

# 石油天然气 储层地质学

方少仙 侯方浩 编著

石油大学出版社

高等学校教学用书

# 石油天然气储层地质学

方少仙 侯方浩

石油大学出版社

## 内 容 提 要

本书系统地介绍了沉积岩储层的岩石学特征,主要物理性质、储层形成的沉积环境、相及储集岩发育特征,储层孔隙及孔隙结构特征,储层在成岩阶段发生的成岩变化,有机与无机成岩作用的相互关系及对储层孔隙形成、演化的影响,储层形成的控制因素以及储层的非均质性等。同时较系统地讨论了岩浆岩、变质岩储层。对储层的描述技术、研究方法亦有系统的介绍。最后还介绍了近期储层研究的进展,在某些方面反映了我国“八五”期间储层研究的部分新认识和所取得的成果。

本书适用于石油地质勘探各有关专业及油气藏开发工程部分专业的研究生及本科生教学使用,亦可作为石油天然气勘探及开发工程科研及现场工程技术人员的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

石油天然气储层地质学/方少仙主编. —东营:石油  
大学出版社,1998.4(2003.1重印)

ISBN 7-5636-1027-8

I. 石… II. 方… III. 石油天然气地质  
IV. P618.130.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第107165号

### 石油天然气储层地质学

方少仙 侯方浩 主编

出版者:石油大学出版社(山东 东营 邮编 257061)

网 址: <http://sunctr.hdpu.edu.cn>

电子信箱: [upcpres@mail.hdpu.edu.cn](mailto:upcpres@mail.hdpu.edu.cn)

排 版 者:石油大学出版社照排中心排版

印 刷 者:石油大学印刷厂

发 行 者:石油大学出版社(电话 0546—8391797)

开 本:185×260 印张:20 字数:510千字

版 次:1998年4月第1版第1次印刷 2003年1月第1版第2次印刷

印 数:601—1800册

定 价:25.00元

## 前 言

“岗位在地下,斗争对象是油层”。研究储层、认识储层和评价储层,是石油天然气勘探和开发工作者长期不懈的职责,是《石油天然气储层地质学》所要讨论的内容和主要的任务。

我国油气资源丰富。众所周知,具有我国特色的陆相油气储集层,型式多种多样,储层的复杂性,特别是储层非均质性是世界上罕见的。随着我国海相沉积地层中油气勘探的不断突破,我们发现海相储层亦是十分复杂,尤其是海相碳酸盐岩储层的低渗透性、非均质性等,是世界上少有的。近20年来,我国在次火山岩、火山岩、变质岩及泥岩中不断发现油气藏,这些储层又有其自身的规律性。除了借鉴国外储层研究的理论和方法外,我们需要建立有我国特色的《石油天然气储层地质学》。

油气勘探、开发过程中都必须对储层不断地进行评价,随着生产实践的不断深入,对储层评价的要求亦愈来愈高。今天,《石油天然气储层地质学》是油气勘探开发过程中的一项系统工程。在区域勘探阶段,需了解储层的层位、成因类型、岩石学特征、沉积环境、构造作用及其影响、物性、孔隙结构特征、含油气性、储集岩体几何形态、分布规律,以及有利储层分布区的预测。在开发阶段,开发井网布置和开发方案的制定、油层保护和改造、残余油分布的分析和油田开发调整方案的制定、提高采收率技术的筛选和实施等都需要对储层进行综合研究。此外,分级储层评价、探明地质储量和预测可采储量、建立储层模式以及油藏描述等都是建立在储层研究基础上的。因之,储层地质学是一门多学科、多技术的综合性学科,涉及内容除沉积岩石学、岩石学、古生物和古生态学、构造地质学、层序地层学、石油地质学外,亦需利用有机地球化学、油层物理学、地震地层学、测井地质学、岩石力学、流体力学、流变学、钻井工程和采油工程等学科的知识,反过来,《石油天然气储层地质学》又能促进上述各学科的发展。

作者在“六五”期间参加原石油工业部组织的“油气资源评价”所取得认识的基础上,于1986年首次在硕士研究生中开设了《石油天然气储层地质学》的学位课,以后其他老师又在本科生中开设了选修课。十年来,作者参加了石油天然气总公司组织的“七五”、“八五”重点科技攻关项目——中国油气储层研究课题,并获得国家自然科学基金资助,对南方碳酸盐岩及某些油田碎屑岩储层有较深入的研究。在这个过程中,除不断参阅国内外对储层研究的理论知识外,亦将我们自己的研究成果以及其他油田储层研究的新认识不断地补充到我们的中去。本书是在十年教学的讲稿基础上修订完善的。

在以往的教学以及本书中,我们引用了各油气田、院校和科研单位储层研究的资料,其中有些资料至今尚未正式发表,我们无法列入参考文献中,仅能在文字和图表中注明出处。

本书有关章节曾参考引用了《油气储层评价技术》、《油气储集层的孔隙结构》及其他一些论著的部分内容。还有石油天然气总公司“七五”、“八五”期间的有关储层研究的一些成果,在此一并致谢!

