

被动大陆边缘演化与油气地质

——以塔里木盆地西南地区为例

赵文智 张光亚 等著

石油工业出版社

被动大陆边缘演化与油气地质

——以塔里木盆地西南地区为例

赵文智 张光亚 等著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书在理论上对塔里木盆地塔西南地区被动大陆边缘的地质特征作了深入的剖析,阐明了该区基本构造、沉积演化历程,着重论述了古生代两期(寒武纪—奥陶纪及石炭纪—二叠纪)被动大陆边缘的构造演化、沉积体系发育、烃源岩发育以及油气藏形成等石油地质基本问题,探讨了该区油气资源形成和富集的控制因素,并在已有研究成果基础上,对重点勘探领域及预探目标进行了评价。

本书不仅可以指导该区的勘探实践,而且在完善被动大陆边缘地质理论及其石油地质意义方面和对深化塔西南地区基本石油地质特征方面都有重要意义,是从事油气地质勘探、科学研究和教学人员的重要参考文献。

图书在版编目(CIP)数据

被动大陆边缘演化与油气地质 / 赵文智等著 .

北京:石油工业出版社,2007.11

ISBN 978-7-5021-6058-6

I . 被…

II . 赵…

III . 塔里木盆地—含油气盆地—大陆边缘—石油天然气地质—研究

IV . P168.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 179697 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 100011)

网 址: www.petropub.cn

发行部: (010) 64210392

经 销: 全国新华书店

印 刷: 石油工业出版社印刷厂

2007 年 11 月第 1 版 2007 年 11 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 15 插页: 4

字数: 338 千字 印数: 1—1500 册

定价: 65.00 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

前 言

世界范围内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所发现的大型油气田等，都与被动大陆边缘层系的生烃和成藏有关。尤其 20 世纪末叶在大西洋两岸及东南亚的大陆坡、深水盆地的被动大陆边缘发现的 20 多个巨型油气田，储量将近 $100 \times 10^8 \text{t}$ 油当量，证明被动大陆边缘沉积组合有着优越的生烃和成藏条件，成为当今世界油气勘探的热点之一。

塔里木盆地具有丰富的油气资源。其中，发现了以古生界烃源层为主的油气田有轮南、桑塔木、塔河、哈德逊、东河塘、和田河、巴什托普、塔中 4、塔中 16、塔中 82、塔中 45、塔中 26、塔中 1 等，发现探明油气地质储量 $8 \times 10^8 \text{t}$ 油当量以上，80% 以上的油气储量属于古生代被动大陆边缘油气成藏系统。在塔里木盆地油气勘探中被动大陆边缘占有重要地位。

塔里木盆地西南地区寒武系、奥陶系和石炭系、二叠系海相地层即是在被动大陆边缘的环境中沉积的。这两期被动大陆边缘是在古亚洲洋和特提斯洋开裂、扩张的构造背景中形成的。之后经中—新生代比较强烈的改造，使其石油地质条件变得比较复杂，勘探难度增大。

塔西南地区经历了半个多世纪的勘探，发现了大量地面油气苗、油气显示，已经探明石油地质储量约 $1552 \times 10^4 \text{t}$ ，天然气 $931 \times 10^8 \text{m}^3$ ，控制油、气地质储量分别为 $229.5 \times 10^4 \text{t}$ 和 $694.9 \times 10^8 \text{m}^3$ ，证实该地区具有丰富的油气资源。经过多次油气资源远景评价确认塔西南地区油气资源丰富，石油远景资源量可达 $20 \times 10^8 \text{t}$ ，天然气远景资源量可达 $2.1 \times 10^{12} \text{m}^3$ 。可见塔西南地区将是塔里木盆地未来油气勘探获得大发现和储量大幅度增长的重要地区，与被动大陆边缘相关的勘探领域将是最有利的领域。

目前对于塔西南被动大陆边缘油气资源形成和分布规律的认识及勘探程度都很低，这就制约了大油气田的发现进程。鉴于此，为了适应塔里木盆地油气勘探的需要，加快塔里木盆地大油气田的发现节奏，在王涛老部长的建议和贾承造院士的具体组织下，中国石油天然气股份有限公司勘探与生产分公司特设立重点研究课题进行研究。本书即是在该课题研究成果的基础上，系统整理和综合分析写成，为深入认识塔西南地区油气地质特征，为发现大油气田添砖加瓦，诚盼读者不吝赐教。

