



油田难采储量

分类与评价方法研究

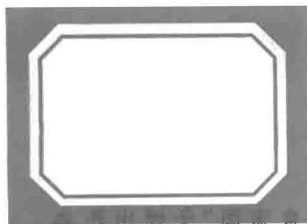
Youtian Nancai Chuliang Fenlei yu Pingjia Fangfa Yanjiu

李志 翁克瑞 诸克军 杨娟 黎金玲 著



中国地质大学出版社有限责任公司

ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE YOUXIAN ZEREN GONGSI



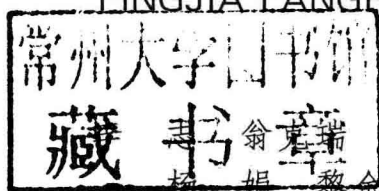
本书出版受“国家自然科学基金(No. 71173202、
No. 71103163)”和中央高校专项基金(CUG120111)

资助

油田难采储量分类与评价方法研究

YOUTIAN NANCAI CHULIANG FENLEI YU

PINGJIA FANGFA YANJIU



诸克军

著

翁克瑞 杨娟 黎金玲



中国地质大学出版社有限责任公司

ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE YOUXIAN ZEREN GONGSI

图书在版编目(CIP)数据

油田难采储量分类与评价方法研究/李志等著. —武汉:中国地质大学出版社有限责任公司,2013.10

ISBN 978-7-5625-3281-1

I. ①油…

II. ①李…

III. ①油田-可采储量-分类②油田-可采储量-评价

IV. ①TE328

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 244247 号

油田难采储量分类
与评价方法研究

李 志 翁克瑞 诸克军 著
杨 娟 黎金玲

责任编辑:蒋海龙

责任校对:张咏梅

出版发行:中国地质大学出版社有限责任公司
(武汉市洪山区鲁磨路 388 号)

邮政编码:430074

电 话:(027)67883511 传真:67883580

E-mail:cbb@cug.edu.cn

经 销:全国新华书店

<http://www.cugp.cug.edu.cn>

开本:880 毫米×1 230 毫米 1/32

字数:169 千字 印张:5.875

版次:2013 年 10 月第 1 版

印次:2013 年 10 月第 1 次印刷

印刷:武汉教文印刷厂

印数:1—1 000 册

ISBN 978-7-5625-3281-1

定价:32.00 元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

前 言

我国油田资源日益紧缺,许多油田的开发项目转向低孔、低渗的难采储量的境况。难采储量的开发同时面临技术风险和经济风险,需要认真评估油田的开采效果和经济效益。然而,面对复杂、繁多的油田勘探、开发条件,油田项目工作者依据现有的一些评价标准,只能给出单个储层、物性等指标的分类,无法给出储量的综合评价。在缺乏综合评价指标体系的情况下,依赖于主观经验和判断,不仅未充分挖掘现有的勘探和开发信息,而且更不能准确反映未开发区块的经济价值。为此,本书按全面性、数据完整性、数据非均值、指标弱相关性、公平性、强解释性原则构建了储量分类评价指标体系,指标包含开发效果、区块属性、经济评价 3 个板块,建立组合赋权模型计算区块属性指标的权重,设计 FCM 算法确定已开发区块的开发效果分类,并将 FCM 分类结果分别与组合赋权模型、BP 神经网络算法、判别分析方法相结合,构建了未开发区块的分类方法,最后我们针对未开发区块的开发项目评价,提出了体现产出衰减

效应的经济评价方法。本书在研究过程中,始终以大庆油田的多个区块为实例,说明难采储量分类与经济评价方法的应用过程,并取得了令人满意的结果。

第一,本书结合我国难采储量分类与评价工作的现状与难题,说明了本书的选题背景,归纳了研究的现实与理论意义。

第二,本书回顾了难采储量分类与评价方法的相关研究现状,提出了本书的研究目标、内容与路线。

第三,本书提出了储量分类评价指标的全面性、数据完整性、数据非均值、指标弱相关性、公平性、强解释性 6 个原则,然后根据全面性、数据完整性建立了初步的分类评价指标体系,结合专家意见和调研情况,在数据非均值、指标弱相关性、公平性、强解释性等原则下,对指标进行了筛选。指标体系涉及开发效果、区块属性、经济评价 3 个板块,其作用是充分利用已开发区块的信息挖掘开发效果与属性指标间的关系,通过此关系,利用未开发区块的属性指标值预测未开发区块的类别。

