

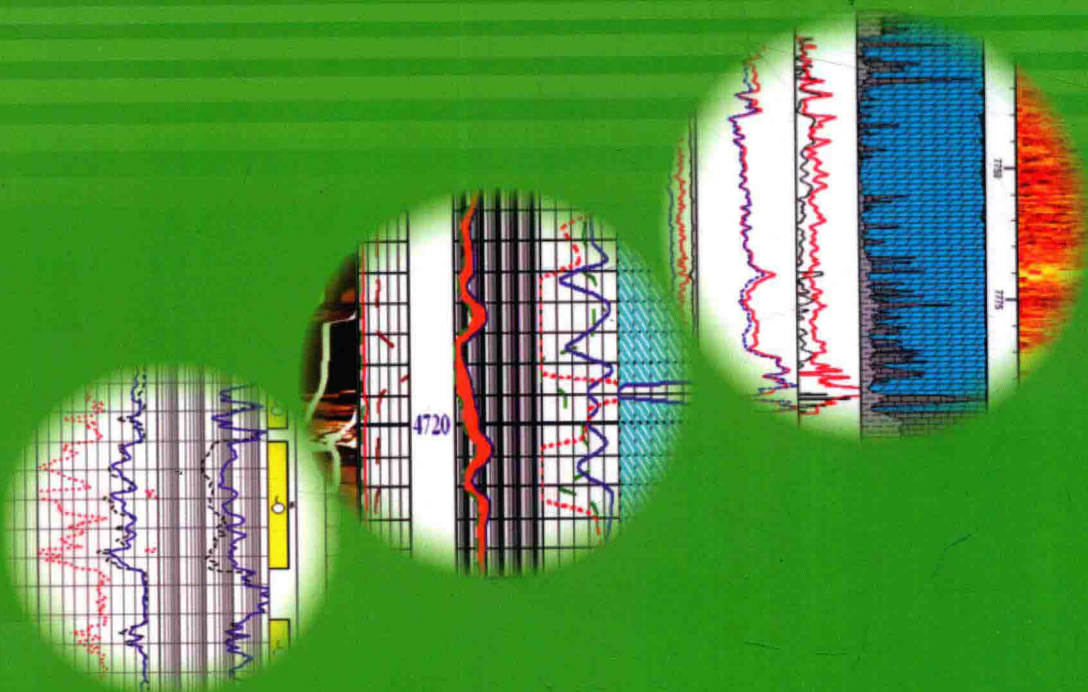


中国石油天然气集团有限公司统编培训教材

勘探开发业务分册

碳酸盐岩储层测井评价 技术方法及应用

《碳酸盐岩储层测井评价技术方法及应用》编委会 编



石油工业出版社

中国石油天然气集团有限公司统编培训教材

勘探开发业务分册

碳酸盐岩储层测井评价 技术方法及应用

《碳酸盐岩储层测井评价技术方法及应用》编委会 编



石油工业出版社

内 容 提 要

本书针对碳酸盐岩储层测井评价的重点和难点,以塔里木、四川和长庆等重点勘探开发区块为攻关靶区,以配套的岩石物理实验为基础,系统地展示了碳酸盐岩储层岩性岩相识别、储层有效性评价、流体识别和储量参数计算等方面的关键技术方法及其典型区块的应用实例,既有评价方法技术的介绍,又有现场应用效果的分析,是培训测井专业和相关学科科技人员的缝洞碳酸盐岩储层测井评价技术的重要教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

碳酸盐岩储层测井评价技术方法与应用/《碳酸盐岩储层测井评价技术方法与应用》编委会编. —北京:石油工业出版社, 2018. 5

中国石油天然气集团有限公司统编培训教材

ISBN 978-7-5183-2192-6

I. ①碳… II. ①碳… III. ①碳酸盐岩油气藏-储集层-油气测井-测井技术-技术培训-教材 IV. ①TE344

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 256626 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

编辑部: (010) 64256770

图书营销中心: (010) 64523633

经 销: 全国新华书店

印 刷: 北京中石油彩色印刷有限责任公司

2018 年 5 月第 1 版 2018 年 5 月第 1 次印刷

710×1000 毫米 开本: 1/16 印张: 20.5

字数: 380 千字

定价: 86.00 元

(如出现印装质量问题, 我社图书营销中心负责调换)

