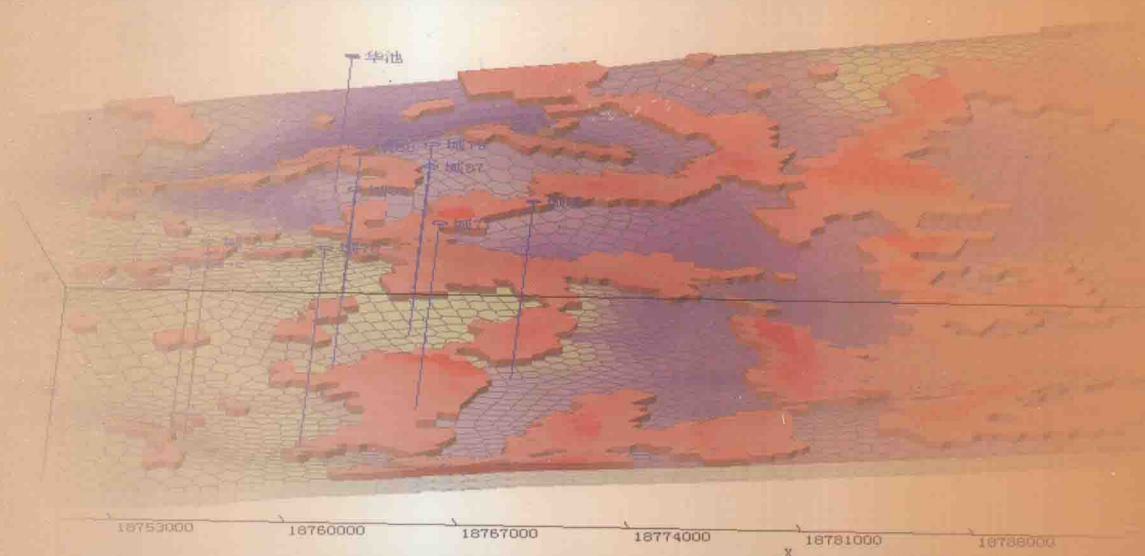


油气资源评价 方法体系与应用

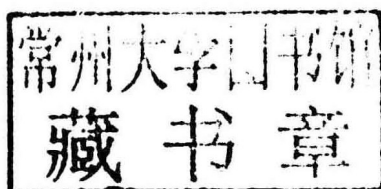
郭秋麟 谢红兵 黄旭楠 陈宁生 胡俊文◎著



石油工业出版社

油气资源评价 方法体系与应用

郭秋麟 谢红兵 黄旭楠 陈宁生 胡俊文 著



石油工业出版社

内 容 提 要

本书是中国石油第四次油气资源评价的研究成果之一。介绍了国内外常规与非常规油气资源评价的研究现状,建立了资源评价的方法体系,包括地质评价与地质类比法、盆地模拟法及成因法、常规油气藏规模分布预测法、非常规油气资源评价方法及相关研究实例等,开发了油气资源评价软件系统,对后续油气资源评价研究有重要的指导意义。

本书可供从事油气地质研究的科研人员、管理人员及相关院校师生参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

油气资源评价方法体系与应用 / 郭秋麟等著. — 北京: 石油工业出版社, 2016.2

ISBN 978-7-5183-1061-6

I. 油…

II. 郭…

III. 油气资源评价—研究

IV. TE155

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 315056 号

出版发行: 石油工业出版社有限公司

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址: www.petropub.com

编辑部: (010) 64523544

图书营销中心: (010) 64523633

经 销: 全国新华书店

印 刷: 北京中石油彩色印刷有限责任公司

2016 年 2 月第 1 版 2016 年 2 月第 1 次印刷

889 毫米 × 1194 毫米 开本: 1/16 印张: 16.75

字数: 340 千字

定价: 120.00 元

(如发现印装质量问题, 我社图书营销中心负责调换)

