

# 中国重点含气盆地 气源特征与资源丰度

主编 李 剑

中国矿业大学出版社

# 中国重点含气盆地 气源特征与资源丰度

主 编 李 剑  
副主编 谢增业 李志生 罗 霞 张 英  
编委会 李 剑 谢增业 李志生 罗 霞  
张 英 蒋助生 伍大茂 单秀琴  
张建博 王红岩 胡国艺 葛守国

中国矿业大学出版社

## 内 容 提 要

本书是在石油勘探开发科学研究院廊坊分院所承担的“九五”国家重点科技攻关项目成果报告的基础上编写而成的。书中阐述了我国已发现天然气资源的分布、天然气成因类型及地球化学特征;从气源岩分布、有机地球化学及有机岩石学特征等方面对气源岩进行了综合评价,并探讨了定量评价有效气源岩的新方法;采用传统的与新开发的气源岩直接对比新技术进行天然气与源岩的追踪对比;分析了主要气源岩的生气潜力,最后总结了天然气田的分布与气源岩生气强度、资源丰度的关系。

本书内容丰富,资料翔实,对研究我国大中型气田分布规律有重要的实用价值,可供从事石油天然气地质研究的科研人员以及高等院校相关专业的师生参考。

责任编辑 宋党育

### 图书在版编目(CIP)数据

中国重点含气盆地气源特征与资源丰度/李剑主编.  
—徐州:中国矿业大学出版社,2000.4

ISBN 7-81070-146-0

I.中… II.李… III.①含油气盆地-天然气资源  
特征-中国 ②含油气盆地-天然气资源-丰度-中国  
IV.P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 11297 号

中国矿业大学出版社出版发行

(江苏徐州 邮政编码 221008)

出版人 解京选

徐州新华印刷厂印刷 新华书店经销

开本 787×1092 1/16 印张 9.5 字数 230 千字

2000年4月第1版 2000年4月第1次印刷

印数 1~1000册 定价 28.00元

# 前 言

国内外天然气勘探实践证明,气源岩是盆地含气的先决条件;气源岩的质量、有机质丰度、发育规模及其演化程度,决定盆地生气量的大小;而高丰度的资源及其在盆地内的分布状况,则是大中型气田及其资源分布的宏观控制因素。因此,笔者对我国八个重点含气盆地的重要气源岩层系进行了系统研究,并在全国第二轮资源评价成果的基础上,进一步研究了天然气资源丰度的时空分布状况,为研究大中型气田分布规律奠定了基础。

研究成果可归纳为以下几部分:

(1) 系统归纳了我国重点含气盆地中天然气的成因类型,将天然气划分为有机成因气、无机成因气和混合天然气三大类型,将有机成因气分为海相气、陆相气、混合气共三类十二小类,无机成因气又分为富含氮气的无机气和富含二氧化碳的无机气。

(2) 从时间和空间两个角度对我国重点含气盆地天然气的分布进行综合归纳,认为我国天然气藏时代跨度很大,从第四系至震旦系,除志留泥盆系地层中未发现天然气外,其他各个层系中均不同程度地富含天然气,海相成因天然气主要分布在侏罗系以下地层,陆相成因天然气主要富集在石炭—二叠系及以上地层。我国东部含气盆地的天然气主要富集在上、下第三系和白垩系中,中西部含气盆地的天然气主要富集在侏罗系、三叠系及古生界地层,第四系是柴达木盆地东部地区的主要产气层系。

(3) 首次开发了具有国际领先水平的岩石热模拟轻烃同位素检测技术,开创了气/源岩直接对比的新途径,并利用此项新技术,结合天然气  $C_1 \sim C_4$  同位素、天然气轻烃、天然气轻烃同位素等先进技术,对塔里木盆地、鄂尔多斯盆地及渤海湾深层等多源天然气进行了气源对比。第一次将塔里木盆地下古生界天然气对比到具体的源岩层段。

(4) 建立了一套全岩热模拟气源岩评价的新方法,提出了有效气源岩的概念,建立了有效气源岩的评价标准。认为有效气源岩是指在适当的热演化条件下能生成足够的气体烃类,不仅使岩石的孔隙和表面饱和,而且能排出气体烃类使之形成气藏的沉积岩。有效气源岩的评价标准为:产气率 = 20 L/t 岩石作

为灰岩有效气源岩的下限值,产气率 = 100 L/t 岩石作为泥岩有效气源岩的下限值。

(5) 气源岩是天然气资源评价的基础,气源岩品质的优劣与选定天然气勘探方向有直接关系。研究中对我国八个重点含气盆地的主要烃源岩,从分布特征、地球化学特征及有机岩石学特征等方面进行了综合评价,并探讨了作为气源岩有机质丰度主控因素的沉积环境对气源岩的影响。

(6) 从大中型气田的分布与气源岩生气强度的关系探讨了大中型气田的气源丰度,认为大中型气田一般均位于生气强度大于  $20 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$  的范围内,并主要分布于生气凹陷中心及其周缘地区,生气凹陷的单位面积生气量及单位体积生气量分别大于  $20 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$  和  $20 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^3$ ,对于规模较大的气田则主要分布在凹陷面积丰度大于  $40 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$  和体积丰度大于  $60 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^3$  的区域内。

(7) 通过研究大中型气田的资源丰度,发现充足的天然气资源是形成大中型气田的先决条件,大中型气田的资源丰度一般大于  $0.100 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ ,而大气田则主要分布在资源丰度大于  $0.300 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$  的区域中。

在研究过程中,得到了廊坊分院甄鹏院长、马新华副院长、吴震权老总、钱凯老总和天然气所李景明所长、冯恩源教授、魏国齐主任和李东旭主任的帮助和指导;主任工程师蒋助生教授在新技术和新方法的开发和创新上起了至关重要的指导作用。在此对所有帮助、支持和指导过该课题研究的领导和专家表示由衷的感谢。

