

文章编号: 0253- 9985(2004) 02- 0149- 07

漫谈前陆逆掩断层带油气勘探的经验教训

甘克文

(中国石油石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要: 前陆盆地是在克拉通之上由被动边缘地台型沉积区转变为造山前渊的陆源碎屑沉积区。伴随挤压变形, 在造山带及其前渊产生由厚皮到薄皮的复杂变形构造。因受原始和后期从构造背景、沉积体系到运动条件的控制而具有多样性。虽然前陆盆地是世界上最重要和高产的含油气盆地类型, 但油气田只保存于盆地有同造山期沉积盖层的范围内。由于邻造山带一侧, 冲断褶皱构造明显, 加以地面油气显示, 是早期油气勘探的目标。1975 年开始的逆掩断层带找油热只是因为三维地震和钻井技术的进步, 能识别冲断层下伏的构造面貌和圈闭条件, 但当把逆掩断层带的构造现象当作主要因素去找油气聚集时就受到了挫折。实践证明, 只有在保持同造山期沉积的现存盆地内, 而且下伏有前造山期沉积层序的条件下, 才具有找到油气储集潜力。

关键词: 前陆盆地; 逆掩断层; 油气分布; 勘探历史; 经验教训

中图分类号: TE111. 4 文献标识码: A

An informal discussion on experiences and lessons of petroleum exploration in foreland over-thrust zone

Gan Kewen

(*Petroleum Exploration and Development Research Institute, PetroChina, Beijing*)

Abstract: Foreland basin is an orogenic foredeep filled with terrigenous clastics, that has been developed on a craton and has been converted from a passive margin and platform-type sedimentary area. Complex structural deformation, from thick-skinned to thin-skinned structures, has occurred in the orogenic belt and its frontal region along with compressional deformation; and structural styles are varied, due to the control of tectonic settings, sedimentary sequences and movement characteristics. Although foreland basin is the most prolific basin type, hydrocarbon accumulations can only be preserved in regions where there are synorogenic sedimentary covers. Since thrust-fold structures are clear, and there are oil and gas seepages in the area neighboring the orogenic zone, thus the mountain front became the main objective area in the early stage of exploration. The exploration campaign in foreland overthrust zone since 1975 has been the result of advances in 3-D seismic survey and drilling technologies which make it possible to recognize structural features and trap conditions beneath the thrusts. Failures often occur in exploration when the thrust zones are taken as the main targets for exploration of hydrocarbon accumulations. Practices have shown that only the basins that have preserved both the synorogenic sediments and underlying pre-orogenic sediments would have exploration potentials.

Key words: foreland basin; thrust; hydrocarbon occurrence; exploration history; experiences and lessons

前陆冲断层(thrust) 或逆掩断层(overthrust) 带找油热是 1975 年美国在落基山前缘发现 Pineview 油田后, 接着在附近又发现了几个较大油气田而引起的。这股风传到国内是在 1982 年。其实, 也是 1975 年, 我国在鄂尔多斯盆地西缘的摆宴井发

现了中下三叠统冲断层叠覆下的侏罗系油田, 只因是个小油田而未引起注意。

到 1985 年, 经过了全球性的一番逆掩断层带找油气热, 作者经调查研究后, 认为“脱离了含油气盆地谈掩冲带或冲断带的油气远景是没有意义

的”^{*}; Pratsch^[1]则认为“逆掩断层带中的油气勘探与其他地区的油气勘探没有本质上的区别”。实际上,经过10年勘探热潮后,证明掩冲带的勘探多数是失望的。

20世纪80年代后期,东委内瑞拉盆地北部发现了富里尔高产油田带和哥伦比亚在东科迪勒拉山前缘发现了库西亚纳大油田后,使人们理解到在前陆冲断带区仍存在重大发现的机会。不过,当某外国石油公司与我国有关部门讨论在东科迪勒拉山边缘区合作勘探时,作者持否定态度。

近年来,由于有专家提出我国有许多前陆盆地,其前缘的逆冲断层构造发育,所以有极大的油气资源潜力。在勘探过程中,于塔里木盆地的库车坳陷和酒泉盆地的青西洼陷分别发现了克拉2号和青西那样的大型油气聚集,更促使人们认为在逆冲推覆构造带找油大有希望。

此文是作者最近在中国石化股份有限公司召开的“逆掩推覆带油气勘探研讨会”上的学术报告前半部的修改稿,目的是说明逆掩断层带是“一种普遍的构造现象,只有在有利含油气盆地的特定条件下,后期又有良好的封堵保存条件,才能产生重大的经济意义”,而“把构造现象当作油气聚集的本质,夸大了掩冲带的油气远景”。

