



塔里木油田超深油气勘探开发理论与技术丛书

(卷九)

TALIMU YOUTIAN CHAOSHEN YOUQI KANTAN KAIFA LILUN YU JISHU CONGSHU

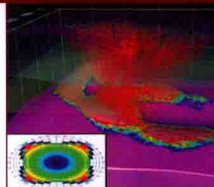
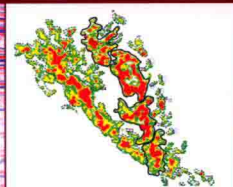
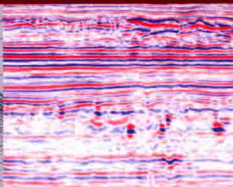
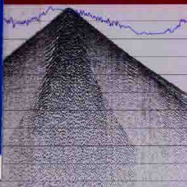
超深海相碳酸盐岩 地震勘探与缝洞雕刻技术

CHAOSHEN HAIXIANG TANSUANYANYAN DIZHEN KANTAN YU FENGONG DIAOKE JISHU

彭更新 高宏亮 周 翼 等著



钻井工程



石油工业出版社

塔里木油田超深油气勘探开发理论与技术丛书(卷九)

超深海相碳酸盐岩 地震勘探与缝洞雕刻技术

彭更新 高宏亮 周 翼 等著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书为《塔里木油田超深油气勘探开发理论与技术丛书》的一个分册。总结了在塔里木盆地缝洞型碳酸盐岩地震勘探技术攻关中,形成的以宽方位+高密度地震采集、保真各向异性叠前保幅深度偏移处理、岩溶缝洞型储层量化解释技术为核心的各项创新技术和关键技术。

本书可供地震勘探一线的科研技术人员与油田勘探开发非物探专业的技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

超深海相碳酸盐岩地震勘探与缝洞雕刻技术/彭更新等著. —北京:石油工业出版社, 2017. 7

(塔里木油田超深油气勘探开发理论与技术丛书)

ISBN 978-7-5183-1564-2

I. ①超… II. ①彭… III. ①塔里木盆地-海相-碳酸盐岩油气藏-油气勘探-地震勘探-研究 IV.

①P618.130.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 253635 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

编辑部:(010)64523543 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 7 月第 1 版 2017 年 7 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:17.5

字数:400 千字

定价:160.00 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

《塔里木油田超深油气勘探开发理论与技术丛书》

编 委 会

主 任：王招明

副 主 任：田 军 江同文

编 委：（以姓氏笔画为序）

王振彪 王清华 龙 平 杨向同

杨海军 肖又军 肖承文 汪如军

宋周成 张福祥 胥志雄 梁向豪

廖 涛 滕学清

《超深海相碳酸盐岩地震勘探与缝洞雕刻技术》

编 写 组

组 长：彭更新

副 组 长：高宏亮 周 翼 刘永雷

编 写 人 员：（以姓氏笔画为序）

于红枫	王建忠	申尽志	冉体文
吕 东	安海亭	孙崇浩	李光鹏
李国会	李相文	吴兴能	但光箭
陈学强	苗 青	郑多明	赵宽志
赵锐锐	段文胜	敬 兵	韩 杰

序

位于中国西北部的塔里木盆地是一个超深、复杂的叠合盆地,发育了多套烃源岩及优质储盖组合,具备形成大型油气田得天独厚的石油地质条件,但地下情况复杂,需要勘探开发工作锲而不舍,攻坚克难,不断战胜挫折,不断解放思想,才能逐步取得重大的胜利。因此,塔里木盆地既像一个带刺的玫瑰,又似光辉熠熠的聚宝盆镶嵌在祖国的西部边陲。

在盆地北部库车地区 3500~4000 米的中浅层,经历多次勘探失败与突破,克拉 2 大气田的发现创造了塔里木油气勘探开发的辉煌,促成了西气东输工程,惠及沿途 10 省(自治区、直辖市)亿万人民,推动了我国 21 世纪天然气工业的快速发展。

塔里木盆地是西气东输的源头,是“新疆大庆”建设的主战场,是稳疆固边的前沿阵地,塔里木盆地的油气勘探开发是我国发展西部战略的主体工程,塔里木盆地的油气勘探开发备受中国乃至世界瞩目。

塔里木盆地的最大特点是油气层埋藏超深,库车、塔北及塔中主力油气层埋深一般大于 6000 米,目前发现的油气藏,最深的气藏是克深 9 气藏,已探明天然气地质储量 548 亿立方米,气藏埋深 7600 米。克深 902 井完钻深度 8038 米,在 7813~7870 米储层,6 毫米油嘴日产天然气 45 万立方米。最深的油藏是富源 1 井,储层为缝洞型碳酸盐岩,井深 7712 米,日产轻质油 86 吨,天然气 2.89 万立方米。

