

文章编号:0253-9985(2010)06-0689-10

中国天然气勘探开发 60 年的重大进展

戴金星^{1,2,3}, 黄士鹏¹, 刘岩³, 廖凤蓉¹

(1. 中国石油天然气股份有限公司 石油勘探开发研究院, 北京 100083; 2. 中国石油天然气股份有限公司 有机地球化学重点实验室, 北京 100083; 3. 中国石油大学 地球科学学院, 北京 102249)

摘要:通过对 1949 年到 2009 年 60 年来中国天然气探明储量和产量增长情况的分析,总结了煤成气理论的意义和勘探成就,梳理了大气田的勘探开发成果和意义。研究认为 60 年以来,中国天然气勘探开发取得了突破性进展:1) 储量上从贫气国跃为世界前列国。1949 年中国天然气探明地质储量只有 $3.85 \times 10^8 \text{ m}^3$, 2009 年超过了 $7 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。2) 天然气年产量跃为世界第七。1949 年中国天然气产量只有 $1.117 \times 10^4 \text{ m}^3$, 2009 年则达 $852 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。3) 煤成气理论推进了中国天然气勘探开发的快速发展。1979 年中国煤成气理论的出现,开辟了天然气勘探的一个新领域,使指导天然气勘探理论从“一元论”发展为“二元论”。4) 勘探开发大气田是快速发展中国天然气工业的重要途径。至 2009 年底中国共发现 44 个大气田,大气田总储量占全国的 80.5%,天然气年产量占全国的 66.4%。60 年间中国天然气的勘探开发取得了重大成就。

关键词:煤成气; 勘探开发; 天然气; 中国**中图分类号:**TE132.1 **文献标识码:**A

Significant advancement in natural gas exploration and development in China during the past sixty years

Dai Jinxing^{1,2,3}, Huang Shipeng¹, Liu Yan³ and Liao Fengrong¹

(1. PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Beijing 100083, China; 2. CNPC Key Laboratory for Petroleum Geochemistry, Beijing 100083, China; 3. College of Geosciences, China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

Abstract: Based on analyzing the reserve and production growth of natural gas in China from 1949 to 2009, we summarize theoretical and practical significances of the coal-derived gas theory and sum up the achievements in exploration and development of giant gas fields and their significances. Over the past sixty years, significant advancement has been made in gas exploration and production in China. First, China has become one of the world's top players in natural gas reserves. In 1949, China's proved geological reserves was only 0.385 BCM, but in 2009, this number exceeded 7 000 BCM. Second, with a annual production of 85.2 BCM in 2009, China is the world's 7th biggest gas producer now, while it only produced 11.17 MCM of gas in 1949. Third, the theory on coal-derived gas has promoted the rapid advancement of gas exploration and production. In 1979, the theory on coal-derived gas emerged as a new theory to lead the exploration and production of natural gas. Fourth, it is an important way to rapidly development China's natural gas industry by exploring and developing giant gas fields. By 2009, 44 large and giant gas fields have been discovered in China. They account for 80.5% of the total reserves and 66.4% of total gas production in China. Significant progress has been made in natural gas exploration and development in China during the past sixty years.

Key words: coal-derived gas, exploration and development, natural gas, China

1949 年之前中国几乎谈不上有什么天然气工业, 尽管当时中国大陆已在四川发现了自流井、石油沟和圣灯山气田, 在台湾省有锦水、竹东、牛山和六重溪气田, 但这 7 个都是小气田, 产量很少, 故 1949 年全国天然气产量为 $1\,117 \times 10^4 \text{ m}^3$ ^[1,2]。因为 1949 年全国只有 8 台钻机, 当时在全国用油紧缺的情况下, 天然气勘探开发几乎空白。

新中国成立 60 年以来 (1949—2009 年), 中国天然气勘探开发从一穷二白走向快速发展的道路; 探明天然气地质储量从微不足道跻身于世界排名前列; 天然气年产量从微乎其微跃为世界第七的产气大国, 为中国低碳经济作出了重大贡献。

60 年以来, 中国天然气勘探开发取得了诸多重大进展。

1 储量上从贫气国变为世界前列国

1949 年, 中国天然气探明地质储量仅为 $3.85 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^[3], 显然是贫气国。至 2009 年底, 全国天然气探明地质储量超过 $7 \times 10^{12} \text{ m}^3$ (不包括台湾省, 下同), 进入世界天然气储量前列国。我国天然气地质储量从 1979 年之后 30 年来逐年增长明显, 尤其是近年逐年储量陡增 (图 1), 如 2003—2008 年近 6 年年平均天然气探明储量为 $5\,105 \times 10^8 \text{ m}^3$, 相当于 1949 年至 1988 年 40 年全国累计探明天然气储量 ($5\,127 \times 10^8 \text{ m}^3$)^[4]。

1949 年之前仅在四川盆地和台西盆地发现气

田, 60 年来我国发现天然气的盆地大大增加, 至今在四川、鄂尔多斯、塔里木、柴达木、准噶尔、吐哈、松辽、渤海湾、苏北、东海、台西、珠江口、琼东南和莺歌海 14 个盆地均发现规模性气田, 此外还有一些发现少数小气田的小盆地, 例如保山盆地, 三水盆地、曲靖盆地和陆良盆地。这些盆地中以发现烷烃气小气田为主, 也有仅发现 CO_2 含量大于 90% 的 CO_2 气田, 如三水盆地中沙头圩 CO_2 气田。以上说明我国有广阔的天然气勘探区域, 还能探明更多的天然气储量。

2 年产气量从微不足道至今跃为世界第七位产气大国

1949 年中国天然气产量只有 $1\,117 \times 10^4 \text{ m}^3$ ^[1,2], 2009 年则产气 $852 \times 10^8 \text{ m}^3$ 成为位居世界第七位的产气大国^[5]。中国 2009 年天然气产量是 1949 年的 7 628 倍, 说明 60 年来中国天然气的开发取得了巨大成果。尽管我国天然气开发进展巨大, 但我国是世界人口第一大国, 故人均年天然气产量在全世界上是很低的, 2009 年中国人均年天然气拥有量仅为 65 m^3 , 远低于世界人均天然气产量 439 m^3 , 即约为世界人均天然产量的 1/7 (表 1)。在 2009 年世界前 10 名产气大国中, 虽然我国产气量排名第七, 但年人均拥有天然气量仅为 65 m^3 而排名第十。在 2009 年世界 10 个产气大国中, 除印度尼西亚年人均拥有天然气产量

