

中国高煤阶地区的煤层气 勘探理论与实践

刘洪林¹, 赵国良¹, 王红岩²

(1. 中国石油 石油勘探开发科学研究院, 北京 100083; 2. 中国地质大学, 北京 100083)

摘要: 通过对中美两国煤层气生成地质条件的对比, 认为中国煤层气形成和富集有着不同于美国的特征。我国华南和华北地区广泛分布高煤阶煤层, 煤层气资源丰富。在成煤后期多个方向和期次的构造运动改造下, 部分高煤阶煤层的渗透性有可能得到改善。通过地质研究, 可以在高煤阶地区找到高产富集区。在这种思路指导下, 在我国沁水含煤盆地南部无烟煤地区发现了大型高煤阶煤层气田——沁水煤层气田。这不仅丰富了煤层气富集成藏理论, 对于拓展煤层气勘探领域也具有重要意义。

关键词: 煤层气勘探; 高煤阶; 沁水盆地

中图分类号: P122. 1

文献标识码: A

一般贫煤以上的煤阶称为高煤阶煤层。我国高煤阶煤炭资源量巨大, 煤层气资源量也很丰富, 达 $3.58 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 之多。由于美国煤层气勘探已获成功的含煤盆地煤阶都为中低煤阶, 因而在一段时期内大家普遍认为, 高煤阶煤层演化程度较高, 割理不发育, 所以煤层的渗透率极低, 从而低估了勘探前景, 以至于形成了煤层气勘探的“禁区”。但是, 通过对中美两国地质构造条件比较发现, 我国地质条件和含煤盆地的构造活动要比美国复杂得多, 煤层气的生成和富集有着自身的特点, 多数煤层在其沉积后经历了多个期次、多个方向的应力场改造, 且大部分高煤阶形成与岩浆热变质事件有关。这些因素都有可能使部分地区高煤阶煤层的渗透性得到改善, 形成煤层气高产富集区, 成为煤层气勘探的有利地区。正是基于这一理论认识, 20 世纪 90 年代后期在沁水盆地南部高煤阶区发现了沁水煤层气田。

1 中国高煤阶及其煤层气资源

与美国相比, 美国是单一大陆的一部分, 而我国则是一个复合大陆^[1]。美国位于北美地台之上。北美地台是以加拿大和格陵兰地盾为中心发展起来的一个巨型地台, 属于美国的部分称为“中部地台”, 其北侧与地盾区相连, 东、西、南 3 侧被褶皱带环绕。

中部地台的东侧为阿帕拉契亚古生代褶皱带, 南侧为瓦奇塔海西褶皱带, 西侧为科迪勒拉中生代褶皱带。美国的含煤盆地主要分布于中部地台以及中部地台与东、西两侧褶皱带的过渡地带, 太平洋东岸的科迪勒拉褶皱带上也有零星分布。我国乃至亚洲大陆并非以一巨型前寒武纪地台为主体形成的单一大陆, 而是由一些小型地台、中间地块和众多微地块及其间的褶皱带镶嵌起来的复合大陆。这一本质特征决定了我国绝大多数含煤盆地的构造稳定性较差, 构造形态复杂多样, 煤及共生煤层气资源保存地质条件更为复杂。另外从古地温场和热史、生烃史的演化来看, 美国的煤变质以深成变质作用为主, 煤阶主要为中、低煤阶烟煤, 而中国高煤阶煤除了印支期的深成变质作用外, 在燕山期普遍经历了异常高古地热场演化, 二次生气过程强烈, 煤阶大幅度提高, 达到了贫煤和无烟煤。

中国煤级分布具有南北分带、东西分区的总体规律, 在区域上自北向南、自西向东煤级增高。中国的高煤阶煤主要分布在华北和华南地区, 西北和东北地区的部分煤产地由于受到岩浆热变质作用或动力变质作用, 也有少量高煤阶煤产出。华北无烟煤主要分布在 2 个地带: 一个是济源—茌平—永城—淮北一线, 呈北北西展布, 在济源—茌平一带煤岩的镜质组反射率达到 6% 左右; 一个是沁水煤田, 呈南

收稿日期: 2003- 11- 21; 修订日期: 2004- 07- 15.

