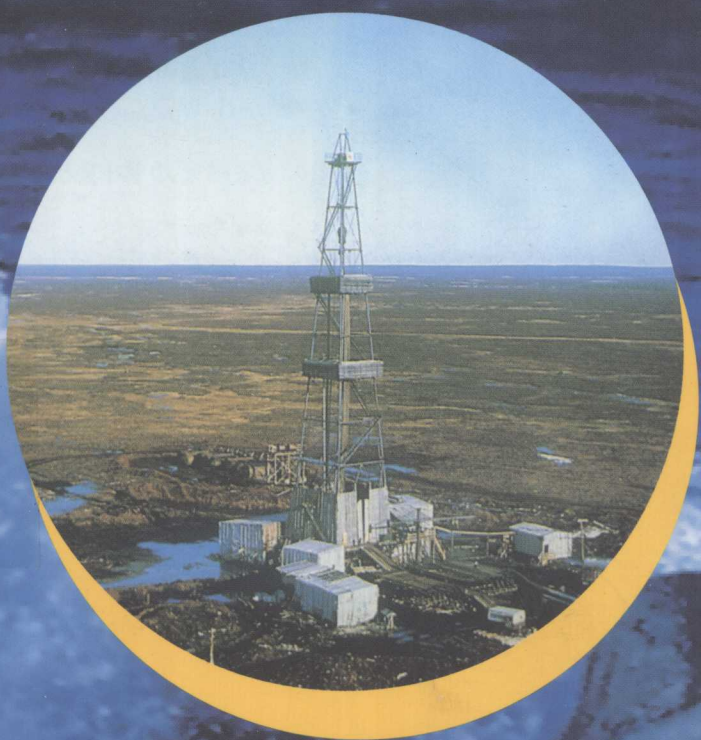


渤海海域中西部地区 天然气地球化学

文志刚 米立军 唐友军 杨波 著

中国地质大学出版社



内 容 提 要

本书在总结我国天然气勘探现状的基础上,着重评价了渤海海域气源岩的地球化学特征,论述了渤海海域中西部地区天然气和与气藏伴生油的组分特征、碳同位素特征,并详细进行了气(油)源对比。最后,结合我国大中型气田聚集的7个主控因素,探讨了渤海海域天然气的成藏要素与勘探前景。

本书可供油气地质研究工作者借鉴,也可以作为有关高等院校的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

渤海海域中西部地区天然气地球化学/文志刚,米立军,唐友军,杨波著. —武汉:中国地质大学出版社,2004.5

ISBN 7-5625-1932-3

I. 渤…

II. ①文… ②米… ③唐… ④杨…

III. 天然气-地球化学-渤海海域-中西部地区

IV. P618

渤海海域中西部地区天然气地球化学

文志刚 米立军 唐友军 杨波 著

责任编辑:张晓红

责任校对:张咏梅

出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路388号) 邮编:430074

电话:(027) 87482760 传真:87481537 E-mail: cbo @ cug. edu. cn

经 销:全国新华书店

开本:787毫米×1092毫米 1/16

字数:220千字 印张:8.5

版次:2004年8月第1版

印次:2004年8月第1次印刷

印刷:中国地质大学出版社印刷厂

印数:1—500册

ISBN 7-5625-1932-3/P·626

定价:20.00元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

序

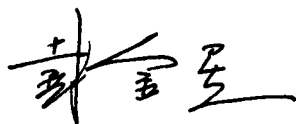
国家“六五”启动《煤成气的开发研究》重点科技攻关项目，之后又连续进行多次的天然气国家重点科技攻关，使我国天然气地质和天然气地球化学理论取得重大进展，不乏创新。由此，使我国指导天然气勘探理论从油型气的一元论，发展为油型气、煤成气和无机气的多元论。天然气地学研究的丰硕成果促进了我国天然气工业的迅速发展，形成了探明储量快速增长、天然气年产量不断增加、发现大气田数量增多的大好局面。

渤海湾盆地的油气资源丰富，翟光明等指出（2002）总资源量为 $190.68 \times 10^8 \text{t}$ ，而油富于气，是含油为主的盆地。因此，油备受重视，油的勘探和研究是重点，油的勘探取得重大成果，油的研究成果累累。渤海海域油气的勘探与研究是油优于气。实际上渤海湾盆地不论陆上或海域，天然气资源潜力不容忽视。《渤海海域中西部地区天然气地球化学》专著出版，不仅对该区的海域而且对陆上的天然气勘探与研究起了推进作用，作者指出渤海海域待发现天然气资源量可观，天然气探明程度很低，天然气勘探潜力大的观点值得重视。该专著首次系统的论述了渤海湾海域气源岩、天然气和凝析油地球化学特征，并研究了天然气形成的地质条件以及天然气聚集主控因素。《渤海海域中西部地区天然气地球化学》不仅是渤海海域，同时也是我国大陆架海域第一部有关天然气地球化学的专著，因而具有重要的学术意义和实用价值，故它的出版是可喜可贺的，推荐大家值得一读，并定能受益匪浅。

