



碳酸盐岩储层 测井与录井评价技术

高成军 陈科贵 卫扬安 等著



石油工业出版社

碳酸盐岩储层测井与录井评价技术

高成军 陈科贵 卫扬安 等著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书以碳酸盐岩储层评价为核心,从碳酸盐岩的储层特点及储层地质学基础入手,介绍了现代测井和地质录井的基本原理、技术要点、应用方法和应用示例。

本书可供从事油气勘探和开发的科研技术人员参考,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

碳酸盐岩储层测井与录井评价技术/高成军等著.

北京:石油工业出版社,2007.2

ISBN 978-7-5021-5770-8

I. 碳…

II. 高…

III. ①碳酸岩油气田-测井

②碳酸岩油气田-录井

IV. TE344

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 022345 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.cn

发行部:(010) 64210392

经 销:全国新华书店

印 刷:石油工业出版社印刷厂

2007 年 2 月第 1 版 2007 年 2 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:24.25

字数:619 千字 印数:1—1000 册

定价:80.00 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

序

新中国成立 50 多年来,我国石油工作者在陆相油气田的勘探与开发中取得了巨大成就,年产量达到世界第 5 位的水平。但随着国民经济快速发展对油气需求的急剧增加,从 1993 年开始,国家又重新进口石油,当年进口石油 3000 万吨(相当于国内年产量的 17%),到 2000 年进口原油已达 7000 万吨(相当于国内年产量的 40%)。为此,国家对石油战略进行了重大调整,一方面是“立足国内”——“稳定东部,发展西部”,不断加大对新疆、长庆、四川等含油气盆地的油气勘探开发的力度;另一方面积极“走出国门”——参与国际石油资源的勘探和开发。但油气勘探与开发具有成本高、风险大、见效周期长等特点,要解决像中国这样一个大国的长远的石油战略接替问题,还是要立足国内油气勘探,而从石油地质条件和勘探成果分析,碳酸盐岩是当前重要的油气勘探方向。

国内外在碳酸盐岩地层中找到大型和特大型油气田的实例很多,而且我国前新生代和古生代碳酸盐岩地层分布范围广、油气资源潜力很大,给我们提供了极大的找油空间,这将会成为我国石油天然气工业第二次创业的突破口。近年来,塔里木盆地轮南—塔河大油田、四川普光大气田的发现证实了碳酸盐岩地层的油气勘探开发大有可为。

但是,我国碳酸盐岩找油存在一系列困难,确定烃源岩及其分布、储层类型、横向变化及预测孔、洞、缝对控油的作用等问题都与陆相油田差异很大,再加上国外以新生界为主的碳酸盐岩油气田勘探开发经验,与我国以中、古生界为主同类油气田相比,各有特色,差异较大,加大了这方面的困难。因此,更要立足于实践、探索,立足于取足取好第一手资料。测井与录井正是获取原始基础资料的主要手段,加强测井、录井工作,取全取准原始资料,为正确认识碳酸盐岩油气田打好坚实的基础。

本书针对碳酸盐岩地层油气勘探的诱人前景,通过多年在塔里木油田和扎那诺尔油田碳酸盐岩的勘探和开发实践,对碳酸盐岩储层的录井和测井评价技术在学习中所积累的成熟经验和有效方法进行全面介绍,作者从碳酸盐岩储层的特点、测井和录井理论基础出发,结合在生产实践中应用和发展的技术成果、现场经验,深入浅出地介绍了录井和测井技术、方法及其应用技巧,全文注重科学性、实用性,一方面通过基础理论引导学习者全面了解和掌握碳酸盐岩储层特点、录井和测井新技术,另一方面通过应用分析达到启迪创新思维和示范应用技巧的目的。

高成军等几位 20 世纪 80 年代的毕业生,能在繁忙的生产工作中不忘记学习,不忘记总结,产学研相结合,共同完成这样一本对生产、科研、教学都很有用处的著作,令人钦佩。望继续努力,攀登科学技术的更高峰。