第四,本书设计了模糊 C 均值(FCM)算法,对已开发区块效果指标进行分类,从而确定开发效果的类别数及每个类别的效果特征,我们将该方法应用于大庆油田的多个已开发区块的开发效果分类。

第五,本书构建了组合赋权模型,测算各属性指标在评价效果指标时所占的权重,模型依托于已开发区块的样本

数据,目标函数同时要求专家预测误差和样本数据误差最小化,因此该权重预测方法融合了区块现有的客观样本数据和专家经验。我们以大庆油田的样本区块为例说明了模型的应用过程。

第六,在对已开发区块的开发效果 FCM 分类的基础上,分别运用 BP 神经网络、组合赋权模型、判别分析等工具,构造了未开发区块难采储量分类方法,该方法充分挖掘已开发区块的样本数据,提出了“效果指标”与“地质、储层物性等指标”相结合的分类方法,改进了传统储量分类方法在缺乏未开发区块“开采效果”的情况下依赖于对“地质、储层物性等指标”的主观判断与分类。我们以大庆油田的样本区块为例说明了分类方法的应用过程。

第七,构造了未开发区块的难采储量经济评价方法,在分类结果的基础上预测单井产量和开发成本,然后模拟“产量-时间”曲线,将前 3 个月单井产量转化为各个评价期的修正产量,以此预测未开发区块的现金流,然后计算开发项目的经济评价指标和灵敏度变动情况。该方法有效利用现有的已开发区块样本信息,反映了油田生产的衰减效应,提供了未开发区块的油田开发经济评价方法。我们以大庆油田的样本区块为例说明了分类方法的应用过程。

最后,对全书内容及研究结论进行了总结,并对书中有待进一步深入研究的地方提出了日后研究的方向和展望。

目 录

1 绪 论	(1)
1.1 研究背景和意义	(1)
1.1.1 研究背景	(1)
1.1.2 研究意义	(3)
1.2 研究目标、研究内容和拟解决的关键问题.....	(4)
1.2.1 研究目标	(4)
1.2.2 研究内容	(4)
1.2.3 拟解决的关键问题	(6)
1.3 拟采取的研究方法、技术路线、实验方案及可行性分析...	(6)
1.3.1 研究方法	(6)
1.3.2 技术路线	(7)
1.3.3 实验方案及可行性分析	(8)
1.4 本书主要创新点	(8)
2 难采储量开发与分类评价研究现状.....	(10)
2.1 难采储量的开发现状与相关技术.....	(10)
2.2 难采储量的分级.....	(15)
2.2.1 国际通行石油储量分级方法.....	(15)

2.2.2	我国石油储量现行分级与分类·····	(17)
2.2.3	难动用储量的分类·····	(24)
2.3	难采储量评价指标体系研究·····	(27)
2.4	指标权重的确定方法·····	(29)
2.5	分类评价方法·····	(31)
2.6	难采储量开采建设项目经济评价·····	(35)
2.7	难采储量灵敏度分析·····	(42)
2.8	小结·····	(43)
3	储量分类评价指标体系·····	(44)
3.1	指标选择原则·····	(44)
3.2	基于全面性和数据完整性的难采储量评价指标体系 ···	(45)
3.2.1	开发效果指标·····	(47)
3.2.2	属性指标·····	(48)
3.2.3	经济评价指标·····	(54)
3.3	指标筛选·····	(54)
3.4	小结·····	(58)
4	储量开发效果的 FCM 分类 ·····	(59)
4.1	问题背景·····	(59)
4.2	FCM 分类方法 ·····	(62)
4.3	大庆油田计算实例·····	(65)
4.4	本章小结·····	(69)
5	难采储量分类评价指标权重计算·····	(70)
5.1	组合赋权模型·····	(71)

