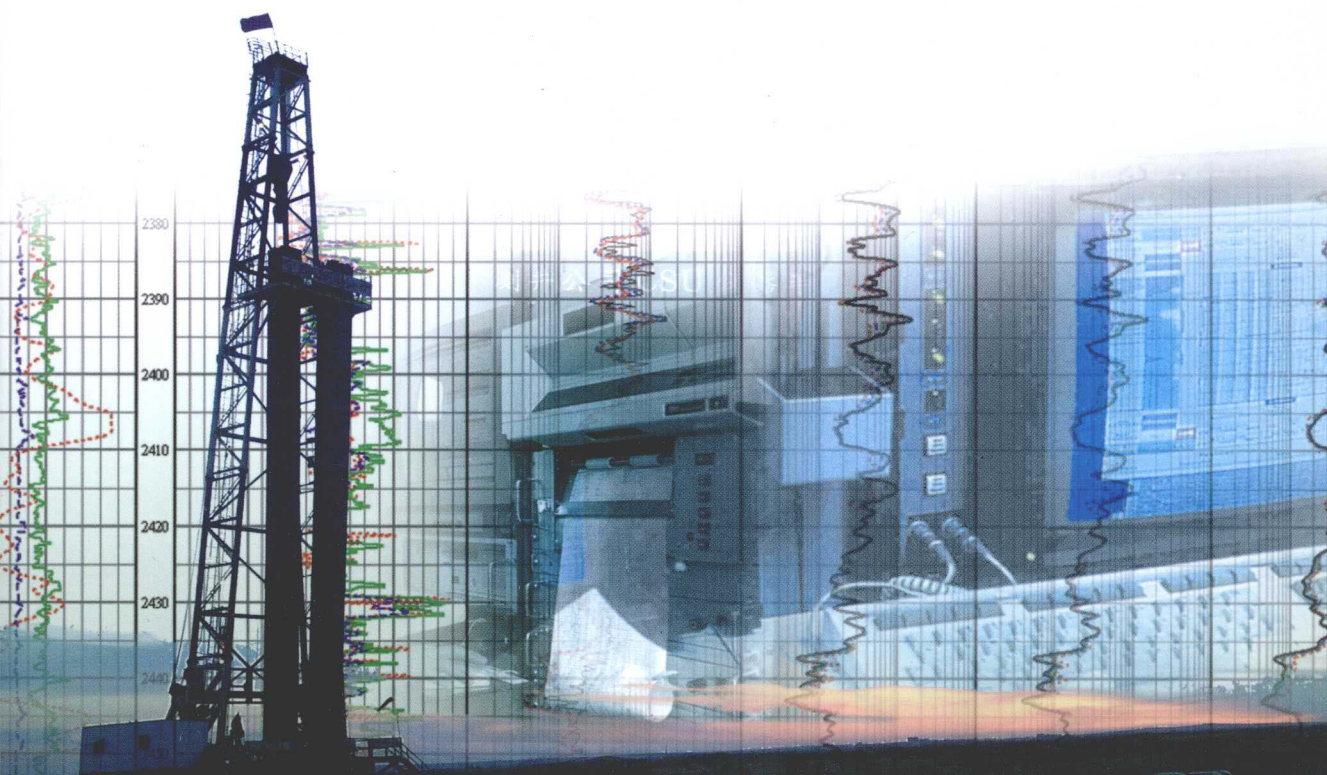


高等学校教材

测井资料处理与解释

赵军龙 主编



石油工业出版社
Petroleum Industry Press

内 容 提 要

本书遵循地质约束测井、测井服务于地质及开发的原则而编写，主要内容包括绪论、测井资料预处理、碎屑岩储层评价、碳酸盐岩储层评价、火山岩储层测井评价、剩余油和水淹层测井评价、油藏描述技术简介等七大部分。

本书供勘查技术与工程、资源勘查工程专业本科生，地球探测与信息技术、矿产普查与勘探及地质工程专业硕士研究生教学使用，也可供油田测井地质科技工作者使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

测井资料处理与解释/赵军龙主编.

北京:石油工业出版社,2012.1

高等学校教材

ISBN 978-7-5021-8854-2

I. 测…

II. 赵…

III. 油气测井—地质解释—高等学校—教材

IV. TE151

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 269971 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) 64251362 发行部: (010) 64523620

经 销: 全国新华书店

印 刷: 石油工业出版社印刷厂

2012 年 1 月第 1 版 2012 年 1 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 13.5

字数: 334 千字

定价: 25.00 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

前 言

测井技术一般包括测井方法原理、测井仪器与数据采集、测井资料处理与解释三大部分。测井资料处理与解释就是对测井信息进行加工处理,遵循地质约束测井、岩心刻度测井原则,将测井信息较为合理地转化为地质信息,以实现测井服务于地质和开发的目标。测井资料处理与解释的核心问题就是储层评价和油气层评价。

“测井资料处理与解释”是勘查技术与工程专业本科生,地球探测与信息技术、矿产普查与勘探及地质工程专业硕士研究生必修的一门重要的专业课程。通过本课程学习,要求学生掌握测井资料处理与解释的基本概念、基本原理和方法,并能结合常见的碎屑岩剖面、碳酸盐岩剖面和火山岩剖面开展测井资料处理解释、储层测井评价工作。

本书是按照“测井资料处理与解释”教学大纲要求,学习和借鉴了前人的教学和科研成果,基于多年的教学实践和相关研究成果而编写的。主要内容包括绪论、测井资料预处理、碎屑岩储层评价、碳酸盐岩储层评价、火山岩储层测井评价、水淹层和剩余油测井评价、油藏描述技术简介等7个部分。全书注重测井与地质相结合,突出测井资料处理与解释的实用性、系统性和理论性。

本书由西安石油大学赵军龙、谭成仟、杨双定、刘之的、李新胜共同编写。具体编写分工为:第一章由谭成仟、赵军龙编写;第二章由赵军龙、李新胜编写;第三章由赵军龙、谭成仟编写;第四章由赵军龙、杨双定编写;第五章由刘之的、赵军龙编写;第六章由赵军龙、李新胜编写;第七章由赵军龙编写。全书由赵军龙担任主编,负责统稿和定稿工作。

本书的出版得到了西安石油大学第四批教材建设专项基金的资助。在本书编写过程中,编者得到了西安石油大学有关领导、专家的支持与帮助,在此表示真诚的谢意!

