

石油资源预测中的潜信息 损失及其潜方法研究

熊维纲 成金华

(中国地质大学·武汉)

本文对石油资源预测评价中的多方面性和多层次性进行了分析,对石油地质专家的不确定性知识和定性规律作了研究,在描述专家思维知识的过程中指出了思维过程和描述过程的潜在信息损失。提出,深入探讨专家的知识结构、思维特征,认真总结石油预测中的定性规律和信息传递,将有利于石油地质从定性为主的经验描述走向定性和定量相结合的科学描述,有利于引进一些新思想、新方法武装石油地质学。

预测学是新近兴起的软科学分支之一。从时空上可以把预测划分为定时预测和定空预测两大类。定时预测是指对事件出现的时间的预测,或者是对以时间序列为基础的问题的预测。定空预测是指对某一特定事件的空间位置及其规律性的预测或是对特定条件下将会出现的事件及其性质的预测。石油资源预测虽是一个经验性很强的科学问题,但从现代兴起的预测学角度来考虑应该是一个定空预测问题。它是对某一盆地是否含有油气以及油气的分布规律作出判断和评价,同时也对含油气的质和量作出估计。

预测学通常使用两个原则:惯性原则和类推原则。惯性原则假设任何变化趋势总是连续的,所以可以从过去按原来的变化趋势预测未来;类推原则则是惯性原则与类比原则的合用,它指示我们由此及彼,由局部推及整体。实际工作中,许多问题是难以满足这两个原则的,尤其是在多层次专家组成一个大的预测系统联合对某一事件进行预测的情况下更是如此。这样,预测学之中的专家判别方法就必不可少。在专家判别方法中,专家使用的知识有这样的划分:确定性知识和不确定性知识。确定性知识是指那些写在书本上已为人们作为真理接受了的,或者是指那些普通的常识;不确定性知识是指那些只存在于专家大脑之中只有通过长期实践才能获取的知识,它包括专家独特的认识、思维方法以及经验准则等。我们认为,不确定性的知识也具有规律性,也可以用数学模型或物理模型去逼近它,深入研究这些不确定性知识具有方法论上的重要意义,同时对于定空预测理论也有贡献。下面以石油资源预测评价为例来说明这些问题。

石油地质专家进行油气资源预测评价时所使用的的不确定性知识主体表现为专家的经验之中,这些经验体现在如下几个方面:

1. 专家所依据的理论假设是在有机成因晚期成油假说的前提下,那么我们认为专家的知识背景是相同的。但是,专家分析某一圈闭是否含有油气时所使用的知识背景子集不一样,即各知识背景子集不重合,每个人使用哪些知识要凭自己的实践经验而定。

2.不同的专家虽然使用了同一知识背景中的同一部分知识,但是,对各种因素的重视程度要根据自己的实践经验而定。

3.不同的专家对同一知识背景之中的同一知识因素虽然重视程度相同,但是,在处理海相与陆相、东部与西部、新生代与中生代或中生代与古生代地层中的不同问题时,看法不一致。

4.众多的因素在不同的专家眼里有多种不同的联系方式。

5.同一联系方式在不同的专家眼里有不同的表示。

6.对某一问题的解决存在着众多的方法,选择哪种方法要根据专家的经验而定。

7.置信度和结果的传递在不同的专家眼里有不同的形式。

8.不同的专家思维方式不一样。如有的专家长于从构造角度思考问题,有的专家长于类比,有的专家特别注意那些奇异的地质现象或地球物理异常(例如拗中隆或地震剖面上的亮点等),有的专家思维有自己简略的步骤或行之有效的方法而不教条式地分析“生、储、盖、运、圈、保”这六个方面等等。

根据专家经验的这些特点,我们利用专家调查法、知识工程方法和预测学知识,设计了如下几步专家知识获取技术(以储层分析为例):

INT: 要解决什么问题

DE: 储层条件 P_0

INT: 储层条件与哪些因素有关

DE: P_0 与孔隙度 P_1 渗透率 P_2 、……有关

INT: 这些因素具有哪些性质

DE: P_1 (数值 k_{11} , 对 P_0 、贡献可能值 k_{12} ……)

P_2 (数值 k_{21} , 对 P_0 贡献可能值 k_{22} ……)

……

INT: 这些因素有哪些联系方式

DE: $R_1 P_0: P_0 \rightarrow P_1$

$R_2 P_0: P_0 \text{——} P_2$

$R_3 P_0: P_0 \text{——} P_1 P_2$

……

INT: 这些联系方式是什么

DE: $R_1 P_0: P_0 = K_{12} = f_1(k_{11})$

即用孔隙度来评价储层

$R_2 P_0: P_0 = k_{22} = f_2(k_{21})$

即用渗透率来评价储层

$R_3 P_0: P_0 = \alpha_1 k_{12} + \alpha_2 k_{22}$ (系数 $\alpha_1 + \alpha_2 = 1$)

即用孔隙度和渗透率评价储层

……

INT: 如何选用这些联系方式

DE: 在孔隙度和渗透率资料都具有的情况下选择 $R_3 P_0$ 。

.....