该书的第一作者文志刚博士 1985 年毕业于原江汉石油学院（现为长江大学）石油地质专业毕业，毕业后留校一直从事地球化学和石油地质的教学和科研工作，是位思维活跃、重于实践、善于思索、勇于攀登、敢于创新的地学的

年轻佼佼者。他选择投身于我国蒸蒸日上的天然气科学研究，方向对、道路广，相信他能随我国天然气工业的发展，在天然气地球化学研究上能取得更多的成果，做出更大的贡献。《渤海海域中西部地区天然气地球化学》的问世，表示年轻一代学者在天然气研究和实践中成为中坚力量之一，这是我国天然气事业成就与发展的一个重要标志。中国天然气事业呼唤着更多年轻人参与、成才和贡献！

中国科学院院士

A stylized handwritten signature in black ink, likely belonging to Song Shizhong, an Academician of the Chinese Academy of Sciences.

2004年7月5日

前 言

天然气作为一种清洁能源, 日益受到各国的重视。据专家预测, 21 世纪上半叶, 世界能源可能进入以天然气为主的时代。20 世纪 90 年代中后期以来, 中国天然气工业驶入快车道: 2000 年和 2001 年新增天然气储量分别为 $4\,921.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $4\,466.6 \times 10^8 \text{ m}^3$, 2001 年天然气产气量达 $303 \times 10^8 \text{ m}^3$, 居世界第 15 位。截止到 2001 年底, 我国累计发现天然气田 191 个 (未包括台湾省), 累计探明天然气 (不含伴生气) 储量为 $30\,023 \times 10^8 \text{ m}^3$, 其中大气田 (探明储量大于 $300 \times 10^8 \text{ m}^3$) 21 个, 占天然气总储量的 59.8%, 分布在四川、鄂尔多斯、塔里木、柴达木、莺琼和东海 6 个盆地 (戴金星等, 2003)。研究证实, 我国 21 个大气田中, 煤成气占 83.6%。

渤中凹陷是渤海海域最大的凹陷, 目前在其周围已发现几个气田及含气构造, 气源对比结果初步认为这些天然气来自于下第三系。歧口凹陷是渤西地区的一个生烃凹陷, 但多年的勘探除了发现一些油田外, 基本上没有发现有价值的天然气田。因此, 评价渤海海域西部地区前新生界煤成气潜力如何? 讨论渤中凹陷、歧口凹陷新生界与一些富气的凹陷 (如板桥凹陷) 生气能力有什么异同点, 评述它们是否具有形成较大中型气田的条件? 这些都是需要回答的问题, 亦是制约渤海海域下一步天然气勘探部署的关键问题。

本书从烃源岩评价入手, 系统地解剖了渤海海域中西部地区天然气与气藏伴生油的地球化学特征, 科学地划分了油气类型, 详细进行了气 (油) 源对比, 最后, 结合大中型气田天然气富集的 7 个主控因素深入探讨了渤海海域天然气的勘探前景。在此, 我们将近年来的研究成果奉献给关心渤海海域天然气勘探事业的同行, 期望能对渤海海域天然气研究、勘探决策有所裨益, 这就是我们出版该书的初衷, 也 “为祖国天空更碧蓝, 为我国将来年产 $1\,000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 天然气贡献一份力量” (戴金星, 2000)。

特别感谢中海油（中国）有限公司天津分公司技术部夏庆龙经理、薛永安总地质师、周士科经理、于水首席工程师、徐长贵经理和赵建臣经理等人的大力支持和无私帮助。研究工作中，我们曾请教过长江大学（原江汉石油学院）地球化学系的部分专家，并从中得到了不少启示，尤其是包建平教授、侯读杰教授、张敏教授和朱翠山高级工程师的指点，使我们获益匪浅，文中还引用了他们的部分研究成果，在此深表感谢！参与研究工作的还有何文祥博士、李友强硕士、宋换新硕士与李浮萍硕士等。可以说，本书是中海油（中国）有限公司天津分公司技术部和长江大学（原江汉石油学院）地球化学系科研人员密切合作、共同攻关的结晶。

由于渤海海域油气地质条件复杂，勘探程度不高，天然气地质资料少，加之研究时间短和我们水平有限，书中定有疏漏和不当之处，请读者予以批评指正。



2004 年春于古城荆州

长江大学地球化学系

油气资源与勘探技术教育部重点实验室

目 录

第一章 中国天然气勘探概述	(1)
第一节 中国天然气工业发展史及勘探现状	(1)
第二节 中国天然气的时空分布	(5)
第三节 天然气的地球化学特征及地质特征	(7)
第四节 天然气地质研究的现实意义	(12)
第二章 区域地质概况	(14)
第一节 渤海湾盆地油气地质特征	(14)
第二节 渤海海域石油地质概况	(16)
第三章 气源岩评价	(19)
第一节 渤海中西部地区烃源岩展布特征	(19)
第二节 生油岩有机质丰度评价	(19)
第三节 烃源岩有机质类型剖析	(24)
第四节 烃源岩有机质演化程度	(28)
第五节 有效气源岩评价	(31)
第四章 烃源岩地球化学特征	(35)
第一节 烃源岩宏观组成	(35)
第二节 下第三系烃源岩生物标志物特征	(36)
第三节 前第三系烃源岩生物标志物组合特征	(48)
第四节 烃源岩碳同位素特征	(50)
第五章 天然气地球化学特征与气源对比	(52)
第一节 天然气组分特征	(52)

