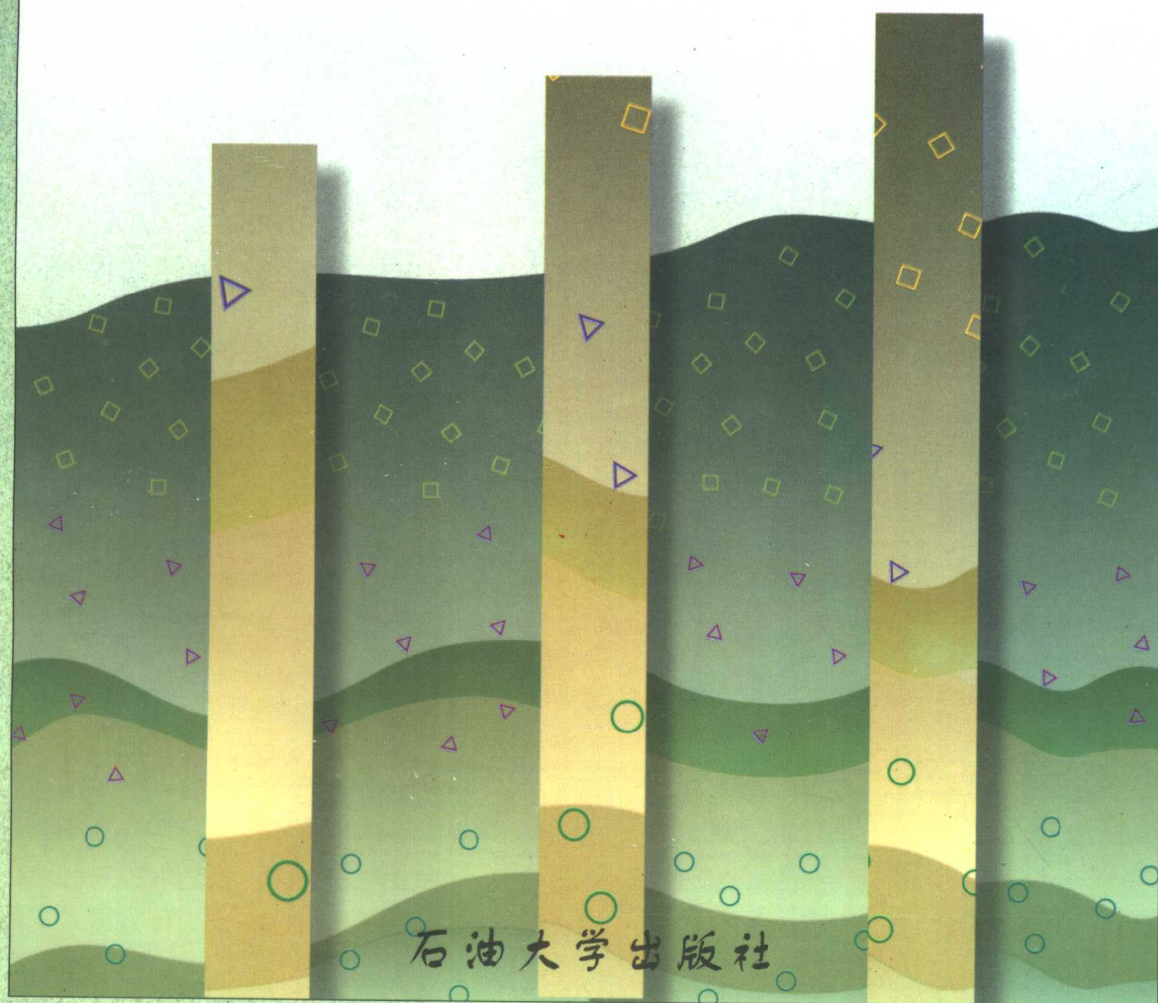


高等学校教学用书

碳酸盐岩 储层地质学

强子同 主编



石油大学出版社

高等学校教学用书

碳酸盐岩储层地质学

强子同 主编

石油大学出版社

内 容 提 要

本书是为石油高校编写的“碳酸盐岩储层地质学”教材。全书分为四篇计二十章。主要内容包括:碳酸盐岩储层地质学概论(含储层沉积学基础,孔隙结构,储层类型,储层污染及保护);碳酸盐岩储层地球化学(含稳定同位素、微量元素,流体包裹体、发光显微光学及扫描电镜的应用);碳酸盐岩成岩作用与孔隙演化(含各种成岩环境的孔隙演化;并附有实例);碳酸盐岩储层地质学涉及的新问题(如层序地层学、成岩圈闭与导控矿产及胶结物地层学)等。

