

塔里木盆地雅克拉地区 油气地球物理地球化学 异常系统研究

徐忠祥 侯卫国 苏江玉 等著



中国地质大学出版社

前 言

在地质构造复杂、油气资源丰富的塔里木盆地,经历了40多年的油气勘查和攻关研究,取得了十分丰富的地质资料和油气成果。50、70年代发现了依奇克里克和柯克亚油田。1984年9月22日,地质矿产部在塔里木盆地北部(简称塔北)雅克拉构造上施钻的沙参2井,在井深5391.18m的海相奥陶系碳酸盐岩中喷出优质高产油气流,首次在国内实现了海相古生界的油气突破,将中国的油气勘查从单一的陆相转向海、陆相并举的新时期。这是我国油气勘探与开发史上新的里程碑和转折点,推动了我国油气勘查向新地区、新领域、新类型、新深度进军。

“七五”期间,国家将塔北地区的油气勘探列为重点攻关课题。经过攻关研究,在塔北地区控油地质条件和盆地远景研究等方面取得了丰富的科研成果。地质矿产部、石油天然气总公司相继在塔里木盆地的塔北及塔中地区发现了十多个油气田(藏),在第三系至震旦系的九个层系中获得了工业油气流。这些成果预示着塔里木盆地将成为我国重要的油气接替区,同时也进一步展示了塔北具有寻找大油气田的广阔前景。

随着勘探程度的加深,塔北的油气勘探进入了新的阶段,即对油气聚集带进行含油气性评价和寻找新含油气圈闭的阶段。新问题伴随着新的勘探阶段不断地出现在我们的面前,例如:怎样用较短的时间、较少的资金投入评价已发现圈闭的含油气性,提高钻探命中率;怎样较快地发现新的含油气圈闭,拓大油气探明储量;怎样及时随钻预测地层的含油气情况,以指导钻探工作等。

为了依靠科技进步,解决上述勘探难题,促进油气勘探步入投入少、效果好、见油快的优化状态,以满足国民经济发展对油气资源与日俱增的需求,把塔里木盆地建成我国石油工业的后备基地,国家在“八五”期间设置了题为“塔里木盆地油气资源研究”(编号85—101)的国家科技攻关项目。其中,“塔里木盆地北部应用物化探评价圈闭的技术方法研究”(编号85—101—06—02)系该攻关项目之一级专题。它首次在托库试验区部署了13种非地震物探、化探综合方法,以解决单一的物探、化探方法所不易解决的圈闭评价问题,研究综合地质—地球物理—地球化学勘探模式,探索适用于研究区的圈闭评价技术方法,对试验区及预测区进行圈闭含油气性评价,拓宽非地震物、化探方法的应用领域。

本专著是“塔里木盆地北部应用物化探评价圈闭的技术方法研究”的总结,在原一级专题及其所属二级专题研究报告的基础上,吸收了我们近年来承担的国家自然科学基金项目“隐蔽圈闭物化探油气场灰色系统反演”(编号49874027)和西北石油地质局局控科研项目“新疆塔北地区化探—遥感技术在油气勘查中的应用”(编号85—934—08)等的部分研究成果及我们以往在塔北地区研究工作所获得的某些成果,经综合提炼撰写而成。

本书以徐忠祥提出的油气异常不确定性系统研究和侯卫国提出的油气勘探系统工程为思路,进行总体设计、统一规划、分工负责、协调配合完成。其理论体系的核心是,油气圈闭是在漫长的时间、广阔的空间、复杂的介质中,由一定的成油气作用形成,赋存于地质环境发生局部性变异的地区。这种异常变化可以分为地质、地球物理、地球化学三大类。它们既有各自的特殊性,又有相互的关联性。人们采用地质、地球物理、地球化学勘查方法获得的找油气信息,可以将其视为成油气作用在三个侧面的表现形式。显然,用现代系统思想来分析,长期、复杂、多源

的成油气作用是一个动态过程;综合方法寻找油气是油气勘查系统工程;油气圈闭的形成和分布是多种控油气地质因素综合作用、相互关联、发展变化的复杂系统。因此,从圈闭评价与油气预测的意义上说,就是对这个系统进行整体上的考察,揭示油气圈闭的展布,以圈定油气赋存的最有利部位。因此,本项研究以油气信息系统研究为基础,以样本(包括大样本和小样本、典型分布与非典型分布)不确定性研究为内涵,以油气圈闭为研究客体,以塔里木盆地雅克拉地区(重点为雅克拉、托库测区)为研究区,以油气赋存区的地质、地球物理、地球化学变异特征为依据,以油气场认知模式研究为途径,以灰色系统、概率统计、模糊数学、神经网络耦合研究为方法,研制出了油气异常多参数综合定量评价方法系列、油气圈闭靶区灰色系统预测学科体系、圈闭含油气性神经网络评价方法、物化探多参数圈闭评价系统以及油气圈闭地质、地球物理、地球化学异常模式,探索油气动态预测学新领域,用于中大比例尺构造圈闭与非构造圈闭含油气性的定量评价。

本项研究旨在把不确定性系统分析理论与油气勘查多参数、多学科实践有机结合,研究油气动态定量评价与预测的新概念、新参数、新方法、新技术组成的方法体系,探索具有我国特色的油气动态预测学新领域,将有助于从成油气规律和油气预测的学科研究上与国际前沿接轨。建国以来,我国积累了大量的油气勘查资料,为此区工作奠定了基础。由于各学科领域专业性强、各种信息使用各自的专业术语,而且由于噪声的存在和不同观测系统的影响,以及各自分析的角度不同,这些多方面的信息很多是不确定的、不准确的、不完整的,所以这些资料的综合研究程度一般都较低。本书论述的方法体系将有助于深层次地综合开发油气勘探资料中蕴藏着的丰富油气信息,扩大我国的油气资源储量,服务于国民经济主战场。

该项研究取得的主要成果为:

一、研制了油气物化探异常多参数映射变换定量评价方法系列

基于油气圈闭系统观,油气勘查的基本方法是通过抽样观察来推断总体,在托库地区部署了高精度重力、高精度地面磁测、土壤微磁、氧化还原电位、放射性和土壤酸解烃、 ΔC 、荧光光谱、氮、土壤热释汞等综合物化探方法。进而在研究油气信息具有的灰色性、随机性、模糊性、多解性、变异性等特征的基础上,运用不确定性系统研究的数学方法和智能技术,研制了适合本区的重震联合解释法、重磁交互反演法、归一化总梯度法、宽度幅值特征滤波、正规化带通滤波等界面反演、信号增强、油气弱信息提取方法,以及油气物化探异常综合判别分类法、加权关联叠置法、统计模式识别法、相似一致性聚类法、模糊综合判别法、灰色系统预测法、神经网络评价法等组成的多参数映射变换定量评价方法系列。

