

柴达木盆地

石油天然气 勘探开发技术

付锁堂 李永 张祥 梅洪◎主编

卷一



CHAIDAMUPENDI
SHIYOU TIANRANQI
KANTAN KAIFA JISHU



石油工业出版社

内 容 提 要

本书收集了近两年来在柴达木盆地石油、天然气勘探和开发方面的优秀论文,是青海石油科技工作者科研成果和实践经验的汇集。主要包括石油、天然气地质勘探、测录井技术、油气田开发以及石油工程等方面的内容。

本书适合从事石油勘探、开发工作的科研及管理人员,大中院校师生阅读、参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

柴达木盆地石油天然气勘探开发技术. 1/付锁堂等编.
—北京:石油工业出版社, 2010. 7
ISBN 978-7-5021-7747-8

I. 柴… II. 付… III. 柴达木盆地-油气勘探
IV. P618.130.8

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第069441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.com.cn

编辑部:(010) 64523537 发行部:(010) 64523620

经 销:全国新华书店

排 版:北京时代澄宇科技有限公司

印 刷:石油工业出版社印刷厂

2010年7月第1版 2010年7月第1次印刷

787×1092毫米 开本:1/16 印张:24.5

字数:626千字 印数:1—1500册

定价:160.00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

雄踞“世界屋脊”的青海省是个神秘而诱人的地方，她仿佛是一块未经雕琢的玉石，粗拙中透出珠光宝气，平静中显出神奇风采。青海资源十分丰富，许多矿藏储量在全国居于首位。闻名遐迩的柴达木盆地，山川藏珍、戈壁埋矿，素有“聚宝盆”之美誉。

蕴藏在柴达木盆地的石油和天然气资源十分丰富，半个多世纪以来，青海石油人扎根高原，砥砺青春，无私奉献；无数先烈用鲜血和生命，将亘古无人烟的戈壁大漠凝铸成一部厚重的史诗，在世界屋脊上树起了一座座巍峨丰碑。如今，青海油田探明的23个油气田，星罗棋布于八百里瀚海；52亿吨油气总资源量、近7亿吨的油气探明储量，演绎出55年辉煌灿烂的丰硕成果；全国第四大气区在柴达木盆地横空出世，展示出青海油田广阔的发展前景。2009年青海油田在勘探上取得了很多收获和成果。昆北地区找到了整装优质储量，马北地区油气稳步增长，三湖地区又发现了新的天然气勘探领域；天然气日产突破了2000万立方米。青海油田正向着全国大油气田的行列阔步挺进。

实践是科研的源泉，科研是实践的先导。前者带动后者，后者推动前者，相辅相成，密不可分。柴达木盆地油气勘探开发取得的辉煌成就，离不开广大石油科技工作者的智慧和辛勤耕耘，他们积极推广应用新技术、新工艺，先后完成了数千项科研课题，多项科技成果名题省、部和国家金榜，为石油天然气的勘探开发提供了有力的技术支持。同时，一批具有较高学术水平和实用价值的科技论文不断出现。人们迫切希望阅读到这些论文，并将其观点与方法应用到研究与实践之中去。根据这一客观需要，我们收集、整理、编辑了本书，书中收录了包括地质勘探、油气田开发、石油工程等方面的59篇论文，是青海石油科技工作者、尤其是中青年科技工作者在近期所取得的研究成果及其经验总结，内容丰富、实用性强，是一本比较好的论文集。期望能受到广大读者的欢迎，并在实际工作中起到积极的作用。

柴达木盆地面积达12.1万平方千米，具有丰富的油气资源，而目前探明率只有13%，远低于国内外含油气盆地探明率的平均值（30%）。地质条件复杂，勘探程度低，这是一种潜力。只要我们科学认识、合理利用这种资源潜力，油气勘探必将达到持续发展的目的，为早日建成千万吨级高原油气田做出新的更大的贡献。

目 录

地质勘探

- 柴达木盆地油气勘探潜力、勘探领域及区带分析 宗贻平 付锁堂 张道伟 (3)
- 柴达木盆地石油地质基本特征 郭 璞 陈志勇 潘洪峰 等 (14)
- 柴达木盆地开特米里克—油墩子地区储层特征及油气成藏研究
..... 李元奎 孙 康 李国艳 等 (27)
- 柴达木盆地北缘结绿素—红山地区古新统至中新统沉积相
..... 薛建勤 金振奎 赵明君 等 (33)
- 马北地区油气富集规律及勘探实践 肖康明 郭力军 申玉山 等 (43)
- 柴达木盆地山前带地震方法研究与效果 张金岗 王永生 朱 波 等 (53)
- 柴西南地区三维地震连片处理的静校正技术 王 孝 冯云发 王传武 等 (62)
- 三维连片处理技术在柴西南地区的应用 李 斐 雍学善 冯云发 等 (67)
- 山地地震资料处理基准面问题研究 陈启元 黄青宇 (74)
- 层析静校正技术在复杂地区资料处理中的应用 王传武 吴明生 赵瑞培 等 (81)
- 地震属性分析在昆北地区三维地震解释中的应用——以切6井区为例
..... 王海峰 李 丽 李兴彦 等 (87)
- 不同震源地震资料拼接处理在 OMEGA 系统的实现 黄青宇 王振强 李 丽 (91)
- 高精度叠前时间偏移技术在昆北断阶带的应用 吴明生 康 平 马成明 等 (95)
- 地震岩性反演技术在红柳泉油田的应用 李 杰 (102)
- 地震资料处理中的量化分析技术 王建华 赵瑞培 徐尚成 (108)
- 柴达木盆地台南地区近地表调查及地震异常分析 王海立 翟俊伟 冯发全 等 (112)
- 趋势面分析在基岩风化壳发育带识别中的应用——以柴达木盆地西部南区
阿尔金山前基岩风化壳勘探为例 刘应如 魏学斌 曹正林 等 (119)
- 柴西北地区中深层储层特征与评价 杨少勇 曹 剑 陈 琰 等 (123)
- 柴达木盆地昆北断阶带切6号构造 E_3^1 优质储层成因探讨
..... 崔 俊 陈登钱 邓 文 等 (128)
- 柴达木盆地切6号构造 E_3^1 储层的主要成岩作用 陈登钱 李叶平 邓 文 等 (133)
- 柴达木盆地红山地区烃源岩特征及资源潜力研究 李叶平 陈登钱 薛建勤 等 (139)
- 青海油田高性能地震资料处理系统 李松楠 武 锋 (147)