版权所有, 翻印必究

前 言

过去几十年，美国等西方国家组织开展过多轮次的全国性油气资源评价。以美国为例，从20世纪70年代以来，大致每隔五六年，地质调查局就会开展一次全国油气资源评价。1995年结束的油气资源评价是对美国国内油气资源进行的一次规模最大、数字化程度最高的评价。中国油气资源评价工作起步比西方国家晚，大规模开展资源评价工作始于20世纪80年代初。在“六五”期间，石油工业部和地质矿产部各自组织专家开展了第一次全国油气资源评价。之后，分别于20世纪90年代初和21世纪初开展过第二次和第三次全国油气资源评价。随后，国土资源部组织了新一轮全国油气资源评价。目前，中国石油正在开展全球第一次和国内第四次油气资源评价。从1981年到现在正好经历了35年，这期间共开展了5次全国油气资源评价，平均每7年开展一次，与美国基本一致。

全国油气资源评价与单个项目或单一目标的油气资源评价有较大差异。对单个项目或单一目标进行评价时，可以根据评价对象的特点灵活采用单一方法或多种方法，也可以根据评价目的不同选用不同的方法。总之，单个项目或单一目标的评价是比较灵活的，只要能满足自身需要，所有方法都可以使用。与此不同，全国油气资源评价为了便于横向（盆地间、油田间等）和纵向（历次）对比，需要建立统一的评价方法、评价标准和评价参数体系，并研发评价软件系统和数据库。

笔者有幸参与过第二次、第三次和全国新一轮等三次重要的全国油气资源评价，积累了20多年的工作经验，现在负责中国石油第四次油气资源评价的评价方法、软件与数据库的研究工作。在研究团队的共同努力下，编写了《油气资源评价方法体系与应用》，希望对今后的油气资源评价工作能有所裨益。本书主要包含以下内容：

（1）国外常规油气资源评价方法的研究现状，非常规油气资源评价方法的研究进展；我国历次油气资源评价的特点，采用的方法体系；中国石油第四次油气资源评价建立的常规与非常规油气资源评价方法体系。

（2）国内外油气资源分类体系的发展与研究现状。

（3）地质评价与地质类比法，包括地质评价标准、评价参数体系、类比刻度区和类比评价方法及典型实例。

(4) 盆地模拟法及其他成因法, 包括盆地模拟的生、排、运聚史模拟等技术和应用实例。

(5) 常规油气藏规模分布预测法, 包括油藏规模序列法、发现过程模拟法和广义帕莱托法等方法以及典型实例和三种方法的结果对比。

(6) 趋势预测法, 包括年发现率和勘探效率趋势预测两种方法, 采用11种预测模型。

(7) 非常规油气资源评价方法, 包括中国石油第四次油气资源评价建立的三个层次的评价方法体系和国外典型的容积法、随机模拟法、EUR类比法和成因法等以及相应的应用实例。

(8) 资源空间分布预测法, 包括勘探风险评价技术和资源丰度模拟技术。

(9) 油气资源经济评价与环境评价, 包括基本原理、评价模型和典型案例。

(10) 常规与非常规油气资源评价系统的结构、主要特点及各子系统的主要功能。

参与项目研究工作的人员有中国石油勘探开发研究院油气资源规划所的郭秋麟教授、谢红兵高工、黄旭楠高工、陈宁生高工、吴晓智高工、郑民高工、胡俊文工程师、高日丽工程师、陈晓明工程师、郑曼工程师、易庆工程师、马忠工程师和中国石油大学(北京)的刘成林教授, 以及中国石油安全环保技术研究院的宋佳宇高工。本书第一章、第三章、第五章、第六章由郭秋麟教授编写; 第二章由郭秋麟教授、刘成林教授和胡俊文工程师编写; 第四章和第八章由谢红兵高工编写; 第七章由郭秋麟教授和胡俊文工程师编写; 第九章由黄旭楠高工和宋佳宇高工编写; 第十章由陈宁生高工编写。全书由郭秋麟教授和胡俊文工程师统稿。

本书在编写过程中得到中国石油勘探开发研究院油气资源规划所和中国石油第四次油气资源评价项目组的大力支持以及董大忠教授、王社教教授等的帮助, 在此一并表示衷心的感谢。

