

EERDUOSI DANIUDI QITIAN

ZHIMISHAYANQI CHENGANG LILUN YU KANTAN SHIJIAN

鄂尔多斯大牛地气田 致密砂岩气成藏理论与勘探实践

郝蜀民 陈召佑 李 良 著

石油工业出版社

鄂尔多斯大牛地气田 致密砂岩气成藏理论与勘探实践

郝蜀民 陈召佑 李 良 著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书以鄂尔多斯盆地大牛地气田为例,以层序地层学、沉积学、天然气地质学、盆地分析等学科理论为指导,论述了大牛地气田石炭—二叠系由海向陆地质演变过程中三大沉积体系天然气成藏规律、地质评价方法、有利勘探目标;提出了障壁—潮坪体系、三角洲平原体系和陆相辫状河沉积体系基准面旋回层序的识别与划分技术、层序单元沉积微相分析技术、致密砂岩储层/气层测井解释与地质综合判识标准、以层序单元为基础的大型岩性圈闭综合评价技术、石炭—二叠系压力“封存箱”的成因与演化及其与天然气藏分布的关系,揭示了鄂尔多斯盆地上古生界三大沉积体系的成藏规律,成功地指导了大牛地气田的高效勘探,并提出鄂尔多斯盆地上古生界“近源”成藏组合已成为我国近中期最重要的天然气勘探开发领域,伊陕斜坡的广大地区是近源成藏组合最重要的发育区。

本书适合于从事天然气勘探的专业技术人员使用,也可供大专院校师生、科研院所同行参考。

图书在版编目(CIP)数据

鄂尔多斯大牛地气田致密砂岩气成藏理论与勘探实践/郝蜀民, 陈召佑, 李良著. —北京:石油工业出版社, 2011.8
ISBN 978-7-5021-8317-2

I. 鄂…

II. ①郝…②陈…③李…

III. 鄂尔多斯盆地-致密砂岩-砂岩油气藏

IV. P618.130.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第032687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.cn

编辑部: (010) 64523524

发行部: (010) 64523620

经 销: 全国新华书店

印 刷: 保定彩虹印刷有限公司

2011年8月第1版 2011年8月第1次印刷

787×1092毫米 开本: 1/16 印张: 19.5

字数: 500千字 印数: 1—2000册

定价: 80.00元

(如出现印装质量问题, 我社发行部负责调换)

版权所有, 翻印必究

前言

大牛地气田地处陕西省榆林市与内蒙古自治区鄂尔多斯市交界处,区域构造属于鄂尔多斯盆地伊陕斜坡东北部,勘探面积 2000km²。

随着我国国民经济的快速发展,对能源的需求越来越大,目前我国的油气资源远远不能满足国民经济快速发展的需要。发现大气田,建设大气田,关系到国家的安全、社会的稳定和国民经济的发展,同时,天然气的开发利用对改善能源结构、保护生态环境和提高人民生活水平具有十分重要的意义。世界各国十分重视天然气的勘探开发和利用,截至 2004 年底,全世界探明天然气地质储量 $171 \times 10^{12} \text{ m}^3$,年产天然气 $2.67 \times 10^{12} \text{ m}^3$,在一次能源结构中占 24.3%。我国对天然气的勘探开发和利用也十分重视,国民经济发展规划要求,2020 年前将天然气发展成为继煤炭、石油之后的第三大经济能源和支柱产业之一,天然气在一次能源结构比例达 20% 以上。目前,我国天然气工业发展与世界还有很大差距,截至 2004 年底,探明天然气地质储量 $4.38 \times 10^{12} \text{ m}^3$,年产天然气仅 $408 \times 10^8 \text{ m}^3$,天然气在一次能源结构中仅占 2.8%,远低于国际平均水平,我国丰富的天然气资源没有得到有效开发利用。近几年,我国在几大盆地相继发现大气田,2009 年全国年产天然气已超过 $800 \times 10^8 \text{ m}^3$,表明加快我国天然气的发展是完全可能的。

我国天然气资源虽然十分丰富,但是,相当一部分赋存于低渗—特低渗储层中。鄂尔多斯盆地含气层是典型的低压、低渗—特低渗储层,以岩性圈闭发育为主,气藏隐蔽性强。虽然“十五”前期开展了大量的科技攻关,并在天然气地质理论、勘探和开发技术方面取得了一定的成果,但是,远不能满足盆地天然气勘探开发的需要。如何在盆地实现发现大气田、建设大气田的宏伟目标是一项十分艰巨的任务,也是一项世界级难题,因此开展致密砂岩气勘探开发理论与技术攻关,具有十分重大的经济与社会意义。

隐蔽性致密气藏勘探开发是世界性难题,特别是鄂尔多斯盆地,必须要深化上古生界三大沉积体系控制下的天然气成藏规律,建立大型岩性圈闭地质预测模式和评价方法。其面临的难题是空前的,具体表现为:

(1) 上古生界含气层段为一套海相—陆相河流沉积。储层薄且非均质性强,横向变化大,加之普遍发育岩性圈闭,使得高产富集因素分析和高渗高产带预测极为困难。

(2) 在大型致密低渗岩性圈闭的形态、规模评价方面,需要解决基于精细层序地层格架基础上,如何确定河流三角洲沉积体系各种沉积微相对储集岩相分布的控制作用。

(3) 在大型岩性圈闭的分布刻画及其富集高产区评价方面,需要解决基于层序地层格架基础上的气层组大比例尺岩相分布刻画,解决近煤砂岩层致密背景下“高效储层”形成的演化机理。

