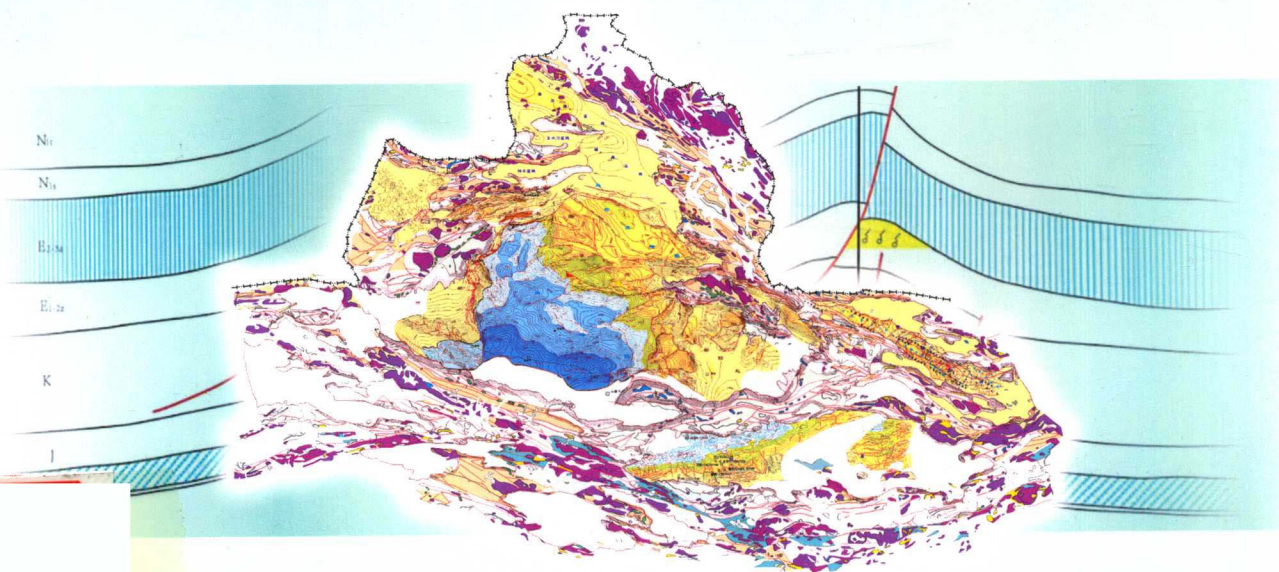


准噶尔盆地油气勘探开发系列丛书

准噶尔盆地 天然气形成与成藏

NATURAL GAS GENERATION AND ACCUMULATION IN JUNGGAR BASIN

王屿涛 杨迪生 张 健 等著



石油工业出版社

准噶尔盆地天然气形成与成藏

王屿涛 杨迪生 张 健 刘德光 肖立新 王晓峰 著
郑新梅 邹红亮 党玉芳 徐永昌 吴 鉴 魏凌云

P618.130.2
W446
石油工业出版社

内 容 提 要

本书在准噶尔盆地近 50 多年油气勘探开发成果的基础上,系统对近 30 年天然气研究和勘探成果进行了总结。其中,对不同构造区带不同发育特征的天然气藏,从构造、沉积特征、圈闭条件、生储盖组合、天然气成因类型、成藏史等诸方面进行了较为全面的叙述和论证。重点对克拉美丽气田、玛河气田、呼图壁气田、五区南等气田等进行了剖析。

本书适合从事石油地质研究特别是天然气勘探研究的科研人员 and 高等院校相关专业师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

准噶尔盆地天然气形成与成藏/王屿涛等著.

北京:石油工业出版社,2014.12

(准噶尔盆地油气勘探开发系列丛书)

ISBN 978-7-5183-0328-1

I. 准…

II. 王…

III. ①准噶尔盆地-天然气成因

②准噶尔盆地-天然气-成藏条件

IV. P618.130.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 181722 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)64523543 发行部:(010)64523620

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

2014 年 12 月第 1 版 2014 年 12 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:11.5

字数:294 千字

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

序

准噶尔盆地位于中国西部,行政区划属新疆维吾尔自治区。盆地西北为准噶尔界山,东北为阿尔泰山,南部为北天山,是一个略呈三角形的封闭式内陆盆地,东西长 700 千米,南北宽 370 千米,面积 13 万平方千米。盆地腹部为古尔班通古特沙漠,面积占盆地总面积的 36.9%。

1955 年 10 月 29 日,克拉玛依黑油山 1 号井喷出高产油气流,宣告了克拉玛依油田的诞生,从此揭开了新疆石油工业发展的序幕。1958 年 7 月 25 日,世界上唯一一座以石油命名的城市——克拉玛依市诞生。1960 年,克拉玛依油田原油产量达到 166 万吨,占当年全国原油产量的 40%,成为新中国成立后发现的第一个大油田。2002 年原油年产量突破 1000 万吨,成为中国西部第一个千万吨级大油田。

准噶尔盆地蕴藏着丰富的油气资源。油气总资源量 107 亿吨,是我国陆上油气资源当量超过 100 亿吨的四大含油气盆地之一。虽然经过半个多世纪的勘探开发,但截至 2012 年底石油探明程度仅为 26.26%,天然气探明程度仅为 8.51%,均处于含油气盆地油气勘探阶段的早中期,预示着巨大的油气资源和勘探开发潜力。

准噶尔盆地是一个具有复合叠加特征的大型含油气盆地。盆地自晚古生代至第四纪经历了海西、印支、燕山、喜马拉雅等构造运动。其中,晚海西期是盆地拗陷构造格局形成、演化的时期,印支—燕山运动进一步叠加和改造,喜马拉雅运动重点作用于盆地南缘。多旋回的构造发展在盆地中造成多期活动、类型多样的构造组合。

准噶尔盆地沉积总厚度可达 15000 米。石炭系—二叠系被认为是由海相到陆相的过渡地层,中、新生界则属于纯陆相沉积。盆地发育了石炭系、二叠系、三叠系、侏罗系、白垩系、古近系六套烃源岩,分布于盆地不同的凹陷,它们为准噶尔盆地奠定了丰富的油气源物质基础。