INT: 如何表示结果的可信度

DE: 经验估计式——

如果联系方式是 $f = f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdots f_n$ 的形式, 则可信度 g 为:

$$0 \leq g \leq \min(g_1, g_2, g_3, \dots, g_n)$$

如果联系方式是 $f = (a_1 f_1 + \dots + a_n f_n)$ 的形式, 则可信度 g 为:

$$1 \geq g \geq \min(g_1, g_2, g_3, \dots, g_n)$$

.....

INT: 如何表示结果的传递

DE: $f_0 = k f_1$ $0 \leq k \leq 1$

k 表示上一层次的专家要对下一层次的专家所推结果持保守态度。

INT: 这些获取知识技术有否信息损失

DE: 信息损失的描述:

层次转换: $f_0 = f_e(f_1, f_2, \dots, f_n)$

方面合并: $f_0 = f_k(f_1, f_2, \dots, f_n)$

下面对专家知识的获取过程进行说明并着重解释一下最后一步“信息损失”的问题。

知识获取过程的第一步和第二步是对问题进行分解, 确定专家解决某一问题时的知识背景; 第四步和第五步以及第六步是描述专家根据问题分解的最底层证据推出上面结论时的逻辑思维方式, 数学式子是对专家思维特征或定性描述规律的模拟; 第七步和第八步是描述信息传递的可靠性或逻辑推理过程中的潜损失; 第三步是专家分析或解决各个焦点问题时所要考虑的证据因素的性质。

石油资源评价, 例如评价某一个“圈闭”是否含有油气, 它是由多专家协作完成的, 这些专家结构有如下特点: 第一: 它是由不同层次的专家组成(有总工程师、主任工程师、一般工程师); 第二, 它由不同方面的专家组成(有生油研究专家、运移研究专家、构造研究专家、储层分析专家、保存条件评判专家等等)。如果我们把这些专家的结构及其评价问题的结构看成一个系统, 那么整个评价过程可以用图1来表示; 整个系统的结构可以用图2来表示。

石油资源综合评价系统中的每一位专家都使用了确定性知识和不确定性知识。由于专家的多方面性和多层次性导致这些系统结构中至少存在这样几方面值得注意的问题:

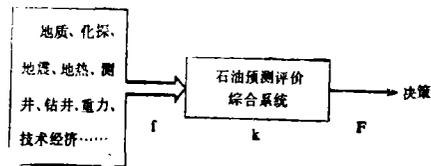


图1 石油资源预测评价信息系统
(说明: 这一信息系统可以简化为如下响应: 输入 $f \rightarrow$ 经过响应 $k \rightarrow$ 输出 $F, F = k \cdot f$)

1. 同一层次的专家之间使用的方法 $k_{12}^1, K_{12}^1, K_{12}^{11}$ 或 k_{11}, k_{12}, k_{13} 具有不统一性, 例如, 主任地质师通过 k_{12} 把 $k_{12}^1, K_{12}^1, K_{12}^{11}$ 这三个不统一的方法合并起来, 那么这种合并形式到底是什么呢?

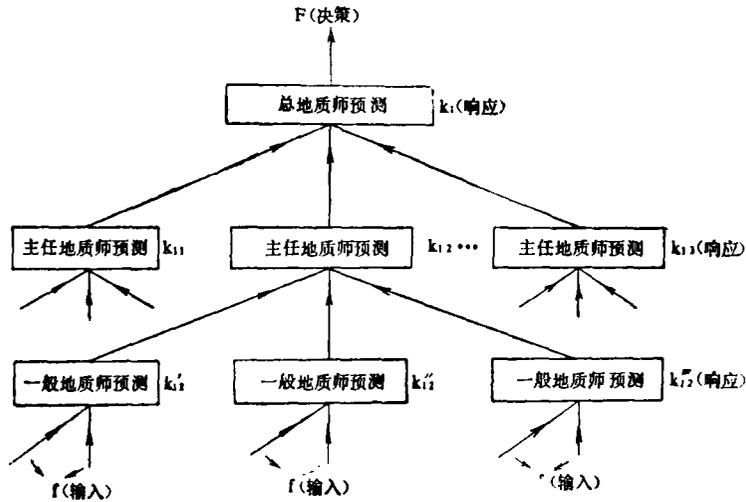


图2 石油资源综合评价专家系统结构图

说明： K_1 、 K_{11} 、 K_{12} 、 K_{13} 、 K_{111} 、 K_{112} 、 K_{111}^1 的整体响应等于图中的响应 K ，它可以分别看成是不同层次专家、不同方面的专家所使用的不同方法，用数学语言描述可以是模糊方法、统计方法、灰色预测方法、表格推理方法、线性和加权叠加方法、概率方法和主值方法等等）。

