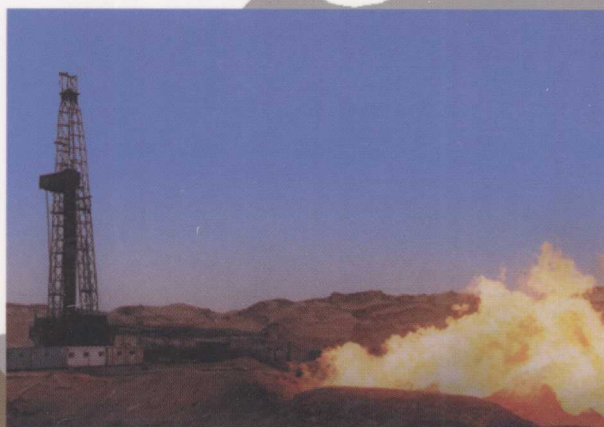


卢双舫 付 广 王朋岩 等著

天然气富集 主控因素的定量研究



石油工业出版社

黑龙江省杰出青年基金
石油天然气集团公司中青年创新基金

天然气富集主控因素的定量研究

卢双舫 付 广 王朋岩 等著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书从天然气的特点出发,结合已有的研究和勘探成果,剖析和论证了气源条件和保存条件是决定天然气富集程度的全局性、战略性的主控因素;在此基础上,对塔里木盆地和松辽盆地深层这两个研究靶区的气源条件(包括生气量、生气强度和生气期)和保存条件(包括天然气的扩散损失、天然气的封盖条件、断层封闭性)进行了定量或半定量的评价;考虑气源条件和保存条件对天然气富集程度影响,对研究靶区的天然气资源量进行了定量评价;并将主控因素决定天然气富集程度的思路推广应用到其它含气盆地,结合我国主要含气盆地天然气的生成和保存条件,从气源和保存条件的角度对它们的天然气勘探远景进行了评价和分析;作为对比,总结了深盆地、生物气、煤层甲烷气、天然气水合物等非常规天然气的形成和富集条件。

可供从事天然气地质和地球化学方面的教学、科研人员及相关专业的研究生和大学生参考。

图书在版编目(CIP)数据

天然气富集主控因素的定量研究/卢双舫,付广,王朋岩著
北京:石油工业出版社,2002.12
ISBN 7-5021-3852-8

I. 天…

II. ①卢…②付…③王…

III. 天然气-富集因素-定量分析

IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 053922 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

*

787×1092 毫米 16 开本 15 印张 383 千字 印 1—1000 册

2002 年 12 月北京第 1 版 2002 年 12 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-3852-8/TE• 2795

定价: 30.00 元

前言

在承担塔里木盆地国家“九五”攻关专题“塔里木盆地气源岩有效性及潜力评价”的研究时,我们就开始思考这样一个问题:从1989年4月塔里木石油勘探开发指挥部成立并开始对塔里木盆地进行大规模的油气勘探到1997年底的9年间,虽然探明了10个油气地质储量在1000万吨以上的中型油气田(梁狄刚,1998),但为什么在塔里木盆地未找到人们所期待的、与56万平方千米的盆地规模相匹配的整装大一巨型油气田(群)?

经过当时的研究,我们认为,这与塔里木盆地烃源岩的主力成烃期偏早有关。正是由于大量烃类过早地生成,使它们在随后所经历的历次构造运动中被大量、多次破坏、改造、调整,使油的富集规模和强度大为减小,从而使聚集成整装大一巨型油田的几率减小。鉴于塔里木盆地巨大的面积和较低的勘探程度,没有任何一个地质学家敢说,可以放弃对液态油大场面的勘探。但现实地讲,塔里木盆地的石油勘探应该立足于在精雕细刻的基础上,在塔中、塔北古隆起上寻找残存的内幕油藏、经改造和再分配后的次生油藏及寻找以塔中北斜坡(塔北南坡)中、上奥陶统、库车三叠、侏罗系和塔西南近海侏罗系这些以成油期较晚的源岩为油源的中、小型油田。比较而言,虽然盆地内烃源岩的主力成气期也较早,但由于气体的生成范围比油大得多,因此,成气期相对较新,即新生代以来所生气量在总生气量中所占比例较高。正是成气期较新的这部分气被破坏的可能性较小而容易聚集成藏,从而使塔里木盆地天然气的勘探前景看好,并预期塔里木盆地应该成为一个富气盆地。尤其是库车前陆盆地发育的倾气性的侏罗系、三叠系源岩的主力成气期为新第三纪以来晚近期,特别有利于聚集成藏,因此,应该是天然气勘探最为现实、有利的地区。台盆区古生界源岩也能在晚近期生成相当数量的高成熟—过成熟气,因此,与坳陷区源岩相邻的塔中、塔北隆起也是天然气勘探的有利地区,同时,北部坳陷的深部层位,可能蕴藏着巨大的天然气勘探潜力^①。不过,由于这一认识与当时盆地内以找油为主、并且希望找整装大油田的战略指导思想相悖,因此,1997年11月在库尔勒进行的项目中期评估会上,上述研究认识受到了较多的质疑。不过在随后(1997年12月)召开的塔里木勘探技术座谈会上,我们的研究成果得到了许多专家的重视和引用,很多专家都呼吁加强塔里木盆地的天然气勘探,加上当时天然气勘探不断取得收获的良好势头,促使塔里木勘探开发指挥部迅速做出了加强盆地内天然气勘探的重大战略调整,从而导致了1998年天然气勘探的重大突破(包括储量为2500亿立方米的克拉2大气田在库车坳陷的迅速发现和探明),打开了塔里木盆地天然气勘探的局面。

