

油气勘探项目的 风险分析与管理

*Risk Analysis and Management of Petroleum
Exploration Ventures*

Peter R. Rose 著 窦立荣 等译



石油工业出版社

油气勘探项目的风险分析与管理

Peter R. Rose 著

窦立荣 万仑坤 肖坤叶
田作基 王建君 汪望泉 等译

石油工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

油气勘探项目的风险分析与管理 / (美) 罗斯 (Rose, P.R.) 著;
窦立荣等译. —北京: 石油工业出版社, 2002.12

ISBN 7-5021-4049-2

I. 油…

II. ①罗…②窦…

III. ①油气勘探—风险分析

②油气勘探—风险管理

IV. F407.22

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 094236 号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

北京华正印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 11 印张 280 千字 印 1—1500

2002 年 12 月北京第 1 版 2002 年 12 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-4049-2/TE·2891

定价: 40.00 元

序

1996年夏天,我应日本石油公团的邀请,准备一份我在80年代后期和90年代一直从事的有关现代国际石油与天然气公司勘探风险分析现状的总结报告:主要的概念、过程和问题。1997年3月于东京作完报告之后,日本石油公团请我准备一份有关勘探成藏组合风险分析的指南,并于1998年3月在东京再一次报告。同年晚些时候,受美国石油地质学家协会(AAPG)出版部鼓励,我征求日本石油公团是否可以把这两个报告合并出版成一本AAPG专集。日本石油公团于1999年8月正式批准出版此书。这里衷心感谢日本石油公团的远见卓识和慷慨精神,感谢国际勘探与生产部、日本石油公团勘探部经理 Yasuhis Kanehara 先生的支持,感谢日本石油公团执行副总经理 Masami Ishizaka 先生正式同意 AAPG 出版英文版。

我已经在勘探风险分析方面咨询和教学15年以上。通过70年代 Paul Newendorp 和 John Cozzolino 的传授以及他们的论文,我开始把基本的风险分析原理应用到勘探项目,并在1976~1980年期间和勘探人员一起计算预测的准确性。在1984年,我开始与 Bob Megill (前 Exxon 公司) 和 Ed Capen (ARCO) 一起在 AAPG 学校授课。1990年开始,我开始把大量的精力投入到现在迅速发展的风险分析的专业实践中,1992~1998年和 Bob Megill 与 Ed Capen 一起进行广泛的教学活动。

下面回顾一下油气勘探和开发这一重要方面。许多概念和技术来自于其它公司里的专业同行,并通过会议、出版物(大部分由 AAPG 赞助)以及咨询活动来共享。如下人员值得特别提及,他们对90年代后期的风险分析作出了重要贡献。

Jeff Brown, David Cook, Eric Dion, Mike Effler (Mobil)

Laurens Garenstroom, Rien Nederlof, Dieter Schluijk, Harry Gehman, Bill James, Bob Megill, David White (Exxon)

Richard Campbell, Ed Capen, Bob Clapp, Marlan, Downey (ARCO)

Tom Burnett, Jim MacKay (Texaco)

Bill Haskett, Ace Alexander, Jerry Lohr, Bob Merrill, Jack Schanck (Unocal)

Andrew Conway, Julia Ericsson, Greg Leveille, Jim McColgin (Conoco)

Gerard Demaison, Bob Oris, Nahum Schneidermann (Chevron)

Peter Carragher, Gary Citton, Glenn McMaster, Richard Steinmetz (Amoco)

Francis Harper, David Roberts (BP)

Roger Holeywell (Marathon)

Richard McCrossan, Ken Roy (加拿大地质调查局)

Gordon Kaufmann (M.I.T)

Brett Edwards, Phil Jefferies, Steve McIntyre (Ampolex 有限责任公司)

Andrew Freeman, Barry Goldstein, Rhodri John, Lloyd Taylor (SANTOS)

Mark McLane, David Sanders (Pioneer)

Mike Andersen, Henry Pettingwill, Ricardo Vines (YPE - Repsol)

John Campbell, Chap Cronquist John Howell (咨询公司)

但是，这一出版物提出的概念和程序是在 1984 ~ 1998 年期间在 AAPG 学校由 Ed Capen、Bob Clapp、Bob Megill 和我本人在传授“管理和评价勘探风险”课程时已经提出并得到发展，我要感谢他们对本书做出的巨大贡献。

