



富油新凹陷 科学高效快速勘探方法与实践

——以二连盆地阿尔凹陷为例

赵贤正 史原鹏 张以明 等 著
降栓奇 吴冲龙 金凤鸣



科学出版社

富油新凹陷科学高效快速勘探方法与实践 ——以二连盆地阿尔凹陷为例

赵贤正 史原鹏 张以明 等 著
降栓奇 吴冲龙 金凤鸣

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系统全面地总结了阿尔富油凹陷的发现与快速突破的勘探历程,剖析了阿尔凹陷石油地质特征并介绍了油气成藏模式的构建,以及相关勘探工程适用技术的集成创新与应用。作为陆相富油新凹陷成功勘探范例的提炼,本书丰富了陆相裂陷盆地石油地质理论,对广大从事油气勘探综合研究和现场生产的专业技术人员,具有较高的指导意义和参考价值。

本书可供油气勘探技术人员参考,也可作为油气地质与勘探专业本科生和研究生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

富油新凹陷科学高效快速勘探方法与实践:以二连盆地阿尔凹陷为例/
赵贤正等著. —北京:科学出版社, 2012

ISBN 978-7-03-031041-5

I. ①富… II. ①赵… III. ①二连盆地-坳陷-油气勘探-研究
IV. ①P618.130.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 028872 号

责任编辑:罗 吉 刘燕春/责任校对:刘亚琦

责任印制:赵 博/封面设计:许 瑞

封面摄影:古 庆

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>

北京通州皇家印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012年3月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2012年3月第一次印刷 印张:13 1/4

字数:300 000

定价:98.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《富油新凹陷科学高效快速勘探方法与实践 ——以二连盆地阿尔凹陷为例》编者名单

赵贤正	史原鹏	张以明	降栓奇	吴冲龙	金凤鸣
孙朝辉	田福清	李林波	李拥军	肖 阳	淡伟宁
李书民	吴国琼	王吉茂	吴健平	李晓红	常建华
赵安军	姚忠东	吴剑锋	蔡 军	唐宏斌	韩 斌

序

20 世纪 80 年代开始，华北油田的石油勘探工作者在原地矿部、物探局等单位的地质普查工作基础上，经过 10 余年的石油勘探开发，在塞北草原的二连盆地探明近 2 亿吨地质储量并建成百万吨的二连油田，为内蒙裂谷盆地群的石油勘探开发积累了丰富的理论、技术及经验知识，并为内蒙古的经济建设做出重要贡献。

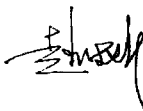
进入新世纪，华北油田二连地质勘探科技工作者面对日益复杂的地质条件和勘探程度渐高的现状，解放思想、转变思路、创新地质认识、刻苦攻关、大胆探索，在富油凹陷老区地层岩性和新区新凹陷两个勘探领域均取得了突破性进展。创新陆相断陷洼槽聚油理论，在巴音都兰、乌里雅斯太等富油凹陷区发现了多个具规模效益储量的岩性地层油藏，新增控制储量 1.5 亿吨。由此，二连盆地油气勘探进入第二个储量增长高峰。

由于二连盆地由众多小型断陷湖盆（凹陷）组成，资源的凹陷接替特征十分明显，因此，实现新凹陷的突破成为二连勘探工作的重中之重，对实现二连油田的可持续发展具有重要意义。华北油田通过加大新区新凹陷的搜索、优选和评价力度，快速发现新凹陷——阿尔凹陷，并快速落实具有亿吨级规模储量新油田——阿尔油田，将二连勘探工作推向一个新高潮，也成为中国石油新凹陷“快速、高效、科学”勘探的典范。

《富油新凹陷科学高效快速勘探方法与实践——以二连盆地阿尔凹陷为例》一书，集中各专业技术力量，认真梳理阿尔凹陷的发现与快速突破的做法，研究阿尔凹陷石油地质特征和油藏特征，科学构建成藏模式，提炼勘探工程适用技术及其高效应用的经验，并总结阿尔凹陷勘探实践的启示。总之，该书既是对阿尔凹陷 4 年多来勘探历程的全面回顾，又是对新凹陷勘探经验的系统总结和认识升华，对中国石油类似油田的新区勘探具有重要的指导作用和参考价值。

值此专著出版之际，聊写数语，以为序。

中国石油天然气股份有限公司副总裁



2011 年 11 月 23 日

前 言

阿尔凹陷是近几年在二连盆地新发现的富油凹陷，经过三年的勘探已经形成亿吨级储量规模，被誉为中国石油新区凹陷“科学、高效、快速”勘探的典范。本书系统全面地总结了阿尔凹陷发现与快速突破的过程，剖析了阿尔凹陷石油地质特征，构建了油气成藏新模式，以及集成创新的相关勘探工程适用技术。