特别向本书所参考、引用的成果和内容的专家同仁表示衷心感谢!

由于作者水平和认识有限,本书中不足之处,欢迎批评指正。

编 者
2011年3月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 测井资料处理与解释的内涵和发展	1
第二节 测井资料处理与解释的任务	3
第三节 测井资料处理与解释系统的组成	6
思考题与习题	9
第二章 测井资料预处理	10
第一节 测井曲线的深度校正	10
第二节 测井曲线的平滑滤波	13
第三节 测井曲线的环境影响校正	17
第四节 交会图技术及应用	19
思考题与习题	25
第三章 碎屑岩储层评价	26
第一节 碎屑岩储层的地质特点及评价要点	26
第二节 油层、气层和水层的快速直观解释方法	37
第三节 岩石体积物理模型及测井响应方程的建立	44
第四节 统计方法建立储层参数测井解释模型	54
第五节 测井资料处理与解释中常用参数的选择	59
第六节 POR 分析程序的基本原理	66
思考题与习题	72
第四章 碳酸盐岩储层评价	73
第一节 碳酸盐岩储层的基本特征	73
第二节 碳酸盐岩储层的测井响应	80
第三节 碳酸盐岩储层测井评价方法	91
第四节 CRA、NCRA 分析程序的基本原理	107
思考题与习题	111
第五章 火山岩储层测井评价	112
第一节 火山岩储层的基本特征	112
第二节 火山岩储层的测井响应特征	127
第三节 火山岩储层测井解释方法	138
思考题与习题	164
第六章 水淹层和剩余油测井评价	165
第一节 水淹油层的地质和测井响应特征	165
第二节 常规测井资料评价水淹层技术	171
第三节 剩余油测井评价方法	178
思考题与习题	184

第七章 油藏描述技术简介..... 185

第一节 油藏描述的概念及内容..... 185

第二节 测井资料的标准化和归一化..... 188

第三节 关键井研究技术..... 195

第四节 地层划分与对比技术..... 198

第五节 测井相分析方法..... 203

思考题与习题..... 206

参考文献..... 207

第一章 绪 论

第一节 测井资料处理与解释的内涵和发展

一般地说,地球物理测井属于信息科学的范畴,其理论、方法和技术总成即为测井学。测井学主要包括测井方法原理、测井仪器与数据采集、测井数据处理与综合解释等既相互联系又相互区别的三大部分。测井数据处理与解释,就是按照预定的地质任务,用计算机对测井信息进行分析处理,并综合地质、录井和生产动态等资料进行综合分析解释,以解决地层的划分问题、油气储层和有用矿藏的评价问题以及勘探开发中的其他地质与工程技术问题,并将解释成果以图件或者数据表的形式直观显示出来。它是测井学中最后的、也是直接体现技术经济效益的重要组成部分。

一般而言,测井信息包括基于不同物理基础的测井响应信息(测井数据),如电阻率、自然电位、声波速度(声波时差)、岩石体积密度、岩石中子减速及俘获信息等。测井信息综合解释与数据处理的成果,如岩性(岩石矿物成分)、泥质含量(粘土含量)、孔隙度、渗透率、含油气饱和度、岩石强度参数等,可统称为地质信息。确定测井信息与地质信息之间应有的关系,采用正确的方法把测井信息加工转换成地质信息,这是测井数据处理与解释的核心。

自测井技术诞生以来,随着测井方法和仪器设备的进步,数据处理与解释技术也有了巨大的进展。应用范围也在不断扩大。概括地说,测井资料处理与解释成果可以用于4个方面,即储层评价、地质研究、工程应用和提供自然条件下岩石物理参数。从储层评价的角度来看,测井解释技术的发展,大体经历了以下几个发展阶段:

第一阶段,只拥有普通电极系电阻率法(或称视电阻率法)和自然电位法等少数几种方法,测量仪器和设备都不完善,测量结果受井眼条件等影响很大。测得的是视电阻率等参数,根据这些视电阻率参数,对储层只能做出定性估计。通常将1927年9月5日斯伦贝谢兄弟在法国Pechelbron油田测得第一条电阻率测井曲线作为现代地球物理测井的开端。在我国,地球物理测井是以1939年翁文波在四川石油沟1号井完成的工作为起点。

第二阶段,研究出了一套由视电阻率变换成地层真电阻率的方法(即所谓横向测井方法),同时对于电阻率和储层储集参数和饱和参数的关系有了初步认识(Archie, 1942)。这样就可以进行初步的定量解释。但是,从视电阻率求地层真电阻率的方法只适用于一些简单的理想地层和井筒情况,由于还缺少确定孔隙度和岩性的手段,所以这一阶段定量解释范围和精度是很有限的。

第三阶段,从20世纪50年代后期开始,陆续产生了一些贴井壁、聚焦和井眼补偿的电测井方法和仪器,如感应测井、侧向测井和各种形式的微电阻率测井,它们受井眼条件和邻层影响较小,能直接反映地层导电性变化,在有利条件下能直接测定地层电阻率和侵入带电阻率。特别是提出并完善了一组孔隙度测井方法后,如声波测井、中子测井和密度测井。这

