

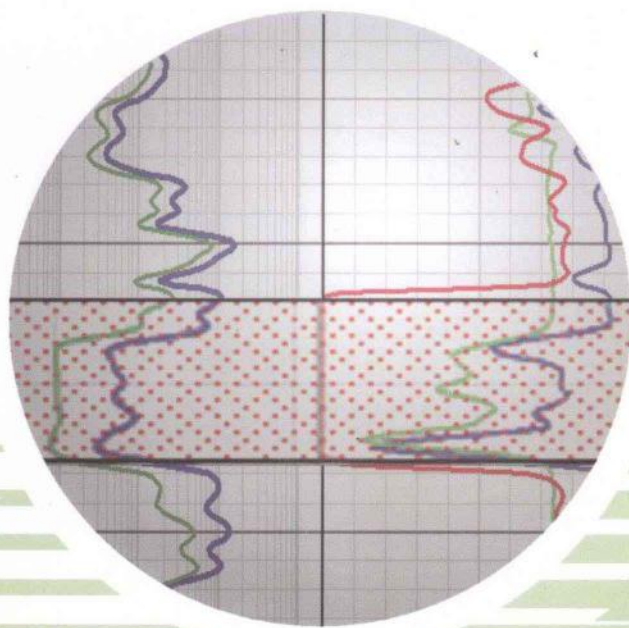


中国石油勘探工程技术攻关丛书

ZHONGGUO SHIYOU KANTAN GONGCHENG JISHU GONGGUAN CONGSHU

碳酸盐岩油气藏测井 评价技术及应用

○ 中国石油勘探与生产分公司 著



石油工业出版社

中国石油勘探工程技术攻关丛书

碳酸盐岩油气藏测井评价 技术及应用

中国石油勘探与生产分公司 著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书是中国石油 2006—2008 年碳酸盐岩油气藏测井评价技术攻关成果的总结, 主要介绍了碳酸盐岩的岩性、岩相、储集空间分类方法和基本地质特点, 以及用测井资料识别评价碳酸盐岩油气层的主要方法, 并辅以实例, 解剖了碳酸盐岩油气藏测井评价的思路与方法。

本书可供从事油气勘探开发工作的地质、测井、油藏工作者, 以及大专院校相关专业师生参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

碳酸盐岩油气藏测井评价技术及应用/中国石油勘探与生产分公司著.
北京: 石油工业出版社, 2009. 11

(中国石油勘探工程技术攻关丛书)

ISBN 978 - 7 - 5021 - 7471 - 2

I. 碳…

II. 中…

III. 碳酸盐岩油气藏 - 油气测井

IV. TE344

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 192413 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

编辑部: (010) 64523736

发行部: (010) 64523620

经 销: 全国新华书店

印 刷: 保定彩虹印刷有限公司

2009 年 11 月第 1 版 2009 年 11 月第 1 次印刷

787 × 1092 毫米 开本: 1/16 印张: 11.75

字数: 307 千字 印数: 1—2000 册

定价: 60.00 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

《中国石油勘探工程技术攻关丛书》

编 委 会

主 任：周吉平

副主任：赵政璋 贾承造

委 员：（按姓氏笔画排序）

马新华	王元基	王玉华	王招明	付锁堂	冯志强
匡立春	孙 宁	孙龙德	杨 华	杜金虎	吴 枚
吴 奇	吴永平	吴国干	何江川	邹才能	张 玮
张国珍	陈建军	周明春	周海民	周家尧	周新源
郑新权	孟卫工	赵文智	赵邦六	赵志魁	赵贤正
袁士义	贾 东	夏义平	徐凤银	徐春春	梁世君
董月霞	董焕忠	魏顶民			

《碳酸盐岩油气藏测井评价技术及应用》

编 写 组

主 编：贾承造

副 主 编：张国珍 王招明 徐春春 邹才能 肖承文

主要成员：李国欣 赵路子 田 军 刘国强 杨海军

周 肖 郭清滨 周灿灿 李 宁 刘兴礼

谢 冰 张承森 张树东

顾 问：高瑞祺 欧阳健 陆大卫

序

中国石油作为我国能源行业的特大型骨干企业，在保障国家能源安全方面具有义不容辞的光荣使命。经过半个多世纪的大规模勘探开发，国内油气勘探已进入一个新的发展阶段，特别是随着勘探开发的不断深入，勘探领域发生了很大变化。从地面条件看，勘探对象已从平原向山地、沙漠、滩海大幅度延伸；从地质条件看，低渗透、复杂碳酸盐岩、火山岩等复杂储层和稠油等复杂油藏所占比例大幅度增加。在这种情况下，如何继续大幅度增加储量以满足油气产量持续增长的需要成了摆在我们面前的迫切问题。