编 者

1999年6月

# 目 录

前 言	1
第一章 天然气地化特征、分布及气源对比	1
第一节 天然气资源的分布	1
一、天然气资源的地域分布	1
二、天然气资源的层系分布	3
第二节 天然气成因类型及地球化学特征	4
一、有机成因气	4
二、无机成因气	11
三、有机与无机成因混合气	13
第三节 我国部分盆地疑源天然气气源识别	15
一、方法研究	16
二、气源对比实例	17
第二章 各类气源岩的地球化学特征	35
第一节 我国主要气源岩层基本特征	35
一、震旦系及下古生界气源岩	35
二、上古生界气源岩	36
三、中生界气源岩	37
四、新生界气源岩	38
第二节 各类盆地主要气源岩地球化学特征	38
一、四川盆地	38
二、鄂尔多斯盆地	46
三、塔里木盆地	49
四、准噶尔盆地	56
五、吐哈盆地	62
六、柴达木盆地	65
七、渤海湾盆地	68
八、松辽盆地	75
第三节 气源岩有机质丰度主控因素(沉积环境)	79
一、海相沉积环境	80
二、陆相沉积环境	81

第三章 气源岩的评价标准 .....	86
第一节 气源岩评价标准的建立 .....	86
一、气源岩评价标准研究现状 .....	86
二、实验 .....	87
第二节 主要盆地气源岩评价 .....	93
一、四川盆地 .....	93
二、鄂尔多斯盆地 .....	93
三、塔里木盆地 .....	93
四、柴达木盆地 .....	94
第四章 重点含气盆地天然气资源丰度 .....	95
第一节 我国重点含气盆地气源岩生气潜力 .....	95
一、震旦系是四川盆地川西南地区的主要气源之一 .....	95
二、寒武系是塔里木、四川盆地的主力气源岩 .....	95
三、奥陶系是塔里木、鄂尔多斯盆地的主力气源岩 .....	96
四、志留系是四川盆地川东地区形成大中型气田的主力气源岩 .....	97
五、石炭—二叠系是分布面积最广、煤系发育的主要气源岩 .....	97
六、三叠系主力气源岩主要分布在四川盆地 .....	101
七、侏罗系是继石炭—二叠系后又一普遍发育的煤系气源岩 .....	102
八、白垩系是松辽盆地中浅层勘探领域的主要气源岩 .....	105
九、下第三系是渤海湾盆地的主要气源岩 .....	107
十、第四系是柴达木盆地生物成因气的气源岩 .....	111
第二节 生气中心控制着大、中型天然气田的分布 .....	113
一、大中型气田一般位于生气强度大于 $20 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 的范围内 .....	114
二、大中型气田与生气凹陷的关系 .....	118
第三节 重点含气盆地气源丰度 .....	122
一、气源岩的气源丰度 .....	123
二、生气凹陷的气源丰度 .....	125
第四节 重点含气盆地天然气资源丰度 .....	127
一、下古生界寒武—奥陶系和上古生界石炭—二叠系是天然气资源的主要富集层系;塔里木、四川和鄂尔多斯盆地是天然气资源的主要富集区 .....	127
二、气源岩发育的盆地,其天然气资源丰度就高 .....	129
第五节 待探明天然气资源潜力巨大 .....	137
一、天然气勘探现状 .....	137
二、资源潜力分析 .....	138
参考文献 .....	143

# 第一章 天然气地化特征、分布及气源对比

## 第一节 天然气资源的分布

我国重点含气盆地天然气资源极其丰富,分布领域广阔。在地域分布上几乎每个盆地都不同程度地富集天然气;在层系分布上,天然气分布时间跨度大。

### 一、天然气资源的地域分布

天然气在地域上的分布很大程度上受气源岩发育程度的控制。因此在不同的含油气区块,其天然气的富集程度存在较大的差异。前人根据天然气的地质条件和分布特征,将我国陆上天然气分布领域划分为东部、中部和西部三大含气(油)区(图 1-1)。

#### 1. 东部含气区

东部含气区以油田伴生气为主,包括松辽盆地和渤海湾盆地。这是一个以产油为主的地区,天然气以油田伴生气为主,但也发现了一批中小型气田。至 1997 年底,天然气探明储量占所研究含气盆地总探明储量的 17%。

松辽盆地是一个大型的含油盆地,除北部汪家屯、喇嘛甸气田为储量大于  $50 \times 10^8 \text{ m}^3$  的中型气田外,盆地内广泛分布着许多小型和微型气田(藏)。

渤海湾盆地目前已发现了 9 个中型气田,它们是:兴隆台、欢喜岭、双台子、黄金带、苏桥、板桥、平方王、文中、白庙、濮城气田,它们的储量占渤海湾盆地天然气总探明储量的 51%。这些气田主要分布在靠近盆地边缘的一些坳(凹)陷中。

#### 2. 中部含气区

中部含气区是我国最大的含气领域和大中型气田最主要的富集区,包括鄂尔多斯和四川两个大型盆地。天然气探明储量占 61.6%,其中大中型气田的探明储量就占八个重点盆地总探明储量的 53.6%。

四川盆地是我国最大的天然气工业基地,探明储量占研究盆地总量的 40.3%。盆地内除在川中有一些油田、油气田外,其他地区均为气田。目前已发现卧龙河、五百梯、威远、磨溪等 4 个储量大于  $300 \times 10^8 \text{ m}^3$  的大气田,同时还有沙坪场、渡口河、平落坝、中坝、龙门等 24 个储量介于  $(50 \sim 300) \times 10^8 \text{ m}^3$  的中型气田,此外还有 80 多个小型、微型气田。

鄂尔多斯盆地中部大气田是我国迄今发现的最大的气田,探明储量为  $2896.2 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。此外,还有胜利井、刘家庄、直罗等一批小型和微型气田。

#### 3. 西部含气区

西部含气区是一个既富油又富气的重要勘探领域,包括塔里木、准噶尔、吐哈、柴达木等盆地。这也是一个潜力很大的含气区。目前天然气探明储量占研究盆地总量的 21.3%,其中大中型气田储量占 18.7%。