Roger Holeywell、Daniel Zweidler 和 Chap Cronquist 审阅了初稿。我的同事 Jeff Brown、Gary Citron 和 Mark McLane 通过他们的鼓励、审阅和建议大大改善了本书。但任何疏漏和错误都是我自己的。在为日本石油公团准备报告和出版专集过程中，Elizabeth Ethridge 女士做了大量的工作，Anne Thomas 和 Rowena Mills 在 AAPG 出版部为本书的编辑提供了帮助。最后，我要感谢我的妻子 Alice 和我的家庭在完成本书的过程中给予的鼓励和耐心。

Peter R. Rose
Rose & Associates, LLP
得克萨斯州休斯顿
2000 年 12 月 5 日

译者的话

勘探是一项高风险、高投入的经济活动。随着中国加入 WTO, 国内的油气勘探面临着更加激烈的竞争, 一个盆地或坳陷不再属于一个公司甚至一个地区的油公司, 而是按照国土资源部划分的区块实行管理。过去那种侧重“盆地整体研究”、“侧重发现、轻视效益”的现象正在逐步向“区块勘探、以效益为目的”的项目管理过渡。与此同时, 中国自 1993 年已经成为石油净进口国, “走出去”战略已经成为我国能源发展的重要举措, 跨国勘探已经成为国家石油安全的重要组成部分, 目前在苏丹等国的勘探开发已经取得了显著的经济和社会效益。进入国际市场, 就必须按照国际的游戏规则开展各种活动。

自 20 世纪 80 年代以来, 世界油气勘探的发现规模在逐渐变小, 勘探的难度在逐渐加大。勘探作为油公司的一项主要投资活动, 其风险分析和管理在国外大中型油公司已经得到广泛的采纳和应用, 每个公司都有自己的评价体系和专业人员。如何利用有限的投资最大限度地拿到经济储量将是勘探家面临的重要课题。勘探投资组合和风险分析与管理将成为勘探管理必不可少的手段。

由 Peter R. Rose 先生编写的《油气勘探项目的风险分析与管理》一书由日本石油公团资助、美国石油地质学家协会 (AAPG) 于 2001 年出版。该专著首次系统论述了含油气系统、成藏组合和圈闭评价的方法、流程和具体的计算技巧。对不确定性条件下的地质评价、勘探成藏组合和目标的风险分析和经济分析、勘探项目的管理以及实际操作中可能存在的地质、技术和人为因素造成的失败等进行了全面的阐述。译者有幸得到日本石油公团的同意和授权, 翻译出版本书的中文版, 以飨国内的同行。译者在翻译过程中深感本书的许多理念将与我们的传统理念发生冲突, 因此, 希望本书中译本的出版能够对我国国内以及跨国勘探风险分析和经济评价工作起到借鉴和促进作用。

在本书翻译过程中, 有 4 个专业术语需要加以说明。本书中的“Trend”一词译为“区带”; “Play”一词译为“成藏组合”, 这是两个不同的概念; 而“Prospect”一词有时译为“目标”, 有时译为“圈闭”, 视国内习惯而定; “Lead”译为“潜在圈闭”或“潜在目标”。

前言、第一章、第四章、附件 A 和 B 由窦立荣译; 第二章由汪望泉译; 第三章由肖坤叶和黄人平译; 第五章由万仑昆译, 第六章由田作基、李志和窦立荣译; 第七章由王建君和窦立荣译; 附录 C—G 由李志译。最后由窦立荣对全书进行了统校。

最后译者深深感谢石油工业出版社周家尧和马金华先生在本书版权联系过程中给予的大力帮助和支持, 感谢林永汉先生为本书的编辑付出的辛勤劳动。本书的作者 Peter R. Rose 先生在本书翻译过程中也给予了许多帮助。本书翻译中如有谬误, 恳请读者指正!

