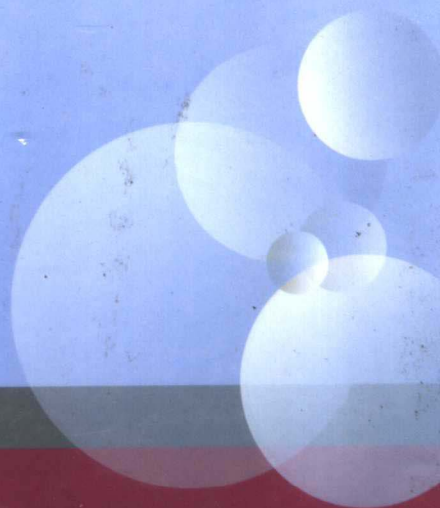
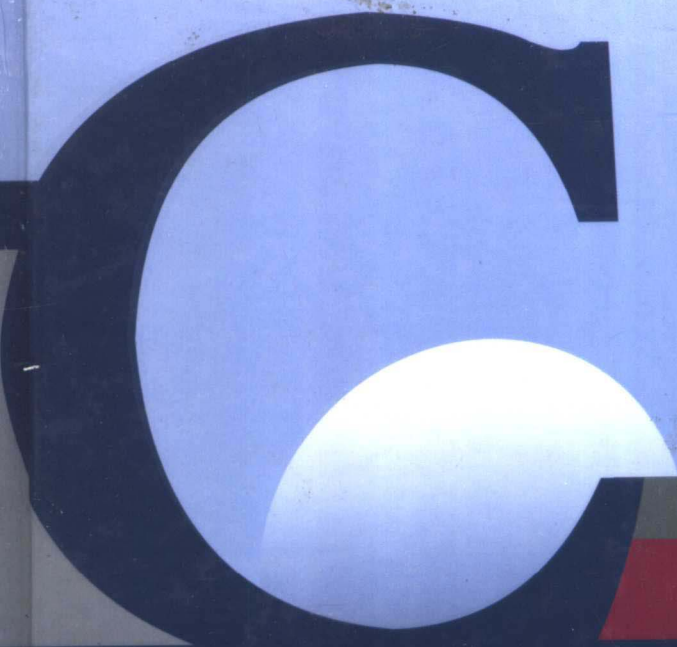




中国大气田及其气源

戴金星 陈践发 钟宁宁 等 著
庞雄奇 秦胜飞



科学出版社
www.sciencep.com

中国大气田及其气源

戴金星 陈践发 秦胜飞 等著
钟宁宁 庞雄奇

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书阐述了各国学者划分大气田的标准、中国大气田的分布和类型,勘探与开发大气田对一个国家发展天然气工业的重大意义;论述了我国 21 个大气田气藏类型、成藏期和天然气地球化学特征;研究了各大气田的气源。为了勘探更多的大气田,特别研究了大气田形成在生气中心及其周缘、成藏期晚等定量和半定量的主要控制因素。

本书可供广大从事油气工业研究的科技人员、有关大专院校油气专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国大气田及其气源/戴金星,陈践发,钟宁宁等著. —北京:科学出版社, 2003

ISBN 7-03-012198-8

I. 中… II. ①戴…②陈…③钟 III. 气田—石油天然气地质—研究—中国 IV. R618. 130. 62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 082011 号

责任编辑:谢洪源 王日臣 / 责任校对:陈丽珠

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2003 年 9 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2003 年 9 月第一次印刷 印张:13

印数:1—1 200 字数:295 000

定价:40.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(新欣))

前 言

《中国大气田及其气源》是有关我国大气田地质—地球化学的一部专著。适逢石油大学建校五十周年,我和石油大学的年轻同行谨以此书献给石油大学五十周年华诞。石油大学是我国石油天然气科技的最高学府、石油人才的摇篮和石油天然气科技的知识库。五十年励精图治,五十年勤奋耕耘,一代代石油大学人继承了石油人实事求是、艰苦奋斗、开拓创新的优良传统,以弘扬科学精神为己任,为国家培养了一批批栋梁之材。“凡有油田处便有石大人,凡有炼厂处可见石大生”。石油大学为我国成为世界产油大国,为我国近期天然气工业的快速发展贡献非凡,功载史册。本书还奉献给石油大学的学子和师长们,作者愿与他们共同体会我国天然气地质—地球化学领域科技工作者的研究心得,共勉将来继续开拓创新、协力促进天然气科学研究水平的提高。相信在未来,石油大学将更加蓬勃发展,建成面向世界的、具有一流水平的石油天然气科技的高等学府,为我国石油天然气工业可持续发展做出更大贡献。

本书除了简述大气田的发现史及重点介绍大气田地质外,和以往我国出版的关于大中型气田的著作不同,还突出了大气田的成藏史研究,并在大气田各论中根据众多的同位素分析和相关的地球化学资料,深入探讨了大气田的气源,更因为本书强调了地球化学研究和天然气地质研究紧密结合,地质资料和地球化学数据的互相印证,使得对大气田气源的判断和认识有较高的可信度。

