

油田开发效益 评价方法及实例研究

*Youtian Kaifa Xiaoyi
Pingjia Fangfa ji Shili Yanjiu*

李德富 郭海湘 李伟伟 马林茂 余俊杰 编著



中国地质大学出版社有限责任公司
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE YOUXIAN ZEREN GONGSI

国家自然科学基金资助 项目编号:No. 71103163

中央高校基本科研业务费专项资金资助 项目编号:CUG110411,CUG120111

构造与油气资源教育部重点实验室开放课题 项目编号:TPR-2011-11

油田开发效益评价方法及实例研究

李德富 郭海湘 李伟伟 编著
马林茂 余俊杰



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

油田开发效益评价方法及实例研究/李德富等编著. —武汉:中国地质大学出版社有限责任公司, 2013. 4

ISBN 978-7-5625-3068-8

I. ①油…

II. ①李…

III. ①油田开发-效益评价-研究

IV. ①F426.22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 045897 号

油田开发效益评价方法及实例研究

李德富 郭海湘 李伟伟 编

马林茂 余俊杰 著

责任编辑:蒋海龙 姜 梅

责任校对:戴 莹

出版发行:中国地质大学出版社有限责任公司

邮政编码:430074

(武汉市洪山区鲁磨路 388 号)

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:158 千字 印张:5.5

版次:2013 年 4 月第 1 版

印次:2013 年 4 月第 1 次印刷

印刷:武汉教文印刷厂

印数:1—1 000 册

ISBN 978-7-5625-3068-8

定价:32.00 元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

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	(2)
1.2 研究内容与结构	(3)
1.2.1 研究内容	(3)
1.2.2 研究结构	(4)
1.3 研究的主要创新点	(7)
2 评价指标优化选取	(8)
2.1 属性约简	(9)
2.1.1 属性约简概述	(9)
2.1.2 属性约简的方法	(10)
2.2 基于硬计算和软计算融合的属性约简	(16)
2.2.1 软计算和硬计算概述	(16)
2.2.2 软计算与硬计算融合的模式	(18)
2.3 BED 试验区评价指标的优化选取	(21)
2.3.1 评价指标数据	(21)

2.3.2 基于相关分析的 SVM-FCM 特征选择方法	(21)
2.3.3 属性约简	(30)
2.4 本章小结	(32)
3 开发技术效益评价	(33)
3.1 综合含水率	(33)
3.1.1 指标概述	(33)
3.1.2 综合含水现状	(34)
3.2 产油量状况	(34)
3.2.1 调整前产油量状况	(34)
3.2.2 调整后产油量状况	(37)
3.3 累计产油量和增油量	(41)
3.4 产量递减率	(43)
3.4.1 指标概述	(43)
3.4.2 产量递减现状	(44)
3.4.3 产量递减影响因素	(44)
3.5 井网密度	(49)
3.5.1 指标概述	(49)
3.5.2 经济合理井网密度	(50)
3.5.3 经济极限井网密度	(54)
3.6 本章小结	(58)
4 基于人工神经网络的原油产量预测	(60)
4.1 人工神经网络概述	(61)

4.1.1	人工神经网络概念	(62)
4.1.2	人工神经网络发展历史	(70)
4.1.3	人工神经网络特点	(72)
4.1.4	人工神经网络应用	(74)
4.2	基于人工神经网络的 BED 试验区产量预测	(76)
4.2.1	基本数据及说明	(76)
4.2.2	人工神经网络的构建	(77)
4.2.3	预测结果及分析	(78)
4.3	本章小结	(81)
5	经济效益动态评价	(83)
5.1	项目建设总投资估算	(83)
5.2	投资回收期	(85)
5.2.1	指标概述	(85)
5.2.2	BED 试验区投资回收期	(86)
5.3	净现值	(87)
5.3.1	指标概述	(87)
5.3.2	BED 试验区净现值	(88)
5.4	内部收益率	(88)
5.4.1	指标概述	(88)
5.4.2	BED 试验区内部收益率	(89)
5.5	投资利润率和投资利税率	(90)
5.5.1	指标概述	(90)
5.5.2	BED 试验区投资利润率和投资率税率	(91)