窦立荣

2002 年 9 月于北京

目 录

第一章 前言	(1)
第一节 勘探投资组合与赌场的类比	(1)
第二节 勘探任务和风险分析	(2)
第三节 风险分析的背景	(2)
第四节 风险分析和油气勘探	(3)
第五节 本书的目的和组织	(4)
第六节 区分储量的定义	(4)
第二章 不确定条件下的地质评价	(6)
第一节 风险、不确定性及评价	(6)
第二节 地质不确定性大小	(7)
一、区间和概率	(7)
二、在不确定条件下评价中的偏差	(9)
第三节 对数正态分布	(9)
一、基本原理	(9)
二、油田规模分布	(12)
第四节 对数正态分布的均值计算	(12)
第五节 改善地质预测的技术	(14)
一、地质类比法	(14)
二、多个独立的工作假设和图件	(15)
三、多个独立的评价	(15)
四、自然条件约束	(15)
五、真实性检验	(15)
六、正确的统计程序	(15)
七、预测与实际结果的实践和对比	(16)
第三章 勘探目标的风险分析	(17)
第一节 圈闭储量预测	(17)
一、组成参数	(17)
二、圈闭储量分布的产生	(23)
三、圈闭储量分布的经济换算	(25)
四、检查和提高预测水平	(26)
五、工业经验	(28)
第二节 圈闭成功率	(31)
一、期望值概念	(31)
二、一个公司系统评价地质概率的要求	(31)
三、记录的成功率与地质成功估计	(32)

四、圈闭成功率的地质要素·····	(34)
五、勘探中的主观概率估算·····	(36)
六、实际操作经验·····	(37)
七、地质、商业和经济成功率·····	(39)
八、独立的和相关的概率因子·····	(42)
九、成功和失利的非地质因素·····	(43)
十、预测效果的监测和改进·····	(44)
十一、估算圈闭成功率的工业经验·····	(46)
第四章 勘探项目的经济分析·····	(51)
第一节 前言·····	(51)
第二节 金钱的时间价值和贴现率·····	(51)
第三节 勘探现金流模型和贴现现金流·····	(51)
第四节 与勘探项目的贴现现金流计算有关的问题·····	(52)
第五节 期权定价理论和勘探风险的估算·····	(54)
第六节 推荐的经济方法·····	(55)
一、回报的贴现现金流率·····	(56)
二、最大负现金流·····	(56)
三、期望净现值·····	(57)
四、最佳工作权益·····	(58)
第五章 勘探成藏组合——风险分析与经济评价·····	(59)
第一节 前言·····	(59)
一、大多数勘探合同存在的问题·····	(59)
二、成藏组合概念的历史与发展·····	(59)
三、成藏组合与含油气系统·····	(61)
四、成藏组合选择是勘探决策的关键·····	(64)
五、圈闭与成藏组合风险分析的对比·····	(64)
六、成藏组合分析中地质技术、经济学与管理学的综合·····	(65)
第二节 成藏组合分析中的几个重要地质概念·····	(66)
一、成藏组合分析中的层序地层学·····	(66)
二、世界性与地区性的烃源岩·····	(67)
三、生烃灶——地球化学模拟·····	(67)
四、综合地质与地质成藏组合图件·····	(68)
五、成藏组合分析中类比法的运用·····	(70)
第三节 勘探成藏组合风险分析中的关键概念和技术·····	(70)
一、油田规模分布·····	(70)
二、油田数目的估算·····	(73)
三、油田规模分布在成藏组合分析中的应用·····	(75)
四、最小经济油田规模·····	(82)
五、油田规模分布的经济截止值·····	(83)
第四节 成藏组合勘探成功率·····	(85)

