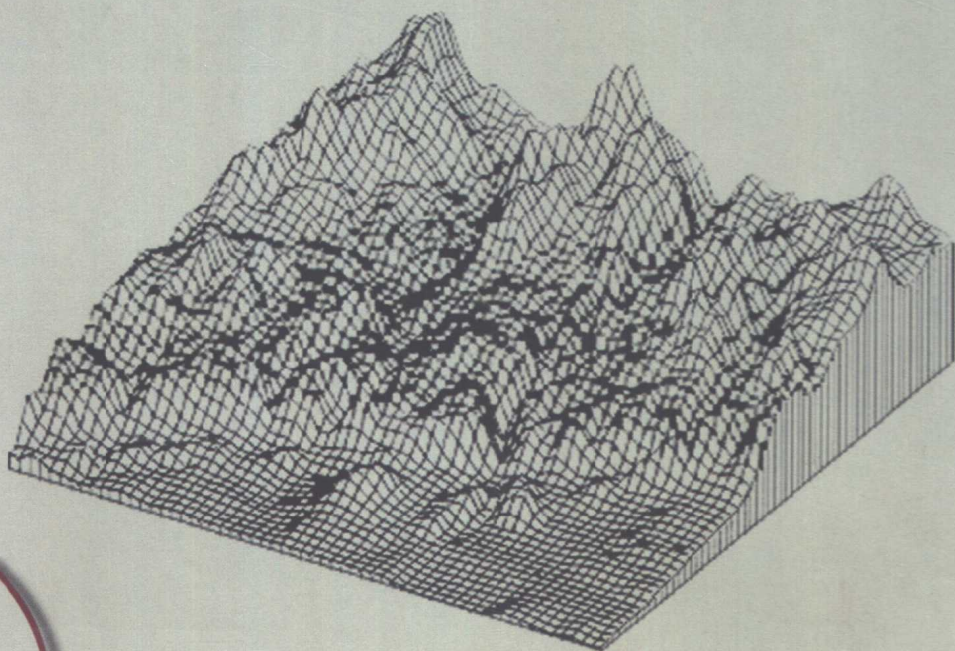


CEJING DIZHI FENXI YU YOUQICENG DINGLIANG PINGJIA

测井地质分析与 油气层定量评价

欧阳健 王贵文 吴继余 宋惠珍 等著



Petroleum Industry Press
石油工业出版社

测井地质分析与油气层定量评价

欧阳健 王贵文 吴继余 宋惠珍 著
朱筱敏 毛志强 李国平 李 军

石 油 工 业 出 版 社

内 容 提 要

本书主要介绍了测井地质学的基本框架、主要研究内容和一般工作方法。具体介绍了以测井学、岩石物理学和地质学的基本理论为指导,以各种测井资料与岩石物理实验资料为主体,并结合地质、测试等资料解决以油气饱和度为中心的油气层参数定量评价与分布规律研究的方法。并涉及测井在地层、构造、沉积、储层描述、地应力分析与裂缝性储层评价和预测等内容。适合于从事测井、地质和开发的研究人员和现场工程师参考,也适合于高等院校相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

测井地质分析与油气层定量评价/欧阳健等著.

北京:石油工业出版社,1999.6

ISBN 7-5021-2570-1

I. 测…

II. 欧…

III. ①测井-油气田地质-分析②油气藏-评价

IV. TE15

中国版本图书馆CIP数据核字(1999)第18750号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

石油工业出版社印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092毫米 16开本 19.75印张 2插页 489千字 印1—2000

1999年6月北京第1版 1999年6月北京第1次印刷

ISBN 7-5021-2570-1/TE·2085

定价:48.00元

序

近年来，在推行科学勘探的实践中；测井解释取得了长足进步。在大力开展多学科结合的地质应用中，按照测井解释的精度和勘探进程的阶段性，发展了“三个层次的测井解释技术”：即单井解释、精细解释和多井评价（包括油藏描述）。这套测井解释技术适应于各勘探阶段的需要，它是按地质的需要来做好测井解释工作。同时，它也使测井解释工作不断深化和提高，有效地提高了测井识别与评价油气层的准确度和探井的成功率。

《测井地质分析与油气层定量评价》一书是三个层次测井解释技术实践的总结与提高。该书力图按测井地质学的理论框架和丰富的测井解释与地质应用实例，总结测井解释技术的发展与趋势。在岩电实验研究及测井新方法的基础上，开展测井研究油藏中饱和度及其分布规律等精细与多井测井解释，以及指导建立合理的油藏地质模型。把单井精细解释与多井的综合评价技术结合起来，不仅能解决油气层识别及其定量评价，还可进行精细的构造与圈闭评价、沉积微相划分、区域地质分析等。从而，形成一套适应于中国复杂地质与储层的测井解释方法与技术，在科学勘探中发挥更重要的作用。

高瑞祺

1999年元月

前 言

在中国石油天然气总公司勘探局领导下，本书自 1995 年开始着手编写，目的是围绕“多学科结合提高勘探效益”为目标，充分利用各种测井信息尽可能多地解决地质问题。立足近些年国内勘探中成功的实例，并尽量按测井地质学理论来总结，以便有利于测井资料的广泛与深入应用。本书作者都是 1990 年以来承担国家和总公司科技攻关的课题负责人，虽有一定实践经验，但是限于学术水平，书中必有较多不足和错误，恳请读者指正。

