

石油天然气地质译文集

〈1〉



地质矿产部石油地质研究所 选编

地质出版社

IE 021-5

石油天然气地质译文集

<1>

地质矿产部石油地质研究所选编

地质出版社

内 容 简 介

本文集共收入80年代中期以来反映石油地质学方面最新研究成果和进展的七篇译文。内容涉及沉积盆地、物源区和沉积物分布、碎屑沉积中的相构形以及油气运移、有机地球化学等方面，可供从事油气地质普查勘探的生产、科研及教学人员学习参考。

石油天然气地质译文集

<1>

地质矿产部石油地质研究所选编

责任编辑：韩效亭 杨珊珊

地质出版社出版发行

(北京和平里)

同兴印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所经销

开本：787×1092¹/₁₆ 印张：9 字数：220000

1990年9月北京第一版·1990年9月北京第一次印刷

印数：695册 定价：4.60 元

ISBN7-116-00735-0/P·625

前言

52470/11
近几年来,国外在石油天然气地质、地球物理的新理论、假说和油藏工程、工艺等方面取得了较大的进展。为了促进我国石油天然气地质事业的发展,现根据国内生产、科研之需,选译了部分有关构造地质、沉积相、有机地球化学和油气运移等方面最新成就的文章,供读者参考。

在盆地研究方面,过去对山前拗陷关注较多,近年来,由于在前陆盆地内发现了许多油气田,从而使之得到了重视。虽然两者的地理位置相似,且均属压性盆地,但形成机制却完全不同。Allen在《前陆盆地概论》一文中较详细地说明了前陆盆地所具有的各种地质条件、地球物理标志以及对油气形成和移聚的影响等。R. Lucchi为著名沉积学家,对复理石研究颇有造诣。在其所著《亚平宁北部渐新世至近代前陆盆地》一文中对前陆盆地中以碎屑岩为主的沉积特征以及相分布作了精辟阐述。

对于张性盆地,国际上将其划分为两类,至今通用的模式有四个,但在实际应用中仍有不少困难。近年来,除了在沉积物分析、沉积相分配、厚度变化、沉积中心迁移等方面的研究取得较大进展外,更重要的成就是发现在盆地中广泛显示出张性作用的存在。造山作用终止后就有大规模的张性构造出现。拉张作用的波及深度可以从地表到地壳,甚至达到岩石圈。由于地壳拉伸,热地幔上升,盆地底面与M面呈镜像反映,所以研究中还应注意划分构造沉降与热沉降两大阶段。这对于客观上从生储盖关系做出估价是有意义的。Gibbs在《张性和混合型沉积盆地的发育》一文中讨论了盆地沉积盖层的构造现象,即早期断层的后期活动对上覆沉积层和构造变形产生的影响。

构造地质一直是石油天然气地质研究中的一个重要课题。新的构造理论和学说的兴起,必将对新类型油气田的发现产生影响。特别是把物源区、沉积区、岩相分配以及构造发展、演化和动力学作为统一的有机整体来研究的方法,定会给我国从事油气勘探和研究的地质工作者以启迪。

沉积学研究的进展主要表现在其细节和机理方面的深化以及与有关的边缘学科方面。在沉积相模式这种宏观认识已不适应岩性油气藏勘探开发时,微相研究又有局限性,相构形学说则应运而生,其核心是对层形和层组构的分析。1988年沉积学家Miall按沉积作用过程将微相归并为I—Ⅶ级相构形。如此则将相—构形—微相,沉积环境—过程—产物这两“链条”衔接起来。由于相构形是从岩心(露头)实际资料出发,可进行三维观察、计算机处理和与测井曲线对比,故此手段的应用范围仍可扩大。事实上,国外在指导岩性油气藏勘探及储层研究等方面均已较普遍地采用了此法。

研究碎屑物的陆源补给之所以再次成为石油地质学中的重要领域,是由于分析矿物成分变化对研究储层、检验古水流系统、了解盆地沉降史和层序变化具有重要意义。后者对油气运移条件有着重要影响,而岩石学研究手段的改进也使上述研究成为可能。Dickinson是这方面研究的代表。他在本文集收入的《物源区和沉积物分布与沉积盆地古构造古地理的关系》一文中,对三角图解及其解释方法作了重要改进,文中图3、图4和图5有较大的

实用价值,就其对全球物源分析的思路也是值得借鉴的。

盆地模拟工作把油气运移同烃类生成的时间、速率、数量及含油饱和度等问题联系起来,这为油气运移研究提供了新方向。数学模拟是解决复杂的油气运移问题的唯一途径。D.H. Welte在《烃类运移的现实和理论》一文中对数学模拟方法以及其中的重要物理化学参数的选择作了阐述。

工业的发展和先进的测试手段与方法极大地促进了有机岩石学和有机地球化学的研究。D.G. Murchison在《有机岩石学和有机地球化学的新进展——兼论“煤成油”》一文中不仅介绍了这两个领域中的最新进展并且预测了前景,而且着重列举了在世界很多盆地中,原油和煤的生物标志化合物是来自高等植物,代表陆源输入和沉积环境。并提出在适当条件下,煤不仅能生气而且可生油的依据。这就为我们开拓了更广阔的找油气新领域。

为了更多更好地介绍国外油气地质的新理论和新方法,我们今后将不定期地编辑出版此文集。为了办好这一文集,使之更符合实际的需求,我们欢迎广大专家读者推荐选题以及提出宝贵的建议。

此文集由情报室翁世劫同志选题,郑水吉同志主编,林天骐和李思奇两位同志对稿件进行了整理和加工。

本书中的非法定计量单位按如下关系换算:

1 ha(公顷) = 10^4m^2 ; 1 mile(英里) = 1609.344m; 1 acre(英亩) = $4.046856 \times 10^3 \text{m}^2$,
1 bbl(桶) = 119.2410L.