不过,塔里木盆地的主力源岩为下古生界倾油性的海相碳酸盐岩,它为何能成为富气盆地?库车坳陷的生气量并不比台盆区高,为何它能成为特别富气的单元?这促使我们进一步思考,哪些是决定天然气富集程度的主要控制因素?

显然,要回答这一问题,必需从天然气的特点出发。与油相比,天然气最突出的特点是分子量小,因而逸散性强。大量的研究已经证明,地质条件下,天然气的扩散损失是一个普

^①卢双舫,赵孟军等,1998,塔里木盆地气源岩有效性及潜力评价,塔里木国家“九五”攻关专题成果报告,大庆石油学院。

遍存在的过程，天然气的渗滤损失也较油更为容易和普遍，正是这种普遍性使天然气的扩散性和保存条件必然成为天然气富集的主控因素之一。

也正是这种易散失性不仅使累积生气量达不到一定强度的盆地或区域不可能有大规模气藏形成，而且使累积生气量很大，但成气时间偏早的盆地或区域富集大规模工业性气藏的可能性大为减小。因此，探区天然气生成量和生气期就必然成为天然气富集的主控因素之二。

也就是说，在石油地质理论所概括的五大成藏要素生、运、储、聚(圈)、散(盖、保)中，天然气的小分子和易运移、易扩散的特点使它对运、储、圈(聚)条件的要求相对较弱，而生、散(盖、保)条件成为制约其成藏规模和分布规律的主控因素。

基于上述考虑，在大庆石油学院主管院长、科研处及勘探系领导的支持下，我们于1999年着手从事天然气富集主控因素方面的预研，2000年，以“天然气富集主控因素的定量研究”为题申请承担了石油天然气集团公司石油中青年创新基金课题。同年，这一课题的研究得到了黑龙江省杰出青年基金的资助。因此，本书既是一本专著，同时也是我们所承担课题的研究报告。

本书第一章结合已有的研究和勘探成果，剖析和论证了上述气源条件和保存条件是决定天然气富集程度的全局性、战略性的主控因素；第二章以化学动力学理论为主线，对塔里木盆地和松辽盆地深层这两个研究靶区的气源条件（包括生气量、生气强度和生气期）进行了定量评价；第三~第五章对与天然气保存有关的天然气的扩散损失、天然气的封盖条件、断层封闭性等进行了定量（或半定量）的评价；第六章在第二~第五章定量评价的基础上，考虑气源条件和保存条件对天然气富集程度的影响，对两个研究靶区的天然气资源量进行了定量评价；第七章将主控因素决定天然气富集程度的思路推广应用到其它含气盆地，结合我国主要含气盆地天然气的生成和保存条件，从气源和保存条件的角度计算了各自的含气远景得分，由此对它们的天然气勘探远景进行了评价和分析；作为对比，第八章总结了深盆气、生物气、煤层甲烷气、天然气水合物等非常规天然气的形成和富集条件，结果表明，气源条件和保存条件仍然是非常规天然气富集成藏的主控因素，只不过它们所要求的保存条件的内涵与常规天然气并不完全一致。

参加各章编写及研究工作的人员如下：前言，卢双舫；第一章第一节、第四节，卢双舫，第二节，张云峰，第三节，付广；第二章由卢双舫执笔，参加研究工作的有付晓泰、王振平、刘晓艳、储昭宏、薛海涛、李宏涛、冯雅丽；第三、四、五章由付广执笔，参加工作的有王朋岩、张云峰、田春志，田春志参加了第五章的部分执笔；第六章由卢双舫执笔，王振平参加了第三节的部分执笔，参加工作的有付晓泰、刘晓艳、薛海涛、储昭宏、沈占峰；第七章一~四节由王朋岩编写，第五节由刘晓艳编写，第六节由王朋岩、卢双舫完成，第八章一、二节由张云峰编写，第三节由刘晓艳编写，第四、五节由薛海涛编写。全书由卢双舫统一审定稿。

在本书所依托的课题“天然气富集主控因素的定量研究”立项之初，我们曾经以为，对气源条件和保存条件这两方面主控因素的定量描述，将可以使我们十分简明地认识天然气的富集和分布规律。但现在来看，地质条件远比我们目前所能定量描述的复杂。如源岩分布、地史和热史演化、有机质分布、盖层的发育和分布及其微观封闭性等方面的非均质性，我们所能得到资料总是少于我们的期望。同时，也有一些目前我们还很难定量描述的问题，如盖