纵观准噶尔盆地整个勘探历程,储量增长的高峰大致可分为西北缘深化勘探阶段(20 世纪 70—80 年代)、准东快速发现阶段(20 世纪 80—90 年代)、腹部高效勘探阶段(20 世纪 90 年代—21 世纪初期)、西北缘滚动勘探阶段(21 世纪初期至今)。不难看出,勘探方向 and 目标的转移反映了地质认识的不断深化和勘探技术的日臻成熟。

正是由于几代石油地质工作者的不懈努力和执著追求,使准噶尔盆地在经历了半个多世纪的勘探开发后,仍显示出勃勃生机,油气储量和产量连续 29 年稳中有升,为我国石油工业发展做出了积极贡献。

在充分肯定和乐观评价准噶尔盆地油气资源和勘探开发前景的同时,必须清醒地看到,由

于准噶尔盆地石油地质条件的复杂性和特殊性,随着勘探程度的不断提高,勘探目标多呈“低、深、隐、难”特点,勘探难度不断加大,勘探效益逐年下降。巨大的剩余油气资源分布和赋存于何处,是目前盆地油气勘探研究的热点和焦点。

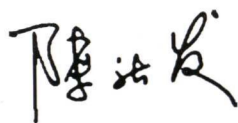
由新疆油田公司组织编写的《准噶尔盆地油气勘探开发系列丛书》在历经近两年时间的努力,今天终于面世了。这是第一部由油田自己的科技人员编写出版的专著丛书,这充分表明我们不仅在半个多世纪的勘探开发实践中取得了一系列重大的成果、积累了丰富的经验,而且在准噶尔盆地油气勘探开发理论和技术总结方面有了长足的进步,理论和实践的结合必将更好地推动准噶尔盆地勘探开发事业的进步。

系列专著的出版汇集了几代石油勘探开发科技工作者的成果和智慧,也彰显了当代年轻地质工作者的厚积薄发和聪明才智。希望今后能有更多高水平的、反映准噶尔盆地特色地质理论的专著出版。

“路漫漫其修远兮,吾将上下而求索”。希望从事准噶尔盆地油气勘探开发的科技工作者勤于耕耘,勇于创新,精于钻研,甘于奉献,为“十二五”新疆油田的加快发展和“新疆大庆”的战略实施做出新的更大的贡献。

新疆油田公司总经理

2012.11.8



前言

准噶尔盆地是我国油气资源当量超过 100 亿吨的四大含油气盆地之一,面积约 13 万平方千米,最大沉积厚度可达 15000 米。据第三次全国油气资源评价结果,石油资源量为 86.61 亿吨,天然气资源量为 2.5 万亿立方米。

经过半个多世纪的勘探开发,准噶尔盆地石油探明程度为 24.8%,天然气探明程度仅为 8.51%,均处于含油气盆地勘探阶段的早中期,预示着丰富的剩余油气资源和极大的勘探潜力。

准噶尔盆地天然气勘探始于 20 世纪 80 年代初期,随着国家“六五”至“八五”天然气科技攻关研究的持续推进,陆续在盆地东部、西北缘发现并探明了马庄气田、五区南油气田等一批小型气田,实现了准噶尔盆地天然气勘探零的突破。但这些气田储量规模较小,截至 1990 年,探明天然气储量仅 148.28 亿立方米。

“九五”以来,随着天然气地质研究的不断深入和天然气勘探技术的不断完善,天然气勘探出现了良好势头,连续在盆地南缘、腹部发现了中型规模以上的呼图壁气田、莫北气田,特别是跨入 21 世纪,玛河气田、克拉美丽气田的发现,其探明储量达到 2000 亿立方米,超过了历史累计探明储量之和,很大程度上缓解了天然气勘探长期处于被动的局面。

在天然气勘探取得重大突破的同时,亦必须清醒地看到,准噶尔盆地天然气的勘探程度依然很低,天然气发现率和探明速度与石油相比,均远远低于后者;且天然气藏的发现呈现偶然性,储量的增长缺乏连续性。其结果导致天然气产量近几年呈现下降的趋势。这种局面如不尽快加以改变,则无法实现油气勘探的平衡以及平稳地发展,更无法实现准噶尔盆地“大油田向大油气田转变”的实施战略。因此,强化天然气勘探研究,以发现更多的大中型气田为目标将是今后准噶尔盆地保持天然气储量和产量稳定增长的重中之重。

基于准噶尔盆地天然气勘探的历史和现状,从天然气形成和成藏的角度,系统分析和研究准噶尔盆地天然气气源层与储盖组合特征,对重点区带天然气藏成藏条件和成藏规律进行深入解剖,在此基础上,对准噶尔盆地天然气富集与成藏主控因素进行研究,提出今后天然气剩余资源勘探潜力。无疑,这些研究内容对今后准噶尔盆地天然气的勘探及储量的持续增长将会起到重要的指导作用。

本研究得到国家科技重大专项“准噶尔前陆盆地油气富集规律、勘探技术与区带和目标优选”(编号:2011ZX05003-005)、中国石油天然气股份有限公司“新疆大庆”油气勘探重

大专项“天然气勘探战略目标优选与规模增储关键技术研究”(编号:2012E-34-03)的资助。在本书撰写过程中,新疆油田公司总经理陈新发欣然为本书作序。中国科学院地质与地球物理研究所兰州油气资源研究中心郑建京等参与了部分编纂工作,在此深表感谢。由于笔者水平有限,文中难免有疏漏之处,敬请广大读者不吝指正。

