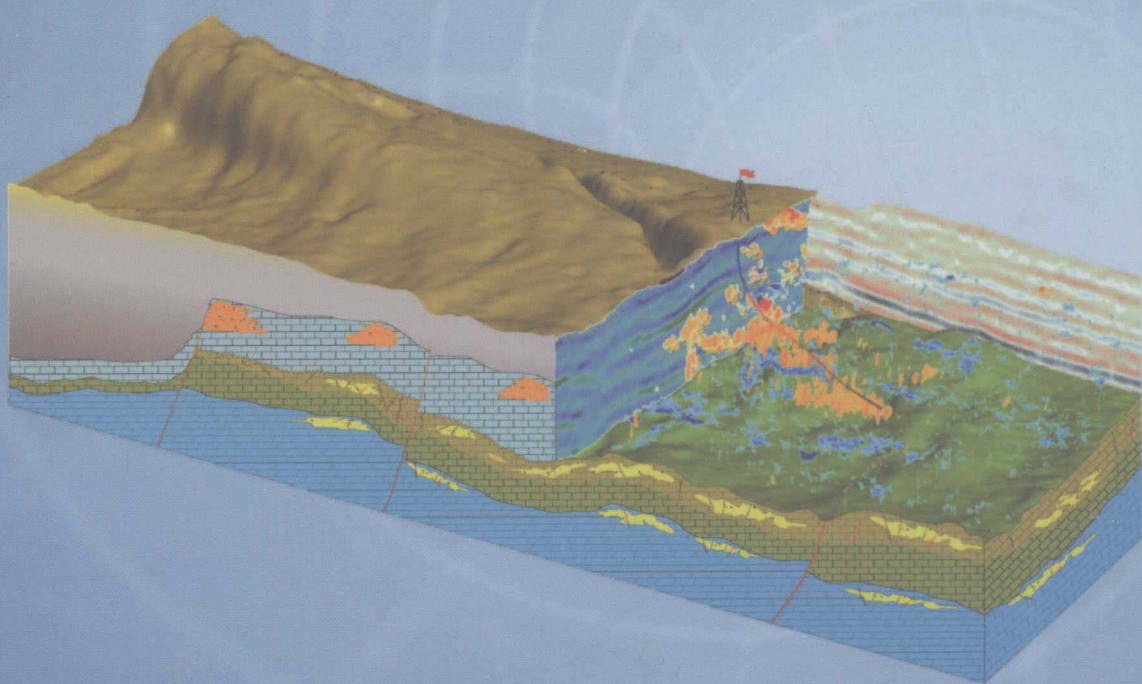


Geological Theory and Exploration Technology for
Marine Carbonate Giant Condensate Field of Tazhong Uplift in Tarim Basin

塔中隆起海相碳酸盐岩特大型凝析气田 地质理论与勘探技术

王招明 杨海军 王清华 韩剑发 敬兵等 著



科学出版社

塔中隆起海相碳酸盐岩特大型凝析气田 地质理论与勘探技术

王招明 杨海军 王清华 韩剑发 敬兵等 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书从塔中海相碳酸盐岩多成因多期次叠合复合岩溶储集体特征、主控因素与空间分布,多充注点多期次大面积复式混源成藏机理与油气分布规律,缝洞系统雕刻量化、烃类检测与综合评价井位井型优选技术,超埋深、高温高压、高 H_2S 、复杂碳酸盐岩凝析气藏钻完井技术,超长水平井分段酸压储层改造技术等方面,系统地总结了塔中隆起奥陶系海相碳酸盐岩油气地质理论发展、关键技术创新及勘探开发成果。

本书是塔中海相碳酸盐岩勘探实践与找油哲学的智慧结晶,可供石油勘探开发相关专业学者、技术人员及高等院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

塔中隆起海相碳酸盐岩特大型凝析气田地质理论与勘探技术 / 王招明等著. —北京: 科学出版社, 2012

ISBN 978-7-03-032074-2

I. 塔… II. ①王… III. 塔里木盆地—凝析气田—油气勘探
IV. P618.130.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 166686 号

责任编辑: 韦 沁 朱海燕 李 静 / 责任校对: 赵桂芬

责任印制: 钱玉芬 / 封面设计: 耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京佳信达欣艺术印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012 年 5 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2012 年 5 月第一次印刷 印张: 23 3/4

字数: 535 000

定价: 159.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

作者名单

王招明	杨海军	王清华	韩剑发	敬兵
王振宇	于红枫	王廷栋	吉云刚	孙崇浩
胥志雄	刘永雷	张丽娟	张海祖	周锦明
彭建新	周翼	张虎权	彭更新	刘会良
李新生	胡太平	董瑞霞	徐彦龙	刘虎
朱绕云				