为了积极应对这种挑战，2005年我们明确提出了“油气勘探必须走技术发展之路”的要求，并按照“突出重点探区、依托重点项目、注重实际效果”的思路，设立专项投资，发挥中国石油整体优势，分物探、钻井、测井、试油四个专业，重点在塔里木、四川、准噶尔、渤海湾、柴达木、松辽、鄂尔多斯等盆地组织了以现场为主体的工程技术攻关。通过几年的不懈努力，一大批制约油气勘探的瓶颈技术得以攻克，针对复杂地表和高陡构造的地震采集、处理和解释一体化技术取得明显突破，发现了一批具有战略意义的勘探目标；以欠平衡钻井、垂直钻井等为主的低压储层保护和高陡构造防斜打快技术极大地提升了钻井能力，保障了勘探发现；以成像测井为主的采集技术和以复杂油气藏饱和度研究为主的解释技术研发成功，较好地保障了火山岩、低渗透等复杂储层识别与评价的需要；以大型酸化和压裂改造为主的增产技术，提升了低渗透油气层的商业价值。一大批工程技术的突破不仅提高了其在油气勘探中的保障能力，也增长了工程技术服务队伍的竞争能力，更为重要的是拓展了新的油气勘探领域，开阔了找油找气的视野，进一步坚定了我们不断寻找大油气田的信心和决心。

伴随着工程技术的进步，近年来我们已经进入新的油气储量增长高峰期，连续六年探明石油地质储量大于5亿吨，连续三年探明天然气地质储量大于3000亿立方米。新发现并落实了长庆苏里格、塔里木库车等储量规模万亿立

方米的气田和目标区，发现并落实了长庆姬塬和西峰、塔里木塔北、准噶尔西北缘等一批储量规模 5 至 10 亿吨的规模储量区。由于勘探的快速发展，油气资源基础不断夯实，油气田开发也进入了快速发展的新阶段，原油产量从 2006 年开始连续三年创历史新高，天然气产量从 2005 年开始连续五年换“百”字头。

《中国石油勘探工程技术攻关丛书》系统总结了这几年来技术攻关的丰硕成果，凝聚了攻关单位数百名科技工作者的辛勤劳动。相信这套《丛书》的出版，必将对提高技术人员的业务素质和管理人员的驾驭能力、提升勘探技术应用水平起到带动和促进作用，也必将为推动中国石油上游业务的发展起到重要作用。

认识没有止境，攻关永不停步。随着勘探难度的增加，许多新的问题需要解决，大量技术难题有待攻克。我们必须继续坚定走技术发展之路不动摇，继续狠抓技术攻关不松劲。只有这样，才能持续推动工程技术进步，才能更好地为“储量增长高峰期工程”和“稳定并提高单井日产量工程”提供技术保障。

A handwritten signature in black ink, appearing to read '王康' (Wang Kang), written in a cursive style.

2009 年 11 月 2 日

前 言

随着塔里木盆地塔中 I 号坡折带与四川盆地龙岗地区碳酸盐岩油气勘探取得重大发现, 中国石油在海相碳酸盐岩领域掀起了新的勘探热潮, 该领域已成为中国石油储量增长高峰期重要的勘探领域。塔中地区奥陶系和龙岗地区二叠系、三叠系均为缝洞型碳酸盐岩储层, 具有强烈的非均质性与各向异性, 与世界上大型碳酸盐岩油气藏的储层特征存在很大差异, 给测井评价带来了一系列的挑战: 一是目的层位多、沉积微相类型多、岩性复杂, 有效的缝洞碳酸盐岩储层测井相识别尚未建立; 二是储层类型多、非均质性强, 基质为低孔低渗, 储集空间及其组合多样, 定量评价碳酸盐岩孔洞缝储层有效性的方法尚未建立; 三是多期油气充注与储层非均质性导致油气水分布复杂, 产液性质变化大, 高部位出水、低部位产油气的现象时有发生, 定量确定缝洞型碳酸盐岩储层流体饱和度的方法与技术尚未建立; 四是缝洞性碳酸盐岩产层下限确定方法与技术急需丰富与完善。

为了解决中国石油在碳酸盐岩油气藏勘探开发中测井评价技术的难题, 从 2006 年初开始, 按照中国石油“油气勘探必须走技术发展之路”的总体要求, 勘探与生产分公司以“立足重大领域, 依托重点项目, 攻克关键问题, 形成配套技术”为原则, 采用“股份公司统一组织, 油田院所联合攻关”的模式, 组织塔里木油田、西南油气田、勘探开发研究院、中国石油大学和长江大学等相关单位开展了针对性的联合攻关。