高效快速勘探评价缘于对勘探区油气成藏地质条件认识的创新，同时依靠勘探技术的创新和果断、适时的科学决策。作者首先通过二连盆地凹陷-地貌-重磁异常的相关性分析，快速发现了包括阿尔凹陷在内的一批新凹陷；接着把格架层序地层分析和区域构造演化动态分析结合起来，从凹陷多旋回沉降—反转和沉积—构造演化递进控油的角度，剖析了该凹陷的石油地质特征，进而科学地构建其油气成藏模式。在阿尔凹陷勘探过程中，在认真总结多项勘探工程适用技术的应用条件基础上，不失时机地果断决策；然后根据实际情况选择适宜的技术手段和勘探方法并在实施过程中加以创新。其中包括：针对老探区新凹陷的特点，改造了传统的勘探程序；针对草原、边境等地表制约条件，创新了地震采集方法；针对该区地层特点和不同类型的油层特征，采取了钻井提速、油气层快速评价、高效测试及压裂改造等技术措施。这些措施大大加快了勘探节奏，促成了阿尔凹陷的快速突破。

总之，本书是陆相富油新凹陷成功勘探战例的提炼，内容涉及陆相凹陷的油气地质特征分析、成藏模式分析、勘探目标选优评价、勘探技术手段选择和创新应用、油气勘探科学决策等方面。全书共分八章，第一章为概述，第二章为区域地质条件概述，第三章为阿尔凹陷的发现与快速突破方法，第四、五、六章为油气成藏条件分析，第七章为勘探技术手段的高效应用，第八章为全书总结。

全书由赵贤正、史原鹏确定框架，拟定提纲，分头执笔。前言由赵贤正编写；第一章由赵贤正、降栓奇编写；第二章由张以明、史原鹏编写；第三章由淡伟宁、李林波、金凤鸣编写；第四章由吴冲龙、降栓奇、田福清、毛小平编写；第五章由吴健平、王吉茂、吴冲龙、王连进编写；第六章由孙朝辉、金凤鸣、肖阳、淡伟宁、吴国琼、李晓红编写；第七章由史原鹏、张以明、李拥军、常建华、赵安军、吴剑锋、姚忠东、蔡军、唐宏斌、韩斌编写；第八章由史原鹏、李书民、降栓奇编写。书中的地质图件由王小平、明锦清绘。最后由赵贤正、史原鹏、降栓奇、吴冲龙统编定稿。

本书的论述采用三个结合的方法，其一是将理论阐释与实践验证紧密结合起来；其二是将成藏地质条件分析与勘探手段创新应用紧密结合起来；其三是将细致独到的目标评价与快速科学决策紧密结合起来。之所以如此，旨在充分体现实事求是的研究思路 and

务实求真的科学决策精神，阐释小型陆相盆地快速高效油气勘探的新方法和新途径。本书撰写过程中，始终得到了赵政璋、杜金虎教授的热情指导，得到了华北油田各级领导的关心以及勘探开发研究院、地球物理勘探研究院和勘探部等部门的大力支持和热情帮助，同时，费宝生教授在全书框架确定、拟定提纲方面给予了指导，在此一并致以感谢。由于作者水平有限，书中对某些问题的探讨有待进一步深入，欢迎同行专家和读者批评指正。

著 者

2011年4月20日

目 录

序

前言

第一章 概述	1
第一节 新凹陷的发现与突破	1
第二节 主要地质认识	4
第三节 关键勘探技术	6
第二章 二连盆地地质概况与勘探历程	7
第一节 盆地基本地质特征	7
第二节 基本石油地质条件	15
第三节 二连盆地勘探历程	23
第三章 阿尔凹陷快速勘探实践	25
第一节 阿尔凹陷快速勘探历程	25
第二节 快速勘探方法总结	31
第四章 凹陷地层-构造格架与原型	38
第一节 凹陷的层序地层格架	38
第二节 凹陷的构造格架	48
第三节 凹陷原型及其演化	55
第五章 沉积、储层特征与烃源岩评价	62
第一节 沉积体系与充填演化分析	62
第二节 储层特征及其控制因素	86
第三节 烃源岩特征及资源潜力	102
第六章 油气成藏模式与油藏分布规律	118
第一节 油气成藏模式	118
第二节 典型油藏特征	126
第三节 油气分布规律	136
第七章 高效勘探工程适用技术	142
第一节 跨界三维地震勘探技术	142
第二节 钻井提速技术	151
第三节 油气层快速评价技术	154
第四节 高效测试工艺技术	169
第五节 储层改造技术	179
第八章 科学勘探实践的启示	190
主要参考文献	198

