



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

有色金属

理论与技术前沿丛书
SERIES OF THEORETICAL AND TECHNOLOGICAL FRONTIERS OF
NONFERROUS METALS

渤海湾盆地南堡凹陷周边古生界 碳酸盐岩储层评价

EVALUATION OF PALEOZOIC CARBONATE RESERVOIR IN PERIPHERAL
OF NANPU SAG, BOHAI BAY BASIN

成永生 陈松岭 著

Cheng Yongsheng Chen Songling



中南大学出版社
www.csupress.com.cn



中国有色集团



国家出版基金项目

NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

有色金属理论与技术前沿丛书

渤海湾盆地南堡凹陷周边 古生界碳酸盐岩储层评价

EVALUATION OF PALEOZOIC CARBONATE RESERVOIR
IN PERIPHERAL OF NANPU SAG, BOHAI BAY BASIN

成永生 陈松岭 著

Cheng Yongsheng Chen Songling



中南大学出版社
www.csupress.com.cn



中国有色集团

图书在版编目(CIP)数据

渤海湾盆地南堡凹陷周边古生界碳酸盐岩储层评价/成永生,陈松岭著.
—长沙:中南大学出版社,2015.11

ISBN 978-7-5487-2088-1

I. 渤... II. ①成... ②陈... III. 渤海湾盆地-碳酸盐岩油气藏-评价 IV. TE344

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 306447 号

渤海湾盆地南堡凹陷周边古生界碳酸盐岩储层评价

成永生 陈松岭 著

□责任编辑 刘石年 史海燕

□责任印制 易建国

□出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-88876770

传真:0731-88710482

□印 装 长沙市宏发印刷有限公司

□开 本 720×1000 1/16 □印张 12.75 □字数 253 千字

□版 次 2015 年 11 月第 1 版 □印次 2015 年 11 月第 1 次印刷

□书 号 ISBN 978-7-5487-2088-1

□定 价 65.00 元

图书出现印装问题,请与经销商调换

内容简介

Introduction

碳酸盐岩是十分重要的油气储层，具有强烈的非均质性与多样性，是石油地质学领域研究的重点与难点。本书对我国渤海湾盆地南堡凹陷周边凸起地区古生界寒武—奥陶系碳酸盐岩储层开展了深入研究，具体包括岩石学、矿物学、沉积学等方面，详细划分了碳酸盐岩储层发育类型，对储层的储集性能进行了综合评价，探讨了影响碳酸盐岩储层形成与发育的关键控制因素，深入剖析了古生界潜山油气成藏模式，提出了有利勘探方向。

本书可为从事石油地质学、油气勘探学、岩石学、矿物学等学科专业的院校师生、科研人员和技术人员提供参考。

作者简介

About the Authors

成永生, 男, 1979 年出生, 博士, 副教授, 博士生导师, 主要研究方向为矿床成因、成矿规律、隐伏矿定位预测等。获中国青年地质科技奖(银锤奖), 入选湖南省“湖湘青年科技创新人才”、湖南省普通高校青年骨干教师、中南大学“升华育英”高层次人才, 被选调为中共湖南省委人才工作领导小组办公室、中共湖南省委组织部、中共湖南省委党校的“优秀中青年专家班”。主持国家级、省部级等科研项目 20 余项。发表学术论文 90 余篇, 出版学术专著 1 部, 获省部级科技进步二等奖 1 项(排名第一)。现任《Lithos》等 10 余种国际知名期刊的特邀审稿人、湖南省地质学会青年工作委员会副主任委员、湖南省地质学会理事、中国治沙暨沙业学会石漠化防治专业委员会委员等。

陈松岭, 男, 1962 年出生, 博士, 教授, 博士生导师。1995 年获中国青年地质科技奖(银锤奖), 1999 年获中共湖南省委组织部、湖南省人事厅和湖南省科学技术协会授予的第二届“湖南省青年科技奖”。在理论研究方面取得了重要突破, 提出了非整体变形和滑动构造理论, 得到了国内外同行专家的高度评价。在遥感技术和找矿预测研究方面取得了重要成果, 先后在陕西、云南、广西、内蒙古等地发现大量的金、银、铅、锌、铝等金属矿产资源。发表研究论文 80 余篇, 出版学术专著 1 部。曾多次被《科技日报》《中国科学报》《中国教育报》《中国有色金属报》《中国黄金报》《湖南日报》等国家级和省级报刊报导。