2.不同层次的专家之间使用的方法具有不连贯性，如 K_{112}^1 、 K_{112}^1 、 K_{112}^1 之中的任意一个与 k_{12} 之间，或者 k_{111} 、 k_{12} 、 k_{13} 之中的任意一个与 k_1 之间使用的方法不连贯，实际之中专家思维转换了，那么这种转换形式是怎样的呢？

3.不同层次的专家之间，如下一层次生油专家推出某盆地生油条件为“好”，这一“好”作为主任地质师应用它推出更上层结论的证据时，虽同是一个概念“好”，但由于专家层次之间发生了变化，其意义绝对不一样，或者不等“值”，这种潜损失如何描述？

4.如果我们只考察专家的思维方法和思维过程，就会发现，专家进行油气资源预测评价时不但进行图3所示的任务按层次分解，而且还越级进行评价，不断地与其他子系统进行信息交换以影响本局部系统的预测评价（图4）。这种潜信息又如何表示？

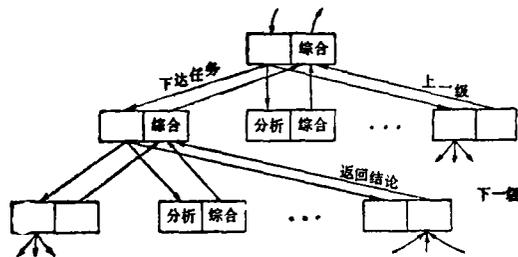


图3 任务按层次分解图

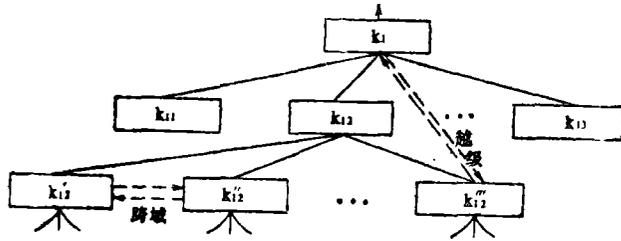


图4 信息越级跨域交换图

信息潜损失存在于实际及数理模拟之中。设想一个总工程师进行决策评判时，要综合不同方面、不同层次专家的意见和成果，而这些不同方面、不同层次的专家所使用的逻辑思维方式是不同的，如果高一层次的专家很少懂得或很少了解低一层次专家的逻辑推理方式，即不知道或不考虑下面人员是如何得出某一结论的，而只管应用他们的结论，采纳他们的意见，则必然存在一种信息损失，导致解释欠合理、预测和决策欠科学，这就是潜损失。如果有的总工程师或主任工程师知识还比较全面，他们考虑了这种潜损失，这时，当我们用数学方法或计算机方法试图进行专家思维模拟时，如果不考虑专家之间逻辑思维的合并、转换等过程，则会制造出另一种潜损失，导致结果不准确。

从以上分析我们可以看出，横向多方面专家与纵向多层次专家联合进行预测评价时，有很多经验解决了的，但为理论研究者忽视的问题或者是实际存在但专家并没注意的问题。我们应该以怎样的方法去逼近或模拟，这是许多人正在寻求解决的问题。我们在这里仅作个初步尝试。

设想一个图5所示的层次模型：

假设要解决两个问题 O_{11} 和 O_1 ， O_{11} 是 O_1 的子问题。作为解决 O_{11} 问题的证据 $S_{11}S_1$ 入射到问题 O_{11} 平面时，遵循物理定理，有反射线 S_1S_{11}' 、透射线 S_1S_0 。我们有以下分析：

1. 如果解决 O_{11} 时证据有若干个（类似 $S_{11}S_1$ ，但入射角不同），那么，透射线 S_1S_0 也有若干条，但透射角不同，它们的合成是集中于 S_1S 方向的矢量，作为解决问题 O_1 的新证据。