本书由赵文智、张光亚、李洪辉、于炳松、朱如凯、张立平、尚新璐合著完成，共分三篇。第一篇塔西南地质概要的第一、第二章由赵文智、张光亚执笔，第三章由于炳松执笔；第二篇塔西南被动大陆边缘油气地质的第四、第六章由张立平执笔，第五章由朱如凯、于炳松执笔，第三篇塔西南被动大陆边缘勘探领域的第七章由赵文智、张光亚、

李洪辉、尚新璐、张研、孙虎生执笔。前言和全书统稿由赵文智和张光亚完成，高阳、邹敏、李占霞等协助整理了部分文图。笔者衷心感谢王涛老部长、贾承造院士的鼓励 and 热心指导，感谢许大丰、罗忠等同事在研究过程中作出的贡献，感谢中国石油勘探与生产分公司和塔里木油田分公司有关领导和专家的大力支持与帮助，感谢周兴熙教授在全书统稿过程中给予的帮助。

目 录

第一篇 塔西南地质概要

第一章 绪 论	3
第一节 塔西南油气勘探主要成果	3
第二节 主要研究成果述评	4
第三节 主要研究工作	6
第四节 取得的主要成果及进展	7
第二章 塔西南区域构造演化概要	10
第三章 塔西南古生代层序地层与沉积古地理	14
第一节 寒武纪和奥陶纪	14
第二节 志留纪和泥盆纪	33
第三节 石炭纪—早二叠世	38
第四节 晚二叠世	58

第二篇 塔西南被动大陆边缘油气地质

第四章 塔西南地区烃源岩地球化学特征	61
第一节 塔西南地区烃源岩分布与生烃潜力	61
第二节 塔西南地区已知油气藏特征	78
第三节 烃源岩生烃史分析及生烃灶的展布	86
第五章 塔西南地区储层、盖层与储盖组合	92
第一节 储层特征与评价	92
第二节 盖层特性	137
第三节 储盖组合	142
第六章 塔西南地区油气成藏特征	150
第一节 塔西南地区油气成藏条件	150
第二节 典型油气田(藏)油气成藏特征	156

第三篇 塔西南被动大陆边缘勘探领域

第七章 塔西南三大勘探领域	175
第一节 勘探领域评价原则	175
第二节 石炭系和二叠系岩性—地层型油气藏勘探领域评价	175

第三节 奥陶系潜山勘探领域评价..... 208

第四节 民丰地区勘探领域分析..... 218

结 论..... 225

参考文献..... 229

第一篇 塔西南地质概要

第一章 绪 论

塔西南地区位于塔里木盆地西南部，夹持于南天山褶皱带、柯坪隆起与西昆仑褶皱带、铁克里克隆起之间，西窄东宽，略呈三角形形状，面积为 $14.13 \times 10^4 \text{km}^2$ 。

