

[苏] B. K. 加弗里什 著

深断裂在 石油及 天然气运 移和聚集 中的作用



石油工业出版社

前 言

深断裂作为地壳最重要的构造单元之一，近年来正在受到极大的重视。在短短的时间内，深断裂学说已经成为大地构造学的一个独立分支。有关深断裂问题的专门会议也召开过不止一次了。

由于新全球构造学的出现和有用矿产，首先是油、气田的普查，深断裂正在引起人们尤其是主张石油无机成因的人们的浓厚兴趣，这是因为深断裂不仅是地球能量和地幔物质的通道，而且也是深部烃类物质向地壳传送的唯一通道。

对全世界35个以上的不同含油气区的断裂网格所进行的分析表明，深断裂在油、气田分布方面所起的重要作用是不以石油的成因为转移的，因为这首先是大部分地壳及上地幔的线状或带状的断裂带，在沉积岩层中都能找到其反映。有利于形成工业性油、气聚集乃至大油、气田的各种圈闭，往往都与断裂有联系。

深断裂具有长期而复杂的构造发育史，它不仅有利于背斜型，而且也有利于地层型、岩性型和构造型圈闭的形成，这一点对地质-地球物理方法研究程度很高的苏联欧洲部分的油气普查来说尤为重要，那里是苏联的大型工业和人口密集的中心，深达3~4公里的背斜构造已研究得相当清楚，而储备的构造正急剧减少。被大量不同时代的深断裂割切的普里皮亚特-顿涅茨含油气区，是油、气普查及预测的首要目标之一。

对世界各地含油气区大量的深断裂的研究，不仅有可能获得有关深断裂在油、气运移，聚集及分布方面的作用的新的实际资料，同时也为预测普里皮亚特-顿涅茨及其它含油气区深断裂带内的含油气性，揭示了新的理论的和实践的依据。

通过对野外的、内部的以及公开发表的资料分析，按照深断裂在烃类流体运移及聚集中的作用，使我们有可能对它们进行分类。我们的研究侧重于正断、平移等类型的断裂对形成局部隆起、内断裂地垒和地堑的意义，以及它们对地壳上部(脆性)的岩石(深度5~7公里)的岩相或岩石物理性质变化的影响，因为主要的油、气储量都在地壳上部。现已查明，各种深断裂对于烃类的运移尤其是烃类的聚集，对于小型、大型乃至巨型油、气田的形成，具有什么样的(直接的或间接的)影响。

在这里，作者谨向审阅本书手稿并提出过宝贵意见的乌克兰科学院В. Б. 波尔菲列夫(Порфирьев)院士以及协助完成本书的有关人员，致以诚挚的谢意。

目 录

前 言	
第一章 关于地壳深断裂观点的演化	(1)
第二章 深断裂的概述及分类	(5)
第三章 深断裂在石油及天然气运移中的作用	(14)
• 地下水或深层水及非烃气体运移的证据	(14)
• 石油和烃类气体垂向运移简述	(21)
• 深断裂的成因特征在油、气运移中的意义	(24)
第四章 深断裂在石油及天然气田聚集和分布中的作用	(31)
• 关于断裂影响油、气聚集观点的发展	(31)
• 石油及天然气田在平移型深断裂带内的分布	(33)
• 正-平移断层和逆掩断层对油、气藏富集的影响	(40)
• 石油及天然气田在深正断层带内的分布	(45)
• 内断裂型的地垒和地堑与深断裂的从属关系	(64)
• 深断裂和具有含油气远景的局部隆起	(71)
• 深断裂带内岩石的岩相或岩石的岩性-物性变化及非构造型石油圈闭	(75)
第五章 深断裂对大型油、气田分布的影响	(85)
结 论	(90)
参考文献	(92)

第一章 关于地壳深断裂观点的演化

从克列茨科—散多梅希山脊起,经过顿巴斯绵延至曼格什拉克山脉的地壳区域性断裂,是А.П.卡尔平斯基(Карпинский, 1883)的著作最先提到的。他所划分的断裂,在文献中称为“卡尔平斯基线”(Suess, 1909)。稍后,美国地质学家W.霍布斯(Hobbs, 1914)把大型的断裂系叫做区域构造线。在В.А.尼科拉耶夫(Николаев, 1933)、Н.Г.卡辛(Кассин, 1934)、В.И.波波夫(Попов, 1938)、Е.А.库兹涅佐夫(Кузнецов, 1939)、Г.克洛斯(Клоос, 1939)、В.А.奥勃鲁切夫(Обручев, 1940)、В.С.扎维斯托夫斯基(Завистовский, 1940)、Л.Ф.伦格尔斯高津(Лунгерсгаузен, 1941)、С.И.苏鲍京(Суботин, 1941)等人的著作中,都对断层和断裂进行过描述。但是断裂开始引起高度重视,仅在А.В.裴伟(Пейве, 1945~1955等)进行了基础性的研究之后,他最早论证了“深断裂”这一概念并提出了定义。

根据А.И.苏沃罗夫(Суворов, 1972)等人的资料,仅在1950~1970年间,就有2200多种学术著作不同程度地阐述过断裂问题。

按照А.В.裴伟的概念,深断裂乃是在地壳的差异运动盘之间的一种破裂面或狭长带,具有发育时间长、根基深、空间延伸长度大(达数百公里),与岩石类型及岩浆活动有着一定关系等特点。现已证实,深断裂在空间上不能迁徙,而是沿着同一构造缝合线发展的。

1947年,Р.宗杰尔(Зондер)的著作问世,他在书中分出了世界断裂系,并称之为“区域性裂缝系”,它们可同时交切不同性质的大地构造单元,如大洋底和大陆地台。同一年,Ф.А.维宁格-麦涅斯(Венинг-Майнес)试图解释过全球性断裂网络的成因。他认为,这种断裂网络是由于很均一的而又遍布全球的力的作用产生的。这些力在地壳的全部发育历史过程中都起过作用,因此,在地球表面可以发现全球性裂缝不断再活动的现象。

Г.克洛斯(1948)也认为,把欧洲基底分成许多块的断裂是非常古老的断裂,而且在地球的整个发育史中曾屡次活化,尽管其中不少断裂,如莱茵地堑的边缘断裂,按照裂谷假说是不久前拱升的穹窿受地壳的水平张力而形成的。

В.В.别洛乌索夫(Белоусов, 1954)、М.В.穆拉托夫(Муратов, 1962)等、А.А.巴格达诺夫(Богданов, 1963)等、В.Е.哈因(Ханн, 1964)、В.К.加弗里什(Гавриш, 1965, 1974)、В.Г.帮达尔丘克(Бондарчук, 1967)、К.В.鲍戈列波夫(Боголепов, 1971)等、П.Н.克罗波特金(Кропоткин)、Б.М.瓦利亚也夫等(Валяев, 1971),对于莱茵、第聂伯—顿涅茨等裂谷的性质,都持类似的观点。