前 言

随着在我国碳酸盐岩储层中大型和特大型油气田的相继发现和开发,人们已广泛注意并竞相开展相关微观和宏观研究工作。碳酸盐岩储集岩其形成机理和化学活性与砂岩明显不同,表现为碳酸盐岩的沉积作用和成岩作用明显受沉积环境、气候及其变化的影响。碳酸盐岩的成岩作用(如胶结作用、重结晶作用、白云化作用、缝合线化作用等)以及多孔网络的形成,都会改变碳酸盐岩的沉积序列和储层特性,可以改变岩石组构和矿物成分,即直接影响储层空间的形成和分布,是大油气田形成与得以保存的主要控制因素。

我国塔里木盆地、鄂尔多斯盆地等大盆地、西南地区 and 大陆架海域海相碳酸盐岩分布广泛、油气资源潜力大,但因碳酸盐岩储油构造受晚期造山作用的破坏程度大、地震资料对其内幕的分辨能力还有限等,客观上加大了勘探难度。加上有的储层埋深大、有的为盐岩层所覆盖,有的还甚至处于山前构造,钻井难度大、周期长、成本高,对钻井技术形成挑战,只有广泛采用新技术、新理论、新观点和新方法,不断总结和推广成熟的经验和工艺,才能有效提高勘探的成功率和勘探速度。

录井和测井是油气勘探开发的重要技术和方法。根据录井和测井资料能随钻发现油气显示,现场评价含油气丰度、估算产能,有效提高碳酸盐岩储层的评价能力。经过多年的工作,在塔里木等油气勘探的实践中已经积累了配套技术、成熟做法和成功经验。为此,本书注重钻井现场实用技术和方法,从碳酸盐岩储层的特点和研究方法出发,对测井和录井的基本技术、基本理论和基本方法进行了针对性介绍,深刻剖析塔里木盆地、扎那诺尔油田的应用实例,并通过不同方法在使用过程中应注意的条件分析启迪读者进行创新思维。

本书整体上由基础理论(第1篇、第2篇和第3篇)和实际应用(第4篇、第5篇和第6篇)两大板块组成。

参加本书编写的人员和具体分工如下。现任新疆石油管理局钻井公司总地质师、高级地质师高成军,负责完成的内容:第三篇第一章第1和第2节、第三章第1、第2和第3节;第三篇第五章第1和第2节;第三篇第六章第1至第4节;第三篇第八章第1和第2节;第六篇第三章第1和第2节;第六篇第四章第1至第3节。现任西南石油大学资环院教授陈科贵,负责完成的内容:第二篇第三章第1至第5节;第二篇第四章第1至第4节;第二篇第五章第1至第5节;第四篇第二章第1至第4节;第四篇第三章第1至第3节;第四篇第四章第1至第3节;第五篇第三章第1至第4节;第五篇第五章第1至第4节;第五篇第六章第1和第2节。现任新疆石油管理局地质录井公司生产副经理、高级地质师卫扬安,负责完成的内容:第三篇第三章第4和第5节;第三篇第四章第1至第4节;第三篇第六章第5至第7节;第三篇第八章第3和第4节;第六篇第二章第1节和第3至第5节;第六篇第四章第4和第5节。西南石油大学资环院硕士研究生赵志恒,负责完成的内容:第一篇第二章第1和第2节;第一篇第四章第4和第5节;第二篇第八章第1至第4节;第四篇第二章第5和第6节;第五篇第四章第1和第2节;第五篇第七章第1至第3节。西南石油大学资环院硕士研究生伍玉平,负责完成的内容:第一篇第二章第1和第2节;第一篇第四章第1至第3节;第二篇第七章第1至第4节;第五篇第一章第1和第2节。西南石

