

当代石油工业

科学技术

丛书

著

华先金
丽怀玉
陈许万

生储盖层评价

石油工业出版社

当代石油工业科学技术丛书

生 储 盖 层 评 价

陈丽华 许怀先 万玉金 著

江苏工业学院图书馆
藏书章

石油工业出版社

内 容 提 要

本书概述了我国主要生油层、储层、盖层的岩石类型、分布特征,生储盖层主要实验测试仪器及测试内容,通过实验测试所取得的数据结合其它方法分别对生油气层的生油气能力、储油气层的储集能力及油气盖层的封闭能力进行综合评价。

本书可供石油天然气工业广大科技人员、各级干部作工具书及教材使用,是一部高级科普读物。

图书在版编目(CIP)数据

生储盖层评价/陈丽华等著.

北京:石油工业出版社,1999.9

(当代石油工业科学技术丛书)

ISBN 7-5021-2734-8

I. 生…

II. 陈…

III. ①生油层—评价

②储集层—评价

③盖层(油气)—评价

IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 43620 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)

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

*

850×1168 毫米 32 开本 4 $\frac{1}{2}$ 印张 101 千字 印 1—5000

1999 年 9 月北京第 1 版 1999 年 9 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-2734-8/TE·2149

定价: 10.00 元

普及石油科技知識
不斷提高職工素質

王濤



当代石油工业科学技术丛书

编辑委员会

主 任：石宝珩

副 主 任：蒋其圪 傅诚德

委 员：张家茂 程希荣 林长海 齐敬思

常务秘书：齐敬思

秘 书：张卫国 杨静芬 何 莉 谭忠心

序

21 世纪是一个知识经济的时代。科学技术特别是高新技术，在这个时代中将起着积极促进社会发展的作用，并改变和建立一些新的机制和观念。一些国际新动向表明，一个国家，一个民族，如果没有强大的经济基础和综合国力，在国际事务中就要处于极为不利的被动局面。因此，实施科教兴国，加速科技进步，促进经济发展是我国的基本国策。

中共中央总书记江泽民同志多次指出，发展社会生产力的决定性因素是人的因素，特别是各级领导干部的科学文化素质。因此，普及高新技术知识及先进的科学管理方法，反对伪科学、假科学是一项带有战略意义的任务。为此，石油集团公司有关部门经过两年多策划组织，邀请多位专家撰写的一套含多学科高新科技知识及管理方法的大型科普丛书《当代石油工业科学技术丛书》和广大读者见面了，这是我国石油发展史上的一件大好事，对提高广大石油职工素质和加快科技进步必将起到巨大促进作用。我作为一名石油科技工作者，投身祖国石油工业 50 多年的老兵，感到由衷地高兴！并衷心表示热烈的祝贺！

科技普及中有提高，提高科技中有普及。从建国初期开始，石油工业历任老部长、老领导都有重视科技普及工作的良好传统，不同历史时期出版的不同层次的各类科普读物培养和教育了几代人，起到了良好的社会效果。当今世界科技突飞猛进，石油工业发展所涉及的专业领域越来越多。在这种新形势下，这套丛书尤显珍贵。特值此，向这套大型丛书的策划者、组织者、撰写者以及出版发行单位的同志们致以崇高的敬意，他们的眼光和魄力值得钦佩，这套丛书将一定能够起到桥梁作用，促进科技成果转化为现实生产力。长江后浪推前浪，科技飞涛吼新韵。我热诚

前言

石油地质实验技术在石油地质学理论的发展和油气资源的发现与开发中具有举足轻重的作用。许多石油地质理论的创立与发展在很大程度上依赖于石油地质实验技术的进步与创新。现代石油理论的建立与完善、油气运移学说的提出以及油气系统概念的产生等均是在大量实验工作基础上的。石油地质实验技术是获取大量第一手基础资料的重要途径，因而更是油气勘探的必要手段之一，贯穿于油气勘探的全过程乃至油气田的开发。例如，针对烃源岩、储层、盖层和油气运移过程进行的一系列石油地质实验可以为正确认识一个地区的石油地质条件和为科学评价其油气资源潜力提供依据；石油地质实验技术还是油气层保护与损害评价研究不可缺少的手段。与此同时，石油地质实验技术也在油气勘探实践中得到检验和发展。因此可以说，石油地质实验技术水平的提高是推动石油地质理论发展、扩大油气勘探成果的强大动力。