三年来, 主要针对塔里木盆地塔中地区奥陶系和四川龙岗地区二叠系、三叠系的缝洞型碳酸盐岩储层, 以岩心检验测井方法及岩石物理研究为基础, 充分利用声成像、电成像和核磁共振成像等测井资料丰富的地质信息, 使碳酸盐岩油气藏测井评价技术攻关取得重要进展, 一些关键技术取得重大突破, 基本建立了塔里木盆地台盆区和龙岗地区海相碳酸盐岩测井评价配套技术。

(1) 研发成功了碳酸盐岩储集空间储层类型划分方法。即根据碳酸盐岩地质特性和测井学原理, 将复杂碳酸盐岩储集空间划分为孔隙型、裂缝型、孔洞型、裂缝—孔洞型和洞穴型五种储层类型, 明确了每种储层类型的测井响应特征。

(2) 建立了塔中礁滩体碳酸盐岩的岩性、岩相和储层的 10 大类 19 个次类电成像测井图版知识库, 夯实了电成像测井的应用基础。岩性识别准确率达到 92%, 较攻关前提高了 20% 以上。

(3) 建立了块状、层状和斑状 3 大类共 15 个小类的电成像测井相碳酸盐岩构造响应图版, 确定了与储层品质密切相关的测井相, 形成了基于电成像测井为主体的碳酸盐岩储层分类与定量表征技术, 提高了判断储层有效性的科学性。储层识别正确率达到 89%, 较攻关前提高了 16% 以上。

(4) 在储层分类的基础上, 建立了与之对应的储层参数计算模型, 较好地形成了储层参数定量评价技术, 为塔中地区四个区块、龙岗地区等提供了满足规范要求的储量参数。

(5) 针对碳酸盐岩储层类型多、流体赋存状态差异大的特点, 制定了四种不同储层类型的流体类型识别图版, 提高解释符合率 10% 以上。

本书是中国石油近三年来碳酸盐岩油气藏测井评价技术攻关的阶段成果总结与提炼。全书共分九章。第一章介绍了碳酸盐岩的岩性、岩相、储集空间分类及基本地质特点；第二章介绍了井壁地质、工程特征成像图版库建立的方法、流程与建库后的应用；第三章介绍了碳酸盐岩储层的测井响应特征、识别方法和储层评价方法，论述了碳酸盐岩储层有效性评价技术体系；第四章从定量角度介绍了碳酸盐岩储层参数的评价方法；第五章探讨了不同类型的碳酸盐岩储层流体性质识别方法；第六章和第七章分别是攻关成果在塔中地区与龙岗地区应用实例；第八章是碳酸盐岩储层测井资料采集系列优选与工艺技术总结；第九章对三年攻关成果和下一步攻关方向进行了总结和建议。

本书编写历时近一年。2008年7月、9月、12月和2009年3月、7月，中国石油勘探与生产分公司先后五次组织研讨，确定编写提纲，落实责任单位和编写人，审查编写文稿。前言由张国珍、李国欣和刘国强编写，第一章由王贵文、田军和沈平编写，第二章由肖承文、张承森、刘兴礼和李多丽编写，第三章由肖承文、海川、周肖、张承森、王青和陈伟中编写，第四章由肖承文、周肖、张承森、谢冰、吴兴能和傅海成编写，第五章由肖承文、谢冰、刘兴礼、张承森、张贵斌、信毅编写，第六章由肖承文、杨海军、祁兴中、刘兴礼、海川和张承森编写，第七章由周肖、赵路子、谢冰、张树东、唐雪萍、贺红举、何绪全和赵佐安编写，第八章由单交叉、肖承文、郭清滨、陈新林和赵元良编写，第九章由李国欣和肖承文编写。张国珍、肖承文和刘国强负责全书统稿。

在项目攻关和本书的编写过程中，中国科学院贾承造院士对项目的技术路线设计、关键技术思路确定给予了悉心指导，同时也得到了中国石油天然气股份有限公司赵政璋副总裁的大力支持，得到了王招明、徐春春和邹才能等相关领导的大力帮助，得到了周灿灿、李宁、刘瑞林、高楚桥、章成广和钟广法等专家的指导与协助，得到了勘探与生产分公司有关处室的大力配合，工程技术与监督处做了大量具体的组织和技术指导工作。高瑞祺、欧阳健、陆大卫等专家提出了许多宝贵的意见，石油工业出版社相关人员对出版样稿进行了详细地审查与修改。值此本书正式出版之际，谨向他们表示衷心的感谢！