由于笔者水平所限, 不妥之处, 敬请读者批评指正。

目 录

第一章 绪论	1
第一节 油气资源分类体系发展	1
一、国外油气资源分类体系发展	1
二、我国油气资源分类体系发展	2
第二节 油气资源评价方法演化与发展	2
一、三大类油气资源评价方法的内涵	3
二、国外油气资源评价方法演化与进展	4
三、我国油气资源评价方法演化与进展	8
四、不同国家间油气资源评价存在的差异	14
五、需要解决的问题及发展趋势	15
第三节 油气资源评价软件系统发展	16
一、国外油气资源评价软件系统	16
二、我国油气资源评价软件系统	19
第二章 油气资源分类体系	23
第一节 国际油气资源分类体系	23
一、麦凯尔维油气资源分类体系	23
二、挪威油气资源分类体系	24
三、SPE/WPC油气资源分类体系	27
四、俄罗斯油气资源分类体系	28
五、联合国资源分类体系	29
第二节 我国油气资源分类体系	31
一、我国以往的油气资源分类	31
二、我国以往油气资源分类体系与西方国家的差异	31
三、我国新的资源分类体系	32
第三节 不同油气资源分类体系的特点	36
第三章 地质评价与地质类比法	38
第一节 地质评价	38

一、地质评价内容	38
二、参数体系与取值标准建立	39
三、地质风险评价	42
第二节 地质类比法	45
一、刻度区地质评价	45
二、相似系数计算	48
三、资源丰度类比	51
第四章 成因法	57
第一节 概述	57
第二节 盆地模拟法	58
一、盆地模拟相关概念和术语	58
二、盆地模拟中使用的主要方法技术	60
三、盆地模拟工作流程、研究内容和主要参数	78
第三节 其他成因类方法	84
一、氢指数质量平衡法	85
二、氯仿沥青“A”法	86
三、有机碳质量平衡法	87
四、生物气的计算方法	87
第五章 油藏规模分布预测法	89
第一节 概述	89
第二节 油气藏规模序列法	90
一、原理方法	90
二、评价流程与实例	94
第三节 广义帕莱托法	98
一、基本原理	99
二、应用实例	103
第四节 油气藏发现过程模型法	105
一、基本原理	105
二、应用实例	110
第五节 三种方法适用范围分析与应用结果对比	111
一、适用范围分析	111
二、应用结果对比	112
第六章 趋势预测法	115
第一节 勘探效率趋势预测法	115

一、基本原理和分类	115
二、数学模型	116
第二节 储量增长趋势预测法	123
一、美国地质调查局的储量增长模型	123
二、典型的增长模型	126
第三节 饱和勘探预测法	127
一、基本原理	127
二、评价实例	128
第七章 非常规油气资源评价方法	131
第一节 概述	131
一、国内外研究现状	131
二、评价方法分类及特点	133
第二节 类比法	134
一、EUR类比法	134
二、油气资源丰度类比法	145
第三节 统计法	150
一、体积法和容积法	150
二、随机模拟法	151
第四节 成因法	155
一、页岩油资源评价方法	155
二、连续型致密砂岩气预测法	156
第八章 油气资源空间分布预测法	160
第一节 油气资源空间分布研究现状	160
一、风险概率评价法	160
二、成因模型法	161
三、随机过程统计模型	161
四、其他方法	161
第二节 基于空间数据分析的油气勘探风险评价	162
一、方法思路	164
二、方法流程	164
第三节 勘探风险约束的资源丰度模拟技术	167
一、油气分布的分形特征	167
二、傅里叶变换	169
三、分形模型与随机分形模拟	170

四、资源丰度的条件模拟.....	174
五、勘探风险约束的资源丰度模拟.....	177
第四节 油气资源空间分布预测法应用流程.....	178
第九章 经济评价和环境评价.....	181
第一节 概述.....	181
一、油气资源经济评价的特点.....	181
二、油气资源环境评价的特点.....	183
三、油气资源经济评价和环境评价的方法选择.....	184
四、经济和环境评价的程序.....	185
第二节 经济评价.....	186
一、经济评价任务.....	186
二、经济评价方法.....	186
三、经济评价流程与案例.....	191
第三节 环境评价.....	200
一、环境评价任务.....	200
二、环境评价方法.....	201
三、环境评价流程与案例.....	204
第十章 油气资源评价软件系统.....	211
第一节 系统简介.....	211
一、系统流程结构.....	211
二、系统功能特点.....	211
三、系统控制平台.....	214
第二节 HyRAS系统功能模块.....	214
一、盆地油气资源评价.....	215
二、区带评价.....	223
三、圈闭评价.....	230
四、非常规油气资源评价.....	230
五、经济评价与环境评价.....	235
六、数据库与图形库管理系统.....	239
第三节 HyRAS系统开发与运行环境.....	248
一、开发语言与控件.....	248
二、数据库.....	248
三、运行环境.....	248
参考文献.....	250

