

宋子齐 谭成仟 著

灰色理论 油气储层评价



石油工业出版社

灰色理论油气储层评价

宋子齐 谭成仟 著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书以精细评价油气储层为目标,从现场实际资料入手,系统地阐述了灰色理论精细评价油气储层的原理、方法与分析软件。重点论述综合运用测井、地质和试油等信息,以定量方式和最大限度地应用计算机手段,对油气储层进行精细评价和综合解释。通过多个不同类型油藏的具体应用和典型实例,阐明了精细评价和自动分析处理解释所取得的成果、进展、特点及计算机系统,并详细地介绍了这一评价技术的校正方法、处理过程和应用效果。

本书可供从事石油、地质、煤田等专业的技术人员和高校师生阅读,也可供工程技术、系统、信息、管理、控制和经济等领域的科技人员参考,并特别奉献给那些致力于新兴学科和边缘学科研究的探索者。

图书在版编目(CIP)数据

灰色理论油气储层评价/宋子齐,谭成仟著

北京:石油工业出版社,1995.8

ISBN 7-5021-1532-3

I. 灰…

II. ①宋…②谭…

III. ①灰色系统-应用-储油层-综合评价 ②灰色系统-应用-储气层-综合评价

IV. P618.130.2

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里2区1号楼)

地矿部河北省测绘印制中心印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092毫米 16开 11印张 266千字 印1-1000

1995年8月北京第1版 1995年8月北京第1次印刷

定价:19.00元

序

由西安石油学院宋子齐、谭成仟同志撰写的《灰色理论油气储层评价》专著内容新颖,可操作性强,具有较高的学术水平和实用价值。本书紧密结合油田实际,针对我国东部油区陆相沉积的地质特点,从测井地质解释角度出发,系统地论述了测井评价油气储层领域中几种新的数学分析方法及其应用,主要内容包括:灰色理论精细评价油气储层的参数、标准、权系数及其准则,多参数矩阵截割加权归一处理技术,原始测井资料环境影响校正、标准化,岩心资料深度归位,油气储层地质参数的计算、拟合和生成,以及灰色理论精细评价油气储层的自动分析处理、特点及其计算机技术,从方法原理、关键技术、分析软件到各类油气藏的实际应用和效果,都进行了详细地论述,力求读者能够灵活地应用于自己的工作与研究之中,并且根据不同情况采用自动拟合法、图像网络采样法、网络统计拟合法、正态分析法、矩阵加权法和 Hodges—Lehmann 法等新技术,有机的集成和综合各种信息,以改善储层评价、参数计算、方法研究及其资料分析等。从而自动进行灰色多元加权归一分析和矩阵加权评价处理,实现直井、斜井、水平井(包括多井)精细评价油气储层,提高了综合解释油气储层的精度。

本书内容安排由浅入深,从测井与地质评价的方法和准则入手,着重论述近代数学方法在该领域中的应用,结合油气由勘探开发中产生的各种问题以及包含的多种因素,进行了多种多样的改进和创新,具有鲜明的特色。书中始终贯穿近代数学方法的一些新理论、新思想、新技术和新成果,读者可以从《灰色理论油气储层评价》一书中掌握各种解释模型的原理、性质和应用知识,有利于触类旁通,开拓新的研究方向,拓宽测井地质应用的新领域。

作为科研与生产、理论与实践的紧密结合,特别是测井与地质学科的结合,宋子齐、谭成仟同志的研究是有开创性的,并且在该领域研究中,取得了很大的进展,作出了重要的贡献。本书对同行有重要的参考价值。值此专著出版之际,审者作序,以表祝贺之忱。

谭廷栋

1995年1月10日

前 言

本书以精细评价油气储层为目标,从现场实际资料入手,采用了原始测井资料环境影响校正和测井多井分析计算储层地质参数,提供灰色理论精细评价油气储层的实用方法、技术和准则,以定量方式和最大限度地应用计算机手段,对油气储层进行精细评价解释和自动分析处理。通过大庆、大港、胜利、华北、辽河、新疆塔里木、长庆及二连油田不同类型油气藏 400 余口井的实际应用,取得了显著的效果。

灰色理论是指既含已知又含未知的分析方法或系统。用灰色理论来预测和评价储层及其岩性、物性、含油气情况,就是把油气田勘探开发看作一个包含已知因素(如测井、地质或地震获取的信息)和未知因素(如储层及其岩性、物性、油气分布、产能等)的灰色过程。通过测井地质关系数据库,自动选择、匹配、拟合和提取参数,分别以评价参数对精细划分的岩性、物性和含油气情况进行统计,自动建立储层精细评价标准和权系数。并采用自动拟合法、图像网络采样法、网络统计拟合法、正态分析法、矩阵加权法和 Hodges—Lehmann 法等新技术,有机的集成和综合各种信息,以改善储层评价、参数计算、方法研究及其资料分析等。从而,自动进行灰色多元加权归一分析和矩阵截割加权评价处理,实现直井、斜井、水平井(包括多井)油气储层精细评价和综合解释。