测录井技术

- 以自然伽马反褶积法为基础的薄层识别方法研究 马建海 吴 丰 段生盛 (159)

柴达木盆地低电阻率油层的测井识别评价技术·····	马丽娟 何金兰 曹飞鸿 等 (165)
油气区分定量技术在马仙地区的应用·····	段生盛 刘新美 吕 炜 等 (174)
综合含气指示—电阻率法识别气层的应用 ·····	梁晓宇 高树芳 王国民 (178)
制定油田油水层测井解释标准的方法研究——以柴达木盆地西部油田为例 ·····	赵为永 张 英 王国彦 等 (182)
EILog 阵列感应测井仪在柴达木盆地东部气田的应用 ·····	刘 蓉 杨洪明 刘祥文 等 (188)
EILog 快速与成像测井系统在青海东部气田应用评价 ·····	朱 斌 张 斌 裴敏杰 (197)
核磁测井技术在气层精细评价应用 ·····	李世毅 段生盛 (202)
青海油田三维定量荧光录井技术的研究与应用·····	郑永仙 孙 玺 董永久 等 (207)
卡层取心在红柳泉油田评价井的应用 ·····	巩文林 冯蓓华 (213)

油气田开发

青海柴达木盆地天然气开发新技术·····	马力宁 王小鲁 华锐湘 等 (221)
南翼山浅层油藏碳酸盐岩储层沉积相研究·····	罗晓兰 蒋武明 张 武 等 (227)
沉积微相约束下的储层随机地质建模·····	杨 云 赵国梅 姜明忠 等 (234)
分层开采工艺在青海涩北气田的应用·····	李 永 张启汉 饶 鹏 等 (241)
七个泉油田砂砾岩储层特征 ·····	魏成章 (245)
柴达木盆地狮子沟油田 N_1 油藏特征认识 ·····	李志军 蒲 斌 王青梅 (248)
中低渗透油藏井网优化调整研究·····	屈信忠 廖 春 赵 英 等 (253)
水溶气溶解度及稀有元素测试在三湖地区的运用·····	王茹芳 潘海林 李青梅 等 (258)
南翼山浅层油藏已开发区“四性关系”研究 ·····	罗晓兰 白金莲 杨 英 等 (272)
柴西南翼山浅层油藏非主力产层识别预测方法研究·····	莫正科 姜义权 芮华松 等 (283)
柴达木盆地长井段油田细分层系开发可行性研究及其应用 ·····	王 琳 姜义权 程红卫 (292)
水驱开发油田高含水期综合含水率灰色理论预测 ·····	史玉成 赵国梅 廖 春 (299)
水处理污泥改性调剖技术在油砂山油田的应用·····	陆永平 刘 建 陶惠军 等 (303)
“十一五”青海油田注采工艺现状及今后的技术需求 ·····	张立会 袁永文 贾碧霞 等 (307)

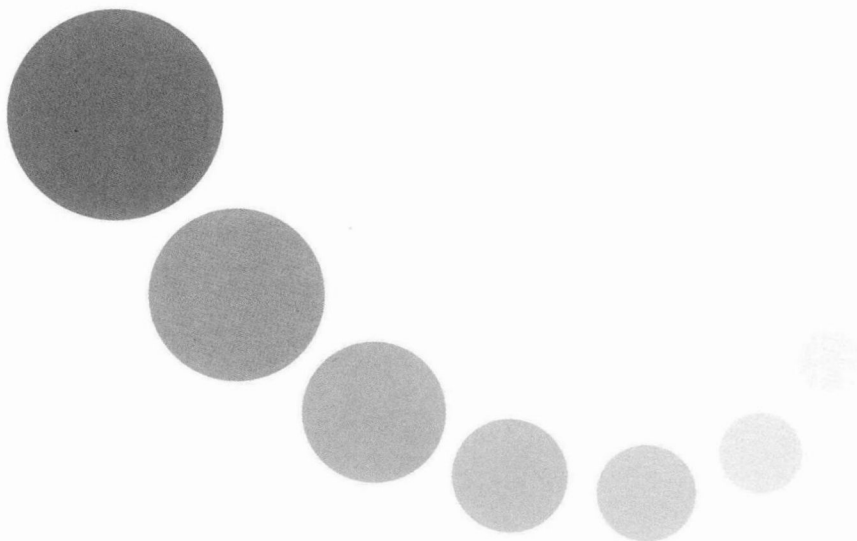
石油工程

青海涩北气田第四系疏松砂岩气藏防砂工艺技术的集成与应用 ·····	宗贻平 孙凌云 张启汉 等 (315)
青海油田“十一五”储层改造取得的成绩及后几年需求 ·····	郭子义 张文斌 曾立军 等 (320)
桥式偏心分层注水技术在青海油田的试验·····	袁永文 程严军 庞兴梅 等 (329)

柴西地区中深井快速钻井技术研究	李德元 万明庆 向 勇	(333)
人工隔板控缝高技术在青海油田薄互层压裂工艺的应用	张文斌 施晓雯 郭子义 等	(339)
分段完井工艺在涩 H3 - 5 水平井的应用	譙世均 杨小泽 郑 凯 等	(346)
连续油管冲砂技术在涩北气田应用初探	王俊明 陈 波 何天琼 等	(353)
新型氮气泡沫酸化及气举返排工艺在青海尕斯油田 $N_1-N_2^1$ 油藏的应用	彭元奎 王志云 刘 建 等	(358)
一点法稳定试井在台南气田的应用及校正	曹继华	(364)
台 H4 - 19 水平井钻井完井工艺技术	张玉梅 钟富平 周 平等	(368)
青海油田连续油管技术现状及展望	赵铭辉 李永贵 盛国青 等	(373)
青海油田节能抽油机的发展方向	邢 台 童 巍 钟富萍	(380)
力求科学发展 践行井下作业工程施工安全	李永贵 盛国青 祁国林	(383)