Н.С.沙茨基(Шатский, 1945, 1946)非常注意断裂及其成因,他在东欧地台的基底中划分许多围限地台型长垣和陆背斜的正断层,并证实,地台上的挠曲和地堑是由一些在地表没有显露的大型断裂所引起的。Н.С.沙茨基(1948)还指出,同一断裂可以切穿地台,同时又切穿与其毗连的褶皱区。例如东俄罗斯沉降带的一条边界断裂,从卡马盆地一直可追踪到大高加索。Н.С.沙茨基把地台型的断裂分成两个系统——正交断裂系(Ортогональная)和斜交断裂系(Диагональная)。他曾在1955年写道,陆向斜和拗陷在其沉降时的形态及相互关系,是由地壳的块断构造,即先前存在的或潜在的地台型的断裂和缝合线网络决定的,其展布的情况是由地球的旋转以及旋转可能发生的变化所决定的。

A. B. 裴伟在1956年证实, 断裂以及在方向上与它相关的其它构造单元是根深蒂固的, 并延续和发育达数十亿年。断块沿断裂的位移, 按照A. B. 裴伟的意见, 可在三个方向上发生: 沿正断层, 沿逆掩断层和沿平移断层。他还划分出了放射状断裂和切向断裂。1961年裴伟确定深层的平移断裂和逆掩断裂在动力学上是统一的, 其断距可达100(帕米尔外带)~250公里(南帕米尔), 并指出块体沿这些断裂产生的水平位移的不可逆性, 这种水平位移是由地球的重力-惯性力引起的。深逆掩断层带内存在的超基性岩石, 以及在深震源中水平和斜向剪切应力居多的情况, 使A. B. 裴伟(1965)提出这样的推测, 即在地壳和地幔中都存在水平运动。按照A. B. 裴伟(1967)最新的概念, 深断裂就是岩石物质形态上显示的、长期发育的、垂直的、倾斜的或水平的深层构造位移面。这些物质的构造运动的基本形式是塑性流动及断块性的构造流动。A. B. 裴伟改变了以往的认识, 即地幔中的深“断裂”在同一位置上有数亿年地质发育史。大洋物质侧向构造运动的速度要比大陆上的构造流动的速度大2~3倍。

B. E. 哈因(1963~1973)认为, 深断裂必须具备三个基本特性: 长度大; 根基很深; 发育的长期性和多期性, 运动方向经常变化。在地表深断裂表现为宽阔的(可达数十公里)断层破碎带。按照哈因的说法, “看到”具有全部典型性质的深断裂是非常罕见的。通常要综合构造、地球物理、地貌、沉积及岩浆等标志追踪断裂的位置。他按照断裂深度分为: 1) 超深断裂(400~700公里); 2) 中深断裂(100~300公里)和3) 切穿地壳底部的壳下深断裂。他把深断裂比拟为在地壳内消失的壳断裂。把大陆与大洋分开的断裂叫大洋边缘断裂; 划分地槽和地台的为克拉通边缘断裂或边缘缝合线; 划分地向斜拗陷与地背斜隆起的为内地槽边界断裂; 地台和地槽区的断块间的纵、横向断裂还决定着褶皱带翼部的阶状结构。还有穿通型(сквозные)及超穿通型(сверхсквозные)断裂之分。穿通型断裂切穿地台和地槽, 过渡的时候往往变为相反的位移方向。按照运动的性质可分为: 深正断层, 深开断层, 深逆断层, 深平移断层。深断裂还可划成单断型的(одиночные)和双断型的(парные)。双断裂之间具有地堑或地垒形的独特的缝合带。有些断裂, 例如限制裂谷的深正断裂, 根据B. E. 哈因的意见, 是在隆起的顶部形成的, 这些隆起可能被一些构造缝合线所削弱。

C. И. 苏鲍京(1954~1968)曾把深断裂的形成, 解释为壳下的压实物质边上部的地壳发生下沉的结果。

A. A. 鲍利索夫(Борисов, 1966)提出, 按其构造位置把断裂分为全球性的、区域性的和局部性的; 按岩浆活动的特点分为开放型的(Открытые)、半开放型的和封闭型的; 按形成的时间分为前地槽期的、同地槽期的和后地槽期的。

И. И. 切巴年柯(Чебаненко, 1963~1966)通过对断裂构造规律的分析得出结论, 即在全球范围内全球规模的深断裂有两组主要方向: $305\sim 310^\circ$ 和 $35\sim 40^\circ$, 它们控制着地壳主要大地构造单元的构造方位。其它四组方向($10\sim 15^\circ$, $65\sim 70^\circ$, $280\sim 285^\circ$ 和 $335\sim 340^\circ$)仅具次要意义。这些结论已被实验模拟所证实(1966)。在旋转应力的作用下可形成两组断裂系, 方位为 $40\sim 45^\circ$ 和 $315\sim 320^\circ$ 。在И. И. 切巴年柯后来的著作中(1974), 大型的构造破碎带和深断裂都列入区域性断裂的范畴, 因为大断裂切穿的深度常常是不清楚的。区域性的断裂又分三类: 区域性的壳下深断裂, 区域性的壳下次深断裂和区域性的浅层局部断裂。

B. И. 斯米尔诺夫(Смирнов, 1961)的观点是, 地槽内形成岩浆带的深断裂, 只能在地槽拗陷发育的早期阶段或晚期阶段在张力的作用下形成。

Г. Д. 阿基列伊(Ажгирей, 1967)把地球的线性构造分成四类。非裂谷型的断块-褶皱带

在300~720公里深度有地震,地壳上层中有特殊的挤压和拉张构造。裂谷地带表现为穹窿状的隆起,它们通常是在古老的第一类的基础上继承发展起来的,且以不同程度的剪切拉张为特征。其内富碱性的岩浆作用广泛发育,没有和穹窿迅速增长阶段的第一类型构造相伴随的逆-逆掩断层。第三类断裂是在大洋中发育的。它们具有东西走向,较大的水平位移,几乎无地震,它们的形成与地球的旋转有关。第四类断裂,沿大陆边缘发育,是沿深入地幔的、断距为1~5公里的正断层的下沉而形成的。它们常伴有拉斑玄武岩和偏酸性的岩浆岩。

A. И. 苏沃洛夫(1968~1973)根据与熔源顶部的位置,把它们分为浅、中、深型深断裂,断开的层位分别为:花岗-沉积层,玄武岩层和橄榄岩层。沉积过程与占主导地位侧向或垂向运动有关。在长期发育的正断层带内,沉积盆地大多平行于主要有垂向位移的断裂。在同沉积的平移断层带内,沉积盆地与断层斜交展布。在逆掩断层带内,沉积作用的迁徙通常发生在与主位移面垂直的、逆掩方向的一侧。A. И. 苏沃洛夫把断裂分为平移断裂,逆掩断裂,正断裂和逆断裂。他确定了动力上成对的断裂组合:北东向的逆掩断层和右旋平移断层;逆掩断层-开断层;正-平移断层和正断层。断裂的运动学是随时间而变化的。地槽阶段的正断层,到了造山期就转变成成为平移断层或深逆掩断层,进入地台阶段,正断层、正-平移断层等会沿这些断层重新活动。根据大多数裂谷带形成于穹窿式的隆起上的情况,A. И. 苏沃洛夫认为,与裂谷伴生的断裂形成机理,可能和深部的、壳下的挤压有关。

在现代大洋裂谷形成过程中还形成转换断裂(Wilson, 1965)。威尔逊设想,沿这些与大洋中脊和大陆边缘横交的断裂所产生的位移,在洋-陆交界处,将会被倾伏在大陆壳之下的大洋壳所补偿。