作者意图通过这本书介绍一些近代数学方法在该领域应用的新思想、新技术,以促进我国有更多的石油、地质、煤田工作者了解该领域的进展。本书还用较大篇幅介绍在各种条件下应用的实例和具体作法,力求使读者看后能方便地应用于自己的工作中。读者若对该分析方法还不熟悉,可以先从书中一些实例入手,了解其基本原理和特点,然后结合自己所研究的课题有选择的阅读。希望本书能为从事石油、地质、煤田等专业的技术工作者提供有益的参考,以推动测井地质工作的进展,并拓宽其应用领域。

本书是我们近年来从事上述科研实践的总结,与阐述理论相比,它更偏重于介绍实用方法和技术。内容共分四章,第一章重点论述灰色理论精细评价油气储层的解释系统,包括评价技术、解释方法、分析软件及其实际应用;第二章论述灰色理论综合评价油气储层的解释原理、方法技术与分析软件,着重阐述了系统特点以及在不同类型油气藏的应用和效果;第三章介绍图像采样及网络统计拟合加权分析方法、技术,主要阐述中子、密度、声波、自然伽马、自然伽马能谱及各种视

电阻率测井资料的多因素环境影响校正处理与实际应用;第四章主要论述灰色理论精细评价油气储层的计算机技术,包括系统运行环境、特点和具体操作。这些章节重点阐明了取得的成果和进展,并详细地介绍了这一解释技术的评价处理过程和实际应用。

西安石油学院油藏研究室宋子齐、谭成仟负责撰写本书。第一章由宋子齐、谭成仟撰写。第二章由宋子齐撰写。第三章由宋子齐、谭成仟撰写。第四章由谭成仟、宋子齐撰写。全书的统一编辑和定稿工作由宋子齐负责。本书是在石油地球物理勘探局袁秉衡总地质师和石油勘探开发科学研究院谭廷栋总工程师的指导下完成的。文稿写成后,又经谭廷栋总工程师审定,同时大港油田测井公司魏震球、袁福文、宋华超、潘昱,华北油田测井公司曹嘉猷、张庆光、刘智敏,长庆油田测井工程处郭百运、侯哲国、关亥生,滇黔桂油田技术服务处周仁安、胡京平,大庆油田勘探开发研究院吴永刚、林梁,胜利油田测井公司李厚裕、程传之、张德峰,石油物探局物探地质研究院王达昌、李玲、李阳明、张卫军,辽河油田测井公司唐开宁、柏景云、李群、勘探开发研究院李应遑、程学斌,中国矿业大学北京研究生部曲政以及西安石油学院等单位和个人,都提供了不少帮助,在此一并表示衷心感谢。

由于作者水平所限,缺点与错误在所难免,欢迎读者批评、指正。

作 者

1994 年 12 月

目 录

第一章 灰色理论精细评价油气储层的解释方法、程序及其应用	(1)
第一节 概述	(1)
第二节 解释方法	(1)
一、灰色理论精细评价油气储层的标准、权系数及准则	(3)
二、灰色理论精细评价油气储层的自动处理方法	(3)
三、原始测井资料环境影响校正和标准化	(5)
四、岩心资料的深度归位	(6)
五、建立地层岩性的测井评价参数、标准及权系数	(6)
六、建立储层物性的测井评价参数、标准及权系数	(8)
七、建立不同物性储层含油性的测井评价参数、标准及权系数	(9)
八、研究、计算和确定储层主要地质参数	(11)
九、自动拟合和生成储层地质参数解释模型	(15)
十、电阻率特高储层处理及岩性、物性、含油性评价显示	(15)
第三节 计算机解释程序	(16)
一、功能	(16)
二、程序框图	(17)
三、输入测井资料(数据)	(17)
四、输入参数	(18)
五、输出资料(成果)	(18)
六、关于解释参数的选择	(18)
第四节 应用实例	(30)
一、自动提取和建立储层精细评价参数、标准及权系数	(30)
二、自动进行灰色多元加权归一分析和评价	(32)
第五节 实际应用效果	(36)
一、应用效果分析	(36)
二、综合分析	(41)
第二章 灰色理论测井多参数评价油气储层的解释方法、程序及其应用	(45)
第一节 概述	(45)
第二节 解释方法	(45)
一、多参数矩阵截割加权归一综合评价自动处理方法	(45)
二、原始测井资料环境影响校正、标准化及岩心资料归位	(47)
三、计算、拟合和生成储层主要地质参数	(47)
四、建立地层评价的参数、标准及权值	(50)
五、特殊层处理及解释成果显示	(51)
第三节 计算机解释程序	(52)