石油地质研究所情报室

目 录

前陆盆地概论..... Philip A.Allen,Peter Homewood,Graham D.Williams (1)	
亚平宁北部渐新世至近代前陆盆地	Franco Ricci Lucchi (11)
张性和混合型沉积盆地的发育	A.Gibbs (44)
物源区和沉积物分布与沉积盆地古构造、古地 理的关系.....	William R.Dickinson (56)
碎屑沉积盆地中的相构形	Andrew D.Miall (77)
烃类运移的现实与理论	D.H.Welte (91)
有机岩石学和有机地球化学的新进展——兼论“煤成油”	D.G.Murchison (101)

前陆盆地概论

Philip A. Allen, Peter Homewood, Graham D. Williams

一、引言

前陆盆地可以简单的定义为介于山系前缘及相邻的克拉通之间的沉积盆地，它与地槽概念和造山带发展“指向”概念 (Aubouin, 1965) 有着密切的联系。造山作用是从较深的外优地槽向邻接前陆的较浅的内冒地槽发展。Aubouin 所说的典型地槽都是欧洲阿尔卑斯体系的。1974年，Dickinson 正式引入了前陆盆地这个术语，并且提出了两种成因类型。

(1) 边缘前陆盆地，如印度—恒河盆地及北阿尔卑斯山磨拉石盆地。这些盆地紧靠大陆与大陆碰撞形成的造山带外弧 (Bally和Snelson的A型俯冲，1980)。

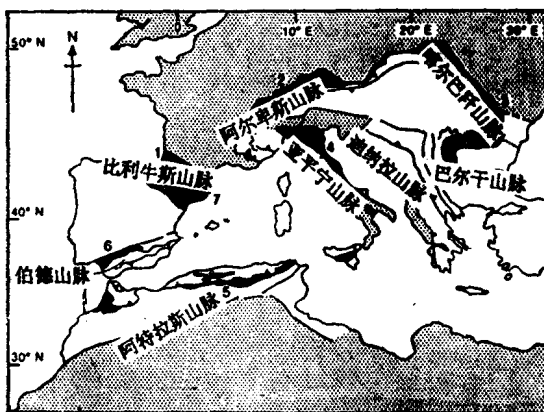
(2) 弧后 (retro-arc) 前陆盆地，如晚中生代至新生代的落基山诸盆地。它位于火山弧后，并且与大洋岩石圈的俯冲相联系 (Bally和Snelson的B型俯冲，1980)。

前陆盆地从广义上讲与大陆型岩石圈上的近地缝合线盆地相当，这种盆地与主要挤压变形或者大的地缝合线有关。然而，前陆盆地，尤其是支撑它们的岩石圈的状态，变化是很大的。人们总会意识到分类及术语问题，前陆盆地是从何演化来的，例如是从早先的海沟增生杂岩体演化而来还是更常见的从高度减薄的被动大陆边缘演化而来。图1表示的是欧洲阿尔卑斯前陆盆地。

对许多地质学家来说，前陆盆地的典型实例是磨拉石盆地。它环绕瑞士阿尔卑斯山，在侧向上，它向东延伸进入巴伐利亚和奥地利，向西南进入法国的 Savoy (Homewood, Allen和 Williams, Pfiffner, 本书)。磨拉石盆地的陆源沉积物，尤其是它所特有的较粗的碎屑岩相，已经

导致了以“磨拉石”命名沉积相，它表示较粗的、主要是陆相沉积物。这个术语本身可以进一步追溯至14世纪，指在瑞士 St. Maurice 附近的罗纳谷的建筑石材 (Rütsch, 1972)。

从上世纪开始 (Bertrand, 1897)，“磨拉石”这个概念已与造山作用晚期相联系，并引



■ 外前陆 ■ 外磨拉石拗槽

图1 欧洲阿尔卑斯与邻区的前陆盆地分布及主要构造单元

- 1—阿基坦盆地； 2—北阿尔卑斯（磨拉石）盆地；
- 3—喀尔巴阡前陆盆地； 4—亚平宁及Po盆地；
- 5—阿特拉斯前陆盆地； 6—北伯德前陆盆地；
- 7—南比利牛斯和埃布罗盆地

用到以后的各种地槽学说和板块构造学说中。在过去,“磨拉石”及其相应的名词“复理石”(Hsü,1970)曾出现过许多混乱,之所以这样,是因为它们既用于岩石相又用于构造相。在此,我们准备争论“磨拉石”这个词的用法,因为仅在这本书中它就用于表示许多种不同的意思(主要有:Homewood,Allen和Williams;Ricci Lucchi,本书)。进一步的讨论见于van Houten(1974)以及Mitchell和Reading(1986)的著作中。

二、岩石圈特征

对海山、洋中脊及边缘海沟的大洋型岩石圈所作的地球物理调查得出了一种认识,即岩石圈支持了上面所加重荷(Parsons和Sclater,1977;Watts,1978;Cochran,1979)。在大洋中,岩石圈看来是有弹性的,上加重荷时它的弯曲度仅仅取决于重荷的热时间。后来,对大陆型岩石圈也用了一种弹性模式(Watts,Karner和Steckler,1982),然而,这种纯弹性模式有许多缺点:

- (1) 它要求有极高的弹性应力(Turcotte和Schubert,1982);
- (2) 它不符合造岩矿物的变形规律(Goetze,1978);
- (3) 它不能解释在加荷事件发生之后所看到的岩石圈快速松弛到渐近弹性厚度(Bodine,Steckler和Watts,1981)。

相反,表现为粘弹性(马克威尔流变态)的岩石圈对加重荷的反应是非常不同的(Walcott,1970;Beaumont,1981)。粘弹性模式的主要特点是随着重荷的增加,岩石圈将逐渐变得柔软,因此它的弯曲度主要取决于上加重荷的时间。然而,粘弹性模式有一种令人难以接受的前提条件,即在整个地质时间中弯曲应力最终应消失为0(Karner,Steckler和Thorne,1983)。