“十二五”期间,塔里木油田最大进展是超深领域油气勘探开发的进展。这期间塔里木油田坚持库车、塔北、塔中三大阵地战,解放思想,创新思路,集中了全国的深井钻机,2015 年油田超过 7000 米的深井钻机达到 132 台,投入工作量大,大于 6000 米的超深井逐年增多,2014—2015 年大于 6000 米的超深井达到 92%(2014 年、2015 年大于 6000 米的探井分别完钻 53 口、39 口),在超深碎屑岩、碳酸盐岩两大领域实现重大突破:6000 米以深发现探明了比克拉 2 大三倍的克深万亿立方米大气田;发现开发了哈拉哈塘奥陶系碳酸盐岩大油田,已经控制含油面积大于 4000 平方千米;发现了塔中奥陶系碳酸盐岩大型凝析气田(探明天然气地质储量近 4000 亿立方米,凝析油储量 2 亿吨);并在寒武系盐下、东部奥陶系碳酸盐岩实现了战略突破。这些成果的取得,夯实了西气东输的战略资源,为塔里木油田的发展奠定了坚实的基础。

近十年来,通过国家重大科技攻关示范工程的实施,特别是 2010 年中国石油天然气集团公司实施塔里木重大科技专项以来,实现了超深碎屑岩、碳酸盐岩两大领域油气地质理论的创新,形成了超深领域的油气勘探开发技术系列,同时该领域已经成为我国乃至全球油气勘探开发的重要接替领域。在这个承前启后的时间节点上,塔里木油田的科研工作者系统总结了超

深领域的理论与技术成果,形成了这套《塔里木油田超深油气勘探开发理论与技术丛书》,这对进一步指导塔里木油田超深领域的油气勘探开发和前陆盆地、海相克拉通、复合盆地的油气勘探开发都有重要的意义。

作为曾经参与塔里木石油会战的老石油人,我为塔里木油田取得的成绩感到由衷的骄傲和欣慰,也为塔里木油田走向新的成就而深信不疑。

《塔里木油田超深油气勘探开发理论与技术丛书》全面系统总结了近十年来,特别是“十二五”期间取得的勘探开发成果、超深领域石油地质理论技术的创新成果和勘探开发实践认识。丛书共15卷,涵盖了库车前陆盆地超深油气地质理论与勘探实践、前陆冲断带超深复杂构造山地地震勘探技术、前陆冲断带超深复杂地层钻井技术、前陆冲断带超深裂缝性砂岩气藏测井评价技术、前陆冲断带超深高温高压砂岩气藏完井与储层改造技术、超深高温高压裂缝性砂岩气藏开发机理与应用、牙哈凝析气田循环注气开发实践及开发规律、超深缝洞型海相碳酸盐岩油气地质理论与勘探实践、超深海相碳酸盐岩地震勘探与缝洞雕刻技术、超深缝洞型碳酸盐岩钻井技术、超深缝洞型碳酸盐岩油气藏测井评价技术、超深缝洞型碳酸盐岩油气藏完井与储层改造技术、超深缝洞型海相碳酸盐岩油气藏开发技术、超深滨海相砂岩油藏开发实践与提高采收率技术、超深复杂油气藏录井技术等。这些成果的取得是27年来塔里木石油工作者在荒凉沙漠上辛勤奉献的智慧结晶,是近十年来塔里木油田勘探开发成果的集中体现,是塔里木石油人打造“百年塔里木”和“十三五”时期建设3000万吨大油气田目标的技术保障和有效的智力支撑。

读完全书,掩卷沉思。深深地感到这套丛书是科研与生产紧密结合的成果,既是塔里木油田近期勘探开发成果的总结,又是超深碎屑岩、碳酸盐岩两大领域石油地质理论与技术的总结,也是塔里木油田多年来勘探开发实践的总结。书中有克深万亿立方米大气田、哈拉哈塘大油田、塔中大型凝析气田的勘探开发成果;有新理论、新技术、新方法;有战例、有经验、有启示。当前,塔里木盆地的油气勘探开发正如火如荼,超深领域的油气勘探开发理论与技术创新日新月异,我期待塔里木油田在新阶段的勘探开发、理论技术创新中取得更加重要的成果,也希望这套丛书既能够成为从事塔里木盆地勘探开发科研、生产、管理工作者的工具书,也能够作为广大从事油气勘探开发科研、生产、管理人员的参考材料,还能被选为石油、地质大中专院校学生的参考书,为各条战线上的石油人提供有益的信息。

邱中建
2016年12月.