学术委员会

Academic Committee

国家出版基金项目
有色金属理论与技术前沿丛书

主 任

王淀佐 中国科学院院士 中国工程院院士

委 员 (按姓氏笔画排序)

于润沧	中国工程院院士	古德生	中国工程院院士
左铁镛	中国工程院院士	刘业翔	中国工程院院士
刘宝琛	中国工程院院士	孙传尧	中国工程院院士
李东英	中国工程院院士	邱定蕃	中国工程院院士
何季麟	中国工程院院士	何继善	中国工程院院士
余永富	中国工程院院士	汪旭光	中国工程院院士
张文海	中国工程院院士	张国成	中国工程院院士
张 懿	中国工程院院士	陈 景	中国工程院院士
金展鹏	中国科学院院士	周克崧	中国工程院院士
周 廉	中国工程院院士	钟 掘	中国工程院院士
黄伯云	中国工程院院士	黄培云	中国工程院院士
屠海令	中国工程院院士	曾苏民	中国工程院院士
戴永年	中国工程院院士		

编辑出版委员会

Editorial and Publishing Committee

国家出版基金项目
有色金属理论与技术前沿丛书

主 任

罗 涛(教授级高工 中国有色矿业集团有限公司总经理)

副主任

邱冠周(教授 国家“973”项目首席科学家)

陈春阳(教授 中南大学党委常委、副校长)

田红旗(教授 中南大学副校长)

尹飞舟(编审 湖南省新闻出版局副局长)

张 麟(教授级高工 大冶有色金属集团控股有限公司董事长)

执行副主任

王海东 王飞跃

委 员

苏仁进 文援朝 李昌佳 彭超群 谭晓萍

陈灿华 胡业民 史海燕 刘 辉 谭 平

张 曦 周 颖 汪宜晔 易建国 唐立红

李海亮

总序

Preface

当今有色金属已成为决定一个国家经济、科学技术、国防建设等发展的重要物质基础,是提升国家综合实力和保障国家安全的关键性战略资源。作为有色金属生产第一大国,我国在有色金属研究领域,特别是在复杂低品位有色金属资源的开发与利用上取得了长足进展。

我国有色金属工业近 30 年来发展迅速,产量连年来居世界首位,有色金属科技在国民经济建设和现代化国防建设中发挥着越来越重要的作用。与此同时,有色金属资源短缺与国民经济发展需求之间的矛盾也日益突出,对国外资源的依赖程度逐年增加,严重影响我国国民经济的健康发展。

随着经济的发展,已探明的优质矿产资源接近枯竭,不仅使我国面临有色金属材料总量供应严重短缺的危机,而且因为“难探、难采、难选、难冶”的复杂低品位矿石资源或二次资源逐步成为主体原料后,对传统的地质、采矿、选矿、冶金、材料、加工、环境等科学技术提出了巨大挑战。资源的低质化将会使我国有色金属工业及相关产业面临生存竞争的危机。我国有色金属工业的发展迫切需要适应我国资源特点的新理论、新技术。系统完整、水平领先和相互融合的有色金属科技图书的出版,对于提高我国有色金属工业的自主创新能力,促进高效、低耗、无污染、综合利用有色金属资源的新理论与新技术的应用,确保我国有色金属产业的可持续发展,具有重大的推动作用。

作为国家出版基金资助的国家重大出版项目,《有色金属理论与技术前沿丛书》计划出版 100 种图书,涵盖材料、冶金、矿业、地学和机电等学科。丛书的作者荟萃了有色金属研究领域的院士、国家重大科研计划项目的首席科学家、长江学者特聘教授、国家杰出青年科学基金获得者、全国优秀博士论文奖获得者、国家重大人才计划入选者、有色金属大型研究院所及骨干企

