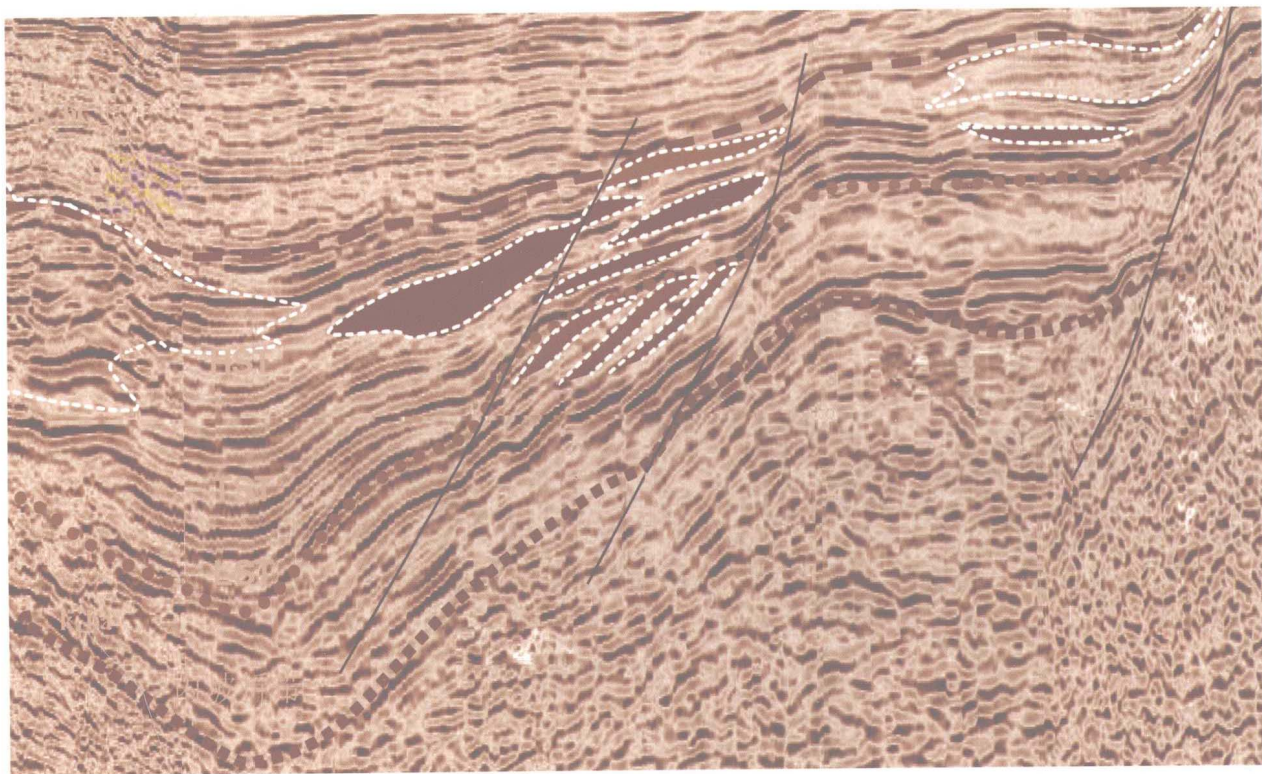


岩性地层油气藏 地质理论与勘探技术

贾承造 赵文智 邹才能 袁选俊 陶士振 等著



石油工业出版社
地质出版社

岩性地层油气藏地质理论与勘探技术

贾承造 赵文智 邹才能 袁选俊 陶士振 等著
池英柳 朱如凯 郑晓东 薛叔浩 罗 平

石油工业出版社
地质出版社

内 容 提 要

本书在分析岩性地层油气藏研究现状的基础上、系统建立了岩性地层油气藏区带、圈闭与成藏地质理论,建立了中低丰度岩性地层油气藏大面积成藏理论,揭示了四类原型盆地岩性地层油气藏的富集规律,开发出陆相层序地层学工业化应用和地震储层预测两项核心技术,取得了显著的勘探成效。

本书可供石油勘探专业技术人员使用,也可作为大专院校相关专业师生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

岩性地层油气藏地质理论与勘探技术 / 贾承造等著.

北京:石油工业出版社,地质出版社,2008.10

ISBN 978-7-5021-6748-6

I. 岩…

II. 贾…

III. ①岩性油气藏—石油天然气地质

②岩性油气藏—石油勘探

IV. P618.130.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 129682 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

发行部: (010) 64523620

经 销: 全国新华书店

印 刷: 石油工业出版社印刷厂

2008 年 10 月第 1 版 2008 年 10 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 22.25

字数: 566 千字 印数: 1—2000 册

定价: 98.00 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

目 录

第一章 岩性地层油气藏勘探研究现状与进展	1
第一节 勘探和研究现状.....	1
一、岩性地层油气藏的概念与分类.....	1
二、国外岩性地层油气藏勘探研究现状.....	4
三、国内岩性地层油气藏勘探研究现状.....	9
第二节 研究思路与攻关目标.....	11
一、研究面临的主要问题.....	11
二、研究思路与攻关目标.....	14
第三节 主要研究成果与勘探成效.....	15
一、建立了岩性地层油气藏区带、圈闭与成藏地质理论.....	16
二、建立了中低丰度岩性地层油气藏大面积成藏理论.....	17
三、揭示了四类原型盆地岩性地层油气藏的油气富集规律.....	20
四、开发出“两项核心勘探技术”和特色技术.....	23
五、建立了凹陷、区带、圈闭评价技术和规范标准.....	25
六、取得了显著的勘探成效.....	25
第二章 含油气盆地类型与岩性地层油气藏区带划分	27
第一节 中国大陆区域构造演化与成盆背景.....	28
一、中国大陆板块构造演化阶段.....	28
二、中国大陆板块构造基本特征.....	32
三、中国各含油气区的成盆环境.....	33
第二节 中国含油气盆地的主要类型与特征.....	34
一、中国大陆原型盆地类型.....	34
二、不同原型盆地基本特征.....	35
第三节 岩性地层油气藏区带划分理论依据与类型.....	42
一、构造—层序成藏组合概念与意义.....	42
二、构造—层序成藏组合类型划分与特征.....	43
第三章 陆相坳陷盆地沉积层序与区带分布规律	60
第一节 沉积体系类型与分布.....	60
一、松辽盆地沉积体系类型与分布.....	60
二、鄂尔多斯盆地沉积体系类型与分布.....	62
三、准噶尔盆地沉积体系类型与分布.....	63
第二节 层序演化与生储盖组合特征.....	66
一、松辽盆地层序演化与生储盖组合特征.....	66
二、鄂尔多斯盆地层序演化与生储盖组合特征.....	68
三、准噶尔盆地层序演化与生储盖组合特征.....	71