应该指出的是,本书仅涉及 2001 年底前发现的、国家矿产储量委员会批准并公布的储量大于 $300 \times 10^8 \text{m}^3$ 的大气田。2002 年我国又新探明了迪那 2 大气田、大牛地大气田和罗家寨大气田,遗憾的是这些大气田的储量是在本书交稿之后才正式公布确认的,因此其研究成果未能列入本书,只能待再版时补充。

我还要指出的是,本书是国家历届天然气科技攻关研究的结晶,也是为了纪念 1983 年我国首次启动国家天然气科技攻关项目“煤成气的开发研究”20 周年。20 年中,数轮国家天然气科技攻关,以赵徽林、郝石生、张一伟、张万选、张厚福、王铁冠诸教授为代表的一大批石油大学的师生一直参与其中,石油大学不愧为科技攻关的中坚力量之一和实施人才培养的主要基地。

国家天然气科技攻关在组织上促进了我国石油工业“油气并举”方针的确立;在队伍建设上培养和锻炼出一大批国家急需的天然气科技骨干;在理论上奠定了我国天然气地质学和天然气地球化学的基础;在勘探实践上指出了天然气勘探新领域和新方向,预测了大气田的发现。我之所以说本书乃历届国家天然气科技攻关的结晶,其一因为,我国目前发现的大气田,除卧龙河和威远两大气田外,大多与国家科技攻关成果有关。天然气科技攻关使我国天然气勘探理论从“一元论”发展为“二元论”,开辟了煤成气勘探新领域,现探

明的 21 个大气田,83.6% 聚集是煤成气;其二因为,国家天然气科技攻关之初,我国天然气地质学工作者人数寥寥,更没有专攻这一学科领域的学士、硕士、博士和教授。而今,我国不但有了这方面的人才,而且石油高校和科研院所还成立了一批天然气地质研究机构。在科技攻关中涌现出了一大批出类拔萃的年轻科技骨干,除我本人之外,本书所有作者都是其中的佼佼者;其三因为,本书采用的大量资料、数据是历次科技攻关的丰厚学术积淀之一部分,是参与历次天然气科技攻关的广大科技工作者辛勤劳动的硕果;其四因为,历次天然气科技攻关不仅积累了大量的科学数据和资料,而且还形成了各部门间互通情报,无私支持的宝贵的协作精神。在本书写作过程中。对个别新近发现的大气田,作者们缺乏气源对比的碳同位素资料,当我向在攻关中结下深情厚意的王庭斌研究员、张文正教授、王兰生博士和李剑博士发出求助后,他们无私慷慨地提供了作者短缺的一批数据。在当今市场经济大潮和强调部门利益的现实中,他们的舍予令作者们无比感激和油然而生敬意。我藉本书付梓之机,再次向他们和曾参与天然气科技攻关的同志们表示深深的感谢。

戴金星

中国石油勘探开发研究院、石油大学(北京)资源与信息学院

2003 年 9 月 8 日

目 录

前言	戴金星(i)
第一章 大气田涵义及其作用	陈践发(1)
第一节 大气田涵义	(1)
第二节 勘探与开发大气田是快速发展天然气工业的主要途径	(6)
第二章 中国大气田各论	(9)
第一节 卧龙河气田	高岗(9)
第二节 威远气田	戴金星(16)
第三节 磨溪气田	秦胜飞(25)
第四节 五百梯气田	黄志龙(30)
第五节 新场气田	秦胜飞(37)
第六节 沙坪场气田	高岗(44)
第七节 牙哈凝析气田	秦胜飞(47)
第八节 和田河气田	秦胜飞(56)
第九节 克拉 2 气田	秦胜飞(65)
第十节 台南气田	庞雄奇 周瑞年(73)
第十一节 涪北一号气田	庞雄奇 周瑞年(83)
第十二节 涪北二号气田	庞雄奇 周瑞年(89)
第十三节 苏里格气田暨鄂尔多斯盆地上古生界天然气地质	钟宁宁(93)
第十四节 乌审旗气田	钟宁宁(119)
第十五节 榆林气田	钟宁宁(120)
第十六节 长东(米脂)气田	钟宁宁(123)
第十七节 靖边气田	柳广第(126)
第十八节 崖 13-1 气田	陈践发(136)
第十九节 东方 1-1 气田	陈践发(145)
第二十节 乐东 22-1 气田	陈践发(152)
第二十一节 春晓凝析气田	陈践发(157)
第三章 大气田形成的条件和主要控制因素	戴金星(164)
第一节 大气田形成的条件	(164)
第二节 大气田形成的主要控制因素	(170)
主要参考文献	(195)

第一章 大气田涵义及其作用

第一节 大气田涵义

一、世界各国学者划分大气田的标准

近十多年来,我国天然气工业发展迅速,主要表现为:一是探明天然气储量快速增长;二是天然气的年产量不断增加;三是发现的大气田数量增多、规模增大。为了保持目前天然气工业发展的良好势头,寻找大型天然气田是当务之急,也是今后天然气地质学和勘探工作的重要目标。

