

# 试论古全球构造与古生代油气盆地

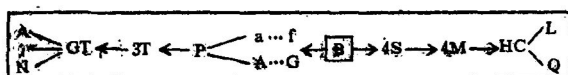
朱 夏

(地质矿产部石油地质研究所)

## 基 本 概 念

六十年代初,我曾指出今后寻找油气资源的工作重点将转向两种类型的盆地,一类是阿尔卑斯期(中新生代)的盆地,另一类则是受阿尔卑斯运动体制改造了的早期(古生代)盆地<sup>[1]</sup>。二十年来全世界油气资源的重大发现,都符合于这种设想。我国以往找油工作较多地着重于前一类盆地,成效显著,在后一类盆地中也有所发现。随着新一轮油气普查工作的开展,前一类盆地固然还有很大的潜力,但后一类盆地势必受到更多的重视。本文拟在资料十分不足的情况下,对后一类即被改造了的我国古生代盆地的形成机制与性质略加探讨,以供今后实践的检验。

在前述同一论文中,我强调寻找油气工作必须从盆地的整体出发,率先了解其全貌,从中找出有利的地区。而每一个大型盆地又都是在复杂的基础上通过多种机制,经历几个演化阶段形成的,如断一坳的转化与结合,以及先后期的叠加等。因而它包含着不同的组成单元与构造层次,具有各别的含油气性。盆地的这种一方面同油气的生聚条件,另一方面同控制其形成、演化的大地构造(全球构造)背景的关系,我曾试拟了一个简单的程式来表达(图1)。约2亿年以来的新全球构造(板块构造)对中新生代阿尔卑斯盆地,



- GT——全球构造(Global Tectonics)  
 A——古全球构造(Ancient Global Tectonic)  
 i——中间阶段(intermediate Stage)  
 N——新全球构造(New Global Tectonic)  
 3T——时代(Time), 构造处境(Tectonic setting)  
 热体制(Thermal regime)  
 P——盆地的原型(Prototypes)  
 a, b, ...f 古生代(包括中间阶段)盆地原型  
 A, B, ...G 中、新生代盆地原型  
 4S——盆地的沉降作用(Subsidence)、沉积作用(Sedimentation)、应力条件(Stress condition)、独特风格(Style)  
 4M——油气在盆地中产出的物质(Material)、成熟度(Maturity)、运移及圈闭(Migration and Non-migration)与保持(Maintenance)的条件  
 HC——油气藏(Hydro-Carbons)预测  
 L——位置(Location)  
 Q——数量(Quantity)

图1 盆地研究工作与全球构造及油气集聚的关系

特别是对中国的板内盆地在其形成与演化机制方面的控制作用(程式的左段),我已在一系列论文中加以探讨<sup>[2,3]</sup>;至于古生代盆地同“古全球构造”(从晚元古代至石炭纪)以及同“过渡时期”或“中间阶段”(包括二叠及部分三叠纪)的运动体制的关系,则是本文论述的主题。

“事物发展的长过程中的各个发展的阶段,情形又往往互相区别……因此,过程就显出阶段性来”(毛泽东:《矛盾论》)。我们曾试对晚元古代以来的盆地发展作出阶段性的划分。在1965年与1978年<sup>[1]</sup>的文章中曾一再强调“运动体制是随着地质历史的向前发展而改变的”,“运动体制的变化是形成含油气盆地的首要条件”。这里的运动体制是指包括构造体制与热体制在内的“物质运动形式的整体”,正如后来Silver所说:“地球的能量、力、作用、物质分布、温度、变化梯度、速度及其它因素都共同制约着地球的动力,而且所有这些都曾随时间而变化”<sup>[4]</sup>。盆地正是在这些变化中发展着。

从大的方面看,太古宙同元古宙运动体制的差别是明显的。元古宙的时间下限各处不同,从距今23亿年至27亿年,甚至还有个别更大或更小的数值。实际上这是一个运动体制改变的界限而不是一个固定的时间线。反之,元古宙的上限即与显生宙的界限一般被认为在距今6亿年左右。其主要依据是生物界的显著变化,而在构造活动方面则并无明显的标志。从海西、加里东一直到元古宙晚期的运动,如欧洲的 Cadomian,美洲的 Grevilleian,亚洲的阿森特(贝加尔)和我国的四堡、晋宁、兴凯运动等,其间存在着密切的联系。元古宙内部的运动性质和分期问题,目前还有不同的意见,但大多数人指出前10亿多年是一个转变时期,还有人认为“板块活动”从前25亿年起一度静止,到前10亿年左右又开始活跃,一直延续到显生宙。从石油地质的观点看,现知的油气藏时代下限可追溯到前9.5至10亿年。所以我们的讨论可以前10亿年或略早一些作为起点,按运动体制的演变,分为这样几个阶段:

1. 从前10—12±亿年到前约2.8亿年,即从 Morel 的潘基亚(Pangaea) E到潘基亚 B<sup>[5,6]</sup>,可称为古全球构造阶段<sup>2)</sup>。

2. 从前约2.8亿年到前约2亿年,即从潘基亚的形成到分裂,或 Morel 的潘基亚 B到潘基亚 A 的较短时期,属于过渡或中间阶段。

3. 从前2亿年左右以迄现代,即从潘基亚 A 分裂以来,是板块构造活动的新全球构造阶段。

它们总体上相当于 Hain 从 Stille 的新地旋回(前1.4—8亿年以来)中划分出来的两个阶段,1和2相当于他的第一阶段。就地史演化过程说,总的情况是:第1阶段的“构造历史造成了这样的一个世界,那些原来散布在低纬度的大陆逐渐地移到一起,形成从极到极的一个连续的地障”<sup>[7]</sup>;第3阶段是“从一个只有一个大陆和一个大洋的世界转变为有好几个大陆和好几个大洋的世界”<sup>[8]</sup>的历史。中间阶段则显示了“一个并非不活动”的泛大陆(Morel, 1981),起着承先启后的作用。各个阶段的油气盆地是在各自不同的历史条件下形成和演化的。

1) 朱 夏, 1978, 关于我国陆相中生界含油气盆地若干基本地质问题的初步设想。《石油地质实验》专辑。

2) 更早的早、中元古宙与太古宙可分别称远古(Remote)与太古(Primitive)全球构造阶段。

这里我避免使用“古板块”或“古板块构造”这类名称,因为按定义来说,“板块”在从岩石圈的结构到动力学、运动学的涵义方面都有一定条件的约束。地球的许多性质是随着时间而有单向变化的,在约占地球年龄 $\frac{1}{4}$ 的漫长的10多亿年中,这些条件能否保持不变?运动的方式、性质、规模等等能否作完美的比较?目前提出来的鉴别“古板块”的标志(李春昱、郭令智等),似都具有多解性,要慎重对待。我认为下面从《大陆构造》一书的“结论与建议”中引用的一段话表达了一种较为客观的和实事求是的看法<sup>[9]</sup>:

“板块构造提供了一个框架,在它的范围内,我们可以对较晚近的大陆演化的许多作用

有所了解。但是在涉及愈来愈古老的大陆部分时,板块构造概念的可用性就愈来愈难以检验。不过大陆构造必须当作全球动力学体系的一部分来进行解释,而组成这一体系的一些作用是在地质时间中有所改变的”。

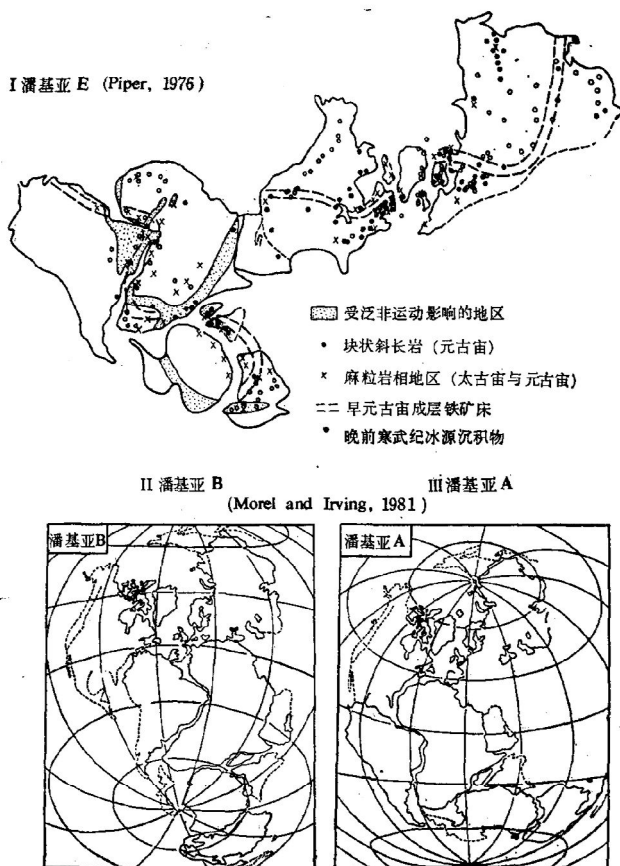


图2 三个潘基亚(不同投影)

## 古全球构造

早在元古宙中期(前23亿年),曾经存在着一个超级大陆(Piper, 1976)<sup>[10]</sup>,它从约前12—10亿年至前8.5亿年经历了断陷与分裂。Burke与Dewey指出了十一个年龄为11亿年左右的拗拉槽<sup>[11,11]</sup>。Sawkins列出了前12—10亿年间的25个热点与相应的张裂、伸展事件<sup>[12]</sup>。这些拗拉槽中普遍存在硅镁质的岩床、岩墙及岩墙群,可被认为是硅镁洋壳出现的先声。但有些拗拉槽的特殊性质(如Keewenawan的玄武岩拗拉槽)

1) 我在1973年把Aulacogen译作“拗拉谷”,用意是:1. 谐音, Au (拗)—la (拉)—co 或 ko (谷); 2. 释义, Aulacogen是指“经过拗褶回返的由拉张作用产生的古裂谷”。反之,未经拗褶的拉张新裂谷曾被Curtis (1980)称之为“伪拗拉谷”(Pseudo-aulacogen)。最近马杏垣教授建议改为“拗拉槽”,我欣然同意,并在下文中使用,因为以“谷”译“co”,不符合汉语标准发音;Aulacogen确是“槽”状的;而且“在体制上相似于地槽”(Nalivkin, 1976)。称之为“拗拉槽”,可以使“槽台体制”的涵义更为明确。

在晚期(中生代)裂谷中未曾见到。这种差别,可能反映了“元古宙时与中生代时地壳或岩石圈的刚性与强度有所不同”(Silver, 1980)。Piper提出的超级大陆,相当于Morel的潘基亚E。所依据的不仅是古地磁资料,而且考虑到麻粒岩相、斜长岩、早元古宙成层铁矿以及冰源沉积(Diamictites)的分布情况(图2-I),并可与Smith或Ziegler的寒武纪至早奥陶世古地理图相对应,所以我认为可以作为讨论古全球构造的起点。从这一时期的大陆分裂开始到晚石炭世潘基亚B(图2-II)的形成,由分而合,形成了一个完整的旋回。不过这一旋回是否完全可以用Wilson旋回的模式来说明,应该考虑到多种因素,特别是岩石圈与大陆大洋地壳在历史时期中刚性与强度(温度、压力与岩石化学变化的产物)的改变而审慎对待。Wilson旋回是由几个在不同地区处于不同阶段的地质现象组合成的,是一种逻辑推理,而从潘基亚E到B的旋回则是一个既成事实。所以与其用前者来解释后者以求其同,不如用后者来检验前者以存其异。这是用阶段论或演化论的观点来制约均变论的一条原则。

在探讨从潘基亚E到B的古全球构造时,应该:(1)把晚元古宙、加里东、海西运动联系起来作综合的分析。因为这几期运动总是构成一个多旋回的整体,元古宙晚期的和加里东运动的产物往往被卷入到海西造山带中。这一点在研究程度较高的欧洲和北美东部尤其明显,以至在这里要“在海西与前海西造山事件之间划出一条清楚的界限是不可能的”<sup>[13]</sup>。(2)潘基亚E看来还是一个不成熟的泛大陆,克拉通化还在继续进行,因此在这一泛大陆的不同位置上,如在已经聚合在一起的大型陆壳块体上,在两个相距很远的陆壳块体之间以及在这一古泛大陆与相应的古泛大洋相交接的部位上,可以有不同的演化方式。

1. 在已经聚合在一起的大型陆壳块体上 Iapetus (“古大西洋”)两侧的海西和前海西构造演化过程可以作为一个例子。在中欧与北欧,除了Iapetus的性质将在下文论述外,是否还存在其它的“洋”,尚有待证明。Zwart等认为即使存在,也都规模不大,扩张作用没有超出裂谷的阶段。有人主张(Burke and Dewey, 1973及其他)海西造山带的形成是由于晚石炭世“中欧洋”(Rheic ocean)的封闭和碰撞。中欧洋存在的主要依据是北欧与南欧-非洲三叶虫动物群的差别。但近年来的岩相古生物研究<sup>[14]</sup>认为中欧洋以及Nicolus (1972)等所主张的位置在更南面的“原特提斯”(Prototethys)洋的存在都未能证实。生物群的差别可能是由于有深水地带的分隔,但深水带不应同有硅镁壳的“洋盆”相等同。英格兰西部的Lizard蛇绿岩套残余,曾被作为海西俯冲带的主要依据,但它的年代未定,来历不明(外来的推覆)。Badham与Halls认为<sup>[15]</sup>,即使它是洋壳的碎块,也只是弧后边缘盆体的遗迹,它的向陆逆掩,不涉及到俯冲作用。因为“微陆块之间的侧向移动可以产生与俯冲作用无关的逆冲”。因此,越来越多的人作出了欧洲不存在海西洋盆的结论。对于与此相联系的北美大陆的阿巴拉契亚,Cady也否认有大洋底物质的存在,认为除了北部的纽芬兰一段外,这一“优地槽带”完全是硅铝底的<sup>[16]</sup>。

Zwart (1980)提出,中欧与西欧的构造可以用三个主要板块<sup>1)</sup>的或多或少的连续运动来解释。三者之间的拉张作用产生了小的和“偶尔是大的”洋盆或裂谷,它们又因为