在沉积学家和地层学家看来,要对盆地的几何形态进行调查,无论从一个极端来证实弹性岩石圈模式,或从另一极端证实粘弹性模式(虽然这样做是可以理解的),在很大程度上都是徒劳无益的。人们曾热切希望能够在沉积盆地内对主要由于重荷热收缩引起弯曲的这种地球物理模式进行验证,但前陆盆地复杂的地质情况使这些想进行研讨的人望而生畏。虽然如此,Jordan(1981)发现用纯弹性模式可以圆满地解释,在美国西部落基山的前陆盆地的沉降,而Beaumont(1978)则更倾向于用粘弹性来解释加拿大艾伯塔盆地的地层及沉降问题。

Kusznir和Karner(1985)强调了岩石圈的成分、温度结构在它对上加重荷的反应中的重要性。岩石圈物质对温度和压力的从属关系已用于建立一个热流变模式,用它来解释岩石圈的长期有限稳定性和短期快速松弛得到了令人满意的结果,这种模式,即在初始阶段的软化过程后,接着就是近于稳定或渐近稳定的阶段,尚待有详细材料的实例所证。

因为有效弹性厚度和岩石圈板块的挠曲刚度是它的热状态的函数(Courtney和Beaumont,1983)。发生在碰撞和弯曲之前的地质事件就很有意义。前陆盆地通常叠置在已减薄的大陆边缘。Stockmal,Beaumont和Boutillier(1986)分析了早先裂陷被动边缘内逆冲作用的意义。其中特别重要的是随着逆冲作用的继续,造山推覆体逐渐叠置在强度较大的岩石圈上。所有这些因素,以及其它因素,对于保存前陆盆地的地层,起了很大的作用。在

本书中, Houseknecht对美国中南部Arkoma盆地的石炭系, Wuellner, Lehoten和James对美国西得克萨斯Val Verde和Marathon盆地的石炭-二叠系, Hiscott, Pickering和Beeden对加拿大东部的古生界, 分别提供了早期被动边缘历史的清晰资料; 在欧洲, Homewood, Allen和Williams, 还有Pfiffner都对阿尔卑斯造山带中生代到老第三纪的赫尔文被动边缘作了记录。Covey描述了台湾西部叠置在中国大陆被动边缘上的前陆盆地沉积物。Cross描述了Sevier逆掩褶皱带的沉降和变形历史, 该褶皱带被叠加在早先岛弧及弧后地区已加热并拉张的岩石圈之上。Biddle, Uliana等在南美南部的麦哲伦古生代盆地, Audley-Charles在东南亚的班达造山带, 分别对从弧后盆地到前陆盆地的类似的演变过程中进行了观察。很明显, 构造“单元”、厚度及热结构等在上加重荷之前差别是很大的。

造山带的布格重力异常一般表现为大的“重力低”, 这种重力低通常从地形的最高点向前陆偏移, 有时共生的“重力高”要向上冲的板块方向偏移(图2)。开始, 人们详细解释布格负异常时, 只简单地认为是由于具质量亏损的巨厚地壳引起的, 而把正异常归因于深部存在有高密度体。后来, 由于利用了板块构造新的观点, 认为重力异常是由于板块的会聚、碰撞及俯冲导致的(Brooks, 1970; Daignières等, 1982; Fountain和Salisbury, 1981)。Karner和Watts(1983)用岩石圈的弯曲具体解释有关重力场问题。可以简单地认为, 前陆盆地中对布格负异常产生影响的沉积块体是由于板块碰撞引起物质的侧向迁移, 导致造山带前缘弯曲下降所形成的。在阿尔卑斯和阿巴拉契亚山脉, 由于前陆盆地的规模和看到的地形负载之间未能很好地吻合, 所以Karner和Watts(1983)就假设存在有“隐藏的”或在地下的重荷, 这是使前陆弯曲和沉降的驱动力。这种隐藏的重荷可能是由于板块碰撞引起的水平方向挤压应力的传递所致, 或以岩石圈中密度变化的形式出现。在亚平宁和喀尔巴阡山脉存在有同样的情况, 那里地形重荷本身显然不足以形成所看到的前陆盆地(Royden和Karner, 1984)。如果前陆板块早先已扩张过了, 并且在逆冲之前已有大洋低地, 那么只要有适当的地形表现, 就能发展成巨厚的逆冲推覆楔。Stockmal等(1986)认为, 这足以使地下隐藏有重荷的说法成为多余。在喜马拉雅山, 地形(或表层重荷)与观察到的前陆盆地布格异常较密切地对应(王、时和周, 1982)。可是喜马拉雅山的地形重荷太大了, 仅仅靠被掩印度板块的弹性应力是不能支撑它的, 这说明有外力系统存在(Lyon-Caen和Molnar, 1983)。有人将外力解释为作用在破碎的、软弱的印度岩石圈的冷却地幔上的重力。

一般认为沿着山脉的走向, 主要布格异常格局通常是一个可比的特征, 在横向上, 印

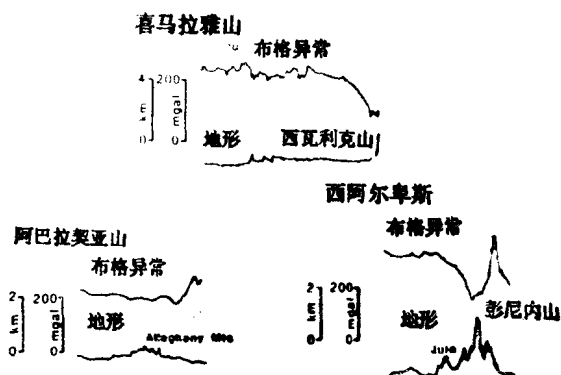


图2 横穿(A)阿尔卑斯; (B)阿巴拉契亚; (C)喜马拉雅山的重力纵剖面图(据Karner和Watts, 1983)