油大学资环院硕士研究生王刚，负责完成的内容：第一篇第一章第 1 和第 2 节；第一篇第二章第 3 节；第二篇第二章第 5 节；第二篇第六章第 1 至第 3 节。新疆石油管理局钻井公司地质师路进刚，负责完成的内容：第三篇第一章第 1 和第 2 节；第三篇第二章第 1 至第 4 节；第三篇第七章第 1 节；第六篇第二章第 2 节。新疆石油管理局钻井公司地质师王岩军，负责完成的内容：第一篇第三章第 1 和第 2 节；第三篇第二章第 5 和第 6 节；第三篇第七章第 2 节；第六篇第一章；第六篇第二章第 6 节。

本书在编写过程中有关专家和现场工程师提供了部分原始资料，在此表示衷心的感谢。限于笔者水平，书中难免有不妥之处，敬请读者批评指正。

目 录

第一篇 碳酸盐岩储层地质学基础

第一章 碳酸盐岩储层的沉积学基础	(3)
第一节 碳酸盐岩的特点	(3)
第二节 影响碳酸盐岩储层的沉积环境	(17)
第二章 碳酸盐岩储层的孔隙结构	(23)
第一节 碳酸盐岩储层的储渗空间	(23)
第二节 孔隙结构的概念与类型	(27)
第三节 孔隙结构的研究方法	(29)
第三章 碳酸盐岩储层类型	(41)
第一节 概述	(41)
第二节 碳酸盐岩的储层类型	(44)
第四章 碳酸盐岩的成岩作用与孔隙演化	(48)
第一节 概述	(48)
第二节 海底成岩作用与孔隙演化	(53)
第三节 大气淡水成岩作用与孔隙演化	(66)
第四节 埋藏成岩作用与孔隙演化	(75)

第二篇 测井原理及储层评价技术

第一章 概述	(89)
第二章 电法测井	(90)
第一节 普通电阻率测井原理	(90)
第二节 双侧向测井	(94)
第三节 微侧向测井	(94)
第四节 微球形聚焦测井	(95)
第五节 电阻率测井曲线对裂缝的响应特征	(97)
第三章 声波测井	(102)
第一节 补偿声波测井	(102)
第二节 声波全波列测井	(103)
第三节 碳酸盐岩地层声波孔隙度的计算	(107)
第四节 声波测井曲线的裂缝响应特征	(107)
第四章 放射性测井	(114)
第一节 自然伽马测井和自然伽马能谱测井	(114)
第二节 补偿中子测井	(117)
第三节 岩石密度测井	(120)

第四节	放射性测井曲线的裂缝响应特征	(123)
第五节	放射性测井曲线的溶洞响应特征	(124)
第五章	核磁共振测井	(125)
第一节	核磁共振现象	(125)
第二节	物质的弛豫特征	(126)
第三节	核磁共振测井仪	(129)
第四节	核磁共振测井的用途	(131)
第五节	核磁共振测井在碳酸盐岩储层评价中的应用	(140)
第六章	成像测井	(143)
第一节	电阻率成像测井理论	(143)
第二节	声波成像测井	(153)
第七章	地层倾角测井	(162)
第一节	地层倾角测井的基本原理	(162)
第二节	地层倾角测井资料处理及成果显示	(165)
第三节	地层倾角测井基本图件	(168)
第四节	地层倾角测井资料在裂缝地层中的应用	(171)
第八章	碳酸盐岩储层及地层流体的测井响应特征	(174)
第一节	岩溶型储层的测井响应特征	(174)
第二节	裂缝的测井响应与识别	(180)
第三节	孔喉的测井响应特征	(189)
第四节	地层流体的测井响应特征及流体性质的判别方法	(190)

