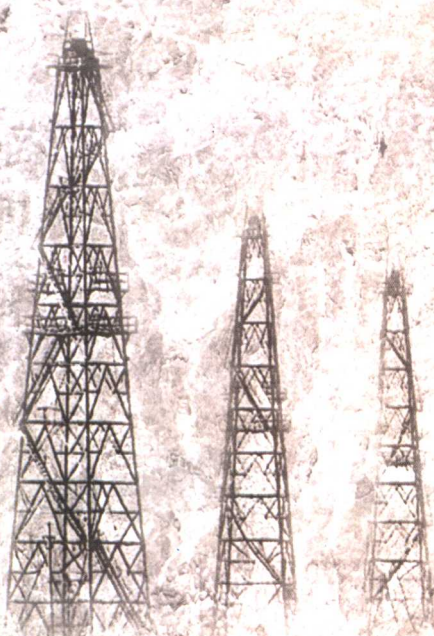


周 路 赵文智 何登发 著

塔里木盆地麦盖提斜坡 油气地质与勘探



石油工业出版社
Petroleum Industry Press

四川省重点学科建设项目资助 (编号: SZD0414)

塔里木盆地麦盖提斜坡 油气地质与勘探

周 路 赵文智 何登发 著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书首先从被动大陆边缘沉积特点对麦盖提斜坡进行了对比分析,通过构造特征与演化分析、油气地质条件评价、油气成藏特征、多种圈闭类型识别与描述等对麦盖提斜坡古生界油气藏形成地质条件和大油气田的勘探方向进行研究与剖析,其次对与麦盖提斜坡相邻的民丰凹陷石油地质条件进行了初步评价,并开展了构造特征与演化分析,对该区构造及地层复合圈闭进行了识别与评价。

本书可供石油勘探科技工作者,特别是关心该地区能源发展的人们参考,也可作为大专院校相关专业师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

塔里木盆地麦盖提斜坡油气地质与勘探/周路等著.

北京:石油工业出版社,2006.4

ISBN 7-5021-5268-7

I. 塔…

II. 周…

III. ①塔里木盆地-含油气盆地-古生代-石油天然气地质-研究

②塔里木盆地-含油气盆地-古生代-油气勘探-研究

IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 135730 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里2区1号楼 100011)

网 址:www.petropub.com.cn

总 机:(010) 64262233 发行部:(010) 64210392

经 销:全国新华书店

印 刷:河北天普润印刷厂

2006年6月第1版 2006年6月第1次印刷

787×1092毫米 开本:1/16 印张:9.75

字数:250千字 印数:1—1000册

书号:ISBN 7-5021-5268-7/TE·4066

定价:25.00元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究



作者简介

周路 男，1962年出生，四川武胜人，博士，副教授，现工作于西南石油大学资源与环境学院，主要从事油气田勘探教学与科研工作，1989年去新疆参加了塔里木石油会战，并参与了塔里木盆地“八五”、“九五”国家重点科技攻关项目的研究工作，20世纪90年代末期开始参与吐哈盆地和准噶尔盆地油气勘探研究工作。主要研究特色为地质与物探相结合，主要研究领域：油区构造特征、储层预测、地层岩性油气藏的识别与预测。承担各类科研项目20余项，获局级及其以上科技成果奖10余项。现已发表相关论文20余篇，合作出版著作6部。

前 言

塔里木盆地位于新疆南部,是我国最大的含油气沉积盆地,总面积 $56 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。塔里木盆地具有丰富的油气资源,据最近一轮油气资源评价,盆地油气总资源量为 $123.37 \times 10^8 \text{ t}$ 油当量,其中石油资源量为 $59.94 \times 10^8 \text{ t}$,天然气资源量 $7.96 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。经过几代人 50 年的艰苦努力,塔里木盆地油气勘探取得了举世瞩目的成绩,特别是近 20 年来油气勘探接连取得了重大突破,发现了一批大中型油气田,截至 2003 年底,塔里木盆地已发现了 30 个油气田,累计探明油气地质储量约 $13.21 \times 10^8 \text{ t}$ 油气当量,其中石油 $6.1 \times 10^8 \text{ t}$,天然气 $7076 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。2003 年产油近 $700 \times 10^4 \text{ t}$ 。但是与天然气勘探成果相比,石油探明储量增长缓慢,累计探明的石油地质储量与石油资源量相比还相距甚远,塔里木盆地迄今尚未找到与盆地相称的大油田,目前石油储采比还居高不下,多数主力油田的含水饱和度已大于 50%。因此,扩大勘探领域是加快发现大油气田、增加石油储量和产量的重要保障,同时也为国家“西气东输”工程提供更加充足的天然气资源,这将有利于促进塔里木盆地油气勘探的可持续发展。

塔西南坳陷位于塔里木盆地西部,总面积达 $14 \times 10^4 \text{ km}^2$,该坳陷具有丰富的油气资源,在最近一轮油气资源评价中,其拥有石油资源量 $9.36 \times 10^8 \text{ t}$,天然气资源量 $1.7 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。但目前油气勘探程度总体上还很低,仅发现一些中小型油气田,因此,塔西南坳陷因其丰富的油气资源和广阔的勘探领域一直被勘探家称为塔里木盆地油气勘探的主要后备战场和战略接替区,而麦盖提斜坡是塔西南坳陷可供油气勘探的最大领域,因此,对麦盖提斜坡石油地质条件和大油气田勘探方向的研究具有十分重要的战略意义。

二

麦盖提斜坡是塔里木盆地塔西南坳陷内一个次级构造单元,以色力布亚—玛扎塔格断裂构造带与巴楚断隆分界,北接柯坪断隆,东北与巴楚断隆接壤,西北与喀什凹陷相邻,西南邻叶城—和田凹陷,东南与塘古孜巴斯坳陷过渡,总面积约 $4.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

麦盖提斜坡油气勘探始于 20 世纪 50 年代,地震概查工作首先在群苦恰克地区开展。20 世纪 70 年代末至 80 年代初,新疆石油局和西北石油局先后在群苦恰克及其相邻地区钻探了曲 1 井、曲 2 井、麦参 1 井、麦参 2 井和巴 1 井、巴 2 井、巴 3 井、巴 4 井,皆未获重大突破,仅在石炭系中发现了油或气的显示,其中曲 1 井、麦参 1 井显示最好,并获得少量液体原油。90 年代麦盖提斜坡相继进行了大规模地震勘探,目前二维地震测网大部分地区达 $4 \times 4 \text{ km}$,西段群苦恰克地区达到 $1 \text{ km} \times 2 \text{ km}$,并在巴什托普背斜区完成三维地震 278.46 km^2 。大量的油气勘探工作使麦盖提斜坡西段和中段先后获得突破,西段群苦恰克地区的曲 3 井、群 5 井、琼 002 井在石炭系生屑灰岩层段获工业油气流,其中群 5 井获得了日产原油 132.6 m^3 、气 $2.2 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的高产油气流;原地质矿产部的麦 3 井于石炭系小海子灰岩段获日产原油 16 m^3 、气 $8.6 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的工业油气流;中段的山 1 井在奥陶系风化壳获得工业气