В. Г. 帮达尔丘克(1972)认为,深断裂具有全球性质,而且可将它们分成地台型的,可作为地盾和凹陷及地台和活动带的分界;以及延伸在陆壳和洋壳之间、切穿各时期构造的边缘缝合线。隐藏在大洋水下的全球性断裂,以及与水下中脊相伴生的裂谷,则划为独立的一类。北西向的、北东向的和东西向的断裂形变是由动应力引起的:极收缩力——赤道张力。近南北向的断裂系是由于大陆块体的惯性和块体内形成的西向应力而产生的。地壳断块的垂直运动,对正-逆断和平移-逆掩性质的断裂的形成起着主导作用,这种垂直运动常常伴有水平方向的位移。

В. К. 加弗里什(Гавриш, 1969~1975)把使乌克兰地盾、沃罗涅日陆背斜、顿诺—第聂伯裂谷等地区复杂化了的深断裂,划分为继承性的、新生的、复活的和潜伏的(盲断裂)。其中第一类,是在地球的旋转——惯性应力的作用下,在地壳发展的早期阶段开始产生的。它们在前寒武纪的基底表面和沉积岩层中,表现为长垣状的深部构造,而且经常被一些位移小的、有时是雁行状排列的断层及局部隆起所复杂化。其中有些断裂可以划为跨区域的断裂,它们穿过不同类型和不同成因的一些大型构造(地盾、裂谷、陆背斜等),有些可划为超深的正-平移断裂。沿跨区域的深断裂产生的水平位移,促使了一些有缝隙的地堑的形成及深部流体的强烈运移(1974)。

新生型的深断裂往往在地台上与地壳的拱曲同时形成,这种拱曲是由于壳下岩层的上升运动或其它构造因素引起的。继承型的深断裂网格影响它们的方向性。继承型的和新生型的深断裂,对划分大型构造及局部应力的形成都起着主要的作用。В. К. 加弗里什(1974, a)按照引起断裂运动的作用力,把深断裂划分成三类:1)区域平移型的(реглогенный),此时产生的是断块的水平位移(红海的张裂型和死海的平移型);2)裂谷型的,垂向的(裂谷式)拱曲使正在形成穹窿段的地壳上部出现拉张(顿诺—第聂伯型或莱茵型);3)区域逆冲型的(хамелоген-

ный),这时垂向的下弯使地壳的下部脆性层产生水平拉张。

Р. Г. 加列茨基和Р. Е. 艾兹别格(Гарецкий, Айзберг, 1975)提议把断裂分成两种类型:前地台型的,地台盖层不受其影响,和地台型的。他们把前地台型的又分为下列几种:1)超区域性边缘断裂,它划分不同时代的最大型褶皱区或再改造区;2)区域性边缘断裂,是一些不同时代的大型褶皱区或再改造区的边界;3)次区域性边界断裂,是同时代褶皱或再改造的构造区边界;4)局部性(其它)断裂,是个别断块的边界。地台型的断裂分为下列几种:1)超区域性边缘断裂,是最大型构造的边界(坳拉槽等);2)区域性边缘断裂,是一级大型构造(拗陷、凹陷、地垒)的边界;3)次区域性边界断裂,是二级中型构造(阶地、地堑、地垒、凸起)的边界;4)局部性断裂,是三、四级小型构造(隆起带、局部隆起等)的边界或引起它们的断裂。

在《新全球大地构造学》(1974)一书中,乔·威尔逊详细地描述了转换断裂,这是一种在大洋内形成的断裂,是大洋中脊带内的洋底水平拉开(扩张)和洋壳向陆壳下冲(俯冲)的结果。这些断裂的方向垂直于大洋中脊的走向。这种断裂的产生,不是在大洋中脊及其裂谷带形成之后,而是在此之前。大洋中脊及裂谷带仿佛是顺应了已经存在的、与它的走向横交的断裂的。所以,一个构造单元向另一构造单元转变的接合区,建议不要划入深平移断裂范畴,而划入到转换断裂的范畴。

第二章 深断裂的概述及分类

地壳的断裂破坏近来被划分为两类：断裂和断层。我们同意B. E. 哈因(1973)的看法,即把使浅部地层复杂化的断裂错动划为断层,而把产在地壳深层及壳下岩体中的深层构造划为断裂,通常称为深断裂。深断裂把地壳分成为地块,而断层则把地壳分成为断块。大多数研究人员把断裂错动划入断层及断裂,都是带有极大的假定性的,因为只有具备了构造、地球物理、地貌、沉积、岩浆等综合标志的情况下才可能有确切的分类。断裂是随意使用的一个术语(有些研究人员把任何断裂错动都看作是断裂)。断裂细分为壳断裂和深断裂。壳断裂在地壳范围内消失(Хаин, 1973)。

根据加利福尼亚及日本大多数震源出现在浅部(5~30公里)(Пресс等, 1968),看来壳断裂分布很广。这些断裂又分成上部壳断裂和深部壳断裂。有些学者(Чебаненко, 1974; Гаврилов, 1975)把类似的断裂叫做区域性断裂,因为有些时候没有地质-地球物理足够的研究程度,所以明确地区分壳断裂和深断裂是很困难的。

根据已有的地质-地球物理资料,深断裂——它通常不是在小比例尺图上画的一条单一的断层,而是一个结构复杂而宽阔的(达5~40公里)、被断层和褶皱强烈破坏的、根基很深的(达50公里以上)、区域性的(200~1000公里)、长期和多期发育的(达4亿年)岩石的构造位移带,它影响了岩石的岩相变化和岩浆活动。“深断裂”这个术语有50多个定义(《“深断裂”的概念及问题》, 1976)。深断裂通常是由不同长度和埋藏深度的断裂及断层组成的。其中不仅单断裂,而且双断裂都很发育,双断裂之间表现为一系列地堑和地垒所组成的活动性较高的缝合带。根据B. E. 哈因的资料(1973),双断裂以特定的发育条件为其特征。在普遍的隆起和拉张期间,被缝合带切割的地壳块体都抬升,而缝合带本身则下沉并形成地堑形的拗陷。在普遍的下沉期内,这时两侧的块体下沉,缝合带则呈地垒向上升。如果限制缝合带的断块以不同的速度上升或下降,那么缝合带就形成为过渡性的台阶。

只有在个别情况下才能直接观察到深断裂的全部特性。通常它要综合构造、地球物理、地貌、沉积、岩浆等标志加以划分(Хаин, 1963, 1973, Гавриш, 1969, Суворов, 1973)。常常把断裂与在露头上观察到的或钻井确定的表现最明显的逆掩断层、逆断层、正断层或平移断层的主断层线混为一谈,主断层线在发育史上也并非是一直稳定的,而是常常改变其位置和性质的。按照A. B. 裴伟(1961)的意见,唯水平错动的平移断层不属这种情况。它是以运动的完全不可逆性为特征的,尽管它的主断面表现的强度也不是固定不变的。Л. С. 马尔古利斯对西萨哈林的平移型深断裂带(Рождественский, 1969)所进行的研究表明,受深大断裂的开放程度控制的各次火山爆发的出露带,是随着时间向东迁移的(图1)。西萨哈林断裂将同名的大型复背斜与鞍形拗陷分隔开,它从亚历山大罗夫斯克市一直延伸到北海道岛。中新世的火山活动以及产在主断层和羽状断层的长串状的亚碱性侵入岩和中、基性岩墙,都与该断裂有关。