CONTENTS 目录

第一章 天然气成藏研究概述与资源分布	(1)
第一节 天然气成藏研究概述	(1)
第二节 国内外天然气资源勘探开发研究现状	(12)
第二章 准噶尔盆地天然气地质概况	(19)
第一节 准噶尔盆地天然气资源与勘探开发概况	(19)
第二节 构造背景与演化	(21)
第三节 地层分布	(25)
第三章 准噶尔盆地气源层与储盖组合	(29)
第一节 气源层评价	(29)
第二节 天然气储盖组合	(40)
第四章 北天山山前冲断带天然气成藏	(51)
第一节 天然气地球化学特征及成因	(51)
第二节 北天山山前构造系统及圈闭类型	(59)
第三节 北天山山前冲断带天然气沉积学要素及储层类型	(64)
第四节 成藏实例分析	(69)
第五章 陆梁隆起天然气成藏	(86)
第一节 天然气地球化学特征及成因	(86)
第二节 陆梁隆起构造系统及圈闭类型	(94)
第三节 陆梁隆起天然气沉积学要素及储层类型	(97)
第四节 成藏实例分析	(106)
第六章 西部隆起天然气成藏	(123)
第一节 天然气地球化学特征及成因	(123)
第二节 西部隆起构造系统及圈闭类型	(128)
第三节 西部隆起天然气沉积学要素及储层类型	(132)
第四节 成藏实例分析	(139)
第七章 准噶尔盆地天然气富集与成藏主控因素	(148)
第一节 优质烃源岩发育为天然气形成和成藏提供了物质基础	(148)
第二节 构造运动期次与生排烃期的匹配关系	(149)
第三节 有利的生储盖组合是天然气成藏的关键因素	(153)
第四节 高压和异常高压对天然气生成和聚集的影响	(157)
参考文献	(166)

第一章 天然气成藏研究概述与资源分布

21 世纪中叶是以天然气为主的能源时代,随着国家和社会对油气需求的增长,随着天然气工业的发展,以及社会对环境保护呼声日益增大,天然气的勘探开发已经成为社会和城市关注的焦点,也成为油气生产企业的压力。经过广大油气工程、科技人员近三十余年来的不懈努力创新,提出了许多关于天然气新的认识,许多勘探和开发技术评价方法得以建立。

第一节 天然气成藏研究概述

一、油气藏成藏过程的研究历史

纵观油气藏成藏过程的研究历史,可以大致划分为 3 个主要发展阶段。

第一阶段(19 世纪至 20 世纪 50 年代末):

油气成藏研究的初始阶段以沿背斜褶皱带分布油气藏的“背斜说”或“重力说”为代表。首先在 1861 年亨特(T. Sterry Hunt)初步提出了背斜理论,并认识到石油聚集的四个基本条件:① 有烃源岩;② 地层的产状是背斜;③ 要有适当的裂缝;④ 储层上下要有不渗透地层。1885 年怀特(I. C. White)系统阐述了背斜理论,认为石油和天然气都聚集于背斜构造中,石油、天然气和地层水按其密度分异,油气占据背斜的顶部,而水占据底部,油气在饱含水的地层内靠浮力向上倾方向运移、聚集(王才良等,2006)。

1917 年委内瑞拉马拉开波盆地发现了单斜型的玻利瓦尔湖岸大油田;1930 年在美国得克萨斯盆地东缘发现了大型地层圈闭的东得克萨斯油田。这些非背斜油气藏的发现,并随着地震探测技术的应用而对其圈闭特征的认识,促使人们逐步认识到油气因运移而聚集且受流体动力的控制,圈闭是油气聚集的终点,在“背斜圈闭理论”基础上,人们又提出了“非背斜圈闭理论”,进行了早期的石油圈闭分类,分析了油气藏形成的具体地质条件。

通过烃类运移和聚集的流体动力学研究,确立了浮力、水动力和毛细管力为成藏过程中油气运移和聚集的主要控制因素,提出了流体势的概念,根据流体势分析判断地下油、气和水的运动方向,解释油气运移和油气成藏问题,将油气运移成藏过程作为动力学过程,从而使油气运聚成藏研究建立在科学的基础上(Hubbert,1953)。

第二阶段(20 世纪 60 年代至 80 年代初期):

20 世纪 60 年代至 80 年代初开始以重视油气藏形成的基本条件和形成过程为主,主要表现在:进一步认识到水动力对油气藏形成、保存和破坏构成重要影响,并进行了一系列的研究。如 20 世纪 70 年代至 80 年代,基于对地质成熟的、具水力连续的岩石格架的泄流盆地的观察,将地层流体流动的区域样式引入(Toth et al.,1978)。在石油运移和聚集理论研究的基础上,将沉积盆地区域水动力场分布和演化与石油的运移和聚集有机结合起来(Hubbert et al.,1953)。在 Hubbert 流体势理论的基础上,将流体势理论和方法与石油勘探的实际工作有机地结合起来,提出了 UVZ 法则(Dahlberg,1982),提高了人们对沉积盆地内油气运聚成藏过程中

的势能认识。

通过研究油气成藏过程中的油气二次运移和聚集机理,在油气二次运移的相态、动力、阻力、运移通道、方向、距离以及运移时间和运聚效率等方面进行了大量的研究,取得了很多成果(Berg, 1975; Schowalter, 1979; Cordell, 1977; Roberts, 1980; Chapman, 1982; Toth et al., 1980)。讨论了毛细管力对油气二次运移和聚集的影响,并结合毛细管力和水动力的研究,预测了地层圈闭中所容纳的油柱高度;系统地研究了油气二次运移和聚集机理,讨论了岩石的孔隙结构、烃-水界面张力、岩石的润湿性和毛细管力等对油气运移和聚集的作用原理;提出了油气在圈闭中聚集的渗滤作用机理,认为亲水的盖层对水不起封闭作用,对烃类则产生毛细管压力封闭,结果把油气过滤下来在圈闭中聚集;提出了油气在圈闭中聚集的排替作用机理,认为圈闭中的水是难以通过盖层的,油气进入圈闭后,首先在底部聚集,并产生一个向下的流体势梯度,使油在圈闭中向上运移的同时把水向下排替,直到束缚水饱和为止。建立了区域地下水流动系统基础上的重力穿层流动的石油运移和聚集理论,将沉积盆地区域水动力场分布和演化与石油的运移和聚集有机结合起来。