第二节	天然气碳同位素特征	(58)
第三节	天然气成因类型	(61)
第四节	天然气成熟度	(65)
第五节	气源岩碳同位素特征	(68)
第六节	气 - 岩对比	(71)
第六章	凝析油与气藏伴生油的地球化学特征	(74)
第一节	凝析油与气藏伴生油物理性质与族组成	(74)
第二节	凝析油与气藏伴生油碳同位素组成特征	(79)
第三节	凝析油与气藏伴生油轻烃特征	(81)
第四节	凝析油与气藏伴生油生物标志物特征	(87)
第五节	凝析油与气藏伴生油成熟度特征	(100)
第六节	油源对比	(104)
第七章	天然气形成的地质条件与对比研究	(110)
第一节	海域天然气藏的类型与形成条件	(110)
第二节	典型气藏解剖	(111)
第三节	天然气勘探现状和分布特征的对比研究	(117)
第四节	天然气成因类型对比研究	(120)
第五节	天然气聚集主控因素对比研究	(121)
第六节	渤海海域天然气勘探前景	(124)
主要参考文献		(126)

第一章

中国天然气勘探概述

第一节 中国天然气工业发展史及勘探现状

一、天然气工业发展史

据统计(戴金星等, 2002), 我国天然气储量在新中国成立时仅有 $3.85 \times 10^8 \text{ m}^3$, 而至 2001 年达 $30\,023.88 \times 10^8 \text{ m}^3$, 增加了 7 798 倍。特别是从“六五”至“九五”国家四次天然气科技攻关以来, 每个五年期间探明天然气储量连续翻番: “六五”期间储量年均增长为 $269 \times 10^8 \text{ m}^3$, 而“七五”、“八五”和“九五”期间储量增幅分别为: $616 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $1\,394 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $2\,308 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。特别是近 10 年来储量增长年均在 $1\,400 \times 10^8 \text{ m}^3$ 以上, 正处在大幅度增长期。2000 年和 2001 年储量增长分别高达 $4\,921.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $4\,466.6 \times 10^8 \text{ m}^3$, 中国天然气勘探已进入高发现期。国外产气及储量大的天然气高发现期可持续 20~30 年。由此戴金星推测, 我国天然气高发现期还可持续 10~20 年, 还能探明更多的天然气储量。

我国解放时天然气年产量仅为 $0.11 \times 10^8 \text{ m}^3$, 2001 年年产量则达 $303 \times 10^8 \text{ m}^3$, 增长了 2 755 倍, 居世界第 15 位。我国天然气年产量达到 $100 \times 10^8 \text{ m}^3$, 用了 29 年, 从 $100 \times 10^8 \text{ m}^3$ 增至 $200 \times 10^8 \text{ m}^3$ 用了 20 年, 从 $200 \times 10^8 \text{ m}^3$ 增至 $300 \times 10^8 \text{ m}^3$ 仅用了 4 年(戴金星等, 2002)。

至 2001 年底我国共发现大气田 19 个(戴金星等, 2002, 表 1-1), 共累计探明天然气储量为 $17\,953 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占全国天然气总储量的 59.8%。由表 1-1 可见, 在国家天然气科技攻关“六五”之前, 我国仅发现卧龙河和威远两大气田。自天然气科技攻关之后, 发现的大气田储量逐渐变大, 数目逐渐变多, “七五”期间发现大气田 4 个, 探明储量 $2\,108.87 \times 10^8 \text{ m}^3$; “八五”和“九五”期间分别发现 6 个和 8 个大气田, 探明储量分别为 $5\,731.66 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $7\,119.8 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

二、天然气勘探现状

截至 2001 年底, 中国已累计发现气田 191 个(未包括台湾省, 下同)(图 1-1)。全国探明天然气(气层气, 下同) $30\,023.88 \times 10^8 \text{ m}^3$ (含 CO_2 $145.58 \times 10^8 \text{ m}^3$), 可采储量 $19\,904 \times 10^8 \text{ m}^3$ (含 CO_2 $145.58 \times 10^8 \text{ m}^3$), 剩余可采储量 $16\,767.72 \times 10^8 \text{ m}^3$, 可采储量采出率为 15.7%, 开发程度较低。

