

成熟探区油气勘探

侯连华 杨 春 王京红 杨 帆 等著



地质出版社

成熟探区油气勘探

侯连华 杨 春 王京红 杨 帆 卫延召 罗 霞 著
曹 锋 贺正军 张丽君 齐雪峰 刘 晓 崔化娟

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 简 介

中国陆上大多数含油气盆地历经多年勘探,已处于油气勘探的中后期,但新增探明油气储量仍占同期的80%以上,还有很大的勘探潜力。规模油气勘探阶段由于勘探思路、理论、认识、资料与方法技术存在一定的盲区,造成油气层或勘探领域的漏失。制约成熟探区油气勘探发现和储量增长的关键难题很多,但就某一成熟探区的某一领域或某一区带来说,关键难题只有一个或为数不多的几个,有针对性地解决这些关键难题就能解放油气层和储量。本书在系统总结中国含油气盆地成熟探区勘探经验和成果的基础上,从成熟探区精细勘探的概念、存在难题与对策、思路与潜力、理论与认识,不同类型有效储层与油气藏形成机制、控制因素与分布规律,油气层评价与预测、提高油气产能、区带与圈闭有效性评价方法技术等方面,系统阐述了成熟探区精细勘探思路、理论、认识与方法技术,并以准噶尔盆地西北缘成熟探区为例,剖析了勘探思路、理论、认识与方法技术的适用性和成效。

本书可供油气田一线科研人员和油气研究院所从事油气勘探开发的相关人员学习参考,也可作为高等院校石油地质与勘探专业的教材和参考书目。

图书在版编目(CIP)数据

成熟探区油气勘探 / 侯连华等著. —北京:地质出版社, 2016. 4

ISBN 978-7-116-08265-6

I. ①成… II. ①侯… III. ①油气勘探 IV. ①P618.130.8

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第066852号

Chengshu Tanqu Youqi Kantan

责任编辑:孙亚芸 杨 艺

责任校对:关风云

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路31号,100083

咨询电话:(010)66554528(邮购部);(010)66554633(编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

传 真:(010)66554686

印 刷:北京地大天成印务有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:31.75

字 数:760千字

版 次:2016年4月北京第1版

印 次:2016年4月北京第1次印刷

定 价:138.00元

书 号:ISBN 978-7-116-08265-6

(如对本书有建议或意见,敬请致电本社;如本书有印装问题,本社负责调换)

前 言

近年来,全球新增油气储量的70%以上来源于成熟探区,这正是各油气公司重视成熟探区油气精细勘探的主要原因之一。中国主要含油气盆地历经近60年的大规模勘探,多数已处于油气勘探的中后期,与国外中新生代海相含油气盆地相比,中国陆相含油气盆地油气地质与成藏条件更复杂,由于勘探历程较长、资料品质不一等因素,成熟探区漏失了部分油气层或领域,勘探潜力很大,仍是新增油气储量的主体。

经过长时间的油气勘探和研究,成熟探区油气地质条件和分布规律已基本清楚,但由于不同成熟探区油气地质条件、勘探历程、资料品质等存在较大差异,制约成熟探区油气精细勘探发现和储量增长的关键难题和对策也不同,关键难题的有效解决才能实现勘探突破和储产量增长。

油气勘探中,传统的思路、理论、认识与方法技术,可以指导新区油气发现;但成熟探区只有采用新的思路、理论、认识与方法技术才能发现油气,这也是本书诞生的关键原因之所在。提出成熟探区内已探明油气区附近及“四新”领域两个勘探方向,制约某一成熟探区油气发现和储量增长的关键难题只有一个或为数不多的几个,把握并找准关键难题的适合对策是成功的关键,而不应面面俱到。同时提出,相同勘探程度的成熟探区,油气地质条件及成藏控制因素越复杂、油气藏类型越多样,勘探潜力越大。

本书作者开展成熟探区油气精细勘探十多年,主持和参加了不同类型成熟探区油气精细勘探与研究的工作,成果先后获省部级科技进步一、二等奖4项。基于成熟探区油气精细勘探实践、研究和前人成果,通过成熟探区油气精细勘探共性和差异性的系统剖析,提出成熟探区精细勘探中针对勘探思路、理论认识、方法技术和资料4个盲区的解决方法,逐渐形成了成熟探区精细勘探思路、理论、认识和方法技术,希望进一步推动成熟探区油气精细勘探深入和储量增长,并对从事成熟探区油气精细勘探者有所帮助和借鉴,共同提高成熟探区油气精细勘探水平。

本书共分为7章:第一章从油气勘探历程、成熟探区油气精细勘探概念、研究与勘探现状、难题与对策、方法技术、勘探潜力与方向进行了概要叙述;第二章从油气勘探理论发展历程入手,阐述了成熟探区油气精细勘探的互补共生有序聚集理论体

系；第三章通过成熟探区勘探启示和领域分析，提出成熟探区油气精细勘探的新思路，油气资源潜力及序列评价方法；第四章阐述了不同类型有效储层的形成机制、控制因素和分布规律；第五章阐述了不同类型油气藏的油气成藏机理、富集高产控制因素与分布规律；第六章系统阐述了不同类型有效储层识别与评价方法、油气层评价与预测技术、提高油气产能方法技术、有利区带与圈闭有效性评价技术、成熟探区油气精细勘探思路与关键技术；第七章以准噶尔盆地西北缘为例，从油气地质条件及勘探历程、关键难题及对策、勘探思路、理论、认识、方法技术、应用与实效等方面，进行了系统剖析。