1) 指北美—格陵兰地盾、Fennosarmatia地块及南欧—非洲地块,所以实质是三个陆壳块体。



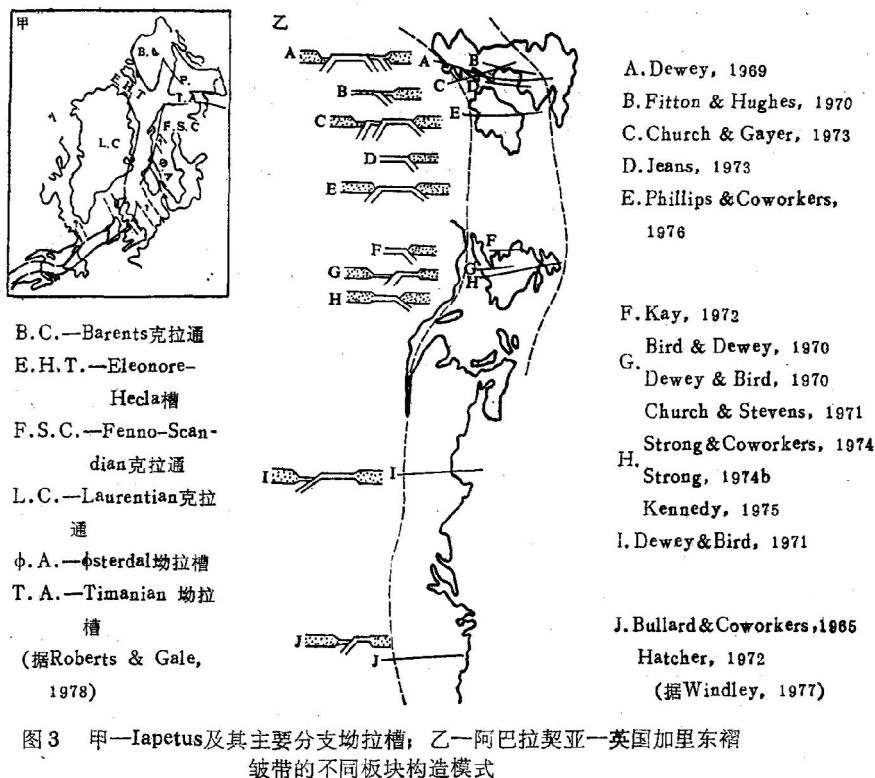
在别处发生拉张、伸展而受到挤压与褶皱。褶皱与碰撞的机制, Zwart 认为, 在主要的洋盆(唯一的代表是 Iapetus)内可以是俯冲与消减作用(参阅下段), 而在小洋盆或有薄陆壳的裂谷中(如在海西带和可能也在加里东带内的那些)则只是小规模消减。这种同时的此张彼合的活动方式, 曾被称为“手风琴”式。它的动力来自地幔的活动。显然, 当时岩石圈的厚度、地球内部的温度、热消散(Dissipation)的数量与方式或整个的热体制同中生代以后是不相同的。

虽然 Zwart 认为 Iapetus 是“较大的洋盆”, 并曾通过俯冲作用而消减闭合, 从而不同于其它的裂谷, 但关于 Iapetus 仍还有许多不同的看法: (1)从古构造关系看, Iapetus 是在已聚合的陆壳块体上由拉张产生的, 不是两个相距很远的陆壳的接合, 它的缝合线是不清楚的<sup>[17]</sup>。(2) Iapetus 存在的时间是短暂的, 从晚前寒武纪起有沉积作用, 到晚寒武世与奥陶纪即开始闭合。早奥陶世时, 从不列颠到北美这一段的宽度曾被定为1000公里, 但计算的误差可达 $\pm 800$ 公里, 所以是否能代表较大的洋盆仍是一个未确定的问题。(3) Iapetus 的整体是长条状的槽形, 有许多分支的拗拉槽和相间的微陆块。按板块构造的模式来解释整个阿巴拉契亚-不列颠褶皱带时, 对各个段落有无俯冲带及其时代、数量(1次或2—3次)和倾向都有各不相同的看法, 即使对同一段落也有不同的解释(图3), 难以得出定论。(4)纽芬兰的“岛湾”和苏格兰的巴伦特兰蛇绿岩体虽被认为可以和洋壳对比, 但由于是推覆体, 所以板块论者对它的原来处境也有不同的意见(Windley)。从它的层序看, 似很符合于 Coleman 所说的“小型的、不连续的洋盆”在碰撞期间的“另一种不同的蛇绿岩侵位方式”<sup>[18]</sup>。总之, 对这一地区的早古生代历史的看法, “近十年来有一种隐约的趋势, 即逐渐离开了有中脊增生的广阔洋盆的模式, 而更多地考虑许多小而相互连接的弧后与弧间洋盆, 包括一些部分或完全在硅铝壳上的小盆”<sup>[19]</sup>。它们的拉张与闭合并不完全遵循 Wilson 旋回所设想的规模和方式。

联系到中国的情况, 黄汲清早就提出了约8亿年前原中国地台的形成及其在早古生代的分裂。这一联接中朝、塔里木、扬子和藏北(羌塘)陆壳块体的原地台, 像上述包括欧、美、非的大型陆块一样, 在晚元古代与早古生代以拗拉槽的形式分裂。王泽汶等<sup>1)</sup>认为北祁连的蛇绿岩套是洋壳沿裂谷上升的产物, 这个裂谷同拉脊山及其间的微大陆(中祁连)共同构成一个裂谷系。南祁连则是不包括微大陆的早古生代扩张海域。这种扩张可能同 Zwart 所说的北、中欧裂谷相似, 宽度不超过200—500公里, 没有成为实质性的“大洋”。当这些裂谷封闭之际, 出现了西昆仑到柴达木南缘的海西地槽。这里虽然依次出现陆棚海、陆缘海和有火山产物的深槽, 但它的性质很可能同欧洲的所谓 Rheic 洋或 Prototethys 洋相似, 是在硅铝壳上发育的, 并非真正的扩张洋盆。很多基性超基性岩体是沿有复杂发展历史的大断裂带分布的, 它们侵位的时代和方式都未能确定。一些蓝片岩和混杂堆积的出现, 也都同大断裂有关。它们的成因有多解性, 不能以洋壳俯冲作为唯一的模式来解释。

正如欧洲的海西带被卷入到阿尔卑斯带而难以划分, 这里在海西褶皱带的基础上, 古生代末至三叠纪早中期出现了金沙江—可可西里及其东西延展的古特提斯洋的扩

1) 王泽汶、吴向浓, 1982, 青藏高原北部的构造轮廓及其有关的几个大地构造问题。中国地质学会成立六十周年论文摘要汇编。



张。它曾使羌塘块体南移并在印支运动时期向北闭合，同时还有一个分支坳拉槽伸向青海南山以至西秦岭。两个世代的构造运动叠加，构成了复杂的图案。这一古特提斯的宽度可能也不很大，当在它南面的班公湖—怒江特提斯洋壳扩张时随即闭合（印支运动）。

对比欧洲与中国这一部分的古生代构造演化，可以认为，在应用现代板块构造的模式时，有必要更多地考虑到不同的历史背景与条件。特别是一些深槽中未必出现洋壳，而局部的狭窄的洋壳未必能够俯冲。

2. 在两个相距很远的陆壳块体之间的地区 可以西伯利亚与中朝—塔里木陆块之间的蒙古地槽褶皱带为例。这一地带的北部广泛分布着前里菲杂岩系，成为加里东褶皱的基底。扎依采夫<sup>[20]</sup>等认为，“在蒙古北部地块的大部分面积上，上里菲—寒武纪的地槽拗陷分布于业已形成了花岗岩—变质岩层的大陆型地壳之上”。这里的“蛇绿岩建造”的许多露头极有可能与前寒武纪硅铝基底的破碎、裂开和地壳下岩浆物质沿深断裂带的上升有关，因此构造型式主要是坳拉槽式的。仅在北蒙地块西部的“湖泊带”地区，没有看到古老变质岩石的露头，文德—寒武纪地层中有一整套典型的优地槽岩石，在其东南部分有完整而又互相联系的蛇绿杂岩岩石序列，所以这一部分“可作为形成于大洋型地壳上的优地槽的代表”。这种大洋型地壳可能就是Watson (1973)所说的“残存在克拉通之间而仍保持着太古宙状态的狭窄的（数百公里）地壳与上地幔岩石带”（引

自 Tarling, 1978)。但是也有一些蛇绿岩体, 如湖泊带东南的汗太希尔蛇绿岩, 卓年萨茵认为是“充填在沿古亚洲大洋边缘存在的滑动带的伸张地段内的”(1977)。这一“洋盆”以西, 是中古生代的额尔齐斯-斋桑洋盆, 卓年萨茵(1973)认为它是由于原先连接在一起的西伯利亚和哈萨克斯坦两个大陆的分离而形成的。并“由此得出结论: 新洋盆的开启导致老洋盆的闭合”<sup>1)</sup>。也就是说, 这里在总体上仍表现出“手风琴”式的风格。

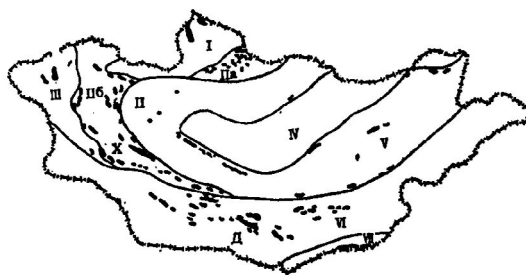


图4 蒙古的构造分区与蛇绿岩分布(据卓年萨茵, 1977)

黑色点—蛇绿岩露头。 I—滨库苏泊的晚前寒武纪褶皱区;  
II—北蒙早加里东带; IIa—治达优地槽带;  
III—湖泊优地槽带; IIIb—蒙古阿尔泰晚加里东带;  
IV—杭爱—肯特海西带; V—中蒙加里东带;  
VI—南蒙海西带; VII—晚古生代索隆克尔带。  
蛇绿岩组合: a—佐伦组合; x—汗太希尔组合

蒙古中部的大断裂分开了上述北面的加里东带和南面的海西带。海西期构造对北蒙来说是“形成于早加里东和更古老的花岗岩化了的基底上的叠加构造”, 而南蒙系则被解释为洋型地壳之上的地槽系(扎依采夫等, 1977)。对于这一“南蒙海西洋盆”有以下几点值得讨论:

(1)卓年萨茵(1973)指出:“问题在于: 这些(中古生代)洋盆是什么性质的? 它们是原始大洋的残余物, 还是只是在中古生代才产生出来的? 作者认为, 后一种意见是正确的”。所以它同在它以前的加里东“洋盆”一样, 是在潘基亚 B 的范围内通过陆壳的拉开而产生的。据别尔菲列夫的意见(1977), 乌拉尔古大洋构造也是“在寒武纪末—早奥陶世, 由早已存在的前寒武纪大陆地块的破裂、拉开产生的”<sup>[21]</sup>。有可能这些地区的陆壳比较薄, 并因远离陆块而缺失沉积物, 但并不存在广阔的“原始大洋”。

(2)同一作者认为: 复原了的中古生代洋盆“或是像蒂勒尼安海那样的内陆海, 或是像日本海那样的边缘海”。后一种可能性的前提是“塔里木地台和华北地台要在晚古生代才从南面漂移过来”, 这是缺少事实根据的, 所以作为内陆海的可能性更大一些。这一内陆海的规模是有限的, 因为据同一作者, 即使把晚里费期和早古生代都包括进去, 洋盆的面积也只有大约  $1000 \times 3000$  公里, 只能“相当于大型的边缘海和小型的大洋(如大西洋的狭窄部分)”。北里海凹陷似可作为这类“小洋盆”的“活标本”。据 Burke, 这里在厚达 14 公里左右的沉积物之下可能有泥盆纪时形成的洋底, 但它从未受到过俯冲或逆冲作用。

(3)蛇绿岩套的年代变化很大, 从一些地区的晚奥陶世至早志留世到另一些地区的晚泥盆世和早石炭世, 说明它们的发育是多旋回的, “新洋盆的开启导致老洋盆的闭合”。虽然存在着蛇绿岩的时代整体上从边缘到中心愈来愈新的规律, 但卓年萨茵已经指出, 这点同大洋壳从中脊向外时代愈来愈老的性质是不相同的。整个海西洋盆的闭合时期也

1) L.P. 卓年萨茵, 1973, 中亚地槽在海底扩展下的演化。译文见《石油地质科技情报》, 1976年, 第3期。

不是同一的,大体上西部早于东部。

(4)“在蒙古境内,还具有一种在其他地区显示较差的重要特征。如果说在世界许多地区中,由蛇绿岩组成的构造板块一般产于以前大陆边缘区的碳酸盐—陆源沉积之上,也就是发生在洋壳岩块向大陆逆掩的过程中,那么在蒙古境内相反,正如汗太希尔和佐伦山脉中查明的,大陆边缘区的沉积在构造上超覆蛇绿岩,而同时也覆在岛弧杂岩上,即在这里,大陆岩块向海洋盆地进行逆掩”<sup>[22]</sup>。这一事实的指出,颇关重要。因为在板块构造的概念指引下,洋壳的俯冲常被广泛地应用。我曾经提出,俯冲作用受到洋壳的规模、刚性、强度以及是否有扩张脊形成等因素的制约,并不是洋壳总能顺利地滑入陆壳的下面。Hamilton曾为狭窄的“洋盆”提出一种他称为“雪撬”式的机制,即洋壳在陆壳之间受到“蹂躏”。对古生代的由陆壳伸张而被动地产生的狭窄的洋盆来说,“大陆岩块的逆掩”可能有更普遍的意义。

在古生代“洋盆”南侧的我国境内,构造发育的过程同北面类似,但范围较窄。在西段,南天山是早古生代发生在塔里木地台上的坳拉槽,使中天山与地台主体分离,到志留纪张裂较深,有上地幔物质上升。自北天山往东,沿中朝地台北缘有一条狭窄的加里东带,更北就是所谓“海西洋盆”的范围。两端在准噶尔盆地和松辽盆地的下面可能存在着古陆块,但据较新的地震资料,其范围似乎尚难断定。多处分布的蛇绿岩,说明这里曾有硅镁壳的出现,但它的时代不一,表示海西褶皱带是经历了多次运动的。大体上西部的褶皱完成较早,准噶尔盆地下面的上石炭统已成为盖层。东部的活动可能延续到早二叠世。至于晚二叠世在西拉木伦河的南北对接,则可能已在硅铝壳上进行,伴有大量的晚海西、印支花岗岩浆活动。这种对接是否同欧洲的海西褶皱相似,与底流作用(Subfluenz,见下文)有关,值得考虑。另外,出现在塔里木—中朝陆块以北的蛇绿岩,是否有一些也像北侧那样属于沿滑动带的充填或受大陆岩块的向北推掩,在今后工作中应进一步探讨。

总之,在西伯利亚与塔里木—中朝两大陆壳块体之间的地区,并不是长期存在的辽阔广大的洋盆。从晚元古代到晚古生代,可能在原始的较薄陆壳上(如Zwart指出的西北欧那样)曾经历了坳拉槽的拉张与闭合、硅镁壳在不大范围内的出现与消失、“手风琴”式的此张彼合、以及“雪撬”式的陆块推掩等等机制,终于以北宽南窄的不对称形式相向对接。由于地壳的多次缩短,按古地磁资料测得的相距在4000公里以上(McElhinney, 1973)的两大大陆块体逐步接近和联合,最后共同成为潘基亚B的一部分。

3. 围绕着潘基亚E的是当时的泛大洋(Proto-Panthalassa),在二者相接的边缘地带,又是另外一种构造情况。Dickinson曾指出,在潘基亚A的周围不一定都有俯冲带,潘基亚E的周围可能更加如此。试以北美西部的科迪勒拉为例来作些分析。这一造山带的构造演化,所有的学者都认为应该划分为晚元古代至晚古生代、中生代与新生代三个不同的阶段,构造活动方式各不相同。古生代末的北西走向板缘边棱显然切截了以前的北北东向古生代大陆边缘。中生代以来的由于太平洋板块俯冲而产生的各种构造活动,已得到比较明确的阐述,而对于晚古生代以前的构造发展,至今存在着分歧的看法,图5表示了这些分歧的一部分。