本教材编写体系严谨、系统,资料丰富、翔实,并附有近期国内外碳酸盐岩储层研究的实例,较好地反映了当前碳酸盐岩储层地质学的研究现状和水平。本书可供石油高校研究生教学使用,对科研院所、现场从事碳酸盐岩储层研究的人员,也是一本很好的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

碳酸盐岩储层地质学/强子同主编,-东营:石油大学出版社,1998

ISBN 7-5636-1130-4

I. 碳… II. 强… III. 碳酸盐岩-油气藏-储集层-地质学 IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 28380 号

碳酸盐岩储层地质学

强子同 主编

出版者:石油大学出版社(山东 东营,邮编 257062)

印刷者:山东东营新华印刷厂印刷

发行者:石油大学出版社(电话 0546—8392563)

开 本:787×1092 1/16 印张:30.25 字数:771 千字

版 次:1998 年 10 月第 1 版 1998 年 10 月第 1 次印刷

印 数:1—700 册

定 价:34.00 元

前 言

1990年在成都举办过一次碳酸盐岩储层地质研究培训班,“碳酸盐岩储层地质学”就是为该培训班编写的教材。该书约40余万字,图200余幅。内容是70年代研究“川中侏罗系大安寨石灰岩的成岩作用与成岩圈闭”,80年代研究川东、鄂西上二叠统长兴组生物礁,以及90年代初研究四川寒武系碳酸盐岩储层收集的资料和文献的概括和总结,由强子同、文应初、张帆等编写。

1991年石油教材编审会确定本书作为石油高校教材之后,对本书内容和体系进行了修改和补充。强子同任主编,文应初、张帆任副主编,郑家凤负责事务工作,编写人员分工是:

王生海 第十四章

刘 鑫 第八章

何道清 第十章

穆曙光 郑家凤 第十二、十三章

张 帆 第一、二、十一章

文应初 第三、四、五、十六章

强子同 第六、七、九、十五、十七、十八、十九、二十章

在修改和编写过程中,由于时间短促,涉及的有许多又是有争议的和未定型的问题,加上资料繁杂,一些资料存在着尖锐的对立观点,难于处理。所以在取材时尽可能客观,各种观点都介绍。但在把握上有时难免会出现一些偏差,错误之处希望读者指正。

在编写过程中,四川石油管理局包茨高级工程师(教授)、成都理工学院曾允孚教授对该书进行了审定并提出充满鼓励和肯定字句的评议书,中国石油天然气总公司教材编辑室以及石油大学出版社的领导和责任编辑给予大力的支持。抄写、打印、校对过程中还得到邓明雅、陶艳忠等人的帮助。在此一并致谢。

强子同

1995年7月

目 录

绪论	(1)
----	-----

第一篇 碳酸盐岩储层地质学概论

第一章 碳酸盐岩储层沉积学基础	(5)
第一节 碳酸盐岩的分类	(5)
一、碳酸盐岩的成分与结构	(5)
二、碳酸盐岩分类概述	(9)
三、部分碳酸盐岩分类简述	(9)
第二节 碳酸盐岩储层的沉积特征	(17)
一、概述	(17)
二、岩性与储集岩的关系	(17)
三、沉积环境与碳酸盐岩储集层	(18)
四、碳酸盐岩储集岩岩石类型	(23)
第三节 碳酸盐岩成岩作用的一般特征	(27)
一、胶结作用	(28)
二、新生变形、溶解、交代作用	(32)
三、细粒碳酸盐的成岩作用	(34)
第二章 碳酸盐岩的孔隙	(36)
第一节 概述	(36)
一、孔隙的一般概念	(36)
二、碳酸盐岩孔隙的一般特征	(36)
第二节 碳酸盐岩孔隙的地质成因分类	(38)
一、基本孔隙类型	(38)
二、孔隙的组构选择性	(42)
三、孔隙的时间性	(43)
四、孔隙的命名原则	(45)
第三节 碳酸盐岩孔隙的主要形成作用	(46)
一、沉积作用	(46)
二、溶解作用	(47)
三、白云石化作用	(48)
四、角砾化作用	(49)
五、裂缝作用	(49)