本书一直得到总公司勘探局领导丁贵明局长（原）、高瑞祺局长的关注与指导，得到作者所承担攻关课题单位和课题组全体的支持，以及其它有关单位和科技工作者的合作，在此，深表感谢。

本书编写的分工如下：第一章（朱筱敏、王贵文）、第二章（王贵文、吴继余（第五节））、第三章（王贵文、李军）、第四章（李国平、王贵文）、第五章（王贵文、欧阳健）、第六章（毛志强、欧阳健（第一节））、第七章（欧阳健）、第八章（欧阳健）、第九章（吴继余）、第十章（宋惠珍、黄辅琼（第一节）、欧阳健（第二节）、宋惠珍（第三、四、五节）），全书由欧阳健统稿。

目 录

绪论	(1)
第一章 测井层序地层分析	(6)
第一节 层序的概念及其测井特征	(6)
一、准层序	(6)
二、准层序组	(7)
三、层序和体系域	(8)
第二节 层序地层的界面特征及识别	(9)
一、层序边界	(9)
二、准层序边界	(9)
三、凝缩层	(9)
第三节 测井资料的层序地层分析工作流程	(10)
一、测井层序地层学分析流程	(10)
二、单井测井层序地层分析方法	(11)
三、测井曲线变化趋势的数学分析	(11)
四、测井曲线 Milankovich 周期分析与应用	(12)
五、沉积层序的分形特征研究	(13)
第四节 应用实例	(16)
一、单井测井层序处理实例	(16)
二、基于测井层序的多井对比	(19)
参考文献	(20)
第二章 测井沉积学研究	(21)
第一节 测井相分析及地质解释模型的概念	(21)
一、测井相的定义及其内容	(21)
二、测井相标志与地质相标志的关系	(21)
第二节 岩石组合及层序的测井解释模型	(22)
一、测井曲线的一般特征	(22)
二、岩性序列特征测井解释模型	(25)
三、岩石组合(成分、颗粒大小)测井解释模型	(25)
第三节 沉积构造、沉积体结构的测井解释模型	(29)
一、倾角模式及其地质含义	(29)
二、微电导率插值环井眼成像	(30)
三、沉积构造的地层倾角测井解释模型	(30)
四、沉积体内部充填结构测井解释模型	(33)
五、塔中地区古水流研究	(33)
六、沉积构造的成像测井解释	(34)

第四节	碎屑岩测井沉积微相建模与划分	(36)
一、	关键井测井沉积亚、微相模型的建立	(36)
二、	测井沉积相剖面对比	(36)
三、	平面展布及古水流系统	(38)
第五节	碳酸盐岩测井沉积微相研究	(40)
一、	测井沉积微相划分的机理	(40)
二、	碳酸盐岩测井沉积微相划分方法	(43)
三、	测井沉积微相划分的地质效果与实例	(47)
	参考文献	(50)
第三章	测井构造地质精细分析	(52)
第一节	测井构造地质分析的一般方法	(52)
一、	测井构造地质分析的历史回顾	(52)
二、	地层倾角测井构造解释原理	(52)
第二节	褶皱构造倾角解释方法	(53)
一、	褶皱要素及形态分类	(53)
二、	地层倾角测井的褶皱解释方法	(54)
第三节	断裂构造倾角测井解释方法	(55)
一、	断层要素及形态分类	(55)
二、	地层倾角测井的断层解释方法	(56)
三、	解释实例	(57)
第四节	不整合面的倾角测井解释	(58)
一、	不整合面分类	(58)
二、	地层倾角测井的不整合解释方法	(59)
三、	实例	(59)
第五节	利用井壁成像研究地质构造	(59)
第六节	井旁复杂地质构造的精细解释	(60)
一、	井旁高陡构造的精细解释	(60)
二、	用测井资料在渤海湾下古生界首次发现逆掩断层—平卧褶曲构造	(62)
三、	TC1 井下古生界大型逆断层构造解释模式	(63)
	参考文献	(65)
第四章	烃源岩与盖层的测井研究	(66)
第一节	烃源岩的测井分析与评价	(66)
一、	烃源岩地质特征与测井响应	(66)
二、	烃源岩的测井解释方法	(66)
三、	烃源岩的测井评价参数	(69)
四、	应用实例	(70)
第二节	盖层的测井分析与评价	(71)
一、	盖层概述	(71)
二、	泥页岩盖层测井评价参数	(72)
三、	有效盖层的识别与评价	(74)