流。截止 2000 年,麦盖提斜坡已完成钻井 19 口(不包括和田河气田),其中获工业油气流井 7 口,获油气显示井 5 口,上交巴什托普背斜石炭系生屑灰岩油藏探明储量 $329 \times 10^4 \text{t}$;上交山 1 井奥陶系风化壳气藏控制储量 $433.52 \times 10^8 \text{m}^3$ 。90 年代末塔里木油田公司在与麦盖提斜坡相邻的玛扎塔格断裂带上发现了和田河大气田,在石炭系生屑灰岩层段和小海子灰岩段及奥陶系古潜山储集层中探明天然气地质储量为 $616.94 \times 10^8 \text{m}^3$ 。但在此期间本地区及相邻地区也相继有数口区域探井落空,特别是近年来,麦盖提斜坡因圈闭不落实、钻探目标难以确定等原因,钻探工作长期处于半停顿状态。勘探目的层埋藏深度大、研究区及研究层段地震资料品质较差和地震测线密度不够、油气地质综合研究程度不高是制约该地区油气勘探的主要因素之一。

三

对塔里木盆地构造与沉积演化研究表明,塔里木盆地西南地区古生界为被动大陆边缘沉积,麦盖提斜坡位于保存完好的被动大陆边缘层序上斜坡部位,沉积了大规模的海相地层。世界范围海相层系中所发现的一系列大型和特大型油气田,如北美地台上的中堪萨斯与尼马哈隆起上的大油田、北非三叠盆地的哈西迈萨乌德油田以及波斯湾地区古生界所发现的大型气田等,都与被动大陆边缘层系的生烃和成藏有关。被动大陆边缘沉积组合有着优越的生烃和成藏条件,一直是油气勘探的热点。从塔里木目前油气勘探成果分析也发现,在古生界海相地层中发现了轮南、桑塔木、塔河、哈德熏、东河塘、和田河、巴什托普等油气田,发现的油气储量占盆地总探明储量的 50% 以上,石油储量则占 80% 以上。古生界海相地层在塔里木盆地的石油勘探中占有主导地位。

塔里木古生界海相地层主要发育在克拉通盆地内,为克拉通内拗陷与克拉通边缘拗陷环境下的沉积。其中,已发现的油气田主要与满加尔拗拉槽南、北(可视为小型被动边缘)斜坡及相关隆起带和塔西南古生界被动大陆边缘密切相关。研究表明,在这些斜坡带上发育有寒武系、奥陶系与石炭一二叠系等海相烃源岩系,烃源岩类型好、丰度高,热演化适中,能大量生成石油,具有形成丰富的石油聚集的条件,是寻找大油田的主要部位。

塔里木古生界克拉通盆地处于古特提斯构造域内。众所周知,特提斯构造域拥有丰富的油气资源,是世界上油气最为富集的区域,所发现的油气储量占全球油气储量的 80% 以上。自北非、西欧、中东、西亚、中亚至东南亚,在这一纬向“黄金带”内找到了数目众多的巨型、特大型与大型油气田群。

在原特提斯阶段(Z—D)、古特提斯阶段(C—T)与新特提斯阶段(J—E),全球南、北古大陆围绕这一巨型纬向构造带,发生了数次的离散与聚合。在拉张分裂时期,在离散大陆的边缘广泛发育了被动大陆边缘。在聚敛时期,其上又往往叠加了一系列前陆盆地。其中,在古特提斯洋阶段,洋盆北侧的宽阔被动大陆边缘绵延数千公里,其内发育了多套优质烃源岩及多类型的生储盖组合,具有极佳的油气成藏条件。塔里木西南地区即处于这一被动大陆边缘的东段,从类比的角度及现有的勘探成果来看,塔西南被动大陆边缘,特别是麦盖提斜坡应具备形成大型油气藏的条件,是在塔里木盆地寻找大油田的现实领域。

塔西南被动大陆边缘在新生代遭受了西昆仑山体向北冲断的强烈影响。盆缘发育了一系列前陆冲断带,被动大陆边缘层序的下斜坡部分完全卷入了构造变形;而在现今盆地内部,尤其是在麦盖提斜坡地区,被动大陆边缘层序上斜坡部分保存完好,具备油气形成与聚集成藏的优越条件。但目前塔西南被动大陆边缘的研究程度与勘探程度都很低,这制约了大油气

田的发现进程。虽然麦盖提斜坡在古生界海相地层内也发现了小型油田（巴什托普等油气田）和大中型气田（和田河气田、山1井气田），但这与塔西南被动大陆边缘盆地油气资源量和成藏规模不相称，也与勘探家们对该地区所寄予的期望仍有很大的距离。因此，为适应塔里木盆地的油气勘探需要，进一步对麦盖提斜坡古生界油气藏形成地质条件和大油气田的勘探方向加以探索与剖析，将会对麦盖提斜坡油气勘探的更大发现打下重要基础，也为加快塔西南地区大油田的发现进程提供重要依据。

四

本书从被动大陆边缘油气地质条件与控油关键因素分析出发，对世界范围内典型的被动大陆边缘盆地构造演化、沉积充填、沉积相带展布、储层发育、生储盖组合关系以及油气成藏条件与类型进行了简要分析，并与塔西南被动大陆边缘盆地进行类比。重点对麦盖提斜坡构造演化进行了系统分析，对其构造演化细节、转化方式及其古构造特征，特别是对麦盖提斜坡上古隆起的分布范围与演化特点、断裂的发育史与分布规律有了一个比较清楚的认识。

以井下岩相、沉积相与露头岩性特征为依据，借助于层序地层学和地震相研究成果对麦盖提斜坡沉积体系与岩相分布、烃源岩及储集体的发育与分布进行了综合评价与预测，特别是最有利的储集体可能发育的层段与区域，古隆起及其两翼斜坡部位碳酸盐岩礁、滩体，古岩溶及其岩性尖灭带发育的可能性进行客观的评价；对已发现的油气田和油气藏进行了成藏研究，分析了各个时期的油气运移格局及运移方向、通道、方式与可能的聚集区域；指出最有利的油气成藏组合和可能的油气藏类型。

通过精细地震构造与地层解释、微地震相分析、已钻探目标地震地质综合分析和储集体的地震识别与预测研究，发现了一大批构造与地层—岩性圈闭，并对主要圈闭进行了综合评价，指出了麦盖提斜坡及其相邻地区油气勘探方向和近期最有利勘探目标。