1 前陆盆地和逆掩断层带定义的说明

本来前陆盆地(foreland basin)与逆掩断层带(overthrust belt)是很通常的地质术语,但是到了国内变得有点复杂了,尤其是因为据统计前陆盆地具有较多的油气资源和在逆掩断层带相关的构造中发现有大油气田,似乎只要挂靠上这两个名称,就可以表明那里就有了巨大的油气资源前景,并有可能招来可观的勘探投资,因此只要是靠山的盆地就是前陆盆地,甚至夹持在两山之间的盆地或者只要是磨拉石和复理石沉积的盆地都可成为前陆。至于逆掩断层更是改称为推覆带和推覆构造,只要是挤压性质的断层就非推覆不可了。

新老的国际知名地质学家^[2~5]都明确指出,前陆盆地是在克拉通之上邻造山带的沉积盆地,因冒地斜逆转成为造山带而在相邻的克拉通一侧产生重力均衡性质的沉降形成粗碎屑岩即通常称为磨拉石层序并向前陆方向进积,同时伴生逆掩断层带的变形体系。前陆就是指原来由大陆的被

动边缘外侧深水沉积区而言的。特别要强调的是大面积的刚性陆壳或岩石圈才属于克拉通,其中由古老基岩组成的区域属地盾,上覆稳定型沉积盖层的称地台。但是,目前国内有些地质学家只要出露部分古老基岩或者有台地相沉积的就认为是克拉通,上覆磨拉石层序则更被看作是前陆盆地,从而在褶皱造山域中也可划出某些克拉通块体,成了到处可以有前陆盆地。

其实,Halbouty等^[6]就早已指出前陆区是复合盆地,由下伏古生界碳酸盐岩台地型沉积旋回和后来上覆源自造山带的陆源碎屑岩沉积旋回组成。Bally和Snelson^[3]则把前陆盆地称为前渊和下伏地台沉积组合的盆地,或称为围绕陆壳邻A俯冲边缘的盆地,他们还专门指出前渊沉积早期的深水“复理石”型层序和后期的浅水“磨拉石”型沉积,由于认识的不足和常被误用,建议放弃。Sengor^[7]在研究欧洲阿尔卑斯褶皱的演化时,十分明确地表示出复理石是从地壳由分裂离散转变为聚敛发生洋壳俯冲时的产物,磨拉石则是达到陆陆碰撞时的沉积。此外,他还特别强调在特提斯形成至关闭成山的过程中,除了南北两侧分别为冈瓦纳大陆和欧亚大陆外,中间的造山域是由若干缝合带和大小不同的地壳或岩石圈实体拼贴而成,这种块体包括大陆边缘微陆块,岛弧,增生杂岩体,少数情况下还包括洋底高原,海山及无震海岭。显然,所有这些块体即通常所说的地体,在碰撞拼贴过程中会发生强烈的变形,不能因为有老地层就把它们当作克拉通看待。

由于板块聚敛从地体拼贴到陆陆碰撞处于一个整体挤压的背景之中,使地壳表面大量缩短变形,从而产生许多挤压褶皱和从冲断层到推覆体的断层破裂。过去人们只能从地表所见断面倾角大小区分为高角度的逆断层(reverse fault)、低角度的冲断层(thrust),断面更平的逆掩或掩冲断层(overthrust),以及外来岩体(allochthonous)的推覆体(nappe)。现代科学技术的发展,尤其是深地震剖面的成果,使地质学家更清楚地认识到这种冲断或逆掩体系是在统一应力场的背景中,因应变材料构造岩石组成背景的不同,会形成复杂多变的形式。尤其是在造山带和克拉通的边界附近,更受到原始前造山期被动大陆边缘结构特征和同造山期挤压从增生靠接到碰撞变形过程的发展,形

* 中国石油石油勘探开发研究院. 掩冲带及冲断带与油气勘探概论(内部报告). 1985

成多种形态的断层组合,一般区分为与基底卷入的厚皮(thick skinned)构造和只在沉积层中变形与基底脱开(basement detached)的薄皮(thin skinned)构造两类。

从逆掩断层带找油热进入我国以来,国内地质学界盛行把逆掩断层带说成是推覆带,从中文字意“over”是覆,“thrust”是推,似乎无可厚非,但因此把原地岩体一旦冲断所形成的逆掩带说成了推覆带,掩冲簾(thrust sheet)说成了推覆体(nappe),扔了外来岩体的限定,从而把意义搅混了。学术界的惯例是前人已定名的后人无充分证据表明其不确切或错误,不能随机混用。同时,从美洲引发的案例,人家从来都没有用过“nappe”一词。无论从科学的习惯上讲或者从术语的规范化言,建议国内石油地质学界宜与国际同行统一,免得引起误解,尤其是前陆逆掩断层带的油气聚集,本质上发生在与基底脱开的薄皮构造范畴内。

