



2012年全国煤层气学术研讨会论文集

# 煤层气勘探开发技术新进展

孙粉锦 李五忠 叶建平 主编  
傅小康 王宪花 房超



石油工业出版社

# 煤层气勘探开发技术新进展

——2012年全国煤层气学术研讨会论文集

孙粉锦 李五忠 叶建平 主编  
傅小康 王宪花 房超

石油工业出版社

## 内 容 提 要

本书收录了2012年全国煤层气学术研讨会论文66篇,内容涵盖煤层气产业发展战略与资源评价、煤层气地质与储层评价、煤层气钻采技术、煤层气地面工程与经济评价等方面的研究成果。

本书可供从事煤层气勘探、开发、工程等方面的生产与科技人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

煤层气勘探开发技术新进展:2012年全国煤层气学术研讨会论文集/  
孙粉锦,李五忠,叶建平主编. —北京:石油工业出版社,2012.9  
ISBN 978-7-5021-9265-5

I. 煤…

II. ①孙…②李…③叶…

III. 煤层-地下气化煤气-地质勘探-学术会议-中国-文集

IV. P618.110.8-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第209321号

---

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里2区1号 100011)

网 址:www.petropub.com.cn

发行部:(010)64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:保定彩虹印刷有限公司

---

2012年9月第1版 2012年9月第1次印刷

787×1092毫米 开本:1/16 印张:29.75

字数:762千字

---

定价:100.00元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

# 目 录

## 第一篇 煤层气产业发展战略与资源评价

- 中国煤层气气藏类型及主要开发技术 ..... 李五忠 田文广 孙钦平 陈刚 (3)
- 中国不同煤阶煤层气勘探开发现状 ..... 韩旭 刘恩奇 朱田 (7)
- 山西沁水盆地柿庄地区煤层气潜力及勘探开发现状  
..... 黄晓明 孙强 赵卫 吴见 王文化 (12)
- 宁武盆地南部煤层气勘探潜力分析 ..... 张玉玲 权海奇 马财林 井向辉 (21)
- 湘东南郴耒凹陷上二叠统龙潭组煤层气成藏条件及开发潜力分析  
..... 杨青 孙斌 李五忠 孙钦平 (27)
- 华北地区太行山东麓煤层气资源勘探现状及前景探讨——以安阳水冶区块为例  
..... 张娟 邓磊 吴佩芳 (35)
- 煤层气成藏地层水化学特征研究 ..... 王勃 孙粉锦 杨焦生 赵洋 (46)
- 低煤阶煤层气开发是提高我国煤层气产量的重要途径  
..... 傅雪海 王可新 罗培 葛燕燕 (51)
- 二道岭矿区煤层气资源量估算及开发利用建议  
..... 龙威成 孙四清 袁涛 陈冬冬 (58)
- 山西省深部煤层含气量预测方案 ..... 刘爱华 傅雪海 梁文庆 罗培培 路露 (62)

## 第二篇 煤层气地质与储层评价

- 山西省河东煤田北部聚煤规律及控气作用研究  
..... 张星星 刘正 王海生 张庆辉 屈晓荣 (71)
- 延川南地区构造研究及其对煤层气勘探潜力的影响分析  
..... 张飞燕 王立志 李理 张名中 (77)
- 延川南地区煤层气保存条件对含气量的控制作用分析 ..... 李小越 任以发 陈磊 (84)
- 基于灰色关联分析法的延川南煤层和井区优选评价  
..... 高和群 丁安徐 韦重韬 龚月 陈雨 (89)
- 低煤阶煤岩和煤层气测试中的若干问题及对策  
..... 邓泽 李贵中 孙粉锦 李五忠 陈振宏 庾勤 陈浩 (95)
- 等温吸附理论及其在煤层气勘探开发中的应用 ..... 刘恩奇 韩旭 朱田 (101)
- 煤储层等温吸附曲线阶段划分及意义 ..... 曲英杰 汤达祯 许浩 张文忠 (111)
- 煤吸附 CO<sub>2</sub> 后的基质膨胀特征研究 ..... 段利江 唐书恒 夏朝辉 张铭 (120)
- 煤储层基质扩散系数研究——以韩城地区为例  
..... 陈同刚 汤达祯 许浩 胡爱梅 吕玉民 孟艳军 (126)