层质量虽然本书已经进行了定量评价，但盖层质量与天然气散失量的定量关系还难以确定，尤其是构造运动所导致的断裂的发育、分布对油气散失量的影响更难以定量评价。尽管如此，定量描述和评价仍然是地学发展的一个重要趋势，而且，从本书的初步成果来看，这种定量描述的确已经为我们认识天然气的富集和分布规律提供了十分有益的信息。但限于时间和水平，书中当有谬误之处，敬请专家、读者指正。

作 者

2002 年 2 月

目 录

第一章 影响天然气成藏的地质因素剖析	1
第一节 气源条件与天然气富集程度的关系	1
一、生气量、生气强度与天然气富集（程度）的关系	1
二、成气期与天然气富集的关系	3
第二节 运移、储层和圈闭条件对天然气富集的影响	4
一、运移条件对天然气富集的影响	4
二、储层条件对天然气富集的影响	6
三、圈闭条件对天然气富集的影响	7
第三节 保存条件对天然气富集的影响	7
一、扩散过程对天然气富集的影响	7
二、盖层对天然气成藏的控制作用	8
三、构造运动对天然气保存条件和富集的影响	12
第四节 生成和保存条件是天然气富集的主控因素	13
第二章 天然气生成量和生成期定量评价	14
第一节 有机质成油、成气的化学动力学模型	14
一、样品与实验	14
二、化学动力学模型	15
三、化学动力学模型的标定	16
四、标定结果及化学动力学模型原始参数的恢复	20
第二节 油成气的化学动力学模型	27
一、样品与实验	27
二、油成气的化学动力学模型及其标定	30
三、模型标定的结果与讨论	31
第三节 烃源岩中有机质原始丰度和原始生烃潜力的恢复	32
第四节 源岩生烃史评价	35
一、生烃史评价的基本原理	35
二、源岩的生烃史	38
第五节 源岩于不同时期的生烃量	41
一、塔里木盆地源岩于不同时期的生烃量	42
二、松辽盆地深层源岩于不同时期的生烃量	46
第三章 天然气扩散损失量定量研究	50
第一节 天然气在地下岩石中的扩散机制	50
一、天然气在地下岩石中的扩散机制	50
二、天然气扩散损失的地质模型及数学模型	50
第二节 天然气扩散系统划分	51
第三节 主要计算参数的确定	55

一、天然气扩散系数	55
二、天然气扩散浓度	59
三、天然气扩散面积	59
四、天然气扩散时间	59
第四节 松辽盆地北部深层天然气扩散损失量计算	60
一、松辽盆地北部天然气扩散系统的划分	60
二、计算参数的确定	60
三、天然气扩散损失量计算方法	63
第四章 天然气封盖条件定量评价	67
第一节 盖层封油气机理	67
一、毛细管封闭机理	67
二、超压封闭机理	68
三、烃浓度封闭机理	70
第二节 盖层各种封闭能力研究方法	71
一、毛细管封闭能力的研究方法	71
二、超压封闭能力研究方法	76
第三节 烃浓度封闭作用研究方法	79
一、抑制封闭作用的研究方法	79
二、替代封闭作用的研究方法	80
第四节 盖层封闭能力综合评价	82
一、泥质岩盖层封闭能力综合评价方法	82
二、利用灰色关联分析法综合评价盖层封盖能力	84
三、塔里木盆地库车及塔北地区主要天然气盖层评价	86
第四节 盖层对天然气成藏的控制作用	94
一、盖层空间展布对天然气聚集的控制	94
二、盖层封闭能力形成时期对天然气聚集的控制	96
第五章 断层封闭性评价	99
第一节 断层封闭机理及主要影响因素	99
一、断层侧向封闭机理及影响因素	100
二、断层垂向封闭机理及影响因素	102
第二节 断层封闭性研究方法	104
一、断层垂向封闭性研究方法	104
二、断层侧向封闭性研究方法	107
第三节 断层在天然气藏形成与保存中的作用	113
一、断层活动形成的构造缝改善天然气储集空间及性能	113
二、断层活动开启控制着天然气运聚时期及层位	114
三、断层活动与封闭控制着不同类型天然气圈闭的形成	115
四、断层封闭与开启控制天然气的保存与散失	117
第六章 研究区天然气资源评价	119
第一节 资源评价研究的基本思路	119

