

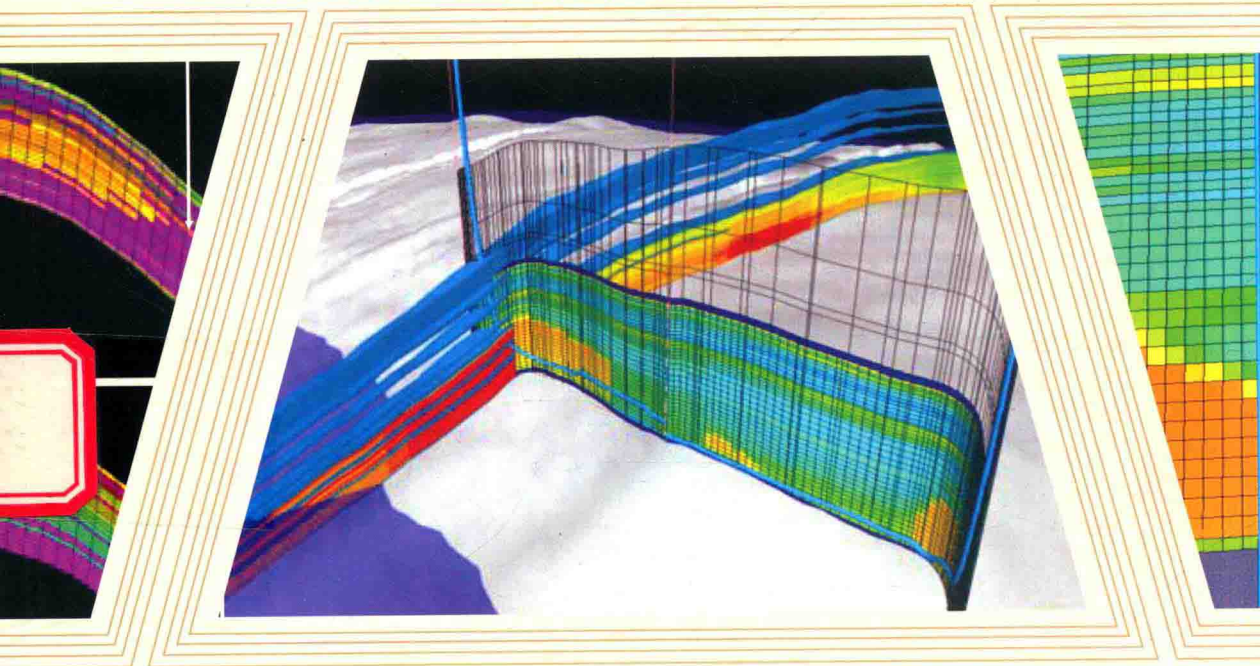


中国石油勘探开发研究院出版物

中东地区碳酸盐岩油藏 储层表征与开发技术

RESERVOIR DESCRIPTION AND
DEVELOPMENT TECHNOLOGIES OF
CARBONATE RESERVOIRS IN THE MIDDLE EAST

张为民 田昌炳 宋本彪 李 勇 魏晨吉 刘 卓 ©编译



石油工业出版社

中东地区碳酸盐岩油藏 储层表征与开发技术

张为民 田昌炳 宋本彪 编译
李 勇 魏晨吉 刘 卓



石油工业出版社

内 容 提 要

本书汇编了中东地区碳酸盐岩油藏开发的研究技术成果,包括 14 篇论文,内容涉及油藏描述、储层表征、动态监测等方面,本书可供相关研究人员及石油院校师生作为参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

中东地区碳酸盐岩油藏储层表征与开发技术 / 张为民
等编译. — 北京:石油工业出版社, 2017. 2
(“一带一路”油气系列丛书)
ISBN 978-7-5183-0986-3

I. ①中… II. ①张… III. ①碳酸盐岩油气藏-储集
层-油田开发-中东-文集 IV. ①TE344-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 289116 号

Copyright © 2007—2012 Society of Petroleum Engineers

Copyright © 2008, 2012, 2013 American Association of Petroleum Geologists

This edition is published under licence of Society of Petroleum Engineers
and American Association of Petroleum Geologists.

Simplified Chinese translation copyright © 2016 by Petroleum Industry Press

All rights reserved.

本书经美国 Society of Petroleum Engineers 和 American Association of
Petroleum Geologists 授权石油工业出版社有限公司翻译出版。版权所有,
侵权必究。

北京市版权局著作权合同登记号:

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

编辑部: (010) 64523736

图书营销中心: (010) 64523633

经 销: 全国新华书店

印 刷: 北京中石油彩色印刷有限责任公司

2017 年 2 月第 1 版 2017 年 2 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 16

字数: 410 千字

定价: 120.00 元

(如出现印装质量问题,我社图书营销中心负责调换)

版权所有,翻印必究

译者及审定

张为民	田昌炳	李 勇	宋本彪	魏晨吉	刘 卓
高 严	朱怡翔	李保柱	王玉学	罗 洪	钱其豪
刘双双	刘 浪	李 清	邓晓娟	边海光	高计县
吴煜宇	吴青松	余 丽	冯金德	兰朝利	姜正龙
郑 洁	熊礼晖	周家胜	侯伯刚	袁 贺	史 静

译者的话

从接手鲁迈拉油田至今已经7个年头了，想当初2009年中国石油联手英国BP公司中标伊拉克最大油田——鲁迈拉油田的开发权，国内石油人欢欣鼓舞，因为该油田原始石油地质储量近百亿吨——世界第四大油田，其资源量与开发潜力均十分可观。更为重要的是，这意味着中国石油实现了海外“走出去”战略在中东地区的又一次重大突破，具有重要的经济和政治意义。然而，当真正走进鲁迈拉油田，却发现伊拉克战争的硝烟远没有散去，现场炎热干旱的沙漠气候、油田尚存还未探测到的地雷、依然释放着幽灵般放射性的贫铀弹遗留等，给前线工作带来的挑战无法想象。而油田现状是工区面积大、油藏类型多、含油层段长、开采程度不一、岩性复杂、井况差；再加上历经多次战争破坏造成的总体资料缺失，现有资料新旧不一，资料语言为英文、阿拉伯文等问题，均给油田开发的研究工作带来重重困难。如何破解开发难题并迎接上述挑战，实现这种复杂海外油田的效益开发？如何站在国际舞台上与世界一流油公司比肩合作？为此，中国石油勘探开发研究院当年即专门成立了鲁迈拉技术支持项目部。从此我们走上了与英国BP公司国际合作研究的历程，两千多个日日夜夜转瞬即逝，弹指一挥间。回想七年来项目部研究工作经历的坎坷与风雨、付出的汗水与努力、收获的厚爱与殊荣，酸甜苦辣在心中回味……