2 前陆逆掩断层带油气勘探兴衰史

前陆逆掩断层带找油气虽然是1975年以后提出来的,但从整个油气勘探历史去认识,并非新鲜。世界油气工业性勘探早期就是从山前褶皱带开始的,此区地面构造明显,油气苗多,地面地质调查就能够发现油田,所以在19世纪的工业勘探初期就从美国的阿巴拉契亚盆地开始,接着在俄罗斯的北高加索,欧洲的外喀尔巴阡带发现了大量油气田,以世界产油最丰富的中东而言,也早在1927年和1928年首先在扎格罗斯山前带发现了基尔库克和加奇萨兰特大油田。甚至落基山麓冲断带的发现,也应首推加拿大于1913年发现了特纳谷的浅层白垩系油藏,又于1924年发现深处的密西西比系高产油气层。

20世纪30年代以来,由于地球物理技术进入油气勘探领域,人们发现在大片平缓沉积层覆盖的地台区盆地内,构造趋向简单,并找到了更多更大的油气田,从而把勘探重点转向了克拉通盆地区。更因为技术手段的发展,勘探领域扩展到了大陆边缘的海域甚至沙漠和极地,才形成了今日所见的世界油气分布格局。

20世纪70年代后期出现的逆掩断层带下的油气田勘探局面,实际上仅仅是因为有了三维地震和深井钻探技术加上油价上涨的结果。

然而,局部的重大发现并不能代表普遍的规律,尤其是当美国把东、西、南3条前陆逆掩断层带都抬出来,认为将大有可为时,现实却给予了无情的嘲弄,不但东、南两条冲断带本质上宣告失败,即使在西部带的落基山前缘,最终发现也仅限于怀俄明州西南角格林河盆地向东凸出带大约112 km的范围内。对于这一问题,1985年在涿州召开的“中美油气盆地学术讨论会”上,Ballv曾特别以美国南部冲断带即奥启塔褶皱带前缘的8个盆地为例,指出只有4个盆地产气,另外4个盆地是干的,以此说明单纯从盆地类型无法预计油气前景*。

同样,欧洲的阿尔卑斯前缘,进一步地研究和勘探,在前缘冲断带也没有获得所希望的发现,虽然,有的深井见到了油气显示,但从经济意义上讲,多以失败告终。即使在南美,委内瑞拉的富里尔带实际上是浅层上第三系基里基雷大油田不整面以下深层下第三系的冲断褶皱(图1),哥伦比亚的库西亚纳油田更是相对简单,只是一个伴生冲断层的构造圈闭而已。它们都限定在现存的第三系盆地内部。

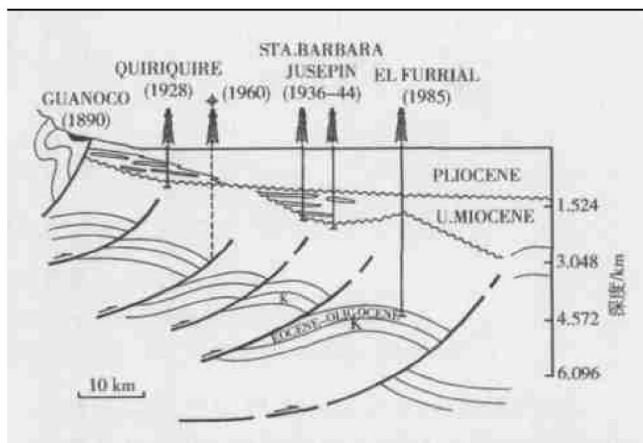


图1 东委内瑞拉盆地富里尔油田带的地震剖面^[8]

Fig. 1 Exploration history of Forel play in the Eastern Venezuela basin

3 前陆盆地类的油气分布和逆掩断层带的多样性

由于前陆冲断带位于前陆盆地靠近造山带一侧,讨论它们的油气分布不妨首先从世界前陆油气盆地分布的情况出发,也许更能说明它们的存在特点。

* 甘克文. 中美含油气盆地学术讨论会对盆地理论的认识与分析. 石油地震地质, 1986

前陆(foreland)盆地的另一名词是前渊(fore-deep),前陆是指造山前的海陆分布而言,前渊则从同造山期开始的形态出发。但由于造山带的形成具有极大的复杂性,并非凡造山带的前缘必然会有相应的前陆盆地发生。起源于板块聚敛而产生的造山带,因俯冲方向、构造格架和伴生沉积分布的制约,造山带两侧的演化具有极大的不对称性。此外,还由于构造演化和后期改造的多样性,产生更加复杂的变化。