前言

塔里木盆地地下古生界碳酸盐岩纵向上分布在寒武系—上奥陶统良里塔格组,厚度巨大,平面上分布在台盆地除塔南隆起外的广大地区。地表为号称“死亡之海”的塔克拉玛干大沙漠及边缘地带,油气藏埋藏深,一般在 5000 ~ 7500 米,储层为非均质性极强的缝洞型碳酸盐岩。塔里木盆地缝洞型碳酸盐岩油气资源十分丰富,是寻找大型油气田的主攻领域,是目前油气勘探开发的主要目标之一。在大沙漠低信噪比地区,要得到 5000 米以下碳酸盐岩中微小缝洞体的地震信息十分困难,要在地震剖面上清晰反映出缝洞体,用地震信息准确刻画出缝洞体的空间分布形态,满足勘探开发的需求更难。因此,塔里木缝洞型碳酸盐岩的地震勘探与缝洞雕刻极其困难,堪称世界之最。

在中国石油塔里木油田公司的统一组织下,通过多年不懈的地震勘探攻关研究,特别是通过“十二五”期间中国石油天然气股份有限公司重大专项的攻关,基本解决了超深缝洞体储层成像、描述评价、量化雕刻、资源量计算等方面的难题,形成了超深缝洞型碳酸盐岩地震勘探及缝洞雕刻技术,基本满足了勘探开发的需求。在地震采集方面,在过去常规三维地震勘探基础上,针对不同表层条件下缝洞型碳酸盐岩特征,开展了拟全三维、全三维、数字三分量及 UniQ、宽方位、高密度三维地震攻关,形成了基于碳酸盐岩缝洞叠前成像观测系统设计技术、经济技术一体化的宽方位 + 较高密度三维地震采集技术,有效压制了干扰,提高了深部碳酸盐岩成像品质。在地震资料处理上,实现了由叠后向叠前、由时间域向深度域、由各向同性向各向异性处理思路和技术转变。形成了多域分步迭代去噪技术,并驱动的真振幅恢复技术、井震联合各向异性建场技术,地震相约束火成岩建模技术、网格层析速度建模技术,全波形反演(FWI)技术,克希霍夫积分法、单程波波动方程偏移、双程波波动方程逆时偏移技术,分方位处理技术、叠前 OVT 偏移处理技术。这些技术的巧妙组合和成功应用,不仅使地震成果资料成像品质明显提高,而且大幅提高了超深碳酸盐岩缝洞体空间成像精度和保持了叠前道集对裂缝 AVA、AVO 反射响应特征。在碳酸盐岩岩溶储层解释方面,形成岩溶占地貌成图技术,以振幅、频率、阻抗、相干技术等叠后预测技术,发展了基于反射角 AVAZ 裂缝预测技术、分方位 FRS 裂缝预测技术和 OVT 域的五维地震叠前裂缝预测技术,提高了不同尺度的裂缝预测精度,实现了“有机分子结构的形式”来表现缝洞体的空间形态特征;实现了缝洞体三维可视化量化雕刻,达到预测岩溶型储层发育分布规律的目的。为了实现钻井地下靶点的精准导航,探索引入了斯伦贝谢的先进随钻地震导向钻井(SGD)技术,利用 VSP 随钻测井并进行实时动态检测结果,约束井旁三维地震数据,快速修正速度模型和各向异性参数,实现快速深度偏移处理,指导钻头轨迹,提高深层碳酸盐岩钻井中靶率。通过反复实践和认识,碳酸盐岩缝洞储层预测

实现了从“定形态”到“定位置、定规模”的发展,深化了油藏的认识,提高了钻井成功率,加快了塔中、塔北碳酸盐岩油气勘探开发的进程。

本书编写的主要目的,就是通过技术总结与实例解剖,重点介绍“十二五”期间,在技术攻关过程中形成的以宽方位+高密度地震采集、保真各向异性叠前保幅深度偏移处理、岩溶缝洞型储层量化解释技术为核心的各项创新技术和关键技术。希望通过抛砖引玉,吸引更多优秀科研团队加入碳酸盐岩勘探开发地震技术研究中,以便发展和完善这一实用有效的配套技术系列,全面推进塔里木盆地超深缝洞型碳酸盐岩油气勘探开发进程。

考虑可读性、篇幅问题和避免与其他资料重复,本书编写不求面面俱到,强调实用和有效。常规技术、方法和流程在本书中将不作详述,而紧紧围绕超深海相碳酸盐岩地震采集、处理、解释环节,重点讨论关键技术、创新技术及其应用效果。对每一项具体技术的介绍、理论分析和公式推导从简,重点讨论其研究思路、适用条件、应用方法及地质效果对比分析等。因此,本书既适合于地震勘探一线的科研技术人员和科研院所的研究人员,也适合于油田勘探开发界的非物探专业技术人员参考。书中大量的实例可供相关人员引用和借鉴。