为了纪念这一段艰苦而难忘的时光，我们针对中东地区碳酸盐岩油藏开发这一研究方向，基于项目研究中查阅的大量文献，精选了如中东地区区域背景、大型碳酸盐岩储层表征、油藏地质建模、动态描述、注水开发、生产管理优化、EOR评价和动态模型等方面的文献进行了精译和出版。旨在为国内同行研究中中东地区碳酸盐岩油藏开发时提供借鉴；同时也可作为高等院校地质、油藏等专业本科生、研究生的参考书。

本书的主要内容分为地质、油藏两大领域。翻译人员主要由中国石油勘探开发研究院鲁迈拉技术支持项目部从事沉积、测井、地震、地质建模、油藏模拟、开发方案设计研究的人员组成，他们是项目部主任张为民博士、副主任李勇博士、副主任宋本彪硕士、副主任魏晨吉博士、副主任刘卓博士、高严博士、刘浪博士、王玉学博士，罗洪、钱其豪、刘双双、郑洁、熊礼晖、史静、吴煜宇等硕士，侯伯刚、周家胜、高计县等博士；此外，参与本书翻译工作的还有2011级选修油藏描述课程的邓晓娟博士和边海光博士，开发规划所的冯金德博士、中国石油大学（北京）的兰朝利博士、中国地质大学（北京）的姜正龙博士、华北油田的资深专家李清和吴青松高级工程师、余丽硕士等。最后全书由开发所领导田昌炳所长、朱怡翔副所长、李保柱副所长等审定。

本书翻译分五步程序：第一步，译者分头完成翻译初稿后自己校译；第二步，同专业译者相互校译；第三步，初步统稿；第四步，请地质、油藏等专业的专家审阅；第五步，终稿统稿。

翻译过程中得到了中国科学院李继亮教授、中国工程院袁士义院士、中国科学院刘家麒院士、中国石油勘探开发研究院资深专家裘亦楠教授等前辈的不吝赐教。同时借此机会，对长期以来对鲁迈拉技术支持项目部的各项工作给予指导与帮助、鼓励与肯定的所有专家和学者、各级领导、开发所其他科室的同事们，一并致以衷心的感谢。

最后，谨以此书献给鲁迈拉团队所有成员的父母、爱人和孩子，感恩他们七年来无论是春节、中秋，还是其他节假日，对我们加班加点辛勤付出的理解与支持，没有我们背后亲人们的默默奉献，就没有今天的收获。

由于译者水平有限，译文中难免存在不足之处，敬请读者批评指正。

张为民



2013年6月BP专家来华技术交流，北京

（前排左一 张为民，左二 熊礼晖，左三 刘双双，左四 田昌炳，左五 朱怡翔）

（后排左一 周家胜，左二 钱其豪，左三 刘浪，左四 李保柱，左五 王玉学，
左六 Mark Eller，左七 Michael Husband，左八 Andrew Foakes，左九 David Pope，
左十 吴煜宇，左十一 李勇，左十二 高严，左十三 高计县，左十四 宋本彪）

目 录

阿布扎比上白垩统 Mishrif 组地质综述

..... Mohammed Al-Zaabi Ahmed Taher Ibrahim Azzam Johan Witte (1)

碳酸盐岩储层三维静态地质建模的井间地层对比

..... Jean. R. F. Borgomano Francois Fournier Sophie Viseur Llex Rijkjes (16)

阿拉伯碳酸盐岩储层：沙特阿拉伯 Khurais 油田 Arab-D 储层沉积模型

..... Saad F. Al-awwad Lindsay B. Collins (46)

碳酸盐岩储层表征与建模：多重介质中的毛细管力和渗透率

..... Iulian N. Hulea Chris A. Nicholls (65)

伊拉克南部上白垩统厚壳蛤构造与岩性圈闭特征 Fadhil N. Sadooni (80)

碳酸盐岩缓坡鲕粒灰岩储层的露头类比研究... Frédéric Amour Maria Mutti Nicolas Christ

Adrian Immenhauser Gregory S. Benson Susan M. Agar Sara Tomás Lahcen Kabiri (94)

伊拉克南部 Mishrif 地层中海退灰岩储层的沉积环境和孔隙分布

..... Moutaz Al-Dabbas Jassim Al-Jassim Saad Al-Jumaily (118)

Bahrain 油田中 Ahmadi 裂缝性油藏的连通性综合研究

Ali AL-Muftah K. Kumar C. R. K. Murty Thierry Lemaux Amit Ranjan

..... Ghislain Dejousseineau Charles Bertrano Hermann Behira (132)

碳酸盐岩储层动态描述与“贼层”识别 Bingjian Li Hamad Najeh Jim Lantz

Mansoor Ali Rampurawala Ihsan Gok Mohammed Al-Khabbaz (148)

考虑不同重力和非均质性条件下碳酸盐岩储层中的“贼层”影响及堵水效果

..... Shawket Ghedan Younes Boloushi Moutaz Saleh (161)

科威特北部巨型 Sabiriyah 油田注水平衡模式与注水优化的案例分析

..... Clark Robert A. Jr. Lantz James Karami Hossein Al-Ajmi Moudi (176)

阿拉伯阿布扎比地区的生产管理优化方案

... Maher M. Kenawy Abdulla B. Al Katheeri Hafez H. Hafez Bruno A. Stenger (187)

科威特北部 Raudhatain 油田巨型碳酸盐岩油藏 Mauddud 的新型注水平衡与优化

..... Moudi Al-Ajmi Ahmed El-Daoushy Fatma Ashkanani Iskandar Saleh

Ashok Pathak Hajer Hamadi (214)

用于中东地区碳酸盐岩油藏水驱历史拟合和 EOR 评价的高分辨率静态模型和动态

模型的建立 ... S. K. Masalmeh Lingli Wei H. Hillgartner R. AlMjeni C. Blom (226)

阿布扎比上白垩统 Mishrif 组地质综述

Mohammed Al-Zaabi Ahmed Taher

Ibrahim Azzam Johan Witte

摘 要：在阿布扎比地区对 Mishrif 组进行了大规模的油气复查。数据库包括 3000 余条二维地震测线和 28km² 三维地震勘探，另有 450 口钻井，其中的 260 口井具有可靠的时—深数据。研究形成了阿布扎比地区的深度和厚度图，并取得了 Shilaif 盆地发育和 Mishrif 组储层分布的整体概念。

阿布扎比地区的 Mishrif 组由进积的陆棚边缘相构成，该相与 Shilaif 组的盆地相形成时代相同。阿拉伯联合酋长国地区 Mishrif 组的发育具有很强的不对称性。