第三节 主要含油气区带类型及其油气富集规律·····	73
一、长轴缓坡——低位、湖侵体系域（河流）三角洲型富集区带·····	73
二、短轴缓坡——高位体系域河流三角洲型富集区带·····	75
三、短轴陡坡——湖侵和高位辫状河（扇）三角洲型富集区带·····	77
第四章 陆相断陷盆地沉积层序与区带分布规律·····	80
第一节 沉积体系类型与分布·····	80
一、储油砂体类型·····	80
二、砂体分布规律·····	83
第二节 层序演化与生储盖组合特征·····	84
一、多级裂陷幕控制多级层序·····	84
二、多期二级裂陷幕形成多套生储盖组合·····	85
三、构造沉降历史差异导致盆地不同部分主力油层差异·····	86
四、与生油岩直接接触的主成湖期砂体有利于形成岩性地层油气藏·····	86
第三节 主要含油气区带类型与分布规律·····	89
一、陡坡带中下断阶砂岩上倾尖灭油气聚集带·····	89
二、缓坡带边缘地层超覆—不整合遮挡油气聚集带·····	90
三、缓坡带下部近洼陷区砂岩上倾尖灭油气藏聚集带·····	90
四、中央凸起围斜岩性地层油气藏聚集带·····	91
五、富油气凹陷深潜山油气聚集带·····	91
六、深层基底断裂—火成岩气藏聚集带·····	92
第五章 陆相前陆盆地沉积层序与区带分布规律·····	95
第一节 沉积体系类型与分布·····	95
一、中国陆上前陆盆地形成背景与宏观沉积特征·····	95
二、陆相前陆盆地主要储油砂体类型与分布·····	96
第二节 层序演化与生储盖组合特征·····	100
一、早期型前陆盆地沉积层序与生储盖组合·····	100
二、晚期型前陆盆地沉积层序与生储盖组合·····	102
三、叠加型前陆盆地沉积层序与生储盖组合·····	103
第三节 主要含油气区带类型与分布规律·····	105
一、准噶尔西北缘前陆盆地主要含油气区带类型与分布·····	105
二、川西前陆盆地主要含油气区带类型与分布·····	107
第六章 海相克拉通盆地沉积层序与区带分布规律·····	110
第一节 沉积体系类型与分布·····	111
一、主要碎屑岩沉积体系及分布·····	111
二、碳酸盐岩沉积特征及分布·····	113
第二节 层序演化与生储盖组合特征·····	119
一、层序演化·····	120
二、储盖组合划分及特征·····	120
第三节 主要含油气区带类型与分布规律·····	122
一、台缘海侵礁滩型含油气区带·····	122

二、台内海侵滩坝型含油气区带·····	124
三、台内滨岸海侵滩坝型含油气区带·····	125
四、台内海陆过渡相三角洲型含油气区带·····	126
五、古隆起岩溶型含油气区带·····	127
第七章 储集体类型及形成主控因素·····	129
第一节 四类原型盆地发育的储集体类型·····	129
一、断陷盆地储集体类型·····	130
二、坳陷盆地储集体类型·····	130
三、前陆盆地储集体类型·····	131
四、克拉通盆地储集体类型·····	132
第二节 有利砂砾岩储集体发育控制因素·····	132
一、古地形控制陆相盆地砂体展布·····	133
二、古物源水系规模控制砂体规模·····	135
三、古水深控制砂体类型与分布·····	137
第三节 有利碳酸盐岩储集体发育控制因素·····	139
一、礁滩储集体·····	140
二、白云岩储集体·····	143
三、岩溶储集体·····	144
四、构造作用对储集体物性的改善有重要作用·····	145
第四节 有利火山岩储集体发育控制因素·····	146
一、渤海湾盆地火山岩储集体及控制因素·····	147
二、松辽盆地火山岩储层·····	149
三、准噶尔盆地石炭系火山岩储层·····	151
第五节 “两相、两带”控制储层发育及其物性·····	154
一、“两相”对储层发育及其物性的控制·····	154
二、“两带”对储层发育及其物性的控制·····	158
第八章 岩性地层圈闭形成条件与控制因素·····	162
第一节 岩性地层圈闭类型与形成条件·····	162
一、岩性地层圈闭类型·····	162
二、岩性圈闭形成条件·····	163
三、地层圈闭形成条件·····	165
四、复合圈闭形成条件·····	166
第二节 圈闭形成的“六线、四面”控制要素·····	167
一、“六线”对圈闭发育的控制·····	168
二、“四面”对圈闭发育的控制·····	170
第三节 岩性地层圈闭带发育和分布特征·····	171
一、有利岩性地层圈闭带的类型和分布·····	171
二、岩性地层圈闭的纵横向分布和控制因素·····	172
第九章 岩性地层油气藏成藏组合划分与成藏机制·····	181
第一节 成藏组合划分与成藏机制·····	181

一、“源内、源上、源下”三种成藏组合划分	181
二、三种组合成藏控制因素与成藏机制	182
三、东、西部盆地含油气层系分布差异	200
四、“三大界面”控藏主要油气资源的空间分布和富集	202
第二节 四类原型盆地岩性地层油气藏富集规律与特点	206
一、陆相断陷盆地富油气凹陷“满凹含油”	206
二、陆相坳陷盆地三角洲“前缘带大面积成藏”	210
三、陆相前陆盆地“冲断带扇体控油”	214
四、海相克拉通盆地“台缘高能相带控油”	218
第十章 岩性地层油气藏勘探技术与方法	223
第一节 地震勘探与储层预测关键技术	223
一、岩性地震勘探面临的问题与对策	223
二、采集、处理、解释一体化的岩性地震勘探技术	224
三、储层预测关键技术的研发与集成	237
第二节 层序地层学分析技术	264
一、陆相层序地层学理论	264
二、层序地层学工业化应用的六个步骤	270
第十一章 岩性地层油气藏区带、圈闭评价方法与技术	274
第一节 勘探思想与勘探程序	274
一、岩性地层油气藏勘探思想	274
二、四类原型盆地的勘探程序	279
第二节 区带评价方法与技术	282
一、“四图叠合”区带划分与评价方法	283
二、渤海湾盆地南堡富油气凹陷区带划分与评价	283
三、松辽盆地南部泉四段三角洲前缘区带划分与评价	294
第三节 圈闭评价技术	298
一、“五步十图”圈闭评价规范与流程	298
二、岩性圈闭识别配套技术	303
参考文献	339

第一章 岩性地层油气藏勘探研究现状与进展

我国陆上油气勘探已进入了岩性地层油气藏与构造油气藏勘探并重的新阶段，大部分盆地岩性地层油气藏已成为“十五”期间陆上储量增长的主体，成为我国陆上最重要的勘探领域。预计在今后相当长一个时期内，岩性地层油气藏仍是我国陆上最现实、最有潜力的油气勘探领域。本章在回顾国内外岩性地层油气藏勘探和研究现状的基础上，深入剖析了在勘探和研究中存在的 key 问题，理清了研究思路和攻关目标，确定了主要研究内容。最后简要介绍了中国石油天然气股份有限公司在“十五”期间取得的主要研究成果和勘探成效。