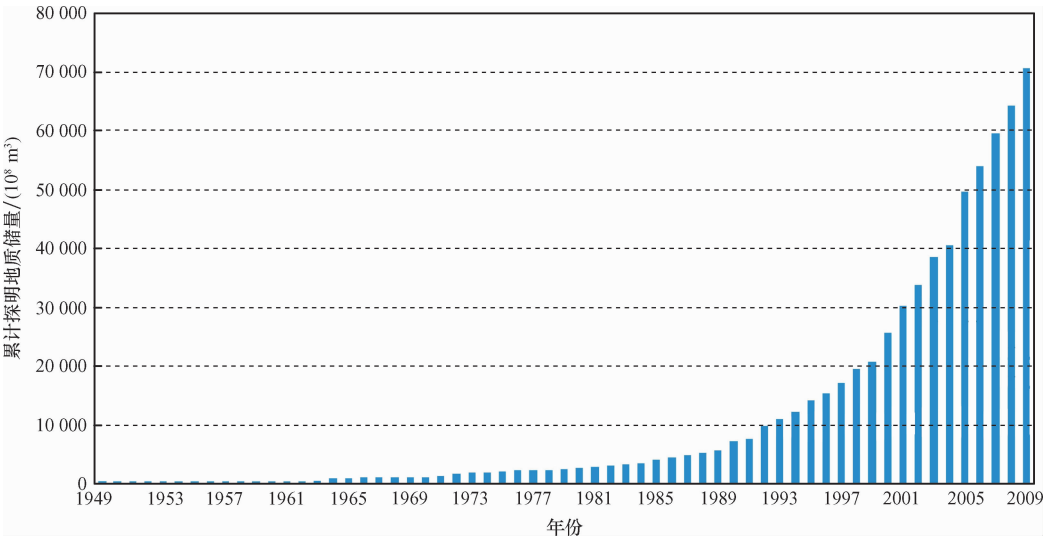


图 1 1949—2009 年中国天然气累计探明地质储量

Fig. 1 Cumulative proved geological reserves of natural gas in China from 1949 to 2009

表 1 2009 年世界前 10 名产气大国及各国年人均拥有天然气量

Table 1 Top 10 of the world's biggest gas producers and per capita gas production in 2009

名次	国家	年产气量/(10 ⁸ m ³) ^[5]	人口/(10 ⁴ 人) ^[6]	年人均拥有气量/m ³
1	美国	5 934	30 000.00(2006)	1 978
2	俄罗斯	5 275	14 220.00(2006)	3 710
3	加拿大	1 614	3 161.29(2006)	5 106
4	伊朗	1 312	7 004.90 (2006)	1 873
5	挪威	1 035	468.00 (2006)	22 115
6	卡塔尔	893	83.80(2006)	106 563
7	中国	852	131 448.00 (2006)	65
8	阿尔及利亚	814	3 380.00 (2006)	2 408
9	沙特	775	2 460.00 (2006)	3 150
10	印度尼西亚	719	21 500.00 (2006)	334
	世界	29 870	680 000.00 (2009)	439

为 334 m³ 外,多数国家(美国、俄罗斯、加拿大、伊朗、阿尔及利亚和沙特阿拉伯)均在 1 800 m³ 至 5 000 m³ 之多。卡塔尔年人均拥有气量为 106 563 m³,位居世界年人均拥有天然气量的第一位,而挪威位居第二,其年人均拥有天然气量为 22 115 m³(表 1)。由上对比可见,中国虽在天然气开发生产上取得重大进展成为产气大国,但年人均拥有天然气量还很低,要不断提高年人均拥有天然气量是中国天然气工业今后一个重要的任务。中国从目前年产天然气大国,要走向年均人产天然气量高的产气强国将任重道远。

1949 年至 1957 年我国天然气产量微不足道,年产量均在 1 × 10⁸ m³ 以下;1958 年年产气量突破 1 × 10⁸ m³;在 1961 年天然气产量为 14. 718 5 × 10⁸ m³,形成一个小高峰,但 1962 年开始下降;从

1964 年之后开始缓慢上升,1976 年天然气产量才上百亿立方米(100. 950 1 × 10⁸ m³);1979 年天然气产量为 145. 150 6 × 10⁸ m³,成为中国天然气产量的第二个高峰。1982 年天然气产量降至谷底,为119. 322 0 × 10⁸ m³。从 1983 年开始,即我国第一批国家重大科技攻关《煤成气的开发研究》项目立项开始 27 年以来,我国天然气年产量几乎年年节节上升,至今未达我国第三个产气高峰,且上升的趋势强劲(图 2;表 2)。2008 年,全国平均天然气日产量为 2. 082 1 × 10⁸ m³,远大于 1958 年的全国年产量(1. 064 3 × 10⁸ m³)。中国天然气年产量从 100 × 10⁸ m³ 至 700 × 10⁸ m³,每提高 100 × 10⁸ m³ 所需时间分别是 20, 5, 3, 1. 11, 1. 06 和 0. 977a^[4],说明产气率和强度逐年提高,形势大好。

