于高热流地区，刚性假设对它们已不适用，尤其是在边缘上，它们可能经受过足够大的变形；应当认为它们不属弹性，而属粘弹性。即使是岩石圈板块的下部，总的说来也属粘弹性而不属弹性。

3. 在板块相对位移的三种主要类型中，目前有两种已经证实。其中扩张类型是由钻探资料和潜水艇的观测资料证明的，转换断层位移是由潜水艇的观测资料证明的。但是无论是扩张过程，还是转换断层本身的构造及其位移的性质，它们的实际情况要比我们最初对板块构造的描绘复杂得多。对扩张过程来说这种复杂性表现如下：第一，在所有的大洋中不仅发现现今活动的扩张轴，同时还发现由重复的同名线形磁异常反映出来的晚侏罗纪和早白垩纪扩张轴，以及表现为残留的水下山脉的晚白垩纪和新生代扩张轴。这些古老的扩张轴或者是已经消失了的现今扩张轴的支轴（如拉布拉多海的比芬湾和大西洋的比斯开湾），或者平行现今扩张轴延伸（如挪威海和太平洋的东部），或者与现今扩张轴根本没有什么直接的关系（如太平洋西部的晚侏罗纪—早白垩纪扩张轴）。第二，已经弄清楚，扩张速度不是一成不变的；而是曾经显著地变快或变慢，但是平均说来，在中脊这一段扩张速度没有什么变化，否则，追溯最近8000万年的马莫斯地磁地层表就不对了。第三，扩张并不总是完全对称的；正如在澳洲与南极洲之间的地区和北冰洋的欧亚盆地所证实的那样，洋中脊一侧的洋盆扩张速度与另一侧的扩张速度有些差别。第四，在扩张轴上不仅表现出占优势的位移张开分量，还表现出位移的平移分量。

至于说到转换断层，首先已经明确，它们的长度和作用都不相同。其次，这些断层位移性质可能随走向而变化，纯转换位移能被纯平移、逆冲和开断层的位移替代。在大断层地带可以看到地壳变薄和地幔底劈现象。当断层存在时它们的扩张极位置发生了变化，所以它们的走向就可能变化。小断层在这种情况下保存着最初的位置，但不垂直于扩张轴。然而，最难解释的是板块位移的第三种类型，也就是大洋板块向贝尼奥夫带的岛弧或大陆下俯冲。古典的板块构造图包括从俯冲的大洋岩石圈剥下的沉积层，有时是固结层造成的深海沟内侧斜坡增生和隆起。但是，在穿过大陆活动边缘的许多剖面上所做的钻探中，只有一部分证实这一种增长图象（如穿过南凯海沟、阿留申海沟、墨西哥沿岸、大西洋巴巴多斯岛的一些剖

面)，而在另外许多地方，情况与这一图象有很大出入。如马里亚纳和危地马拉剖面上并没有增生柱，大概那里的大洋壳完全是从贝尼奥夫带上盘的下面通过。日本海沟年轻的增生柱比较小，由来自岛弧的物质而不是大洋的物质组成的。在巴巴多斯剖面 and 爪哇海沟北部的物质属大陆成因（剖面上有俄利诺科河三角洲的冲出物，海沟北部有恒河和雅鲁藏布江三角洲的冲出物），但都沿着海沟运移。在日本海沟和其它一些海沟，观测到的不是海沟内侧斜坡的最新隆起，而是下沉。这显然与没有增生或暂时中止增生有关，而有时也可能与没有俯冲或暂时中止俯冲有关。并已查明，深海沟的两壁，特别是外壁，通常被拉张的正断层影响弄得十分复杂。但这些正断层显然只是岛弧、海沟和堤的综合体结构复杂化的结果，这样的结构是在挤压情况下发育起来的。从海沟的平面和横截面形状、震源区的应力、重力异常和大地水准面高度都证实这一点。

根据所有这些复杂的情况，一些研究者得出根本没有俯冲的结论，他们在承认扩张的情况下自动走向地球膨胀说拥护者的一边。但是，这样的结论并没有足够的根据；更正确的说法是在不同条件下俯冲的情况是不同的，也不是必然会引起洋壳增长，而甚至可能表现为大陆壳折断和陷入贝尼奥夫带，即构造剥蚀现象。俯冲出现的特征与一系列因素有关，如贝尼奥夫带穿透地幔的速度、深度、它的倾角、被移动板块的年龄，尤其是进入海沟的沉积物数量。

以下事实也间接地证明俯冲是真实的。第一，只有承认俯冲才能消除经太平洋边缘的研究所证实的太平洋古老的与其年轻的现代洋壳之间的矛盾。我们在太平洋周围几乎所有大陆边缘地区所观察到的蛇绿岩离太平洋越远，其年龄越老，直到早古生代。这正是比较老的地壳俯冲（部分仰冲）的证明。而在墨西哥南部、秘鲁和智利北部，蛇绿岩露头中断就是构造侵蚀的结果。第二，不承认俯冲就不能明白为什么东太平洋隆起的两侧不同年龄的洋壳分布是不对称的，为什么南北美洲沿岸没有晚白垩纪—古新世地壳。第三，只有俯冲才能解释为什么晚中生代和新生代由太平洋大陆边缘运移来的碎屑物质，和同一时期积累在洋底的屑碎物质在数量上的不平衡。

4. 板块构造的另一个论点就是以俯冲抵消扩张来保证地球体积的恒定。这一论点最初是假设的，但是现在可以认为它基本上已得到了证实，这是基于古运动场复原（特别是在板块的二重连接点处）的内部无矛盾性，以及古地磁资料等而得出的。根据古地磁资料，始于晚古生代的地球体积变化不可能大于4%—5%。某些研究者在计算俯冲抵消扩张的程度时得出大大有利于扩张说的数值，并以此证明地球的扩张。但是，对这样的计算是有争议的。此外，不能认为俯冲是抵消洋盆扩张的唯一方法，洋壳的仰冲、造山带的总挤压、巨大平移断层的位移引起的造山带横断面缩短等，实际上都起着一定的作用。总之，对地球体积恒定的假说而言，板块构造学在一级近似上很明显是正确的。但地球的体积可能发生过不大的变化，可以用构造成因的偶发性来解释，关于这一问题将在下文中讨论。

5. 岩石圈板块位移的机制是一个特别大的问题。板块构造学最初说法认为上地幔中的热对流是它的机制。苏联的板块构造说拥护者索罗赫京、乌沙科夫、克昂德让认为，热对流在整个地幔中都有（现在国外大多数地球物理学者都同意这一意见），它不单单表现为热量转移。而且还表现为热物质的转移，也就是地幔中玄武岩层分导时产生的易熔物质的转移。部分难熔的物质（如铁和其它一些元素）则流入地核，增大了地核的体积。这一观点比上地幔热对流的观念有着明显的优点。近几年还出现一个更复杂的概念，认为对流分成两级，即下地幔和上地幔在化学成分上差别很大，它们各有自己的对流体系。同时，较浅体系