关于大气田的划分,目前世界各国及不同的学者没有统一的标准,气田大小的涵义也不尽相同,有的指面积大小,有的指储量大小,有的指经济效益的高低。有的国家把在天然气工业发展史上有重要意义的气田也称为大气田。但总的来说,世界上通常都是以储量的大小来划分大气田。

在储量级别上中国和前苏联及俄罗斯采用探明储量,欧美各国大都采用原始可采储量[相当于美国储量分类中的证实储量(Proved Reserve)],不包括概算储量(Probable Reserve)和可能储量(Possible Reserve)。在划定大气田下限储量标准上,不同国家、不同学者更是不同,即使同一学者不同时期提出的划定标准也不一致。例如:M. T. 哈尔布特1968年认为可采储量为 $283 \times 10^8 \text{ m}^3$ ($1 \times 10^{12} \text{ ft}^3$)就属于大气田了,而1970年他则把可采储量为 $991 \times 10^8 \text{ m}^3$ ($3.5 \times 10^{12} \text{ ft}^3$)的气田才列入大气田。表1-1为国内外一些学者提出的划分大气田的标准。从表1-1中可知最低者为 $>200 \times 10^8 \text{ m}^3$,最高者为 $1000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

表 1-1 国内外不同时期大气田划分标准

学 者	年 代	大气田的起限储量/ 10^8 m^3	发现大气田数
H.T. 林德洛夫	1966	>200 (可采储量)	
M.T. 哈尔布特	1968	283(可采储量)	
M.T. 哈尔布特等	1970	991(可采储量)	79
И.И. 涅斯捷洛夫	1975	1000	
D.A. 霍姆格伦等	1975	860(可采储量)	160
J.D. 穆迪	1975	860(可采储量)	158
H.D. 克莱米	1977	991(可采储量)	112
B.Φ. 拉宾	1978	>1000	
B.Г. 瓦希利耶夫	1983	300	236
张子枢	1990	1000	114
P. 曼恩(Mann)	2001	>860 (可采储量)	

从表 1-1 可以得出:发现大气田数随时间进展而增加(相似大气田的划分起限储量),大气田数随大气田的划分起限储量的增加而减少。虽然随时间的增长勘探程度越来越高,但由于人们对大气田研究的不断深入,科技的不断进步,因此总的趋势发现大气田总量也增长。目前,世界上发现的约 3.6 万个气田中,其中大气田仅有 200 个,而储量大于 $5000 \times 10^8 \text{m}^3$ 的超大气田只有 30 个(龚畅,2003),由此可见,勘探和发现大气田比一般气田概率低而难度大。

表 1-2 为美国石油地质家协会提出的以可采储量为基础的油气田规模划分标准。从表中可知其 A,B 类型相当于其他国家所指的大气田。由于该气田划分方案较烦琐,因此世界上用之不多。

表 1-2 美国石油地质家协会油气田规模划分标准

分 类	最终可采储量(油田)/ 10^4t	最终可采储量(气田)/ 10^8m^3
A	>685	>850
B	342~685	420~850
C	170~342	170~420
D	14~170	20~170
E	<14	<20
F	无利可图的	无利可图的

表 1-3 为前苏联学者提出的以探明储量划分油气田类型的标准,根据表中分类方案,将大型气田又划分为:大型、特大型和超大型 3 个级别。

表 1-3 前苏联学者有关油气田分类表

油气田分类	原油储量/ 10^8t	天然气储量/ 10^8m^3	资料来源
特大型	大于 3	大于 5000	А. Н. Еременко, 1984
大型	0.3~3	300~5000	
中型	0.1~0.3	100~300	
小型	小于 0.1	小于 100	
特大型	大于 5	大于 5000	А. Н. Кадинин, 1983
大型	0.5~5	500~5000	
中小型	小于 0.5	小于 500	
超大型	大于 100	大于 50 000	И. Н. Естеров и др., 1975
特大型	15~100	7500~50 000	
大型	2~15	1000~7500	
中型	0.1~2	50~1000	
小型	小于 0.1	小于 50	
超大型		大于 10 000	В. Я. Васильев, 1983
特大型		1000~10 000	
大型		300~1000	
中小型		小于 300	

目前,中国和俄罗斯(苏联油气储量分类实施规程,1960)把储量大于 $300 \times 10^8 \text{m}^3$ 的气田称为大气田(表 1-4)。本书以此标准来划分我国大气田。

表 1-4 中国油气田分类表

油气田分类	原油储量/ 10^8t	天然气储量/ 10^8m^3
特大型	大于 10	
大 型	1~10	大于 300
中 型	0.1~1	50~300
小 型	小于 0.1	小于 50

二、中国大气田的分布及其简况

到 2001 年底,我国累计发现天然气田 191 个,累计探明天然气(不含伴生气)总储量 $30\,023 \times 10^8 \text{m}^3$ (未包括台湾省)。根据我国将探明储量大于 $300 \times 10^8 \text{m}^3$ 的天然气田划定为大气田的标准,中国在除台湾省以外的四川、鄂尔多斯、塔里木、柴达木、莺琼和东海等 6 个盆地发现了 21 个大气田,这 21 个大气田的基本分布情况见表 1-5 和图 1-1。其总储量为 $17\,953.69 \times 10^8 \text{m}^3$,占全国天然气总储量的 59.8%(戴金星等,2003)。