本书编写过程中,得到西南石油学院碳酸盐岩研究室同志们的大力协助,特表谢意。

作 者

1996年9月

# 目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 石油天然气储层及储层地质学的概念	(1)
一、储集岩与储层的概念	(1)
二、石油天然气储层地质学的概念	(1)
第二节 石油天然气储层地质学的研究意义及内容	(2)
一、石油天然气储层地质学的研究意义	(2)
二、石油天然气储层地质学的主要研究内容	(2)
第三节 石油天然气储层研究现状	(3)
一、中国石油天然气储层研究简史	(3)
二、国外石油天然气储层研究近况	(5)
第二章 沉积成因储层岩石学特征及分类	(6)
第一节 碎屑岩的岩石学特征	(6)
一、颜色	(6)
二、砂岩的物质组成	(6)
三、碎屑岩的结构	(11)
四、碎屑岩的构造	(13)
五、碎屑岩的粒级分类	(20)
六、砂岩的成分分类	(20)
第二节 火山碎屑岩的岩石学特征及分类	(22)
一、火山碎屑岩的主要岩石学特征	(22)
二、火山碎屑岩的分类	(23)
第三节 碳酸盐岩的岩石学特征及分类	(25)
一、碳酸盐岩的矿物成分	(25)
二、碳酸盐岩的结构	(25)
三、碳酸盐岩的特殊构造	(28)
四、碳酸盐岩的分类	(29)
第三章 沉积环境分类及碎屑岩储层沉积环境	(31)
第一节 沉积环境的识别标志及沉积环境分类	(31)
一、沉积环境的识别标志	(31)
二、沉积环境分类	(32)
第二节 沙漠环境及其储集岩体特征	(32)
一、沙漠沉积环境及其沉积特征	(33)
二、沙漠环境沉积层序	(34)
三、沙漠环境储集岩体特征	(34)
第三节 冲积扇环境及其储集岩体特征	(35)

一、冲积扇环境及其沉积特征 .....	(36)
二、冲积扇环境沉积层序 .....	(36)
三、冲积扇沉积模式 .....	(37)
四、冲积扇环境储集岩体特征 .....	(38)
第四节 河流环境及其储集岩体特征 .....	(38)
一、河流环境及其沉积特征 .....	(39)
二、河流环境沉积层序 .....	(40)
三、河流环境储集岩体特征 .....	(43)
第五节 湖泊环境及其储集岩体特征 .....	(46)
一、湖泊沉积亚环境及其沉积特征 .....	(46)
二、湖泊沉积模式 .....	(47)
三、湖泊环境储集(砂、砾)岩体特征 .....	(49)
四、湖泊中与砂岩发育有关的各类沉积环境的沉积层序 .....	(49)
第六节 滨岸环境及其储集岩体特征 .....	(59)
一、滨岸亚环境及其沉积特征 .....	(59)
二、滨岸环境的沉积层序 .....	(59)
三、滨岸环境储集岩体特征 .....	(59)
第七节 障壁滨岸环境及其储集岩体特征 .....	(60)
一、障壁岛环境及其储集岩体特征 .....	(60)
二、泻湖环境及其储集岩体特征 .....	(61)
三、潮坪环境及其储集岩体特征 .....	(63)
四、潮汐通道环境及其储集岩体特征 .....	(64)
五、潮汐三角洲环境及其储集岩体特征 .....	(64)
六、河口湾环境及其储集岩体特征 .....	(66)
第八节 海洋三角洲环境及其储集岩体特征 .....	(67)
一、海洋三角洲的主要类型 .....	(68)
二、河控三角洲环境及其储集岩体特征 .....	(68)
三、浪控三角洲环境及其储集岩体特征 .....	(71)
四、潮控三角洲环境及其储集岩体特征 .....	(72)
第九节 扇三角洲、辫状三角洲沉积环境及其储集岩体特征 .....	(73)
第十节 浅海陆棚环境及其储集岩体特征 .....	(75)
一、毯状砂岩沉积及储集岩体特征 .....	(75)
二、沙波砂岩沉积及储集岩体特征 .....	(75)
三、线形砂岩沉积及储集岩体特征 .....	(76)
四、潮下席状砂岩沉积及储集岩体特征 .....	(79)
第十一节 海洋陆源碎屑浊流沉积环境及其储集岩体特征 .....	(82)
一、海底扇浊流沉积环境及其储集岩体特征 .....	(82)
二、非扇浊流沉积环境及其储集岩体特征 .....	(84)
<b>第四章 碳酸盐岩储层沉积环境 .....</b>	<b>(87)</b>
<b>第一节 海洋碳酸盐岩沉积环境分类 .....</b>	<b>(87)</b>