5.6	经济动态下限产量	(91)
5.6.1	模型构建的理论基础	(92)
5.6.2	评价指标的构建	(93)
5.6.3	BED 试验区经济动态下限产量	(94)
5.7	经济极限储量下限	(96)
5.7.1	指标概述	(96)
5.7.2	BED 试验区经济极限储量下限	(96)
5.8	本章小结	(97)
6	剩余油潜力评价	(98)
6.1	剩余油潜力评价综述	(98)
6.1.1	剩余油潜力评价概述	(98)
6.1.2	剩余油潜力评价方法	(99)
6.2	BED 试验区剩余油潜力评价	(104)
6.2.1	BED 试验区概况	(104)
6.2.2	评价方法的建立	(106)
6.2.3	评价结果及分析	(109)
6.3	本章小结	(110)
7	油田综合效益评价	(112)
7.1	综合效益评价研究概述	(112)
7.1.1	评价指标研究	(112)
7.1.2	评价标准研究	(117)
7.1.3	确定指标权重	(121)
7.2	综合效益评价方法概述	(123)

7.2.1	评价思路	(123)
7.2.2	评价模型的构造	(126)
7.3	BED 试验区综合效益评价	(148)
7.3.1	评价指标取值	(148)
7.3.2	评价指标隶属度计算	(149)
7.3.3	评价指标权重计算	(149)
7.3.4	评价指标隶属度校正与加权综合	(149)
7.3.5	BED 试验区开发效果综合评价	(154)
7.4	BED 试验区综合效益评价结果分析	(154)
7.5	本章小结	(157)
8	结论与展望	(158)
	参考文献	(162)

1 绪 论

1.1 研究背景和意义

1.1.1 研究背景

根据世界能源机构对世界 2020 年前能源消费结构的预测,石油资源的需求远高于天然气、煤矿、原子能和其他可再生资源的需求,且短期内不会有大幅度的调整。因此,石油工业作为世界性的能源产业,它不仅具有传统意义上的经济发展意义,更影响着每个国家和地区的政治、军事和外交政策。随着中国经济的发展,能源需求大幅度增加,其中对石油的需求涨幅最为明显。中国自 1993 年 11 月成为石油净进口国以来,石油消费水平平均增加速度达到 4.9%,位居世界首位。与此同时,我国面临着国内石油需求资源快速提升的巨大压力和供需失衡的巨大挑战,以及高能耗经济生产方式导致的能源利用率低等诸多问题。为了实现经济又好又快发展,保证石油资源的稳定供应与充分利用不仅关系到我国在世界政治经济舞台上的地位,也影响着我国可持续发展战略目标的实现。

我国政府为了促进石油能源安全供应的战略,积极推动“两种资源,两种市场”战略格局,利用国际石油资源建立战略储备体系的同时,也注重国内油气田的自主开发和充分利用。在此背景

下,油田开发不仅应在技术上探明已开发油田的剩余可采储量和未开发油田的原始可采储量,同时应在经济效益方面也注重科学合理开发,以实现开采经济效益的最大化。

1.1.2 研究意义

我国陆上绝大部分油田采用注水开发,注水开发油田储量已占总储量的 87%。随着油藏勘探和原油开采的不断深入,老油田含水量逐渐上升,大多数油田早已处于高含水阶段和产量递减阶段,并出现了综合含水率上升、产量递减较快、投入成本增加、经济效益下降和开发新增储量难度越来越大等诸多问题。因此,从技术效益的角度而言,油田究竟处于什么样的开发现状?如何通过相关指标来客观评价油田开采的技术效益?如何较为准确地预测油田未来原油产量?从经济学的角度而言,现有油田开采是否经济合理?如何进行石油储量经济效益评价?剩余油潜力评价和综合效益评价又能否较好的评价油田未来开采潜力?在油田开发领域,这些问题的研究都有着重要的现实意义,值得深入研究和探讨。