四、异常压力地层的测井分析·····	(76)
五、其它岩性盖层的测井分析·····	(80)
六、储盖组合测井分析·····	(81)
参考文献·····	(81)
第五章 储层地质与油层岩石物理研究基础 ·····	(82)
第一节 储层岩石特征及测井响应·····	(82)
一、储层岩石成分及结构的一般特征·····	(82)
二、沉积岩中主要矿物的测井响应数值·····	(83)
第二节 储集层的孔隙类型及孔隙结构特征·····	(85)
一、碎屑岩储层孔隙类型·····	(86)
二、碎屑岩储集岩的孔隙和喉道及储层评价·····	(88)
三、碳酸盐岩的孔隙类型及孔隙结构特征·····	(89)
四、研究孔隙结构的方法·····	(94)
第三节 储层的非均质性研究·····	(97)
一、储层非均质性分类·····	(97)
二、储层非均质性的一般特征及研究方法·····	(99)
第四节 油层物理与测井油气层定量评价基础·····	(101)
一、含油气层的流体饱和度·····	(101)
二、影响油层中流体饱和度的因素·····	(102)
三、油层流体的物理特性·····	(105)
四、储层的有效渗透率、相对渗透率与油气层评价·····	(107)
五、油气层的测井响应·····	(108)
参考文献·····	(112)
第六章 油气层饱和度岩石物理研究 ·····	(113)
第一节 确定油层含油气饱和度的主要方法·····	(113)
一、岩心直接测量法·····	(113)
二、毛管压力法·····	(114)
三、测井解释法·····	(116)
第二节 含油岩样的岩电实验研究·····	(117)
一、阿尔奇公式及其发展·····	(117)
二、孔隙结构与岩石电学性质·····	(118)
三、高温、高压条件及润湿性的岩电实验研究·····	(121)
四、驱替方式及流体分布对岩电实验结果的影响·····	(125)
第三节 泥质砂岩粘土附加导电性的岩石物理研究·····	(128)
一、粘土矿物及其物理化学性质·····	(128)
二、W—S模型·····	(131)
三、双水模型·····	(135)
参考文献·····	(140)
第七章 油气层饱和度等储层参数计算与岩石物理性质评价 ·····	(142)
第一节 “岩心刻度测井”解释方法·····	(142)

一、评价目标区块和前期研究	(142)
二、测井解释模型的建立	(143)
三、储层参数计算与成果检验	(146)
第二节 测井解释饱和度等参数应用实例	(147)
一、川东碳酸盐岩复杂储层参数研究	(147)
二、TZ4 油田测井储层参数与特征的测井解释模型研究	(149)
三、TZ4 油田天然水淹油层段储层参数研究	(152)
四、Y13—1 气藏岩石物理性质评价	(155)
第三节 钻井液滤液侵入油气层机理与感应测井、侧向测井响应研究	(158)
一、钻井液滤液侵入油气层感应测井响应的定量分析与研究	(158)
二、盐水钻井液滤液侵入油气层侧向测井响应的分析与研究	(162)
三、时间推移测井反演解释油气层方法	(165)
参考文献	(170)
第八章 油气层测井精细解释与储层描述	(172)
第一节 油藏中饱和度分布规律和气、油、水边界预测	(172)
一、压力平衡条件下油藏内饱和度分布	(172)
二、天然水淹油藏内饱和度分布	(174)
第二节 测井精细解释与多井解释油藏饱和度和储层分布实例	(179)
一、应用测井资料分析 Y 气田含气饱和度分布规律	(179)
二、测井多井解释油藏饱和度分布	(185)
三、精细测井解释油层建立新的油藏地质模型	(190)
第三节 低电阻率油层的测井研究	(192)
一、低电阻率油层概述	(192)
二、含少量黄铁矿的低电阻率油层	(194)
三、双组孔隙系统砂岩的低电阻率油层	(196)
四、泥质砂岩粘土附加导电形成的低电阻率油层	(198)
五、钻井液滤液深侵入(包括盐水钻井液侵入)形成低电阻率油层	(199)
参考文献	(202)
第九章 碳酸盐岩地层测井、地质、地震综合储层预测	(204)
第一节 测井、地质、地震信息结合的物理基础	(204)
一、测井与地震信息反映储层地质特征的能力分析	(204)
二、测井、地质、地震信息综合储层预测的机理与工作流程	(205)
第二节 测井对地震层位的标定方法	(213)
一、测井地震层位标定方法的内容与流程	(213)
二、测井地震层位标定方法	(214)
第三节 测井地震结合储层横向预测	(218)
一、测井多井解释建立储层横向预测骨架	(218)
二、测井刻度建立地震正演模型	(222)
三、储层厚度横向变化预测	(224)
四、储层变化横向预测	(227)