(4) 在大型岩性圈闭成藏机制方面,需要建立相关的成藏模式,以有效指导勘探工作。

(5) 大型、叠合岩性圈闭的地质综合评价体系的建立及其在不同勘探阶段的应用。应用范围包括储层圈闭评价、气田资源潜力定量评价、勘探方案制定、探井部署等。

本书围绕上述难题,以层序地层学、沉积学、天然气地质学、盆地分析等学科理论为指导,系统阐述了近十年来在大牛地气田产、学、研多学科联合攻关勘探大型致密砂岩隐蔽气

田的理论认识与实践过程。全书以天然气成藏规律研究为主线,以致密砂岩储层、气层、岩性圈闭评价技术研究为重点,以压力“封存箱”演化对大牛地气田大面积成藏的控制作用研究为核心,论述了大牛地气田石炭—二叠系由海向陆地演变过程中三大沉积体系天然气成藏规律、地质评价方法、有利勘探目标;提出了障壁—潮坪体系、三角洲平原体系和陆相辫状河沉积体系基准面旋回层序的识别与划分技术、层序单元沉积微相分析技术、致密砂岩储层(气层)测井解释与地质综合判识标准、以层序单元为基础的大型岩性圈闭综合评价技术,以及石炭—二叠系压力“封存箱”的成因与演化及其与天然气藏分布的关系。通过大牛地气田的勘探实践,建立了石炭—二叠系“主源定型、相控储层、高压封闭、近源成藏”的“近源箱型”成藏模式及其成藏动力学机制,揭示了鄂尔多斯盆地上古生界三大沉积体系的成藏规律,成功地指导了大牛地气田的高效勘探。

本书总结了大牛地气田高效勘探的方法与经验,提出的鄂尔多斯盆地上古生界“近源”成藏组合已成为我国近中期最重要的天然气勘探开发领域,伊陕斜坡的广大地区是近源成藏组合最重要的发育区,并在如下几个方面形成特色:

(1) 建立了上古生界障壁—潮坪、海陆过渡三角洲和辫状河—湖泊三角洲沉积模式,揭示了成藏物质的聚集与分布规律。

鄂尔多斯盆地从太原期、山西期至下石盒子期,经历了由海—海陆过渡—陆地环境的演变,在沉积作用、生物组合、沉积相带、沉积构造以及空间分布特点等都表现出明显差异。依据岩石组合、沉积组构、剖面序列等特征,将鄂尔多斯盆地北部石炭—二叠系划分为三大沉积体系:障壁海岸沉积体系、海陆过渡三角洲沉积体系和辫状河流—湖泊三角洲沉积体系。

太原期大牛地气田主体处于潮下一潮间带沉积环境,以发育潮间高能带的障壁砂坝为特征,砂坝两侧煤层普遍发育。山西期受到北部和西部构造山系进一步隆升作用的影响,早期有多次短暂的海侵,海水开始自北向南、由西向东逐渐退出鄂尔多斯盆地,盆地的沉积环境亦由海相逐渐转变为陆相,大牛地气田主体处在三角洲平原亚相带,并以近南北向的分流河道、沼泽和泛滥平原广泛交替状分布构成的网状水系为显著特征,也是区域上一个重要的成煤期。下石盒子期,盆地北部地形经历了高差加大又逐渐平缓的过程,反映在河流体系的规模由巨大逐渐衰退,气候条件则经历了逐渐干旱的过程,因此,主体处于陆相环境中的冲积平原上的辫状河体系。

(2) 建立了高分辨率层序地层格架,揭示了层序格架中储集体的聚集与分布规律

运用层序地层学的基本原理和分析技术,将石炭系上统一二叠系下统岩石地层和层序地层划分为8个长期旋回和20个中期旋回,通过层序单元的沉积相分布制图,揭示了区域岩相古地理特征与演化规律,并系统揭示了储集砂体的展布规律。太原组障壁砂体在东部及中东部地区连片较好,厚度大。山西组与下石盒子组辫状分流河道砂体在主河道区纵向上相互叠置,连片好,厚度较大,尤其在气田西南部更为发育。河道砂体大部分并不是某一瞬间或单一河流旋回过程的产物,而是在某个特定的时间间隔内,由众多连续侧向迁移的河道旋回组成,即由众多的单河道砂体在侧向、纵向上连续叠置构成河道复合体。辫状河道砂体多层叠合是主力气层发育的基础,多级次辫状河道连片叠置的大面积河道复合体宽度可达10km以上,在气田区域延伸可达30 km以上,构成大型岩性圈闭发育的基础。

(3) 明确了致密砂岩背景下“相对高孔渗”储层的形成机理,建立了石炭—二叠系储层发育演化模型。

大面积致密砂岩背景下形成“相对高孔渗储集相带”的主要条件有两个:一是有利的

沉积相带。二是有利的成岩演化作用，主要是成岩早期包壳状胶结物形成、溶蚀作用、蚀变作用等。

相对高孔渗带的主要微相是辫状河心滩、分流河道、障壁砂坝。砂岩类型主要是粗粒的岩屑石英砂岩和粗粒石英砂岩；孔隙类型以剩余粒间孔为主，具有较好的孔隙结构参数。在孔隙度相差不大的情况下，中值半径、平均喉道半径等相对较大。相对高孔渗砂岩的孔喉分布主要为单峰型、中—粗喉。排驱压力小于 1MPa、中值压力小于 3MPa、孔喉中值半径大于 $0.3\mu\text{m}$ 、最大喉道半径大于 $0.5\mu\text{m}$ 、喉道分选系数平均 2.62。

(4) 建立了上古生界石炭—二叠系致密岩性气藏的近源箱型成藏模型。

通过对大牛地气田气藏烃源岩埋藏热演化史、储层孔隙演化史、地层压力演化史、圈闭演化史的分析，认为大牛地气田属于由多层大型岩性圈闭叠合构成的大型气田。根据成藏组合、区域盖层、流体性质在剖面上的变化等特征，建立了气藏近源箱型成藏模式。

大牛地气田在地史中缺乏天然气的大规模侧向运移的条件，天然气以就近、择优聚集，近距离成藏为主。晚白垩世以后天然气的运聚过程是限定在高压流体封闭箱内的缓慢调整或再分配；高压流体封闭箱的发育推迟了流体大规模外排的时间，也阻止了进一步向上散失。天然气以垂向短距离运移为主，运移的动力为烃源岩内形成的异常高压，异常高压产生的微裂缝和构造作用形成的裂缝成为运移的主要通道，排烃方式表现为幕式排烃和涌流式外泄。天然气向上运移的主要障碍来自上覆盖层（上石盒子组和石千峰组）的毛细管力和异常压力带的联合封盖，造成天然气主要在山西组和下石盒子组聚集成藏。高压异常带的压力幅度最大处构成纵向压力封闭边界，从而形成不同的成藏组合。

