

数学地质丛书

石油资源 定量评价

赵旭东



地质出版社

36971

数学地质丛书

石油资源定量评价

赵旭东



200365906



地质出版社

Series on Mathematical Geology

PETROLEUM RESOURCE
QUANTITATIVE EVALUATION

Zhao Xudong

52/60/27

GEOLOGICAL PUBLISHING HOUSE

BEIJING 1988

内 容 提 要

本书主要介绍石油资源定量评价的数学地质方法,包括石油资源的统计预测方法、外推预测方法、类比预测方法、成因预测方法、综合预测方法以及石油勘探决策分析方法。作者对这些评价方法的地质意义、技术要点、具体算法都作了详细的说明,其中的许多方法都附有实际算例。

本书可供从事石油地质、数学地质的专业人员学习、参考之用,也可作为一般地质人员以及地质院校师生的参考书。

数学地质丛书 石油资源定量评价

赵 旭 东

*

责任编辑:高书平 杨友爱

地质出版社出版发行

(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店总店科技发行所经销

*

开本: 850×1168^{1/32} 印张: 10.375 字数: 271,000

1988年10月北京第一版·1988年10月北京第一次印刷

印数: 1—1,005册 国内定价: 3.85元

ISBN7-116-00518-5/P·276

前 言

石油是当今世界最重要的能源之一。我国自1978年原油产量超过1亿 t 以来,石油产量逐年稳步增长。我国陆地上沉积岩分布面积达500多万 km^2 ,各种类型的沉积盆地200多个,海域水深200m以内的大陆架地区有100多万 km^2 。这是我国发展石油工业的雄厚物质基础。

我国的石油资源非常丰富。为使今后的石油及天然气产量有较大幅度的增长,就必须积极地寻找更多的后备石油资源。因而,认真地研究新的有效的石油资源定量评价方法,及时而准确地预测含油气有利勘探地带和估算勘探地区的石油资源量,已成为我国目前石油勘探工作的一个重要任务。

60年代以来,电子计算机技术的推广,数学地质方法的应用,以及国际学术交流,大大推动了我国石油资源评价工作的开展,提高了评价方法的科学性及评价结果的可靠性。

由于正确的石油资源评价结论会带来重大经济效益,因而石油资源评价工作受到世界上各产油国的普遍重视。目前世界各主要产油国都定期进行石油资源评价工作,美国、苏联大体五年左右进行一次全国性的石油资源评价。

为使从事石油资源评价的地质工作者对石油资源评价的理论和方法有所了解,特编写了本书。鉴于目前发展趋势,石油资源定量评价有可能发展成为石油地质学中的一个实用性分支学科。从学科角度全面准确地论述石油资源定量评价的意义、内容、理论、方法以及和其他学科的关系,还有待于通过今后的不断实践去全面的归纳和总结。而本书的主要目的在于从实用角度向读者介绍一下目前国内常用的石油资源定量评价方法。

本书编写过程中除参考了书中所列的公开发表文献外,还参

考了石油工业部石油勘探开发科学研究院情报室1978年编译的《油气远景储量计算方法》及地质所数学地质组1982年编译的《石油资源评价的数学地质方法》、云南大学数学系王学仁编写的《多元数据分析》、华东石油学院于志钧编写的《石油数学地质》、李德生编写的石油地质勘探技术培训教材《油层评价技术方法和发展》等有关文献资料。

限于作者水平，书中难免有缺点、错误，敬请读者批评指正。

作者

目 录

前言

第一章 绪论	1
§ 1. 石油资源与石油储量.....	1
§ 2. 石油资源定量评价的任务.....	3
§ 3. 预测过程的基本概念.....	4
§ 4. 石油资源定量评价的理论基础.....	7
§ 5. 评价方法的分类原则及方法分类表.....	9
第二章 地质资料	12
§ 1. 地质数据.....	14
§ 2. 地质图件与地质观点.....	16
§ 3. 地质数据的统计特征值.....	17
§ 4. 地质数据的预处理.....	19
第三章 石油资源的统计预测方法	42
§ 1. 蒙特卡罗法.....	42
§ 2. 趋势分析预测方法.....	82
§ 3. 回归分析预测方法.....	102
§ 4. 判别分析预测方法.....	119
第四章 石油资源的外推预测方法	143
§ 1. 指数函数模型.....	143
§ 2. 逻辑斯特模型.....	145
§ 3. 随机钻井模型.....	149
§ 4. 翁(Weng) 旋迴模型.....	152
§ 5. 油田规模序列法.....	162
§ 6. 油田(藏) 规模分布法.....	172
§ 7. 大油田与中小油田比例模型.....	173
§ 8. 储量变化率模型与储量增长率模型.....	174