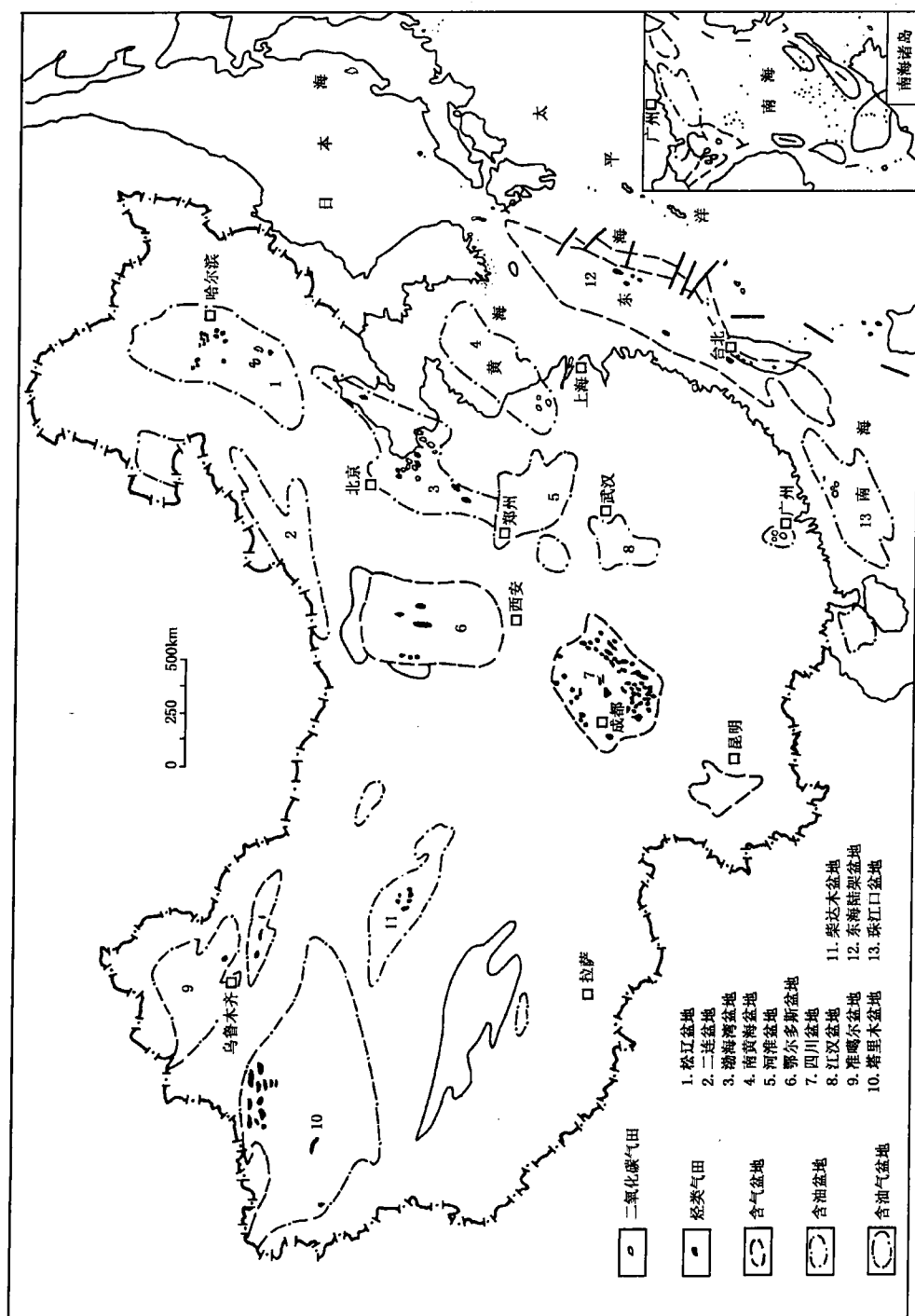


图1 中国天然气田的分布

表 1-1 中国大气田一览表
(戴金星等, 2002)