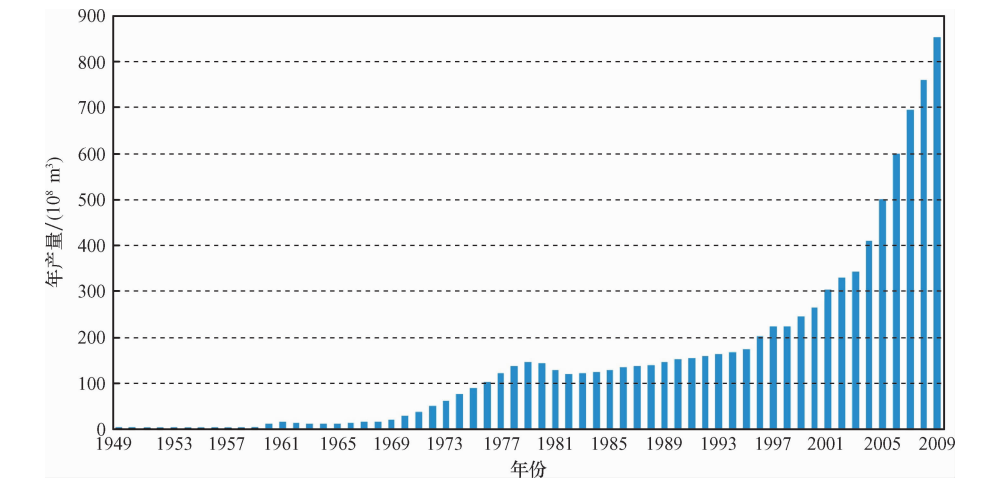


图 2 1949—2009 年中国历年天然气产量

Fig. 2 China's annual natural gas production from 1949 to 2009

表 2 1949—2009 年中国历年天然气产量^[1]

Table 2 China's annual natural gas production from 1949 to 2009^[1]

年份	年产气量/ (10 ⁸ m ³)	累计产气量/ (10 ⁸ m ³)	年份	年产气量/ (10 ⁸ m ³)	累计产气量/ (10 ⁸ m ³)
1949	0.111 7	0.111 7	1980	142.760 0	1 124.749 8
1950	0.073 7	0.185 4	1981	127.416 5	1 252.166 3
1951	0.025 8	0.211 2	1982	119.322 0	1 371.488 3
1952	0.078 6	0.289 8	1983	121.107 3	1 492.595 6
1953	0.113 4	0.403 2	1984	123.160 6	1 615.756 2
1954	0.159 3	0.557 1	1985	128.331 4	1 744.087 6
1955	0.167 4	0.724 5	1986	133.844 9	1 877.932 5
1956	0.263 0	0.987 5	1987	135.370 7	2 013.303 2
1957	0.700 7	1.688 2	1988	139.085 7	2 152.388 9
1958	1.064 3	2.752 5	1989	144.931 6	2 297.320 5
1959	2.916 9	5.669 4	1990	152.200 0	2 449.520 5
1960	10.385 2	16.054 6	1991	153.600 0	2 603.120 5
1961	14.718 5	30.773 1	1992	157.000 0	2 760.120 5
1962	12.054 1	42.827 2	1993	162.800 0	2 922.920 5
1963	10.424 5	53.251 7	1994	166.700 0	3 089.620 5
1964	10.572 9	63.824 6	1995	174.000 0	3 263.620 5
1965	11.128 4	74.953 0	1996	201.200 0	3 464.820 5
1966	13.676 3	88.629 3	1997	223.100 0	3 687.920 5
1967	14.907 8	103.537 1	1998	222.800 0	3 910.720 5
1968	14.395 9	117.933 0	1999	244.000 0	4 154.720 5
1969	19.590 1	137.523 1	2000	264.810 0	4 419.530 5
1970	28.698 4	166.221 5	2001	303.000 0	4 722.530 5
1971	37.264 9	203.486 4	2002	328.000 0	5 050.530 5
1972	50.289 8	253.776 2	2003	341.280 0	5 391.810 5
1973	59.731 7	313.507 9	2004	409.800 0	5 801.610 5
1974	75.340 0	388.847 9	2005	499.500 0	6 301.110 5
1975	88.467 8	477.315 7	2006	597.780 0	6 898.890 5
1976	100.950 1	578.265 8	2007	694.050 0	7 592.940 5
1977	121.231 5	699.497 3	2008	760.000 0	8 352.940 5
1978	137.341 9	836.839 2	2009	852.000 0	9 204.940 5
1979	145.150 6	981.989 8			

3 煤成气理论推进了中国天然气勘探开发的快速发展

实践证明天然气成因理论对天然气勘探开发有重大的指导意义。天然气勘探的指导理论在决定天然气勘探的领域、地区、方向和层系上至关重要,进而影响着一个地区、一个盆地和一个国家天然气工业发展的快慢。

我国 60 年来指导天然气勘探的理论主要有

两个:油型气理论和煤成气理论。前期仅以油型气理论(即“一元论”)指导勘探,效果低,后期则以油型气和煤成气理论(即“二元论”)指导勘探,效果显著。

3.1 “一元论”指导天然气勘探效果低

1979 年之前,我国油气工作者传统认为油气主要是由海洋或大型湖泊中低等动植物遗体形成,即由腐泥型有机质生成油气,仅把海相和陆相泥质岩和碳酸盐岩作为烃源岩的“一元论”观

点。故此阶段局限于腐泥型地层才是气源岩的认识指导天然气勘探选层选区,天然气勘探效益差。如中国大陆最早开始现代机械化勘探的鄂尔多斯盆地,从 1907 年开始只在陆相三叠系和侏罗系及海相下古生界作为油气勘探领域和目的层,不把石炭-二叠系煤系作为勘探领域和目的层,天然气勘探毫无进展。全国其他盆地天然气勘探的指导理论也与鄂尔多斯盆地一样仅用“一元论”,故天然气勘探和天然气工业没有起色,发展缓慢。至 1978 年底,全国探明天然气地质储量仅为 $2\,264.33 \times 10^8\text{ m}^3$ ^[4,7],处于贫气国地位。