限于作者水平，书中存在的不足，敬请读者提出宝贵意见。

目 录

序

前言

第一章 碳酸盐岩储层类型及其基本特征	(1)
第一节 岩性岩相主要特征	(1)
第二节 储集空间主要特征	(5)
第三节 碳酸盐岩储层测井评价综合分类	(12)
第二章 碳酸盐岩地层电成像测井特征与解释图版	(17)
第一节 电成像测井岩心标定技术	(17)
第二节 碳酸盐岩地层电成像测井井壁特征典型图版	(20)
第三章 储层类型划分与有效性评价	(34)
第一节 储层测井响应特征	(34)
第二节 不同类型储层有效性分析	(41)
第三节 储层有效性定量评价方法	(54)
第四节 储层品质级别划分	(62)
第四章 储层参数评价	(65)
第一节 孔隙型储层参数评价方法	(65)
第二节 裂缝型储层参数评价方法	(66)
第三节 孔洞型储层参数评价方法	(71)
第四节 不同类型储层饱和度评价方法	(72)
第五章 流体类型识别方法	(80)
第一节 交会图法	(80)
第二节 中子测井挖掘效应法	(85)
第三节 中子测井和声波测井信息组合法	(89)
第四节 核磁共振测井 TDA 法	(91)
第五节 MDT 测井识别方法	(93)
第六节 偶极横波测井识别方法	(95)
第七节 气测比值法	(104)
第六章 塔里木盆地塔中地区碳酸盐岩油气藏测井评价	(105)
第一节 测井储层参数计算	(105)
第二节 饱和度定量计算	(109)
第三节 缝洞储层产层下限确定	(113)

第四节	电成像测井相识别储层	(116)
第五节	碳酸盐岩储层测井多井评价	(123)
第七章	四川龙岗地区礁滩型碳酸盐岩气藏测井评价	(129)
第一节	气藏地质特征	(129)
第二节	礁、滩相的测井识别及评价技术	(138)
第三节	储层岩性识别及有效性评价技术	(148)
第四节	储层分类评价及产能评估	(154)
第八章	碳酸盐岩测井系列适应性研究及测井系列优选	(165)
第一节	碳酸盐岩测井采集环境概述	(165)
第二节	常规测井仪器系列的优选	(166)
第三节	成像测井仪器系列的优选	(167)
第四节	碳酸盐岩高温、高压小井眼测井仪器优选	(170)
第五节	小结	(172)
第九章	成果总结与下步攻关方向	(173)
参考文献	(178)

第一章 碳酸盐岩储层类型及其基本特征

碳酸盐岩是重要的油气储集岩，虽然它仅占沉积岩的 20%，但是却包含了世界主要油气田的 10%，中东地区储集岩有三分之二是碳酸盐岩。在碎屑岩为主的北美，三分之一的主要油气田也在碳酸盐岩中，产量占巨型油气田总产量的一半左右。

在我国南方以及渤海湾盆地与塔里木盆地均发育着优良的海相碳酸盐岩储层，经过中国石油人几十年孜孜不倦的探索，海相碳酸盐岩油气勘探取得了丰硕的成果，相继在塔里木盆地、四川盆地和鄂尔多斯盆地发现了不同规模的碳酸盐岩油气藏。20 世纪 70 年代，在渤海湾盆地中上元古界一下古生界的碳酸盐岩潜山中发现了任丘油田。此后，碳酸盐岩油气田勘探步入了黄金时期，随后发现了一些年代较新的海相生物礁油田和任丘式古潜山油田。

与碎屑岩油气勘探相比，碳酸盐岩储集空间的孔隙度和渗透率非均质性特征极为明显，造成这一结果的因素主要有以下几点：

(1) 复杂的原生孔隙类型。碳酸盐岩沉积物多为生物成因，生物颗粒内部以及颗粒之间，礁体生物骨架之间存在着大量的原生孔隙，不同地质历史时期生物类型和生物的发育程度存在着巨大的差异。

(2) 复杂的次生孔隙类型。由于碳酸盐岩矿物本身较强的化学活动性，且一般较脆，使得碳酸盐岩在沉积以后的成岩阶段、后生或表生期的改造过程中形成了大量复杂的次生孔隙，这些孔隙分布状态有很大的随机性。