业的顶尖专家。

国家出版基金由国家设立，用于鼓励和支持优秀公益性出版项目，代表我国学术出版的最高水平。《有色金属理论与技术前沿丛书》瞄准有色金属研究发展前沿，把握国内外有色金属学科的最新动态，全面、及时、准确地反映有色金属科学与工程方面的新理论、新技术和新应用，发掘与采集极富价值的研究成果，具有很高的学术价值。

中南大学出版社长期倾力服务有色金属的图书出版，在《有色金属理论与技术前沿丛书》的策划与出版过程中做了大量极富成效的工作，大力推动了我国有色金属行业优秀科技著作的出版，对高等院校、科研院所及大中型企业的有色金属学科人才培养具有直接而重大的促进作用。

王湛佑

2010年12月

前言

Foreword

碳酸盐岩储层由于其强烈的非均质性，一直都属于石油地质研究领域的难点。尽管如此，却始终吸引着研究人员不断展开更加深入的探索与研究，究其原因在于其中所蕴含的丰富油气资源及其巨大勘探潜力。

南堡凹陷周边凸起地区油气勘探工作始于 20 世纪 60 年代，当时勘探与认识程度均较低，而近年来的重大发现却充分展示了其巨大的勘探前景。本书以南堡凹陷周边凸起地区古生界寒武—奥陶系碳酸盐岩储层为研究对象，以岩石学、沉积学、储层预测、古潜山油气成藏等理论为指导，以野外岩石露头观测与岩芯观察相结合的方式，采用偏光薄片、铸体薄片、压汞分析、扫描电镜、X 射线衍射、化学全分析、物性分析等方法与技术，结合录井、测井、试油、地震、钻探以及区域地质等成果资料，对寒武—奥陶系碳酸盐岩岩石类型、化学成分、矿物成分、结构构造、沉积特征及沉积环境、储集性能以及储集空间类型、特征、分布及其成因、裂隙发育规律及影响控制因素等进行了深入研究，对制约碳酸盐岩储层发育的关键控制因素进行了全面剖析，开展了碳酸盐岩储层综合评价，深入解析了古生界潜山油气成藏模式，提出了有利勘探方向。

本书的主要研究成果与认识如下：

1. 通过薄片鉴定、X 射线衍射、化学全分析确定了碳酸盐岩储层的主要岩石类型、矿物成分及结构构造。寒武—奥陶系碳酸盐岩主要岩石类型为灰岩、云质灰岩、泥质灰岩、灰质云岩、泥质云岩和白云岩，矿物成分包括方解石和白云石，以及少量的泥质、黄铁矿、硅质及石膏，具泥、粉晶结构，少量细晶结构。

2. 综合评价了寒武—奥陶系碳酸盐岩储层，划分出四种储层类型。Ⅰ类储层为裂隙—溶蚀孔洞型，储集空间结构为细溶孔、大中型洞、小缝型和粗溶孔、大中型洞、中缝型；Ⅱ类储层为

洞-缝型,储集空间结构为大中型洞、小缝型以及大中型洞、中缝型;Ⅲ类储层为溶孔-裂隙型,储集空间结构为细孔-小缝型和细孔-中缝型;Ⅳ类储层为致密层,储集空间结构为微孔微缝、微裂隙型。依据以上四种储层类型特征,对寒武-奥陶系各组地层分别进行了评价,产生了新的目的层系,为今后勘探提供了方向。

3. 对寒武-奥陶系碳酸盐岩储层发育影响因素进行了深入探讨,包括岩石学、成岩作用、构造作用以及古岩溶等,首次提出区内发育有晚期埋藏有机溶蚀作用,其叠加在早期古岩溶作用之上,对储层进行改造,是导致有效储集空间发育、储渗条件改善和储层形成的重要因素。

4. 建立了寒武-奥陶系碳酸盐岩古潜山油气成藏模式,总结了油气成藏的主要控制因素及油气分布规律。碳酸盐岩古潜山油气成藏受断层和风化壳联合控制,油气通过断层及风化壳进行联合运移。从层位来看,油气主要分布于府君山组、下马家沟组、馒头组、亮甲山组和毛庄组。从岩性来看,油气主要储集于灰岩和白云质灰岩中。区内主要发育有构造块状油气藏和古潜山不整合油气藏两种油气藏类型,控制油气成藏的关键因素包括岩溶缝洞型储层有效储集体发育程度、油气运移通道、侧向对接以及储层与生烃凹陷的空间关系等。

