

中国与煤成气相关的大型、特大型气田分布特征及启示

王庭斌,董立,张亚雄

(中国石化石油勘探开发研究院,北京 100083)

摘要:与煤成气相关的大型、特大型气田是中国天然气储量的主体。中国含煤盆地众多,但是只有少数大、中型含煤盆地具有形成大型、特大型气田的地质条件。含煤岩系沉积后的构造地质环境对形成煤成气藏的影响更为重要。生气高峰期及成藏期越晚,越快、越有利于含煤盆地转化成为含气(油)盆地,越有利于形成大型、特大型煤成气田。以类前陆型、克拉通内拗陷型及陆缘断陷型含煤-含气(油)盆地勘探前景最好。鄂尔多斯盆地,四川盆地中部、西部和东北部,塔里木盆地北部(库车拗陷),东海盆地西湖凹陷,莺琼盆地,柴达木盆地北部和三湖区,准噶尔盆地北部和南部,松辽盆地深部及南海北部深水区等含煤盆地,仍然是21世纪近、中期中国天然气储、产量保持快速增长的重点地区。

关键词:气田分布特征;大型、特大型气田;煤成气;含煤-含气(油)盆地;中国

中图分类号:TE122.3 **文献标识码:**A

Distribution of large and giant coal-related gas fields in China and its significance

Wang Tingbin, Dong Li, Zhang Yaxiong

(SINOPEC Petroleum Exploration and Development Research Institute, Beijing 100083, China)

Abstract: The majority of gas reserves in China are stored in large and giant coal-related gas fields coal-related gas. Despite the fact of numerous coal-bearing basins in China, there are only a few large-and medium-sized such basins having the right geological conditions for forming large or giant gas fields. The tectonic geological environments after deposition of coal-bearing strata are thought to be more closely linked to coal-related gas reservoirs; the later the peak gas-generation and reservoiring periods were, the more favorable it was for coal-bearing basins transforming into gas(oil)-bearing basins and forming large and giant coal-related gas fields. Coal-bearing/gas(oil)-bearing basins of para-foreland type, intracratonic depressions type and marginal rift type are considered to be most promising in terms of exploration for gas. Basins including Ordos basin, central, western and north-eastern Sichuan basin, northern Tarim basin(Kucha depression), Xihu sag in East China Sea basin, Yingqiong basin and northern Chaidan basin as well as those in Sanhu area, northern and southern Junggar basin, the deeper part of Songliao basin, basins in deep water area of northern South China Sea, will still be the major hope for near and middle term gas reserve growth in China for the century.

Key words: distribution pattern of gas fields; large and giant gas field; coal-related gas; coal- and gas(oil)-bearing basin; China

依据1997年制定的《石油天然气储量规范》,天然气储量大于 $300 \times 10^8 \text{ m}^3$ 为大气田。近十几年来,我国天然气勘探取得很大进展。至2011年底,已发现48个大气田,其中苏里格、靖边、普光、大牛地等气田探明的天然气地质储量大于 $3000 \times 10^8 \text{ m}^3$,苏里格气田高达 $12725 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。为了进一步认识气田的经济价值,2004年以可采储量为基础制定了新的《石油天然气储量规范》,将可采储量大于 $250 \times 10^8 \text{ m}^3$ 定为大气田,可采储量大于 $2500 \times 10^8 \text{ m}^3$ 定为特大气田。

为了既对应于1997年制定的《石油天然气储量规范》,也与2004年新《石油天然气储量规范》基本接

轨,本文将探明储量 $(300 \sim 3000) \times 10^8 \text{ m}^3$ 者定为大型气田,将探明储量大于 $3000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 者定为特大型气田。

迄今为止,在四川、鄂尔多斯、珠江口、莺歌海、松辽、柴达木等多个盆地(拗陷)不仅发现了煤成大气田,也发现了以含煤岩系为主、与海相或湖相地层共源的大气田(表1),其成藏条件与煤成气田具有共性而难以区分,形成条件也受制于含煤盆地的发展演化,受控于富煤成气凹陷,与煤成气的形成机理密切相关。因此,本文将统称为与煤成气相关的大型、特大型气田,论述其分布特征。

1 与煤成气相关的大型、特大型气田是中国天然气储产量的主体

至 2011 年底,中国发现并探明了 48 个大气田,虽然仅为我国气田总数的 1.2%,但拥有全国天然气储量的 87.93%(表 1),说明了发现更多的大型、特大型气田是中国天然气发展的主体。

48 个大气田中,仅有 5 个是特大型气田,却拥有全国天然气储量的 38.1%。5 个特大型气田中,有 4 个是与煤成气相关,其储量为全国天然气储量的 33.43%;43 个大气田中,有 40 个与煤成气相关,其储量为全国天然气储量的 48.0%。

中国现有 400 个气田,有超过 45%的气田主要为煤成气或以煤成气为主,即全国有超过 45%的气田和超过 80%的大气田其主要气源为含煤岩系,或以含煤

岩系为主与湖相、海相地层共源,说明了含煤岩系是中国最重要的气源岩,与煤成气相关的的大型、特大型气田是中国天然气储量的主体。

戴金星(2010 年)统计了 1998 年以来全国天然气储、产量增长情况,也进一步说明了煤成大气田的发现对全国天然气储、产量增长的主宰作用。

2010 年,全国产出的天然气有三分之二以上是煤成气,煤成气年增长率明显高于天然气年增长率(图 1)^[1]。仅克拉 2 煤成气田 2009 年产气量就占全国总产气量的 13.08%,苏里格、靖边和榆林等气田 2009 年产气量分别占全国总产气量的 9.19%、6.42%和 5.79%。

以上统计资料充分地说明了煤成大气田对中国天然气工业发展的重要作用。因此,重点研究与煤成气相关大型、特大型气田的分布特征,对我国天然气勘探发展有启示意义。

表 1 中国大型、特大型气田(储量>300×10⁸ m³)概况

Table 1 Large and giant gas fields in China(with gas reserves larger than 300×10⁸ m³)

气田类型*	主要气源*		盆地:气田名称[储量/(10 ⁸ m ³)]
特大型(储量>3 000×10 ⁸ m ³) [5 个,28 888,43.33%]	与含煤岩系相关气田 [4 个,25 354,38.03%]	源自含煤岩系 [2 个,16 893,42.03%]	鄂尔多斯:苏里格(12 725)、大牛地(4 168)
		含煤岩系与海相层混源 [2 个,8 461,12.20%]	鄂尔多斯:靖边(4 699) 四川:普光(3 762)
	源自海相层气田 [1 个,3 534,5.30%]		塔里木:塔中 1(3 534)
大型(储量=300×10 ⁸ ~ 3 000×10 ⁸ m ³) [43 个,37 787,56.67%]	与含煤岩系相关气田 [40 个,36 399,54.59%]	源自含煤岩系 [24 个,23 965,35.94%]	鄂尔多斯:榆林(1 807)、子洲(1 151)、乌审旗(1 012)、神木(934)、米脂(358) 四川:新场(2 045)、安岳(2 081)、广安(1 355)、合川(2 299)、八角场(351)、洛带(323)、邛西(323) 塔里木:克拉 2(2 840)、迪那 2(1 752)、大北 1(586)、大北(506)、英迈 7(309) 准噶尔:克拉美丽(1 053)、玛河(313) 松辽:长岭 1 号(560)、松南(381)、龙深(318) 东海:春晓(330) 莺琼:崖 13-1(978)
		含煤岩系与海相层混源 [7 个,5 206,7.81%]	四川:元坝(1 498)、大天池(1 067)、罗家寨(797)、磨溪(702)、铁山坡(373)、渡口河(359)、卧龙河(410)
		含煤岩系与湖相层混源 [9 个,7 228,10.84%]	莺琼:东方 1-1(890)、乐东 22-1(318) 珠江口:荔湾 3-1(475)、番禺 30-1(300) 塔里木:柯克亚(348) 柴达木:涩北 1 号(990)、涩北 2 号(826)、台南(1 061) 松辽:徐深(2 020)(可能含无机气)
	源自海相层气田 [3 个,1 388,2.08%]		四川:威远(408) 塔里木:和田河(616)、塔河(364)

说明:共有大气田 48 个,总储量 66 675×10⁸ m³,占全国气层气储量的 87.93%。其中,与煤成气相关大气田 43 个,总储量 61 753×10⁸ m³,占全国气层气储量的 81.44%,占全国与煤成气相关储量的 90.94%,占全国大气田储量的 92.61%。

注:储量资料来自《国土资源部 2011 年油气矿产储量报告》,具体储量数字为约数。
* 方括号内为[大气田个数,总储量/(10⁸m³),占全国气层气储量比例]。

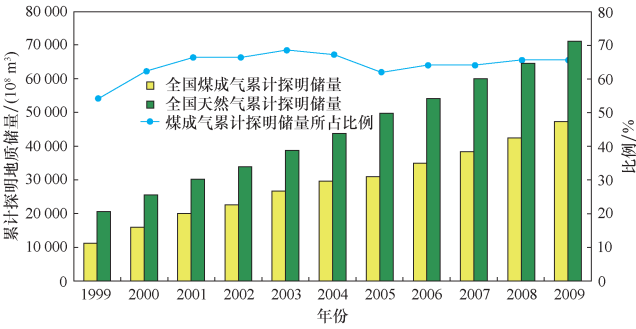


图 1 1999—2009 年中国煤成气储量与天然气储量
增长趋势及比例^[1]

Fig. 1 Comparison of reserve growth of coal-related gas and
natural gas in China from 1999 to 2009

2 与煤成气相关的大型、特大型气田的分布特征

2.1 分布在为数不多的大、中型含煤盆地

我国是世界上含煤岩系最发达的国家之一,有 400 余个含煤盆地,发育有四大聚煤期、十个聚煤阶段,含煤岩系时代和地域分布很广。勘探成果表明,与煤成气相关的气田仅分布在 14 个大、中型含煤盆地,大型气田只发现在鄂尔多斯、四川、塔里木、准噶尔、柴达木、松辽、莺琼、珠江口、东海 9 个含煤盆地,发现特大型气田的盆地更少。9 个主要含煤盆地拥有与煤成

气相关气田总储量的 90% 以上(表 2),说明了只有为数不多的含煤盆地才具有转化成为含煤—含气(油)盆地的地质条件^[2-3],只有少数大、中型含煤盆地才具有形成与煤成气相关大型、特大型气田的地质条件。

2.2 有 7 套含煤岩系,形成 5 个含煤成气区

2.2.1 7 套含煤岩系

上石炭统—下二叠统(C_2-P_1)含煤岩系为源岩的气田在全国煤成气储量中比例最高,占 43.42%;其他依次为上二叠统(P_3 , 14.82%)、中—下侏罗统(J_{1-2} , 12.88%)、上三叠统(T_3 , 12.19%)、古近系—新近系($E-N$, 6.86%)、上侏罗统—下白垩统(J_3-K_1 , 5.25%)和新近系—第四系($N-Q$, 4.58%)(表 3)。