在托库地区圈闭赋存深度大、面积小、幅度低的地质条件下,运用这些技术方法进行信息处理,获得了自南向北由凹—隆—凹—隆的“二低二高”的分区特征。“二高”与托库1、2构造、大涝坝构造基本吻合。利用物化探多参数分别圈定了四五个异常靶区,其中在雅2、托库1和2大涝坝构造上方异常显示良好,反映了这些构造的含油气前景。

二、开展了物化探新技术、新方法预测油气的有效性研究

轻烃指纹和特征光谱技术方法是气体地球化学方法,其信息量大,抗干扰强,首次用于塔北地区面积勘查。通过试验研究,确定了采样深度、样品采集条件和富集剂,Pak固体富集剂是特征光谱法富集烃类的最佳富集剂;在雅克拉油气田上方获得了与油气田相吻合的环状晕异常特征,在托库研究区的雅2构造(沙4井)、托库1、2号构造上方均获得了良好的异常晕,验

证了在油气勘查中的有效性。此外,建立的油气属性轻烃判别三角模式和欧氏距离二维模式以及特征光谱比值法等,可用于“油/油”对比和对地表异常的油气属性预测,从而拓展了其应用领域。

频谱激电法在塔北为首次应用,在地表电阻率极低的条件下,研制了激电响应、电阻率响应和电磁耦合响应的分离方法,钻井套管干扰的消除方法。在此基础上,研究并确定了以剩余电磁资料为主,视电阻率为次,结合激电相位的频谱激电综合解释方法。这与以前常规激电法把电磁耦合响应视为干扰而加以去除是不同的。研究表明,视电阻率和激电相位探测深度为400~600 m,剩余电磁耦合响应探测深度为1 000~1 500 m,组成了探测电化学“烟囱”的立体模式,用于评价圈闭含油气性。托库地区两条剖面试验结果,在雅2(沙4井)构造、托库1.2构造上方均获得了顶端异常。

三、提出了储层含油气性的井中化探现场评价模式

1. 建立了钻井现场随钻采样,快速分析测试技术方法。该方法在钻井现场设立分析测试站,在严格的试验并确保分析质量的前提下,对色谱分析条件、进样技术和样品预处理(如物上气平衡方式)改进后,由过去的室内分析滞后交成果至“八五”初的24小时现场出成果,提高到两小时内提出储层含油气性解释成果,及时地为钻井工程提供油气信息和施工参数选择的依据。

2. 研究和建立了钻井岩屑样品以物上气(亦称罐顶气)、酸解烃和荧光光谱法为主的油气层及其上覆盖层的判别指标系列和不同油气显示层的异常模式,包括气相色谱图谱特征模式和多参数综合异常模式,为判别油气层和预测钻头下方储层含油气性打下了基础,也为钻探工程实施提供了依据。

3. 研究和建立了油气层评价技术方法,包括物上气轻烃比值法(湿度比、平衡比、特征比)和三角图解法。两类方法相结合,可以评价油气显示层是否具有工业价值。

上述井中化探方法技术具有快速、及时、准确、有效的特点,便于在现场推广应用,并迅速转化为生产力。在沙37井实施过程中,解释和评价了不同类型的油气显示层18层,累计厚131 m,其中评价两个含油气层并建议测试(经测试获得了高产油气流)。在沙25井实施结果,解释出不同类型油气显示层11层,累计厚度36.5 m,显示层厚度小,没有发现可供开采的油气层。根据井中化探现场资料预测下伏地层不含有好的含油气层,提出了终孔的建议,被生产决策部门采纳,按设计井深终孔。

四、评价了雅克拉、托库测区油气物化探异常及圈闭的含油气性

在研究塔北地区油气综合物化探指标变异特征的基础上,探索了油气异常的“聚集性”,干扰异常的“离散性”,建立了综合物化探多重油气异常信息系统特征集,首次提出了油气化探异常灰色自适应模式识别法,丰富了油气化探定量解释理论。该方法以雅克拉测区为试验区,进行了检验,以顶部异常形式圈定了6个异常。其中①、②、③、④号异常分别与沙5井、沙2井、沙7井、沙4井等已知工业油气井对应,⑤、⑥号异常预测为油气远景区。表明该方法具有定量评价、定位圈定油气化探异常的功能。

在托库研究区,应用研制的方法,利用采集的18种信息(其中物探信息10种,化探信息8种),圈定了3个油气综合关联度异常。其中,①号异常与沙4井对应,为油气圈闭异常;②号异常与托库1构造对应;③号异常与大涝坝1构造对应。它们预测为油气圈闭靶区,其中③号异

常上部署了沙45井,已打出工业油气流。该项研究成果显示:研制的方法系列可用于发掘物化探资料的深层次找油信息,在油气圈闭,特别是在复杂圈闭、隐蔽圈闭的油气勘查中,具有重要的应用价值。

五、探索了塔北地区油气地质-地球物理-地球化学异常模式

1. 依据托库研究区采集的岩芯、岩屑、土壤样品,研究了油气圈闭赋存地区物性参数的“三低三高”(即密度低、速度低、电阻率低、磁化率高、极化率高、球粒状磁铁矿含量高)变异特征。应用采集的综合物探信息,分析了该区油气圈闭上方的重力场、磁场、电场、放射性场分别呈顶部异常、环状异常、环状与顶部组合异常的烟囱效应变异特征。特别是在托库及其邻近地区首次发现了低温次生球粒状磁铁矿,表明在深达5000多米赋存的油气圈闭上部,仍然存在烃晕激发的蚀变矿化作用。

2. 油气藏的地球化学特征显示:从纯油相到油水过渡区到纯水相,有机化合物的浓度逐渐降低,而无机组分则在油相区含量很低,于油水过渡区及其稍外侧形成最大浓度分布区,到纯水相以外,无机组分的浓度也比较低。塔北地区土壤酸解烃、土壤中游离气相色谱分析获得的 $C_1 \sim C_7$ 轻烃成分、结构与油气藏中和天然气藏中的天然气 $C_1 \sim C_7$ 一致;沙参2井原油油上气与地表6号异常点吸附丝法轻烃色-质谱分析结果对比,两者具有相同的分布趋势,反映了地表烃类源于油气藏中烃类的迁移。而约8000 km²的化探测量结果,其异常90%以上为环状、半环状或多眼的环状异常,少量呈离散点状,似顶似环状,指示了地表化探异常的形态与展布受控于深部油气地质特征。