(5) 形成了致密储集岩圈闭综合评价描述技术体系，建立了多层大型岩性圈闭的气田静态地质模型。

鄂尔多斯盆地北部石炭—二叠系以岩性圈闭为主。单一的岩性圈闭遮挡因素有岩性尖灭、物性变差。圈闭的评价以层圈闭为单元进行，圈闭的评价技术方法是：以沉积相、高分辨率层序地层格架为基础、以砂岩厚度分布与含气性分布为核心、以地质—地震联合解释和低渗透储层（气层）综合评价为手段，评价了大牛地气田七层岩性圈闭的基本地质形态和含气分布规律。通过对气田层圈闭的不断评价，提交探明储量总计已达 $4 \times 10^{11} \text{m}^3$ ，以储量规模衡量，大牛地气田已跻身我国大型气田前列。

全书共分九章，主要由郝蜀民、陈召佑、李良编著。由郝蜀民统稿。

在本书编写过程中，得到了中国石油化工集团公司领导的指导和支持，还得到了中国石化华北分公司有关专家的帮助。大牛地气田的发现、探明，也凝聚了多年来奋战在大牛地气田科研、生产一线的各大专院校、科研院所、兄弟单位的专家和同行的心血。在此一并感谢。由于作者水平有限，书中定有不妥之处，恳请批评指正。

作 者

2010 年 6 月

目 录

第一章 大牛地气田勘探历程	(1)
第一节 盆地初探	(1)
第二节 战略抉择	(3)
第三节 大牛地气田的诞生	(7)
第二章 大牛地气田基本地质特征	(10)
第一节 构造单元划分及上古生界地层分布	(10)
一、盆地构造单元划分	(10)
二、上古生界地层分布	(11)
第二节 上古生界沉积体系划分及其特征	(14)
一、沉积体系特征	(15)
二、沉积作用	(25)
第三节 盆地北部沉积相带展布及其演化	(30)
一、中石炭世本溪期	(30)
二、晚石炭世太原期	(30)
三、早二叠世山西期	(30)
四、早二叠世下石盒子期	(31)
第四节 气田(气藏)分布及生储盖层组合	(32)
一、气田(气藏)分布	(32)
二、生储盖组合	(34)
第三章 石炭—二叠系高分辨率层序地层格架	(36)
第一节 层序地层学研究在大牛地气田的应用	(36)
一、概况	(36)
二、高分辨率层序地层学理论概述	(38)
第二节 石炭—二叠系层序界面识别标志及其成因类型	(42)
一、不整合面研究	(42)
二、湖泛面(洪泛面)研究	(46)
三、特殊岩性及其剖面组合形成的沉积学界面研究	(49)
四、层序地层划分方案	(51)
第三节 基准面旋回特征	(52)
一、短期旋回的识别及其划分	(52)
二、中期旋回层序	(60)
三、长期旋回层序	(61)
第四节 石炭系—二叠系下统高分辨率层序地层格架	(62)
第四章 石炭—二叠系层序单元沉积相分布	(67)
第一节 层序沉积相研究相图编制及特征描述	(67)

一、层序沉积相图编制的意义	(67)
二、编图单元的选择	(68)
第二节 大牛地气田本溪组、太原组层序—沉积相特征	(70)
一、本溪组层序—沉积相特征	(70)
二、太原组层序—沉积相特征	(71)
三、岩石相	(73)
四、测井相	(75)
五、煤地球化学特征	(79)
六、煤岩学	(81)
七、砂体剖面分布特征	(89)
八、太2段沉积模式	(95)
第三节 大牛地气田山西组层序—沉积相特征	(96)
一、山西组层序—沉积相特征	(96)
二、岩石相类型	(98)
三、沉积相类型	(98)
四、沉积模式	(102)
第四节 大牛地气田下石盒子组层序—沉积相特征	(103)
一、下石盒子组层序—沉积相特征	(103)
二、下石盒子组盒1段岩相和沉积相类型	(106)
三、盒2段和盒3段沉积相	(107)
四、沉积模式	(113)
第五节 大牛地气田上古生界沉积特征	(114)
第五章 大牛地气田致密砂岩储集岩及其含气性评价	(116)
第一节 石炭—二叠系砂岩储层的一般特征	(116)
一、岩石学特征	(116)
二、砂岩成岩后生作用及其与孔隙发育的关系	(121)
三、砂岩孔隙及储集类型	(128)
四、成岩作用对砂岩孔隙结构的影响	(131)
五、砂岩物性与孔喉结构特征	(132)
第二节 砂岩储层分类评价	(139)
一、砂岩储层分类评价方案	(139)
二、有效储层为强水动力条件下形成的粗粒砂岩	(143)
三、大牛地气田异常高孔隙度、渗透率储层的发育机理	(145)
四、储层岩石微相与测井相	(156)
第三节 气层特征及其分类评价	(160)
一、气层分类评价	(160)
二、不同层位气层分类评价	(161)
三、中高产气层的电性特征	(174)
第四节 大牛地气田储层分布与含气性分析	(176)
一、太原组太2段储层分布与含气性分析	(176)

二、山西组山 1 段	(177)
三、山西组山 2 段	(178)
四、下石盒子组盒 1 段	(178)
五、下石盒子组盒 2 段	(178)
六、下石盒子组盒 3 段	(179)
七、关于储层宏观分布评价的认识	(179)
第六章 大型岩性圈闭的发育特征及其评价技术	(180)
第一节 岩性圈闭的基本模式	(180)
一、大型岩性圈闭形成条件	(180)
二、岩性圈闭的类型	(182)
第二节 大型叠合岩性圈闭评价技术	(185)
一、大型岩性圈闭识别评价技术	(186)
二、岩性圈闭边界模式	(187)
第三节 大牛地气田岩性圈闭(长期旋回单元)与油气分布	(188)
第四节 大牛地气田岩性圈闭(中期旋回单元)地质描述	(193)
一、以中期旋回为单元进行圈闭描述的意义与方法	(193)
二、储层测井相—岩相特征关系	(193)
三、测井相—岩相类型与气层产能的关系	(199)
四、沉积相对储层品质的影响和控制作用	(200)
五、以储层厚度和岩相类型为主要内容的圈闭描述	(205)
第七章 石炭—二叠系流体压力封存箱与近源成藏组合	(209)
第一节 大牛地气田气藏基本特征	(210)
一、前人对鄂尔多斯盆地上古生界天然气运移聚集成藏的主要观点	(210)
二、成藏基本条件	(211)
三、气藏基本特征	(214)
第二节 烃源岩特征	(216)
一、分布特征	(216)
二、有机质丰度	(218)
三、有机质类型	(221)
四、有机质成熟度	(222)
第三节 盖层	(223)
一、盖层封闭能力评价	(223)
二、盖层分布	(224)
第四节 烃类运移特征	(226)
一、运移的动力条件	(226)
二、运移特征	(227)
第五节 成藏关键要素——压力封闭箱	(228)
一、含油气沉积盆地内部流体异常压力与成藏研究趋势	(228)
二、大牛地气田石炭—二叠系储层压力分布特征	(233)
三、储层压力与含气性的关系	(241)