3.2 “二元论”指导天然气勘探效果大

1979 年“成煤作用中形成的天然气与石油”^[8]一文的发表,被认为“是中国开始系统研究煤成烃的标志”^[7,9]，“第一次系统阐述了中国煤成气理论的核心要点,是中国煤成气理论研究的里程碑”^[10]。从此我国许多学者^[11~29]把煤系(煤与暗色泥岩)作为主要气源岩,把以往认为油气勘探禁区一煤系,开拓为天然气勘探的新领域,从而开辟了指导中国天然气勘探理论“二元论”局面,使中国天然气勘探步伐日益增快,天然气勘探成果日益增多,天然气年产量逐年增大,天然气在化石能源中的地位逐年增高。中国天然气勘探开发快速发展的重要因素之一,就是在研究和勘探中选中了“煤成气是中国天然气最为重要的气源”。“统计中国已发现的大中型气田的储量,煤成气占 71% 以上,以煤成气为主以及有煤成气混源的储量约占 15%”^[29]。我国著名学者,对煤成气理论在天然气勘探实践中推动中国天然气工业高速发展,以及促进中国天然气地质学的产生予以积极评价:前石油部部长王涛在专著《中国天然气地质理论基础与实践》中评论说“70 年代末煤成气理论在中国的建立(戴金星,1979),使中国开辟了一个新的天然气勘探领域,天然气成因得到完善和发展,从而大大促进了天然气储量的迅速增长,使中国近期天然气勘探比石油勘探取得更好效益”^[30];中国科学院院士孙枢在 2001 年出版一书^[26]序中指出:“16 年来煤成气勘探史实,证明了煤成气理论的重要性和实践意义。当煤成气理论在我国出现时,煤成气储量不足全国天然气储量

的 1/10,而今天占 6/10;那时没有大气田,而现今发现了 21 个大气田,其中 7 个最大的都是煤成气田”;中国工程院院士康玉柱最近评述“天然气成因从‘一元论’拓展到‘二元论’,促成了中国天然气地质学的产生及快速发展。为我国天然气勘探开辟了一个新的领域。煤成气比例在天然气探明储量中比例逐年增大,至 2004 年底已占全国探明储量的 70% 以上”^[31]。

在鄂尔多斯盆地天然气勘探中作出重大贡献的杨俊杰和裴锡古指出在 20 世纪 80 年代初期,由于该盆地应用“煤型气”^[23]理论指导勘探天然气获得重大突破。如今鄂尔多斯盆地探明的几乎全是煤成气,生产的几乎均是煤成气。该盆地是我国发现大气田最多的盆地,共有苏里格、靖边、大牛地、榆林、子洲、乌审旗、神木和米脂 8 个大气田(图 3),其中前 6 个大气田储量均大于 $1\,000 \times 10^8\text{ m}^3$,苏里格是我国第一大气田。该盆地是我国第一个年产天然气上 $200 \times 10^8\text{ m}^3$ 的盆地,2009 年天然气含量为 $208.15 \times 10^8\text{ m}^3$ 。

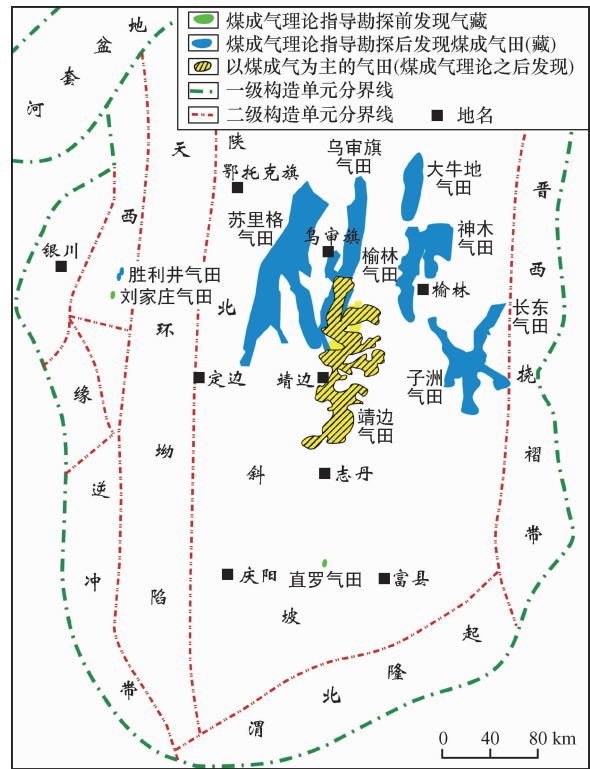


图3 鄂尔多斯盆地煤成气理论指导勘探前、后发现气田对比

Fig. 3 Gas fields discovered in the Ordos Basin before and after the emerge of the coal-derived gas theory

从 1979 年之后,特别从 1983 年“煤成气的开发研究”成为我国第一批科技重点攻关项目后,中国天然气探明地质储量基本上呈上升趋势(图 1)。尤其近 10 多年来,我国逐年天然气探明地质储量高速率增长。通过对近 11 年来逐年逐盆地逐煤成气田的探明地质储量分析(图 4),1999 年我国天然气累计探明地质储量为 $20\,698 \times 10^8 \text{ m}^3$;至 2009 年则达 $71\,414 \times 10^8 \text{ m}^3$,此期间储量增加了 2.5 倍(图 4)。在相同期间煤成气累计探明地质储量从 $11\,201 \times 10^8 \text{ m}^3$ 增长至 $47\,274 \times 10^8 \text{ m}^3$,此期间储量增加了 3.2 倍(图 4)。除 1999 年煤成气探明地质储量占全国天然气总储量的 54.3% 外,从 1999 年至 2009 年各年探明煤成气储量均占全国天然气总储量的 60% 以上,其中 2003 年所占比例最大为 68.5%

(图 4)。俄罗斯煤成气储量占该国天然气总储量的 75%^[32],与之对比,中国煤成气储量占全国天然气总储量的比例还有提高的余地。

我国 1998 年以来天然气产量较之前大幅度提高(图 2)。通过对 1998 年以来全国天然气与其中煤成气逐年产量变化关系及其年增长率变化特征分析来看(图 5),从 1998 年至 2009 年,全国天然气与其中煤成气产量是逐年升高的,而且除 2003 年和 2009 年外煤成气年增长率明显大于天然气的年增长率。2004 年煤成气增长率最大,为 33.5%,比当年天然气增长率 20.1% 高 13% 多,其他年份中前者比后者增长率相对高 4% 至 16%(图 5),这说明近年来煤成气产量对我国天然气年产量的增加起重要的作用。分析表明,从 1998 年至 2009 年煤成气各年产量在全国相应年产量