阿尔卑斯和阿巴拉契亚的布格重力都表现为大的不对称的负异常, 并伴有不对称的正异常。喜马拉雅则缺乏“重力高”。

度板块的挠曲刚度却有显著变化 (Lyon-Caen和Molnar, 1985)。相距仅200km的两条剖面的挠曲刚度相差达10倍。这样大的变化, 用弹性岩石圈是不好解释的, 因为其挠曲刚度仅仅取决于其受热年龄。

三、沉降史和沉降中心的迁移

由广泛沉降而形成沉积盆地的首要原因就在岩石圈中。这有许多机理, 包括: 地幔物质以热上升射流或板块形式 (后来变冷) 引起大陆扩张, 地壳上层或壳下层重荷导致的弯曲, 以及由于冷岩石圈底蚀作用引起的下拖等。

裂隙-拗陷和大陆边缘盆地的沉降史已得到广泛证实, 其组成为初始断层控制的快速沉降及后来的由热收缩和沉积物重荷导致的呈指数递减的沉降。尽管关于初始热、盆地形成事件的详细性质可能还有争论, 但对于沉降曲线的指数线段是岩石圈冷却的反映这一点, 看来是无疑的。对前陆盆地典型的沉降史了解还非常少。Kominz 和 Bond(1982)分析了北美西部的前陆盆地, 这些盆地是由科迪勒拉造山带逆冲而来的; Beaumont(1981)作了加拿大艾伯塔盆地从中生代到老第三纪的盆地模拟; Jordan(1981)研究了爱达荷-怀俄明冲断层带及相邻的前陆盆地。Kominz和Bond 热模拟方面提供了对丹佛盆地、绿河盆地及艾伯塔盆地的分析。

Kominz和Bond(1982,1986)的结论是沉降的幅度随其与造山带的距离增大而减小, 这很少出现例外。在本书中, Homewood、Allen和Williams用脱压实地质史曲线也证明了这一结论。另一个特点是前陆盆地开始下降时是相对平缓的, 表现为向上凸起的 (加速的) 沉降曲线, 沉降速率明显地高于上述指数线段, 这是丹佛盆地、绿河盆地及艾伯塔盆地 (在Kominz和Bond, 1986著作中都作了说明) 的特性, 也是Cross描述的瑞士西部磨拉石盆地, Sevier褶皱冲断带的Hoback 及西南蒙大拿地区的特征。这肯定不是一个普遍的特征, 例如Cross对犹他州所作的地质史曲线中, 在Sevier逆掩载荷的开始, 其沉降速率不是逐渐加速, 而是突然急剧加速, 所绘出的沉降曲线不是象前边所讲的向上凸的曲线, 而是有一个尖锐的角度。Massari、Grandesso等, 以及Ricci Lucchi 分别给出了意大利威尼斯和亚平宁北部盆地渐新世到现代的沉积物聚集速率。Burbank、Raynolds和Johnson提供了喜马拉雅西北部前陆盆地的沉积物聚集速率, 主要依据是近5Ma的古地磁年代表。对喜马拉雅西北部来说, 沉降速率随时间、空间有巨大变化, 可以认为与后陆构造细节有关, 在阿根廷的安第斯东部新生代前陆盆地中也可以鉴别出类似的特征。这里, 大约在9Ma前, 随着前科迪勒拉中央的隆起, 沉积物聚集的速率可增加到原来的5倍 (Johnson, Jordan等人)。Anderson、Goodwin和Goodmann提出一种完全不同的方法 (地层学方法), 用分层段加积旋回来估算不同的沉降速度。

前陆盆地的一个常见特征是它的沉积中心和边缘尖灭线的迁移。Ricci Lucchi描述了亚平宁北部沉积中心及边缘尖灭线移动的开始—停止的形式。亚平宁前陆盆地在渐新世—中新世“复理石”期以5—10mm/a的速度向亚得利亚边缘爬升, 而在以后的上新世—更新世的“磨拉石”期, 沉积中心和尖灭边缘的迁移不稳定而且速度也降低了。Homewood、Allen和Williams对瑞士西部欧洲前陆用尖灭归位的方法, 推测沉积速率从渐新世的9mm/a逐渐降低到中新世的仅2mm/a。在喜马拉雅前陆盆地进行的类似研究得出, 在过去的15—

20Ma中平均速率为10—15mm/a (Lyon-Caen和Molnar, 1985)。据Puigdefabregas, Munoz和Marzo描述,在比利牛斯山脉东部的Catalonian前陆盆地的沉积序列逐渐向南加积,沉积中心的迁移速率和上述的差不多。Burbank、Raynolds和Johnson推断,粗砾石相从喜马拉雅山脉向西南方向移动到前陆盆地的速率为30mm/a。但是这代表一个瞬时值,如果在时间上外推太久,是很危险的。Audley-Charles报道,在中—晚上新世期间,帝汶槽地轴向澳大利亚克拉通方向以惊人的速率75mm/a移动。所有这些速率都反映了前陆盆地类型均具有一个活动的后陆。

能有把握地把前陆盆地的沉降与受其它机理控制的沉降类型区别开来吗? 岩石圈扩张引起的断层控制的沉降类型,已有McKenzie(1978)、Sclater和Christie (1980)给出, Dewey(1982)对之作了生动的图解说明。这种沉降的幅度由岩石圈的厚度、密度、温度条件以及拉张系数 β 控制。当 β 值一定时,主要的因素是地壳厚度(地震的)与岩石圈厚度(热力的)之比值,这个比值变化是很大的,例如,在岛弧和古老的克拉通之间就是这样。在北海的研究得知,断层控制的初始沉降占总沉降的38%,其余的沉降可归因于热收缩。