第四节 碳酸盐岩孔隙的发展与演化	(49)
第三章 碳酸盐岩储集层的孔隙结构	(52)
第一节 碳酸盐岩的储集层的物性特征	(52)
一、孔隙率(孔隙度)	(52)
二、渗透率	(53)
三、饱和度	(57)
四、相渗透率、相对渗透率	(57)
第二节 碳酸盐岩储集层的储渗空间	(58)
一、孔隙与喉道	(58)
二、孔洞	(60)
三、裂缝	(61)
第三节 碳酸盐岩储集层的孔隙结构	(64)
一、碳酸盐岩的水银注入—退出曲线	(65)
二、碳酸盐岩储集层的孔隙铸体	(74)
三、碳酸盐岩储集层孔隙结构研究在勘探中的应用	(76)
第四节 碳酸盐岩储集层评价	(78)
一、西威利斯顿盆地密西西比系查尔斯组碳酸盐储集岩分类	(81)
二、四川盆地二叠系、三叠系碳酸盐岩天然气储集岩分类	(85)
第五节 碳酸盐岩储集岩的物性参数下限	(85)
第四章 碳酸盐岩储集层类型	(87)
第一节 概述	(87)
第二节 简单储集层(单重介质)	(90)
第三节 复杂储集层(双重介质及多重介质)	(92)
第五章 碳酸盐岩储集层的污染及保护	(96)
第一节 碳酸盐岩储集层的污染	(96)
一、碳酸盐岩储集层污染机制	(96)
二、碳酸盐岩储集层伤害分析	(98)
第二节 碳酸盐岩储集层的保护与改造	(101)
一、碳酸盐岩储集层的保护	(101)
二、消除碳酸盐岩储集层伤害的措施	(102)
三、碳酸盐岩储集层的水力压裂改造	(103)

第二篇 碳酸盐岩储层地球化学

第六章 碳酸盐岩的稳定同位素	(107)
第一节 稳定同位素基本原理	(107)
一、稳定同位素的一般概念	(108)
二、同位素作用的基本特征	(110)
三、同位素分馏	(112)
四、同位素平衡分馏	(113)

五、同位素瑞利分馏	(114)
六、同位素动力学分馏	(115)
七、同位素的标定和标准换算	(116)
第二节 碳酸盐岩中的氧、碳稳定同位素	(118)
一、碳、氧同位素	(118)
二、碳、氧同位素在碳酸盐岩储集层中的应用	(122)
第三节 碳酸盐岩中的锶同位素	(125)
一、锶同位素地球化学的一般特征	(125)
二、地质体中的锶同位素	(126)
三、海水中的锶同位素	(131)
四、碳酸盐岩中的锶同位素	(133)
第七章 碳酸盐岩中的微量元素	(136)
第一节 微量元素	(136)
一、微量元素的一般概念	(136)
二、微量元素的分析方法	(137)
三、微量元素在地质学中的作用	(137)
第二节 碳酸盐岩中的微量元素	(138)
一、碳酸盐矿物中微量元素的地球化学特征	(138)
二、微量元素分析资料的整理与解释	(140)
第三节 碳酸盐岩中的稀土元素	(147)
一、碳酸盐岩中稀土元素的一般特征	(147)
二、Burlington-Keokuk 组白云岩的稀土元素	(155)
第八章 碳酸盐岩矿物流体包裹体	(158)
第一节 碳酸盐岩矿物流体包裹体的一般概念	(158)
一、矿物流体包裹体的定义及研究简况和意义	(158)
二、包裹体的分类	(159)
三、包裹体主要赋存状态及样品要求	(161)
第二节 包裹体的主要测试技术和研究方法	(161)
一、偏光显微镜下包裹体的识别和主要特征	(161)
二、包裹体均一温度的测定	(163)
三、包裹体盐度的冷冻法测定	(164)
四、流体包裹体的再平衡作用	(168)
五、荧光显微镜下包裹体的鉴别	(169)
六、包裹体成分测试分析方法	(171)
第三节 成岩作用过程中包裹体的特征及其演变	(173)
一、包裹体与成岩环境	(173)
二、包裹体与世代胶结作用	(174)
三、原生包裹体与次生包裹体的识别及地质意义	(175)
第四节 堪萨斯州 Cherokee 盆地中上宾夕法尼亚系成岩流体演化史	(176)

一、地质概况和成岩简史	(176)
二、方解石中的流体包裹体	(177)
三、晚期成岩胶结物的流体包裹体	(179)
四、包裹体资料分析	(180)
五、成岩流体演化史	(181)
六、高均一化温度的含意	(182)
七、晚期胶结物流体包裹体热再平衡	(182)
第九章 发光显微光学	(185)
第一节 概述	(185)
第二节 阴极发光显微镜分析及其在碳酸盐岩中的应用	(185)
一、阴极发光	(185)
二、碳酸盐矿物的发光性及其成因	(192)
三、方解石阴极发光与碳酸盐胶结作用的氧化还原状态之间的关系	(191)
四、亮晶方解石胶结物复杂带状模式的成因	(193)
第三节 荧光显微分析及其在碳酸盐岩石学中的应用	(197)
一、概述	(197)
二、有关碳酸盐岩中荧光的起因	(198)
三、荧光显微镜在碳酸盐岩石学中的应用	(198)
第十章 扫描电镜在碳酸盐岩储层地质学中的应用	(200)
第一节 扫描电镜的工作原理及样品制备方法	(200)
一、电子显微镜和光学显微镜	(200)
二、扫描电镜的结构和工作原理	(202)
三、扫描电镜的样品制备技术	(205)
第二节 扫描电镜在碳酸盐岩储层地质学中的应用	(208)
一、扫描电镜下碳酸盐岩孔隙类型	(208)
二、扫描电镜下碳酸盐岩的结构	(210)
三、酸化对碳酸盐岩储集层的改造	(212)
四、扫描电镜对碳酸盐岩生物成因的研究(化石碳酸盐岩的研究)	(213)