四、压力封存箱内幕特征	(243)
五、压力封存箱分布特征	(247)
六、上古生界压力封闭箱内天然气分布特征	(250)
第六节 气藏时空配置及成藏组合模式	(255)
一、成藏组合	(255)
二、依据流体异常压力体系划分成藏组合	(256)
三、依据与烃源岩的关系划分成藏组合	(257)
第八章 “近源箱型”成藏模式及其成藏动力学机制	(260)
第一节 石炭—二叠系“近源箱型”成藏模式	(260)
第二节 石炭—二叠系“近源箱型”成藏动力学机制	(261)
一、上古生界天然气(流体)侧向运移的讨论	(261)
二、大牛地气田成藏输导体系	(264)
三、天然气运移动力的探讨	(266)
四、石炭—二叠系压力封存箱内天然气运移与聚集	(277)
第三节 石炭—二叠系天然气成藏规律	(279)
一、石炭—二叠系煤系地层多中心广布式生烃	(279)
二、河流—三角洲沉积体系是天然气成藏富集区	(286)
三、致密背景下“相对高孔渗”储层带是高产富集的主控因素	(287)
四、近距离运移、多层段聚集是盆地中部斜坡带上古生界的主要成藏方式	(288)
五、大面积高效区域盖层、稳定的升降运动形成良好的保存机制	(291)
六、上石炭统—下二叠统近源成藏组合是最重要的勘探开发领域	(293)
第九章 实践与创新	(294)
一、战略性突破	(294)
二、立体勘探和快速评价	(294)
三、勘探实践思考	(294)
参考文献	(296)

第一章 大牛地气田勘探历程

新中国成立后，地矿部石油普查队伍在对横跨陕、甘、宁、蒙、晋五省区约 $25 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的高原与草原进行油气普查时，将其取名为“鄂尔多斯盆地”，寓意它蕴藏着丰富的油气资源。

五十多年来，我国在鄂尔多斯盆地开展了长期大规模的油气勘探与开发，业已证实盆地有利的油气勘探面积约 $20 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，油气总资源量约 $180 \times 10^8 \text{ t}$ （油当量），特别是经过“六五”到“十五”的几轮科技攻关，鄂尔多斯盆地古生界天然气勘探取得了全球瞩目的进展，全国新发现七个天然气探明储量超过 $1000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的大气田，其中五个发育在鄂尔多斯盆地。伴随着油气地质理论的进一步提高和油气勘探开发工程工艺技术的不断改进，鄂尔多斯盆地必将为中国的能源事业做出更大的贡献。

20 世纪 50 年代以来，三代石油勘探工作者在鄂尔多斯盆地默默无闻地奋斗了五十多个春秋，奉献了他们的青春年华，他们的足迹遍布鄂尔多斯盆地及其外围的汾渭盆地、六盘山盆地、银根盆地、巴彦浩特盆地、银川盆地和河套盆地；勘探的层位包括元古界、古生界、中生界、新生界，为盆地众多油、气田的发现与创业做出过重要的贡献。20 世纪 90 年代，在改革开放和企业改制重组的过程中，虽然改变了原地矿部队伍在油气勘探中没有登记区块和没有油气储产量的被动局面，但所拥有的探矿权区域则仅为全盆地面积的十五分之一，石油探明储量为全盆地已有探明储量的百分之一，天然气探明储量不足总探明储量的百分之五，石油产量在低水平徘徊，天然气开发尚未起步。

面对严峻的现实，长期在鄂尔多斯盆地从事油气普查的工作者们，对油气勘探历程进行了深入的思考，以求在重组和改制过程中切实加快油气主业的发展，实现油气储产量的迅速增长，摆脱 20 世纪末期的被动局面。为此，在勘探中再次调整勘探思路，总结出主源定型、相控储层、高压封闭、近源成藏的勘探地质理论，并在“九五”末期取得了天然气勘探的重大突破。“十五”期间，天然气勘探开发取得了更加丰硕的成果，在 2000 km^2 的塔巴庙区块（今大牛地气田），于上古生界七套气层获得工业气流，连续三年获得天然气探明储量超过 $500 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。“十五”末累计探明储量达 $2944 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。2005 年在不到 10 个月的时间内建成 $10 \times 10^8 \text{ m}^3$ 天然气年产能，实现了从油气勘探向油气勘探开发一体化的根本性转变。十年磨一剑，建成了中国天然气探明储量超过 $1000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的七大气田之一——大牛地气田。

第一节 盆地初探

鄂尔多斯盆地是一个地史过程中长期稳定发育的大型克拉通叠合盆地。与全球各大盆地相比，它的最大特点就是稳定，稳定在盆地主体可供勘探的约 $20 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的范围内，缺少乃至没有断裂、没有背斜，而是一个倾角不足 1° 的西倾大单斜，即没有构造圈闭。新中国成立初期，在传统石油地质学理论指导下，把油气勘探重点放在了构造最为发育的鄂尔多斯盆地周缘，获得了不同的油气成果，给人们带来了无数喜怒哀乐。