第一章 概述

如何在经历多年勘探开发的大型陆相中生代盆地范围内寻找具有油气资源潜力的新凹陷，以及如何在一种新凹陷中实现科学快速高效勘探，既是一个具有重要经济价值的实践问题，也是一个具有重要理论意义的科学问题。

二连盆地位于内蒙古自治区中东部，东起大兴安岭，西到乌拉特中后联合旗一带，南界阴山北麓，北至中蒙边界，东西长约 1000km，南北宽 20~220km，总面积约 10 万 km²，是我国陆上大型沉积盆地之一。该盆地的石油勘探工作始于 20 世纪 80 年代初期，首先在阿南凹陷发现了工业规模石油地质储量，形成了百万吨的生产能力，在祖国北疆边陲诞生一个新油田——二连油田。之后，又相继在赛汉塔拉、额仁淖尔、吉尔嘎朗图凹陷的油气勘探中取得新突破，进一步扩大了储量规模，确保了二连油田产量的稳定。21 世纪初以巴音都兰凹陷为代表的地层-岩性油气藏的勘探突破，将二连盆地老探区的油气勘探推向了新高潮。近几年来，新区阿尔凹陷的石油勘探再获重要突破，被誉为中国石油新区“科学、快速、高效”勘探的典范。

下面将从新凹陷发现与突破、主要地质认识和关键勘探技术等三个方面，概述阿尔凹陷科学快速高效勘探的实践状况、地质依据和技术保障。

第一节 新凹陷的发现与突破

自 2001 年巴音都兰凹陷在地层-岩性油气藏取得突破以来，二连盆地的新区勘探主要围绕已发现的 23 个新凹陷展开，但实施 20 余口探井却没有取得更大进展。因此，如何找到有油气资源潜力的新凹陷成为二连探区增储上产的当务之急。阿尔凹陷的快速发现得益于勘探思路的转变和凹陷搜索方法的创新。

1. 转变搜索方法发现新凹陷

新凹陷的搜索和发现历来是石油勘探界的难题，尤其是在具有复杂盆地-山岭型断陷结构和复杂凹陷构造-地层格架的二连盆地，难度更大。主要表现在：a. 本区经历了数十年石油勘探工作，开展过多轮次未探新凹陷搜索工作，已发现的具有一定面积、埋深和成藏条件的凹陷都进行了二维地震勘探或钻探工作，新的、具有规模石油储量的新凹陷越来越难找。b. 二连盆地是在海西地槽褶皱基底上发育起来的中生代陆相复合型裂陷盆地，由多个分散的小断陷组成；总体资源规模较大却较为分散，凹陷之间资源量相差悬殊，并非每个凹陷都具备油气成藏条件，凹陷优选难度大。c. 二连盆地总面积大，逾 10 万 km²，任何廉价的勘探技术手段都不可能在全盆地范围内广泛实施，必须有的放矢地针对重点有利区带开展工作。

转变只围绕原有“新凹陷”转的勘探思路，抛弃“有利凹陷均存在于坳陷中”的认

识束缚,跨越“坳陷区”与“隆起区”界限进行新凹陷搜索,是走出徘徊不前困境的唯一出路。为此建立了多学科研究项目组,开展联合技术攻关,采用“未知引导发现”的新思维,选择勘探程度较低或受各种条件限制而未引起重视的地区作为主攻方向,搜索新凹陷。进而应用适合本区的勘探技术手段,查明凹陷的埋深和结构。在此基础上应用老凹陷的勘探经验和地质认识,突出凹陷对比,快速明确主攻凹陷。

在具体工作中,突出了二连盆地富油气凹陷分布规律和成藏主控因素研究,揭示含油气凹陷与各种地质、地表条件内在相关性,明确凹陷与相关条件的对应关系,力求形成新的发现、优选新区凹陷的系统方法。于是,在研究大量重力、磁力、电法、地质调查和地形资料的基础上,通过探索凹陷与各类资料的相关性,揭示了二连盆地的凹陷与地貌相关性特征,形成了“地形-重力划凹陷,电法勘探查埋深,二维概查定结构”的新凹陷快速搜索发现方法。借助凹陷搜索新方法,在很短的时间内就发现了以阿尔凹陷为代表的一批新凹陷,为二连盆地油气勘探拓展了空间。

2. 优化勘探程序实现快速突破

1) 优化勘探程序

在开展阿尔凹陷勘探时,充分鉴借老凹陷的勘探经验,遵循“程序不可超越,节奏可以加快”的原则,创新形成了一套适合老探区新凹陷的勘探程序。其主要内容包括三个方面:一是优化重磁电概查部署,二是整合参数井和预探井钻探,三是越过二维地震详查阶段而直接部署三维地震精查。