一、地质概率因子·····	(85)
二、综合：计算成藏组合的经济成功率·····	(87)
第五节 成藏组合风险分析所需的地质资料总结·····	(88)
一、主要参数·····	(88)
二、次要（衍生的）参数·····	(91)
第六节 系统的勘探成藏组合风险分析过程·····	(92)
一、推荐的步骤·····	(92)
第六章 勘探项目作为商业投资项目的管理 ·····	(97)
第一节 前言·····	(97)
第二节 处理风险和风险防范·····	(97)
一、实际表述和应用·····	(97)
二、降低风险的常规方法·····	(99)
第三节 获取石油勘探权的一般方法·····	(100)
一、分阶段勘探·····	(100)
二、获得的条件·····	(100)
第四节 勘探目标和成藏组合的投资组合·····	(106)
一、要求·····	(106)
二、收益·····	(106)
三、勘探目标投资组合的特点及其对数正态分布·····	(108)
四、可预测性和投资组合的规模·····	(108)
五、勘探投资组合管理的原则·····	(111)
六、与勘探投资组合有关的问题·····	(112)
第五节 成藏组合的管理·····	(114)
一、使成藏组合特征与商业战略相一致·····	(114)
二、对比成藏组合和编制勘探计划·····	(118)
三、勘探水平的评价·····	(121)
四、成藏组合分析：组织模式与原则·····	(123)
第七章 勘探风险分析的石油工业实践 ·····	(126)
第一节 勘探家神话与有组织的勘探：处理争端·····	(126)
一、前言·····	(126)
二、不确定性、直觉和过分乐观·····	(126)
三、时代变迁·····	(126)
四、不完美的补救办法·····	(127)
五、系统勘探的响应·····	(128)
第二节 勘探风险分析中特有的合作过程·····	(129)
第三节 成藏组合分析·····	(130)
第四节 勘探公司中风险分析的实施·····	(130)
一、前言·····	(130)
二、成功实施的基本要求·····	(130)
三、实施的有效技术·····	(131)

四、实施中经常出现的问题.....	(132)
附录 A 计算对数概率分布均值的方法.....	(134)
附录 B 概率分布相乘的图形法.....	(136)
附录 C 圈闭储量估算中的一个老生常谈的问题——合理“低端值”($P_{99}\%$ 和 $P_{90}\%$) 的确定.....	(140)
附录 D 评价与合并多目的层的项目.....	(144)
附录 E 在新探区优选有利勘探目标的地质分析步骤.....	(153)
附录 F 用海上油田规模分布来重建原始油田规模分布.....	(156)
附录 G 新成藏组合的对比、排队和规划编制所采用的数据表.....	(159)
参考文献.....	(160)

第一章 前言

在 90 年代，许多国际石油公司通过利用风险分析和投资组合管理原则，同时结合地质技术来明显改善它们的勘探成果。当勘探风险不能排除时，可以在投资组合规模上减少勘探风险。90 年代标准化的风险分析方法的广泛应用把急需的学科引入到了油气勘探中。

80 年代中期，绝大多数主要从事勘探的跨国油公司认为，全球新发现的平均规模在减小（图 1-1）。不巧的是，“高风险、高潜力”的勘探目标的结果明显不好。对于大油公司，如 Shell、Mobil 和 Amoco，当考虑所有这些投资项目时，平均成功率为 10%，实际上小于 1% 的发现具有有利可图的油气储量，这些发现的规模一般远小于预测值。总之，在 80 年代和 90 年代早期，新的大型油气田的勘探是在损坏价值，而不是创造价值。

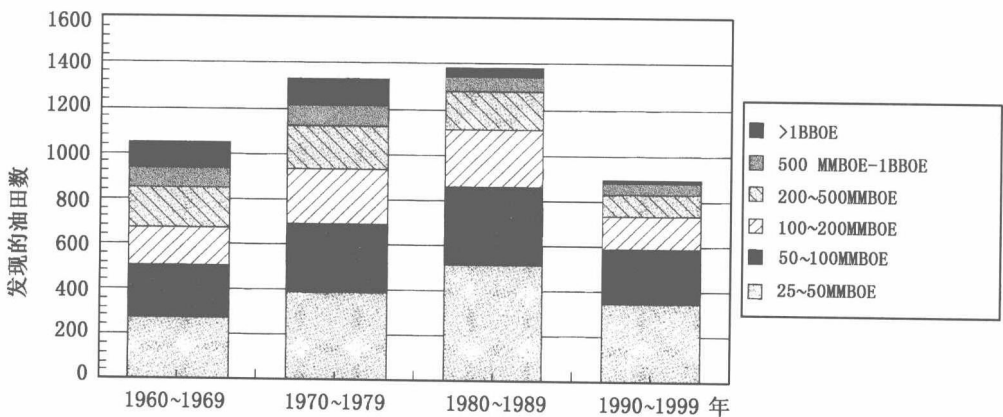


图 1-1 全球 1960~1999 年发现的大油气田

全球发现的大油气田（>10 亿桶油当量）数量自 1980 年开始减少，但发现小型油气田的机会明显增加。MMBOE= 百万桶油当量。资料来源：Petroconsultants