盆地	气田	储量 ($\times 10^8 \text{m}^3$)	探明年份	主力气层	储集层岩性	主要气源岩	类型	
四川	新场	512.28	1994	J ₂ , J ₃	砂岩	T ₃ 煤系	煤成气	
	磨溪	375.72	1987	T ₂ , T ₃	碳酸盐岩	P ₂ 煤系		
	卧龙河	380.52	1959	T, C ₂ , P ₁ , P ₂	碳酸盐岩	S, P ₁ 海相泥岩、灰岩	油型气	
	五百梯	587.11	1993	C ₂ , P ₂	碳酸盐岩			
	沙坪场	397.71	1996	C ₂	碳酸盐岩			
	威 远	408.61	1965	Zn, P ₁	碳酸盐岩	∈ 海相泥页岩		
鄂尔多斯	长 庆	4 911.19	1992	O ₁ , P	砂岩, 碳酸盐岩	C-P 煤系, C 海相泥岩、灰岩为主	煤成气	
	苏里格	2 204.75	2001	P	砂岩			
	长 东	358.48	1999	P	砂岩			
塔里木	牙 哈	376.45	1994	E, Nj	砂岩	J 煤系		油型气
	克拉 2	2 840.29	2000	K, E	砂岩			
	和田河	616.94	1998	O, C ₂	碳酸盐岩	∈ 海相泥岩、泥质碳酸盐岩		
柴达木	台 南	425.30	1989	Q ₁ , Q ₂	砂岩	Q 含泥炭的泥岩	煤成气 (生物气)	
	涩北二号	422.89	1990	Q ₁ , Q ₂	砂岩			
	涩北一号	492.22	1991	Q ₁ , Q ₂	砂岩			
莺 琼	崖 13-1	884.96	1990	E	砂岩	E 煤系	煤成气	
	东方 1-1	996.80	1995	N	砂岩			
	乐东 22-1	431.04	1997	N	砂岩			
东海	春晓	330.43	1998	E ₂ , E ₃	砂岩	E 煤系		

注：长庆气田包括靖边、榆林、乌审旗三个气田

从我国天然气工业发展史来看，通过与产气大国对比分析可知：

(1) 天然气资源探明率低：第一次油气资源评价时计算天然气资源量为 $33.54 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ；全国第二次油气资源评价时，我国常规天然气资源量为 $38.04 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，第三次资源评价时天然气资源量为 $52.65 \times 10^{12} \text{ m}^3$ （李国玉，2002）。与二次资评相比，第三次资源评价所得到的天然气资源量除塔里木盆地外，其他盆地均有不同程度的上升（表 1-2）。为了和世界的天然气资源研究接轨，一般认为可采资源量为地质资源量的 26.3%（戴金星等，2001）。采用此比例，我国天然气地质资源量为 $52.65 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，换算为可采资源量为 $13.85 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。2001 年我国天然气可采储量为 $19\,904 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，仅占可采资源量的 14.4%，资源

探明率相当低。而沉积岩面积比我国稍大的美国及稍小的加拿大,其天然气可采资源量探明率分别为 80.2% 和 40.6% (戴金星等, 2001), 若以此比率换算, 我国将可探明天然气的可采储量约为 $5.62 \times 10^{12} \sim 11.11 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 分别是我国目前天然气可采储量的 3.4~6.8 倍, 这表明我国天然气勘探前景好, 潜力大。

表 1-2 中国主要含油气盆地最新天然气资源量评价结果与第二次资源评价结果对比
(戴金星, 2001)

盆 地	评价面积 (10^4 km^2)	资源量 (10^{12} m^3)		增减量 (10^8 m^3)
		二次资评	最新研究	
松 辽	25.54	0.875 6	1.771 1	0.895 5
渤海湾 (陆上)	14.45	2.118 1	3.421 9	1.303 8
鄂尔多斯	37	4.179 7	8.389 4	4.209 7
四 川	19	7.357 5	7.357 5	0
准噶尔	13	1.228 9	2.092 7	0.863 8
吐 哈	5.35	0.365 0	0.470 2	0.105 2
塔里木台盆区	56	7.953 5	1.870 0	-5.005 6
塔里木塔西南			1.077 9	
塔里木库车		0.436 1	2.359 0	1.922 9
柴达木	12.1	0.293 7	2.872 2	2.578 5
渤海海域	5.55	0.288 1	1.220 0	0.931 9
南黄海	6.394 5	0.079 8	0.079 8	0
东 海	25	2.480 3	2.480 3	0
北部湾	1.98	0.147 6	0.147 6	0
琼东南	3.4	1.625 3	3.570 0	1.944 6
珠江口	17.782	1.298 7	1.298 7	0
莺歌海	7.365 4	2.239 0	5.050 0	2.811 0
其 他	180.534 1	5.072 8	5.072 8	0

(2) 我国具备成为产气大国的储量基础: 所谓产气大国是指年产气达 $500 \times 10^8 \text{ m}^3$ 或更多的国家。据戴金星院士 (2002, 2001) 研究, 天然气的剩余可采储量超过 $1.5 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 是保证天然气年产量达 $500 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的基础, 而可采储量超过 $2.7 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 就可以保证天然气

年产量达 $1\,000\times10^8\text{m}^3$ 。2001 年我国天然气剩余可采储量已达 $16\,767.72\times10^8\text{m}^3$ ，具备了年产 $500\times10^8\text{m}^3$ 的储量条件。估计 2005 年和 2015 年我国年产气分别可达到 $500\times10^8\text{m}^3$ 和 $1\,000\times10^8\text{m}^3$ ，成为名副其实的产气大国（戴金星，2002）。

