

2010年 中国非常规天然气 勘探开发技术进展

中石油煤层气有限责任公司 编
中联煤层气国家工程研究中心有限责任公司

石油工业出版社

2010 年 中国非常规天然气 勘探开发技术进展

中石油煤层气有限责任公司
中联煤层气国家工程研究中心有限责任公司 编

石油工业出版社

内 容 提 要

中国石油学会与中石油煤层气有限责任公司联合于2010年8月在西安召开“2010年中国非常规天然气勘探开发技术研讨会”,旨在全面提高我国非常规天然气勘探开发理论与技术水平,积极促进我国非常规天然气产业大发展。本书为该次会议论文集,比较全面系统地介绍和报告我国非常规天然气开发战略、国家鼓励扶持政策、资源潜力、国外发展动态、国内研究进展、企业生产状况、面临的主要问题和关键技术瓶颈、加快发展措施与方向等。

本书可供从事非常规天然气方面的教学、科研和生产人员、研究生和大学生参考。

图书在版编目(CIP)数据

2010年中国非常规天然气勘探开发技术进展/中石油煤层气有限责任公司,
中联煤层气国家工程研究中心有限责任公司编.

北京:石油工业出版社,2011.8

ISBN 978-7-5021-8572-5

I. 2...

II. 中...

III. 天然气-油气勘探-技术开发-中国-文集

IV. P618.130.8-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第160234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

编辑部:(010)64523623 发行部:(010)64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:北京市前进印刷厂

2011年8月第1版 2011年8月第1次印刷

787×1092毫米 开本:1/16 印张:13.25

字数:321千字

定价:48.00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

编 委 会

主 编：接铭训

副主编：何庆华 胡爱梅 李景明 陈 东

编 委：（以姓氏笔画为序）

王 平 刑春颖 陈 震 李宇新 李晓明 李曙光

宋 波 吴仕贵 张一平 张占峰 柳少波 赵培华

郭 蕊 郭炳政 曹代功 梁 为 韩 军 温声明

彭少涛 彭宏钊 鲜保安

前 言

近十多年来,世界范围内掀起了非常规油气资源勘探开发的热潮,非常规油气资源(主要包括煤层气、致密砂岩气、页岩气、油砂、天然气水合物等)已经在全球能源结构中扮演着重要的角色。随着我国经济、社会的持续快速发展,对油气资源的需求不断增长,供需矛盾日益明显,开发利用非常规油气资源已经成为我国重要的能源发展战略。据评估,我国非常规油气资源丰富,其中煤层气资源量为 $36.8 \times 10^{12} \text{ m}^3$,页岩气资源量接近 $30 \times 10^{12} \text{ m}^3$,其开发利用潜力巨大、前景广阔。加快非常规油气资源的勘探开发和利用,是保障我国能源可持续供给的战略举措,也是我国经济社会发展的迫切需要和必然选择。我国政府和各大油气公司十分重视对非常规油气资源的勘探开发,相继出台了多项扶持鼓励政策和许多重要的发展措施,目前我国非常规天然气勘探开发已经取得了重要进展,煤层气已经实现产业化,对页岩气正在深入评价和开采前期准备中。

为进一步推进我国非常规天然气发展,深入研讨、广泛交流国内外煤层气、页岩气等非常规天然气勘探开发技术和管理经验,中国石油学会与中石油煤层气有限责任公司联合主办、煤层气国家工程研究中心承办了“2010 年中国非常规天然气勘探开发技术研讨会”,会议于 2011 年 8 月 24 日至 8 月 26 日在西安建国饭店隆重召开。中国石油学会理事长、中国科学院院士贾承造,中国石油股份公司前副总裁、中国石油企业协会会长胡文瑞,中国工程院院士翟光明、周世宁、彭苏萍,国土资源部地质勘查司副司长陈先达,中国石化副总工程师李阳等出席会议,来自国家有关部委、中国石油、中国石化、中海油、中联煤、延长油田、有关煤矿企业、部分省市地质局和天然气公司、有关科研院所、高校,以及国外石油公司和技术服务商等单位的专家和代表 320 多人参加了会议。

会议开幕式由会议组委会主席、中石油煤层气公司总经理接铭训主持,中国石油学会理事长贾承造致开幕辞,国土资源部地质勘查司副司长陈先达作了讲话。胡文瑞作了“中国非常规天然气资源开发与利用”的主题报告,全面系统地介绍和论述了非常规天然气的概念、中国和世界非常规天然气资源状况、发展动态与方向,提出了中国加快开发利于非常规天然气特别是煤层气和页岩气的战略思

路和技术路线与措施;贾承造作主题报告为“我国煤层气勘探生产的重大科技问题与进展”,介绍了国家煤层气重大专项“十一五”研究进展,“十二五”研究重点,指出了煤层气研究的技术体系和关键技术创新研发要点,提出了重要的技术发展方向。国土资源部油气资源战略研究中心副主任车长波,中石油煤层气公司总地质师李景明,中联煤层气公司总经理冯三利,中石化华东分公司副总经理周松,中石油华北油田副总经理周荣学,“国家 973 煤层气项目”首席科学家宋岩,长庆油田副总地质师付金华,中石油勘探开发研究院副院长邹才能等先后作了技术报告,比较全面系统地介绍和报告了我国非常规天然气,重点是煤层气和页岩气的发展战略、国家鼓励扶持政策、资源潜力、国外发展动态、国内理论技术研究进展、企业生产技术状况、面临的主要问题和关键技术瓶颈、加快发展措施与方向等。