(3) 复杂的原生孔隙和次生孔隙组合形成千差万别的碳酸盐岩储层类型。

本章将从碳酸盐岩储层的岩性岩相特征、碳酸盐岩储集空间主要特征和碳酸盐岩储层测井评价综合分类三个方面对碳酸盐岩储层特征进行阐述。

第一节 岩性岩相主要特征

一、碳酸盐岩储层岩相特征

塔里木盆地塔中地区与四川龙岗地区的碳酸盐岩储层发育的沉积相类型为开阔海台地相。开阔海台地包括台内浅滩亚相、碳酸盐岩台地边缘礁滩亚相、潮坪亚相和滩间海亚相等。由于岩溶风化性储层在目标区块的碳酸盐岩储层中占有重要地位，因此，再引入岩溶相。

1. 开阔海台地相

1) 礁（丘）亚相

礁（丘）亚相主要包括台地边缘生物礁亚相和台内礁亚相，台地边缘生物礁亚相主要发育于台地边缘地形较高部位，常常环绕地台边缘成带状分布，是生物礁滩相储层中最理想的一类储层。川东北地区二叠系长兴组生物礁储层就主要发育在这样的沉积亚相类型中。

台内生物礁亚相主要发育于台地内海底高地上，多在砂屑滩的基础上生长发育，部分以生物礁、鲕粒滩为礁基生长。受台地内部高地发育面积的限制，这类生物礁一般规模不大，

在川东地区的二叠系长兴组和塔中地区的良里塔格组均有分布。

2) 台内浅滩亚相

台内浅滩亚相发育于开阔海台地内的海底相对高地之上,波浪和水流作用较强,能量高于滩间海,碳酸盐岩颗粒发育,常见的微相类型有砂屑滩、生屑滩和鲕粒滩。

(1) 砂屑滩微相。沉积环境为正常浅海,水动力条件较强,可以将半固结的碳酸盐岩沉积物打碎成内碎屑,使其在水动力相对减弱期间再次沉积。发育的主要岩石类型为砂屑灰岩,颗粒间为亮晶方解石胶结,可见泥晶基质填隙物,经成岩作用可形成残余砂屑云岩等。

(2) 生屑滩微相。沉积环境为正常浅海,能量中等,由于水动力不足以淘洗掉泥微晶基质,故填隙物为亮晶胶结物或泥微晶基质,亮晶胶结物可见世代结构。川东地区二叠系长兴组第二岩性段发育这类沉积微相。

(3) 鲕粒滩微相。该微相沉积环境为正常浅海,水动力条件较强。主要发育鲕粒灰岩。在塔里木盆地 TZ I 号坡折带中上奥陶统良里塔格组和四川盆地川东北三叠系飞仙关组均广泛发育。

3) 潮坪亚相

潮坪是指地形平坦、随潮汐涨落而周期性淹没、暴露的环境。根据平均海平面的位置,潮坪可分为潮上带、潮间带和低潮面附近的潮下带。其中,潮上带和潮间带是潮坪的主体。在川东和川东北地区的石炭系黄龙组广泛分布着这类沉积亚相。

(1) 潮上带。潮上带位于平均高潮面与最大风暴潮汐面之间,绝大部分时间暴露于水上,只有大潮和风暴潮期间才会被淹没,是低能环境。潮上带分为潮上云(膏)坪相和潮上云灰坪相,前者在干旱气候条件下常见,容易发育膏溶角砾云(灰)岩,后者在湿润气候条件下常见,易发育藻云岩。

(2) 潮间带。潮间带位于平均高潮面与平均低潮面之间,总体上是低能环境,发育潮汐水道(潮道)。常见薄层状、柱状、波状和层状叠层石。川东及川东北地区的潮间带主要为潮间粒屑滩相,局部见鲕粒滩。

(3) 潮下带。潮下带位于平均低潮面之下,很少暴露于水上,潮间带发育的潮道可延伸至潮下带。根据能量大小可划分为高能潮下带和低能潮下带。川东北地区石炭系黄龙组的潮下带主要以高能潮下带为主。

4) 滩间海亚相

滩间海即位于各种浅滩之间的海域,其水流状态介于开阔海与局限海之间。沉积物粒度细,以泥微晶灰岩为主。一般需要后期成岩作用改造才能成为良好的储层,如溶蚀作用、重结晶作用和裂缝改造作用等。该亚相广泛分布于塔里木盆地塔中地区和轮古地区的鹰山组和良里塔格组。

2. 岩溶相

碳酸盐岩沉积物在经历埋藏成岩作用后,后期因为构造抬升或大规模海退使得地层出露地表,重新接受晚期表生成岩作用,经大气淡水的淋滤和溶解作用大大改善了储层的孔渗条件。岩溶相自上而下可分为地表岩溶残积带、垂直渗流带、水平潜流带和深部缓流带。风化岩溶作用具备多期次特点。