### 沁水盆地南部地应力三维有限元模拟及高渗区预测

..... 孔祥文 杨福忠 祝厚勤 赵庆波 李五忠 李贵中 (132)
山西省煤储层物性特征 ..... 刘 正 张庆辉 王海生 张星星 傅雪海 申 建 (142)
煤层气排采初期储层渗透率敏感性特征及影响 ..... 邓 泽 李贵中 孙粉锦 陈振宏 庚 勳 杨 泳 曾良君 (148)
煤在黄铁矿作用下生成气态烃的碳同位素特征 ..... 吴艳艳 秦 勇 李小越 邹常铭 (152)
通过生物气模拟实验进行煤产气途径分析 ..... 陈 浩 李贵中 陈振宏 邓 泽 庚 勳 张 辉 承 磊 (159)
煤岩中游离气含量试验探索研究 ..... 伊向艺 邱小龙 卢 渊 吴红军 张 浩 (165)
宁武盆地南部9#煤层勘探开发再认识 ..... 魏小娥 池小明 陶长州 (170)
煤岩储层伤害机理及评价方法 ..... 管保山 梁 利 刘 萍 王海燕 王丽伟 伊向艺 (180)
晋城矿区煤储层孔隙和裂隙的扫描电镜研究 ..... 张 慧 张遂安 焦淑静 白 鸽 李贵红 (186)
呼和湖凹陷煤层潜在伤害分析与保护技术的应用 ..... 王 瑞 金显鹏 (191)
地震反演技术在潮水盆地煤层气勘探中的应用 ..... 杨敏芳 孙 斌 孙粉锦 陈 刚 (198)
煤层气井历史拟合拟合度的定量计算 ..... 黄超超 韦重韬 邹明俊 蔡志翔 (208)
河东煤田北部连续型天然气成藏研究 ..... 李 勇 汤达禎 许 浩 孟尚志 张文忠 田 霖 (213)

## 第三篇 煤层气钻采技术

### 煤岩储层保护技术研究进展

..... 陈 飞 王祖文 张 冕 韩文哲 池小明 廖乐军 (227)
煤层气井常用试井方法分析 ..... 韩志伟 马晶翼 张 迪 文 强 (234)
煤层气注入/压降试井结论的分析及应用 ..... 安 杰 柳光伟 (241)
煤层气水平井 PE 筛管完井技术及装备研制 ..... 申瑞臣 乔 磊 付 利 时 文 王子健 (246)
沁水盆地煤层气井高聚能电脉冲技术应用效果 ..... 武 杰 王小兵 (251)
潘河地区煤层气井排采制度优化 ..... 蔡志翔 韦重韬 邹明俊 (258)
柳林地区多层合采煤层气井产能动态特征与影响因素 ..... 孟艳军 汤达禎 许 浩 高丽军 曲英杰 张文忠 (264)
运用数值模拟和现金流方法计算煤层气合理井网密度 ..... 赵 洋 孙粉锦 王 勃 杨焦生 (271)
鄂尔多斯盆地煤层气区块数值模拟应用研究 ..... 翟雨阳 温声明 张先敏 王一兵 张 慧 (279)
考虑窜流—扩散的煤层气藏动态预测方法 ..... 赖枫鹏 李治平 任广磊 张跃磊 (287)
沁水煤层气田水平井开发的启示 ..... 左银卿 杨延辉 于文军 周 睿 魏 强 (295)
煤层气水平井排采技术适应性评价 ..... 白建梅 岳力峰 秦 义 崔金榜 周 灿 周 帅 赵立宁 (299)

## SIS 水平井排采特征与井型优化研究

- …………… 夏朝辉 张 铭 段利江 刘玲莉 胡华君 张兴阳 杨福忠 房 娜 (306)
- 煤层气井排采动态典型指标分析及其工程意义  
…………… 康永尚 窦凤珂 秦绍锋 韩 军 毛得雷 (313)
- 我国煤层气井排采工作制度研究进展 …………… 张 飞 秦 勇 雷 波 (320)
- 柿庄北区块二氧化碳注入提高煤层气采收率潜力评价 …………… 张 兵 叶建平 (327)
- 深煤层 CO<sub>2</sub> 注入/置换 CH<sub>4</sub> 过程中煤岩特性变化研究进展 …………… 吴 翔 王向浩 (332)
- 通过优化开发模式实现 CO<sub>2</sub> - ECBM 项目的经济收益最优化  
…………… 雷怀玉 庚 勳 李林地 孙粉锦 邓 泽 (339)
- 成像测井在煤层气勘探开发中的应用  
…………… 刘 萍 王建功 王 卫 陈晓琼 郭 森 (346)
- 基于测井资料的煤层气井压裂难易程度预测研究——以沁水盆地南部区块为例  
…………… 薛海飞 (359)
- 动态法测定煤层气井压裂裂缝方位技术 …………… 张金成 李伯芬 王爱国 可铁永 (364)
- 通过变形场的监测与分析研究煤层气井水力裂缝扩展特征  
…………… 王 欣 丁云宏 修乃岭 李曙光 黄高传 卢海兵 (372)
- 实现煤层气勘探开发技术模式的转变 …………… 陈信平 霍全明 林建东 汪 洋 (384)
- 如何提高煤层气井的钻井成功率和单井产量 …… 林建东 霍全明 汪 洋 陈信平 (393)