作者 1986 年曾编了一张“世界 A 俯冲带和有关的褶皱带与含油气盆地”图(图 2)*,表示了 A 俯冲带与含油气盆地的分布关系。具体而言,古

生代的 A 俯冲带虽多,但早古生代的前陆含油气盆地只有阿巴拉契亚,晚古生代的也仅有乌拉尔西侧和奥启塔褶皱带北侧。中生代前陆含油气盆地较多,也不是凡前陆盆地都有油气田。出现这样大的变化的主要原因是由于沉积盆地原始格架的差异和沉积期后的盆地保持或改造条件。以北美科迪勒拉山系为例,造山带长达 8 000 km,而含油气盆地只限于从加拿大的艾伯塔盆地到美国的落基山盆地群,向北在加拿大的马更些山前缘一些盆地,由于上覆白垩系剥蚀严重,没有发现过油气田,向南至墨西哥境内,受墨西哥湾构造体系的影响,前陆盆地也不存在了。

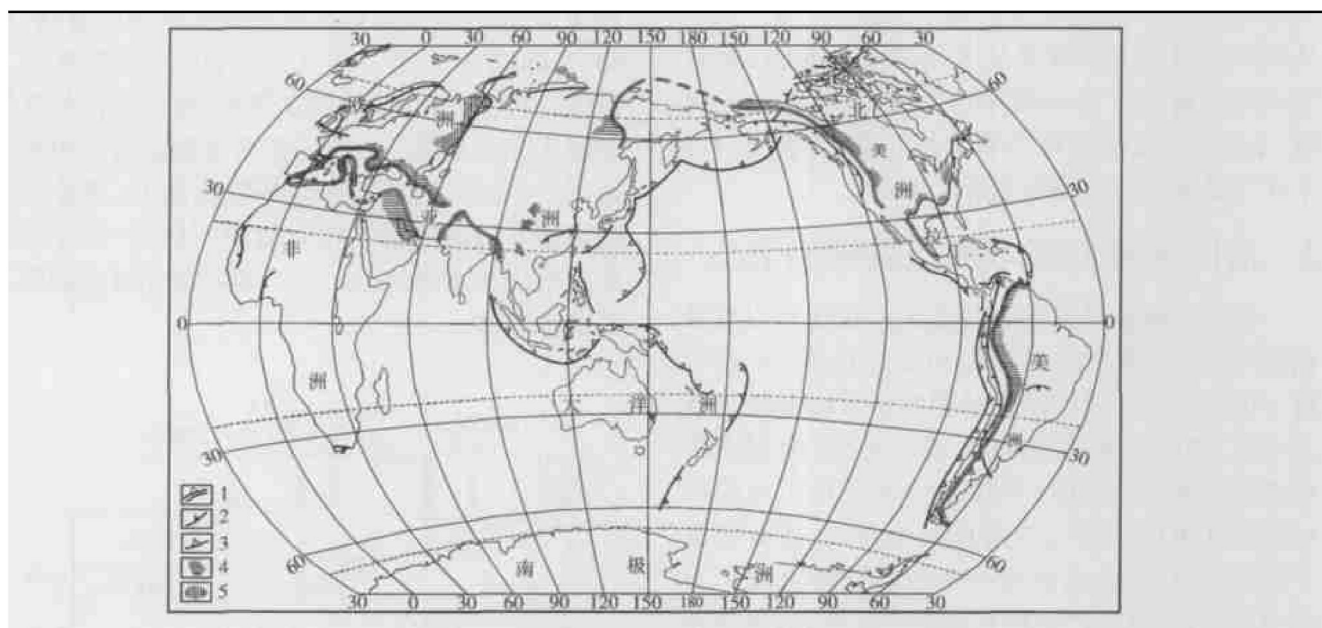


图 2 世界 A 俯冲带和有关褶皱带与含油气盆地

Fig.2 Global A-subduction zones and the relevant fold belts vs. petroliferous basins

1—中生代 A 俯冲带; 2—古生代 A 俯冲带; 3—现代 B 俯冲带; 4—中生代油气盆地; 5—古生代油气盆地

所以,可以认为 A 俯冲带即与前陆盆地相关的逆掩断层带具有较大的普遍性,而具经济性油气聚集的前陆盆地有限,有油气田的逆掩冲断带的局限性就更大了,这是因为逆掩断层带受造山带形成和演化的构造背景所控制,其形态因时因地而异。首先是不同时代的地壳构造变动具有不同一性,中生代的板块构造运动模式在古生代时能否全然一致目前尚未能普遍认同,因为联合大陆(Panagea)经过形成和分裂的过程,有些原来的造山带转化为稳定的新克拉通,如:西西伯利亚、中欧、斯基夫-土兰、巴塔哥尼亚等年轻地台,但也有一部分后期仍然保持造山带的特征,如:阿