版权所有, 翻印必究

《中国石油天然气集团有限公司统编培训教材》 编 审 委 员 会

主任委员：刘志华

副主任委员：张卫国 黄 革

委 员：范 宁 胡永庆 翁兴波 王 跃

马晓峰 闫宝东 杨大新 吴苏江

张建军 刘顺春 梅长江 于开敏

张书文 雷 平 郑新权 邢颖春

张 宏 梁 鹏 王立昕 李国顺

杨时榜 张 镇

《勘探开发业务分册》 编 审 委 员 会

主 任：赵政璋

副主任：吴 奇 杜金虎 王元基 胡炳军

何江川 赵邦六 郑新权 何海清

委 员：李松泉 廖广志 穆 剑 王永祥

李国欣 汤 林 田占良 范文科

李 琤 曾少华 张君峰 刘德来

王喜双 尚尔杰 任 东 胡海燕

张守良 于博生 毛蕴才 班兴安

何 刚 苏春梅 谭 健 吴晓敬

段 红 陈 莉

《碳酸盐岩储层测井评价技术方法及应用》

编 审 人 员

主 编：刘国强 肖承文

副主编：石玉江 伍丽红 武宏亮

编 委：张承森 谢 冰 赵太平 赖 强

吴剑锋 吴兴能 张海涛 王贵文

陈伟中 刘兴礼 周 肖 贺洪举

程玉梅 齐宝权 王勇军

序

企业发展靠人才，人才发展靠培训。当前，集团公司正处在加快转变增长方式，调整产业结构，全面建设综合性国际能源公司的关键时期。做好“发展”“转变”“和谐”三件大事，更深更广参与全球竞争，实现全面协调可持续，特别是海外油气作业产量“半壁江山”的目标，人才是根本。培训工作作为影响集团公司人才发展水平和实力的重要因素，肩负着艰巨而繁重的战略任务和历史使命，面临着前所未有的发展机遇。健全和完善员工培训教材体系，是加强培训基础建设，推进培训战略性和国际化转型升级的重要举措，是提升公司人力资源开发整体能力的一项重要基础工作。

集团公司始终高度重视培训教材开发等人力资源开发基础建设工作，明确提出要“由专家制定大纲、按大纲选编教材、按教材开展培训”的目标和要求。2009年以来，由人事部牵头，各部门和专业分公司参与，在分析优化公司现有部分专业培训教材、职业资格培训教材和培训课件的基础上，经反复研究论证，形成了比较系统、科学的教材编审目录、方案和编写计划，全面启动了《中国石油天然气集团有限公司统编培训教材》（以下简称“统编培训教材”）的开发和编审工作。“统编培训教材”以国内外知名专家学者、集团公司两级专家、现场管理技术骨干等力量为主体，充分发挥地区公司、研究院所、培训机构的作用，瞄准世界前沿及集团公司技术发展的最新进展，突出现场应用和实际操作，精心组织编写，由集团公司“统编培训教材”编审委员会审定，集团公司统一出版和发行。

根据集团公司员工队伍专业构成及业务布局，“统编培训教材”按“综合管理类、专业技术类、操作技能类、国际业务类”四类组织编写。综合管理类侧重中高级综合管理岗位员工的培训，具有石油石化管理特色的教材，以自编方式为主，行业适用或社会通用教材，可从社会选购，作为指定培训教材；专业技术类侧重中高级专业技术岗位员工的培训，是教材编审的主体，

按照《专业培训教材开发目录及编审规划》逐套编审，循序渐进，计划编审300余门；操作技能类以国家制定的操作工种技能鉴定培训教材为基础，侧重主体专业（主要工种）骨干岗位的培训；国际业务类侧重海外项目中外员工的培训。

“统编培训教材”具有以下特点：

一是前瞻性。教材充分吸收各业务领域当前及今后一个时期世界前沿理论、先进技术和领先标准，以及集团公司技术发展的最新进展，并将其转化为员工培训的知识和技能要求，具有较强的前瞻性。