基金项目: 中国石油天然气集团公司“九五”科技工程项目(Z95- 07- 1W); 国家“973”煤层气项目(2002CB211702).

作者简介: 刘洪林(1973—), 男(汉族), 江苏徐州人, 博士生, 主要从事煤层气勘探开发研究工作.

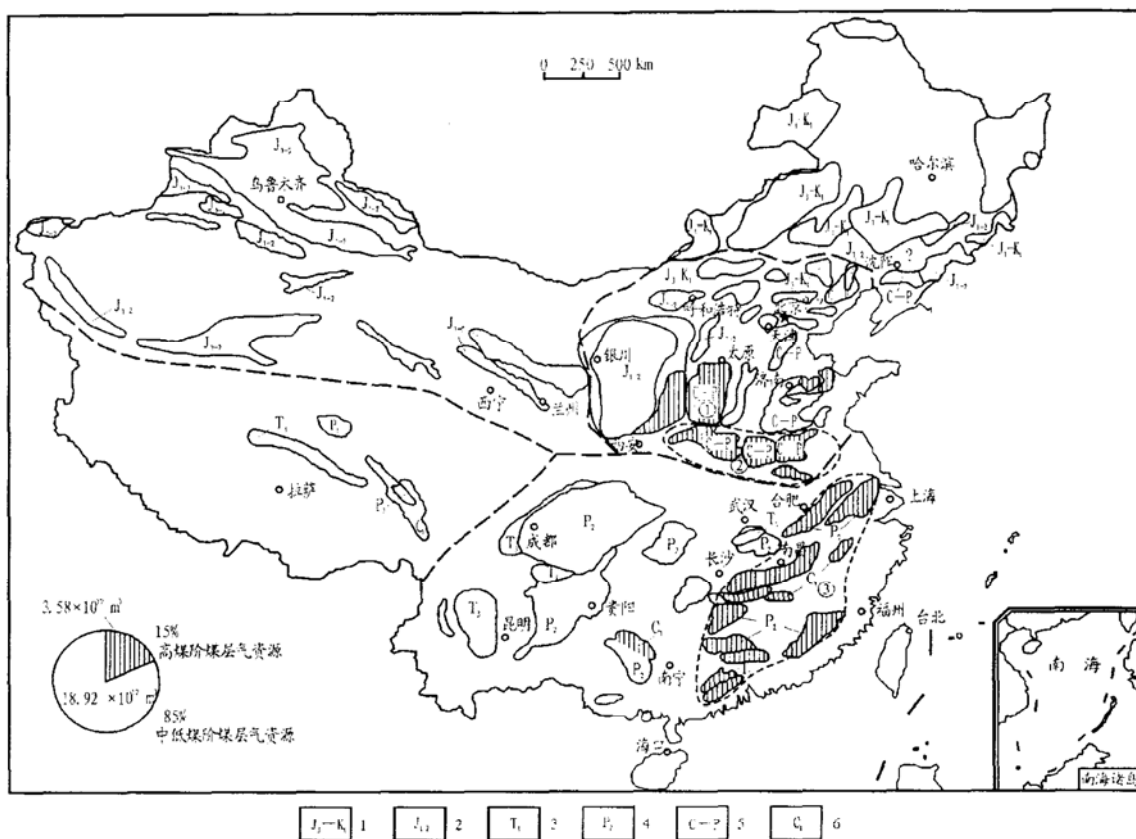


图1 中国高煤阶煤层气资源分布图

1. 侏罗白垩世; 2. 早中侏世; 3. 晚三叠世; 4. 中二叠世; 5. 石炭二叠世; 6. 早石炭世

沁水煤田的南部晋城—翼城矿区; ④华北南部济源—荣永—永城—淮北高煤阶展布带; ⑤华南地区的高煤阶展布带

Fig. 1 Distribution of coalbed methane resource in the high coal rank area of China