3. 综合油气藏及其上方烃类垂向微运移作用,以及地表地球物理、地球化学异常特征,提出了油气圈闭地质、地球物理、地球化学异常模式。它包括三个大区,即油气赋存区、烃类垂向微运移区、近地表氧化区;七个亚区,即油气层亚区、油水过渡亚区、环状边(底)水亚区、盖层(直接盖层)亚区、环形运移亚区、顶部微运移亚区和近地表氧化还原作用亚区。该模式对非地震物化探方法部署、异常解释和油气评价具有指导意义。

六、建立了大型交互式物化探多参数异常分析与圈闭评价系统

在油气物化探信息不确定性系统研究的基础上,以托库测区为依托,以13种非地震物化探采样数据为信息源,运用不确定性系统分析数学方法,研究非地震物化探异常与油气圈闭展布的内在关联性,在工作站上开发和建立了包括数据管理、数据处理、综合评价、图形图像等四个系统,具有综合处理多学科、多方法、多参数的地质场、地球物理场、地球化学场信息功能的大型交互式综合评价系统。

该系统应用于托库、雅克拉测区,圈定的油气圈闭靶区与已知的5个油气井完全相符,并预测了两个油气圈闭靶区。证实了该系统方法原理正确、内容功能丰富、结构流程合理、用户界面清晰、操作灵活方便,具有原理新颖性、运行智能性、应用有效性特征,在塔里木盆地和我国其他盆地的油气勘探中具有广泛的推广应用前景。

按照本书的理论体系,全书共分十二章。其提供各章原研究报告的人员分别是 前言:侯卫国、徐忠祥;第一章:徐忠祥、侯卫国、吴国平、邓树立;第二章:康志宏、侯卫国、林忠民;第三章:徐忠祥、刘天佑、刘庆生、刘崧、朱炳球、关小平;第四章:张百灵、陈守余、苏江玉、邓树立、陈炜;第五章:侯卫国、秦小光、陈守余、徐忠祥、王典红、李四福;第六章:程同锦、邓树立、陈浙春、伍大俊、钱铭云;第七章:侯卫国、申宁华、朱晓军、刘如英、刘奎俊;第八章:徐忠祥、吴国平、陈

守余、彭放、韩世勤；第九章：吴国平、徐忠祥、朱晓军；第十章：刘如英、刘奎俊、陈丽英、刘森严、吴国平；第十一章：苏江玉、侯卫国、徐忠祥、刘庆生、邓树立；第十二章：徐忠祥、侯卫国。最后，由侯卫国、徐忠祥依据该书的理论体系提炼加工、修改补充、统纂定稿。虽然本书经过认真推敲与提炼，但由于圈闭含油气性的非地震综合物化探技术方法研究，不论在理论上还是在实践上都是难度大的课题，加之我们的水平有限，缺点与疏漏在所难免，敬请专家和读者不吝指正。

本项研究是在地质矿产部科学技术司、地质矿产部石油地质海洋地质局、地质矿产部西北石油地质局、85—101项目和课题主管领导以及国家自然科学基金委地球科学部的关怀和指导下进行的。地质矿产部第一物探大队、地质矿产部石油地质局培训化探中心、地质矿产部北京计算中心、中国地质大学(武汉)、长春地质学院、地质矿产部物化探研究所的领导对本项研究给予了热情的关心和支持。在研究过程中，得到了朱大绶、苏静柏、万有林、欧庆贤、康玉柱、张文献、郑显华、陈凯、蒋炳南、邱绳德、龚维琪、赵奎德、黄有元、雷春三、李金跃、张南硕、翟晓先、石彦、徐惠林、王世敏、闫相宾、杨国龙、石玉等领导、专家的指导和帮助。西北石油地质大队资料室和第一物探大队资料室陈玉花、韩冬红、杨晓明等为本专题的研究提供了必要的资料。曾瑞云教授为本书资料的收集和分析研究做了大量的工作。方敏工程师清绘了本书的图件。中国地质大学出版社为本书的出版给予了热情的支持。在这里，我们谨向为本项研究和本书出版奉献智慧和劳动的领导、专家和同行表示诚挚的感谢。

著 者
1999 年 10 月

目 录

第一章 油气圈闭系统观.....	(1)
第一节 国内外研究现状.....	(1)
第二节 油气圈闭系统.....	(4)
第三节 油气圈闭信息系统.....	(8)
第四节 油气圈闭勘查系统	(11)
第二章 石油地质特征	(15)
第一节 地层特征	(15)
第二节 构造特征	(17)
第三节 油气分布特征	(21)
第四节 油气系统特征	(23)
第三章 油气地球物理场特征	(25)
第一节 高精度重磁异常	(25)
第二节 土壤磁化率异常	(43)
第三节 频谱激电异常	(48)
第四节 氧化还原电位异常	(55)
第五节 放射性异常	(56)
第六节 油气综合物探异常	(60)
第四章 油气地球化学场特征	(63)
第一节 油气化探指标及其组合特征	(63)
第二节 油气地球化学场特征	(67)
第三节 油气化探异常特征	(72)
第四节 轻烃指纹和特征光谱法采样技术	(75)
第五节 轻烃指纹和特征光谱参数异常特征	(78)
第六节 轻烃指纹和特征光谱参数的油气响应	(80)
第五章 遥感油气晕特征	(84)
第一节 地物波谱特征	(84)
第二节 主要卫星影像资料	(89)
第三节 卫星影像数字镶嵌技术	(89)
第四节 遥感油气晕识别方法	(95)
第五节 雅克拉地区油气晕评价.....	(102)
第六章 油气井中化探异常特征.....	(107)
第一节 样品采集分析测试技术.....	(107)
第二节 数据处理与解释方法.....	(109)
第三节 油气层井中化探异常模式.....	(116)
第四节 井中油气层预测与评价的技术方法.....	(120)

