

油气藏勘探与评价

[美] Luiz Amado 著

杨帆 翟秀芬 路琳琳 译



石油工业出版社

油气藏勘探与评价

[美] Luiz Amado 著
杨帆 翟秀芬 路琳琳 译

石油工业出版社

内 容 提 要

本书采用各大公司在评价区块和远景圈闭价值时常用的研究分析方法,针对不同类型油气聚集区,介绍了含油气区带与圈闭勘探、地质评价和经济评价的全过程,涵盖对某一油气聚集区的详细评价步骤,并配有大量实例和 workflows 说明。

本书可供从事油气区块勘探、开发和评价的工作人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

油气藏勘探与评价/(美)阿马多 (Amado, L.) 著;杨帆,翟秀芬,路琳琳译.—北京:石油工业出版社,2016.9

书名原文:Reservoir Exploration and Appraisal

ISBN 978-7-5183-1259-7

I. 油…

II. ①阿…②杨…③翟…④路…

III. ①油气勘探②油气资源评价

IV. ①P618.130.8②TE155

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 092743 号

Reservoir Exploration and Appraisal

Luiz Amado

ISBN: 978-1-85617-853-2

Copyright © 2013 by Elsevier. All rights reserved.

Authorized Simplified Chinese translation edition published by Elsevier (Singapore) Pte Ltd. and Petroleum Industry Press.

Copyright © 2016 by Elsevier (Singapore) Pte Ltd.

All rights reserved.

Published in China by Petroleum Industry Press under special arrangement with Elsevier (Singapore) Pte Ltd.. This edition is authorized for sale in China only, excluding Hong Kong, Macau and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本书简体中文版由 Elsevier (Singapore) Pte Ltd. 授予石油工业出版社有限公司在中国大陆地区 (不包括香港、澳门以及台湾地区) 出版与发行。未经许可之出口,视为违反著作权法,将受法律之制裁。

本书封底贴有 Elsevier 防伪标签,无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记号: 01-2015-6810

出版发行:石油工业出版社

(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 9 月第 1 版 2016 年 9 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:6.5

字数:160 千字 印数:1—2000 册

定价:60.00 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

一、本书的由来

对于我而言，撰写本书有很多原因。

第一，是缺少油气藏工程在油气田勘探评价阶段应用方面的相关技术性参考文献。

第二，在做油藏工程师的那些岁月里，我为勘探人员提供了很多数据，积累了很多这方面的知识，将这些经验分享给那些未来可能遇到相同难题的同行，我觉得这是一件有益的事情。

第三，因为之前从来没有租赁销售、招标、求租/转租、数据中心和公司间的合作伙伴成为石油天然气方面的专家，因此，相关知识手册对技术和非技术人员来说，是非常有必要的。

我认为在勘探中搜寻机会需要大量的知识和经验。然而，有一种方法可以指导你如何达到这个目的，以及在缺乏数据的情况下，如何创建一个项目来获利。

我希望这本书不仅可以作为一个快速查阅的工具书，还能成为工作手册，能够在书中找到有用的工具来帮助你更好地完成工作。

二、本书的内容和目的

这本书涵盖了评价给定油气聚集区的所有步骤，并把它转化为经济价值，以便它可以囊括在投资组合，以及对其他相似投资机会的合理排名中。

本书的章节顺序主要依据工作流程来编排，这个工作流程通常被各大公司在评估区块和远景圈闭价值时采用。本书的内容包括类比法，即如何在数据很少或者没有数据的情况下获得岩石和流体的信息，以及如何构建初始开发方案和生产函数来分析这些目标的最终经济指标。

本书主要关注如何求取油气井和油气藏的采收率，以及如何决定某种类型油气田开发中需要的生产井数和注水井数。本书将会用简单的、具体的模型来详细讲解生产曲线。

在介绍和讨论碎屑岩和碳酸盐岩油气藏时，将根据碎屑岩和碳酸盐岩油气藏的特征，以及不同的岩石类型在生产中如何影响经济性来阐述。

本书不仅涵盖了勘探阶段，而且也包括了评价阶段，还有从第一口勘探井一直到第一滴油产出，整个阶段中涉及项目设备、运行计划和开发计划。

另外，技术环节这一章对于本书而言也是必不可少的，它可以量化如何改进不好的项目，从而提高其经济效益。

三、本书读者的定位

远景圈闭评价是一项多学科的任务，因此本书的受众面很广，即勘探和评价团队的管理者或者研究人员，以及那些想了解如何将地质储量转变为可采储量，从而将其转化为经济价值的人员。