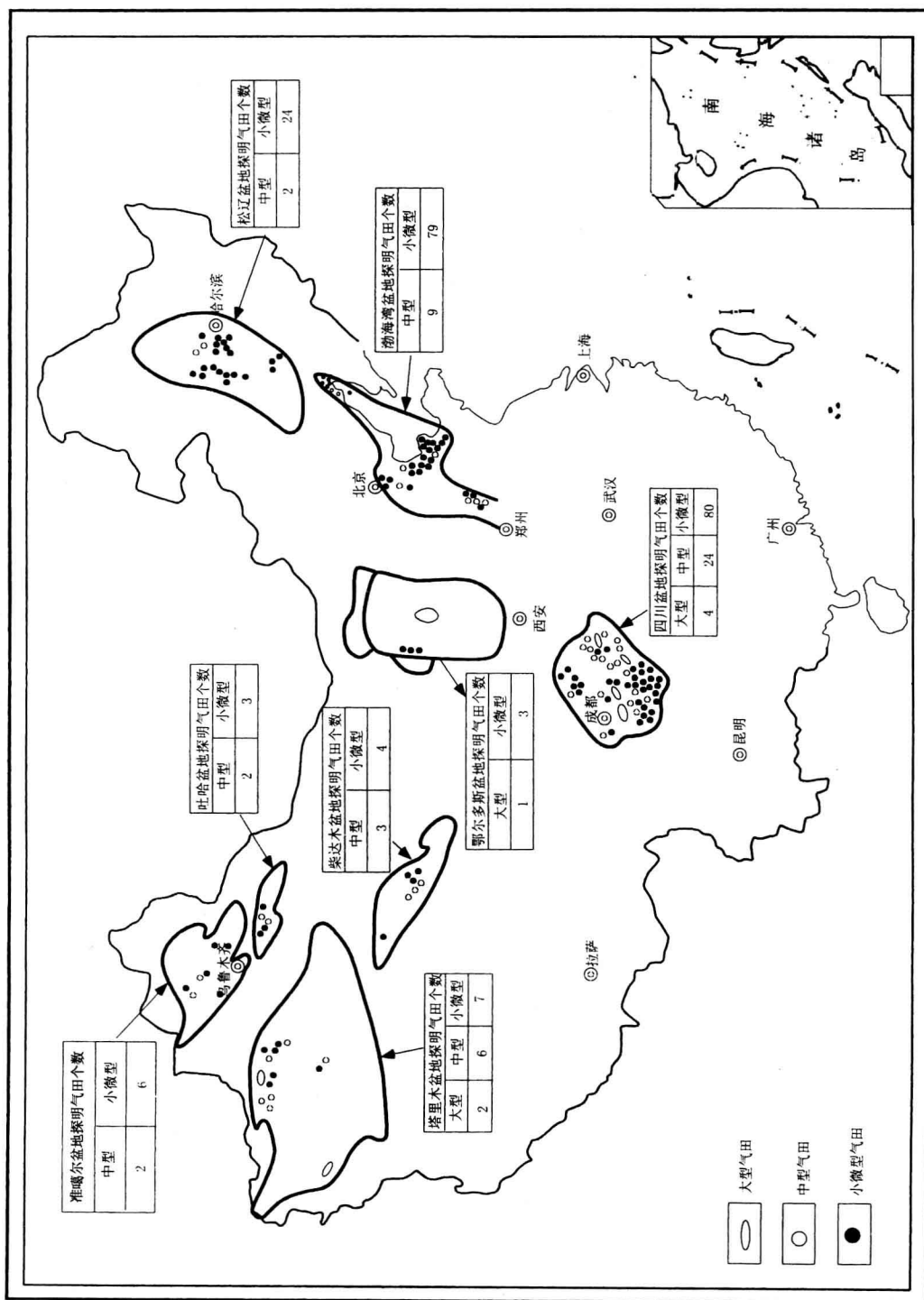


图1-1 我国重点含气盆地天然气田分布示意图

塔里木盆地是一个富油也富气的大型含油气盆地。目前已发现柯克亚、牙哈 2 个大型气田以及英买 7 号、羊塔克、吉拉克、雅克拉等 6 个中型气田。这些气田的储量占该盆地总储量的 95.3%。此外,还有吉南 4、解放渠东、提尔根等 7 个小型和微型气田。

准噶尔盆地以油田为主,气田较少。除克拉玛依和石南气田达到中型气田标准外,其他均为小、微型气田。准噶尔盆地气层气探明储量只占西部含气区总量的 9.5%。

吐哈盆地也是一个富含天然气的盆地,目前已发现 2 个(丘东、温吉桑)中型气田和 3 个(红台、丘陵、米登)小型气田,盆地总探明储量为  $266.7 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,占西部含气区总量的 9.1%。

柴达木盆地气层气资源主要分布在东部的三湖地区,有 3 个储量大于  $100 \times 10^8 \text{ m}^3$  的中型气田,它们是台南、涩北一号和涩北二号气田,此外还有 4 个(马海、盐湖、驼峰山、南翼山)微型气田。