岩溶相储层主要分布于中国古生代碳酸盐岩地层中,是碳酸盐岩中最重要的一类储层。典型的岩溶相储层如扬子地台川东地区石炭系岩溶风化型储层、华北地台下古生界顶面的古

风化岩溶型储层和塔里木盆地震旦系—奥陶系顶部风化岩溶型储层。

二、碳酸盐岩储层岩石学特征

碳酸盐岩储层主要分为石灰岩和白云岩两大类储层，下面分别描述这两类储层的岩石学特征。

1. 白云岩的岩石学特征

塔里木盆地和四川盆地白云岩的主要类型包括藻粘结白云岩和藻纹层白云岩、颗粒白云岩、结晶白云岩和岩溶角砾云岩等。

1) 藻粘结白云岩和藻纹层白云岩

这两类白云岩均由泥微晶白云石组成，扫描电镜下呈半自形到它形晶体，部分呈镶嵌状。在阴极射线不发光或者发昏暗光至暗橙红光。成层性好，横向分布稳定，水平纹层发育，并可见基本保留了原始结构的藻纹层，其特征类似于石灰岩中的藻纹层，局部可见鸟眼、干裂和帐篷构造，常含石膏。依据以上特征可以推断，这两类白云石为准同生期，在蒸发潮坪环境中通过蒸发作用，由含 Mg^{2+} 的卤水交代灰泥及藻类沉积物形成。

这两类白云岩储层在四川地区的上震旦统、中石炭统和中三叠统雷口坡组均有发育。晶白云岩中多出现构造缝沟通其孔洞，藻粘结白云岩和藻纹层白云岩中多出现成岩裂缝沟通其孔洞。

2) 颗粒白云岩

颗粒白云岩中颗粒类型主要有砂砾屑、团块、球粒和藻屑和鲕粒等。颗粒由泥微晶白云石组成，除部分经重结晶而成粉晶白云石或经溶蚀后被粉—细晶白云石充填外，其余均保留了其原始细微结构，如鲕粒的同心纹层。这种保持原始结构的颗粒，其白云化机制与藻纹层白云岩相似。

颗粒间多为亮晶白云石胶结，部分为泥晶白云石填隙，亮晶白云石胶结物主要有细粒及粗粒两种。两者大多为等轴状，洁净、明亮，不含固态包裹体，晶体具向孔隙中心增大的特征，应为直接沉淀的产物。

3) 结晶白云岩

结晶白云岩包括细—粗晶白云石，主要特征为：晶体较粗（0.1~0.9mm，部分大于1mm）；以半自形至它形为主，也有部分具备环带结构的自形晶；晶体脏，富含固态包裹体；常见各种残余沉积组构，在四川地区长兴组地层的结晶白云岩中常常能见到这样的残余沉积组构，有时可见白云石晶体切割或包裹裂隙的现象。沉积后成岩作用对这类储层的形成起着至关重要的作用。

4) 岩溶角砾云岩

在川东石炭系黄龙组发育着一套岩溶角砾云岩，角砾大小不一，砾径多为2~20mm，呈次棱角—棱角状，分选差，砾间溶孔、砾内溶孔或基质溶孔、溶蚀裂缝发育，局部有亮晶方解石、白云石或黑色有机质充填，为川东及其邻北构造的主要储层之一。

2. 石灰岩的岩石学特征

塔里木盆地轮古地区、塔中地区的奥陶系和四川盆地川东地区的石灰岩储层中主要包括颗粒灰岩、微晶灰岩、微晶（含）云灰岩、藻粘结灰岩、生物丘或礁灰岩和岩溶岩类等。下面以塔中地区为主对以上岩类分别进行描述。

1) 颗粒灰岩类

这里介绍的颗粒灰岩是指富含各种碳酸盐岩颗粒的石灰岩,并非按福克分类命名中所表示的含有等量三种以上颗粒的石灰岩。

颗粒成分主要有生屑颗粒、内碎屑颗粒、生物颗粒和鲕粒等,颗粒间为亮晶方解石胶结或者颗粒间充填泥晶方解石。该类储集岩主要发育于台内浅滩或台缘浅滩环境。在塔中地区奥陶系良里塔格组和川东地区三叠系飞仙关组三段广泛发育着这种碳酸盐岩储层。

2) 微晶灰岩类

微晶灰岩类是相对低能的台坪环境沉积作用的产物,主要由微晶方解石组成,微晶结构清楚典型,可含有少量的砂屑、球粒和海百合等颗粒组分。

3) 微晶(含)云灰岩类

微晶(含)云灰岩是由50%~90%方解石和10%~50%白云石组成的一类过渡类岩石(在川东地区,分类标准中白云石所占比例要低于10%~50%),由石灰岩经白云石化作用形成。