序 一

塔里木盆地塔中隆起是中国海相碳酸盐岩油气勘探的主战场之一，也是我国西部重要的油气接替区之一，更是塔里木油气勘探的重点领域之一。经过 20 多年勘探实践，塔中隆起油气勘探开发成果丰硕——20 世纪 90 年代初塔中隆起建成我国第一个大漠区石炭系东河砂岩中型油田；“十一五”期间勘探大打科技进攻仗，发现了我国第一个奥陶系礁滩复合体亿吨级油气田，探明了鹰山组层间岩溶 3 亿吨级凝析气田。这些成果的取得令人激动不已、备受鼓舞！

历经艰辛探索，矢志不渝，寻求战略突破

20 年前，石油会战伊始，塔中 1 井获高产油气流，大漠腹地油气勘探首战告捷，成为塔里木盆地勘探史上第五个里程碑，开启了塔克拉玛干腹地油气勘探新纪元。随后发现的塔中 4 油田是塔里木盆地沙漠腹地首次发现并探明的工业性高产油田，在中央隆起上突破了一个新的含油层系，奠定了塔中隆起油气持续勘探的基础。

随后，在经过 15 年碳酸盐岩艰辛探索而勘探屡屡受挫的过程中，不断突破世界级难题。2003 年，通过重新优化勘探技术与措施，优选塔中 I 号坡折带的塔中 62 井进行钻探获高产油气，发现了我国奥陶系最大台缘礁滩型亿吨级油气田，突破了塔中碳酸盐岩不能高产稳产的难关；探明了我国第一个奥陶系礁滩复合体大型油气田，3 亿吨油气规模基本落实，基本建成了 10 亿 m^3 天然气、20 万吨凝析油产能。

2006 年，通过积极构想、纵深发展，探索下奥陶统多成因岩溶斜坡带，塔中 83 井鹰山组获高产油气流，发现了塔中北斜坡鹰山组层间岩溶大型油气田。之后积极创新、整体评价，探明了中古 8 井区千亿立方米、亿吨级大型凝析气田，特别是中古 43 井区当年发现、当年探明，更是塔里木油田千亿立方米大气田勘探第一例；夯实了塔中西部 400 万吨工程主建产区的资源基础；加速了塔中西部 400 万吨产能建设工程的启动。

迎接顶级挑战，坚持攻关，推动科技创新

塔中隆起海相碳酸盐岩勘探开发过程中所遇到的地质难题、开发和工程技术难题大多都是世界级的难题和挑战，也正是这些难题和挑战使得塔中经历了艰辛探索并屡屡受挫。但顽强的塔中人并没有气馁、没有裹足不前，而是立足沙漠腹地坚持攻关、不断创新，在储量、产量稳步上升的同时，针对海相油气地质理论与勘探开发的配套技术也有了长足进步；发展了海相碳酸盐岩特大型凝析气田地质建模与多充注点多期次泵注式大面积复式混源成藏理论体系；创建了大漠区超埋深碳酸盐岩缝洞系统雕刻量化、烃类检测与综合评价

为核心的井位井型优选技术；形成了精细控压、分段酸压等钻完井配套技术；探索出了一套具有塔中特色的勘探优选高产井点、评价培植高产井组、开发建立高产井区、培植大型富油气区带的勘探开发思路。

创造历史佳绩，屡建新功，实现油气发展

塔中勘探开发一体化的思路和做法创造了塔中勘探开发史的一个又一个佳绩，钻井成功率、储量、产量都实现了跨越式的增长：2002年至今，探井94口，钻井成功率50%，开发井27口，钻井成功率93%；近三年来探井33口，钻井成功率64%，开发井18口，钻井成功率100%；碳酸盐岩三级储量超过5亿吨，到2010年底控制加探明储量达到近7亿吨；2010年，塔中西部油气当量400万吨工程全面启动，计划用3年时间建成天然气35亿 m^3 ，凝析油120万吨，油气当量400万吨的产能目标。

塔中隆起20多年的勘探实践是科技创新史，塔中油气勘探始终坚持“只有荒凉的沙漠，没有荒凉的人生”的信念，坚持科技创新、积极转变发展方式、大力推进一体化管理，油气勘探异军突起，成为我国海相碳酸盐岩油气勘探的典范！希望塔中人继续坚持科学发展，勇于超越自我、胜不骄败不馁、延续沙漠变绿洲的传奇，确保塔中油气产量增长与持续发展，实现油气勘探开发的跨越式发展。为边疆经济的发展，西气东输二线资源的落实和国家能源战略安全作贡献，为海相碳酸盐岩油气勘探理论技术的发展作努力。

《塔中隆起海相碳酸盐岩特大型凝析气田地质理论与勘探技术》一书是塔中隆起海相碳酸盐岩勘探开发实践的系统总结，科技创新突出、海相碳酸盐岩非常规油气藏认识超前、勘探开发技术新颖，是科技与实践的重要指南！