西部的 Mishrif 台地沉积物以洁净、高能环境下形成的碳酸盐岩斜坡沉积的叠置为特征。厚壳蛤类生物礁和滩沿着连续陆棚边缘分布，形成了陆棚斜坡沉积，通常具有很好的储层物性。在陆棚边缘之后潟湖环境中，发现有局部发育较好的孤立台地和颗粒灰岩层，也可见类似的储层特征。

Mishrif 组在东部通常较薄，以分异好，向上变粗、变浅的层序发育为典型特征，且每个级别旋回都发育从细粒的盆地粒泥灰岩到中—粗粒级别的浅海相泥粒灰岩。该特征指示了沉积作用发生在一个不断变浅的沉积斜坡上。该斜坡岩相由深色、极细—细粒、分选好、含生物碎屑的泥粒灰岩构成，并向上逐渐变为浅色、中等颗粒、无分选、含生物碎屑的泥粒灰岩—颗粒灰岩。优质的储层仅出现在进积的陆棚边缘和覆盖在可能已经成核的盐丘建造之上。

干酪根碳同位素值和气相色谱—质谱分析证实 Shilaif 组为 Mishrif 组的油源。在阿布扎比大部分地区的 Shilaif 组是未成熟的，尤其是阿拉伯联合酋长国的西部近海区域。诸如 West Bu Hasa 和 Falaha 向斜等深部的盐退盆地中烃源岩是成熟的，而在阿曼山前陆盆地中，向东逐渐可达到气成熟的程度。在大多数成熟的 Shilaif 组生油灶中，石油的生成时间是在中新世，而在迪拜的近海南部地区，生油时间可能始于渐新世早期。

对 Mishrif 油藏的前景评估将有利于指导以后的钻井评价，并可作为与该组常规和非常规圈闭类型相关的进一步勘探活动的依据。

引言

Mishrif 油藏在此定义为形成于晚白垩世的、被来自 Shilaif 组的油源所充注的继 Nahr Umr 油藏之后的油藏。

在阿拉伯联合酋长国地区，Mishrif 组的发育具有很强的非对称性。在西部，Mishrif 组较厚（1400ft），由洁净的、成分单一的球粒颗粒灰岩浅滩、大量的陆棚边缘混杂物及局部的礁后建造构成。

而在东部，Mishrif 组通常要薄很多（极个别有 800ft），并以分异较好、泥质支撑的斜坡和潟湖沉积物为主。在东部，高质量的储集相通常仅分布在发生过进积的陆棚边缘和覆盖在

已经成核的盐丘之上的建造。

Shilaif 组烃源岩为深棕色到黑色、细粒、含泥质和沥青质的石灰岩（图 1），形成了中—高丰度的烃源岩，在其中的 Shilaif-1 和 Shilaif-3 层序中 TOC 具有最高的含量（Azzam and Taher, 1993）。底部发育的、遍布整个阿布扎比的 Shilaif-1 层序含量尤其丰富。Shilaif 组烃源岩亲油，TOC 含量普遍为 1%~6%，但在局部地区可高达 15%。

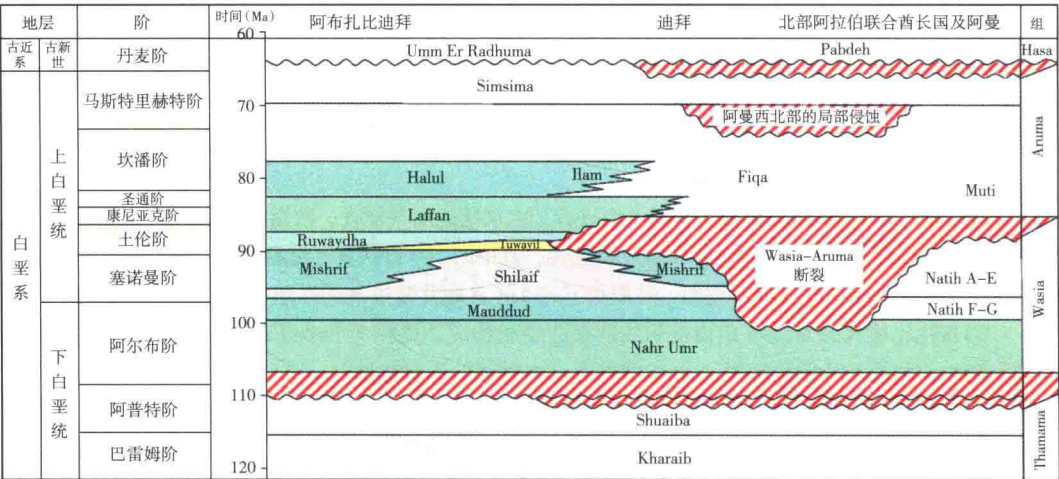


图 1 地质年代—岩性概要图

陆上构造主要是在晚白垩世形成的，但 Al Ain 褶皱冲断带是个例外，中—晚三叠世发生强烈的变形。而海上的构造通常有更长、更连续的，与盐体相关的成长历史，一般伴随有一个清晰的“侏罗系生长”事件、一个强烈的晚白垩世构造事件及持续进行的古近—新近纪成长事件。

Shilaif 组油源的运移可能局部始于巨厚的 Fiqa 前陆盆地沉积之下的晚白垩世，但大部分从古近—新近纪中期持续到现在。

1 构造史

1.1 晚白垩世构造事件（第一期阿尔卑斯造山运动）

晚白垩世的构造事件在阿布扎比的陆上和海上地区是形成褶皱的主要阶段，并形成了轻微程度的断裂。该构造事件很大程度上与新特提斯洋的闭合及阿曼山脉 Hawasina 和 Semail nappes 冲断带的分布有关。对 Mishrif 油藏来说，该构造变形阶段所引起的最重要的影响是区域性的向西倾斜，最终导致 Mishrif 组的厚度从西部阿布扎比的 1400ft 变化到东部的 300~800ft。另外一个影响是 Wasia-Aruma 沉积间断（图 1），该间断是东部台地在 Mishrif 组沉积期间和沉积后抬升的标志，剥蚀掉了 Laffan 组页岩中部到 Nahr Umr 组之间的全部地层。

1.2 古近—新近纪中—晚期（扎格罗斯造山运动）

第二期阿尔卑斯造山运动发生在古近—新近纪的中—晚期，可能对应于扎格罗斯山和北阿曼山的挤压变形阶段。该运动对陆上阿布扎比地区的构造带来了非常有限的影响，但在陆

上东部导致了冲断带的形成。在阿布扎比海上地区的盐丘构造因进积的造盐运动而使其垂向幅度有所增加。其他阿布扎比地区的构造在此期间内受阿曼山脉连续向北东方向的倾斜所影响。该倾斜对这个地区低幅度构造有不利影响，易造成烃类流体从现有构造中再运移。