图 1-2 表示了我国各重点盆地天然气探明储量占这些盆地总储量的比例。由此可见,四川、鄂尔多斯、渤海湾和塔里木盆地是主要的天然气富集区。

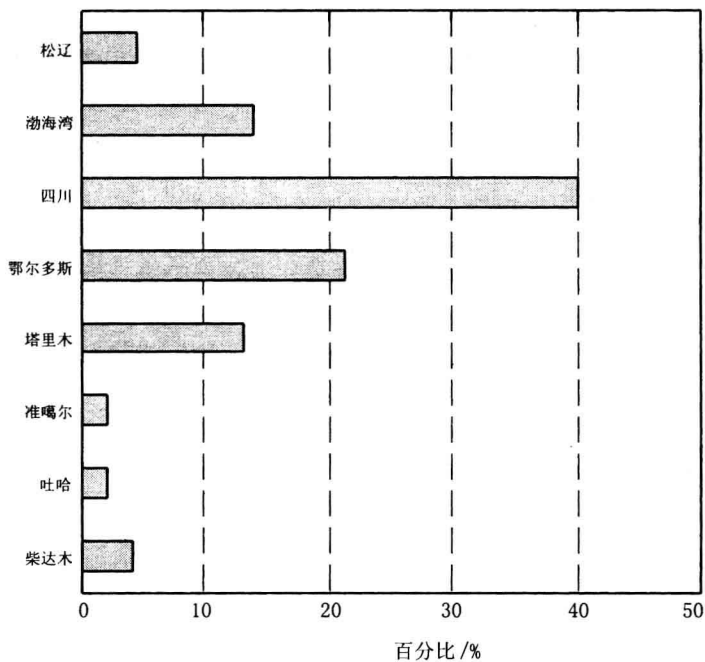


图 1-2 我国重点含气盆地天然气探明储量百分比

## 二、天然气资源的层系分布

我国重点含气盆地的天然气不仅在面上分布广泛,而且在纵向上也具有含气层系多的特点。除志留系、泥盆系外,从前震旦系到第四系的各层系中都有天然气田。

基底变质岩是松辽盆地肇州西气藏的主要产层。

震旦系是四川盆地威远大气田的主力气层。此外,在塔里木盆地雅克拉构造上的沙 4 井也在震旦系中获得工业气流。

寒武、奥陶系是塔里木盆地塔北、塔中地区的主要产气层之一。此外,在鄂尔多斯盆地奥陶系顶部的风化带也是中部气田的主要产气层。

石炭、二叠系和三叠系中下统碳酸盐岩是四川盆地大多数气田的主要产气层。石炭系、三叠系还是塔里木盆地塔中、塔北、巴楚等地区海相天然气的重要产气层。二叠系是准噶尔盆地西北缘如克拉玛依、车排子等气田的重要产气层。此外,在华北地台区石炭、二叠系煤系中还发现了一些中、小型气田,前者如苏桥气田,后者如刘家庄气田等。

三叠系上统的气田主要分布在四川盆地西部,如中坝气田等。

侏罗系的气藏主要包括塔里木盆地的沙 7、沙 4 及东河 20 等气藏,准噶尔盆地东部的马庄、三台和中部的石西等气田以及四川盆地西部一些浅层气田(藏)等。

白垩系的气田主要包括塔里木盆地塔北隆起如牙哈 2、牙哈 1、提 1 等气田,松辽盆地汪家屯、红岗等气田。第三系是我国主要的含气层系之一。第三系的气田主要分布于塔里木盆地西南坳陷的柯克亚、塔北隆起的牙哈、红旗、英买 7 号、羊塔克、提尔根等气田(藏)以及渤海湾盆地的众多气田等。

第四系的气藏仅见于柴达木盆地东部的三湖地区,如台南、涩北一、涩北二号气田等。

## 第二节 天然气成因类型及地球化学特征

天然气的生成在自然界十分广泛,它以多成因类型、多气源和多阶段而区别于生油过程。按照生成天然气的原始母质可把天然气分为无机成因气和有机成因气两大类型。就有机成因气而言,首先从成气母质的沉积环境入手,可将天然气划分为海相和陆相两个类型,然后在各类中根据气源岩母质类型的差异进一步细分为若干小类。由于不同类型的原始有机质在成烃演化各阶段不仅可以生成不同成熟度的天然气,而且天然气形成后由于各组分分子直径小,它的运移能力比石油大得多,极易遭受次生变化。这种次生变化可使原生天然气地球化学特征面貌全非,因此,只有在全面考虑天然气形成过程中诸因素的基础上,才能更客观地划分天然气的成因类型,进而研究每一种成因类型天然气的演化程度,为探讨天然气形成条件、分布规律以及资源评价等提供依据。兹将我国重点含气盆地中的天然气成因类型进行归纳(图 1-3),并对各类天然气进行简要叙述。

### 一、有机成因气

有机成因气主要是指沉积岩中不同类型有机质在各演化阶段形成的天然气。在不同的沉积环境中形成的气源岩有很大差别。在海相环境中主要形成以碳酸盐岩为主要类型的腐泥型气源岩;在陆相沉积中,由于沉积环境变化大,因而形成了多种类型的气源岩,如主要在淡水湖相中形成的以无定形和藻类为主要生源的油型气源岩、主要在沼泽化湖相或盐湖相中形成的以陆生草本植物为主要生源的偏腐殖型气源岩和主要在沼泽相或滨海沼泽相中以陆生高等植物为主要生源的腐殖型气源岩等。因此,产气母质类型的多变性也就决定了天然气成因类型的多样化。

#### (一)海相成因天然气

海相成因天然气是指在海相沉积环境条件下形成的气源岩在成烃演化过程中形成的天然气。这类天然气主要分布在塔里木盆地的塔中隆起(O、C)、塔北隆起(O、C、T、J);四川盆