全书由侯连华、杨春、王京红、杨帆等撰写，由侯连华、杨春统稿。卫延召、罗霞、曹锋、贺正军、张丽君、齐雪峰、刘晓、崔化娟、陶士振、李伯华、赵忠英、刘磊、赵霞、王瑞菊、张云绵、吴丰成、李富恒、万怡平、吴卫安、周学先、张黎、方向、唐志奇、庞正炼、林森虎、卢山、袁庆东、方杰、许大丰、冯有良、彭红雨、朱耀龙、赵一民、程炎、王波、吴小州、韩文学、毛治国、张越迁、刘振宇、刘巍、李震华、黄立良、王斌、杨梦云、李林、杨迪生、欧阳敏、常秋生、秦志军、孔玉华、贾希玉、梁浩、任忠跃、王志勇、江涛、舒红、李欣、高晓辉、王淑芳、王岚、吴松涛等参加了本书相关研究、实验、资料整理及图件绘制等工作。

本书从着手撰写到成稿历时约6年，尽管本书针对成熟探区油气精细勘探思路、理论、认识与方法技术进行了系统阐述，但由于不同类型成熟探区的复杂性，本书还不能把成熟探区油气精细勘探理论、认识和方法技术实现完全和彻底覆盖。

在开展研究和本书编写过程中，得到了赵文智、贾承造、邹才能、杜金虎、匡立春、高瑞祺、刘明高、邵雨、薛新克、杨海军、姚泾利、江涛、梁浩、黄薇、杨光、刘克奇、黄文华、孙宝宗等院士和专家的帮助和指导，并提供了宝贵思路、资料和成果。作者带领的团队在与新疆油田西北缘精细勘探项目组一起工作过程中，本书内容得到了进一步丰富和完善。同时，本书引用了大庆、长庆、西南、新疆、塔里木、吐哈、华北、大港、吉林、胜利等油田的部分科研成果，在此一并表示诚挚的谢忱！

由于时间和水平所限，本书难免有不足或不妥之处，敬请各位读者批评指正。

目 录

前 言

第一章 绪论	(1)
第一节 油气勘探历程	(2)
第二节 成熟探区精细勘探概念	(5)
第三节 成熟探区精细勘探现状	(5)
第四节 成熟探区精细勘探难题与对策	(8)
第五节 成熟探区精细勘探方法技术	(11)
第六节 成熟探区精细勘探潜力与方向	(15)
主要参考文献	(18)
第二章 成熟探区精细勘探理论基础	(20)
第一节 油气勘探理论发展历程	(20)
第二节 富油气凹陷油气互补共生有序聚集	(35)
第三节 油气有序聚集区	(49)
第四节 大面积岩性油气成藏理论	(72)
第五节 地层油气成藏理论	(83)
第六节 连续型油气聚集理论	(98)
第七节 复合含油气系统	(106)
主要参考文献	(117)
第三章 成熟探区精细勘探思维及资源潜力基础	(124)
第一节 成熟探区精细勘探思维与哲学	(124)
第二节 油气资源及勘探潜力新认识	(129)
第三节 油气资源序列新认识	(143)
第四节 成熟探区勘探启示及主要领域	(150)
主要参考文献	(160)
第四章 有效储层新认识	(162)
第一节 火山岩有效储层	(162)
第二节 变质岩储层	(182)
第三节 碳酸盐岩风化壳储层	(192)
第四节 碎屑岩储层	(209)
第五节 深层有效储层	(215)
主要参考文献	(221)

第五章 油气成藏控因及分布规律新认识 (224)

第一节 油气成藏范围控制因素 (224)

第二节 油气富集高产控制因素 (238)

第三节 复杂油气成藏控制因素 (271)

第四节 连续型油气聚集机理及分布规律 (309)

第五节 深层油气成藏新认识 (316)

主要参考文献 (318)

第六章 成熟探区油气勘探关键技术 (327)

第一节 有效储层评价方法技术 (327)

第二节 油气层评价与预测技术 (358)

第三节 提高油气产能方法技术 (391)

第四节 有利区带评价技术 (402)

第五节 圈闭有效性评价技术 (409)

第六节 成熟探区油气勘探思路与关键技术 (418)

主要参考文献 (429)

第七章 成熟探区精细勘探实例 (431)

第一节 油气地质条件及勘探历程 (431)

第二节 存在的关键难题及对策 (456)

第三节 理论认识及勘探方法与技术 (466)

第四节 典型勘探实例及成效 (485)

主要参考文献 (499)

第一章 绪 论

随着油气勘探的不断深入，特别是成熟探区精细勘探目标日益复杂化和隐蔽化，勘探难度越来越大，要卓有成效地发现油气存在许多障碍。1952年，美国著名石油地质学家华莱士·E·普拉特（Wallace E. Pratt）在 *Toward a Philosophy of Oil-finding* 一文中提出“油气田首先存在于地质家的脑海里”。油气勘探家通常以老的观念、理论和方法技术在新的地区发现了油气田，也在老的地区以新的观念、理论和方法技术来发现油气田，但是很少是在老的地区以老的观念、理论和方法技术找到大量油气。过去世界油气专家曾多次预测再也找不到油气了，然而事实上并不是没有油气，而是没有新观念、新理论、新方法技术的有效叠合。正确的勘探观念、理论、思路和合适的技术是油气田发现的前提条件。

当前，中国油气行业发展面临着6个方面的挑战。第一，油气需求量巨大、快速增长对中国资源保障能力提出了挑战。石油需求增长过快，1990~2009年中国石油需求量年均增长6.6%，而国内石油产量年均增速只有1.7%；利用效率低，单位GDP油耗为0.82t。第二，高油价对中国高耗能粗放式的发展模式和产业结构提出了挑战。高油价增加了利用国外资源的代价，加大了国内通胀压力，对高耗能产业结构提出了挑战。第三，高对外依存度对中国石油供应安全提出了挑战。中国石油对外依存度已超60%，2030年可能达到70%，资源国对资源和资源利益的保护日益加强，虽然中国石油进口量日益加大，但缺乏足够的话语权和影响力，利用海外资源的政治、外交、军事和经济代价提高。第四，需求快速增长对中国天然气工业安全有效发展提出了挑战。持续保持接替率大于1、储采比大于20，难度大，中国管道干线、支线、配套储气设施建设仍然滞后，安全平稳供气压力巨大，煤层气发展面临资源、技术、矿权等问题。第五，油气行业快速发展对中国油气行业的管理水平提出了挑战。目前，我国尚缺乏统一的油气管理机构，监管体系不健全。第六，低油价对国内油气勘探开发带来了新的挑战。虽然低油价形势下，中国拓宽了原油进口渠道、降低了原油进口成本，但国内油气勘探开发综合成本较高，低油价降低了国内油气公司的利润空间，压缩了勘探开发投资，将会影响国内油气产量的持续稳定增长。