2 储层发育情况

2.1 Nahr Umr 组

阿尔布期的一次主要海退导致了陆源碎屑 Nahr Umr 组（下 Wasia 群）的沉积。Nahr Umr 组主要由泥岩构成，但在该组顶部附近发育数个石灰岩标志层。该组碎屑岩对应于沙特阿拉伯和科威特均发育较好的 Burgan 组砂岩。

Nahr Umr 组最厚的区域发育在东部至东北部（最厚约 810ft），这偏离了其后的 Shilaif 盆地，因此也不能解释 Nahr Umr 组泥岩的差异压实控制了其后 Mishrif 早期台地边缘的初始分布形态这样的观点。

Nahr Umr 组在 Mender-Lekhwair 地区被 Umm Er Radhama 底部所侵蚀。在阿布扎比的其他地区，则至少有 250ft 厚，更厚者超过 500ft。

Nahr Umr（厚层泥岩）对 Mishrif 油藏的显著作用是它有效地隔挡了 Nahr Umr 组之后的沉积物被 Nahr Umr 组之前的烃源岩所充注。鉴于此，Nahr Umr 组是 Mishrif 油藏的终极“密封垫”。仅仅在阿曼北部，靠近 Natih 油田的大型反转断层，才发现了源于 Shuaiba 组的 Natih 原油（Terken, 1999）。

2.2 Mauddud 组

在晚阿尔布期海退之后，碳酸盐沉积作用重建，Mauddud 组覆盖了阿拉伯陆棚的大部分地区。Mauddud 组整合地覆盖在 Nahr Umr 组之上。该组地层主要由浅灰色—浅棕灰色、硬度强—中等的石灰岩构成，夹杂薄层的深灰色泥岩。这些泥岩局部绿灰色—红棕色，通常发育在该组的中段，测井上对应于上下均为低伽马值石灰岩背景下的高伽马值段。

该组上部与 Shilaif 组的界线被视为是整合的，在测井上以井下伽马突然降低和声波速度的微量增加为标志。

整体上，该组自东向西变薄，由东南部阿布扎比地区的 210ft 变化到西部的 18ft。该组在 Mender-Lekhwair 地区已被 Umm Er Radhuma 底部所侵蚀。

在 Shilaif 盆地区，Shilaif 组烃源岩的排驱方向可能是向下的，进入 Mauddud 组。该组的储层物性通常差到中等。

2.3 Shilaif 组

继 Mauddud 组沉积之后，阿拉伯台地随着台内 Shilaif 盆地的发育，再一次开始发生分异（图 2）。虽然 Shilaif 组的最下部单元还能在大部分地区发生沉积，但随后的单元仅在 Shilai 盆地的盆地相发育，而其台地却相当于在 Mishrif 相内。

Shilaif 组沉积在一个相对较深的、低能的开阔海盆地环境，表现的特征是细粒、粒泥灰岩结构及占主导地位的浮游生物群。尽管生物扰动作用可能表明含氧丰富的浅部区域，但有机质的存在更应说明其处于低含氧的局限盆地内。