本书由中国石油塔里木油田公司统一组织编写。第一章由孙崇浩、彭更新、赵宽志、李光鹏、郑多明、于红枫等执笔;第二章由彭更新、陈学强、周翼、申尽志、段文胜、李光鹏、赵锐锐等执笔;第三章由高宏亮、郑多明、刘永雷、李相文、敬兵、李国会、苗青、吕东等执笔;第四章由刘永雷、高宏亮、郑多明、但光箭、李相文、王建忠、韩杰、安海亭等执笔。全书由彭更新统稿,塔里木油田公司王招明总地质师、梁向豪教授级高级工程师和中国石油大学(北京)刘洋教授负责全书审稿。

本书在编写过程中,得到了中国石油勘探与生产分公司的大力支持,油田及相关院所的领导 and 专家提出了具体修改意见。值此书正式出版之际,谨向他们表示衷心的感谢!由于笔者水平有限,书中难免有不妥之处,恳请广大读者批评指正。

目 录

第一章 超深海相碳酸盐岩地震勘探概况	(1)
第一节 超深海相碳酸盐岩地质特征	(1)
第二节 碳酸盐岩缝洞体储层地球物理响应特征	(6)
第三节 超深缝洞型碳酸盐岩地震勘探难点	(16)
第四节 超深海相碳酸盐岩地震勘探历程与成效	(26)
第二章 缝洞型碳酸盐岩地震勘探技术	(32)
第一节 缝洞型碳酸盐岩地震地质条件	(32)
第二节 缝洞型碳酸盐岩地震勘探技术攻关	(37)
第三节 宽方位 + 较高密度三维地震资料采集技术	(50)
第四节 碳酸盐岩缝洞储层三维地震资料处理技术	(95)
第三章 碳酸盐岩缝洞体储层地震资料描述技术	(126)
第一节 碳酸盐岩缝洞雕刻技术	(126)
第二节 大型缝洞集合体刻画与分布	(183)
第三节 缝洞系统划分与评价技术	(187)
第四章 缝洞型碳酸盐岩地震勘探实践与启示	(213)
第一节 缝洞型碳酸盐岩地震勘探实践	(213)
第二节 缝洞型碳酸盐岩地震勘探启示	(241)
第三节 缝洞型碳酸盐岩地震勘探展望	(249)
参考文献	(264)

第一章 超深海相碳酸盐岩地震勘探概况

第一节 超深海相碳酸盐岩地质特征

古隆起是克拉通盆地构造变形的重要方式,同时也是克拉通盆地油气长期运聚的指向区,世界上很多克拉通盆地古隆起区都已发现大油气田(何登发和谢晓安,1997;张景廉等,1998;赵靖舟等,2007)。塔里木盆地主要发育塔北、塔中、和田河和塔东四个大型古隆起,塔北、塔中古隆起长期继承发育,已被勘探证实为台盆区油气最富集区(徐国强等,2005;周小军,2006)。和田河古隆起为迁移性古隆起,喜马拉雅期发生调整,转化为南倾斜坡,北部巴楚地区整体抬升,形成巴楚隆起;塔东古隆起主要发育在塔东1-2号背斜带。这两个古隆起是潜在的是油气勘探领域。长期继承性发育的大型古隆起及其斜坡是控制油气田形成和分布的最有利地区(康玉柱,1992,2003;张宗命和贾承造,1997;贾承造等,1999)。

一、古隆起控制油气运移方向

油气运移方向受古隆起控制也是世界古老克拉通盆地油气分布的普遍规律(贾承造和赵靖舟等,2003)。古隆起是油气运移的长期指向区,控制了油气运移大的方向。目前发现的轮南—塔河油田、哈拉哈塘—英买力油气田群、塔中油气田、和田河油气田等均分布在塔北、塔中、和田河等古隆起及其斜坡部位。古隆起形成的时间越早、发育时间越长、后期构造越稳定、规模越大,越有利于油气的聚集和保存。塔中、塔北是晚加里东期形成的两个大型继承性发育的古隆起,紧邻寒武系—奥陶系烃源岩最发育的满加尔凹陷,对油气运行方向的控制作用最强,油气富集程度最高。