第三篇 地质录井原理及储层评价技术

第一章	概述	(205)
第一节	现代录井的含义	(205)
第二节	现代录井的服务项目	(206)
第二章	常规地质录井	(208)
第一节	钻时录井	(208)
第二节	岩屑录井	(208)
第三节	岩心录井(包括井壁取心)	(210)
第四节	荧光录井	(215)
第五节	钻井液录井	(216)
第六节	碳酸盐岩的岩屑描述	(218)
第三章	气测录井	(223)
第一节	气测仪的基本原理	(223)
第二节	气测仪的安装与操作	(227)
第三节	气测资料的录取	(229)
第四节	油气上窜速度的计算	(229)
第五节	气测原始记录的标注	(230)
第四章	工程录井	(231)

第一节	工程录井参数及用途	(231)
第二节	录井仪器安装要点	(234)
第三节	传感器标定和检测要点	(238)
第四节	常见故障的排除	(238)
第五章	地化录井	(241)
第一节	地化录井方法及技术特点	(241)
第二节	地化录井参数及其影响因素	(242)
第六章	特殊项目录井	(244)
第一节	硫化氢 (H ₂ S) 气体监测与预防	(244)
第二节	二氧化碳 (CO ₂) 气体监测	(248)
第三节	定量荧光与荧光光谱录井	(249)
第四节	P—K 录井 (岩屑孔隙度、渗透率测定)	(250)
第五节	碳酸盐含量测定	(251)
第六节	泥岩密度测定	(252)
第七节	岩心扫描	(253)
第七章	油气水层的录井资料特征	(254)
第一节	井筒中烃类气体的来源	(254)
第二节	油气水显示的录井特征	(255)
第八章	录井储层评价技术	(263)
第一节	图版解释法与制作图版的模版系统	(263)
第二节	Fisher 准则解释系统 (多维坐标系统)	(267)
第三节	神经网络解释系统	(268)
第四节	录井解释方法的综合应用	(269)

第四篇 扎纳若尔油田碳酸盐岩储层测井评价

第一章	油田勘探简况及地质构造特点	(273)
第一节	地面勘探简况	(273)
第二节	地层层序划分与岩性特点	(273)
第三节	区域构造简况	(275)
第四节	扎纳若尔油田的构造特点	(275)
第二章	测井系列	(277)
第一节	钻井基本情况	(277)
第二节	测井项目简况	(277)
第三章	测井解释方法研究	(279)
第一节	有关解释方法论述	(279)
第二节	孔隙度模型的研究基础	(282)
第三节	迭代法确定碳酸盐岩剖面矿物含量的原理	(285)
第四节	基本解释模型	(286)
第五节	孔隙度公式的精度评价	(302)
第六节	地层水电阻率的计算	(307)

第四章 测井资料处理与油气水层解释	(308)
第一节 测井曲线编辑	(308)
第二节 油气水层解释	(309)
第三节 单井岩性剖面与缝洞特性处理	(309)
第五章 储层参数对比与评价	(310)
第一节 储层参数评价	(310)
第二节 缝洞特征描述	(319)
第三节 油气水的区域分布特点	(320)

第五篇 塔里木油田碳酸盐岩储层测井评价

第一章 资料的编辑整理与标准化	(329)
第一节 测井资料的编辑整理	(329)
第二节 测井资料的标准化	(329)
第二章 储层参数解释方法原理	(332)
第一节 泥质含量	(332)
第二节 孔隙度的计算	(332)
第三节 渗透率的计算	(334)
第四节 饱和度的计算	(335)
第三章 储层储集空间类型的判别和有效储层的划分	(337)
第一节 体积模型	(337)
第二节 有效储集孔隙空间类型的划分	(337)
第三节 含油饱和度的下限及油水层的划分	(338)
第四章 编程与资料处理	(341)
第一节 程序运行环境	(341)
第二节 输入、输出资料	(342)
第五章 储层参数综合评价	(344)
第一节 储层厚度在平面上的分布特点	(344)
第二节 总孔隙度、基质孔隙度和裂缝孔隙度在平面上分布特征	(344)
第三节 孔隙度与厚度之积、含油体积的平面分布特征	(345)
第四节 渗透率的分布特征	(345)
第六章 岩溶在测井曲线上的特征	(346)
第一节 岩溶的纵向发育规律	(346)
第二节 岩溶相带测井响应特征	(346)
第七章 解释精度评价	(350)
第一节 基质孔隙度	(350)
第二节 裂缝孔隙度解释	(352)
第三节 储层对比	(353)