由于岩石在宏观上显花斑状或豹斑状构造,所以也称之为花斑状白云质灰岩,由浅灰色石灰岩斑块和灰黑色或灰白色白云石斑块构成。微观下主要由微晶方解石组成。

4) 藻粘结灰岩类

藻粘结灰岩类主要与围绕台内浅滩发育的潮坪环境相联系,岩石藻粘结结构清楚,由藻粘结颗粒和窗格孔隙发育指示出来,被粘结组分有球粒、砂砾屑以及腕足类、海百合等,窗格孔隙往往被粒状亮晶方解石充填。

5) 生物丘或礁灰岩

岩石中造礁生物为海绵,可见藻包覆层和骨架间孔洞,骨架间孔洞为粒状亮晶方解石完全充填。

6) 岩溶岩类

岩溶岩类是在乔奎特和普瑞(1970)提出的晚成岩表生环境下受大气水改造形成的特殊岩类。在塔中地区奥陶系鹰山组和川东地区石炭系黄龙组岩溶岩类较发育,依据岩石成因、堆积作用机理和形式、组构和结构特征,可以将岩溶岩类细分为以下几种:

(1) 洞穴塌陷角砾岩。

洞穴塌陷角砾岩通常位于地下暗河沉积物之上,岩石显角砾支撑结构,角砾成分相对单一,主要为微晶灰岩和砂屑灰岩,在川东石炭系黄龙组的岩溶角砾成分除上述两种石灰岩外,还存在白云岩和云质灰岩两种。角砾分选和磨圆均较差,排列杂乱。角砾间填充物为钙屑砂、方解石晶屑、铁质泥和少量的陆源石英粉砂。

(2) 地下暗河沉积物系列。

地下暗河沉积物可细分为钙屑砂砾岩(角砾岩)、钙屑砂岩、钙屑粉砂岩和钙屑泥岩等。碎屑组分以碳酸盐岩组分为主,但成分复杂,包括砂屑灰岩、藻粘结灰岩、微晶灰岩、钟乳石碎块,等等。碎屑岩组分往往具备一定的磨圆度,总体显圆状一次棱角状或次棱角一圆状,富含陆源石英砂或粉砂等外来组分,钙屑砂岩和钙屑泥岩中见纹层状构造发育。

(3) 伸入洞穴的海岸沉积。

在川东地区某构造J1井石炭系黄龙组岩溶地层中钻遇一套细粒石英砂岩,砂岩成分成熟度高,磨圆分选好,粒度较细。岩石碎屑成分基本上为碎屑石英,缺乏碳酸盐岩砂和晶

屑,碎屑颗粒分选性和磨圆度均较好,显示出成分成熟度和结构成熟度均较高的特征。碎屑颗粒间主要为连晶方解石胶结,这明显有别于塔中地区其他井发育的地下暗河沉积物。由于此砂岩段上下存在典型的洞穴沉积特征,其沉积场所为先期形成的洞穴系统,因此,认为该砂岩段是随着石炭系海侵,伸入并充填先期洞穴系统的海岸沉积。

(4) 地表残积物。

地表残积物主要包括钙屑砂砾岩、钙屑砂岩、钙屑泥岩沉积。它与暗河沉积物的重要区别在于,地表残积物相对缺乏外来组分,缺乏陆源石英和粉砂。

①钙屑砂砾岩。角砾或砾石成分基本上为来源于下奥陶统石灰岩地层的各类组分,具体种类复杂,包括微晶灰岩,砂屑微晶灰岩、微亮晶砂屑灰岩、海百合碎屑等;部分角砾或砾石内部可见重结晶灰岩斑块、缝合线和构造裂隙方解石脉;角砾和砾石分选较差,形态多样,可呈次圆—次棱角状,堆积排列相对有序;角砾或砾石间主要为碳酸盐砂泥填积,混有少量或极少量陆源石英粉砂和黏土,局部角砾间有粒状亮晶方解石充填。

②钙屑砂岩。碎屑结构清楚,碎屑成分主要为砂级的碳酸盐岩砂、方解石晶屑砂、硅化结核砂等;碎屑颗粒多在粉—细砂级,分选性较差;次棱角—棱角状,磨圆度较差;粒间主要为碳酸盐泥填积,局部混有陆源黏土矿物,局部粒间有粒状亮晶方解石胶结。

