

Introduction to Logging Interpretation of
China Marine Carbonate Rocks

中国海相碳酸盐岩 测井解释概论

李 宁 等◎著



科学出版社

中国海相碳酸盐岩测井解释概论

李 宁 等 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书全面论述了我国海相碳酸盐岩储层测井评价理论方法并给出了相应的油田应用实例,力求内容的完整性和体系的合理性,在介绍新理论、新观念及新方法的同时,也注重介绍了基本原理和基本概念,还尽量融入近几年最新的科研成果。

本书适合广大测井研究人员、地质勘探人员以及高校师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国海相碳酸盐岩测井解释概论 / 李宁等著. —北京: 科学出版社, 2013. 3

ISBN 978-7-03-036943-7

I. ①中… II. ①李… III. ①海相生油-碳酸岩油气田-测井-研究-中国 IV. ①TE344

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 042308 号

责任编辑: 王 运 韩 鹏 / 责任校对: 郭瑞芝

责任印制: 钱玉芬 / 封面设计: 耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京通州皇家印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013 年 3 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2013 年 3 月第一次印刷 印张: 14

字数: 310 000

定价: 89.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

序

记得三年前，我在为《酸性火山岩测井解释理论、方法与应用》一书作序中曾说，我很高兴为李宁教授他们的这部书作序，是因为以下三方面原因：第一，这是第一部关于酸性火山岩测井解释理论的专著；第二，他们的研究工作紧密结合实际，完成了从理论公式、实用模型、核心技术、关键技术到应用软件的研究，是一个完整的创新型科学研究的例子；第三，书中提出的基本理论和多项技术创新对缝洞型储层具有通用性，普遍适用于我国其他地区火山岩及海相碳酸盐岩测井评价。我当时还说，希望在不久的将来能看到他们在新领域的新进展。

令人非常高兴的是，我的这个愿望现在实现了。李宁他们在那本书中阐述的理论方法已经在四川、塔里木和长庆的碳酸盐岩油气藏评价中再次获得全面应用，为一大批此类油气藏的发现、探明及开发发挥了关键作用。所以，我高兴地拿起笔来，再一次为李宁教授的新作《中国海相碳酸盐岩测井解释概论》作序。和上回一样，也基于三点考虑：第一，这部著作可以认为是《酸性火山岩测井解释理论、方法与应用》的姊妹篇。我们知道，在非均质缝洞这一背景上，火山岩和碳酸盐岩有很多相似之处，李宁团队的研究正是科学地抓住了这一点。在上部著作中，他们大胆突破了以层状均匀介质为基础的传统理论束缚，建立了完全非均质条件下的孔隙度、饱和度定量计算方法；在这本著作中，他们进一步发展完善了这一方法，并将其成功应用到碳酸盐岩解释评价领域，达到了事半功倍的效果。第二，在研究火山岩和碳酸盐岩储层在非均质缝洞方面共性的同时，李宁他们又抓住了碳酸盐岩储层解释评价中的一些突出个性难点，对如何用成像测井判断储层的有效性、如何用远探测声波测井发现井壁外隐蔽有效储层进行了深入研究，可以说这是本书的一大亮点。第三，我尤其钦佩的是，他们将这些行之有效的理论方法都及时进行了技术有形化，在中国石油新一代测井软件 CIFLog 中形成了具有自主知识产权的碳酸盐岩处理解释模块，直接面向油田现场，实现了规模应用，效果极为显著。为此，我郑重

地将此书稿推荐给科学出版社，希望通过评审得到认可并及时出版，扩大它的影响，让更多的读者从中受益，共同推动我国石油勘探技术的发展。

最后，我再一次给李宁的团队提出和上次一样的希望，即在不久的将来又能看到你们在新领域的新进展！



2012年10月16日

前 言

众所周知，当今世界油气总储量的 50% 左右是在碳酸盐岩储集层中发现的，其产量则已达到了全部总产量的 60% 以上。然而到目前为止，我国碳酸盐岩油气藏所发现的比例远远低于世界平均水平。这一方面说明我国碳酸盐岩油气藏勘探尚处于开始阶段的上升期，潜力巨大、前景广阔；另一方面也同时说明我国碳酸盐岩油气藏勘探面临的形势复杂，需要持续不断的技术进步特别是高新物探、测井技术进步对油气勘探工作的支持。