要保障国家能源安全，就需要国内有稳定的油气供应保障。国内外油气勘探证实，油气勘探中后期，新增储量主要来源于成熟探区精细勘探。中国陆相地层地质条件与成藏控制因素复杂，油气藏类型多，油气分布具有互补性和有序性，这些也决定了中国陆相成熟探区勘探潜力更大。因此，有必要总结成熟探区精细勘探思路、做法、认识和方法技术，为成熟探区精细勘探提供借鉴，以保障成熟探区新增探明储量的快速持续增长。

第一节 油气勘探历程

一、油气勘探发展阶段

人类有意识地钻探石油可追溯到近一个半世纪以前。从找油的理论和手段来看,近代世界油气勘探经历了几个十分明显的阶段。

19世纪50年代,勘探的依据是油气苗,人们相信油气苗是地下油气藏的直接显示,因此,井位主要选择在接近油气苗和先期钻探成功井的附近。当时,人们还没有自觉地利用地质学的原理勘探油气。

1920~1930年,第一次石油技术革命。石油地质勘探变化最显著的标志是由地面地质勘探转入地下地质勘探,由仅仅根据油气苗和露头确定井位,发展到在背斜构造理论指导下寻找油气,由所谓的“前地质时期”进入“背斜理论时期”。1926年,首次利用重力勘探发现了美国得克萨斯州的一些盐丘油田,随后地震勘探方法在圈定构造油气藏方面开始显示成效。1929年,开始采用地震反射波法,取代了之前的折射法,使广大地表被覆盖的平原和盆地区,都能开展油气勘探。从此以后,地震勘探发展成为油气勘探工作中应用最广泛和必不可少的一种方法,目前已成为最有效的油气勘探技术之一。

第二次世界大战以后发生了第二次石油技术革命,特别是20世纪60~70年代。这个时期是所谓“石油文明”由美国迅速扩展到其他主要工业国的时期,也是后者完成能源结构以煤为主要能源转移到以石油为主要能源的过渡时期。在此期间,石油地质学的新理论、新方法层出不穷。从全球构造出发,发展了板块构造理论,被称为地学上的一次革命,这一理论在石油勘探中得到广泛应用。有机地球化学研究可对沉积盆地的成油条件、油源及生油量进行定量评价,指出有利油气勘探地区。在勘探技术上,由于大量采用数字地震仪、多道多次覆盖技术,配以大容量高速电子计算机进行数据处理,使油气勘探技术达到新的水平,在勘探程度高的老探区也不断扩大了储量。

随着油气勘探实践认识的深入,人们逐渐发现,并不是所有油气藏都与背斜有关。美国石油地质学家莱复生于1966年首次提出了“隐蔽油气藏”一词。隐蔽油气藏是指构造油气藏以外的非构造油气藏,如地层油气藏、岩性油气藏等。隐蔽油气藏的提出和发现,为油气的勘探开发提供了更广阔的前景。依据国外一些成熟探区的资料,复杂、隐蔽型石油储量约占总石油储量的30%~40%,勘探程度越高,隐蔽油藏储量所占比例越大。

20世纪80年代至21世纪初,第三次石油科技革命向纵深发展,以信息技术为主要特征。石油科技的新概念、新理论、新工艺、新方法层出不穷,如高分辨率地震、三维地震、四维地震、地震处理解释一体化、三维可视化、层析成像、核磁测井等。

2008年以来,以美国页岩气革命为主的第四次石油科技革命,将油气勘探从常规油气时代推向非常规油气时代,以水平井、大型压裂和工厂化作业等技术为代表,将以前油气勘探的禁区变为重要勘探领域。连续型油气聚集理论、烃源岩有机质热演化成孔和滞留烃等理论支撑了油气勘探发现和储产量的大规模增长。

目前,油气勘探进入了常规油气与非常规油气并举时代,但成熟探区的油气储产量增长所占比例不断增多,成熟探区已成为油气勘探发现和储量增长的重要领域。所谓成熟探

区,是指已有规模探明油气储量并实现了工业化开发的富油气凹陷或区带。成熟探区一般勘探历史较长,具有勘探程度高、认识程度高、资源探明率较高等特点,因而油气勘探发现新储量,特别是规模储量的难度较大。但成熟探区一般都是位于含油气盆地内评价为最有利的成藏区,也是勘探重点区,如何在成熟探区寻找新突破、新发现?首先是要解放思想,坚定成熟探区突破发现的信心,敢于挑战过去、挑战自我、超越前人;其次是转变思路,创新思维模式,寻找新层系、新类型、新领域和新目标,实现尚未认知资源向储量、产量的转化;第三是坚持“重新认识”的工作方法,成熟探区尽管具有“三高”特点,但仍有理论、认识、资料与方法技术盲区,坚持重新认识,就能重构新的成藏模式,发现新的勘探目标,寻找新的突破口,发现新的油气藏和储量;第四是突破方法技术的瓶颈,解决制约油气勘探发展的关键方法技术难题,这是实现成熟探区勘探突破的重要途径,随着油气勘探研究方法和技术的进步,将推动油气勘探和储量增长迈向新台阶。近年来,中国立足成熟探区“四新”领域,不断创新和完善油气地质理论,研发和引进油气勘探新方法技术,提升对油气藏的再认识,对老资料进行重新处理和再认识,成熟探区的油气勘探取得了令人瞩目的重要成果,为油气增储上产做出了重要贡献。