③钙屑泥岩。岩石主要由碳酸盐泥构成,部分样品中陆源黏土占有较大的比例;富含粉砂—砂级碳酸盐岩、方解石晶屑、硅化结核碎屑,另含少量的陆源石英、云母粉砂,碎屑颗粒分选差、磨圆差。

第二节 储集空间主要特征

一、碳酸盐岩的孔隙类型

目前,国内外关于碳酸盐岩储集空间的分类方案主要有五类,分别从成因、孔隙空间大小、形态、与孔渗的关系以及储层测井评价等角度对其进行分类。

1. 乔奎特和普瑞孔隙分类

1) 分类方案

乔奎特和普瑞(1970)根据石油地质研究的需要,依据孔隙和碳酸盐岩的成分、结构构造的关系、孔隙的大小、形状、成因和孔隙的位置等,把碳酸盐岩孔隙划分为三大类15个基本类型(图1-2-1)。其分类方案中主要包含了基本孔隙类型、成因修饰语、大小修饰语和丰度修饰语四个基本要素。

沉积物或岩石中固体沉积和成岩组分及其空间排列方式称之为组构(fabric)。碳酸盐岩中的这些固态组分包括:(1)各种类型的原生颗粒,如鲕粒和生物碎屑;(2)后期形成的成岩组分,如方解石、白云石和硫酸盐的胶结物;(3)白云石和硫酸盐晶体等重结晶或交代的产物。如果孔隙和组构单元之间存在独立的关系,此类孔隙被认为具有组构选择性,反之,孔隙被认为不具备组构选择性。

按照孔隙是否具有组构选择性,将碳酸盐岩孔隙划分成三大孔隙类型:(1)组构选择性孔隙,包括粒间孔、粒内孔、晶间孔、铸模孔、窗格孔、掩蔽孔及生长骨架孔;(2)非组构选择性孔隙,包括裂隙、溶沟、溶孔及溶洞;(3)具有或不具有组构选择性孔隙,包

组构选择性				非组构选择性	
	粒间孔		窗格孔		裂缝
	粒内孔		遮蔽孔		溶沟
	晶间孔		生长骨架孔		溶孔
	铸模孔				溶洞
具或不具组构选择性					
	角砾孔		钻孔		潜穴孔
					收缩孔

图 1-2-1 乔奎特和普瑞孔隙分类方案 (1979)

括角砾孔、生物钻孔、生物潜穴孔和收缩孔。

孔隙成因修饰语可以指示孔隙形成或改造的信息(如溶解作用、胶结作用等),孔隙形成时间的信息(如原生和次生、早期成岩等),以及埋藏过程中孔隙度是否增大或减小的信息。

大小修饰语建立在孔隙的形状基础上,用于区分孔隙系统不同大小的级别。如果孔隙形状不规则,则没有细分的意义;如果孔隙形状不规则,则又可以根据孔隙外形和大小划分为等径的、管状的和扁平状的孔隙。对于尺寸小于溶洞(直径超过 256mm)的规则孔隙,乔奎特和普瑞推荐三种孔隙大小类型:微孔表示最大直径小于 1/16mm 的孔隙;中孔表示 1/16 ~ 4mm 的孔隙;粗孔表示大于 4mm 的孔隙。

丰度修饰语表示岩样中孔隙空间的含量或所占有的体积比例。通常根据观察者的观点和意图,对应于不同的孔隙度百分数范围,选用“一般、好、极好”三个级别来进行粗略的孔隙评价。

2) 孔隙特征

(1) 有组构选择性的孔隙。

①粒间孔隙(BP)。BP指碳酸盐颗粒之间的孔隙。在颗粒含量高,呈颗粒支撑的颗粒间未被灰泥和胶结物充填的部分。

②粒内孔隙(WP)。WP指碳酸盐岩颗粒内部的原生孔隙,通常指生物体内腔孔隙,这类孔隙连通性差,有效孔隙度不高,但常与生物碎屑粒间孔隙相伴生,形成好的储层。需要注意的是,大部分非生物体颗粒内溶蚀粒内孔属于次生孔隙范畴。

③生物格架孔隙(GF)。GF指由于生物礁、丘中生物骨架而形成的空间,又称生长骨架孔隙。这类孔隙常常被纤维状或隐晶质胶结物和内沉积物部分充填,因而在许多生物礁储层中骨架孔并不一定都具备储集意义。

④窗格孔隙(FE)。FE又称为鸟眼孔隙,网状格孔隙,主要形成于潮上带和潮间带,一般是藻类沉积物由于脱水、藻类腐烂和产生气泡而形成的孔隙。孔隙多呈扁平透镜状,平行于层面或纹层,成群分布。