在部署电法勘探工作时,突破了以往按规则网部署的思路,采用了按“十”字线或“丰”字线重点部署的新方式。这样大大提高了工作效率,快速了解了凹陷的结构和埋深。由于二连盆地众凹陷面积相对小、沉积相带窄,而且构造-沉积格架和构造岩相带控油特征相似,在具体部署时将参数井和第一口预探井进行整合,把井位部署在主体构造翼部靠近主注槽的位置上,用以完成参数井和预探井的双重任务。在明确了该凹陷的资源潜力后,基于对二连盆地各凹陷石油地质的深刻认识及注槽聚油理论认识的指导,便越过二维详查,直接部署大面积三维地震精查,达到了高效勘探的目的。

2) 强化地质研究

为了迅速扩大战果,提出了“深化认识,整体部署,分批实施”的部署战略。首先是通过整体研究、明确主攻区带,针对不同区带和领域,明确油气主控因素,分别建立构造油藏、岩性油藏、构造-岩性油藏和潜山油藏等多个成藏模式,用以指导勘探目标优选。第二是整体部署,基于研究所获得的综合地质认识,立足不同区带、不同领域,开展勘探工作的整体部署,采取甩开与评价钻探相结合的手段,整体部署钻探井位,实现多区带、多领域、多类型油藏的勘探突破,不断扩大勘探成果。同时,紧密跟踪钻探情况,不断深化地质认识,根据实际情况及时调整勘探部署。

3) 注重勘探开发一体化

有效的组织管理形式是高效率开展勘探工作的重要保证。工作中采用油气勘探开发

一体化方式,在勘探发现油藏、开展油藏评价、编制一次井网开发方案、上报储量等过程中,勘探、开发两大专业相互延伸,有机结合,从而提高了储量质量和勘探开发的综合效益。两者紧密结合,以实现地质认识、部署方案及施工措施的互补,有效地提高了投资效果,实现了投资效益的最大化。

3. 勘探成效显著提高

阿尔凹陷从发现到上交亿吨规模整装储量仅用了3年时间,同时开发单位及时介入、尽早建产,形成了一定规模的油气生产能力,从而实现了油田的快速高效发现。归纳起来,所谓油田的快速高效发现主要体现在以下3点。

1) 发现周期最短

在二连盆地多个已经形成规模产量的富油凹陷,从第一口探井到发现规模储量的时间周期为5~19年,平均为12年(表1-1),而阿尔凹陷仅用了3年。在与二连盆地相邻且具有相同地质特征的海拉尔盆地和蒙古国塔木察格盆地,从第一口探井到发现规模储量的时间周期分别是16年和12年。

表 1-1 二连盆地富油凹陷规模储量发现时间对比表

凹陷	阿南-阿北	赛汉塔拉	额仁淖尔	吉尔嘎朗图	巴音都兰	乌里雅斯太	阿尔
三维地震	1988年	1994年	1991年	1999年	1993年	1992年	2008年
首钻探井 及时间	1980年 阿1井	1981年 赛1井	1983年 淖参1井	1985年 吉1井	1982年 巴1井	1989年 太参1井	2008年 阿尔1井
获工业油流 时间及探井	1981年 阿2、3井	1981年 赛1井	1983年 淖3井	1988年 吉4井	1982年 巴1井	1987年 太参1井	2008年 阿尔1、2、3井
落实规模储量 年度及时间	1984年 5年	1990年 10年	1991年 9年	1996年 12年	2001年 19年	2004年 18年	2010年 3年
探井成功率/%	40	32.4	34.4	52.5	46	56	60

2) 探井成功率高

3年间,阿尔凹陷的探井成功率达60%,而同类凹陷仅为30%~50%。尤其是在勘探发现阶段(2008~2009年),完钻探井12口,仅有1口未下套管,1口井待试,9口井获得了工业油流,探井成功率81.8%。

3) 勘探效益好

通过短短3年的努力,取得了很好的勘探效益,探明了一个油层厚度大、丰度高、规模大、产量高的整装油田。目前,该油田拥有以阿尔3为代表的6个油藏,最大油层厚度达105m,平均厚度20m,单井日产油1.0~64m³,有4口自喷井,预测、控制两级石油地质储量累计超亿吨。其中,阿尔3油藏的探明储量超3000×10⁴t,是迄今华北