二、解放思想,创新勘探思路,成熟探区获突破

辽河探区兴隆台深层古潜山油气勘探是一个在成熟探区坚持解放勘探思想、创新勘探思路、提升成藏认识,获得勘探突破和储量增长的典型案例。兴隆台古潜山地处渤海湾盆地辽河西部凹陷中部,古潜山勘探长达40多年之久,历经了“三上两下”的艰辛探索历程。20世纪70年代,基于古潜山风化壳的含油认识,开始了兴隆台古潜山勘探,兴213并于2195m钻遇中生界,获日产油110t、天然气 $80 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的高产油气流;此后的兴229并于太古宇见到良好油气显示,拉开了古潜山勘探的序幕。通过26口井的钻探,认为古潜山具有双层结构,岩性十分复杂,油气富集程度差。受古潜山成藏认识影响,1978年兴隆台地区暂缓古潜山油气勘探,并将油气勘探重点转移到上覆古近系,发现了亿吨级规模的大油气田,古潜山油气勘探处于停滞状态。1995年以后,辽河油田面临资源接替不足的困境,勘探人员再次将勘探目标聚焦到古潜山深层,受大民屯和西部凹陷低位古潜山勘探成功经验的启发,2000~2005年积极转变油气勘探思路,重构低位内幕古潜山成藏模式,按照从“古潜山风化壳找油”转变为“古潜山内幕找油”的勘探新思路,重新勘探兴隆台古潜山,相继实施了陈古1、马古1、兴古7、马古3等一批探井,于太古宇获油气发现;逐步获得了两方面重要新认识:一是太古宇只要在供油窗口之上并存在油气输导体系,就可以成藏;二是古潜山低部位4000m以下仍可获工业油流,兴隆台古潜山具有整体含油的特点,只要裂缝发育就可以富集高产。按照新认识,确定了“在供油窗口之上,钻探太古宇古潜山”的部署原则,2005年兴古7并于古潜山内幕试油3层均获高产工业油气流,从而发现了亿吨级古潜山油藏。2008年,针对兴隆台古潜山部署探井12口、评价井24口,发现了“南(马古)、中(兴古)、北(陈古)”3个局部古潜山油藏,新建原油产能超过 $130 \times 10^4 \text{ t/a}$,并将保持 $100 \times 10^4 \text{ t/a}$ 产能10年以上。目前,古潜山内幕已经成为辽河油田及渤海湾盆地未来勘探增储的重要接替领域之一。

通过解放思想、重新认识和采用新方法技术,油气勘探获得重要进展的成熟探区还包括鄂尔多斯盆地大面积岩性油气藏、准噶尔盆地石炭系火山岩油气藏、准噶尔盆地西北

缘等。

鄂尔多斯盆地从 1907 年延长油矿开始,油气勘探历史超过百年。长期以来,受储层致密认识影响和技术限制,石油年产量一直徘徊在 $100 \times 10^4 \sim 140 \times 10^4 \text{t}$ 之间。20 世纪 90 年代以来,长庆油田提出了重新认识鄂尔多斯盆地、重新认识长庆低渗透、重新认识自己的“三个重新认识”的油气勘探新思路,打开了在鄂尔多斯盆地寻找大油气田和增储上产的思路。2011 年发现了石油地质储量超过 $4 \times 10^8 \text{t}$ 级的西峰油田,之后又相继发现了姬塬、陇东、华庆等石油地质储量超过 $10 \times 10^8 \text{t}$ 级的规模储量区,形成超千万吨的原油生产能力。天然气勘探通过重新构建致密砂岩大气区的成藏模式,坚持勘探开发、上产增储一体化,目前,仅苏里格气区的天然气地质储量规模已经超过 $4 \times 10^{12} \text{m}^3$ 。

准噶尔盆地石炭系天然气勘探始于 20 世纪 90 年代,由于火山岩储层“岩-电”关系复杂及气藏类型不清,勘探一直未有规模储量发现。2005 年借鉴松辽盆地火山岩气藏勘探的成功经验,通过老井复查和综合分析,建立了火山岩岩-电关系图版,构建了构造、岩性-地层两种天然气成藏模式,仅用 3 年就探明了准噶尔盆地第一个储量规模超十亿立方米的克拉美丽大气田。

准噶尔盆地西北缘油气勘探发现始于 1955 年,经过近 50 年的油气勘探,截止到 2000 年共探明石油地质储量 $12.7 \times 10^8 \text{t}$, 2001 ~ 2003 年共探明石油地质储量 $6605 \times 10^4 \text{t}$, 平均年新增石油地质储量 $1651 \times 10^4 \text{t}$, 勘探发现逐渐减少。很多勘探家认为西北缘油气勘探基本结束,可能再没有大的油气发现。2004 年开始对该地区开展研究发现,西北缘油气地质条件优越,油气藏类型多样,成藏控因复杂,但仍有很多剩余出油气井点说不清楚、且不能扩展,前期勘探中漏失油气层较多。因此,提出围绕剩余油气井点开展精细勘探的思路,2005 年新增探明石油储量 $6781 \times 10^4 \text{t}$, 证明了西北缘成熟探区仍有很大的勘探潜力。同时,该地区多层系含油,断裂带上、下盘均能富集油气,因此,提出了针对新目标、新层系、新区块、新领域的勘探部署思路,在玛湖斜坡带取得了重大发现,从而实现了准噶尔盆地西北缘成熟探区超过 10 年的新增石油地质储量的持续稳定增长,2005 ~ 2015 年累计新增探明石油地质储量 $10.63 \times 10^8 \text{t}$ 。

上述成熟探区勘探实例表明,成熟探区尽管是所属含油气盆地中最早发现油气、勘探程度最高的地区,但“四新”领域仍有勘探较大潜力。油气勘探永远是一个实践、认识、再实践、再认识、否定之否定的过程,实现成熟探区油气勘探持续发展的关键在于树立信心,要在不断否定中重新创新思路,重新认识地下目标,重新认识技术的适用性,并不断获得油气勘探突破和储量增长。思路、认识、理论和技术创新是成熟探区实现突破发现的必由之路。