该地区包括中央隆起的巴楚凸起和塔西南坳陷的麦盖提斜坡、喀什凹陷与叶城凹陷等（图 1-1）。

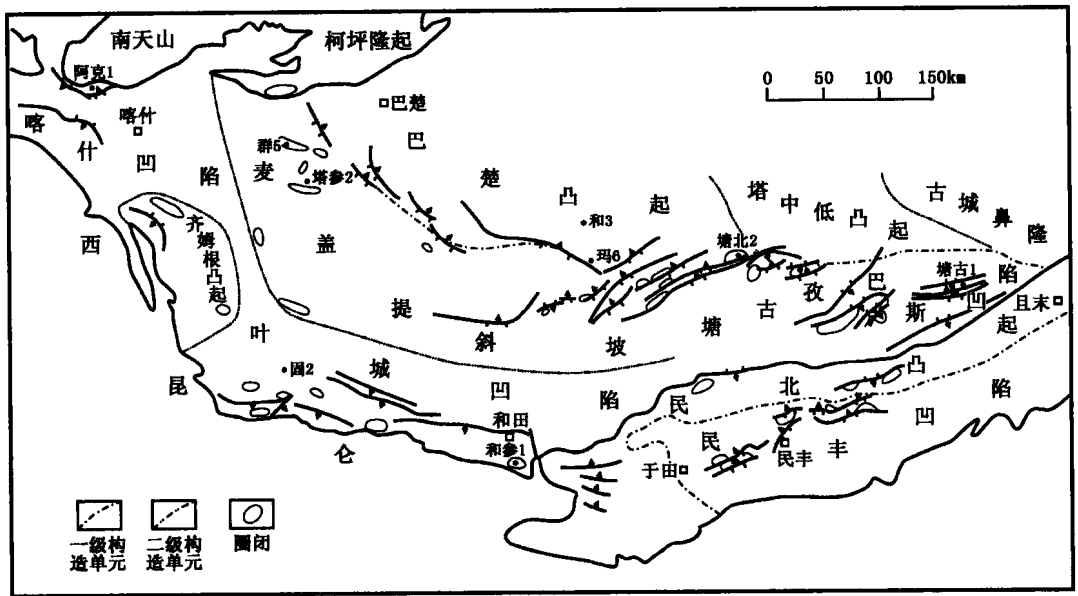


图 1-1 塔西南地区构造单元分布图
麦盖提斜坡分为上、下斜坡

第一节 塔西南油气勘探主要成果

塔西南地区虽然有半个世纪的油气勘探历史，但总体勘探程度仍然较低。尤其是在被动大陆边缘层序保存较好的地区——麦盖提斜坡的油气勘探程度与认识程度更低。

麦盖提斜坡是塔西南坳陷内一个次级构造单元，东北与中央隆起巴楚凸起接壤，北接柯坪断隆，西北为喀什凹陷，南邻叶城凹陷，东与塘古孜巴斯凹陷过渡，总面积约 $4.5 \times 10^4 \text{km}^2$ 。20 世纪 50 年代地震概查工作首先在群苦恰克地区开展。70 年代末至 80 年代初，新疆石油管理局和地质矿产部先后在该地区钻探了曲 1、曲 2、麦参 1 和麦参 2 井，均未获得重大突破，仅在石炭系中发现了油气显示。90 年代麦盖提斜坡西段和中

段油气的勘探,先后在西段的曲3井、群5井、群002井石炭系生屑灰岩段、麦3井石炭系小海子组灰岩段获得工业油气流,巴什托普背斜石炭系生屑灰岩油藏探明储量 $329 \times 10^4 \text{t}$;在中段的山1井在奥陶系风化壳获得工业气流,控制天然气地质储量 $433.52 \times 10^8 \text{m}^3$ 。随后又在巴楚凸起南缘发现并探明和田河气田,探明天然气储量 $624 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

在麦盖提斜坡以南的叶城凹陷(前陆冲断带),1977年首先发现了柯克亚浅层凝析油气田,油气层为中新统西河甫组(简称“浅层油气田”),1994年柯深1井在中古新统卡拉塔尔组海相灰岩中发现了高产凝析气流(简称“深层油气田”)。

在麦盖提斜坡西北的喀什凹陷(前陆冲断带),2001年阿克1井于下白垩统克孜勒苏组获高产气流(日产 $50 \times 10^4 \text{m}^3$),发现了阿克莫木气藏,天然气控制地质储量为 $123.93 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

由上述可知塔西南地区的3个构造单元都发现了油气田(藏),在已经发现的油气田(藏)中含油气层系有8个之多,由上到下有:新近系(西河甫组);古近系(卡拉塔尔组);下白垩统(克孜勒苏组);上石炭统(小海子组);上石炭统(砂泥岩段);下石炭统(生屑灰岩段);下石炭统(砂砾岩段);奥陶系(丘里塔格上亚群)(图1-2)。

目前在塔西南发现油气田和大量的油气显示,这对进一步勘探和研究是非常重要的依据。

第二节 主要研究成果述评

经过前人多年研究探索,对该区构造演化的基本框架与不同阶段所处构造位置的基本定位都为我们进一步开展被动大陆边缘(简称被动陆缘)大油气田形成条件分析与有利目标筛选提供了基础。但是已有的资料包括钻井和地震资料对于清晰准确地认识该区自古生代以来的演化历史,沉积层序与相带展布和变化,生油岩、储集岩与主要的油气聚集类型以及油气富集的主要目的层段等,都还有很多难度较大的课题,尚需深入研究,本书把研究的重点确定为如下三个方面。

(1)从被动陆缘相关大油气田勘探的角度分析,最现实的目的层段是在晚泥盆世—二叠纪所发育的被动陆缘及其以后的地层。有利的层位确定为古新统阿尔塔什组膏岩覆盖层之下,石炭系及其之上,并包括下奥陶统顶部风化壳。重点研究与目标选区范围为石炭系底界埋深在6500m以上的地区,总面积约 $1.8 \times 10^4 \text{km}^2$ 。