第六篇 塔里木盆地地质录井储层评价

第一章 区域地质概况	(357)
-------------------	-------

第二章 油气水层的录井资料特征 (358)

第一节 气测资料特征 (358)

第二节 后效资料特征 (361)

第三节 出口电导率资料特征 (362)

第四节 出口温度资料特征 (362)

第五节 地化资料特征 (363)

第六节 钻井液添加剂对录井的影响与排除 (365)

第三章 气测解释方法及其图版的建立和应用 (366)

第一节 常用气测解释方法的适用性 (366)

第二节 分区、分层系建立和优选气测解释图版 (366)

第四章 地质录井综合识别方法 (369)

第一节 依奇克里克地区 (369)

第二节 克拉苏地区 (370)

第三节 羊塔克—英买力地区 (371)

第四节 牙哈—提尔根地区 (373)

第五节 巴楚玛扎塔克地区 (374)

参考文献 (377)

第一篇 碳酸盐岩储层地质学基础

第一章 碳酸盐岩储层的沉积学基础

第一节 碳酸盐岩的特点

一、碳酸盐岩的组成

碳酸盐岩是以碳酸盐矿物为主要成分，且主要由颗粒、胶结物、基质、孔隙所组成的沉积岩。

1. 颗粒

颗粒是支撑沉积物格架的质点，所以，它们一般是砂级或更大粒级的，也是岩石的主要组成部分。碳酸盐岩中的颗粒按成因可分为两大类，即盆内颗粒和盆外颗粒。前者主要，后者次之。但对于近岸和远洋的碳酸盐岩来说，盆外颗粒也占有重要的地位。

盆内颗粒是指沉积盆地内形成的各种碳酸盐成分的颗粒，常见的有内碎屑、鲕粒、生物颗粒、球粒等。这些颗粒可以是机械破碎作用成因的，也有生物成因的，或者是化学凝聚作用形成的。福克把这些盆内成因的颗粒称作“异化颗粒”。国内也称为“粒屑”。

1) 内碎屑

内碎屑是沉积盆地中沉积不久的未固结或固结的碳酸盐岩层，在波浪或水流等作用下破碎而形成的。内碎屑主要来自干涸潮坪泥晶灰岩的碎片，常有塑性变形，呈棱角状或磨圆状。其成分和结构往往可以在下伏或相邻较老层位的岩石中找到，有的甚至与基质成分一致。它与碎屑岩的碎屑形成有同样的机理，破碎、搬运、腐蚀、再沉积，也可以由其他的作用形成。

内碎屑的划分和命名通常是根据颗粒的大小，划分为砾屑、砂屑、粉屑和泥屑，砂屑和粉屑还可以再细分。目前内碎屑粒级划分国内外并不统一，主要分歧在泥屑分界以及粉屑与砂屑的分界。

一般通用的粒级分类为：

砾屑： $>2\text{mm}$ ；

砂屑： $2\sim0.1\text{mm}$ ；

粉屑： $0.1\sim0.005\text{mm}$ ；

泥屑： $<0.005\text{mm}$ 。

在实际运用中泥屑通常与泥晶混淆起来，在粒级划分上通常是一样的，国外泥屑或泥晶是指粒级小于 0.004mm 的颗粒，但国内也有人把泥屑划分为小于 0.02mm 的颗粒，而泥晶为小于 0.005mm 。这说明在实际工作中泥屑与泥晶很难区别，不过它们的成因是有区别的。