Shilaif 组的厚度变化从最薄的海上西北部（100~200ft）到最厚的陆上区域（大于800ft）（图3）。

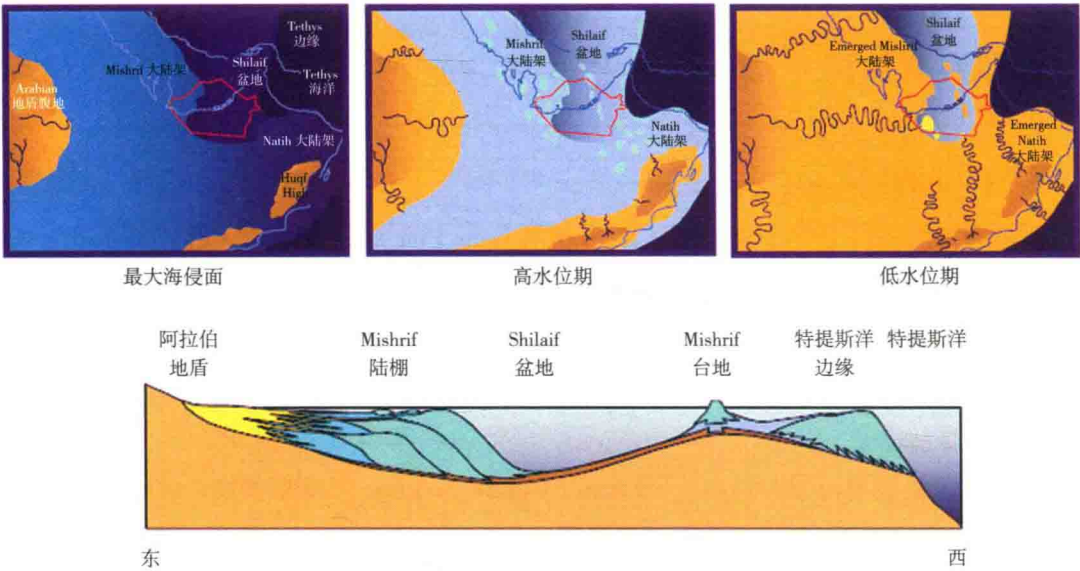


图2 Mishrif 组/Shilaif 组古地理环境图

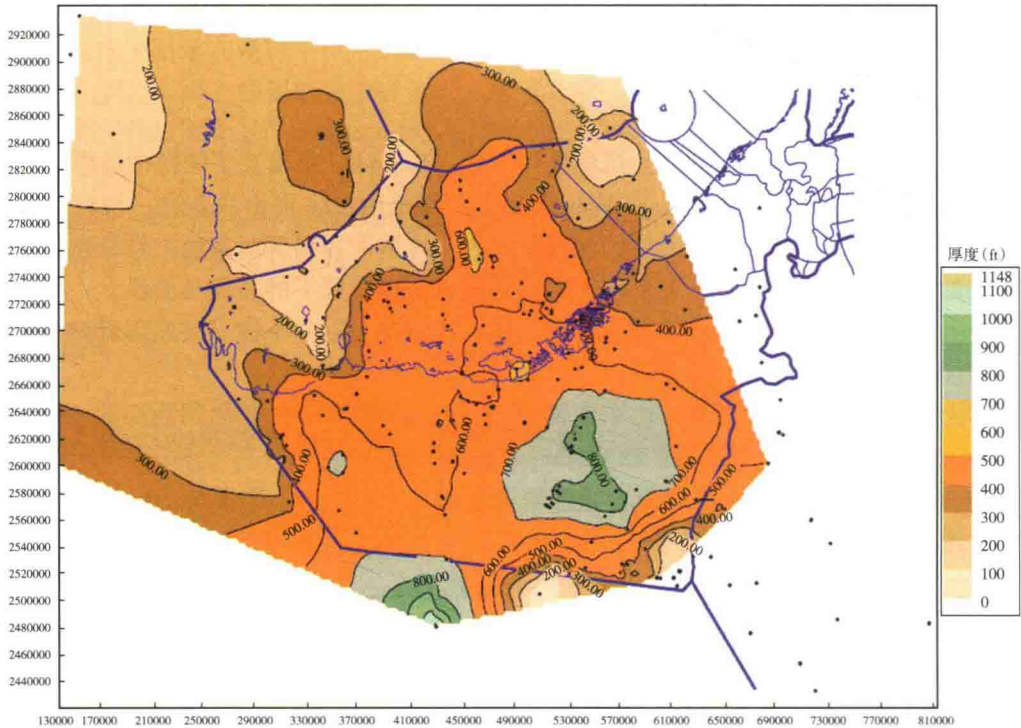


图3 Shilaif 组地层厚度图

Shilaif 组由暗色、含沥青的、细粒的粒泥灰岩—泥粒灰岩构成，其内含有大量的浮游类的有孔虫（Hedbergellid）和钙球虫（Oligostegina/Pithonella）。该组含较细的片状纹理。基质

由含沥青质的碳酸盐灰泥构成。磷酸盐碎屑、黄铁矿、菱形白云石均有出现及偶见含海绿石颗粒。在正常情况下，该组会出现强烈的生物扰动和缝合线构造。

Shilaif 组包括大量不连续的层序，每个层序由清水环境下形成的微晶钙质基质向上变化到颜色较深、含沥青的泥质岩类再到泥灰岩背景下的远洋有孔虫沉积。

2.4 Mishrif 组

Mishrif 组在阿拉伯联合酋长国境内的发育极不对称（图 4、图 5）。Mishrif 组在西部较厚（1400ft），由洁净的、成分单一的颗粒灰岩浅滩、大量的陆棚边缘混杂物及局部的礁后建造构成。

而在东部，Mishrif 组通常要薄很多（极个别有 800ft），并以分异较好、泥质支撑的斜坡和潟湖沉积物为主（图 4）。在东部，高质量的储集相通常仅分布在发生进积的陆棚边缘和已经成核的盐丘之上的建造。

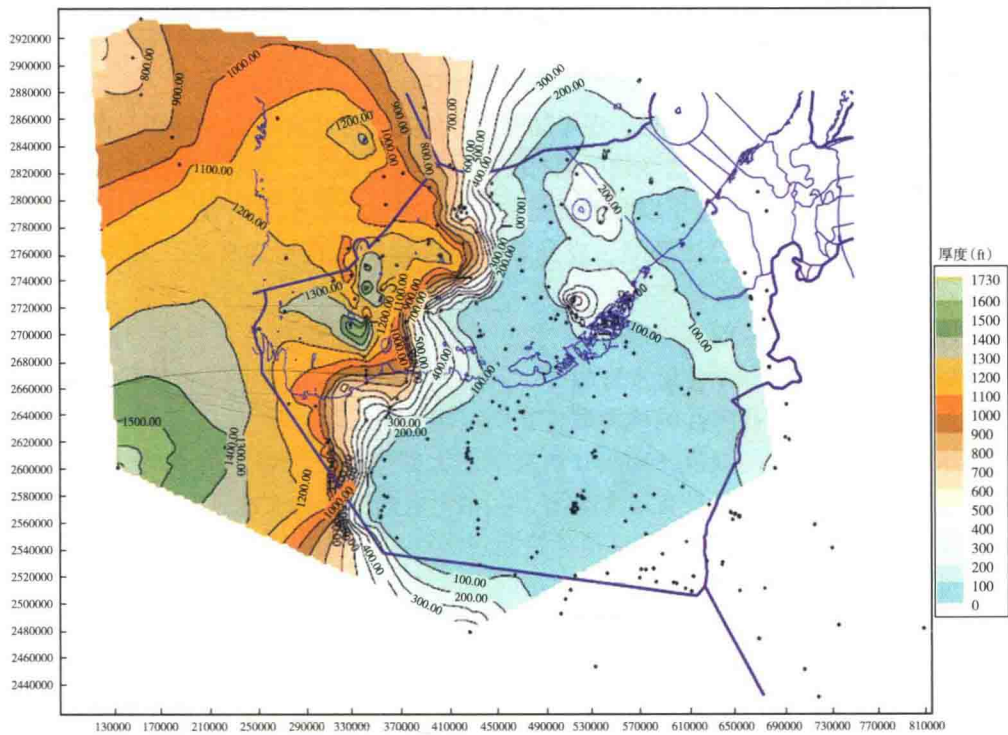


图 4 Mishrif 组地层厚度图

西部可容空间的成因还不清楚。下部地层的倾斜可能是由阿曼推覆构造前方的初期外围凸起分（也可能是 Mishrif 组后期沉积）或者是由板块内部褶皱造成的。

在 Mishrif 台地西部，合并的滩坝或生物层（Droste and Steenwinkel, 2004）叠加在 3 个大型的进积/加积层序之上，而在东部的 Mishrif 台地，线状的进积相带与盐丘之上的生物礁混杂物交互存在。

对该区板块构造的重建表明，阿拉伯联合酋长国地区在塞诺曼期/土伦期处于赤道以南，信风的方向是东—南—东。这一点可能进一步加剧了 Mishrif 组在阿拉伯联合酋长国地区发育的非均质性。在西部 Mishrif 组的陆棚边缘相对较陡，而在东部的 Mishrif 组的陆棚边缘则有一