五、储层物性宏观横向变化预测·····	(230)
六、储层含油气分布范围横向预测·····	(232)
参考文献·····	(236)
第十章 裂缝性碳酸盐岩储层定量分析和预测·····	(237)
第一节 裂缝性储层的岩石力学实验与研究·····	(237)
一、储层裂缝系统的成因·····	(237)
二、裂缝系统的分类·····	(239)
三、储层岩石强度与埋深(围压)的关系·····	(240)
四、岩心裂缝观测与分析·····	(243)
五、分形方法在岩心裂缝观测与分析中的应用·····	(246)
第二节 裂缝性碳酸盐岩储层的测井定量解释·····	(248)
一、裂缝性储层与现今地应力的测井响应特征·····	(248)
二、双侧向测井裂缝响应的数值计算与解释模型·····	(252)
三、双侧向测井对裂缝性灰岩的定量解释·····	(257)
四、碳酸盐岩储层的测井评价·····	(259)
五、成像测井对裂缝性碳酸盐岩的解释·····	(260)
第三节 储层构造应力场分析·····	(262)
一、构造应力场概念与分类·····	(262)
二、构造应力场定量分析方法·····	(267)
三、构造应力场计算的地质模型·····	(270)
四、构造应力场的数值模拟或定量分析·····	(270)
第四节 奥陶系碳酸盐岩储层构造应力场数值模拟·····	(271)
一、LN 油田海西晚期构造地质模型·····	(271)
二、LN 油田海西晚期古应力计算的力学模型·····	(275)
第五节 碳酸盐岩储层构造裂缝预测·····	(289)
一、格里菲斯强度理论的一种破裂准则·····	(289)
二、储层潜在剪裂缝的识别方法·····	(294)
三、潜在裂缝表示方法·····	(294)
四、有效张应力场概念与定义·····	(294)
五、LN 油田碳酸盐岩储层裂缝预测·····	(295)
六、预测效果与检验·····	(301)
参考文献·····	(305)

绪 论

随着油气勘探开发难度的增加和测井技术的发展，在要求提高勘探开发效益目标的推动下，测井解释从传统的单井油气层识别与评价逐步发展到测井多井的储层描述与评价。它包括储层的孔隙度、渗透率、油气饱和度的精细解释及其在油藏中分布的研究，地层层序解释、沉积相解释、精细构造解释、烃源岩与盖层的识别与评价、裂缝性储层的识别与定量评价、钻井工程地质的评价等广泛的测井地质学研究领域。在积极提高油气勘探效益和努力实现多学科结合的实践中，测井资料广泛应用必将促进包括岩石物理研究的测井地质学的发展，同时，测井地质学与岩石物理研究的日益成熟又必将进一步推动测井解释的深入与广泛应用。

纵观近年来国内外油气勘探开发的实践，测井地质学在储层与油藏的岩石物理性质研究与提高可采储量方面、用测井资料分析油藏中饱和度分布规律与油藏模式研究（包括低电阻率油气层机理研究）、井旁测井精细构造解释、测井沉积微相解释、测井地应力分析、裂缝性储层的测井定量解释与分布预测、岩石力学参数计算与压力预测等应用方面都取得了长足进步。本书将在近年国内勘探经验与成功的实例基础上，力图按测井地质学的理论框架阐述上述内容。

一、关于测井地质学的讨论

“测井地质学”是利用测井资料，包括各种岩石物理实验的资料及其方法解决地质问题的科学。确切地讲，测井地质学是以测井学、岩石物理学、地质学等领域的基本理论为指导，以各种测井资料与岩石物理实验资料为主体，并结合地质、测试等资料解决以油气饱和度为中心的油气层参数定量评价与分布规律研究，涉及地层、构造、沉积、储层、油气层等石油地质及工程地质等各种地质问题的一门科学。它是地球物理测井与地质等多学科相互交叉、渗透而发展起来的边缘学科，在发展初期，它大多限于测井地质应用与定性解释，随着石油勘探与科技的发展，它将逐步形成一支应用型分支学科。

自1927年法国人斯伦贝谢（Schlumberger）在法国皮切尔布朗（Pechelbrowm）的井中成功地测量出第一条电测曲线（点测），从而开创了测井技术。我国的翁文波于1939年在四川隆昌的井中也测出我国第一条电测曲线（点测）。测井技术在50年代以横向测井为代表，60年代发展了声波与聚焦电测井（感应测井、侧向测井），到70年代发展了密度与中子测井，还有地层倾角测井与电缆式地层测试器，并采用数字磁带记录。这样，测井就不仅能反映地层的岩性、储层性质与含油气饱和度等，还可以反映沉积岩的构造、层理、压力和流体等。80年代发展了数控测井，从地层倾角测井到高分辨率地层倾角测井，后期再发展为微电阻率扫描成像测井（由一个、两个极板到四个极板），地层测试器发展为重复式多点压力测量，还有岩性密度测井（由密度测井发展而来）、碳氧比测井、自然伽马能谱测井等。进入90年代，成像测井系统逐步代替数控测井系统，它们包括核磁共振测井、井壁微电扫描成像（发展为六个、八个极板）、井壁声波成像、偶极子阵列声波、阵列感应、方位侧向等测井，以及模块式地层测试器等，还有针对大斜度井、水平井反映电性质各向异性的新型电测井方法与井周围的“三维岩石物理”研究。上述90年代的各种测井方法正处于不同程度的发展阶

段，并将跨进 21 世纪。由测井技术的发展可见，电测井方法始终是测井技术的主体，是测井识别油气层的主要技术。总之，随着测井信息日益丰富，解释与评价方法相应增加，应充分发挥测井方法多、精度高、分辨率强和连续测量的优点，提高测井解决勘探与开发中的各类地质问题的能力和充分利用测井信息的效率将成为测井地质学发展的动力。