样，在评价储层油气饱和度时可以更好地考虑岩性和孔隙度影响。解释精度得到进一步提高，在多数情况下可获得较准确的定量解释结果。

第四阶段，到 20 世纪 70 年代初，对于各种物理参数和储集参数及饱和参数之间的关系有了进一步认识，建立了更接近实际储层特征的多种解释模型。在计算机的帮助下，综合多种地球物理测井数据，通过解释可以定量求得岩石矿物成分、储集参数、饱和参数和可采油气数量等，并且以需要的形式显示出来。

上述 4 个阶段，可以概括为定性解释阶段、半定量解释阶段、定量解释阶段和综合分析阶段。

随着勘探领域的不断扩大，新的、更复杂情况也在不断出现，推动着测井技术和测井解释技术不断向前进步。目前，测井数据处理与解释一方面针对非均质地层出现的新测井技术，不断完善单井储层评价方法；另一方面在向多井或盆地评价，以及从评价储层静态特征向评价储层动态特征发展。在向这一新的阶段的过渡中，将需要进行更广泛的综合，不仅要充分运用测井数据所包括的各种有用信息，而且要地质、地面地球物理勘探、实验室分析和油井测试等多种信息进行综合。

纵观测井技术的发展，测井方法理论、测井仪器设备和测井资料处理与解释技术这三者是互相推动、相辅相成的。例如利用测井资料评价油气储层技术，从定量解释阶段进入综合分析阶段，和数字记录技术与电子计算机技术的应用有着直接关系；从半定量解释阶段进入定量解释阶段，和一组孔隙度测井方法的出现以及聚焦电阻率测井的应用是紧密相关的。因此，既要注意改进对现有测井数据的处理与解释技术，又要注意吸收新的参数进入综合解释系列。

测井数据处理与解释是一个系统分析方法，它应是严密的和可重复的，其一般步骤可以概括如下：

- (1) 资料汇集。除测井资料之外，还要收集有关地质、钻井、录井和试油等动态生产资料。
- (2) 对原始测井数据的质量进行检查。
- (3) 对测井数据进行环境校正等预处理，力求井中地球物理测井参数准确可用。
- (4) 进行初步定性解释。
- (5) 选择或建立解释模型。
- (6) 确定解释参数。
- (7) 计算储层的储集参数和饱和参数，或计算解决有用矿藏及其他地质问题的必须参数。
- (8) 提出解释结论。

既然测井信息一般都是地质特征的一种非直接反映，则由这种间接性所带来的模糊性以及自身所隐含的多解性，使得测井资料解释本身就是一种对地质特征的推理、演绎和还原的过程。因此，要得到符合实际的结果，必须重视研究测井信息与地质特征之间的定性与定量关系。其中最直接、最基本的方法，是以岩心、岩屑分析以及试油试采的实际数据与测井数据建立某种定性与定量关系，从而赋予测井数据以某种直接的地质含义（例如地层的岩性、储集性和所含流体的性质等）。通过建立一系列经验关系式或理论模式，形成测井地质分析的最基本方法。随着计算机技术的进步和广泛应用，把测井数据处理与解释推向一个新的高度。

因此，要很好地掌握测井解释技术，必须首先弄清哪些是有用信息，这就要求对相邻学科有较多的了解，有比较开阔的视野。事实上，提取有用信息的技术，不少也是从相邻学科中借用的。所以，从事地球物理测井资料处理与解释的人员，要不断注意相邻学科的发展，不断吸取有益的东西，以丰富现有的测井资料处理与解释的方法。

第二节 测井资料处理与解释的任务

由于地质条件的复杂性、随机性和强烈的地区性特点，随着勘探和开发程度的加深，现有的测井资料处理方法与解释模型不断迎接挑战，内容不断发展和完善。因此，测井资料处理与解释的实践过程也是一个研究过程。就油气勘探开发而言，测井资料处理与解释有诸多用途。概括起来有以下4个方面。

一、地层评价与油气分析

地层评价与油气分析是以单井裸眼井地层评价形式完成的，包括单井油气解释与储层精细描述两个层次。前者的目的是对本井做出初步解释与油气分析，即划分岩性与储层，确定油、气、水层及油水界面，初步估算油气层的产能，尽快为随后的完井与射孔决策提供依据。后者的目的在于对储层的精细描述与油气评价，主要内容有：岩性分析，即计算地层泥质含量和岩石主要矿物成分；计算储层参数，如孔隙度，渗透率，含油气饱和度、含水饱和度，已开发油层（水淹层）的剩余油饱和度和残余油饱和度、泥质含量及油气层有效厚度……等等。地层评价与油气分析是可综合评价油、气层及其产能，为油气储量计算提供可靠的基础数据。

二、油藏静态描述

油藏静态描述是以多井测井评价形式完成的，将多井测井信息同地质、地震、开发等信息结合，做综合分析评价。油藏静态描述的目的是以油气藏评价为目标，提高对油气藏的三维描述能力，重现储集体的时空分布原貌。油藏静态描述的主要内容有：测井、地质（岩心、录井）、地震等信息间的相互深度匹配与刻度，地层和油气层的对比，研究地层的岩性、储集性、含油气性等纵、横向的变化规律；研究地区地质构造、断层和沉积相以及生储盖层；研究地下储集体几何形态与储集参数的空间分布；研究油气藏和油气水分布规律，计算油气储量，为制订油田开发方案提供大量可靠的基础地质参数。