5. 充分利用碳酸盐岩储层研究成果,结合古潜山油气成藏模式,在前人已有认识的基础上,本书还进行了有利勘探区预测及评价。西南庄-柏各庄凸起是寻找寒武系潜山油藏的有利地区;老王庄-落潮湾凸起是寻找寒武系及奥陶系油藏的有利地区;马头营凸起则是寻找新近系低幅度推覆构造油藏的有利地区。

毋庸置疑,关于碳酸盐岩储层的研究工作任重而道远,需要长期不懈的努力探索与研究,更加需要创新思维与创新方法,尤其要注重将理论与勘探实践相结合,从实际工作中获得创新突破的灵感,逐步实现碳酸盐岩储层基础理论的丰富、发展与完善。可以坚信,通过深入而持续的攻关研究,碳酸盐岩储层地质理论革命性突破的宏伟蓝图完全有可能实现。

限于作者水平,书中错误和不足之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

成永生

2015年11月30日

目录

Contents

第1章 绪论	(1)
1.1 碳酸盐岩储层研究进展	(1)
1.1.1 历史与现状	(1)
1.1.2 发展趋势与方向	(7)
1.2 潜山油气藏	(8)
1.2.1 潜山与古潜山	(8)
1.2.2 主要研究进展	(9)
1.2.3 发展动向预测	(14)
1.3 问题来源及目的意义	(15)
1.4 研究区油气勘探概况	(16)
1.5 研究内容及实施方案	(20)
1.5.1 工作任务	(20)
1.5.2 主要内容	(20)
1.5.3 技术路线	(21)
1.6 主要成果认识及创新点	(22)
1.6.1 主要成果及认识	(22)
1.6.2 创新点	(23)
第2章 区域地质概况	(24)
2.1 区域地层层序及其产出	(24)
2.1.1 地层层序特征	(24)
2.1.2 地层产出与分布	(31)
2.2 区域构造特征及其演化	(33)
2.2.1 区域构造格架	(33)
2.2.2 区域构造发展与演化	(33)

2 / 渤海湾盆地南堡凹陷周边古生界碳酸盐岩储层评价

2.2.3	断裂构造特征	(35)
2.2.4	主要构造带演化特征	(39)
2.2.5	区域性不整合面	(41)
2.3	岩相古地理特征	(42)
2.3.1	早寒武世	(42)
2.3.2	中寒武世	(44)
2.3.3	晚寒武世	(45)
2.3.4	早奥陶世	(46)
2.3.5	中奥陶世	(46)
第3章	碳酸盐岩储层岩石学与沉积学	(48)
3.1	地层层序及岩性组合	(48)
3.1.1	寒武系地层特征	(48)
3.1.2	奥陶系地层特征	(53)
3.2	主要岩石类型及基本特征	(56)
3.2.1	石灰岩类	(57)
3.2.2	白云岩类	(60)
3.2.3	页岩类	(61)
3.3	岩石化学组成	(62)
3.4	矿物成分及结构构造	(66)
3.4.1	寒武系地层矿物成分和结构构造	(66)
3.4.2	奥陶系地层矿物成分和结构构造	(68)
3.5	沉积学特征及沉积环境	(69)
3.5.1	寒武系沉积特征	(69)
3.5.2	奥陶系沉积特征	(71)
第4章	碳酸盐岩储层特征及其评价	(73)
4.1	储集空间形态	(73)
4.1.1	岩石露头裂隙发育特征	(73)
4.1.2	岩芯裂隙精细描述	(76)
4.1.3	储集空间类型	(79)
4.1.4	孔隙发育及其结构特征	(85)
4.2	储层测井响应特征	(95)
4.3	储层地震响应特征	(97)