一、功能.....	(52)
二、程序框图.....	(53)
三、输入测井资料(数据).....	(55)
四、输入参数.....	(55)
五、输出资料(成果).....	(59)
第四节 应用实例	(60)
第五节 实际应用效果	(64)
一、大庆松辽盆地北部低孔、低渗油气藏勘探中的应用效果	(64)
二、大港油田、胜利油田不同物性油区的应用效果	(68)
三、应用效果分析.....	(70)
第三章 原始测井资料环境影响校正方法、技术及其应用	(76)
第一节 概述	(76)
第二节 补偿中子测井资料环境影响校正	(77)
一、井径、泥浆矿化度影响校正	(78)
二、泥浆密度影响校正.....	(88)
三、泥饼影响校正.....	(91)
四、地层流体矿化度影响校正.....	(93)
五、岩性影响校正.....	(95)
六、温度影响校正.....	(95)
七、压力影响校正.....	(95)
八、间隙影响校正.....	(97)
第三节 密度测井资料的环境影响校正	(97)
一、井径影响校正.....	(97)
二、井眼几何形状改变影响校正	(100)
第四节 声波测井资料的环境影响校正.....	(101)
一、井眼几何形状改变影响校正	(101)
二、能量衰减引起时差增大(周波跳跃)校正	(101)
三、加权滤波校正	(102)
第五节 自然伽马及自然伽马能谱测井资料的环境影响校正.....	(102)
一、自然伽马测井资料的环境影响校正	(102)
二、自然伽马能谱测井资料的环境影响校正	(103)
第六节 视电阻率测井资料的环境影响校正.....	(107)
一、双侧向测井的井眼影响校正	(107)
二、双侧向测井的层厚影响校正	(107)
三、双侧向测井资料的泥浆侵入校正	(107)
四、微电阻率测井资料的环境影响校正	(113)
第七节 实际应用.....	(116)
一、补偿中子测井资料环境影响校正实例	(117)
二、密度测井资料环境影响校正实例	(119)
三、声波和自然伽马测井资料环境影响校正实例	(119)

四、视电阻率测井资料环境影响校正实例	(119)
第四章 灰色理论精细评价油气储层的计算机技术—GLRE	(131)
第一节 GLRE 系统运行环境及简要说明	(131)
一、硬件环境	(131)
二、系统配置	(131)
三、编程环境	(131)
四、系统特点及简要说明	(131)
第二节 GLRE 系统结构、功能	(132)
一、系统基本功能和结构	(132)
二、系统模块功能概述	(132)
第三节 GLRE 系统文件管理	(135)
一、测井数据输入	(135)
二、测井数据输出	(136)
三、文件系统生成、删除及 DOS 外壳	(136)
第四节 测井资料预处理	(137)
一、深度校正	(138)
二、环境影响校正	(139)
三、岩心资料深度归位	(141)
四、资料标准化处理	(143)
第五节 灰色理论精细评价油气储层	(143)
一、选择评价解释参数	(144)
二、评价解释参数编辑	(146)
三、自动提取和建立储层精细评价参数、标准及权系数	(147)
四、评价标准和权系数的编辑处理	(148)
五、灰色理论测井储层评价	(150)
六、评价解释成果的检验	(151)
第六节 测井绘图	(152)
一、测井图	(152)
二、成果图	(155)
第七节 测井地质数据库	(156)
一、岩心分析报告	(156)
二、岩性、物性、油气数据库	(158)
三、储层岩电关系数据库	(159)
四、测井标准层数据库	(160)
第八节 数据统计分析	(160)
一、统计特征值	(160)
二、统计直方图及交会图	(161)
三、回归统计分析	(162)
参考文献	(166)

第一章 灰色理论精细评价油气储层的 解释方法、程序及其应用

第一节 概 述

本章利用测井资料,依据测井地质评价方法和准则,提出灰色理论精细评价油气储层的参数、标准、处理方法及其应用,在各类微机和微机工作站上建立起用灰色理论精细评价油气储层的解释系统。目前该软件已率先实现自动分析处理和评价,包括:自动选择解释参数,自动拟合储层地质参数,自动提取地层评价的特征性参数,自动建立精细评价标准和权系数,自动进行矩阵加权和灰色评价处理。通过胜利油田、华北油田、辽河油田、新疆塔里木油田、长庆油田及二连油田 100 余口不同类型井(包括直井、斜井、水平井和多井)的应用,取得了明显的实用效果。