三、油井检测与油藏动态描述

在油气田开发过程中，通过油井检测与油藏动态描述研究产层的静态和动态参数（包括孔隙度、渗透率、温度、压力、流量、油气饱和度、油气水比等）的变化规律，确定油气层的水淹级别及剩余油气分布，确定生产井的产出剖面 and 注入井的注入剖面以及它们随时间的变化情况，监测产层的油水运动状态、水淹状况及其采出程度，确定挖潜部位，对油气藏进行动态描述，为单井动态模拟和全油田的油藏模拟提供基础数据，以制订最优的开发调整方案、达到最大限度地提高最终采收率的目的。

四、钻井和采油工程

在钻井工程中，测量井眼的井斜、方位和井径等几何形态的变化，估算地层的孔隙流体压力和岩石的破裂压力及其梯度，确定下套管的深度和水泥上返高度，检查固井质量，确定井下落物位置、钻具切割等；在采油工程中，进行油气井射孔，检查射孔质量、酸化和压裂效果，确定出水、出砂和窜槽层以及压力枯竭层位等。

虽然测井信息在油气勘探开发中有着十分广泛的应用，但是地层评价是它最基本的应用。这不仅因为地层评价是要解决油气勘探开发中最核心的问题（即寻找油气层与评价它们的产能），而且还因为它提供的结果是油气藏静态和动态描述及其地质、工程应用的基础信息。对于石油勘探开发而言，地层评价主要是指岩性评价、物性评价、含油气性评价及产能评价等4个方面。

确定测井信息与地质信息之间应有的关系，一般是通过建立适当的解释模型来完成的。所谓测井解释模型，是指人们对测井信息与地质信息的客观关系，在理论分析、实验研究和数据统计中有所认识以后，把这种关系抽象成一种为人们易于理解的形象。建模的方法和模型的类型也是多种多样的。广义的模型是指人们对测井信息与地质信息之间关系的形象化描述；而狭义的解释模型是一种用数学物理方法简化的地层模型（如常用的纯岩石模型与泥质岩石模型）。依据这类模型，可以导出一些表征测井信息与地质信息数量关系的解释方程，又称为测井响应方程。常用的解释模型，通常是指这种简化的地层模型。鉴于测井信息与地质信息关系的复杂性以及具有强烈地区性的特点，人们还广泛采用数理统计方法，将岩心分析数据和生产测试等实际数据直接同测井信息建立地区统计解释模型。实质上，这是应用实际地质信息对测井信息进行的分析刻度。这种地区统计解释模型又称为地区经验解释模型，它能较好地适应本地区的特点，因而这种建模方法在实际工作中得到了广泛应用，具有重要的实用意义。

有了正确的解释模型，即可用有关的解释方程把测井信息加工成地质信息。这种把测井信息加工转换成地质信息的方法就是测井数据处理和解释方法。这些解释方法，按计量的程度可分为定性解释、半定量解释和定量解释；按操作的方法可分为人工解释和计算机自动处理解释；按解释的地点场所和采用解释方法的难易程度，可分为井场解释、测井站解释和计算中心解释，或者仅按难易程度分为快速直观解释和定量解释；按解释精度与评价范围，可分为单井初步解释与油气分析、单井储层的精细描述与油气评价、多井评价与油藏描述等3个层次。

应当指出，目前多达数十种的测井方法均有自身的探测特性和适用范围，每种测井信息都是地层某一种物理性质或物理参数的反映，都是从某一侧面间接地反映地层的地质特性，因此每种测井信息都具有间接性的特征。同时，井下地层的地质情况又很复杂，如岩石种类多，孔隙结构复杂多变，孔隙流体性质和含量各不相同，加之测井仪器测量时不可避免地要受到井眼环境因素的影响，因此不同的地层很可能在某种测井曲线上具有相同的显示，而同类地层在某一测井曲线也可能具有不同的显示。这些不仅增强了测井信息的间接性，而且更易引起测井解释时在认识上的模糊性与多解性。这种间接性、模糊性与多解性往往是造成测井解释不准的基本原因。因此，测井解释是一种对地质特性的推理和还原过程。为了避免测井解释的多解性，一方面要根据预定的地质任务，选择几种合适的测井方法组成组合测井系列，应用适当的解释方法，从多种物理特征综合分析和认识地层的地质特性；另一方面还

要将测井同钻井、取心、录井、地层测试等其他来源的地质信息结合起来，综合分析判断才能做出符合客观实际的地质解释。尽管我国目前已广泛应用计算机自动解释油水层，解释人员的综合分析仍然是必要的。综合分析是测井数据处理与解释中最基本的方法，应贯彻始终，尤其最后做出地质结论时最为重要。

根据测井在油气勘探开发中的应用，组合测井系列可分为3种类型：一是裸眼井地层评价测井系列；二是套管井地层评价测井系列；三是生产测井系列。每类测井系列所包括的测井方法和仪器的类型也是随地区地质特征与地质任务而变化的，同时还受技术经济条件的制约。因此，应根据预定的地质任务、测井的地质条件（如岩性剖面和储层类型等）和井眼条件（如淡水钻井液与盐水钻井液）以及各种测井方法的探测特性和适用范围，按照既能最佳地完成预定地质任务，又能获得最佳的技术、地质—经济效益的原则，选择适当的测井方法和仪器组成适合于本地区的组合测井系列，这是搞好测井数据处理与解释最基本的前提条件。