7 套含煤岩系气源主要分布在不同的含煤成气区。 C_2-P_1 含煤岩系主要分布在华北区及部分西北区, J_{1-2} 含煤岩系是西北区最重要的气源岩, P_3 和 T_3 含煤岩系是南方区重要的气源岩, J_3-K_1 含煤岩系气源岩主要分布在东北区, $E-N$ 含煤岩系气源岩是海域区最主要的气源岩, $N-Q$ 含煤岩系主要分布在柴达木盆地三湖区。

多数含煤岩系与湖相、海相烃源岩共源或夹有湖相、海相烃源岩。地化资料表明, P_3 、 $E-N$ 和 $N-Q$ 含煤岩系都部分与湖相或海相烃源岩共源; C_2-P_1 、 J_{1-2} 和 T_3 含煤岩系可能含有少量湖相或海相烃源成分。

表 2 中国主要含煤盆地与煤成气相关气田探明储量

Table 2 Coal-bearing basins and proven gas reserves of coal-related gas fields in China

盆地	与煤成气相关气田			特大型气田 (储量 $>3\,000 \times 10^8 \text{ m}^3$)			大型气田 [储量 $= (300 \sim 3\,000) \times 10^8 \text{ m}^3$]		
	气田个数	探明储量/ (10^8 m^3)	占总储量比例/ %	气田个数	探明储量/ (10^8 m^3)	占总储量比例/ %	气田个数	探明储量/ (10^8 m^3)	占总储量比例/ %
鄂尔多斯	11	27 041	40.52	3	21 592	85.16	5	5 262	14.46
四川	>100	~18 000	26.97	1	3 762	14.84	14	13 983	38.41
塔里木	13	7 261	10.88				6	6 341	17.42
松辽	>5	>3 501	5.25				4	3 279	9.01
莺琼	6	2 410	3.61				3	2 186	6.01
柴达木	5	3 056	4.58				3	2 877	7.90
准噶尔	10	~1 845	2.76				2	1 366	3.75
东海	12	868	1.30				1	330	0.91
渤海湾	7	769	1.15						
吐哈	8	615	<1.00						
珠江口	>10	~1 300	1.95				2	775	2.13
焉耆	1	28	<0.01						
下扬子	1	22	<0.01						
三塘湖	1	13	<0.01						
总计	>190	>66 729	100	4	25 354	100	40	36 399	100

注:数据来源自《国土资源部 2011 年度石油天然气储量报告》,储量为约数。

表 3 中国五大含煤成气区与七套含煤岩系气源相关储量及特大型、大型气田储量比例
Table 3 Gas reserves related to five major coal-related gas areas and seven sets of coal-bearing sequences and the percentage of large and giant gas fields in China

含煤岩系 气源	分布区	主要含煤盆地	与煤成气相关气田		特大型气田 (储量>3 000×10 ⁸ m ³)			大型气田 [储量=(300~3 000)×10 ⁸ m ³]		
			储量/ (10 ⁸ m ³)	占总储量 比例/%	气田 个数	储量/ (10 ⁸ m ³)	占总储量比例/ %	气田 个数	储量/ (10 ⁸ m ³)	占总储量比例/ %
C ₂ -P ₁	华北区、西北区	鄂尔多斯、准噶尔	28 975	43.42	3	21 592	74.52	6	6 315	21.86
P ₃	南方区	四川	9 890	14.82	1	3 762	38.04	7	5 206	52.64
T ₃	南方区	四川	9 000	12.19				7	8 778	97.53
J ₁₋₂	西北区	塔里木、准噶尔	8 597	12.88				7	6 653	77.39
J ₃ -K ₁	东北区	松辽	3 501	5.25				4	3 279	93.66
E-N	海域区	莺琼、东海、珠江口	4 578	6.86				6	3 291	71.89
N-Q	西北区	柴达木三湖区	3 056	4.58				3	2 877	94.14
总计			60 753	100	4	25 354	41.06	40	36 399	58.94

注:数据源自《国土资源部 2011 年全国各油气田油气矿产探明储量表》,储量为约数。

2.2.2 5 个含煤成气区

1) 西北含煤成气区

该区包括塔里木、准噶尔、吐哈、柴达木盆地以及造山带内的一批中、小型含煤盆地(三塘湖、焉耆和伊犁盆地等)。特点是:

① 含煤盆地类型多,以类前陆型含煤盆地前景最好;

② C₂-P₁、J₁₋₂和 N-Q 三套含煤岩系气源中,以 J₁₋₂源岩分布最广,煤成气资源最丰富,形成了区内以克拉 2 气田为代表的煤成气聚集带;

③ 受制于相邻造山带的重新活动,在晚期(喜马拉雅期)强烈沉降和快速堆积,气田具有中、低地温场及晚期、超晚期成藏特点。

2) 华北含煤成气区

该区以鄂尔多斯盆地为主,包括渤海湾盆地及河淮盆地(南华北盆地)。特点是:

① 煤成气源单一,C₂-P₁含煤岩系是区内煤成气最主要的气源岩。

② 由于 C₂-P₁含煤岩系沉积后期发展演化历史的差异,形成了原生型(鄂尔多斯盆地)与二次生烃型(渤海湾盆地及河淮盆地)两种不同成藏历程的煤成气藏。

③ 鄂尔多斯盆地煤成气前景最好,发现了多个特大型、大型煤成气田,储量约为全国煤成气总储量的 40.52%,但以岩性圈闭及地层-岩性圈闭气田为主,以致密储层为主,储量大但丰度低。“二次生气型”仅分布于渤海湾盆地,分布在 C₂-P₁含煤岩系早期演化程度低的喜马拉雅期强烈沉降(拗陷)区。

3) 南方含煤成气区

该区以四川盆地为主,包括秦岭以南、龙门山以东的广大地区,是中国第二大含煤成气区,也是我国第二

大天然气区,气田数量最多。特点是:

① P₃和 T₃含煤岩系是四川盆地重要的气源,构成的含气系统约占盆地天然气总储量的 80%。

② T₃含煤岩系为主要气源的陆相含气系统主要分布在川西区和川中区;P₃含煤岩系与海相地层共源的含气系统广泛分布于全盆,但以大川中区及川东北区为主。

③ 四川盆地虽发现了一批与煤成气相关的大型、特大型气田,但是由于复杂的构造地质条件,有近百个以小型和特小型为主的气田广布于盆地不同构造单元。

④ 气藏普遍具有早聚、晚藏特点,即气藏形成历程较长,最终定型于燕山晚期—喜马拉雅早期的四川运动。

4) 东北含煤成气区

该区以松辽盆地深部为主,包括二连盆地群及海拉尔盆地等。特点是:

① 以 K₁含煤岩系为主要气源(在二连及海拉尔盆地发育有 J₃含煤岩系气源),主要发育于盆地深部的众多小型断陷;

② 在松辽盆地深部,主要储集层为含煤岩系内的火山岩系及致密砂岩,形成深部含煤成气系统;

③ 近期勘探成果表明,具有断-拗双层结构的深部含煤断陷都具有从含煤盆地转化成为含气(油)盆地的地质条件,可以形成煤成气田。

5) 海域含煤成气区

该区即戴金星的“亚洲东缘煤成气聚集域的中段”^[4],包括东海陆架盆地、台西盆地及南海北部的珠江口盆地、莺琼盆地和南海诸盆地。特点是:

① 广泛发育新生代含煤岩系,E含煤岩系为主要气源岩;

② 含煤岩系的沉积环境以滨海、海湾湖沼及近海湖沼环境为主,有机质丰富;

③ 受喜马拉雅期西太平洋构造域及新特提斯构造域综合构造动力机制的影响,普遍具有“三快一热”(快速沉降、沉积、埋藏与高地温场)的构造地质环境,有利于晚期、超晚期快速成藏,形成与煤成气相关的大型气田,在东海陆架盆地西湖凹陷和琼东南等盆地都含有比较丰富的煤成凝析油或煤成轻质原油。

2.3 不同类型含煤-含气(油)盆地主要聚集区及聚集特点不同

在中国7类主要含煤盆地中,有5类主要含煤盆地(克拉通内拗陷型、类前陆型、陆内拗陷型、陆缘断陷型、陆内裂(断)陷型)都发现了与煤成气相关的大型气田,但各具有不同的特点(表4)。

克拉通内拗陷型含煤盆地发现大型煤成气田数量和探明的储量最多(约为大型气田储量的56%),目前所发现特大型气田均属此类盆地;其次为类前陆型及陆内拗陷型含煤盆地,探明储量在与煤成气相关的大型气田总储量中的比例分别为15%和14%;陆缘断陷型及陆内断陷型含煤盆地所占的比例相对较小。

2.3.1 克拉通内拗陷型含煤盆地

该类盆地主要发育在晚古生代,大型、特大型气田仅分布于鄂尔多斯盆地和四川盆地。鄂尔多斯盆地是目前煤成气储量最大的盆地,石炭纪-二叠纪含煤岩系是最主要气源,气田数虽不多,但储量普遍较大,以大型岩性圈闭为主,成藏期早,但储量丰度较低。四川盆地气田数最多,由晚二叠世含煤岩系与二叠纪、志留纪海相层系共源,气田以构造、构造-岩性圈闭为主,

具有早聚、晚藏特点。

虽然两个盆地气田特征有差异,但都具有演化早、演化程度较高的特点,已进入高-过成熟热演化阶段,所产天然气均属干气,丙烷以上重烃含量甚微,储集条件总体偏差,以致密-超致密储层为主。

2.3.2 类前陆型含煤盆地

该类盆地发育于中、西部的中、新生代,面积相对较小,但资源丰度大,成藏条件受相邻造山带重新活动强度的制约,具有晚期、超晚期成藏的特点。在庫车坳陷,大型气田全部位于坳陷北侧由逆冲断层形成的推覆背斜,主成藏期为5 Ma,甚至更晚,形成了克拉2等大型煤成气聚集带。

2.3.3 陆内拗陷型含煤盆地

该类盆地发育于四川盆地川中区和柴达木盆地三湖区,因烃源及主成藏期时代差距很大,成藏地质特征不同。

2.3.4 海域新生代陆缘断陷型含煤盆地

该类盆地储量丰度总体较高,以构造类圈闭气田居多,普遍具有“高地温场、快速沉降和快速生烃、成藏”的特点。

2.3.5 陆内裂(断)陷型含煤盆地

该类盆地发育于东部,含煤盆地小而众多,在松辽盆地形成深部煤成气系统,气田主要由火山机构及致密储层构成,非均质性强,一些气田含无机成因二氧化

表4 中国主要盆地类型及与煤成气相关的大型、特大型气田储量特征

Table 4 Major basin types in China and gas reserves of large and giant coal-related gas fields