北阿尔卑斯磨拉石盆地的脱压沉降曲线与北海钻井的热沉降曲线(Sclater和Christie, 1980)都展示在图3中。很明显,这两种盆地类型的沉降速率有一个数量级之差。对于

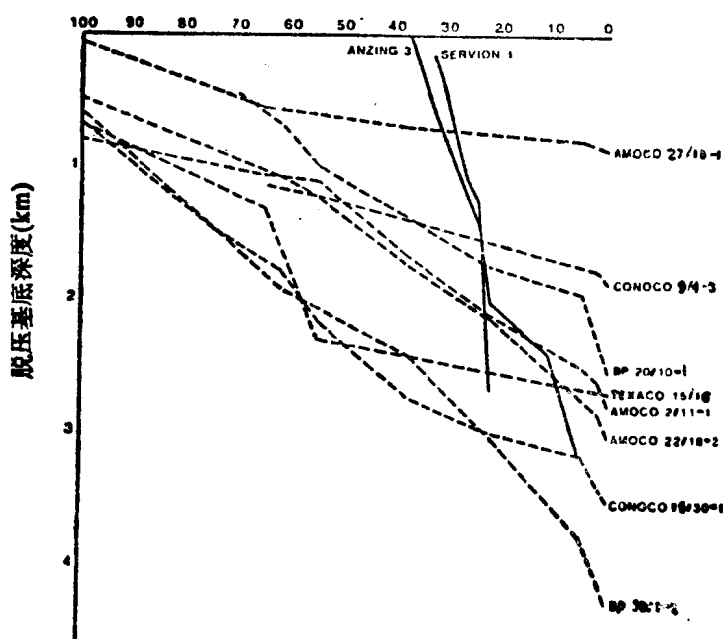


图3 北阿尔卑斯前陆盆地和北海中部部分钻井的脱压沉降曲线图

地层柱脱压用Sclater和Christie (1980)所述的方法。北海钻井的中白垩世后的曲线梯度根据Sclater和Christie推测的拉张量决定;在磨拉石盆地 Servion 1 位于瑞士西部小阿尔卑斯前缘带, Anzing 3 在德国南部慕尼黑附近

断层控制的初始沉降来说,磨拉石盆地所看到的全部沉降需要拉张系数在2—3之间,并应设定沉积物把这种下降的空间全部连续填满,且地壳和岩石圈的厚度分别为31.2km和125 km。然而要形成10km厚的沉积充填盆地,意味着拉张系数要超出岩石圈的容许范围,并

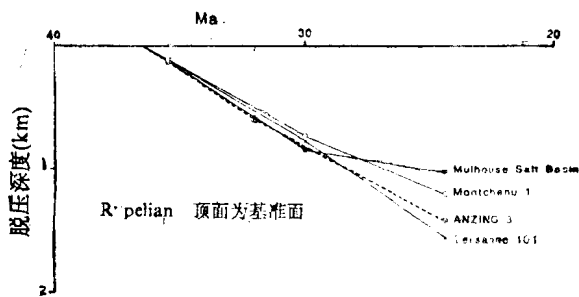


图 4 磨拉石盆地 (Anzing 3)、莱茵地堑南部 (Mulhouse 含盐盆地) 及 Valence 盆地 (Tersanne 1 和 Montchenu 1) 脱压沉降曲线 (据 Debrand-passard, 1984)

显示拉张断层控制的沉降与前陆盆地的沉降的类似特征

四、构造演化

用最简单的话来说, 前陆盆地发育于活动的冲断带前缘, 在那里, 主要的沉积物搬运方向指向演化的盆地。因为冲断带重荷本来就是变动的, 所以前陆盆地本身也包括在变形之中 (图5)。至于盆地受切割或完全滑脱到什么程度, 取决于一些变化的因素, 包括: 冲断带峰的前进速率、盆地以下易滑动层位的有效性以及会聚角度。如果聚集沉积物的盆地

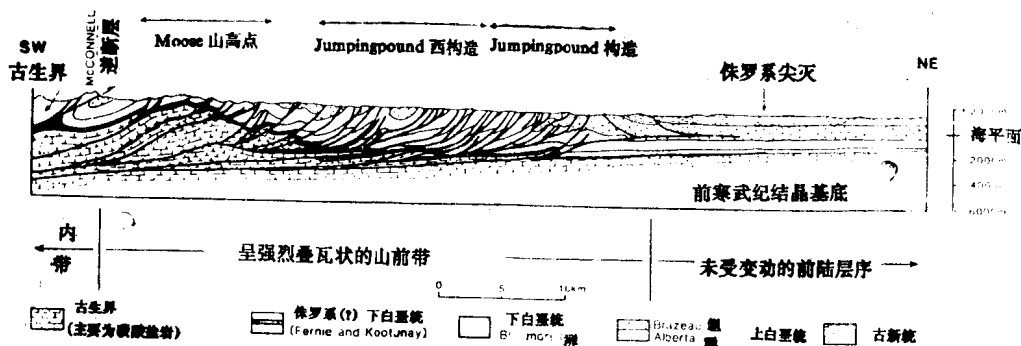


图 5 切过加拿大艾伯塔省落基山脉前缘带的构造横剖面图 (据Ollerenshaw, 1975)

图中展示在山前区的前陆盆地有强烈的叠瓦状构造发育,而在东北方向的地层则保持原状

位于活动的冲断系统的前方，就可以把它叫作前缘槽地或狭义的前渊。当盆地以下已发生变形，以致使它停留在活动的推覆体之上，人们就把它叫作推覆体顶部盆地 (Ori和Friend, 1984) 或猪背式盆地。沉积作用的这些不同的构造背景在欧洲的阿尔卑斯山链是非常明显的。

据Homewood、Allen和Williams, 瑞士磨拉石盆地的沉积主要发生在逆掩峰之前。尽管人们相信推进的阿尔卑斯推覆体部分为侵蚀碎屑所埋藏, 沉积中心看来始终接近于并