测井数据处理与解释中最重要、最核心的问题无疑是油气层评价，它包括两方面内容：一是确定储层产出流体的性质；二是评价油气层的质量，即产层的储渗性能及生产能力。油气勘探开发的长期实践证明，测井是发现和评价油气层最重要、最有效的手段。这正是测井学科得以生存与发展的最重要的动力。尽管测井在油气评价方面，过去和现在均起着巨大的作用，成为当前测井地质应用中最基础、最有价值的重要技术，但是，目前测井解释的油气评价能力仍有限，而且面临着巨大的挑战。如在低孔隙度、低渗透率、低电阻率、低含油饱和度、富含泥质及特殊矿物的砂岩、砾岩、复杂岩性地层和裂缝性储层等地层的油气评价中，仍存在着许多解释不准、判断不灵的情况，影响这些地区油气勘探的效率与成功率。因此，测井分析家当前面临的最重要的任务仍然是要从理论与实践相结合上进行深入研究，进一步建立更有效的评价油气层的解释技术。

在信息与计算机的推动下，测井解释从人工解释发展到计算机自动处理解释与解释成果的自动直观显示；从定性解释、半定量解释发展到定量解释；从个别层段人工解释到全井段连续自动处理解释以及人机交互联作；从单井评价到多井评价与油藏描述；从单纯地层模型到完善的复杂的地层模型，直到大量应用数理统计、多元分析、最优化、模糊数学、神经网络、人工智能以及数据库、计算机图形与图像处理技术等，从而提高了解释精度，扩大了解释成果的应用范围，促进了解释理论和方法的发展，推动了测井数据处理与解释软件的蓬勃发展，并形成了单井测井评价、单井精细解释、多井测井分析与油藏描述等3个层次的测井解释软件系统。

近年来，我国测井处理解释技术进步很快，建立了4种具有特色的处理解释技术，即单井处理解释技术、多井处理解释技术、油藏（或气藏）描述处理解释技术和特殊处理解释技术，并且开发出许多测井处理解释软件，形成软件包。进入20世纪90年代，我国正在发展测井处理解释工作站，在各油田逐步推广应用。当前，测井解释学正在两个方面形成技术突破力。在微观方面，以油气评价为目标，向着精细研究与描述储集体内部的地质特性方面发展；在宏观方面，以油气藏综合评价为目标，立足于地学工作平台，着眼于提高油气藏的三维描述能力，重视储集体的时空分布原貌与直接模拟。因此，测井解释学已成为资源评价与油气藏管理的重要手段。

计算机技术的广泛应用把测井资料综合解释推向了一个新阶段，各种解释模式的不断积累和解释模型的不断丰富、完善，各种数学模型的引入为测井数据处理开辟了有

效的途径，即促使测井解释由识别型向评价型发展；由数据离散型向连续的图形、图像发展，以利于显示层内及层间地质特性的变化，提高了测井信息自身的还原能力和测井与测井信息间的综合能力，通过交互方式，有可能获得最佳解释结果。总之，计算机技术在测井解释中的普遍应用，扩展和加深了测井资料地质应用的领域，也为今后测井新技术的发展提供了有利条件。但是也应看到，测井数据处理并不能完全取代测井资料综合解决地质问题的能力。必须将测井数据处理同综合解释结合作综合分析，才能得出正确的综合地质结论。

可以设想，随着智能计算机的诞生与应用，测井资料综合解释与数据处理必然发展为完整的知识工程系统，将测井分析家、地质学家、地球物理学家、油藏工程师的知识、经验、推理及判断能力编入知识工程系统中，增强处理系统自动解题的能力。这无疑可以提高以地层评价为目标的单井处理功能，增强以关键井研究、多界面为主的多井解释系统的完整性；丰富以资料评价为目标的三维建模技术；拓宽以搞清油气藏的特征为目标的油藏描述技术，完全实现以分析油气藏生产特征和最大限度提高采收率为目标的油气藏数值模拟技术，使测井资料综合解释与数据处理在高效率、低成本，高效益、低风险的石油勘探开发综合技术中充分发挥应有的作用。

第三节 测井资料处理与解释系统的组成

测井数据处理系统是以统一的数据库管理为基础，以测井信息为主，并充分利用地震、地质、钻井、试井等信息，运用各种现代技术解决勘探开发问题的硬件与软件总成，其总体结构如图 1-1 所示。

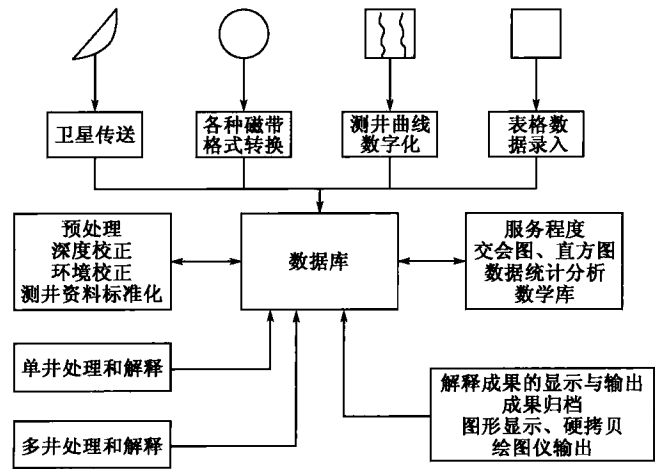


图 1-1 测井数据处理系统（据雍世和等，2007）

测井由手工解释进展到计算机处理解释，由定性解释进展到定量解释，是测井技术在油气勘探中进步的重要标志。目前，我国各油田测井公司都建立了测井处理解释中心。采集的测井数据通过计算机处理解释，提取有用的测井信息，并转换成岩石物理学参数和地球化学参数，用于评价油气藏，解决油气勘探中的地质和工程问题。

一、单井处理解释技术系统

在测井处理解释技术中，单井处理解释技术是基础。单井处理解释的目的是评价储层，发现油气藏。必须指出，多井处理解释技术、油藏描述处理解释技术和特殊处理解释技术都是在单井处理解释技术基础上发展起来的。做好单井处理解释工作，是测井处理解释的一项主要任务。