这一阶段主要是系统地研究了油气运聚成藏的宏观条件,指出在一个能形成油气藏的圈闭中,充足的油气来源和有效的圈闭是油气运聚成藏的两个最重要的方面。其中影响圈闭有效性的主要因素有圈闭形成时间与油气运移时间的相应关系,圈闭所在位置与油源区的相应关系以及水压梯度和流体性质。

此外,通过松辽盆地、渤海湾盆地以及世界其他陆相盆地大、中型或特大型油气田的发现,建立了陆相石油地质理论。

第三阶段(20世纪80年代初至今):

20世纪80年代中期以来,特别是近十几年来,地质学家开始更多地关注油气从烃源岩到圈闭的成藏过程,油气成藏研究取得了重要的进展。J. M. Hunt (1990)提出了流体封存箱理论,将油气成藏的生、储、盖等静态要素与温度、压力等动态条件结合起来研究,使人们对油气运移和成藏过程有了新的认识;L. B. Magoon 和 W. G. Dow (1994)进一步完善了 W. G. Dow (1972)提出的油气系统的概念和研究方法,强调地质作用将各地质要素连接成为一个有机的整体,强调以过程恢复为主线、以关键时刻为时间界面的成藏要素和成藏作用的组合关系为研究重点,整体、动态地研究一个盆地油气藏的形成和分布。同时,国内外学者十分关注油气运聚成藏的多项条件、动力学机制以及它们之间配置关系的研究,也非常重视油气运聚成藏动力学理论研究(解习农等,1998,2000;郝芳等,2004;罗晓容,2008)。将流体势分析引入含油气盆地系统,进行含油气盆地范围内地下流体运移的物理模拟和数值模拟,并结合油气生成和保存条件以及沉积盆地的发展演化条件,进行成藏过程中的油气二次运移和聚集的定量研究,对盆地油气资源及油气二次运移的区域方向和聚集的主要区带、层位作出定量模拟分析(罗晓容,2003;罗晓容等,2007a,2007b;郝芳等,2000,2004)。尤其是超压在油气成藏过程中的作用逐渐为人们所重视(Ortoleva et al., 1994; Law et al., 1998; Huffman and Bowers, 2002; 马启富等,2000)。

20世纪80年代以来,模拟实验已成为油气运移聚集成藏过程的重要手段和方法,并为此开展了一系列的模拟实验,大大深化了成藏过程中油气二次运移和聚集的认识(姜振学等,2005;姜福杰等,2007)。Schmoker 等2005年提出连续油气聚集的概念,是指那些具有巨大储

集空间和模糊边界的油气聚集,其存在不依赖于水柱压力。“连续型”强调油气分布连续或准连续,其本质特征是发育于非常规储层体系之中,多数源储一体或近源分布,圈闭界限模糊不明,范围很大;无统一油气水界面和压力系统;具有成藏环境特殊、成藏过程连续、成藏空间连续、开采过程连续的特征(邹才能等,2009)。

二、天然气成藏理论基础

油气藏的形成必须具备三大要素,即成藏地质要素、成藏作用过程以及能量场环境(赵文智等,2005)。地质要素是油气流体赋存的载体,是油气藏形成的物质基础,包括烃源岩、输导层、储层、圈闭和盖层等;成藏作用过程是油气从生成、运移、聚集到最终成藏或被破坏的物理作用和化学作用等;能量场是地质要素形成和作用过程发生的环境条件,为地质要素演化与作用过程提供源动力,是地温场、地压场、地应力场“三场”的通称,是地球内能以不同形式在地壳上的表现(郝芳等,2000;张厚福等,2002),能量场的演化对地质要素的质量、作用过程的时序和效率有控制作用。不同能量场背景下所形成的地质要素差异大,所发生的成藏作用过程差异也很大,由此导致了油气藏的类型、规模与质量等方面的差异,关键时刻的三要素耦合作用,对油气藏的规模与质量起决定作用(汪泽成等,2007)。成藏要素(生、储、盖、圈、通道)和成藏过程(生、排、运、聚、保)因具有适当的时、空结构,相互耦合而产生成藏作用,形成油气藏。成藏要素和成藏作用的时空结构影响着油气的富集程度,在邻近烃源层与区域盖层地区的成藏组合中,成藏期与成烃期相近的时期内形成的油气藏富集程度相对较高(周兴熙,2005)。

1. 天然气运聚机理与运聚动平衡理论

天然气藏的形成是一系列成藏要素和成藏过程在地质历史时期相互匹配的结果,成藏要素和成藏过程在天然气藏的形成过程中都是必不可少的(赵文智等,2005)。目前对成藏过程的涵义有不同的理解。广义的成藏过程包括了从天然气的生成、天然气从气源岩的排出、天然气的二次运移以及在圈闭中的聚集和保存这一全过程;狭义的天然气成藏过程主要是指天然气从气源岩中排出以后的二次运移以及在圈闭中的聚集和保存过程。除了烃源岩、储层、圈闭、盖层等基本的地质要素外,由油气运移、聚集和散失过程构成的成藏过程对油气藏的形成也具有关键的控制作用。与石油相比,天然气具有更小的相对分子质量和更大的活性,因此,天然气在成藏过程中更容易发生扩散作用和渗漏作用,以及天然气更容易溶解于地层水等,天然气运聚成藏过程中的“聚”、“散”矛盾与石油相比显得更加突出。

天然气成藏过程是否有效其根本的判别标准就是这一成藏过程是否形成了具有商业价值的天然气聚集,理论依据是天然气运聚动平衡原理(郝石生,1990)。天然气运聚动平衡原理指出圈闭供气量大于散失量是天然气藏形成的先决条件(付广等,2005)。气藏形成的过程中存在着两个同时发生的过程:一个过程是气源岩中所生成的天然气通过扩散和渗流作用进入储层后,直接或通过侧向及垂向运移而聚集在适宜圈闭内,其运移方向或数量受流体势场所控制,由高势区向低势区移动;另一个同时发生的过程则是天然气通过扩散和(或)渗流作用等不断地通过盖层逸散(或再次形成气藏)。在漫长地质历史中,地壳中天然气藏的赋存状态往往是天然气的不断散失和气源岩不断补充(包括原油不断形成的热解气)并达到某种程度的相对平衡所造成的“暂时”结果,并随地质历史的演化而不断地改变。当来自气源岩中的补充