地的川东、川南、川西南地区的中三叠统及以下层位以及鄂尔多斯盆地部分奥陶系储层中。

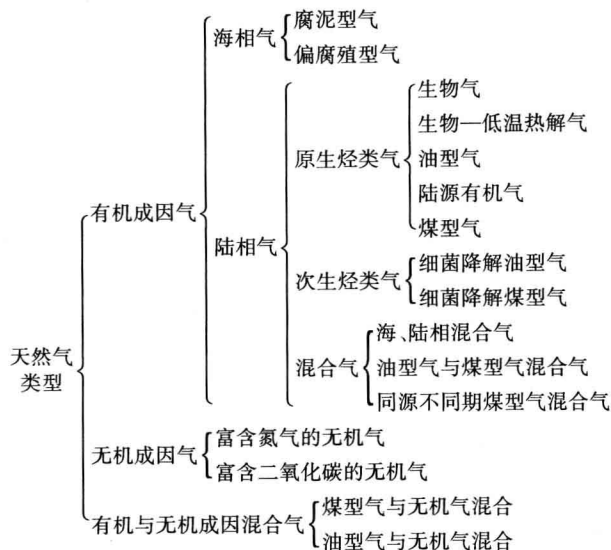


图 1-3 我国重点含气盆地天然气类型图

### 1. 海相腐泥型气

海相腐泥型气主要是指由腐泥型(I—II<sub>1</sub>)成气母质形成的天然气。由于不同地区天然气源岩的热演化程度有所不同,因而天然气的地球化学特征呈现出一定的差异。塔里木盆地的塔中(C、O)、东河塘地区(C)的天然气,其碳、氢同位素值在海相腐泥型气中是最轻的, $\delta^{13}\text{C}_1 < -41\text{‰}$ ,  $\delta^{13}\text{C}_2 < -38\text{‰}$ ,  $\delta^{13}\text{C}_3 < -29\text{‰}$ ,  $\delta^{13}\text{C}_4 < -26\text{‰}$ ;天然气组成中,甲烷含量较低,基本上都小于80%, $\text{C}_2^+$ 含量较高,表现出典型的湿气性质;此外,在非烃气体组成中,氮气含量高也是该类气体的一大特征。总体而言,这类气体表现出成熟天然气的特点。与此形成鲜明对比的是塔里木盆地的轮南、吉拉克地区,四川盆地的川东、川南、川西南地区以及鄂尔多斯盆地的部分奥陶系储层中的天然气。其甲烷碳同位素明显变重,塔里木盆地轮南—吉拉克(O、C、T、J)天然气, $\delta^{13}\text{C}_1$ 值介于 $-38.5\text{‰} \sim -33.5\text{‰}$ 之间,四川盆地天然气的 $\delta^{13}\text{C}_1$ 值介于 $-37.43\text{‰} \sim -29.55\text{‰}$ 之间,鄂尔多斯盆地天然气的 $\delta^{13}\text{C}_1$ 为 $-33.84\text{‰} \sim -31.93\text{‰}$ ;乙烷碳同位素值的分布规律与甲烷的相似,轮南—吉拉克地区为 $-38\text{‰} \sim -33.5\text{‰}$ ,四川盆地为 $-37.36\text{‰} \sim -30.8\text{‰}$ ,鄂尔多斯为 $-31.33\text{‰} \sim -27.79\text{‰}$ ;丙烷同位素以四川盆地川东地区最重,为 $-26.29\text{‰} \sim -24.29\text{‰}$ ,塔里木盆地最轻,为 $-34\text{‰} \sim -29\text{‰}$ ;丁烷碳同位素在四川盆地与塔里木盆地相差无几(四川盆地为 $-32.64\text{‰} \sim -28.30\text{‰}$ ,塔里木盆地为 $-32.2\text{‰} \sim -28.83\text{‰}$ ),且大多数样品,尤其是四川盆地的样品,丙烷、丁烷碳同位素值明显发生了倒转,即 $\delta^{13}\text{C}_3 > \delta^{13}\text{C}_4$ 。在天然气烃类组成中,甲烷含量高,一般大于90%,重烃含量低,以含量小于5%占优势。非烃气体组成中,除川西南震旦系层位中的天然气含有较多的氮气(7.62%~8.33%)和二氧化碳(4.48%~4.88%)外,其他则含少量或微量的 $\text{N}_2$ 和 $\text{CO}_2$ 。这些特征表明了这类天然气已处于高成熟—过成熟阶段。

### 2. 海相偏腐殖型气

海相偏腐殖型气主要是指由偏腐殖型(II<sub>2</sub>)成气母质形成的天然气。这类气体主要分布在塔里木盆地。与海相腐泥型气相比,偏腐殖型气的甲烷、丙烷、丁烷同位素值与腐泥型

气相似,均表现出海相成因气具有富集轻同位素的特点,所不同的是偏腐殖型气中,具有较强稳定性和母质类型继承性的乙烷碳同位素明显比腐泥型气偏重,基本上都大于 $-38‰$ 。因此,甲、乙烷碳同位素差值明显增大( $\delta^{13}C_2 - \delta^{13}C_1 > 6‰$ )。属于这类天然气的有塔中北斜坡的TZ161(O)、TZ162(O)、TZ45(O)、TZ15(O)、TZ12(O)和TZ38(O),塔北隆起的乡3(O)、雅克拉及巴楚隆起的方1井(O)、群5井等。

## (二)陆相成因天然气

陆相成因天然气在各含气盆地中的分布相当广泛,主要集中在石炭纪、二叠纪、三叠纪、侏罗纪、白垩纪以及第三、第四纪等各时代的地层中。根据天然气形成时的原始面貌和形成后的一些次生变化,黄汝昌(1990)将陆相有机成因气进一步分为原生烃类气体和次生烃类气体。在此仍采用这种分类方案。

### 1. 原生烃类气体

根据天然气中甲烷同系物的稳定碳同位素组成、天然气化学组成以及轻烃参数的综合判别,我国重点含气盆地原生烃类气体可分为下列几种类型:生物气、生物—低温热解气、油型气、陆源有机气及煤型气。

#### (1)生物气

生物气是指在常温或低温条件下,在生物化学作用带内,有机质因微生物作用而形成的甲烷气及部分 $CO_2$ 和少量 $N_2$ 。生物气具有轻的碳氢同位素组成, $\delta^{13}C_1 < -50‰$ , $\delta D_1 < -220‰$ ;气体组分以甲烷占绝对优势,重烃气含量低, $C_1/C_{1-5} > 0.98$ 。这类气体主要分布在渤海湾盆地辽河东部凹陷、大民屯凹陷沙河街组、黄骅歧口凹陷明化镇组,柴达木盆地台南、涩北一号和涩北二号第四系,松辽盆地北部汤池—富拉尔基一带及阿拉新地区,南部红岗明一段、大安嫩四段及扶余I号泉四段;准噶尔盆地南缘石场和温泉地表气苗等。生物成因气因其埋藏浅,利于勘探开发而愈来愈引起人们的重视。

#### (2)生物—低温热解气

生物—低温热解气是在低温条件下,由于受热催化和微生物作用的综合影响而产生的一种特殊类型天然气。这类气体在渤海湾盆地有广泛的分布,主要富集在辽河东部凹陷、廊固凹陷、冀中拗陷、黄骅拗陷南大港及扣村、齐家务、沈青庄和板北、济阳、阳信等地区的沙河街组、东营组地层中,埋藏深度一般为1 100~2 500 m,气体组分以甲烷为主,含量高达95%,干燥系数( $C_1/C_{1-5}$ )大于0.95,碳、氢同位素较轻, $\delta^{13}C_1$ 为 $-55‰ \sim -45‰$ , $\delta D_1$ 为 $-263‰ \sim -204‰$ 。此外,准噶尔盆地南缘东部马庄气田天然气也属此类,其天然气组成中,甲烷含量大于90%,重烃含量为1%~7%, $C_1/C_2^+$ 为10~30。 $\delta^{13}C_1$ 为 $-47‰ \sim -45.5‰$ , $\delta D$ 为 $-241.5‰ \sim -240.7‰$ 。