目前，我国油气勘探中使用的单井处理解释程序系统，概括起来有：

(1) 预处理程序系统：包括野外测井磁带编辑程序、野外磁带数据转换程序、深度校正程序、斜井校正程序、环境校正程序、质量控制程序等。

(2) 信息提取程序系统：包括从测井数据中提取储层岩石物理参数信息的程序、从测井数据中提取纵波与横波以及斯通利波信息的程序、从电缆式地层测试数据中提取地层压力和流体密度信息的程序、从声波和密度测井数据中提取地层岩石弹性模量和破裂压力信息的程序、从核能谱测井数据中提取地球化学元素信息的程序、从测井视信息中提取测井真信息的程序等。

(3) 解释程序系统：包括“双水”法解释程序、优化解释程序、判别法解释程序、模糊数学解释程序、模糊聚类解释程序、复杂储层解释程序、多功能解释程序、人工智能解释程序等。

(4) 成果显示程序系统：包括曲线绘图程序、交会图程序、裂缝方向频率图程序、图像直接显示程序、彩色绘图程序、全波列图像显示程序、解释结果显示程序等。

测井解释程序系统用于评价探井油气层，提倡探井科学解释，即评价油气层要提出科学依据，排除多解性。测井解释是一门科学，而不是一门艺术。

必须指出，“阿尔奇公式”奠定了测井解释油气层的理论基础、架起了孔隙度测井与饱和度测井之间的桥梁。该公式的核心内容是结合孔隙度、把测量的岩石电阻率转换成饱和度，根据饱和度解释油气层。由于在测井解释实际工作中，油气层岩石电阻率背景值 R_0 是不能直接测量的，一般根据已知的岩石孔隙度和地层水电阻率转换求取油气层岩石电阻率背景值 R_0 。除了测井质量和井眼环境引起测井解释的多解性外，确定的油气层岩石电阻率背景值 R_0 不匹配，也容易引起测井解释探井油气层的多解性。为了解决这个问题，必须加强岩—电实验研究。

二、多井处理解释技术系统

在勘探中发现油气藏以后，探井井数越来越多。对探井测井资料做多井处理解释，可以研究油气藏储层参数的区域分布。多井处理解释是从油气藏区域出发，以测井资料为主要手段，应用岩心分析刻度测井，最终获得评价油气藏的储量及其产量参数。我国油气勘探中使用的多井处理解释程序系统，概括起来有：

(1) 基础资料评价程序系统：包括测井预处理程序、数据整理程序、深度归位程序、关键井研究等。

(2) 测井环境校正程序系统：包括井眼校正程序、侵入校正程序、深度校正程序、刻度标准化程序等。

(3) 岩石物理性质程序系统：包括数据匹配程序、确定储层参数程序、绘制解释图版程序等。

(4) 成果与检验程序系统：包括单井处理解释成果程序、确定有效厚度程序、敏感性误差检验程序等。

(5) 多井等值线图程序系统：包括饱和度等值线图程序、孔隙度等值线图程序、渗透率等值线图程序、有效厚度等值线图程序、油气储量等值线图程序、油气产量等值线图程序等。

由多井处理解释技术获得的储层参数等值线图，可以广泛地用来解释油气藏的区域分布特征，寻找油气有利聚集地带，指导油气勘探和开采。

三、油藏（或气藏）描述处理解释技术系统

油藏描述有几种模式：勘探阶段的油藏描述（又称早期油藏描述）和开采过程中的油藏描述以及静态油藏描述、动态油藏描述。

当前，我国开展的油藏描述是静态油藏描述以测井资料为主，结合地展、地质、试采等资料，描述油藏形态、沉积特征、油气水关系和储量的三维空间分布，指出油气富集区和高产带，用于指导油藏合理勘探和开发。必须指出，勘探阶段油藏描述处理解释技术与开采过程中油藏描述处理解释技术基本相同。它们之间的区别在于勘探阶段井少，通过少量井的油藏描述，预测油藏形态和储量的三维空间分布，合理布置井位，减少投资、提高勘探效益；开采过程中井多，通过多井油藏描述，搞清油藏形态和储量的三维空间分布，找出油气富集区和高产带，指导油田合理开采和科学管理，提高开发效益。实际上，油气田从勘探到开采，都要进行油藏描述。

油藏描述技术是“七五”国家重点科技攻关项目。目前，油藏描述处理解释技术形成了一套油藏描述软件包：

(1) 关键井研究软件：包括测井预处理软件、测井质量控制软件、环境校正软件、测井刻度标准化软件、解释模型研究软件、储层评价软件、参数研究软件等。

(2) 单井处理解释软件：包括单井常规处理解释软件和优化处理解释软件等。

(3) 多井处理解释软件：与多井处理解释程序系统相同，包括测井与地震结合处理解释软件、数据库软件、测井相软件（包括地层倾角处理软件、岩相识别软件、井间对比软件、沉积环境分析软件等）、图形显示软件等。

四、特殊处理解释技术系统

当前，我国油气勘探中正在推广应用的测井特殊处理解释技术有：裂缝识别测井处理解释技术、特殊用途的测井处理解释技术（如水平井测井处理解释技术、特殊岩性油气藏测井处理解释技术、薄层处理解释技术、地应力方向处理解释技术等）。

总之，这些特殊处理解释技术形成了软件包，根据油气勘探的需要，可以任意选用。进入 20 世纪 90 年代后，我国油气勘探中的测井处理解释技术，建立了 3 个层次的测井处理解释系统：