近年来，随着对碳酸盐岩油气藏勘探重视程度的提高和地质研究的深入，我国海相碳酸盐岩油气勘探不断获得重大突破。塔里木塔河油田的探明及高效开发，塔里木塔中地区台缘礁滩相碳酸盐岩和轮南地区岩溶风化壳勘探成果的不断扩大，四川龙岗地区礁滩相碳酸盐岩气田的发现，鄂尔多斯靖边奥陶系碳酸盐岩气藏的开发以及高桥地区气藏勘探的重大突破，均展示出中国海相碳酸盐岩良好的勘探前景。但是碳酸盐岩储层类型多，非均质性强，油气水关系复杂。测井解释在识别有效储层、划分岩相特征、确定岩性组分、识别气水界面和定量计算孔隙度及含油气饱和度等参数方面均存在一系列技术难题。

为了突破碳酸盐岩储层测井处理解释中的技术瓶颈问题，从 2007 年开始，由中国石油勘探开发研究院牵头，联合塔里木油田、西南油气田、长庆油田多家科研生产单位以及长江大学、中国石油大学、四川大学等多所高校，针对中国海相碳酸盐岩储层开展了测井解释评价技术攻关。以礁滩和岩溶风化壳白云岩两类我国主要海相碳酸盐岩储层为对象，以这类储层测井定量解释评价为主攻目标，以准确评价有利储层及准确确定储层参数为最终目的，最终形成了一套以成像测井评价技术为核心、以岩石物理实验研究为基础、测井新技术的应用研究为主要手段的较为完善的碳酸盐岩储层测井解释评价理论方法，使我国碳酸盐岩储层测井处理解释在储层参数定量计算精度、储层有效性评价、流体性质识别准确度等方面取得了突破性进展。主要进展包括：

- 1) 形成了碳酸盐岩储层特色技术的测井处理解释方法和参数定量计算方法。具体包括三个方面：基于 ECS 元素俘获能谱测井的碳酸盐岩岩性识别方法；非线性变骨架基质孔隙度计算方法；基于孔隙结构的饱和度计算方法。

- 2) 形成了三项十分有效的碳酸盐岩储层测井评价特色技术，即碳酸盐岩储层有效性技术、偶极声波测井判别礁滩储层各向异性技术、远探测声波测井识别井壁外围缝洞发育

特征新技术。

建立了系统、有效和实用的海相礁滩储层测井解释评价理论、方法和技术体系。该技术体系具体包括四个方面：在油田多位专家和学者长期科研生产实践的基础上，厘清了沉积微相与储层好坏的对应关系；结合电成像测井与岩心归位研究，厘定了标准礁滩相图像并建立了标准化的礁滩相图版库；结合测井信息对礁滩储层沉积微相的准确识别，构建了礁滩储层测井地质解释模型；结合所选取的地质模型和所研究层段的上下组合关系，最终确定出解释层段所穿越的礁滩储层的具体沉积部位。

建立了完整的岩溶风化壳白云岩储层测井解释新技术体系。该技术体系包括五个方面：针对研究区地质沉积规律的认识，结合野外露头观察成果和岩心标定成像测井成果，建立风化壳白云岩储层成像测井地质解释模型；基于成像测井图像特征，建立风化壳白云岩储层不同分带的图像特征图版；基于成像测井确立的岩溶分带和试油资料，确立岩溶分带和产能高低的对应规律；利用成像测井计算储层上覆地层界面的倾角，制作倾角大小与下覆垂直渗流带产能交会图，确定地层倾角与储层有效性的关系；制作有试油结论储层孔隙度分布谱均值和方差交会图，确立有效储层孔隙度和方差下限，进一步评价储层品质。

上述理论方法已经在我国三大盆地推广应用，取得了十分显著的应用效果。但是客观讲，储层参数定量计算以及储层有效性评价的机理仍需要进一步深化研究。

全书共六章，第一章系统介绍我国海相碳酸盐岩储层类型、特征以及国内测井解释评价的技术现状；第二章介绍了最新的碳酸盐岩储层岩石物理实验及其分析方法与结果；第三章着重论述了碳酸盐岩储层测井解释的理论基础，包括针对不同储层类型测井系列的选择、沉积相测井识别的理论依据、参数定量计算的理论方法等；第四章介绍了碳酸盐岩储层有效性判别的新方法、新技术；第五章论述了两类主要碳酸盐岩储层测井解释评价技术；第六章介绍塔里木塔中地区、四川龙岗地区、鄂尔多斯盆地靖边及高桥地区等重点探区的应用效果分析。

