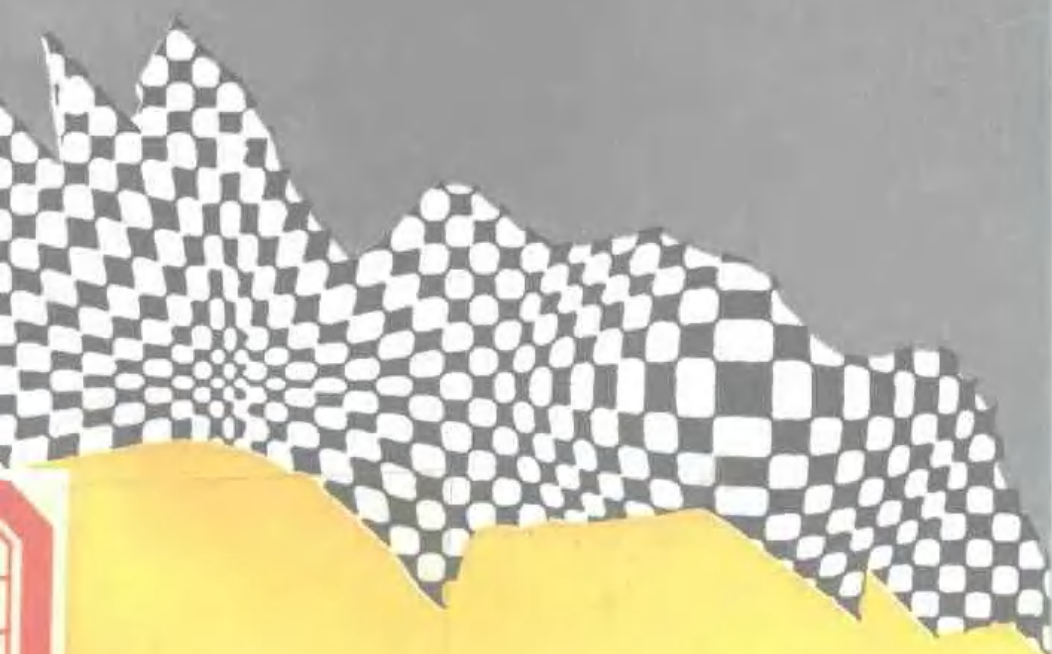


天然气 聚集过程定量评价

〔苏〕B. H. 拉林



石油工业出版社

• 070877



200427957

天然气聚集过程定量评价

[苏] В.И.拉林

徐树宝 孙永祥 崔凤文 译



00673068

石油工业出版社

(京)新登字 082 号

内 容 提 要

本书试图采用天然气藏形成和破坏的每个阶段的定量评价形式,详细研究地下含气性预测的理论和实践问题,综合归纳天然气溶解度和扩散作用方面的资料,详细阐明天然气运移、生气源岩产率、残余含气饱和度和天然气藏形成等问题,说明苏联不同含气区天然气聚集过程的定量评价。

本书对象为石油和天然气工业部门的专家-地质学家、水文地质学家和地球化学家,对有关专业的大学生和研究生也是有益的。

天然气聚集过程定量评价

[苏] B.M.拉林

徐树宝 孙永祥 崔凤文 译

石油工业出版社出版

(北京安定门外安华里二区一号楼)

石油工业出版社印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092 毫米 32 开本 $6\frac{7}{8}$ 印张 149 千字 印 1-1,200

1992 年 1 月北京第 1 版 1992 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-0691-X / TE · 656

定价: 3.90 元

译者的话

《天然气聚集过程定量评价》是一部天然气资源定量评价方面的专著。作者为苏联著名的天然气地质学者，长期从事天然气地质科研和教学，积累了较为丰富的经验，从而为编著这样一本天然气地质和资评方面的著作奠定了基础。

作者在总结归纳前人研究成果的基础上，系统地阐明了天然气特征、天然气生成、烃源岩产率、天然气运移、聚集和散失等方面的理论和实践问题。在系统研究天然气藏形成和分布规律的基础上，建立了几种天然气藏形成的模式，结合中亚含气区和加兹里气田的典型实例，系统地估算了一个地区和气田天然气生成量、溶解气量、吸附气量、扩散气量、分散气量以及天然气生成、运移、聚集到天然气藏形成和破坏等全过程的定量评价方法及相应系数。这对解决天然气藏形成及其资源定量评价具有重大意义。