第七章 油气异常多参数定量评价法	(127)
第一节 综合判别分析法.....	(127)
第二节 统计模式识别法.....	(132)
第三节 多重关联叠置法.....	(140)
第四节 模糊综合判别法.....	(144)
第五节 相似一致性综合评价法.....	(146)
第六节 油气异常多参数评价特点.....	(149)
第八章 油气圈闭靶区灰色系统圈定法	(151)
第一节 油气异常信息的灰色性.....	(151)
第二节 油气异常灰色系统分析原理.....	(152)
第三节 油气异常灰色关联滤波提取法.....	(154)
第四节 油气物探异常灰色关联圈定法.....	(156)
第五节 油气物探异常靶区灰色定位预测法.....	(159)
第六节 油气化探异常灰色模式识别法.....	(161)
第七节 油气圈闭靶区灰色系统优选法.....	(165)
第九章 圈闭含油气性神经网络评价法	(168)
第一节 圈闭含油气性 BP 网络分类法.....	(168)
第二节 圈闭含油气性 ART 网络聚类评价法.....	(172)
第三节 油气赋存有利部位灰色 BP 网络评价法.....	(176)
第十章 物化探多参数圈闭评价系统	(180)
第一节 系统建立的目标与构思.....	(180)
第二节 系统开发的硬、软件环境.....	(181)
第三节 子系统的开发.....	(181)
第十一章 油气圈闭地质-地球物理-地球化学异常模式	(189)
第一节 烃类垂向微运移研究概述.....	(189)
第二节 烃类垂向微运移的组分特征.....	(189)
第三节 烃类垂向微运移的蚀变特征.....	(194)
第四节 油气圈闭地质-地球物理-地球化学异常模式.....	(201)
第十二章 油气异常系统分析格架	(206)
第一节 油气异常系统分析基本格架.....	(206)
第二节 油气圈闭勘查系统效益分析.....	(208)
主要参考文献	(210)
英文摘要	(216)

CONTENTS

1. Systematic Perspective of Reservoir Trap	(1)
1.1 State of the art of research inside and outside China	(1)
1.2 Reservoir trap system	(4)
1.3 Reservoir trap information system	(8)
1.4 Reservoir trap exploration system	(11)
2. Features of Petroleum Geology	(15)
2.1 Stratigraphic features	(15)
2.2 Tectonic features	(17)
2.3 Reservoir distribution features	(21)
2.4 Reservoir system features	(23)
3. Reservoir Geophysical Field Features	(25)
3.1 High-accuracy gravitational and magnetic anomalies	(25)
3.2 Anomalies of soil susceptibility	(43)
3.3 Anomalies of spectral induced polarization	(48)
3.4 Anomalies of oxidization and reduction electrical potential	(55)
3.5 Radioactivity anomalies	(56)
3.6 Reservoir Integrated geophysical anomalies	(60)
4. Reservoir Geochemical Field Features	(63)
4.1 Reservoir geochemical exploration indices and their integrated characteristics	(63)
4.2 Reservoir geochemical field	(67)
4.3 Reservoir geochemical exploration anomalies	(72)
4.4 Sampling technique of light hydrocarbon fingerprint and characteristic spectra	(75)
4.5 Anomalies of light hydrocarbon fingerprint and characteristic spectral parameter	(78)
4.6 Reservoir response of light hydrocarbon fingerprint and characteristic spectral parameter	(80)
5. Remote-sensing Reservoir Haloes Features	(84)
5.1 Geophysical spectral feature	(84)
5.2 Main satellite image references	(89)
5.3 Satellite-image digital mosaic technique	(89)
5.4 Recognition method of remote-sensing reservoir haloes	(95)
5.5 Evaluation of reservoir haloes in Yakela region	(102)
6. Borehole Geochemical-exploration Anomaly in Reservoir Trap	(107)
6.1 Sample collection technique and sample analytic testing technique	(107)
6.2 Data processing and interpretation method	(109)
6.3 Borehole geochemical-exploration anomaly pattern in reservoir trap	(116)

6. 4 Technical method for forecasting and evaluation of borehole reservoir	(120)
7. Multi-parameter Quantitative Evaluation of Reservoir Anomaly	(127)
7. 1 Comprehensive identification analysis	(127)
7. 2 Statistic pattern recognition	(132)
7. 3 Multiple correlative superimposition	(140)
7. 4 Fuzzy comprehensive identification	(144)
7. 5 Similarity consistency comprehensive evaluation	(146)
7. 6 Multi-parameter evaluation of reservoir anomaly	(149)
8. Gray System Delineation of Reservoir Trap Target	(151)
8. 1 Grey quality of reservoir anomaly information	(151)
8. 2 Grey system analytical principle of reservoir anomaly	(152)
8. 3 Grey correlative filtering extraction of reservoir anomaly	(154)
8. 4 Grey correlative delineation of reservoir geophysical exploration anomaly	(156)
8. 5 Grey forecasting of location target through reservoir geophysical exploration anomaly	(159)
8. 6 Grey pattern recognition of reservoir geochemical exploration anomaly	(161)
8. 7 Grey system optimization of reservoir trap target	(165)
9. Neural Network Evaluation of Oil and Gas Content of Reservoir Trap	(168)
9. 1 BP network classification of oil and gas content of reservoir trap	(168)
9. 2 ART network cluster evaluation of oil and gas content of reservoir trap ...	(172)
9. 3 Grey BP network evaluation of target favorable for oil-gas accumulation	(176)
10. Multi-parameter System for Trap Evaluation in Geophysical and Geochemical Exploration	(180)
10. 1 Objective and conception of system establishment	(180)
10. 2 Hardware and software environments for system development	(181)
10. 3 Subsystem development	(181)
11. Geological, Geophysical, and Geochemical Anomaly Patterns of Reservoir Trap	(189)
11. 1 Survey of research on vertical micro-migration of hydrocarbon	(189)
11. 2 Compositional features of hydrocarbon micro-migration	(189)
11. 3 Alteration features of hydrocarbon vertical micro-migration	(194)
11. 4 Geological, geophysical, and geochemical anomaly patterns of reservoir trap	(201)
12. Reservoir-anomaly System Framework	(206)
12. 1 Fundamental framework of reservoir anomaly system analysis	(206)
12. 2 Benefit analysis of reservoir trap exploration system	(208)
References	(210)
English abstract	(216)

第一章 油气圈闭系统观

第一节 国内外研究现状

随着全世界对能源特别是石油需求量的增加,油气勘查步入了新的阶段,即在更为复杂的地质条件下寻找难识别的目标,如隐蔽油气圈闭、非构造油气圈闭等等。从而使勘查难度日益增加,勘查成本不断提高。迫使人们在改进和创造新物探、化探方法技术的同时,深入研究解决具体地质问题的综合物化探方法技术。