深断裂具有极其复杂的结构。对锡霍特—阿林、扎格得—土库林格、额尔齐斯、阿克萨兰—阿克扎尔、准噶尔、塔索—卡编、南吉萨尔、巴拉诺维奇—阿斯特拉罕等断裂的研究表明,断裂内的岩石被一些大断层强烈错动,形成褶皱,并有岩浆岩侵入。这无疑将影响到流

体的运移和聚集。我们以一组深断裂为例作简要的地质描述。这些断裂从吉萨尔山脉至波德列亚斯克—勃烈斯特特陷具统一的跨地区的北西走向，而且作为长度达4000公里以上的萨尔玛特—图兰区域构造线的一部分。这就是不同深度的伊利亚克、布哈拉以及与其呈雁行状排列的中乌斯丘尔特和北曼格什拉克断裂(图2)。再往西北方向是巴拉诺维奇—阿斯特拉罕深断裂，它在阿斯特拉罕市东南拐向东北，仿佛是围绕东欧地台(见《含油气区大地构造...》，1973)。

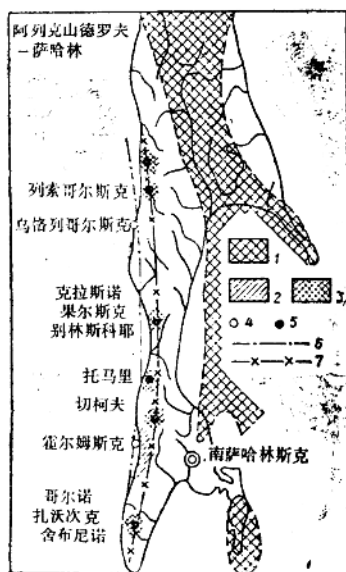


图1 早中新世火山岩层分布略图(据 Л. С. Маргулис等, 1970)

1—推测的剥蚀区(陆地); 2—阿拉凯组第一火山岩层凝灰岩最大厚度区; 3—阿拉凯组第二层火山岩沉积最大厚度区; 4—推测的第一次火山喷发时的火山位置; 5—推测的第二次火山喷发时的火山位置; 6—第一次火山喷发时深断裂位置; 7—第二次火山喷发时深断裂位置

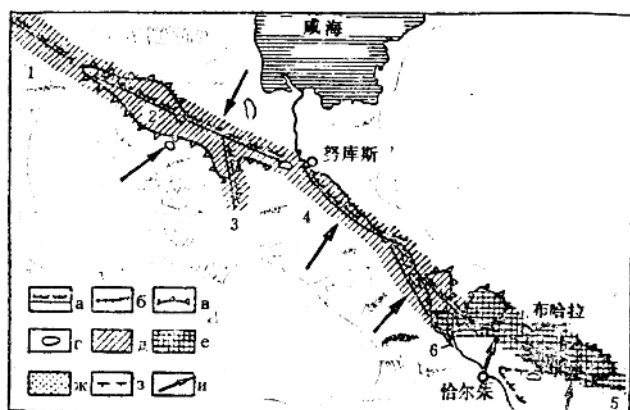


图2 在近东西向的曼格什拉克—天山断裂系作用区内，中生界产层的地层水力系统结构综合图(据В. Н. Пашовский)

а—断续发育的断裂: 1—北曼格什拉克断裂, 2—中乌斯久特断裂, 3—绍尔真断裂, 4—塔沙乌兹断裂; б—连续发育的断裂: 5—布哈拉断裂, 6—比尔古特林断裂, 不包括断裂的西北部分; в—地台盖层的大型隆起界线; г—采用实际资料的地区; ж—整个沉积层泄水区; з—地层水从侏罗系杂岩向尼欧科姆—阿普第杂岩流动区; и—亚尔律—赛诺曼岩的地层水向上覆沉积流动区; к—异常高层压力边界(АВПД); л—中生界产层地层水的运动方向

伊利亚克或南吉萨尔深断裂 延伸长度达900多公里,宽度从5~7到25~30公里。在前中生代沉积的区域地质图上,南吉萨尔断裂带从南部限制着巨大的岩浆岩块、变质岩和火山岩的分布区。在塔吉克斯坦境内吉萨尔山南坡古生界基岩的出露部分,区域性的博加因断裂与伊利亚克(南吉萨尔)深断裂相重合。沿吉萨尔山谷的南缘,在巨厚的中、新生界沉积盖层下,在伊利亚克断裂上面发现了一个古生界基底的大型台阶。

根据地球物理资料,在该断裂范围内,吉萨尔山谷的基底比邻近的塔吉克—阿富汗洼地的一些坳陷明显地要高。断层系和挠曲的位移幅度达3~4公里。与缝合带对应的是较高的重力值。沿这条断裂,吉萨尔凹陷近东西向的构造与塔吉克—阿富汗洼陷近南北向的褶皱和断层,形成棋盘格式组合。按照Э.А.波尔佳金等人的见解(«构造问题»……, 1973),盖层构造的突然变化是古生界基底构造格局的继承性所决定的。

伊利亚克(南吉萨尔)深断裂的界线在北部与博加因正断型的区域断裂相重合,其断面北倾,倾角50~80°。沿博加因断裂,沉积岩和火山岩的角砾岩化、糜棱化、碎裂化广泛发育。破碎带和片理带的宽度,在克什图特(图波兰格)盆地和哈纳科为几十米,到希尔肯特和卡腊塔格山谷为数百米。在紧靠断裂带的宽1~2公里的狭窄带内,有密集的不同成分的小侵入体。

在希尔肯特地区,断裂带的北段直接与博加因断裂毗连,它由中生界的一套变质岩构成,有火成岩岩脉和岩株侵入。北段宽3~5公里,长30~35公里。志留系变质岩形成一系列东西向的、通常向南倒转的褶皱。褶皱的宽度不超过一百米。远离博加因断裂的一些大型的变质岩岩块几乎未遭破坏。在这里,主要是一些北东走向的直立和倾斜的正断层。

断裂带南段的内部构造以大量的、在空间上极为靠近的断层为其特征。可以看到狭窄的线状地垒和地堑系。南段的宽度达1公里,长7~10公里。沿断块交界处,形成一系列密集的平缓的逆断层,具强烈的角砾岩化和碎裂现象。在希尔肯特地段,出露北西走向的横平移断层和正-平移断层系。平移断层是右旋的,平移距2~3公里。这些小平移断层的存在证明,其两盘的运动主要是在垂面上发生的。

在南吉萨尔深断裂带内,广泛发育着侵入岩。在其北部边缘,博加因断裂附近,发现有一个岩脉带,这是一个长20公里、宽4~5公里由许多小侵入体组成的条带。浅成岩的数量由南而北显著增多。在岩脉带内,分成几种不同的岩脉:辉绿玢岩,辉石和辉石—角闪辉长岩,闪长玢岩等。在缝合带的南部边缘,沿大断层出现的岩浆岩,是该区所有已知的岩浆岩中最深的,它们属于阿尔卑斯型的橄榄岩建造。在希尔肯特和曼佐勃斯盆地内,在东西方向15公里的范围内,确定有串珠状小的变质橄榄蛇纹岩体,它们在乔什河上游及霍贾—卡尔沙瓦尔盆地内也曾遇到过。