## 第四篇 综合开发与利用

- 煤层气田地面集输节能减排优化设计 …………… 王红霞 许 茜 解晓丽 (401)
- 煤层气企业开展安全标准化工作有关问题研究 …………… 谢友友 王楚峰 孙铭伟 (404)
- 浅析煤层气企业安全质量标准化与职业健康安全两个体系的结合  
…………… 王楚峰 谢友友 孙铭伟 (409)
- 晋城矿区煤层气与煤炭一体化协调开发模式的认识 …………… 晋香兰 (413)
- 卧龙湖矿 6<sup>#</sup>煤层北一采区瓦斯分布主控因素分析  
…………… 翟建廷 张永强 王 健 汪吉林 (419)
- 沁水盆地石炭—二叠系含煤地层页岩气储层展布规律简析  
…………… 房 超 顾娇杨 邵龙义 林 亮 徐晓燕 (424)
- 沁水盆地石炭—二叠系页岩气资源潜力评价及有利区预测  
…………… 顾娇杨 张文龙 房 超 邵龙义 (433)
- 银额盆地二叠系页岩气成藏条件初探 …………… 梁 浩 黄卫东 李新宁 申 英 (444)
- 煤层气解吸规律对页岩气损失气量计算的借鉴意义  
…………… 薛晓辉 丁安徐 蔡 潇 胡微雪 (450)
- 页岩原地气量 (OGIP) 和页岩气资源评价技术及工业应用  
…………… 王飞宇 贺志勇 孟晓辉 包林燕 冯伟平 关 晶 (457)

# 第一篇 煤层气产业 发展战略与资源评价





# 中国煤层气气藏类型及主要开发技术

李五忠 田文广 孙钦平 陈刚

(中国石油勘探开发研究院廊坊分院)

**摘要** 煤层气藏的储层是煤层,相对于常规的砂岩或碳酸盐岩储层有很大不同。一般来说,随着煤化程度的提高,从褐煤、长焰煤到气煤、肥煤、焦煤、瘦煤,直到贫煤、无烟煤,煤层的渗透性是逐渐降低的,大致可分为低煤阶、中煤阶和高煤阶三种类型,相对应于高渗透、中渗透和低渗透三种煤层气藏。根据国内外煤层气开发实践,适应不同煤阶的煤层气开发技术也有所不同,其典型开采技术有:低煤阶煤层气藏,一般煤层渗透率达到15mD以上,一般采用空气(泡沫)钻井裸眼或洞穴完井大井组长期抽排采气技术;中煤阶煤层气藏,煤层渗透率一般为5~15mD,一般采用直井大井组水力压裂长期抽排采气技术;高煤阶煤层气藏,煤层渗透率一般为0.5~5mD,需要特殊的技术如羽状水平井组,大面积抽排采气。本文在国内外重点地区煤层气勘探开发实践基础上,对煤层气气藏类型进行了分类,提出了相应煤层气藏类型的勘探开发技术手段,对煤层气勘探开发具有重要指导意义。

**关键词** 煤层气 气藏类型 开发技术

## 1 煤层气气藏类型

### 1.1 低煤阶煤层气藏类型

#### 1.1.1 低煤阶热成因气藏

低煤阶是煤化作用早期阶段形成的产物,通常是指煤岩镜质体反射率 $R_o < 0.65\%$ 的煤阶,包括褐煤、长焰煤。由于该阶段已达甲烷气阶段,生成或正在生成一定数量甲烷,并且煤层孔隙发育,在巨厚煤层和良好封盖条件下能够形成工业煤层气藏;另外,在盆地腹部气源供给充分且与之连续上倾的盆地浅部斜坡带也是煤层气勘探的有利部位。

中国西北、东北低煤阶区煤层气资源丰富,资源量达 $14.7 \times 10^{12} \text{m}^3$ ,占全国煤层气总资源的40%。昌吉、乌审旗、霍林河等地区煤层厚度大,储层物性好,含气量和含气饱和度较高,煤层气资源丰富,是低煤阶区形成大型煤层气区的有利地区。霍林河地区霍试1井获日产气 $1256 \text{m}^3$ ,首次实现我国低煤阶煤层气工业产量。

#### 1.1.2 低煤阶生物气藏

经模拟试验,在我国低煤阶煤层中可广泛存在产甲烷菌,并可形成生物气。根据资料,准噶尔盆地南缘浅部的河东矿区在侏罗系煤层中产气的 $\delta^{13}\text{C}$ 为 $-62.10\% \sim -50.74\%$ ,具

基金项目:国家重大专项资助项目(编号:2011ZX05033)。

作者简介:李五忠(1967—),中国矿业大学(北京)博士后,高级工程师,主要从事煤层气科研生产工作。

生物甲烷气特征。

美国在低煤阶的粉河盆地形成年产  $140 \times 10^8 \text{m}^3$  的煤层气产能，并且某些区块的累计产气量远远超过起初评价的资源量。究其原因，很大程度上源于其低矿化度地层水中活跃的甲烷菌对有机质降解形成的生物成因煤层气藏。

## 1.2 中煤阶煤层气藏类型

### 1.2.1 中煤阶热成因气藏

中煤阶是煤化作用中期阶段形成的产物，通常包括气煤、肥煤、焦煤、瘦煤，由于该阶段已达甲烷气大量生产阶段，并且煤层割理较为发育，易于形成高产煤层气藏，是国内外煤层气勘探初期的主要勘探对象。

中煤阶区煤层气勘探在我国占有重要地位。地质条件良好、下游条件优越的华北和华南地区中煤阶煤层气资源丰富，现已初步发现了大宁—吉县、宁武、六盘水、萍乐等有利勘探目标。