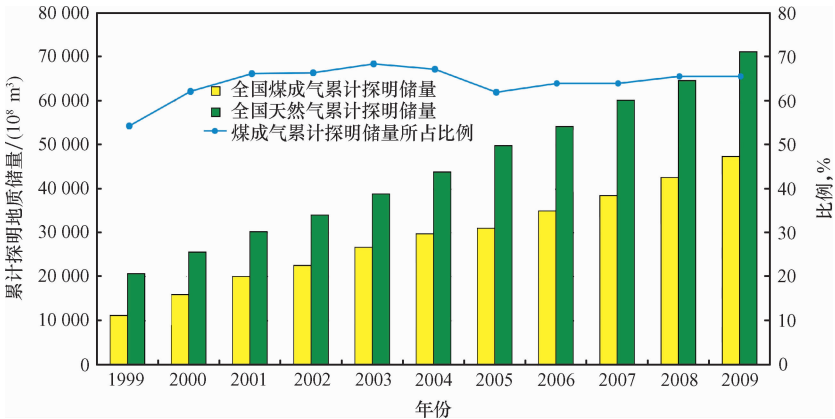


图 4 1999—2009 年中国煤成气储量与天然气储量及其比例

Fig. 4 Total cumulative provea geological reserves of natural gas and coal-derived gas in China from 1999 to 2009 and the proportion of coal-derived gas

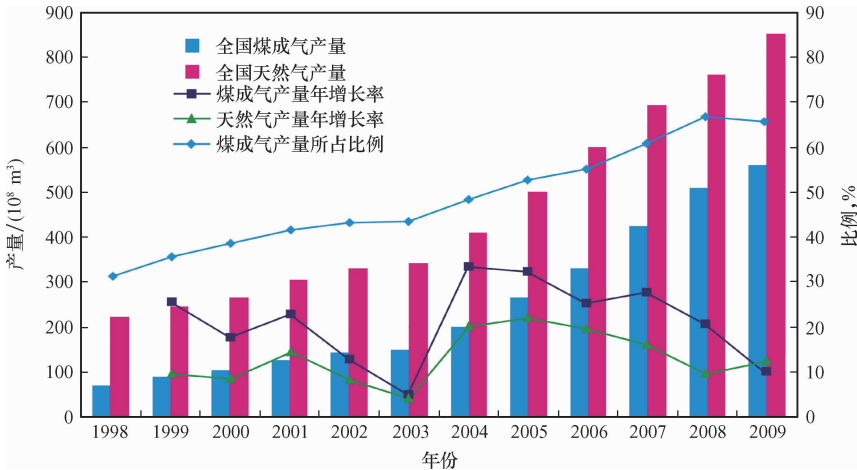


图 5 1998—2009 年中国天然气产量与煤成气产量及其相关增长率

Fig. 5 Production of natural gas and coal-derived gas in China from 1998 to 2009 and their growth ratio

比例中基本在逐年增大(图 5),2008 年我国天然气总产量中煤成气占 65.6%,即全国产的天然气中有三分之二是煤成气,说明煤成气对中国天然气工业具有重要的意义。

4 勘探开发大气田是快速发展中国天然气工业的一个重要途径

关于大气田的划分,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具有重要意义的气田也称为大气田。但总的来说,通常是以储量的大小来划分大气田^[33]。

在划分大气田储量的级别上,中国和俄罗斯(前苏联)采用探明地质储量,欧美各国大多采用原始可采储量。在划定大气田的下限储量标准上,不同国家、不同学者甚至同一学者不同时期提出的划定标准也不一致。中国和俄罗斯把储量大于 $300 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的气田称为大气田,本文亦采用此标准。

从“六五”国家重点科技攻关“煤成气的开发研究”项目以来,特别是“七五”后历次国家天然气攻关项目中,非常重视对大气田的研究和勘探,总结出大量成果^[30,33~62],从而加快了大气田的发现(图 6),大大加速了我国天然气工业的发展。

4.1 大气田的储量占全国天然气总储量的 4/5

至 2009 年底,中国共发现大气田 44 个(图 7),其中储量在 $1\,000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 以上的大气田 16 个(苏里格、靖边、普光、大牛地、克拉 2、塔中 I 号、合川、徐深、新场、榆林、迪那 2、广安、子洲、大天池、克拉美丽和乌审旗气田)。中国第一大气田是苏里格气田,而中国储量丰度最大的大气田是克拉 2 气田,丰度高达 $59 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 。

至 2009 年底中国 44 个大气田探明地质储量为 $57\,469 \times 10^8 \text{ m}^3$,大气田储量占全国天然气总储量的 80.5%;其中煤成气大气田总储量为 $43\,033 \times 10^8 \text{ m}^3$,后者占全国天然气总储量的 60.2%。由上可见,大气田的储量和煤成气大气田的储量在中国天然气储量中占据着举足轻重的地位,为中国天然气工业快速发展提供了坚实的资源基础。

至 2009 年底中国共发现气田 231 个,其中 44 个大气田仅占总气田数的 19%,但其储量却占 80.5%。可见,研究和勘探大气田是快速增加我国天然气储量极重要的一环,俄罗斯与世界许多天然气大国也如此。例如俄罗斯共有大气田(大型和特大型) 139 个,仅占该国总气田 700 个的 19.86%,但其储量却占 97.4%(表 3)^[62]。

4.2 大气田的产量起主宰作用

在 2009 年中国 44 个大气田中投入开发的有 38 个,2009 年共产天然气 $564 \times 10^8 \text{ m}^3$,占全国天然气产量的 66.4%,而俄罗斯大气田产气量则占