因而，勘探作为公司的功能失去了信用，它必需开始提供公司的承诺；它需要变得更有效，因而也更有利可图。同时，随着高新技术的引入，在更集中协调的情况下，勘探变成全球的工作，公司认识到他们必须采用系统的步骤来更好地管理勘探活动。为了勘探资金分配的最优化，开始考虑投资组合管理的概念。

第一节 勘探投资组合与赌场的类比

以拥有某些游戏设备和桌子的赌场的操作者为例：每一次游戏的可能性对所有者是已知的，而且他们处于有利位置。他在玩一个重复试验时，每一次试验的期望值（EV）对他来说是正的。请注意这里定义的期望值：成功的概率乘以成功的价值减去失败次数的概率乘以失败的费用（公式 1）。当 EV 为正值时，你在投资；当 EV 为负值时，你在赌博。如果赌场业主知道桌子的数量、晚上赌博人数和房间的大小，他可以较为精确地预测出他的收入是

多少。他不是赌徒，而是一个人寿保险公司。他是一个投资者。而且它知道可能性是什么。

期望值 (EV): (成功的概率 × 成功的价值) - (失败的概率 × 失败的费用) (1)

(+) EV = 投资

(-) EV = 赌博

尽管赌场类比也许不同于勘探地质家和公司的管理者，但它实际上与集中钻探投资组合的类比性很好：

● 投资机会的多样性，如新油气田的野猫井、扩边井、开发井、提高采收率项目和资产获取，可能类似于赌场中的许多游戏，如轮盘赌、二十一点和 KENO（一种游戏：由袋中取出有号码的牌，放置在有相当号码的盘上，以能先排成一列者为胜）。

● 在旋转轮中的重复试验（设为对房主有利）类似于每年勘探投资组合中的目标：所有代表正期望值且被选择为使价值最大化，且与可接受的风险一致。

● 赌场操作者不能预测轮子的哪一次旋转将为房主“盈利”（任何勘探副总经理以上的人员能够检查每年的投资组合和预测哪个目标将有发现），但他知道在每个晚上结束时房主将领先。

但是，在运作赌场和每年勘探投资组合之间仍有明显的不同：

● 每次风险钻探的实际可能性某种程度上是不知道的，仅能估算。但公司的地质家正确估算概率的能力可以通过过去的投资组合的状况的评估进行估算和校正。但主要问题是在不同地区由不同地质家估算圈闭资源量、利润率和成功率，这就要求在整个公司采用统一的方法。此外，所有的评估者要竞争上岗，促进乐观的偏见。

● 通常，钻井投资组合中的井数少于任何一个晚上的旋转轮的转次。大多数勘探投资组合仅拥有 10~100 口探井。

● 在游戏桌上的付款是及时的，而井口的付款是长期的，并且受价格波动和政策的影响。

第二节 勘探任务和风险分析

自 80 年代后期和 90 年代早期开始，大多数勘探投资组合开始：①采用不同的风险分析方法；②把客观性和一致性引入到他们的圈闭风险评价中；③在选择他们的勘探投资组合时采用不同的经济标准和风险/回报定义。到 1999 年大多数评估者开始接受如下三个专业职责：

(1) 识别可能拥有商业油气的地质异常体；

(2) 如果成功的话，估算成功的概率和储量（转换成利润率）；

(3) 专业上的客观性，认识到如果估算发生偏差，那么投资组合就不是最优化的，公司（及股票持有者）将受损。

第三节 风险分析的背景

在国际石油勘探中应用的现代风险分析应用统计学原理、概率理论和效用理论 (Utility Theory)，它们是 16、17 和 18 世纪数学和哲学的重要分支学科 (Bernstein, 1996)；包括公

开和未公开的著作 (Cardano, 1545; Pascal 和 Fermat, 1654, 未发表; 由 Bernstein, 1996 引用; Graunt 和 Petty, 1662; Halley, 1693; Jacob Bernoulli, 1713 死后; De Moivre, 1733; Daniel Bernoulli, 1738; Bayes, 1764 死后)。早期研究的动力和应用与游戏和赌博有关, 之后的应用与保险统计和保险事项有关。