本次研究工作主要取得了以下认识：

（1）被动大陆边缘盆地具有优越的石油地质条件，即：①在裂谷和漂移层序中存在高质量的源岩；②沉积厚度大，足以使源岩达到成熟；③整个裂谷和漂移阶段中形成很多封闭的圈闭；④在构造—地层旋回中，源岩、储集层和圈闭得以保存。

（2）被动大陆边缘盆地演化后期常遭受改造和叠加前陆盆地，早期油气藏遭受调整或改造甚至被破坏是较普遍现象。曾经遭受了多次抬升剥蚀的古隆起高部位，油气藏遭受破坏的可能性比较大，而古隆起斜坡区稳定的构造条件、区域性盖层和封闭性水文地质条件及所具有的地层—岩性或复合型圈闭有利于油气藏的形成和保存。目前大多数被动大陆边缘盆地中、大型油气田主要为地层与岩性圈闭或地层与构造复合圈闭油气藏。

（3）塔西南地区发育两期被动大陆边缘盆地沉积。中寒武世—奥陶纪发育早期被动大陆边缘沉积，晚泥盆—早二叠世为第二期被动大陆边缘沉积。麦盖提斜坡始终处于被动大陆边缘盆地的上倾位置，也是构造演化过程中保存相对完好的部分，它有利于烃源岩的发育和地层—岩性圈闭的形成。

（4）麦盖提斜坡具有转换特点，麦盖提斜坡西段早古生代为北倾斜坡，晚古生代发生反转，出现南倾斜坡，其后斜坡逐渐变陡。麦盖提斜坡东段在第三系沉积以前仍为北倾斜坡，进入新生代麦盖提斜坡成为南倾陡斜坡。

（5）和田古隆起在震旦纪—泥盆纪为古隆起发育期，石炭纪—始新世时期为古隆起调整期，渐新世—第四纪为古隆起掀斜破坏阶段。古隆起在晚寒武世、早奥陶世和晚奥陶世曾遭

受强烈剥蚀。古隆起四周形成了大规模的地层超覆沉积。

(6) 巴什托普断裂在加里东晚期开始发育, 在寒武系膏盐地层中发生滑脱并向上突破形成断层传播褶皱, 二叠系—志留系古背斜高点在群 5 井以西地区, 该地区是寻找志留系古油藏和石炭系岩性圈闭的有利地区; 海西中、晚期巴什托普背斜东段断裂继续强烈活动, 喜马拉雅期基本停止活动, 从而形成巴什托普多期构造运动叠加的褶皱背斜构造。海西期巴什托普背斜西高东低, 喜马拉雅期高点发生翘倾转变为东高西低。

(7) 和田河气田为断背斜圈闭, 从断背斜顶部南北两翼地层剥蚀程度的差异, 可判断玛扎塔克南断裂是形成和控制和田河断背斜的主控断裂, 形成时期为晚海西期, 玛扎塔克北断裂形成时期晚于南断裂, 可能形成于喜马拉雅晚期, 该断裂对玛 2 断背斜的改造最为强烈。

(8) 民丰地区在早加里东运动时期存在大型的由南向北推覆体, 且民北凸起(塔南隆起的西段)雏形也已出现, 后期推覆体及其上覆地层还发育了多期大倾角逆冲—冲断构造, 其中喜马拉雅期冲断作用最为强烈, 使民北凸起强烈隆升。因此, 民北凸起既不是基底继承性隆起, 也不是新生代以来才形成的新构造隆起。

(9) 民丰推覆体下伏滑脱断层对应的滑脱层为寒武系膏盐层。根据推覆体前锋断层形成时期可以确定民丰推覆体形成时期为泥盆—志留系沉积前, 即中、上奥陶统沉积晚期。根据前锋断层位置确定推覆体由南向北最大推覆距离大约 160km。井下及地表所发现的变质岩属推覆体所携带的外来系统。

(10) 民丰凹陷区可能缺失白垩系、侏罗系和上二叠统; 下二叠统主要分布在凹陷东部, 西部仅局部分布。民北凸起和中部凸起顶部缺失二叠系、石炭系、泥盆系、志留系; 变质岩与上覆第三系直接接触。石炭系厚度高值区分布在民丰地区东部。

(11) 麦盖提斜坡具备充足的油气源供给条件。中、下寒武统烃源岩有机质丰度高, 且分布广、厚度大, 是塔西南地区主要烃源岩。石炭—二叠系主要烃源岩在塔西南地区的西南部比较发育, 对麦盖提斜坡西段油气藏的形成将有比较大的贡献。

(12) 对麦盖提斜坡已发现油气藏的油气源对比分析表明, 寒武系烃源岩是已发现油气田的主力烃源岩, 并且寒武系烃源岩具有 3 期油气生成特点, 晚加里东期(奥陶纪晚期)为油相生成与运移时期, 海西期寒武系源岩进入凝析油和湿气生成阶段, 喜马拉雅期为晚期生成干气阶段。群 4 井、曲 1 井原油、玛 4 井少量轻质油来源于石炭系卡拉沙依组煤系地层烃源岩。喜马拉雅中后期石炭—二叠系烃源岩进入生油阶段。

(13) 麦盖提斜坡具有多套储盖组合。下奥陶统碳酸盐岩岩溶及白云岩孔隙性储层, 石炭系生屑灰岩段、标准灰岩段、小海子灰岩段碳酸盐岩储集层以及石炭系砂泥岩段、底砂岩段、泥盆系东河砂岩段、志留系砂岩段等碎屑岩储集层都具有较好的储集性能, 既有孔隙型储集层, 也有裂缝—溶洞型储集层。下第三系底部阿尔塔什组近百米膏泥岩在塔西南地区稳定分布, 它是麦盖提斜坡一套优质区域盖层。石炭系内部 3 套泥岩或膏泥岩段、二叠系泥岩、火成岩段以及致密灰岩段可作为各类油气藏的良好盖层。

(14) 麦盖提斜坡发育多种类型圈闭, 主要圈闭类型为地层—岩性圈闭、裂缝—岩溶型圈闭、奥陶系潜山与不整合圈闭、奥陶系内幕岩性圈闭、构造与地层复合圈闭和古构造圈闭。圈闭形成期多处于加里东期、海西期和喜马拉雅期。

(15) 麦盖提斜坡具备形成大油气田的基本地质条件。近期主要勘探地区为: ①群苦恰克地区南部和西部石炭系生物滩坝相岩性油气藏; ②玛南—塘北地区下奥陶统古潜山油气藏与内幕古油藏、石炭系碳酸盐岩岩溶油气藏; ③民丰地区石炭系构造—地层复合油气藏。