问题的关键在于:怎样从一个面向泛大洋的被动边缘转化为活动边缘?当时的泛大

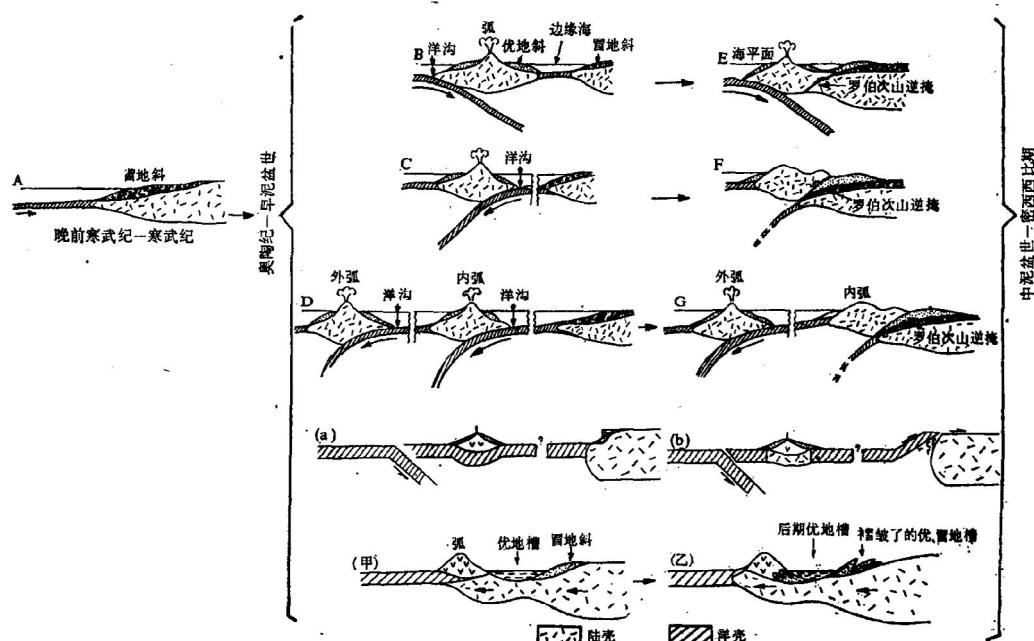


图5 北美西部科迪勒拉带早期活动的不同板块构造模式：

B—E, C—F 据 Burchfiel 与 Davis (1972); D—G 据 Stewart (1972), 引自 Condie (1978)。 (a) — (b) 据 Swinden 与 Strong (1976), 引自 Windley (1977)。 (甲) — (乙) 本文作者的修正意见 (参阅正文)。

洋的历史不能用 Wilson 旋回来解释。太平洋中脊的形成，同大西洋、印度洋的中脊相联系，看来也不能追溯到中生代以前很远的历史时期。科迪勒拉的晚元古宙到早古生代的岩层“可被划分为三个从东到西越过大陆边缘的沉积序列：(1) 一个薄的克拉通或地台序列；(2) 一个沉积在广阔大陆架上的冒地槽（冒地斜）序列；及 (3) 一个部分地沉积在大洋地壳上的碎屑-火山岩（优地槽）序列”<sup>[25]</sup>，显然是一个被动型边缘。奥陶纪以后出现了一个以小洋盆同主大陆分开的位于大陆边缘的海外火山弧（克拉马特）。泥盆纪的安特勒造山事件时，地槽沉积物向东仰冲到地台上。如按板块俯冲模式，这一“大陆-岛弧碰撞，应该导致岛弧增生至大陆上，并使增生了的边缘向西移动许多公里，但在中古生代安特勒造山作用中，大洋物质在大陆西缘的增生看来是极少的”<sup>[26]</sup>，而且，此后深水再一次抵达西部，“另一个稳定边缘沉积阶段（密西西比期以后）也就接踵而至”<sup>[24]</sup>。为了迁就这些事实，在板块构造模式中不能不引入极性倒转的向西俯冲的毕鸟夫带（一次或两次）的概念，以便使这一岛弧再一次向西离开大陆。最后才整体地为古生代末至中生代的太平洋板块向东俯冲作用所改造。这种复杂而分歧的设想，虽然都力求符合现代板块构造的模式，但未免失之牵强。像弗兰西斯科那样的中生代混杂增生杂岩体，在古生代从未出现。这种差别，正如 Coleman 所说：“还没有完善的证据展示现代增生板块边界的作用同样贯穿于显生宙，扩张速度的变化、局部熔融的程度、软流圈流变性质的缓慢变迁以及岩浆的成分，将共同或单一地导致大洋地壳的厚度、形态和组成发生显著变化”，从而使板块边缘在不同时期从被动边缘转化为活动边缘，或者岩

石圈从偶合关系 (Coupling) 改变为拆离 (Decoupling), 而首先起作用的必然是在大陆地壳与大洋地壳过渡的部位。对现代被动边缘上的这一部位, 现在还研究得很差。Bott (1971) 曾根据应力配置的状态, 认为被动边缘的沉降是由于大陆地壳中下部物质在边缘部分向洋壳下面的上地幔作进行性的粘性或可延展性蠕散 (Ductile creep), 在它上面的地壳则通过弹性弯曲或 (犁式) 正断层而沉降。"这些外流的陆壳物质在早期可能一部分被结合在组成新洋壳的贯入岩浆中, 另一部分则被保留在陆阶之下的洋底上地幔中"<sup>[25]</sup>, 可以预期这种较轻的大陆物质终将使大陆阶发生补偿性的上升。随着这种上升, 流入的大陆物质作为火山喷发物出现是完全可能的 (虽然现今大西洋边缘的发育还没有达到这一阶段)。上述克拉马特火山体由玄武-安山质角砾岩与凝灰岩、水下凝灰岩、枕状玄武岩及其角砾以及一些无结构的水下

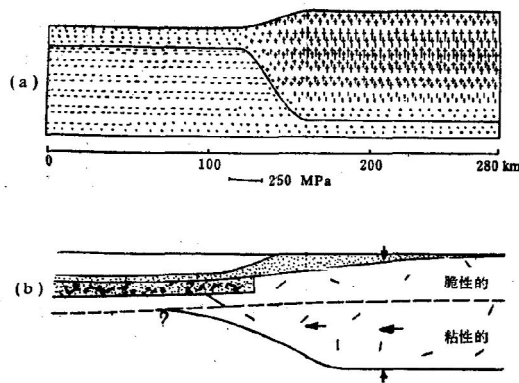


图6 Bott的地壳流动假说 (1981)

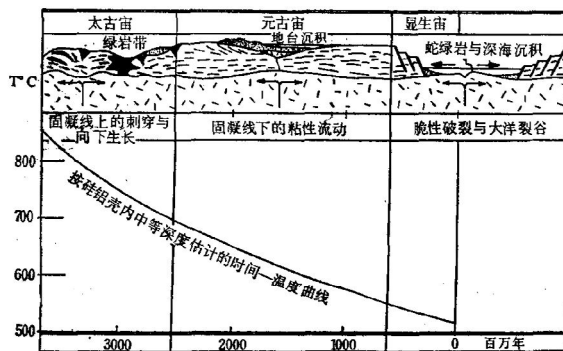


图7 不同地质时期内硅铝壳对软流圈扩张不同反应  
(据Wynne-Edwards, 1976)

或水上熔岩组成, 同中生代以后的大洋蛇绿岩与岛弧安山岩的性质很易于区别 (Windley 等)。所以这一岛弧及其内侧的古生代地槽 (因地壳物质的外流、陆壳的减薄、地幔的隆起而沉降) 在成因上更可能同在早古生代面向古泛大洋的被动边缘上大陆物质向大洋的粘性伸展和推进有关, 而不是由于当时还不存在洋中脊, 也还没有足够刚性与强度的古泛大洋洋壳的俯冲。另外, Wynne-Edwards<sup>[26]</sup>曾提出过一个所谓“千足虫”模式 (Millipede model); 认为大陆壳内物质的粘性流动结合地幔的热上涌可以在硅铝壳上形成拉张的沉积盆地, 并且在热地壳的单向粘性流动下使沉积物发生变形与变质。这一模式虽是用来解释 9—10 亿年前发生在硅铝壳上的 Grenville 造山带的, 但鉴于科迪勒拉的沉积史可追溯到晚元古代, 结合 Bott 对现代被动边缘上地壳物质粘性蠕散的观点, 有必要考虑这种方式在全全球构造中的一些重要意义。科迪勒拉古生代造山带的推掩方向主要是向东指向大陆的, 但在克拉马特中央变质亚省内曾经形成过具有向西指向的褶皱。它们的产生以及在安特勒事件以后的密西西比期至早二叠世沉积与构造的发展, 都可被看作是北美大陆在中生代前不断向古太平洋蠕散推进的结果, 也就是说, 在太平洋“传送带”形成以前, 古生代曾有过“千足虫”式或“雪撬”式的由陆向洋推进的构造



机制。

在“传送带”式的洋壳向陆壳俯冲以前先发生“雪撬”式的陆壳向洋壳仰冲或推进的迹象,甚至在晚近的某些活动边缘上仍可辨认。Hamilton在研究爪哇海沟时指出:“一个外弧盆地的发育,只能是在大陆板块的边棱是由一块洋壳组成的地方。盆地的形成是由于这一块边棱的上升,而不是由于中心的沉降。这种上升可能是它塞进到增生的混杂岩带下面的结果。如果增生的楔状体直接镶嵌在大陆地壳的边棱上,就不会有盆地存在”<sup>[24]</sup>。所以,可以设想,洋壳的俯冲是继承陆壳向洋壳的蠕散推进或仰冲而发生的,因而在大多数地方的俯冲带是倾角很小的智利型。一些毕鸟夫带倾角陡峻的玛丽亚纳型俯冲带,只是出现在西太平洋,而且发生的时间很晚(第三纪以来),这是因为它们的“前身”不是平缓的大陆推进或仰冲带,而是近乎直立的平移或转换断层(Hilde等)。我曾在另文中论述及此,Aubouin(1981)也提出过“(西)太平洋甚至从来没有向大陆移动过”的怀疑。

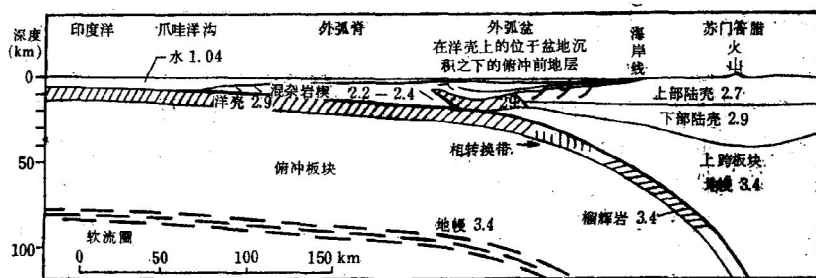


图8 爪哇洋沟的剖面(据Hamilton, 1981)

(注意附着在陆壳边缘的小块洋壳的仰冲性质)

我国东南地区,雪峰、加里东、海西造山带自西向东、由陆至洋依次发育,大陆增生的现象十分明显。谢家荣曾首先应用硅铝、硅镁(Ensialic, Ensimatic)壳的观点予以叙述<sup>[27]</sup>,郭令智等指出这里发育着几个沟-弧-盆体系<sup>[28]</sup>,是洋壳俯冲带依次向大洋退却的结果。从另一角度看,我认为“沟”的迹象在这里并不明显。褶皱带的结构可以同上述古生代科迪勒拉的两期构造活动相类比,即每期可以分出一个面临大洋壳的优地槽-火山带,它的后面是由于陆壳拉张减薄而沉降的冒地槽或盆地,在拉裂较深的部分出现基性或超基性岩体的上升,然后是前一期形成的褶皱带或克拉通周边。例如雪峰褶皱带的后面有梵净山的超基性岩,加里东褶皱带的后面是晚元古一下古生代沉降的“湘桂海盆”和从浙西到桂北的断续出现的基性、超基性岩带,而政和大断裂以西的类似的带则是海西(印支)褶皱带后面的陆壳拉开部分。总体上说,从晚元古代到晚古生代,大陆地壳是通过可能的粘性蠕散逐步向大洋推进,一度减薄了的沉降地壳由于沉积岩的褶皱、变质和幔源岩浆的混合作用而得到补偿。至于琉球弧以东的洋壳俯冲,则可与北美的海岸山脉俯冲带相比,而且已是第三纪后期的活动了(关于这一地区中生代构造活动的性质,已在另文论述)。

**小结** 上文对晚元古代至晚古生代的“古全球构造”的三种不同情况试作分析。



可以概略地说,在这一阶段中,有过硅镁质壳的小规模的槽和盆的形成,而没有成为实质性的“洋”;有过硅镁质壳体的掩覆,但不是通过俯冲作用;有过硅镁质物质从底下和侧面向硅铝壳的增添,但不是由于从洋中脊扩张到毕乌夫带俯冲的机制。对于一个在冷却中的地球来说,十亿年以来的热体制与构造体制必然随着时间而有既相联贯又从量变到质变的阶段性变化(图1的3T),“以今论古”的原则应该考虑到这些方面。正如 Silver 所说:“我们对地球演化历史的认识涉及许多地球特性的单向变化的证据,这暗示着我们在采用现代地球动力学外推到较早的地质年代时必须谨慎”,“将这些研究单一地引导到(现代)板块构造范例中去是带有某种冒险性的”。

## 中间阶段的全球构造

经过上述在不同情况下的构造演化,以及在本文未作论述的大陆块体整体相对于地球两极及块体与块体之间的相对移动与旋转,一个新的潘基亚形成了。Morel 与 Irving (1981)根据古地磁资料,作出了石炭纪最晚期和二叠纪的潘基亚B的图件,以与大家所熟知的反映早侏罗世或晚三叠世情况的魏格纳潘基亚即潘基亚A相比较。我们曾把从B到A的这一段地史时期划分为一个“中间阶段”。正如 Morel 等所说:“石炭纪、二叠纪岩石含有大量煤、气和油,因而了解这些时代的大地构造格局具有重要的实用意义”。

全球性运动体制的转换应该说有历史性的连续一面,又有阶段性的差异一面。从这个中间阶段到在它以前和以后的古全球构造与新全球构造阶段,发生在空间上不同地区的体制转换,在时间上并不是“一刀切”的。例如,狭义的海西运动在欧洲结束于晚威斯特法尔(Late Westfalen)的 Asturian 褶皱幕,而阿巴拉契亚—毛里塔尼亚与乌拉尔带的褶皱则分别完成于 Alleghenian 与 Saalian 幕,冈瓦纳、劳亚与西伯利亚陆壳块体到晚二叠世才完全镶嵌在一起成为潘基亚。所以潘基亚B的图案并不完全反映中间阶段的起点。同样,几乎在潘基亚完全镶嵌的同时,在它的内部即已发生分裂,开始出现晚二叠世—三叠纪的古特提斯洋壳。潘基亚A的格局只是代表了稍晚时期解体作用已占主导地位的情况。Sawkins (1976)指出了这种大陆碰撞与大陆分裂在“启动同时性”(Initial synchronism)方面的矛盾,但这正是符合于“一切差异都经过中间阶段融合,一切对立都经过中间环节而相互过渡”这一自然辩证法原则的。

在中间阶段的全球构造体制中,下面几种机制对油气盆地具有重要的意义:

1. 底流作用 在西欧,尤其是在海西造山带占重要地位的西德,近年来许多地质学者都认为海西“洋”在那里是不存在的,海西地槽是在一个活动的、不均一的硅铝壳上演化的。主要的破裂和剪切(逆掩)带可以用“底流”假说来解释。“底流”是硅铝地壳物质对于在陆壳下进行的岩石圈地幔俯冲作用的反应<sup>[29]</sup>,这种地幔活动是由于岩石圈演化过程中热体制的改变。Zwart (1980)曾设想正是由于这种地幔活动在古生代末以后的位置迁移才产生了大西洋中脊并使阿尔卑斯造山运动得以发生。