第二节	松辽盆地深层油气资源评价	120
一、	油气运聚系数的确定	120
二、	松辽盆地深层油气资源量	122
第三节	塔里木盆地油气资源评价	124
一、	运聚系数的确定	124
二、	塔里木盆地油气资源、资源分布及有利探区	125
第七章	重点含气盆地天然气富集的主控因素剖析及有利区评价	129
第一节	西部气区富气条件分析	129
一、	塔里木盆地	129
二、	准噶尔盆地	131
三、	吐哈盆地	136
四、	柴达木盆地	138
第二节	中部气区富气条件分析	141
一、	四川盆地	141
二、	鄂尔多斯盆地	147
第三节	东部气区富气条件分析	151
一、	松辽盆地深层	151
二、	渤海湾盆地	151
第四节	沿海气区天然气富气条件分析	155
一、	莺琼盆地	155
二、	东海盆地	157
三、	沿海气区天然气勘探远景及有利地区	157
第五节	俄罗斯西西伯利亚盆地富气条件分析	159
一、	气源条件	160
二、	保存条件	160
第六节	我国主要含气盆地天然气勘探远景评价与对比	161
一、	对比评价的思路及方法	161
二、	盆地含气远景得分及有利区评价与对比	162
第八章	非常规天然气富集因素剖析	166
第一节	深盆气形成的地质条件及主控因素	166
一、	深盆气藏特征	167
二、	深盆气藏成藏机理	169
三、	深盆气藏形成的地质条件及主控因素	170
四、	我国深盆气藏的有利形成区	172
第二节	致密砂岩气藏	179
一、	致密砂岩气藏的概念及其意义	179
二、	致密砂岩气藏特征	179
三、	致密砂岩气藏形成的地质条件及主控因素	181
四、	我国致密砂岩气勘探远景	181
第三节	生物气及其富集的主控因素	182

一、概 述	182
二、生物气的生成机理及模式	182
三、中国典型地区生物气藏形成条件剖析	186
四、生物气藏形成的主控因素及有利远景区	192
第四节 煤层气及其富集的主控因素	193
一、概 述	193
二、国内外煤层气研究及勘探开发现状	194
三、煤层气的形成及地质特征	197
四、煤层气富集的主控因素	204
五、中国富煤地区中煤层气有利远景区	208
第五节 天然气水合物及其形成富集条件	212
一、概 述	212
二、天然气水合物的形成条件及富集的主控因素	218
三、全球天然气水合物的分布及评价	220
参 考 文 献	222

第一章 影响天然气成藏的地质因素剖析

油气藏的形成是油气的生、运、储、聚（圈）、散（保）五大成藏要素综合匹配的结果。可以预见，不同的成藏要素在不同的条件下所起的作用将会有所有差异，比如，由于油、气在分子大小、物理性质上存在明显的差别，因此，不同的要素对它们的成藏所起的作用就应该有所不同。对天然气藏的形成而言，哪些要素是全局性的、战略性的和决定性的，哪些要素是局域性、战术性的和从属性的呢？对这一问题的客观认识和回答，将有助于勘探家深刻地认识天然气富集、成藏的主要矛盾，从复杂的地质条件中抓住影响天然气富集规模和分布规律的主控因素，从而更有针对性地进行勘探决策。因此，本章将结合已有的研究和勘探成果，在剖析各种影响天然气成藏地质条件的基础上，分析并指出决定天然气富集规模和分布规律的主控因素。

第一节 气源条件与天然气富集程度的关系

天然气的生成是其运聚成藏的基础，因此，不难理解，一个盆地或探区天然气的富集规模和分布规律就必然在很大程度上取决于天然气的生成量及其分布（生气强度等值线）。所以，气源条件首先应该是指生气量和生气强度。同时，由于天然气的分子量小，逸散性强，从而导致源岩所生成天然气的绝大部分都通过各种形式散失、损耗，只有少部分才能聚集成藏。这样，生成越早的天然气，被各种地质作用所损耗的可能性就越大。因此，气源条件还应该包括生气期。源岩的生气期越新，越有利于天然气的富集。

一、生气量、生气强度与天然气富集（程度）的关系

图 1-1 示出了我国主要含油气盆地天然气的生气量与探明储量之间的关系，可以看出，尽管不同盆地在勘探程度、成气期、保存条件等方面有所不同，但总体上，勘探成效与生气量呈正相关，反映了生气总量与天然气富集程度的必然联系。

同时，研究及勘探成果表明，储量大于 $100 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 的大中型气田，主要分布在生气强度大于 $20 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 的生气中心及周缘。如四川盆地川东地区形成大于 $100 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 气田的生气强度大于 $30 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ ，川西地区大于 $20 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ ，川南大于 $25 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ ，川中大于 $70 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ （图 1-2）；鄂尔多斯盆地中部大气田位于石炭-二叠系两个生气中心之间，同时，也位于奥陶系生气中心的范围内；塔里木盆地牙哈气田和克拉 2 大气田位于生气强度大于 $60 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 处，吐哈盆地丘东气田位于侏罗系生气强度大于 $30 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 的范围内；柴达木盆地的台南、涩北一号、涩北二号三个大中型气田位于生气强度大于 $30 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$