20 世纪 50—60 年代，鄂尔多斯盆地油气勘探的指导思想是在台地边缘、地台边缘隆

起，或断陷盆地找油，将普查的重点部署在盆地周缘及其外围的盆地。勘探成果是有新的油气发现却未能获得工业油气流，有新的地质认识却未找到油气勘探突破口。此时，地质工作者对当时找油的指导思想提出质疑，鄂尔多斯盆地找油的有利区域和层位究竟在哪里？石油地质工作者再次分析了盆地内部与边缘油气资源条件、保存条件、生储盖组合条件以及区域沉积规律。认为要在鄂尔多斯盆地找到大、中型油气田就应回到鄂尔多斯盆地内部，探索以三叠系和侏罗系三角洲和河流相沉积为主的含油砂体的分布规律。提出了“上地台中部找油”的战略性指导思想和“让开大道，占领两厢”针对侏罗系延安组勘探的具体部署思路。优选了陇东和陕北两个重点石油探区。实现了从盆地外围回到盆地内部的重大战略转移。也实现了从构造圈闭到岩性圈闭找油的重大转移。迅速在陇东和陕北地区的庆参井、镇参井、吴参井、志参井和华参井获得中生界油气勘探的重大突破，为“长庆石油会战”奠定了坚实的基础。迅速发现6个油田和17个有利勘探目标区，再次为鄂尔多斯盆地大规模的石油勘探与开发奠定了基础。

“长庆石油会战”之后，盆地南部石油勘探取得重大突破，盆地内不仅蕴藏着丰富的石油资源，而且也蕴藏着大量的天然气资源。此时，广大石油地质工作者关注的焦点问题是北进寻找新的天然气田，还是仍在陕北、陇东进一步扩大石油勘探成果。国家地质总局在1976年11月召开的海相沉积区石油普查技术会议上确定，鄂尔多斯的石油普查要大规模的向盆地北部转移，工作范围是大青山以南、长城以北、黄河以西、贺兰山以东，勘探范围约 $15 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，实现了从石油到天然气勘探的重大战略转移。通过几年的勘探，虽在盆地北部的乌兰格隆起的伊深1井和伊17井获得工业气流，但盆地内大部分探井未取得实质性突破。

鄂尔多斯盆地北部，天然气勘探可分为以下古生界海相碳酸盐岩为主和以上古生界从海相到海陆过渡相再到陆相沉积为主的含煤碎屑岩系天然气勘探两大领域。上古生界碎屑岩天然气勘探只有点上的突破，勘探前景不太明朗。1979年，地质部在长沙召开的会议上进一步明确“鄂尔多斯以下古生界为重点，兼顾上古生界，追踪油源，搞清构造，注意研究各种类型圈闭”的勘探思想。通过精心部署和大范围的甩开勘探，1984年，榆林北部的伊24井在下古生界奥陶系风化壳内幕首次见到4层良好的气测异常并获得天然气流，证实了盆地北部上古生界奥陶系海相碳酸盐岩具有十分广阔的天然气勘探开发前景，开拓了天然气勘探新思路，揭开了盆地海相碳酸盐岩天然气勘探的序幕。地质部于1986年底再次明确提出鄂尔多斯盆地的油气勘探要“以下古生界为主，兼顾上古生界；以天然气为主，兼找油”的总体部署。长庆油田也在上古生界的天然气勘探中，再次实现了从盆地西缘构造圈闭找气，大规模向盆地中东部寻找大型古岩溶型地层岩性圈闭找气的战略转移，并建成了我国第一个天然气探明储量超过千亿方的海相碳酸盐岩气田——长庆气田。

20世纪90年代初，随着国家对天然气勘探开发的逐渐重视和“六五”、“七五”期间的国家重点科技攻关，盆地北部上古生界海相碳酸盐岩领域的天然气勘探已成为“重中之重”。早在“七五”末期，地质矿产部就提出了“主攻盆地上古生界风化壳和兼探上古生界盐下气藏”的勘探思想；1991年又提出了“回到原型盆地找气”的勘探思路；1992年再次明确了“主攻上古生界，兼顾上古生界”的勘探方针。实践证实上述勘探部署的指导思想正确，也符合盆地天然气勘探的实际情况，特别是在全国、全盆地都以海相领域油气勘探为重点之际，地矿部明确提出要兼顾上古生界天然气勘探的思路非常不易。塔巴庙区块（现今的大牛地气田）的鄂5井、鄂8井在奥陶系风化壳获得工业气流，主攻上古生界的目标业

已实现,但因经费受限,兼顾目标却未能及时评价,制约或推迟了上古生界大型天然气田的发现进程。

“八五”时期,地矿部在鄂尔多斯盆地的油气勘探已步入了历史的最低点,一个在鄂尔多斯盆地辛勤工作了四十年,有过战绩、有过辉煌的勘探队伍,在改革开放、改制重组的时期却没有赖以生存发展的油气储产量。为了生存和发展,勘探队伍靠四十年奋斗所积累的丰富经验和大量资料,立足油气资源丰富的鄂尔多斯盆地,在不足盆地十五分之一和没有储产量的区块内寻找油气勘探的突破口。依靠科技进步,认真总结四十年勘探的成功与失败,创新理论、调整思路,力求迅速找到油气勘探的突破口,为地矿部勘探队伍的生存发展寻找成功之路。

第二节 战略抉择

华北油田分公司在鄂尔多斯盆地的多个探矿权区块,除 2000km² 的塔巴庙区块位于盆地的勘探主体伊陕斜坡外,其余的都分布在盆地周边。另外,“九五”初期,为寻找新的和扩大油气勘探领域而战线分散,在鄂尔多斯盆地、塔里木盆地、巴丹吉林盆地、华北诸盆地和煤层气领域开展油气普查勘探工作。面对上述局面,勘探决策十分艰难。经过反复思考和多次论证达成共识,在“有所为有所不为”的勘探思想指导下必须集中优势兵力,力争在最短的时间内取得油气勘探的实质性突破。

重大战略决策的正确性为“十五”勘探开发实践所证实。但面对多个探矿权区块,究竟选择其中哪一个作为勘探重点?选择的正确与否将关系到在新世纪的生存与发展,关系到几代人的期待能否实现。通过对区块的油气地质条件整体分析、评价、排队、筛选,最终选择了油气资源条件最好的塔巴庙区块作为重点勘探区,以上古生界煤系地层大型岩性圈闭为重点层位和目标,在上古生界又选择了山西组和下石盒子组作为天然气勘探的突破口。为此,我们在“九五”后期明确提出:“立足鄂尔多斯盆地,集中科技力量与优势兵力,寻找大型油气田,实现储产量的迅速增长,建立赖以生存和发展的油气生产基地”的油气勘探指导思想。根据油气地质条件、区块分布、资源潜力,明确提出鄂尔多斯盆地的油气勘探方针:“油气并举、以气为主,优选资源条件最好的塔巴庙区块作为战略勘探的突破口”。针对塔巴庙天然气勘探的具体部署思路是:以经济效益为中心,以发现大型天然气田为目标,突出重点,分层次部署,以上古生界大型岩性圈闭天然气藏为重点勘探对象,迅速取得天然气勘探的重大突破。