中国工程院院士



2010年12月27日于北京

序 二

塔里木盆地是我国三个油气资源超百亿吨的含油气盆地之一，通过近半个世纪以来的艰辛探索，取得了许多令世人瞩目的勘探成果，塔中隆起奥陶系碳酸盐岩的勘探就是其中的亮点之一。塔中隆起位于塔里木盆地中央、塔克拉玛干沙漠腹地，地表条件艰苦，地质结构复杂，碳酸盐岩油气勘探面临诸多世界级挑战：一是多成因岩溶缝洞体地质模型建立难，影响有利储层预测评价；二是碳酸盐岩缝洞系统复杂雕刻量化评价难，影响高效井区培植；三是缝洞型油气藏流体分布及成藏规律掌控难，影响上产增储，这些难题是塔中经历 15 年的艰辛探索而屡屡受挫的关键问题，也正是由于中国海相深层碳酸盐岩油气成藏条件的特殊性和复杂性，严重制约了海相碳酸盐岩的油气勘探。针对上述技术难点，通过针对性的科研攻关、多学科的团结协作，重新认识与评价塔中的勘探潜力、重新优选主攻方向、重新优化勘探技术与措施，创新关键技术理论指导高效井位部署，遵循勘探优选高产井点、评价培植高产井组、开发建立高产井区、培植塔中大型富油气区带的总体思路，发现了塔中奥陶系碳酸盐岩礁滩复合体、层间岩溶 10 亿吨级大型油气田，发展了海相碳酸盐岩油气理论与勘探开发关键技术。

发展了多充注点多期次泵注式大面积复式混源成藏理论：剖析了塔中隆起特大型碳酸盐岩台地形成演化格局，明确了礁滩复合体、层间岩溶储集体及下古生界白云岩储集体三大油气富集领域；创建了海相碳酸盐岩多成因多期次岩溶叠合复合储集体地质模型；发展了多充注点多期次大面积复式混源成藏理论，有效地指导了塔中隆起奥陶系大型凝析气田的发现与开发。

创建了超深高压复杂碳酸盐岩勘探开发配套技术系列：创新了大漠三维地震采集处理技术、缝洞系统雕刻量化评价技术、烃类检测与综合评价技术、高效井位井型优选部署及缝洞体储量计算技术；创新了钻完井工艺配套技术，特别是超深超长水平井钻完井及分段酸压改造配套技术；推进了塔中隆起碳酸盐岩油气规模效益开发进程，2005 年塔中全面实施三维地震以来，塔中隆起奥陶系碳酸盐岩钻井成功率由 35% 左右提高到 80% 以上，水平井从无到有，突破了碳酸盐岩高产稳产难关，建成了东部 100 万吨油气当量产能，启动了西部 400 万吨油气当量产能工程。

发现了塔中北斜坡奥陶系海相碳酸盐岩特大凝析气田：理论和技术创新所取得的效益是巨大的，塔中隆起目前已探明中国第一个奥陶系礁滩复合体大型油气田，探明油气储量近 1.5 亿吨，3 亿吨油气规模基本落实，东部 100 万吨产能已建成投产；发现了塔中北斜坡鹰山组层间岩溶大型凝析气田，探明油气储量 3.5 亿吨，7 亿吨油气规模逐步明朗，西部 400 万吨工程已全面启动。

塔中隆起的勘探成果对海相碳酸盐岩油气勘探理论技术的发展起到巨大推动作用，为

边疆经济的发展、西气东输二线资源的落实和国家能源战略安全作出了积极贡献。勘探成果分别荣获中国地质学会 2007 年、2009 年度十大地质科技成果奖，奥陶系第一口千吨井——塔中 82 井被 AAPG 评为“2005 年全球 28 项重大油气勘探新发现”。

《塔中隆起海相碳酸盐岩特大型凝析气田地质理论与勘探技术》一书全面概括了塔中隆起的油气勘探成果，高度提升了塔中隆起的油气勘探理论，系统总结了塔中隆起的油气勘探技术，是近几年塔中海相碳酸盐岩勘探开发一体化所取得丰硕成果的总结。

该书内容全面丰富、理论创新明显、关键技术先进，突出的特点就是地质与工程的紧密结合、理论与技术的紧密结合、研究和应用的紧密结合、勘探与开发的紧密结合，全面凝聚了多年奋战在塔中科研生产一线的科研单位及高等院校的辛勤劳动成果，相信该书的出版必将进一步提升塔中海相碳酸盐岩成藏地质理论与勘探开发核心技术，加速碳酸盐岩油气勘探开发步伐，确保塔中油气产量增长与持续发展目标实现。

中国科学院院士



2011 年 2 月 28 日于北京

前 言

塔中古隆起位于中国西部塔里木盆地中部，塔克拉玛干沙漠腹地。在大型古隆起形成演化过程中发育了大型碳酸盐岩台地建造，古隆起及其斜坡是大型油气富集区，礁滩复合体、层间岩溶储集体以及白云岩是油气勘探的重要领域。塔中古隆起海相碳酸盐岩二十多年的油气勘探历程，既是一部塔里木石油人勇敢迎接海相碳酸盐岩油气勘探所面临一系列世界级难题挑战、顽强拼搏战胜自然的实践史，更是一部科技创新史、油气发展史和找油哲学史。