4.4 储集类型	(97)
4.5 储集性能分析	(97)
4.6 储层评价	(102)
4.6.1 评价依据与标准	(102)
4.6.2 储层分组评价	(103)
4.6.3 储层综合评价	(111)
第5章 制约碳酸盐岩储集性能的关键因素	(114)
5.1 岩石化学成分	(114)
5.2 矿物成分和结构构造	(115)
5.3 成岩作用与储层发育	(117)
5.3.1 成岩作用类型	(117)
5.3.2 成岩作用与孔隙演化	(122)
5.4 地质构造作用	(124)
5.4.1 岩芯裂隙发育规律	(125)
5.4.2 区域构造与裂隙发育	(126)
5.4.3 断裂构造发育规律	(126)
5.4.4 构造作用与裂隙发育	(127)
5.5 古岩溶作用	(132)
5.5.1 岩溶作用的发育条件	(133)
5.5.2 岩溶作用的鉴别标志	(134)
5.6 埋藏有机溶蚀作用	(138)
5.6.1 关于埋藏有机溶蚀	(138)
5.6.2 埋藏有机溶蚀的特征标志	(140)
5.6.3 埋藏有机溶蚀的发育期次	(142)
5.6.4 对储层形成的影响与制约	(143)
第6章 成藏条件分析及油气成藏模式	(144)
6.1 生-储-盖及圈闭条件	(144)
6.1.1 烃源岩条件	(144)
6.1.2 储层条件	(157)
6.1.3 盖层条件	(158)
6.1.4 圈闭条件	(159)
6.2 油气运聚特征	(159)

4 / 渤海湾盆地南堡凹陷周边古生界碳酸盐岩储层评价

6.2.1 油气运移模式	(159)
6.2.2 油气聚集特征	(159)
6.3 油气藏类型划分	(162)
6.4 油气成藏模式	(164)
6.5 成藏要素匹配关系	(166)
6.6 影响油气成藏的关键因素	(166)
第7章 勘探前景与勘探方向	(168)
7.1 西南庄-柏各庄凸起	(168)
7.2 老王庄-落潮湾凸起	(169)
7.3 马头营凸起	(171)
结束语	(173)
参考文献	(177)

第1章 绪论

碳酸盐岩为油气藏的重要储集层,蕴藏着非常丰富的油气资源。据不完全统计,碳酸盐岩分布面积占全球沉积岩总面积的20%,所蕴藏的油气储量占世界总储量的52%^[1-4]。目前,世界上70多个产油国家(或地区)中,几乎都发现有碳酸盐岩油气田或油气藏。统计资料显示,世界碳酸盐岩油气田的储量占世界石油总储量的50%以上,产量则占世界总产量的60%以上。据世界198个大油田统计,碳酸盐岩油田占74个。目前世界上日产量 1×10^4 t以上的油井都位于碳酸盐岩储层。中东地区石油产量约占全世界产量的2/3,其中80%的石油产自碳酸盐岩储层。墨西哥90%的石油产自碳酸盐岩油气田。在中国28个盆地中广泛分布海相碳酸盐岩,合计面积超过 400×10^4 km²,油气资源丰富,勘探潜力巨大,是中国油气勘探战略接替区之一。由于碳酸盐岩的非均质性极强,影响和控制该类储集层的因素多样,导致碳酸盐岩型油气藏成因复杂、类型繁多^[5-15],针对不同的地质环境以及油气成藏史对碳酸盐岩油气藏展开深入研究显得尤为必要^[16-24],对于油气资源的可持续发展具有非常重要的理论意义和实践价值。

1.1 碳酸盐岩储层研究进展

1.1.1 历史与现状

随着碳酸盐岩层系油气勘探的一系列重大发现,碳酸盐岩储层倍受关注和重视,当今世界对碳酸盐岩储层研究虽落后于碎屑岩储层,但对碳酸盐岩储层的重视却远非如此。由于碳酸盐岩本身的非均质性,一直以来都是世界石油地质研究的重点与难点,其研究涉及面广泛,包括碳酸盐岩烃源岩、碳酸盐岩储集层、碳酸盐岩盖层以及相关的勘探开发技术,涉及沉积学、岩石学、地貌学、构造学、古生物学、地球化学、地震学、测井等学科领域^[25-48]。