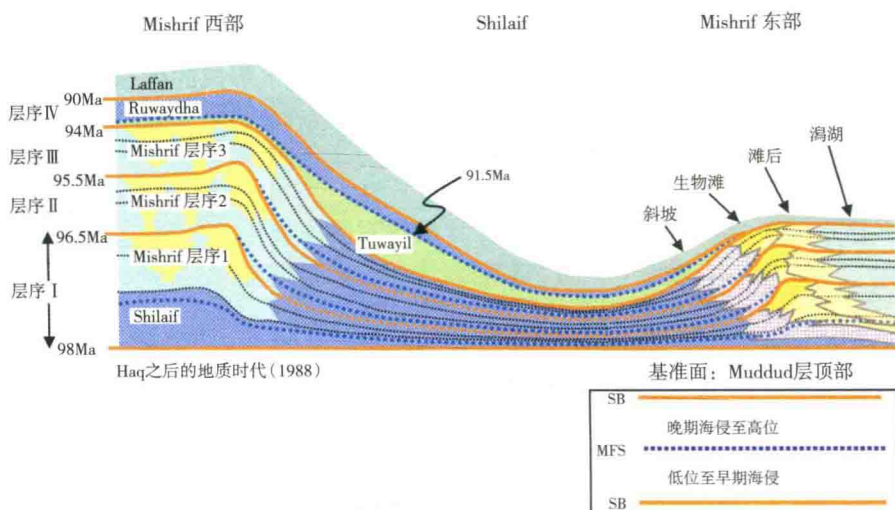


图5 上 Wasia 群层序地层格架剖面图

个宽阔的经过后期改造的斜坡沉积带。现今陆棚边缘的几何形状有相似的特征，在迎风的陆棚边缘通常以富氧的水体为特征，这导致了相对陡的加积沉积单元。背风的陆棚边缘一侧则以低能、缺氧的环境为特征，这导致了以台地沉积物的传输为主导的平缓斜坡。

Mishrif 西部台地沉积物以洁净的、成分单一的碳酸盐沉积物为特征（在阿曼内为泥质支撑，在西阿布扎比地区为颗粒支撑）。

沿着连续性的陆棚边缘西部 Mishrif 层序的厚壳蛤礁和鲕粒滩具有较好的储集特征。在陆棚边缘后面的孤立台地和鲕粒层发育较好，其中偶见的潟湖环境也同样具有较好的孔隙度和渗透率。这些高能的、孔隙性的浅滩通常在斜坡堆叠沉积。

即使用很高的孔隙度门限值，Mishrif 组层序的大部分还是可以划为有效储层，在浅滩/生物建造最为发育的台地边缘具有最大的潜力。台地上的净毛比值范围为 0.5~0.8，而在台地边缘则能够超过 0.8。净平均孔隙度值通常超过 20%，与浅滩或生物建造有关的孔隙度值则能够超过 24%。渗透率值通常介于 1~20mD 之间。

东部的 Mishrif 组以发育更加分异的、向上变浅和颗粒化的层序为特征，每个层序由细粒的盆地泥粒灰岩变化到中—粗粒的浅海泥粒灰岩。这指示了逐渐变浅的斜坡沉积作用。该斜坡岩相由深色的、很细—细粒、分选较好的生物碎屑泥粒灰岩，逐渐变化到浅色的、中等颗粒、未分选的、含生物碎屑泥粒灰岩到颗粒灰岩。上部的生物碎屑由厚壳蛤类、棘皮动物、腹足动物和介形动物的碎片构成。球粒和稀有的远洋有孔虫仅在底积层可见。

碳酸盐岩层序上部相对粗粒部分在暴露或喀斯特地表之下通常被淋滤。土伦阶（Laffan 组底界主要的不整合）地表暴露和大气淡水成岩作用形成了质量较好的储层。

斜坡相的储层特征为差到好：斜坡中下部的平均孔隙度为 5%~15%，渗透率为 0.1~1mD；斜坡上部的平均孔隙度为 15%~20%，渗透率为 1~5mD，最高值为 10mD。

2.5 Tuwayil 组

在 Mishrif 组的高位沉积之后，海平面在土伦期开始下降，形成了 Tuwayil 组的低位沉积（图 6）。硅质碎屑充填了 Shilaif 盆地的剩余可容纳空间（Goudket, et al., 1992）。在台地和

盆地区域 Ruwaydha 组上覆层下部泥质单元厚度上的有限变化，表明了 Shilaif 盆地在 Tuwayil 组沉积作用中被完全充填。

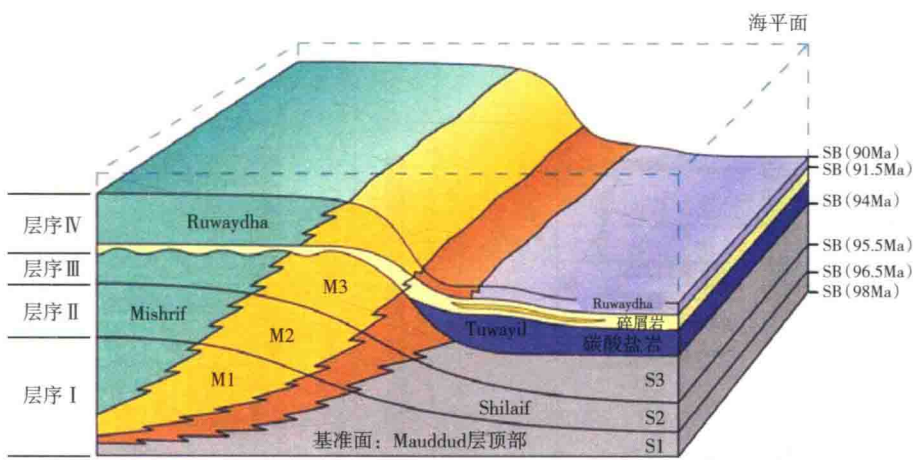


图 6 Tuwayil 组低位期几何学沉积特征图

硅质碎屑沉积物流来源于阿布扎比南部和西部阿拉伯地盾的抬升和剥蚀，以及东部阿曼叠覆构造的发育。基底构造的活化形成了局部的沉积中心（图 7）。

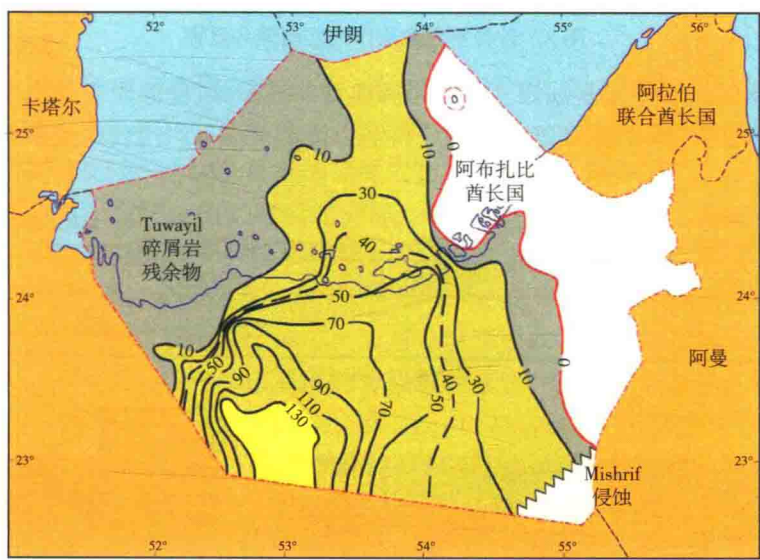


图 7 Tuwayil 碎屑岩沉积厚度图

初期，有限的碳酸盐沉积作用发生在 Mishrif 边缘，台地边缘楔则与基底页岩和泥质灰岩同时发育（Tuwayil 组下部单元；图 8）。

沉积作用大于沉降作用，导致了盆地变浅，发育了相对洁净的浅水碳酸盐沉积（Tuwayil 中部单元）。

随后，局限的高位环境发育，沉积模式也开始发生了显著的变化，形成了 Tuwayil 上部碎屑单元（Tuwayil 组砂岩）硅质沉积物的沉积。这些沉积物代表了 Shilaif 盆地的最终充填。