2) 鲕粒

也有称“鲕石”、“鲕”。鲕粒是指具有核心和同心层状或放射状包壳结构的，大小为 $2\sim0.25\text{mm}$ 之间的碳酸盐颗粒。

核心可以由各种颗粒组成，如内碎屑、球粒、化石碎片、石英碎屑等物质。其包壳主要由针状或粒状的泥级碳酸盐矿物晶体组成。一般认为，放射状排列代表缓慢的沉淀和弱

搅动的水动力环境，同心状排列则代表快速沉淀和强烈搅动的水动力环境。在成岩作用过程中，这些鲕粒的结构会受到改造甚至会消失。现代鲕粒一般是文石，也发现由高镁方解石组成的鲕粒。

鲕粒的成因有两种观点，即无机沉淀成因说和生物成因说。无机沉淀成因说是认为鲕粒是水扰动作用形成的。生物成因说是指鲕粒同心层结构是由藻的参与下形成的，因此也称为藻鲕。

大多数学者认为鲕粒是多成因颗粒的组合物，大多数鲕粒的成因是无机的，即水体的机械搅动作用是其形成的主要机制。实际上，做出这样的结论还为时过早，现在对鲕粒的成因认识似乎只是对其表面现象的认识。

根据鲕粒的形态特征，可分为如下类型：

正常鲕：同心层厚度大于核心的直径；

表鲕：同心层厚度小于核心直径，有的只有一层同心层结构；

复鲕：在一个鲕粒中包含有两个以上的鲕粒；

单晶鲕：由于发生重结晶作用，整个鲕粒基本上为一个方解石晶体组成；

多晶鲕：由多个方解石晶体组成；

假鲕：不具有鲕粒内部结构，但大小和形态与鲕粒相似；

负鲕：这是鲕粒内部被溶解而形成的一种鲕粒。

鲕粒的显微组构有三种类型：切线型、放射状和紊乱状。切线型是主要的显微结构。有些鲕粒不只是发育一种显微结构，而是由几种组构共同构成。

现在流行的关于鲕粒成因的观点还难以解释上面三种不同显微组构的形成。可以肯定的讲，矿物学特征是一个主要的控制因素，但怎么控制还不清楚；生物对鲕粒显微组构的影响等还不能肯定。现在所知道的是，水体能量对显微组构的类型有控制作用。许多研究表明：在低能环境下主要发育放射状显微组构；在高能环境中主要发育切线型显微组构；在鲕粒上快速生长的文石晶体常呈放射状及紊乱状组构。当鲕粒被搬运到更剧烈动荡的环境中时，其文石晶体变成扁平状且被破碎，最后形成沿切线方向的定向排列；在颗粒间产生碰撞时，沿切线方向排列的晶体更容易保存下来。

鲕状灰岩在世界油气田中是一种重要的储层类型，这是由于它形成于一定水流强度的沉积环境中，可以形成一定的孔隙。

3) 生物颗粒

生物颗粒是指由生物碎屑组成的颗粒。这种生物碎屑可以是经过搬运和磨蚀在异地形成的，也可以是原地沉积的化石个体。生物碎屑常指那些受到改造而破坏的生物硬体，不同类型的生物就会有不同形态、结构、组分的生物硬体。

生物颗粒在碳酸盐岩中分布广泛，在各种类型碳酸盐岩中常能见到。不仅碳酸盐岩颗粒中有之，连细粒的泥晶灰岩也可由超微化石组成。地质历史时期中几乎每一种介壳及骨骼生物都会产生生物颗粒。