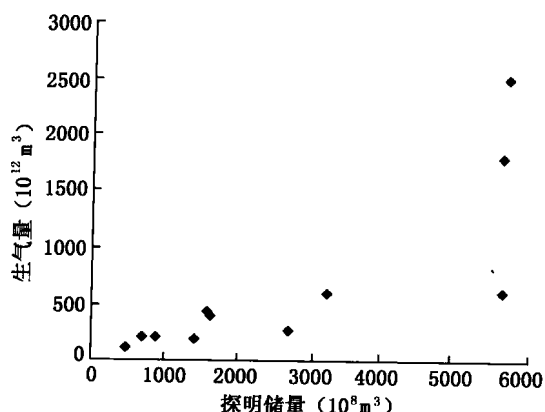


图 1-1 我国主要含油气盆地天然气探明储量与生气量的关系（据李剑等（2000）数据编绘）

的范围内，其生气中心的生气强度最高可达 $100 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 以上；我国海上最大气田崖 13-1 气田的主要气源为崖南断陷生气强度达 $40 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2 \sim 60 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 崖城组生气中心（戴金星等，1992，1997；钱凯等，1999；李剑等，1999；康竹林等，2000）。国外众多的大中型气田也主要分布在生气中心及其周缘，如世界上大中型气田分布丰度最大的俄罗斯西西伯利亚盆地北区，19 个大气田，18 个中型气田都分布在生气强度大于 $30 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 的地区。一般来讲，生气强度越大，越有利于形成大中型气田。

大中型气田所以要求充足的生气量和较高的生气强度与天然气的小分子所导致的易散失性有关。没有相当大的生气量和生气强度，就难以满足形成大中型气田的支撑气源量，也就不可能形成大中型气田了。

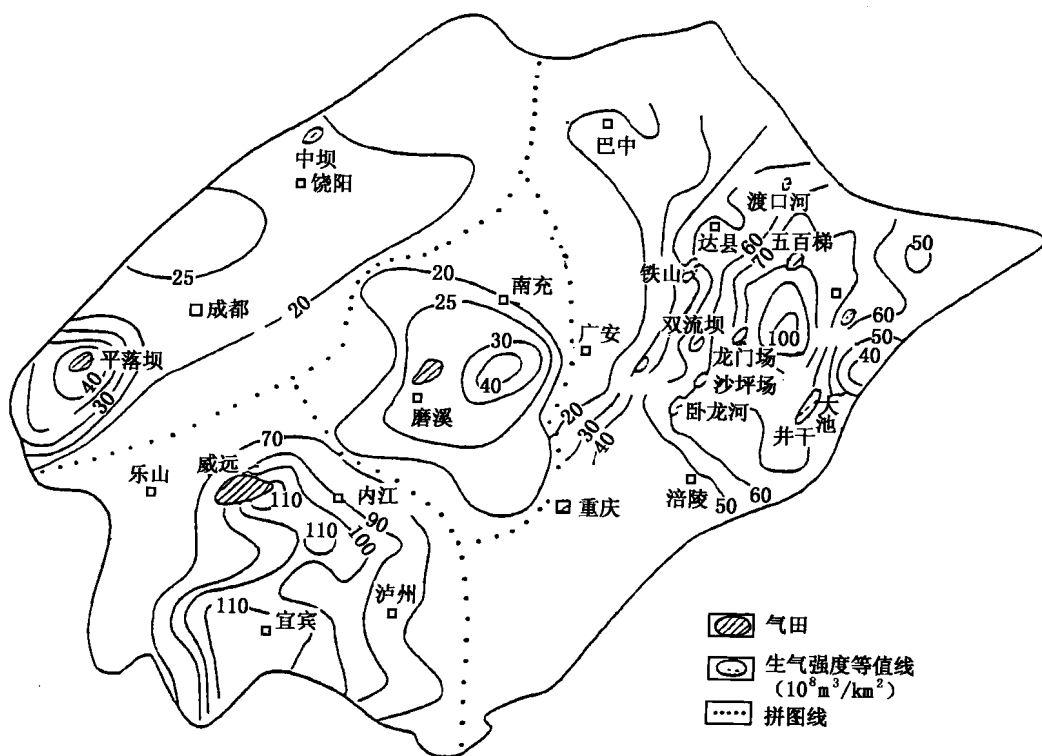


图 1-2 四川盆地大中型气田分布与源岩生气中心关系图（钱凯等，1999）

可见，充足的生气量和较高的生气强度是形成有一定规模的大中型气田的前提条件。

二、成气期与天然气富集的关系

生成越早的油气，经各种地质作用而被破坏或逸散损失的可能性就越大。对分子量小，逸散性强的天然气来说，这一点无疑尤为突出。在进行资源评价时，天然气的运聚系数一般远小于液态油，就正是天然气的易散失性的必然结果。

若将图 1-1 上的莺琼盆地和松辽盆地两对数据点进行对比，莺琼盆地的生气量为 $3601 \times 10^{11} \text{m}^3$ ，小于松辽盆地的 $4899 \times 10^{11} \text{m}^3$ （冯福凯等，1995），并且松辽盆地的勘探程度远高于莺琼盆地，但莺琼盆地现已探明天然气储量 $2503 \times 10^8 \text{m}^3$ ，反而远高于松辽盆地（康竹林等，2000）。显然，这与前者的源岩时代为新第三系，生气期较新，而后者源岩为白垩系，生气期相对较老有关。