(16) 群苦恰克地区主要勘探目标应集中在石炭系小海子灰岩段和生屑灰岩段生物滩坝相岩性、裂缝—溶洞型圈闭和群5井以西志留纪古构造圈闭。

(17) 玛南—塘北地区以下奥陶统内幕古油藏圈闭为首选钻探目标，目标选择原则为：①下奥陶统断层相关褶皱背斜顶部未遭受剥蚀；②上覆中、上奥陶统沉积厚度不大；③后期保存条件较好的内幕背斜圈闭。符合上述3条原则的内幕背斜圈闭是有利的目标，其中以玛东1井东南1、2号下奥陶统背斜圈闭和玛东1井东北1号下奥陶统断背斜圈闭最为有利。

(18) 玛南—塘北地区古潜山油气藏钻探目标选择原则：①古潜山为残余背斜型古潜山；②背斜顶部遭受剥蚀程度较小；③而且背斜两翼，特别是背斜前翼保存完整。以8、5、2号古潜山圈闭为首选勘探目标。

(19) 玛南地区石炭系碳酸盐岩岩溶油气藏钻探目标选择原则：①位于弱振幅断续异常地震反射区；②处于相对高的古地形部位；③有断至寒武系烃源岩的油源断层。

(20) 民丰地区石炭系构造与地层复合油气藏勘探以于田北断背斜和民丰北断层与不整合复合圈闭为首选勘探目标。

(21) 和田古隆起北坡具备了大油气田成藏的有利条件，存在多种类型的地层超覆和岩性尖灭体及上覆披覆背斜构造等地层—岩性与构造复合型圈闭，是勘探复式油气藏的有利地区。

五

本书主要分为五章，第一章简要介绍被动大陆边缘盆地研究进展，第二章主要阐述了塔西南被动大陆边缘的特点与麦盖提斜坡构造演化特征。第三章从生储盖方面剖析了麦盖提斜坡有利的石油地质条件，并对已发现的油气藏特征及油气成藏史进行了分析；第四章详细介绍了麦盖提斜坡地层岩性圈闭和古潜山圈闭的识别与预测以及民丰地区构造圈闭的发现，并对主要圈闭进行了石油地质综合评价。第五章指出了麦盖提斜坡油气勘探方向。

本书的第一、二章由何登发、周路执笔；第三章由赵文智、周路执笔；第四、五章由周路执笔；最后由周路负责统稿。同时，在本书完成过程中，塔里木油田分公司勘探开发研究院、中国石油勘探开发研究院地质所和地球物理所领导对我们这项工作给予了大力支持和帮助。贾承造院士、陈永武教授、顾家裕教授给予我们热情指导，张光亚博士、李洪辉高工、张立平博士、朱如凯博士、曹颖辉博士、徐大丰高工、丛祝安等同志参加了本项目研究工作并给予作者们极大地帮助，杨志力、郑金云同志帮助清绘了图件，在此一并致以衷心的感谢！

需要说明的是，由于麦盖提斜坡存在地震资料品质普遍较差、探井数少、勘探目的层较深等不利条件，且麦盖提斜坡石油地质条件复杂，研究难度较大，对于深层碳酸盐岩储层预测技术还处于不断完善阶段，加之笔者学识水平有限，书中内容存在不足甚至错误之处，衷心欢迎读者批评指正。

著 者

2005年7月

目 录

第一章 被动大陆边缘盆地研究进展·····	(1)
第一节 被动大陆边缘构造研究进展·····	(3)
第二节 被动大陆边缘盆地油气地质研究进展·····	(3)
第三节 被动大陆边缘盆地含油气性差异的主控因素·····	(7)
第二章 塔西南被动大陆边缘与麦盖提斜坡构造演化·····	(11)
第一节 塔里木盆地东北部被动大陆边缘·····	(11)
第二节 塔西南被动大陆边缘盆地的形成与演化·····	(11)
第三节 塔西南被动大陆边缘盆地的特殊性·····	(28)
第四节 麦盖提斜坡与和田古隆起的构造演化·····	(32)
第三章 麦盖提斜坡石油地质条件·····	(42)
第一节 烃源岩特征及油气源对比·····	(42)
第二节 主要储集岩体及其分布·····	(51)
第三节 有利生储盖组合·····	(63)
第四节 油气藏特征及油气成藏史分析·····	(65)
第四章 主要圈闭特征与评价·····	(73)
第一节 圈闭类型·····	(73)
第二节 主要圈闭特征与评价·····	(77)
第三节 民丰地区油气地质条件与圈闭评价·····	(114)
第五章 油气勘探方向·····	(139)
第一节 麦盖提斜坡大油气田形成的基本条件·····	(139)
第二节 油气勘探方向·····	(140)
参考文献·····	(143)

第一章 被动大陆边缘盆地研究进展

20 世纪 60 年代后期板块构造学说的确立为从地质角度解释被动大陆边缘奠定了大致的范围。70 年代前半期,除了 Sleep 和 Falvey 提出的热冷却导致大陆边缘沉降的模式与据石油勘探数据追溯地质发育史等理论外,也采用传统数据从板块构造角度进行反复解释,但进展不大,巨大的进展始于 70 年代后半期。A.B.Bally (1981) 概述了被动大陆边缘的概念及其全球发育和演化模式,分述了美国大西洋大陆边缘、中大西洋被动边缘和特提斯洋的古大陆边缘,并从石油地球化学和蒸发岩、碳酸盐岩的沉积特点出发探讨被动大陆边缘的含油气远景。

被动大陆边缘盆地发育在邻近板块间的大陆边缘,目前这些盆地基本上无地震和火山活动,而且正处于因大洋扩张使岩石圈板块移开的地区,或从张性板块边界上大洋中脊离散的地区。被动大陆边缘盆地的内侧根部位于海岸平原大陆架和陆坡之下变薄的下沉陆壳上,其外侧位于陆坡和陆隆下面下沉的洋壳上。在这些盆地的多期发展史的所有阶段,均以重力驱动的拉伸构造为主。因此,被动大陆边缘也称为离散大陆边缘、拉伸边缘或大西洋型边缘。

被动大陆边缘盆地的走向平行于相邻大陆的海岸线,通常盆地沿着海岸延伸数百公里。发育完全的被动大陆边缘盆地应包括:①克拉通内部坳陷或者活动大陆边缘盆地的裂谷前层序;②裂谷盆地层序;③过渡—早期漂移局限相层序;④漂移晚期的进积层序。

现今被动大陆边缘盆地主要围绕大西洋和印度洋分布,形成目前 60% 的大陆边界。比较有代表性的被动大陆边缘盆地有:北美二叠盆地与西内部盆地、北非三叠盆地、巴西坎波斯盆地、加蓬盆地、澳大利亚西北陆棚盆地和尼日尔三角洲(表 1-1)。