### 1.2.2 中煤阶次生生物气藏

美国在中煤阶的圣胡安盆地发现一定比例的次生生物煤层气，主要源于其低矿化度地层水中活跃的甲烷菌对煤层降解形成的生物成因煤层气藏。

## 1.3 高煤阶煤层气藏类型

一般贫煤以上的煤阶称为高煤阶煤层，我国高煤阶煤层气资源量丰富，资源量达  $7.8 \times 10^{12} \text{m}^3$ ，占全国煤层气总资源的 21%。

由于美国煤层气勘探开发成功的含煤盆地的煤阶主要为中低煤阶，所以在一段时期内大家普遍认为高煤阶煤层由于其演化程度较高，割理不发育，所以煤层的渗透率极低，因而低估了其开发前景，以至于高煤阶煤层成为煤层气勘探的“禁区”。但是中国煤层气的生成和富集有着自身的特点，无论是在华北、华南，还是在西北和东北地区，我国高煤阶煤的形成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，一般都经历了一到两个生气高峰，为煤层气的富集成藏提供了强大的气源，而且由于岩浆的侵入，还极大地改善了煤层的渗透性，加上煤层在其沉积后经历了多个期次、多个方向的应力场改造，使高煤阶煤层的渗透性得到改善，并形成煤层气高产富集区。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区域热变质条件下承压水封闭形成的沁水煤层气田。

## 2 煤层气主要开发技术

煤层气藏的储层是煤层，相对于常规的砂岩或碳酸盐岩储层有很大不同。一般来说，随着煤化程度的提高，从褐煤、长焰煤到气肥煤，直到无烟煤，煤层的渗透性是逐渐降低的。大致可分为低煤阶、中煤阶和高煤阶三种类型，相对应于高渗透、中渗透和低渗透三种煤层气藏。为高效开发不同类型煤层气藏，综合国内外煤层气开发实践，适应不同煤阶的煤层气开发技术也有所不同，其典型开采技术大致有以下三种：低煤阶煤层气藏一般采用空气（泡沫）钻井裸眼或洞穴完井大井组长期抽排采气技术，如粉河盆地，一般煤层渗透率达到 15mD 以上；中煤阶煤层气藏一般采用直井大井组水力压裂长期抽排采气技术，如圣胡安、黑勇士盆地，煤层渗透率一般为 5 ~ 15mD；高煤阶煤层气藏煤层渗透率一般为 0.5 ~ 5mD，

则需要特殊的技术如采用羽状水平井组，大面积排水采气才能获得好的效果，如美国中阿巴拉契亚盆地、我国沁水盆地。

## 2.1 低煤阶空气钻井裸眼完井采气技术

空气（泡沫）钻井裸眼完井技术，完井方法包括裸眼洞穴完井、裸眼扩孔完井、筛管完井，适合于低煤阶高渗区。由于低煤阶煤层渗透性好，煤层具有很强的吸附性，煤岩基质易吸水膨胀，常规钻井污染半径大，会大幅度降低井筒周围煤层割理孔隙度和渗透率，且这种伤害是不可逆的。为防止和减轻煤层伤害，美国低煤阶煤层气开发井通常采用空气（泡沫）或地层水作钻井液以欠平衡方式钻开煤层，然后采用洞穴、裸眼、筛管完井方式。如美国粉河盆地，煤层埋深120~366m，含煤地层为古近系（ $E_1$ ），煤阶为褐煤， $R_o$ 为0.3%，煤层一般处于欠压—常压状态，采用这种技术大规模开发取得了很好的效果。这种钻井完井方式具有以下优点：

（1）对煤层伤害最小；

（2）钻速高，是常规钻井的3~10倍；

（3）钻井周期短（ $\leq 500\text{m}$ 深的井，一般为24~48h），对煤层浸泡时间短，费用低。据统计，美国煤层气采用空气钻井比普通钻井机械钻速提高5~12倍，一口500m深的井采用空气钻井完井仅需60h，大大降低了钻井成本。

（4）提高单井产量，比射孔压裂提高3~5倍。

美国煤层气开发井90%采用空气钻井。我国尝试过4口都由于技术不成熟、设备不配套而未获成功。沙尔湖地区煤层渗透率高达46~89mD，为巨厚煤层。由于煤层疏松破碎，两口井钻井都发生严重井漏，因此在沙试4井开展空气钻井试验。针对沙尔湖地质情况，优化出“ $\phi 241.3\text{mm}$ 钻头 $\times \phi 177.8\text{mm}$ 表套 +  $\phi 152.4\text{mm}$ 钻头 $\times \phi 127\text{mm}$ 筛管”空气钻井井身结构，为应对井下复杂情况，注气设备按设计能力附加40%，同时配备雾化钻井设备和雾化液材料。空气钻井段机械钻速20~30m/h，钻井周期7d，比水基钻井液钻井提前40d。该试验为低煤阶煤层气开发储备了技术。

## 2.2 中煤阶大井组水力压裂排采技术

水力压裂技术主要应用于中煤阶中渗区，是美国煤层气产业化初期应用最普遍的常规技术，在圣胡安、黑勇士盆地应用较多；我国已钻煤层气井也多采用直井压裂技术。该技术一般采用常规钻井或空气（泡沫）钻井，采用水力压裂增产措施后长期抽排采气。