量大于通过盖层的散失量时,则导致盆地圈闭中天然气的不断富集;当来自气源岩中的补充量少于通过盖层的散失量时,散失量就占主导地位,盆地内圈闭中的天然气就开始了减少过程,以至达到枯竭状态。如果新的气源岩随盆地演化又能提供较丰富的新气源时,盆地则又可以再次发生富集过程。所以,在地质历史过程中,含气盆地的天然气运聚动平衡条件是不不断变化的,在一定条件下,它可以出现富气→贫气→枯竭的反复过程。一些学者根据这一理论,建立起天然气资源评价的运聚动平衡模型,即把烃源岩中天然气生成、排出过程,储层和运载体中天然气运移和聚集过程,成藏后天然气散失过程等描述成一个连续的动态过程,从而历史地、定量地评价一个盆地的天然气资源(郝石生等,1993;黄志龙等,1996)。

天然气成藏运聚动平衡理论是研究天然气成藏特征的基本思路(王庭斌,2003),用聚集量和充注时间两大要素总结我国气田复杂的成藏历程:超晚期(新近纪—第四纪)生烃成藏型;晚期(古近纪—新近纪)生烃成藏型;早期(中生代为主)生烃聚集、晚期(新近纪—第四纪)定型成藏型;早期(中生代为主)生烃成藏型。目前中国天然气勘探的3个主要领域:中西部前陆盆地、三大克拉通复合盆地(四川、鄂尔多斯、塔里木)以及近海的裂谷、陆缘盆地,均是以晚期、超晚期成藏、定型为主的盆地和坳陷,为中国天然气最主要富集地区。

2. 新构造运动与天然气晚期成藏

天然气的分子量小、质量轻、难以被吸附而易扩散。在一定地质时期内,只有当天然气充注量大于逸散量时,充注到圈闭中的天然气才能聚集成藏。天然气藏形成越早,赋存时间越长,扩散、渗漏总损失量越大。成藏早的大气田,流体的分子扩散作用对气藏的影响相当大,如果没有新的气源补充,即使封盖条件相当好的古气藏,随扩散时间增长损失气量不断增加,也会使大气田演变为中、小型气田,甚至散失殆尽,气藏消亡。

1) 晚期成藏是天然气成藏尤其是大气田形成的必要条件

Klemme(1991)在统计了世界主要油气田形成时间后发现,大约80%的可采储量是在最近100Ma形成的,仅2%的现今原始可采储量是在早二叠世末(250Ma)之前形成的。到目前为止,中国大部分气田具有“晚期成藏”特征。如图1-1所示,除鄂尔多斯盆地的靖边、苏里格、榆林、乌审旗和长东5个大气田成藏期为早白垩世外,中国其他大气田最晚一期成藏均在新生代的古近纪、新近纪和第四纪(戴金星等,2003;王庭斌,2004;戴金星等,2014)。因此,晚期成藏是大气田形成的必要条件之一。

2) 叠合型含油气盆地有利于晚期大中型天然气田形成

中国盆地具有多旋回性,多次褶皱、多次抬升和沉降、多次成藏、多期构造断裂活动和多期岩浆活动等多旋回性对大气田形成和存在不利,往往使早期成藏的大气田受到破坏或从巨大气田变为一般大气田和中小型气田,而晚期成藏避免了多旋回性的破坏功能,有利于天然气完好保存而利于发现大气田(戴金星等,2003)。新构造运动是中国构造史上最后一次大规模的造山运动,对天然气的成藏有着十分重要的控制作用。中国是一个新构造运动十分发育的国家,西部地区由于欧亚板块与印度板块碰撞,最后一次构造运动为喜马拉雅晚期运动,使得青藏高原上升隆起并使昆仑山、天山、祁连山等山脉重新崛起,同时在山前形成了山前冲断带,并产生了众多的新圈闭,在该地区也发现了典型的晚期成藏的大气田(邱中建,2002)。对于在