巴拉契亚、乌拉尔、天山-蒙古带、西非的毛里塔尼亚带和北欧的斯堪的纳维亚山带。其次是造山带具有不对称性,虽然同样是与克拉通相邻,但逆掩断层带的发育条件很不一致。如:乌拉尔山的前陆只见于西侧,欧非两大前陆之间的阿尔卑斯地中海区两侧的前渊也并不对称,在非洲西北部原来的前渊带已被后来的撒哈拉阿特拉斯山和造山后的盆地所改造。值得引起注意的是特提斯造山域北界进入亚洲以后,在斯基夫-土兰地台南沿的北高加索至伊朗的科佩克山带,冲断层及磨拉石前渊并不发育,所以在 Bally 和 Snelson^[4]的图中并未表示出有 A 俯冲带。作为非洲大陆楔入欧

* 中国石油石油勘探开发科学研究院. 论 A 俯冲带(掩冲带)的成因分布和油气前景(内部报告). 1986

洲的亚得里亚海块体, 尽管所有的构造学家都对其周缘标出了 A 俯冲带的存在, 但只认为西侧在意大利的亚平宁前缘存在前陆盆地, 而在东侧的狄那里

克阿尔卑斯和海伦尼带的前缘没有形成前陆盆地, 在阿尔巴尼亚沿海的是晚第三系造山后的盆地, 没有老第三系同造山期的磨拉石沉积层序(图3)。

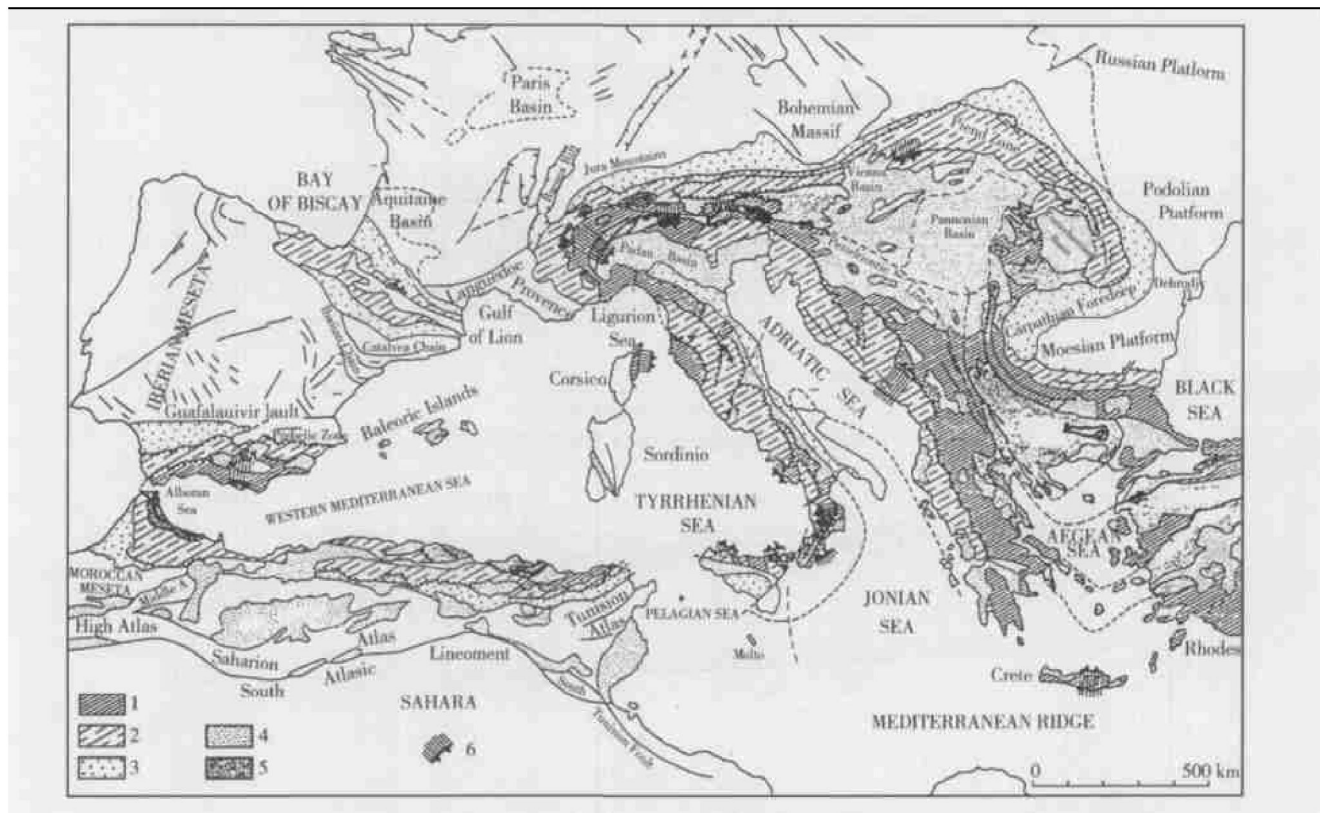


图3 地中海阿尔卑斯造山系统的简化构造图^[9]