盆地(拗陷)类型	克拉通内拗陷型	类前陆型	陆内拗陷型	陆内断陷型	陆缘断陷型
鄂尔多斯	26 854[8,1.21]				
川西		2 691[3,6.23]			
四川	川中 2 200[2,3.07]		6 086[4,3.20]		
	川东北 5 291[4,16.15]				
塔里木	库车 5 993[5,22.86]				
	塔西南 348[1,17.98]				
准噶尔	1 366[2,15.55]				
柴达木			2 878[3,22.07]		
松辽				3 279[4,17.45]	
东海	西湖 330[1,17.12]				
珠江口	白云 775[2,10.94]				
莺琼	琼东南 978[1,17.94]				
	莺歌海 1 208[2,2.87]				
小计	34 345(14,42.10%)	10 398(11,12.75%)	8 964(7,10.99%)	3 279(4,4.02%)	3 291(6,4.10%)

注:1)表中数据为累计储量/(10⁸ m³)[气田个数,平均储量丰度/(10⁸ m³·km⁻²)]。
2)小计中数据为探明储量/(10⁸ m³)(大型及特大型气田个数,占全国气层气储量百分比)。
3)川东的卧龙河和大池干井气田未统计在内。

碳气,在盆地北部还混有少量油型气及无机成因甲烷气。

2.4 两种类型富煤成气凹陷的气藏特征不同

富煤成烃凹陷是盆地煤成气资源的主体,据生、储、运、聚特征,分为广覆式及深凹式。广覆式富煤成气凹陷主要分布在克拉通内坳陷型及陆内坳陷型含煤盆地,深凹式富煤成气凹陷主要分布在类前陆型、陆内裂(断)陷型及陆缘断陷型含煤盆地。

鄂尔多斯盆地石炭纪-二叠纪、四川盆地川中区晚

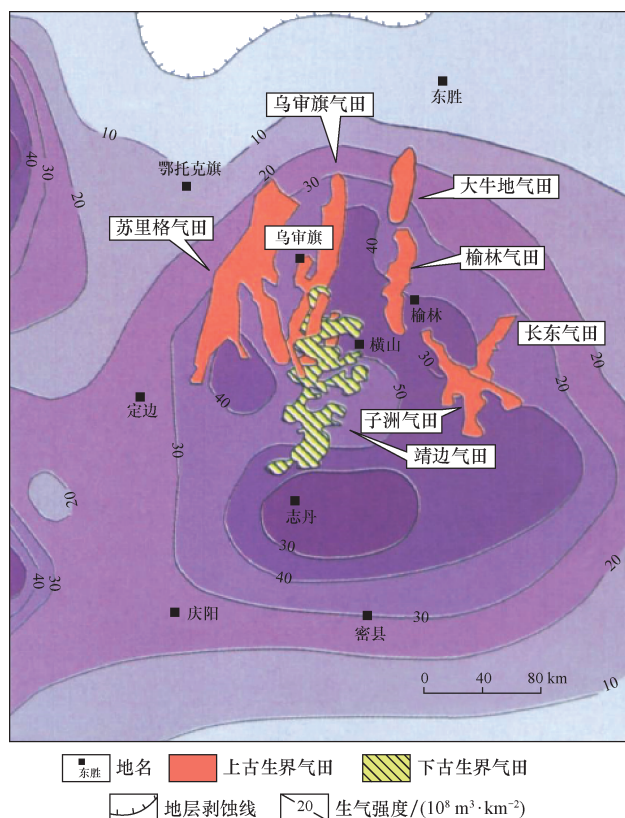


图2 鄂尔多斯盆地大型、特大型气田与石炭-二叠系富煤成气凹陷分布^[6]

Fig. 2 Correlation of distribution of large and giant gas fields to the distribution of Carboniferous-Permian coal-bearing depressions in Ordos Basin^[6]

三叠世和晚二叠世含煤岩系是比较典型的广覆式富煤成气凹陷^[5-6]。这类盆地气源岩生气强度虽不高,为 $(20 \sim 50) \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$,构造不发育,但生、储层分布广,并大面积接触,有利于在较大范围内形成与含煤岩系相关的大型和特大型气田,气田储量和面积相对较大,但储量丰度相对偏低(图2)。

塔里木盆地库车坳陷早-中侏罗世、四川盆地川西坳陷晚三叠世、东海陆架盆地西湖凹陷以及柴达木盆地三湖区是比较典型的深凹式富煤成气凹陷。库车坳陷生气强度高达 $120 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$,气田储量丰度总体较大(图3)^[7-8];柴达木盆地三湖区由第四纪七个泉组及新近纪狮子沟组滨湖沼泽相炭质泥岩和湖相暗色泥质岩为气源,在坳陷中心气源岩厚度大于2 000 m,涇北一号、涇北二号和台南大气田都具有储量丰度较高的特点。

2.5 气田主要分布在富煤成气凹陷及其周缘适时的古隆起及斜坡

在四川盆地,位于晚二叠世龙潭煤系富煤成气凹陷内的泸州-开江古隆起,是上二叠统龙潭煤系与海相地层共源众多气田的主要分布区。川西坳陷是晚三叠世富煤成气凹陷的主体,所形成的气田多储聚在3个古隆起(古构造带)及斜坡区(图4)。中坝煤成气田受制于印支期形成的古背斜,而不受控于喜马拉雅期改造后的背斜^[9]。鄂尔多斯盆地的大型、特大型煤成气田都分布在中央隆起东侧,东海陆架盆地西湖凹陷的煤成气田主要聚集在长期发育的西部斜坡区及中央隆起构造带^[10],琼东南盆地崖13-1大气田为早期形成的披覆背斜^[11],库车坳陷煤成气主要聚集在近造山带一侧长期发育的斜坡冲断带^[6],这些都表明了富煤成气凹陷及其周缘适时的古隆起、斜坡区及古构造是气田的主要分布区。这一特点在成藏期较早的克拉通内坳陷型含煤盆地尤为突出。

2.6 有两类储-盖组合,致密储层比例较大

中国大型、特大型煤成气田储集层岩石类型以陆

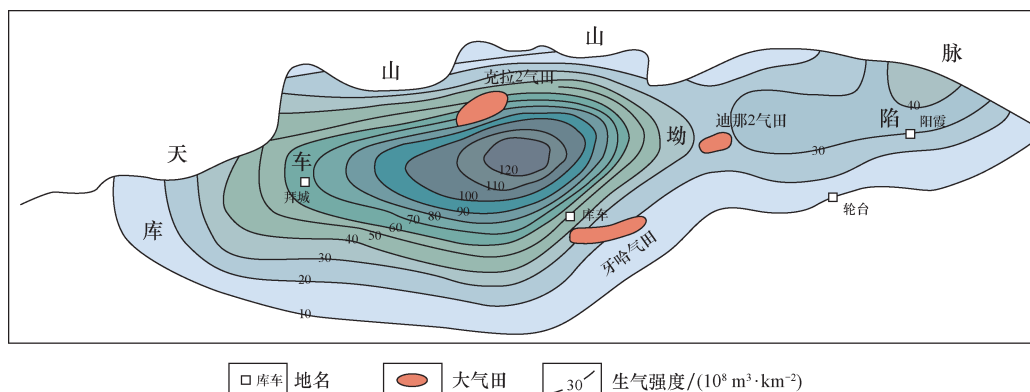


图3 塔里木盆地库车类前陆盆地富煤成气凹陷生气强度示意图^[8]

Fig. 3 Gas generation intensity of coal-bearing depressions in Kuqa para-foreland basin, Tarim Basin^[8]

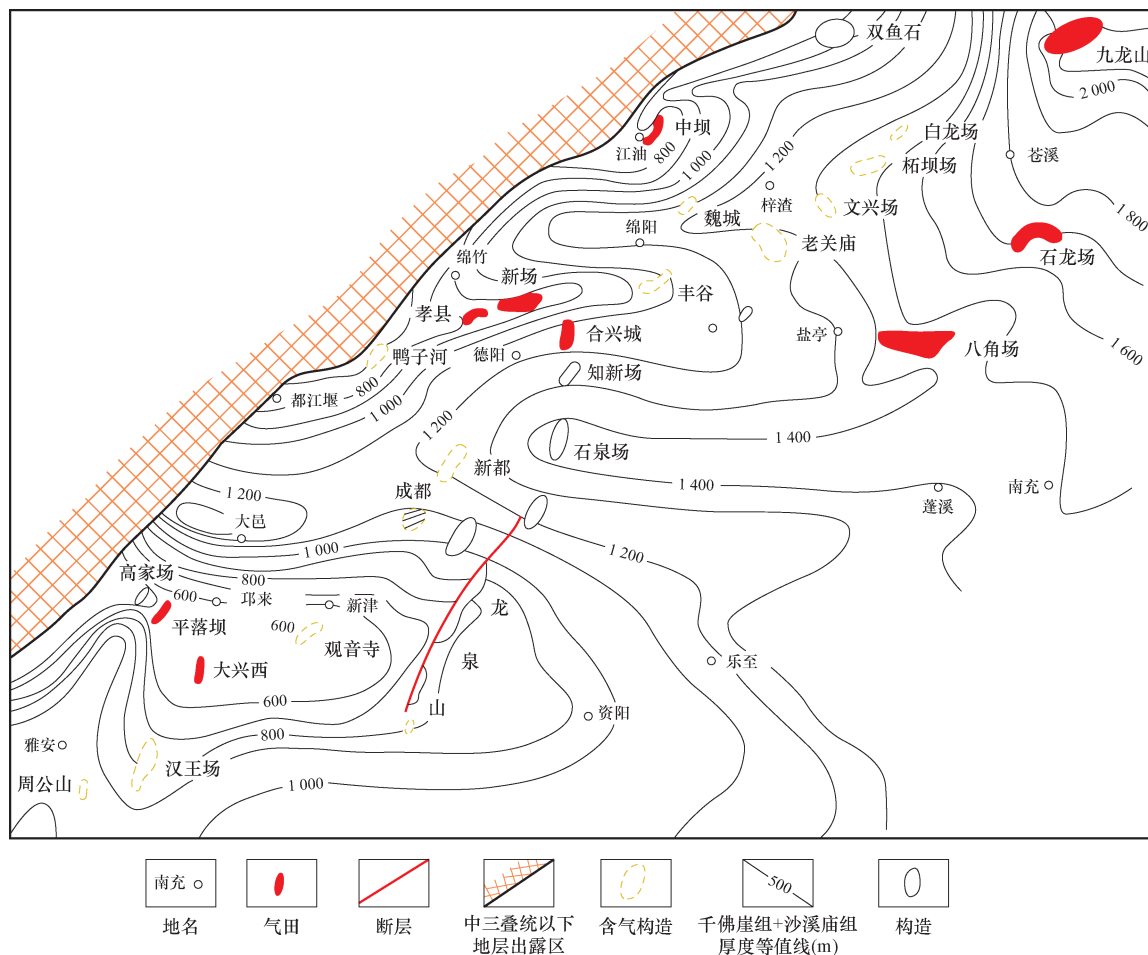


图4 四川盆地西部上三叠统-侏罗系煤成气富集带与古隆起带间关系示意图

Fig. 4 Relationship between coal-related gas enrichment belts and paleo-uplifts in the Upper Triassic-Jurassic of western Sichuan Basin