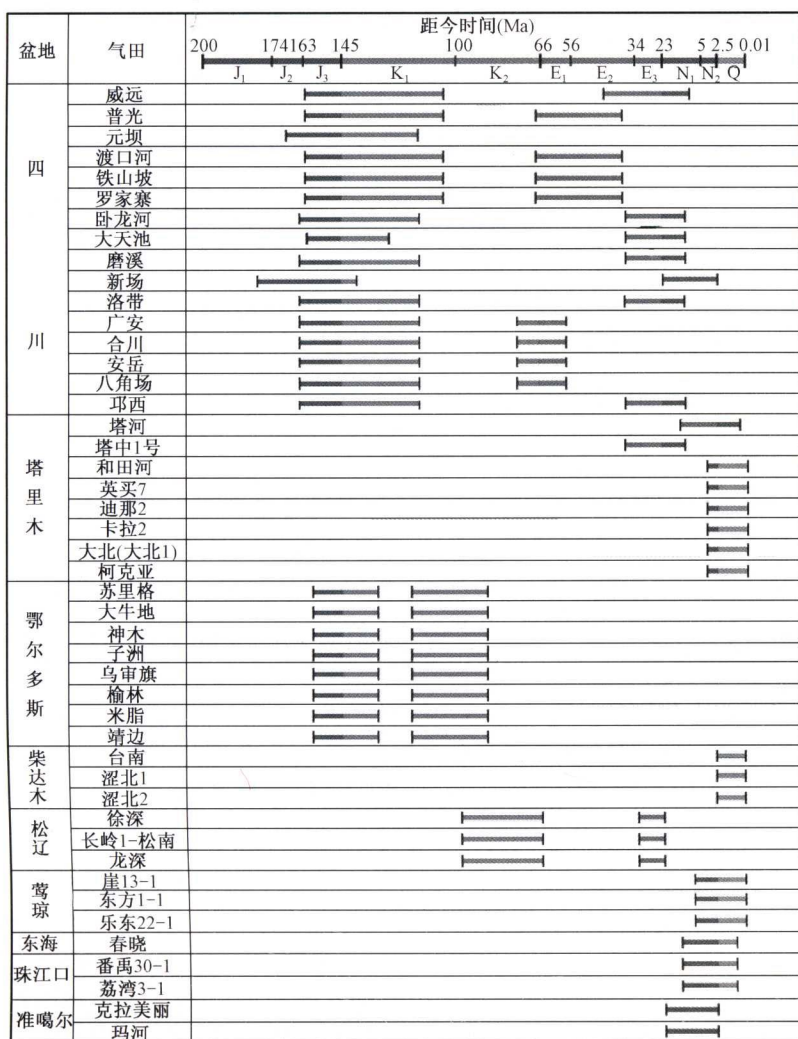


图 1-1 中国大气田的成藏期次(据戴金星等,2014)

晚期生气的烃源岩来说,新构造运动产生有效圈闭与晚期供气形成良好匹配,有利于天然气晚期成藏;在新构造运动中调整出来的天然气,一旦形成聚集,则散失量较小,所以其量与规模都比古气藏更多更大。

对于早期成藏的天然气来说,或因扩散或因构造变动,相当一部分已经不复存在了;而新构造运动使剩余的气藏在纵向、横向发生调整,形成新的气藏,另外还可以对部分气藏的储层进行优化、改造;新构造运动不仅使圈闭形成,并且还产生断裂系统,沟通烃源岩与储层,导致幕式成藏,提高天然气充注效率,有利于天然气成藏。主生气期距今越近,对于晚期成藏高效大气田越有利,一般小于 35Ma,以小于 20Ma 为最好,这从时间定量尺度说明晚期成藏对大气田形成有利(赵文智等,2005)。宋岩等(2003)对我国中、西部天然气成藏特征分析表明,新构造运动对天然气的晚期成藏的控制作用主要表现在 4 方面:① 晚期成盆有利于气源岩晚期供气,晚期快速沉降作用有利于气源岩的晚期快速熟化;② 新构造运动为天然气晚期成藏提供

了新的动力;③ 晚期圈闭的形成控制着天然气的晚期成藏;④ 晚期断裂的形成成为浅层气晚期成藏提供了运移通道。

另外,新构造运动在构造强烈地区也会对已形成的气藏起破坏作用。研究发现,许多油气藏虽然具有非常优越的聚集成藏条件,可望成为大型油气田,但是勘探结果却是油气饱和度低,油气层压力小,储量规模小的油气田,与油气聚集成藏研究结果很不相符,这种现象在我国油气勘探中非常普遍,分析认为与晚期构造运动造成的油气逸散有关,当晚期活动的断裂切穿早期形成的天然气藏时,可使其逸散(戴金星等,2003)。无论盖层分布多广、厚度多大、排替压力多高,如果有构造运动导致的开启性断裂或裂缝系统发育,其封盖能力将成倍降低。同时,构造运动所导致的抬升、剥蚀也会对盖层的封盖能力产生极大的影响(卢双舫等,2003)。

3. 控制天然气成藏的关键要素

1) 烃源岩是大气田形成与分布的决定性因素

烃源岩是气藏形成的物质基础,天然气的生成是其运聚成藏的基础,烃源岩只有生成和排出足够量的天然气,才能发生运聚成藏。否则,其他成藏条件再好,天然气也无法运聚成藏,尤其是形成大中型气田。与石油分布的“源控论”相似,大中型气田的分布受生气中心的控制十分明显。生气中心指生气强度最大区,其是烃源岩厚度、有机质丰度、有机质类型及成熟度的综合体现,处于生气中心及其周缘不仅可以源源不断获得高丰度的气源,而且运移距离短,避免天然气长途运移的大量散失。大中型气田所以要求一定的生气强度,是因为形成大中型气田需要大量的气源,特别是当天然气聚集系数越小,要求气源量则越大,没有相当大的生气强度,就难以满足形成大中型气田的支撑气源量;当天然气聚集系数一定时,生气强度越大,形成大中型气田支撑气源量的气源岩面积要求相对越小,气源丰度高、运移距离短,易于形成大中型气田。我国绝大多数大中型气田处于气源灶生气强度大于 $20 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ (戴金星等,1996)。不难理解,一个盆地天然气的富集规模和分布规律在很大程度上取决于天然气的生成量及其分布。大量研究表明,气源岩供气条件的优劣除了受烃源岩本身品质,包括有机质丰度、类型及成熟度的影响外,还受烃源岩发育程度即烃源岩厚度和分布面积的制约,两者对气源岩供气条件的影响又可集中反映在气源岩生气强度的大小上(卢双舫等,2002)。大中型气田形成要求一定的生气强度,生气强度越大,对大中型气田形成越有利。魏国齐等(2013)通过深化研究,认为“源控论”控制大气田分布理论应进一步延伸,生气强度对不同类型大型气田的控制作用不同,对于活动强烈和保存条件略差的地区需要较高的生气强度,而对于平稳沉积环境聚集效率较高的地区在满足生烃强度大于 $10 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 时也可以形成大型气田。

煤系地层以其有机质丰富、厚度大、生气期长、生气强度高而成为各类烃源中最好的气源岩(宋岩等,2000)。在成煤作用整个过程中,一般是成气为主,成油为辅,因此煤系是“全天候”的气源岩,能长期不断提供充足的气源,发育在煤系中或与其关联的上、下的大中型圈闭易获得充足的煤成气而形成大中型气田(戴金星等,1996)。

2) 良好的区域盖层有利于大中型气田形成

天然气作为一种气相流体在地下有着较液态石油更强的运移和扩散能力。所以,天然气成藏在“源控论”思想的基础上,进一步强调源(岩)盖(层)联控的地位和作用(赵文智等,

2000)。这一理论思想的核心认为,要形成有商业规模的天然气聚集,并保存至今供我们开发利用,除了要有雄厚的优质气源岩发育,以保证高强度(一般大于 $20 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$) 的生气能力而外,还需要优质且连续稳定分布的区域性盖层与之共生发育,这是天然气藏形成和保存的关键(周兴熙,1997)。气源岩和盖层在含气盆地三度空间中相伴而生,控制了天然气生成→运移→聚集与调整→再运移→再聚集的过程。