译者推荐本书的目的是通过介绍苏联天然气资源定量研究和方法，力图对我国天然气地质研究和资源评价工作有所帮助，进而促进天然气勘探的发展。

本书绪论、第一、二、三章和结论由徐树宝译，崔凤文校订；第四章由崔凤文译，第五、六、七章由孙永祥译，徐树宝校订。全书统校工作由徐树宝担任。译文内容曾经陈秀如、窦立荣和郭焦峰细致阅读，并提出宝贵意见，在此表示感谢。译文不妥之处，恳请读者指正。

1990年12月

序 言

苏联天然气的开采量和天然气资源的需求量正在高速增长。“1981—1985年以及1990年以前苏联经济和社会发展主要方向”规定，在1985年天然气的年产量达到 $6000-6400 \times 10^8 \text{m}^3$ ，同时，要确保普查勘探工作高效率。由于这个原因，考虑了地壳中天然气藏形成和分布的总规律，进一步详细研究含气性预测的科学依据，则具有十分重要的意义。

在综合研究天然气藏形成资料的基础上，本专著提出了气藏形成现有模式的定量分析，这种对气藏形成整个过程的所有环节(天然气生成、运移和气藏形成)的定量分析研究还是第一次。

在本专著准备付印的过程中，作者对莫斯科石油和天然气学院油气普查勘探基础理论教研室的全体同志及 И.В.维索茨基、Ф.А.格里申、С.Н.扎基罗夫、А.А.卡尔采夫、А.Л.科兹洛夫、А.Ю.纳米奥特、С.Б.瓦金、В.И.波罗斯库、В.А.谢列勃里亚科夫、Ю.И.斯特克梁英、В.С.哈夫金、В.П.舒格林等提出的建议和咨询表示感谢。

教研室和实验室的领导 А.А.巴基洛夫、Э.А.巴基洛夫和 В.И.叶尔莫尔金对这本书的工作给予了很大的帮助。

作者对 Н.И.格罗马金提供加兹利气田的有关资料和 В.А.谢维亚科夫完成的生气量计算表示感谢。

作者也非常感激 В.И.叶尔马科夫、Н.М.穆茨钦科和 Э.А.塔巴萨斯基参与此书评语编写和手稿阅读，并给予极大关注。

作者将感谢读者对本书提出批评和建议，并将批评和

建议寄到：117296.莫斯科列宁大街 65 号，莫斯科石油天然气学院油气普查勘探基础理论教研室。

目 录

绪 论	(1)
第一章 地壳中烃类气体存在的形式	(4)
第一节 水中溶解气	(4)
第二节 油中溶解气	(13)
第三节 吸附气	(15)
第四节 夹持气和气流(游离气)	(18)
第五节 气水化合物	(19)
第六节 在气藏形成的不同阶段天然气的物理状态 (原生气藏和次生气藏)	(20)
第二章 天然气成因、生气规模和强度	(23)
第一节 原始有机质	(24)
第二节 生气源岩	(33)
第三节 在围岩深埋过程中有机质的堆集和演化	(34)
第四节 有机质演化过程中的生气规模	(37)
第五节 源岩层的产率和天然气生成的强度	(51)
第三章 天然气生成和聚集的环境和温压条件	(57)
第一节 地下水	(57)
第二节 温度和压力条件	(68)
第三节 成岩作用过程中天然气生成的环境参数 及其演变	(69)
第四章 天然气的运移	(97)
第一节 运移形式	(97)
第二节 天然气运移规模(距离)	(101)
第三节 天然气运移速度	(102)

第五章 气藏的形成和破坏	(108)
第一节 碎屑岩的含气饱和度及其气相的形成	(108)
第二节 气藏形成的地质模式	(114)
第三节 气藏形成的时间和持续性	(119)
第四节 油气藏的破坏	(123)
第五节 岩石圈中气藏分布的特点	(126)
第六章 气藏形成地质模式的定量研究	(134)
第一节 在气流运移条件下气藏的形成	(134)
第二节 扩散作用形成的气藏	(138)
第三节 在地层水上升运动条件下形成的气藏	(141)
第四节 在构造上升运动条件下形成的气藏	(156)
第五节 气藏形成的方程式	(160)
第七章 天然气聚集过程的定量评价和含气性的预测	(172)
第一节 天然气聚集过程的定量评价实例	(172)
第二节 应用气藏形成的平衡方程预测和评价 天然气资源	(199)
第三节 天然气聚集过程的定量评价以及含油气 差异预测	(200)
结论	(206)
参考文献	(208)