本书重点剖析了近 20 年塔中隆起典型油气田勘探开发历程，全面总结了塔中海相碳酸盐岩特大型凝析气田油气地质理论与勘探开发的关键技术和创新成果。相关研究极大地推动了塔中储量高峰、产能建设与国家示范（2011ZX05049）三大工程，发现并探明了塔中礁滩型与层间岩溶型 10 亿吨级特大型凝析气田，对类似盆地油气勘探开发具有重要指导意义。具体研究内容如下：

（1）征战大漠，锁定塔中古隆起，钻探塔中一号巨型潜山背斜，开辟了塔中隆起油气勘探新纪元，坚定了塔中古隆起寻找特大型油气田的信心。

早期塔里木盆地油气勘探只是围绕盆地周边进行，1958 年在天山山前发现依奇克里克油田，1977 年发现在昆仑山前柯克亚凝析气田，受技术制约，石油人的脚步始终难以踏入沙漠腹地，大规模的油气勘探无法展开。

1983 年 5 月，原中国石油部组织中美联合地震队挺进沙漠，历经两年艰辛，采集了 19 条全长 5782.2km 纵贯盆地南北的区域地震大剖面，明确了塔里木盆地“三隆四拗”的构造格局，并发现了塔中隆起。1986 年，第一轮资源评价查明塔中一号潜山背斜闭合幅度 2180m，面积 8220km²，油气资源达 29.8 亿吨，锁定为台盆区战略突破首选目标。

1989 年 5 月 5 日，塔中 1 井开钻，同年 10 月 18 日对奥陶系白云岩段裸眼中测，22.33mm 油嘴，日产凝析油 356m³、天然气 55.7 万 m³，大漠腹地油气勘探首战告捷，开辟了塔中隆起油气勘探的新纪元，成为塔里木勘探史上第五个里程碑（邱中建，1999），坚定了石油人在大漠腹地建立塔里木盆地油气勘探的第一个根据地的信念。

（2）重新思维，聚焦台缘，主攻塔中Ⅰ号坡折带，发现中国奥陶系最大礁滩型超亿吨级油气田，探明油气储量近 1.5 亿吨，百万吨级油气田建成投产。

然而，自塔中 1 井之后针对潜山高部位碳酸盐岩钻探的塔中 3 井、塔中 5 井等 10 余口井相继失利，潜山区高部位的勘探陷入停滞。1997 年 8 月，油气勘探从“潜山高部位”向“斜坡区”转移，塔中Ⅰ号坡折带上钻探的塔中 26 井、塔中 44 井及塔中 45 井礁滩复合体均获高产油气，发现塔中Ⅰ号坡折带油气聚集带。但由于地震资料品质差，礁滩复合体刻画、油气藏精细描述、高产稳产井培植、油气潜力评估及目标优选面临诸多挑战，礁

滩体勘探只是找到了几个出油气井点,没有储量,没有产量,更没有规模效益。

2002年重新采集三维地震,2003年初提出“塔中奥陶系坡折带”概念,通过对大沙漠超深层地震采集与处理、大沙漠区内幕礁滩型储层预测、超深层碳酸盐岩储层深度改造的技术攻关,重新认识了礁滩复合体,重新评估油气潜力,重新优选勘探技术与目标。塔中621井(塔中碳酸盐岩第一口高产稳产井,累计生产油气 >10 万吨)、塔中82井(塔中碳酸盐岩第一口千吨井,试油日产凝析油485吨,天然气 72.7万 m^3 ,被AAPG评为2005年“全球28项重大油气勘探新发现”)等一批井的成功钻探,加速了塔中I号坡折带油气田的整体评价。

2005年、2006年、2007年、2008年先后连片探明塔中62井区、塔中82井区、塔中26井区以及塔中86井区,新增探明油气储量近1.5亿吨,发现了中国第一个奥陶系大型礁滩复合体凝析气田。目前东部试验区初步建成油气产能100万吨规模。

(3) 科技创新,纵深拓展上产增储新领域,发现塔中北斜坡鹰山组层间岩溶特大型凝析气田,探明油气储量近2亿吨,400万吨产能工程全面启动。

发展了海相碳酸盐岩油气地质理论。发展了多成因、多期次岩溶叠合复合与多充注点、多期次油气成藏为核心的海相碳酸盐岩礁滩体特大型准层状凝析气田理论体系;创建了不整合风化壳与断层相关岩溶等多成因、多期次叠合复合层间岩溶地质模型;构建了多充注点、多输导层等为主体的三维输导格架;提出了大型断裂横向分割缝洞系统、层间岩溶纵向影响缝洞系统,缝洞系统控制油水系统的观点;揭示了油气水三维空间分布规律。

创建了高产井位井型优选核心技术。创建了缝洞系统雕刻量化、烃类检测与综合评价为核心的井位井型优选技术:创造了塔中地区碳酸盐岩缝洞钻遇率100%、烃类吻合率80%以上、碳酸盐岩钻井成功率90%等纪录;首次将缝洞量化成果应用于探明储量的计算,与容积法计算体积吻合较好,得到国家物质储备委员会的高度认可,并建议在以后的储量计算中应用。