第一节 勘探和研究现状

一、岩性地层油气藏的概念与分类

过去对于构造油气藏以外的油气藏类型多笼统称为非构造油气藏或隐蔽油气藏，岩性地层油气藏最早就被人们笼统地归属于非构造油气藏或隐蔽油气藏这个相对模糊的概念中。

隐蔽油气藏最早由卡尔（1880）提出，是指较难发现和识别的油气藏类型。威尔逊（1934）提出了非构造圈闭是“由于岩层孔隙度变化而封闭的储层”的观点。莱复生（1936）提出了地层圈闭的概念，并发表了题为“地层型油田”的论文。哈尔伯蒂（1972）著文将地层圈闭、不整合圈闭、古地形圈闭所形成的油气藏统称为隐蔽油气藏。随着油气勘探技术的发展和研究工作的深入，隐蔽油气藏的内涵扩大为：在现有勘探方法与技术水平的条件下，较难识别和描述的油气藏类型，通常泛指所有非构造圈闭油气藏，它涵盖了地层、岩性、古地貌（形）、复杂断块、低幅度平缓背斜、水动力圈闭、毛细管力封闭、水溶气、天然气水合物等油气藏类型。需要指出的是，因为隐蔽油气藏（subtle reservoirs）概念比较模糊，勘探对象的针对性比较宽泛，国外石油界目前已很少使用。

岩性地层油气藏，国外石油界习惯称为“stratigraphic reservoirs”，直译为地层油气藏，按国内习惯应译为岩性地层油气藏“litho-stratigraphic reservoirs”。长期勘探实践和研究结果表明，岩性地层油气藏与构造油气藏一样，均受特定构造背景和沉积条件控制，有一定的分布规律可循。随着石油地质理论的进步和勘探技术手段的提高，特别是高分辨率数字地震技术和层序地层学理论的广泛应用，能够直接识别的岩性地层圈闭数量越来越多。近几年，华北、大庆、吉林、长庆、西南、新疆和塔里木等油田分公司，以层序地层学理论为指导，以高分辨率三维地震解释和大比例尺沉积微相工业制图为基础，进行岩性地层圈闭识别和油藏描述，发现了一大批岩性地层油气藏。

国内学者多将“stratigraphic trap”译为“地层圈闭”。英文中“stratigraphy”除了地层学意义外，还有岩性及岩性变化的含义（Glossary of Geology and Related Science, 1957）。莱复生的“stratigraphic trap”不仅包括不同地层之间的削截与超覆所形成的圈闭，也指同一地层内部岩性或物性变化所形成的圈闭。随着油气勘探的深入，“stratigraphic trap”的内涵存在不同的理解：①地层物性变化产生的圈闭（Martin, 1966; Rittenhouse, 1969）；②沉

积作用或成岩作用造成地层岩性变化而产生的圈闭 (Halbouty, 1969, 1982), 即“岩性变化而不是构造变形所产生的油气圈闭”(Link, 2001); ③剥蚀作用或沉积间断作用形成的与不整合相关的圈闭 (Makhous, 2001); ④地层岩性或物性变化而产生的圈闭, 也包括剥蚀作用或沉积间断作用形成的与不整合相关的圈闭 (Rittenhouse, 1969; North 等, 1985; Biddle 等, 1994; Beaumont 等, 1999)。结合国际石油地质界对“stratigraphic trap”内涵的理解等因素综合分析认为, 将“stratigraphic trap”译为“岩性地层圈闭”更符合莱复生 (1936) 关于此类圈闭的原始定义, 也符合目前国际石油地质界对此术语内涵的普遍理解。

国内目前很多情况下使用了“隐蔽油气藏 (圈闭)”的概念, 这一概念最早来源于莱复生 (1966) 的遗作 “The Obscure and Subtle trap”, 文中并没有给隐蔽圈闭一个明确的定义, 只是强调油气勘探应由寻找纯构造圈闭向寻找“构造、地层变化及流体流动”等因素共同控制形成的复合圈闭转化。Halbouty (1969, 1982) 将隐蔽圈闭 (subtle trap) 划分为岩性地层圈闭、不整合圈闭及古地貌圈闭等三种类型。而国内使用的“隐蔽圈闭”概念多指“目前勘探技术手段尚不易认识和找到的各种油气藏, 包括隐蔽的构造油气藏和地层岩性油气藏, 特别是地层岩性油气藏”(翟光明, 1982)。按目前对隐蔽油气藏的理解“隐蔽圈闭”主要是从勘探技术角度对圈闭进行的描述性术语, 从石油地质学理论角度, 很难对隐蔽圈闭确定真正的内涵与分类标准。

目前我国在这类油气藏的实际勘探生产中, 隐蔽油气藏、非构造油气藏、岩性地层油气藏等术语常混合使用, 有时泛指所有非构造成因的油气藏, 有时也包括当时地球物理技术难以识别的构造油气藏, 存在相互混淆和歧义。针对这种情况, 2002 年贾承造提出用岩性地层油气藏这一概念来描述这类油气藏, 并指出该领域蕴藏着丰富的油气资源, 有着巨大的勘探潜力, 是中国陆上今后油气勘探的重点领域。2003 年贾承造在“中国岩性地层油气藏资源潜力与勘探技术”论文中, 为了明确研究对象、避免概念混淆和与国际接轨, 建议不使用“隐蔽圈闭”一词, 明确提出使用岩性地层油气藏的概念。

由于岩性地层油气藏有别于其他隐蔽油气藏形成的地质背景、圈闭机制、勘探思路和技术方法, 同时由于其有巨大的勘探潜力, 有必要区别于其他的隐蔽油气藏进行定义上的限定和研究。以往多数学者将其中的岩性型或地层型油气藏统归为岩性油气藏, 也有的统归为地层油气藏。目前认为, 岩性地层圈闭是明显缺乏四个方位闭合且用寻找构造圈闭的勘探战略无法发现的圈闭, 如果和构造有关, 却发育在一个意想不到的地方 (如构造下部侧翼的位置), 因而其圈闭无法单独用构造闭合度来定义和描述。

本书根据岩性地层圈闭成因和成藏特征, 提出了岩性地层油气藏的定义。岩性地层油气藏主要是指由沉积、成岩、构造与火山等作用而造成的地层削截、超覆、相变, 使储集体在纵、横向上发生变化, 并在三度空间形成圈闭和聚集油气而形成的油气藏。包括岩性、地层和以构造为背景的岩性—地层复合油气藏。岩性地层油气藏与隐蔽油气藏在概念上有较大差别, 但岩性地层油气藏是隐蔽油气藏的主要类型。