绪 论

在 30 年代关于天然气和气藏成因问题的最初研究是由 В.И.维尔纳茨基、В.П.萨夫钦科和 В.В.别洛乌索夫等完成的。同时，在 И.М.古勃金的精典著作中也曾阐明过，而在他的后继者 А.А.巴基洛夫和其他一些学者的著作中则进一步发展了地壳中油气生成和油气聚集过程的论点，这些论点是与成岩作用和构造作用有紧密联系的，按以下模式决定油气藏形成〔И.М.古勃金，1937、1975；А.А.巴基洛夫，1973〕：

①在烃源岩层有机物质演化过程中烃类的生成；

②油气从源岩向渗透层的初次运移不仅沿储集层进行，而且还沿断裂进行；

③在圈闭中油气藏的形成。

天然气地质研究的新阶段始于 20 世纪中期，以出版 В.А.索科洛夫、В.П.萨夫钦科、А.Л.科兹洛夫和 И.В.维索茨基等的一系列重要著作作为标志。В.П.萨夫钦科（1952）和 А.Л.科兹洛夫（1959）提出了油气运移的理论，В.А.索科洛夫（1948—1971）研究了天然气生成、运移和聚集的问题，И.В.维索茨基综合了天然气地质和地球化学现代理论。

烃类气体及气藏成因问题的地球化学和同位素研究的广泛发展，综合研究油气生成、运移、聚集和散失，组织查明气藏分布特征成为这一研究阶段的显著特点。这些研究可以

评价不同有机质成分在甲烷和其它烃类气体生成过程中的作用，还查明沉积盆地中唯一的或主要的天然气生成带和天然气聚集带，解释地壳中油气藏分布的一些特点。

这一阶段已证实的油气藏分布的分带性，即气态烃聚集在一些地带，而液态烃聚集在另外一些地带的特殊性成为重要规律之一。正如提到那样，已查明的 90% 以上天然气资源分布在纯天然气或者凝析气的局部和区域性聚集带中。

在这一时期，第一次全苏烃类气体成因会议的召开（阿什哈巴德，1974）具有重要的意义。在那次会议上讨论了有关天然气田科学预测的一些问题，强调烃类气体生成的以下时间和空间的特点。

天然气的生成发生在有机质的演化过程中，即始于成岩作用阶段，随着生气源岩层的深埋，在演化作用过程的所有阶段（达区域变质带）连续不断生成天然气。气的生成不仅发生在腐殖型有机质的岩层中，而且还发生在腐泥型有机质的岩层中。陆相含煤和亚煤系建造对气的生成起着很大作用。

证实了天然气资源在地壳中地质分布规律性的一些论点。同时，在会议上还强调，不是所有气藏形成问题都是单解的，这无疑在研究预测地区含气性的可靠程度上反映出来。

近年来，明显的提高了对天然气的形成过程和沉积岩中气的生成及分布的平衡等方面的定量研究的兴趣，已发表的大量专著都阐述了这些问题。B.П. 萨夫钦科的研究成果是卓有成效的，他首先提出这些过程的定量评价，如气流运移是通过突破泥岩盖层和气泡从水中析出。

在沉积岩中天然气生成和它的分布平衡研究过程中，在

定量评价地层可能含气性的同时，同样地认识到气藏形成和破坏的一些阶段定量特性。A.A.格奥杰基扬最先发表了类似研究的结果。近年来，B.И.叶尔马科夫，И.П.扎勃列夫和B.Л.索科洛夫等学者在这一方面又有很大发展。

本书对原生气藏的形成给予了很大重视，并没有对气藏形成的所有问题进行研究。摆在作者面前特定的任务是：阐明定量评价天然气聚集过程的可能性和成果。这些成果可能对从事天然气藏形成和含气性预测的学者感兴趣。

第一章 地壳中烃类气体存在的形式

在地壳的岩石圈中烃类气体可以处于不同状态：气态、溶解状态和固态（气水化合物）。在 B.A.索科洛夫（1966, 1971）、A.A.卡尔采夫（1972, 1978）和 И.В.维索茨基（1979）等人的著作中，都有关于天然气在地壳中以及在气藏形成的不同阶段中的相态的综合性资料，在很大程度上这些著作成为论述本问题的基础。

第一节 水中溶解气

1.概述

在生油气源岩中天然气的生成过程与其在水中的溶解过程同时进行，气体溶解的速度主要取决于扩散速度，而扩散速度又与温度有关。在地壳岩石圈内部，水中天然气溶解速度要比地表附近大得多。