位于推覆体前缘线的前方。当变形扩展到侏罗省, 沉积作用后的构造活动就使瑞士西部和中部的整个盆地滑脱, 而在瑞士东部, 更远到巴伐利亚及奥地利, 则没有任何滑脱的迹象。地下存在有厚层三叠系岩盐层, 使得盆地西部的滑脱成为可能 (Rigassi, 1977) (图6)。但是在亚平宁山链出现的则是另一番景象, 在这里, 冲断带前缘的主要盆地都伴有重要的猪背式盆地, 这些猪背式盆地都位于亚平宁推覆体的顶部 (Ricci Lucchi)。当整个系统都向克拉通方向移动时, 猪背式盆地和前缘槽地盆地中的沉积事件几乎是同时发生的, Ricci Lucchi 称此为“复理石期”。在中新世末期, 当冲断带隆起受剥蚀并向 Po 盆地磨拉石相提供碎屑时, 它们就互相滑离了。Ori、Roveri 和 Vannoni 根据对亚得利亚海中部的地震地层学和构造研究提出, 上新世—更新世沉积序列的连续性。在亚得利亚海的亚平宁前陆盆地受到同期的上新世—更新世冲断变形的强烈影响, 构造高点又受到边坡坍塌的剥蚀和海底侵蚀作用, 以及在更外侧地区, 在隐伏逆掩上覆盖着隐蔽褶皱。Pescatore 和 Senatore 描述了亚平宁山脉南部中新世猪背式盆地和前缘槽地的上述连结方式也存在于 Irpinian 盆地。晚第三纪到第四纪变形向东和向南移动, 使得沉积物移向 Taranto 湾。意大利北部的威尼斯盆地是一个复杂的经历过多次运动的盆地 (Massari, Grandesso 等)。在渐新世—中新世期间, 它是位于其东南的 Dinaric 造山带的一个前缘槽地, 但是, 到中新世末期, 它卷入了亚平宁南部运动体系。随着斜向会聚, 沉陷和冲断沿着 Dinaric 山链的走向从西向东移动。

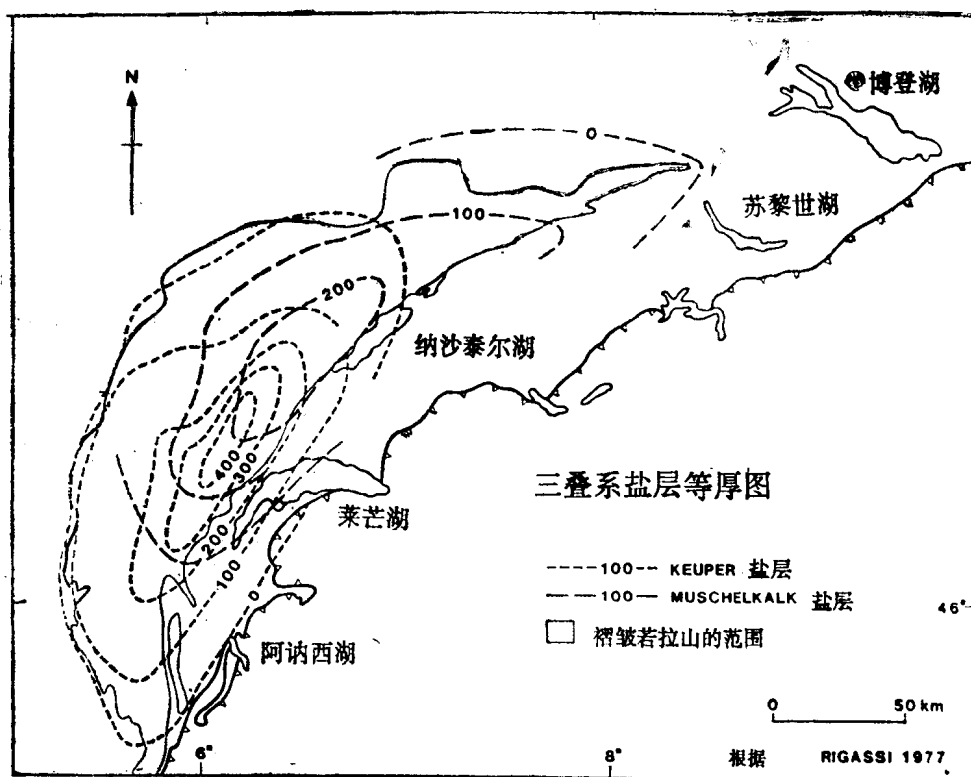


图 6 瑞士前陆三叠纪岩盐等厚线图 (据 Rigassi, 1977)

褶皱的侏罗系分布范围与地下作为易滑动层位的岩盐层的分布很相似

西班牙的比利牛斯山脉南部是另外一个猪背式盆地和前缘槽地盆地连接组合的例子。比利牛斯山脉南部中段早已有论述 (Rosell和Puigdefabregas, 1975; Mila 和 Rosell, 1985对沉积和地层的论述; Williams, 1985对现代构造的概述)。在本书中, Puigdefabregas, Muñoz和Marzo提供了对东段的构造、地层及沉积学的综合研究成果。

在边缘盆地序列中的同构造期不整合证明构造活动与沉积作用的同期性。Anadon、Cabrera等人指出, 西班牙 Ebro盆地东部早第三纪沉积中, 同构造期层内不整合发育在如下一些构造背景下: (1) 在冲断层前缘; (2) 沿着与基底卷入的走滑断裂有关的隆起构造; (3) 与中生代基底的同构造期褶皱有关。美国肯塔基州石炭系中, Tankard 的同构造期不整合, 可以解释为由于阿巴拉契亚前陆盆地的尖灭边缘或向克拉通方向的挠曲前缘拱起区的抬升造成的。这种前缘拱起以辛辛那提—Waverly隆起为代表, 在构造稳定期向东(盆地方向) 迁移, Tankard相信这种现象是由粘弹性岩石圈张弛(变软) 引起的。