本书全面论述了我国海相碳酸盐岩储层的测井解释评价理论方法并给出了相应的油田实例，力求内容的完整性和体系的合理性。在介绍新理论、新观念及新方法的同时，又注意系统介绍基本原理和基本概念，还尽量融入近几年的最新科研成果。该书不仅对于低孔低渗碳酸盐岩储层的测井解释评价具有理论价值，而且对于其他缝洞储层型油气藏的测井评价也具有一定的借鉴作用。

本书是在李宁教授主笔和精心组织下完成的。书稿的提纲和各章节内容编排统一由李宁负责。绪论是综述性介绍。第二章至第六章是本书的核心内容，其中：第二章由李宁、王克文和冯庆付主笔；第三章由李宁、柴华、肖承文和冯庆付主笔；第四章由李宁、冯庆付、武宏亮、柴华和冯周主笔；第五章由李宁、武宏亮、赵太平和冯庆付主笔；第六章由冯庆付、肖承文、石玉江、谢冰和赵太平主笔。最后，全书由李宁统稿，分头校对。这些

章节中涉及其他学者或单位的研究工作内容（包括文字、图表等）时，我们都事先做了说明并附上了相关参考文献。

在本书的撰写过程中得到了中国石油勘探生产公司赵文智副总经理的大力支持和指导，也得到了陆大卫、刘凤惠、吴铭德、王贵文、刘瑞林、钟广法、何宗斌等顾问专家的鼓励和帮助，另外还得到了周灿灿，李国欣、刘国强等相关领导和专家的指导帮助。参加编写的工作人员还有伍丽红、傅海成、张承森、梁明星等。在此，向给予我们大力支持及无私帮助的所有人致以衷心的感谢！

总之，这是一部理论性和实践性两方面都很强的专著，适合广大测井研究人员、地质勘探人员以及高校师生阅读参考。由于本书涉及的研究领域广、研究的问题复杂，加之作者水平有限，错误与不足之处在所难免，还望读者指正！

目 录

序

前言

第一章 绪论	1
第一节 中国碳酸盐岩储层分类与分布	1
一、碳酸盐岩储层沉积相分类与分布	2
二、碳酸盐岩储层岩性分类与分布	3
三、碳酸盐岩孔隙结构分类	4
四、沉积相、组分、孔隙结构组合分类	5
第二节 中国海相碳酸盐岩储层的基本特征	5
一、塔里木盆地碳酸盐岩储层的基本特征	5
二、四川盆地碳酸盐岩储层的基本特征	10
三、鄂尔多斯盆地碳酸盐岩储层特征	12
第三节 碳酸盐岩储层国内外测井解释评价现状	15
第二章 碳酸盐岩岩石物理实验及分析技术	18
第一节 碳酸盐岩储层全直径岩电实验	18
第二节 碳酸盐岩岩心 CT 测试及分析	23
一、岩心 CT 基本原理	24
二、CT 图像预处理及孔隙提取	24
三、CT 图像三维重建及显示	26
四、三维孔隙结构分析	29
第三节 碳酸盐岩储层核磁共振实验	31
一、实验方法与仪器	31
二、测量结果及数据分析	32
第三章 碳酸盐岩储层测井解释理论基础	35
第一节 测井系列优选	35
一、测井系列优化原则	35
二、测井系列适用性分析	35
三、碳酸盐岩储层测井系列选择	40

第二节 测井沉积相分析	40
一、成像测井沉积相自动判别技术	41
二、沉积相自动判别软件	45
第三节 裂缝参数计算	47
一、裂缝参数计算模型简介	47
二、裂缝参数计算	52
三、影响定量计算准确度的几个因素	62
第四节 基质孔隙度计算	63
一、声波孔隙度计算公式	64
二、不同公式孔隙度计算结果对比	65
第五节 渗透率计算	68
一、常规测井资料计算渗透率	69
二、斯通利波测井资料计算渗透率	72
三、核磁共振测井资料计算渗透率	78
四、微电阻率成像测井资料计算渗透率	80
五、斯通利波与电成像组合评价渗透率应用	81
第六节 饱和度计算	84
一、基质饱和度计算	84
二、裂缝饱和度计算	91
三、应用实例	92
第四章 碳酸盐岩储层有效性判别方法	94
第一节 储层有效性判别的总体思路	94
第二节 常规测井评价碳酸盐岩储层有效性	96
一、岩石的双孔隙度模型及其相关孔隙度概念	96
二、岩石的组合三孔隙度模型	98
三、小结	110
第三节 成像测井孔隙度谱的有效储层识别技术	110
一、成像测井(FMI)孔隙度谱分布计算原理	111
二、成像测井资料孔隙度分布谱的计算方法	112
三、基于成像测井孔隙度谱的储层有效性识别方法	115
第四节 偶极声波测井判别碳酸盐岩储层各向异性	121
一、偶极横波水平方位各向异性分析基本原理	121
二、方位各向异性分析与评价	123
第五节 远探测声波测井识别井壁外围缝洞发育技术	128
一、远探测声波测井原理	128