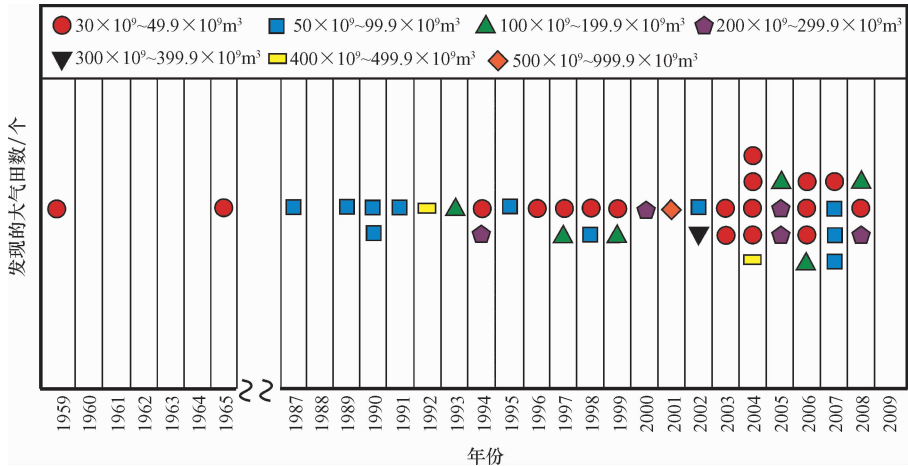


图 6 中国逐年大气田发现数目

Fig. 6 Number of giant gas fields discovered in China over the year

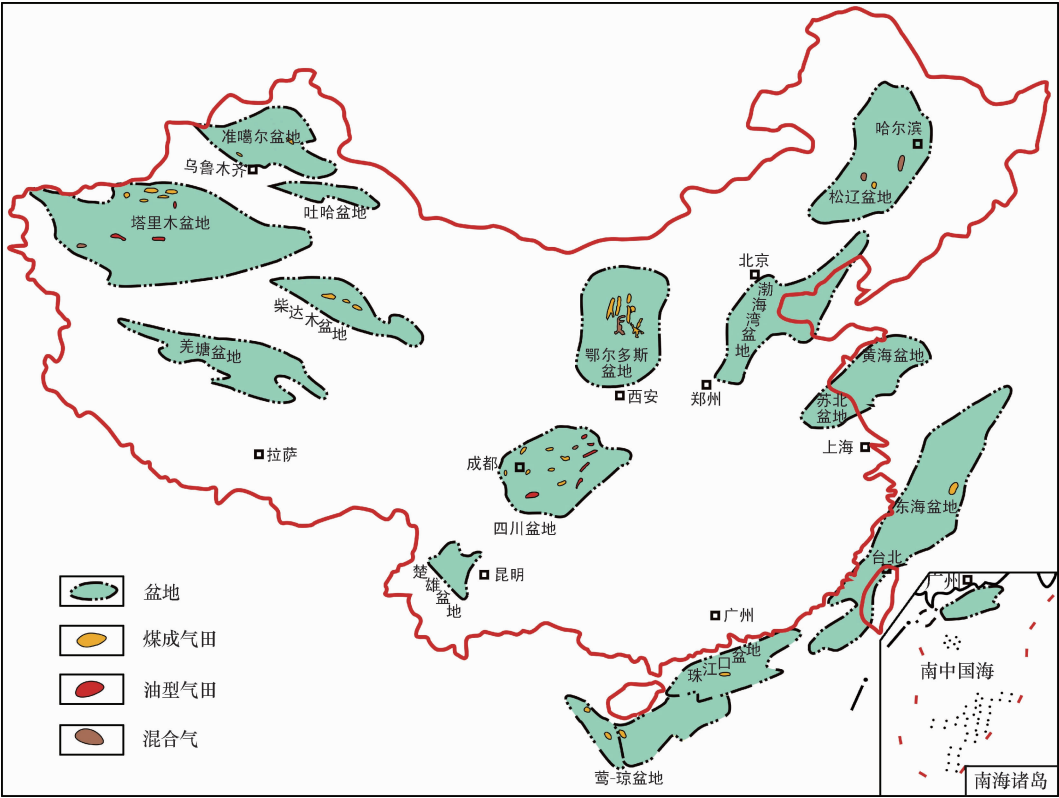


图 7 中国大气田分布示意图
Fig. 7 Distribution of giant gas fields in China

表 3 俄罗斯大、中、小型气田数目及其所占储量和产量的比例
Table 3 Number of giant, middle and small gas fields in Russia and the proportions of their gas reserves and production

气田类型	气田数/个	占全国探明储量比例, %	1993 年产量/(10 ⁸ m ³)	占全国当年产量比例, %
特大型	21	74.1	5 546	92.3
大型	118	23.3	380	6.3
中型	61	1.3	24	0.4
小型	500	1.3	58	1.0
合计	700	100.0	6 008	100.0

该国年产量的 98.6% (表 3)^[63]。我国大气田占全国总气田的 19%, 俄罗斯大气田占该国总气田的 19.6%, 两者比例十分接近, 但我国大气田产量占全国天然气总产量的 66.4%, 而俄罗斯的则高达 98.6%, 两者相差 32.2%, 究其原因可能是: 1) 俄罗斯大气田中的特大型气田多, 仅储量 $1 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 以上的就有 13 个, 而我国目前还未发现; 2) 我国多数大气田储层物性

差, 属低孔低渗储层, 有的储层是非均质性的火山岩, 如苏里格大气田、广安大气田、徐深大气田; 3) 我国有些大气田不是整装大气田, 是由若干气田群组成。

在众多大气田中, 储量大和丰度高的明星大气田对国家以至世界天然气产量往往有重大的作用 (表 4)。例如, 我国储量丰度最高的克拉 2 大气田, 从 2007—2009 年一直是我国唯一年产逾 $100 \times 10^8 \text{ m}^3$ 大气田, 年产量占全国的 13% 至 16%, 此外苏里格大气田、榆林大气田和靖边大气田各年产量均占全国的 5% 至 9%。2009 年上述 4 个大气田天然气产量占全国的 34.48% (表 4)。俄罗斯、荷兰、法国和新西兰一些明星大气田对各自国家产气量有重大的贡献。特别是俄罗斯乌连戈依大气田和亚姆堡大气田, 它们的年产量不仅在俄罗斯而且在世界天然气产量中均作出关键的贡献, 如 1999 年乌连戈依大气田和亚姆堡大气田产天然气 $3\,470 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占俄罗斯天然气年产量的 58.8%, 占世界的 14.7% (表 4)。由此可见开发明星大气田对一个国家天然气工业快速发展意义重大。