近些年来,除了地震勘探技术日臻完善之外,由于电子计算机技术的广泛应用及各种物探、化探仪器在探测分析精度上成数量级的提高,那些成本低、见效快的非地震物化探技术逐渐受到了国内外油气勘查工作者的重视,并已在油气勘探中取得了可喜的成果。

一、国外研究现状

在油气勘查中,原苏联十分重视非地震物探找油的研究工作。他们的重磁勘探已有几十年历程,五十万分之一的陆上重力测量已覆盖国土面积的50%。航磁已完成了百万分之一的全部面积测量,五十万分之一的海上重磁测量的覆盖面积也达到了60%左右。近年来,随着向市场经济的过渡,重磁已由区域性勘探转向局部性勘探,并着重于精细处理、解释以及井下重力测量技术的研究。为了适应某些极困难地区的勘探需要,还开展了航空重力测量的试验。利用航磁资料提取微磁异常信息检测油气的研究也在俄罗斯开展。在七十年代末,颁布了“直接探测油气藏物探工作暂行方法指南”,同时将研究成果应用于全国含油气区的普查工作中。

在研究工作中,原苏联大体分三个步骤进行:首先,是进行基础性研究,主要是系统研究油藏的地质地球物理特征,找出与油藏赋存直接和间接有关的因素,从基本的物探方法中(地震、电法、重力、磁法、放射性等)分选出与油气信息有关的参数组,拟定进行野外工作、处理和解释资料的方法,也发展了一些新的方法变种。其次,是进行方法试验工作,在已知的构造上进行检验,其中包括含油构造和“空构造”。再次,是进行试验性生产工作。这些工作布置在有远景但未经钻探验证的构造上,可能有非背斜型和其他类型圈闭的地区以及圈定了范围的产油区。其特点是着重于在基本的物探方法(地震、重力、磁法、电法、放射性等)范畴内进行开发创新。例如原苏联有150多个电法队。近期俄罗斯有关石油电法勘探技术的研究热点是:(1)探索提高建场测深分辨力的理论;(2)电法勘探采集、处理和解释拟地震化;(3)完善综合解释方法,探索以研究岩层局部电性为基础的电法地层学。常用的方法有固定源建场测深、近区建场测深、频谱相位激电法、电场差分法等。

西方国家在基本物探方法研究方面,工作量不及原苏联多,方法技术也不像原苏联那么多。但是,他们广泛采用技术先进的多种新方法进行试验性研究及试生产工作。主要方法有遥感、航空碳氢检测、雷达、航空及地面高精度磁测、土壤磁性研究,以及放射性方法、某些电法(激电、电磁法)、地温方法等。研究机构及大学侧重于研究各种方法的理论、机理以及使用条件。而公司则侧重于应用的试验研究工作,得到初步的成效就急切寻找油气勘探的市场。例如,

80 年代开始,美国在许多已知油气田上进行了低空微磁测量,为了消除某些干扰还采用了航空水平梯度测量。据此,发现许多油田上方存在着短波长、低幅度(通常为 10 nT)的局部异常。据认为,这些微磁异常与油气渗漏形成的蚀变带的符合率达 96%,与油气田的吻合率亦高达 64%。研究表明,土壤磁性测量在一定程度上可直接用于寻找油气,据美国 1 026 口井的磁化率数据统计分析,80%~85%的油气井有磁化率异常,而 85%~90%的干井没有磁化率异常。

在油气化探方面,从 1930 年前后由德国的 Laubmeyer 等人开始应用测量浅孔中的烃气寻找油气田的研究以来,国外形成了以 Sokolov 为代表的原苏联化探找油学派和以 Laubmeyer 与 Horvitz 为代表的西方石化探学派。

从 40 年代起,在全苏范围内开展气测直接找油气技术的研究与应用。60 年代原苏联化探队伍曾经发展到 200 个之多,过后曾经历了一个衰落阶段。后又从区域评价到局部圈闭勘探都已应用了化探方法。总的来看,原苏联从理论研究、勘查应用到地质效果,都居世界前列。重点表现在以下几个方面:(1)在理论上用数字模拟方法研究烃类气体在均匀介质和非均匀介质中的迁移规律,制订了判断烃类异常成因的准则。同时,为了验证研究结果,特别重视人工实验,如原苏联对某地下储气库观测实验表明,3 个月后即在顶部 300 m 处的含水砂层中发现烃气含量增加了 10 倍,氧化烃类细菌浓度也明显增加,证明烃类的垂向微运移是确实存在的。(2)在方法上注重各种方法的有效配合,优化每种方法本身,以求在给定的地区条件下获取最大的地质效果。(3)在数据处理上,目前正在开发专门用于化探的数据储存和处理自动化系统。(4)在仪器的发展上重点是研制野外油气化探用的成套仪器设备,包括密封探测和样品封存装置、脱气和气体分析装置。

在西方国家,油气化探的研究工作没有国家有计划的资助,主要靠化探人员个人研究,或组织私人公司,或求助于大型石油集团。经历了成功与失败、高潮与低潮的曲折发展的过程。在基本原理、方法技术与应用效果等方面进行了大量的工作,逐步使这一方法在美国等国家的油气勘探领域取得了一席之地。相对于原苏联的研究工作来说,西方的研究成果商业色彩很浓,盛行技术保密,忽视非盈利的基础理论研究,偏向报导成功的例子,因此,在理论研究方面一直没有明显的进展。但是,由于西方工业技术水平高,新仪器、新设备不断更新,信息渠道畅通,学术思想活跃,所以有许多技术方法源于西方。如达拉斯化探公司的 ΔC (蚀变碳酸盐)方法,氢焰离子化气相色谱仪分析土壤游离烃技术、近地表空气中烃气的现场激光测量技术以及航空遥感直接找油技术,K-V 指纹技术等。

井中化探技术起源于法国,70 年代中后期法国石油研究院发展了热解评价生油岩的分析方法。随后,在此基础上研制了岩石评价仪(Rock - Eval)并投入全世界商业市场,从而开创了井中地球化学研究的新阶段。80 年代中期以后,推出了一些新方法,如人们熟知的顶部空间气(Heading Space Gas),也称罐装气法,岩石评价仪被开发成为从只评价生油岩过渡到重点评价储油岩,或生储油岩都予评价的新手段。由于这一方法可在钻井剖面上依一定间距取样分析,故称之为地球化学测(录)井。