这类天然气是偏腐殖型的成气母质在未成熟—低成熟阶段形成的,出现在生物气与热成因气之间的过渡带。在陆源有机质和腐殖层大量富集的区域,如果细菌活动比较强烈,往往形成生物—低温热解气藏。与生物气相似,其埋藏较浅,也是天然气勘探的新领域。

#### (3)油型气

油型气是我国大中型气田天然气的主要组成部分,它是在淡水湖相无定形—藻类相中形成的,其生气母质为以淡水浮游生物、细菌和藻类为主的腐泥—偏腐泥型(I—II<sub>1</sub>)。它主要以石油伴生气的形式为主,此外还有溶解气、气顶气和气层气。油型气碳、氢同位素较

轻,  $\delta^{13}\text{C}_2$  主要在  $-42\text{‰} \sim -29\text{‰}$  之间,  $\delta^{13}\text{C}_3$  在  $-36\text{‰} \sim -27\text{‰}$  之间,  $\delta^{13}\text{C}_4$  小于  $-26\text{‰}$ ,  $\delta^{13}\text{C}_1$  则变化范围大, 成熟度较低的样品中一般小于  $-40\text{‰}$ , 而成熟度高的样品中, 其值主要分布在  $-36\text{‰} \sim -33\text{‰}$  之间。  $\text{C}_2^+$  含量一般大于  $5\%$ , 随着热演化程度的增加而逐步降低。

这类天然气分布极其广泛, 主要分布在渤海湾盆地辽河拗陷、黄骅歧口凹陷、济阳永安镇气田、孤岛、孤东油气田; 东濮文东、濮城(沙二段)、文南、桥 14 块等; 冀中霸州、饶阳、廊固凹陷等; 松辽盆地北部泰康—他拉红、齐家—古龙、三肇、大庆长垣、前旗—双坨、南部的中央拗陷区; 准噶尔盆地西北缘夏子街、风城、克—乌断裂上盘、百口泉区、玛湖、九区、七区等; 四川盆地川中侏罗系; 柴达木盆地西缘狮子沟、南翼山第三系等。

#### (4) 陆源有机气

陆源有机气是黄汝昌(1990)在总结渤海湾盆地天然气成因类型时提出的一种成因类型。它不仅丰富了天然气成因类型, 而且从渤海湾盆地的实际情况看, 凡是在偏腐殖型气源岩发育的地区均发现了大量的凝析气藏, 因此也具有实际意义。该类型气是在沼泽化湖相或盐湖相藻类—木质草本相中形成的, 其母质的生源构成以陆生草本植物为主, 干酪根属富含壳质组和镜质组的偏腐殖型。天然气的各项地化指标介于油型气和煤成气之间。如黄骅拗陷, 在天然气成熟程度较低的板中、板北等地区, 天然气甲烷含量分布在  $78\% \sim 83\%$ ,  $\text{C}_2^+$  含量一般为  $5\% \sim 30\%$ ,  $-43\text{‰} < \delta^{13}\text{C}_1 < -40\text{‰}$ ,  $-240\text{‰} < \delta\text{D}_1 < -180\text{‰}$ ; 而在成熟度较高的板南、白水头及唐家河等地区, 其天然气甲烷含量增高, 主要分布在  $80\% \sim 95\%$ , 同位素变重,  $-40\text{‰} < \delta^{13}\text{C}_1 < -35\text{‰}$ ,  $-200\text{‰} < \delta\text{D}_1 < -170\text{‰}$ 。辽河东部凹陷也是陆源有机气的主要富集区, 其甲烷碳同位素大部分介于  $-44.7\text{‰} \sim -38\text{‰}$  之间, 氢同位素介于  $-235\text{‰} \sim -196.7\text{‰}$  之间。此外, 黄骅的南堡凹陷、辽河的西部凹陷、冀中的廊固、束鹿凹陷等也有该类型气分布。

#### (5) 煤成气

煤成气是在沼泽相或滨海沼泽相—煤质相中形成的。其生源母质主要是陆生高等植物。富集重碳同位素, 组分相对偏干。该类气体分布广泛, 几乎每个盆地都有煤成气, 如塔里木盆地库车油气系统, 四川盆地川中、川西北, 鄂尔多斯盆地西缘, 准噶尔盆地南缘齐古背斜、独山子油气田、西北缘五区南上、下二叠统、腹部的陆南凸起等, 吐哈盆地台北凹陷侏罗系, 渤海湾盆地辽河东部、西部、大民屯凹陷、济阳惠民凹陷、东濮文留、马厂、冀中深县(O)、霸州苏桥(C-P、O)、廊坊(O)等, 松辽盆地昌德—昌五、汪家屯—宋站、梨树、德惠断陷等, 柴达木盆地北缘马海气田等。  $\delta^{13}\text{C}_2$  基本上小于  $-28\text{‰}$ ,  $\delta^{13}\text{C}_3$  小于  $-27\text{‰}$ ,  $\delta^{13}\text{C}_1$  的变化范围也很大, 分布在  $-48\text{‰} \sim -28\text{‰}$  之间。天然气组成中, 虽然湿气、偏干气均有, 但主要以偏干气为主。

### 2. 次生烃类气体

次生烃类气体主要是指天然气形成后由于细菌的作用或者在运移聚集过程中由不同原生气体类型混合而成的天然气。在所研究的区域内, 主要存在两种类型, 即细菌降解油型气和细菌降解煤型气。

#### (1) 细菌降解油型气

细菌降解油型气是指在较深部位形成的油气沿断裂运移到浅层, 油气在运移聚集和成藏过程中遭受到细菌降解而形成的干气藏。这种干气在渤海湾盆地各拗陷的浅层均有分布。由于细菌降解和运移的次生变化, 改变了原生气的地球化学特征, 其组分以甲烷为主,