二是系统性。教材由“统编培训教材”编审委员会统一编制开发规划，统一确定专业目录，统一组织编写与审定，避免内容交叉重叠，具有较强的系统性、规范性和科学性。

三是实用性。教材内容侧重现场应用和实际操作，既有应用理论，又有实际案例和操作规程要求，具有较高的实用价值。

四是权威性。由集团公司总部组织各个领域的技术和管理权威，集中编写教材，体现了教材的权威性。

五是专业性。不仅教材的组织按照业务领域，根据专业目录进行开发，且教材的内容更加注重专业特色，强调各业务领域自身发展的特色技术、特色经验和做法，也是对公司各业务领域知识和经验的一次集中梳理，符合知识管理的要求和方向。

经过多方共同努力，集团公司“统编培训教材”已按计划陆续编审出版，与各企事业单位和广大员工见面了，将成为集团公司统一组织开发和编审的中高级管理、技术、技能骨干人员培训的基本教材。“统编培训教材”的出版发行，对于完善建立起与综合性国际能源公司形象和任务相适应的系列培训教材，推进集团公司培训的标准化、国际化建设，具有划时代意义。希望各企事业单位和广大石油员工用好、用活本套教材，为持续推进人才培养工程，激发员工创新活力和创造智慧，加快建设综合性国际能源公司发挥更大作用。

《中国石油天然气集团有限公司统编培训教材》

编审委员会

前言

碳酸盐岩油气藏是中国油气勘探开发重点领域之一。据不完全统计，世界上 50% 的油气储量发现于碳酸盐岩储层，60% 的油气产量产自碳酸盐岩储层。我国碳酸盐岩油气藏资源丰富，在塔里木、四川、鄂尔多斯和渤海湾等盆地均广泛分布。近年来，中国石油相继在塔里木塔中与哈拉哈塘、四川磨溪—高石梯和鄂尔多斯奥陶系等碳酸盐岩领域取得了一系列的重大发现，生产效果显著。

中国碳酸盐岩储层常具基质孔隙度低、孔隙结构复杂、各向异性强和油气水关系复杂等特点，导致测井响应特征复杂，岩性岩相识别、储层有效性评价方法与分类、流体识别、储层参数计算等方法与标准的建立难度大，且不同盆地、不同层系的碳酸盐岩储层测井评价重点与方法技术也存在较大的差异。为此，近五年来，以中国石油勘探技术攻关为平台，按照“立足重大领域、依托重点项目、攻克关键问题、形成配套技术”的原则，在中国石油勘探与生产分公司的统一组织下，采用油田、院所与属地测井公司联合协作的攻关模式，组织塔里木、西南、长庆和华北等油气田、勘探开发研究院以及川庆钻探工程公司和中国石油测井有限公司等单位开展了针对性的持续攻关，较为系统地形成了中国石油碳酸盐岩储层测井评价关键技术，这些技术主要包括：

(1) 碳酸盐岩测井系列：探井和评价井中，高精度常规测井和电成像测井为必测项目。如需发现井旁（一般 30m 以内）缝洞储集体，则可应用远探测声波测井。在井漏、井眼垮塌等井筒复杂情况下，可采用过钻杆测井方式

完成资料采集。

(2) 碳酸盐岩储层分类方法：结合储层孔洞缝的分布特点及其测井响应特征，建立了孔隙型、裂缝型、裂缝—孔隙型、裂缝—孔洞型等 4 类储层的测井评价标准。

(3) 碳酸盐岩储层岩性岩相测井图版：比对常规测井特征，分别建立了礁滩类和岩溶风化壳类碳酸盐岩的岩性岩相电成像测井图版以及不同类别储层的典型图版。

(4) 储层参数计算方法：主要包括基质、孔洞和裂缝等三重孔隙介质的孔隙度计算方法、不同类型储层的饱和度岩电参数确定方法以及电成像孔隙度谱与资料声波斯通涉波等渗透率计算方法。

(5) 储层有效性评价方法：包括三孔隙组分法、胶结指数计算值。

(6) 流体识别方法：针对不同类别的碳酸盐岩储层、油气藏特征和测井资料状况的差异性，建立了不同类型储层有效性和流体性质识别方法，如不同类型储层的交会图法、电成像视地层水电阻率谱法、中子测井挖掘效应法、中子—声波挖掘效应法以及 MDT 法等流体识别方法。