所谓灰色系统理论是指既含已知又含未知的分析方法或系统。用灰色理论来预测和评价储层及其岩性、物性、含油气情况,就是把油气田勘探开发看作一个包含已知因素(如测井、地质或地震获取的信息)和未知因素(如储层及其岩性、物性、油气分布、产能等)的灰色过程。通过测井地质关系数据库,自动选择、匹配、拟合和提取参数,分别以评价参数对精细划分的岩性、物性和含油气情况进行统计,建立起精细评价油气储层的解释标准、权系数、分析准则和自动处理方法,最大限度地应用计算机手段,进行多元加权归一和统计归纳,实现直接描述特定地质现象和储层岩性以及所含流体性质。从而,自动白化灰色系统。该系统目前主要以探井及一次开发基础井网为油田的灰色分析“窗口”,进行直井、斜井、水平井(包括多井)储层精细评价和综合解释,并采用自动拟合法、图像网格采样法、网络统计拟合法、正态分析法、矩阵加权法和 Hodges—Lehmann 法等新技术,有机的集成和综合各种信息,以改善储层评价、参数计算、方法研究及其资料分析等,其基本思想及处理方法归于如下流程图(图 1-1)之中。

第二节 解 释 方 法

该系统在实际应用中,首先对测井数据进行必要的环境校正和标准化,然后采用多种测井地质解释方法(模型)研究储层及其地质参数,提供描述、评价、识别储集层的一系列特征性参数。系统将这些参数中对评价储层岩性、物性和含油性比较敏感的参数作为地层评价指标,并在使用中按这些参数指标对评价地层贡献大小自动赋予相应权值。从而,最大限度地提取储层岩性、物性和含油气信息,对油气储层进行精细评价分析,现将主要计算方法和分析技术分别予以介绍。

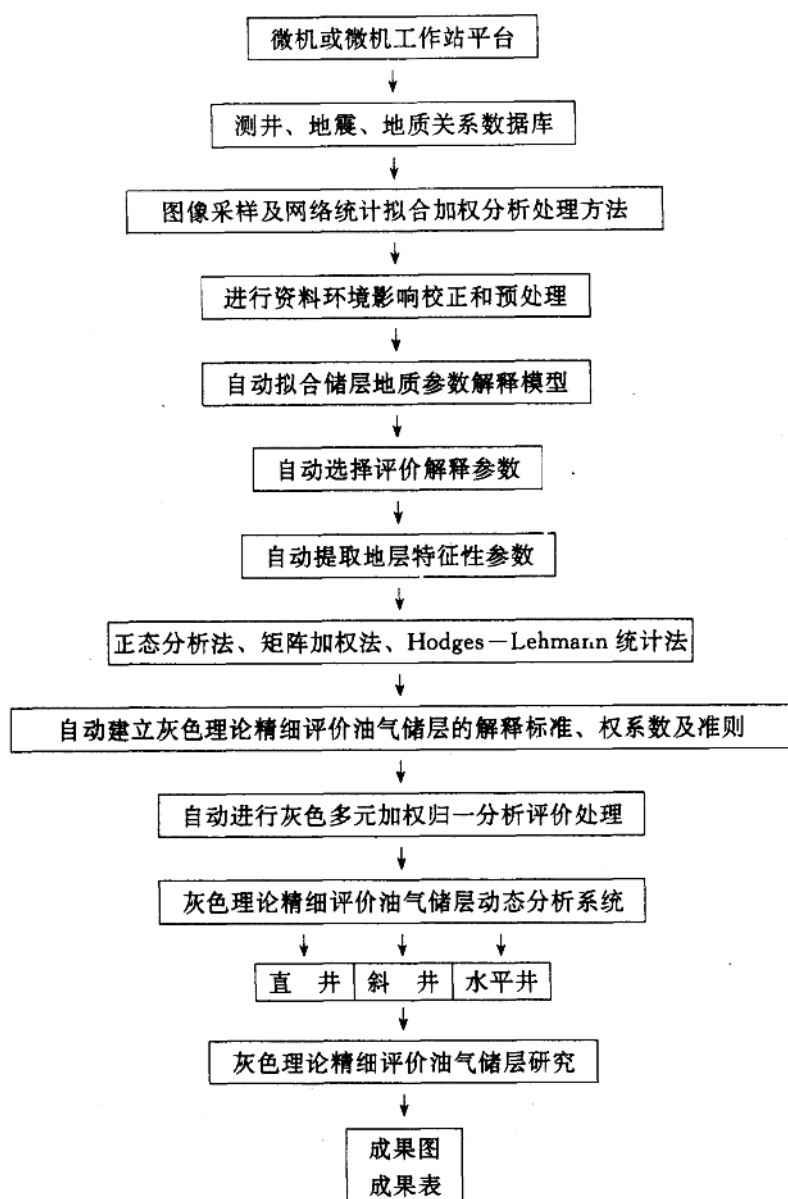


图 1-1 灰色理论精细评价油气储层解释系统框图

一、灰色理论精细评价油气储层的标准、权系数及准则

系统的标准和权系数是利用测井地质关系数据库, 分别以某参数对各岩性或物性、含油性进行统计确定的。

采用统计平均数据列 X_{oi} 为地层评价标准 (包括岩性、物性和含油性)

$$X_{oi} = \{X_{oi}(1), X_{oi}(2), \dots, X_{oi}(n)\} \quad (1-1)$$

以标准指标绝对差大小 $|X_{oi}(k) - X_{oi+1}(k)|$ 为准确率; 用标准离差平方和的方根大小 $\sqrt{\sigma_i^2(k) + \sigma_{i+1}^2(k)}$ 为分辨率。分别示于图 1-2 之中。