2. 专家在同一层次上思维的合并就是不同入射线的合并。专家在不同层次上思维的转换就是入射线与透射线的转换。专家在不同层次上所使用的概念不等值损失就是界面上的损失。射线 S_1S_1' 是一条不发生方向变化的射线，相当于界面 O_{11} 存在与否无意义，这可理解为信息的越级交换；但是，这种射线正好以问题 O_{11} 平面为对称平面对称于反射线 S_1S_{11}' ，而反射不仅包含了入射证据的剩余，而且还包括证据解决问题 O_{11} 时所作出的信息反馈，所以信息的越级交换是表明了中间问题有隐含关系的，但能弥补任务按层次分解所带来不足的部分交换。信息跨越交换可以理解为由问题 O_{11} 平面和 $S_1S_{11}'S_{11}'$ 平面所围成的“介质”具有对各证据射线的

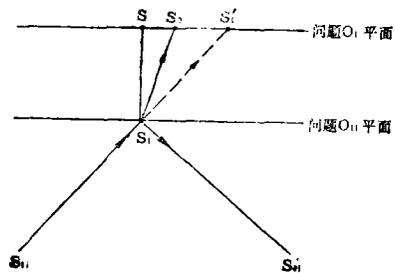


图5 一个层次模型设想图

某种传导作用所致。

3. 层次模型之中至少包括如下几种数学模型：

$$F = k_1 x \dots \dots \dots (1)$$

其中 $x = f_1(x_1, x_2, \dots, x_n)$ k_1 : 常数

$$F = k_2 x + \alpha \dots \dots \dots (2)$$

其中, α : 常数 k_2 : 常数

$$F = k_2 x + \alpha \dots \dots \dots (3)$$

其中, α : 常数, $k_2 = f_2(x_1, x_2, \dots, x_n)$

还有: $F = \alpha$, $F = x + \alpha$, $F = f_3(x)$ 等等。

其中, F : 推出的结果作为新方法的证据

x_1, x_2, \dots, x_n 是各子方法得出的结果

这些式子要从方法角度来理解它们的含义。如：模糊数学方法导出生油条件等方面的如下结论：

	隶 属 度 α 好	隶 属 度 α 中	隶 属 度 α 差
生 油 条 件	α_{11}	α_{12}	α_{13}
运 移 条 件	α_{21}	α_{22}	α_{23}
储 层 条 件	α_{31}	α_{32}	α_{33}
盖 层 条 件	α_{41}	α_{42}	α_{43}
圈 闭 质 量	α_{51}	α_{52}	α_{53}
保 存 条 件	α_{61}	α_{62}	α_{63}

说明: $0 \leq \alpha_i \leq 1$

那么，我们更高层次的专家如果不使用模糊数学方法而是使用其他方法该如何处理这些结论呢？实际专家是运用经验导出了更高层次问题的结论，如“指定圈闭含油气有利性可能值为0.8”，那么用数学公式描述，如何将下一层次各专家的三个结论“ α 好、 α 中、 α 差”合并导出一个结论“可能值P”？还有前面提到的同一概念不等值问题，相当于 $F = x + \alpha$ 描述，那么，这种潜损失 α 又是多少呢？在计算机科学的最新分支——专家系统理论中，不但考虑了方法的转换，还考虑了各种条件和结论在推理分析中可信度等问题的传递与转换，类似潜损失的描述，不赘。这些问题的研究是有益于定空预测理论的多层次多方面系统的预测研究问题的解决的，是有益于石油资源评价由定性为主的经验描述转向定性和定量相结合的科学描述的。

本文的完成是在我们用专家系统方法，利用地质和物探资料来解决石油资源预测问题的研究过程中逐步形成的，曾经得到关士聪、刘光鼎、李德生、刘和甫、陈焕疆、陈发景、张万选、阎秀刚、谢秋元等教授、学者和专家的指教或来信指导，并受到他们思想的启发，特此致谢！

（收稿日期：1988年1月24日）

参 考 文 献

[1] Wayne I. Boucher, 1985. “预测和未来学研究”（中译本），上海科学技术文献出版社。

STUDY ON THE POTENTIAL INFORMATION LOSSES
AND THE POTENTIAL METHODS IN THE
RESOURCES ESTIMATION OF PETROLEUM

Xiong Weigang Cheng Jinhua

(China University of Geoscience, Wuhan)

Abstract

This paper is to analyze multiaspects and multiserries in petroleum assessment, and to study the undeterministic knowledge and qualitative laws used by petroleum geologists and to conclude that there is the potential information losses in the processes of thinking and description. It is important to make extensive investigation about the knowledge structures and thinking peculiarities of the experts, and to sum up the qualitative laws and message transmission, which would be helpful for petroleum geology in the extent of qualitative description of mere experience toward more scientific description combined with qualitative and quantitative methods, and which would be useful in introducing new ideas and methods for the development of petroleum geology.