根据蛇纹岩被辉绿玢岩岩脉侵入和在蛇纹岩与石炭系的石灰岩的接触带上,石灰岩中未见任何外接触变质作用的标志,Э.А.波尔佳金等人(1973)认为,蛇纹岩体乃是一些冷侵入体,或称“原生侵入体”(Книппер, 1969)。这是许多深大断裂(南费尔干纳、乌拉尔、太平洋)所特有的现象。是蛇纹岩机械侵入于沉积盖层的结果。据推测,蛇纹岩是地壳最深部地层或上地幔的一些崩裂体,它们是以特殊的固态“刺穿体”形式,沿深断裂面向沉积—变质岩壳的上层贯入的。

在博加因断裂附近的希尔肯特和哈纳金地区之间,以及缝合线的南部边界附近,分别发现了利亚比卓和麦切特林花岗岩体,东西方向延伸10~15公里。麦切特林岩体的大部分是由中—晚石炭世的斑状花岗岩组成的。花岗岩岩体与围岩的相互关系的研究表明,围岩在接触

带附近的变化不超过数十米。在接触带边缘高温矿物被低温矿物所替代。黑云母被绿泥石化、斜长石减低了其基性组分，蓝闪石被云母集合体交代等等。在这里，晚古生代的岩浆活动对于整个中古生界沉积岩的深变质作用方面没有起多大的作用。

布哈拉或阿拉尔—吉萨尔断裂 在伊利亚克深断裂西北部，位于图兰后海西地台上穆尔加别克(阿姆达林)陆向斜的东北缘，从麦舍克林长垣、加兹林和穆巴列克凸起的南部通过(见图31)。重力台阶的存在及二叠—三叠纪沉积的全部剥蚀就是其证明。连续的或同沉积发育的布哈拉断裂(Гаврилов, 1975)，在沉积盖层中表现为挠曲，这从地层明显的倾斜角度以及侏罗和白垩纪沉积厚度梯度的增大确定下来。地震勘探和钻井资料证实，断裂延伸长度约500公里。在加兹林断块地区，它形成一个高差达4公里的明显的构造台阶。该断裂在现

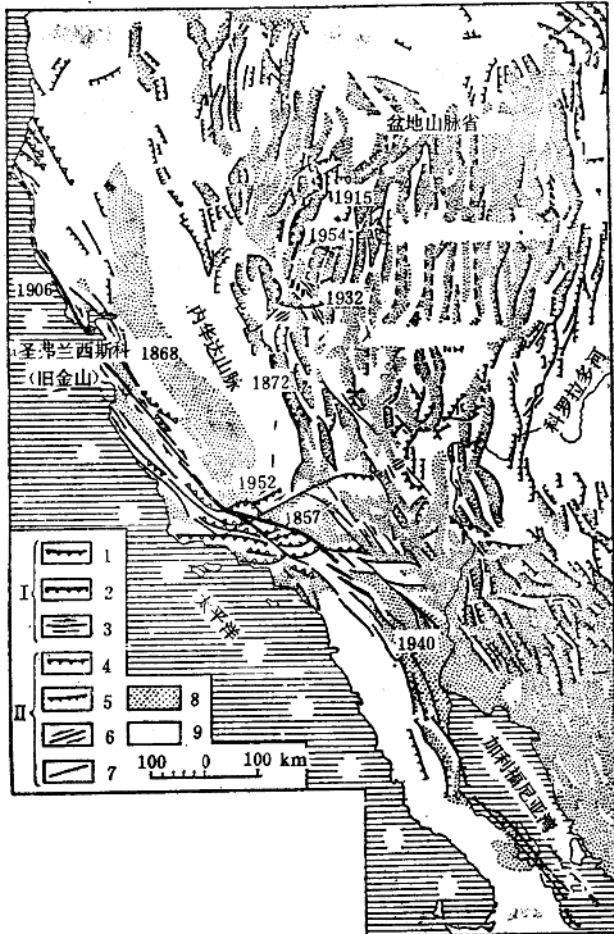


图3 北美洲西南部的断裂

I—灾害性地震时的复活断裂；II—新生代发育起来的断裂；1和4—逆掩断层和逆断层；2和5—正断层；3和6—平移断层；7—位移性质不明的陡断裂；8—被巨厚的晚第三系和第四系沉积岩及火山—沉积岩所充填的负向构造(在盆地山脉省为峡谷)；9—中生界基底凸起(在盆地山脉省相应为山脉)。附灾害性地震年代(Лукьянов, 1963)

代地形上也有明显反映(Гаврилов, 1975)。侏罗纪时期, 布哈拉双陡阶(Параградный)断裂基本上只发育于陆源沉积的堆积时期。在卡洛—牛津(早侏罗世)碳酸盐岩沉积的时候, 它并未影响其岩性成分和厚度的变化。划分启满力—齐顿膏盐层的中部硬石膏层, 在断裂的两盘厚度是一样的。

在年青的白垩纪、早第三纪和晚第三纪沉积中, 这条断裂也是分不出来的。Г. X. 季盖什钦根据活动的时间把它归入切穿地壳全部深层的复活断裂。它在沉积盖层中反映特别明显, 可以根据重力台阶以及带状和串珠状的磁力异常进行追踪, 这些磁力异常证明它一直深入到火成岩基底, 也就是说它是一条深断裂。

中乌斯丘特以及与其呈雁行状排列的北曼格什拉克深断裂 在基底表面延伸相当清晰。沿该断裂是线状延伸的强重力高带(3毫伽/公里以上), 长条状重力台阶带和带状延伸的高正磁力异常, 以及重力场性质的变化带(Гаврилов, 1975)。在晚古生代和中生代时期, 这些断裂有过构造活动引起地堑状洼陷(被二、三叠系充填的曼格什拉克地裂)和地垒带(中乌斯丘特、艾布基尔地垒)的形成。在卡尔平斯基长垣顶部下二叠统填充的地堑状凹陷的存在, 使我们有根据认为, 上述这些断裂向中顿涅茨克或北曼格什拉克(见图7)断裂上延伸是合理的, 而不是像以前提出的那样(Успенская, 1961)向巴拉诺维奇—阿斯特拉罕断裂上延伸。

巴拉诺维奇—阿斯特拉罕深断裂(图14、15、22) 是顿诺—第聂伯裂谷的北缘缝合线, 它从波利斯一直伸展到里海。它有着极为复杂的结构。在第聂伯—顿涅茨裂谷范围内, 断裂在莫霍面上表现为挠曲, 其倾向与中生代地层的挠曲产状相反, 而且常常得不到地震记录(Гавриш, 1969, 图15), 而在顿巴斯, 则表现为莫霍面反射层的阶梯状位移, 在沉积岩层中表现为北顿涅茨克逆掩断裂或逆断层(Гавриш, 1974, 图25)。

在前寒武纪基岩面上, 控制阶梯状下掉的断块的不同方向的断层系, 往往在莫霍层面的挠曲状的错移部位, 那里的岩石都处在塑性或准塑性状态。平行于位移带的断层和裂缝, 有时正位于主断裂的两条断层线(双断层线)上。在普利皮亚特裂谷, 这些断层线与别烈津诺和列契茨克—沙季科夫台阶相一致, 而在第聂伯—顿涅茨凹陷北部, 则与伊瓦什柯夫、勃鲁西洛夫等构造台阶及重力台阶相一致, 这些台阶把沃罗涅日陆背斜坡与第聂伯—顿涅茨裂谷分开。伴有重力台阶的科舍列夫、普里斯科夫—雷索戈罗夫、利波沃多林等纵向凸起, 都在巴拉诺维奇—阿斯特拉罕断裂的南部双断裂上。这些被断裂内地堑带分开的台阶和纵向断层, 为将巴拉诺维奇—阿斯特拉罕深断裂划入双断裂类型的断裂提供了依据(Ханн, 1973)。