利用准确率和分辨率组合建立评价标准的权系数

$$Y_{oi}(k) = \frac{|X_{oi}(k) - X_{oi+1}(k)|}{\sqrt{\sigma_i^2(k) + \sigma_{i+1}^2(k)}} \quad (1-2)$$

上述两式中 $i=1, 2, \dots, m-1$;

$$k=1, 2, \dots, n。$$

对于相邻权系数 ($i=2, \dots, m-1$), 采用左右平均值处理

$$Y_{oi}(k) = [Y_{oi}(k) + Y_{oi-1}(k)]/2 \quad (1-3)$$

对于边际权系数, 分左、右进行单边处理

$$\text{左边} \quad Y_{oi}(k) = Y_{oi}(k) \quad (i=1) \quad (1-4)$$

$$\text{右边} \quad Y_{oi}(k) = Y_{oi-1}(k) \quad (i=m) \quad (1-5)$$

然后, 对评价标准的权系数进行标准化处理

$$Y_i(k) = \frac{Y_{oi}(k)}{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Y_{oi}(k)} \quad (1-6)$$

采用上述测井地质分析准则, 分地区建立储层岩性、物性、含油性评价标准数据列 X_{oi} 和权系数数据列 Y_i 。

二、灰色理论精细评价油气储层的自动处理方法

对于一个完全确定的数称白数, 完全不确定的数称黑数, 对于某个只知道大概范围, 不知道确切值的数 (或部分确定, 部分不确定的数) 称为灰数。同理, 对一个系统来说, 我们把内部信息全部确知的系统称为白色系统, 把内部信息未知的系统称为黑色系统。介于二者之间的便是灰色系统。灰色系统的特点是内部信息部分清楚, 部分未知, 信息之间没有确定的映射关系。本文就是采用这种由未知到已知的灰色理论处理方法, 根据因素 (信息) 之间发展态势的相似或相异程度, 区分主次, 衡量因素之间差异、归属和定量关系。从而, 提取信息, 确定和提供系统的特征性参数, 采用特征性参数去白化灰色系统, 实现油气储层的精细评价研究。它的主要特点是:

(1) 该分析方法对储层综合评价结论具有单序列加权和多元归一预测性质, 其多元加权归一系数可以综合表达储层各种特征和性质的定量关系。

(2) 系统要求数据量不多, 并且不需要找分析规律。只要有代表性的标准参数、岩心分析及试油资料, 即可以通过经验法则向不同类型油区应用。

(3) 系统适用于非线性、非指数或者非对数分布, 计算工作量小。因而, 不但具有较高

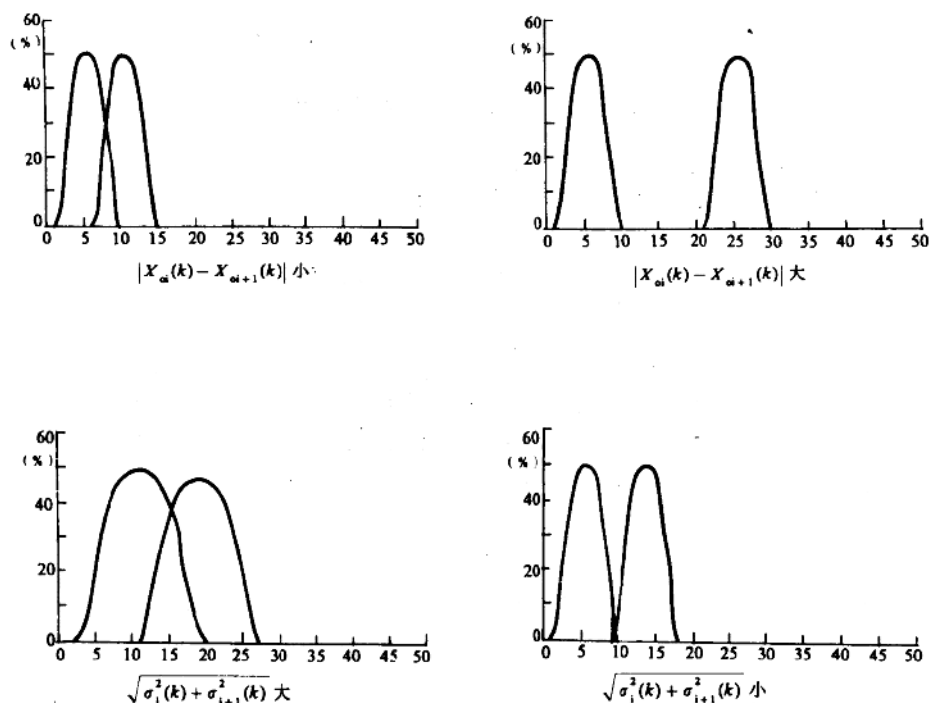


图 1-2 评价标准的准确率及分辨率

的标准化、自动化和速度，而且，灵活、简便、适应性强，具有较高的可操作性和定量性。

实际作灰色多元加权归一分析处理时，由于采用数据列量及其单位初值不同，一般利用矩阵作数据列伸缩处理后，再对系统包含的各种因素（包括已知和未知的）按数据单位类别进行标准化，使之产生无量纲、归一化的数据列。

初始评价数据列 X 、被比较数据列 X_{oi} 表示为

$$X = \{X(1), X(2), \dots, X(n)\} \quad (1-7)$$

$$X_{oi} = \{X_{oi}(1), X_{oi}(2), \dots, X_{oi}(n)\} \quad (1-8)$$

采用地层评价参数及层点数据标准化方法，对以上地层评价数据列 X 、被比较数据列 X_{oi} 进行均值处理，使之成为无量纲、标准化的数据 $X_o(k)$ 、 $X_i(k)$

$$X_o(k) = \frac{X(k)}{\frac{1}{m+1} \left[\sum_{i=1}^m X_{oi}(k) + X(k) \right]} \quad (1-9)$$

$$X_i(k) = \frac{X_{oi}(k)}{\frac{1}{m+1} \left[\sum_{i=1}^m X_{oi}(k) + X(k) \right]} \quad (1-10)$$

式中 $k=1, 2, \dots, n$;

$i=1, 2, \dots, m$ 。

标准化后的地层评价数据列 X_0 、被比较数据列 X_i 、权系数数据列 Y_i 以及参数给定权值数据列 Y_0 表示为

$$X_0 = \{X_0(1), X_0(2), \dots, X_0(n)\} \quad (1-11)$$

$$X_i = \{X_i(1), X_i(2), \dots, X_i(n)\} \quad (1-12)$$

$$Y_i = \{Y_i(1), Y_i(2), \dots, Y_i(n)\} \quad (1-13)$$

$$Y_0 = \{Y_0(1), Y_0(2), \dots, Y_0(n)\} \quad (1-14)$$

然后, 采用层点标准指标绝对值的极值加权组合放大技术, 由下式计算灰色多元加权系数

$$P_i(k) = \frac{\min_i \min_k \Delta_i(k) + A \max_i \max_k \Delta_i(k)}{A \max_i \max_k \Delta_i(k) + \Delta_i(k)} Y_i(k) \cdot Y_0(k) \quad (1-15)$$

其中

$$\Delta_i(k) = |X_0(k) - X_i(k)| \quad (1-16)$$

上述两式 $P_i(k)$ ——数据 X_0 与 X_i 在第 k 点 (参数) 的灰色多元加权系数;

$\min_i \min_k \Delta_i(k)$ ——标准指标两级最小差;

$\max_i \max_k \Delta_i(k)$ ——标准指标两级最大差;

$\Delta_i(k)$ ——第 k 点 X_0 与 X_i 的标准指标绝对差;

$Y_0(k)$ ——第 k 点 (参数) 的权值;

A ——灰色分辨系数。

从而可以得出灰色多元加权系数序列

$$P_i(k) = \{P_i(1), P_i(2), \dots, P_i(n)\} \quad (1-17)$$

由于系数较多, 信息过于分散, 不利于优选, 采用综合归一技术, 将各点 (参数) 系数集中为一个值, 其表达式

$$P_i = \frac{1}{\sum_{k=1}^n Y_0(k)} \sum_{k=1}^n P_i(k) \quad (1-18)$$

式中, P_i 即为灰色多元加权归一系数的行矩阵。

最后, 利用矩阵作数据列处理后, 采用最大隶属原则

$$P_{\max} = \max_i \{P_i\} \quad (1-19)$$

作为灰色评价预测结论, 并根据数据列 (行矩阵) 的数据值, 确定评价结论精度及可靠性。

三、原始测井资料环境影响校正和标准化

本系统在考察了国内外各种测井环境校正方法、技术的基础上, 采用 Atlas 公司最新发表的解释图版, 利用现代图像自动扫描技术, 把各种环境影响校正网络图像输入计算机, 分别