盖层及封盖条件是天然气聚集成藏的重要因素。盖层可分直接盖层和区域盖层,前者指储油气层上方直接阻止油气逸散的岩层,后者则为位于含油气层系上方对油气系统起整体保护的上覆岩系。盖层的岩性、微孔结构、可塑性、厚度、分布范围、黏土组成及其演化程度等是决定其封盖性能的主要因素。膏岩由于具有较高的突破压力,可塑性强,成为天然气最有效的封盖层,特别是厚度大、分布广的膏岩层,库车坳陷山前冲断带和川东高陡构造带的大型气田都与优质膏岩和盐岩盖层有关(胡光灿等,1997)。有时单靠岩性封盖天然气是有限的,实际上大部分气田并不是由单一的岩性盖层提供封盖,而是由岩性、烃浓度差、异常压力等因素复合作用的结果。但是,毫无疑问,盖层是决定保存条件好坏的重要条件,而区域盖层又是决定盖层好坏的根本,只要有良好的区域盖层,即使直接盖层差一些,最终油气只是在区域盖层之下重新分配,而不会导致其大量散失(李明诚等,1997,2000)。与烃源岩排烃史在时间上相匹配的优质区域盖层决定着大中型气田的形成及天然气聚集系数的大小。烃源岩生成的天然气能否聚集成藏,盖层的覆盖面积和稳定性起到重要作用。仅有局部盖层,天然气难以长期保存,运移过程中大量散失,故其下的圈闭只能形成少量的天然气聚集。区域性盖层虽然不一定构成某个特定圈闭或气藏的直接封盖,但它的广泛发育有效地降低了天然气大范围的扩散损失和渗滤损失,烃源岩形成的天然气大部分被封存在区域盖层之下,从而当存在有利的储层和圈闭时,使得从烃源岩中生成并排出的天然气得以更多地运移到适宜的圈闭中聚集成藏,就可形成大中型气田(戴金星等,1996;卢双舫等,2003)。魏国齐等(2013)通过对全国大气田的产气层位与盖层分布特征进行分析认为大气田的分布严格受区域性盖层的控制。

3) 古隆起控制大油气田形成与分布

天然气勘探实践表明:天然气田,特别是大型、超大型气田多与地台型克拉通盆地有关。统计表明,世界天然气储量的 $4/5$ 在地台盆地中,而盆地的古隆起又对天然气田的定位起了十分重要的作用(卫平生等,1998)。古隆起形成演化过程能为油气的生成、运移、聚集创造有利条件,因此被认为是石油和天然气的有利聚集区域(康玉柱,1992;贾承造等,1996;戴金星等,1996;何登发等,1997;邱中建等,1998)。

从古隆起发育时代与地层考虑,含油气盆地存在两类古隆起,其一是陆相含油气盆地的古隆起,如准噶尔盆地的三个泉隆起和中央隆起带;另一类是与海相层系有关的古隆起,通常发育在克拉通盆地,如塔里木盆地塔中、塔北古隆起以及鄂尔多斯盆地的中央古隆起等(汪泽成等,2006)。克拉通盆地内的古隆起可分为两类:一类为盆地内部的,两侧或周围都有生烃坳陷,如塔里木盆地的塔中、塔北隆起;另一类在盆地边缘,呈斜坡状向盆地内倾斜,如塔里木盆地东北部的孔雀河斜坡(张抗,2004)。

油气的运移受流体势的控制,在浮力作用下油气总体由高势向低势定向运移(England et al., 1987; Hunt et al., 1994)。这种优势取向性导致油气总是沿最有利的路径向隆起运移(Hindle, 1997)。盆地内部的古隆起具有低势特点,是油气运移的最有利指向区,周边烃源岩

排出的油气在浮力作用下向古隆起,自高势区向低势区运移,在这一过程中,遇到合适的圈闭后就会聚集成藏。目前国内外发现的油气藏,除深盆油气藏之外,它们的形成和分布都与古隆起有关。构造油气藏一般发育在古隆起的顶部或上方;地层油气藏一般发育在离烃源灶较近一侧的古隆起的围斜中部或上部;岩性油气藏一般发育在离烃源灶较近一侧的古隆起的围斜中部或下部(R. W. Davis, 1987)。古生界烃源岩成熟度高、生烃高峰期早,早期形成的天然气是否有适宜的圈闭得以聚集,是古生界天然气藏形成与保存的关键。研究和勘探实践表明,大型继承性水下古隆起对天然气的聚集具有极其重要的控制作用,古隆起控气是克拉通盆地古生界天然气富集的重要特征(宋岩等, 2004)。古隆起及斜坡带是中国克拉通盆地海相碳酸盐岩油气藏大型化分布的最有利区带。同沉积期古隆起处于高能环境,发育大范围高能滩相沉积,为形成大面积有效储层奠定基础;古隆起长期继承性发育,有利于形成多套似层状大面积分布的岩溶储层,以缝洞体为主要圈闭类型呈集群式分布;区域性不整合面是重要的输导介质,油气可大规模侧向运聚成藏(赵文智等, 2012)。

古隆起演化动力学过程对油气地质条件的影响表现在四个方面:首先,沉积期隆起影响着沉积物源、沉积充填、层序结构与有利的储集相带,长期风化剥蚀隆起的风化壳往往是较好的储集体;其次,成藏期隆起影响着油气运移的方向、聚集部位与油气富集带;第三,调整期隆起由于断裂活动、翘倾转化、埋藏等制约着油气的再分配与持续成藏;第四,定型期隆起呈现出最终的隆起结构,隆起的结构与形态细限定于油气聚集的最终场所(何登发等, 2005)。