源碎屑岩为主,也有碳酸盐岩储层(四川盆地),还有火山岩储层(松辽盆地、准噶尔盆地)。据储层与含煤岩系的关系可划分为含煤岩系内与含煤岩系外两类储-盖组合。

2.6.1 含煤岩系内储-盖组合

含煤岩系内储-盖组合主要分布在鄂尔多斯盆地石炭纪-二叠纪、四川盆地晚三叠世、松辽盆地早白垩世和准噶尔盆地石炭纪含煤岩系,以及一些盆地深部的含煤岩系,是这些盆地大型、特大型气田重要的储-盖组合型式。主要储集层是夹在泥质岩中的砂岩及火山岩,生、储、盖层具“三明治式”结构,以致密储层为主,相对高孔、渗储层呈透体状、星点状散布于致密储层之中(图5)。

因为具有多储-盖组合和生、储层大面积直接接触、充注特点,弥补了储层孔、渗条件的不足,为在鄂尔多斯和四川盆地含煤岩系中形成大型、特大型煤成气田提供了有利的地质条件。但是,含煤岩系内储-盖组合非均质性较强,气、水分异作用较弱,气-水关系比较复杂^[13-14]。川中区广安气田主力气层——须家

河组六段,砂体表面上呈大面积展布,实为多期河道砂叠置,形成了 6 个储集层与非储集层,分别为气层、气-水同层和含气水层(图 6)^[15];广安气田须家河组四段气藏有 28 个相对独立的储集单元,它们相互独立,有各自的压力系统^[13]。

2.6.2 含煤岩系外储-盖组合

含煤岩系外储-盖组合指主要储集层位于含煤岩系外,储层岩性有碎屑岩、也有碳酸盐岩,物性总体较好,厚度较大,在其他有利地质构造条件配合下,易于形成储量丰度较高的大型气田。

库车盆地克拉2气田主要储集层为侏罗纪含煤岩系之上的白垩系巴什基奇克组与古近系底部砂砾岩优质储集层^[16],其上有古近纪巨厚膏盐岩的优质封盖以及由逆冲断层形成的背斜构造,气田的充满度达到97%,储量丰度高达 $59.05 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ (图7)。

四川盆地普光背斜构造在龙潭组含煤岩系之上的长兴组及飞仙关组碳酸盐岩礁滩体中发育有巨厚的次生溶蚀孔隙型储集层,其上覆有巨厚膏盐岩及超压封盖层等有利的地质条件,气田的充满度近于 100%,储量丰

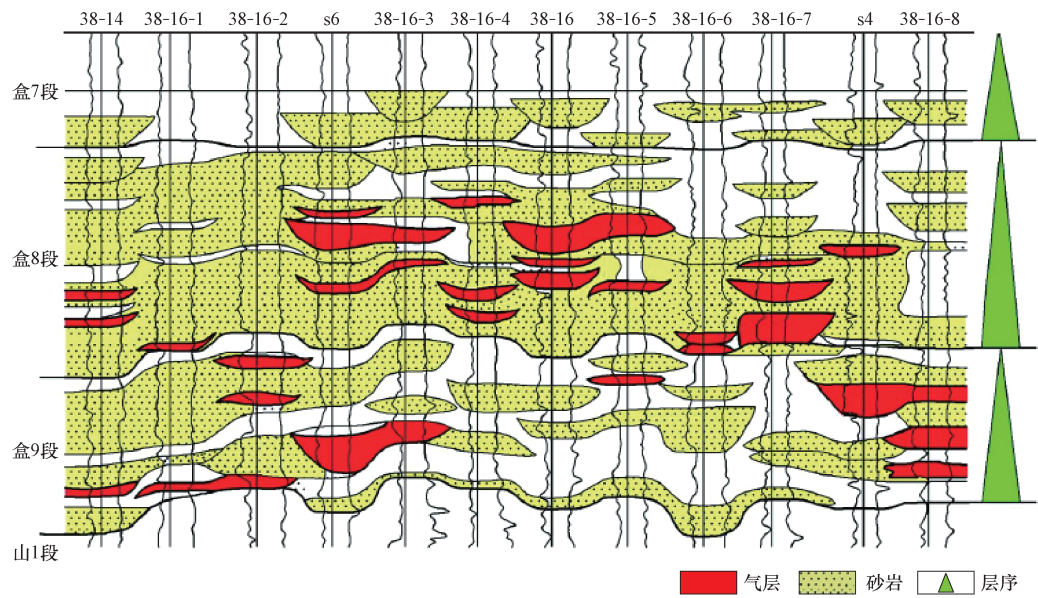


图 5 鄂尔多斯盆地苏里格气田下石盒子组盒 8 段气层非均质性示意图^[12]
Fig.5 Diagram showing the heterogenesis of the gas-bearing layer of the 8th member of the Shihezi Formation in Sulige gas field,Ordos Basin^[12]

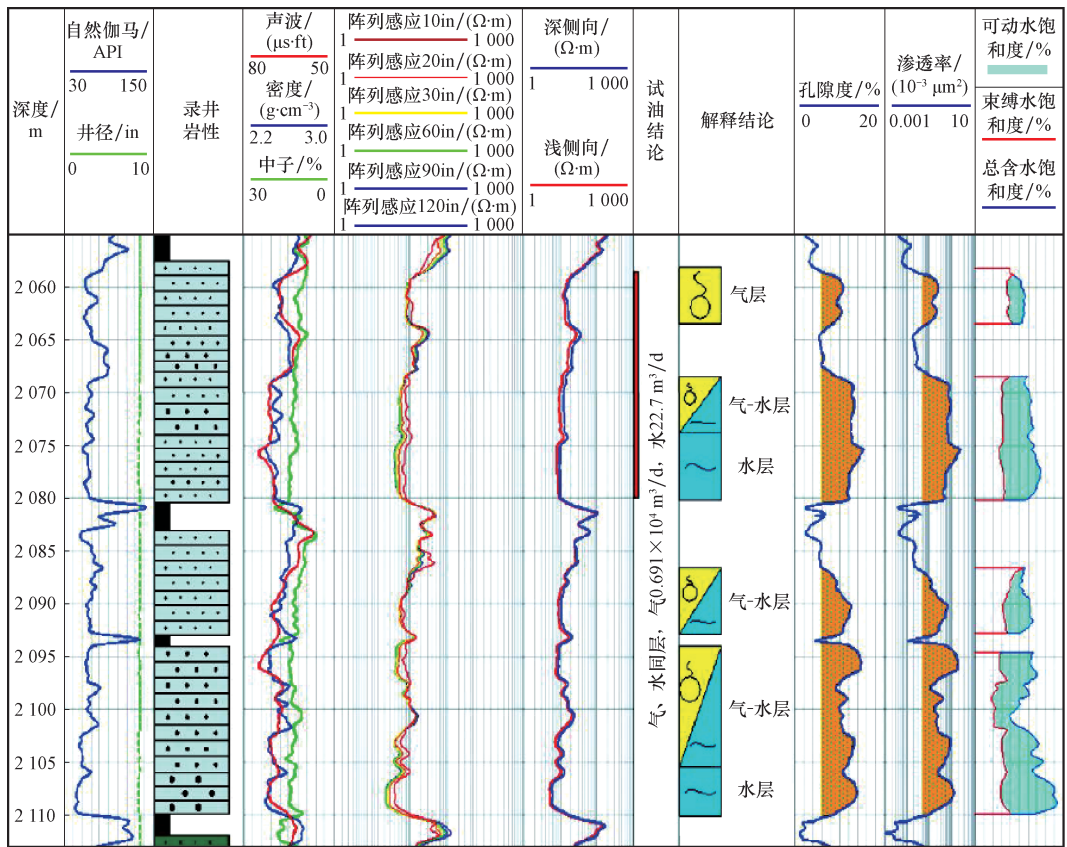


图 6 四川盆地川中区广安气田 105 井须家河组六段气、水分布^[13]

Fig.6 Distribution of water and gas in the 6th member of the Xujiahe Formation in well 105 in Guangan gas field,central Sichuan Basin^[13]

度高达 $29.72 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$,并形成高产(表 5)^[18]。
琼东南盆地崖 13-1 披覆背斜,在崖城组含煤岩系之上的陵水组为优质储层,储层厚度平均为 100 m,孔隙度一般为 10%~20%,平均值为 14.1%,形成了

中国海上最大的气田,充满度为 78%,储量丰度为 $17.94 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 。
鄂尔多斯盆地靖边特大型气田以含煤岩系气源岩下方的奥陶系针孔状白云岩储层为主,储层虽为次生

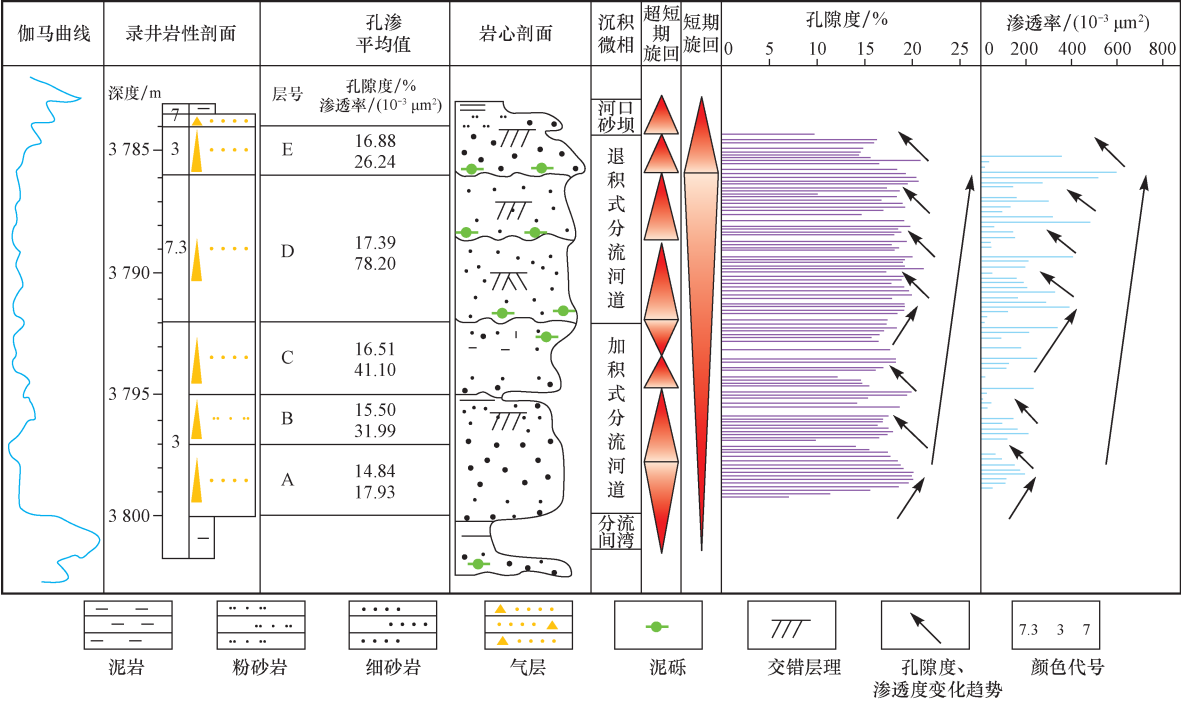


图 7 库车盆地克拉 201 井巴什基奇组超短期基准面旋回与储层物性关系^[17]