第一章 绪 论

本章综述了国内外油气资源分类体系的发展,梳理了国外常规与非常规油气资源评价方法的研究现状,归纳出国外重要的常规油气资源评价方法及最新的非常规油气资源评价方法,指出多方法、多学科和多领域的知识综合是评价方法的发展方向,油气资源空间分布定量预测与计算机可视化技术相结合是评价技术的发展方向。通过总结我国历次全国性油气资源评价的特点,分析我国油气资源评价方法体系存在的不足,优选出适合我国勘探现状的评价方法。介绍了我国常规与非常规油气资源评价系统HyRAS 1.5的结构、主要功能模块和五大特色技术,展望了评价系统HyRAS 1.5的推广应用前景。

第一节 油气资源分类体系发展

油气资源分类体系是资源管理的核心内容,是资源评价的基本准则和重要内容,是企业制订发展规划和合理开发资源的基础,是国家制定资源利用和管理政策的基础,是国际矿产信息交流和投资合作的基础。

一、国外油气资源分类体系发展

1928年,苏联首次制订了第一部油气储量规范,前后共进行了七次修改,1983年的规范是最后一部计划经济体制下的规范。1972年,美国麦凯尔维(V. E. McKelvey)提出了一个比较简明的油气资源分类体系。1985年,挪威石油管理委员会(NPD)建立了资源分类体系,1991年和1993年两次进行修订。1997年,为了适应俄罗斯由国家中央集权计划经济体制向市场经济体制转变的需要,俄罗斯联邦自然资源委员会对原有的油气储量规范进行了适当的修改,保留储量规范中的合理部分,并补充了一些新内容,形成了一个新的油气资源分类体系,根据探明程度和经济价值将油气资源分为七级。

1997年,石油工程师学会和世界石油大会正式推出SPE/WPC油气资源分类体系。

自此，SPE/WPC油气资源分类体系在全世界范围内成为储量分级分类和储量评估的标准。

2004年7月，在联合国经济及社会理事会（UNECOSOC）的年会上批准了UNFC分类方案——针对能源和矿产储量资源分类与评价的普遍应用方案。最为重要的是，这些分类与评价需要在国际有一个共同的和基本的理解。分类框架的设计允许当前已经存在的术语和定义引入其框架内，使其相互间可对比和可兼容。

二、我国油气资源分类体系发展

我国对油气资源的分类研究始于20世纪50年代，当时基本上是采用苏联的分类体系。尽管我国油气资源分类体系作过几次修改，逐渐吸取了以美国为首的西方国家和石油公司的分类经验，但总体上还是受原苏联分类思想的影响较大，分类体系与原苏联相似。我国长期实施的分类体系将油气资源量分为探明储量、控制储量、预测储量、潜在资源量和推测资源量。

2004年10月，我国颁布实施新的资源/储量分类体系。该分类体系的特点是：既有原地量（Quantities in Place）分类，又有可采量（Recoverable Quantities）分类，也有储量状态分类。其中，原地量的分类特别适合于近年来快速发展的非常规油气资源评价。

2001—2003年，中国石油天然气集团公司组织开展了主要含油气盆地油气资源评价（又称中国石油第三次油气资源评价），初步建立了资源—储量分类体系。2005年，赵文智等完善了该分类体系。该分类体系定义了“地质资源量”、“可采资源量”、“剩余地质资源量”和“剩余可采资源量”等术语。

2003—2007年，国土资源部组织开展了新一轮全国油气资源评价，对以上资源—储量分类体系作了修订。

2013—2015年，中国石油天然气股份有限公司组织开展了第四次油气资源评价，采纳了国土资源部修订后的资源—储量分类体系。

第二节 油气资源评价方法演化与发展

本节简要介绍了三大类油气资源评价方法的内涵，对国外重要的常规油气资源评价方法及最新的非常规油气资源评价方法进行总结，指出多方法、多学科和多领域的知识综合是评价方法的发展方向，油气资源空间分布定量预测与计算机可视化技术相结合是评价技术的发展方向。通过总结我国历次全国油气资源评价的特点，分析我