油气勘探: 与许多连续的商业风险相似, 明显是不确定条件下的重复试验过程, 每一次试验需要一个投资组合的实际义务量。正因为如此, 赌场的类比是合适的, 但因为我们不知道可能性是多大, 或回报是多少, 所以我们学会应用现代科学和技术来改进我们的“赌注”。如:

- 地层学可以帮助我们预测储集岩存在和质量;
- 地球化学可以提供油气运移进入圈闭的可能性, 这样可以估算油气存在的可能性;
- 地球物理可以帮助改进在圈闭中油气聚集的估算, 即“回报的大小”及圈闭的确含油的可能性;
- 钻井技术可以通过低价试油让我们减少投资风险;
- 油藏技术可以允许我们更有效地开发和生产成功的圈闭 (= 发现), 从而提高我们的利润。

在 1945~1995 年期间勘探科技的成功有助于提高油气勘探是“科学驱动的”神话, 并使得其与赌场实际对比难以理解, 这是令许多商人和科学家讨厌的。由 Grayson (1960) 早期发表的有关油气勘探决策分析方面的出版物, 以及由 Kaufman (1962) 发表的有关对数正态学, 为评价勘探投资提供了实际应用的基础。但是, 统计学和概率理论才由 Exxon、Shell、Arco 和文献服务 (Newendorp, 1975) 开始在勘探系统地应用。到 70 年代后期, 油公司如 Chevron、BP、Elf 以及某些政府机构 (G.S.C.、I.F.P. 和美国联邦地质调查局) 也开始在勘探评价和投资中常规使用风险分析。但在 80 年代后期和 90 年代早期, 风险分析方面的技术急剧增加, 因为大多数现代油公司看到了全球范围内对它们的勘探投资组合进行系统管理的必要性。今天, 大多数大型油公司和国家石油机构使用的勘探风险分析的概念和方法已经集中成为“一般被接受的技术” (MacKay, 1996), 许多小油公司正在采用这一技术。

第四节 风险分析和油气勘探

油气勘探中最关键的决策不是钻探哪个圈闭, 而是勘探哪个盆地或区带 (Rose, 1996a, 1996b; Brown 和 Rose, 2000)。一个成藏组合是地质上相似的油气田、发现、圈闭和潜在圈闭的总和 (McCrossan, 1973; Roy, 1975; Baker 等, 1986; Miller, 1986; White, 1992)。因为储集层类型和圈闭形态的相似性, 油气充注的共性和勘探开发方式的一致性, 所以把成藏组合作为完整的经济活动进行经济评价是可能的。这样的评价利用区域地质、地球化学和地球物理研究 (参见附录 E 和 G), 可以通过应用第一部分描述的圈闭风险分析的基本原理来进行。但是, 为了理解成藏组合分析的原理, 我们必须首先了解圈闭风险分析, 因为成藏组合是由地质上相似的圈闭组成。

相应地, 我们假设公司已经承诺在不同的盆地和区带 (即成藏组合的选择过程已经存在) 进行勘探, 接着是寻找、确认和评价钻探目标。在第五章我们将回到成藏组合分析。

一旦油气成藏组合已经选定, 油气勘探的第一步是由地质家确定钻探目标, 这是基本的创造价值的活动, 它需要地质技术和创造性思维。

在确定了勘探目标之后，在整个油气勘探开发全过程中存在一系列关键任务。首要的三项任务是计算圈闭的价值。

油气勘探的第二步是计算价值：

- (1) 估算可采储量有多大（假设确实存在油气藏）；
- (2) 估算油气藏存在的概率；
- (3) 假定存在可采油气，估算整个项目的利润率。

第三步包括勘探目标作为商业投资的执行过程和管理，有三项额外的任务：

(4) 获得的战略——确定公司将在什么样的条款下进行勘探开发，获得是通过秘密交定金、口头竞标、履行合同、系列合同谈判，或其它方式来实现。注意：获取的战略通常适用于资产大于单个圈闭，如成藏组合和合同区。

(5) 圈闭储备和投资组合管理——应该选择哪些圈闭在年度计划中钻探，使得经济回报最大，且与公司风险承受力一致。这方面可能也包括风险规避和效用理论的考虑。

(6) 操作——进行各种商业操作，包括租赁、资料采集、钻井、完井和新发现的探边。获得新目标的资料所需要的成本的有效性可以利用信息的价值原理来进行。

任务（1）到（5）通常包括在勘探风险分析的整个主题中，含信息价值的因素。

第五节 本书的目的和组织

本书的目的是回顾勘探风险分析的主要原理和操作流程，讨论执行的工业模式、经验和一般的结果，本书按上述一般的顺序安排。前言之后，第二章讨论在不确定性情况下进行地质评价的理论、操作流程和存在问题，改善员工在评价中的技能和技术。