二、远探测声波测井在塔里木油田的规模化应用	134
第六节 基于梯次探测和方位定向的有效储层识别方法	137
第五章 两类主要碳酸盐岩储层测井解释评价技术	140
第一节 碳酸盐岩礁滩储层测井评价技术	140
一、礁滩相与储层对应关系的建立	140
二、标准礁滩相图像的厘定	141
三、标准化礁滩相储层图版库的建立	143
四、礁滩储层地质模型的构建	149
五、井孔穿越礁滩储层沉积部位的确定	150
第二节 风化壳白云岩储层测井评价技术	151
一、风化壳储层典型图像特征确定	151
二、风化壳储层测井地质模型建立	155
三、沉积相带与产能关系研究	159
四、地层倾角与有效储层关系研究	162
第六章 碳酸盐岩储层测井评价油田应用	164
第一节 塔里木塔中地区的应用	164
一、塔中 A 井	164
二、塔中 C 井	166
三、中古 G 井	167
四、塔中地区的规模化应用效果分析	168
第二节 四川龙岗地区的应用	169
一、龙岗 X 井	169
二、龙岗 Y 井	174
三、龙岗 Z 井	179
四、龙岗 M 井	183
五、龙岗 N 井	186
六、龙岗 L 井	189
七、龙岗地区的规模化应用效果分析	193
第三节 长庆油田靖边及高桥地区的应用	193
一、孔隙频谱分析方法应用	193
二、风化壳储层有效性评价技术应用	196
三、岩溶风化壳白云岩储层测井评价技术综合应用	200
参考文献	205

第一章 绪 论

第一节 中国碳酸盐岩储层分类与分布

中国碳酸盐岩储层发育和分布的影响因素很多,包括沉积作用、成岩作用、构造破裂作用等,储层的纵横向非均质性强,储层的类型及其孔隙组合多变。不同储层类型有着不同的测井响应特征,因此,在测井方法的优选以及测井综合解释评价方面,首先要搞清楚储层的类型及其孔隙结构特征。国内外不同学者从不同专业角度和不同地区的特征出发,提出了多种储层分类方案,大致归纳起来主要有以下分类方法:成因分类方法、岩石成分分类方法、孔隙结构分类方法、成因-结构组合分类方法等。

20 世纪 50 年代以前,一般对于碳酸盐岩只是笼统地从化学沉淀作用成因进行“化学岩”大类的划分,缺少详尽全面的岩石学研究以及更为合理和本质的关于分类的探讨。法国学者 Cayeux 在多种类型碳酸盐岩的系统描述方面,奥地利学者 Sander 在沉积组构研究方面,英国学者 Black 以及稍后的 Johnson 在生物灰岩的成因和鉴定方面,各自都有建树。

但是,真正成为碳酸盐岩分类研究中的重大历史事件的,是 Folk 的结构分类的发表和 1961 年 4 月美国石油地质学家协会(AAPG)和经济古生物学家、矿物学家(SEPM)联合在丹佛召开的碳酸盐岩分类座谈会,以及次年由 W. E. Ham 主持编辑的文集出版(Classification of Carbonate Rocks-A Symposium)。在这个经典性的文集中汇集了丹佛会议上报告过的、有代表性的碳酸盐岩分类。其中包括至今仍有着巨大影响的 Folk 和 Dunham 等为代表的组构分类,Leighton 和 Pendexter 的粒泥比分类和 Plumley 的能量指数分类。在此前后不久,美国学者 Carozzi 在《显微沉积岩石学》一书中提出了碳酸盐岩结构-成因分类,划分出原地石灰岩和异地石灰岩两种成因类型,进而按照碎屑粒径将异地石灰岩分为砾屑、砂屑、粉屑、泥屑四种;按形成方式或组构将原地石灰岩划分为生物建造、生物堆积、细粒石灰岩和白垩四种。这一分类继承了葛利普分类中的合理部分,并给予了系统、完整的组织。