北向条片状展布, 南端晋城矿区和北端阳泉矿区为无烟煤, 中部地区为焦煤—贫煤(图1)。此外, 在鄂尔多斯东南的乡宁—韩城、太行山前的邢台—邯郸—峰峰—安阳—鹤壁和燕山前的京西、山东坊子等地区, 也有较大面积的高煤阶煤层。华南地区的东南区, 包括福建、江西南部 and 东部、浙江南部和广东北部, 几乎全为无烟煤和贫煤; 华南的湘中、湘南和赣西以无烟煤占绝对优势, 赣中也有一定数量的高煤阶煤; 大巴山、鄂中、鄂东南和下扬子地区主要为无烟煤(图1)。

中国高煤阶煤资源量丰富, 据“九五”评价结果, 赋存于我国贫煤和无烟煤煤层中的煤层气资源量达 $3.58 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 占全国煤层气资源总量的近1/7, 而且煤层含气量普遍较高, 资源丰度高, 是煤层气勘探的最有利煤级之一。

2 中国主要高煤阶地区的煤层气生成与富集

无论是在华北、华南, 还是在西北和东北地区, 我国高煤阶煤无一例外是在岩浆活动或地热异常等

热事件作用下形成的。我国典型的高煤阶煤层气生成模式见图2, 一般都经历了1~2个生气高峰, 并且在异常高的古地温场下发生的二次生气作用生气量巨大, 为煤层气的富集成藏提供了强大气源, 而且由于岩浆的侵入, 极大地改善了煤层的渗透性, 加上生烃史和构造史的良好配置, 我国高煤阶煤层的含

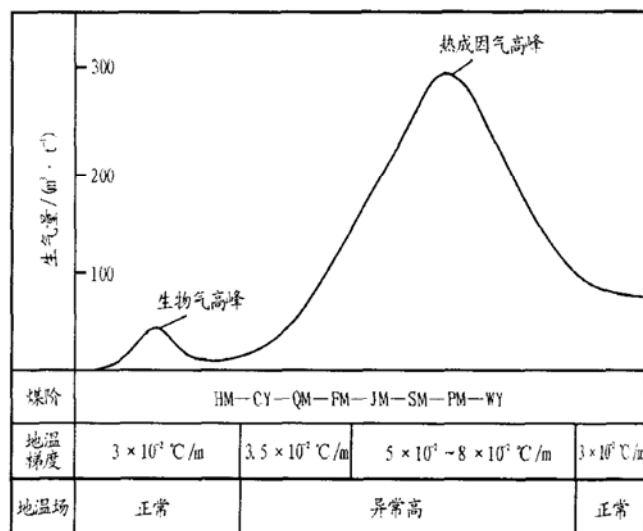


图2 我国高煤阶煤层典型煤层气生成模式图

Fig. 2 Typical origination pattern of coalbed methane in the high coal rank area of China

气性普遍较好,含气饱和度普遍较高。

2.1 沁水煤田南部晋城—翼城矿区

华北地台在海西—印支末期,处于地台的稳定发展时期,古地温场基本正常,燕山期为异常高的古地温场,喜山期又恢复正常。沁水煤田南部的晋城—翼城矿区的上古生界煤沉积后经历了海西—印支期的快速埋藏、燕山早期的埋深波动和燕山中晚期的埋深持续减小3个埋藏阶段,古地温场经历了正常、高异常和正常3个阶段。煤级跃进是印支期的深成变质和燕山中期异常古地温场下的热变质的共同作用。在三叠纪末期,晋城—翼城矿区的煤级普遍达到肥煤阶段,开始进入湿气生成高峰,累计生烃量可达 $81.45 \text{ m}^3/\text{t}^{[1]}$ 。燕山期在西北—东南方向的水平挤压应力作用下,沁水盆地的雏形开始形成,同时煤层又在异常古地温场的作用下,开始进入第二生气高峰,到白垩纪末期基本完成煤的生烃过程。这次生气范围广,生气强度大,可达 $359.10 \text{ m}^3/\text{t}$,是煤层气富集成藏的主要来源。在喜山期,沁水盆地的构造运动以西北—东南向区域性伸展运动为主,晋城—翼城地区开始稳步抬升,由于煤层在逸散带中的停留时间较短,该地区煤层气保存条件较好,煤层含气量和含气饱和度较高。