第五章	石油资源的类比预测方法	179
§ 1.	传统的类比预测方法.....	179
§ 2.	油田模型法.....	202
§ 3.	聚类分析预测方法.....	216
第六章	石油资源的成因预测方法	224
§ 1.	传统的成因预测方法.....	224
§ 2.	干酪根降解法.....	230
§ 3.	油气地质演化模型.....	240
第七章	石油资源的综合预测方法	246
§ 1.	特尔菲法.....	246
§ 2.	多种信息叠合评价法.....	256
§ 3.	模糊集合综合评价法.....	274
§ 4.	熵值评价法.....	285
第八章	石油勘探决策分析	290
§ 1.	勘探决策的类型和方法.....	290
§ 2.	效用理论.....	305
§ 3.	石油资源评价的计算机软件系统的特点.....	312
第九章	结束语	316
§ 1.	世界油气资源的分布特征及控制油气富集 的基本地质因素.....	316
§ 2.	石油资源评价的工作要点.....	322
参考文献		323

原
书
缺
页

原
书
缺
页

原 书 缺 页

原
书
缺
页

息应包括基础地质信息和复合地质信息。前者是指通过一切地质勘探手段（例如地质调查、遥感遥测、地震勘探、钻井、测井、试油、化验分析等）所观测到的数据、图形和资料；后者是指由基础信息经过主观观点（如某种地质理论、地质规律、地质认识、地质假说等）或客观工具（如仪器、计算机等）加工后生成的复合数据、加工图形和地质观点。

在石油资源评价时被圈定的勘探地区，例如一个盆地、一个凹陷等，可称作地质体系。为使一个地质体系能为地质学家所共同认识，必须建立一个大家都能理解的地质模型。所谓地质模型就是对地质体系的一个表示或体现。因此，地质模型应当是对地质体系的一个简化或概括。建立模型时需要把握如下要点：

（1）模型要有足够的精度，必须把地质体系的本质因素包括进去。在不影响精度的条件下，尽量排除非本质的因素。

（2）模型既要精确又要简单。如果简单的模型能使问题得到满意的答案，则不必去搞复杂的模型。模型太复杂则失去了建立模型的本意。

（3）模型必须通过大量验证，说明行之有效。

（4）模型必须具有预测能力，否则所建立的模型毫无意义。

（5）模型的教学表达式应当尽量向标准的数学公式靠拢。

2. 概念模型与数学模型

在对地质体系深刻理解的基础上，用定性方法论述地质变量间关系的模型叫概念模型或定性模型，而用定量方法以字母、数字、数学符号建立的等式、不等式、图象、图表来表示地质变量间关系的模型叫数学模型或定量模型。

概念模型是建立数学模型的思想基础，由概念模型过渡到数学模型是对地质体系认识上的深化过程。

为了研究概念模型或数学模型的可靠性，常以实验手段进行验证，例如用水槽实验模拟沉积演变过程，用泥巴实验、光弹实验模拟构造演变过程等。这些物理实验可称作物理模型。

3. 经验模型与成因模型

经验模型是根据石油地质勘探及油气田开发过程中积累的大量资料总结出来的模型,经过多次验证后,可以表示某些地质变量间的定量关系。经验模型最主要的特点是在数学表达式中至少有一个所谓的经验系数。系数的意义一般是明确的,但影响系数取值的原因不清楚。

本书中的第四章石油资源的外推预测方法及第五章石油资源的类比预测方法中的模型多数都属于经验模型。

成因模型是根据石油地质的基本理论推导出来的模型,经过多次验证后,可以表示某些地质变量间的定量关系。严格地讲,成因模型中不允许存在经验系数。

本书第六章石油资源的成因预测方法中的模型大部分都属于成因模型。

4. 随机型模型与确定型模型

用定量方法表示地质体系的数学模型可分为两大类:一类是随机型模型,另一类是确定型模型。

由模型进行预测时,存在精度问题。一般情况下,由模型得到的预测值 x 与地质体系的实际观测值 $\hat{x}$ 不相同。

在确定型模型中 x 是模型给出的确定值,如果差值 ($\hat{x} - x$) 是观测误差,其值大到不能使人接受的地步,则可以舍弃 $\hat{x}$, 进行重新观测;如果差值 ($\hat{x} - x$) 是模型对体系的偏差,其值大到不能使人接受的地步,则可以舍弃该模型而建立新的模型。在取舍观测值 $\hat{x}$ 或模型值 x 之前,可以主观决定一个临界标准 ϵ , ϵ 表示可行临界值, $|\hat{x} - x| \leq \epsilon$ 称为可行变程条件,它说明模型对体系的近似性。如果实际的 $\hat{x}$ 值和确定型模型给出的 x 值之间的近似性合乎要求时,则可以得到“几乎如此”的预测结论。

在随机型模型中,对应一个 x , 模型给出一个随机变量的分布。 x 常常是这个分布的数学期望。用随机的观点来看,模型是随机体系的一个体现。所以对于一个 x 值, $\hat{x}$ 也应该是另一个随机变量分布的数学期望。对模型值 x 或观测值 $\hat{x}$ 的取舍也可以用

某一事先确定的置信水平作为临界标准, 如果以 $|\hat{x} - x| \leq \epsilon$ 来表示置信区间条件, 则相应的置信水平 $(1-\alpha)$ 可以说明模型体现地质体系的可能性。如果随机型模型给出的 x 值体现实际观测值 $\hat{x}$ 的可能性合乎要求, 可以得到“可能如此”的预测结论。