由表 1-5 和图 1-1 可知,中国已发现的大气田主要分布在中、西部构造背景相对稳定、大型含油气盆地中,其分布与所在盆地天然气资源丰富程度有密切关系,例如:塔里木、四川、鄂尔多斯、莺琼、东海诸盆地的天然气总资源量都超过 $2 \times 10^{12} \text{m}^3$ 。从天然气的产层时代来看,其分布很广,最老的为四川盆地威远气田,产层为震旦系;最年轻的是柴达木盆地涩北、台南气田,产层为第四系。中国目前已发现的大气田产层埋深从 200 ~ >5400m,埋深最浅的是柴达木盆地东部三湖拗陷第四系气藏,产层埋深 200~1600m;埋深最大的是塔里木盆地牙哈气田,产层深度为 4946~5473m。

表 1-5 中国大气田一览表

盆地	气田	储量/ 10^8m^3	探明年代	主力气层	储集层主要岩性	主要气源岩	气的类型
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 煤系为主	
	卧龙河	380.52	1959	T, C ₂ , P ₁	碳酸盐岩	S, P ₁ 海相泥页岩、 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	碳酸盐岩	ε海相泥页岩	
鄂尔多斯	靖边	2776.28	1993	O ₁ , P	碳酸盐岩	C-P 煤系、C 海相泥岩、 灰岩为主	煤成气
	榆林	1132.81	1997	P, O ₁	砂岩	C-P 煤系	
	乌审旗	1012.10	1999	P	砂岩		
	苏里格	2204.75	2001	P	砂岩		
	长东	358.48	1999	P	砂岩		

续表

盆地	气田	储量/ 10^8m^3	探明年代	主力气层	储集层主要岩性	主要气源岩	气的类型
塔里木	牙哈	376.45	1994	E, N _{ij}	砂岩	J 煤系	油型气
	克拉 2	2840.29	2000	K, E	砂岩		
	和田河	616.94	1998	O, C ₂	碳酸盐岩	侗海相泥岩、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
	涩北二号	422.89	1990		砂岩		
	涩北一号	492.22	1991		砂岩		
莺琼	崖 13-1	884.96	1990	E	砂岩	E 煤系	
	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		

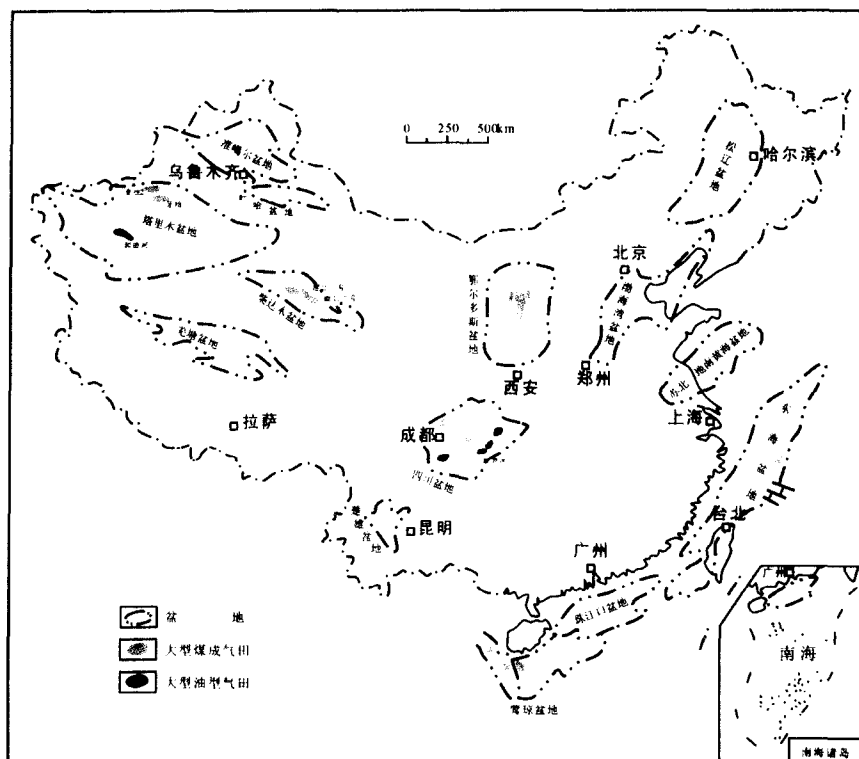


图 1-1 中国大气田分布图

三、中国大气田的若干特征

从不同角度可以总结出中国大气田的许多特征。在此仅从储集层的层系和岩性、天

项 目 气 田	储 集 层										天然气类型			气藏类型		成藏期					
	层 系										岩 性		煤成气	混合气	油型气	背斜	岩性	K	E	N	Q
	Z	O	C	P	T	J	K	E	N	Q	碎屑岩	碳酸盐岩									
卧龙河																					
威远																					
磨溪																					
五百梯																					
新场																					
沙坪场																					
牙哈																					
和田河																					
克拉2																					
台南																					
涪北1号																					
涪北2号																					
苏里格																					
乌审旗																					
榆林																					
长东																					
靖边																					
崖13-1																					
乐东22-1																					
东方1-1																					
春晓																					