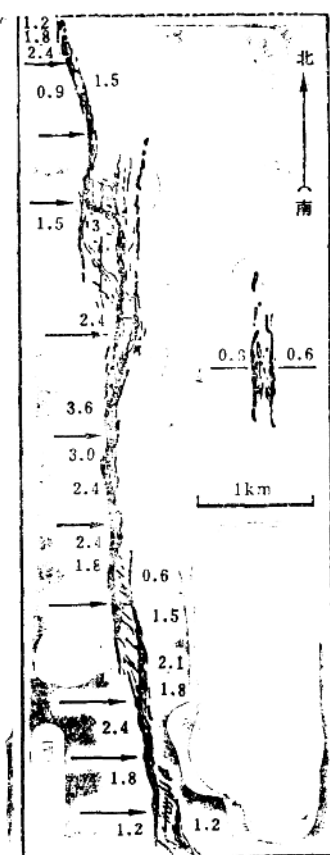


图4 隆派因城西北遭到破坏的部分地区示意图(В. Д. Джонсон 据Hobbs, 1910年资料绘制)
箭头示阶地的指向; 数字示阶地的高度

北部双断裂,在前寒武系面上表现为呈雁行状排列的断裂和断层系,我们称其为主断层系,它们类似于1872年3月26日在内华达东部的隆派因城地区发生灾害性地震时在欧文斯河谷内出现的那种断层裂缝(图3、4)。图4上的裂缝——正断层是在地表形成的,一般是垂直陡阶,延续的距离不大。它们很快消失,并在其旁边产生新的裂缝,后者出现在正在消失断层的末端的侧边,好像剧院里的边幕。

大量的КМПВ●地震剖面和钻探表明,巴拉诺维奇—阿斯特拉罕深断裂的北双断裂的主正断层,也是由雁行状的断层系组成的。后者的断距通常在横向的深部构造(前寒武纪基底凸起)或深断裂处消失,尽管在小比例尺图上这些雁行状的断层常用实线表示。得出的印象是,当第聂伯—顿涅茨裂谷新生的巴拉诺维奇—阿斯特拉罕边缘深断裂形成的时候,就与前寒武纪的近南北向断裂的走向呈一锐角,后者妨碍了它的后期展布并促使泥盆纪形成的断裂呈雁行状位移。北双断裂主正断层的断距在横向凸起上为0米,到横向沉降带内为2.5公里以上(Гавриш, 1974, 图2)。

在主正断层附近完钻的井,并非都能揭开泥盆系和更新的火山岩层的。例如巴拉诺维奇—阿斯特拉罕断裂的普利皮亚特部分就未发现有泥盆系火山岩层。这使我们有根据认为,断裂并不是在所有地段都是张开而导流岩浆的,也即并非都是深断裂。目前只在巴拉诺维奇—阿斯特拉罕断裂与横向断裂的交会地区发现过火山岩,例如与克里沃罗日—科马利奇断裂交会的诺沃特罗伊茨克村地区和切尔尼哥夫鞍部(伊瓦什科夫3号井),在这里顿诺—第聂伯裂谷的宽度从170公里缩小到70公里(Гавриш, 1969, 图14)。这种情况同И.В.卢奇茨基等人(1967)的模拟结果非常吻合,人工形成的“断裂”的断距向加长的软流圈模型的围斜部分方向减小,再结合其它一些情况(Гавриш, 1974)证明,按照裂谷说,巴拉诺维奇—阿斯特拉罕断裂是由于地壳上部地层在В.В.别洛乌索夫(1954)所说的沃罗涅日—乌克兰次地背斜顶部由于水平拉张而形成的。Л.В.丘列伊的观察在某种程度上也与这一点相吻合(图5),观察表明,在多次“底辟”挤入的情况下,边部的模拟物质强烈下垂,如同巴拉诺维奇—阿斯特拉罕双断裂的裂谷(图6)。这条断裂的总断距不仅朝次地背斜的围斜方向减小,而且随着深度的

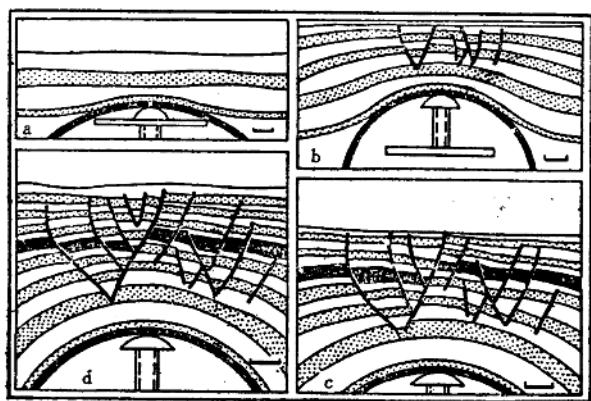


图5 在Л.В.Кьюрей底辟模型上的地堑形成过程(1957)

a, b, c, d——地堑形成阶段

●КМПВ, 系指地震勘探中的折射波对比法(Корреляционный метод преломленных волн)——译者注。

加深,在前寒武纪基底面上为2~5公里减到莫霍面的0公里(挠曲状的位移)(Гавриш, 1969, 图15)。

同时,与北双断裂的主断层毗连的还有一些断层,它们使第聂伯—顿涅茨凹陷的边缘部分和裂谷的边部形成一个宽5公里以上的复杂地带。断块沿这些断层多次活动,使岩石破裂而形成狭窄的地堑,看来,这也是造成1975年M. B. 齐尔文斯卡娅主编的前寒武系顶面构造图上没有地震记录的原因。明显的重力台阶几乎在整个巴拉诺维奇—阿斯特拉罕深断裂上都与该带相吻合。通常,只是在一些横向的深部构造和断裂上才不存在这一重力台阶。沿主断层和与其毗连的断层产生的反向运动,在石炭系沉积内形成一些背斜褶皱,这是一些北翼陡的大勃诺夫型褶皱,或是一些紧靠主断层、显示微弱的斯特连普钦型的构造。

在上覆的二叠系和中—新生界中,巴拉诺维奇—阿斯特拉罕深断裂的北部双断裂,几乎都是挠曲。只是在顿涅茨克和卡尔平斯克部分,它才明显地是一个克拉斯诺列茨断层系,以及走向上互相平行的北顿涅茨克及其它逆掩断层。顿巴斯的小褶皱带即位于逆掩断层之间。按照B. C. 波波夫(1964)的想法,北顿涅茨克逆掩断层从谢别林卡延伸到齐姆良水库,看来一直到阿斯特拉罕市。马里耶夫斯克—阿尔马兹等逆掩断层几乎与它平行延伸。