国油气资源评价方法体系存在的不足,优选出适合我国勘探现状的评价方法,建立了常规与非常规油气资源评价方法体系。

一、三大类油气资源评价方法的内涵

目前,世界上油气资源评价方法多达百余种,但根据其基本原理划分,则所有方法均可归纳为成因法、类比法和统计法三大类。使用这些方法可以对任何勘探程度和资料级别的盆地进行资源量估算,每种评价方法的应用均有其适应性和局限性,表现出不同方面的优点和缺点。

1. 成因法

成因法为一类特殊的体积资源量评价方法,也有人称之为体积生成法或地球化学物质平衡法,即通过对烃源岩中烃类的生成量、排出量和吸附量、运移量以及散失损耗量等进行计算,确定油气藏中的油气聚集量。它的准确性和可靠性主要依赖于对生烃、运移和聚集等主要石油地质问题的全面理解以及对地球化学参数的正确选取。成因法最主要的方法为盆地模拟法,其他方法有氯仿沥青“A”法、氢指数质量平衡法等。目前已在盆地、区带以及圈闭等资源量计算评价中发挥着不可忽视的重要作用,但评价结果必须随勘探进程不断调整,以保持评价结论的有效合理性。

2. 类比法

类比法主要以类比(类推)分析为依据并对单位地质体进行资源量估算与分析,适用于不同的勘探评价阶段和评价目标。主要方法有资源丰度类比、远景圈闭分布类比法等。该类方法评价结果的准确性主要取决于有关体积参数和类比对象的正确选取,适用于不同阶段的油气资源评价,但对盆地早期资源量计算更为有效,评价结果通常数值偏高,主要取决于对基础地质资料的分析精度。

3. 统计法

统计法是一类利用历史经验的趋势推断法,即利用历史勘探成果资料(包括发现率、钻井进尺、油气产率、油气田规模分布等),通过数学统计分析方法将历史资料按趋势合理地拟合成资源储量的增长曲线,将过去的勘探与发现状况有效地外推至未来或穷尽状态,据此对资源总量进行求和计算。主要有发现率趋势预测法、地质模型与统计模型综合法、发现过程模型法、油藏规模序列法、广义帕莱托法等。该类方法通常适用于成熟或较成熟勘探地区的中、后期评价阶段,不宜直接运用于早期的未勘探或未开发阶段,主要原因是受评价对象勘探成果资料的制约,同时也受经济技术和人为因素的影响。由于没有考虑在未来勘探中有可能出现的不可预测性油气藏(田)类型的意外发现,也没有考虑技术的改进和经济的改善,因此该类评价方法最大的特点是资源量计算数值趋于保守。

具体方法的适用性分别取决于不同的勘探阶段、目标对象和任务要求,这就大体上限制了它的适用性和有效性范围。评价方法选择的基本原则是适时、适用、可靠、准确,即在不同的勘探评价阶段选择以一种方法为主的一组评价方法,对资源评价的计算结果要求准确、可靠、快捷、有效。随着勘探阶段的提高,可用计算参数的种类和选择性越来越广,评价结果的精度要求和可靠性逐渐提高。

二、国外油气资源评价方法演化与进展

1. 国外常规油气资源评价方法研究进展

美国、加拿大、澳大利亚、俄罗斯(原苏联)、挪威等是世界上较早进行油气资源评价的国家。每年或每隔几年就对本国或世界的油气资源进行评价,以便清楚地掌握本国或全球油气资源的潜力和分布状况,为本国的油气勘探开发指明方向,为本国制定能源中、长期发展规划提供依据。

1) 美国

美国的油气资源评价工作开展较早,从20世纪70年代以来,大致每隔六七年USGS就对美国全国作一次油气资源评价,其中1995年结束的油气资源评价是对美国国内油气资源进行的一次规模最大、数字化程度最高的评价。为便于成果的应用和交流,所有成果都做成了光盘(Gautier等,1995)。尤其是自1996年以来,USGS将地理信息系统(GIS)引入油气资源评价和含油气系统等综合研究,将数字化水平又提高了一大步。