图 1-2 中国大气田若干特征图示

然气成因类型、气藏类型和成藏期来阐述我国大气田的特征(图 1-2)。图 1-2 反映出中国大气田有如下特征:

1) 大气田的分布层位较多,在从古生界到新生界的 9 个层系中发现了大气田。主要储量分布在二叠系中,占 26.5%;其次为第三系,占 16.8%;第三位是白垩系,占 15.8%;第四位为奥陶系,占 13.4%;第五位为石炭系,占 8.5%。

2) 大气田的储集层以碎屑岩(砂岩)为主,其中有 14 个大气田储集层为砂岩,占大气田数的 2/3(66.6%),若以储量计算砂岩储集层所占的比例还要大些,可达 69.1%。

3) 我国大气田聚集的天然气主要是煤成气,所谓煤成气是指由煤系中腐殖型有机质,包括腐殖型泥岩形成的气,这些源岩在各种成熟度下生成的气均属煤成气范畴,如柴达木盆地台南大气田等煤型生物气。靖边大气田气源争论大,但在本书第二章第十七节,作者充分论证其气源主要是煤成气。我国 21 个大气田中,聚集煤成气的气田占 83.6%,总储量占全国天然气总储量约 50%。

4) 大气田气藏类型以背斜型为主,占 71.4%,岩性型(包括地层型)占 28.6%。岩性型大气田主要发育在我国中部稳定盆地,尤其在鄂尔多斯盆地很发育,该盆地 5 个大气田均以岩性型气藏为主。

5) 大气田基本上为晚期成藏。我国一些大气田具有两期成藏,这里所谓晚期成藏是指最后一次成藏期。除鄂尔多斯盆地的靖边、苏里格、榆林、乌审旗和长东 5 个大气田成藏期为早白垩世末外,其他 16 个大气田成藏期均在新生代,主要在新近纪和第四纪,其中新近纪占 42.9%,第四纪占 33.3%。

第二节 勘探与开发大气田是快速发展天然气工业的主要途径

研究、勘探和开发大气田,是一个国家迅速发展天然气工业的重要途径。发现大气田是天然气工业发展的基础。从世界来看,俄罗斯、美国、加拿大、英国和荷兰等产气大国,均是依靠发现与开发大气田而跻身世界产气大国。

一、俄罗斯(前苏联)从贫气国成为“天然气沙特”

俄罗斯(前苏联)在 20 世纪 50 年代初,还被认为是一个贫气的国家,探明天然气储量不足 $2230 \times 10^8 \text{m}^3$,年产天然气仅 $57 \times 10^8 \text{m}^3$ 。从 1960~1990 年的 30 年间,俄罗斯(前苏联)由于发现和开发大气田,天然气储量从 $18\,548 \times 10^8 \text{m}^3$ 增加到 $453\,069 \times 10^8 \text{m}^3$;天然气年产量从 $453 \times 10^8 \text{m}^3$ 增长到 $8\,150 \times 10^8 \text{m}^3$,增加了近 17 倍,使其由贫气国一跃而成为世界第一天然气大国。这是因为在此期间发现了 40 多个超大型气田(每个气田储量超过 $5000 \times 10^8 \text{m}^3$)和大气田(气田储量 $300 \times 10^8 \text{m}^3 \sim 5\,000 \times 10^8 \text{m}^3$)。由于这些超大型气田和大气田的发现并部分开发投产,促进苏联天然气工业持续高速发展,1983 年起天然气年产量超过美国,成为世界第一产气大国。苏联解体后,俄罗斯疆域虽变小了,著名的中亚含气区分离出去了,但俄罗斯仍然是世界天然气储量和年产量第一大国,目前,俄罗斯天然气储量占世界的 32%,年产量占世界的 35%。支撑俄罗斯天然气皇冠地位的还是超大型气田和大气田。俄罗斯共发现气田 774 个。2000 年初俄罗斯探明天然气储量 $48.11 \times 10^{12} \text{m}^3$,其中 73.1% 的储量在 22 个超大型气田中,24.1% 储量在 104 个大气田中,而 648 个中、小气田的总储量只占俄罗斯天然气总储量的 2.8%。西西伯利亚盆地乌连戈伊超大型气田和亚姆堡超大型气田 1999 年共产气 $3470 \times 10^8 \text{m}^3$,是世界年产量最多的两个气田,这两个气田产气量占该年俄罗斯和世界总产量的 58.8% 和 14.4% (戴金星等,2003)。