第三章回顾作为勘探经济单元的圈闭的风险分析的关键方面。主要包括：①潜在可采储量的估算；②地质和商业成功率；③储量和概率结合产生期望货币值。第四章包括项目如果成功的话利润率是多少，并且评述了储量和成功率的研究。

在圈闭风险分析的原理之后，第五章主要论述勘探成藏组合分析的主要方面，它是勘探的操作单元。差别在于公司通常在区带和地震采集的基础上进行勘探，希望得到多个发现，假设勘探成功的话，即使单个圈闭在整个区带评价中由经济“垒积木”组成。

第六章是关于成功的油公司在合适的圈闭和成藏组合风险分析的基础上作出和执行坚实的商业决策所依据的有效准则。本章涉及了风险规避技术、获取战略、目标储备和投资组合管理以及勘探成藏组合管理。第七章回顾了当今工业界在进行勘探风险分析中使用的组织准则。

第六节 区分储量的定义

主要的混淆是“储量”术语的使用。这一术语通常在正式和非正式情况下使用，重要的是要了解在油气勘探和生产中储量有两个完全不同的定义。

对工程师、金融家、银行家或金融分析师来说，术语“储量”具有精确的信用含义。术语如“探明”、“控制”、“预测”、“开发的”和“未开发的”，在不同类型中包含不同的可信度。这些术语基本问题是对不同的分类有不同的定义，正如“合理的确定性”一样模糊不清。工程专业似乎正在朝如此可信度情况下更好的概率表示方向发展（Cronquist, 1997）。

勘探家通常使用的“储量”术语是指从一给定的油气田或钻探目标中计划最终采出的油气量；相似的还有“地质储量”、“体积储量”、“潜在储量”或“估算的最终储量”（EUR）。这样，“油田规模”，正如油田规模分布中使用的，代表从一个给定的油气田中计划最终累计产量－累计产量＋探明储量＋未来的储量（即预先的储量估算）。当勘探家谈到“圈闭储量”或“潜在储量”时也是使用的同一概念。通常这一应用是在现今经济和技术条件下油气存在（和最终采收率）可能性的概率表示。

本书中的大多数地方，预期的含义应该是清楚的；任何存在异议的地方，我已经试图给以明确的定义。

第二章 不确定条件下的地质评价

第一节 风险、不确定性及评价

风险和不确定性是不相同的 (Megill, 1984; Rose, 1987), 风险意味着潜在的损失。风险评价通过以下四个因素影响着投资规模: 净资产规模、成功/失败的概率、潜在收益和潜在亏损。后三个因素依赖于在不确定条件下的某些条件可能存在或发生的概率范围的估算。每一次勘探决策都包含着风险和不确定因素。当我们决定购买额外资料或矿产费时, 我们就会有风险, 必须考虑高额的前期投资对项目收益的影响。不确定因素包含在所有的地质预测中, 如矿藏规模、发现的概率、勘探和开发费用等。因此, 一旦确定了勘探目标, 一系列的勘探决策都面临两个方面问题:

- 处理风险和不确定因素的方式保持一致;
- 准确了解不确定因素并尽可能使其降到最低限度。

尽管大量的科学研究和地质工作对于现代石油勘探的成功是非常必要的, 但我们也必须认识到对勘探目标评价赋予的期望货币值中所需的几乎所有参数仅仅是基于事实上的不确定因素条件下的评价。表 2-1 列举了最重要的参数。

表 2-1 地质评价参数表

规模	厚度、面积、体积、深度
油藏	净毛比、孔隙度 (ϕ)、渗透率 (K)、采收率、气油比、含水饱和度等
井动态	初始产量、递减率等
地化值	烃源岩类型、总有机碳、成熟度、组分
运移	阻挡、扩散、路径
圈闭的完整性	盖层有效性、渗漏、冲洗等
时间配置	油气运移与圈闭形成
前期投资	租地、钻井、完井、地质资料的获得, 上级管理费
发现概率	地质概率、商业和经济储量门限值
井口价	国内和国际影响, 历史同期油价