二、国内研究现状

建国以来,由于党和政府对“开发矿业”的高度重视,我国的石油物探工作,从无到有地获得了迅速的发展。地震、重力、磁法、电法(包括建立场法、大地电磁测深、激发极化法、电阻率法、自然电场法等)和放射性测量等被应用于地面、航空和地下等领域。在方法的应用上重视传统方法,并且不断提高其观测水平以及资料处理和解释水平。同时还强调从单一方法到多种手

段的综合研究,以获得更多的参数来提高勘探的成功率。近年来,地矿部航空物探遥感中心在大庆、胜利、辽河等 17 个油田共飞行了 24 个测区,投入工作量 60 万测线公里以上,其中以 1:5 万高精度详查为主。全部采用数字记录, GPS 导航定位系统,建立了微机工作站和处理系统,共圈定局部构造 2 500 多个。其中大多数被地震或其他勘探手段所证实,有的构造上已打出了工业油气流,地矿部第一物探大队在苏南、苏北七个构造区开展了复电阻率法直接找油气藏的试验,其预测成功率为 80%。

国内油气化探,始于 50 年代,主要从事油田水方面的试验工作。60 年代中期,由原地质部第 1、2、3 普查大队化探分队和 671 队组建专业化探队(101 队)后,才比较正规地开展了一系列方法引进和试验研究。此段时间进行了水中(油田水、浅层水)常量离子与金属元素等水化学法、沥青发光强度、土壤盐、微生物、 γ 总强度等试验研究。70 年代引进国外测试仪器(如气相色谱、光谱仪等)后,开始进行与油气相关的烃类方法试验和研究,如吸附烃-酸解烃、紫外荧光光谱、水中有机成分苯系物、酚等。

80 年代,随着我国改革开放的发展和能源需求量的巨增,石油战线提出了“稳定东部,开发西部”的方针。东部面临着向深部、非构造圈闭和小型断块找油的局面;作为接替基地的西部,或由于施工条件困难,或由于油气藏较深,或两者兼而有之,勘探难度很大,勘探成本猛增。在这种情况下,地质矿产部、石油天然气总公司为了加快勘探速度,降低勘探成本,提高勘探命中率,不仅开展了大量油气化探工作,而且开展大量以找油气为目的的非地震综合物探工作。截止目前,在我国几乎所有的含油气盆地(地区)都开展了规模不等的综合物化探找油气工作,取得的地质效果参差不齐,认识上也不尽一致,基础研究工作仍然比较薄弱。

“七五”期间国家重点科技攻关项目“油气田的地质理论和勘探技术研究”(75-54)所设专题“新疆塔里木盆地东北地区非地震物化探技术及其应用”(75-54-03-05),对塔北地区的:(1)重力场特征与构造油气的关系;(2)磁场特征与构造的关系;(3)近地表地球化学场与深部油气藏的关系;(4)物化探多参数直接找油气等方面进行了研究,并取得了重大进展。首次证实了 5 000 m 超深油气藏仍存在活跃的烃类垂向微运移,在油气藏上方探测到清晰的放射性、氧化还原电位、土壤酸解烃、紫外荧光光谱、 $\delta^{13}C$ 等异常。1989~1991 年对沙 22 井、沙 15 井进行了井中化探多参数预测评价油气层的试验研究,建立了油气层判别指标系列,取得了良好的效果。

三、综合发展趋势

当前地质找矿科学技术发达的国家,就其找油气的主体而言,已从找易识别的构造圈闭进入找难识别的隐蔽圈闭与非构造圈闭的新阶段。这就使单一的找油气方法,以及任何一种单一的找油气技术对解决这样复杂的找油气难题都显示出它们的局限性。必须应用多参数、多方法进行综合分析研究,采用多学科进行综合性的科学勘查、评价与预测。国内外在油气综合物化探的发展趋势上呈现以下五个特点:

(1)在油气勘探的理论上,加强了烃类运移模式的研究。1994 加拿大举行了以“烃类迁移的近地表显示”为题的 AAPG HEDBERG 研讨会,就烃类运移机制、次生蚀变、地表显示、迁移模型、渗透规律等进行了交流,表明了国内外油气勘探学者对烃类运移模式的关注。M. D. Matthews 提出迁移机制可分为弥散式和会聚式两类。R. Tompkins 提出了油气藏地层电池和氧化还原房概念。这预示着烃类运移理论的突破,将促进油气勘探的迅速发展。

(2)在油气圈闭识别的机理上,基于深部油气藏中烃的长期、持续向上微渗漏激发的地

质、地球物理、地球化学效应。例如美国 Oklahoma 大学地质地球物理系的 Elmore、美国地质调查所的 Reynolds、加拿大 Alberta 大学地质系的 Mechel、阿根廷的 Gillian 等为代表的国外学者致力于深部油气中烃微渗漏效应与近地表样品的磁学、有机地球化学及矿物学之间的相关性研究,但尚未充分揭示地表磁性矿物、磁性蚀变带与深部油气藏之间的本质联系,在形成机理上尚持有不同观点。

(3) 在油气圈闭勘查的方法上大多较为单一,或者是简单组合。随着油气资源勘探中非构造圈闭(如地层圈闭、岩性圈闭等)所占的比例日益增大,地震勘探在查明圈闭的几何形态,油气的赋存参数上显示出了它的局限性,例如火山岩覆盖区、生物礁体、盐丘、裂隙性油藏等。Reynolds (1991) 在《Cement 油田 (Oklahoma 州)、Simpson 油田 (Alaska 州) 与 Wyoming-Idaho-Utah 逆冲带航磁异常源研究》中,指出多参数耦合可以提高油气圈闭评价效益。D. F. Saunders 等 (1992) 在阿马迪厄斯盆地的油气勘查中,采用了卫星影像解译、区域地质调查、烃类航空探测、地表化探测量、异常钻探验证的综合研究方法,布了 9 口井,发现了 4 个油田,成功率达 44%。

(4) 在油气圈闭评价的方法上,大多基于大样本典型分布白色信息不确定性研究为内涵的概率统计理论。如 Dr. Alexei, A. Niditin 的“Geophysical Data Processing”(1991)、赵鹏大院士等的《地质勘探中的统计分析》(1990)、王世称教授等的《综合信息矿产资源定量评价》(1987)、刘安洲教授等的《油气资源多源信息统计预测》(1991)等。而以小样本非典型分布灰色信息不确定性研究为内涵的、灰色系统理论为基础的油气圈闭评价方法体系尚处于探索阶段。