Fig. 3 Schematic structural map of Alpidic orogenic zone in Mediterranean area

1—造山内带; 2—造山外带; 3—前渊; 4—造山后沉积; 5—中间地块; 6—仰冲断层

涉及前陆盆地逆掩断层带的油气聚集更具局限性, 因为从造山带到前陆盆地的挤压应变受造山带形成的持续性影响, 一方面有向前陆方向不断传导推进的特点, 还受益地区内前造山期和同造山期沉积层序以及基底岩石组成的影响。在比较各地的 A 俯冲带后, 可以认为没有相同的逆掩断层带, 任何设想的模式都只能是取其共性, 却不能代表其个性。图4是以美国落基山东麓冲断带, 欧洲的华力西褶皱前缘带和阿尔卑斯北侧冲断带的横剖面作比较, 相互间具有极大的差异性。此外, 就是有了现代的深地震反射剖面, 不同的作者也可以有不同的解释, 图5是南阿巴拉契亚构造剖面的几种不同解释的比较。甚至, 在同一条造山带的前缘, 不同地段的构造变异也很大。

总之, 虽然前陆型的沉积盆地多, 但具可采经济储量油气田的盆地少, 据作者的统计, 早古生代现存 30 个前陆盆地中油气盆地是 15 个(有大油气田的 3 个), 晚古生代 33 个前陆盆地中油气盆地

18 个(有大油气田的 10 个); 48 个中生代前陆盆地中油气盆地有 36 个(有大油气田的 13 个), 新生代 20 个前陆沉积盆地中油气盆地 13 个(有大油气田的 3 个)。前陆盆地确是现存沉积盆地中经勘探发现油气田比例最高的类别, 合计成功率达 62.6%, 其中有大油气田的盆地是 29 个, 占 22.1%。而全球现存 517 个沉积盆地中有油气田的是 211 个, 平均占 40.8%, 大油气田的盆地是 73 个, 平均占 14.1%^[10]。

4 前陆逆掩断层带的油气分布

尽管前陆盆地具有较高的油气盆地发现率, 但是否能适应于逆掩断层带, 显然需要具体讨论。从构造格架而言, 凡经挤压变形的盆地都会出现冲断层, 在前陆盆地的造山带前缘就更是十分发育, 但从油气勘探的角度而言, 逆掩断层带是否存在油气聚集甚至有大油气田而成为重要的勘探目标, 从前陆盆地发现有油气田的比例作背景尚不