成熟探区是油气储量增长的最大领域,同时也是技术攻关难度最大的领域。2002 年,中美成熟探区新增可采储量所占比例相差 28%, 说明中国在成熟探区精细勘探方面潜力大、方法技术方面差距较大。中国成熟探区油气地质条件更复杂,经过了 50 多年的油气勘探,大部分成熟探区已处于高成熟勘探阶段,现有的油气勘探思路、理论、认识和方法技术不能满足中国成熟探区精细勘探的需要,油气发现缓慢。中国成熟探区剩余资源占全国油气总资源量的 25% 以上,快速高效发现并将其转化为经济可采储量,对确保国家能源供给有重要战略意义。近年来,成熟探区精细勘探得到重视和加强,但没有形成配套的方法与技术。根据中国成熟探区勘探实践,针对中国陆相“富油气凹陷”和“富油气区

带”成熟探区精细勘探实际情况，本书提出了新的勘探思路，形成了支撑成熟探区油气勘探和储量增长的认识、方法和技术，解决了中国成熟探区精细勘探中的关键问题，大幅度提高了中国成熟探区的油气发现速率和探井成功率。

第二节 成熟探区精细勘探概念

成熟探区的概念国内外有所差别，国外是指某区域发现并提交油气探明储量后，一定区域范围内的勘探开发区；国内是指勘探成熟区，按国际通行标准，预探井密度为 $0.1 \sim 0.5$ 口/平方千米。这里的成熟探区是一个定性概念，是指勘探开发历史较长，进一步勘探难度较大的地区。成熟探区增储上产有一定难度，但丰富的资料数据、多年来的研究成果和实践经验及新理论、新技术的开发应用又为成熟探区“挖潜”提供了宝贵契机。

地下油气资源的隐蔽性决定了对其分布规律的认识不可能一次完成，油气勘探是不断实践和多次深化认识的过程。在理论和方法技术上的创新及规律性的认识都具有阶段性和片面性，有的认识只是对大量勘探实践的局部总结。经验和规律性认识是勘探不断取得进步的阶梯，但同时，它也可能束缚油气勘探的创新和发现。因此，成熟探区勘探要勇于创新 and 探索未知新领域，才能不断取得油气勘探突破和新发现。

国内外油气勘探经验也表明，要在成熟探区取得突破，必须有新理论的指导，以及新认识和新方法技术的支持。在中国大规模开展成熟探区精细勘探之前，2000年，中国只有58%的新增油气探明可采储量来自成熟探区，与美国比相差28%，说明中国对成熟探区勘探重视程度、深化勘探认识、方法技术创新和应用等方面存在较大差距。

成熟探区勘探通过对现有各种资料进行重新分析和评价，获得地质认识上的突破，对客观地质条件和成藏规律的认识程度是勘探部署的基石。油气田发现是正确地质认识与适宜勘探技术的交集（张义杰等，2007），通过技术进步提高复杂油气层的发现和单井产量，通过多学科综合研究解决勘探中的重大难题，实现油气勘探突破和储量增长。

第三节 成熟探区精细勘探现状

从全球陆上大油气田发现来看，20世纪60~70年代是油气发现的高峰期（图1-1），近年来仍有大发现，但主要以中、小规模油气田为主。随着油气勘探领域的逐渐减少，油气发现和储量增长逐渐由新勘探区转向成熟探区。陆相与海相相比，油气地质条件更加复杂，但成熟探区勘探潜力更大。

中国含油气盆地类型多样、油气分布规律复杂：古生界为小克拉通海相沉积，热演化程度高，经历了多次后期改造；中生界以陆相沉积为主，喜马拉雅期构造运动强烈，东、西部油气地质条件差异显著；多期、多类型盆地叠合，油气多期成藏与调整，含油气层系多，勘探发现历史长，储量增长具有多峰式特点。同时，中国油气资源较为丰富，勘探程度相对较高，但成熟探区仍然是油气储量增长的主体。目前，岩性地层、前陆、碳酸盐岩等是储量增长重点领域，随着物探、钻井技术的进步，探索的新领域正在向深层、非常规油气、海洋深水区等发展。从中国油气储量增长趋势来看（图1-2），从2000年加强成