有关的文献中还可见 Chilingar 和 Bissell 的分类,庄司力伟的分类,Embry 和 Klován 的分类等,这些分类大多是对前人分类的某些修改和补充。

在我国,有关碳酸盐岩系统分类的研究稍晚。1964 年,业治铮等首先介绍、传播了福克的分类,并就中国燕山辽吉地区震旦纪和早古生代石灰岩提出了结构-成因分类和命名方案。1973 年,戴永定等根据成因(物质来源)、结构、物质成分和沉积期后变化等分类原则提出燕山震旦系碳酸盐岩分类方案:以成因-结构、胶结物结构和矿物成分等分类,综合构成一个完整的碳酸盐岩的分类命名系统。

我国有关生产部门和地质院校,结合各自的理解和工作要求,在前人分类的基础上进

行了合理的加工,提出自己的分类,其中有成都地质学院的分类,四川石油管理局的分类,华东石油学院的分类等。

随着测井技术的发展,目前利用测井信息能够对储层的沉积相、岩石组分、孔隙类型及其孔隙度进行有效评价。作者认为,对于测井解释而言,碳酸盐岩储层分类应该和测井信息紧密结合起来,其定名应该和测井信号的评价结果相对应,同时要简明有效,术语要标准。本书在借鉴前人研究成果的基础上,从我国海相碳酸盐岩储层测井解释评价的实际需求出发,结合近年来国内碳酸盐岩储层勘探主体与测井综合评价的实践,提出了沉积相-岩性-孔隙结构组合分类方案。该方案遵循以下原则:

1) 必须高度概括、紧密联系和应用当时最先进的测井技术与成果。通过这样的分类研究应该可以推动相关技术或领域的探索,从而大大提高碳酸盐岩储层测井解释评价领域的学术研究水平。

2) 碳酸盐岩的测井分类研究是在生产实践的推动下发展的,它必须结合目前我国碳酸盐岩储层勘探开发的实际,便于应用于科研和生产。要有利于运用先进的测井技术及评价方法,进行测井沉积相解释、岩性识别、储层参数定量计算等。比如,充分发挥电成像测井高分辨率的优势,对碳酸盐岩储层的沉积相、孔隙结构进行精细评价。

3) 测井解释的主要任务是准确描述和评价储层,因此,在分类时,要融合“储层”的概念,便于对比和量化,并有利于计算机自动判别和计算,具有工具性的特征。

4) 碳酸盐岩储层分类方案的讨论和命名要紧密结合测井资料的优势和特色,不必强求和其他专业的处处一致和统一,因为碳酸盐岩储层的测井解释与评价的最主要目的是认识储层、刻画储层。

一、碳酸盐岩储层沉积相分类与分布

根据储层的沉积环境和构造作用,我国碳酸盐岩储层大致可以划分为三大类:礁滩型储层、岩溶型储层和潜山型储层。

1. 礁滩型储层

生物礁、滩是一种在生物作用下形成的特殊碳酸盐构造,极易形成有效圈闭而成藏。全世界油气总储量的50%、总产量的60%位于礁、滩及相关碳酸盐岩储层中。

礁滩储层是我国海相碳酸盐岩油气勘探的重要目标,近年来我国在塔里木油田塔中和塔北地区、四川盆地二叠系和三叠系、柴西、鄂西以及珠江口盆地等地区发现了一系列礁滩储层,其储集特征和油气显示都很好。

礁滩储层可以进一步划分为礁丘亚相、灰泥丘亚相、粒屑滩亚相和滩间海亚相,各亚相在测井资料上的响应有着明显的不同。

2. 岩溶型储层

该类储层是经过地表水或地下水溶蚀岩石形成大小各异的孔、洞、缝而成为有效的储层。根据岩溶作用的部位可以分为沉积岩溶、暴露岩溶(暴露岩溶、区域岩溶)、深部岩溶三大类,图1.1是岩溶类型综合示意图。