第二节 陆棚(连陆)、孤立碳酸盐台地沉积模式及沉积亚环境划分	(87)
一、陆棚(连陆)碳酸盐台地沉积模式及沉积亚环境划分	(87)
二、中国南方上古生界陆棚(连陆)碳酸盐台地、孤立碳酸盐台地 综合沉积模式及沉积亚环境的划分	(89)
第三节 碳酸盐潮坪环境及储集岩发育特征	(93)
一、超咸潮坪—萨勃哈潮坪环境及储集岩发育特征	(93)
二、正常海洋潮坪环境及储集岩发育特征	(95)
第四节 碳酸盐浅滩环境及储集岩发育特征	(95)
一、碳酸盐浅滩亚环境特征及沉积模式	(95)
二、碳酸盐浅滩的沉积层序及储集岩发育特征	(97)
第五节 生物礁环境及其储集岩发育特征	(99)
一、生物礁沉积亚环境及成礁模式	(99)
二、生物礁的沉积层序及储集岩发育特征	(100)
第六节 海洋深水碳酸盐岩沉积环境及储集岩发育特征	(103)
一、孤立碳酸盐台地台缘斜坡和台间海槽沉积亚环境及储集岩发育特征	(103)
二、陆棚(连陆)碳酸盐台地前缘斜坡、海槽亚环境及储集岩发育特征	(106)
三、碳酸盐缓坡沉积亚环境及储集岩发育特征	(107)
第七节 湖泊碳酸盐岩沉积环境及其储集岩发育特征	(110)
一、湖泊碳酸盐岩沉积环境的分布及其沉积模式	(110)
二、藻礁沉积环境及其储集岩发育特征	(111)
三、湖泊碳酸盐滩、坝沉积环境及其储集岩发育特征	(113)
四、湖泊藻叠层石碳酸盐岩沉积环境及沉积特征	(114)
第五章 储层的主要物理性质	(115)
第一节 孔隙度	(115)
一、孔隙度的概念及类型	(115)
二、裂隙度	(116)
三、孔隙度的影响因素	(116)
第二节 渗透率	(118)
一、渗透率的概念及类型	(118)
二、碳酸盐岩的渗透率	(119)
三、渗透率的影响因素	(119)
四、孔隙度与渗透率的关系	(120)
第三节 饱和度	(120)
一、饱和度的概念	(120)
二、原始含油饱和度与束缚水饱和度或含水饱和度	(121)
三、残余(剩余)油饱和度与自由水饱和度	(121)
第四节 岩石的比表面	(122)
一、岩石比表面的概念	(122)
二、岩石比表面的计算	(122)

<b>第六章 储层孔隙结构</b> .....	(124)
<b>第一节 孔隙结构的基本概念</b> .....	(124)
<b>第二节 砂岩储集岩的孔隙与喉道类型以及孔隙结构特征</b> .....	(124)
一、砂岩储集岩的孔隙类型.....	(124)
二、砂岩储集岩中次生孔隙的鉴定标志.....	(128)
三、砂岩储集岩的喉道类型.....	(129)
<b>第三节 碳酸盐岩储集岩的孔隙与喉道类型以及孔隙结构特征</b> .....	(130)
一、碳酸盐岩储集岩的孔隙分类.....	(130)
二、碳酸盐岩储集岩的主要孔隙类型.....	(132)
三、碳酸盐岩储集岩的喉道类型.....	(134)
四、碳酸盐岩储集岩中的孔隙结构.....	(135)
<b>第四节 毛细管压力法研究储集岩孔隙结构</b> .....	(136)
一、压泵法研究孔隙结构的基本原理.....	(137)
二、毛细管压力曲线的解释与应用.....	(138)
三、应用毛管压力—饱和度曲线确定孔隙、喉道大小和分布.....	(140)
<b>第五节 孔隙结构参数</b> .....	(140)
一、反映喉道大小的参数.....	(140)
二、反映喉道分选程度的参数.....	(141)
三、反映孔隙连通性及控制流体运动特征的参数.....	(143)
<b>第七章 成岩作用及其对储层孔隙发育的影响</b> .....	(145)
<b>第一节 碎屑岩的成岩作用及其对储层孔隙发育的影响</b> .....	(145)
一、主要成岩作用对碎屑岩孔隙发育的影响.....	(145)
二、有机成岩作用与无机成岩作用的相互关系及其对砂岩储层次生孔隙形成的影响.....	(152)
三、砂岩次生孔隙发育带预测.....	(155)
四、重要成岩事件对砂岩储层孔隙形成与演化的影响.....	(157)
五、碎屑岩成岩阶段划分及其标志.....	(159)
<b>第二节 碳酸盐岩成岩作用及其对储层孔隙发育的影响</b> .....	(161)
一、主要成岩作用对碳酸盐岩储层孔隙发育的影响.....	(161)
二、碳酸盐岩成岩阶段划分及其标志.....	(166)
<b>第八章 储层非均质性</b> .....	(168)
<b>第一节 储层非均质性分类</b> .....	(168)
一、韦伯的分类.....	(168)
二、加拿大彭比纳油田的储层非均质性分类.....	(168)
三、裘亦楠的分类(1987,1989).....	(168)
<b>第二节 层内非均质性</b> .....	(170)
一、沉积构造.....	(171)
二、层内不连续薄夹层对储层非均质性的影响.....	(175)
<b>第三节 平面非均质性</b> .....	(176)
一、砂岩体几何形态及各向连续性.....	(176)