地质勘探

地质勘探



柴达木盆地油气勘探潜力、勘探领域及区带分析

宗贻平 付锁堂 张道伟

(青海油田公司)

摘 要 柴达木盆地作为我国七大内陆含油气盆地之一,具有广阔的勘探前景。近年来的勘探实践丰富了陆相盐湖盆地油气成藏理论、高原生物气成藏理论,明确了陆相咸化湖盆油气成藏的主控因素及富集规律,形成了适用于高原盆地油气勘探开发的技术系列,勘探取得了实质性进展与重大突破。然而,从资源结构分析,盆地总体探明率低,剩余油气资源丰富,是我国西北地区油气储量和产量增长的重要领域。本文从实际资料出发,依托近几年来勘探中取得的主要成果与认识,在成藏主控因素的分析基础上,创新性地提出了柴达木盆地具有源外复合油气藏勘探、近源/源内岩性油气藏勘探和源内/源上构造—岩性油气藏勘探三大领域。在此基础上,通过地质综合评价,全面梳理和评价出昆北断阶带、马仙隆起带源外复合油气聚集带、柴西南三大斜坡区岩性油气聚集带及冷湖构造带、三湖北斜坡区等新构造运动控制的源内/源上构造—岩性油气藏聚集带等5大油气区带作为柴达木盆地近期油气勘探最为现实的区域,并明确了各区带的勘探部署思路,同时也指出了柴西北区、狮子沟—油砂山构造带则为下一步实施油气勘探的战略突破区。

关键词 勘探潜力 勘探领域 油气勘探区带 柴达木盆地

1. 柴达木盆地近期勘探概况及潜力分析

柴达木盆地位于青藏高原北部,南依昆仑山、北邻祁连山、西靠阿尔金山,是以中、新生界为主体的我国七大内陆含油气盆地之一。盆地地理环境恶劣,平均海拔 2900m,高寒缺氧,植被不发育,地表以戈壁、山地、盐碱滩为主(图1)。盆地东西长 850km,南北宽 150~300km,沉积岩面积 $12.1 \times 10^4 \text{ km}^2$,最大沉积岩厚度超过 $1.7 \times 10^4 \text{ m}$ 。

1) 柴达木盆地近期勘探概况

柴达木盆地历经 50 多年勘探开发,发现了尕斯库勒、花土沟、跃进二号、狮子沟、尖顶山、七个泉、红柳泉、乌南、咸水泉、南翼山、油泉子、开特米里克、冷湖、鱼卡、南八仙、马北、涩北一号、涩北二号、台南、马海、盐湖、驼峰山、昆北等 23 个油气田,累计探明了石油地质储量 $3.74 \times 10^8 \text{ t}$,累计探明了天然气地质储量 $0.31 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。长期以来,受盆地复杂地表地下地质条件制约,勘探区带与勘探目标优选难度大,勘探成功率低。近期,依托中国石油天然气股份有限公司重大科技攻关项目,加强技术攻关,不断深化认识,积极转变思路,扭转了较为被动的勘探局面,油气勘探取得实质性突破,展现出喜人场面。在昆北断阶带新发现昆北油田,形成亿吨级优质储量场面;在乌南、红柳泉斜坡区岩性勘探取得重要进展,形成 $(3000 \sim 5000) \times 10^4 \text{ t}$ 岩性油藏储量规模;柴西北南翼山、油泉子、小梁山、红沟子等构造中浅层勘探开发效果良好,柴北缘和三湖地区油气勘探也见到良好苗头。近期勘探成果进一步夯实了建设千万吨级高原油气



图1 柴达木盆地区域地理位置概况图

田的储量基础,增强了建设千万吨级高原油气田的信心。

2) 柴达木盆地石油地质特征再认识与潜力分析

(1) 柴达木盆地存在三大含油气系统。

柴达木盆地演化受燕山运动、喜马拉雅运动的共同控制,纵向上可将盆地地层分为三大构造层,即中生界—白垩系作为一个构造层;新近系中新统上油砂山组、上新统下油砂山组划分为中构造层;上油砂山组至第四系则作为上构造层。其中下构造层在早、中侏罗世表现为伸展断陷阶段^[1],因而在祁连山前和阿尔金山南缘形成了一些继承性发育、早期分割性较强的差异断陷群,形成了侏罗系的一套烃源岩。中构造层在古近纪时,受印度板块的持续北移和陆内俯冲,盆地形成演化主要为旋转扭张断陷,柴西地区进入走滑拉分的弱断陷阶段;随后在中新世随着印度板块不断对青藏高原俯冲,盆地向东的逃逸受阻,盆地进入拗陷演化阶段,其中英雄岭凹陷向东迁移,早期茫崖拗陷与一里坪拗陷连为一体,发育了近东西向展布的沉降中心,这样造就了古近—新近系的一套烃源岩。上构造层则主要随着印度板块对青藏高原俯冲的不断加剧,昆仑山、祁连山开始向盆地俯冲、推覆,盆地进入挤压反转阶段,致使一里坪拗陷与三湖凹陷连片,形成第四系的气源岩。

这样就在盆地形成了三套主要烃源岩,按照烃源岩的分布情况及含油气系统基本思想^[2,3,4],可将盆地划分为三大含油系统。以侏罗系为烃源岩的含油系统主要分布于柴北缘地区,烃源岩为中、下侏罗统暗色泥岩和煤系地层;储层为侏罗系和古近—新近系砂砾岩、砂岩、粉砂岩;盖层为侏罗系和古近—新近系泥质岩。以古近—新近系为烃源岩的含油系统集中分布于柴西地区,烃源岩则为高含钙高含盐泥岩、泥岩、钙质泥岩为主;储层为古近—新近系砂岩、粉砂岩及裂缝—溶孔型碳酸盐岩;盖层为古近—新近系膏盐岩和泥岩、泥灰岩。以新近系和第四系为烃源岩的含油气系统主要集中分布在柴东三湖地区,其中烃源岩则主要为第四系湖相的暗色泥岩为主,频繁出现的湖相砂层便构成了第四系生物气理想的储集层。而第四系湖相泥质岩层的大量发育,不仅为生物气的形成提供了充足的气源,同时也构成了生物气的有效封盖层。