二、斜坡带控制油气运聚成藏

大型古隆起控制着油气的运移方向,而斜坡带则控制了油气的聚集成藏(邬光辉等,2012)。

首先,斜坡带控制了有利储集相带的发育。最有利的礁滩储集体一般发育在台缘带。岩溶型储层一般也是斜坡部位发育最好。塔里木盆地寒武系—奥陶系碳酸盐岩基岩总体物性很差,为非储层,有效储集体为受多期岩溶作用形成的次生孔洞缝型储集体。一般情况下,岩溶高地表层岩溶带和垂直渗流带发育,岩溶发育的深度大,但充填严重;岩溶洼地和岩溶盆地潜流溶蚀带发育,但充填和塌陷严重;岩溶斜坡带岩溶作用发育程度适中,充填程度小,有利储集空间最发育,是油气聚集成藏的最佳地带。塔北和塔中的勘探实践也表明,岩溶斜坡带储层最发育,油气最富集。

其次,斜坡带具有近源的特点,有利于油气聚集成藏。一般来说,台地边缘生物富集度高,但后期生物以搬出为主,主要为氧化条件,有机质保存条件差,导致有机质丰度低,不利于烃源

岩的发育;而台槽区(盆地)虽然生物富集度低,但后期生物以搬入为主,为还原条件,有利于有机质的保存,有机质丰度高,有利于烃源岩的发育;斜坡带介于两者之间。相对于古隆起高部位,斜坡带更靠近烃源岩,有的本身就发育良好的烃源岩,更有利于油气运聚成藏。

再次,斜坡带往往比构造高部位具备更好的保存条件。斜坡带一般早期稳定沉积,断裂不发育;中期发育有适度的走滑断裂;晚期构造稳定,断裂不发育。适当的断裂既适当地改造了储层及为油气运移提供了通道,又使油气成藏后不至于遭受破坏而散失。因此,油气也往往在斜坡带聚集成藏。

最后,斜坡带发育更多的储盖组合。古隆起高部位易发生剥蚀,发育的地层减少,形成的油气藏易发生破坏和调整;而斜坡部位受到的剥蚀程度较低,保存的地层较多,加之多期次、多种类的岩溶作用,形成的储层套数更多,纵向上易形成多套储盖组合,形成的油气藏呈复式叠加的特征。

三、岩溶系统控制油气富集

受沉积相带、古构造、古地貌、古水流、岩溶作用、成岩作用等多种因素的控制,塔里木盆地寒武系—奥陶系碳酸盐岩储集体的空间展布十分复杂,非均质性很强。构造作用产生的裂缝既是良好的储渗空间,又是岩溶作用得以发生、发展所需流体的主要通道;岩溶作用产生的大量溶孔、溶洞、洞穴和裂缝等溶蚀空间,很好地改良了碳酸盐岩原岩的储集空间及其性能。因此,岩溶缝洞系统控制了储集体的好坏,进而控制了油气的富集程度。缝洞系统发育的地方可实现高产稳产,而没有溶蚀缝洞发育的地方基本上没有生产能力。

1. 大型碳酸盐岩台地与礁滩体复合体

塔里木盆地寒武系—奥陶系发育大型碳酸盐岩局限台地—开阔台地,沉积厚度达 3300m,平面上分布在台盆区除塔南隆起外的广大地区,面积超过 $36 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。大型碳酸盐岩台地经历了三个沉积演化过程:一是寒武纪,具有强烈的伸展构造背景,形成西台东盆的格局,以台地相白云岩普遍发育为特征;二是早中奥陶世蓬莱坝组—鹰山组沉积时期,处于区域伸展向区域挤压的构造过渡背景,西部台地内部出现南北分异,槽台微相变化显现,鹰山组沉积末期塔北、巴楚—塔中东西向隆起形成,以灰云岩—石灰岩沉积为主;三是中晚奥陶世一间房组—良里塔格组沉积时期,处于振荡挤压构造背景,围绕塔北、麦盖提斜坡—塔中古隆起周缘沉积,形成小型孤立台地—斜坡—盆地沉积格局。

碳酸盐岩沉积相研究及钻探结果已证实油气主要赋存于碳酸盐岩台地的台缘、台内礁(丘)滩复合体之中(杨海军等,2008),礁滩复合体岩性以高能的颗粒灰岩为主,在沉积过程中经历多期次的短期暴露溶蚀形成了大量的基质孔隙,为后期岩溶改造提供了良好的物质基础。寒武系—奥陶系碳酸盐岩发育四期五带礁滩体:寒武纪以轮南—古城、罗西台缘礁滩体发育为特征,白云岩化的高能台缘带储层发育,已为塔深 I 井钻探所证实。蓬莱坝组—鹰山组继承寒武纪台缘带礁滩体分布,但其台内滩发育。一间房组以缓坡型礁滩体发育为特征,其分布逐步转向以塔北、巴楚—塔中隆起围斜带分布。良里塔格组沉积时期形成塔北、塔中—巴楚和塘南三个近东西展布的台地,在台地边缘发育台缘礁滩体,以塔中 I 号构造带镶边台地最为典型,在台地内部也有不同规模的礁滩体分布。这四期礁滩体发育形成了轮南—古城、罗西、塔北、