二、砂岩体的连通性 .....	(178)
三、砂岩体内渗透率、孔隙度在平面上的非均质性 .....	(178)
第四节 层间非均质性 .....	(180)
<b>第九章 储层发育的影响因素</b> .....	(181)
第一节 母岩性质及物源供应对储层发育的影响 .....	(181)
一、母岩组合特征影响碎屑岩的成分及岩石类型 .....	(181)
二、物源供应影响碎屑岩储层及其孔隙的发育 .....	(181)
三、母岩组分的稳定性影响碎屑岩储层的储集性 .....	(181)
第二节 岩石组分、结构与构造对储层发育的影响 .....	(181)
一、岩石的组分影响孔隙发育 .....	(181)
二、岩石组构(结构、构造)对储层孔隙发育的影响 .....	(182)
第三节 构造地质作用对储层发育的影响 .....	(182)
一、区域构造背景与储集岩的发育 .....	(182)
二、构造变动、断裂活动对储层发育的影响 .....	(183)
第四节 气候对储层发育的影响 .....	(184)
一、气候影响风化产物的性质及储集岩的成因类型 .....	(184)
二、气候影响储集岩岩石类型 .....	(184)
第五节 沉积环境控制储层发育 .....	(184)
一、碳酸盐台地台内礁储集岩体的发育特征 .....	(184)
二、碳酸盐台地台内滩、台坪滩储集岩的发育特征 .....	(185)
三、碳酸盐台地边缘礁储集岩体的发育特征 .....	(186)
四、碳酸盐台地边缘浅滩储集岩的发育特征 .....	(186)
第六节 成岩作用对储集岩及其孔隙发育的影响 .....	(187)
一、压实作用 .....	(187)
二、胶结作用 .....	(188)
三、压溶作用对储层储渗性的影响 .....	(189)
四、白云石化作用对储层储渗性的影响 .....	(190)
五、溶蚀作用对储层储渗性的影响 .....	(190)
<b>第十章 岩浆岩、变质岩、泥岩储层</b> .....	(193)
第一节 概述 .....	(193)
第二节 火山岩储层 .....	(193)
一、概述 .....	(193)
二、火山岩储层岩石类型及岩石学特征 .....	(194)
三、火山岩相 .....	(198)
四、火山岩储层的孔隙类型及孔隙组合类型 .....	(199)
五、火山岩储层的物性及含油气性 .....	(201)
六、火山岩储层的储集类型 .....	(203)
第三节 侵入岩储层 .....	(203)
一、概述 .....	(203)
二、侵入岩储层的孔隙类型 .....	(203)

三、侵入岩储层的物性及含油气性 .....	(204)
第四节 岩浆岩油气藏的类型 .....	(204)
一、岩浆岩潜山油气藏 .....	(204)
二、断块型块状油气藏 .....	(204)
三、断块型层状油气藏 .....	(206)
四、断块、岩性油气藏 .....	(206)
五、浅成侵入岩岩性油气藏 .....	(208)
六、与岩浆岩有关的油气藏 .....	(208)
七、火山岩储层评价 .....	(208)
第五节 变质岩储层 .....	(209)
一、变质岩储层的主要岩石类型及组构特征 .....	(210)
二、变质岩储层的储集空间类型 .....	(210)
三、古潜山变质岩储集岩体的分带 .....	(214)
四、变质岩储集带、储集空间组合、物性与含油气性及与油气产能的关系 .....	(215)
五、变质岩储层的非均质性 .....	(216)
六、变质岩古潜山油气藏 .....	(216)
七、变质岩储层评价 .....	(217)
第六节 泥岩储层 .....	(218)
一、泥岩储层概述 .....	(218)
二、松辽盆地下白垩统泥岩裂缝性储层 .....	(218)
三、俄罗斯泥岩裂缝性储层 .....	(219)
第十一章 储层综合研究方法及其描述技术概述 .....	(221)
第一节 储层描述的地质技术 .....	(221)
一、地层划分与对比的基础技术——沉积旋回划分法 .....	(221)
二、储层划分与对比 .....	(222)
第二节 储层沉积环境或沉积相分析 .....	(222)
一、地震相分析 .....	(222)
二、测井相分析 .....	(226)
第三节 地球物理测井资料在物性参数计算方面的应用 .....	(228)
一、利用测井数据计算储层孔隙度 .....	(228)
二、利用测井资料计算渗透率 .....	(229)
三、利用测井资料计算含油气饱和度 .....	(230)
第四节 储层横向预测的地震技术 .....	(232)
一、波阻抗反演法(合成声波测井法) .....	(232)
二、波形振幅分析法 .....	(232)
三、三维地震技术 .....	(232)
四、VSP 技术 .....	(233)
五、一维和二维地震模型技术 .....	(233)
六、频率分析技术 .....	(233)
第五节 储层地质模型 .....	(234)