碳酸盐岩储集岩分类是国内外学者涉足较早的领域^[32],最初的碳酸盐岩分类主要是依据以结构组分为基础的结构-成因分类,使碳酸盐岩岩类学和岩石成因学密切地联系起来,该方法早在20世纪60年代由Folk提出。1964年Stout指出储集岩的储集空间是由孔隙和孔道组成,并引进了有效孔隙度的概念,基于碳酸盐岩地层圈闭的孔隙几何性提出了7种储集类型。Robinson按照岩石表面结构

和毛细管压力特征将碳酸盐岩划分为4种主要类型,类型Ⅰ为部分白云石化的灰岩,类型Ⅱ为白云岩,类型Ⅲ包括生物碎屑灰岩、鲕粒灰岩、藻灰岩、细粒-基质灰岩,类型Ⅳ为致密的碳酸盐岩。1972年Jodry根据孔隙结构与岩石类型相互关系对碳酸盐岩进行了分类评价,将西威利斯顿盆地密西西比系碳酸盐岩划分为4类,即非储集岩、差的储集岩、中等储集岩、好的储集岩。Chilingar等也对西威利斯顿盆地密西西比系碳酸盐岩储层进行了分类评价,如:好的储集岩,中等油柱时产无水石油;中等储集岩,薄油柱时产油水,厚油柱时产油;差的储集岩,很厚油柱时产油水;非储集岩,只产水。1978年我国学者罗蛰潭等根据岩石学特征和毛细管压力参数对碳酸盐岩进行了分类评价。1981年罗蛰潭等又对四川盆地三叠系、二叠系碳酸盐岩储集层进行了分类评价,将储层划分为5大类,即好的储集岩,自然产能大;中等产能集储岩,自然产能中等,采取增产措施后产能大;小产能储集岩,自然产能低,采取措施后具中等产能;很差的储集岩,无自然产能,采取措施后有低产能;非储集岩。1995年冯福凯依据碳酸盐岩所经历的演化历史及其主要地质因素将其划分为5种成因类型,如粒屑滩(礁)型、白云石化-生物礁型、溶蚀孔洞白云(灰)岩型、古风化溶蚀型、裂隙型,并相应建立了5种孔隙演化模式。

我国学者范嘉松^[49]将世界碳酸盐岩储层划分为6种类型:①不整合面之下的石灰岩和白云岩,孔隙类型有内模孔隙、孔洞、受溶解增大的裂隙、角砾孔隙;②潮下带到潮上带的白云岩,孔隙类型为晶间孔隙、粒间孔隙、内模孔隙、孔洞;③鲕粒、团粒浅滩,孔隙类型为粒间孔隙、内模孔隙、孔洞;④礁(包括与礁有关的储层),孔隙类型为生长骨架孔隙、受溶解作用增大的孔隙,特别是礁体出露水面受淡水淋滤而成的孔隙;⑤泥晶灰岩、白垩内的微孔隙,孔隙类型为粒间孔隙;⑥泥晶灰岩内的微裂隙,孔隙类型为裂隙、微裂隙。赵宗举^[21]等将中国海相碳酸盐岩有效储层按成因类型概括为古风化壳岩溶储层(亦称“古潜山储层”)、礁滩储层、层状白云岩储层。刘存革^[50]等将新疆塔河油田下奥陶统碳酸盐岩划分为5种成因储层类型,即滩相颗粒灰岩溶蚀孔隙型、风化裂隙型、洞穴型、地表沉积物裂隙-孔洞(孔隙)型、构造裂隙型。

自Folk关于碳酸盐岩中“异常化学颗粒”(或“异化颗粒”)和“异常化学石灰岩”的观点和分类系统创立以后,使碳酸盐岩岩石学和沉积学取得了重大进展,关于碳酸盐岩是单一成因的“化学岩”的传统观点被打破。碳酸盐岩的生成机理既有通常所说的化学作用,同时也有生物作用及生物化学作用,更有机械作用。1962年Pluenley等首次把沉积环境的水动力条件的能量大小进行了定量划分,为碳酸盐岩的分类及沉积环境分析提供了新的、重要的定量依据。1982年我国学者冯增昭提出了碳酸盐岩岩相古地理单因素综合作图方法,从此开启了国内岩相古地理量化研究的大门。