二、荷兰从能源进口国一跃成为能源出口国

大气田的发现和开发使荷兰从能源进口国一跃成为能源出口国。1958 年荷兰的天然气可采储量不足 $740 \times 10^8 \text{m}^3$,年产气仅 $2 \times 10^8 \text{m}^3$,需要进口能源。但 1959 年发现了可采储量 $2 \times 10^{12} \text{m}^3$ 的格罗宁根大气田,该气田 1970 年全面投入开发并于 1976 年年产量达 $963 \times 10^8 \text{m}^3$ 。由此,荷兰向德国、法国和比利时出口天然气。

三、中国天然气工业的快速发展有赖于大气田的发现和开发

中国天然气工业在解放时基本还是一片空白,天然气的探明储量仅 $3.8 \times 10^8 \text{m}^3$,年产量仅约 $0.1 \times 10^8 \text{m}^3$ 。1978 年,我国石油年产量超过 $1.0 \times 10^8 \text{t}$,跨入了世界产油大国的行列,石油成为了我国能源的重要组成部分,而我国已发现的天然气储量仅 $2264 \times$

10^8m^3 ,天然气产量约 $137 \times 10^8\text{m}^3$ 。天然气在能源结构中仅约 2%。天然气工业的发展显然与油气工业的发展不相称。

1. 大气田的发现促进了全国天然气储量的大增长

从 20 世纪 80 年代初开始,我国将天然气的勘探开发列为国家重点科技攻关项目。正是由于从“六五”到“九五”,天然气勘探开发国家重点科技攻关项目,为发现大型天然气田提供了理论基础和实践指导。在 1980 年前,我国仅发现大气田 2 个,天然气储量仅 $2460 \times 10^8\text{m}^3$;到 1990 年累计发现大气田 6 个,天然气储量为 $7045 \times 10^8\text{m}^3$,产量为 $152 \times 10^8\text{m}^3$;从 1990~1995 年,我国大气田数增加 1 倍,天然气储量也从 $7045 \times 10^8\text{m}^3$ 猛增到 $14\,014 \times 10^8\text{m}^3$,产量增加到 $174 \times 10^8\text{m}^3$;1995 到 2001 年底,我国大气田数量几乎翻了一番,达 21 个,天然气储量也几乎增加 1 倍,达到 $30\,023.88 \times 10^8\text{m}^3$,天然气产量也达到 $303 \times 10^8\text{m}^3$ (戴金星等,2002)(如表 1-6)。由此可清楚地看出,中国大气田的发现,主控着天然气总储量的增长,也主控着天然气产量的增长。

表 1-6 中国大气田数量与天然气储量、产量表

年 代	大气田累计个数	天然气储量/ 10^8m^3	天然气产量/ 10^8m^3
1980 年	2	2460	142.7
1990 年	6	7045	152.4
1995 年	12	14 014	174.0
2001 年	21	30 023.88	303.2

2. 大气田的开发促进了天然气产量的迅速提高

我国解放时的产气量仅为 $0.11 \times 10^8\text{m}^3$,用了 28 年时间才使天然气的产量达到 $100 \times 10^8\text{m}^3$ (1976 年我国年产天然气 $100.9 \times 10^8\text{m}^3$),年产量从 $100 \times 10^8\text{m}^3$ 增至 $200 \times 10^8\text{m}^3$ (1996 年产气 $201.2 \times 10^8\text{m}^3$)则用时 20 年,近年来我国年产气从 $200 \times 10^8\text{m}^3$ 增至 $300 \times 10^8\text{m}^3$ 仅用了 5 年时间。从图 1-3 可见,天然气年产量提高的快慢决定于大气田的探