第三篇 碳酸盐岩成岩作用与孔隙演化

第十一章 碳酸盐岩成岩环境及其鉴别标志	(223)
第一节 碳酸盐岩成岩环境研究概况	(223)
一、研究历史	(223)
二、碳酸盐岩成岩环境划分	(224)
三、碳酸盐岩成岩环境的一般特征	(227)
第二节 碳酸盐岩成岩环境鉴别标志	(229)
一、特殊成岩现象——岩石组构标志	(229)
二、矿物学标志	(233)
三、地球化学标志	(234)

四、其他标志	(235)
第三节 碳酸盐岩成岩序列和成岩模式	(236)
一、稳定化作用与成岩序列	(236)
二、成岩模式	(237)
第十二章 正常海洋成岩环境及其孔隙的演化	(239)
第一节 海洋成岩环境的一般概念	(239)
第二节 建设性的海底成岩作用与破坏性的海底成岩作用	(241)
第三节 正常浅海成岩环境	(243)
第四节 古代浅海胶结物的识别	(246)
第五节 潮间坪和潮间带的成岩作用环境	(249)
第六节 现代浅水海底硬地	(251)
第七节 古代硬地的辨别和意义	(251)
第八节 礁的成岩作用环境	(252)
一、概述	(252)
二、现代礁环境的成岩背景	(253)
三、地质历史中与礁有关的海洋成岩作用的辨别	(255)
第九节 深海海底成岩作用环境	(256)
一、方解石补偿深度以下的白云石化作用	(257)
二、海洋水白云石化作用的热循环模式	(258)
第十三章 蒸发海水成岩环境及其孔隙的演化	(259)
第一节 蒸发海水成岩环境的一般特征	(259)
第二节 边缘海萨布哈成岩环境	(261)
一、现代边缘海萨布哈	(261)
二、与古代边缘海萨布哈有关的成岩模式	(263)
第三节 与边缘海萨布哈成岩作用环境有关的储集层	(266)
一、美国威林斯顿(Wiliston)盆地奥陶系 Red River 组边缘萨布哈储集层	(266)
二、美国威林斯顿盆地 Mission Canyon 边缘海萨布哈储集层	(268)
三、美国西德克萨斯奥陶系与边缘海萨布哈有关的 Ellenburger 白云岩储集层	(270)
第四节 边缘海、蒸发泻湖以及盆地(回流白云化)	(275)
一、作为成岩环境的边缘海、蒸发泻湖	(275)
二、Macleod 盐盆地	(276)
第五节 与蒸发泻湖和盐盆地有关的油气储集层	(278)
一、美国西德克萨斯上二叠统瓜达鲁佩:古代边缘海、蒸发泻湖复合体	(278)
二、美国墨西哥盆地中部海湾 Ferry Lake 硬石膏岩	(278)
三、美国德克萨斯州上侏罗统 Smackover 台地白云石化作用:回流白云石化事件	(280)
四、加拿大 Elkpoint 盆地	(283)

第十四章 大气水成岩作用环境与孔隙演化	(287)
第一节 大气水及其有关的孔隙流体的地球化学	(287)
一、大气水成岩环境的水文背景	(287)
二、大气水成岩作用的矿物学	(289)
三、大气水和从大气水中沉淀的碳酸盐的稳定同位素	(291)
第二节 碳酸盐沉积物和岩石的大陆暴露与大气水	(293)
一、基本概念	(293)
二、暴露面的分类和大陆暴露面横向上的关系	(294)
三、暴露面的继承和改造	(295)
四、大陆暴露相	(296)
五、大陆暴露相的鉴别	(302)
六、大陆暴露与孔隙	(302)
第三节 准稳定碳酸盐岩层系中渗流成岩环境及其孔隙演化	(303)
一、上部渗流带	(303)
二、下部渗流带	(304)
三、渗流胶结物的岩石学及地球化学	(304)
四、渗流环境中孔隙的发展和演化	(305)
第四节 准稳定碳酸盐岩层系中局部大气水透镜体潜流成岩环境及其孔隙演化	(306)
一、局部大气水透镜体	(306)
二、大气水潜流胶结物的岩石学和地球化学	(307)
三、成岩作用的局部岛状模式	(307)
四、局部大气水透镜体中孔隙的发展和演化	(308)
五、地质时期中的局部岛状模式及实例	(308)
第五节 准稳定碳酸盐岩层系中区域大气水潜流成岩环境及孔隙演化	(311)
一、一般特征	(311)
二、区域大气水层系统成岩模式	(312)
三、区域大气水环境中孔隙的发展和演化	(312)
四、区域大气水系统中的岩石学和地球化学	(314)
五、区域大气水层系统成岩作用储层的实例	(316)
第六节 成熟碳酸盐矿物稳定系统层系中大气水成岩环境及孔隙演化	(322)
第十五章 大气水、混合水以及海水的白云石化作用及其有关的储集层	(323)
第一节 混合水白云石化	(323)
一、混合水白云石化作用的一般概念	(323)
二、大气水、混合水、海水的地球化学	(324)
三、有关混血或混合水白云石化模式的确切性和它在古代岩石中的应用 ...	(325)
第二节 与混合水白云石化作用有关的油气储集层	(329)
一、美国伊利诺斯盆地密西西比系 North Bridgeport 油田:混合水白云岩储集层	(330)