采用图像网络统计拟合加权分析技术(包括补偿中子测井的井径、泥浆矿化度、泥浆密度、泥饼、地层流体矿化度、岩性、温度、压力影响校正及密度测井、微电阻率测井的井径、泥饼影响校正等模型),图像网格采样及其加权算法(包括补偿中子测井的间隙影响校正及双侧向测井的井眼、层厚影响校正等模型),以及图像网格参数控制的统计拟合加权分析方法(包括双侧向测井的泥浆侵入校正模型等),由计算机自动完成测井资料校正的基本思想和方法,建立起精细的统计、加权、采样、拟合的网络分析校正系统。在软件运行中,可以对中子、密度、声波、自然伽马、自然伽马能谱及各种视电阻率测井资料进行连续的多因素的环境影响校正处理。具体方法、技术及其应用详见本书第三章。

标准化处理采用附加校正方法,即采用本程序表1-5的输入参数进行。为保证同一构造上的标准层测井响应一致,或者是规律变化的,除选择的标准层要稳定、可靠,具有足够的代表性,还必须利用计算机对该层各种测井响应参数进行直方图统计对比,确定出各种测井参数标准化附加校正值,在程序运行时逐点校正处理,直到完成所有采样点的校正工作。标准化的具体方法技术及其操作详见本书第四章。

四、岩心资料的深度归位

在钻井取心过程中,由于钻井、钻速、岩心收获率等的影响,对岩心深度的确定可能存在误差,故要对岩心数据以测井曲线为基准进行岩心深度归位。

采用相关对比法,确定归位深度的移动量,可以利用如下相关函数描述

$$C(t) = \frac{\sum_{i=k+1}^{k+n} (X_i - \bar{X})(Y_{i+t} - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=k+1}^{k+n} (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=k+1}^{k+n} (Y_{i+t} - \bar{Y})^2}} \quad (1-20)$$

式中 X_i ——各深度点岩心相关点分析值;

$\bar{X}$ ——岩心段内所有相关点的平均值;

Y_{i+t} ——测井曲线上用线性内插求出的与取心点对应测井响应值,即岩心深度移动 t 采样点数据处的测井响应值;

$\bar{Y}$ ——测井曲线上进行相关对比曲线段上各采样点的平均值;

n ——窗长对应的采样点数;

k ——1/2 窗长(可以认为取心段范围的一半);

t ——岩心段相对于测井曲线移动的采样点数。

在岩心深度归位的相关对比中,以测井曲线为基准,移动岩心分析段。即给定一窗长和步长,在移动岩心段的过程中求出各个位置的相关函数值,其中相关函数的极大值就是岩心与测井曲线对比的最好位置,它们之间的深度差就是所要确定的深度移动量。

还有一种归位图示法,即把岩心孔隙度绘成与深度相关的棒状图,并与测井响应曲线对比,找出岩心与测井深度之间的深度误差,从而十分直观地确定深度归位校正值。

实际应用表明,采用相关对比法及图示法的归位结果基本上都是可信的。它们明显消除了岩心数据与测井数据之间的不协调,为测井多井分析提供了可靠的资料。岩心资料深度归位的方法技术及操作详见本书第四章。

五、建立地层岩性的测井评价参数、标准及权系数

在确定地层岩性的测井评价参数中,主要是根据油田关键井的岩心综合剖面作为样本层,

结合测井曲线及其组合、变换, 确定出对地层岩性比较敏感的 12 个测井地质评价参数。

1. 地层自然伽马减小系数 (GR1)

$$GR1 = \frac{GR_{mx} - GR}{GR_{mx} - GR_{mn}} \quad (1-21)$$

式中 GR ——层点自然伽马测井值, API;

GR_{mx} ——处理井段中自然伽马最大值, API;

GR_{mn} ——处理井段中自然伽马最小值, API。

2. 地层自然电位减小系数 (α)

$$\alpha = \frac{SBL - SP}{SSP} \quad (1-22)$$

式中 SP ——自然电位测井值, mV;

SBL ——泥岩自然电位值, mV;

SSP ——自然电位最大异常幅度值, mV。

3. 地层泥质含量 (V_{sh})

$$V_{sh} = \frac{2^{G_{CUR} \cdot SH1} - 1}{2^{G_{CUR}} - 1} \quad (1-23)$$

$$SH1 = \frac{SHLG - G_{min}}{G_{max} - G_{min}} \quad (1-24)$$

上述两式中 G_{CUR} ——计算泥质含量的经验系数;

G_{min} ——纯地层自然伽马、感应电导率或自然电位值;

G_{max} ——纯泥岩自然伽马、感应电导率或自然电位值。

此外, 在有自然伽马能谱测井资料时, 采用无铀自然伽马、钾、钍指示法, 其计算公式与上述两式相同。

4. 地层粒度中值 (M_d)

$$M_d = e^{(A \cdot SH1 + B)} \quad (1-25)$$

式中 A, B ——计算粒度中值的经验系数, 它们在不同油田具有不同的数值;