一、概述 .....	(234)
二、储层概念模型 .....	(234)
三、储层静态模型 .....	(235)
四、储层预测模型 .....	(238)
<b>第十二章 实验测试技术在储层研究中的应用</b> .....	(239)
第一节 概述 .....	(239)
第二节 储层实验测试技术 .....	(239)
一、岩心观察 .....	(239)
二、薄片鉴定 .....	(240)
三、储层物性测定 .....	(241)
四、阴极发光显微镜观察 .....	(242)
五、扫描电子显微镜观察 .....	(244)
六、矿物中包裹体测温 .....	(245)
七、X 射线衍射分析 .....	(246)
八、电子探针波谱及能谱分析 .....	(247)
九、同位素分析 .....	(247)
十、储层研究中应用的其他实验测试技术 .....	(250)
<b>第十三章 储层评价</b> .....	(251)
第一节 单井储层评价 .....	(251)
一、岩石学研究 .....	(251)
二、沉积环境和相分析 .....	(251)
三、储层孔隙类型 .....	(252)
四、储层成岩阶段划分标志 .....	(252)
五、储层温度、压力评价 .....	(252)
六、储层储集空间与物性评价 .....	(253)
七、储层含油(气)性评价 .....	(254)
八、储层综合评价 .....	(255)
第二节 区域储层评价 .....	(256)
一、盆地区域地质背景 .....	(256)
二、沉积相和储集岩体研究 .....	(256)
三、储层成岩作用研究 .....	(258)
四、储层储集性质研究 .....	(258)
五、储层综合评价 .....	(259)
第三节 开发阶段储层评价 .....	(261)
一、开发过程中储层评价的阶段划分 .....	(261)
二、开发储层的描述内容 .....	(262)
三、资料基础 .....	(262)
<b>第十四章 粘土矿物及其他矿物组成对储层损害的影响</b> .....	(264)
第一节 储层损害的主要原因 .....	(264)
第二节 微粒迁移及其对储层损害的影响 .....	(265)

一、微粒的类型 .....	(265)
二、微粒迁移损害储层的主要原因 .....	(266)
三、地层微粒迁移的预防 .....	(270)
第三节 粘土膨胀性与水敏性及其对储层损害的影响 .....	(270)
一、1:1型粘土矿物的膨胀性与水敏性 .....	(271)
二、2:1型粘土矿物的膨胀性与水敏性 .....	(271)
第四节 粘土膨胀与盐敏性及其对储层损害的影响 .....	(272)
一、粘土水化膨胀(阶段)对储层损害的影响 .....	(272)
二、粘土渗透膨胀(阶段)对储层损害的影响 .....	(272)
第五节 酸处理过程中二次沉淀——酸敏性及其对储层损害的影响 .....	(273)
一、碳酸盐岩的酸敏性及其对储层损害的影响 .....	(273)
二、砂岩的酸敏性及其对储层损害的影响 .....	(273)
三、酸处理(过程)对矿物水敏性及阳离子交换能力的影响 .....	(275)
第六节 碱处理过程中碱敏性及其对储层损害的影响 .....	(276)
一、砂岩的碱敏性及其对储层损害的影响 .....	(276)
二、碱处理对矿物水敏性及速敏性的影响 .....	(276)
第十五章 石油天然气储层研究进展 .....	(279)
第一节 裂缝性储层的研究进展 .....	(279)
一、储层构造裂缝分类 .....	(279)
二、储层构造裂缝的主要描述内容 .....	(280)
三、储层构造裂缝的主要参数 .....	(280)
四、储层构造裂缝的识别与预测 .....	(282)
第二节 地震信息及其综合模式识别在储层横向预测中的应用 .....	(285)
一、地震信息在储层预测中的作用 .....	(285)
二、地震信息的综合模式识别及其在储层横向预测中的应用 .....	(286)
第三节 层序地层学理论及方法在湖泊沉积层序研究中的进展 .....	(290)
一、层序地层学的基本概念 .....	(290)
二、中国沉积层序地层学的研究进展 .....	(292)
三、借鉴层序地层学的基本理论及方法在我国湖泊沉积层序划分 及储层预测中取得较大进展 .....	(294)
第四节 低渗透性储层在油气勘探中的地位日益重要 .....	(297)
一、低渗储层研究概况 .....	(297)
二、四川盆地部分低渗储层研究概况 .....	(297)
第五节 深层油气藏勘探的突破促进深层储层研究的发展 .....	(298)
一、深层储层研究概况 .....	(298)
二、塔里木盆地深层储层 .....	(299)
三、东濮凹陷深层储层 .....	(302)
四、世界深层油气藏的特征 .....	(303)
参考文献 .....	(305)