关于岩性地层油气藏的分类, 最早是采用由莱复生 (1954) 提出的圈闭分类方案 (表 1-1)。半个世纪以来, 国内外学者提出了十几种有关岩性地层圈闭 (油气藏) 的分类方案, 不同概念之间存在相互隶属与包含关系 (表 1-1)。2001 年, 美国石油地质学家协会 (AAPG) 重新出版了莱复生的《石油地质学》(Geology of Petroleum), 维持了莱复生 (1954) 关于圈闭的分类方案, 圈闭类型分为构造圈闭、岩性地层圈闭、复合圈闭和流体圈闭。岩性地层圈闭包括了沉积、成岩、剥蚀或沉积间断作用为主控因素形成的圈闭, 分

为原生圈闭及次生圈闭。原生岩性地层圈闭由岩石的沉积作用和（或）成岩作用形成；次生岩性地层圈闭是由发育在储层沉积和成岩作用以后的某种地层异常或变化所产生的圈闭，一般与不整合共存，可称为不整合圈闭。由圈闭分类方案的历史沿革来看（表 1-1），莱复生（1954）分类方案是石油地质界最权威的主流分类方案。据此，本书将岩性地层圈闭（油气藏）分为岩性型、地层型和复合型三个大类（表 1-1），详细分类见第三章。

表 1-1 岩性地层圈闭分类方案历史沿革表

分类方案	圈 闭 分 类									
Levorson (1954)	岩性地层圈闭					复合圈闭	流体圈闭	构造圈闭		
	原生（沉积或成岩）型		次生（不整合）型							
Levorson (1966)	隐蔽圈闭或复合圈闭							构造圈闭		
Halbouty (1969,1982)	隐蔽圈闭					复合圈闭		构造圈闭		
	岩性地层圈闭		不整合圈闭		古地貌圈闭					
Rittenhouse (1972)	岩性地层圈闭					复合圈闭	水动力圈闭	构造圈闭		
	与不整合不相邻型		与不整合相邻型							
	相变圈闭	成岩圈闭	不整合面之下、之上、之间型							
Biddle (1994)	岩性地层圈闭					复合圈闭	水动力圈闭	构造圈闭		
	原生型 或沉积型	次生型	不整合相关型							
Beaumont (1999)	岩性地层圈闭					复合圈闭	流体圈闭	构造圈闭		
	沉积圈闭	成岩圈闭	剥蚀圈闭							
Link (2001)	岩性地层圈闭		不整合圈闭			复合圈闭		构造圈闭		
Makhous (2001)	非构造圈闭									
	岩性圈闭	成岩圈闭	地层圈闭	地形圈闭	火成岩 圈闭	差异压 实圈闭				
苏联	非背斜类均一遮挡型				非背斜类非均一遮挡 型圈闭、组合类圈闭			—	背斜类圈闭、 非背斜类均一 遮挡型断裂遮 挡圈闭	
	岩性遮 挡圈闭	岩性封 闭圈闭	地层（遮挡）圈闭							
			不整合之上、之下、之间 型；潜山型；沥青封闭型							
张厚福等 (1981, 1989)	地层圈闭							构造圈闭		
	原生砂岩体 型、生物礁 块型	—	地层不整合遮挡型、 地层超覆不整合型							
胡见义等 (1984,1986)	非构造圈闭							构造圈闭		
	岩性圈闭		地层圈闭		混合圈闭		水动力圈闭			
本书	岩性地层圈闭				复合圈闭			构造圈闭		
	岩性圈闭		地层圈闭		构造—岩性圈闭		构造—地 层圈闭			

注：表中国外分类方案中“岩性地层圈闭”原文为“stratigrphic trap”；Makhous（2001）的分类方案可借鉴。

二、国外岩性地层油气藏勘探研究现状

(一) 岩性地层油气藏勘探历程

岩性油气藏的勘探几乎与构造油气藏的勘探同步。1859 年的狄拉克井被认为是西方现代第一口“油井”，该井揭示的就是一种地貌型岩性地层圈闭。早在 1871 年，就发现了俄克拉何马州宾夕法尼亚系布尔班克大型地层油田。1888 年，Edward Orton 首次描述了 Ohio 地层油气田。1907 年，在墨西哥古近系发现了富贝罗辉长岩油气藏。1917 年，在委内瑞拉西部的单斜地层圈闭中发现了全世界的第一个大油田。1930 年，在美国东得克萨斯发现了巨型地层型油田。随后，在墨西哥的黄金港、加拿大的卡尔加里附近等地区发现了储集岩为石灰岩的油藏。20 世纪 50 年代，国外岩性地层油气藏开始大量发现。从 20 世纪 60 年代开始，北美、西欧等地区一些国家由于石油储采比的急剧下降，迫使人们加强在岩性和地层圈闭中找油，为在勘探成熟盆地中挖掘油气潜力的主要目标。20 世纪 60—80 年代，所发现的岩性地层油气藏主要分布于陆上盆地。20 世纪 90 年代以来，随着地震技术和海洋工程技术的提高，海上盆地成为岩性地层油气藏勘探的主要领域。巴西、美国、委内瑞拉等国家，主要应用层序地层学和三维地震两项技术，在深海扇砂体岩性油藏勘探获得重大突破，成为岩性地层油气藏勘探的一大亮点。

(二) 岩性地层油气藏勘探技术与方法

从世界范围看，岩性地层油气藏勘探技术的发展大体上可以分为三个阶段（图 1-1）。第一阶段，20 世纪 20 年代之前，以地表地质调查为主，油苗是发现油气藏的主要线索。第二阶段，20 世纪 30—70 年代，主要依靠井筒资料的地质解释和老油田、老井复查，相当一部分岩性地层油气藏的发现具有一定的偶然性。第三阶段，20 世纪 80 年代以来，地震技术在岩性地层油气藏勘探中发挥了主要作用。根据对 166 个岩性地层圈闭进行统计，由于偶然因素（包括针对深部目标或基于不正确的地质模型）而发现的占 17%；通过测井资料重新评价而发现的占 3%；通过对已有油气田浅（深）层测试分析而发现的占 7%；野