在另一些地方,例如前述的蒙古地槽带,当海西期小“洋盆”在石炭—二叠纪封闭后,构造活动仍在进行,直到二叠纪末(甚或早三叠世)的南北陆块最终对接。这一段在硅铝壳上进行的构造活动,可能同样具有“底流”作用的性质,即为中朝地块下的岩

石圈地幔俯冲所引起。对接的不对称性以及近来关于晚海西以至印支期花岗岩侵入的报道, 可与欧洲海西带中同运动期或后运动期的花岗岩类 (Syn- and Postkinematic Granitoid) 的活动相比拟。再如中朝地台南侧, 当海西拗拉槽褶皱以后, 在二叠纪末或早三叠世也可能有过向南的底流活动 (印支期扬子地台的向北推掩加强了这一作用)。在向南北两侧的底流作用下, 先是石盒子系的普遍沉降, 然后是中朝地台东段的地壳缩短, 隆起、减薄, 后者不仅表现为南侧晚古生代地层 (包括二叠系) 的褶皱与逆掩 (向北), 而且为地台上的早中三叠世沉积受到剥蚀缺失和后来的中新生代断陷发育提供了条件。

2. 热体制的调整与塌陷盆地 (Collapse basin) 的形成 海西褶皱的完成和潘基亚B的出现同时也是地球热体制的一次重大调整。Holmgren (1975) 认为中新生代油气繁荣的“最深刻的内在原因是在海西运动同时或以后的地球热流量与能量平衡的重大改变”。Moody (1975) 也强调了“紧随着海西造山运动的高地热”的重要性。这种热体制的调整在构造体制上的重要反应之一是一些后造山塌陷盆地的形成。Ziegler指出<sup>[80]</sup>: 西北欧的海西前陆有两个大盆地 (被称为南、北二叠纪盆地) 在 Saxonian 期开始快速沉降, 并认为德国北部赤底层 (Rotliegend) 沉积中心的沉降可用晚石炭—早二叠世热穹隆的冷却来解释。被苏联学者称为“中间构造层”的在西西伯利亚海西褶皱带上发育的二叠—三叠纪断陷与拗陷属于同一性质。同样, 在较早发生的海西褶皱基础上, 我国准噶尔盆地的北部从晚石炭世以来即已形成盆地, 并已经证实有良好油气条件。类似的“塌陷”表现为中朝地台上石盒子系广泛盖覆了在此以前的不同岩相区以及晚石炭世地层向四川中部的扬子地台隆起超覆, 随后的二叠纪及早中三叠世地层最广泛地覆被了南方的广大地区。与此相应, 北美大陆上宾夕法尼亚—二叠纪盆地或沉积区的分布范围一般也超过了在它下面的密西西比—下古生界盆地。所有这些, 都证明了“世界上大多数盆地出现在华力西的某一幕之后”这一论点 (Umbgrove, 1947), 也表现了地球的热—构造体制在潘基亚B时期进入了一个新的阶段。

3. 大规模的平移断层与拉张盆地 欧洲的海西褶皱带在晚石炭世 (Late Westfalian) 固结以后, 南北向的挤压转变为东西向, 以致造山运动继续在阿巴拉契亚与乌拉尔进行。在南乌拉尔与北阿巴拉契亚之间出现了一个右移转换断层体系。据Arthaud与Matte, 它主要发生于石炭纪和二叠纪, 移动500—700公里<sup>[81]</sup>。Morel与Irving (1981) 据古地磁资料编制潘基亚B的图件时, 指出这一在冈瓦纳与北方大陆之间的右旋巨剪切主要发生在二叠纪和三叠纪, 推断的最小移动量达3500公里。这个问题尚未解决, 但可以表明, 大陆位移, 不限于侏罗纪及其后的时代, 而是可追索到三叠纪和二叠纪。泛古陆并不像魏格纳和后来的大多数作者所想象的那样一成不变, 而是或快或慢地连续进行演化的。这一巨剪切系派生了一些配套的剪切断裂和有关的拉张槽盆, 前者包括北美东部的Agadir与Chedabukto断层和欧洲的比斯开湾断层与Tornquist-Teisseyre线性构造。在欧洲的这种剪切产生了Oslo地堑和中央地块与波希米亚地块中的一些半地堑 (“滚板”式盆地 Trap-door basin), 其中常有碱性至钙碱性火山岩。德国北部与波兰低地下面广泛分布的火山岩也同这些断裂有关。

乌拉尔以东, 以上述的蒙古地槽带为例, 这里的断裂系统, 包括北西、北东、东西

和南北向的不同体系,曾经历了多旋回的发展,情况十分复杂。但据吉洪诺夫<sup>[82]</sup>,作为“岩浆岩渗入张性带”的以东西走向占优势的所谓内蒙火山带“显然形成于晚石炭世”,不过它的活动一直继续到早白垩世,所以对它的超过500公里(包括蒙古以外的达兰诺尔湖区)的位移总幅度还难作进一步的年代分析。但同欧洲相比较,这些平移断裂构造活动至少部分地可纳入中间阶段的全球构造体系。

在我国境内,对这一问题的注意还很不够。不过我认为连接祁连与昆仑的北东东向的阿尔金山左旋大平移断裂很可能在这两部分海西褶皱完成之际即已开始活动。柴达木东北缘的二、三叠纪断槽(中吾农山)未能西延。航磁资料指出的塔里木中部近东西向的分裂与二叠纪基性岩的出现,是否同这一较大规模的平移有关,尚待进一步研究。与此相应的古生代末近南北向平移可能曾出现在贺兰—龙门—玉龙一线,但为后来的变格所复杂化。

这种几乎涉及到整个潘基亚B的大规模平移,可能是产生二叠纪末到三叠纪初的古特提斯的主要原因,像新生代的地中海中部那样,古特提斯可能是从一些雁行排列的拉伸伸展开始的。

4. 古特提斯的发生 有人把“特提斯洋”分为北部的古特提斯和南部的新特提斯,并认为“前者的关闭与后者在晚古生代—早中生代的张开是一致的,或者前者的关闭就是导致后者张开的原因”<sup>[83]</sup>,我认为这样的命名,即把主要的海西带作为北部的古特提斯,是不确当的,但关于二者在张开与闭合的时代与因果关系的论述则是正确的。按流行的定义,我们把二叠—三叠纪的特提斯称为古特提斯,属于侏罗—白垩纪(可能包括三叠纪最晚期)的是特提斯(或称中生洋 *Mesogea*,但后一名称的涵义更为广泛),新生代(或包括白垩纪末期)发育的是新特提斯或地中海。后二者属于新全球构造的范畴,而古特提斯则是从古全球构造过渡到新全球构造的中间阶段的产物。它的出现看来是同上节所说的涉及整个潘基亚B的大规模平移有密切关系。

古特提斯的证实,在欧洲是近年来的事情,1977年许靖华根据从罗马尼亚获得的资料,第一次宣布“可能我们终于找到了已经消失了的三叠纪特提斯”。由此向西,它延展不远,而向东则通过克里米亚的南部、阿富汗,进入我国后在羌塘地块之北经巴颜喀喇山南折沿金沙江东岸与红河的蛇绿岩带相接。一个分支经东昆仑进入西秦岭。金沙江一带的情况,近年来研究得较为详细(陈炳蔚等),虽然还有一些不同意见,但总体上认为从二叠纪晚期出现洋壳,至三叠纪晚期发生以向东为主的俯冲,从而造成中国西部的宏伟的印支褶皱。康滇地轴和川滇的二叠纪玄武岩流溢,看来是同这一段时期的构造演化相联系的,并伴有近南北向的平移活动。

关于这一二叠—三叠纪古特提斯的向东延展,同太平洋板块的联系以及对中国东南部印支运动的影响等,已在另文论述<sup>[84]</sup>,这里只讨论几个问题。

(1)这一时期的特提斯是在北大陆内部的海西基础上发生的。有晚古生代华夏植物群的羌塘地块虽曾向南移动,但仍是古中国“原地台”的一部分。古特提斯关闭以后,在它南面发生的班公湖—怒江洋壳带(约在侏罗纪末关闭)才是北大陆与南大陆的界限(王鸿祯);更南的雅鲁藏布江洋壳带的发生可能在三叠纪末或更晚,关闭的时间则在始新世。在这二条中生代洋壳之间的念青—冈底斯地块是从冈瓦纳分离北移的碎块的先

驱。这种由北而南, 此合彼开, 而每一次开张又宽度不大历时不久的发展过程, 仍具有“手风琴”式的色彩。

(2) 虽然据古地磁资料, 从冈瓦纳分裂出来的碎块往北漂移的距离在2000公里以上, 但我曾引证过马克斯韦尔的观点, 认为“没有理由推断在非洲与欧亚之间曾有过大洋规模的侧向移位”, 即是说特提斯从来没有达到过大洋的规模。近来Sinha-Roy(1982)也认为许多分裂块体的存在, “减小了特提斯的宽度, 使之比原来设想的为窄”。大规模的漂移是由于从侏罗纪以来属于潘基亚A范畴的“传送带”活动, 而古特提斯则是从古全球构造阶段的断续出现的硅镁壳小“洋盆”到成带的洋壳扩张的过渡。“陆间地槽”和“边缘地槽”的差别是一直存在的。

(3) 不仅在“量”(洋壳扩张的规模)的方面, 而且在“质”(洋壳扩张与消失的方式)方面, 古特提斯可能也具有过渡的性质。现代大洋的形成是从洋中脊的扩张开始的。按现有资料, 特提斯洋脊的存在可追溯到中生代(如东地中海与西菲律宾海), 古特提斯是否已按洋中脊扩张的方式而发育, 尚有待证明。不过, 我国西部规模巨大的印支褶皱带是由于洋壳俯冲而引起, 经过许多人的研究, 已有较多的证据(陈炳蔚等)。东南部的印支构造与岩浆活动, 我在另文中论证过; 可能也是由于联结特提斯与太平洋的东西向古特提斯扩张脊的向北俯冲。这些情况也许可以间接说明古生代末期的新生洋壳已具有足以俯冲到陆壳以下的强度(见下文), 从而过渡到现代模式的板块构造格局。

5. 陆块边缘构造格局的改变 上文曾对北美西部科迪勒拉的中古生代(安特勒)构造运动性质作了一些论述。经历这次运动, 密西西比期以后的优地槽沉积仍在西面的岛弧后面发育。古生代末发生了一次重大的古地理改变, 形成了一个切截古生代构造与地层带的新的北西走向的板缘边棱(Burchfiel & Davis, 1972), 在此以后不久的早、中三叠世索诺马运动再一次使深水沉积岩石与洋盆基底向东推移, “但是, 在这一次, 起主导作用的岛弧就一直联接在大陆之上了”(Hamilton), 晚三叠世和中生代岩浆在古陆上的喷发证实了这里从此有了从太平洋向东的俯冲带, 自此以后, 不再有像在安特勒运动以后被设想的那种俯冲极性的改变了。总之是: 同早、中古生代相比, 晚古生代末至早中生代开始有了一个新的洋壳俯冲的构造格局。

与此相应, “中国东南部早古生代有巨厚的复理石, 但少见火山活动, 晚古生代仅有边缘海沉积而不见岛弧组合, 可能当时大陆边缘已在台湾之东, 由于后期的地壳消减, 今日已不可见”<sup>[96]</sup>。这种后期(至早是晚古生代末)的消减作用是否也像太平洋对岸的索诺马运动那样改造了旧的大陆边缘并产生新的符合于现代板块构造模式的洋壳俯冲体制, 或者说从“干足虫”、“雪橇”开始转为“传动带”? 还待进一步探讨。日本的二叠—侏罗纪飞驒—三郡成对变质带, 可能标志了这一时期出现的新的构造体制, 不过我认为, 它可能更多地同当时西菲律宾洋壳的东西向扩张脊(后来旋转为北西向)的向北俯冲相关联。

综上所述, 前十亿年左右以来的地质历史中, 地球的热体制和构造体制是随着时间而作既连续又有阶段性的演化的。Tarling指出: “板块构造假说明显地改革了发生于最后2亿年的大地构造作用的概念, 但是要把这一假说应用于更早的时代, 必须理解到地

幔内对流作用的表现可以因地球物理与地球化学环境的改变而有巨大的变化”<sup>[30]</sup>。由于多种单向发展的因子的存在,这种环境的改变是必然的,并集中地表现于陆壳和洋壳各自的演化与相互的关系上。Wynne-Edwards以硅铝壳中部深度的时间-温度曲线来说明在不同地质时期内硅铝壳对软流圈扩张的不同反应(图7),认为在太古宙时,硅铝壳的高温使它主要处于固凝线上(Supersolidus)状态,所以主要的反应是在“大洋”蛇绿岩带周围有大规模的花岗闪长岩质岩浆刺穿体;元古宙的较厚的硅铝壳已冷却到主要处于固凝线下(Subsolidus)状态但仍是粘性的,所以反应为“千足虫”式的流动;到了显生宙,硅铝壳对扩张的反应已转变为脆性的断裂,产生了“正常的”板块构造。Tarling(1978)也提出了一个地热曲线(Geotherms)与岩石圈演化的模式,指出“在前太古宙时,大陆与大洋的地热曲线是等同的,太古宙时只有微小的差别;但到了早元古宙就出现显著的差别,形成了主要的大陆岩石圈,而大洋岩石圈则大为减薄;通过晚元古宙的演化,直到显生宙时,大洋与大陆岩石圈虽然厚度不同但在强度上已彼此相等”。这两种观点,我认为都是符合在连续演化中存在着阶段性这一原则的。但是他们都把元古宙和显生宙的界限作为划分阶段的标志,实际上,显生宙的“显”是生物界的现象,而在热体制与构造体制上同晚元古宙并无显然的界限。所以,阶段的划分,应该一方面提早到晚元古宙以前(大致为前10—12亿年)即潘基亚E的活动,另一方面延后到古生界之末(前3亿年左右)即潘基亚B的形成与发展。这两个潘基亚有相似的现象,如地裂运动的活跃等;同时又有不同的发展过程,如硅镁壳的规模、开张与闭合的方式等。经历了多旋回的演化,才进入了新全球构造阶段。可以设想,从晚元古代到中生代是洋壳较薄的时期,热流大量从这里散失,对流体系是分散的,直到海西褶皱完成、潘基亚B形成,才出现新的大规模对流体系,逐步使得绝大部分的地球内部热流集中在扩张的洋中脊体系中逸出(Sclater & Francheteau, 1970),而洋中脊的扩张又成了传送带式板块构造的源地。