2.2 华北南部济源—荥汞—永城—淮北高煤阶展布带

华北南部的石炭—二叠系煤层沉积后,经历了印支期的煤层埋深持续加大,燕山和喜山期的煤层埋深持续减少2个阶段,古地温场经历了正常—异常—正常的变化。煤层普遍经历了2个生气阶段,第一阶段:印支期,由于受到深成变质作用,煤阶普遍达到长焰煤—气煤阶段,进入热解气的生成阶段;印支末期由于南北板块拼接,区域构造抬升,一次生气作用停止,南北向的挤压应力在本区形成了一系列近东西向的褶皱和断裂系统,构成了现代构造体系的雏形格局。第二个阶段:燕山和喜山期。燕山早—中期,由于库拉—太平洋板块向北—北北西挤压,本区构造主要表现为挤压或压扭性构造,尽管由于地壳抬升煤层埋深变浅,煤层气保存条件受到破坏,异常高的古地温场仍使石炭—二叠系煤层普遍二次生气,又提供了更为充足的气源,本区的不利之处在于部分地区由于构造煤的形成造成渗透率降低;燕山晚期以来本区主要以区域性伸展作用活动为主,煤层气有一定程度的逸散,区域古地温场恢复正常,上古生界的煤层受热温度降低,煤级基本定型,生气作用停止。

2.3 华南地区高煤阶展布带

华南地区在海西—印支末期基本上处于地台的稳定发展阶段,古地温梯度 $3 \times 10^{-2} \text{ }^\circ\text{C}/\text{m}$ 左右,煤阶是正常古地温场下的深成变质作用。上二叠统的煤在湘中—赣中地区为褐煤和长焰煤,处于热降解气生成的临界边界;在川东地区不超过长焰煤,进入热降解气的生成阶段,川西的成都拗陷中煤阶可达肥煤;在黔西织今和水城一带为肥煤,在黔西南紫云一带可达焦煤和瘦煤,均进入热解气的生成阶段;在滇东和川南隆起上达到褐煤—长焰煤,未过或刚过生物气阶段。燕山期的构造热事件同样在华南地区波及较为广泛,在华南东部的湘、粤、闽等省,该期岩浆侵入十分广泛,异常古地温场在大范围内存在,在湘中涟源地区古地温梯度达 $11.79 \times 10^{-2} \text{ }^\circ\text{C}/\text{m}^{[2]}$,煤阶达到烟煤和无烟煤阶段。在华南西部,煤阶总体上受控于正常古地温场所发生的深成变质作用,但在织今、松藻、盘关、紫云等地区,古地温场明显异常,达 $4 \times 10^{-2} \sim 8 \times 10^{-2} \text{ }^\circ\text{C}/\text{m}$,导致在这些地区形成了高阶煤^[3]。在喜山期,华南的古地温场基本恢复正常,煤化作用和生气作用基本停止。所以,华南上二叠统的煤级大致定型于燕山末期,主要的生气时期为燕山期,喜山期基本未发生生气作用。

3 高煤阶地区煤层气勘探思路

通过上述分析可以看出,我国高煤阶地区的煤层都经历了两次煤化作用,煤级普遍较高,割理相对不发育,不利于煤层气开发;经过两次生气高峰,煤层气气源充足(其中处于异常高的古地温场下的生气量普遍高于正常古地温场下的生气量);煤层沉积后到现在,经历了多个期次、多个方向的应力场转变,煤层气在不同区域背景下的保存和逸散强度不同。总的来看,地壳发展的稳定期有利于煤层气保存,反之,则不利于煤层气保存,但是适当的构造运动可以改善煤层的渗透性,有利于煤层气的开采。所以在我国高煤阶地区进行煤层气勘探时,要特别重视煤层生烃史和构造史的匹配关系,这两者之间的良好配置是煤层气富集成藏的关键因素,还要特别重视煤层高渗透率地区的预测研究,只有这样才能在高煤阶地区找到煤层气高产富集的甜点区。