塔巴庙区块位于盆地东北部最有利的天然气勘探范围内,初步评价天然气资源量约 $7600 \times 10^8 \text{ m}^3$, 其中上古生界资源量约 $6000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。上古生界发育三大沉积体系,即以海相障壁砂坝为主的石炭系太原组储集砂体、以海陆过渡相沉积为主的二叠系山西组三角洲分流河道储集砂体和陆相沉积的下石盒子组河流相储集砂体。虽然上古生界沉积分属沉积环境截然不同的三大沉积体系,但低压、低渗、低产却是它们共同的致命弱点。主力气层埋深 2500~3000m,以岩性圈闭为主,隐蔽性强,极大地增加了勘探难度。盆地在发展过程中极为稳定,天然气缺乏长距离运移,寻找高产富集区和高产层位就成为勘探中的最大难点。面对如此多的勘探技术难题,如何进行勘探部署,确保第一口探井钻探成功,关系到塔巴庙区块未来的命运和“油气并举,以气为主”勘探方针的正确与否,也关系到勘探战略转移的成功与否,更关系到能否早日建成油气生产基地和把握生存发展的走向。

20 世纪末, 中央决定重组地质矿产部石油普查队伍, 在 1997 年成立了我国第四大石油公司——中国新星石油公司, 从过去的事业单位改制为企业单位, 其所属地区局也从过去单一的油气勘探转变为油气勘探开发一体化的油气公司。新星石油公司的成立给长期从事油气普查勘探的队伍带来了生机和活力, 但要想生存发展就必须建立油气生产基地, 其关键是必须有用于开发的油气地质探明储量, 而获得储量的前提是必须有油气发现、有可持续发展的供大面积勘探的有利区块。在改制重组过程中, 盆地的油气勘探实现了主攻盆地北部塔巴庙区块上古生界的重大转移, 在新体制下找到生存发展之路, 第一口探井部署的正确与否实在是太重要了。为此我们从盆地北部上古生界宏观沉积规律入手, 仔细分析了塔巴庙区块的天然气富集规律、成藏条件及沉积微相, 通过宏观与微观的结合, 二维地震处理解释与沉积特征研究的结合, 储层预测与沉积微相分析的结合, 以及科研与生产的紧密结合, 在塔巴庙区块西南部优选了以上古生界二叠系山西组和下石盒子组为重点勘探对象的有利区域约 240km^2 , 部署了重返塔巴庙的第一口探井 (图 1-2-1), 我们对这口井充满了期望, 充满了期待。

塔巴庙区块位于鄂尔多斯高原毛乌素沙漠腹地, 是蒙、汉两个民族聚集的地方。人烟稀少而地名亦少, 好不容易在 1:5 万的地形图上找到一个住家不足 10 户的小地名——大牛地。决定用这个“大”字做井名, 于是就诞生了充满吉祥、充满期待、充满美好远景的大探 1 井。1999 年, 大探 1 井在山西组和下石盒子组两个层段分别获得工业气流, 这不是吉祥井名带来的好运, 而是五十年不懈努力的必然。为力争在短期内探明储量, 为未来的天然气开发提供资源基础, 2000 年围绕大探 1 井部署 4 口评价井, 亦不负众望在山西组和下石盒子组获得活跃的天然气显示并试获工业气流, 单井控制储量超过 $30 \times 10^8\text{m}^3$ 。当年计算大牛地气田天然气探明储量 $165 \times 10^8\text{m}^3$, 称之为“大牛地气田”。

进入 21 世纪之际, 中国新星石油公司整体并入中国石化集团。

中国石化集团十分关注鄂尔多斯盆地的天然气勘探, 将其列入集团资源战略的主战场。在“十五”初期不断提高塔巴庙区块的勘探投入, 并在 2002 年明确提出“十五”塔巴庙区块应拥有天然气探明储量 $2500 \times 10^8\text{m}^3$, 建成年产 $5 \times 10^8\text{m}^3$ 的天然气生产能力。但我们心中最清楚, 实现这一宏伟目标是多么的艰难, 因为勘探对象是具世界级难题的低压、低渗、低产气藏。更重要的是整个盆地的油气田除上述“三低”特征外, 缺少油气的长距离运移, 储量丰度低是一个不可逾越的障碍。在盆地北部天然气勘探中, 虽然兄弟公司已有大规模的储量发现, 但单层平均储量丰度却始终未能突破 $1 \times 10^8\text{m}^3/\text{km}^2$ 。尽管盆地北部有利天然气勘探区域约 $10 \times 10^4\text{km}^2$, 但中国石化集团所具有的有利目标区却仅占 2%。要想有所作为只能在立体勘探上做文章, 不放弃任何一个可能具有勘探潜力的气层, 才能在平均单层储量丰度小于 1 的塔巴庙区块找到平均单层储量丰度 2.5 倍的天然气探明储量。

要实现这简单的 2.5 倍却要付出十倍乃至百倍的艰辛努力。任何勘探的成功都离不开精心的部署, 这必须要有充分的科学依据和正确的勘探理论。油气勘探是寻找深埋地下的矿产资源, 而它是既看不见又摸不着的东西, 只有开拓思路、创新理论, 想别人所不敢想、干别人所不敢干的事情才能有所作为, 才能实现中国石化总部要求的目标。21 世纪的第二年, 虽然有了大探 1 井的历史性突破, 并向国家上交了第一笔天然气探明储量, 但更大的问题却摆在了面前, 所有已提交的探明储量, 其单井平均无阻流量只有 $1 \sim 3 \times 10^4\text{m}^3/\text{d}$ 。按照最低经济评价标准, 平均单井配产只有达到日产 $1 \times 10^4\text{m}^3$ 才有开发价值, 而平均单井配产达到这一标准则需要单井平均无阻流量达到 $5 \sim 6 \times 10^4\text{m}^3/\text{d}$ 。这就是说要将已有的天然气探明储