生物颗粒组成的颗粒岩，在世界油气田中常常也是一种重要的储层类型，它所形成的储集空间具有自身的特点。

4) 球粒

球粒是一种由微晶或泥晶碳酸盐构成的较细粒的、不具有内部结构、分选良好的球形或卵球形颗粒。大小均一，透射光下颜色较暗。球粒与其他颗粒的明显区别是缺乏内部构

造，是一个多成因颗粒的组合。在石灰岩中要想精确的鉴别其成因是很困难的，一般认为球粒有两种类型：一种是细粒生物屑和无机沉淀的泥晶方解石和文石发生凝聚作用，经流水搬运、滚动造成，也叫球状粒；另一种是无脊椎动物的粪粒。还有些球粒是来源于先前基底中简单的内碎屑和岩屑，叫假球粒。

关于球粒的成因还存在争议，不少学者认为是生物的粪便；有的人则认为无机也可以形成。应该说这两种机理都可以形成球粒，但在实际工作中不易辨别。

2. 胶结物

胶结物是指在碳酸盐岩石固结作用时，充填于颗粒之间的结晶方解石或其他矿物，与砂岩胶结物相似。严格来说应该称为“亮晶胶结物”，因为方解石晶粒粗大，一般都大于粉晶。

亮晶胶结物是在颗粒沉积之后，在颗粒之间由粒间水化学沉淀方式生成的，因此也有人称之为“淀晶方解石”。它具有特殊的结构，可以分为纤状皮壳、马牙状栉壳、晶粒栉壳、粒状、嵌晶、增生、世代胶结。这些胶结物的结构由于沉积期后的成岩作用往往被改造，所以在古代的石灰岩中多数呈嵌晶粒状。

胶结作用是沉积物从松散状态转变成坚硬岩石过程中的重要机制。

3. 基质

基质是指泥晶和粘土充填于颗粒之间的物质。泥晶又叫碳酸盐泥，如果它在基质中的数量丰富，便可形成泥晶灰岩或灰泥岩。产生灰泥的作用有几种，如风、波浪和潮汐作用可把生物壳碎屑及其他颗粒破碎，最后将其磨蚀成同成分的泥晶。在把碳酸盐岩颗粒破碎成泥晶或灰泥的过程中，生物活动也起着重要的作用。

基质与亮晶胶结物不仅在晶粒上不同，更重要的是它们形成于不同的沉积环境中，亮晶胶结物形成于较为动荡的沉积环境，而泥晶基质则形成于平静的沉积环境。因此形成亮晶胶结的颗粒能够形成较好的储层，而被泥晶基质所充填的颗粒多形成较差的储层。

4. 孔隙

孔隙将在下一部分作专门讨论。

二、碳酸盐岩孔隙

像颗粒、基质和胶结物一样重要，碳酸盐岩中的孔隙在近年来受到高度重视，因为它是石油和天然气的重要储集场所。岩石中孔隙空间的总体积与岩石总体积的百分比率称为总孔隙度，或绝对孔隙度，用以表征岩石孔隙的发育程度。岩石的总孔隙度越大，说明岩石的孔隙空间越多。但岩石中不同大小的孔隙对液体的储存和流动所起的作用不同。碳酸盐岩储集性能主要取决于渗透率，孔隙度大有可能渗透率也大。但有时岩石的孔隙度很大但其渗透率却很低，所以能连通的有效孔隙对油气的储集特征特别重要。

1. 孔隙的概念与时间性

广义地讲，孔隙是指岩石中未被固体物质所占据的空间。在一般压力条件下能允许流体在其中流动的孔隙就称为有效孔隙。有效孔隙总体积与岩石总体积之百分比称为有效孔隙度，显然，有效孔隙度只能小于或等于绝对孔隙度。通常所说的孔隙度一般就是指有效孔隙度。