5.2	指标权重计算结果	(71)
5.3	本章小结	(75)
6	未开发区块难采储量分类	(76)
6.1	基于组合赋权分类结果	(78)
6.2	基于 BP 神经网络的分类	(82)
6.2.1	BP 神经网络算法	(82)
6.2.2	已开发区块储量分类与油层相关属性关系	(88)
6.2.3	未开发区块储量分类	(93)
6.3	基于判别分析的分类	(98)
6.3.1	判别分析法	(98)
6.3.2	已开发区块储量分类与油层相关属性关系	(99)
6.3.3	未开发区块储量分类	(113)
6.4	分类方法比较及适宜性分析	(118)
6.4.1	分类方法比较	(118)
6.4.2	分类方法适宜性分析	(119)
6.5	本章小结	(120)
7	难采储量经济评价及灵敏度分析	(121)
7.1	难采储量经济评价方法	(121)
7.2	“产量-时间”曲线	(123)
7.2.1	样本数据及其预处理	(123)
7.2.2	曲线拟合	(128)
7.3	难采储量经济评价	(133)
7.3.1	评价参数取值	(133)

7.3.2	区块成本预算	(135)
7.3.3	区块产量收入预算	(136)
7.3.4	区块投资回收期预算	(138)
7.3.5	区块净现值预算	(139)
7.3.6	区块内部收益率预算	(140)
7.3.7	区块综合评价结果	(141)
7.4	难采储量灵敏度分析	(143)
7.4.1	B04、B02、B03、B06、B05 区块灵敏度分析	(145)
7.4.2	B01 区块灵敏度分析	(148)
7.5	小结	(149)
8	总结与展望	(150)
参考文献		(153)
附录		(162)
附录 I	FCM 分类	(162)
附录 II	组合赋权法程序	(169)
附录 III	BP 神经网络	(172)

1 绪 论

1.1 研究背景和意义

1.1.1 研究背景

随着石油的需求日益增长,资源日益紧缺,易开采油田开始枯竭,提高勘探和开采技术、开发难采储量,成为国内许多油田持续生产的最终选择。然而,难采储量的开发不仅面临巨大的技术难题,同时也面临非常高的经济风险。在现有技术条件下的难采储量开发,我们仍然需要优先选择“相对容易”、“可开发性较强”、“开发建设项目经济效益较高”的油藏进行探索性开发。为此,我们需要回答:“如何评价难采储量的可开发性”、“哪些油藏的可开发性较强”、“适用技术条件下,开发能否盈利”、“如果不能盈利,油价、成本、产量在什么范围内改进可存在转机”。

然而,目前国内许多油田开采单位对难采储量分类评价的实际操作工作仍然存在一系列问题。

(1)缺乏科学的难采储量评价指标体系与权重设计方法。比如,根据原石油部开发司颁布的《稀油未开发储量的分类评价标准》,从油藏特征、储量落实程度、开发可行性及工艺技术准备等方面,将未开发储量划分为:近期可以动用的Ⅰ类、难动用的Ⅱ类、无法动用的Ⅲ类和不落实储量Ⅳ类,具体分类标准如表 1-1

所示。然而,表 1-1 显然不能对所有的区块给出明确的分类。比如,某区块储量丰度 $>300 \times 10^4 \text{ t/km}^2$ 、有效厚度为 20~40m、流度 $<10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2 (\text{MPa} \cdot \text{s})$,属于第 I 类、第 II 类还是第 IV 类呢?此外,由于要评价的区块往往是尚未开采的难采储量,因此表 1-1 中的“投资回收期”、“内部收益率”等指标难以估计。因此,现有的难采储量评价指标体系尚缺乏可操作性,并且没有涉及指标权重,尚无法给出准确的储量分类评价。

表 1-1 评价指标的分类表

指标类别	I	II	III	IV
储量丰度(10^4 t/km^2)	>300	100~300	50~100	<50
有效厚度(m)	>40	20~40	10~20	<10
孔隙度(%)	>25	20~25	15~20	<15
流度 $10^{-3} \mu\text{m}^2 (\text{MPa} \cdot \text{s})$	>50	30~50	10~30	<10
油层顶深(m)	$<2\ 000$	2 000~3 000	3 000~4 000	$>4\ 000$
采收率(%)	>35	25~35	15~25	<15
投资回收期(年)	<3	3~6	6~10	>10
内部收益率(%)	>30	20~30	12~20	<12

(2)储量分类评价主观依赖程度高,未充分反映客观信息。储量分类评价是反映产油效果与地质、储层物性之间的复杂非线性关系,很多石油开采单位在缺乏科学的难采储量评价分类方法时,主要依靠经验丰富的石油、地质专家利用测井数据、试油数据主观判断,其特点是主观因素权重大,客观信息利用不充分,对试油数据、测井数据依赖高,测试成本大,未充分利用已开发区块反映的信息。