Fig. 7 Relationship between short-term base level cycle and reservoir properties in Bashijiqi Formation in well Kela-201, Kuqa depression^[17]

表 5 四川盆地普光气田储层特征及测试结果

Table 5 Reservoir properties and testing results of Puguang gas field in Sichuan Basin

井号	储层厚度/m		储层物性		层位	测试气量(无阻流量)/ (10 ⁴ m ³)
	飞仙关组	长兴组	孔隙度/%	渗透率/(10 ⁻³ μm ²)		
普光 1	261. 7		7. 50	3. 4	飞一段	75. 20
普光 2	358. 8	51. 4	8. 80	45	长兴组	118. 30
			10. 36	245	长兴组	105. 60
			7. 50	19	飞二段	28. 20
			5. 50	5	飞三段	30. 60
			普光 4	233. 9		8. 70
普光 5	231. 5	124. 8	7. 85	446 ~ 640	长兴组	121. 33
普光 6	263. 0	148. 2	9. 21	103 ~ 298	飞一段、飞二段	663. 25
			7. 22		飞一段、飞二段	35. 97
			7. 37	182 ~ 300	长兴组	113. 50

注:数据据马永生等(2007)简化。

溶蚀孔隙,但孔隙度小,比较致密,致使储量虽大,但储量丰度偏低。四川盆地由晚二叠世含煤岩系与海相地层共源的其他礁滩相气田也多为致密储层,说明了常规储层分布范围相对较小,致密储层比例较大。

2.7 气田类型多与岩性圈闭有关

中国与煤成气相关的大型、特大型气田有岩性、构造、构造-岩性、地层-岩性及构造-火山机构等多种圈闭类型。但是,以常规储层为主的构造类气田仅分布在海域陆缘断陷型盆地及中、西部部分类前陆盆地(表6)。鄂尔多斯盆地的3个特大型气田均以致密的大岩性体为主要圈闭类型;松辽盆地深部下白垩统及

准噶尔盆地东北部石炭系是以火山机构为主要圈闭类型的大型气田;在四川盆地,虽然有众多构造、构造-岩性类气田,但目前只有普光气田是中-高孔、渗常规储层,其他气田以中-低孔、渗致密储层为主,气田产能大小与裂缝发育程度密切相关。

2.8 储量丰度差异大

储量丰度是衡量天然气充注、储聚能力及气源丰度的重要指标之一。2004 年的《石油天然气储量规范》将储量丰度(单位:10⁸ m³/km²)分为高(储量≥8)、中(2.5≤储量<8)、低(0.8≤储量<2.5)和特低(储量<0.8)4 级。为便于讨论,本文将储量丰度≥20×10⁸ m³/km² 增定为特高级储量丰度。

表6 中国与煤成气相关的不同圈闭类型特大型、大型气田储量及储量丰度统计

Table 6 Statistics of reserves and reserve abundance of large and giant gas fields of different coal-related gas trap types in China

气田类型	项目	构造圈闭	构造-岩性圈闭	构造-火山机构圈闭	地层-岩性圈闭	岩性圈闭
特大型	累计储量/(10^8 m^3)	3 762		4 699		16 893
	储量丰度/($10^8 \text{ m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$)	29.72(特高)		0.78(特低)		1.38~2.41(低)
	气田	普光		靖边		苏里格、大牛地
大型	累计储量/(10^8 m^3)	6 435 + 4 592	4 370	1 259 + 3 073		1 292
	(所占比例/%)	(48.18)	(32.71)	(9.43)		(9.67)
	储量丰度(最大值~最小值/平均值)/($10^8 \text{ m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$)	59.05~2.20/13.04 (以特高-高为主)	28.80~2.00/12.19 (以特高-高为主)	28.80~7.79/14.57 (以特高-高为主)		7.78~0.75/2.31 (以低为主)
	气田	克拉2、迪那2、大北、大北1、英迈7、柯克亚、邛西、八角场、卧龙河、春晓、荔湾3-1、番禺30-1、崖13-1、乐东22-1、东方1-1、玛河	新场、广安、台南洛带、涪北1、涪北2、铁山坡、罗家寨、渡口河、磨溪	徐深、克拉美丽、长岭1号、松南、龙深		神木、米脂、榆林、子洲、乌审旗、合川、安岳、元坝

2.8.1 盆地间及盆地内储量丰度差异大

据统计(表7):1)与煤成气相关大型、特大型气田的储量丰度最大为克拉2气田($59.05 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$),最小为米脂气田($0.75 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$),差两个数量级。2)储量丰度总体不高。43个与煤成气相关的大型、特大型气田中,有19个为低、特低储量丰度,只有13个为高储量丰度。3)盆地间差异较大。虽然多数盆地(坳陷)气田储量丰度的平均值为高储量丰度,在库车坳陷、柴达木盆地三湖区属特高储量丰度,但是鄂尔多斯盆地、四川盆地川中区 and 莺歌海盆地属低储量丰度。4)富煤成气凹陷内,储量丰度差别也很大。川西坳陷新场气

田储量丰度为 $12.69 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$,洛带气田仅为 $2.0 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$;库车坳陷储量丰度从 $59.05 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ (克拉2)至 $6.87 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ (英迈7)不等。

2.8.2 不同圈闭类型气田储量丰度差异大

岩性圈闭类气田储量与储量丰度不成正比尤为突出,构造类、构造-岩性类气田以及成藏期晚和定型期晚的气田储量丰度相对较高。

鄂尔多斯盆地煤成气田为大型岩性圈闭和地层-岩性圈闭,平均储量高达 $4\,260 \times 10^8 \text{ m}^3$,是所有盆地(坳陷)中平均储量最高者;但是,其储量丰度最小,平均值仅为 $1.30 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$;四川盆地川中区4个以上三叠统含煤岩系为气源的大型气田,平均储量高达 $1\,251 \times 10^8 \text{ m}^3$,储量丰度也相对较低,平均值为 $3.17 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 。这些都显示了在克拉通内坳陷型和部分陆内坳陷型含煤盆地,因为演化程度较高及以岩性圈闭为主,因而气田储量普遍与储量丰度极端不成比例。

储量丰度较高的气田主要分布在类前陆型、陆缘断陷型、陆内裂(断)陷型含煤盆地及部分陆内坳陷型含煤盆地。这些盆地(坳陷)普遍具有成藏期晚和定型期晚的特点。例如,主成藏期为新近纪—第四纪的克拉2气田,以及最终定型期为古近纪的普光气田,均是储量丰度最高的特大型气田,储量丰度分别为 $59.05 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 和 $28.80 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$;气藏最终定型期为喜马拉雅期的克拉美丽、新场和迪那2气田的储量丰度也相对较高,分别为 16.03×10^8 , 12.69×10^8 和 $13.98 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$;春晓气田和崖13-1气田,主成藏期为新近纪和新近纪—第四纪,均属于高储量丰度气田。

2.9 含煤岩系沉积后构造地质的演化特点直接影响气田分布及储、聚特征

对中国原型含煤盆地沉积后的构造演化与煤成气

表7 中国主要盆地或构造单元与煤成气相关的大型、特大型气田储量丰度统计

Table 7 Statistics of reserves and reserve abundance of large and giant coal-related gas fields in major basins or structural units in China

盆地(坳陷)	储量丰度/($10^8 \text{ m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$)	
	范围	平均值
鄂尔多斯	2.54(大牛地)~0.70(靖边)	1.21
川西	12.69(新场)~2.00(洛带)	6.23
四川	川中 5.04(八角场)~2.17(合川)	3.17
	川东北 28.8(普光)~6.38(渡口河)	16.15
塔里木	库车 59.05(克拉2)~6.87(英迈7)	22.86
	塔西南 17.98(柯克亚)	17.98
准噶尔	16.03(克拉美丽)~15.07(玛河)	15.55
柴达木	26.49(台南)~18.52(涪北2)	22.07
松辽	28.80(松南)~7.01(徐深)	17.45
东海西湖	17.12(春晓)	17.12
珠江口	10.94(荔湾3-1)	10.94
琼东南	17.94(崖13-1)	17.94
莺歌海	3.55(东方1-1)~2.19(乐东22-1)	2.87

表8 中国不同类型含煤盆地成藏期盆地演化特征与特大型、大型煤成气田的关系

Table 8 Relationship between evolution features of various coal-bearing basins and large and giant coal-related gas fields

盆地类型	特大型 + 大型			特大型			大型			
	原型盆地 - 转化	气田个数	累计储量/ (10 ⁸ m ³)	所占比例/ %	气田个数	累计储量/ (10 ⁸ m ³)	所占比例/ %	气田个数	累计储量/ (10 ⁸ m ³)	所占比例/ %
克拉通拗陷		8	26 854	43. 49	3	21 592	85. 16	5	5 262	14. 45
克拉通拗陷 - 高陡构造带		2	1 477	2. 39				2	1 477	4. 06
克拉通拗陷 - 陆内拗陷		1	702	1. 14				1	702	1. 93
克拉通拗陷 - 类前陆		5	6 789	10. 99	1	3 762	14. 84	4	3 027	8. 32
类前陆		11	10 398	16. 84				11	10 398	28. 57
陆内断陷 - 拗陷		4	3 279	5. 31				4	3 279	9. 01
陆内拗陷		7	8 963	14. 51				7	8 963	24. 62
陆缘断陷 - 拗陷		6	3 291	5. 33				6	3 291	9. 04
小计		44	61 753	100	4	25 354	100	40	36 399	100

田关系的统计(表8)表明,后期构造演化历史的复杂程度直接影响了煤成气前景。

2.9.1 克拉通内拗陷型含煤盆地

克拉通内拗陷型含煤盆地是中国最古老的、分布面积最大的含煤盆地。含煤沉积期间构造地质环境稳定、也比较相近,但是后期构造发展演化历史的差异导致勘探前景和形成的气田特征不同。

大华北区晚石炭世—早二叠世含煤岩系,因沉积后构造演化历史的分异,煤成气前景截然不同。西部的鄂尔多斯盆地长期保持了稳定的地质构造环境,是中国重要的含煤—含气盆地,形成了多个大型、特大型煤成气田;东部的渤海湾盆地地区新生代强烈沉降的东濮、冀中和济阳拗(凹)陷,以“二次生气”作用为主形成一批中、小型煤成气田;而南部的南华北区,后期以抬升为主,保存条件差,目前仅在倪丘集断陷发现残留的小型煤成油藏。