就塔里木盆地内部的比较来说，库车油气系统的总生气量不到台盆区的 1/3（卢双舫等，2000），但目前已探明的储量却为台盆区的两倍（赵孟军等 2001），显然这也与库车坳陷侏罗、三叠系主力源岩的生气期很新（晚第三纪以来），而台盆区寒武、奥陶系主力源岩的生气期较早（主要在古生代）有关（卢双舫，2000）。

图 1-3 做出了我国主要大中型气田所处的生气强度与其源岩时代的关系，可以看出，随着源岩时代趋新，形成大中型气田所要求的最低生气强度逐渐降低。由于源岩的成气期不可能早于源岩时代，且一般来讲，时代较老的源岩，成气期可能较老，因此，图 1-3 实际上反映了成气期对天然气富集程度的影响，即导致相同规模的天然气聚集，生气期新的源岩所要求的生气量、生气强度小，或者，相同的生气量或生气强度下，生气期新的源岩所可能导致的天然气的富集程度高（气藏规模就大）。后面第三节图 1-9 上所示的气田储量与盖层排替压力关系图上，莺歌海气田盖层的排替压力较趋势值低，也正是其生气期新（源岩为 N）的体现，即形成相同规模的气田，成气期新的源岩对封盖条件的要求相对较低。

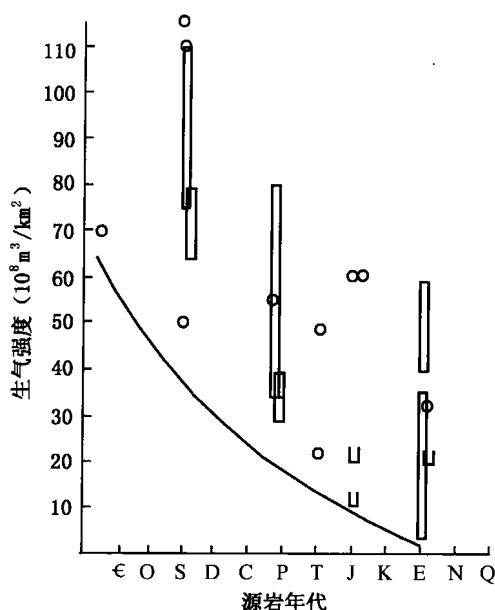


图 1-3 中国主要大中型气田对应的源岩的生气强度与源岩时代的关系

（据戴金星等（1997）资料编绘）

第二节 运移、储层和圈闭条件对天然气富集的影响

一、运移条件对天然气富集的影响

油气聚集生储异地的特性，使运移成为天然气成藏的一个必不可少的环节。原理上讲，没有天然气的运移，就没有规模性的天然气藏或气田的形成。勘探实践所揭示的事实也表明，气田，尤其是大中型气田，往往与良好的运移通道有关，油气的运移通道可以是渗透性良好的砂岩，也可以是构造运动所导致的开启的断裂系统或抬升剥蚀所形成的区域不整合面。如图 1-4 显示的库车油气系统气田分布与断裂系统的明显相关性，在很大程度上就与断裂系统所形成的优势运移途径有关。图 1-5 显示，四川盆地川东地区古气藏集中分布在石炭系顶面的地层古构造圈闭中，形成储量大于 $15000 \times 10^8 \text{m}^3$ 的古气藏。图 1-6 显示的松辽盆地北部深层许多基岩风化壳气藏，也应该与不整合面所提供的运移通道有关。



图 1-4 库车拗陷断裂与天然气分布之间的关系

但是，值得注意和指出的是，天然气的小分子所决定的易流动、易运移的特点，使它对运移条件的要求并没有油那样苛刻。比如，深盆气藏的形成就并不要求有很好的运移通道和途径，而深盆气可以形成巨大规模的天然气聚集（张金亮等，2000）。同时，天然气的小分子使得它具有“无孔不入”的特性，因此，只要源岩生成并排除了足够量的天然气，它必然会找到合适的运移通道。比如，塔里木盆地库车拗陷生成的油气，在喜山期的断裂系统沟通下部源岩和上部的储层之前，可以沿渗透性砂岩和不整合面构成的运移途径侧向长距离运移至塔北隆起上聚集成藏；在喜山期断裂活动时期，则可以沿断层垂向向上运移至浅部地层中，形成克拉-2 那样的大气田（赵孟军，卢双舫等，2001）。这表明，良好的运移条件虽然有利于天然气的富集和成藏，但它更主要的是决定天然气运移到哪里成藏，而不是决定有没有足够的天然气可供成藏，因此它并非是天然气成藏富集的决定性的因素。