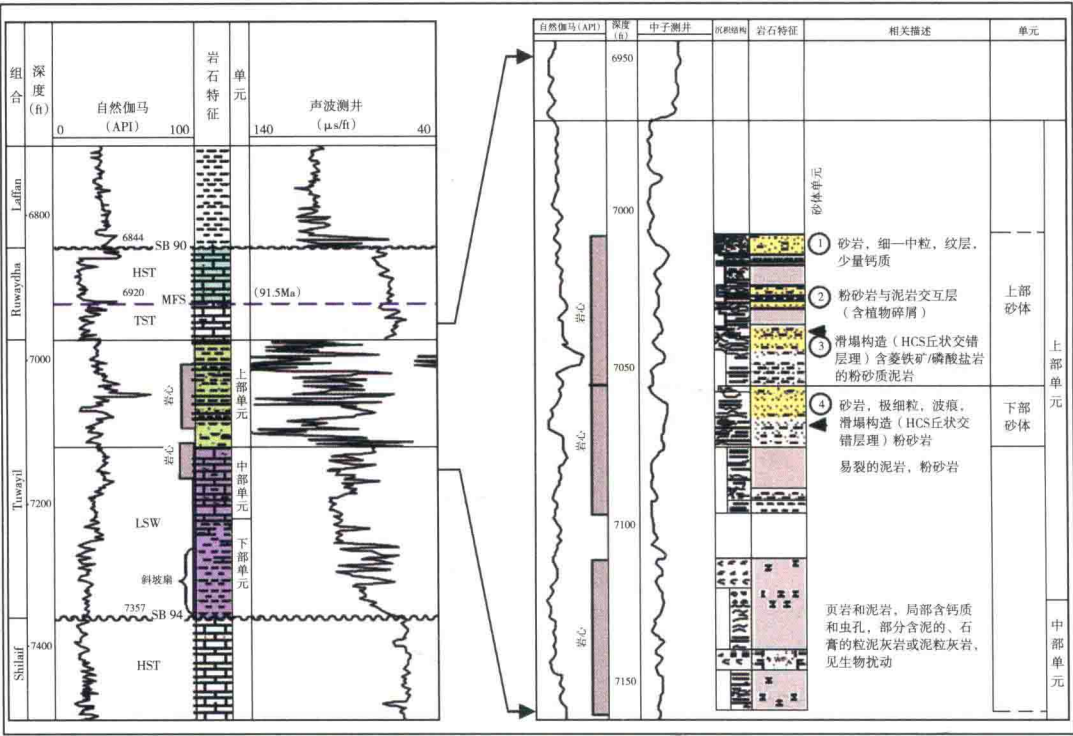


图 8 砂岩单元的层序地层格架和名称

Tuwayil 砂岩的沉积环境是浅海、潮下带和典型的波浪/风暴浪为主的滨岸沉积 (Azzam, 1994)。波痕、交错层理 (丘状交错层理) 和生物扰动 (图 9) 代表的是临滨相环境。其沉

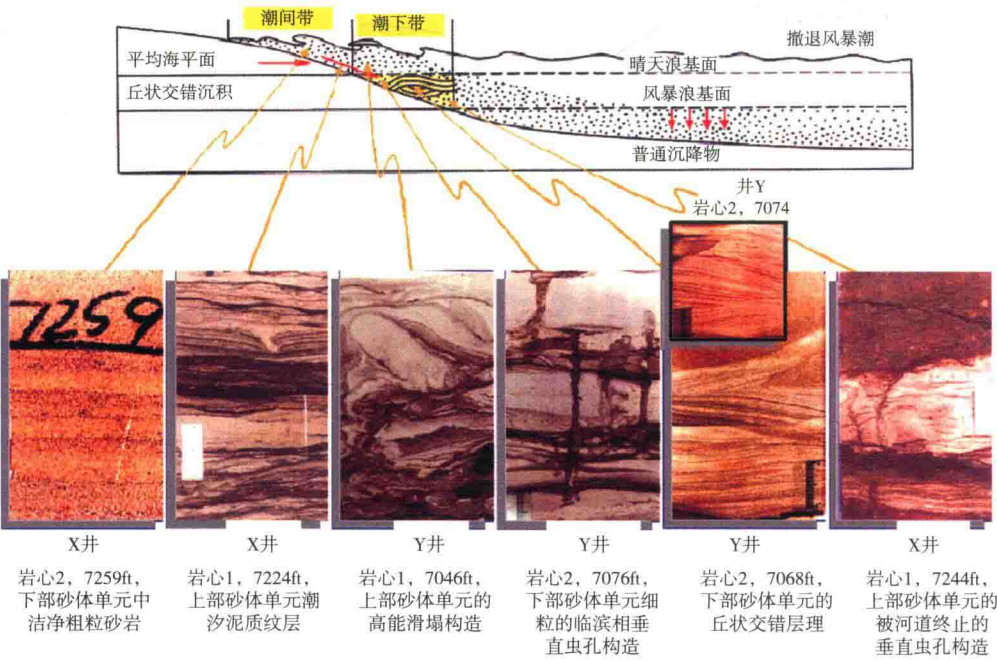


图 9 来自岩心的 Tuwayil 组碎屑岩沉积特征

积物的保存可能与风暴环境有关。洁净、粗粒的砂岩代表的是潮道沉积。

对应的页岩段（少见砂岩发育）形成进积席，覆盖于 Mishrif 台地之上，将 Mishrif 组和 Ruwaydha 组分隔开来。

Tuwayil 碎屑岩单元的沉积物由互层状的极细到细粒的纹层状砂岩和浅海相的泥岩构成。该单元孔隙度门限值为 12%，净毛比值介于 0.2~0.4 之间。净储层的平均孔隙度值超过 16%，局部则高达 26%。但在局部上，砂岩被钙—铁质胶结物所强烈胶结，在这些情况下，储层发育很差。