四川盆地晚三叠世以后,受制于周边构造带活动强度影响,川东北区、川中区及川东区构造演化历史和受力强度不同,直接影响了以龙潭煤系与海相地层为气源的大气田的特征,决定了陆相含煤成气系统不同的保存条件。

川东北区,晚三叠世以后从克拉通内拗陷型转变成成为大巴山前缘的类前陆型盆地,中侏罗统上沙溪庙组厚度超过3 000 m,遂宁组、蓬莱镇组厚达2 000 m,加速了龙潭煤系与海相地层有机质的演化历程,促进了龙潭煤系之上的长兴组、飞仙关组礁滩相碳酸盐岩储层的深埋岩溶作用,使普光等大气田的储集条件有明显改善(图8)^[19-20]。

川中区,晚三叠世以后为陆内拗陷发育阶段,基本延续了含煤岩系沉积时期的稳定构造格局,上覆沉积层厚度相对较小(上三叠统一侏罗系厚度仅为川东北地区的2/3),燕山晚期—喜马拉雅期构造运动强度较弱,形成的构造面积虽大、但幅度低,长兴组及飞仙关

组礁滩相碳酸盐岩深埋溶蚀作用强度较弱,磨溪气田储集条件和储量丰度明显差于普光气田^[20]。陆相含煤成气系统也因构造幅度小、成岩作用经历复杂,致使形成的大型气田均以致密储层为主,储量丰度较低。

川东区,三叠纪以后开江—泸州古隆起仍继续存在,但燕山晚期—喜马拉雅期的四川运动强度较大,形成以隔挡式箱状褶皱为主的高陡构造带,只在侧翼及向斜中的低背斜、潜伏背斜以及高陡构造上的部分高点,保存了由龙潭煤系与其他海相地层共源的气田(例如卧龙河气田嘉陵江组五段气藏)。在高陡构造上,三叠系及其以上地层多已暴露,陆相含煤成气系统被严重破坏,大量散失。

2.9.2 类前陆型含煤盆地

类前陆型含煤盆地发现的大型煤成气田数量及储量,仅次于克拉通内拗陷型含煤盆地,是重要的煤成气聚集类型。因为发展演化历史的不同,气田的运聚成藏特点不同。

库车拗陷类前陆盆地主要发育于新近纪,早、中侏罗世含煤岩系在新近纪才被迅速深埋,有机质快速演化至高成熟—过成熟阶段,在近5 Ma以来(甚至可能在2 Ma以来)快速充注成藏^[21],形成多个大型煤成气田。

川西拗陷类前陆盆地发育时期长,从晚三叠世须家河中期延续至早白垩世,晚三叠世含煤岩系厚度由东向西,向龙门山前缘急骤增厚(从1 200 m增至4 000 m以上),有机质演化高峰期在西侧(龙门山前缘)为晚三叠世末期,东部(拗陷本部)为侏罗纪晚期,加之经历了多期构造运动,区内气田经历了早期(晚三叠世—早白垩世)运聚和燕山晚期(晚白垩世)—喜马拉雅早期(古近纪)—四川运动的多期改造和晚期定型^[22]。

准噶尔盆地东北缘经历了喷发(早石炭世—晚石炭世早期)—裂陷(晚石炭世—晚二叠世)—热沉降

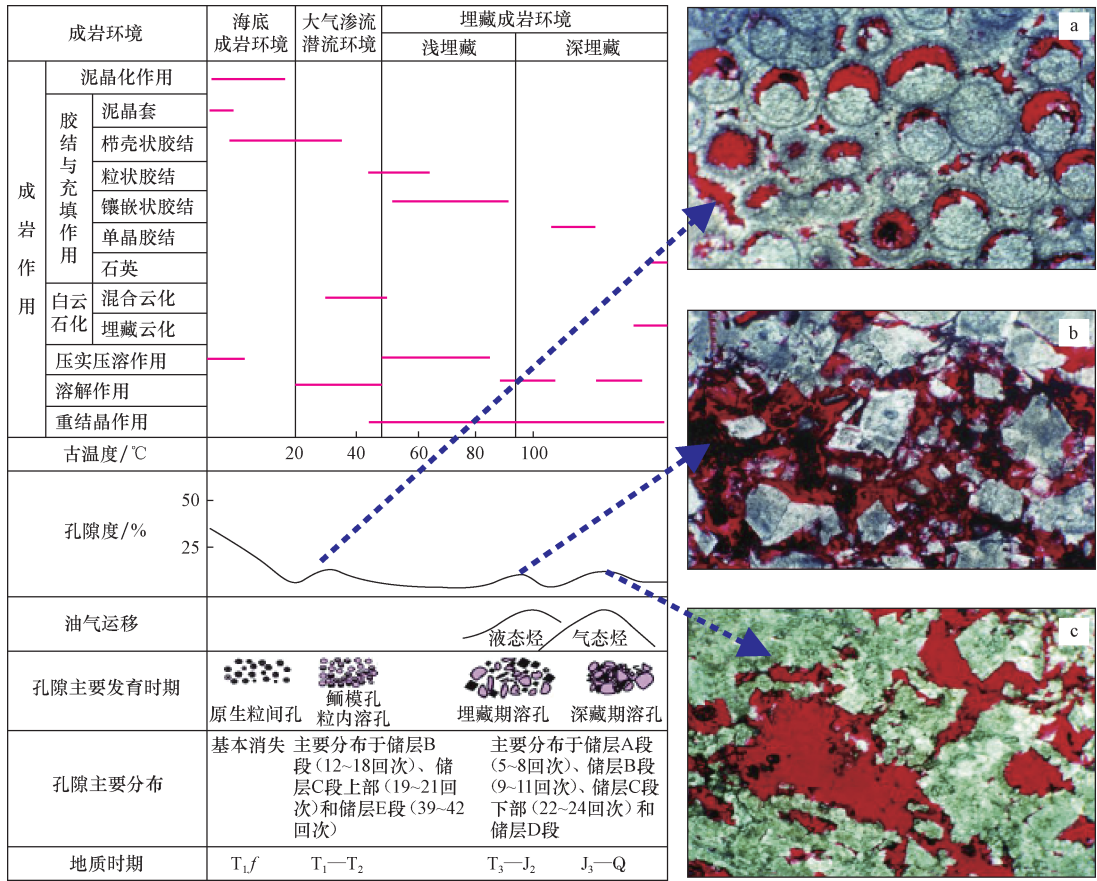


图 8 普光气田飞仙关组储层孔隙演化史^[18]

Fig. 8 Evoluion of pores in reservoirs of the Feixianguan Formation, Puguang gas field^[18]

(Mz?)—前陆沉降(古近纪—第四纪)演化阶段,克拉美丽煤成气田也具有早期(侏罗纪—白垩纪)成藏和晚期(喜马拉雅期)改造、定型的特点^[23]。

2.9.3 陆缘断陷型与陆内裂(断)陷型含煤盆地

陆缘断陷型与陆内裂(断)陷型含煤盆地虽都具有早期为断陷、晚期为拗陷的双层结构,煤成气源岩主要发育于早期的断陷或断—拗转换阶段,有机质生烃高峰期及主成藏期以拗陷期演化阶段为主,但是成藏历程也因为后期的构造—沉降历史及地温场演化历史的不同而具有不同特点。琼东南盆地崖13-1气田因为新近纪—第四纪剧烈沉降,在超晚期(新近纪晚期—第四纪)快速成藏。东海陆架盆地平湖油气田因为平湖组含煤岩系沉积后的高地温场而快速生烃,其主成藏期相对较早,为新近纪早期(中新世龙井运动)。

2.9.4 陆内拗陷型含煤盆地

川中区中生代与柴达木盆地三湖区均属陆内拗陷型含煤盆地,但演化历史不同,储量丰度截然不同。柴达木盆地生物气田形成于第四纪,虽封盖能力远差于川中区,但现今仍处于持续大量供气阶段,储量丰度明显高于川中区。

2.10 具多期成藏特征,形成4种成藏模式

2.10.1 3个主要成藏期

中国与煤成气相关气田的主成藏期可归纳为中生代、古近纪和新近纪—第四纪3个主要时期(表9)。

主成藏期为中生代的气田,主要分布在鄂尔多斯盆地、四川盆地及松辽盆地深部;主成藏期为古近纪的气田,主要分布在准噶尔盆地和吐哈盆地;主成藏期为新近纪—第四纪的气田,主要分布在库车拗陷、塔西南拗陷类前陆型含煤盆地以及海域陆缘断陷型含煤盆地。

主成藏期为中生代的气田,地质条件比较复杂,成藏历程有一期、两期和多期之分。鄂尔多斯盆地、松辽盆地深部以一期成藏为主。四川盆地由上二叠统煤系与海相地层共源的气田经历了两期成藏历程。第一期(晚三叠世—侏罗纪)以油为主,主要聚集在古隆起区,但尚未成藏;第二期(晚白垩世—新生代)形成现今气藏,经过(白垩纪)深埋藏,原油裂解为气,晚白垩世—新生代的四川运动形成了众多背斜构造,形成的裂解气向背斜构造运聚成藏^[24]。川西新场气田因为侏罗纪—新生代经历了多次构造运动,使深部煤成气沿构造裂缝多次向上运聚,有更多期的成藏历程,众多

表 9 中国含煤盆地(拗陷)主要气源岩及主要成藏期统计

Table 9 Statistics of major gas source rocks and reservoiring periods in coal-bearing basins(depressions) in China

盆地(拗陷)		晚古生代			中生代						古近纪			新近纪—第四纪			
		C ₂	P ₁₋₂	P ₃	T ₁₋₂	T ₃	J ₁	J ₂	J ₃	K ₁	K ₂	E ₁	E ₂	E ₃	N ₁	N ₂	Q
鄂尔多斯		●	●		➔	➔	➔	➔	➔	++	++						
四川	川西区					●	➔	➔	+	++	++	+	+				
	川中区					●		➔	+	++		+	+				
	川东北区		●	●		➔	➔	➔	++	++		+	+				
塔里木	库车拗陷						●	●				➔	➔	➔	➔	++	++
	塔西南断陷						●	●					➔	➔	➔	++	++
准噶尔	东北缘	●					➔	➔	➔	➔	++	++	+				
	南缘						●	●		➔	➔	++	+				
柴达木	三湖区															●	● ⁺⁺⁺
松辽	长岭断陷									●	➔	++					
东海	西湖凹陷												●	●	➔ ⁺	+	
珠江口	白云凹陷												●			➔	++
琼东南													●			➔ ⁺	++
莺歌海													●		●	➔	++