塔中—巴楚和塘南五块大型的台缘礁滩体分布,成为寻找大油气田的重要目标。

2. 岩溶缝洞型储层发育

塔里木盆地寒武系—奥陶系巨厚碳酸盐岩经历多期的构造抬升与暴露(王招明等, 2011),发育多期碳酸盐岩岩溶作用,形成早加里东期(O_{2+3}/O_1)、晚加里东期(S/O)、早海西期(C/O)和晚海西期—印支期(M_z/O)四期大型岩溶发育期。阶段性暴露溶蚀叠加后期多期岩溶改造形成了沿不整合面、顺岩层面、顺断层面大规模发育的岩溶缝洞型储层,储层类型以洞穴型、裂缝—孔洞型、孔洞型为主,储层纵向叠置、横向呈准层状集中分布、平面上大面积不均匀分布,为大油气田的形成提供了有利的储集空间。缝洞型储层按成因可分为潜山岩溶储层、层间岩溶储层、礁滩体岩溶储层。

潜山型岩溶储层是局部受构造断块控制的长期间断、暴露、剥蚀形成的碳酸盐岩储层,这种类型的储层暴露时间较长,地层剥蚀缺失较多,潜山面上下地层呈角度不整合接触,可以形成大洞大缝型的优质碳酸盐岩储层。主要分布在轮南、塔中、英买力、和田河周缘。

层间岩溶是碳酸盐岩台地因构造抬升地层剥蚀、短期暴露,大气淡水沿不整合面作用形成的岩溶。储层以洞穴型和裂缝—孔洞型为主,洞穴与裂缝在空间上形成大型缝洞集合体,贯穿于一间房组顶部以下 200m 范围内,总体表现为纵向叠置,横向沿不整合面呈准层状集中分布的特征,平面上沿断裂带分布的大型缝洞集合体为大油气田的形成提供了有利储集空间。主要分布在塔北南部、塔中北部斜坡区,目前已发现塔中北斜坡鹰山组、塔北哈拉哈塘一间房组—鹰山组两个亿吨级层间岩溶大油气田。

礁滩体岩溶指发生于同生(准同生)期或成岩早期,台缘粒屑滩、骨架礁等浅水沉积体因海平面暂时性相对下降,时而出露海面受大气淡水渗入淋滤所形成的岩溶。礁滩体岩溶形成较均匀的孔洞或小缝洞,横向上多呈透镜状特征,呈现明显的沉积相控特征,沿台缘成群成带规模分布。

3. 碳酸盐岩准层状油藏特征

塔里木盆地寒武系—奥陶系碳酸盐岩油藏受控于大型古隆起、大型碳酸盐岩台地,整体表现为平面上大面积富含油气,局部富集,油气分布不受构造控制,宏观上没有统一的油水界面,油气沿不整合面之下一定范围内呈准层状分布,在空间上表现为准层状油藏的特征(王福焕等, 2009)。这类油气藏普遍呈现没有明显的油、气、水界面,油气水分布复杂,油气水产出变化大,油气藏类型特殊。大面积中低丰度、层控型非常规碳酸盐岩油气藏具有普遍性;油气相态丰富,油气产出变化大;10%~20%的高产井支撑了总产量的 70% 以上;相对独立的油储单元复合叠置连片;低渗非均质储层结构特征造成油气水分异不明显。

塔中大型准层状礁滩复合体凝析气藏,整体含气、斑块含油、局部存水、弹性驱动为主,没有明显边底水,气层高差大于 2400m,气层厚度 150~300m;地层压力 60~70MPa,压力系数 1.15~1.26(图 1-1)。

塔北为整体连片含油、局部富集的碳酸盐岩非均质准层状大油气田。轮古—塔河—哈拉哈塘—英买力地区奥陶系碳酸盐岩具有相同的地层及沉积特征,构造与成藏演化史基本一致(已证实油藏高差大于 1800m)(图 1-2)。