(3)储量分类的“效果指标”与“地质、储层物性等指标”相混

淆。在储量分类中,油井产量、开采成本、投资收益率等指标属于开采后才可得到的“效果指标”;而“储量丰度”、“有效厚度”、“油层中深”、“原油黏度”等属于开采前测试得到的地质、储层物性等指标。然而,我们通过调查发现,一些油田地质大队希望在分类时同时考虑效果指标与地质、储层物性等指标,在缺乏效果指标数据的情况下,依赖主观判断。本书希望引入模糊C均值法先对“效果指标”进行分类,然后充分利用已开发区块的效果指标和地质、储层物性等指标的客观信息,将其作为样本,反映“地质、储层物性等指标”与“效果指标”之间的关系,然后对未开发区块的效果指标进行判别和分类评价。

(4)储量经济评价没有充分考虑油井生产寿命周期的多变性。油井在生产过程中存在非常明显的“产量-时间”递减规律。而在储量经济评价中,不同阶段的“现金流入”直接取决于不同“投产时期”的油井产量。目前,我国常规油藏工程分析方法中,都引用固定的“ARPS 双曲递减”、“ARPS 指数递减”等衰减模型。然而,不同的地区,油田的衰减曲线存在明显的差异。因此,本书希望对难采储量(未开发区块)附近的“已开发区块”的“产量-时间”进行非线性拟合,结合储量分类评价,预测油井在不同阶段的“现金流入”,从而制订更准确的经济评价报表。

(5)难采储量各个指标评价往往比较低,依据现有的一些评价标准常常直接将其列入最后一级,导致无法给出难采储量各个区块间的优劣性评价。

1.1.2 研究意义

在上述背景下,本研究将建立科学的难采储量分类评价指标体系,研究分类评价方法,使得本研究能够在充分反映已开发区

块地质、储层信息与开采效果的客观信息基础上,给出未开发区块的储量分类,并结合“产量-时间”模型给出难采储量的项目经济评价。本研究对我国难采储量分类、评价,识别开采效果有着重要的现实意义。

(1)通过构建科学的难采储量评价指标体系与权重计算方法,指导难采储量的分类、评价工作。

(2)通过学习已开发区块的样本信息,减少储量分类的主观性和对测井数据的依赖性,既节约测井、试井、试验成本,又可提高分类的准确性。

(3)引入“产量-时间”模型,提高储量经济评价的准确性。

1.2 研究目标、研究内容和拟解决的关键问题

1.2.1 研究目标

建立科学的储量分类评价指标体系和权重计算方法,要求该方法能够挖掘已开发区块的勘探信息和开发数据,并且根据给定未开发区块的地质、储层物性信息,能够对其开采效果进行分类评价,给出考虑其产量衰减特性的储量经济评价。

1.2.2 研究内容

围绕研究目标,本书将研究以下内容。

(1)难采储量的评价指标体系。收集与难采储量相关的文献资料,按照全面性、数据完整性建立了初步的分类评价指标体系,以大庆油田某油层为具体实例,结合专家意见和调研情况,在数据非均值、指标弱相关性、公平性、强解释性等原则下,对指标进

行了筛选,最终得到难采储量的评价指标体系。

(2)效果指标分类方法研究。储量分类先要决定“分几类”、“每一类的效果指标如何界定”。本书在已开发区块效果指标的数据基础上,采用模糊C均值(FCM)算法对效果指标进行分类研究。模糊聚类分析是指根据数据样本间的某种相似度,将一组数据集合划分为C类同质的数据集合,并且模糊聚类算法给出了每个数据样本分别隶属于C类集合的程度,它是一种基于隶属度函数的软分类方法。以大庆油田某油层的样本数据为基础,提取样本数据中油井各个月的产量、成本数据,基于已开发区块的产量和开采成本等效果指标,运用FCM算法解决“分几类”的问题。

(3)基于BP神经网络的储量分类评价研究。这部分研究完全基于客观信息的分类评价方法,将已开发区块的效果指标分类信息(输出)、地质与储层物性等指标信息(输入)进行学习训练后,对未开发区进行储量分类,以大庆油田某油层为实例说明了方法的应用过程。

(4)基于判别分析的储量分类评价研究。判别分析也是基于客观信息的分类评价方法,通过寻找一组已知自变量的线性组合来对样品进行分类,自变量的线性组合方式成为判别函数。判别分析的重要优势在于可以给出区块属于不同类型的概率及分类结果的可靠性。