本书是中国石油近几年来碳酸盐岩储层测井评价技术攻关的阶段成果总结与提炼，较为系统地阐述了解决碳酸盐岩储层测井评价中关键疑难问题的技术方法，这些技术方法已在我国主要缝洞碳酸盐岩区块实现了规模化有效地推广应用，为中国石油“储量增长高峰期工程”和“稳定并提高单井日产量工程”提供了有效技术支撑。

全书共七章。第一章为碳酸盐岩储层主要类型及其地质特征，第二章为碳酸盐岩测井系列适应性分析与优选，第三章为缝洞碳酸盐岩储层测井岩性岩相特征与评价方法，第四章、第五章和第六章为本书重点，分别论述了缝洞碳酸盐岩储层的测井响应特征与参数计算方法、储层有效性评价以及流体识别方法，第七章为上述各章节所述技术方法在塔里木、四川和鄂尔多斯等

盆地重点勘探领域的应用实例及其成效分析。

本书在刘国强统一组织下完成编写，前后历时近两年。中国石油勘探与生产分公司和集团公司人事部先后组织了5次技术讨论会，确定编写提纲、落实责任单位和编写人、组织专家审稿。编写内容和提纲由刘国强负责。前言由刘国强编写，第一章由刘国强和王贵文编写，第二章刘国强、肖承文、伍丽红和石玉江等编写，第三章由肖承文、赵太平、谢冰和武宏亮编写，第四章由武宏亮、赖强、张承森、贺洪举和吴兴能编写，第五章由肖承文、张承森、陈伟中、吴兴能、谢冰和王勇军编写，第六章由谢冰、肖承文、伍丽红、赵太平、张承森、贺洪举和王勇军编写，第七章由肖承文、石玉江、伍丽红、刘兴礼、吴剑锋、程玉梅、齐宝权、周肖和张海涛编写，全书由刘国强与肖承文统稿。

在本书的撰写过程中，得到了中国石油勘探与生产分公司郑新权副总经理、何海清副总经理和李国欣副总地质师等指导，得到了李宁、周灿灿、赵路子、郭清滨和侯雨庭等专家帮助，塔里木、西南和长庆等油气田公司有关技术人员也给予了积极配合。在此，向给予我们大力支持及无私帮助的所有人员致以衷心的感谢！

这是一本针对性和实用性较强的关于碳酸盐岩储层测井评价培训教材，适用于测井、地质和油藏等专业技术人员以及相关专业高校师生阅读参考。限于笔者水平，书中存在的不足之处，尚请读者提出宝贵意见。



说明

本书针对碳酸盐岩储层测井评价的重点与难点问题，对中国石油近几年碳酸盐岩储层测井评价技术攻关成果进行了总结与提炼，其中所论述的技术方法已经在中国石油缝洞碳酸盐岩油气藏主要勘探开发区块中得到了规模化推广应用，生产应用效果显著。

本书内容来源于油田实践，并在生产中应用与完善，其实践性和专业性很强，涉及内容广泛，包括测井采集设计、岩性岩相特征、储层分类与有效性评价、储层参数计算和流体识别等。本书可作为中国石油集团公司油气田公司、钻探集团、测井公司和科研院所等从事油气勘探开发的测井、地质、油气藏等方面计算人员 and 大专院校相关专业师生参考使用。

培训对象主要划分为以下两类：

- (1) 专业技术人员：主要为油气田、勘探开发研究院、钻探集团、测井公司和录井公司等部门从事测井处理解释、测井设计和测井管理等技术人员。
- (2) 现场作业人员，包括测井监督、地质监督、资料审核员等。

各类人员应该掌握或了解的主要内容：

- (1) 专业技术人员：要求掌握本书第一章至第七章的全部内容。
- (2) 现场作业人员：要求掌握第一章、第二章和第三章内容，其他章节可做拓展阅读。

各单位在教学中要密切联系生产实际，培训时以课堂教学为主，还应结合各油气田地质特征与油气藏特点，加强典型实例分析、技术方法适用性评价与应用成效分析，做到技术方法培训与生产实例紧密结合，提高教学效果。