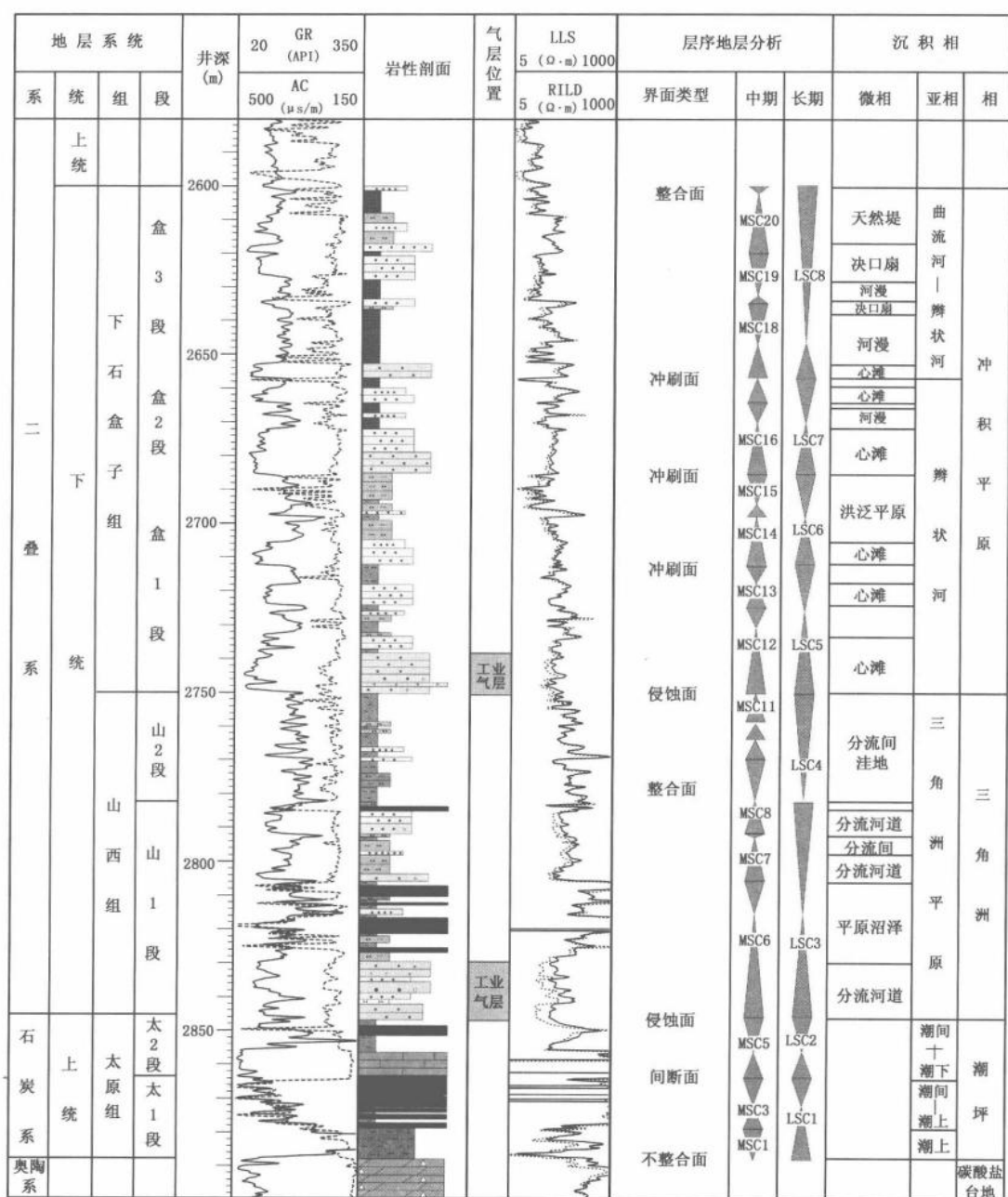


图 1-2-1 大牛地气田大探井综合柱状图

量变为可动用储量，变为经济可采储量，实现真正意义的天然气开发，寻找高产富集区和提高单井产量仍是面临的和必须尽快解决的首要任务。

根据盆地北部上古生界的天然气地质特征，特别是大探1井的历史性突破和提交了第一笔探明储量之后，我们深信自己的天然气地质理论——“主源定型、相控储层、高压封闭、近源成藏”是正确的。该理论的关键是在上述4个主控因素的限定下，所勘探的天然气均聚集在高压封闭的“封存箱”内。不仅在中部，而且在顶部和底部都应该有天然

气藏存在，关键是封存箱内什么部位的气层含气丰度最高，单井产量最大？如何勘探，以箱顶、箱中、箱底哪一套气层为主攻目标，再次成为关注的焦点。唯一的办法就是在立体勘探方针指导下，每口探井至少要预测两个以上的主力气层。由此可以极大地提高勘探成功率和降低勘探成本，快速评价出封存箱内哪一个部位的气层产量最高，为今后的立体开发提供主力产层。

在正确的勘探方针指导下，自2002年开始，所部署的探井均有主要勘探目的层、兼探目的层及次要目的层。大牛地气田2002年部署的大15井和大16井分别在成藏箱顶的盒2+3气层试获高产工业气流，大15井盒3段气层无阻流量达到 $21 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ，大16井盒2段气层达到 $16 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。两口井高产工业气流成果的取得无疑是振奋人心的，其意义甚至超过了大探1井天然气的突破。首先，突破单井产量低的技术瓶颈，坚定了在塔巴庙建立大型气田的决心和信心，改变了大牛地气田只有储量而不能经济高效开发的被动局面。其次，极大地提高了大牛地气田天然气开发项目在中国石化油气勘探开发中的战略地位，进一步提高了中国石化在国家西气东输中的地位，同时也为中国石化西气东输的战略决策和气化中国中东部省份提供了资源和产能保证。第三，客观上对大牛地气田的开发先导试验项目的及时启动起到了积极的推进作用。有关专家根据两口井所获得的高产工业气流建议要加快开发先导试验项目的实施，并力争在2003年实现年产 $1 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的天然气生产能力，从而结束了没有油气产出和没有油气生产基地的历史。最后，证实我们有能力建设大牛地大型天然气田，不仅在技术上，而且在组织管理上为大型气田的建设提供了双重保证。所以，大15井和大16井获得高产工业气流的意义远远超过了大探1井的历史意义，前者指明了大牛地气田天然气勘探的广阔前景，后者指明了大牛地气田天然气开发的经济前景（图1-2-2），坚定了建立天然气生产基地的信心和决心。