油田随着逐次加密调整,出现了层系射孔井段过长、层间矛盾突出和多层系高含水严重等问题,大庆油田 BED 试验区作为最早进行加密调整的区块,各套井网开采对象逐步变差,这使得层系动态调整矛盾突出,给动态分析调整带来很大难度,因此该油田选择面积为 1.3km^2 的 BED 试验区开展层系重组试验研究,以达到改善水驱开发效果。为了研究目前油田开采存在的产量递减率较快现象,以提高采收率和改善开发效果,实现合理、高效的油田开发决策以及管理的科学化,本书在整合已有各项开发调整技术基础上,以该典型性油田 BED 试验区为研究对象,运用油

藏工程相关理论分析其开采现状,并对现有区块进行技术效益评价、经济效益动态评价、剩余油潜力评价和综合效益评价,为研究特高含水期的调整对策提供技术支持和保证。

1.2 研究内容与结构

1.2.1 研究内容

为了实现对 BED 试验区开发效益的评价,需要对油藏进行各项开发技术指标、经济效益动态评价、剩余油潜力评价以及油层开发效果综合评价。结合 BED 试验区实际开发状况,本书将分别从以下几个角度对其开发效果进行评价。

1)属性约简和构建指标体系。首先通过对开采过程中 BED 试验区样本数据的处理分析,使用属性约简方法来剔除高维数据的冗余属性,提高油田评价指标的清晰度,从而提取出影响石油产量、经济效益、剩余油潜力以及反映石油开采综合效果的关键属性,按照不同的评价目的建立不同的指标体系,进而对油田开采情况进行全面量化评价。

2)开发技术效益评价。运用油藏工程理论分析 BED 试验区产油量状况、综合含水率、产量递减率和井网密度等主要技术开发指标,分析研究各个技术指标的发展现状和变化规律,对 BED 试验区的开发技术效益作出综合评价,为 BED 试验区块选择进一步的开发措施提供参考依据。

3)基于人工神经网络的原油产量预测。建立以神经网络为基础的油田产量预测模型,利用神经网络对非线性函数的良好拟合能力,更好地反映出开采指标和井史指标与原油产量之间的非

线性关系,避免了传统数学方法不能很好拟合非线性函数的缺陷;同时结合不同优化算法来确定神经网络的权值和结构,提高神经网络的稳定性和准确性,进而预测石油产量的发展趋势,为将来优化试验区层系组合和井网部署提供参考依据,从而提高决策的有效性和准确性。

4)经济效益动态评价。结合 BED 试验区实际勘探、开发和管理操作等成本,全面考虑各项经济指标(如投资回收期、内部收益率和净现值等)对石油开采效益的影响,进而推导出 BED 试验区经济开发指标界限值,如经济动态下限产量以及经济极限储量下限等指标,多方面评价 BED 试验区综合调整的经济效果。

5)剩余油潜力评价模型和水驱开发效果评价模型。构建剩余油潜力评价的量化指标体系,并利用变异系数法确定各个指标的权重,反映剩余油饱和度和剩余油储量丰度,判断 BED 试验区的剩余油潜力类型,以有效地对 BED 试验区开发潜力进行科学分类,进而找出影响油田综合效益评价结果的关键因素。

6)开发效果综合评价模型。油田开发效益受到市场经济、地质条件、政策计划和生产工艺设备等多种因素的制约和影响,所以基于模糊综合评价的方法建立开发效果综合评价模型,根据最大隶属度原则来判断 BED 试验区开发效果所属范畴,进而界定 BED 试验区整体开发效果,并找出制约提高石油开采效益的核心因素,最终运用定性和定量评价相结合的方法对油田整体开发效益作出一个整体综合的评价。