可见,柴达木盆地具有多含油气系统的特征,从深层到浅层发育有多套生储盖组合,勘探层系丰富、储盖类型多样、含油气系统分布广泛,因而具有比较广阔的勘探前景。

(2) 柴达木盆地呈现出多个主力生烃中心并存的格局。

柴达木盆地由于受青藏高原隆升、阿尔金断裂走滑与盆地挤压作用影响,生烃凹陷具有断拗转换特性和迁移性,这样就导致其生烃中心不完全叠加,生烃中心与沉积中心不完全叠置的现象,因而,出现了多个生烃中心并存的格局。通过针对柴北缘侏罗系、石炭系、柴西地区古近—新近系烃源岩及三湖地区第四系烃源岩的研究,通过生烃凹陷分布特征的研究,结合古构造、沉积特征、生烃强度、油源对比等多方面的综合成果,明确提出了柴达木盆地发育3大生烃凹陷、10个主力生烃中心,具有大生烃凹陷、多个局部生烃中心并存的特征,这样相应地也呈现出多含油气系统中并存多个含油气单元的成藏特征。按照“源控论”的观点^[5],油气具有广泛聚集的特征。

(3) 柴达木盆地发育多种利于油气保存的圈闭。

柴达木盆地受张压复合成盆历史控制,盆内发育有丰富的圈闭类型,包括压性、张性和张压复合性各类圈闭,已有的发现和理论研究表明,它们对油气赋存具有重要的圈闭意义。柴达木盆地圈闭类型复杂多样,但多以构造型圈闭为主,如挤压背斜圈闭、牵引背斜圈闭、滚动背斜圈闭、断垒背斜圈闭、披覆背斜圈闭、断鼻圈闭和断块圈闭。随着勘探的深入,近些年陆续在柴西南及柴北缘局部地区发现了一批地层、岩性圈闭,这些非构造圈闭良好的油气前景日益受到重视,并成为新的储量增长点。尤其在—些源外低勘探的古凸起区,具有多类型的圈闭复合连片分布的特征,诸如昆北断阶、马北等地区,因为其靠近山前带,断裂异常发育,受断裂的切割构造圈闭类型多样且普遍发育,同时山前带具有古凸起的古地貌背景,在地质历史时期多次暴露地表,因此普遍发育多期地层剥蚀面及基岩风化壳,这些剥蚀线与古隆起的构造背景相匹配均可形成良好的地层圈闭,而基岩风化壳受后期沉积盖层的封堵也可成为油气聚集的主要空间。另外受干旱环境的影响,柴达木盆地普遍具有边缘相带较窄的特征^[6],因而—些源外低勘探的古凸起区山前带往往为三角洲相的主要发育区,这样就利于形成上倾尖灭、岩性透镜体等各种类型的岩性圈闭。这种多类型的圈闭复合连片十分利于优质规模储量油藏的形成。

(4) 柴达木盆地具有多种利于油气储集的储层。

中生代以来,盆地周边山系陆续隆升,盆地内发育了一套典型的内陆河湖相沉积,沉积相类型丰富,山前碎屑岩发育带很窄,而且相带变换非常频繁;加之古近纪以来,干旱气候下的咸化湖沉积环境使盆地内部碎屑岩减少,碳酸盐岩增加。因此,盆地内具有碎屑岩和碳酸盐岩两大类储层^[7]。盆地内不同沉积区,两种类型储层各自的地位不同,有的地区以碎屑岩为主,有的地区以裂缝—溶孔为主,而有的地区则是两者并存。碎屑岩储层在纵向上分布于侏罗系、古新统、始新统、下干柴沟组下段、油砂山组,在区域上分布非常广泛,在不同时期发育了河流三角洲、滩坝以及水下扇等不同沉积成因的砂岩类储层。而湖盆沉积中心部位更是长期处于咸化环境,形成了大量的脆性碳酸盐岩沉积,为裂缝—溶蚀孔隙的形成奠定了基础。裂缝—溶蚀孔隙型储层在平面上主要分布在中西部地区,且具有环带状分布特征,纵向上主要分布于下干柴沟组上段—上干柴沟组,沉积中心附近上油砂山组中也有分布。这种多储层类型共存的格局为油气普遍富集创造了条件。

(5) 柴达木盆地油气资源十分丰富。

全国第三次资源评价指出,柴达木盆地石油资源量为 $21.5 \times 10^8 \text{ t}$,天然气资源量为 $25000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。石油探明率为 17.91%,天然气探明率为 12.26%,总体探明程度低,勘探潜力

大。近几年来,随着勘探向新、难、深领域发展,又逐步发现了一批新的含油气层系,使得盆地烃源岩的面积和厚度有了进一步的大幅度增加,油气资源量得到进一步的增长。

其中位于扎哈泉地区的扎西 1 井揭示了 E_{1+2} 新的烃源岩层系,有机质丰度高($TOC > 0.8\%$),相对排烃效率(PEE)0.75,生烃潜力大。同时近期勘探实践证实,扎哈泉与切克里克东部凹陷古近一新近纪时期为一个整体的生烃凹陷,烃源岩横向分布得到大幅度的扩展。这样通过系统评价,柴西烃源岩层数增多,面积、厚度和相关地化指标明显增大,重新计算油气资源量为 $18.41 \times 10^8 t$,与第三次资源评价的数据 $15.35 \times 10^8 t$ 相比增加了 $3.06 \times 10^8 t$,目前仅探明 $4.11 \times 10^8 t$,勘探潜力得到进一步的提升。