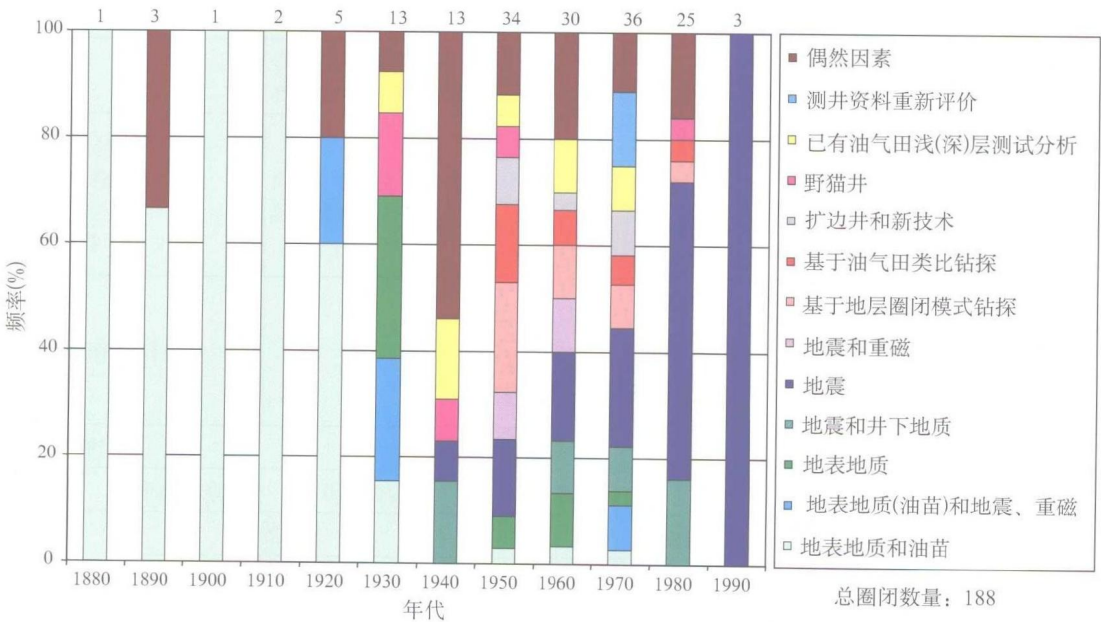


图 1-1 岩性地层油气藏勘探技术发展历程图（据 Jack Allan, 2001）

猫井占4%；扩边井占4%；基于油气田类比钻探而发现的占6%；基于岩性地层圈闭模式钻探发现的占8%；地表地质（油苗）占8%；地表地质（油苗）及地震、重磁占4%；井下地质占6%；地震和井下地质占7%；地震占22%；地震和重磁占4%。如果归纳为偶然发现、非常规方法、基于岩性地层圈闭模型和地震异常四个方面，它们所占的比例分别为21%、12%、14%和33%，其他地质分析和测井占20%。

岩性地层圈闭主要受古老地层面、不整合面以及地层横向岩性变化控制，因此，在寻找岩性地层圈闭的过程中，查明古老地层面、不整合带以及区域性的岩性尖灭带、岩相变化带等的分布及其特征是很重要的。相应的，勘探这种类型圈闭的方法也应当在充分研究这些可能的控制条件的基础上加以选择与组合。当前勘探岩性地层圈闭行之有效的技术方法包括岩相—古地理和古地貌分析法、地球物理技术、层序地层学勘探方法等。

1. 高分辨率岩相—古地理和古地貌分析法

在石油勘探成熟地区，高分辨率古地理图是找到岩性地层圈闭的关键。古地理图表明沉积环境在一个特定历史时期的分布。当被分析的层段对应于一个单一的沉积旋回时，古地理图的分辨率就达到了实际极限——即对应于地层成因增量。这种对应于单一沉积旋回的高分辨率古地理图就具有勘探岩性地层油气藏的分辨能力。如在美国得克萨斯州南部，通过对始新统 *Reklaw*-1 层段编制高分辨率的古地理图，成功地在 *Wilcox* 生长断层带的上倾部位找到一些岩性地层圈闭，提高了勘探成功率。

2. 地球物理方法

地球物理方法，特别是地震方法，在近20年的勘探岩性地层圈闭中起了重要的作用。由于地震数据的采集与处理技术的不断发展与提高，为地震方法在勘探岩性地层圈闭中的应用创造了条件，产生了许多新的处理方法和解释技术。特别是由于地震地层学、地震岩性学和岩石物理学方法的产生及其应用精度的不断提高，使得人们可以获取地震反射信号同沉积层序之间有关的信息，如地层速度、地震反射的连续性、地震波波形、振幅和频率等参数。它们都可用于解释和定性确定地层岩相的分布和沉积物的沉积环境。此外，利用地层速度、密度、厚度和吸收衰减资料建立起来的二维和三维地层模拟技术、地震反演技术、层析成像技术以及可视化技术等可以将地震道转换成地震波阻抗剖面或声波测井剖面，同时也可以对地层厚度、速度、砂泥比、孔隙度等作出较为客观的定量估算。总之，地震方法在寻找岩性地层圈闭以及烃类预测中均起着重要的作用。

3. 层序地层学方法

近年来得到迅速发展的层序地层学在岩性地层油气藏的勘探中发挥了重要作用，尤其是高精度层序地层学的发展应用，使得层序地层学的理论和技术在油气勘探实践中地位更加显著。20世纪90年代以来，层序地层学的概念和方法逐渐形成完整体系，并已成为油气勘探中一种广泛应用、被国际上许多著名油公司视作一种权威性的技术。层序地层学突出地层序列中的各种关键性物理界面，特别是地层间断面，并有效地建立沉积盆地的等时地层格架。高精度层序地层学的概念和方法为盆地充填的精细研究、储集体分布和储层不均一性预测以及开发地质等研究提供了重要的方法和手段，对于岩性地层油气藏的勘探、优选开发方案及剩余油分布预测等具有重要的指导作用，标志着岩性地层油气藏勘探研究进入一个全新的精细描述、精确预测阶段。将层序地层学运用到地球物理和地质资料中是岩性地层圈闭有效的远景勘探方法，主要包括五个步骤（Bally, 1987; Dolson 等, 1999）：几何关系分析、地震相和岩相分析、盆地充填分析、储层及盖层质量和分布预测、盆地潜

在岩性地层圈闭评价。

4. 非常规油气勘探技术

近年来,为了降低勘探成本,提高勘探效益,在勘探过程中,应用其他廉价找油新技术作为地震法的补充和替代方法来寻找岩性地层油气藏变得越来越迫切。因此,非常规油气勘探技术得到国外各大石油公司的普遍重视并取得较大进展。目前应用较多的非常规油气勘探法包括地球物理方法(重力法、航磁法、电法和电磁法等)、地球化学方法(烃测量法、元素测量法、K—V 指纹法等)、遥感方法(航空图像、雷达图像等)、全球定位系统、地理信息系统、综合勘探以及多学科研究,以寻找火成岩等岩性地层油气藏等等。

总体而言,由于受到勘探技术手段的限制,长期以来岩性地层油气藏勘探主要依靠地质评价分析,按构造圈闭的思路去勘探,因岩性地层圈闭的隐蔽性,勘探成功率普遍比较低。近 10 年来,由于高分辨率三维地震和层序地层学两项技术的广泛应用,有可能在第一口井钻探之前,根据地球物理资料直接识别岩性地层圈闭目标,这样才真正有可能开展针对岩性地层油气藏的大规模勘探部署,从而极大地提高了岩性地层油气藏勘探的成功率。