(2)麦盖提斜坡地区是本书研究的重点地区,其构造演化历史重要特征是,在早古生代、晚古生代直到新生代,整体显示为被动陆缘与前陆盆地交替发育背景上的几次隆拗分异,除在一些高隆部位有剥蚀淋滤作用的发生,如塔西南塌陷型古隆起,但大部分地区长期呈斜坡背景,表现出很大的稳定性。因此,该区可供油气聚集的圈闭主要有岩性尖灭带、礁、滩体以及与古岩溶有关的潜山和上倾有断层遮挡形成的断层—岩性等重要目标,勘探目标有很大的隐蔽性。可见,需要在有利靶区与有利目的层段以及有利勘探目标类型确定的基础上,筛选有效识别隐蔽目标的地质与地球物理相结合的技术。为此,在麦盖提斜坡要开展大比例尺的工业制图,对于一些低幅度构造、地层或岩性圈闭

第一篇 塔西南地质概要

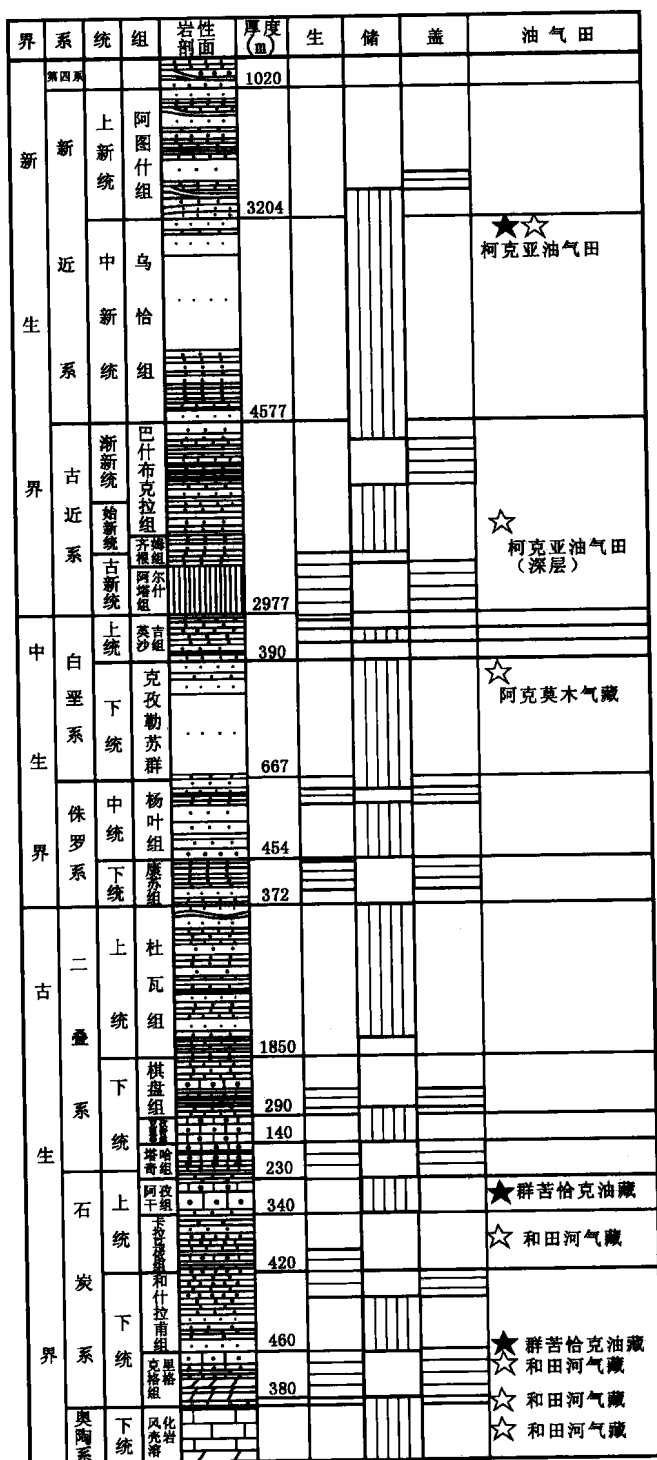


图 1 - 2 塔西南地区含油气地层柱状略图

的识别要形成一套有效的技术。

(3) 还有一系列问题制约着在塔西南地区寻找大油气田, 尚需进一步研究。主要有以下 5 方面:

① 进一步提高塔西南被动陆缘盆地有机相带的预测精度。对古特提斯阶段, 还需充分地应用盆地内部与周缘造山带的最新研究成果, 从盆地—造山带统一发展的地球动力学背景出发, 对原型盆地、构造岩相带及其所控制的有机相带进行分析和预测。

② 本区被动陆缘为油气富集提供了良好的前提条件, 进一步是要在现今被动陆缘仍然保存良好的部分, 对良好的生储盖组合和具体的沉积层序展布与岩性岩相变化空间位置, 尤其是储集体的层位、类型、物性条件及其与烃源灶的关系等, 进行较准确的预测。

③ 对最有可能形成与被动陆缘有关的大型油气田的麦盖提斜坡, 改善已有资料的精度, 对其内部结构细节、主要圈闭类型、层位及分布等, 要更充分的认识。减少在主要目的层段与重点研究解剖区选择上的盲目性。

④ 对麦盖提斜坡的翘倾转化、巴楚断隆的反转与山前带的冲断改造等对于油气运移格局及其对聚集作用的影响作更深入的分析研究, 更好的圈定有利目标区。

⑤ 研究区还有一些潜伏的低隆起, 也曾受到过风化淋滤, 对其中储层发育状况、圈闭形成及与烃源灶的关系等的深入研究, 确认有价值的钻探目标。

第三节 主要研究工作

针对上述情况研究工作着重在以下 4 个方面。

(1) 加强基础研究。

对周边露头进行了普遍的和有针对性的调查, 取得第一手资料; 对老地震资料采用统一流程重新处理, 改进资料品质, 使目标描述精度提高; 对不同年度测井资料进行重新处理, 获得储层及含油性信息, 完成大量岩心观察和实验分析化验工作 (表 1-1)。

表 1-1 完成的实物工作量表

序号	工 作 任 务	完成工作量
1	查阅收集完井报告、各类分析测试报告、科研报告和论文、工作区相关资料	500 余份
2	野外剖面测制 (包括修测和观察)	14 条
3	野外样品采集	313 个
4	钻井岩心观察描述、照相	24 口井 427 张
5	钻井岩心铸体薄片观察描述和照相	14 口井 380 张
6	磨制和鉴定岩石薄片	100 片
7	重新处理二维地震剖面	5000km
8	二维地震剖面特殊处理	103 条 5800km
9	三维资料处理	278km ²
10	碳酸盐岩分析	19 块次

续表

序号	工 作 任 务	完成工作量
11	测井处理	25 口井
12	重新解释地震剖面	$8.4 \times 10^4 \text{km}$
13	烃源岩地球化学分析	124 块次
14	编制成果图件	300 余幅

(2) 加强综合技术应用。

针对研究区钻井少、地震资料品质较差的实际情况,以地质模式为指导,综合露头、钻井、测井、地震资料,刻画层序地层格架下的地震相、沉积相,确定岩性体,用实验室分析化验资料约束钻井资料、钻井资料约束测井资料,再约束地震反演、预测储层和岩性圈闭。

(3) 设定总体目标,突破重点地质问题,带动总体认识提高。

首先是依据地质结构演化,明确麦盖提斜坡结构框架;其次是通过露头、钻井及地震剖面建立区内层序地层格架,在此基础上确定有利沉积相带的分布;第三是选择有利相带的重点区块,通过实验室分析—钻井—测井—地震剖面依次标定和约束,勾绘岩性体及岩性目标分布;第四是对目标有效性及地质条件进行论证,确定预探井位;最后是明确下一步井位部署。

(4) 加强目标的评价落实和准备,围绕重大预探目标,提供井位建议和地震部署。

第四节 取得的主要成果及进展

通过近四年的攻关研究,取得了以下重要成果。

一、被动陆缘石油地质条件研究取得重要进展

特提斯构造带是全球性南、北古大陆围绕的巨型纬向构造带,发生了三次离散与聚合,可分为三个阶段:原特提斯阶段(Z—D)、古特提斯阶段(C—T)和新特提斯阶段(J—E)。