油田所发现的储量规模最大的单个碎屑岩油藏，其百余口油井平均产量为 12.9t/d。

第二节 主要地质认识

实现新凹陷高效快速勘探的科学决策和科学部署，来自于对该凹陷油气地质特征和成藏条件的正确认识。阿尔凹陷位于二连盆地东北部巴音宝力格隆起区东部，处在二连盆地与北侧的海拉尔-塔木察格盆地之间的过渡带上（图 1-1）。其特殊的大地构造位置，决定了阿尔凹陷不仅具有二连盆地共同的石油地质特征，而且在层序发育、构造演化、沉积体系、油气成藏条件等方面具备独有的特点。正确认识其地质特征和成藏条件，不仅为该凹陷成藏模式的构建提供理论基础，而且还丰富了对二连盆地石油地质条件和成藏规律的认识。这些认识可归纳为如下几点。

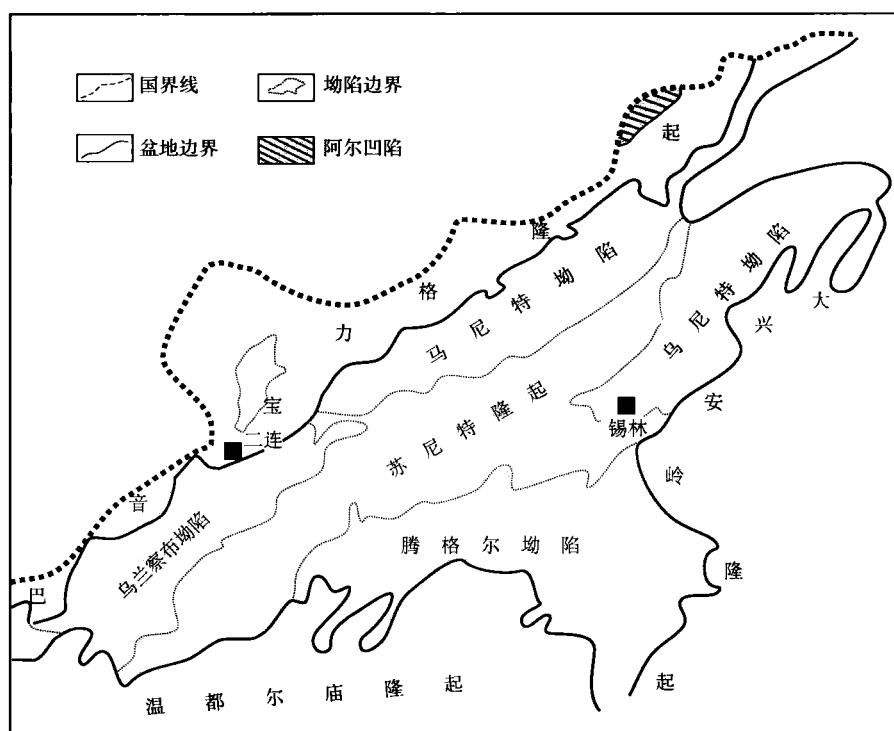


图 1-1 阿尔凹陷构造位置示意图

1) 早期沉积环境的特异性

层序发育全，自下而上为阿尔善组、腾格尔组一段（简称腾一段）、腾格尔组二段（简称腾二段）和赛汉塔拉组。在地层层序、岩相发育与分布、生储盖组合等方面，阿尔凹陷与其他凹陷大体一致，符合二连盆地的普遍规律，但在局部层段特别是阿三段的沉积环境具有特殊性。

一般而言,二连盆地大部分凹陷在裂陷初期,沉积作用主要表现为对古生界基底的填平补齐过程,凹陷处于快速沉降和沉积物补给充足的条件下,近缘快速充填式沉积十分活跃,形成以洪冲积扇为主的大套粗碎屑建造。同时由于裂陷初期构造作用剧烈,火山活动频繁,巨厚的火山岩在阿尔善组中常见,有时甚至遍布全凹陷。

在阿尔凹陷,缺失阿尔善组一段(简称阿一段)和阿尔善组二段(简称阿二段)那种覆盖全凹陷的具填平补齐性质的粗碎屑相和火山岩相,阿尔善组一开始便是以暗色泥岩为主的阿尔善组三段(简称阿三段)。这种状况揭示,阿尔凹陷在裂陷初期就出现了面积和深度较大的统一湖泊,并且形成了第一套有价值的烃源岩。到阿尔善组四段(简称阿四段)和腾一段沉积期,随着强还原环境水体面积的不断扩大,又形成了第二套广湖型的较深湖相沉积。在阿尔凹陷演化的早、中期湖泊均发育,且持续时间长,发育了真正意义上的两套成熟烃源岩,奠定了阿尔凹陷成为富油凹陷的物质基础。