中国石油工业正面临着“稳定东部、发展西部”的新形势。这一形势以把勘探目标对准新层系、新类型、新领域的油气藏，油气勘探开发难度更大为特征。这就要求石油地质实验技术有更快的发展。深层、低渗透和碳酸盐岩储层以及火山岩等非常规储层的成岩作用与储层评价研究，煤成烃、未熟—低熟油、重油沥青等非常规油气资源形成机理与评价研究，天然气气源性质判断及对比研究，烃源岩排烃机理研究，油气藏地球化学与成藏机理研究，与层序地层学相关联的磁性、同位素、化石地层学研究，油气化探，地化录井与生、储油层的快速评价，油气层保护与损害评价研究等，都是在新形势下进行油气勘探与开发所面临的技术难题，这就要求要有与之相配套的、先进的石油地质实验技术

做保证。

我们欣喜地看到，我国石油地质实验技术近年来有了长足的进步和发展，并已取得了一系列成果，主要表现在：在油气资源评价研究、油气运移研究、储集性能评价、盖层研究和各种模拟实验研究等方面取得了大量的实验研究成果，以热解、罐装气分析为主的单井评价实验技术，已在综合录井中占有重要地位；与开发实验技术相结合，进行了油气层保护及损害评价方面的研究、进行了油藏地球化学研究，使勘探技术和开发实验进一步结合，为油气田开发服务；坚持不懈地探索地面油气化探的系列实验技术也已形成。

本书主要在勘探区域钻探的不同单井（如地质井、参数井、预探井、评价井）以及区域生储盖层通过实验测试取得的资料基础上展开评价，最终为勘探区石油地质条件的综合分析提供资料。

本书第一章由许怀先完成，第二章由陈丽华完成，第三章由万玉金、杜秀芳完成，全书由陈丽华统稿。全书编写过程中得到丛书编委会指导与帮助，尤其对石宝珩主任、蒋其恺、傅诚德副主任、张家茂、林长海、齐敬思委员、何莉给予具体的指导表示衷心的感谢。

目 录

第一章 生油气层评价	(1)
一、我国生油气层的类型及特征	(2)
1. 泥页岩生油气岩	(2)
2. 碳酸盐岩生油气岩	(2)
3. 煤系生油气岩	(3)
二、生油气层的评价指标	(4)
1. 有机质丰度	(4)
2. 有机质类型	(10)
3. 有机质的成熟度	(16)
三、油气源对比	(29)
1. 油气源对比的概念和原则	(29)
2. 油源对比及参数选择	(30)
3. 气源对比及参数选择	(36)
四、生油气层评价	(38)
1. 生油气层的确定	(38)
2. 生油气层的定量评价	(38)
第二章 储油气层评价	(49)
一、我国储油气层类型及分布	(49)
1. 碎屑岩(砾岩、砂岩、泥岩、火山碎屑岩)	
油气储层	(49)
2. 碳酸盐岩油气储层	(53)
3. 岩浆岩及变质岩油气储层	(55)
二、储油气层的检测方法	(55)
1. 常规分析	(55)
2. 仪器分析	(62)

3. 选择性分析	(73)
三、储油气层评价	(78)
1. 储层成岩阶段的划分	(78)
2. 孔隙类型判别、次生孔隙成因及预测次生孔隙和 油气分布层段	(78)
3. 自生矿物类型、产状、含量的研究	(81)
4. 油气层综合评价	(84)
第三章 油气盖层评价	(89)
一、油气盖层的类型与分布	(89)
1. 油气盖层的类型	(89)
2. 油气盖层的规模与分布	(90)
二、盖层封闭能力评价参数	(90)
1. 突破压力测定及地质应用	(93)
2. 有效扩散系数测定及地质应用	(98)
3. 比表面和微孔分布的测定及地质应用	(99)
4. 泥质岩粒度的测定及应用	(101)
三、油气盖层封闭能力的识判标志及评价	(102)
1. 宏观封闭油气能力的评价	(102)
2. 微观封闭油气能力的评价	(107)
3. 盖层综合评价	(111)
参考文献	(117)