**小结** 在全球构造阶段与中间阶段,地壳的活动主要是集中在一些槽形地带内开展的。无论是①大型陆壳汇合体上开张与闭合的拗拉槽;②有或没有硅镁壳“小盆”(它的形态其实也是长条状的,如Iapetus)的沉降和褶皱带;③陆壳块体之间在异时异地出现此开彼合的硅镁壳带而终于相向对接的迁徙的沉积槽地;④陆壳块体边缘的陆壳承受负载而又向洋壳伸展推进的沉积与火山活动地带,都可以称之为“槽”或“地槽”。相应地处于这些槽的一侧、两侧或几个槽之间的稳定的(指相对沉降幅度)、但并不是固定的(即相对于软流圈在漂移着的)陆壳块体,则是“台”或“地台”。在这种情况下,我们有可能分别当时“硅铝壳”与“硅镁壳”的大致界线,但无法区分出像现代那样的既有洋壳、又有陆壳(除太平洋板块外)的若干板块。所以我主张仍保持“槽台体制”的名称,免得在资料不够充分的情况下,用今板块的模式来解释“古板块”有牵强之嫌。Coney(1970)说过:“新全球构造还没有能够适当地解释大陆地质的许多复杂性……今后我们或是将从新全球构造中找到对这些问题的答复,或是将按照对这些问题的答复结果而转向某种未来的模式”。我国的一些学者(如任纪舜等)也认为要在新的基础上把地槽学说和板块学说结合起来。

## 古生代盆地及其含油气性

基于“运动体制(包括热体制与构造体制)的变化是形成含油气盆地的首要条件”这一观点,并考虑到古生代与中生代盆地在含油气条件方面的实际差别,我曾提出按两个世代、两种体制对盆地采用“双重分类”的意见。并对两大类盆地中油气的不同习性试作探讨。

六十年代后期以来,板块构造的兴起带来了盆地、特别是含油气盆地分类的许多新的观点。Halbouty, Klemme, Dickinson, McCrossan, Bally 等人先后提出了盆地分类方案。这些方案的共同点,有如我在1978年在《中生代油气盆地》一文<sup>1)</sup>所说:

“如果说五十年代的油气盆地分类受地槽学说的限制而未能充分认识中生代盆地的特点,那么七十年代的分类似乎又走向了另一个极端,即企图用板块构造的体制来说明所有盆地,其结果是对古生代盆地未能作出很好的说明”。几乎所有的古生代盆地都被纳入“克拉通盆地”或者与被动大陆边缘相类比。但对于这些“克拉通盆地”,Bally 不得不认为它们是“欺人地简单”<sup>[87]</sup>,“尽管我们对许多更为复杂的地质现象已有了令人满意的模式,而关于‘简单的’克拉通盆地(苏联文献中的台向斜)及其正性的相应部分,即克拉通穹起(台背斜)的发育仍然缺乏使人信服的解释”。对于后者,Porter与McCrossan 也不能不设想“可能沿大陆边缘曾经形成过的其它类型的早期古生代盆地……但已被摧毁”<sup>[88]</sup>。

另一些人的意见则与我在1965年提出的看法有相似之处,如 Nose (1975) 指出:“盆地的性质是其时代的直接产物,因为它反映着其形成期间的地壳运动情况”。因此,“世界产油盆地显示出明显的地质差异,直接与其时代有关”,“在第三系、中生界和古生界的含油盆地之间有着重要的差异”<sup>2)</sup>。我曾引述过的 Moody, Holmgren 等关于海西运动后热体制的变化与盆地形成关系的论点,也可与我所说的“变格运动”相联系。其实,在Porter与McCrossan 的“盆地血缘论”以及 Klemme 的最近论著(1980)中,也包含着盆地类型与地质时代、地球的热体制、构造体制(即图1的3T)之间的相关性,我在另文中已有论述。最近甘克文也对古生代与中生代盆地分别提出了具体的分类意见<sup>[89]</sup>。

在《中生代油气盆地》一文中,我曾参照Nalivkin<sup>[40]</sup>对俄罗斯地台盆地的分析,提出了一个古生代盆地类型的初步意见。现根据本文前两节关于古全球构造与中间阶段全球构造体制的见解,再对古生代盆地的类型试作下面的区分:

a. 拗拉槽及其后期发育的台向斜(Syneclise) 最早的拗拉槽出现在中元古宙。在晚元古宙的潘基亚E阶段是一个强烈发育时期。在整个古生代期间仍在不同地区形成和发育。虽然各个拗拉槽的具体风格可以有所差别,例如两侧或一侧边界断层的发育情况不尽相似等,但一般都涉及到整个岩石圈的拉裂,地幔物质得以岩墙或岩流的方式出现。

1) 该文完成于1978年末,由于出版条件,至1982年才得刊行,故对1978年以后的文献,未及引用。

2) 诺思, 1972, 各个时代含油气省的特征,《第24届国际地质会议论文集》,译文见《石油地质技科情报》, 1976年,第3期。



沉积程序一般以陆相沉积开始(红层),然后在较快速沉降阶段有海相碳酸盐岩与较深水碎屑岩沉积(生储油层),并常有蒸发岩类,晚期则往往是包括三角洲相在内的浅水沉积(如含煤层系等)。在最后挤压褶皱以前,长期处于张应力的作用下。这类的典型例子有第聂伯—顿涅茨和多次活动的南俄克拉何马,可称之为 $a_1$ 型。

由于它的形成涉及到地幔物质的活动,地幔垫的冷却引起后期的沉降,我曾用来说明中生代盆地演化的断陷—拗陷转化机制,也可运用于古生界。这种后期沉降发生在广泛得多的范围内,改变了“槽”的形状,发育着有明显相带的地台型稳定沉积。苏联文献中称之为台向斜。Shatski早就指出:拗拉槽沉积的上部层次通常要比初始裂陷扩展到更为广大的区域。Nalivkin也指出这种宽广广阔的台向斜往往是拗拉槽的“再生”,如莫斯科、拉曼—伯拉绍等。北美的二叠盆地、阿纳达科盆地等也都是在拗拉槽的基础上发展形成的。Bally甚至认为:“可以断论,具有资料的那些克拉通盆地,绝大多数潜伏着不同复杂程度的裂谷系”。鉴于成因机制上的密切联系,我把这种台向斜列入本类,称之为 $a_2$ 型,以有别于下文所述的由其它机制产生的地台内部凹陷(d)。

b. 克拉通周边沉降盆地及后期的前渊 克拉通的周边(Cratonic border)是指从地台中心稳定部分到外缘活动带之间的沉积逐渐加厚,岩相不断变化的地区。它不是真正的克拉通边缘(Margin),因为边缘一般是已褶皱变质的优地槽,所以改用周边(Border)一词。

这一带按其基底性质,可分为两种类型(Bally, 甘克文): $b_1$ : 基底是块断型的,包括一些晚元古宙的拗拉槽,其上为下古生代的以碳酸盐岩为主的地台沉积,例如俄罗斯地台的伏尔加—乌拉尔地区。 $b_2$ : 前寒武纪基底相对完整,下古生代地层明显向地台中心减薄,例如北美的阿巴拉契亚中部。加拿大西部的晚元古宙—下古生代碎屑岩、碳酸盐岩(包括著名的 Alberta 礁体)与蒸发岩,情况相似于阿巴拉契亚,虽然这里有与地槽斜交的晚元古宙 Athapuscow 拗拉槽,但不同于伏尔加—乌拉尔的块断。后者的基底活动导致了因差异沉降而发育的相带,故含油气条件更为有利。这些地台周边沉积都具有生储油性,一般没有强烈褶皱,可形成张性的圈闭。无论在岩相和构造性质上,它们都同地质时代后期的“被动大陆边缘”有一定差别。

在这些克拉通周边的早古生代沉积之上,往往覆盖有晚古生代的“前渊”或“山前拗陷”。虽然在构造性质和沉积来源(如来自褶皱带与克拉通双方)上彼此是不相同的,但从油气勘探的角度看,二者却构成了一个整体,所以我把它并入这一类( $b_3$ )。乌拉尔前渊的石炭二叠系以碳酸盐岩为主,它们同下伏的地台序列间没有重要的不整合,而阿巴拉契亚的上古生代(中泥盆—宾夕法尼亚)碎屑楔状体沉积之前则有一次遍及整个大陆的不整合,主要的生油岩位于楔状体的底部。事实上这里的中奥陶世至志留纪碎屑沉积已可被认为是泰康运动后的前渊,所以在多旋回的发展中,地台与前渊的沉积序列是难以明确划分的,提出 $b_3$ 型的用意亦在于此。它们的应力状态是从早期的张性转为后期的压性(山麓褶皱)。

值得讨论的是 Bally 曾把前渊一概看作是“同 A 型俯冲边界有关的缝合线边(Perisutural)盆地”,这是因为按他的论点,差不多所有古生代褶皱带的形成都是由于洋壳的俯冲,所以 B 型与 A 型俯冲组成了同一个动力体系。其实古生代的 B 型俯冲证据是不充



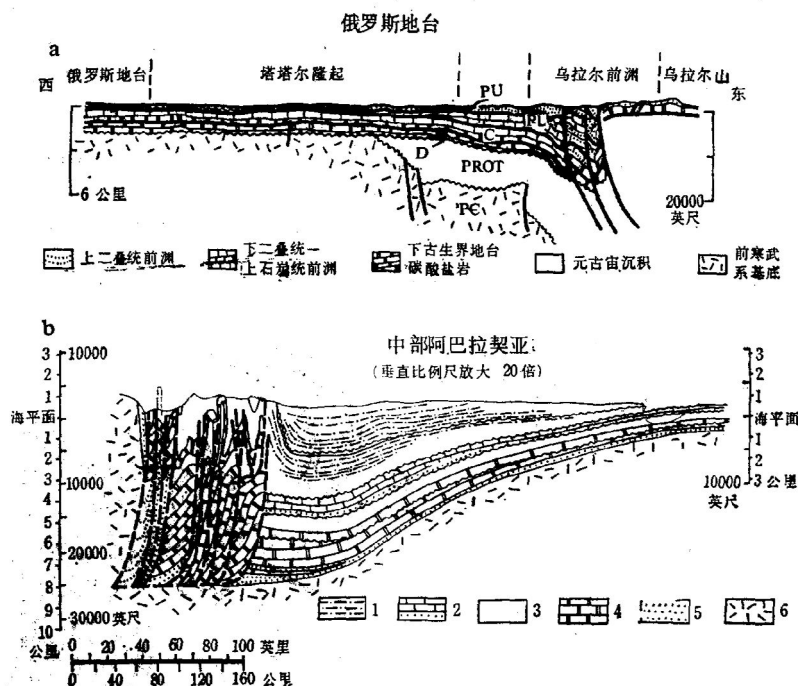


图9 两类b型盆地及前洲 (据Bally, 1980)

- |                    |      |                  |      |
|--------------------|------|------------------|------|
| 1. 泥盆纪—宾夕法尼亚期碎屑岩;  | } 前洲 | 4. 寒武—奥陶纪碳酸盐岩;   | } 地台 |
| 2. 志留—泥盆纪碳酸盐岩与碎屑岩; |      | 5. 寒武纪与晚前寒武纪碎屑岩; |      |
| 3. 晚奥陶世碎屑岩;        |      | 6. 前寒武纪基底        |      |

分的, 从Bally 提出的以南部加拿大落基山为模式的A型俯冲示范图中也可以看出由Laramide 运动产生的涉及到中生代碎屑沉积的A型俯冲是叠加在上古生代前洲之上的多旋回构造。这里的二叠—侏罗纪沉积体中存在着多次的不整合, 反映了两种体制转换时期的构造活动。

c. 塌陷盆地 (Collapse basin) 主要是指由于海西运动后热体制的调整而发生在

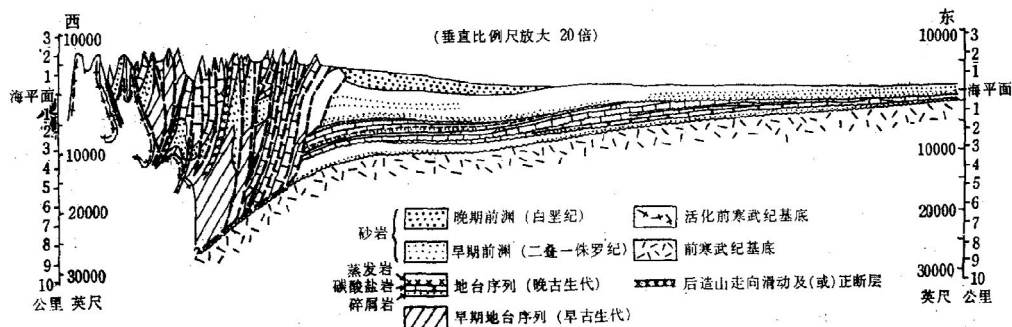


图10 加拿大西部盆地剖面 (据Bally, 1980)

海西褶皱带及其部分前陆上的沉降盆地。发生在加里东带上的这类盆地很少,但英国和挪威的古红砂岩“山间盆地”或也可归入此类。欧洲海西带内有不少从 Autunian 阶到 Saxonian 阶连续沉积的山间盆地。西北欧的海西前陆上有两个在 Saxonian 阶迅速沉降(速度超过沉积速度)的盆地, Ziegler 称之为北与南二叠纪盆地,其中的沉积物是典型的 Rotliegend-Zechstein 红层与岩盐,在南盆地中,主要的沉积中心同德国北部广泛的 Autunian 火山作用地区相符合。而北盆地的沉降则被认为是由于晚石炭—早二叠世热穹窿的冷却作用。这些情况使它们显然不同于上节所说的“山前坳陷”。这种盆地沉积及其与下伏石炭纪煤系的组合对于格罗宁根与北海气田的关系已是人所共知。

海西运动是多旋回的,各地的褶皱期先后不一,所以这类塌陷盆地的发生自然也就或早或晚。据 Kontorovich (1975) 的图件,侏罗纪以前的西西伯利亚盆地包含了一系列中、晚古生代小盆地与三叠纪的有火山喷发物质的裂谷。这一所谓“中间构造层”(Zhavrev 等)也是后海西热事件的产物。我国准噶尔盆地北部已知产油气的晚(中?)石炭世含火山物质的沉积看来也是这类盆地的一部分,不过盆地的轮廓显然已为后来的变格运动所改造。北美的这类盆地较不发育(同海西褶皱带的范围较小有关),从密西西比期开始发育的加拿大 Sverdrup 盆地是否可属此类,由于基底的性质不明尚难断定,而且它的发展一直持续到中生代,也不存在火山岩类,具有不同的风格。

我把这种以热事件为主要导因而发生在海西褶皱带内或其附近的盆地称之为  $c_1$  型。在褶皱带外的克拉通上是否也有这种与岩浆活动相联系的晚古生代盆地? 甘克文提出了一种在沉降后期发生区域性基性岩浆喷溢的特殊型式的内部沉降盆地,“已知典型的有南非的卡鲁盆地,南美的马腊尼昂和巴拉那盆地,苏联东西伯利亚的通古斯盆地。典型性较差,有发育的基性岩脉而无大片熔岩覆盖的则有亚马逊盆地、廷杜夫盆地和陶丹尼盆地。非常有趣的是无论非洲、拉丁美洲以及亚洲,这些盆地的基性岩浆活动都是发生在晚二叠世至早侏罗世”。显然,它们也是海西期后从潘基亚B到A转化过程中热体制变化的产物。可以算作本类盆地的  $c_2$  型,虽然它们的含油气条件远远不如  $c_1$  型。

d. 克拉通回陷 (Cratonic depression) 在广泛覆盖在克拉通结晶基底上的下古

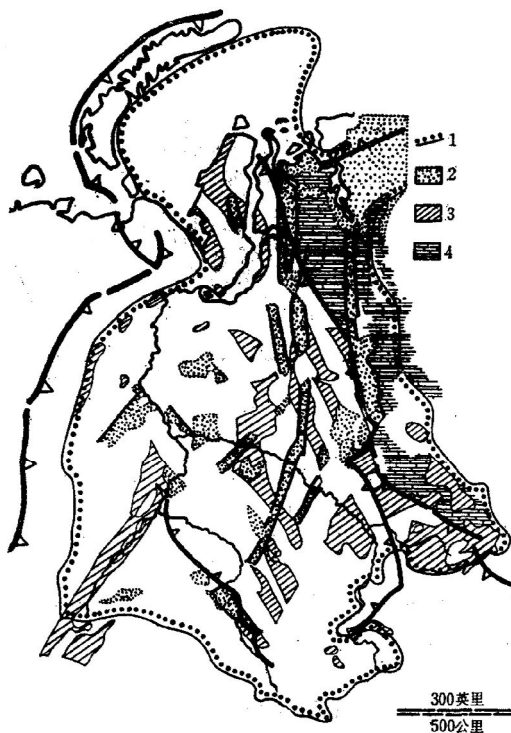


图11 西西伯利亚盆地中间构造层的前侏罗纪盆地  
(据 Kontorovich 等, 1975, 引自 Bally, 1980)