塔里木盆地处于特提斯构造带北缘盆地群的中段。塔里木古生界克拉通盆地的演化受原特提斯、古特提斯的影响,其被动陆缘的发育是在这两个阶段拉张分裂时期形成的。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。塔里木盆地西南地区即处于这一被动陆缘的东段,理应具备形成大型油气田的条件,是在塔里木盆地寻找大油气田的现实领域。塔西南地区燕山晚期至喜马拉雅早期也受到新特提斯洋扩张的影响,形成晚白垩世至渐新世海侵。

在新特提斯洋聚敛时期及其后的印度板块与欧亚板块碰撞,其上又叠加了前陆盆地。造成南天山山体向南、西昆仑山体向北冲断,在盆缘发育了一系列前陆冲断带,被动陆缘层序的下斜坡部分大多卷入了构造变形,而在现今盆地内部,尤其是在麦盖提斜坡地

区,被动陆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。

(1) 塔西南存在被动陆缘,第一期寒武纪至奥陶纪被动陆缘主体已卷入造山带,现存于塔西南地区的部分主体是克拉通部分;第二期石炭纪和二叠纪被动陆缘,保存较好的是陆架上部缓斜坡部分。

(2) 塔西南被动陆缘可形成大油气田,首先是有较大规模的生烃灶,其次是不仅具有高能礁滩相颗粒灰岩储层,还有三角洲砂岩储层以及奥陶系风化壳储层,再者,麦盖提斜坡作为构造变动的枢纽部位,有利于油气聚集和保存。

(3) 通过对塔西南被动陆缘沉积体系的研究,认为石炭纪和二叠纪塔西南为一较宽缓的被动陆缘,主要发育低能局限台地相,受古地形控制,发育台缘及台内高能礁滩相生屑灰岩、颗粒灰岩岩性体;通过野外、井下资料分析对比和实验室分析,对石炭系优质储层形成的主控因素进一步深化,提出高能礁滩相带及白云岩化与溶蚀作用是形成优质储层的主控因素。

(4) 结合热模拟,重新论证和确认麦盖提斜坡及邻区发育寒武系和石炭系两套主要烃源岩中,寒武系烃源岩质量优、生烃潜力大,早期形成古油藏,晚期形成气藏;石炭系烃源岩主要发育在巴楚组生屑灰岩段和卡拉沙依组砂泥岩段,前者主要发育在研究区西段,后者主要发育在研究区东段,斜坡区两者现今皆达到成熟阶段。进一步探讨了研究区油气藏的成藏期次、油气充注范围、类型、压力特征及成藏模式。

(5) 初步形成一套针对石炭系礁滩相碳酸盐岩岩性圈闭描述的配套技术,即野外调查、井下分析、测井分析、层序地层学分析地震相与地震储层预测相互印证,刻画岩性体的形态和属性。

二、寻找大油气田的三个重要领域及其资源潜力

(一) 麦盖提斜坡石炭—二叠系岩性地层油气藏

礁滩相岩性体主要发育在石炭系巴楚组生屑灰岩段和小海子组灰岩段,岩性体的规模较大,物性条件较好,具备形成岩性圈闭的条件。通过地质论证,已在群苦恰克构造带西倾部位部署实施了预探井和评价井并已获良好油气显示,揭示出麦盖提斜坡岩性油气藏勘探新领域的好苗头,预计储量规模较大。沉积相、地震相研究也揭示出东河塘组发育多期前滨亚相和障壁岛相有利砂体,是构造—岩性油气藏勘探的新领域。

(二) 玛南—玛东地区奥陶系潜山油气藏

针对玛东南地区奥陶系碳酸盐岩潜山,在前人工作的基础上,重点加强了该区古构造演化、断裂性质、地震反射特征、小层对比、沉积环境及地震反演等六个方面的分析和研究工作。通过地震解释认为玛东南地区发育5排北东向断裂潜山带和一个马蹄形构造带,落实了圈闭28个,总面积(石炭系和奥陶系)约 2900km^2 ,圈闭资源量 $5 \times 10^8 \sim 10 \times 10^8\text{t}$ 。玛东南地区奥陶系碳酸盐岩潜山储层的控制因素主要有五个方面:岩性岩相、古地貌、风化溶蚀作用、盖层时代、喜马拉雅期断裂的改造等。区带综合评价结果认为,和田河—鸟山气田之南为三期岩溶发育区,是天然气勘探最有利区。其次是玛东南断裂潜山带。