同时,侏罗系为湖沼相沉积,发育 J_1 、 J_2 两套烃源岩,具有煤成烃特征,在柴北缘地区广泛分布。通过新一轮深层地震资料成像攻关处理与追踪对比, J_1 烃源岩厚度大于 300m 的面积达 $5500 km^2$,主要集中在伊北、冷湖凹陷; J_2 烃源岩厚度大于 300m 的面积达 $4000 km^2$,主要集中在德令哈、赛什腾凹陷。石炭系属海陆交互相沉积,主要分布在德令哈凹陷,前人普遍认为石炭系变质程度高,已不具备生烃条件。通过对德令哈凹陷周缘地表露头系统采样分析发现,上石炭统暗色泥岩有机碳含量在 $0.38\% \sim 3.25\%$ 之间,平均 1.38% ,生油潜量在 $0.43 \sim 6.13 mg/g$ 之间,平均 $2.15 mg/g$,达到中等烃源岩等级。镜质组反射率 R_o 一般在 1.0% 左右,正处在成熟阶段后期—高成熟阶段早期,具备较好的生烃潜力。通过对侏罗系、石炭系资源量的重新计算,柴北缘油气总资源量由以往的 $10 \times 10^8 t$ 增加到了 $19.1 \times 10^8 t$,成为未来盆地油气勘探的重点领域。

另外,第四系和新近系为寒冷、干旱沉积,烃源岩为低成熟、低丰度的生物气源岩,主要分布在盆地东部三湖地区。以往认为,三湖地区气源岩仅发育在第四系,生物气的成因主要是在微生物的作用下乙酸降解释放出 CH_4 ,而 1800m 以下甲烷菌停止活动,没有烃源岩的发育。近期台 6-31 井在 1800m 以下三个层组获得工业气流,对生物气的生成机理有了重新认识。根据最新实验结果,三湖地区在弱成岩阶段随着埋深的加大(至 3000m 左右)、温度的升高,环烷烃会发生脱氢作用,演变成芳香烃,使得深层 H_2 浓度增大。大量的 CO_2 被 H_2 还原后生成 CH_4 ,可见,深层热力作用对生物气的生成起到了强有力的催化作用。而新近系与第四系具有相似的沉积环境,暗色泥岩分布面积达 $10000 km^2$,平均厚度 1000m,有机碳含量平均 0.45% ,氯仿沥青“A”一般在 $120 \sim 230 mg/kg$ 。通过类比法计算新近系生物气资源量可达 $10000 \times 10^8 m^3$,为三湖地区开辟生物气勘探新层系提供了理论依据。

2. 柴达木盆地油气勘探领域及区带分析

1) 柴达木盆地油气成藏主控因素分析

寻找大中型油气田,石油地质条件“生储盖圈运保”这些要素一方面需要齐备,另一方面需要有机的配置。往往一个要素的缺乏就可能导致勘探的失败。这在柴达木盆地不断有深刻的实践教训。笔者在借鉴外来经验基础上结合盆地实际情况,通过典型油气藏解剖,提出了柴达木盆地具有“古凸起控方向、断裂—不整合控疏导、优质储砂体控富集”的成藏新认识。

(1) 古凸起控制油气运聚方向。

古凸起控制油气运聚方向主要有以下两大内在原因:①古凸起是一个长期继承性发育的沉积构造复合斜坡,始终是生油中心油气大规模运移的指向区,古凸起区的斜坡带一般发育三

角洲沉积体系的良好砂岩输导层,致使油气沿着斜坡带运移并在各种类型圈闭中聚集。同时在斜坡内带也沉积了较厚的烃源岩,其中一部分已经成熟,也具备一定的生油条件。另外这些砂体在不同时期的发育程度各有差异,但砂层在纵向上与生油层交错叠置,形成良好的生储盖组合;在平面上则复合连片,在斜坡带形成较好的油气储集层;②柴达木盆地的古凸起上鼻状隆起相对发育,这些鼻状构造形成较早,具有继承性发育的特征,且向深凹区倾没,有利于生油凹陷的油气在势能差的作用下向鼻状隆起的圈闭中运移聚集。事实上,这些鼻状隆起还可控制砂体的上倾尖灭,同时也能控制油水的分异程度,进而控制石油的富集。诸如,大庆长垣西侧葡萄花构造,统计显示,鼻状构造的主体部位储量丰度明显较高,可达 $(50 \sim 60) \times 10^4 \text{ t/km}^2$,储量可动用程度和效益均较高,而鼻状构造以外储量丰度明显降低,说明鼻状构造背景对石油富集发挥了重要作用^[8]。

(2) 断裂—不整合控制油气的纵横向疏导。

断裂是形成油气藏的一个主要因素,是陆相盆地控制油气生、运、聚、散和分布的根本原因^[9],其组合样式影响了油气运移、聚集、分布与含油气丰度,断裂活动期次影响了油气运移、聚集的时期与油气成藏模式^[10]。柴达木盆地古近纪—新近纪为干旱、半干旱气候环境,以季节性河为主,碎屑岩储层主要发育于阿尔金、昆仑山山前地带,且延伸一般较短,砂层厚度较薄,一般为4~20m,而且半咸水—咸水环境下早期成岩作用期间容易发生钙质胶结,物性较差,连通性普遍不好。在生烃凹陷内生成的油气不能通过碎屑岩的通道进行有效运移,不具备长距离侧向油气运移的条件,因此油气以断裂的垂向运移为主,断裂无疑成为油气运移的良好通道^[11]。如跃进1号油藏,由于XI号断裂长期持续活动,使得断裂上盘构造(尕斯构造)的储集层与下盘英雄岭生烃凹陷的烃源岩侧接,生烃凹陷中的油气通过断裂运移至断裂上盘圈闭储集层中富集成藏。这种以断裂为油气运移通道形成的侧接式上生下储式油藏在柴西南区普遍存在。对于柴西北区普遍发育的裂缝性油藏,更是由于断裂在垂向上沟通了油源,从而形成了柴西北区发育的下生上储式油藏。