这些逆掩断层与前寒武纪基底面,尤其是与康氏面和莫霍面的关系尚未搞清。M. H. 鲍罗杜林等人推测,北顿涅茨克逆掩断层可追踪到莫霍面(Гавриш, 1974, 图25, a),而A. K. 米哈列夫等人(1976)则否认这种关系。倾角随深度增大从20°到70°间变化,以及逆掩断层在顿巴斯的广泛发育使我们有根据推测,沉积岩中的逆掩断层与花岗和玄武岩层中的断裂有着间接的联系。它们大概是由于断块沿断裂带的反向运动和顿涅茨克冒地槽区构造环境回返,以及沉积岩的重力蠕变而形成的(Гавриш, 1969)。它们是长期和多期形成的。根据B. C. 波波夫的资料(1965),马里耶夫逆掩断层1500米的总断距,是由普法尔茨和基米里(1200米)、拉拉米(250米)和萨文(50米)褶皱期的运动所引起的。

巴拉诺维奇—阿斯特拉罕双断裂的中部是一个缝合带(Ханн, 1973),往往被纵向的列斯科夫等地堑所复杂化,其边界断层不仅有时在前寒武系基岩中,而且在泥盆系中也能记录到(见图6)。这里经剥蚀而保留下来的扎顿斯克—耶列茨沉积的厚度(7和15号井),超过地堑范围之外同一地层厚度(8、12和3号井)的5~6倍。沿这些断层断块的活动,对于法门建造盐的沉淀和保存、使泥盆系(沃罗涅日—利文统)盐变为塑性状态以及裸露型(罗曼型)和隐蔽型(卡恰诺夫型)的盐丘构造的形成,看来也是有利的。

与巴拉诺维奇—阿斯特拉罕深断裂的南双断裂相一致的是一个重力台阶,以及科谢列夫、普利斯科夫—雷萨戈夫、利波沃多林等前寒武纪基底纵向凸起,这些凸起被一些限制布利斯托夫地堑的纵断层所复杂化,地堑内充填着泥盆系的盐层(见图6)。在石炭系中南双断裂是一个显示微弱的断裂之上的隆起系。有时石炭系地层内的一些小凹陷与基岩顶面的隆起相对应。

塔索—卡缅断裂 可以作为一个例子来说明深断裂具有极其复杂的内部结构的特征,它在外伊犁山脉的老地层中绵延距离达40公里以上。根据B. A. 涅夫斯基的资料(1967),这条断裂几乎到处都是一、二个主构造位移面,并被一些强烈变形的岩带所围绕。这些岩带的总厚度从数十米到数百米不等。而且常是小裂缝特别密集的地带。这些小裂缝形成所谓极小的石块(裂缝间距3~5厘米)。裂缝带的总厚度达100米以上。断层泥及糜棱岩带的厚度一般为20~30米。

在塔索—卡缅断裂带内,由云母—长石片麻岩组成的岩块比较发育,它们夹在绿色的角

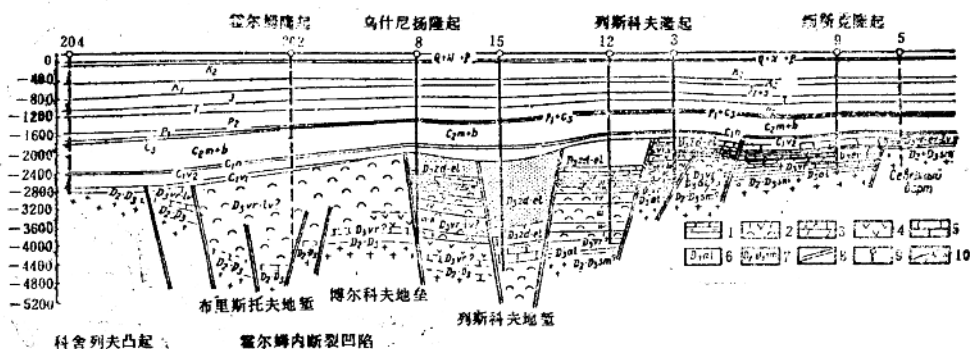


图6 横切巴拉诺维奇—阿斯特拉罕深断裂走向的地质剖面(Л. И. Рябчун和
В. К. Гавриш据А. Д. Бритченко等人资料编绘)

1—扎顿斯克—叶列茨陆源及碳酸盐岩地层, 沉积底部有泥质标准层; 2—沃罗涅日—利文(г)含盐地层(I~VI—沉积韵律); 3—叶夫拉诺夫—利文(г)类似含盐地层, 系石灰岩、泥岩和泥灰岩互层; 4—叶夫拉诺夫时期的侵入岩层; 5—沃罗涅日(г)石灰岩—泥岩沉积; 6—阿拉特砾灰岩层; 7—中泥盆和下弗兰统陆源—碳酸盐岩地层; 8—断层; 9—完钻井; 10—前寒武系基底面, 据 М. В. Чирвинская 的资料

闪片岩和花岗闪长岩之间。这些岩块的厚度20~500米, 其长度可达5公里以上。从北东走向的塔索—卡缅断裂上, 分出一系列的、呈羽状排列的、东西向的陡倾断层, 长达1.5公里。沿这条断裂、有大的裂缝型的白岗花岗岩侵入体和一系列闪长岩、正长岩、正长斑岩岩墙, 以及辉绿玢岩、闪长玢岩和钠长岩岩墙。

因此, 上述的以及其它的断裂, 使我们有可能根据各种不同的标志对深断裂进行分类。

按照平面分布情况 深断裂可分为区域性的和跨区域性的。后者可对应从地槽区向地台区过渡的穿通型的深断裂。B. E. 哈因(1964)划分为超穿通性断裂或超构造线。在大洋中部中脊的形成与这些断裂有关, 而在向大陆的过渡带内则形成地台基底断裂, 它们把地台分成大型的隆起地块和下降地块。罗蒙诺索夫水下山岭、新西伯利亚群岛、维尔霍扬大复背斜的西界、鄂霍茨克古老地块、萨哈林群岛和北海道的褶皱构造、本州岛的北部以及伊豆—小笠原岛弧, 就位于走向大致沿东经140°这样一种断裂上。

按照断裂埋藏深度 深断裂划分为壳下深断裂, 穿至地壳底部或更深; 中深断裂, 达到的深度为100~300公里; 超深断裂或地幔断裂, 形成深度400~700公里(Хайн, 1973)。同一断裂的埋深在平面上往往是变化的, 而且可由深断裂转变为壳断裂。

按照断裂形成应力的主要作用方向 可以设想把断裂划分成三种类型: 1)区域平移型(Регмогенный)(红海和死海型), 由地幔中的对流及其它作用所引起的地壳块体的水平位移, 在其形成中起着主要作用; 2)裂谷型(顿诺—第聂伯型或莱茵型), 在其形成中, 占优势的是壳下岩层的垂直上升运动, 在穹窿形成范围内地壳上层的水平张力不大, 穹窿被潜断裂网错断(很明显, 它们是自上而下发育的); 3)区域逆冲(хамелогенный)型(阿布杜林斯克—谢尔纳沃德型), 是在壳下底层岩石压实物质(Шатский, 1964; Субботин等, 1968)以及地壳下部岩层水平张力作用下(Гавриш, 1974)由地壳下沉而引起的; 看来这些断裂是由下而上产生的, 有时是继承更古老的断裂而发育起来的。

很明显, 裂谷型和区域逆冲型的断裂是褶皱区以及大陆和大洋地台系统内部结构的组成

单元，位于壳下和中深部位，因为上升(下降)运动的发源地在软流圈(Гутенберг层)，上地幔物质受到多态的(Субботин等, 1968)、温度的及其它转化的影响。拉张型断裂可能位于壳内也可能在超深部位，直达下地幔，在那里产生物质的全球对流循环，而且是超深地震震源的位置所在。它们在发展过程中通常是独立的。其中许多想必是在地壳形成的早期阶段受旋转应力的影响而形成的。