(三) 民丰凹陷

民丰凹陷勘探程度很低,通过周缘露头区的研究和样品分析,基本具备石炭—二叠系和侏罗系两套烃源岩,同时发育石炭系、侏罗系两套储层。民丰凹陷凹中隆起带及民北凸起发育一系列不同类型圈闭,共发现和落实圈闭 12 个,圈闭面积 1050km^2 ,估算圈闭资源量 $3 \times 10^8 \sim 6 \times 10^8\text{t}$ 。民丰凹陷具备成藏的基本石油地质条件,是一个值得探索的新领域。

三、岩性地层圈闭描述技术

初步形成了以层序地层学为指导,以提高地震资料品质、地震反演储层预测为核心以岩性、地层圈闭为主要目标的描述技术,并在勘探实践中证实是有实效的。

第二章 塔西南区域构造演化概要

塔西南地区在震旦纪至早奥陶世和泥盆纪至早二叠世经历了两个大洋开裂扩张阶段,在这两个阶段的寒武纪—早奥陶世和石炭纪—早二叠世形成两期被动陆缘,在两期被动陆缘之间有前陆盆地期相隔,两期被动陆缘之后又有两期前陆盆地和一个断陷—坳陷期叠加,致使早期被动陆缘面目发生很大的变化,晚期被动陆缘也受到较强烈的改造。两期被动陆缘是塔西南主要的烃源岩沉积期,对塔西南的油气远景评价至关重要。

(1) 塔西南地区前震旦纪为古老克拉通结晶基底形成阶段。显生宙以来经历了7个构造演化阶段:

- ①震旦纪:裂谷盆地阶段;
- ②寒武纪—早奥陶世:早期被动陆缘阶段;
- ③中、晚奥陶世—志留纪(中泥盆世):周缘前陆盆地阶段;
- ④石炭纪—早二叠世:晚期被动陆缘阶段;
- ⑤晚二叠世—三叠纪:弧后前陆盆地阶段;
- ⑥侏罗纪—白垩—古近纪:断陷—坳陷阶段;
- ⑦新近纪:再生前陆盆地阶段。

(2) 寒武纪—早奥陶世:早期被动陆缘阶段。

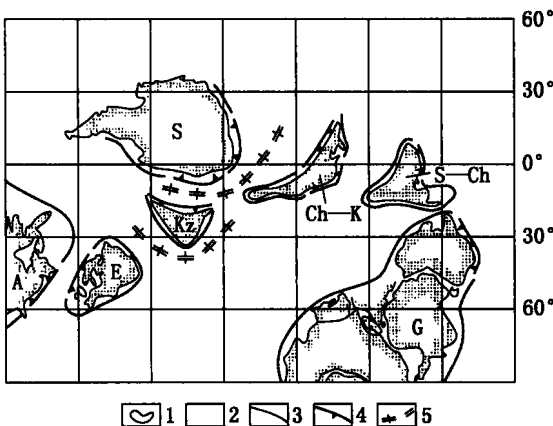


图 2-1 亚洲及邻区早古生代晚期古地理复原示意图(据李春昱等, 1982)

1—大陆地壳, 2—海洋地壳, 3—陆壳与洋壳的分界, 4—板块俯冲带, 锯齿指俯冲方向, 5—扩张脊, Ch—K—塔里木—中朝板块, S—Ch—华南—东南亚板块, G—冈瓦纳古陆, S—西伯利亚板块, Kz—哈萨克斯坦板块, E—东欧板块, A—北美板块

青白口纪末的塔里木运动使元古宇固结, 塔里木板块在古赤道形成。此时正处于兴凯期的大洋扩张, 震旦纪在北昆仑和柯坪形成裂谷, 在震旦纪末裂谷转化为洋壳, 进而开裂、扩张, 在塔里木北邻古天山洋和南侧原特提斯洋形成(图 2-1、图 2-2)。

寒武纪和早奥陶世塔里木板块伴随大洋扩张, 形成非火山型被动陆缘盆地(书中的早期被动陆缘), 充填了一套 2000 ~ 3000m 厚的以碳酸盐岩为主的沉积建造。这一阶段的被动陆缘期主要发育在塔西南地区, 包括和田边缘台地、柯克亚陆棚带以及北昆仑边缘海等。

(3) 中、晚奥陶世—志留纪(中泥盆世): 周缘前陆盆地阶段。