水溶气是流动的，在地壳中它以溶解状态大规模迁移，根据 Л.М.佐尔金的资料（1973），仅在地球一个区（西西伯利亚含油气区）内，地下水中溶解气就有 $500 \times 10^{12} \text{m}^3$ 。溶解状态的气与运移的水一起以同一速度朝着一个方向运移。同时，气的运移伴随有气的扩散作用，扩散气流的方向多垂直于地下水横向运移的方向，但也可能与运移方向一致（如地下水沿断裂带垂向运移时）。

在 A.A.卡尔采夫，Л.М.佐尔金和 B.H.科尔岑什捷英等

学者的著作中阐述了油气区烃类水溶气的研究成果。由这些研究所得到的最重要结论分述如下〔A.A.卡尔采夫, 1972〕:

①通常, 在溶解气中烃类组分占优势 (主要是甲烷), 而非烃类组分的含量不大;

②在水溶气中烃类含量随埋深加大而增多, 而且重烃的含量也随之增加 (图 1);

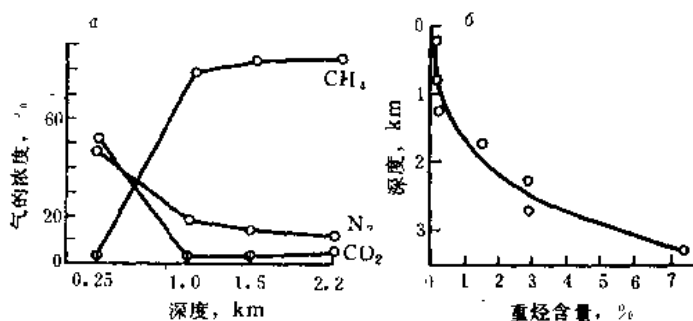


图 1 水溶气的含量和成分 (据 M.C.古列维奇) 及其甲烷同系物含量 (据 O.Л.涅恰也娃娅) 与埋深的关系图

(据 A.A.卡尔采夫, 1978)

③中新生代油气聚集区与古地台含油气区相比, 在地下水中含有较多的烃类气体 (以每一立方米计算);

④甚至在含油气区中也不能在所有地层中发现水中过饱和和含气情况;

⑤在不同地层和地区中饱含烃类气体的地层水是不一样的, 这与这些气体的生成、溶解和破坏的地质环境有关;

⑥含油气区的水溶气成分可以根据表 1、2 的资料推断。

表 1 西西伯利亚含油气盆地水文地质组合中水溶气的成分简表
(Л.М.佐尔金, 1969)

水文地质组合	溶解气量 (cm ³ /l)	气 体 成 分 (%)			
		甲 烷	重 烃	H ₂ +CO ₂	氮气+稀有气体
亚普第一阿尔必—赛诺曼阶	20—1678	0.1—99.0	0—0.2	5.2	0.13—100
尼欧克姆统	40—2400	0.1—98.4	0—0.6	2.3	1.4—99.4
侏 罗 系	225—2320	4.5—90.8	0—12.0	0.35	1.2—94.2
古 生 界	18—1960	30—95.0	0—3.2	10.0	0.69—67.0

表 2 地下水中烃类气体的成分(A.A.卡尔采夫, 1978)

地 区	地 层 时 代	深 度 (m)	烃含量 (m ³ /l)	含 量 (%)		
				甲烷	甲烷同系物	其它气体
伏尔加— 乌拉尔区 (不包括 奥伦堡区)	巴夫林岩系	2500	210	46	3	51
	中泥盆世	1820	102	39	4	57
	晚泥盆世	1610	120	47	6	47
	早石炭世	1550	45	15	5	80
	早二叠世	340	23	65	6	29
奥伦堡区	早二叠世	2000	1440	48	1	51
西西伯利亚	早侏罗世	2520	924	88	0	12
	早白垩世	1720	860	97	0	3
	晚白垩世	1385	705	94	0	6
前高加索	白垩纪	1140	1548	94.5	0	4.5
	渐新世	745	875	97	0	3
中亚(加兹里)	晚白垩世	850	1	2	0	98
	(IX层)					
	晚白垩世	1160— 1230	46— 1525 ^①	80—95	2—4	1—18
苏联欧洲中部	泥盆纪	1500	6	6	0	94