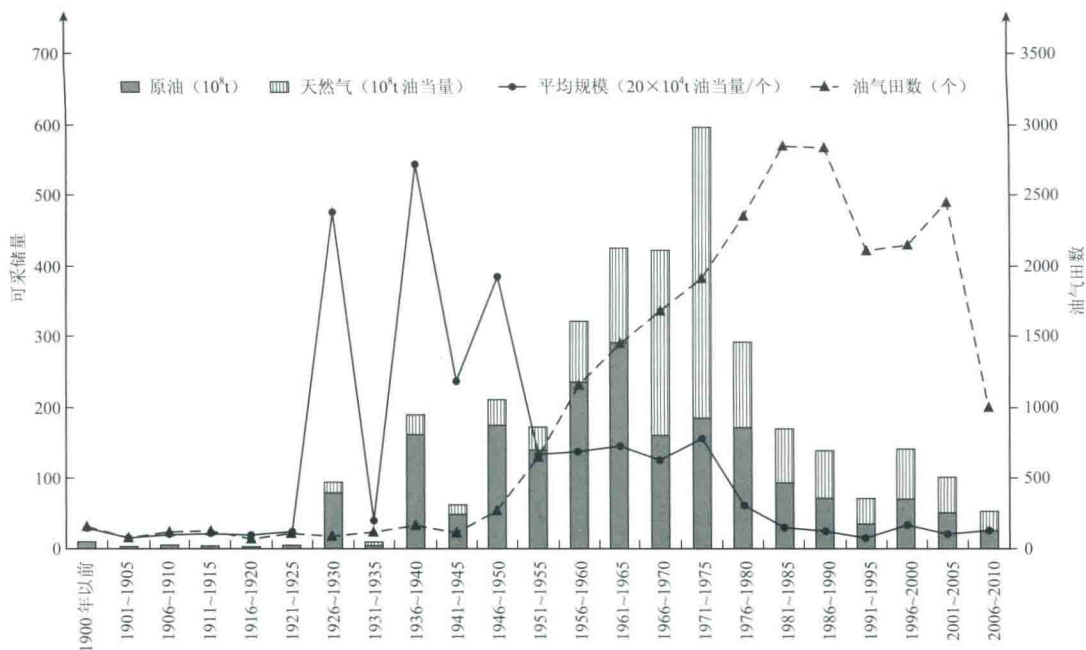


图 1-1 全球历年发现油气田储量、数量分布

熟探区精细勘探以来，来自成熟探区新增的油气储量不断增长，推动中国年新增油气储量不断迈上新台阶。

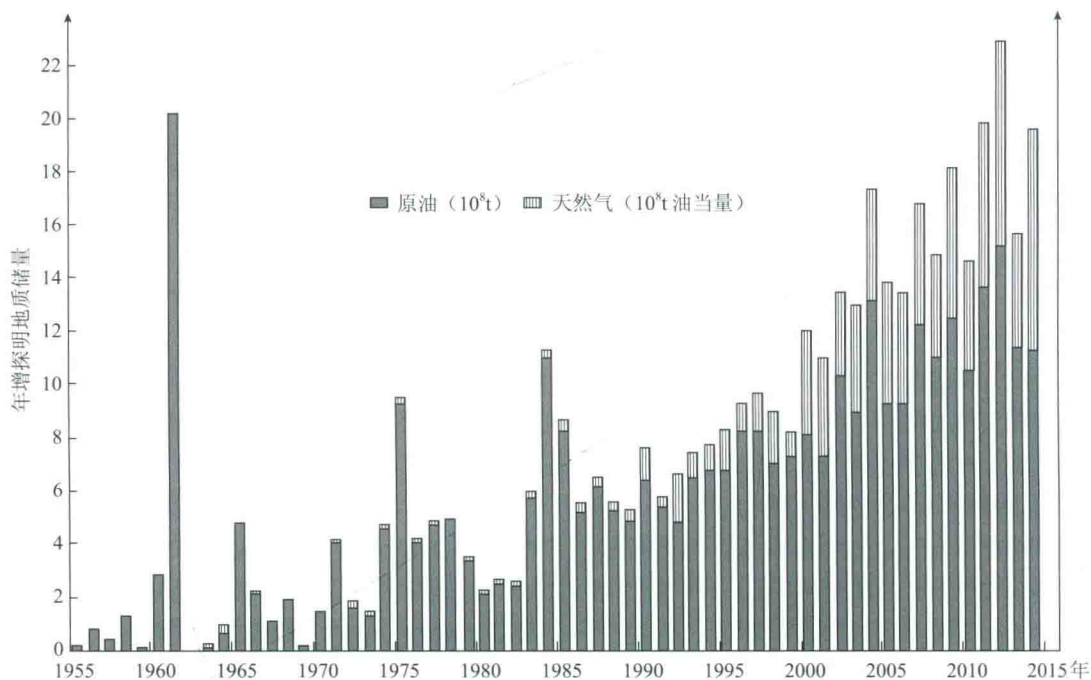


图 1-2 中国年增探明油气地质储量分布

中国油气勘探战略从以东部盆地勘探为主，到勘探重点转向以西部盆地勘探为主，再到稳定东部、发展西部的西部盆地新区勘探，到目前的东西盆地、成熟探区和新探区并举

勘探阶段,逐渐认识到成熟探区的勘探潜力。在成熟探区精细勘探中逐渐形成了一套思路、理论和方法技术,推广应用后加快了成熟探区油气发现和探明速度。中国来源于成熟探区的探明可采油气储量所占当年探明可采储量的比例不断提高,2007 年来源于成熟探区的探明可采储量占当年探明可采储量的比例上升到 82.3%,与大规模开展成熟探区精细勘探之前相比,成熟探区新增可采储量占当年新增探明可采储量的比例提高了 20%,为成熟探区储量增长做出了重要贡献,取得了很好的勘探成效。如准噶尔盆地西北缘精细勘探后的油气探明储量增长速度是其未开展精细勘探之前油气探明储量增长速度的 4 倍以上。

成熟探区油气勘探开发可以利用以前投资完成的基础设施,减少勘探和开发投入。近年来,中国成熟探区精细勘探开发成本、投资回收期分别是边远区或海上油气田的 1/4、1/8。1980 年,美国成熟探区精细勘探开发成本是边远区或海上油气田的 60%,投资回收期是边远区或海上油气田的 1/5 (Emil and David, 1994)。这充分表明成熟探区精细勘探开发是获得较好经济效益并能近期赢利的最佳途径,美国许多公司将 60% 左右的投资用于老油气田精细勘探。与美国相比,中国油气储量增长高峰预计与美国相差近 30 年,成熟探区精细勘探刚得到重视,成熟探区新增油气储量将迎来一个新高峰。近年来,成熟探区精细勘探效益及储量增长也说明了这一点。

从世界范围看,近 15 年石油可采储量增长了约 $220 \times 10^8 \text{t}$,其中一半以上来自成熟探区。美国自 1950 年以来,新增石油可采储量的 86% 来自成熟探区 (Emil and David, 1994)。1978 ~ 1991 年美国成熟探区原油储量增加了 $35 \times 10^8 \text{m}^3$,天然气储量增长了 $37000 \times 10^8 \text{m}^3$,占美国同期新增探明油气储量的 90%,而成熟探区剩余资源量占整个剩余资源量 60% 以上,成熟探区在今后相当长时间内仍是美国探明储量增长和油气生产的主要领域 (Emil and David, 1994; Kerr and Jirik, 1990)。可见成熟探区是油气储量增长的最大领域,这一点在中国成熟探区勘探中也逐步被证实 (李丕龙等, 2003; 王俊玲和郑和荣, 2003; 郑和荣等, 2003; 郭元岭等, 2007)。