二、测井地质学研究的主要内容

1. 基础地质研究

随着含油气盆地的油气勘探和开发的深入发展，涉及的覆盖区地层特征及展布、构造样式、沉积相展布及砂体的形态等诸多基础地质问题的综合解释都是至关重要的。应用不同测井方法，针对各种基础地质现象建立合理的测井地质解释模型，将成为覆盖区研究基础地质问题的主要手段之一。

地层

基础地质研究的首要任务是在宏观地震地质区域背景资料指导下，利用地质录井和各种测井资料进行地层层序划分与标定，建立区域统一的地层层序。通过层序地层学的理论和方法指导，力图较详尽地完善高分辨率层序地层框架和精细地层综合对比方案。确定沉积体系域，研究它们相应的各类测井响应，进行井间层序和体系域的分析，这是区域地质综合研究的基础，也是测井地层综合解释的目的。常用的方法诸如：用自然伽马能谱测井划分海相、陆相不同的沉积地层，用电缆式地层测试器的压力剖面划分地层，用声波与电阻率测井对欠压实泥岩地层或不整合界面进行识别，地层倾角测井对不整合面反映更加清楚，利用自然伽马、自然电位等测井对砂岩颗粒大小与旋回具有的相关性划分沉积旋回。

地质构造样式

测井资料可提供全井段的精细地层产状信息，根据地层倾角测井与成像测井为主的测井资料进行井旁测井精细构造解释，修改和重新编制构造图和油藏剖面图，这对理顺勘探开发过程中的圈闭要素至关重要。此外，对油气层内的微构造解释、构造样式研究均是测井地质学主要研究的内容。

地应力与裂缝分析

以构造应力场理论分析为指导，依据测井资料对井旁地应力大小与方向进行分析，并对储层裂缝的产状、张开度（裂缝孔隙度）、裂缝密度等定量解释与评价，包括裂缝发育规模、期次、角度与组合关系规律，可研究其形成机理，从而，与地质构造背景研究相结合，建立地质和数值模型进行裂缝分布预测。用测井解释地应力的研究成果可用于研究现代地应力对裂缝性地层的改造（改善或改差），以及研究油气的运移和聚集。

测井沉积学研究

包括区域沉积相和小层沉积相两种规模的研究，前者是在勘探和评价阶段，后者是在油气田开发阶段。在充分了解区域地质背景的基础上，利用常规数控测井实现岩性、岩相解释，利用倾角测井和成像测井进行沉积构造序列的重建和解释，并确定古水流方向等沉积古地理标志是测井的巨大优势。利用自然伽马能谱等地球化学测井研究地层中粘土及微量元素的类型、含量等对沉积环境的研究有其特殊作用。

2. 石油地质研究

石油地质是以生、储、盖、运、聚、保为中心内容的综合性应用学科，传统上，测井解释主要限于对储层与含油气层的物性与含流体性质进行评价。近年来，测井解释已逐步发展到建立在岩石物理研究基础上的储层描述与评价。它包括储层的孔隙度、渗透率、油气饱和

度的精细解释，并从油气藏出发研究其分布规律，并结合测井地质学的分析建立合理的油气藏模型。测井对油气藏与储层的参数计算及其分布规律的研究是其它资料无法取代的，对盖层的测井解释与评价也取得了很大进展，对生烃层、运移、聚集等的测井分析也都已取得了一定的研究成果。

测井解释饱和度的岩石物理研究（岩电实验与研究）

测井解释饱和度方法是近十年来研究取得重大进展的一个方面。岩石物理学家认识到，只有深入了解影响岩石导电的各种控制因素及其物理机理，才能建立适用的测井评价饱和度的模型。围绕以阿尔奇公式为基础的饱和度评价模型，在孔隙结构及油气在孔隙中分布、粘土的附加导电性、油藏温度、压力和润湿性等对油气层电学性质的影响等方面进行了大量研究。目前，用测井解释法与毛管压力法计算油气藏饱和度方法，已是国际石油公司的常规作法。我国的大量实践也已证明了这一技术日趋成熟，它将会进一步推动油气藏与储层的岩石物理研究的发展，提高勘探效益。此外，由于大斜度井、水平井钻遇层状非均质储层，电测井面临电各向异性介质（其水平与垂向电阻率相差较大），其岩石物理实验与研究及测井响应模型与算法都是目前正在研究的热点。

测井多井储层描述（岩石、孔隙及其流体系统）与评价

测井多井储层描述与评价是以测井为主，并立足地质与岩心多学科结合，描述岩石、孔隙及其流体系统的综合过程。对粒间孔隙为主的油气层，测井解释饱和度的方法与应用主要有以下几方面内容：（1）质量可靠的数控测井；（2）半渗透隔板法毛管压力测量及与之联测的岩电实验、质量可靠的压汞资料；（3）目的层段关键取心井的储层地质分析与深入的岩石物理研究，并建立精细的测井解释模型；（4）“岩心刻度测井”技术，包括钻井液浸泡油气层对电测井的影响的岩石物理经验校正，精确计算饱和度为主的各项储层参数；（5）分析油藏中储层与饱和度分布规律及预测气、油、水界面等；（6）测井分析油水过渡带长度，即最小含油圈闭与圈闭含油气丰度；（7）探索以多井测井解释为框架，标定和约束地震，对复杂储层进行预测。