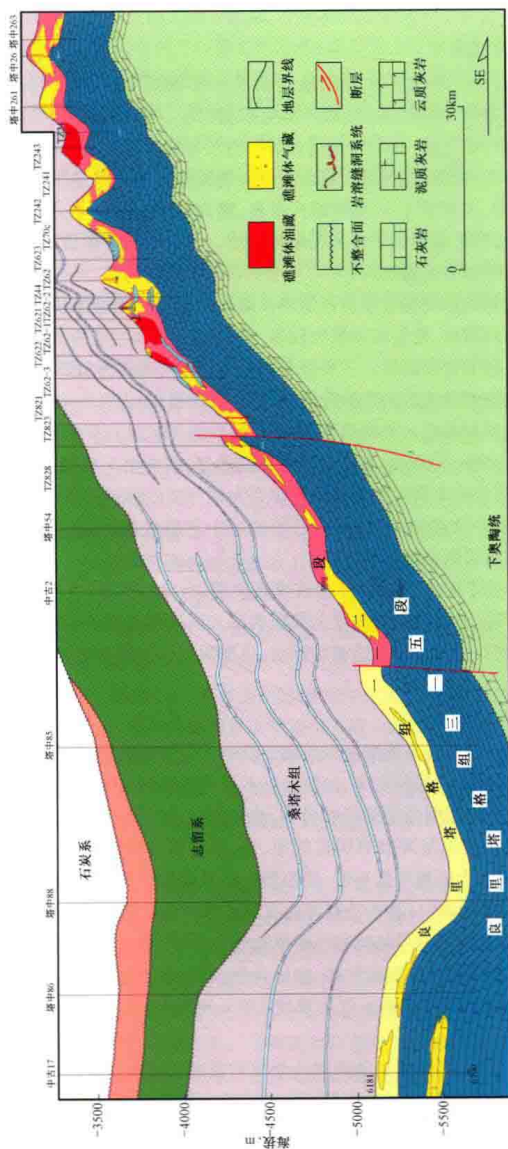


图 1-1 塔中上奥陶统碳质泥岩东-西向油气藏剖面图

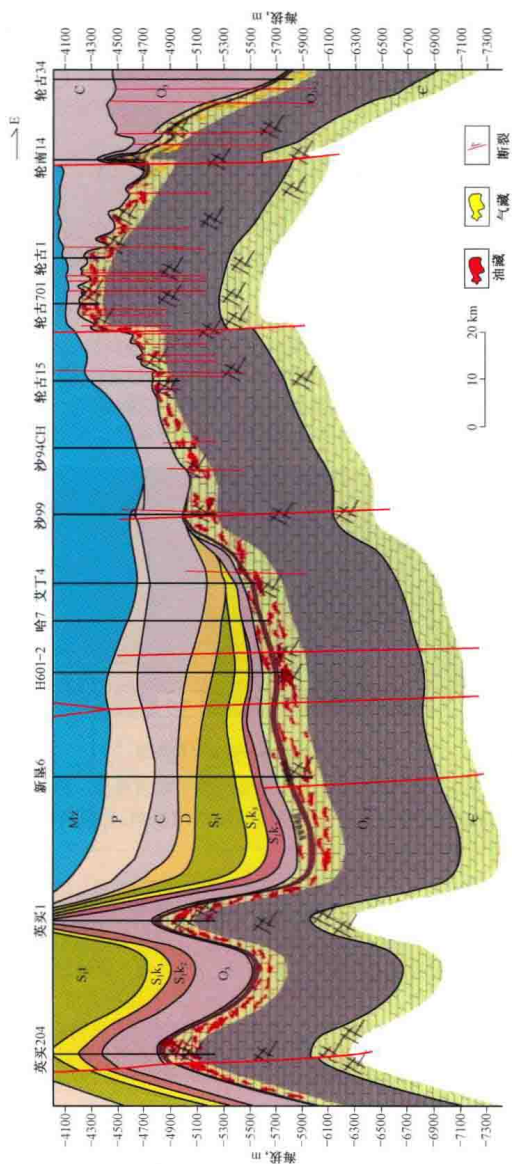


图1-2 英买力—哈拉哈浦—轮南低凸起奥陶系碳酸盐岩东西向油藏剖面图

第二节 碳酸盐岩缝洞体储层地球物理响应特征

一、缝洞储层分类及测井特征

1. 缝洞储层地质分类

按照沉积环境及储层发育位置的不同,通常将岩溶型石灰岩储层分为礁滩型岩溶、层间岩溶及潜山岩溶三类储层(沈安江等,2010;杨海军等,2011;赵文智等,2013;赵宗举等,2007)。礁滩型岩溶储层主要发育于碳酸盐岩台地边缘,通常具有典型的“丘状”地震反射特征;层间岩溶储层发育于碳酸盐岩地层之间,储层平面上呈“片状”或“团块状”地震反射特征,通常认为是由短期的沉积间断和地层暴露造成,河道不发育;潜山岩溶储层沿长期暴露的不整合面发育,以剧烈起伏的喀斯特地貌为典型特征,沟壑纵横。碳酸盐岩缝洞储层的储集空间主要包含三类,洞穴、孔洞及裂缝(图1-3),这三类储层相互组合,可形成裂缝—孔洞型,洞穴—裂缝型储层等。塔里木台盆地奥陶系碳酸盐岩储集体类型主要为洞穴型、洞穴—裂缝型、裂缝—孔洞型以及裂缝型,其中以洞穴—裂缝型的储层类型勘探开发效果最好。