（3）寻找大气田是当务之急：2001 年我国的天然气年产量达 $303\times10^8\text{m}^3$ ，相当于一年就动用了 $459\times10^8\text{m}^3$ 的天然气地质储量，也相当于一年就开发完了一个半中型气田（中型气田最高地质储量为 $300\times10^8\text{m}^3$ ），因此，为了保持我国天然气工业的良好发展势头，寻找大气田就成了当务之急（戴金星，2003）。

第二节 中国天然气的时空分布

一、层位分布

我国天然气田在层位上分布很广，按探明储量自大而小依次为第三系、石炭系、奥陶系、第四系、白垩系、二叠系、侏罗系和震旦系。在泥盆系、志留系和寒武系中尚未获得天然气探明地质储量（魏永佩，2001）。

统计资料（表 1-3）表明，已发现的气田的分布层位在东西部有一定差异。东部（包括海域）为第三系和白垩系，中部地区主要分布于石炭系、奥陶系、震旦系、二叠系和侏罗系；

表 1-3 中国大中型气田探明时间及成因分类
（夏新宇等，2002，有补充）

盆地	气压	级别	探明年	主产气层	储集层主要岩性	主要气源岩	主要成因类型
四川	中坝	中	1972	T ₃ , T ₂	砂岩、碳酸盐岩	T ₃ 煤系	煤成气
	新场	大	1994	J	砂岩		
	平落坝	中	1997	T ₃ , J			
	白马庙	中	2000	J			
	磨溪	大	1987	T ₂	碳酸盐岩	P ₁ 煤系	
	渡口河	中	1997	T			
	卧龙河	大	1959	T, C, P	碳酸盐岩	S, P 海相泥页岩、 灰岩, P ₂ 煤系	海相油型气
	大池干井	中	1986	C, P			
	双家坝	中	1989	C			
	福成寨	中	1990	C, T ₁			
	高峰场	中	1991	C			
	铁山	中	1992	C, T ₁			
	五百梯	大	1993	C, P			
	龙门	中	1994	C			
	沙坪场	大	1996	C			
	渡河口	中	2000	C			
	威远	大	1965	Z	碳酸盐岩	∈ 海相泥页岩	

续表 1-3

盆地	气压	级别	探明年	主产气层	储集层主要岩性	主要气源岩	主要成因类型
鄂尔多斯	长 庆	大	1992	P, O	砂岩、碳酸盐岩	C, P 煤系, O 灰岩	煤成气为主
	长 东	大	1999	P	砂岩	C—P 煤系	
	苏里格	大	2001	P	砂岩	C—P 煤系	
塔里木	柯克亚	中	1985	N	砂岩	J 煤系	煤成气
	英买 7	中	1993	E			
	牙 哈	大	1994	E			
	羊塔克	中	1996	E			
	吐孜洛克	中	2000	N			
	克拉 2	大	2000	N	砂岩	E, C 海相碳酸盐岩, 泥岩	海相油型气
	吉拉克	中	1992	T ₃			
	雅克拉	中	1992	K			
	和田河	大	1998	O, C	碳酸盐岩		
吐哈	丘 东	中	1992	J	砂岩	J 煤系	煤成气
准噶尔	呼图壁	中	1999	J	砂岩	J 煤系	
	克拉玛依	中	1999	P	砂岩	P 湖相泥岩	湖相油型气
柴达木	台 南	大	1989	C	砂岩	Q 亚煤系	煤成气 (生物气)
	涩北二号	大	1990				
	涩北一号	大	1991				
	南八仙	中	1998	N, E	砂岩	J 煤系	煤成气
松 辽	汪家屯	中	1987	K	砂岩	K 煤系	
	昌 德	中	1998	K	砂岩	K 湖相泥岩, 煤系	湖相油型气
渤海湾	兴隆台	中	1969	E	砂岩	E 湖相泥岩	
	板 桥	中	1974	E			
	锦州 20-2	中	1987	E, E ₁	砂岩, 结晶岩	C—P 煤系	
	文 留	中	1976	E	砂岩		
	苏 桥	中	1983	O, P	碳酸盐, 砂岩		
	大牛地	中	2000	P	砂岩		
莺 琼	崖 13-1	大	1990	E	砂岩	E 煤系	煤成气
	乐东 15-1	中	1995	N			
	东方 1-1	大	1995				
	乐东 22-1	大	1997				
东 海	平 湖	中	1990	E	砂岩	E 煤系	
	宝云亭	中	1995				
	春 晓	大	1998				
	天外天	中	2000				

西部区主要分布在第四系、第三系、石炭系、白垩系、侏罗系、三叠系和二叠系。这表明,在中国已发现的气田中,东部区(包括海域)的天然气分布时代较新,多为新生代,埋深相对较浅,气层时代比较单一;中部区和西部区的天然气分布时代较广,在纵向上的气层较多,深部变化较大,具有多层系的分布特点。