注:●主要源岩时代;++为主成藏期;➔为生烃成藏持续时间。

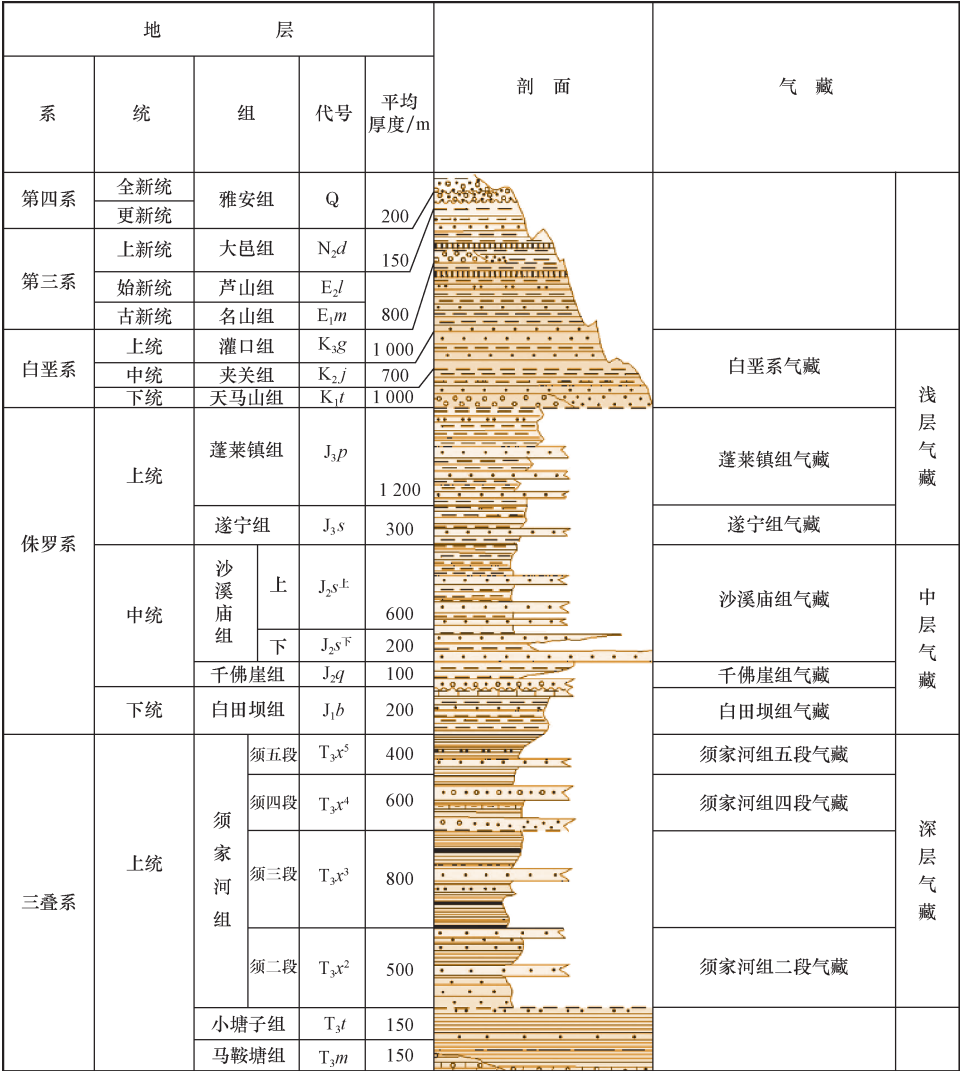


图 9 新场气田气藏纵向分布

Fig. 9 Vertical distribution of gas reservoirs in Xingchang gas field, Sichuan Basin

气藏纵向跨度很大(图9)^[21]。这些具有两期和多期成藏历程的气田都属于早聚、晚藏[即早期(中生代)聚集和晚期(新生代)定型成藏]^[21-22]。

主成藏期为古近纪和新近纪—第四纪的气田,虽然也有多期充注^[25],但充注过程基本连续,不存在明显间断,或间断时间很短,与中生代气田的多期成藏特征完全不同。

2.10.2 4种成藏模式

与其他成因类型天然气一样,现今的煤成气田(藏)都经历了复杂的聚集与保存过程,可归结为4种成藏模式,分布在不同盆地(区带)。

1) 超晚期(新近纪上新世—第四纪全新世)生聚型

这种成藏模式的主要特点是:从生烃至成藏是在新近纪—第四纪很短时间内快速完成,现今仍处于聚集量远大于散失量,与晚近时期(新近纪晚期—全新世)以来喜马拉雅构造运动的发展演化密切相关,主要形成两类不同成因的气藏:其一,为近期急速增温、快速热降解作用形成的气藏,主要分布在莺—琼含煤盆地以及西部的库车坳陷等喜马拉雅晚期(新近纪以来)构造运动活跃的类前陆型含煤盆地;其二,为生物化学作用形成的气藏,主要分布在柴达木盆地三湖区陆内坳陷。

2) 晚生晚聚(新生代)型

这种成藏模式的主要特点是:生烃成藏于新生代,具有成藏期晚、成藏期较短和成藏速度较快的特点。它与超晚期(新近纪上新世—第四纪全新世)生烃成藏型一样都受制于喜马拉雅构造运动的影响;不同点是与喜马拉雅早、中期(古近纪—新近纪中新世)构造运动发展演化特点相关,主要成藏期为喜马拉雅早、中期(古近纪—新近纪中新世),其生烃成藏速度相对稍慢、持续时间相对较长。有3类构造发展历史不同的含煤盆地属于此类气田:其一,为海域含气区的陆缘断陷型含煤盆地,因快速升温形成的气藏,如东海陆架盆地西湖凹陷的煤成气田;其二,为西部的部分类前陆型含煤盆地,在古近纪—新近纪急剧沉降、升温形成的气田,如准噶尔盆地南缘及吐哈盆地的煤成气(油)田;其三,为东部以古生代含煤岩系“二次生烃”形成的气藏,如文留、朱家墩煤成气田。

3) 早(中生代)生聚、晚(新生代)定型

这种成藏模式的主要特点是:含煤岩系源岩时代较老(晚古生代、中生代),生烃时间较早(中生代为主),但气藏最后定型的时间很晚(主要在古近纪—新近纪),天然气从生烃至成藏、定型,经历了比较长的地质时期,地质经历相对比较复杂。此类气藏主要分布在四川盆地、松辽盆地深部及准噶尔盆地北缘等含煤

盆地,以四川盆地分布最广。

4) 早生早聚(中生代晚期)型

这种成藏模式的主要特点是:分布在地质环境极其稳定的盆地(地区),主要生烃成藏过程在中生代基本完成,其后的构造运动对基本格局没有改变,目前已处于聚集量小于散失量的气藏晚期演化阶段。鄂尔多斯盆地的苏里格、靖边、大牛地等气田以及四川盆地川中区的安岳、合川等气田是这类气藏的实例。

4种成藏模式都发现了大型煤成气田,但特点不同。超晚期生聚型及晚生晚聚型最有利于形成储量丰度较高的大型气田;早生早聚型气田的储量最大,但储量丰度偏低。

3 启示

3.1 与油型气田的差异

与煤成气相关大型、特大型气田的成藏历程与油型气田有许多共性,但有其特点^[26]。

1) 沉积环境的差异:含煤岩系主要发育于盆地发展早期及晚期,当处于沉积与沉降速率基本保持平衡、“相对稳定”的地质构造环境,又具有潮湿气候、盆地地势比较平坦的自然地理条件,最有利于含煤岩系沉积,形成优质含煤岩系,为含煤盆地转化成为含气(油)盆地提供丰富的物质基础。因为此时构造地质环境并不稳定,物源相对丰富,岩石组成比较复杂,夹有多层砂岩,一些盆地还有岩浆活动,为形成含煤岩系内储—盖组合创造了有利条件,成为一些盆地大煤成气田特有的“三明治”式生—储—盖组合。

2) 对沉积后构造地质环境要求的差异:因为含煤岩系有机质以生气为主,是“全天候”气源岩,煤成气以甲烷为主,煤成气组成较油型气更单一,更易运移,扩散能力更强,对储聚及输导条件要求较低,可以储聚在超致密储集层中形成大型、特大型煤成气田(藏),但对保存条件要求更高,形成大型和特大型气田所需要聚集的气量比油型气藏更大,晚期、超晚期成藏、定型的成藏特点更为突出。

琼东南盆地崖13-1构造,地史上所聚集的气量为现今气田储量的3.3倍^[11]。鄂尔多斯盆地刘家庄气田,曾经是一个储量近 $500 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的大型气田,因无气源供应和保存条件差,现今气田探明储量仅 $1.9 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^[22]。松辽盆地昌德气田仅扩散损失的气量就高达 $205.47 \times 10^8 \text{ m}^3$,是现今气田储量的1.8倍以上^[27]。以上说明了含煤岩系沉积后构造地质环境的演化特点对气藏能否被保存十分重要。气田形成与运聚成藏、保存的时间越长,形成大型和特大型气田所需要聚集的气量越大。生气高峰期及成藏期越晚、越

快,充注能力越强、越高效,越有利于含煤盆地转化为含气(油)盆地,越有利于形成与煤成气相关的大型气田^[9,26-28],从而使晚期、超晚期成藏、定型有利于形成大型和特大型气田的特点较油型气藏更为突出。

3.2 勘探开发尚有难度

与煤成气相关大型、特大型气田中由于致密储层和岩性圈闭比例大,增加了勘探开发难度。虽然煤成气源丰富,但是致密储层及岩性圈闭在特大型气田中所占比例较大,储量丰度总体偏低,储量与储量丰度间不完全成正比,再加上盆地间及盆地内气田储量丰度变化大等事实,致使与含煤岩系相关大型气田技术可采储量和经济可采储量总体较低。据统计,全国与煤成气相关大型气田的技术可采储量/地质储量之比仅为45%;4个特大型气田的技术可采储量/地质储量和经济可采储量/地质储量之比,只有普光气田较高,分别为70%和63%,大牛地气田仅有48%和26%;40个与煤成气相关的大型气田中,只有14个技术可采储量/地质储量之比大于60%,经济可采储量/地质储量之比大于60%的气田更少,还有极少数气田的经济可采储量/地质储量之比小于25%,说明了与煤成气相关大型、特大型气田的勘探与开发还有较多难点有待攻克。

3.3 气田分布特征

虽然目前所发现的特大型气田很少,仅分布在鄂尔多斯盆地和四川盆地,但是库车坳陷的克拉2气田和四川盆地新场、合川、元坝等气田的储量已达 $2\,000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 以上,特别是克拉2气田可采储量高达 $2\,188 \times 10^8 \text{ m}^3$,采储比高达77%,为全国之冠。相信不久的将来,中国一定会发现更多与含煤岩系相关的特大型气田(表3)。

为确保21世纪中国天然气储、产量继续保持快速增长,不仅要继续坚持在大、中型含煤盆地中以找寻大型、特大型煤成气田为主的主导思想,还要进一步开展对致密储层改造工艺的攻关研究,找寻“甜点”,提高产能和经济效率。