# 第一章 绪 论

## 第一节 石油天然气储层及储层地质学的概念

石油天然气储集层是在地质历史的演化进程中,通过沉积物的沉积和成岩作用,或是由岩浆侵入和喷出作用或变质作用及其后期次生变化,又经历了构造地质的综合作用最终形成的一部分岩体,它不仅具有储集流体的空间,而且还具有可使流体渗滤的能力。由于石油天然气储层是油气勘探与开发的目的层,储层的性质严格地控制着油气的储集、产量及产能,所以开展储层的地质、物探、测井、试井以及实验室分析测试等各种方法的综合研究,是油气田勘探开发过程中一项重要工作,并贯穿于含油气盆地勘探开发的全过程。

目前,储层研究的发展趋势是从宏观到微观,从定性到半定量、定量,从浅、中深部到深部,从高渗、高孔到低渗、低孔,从背斜油气藏到非背斜油气藏,从地表具有显示的构造油气藏到隐蔽油气藏,从陆上到海上,从传统的砂岩、碳酸盐岩油气储层扩展到其他沉积岩、火山碎屑岩和岩浆岩、变质岩储层的研究,相应地还发展了“储层地质学”和“储层沉积学”两门新的学科。总之,为了发现新的目的层,开发新的油气勘探领域,增加后备储量,加强油气后备基地建设,在勘探、开发各个阶段对储层地质学开展深入开拓性的研究,仍然是我国今后油气勘探开发的一项重要任务。

### 一、储集岩与储层的概念

#### 1. 储集岩

油、气、水以及其他金属和非金属矿液都可以储存于岩石的孔隙之中,但仅能储集油、气或油-水、气-水的岩石并不能成为储集岩,只有那些具备良好的渗透流体能力的岩石才能成为储集岩。因此,可以将油气储集岩理解为具有孔隙空间并能储渗流体的岩石。

#### 2. 储层

储层是地层的一部分,是能储存和产出流体的那一部分岩层组或层段。因此,可以将储层理解为是以储集岩为主的一套岩层组合。

### 二、石油天然气储层地质学的概念

石油天然气储层地质学是适应石油天然气勘探开发工作的需要,随着该领域中新技术新方法的发展而发展起来的一门新的学科,尚处于不断充实与发展阶段,文献中给以确切定义者不多。本书对其基本概念试述如下:

石油天然气储层地质学是研究储层成因类型、特性、形成、演化、几何形态、分布规律,还涉及储层的研究方法和描述技术以及储层评价和预测的综合性地质学科。

## 第二节 石油天然气储层地质学的研究意义及内容

### 一、石油天然气储层地质学的研究意义

储层地质是油气勘探开发过程中的一项系统工程。在区域勘探阶段,需了解储层层位、成因类型、岩石学特征、沉积环境、构造作用及影响、物性、孔隙结构特征、含油性、储集岩体几何形态、分布规律,以及有利储层分布区的预测,都属于储层地质学的重要研究内容。

在开发阶段,开发井网布置和开发方案的制定、油层保护和改造、开发过程中残余油分布的分析和油田调整方案的制定、提高采收率优化方案的设计和和实施,都要求对储层进行综合研究。此外,在分级储层评价中,探明地质储量和预测可采储量,建立储层模型以及油藏描述等都是建立在储层研究基础上的。

石油天然气储层地质学是一门多学科、多技术的综合性学科,涉及内容有沉积岩石学、岩石学、古生物和古生态学、构造地质学、石油地质学、有机地球化学、油层物理学、层序地层学和地震地层学、矿场地球物理学、岩石力学、流体力学、流变学、钻井工程和采油工程等学科。它需要多学科的协同配合,同时,它又促进了上述学科的发展。

### 二、石油天然气储层地质学的主要研究内容

#### 1. 储集岩的岩石类型

可作为油气藏储集岩的岩石类型主要是碎屑岩类和碳酸盐岩类,其他还有火山碎屑岩、岩浆岩、变质岩、泥岩和硅质岩类等。随着石油勘探开发技术的发展,后一类储集岩构成的油气藏的勘探开发愈益显得重要,因而对这一类储集岩的研究提出了更高的要求。

#### 2. 储集岩的岩石学特征

岩石学特征是储集岩的基本性质,不同成因的储集岩具有不同的组成和成分,结构、构造特征各不相同,区别甚大,这对储集岩的孔隙类型及物性影响很大。

#### 3. 储集岩的主要含油物性

含油物性主要包括孔隙度、渗透率和含水(或油、气)饱和度三类,他们是岩石储集性能的重要控制因素。

#### 4. 成岩作用与孔隙演化研究

储层孔隙类型是控制其储集性的因素之一,成岩作用在孔隙演化过程中对孔隙的保存、发育或破坏则起着决定性的作用,因此研究成岩作用及其与孔隙演化的关系极为重要。

#### 5. 储集岩的微观特征研究

储层的孔隙、喉道类型以及孔喉的配置关系直接影响其储集性,所以研究储集岩的微观孔隙结构对储集岩的分类评价以及提高油气采收率有重要意义。

#### 6. 储集岩体的形态、分布及连续性研究

不同成因的储层的储集岩体形态不同,其形成机理及控制因素均不同,研究储集岩体形态、分布、规模及连续性对探井及开发井网布置关系重大。

#### 7. 储层形成条件

储层形成的区域地质及大地构造背景,构造作用,储层形成的沉积环境及沉积介质特征,岩性、物源、古气候的影响,岩浆岩、变质岩储层的形成条件及岩相特征与分布等也是储层地质