针对煤层割理裂缝系统发育、煤岩吸附性强、低杨氏模量的特征，以及煤层压裂有效支撑缝短、有效导流能力低的特点，结合室内外试验，优化出以下煤层气井压裂工艺技术：

（1）采取分压措施，针对性强，有利于改造彻底；

（2）压裂方式多为套管进液和油套混进，有利于提高排量并降低摩阻；

（3）进行测试压裂，了解煤层的破裂、滤失等特点；

（4）支撑剂和破胶剂的加入均采用锥形方法；

（5）低温煤层加入活化剂；

（6）优化压裂液，结合煤层压裂液滤失特性，确定泵组排量和前置液；

（7）提高加砂强度，尾追高浓度大颗粒支撑剂，控制顶替液量；

（8）加强裂缝监测，研究地应力与裂缝高度的关系，较为准确地评价裂缝的方位、

形状。

经现场压裂测试，煤层压裂加砂量在  $30\text{m}^3$  以上，单井日产气  $1500 \sim 3000\text{m}^3$ ，技术效果较好。

### 2.3 高煤阶定向羽状水平井排采技术

由美国 CDX 国际公司开发的定向羽状水平井技术，特别适合于开采高煤阶低渗透煤层气，该技术集钻井完井和增产技术于一身，大大增加煤层裸露面积，提高单井产量和煤层气采收率，是低渗储层煤层气开采的一次技术革命。

该技术通常由洞穴直井和羽状水平井组成。每个定向羽状水平井组一般先钻 2~4 口洞穴直井用于排采、中间一口定向羽状井在目的煤层向 2~4 个方向钻羽状水平分支井，主水平井眼穿过先期完成的洞穴直井。定向羽状水平井施工时，一般先钻完直井段，下套管封固上部地层，然后沿煤层钻 152mm 主水平井眼，水平位移 1200~1500m，在主井眼两侧再钻 121mm 分支水平井眼，水平位移 400~600m，分支井眼间距 120~200m。1 个井组控制面积  $4.8\text{km}^2$ ，相当于直井 16 口井的控制面积。与常规钻井水力压裂开采方式相比，羽状水平井大大增加了煤层裸露面积，可以使单井产量提高 10~20 倍。

沁水盆地南部樊庄区块具有煤层埋深适中（500~530m），高煤阶（ $R_o = 2.6\% \sim 3.8\%$ ）、高含气（ $19 \sim 26\text{m}^3/\text{t}$ ），高饱和（含气饱和度 86%~98%）特点，断层较少，煤层割理发育（530~580 条/m），渗透率较好（0.5~1.0mD，产量拟合结果压后综合渗透率 3~7mD）。该区煤阶高，煤硬度大，煤层段井壁稳定性较好，开采阶段产水量少，地质条件与美国中阿巴拉契亚盆地的西弗基尼亚地区相似，是定向羽状水平井开发有利区块。

通过中石油与奥瑞安公司的近几年攻关试验，目前已掌握了井位标定、井身结构设计、欠平衡钻井、井壁稳定预测、两井强磁对接连通、煤层实时跟踪、煤层保护完井等定向羽状水平井关键技术。我国已经实施定向羽状水平井 80 多口，去除工程原因非正常井，同一区块单井日产气和累计采气量是直井的 10 倍以上，显示了较好的应用前景。

#### 参考文献

- [1] 刘洪林，刘春涌，王红岩等. 西北低阶煤中生物成因煤层气的成藏模拟实验. 新疆地质，2006，24（2）：149-152.
- [2] 赵庆波等. 煤层气地质与勘探开发技术. 北京：石油工业出版社，2006.
- [3] 李文阳，王慎言，赵庆波. 中国煤层气勘探与开发. 徐州：中国矿业大学出版社，2003.

# 中国不同煤阶煤层气勘探开发现状

韩旭 刘恩奇 朱田

(中联煤层气有限责任公司)

**摘要** 目前我国煤层气勘探仅在沁水盆地南部和鄂尔多斯盆地东缘的局部地区取得了突破,其中沁水盆地南部主要为高变质程度的无烟煤,鄂尔多斯盆地东缘主要为中等变质程度的烟煤。本文总结了我国不同煤阶煤层气的勘探开发现状,建议应对我国低阶煤煤层气储层特征和成藏机理等进行深入的研究,并加大勘探开发力度,争取早日在低煤阶含煤盆地取得煤层气勘探的实质性突破。

**关键词** 煤层气 煤阶 储层 勘探开发

煤化作用是泥炭转变为褐煤、烟煤、无烟煤、超无烟煤,或腐泥转变为腐泥褐煤、腐泥烟煤、腐泥无烟煤和腐泥超无烟煤的过程。这一术语是19世纪70年代开始使用的。煤化作用包括成岩作用和变质作用两个阶段。成岩作用是以压力为主,使泥炭压实、脱水、固结而转变为褐煤;变质作用是在以温度为主,压力为辅的条件下,使褐煤转变为烟煤、无烟煤以至超无烟煤。通常将煤化作用中变质过程的深浅或剧烈程度,称之为煤阶(coal rank)。