含量大于 95%，丙烷和丁烷碳同位素发生倒转。

从 70 年代起，国外学者 Lededew, W. J. Stahl, Schaefer, James 等对天然气的细菌降解进行了研究，主要观点是：第一，遭受了细菌降解的天然气，碳同位素值要变重 2‰~7‰，丙烷变重的幅度更大，它常和丁烷的碳同位素值发生倒转；第二，细菌对不同结构烷烃降解的速度不同：长链烷烃比短链烷烃快，正构烷烃比异构烷烃快，异构烷烃比环烷烃快。此外，2,4-二甲基戊烷和 2,3-二甲基丁烷在遭受降解的天然气中异常偏高，而这些组分在原生气体中常为痕量，甚至没有；第三，细菌作用可以使天然气的大部分湿气组分被降解掉，只剩下甲烷，同位素变重，它很容易与过成熟气混淆。黄汝昌等(1990)系统地对渤海湾盆地不同类型干酪根进行了热模拟实验，同时对未遭受细菌降解的源岩也进行了吸附烃分析。研究结果表明，对于正常演化的各种类型天然气，其 2,4-二甲基戊烷/正己烷小于 0.02，2,3-二甲基丁烷/环戊烷小于 0.6；而遭受过细菌降解的天然气，其 2,4-二甲基戊烷/正己烷一般为 1~3，2,3-二甲基丁烷/环戊烷一般为 3~30；庚烷值出现异常的低值。此外，甲、乙、丙、丁烷碳同位素分布出现异常，即  $\delta^{13}\text{C}_1 < \delta^{13}\text{C}_2 < \delta^{13}\text{C}_3 > \delta^{13}\text{C}_4$ 。根据以上实验结果及济阳坳陷该类型天然气的分析数据，将天然气被细菌降解的程度划分为四级(见表 1-1)。

表 1-1 济阳坳陷细菌降解油型气特征表

降解级别	$\delta^{13}\text{C}_1/\text{‰}$	$\frac{2,4\text{-二甲基戊烷}}{\text{正己烷}}$	$\text{C}_1 - \text{C}_4$ 碳同位素分布	分布地区
I 级降解	-46 ~ -38	0.5 ~ 3	$\delta^{13}\text{C}_1 < \delta^{13}\text{C}_2 < \delta^{13}\text{C}_3 > \delta^{13}\text{C}_4$	孤岛、孤东、胜坨、呈东浅层
II 级降解	-49 ~ -39	0.2 ~ 0.5	$\delta^{13}\text{C}_1 < \delta^{13}\text{C}_2 < \delta^{13}\text{C}_3 > \delta^{13}\text{C}_4$	孤东部分井、单家寺、八面河沙三溶解气
III 级降解	-49 ~ -45	0.05 ~ 0.2	$\delta^{13}\text{C}_1 < \delta^{13}\text{C}_2 < \delta^{13}\text{C}_3 < \delta^{13}\text{C}_4$	八面河沙四溶解气、单家寺部分井
IV 级降解	-48 ~ -46	0.02 ~ 0.05	$\delta^{13}\text{C}_1 < \delta^{13}\text{C}_2 < \delta^{13}\text{C}_3 < \delta^{13}\text{C}_4$	八面河沙四气层气

注：I 级——高度降解；II 级——中度降解；III 级——低度降解；IV 级——微弱降解。

## (2) 细菌降解煤型气

遭受过细菌降解的煤型气与细菌降解油型气相类似，其碳同位素值、轻烃等分布出现异常。蒋少斌等(1992)在研究准噶尔盆地南缘独山子油气田井深小于 1 100 m 的天然气和独山子、托斯台、霍尔果斯的地面气苗时发现，这些天然气的丙烷碳同位素值明显比未遭受过细菌降解的偏重， $\delta^{13}\text{C}_3 - \delta^{13}\text{C}_2$  的差值大，丙烷和丁烷的碳同位素出现严重倒转(见表 1-2)。这可能是由于氧化菌的存在，使天然气中丙烷优先被降解消耗，致使剩余的丙烷碳同位素值变重。此外，霍尔果斯气苗的乙烷、丙烷碳同位素值都变得很重， $\delta^{13}\text{C}_2$  为 -22.69‰， $\delta^{13}\text{C}_3$  为 -20.01‰，这可能是存在乙烷和丙烷两种细菌的缘故。

在轻烃分析中发现，这类天然气  $\text{C}_4 - \text{C}_7$  轻烃组成中，以支链烷烃占绝对优势(56%~72.4%)，其次为环烷烃(10.1%~34%)，正构烷烃含量最低(3.8%~17.6%)。在  $\text{C}_7$  轻烃组成中，该类气富含主要来自陆生高等植物木质素、纤维素、醣类等的甲基环己烷(58.2%~66%)，各种结构的二甲基环戊烷比正常煤型气(2.8%~16.9%)的含量明显增大(20.6%~38.7%)，而以藻类和细菌为主要来源的正庚烷含量都明显偏低，为 2.4%~20.1%(正常煤型气为 27.5%~38.4%)。另外，庚烷值与异庚烷值极低，庚烷值都小于 10%，异庚烷值大