另外在沉积盆地中,不整合面可作为重要的成矿通道和成矿场所,目前世界很多含油气盆地中已发现一系列与不整合面有关的大型、特大型油气田。世界上这种例子很多,不胜枚举,包括我国玉门老君庙油田、渤海湾盆地的任丘油田、义和庄基岩油田及兴隆台基岩油田等。柴达木盆地不整合面下伏岩石因长期风化侵蚀,孔隙性渗透性较高,常为油气运移的通道或储集岩,且不整合面起伏凸凹不平,在此面上沉积了时代不同、沉积环境不同、岩性截然不同的岩石与之相接触。接触面本身容易产生孔隙。在不整合面上常有风化残余的碎屑、碎岩块、砂砾岩等,固结后常为孔隙性渗透性较高的岩石,成为油气运移的通道或储集岩。所以不整合常为油气运移的通道无可置疑。不整合面构造运动不仅可作油气运移通道,而且可运移很远距离。例如昆北的原油主要来自扎哈泉—切克凹陷,如果没有古近—新近系和基底之间的不整合面提供油气运移通道,就不可能形成昆北油田。

(3) 优质储砂体控油气的富集。

“相势”控藏一直是油气成藏的一个重要理念,也先后得到理论及勘探实践的证实。柴达木盆地油气藏的富集也明显受主力储砂体的控制,其中长源物源沉积体系控制下的前缘相带的分流河/水道砂体、河口坝砂体、滨浅湖滩/坝砂群以及湖相碳酸盐岩、藻丘和颗粒滩、泥晶灰岩等是油气富集的主要类型。究其原因认为,不同的沉积体系的储层物性特征不同。结合近年来的研究成果及盐湖盆地的特有沉积特征认为,柴达木盆地古近—新近纪沉积时期主要为高盐度湖水,与供给水体之间差异较大,造成沉积体系深入到湖区范围有限,因此普遍发育

一些短源物源供给,成分成熟度和结构成熟度都较低,且成岩后生作用较弱,溶解溶蚀作用不强,因而形成了现今储层发育特征。同时盐湖盆地湖泊钙质胶结非常普遍,颗粒之间的孔隙几乎都被碳酸钙和石膏胶结,即使成岩后期有一点溶蚀也被方解石充填,这样必然造成有淡水长期补给的河流三角洲沉积体系下的碎屑岩储层物性要好于扇三角洲沉积体系下的碎屑岩储层物性。另外受盐湖盆地特有的沉积体系控制,柴西富油气凹陷滩坝沉积十分发育,事实上,这些滩坝也是盐湖盆地的最主要的岩性圈闭之一,这一结论部分研究者在早期研究中已经提及^[12,13]。在国外,已经发现了许多滩坝油藏,近几年来,滩坝油藏也成为国内油气勘探的新宠,其中大庆、大港等油田也相继找到了滩坝油藏。这些滩坝主要是由于物源区沉积体系深入到湖区有限,因而可在沿岸流反复改造下形成磨圆度、分选及物性相对较好的储集层。另外由于受物源区岩性、气候和入湖河流、湖泊水动力条件等的制约,常在水下隆起处或岸边,由于波浪作用较强容易形成碳酸盐滩坝,如颗粒滩坝、砂屑滩坝,同时由于盐度等水介质条件影响,可引起生物的勃发,亦可形成藻灰岩、藻纹层等储集体。这些储集体均可利于油气的富集。

2) 柴达木盆地油气成藏模式及勘探领域分析

在成藏主控因素明确的基础上,笔者以成藏主控因素为出发点,结合典型油藏解剖,构建了整个柴达木盆地三种成藏模式,提出了三大勘探领域。

(1) 以断裂—不整合为控藏模式的源外复合油气藏勘探领域。

该模式主要是以大型断裂纵向沟通油源,不整合控制油气横向运聚为主要特征,其中以昆北、马北为典型代表(图2)。而这两地区无一例外的具有以下4个方面成藏特点:①处于主力生烃洼陷之外,以持续发育的深大断裂与生烃中心为界,同时具有渗流层发育的不整合面,这样利于油气的沟通输导;②具有持续稳定的古构造背景,比如昆北断阶带受昆北断裂控制,早期表现为一古凸起,从喜马拉雅构造中期(E_3^2 沉积末期)开始逐步抬升形成大型断阶,到了主要成藏期次(N_1^1 沉积末期)仍表现继续稳定抬升,直至形成现今构造样式,其构造背景始终为一断阶带,属于构造相对稳定区;③储盖组合良好,圈闭类型多样。柴达木盆地古近纪在特殊的原型盆地结构控制下,沿昆仑山前带、马北地区发育典型的河流三角洲沉积体系,为形成碎屑岩储盖组合及多层系成藏奠定了有利的地质条件。同时山前带广泛发育构造、构造—岩性、

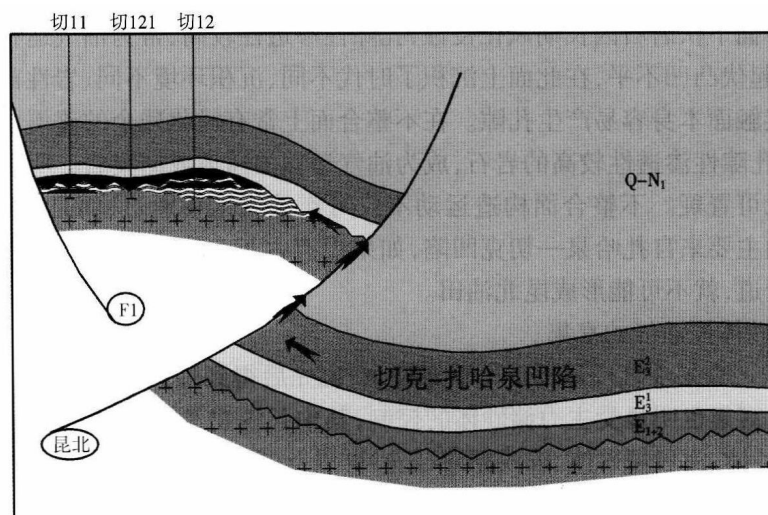


图2 昆北断阶带切十二号构造油气成藏地质模式

地层及基岩风化壳等多种类型的圈闭,且这些圈闭在区域内的不同层系上形成叠加连片的发育样式,这为形成规模油藏创造了有利的圈闭条件;④油层厚度大、物性好、分布稳定。昆北断阶带及马北地区二者均处在山前带,三角洲分支河道及扇三角洲前缘的砂岩结构成熟度和成分成熟度较高,物性条件好,并且受山前粗碎屑沉积影响,优质储层厚度大,连片性好,分布稳定。可见在以断裂—不整合为控藏模式的源外地区为优质规模的复合油气藏聚集带。在这一认识的指导下,2010年在源外发现了昆北亿吨级油田(图3),同时马北地区的勘探也展现出 $5000 \times 10^4 \text{t}$ 级的储量规模,证明了这一勘探领域广泛前景。