区域地质构造对沉积物散布形式有很大的影响, 隆起的冲断带前峰可能没有成为沉积物的主要供应地, 但它可以成为物质向盆地方向搬运的屏障。Hirst和Nichols在比利牛斯山脉南部已很清楚地论述了这种作用。主要冲积支流系统的顶均位于冲断带前缘的构造低处, 这种系统深入比利牛斯造山带从广大汇水流域得到沉积物。与此相反, 比利牛斯山脉南部前缘冲断系中的“外部山脉”冲断带前缘只有局限的汇水盆地与之相邻, 如Aguero (Nichols, 1986) 那种很小但大大暴露的冲积扇。在亚平宁海相层序中, 前缘冲断系对沉积物的散流起了同样的阻挡作用 (Ricci Lucchi)。

由于造山楔的缩短引起海底坡度的增大, 从而导致了诸如滑坡、滑塌、重力流的产生, 瑞士和法国阿尔卑斯的野复理石和片岩是一个实例, 另一个实例是亚得利亚海中部的剥蚀杂岩。

横断层, 无论是侧向的和斜向的对冲断层, 与冲断层系毫无关系的走向滑动断层或者是张性构造, 在把造山带剥蚀的碎屑移到前陆盆地时, 都起到通道或渠道的作用, 而且如果这些断层横穿盆地, 那么它就可能造成盆地中沉积充填物厚度的巨大变化。Burbank、Raynolds和Johnson, Ricci Lucchi, Massari, Grandesso 等人, Homewood, Allen 和 Williams以及Hirst和Nichols都评述了这种断裂线所起的作用。在亚平宁造山带内横断层发育很早。把Marnoso砂岩分为两部分的Sillaro线, 主要起着垂直断层的作用, 使得渐新世—中新世的阶梯状断裂在中新世末期倒转了。在另一方面, Forli线是具有地震活动性的新构造断裂线, 在墨西拿 (Messinian) 期它分割了不同的蒸发盆地, 在更早些时候又为海底古河道提供场所。据Massari, Grandesso等描述, Forli线可能与亚平宁冲断带毫无关系, 它更接近于分割阿尔卑斯南部的重要横向单元。

到目前为止, 无论是与大陆边缘裂陷有关的或与其它机理(如弯曲引起的扩张) 有关的古张性断层的倒转, 都还没有得到广泛的证明。例如, Jackson (1980) 指出, 扎格罗斯山脉的一些古老犁式正断层由于冲断带的作用正在复活, Stoneley (1982) 也描述了不列颠 Wessex 盆地的一个实例。当然张性构造在前陆盆地发育的早期是常见的。Houseknecht展示了在穿过Arkoma盆地的地震解释图中正断层被一些低角度的冲断层所截断。在瑞士东部的阿尔卑斯山, 前陆盆地的最早沉积物充填在由基底断层所限定的张性盆地中(晚始新世—早渐新世)。根据Pfiffner的详细恢复, 后来的压缩集中在较浅的地壳层。在这个实例中, 他显然排除了利用同一断层面发生的重大反转的可能性。

五、前陆盆地沉积的岩石特征

很久以来,人们一直认为磨拉石沉积在分析造山作用晚期历史时起着非常重要的作用。根据沉积序列中出现的不同碎屑类型或特征性重矿物组合,就能够评估把比较深的构造层带到地面时的去顶历史(如: Füchtbauer, 1967)。能否用岩石中的轻矿物组分来区别前陆盆地和其它类型盆地呢? Schwab 动手解决这个问题,在沃希托、阿巴拉契亚、科迪勒拉和阿尔卑斯带采了古岩石组合样品,这些岩样相互之间作了对比,还把这些岩样同现代深海沉积及大陆边缘沉积也进行了对比。Schwab 的观点认为,前陆盆地的早期沉积中,石英矿物丰富,而长石矿物很少,说明物源区主要在克拉通上,而后期沉积中含有丰富的岩石碎屑,说明物源区在造山带。很少一部分来源于隆起的俯冲带杂岩,或火山弧。Lawton 和 Graham 等人的详细专题研究集中讨论了碎屑类型。犹他州白垩纪前陆盆地 Indianola 群的成分(Lawton)中,石英碎屑含量呈现出向上增多的趋势,这与 Schwab 所提出的一般趋势刚好相反。这种情况反映首先是 Sevier 推覆褶皱带的中一晚古生代碳酸盐岩的风化和剥蚀,后来是深部前寒武纪到寒武纪的石英岩及泥质岩被削蚀。这些截然不同的补给与沿不同冲断层的主要对冲隆起有关。继续变形时,Indianola 群褶皱,沉降中止。Graham 等人对蒙大拿州西南部麦斯特里希特期 Sphinx 砾岩的研究强调了物源区随时间变化的重要性。发现寒武系到白垩系的碎屑在层序中倒转,而且层理的发育(粒度和厚度)与拉拉米前陆冲断带中稳定碎屑可获量有密切关系。Graham 等的主要论点是,在决定前陆盆地沉积类型中,除了构造条件和气候条件的影响外,物源区的演变起了基本的,有时是重要的作用。