中国成熟探区精细勘探的主要对象包括以前及目前主要勘探层系的挖潜和成熟探区内新区、新层系、新领域和新目标的勘探,这一点已经被勘探所证实 (张善文, 2004; 李丕龙等, 2003; 龚再升等, 1997; 侯连华等, 2003a; 薛新克和侯连华, 2007)。近年来,通过精细勘探在准噶尔、渤海湾、松辽、四川、鄂尔多斯、柴达木等盆地的成熟探区新增探明可采油气储量超过数亿吨。如准噶尔盆地西北缘通过深化地质认识、重建油气藏模式和老井复查,新增探明石油地质储量超过 $10.6 \times 10^8 \text{t}$; 辽河探区兴隆台、大民屯古潜山通过油水界面和成藏模式的重新认识,发现了低位古潜山,新增石油地质储量超过 $2 \times 10^8 \text{t}$; 渤海湾冀东南堡油田通过重新采集三维地震和层序划分,新增探明石油地质储量超过 $5 \times 10^8 \text{t}$,展现出成熟探区很好的精细勘探前景。

随着认识程度的不断提高,勘探层系不断扩大,剩余可采储量将不断增加 (谷团等, 2007),会远远超过目前的剩余可采储量规模,特别是构造、岩性地层及成藏条件复杂的富油气区带,以及叠合盆地中下组合、前陆盆地的掩覆带和推覆体内部、湖盆中心非常规油气等区域。如松辽盆地地下组合断陷盆地火山岩、四川盆地二叠系礁滩体、塔里木盆地前陆冲断带等区域的天然气勘探取得突破后,已探明可采天然气储量超过万亿立方米,且规模不断扩大,勘探潜力很大。成熟探区精细勘探在重视以往主要目的层系勘探的同时,应

不断探索未知新领域、新层系和新目标，不断推广和应用精细勘探思路、理论认识和方法技术，预计将产生更大的效益。

工程技术是成熟探区油气勘探与发现的关键之一。目前已形成了较为完善的物探、测井、钻井配套工程技术，未来将大力发展深层、非常规领域的配套技术，重点加强水平井、压裂改造技术的研发与推广应用。随着油气勘探难度的加大，未来工程技术将发挥更为重要的作用。

第四节 成熟探区精细勘探难题与对策

成熟探区经过多年勘探，易发现油气藏已基本探明，尚未发现或未探明的油气藏可能存在制约勘探突破的关键问题没有解决。

一、制约成熟探区精细勘探的关键问题

通过对中国不同类型含油气盆地的成熟探区勘探阶段和特点的分析，认为主要存在以下几个制约成熟探区精细勘探的关键科学技术问题：精细勘探领域和区带选择是否正确？现有油气成藏模式和主控因素是否正确？成熟探区有无漏失油气层？漏失油气层规模有多大？怎样提高油气层识别和评价符合率？如何提高油气层产能？如何预测成熟探区内新区、新层系的油气分布规律？下一步勘探主攻区在哪里？这些问题的解决将使中国成熟探区油气勘探取得新突破。

二、成熟探区精细勘探的思路和对策

油气勘探历程证明：每一次地质认识的深化、石油地质理论的突破和方法技术的进步都会带来勘探的巨大进展。已有认识和规律对成熟探区勘探思路存在约束，认识的突破是成熟探区勘探获得大突破的源泉，因此，应注重地质问题的再评价，辩证地看待前人的认识，多学科综合研究，寻求符合地下地质情况的最接近认识，通过方法技术创新保障成熟探区勘探突破和发现。

成熟探区中的富油气凹陷有利区带是勘探优先区域，地质认识和成藏控因正确认识是成熟探区勘探突破的关键。成熟探区经过较长时间勘探，形成了固定的油气藏类型、成藏模式和油气分布规律认识，这些模式和规律在一定阶段内对勘探具有积极的指导意义。通过对固有认识重点、相互矛盾数据的再评价，修正、完善和创新模式，可使地质认识发生飞跃，从而开创成熟探区油气勘探的新局面。

1. 成熟探区内的主力勘探层系

以富油凹陷“满凹含油”理论为指导，用对富油气凹陷的富油气区带的新认识指导优选有利区，从老井复查和剩余油气井点重新评价入手，开发新方法技术来有效识别漏失油气层、预测油气产能和油气藏规模，开发和采用新技术来有效保护和识别油气层、提高油气产能，实现成熟探区勘探新突破，是成熟探区精细勘探的主要思路。主要对策如下：

1) 早期勘探技术存在盲区，丢失了相当多标志不清、识别难度大、常规方法不易发现的油气层，开发新方法技术，通过老井重新复查和评价，解放和发现油气层，实现成熟

探区主力层系的勘探突破。

2) 受勘探程度和认识限制,大规模勘探时主要围绕主力油气层进行,忽视了主力层系以外部分深层和浅层的勘探,因此,成熟探区深、浅层是成熟探区精细勘探的主要目标之一。

3) 构造主体部位勘探程度较高,以往勘探中主要是以寻找构造为主的油气藏类型,而在主体构造翼部、凹陷两端,勘探程度相对较低,大多数漏失的油气层存在于岩性、地层和复杂圈闭中,大部分处于过去勘探技术的盲区内,需开发新方法技术进行描述和识别。

4) 受储层岩性认识限制(张义杰和董大忠,2007),大规模勘探时主要以碎屑岩为主,而在成熟探区勘探阶段,不仅继续寻找碎屑岩,而且认识到具备成藏条件的各种岩性都能成藏,从而扩大了勘探目标;对于物性普遍较差的地区,寻找有利储层是关键(赵贤正等,2007)。

5) 对于成藏模式、成藏控因和油气分布规律复杂的区域,以往认识上的偏差限制了油气发现进程,通过重新建立新模式、剖析油气成藏控因,进一步指导油气勘探和发现。

6) 受当时油气层保护、油气层识别、试油工艺等技术条件限制,存在地质认识的误区,导致了一些油气层未被发现,通过开发和采用合适的油气层识别方法,改进钻采工艺和试油试采技术,可发现油气藏,甚至会突破一个领域。