二、大陆水白云石化作用——澳大利亚南部考龙(Coorong)泻湖	(333)
第十六章 埋藏成岩环境与储集层孔隙演化	(336)
第一节 埋藏成岩环境一般概念	(336)
一、概述	(336)
二、埋藏背景	(336)
第二节 压实作用	(338)
一、物理压实作用	(338)
二、化学压实作用(压溶作用)	(339)
三、影响压溶作用的因素	(341)
第三节 埋藏胶结作用	(342)
一、埋藏胶结物的碳酸钙来源	(342)
二、埋藏胶结物岩石学	(342)
三、埋藏胶结物的特征	(344)
四、胶结物沉淀条件	(346)
第四节 埋藏溶解作用	(347)
一、埋藏溶解作用	(347)
二、埋藏溶解孔隙的鉴别	(353)
三、埋藏溶解孔隙发育情况预测	(355)
第五节 埋藏条件下储层孔隙变化趋势	(355)
第六节 温度、压力对埋藏成岩作用的影响	(357)
一、压力对埋藏成岩作用的影响	(358)
二、温度对埋藏成岩作用的影响	(359)
第七节 北海埃科菲斯克(Ekofisk)油田:白垩岩中超压保存的原生孔隙实例	(359)
第八节 四川东部石炭系天然气储集层:白云岩埋藏溶解孔隙实例	(360)
一、概况	(360)
二、海西期古岩溶(云南运动)	(362)
三、印支期埋藏溶解作用	(362)
四、印支期是石炭系储集岩埋藏溶解作用的发育时期	(364)
五、川东石炭系储集岩孔隙演化模式	(365)
第十七章 埋藏白云石化作用及其有关的储集层	(368)
第一节 概述	(368)
第二节 埋藏白云石化	(369)
一、地下白云石化的岩石学和地球化学	(369)
二、埋藏白云石化对储集层孔隙的影响	(370)
第三节 埋藏白云石化及其有关的油气储集层	(370)
一、加拿大阿尔伯达泥盆系碳酸盐岩埋藏白云石化	(370)
二、川东鄂西上二叠统生物礁埋藏白云石化的地球化学特征	(372)

第四篇 碳酸盐岩储层地质学研究中涉及的新问题

第十八章 层序地层、成岩作用与储集层	(381)
第一节 碳酸盐岩层序地层学的一般概念	(381)
第二节 白云石化作用与层序地层学	(383)
第三节 碳酸盐岩成岩作用与相对海平面变化	(385)
一、碳酸盐岩成岩作用和相对海平面的下降	(385)
二、相对海平面上升时海进体系域(TST)的碳酸盐岩成岩作用	(388)
三、相对海平面处于高水位时高水位体系域(HST)碳酸盐岩的成岩作用	(388)
第四节 亚层序规模的碳酸盐岩成岩作用	(389)
第五节 碳酸盐岩成岩作用和层序堆积模式	(391)
一、成岩作用与层序堆积模式	(391)
二、碳酸盐岩成岩作用和有关硅质碎屑的作用	(393)
第六节 层序地层学中的碳酸盐岩的成岩作用	(393)
一、显生宙碳酸盐岩成岩作用:总的趋势和第一级序列海平面曲线	(393)
二、显生宙地质时期的碳酸盐岩成岩作用和层序	(394)
第十九章 碳酸盐岩成岩圈闭与层控金属矿产	(398)
第一节 成岩作用与油气	(398)
一、成岩作用与碳酸盐岩的储集性能	(398)
二、成岩作用与油气的分布	(399)
第二节 成岩圈闭	(400)
一、成岩圈闭的基本概念	(400)
二、裂缝圈闭与古潜山	(401)
三、成岩圈闭的分类	(401)
四、成岩圈闭形成过程中孔隙的演化	(403)
五、成岩圈闭的实例	(404)
第三节 成岩作用与层控金属矿产	(407)
一、层控金属矿产的一般概念	(407)
二、潮坪与层控金属矿产	(408)
三、密西西比谷型矿床	(409)
四、深水闭流型矿床	(410)
五、实例: Pine Point 铅锌矿床	(410)
第二十章 胶结物地层学	(415)
第一节 胶结物地层学的一般概念	(415)
一、概述	(415)
二、胶结物地层学的基本概念	(415)
第二节 碳酸盐胶结物晶体的带状生长特征	(416)
一、带状晶体的生长特征及成因	(416)