按照地壳主断裂和断层的断面倾向，以及两盘总的位移方向即运动的性质，深断裂也可划分为三种类型：正断层型、逆断层型和平移断层型，同时根据它们在上部沉积岩中的表现又可划分为正-平移断层、逆掩断层、推覆大断层、平移-逆掩断层、下冲断层和开断层。

断裂的运动常随时间而变化：地槽发育阶段的正断层，不仅在造山期(Суворов, 1962)，而且在地台阶段当大地构造环境回返时(Гавриш, 1969)，都可转化为逆断层。大型逆掩断层或推覆大断层都与直立的或缓倾的断裂有关。平移断层是块体的水平位移引起的，而正-平移断层则往往是在地壳块体下降—上升的时候(Бондарчук, 1976)形成的。一般在深正断层中最多的是其两翼有垂直位移。

板块构造的拥护者们还划分出一种深下冲断层(扎瓦里茨基-贝尼奥夫带)，岩石圈板块沿其发生大的水平位移，主要是大洋壳沿倾斜的断裂面向大陆壳下俯冲。这就促使在广宽的消亡带上形成褶皱。

每一种型式的断裂都相应地形成一定型式的褶皱。按照A. B. 裴伟的意见(1960)，在地台盖层沉积中以及在封闭的地槽固化的地块上形成的褶皱(地台型的，日耳曼型的褶皱)与正断层有关。叠瓦状的和推覆型的线状褶皱都与地槽区的逆掩断层有关，而阿尔卑斯型褶皱则与挤压带有关。平移断层促使原生-交叠型(哈萨克斯坦型)即大量短轴的不连续褶皱的形成。

按照断裂在各级构造间的位置，可划分为大洋边缘断裂，把大陆与大洋分开；克拉通边缘断裂或边缘缝合线，它们处在地槽和地台的边界上；内地槽边界断裂，它们把地向斜拗陷与地背斜隆起分开；地台型断裂，它们区分地台上的地盾、陆背斜和凹陷，而且它们还可分成古老地台上的断裂和年青地台上的断裂，在古老的前寒武纪地台上褶皱构造被反倾向的断裂切断，而在年青(古生代和中生代)地台上则为顺倾向切面。

T. 威尔逊(1965)、P. 弗兰德(1974)等人划分出一种特殊类型的断裂，称为转换断层，这是一种横向断裂。洋中拗陷的一些区段沿这种断裂从一个扩张轴向另一个消亡轴产生明显的位移，而沿断裂移距不减，这种断裂通常不是发生于中脊本身及其裂谷带形成之后，而是在其形成之前就形成了。大洋中脊和裂谷带好像是牵就了这种早已存在的、与其呈横交方向的破裂(Ханн, 1973, 图113)。据推测(Кузьмин, 1976)，转换断裂是岩石圈板块的边界线，应当贯穿整个岩石圈。

按照断裂呈现时间的长短，断裂可分为继承性的、新生的、复活性的和潜伏性的(盲断裂)。继承性的发展可以表现为连续的(同沉积的)，也可表现为间断的(后沉积的和同沉积的)。同沉积发育起来的断裂，其断距从老地层向新地层是逐渐减小的，而间断发育的断裂的断距则是跳跃式地变化的。

现有资料表明，深断裂——这是一个独特的地质体，其内进行着极其复杂的热动力过程，这种过程与地球的热动力系统有着紧密的联系。“断裂体的描述经常与研究的任务有关，因而这种描述不可能终结”(Косыгин, 1969, 153页)。因为我们的任务是认识石油流体运移和聚集的过程，并确定埋深达7公里的石油及天然气田的分布规律，因此，我们将着重注意的是岩石表现为“脆性”的断裂的上部。断裂的下部由处于塑性和准塑状态的物质组成，本书不予研究。

第三章 深断裂在石油及天然气运移中的作用

大多数研究者认为,许多有用矿产的形成都与内力作用有关,这种作用是在地幔内部的高压和高温的影响下进行的。许多元素通过气、水或岩浆沿着深断裂带被带至地球表面,因为它们可深入到壳下岩石数百公里,而且有着长期的发育。据В. В. 别洛马索夫的资料(1966),张开裂缝的形成可以深达40公里。同时也有另一种推测(Мирчинк, 1972),在30公里以下的深度未必能存在可传导流体的断层。考虑到深断裂在流体运移中的作用问题的重要性和争论性,我们将只涉及那些证明有流体传导性质可能的深断裂和使其复杂化的断层方面的材料。

地下水或深层水及非烃气体运移的证据

В. И. 维尔纳德斯基(Вернадский, 1935), В. Н. 科尔采什钦(Корценштейн, 1976)等人认为,地下的水圈沿断裂、断层和裂缝,可以贯穿整个地壳直至莫霍面。В. И. 维尔纳德斯基写道(1954~1960, 第二册, 第17页):“在地壳范围内,水的作用是非常大的……在20公里深度以内它的重量不会低于8%,而且大概在洋面以下60公里内也不见得能看出其数量有减少的迹象”。各种相态的水的总质量,游离态的约为10亿立方公里。此时重力水约占1.5亿立方公里,束缚水约占4亿立方公里,莫霍面与康拉德面之间的游离水约占5亿立方公里。В. Н. 科尔采什钦所进行的计算(1976)表明,溶解有甲烷、氮、二氧化碳、硫化氢、氢、氦等气体的水圈,其潜在容量将超过100亿立方公里。

按照А. П. 维诺格拉多夫(Виноградов, 1964)的概念,在全部地史过程中(45~50亿年),地幔中所含的5~10%的水、钠、氯、氦和大约1.5%的碳氢化合物曾被带到大气圈和水圈。地壳和地幔的深部脱气作用主要与构造活动带有关,这种活动带的特点是广泛发育深断裂,强烈的地震以及火山作用。

根据Д. Г. 奥西克(Осик)、А. Б. 涅恰也夫等人的资料(1976),达格斯坦地震时(1970年),断裂带内就出现过岩浆气体进入大气圈的情况,氢、氮、二氧化碳及甲烷超过空气中含量几个数量级。阿纳普(1966年)和达格斯坦(1970年)地震开始之前,沉积盖层的水的氯含量和含碱度明显增大,这里还见到由于沉积盖层气体被岩浆源的碳酸和甲烷冲淡所造成的甲烷和二氧化碳内碳同位素增加的现象。1974~1975年达格斯坦地震前,曾发现气体中烃的浓度增加,而水中的氯、钙、镁的浓度及总矿化度增加。发现在气体水化学的异常值与地震力(强度—译者注)之间存在着直接关系。

据B. 卢比(Rubey, 1951)的资料,美国本土的1000个岩浆水温泉,每年的水为3百万升,那么30亿年中析出的水,其体积将比当今世界海洋中水的体积大120倍。

关于岩浆水沿断裂带运移的概念,是确定地下水的同位素成份提供的。根据М. Ф. 舍帕德(Шепард)和С. 艾普什坦(Эпштейн)(1970)的资料,与SMOW^①相比,氘含量——48%±20%,

^①SMOW, 标准平均海水(Standard mean ocean water)——译者注。