六、前陆盆地的演化

前陆盆地最早的沉积物通常主要为细粒的,常常是浊流沉积,聚积在大陆架以下的水深范围内。巴基斯坦小喜马拉雅山的 Murrees 组,北阿尔卑斯前陆盆地的 Taveyannaz 和 Val d'Illez 砂岩,亚平宁北部的 Marnoso 砂质岩,及比利牛斯南部的 Hecho 群都是很好的例子(Labaume, Séguret 和 Seyve, 1985)。本书中另外有一些鲜为人知的资料,如台湾上新世—更新世前陆盆地的早期沉积物(Covey)、魁北克古生代(塔康期)前陆盆地(Hiscoett, Pickering 和 Beeden)及南美南部白垩纪—第三纪的麦哲伦盆地留下的沉积物(Biddle 等),基本上全为深水沉积。前陆盆地的后期沉积物,相应地主要以浅水或陆地为主,具有典型的“磨拉石相”的特征。小喜马拉雅的 Siwaliks 组(Graham, Dickinson, 和 Ingersoll, 1975; Parkash, Sharma 和 Roy, 1980)及欧洲阿尔卑斯周围的淡水磨拉石沉积都是极好的例子。Miall(1978)早已认识了这种演化模式的重要性,Covey 也曾相当详细地讨论过。台湾西部前陆盆地的早期深水阶段与台湾造山带生长相伴随,但其地形相对降低,而且沉积供应速率也相对较低。当造山带生长到“稳态”规模,快速侵蚀由上升隆起补偿时,晚期浅水阶段就出现了。在这个时期内,碎屑充填了盆地,多余的碎屑又由河流及浅海作用从前陆盆地带走。从而形成稳定的盆地形态。本书后面24篇文章中,可能会给那些希望验证这一假设的人们提供一些基本的实际资料。

一般认为,前陆盆地早期没有填满的阶段,可能是初始拉张岩石圈外加重荷的自然结果。对正常的没有拉伸的地壳来讲,碎屑楔的出现和倾泻与地壳开始缩短相伴随,而对于逐渐变薄的地壳来讲,快速碎屑沉积的到来受造山旋回一再的拖延,直到造山带暴露在海平面之上 (Dewey,1982,第400页)。这强调了在充分了解前陆盆地发育对造山运动的反应之前,需要对岩石圈漫长的历史进行调查。

七、结 语

目前,前陆盆地出现了有良好基础的关于沉积作用和构造作用的模型。在1985年9月弗里堡会议上发表的实例和本专集中的实例,无论是近代到现代的、第三纪的、中生代的还是古生代的,都有一个共同的特点。这种明显的一致性,可能部分地是由于对一些流行的教条不加批评地予以盲从,我们应当谨防这种可能性的发生。

我们认为这本专集出版很及时,它对前陆盆地的研究现状作了综述,这个题目肯定尚未结束,继续研究和进一步调查,定能提出不同的概念和解释,我们希望本专集能促进这个过程。

杨瑞召 译自《Foreland Basins》(1986)P.3—12

郑水吉 校

(参考文献略)

亚平宁北部渐新世至近代前陆盆地

Franco Ricci Lucchi

摘 要

伸长的前陆盆地是由于渐新世—第四纪的非洲—亚得里亚大陆边缘的压缩和缩短而形成，且多为浊流沉积所充填。不象其它的前渊盆地（如落基山区），沉积场所就在褶皱带内，因此大盆地（前渊）与推覆体上猪背式载着的小盆地相联系。该体系主要呈阶梯状向克拉通方向迁移，反映出逆掩活动和静止的交替。在中新世末以前，大盆地和卫星盆地的沉降旋回和沉积旋回都是同步和有相互联系的，之后两者才失去联系。亚平宁山系主脉的形成使磨拉石阶段替代复理石阶段，补给区则从阿尔卑斯变为亚平宁，但深水再沉积仍占主导地位，沉降轴的迁移变慢了而垂直运动显得更重要。当 Po 盆地的沉降和沉积速率增大时，古老的前渊楔状体并入逆掩带中并且抬升。

前渊和底部为逆掩断层的沉积地层特征在沉积序列上有所改变，中新世地层不仅反映区域构造控制因素，而且与 Vail 全球的海平面变化曲线紧密相关。本文讨论了有关边缘和盆地沉积层序的相互关系、分布型式、盆内自源补给、重力流的地形控制及特殊碎屑岩相的实例。

一、引 言

亚平宁山脉由延伸到非洲大陆端部（亚得里亚前陆）的推覆体和逆掩体构成（Elte 和 Scandone, 1980）。尽管亚平宁逆掩带形态上类似俯冲复合体（图 1），但除其最上部的构造单元（Ligurian 岩席）为海相外，其它均由陆相岩石组成。Ligurian 岩席构成亚平宁山脉和阿尔卑斯山脉最高的推覆体。它是晚白垩世至始新世的非洲大陆与欧洲大陆碰撞所封闭的小型残留海洋。碰撞缝合线如图 2 所示。

按大多数人的观点，海洋岩石圈完全消失在欧洲克拉通之下（相反的意见，参阅 Reutter, 1981）。所以就把随后的亚平宁造山运动（渐新世—现代）称为“碰撞期后”造山运动，并用硅铝层或 A 型俯冲来解释（Kligfield, 1979; Bally 和 Snelson, 1980; Boccaletti 等, 1980; Roeder, 1980）。Ligurian 地体（LIG）经阿尔卑斯逆掩作用使之变形后，就并入相反方向（E-NE）的亚平宁逆掩带。甚至在特提斯海消亡之后，欧洲大陆与非洲大陆的相对运动仍在继续，并在亚平宁造山运动中起主要作用。一般来说，该山链也是大陆碰撞的产物。在其向前陆迁移期间，亚平宁逆掩断层把越来越年青、以碎屑为主的前陆沉积物也合并进去，逆掩作用决定了它们的沉积和变形条件。伴随着逆掩断层的推进，张性盆地在其“辙”扩张开，因而使后逆掩区不整合的“造山期后”沉积与该逆掩带“前缘部分”的“同造山期”沉积是同一时代。本文未考虑陆后盆地和山间盆地范畴的情况。

亚平宁区的基底并未出露，它卷入逆掩断层是根据地球物理证据得出的（图 2, La Vecchia, Minelli 和 Pialli, 1984），地表构造反映沉积盖层的滑脱和不谐合褶皱作用（图 3）。