2) 陡带沉积体系的主导性

阿尔凹陷沉积相带的发育特征与二连盆地其他凹陷也存在明显的差异。其东侧陡带的主要沉积体系为扇三角洲,西侧缓坡带为砂质辫状河。从阿三段沉积期开始至腾一下段沉积期,碎屑的主要来源均为陡带。因此,陡带沉积体系具有显著的主导性。这个时期,东侧陡带总共发育有7个扇三角洲和1个辫状河三角洲,其中规模最大且已经见有油藏或者较好油气显示者,由北而南依次为哈达扇三角洲、阿尔3扇三角洲、沙麦扇三角洲和阿尔5扇三角洲。阿尔3扇三角洲由于搬运距离长,分选相对较好,岩石物性明显好于其他几个扇三角洲,含油性也最好。在二连盆地富油凹陷中,陡带沉积体系相对发育的还有洪浩尔舒特凹陷和巴音都兰凹陷,但不论扇体个数、扇体规模,还是扇体的延伸距离,以及储盖组合条件,都比阿尔凹陷逊色。因此,使得阿尔凹陷的陡带扇三角洲砂体成为凹陷的主力储集层。

3) 构造反转的有利性

阿尔凹陷的构造反转有两个特点:一是期次多,反转构造活动以多期次脉冲式贯穿于凹陷演化过程中。目前已经发现的构造反转有5次,较为显著的是腾一段中期、腾二段末期和赛汉组中晚期等3次。二是规模大,陡带边界断层下降盘都受到了影响,因此形成遍布凹陷南北的一系列横向挤压背斜构造带。在各期次构造反转作用中,以腾一段中期的构造反转活动较为强烈,不仅涉及的范围大,而且挤压反转的幅度和规模在二连盆地众凹陷中独具特色。在反转挤压构造应力场作用下,沿凹陷东部边界的下降盘形成了多个横向反转背斜构造,如哈达背斜、阿尔3背斜、沙麦背斜、罕乌拉背斜等。正是这些横向反转背斜构造,与腾一下段、阿尔善组的扇三角洲砂体相配合,构成了有利的大型构造-岩性复合圈闭。

4) 成藏模式的多样性

复杂的沉积演化和构造演化,促成了阿尔凹陷油气成藏条件和成藏机制的多样性。为了具体地指导勘探部署,在实践中正视成藏条件和成藏机制的多样性,提出成藏模式

的多样性问题,并且按照构造-岩相带控制成藏的思路,构建了5种碎屑岩储层成藏模式,即:a.陡坡带低位背斜-扇三角洲前缘成藏模式;b.陡坡带高位反转构造翼部-扇三角洲前缘成藏模式;c.洼槽区湖底扇-物性封闭成藏模式;d.缓坡带鼻隆-坡折控砂-辫状河三角洲成藏模式;e.缓坡带辫状河三角洲前缘-洼槽区上倾控砂成藏模式。又按基底古潜山构造的成因,构建了3种潜山成藏模式,即:a.逆倾坡潜山内幕成藏亚模式;b.断块潜山成藏亚模式;c.古生界残丘潜山成藏亚模式。上述成藏模式的正确构建,为圈闭落实和突破井标定起到了关键作用。

第三节 关键勘探技术

在阿尔凹陷的勘探过程中,勘探技术的创新带来了显著的成效,包括三维地震、油气层评价、储层改造和中途测试等技术手段及其工艺的改进、优化和集成应用。

1) 跨界成像区域三维地震采集技术

阿尔凹陷跨越中蒙国界,受边境勘探施工条件限制,常规的三维地震勘探方法不能实现有利勘探区的地震资料全覆盖,致使国界附近沿主测线方向3.0km范围内为资料空白区,影响勘探效果。如何最大限度拓展国界线附近的有效资料面积,是该区勘探面临的关键技术问题。这项技术创新包括改进高精度三维地震采集炮检点优选与互补技术和可控震源高密度激发优化技术,攻克了跨国界区三维地震资料空白的难题,增加三维地震资料满覆盖长度2.9km,为跨国境(矿权)区目标落实提供了资料保障。

2) 油气层评价技术

在评价油气层方面,充分应用了录井图版解释、测井储层有效性评价、测井流体快速识别和数字岩心等油气层快速评价新技术。实践结果表明,这些技术用于评价储层物性、结构及含油性十分有效,提高了复杂储层和油气层的识别评价准确性,为阿尔凹陷的快速评价奠定了基础。

3) 高效测试技术

通过对测试工具和管柱结构的优化,以及对早期测试资料评价解释技术的研究,形成了以中途测试工艺技术、一体化测试工艺技术和低渗透储层测试资料评价技术为代表的高效测试技术系列。这项技术在阿尔凹陷准确获取物性资料、及时落实地层液性等认识储层方面发挥了重要作用。

4) 储层改造技术

针对阿尔凹陷低渗储层特征及压裂技术难点,创新性地应用清洁压裂液、前置液投球加砂分压等技术,形成低伤害、长井段高效压裂新工艺,使多口探井获高产油流,并在阿尔凹陷油气的快速勘探中发挥了积极作用。