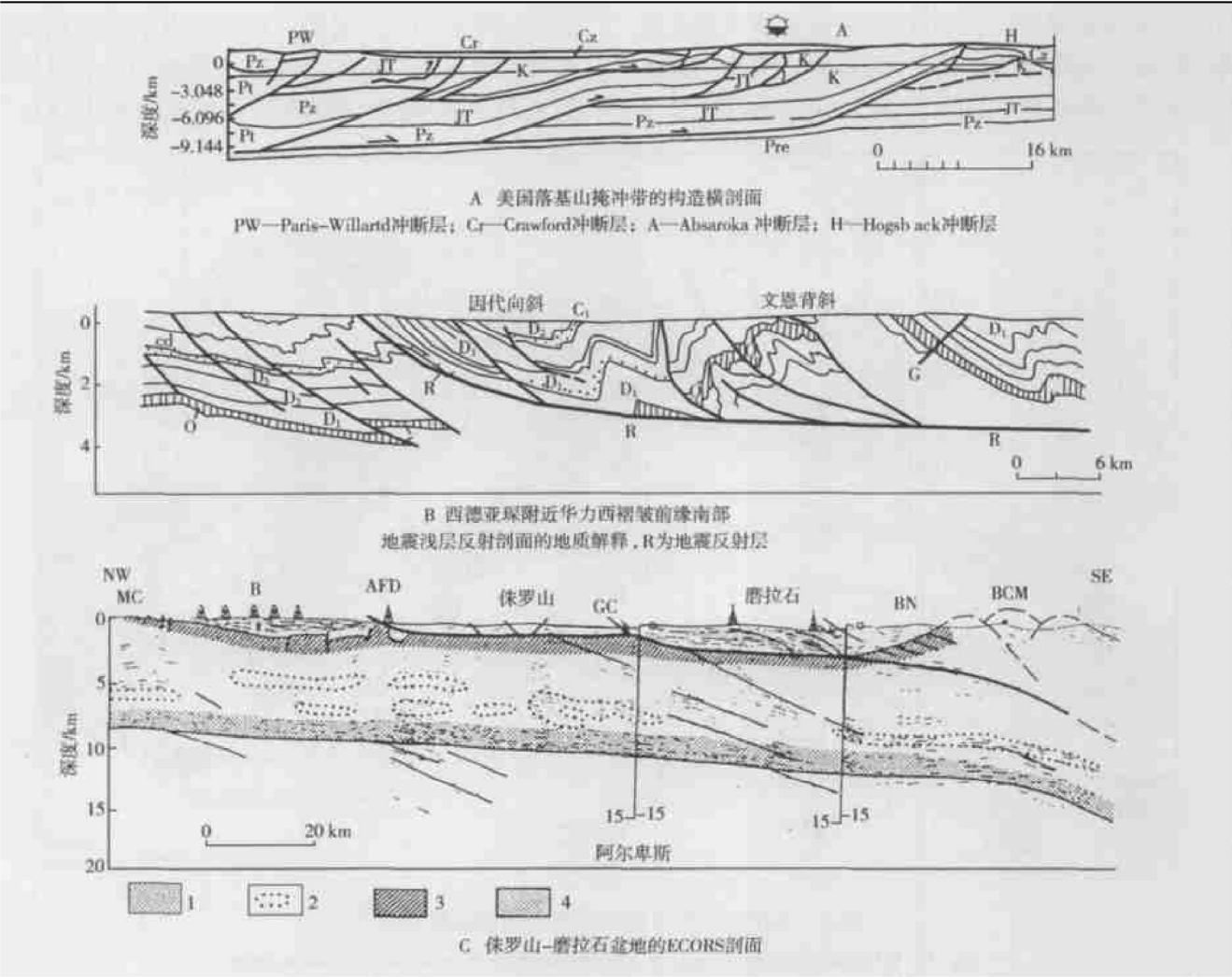


图 4 不同造山带前陆冲断带的比较

Fig. 4 Comparison of foreland thrust zones in different orogenic belts

1—层状下地壳; 2—浅部成层地壳; 3—古生界顶面; 4—上白垩统—第三系; MC—中央地块基底;
B—巴塞尔盆地; AFD—阿尔卑斯变形前缘; GC—Grand Credo 背斜; BN—Bornes 推覆体; BDM—Belledune 结晶地块

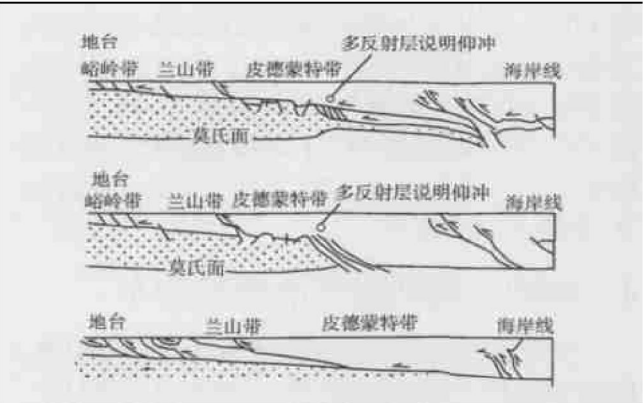


图 5 南阿巴拉契亚构造横剖面的形态模式

Fig. 5 Ideal pattern of the southern Apalachian cross section

足以说明其全貌, 还需要从逆掩断层带的油气聚集分布并与全盆地的比较加以说明, 才能真正地阐明对油气勘探目标选择中的意义。

首先是如何区分盆地与造山区逆掩冲断带的界限, 按构造变动而言, 从造山带的内带到外带直至前陆盆地的山麓带都属挤压构造变形的范畴, 全可划归逆掩断层褶皱带的领域; 从沉积地层的角度讨论, 造山期前的层序在造山外带多数可以与前渊形成前的地台区相比, 充其量具有从稳定大陆架向外大陆架过渡的岩性厚度变化而已。所以, 逆掩冲断带的影响范围至少跨越了造山外带和前陆盆地的山前褶皱带。国内当前的流行趋势, 只要存在沉积岩层都可划归沉积盆地, 从而极大地扩展了逆掩断层带油气前景区, 由图 3 可以看出, 国际上通用的原则是前陆盆地区以同造山期的沉积岩区域分布为准, 因为如果油气源岩在造山期前已经成熟, 则在经造山期的冲断褶皱破坏, 已无法保持油气聚集。如果由于同造山期的