在我国,暴露岩溶又叫风化壳岩溶。鄂尔多斯盆地奥陶系顶部分布着大面积的风化壳

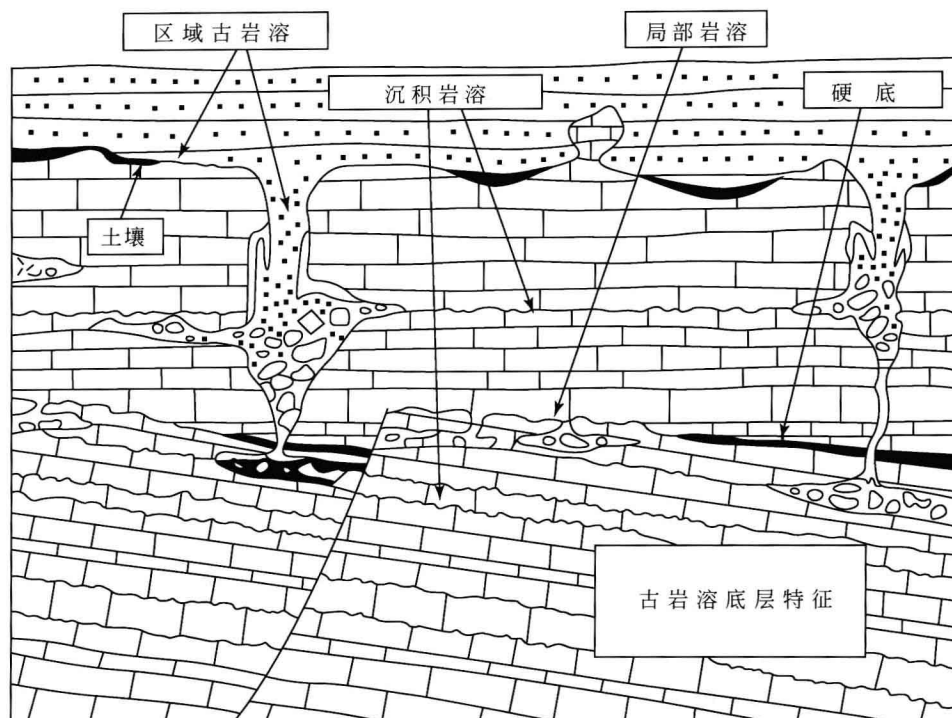


图 1.1 岩溶类型综合示意图

岩溶储层，它是碳酸盐岩遭受长期风化、剥蚀和淋滤的结果，是重要的油气储集类型。鄂尔多斯盆地中部的靖边气田马家沟组属于典型的岩溶风化壳储层。

目前，国内的学者把深部岩溶又叫层间岩溶，主要是在埋藏期，岩石受地下水的不断溶蚀、冲刷，形成了大的洞穴、溶蚀孔洞等。塔里木油田哈拉哈塘地区奥陶系发育典型的深部岩溶储层。

3. 潜山型储层

潜山型储层也是油气重要的富集类型，碳酸盐岩潜山包含着两重意思：一是山头由碳酸盐岩组成；二是现今已经埋藏于新地层之下，成为潜伏于地下的山头。该类储层一般必须具备三个基本的地质条件：一是碳酸盐岩顶面必须经过风化剥蚀，具有风化侵蚀面；二是风化顶面的局部高部位是古地貌的高点，是沉积盆地碳酸盐岩基底的凸起；三是碳酸盐岩被新的沉积物覆盖。在我国，塔里木油田轮南奥陶系、华北油田等是典型的碳酸盐岩潜山储层。

二、碳酸盐岩储层岩性分类与分布

利用测井资料计算孔隙度等参数时，不同的岩性有着不同的骨架值，因此，岩性的分类与测井识别就显得格外重要。碳酸盐岩储集层从岩性上可主要分为白云岩、石灰岩以及两者的过渡岩类三种。

按照岩石结构及成因，灰岩的具体岩性有：①亮晶粒屑灰岩（包括亮晶砂砾屑灰岩、亮晶生屑灰岩等）；②泥-亮晶粒屑灰岩（包括泥-亮晶砂屑灰岩、泥-亮晶生屑砂屑灰岩等）；③泥晶粒屑灰岩（包括泥晶生屑灰岩、泥晶核形石灰岩、泥晶球粒灰岩等）；④藻黏结粒屑灰岩（包括藻黏结生屑灰岩、藻黏结砂屑生屑灰岩等）；⑤藻纹层灰岩；⑥藻黏结岩（包括藻黏结泥晶灰岩及藻凝块岩）；⑦生物骨架礁灰岩（包括层孔虫-海绵骨架礁灰岩和珊瑚骨架礁灰岩等）。白云岩的具体岩性有：与潮坪旋回相关的白云岩、渗透回流白云岩、海水混合水白云岩、埋藏白云岩。图 1.2 是塔里木油田某井区礁滩体储层岩石类型厚度分布直方图。