4 中国高煤阶地区的成功实践——沁水煤层气田的发现

沁水煤层气田位于山西省东南部,沁水盆地南

部晋城斜坡带,属于沁水南部高煤阶带的一部分,是以石炭—二叠系含煤沉积为主的富煤区。气田总体上表现为单斜构造形态,地层宽阔平缓,断层不发育,断距大于20 m的断层仅在西南部分布。气田除缺失晚奥陶世、志留纪、泥盆纪、中三叠世铜川组、晚三叠世、侏罗纪、白垩纪和部分第三纪地层外,从上元古代到第四纪地层均有分布。沁水煤层气田主力煤层为石炭系山西组3[#]煤和二叠系太原组15[#]煤,煤层埋藏深度总体变化是北深南浅,中部深东西浅,介于200~1 000 m之间。由于受到燕山期异常高的古地温场的影响,该地区煤的热演化程度普遍较高,主要煤阶为贫煤和无烟煤,围绕地下隐伏侵入岩体,煤阶呈环带状,由东南向西北方向,变质程度逐渐降低。

20世纪90年代初期,中国石油和晋城矿务局在晋城地区开展了煤层气勘探前期研究,共同认为该地区的煤层生烃史与构造史配置关系较好,构造简单,煤层厚度大,煤层含气量高,是煤层气勘探的有利地区。中国石油于1997年采用主曲率方法对该地区进行了高渗透率地区预测,认为该地区由于受燕山—喜山期应力场的共同作用,煤层裂隙体系较为发育,煤层渗透率有所提高,可以在该地区找到高产富集区。随后晋丹公司于1994—1997年在晋城矿区的南部潘庄井田钻煤层气井7口。根据高产富集预测结果,中国石油于1997—1999年在预测的甜点区内部署钻探了晋试1井梅花形井组以及6口探井。1998—2000年,中联煤层气有限公司在北部的枣园地区钻探了15口煤层气井和一个由9口井组成的试验井组,实际测定含气量15~34 m³/d,含气饱和度80%~105%,甲烷浓度95%以上,渗透率在(0.5~10)×10⁻³μm²。上述地区的晋试1井组、枣园井组、潘庄区块潘庄煤层气井组经长期试气均获得较为稳定的工业气流,单井产气量在2 000~6 000 m³/d以上,最高达16 000 m³/d。截至目前,在该地区已经获得煤层气探明储量700×10⁸ m³,控制储量2 000×10⁸ m³,成功地在高煤阶地区发现了