表 1-1 世界典型被动大陆边缘盆地主要石油地质特征一览表

盆地	位 置	规 模	烃源岩	储集层	圈闭类型	油气储量
坎波斯	巴西东海岸中部	$10 \times 10^4 \text{ km}^2$	白垩系海相页岩/湖相页岩/I-II型	渐新世浊积扇和河道砂岩晚白垩世灰岩和浊积扇砂岩	与断层有关的圈闭、与盐构造有关的圈闭、地层圈闭	探明石油储量 $14.41 \times 10^8 \text{ bbl}$
加蓬盆地	非洲西海岸南部与刚果和卡宾达—安哥拉盆地一起向南延伸	$9 \times 10^4 \text{ km}^2$	白垩系海相页岩/I-II型,有机碳 5%; 湖相页岩/I型,有机碳达 6%	晚白垩世浊积砂岩,早白垩世滨岸砂岩、湖相三角洲砂岩、湖相浊积砂岩	与盐构造有关的圈闭、背斜圈闭	探明石油储量 $34233 \times 10^4 \text{ t}$, 天然气 $418 \times 10^8 \text{ m}^3$
尼日尔三角洲盆地	非洲西海岸中部,包括尼日利亚海岸及陆架部分、喀麦隆西部及赤道几内亚西北部海域	$17.158 \times 10^4 \text{ km}^2$	第三纪近海,海岸,沼泽和海相页岩II-III型,有机碳达 5%	中新世滨海砂岩	滚动背斜、断层封闭、岩性尖灭圈闭	探明石油可采储量为 $46.1 \times 10^8 \text{ t}$ 、凝析油储量为 $3.17 \times 10^8 \text{ t}$,天然气储量为 $2.2 \times 10^{12} \text{ m}^3$

续表

盆地	位置	规模	烃源岩	储集层	圈闭类型	油气储量
澳大利亚西北陆棚	澳大利亚西北海岸	$50 \times 10^4 \text{ km}^2$	白垩系海相页岩, 侏罗系海相页岩/II型	早白垩世海相砂岩, 晚三叠纪河流三角洲砂岩	披覆背斜、断层、不整合、地层岩性尖灭、古潜山圈闭	Jabiru 油田拥有 $4700 \times 10^4 \text{ bbl}$ 可采储量, Challis 油田拥有可采储量 $2200 \times 10^4 \text{ bbl}$, Harriet 油田拥有 $3200 \times 10^4 \text{ bbl}$ 可采储量, Saladin 油田拥有 $5000 \times 10^4 \text{ bbl}$ 可采储量, 兰金趋势带已探明天然气储量 $7 \times 10^{12} \text{ ft}^3$ 和凝析油 $1.53 \times 10^8 \text{ bbl}$, 布劳斯 (Browse) 盆地探明凝析油/石油可采储量 $2808 \times 10^4 \text{ t}$, 天然气储量 $5006 \times 10^8 \text{ m}^3$
西内部盆地	北美西南缘		奥陶系海相页岩	上寒武统一下奥陶统风化剥蚀的碳酸盐岩储层	背斜圈闭、地层削蚀不整合、断层超覆尖灭等地层圈闭	探明可采储量石油 $42 \times 10^8 \text{ t}$, 天然气 $4.7 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 已发现 1600 个气田, 5500 个油田。其中潘汉德—胡果顿超巨型气田, 石油可采储量为 $2.26 \times 10^8 \text{ t}$, 天然气为 $2.039 \times 10^{12} \text{ m}^3$
二叠盆地	北美南缘	$13 \times 10^4 \text{ km}^2$	奥陶系、早石炭系海相页岩	O、S 经风化剥蚀的碳酸盐岩储层, 二叠系生物礁储层, 礁体平均孔隙度 6%, 最高达 30%	背斜圈闭、与生物礁有关的地层圈闭, 地层削蚀不整合圈闭	探明石油可采储量 $306 \times 10^8 \text{ bbl}$, 已产石油 $40 \times 10^8 \text{ t}$, 天然气 $2 \times 10^{12} \text{ m}^3$
三叠盆地	阿尔及利亚南部撒哈拉地区东北部	$28 \times 10^4 \text{ km}^2$	志留系海相页岩	三叠系砂岩储层寒武系砂岩储层	在穹隆和长垣上发育的一系列背斜、断块圈闭, 与不整合有关的地层尖灭圈闭	探明可采储量石油 $14.79 \times 10^8 \text{ t}$, 天然气 $2.58 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 其中包括超巨型哈西迈斯欧德 (Hassi - Messaoud) 油田, 石油可采储量 $12.6 \times 10^8 \text{ t}$, 哈西勒迈勒气田, 可采天然气储量达 $1.529 \times 10^{12} \text{ m}^3$

注: $1 \text{ bbl} = 0.159 \text{ m}^3$; $1 \text{ ft}^3 = 0.0283 \text{ m}^3$ 。

近来对被动大陆边缘盆地的研究主要在以下 8 个方面取得了较大进展:

- (1) 被动大陆边缘的地层层序及其发育的控制因素;
- (2) 被动大陆边缘的沉积体系;
- (3) 被动大陆边缘成因类型的演化: 向前陆或其他类型盆地转化;
- (4) 被动大陆边缘的地球物理场特点与地壳结构;
- (5) 被动大陆边缘的热体制、沉降机制;
- (6) 被动大陆边缘的构造变形样式, 包括反转构造类型;
- (7) 被动大陆边缘的构造地貌类型;
- (8) 被动大陆边缘的流体作用。

第一节 被动大陆边缘构造研究进展

A.B.Watts (1988) 利用被动大陆边缘演化的构造模式, 探讨了构造运动对地层层序的影响。他认为, 被动大陆边缘的构造沉降是由于岩石圈和地壳在裂开时期的加热与变薄之后的热力收缩, 即当岩石圈随时间冷却及其弯曲刚度增加时, 在大陆边缘的外侧, 沉积物逐渐超覆在基岩上, 这与模拟超覆的模式十分相似。据此提出全球性的海平面变化作用实际上从属于大地构造运动。地层层序的主要控制因素是与主要板块的改组引起的广泛而可对比的构造事件有关。由于地壳沉降导致的全球性海平面上升, 势必产生海进地层层序; 由于地壳上升导致的全球性的海平面下降, 势必产生海退的地层层序。但是, 在一个沉积盆地中的特殊地点, 一个海进或海退层序的分布, 主要受沉积物输入量的速度、海平面相对位置变化方向和速率以及海底地形控制的。这就很好地解释了目前被动大陆边缘构造沉降、弯曲和海平面全球变化的关系。这不仅有助于含油层系的全球对比, 而且对于研究大地构造、岩石圈力学和地球动力学历史也具有重大意义。