USGS自20世纪70年代以来开展的主要油气资源评价如下:①1975年开展的第一次美国国内油气资源系统评价以统计分析为主(White等,1979),对钻井历史和油气发现数据进行统计分析,因此很大程度上依赖于石油地质学家的判断水平。②1988年开展的美国国内油气资源评价,以盆地和含油气系统为单元计算油气资源量,采用了勘探层分析法;石油地质学家对油气藏形成的必要因素条件进行了概率判断,并以概率分布的形式对待发现油气藏的规模和个数进行定量评估(Houghton,1988;Houghton等,1993)。③1995年美国地质调查局完成了美国本土及海域的油气资源评价,主要对象是274个常规油区带和239个常规天然气区带,以区带为评价单元,主要评价方法是油藏规模序列法、Arps-Roberts发现过程法、截头移尾帕莱托模拟法、分形对数正态比例分析法、类比法、空间分析方法、蒙特卡洛模拟法(Attanasi等,2002)。④2000年以后,USGS采用动态评价模式,对美国国内及全球重点地区或领域进行评价(Klett等,2005)。在中低勘探程度区,主要采用The Seventh Approximation(第七版概率逼近法);在老油区,主要采用老油田储量增长预测法。2012年发布《2012年世界未发现常规油气资源评估报告》。

从上述美国油气资源评价方法的进展可以看出评价理论与方法得到了快速发展,油气勘探技术和分析测试技术也日益完善。评价单元包括油气区、盆地、含油气系统、区块、勘探层以及圈闭等。总体上讲,USGS以含油气系统为主,油公司以区带为主。随着资料的增多,评价单元从大的油气区发展到更小级别的单元。不同的评价方法在不同级别对象的评价实践中得到大量应用和完善。

2) 加拿大

加拿大的油气资源评价起步较早。在1975—1985年间,加拿大天然气潜力委员会主要应用石油资源信息管理与评价系统(PETRIMES)来进行资源评价方面的研究,该方法包括主观模型和区带分析模型,其评价单元分别为盆地和区带(Kaufman等,1975; Lee等,1983)。PETRIMES的发展方向包括发现过程模型和贝叶斯分析的迭代历史拟合的应用。对于低勘探区,如果有油气勘探活动,需要用勘探结果来校准勘探风险参数。1994年,加拿大油气资源评价采用了油气供给模型,其评价单元主要为区带。在2000年以后,又采用了基于油气藏的待发现油气资源空间分布模型和被截断的发现过程模型(TDPM)(Chen等,2006a, 2006b; Lee, 2008)。总之,在资料少的地区评价单元较大,如盆地和坳陷;在资料较丰富的地区,评价单元较小,以区带为主。

2010年,在加拿大卡尔加里举办了“第三届国际油气资源评价方法研讨会”。会议对比了不同油气资源评价方法的应用效果,还讨论了当前和未来会影响资源评价方法的关键问题,包括:油气资源规模分布“左尾”的争论;油气发现过程模型的优化;开发更好的主观分析方法;如何根据不同用户对资源评价结果的不同需求,提供不同层次的服务;如何建立更完善的连续型油气资源评价方法模型等。

3) 挪威

挪威也是一个较早进行油气资源评价的国家。挪威科技大学一直采用数理统计学原理和方法开展油气资源评价方法研究。1992年,建立了地质锚链法,并采用这种方法进行油气资源评价,评价单元为区带(Chen等,1992)。1996年、1997年主要采用发现过程法评价油气资源量。2005—2010年,建立了贝叶斯发现过程模型、马尔可夫链—蒙特卡洛法。

4) 澳大利亚

澳大利亚对本国的油气资源评价多采用统计法。1981年,Meisner和Demirmen(1981)建立了优化法(Creaming)。这种评价方法的应用基础有两个:一是对油气勘探人员早期找到大型油气田能力的模拟;二是对油气勘探成功率的模拟。1985年,Forman等(1981)研究了油气田规模分布、油气田发现序列,以及在一些区域的钻井成功率,并根据研究结果优化预测方法。1986—1990年,以地质类比法为主对全国油气资源进行定量评价,这种方法以区带为主要评价单元。1992年采用了AUSTPLAY方