第一章 生气层评价

生气层评价是在油气形成理论指导下进行的,而油气形成理论又是在无机生成和有机生成两种观点的对立中发展起来的。在油气无机生成学派内,50年代兴起岩浆说,到六七十年代又出现了石油高温生成说(Э. Б. 切卡留克,1971)和蛇纹石化生油说(Л. Н. 耶兰斯基,1966和1971)。但是大量的勘探实践证明,世界上绝大部分油气田都分布在沉积盆地的沉积岩中,少数岩浆岩和变质岩中的油藏也和附近的沉积生油岩有关,是石油侧向或垂向运移的结果。

现代生油说即有机成因说,其基本内容是:

沉积凹陷中的生物遗体,随同沉积物一起堆积掩埋之后,在沉积和成岩作用初期,由于细菌及水解作用,生物体分解为蛋白质、氨基酸、糖类和类脂物,再经缩合聚合作用变成黄腐酸、腐殖酸和腐黑,最后经不溶作用形成干酪根。

随着沉积盆地的连续沉降和沉积,干酪根埋深不断增加,沉积物成岩作用不断加强,到晚成岩作用阶段,干酪根将进一步发生分子有序排列,一些官能团和C—C键将由低键能到高键能依次发生断裂,产生从低等到中等分子量的烃类及少量的CO₂、H₂及H₂S等。这就是石油经干酪根热降解成烃而形成油气的过程。

然而需要特别提出的是,随着油气理论的不断发展和完善,尤其在一些强还原相盐湖沉积盆地中,越来越多的具有工业价值的未成熟油藏的发现,又补充了干酪根热降解成油学说的不足。在生物化学阶段,在特定的母质条件下,生物大分子形成的“解聚沥青”在可能条件下聚集成未成熟重质油藏的事实受到广大石油地球化学家的关注,标志着油气形成理论的进一步发展。在油

气勘探实践中应予充分重视。

一、我国生油气层的类型及特征

广义的生油气岩是指能生成石油和天然气的岩石。狭义的生油气岩也即有效生油气岩是指具有一定的有机质丰度并在适宜的热演化阶段能生成并排出油气的岩石。由能生成工业数量油、气的生油气岩组成的地层称为生油气层。根据国内外研究，普遍认为最好的生油气岩为浅海、三角洲和深水湖泊等环境沉积的泥页岩和碳酸盐岩。从 70 年代开始随着油气勘探领域不断扩大，煤成油气的大量发现，煤系地层也成为重要的一类生油气层。

1. 泥页岩生油气岩

主要为在一定深度的稳定水体中沉积形成的暗色泥岩、页岩。沉积形成时水体宁静，处于较还原环境，因此浮游生物和陆源有机质能够伴随粘土矿物大量堆积、埋藏、保存。因而这些细粒的泥、页岩普遍含有大量的有机质和高铁化合物，致使颜色发暗，多呈灰黑、深灰及灰色，富含黄铁矿和微古生物化石。我国松辽、渤海湾、准噶尔、柴达木、酒西、江汉、南阳、泌阳等陆相含油气盆地主要生油气层均为暗色泥、页岩。其中以深水湖相沉积环境最为有利，因为这类湖盆水体稳定、气候适宜、生物发育、有机质丰富、还原环境、对有机质保存极为有利。

2. 碳酸盐岩生油气岩

只有在低能环境形成的暗色石灰岩、生物灰岩、泥灰岩等才能成为生油岩。常见的如泥灰岩、泥质灰岩、沥青质灰岩、生物灰岩及礁灰岩等，多含泥质成分。当粘土矿物含量超过碳酸钙时则成为钙质泥岩。这类碳酸盐岩富含有机质，以浮游生物为主，常见有孔虫、藻类、珊瑚、腕足类、海百合及软体动物等生物碎屑，甚至灰泥也往往主要由微古生物组成。颜色多为灰黑、深灰、褐灰及灰色。隐晶—粉晶结构，颗粒少，灰泥为主，多呈厚层块状，水平层理或波状微细层理发育，含黄铁矿晶体，在晶洞中常见固态沥青或油苗，用锤击打岩石有时可闻沥青臭味。