另外,从表 1-3 还可看出,我国大中型气田的探明时间多集中在 20 世纪 90 年代以后,主要的气源岩为下第三系煤系地层和湖相泥岩、C-P 煤系地层、J-K 煤系地层和 C-O 海相泥岩等;就天然气成因类型而言,大中型气田中煤成气田占了主导地位,发现的 19 个大型气田(长庆气田包括靖边、榆林、乌审旗三个气田),有 13 个被确认是煤成气田,其中储量最大的 5 个气田全是煤成气田,它们依次为长庆气田、克拉 2 气田、苏里格气田、东方 1-1 气田和崖 13-1 气田。相比较而言,油型气田规模要小一些。

二、天然气的空间分布

截至 1998 年底,我国已发现的气田在空间分布上有如下特征:即在东部(含海域)、中部、西部各占 46%、39%与 14%;若按地质储量排序,则依次为中部、东部(含海域)和西部,分别占 47%、30%与 23% (魏永佩, 2001)。目前,由于在中西部地区又发现了几个大型气田,因而这些数据也正在发生着变化,但趋势是明显的,那就是中、西部地区天然气资源量所占比重正逐年增加。截至 2001 年,我国含气盆地已探明的天然气地质储量排在前三位的依次为鄂尔多斯盆地、塔里木盆地、四川盆地。在 21 个已发现的大型气田中,鄂尔多斯地质储量达 $7\,474.42 \times 10^8 \text{ m}^3$,塔里木天然气地质储量为 $3\,833.68 \times 10^8 \text{ m}^3$,四川盆地为 $2\,661.95 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

在已发现的气田中,东部区(含海域)大、中、小型气田均有分布,但大型气田只在南海和东海被发现;中部区鄂尔多斯盆地以大型气田为主,四川盆地内大、中、小型气田均有发育,西部区以大、中型气田为主。对 21 个大气田(占全国天然气总储量的 59.8%)统计表明,有 11 个分布在中部地区,6 个分布在西部地区,4 个分布于南海和东海的海域地区;从储量分布来看,中部地区天然气储量达 $10\,136.37 \times 10^8 \text{ m}^3$,西部地区为 $5\,174.09 \times 10^8 \text{ m}^3$,东部海域地区为 $2\,643.23 \times 10^8 \text{ m}^3$,分别占全国天然气总储量的 33.76%、17.23%与 8.8%。

第三节 天然气的地球化学特征及地质特征

一、天然气的成因分类

目前,天然气的分类方案颇多,归纳起来有按天然气组分、天然气来源、天然气相态、有机质母质类型和有机质演化阶段五种。在国内影响较大的两类方案分别是戴金星等(1992)和徐永昌等(1994)提出的天然气成因分类方案。

我国科技工作者在大量研究资料的基础上,按照不同层次对天然气进行成因分类,即第一层次是依据天然气的来源划分为有机成因气和无机成因气,而在有机成因气内则根据有机质母质差异分为油型气与煤型气,第二层次是依据有机质的演化阶段对有机成因气作进一步划分,具体分类方案见表 1-4。

表 1-4 天然气成因类型综合分类表
(戴金星, 1997)

无机成因气	幔源气、岩浆成因气、放射成因气、变质成因气、无机盐类分解气						
有机成因气	成因类型 母质类型		未熟阶段	未熟—低成熟阶段	成熟阶段		过熟阶段
	I—Ⅱ ₁	油型气	油型生物气	油型过渡带气	原油伴生气	凝析油气	油型裂解气
	Ⅱ ₂ —Ⅲ	煤成气	煤型生物气	煤型过渡带气	煤型热解气		煤型裂解气
混合成因气	异岩两源混合气、同岩两源混合气						

二、大中型气田天然气的主要地球化学特征

我国已发现的大中型气田可划分为煤成气、油型气。两种类型天然气的组分、碳同位素组成之间存在较明显的差异 (表 1-5, 表 1-6)。

表 1-5 大中型气田天然气成因类型及其地球化学特征
(宋岩等, 1998)

盆地	气田	气体组分 (%)					碳同位素 (‰)			成因类型
		CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₈	CO ₂	N ₂	δ ¹³ C ₁	δ ¹³ C ₂	δ ¹³ C ₃	
渤海湾	苏桥	86.80	5.90	4.00	1.80	1.20	-36.50	-26.50	-23.70	煤成气
	文留	95.12	2.70	0.38	0.72	1.01	-27.90	-26.50	25.72	
塔里木	英买 7	86.63	8.01	1.38			-33.53	-22.05	-23.93	
	牙哈	76.55	14.91	4.88			-32.89	-24.68	-21.17	
吐 哈	丘东	82.53	8.00	5.78			-41.20	-27.10	-26.10	
四 川	中坝	87.86	6.53	2.12	0.39	0.28	-36.73	-25.51	-23.45	
莺 琼	崖 13-1	85.03	1.27	1.33	9.60		-35.80	-25.20	-24.20	煤成气
	东方 1-1	70.40	0.79	0.24	0.12	27.40	-38.00	-25.40	-24.70	
鄂尔多斯	中部	98.41	0.97			0.47	-35.55	-25.57	-25.03	油型气
	中部	94.35	0.23		1.60	3.81	-33.84	-31.33	-27.08	
渤海湾	板桥	76.56	11.22	5.97	1.40	0.74	-48.28	-27.99	-24.84	
	兴隆台	96.34	1.33				-44.01			
塔里木	吉拉克	76.15	6.52	4.73	0.04	7.17	-36.09	-34.60	-32.14	
	雅克拉	85.46	5.76	2.19			-40.43	-32.71	-30.68	
四 川	卧龙河	92.53	0.83	0.21	0.74	0.58	-32.77	-28.71	-23.55	
	威 远	86.74	0.12		4.50	7.08	-32.42	-31.61		
	铁 山	97.53	0.20		0.80	0.76	-32.24	-31.89		
柴达木	台 南	99.93	0.06	0.01			-67.66	-36.30	-23.95	煤型 生物气
	涩北 1	99.26	0.08	0.02			-68.51			
	涩北 2	99.21	0.25	0.06	0.04		-64.90			