沉积负载而成熟,那么在缺失上覆层序的条件下这一前提就不存在了。全球油气勘探的实践完全证明了这一情况。作者1992年编世界含油气盆地图时也是采用了这一原则,图中可以看出冲断带主体不是成为前陆盆地的边界,就是位于靠近盆地的褶皱造山带外带,而冲断层伴生的油气田只见于靠近沉积盆地的边缘,属于区域逆掩带即A俯冲带在前陆盆地内的剩余挤压影响部分。所以,可能有油气聚集的只是逆掩断层带保存上覆前渊沉积层序的部分。对此感兴趣的读者不妨对比一下美国出版的地质构造图和含油气盆地图,就可以看出他们把阿巴拉契亚逆掩断层发育的峪岭区(valley and ridge province)划在盆地区之外,唯一包含在盆地内的是肯塔基州和田纳西州交界处,因受走滑断层控制其外侧向西北方突出的部分,而且地表覆盖为上古生界而不是如其他部分主要露出下古生界。这样就产生了逆掩断层带在盆地内只是局部后期的剩余挤压应变部分,主体是在造山带内。根据这一界定“没有盆地就没有油气”的原则仍很确定。为什么曾经一度引起全球石油界的逆掩断层带找油热最后落得烟消云散结局,根本性差错就是把逆掩断层带当作勘探目标,忽视了盆地是基础的原则。这无异于只注意有无沉积岩而不考虑构造逆转去到造山带中找油,背离了石油地质的基本条件。油气勘探的立足点不是为了发现油气显示,而是要找到经济可采的油气聚集。

如果从盆地的概念分析,前陆盆地必须由同造山期的沉积层序连片分布为基础选择勘探目标,在此条件下的逆掩断层带及其伴生的背斜构造只能是造山晚期变形的构造变动,才比较有利于油气的晚期成藏和保存。实际上大量证据都可以证明这一结论。

此外,全球性油气勘探的实践还证明了逆掩断层带的油气聚集与造山期前及同造山期的沉积层序组合具有重要的关系。一般来说,前造山期和同造山期沉积层序变化强烈的背景,不宜于形成大量油气聚集,如果两者间为渐变过渡型,特别存在从海相经封闭海再转化为陆相沉积的条件,即中间是过渡性的厚蒸发岩层序时,往往有利于形成大量和大型的油气聚集。中东,乌拉尔西侧,美国的二叠盆地等几个世界顶级油气富集的前陆

盆地无不如此。特别是中东的扎格罗斯山前褶皱带,油气田分布完全受控于第三系分布区,虽然整个沉积体系分布可延续到扎格罗斯的主冲带,但第三系的连片存在仍决定了油气田的分布。在同样的构造背景条件下,伊朗和伊拉克境内由于有发育的中新统法尔斯组厚蒸发岩,有许多大型至特大型的油气田。进入土耳其境内,蒸发岩消失,就只剩下了些小油气田。最为典型的是欧洲阿尔卑斯褶皱造山带的山麓,西段的阿尔卑斯山和东段的喀尔巴阡山在晚白垩到第三系都是复理石相,属造山初期的边缘海沉积,划归特提斯域的造山带。进入同造山期,西段为磨拉石盆地,邻造山带的冲断磨拉石带本质上无经济性的可采油气田,东段的前喀尔巴阡盆地,有发育的渐新世至中新世的蒸发岩相层序,虽然褶皱冲断很发育,却组成了比中欧地台方向斜坡带更加丰富的油气聚集带。

正是从上述许多事实出发,作者深信冲断逆掩只是一种构造现象,单纯地从构造面貌设想油气分布,不会有助于以寻找经济性油气聚集为出发点的勘探决策。

参 考 文 献

- 1 Pratsch J C. Oil and gas accumulation in overthrust belts[J]. Journal of Petroleum Geology, 1985, 8(2): 129~ 148
- 2 Dickinson W R. Plate tectonics and hydrocarbon accumulation[M]. AAPG Continuing Education Course Note Series 1, 1976
- 3 Bally A W, Snelson S. Realms of subsidence, in fact and principles of world petroleum occurrence[M]. Canada Soc Petrol Geol Mem, 1980. 9~ 94
- 4 Allen P A, Homewood P, Williams G D. Foreland basins[M]. Special Publication No. 8 of the International Association of Sedimentologists, 1986. 5~ 51
- 5 DeCelles P G, Giles K A. Foreland basin systems[J]. Basin Research, 1996, 8(2): 105~ 123
- 6 Halbouty M T. Geology of giant petroleum fields[J]. AAPG Memoir, 1970, 14, 204~ 222
- 7 Sengor A M C. 板块构造学和造山运动[M]. 丁晓, 周祖翼, 赵国先, 等译. 上海: 复旦大学出版社, 1992
- 8 Aymard R, Pimental L, Lopez A, et al. Geological integration and evaluation of Northern Monagas, Eastern Venezuelan Basin[A]. In: Brooks J. Classic petroleum provinces[C]. Geological Special Publication, 1990, 50: 37~ 53
- 9 Stanley D J, Wezel F C. Geological evolution of the mediterranean basin[M]. Berlin: Springer-Verlag, 1985. 571
- 10 甘克文. 含油气盆地板块构造与石油地质[A]. 见: 胡见义. 石油地质学前缘[C]. 北京: 石油工业出版社, 2001. 206