创新了钻完井一体化配套工艺技术。针对塔中奥陶系特大型凝析气田高气油比、高 H_2S 与油气水复杂分布等特点以及高温高压、大位移水平井“窄压力窗口”易喷易漏非均质碳酸盐岩的钻完井难点,大力组织生产-科研一体化攻关,经过大量室内研究、现场反复试验并创了适合塔中凝析气田特征的新型井身结构、精细控压与水平井分段改造等技术体系,加速了塔中油气规模效益开发。

发现了海相碳酸盐岩大型凝析气田。2008年首次探明塔中83井区鹰山组超亿吨级凝析气田,天然气近350亿 m^3 ,石油近850万吨;2009年整装探明中古8井区鹰山组超亿吨级凝析气田,天然气近1500亿 m^3 ,石油近5000万吨;2010年当年发现、当年探明中古43井区超千亿立方米大型凝析气田,天然气近1200亿 m^3 ,石油近6500万吨,油气当量3.45亿吨。

塔中奥陶系海相碳酸盐岩近年新增探明油气储量近5亿吨,为国内最大的碳酸盐岩凝析气田,并宏观控制塔中北斜坡7亿吨级油气规模,推动了塔中西部400万吨油气产能建设工程的全面启动,成为中国碳酸盐岩油气勘探史上最成功最优秀的科技发展战例。

塔中海相碳酸盐岩油气勘探实践表明:地质理论与关键技术创新是发现特大型凝析气

田的关键,勘探开发一体化管理体制创新是规模效益开发大油田的保障。塔中海相碳酸盐岩特大型凝析气田科技创新成果曾两次获中国地质学会十大找矿优秀成果奖,多次获省部级奖,多篇论文被SCI、EI收录。本书共分八章,由王招明总体设计、组织编写。第一章全面总结了塔中隆起特大型凝析气田的发现历程,由王招明、王清华、韩剑发、王振宇等编写;第二章详细介绍了塔中隆起构造演化、断裂发育特征、层序地层格架及沉积特征,由王招明、杨海军、敬兵、孙崇浩、李新生等编写;第三章介绍了塔中地区海相碳酸盐岩礁滩复合体、层间岩溶及白云岩等储集体发育特征、主控因素与地质建模,由韩剑发、于红枫、孙崇浩、王振宇、张丽娟等编写;第四章介绍了塔中奥陶系大面积复式成藏机理、准层状油气藏模式及与特大型富油气区油气分布规律,由王招明、韩剑发、张海祖、王廷栋、吉云刚等编写;第五章介绍了大沙漠区超深层高精度三维地震采集技术以及多种地震资料处理技术,由王清华、周翼、敬兵、彭更新、周锦明等编写;第六章介绍了碳酸盐岩缝洞体预测、缝洞系统量化评价与烃类预测技术,特别是高产稳产井位、井型优选设计技术,由王招明、杨海军、敬兵、刘永雷、张虎权、董瑞霞等编写;第七章总结了超深碳酸盐岩钻完井及高温储层缝洞型碳酸盐岩完井及储层改造工艺技术,由胥志雄、刘会良、彭建新、朱绕云等编写;第八章总结了塔中一体化勘探开发成果与油气勘探潜力,由王清华、杨海军、吉云刚、徐彦龙、刘虎编写。

承蒙中国工程院邱中建院士、中国科学院贾承造院士关心并为本书作序,让我们备受鼓舞。在组织科技攻关和本书的编写过程中,得到了塔里木油田公司总经理周新源教授等领导的亲切关怀与悉心指导;得到了西南石油大学陈景山等老专家,中国石油大学(北京)吕修祥教授、孙赞东教授,中石油勘探开发研究院实验中心主任张水昌教授、朱光有教授,塔里木分院邬光辉博士,东方地球物理公司刘运宏院长等的指导与帮助;得到了塔里木油田公司技术发展处肖又军处长、彭晓玉主任、张媛工程师的大力支持。科学出版社相关人员对书稿进行了详细的审查和修改,在此谨向他们表示衷心的感谢。也感谢在攻关中参与工作的其他同志们所付出的辛勤劳动。

限于作者水平,书中难免存在不妥之处,敬请读者多提宝贵意见!