陈发景 (1993) 讨论了伸展盆地的一般概念、裂谷的一般特征和类型、伸展盆地的演化、裂谷 (及大陆内坳陷、被动大陆边缘) 的形成机制和裂谷盆地的构造特征与油气运移和聚集。现代研究表明, 裂谷作用有多种方式 (G.Bassi, *et al.*, 1993), 有纯剪、单剪 (G.Marton, 1993) 及混合剪切 (B. Wernicke, *et al.*, 1989) 等多种模型。被动大陆边缘也有非火山型 (J.C.Sibuet, 1992) 与火山型 (M.Bott, 1995; O.Eldholm, 2000; J.Skogseid, 2001) 两种基本成因类型。被动大陆边缘可以向活动大陆边缘或转换大陆边缘变化 (P.J.Bart, 1991; B.Lammerer, 1992), 现今汇聚边缘都是由被动大陆边缘转化而来的; 也可以由其他类型盆地转化而来, 如北美东海岸晚古生代的活动大陆边缘转换成中生代的被动大陆边缘。

第二节 被动大陆边缘盆地油气地质研究进展

一、烃源岩

被动大陆边缘盆地中最富和最厚的生油岩出现在裂谷层序中。在被动大陆边缘盆地近海岸的斜坡上存在富含有机质的缺氧带, 由于洋流的上涌水体中携带有大量营养物质, 造成表层水中生物大量繁殖, 生物对氧的需求量也大幅上升, 从而造成上涌洋流下部更深水层中氧含量最低, 使下伏海相沉积物中有机质保存在缺氧环境里, 从而使烃源岩有机碳含量大幅提高。如北美西内部盆地古生代磷质黑色页岩为优质烃源岩, 就认为与洋流上涌作用有关。被动大陆边缘盆地烃源岩类型以Ⅰ型和Ⅱ型为主, 多数烃源岩岩性为海相页岩。在漂移阶段由于深埋作用, 烃源岩均已成熟, 在坳陷区因盆地演化晚期叠置了较厚的沉积盖层, 使下伏烃源岩达到高一过成熟, 以富含气为特征; 在隆起区和浅坳陷区因埋藏浅, 以富油为主。如北美西内部盆地山前坳陷区有世界超巨型潘汉得—胡果顿天然气聚集带, 隆起与浅坳陷区有俄克拉荷马城大油田。

二、储集层及盖层

被动大陆边缘盆地储集层主要发育在过渡—早期漂移层序和晚期漂移层序中,大规模海进海退促成了开阔的大陆边缘上储集层大面积分布。主要有浅水碳酸盐岩储层和河流相至浅海相至深海相砂岩储层。在陆源碎屑供应充足地区,沿着大陆边缘沉积了近海砂岩储层,如尼日尔三角洲发育孔隙度达40%的河道和沙坝砂岩,加蓬盆地也发育孔隙度达30%的河流和滨海相砂岩储层。在陆源碎屑供应很少地区,沿着大陆边缘沉积了碳酸盐岩,海水进退频繁,造成多个不整合,使隆起高部位沉积的碳酸盐岩经受了早期白云岩化作用和后期风化溶蚀作用,形成碳酸盐岩孔隙、裂缝、溶洞型储集层,如北美二叠和西内部盆地大面积发育经白云岩化和风化溶蚀作用后的碳酸盐岩储集层。沿隆起周缘或盆地边缘发育生物礁体,可形成生物礁优质储层,如二叠盆地二叠纪马蹄形环礁横向延伸95~150km,礁块最厚可达900m,礁体平均孔隙度为6%,最高达30%。

盖层主要以泥、页岩和膏盐层为主,其中膏盐层封闭性能最好,如北美西内部盆地胡果顿超巨型气田,其盖层厚度仅为37m的上二叠统硬石膏和含石膏致密白云岩。

三、圈闭类型

被动大陆边缘盆地的油气圈闭样式丰富。在盆地发育晚期漂移阶段,基底块断断层再次活动,并在裂谷隆起上形成压实披盖背斜圈闭,盐岩流动形成的有关背斜与断层圈闭,生长断层发育形成的滚动背斜及断层圈闭,大量的地层上倾尖灭圈闭、不整合遮挡圈闭,生物礁地层与岩性圈闭,地层与构造复合圈闭等。例如,西内部盆地57%的石油储量和83.7%的天然气储量发现于削蚀不整合、地层超覆尖灭等地层圈闭中,其中世界最大气田之一的胡果顿巨型气田圈闭,主要是由于多孔石灰岩和白云岩向隆起上倾方向渗透率变小、且岩性相变为页岩而形成的(图1-1);北非三叠盆地哈西勒迈勒巨型气田是由三叠系砂岩在不整合面上自拗陷向隆起高部位上超尖灭,上覆三叠系膏盐层封盖形成地层尖灭—穹窿背斜复合圈闭(图1-2);二叠盆地以生物礁地层岩性、地层与削蚀不整合面和背斜圈闭为主(图1-3);墨西哥湾盆地以盐丘和滚动背斜型油气藏为主,次为珊瑚礁油藏;北海盆地,以断裂背斜气藏、盐背斜油藏、披覆构造油藏、潜山油藏四种圈闭类型为主;珠江口盆地,以基岩断裂、隆起有关的第三系背斜和半背斜油气藏为主,其次为古潜山油气藏;尼日尔三角洲盆地,以滚动背斜油气藏为主。

四、油气聚集与保存

在被动大陆边缘盆地演化过程中,后期常遭受改造和叠加前陆盆地,因此被动大陆边缘盆地早期油气藏遭受调整或改造甚至被破坏是较普遍现象,曾经遭受了多次抬升剥蚀的古隆起高部位,油气藏遭受破坏的可能性比较大,而古隆起斜坡区稳定的构造条件、区域性盖层和封闭性水文地质条件及所具有的地层—岩性或复合型圈闭有利于油气藏的形成和保存。目前大多数被动大陆边缘盆地中大油气田主要为地层—构造或地层—岩性型油气藏,这也表明这类油气藏容易保存下来。例如北美西内部盆地胡果顿巨型气田为地层—构造复合型油气藏,油气藏形成后虽经后期抬升与剥蚀,但由于圈闭的相对稳定性及良好盖层未遭剥蚀和破坏,保存了大气田;而相邻奥契塔褶皱带中大部分背斜带由于强烈褶皱和断裂破坏,仅有少量的天然气聚集或保存。