(1) 现场处理解释系统，直接使用数控测井仪中的计算机或计算机工作站处理解释测井数据。

(2) 测井公司计算中心处理解释系统，运用专用计算机或计算机工作站处理解释测井数据。

(3) 油田或研究院计算中心处理解释系统，使用大、中型计算机或工作站处理解释测井

数据。

在 3 个层次的测井处理解释系统中，都要使用计算机工作站。因此，人机联作计算机工作站在我国测井处理解释技术中占有重要的地位，它是我国测井处理解释技术的发展方向。

思考题与习题

1. 测井资料处理与解释的内涵是什么？
2. 测井资料处理与解释的任务有哪些？
3. 测井资料处理与解释系统由哪些部分组成？
4. 简述测井资料处理与解释的一般流程。

第二章 测井资料预处理

测井曲线深度与幅度的准确性是保证测井解释结果可靠的前提。在测井数据处理的逐点计算中,计算机严格地按采样间距连续逐点取出同一深度的各种测井数据来定量计算。因此,对测井曲线深度和幅度的准确性更有十分严格的要求。然而,由于野外测井作业和测井环境许多随机因素的影响,即使采用数控测井及严格的技术措施,同一口井各测井曲线之间深度的一致性往往难以实现,各测井曲线幅度又不可避免地要受到许多非地层的环境与测量因素的影响。因此,在用计算机对测井数据作定量计算之前,必须对原始测井数据进行预处理。通过各种校正与处理,尽可能地消除各种随机干扰和非地层因素的影响,使校正后的同一口井的测井曲线均有准确的深度值与深度对应关系,并尽可能真实地反映地层及其孔隙流体的性质。测井数据预处理是测井解释与数据处理的一项基础工作,它是保证测井解释与数据处理结果精度的重要前提。测井数据预处理主要包括模拟曲线数字化、测井曲线深度校正、环境影响校正和测井曲线标准化等。

对模拟曲线的预处理问题首先是曲线数字化的问题。传统的模拟曲线的数字化是由数字化仪来完成的。数字化仪的种类很多,就其采样方式,可归纳为等时(等时间间隔)采样与等距(等深度间隔)采样两类。目前,在高校院所及油田模拟测井曲线数字化工作中,大多采用“两步走”来完成模拟曲线的数字化。第一步对模拟曲线进行扫描,采用高精度的宽幅扫描仪器对模拟曲线或者测井曲线蓝图进行扫描,获得 JPG 或者 TIF 格式的图像;第二步运用专门的软件对扫描结果开展图形识别,亦即测井曲线的数字化。

对于不同来源的测井数据文件,由于数据格式不同,需要有针对性地开展测井数据文件的读取。常见的测井曲线格式主要有 TXT 格式、716 格式、SK88 格式、WIS 格式等。采用适当的数据管理程序或者测井解释系统,可以完成相应的测井数据读取工作。

第一节 测井曲线的深度校正

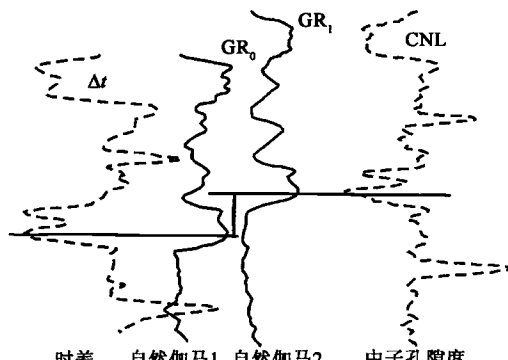
在测井过程中,由于井眼情况、各种下井仪器的重量及几何形状、仪器与井壁的接触情况(如仪器贴井壁、带扶正器或推靠器)、电缆性能、测井速度以及操作方法等原因使下井仪器在井内的运行状况不同,引起各次测量时电缆受到的张力也不同,加上井口置零、井底摩擦力校正不当等原因,都会导致测井深度发生偏差,特别是会使同一口井的各条曲线之间产生不同程度的深度错动。实测曲线在深度上的偏差主要是在某些井段上发生深度扩展、压缩或线性移动。如果直接应用这些深度有偏差的曲线进行数据处理,不仅使解释井段变厚、变薄或错位,而且计算的地质参数也不准确,甚至可能得出错误的结论。因此,对测井曲线进行深度校正,使同一口井所有的测井曲线之间有完全一致的深度对应关系,以满足数据处理对深度的严格要求,这是测井数据预处理中极为重要的环节。测井曲线深度校正主要包括同一口井各条测井曲线的深度校正与对齐,以及斜井的垂直深度校正。

一、用深度控制曲线进行深度校正

国外测井公司一般运用自然伽马（GR）曲线作为深度控制曲线，即每次测量都带测一条 GR 曲线，并以某次测量 GR 曲线的深度为基准，把各次测量的曲线深度对齐。

同一次测量的曲线（包括带测 GR 深度控制曲线），只要由组合的每种仪器记录点所计算的深度延迟量和预置正确，所测曲线的深度就是一致的。不同次测量曲线间的深度错动量，只要将各次带测的 GR 曲线进行对比就能确定，进而将它们的深度对齐。这种方法的优点是不同次测量的 GR 曲线的相关性好，能提高深度校正的可靠性。

图 2-1 是这种校正方法的示意图，该方法常用于在井场车载计算机屏幕上进行深度校正与编辑。



时差 自然伽马1 自然伽马2 中子孔隙度
图 2-1 用深度控制曲线 GR 作深度校正
(据《测井学》，1998；雍世和等，2007)