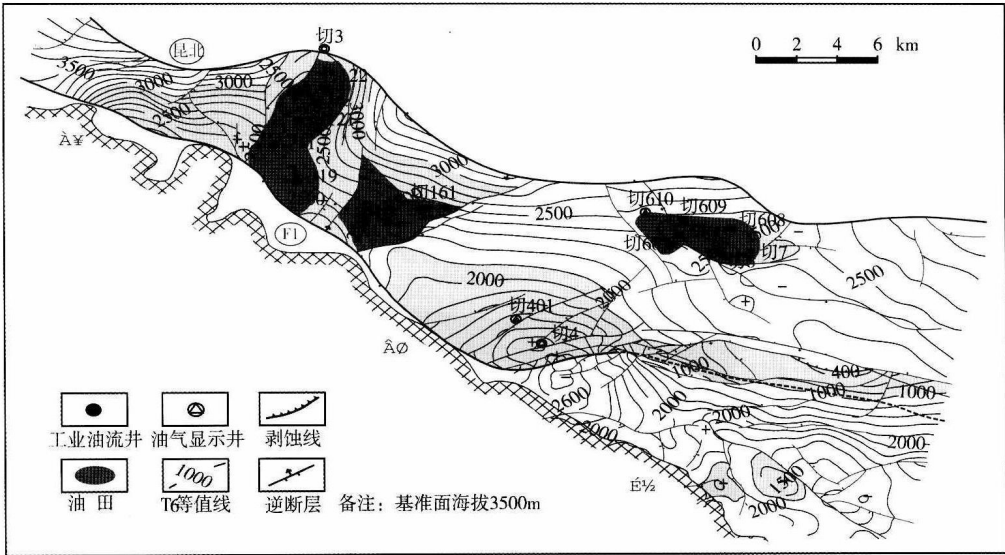


图3 昆北断阶带勘探成果图

(2)以古斜坡—断裂—优质储层为控藏模式的近源/源内岩性油气藏勘探领域。

该模式以持续发育的古构造斜坡与斜坡上发育的优质储层或者生烃凹陷内断裂与岩性复合控制了规模岩性油气藏的聚集为特征。其中以柴西南区的三大斜坡为典型代表(图4)。目前勘探证实,柴西南的三大斜坡区为岩性油气藏的主要聚集区^[14],成为近源/源内岩性油气藏的主要勘探领域,并且均具有以下几个必备条件:①紧邻主力生烃洼陷,具有近水楼台先得月的先天性优势,利于油气的捕获;②具有持续古斜坡背景。持续的古斜坡,利于岩性圈闭的形成,同时持续处在油气运移的指向区,利于油气聚集成藏;③发育砂岩上倾尖灭、砂岩透镜体、构造—岩性复合等多类型、多层系大面积岩性圈闭。在这一认识的指导下,近两年七个泉—砂

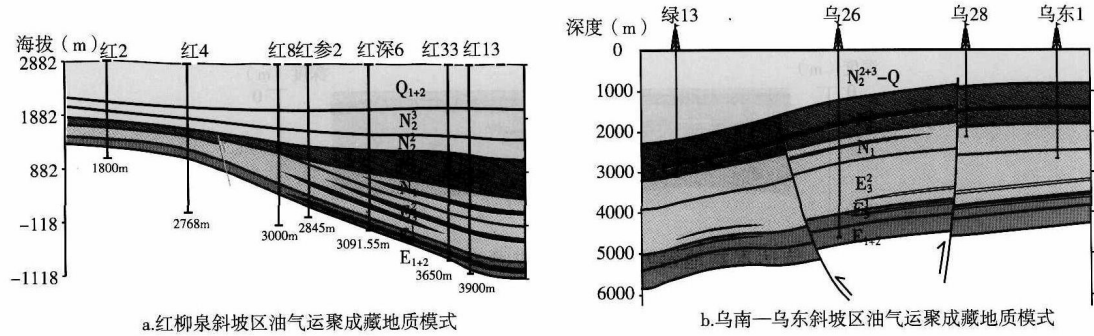


图4 柴西南区古斜坡—断裂—优质储层控藏模式图

西、尕斯斜坡的岩性油气藏勘探取得良好进展,形成规模储量,同时有效指导乌南斜坡多层系构造—岩性复合油气藏的勘探,获得了规模储量。

(3)以新构造运动控制晚期成藏的源内/源上构造—岩性油气藏勘探领域。

该模式主要特征是喜马拉雅运动前古构造背景捕获原生气藏,晚喜马拉雅运动乃至与相关断裂及伴生构造对早期原生气藏进行改造和调整,一方面沟通油源的断裂多次活动提供油气纵向运聚的通道,形成了浅层次生晚期油气藏,另一方面构造沉降使地史时期形成的生物气聚集于发生再运聚,在早期构造及岩性圈闭中聚集成藏(图5)。受这一模式的控制,柴西北区碳酸盐岩、冷湖构造带的碎屑岩及三湖地区深层砂岩将成为源内/源上构造—岩性油气藏的重点勘探领域,针对这一勘探领域,同样拥有以下四大成藏要素:①紧邻或处于主力生烃洼陷上部;②具有一定的古构造背景;③储层物性相对较好;④喜马拉雅晚期构造运动使早期的断裂重新活动或伴生断裂为油气提供纵向运移通道,喜马拉雅晚期形成的圈闭使油气聚集成藏。