综上所述，不论是泥页岩还是碳酸盐岩生油层其共同的特征

是：颜色深、粒细、富含有机质和微生物化石，常含原生黄铁矿。它们既可形成于海相沉积环境也可形成于陆相湖泊沉积环境。最有利的沉积环境为浅海相、三角洲相和深水湖相。

3. 煤系生油气岩

煤系 (Coal Measure) 有机质是指有机质高度富集的煤及分散的腐殖型有机质。煤系有机质成烃是指在特定环境下的聚煤盆地中，在煤化作用及成岩作用过程中，煤及煤系泥岩内集中和分散的富氢有机组分生成一定数量的气态和液态烃类。当烃类达到一定浓度后排出，在与之相适应的构造条件下，聚集在有利的储层和圈闭中形成工业性油气藏。众所周知，煤系地层能生成甲烷、并形成大规模的煤成气藏。如荷兰格罗宁根大气田，我国四川盆地、陕甘宁盆地、吐哈盆地等都发现了大、中型煤成气田。因此煤及煤系可以作为气源岩得到世界公认。

60年代后期以来，澳大利亚吉普斯兰盆地、印度尼西亚库特盆地 (马哈坎三角洲)、加拿大斯科舍盆地和马更些盆地及英国北海默里盆地等在一些地区都发现了一批与中、新生界煤系地层有关的重要油田，引起了人们对煤成油研究的极大兴趣。大量的研究与勘探实践证明煤系地层不仅可以生气而且可以生油。1989年，在我国吐哈盆地鄯善弧形构造带上煤系地层中找油获得了重大突破，发现了一批与侏罗系煤系地层有关的油气田，这就是我国著名的吐哈盆地煤成油气田。

我国是一个煤碳资源极为丰富的国家，煤的储量和产量均居世界前列。但是人们也注意到我国和世界其它地区一样，富煤时代 (C—P、J、J₃—K、T) 并不富油 (K、E₂₋₃)，并且主要产煤区 (山西、河北、河南、山东、内蒙、新疆) 与主要产油区的分布 (大庆、辽河、渤海湾盆地等) 也不一致。究其原因，并不是所有的煤都可以生成大量的石油，并进而聚集成油田。因为不同的煤其有机显微组分差别很大。而要成为煤成油源岩必须要有相当数量的富氢显微组分。

根据国内外学者近年来的研究成果表明：不是所有的煤系都

能形成有经济价值的油藏。在成煤沼泽中壳质组的富集达到一定的水平（10%以上，而在气煤—肥煤阶段可降低到5%；干酪根的氢指数 $I_H > 100 \text{mgHC/gC}$ ），煤层必须埋藏到煤化阶段达到气—肥煤阶段（ $R_o < 1.5\%$ ）并且具有良好的油气聚集保存条件，是形成有重要经济价值的煤成油田的三个必要条件。同时，由于煤层孔隙结构的特点和高吸附性，使得重质沥青难以排出，所以煤成油不仅富含气而且是以轻质油和凝析油为主。

二、生油气层的评价指标

生油气岩的地球化学要素有三个：即岩石中有机质的丰度和数量；有机质的类型、性质；有机质的热演化程度。这三个因素之间既相互联系，又相互制约。对油气源岩进行评价就是研究它们的数量、性质和特性，以确定生油潜量的大小，从而最终确定油气资源量。如果某一地层的有机质丰度很低，其有机质降解生成的烃类只能满足岩石矿物和有机质本身的吸附，甚至还不足以饱和这种吸附时，即使类型再好，并处于理想的演化阶段，也不能成为有效的生油岩。同时若有机质丰度较高，但生烃潜量接近或等于零，即所谓“死碳”，这种有机质也是没有实际意义的。另外，若有机质丰度也高，类型也好，但没有到达生油门限，也不可能提供大规模的油、气源，而形成大型油气藏。因此，在生油层评价中，不是孤立地研究其中的某一个因素，重要的是研究它们之间的相互关系，综合判断。

1. 有机质丰度

生油岩中有机质是油气形成的物质基础，因此生油层中有机质的含量及分布是评价生油层最基本的指标。但是由于沉积盆地中的有机质都经历了漫长的地质发展阶段，原始有机质丰度已无法直接测得，只能测出残留的有机质丰度。据研究生油岩中有机质只有少部分转化为油气，因此，残留有机质也可作丰度的指标。这些年来随着科学技术的发展，分析测试手段的不断完备，目前生油岩有机质丰度的测试和评价已形成了一套成熟的技术，并建立了相应的评价指标和判别标准。主要有有机碳含量、氯仿