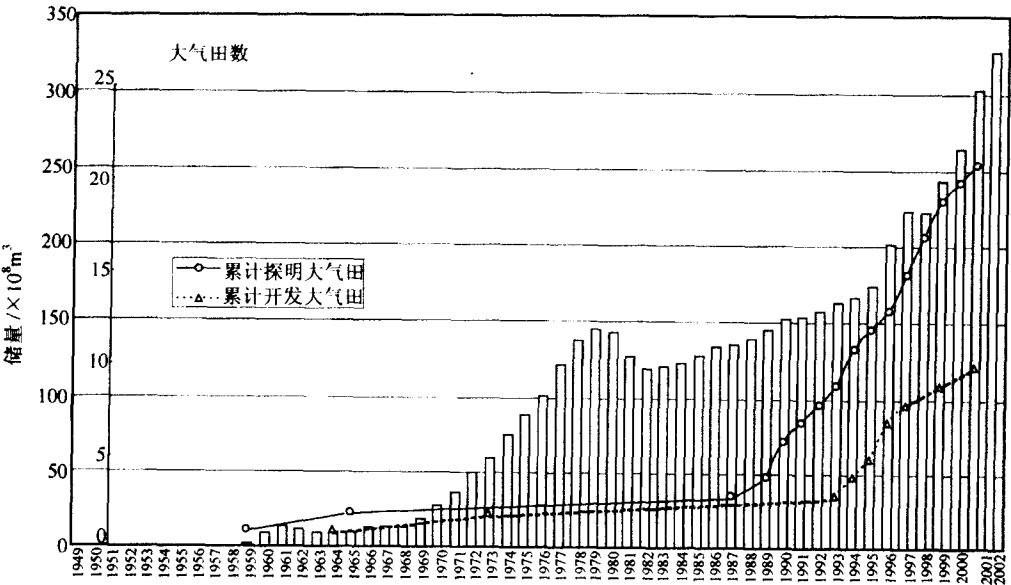


图 1-3 中国天然气年产量的增长和探明开发大气田数的关系

明数和开发数。在第一个达到年产 $100 \times 10^8 \text{m}^3$ 的 28 年时段,我国仅探明卧龙河和威远 2 个大气田,并且探明储量均在 $500 \times 10^8 \text{m}^3$ 以下,虽都开发投产了,但产量并不大。在第二个增产 $100 \times 10^8 \text{m}^3$ 的 20 年时段,我国探明了五百梯、靖边、崖 13-1 和台南等 11 个大气田,其中 7 个是在该时段后期即 20 世纪 90 年代探明的,投入开发的大气田有 5 个。在第三个增产 $100 \times 10^8 \text{m}^3$,使我国年产气量达到 $300 \times 10^8 \text{m}^3$ 的 5 年,探明了 8 个大气田,所探明大气田储量规模大,平均每个探明储量 $1227 \times 10^8 \text{m}^3$,是全国大气田平均储量的 1.4 倍,新投入开发大气田 3 个,累计投入开发大气田 10 个。由于第三时段探明大气田的储量规模大,同时累计开发的大气田比前两时段增多,故较短时间就达到增加年产 $100 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

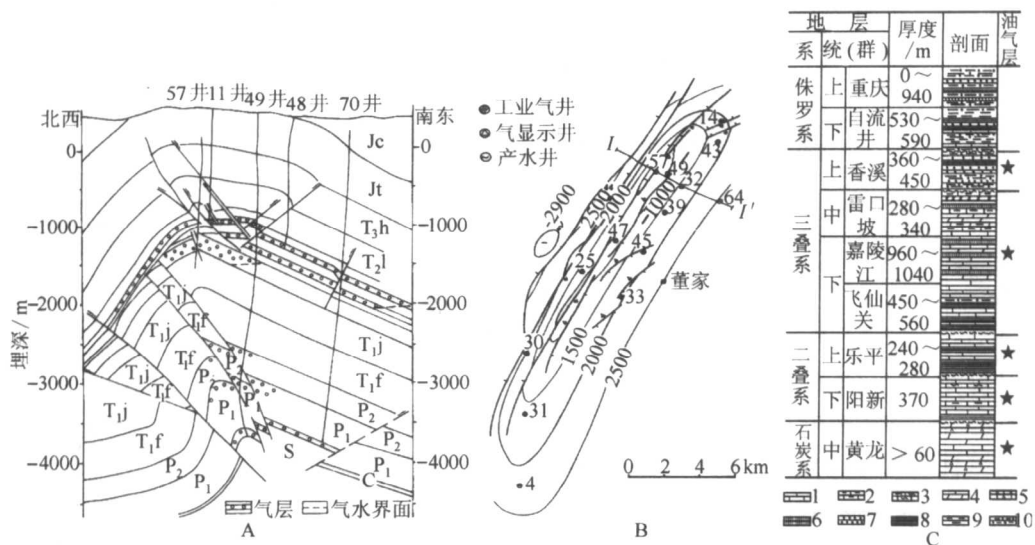


图 2-2 卧龙河气田平面与剖面图(戴金星等,1996)

A. 气藏剖面;B. 气田平面图;C. 地层综合柱状图

1. 灰岩;2. 泥灰岩;3. 硅质灰岩;4. 白云岩;5. 角砾状白云岩;6. 石膏;7. 砂岩;8. 页岩;9. 泥岩;10. 砂质泥岩

二、气田主要地质特征

1. 地层

卧龙河构造自上古生界石炭系到中侏罗统沉积较为完整(图 2-2C),下部还有下古生界的志留系—寒武系及更老地层。震旦系—奥陶系为以碳酸盐岩为主的海相沉积。川东地区下志留统(S_1)为广海大陆架环境的沉积,岩性主要以暗灰色、绿色泥页岩为主,具有良好的生烃能力。烃源岩有机碳含量 0.6%~1.6%,生烃强度为 $(10\sim20)\times10^6\text{t}/\text{km}^2$,生气强度 $(50\sim150)\times10^8\text{m}^3/\text{km}^2$,平均为 $80.8\times10^8\text{m}^3/\text{km}^2$,生气总潜量 $444.6\times10^{12}\text{m}^3$ 。(胡光灿等,1997)。晚志留世由于受加里东运动影响,全区普遍抬升,从而缺失 S_2, D, C_1 。加里东运动末期,四川盆地川东断块开始下沉,海水从东向西发生海侵,形成局限海湾,中石炭统黄龙组沉积期海进超覆到达乐山—龙女寺古隆起东侧边缘,此时,在川东地区沉积了潮坪环境的碳酸盐岩。卧龙河地区中石炭统残余厚度在 40~50m 之间,岩性主要为角砾和粉晶云岩夹薄层灰岩。石炭纪末期随上扬子地台再度抬升,海水退出,本区遭受剥蚀,中石炭统顶部的白云岩表现出风化和淋滤的特征,次生孔隙较为发育,是川东地区重要的勘探层系。早三叠世开始,本区再次开始接受沉积,中生界沉积较为完整,以碎屑岩为主,下三叠统有碳酸盐岩发育。顶部出露侏罗系。