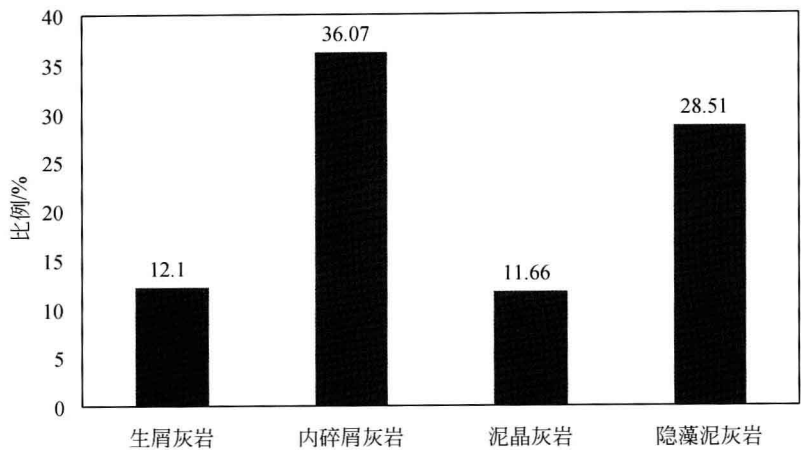


图 1.2 塔里木油田某井区礁滩体储层岩石类型厚度分布直方图

我国的碳酸盐岩储层各种岩性均有发育。如塔里木盆地的奥陶系、四川盆地的二叠系和三叠系主要发育灰岩或者白云质灰岩；塔里木盆地的寒武系、鄂尔多斯盆地的奥陶系马家沟组主要发育白云岩储层；华北油田灰岩和白云岩储层均有发育。

三、碳酸盐岩孔隙结构分类

我国碳酸盐岩储层以低孔、低渗为主，孔隙类型多种多样，原生基质孔隙及次生溶孔、溶洞、各种产状的裂缝均有发育。根据孔洞和裂缝发育情况及其在储集和渗滤中所起的作用，碳酸盐岩储集层可以划分为：孔隙型、溶洞型、裂缝型、孔洞型、缝洞型、孔缝型、孔洞缝组合型等，表 1.1 是碳酸盐岩孔、洞、缝级别划分表。

表 1.1 碳酸盐岩孔、洞、缝级别划分表（据塔里木油田研究院）

孔		洞		缝	
类型	孔径/mm	类型	洞径/mm	类型	缝宽/mm
大孔	0.5~2	巨洞	≥1000	巨缝	≥100
中孔	0.25~0.5	大洞	100~1000	大缝	10~100

续表

孔		洞		缝	
类型	孔径/mm	类型	洞径/mm	类型	缝宽/mm
小孔	0.01~0.25	中洞	20~100	中缝	1~10
微孔	<0.01	小洞	2~20	小缝	0.1~1
				微缝	<0.1

四、沉积相、组分、孔隙结构组合分类

本书对于碳酸盐岩储层的分类命名首先根据电成像测井结合常规测井划分出沉积相,然后利用测井资料确定其岩性,最后利用电成像测井、核磁共振测井识别储层的孔隙空间类型及其组合,综合以上的信息,给出最后的储层类型命名。例如,塔里木油田塔中地区良里塔格组主力产层是礁滩灰岩裂缝-孔洞型储层,长庆油田靖边地区主力产层是风化壳岩溶白云岩裂缝-溶蚀孔储层等。

第二节 中国海相碳酸盐岩储层的基本特征

我国碳酸盐岩储层勘探开发的主战场是塔里木盆地、四川盆地和鄂尔多斯盆地,不同盆地,甚至同一个盆地的碳酸盐岩储层沉积环境、构造运动的影响程度、后期改造过程等也各不相同,造成不同类型储层有着各异的地质特征和测井响应特征。本书主要从测井解释评价的角度出发,论述其储层特征。

一、塔里木盆地碳酸盐岩储层的基本特征

塔里木盆地碳酸盐岩油气藏勘探主要对象包括礁滩型、岩溶型储层,由于地层古老且埋藏较深,储层的基质孔隙度普遍很低,岩石非均质性较强,部分井部分层段地应力异常集中而造成电阻率异常增高。裂缝孔洞型储层及未完全充填的洞穴型储层产量较高,但纯裂缝型储层及孔洞型储层一般为干层或产量偏低。由于碳酸盐岩好储层具有孔、洞、缝发育及非均质性强的特点,取心收获率低,目前尚无很好的办法进行实验室饱和度测量与标定,只能采用压汞及油水相渗资料、核磁共振测井等方法对饱和度做间接标定。这样,储层的流体性质识别及饱和度的准确计算成为测井解释评价的难点。又由于碳酸盐岩的形成具有多期叠置的特点,一旦经过成岩成藏的改造,岩性段的划分与对比难度也较大。另外从油气藏特征来说,少量产水的井与所处构造高低部位没有明显的对应关系。