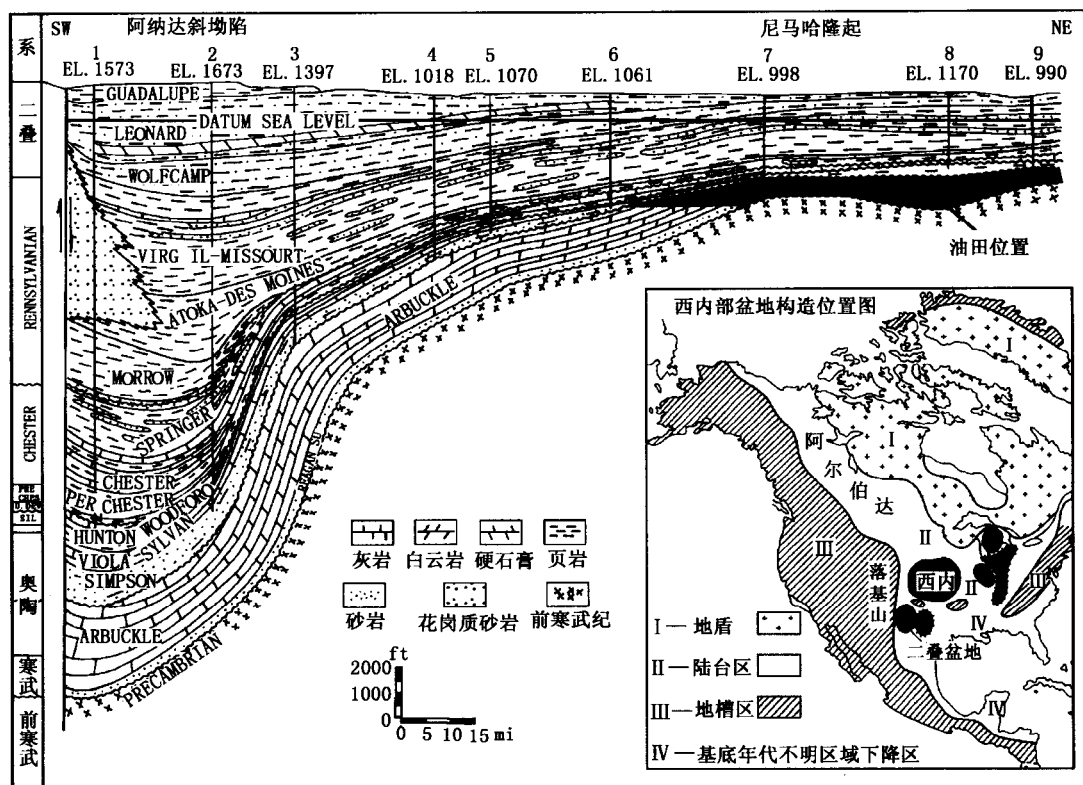


图 1-1 北美西内部盆地构造横剖面与油气分布

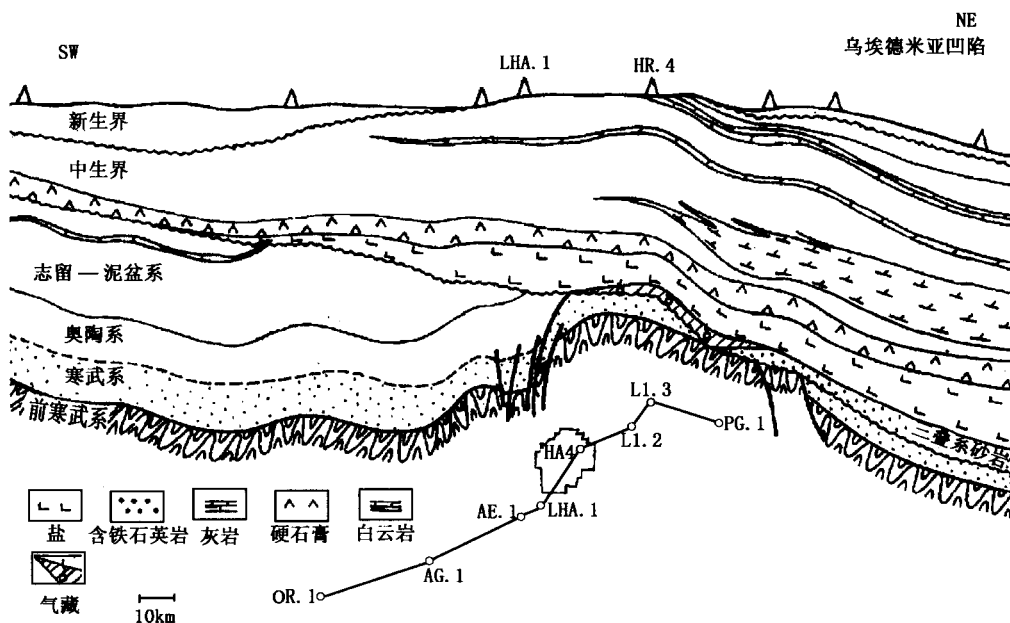


图 1-2 北非三叠盆地哈西勒迈勒巨型气田横剖面图

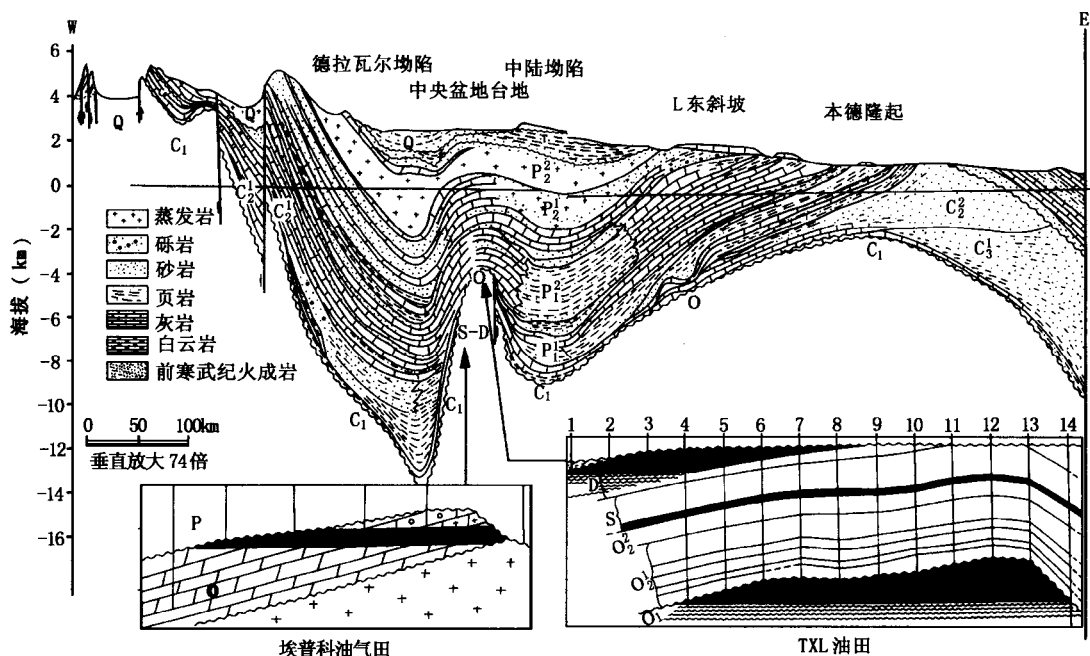


图 1-3 北美二叠盆地东西向横剖面及油气藏剖面图

成藏期晚的油气藏保存相对较好，且易形成大油气田。例如，北非三叠盆地的志留系烃源岩在海西运动中抬升遭受剥蚀，中生代又沉降、深埋藏，至中生代晚期志留系烃源岩达到最大埋深，发生二次生烃，生成的大量油气向中生代晚期定型的圈闭中运移成藏，从而形成了哈西迈斯欧德 (Hassi - Messaoud) 巨型油田 (石油可采储量 $12.6 \times 10^8 \text{t}$) (图 1-4) 和哈西勒迈勒巨型气田 (可采天然气储量达 $1.529 \times 10^{12} \text{m}^3$) (图 1-2)。