表 4 大气田对相关国家与世界天然气产量的重大作用

Table 4 Contribution of giant gas fields to the gas production of the world and the concerned countries							
国家	盆地	大气田	可采储量/ (10 ⁸ m ³)	年份	年产气量/ (10 ⁸ m ³)	占当年该国产 气量比例,%	占当年世界产 量比例,%
中国	塔里木	克拉 2		2007	111. 39	15. 90	
				2008	117. 08	15. 40	
				2009	111. 23	13. 08	
	鄂尔多斯	榆林		2008	50. 20	6. 60	
				2009	54. 59	6. 42	
		苏里格		2008	45. 68	6. 00	
				2009	78. 12	9. 19	
		靖边		2007	52. 07	7. 50	
				2008	40. 91	5. 40	
				2009	49. 22	5. 79	
法国	阿基坦	拉克	2 000	2002	16. 50	94. 40	
荷兰	西荷兰	格罗宁根	27 000	1977	930. 00	98. 30	6. 40
新西兰	塔拉纳基	毛依	1 380	1990	36. 00	78. 30	
俄罗斯	伏尔加-乌拉尔	奥伦堡	17 000	1978	约 500. 00	13. 40	
	西西伯利亚	乌连戈依	102 000	1985	2 500. 00	54. 10	17. 00
				1991	2 569. 00	39. 90	11. 90
				1999	3 470. 00	58. 80	14. 70
		亚姆堡	52 420				

5 结论

从 1949 年到 2009 年 60 年间,中国天然气的勘探与开发取得了重大进展,天然气探明储量和产量均实现飞跃性增长,现今储量跃至世界前列,产量排名位居世界第七位;1979 年中国煤成气理论的出现,使指导天然气勘探理论从“一元论”发展到“二元论”,开辟了天然气勘探的一个新的广阔领域,并取得了显著的勘探成果;2009 年,中国 44 个大气田的探明储量和天然气年产量分别占全国的 4/5 和近 2/3,大气田的勘探和开发是快速发展中国天然气工业的重要途径。

参 考 文 献

1 《百年石油》编写组. 百年石油(1878—2000)[M]. 北京:当代中国出版社,2001. 39,511

2 傅诚德. 石油科学技术发展对策与思考[M]. 北京:石油工业出版社,2010. 54~87

3 戴金星,夏新宇,洪峰. 天然气地学研究促进了中国天然气储量的大幅度增长[J]. 新疆石油地质,2002,23(5):357~365

4 戴金星. 中国煤层气研究 30 年来勘探的重大进展[J]. 石油勘探与开发,2009,36(3):264~279

5 BP. BP statistical review of world energy 2010[EB/OL]. (2010-06)[2010-11-02]. <http://www.bp.com>

6 世界知识年鉴编辑委员会. 世界知识年鉴 2007/2008[M]. 北京:世界知识出版社,2008. 3,11,163,228,254,272,603,696,883,894

7 石宝衍,薛超. 科技攻关与中国天然气工业发展[J]. 石油勘探与开发,2009,36(3):257~263

8 戴金星. 成煤作用中形成的天然气与石油[J]. 石油勘探与开发,1979,6(3):10~17

9 时华星,宋明水,徐春华,等. 煤型气地质综合研究思路与方法[M]. 北京:地质出版社,2004. 1~6

10 赵文智,王红军,钱星凡. 中国煤层气理论发展及其在天然气工业发展中的地位[J]. 石油勘探与开发,2009,36(3):280~289

11 戴金星. 我国煤系地层含气性的初步研究[J]. 石油学报,1980,1(4):27~37

12 戴金星. 我国煤成气藏的类型和有利的煤成气远景区[A]. 见:中国石油学会石油地质专业委员会,编. 天然气勘探[C]. 北京:石油工业出版社,1986. 1~14

13 田在艺,戚厚发. 中国主要含煤盆地天然气资源评价[A]. 见:中国石油学会石油地质专业委员会,编. 天然气勘探[C]. 北京:石油工业出版社,1986. 15~31

14 伍致中,王生荣,卡米力. 新疆中下侏罗统煤成气初探[A]. 见:中国石油学会石油地质专业委员会,编. 天然气勘探[C]. 北京:石油工业出版社,1986. 137~149

15 王少昌. 陕甘宁盆地上古生界煤成气资源远景[A]. 见:中国石油学会石油地质专业委员会,编. 天然气勘探[C]. 北京:石油工业出版社,1986. 125~136

16 戚厚发,张志伟,付金华. 我国主要含煤盆地煤成气资源预测与勘探方向选择[A]. 见:《煤层气地质研究》编委会,编. 煤层气地质研究[C]. 北京:石油工业出版社,1987. 229~237

17 裴锡古,费安琦,王少昌,等. 鄂尔多斯地区上古生界煤成气藏形成条件及勘探方向[A]. 见:《煤成气地质研究》编委会,编. 煤成气地质研究[C]. 北京:石油工业出版社,1987. 9~20

18 罗启厚,陈盛吉,杨家琦,等. 四川盆地上三叠统煤成气富集规律与勘探方向[A]. 见:《煤层气地质研究》编委会,编. 煤层气地质研究[C]. 北京:石油工业出版社,1987. 86~96

19 地质矿产部石油地质研究所. 石油与天然气地质文集(第 1 集;中国煤成气研究)[M]. 北京:地质出版社,1988. 1~315

20 傅家谟,刘德汉,盛国英. 煤成烃地球化学[M]. 北京:地质出版社,1990. 348~355

21 冯福阁. 中国含气盆地研究[A]. 见:地质矿产部石油地质研究所,编. 中国天然气地质研究[C]. 北京:地质出版社,1994. 1~10

22 王庭斌. 中国天然气田(藏)特征及成藏条件[A]. 见:地质矿产部石油地质研究所,编. 中国天然气地质研究[C]. 北京:地质出版社,1994. 11~26