第二章 二连盆地地质概况与勘探历程

二连盆地及其北侧的海拉尔-塔木察格盆地都是发育于兴-蒙海西期多旋回、软碰撞褶皱基底上的盆地-山岭型裂陷盆地，属于晚中生代东北亚裂陷盆地系的组成部分。二连盆地由 8 个二级构造单元组成，总体上呈三隆夹五坳构造格局。这些二级构造单元分别是马尼特坳陷、乌兰察布坳陷、川井坳陷、乌尼特坳陷、腾格尔坳陷，以及中部的苏尼特隆起、北侧的巴音宝力格隆起和南侧的温都尔庙隆起。每个坳陷和隆起都包含有若干相互独立的小凹陷，目前已经发现的共有 54 个。沉积盖层以下白垩统为主体，每一个凹陷都有相对独立的沉积环境。这些凹陷之间彼此长期分割，只是在演化过程的特定时刻曾短期连通，分别形成了多套有效的生储盖组合。由此决定了每一个小凹陷就是一个相对独立的烃类生成、运移、聚集和保存的基本地质单元，形成独立而完整的油气系统。这种地质背景，也决定了二连盆地油气勘探的独特方式、方法和前景。

第一节 盆地基本地质特征

一、地层特征

二连盆地早白垩世属于典型的陆相裂陷盆地，发育了较厚的陆相沉积盖层。一般来说，盖层的层序地层单元是被区域性不整合面所限定的，它严格受控于区域沉积-构造事件。同一层序地层单元是在同一构造应力场作用和同一沉积背景下形成的不同时期沉积体系域的组合，具有相近的岩相组合特征、圈闭类型、地震反射波组、电性特征、生物组合和岩石类型。因此，层序地层划分是在区域地质背景研究与地震层序、测井层序、岩石地层和生物地层等地层单元综合研究的基础上，建立某一地区或某盆地内合理的层序地层格架和划分方案，它能够有效地指导油气田勘探开发。

1. 层序地层格架

大量钻井剖面的岩性组合、测井曲线、古生物资料和地震反射剖面研究结果表明，二连盆地是在燕山早期大陆裂陷作用下形成的，其中包含着 50 多个陆相凹陷，接受了厚达 3000~5000m 的早白垩世河湖相含煤碎屑岩沉积。这些沉积物自下而上由四个较大的沉积旋回构成了一个大的粗—细—粗的完整沉积旋回，其间大体经历了侏罗纪末期、白垩纪阿四段沉积期末、腾一段沉积期末、腾二段沉积期末和赛汉塔拉组沉积期末的沉积构造事件，对应形成了五个（ T_{11} 、 T_8 、 T_6 、 T_3 和 T_2 ）大的区域性不整合面和沉积间断面。在整个下白垩统中，分布有 11 个岩电标志段、3 个介形类组合和 3 个孢粉组合、3 大岩石类型和 3 个重矿物组合，发育有 4 个三级层序（图 2-1），自下而上依次为阿尔善层序、腾一层序、腾二层序和赛汉塔拉层序。