煤阶可通过测量最大的镜质组反射率,挥发物质的百分比或煤中碳的百分比来确定。镜质组反射率测定是将一定量的煤样以煤粒作为研究对象,测量单个煤粒中镜质体的反射率,它直接反映了煤的变质程度,与煤的含气量及挥发分对应,呈规律性变化,随着煤化程度的加深,不断地产生甲烷,挥发分由高逐渐变小(图1)。根据对顿巴斯煤测定分析的结果,半无烟煤含甲烷最高<sup>[1]</sup>。

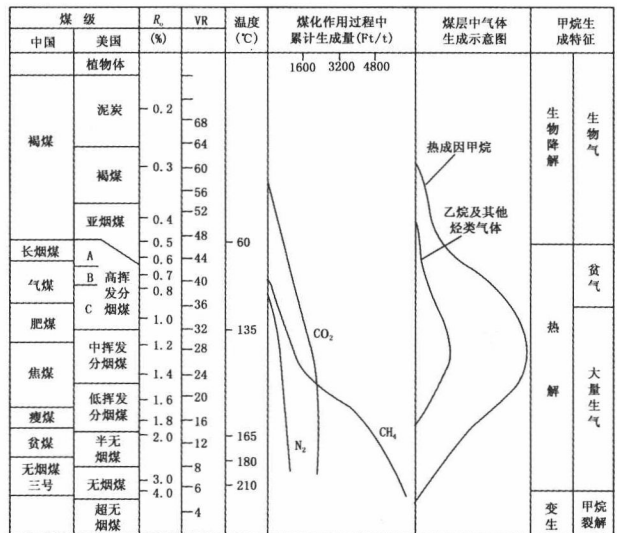


图1 煤化阶段及气体生成<sup>[2]</sup>

根据对顿巴斯煤测定分析的结果,半无烟煤含甲烷最高<sup>[1]</sup>。

作者简介:韩旭(1983—),中国矿业大学(北京)硕士,地质工程,工程师,就职于中联煤层气有限责任公司矿权储量管理部;主要从事煤层气矿权、储量相关工作;电话:(010) 64298874, 13810025987; E-mail: hanxu@chinaacbm.com。

# 1 我国煤阶分布

在我国高阶煤是指贫煤—无烟煤即镜质组反射率  $R_o > 1.9\%$ ，分布比较局限，主要分布在山西、贵州和四川南部，以沁水盆地为代表；中阶煤是指气煤—瘦煤，即镜质组反射率  $0.65\% < R_o < 1.9\%$  [3]，主要分布于华北石炭—二叠系和华南二叠系赋煤地层中，如华北地台中西部的鄂尔多斯盆地东南缘的河东煤田和渭北煤田、华北地台东南部的两淮煤田，以及华南的上扬子地台的滇东黔西地区；低阶煤是褐煤—长焰煤，即镜质组反射率  $R_o < 0.65\%$ ，主要分布于内蒙古、黑龙江、陕西、辽宁等省区。

在我国煤层气总资源中，高煤阶占 21%，中煤阶占 39%，低煤阶占 40%，中、低煤阶煤层气占到了总资源的 79%，主要分布在鄂尔多斯盆地、准噶尔盆地、二连盆地以及川南滇东地区（图 2）。

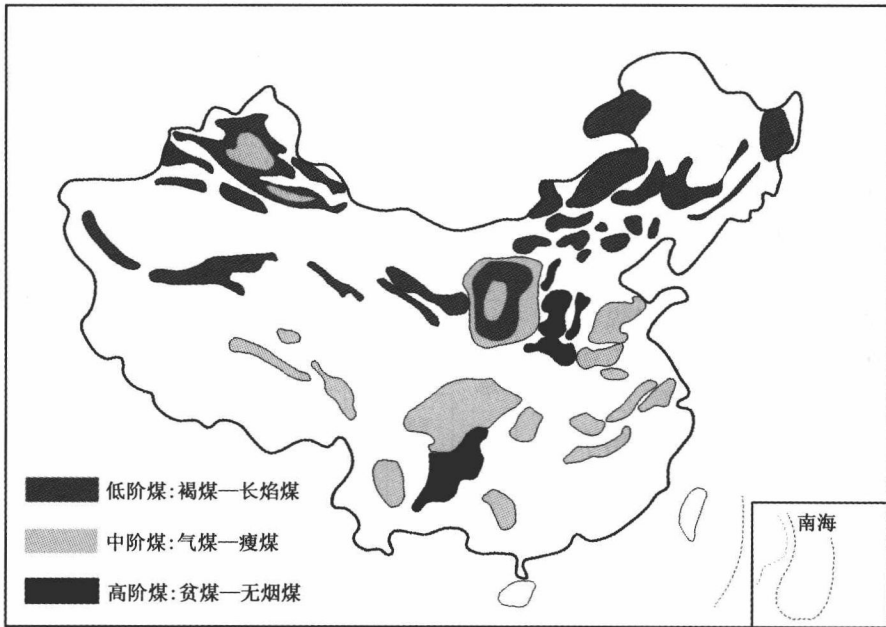


图 2 我国不同煤阶煤层气资源分布图

## 2 我国不同煤阶煤层气勘探开发现状

目前我国煤层气勘探仅在中高阶煤取得了突破，主要集中在沁水盆地南部和鄂尔多斯盆地东缘的局部地区，其中沁水盆地南部主要为高变质程度的无烟煤，鄂尔多斯盆地东缘主要为中等变质程度的烟煤，这与煤层气开发成功的美国的煤层气突破领域截然不同，美国的煤层气勘探开发主要集中于新生代的中、低煤阶含煤盆地中，加拿大煤层气勘探开发的重点地区阿尔伯达盆地也是低煤阶煤 [4,5]。