- |                |            |
|----------------|------------|
| 1. 盆地边界;       | 3. 晚海西期沉积; |
| 2. 三叠纪火山岩与沉积岩; | 4. 古生代地台序列 |

生界稳定地台沉积范围内, 往往出现沉降幅度较大、沉积厚度也较大的碟状、平底锅状或典型的圆盘状地区, 并为常呈短轴状的穹拱(Arch)所分开, 地层向穹拱的顶部减薄。例如北美地台上的密执安、伊利诺斯盆地以及Nalivkin所提到的俄罗斯地台中部隆起上的同莫霍面不具倒影关系, 并“只有次要意义的大而平缓的盆地”。这类盆地的结构最为简单, 但对其成因至今尚众说不一。从地层的岩相、等厚线变化看, 它们不是后来的构造运动产物; 从它们的持续性看, 在很长的地质时期内没有改变位置, 不能用岩石圈漂移经过地幔热点的方式来解释; 从它们的深部地质结构看, 也不像 $a_3$ 型盆地那样是拗拉槽的“再生”[密执安盆地之下, 地球物理资料指出可能存在着有Keweenaw红层(10亿年前)充填的地堑系, 但盆地的最大沉降发生在奥陶纪以后, 在时间上有很大差距]。因此有人主张这类盆地的形成是由于岩石圈的局部不均一性, 包括深部有致密岩体的侵入(McGinnis, 1970)或基性侵入体转化为榴辉岩相(Haxby等, 1976), 但都还缺乏可信的证据。Hinze等最近认为这种盆—穹关系是奥陶纪时Iapetus洋壳俯冲的结果, 但有如上文所述, 这一俯冲的证据是不够充分的, 时间上也同盆地的历史不相符合。这类盆地的沉降与沉积作用一般保持平衡, 沉积物主要是浅水海相, 中部有时有非补偿性沉积, 在生储油方面具备一定条件。我把这类盆地称为 $d_1$ 型, 以与 $a_3$ 型的台向斜相区别。

这种地台上的盆—穹关系在整个古生代期间继续发展。在北美地台上, 从宾夕法尼亚期起的海侵具有全大陆性的规模, 以前的 $d_1$ 型盆地大部分在此时保持了继承性的发展, 在明显的或不很明显的后密西西比期不整合面以上继续沉积了晚古生代地层, 包括具有良好生油性能的二叠系。沉积和构造的叠加, 为多种类型的油气田提供了条件, 这类盆地也就是Klemme的“Ⅱ型陆内复合盆地”(但不应包括上叠的、由于板内构造机制而产生的中生代盆地)。我称之为 $d_2$ 型。大型盆间穹拱的存在和油气的远距离运移使得许多构造圈闭和地层圈闭存在于盆地的内部, 十分有利于油气藏范围与规模的开拓。

c. 拉张断陷(Extensional rift) 在张应力作用下, 岩石圈的强度相对地最小, 所以断陷(或地裂作用)是十分普遍的地质现象, 特别是在岩石圈因某些原因而减薄的地方。它们可以发生在全球构造历史的各个阶段中, 也可以发展到不同的深度, 反映于存在其中的不同性质的岩浆岩。这些断陷的一部分后来继续发展成为拗拉槽(上述的 $a$ 型), 甚至因拉张而出现硅镁壳的“小洋盆”, 而另一些则停止在早期阶段。Burke的

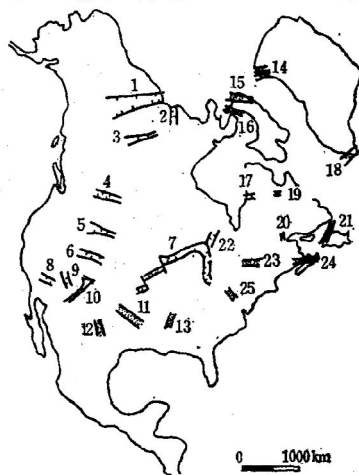


图12 北美洲主要的元古宙与古生代裂谷  
(据Burke, 1981)

有细点的部分在古生代期间成为拗拉槽

- |                  |                 |
|------------------|-----------------|
| 1. Coppermine    | 2. Bathurst     |
| 3. Athapuscow    | 4. Southalberta |
| 5. Belt          | 6. Uinta        |
| 7. Keweenaw      | 8. Amaragosa    |
| 9. Chuar         | 10. Tucson      |
| 11. Oklahoma     | 12. Marathon    |
| 13. Reelfoot     | 14. Thule       |
| 15. North        | 16. Baffin      |
| 17. Richmondgulf | 18. Gardar      |
| 19. Cambrienlake | 20. Seallake    |
| 21. Atlantic     | 22. Kapuskasins |
| 23. Montreal     | 24. Provinces   |
| 25. Peana        |                 |

图(图12)表示了北美主要的元古宙与古生代断陷,带细点的一些在元古宙末开始并在古生代成为拗拉槽,另一些则没有达到这种演化程度<sup>[41]</sup>。对于油气来说,这些较小断陷并无重要意义,但值得注意的是:作为岩石圈的薄弱地带,它们在地质历史的后期往往重新活动并产生前所未有的影响,例如从二叠纪初开始在西北欧出现的断陷,在三叠、侏罗、白垩纪直至新生代曾经一再复活,北海的巨大油气区便是这种地质发展的结果。

大规模的平移剪切断层是产生拉张作用的一个重要原因。Morel与Irving或Arthaud与Matte提出的在冈瓦纳和北方大陆之间的右旋巨剪切,虽然在发生的时期(石炭一二叠或二叠—三叠纪)及移动的规模(数千或数百公里)方面看法还有出入,但对因此在乌拉尔至阿巴拉契亚之间的地区内产生了许多断陷这一点则有共同的认识。这类断陷包括富含高碱性火山岩的奥斯陆地堑和法国中央地块与波希米亚地块内有巨厚煤系地层的一些半地堑(“滚板式盆地”)。前者与上述c<sub>1</sub>型盆地关系密切。

这种拉张断陷在其他地区也是常见的,由于造成拉张的原因可以是多种多样的,很难加以区分,所以在这里统称之为e型。

f. 由于地壳粘性流动(Ductile flow)而产生的克拉通边缘沉降盆地 这是参照Bott, Wynne-Edwards等关于地壳中下部物质粘性外流的概念而提出的一种新的设想。上文曾以北美科迪勒拉古生代与中生代以后的不同构造演化为例子以说明。虽然大陆蠕散的概念已由Argand在数十年前提出;洋壳俯冲还是陆壳仰冲的问题,张文佑等也已一再论及;但作为一种古生代盆地形成机制来看,我在上文的论述显然还是初步的,有待于进一步探讨。值得在此略加补充的是, Belousov<sup>[42]</sup>指出:“不是所有的岛屿带都呈弧状”,“可划分出I型和II型岛弧。I型岛弧经历过多旋回正地槽发育阶段,具标准陆壳。……II型岛弧通常不出露可说明多旋回正地槽发育的基底。其大多数现在位于洋壳上,……一部分也处于陆壳之上”。这些情况正好说明与古科迪勒拉地槽有关的“海外的克拉马特山岛”是属于II型的。他还说:“陆壳变薄和陆壳向洋壳过渡的历史与地壳的拗陷作用相联系”,“正是由于拗陷的移动才在新的地方出现岛弧”。我在上文中也说到下古生代的科迪勒拉实际是在岛弧升起以前已先存在的“边缘海”,由于地壳物质的粘性外流使得陆壳变薄,发生拗陷,而拗陷向洋壳过渡处的伸展移动才促使岛弧形成。Belousov还引用Arculus(1979)的看法,即“看来俯冲与钙碱性岩浆的形成毫无关系,它的形成可能与岛弧带内未衰竭地幔的存在有关。较深处有水时,地幔熔融导致形成安山岩和安山玄武岩”。显然,未衰竭地幔在古生代存在的可能性要大于中生代以后,而陆壳粘性流动所带来的物质有助于地幔的熔融与火山的出现。所以,虽然Belousov的著作是从“洋化论”的立场来探讨近代陆洋过渡带的结构和发育条件的,但颇有值得借鉴之处。在Wilson旋回中,从岩石圈的结合转化为拆离,即从被动边缘转化为活动边缘的关键问题,确实还有从多方面来加以探讨的必要。

属于这一类的f型盆地,同b型的不同之处,在于它是同造山的,不是早期的地台周边或后期的前渊;深水相的沉积较为发育,或和台地相相间出现;受褶皱、断裂(垂直拉张或水平推掩)与变质的影响较为显著;一般由于后期构造活动的影响,油气保存条件较差。但在相对稳定的部分,即使构造情况比较复杂,仍不无值得探索的地方,特别是从后期成油的角度来考虑。

以上是从不同地质时代存在着不同构造体制与热体制(图1的3T)的观点出发,对古生代盆地的类型进行划分的初步意见。并分别以 *aulacogen*, *cratonic border*, *collapse*, *depression*, *extension* 与 *ductile flow* 这些机制名称中的一个字母称之为 a, b, c, d, e, f 型盆地。同我在另文中所提出的中生代盆地的看法一样,这些类型可以看作是盆地的“原型”(Prototype),一个大油气盆地或区往往由几种原型组成,如美国东部古生界油气区包括 b 与 d 型,中西部则兼有 a, b, d 型等。同一型盆地可以由于一些具体的条件而有不同的风格,但在沉降性质、沉积序列和应力背景等方面(图1的4S)往往有共同的规律,上文中已约略说到。关于同油气藏直接有关的一些地质因素(图1的4M),不能在本文内详细讨论,只就以下几点略作说明:

(1) 古生代沉积物中存在着成油物质,是无可置疑的,虽然对大量碳酸盐岩的成油过程迄今还没有一致的意见。古生代的原油性质同中生代的有比较明显的差别,可能是成油母质有所不同。

(2) 二次成油的理论,近年来已有更多的事实证据。Tissot 甚至认为差不多所有的古生代油气都是由古生代生油母质在白垩纪乃至第三纪时期形成的。这一点对古生代的油气演化甚关重要。此外,对埋藏较深的古生代地层来说,“成熟度”是个重要问题。巴基洛夫等反对那些深部只有天然气的看法,认为从近年来苏、美深钻井的实际资料看,“在超过4—5公里的深处,……有可能发现具有工业意义的油藏”,“工业性石油聚集存在的深度下限在不同的地区将依其具体的温压条件而不同”<sup>1)</sup>。这些条件显然受盆地的类型及其后来改造作用的制约。至于世界上几乎所有的不产石油的大气田都存在于二叠—三叠纪地层中的原因,看来除了同煤系地层的发育有关外,还同海西运动后潘基亚B内部的新的热体制有一定的联系。

(3) 油气的远距离运移是古生代油气田有别于中生代的一个重要特征。Weeks (1952) 早就指出有些油田中的油是从相邻地区现已褶皱变质的沉积岩中产生的。Nose (1972) 也认为:“许多古生界的石油(如在美国的内地或阿尔及利亚)现已汇集在多半不太可能有生油岩的地区。大量的母岩已经卷入古生代晚期的造山带之中,而只有原先生成的并残存下来的石油由于强迫向前陆运移而保存了下来。因而大部分古生界油田不是处于压性盆地中,而是沿着古生代前渊的两边,位于带盖层的地盾的隆起上”。我觉得,这一看法虽然不宜过分强调(因为还须考虑到许多具体因素,如成油的时期、运移的岩性、构造条件等),但也应予以注意,以有条件地开拓探索古生界油田的视野。

(4) 最后,也许还是最重要的一个问题是古生界的保持条件。特别对中国来说,中生代的构造活动(“变格运动”)比之北美或俄罗斯地台都更富于多旋回性而且更为强烈。大部分古生界盆地或是为中生界盆地所叠加覆盖,或是受中生代构造运动的破坏改造。在另文中我曾论述过我国中生界盆地的几种形成与演化机制,即:A型俯冲(A-subduction)、基底拆离(Basement decoupling)、碰撞(Collision)、差异沉降(Differential subsidence)、拉张(Extension)、平移滑动(Fault strike-slip)及重力

1) A. A. 巴基洛夫, 3. A. 巴基洛夫及3. A. 塔巴萨兰斯基, 1976, 古老地台年青地台上油气聚集分布规律的对比分析, 第25届国际地质学会论文集。杨登维译, 石油地质科技情报, 1977年, 第1期。

滑移 (Gravitational sliding) 分别以有关字母中的A, B, C, D, E, F, G表示之。这些机制同时也就是对古生界盆地的改造方式。所以, 各型古生界盆地除了本身可有以上说到的a+b, b+d……等组合关系外, 还有同中生代各型盆地的沉积的与构造的叠加改造关系, 如 $\frac{A}{b}$  (四川西部)、 $\frac{E}{d}$  (华北某些部分?) 等等。后一种关系一方面为许多类型的油气藏, 如新油古储的基岩油藏 (华北的一些潜山) 或古气新储 (如华北某些地方新生代沙河街组中的天然气来自古生代地层) 的转移性气藏等等的形成提供了条件, 而另一方面也无疑地大大增加了寻找古生界油气藏工作的复杂性。

寻找古生界油气藏的工作, 在全国范围内, 除个别地区 (如四川、准噶尔) 外, 还处在初始阶段。对古生界盆地的性质、类型、范围、演化历史以及含油性等, 都所知甚少, 在此只能提出一些供思索探讨的问题, 以待实践的验证。这些问题是:

#### 在昆仑—祁连—秦岭—淮阳以北

(1) 我国现知的最古老的油显示, 出现于燕山地区的“震旦系”中, 这里是中、晚元古宙的一个坳拉槽 ( $a_1$ 型)。根据青白口系及其上的寒武、奥陶系沉积发育, 这里曾否形成过台向斜式的 $a_1$ 型盆地? 在华北地台和塔里木地台上是否还有其它相似的坳拉槽 (例如已暴露的库鲁克塔格和贺兰山) 和台向斜? 对有较厚覆盖的台背斜也应注意。

(2) 华北地台南部的寒武奥陶系有属边缘相的沉积 (潮坪沉积等), 向北应有较深的凹陷。比较这些地层在各个阶段的厚度变化, 沉积中心在不断转移。看来下古生界d型盆地是存在的, 但它们在同时期的位置所在, 尚待进一步划定, 保存程度也须作细致分析。华北的奥陶系中早已发现过晶洞油气显示。