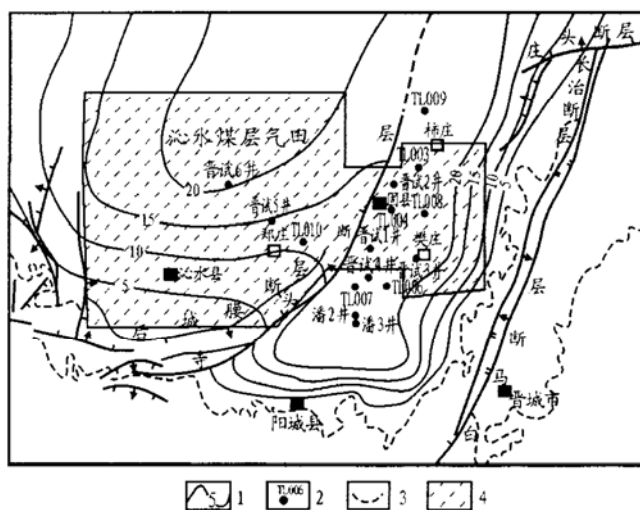


图3 沁水煤层气田勘探成果图
1. 煤层含气量等值线; 2. 煤层气井; 3. 煤层露头线; 4. 气田范围

Fig. 3 Present exploration situation in the Qinshui coalbed methane gas field

我国第一个煤层气田(图3)。

回顾该气田的发现历史,我们发现,正是由于重视了高煤阶地区煤层生烃史和构造史匹配关系的研究,才得以对该地区煤层含气性特点正确认识,钻井结果每口煤层气井的含气量都很高,探井成功率达100%;另外采用主曲率研究方法对该地区高渗区的预测非常成功,大部分的钻井都获得了较高的渗透率,因此获得了较高的单井稳定产气量。

沁水煤层气田的勘探和发现是中国高煤阶勘探理论和方法的成功实践,它打破了世界上在高煤阶地区开展煤层气勘探的禁区,进一步拓宽了煤层气勘探的层系和领域,深化了对中国煤层气资源的认识,丰富了煤层气富集成藏理论。

参考文献:

- 1 中国煤田地质总局. 中国煤层气资源[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1999. 26~ 87
- 2 毕 毕, 彭格林. 湘中涟源盆地煤层气成藏条件及资源预测[J]. 地质地球化学, 1997, 10(4): 71~ 76
- 3 中国煤田地质总局. 黔西南滇东晚二叠世含煤地层沉积环境与聚煤规律[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1996. 75~ 87

(下转第421页)

[C]. Geological Society. London: Special Publication, 1986. 115

沙: 中南工业大学出版社, 1996. 455

~ 157

22 尹赞勋, 张守信, 谢翠华. 论褶皱幕[M]. 北京: 科学出版社,

21 陈国达. 地洼学说——活化构造及成矿理论体系概论[M]. 长

1978. 155

COMPLEXITY CAUSES EXPLANATION AND CHARACTERISTICS ANALYSIS OF OIL AND GAS DISTRIBUTION IN THE SEDIMENTARY BASINS OF CHINA

TONG Heng-mao^{1,2}, CAO Dai-yong²

(1. Key Laboratory of Hydrocarbon Accumulation Mechanism, Ministry of Education,
University of Petroleum, Beijing 102200, China; 2. Key Laboratory of Coal Resources,
Ministry of Education, China University of Mining Technology, Beijing 100083, China)

Abstract: From 9 aspects, the complexities of Chinese sedimentary basins are discussed, including: 1) large quantity, small size, wide distribution; 2) multiplicity in basin types, with geodynamic setting widely changed; 3) poly-stage basin superimposition and basin composition; 4) terrestrial sedimentary basin being dominant; 5) large quantity and intense activity of faults; 6) strong post-stage rebuilding; 7) frequent magmatic activity; 8) high speed sedimentary, with deposition center migrating with time; 9) asymmetry in geothermal fields. The complexity causes of Chinese sedimentary basin are analyzed, and it is pointed out that, complicated plate tectonic situation and evolution history are the fundamental reasons. Finally, the unusual characteristics of oil and gas distribution in Chinese sedimentary basins are briefly discussed.

Key words: oil and gas accumulation; causes analysis; complexity; sedimentary basin; China

(continued from page 414)

COALBED METHANE EXPLORATION THEORY AND PRACTICE IN THE HIGH COAL RANK AREAS OF CHINA

LIU Hong-lin¹, ZHAO Guo-liang¹, WANG Hong-yan²

(1. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, CNPC,
Beijing 100083, China; 2. China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: There is obvious difference between the distribution of coalbed methane in the U. S. and in China, based on the comparison between origination condition. Large amount of coalbed methane resource is distributed in the high coal rank area of China, especially in the North and South China. Postsedimentary tectonic activities may lead to high permeability and high gas content. These potential sweet points could be found through detailed geologic study. Guided by this theory, the first coalbed methane gas field in China located in the high coal rank area was discovered in the 1990s, which has enriched the theory and expanded the exploration scope of coalbed methane.

Key words: coalbed methane exploration; high coal rank; the Qinshui Basin