如果你是，或者你与一群石油工程师、经济师、资产管理者、地质家或地震解释人员等工作，你一定能从本书中获益。

如果你是其他领域或其他行业的专家，想简单地了解石油公司如何获得、增长其项目的投资组合，你可以将这本书作为学习的一个突破口。

最后，希望你们能喜欢这本有新意的书，并将本书中的方法论应用到你的日常工作中，帮助你们在区带、圈闭勘探中创造价值。

Luiz Amado

目 录

绪论	(1)
1 项目框架和从储量到经济价值的评价分析	(3)
2 基本知识：成藏组合、可能圈闭和远景圈闭	(6)
2.1 成藏组合的定义	(6)
2.2 可能圈闭的定义	(6)
2.3 远景圈闭的定义	(7)
3 勘探和评价阶段	(8)
3.1 探井	(8)
3.2 评价井	(9)
3.3 勘探阶段和评价阶段的时限	(9)
3.4 地震和地下研究	(10)
4 岩石和流体评价	(11)
4.1 计算石油和天然气地质储量	(11)
4.2 孔隙度随深度变化趋势	(11)
4.3 孔隙度与渗透率的关系	(12)
4.4 初始含水饱和度与渗透率的关系	(12)
4.5 采收率与深度/成藏组合的关系	(13)
4.6 地层体积系数	(14)
5 寻找和使用类比资料	(15)
6 储量和采收率	(19)
6.1 类比方法确定采收率趋势	(19)
6.2 分析法得到的单井预期最终采收率	(19)
6.3 采取过程	(20)
6.4 录入分布	(20)
6.5 使用@ RISK 项目的实例	(21)
6.6 结果	(22)
7 井及其生产特征	(23)
8 设施和海底工程	(25)
9 成本费用	(28)
9.1 设备成本 (CAPEX)	(28)
9.2 钻井成本	(28)
9.3 运营成本 (OPEX)	(29)
9.4 项目选时和经济分析投入	(30)

10 区块出租、招标和购入	(31)
10.1 租约、招标和购入机会的定义	(31)
10.2 税务制度——PSA 和税费/权利金	(31)
11 技术的价值和收益	(34)
11.1 技术对我们的帮助	(34)
11.2 通往技术的路标	(34)
11.3 技术+创新	(35)
11.4 新兴技术	(36)
11.5 期望	(36)
12 油气田评估实例	(38)
12.1 实例 1——小型稠油聚集区 (地质储量 $<500 \times 10^6 \text{ bbl}$)	(38)
12.2 实例 2——大型稠油聚集区 (地质储量 $>500 \times 10^6 \text{ bbl}$)	(45)
12.3 实例 3——小型轻质油聚集区 (地质储量 $<300 \times 10^6 \text{ bbl}$)	(48)
12.4 实例 4——大型轻质油聚集区 (地质储量 $>500 \times 10^6 \text{ bbl}$)	(53)
12.5 实例 5——小型干气聚集区 (地质储量 $<500 \times 10^9 \text{ ft}^3$)	(58)
12.6 实例 6——大型干气聚集区 (地质储量 $>500 \times 10^9 \text{ ft}^3$)	(63)
12.7 实例 7——小型天然气和凝析油聚集区 (地质储量 $<500 \times 10^9 \text{ ft}^3$)	(68)
12.8 实例 8——大型天然气和凝析油聚集区 (地质储量 $>500 \times 10^9 \text{ ft}^3$)	(72)
12.9 实例 9——石油和天然气混合聚集区	(76)
12.10 实例 10——油气输送到一个共享设施的实例	(83)
12.11 实例 11——海上多产层油气田实例 (叠置油气藏)	(86)
12.12 实例 12——油气田水平井优选实例	(90)
12.13 实例 13——油田联合开发实例	(96)
参考文献	(97)
致谢	(98)

绪 论

一、各章概述

绪论按照文中出现的顺序展示了各章的基本内容，把远景圈闭评价时常采用的逻辑顺序展示给读者。本介绍可以作为各章节的快速参考和指南。

二、有待发现的数量是阅读本书的另一个动力

有待发现（YTF）的数量代表了某一成藏组合或区域内潜在的有待发现的资源。

目前已发现的储量以十亿桶来计量。然而，普遍认为全球有待发现的储量超过 $8000 \times 10^8 \text{ bbl}$ ，包括北极、撒哈拉沙漠、北海、墨西哥湾、巴西海上以及非洲等区域。