①取决于气藏的距离。

2.气的溶解度

众所周知，所有的气体都溶于水。二氧化碳、硫化氢、氨易溶于水；在同样条件下（压力、矿化度和温度）烃类气体、氮、氢、氧以及惰性气体的溶解度不大（表 3）。

表 3 在正常条件下（20℃ 和 1atm）在蒸馏水中气体的溶解度
（据 B.A.索柯洛夫，1966）

气成分	溶解度 ($\text{cm}^3 / \text{cm}^3$)	气成分	溶解度 ($\text{cm}^3 / \text{cm}^3$)
甲 烷	0.033	二氧化碳	0.878
乙 烷	0.047	氮	0.016
丙 烷	0.037	氧	0.031
丁 烷	0.036	硫化氢	2.580
戊 烷	0.025		

气在水中的溶解度实质上取决于压力、温度和矿化度。在压力不大时（大约达 5MPa），溶解度服从于亨利定律。根据这一定律溶解气的数量与压力和溶解系数成正比，在压力增加时，气的溶解度不成正比增加。温度不高时（<90℃），溶解度与温度的关系成反比；在较高温度时成正比。随着水的矿化度增加，气的溶解度下降。此外，还证实甲烷和乙烷在氯化钙水中的溶解度比在氯化钠水中溶解度要小，这个差别随矿化度的增加而加大；据表 4 的资料可以推断甲烷在水中的溶解度。

表 4 地层水的甲烷溶解度 ($\text{cm}^3 / \text{cm}^3$)

据 H.隆格和 Г.奇叶里奇的实验分析资料

(B.H.科尔岑什捷英, 1963)

水的标准含盐度 (g) (每升水含氯化钠量)	温 度 ($^{\circ}\text{C}$)	压 力 (MPa)					
		5	10	15	20	25	30
20	20	1.232	2.098	2.775	3.305	3.740	4.103
	40	0.995	1.668	2.225	2.710	3.122	3.488
	60	0.812	1.455	1.986	2.423	2.812	3.131
	80	0.763	1.388	1.912	2.348	2.712	3.027
100	20	0.755	1.322	1.757	2.110	2.407	2.648
	40	0.603	1.101	1.495	1.810	2.083	2.305
	60	0.541	1.030	1.328	1.704	1.982	2.201
	80	0.502	0.945	1.318	1.642	1.905	2.124
200	20	0.433	0.791	1.081	1.301	1.443	1.552
	40	0.339	0.641	0.899	1.101	1.259	1.343
	60	0.302	0.583	0.819	0.998	1.152	1.255
	80	0.281	0.547	0.781	0.061	1.108	1.209
300	20	0.269	0.478	0.657	0.781	0.876	0.912
	40	0.247	0.439	0.608	0.724	0.808	0.842
	60	0.228	0.407	0.578	0.697	0.778	0.820
	80	0.201	0.387	0.548	0.678	0.762	0.793

为了确定地层水中天然气的溶解度,Φ.A.格里申(1975)提出利用 K.P.多德松和 M.B.斯坚金格曲线(图 2. 3)。

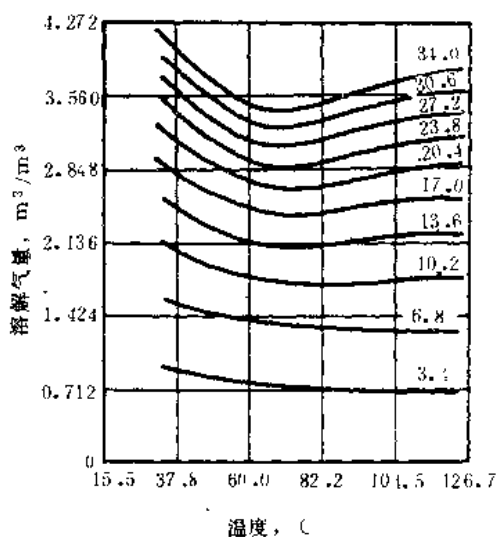


图2 淡水中天然气烃类气体溶解度与压力和温度的关系图
据 K.P.多德松和 M.Б.斯坚金格 (Ф.А.格里申, 1975)。曲线的数字为绝对压力 (MPa)

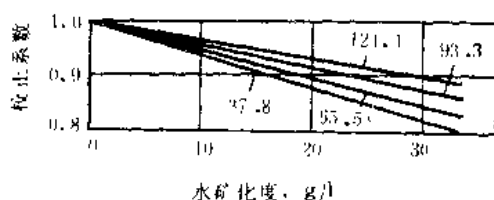


图3 在确定水中天然气溶解度时的矿化度修正值
据 K.P.多德松和 M.Б.斯坚金格 (Ф.А.格里申, 1975)。曲线的数字为温度 (°C)