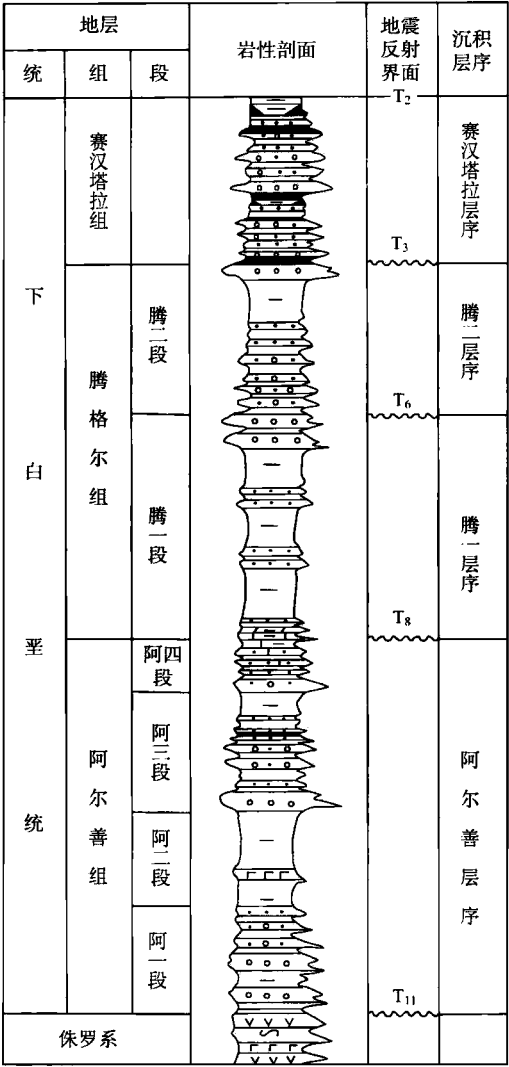


图 2-1 二连盆地下白垩统地层框架图

2. 层序地层特征

1) 阿尔善（组）层序

在阿尔善组沉积时，区域裂隙初始发育，火山不断向地面喷发和溢流。由于原始地形高低悬殊，地层厚度变化大，沿断层根部厚度可达 1000~2000m。在凹陷边缘，岩性粗、颜色杂，火山岩和杂色粗碎屑岩较为发育，属半干热气候条件的快速沉积；向凹陷中心，很快相变为较深湖相灰色泥岩，局部夹薄层泥灰岩和白云质泥岩。沉积具有湖泊小、水体浅、分隔强、火山成分含量高、粗碎屑岩成分成熟度和结构成熟度低，以及古

生物化石稀少等特点。按照岩性和岩相特征,阿尔善组自下而上可划分为阿一段、阿二段、阿三段和阿四段等4个不同的层段。该层序的上界面为 T_8 超覆不整合面。

2) 腾一(段)层序

视厚度一般200~600m,最厚可达1254m。腾一段是在基底稳定下沉、湖泊快速扩张的背景下沉积的,与下伏阿四段为连续沉积。陡坡带沉积冲积扇和扇三角洲体系砂体,缓坡带沉积辫状河和辫状河三角洲体系砂体,而洼陷区沉积物主要为大段较深湖相灰、深灰和黑灰色泥岩。该泥岩段具有岩性细、分布广(遍及全区)、成层性好等特点,电阻、电位曲线为两条直线,俗称“铁轨泥岩段”标志段,其地震相为高频高连续席状相和板状相。这是二连盆地内部的一级对比标志层和主力生油层系。顶部有一个厚100~150m的“砂岩集中段”,岩性为粉细砂岩与浅灰色泥岩互层。砂岩较疏松,以岩屑长石砂岩为主,长石岩屑砂岩和长石砂岩次之,分选性和磨圆度中等偏好,自然电位曲线为钟形负异常组合,电阻曲线为锯齿状。腾一段上界面为 T_6 不整合面。

3) 腾二(段)层序

视厚度一般300~600m,最厚达1356m。腾二段沉积初期,盆地进入新的裂陷阶段。腾一段沉积末期的构造反转和抬升剥蚀,使得各凹陷的地形变得平缓,新的裂陷作用开始后便快速越过填平补齐阶段而进入水体连通、湖泊扩张阶段。其沉积相带的分布与腾一段相似,即陡坡带沉积冲积扇和扇三角洲体系砂体,缓坡带沉积辫状河和辫状河三角洲体系砂体,而洼陷区沉积物主要为大段较深湖还原环境下的灰、深灰和黑灰色泥岩。沉积物显示为一个下粗上细的正旋回层,由浅灰、灰白色块状砂质砾岩,含砾砂岩,粉细砂岩与浅灰、绿灰和深灰色块状泥岩组成。中、下部地震相为大、中型楔状前积结构,上部为中频较连续席状相,反映了水体由浅变深的过程。与腾一段相比,腾二段的沉积物粒度更细,泥岩厚度更大。腾二(段)层序的上界面为 T_3 角度不整合面。

4) 赛汉塔拉(组)层序

视厚度一般300~500m,最厚达986.5m。该层序沉积初期,盆地基底进入了第三裂陷阶段,但很快开始衰减并逐步停止,走上均衡沉降和压实扩容沉积历程。各凹陷先后接受了浅湖、三角洲、河流和洪泛洼地相沉积。沉积物由浅灰、紫红、灰绿色块状泥岩,含砾泥岩,巨厚煤层和碳质泥岩,浅灰白色块状砂质砾岩,含砾砂岩和砂岩组成,构成了两个下细上粗的次级反旋回层,体现了湖泊逐步淤浅、封闭和平原化的发展过程。其中,河流相砂岩疏松,分选差一中等,颗粒次棱角一次圆状,砾石成分以石英为主,火山碎屑和长石次之,砾径2~5mm,最大15cm。泥岩成分以蒙脱石、水云母为主,高岭土次之,常夹薄层浊积砂层。煤层为褐煤,夹于泥岩中,分布广、厚度巨大。赛汉塔拉组的自然电位曲线为箱形、钟形负异常组合,电阻曲线为不规则锯齿状,底部有显著拐点与腾二(段)层序区分。其地震相为断续低频和不规则带状相,显示河流、沼泽相特征。赛汉塔拉层序以 T_2 界面与上覆层序相隔。