因此，如此巨大的资源量给了我们了解和应用本书的动力。使用本书介绍的技术和工作流程可以将待发现的资源转变为已发现的资源，并继续变为储量。

本书将帮助你有效地估算、甚至评价数量众多的资源并实现经济开发。否则其仍然将尘封于地下，仍然出现在有待发现的图表中。

三、各章简介

1. 项目框架和从储量到经济价值的评价分析

在第一章中阐述了石油天然气专家和石油公司在评价远景圈闭和机遇时通常采用的方法，以及如何建立从储量变为经济价值的工作流程。项目如何筛选与主要的假设相关，在处理任何从储量到经济价值的项目中都必须遵守。

2. 基本知识：成藏组合、可能圈闭和远景目标

本章介绍了一些基本概念和定义以及本书的写作目的，即远景目标评价。还介绍了成藏组合和可能的圈闭，主要是为了说明资产在油气勘探中的用途。

3. 勘探和评价阶段

本章主要介绍了勘探和评价工作将影响远景圈闭的因素经济化，比如探井的数量、评价井的数量和分布，以及如何考虑勘探和评价（E&A）在从储量到经济价值项目中的成本。本章还介绍了地震和地下地质研究及其应用。

4. 岩石和流体评价

本章介绍了能够控制储量和产量的流体和岩石的性质，解释了其相关性，如何获取对研究工作有用的数据，如何分析这些特性的不确定性范围。

核心思想就是为读者提供一些帮助，使其在日常工作中不需要花费太多时间来分析流体样品和岩心的岩石样品。

读者将学会如何利用文献中的数据，或者少量零碎的信息来分析岩石和流体流动方向的相关性。

5. 寻找和使用类比资料

对于油田类比而言，本章是必读部分：如何寻找可以支持预测、验证研究工作的类比油

田。本章中谈及了一些商业数据库，以及如何细心甄选其提供的海量信息。

6. 储量和采收率

本章涉及了如何计算储量和估算采收率。这是本书最重要的章节之一。介绍了计算采收率的方法和经验公式，可以在缺少数据的时候进行估算。

7. 井及其生产特征

本章将为项目建立一个虚拟的开发计划：如何获取总井数、单井采收率，以及生产曲线等必要的信息来进行经济分析。分析初始产率和生产曲线，如何用简单的和复杂的方法得到这些曲线。

8. 设备和海底工程

本章介绍了一些设备和海底工程的基本设计、研究和这些设备的成本。主体的类型、回接装置、浮式采油设备、输出管线、集输管等设备都会在本章介绍。还讨论了如何优选最合适的设备以及输送路线。

9. 资本支出和运营成本

本章阐述了所有与提前投资相关的支出和在生产启动伊始就需要的操作费用。

本章将会给出深水项目中常用设备的大概费用，以及有哪些假设是需要在项目中参考这些费用时考虑的。另外，还会展示包含这些数据的一些数据库，以及估算的成本和方法。

10. 区块出租、招标和购入

本章讲解了在实际工作中区块出租、招标和购入的过程：数据库访问的目的、数据采集，以及评估投标价值、向合作伙伴提供报价或拒绝报价所应遵循的流程。

本章还阐述了一些近期在墨西哥湾的实例，关于专利使用费和公示、投标销售详情等。

11. 技术的价值和收益

读者可以在本章找到如何分析技术在评估中的影响：如何引入那些在不久的将来会开发成功的技术，在项目完善过程中它可以提供些什么便利。

也许有些技术目前还不成熟，但是要考虑到在未来一些项目启动时这些技术将变得足够成熟。如快速钻井技术、更复杂的浮点运算能力、海底泵，以及提高采收率的技术方法等。

12. 油气田评估实例

本章提供了一些油气田的实例，用来说明本书提供的操作步骤，让读者对整个项目的周期和决策者如何利用信息等方面有个全面的了解。最后，详细说明了深水油气项目运行的每个步骤，消除读者可能存在的一些疑惑。

1 项目框架和从储量到经济价值的评价分析

从储量到经济价值是石油公司在经济评价和勘探机会选择时采用的方法。勘探机会是对某个油气聚集区的预期，主要根据地震剖面 and 钻井数据来分析。根据这些数据和相关的知识去解释、假设，就有可能建立一个地质模型（由一些区域、等值线和变化的厚度值定义的三维体），用来代表这个远景圈闭的构造。