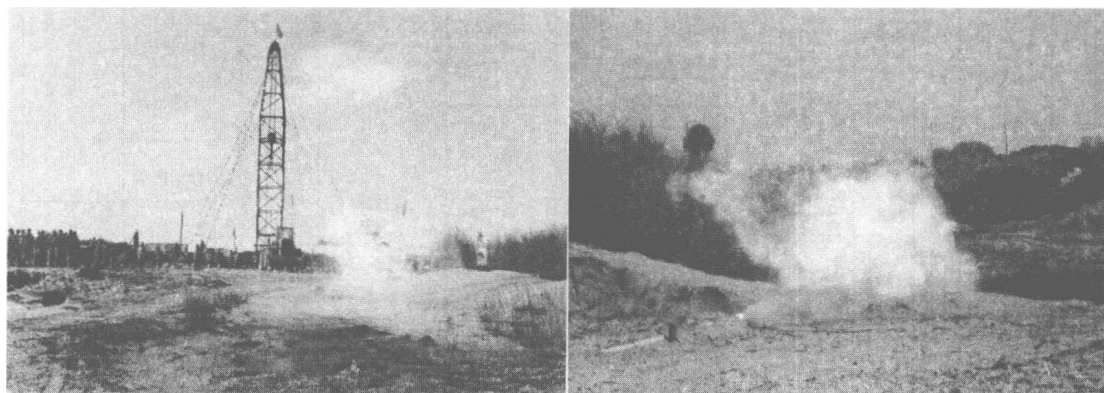


图1-2-2 大牛地气田高产工业气流井

大15井和大16井高产突破后，中国石化连续加大勘探力度，大牛地气田在2004年底天然气探明地质储量已超过 $2500 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，提前一年完成了“十五”储量目标。“十五”末探明储量接近 $3000 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，并建成了年产 $10 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的天然气生产能力。在大探1井重大发现的基础上，塔巴庙区块的勘探井成功率高达70%，不仅在箱顶的盒2+3气层寻找到富集高产区带，也在箱底的太原组气层获得高产工业气流。上述勘探成果的取得不仅为大牛地气田第一个十亿产能建设，更为第二个十亿产能建设提供了资源保证。

第三节 大牛地气田的诞生

科学技术是第一生产力，它催生了大牛地气田，使几代人的梦想得以实现。

上古生界石炭系、二叠系是距今几亿年前的沉积地层。在漫长的地质长河中，鄂尔多斯经历了由海到陆、由河到湖的古地理变迁，为气田的形成奠定了雄厚的资源基础。到过热带雨林的人们一定知道，在以潮汐为主要水动力作用的潮坪发育区，在潮汐水流不断进退的潮间带发育着一片片的热带雨林——红树林。红树林是介于灌木和乔木之间的一种过渡性植物。在气候温暖潮湿的潮坪地区易于广泛地生长发育，素有“海上森林”之美誉。地质历史演化到石炭纪时，鄂尔多斯是被地质家称之为陆表海的区域。由于海水极浅和潮汐水流的不断进退，现在的茫茫高原在古石炭纪时却是温暖潮湿、气候宜人。在鄂尔多斯几十万平方千米甚至包括华北地区上百万平方千米的海域内几乎被红树林所覆盖。经过沧海桑田般的地质历史演化，早期茂盛的红树林被深埋地下，由森林演化为黑色的金子，成为今天重要的能源——煤。而深埋地下的煤通过地质历史的不断演化，经过几亿年千锤百炼，就成为宝贵的烃源岩，不断地生成今天的洁净能源——天然气。

地质历史在不断地演化，红树林沉积为主的石炭纪结束以后，二叠纪早期的鄂尔多斯已演化为海陆过渡的古地理环境。无数的河流为这个海陆过渡的古地理环境带来了大量泥沙，在河道主体部位沉积下来的河道砂体就组成了储集天然气的有利储层。就像“箱中”的主要气层山₁和山₂就是由这些无数古河流及其分支河流的河道砂体所组成。进入二叠纪中期，盆地已进入河流发育的鼎盛期，它们带来了大量沉积物，同样是位于河道主体的边滩与心滩砂体沉积再次演化为鄂尔多斯的另一套主要储集岩，就是“箱顶”的盒₂₊₃主要气层。二叠纪晚期，几十万平方千米的土地演化为浩瀚的内陆湖泊，在平静的湖底由悬浮物质沉积下来的杂色泥岩覆盖了所有的河流砂体，将以后形成的天然气藏封闭和保存下来。

在石炭系、二叠系沉积之后，虽历经几亿年的变迁、多次大地构造运动改造的鄂尔多斯却没有像今天的黄土高原一样充满冲沟与断裂，而是保持了一个完整的整体，成为一个倾角不足1°的西倾大单斜。这个大单斜被地质家称之为伊陕斜坡，也就是今天鄂尔多斯油气勘探的主体地区。

上述的沉积和构造演化对鄂尔多斯盆地油气藏的形成起到了非常重要的控制作用。石炭系广布的烃源岩为大型气田的形成提供了雄厚的资源基础。根据钻井揭示，煤层厚度普遍大于20m，发育2~4个层。在盆地主体勘探区域伊陕斜坡形成了巨大的聚煤中心，成熟烃源岩分布面积达 $18 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，占盆地面积的72%。生烃强度大于 $20 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 的烃源岩分布面积达 $14 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，占盆地面积的55%。也就是说，鄂尔多斯盆地一半以上的地区具备形成大、中型气田的资源条件。塔巴庙区块就位于烃源岩发育的主体部位，生烃强度达到 $30 \sim 50 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 。

石炭纪除发育煤层以外，在潮汐水流和沿岸流的作用下，在大牛地气田形成一条北东—南西向展布的潮坪障壁砂坝，由中粗粒石英砂岩组成，具有横向连续性好、分布稳定的沉积特点，并与烃源岩紧密伴生，在天然气成藏过程中属于自生自储式组合类型。二叠纪早期的沉积以三角洲冲积平原发育为主，下部仍有大量的煤层发育，为气藏形成过程中的另一套有利烃源岩。同时广泛分布的三角洲分流河道砂体组成了良好的储集岩，分别由中粗粒石英砂岩和岩屑石英砂岩组成，在天然气成藏过程中属于自生自储和下生上储式组合类型。二叠纪