(5) 在油气圈闭系统的研究上,大多采用“分立式”或“叠置式”综合法。美国地质调查所在全国推行“三部式”矿产资源定量评价法。俄罗斯则推行“预测普查组合”。1993 年在美国丹佛召开了第一次专门的“综合方法找矿”国际学术讨论会,认为当今“多学科队伍是矿产勘查获得成功的途径”。因此,有必要探索油气圈闭系统研究的新思路、新方法、新技术,以提高综合学科交叉耦合的探测能力。

第二节 油气圈闭系统

油气系统的形成和展布包括油气的生成、运移、聚集、保存和破坏等各个环节。它既是石油地质理论的核心问题,又是有效解决油气勘查方法的关键问题。自石油工业兴起以来,油气系统的研究一直是石油地质学家和油气勘查学家极为关注的课题。其研究大致经历了三个发展阶段:第一阶段(19 世纪末~20 世纪 50 年代初),为油气系统研究的初始阶段,以沿背斜褶皱带分布油气藏的背斜学说或重力学说为代表,并提出了陆相成油理论;第二阶段(50 年代中期~70 年代末)是在油气藏形成的基本条件和形成过程分析的基础上,全面研究了油气成藏机理,同时建立了陆相石油地质理论;第三阶段(80 年代至今)主要表现在通过先进的油气勘探技术和方法,以及计算机技术和物理模拟技术进行系统的油气成藏的各项条件、机制和相互之间有机配置关系的研究,同时进行油气成藏过程的定量和半定量研究。但是,由于油气系统形成过程非常复杂,影响因素很多,研究难度很大,致使油气系统形成机理仍为石油地质与油气勘查研究中的薄弱环节,许多油气生成、运移、聚集、保存和破坏中的重大理论和实际问题,目前仍处于推理阶段。

油气勘查的基本目的是寻找储集有工业开采价值油气的圈闭,简称为油气圈闭。国内外许多学者将圈闭定义为聚集联合封闭而形成的能够捕获并储存油气的地质场所。它包括三个组

成部分：

(1) 储集层：具有储集油、气的孔隙空间，流体能够运移的岩层，如砂岩层、生物碎屑灰岩层等。

(2) 盖层：盖在储集层之上，能够阻止油、气从储集空间中大量逸散的岩层，如泥岩、页岩、石膏和盐岩层等。

(3) 遮挡物：从各方面阻止油、气继续运移的封闭条件。它可由盖层本身的拱形弯曲形成，如背斜构造；也可以由断层遮挡、地层超覆和岩性尖灭等遮挡条件所形成。

传统的石油地质学将油气圈闭的形成和分布概括为“生、储、盖、圈、运、保”六大要素。Magara (1981) 提出了控制石油聚集的七个要素：(1) 储层和有效孔隙空间；(2) 圈闭；(3) 封盖或盖层岩石；(4) 二次运移；(5) 初次运移；(6) 烃类的生成和成熟；(7) 油源岩。这表明油气圈闭是在漫长的时间、广阔的空间、复杂的介质中，多种地质因素(要素、过程、运动)有机联系、相互作用、因果制约、发展演化的具有整体功能(能源)的复杂动态系统，简称油气圈闭系统。它具有明显的一系列系统特性。

一、系统功能的整体性

系统是有机整体，系统的总体功能一般都不等于而且常大于部分功能之和，亦即所谓“系统功能的非加和性”。系统的整体性质是系统的质，将系统的因素分解研究再简单地组合，不能真正揭示系统。显而易见，石油主要由碳、氢及少量硫、氮、氧等元素组成。从国内外一些石油的元素组成看，一般石油中碳含量为 84%~87%；氢含量为 11%~14%；硫、氮、氧及其他微量的元素总含量只占 1%~4%，在个别情况下，硫分增多，可高达 7%。

除上述五种主要元素外，从石油灰分中还发现微量的其他元素 33 种，即：铁、钙、镁、硅、铝、钒、镍、铜、锑、锰、锆、钡、硼、钴、锌、钼、铅、锡、钠、钾、磷、锂、氯、铋、铍、锆、银、砷、镓、金、钛、铬、镉等。它们的重量仅占石油重量的万分之几。

然而，石油并不是上述 38 种组成元素的相加，而是结合成不同的化合物存在于石油中。其中以碳氢化合物(即烃类化合物)为主，还有含氧、含硫和含氮等非烃化合物以及高分子含氧、氮、硫化合物。它们聚集于圈闭中，形成具有油气圈闭系统整体功能的矿产资源。

因此，研究油气圈闭系统，就是要力图查明不同油气圈闭系统的系统质(即整体性)，其方法是分析与综合。分析的主要任务是认识部分，即把整体分解为部分，把复杂的油气圈闭分解成简单的要素分别加以研究的方法。例如，在塔里木盆地托库研究区部署了 13 种非地震物化探方法，分别揭示油气圈闭激发的地球物理、地球化学效应。综合的主要任务是认识整体，即把油气圈闭的各个部分、各种要素、各个方面联系起来，组织成统一的整体研究方法。综合的前提和基础是分析，但是，综合并非简单地把部分进行机械的加工，而是要按照油气圈闭各部分的不同层次和不同本质有机地把它组织起来，从而再现油气圈闭的生动整体。目前，非地震物化探综合评价圈闭含油气性的理论技术方法体系研究尚处于探索阶段。

二、系统因素的相关性

任何系统都可分为更小的子系统，系统又是更大系统的要素。系统的整体性通过系统的相关性而实现。人们在油气圈闭系统的研究中，始终从系统与环境、系统与系统、系统与要素、要素与要素之间相互联系、相互制约、相互作用的矛盾关系中，综合而全面地考察它。

油气圈闭是地球物质实体，是地质作用的产物。它的形成包括充足的油气来源、有利的生

储盖组合,有效的圈闭和良好的保存条件等四个基本要素,以及油气的生成、运移和聚集等三个密切联系的阶段。在漫长的地质历史中,剥蚀作用、水动力作用、氧化作用和扩散作用等地质作用也会导致油气圈闭的破坏,使油气完全散失或被氧化而形成油气苗和沥青类等,也可使油气再次运移,遇到新的圈闭聚集形成次生油、气藏。这表明复杂的系统常有一因多果,一果多因及交叉因果链存在。