法，评价单元为油气区带。1995—2010年，为了避免单一方法的缺点而采用了地质类比法与统计法相结合的综合法，主要用于勘探程度较高的地区，而勘探程度较低的地区还需要采用类比法，其评价单元主要为区带和盆地。

5) 俄罗斯（原苏联）

俄罗斯（原苏联）是较早进行资源评价的国家。早在1937年十七届国际地质大会上，苏联专家古勃金就对全球的油气资源进行了估算。

20世纪60年代，Kontorovich和Neruchev等基于油气有机成因理论，提出了几种地球化学方法，并用来评价沉积盆地的油气资源量。与此同时，纳诺里斯基提出了一种估算石油资源量的方法——容积系数法。这种方法是把含油气盆地看作二元（石油和天然气）或三元（石油、天然气及地下水）系统。1975年，И. И. Несмеров根据对世界22个勘探程度较高的含油气盆地的统计，得出沉积盆地油气总资源量与盆地沉积速率呈对数线性增长的关系。这种方法后来称为体积速度法（或沉积体积速度法）。同年，他还根据对西西伯利亚的调查研究，使用了多元统计分析方法，得出了各主要地质要素同储量丰度的数量关系。1979年，苏联的纳夫·里金采用地质因素比较法研究了世界上35个勘探程度较高的盆地。控制油气聚集的因素是多种多样的，采用地质因素比较法时应抓住主要的控油因素。1982年，A. A.卡尔采夫利用已知水文地质指标与油气储量间的统计关系，对油气资源进行了定量研究。他选择勘探程度较高的高加索地区，对每个分区确定水文地质平均指标，从它们与储量的关系得出丰度系数，再用体积法求得资源量。1988年，Конторович等在早期工作的基础上提出了多元回归方程。

综上分析，西方国家如美国、加拿大、挪威等，采用的油气资源评价方法主要是统计分析法（表1-1）。其中美国以历史外推法、概率逼近法、油田储量增长预测法等为主；加拿大以石油资源信息管理与评价系统（PETRIMES）、被截断的发现过程模型（TDPM）、非参数最小二乘法等趋势预测法为主；挪威以发现过程模型、马尔可夫链—蒙特卡洛法（MCMC）、地质锚链法为主。澳大利亚采用的油气资源评价方法主要为统计法和类比法，如对数线性模型、地质类比法、AUSTPLAY、SEAPUP等。俄罗斯（原苏联）和中国的油气资源评价方法强调地球化学方法，其中俄罗斯（原苏联）以成因法、容积系数法、体积速度法、水文地质法、体积统计法为主。

表1-1 国外重要的常规油气资源评价方法

国 家	主要评价方法	评价单元
美国	以统计法为主，主要有： （1）中低勘探程度区采用The Seventh Approximation（第七版概率逼近法）； （2）老油区采用老油田储量增长预测法	（1）USGS：含油气系统（Oil System）； （2）油公司：区带（Play）

续表

国 家	主要评价方法	评价单元
加拿大	以统计法为主，核心方法为油藏发现过程模型法及其改进型方法，近期发展了非参数最小二乘法等趋势预测法	(1) 资料少：盆地、坳陷； (2) 资料较多：区带 (Play)
挪威	以统计法为主，核心方法为贝叶斯发现过程模型以及马尔可夫链—蒙特卡洛法	区带 (Play) 为主
澳大利亚	(1) 中低勘探程度区：采用类比法； (2) 中高勘探程度区：采用地质类比法与统计法相结合的综合法	(1) 资料少：盆地、坳陷； (2) 资料较多：区带 (Play)
俄罗斯 (原苏联)	方法多样化，包括成因法、体积法、资源丰度法、多元统计法等	(1) 盆地； (2) 一级或二级构造单元