(3) 反之, 华北地台的石炭二叠纪地层, 在南缘愈向南面, 厚度愈大, 海相层次也愈发育, 这里显然存在着b型盆地, 但已受到中生代变格运动 (扬子地台的向北仰冲) 的改造, 如发生向北的逆掩断层等。鄂尔多斯西缘的石炭二叠系, 基本上下古生界坳拉槽的继续或再现, 并有明显的向地台超覆现象。另外, 当海水在石炭纪时再次侵入华北地台直到二叠纪陆相沉积广泛覆盖全区的过程中, 是否曾产生过继承性的或非继承性的d型凹陷? 一些作雁行排列的重力高带 (如鄂尔多斯东部) 是否反映了这个时期的盆—穹结构? 鉴于煤系地层的发育, 和全世界大气田在晚古生代的优势地位, 这种b型和d型的盆地以及位于其间的穹起部分都值得重视。

(4) 北祁连的坳拉槽活跃于早古生代时期, 甚至有小洋盆拉张。在它的北缘有无被动边缘型 (b) 的早古生代地层发育? 鄂尔多斯西南缘的下古生界可否看作是从祁连地槽伸入到地台内部的一个分支坳拉槽 (贺兰山) 末端的喇叭口式“海湾”? 这里的下古生界, 特别是奥陶志留系, 厚度很大, 看来是有生油条件的。加里东运动后, 祁连山北发育了一套从泥盆纪或早石炭世砾岩开始的“前渊”沉积, 其中的石炭系曾被认为是走廊地带中生代地层中油气来源。这一看法至今仍不能予以否定。贺兰山东侧的情况类似, 但在印支期受到基底拆离型 (自西向东) 的改造。当然, 这一带的所有古生代地层都遭受过后来的多次变格, 构造格局已是支离破碎, 但在变质程度不高的地方, 也许还存在局部的保持完整的地区。

(5) 对塔里木盆地古生界的认识还很不够。看来早古生界在北面已抬升剥蚀, 在



南面则埋藏较深。中晚古生界的海侵来自西面,向东如何扩展尚不了解。在盆地西缘曾有过泥盆石炭纪的b型边缘盆地,现在已处在断裂破碎带中。值得注意的是:中西部的巴楚隆起,它在早古生代至石炭纪期间可能曾是地台内部的d型沉降,二叠纪裂陷作用以后才转化为隆起,在这里可以兼顾早晚古生代沉积,特别是已见到油气显示的石炭系。

(6) 准噶尔盆地北部石炭系油气田的发现,证实这里在较早期的海西褶皱基础上曾发育了c型塌陷盆地。由于后来的构造活动,如克乌断裂带所反映的可能属于基底拆离性质的改造作用,这个盆地的原来面貌还不十分清楚,但可以设想在北天山地槽带以北,准噶尔盆地中部以至东部,在中新生代沉积覆盖下存在着类似的条件,有利于进一步寻找上古生界油气田。在此启示下,可以联想到同样属于海西褶皱范围的中国东北地区。这里的海西褶皱完成的时期较晚,但是否在此基础上形成过二叠纪乃至早三叠世的c型盆地。关于东北的二、三叠纪地层近来不断有新的报道。对它们的性质、分布范围、构造面貌以及受岩浆活动的影响等作进一步了解是十分必要的。

#### 在中国南部

(7) 下扬子地台的下古生界“台缘拗陷”在浙北皖南有巨厚沉积,由此往北向地台过渡的枢纽地带,如苏南、皖南,在因印支以来的运动而发生逆掩断层与重力滑动的晚古生代一早中三叠世盖层之下,是否以坚硬的五通砂岩为应力调节面而保存着较完整的下古生界构造?这里的早、晚古生代地层中均见到过油气显示,以二叠—三叠纪地层(石炭系虽厚度不大,但有超覆与岩相变化现象)为主体的“第二构造层”,虽然构造比较复杂,仍是探索对象,特别是对逆掩断层与不整合面同油气运移的关系,要作深入分析。

(8) 在上扬子地台内部,与川中、黔北(开阳)古隆起相对应,是否在川南、川东以至黔北曾有加里东阶段的d型沉降盆地?奥陶志留纪的笔石相沉积在水体滞留隔绝条件下的生油性能是不可忽视的,而且也确已见到过油气显示。石炭系的超覆部位已经发现了气藏。二叠系广泛分布,普遍产气,但还可以大胆设想:在同峨眉山玄武岩喷溢相联系的构造体制开始转换时期,是否在川东南、黔西北、滇东北一带曾有可能产生拉张地堑型的e型断陷?这一带的二叠纪煤系很发育。如果在这类e型断陷中有较厚的煤系地层,而且为三叠系的膏盐层所覆盖,当可为气藏的形成提供优越的条件。这类断陷或因被三叠纪以来的新地层所掩盖,或因后期复活而表现为新的地堑(裂谷),应通过古地理的重建与深部地球物理资料来探索它们的存在与否。

(9) 龙门山地区有复杂的地质历史。早古生代时期它是扬子地台的周边沉降带(b),志留纪后扬子地台上升,它仍以拗拉槽(a)的方式继续发育。印支运动又使它受到A型俯冲的改造,但是大量油气显示毕竟使它成为长期以来引人注目的地方。如何进行细致的构造分析以明确油气藏在这里的保存条件,将是今后势在必行的工作。与龙门山相比,大巴山的下古生界油砂岩同样长期使人关注,但在构造体制上,二者颇不相同。自早古生代以来,大巴山看来是地台上的一个拗拉槽,因为它北面的镇安地区仍有地台型的震旦系和下古生界。秦岭西段在二叠—三叠纪时曾作为可可西里—金沙江古特提斯的一个分支而张开,甚至有硅镁壳出现;而东延的二叠—三叠系则是充填海槽的复理石沉积。当印支运动使这一槽带封闭时(它的更东部分包括大别山前的盲肠状拗拉槽可能在晚海西期即已封闭),四川西部包括龙门山发生了A型俯冲,而大巴山则是封

闭的槽体以较大角度的断层向南面的地台推掩。所以在大巴山前,推掩断片(Thrust plate)活动的重要性可能超过了低角度的逆掩(如龙门山)。如果说在龙门山和川西寻找油气藏的重点是逆掩断层下盘的褶皱,那么在大巴山前似乎应更多考虑沿各个推掩断片的不同条件。

(10) 扬子地台的东南,从元古代起即出现了我在上文提出的因陆壳物质粘性外流而引起的向洋伸展。梵净山、四堡等地的超基性岩是早期陆壳拉张的产物。往东在川湘边境有一个断陷带,沉积了震旦纪早期以来的巨厚地层。其东即是所谓的“湘桂海盆”,当时的雪峰隆起尚未形成,早寒武世还出现了较深水沉积。从晚震旦世至早奥陶世这里是一个非补偿的滞流海盆,以后在志留纪时才迅速填充。直到湘赣边境以东才是复理石发育的填充海槽,即后来的加里东褶皱带,其中包括了云开、湖广等微陆块。复理石沉积中虽夹有中基性至中酸性熔岩及火山碎屑,但并未形成火山弧,也没有明显的洋壳俯冲迹象。从找油角度看,值得注意的是震旦纪(包括板溪群)至志留纪的“湘桂海盆”中的未变质或轻变质沉积(被认为是地台到地槽间的过渡带)。这种由于陆壳外缘推进、伸展而在它的后面因地壳减薄而形成的盆地,属于上文所说的f型。叠加在这一盆地之上和发生在加里东褶皱带内的泥盆纪以来的沉积盆地,是由于海西(印支)阶段陆壳继续向东南面的洋壳作粘性外流而再次形成的f型盆地,但范围已经扩大,位置有所迁移。钦防褶皱带是这两次盆地连续发展的代表。后期的f型盆地在碳酸盐岩发育范围内常出现一些为断裂控制的硅质相带。邵武河源断裂带北段的超基性岩可能是后一时期的拉张产物。闽粤的一些二叠—三叠纪盆地,沉积厚度大、岩相特殊,当是海西(印支)带向洋扩展过程中的拉张作用所致。闽浙沿海近年已发现石炭纪的冒地槽型沉积组合,相应的优地槽组合当须同台湾省乃至琉球、日本的有关部分合并考虑。须指出的是,这类f型盆地虽然从拉张开始,但都受到后来的褶皱。至于更晚期的变格改造,已在另文讨论。从找油观点看,不仅要注意其沉积相(不尽符合Wilson的相带)与后期的成岩作用,还要更多地探索古构造的演化历史。

(11) 扬子地台的西部,地质历史更为复杂。澜沧江谷有奥陶纪复理石沉积,昌都地块有加里东褶皱的基底,以西的嘉玉桥群可能代表早海西褶皱带,雅鲁江以西也有含海底玄武岩的石炭二叠纪巨厚复理石沉积,所以有同东面相似的增生扩展情况,但由于金沙江带古特提斯的开张,已难于进一步分析。不过,从这里可以得到一个重要的启示,就是东西两面的加里东、海西褶皱是怎样通过扬子地台的南侧发生联系的?滇东南、黔南、桂北有巨厚的寒武奥陶纪复理石沉积,但未见像东侧那样的加里东褶皱变质带。

“自泥盆纪起,黔南桂北就有北东东和北北西两组断裂,碳酸盐台地相和较深海硅质泥质相相互间列”(王鸿祯)。这种情况同上述“湘桂海盆”十分相似。所以这里是否也是加里东、海西两期f型盆地的叠加?但由于古特提斯的扩张带曾通过中国与印支地块之间以近东西方向向东延展,并向北俯冲,所以构造的原来面貌已被改变(印支半岛有加里东、海西、印支褶皱,但有人认为印支地块是从南大陆漂移而来的,这一问题不能在此详加讨论)。黔南的石炭二叠纪有基性喷发岩夹层,右江地区有三叠纪洋壳遗迹,说明有关古特提斯扩张的推论似有一定依据。由于这一活动,滇黔桂古生界沉积的构造发展具有它的特殊性。深部构造可能同地表显示有很大差别,有待于地球物理工作的进一步

查明。

(12) 羌塘地块上的石炭至二叠纪动植物群乃至沉积物的性质, 均同扬子地台、特别是滇黔地区有很多相似之处。可能是由于晚二叠世以来金沙江带古特提斯的扩张才使得它们彼此分离。沿这一带直至红河, 是有过右旋平移活动的。由于羌塘地块之南还有班公湖—怒江洋壳扩张带活动, 所以地块本身构造也有其复杂性, 但从探索古生界油气出发, 仍值得对它作些工作。

以上列举的问题及有关地区, 从寻找油气的意义看, 其重要性是不相等同的(同提出的次序无关), 但都值得进行一些工作, 以取得能更多地说明问题的资料。在这些工作中, 我认为首先应排除后期变格构造活动的影响而重建古生代各时期的古地理原来面貌, 从而对岩相、厚度的变化以及图1所指的S与M各种条件有较确切的认识。王鸿祯<sup>1)</sup>、崔克信、关士聪等都在进行我国古地理的研究, 他们的工作成果必将大有助于古生界油气盆地的探索。另外, 通过多种地球物理手段来了解不同地区的深部地质结构, 也是十分必要的。在对这些基本地质问题有所了解的基础上分析“两个世代、两种体制”的盆地及其叠加关系, 将可导致新领域的开拓。

## 尾 言

二十年前, 我提出了按“两个世代、两种体制”对古生代与中生代盆地作“双重分类”的意见<sup>2)</sup>。十年前, 在学习板块构造理论的过程中, 曾强调了“怎样使这一假说‘自洋及陆’、‘由今溯古’地发展”<sup>3)</sup>, 并且认为地槽学说的一个缺点是过多地追求一幅“统一的、有决定性的图案”(Coney, 1970), 而构造复杂体的历史实际却是千差万别, 各具特色。新的全球构造理论不能重蹈覆辙, 应该避免像后来Roberts与Gale(1978)所说那种“被禁锢在某种程度的教条式的模子中的危险”。近年来我国不少构造学者认为地槽学说同板块假说不是彼此排斥的, 而是可以互相结合, 共同向更高阶段的全球构造理论发展。我同意这种看法, 所谓结合与发展, 简单地说, 就是要按照“活动论”(而不是“固定论”)的观点来丰富地槽学说的内容; 要根据“阶段论”(而不是“均变论”)的实质来阐明板块构造的历史演化。元古代到古生代古全球构造的“槽台体制”中孕育着岩石圈离合的因素, 但没有达到大规模的移动; 中生代到新生代新全球构造的板块活动则赋予了“槽”和“台”以新的内容。对于作为全球构造低级单元的含油气盆地, 特别是对于在今后油气普查工作中将占较大比重的古生代盆地, 也应按照这样的思维方式来探讨它们的形成、演化、改造的历史及其与含油气性的关系, 从而为生产实践指出方向, 当好先行。在本文中我试作这样的尝试。鉴于我国独特的构造处境与复杂的地质历史, 在基础资料(如古地理、深部构造等方面)十分欠缺的情况下作这种尝试, 难免是“浮想联翩”, 谬语百出。K. Popper在他的“科学哲学”中曾提过如图13的一个程

1) 1982年6月曾听了王鸿祯教授等关于编制中国古地理图的工作总结报告。本节中引用了他们所介绍的一些资料, 未及一一注明。

2) 朱 夏, 1963, 关于含油气盆地的讨论(代序)。华东地质科学研究所参考资料, 第一辑。

3) Z. X., 1973, “板块构造的岩石记录与历史实例”译文集的“译者前言”, 华东地质科学研究所。

式：我认为这一工作程序是符合于实践—理论—实践的辩证唯物主义原则的。本文只是想根据已被提出来的有关古生界油气盆地的实际问题 $P_1$ （当然我对这些问题的了解是不全面的），大胆地提出一些 $TT$ ，至于今后在实践的检验中如何不断地、批判性地进行 $EE$ ，以提高对新的一轮问题 $P_2$ 的认识，则我愿寄希望于耐心一阅本文的同道诸君。Bally说得好：“首先我们要强调当各界专家从事研究沉降和盆地演化时，研究才会非常成功，任何个人都无法掌握研究盆地演化所需的各种方法”<sup>[48]</sup>，即以此作为本文的结语。

..... $P_1 \rightarrow TT \rightarrow EE \rightarrow P_2$ .....

P—问题 (Problem);

TT—尝试性理论 (Tentative Theory);

EE—“证伪”，错误的消除 (Elimination of Errors).