学的重要研究内容。

#### 8. 储集岩非均质性研究

储集岩非均质性包括宏观和微观两个方面,在宏观非均质性研究方面包括层内非均质性、平面非均质性及层间非均质性三个主要内容,它们对流体的垂向及平面的渗流运动影响极大。

#### 9. 储层综合研究方法及储层描述技术

储层研究是涉及到多学科的综合研究,除立足于地质研究外,还要结合地震、测井、试井、实验室各种测试与分析等方面的综合研究。储层描述技术是以沉积学、石油地质学、构造地质学为基础,结合地震地层学和测井地质学,运用计算机技术,定性、定量地对储层特征进行描述和解释。

#### 10. 储层伤害的地质因素探讨

储层中普遍存在粘土矿物、碳酸盐矿物以及其他自生矿物,在油气勘探开发工程中由于外来流体对储层物性的影响,导致渗流能力下降,影响产能。对储层伤害的地质因素进行研究是储层地质学的一项内容。

#### 11. 储层评价与预测

储层评价包括探井单井储层评价、区域储层评价、开发储层评价、储层敏感性评价以及储层动态评价五个方面。现在,石油系统已完成了以上五种储层评价研究技术方法及规范要求。

#### 12. 储层地质模型

在油气藏开发过程中,油气藏数值模拟要求提供油气藏地质模型,其中核心问题是建立储层地质模型,即把储层重要的物理参数如孔隙度和渗透率等建成三维定量分布的储层地质模型。不同类型的储层地质模型服务于不同的油气藏开发研究任务。储层地质模型虽然主要属于开发地质学的范畴,但储层地质学中也要适当介绍。

### 第三节 石油天然气储层研究现状<sup>①</sup>

#### 一、中国石油天然气储层研究简史

石油天然气储层是油气勘探和开发的目的层。长期以来,在研究和认识中国生油层特征的同时即在研究相应的储层特征。我们研究储层是为了认识储层、寻找储层、开发储层、改造储层,充分发挥储层的能量。80年代以来,随着油气勘探开发新技术新方法的发展,储层研究进入了全面发展的新时期,目前已取得了一批重要成果。

原石油工业部早在“六五”期间“全国油气资源评价研究”结束前,即已提出“储层评价研究”将作为石油系统“七五”科技攻关的重点。

1986年末至1987年初,经过多次会议与研究,科技司主持研究编写“中国油气储层研究大纲”,指出“储层评价研究不同于油气资源评价研究,要出理论、出技术、出方法。从中国实际出发,搞出中国特色来”。1987年6月原石油工业部王涛部长提出:“储层评价要系统地进行分区研究,并且进行相应的工艺配套研究。”

1987年7月科技司下发了“加强储层研究”的通知,转发了由北京石油勘探开发科学研究院裘亦楠高级工程师主持起草的“我国陆相盆地油气储集层研究大纲”,并明确储层评价研究

<sup>①</sup> 部分材料引自《油气储层评价技术》(1994)序中的材料。

已列入“七五”部级重点项目。

1988年6月在中原油田召开了“全国第一次储层研究工作会议”，除交流储层研究成果外，又落实了“七五”研究课题。会议认为应“将储层评价研究作为一个系统工程，将勘探与开发、宏观与微观、基础研究与工程工艺相结合，并协同地质、物探、测井、油藏工程等各专业共同攻关，有利于提高研究水平，提高效率，更好地为勘探、开发服务，解决生产实际问题。”会议还商定，按不同勘探开发阶段，研究和建立五种储层评价研究技术方法及规范要求，即探井单井储层评价、区域储层评价、开发储层评价，储层敏感性评价以及储层动态评价。同时还决定出版系列储层岩石学图册，即碎屑岩储层图册、碳酸盐岩储层图册、非碎屑岩储层图册、储层沉积构造图册、阴极发光和荧光图册及自生矿物图册。后又决定增出中国含油气盆地粘土矿物图册。

1989年初，为了准备“八五”期间的工作，重新修订了“中国油气储层研究大纲”，确定中国油气储层研究的总目标是：总结具有我国特色的陆相含油气盆地储层的沉积规律，成岩规律，储集体几何学和宏观、微观非均质特征；在陆相储层沉积学上达到世界领先地位；发展和完善一套评价陆相储层的地震、测井、试井、测试技术和沉积地质实验方法，力争在主要技术上达到80年代初的国际水平；建立一套研究储层敏感性的试验技术，提出一套针对我国陆相储层特征的相应的保护和改造措施。同时，开展海相碳酸盐岩及火成岩等的储层研究，以及开展基础研究和重点实验室的筹建。