在塔北地区已发现 14 个油气田,其油源主要为寒武—奥陶系;经过多期成油,具有多种成油模式:(1) 古生古储,如沙雅隆起西部英买力构造奥陶系油藏是海西晚期形成的油气藏;(2) 后生古储,如雅克拉下古生界油气藏是寒武—奥陶系生油岩,在喜马拉雅晚期二次生油气并聚集于下古生界形成的油气藏;(3) 后生中储,如阿克库木三叠系油气藏是寒武—奥陶系生油岩,在喜马拉雅晚期第二次形成油气并聚集于三叠系地层而形成的油气藏;(4) 后生新储,如寒武—奥陶系油岩,在喜马拉雅晚期生成的油气聚集到新生界地层中而形成油气藏;(5) 中生新储,如三叠—侏罗统生油岩在喜马拉雅期生成油气,并储集在新生界地层中(康玉柱, 1997)。这反映了油气聚集诸要素间有规则的联系或转化,这种联系或转化表现为它们之间有规则的排列、组合、匹配、运动,从而显示它们的空间序、时间序和时空序。

传统的油气圈闭系统研究过分强调了对系统诸要素的分别研究,以及油气勘查技术方法的“分立式”研究,而现代油气圈闭系统研究在理论与实践上的新发展,包括宏观上的全球油气系统对比和诸多微观信息采集手段的问世,使油气圈闭系统内外的诸多联系的研究成为可能,从而揭示它们的相关性和整体性。

三、系统结构的有序性

任何复杂系统在其保持整体特性和功能时,各部分物质按一定方式组织,按一定秩序运动,呈现系统结构的有序性。当系统的有序性变化超过一定阈值,系统的整体特征和功能就会发生改变。这时,系统可向更加有序的方向演化,或有序度降低,甚至重归无序。

油气圈闭系统的宏观结构要素包括油气源场、中介演化场和油气储集场。油气源场是油源岩发生物理、化学、生物分解,为油气组分运移作准备的场所;中介演化场是油气物质随介质迁移演化逐步富集的空间;油气储集场则是油气物质聚集就位的地质、地球物理、地球化学场。三场的空间形态、规模和相互衔接的空间关系是该系统某一时刻的宏观静态结构。三场之间具有连续、交错、重合的关系;其空间位置可以是垂向的、水平的或综合的;各场之间的分布可以是紧凑的或离散的。它们制约着油气物质运移的方向、方式、速率、性质和功能,人们通过勘查的方法,充分揭示油气物质在油气圈闭系统结构要素之间的运动状态,就能深刻了解该结构对聚集油气功能所起的作用,达到寻找工业油气藏的目的。

按圈闭的形态和成因,塔里木盆地的圈闭及油气藏类型可分为 3 大类 8 亚类 15 种型式(表 1-2-1),其中包括已发现和待发现的两部分。目前发现的油气田(藏)主要为背斜型、地层不整合型及断层遮挡等类型。它们显示研究油气圈闭系统结构的有序性,对寻找新类型大油气田具有重要意义。

四、系统演化的动态性

平衡态是系统的无序状态,其内部没有能量传递和物质转换过程,既不耗散能量,又无作功能力。系统在非平衡态中稳定地保持有序性,称为稳态,其内部有能量传递和物质转换的宏观过程,并不断与环境交换能量和物质,不断耗散能量保持作功能力的活跃状态,即动

表 1-2-1 圈闭和油气藏类型表

圈闭类型			油气藏类型			油气藏实例
大类	亚类	型	大类	亚类	型	
构造圈闭	背斜圈闭	褶皱背斜圈闭	构造油气藏	背斜油气藏	褶皱背斜油气藏	依奇克里克(J) 雅克拉(K ₁)
		披覆背斜圈闭			披覆背斜油气藏	阿克库木(T ₂)
		牵引背斜圈闭			牵引背斜油气藏	波斯坦(C ₁)
		内幕背斜圈闭			基岩内幕背斜油气藏	塔中4号沙 西2号(O ₂)
	断裂圈闭	断层遮挡圈闭		断裂遮挡油气藏	断层遮挡油气藏	
		不整合—断裂遮挡圈闭			地层—断裂油气藏	
	刺穿圈闭	岩浆岩刺穿圈闭		刺穿接触油气藏	岩浆岩刺穿接触油气藏	
		膏盐岩刺穿圈闭			膏盐岩刺穿接触油气藏	
地层圈闭	地层不整合圈闭	潜山(丘)圈闭	地层油气藏	潜山(丘)油气藏	潜山(丘)油气藏	英西(O)塔 中一号(O)
		剝蚀断块圈闭			断块潜(丘)油气藏	雅克拉(O、E) 阿克库勒凸起(O ₁) 阿克库木(O ₁)
		剝蚀体不整合圈闭			剝蚀楔形体油气藏	
	地层超覆圈闭			地层超覆油气藏		
	生物礁圈闭			生物礁油气藏		
岩性圈闭	尖灭体岩性圈闭		岩性油气藏	尖灭体岩性油气藏		阿克库勒(C ₁)
	透镜体岩性圈闭		油气藏	透镜体岩性油气藏		雅克拉(J)

(据康玉柱,1996)

态平衡态。

油气圈闭系统演化的自组织性的内在机制在于物质、能量的相互作用、相互制约、相互耦合及其有机统一。而实现其复杂的非线性作用,还在于它的开放性和远离平衡态,就是它在它与外界环境的多种物质、能量交换中进行着多种(包括物理的、化学的、生物的)作用,从而导致了油气圈闭系统的自组织,并不断的向高级方向演化。系统演化中油气的富集度和资源量,取决于多种制约因素,其中包括:(1)生油层系的多源性、多旋回性及其生油能力;(2)生储盖组合的储集功能及通道的集输性;(3)圈闭的聚油功能及时空展布;(4)成藏过程的再现度及储集有效性。它们的集约度及其静态与动态相结合的演化分析,有助于揭示油气田(藏),特别是复杂大型油气田(藏)的隐形结构。

塔里木盆地经历了中元古代至早古生代的板块离散、晚古生代至三叠纪的板块嵌合碰撞和侏罗纪至第四纪的盆山体制造三种地球动力学背景下的发展阶段,形成了多个原型盆地。其中坳拉槽盆地含油气系统主要发育于塔里木盆地北部地区。生油岩以寒武—奥陶系深水盆地相、斜坡相泥岩、灰岩为主,累计厚度为1 000~2 000 m,东部满加尔坳陷厚度大,向西(阿瓦提)方向减薄,分布面积达 $8.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。受构造演化影响,这套烃源岩多次生烃,海西期生成的资源量达 $88 \times 10^8 \text{ t}$,喜山期生成的资源量达 $68.47 \times 10^8 \text{ t}$,是盆地内最主要的烃源岩之一。