1.2.2 研究结构

本书的结构根据所涉及的内容共分为八章,本书的关系结构如图 1-1 所示。

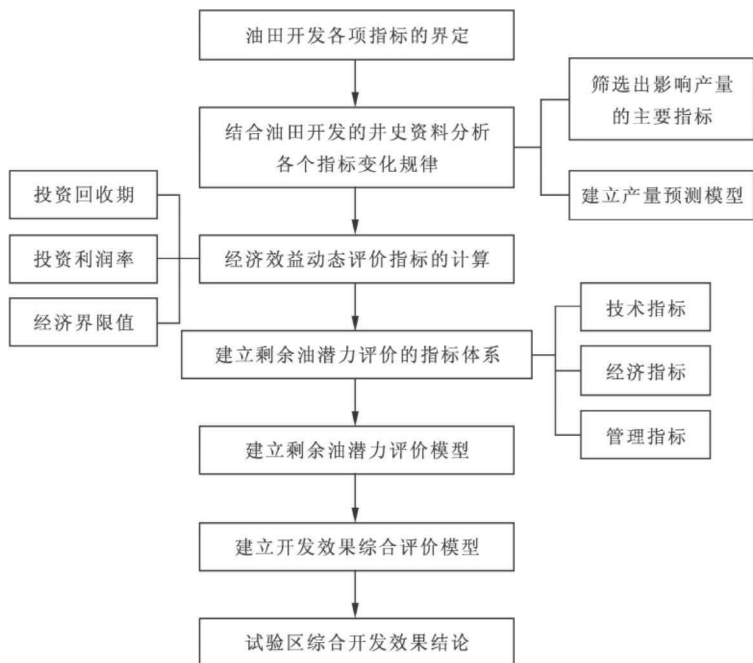


图 1-1 本书结构

第一章为绪论部分。阐述了油田开发效益评价方法的研究背景和研究意义,并介绍了研究内容、创新之处等。

第二章为开发效益评价指标优化选取部分。概述了属性约简的研究现状和发展趋势,探讨了运用属性约简进行指标优化选取的方法,并针对 BED 试验区实际发展情况来构建评价指标体系。

第三章为开发技术效益评价部分。分别通过综合含水率、产油量状况、产量递减率和井网密度共四个技术指标对 BED 试验区的开发技术效益进行评价,明确高含水期油田的 BED 试验区

高发展现状,为综合性调整提供依据和参考。

第四章为基于人工神经网络的原油产量预测部分。首先对人工神经网络的概念、发展历史、特征和应用作出概述,并基于BED试验区历年开采数据构建油田产量预测模型,为油田未来层系组合和井网部署调整提供准确有效的参考依据。

第五章为经济效益动态评价部分。通过诸如总投资估算、投资回收期、净现值、内部收益率、投资利润率和投资利税率等经济评价指标对BED试验区开发的经济效益进行评价,并构建经济动态下限储量和经济极限储量下限,估算出石油开采的经济界限值。

第六章为剩余油潜力评价部分。首先介绍剩余油潜力评价的概念、意义和方法,进而采用剩余油饱和度和剩余油储量丰度联立评价,确定剩余油潜力的分布形式及剩余油储量集中程度的量化指标,系统评价BED试验区剩余油潜力。

第七章为油田综合效益评价部分。首先对油田综合效益评价的理论研究基础进行概述,进而介绍评价方法和思路,进而结合BED试验区实际情况,优选评价开发效果的各项指标参数,建立开发效果评价体系(如 $U = \{\text{水驱储量控制程度 } x_1, \text{水驱储量动用程度 } x_2, \text{年注采比 } x_3, \text{地层能量保持水平 } x_4, \text{剩余可采储量采油速度 } x_5, \text{综合递减率 } x_6, \text{自然递减率 } x_7, \text{含水上升率 } x_8, \text{措施有效率 } x_9, \text{油水井综合生产时率 } x_{10}, \text{吨油操作成本 } x_{11}\}$),根据模糊评价理论对试验区的开发效果进行综合评价。

第八章为结论和展望部分。本章对全篇进行了总结,并展望了今后有待进一步研究的问题。

1.3 研究的主要创新点

本书创新点主要体现在以下四个方面。

一是在硬计算和软计算融合模式的基础上,提出了 SVM-FCM 属性约简的方法,首先通过 SVM 计算各个特征所对应的灵敏度值,然后特征集合按照灵敏度值从大到小排序并根据阈值初步约简掉相应的特征,同时计算出各个特征的相关系数绝对值,最终通过 FCM 分类器进行聚类结果分析。