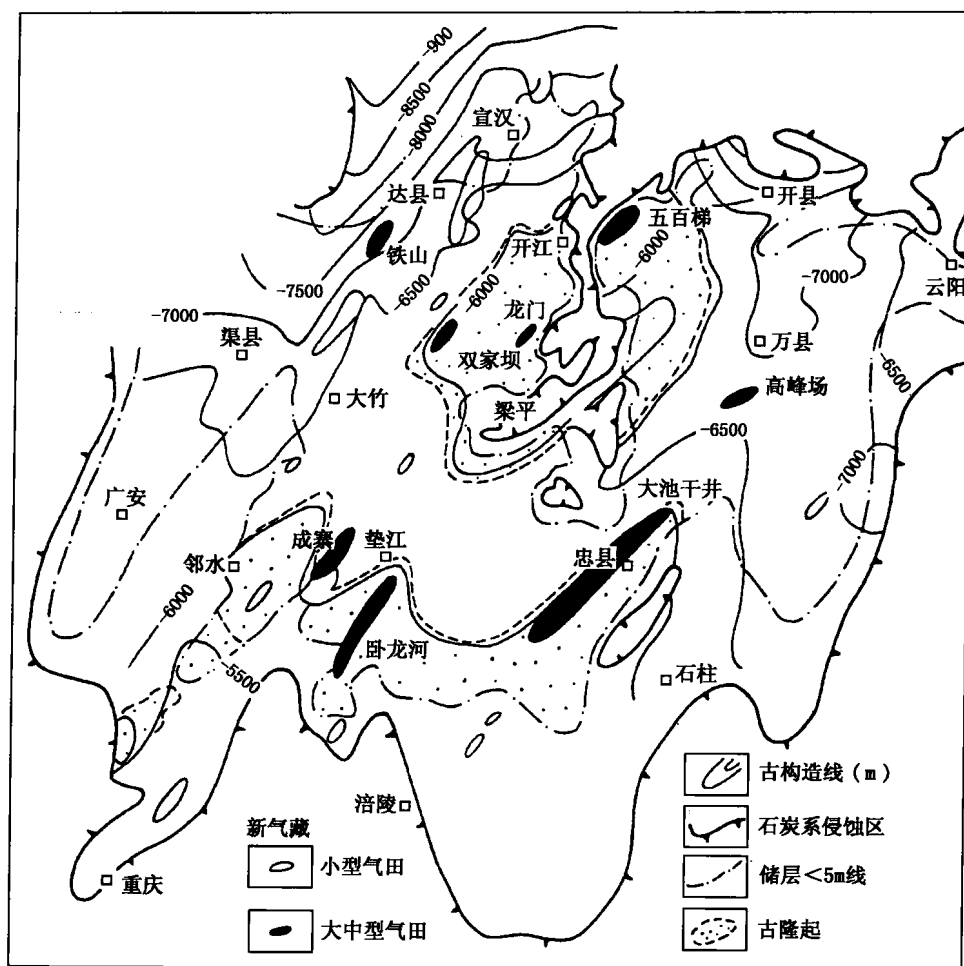


图 1-5 川东地区褶皱前石炭系顶面古构造、古气藏和新气藏图 (据王涛, 1997)

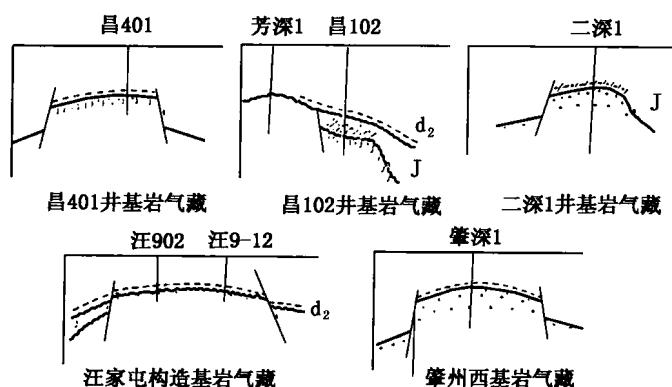


图 1-6 松辽盆地北部深层基岩风化壳气藏

二、储层条件对天然气富集的影响

储集层是指能够储存和渗滤流体的岩层，它是天然气富集成藏的必要条件之一，即烃源岩中生成的天然气必须源源不断地运移到储集层中才可能汇聚成天然气藏。储集层对岩性的要求范围较宽，只要具备相对高的孔隙性和渗透性的岩石均可作为储集层，但目前所知，分布最广、最重要的储集层是各类砂岩、砾岩、石灰岩、白云岩、礁灰岩，此外，还有少量的火山岩、变质岩、泥岩等。