5. 预测过程与信息反馈

预测过程包括: 从已知地质体系建立模型的过程及以模型对未知地质体系的预测过程。

石油资源定量评价实质上就是用模型对勘探地区进行预测。如果以预测结论指导勘探, 则可不断获得新的地质信息, 这些信息可以检验预测结论, 改善预测模型, 使新的预测结论更加接近实际。也就是说, 通过信息反馈可以逐步提高预测结论的可靠性。

§ 4. 石油资源定量评价的理论基础

油气资源定量评价使用的各种模型都是根据一定理论建立的, 同时又利用这种模型依据同样的理论去预测探区的油气数量和油气藏位置。这些理论也是油气资源定量评价方法的分类原则之一。

1. 统计预测原理

地质学所研究的地质现象和地质过程都普遍地受概率法则支配, 也就是说地质现象和地质过程可视为随机事件; 因而由各种观测手段得到的大多数地质信息都具有随机变量性质。从统计学观点看, 石油地质勘探过程实质上是对所研究的地质体系的抽样观测过程。由统计方法求得的统计量可看作是复合地质信息, 随着勘探工作的不断深入, 当积累的资料逐渐增多时, 才能得到对地质体系的无偏估计。这就是石油资源定量评价的统计预测原理。由统计预测原理建立的数学模型大多数都属于随机型模型。

2. 外推预测原理

外推预测是根据体系自身已经确知的变化规律, 经过延伸去

推测未来的演变过程。通过认真分析探区中已经得到的实际资料，可以建立拟合模型去逼近以往的勘探或开发历程，当拟合程度已经达到精度要求时，模型的外延部分可以表示这个油区未来的勘探或开发的前景，这就是外推预测原理。

根据外推预测原理建立的预测模型都是利用探区或油田过去勘探或开发历史变化结果的资料建立起来的，所以外推预测法也称历史外推法。所建立的模型大多数都属于经验模型。这种模型一般是把石油资源量、石油储量和石油产量作为时间或投入工作量的函数。

3. 类比预测原理

类比是从两个体系中已经确知的互相类似的性质，预测尚未确知的互相类似的性质。当两个地质体系的成因相似时，含油气地质条件也可能相似，在相似的地质条件下也可能形成类似的油气藏。这就是石油资源定量评价的类比预测原理。

根据类比原理，可以用成熟探区获得的比较全面的地质信息来建立各式各样的预测模型。所谓成熟探区是指已投入较大的勘探工作量，探区的含油气地质条件、石油和天然气储量以及分布规律都比较清楚的油区。成熟探区也可称作模型区或实习区。

由类比预测原理建立的模型大部分属于经验模型。被预测的勘探地区可称作评价区或靶区。

4. 成因预测原理

石油和天然气在地壳中生成、运移、聚集直至形成油气藏是控制油气藏形成的各种地质因素在地质历史演变中互相搭配的结果。生油条件、储油条件、圈闭条件、运移条件、聚集条件和保存条件是控制油气藏形成的最基本的地质因素。在深入研究后发现，在不同的含油气地区，控制油气形成的各种地质因素所起的作用并不一样，各个因素在地质历史演变中的搭配情况也不一样。

石油和天然气在地层中的形成和演变是一个极其复杂的物理化学过程，涉及古地温场、古压力场、界面效应、滤流等物理过

程,以及有机物质的化学演变过程。近年来,在研究油气生成、运移、聚集以及油气藏形成机理方面有很大进展,尽管这些研究成果中有些理论尚待进一步探讨,但是,这些理论或假说正在指导或影响着石油地质勘探工作。因此,根据控制油气藏形成的地质因素和油气藏成因理论可以对一个地区的油气资源远景进行预测。从油气形成机理导出的模型大多属于成因预测模型。

5. 综合预测原理

由于对任何一个地质现象的研究都具有涉及时间长、空间广和因素多的特点,因而地质问题的研究就显得十分复杂,同时,根据少量地质信息做出的预测结论容易犯“弃真”或“取伪”的错误。例如在石油勘探早期阶段,依据少量资料做出的预测就有可能在含油气地区漏圈油气藏、漏算储量,或在不含油气地区错误地圈出油气藏,错算储量。如果把勘探过程中得到的一切资料看作是从各个侧面提供的找油信息,充分地综合利用这些信息,就能取得理想的预测效果。这就是石油资源定量评价的综合预测原理。特尔非法就是一种典型的综合预测方法。

§ 5. 评价方法的分类原则及方法分类表

据不完全统计,目前国内外各种具体的石油资源定量评价方法多达近百种,常用的方法也有二三十种。将这些众多的评价方法进行合理的分类是十分重要的,但是实现合理分类并不容易。按任何原则进行分类都避免不了某些方法之间或某些方法类型之间的互相交叉。

(1) 按石油资源定量评价的任务进行分类:

- ① 石油、天然气的储量或资源量的预测方法;
- ② 含油气有利地带的预测方法。

(2) 按石油地质勘探阶段进行分类:

- ① 早期勘探阶段预测方法;
- ② 中期勘探阶段预测方法;