作者
2011年5月7日

目 录

序一

序二

前言

第一章 塔中隆起奥陶系特大型凝析气田的发现	1
第一节 盆地腹部沙漠覆盖区勘探的战略突破	1
一、征战大漠，锁定塔中Ⅰ号巨型背斜构造	1
二、首战告捷，盆地腹部实现油气战略突破	2
第二节 塔中奥陶系碳酸盐岩勘探的艰难探索	3
一、潜山钻探失利，古隆起勘探举步维艰	3
二、转变勘探思路，发现塔中Ⅰ号坡折带	4
三、区域甩开评价，礁滩体勘探屡屡受挫	5
第三节 中国第一个奥陶系礁滩型凝析气田的发现	6
一、重新评价、坚定了礁滩复合体油气勘探信心	6
二、深化认识、明确了塔中Ⅰ号坡折带勘探方向	7
三、探明了塔中Ⅰ号坡折带 3 亿吨级礁滩型凝析气田	10
第四节 塔中鹰山组层间岩溶特大型凝析气田的发现	13
一、深化研究，重新厘定与评价鹰山组顶岩溶不整合	13
二、立体勘探，塔中东部鹰山组油气勘探获重大发现	14
三、整体评价，大面积探明层间岩溶型特大凝析气田	16
四、科技创新，明确了塔中奥陶系 10 亿吨级油气规模	16
参考文献	18
第二章 塔中隆起区域地质背景	19
第一节 层序地层特征与沉积格局	19
一、奥陶系地层组构	19
二、奥陶系层序格架	23
三、奥陶系区域沉积演化格局	25
第二节 奥陶系碳酸盐岩不整合刻画	26
一、海相碳酸盐岩不整合研究思路与方法	26
二、塔中奥陶系海相碳酸盐岩不整合特征	30
第三节 断裂体系与构造演化特征	34
一、塔中隆起断裂发育特征	34

二、塔中隆起断裂发育期次及其成因	37
三、塔中隆起构造演化	39
第四节 奥陶系沉积相特征及沉积相带展布	43
一、沉积岩相的综合研究方法	43
二、碳酸盐岩岩石学类型特征	48
三、沉积相类型及典型相标志	54
四、沉积相空间叠置迁移特征	65
五、沉积相建模及其三维展布	70
参考文献	75
第三章 储层发育特征与主控因素分析	78
第一节 碳酸盐岩储层相关研究进展	78
一、储层参数量化、综合化发展	78
二、断裂和裂缝的重要性日渐凸显	79
三、古岩溶科研技术方法不断创新	81
第二节 奥陶系碳酸盐岩储层特征描述	83
一、储层物性特征	83
二、储集空间描述	85
三、孔隙结构特征描述	95
四、储集类型划分	99
第三节 礁滩型储层主控因素分析	104
一、中高能沉积相带环境	105
二、高频米级海平面变化	106
三、多成因岩溶作用改造	110
四、多期次油气成藏过程	114
第四节 风化壳层间岩溶型储层主控因素分析	115
一、风化壳层间岩溶特征及三维空间展布	115
二、高能粒屑滩是层间岩溶发育的物质基础	123
三、断层和裂缝是层间岩溶纵横发展的关键	124
四、埋藏作用是改善深层储集物性的重要因素	125
五、白云岩化是改善深层储集物性的主要因素	125
六、多成因层间叠合复合岩溶发育模式建立	130
第五节 储层评价及预测	132
一、单井储层划分与评价	132
二、多井间储层评价对比	136
三、礁滩复合体储层综合预测	139
四、层间岩溶型储层综合预测	139
参考文献	141

第四章 大面积复式成藏机理与油气分布规律	145
第一节 准层状油气藏特征	145
一、油气大面积分布, 优质储层控制油气富集程度	145
二、油气具有“东西分段、南北分带”的分布特征	148
三、油气藏无统一的边底水, 局部发育定容水	154
四、缝洞系统是碳酸盐岩储渗主体, 油气产出呈动态变化	157
五、塔中北斜坡海相碳酸盐岩准层状凝析气藏特征	161
第二节 油气地球化学特征及来源	163
一、原油地球化学特征及来源	163
二、天然气地球化学特征及来源	172
第三节 油气成藏过程与成藏模式	175
一、油气充注时间与期次	175
二、油气成藏模式	178
三、混源成藏机制	182
第四节 油气成藏控制因素	189
一、继承性古隆起是形成特大型凝析气田的地质基础	189
二、优质烃源是碳酸盐岩大面积混源成藏的物质保障	190
三、断裂、不整合面, 缝洞系统是成藏最佳输导格架	191
四、岩溶缝洞系统是准层状凝析气田油气富集的关键	196
参考文献	196
第五章 大沙漠区高精度三维地震采集处理技术	199
第一节 大沙漠区高精度三维地震采集关键技术	199
一、基于子波一致性的地震激发技术	200
二、精细三维观测系统优化设计技术	204
三、复杂地表条件三维变观设计技术	214
四、大漠区表层结构调查及静校正技术	215
第二节 大漠区高精度三维地震处理技术	219
一、叠前高保真三维地震处理技术	219
二、偏前、偏后提高信噪比处理技术	230
三、井控、各向异性叠前时间偏移处理技术	240
四、叠前深度偏移三维地震处理技术	245
参考文献	248
第六章 碳酸盐岩缝洞体预测与烃类检测技术	250
第一节 碳酸盐岩缝洞体预测技术	250
一、碳酸盐岩储层预测技术发展现状	250
二、碳酸盐岩储层定性预测技术	251
三、碳酸盐岩缝洞体量化描述技术	266