因此，寻找勘探机会包含了很高的不确定性和风险。根据地震剖面 and 邻井建立的模型提供了一个基本概念，但必须有探井钻探后才可以确定油气的存在与否。

为了获得远景圈闭，油气公司通常会参与有一定出让期限的区块或单元的投标或租赁销售，在支付了合同签字费后获得这些区块。

这些区块的大小取决于其在世界上的分布位置。在墨西哥湾，区块是 3mile×3mile 的正方形。在世界上的其他地方，区块大小可能是它的 10 倍，例如巴西海域。图 1.1 展示了坎波斯盆地（巴西海域）租赁区块的分布。

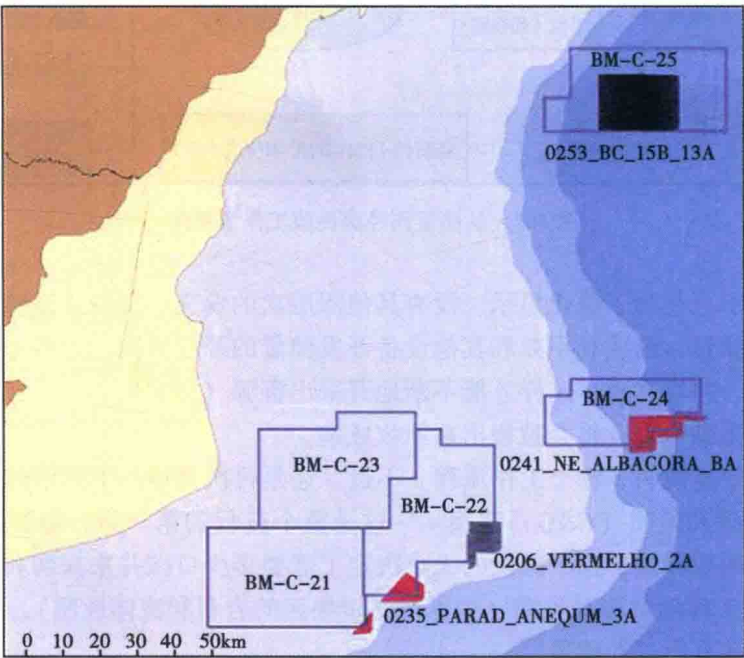


图 1.1 巴西坎波斯盆地海上租赁区块实例

石油公司会寻找那些有利的区块，即多个地质参数叠合后可能形成油气聚集的区块。这些参数参见表 1.1。

表 1.1 地质参数

地质参数	定 义
储层	一组可以存储和产出烃类（石油/天然气）的沉积岩
圈闭	某些区域内可以富集石油/天然气的不同特征的组合
盖层	可以阻止石油/天然气从储层中逸散的岩层
充注	包含烃源岩，以及将石油/天然气排出、运移到圈闭中的能力