(三) 岩性地层油气藏发育特征

1. 圈闭基本类型

国外有人将已发现的岩性地层圈闭细化为 18 种类型:侧向沉积尖灭、侧向相变化、河道充填、区域隐伏露头、沟谷充填、构造侧翼不整合上的超覆、胶结、区域不整合上的超覆、裂缝、深盆气、边缘削截、古构造隐伏露头、白云岩化(溶蚀)、煤层吸附甲烷、碎屑岩构形、深切谷充填、水动力、沥青封堵等(图 1-2)。在上述的圈闭类型中,侧向沉积尖灭、侧向相变化、河道充填、区域隐伏露头 4 种圈闭类型最为常见,占到了总数的 57% 左右。但出现频率高、数量多的圈闭类型的储量却并不一定是最多的。单个圈闭储量比较大的圈闭类型包括构造侧翼不整合上的超覆圈闭、区域不整合上的超覆圈闭、沥青封堵圈闭和深盆气圈闭等。对苏联 1177 个岩性地层油气藏的统计表明,岩性圈闭占 85%,地层圈闭占 2%,构造—岩性地层复合型圈闭占 13%。

2. 油气产层岩性、物性与厚度

从岩性地层圈闭的储层特征来看,对美国共计 320 个圈闭进行统计,砂岩储层占到总数的 63.4%,碳酸盐岩储层占 26.2%,砂岩与碳酸盐岩混合储层占 10.3%;对前苏联 1177 个圈闭进行统计,砂岩储层占 89%,碳酸盐岩储层占 11%。对苏联 701 个岩性地层油气藏砂岩孔隙度进行统计,孔隙度小于 10% 的占 7%,孔隙度为 10% ~ 15% 的占 22%,孔隙度为 15% ~ 20% 的占 48%;孔隙度为 20% ~ 25% 的占 19%,孔隙度大于 25% 的占 4%。对前苏联 464 个岩性地层油气藏砂岩渗透率进行统计,渗透率小于 $10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的占 4%,渗透率为 $10 \times 10^{-3} \sim 100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的占 19%,渗透率为 $100 \times 10^{-3} \sim 500 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的占 46%,渗透率为 $500 \times 10^{-3} \sim 1000 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的占 22%,渗透率大于 $1000 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的占 9%。对前苏联 701 个岩性地层油气藏砂岩产层厚度的统计,厚度小于 20m 的占 75%,厚度 20 ~ 40m 的占 15%,厚度大于 40m 的占 10%。

3. 圈闭高度、顶面埋深与烃态类型

对前苏联 599 个砂岩岩性地层油气藏圈闭高度进行统计,圈闭高度小于 50m 的占 65%,圈闭高度 50 ~ 100m 的占 20%,圈闭高度为 100 ~ 150m 的占 8%,圈闭高度大于 150m 的占 7%。对前苏联 830 个砂岩岩性地层油气藏顶面埋深进行统计,顶面埋深小于 1000m 的占 17%,顶面埋深 1000 ~ 2000m 的占 48%,顶面埋深 2000 ~ 3000m 的占 24%,顶面埋深

3000 ~ 4000m 的占 9%，顶面埋深大于 4000m 的占 2%。对苏联 1173 个岩性地层油气藏烃态类型的统计，油藏占 71%，气藏占 14%，油气藏占 3%，凝析油藏及凝析气藏占 12%。

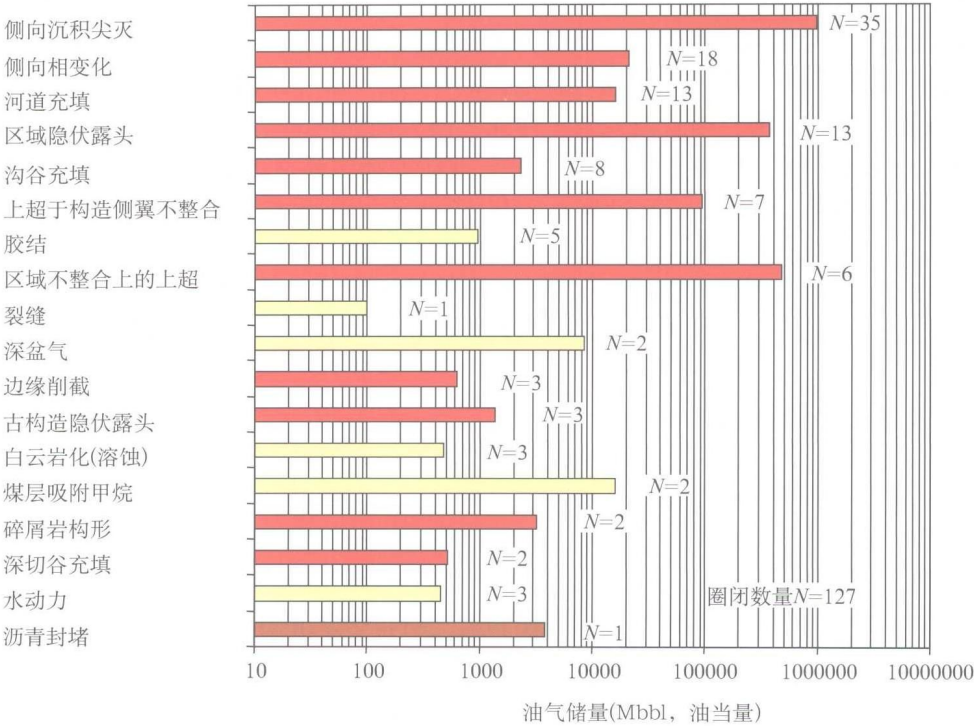


图 1—2 岩性地层圈闭类型与探明油气储量（据 Jack Allan, 2001）

4. 油气藏分布特征

对已知的 174 个岩性地层油气藏的产出时代统计来看，从奥陶系到新近系都有分布，但大部分岩性地层油气藏分布在白垩系、古近—新近系、石炭系和二叠系，这四个时代的岩性地层油气藏数量占总数的 80%。另外对全球 180 个地层油气藏的统计表明，47% 的地层油气藏发育于古生界，31% 的地层油气藏发育于中生界，22% 的地层油气藏发育于新生界。而且古生界中大规模地层油气藏占古生界岩性地层油气藏总数的 68%，中生界中为 36%，新生界中为 69%。

从岩性地层油气藏分布的盆地类型来看，前陆盆地、克拉通内盆地、被动大陆边缘盆地和裂谷盆地中岩性地层圈闭发现的数量占到了总数的近 85%，其中前陆盆地最为发育，占到了 55%。