按照储层研究大纲，1989~1990年组织了27个单位的约500名科技人员，从事62个科研项目的攻关。1990年6月在江汉石油学院召开了“全国第二次储层研究工作会议”，除提供了一批储层研究成果外，还印发了“储层评价研究进展”专辑，反映了“七五”期间我国储层研究的一部分成果与新进展。

1991年6月在杭州召开“‘七五’储层评价研究评审会”，取得了一批重要科研成果，并确定了“八五”储层研究共分七个二级课题：(1)建立三维定量储层地质模型；(2)构造裂缝定量预测技术；(3)区域储层评价新技术的开发；(4)重点地区区域储层评价研究；(5)四川盆地裂缝-孔隙型碳酸盐岩储层预测概念模型及有利储集带预测探索研究；(6)南方低勘探区碳酸盐岩储层概念模型研究；(7)储集层成岩模式及有利孔隙带预测。

1991年11月在江汉石油学院又召开了“石油院校大型实验室工作会议”，后由总公司决定由石油大学、西南石油学院、江汉石油学院、大庆石油学院分别建立四个重点储层实验室进行专项储层模拟、实验研究。

1994年11月在西安召开了“中国油气储层评价研究验收会”，共验收了“八五”储层评价研究的60个三级课题，获得了高水平的成果，尤其在陆相含油气盆地储层发育演化规律及储层的建模工作已取得初步成果，从而使我国的储层评价研究工作进入了国际先进行列。

90年代以来，在中国石油天然气总公司有关领导、科技发展局以及人教司主持下，将“七五”油气储层评价研究成果于1993年汇编出版了《中国油气储层研究论文集》、《中国油气储层研究论文集》(续一)。1994年是储层研究成果出版的丰收年，首先出版了大型系列图集《中国油气储层研究图集》五卷，其中卷一为碎屑岩，卷二为碳酸盐岩，卷三为岩浆岩、变质岩，卷四为沉积构造，卷五为自生矿物、显微荧光、阴极发光。同年出版的还有《油气储层评价技术》。此外，有关石油研究院、所以及院、校还先后出版了部分“储层沉积学”和“储层地质学”方面的专著。1991年底出版的专著有《广西百色盆地东部第三系储层研究》、《西南地区上古生界海相碳酸盐岩沉积相模式及其在油气勘探中的应用》；1992年出版的有《中国含油气盆地沉积学》、《应用地震技术研究储层》、《东濮凹陷下第三系沉积体系和成岩作用》以及《储层地球化学》译文集



等。

鉴于储层不是独立的地质体,在地层中生储盖组合必须形成有机配置才能起到储集与渗流油气的作用,所以“九五”期间将储层作为“成油系统”整体中的一个重要部分进行综合性研究仍然是一项重要的研究课题。

## 二、国外石油天然气储层研究近况

国外油气储层研究的特点是微观化、数值化与模型化。特别在 80 年代中后期,储层地质模型研究成为国际上的热门课题。1985 年在美国达拉斯召开了第一届储层表征技术讨论会,1989 年 6 月和 1991 年 11 月分别召开了第二届、第三届国际储层表征技术研讨会。均将建立储层地质模型列为重点讨论内容。第一届储层表征讨论会上将储层表征定义为“定量地确定储层性质,识别地质信息及空间变化的方法”。储层表征(Reservoir Characterization)这一新概念的出现,将油藏描述中的静态研究资料与开发过程动态相结合,使之成为开发动态过程尤其是二次和三次采油阶段开发研究的重要内容。储层地质模型已成为目前储层表征中的主要课题(刘怀波,1994)。

此外,1990 年在英国召开的第 13 届国际沉积学大会以及第 13 届世界石油大会,都将储层地质模型列为重要课题。有关储层建模的文献已大量发表。

在储层地球化学研究方面,国外自 80 年代以来进行了大量研究工作,取得了一些突破性的进展,对于储层尤其是砂岩储层次生孔隙的形成及分布提出了新理论与新看法,对储层预测有重要参考价值。美国在 1985 年出版了一本论文集,题名为《有机质在成岩过程中的作用》,主要讨论储层砂岩在成岩过程中,相邻烃源岩中干酪根热裂解或氧化裂解产生的羧酸和酚类,影响砂岩中碳酸盐和铝硅酸盐组分的稳定性,甚而导致发生溶解的作用,主要目的是建立砂岩成岩作用的预测模型,使之在钻井之前就能预测潜在储层孔隙度和渗透率的特征。在国外每年都有大量储层地球化学方面的文章公开发表。

由于油气勘探开发工作中新理论、新技术、新方法的迅速发展,储层研究的新理论、新技术和新方法亦随之得到了发展,顺应这个发展形势又逐渐形成了“储层沉积学”和“储层地质学”两门新学科。