第二节 碳酸盐岩油气藏烃类预测技术	275
一、地震资料烃类检测技术理论基础	275
二、烃类检测技术创新及其应用效果	284
参考文献	297
第七章 超深碳酸盐岩钻完井及储层改造工艺技术	299
第一节 超深碳酸盐岩钻井工艺技术	299
一、缝洞型碳酸盐岩水平井钻井技术	299
二、缝洞型碳酸盐岩的精细控压技术	306
第二节 高温储层缝洞型碳酸盐岩完井及储层改造工艺技术	315
一、高温碳酸盐岩储层完井技术	315
二、缝洞型碳酸盐岩储层深度改造技术及现场应用	321
参考文献	344
第八章 塔中一体化勘探开发成果与油气勘探潜力	345
第一节 勘探开发一体化的做法	345
一、上产增储一体化	345
二、研究部署一体化	345
三、工程地质一体化	346
四、生产组织一体化	348
五、地面地下一体化	348
第二节 塔中海相碳酸盐勘探开发一体化成效	348
一、我国第一个大型礁滩复合体凝析气藏的探明与开发	349
二、塔中北斜坡层间岩溶型特大凝析气田的探明与开发	351
第三节 油气勘探潜力	353
一、塔中北斜坡良里塔格组勘探潜力	354
二、塔中北斜坡鹰山组油气勘探潜力	354
三、塔中深层蓬莱坝组重要战略接替	355
第四节 勘探对策及方向	357
一、转变发展方式，推进塔中勘探开发一体化	358
二、整体评价，规模探明鹰山组富油气区带	359
三、滚动勘探，加速良里塔格组天然气建产	360
四、风险钻探，拓展白云岩油气勘探新领域	360
参考文献	361

第一章 塔中隆起奥陶系特大型凝析气田的发现

塔中隆起位于塔里木盆地中央隆起中段，面积约 2.2 万 km²，为前石炭纪巨型古隆起（图 1.1）。塔中地区的勘探工作始于 1983 年，1989 年塔中（D）1 井的钻探标志着塔中勘探的全面启动，目前二维测网密度已达 1km×1km~2km×2km，三维地震逾 5000km²。塔中隆起碳酸盐岩勘探经历了一波三折的过程：1989 年首战在 D1 井取得战略突破，随后中部断垒带高部位潜山区的评价相继失利；1996~1997 年在塔中 I 号断裂带奥陶系内幕灰岩取得突破，但其后的勘探再度受挫，跌落低谷；在不同领域、不同类型的碳酸盐岩探索相继失利的绝境下，2003 年以来在新采集三维地震资料的基础上，不断突破碳酸盐岩勘探难关，重新认识与评价塔中的勘探潜力、重新优选主攻方向、重新优化勘探技术与措施，探明了中国第一个奥陶系礁滩复合体大型油气田，发现了塔中北斜坡鹰山组层间岩溶大型凝析气田（周新源等，2006，2009a）。

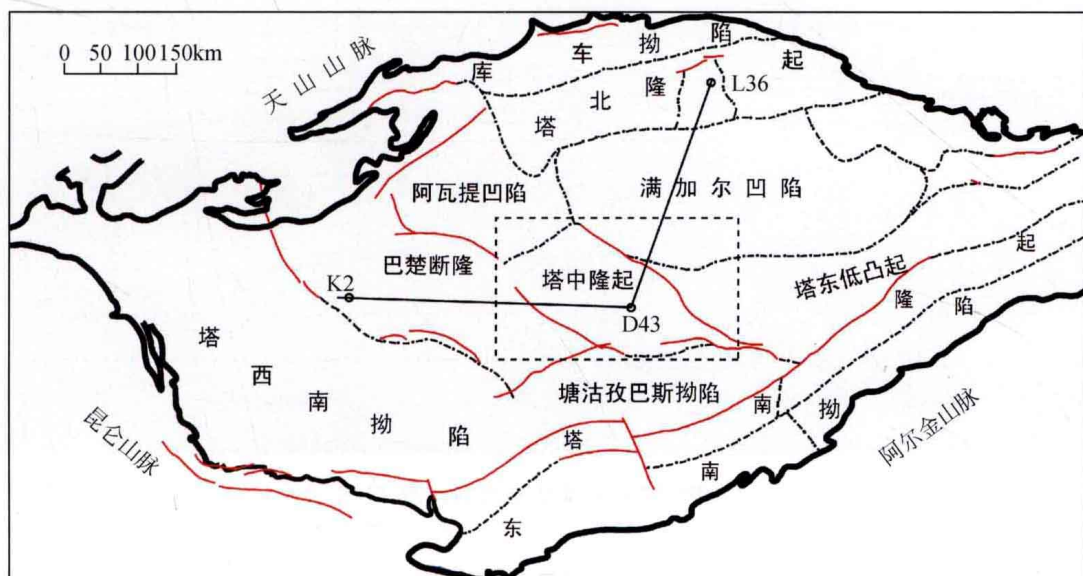


图 1.1 塔中隆起构造位置图

第一节 盆地腹部沙漠覆盖区勘探的战略突破

一、征战大漠，锁定塔中 I 号巨型背斜构造

塔里木盆地面积 56 万 km²，四周以天山、昆仑山、阿尔金山等高山为限，中部为塔

克拉玛干大沙漠，东西绵延 1000km，南北宽 400km，面积 33 万 km²，是我国最大的沙漠，也是世界第一大流动性沙漠。茫茫大漠气候恶劣，酷暑严冬、风大少雨，沙漠腹地亘古横荒、无人企及，号称“死亡之海”。