Tuwayil 砂岩是首要的勘探目标，主要因为：（1）通常具有孔隙性和渗透性；（2）邻近成熟的 Shilaif 组烃源岩；（3）平面和垂向上被互层的 Tuwayil 页岩和上覆的 Ruwaydha 层最下部的泥质单元中的泥灰岩所封存。

此外，砂岩的上倾尖灭发育在北部、东部和西部（在西部 Mishrif 台地边缘上超，在东部 Huwaila-Bu Hasa 高点的上超），很可能形成地层圈闭（图 7）。

但另一方面，较差的储层连通性可能阻止了烃类流体二次运移到储层中。还有，碳酸盐胶结也在局部地区降低了储层的孔隙度和连通性。

2.6 Ruwaydha 组

在阿布扎比地区的中部和西部，Ruwaydha 组覆盖在 Tuwayil 组之上。而在阿布扎比的东部地区该组则大规模缺失，很大程度上是因为地层抬升而造成的无沉积。Ruwaydha 组的典型特征是在阿布扎比西部地区发育台地相，而在阿布扎比地区中部发育盆地相（覆盖了 Shilaif 盆地的大部分）：

（1）干净的浅水环境遍布了西部地台，具有很好的水体循环和较低的陆源黏土的输入。高能环境的似球粒浅滩沉积在台地边缘，波浪活动影响着台地表面。低能环境下的生物碎屑粒泥灰岩、泥粒灰岩及海洋生物所形成的泥质岩类则沉积在台地内部。

（2）深水环境遍布在阿布扎比地区的中部。包含浮游有孔虫和钙球虫的生物碎屑灰岩和粒泥灰岩沉积在缺乏陆源黏土的清水环境，具有正常的海洋水体循环。Ruwaydha 组沉积作用结束后，陆源黏土沉积物开始出现，这可能与沉积环境的变深和盆地区域的被限制有关。该单元主要沉积在相对较深的水体中，为正常浪基面以下的低能环境。

尽管，有关于细—中等颗粒的白垩质的骨架粒泥灰岩、灰泥岩和某些较细的骨架泥粒灰岩沉积在突发构造事件中的描述（Pascoe, et al., 1994），但在东部陆棚没有与 Ruwaydha 组等同的沉积。在此，高位的浅滩覆盖在低位缺氧台地的潟湖相粒泥灰岩、泥岩和页岩之上，进而形成的层内封存的可能性是存在的。

Ruwaydha 组的台地相碳酸盐岩的孔隙度较好。采用 18%（代表了主要的微孔系统）这个相对高的孔隙度门限值，得到了超过 0.6 的净毛比，净储层的平均孔隙度介于 20%~26% 之间。

Ruwaydha 组的基底泥灰岩可为 Tuwayil 组砂岩提供盖层，遍布在 Mishrif 西部的台地边缘。

Ruwaydha 组最厚的部位出现在阿布扎比西部，在此可厚达 600ft。盆地相则较薄（50~150ft）。另一个沉积中心发育在 Falaha 向斜，厚度在 300~400ft 之间。该组向东逐渐变薄，可能与阿曼推覆体之前的外围凸起所引起的东部地区的抬升有关。

2.7 Laffan 组

Wasia 群的结束以普遍的空气暴露、大量的来自大气的沉积物及局部的剥蚀为标志 (Pascoe, et al. , 1994)。Laffan 组的低位沉积物仅沉积在 Shilaif 盆地区域和阿布扎比地区西部。在这些地区低位、潮下的硅质碎屑和随后的碳酸盐沉积物等高位沉积物代表了台地被淹没, 并形成了平面分布广泛的顶部盖层。

Laffan 组 (康尼亚克阶) 是深灰色—棕色—黑色的页岩, 偶尔与致密的石灰岩互层。该组在阿布扎比地区西南部最厚, 厚达 450ft。其沉积作用与第一次阿尔卑斯运动的早期阶段同时发生, 并在随后向东部变薄, 覆盖在推测的外围推覆体之上。在东部的 Mishrif 组边缘, 该组从阿布扎比地区的 50ft 在迪拜的东部近海地区减薄为 0。

Laffan 组在东部地区为 Mishrif 组提供了区域的顶部盖层, 而在西部地区则作为 Ruwaydha 组的盖层 (图 1)。

3 烃源岩分布、成熟度及运移

3.1 分布和物性

地球化学分析表明, Shilaif 组是阿布扎比地区 Mishrif 组及更新的地层中油气的最可能的烃源岩。Shilaif 组的沉积中心处于陆棚内 Shilaif 盆地, 该盆地被 Mishrif 组陆棚相沉积物所包围, 限制住了水体的循环, 形成了缺氧的沉积环境。

在 Shilaif 盆地区, 净烃源岩厚度可以达到 400ft, 平均 TOC 值为 3% (图 10)。Shilaif 的厚度和丰度向 Mishrif 组的陆棚地区逐渐递减。

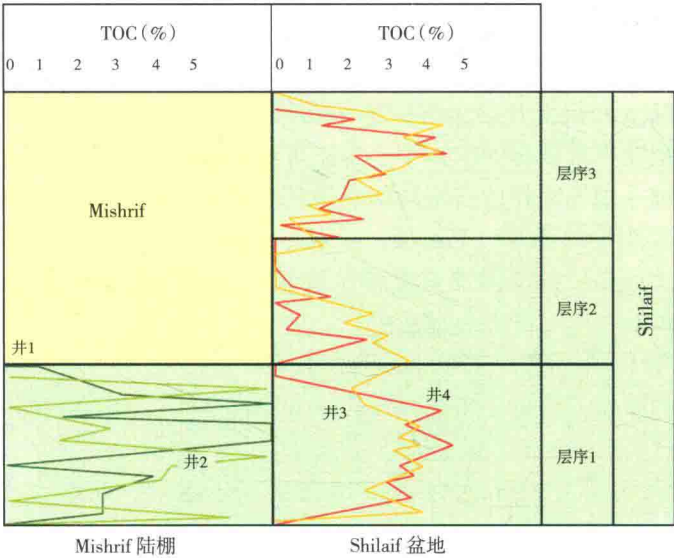


图 10 Shilaif 组烃源岩的成熟度图

而另一方面 Shilaif 剖面的最下部 (层序 1) 几乎在阿布扎比所有地区均有发育。最高的 TOC 值出现在 Shilaif 剖面的层序 1 和层序 3, 分别等同于阿曼地区的 Natih E 烃