二、晶体环带地层学	(418)
第三节 胶结物层序对比和解释——胶结物层序区域模式.....	(419)
第四节 胶结物地层学的古水文学解释.....	(425)
第五节 胶结物地层学尚待解决的主要问题及其局限性.....	(428)
一、早期带状胶结物的沉淀环境问题	(428)
二、地下水体系的规模问题	(429)
三、胶结物地层学的局限性	(430)
第六节 密西西比系 Burlington—Koekuk 组碳酸盐胶结物地层学	(431)
一、概述	(431)
二、胶结物带的分布	(434)
三、胶结物的破裂作用和内部带的溶解特征	(434)
四、方解石胶结作用的时间	(435)
五、胶结物沉淀的环境	(436)
六、胶结作用的模式	(437)
七、结论	(439)
主要参考文献.....	(440)

绪 论

一、储层地质学的一般概念

储层地质学是研究油气储集岩(Reservoir Rock)的一门科学,研究的内容主要是储集岩的成因(形成的条件——沉积环境)和它的物性特征(孔隙度、渗透率、流体饱和度、油气比以及油水界面),储层的形成、发展和演化,有效储层的形成和空间上的分布、形状和大小,控制储层物性特征的基本因素,以及解决储层中某些地质问题所要使用的岩石学、地球化学、地震和测井的方法。储层地质学实际上是石油地质学的一个分支,开发地质学中一个组成部分。

从勘探和开发石油的实践中,石油地质学家已逐渐地认识到研究储集岩的重要性,积几十年的勘探开发的经验,原石油部提出:“石油地质工作者的岗位在井下,斗争的对象是地层。”这里所指的地层就是储层。有关储集岩或储层的文章在60年代末期和70年代初期大量出现。这些文章在讨论储油岩特征时出现“储层地质学”(Reservoir Geology),“储层沉积学”(Reservoir Sedimentology)这样一些术语,并且常常把它们同开发地质学(Petroleum Development Geology)联系在一起,或者把它作为开发地质学中的一部分(P. A. Dickey, 1979)。石油地质学家在讨论某一地区或某一油田的储油岩的特征时,常常使用储集岩(Reservoir Rock)和储集地质学(Reservoir Geology)这种术语。80年代初期在美国和加拿大石油地质学家年会上进行学术交流时,专门设有“储层地质学”分会。从分会上交流的学术论文上看,多半是从地质学和地球化学来讨论储集岩的特征。与此同时,也开始从地震、测井以及其他学科出发来讨论储油岩的特征。从该角度上讲,储层地质学不仅是石油地质学的一个分支,而且也是属于岩石学、地震地层学、测井地质学、地球化学与石油地质学的一个边缘学科。

储油岩是一种沉积岩(也发现过火成岩、变质岩作为储油岩的例子,但很少),沉积环境对储油岩的特征和分布有重要的控制作用。研究储层沉积环境的学科叫储层沉积学(Reservoir Sedimentology),它实际上是储层地质学的一部分。

在一个时期内,石油地质学家的主要工作是侧重于如何发现新油田,以及为寻找新油气田而进行的勘探方法的研究和应用上。一当他们找到了新的油气田,就把这些油气田交给石油工程人员(采油和钻井工程师)去处理。然而,现实问题是开发人员面对的几乎很少是孔隙性和渗透性均匀的岩石。常常遇到的是相变极快的狭窄的河道砂岩,或海滩砂体。至于碳酸盐岩储层,就更为复杂了。因成岩作用的变化可以使原生孔隙消失,而成为一个非渗透性的层;成岩作用也可以使原来的不具有储集性的碳酸盐岩变成有效储层。勘探阶段遗留下来的储层地质问题,一般采油和钻井工程人员是难以承担的,一般把它放在储层地质学中。因此,储层地质学还包括开发地质学中一部分内容。