孔隙的大小通常是按可放入其中的最大球体直径来度量的。在一般薄片研究中则以二维平面上孔隙的最大内切圆直径来代替。

碳酸盐岩中孔隙的形成时间和受改造的程度对油气藏的形成都有重要的意义，但不同

阶段所形成孔隙的重要性却各不相同。

(1) 根据岩石的孔隙度大小和对流体的作用可划分为如下三个类型。

①超毛细管孔隙：其管形孔隙直径大于 0.5mm，或裂缝宽度大于 0.25mm。在重力作用下流体可以自由流动。

②毛细管孔隙：其管形孔隙直径介于 0.5~0.0002mm，或裂隙宽度小于 0.0001mm。流体在其中因受毛细管力所阻塞而不能自由流动；只有在外力大于毛细管力的情况下，流体才能在其中流动。

③微毛细管孔隙：其管形孔隙直径小于 0.0002mm，或裂隙宽度小于 0.0001mm。在通常温度压力条件下，流体不能在其中流动。

在储集岩中，只有那些相互连通的超毛细管孔隙和毛细管孔隙才有实际意义。

(2) 根据大小，孔隙可被划分为微孔、小型中孔、小型宏孔和大型宏孔。

①微孔：通常只能用放大镜或者显微镜来观察研究。

②中孔：在手标本或岩心上一般能看出来。

③宏孔：可在露头上观察描述，在井下可依据钻井过程中钻具放空程度进行推断。

(3) 根据其形成所处的沉积阶段，孔隙可划分为早成的、中成的和晚成的。

一个碳酸盐岩沉积旋回，开始于碳酸盐颗粒的形成或生长构架的分泌或沉淀，结束于长期被埋藏的碳酸盐岩的变质作用或侵蚀作用。上述时间通常很长，从形成沉积物颗粒开始，到这些颗粒或者碎块的聚集体静止在它们沉积过程中最后位置上及随后被埋藏的任何时间内，都能够发生孔隙的形成、变化和消亡。孔隙发展史可能非常复杂，但可分为三个大的时期，即沉积前、沉积期和沉积后。沉积后时间与前两个时期相比，时间更长，对孔隙形成演化意义更大，因而根据地质背景将沉积后时期分为与埋藏条件有关的三个阶段，即早成的、中成的和晚成的，早成的、中成的和晚成的这三个时间术语可用于这三个阶段产生的孔隙，也可用于这些阶段内发生的各种作用，或各自的埋藏带。

(4) 以成岩作用开始为界，可将孔隙按其形成的时间划分为原生孔隙和次生孔隙。次生孔隙的发育程度则反映岩石在成岩过程中受改造的程度。

①原生孔隙：沉积过程结束时存在于沉积物或岩石中的任何孔隙都叫原生孔隙，包括沉积前孔隙和沉积期孔隙。

沉积前期，从沉积物质初始形成开始，到这些物质或由这些物质形成的沉积颗粒最后沉积时结束。沉积前期形成的孔隙为沉积前孔隙。沉积前期主要是指有虫孔、球粒、鲕粒及其他非骨屑颗粒等这些单个的沉积组分形成并包括粒间孔隙这一时期。这一阶段形成的孔隙在某些特定的沉积物中是非常重要的。此时期沉积作用缓慢，并伴有对底部沉积物进行间歇再冲刷过程的地区，沉积前期可长达几千年；而生物建隆原地堆积实质上没有沉积前期。

沉积期包括沉积物或者生物骨架在其被埋藏位置最后沉积的时期。沉积期在孔隙形成方面十分重要，但持续时间很短，形成的孔隙为沉积期孔隙。在碳酸盐岩中，沉积期孔隙主要是粒间孔隙，还有生物生长的骨架孔隙；也包括在沉积界面上由于生物钻孔、溶解或其他作用形成的孔隙。

现代碳酸盐沉积物中，原生孔隙数量很大。但由于形成后要受到各种成岩作用的改造和影响，因而在古代岩石中原生孔隙的特征、含量及重要性常因此而被掩盖。

②次生孔隙：相对原生孔隙而言，产生次生孔隙的时间可能会更长。次生孔隙就是形成并发育于最终沉积之后任何阶段的孔隙。根据浅层成岩环境与深埋藏成岩环境下孔隙改