低电阻率油气层机理研究与解释

电测井是识别油气层最主要的方法，可是，油藏中存在低电阻率油气层，一般指它与相邻水层比较，其比值小于2，甚至小于1（即比水层电阻率还低）。较好油、水层电阻率的比值一般大于3，显然，低电阻率油层给测井解释油气层带来很大困难。在要求提高勘探效益的形势下，对低电阻率油层的研究与准确解释十分重要。对于岩性均匀的砂岩，当油层电阻率愈接近水层时，其含油饱和度愈低。一般情况，油层电阻率的降低是与砂岩颗粒变细、泥质含量增加、物性变差、孔喉变小、含油饱和度减小、产油能力降低等相关联的。对于粘土附加导电引起的低电阻率油层，它与粘土的性质与含量等有关。对于非均质油层，例如粒间孔隙-裂缝双重孔隙系统、极薄层中-细砂岩与粉砂、泥质粉砂岩的间互层形成双组孔隙系统，或由于沉积后期成岩作用形成微孔隙与大孔隙分布的不均的双组孔隙系统等。这种复杂的孔隙系统由于钻井液侵入裂缝、大孔隙，或细粉砂、微孔隙等高束缚水等因素引起测井在探测范围内平均测井电阻率降低，而裂缝与大孔隙部分则可能有高含油饱和度，从而形成高产油流。砂岩含少量导电矿物（黄铁矿等）形成低电阻率油层，测量高频电磁场（20kHz）的感应测井电阻率将受影响而降低，甚至低到与水层相同或更低。对用低频电流工作的侧向测井，一般来说，其影响不大。盐水钻井液深侵入形成低电阻率油气层，渤海湾的滩海与海上，大都用海水配制钻井液，其矿化度为30000~40000mg/l以上， N_m 、 N_g 的地层水矿化

度一般为 4000mg/l 左右, 仅为钻井液的八分之一或更低, 如果钻井液性能较差或浸泡时间较长, 则会使其测井电阻率大幅度成倍降低, 甚至为原状的三分之一或四分之一。尤其对于油藏高度不高的油层, 以及上述低电阻率油气层, 这一现象将更加严重。此外, 开发区或扩边井, 由于产油层的压力下降形成钻井液深侵入, 从而造成低电阻率油气层, 其钻井液侵入深度不可低估。最近, 对渤海湾地区滩海及陆上低幅度油藏的调查, 发现低电阻率油层的储量约占三分之一, 可见, 对它的研究与解释十分重要。

盖层与烃源岩的测井评价

盖层质量对于油藏, 特别是气藏的保存十分重要, 测井研究泥岩盖层, 主要解释其总孔隙度、有效孔隙度、渗透率、含砂量、厚度与突破压力等参数, 近年来, 立足盖层样品的岩石物理实验与研究, 并用测井识别有效盖层并进行等级划分取得较好进展。应用测井资料识别与评价烃源岩, 并计算有机质岩的有机碳等生油指标参数, 例如 $\Delta\lg R$ 技术等。

3. 钻井、油藏工程地质应用

测井解释的现代地应力可用于钻井的井壁稳定性研究、油藏内注水井的设计与调整。测井计算岩石力学参数及粘土成分可用于钻井可钻性、钻井液设计与平衡钻井研究, 提供合理防止井漏, 以及设计压裂与改造油层合理压裂参数。测井计算地层孔隙压力与地震的叠前深度偏移处理的速度资料结合用于预测超压地层, 实现平衡钻井, 也用于研究盆地的压力系统。测井对固井质量检测与强度计算可为试油、酸化、压裂改造油层, 以及油井的配产、注水等油藏工程提供基础参数。

三、测井地质学研究的一般工作方法

测井地质学工作方法的核心是“地质刻度测井”, 或称“岩心刻度测井”, 针对地质任务建立精细解释模型。例如, 油气层储层参数、复杂储层的孔—缝—洞的定量描述、盖层与生烃层评价参数、地层与层序划分、井旁构造、目的层沉积微相、地应力、孔隙压力等地质任务。其工作目标应集中在解决勘探区岩石、孔隙及其流体系统内的问题, 以及所钻遇的有关地层、构造、沉积、工程地质等各种难题。如果在目标地区用测井地质学研究成果得到对以往地质模型或地质认识的更正或修改, 那么, 勘探效益就会提高。同时, 测井地质学的成果也是油藏描述的重要组成部分, 它应和地质、地震、油藏等进行交叉、渗透与结合, 相互印证, 从而, 得到最优成果。

测井地质学一般遵循下述工作流程:

1. 区域地质分析

充分了解目标区内地层、构造、沉积、生储盖层性质及其组合、工程地质等基础资料。初步研究区内主要存在的地质问题与关键难题, 以及测井地质学可能研究与解决的问题。

2. 钻井岩心和野外露头的观察与岩石物理实验

岩心和野外露头的观察与岩石物理实验是测井地质学的基础。通过岩心、地质录井及露头地质资料以及测井资料的初步分析可得到诸如地层、层序、岩石成分、结构、构造、沉积相组合、生储盖层性质与组合、工程地质等大量第一性资料。由此, 可以初步建立地层层序、岩性组合、井旁精细构造、沉积微相、油气层分布、生储盖组合、裂缝与地应力等概念模型。岩心样品的各种岩石物理实验, 包括物性(孔、渗等)、饱和度(包括束缚水饱和度、油气饱和度、相对渗透率等)、孔隙结构、岩石矿物、粘土矿物、电学、核磁共振、电化学、力学等, 为研究提供了测井地质学定量分析的基础。再加上测井与地质、油藏、岩石物理领域内的新理论、新方法的定量分析与数值计算, 这样, “测井地质学”就形成了立足岩心与

岩石物理实验与研究，以测井资料为主多学科结合的半定量与定量处理与解释方法。

3. 数据准备

包括测井资料、地质、岩石物理实验与分析的准备和预处理。针对不同的地质任务，整理测井资料，包括图与磁带、各项地质图件与数据、各项有用的岩石物理实验与研究的数据，特别对关键井的各项资料应收集齐全准确，所有数据和图都要输入数据库。对于某些岩心还可用特殊光学扫描仪器把它的图像转换为数据输入计算机，可单独或与成像测井结合进行复杂孔隙结构储层的精细解释、井旁构造解释、沉积微相解释、地应力与裂缝发育精细定量解释等。

测井预处理包括测井质量检验、曲线编辑、深度对齐、斜井测井曲线垂深校正、必要的测井环境校正、测井曲线标准化等，电测井的钻井液侵入校正是一项岩石物理研究综合性工作可在“岩心刻度测井”项目中进行。

4. “地质刻度测井”或“岩心刻度测井”

这是一个广义的概念，涉及测井储层描述与测井地质解释的各阶段，体现了测井地质学的基本工作方法，即立足地质、岩心与岩石物理实验与研究，建立精细的测井储层与地质解释模型。这个环节是通过地质与岩心精细地观测和科学的岩石物理实验研究（包括先进而实用的实验方法与理论、测井方法与理论及其数据处理），建立储层性质、岩心的地质事件和测井响应的精确关系，这是测井地质学研究的关键。这一工作是反复优化的过程，最终成果也同样需用地质、岩心、测试等资料检验。

5. 测井地质学处理与解释

测井地质学处理是在“地质刻度测井”或“岩心刻度测井”基础上进行，处理过程要注意的是有关计算参数的选择研究，同样要遵循“立足地质实际”和不断进行优化的原则。在测井与地震相结合时，特别要注意测井地质学基础与不同分辨率的匹配研究。

测井储层描述与测井地质解释在三个层次测井解释（它与勘探进程同步）单井测井解释、精细测井解释、多井测井解释中，按不同勘探程度和占有资料的多少进行。关键是要解决油气藏中饱和度与储层物性分布规律与所碰到的地质难题，提出改进的油藏地质模型。

6. 地质目标评价

通过针对地质目标的各种测井地质评价参数、综合编图，阐明地质目标的控制因素及分布规律，为勘探开发提供可靠依据。

第一章 测井层序地层分析

近年来,层序地层学获得了突飞猛进的发展,从根本上改变了地层对比的观念和原则。层序地层学建立了一整套概念体系与技术支撑体系,其思想精华表现为综合利用露头、岩心、测井和地震资料进行地层空间构型分析与准层序叠置样式研究。地震地层技术是层序地层学发展的基础,地震方法识别出的地层界面被认为具有等时性意义,可以用来建立等时性地层格架。因此,利用地震资料进行地层划分与对比的地震地层学发展很快。相比之下利用测井信息进行层序地层学研究很少。当前层序地层学正朝着高分辨率方向发展,而地震资料的分辨率已不能满足实际需要。测井信息的分辨率远高于地震资料的分辨率。测井与地震、生物地层及同位素测年资料结合可以建立高分辨率的年代层序地层框架。

测井资料在层序地层学研究中的作用在于:

(1) 测井资料特别是高分辨率地层倾角测井资料,在纵向上有极高的分辨率,利用这些资料可研究地层产状和宏观沉积特征及构造特征,研究储层内部岩性和沉积相特征、分析不整合特征。另外成像测井可更清晰地分析沉积地层的沉积属性。

(2) 测井资料可使地层的纵向划分和横向对比定量化。在纵向上使用测井资料可对全井段进行高精度、连续定量地分析,反映垂向地层的堆叠型式;在横向上,测井曲线定量反映地层的岩性与组合特征,有利于地层横向对比,分析地层侧向加积过程和形态。

(3) 通过“岩心刻度测井”、“测井标定地震”,建立二维、三维地质体的形态。

(4) 选择具有不同基本原理与不同探测深度的测井曲线,建立相应的“测井相”,分析沉积环境和沉积层序。

第一节 层序的概念及其测井特征

根据 Haq (1988) 和 Van Wagoner (1990) 等的观点,层序具有不同地质年代的周期级别。较小级别的自旋回单元,如鲍玛序列、河流沉积韵律层、决口扇沉积序列等。沉积动力学主要根据环境能量变化,对其成因过程进行合理的解释,岩相古地理学通过建立相模式,描述了它们在空间上的分布特点。故较小级别的地层单元应属于沉积学的研究对象。大级别地层单元的成因,根据地球动力学条件变化解释比较合理,这是构造地质学的研究任务。层序地层学的关键思路之一,就是根据沉积空间增长速度与沉积物供给速率的关系分析地层层序基本特征,这一思路适合于分析研究中等级别的地层单元,所以层序地层学的重点研究对象应当是层序、准层序组和准层序(也可叫做副层序组和副层序,下文同)等中等级别的异旋回单元。