图1-3 塔里木盆地碳酸盐岩储层类型

通过野外露头观察研究发现,碳酸盐岩溶洞和裂缝带常常表现为一种共生的状态,溶洞边缘伴随分布有垮塌带和破碎带,断裂及裂缝受后续溶蚀作用影响,形成溶洞,两者是互相影响共同存在(图1-4)。

2. 缝洞储层测井响应特征

塔里木奥陶系碳酸盐岩缝洞储层发育(陈鑫,2010;钱一雄等,2013)。在塔北哈拉哈塘地区,储层主要发育在奥陶系一间房组;在塔中地区,储层主要在良里塔格组及鹰山组发育。

塔里木缝洞储层储集空间类型发育较全。根据岩心观察、镜下铸体薄片的鉴定及地震、测井、钻井等解释结果,塔里木碳酸盐岩缝洞储层储集空间主要有四种类型。即未塌陷的溶洞洞穴系统及塌陷型溶洞及洞顶缝系统;粒间溶孔、粒内溶孔和铸模孔;生物钻孔及生物扰动构造内的孔洞、生物体腔孔;溶蚀孔洞、微裂缝及构造缝。储集空间类型的多样性,孔、洞、缝的发育及其在空间组合关系上的不同,构成了不同的储层类型。

按照孔洞缝在地下储层中的不同组合方式,将储层类型分为四类:裂缝型、孔洞型、裂缝—孔洞型及洞穴型。孔洞型储层的储集空间主要为原生孔隙及溶蚀改造形成的溶蚀孔洞,裂缝

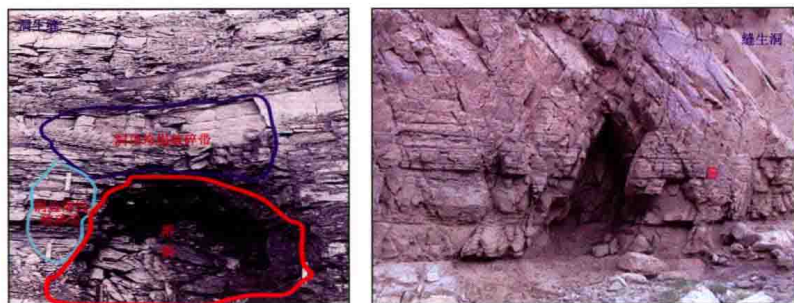


图 1-4 溶洞与裂缝关系露头照片

欠发育。测井响应特征自然伽马值为低—中等；双侧向电阻率值降低，差异不明显；三孔隙度曲线值明显小于骨架值，反映储层有效孔隙性较好；电成像测井图像上表现为“豹斑”状不规则低阻暗色星点分布（图 1-5）。

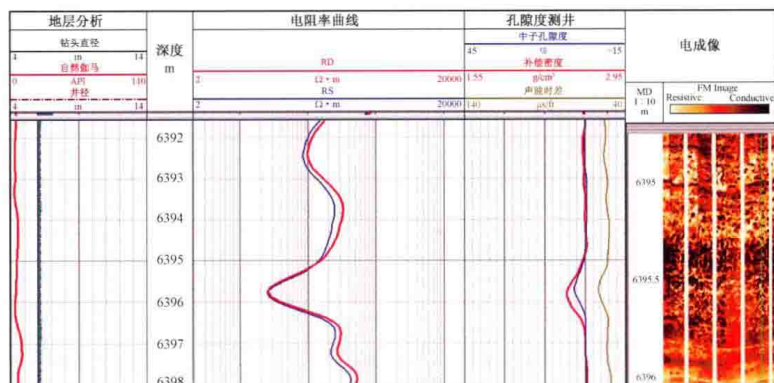


图 1-5 中古 203 井常规测井曲线及 FMI 图像反映的孔洞型储层

裂缝型储层以裂缝作为其主要储集空间和连通渠道，通常岩石基质物性差，原生孔隙和次生孔洞不发育。裂缝型储层测井响应特征表现为自然伽马值较低；双侧向电阻率值降低，且具有明显差异；孔径微扩，三孔隙度曲线值变化较小，在骨架值附近波动；电成像测井图像上表现为低阻暗色的“正弦”曲线（图 1-6）。

裂缝—孔洞型储层溶蚀孔洞和裂缝都较发育，多伴随有裂缝溶蚀扩大，相比孔洞型储层，这类储层渗流条件更好，是一种较为有利的储层。这类储层综合了裂缝与孔洞型储层的储层特征，在测井资料上也综合了两种储层的响应特征，因此，在常规和成像测井资料上比起上述两类储层更容易识别（图 1-7），不再阐述。