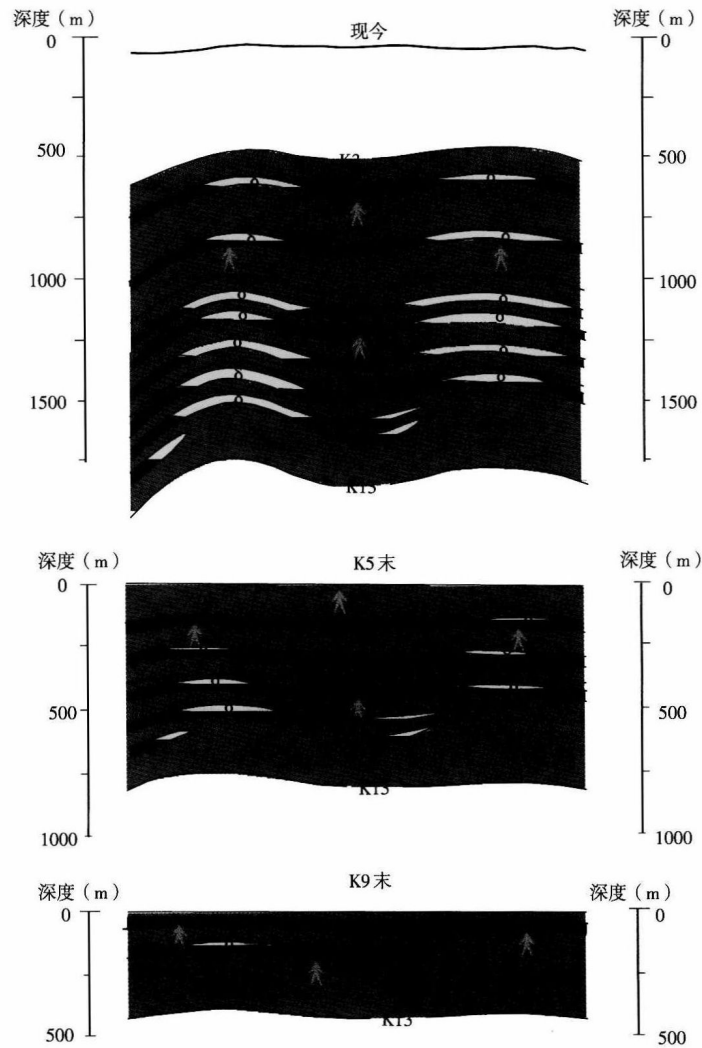


图5 柴达木盆地第四系天然气成藏模式图(以三湖为代表)

3)柴达木盆地有利勘探区带分析

(1)柴达木盆地有利勘探区带划分。

根据对盆地资源的重新评价以及成藏主控因素、油气成藏模式建立等方面取得的新认识,结合勘探实效,重新梳理了柴达木盆地近期油气勘探的五个重点区带(图 6,表 1),其中包括两个 $1 \times 10^8 \text{t}$ 级的石油区带(①昆北断阶带、②柴西南三大斜坡带)、一个 $1000 \times 10^8 \text{m}^3$ 的天然气区带(③三湖北斜坡)、两个 $5000 \times 10^4 \text{t}$ 级油气区带(④马仙隆起带、⑤冷湖构造带)。同时,也指出了柴西北区、狮子沟—油砂山构造带为柴达木盆地地下步实施油气勘探的主要战略突破区,而阿尔金斜坡区、三湖西斜坡、三湖南斜坡、鄂博梁—鸭湖构造带及平台潜伏构造带则为油气勘探的主要准备区域。

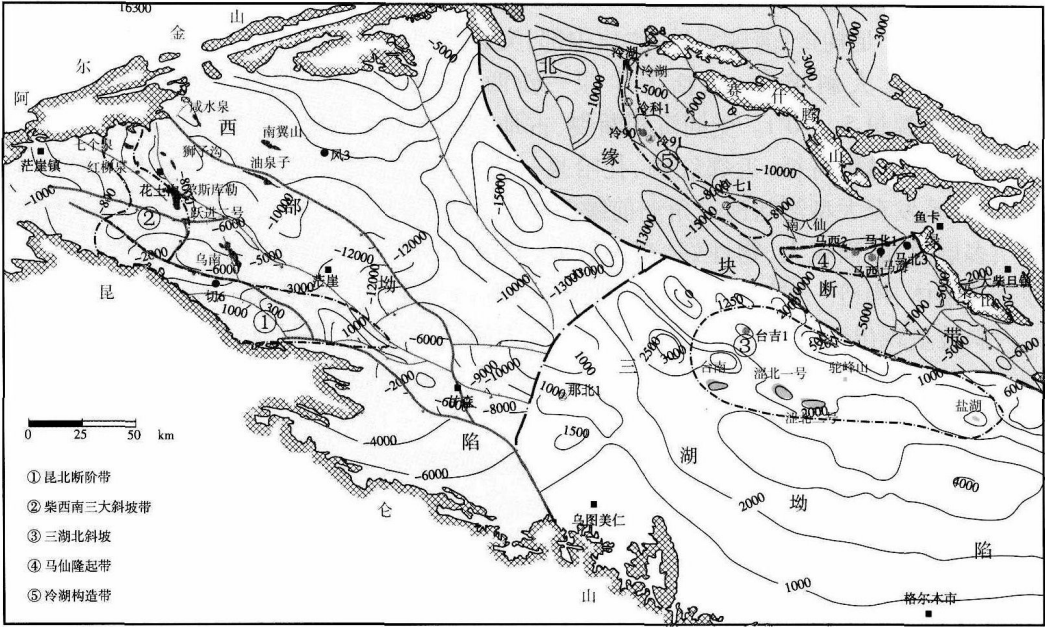


图 6 柴达木盆地油气勘探区带划分图

表 1 柴达木盆地勘探区带划分评价表

领域	区带	近期勘探规划
源外复合油气聚集带	昆北断阶带	亿吨级战略展开区
	马北地区	5000 万吨级战略展开区
近源/源内岩性油藏	柴西南三大斜坡区	亿吨级战略展开区
	阿尔金斜坡区	3000 万吨级战略准备区
新构造运动控制的源内/源上构造—岩性油气藏	柴西北区	5000 万吨级战略突破区
	冷湖构造带	5000 万吨级战略展开区
	狮子沟—油砂山	3000 万吨级战略突破区
	三湖北斜坡区	1000 亿立方米战略展开区
	三湖西斜坡	500 亿立方米战略准备区
	三湖南斜坡	300 亿立方米战略准备区