一、准层序

1. 准层序的概念

准层序是一套以海水洪泛面或与其可对比的界面为界的、相对整合的、彼此有成因联系的地层或地层组。准层序由层组、层、纹层组和纹层组成。陆相沉积的准层序是以沉积间断面或小的湖侵面为界的一套地层组。

2. 准层序的特征

按层序地层学观点，准层序发育初期沉积空间突然增大，也就是说准层序边界是一个沉积空间突变面（亦即一个沉积间断面）。Walther 相律指出：“只有那些成因相近且横向上紧密相邻而发育的相，才能在垂向上依次叠覆出现而没有间断。”反过来说，如果横向上不可能紧密相邻发育着的两种相，因环境快速变化而在纵向上叠覆出现，则这两种沉积物之间的接触面就是沉积间断面。实际上，在很多例子中，并距相隔数公里的各井之间湖相泥岩和海相泥岩均是可对比的，这一现象也充分说明了这种研究思路的正确性。

如图 1-1 所示，准层序边界之上沉积空间突然增加 ($\Delta V_a \gg \Delta V_{ss}$)，使 F_1 相（如湖相泥岩）分布范围向源快速迁移越过 F_2 相（如三角洲相）原先的分布范围，在近源部分直接覆盖在 F_3 相（如河流相）之上，形成沉积间断。但是在实际应用中单纯依据界面上下

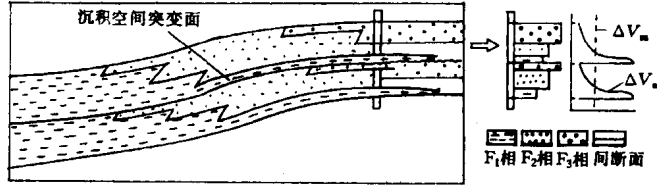


图 1-1 沉积相快速迁移与沉积空间突变面

相类型判断接触关系能识别出的沉积间断面是有限的，以沉积间断进行全井段准层序级划分几乎不可能。所以，通常根据相序组合关系划分准层序，把纵向上沉积相演变趋势相同的多个砂层和泥岩层的组合作为一套准层序，而准层序边界是相序演变趋势的不连续面。

有三种沉积机制可形成准层序边界，第一种机制是河流改道引起水深相对快速增加；第二种机制是断陷作用引起海平面相对快速上升；第三种机制是海平面升降。

大多数准层序是进积的，即时代越来越新的砂岩层组的远端是在越来越朝盆地深处的方向沉积下来的。这种沉积型式造成了向上水体变浅的沉积相组合。也有一些准层序是加积或退积的，这与构造背景和沉积环境有关系。

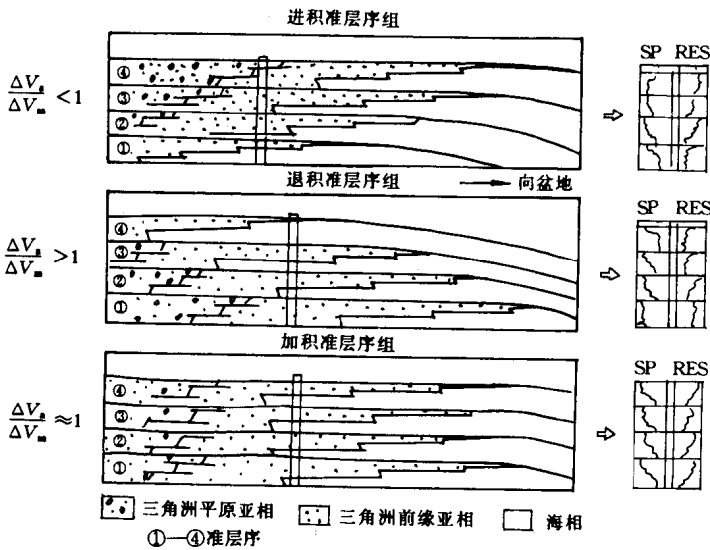


图 1-2 准层序组分类模式图

值。图 1-2 所示表示了这些准层序组堆叠型式。在进积准层序组中，越朝盆地方向前进，

二、准层序组

1. 准层序组的概念

准层序组是指由成因相关的一套准层序构成的、具特征堆叠型式的一种地层序列，其边界为一个重要的海泛面和与之可对比的面。在一定沉积条件下，准层序边界和准层序组边界可以和层序边界一致。

2. 准层序组的类型

按准层序组中准层序的堆叠型式可把准层序组分为进积的、退积的和加积的三种准层序组，具体取决于沉积空间增长速度与沉积物供给速度的比