储层对天然气富集的影响主要表现为储层物性（主要指孔隙性和渗透性）的影响，一般情况下，储层物性越好，即孔隙度、渗透率越高，就越有利于天然气在其中的富集，如表 1-1 所示。但是与其他流体（如油或水）相比，天然气具有分子小、质量轻、活动能力强、易于流动的特点，对储层物性的要求更低，如近几十年来非常规油气藏勘探发现，致密砂岩气藏和深盆气藏储层物性很差（Masters 等，1979；关德师等，1995；张金亮等，2000），孔隙度小于 12%，渗透率低于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，但由于致密砂岩主要发育在盆地向斜区，面积广、厚度大，因而同样也可以形成资源量丰富的天然气藏，只是增加了该类天然气藏的开发和开采难度。

表 1-1 我国储量大于 $100 \times 10^8 \text{m}^3$ 气田储层物性参数

气田（藏） 名称	圈闭			时代	岩性	厚度 (m)	孔隙度 (%)	渗透率 ($10^{-3} \mu\text{m}^2$)
	类型	面积 (km^2)	高度 (m)					
崖 13-1	背斜	52.2	430	E	砂岩	130~290	14.9	215
威远	背斜	850	895	Z	碳酸盐岩	70~100	3.22~3.26	1~38
卧龙河	背斜	176		T~C	碳酸盐岩	315~335	5~6	
磨溪	背斜	205.6	87	Tr	碳酸盐岩	5~18	5~13	5~10
中坝	背斜	10.8	306	Tx	砂岩	175	5~12	0.1~1.4
汪家屯	断块	28		K	砂岩	86	16	0.2~258
锦州	背斜	30	70~320	E	陆屑生屑云岩	12~35.8	1.75~24.9	0.21~149
柯克亚	背斜	31	450	N	砂岩	150	13.3~15.9	2~50
文留	背斜	18	>200	Es	砂岩	102	12.5	3~5
神孤	断背斜	18		E	砂岩	149	10~16	0.1~35.4
台南	背斜	69.2	70	Q	粉砂岩及泥质粉砂岩	>300	31	76~470
平湖	断背斜			N	砂岩	13.4~18.3	10~25	10~2000
兴隆台	断块	104						
板桥	断块	207.1	150					
苏桥	断块	31						
双家坝	断背斜	7.5						

看来，与运移条件一样，虽然良好的储层有利于天然气的富集和高产，但并非其富集的决定性因素，这主要是天然气的物理性质决定的。

三、圈闭条件对天然气富集的影响

圈闭是油气聚集的场所，圈闭的大小、规模决定着油气的富集上限。圈闭的类型有多种，构造圈闭，尤其是背斜构造圈闭，常常是最有利的圈闭。世界上迄今已发现的特大型油气田，多为背斜圈闭。然而，随着油气勘探的深入，人们发现，非构造圈闭也可形成大型油气田，如美国得克萨斯岩性油气田。

对于常规气藏而言，圈闭对天然气的富集是至关重要的，尤其是古隆起和早期圈闭更有利于天然气的富集，如表 1-1 中所列我国 16 个较大气田中，其形成大多与早期圈闭或古隆起有关。圈闭对天然气富集的影响还在于其面积、幅度的大小结合储层物性的好坏直接影响圈闭富集能力即最大资源量的大小，圈闭面积越大、幅度越大，其能够捕集天然气的能力也就越大，反之，捕集天然气的能力就越小。对常规气藏而言，可以说，没有大规模（大面积、大幅度）的圈闭，就没有大中型气田的形成。但是，对于非常规油气藏形成而言，就不一定需要通常意义上的圈闭，如阿尔伯塔深盆气藏主要分布在盆地向斜区，储层为致密砂砾岩，气藏孔隙度为 6.1~10.5%，渗透率低于 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，但天然气资源量为 $22.64 \times 10^{12} \text{m}^3$ （张金亮等，2000）。由此可见，在低渗透含气岩层中，圈闭甚至并非天然气藏形成和富集的必要条件。同时，需要指出的是，圈闭的有无和大小往往决定的只是一个具体目标的成藏规模或富集程度，而不是一个探区或一个盆地的富气程度或规模。可以说，与运移、储集条件一样，“东方不亮西方亮”，一个盆地往往缺乏的并不是圈闭条件。

第三节 保存条件对天然气富集的影响

保存条件的优劣主要取决于封盖层的质量和构造运动的强度，其中前者主要与盖层的宏观发育、分布和微观封盖能力有关，而后者由构造运动所导致的断裂发育、演化性质及抬升、剥蚀程度来反映。从原理上讲，天然气的小分子、易运移、易逸散的特性使得它对保存条件的要求比油苛刻得多。

从扩散能力上看，小分子的天然气的扩散损失是一个普遍存在的过程，这一过程使得地质条件下基本上没有对天然气绝对有效的封盖层，但扩散对天然气的富集到底有多大的影响，则还是一个有待深入探索的问题。

一、扩散过程对天然气富集的影响

天然气与石油相比，分子小、重量轻、活动性强，在地下除具有较强的渗滤性外，还具有较强的扩散性。虽然天然气在地下扩散速度远远小于其渗滤速度，但扩散较渗滤更易发生，且持续时间更加漫长，致使在漫长的地质历史时期中，天然气的累积扩散量十分可观，足以