所以，从储量到经济价值是识别远景圈闭、计算储量并将其转变为经济价值的过程。图 1.2 展示了从储量到经济价值的工作流程。

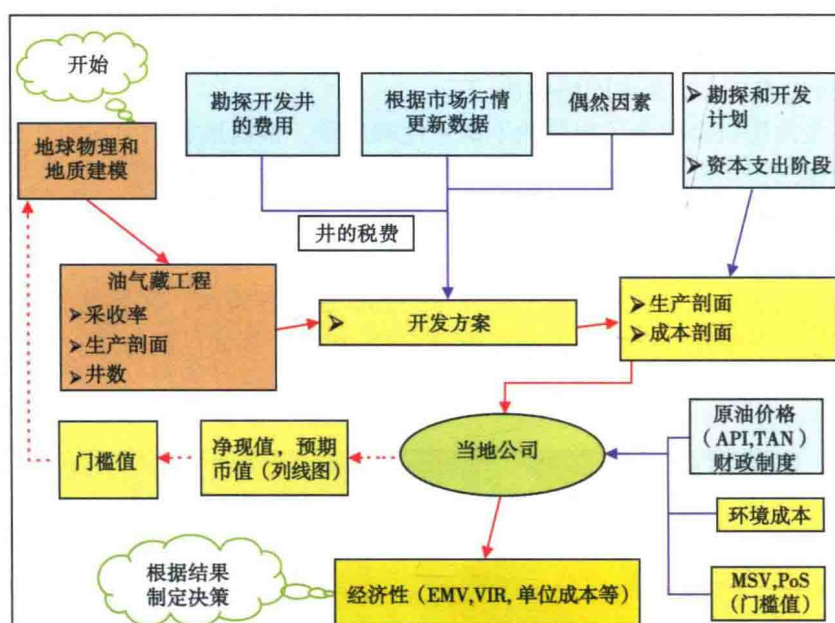


图 1.2 从储量到经济价值工作流程图

使用颜色表示只是为了简化显示，没有其他深层次的含义。简单来说整个过程包括识别远景区带、估算储量，形成利用井和其他设备开发储量的开发方案，这些都需要资金和操作成本来进行钻井、井场基建，这样才能不断地开采出资源（储量）。

资源一旦被采到地表，将会被售出来回收成本。

图 1.2 很清楚地说明了整个工作流程。不过，还是再次描述一下其中的过程。

(1) 地球物理和地质（G&G）建模——这是整个过程的第一步，需要描述可能圈闭和远景圈闭，估算地质储量。这个储量的大小决定了需要多少口探井来探明和控制它们。

(2) 油气藏工程师估算采收率（根据油气聚集区的岩石和流体性质），结合第一步估算的储量，就可以计算出可采储量。

(3) 确定开发井（还有评价井）数量，建立生产剖面，就可以最终获得可采储量。

(4) 形成多个可能的开发方案，每一个开发方案都包括其产量和成本剖面。根据市场因素和其他可能因素来评价、更新勘探井和评价井的成本、开发井的成本、设备和海底工程成本、操作成本等。

(5) 这个开发方案的初稿将会递交到运营这个区块的当地公司，并考虑其意见，比如财政制度、石油和天然气的价格、地方合同和税收，以及在特定国家的特权使用费。

(6) 开展经济评价，分析所有方案的净现值 (NPV) 和预期币值 (EMV) 图。

(7) 列线图 (净现值和可采储量交会图) 可以有效地判断哪些方案 $NPV > 0$ ，哪些方案 $NPV < 0$ (图 1.3)。

(8) x 轴 $NPV = 0$ 时的储量对应门槛储量。

(9) 门槛储量可以用来指导地质团队应该舍弃最小的储量。

(10) 评价新的平均成功储量 (MSV)，在评价时不应使用整个储量曲线，而只应采用那些 $NPV > 0$ 项目的储量。

(11) 再重复整个过程，最终的经济评价将指导决策者确定哪些是有利的运营项目。

下一章，将介绍成藏组合、可能圈闭和远景圈闭的内涵和定义。

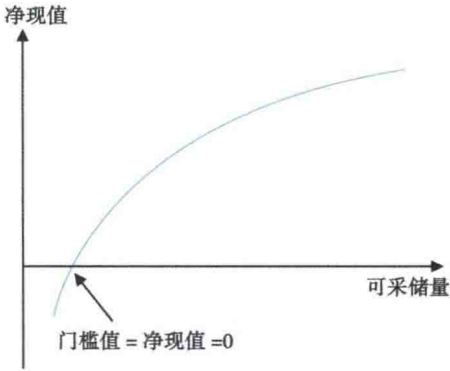


图 1.3 用列线图分析门槛储量的实例

2 基本知识：成藏组合、可能圈闭和远景圈闭

为了理解本书介绍的概念，需要明确成藏组合、可能圈闭、远景圈闭的概念。本章给出的定义都来自于互联网。

2.1 成藏组合的定义

在地质学中，油气成藏组合（简称为成藏组合），是某一区域内受共同地质特征控制的一群油气田或远景圈闭。

一个特定的地层或构造地质环境也被称为一个成藏组合。比如，在一些勘探程度较低的区域，像福克兰岛（出版注：英国和阿根廷争议岛屿，阿根廷称为马尔维纳斯群岛），如果说“古生界成藏组合”，指的就是可能在古生界发现的潜在石油储量。

另一个例子是巴西的盐下成藏组合，指的是在盐下的地层，发育在盐析出之前。在勘探程度较高的盆地，如墨西哥湾，勘探家们说的“Wilcox 成藏组合”或“Norphlet 成藏组合”总体上指的是分别来自古新统和侏罗系中的产量和可能的产量。