负责任的评价是非常重要的, 但是, 直到最近许多现代大油公司仍很少努力提高和改善他们的地质人员的评价水平。直到今天, 许多公司仍坚持用确定值评价——“单值预测”。这些值是非常不合适的, 不确定性通常变化范围很大, 在计算一个特定勘探目标概率加权税后净现值 [ENPV (税后)] 中存在相关参数的重复性 (公式 2):

期望净现值 (税后) = 成功概率 [(净收入利息 $\times$ 储量 $\times$ 井口价) - (投资 + 操作费 +

井口税 + 收入税)] - 失败概率 [税后干井费用 + 地质研究和租地费] (2)

这个公式中包含有几个重要的判断。首先,在美国税法和矿产许可条例中规定,支付100%投资的矿产生产者仅能从收入中得到70%~87.5%产品分成,这一减少的比例为净收入利息(NRI)。其余部分给矿产所有者,通常为土地所有者。产品分成合同中的公式是不同的,尽管总的原则仍流行操作者提供大部分或全部资金,尤其是勘探投资,但是他们仅能得到产品收入的一部分。其次,公式(2)显示收益或亏损似乎是“一次性”兑现,事实上它是一个长期的过程:一个复杂的净现金流,考虑了投资、产量递减、价格波动、费用(包括税收)和通货膨胀等。第三,为了考虑资金的时间效应,净现金流表示为贴现现金流量,以便整个投资可以和目前的投资相对比。现值(PV)为1美元,也就是说现值已贴现来反映钱的时间价值。

在ENPV式中,不确定因素存在于除净收入利息外的每项参数中。这些不确定因素各不相同,包括地质、工程、法律、政治、经济和运气等。地质人员专门负责对储量规模、开采速度和成本等进行估算;研究人员通过可靠的科技判断(必要时进一步研究)来尽可能降低不确定性;并把不确定程度准确可靠地反映给管理层。否则决策者的投资决策将受到误导,且是轻率的。因此,技术预测和估算的金融结果包含地质人员的重要专业职责。

第二节 地质不确定性大小

地球是一个粗的过滤器。尽管石油勘探者更多地应用许多复杂的技术,但是,我们在计算圈闭的绝大多数重要的地质参数和因素中的精度仍不能满足我们的预期要求。技术可以降低但不能排除不确定性。然而,勘探总是在很难的情况下作业,所以,新老勘探工作者始终积极评价新工艺和新概念的潜在有效性。因此,勘探家总是不得不处理大量的不确定性。图2-1为四个交会图,显示了现代油公司在被证实为油田的圈闭估算储量时的四个实际经验(Capen, 1992)。图3-10为许多大公司在挪威北海延长期内勘探所同样面临的不确定因素。

图2-1显示了圈闭储量预测的两个重要特征:

(1) 估算值和实际的结果相比普遍偏高,在图2-1b、c、d中,大部分估算结果偏高(图2-1a是一组无偏差的数据)。我们将在后面分析这些偏差。

(2) 估算值的分散特征表明了评价的大量不确定性。对于众多勘探投资来说(重复实验),所面临的众多风险,统计学提供了一个如何用大量不确定因素来描述石油勘探的方法。

这一宽的“分散”特征向石油工作者传递了一个重要的(似乎不合意的)石油评价工作者将尽力吸取的信息:勘探者不能预测他们的成功圈闭(发现)中有多少油气。我们可以成功识别容量很小的圈闭,但是却不能预测大圈闭中有多少油气,因为预先不知到圈闭的充满度、储层质量和闭合度等的变化。

更进一步说,我们通常能区别储量为500万桶和5000万桶级的圈闭,但是,我们不能区别300万桶和500万桶级的圈闭,或者3000万桶和5000万桶级的圈闭。此外,我们通常不知道5000万桶级的圈闭到底有多少石油:100万桶、500万桶、2000万桶或者5000万桶。这一基本的“变化的事实”对勘探家来说具有重大的(但是经常被忽略)的意义。

一、区间和概率

问题是我们如何更切实际地去阐述技术上的不确定因素,并把这些不确定因素应用到经