23 杨俊杰,裴锡古. 中国天然气地质学(卷四:鄂尔多斯盆地)[M]. 北京:石油工业出版社,1996. 1~291

24 冯福阁,王庭斌,张士亚,等. 中国天然气地质[M]. 北京:地质出版社,1994. 1~355

25 毛希森,蔺殿中. 中国近海大陆架的煤成气[J]. 中国海上油气地质,1990,4(2):27~28

26 戴金星,戚厚发,王少昌,等. 我国煤系的气油地球化学特征、煤成气藏形成条件及资源评价[M]. 北京:石油工业出版社,2001. 1~159

27 秦建中,李志明,张志荣. 不同类型煤系烃源岩对油气藏形成的作用[J]. 石油勘探与开发,2005,32(4):131~136,141

28 徐永昌. “六五”国家重大科技攻关项目“中国煤成气的开发研究”的重要成果和意义[J]. 天然气地球科学,2005,16(4):403~405

29 王庭斌. 中国天然气储量快速增长的主要因素[J]. 石油勘探与开发,2009,36(3):290~296

30 王涛. 中国天然气地质基础与实践[M]. 北京:石油工业出版社,1997. 1~285

31 康玉柱. 中国油气地质新理论的建立[J]. 地质学报,2010,84(9):1231~1274

32 戴金星,夏新宇,卫延召. 中国天然气资源及前景分析[J]. 石油与天然气地质,2001,22(1):1~8

33 戴金星,陈践发,钟宁宁,等. 中国大气田及其气源[M]. 北京:科学出版社,2003. 1~5

34 戚厚发,孔志平,戴金星,等. 我国较大气田形成与富集条件分析[A]. 见:石宝珩,编. 天然气地质研究[C]. 北京:石油工业出版社,1992. 8~14

35 邓鸣放,陈伟煌. 崖 13-1 大气田形成的地质条件[A]. 见:石宝珩,编. 天然气地质研究[C]. 北京:石油工业出版社,1992. 73~81

36 韩克猷. 川东开江古隆起大中型气田的形成及勘探目标[J]. 天然气工业,1995,15(4):1~5

37 戴金星,宋岩,张厚福. 中国大中型气田形成的主控因素[J]. 中国科学(D 辑),1996,26(6):1~8

38 王庭斌. 中国大中型气田的勘察方向[A]. 见:王庭斌,编. 石油天然气地质文集(第 7 集)[C]. 北京:地质出版社,1997. 1~33

39 龚再升. 中国近海大油气田[M]. 北京:石油工业出版社,1997. 7~69,159~223

40 康竹林,傅诚德,崔淑芬,等. 中国大中型气田概况[M]. 北京:石油工业出版社,2000. 320~328

41 李剑,胡国艺,谢增业,等. 中国大中型气田成藏物理化学模拟研究[M]. 北京:石油工业出版社,2001. 20~36

42 康玉柱. 塔里木盆地大气田形成的地质条件[J]. 石油与天然气地质,2001,22(1):21~25

43 蒋炳南,康玉柱. 新疆塔里木盆地油气分布规律及勘探靶区评价研究[M]. 乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社,2001. 147~156

44 李德生. 大油气田地质学与中国石化油气勘探方向[A]. 见:李德生,编. 中国含油气盆地构造学[C]. 北京:石油工业出版社,2002. 186~191

45 李景明,魏国齐,曾宪斌,等. 中国大中型气田富集区带[M]. 北京:地质出版社,2002. 1~20

46 贾承造,周新源,王招明,等. 克拉 2 气田石油地质特征[J]. 科学通报,2002,47(增刊):9~96

47 赵孟军,卢双舫,王廷栋,等. 克拉 2 气田天然气地球化学特征与成藏过程[J]. 科学通报,2002,47(增刊):109~115

48 王庭斌. 中国大中型气田成藏的主控因素及其勘探领域[J]. 石油与天然气地质,2005,26(5):572~582

49 王庭斌. 中国大中型气田分布的地质特征及主控因素[J]. 石油勘探与开发,2005,32(4):1~7

50 赵文智,王泽成,王红军,等. 近年来我国发现大中型气田的地质特点与 21 世纪初天然气勘探前景[J]. 天然气地球科学,2005,16(6):687~692

51 马永生,蔡勋育,李国雄. 四川盆地普光大型气藏基本特征及成藏富集规律[J]. 地质学报,2005,79(6):858~865

52 冉辉辉,陈更生,徐仁芬. 四川盆地罗家寨大型气田的发现与探明[J]. 海相油气地质,2005,10(1):43~47

53 周新源,杨海军,李勇,等. 塔里木盆地和田河气田的勘探与发现[J]. 海相油气地质,2006,11(3):55~62

54 马永生. 四川盆地普光超大型气田的形成机制[J]. 石油学报,2007,28(2):9~14,21

55 朱伟林,张功成,杨少坤,等. 南海北部大陆边缘盆地天然气地质[M]. 北京:石油工业出版社,2007. 1~391

56 张水昌,朱光有. 中国沉积盆地大中型气田分布与天然气成因[J]. 中国科学(D 辑),2007,37(增刊 II):1~11

57 邹才能,陶士振. 中国大气区和大气田的地质特征[J]. 中国科学(D 辑),2007,37(增刊 II):12~28

58 金之钧. 中国大中型油气田的结构及分布规律[J]. 新疆石油地质,2008,29(3):385~388

59 赵文智,刘文汇. 高效天然气藏形成分布与凝析、低效气藏经济开发的基础研究[M]. 北京:科学出版社. 2008. 1~188

60 Dai J, Zou C, Qin S, et al. Geology of giant gas fields in China [J]. Marine and Petroleum Geology, 2008, 25(4~5):320~334

61 邹才能,陶士振,方向. 大油气区形成与分布[M]. 北京:科学出版社,2009. 96~190,253~309

62 戴金星,倪云燕,邹才能,等. 四川盆地须家河组煤系烷烃气碳同位素特征及气源对比意义[J]. 石油与天然气地质,2009,30(5):519~529

63 李国玉,金之钧. 世界含油气盆地图集(新编)(下册)[M]. 北京:石油工业出版社,2005. 497~503

(编辑 张亚雄)