一个成藏组合也可以表示各类可能的储层或岩石类型。比如安哥拉海上浊积岩成藏组合或东爪哇海碳酸盐岩成藏组合。成藏组合也可代表构造环境，如怀俄明州的推覆构造成藏组合。

有时成藏组合这一词也用于油气潜在发育区，如南得克萨斯成藏组合或尼日尔三角洲成藏组合。但“成藏组合”通常只用于讨论特定地质环境的勘探问题。

因此，在墨西哥湾沿岸某一叠置区，可能同时发现 Wilcox 成藏组合和 Norphlet 成藏组合。墨西哥湾深水成藏组合不一定包含有利于 Wilcox 成藏组合，或者 Norphlet 成藏组合，或者两者的地质特征或区域。成藏组合一词可以代指地质时间间隔、岩石类型、构造，或者这些因素的复合。

2.2 可能圈闭的定义

可能圈闭在油气勘探中是指具有圈住石油或天然气潜力的一个地下构造或地层。当勘探一个新区，或者在某个区域采集到新数据时，勘探家就会开始初探、识别可能的圈闭。

进一步的工作就是针对这些可能的圈闭，分析其是否可以成为可钻探的远景圈闭（图 2.1）。

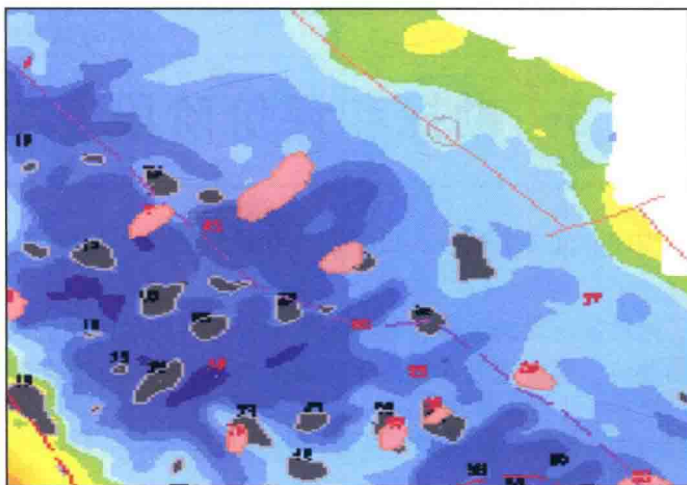


图 2.1 某海上盆地可能的圈闭（粉色区域）

2.3 远景圈闭的定义

远景圈闭是在针对某一成藏组合中的可能圈闭做了足够工作后，可以识别出的油气储量或油气聚集单元。这是一个具有清晰形态、储量已知的圈闭，探井上钻后有很高的成功率可以证实圈闭存在，且圈闭中含有油气。

一个可能圈闭有如下特点：（1）大型简单构造（3 个方向）；（2）处于很好的油气充注环境；（3）有发现轻质油的可能；（4）存在盐下烃源岩。但其目前还不是远景圈闭，需要进行进一步研究：（1）分析临井钻探结果；（2）储层风险评估（是否存在储层？）；（3）岩石质量分析。

3 勘探和评价阶段

一旦确定了远景圈闭并准备上钻，一口初期探井就将钻探。这口井将发现油气聚集区，并证实之前的假设。

勘探阶段包含了地质家所做的工作，包括地震解释、目的层的顶底构造图，以及确定探井和后续评价井的井位。有些远景圈闭由于其规模大小的限制，并非都需要评价井。

3.1 探井

一个远景圈闭根据其规模大小和油气藏的分隔程度，通常需要 1~2 口探井。探井的设计初衷是为了探测某个特定体积或某个区域，而非整个远景圈闭。一旦该探井获得发现，就需要钻探评价井来探测油气藏的边界和油气水界面（并不总是由探井发现）。

另一方面，如果探井没有发现油气，或没有钻遇储层，该远景圈闭就会被放弃。过去的 4~5 年，在墨西哥湾深水中钻探了约 40 口探井，成功率不到 50%，也就意味着有半数的井没有发现任何工业油气流（图 3.1、图 3.2 和表 3.1）。