图13 Karl Popper的科学哲学程序

(据《自然辩证法通讯》，1981年，第2期)

感谢刘海燕同志对草稿进行整理，陈玲娣同志为本文绘制图件。

(收稿日期 1982年12月1日)

### 主要参考文献

- [1] 朱 夏, 1965, 我国中生代含油气盆地的大地构造特征及有关问题, 中国大地构造问题, 科学出版社。
- [2] 朱 夏, 1982, 中生代油气盆地, 构造地质学的进展, 科学出版社。
- [3] 朱 夏, 1979, 中国东部板块内部盆地形成机制的初步的探讨, 石油实验地质, 第1期。
- [4] Silver, Leon T., 1980, Problem of Pre-Mesozoic continental evolution, In, Continental tectonics, National Academy of Sciences, USA.
- [5] Morel, P. and Irving, E., 1978, Tentative paleocontinental maps for the Early Phanerozoic and Proterozoic, J. Geol., Vol. 86.
- [6] ———, 1981, Paleomagnetism and the evolution of Pangea, J. Geop. Res., Vol. 86, No. B3.
- [7] Ziegler, A. M., 1979, 古生代的古地理, 劳秋元译, 国外地质, 1981年, 第6期。
- [8] Bally, A. W., 1979, Continental margins, National Academy of Sciences, U.S.A.
- [9] Anon, 1980, Overview and recommendations, In, Continental Tectonics.
- [10] Piper, J. D. A., 1978, Paleomagnetic evidence for a Proterozoic supercontinent, In, The Evolving Continents, Windly, B. F., 1977.
- [11] Burke, K. and Dewey, J. F., 1973, Plume-generated triple junctions, Ibid.
- [12] Sawkins, F. J., 1978, Widespread continental rifting, some considerations of timing and mechanism, Geology, No. 4.
- [13] Zwart, H. J. and Dornsiepen, U. F., 1980, The Variscan and Pre-Variscan tectonic evolution of Central and Western Europe, a tentative model, In, Geology of Europe, Colloque C6, 26° CGI.
- [14] Babin, Claude, L. R. M. Cocks et Otto H. Walliser, 1980, Faciès, faunes et paléogéographie antécarbonifère de l'Europe, Ibid.
- [15] Badham, J. P. N. and Halls, C., 1975, Microplate tectonics, oblique collisions and evolution of the Hercynian orogenic systems, Geology, No. 3.
- [16] Cady, W. M., 1972, Are the Ordovician northern Appalachians and the Mesozoic cordilleran systems homologous? J. Geop. Res., 77.
- [17] Kent, P. E., 1980, The structural framework and history of subsidence of the North Sea Basin, In, Geology of Europe, Colloque C6, 26° CGI.
- [18] Coleman, Robert G., 1977, Plate tectonics and ophiolites, In, Ophiolites, Coleman (ed.), Springer Verlag, Berlin-N.Y.
- [19] Roberts, D. and Gale, G. H., 1978, The Caledonian-Appalachian Iapetus Ocean, In, Evolution of the Earth's crust, Tarling D. H. (ed.), Academic Press, London etc.

- [20] H.C. 札依采夫, B. 卢夫桑旦赞, 1977, 蒙古地质结构和构造的基本问题。蒙古地质基本问题, 王集源等译, 1980, 地质出版社。
- [21] A.C. 别尔菲列夫, 1977, 大陆地壳的形成和矿床成因论, 徐贵忠译, 国外地质, 1979年, 第3期。
- [22] J.I. 卓年萨茵, 1977., 蒙古的蛇绿岩, 蒙古地质基本问题, 王集源等译, 1980, 地质出版社。
- [23] Burchfiel, B.C. and Davis, G.A., 1972, Structural framework and evolution of the southern part of the Cordilleran orogen, Western United States, *Am. J. Sc.*, 272.
- [24] Hamilton, Warren, 1981, Complexions of modern and ancient subduction systems, In: *Continental Tectonics*, National Academy of Sciences, U.S.A.
- [25] Bott, M.H.P., 1981, Mechanisms of subsidence at passive continental margins. In: *Tectonics of plate interior*.
- [26] Wynne-Edward, H.R., 1976, Proterozoic ensialic orogenesis: the millipede model of ductile plate tectonics, *Am. J. Sc.*, 276.
- [27] 谢家荣, 1965, 中国东南地区大地构造主要特征。中国大地构造问题, 科学出版社。
- [28] 郭令智、施央申、马瑞士, 1980, 华南大地构造格架和地壳演化。国际交流地质学术论文集, 地质出版社。
- [29] Behr, H.J. and Weber, K., 1980, The structural and metamorphic development of the variscides with special regard to the Rhonsheerynian and Saxothuringian Zones. In: *Mobile Earth*. Deutsche Forschungsgemeinschaft.
- [30] Ziegler, Peter A., 1980, Northwestern Europe: subsidence pattern of Post-Variscan basins. In: *Geology of Europe*, Colloque C6, 26° CGI.
- [31] Arthaud, F. and Matte, P., 1977, Late Paleozoic strike-slip faulting in southern Europe and northern Africa, result of a right-lateral shear zone between the Appalachian and the Urals. *Bull. Geol. Soc. Am.*, Vol. 88.
- [32] B. 吉洪诺夫, 1977, 蒙古的断裂。蒙古地质基本问题。王集源等译, 1980, 地质出版社。
- [33] Sinha-Roy, S., 1982, 特提斯块体间的相互作用及亚洲褶皱带的演变。唐德兴译, 海洋地质译丛, 1982年第5期。
- [34] 朱 夏、陈焕疆, 1982, 中国大陆边缘构造和盆地演化。石油实验地质, 第4卷, 第3期。
- [35] 王鸿祯, 1979, 亚洲地质构造发展的主要阶段。中国科学, 第12期。
- [36] Tarling, D.H., 1978, Plate tectonics, present and past. In: *Evolution of the earth's crust*, Tarling (ed.)
- [37] Bally, A.W., 1980, Realms of subsidence. In: *Facts and principles of world petroleum occurrence*, Can. Soc. Petrol. Geol., Memoir 9.
- [38] Porter, J.W. and McCrossan, R. G., 1975, Basin consanguinity in petroleum resources estimation. In: *Methods of estimating the volume of undiscovered oil and gas resources*. Haun J.D. (ed.).
- [39] 甘克文, 1982, 世界含油气盆地的基本类型及远景评价。石油学报, 1982年增刊。
- [40] Nalivkin, V.D., 1978, Dynamics of the development of the Russian platform structures, In: *Sedimentary basins of continental margins and cratons*. Bott, M.H.P. (ed.)
- [41] Burke, Kevin, 1981, Intracontinental rifts and aulacogens, In: *Continental tectonics*.
- [42] Beloussov, B.B., 1981, 关于陆洋过渡的结构和发育条件的一些问题。徐志成、陈徽西译, 海洋地质译丛, 1982年第1期。
- [43] Bally, A. W., 1981, Basin and subsidence. In: *Tectonics of plate interior*. National Academy of Sciences, U.S.A.

## NOTES ON ANCIENT GLOBAL TECTONICS AND PALEOZOIC PETROLIFEROUS BASINS

Zhu Xia

(*Institute of Petroleum Geology, Ministry of Geology and Mineral Resources*)

### Abstract

The author postulated about 20 years ago that petroliferous basins, as a specific kind of sedimentary basins, are the products of geodynamic (geotectonical and geothermal) regimes which influence the globe as a whole and change with time throughout the geological history of the earth. As there are so many unidirectional changes in earth properties, it would not be unwise to consider the development of petroliferous basins in an evolutionary instead of an uniformitarianistic way, and to classify the Paleozoic and the Meso-Cenozoic basins on a dualistic basis in accordance with the respective regime of global tectonics. For practical purposes, especially for the evaluation of less-explored petroliferous basins, it is suggested (see fig. 1 in Chinese text) to relate the 4M factors [material, maturity, migration versus non-migration (trapping) and state of maintenance], which control the location (L) and the potential quantity (Q) of oil and gas, to the 4S conditions (subsidence, sedimentation, stress and style) of a basin taken as a whole. The basin, in its turn, is composed of one or several prototypes (P) which owe its existence to the mechanisms of formation determinative with the tectonic setting and the thermal regime prevailing at the time of their formation (3T). Consequently, we ought to be able to predict the habitat of petroleum in different basin types of different geological ages through the analysis of T, S, M, and to treat them with different thoughts and methods of prospecting. To group the Paleozoic basins with the Meso-Cenozoic intra-plate basins under the general heading of "cratonic basins" as some current classification schemes do, seems to be inadequate and would not but lead to the disappointing statement that cratonic basins are "deceptively simple", as they do not really be.

"Plate tectonics offers a framework within which many of the processes of more recent continental evolution can be understood, but as we deal with increasingly ancient portions of the continents, it is increasingly difficult to test the applicability of the plate-tectonic concepts". Continental tectonics, of which the development of "cratonic" basins and arches being important constituents, must be explainable as a part of a global geodynamic system, however, whose component processes may have changed through geological times. To reason with it, the author tends to differentiate on historical-geodynamical ground the formation of petroliferous



basins since as early as late Proterozoic into 3 stages: 1. The ancient global tectonic stage ranging in age from the break-up of the Proto-Supercontinent or Pangea E to the formation of Pangea B; 2. An intermediate stage as the mobile Pangea B developed into Pangea A; and 3. A new global tectonics or plate tectonics stage related with the break-up of Pangea A in the latest 200 m.y.

For the ancient global tectonics, three different cases are reviewed:

Case I, where the sialic crust-blocks were assembled together. For example, the Variscan and pre-Variscan tectonogenesis of Central and Western Europe including parts of eastern North America has to be explained by a more or less continuous movement of three major plates, namely N. America-Greenland Shield, Fennoscandia and S. Europe-Africa Blocks which had been welded together at least since the Grenvillian movement. Here, the presence of oceans other than the Iapetus (e.g. the Rheic and the Prototethys Ocean) is as yet to be proved. It is suggested that they were of minor size or that spreading did not go beyond the rift stage and that the opening of small oceans or rifts took place simultaneously with the closing of other basins. Even for the Iapetus, one can trace a subtle trend of thought away from a model requiring an extensive ocean accreting at a median ridge to one in which smaller, interconnected, rear-arc and inter-arc ocean basins are to the fore. The presence of fragments of oceanic crust (e.g. the Lizard ophiolite complex) does not conclude in the existence of a former subduction zone and lateral migration between microplates may cause obduction without subduction. To our concerns, the Chinese Protoplatform of Huang may be taken as a counter-part. The earlier Paleozoic aulacogens of N. Qilian, S. Tianshan etc. on this Protoplatform and the successive development of the Hercynian geosynclines of Qilian and Kunlun may be considered with the same line of thoughts as mentioned above.

Case II, where the continental crust blocks were lying far apart. The Mongolian geosyncline system between the Siberian and the Sino-Korean-Tarim blocks serves as an example. According to Zonenshain et al., 1. The oceanic crust found in this system was not the remnant of a primitive ocean but was newly-born successively during the Paleozoic; 2. The opening of new ocean basin resulted in the closing of earlier ones; 3. The Paleozoic oceanic basins, when restored, had a size not beyond that of an inland (e.g. the Tyrrhenian Sea) or a marginal sea (e.g. the Japan sea); 4. Ophiolites occurred at different times, and some of them are convinced to be thrust over by the sialic block instead of subducting under it. All of these characteristics have to be taken into consideration for the Chinese part of the same geosynclinal system on the southern side.

Case III, where the ancient Pangea was in direct contact with the ancient Panthalassa. The western American Paleozoic Cordillera has a tectonic style quite different

from that developed since Mesozoic, and there are great diversities of opinions in explaining the Paleozoic development by the application of plate-tectonic model. Some other models, such as the "millipede model" of Wynne-Edwards which takes the ductile flow of crust material as an important factor for basin formation and subsequent folding, may be applied as an alternative explanation, especially when it is related with the mechanism of subsidence on passive margins postulated by Bott. This suggestion, albeit immature as it inevitably be, may perhaps offer a supplement to the sole extrapolation of the paradigms of plate-tectonics to earlier geological eras. In this respect, the origin of the Paleozoic basins of SE China in relation with the Caledonian and the Hercynian foldbelts is referred to be comparable with the Paleozoic Cordillera basins.

The tectonic regime of the intermediate stage lasted from the make-up to the break up of Pangea (B-A) is characterized by: 1. The mechanism of "Subfluenz" which resulted in the final establishment of Pangea B and was displayed in an ensialic environment; 2. The global change of thermal regime since the completion of the Hercynian folding as emphasized by Moody, Holmgren et al. and hence the formation of collapse basins chiefly in the realm of the Hercynian foldbelts; 3. Large-scale transcurrent movement occurred in the mobile Pangea B ranging from several hundreds to several thousands of kilometers and resulting in the formation of a set of extensional rifts and basins; 4. The "initial synchronism" between the formation of Pangea B and the break-up of Permo-Triassic Paleotethys; and 5. The change of tectonic patterns along the margins of the Pangea with the appearance of active subducting since latest Paleozoic and early Mesozoic. It is through this intermediate stage that a world with only one ocean and one continent was finally established and no sooner began to separate than to convert into a world with several of each. The concentration of most of the non-associated gas fields of the world in Permo-Triassic basins is not a matter of chance but the logical result of the geotectonical-geothermal regime of that stage.

As the tectonic regimes of the ancient global tectonic stage and of the intermediate stage mentioned above are different in many aspects with that of the global or plate tectonic stage, it is proposed to classify the related Paleozoic basins by another scheme in order to avoid the risk of being cast in a somewhat doctrinaire mould. The following is a tentative suggestion for Paleozoic basin types (prototypes) given in an alphabetic order:

a. Aulacogen (a-1) and its later development—syncline (a-2). As Shatski noted that aulacogen in its later stage always occupies a much more extensive area of sedimentation than the earlier rift and Bally pointed out that most of the cratonic basins (syncline) are rooted in buried rifts, they may be grouped together

as a natural combination of basin-prototypes.

b. Cratonic border with (b-1, Volga-Ural) or without (b-2, Central Appalachian) block-faulted basement, to which the superimposed fordeep (b-3), though of different age and mechanism of formation, may be regarded as a logical partner from the view of practical prospecting work.

c. Collapse basins(c-1) mainly on the basis of Hercynian foldbelts. Another kind of basins occurred in cratonic interior but with close relation to volcanic activities (e. g. the Amazon Basin) may be included in this category.

d. Cratonic depression (and arch) not related with underlying aulacogen and volcanic activities (d-1, Michigan basin etc.) with which may be attended the superimposing later Paleozoic portion of a composite basin (d-2).

e. Extensional rifts(grabens, trap-door basins) of different sizes, mostly resulted from the transcurrent movement, occurred within Pangea B in Permo-Triassic time.

f. Basins due to ductile flow of crustal material occurred on the ancient passive margins facing the Paleozoic Panthalassa.

It is hoped that the above suggested classification scheme may be helpful in differentiating the Paleozoic basins from the Meso-Cenozoic intraplate basins, so that they can be treated distinctively in concern of their habitat of petroleum and that the confusion in idea about the ambiguous term "cratonic basins" may be avoided.

However, the study of Chinese Paleozoic petroliferous basins is still in its infancy and many complexities should not be overlooked. The polycyclic tectonic evolution of China had caused so strong redeformation of the Paleozoic basins that cautious studies are needed in deciphering their original scope and nature and in evaluating their perspectives for oil and gas prospecting. The mechanisms of formation of Meso-Cenozoic basins (as enumerated by the author in other papers, namely, A-subduction, basement decoupling, collision and its far-reaching effect, differential subsidence related to mantle activities, extensions, fault-strike-slip movement and gravitational sliding) are meanwhile the mechanisms of redeformation of Paleozoic basins. Team works between palaeogeographers, tectonists, geophysicists, geochemists and petroleum geologists are required to solve a lot of complex problems raised by sedimentological and tectonical interrelations between basins of two generations. New frontiers may be explored here and there, and cautious studies will be proved rewarding in throwing the spotlight on them with new thoughts and new ways of approaches. For the purpose of prognosis, some suggestions for looking for new regions and new structural level of prospecting in Paleozoic basins are given in this article. They are highly speculative indeed and waiting for proof or disproof through practice. For the details, the readers are requested to refer to the Chinese text.