储层地质学的大部分内容,可以通过岩石学方法解决。然而在勘探开发阶段由于经济上的原因不可能对每口井进行取心。这就使得直接通过岩心进行岩石学方法研究储层地质学的许多课题难以解决。它必须通过测井、地震方法来解决储层地质的某些问题——比如储层大小、形状、位置、分布,孔隙度和渗透率,这是测井地质学和地震地层学内容。但储层地质学主要是

了解它们的解释方法和使用它们解释的结果,并把这种解释结果和岩石学研究的结果进行对比,从而确定它的可靠性和实用性。因为测井和地震方法存在着多解性和不确切性。

由于钻井过程中获得岩心大小是有限的,岩屑资料更是有它的局限性,当取心井比较少时,仅仅通过岩石学的方法,很难完全解决储层地质学中提出的问题,比如储层孔隙发展和演化,有效储集空间形成时间,但它们可以通过储层的地球化学方法(稳定同位素 C、O、Sr,微量元素、电子探针、阴极发光、电镜、X 射线衍射、包裹体)来解决。当然储层地质学只是使用它们的分析结果和如何从储层地质学观点来对这些分析作出地质解释,而不是它们的分析方法本身。

从以上的论述,我们可以了解储层地质研究的内容和范围,而且可以知道它是从石油地质学和开发地质学中独立出来的一门新学科,它与岩石学、地球化学、测井地质学和地震地层学、以及石油地质学和开发地质学有密切的关系。

二、储层地质学在石油勘探开发过程中的作用

储层地质学在它还未形成一门独立学科之前,就已经显示出它在石油地质学科中的重要性。储层、生油层和盖层是石油地质学中论述油气的生成、运移和聚集的理论基础。勘探人员在研究一个地区,一个层位的生、储、盖的有利组合时,储层受到更大的注意。石油毕竟产在储集层中,所以在已经发表的石油勘探的专著和大量的石油地质文献中,通常都会直接地或间接地涉及到储层和储层地质学方面的问题。因为,油气勘探的目的层是储层。石油工作者要从很厚的地层中寻找储层,勘探和开发石油。然而,要找到石油并把它们从储集层中开发出来并非一件容易的事情。它要花费大量的设备、资金和技术力量。

在第一口成功的探井钻完后,石油地质学家要把他们从这口井获得的地质和地球物理的资料进行综合分析,提供区域勘探所需要的资料。与此同时,这些资料,其中特别是储层的各种参数,如孔隙度、渗透率、流体饱和度、油气比以及油水介面等参数,又是制定这口井开发方案的基础。

探井成功后,在开展油气勘探工作时,一方面要研究区域地质的资料,另一方面对第一口井的岩心应进行详细的储层地质学研究,以便获得尽可能多的准确的地质资料是至关重要的。因为,如果这方面的工作研究得不深入,获得的资料太少,或提供的资料不准确,那么勘探工作的决策人员将会冒勘探失败的风险去钻探要耗资上千万元的下一口钻井,这是非常危险的,也是不经济的。勘探工作的成功与失败,有很多因素,其中储层地质学的研究工作,也是其中一个重要的因素,在进行一个地区的油气勘探时,由于储层性质没有搞清楚,在勘探和开发阶段造成失误,在国内和国外都曾发生过。

油田的勘探阶段,由于对储层的储层地质学研究不够,或者因为研究不够深入而漏掉储层的现象也不是没有的,德克萨斯州二叠纪盆地,西塞米诺尔油田(West Seminole field)的勘探开发过程中就有过这种现象。该油田是 1948 年发现的,为一大穹窿构造。油层的上面有气顶,下部有底水。限于当时历史条件,储集地质研究得不够,只知道储层是白云质灰岩。开采一个阶段后,产能下降,为了提高产能 1962 年开始注气,1969 年开始注水,但效果都不好。为了解决这个问题,1974~1976 年打一些加密井,进行取心研究,发现原来的产层是由三个海进海退旋回组成,三个非渗透性层把储层分隔为三段,实际上有三个储层。这一研究结果使油田恢复了新的生命力。由此不难看出,勘探阶段因储层地质学研究得不够将会留下怎样的后果。提高老油田的采收率,稳定油井的产量或延长油井的寿命,需要采取一些工艺措施,进行二次采油、

三次采油(这些措施的实施将会对油层带来不同程度的损害,所以防止油层污染是十分重要的,储层的详细的储层地质学研究将提供必要的资料。这些资料,对采取妥善措施防止油层污染是十分重要的)。但是因对储层研究不够,缺乏储层地质资料,造成所施行的工艺措施的失败,不是没有的。众所周知,注水是稳定油井产量的一个重要措施。1920 年在美国宾夕法尼亚州北部布拉德福油田,注水试验成功后,30 年代在美国其他一些油田开始进行广泛的注水试验,但是在美国西部一些油田,注水试验并不成功,失败的原因有些是因为工艺措施本身的问题,另外一个重要原因是,没有认真地考虑地质条件,即对试验地区储层的特征了解不够充分。由于试验地区的砂岩储层很不均匀,孔隙性和渗透性横向上变化较大。注进去水只通过渗透性较好的砂岩,油驱动不出来,在一些碳酸盐岩储层中发现有张性裂隙和大的溶洞,注进去的水只通过裂缝和大的溶洞,也不能把油驱动出来。