## 2.1 我国高煤阶煤层气勘探开发现状

高煤阶煤层气在我国煤层气勘探开发中已经取得了突破,并且在沁水盆地南部已经实现了商业性开发。沁水盆地位于山西省东南部,北纬 $35^{\circ}\sim 38^{\circ}$ ,东经 $112^{\circ}00'\sim 113^{\circ}50'$ ,总体呈长轴沿北北东向延伸的椭圆状,其东西宽约120km,南北长约330km,总面积约 $2.7\times 10^4\text{km}^2$ ,埋深2000m以浅煤层气地质资源量 $3.95\times 10^{12}\text{m}^3$ 。

沁水盆地的煤级比较齐全,从气煤到无烟煤都有,主要含煤层为二叠系山西组3号煤及石炭系太原组15号煤,煤层煤厚平均5m,全区基本稳定可采,含气量从边缘向中部逐渐升高,渗透率较好。从整个沁水盆地煤岩变质程度平面分布来看,具有自北向南、自西向东逐渐增高的特点,盆地北部古交、寿阳地区主力煤层煤镜质组反射率为1.1%~2.5%,主要以瘦煤、贫煤和无烟煤为主;盆地南部潘庄、大宁地区主力煤层煤镜质组反射率为2.3%~4.2%,为无烟煤。沁水煤盆地南部高阶煤煤层厚度大、分布稳定,煤层埋深适中,热演化程度高,生气量大,含气量高;割理不发育,煤层的渗透率极低,储层非均质性严重;煤层上覆有效厚度较大,水动力条件好,煤层气保存条件有利。

沁水含气盆地是我国煤层气勘探开发程度最高的盆地,截至2011年底,已发现沁水、潘庄、柿庄南、大宁、寿阳、阳泉、长子等7个煤层气田。煤层气累计探明地质储量 $3181.38\times 10^8\text{m}^3$ ,探明技术可采储量 $1597.25\times 10^8\text{m}^3$ ,当年地面抽采煤层气产量达 $19.29\times 10^8\text{m}^3$ ,初步形成勘探、开发、生产、输送、销售和利用等一体化产业基地。

## 2.2 我国中煤阶煤层气勘探开发现状

中阶煤虽然在我国煤层气资源总量所占的分量比较低,但它主要位于华北石炭—二叠系和华南二叠系赋煤地层中,如华北地台中西部的鄂尔多斯盆地东南缘的河东煤田和渭北煤田、华北地台东南部的两淮煤田,以及华南的上扬子地台的滇东黔西地区。我国目前关于中煤阶煤层气的勘探仅在鄂尔多斯盆地东缘取得了突破。

鄂尔多斯含气盆地东缘,地跨山西、陕西、内蒙古三省区,北纬 $35^{\circ}8'58''\sim 39^{\circ}35'3''$ ,东经 $109^{\circ}49'6''\sim 111^{\circ}15'39''$ ,面积 $1.7\times 10^4\text{km}^2$ ,埋深1500m以浅煤层气资源量 $3.2\times 10^{12}\text{m}^3$ 。鄂尔多斯盆地东缘总体盖层封盖能力强,水动力条件好,煤层气保存条件有利;煤储层割理和气孔发育,构造轴部次生裂隙发育,煤层气产出条件有利;煤层长期持续生气,产气率逐步增大,总生气量大。

鄂尔多斯盆地东缘主要含煤地层主要为石炭—二叠系,煤岩变质程度具有自北向南、自东向西逐渐增高的特点,煤阶主要从长焰煤、气煤、肥煤、焦煤、瘦煤到贫煤。北部准格尔、神府地区主力煤层煤镜质组反射率为0.5%~0.65%,主要为长焰煤<sup>[6]</sup>;临兴地区主力煤层煤镜质组反射率为0.8%左右,主要为气煤;中南部柳林地区主力煤层煤阶较丰富,煤镜质组反射率为1.2%~1.55%,主要为肥煤、焦煤和瘦煤;南部韩城地区主力煤层煤镜质组反射率为1.7%~2.2%,为瘦煤和贫煤。

鄂尔多斯盆地东缘截至2011年底,已发现鄂东、柳林、韩城等3个煤层气田。煤层气累计探明地质储量 $915.9\times 10^8\text{m}^3$ ,探明技术可采储量 $458.82\times 10^8\text{m}^3$ ,当年地面抽采煤层气产量为 $0.43\times 10^8\text{m}^3$ ,储量区已经具有一定的规模,标志着鄂尔多斯盆地东缘已具备商业开发的储量基础。