(一) 宏观储集空间特征

宏观储集空间包括岩心描述统计的孔、洞、缝,也包括测井资料解释的大型溶洞,例如,塔中 A 井第 3 筒心发育半充填大型溶洞,井径显著扩大、电阻率降低,表现出典型溶

洞测井响应特征。另外可见到岩溶角砾岩以及充填泥质的岩溶缝（图 1.3）。

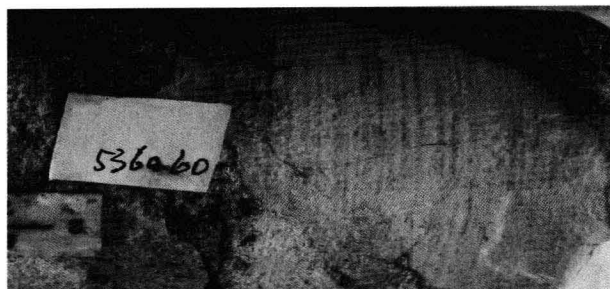


图 1.3 塔中 A 井良里塔格组上部大型溶洞底部充填特征

裂缝是塔里木油田碳酸盐岩重要储集空间，也是主要的渗流通道之一，从成因来分主要有三种类型：构造缝、溶蚀缝和成岩缝。

构造缝与区域构造活动及断裂活动有关，塔里木盆地的构造缝主要有三期：第一期形成于加里东晚期，缝细而平直，宽 $0.2 \sim 2\text{mm}$ ，为细粉晶方解石充填，其中还常见沥青。该缝往往角度较大，可见其切割层间岩溶孔洞中充填的渗流粉屑。第二期形成于海西期，以近直立的张裂缝为特征，缝宽且延伸长，岩心可见其宽达 $1 \sim 3\text{cm}$ ，延伸长达 1m ，其缝壁不平整，具溶蚀现象，有的可扩溶成溶缝和溶洞，其中为中粗晶方解石、萤石、石膏、沥青或原油充填，该期缝常切割第一期缝。第三期形成于印支—喜马拉雅期，呈斜交状、低角度—水平状以及网状，宽 $0.2 \sim 5\text{mm}$ ，扩溶现象较明显，常见沿缝分布有小型溶洞，缝内充填物少，见少量马牙状方解石和原油。

溶蚀缝主要与古岩溶作用有关，溶蚀缝一般近于直立，宽度较大， $0.2 \sim 5\text{mm}$ 常见。成岩缝主要为缝合线，是压溶作用的产物。缝合线形成于埋藏早中期，在泥晶灰岩、含泥质条带或条纹的泥晶灰岩以及生屑灰岩中最发育，缝宽 $0.2 \sim 0.5\text{mm}$ ，长 $2 \sim 10\text{cm}$ ，其中为泥质和溶蚀残余物充填，有的可见沥青，镜下可见沿缝合线发生白云石化及扩溶现象。缝合线是良里塔格组储层的重要渗流通道之一，对油气运移和产油均有一定意义。

位于陆棚边缘相带的塔中 I 号坡折带，储层均以骨架礁灰岩和颗粒灰岩为主，岩心显示其溶蚀缝洞比较发育，以塔中 B 井为例， $4732 \sim 4758\text{m}$ 井段溶洞十分发育，溶洞大小一般为 $1 \sim 5\text{mm}$ ，占所统计 239 个孔洞的 66.5% ，呈圆形、椭圆形及不规则状，大多半充填—未充填，孔洞发育段岩石呈蜂窝状，面孔率一般 $1\% \sim 2\%$ ，最高可达 10% 。

溶洞大多顺层或沿裂缝分布，显示溶洞的顺层溶蚀以及沿裂缝溶蚀有关，此外，溶洞发育段与不发育段呈层状间互分布，且孔洞主要分布在生屑灰岩段，又显示孔洞的形成与层间岩溶相关。

（二）微观储集空间特征

对塔中 I 号坡折带铸体薄片的显微镜观察显示，微观储集空间主要有粒间溶孔、粒内溶孔、晶间溶孔和微裂缝，其特征如下。

1. 粒内溶孔

在铸体薄片中出现频率较高的一种储集空间类型，孔径 $0.1 \sim 0.5\text{mm}$ （图 1.4）。