(5)基于组合赋权模型的储量分类评价研究。考虑专家经验,通过专家评估,给出专家指标权重。结合样本数据,建立组合赋权评价模型,以“专家评价误差”+“样本残差”两个权重误差最小化为目标,运用优化软件求解模型,最终得到评价指标的组合权重。这部分研究是融合客观信息与专家主观意见的分类方法,并以大庆油田某油层为实例说明了该方法的应用过程。最后,将

上述 3 种方法进行对比,比较其优劣。

(6)储量经济评价分析及敏感性分析。以大庆油田某油层为实例,结合“产量-时间”曲线模型与分类结果,从动态经济的角度,在考虑资金的时间价值条件下,计算未开发区块的投资预算成本、产量收入、净现值、投资回收期,进而进行区块开发可行性评价。同时,对不稳定因素原油销售价格和投资成本进行灵敏度分析,以确定投资开发各区块时的抗风险能力,供决策者参考使用。

1.2.3 拟解决的关键问题

(1)指标的筛选和检验统计。指标的筛选需要既符合样本信息的统计检验,也符合专家的主观意见,否则会导致客观信息与专家信息差距过大,影响分类结果的准确性。很多原因会导致这种误差,比如样本信息的一致性,以及专家对指标的理解误差。必须检查每一个样本的指标内容和专家意见,降低误差率,提高指标筛选的正确率。

(2)不同储量分类方法及其结果的解释。将尝试用不同的分类方法对大庆油田某油层进行分类,每一种方法都需要依靠已经获得的主观信息或者客观信息,建立适当的分类模型,计算产生分类结果,对结果的差别给出科学解释。

1.3 拟采取的研究方法、技术路线、 实验方案及可行性分析

1.3.1 研究方法

在储量分类的研究中,将引入人工智能方法(神经网络)、统

计分析法(判别分析)、数学规划方法(组合赋权)等复杂的系统科学方法。在开采经济评价中,又将结合统计回归方法(非线性回归)、工程经济学的分析方法研究开采经济效果。

1.3.2 技术路线

项目研究的具体技术路线如图 1-1 所示,分为 5 步来完成。

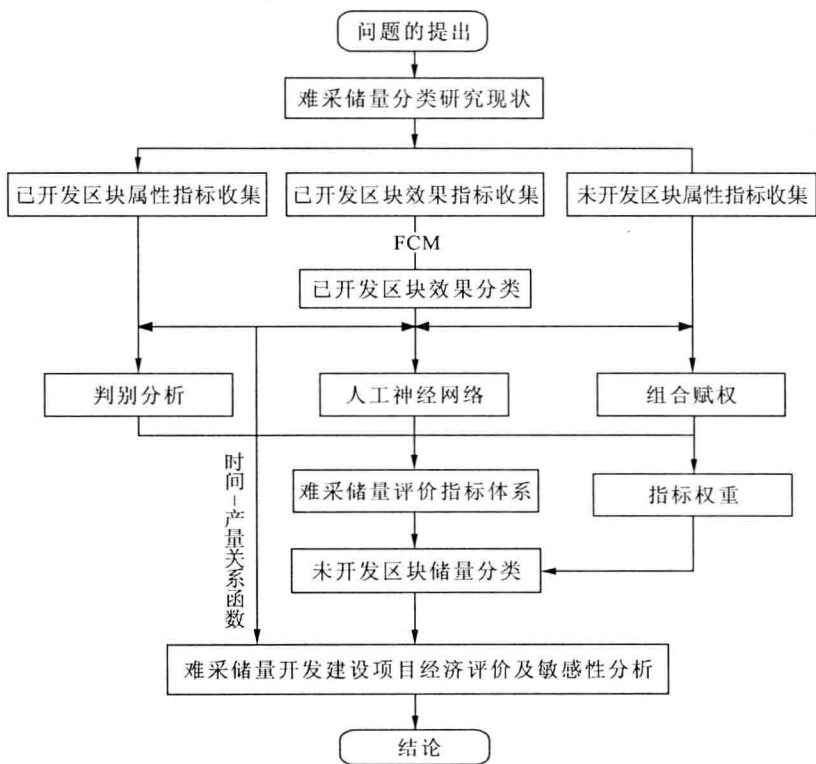


图 1-1 技术路线