SH1 ——(1-24) 式计算的自然伽马、感应电导率、自然电位或无铀自然伽马、钾、钍含量的相对值。

5. 深探测电阻率相对值 (R_{t1})

$$R_{t1} = \frac{R_t - R_{tmin}}{R_{tmax} - R_{tmin}} \quad (1-26)$$

式中 R_t ——深探测电阻率值, $\Omega \cdot m$;

R_{tmin} ——处理井段中深探测电阻率最小值, $\Omega \cdot m$;

R_{tmax} ——处理井段中深探测电阻率最大值, $\Omega \cdot m$ 。

6. 视水层电阻率 (R_{oa})

可以在评价的地层中, 计算出一个视水层电阻率

$$R_{oa} = \frac{A \cdot R_w}{\varphi^M \cdot 0.95^N} \quad (1-27)$$

式中 A ——地层因素表达式中的系数;

R_w ——地层水电阻率, $\Omega \cdot m$;

φ ——地层孔隙度;

M, N ——胶结指数和饱和度指数。

7. 微电极幅度差值 (R_{nl})

$$R_{nl} = |R_{nmi} - R_{lmi}| \quad (1-28)$$

式中 R_{nmi} ——微电位电阻率, $\Omega \cdot m$;

R_{lmi} ——微梯度电阻率, $\Omega \cdot m$ 。

还有测井评价参数包括微电位电阻率值 (R_{nmi})、冲洗带地层电阻值 (R_{so})、声波时差值 (Δt)、中子值 (ρ_N)、密度值 (ρ_b)。它们都是在进行过环境校正和资料标准化后被列入的评价参数。

上述 12 个参数可以明确显示不同地层岩性,从不同角度反映地层岩性特点。它们可以组合起来,用灰色系统理论和方法精细评价地层岩性。

在实际工作中,可以根据区域上的关键井或少量“控制井”,进行地层岩性精细评价标准及权系数研究。利用钻井剖面中的岩心,采用肉眼观察,并细致地汇总粒度分析、薄片鉴定结果,综合定名后其岩心剖面作为样本层。通过分析对比,分区域按 (1-1)、(1-2)、(1-3)、(1-4)、(1-5)、(1-6) 式统计确定和建立地层岩性评价标准及其权系数 (表 1-2)。

六、建立储层物性的测井评价参数、标准及权系数

评价储层物性的参数,包括地层泥质含量 (V_{sh})、孔隙度 (ϕ)、粒度中值 (M_d)、束缚水饱和度 (S_{wr}) 和渗透率 (K) 等。考虑到各种参数计算的有利条件和不利因素,主要参数都分别采用 3 种或 3 种以上数学模型来计算 (具体计算公式见五和八),并加以评价。最后以 Hodges-Lehmann 法确定计算结果。我们在各种测井系列和不同条件下,应用此法可以减小偏离很大时测量结果的影响,避免计算和确定数值的失误。下面以地层泥质含量计算为例,论述这种方法的处理过程和特点。

在胜利埕岛油田测井资料评价处理中,泥质含量 (V_{sh}) 有 4 个数值,分别由自然伽马 (GR)、感应电导率 (COND)、自然电位 (SP) 和中子密度交会法确定 (其中个别数值可能偏离较大)。按其顺序设 $A=V_{sh}(1)$, $B=V_{sh}(2)$, $C=V_{sh}(3)$, $D=V_{sh}(4)$, 计算 2 元对

$$(A+A)/2, (A+B)/2, (A+C)/2, (A+D)/2$$

$$(B+B)/2, (B+C)/2, (B+D)/2$$

$$(C+C)/2, (C+D)/2$$

$$(D+D)/2$$

共计 10 个,当把这些数值从高到低排列起来, Hodges-Lehmann 法综合估计值为这 10 个数的中间两个数值的算术平均值。如果 2 元对是一组奇数的数值,当把数值从高到低排列时, Hodges-Lehmann 法估计值为其中间数值。由此确定的地层泥质含量数值,可以较好克服和减小受测井质量、解释模型、计算方法等影响产生的较大偏移,从而使计算和确定结果趋于合理。

采用第 6 个参数是径向电阻率比值幅度

$$R_{x1} = |R_t/R_{x0} - 1| \quad (1-29)$$

显然,用 Hodges-Lehmann 法可以利用不同测井信息,归纳地区经验公式计算地层泥质含量、孔隙度、束缚水饱和度、渗透率、粒度中值等参数。它们和径向电阻率比值幅度都可以作为已知因素,采用灰色模型组合起来评价储层物性。

在确定油田储层物性评价标准的研究中,我们看重分析油田地质条件,把储层物性分为