4. 大中型天然气田发育的主要盆地类型及成藏特征

1) 前陆盆地天然气成藏特征

前陆盆地是世界上油气资源最丰富、大油气田发现最多的盆地类型,也是最早发现油气田的领域。我国中西部前陆盆地主要形成于板内(高长林等, 2000),与国外典型的前陆盆地不同,国内学者称之为“再生前陆盆地”(卢华复等, 2000;魏国齐等, 2000;贾承造等, 2003, 2005)、“陆内前陆盆地”(陈发景等, 1996;金之钧等, 2004)和“陆内俯冲型前陆盆地”(罗志立等, 1995)等。从前陆盆地形成背景来看,与国外典型的前陆盆地相比,我国中—新生代前陆盆地主要是受印度板块碰撞引起远距离效应的影响,由陆内造山形成,大多数缺乏被动大陆边缘沉积层序,是一种陆内挠曲型坳陷。前陆盆地具有形成大气田的优越地质条件。

(1)受古气候影响,普遍发育晚三叠—早、中侏罗世的煤系,厚度大、分布广,煤系中的煤岩和暗色泥岩富含以生气为主的腐殖型有机质,是天然气聚集的重要气源岩(赵文智等, 2000)。巨厚的磨拉石沉积使得中生界的煤系烃源岩快速成熟,进入生气高峰(宋岩等, 2008)。

(2)中西部前陆盆地煤系地层多为湖沼相或海陆交互相沉积,造山带物源供给充分,盆地内发育有多套河流—三角洲相砂岩沉积,为良好的储层;由于沉积的多旋回性,每一套砂岩层之上都发育有泥质岩层或煤系,既为良好的气源岩,又为下部砂岩储层的良好盖层,从而形成了多套生储盖组合。

(3)由于造山带向盆地的挤压和逆冲,在前陆盆地的前缘带往往形成成排成带展布的背斜构造。在这些背斜构造带中,靠近山前的第一排构造带由于挤压抬升强烈,断层发育,目的层埋藏浅,因而天然气保存条件差,不能成为较好的富集区;向坳陷过渡区发育的背斜构造带

保存条件好,且紧邻生气中心,位于天然气运移的指向区,为天然气的聚集提供了有利场所,而断层往往是沟通深部气源和浅部储层的有效通道。

2) 叠合盆地天然气成藏特征

中国内陆大型含油气盆地大都属于叠合盆地,其形成和演化受控于中国区域大地构造的发展。中国西部的各个克拉通板块在2个世代的沉积(即古生代海相沉积和中—新生代陆相沉积)(朱夏,1986)和3大构造体系域(即古生代的古亚洲体系域、中—新生代的特提斯构造体系域和环西太平洋构造体系域)(任纪舜等,2006)的控制下形成了叠合盆地,即古生代克拉通盆地和中—新生代前陆盆地的叠合(李景明等,2004)。

(1) 叠合盆地多次构造变革运动控制油气成藏。西部叠合盆地(四川、鄂尔多斯、塔里木、准噶尔和柴达木等盆地)天然气资源量超过 $30 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 占中国天然气资源的65%, 天然气勘探占有极其重要的地位(李景明等,2002)。我国西部叠合盆地多期构造演化往往表现为早古生代海相碳酸盐岩盆地、晚古生代—早中生代海陆交互相(含煤)盆地和中—新生代陆相盆地的多方位叠置,具有明显的旋回性和阶段性,在不同地史阶段具有不同的构造性质和盆地原型(汤良杰等,2003)。在叠合盆地控制油气成藏的诸多要素中,构造作用是关键性和决定性的(汤良杰等,2001;金之钧,2005,2006)。由于构造变动频繁且强烈,叠合盆地发生过多次构造变革运动,发育多个不整合面。构造运动的多期性决定了盆地演化的多阶段性、沉积建造的多样性和油气地质条件的复杂性(贾承造,1999)。叠合盆地的多阶段发展,往往造成不同原型的沉积盆地在横向上复合,纵向上叠加(汤良杰等,2000;何登发等,2004),导致多个生烃凹陷在平面上共存,多套烃源岩层系和储油气岩系在垂向上相继出现,形成了多套生储盖组合。这些烃源岩层系和生储盖组合发育的多旋回性决定了复杂叠合盆地多源复合成藏、多源叠合成藏和多源混合成藏的复杂特征(庞雄奇等,2002)。

(2) 叠合盆地有利于油气多期充注、调整,晚期定型。构造演化和沉积特征决定了其具有优越的生储盖组合和十分有利的成藏条件,并且具有多期充注、中期调整、晚期定型的成藏特征(王庭斌,2003)。多套生储盖组合发育和多旋回构造变动是造成叠合盆地烃类多期生、排和多期次成藏的主要原因。叠合盆地在不同时期可发育多种类型的烃源岩、多种成因的储集体以及多种结构的生储盖组合,而沉降与抬升的多次交替可使这些烃源岩在适当的时间进入生油窗,从而造成多次生排烃,并引起油气的多期运聚散(金之钧等,2004)。盆地沉降时,烃源岩埋深加大,烃源岩的生、排烃作用成为一个主要的过程;上升剥蚀时,烃源岩的生、排烃作用停止,运聚成藏作用占主导地位。多旋回构造运动过程中多个生烃凹陷和多套烃源岩进入生、排烃门限的时间不同,一套烃源岩可能经历多次生排烃高峰期(庞雄奇,1995;庞雄奇等,2000),叠合盆地多期次构造变动过程中出现多旋回的油气成藏。在多期叠合盆地中,后期叠加形式和改造程度对油气聚集产生重要影响,导致油气生运聚过程复杂化(金之钧,2005,2006)。多旋回构造演化导致构造应力多期次变化,多源灶生排油气导致多区带多期次成藏。原生油气藏形成以后要受到后期构造运动的影响,发生调整、改造甚至破坏。

5. 油气藏形成时间和油气充注史研究——流体包裹体分析

成岩矿物中的流体包裹体是矿物结晶过程中因晶体生长机制、生长速度、某(些)组分的浓度发生变化或者受多相界面相互作用等因素的影响而捕获于晶体缺陷中的成岩成矿流体,