大量资料也表明，岩性地层油气藏的形成和分布与沉积环境有密切关系，主要发育在古海岸线附近的海陆过渡地带和滨岸平原区，在这些地带岩性地层圈闭数量比构造圈闭数量多，有 95% 的岩性地层圈闭分布在古今海洋的内海和浅海地区，仅 5% 的圈闭分布在深海盆地中。根据库尔基斯资料，岩性油气藏约占岩性地层油气藏总数的 85%。以按其圈闭成因分类，其中与三角洲有关的岩性圈闭占 26%，沙坝岩性圈闭占 23%，而沙滩岩性圈闭占 11%。总之，岩性地层油气藏主要与三角洲及其水下分流河道、各种类型沙坝、沙滩有关。此外，生物礁和海底扇也有利于岩性地层油气藏的形成。美国石油地质学者认为，凡是找到古代三角洲，就是发现大量岩性地层油气藏的主要标志，三角洲前缘带和古河道是

寻找岩性地层油气藏的有利地带。目前已发现近千个三角洲岩性地层油气藏,其石油储量已超过 $53 \times 10^8 \text{t}$, 天然气储量超过 $400 \times 10^8 \text{m}^3$ 。Stow (2000) 指出, 深水浊积岩及其相关储层将是至少未来 25 年内世界油气勘探开发的前沿领域。从实际效果来看, 全球范围内深水领域的岩性地层油气藏的勘探也获得了很大的成功。近十年来, 国外深水领域的岩性油气藏勘探取得了重大效益, 是油气储量增长最快的领域之一。在南美、西非大西洋沿岸、墨西哥湾、北海、巴仑支海、喀拉海以及东南亚、澳大利亚西北大陆架等海域相继发现了许多大型油气田, 取得重大突破的区域主要是在被动大陆边缘盆地的陆坡区及深海平原区。据 Stow (2000) 统计, 世界上有 1200 ~ 1300 个油气田来自于陆架台缘带上下的深水沉积体系中, 其中巨型岩性地层油气田有 40 余个。20 世纪 90 年代, 全世界发现了 76 个特大型油气田, 经统计, 36% 的储量是在陆上发现的, 44% 是在浅水, 深水仅占 12% ($41 \times 10^{12} \text{ft}^3$), 但却占油的 35% ($120 \times 10^8 \text{bbl}$), 深水发现中, 除个别之外, 主要是浊积砂岩储层。

(四) 岩性地层油气藏勘探前景

随着油气勘探的深入, 国外发现的大型油气田中, 大型岩性地层油气田比例逐步提高。1940—1969 年的 30 年中发现的大油气田是 278 个, 其中岩性地层圈闭型仅为 24 个, 占 8.6%; 1970—1999 年的 30 年中发现的大油气田是 427 个, 其中岩性地层圈闭型为 93 个, 占 21.7%。20 世纪 90 年代, 全世界发现了 76 个特大型油气田, 45 个岩性圈闭油田的储量占特大型油田储量的 17%, 平均为 $4.84 \times 10^8 \text{bbl}$; 281 个构造圈闭油田的储量占特大型油田储量的 62%, 平均为 $2.78 \times 10^8 \text{bbl}$; 36 个复合圈闭油田的储量占特大型油田储量的 21%, 平均为 $7.50 \times 10^8 \text{bbl}$ 。

国外油气勘探统计表明, 岩性地层油气藏拥有的储量与构造油气藏相比大体相当, 岩性地层油气藏的储量最终可以占到一个盆地总探明储量的 40% ~ 65% 以上, 而且已发现了大型和超大型油气田。美国岩性地层油气藏的勘探高峰期为 20 世纪 50—60 年代, 对 1976 年前发现的 2709 个油气圈闭的统计表明, 岩性地层圈闭占总数的 40.05%, 米德兰德盆地内岩性地层圈闭占到盆地圈闭总数的 81%。美国目前已发现的 10 个最大油田中纯岩性地层圈闭有 4 个 (East Texas, Kern River, Scurry 和 SI Aughter—Levelland), 构造—岩性地层复合圈闭有 4 个, 仅有 2 个是纯构造圈闭油气田。苏联第聂伯—普里皮亚特与喀尔巴阡含油气区内岩性地层油气藏在 20 世纪 80 年代已分别达到含油气区内油气藏总数的 38.5% 及 39.3%。20 世纪 90 年代以来, 随着深水勘探技术的提高, 将勘探重点向深水区转移, 在北海、墨西哥湾及东非等的深水区发现了储量可观的浊积岩油气藏, 如墨西哥湾的 Mars ($75 \times 10^8 \text{bbl}$) 以及 Marlim/Albacora ($70 \times 10^8 \text{bbl}$) 油气田等。所有这些资料均表明, 岩性地层油气藏在油气勘探中占有非常重要的地位。

对全球 174 个最终可采储量 $2000 \times 10^4 \text{t}$ 以上的岩性地层油田的统计表明, 80% 以上的油田分布于北美地区。世界上已经发现的岩性地层圈闭的估算储量约有 $128 \times 10^8 \text{bbl}$, 但 75% 以上的岩性地层油气藏发现在北美洲, 这和北美洲的勘探历史长和特殊的地质条件有一定的关系。由此可见, 已发现的岩性地层油气藏大多数集中在成熟乃至高成熟探区中, 而在世界上勘探程度相对低的探区中, 岩性地层油气藏具有巨大的资源潜力和勘探前景。根据统计 (图 1-1), 基于岩性地层圈闭理论和技术发现所占的比例还不是很高的, 所以无论在成熟探区还是新探区, 肯定还存在着大量因为认识的原因还没找到的岩性地层圈闭, 有待于我们去探索和发现。

三、国内岩性地层油气藏勘探研究现状

(一) 岩性地层油气藏勘探研究历程

20 世纪 50 年代,通过借鉴国外勘探研究经验,初步认识到岩性地层油气藏的成藏条件,在准噶尔盆地西北缘勘探发现了一些浅层地层油气藏(胡见义等,1986)。60—70 年代,随着中国油气勘探战略的东移,在松辽盆地和渤海湾盆地找到了一批大型构造油气田的同时,在渤海湾盆地发现了任丘、高升、欢喜岭等大型岩性地层油气田(翟光明等,1996;邱中建等,1999)。80 年代,随着多次覆盖数字地震技术的广泛应用,以地震相、储层预测、沉积体系、成藏条件等研究为基础,找到一些具有明显前积结构特点的砂砾岩体岩性油气藏和区域不整合遮挡地层油气藏(张万选,1988)。在 20 世纪 90 年代以前,国内隐蔽油气藏的勘探工作并未受到太多的关注和重视,构造油气藏依然是勘探的重点。从 90 年代中后期开始,掀起了隐蔽油气藏勘探的热潮,尤其是中国石油和中国石化两大石油公司,组织了大批精干的科研人员投入其中。在近几年中的石油勘探会议上,贾承造等多次提出了发展以岩性地层圈闭为主的隐蔽圈闭勘探技术,加大岩性地层油气藏勘探力度的建议,进一步明确了岩性地层圈闭的勘探潜力和未来的勘探技术需求。90 年代以来,随着高分辨率三维地震大面积采集和层序地层学等理论方法的引入,极大地提高了岩性地层圈闭识别的准确率和储层预测精度,岩性地层油气藏勘探取得丰硕成果,在松辽、鄂尔多斯、准噶尔、塔里木等盆地,发现了朝阳沟、榆树林、肇州、安塞、靖安、哈得逊等十几个亿吨级的岩性地层大油田。近几年岩性地层油气藏探明储量占中国石油的 50% 以上,2003 年三级储量超过 60%,已成为中国陆上油气勘探的重点领域。