在勘探阶段,钻井过程中要使用的泥浆,开发阶段,施行各种工艺措施和对一些重油层的强化开采(注蒸汽和地下燃烧),都会对储层带来不同程度的有害影响;压裂酸化,可以改善储层的渗透性,但是措施不当,溶解的残余物不能排除,也可以阻塞孔隙喉道从而降低它的渗透性。注水可以保持油井的产能,但注入的水也可以造成储集层中粘土矿物发生变化,从而阻塞孔隙喉道(淡水使蒙脱石膨胀,造成孔隙喉道变窄)使渗透性变差。注蒸汽可以因为温度的增加,而使重油流动性增加,从而提高它的产量,但是温度的增加,也可以造成粘土矿物转化(高岭石→蒙脱石)造成孔隙喉道的变窄和阻塞,从而降低了它的渗透性,I. Hateheon (1983)把这些现象叫做人工成岩变化。它们污染油层,带来有害影响,所以有人将此叫做油层污染,应通过对油层的储层地质学研究,提出保护油层的措施。

由上所述不难看出在油气勘探开发过程中的全部时期,储层地质学研究都是至关重要的。石油地质工作者和开发工程师如果不注意储层地质资料,将会带来严重的后果,从而造成重大的经济损失。因此储层地质学在石油勘探开发过程中将会发挥重要的作用,带来巨大的经济效益。

三、储层地质学发展的前景

从世界油气田的勘探历史中,人们不难发现在北美、西欧、中东以及其他地区,一些 50 年代以前发现的老油田,由于在勘探阶段对油气储层研究不够,遗留下来许多储层地质方面的重大问题,直到开发的末期还在补作储层地质方面的工作。当然,这与时代背景有关,当时的技术发展水平不可能像今天这样对储层作更详细的工作,使其认识达到现在的水平(与储层有关的边缘学科发展,促进储层地质研究,从而提高储层地质研究水平)。

40 年代末至 50 年代初现代沉积研究风起云涌,这些研究成果把沉积岩石学推向一个崭新的阶段。砂岩的“成分—成因”分类(Krynine, 1948; Pettijohn, 1949; Dott, 1964),碳酸盐岩结构—成因分类(Folk, 1959; 1962; Dunham, 1962; M · N · Leighton 和 Pendexter, 1962; Plamley et al, 1962),以及这些分类的成因解释,把砂岩和碳酸盐岩储层的沉积学方面的认识加深了,从而提高了对储层沉积学的研究水平,对预测和了解储层的形状、大小、分布及其横向上变化的沉积学特征,有重要的促进作用。

储层沉积学对储层形状、大小和分布的控制作用是明显的,但并不是惟一因素。事实上这些砂体,(不论是河道,还是三角洲)或碳酸盐岩体,它们的岩性有时并无多大变化,然而它们的孔隙度和渗透性却有明显的差别。这使石油地质学家意识到,仅仅研究储层沉积学还是不够的,还必须研究储层的成岩作用和它们对储层孔隙性和渗透性的影响,因此,在砂岩和碳酸盐

岩成分成因和结构成因分类基础上需要开展对砂岩的成岩作用和碳酸盐岩的成岩作用与成岩环境的研究。实践证明,在成岩作用过程中次生孔隙的形成和原生孔隙的改造(修饰),其作用是十分明显的。了解储层孔隙的形成、发展和演化,需要了解储层的成岩作用。

基于储层沉积学和成岩作用的研究成果,1970年 Choquette 和 Pray 在他们的论文中提出碳酸盐岩储集孔隙地质分类和命名,原生孔隙改造(修饰)和次生孔隙的形成,以及孔隙的演化和不同成因孔隙的复合叠加而形成复合孔隙,这篇文章为碳酸盐岩储集空间的研究打下了坚实的基础。碳酸盐岩储集孔隙研究成果,促进了砂岩储层研究。70年代中期之后,人们开始注意到砂岩的次生孔隙问题,1979年 Schmidt 和 McDonlad (1979)首先提出砂岩次生孔隙的概念,并系统地讨论了砂岩次生孔隙的类型,它们的成因、形成、演化和消亡的过程。这两个分类为储层的储集空间的研究打下了坚实的的理论基础并在实践中广泛地使用,至今仍有它们的生命力。