表 1-2 准噶尔盆地细菌降解煤型气地化特征表

井号	碳同位素/%			C <sub>4</sub> -C <sub>7</sub> 轻烃组成/%				C <sub>7</sub> 轻烃组成/%			庚烷值 / %	异庚烷值	组 分			备注
	$\delta^{13}C_1$	$\Delta^{13}C_{3-2}$	$\Delta^{13}C_{4-3}$	正构	异构	环烷	nC <sub>7</sub>	MCC <sub>6</sub>	$\Sigma DMCC_5$	CH <sub>4</sub> / %			C <sub>1</sub> / (C <sub>2</sub> + C <sub>3</sub> )	C <sub>2</sub> <sup>+</sup> / %		
独大气苗	-42.2	7.6	-7.1	5.2	60.8	34	4.4	66	29.6	2.5	0.8	96.5	12.7	6.8	降 解 气	
独小气苗	-41.6	7.3	-4.2									89.5	11.4	7.9		
独气苗	-43.3	8.1	-4.8	3.8	72.4	23.8	2.4	58.9	38.7	1.5		85.1	7	12.3		
独 230	-46.5	6.3		15.3	62.9	21.8	12	59.7	28.3	7.2		83.3	7.3	12.4		
独 85	-39	3.6	-1.9	17.6	72.3	10.1	20.1	59.3	20.3	10.4	2.1	80.5	4.9	16.8		
独 53	-40.9	3.8		13.9	59.5	26.6	7.8	62.4	29.8	4.3	0.9	79.2	5.3	16.4		
独 201	-38.1	4.9		16.3	67.8	15.9	6.9	61.8	31.3	2.3	0.7	78.2	4.3	19		
霍气苗	-39.2	-2.7		16.6	56	27.4				9.8		89.4	12.8	6.9		
蔡哈气苗	-42.8	10.5										90.4	9.7	9.3		
独 81	-36.3	2.7		32.6	45.9	21.5	29.7	55.7	14.6	17.8	2.8	82.3	6.7	13.5		正 常 煤 型 气
独 87	-35.5	2.6	-1.6	32.7	49.4	17.9	29.7	57	13.3	16.6	3.4	78.6	4.5	18.2		
独 311	-36.5	2.8		31.4	49.3	19.3	27.5	55.6	16.9	15.9	2.6	79	5.2	16.1		
独 390	-35.5	3.5		34.6	42.1	23.3	31.1	57.2	11.7	23	1.5	71.7	3.1	25		
盆参2浅	-37.1	1.1	-0.5	45.3	47.7	7				33.5	9.3					
安 4	-43.2	2.4	-0.2	45.3	47.7	7	38.4	48.9	12.7	22	2.8	71.3	3.6	21.6		

多小于 1,与正常煤型气(庚烷值为 15.9% ~ 33.5%、异庚烷值为 1.46 ~ 9.25)形成鲜明对比。

细菌降解煤型气的组分特征与正常煤型气相似,都表现为典型湿气的特征,但细菌降解气的甲烷含量为 78.22% ~ 90.39%、干燥系数( $C_1/C_2 + C_3$ )为 4.27 ~ 12.8,都比正常气有所增大,而重烃含量则略有降低(见表 1-2)。

### (三)不同类型有机成因天然气的混合气

不同类型生气母质生成气的混合在各含气盆地中普遍存在。这种混合气所显示的地球化学特征取决于不同类型天然气在混合气中所占的比例。

#### 1. 海相、陆相成因天然气的混合气

这种类型混合气在鄂尔多斯、四川及塔里木盆地均有存在。其中以鄂尔多斯盆地最为典型。在鄂尔多斯盆地中部气田及盆地东部的榆林—绥德地区存在海相腐泥型气与煤型气的混合气,其中又可分为两种类型的混合气:一种是以石炭—二叠系来源的煤型气为主,混有少量来源于奥陶系腐泥型气的混合气,主要分布在中部气田奥陶系顶, $\delta^{13}C_1$ 一般大于  $-35\text{‰}$ , $\delta^{13}C_2$  大于  $-28\text{‰}$ ,主要反映出煤型气的特征;另一种是以奥陶系腐泥型气为主,混有少量煤型气的混合气,此类混合气碳同位素较腐泥型气偏重,又较以煤型气为主的混合气偏轻,其重烃气的碳同位素具有油型气特征, $\delta^{13}C_2$  小于  $-28\text{‰}$ 。

#### 2. 陆相油型气与煤型气的混合气

这种类型的混合气分布更为广泛,几乎每个盆地均有此类混合气。如东濮凹陷的卫城、濮城、白庙等油气藏沙三 3 至沙三 4 段中所产出的天然气, $\delta^{13}C_1$  为  $-38.9\text{‰} \sim -33.1\text{‰}$ 。在同位素判识图上,它们都落入煤型气和陆源有机气的范围,但它们的气源都不是单一的。根据稀有气体同位素的研究,东濮凹陷油型气的 $^{40}Ar/^{36}Ar$  为 526 ~ 570;煤型气的 $^{40}Ar/^{36}Ar$  为 958 ~ 1 239,而上述地区所产出的天然气,其 $^{40}Ar/^{36}Ar$  为 780 ~ 868,介于油型气和煤型气之间,属于油型气和煤型气的混合气。

准噶尔盆地西北缘存在油型气与煤型气的混合气,主要分布在五、八区交界处及五区、四区和红山嘴、车排子等地区,其  $\delta^{13}C_1$  为  $-38.75\text{‰} \sim -34.77\text{‰}$ , $\delta^{13}C_2$  为  $-30.35\text{‰} \sim -27.31\text{‰}$ , $\delta^{13}C_3$  为  $-29.34\text{‰} \sim -26.51\text{‰}$ ,介于油型气和煤型气之间。天然气组分中,甲烷含量为 88.9% ~ 92.6%,乙烷为 3.5% ~ 5.1%,相对密度为 0.605 2 ~ 0.636 4,比油型气偏干。从天然气  $C_7$  轻烃组成来看,该类天然气的正庚烷和甲基环己烷含量均分布在 40% ~ 50%左右,二甲基环戊烷含量低于 10%。与油型气相比,该类气体的甲基环己烷含量明显比油型气增多,正庚烷及二甲基环戊烷则比油型气( $nC_7$  为 50% ~ 70%, $DMC_5$  为 10% ~ 20%)有所减少,而这类气体的  $C_7$  轻烃参数则和煤型气比较接近。从以上综合分析认为,这类气体属于混合气。

塔里木盆地库车油气系统中,大宛齐构造 DW101 井 2 534 ~ 2 540 m 井段中所产天然气, $\delta^{13}C_1$  为  $-34.1\text{‰}$ , $\delta^{13}C_2$  为  $-30.1\text{‰}$ , $\delta^{13}C_3$  为  $-21.3\text{‰}$ , $\delta^{13}C_4$  为  $-22.1\text{‰}$ ,其乙烷碳同位素比本地区其他井的明显偏轻约 7‰左右;另外,牙哈构造上 YH7X-1 井 5 826.26 ~ 5 857.73 m 井段中的天然气,甲、乙、丙、丁烷碳同位素值分别为  $-40.7\text{‰}$ ,  $-28.1\text{‰}$ ,  $-28.7\text{‰}$ ,  $-25.8\text{‰}$ ,整个系列的同位素均比其他气体相应的同位素轻。这些特征表明它们仍以煤型气为主体,可能有油型气的混入。