从 20 世纪 70 年代末期开始,岩性地层油气藏相关理论研究逐步得到重视,相关的论文和专著陆续发表,其中主要包括:《大庆石油地质与开发》编辑部编写的《中国隐蔽油气藏勘探论文集》(1984),胡见义等(1986)编著的《非构造油气藏》,潘元林等(1998)编著的《中国隐蔽油气藏》论文集,谯汉生等(2001)编著的《渤海湾盆地隐蔽油气藏勘探》以及蔡希源等(2003)著的《陆相盆地高精度层序地层学——隐蔽油气藏勘探基础、方法与实践》。在这些论著中,基于国外同行对隐蔽油气藏的认识,国内学者根据国内油气藏的特点,对隐蔽圈闭的概念、分类、特征和分布规律等方面进行了系统的界定和描述。基于国内的油气分布和勘探形势,大部分隐蔽圈闭的实例和研究工作主要集中在东部的含油气盆地中。其中,中国石化对济阳拗陷隐蔽油气藏的勘探与研究取得了重要进展。

(二) 岩性地层油气藏勘探现状

随着陆相石油地质理论的不断发展和完善和油气勘探技术的进步,陆上油气勘探无论是在东部高成熟探区还是在中西部低程度勘探区,近年来在岩性地层油气藏勘探上都取得了重要突破和进展。

东部作为国内的主要产油基地,同时又是勘探开发多年的老油区,发掘潜在资源,增储上产是主要任务和目标,因此对包括岩性地层油气藏在内的勘探开始得相对比较早,发现了一大批规模较大的岩性地层油气藏目标,并探索出了一系列有效的勘探技术方法。松辽盆地北部的大庆油田在三肇地区扶杨油层发现了大面积的岩性油藏,特别是“九五”以来相继在长垣以东的三肇凹陷发现了七个储量超亿吨的大油田,在长垣以西的齐家—古龙凹陷相继发现了齐家南、龙虎泡、葡西和新肇等四个储量达亿吨级的大油田。2000 年以来,在松辽盆地南部吉林油田以三角洲前缘带控油为指导,发现英坨和大情字井等多个亿吨级以上的岩性油田。

渤海湾盆地的各个油田针对潜山、火山岩和砂砾岩体等目标不断加大研究力度,岩性地层油气藏的勘探不断获得突破。“九五”以来,胜利油田在各个凹陷以沙河街组的各种扇体为目标,发现了多个亿吨级的油田。辽河油田在三个主体凹陷中潜山油气藏、砂砾岩体油气藏和火山岩油气藏勘探成果不断扩大。另外华北油田及其他油田通过对老油藏的再认识、确定专门的岩性地层油气藏研究工作流程,近些年来在有限的探区领域内找到了一批有一定规模的岩性地层油气藏,为油田的稳产提供了坚实的资源基础。

鄂尔多斯盆地的油气勘探在三角洲前缘控藏认识的指导下,于1984年在陕北安塞三角洲找到了一个亿吨级储量的安塞油田,1989年发现了靖边大型古地貌岩性气田。近年来,以岩性地层油气藏理论为指导,加强沉积相特征及砂体展布研究,在陇东和陕北分别发现了超亿吨级的西峰油田、姬塬油田、绥靖油田,发现并探明了苏里格、乌审旗、米脂气田,扩大了靖边及榆林气田的含气范围,在盆地东部神木地区发现了浅层气藏,实现了油气储量产量快速增长。

西部的塔里木盆地,一直重视岩性地层油气藏的勘探。岩性地层油气藏主要分布在奥陶系碳酸盐岩潜山、石炭系、志留系中,尤其是大型古隆起斜坡发育的岩性地层圈闭是寻找大油田的重要领域。其中,石炭系东河砂岩是不同时期的沉积产物,存在多条超覆尖灭线和相变线,砂岩地层圈闭发育,勘探潜力大。目前已探明哈得逊油田,沿轮南潜山东、西两侧石炭系超覆线还发现了雀马1、草南1、哈得11东等一批岩性地层圈闭,圈闭资源量很大。

松辽、渤海湾、鄂尔多斯、二连、塔里木、准噶尔等盆地一批亿吨级规模的大型岩性地层油气藏和一批 5000×10^4 t级规模的中型岩性地层油气藏的发现,成为近年来增储上产的主要领域,成功实现了油气勘探从以构造油气藏勘探为主的阶段到岩性地层油气藏与构造油气藏勘探并重的历史转变,部分盆地岩性地层油气藏已成为近年储量增长的主体。

(三) 岩性地层油气藏理论研究现状

随着勘探程度的提高,岩性地层油气藏探明储量所占比重越来越大。近年来,相关地质理论研究也取得重大进展,如中国石化针对断陷盆地勘探提出了断坡控砂、复式输导、相势控藏的新认识(李丕龙等,2004)。综合认为我国前期岩性地层油气藏相关理论主要取得以下进展。

一是从盆地结构的角度,尤其对于断陷湖盆来说,从这个角度来阐述岩性地层油气藏的发育比较直观。断陷湖盆陡坡带、缓坡带和深陷带三带结构特征明显,在勘探实践中,形成了坡折带(断坡控砂)理论,即陡坡带以及缓坡带因为地形突变或断层形成的坡折带,往往是控制沉积的重要因素。坡折带附近因湖岸线摆动形成多期岩性尖灭和地层超覆,又因为台缘带紧邻生烃中心,所以坡折带常常是岩性地层圈闭油气藏集中发育的地方。深陷带作为生烃中心,其中的砂岩透镜体可以形成岩性油气藏。

二是从沉积体系、沉积相带、岩相的角度,根据不同的沉积体系、相带的物性特征、侧向变化情况,发育在湖盆的沉积体系中,三角洲体系最有利于岩性地层油气藏的发育,其中三角洲前缘的水下分流水道、河口坝等又是其中的“甜点”。部分专家和学者根据沉积相、岩相及流体势在岩性地层油气藏成藏中的作用和互动关系,提出了“相势控藏”,即在油气藏充满度和成藏的诸多控制因素中,运移条件(流体势)和接受条件(岩相)是控藏的主要因素。流体势与沉积相带呈负相关关系,势能高,孔隙度下限低;势能低,孔隙度