2. 非常规油气资源评价方法研究进展

国外公开发表的有关非常规油气资源评价的文献并不多，从各大油公司之间的技术交流以及学术会议交流中了解到，国外主要采用三类方法（表1-2）。

表1-2 国外最新的非常规油气资源评价方法

大类	小类	代表性方法	主要特点及适用范围
类比法	EUR 类比法	(1) USGS的FORSPAN法； (2) 埃克森美孚公司的资源密度网格法	适用范围：中等、较高勘探程度地区； 优点：评价过程简便、快速； 缺点：关键参数难以确定，未充分考虑EUR空间相关性等
统计法	体积法/ 容积法	(1) 国际能源署 (EIA) 和ARI公司的容积法； (2) 加拿大发现有限公司的分块评价法	适用范围：低勘探程度地区； 优点：评价过程简便、快速； 缺点：未考虑含气量、孔隙度等关键参数具有明显非均质性等
	随机模拟法	(1) USGS的随机模拟法； (2) 加拿大的随机模拟法（基于地质模型）	适用范围：中高勘探程度地区； 优点：考虑参数空间位置关系，给出资源量空间分布位置； 缺点：要求参数多，需要已发现储量分布；计算过程复杂；评价周期长等
成因法		(1) 美国Humble地球化学服务中心的热模拟法； (2) 美国Pioneer Natural Resources公司的PHIK模型	适用范围：中低、中高勘探程度地区； 优点：能够系统地了解油气资源地质分布特征和聚集规律； 缺点：重要参数受样品采集、测试等影响；盆地模拟过程复杂；评价周期长等

1) 类比法

主要采用基于生产井最终可采储量 (EUR) 的类比法, 包括美国地质调查局 (USGS) 的FORSPAN模型及其改进方法 (Schmoker, 2002; Salazar等, 2010), 以及埃克森美孚公司的Hood等提出的资源密度网格法, 该方法类似于国内的分级EUR类比法 (郭秋麟等, 2013)。

2) 统计法

主要采用的统计法有两类, 即容积法和随机模拟法。第一类容积法是国际能源署 (EIA) 等常采用的方法, 该方法与国内的容积法基本相同。Almanza (2011) 采用容积法评价Williston盆地Elm Coulee油田Bakken组致密油; 2011年, 加拿大发现有限公司将西加拿大沉积盆地Pembina油田划分成许多正方形评价单元, 每个单元面积为 2.56km^2 (即 $1.6\text{km} \times 1.6\text{km}$), 然后采用容积法分块评价Cardium组致密油, 并绘制出致密油资源丰度分布图。这种分块评价方法类似于国内的小面元法 (郭秋麟等, 2013)。第二类随机模拟法包括纯随机模拟法和基于地质模型的随机模拟法两种。2010年, Olea等认为传统的类比法存在三方面的不足: ①忽略了不同评价单元评估的最终可采储量 (EUR) 的空间关系; ②未充分挖掘已有数据所隐含的信息; ③评价结果违背空间分布规律。针对以上不足, Olea等提出了一种新的方法——随机模拟法, 包括有井区的模拟过程 (A过程) 和无井区的模拟过程 (B过程)。2013年, 谌卓恒等采用基于地质模型的随机模拟方法评价了西加拿大沉积盆地上白垩统Colorado群Cardium组待发现的致密油地质资源量。该方法类似于国内的资源空间分布预测方法 (郭秋麟等, 2011)。

3) 成因法

2007年, 美国Humble地球化学服务中心的Jarvie等采用热模拟法分析了页岩的生烃潜力, 并以此为基础开展页岩气系统研究, 同时借助盆地模拟软件模拟页岩气聚集。2012年, 美国Pioneer Natural Resources公司的Modica等认为页岩基质孔隙不是页岩油气的主要存储空间, 有机质孔隙才是页岩油的主要存储空间。据此, 他建立了计算有机质孔隙度的PHIK模型, 然后用容积法计算有机质孔隙中的页岩油资源量。2013年, 在马德里举办的国际数学地球科学大会上, Chen等用改进的Passey方法计算西加拿大沉积盆地泥盆系Duvernay页岩中的TOC含量, 并用PHIK模型计算有机质孔隙度和该类孔隙中的页岩油资源量。他们认为有机质孔隙亲油, 基本不含水, 因此在计算资源量时将含油饱和度设为100%。

三、我国油气资源评价方法演化与进展

1. 我国历次油气资源评价的发展

我国大规模开展资源评价工作始于20世纪80年代初。在“六五”期间, 石油工业