二、用相关函数进行深度校正

同一口井的测井曲线间普遍存在着一定的相关性。处理人员可选择某一纵向分辨率高、特征标志明显、质量好的曲线作为基准曲线，通过相关对比分析，按解释井段分别确定其他测井曲线相对于基准曲线的移动量，再用手工方式或计算机软件实施深度移动，以达到同一口井各条曲线的深度对齐。这种人工相关对比确定多条曲线的深度移动量的方法效率很低，现常采用计算标准化相关函数方法，用计算机自动确定各条曲线相对于标准曲线的深度移动量。标准化相关函数为：

$$C(t) = \frac{\sum_{i=k+1}^{k+n} (x_i - \bar{x})(y_{i+t} - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=k+1}^{k+n} (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=k+1}^{k+n} (y_{i+t} - \bar{y})^2}} \quad (2-1)$$

式中 x_i ——基准曲线 x 在对比长度上的第 i 个采样点值；

$\bar{x}$ ——在相关对比井段上基准曲线 x 的平均值， $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=k+1}^{k+n} x_i$ ；

y_{i+t} ——对比曲线 y 上，第 $i+t$ 个采样点值， $i = (k+1) \sim (k+n)$ ；

$\bar{y}$ ——相关对比井段内，对比曲线 y 的平均值， $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=k+1}^{k+n} y_i$ ；

n ——对比长度（窗长）内基准曲线的采样点数；

k ——探索长度的一半所对应的采样点数；

t ——对比时曲线 y 相对于基准曲线 x 左移或右移的采样点数， $t=0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm k$ 。

探索长度 SL 是指两条曲线对比时，对比曲线 y 相对于基准曲线 x 移动的最大距离。一般而言，它按略大于曲线间最大深度错动距离的两倍来选定。对比长度（窗长） WL 是用于进行对比的曲线段长度，它等于处理井段的长度减去探索长度。

在作相关对比时，将基准曲线 x 的一个深度段固定，移动对比曲线 y ，求出对比曲线 y

在各个位置时的相关函数值，并找出相关函数的最大点，该点位置即可认为是两条曲线对比最好的位置。这两条曲线在此位置上的深度差，即为对比曲线 y 相对于基准曲线 x 所需的线性深度移动距离。重复上述过程，依次用第 3，第 4， $\dots$ ，第 n 条曲线与基准曲线的线性深度移动距离。然后，用专用程序进行曲线深度校正，使各曲线的深度对齐。

三、测井曲线压缩与伸展

对测井曲线的某些层段的深度进行压缩或扩展，就是平常所说的深度平差。例如，对比

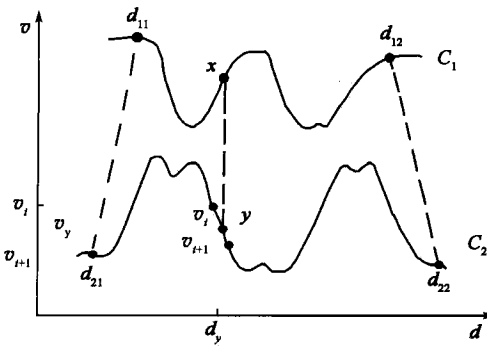


图 2-2 测井曲线压缩示意图

(据《测井学》，1998；雍世和等，2007)

曲线某一组段的顶、底深度间隔 $d_{22}-d_{21}$ 大于基本曲线同一组段间的深度间隔 $d_{12}-d_{11}$ ，这时就应将 $d_{22}-d_{21}$ 间的测井数据压缩到与 $d_{12}-d_{11}$ 相同的深度间隔内；反之，就应将对比曲线某一组段内的测井数据，通过增大采样间隔的办法，将曲线进行扩展。

以深度压缩为例说明。如图 2-2 所示，曲线 C_1 为基准曲线，曲线 C_2 为对比曲线， v 为曲线幅值。经对比，曲线 C_2 深度为 $d_{21} \sim d_{22}$ 层段的曲线部分与曲线 C_1 深度为 $d_{11} \sim d_{12}$ 层段的相当，深度之间有 $|d_{22}-d_{21}| > |d_{12}-d_{11}|$ ，

应对 $d_{21} \sim d_{22}$ 层段的 C_2 曲线作压缩处理，进行这种深度平差的基本步骤如下：

(1) 首先在曲线 C_2 上找出 $\frac{d_x - d_{11}}{d_{12} - d_{11}} = \frac{d_y - d_{21}}{d_{22} - d_{21}}$ 与曲线 C_1 采样深度 d_x 相对应的深度 d_y ，因为

$$d_y = d_{21} - \frac{d_{22} - d_{21}}{d_{12} - d_{11}}(d_x - d_{11}) = d_{21} - K(d_x - d_{11})$$

故

$$K = (d_{22} - d_{21}) / (d_{12} - d_{11}) \tag{2-2}$$

式中 d_{11} 、 d_{12} 、 d_{21} 、 d_{22} 通过曲线对比来确定， d_x 由 C_1 上选定。

显然，转换系数 $K > 1$ 。

(2) 根据 d_y 从曲线 C_2 的测井数据中找出点 y 前后相邻的采样点 $(i, i+1)$ 的测井值 v_i 、 v_{i+1} ，利用线性插值方法算出点 y 的测井值 v_y ，有：

$$v_y = v_i + \frac{v_{i+1} - v_i}{d_{i+1} - d_i}(d_y - d_i) \tag{2-3}$$

(3) 用逐点计算方式逐次移动 d_x ，并由式 (2-2)、式 (2-3) 分别求出相应的 d_y 及 v_y ，以便得到经压缩处理后的正常曲线。

曲线的深度扩展是深度压缩的逆过程，此时转换系数 $K < 1$ 。

四、斜井曲线校正

对于定向斜井的测井资料，斜井曲线校正工作是必不可少的。斜井的深度校正程序已植入到了现有的测井解释系统中。在工作中也可以人工编写相关程序，开展斜井曲线的校正工作。这里简要介绍斜井曲线的校正原理及方法。

校正方法是把斜井按井斜角的变化情况分为若干段，每个井段上井斜角的变化率为常