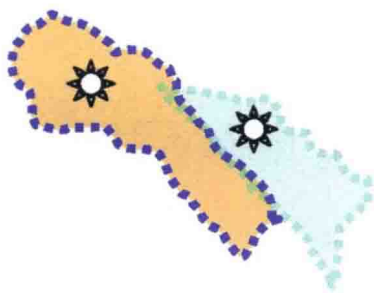


图 3.1 部署了 2 口探井的具有被分隔复杂构造的远景圈闭

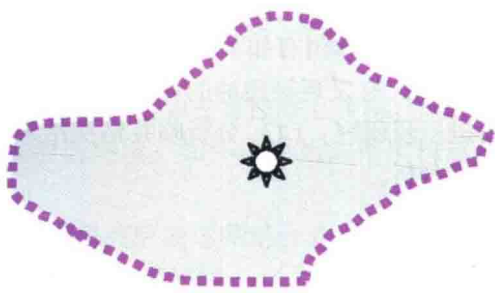


图 3.2 部署了 1 口探井的具有简单构造的远景圈闭

表 3.1 远景圈闭评价实例

基本信息	区域位置	墨西哥湾深水
	成藏组合	上白垩统
	租赁区块	KC#
	作业份额（%）	50
	水深（ft）	5000
主要目标	年代	晚白垩世早期
	圈闭	构造（4 个方向封闭）
	地层	河道轴线
	储层深度（ft）	2000

续表

储量计算	石油可采储量 (10^6bbl)	均值 100, 最大 150, 最小 50
	重度 ($^\circ\text{API}$)	30
	油气比 (bbl/ft^3)	500
风险评估	成功率	21%

注：KC—Keathleen Cannon。

3.2 评价井

确定评价井的数量是一项比较复杂的工作。由于评价井的目的是为了探测油气藏及其他特征，因此评价井的数量就不仅仅是储量的函数，同时也与复杂的构造有关。

图 3.3 提供了一种快速估算评价井数量的方法，利用评价井数量与油气藏可采储量（百万桶油气当量）的函数关系来确定。此函数关系经文献中查阅的类比油气田（图 3.3 中蓝色三角形）验证。

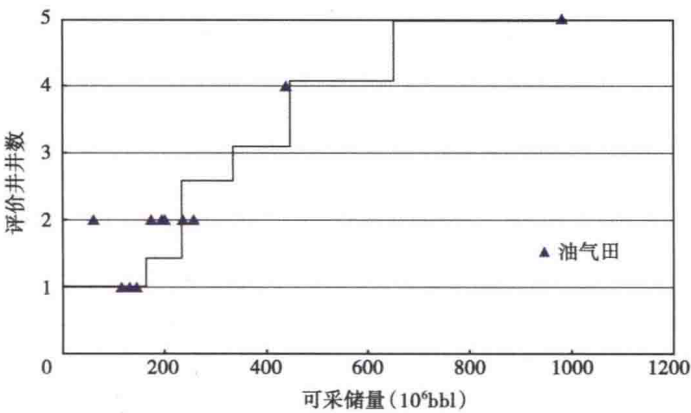


图 3.3 确定评价井井数与可采储量的函数关系图版

在应用该图表时，输入远景圈闭的可采储量，找到与之相交的阶梯线。对应的 y 坐标值即评价井数量。如果得到的是小数，应向上或向下取整数。必须记住的是，评价井的数量不能只靠储量确定，还要考虑油气藏构造的复杂性。

从图 3.3 可见，对于具有不同储量的远景圈闭，其评价井数量都一样，这是因为有些储量规模小的油气藏可能构造非常复杂，或者储量规模大的油气藏可能具有较好的连续性。因此不论规模大小，需要的评价井数量都一样。需要注意的是，图 3.3 中评价井井数的上限值为 5。

比如，可采储量是 $300 \times 10^6\text{bbl}$ 油气当量的油气藏粗略分析需要 2~3 口评价井； $480 \times 10^9\text{ft}^3$ （大约 $80 \times 10^6\text{bbl}$ 油当量）的气藏，根据其构造需要 1~2 口评价井。

3.3 勘探阶段和评价阶段的时限

某一项目的勘探阶段和评价阶段有所不同，主要取决于其储量、钻井数，以及钻探所有

井需要的时间。平均来说,可以假设一个公司钻探井和后续的评价井最多需要 3~4 年,一般一年钻井 1~2 口。这适用于海底 15000~30000ft 以下的近海深水井。井越深,需要的时间越长、成本越高。

3.4 地震和地下研究

在分析从储量到经济价值工作流程中的勘探和评价相关费用时,就应该考虑地震和地下研究的成本。海域地震成本大约需要 3000 万~10000 万美元。