2. 富油气凹陷或区带内的新区块、新层系、新领域和新目标

采用油气地质新理论做指导,重构油气成藏模式,从制约油气勘探和发现的关键问题入手,寻找勘探突破与发现对策。主要对策如下:

1) 以复合含油气系统为指导,从有效烃源岩发育层位入手,纵向上划分含油层系;从有效烃源岩平面分布入手,确定平面上含油气边界范围,从而圈定勘探区。分不同的油气系统进行综合评价并成图,优选有利区,确定优先勘探区和方向。

2) 成熟探区制约油气勘探和发现的关键参数主要包括烃源岩有效供烃范围及供烃量、有效储层发育层位及范围、有效输导体系及分布、有效盖层及遮挡条件、圈闭及油气藏类型、成藏控制因素等。对于成熟探区很多关键参数已基本清楚,重点从不清楚的关键参数入手开展深入研究,寻找勘探突破与油气发现。

3) “四新”勘探目标包括已发现油气层/藏附近的区块、未钻探的深层或超深层、前期勘探漏失的浅层、前期勘探忽视的油气类型和油气藏类型等。只要在油气供烃门限和油气保存门限之上、含油气范围之内,就可能聚集油气并成藏,勘探和发现油气的可能性很大。

4) 指导前期油气勘探理论和认识未涉及的领域,利用新的油气地质理论和认识作指导,寻求油气勘探突破与发现。如湖盆中心砂体分布新理论指导鄂尔多斯盆地满盆富砂油气的勘探与发现,致密油气、页岩油气新认识指导鄂尔多斯盆地长7致密油、四川盆地寒武系与志留系页岩气的发现,盐构造理论指导塔里木库车山前深层天然气的发现等。

5) 寻找前期油气勘探中主力层系岩性之外的其他岩性储层的油气藏。成熟探区油气并非在一种岩性储层中富集,只要具备油气聚集条件和有效储层,油气就可以聚集成藏。如松辽盆地前期勘探以碎屑岩为主,深层火山岩属单独油气系统的重大勘探领域,已被勘探所证实。从油气综合评价入手,优选不同岩性储层的勘探对象,能获得勘探突破和

发现。

6) 含油气盆地中油气分布具有互补性和有序聚集特征。在复式油气聚集区、构造、断块、岩性地层油气藏储量具有较好的互补性,在某一区或层系内,构造或断块油气藏为主,在另一区或层系内,岩性地层油气藏就会较发育。盆地边缘或构造发育区一般以构造、断块或地层油气藏为主,盆地斜坡带以岩性地层油气藏为主,盆地中心以致密油气或页岩油气为主。按油气分布的互补性和有序聚集规律进行勘探部署,可以不断发现新区、新层系和新领域。

7) 新方法技术将给成熟探区油气勘探带来生机和希望,油气勘探在很大程度上依赖于方法技术的进步,成熟探区勘探对新方法技术的依赖程度更大。地震采集、处理和解释新方法技术对目标刻画提供了手段,有利于提高目标评价精度;测井和录井新方法技术提高了油气层识别精度;水平井钻井与大型压裂新技术可大幅度提高单井产能,解放了传统技术无法有效经济开采的油气层。

8) 成熟探区的富油气凹陷有利区带是成熟探区精细勘探的重点;前期勘探的重点层系是寻找漏失油气层的重点,主力层系的上、下层系是寻找新油气层的重点;前期勘探未认识到的层系和领域是寻找新油气层的潜力和前景区。更新地质认识、重建成藏模式、正确剖析成藏控因、整体评价是成熟探区精细勘探成功的基础。制约成熟探区勘探关键技术难题的解决与新方法技术的应用是精细勘探成功的保障。成熟探区勘探潜力大、效益好,是今后一段时间内勘探和储量增长的重点区域。

3. 成熟探区研究与勘探部署原则

成熟探区都处于含油气盆地的富油气凹陷或区带,经过前期勘探开发已发现大量油气储量,但同时成熟探区剩余油气资源也十分丰富,具有很大的勘探潜力。近年来,全球范围内新增油气储量的70%以上来源于成熟探区,这正是全球范围内对成熟探区精细勘探十分重视的主要原因。成熟探区的石油地质条件和油气分布规律基本清楚,但不同成熟探区由于油气地质条件、勘探历程等各不相同,制约成熟探区精细勘探发现和储量增长的关键因素也不同,抓住关键因素才能实现油气发现和储产量增长。

不同油气勘探阶段的指导理论和采用的方法技术差别很大,随着理论、认识、方法技术和开发工艺的进步,成熟探区精细勘探不断有新发现和储产量增长。从成熟探区勘探历程、勘探指导理论和认识、采用的方法技术和工艺入手,剖析前期指导油气勘探的理论、认识、方法技术和资料的盲区,抓住关键问题,实现勘探发现突破和储产量增长。

成熟探区精细勘探研究和部署,并不是从其石油地质条件基础研究入手开展系统的研究后再进行勘探部署,而是抓住和解决制约研究区勘探发现和储量增长的关键问题,才能成就成熟探区的勘探发现。针对不同成熟探区的油气地质条件、勘探历程、主要勘探期采用的指导理论和方法技术,发现前期勘探中理论和方法技术与其油气地质条件不相匹配的方面,开展针对性的研究和勘探部署。对于成熟探区主勘探期采用的指导理论无法覆盖该区所有油气类型时,采用新的理论和认识指导油气发现是关键,如非常规油气;对于复杂油气地质条件的成熟探区,油气成藏控制因素和油气藏类型的再认识是关键,对油气成藏关键因素和油气藏类型的研究是重点;对于成熟探区的油气储层敏感性较强,且前期钻完井过程中油气层保护不好的,改进油气层保护的钻完井技术是关键;对于识别难度较大的复杂油气藏,地震资料采集处理或老资料重新处理后,油气层识别和油气检测是关键;对