2. 构造

卧龙河构造为川东隔挡式高陡背斜带间的宽缓向斜中的低陡背斜构造。现今构造形态主要是燕山末期和喜马拉雅期构造运动的产物,为挤压褶皱背斜构造圈闭。其背斜轴向主体部分走向为北北东,构造南端呈南北向,由于嘉四段和志留系两个主滑脱层及其上下地层变形特征明显不同,以致形成垂向上几个不协调的变形层,浅层为西陡东缓的箱状

(J—T₃h)或似箱状背斜(T₁r—T_{1j}⁵),中层(T_{1j}³—C)形成膝褶构造,西翼为地层陡斜的复杂断折带,深层(S—C)褶皱相对平缓,背斜规模明显变小,小高点多,断层条数多(图2-2)。

卧龙河气田主要产层为C₂,T_{1j}⁵和P₁³。中石炭统(C₂)气藏是川东气区主力产层,是一套台地相碳酸盐岩潮坪沉积,残余厚度主要在35~40m之间,岩性主要为角砾白云岩、粉晶白云岩夹薄层灰岩,上、下两个孔渗发育层均在白云岩中。其中下面的孔渗层分布相对稳定,主要孔隙—溶孔、砾间孔、砾内孔较发育,平均厚度6.5m左右,孔隙度在1%~13.36%之间,均值为6.4%,渗透率介于(0.01~0.1)×10⁻³μm²,属于低孔低渗储集层,非均质性很强。此外,该储集层中构造裂缝及成岩裂缝也比较发育。该气藏受背斜和断层双重控制,位于背斜北端的4号斜交断层将背斜内石炭系切开成两个独立的圈闭,北部为断层圈闭、南部为断层-背斜复合圈闭,两个气藏没有统一的气水边界和压力系统。但其天然气均为不含凝析油的干气,天然气相对密度为0.57g/m³,甲烷含量介于36.31%~98.86%之间,构造南北两端天然气硫化氢含量差异很大,北端天然气硫化氢含量介于2~4g/m³,南端天然气硫化氢含量介于0.01~0.002g/m³。该气藏天然气探明储量145.42×10⁸m³。

T_{1j}⁵气藏是由T_{1j}²,T_{1j}⁵,T_{1j}⁴三个气层组上、下相互连通而成的统一储渗系统,其产层主要分布在T_{1j}⁵的顶部和底部以及T_{1j}⁴的顶部。储集层岩性主要为粉屑云岩、粉晶云岩及粒屑灰岩,孔隙类型主要是各种次生溶孔如晶间溶孔、粒内溶孔等。孔隙性储集层在构造范围内为层状连续性分布,累计平均厚度为23m左右,孔隙度为4.9%~5.8%。在背斜高点和轴部裂缝较发育,应为裂缝-孔隙型储集层。气藏属于多层微弱高压的同一压力系统边水背斜气藏,压力系数在1.29左右。气藏探明储量202.4×10⁸m³。天然气密度介于0.59~0.69g/m³,甲烷含量在92%~93%之间,硫化氢含量明显高于中石炭统(C₂)气藏,介于65~70g/cm³,凝析油含量为16g/cm³,属于微含凝析油的凝析气藏。

P₁³气藏由多个独立的气藏和裂缝系统组成,分属于7个气藏和裂缝系统。储集层岩性主要为白云岩及云质灰岩,储集空间主要是裂缝、溶洞及孔隙,分布明显受构造控制。储集层累计厚度为5.6m左右,孔隙度一般高于2%,均值为4.28%,渗透性与裂缝关系密切。所以,P₁³气藏主要属于多系统裂缝圈闭类型,但也存在裂缝-岩溶圈闭类型,如构造南轴偏东翼的P₁³圈闭。

卧龙河圈闭的断层规模一般不大,多为中、小型断层,并且以平行背斜轴线的倾轴逆断层为主(图2-2A)。该构造形成的总体特征是褶皱先形成,随着变形程度的不断增大,到一定程度地层开始折断,从而断层形成。根据地层变形情况及断层与地层和褶皱的关系来看,褶皱主要形成于喜马拉雅期,断层则晚于褶皱形成。

3. 气藏类型与成藏期

卧龙河气田气层多,岩性既有碎屑岩,也有碳酸盐岩,成岩作用演化复杂,孔隙类型众多,从而形成了较多储集层类型的气藏。

T_{1j}⁵—T_{1j}⁴气藏属于多层统一流体压力系统的边水背斜裂缝-孔隙型气藏,原始气水界面为-2000m。T_{1j}³气藏属于多个流体压力系统的边水背斜裂缝-孔隙型气藏,原始气水界面为-1550m。P₁³气藏属于多个流体压力系统的边水裂缝-溶洞型气藏,天然气分布