沥青“A”含量、总烃含量、有机质热解生烃潜量($S_1 + S_2$)四种评价指标。

1) 有机碳含量

有机碳是指沉积岩石中与有机质有关的碳元素,有机碳含量(TOC)是指单位重量岩石中有机碳的重量,用百分数来表示。有机碳含量是一种简便而有效的评价有机质丰度的办法,是几十年来评价生油岩有机质丰度最主要的指标。

(1) 有机碳检测的基本原理。

将岩石样品粉碎至粒径小于0.2mm,用5%盐酸加热煮沸,除去碳酸盐后的剩余残渣(除去无机碳),在高温有部分氧气存在的条件下将有机质燃烧成二氧化碳。检测产生的二氧化碳量并将其换算成碳元素的含量,最终计算出有机碳的含量。根据二氧化碳含量检测原理不同可分为体积法、重量法、容量法、库仑法和仪器法。

(2) 有机碳含量评价指标应用。

有机碳含量是国内外做为生油岩有机质丰度评价应用得最早,资料积累最多的一项指标。我国对陆相生油岩研究工作最为深入,已形成了一套较规范的评价标准。泥、页岩生油岩有机碳含量值下限定为0.4%,好生油岩TOC>1.0%,差生油岩TOC为0.4%~0.6%,中等生油岩TOC为0.6%~1.0%(表1—1)。

近年来,随着我国吐哈盆地煤成大油气田的发现,煤系烃源岩的研究也取得了长足的进步。一般认为煤系生油岩TOC>0.75%,好生油岩TOC>3.0%,差生油岩TOC为1.5%~0.75%,中等生油岩TOC为1.5%~3.0%(表1—1)。

碳酸盐岩研究这些年越来越深入。由于我国碳酸盐岩烃源岩多为古生界高成熟烃源岩,其特征与国外有很大不同,TOC低是一个显著的差别。不同学者提出了不同的评价标准,但一般认为碳酸盐岩烃源岩现今残余TOC下限值为0.1%,中等烃源岩TOC为0.2%~0.3%,差烃源岩TOC为0.2%~0.1%,好的

烃源岩 $\text{TOC} > 0.3\%$ (表 1—1)。对不同地区不同演化阶段 TOC 划分标准, 应做相应的热模拟实验进行恢复以精确确定, 在后面的热模拟实验部分有详细介绍, 这里就不详述了。

表 1—1 我国生油气岩有机碳含量评价标准

岩 性 \ 生油级别	好	中	差	非
泥岩, %	>1.0	$1.0 \sim 0.6$	$0.6 \sim 0.4$	<0.4
碳酸盐岩, %	>0.3	$0.3 \sim 0.2$	$0.2 \sim 0.1$	<0.1
煤系, %	>3.0	$3.0 \sim 1.5$	$1.5 \sim 0.75$	<0.75

应当指出的是: 仅凭 TOC 进行有机质丰度评价是不完善的, 还应当结合氯仿沥青“A”、总烃及热解烃潜量综合评价。

2) 氯仿沥青“A”及总烃含量

氯仿沥青“A”及总烃含量是通常用来评价有机质丰度的指标之一。氯仿沥青“A”是指可溶于氯仿的可溶有机质含量。总烃是指氯仿沥青“A”中饱和烃和芳烃的总含量。这是用可溶有机质来表征有机质丰度的一对指标。一般说来岩石中可溶有机质含量高其有机质丰度也比较高。

(1) 氯仿沥青及族组成分析方法。

将岩石样品粉碎为小于 120 目的粉末, 在氯仿沸温条件下不断地抽提, 根据岩性及研究目的不同, 抽提装置不同, 时间也不一样。按中国石油天然气行业标准, 一般实验室采取索氏法抽提。泥岩、碳酸盐岩一般抽提 72 小时、120 小时。最终检验要求回流抽提至荧光 3 级以下。然后自然干燥计算单位岩石中氯仿沥青抽提物含量即为氯仿沥青“A”含量。

抽提出的氯仿沥青“A”是一个有机混合物。一般分为四类, 即通常称的氯仿沥青“A”族组成: 饱和烃、芳香烃、沥青质、胶质。这四大组分的分离基于不同组分有机质与吸附剂之间的吸附性能不同, 利用各种有机溶剂的极性不同, 其脱附能力的