1983 年 5 月，新疆石油管理局南疆指挥部组织由 366 台车辆和设备所组成的两个美国 GSI 公司地震队和一个中国地震队，揭开了石油人征战“死亡之海”的宏大序幕。沙漠地震队历尽千难万险，在两年内共完成 19 条纵贯盆地南北的区域地震大剖面，剖面全长 5782.2km。根据这些区域地震和物探资料，明确了塔里木盆地“三隆四拗”的构造格局，发现“塔中古隆起”（图 1.2）。通过进一步地震普查工作，发现了塔中 I 号巨型潜山背斜，其在 Tg5' 构造图上，以 -4500m 等高线为闭合圈，闭合幅度 2180m，闭合面积 8220km²，表现为一个巨型复式背斜带的特点（图 1.3）。1986 年第一轮资源评价，在 41 个圈闭中塔中 I 号构造名列首位，资源量达 29.8 亿吨。探索“拗中隆”、钻探“潜山大背斜”、发现“大场面”的勘探思路开始形成，塔中 I 号构造成为台盆区战略突破的首选目标。

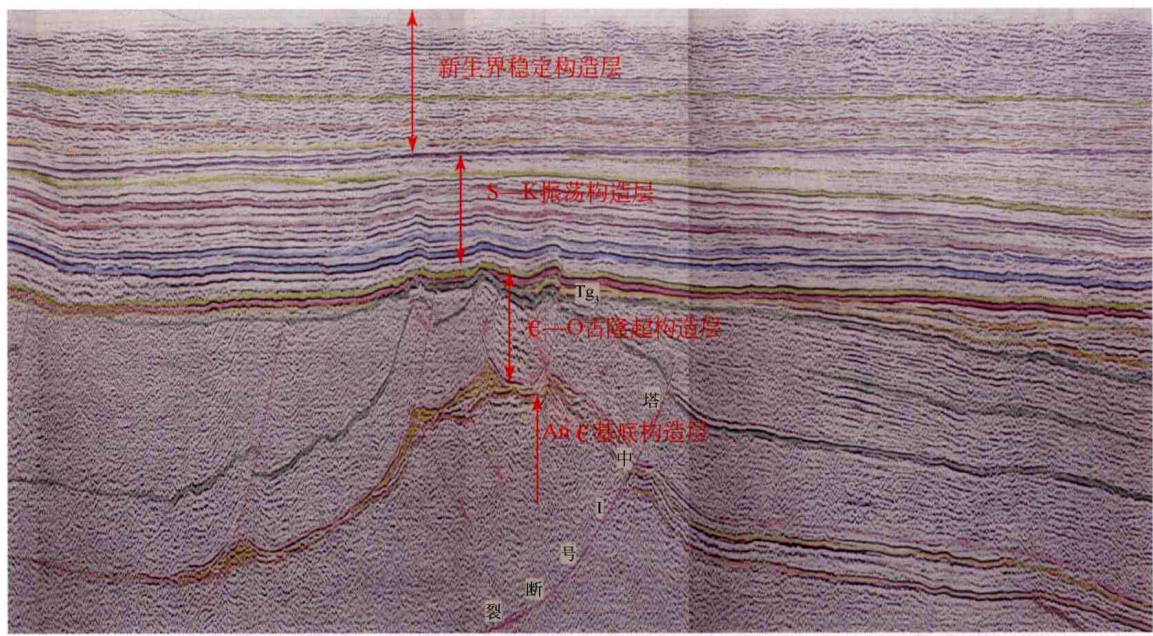


图 1.2 塔中古隆起地质结构剖面图 TLM-Z60

二、首战告捷，盆地腹部实现油气战略突破

1989 年 4 月塔里木石油会战指挥部成立，在“建立两个根据地，打出两个拳头，开辟一个生产试验区”思想指导下，指挥部即刻决定上钻 D1 井。1989 年 5 月 5 日，塔中 1 井开钻。9 月 23 日，钻至石炭系底部井深 3572m 时，开始见气测显示；3586.5m 进入下奥陶统风化壳白云岩，溶洞裂缝发育，连续取芯 3 次，共取出含油岩芯 15.42m，原油外渗。10 月 18 日对奥陶系 3565.98~3649.77m 井段裸眼中测，22.33mm 油嘴日产凝析油 356m³、天然气 55.7 万 m³，从而发现了塔中 1 号潜山奥陶系高产凝析气藏。