总结大型、特大型煤成气田的分布特征,以类前陆型、克拉通内坳陷型及陆缘断陷型含煤-含气(油)盆地勘探前景最好。最有利于形成高效大型气田的领域是:具有高充注条件、具有晚期、超晚期成藏条件和保存条件的富煤成气凹陷及其周缘的古隆起及斜坡区,发育“三明治式”结构的含煤岩系,异常高压封盖层及膏盐层之下的不整合、断裂、火山机构和碳酸盐岩礁滩体,以及新生代以来强烈沉陷区的含煤岩系。

现今取得重大进展的鄂尔多斯盆地,四川盆地中部、西部和东北部,塔里木盆地北部(库车坳陷),东海

盆地西湖凹陷,莺琼盆地,柴达木盆地北部和三湖区,准噶尔盆地北部及南部,松辽盆地深部及南海北部深水区等含煤盆地(凹陷),均具有上述有利的地质条件,仍然是勘探发现与煤成气相关大气田最有希望的地区^[6,29-30]。

参 考 文 献

- [1] 戴金星,黄士鹏,刘岩,等. 中国天然气勘探开发60年的重大进展[J]. 石油与天然气地质,2010,31(6):689-698.
Dai Jinxin, Huang Shipeng, Liu Yan, et al. Significant advancement in natural gas exploration and development in China during the past sixty years[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(6): 689-698.
- [2] 冯福凯,吴乃苓. 中国含煤-含气(油)盆地分析[C]//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). 北京:地质出版社,1988:1-15.
Feng Fukai, Wu Nailing. Dissection of coal- to gas-(oil)-bearing basins in China[C]//Selected papers on petroleum and natural gas geology, humic type gas study in China, Volume 1. Beijing: Geological Publishing House, 1988: 1-15.
- [3] 王庭斌. 中国含煤-含气(油)盆地的地质条件[J]. 中国科学(D辑:地球科学),2004,34(2):117-124.
Wang Tingbin. Geological conditions of coal and gas(oil)-bearing basins in China[J]. Science in China(Series D: Earth Science), 2004, 34(2): 117-124.
- [4] 戴金星,宋岩,张厚福,等. 中国天然气的聚集区带[M]. 北京:科学出版社,1997:17-83,144-170.
Dai Jinxin, Song Yan, Zhang Houfu, et al. Natural gas accumulation belts and zones in China[M]. Beijing: Science Press, 1997: 17-83, 144-170.
- [5] 戴金星,秦胜飞,夏新宇. 中国西部煤成气资源及大气田[J]. 矿物岩石地球化学通报,2002,21(1):12-21.
Dai Jinxin, Qin Shengfei, Xia Xinyu. Coal-formed natural gas resource and large gas fields in the west part of China[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2002, 21(1): 12-21.
- [6] 戴金星. 中国煤成气潜在区[J]. 石油勘探与开发,2007,34(6):641-645.
Dai Jinxin. Potential areas for coal-formed gas exploration in China[J]. Petroleum exploration and development, 2007, 34(6): 641-645.
- [7] 王飞宇,杜治利,张水昌,等. 塔里木盆地库车坳陷烃源灶特征和天然气成藏过程[J]. 新疆石油地质,2009,30(4):431-439.
Wang Feiyu, Du Zhili, Zhang Shuichang, et al. Source kitchen and natural gas accumulation in Kuqa depression, Tarim Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2009, 30(4): 431-439.
- [8] 戴金星. 中国煤成气研究30年来勘探的重大进展[J]. 石油勘探与开发,2009,36(3):264-271.
Dai Jinxin. Major developments of coal-formed gas exploration in the last 30 years in China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2009, 36(3): 264-271.
- [9] 王庭斌. 中国气藏主要形成、定型于新近纪以来的构造运动[J]. 石油与天然气地质,2004,25(2):126-132.
Wang Tingbin. Gas pools in China have mainly been formed and finalized during tectonic movements since Neogene[J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(2): 126-132.
- [10] 王庭斌. 中国气田的成藏特征分析[J]. 石油与天然气地质,2003,24(2):103-110.
Wang Tingbin. Reservoir characteristics analysis of gas fields in China[J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(2): 103-110.
- [11] 郝石生. 石油天然气学术论文选集[M]. 北京:石油工业出版社,

- 2002;21-26,32-40.
- Hao Shisheng. Academic papers anthology on petroleum and natural gas[M]. Beijing:Petroleum Industry Press,2002;21-26,32-40.
- [12] 赵文智,汪泽成,朱怡翔,等.鄂尔多斯盆地苏里格气田低效气藏的形成机理[J].石油学报,2005,26(5):5-9.
- Zhao Wenzhi, Wang Zecheng, Zhu Yixiang, et al. Forming mechanism of low-efficiency gas reservoir in Sulige gas field of Ordos Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2005, 26(5): 5-9.
- [13] 赵文智,王红军,徐春春,等.川中地区须家河组天然气藏大范围成藏机理与富集条件[J].石油勘探与开发,2010,37(2):146-157.
- Zhao Wenzhi, Wang Hongjun, Xu Chunhui, et al. Reservoir-forming mechanism and enrichment conditions of the extensive Xujiahe Formation gas reservoirs, central Sichuan Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2010, 37(2): 146-157.
- [14] 卞从胜,王红军,汪泽成,等.四川盆地川中地区须家河组天然气大面积成藏的主控因素[J].石油与天然气地质,2009,30(5):548-557.
- Bian Congsheng, Wang Hongjun, Wang Zecheng, et al. Controlling factors formative accumulation of natural gas in the Xujiahe Formation in central Sichuan Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(5): 548-557.
- [15] 郝国丽,柳广弟,谢增业,等.川中地区须家河组致密砂岩气藏气水分布模式及影响因素分析[J].天然气地球科学,2010,21(3):427-433.
- Hao Guoli, Liu Guangdi, Xie Zengye, et al. Gas-water distributed pattern in Xujiahe Formation tight gas sandstone reservoir and influential factor in central Sichuan Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2010, 21(3): 427-433.
- [16] 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):90-96.
- Jia Chengzao, Zhou Xinyuan, Wang Zhaoming, et al. Petroleum geological features of Kela-2 gas field[J]. Chinese Science Bulletin, 2002, 47(S1): 90-96.
- [17] 陈晓林,于炳松,刘忠宝,等.库车前陆盆地克拉2气田白垩纪基准面旋回与储层物性的关系[J].新疆地质,2006,24(2):176-181.
- Chen Xiaolin, Yu Bingsong, Liu Zhongbao, et al. The relationship between base-level cycles and physical properties of Cretaceous reservoirs in Kela-2 gas field, Kuiche Foreland basin[J]. Xinjiang Geology, 2006, 24(2): 176-181.
- [18] 马永生,蔡勋育,郭旭升,等.普光大气田的发现[J].中国工程科学,2010,12(10):14-23.
- Ma Yongsheng, Cai Xunyu, Guo Xusheng, et al. The discovery of Puguang gas field[J]. Chinese Engineering Science, 2010, 12(10): 14-23.
- [19] 马永生,傅强,郭彤楼,等.川东北地区普光气田长兴-飞仙关气藏成藏模式与成藏过程[J].石油实验地质,2005,27(5):455-461.
- Ma Yongsheng, Fu Qiang, Guo Tonglou, et al. Pool forming pattern and process of the Upper Permian-Lower Triassic, the Puguang gas field, northeast Sichuan Basin, China[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2005, 27(5): 455-461.
- [20] 朱光有,张水昌,梁英波,等. TSR & H₂S 对深部碳酸盐岩储层的溶蚀改造作用——四川盆地深部碳酸盐岩优质储层形成的重要方式[J].岩石学报,2006,22(8):2182-2194.
- Zhu Guangyou, Zhang Shiuchang, Liang Yingbo, et al. Dissolution and alteration of the deep carbonate reservoirs by TSR: an important type of deep-buried high-quality carbonate reservoirs in Sichuan Basin[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(8): 2182-2194.
- [21] 赵文智,王红军,单家增,等.库车坳陷天然气高效成藏过程分析[J].石油与天然气地质,2005,26(6):703-710.
- Zhao Wenzhi, Wang Hongjun, Shan Jiazeng, et al. Analysis of highly efficient gas reservoiring process in Kuqa depression[J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(6): 703-710.
- [22] 王金琪.早聚晚藏——川西坳陷天然气基本特征[J].天然气工业,2001,21(1):5-12.
- Wang Jinqi. Early accumulation and late seal—the basic character of gas reservoirs in west Sichuan Depression[J]. Natural Gas Industry, 2001, 21(1): 5-12.
- [23] 冯福凯,王庭斌,张士亚,等.中国天然气地质[M].北京:地质出版社,1995:24-290.
- Feng Fukai, Wang Tingbin, Zhang Shiya, et al. Natural gas geology in China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1995: 24-290.
- [24] 杨克明.川西坳陷须家河组天然气成藏模式探讨[J].石油与天然气地质,2006,27(6):786-793.
- Yang Keming. Gas reservoiring mode in Xujiahe Formation of western Sichuan depression[J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(6): 786-793.
- [25] 赵靖舟,戴金星.库车前陆逆冲带天然气成藏期与成藏史[J].石油学报,2002,23(2):6-10.
- Zhao Jingzhou, Dai Jinxing. Timing and filling history of natural gas reservoirs in Kuqa forland thrust belts, Tarim Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2002, 23(2): 6-10.
- [26] 王庭斌.天然气与石油成藏条件差异及中国气田成藏模式[J].天然气地球科学,2003,14(2):79-86.
- Wang Tingbin. Differences in reservoiring conditions of oil and natural gas and reservoiring models of gas fields in China[J]. Natural Gas Geoscience, 2003, 14(2): 79-86.
- [27] 戴金星,卫延召,赵靖舟.晚期成藏对大气田形成的重大作用[J].中国地质,2003,30(1):11-17.
- Dai Jinxin, Wei Yanzhao, Zhao Jingzhou. Important role of the formation of gas accumulations in the late stage in the formation of large gas fields[J]. Geology in China, 2003, 30(1): 11-17.
- [28] 龚再升.中国近海含油气盆地新构造运动和油气成藏[J].石油与天然气地质,2004,25(2):133-139.
- Gong Zaisheng. Neotectonics and petroleum accumulation in offshore Chinese basins[J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(2): 133-139.
- [29] 戴金星,钟宁宁,刘德汉,等.中国煤成大型气田地质基础和主控因素[M].北京:石油工业出版社,2000:165-223.
- Dai Jinxin, Zhong Ningning, Liu Dehan, et al. Geologic basis and major controlling factors of large-middle coal-formed gas fields in China[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2000: 165-223.
- [30] 国土资源部油气战略研究中心.新一轮油气资源评价[M].北京:地质出版社,2010:1-3.
- Center for Petroleum Strategic Studies, Ministry of Land and Resources. New round oil and gas resource evaluation[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2010: 1-3.

(编辑 李 军)