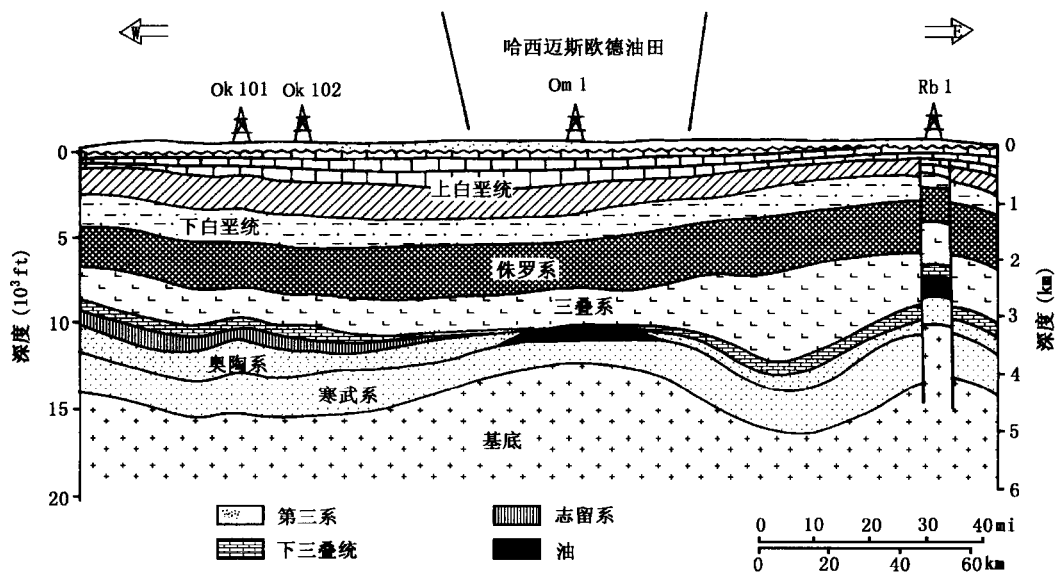


图 1-4 北非三叠盆地哈西迈斯欧德巨型油田东西向横剖面图 (据 Balduechi, 1979)

第三节 被动大陆边缘盆地含油气性差异的主控因素

一、被动大陆边缘盆地的含油气性

被动大陆边缘盆地是世界上含油气最为丰富的盆地。大陆边缘的石油产量已占世界石油总量的四分之一。被动大陆边缘占现今大陆边缘的 60%。大部分油气储量集中在被动大陆边缘处。墨西哥湾、北海大陆边缘、大西洋加拿大、美国、巴西和西非边缘以及波斯湾内古老的特提斯海边缘已成为重要产油区（表 1-1）。海洋石油总储量估计为 $540 \times 10^8 \text{t}$ ，天然气储量估计为 $20 \times 10^{12} \text{m}^3$ 。大西洋和印度洋占海洋油气总储量的 7/8，主要分布在被动边缘，而被动边缘的油气又分布在上第三系至三叠系，其中石油最多是在下白垩统和侏罗系、三叠系，天然气最多是在二叠系。

二、被动大陆边缘盆地富集油气的主要因素

被动大陆边缘，根据破裂不整合通常可分为上下两套沉积。下部较老的一套为具有厚的陆相碎屑层序；上部较新的一套为海相沉积。沿被动边缘产生一系列沉积盆地，沉积厚度达 10km 以上，多数为三角洲沉积，已证实埋藏有丰富的油气资源。这些盆地按成因可划分为三大类：一为陆间裂谷型盆地，二为边缘板块型盆地，三为大陆边缘沉陷型盆地。

分析 P. Vail (1977) 等提出的中生代海平面变化曲线，可以看出被动大陆边缘处沉积岩系的结构和成因。在被动大陆边缘，不论是海平面下降还是海平面上升都会产生油藏形成条件，并且大海退有利于主要是陆源的储集层沉积，而海进使礁和其他碳酸盐沉积物堆积下来，它们后来成为油气藏的巨大储集体。但是，海退的作用比海进大得多，并且被动大陆边缘的油气藏主要位于海退时代的沉积层中。而在活动大陆边缘，含油气的沉积层主要是在海面下降时期沉积的年轻的新生界地层；较老的沉积由于构造运动，油气远景不大。

被动大陆边缘盆地具有优越的石油地质条件，即：①在裂谷和漂移层序中存在高质量的源岩；②沉积厚度大，足以使源岩达到成熟；③整个裂谷和漂移阶段中形成很多封闭的圈闭；④在构造—地层旋回中，源岩、储集层和圈闭得以保存。

三、大陆边缘盆地的演化决定了油气成藏与富集条件

被动大陆边缘盆地的演化有 3 个基本序列：

- ①裂谷—陆间裂谷—初始大洋—被动大陆边缘，例如现今大西洋边缘；
- ②被动大陆边缘盆地—前陆盆地，例如古特提斯洋边缘两侧的盆地；
- ③被动大陆边缘盆地——被叠加改造成其他盆地。

在前苏联领土及其海上经济区内大约有 70 多个含油气沉积盆地，它们几乎包括了目前板块构造学分类中所有的盆地类型，上述被动大陆边缘盆地的演化 3 个基本序列都可以见到。有以下几种盆地的地球动力学类型：①被动大陆边缘盆地，包括发生过碰撞改造的古大陆边缘盆地和现代未经改造的大陆边缘盆地；②新生代活动大陆边缘盆地；③板块碰撞后形成的盆地；④板内盆地。与古老的被动大陆边缘有关的含油气沉积盆地，在改造过程中可转化为下列边缘构造：①台地斜坡带或克拉通周边拗陷；②边缘拗陷；③边缘褶皱带。在碰撞过程中形成的线型构造带是大陆边缘系统中另一种典型构造，其中包括：I. 接近造山带的