目 录

第一章 碳酸盐岩储层类型与地质特征	1
第一节 碳酸盐岩储层岩性岩相地质特征	1
第二节 碳酸盐岩储集空间类型及特征	7
第三节 碳酸盐岩储层类型与分布	16
第二章 测井系列适应性分析与优选	23
第一节 碳酸盐岩测井采集环境及测井系列优化原则	23
第二节 测井系列适用性分析	24
第三节 测井系列优选	34
第三章 测井岩性岩相特征与评价	36
第一节 电成像测井岩心标定	36
第二节 电成像测井图像特征与典型图版	40
第三节 主要碳酸盐岩储层岩性岩相特征	49
第四章 储层测井响应特征与参数计算	63
第一节 储层测井响应特征	63
第二节 孔隙度计算	71
第三节 裂缝参数计算	77
第四节 渗透率计算	90
第五节 不同类型储层饱和度评价	108
第五章 储层有效性评价	116
第一节 不同类型储层有效性分析	116
第二节 储层有效性定量评价方法	134
第三节 电成像储层有效性评价	145
第四节 储层品质级别划分及标准	151
第六章 流体类型识别	154

第一节	交会图法	154
第二节	中子测井挖掘效应法	161
第三节	中子和声波信息组合法	166
第四节	偶极横波测井识别方法	169
第五节	电成像视地层水电阻率谱流体识别方法	179
第六节	核磁共振测井 TDA 法	185
第七节	MDT 测井识别方法	187
第八节	气测比值法	190
第七章	测井评价实例	193
第一节	塔里木盆地碳酸盐岩储层测井评价实例	193
第二节	鄂尔多斯盆地碳酸盐岩储层测井评价实例	205
第三节	四川盆地碳酸盐岩储层测井评价实例	217
彩图附录		244
参考文献		309



第一章 碳酸盐岩储层类型 与地质特征

我国碳酸盐岩油气藏资源丰富,在我国南方、渤海湾盆地以及塔里木盆地等均广泛分布,经过几十年的探索,海相碳酸盐岩油气勘探取得了丰硕的勘探成果,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,海相碳酸盐岩油气勘探已经成为中国油气勘探重点领域之一。与以往均质碎屑岩油气勘探相比,碳酸盐岩储层基质孔隙度低、各向异性强和非均质性极强的三大特点使得碳酸盐岩储层测井响应特征变化尤为复杂,因此,搞清楚碳酸盐岩储层类型及其主要特征对于碳酸盐岩油气勘探工作尤为重要。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类型与分布三个方面对碳酸盐岩储层特征进行阐述。

第一节 碳酸盐岩储层岩性岩相地质特征

一、碳酸盐岩储层岩相地质特征

塔里木盆地塔中地区与四川盆地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。开阔海台地包括碳酸盐岩台地边缘礁滩亚相、台内浅滩亚相、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) 碳酸盐岩台地边缘礁滩亚相

礁(丘)亚相主要包括台地边缘生物礁亚相和台内生物礁亚相。

台地边缘生物礁(丘)亚相主要发育于台地边缘地形较高部位,常常环绕台地边缘成带状分布,是生物礁滩相储层中最理想的一类储层,在川东北

地区的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,该类生物礁受台地内部高地发育面积的限制,一般规模不大。该沉积亚相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发生沉积。

发育的主要岩石类型为砂屑灰岩,颗粒间主要为亮晶方解石胶结,可见泥晶基质填隙物,后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轮古中奥陶统一间房组第二岩性段发育该沉积微相。

(3) 鲕粒滩微相。

沉积环境为正常浅海,水动力条件较强。主要发育鲕粒灰岩。在塔里木盆地塔中 I 号坡折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该沉积微相。

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。在四川盆地川东及川东北地区的石炭系黄龙组广泛分布该沉积亚相。

(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,属低能环境。

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）。薄层状，柱状、波状、层状叠层石常见。

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和轮古地区的鹰山组和良里塔格组。

2. 岩溶相

岩溶相主要指的是碳酸盐岩沉积物在沉积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、溶解作用而形成的。这种作用会大大改善储层的孔渗条件。

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。风化岩溶作用具有多期次特点。

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。广泛分布于扬子、华北和塔里木三大克拉通地块上。典型的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白云岩和石灰岩两大类，下面将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

白云岩主要类型包括泥微晶白云岩、颗粒白云岩、结晶白云岩、藻黏结白云岩、藻纹层白云岩、岩溶角砾云岩等。

1) 泥—微晶白云岩及藻黏结白云岩、藻纹层白云岩