二是分析油田开发过程中各技术指标的动态变化规律,并从中找出影响油田产量的主要因素,并建立了遗传算法优化 BP 神经网络连接权值和阈值的油田产量预测模型,利用神经网络对非线性函数的良好拟合能力,更好地反映出开采指标原油产量之间的非线性关系,避免了传统数学方法不能很好拟合非线性函数的缺陷;同时引入遗传算法,利用其善于全局寻优的特性来弥补 BP 神经网络收敛速度慢及容易陷入局部最优解的不足,以实现对于高含水阶段油田产量的准确预测。

三是对油田开发潜力进行了综合评价,在属性约简得到影响油田开发效果关键属性的基础上,建立了反映剩余油饱和度和剩余油储量丰度的量化指标体系,联立剩余油饱和度和剩余油储量丰度评价,建立了剩余油潜力评价模型。

四是为全面客观评价油田开发综合效益,综合分析研究油田开发过程中的开发技术、生产管理和经济效益三大类指标建立适合 BED 试验区的油田综合效益评价指标体系,同时引入模糊集合的概念并自适应的嵌入现场专家经验建立适合 BED 试验区的油田开发综合效益模糊综合评判模型。

2 评价指标优化选取

我国陆上绝大部分油田采用注水开发,随着油田的逐次加密,大部分都进入了开采的低孔隙度、低渗透和高含水阶段,并且在油田技术和经济效益评价方面积累了大量的数据。开采初期的粗放式管理导致油田井发数据并不完善,油田数据存在不确定性多、数据冗余大、特征维数高和属性之间关系复杂等特点。所以模糊和不确定性的数据处理、知识发现和决策分析历来都是人工智能领域的难题,这在油田开发效益评价过程中表现得尤为突出。在实际效益评价过程中,满足要求的数据处理、知识发现和决策分析系统不仅时间和空间复杂,而且从效益的角度来看花费的时间成本和经济成本也过高。那么,如何科学、合理、有效、正确地利用这些数据,以提取对油田开发评价有用的信息,并实现对未来发展趋势的预测,是信息科学、自然科学、管理科学以及系统科学等众多领域研究者所必须解决的挑战性任务之一。因此,在对开发效益评价数据在广度上和精度上提出更高要求的基础之上,通过属性约简的方法来优化选取得到科学合理的评价指标,就是本章将要重点研究的问题。

2.1 属性约简

2.1.1 属性约简概述

人类社会已经步入一个信息化时代,随着计算机网络和通讯信息技术的高速发展,信息处理在整个社会规模上迅速产业化,这在技术上表现为整个社会对大规模数据操作的产业化,这样久而久之人们所积累的数据越来越多。事实上,海量杂乱的数据背后隐藏着许多重要的信息,人们往往希望能够对获得的信息进行深入分析,以便更好地利用这些数据所隐藏的信息,并以此来决策自我行为。

早在 1982 年,波兰数学家 Pawlak 教授针对 G. Frege 的边界线区域思想提出了粗糙集理论,该理论是一种处理含糊和不精确知识的数学工具,它能有效地分析和处理不精确、不一致、不完备的信息,并从海量数据中发现隐含的知识,揭示潜在的规律。粗糙集理论主要思想在于,它恰好反映了人们用粗糙集方法处理不分明问题的常规性,即以不完全信息或知识去处理一些不分明现象的能力,或依据观察、度量到的某些不精确的结果而进行数据分类。自 1992 年至今,国际上每年召开相关学术会议,深入研究粗糙集理论的发展,例如 2012 年国际粗糙兼联合国际会议(JRS2012)在四川成都召开,确立了网络智能、粒计算等粗糙集研究的最新成果和研究动向。随着粗糙集理论不断发展,粗糙集在知识发现、数据挖掘、决策支持与分析、专家系统、模式识别、归纳推理等方面被广泛运用,现已成为一个颇受关注的研究领域。

然而,在实际应用过程中,面对如此繁杂的数据,传统方法很