1. 碳同位素特征

图 1-2 为中国大中型气田煤成气、油型气的甲烷碳同位素直方图，图中煤成气的甲烷碳同位素分布区间为 $-27\text{‰} \sim -42\text{‰}$ ；油型气的为 $-31\text{‰} \sim -49\text{‰}$ （宋岩等，1998）。同样结果也可见表 1-6（戴金星等，2002，1999）。从区间分布值来看，煤成气甲烷碳同位素值较油型气的偏重。但从图 1-2 可见，二者的甲烷碳同位素分布高峰值则相反，其主要原因是二者的成熟度不同所致（宋岩等，1998）。中国大中型气田的油型气主要是过成熟阶段形成的油型裂解气，由于高变质作用可使碳同位素变重，致使油型裂解气较煤成热解气碳同位素偏

表 1-6 煤成气和油型气综合鉴别指标
(戴金星, 2002)

项 目		油型气	煤成气
同 位 素	$\delta^{13}\text{C}_1$ (‰)	$-55 \sim -30$	$-43 \sim -10$
	$\delta^{13}\text{C}_2$ (‰)	< -29	> -27.5
	$\delta^{13}\text{C}_3$ (‰)	< -27	> -25.5
	$\delta^{13}\text{C}_1 - R_o$ 关系	$\delta^{13}\text{C}_1 = 15.80\lg R_o - 42.21$	$\delta^{13}\text{C}_1 = 14.13\lg R_o - 34.39$
	$\delta^{13}\text{C}_{1-4}$ 连线	较轻	较重
	C_5-8 轻烃单体系列 (‰)	< -26	> -26
	与气同源原油 $\delta^{13}\text{C}$ (‰)	轻 (一般 < -29)	重 (一般 > -28)
	凝析油的饱和烃和芳烃 $\delta^{13}\text{C}$	饱和烃 < -27	饱和烃 > -29.5
		芳烃 < -27.5	芳烃 > -27.5
	与气同源原油 $\delta^{13}\text{C}$ (‰)	轻 ($-35 \sim -26$)	重 ($-30 \sim -23$)
气 组 分	汞蒸气 (ng/m^3)	< 600	> 700
	C_{2-4} (成熟阶段)	R_o 相同或相近时，一般油型气比煤成气多 2% 以上	
轻 烃	甲基环己烷指数 (%)	$< 50 \pm 2$	$> 50 \pm 2$
	C_6-7 支链烷烃含量 (%)	> 17	< 17
	甲苯/苯	一般 < 1	一般 > 1
	苯 ($\mu\text{g}/\text{L}$)	148 左右	475 左右
	甲苯 ($\mu\text{g}/\text{L}$)	113 左右	536 左右
	凝析油 C_{4-7} 组成	富含链烷烃，贫环烷烃和芳烃， 一般芳烃 $< 5\%$	贫链烷烃，富环烷烃和芳烃， 一般芳烃 $> 10\%$
	C_7 的五环烷、六环烷和 $n\text{C}_7$ 组成	富 $n\text{C}_7$ 和五环烷	贫 $n\text{C}_7$ ，富六环烷
凝析 油和 储层 沥青 中生 物标 志物	Pr/Ph 值	一般 < 1.8	一般 > 2.7
	杜松烷、桉叶油烷	没有杜松烷，难以检测到桉叶油烷	可检测到杜松烷和桉叶油烷
	松香烷系列和海松烷系列	贫海松烷和松香烷	成熟度不高时，检测到海松烷系列 和松香烷系列化合物
	二环倍半萜 $\text{C}_{15}/\text{C}_{16}$ 值	< 1 和 > 3	$1.1 \sim 2.8$
	双杜松烷	无	有
	C_{27-29} 甾烷	一般 C_{27} 、 C_{28} 丰富， C_{29} 含量少	一般 C_{29} 丰富， C_{27} 、 C_{28} 含量较少