## 2.3 我国低煤阶煤层气勘探开发现状

在我国的煤层气资源中，长焰煤煤层气资源量最大，为  $11.37 \times 10^{12} \text{m}^3$ ，约占全国煤层气资源总量的 1/3，我国低阶煤（褐煤和长焰煤）主要分布在西北及东北含气盆地（群）中，据 2006 年《新一轮全国煤层气资源评价报告》，准噶尔盆地、吐哈盆地、二连盆地和海拉尔盆地最为典型。

表 1 粉河盆地与我国低阶煤盆地地质特征对比表

盆地	盆地面积 ( $\text{km}^2$ )	煤级	镜质组反射率 (%)	含气量 ( $\text{m}^3/\text{t}$ )	煤层厚度 (m)	渗透率 (mD)	盆地煤层气资源量 ( $10^8 \text{m}^3$ )
粉河盆地	73815	褐煤、亚烟煤	0.3 ~ 0.4	0.028 ~ 2.3	24 ~ 106	10 ~ 20	4000
吐哈盆地	31000	褐煤、长焰煤、气煤	0.49 ~ 1.79	3 ~ 5	4 ~ 67		21198.33
二连盆地	33884	褐煤、长焰煤	0.37 ~ 0.6	2 ~ 4	20 ~ 240	较大	25816.63
海拉尔盆地	70480	褐煤、长焰煤、气煤	0.35 ~ 0.65	4	1.13 ~ 6.55	较大	15957.84
准噶尔盆地	130000	长焰煤、气煤、肥煤	0.38 ~ 0.83	4 ~ 18	10 ~ 80	0.321 ~ 11.7	38698.37

美国在粉河盆地取得的勘探突破非常值得我们借鉴，通过对比分析（表 1）可以看出，粉河盆地低煤阶煤层气含气量低，煤层厚，煤层气资源量大，渗透率高。我国低煤阶煤层气地质条件与之相仿，说明我国低煤阶煤层气勘探开发也有着巨大的潜力。尽管近几年来，美国 and 加拿大的一些公司分别与中联煤层气有限责任公司在鄂尔多斯盆地的东北缘和新疆的吐哈盆地进行了低阶煤的煤层气勘探，但是勘探力度有限。

## 3 结论

(1) 高煤阶煤层气的勘探开发应该继续以沁水盆地为基础，深化盆地南部勘查的同时，将勘查重点逐步向盆地中北部转移，为中北部实现商业性开发创造条件；加快工程技术创新，改进钻井工艺；采用新的增产改造技术，努力提高单井产量。

(2) 中煤阶煤层气的勘探开发应大幅度提升盆地东缘的整体勘探程度，为大规模产业化基地的建成创造有利条件；尝试多分支水平井开采技术，中联公司在柳林地区施工的多分支水平井已经取得了成功，单井产量达到  $16000 \text{m}^3/\text{d}$ ，创造了中阶煤水平井单井产量国内纪录，对该地区的开发起到了示范作用；同时争取在勘探程度相对较高的徐淮盆地中南部宿州、潘谢东地区获得煤层气探明地质储量，实现煤层气勘探开发突破。

(3) 低煤阶煤层气的勘探应首先重视起二连盆地和吐哈盆地。据 2006 年煤层气资源评价结果，二连盆地煤层气地质资源量位居 42 个评价盆地（群）的第五位，为  $25816.62 \times 10^8 \text{m}^3$ ，资源丰度为  $0.74 \times 10^8 \text{m}^3/\text{km}^2$ ，虽其资源丰度不高，但其可采资源量为  $20126.38 \times 10^8 \text{m}^3$ ，可采系数 81.45%，可采系数是评价的所有盆地（群）中最高的。吐哈盆地煤层气地质资源量位居 42 个评价盆地（群）的第六位，地质资源量为  $21198.33 \times 10^8 \text{m}^3$ ，资源丰度为  $2.26 \times 10^8 \text{m}^3/\text{km}^2$ ，资源丰度是评价的所有盆地（群）中最高的，其可采资源量为  $4100.46 \times 10^8 \text{m}^3$ ，可采系数 43.23%。这两个盆地的煤层气可采资源量之和占到全国煤层气总可采资源量的 23.11%，具有巨大的勘探开发潜力。因此应对这两个盆地低阶煤的储层特



征以及成藏机理进行深入研究分析,在地面设施较为完善,市场条件较为成熟的地区首先进行勘探,争取早日在低煤阶含煤盆地取得煤层气勘探的实质性突破。

### 参 考 文 献

- [1] 杨起,韩德馨. 中国煤田地质学(上册). 北京:煤炭工业出版社,1980.
- [2] 苏现波,林晓英. 煤层气地质学. 北京:煤炭工业出版社,2009.
- [3] 刘怡军. 中国与美国煤层气开发潜力比较研究. 中国煤层气,2004;1(1).
- [4] 傅小康,霍永忠,胡爱梅. 美国低阶煤煤层气的勘探开发现状. 世界煤炭. 2010(5).
- [5] 赵庆波. 煤层气地质与勘探技术. 北京:石油工业出版社,1999.
- [6] 接铭训. 鄂尔多斯盆地东缘煤层气勘探开发前景. 天然气工业. 2010,(6).