会议共收到投稿论文 100 余篇,会议优选出了 36 篇,分别在 2 个分会场进行了报告交流。经会议学术委员会专家们在会议现场打分评定,评选出了优秀论文一等奖 8 篇、二等奖 22 篇。会议报告有一定的权威性和代表性,论文资料有重要的学习参考价值,引起了同行和相关人员的很大兴趣,为此,特收录会议论文 31 篇,编辑成此论文集,内容主要涵盖了煤层气、页岩气的赋存规律、资源评价、钻完井技术、增产措施及排采工艺等各个方面,以满足更多人员需要,意在进一步宣传近年来我国煤层气、页岩气等非常规天然气科研生产取得的丰硕成果,让更多的人了解煤层气、页岩气的高投入、长周期、高难度等特殊性和特殊性,需要得到更多、更大的支持,加快推进我国非常规天然气产业发展,为我国石油工业做出更大贡献。

本次会议在各有关单位和领导、专家的大力支持下,在主办与承办单位精心组织、辛勤工作下,在各位会议代表的积极配合下,会议达到了预期目的,取得了良好效果,对我国非常规天然气发展产生了重要影响和积极的促进作用。在此,对各方对于这次会议成功召开和为我国非常规天然气不断发展壮大做出重要贡献和不懈努力,表示衷心地感谢和致敬!

目 录

鄂尔多斯三交地区煤层气勘探开发潜力分析

..... 李小军 王峰 吴雪飞 陈彩红 王濮(1)

韩城—合阳地区下二叠统煤层气富集的沉积条件 陈震(6)

韩城煤层气田煤岩特征分析 韩军 胡爱梅 聂志宏(13)

鄂尔多斯盆地东南部煤层气成藏控制因素分析

..... 杨华 付金华 权海奇 马财林 毛明陆 王前平 张玉玲(18)

煤层气综合评价与储量计算研究

——以沁水盆地郑庄区块东大井区3[#]煤层气探明储量为例

..... 焦双志 孟庆春 涂太明 孙以剑(25)

鹤岗盆地煤层气赋存影响因素分析 刘振文 王佰长 王占国 胡霞 王健竹(34)

QNZJ1 直井煤层气排采的流体效应分析 傅雪海 秦勇 韦重韬 汪吉林 周荣福(39)

煤层气采收率预测方法及应用研究 孙以剑 左银卿 闫爱华 郭希波 崔丽华(46)

煤层气从基质进入割理流动机理研究

..... 徐兵祥 李相方 赵明 胡爱梅 陈东 张冬玲(54)

工艺技术不断创新促进煤层气勘探开发快速发展 刘贻军 李曙光 周俊峰 李延祥(62)

多分量地震技术在煤层气勘探开发中面临的挑战 王赞 于光明 姚陈(68)

复杂地表煤层气地震资料处理技术探讨 邢春颖 喻岳钰(75)

煤层含气量与其弹性参数之间的关系——思考与初探

..... 霍全明 汪洋 林建东 胡朝元 陈信平(82)

煤层气测井精细评价技术 张莉莉 蔡文渊 罗安银 高敏 钟萍 刘文华(90)

沁水盆地南部煤层气水平井井型优化设计

..... 孟庆春 左银卿 周勰 李欣 魏强 闫爱华 任严(98)

诊断裂缝形态的煤层压裂压力分析新技术

..... 郭大立 陈东 李曙光 计勇 刘川庆 贡玉军(104)

鄂东气田煤层压裂裂缝形态规律初探

..... 李曙光 王玉斌 郭大立 曾晓慧 彭少涛 朱卫平 祝凯(109)

煤层气井水气产量和煤层压降计算的理论探讨 吴仕贵 胡爱梅 李晓明(114)

煤层气开采井间压力干扰特征研究

..... 邵长金 李相方 徐兵祥 胡小虎 胡爱梅 陈东 张冬玲(122)

韩城煤层气井排采设备配套技术 黄红星 韩军 黄勇 巢海燕(129)

煤层气地面工程技术现状及分析	巴玺立 杨莉娜 赵钰(133)
世界页岩气资源潜力及开发现状	张焕芝 何艳青 樊兆琪(140)
国外页岩气钻完井技术	班凡生 田中兰 申瑞臣 路立君 李景翠(148)
珠江口盆地(东部)页岩气勘探前景探讨	王艳飞 庞雄 张向涛(153)
蜀南地区志留系页岩气研究	侯宇 雷开强 张天月 游文秀(161)
综合有机成熟、吸附和 PVT 模拟预测页岩气原地气量(GIP):以 Barnett 页岩和 四川盆地志留系页岩为例	王飞宇 贺志勇 孟晓辉 王浩 张慧(167)
页岩气开发集成关键技术研究	彭成勇 刘书杰 何保生 曹砚锋 张金庆(179)
页岩气水力压裂技术浅析	吴辅兵 鞠东平 吴峻(185)
页岩气开发技术	王莉 张晓伟 王南(189)
新疆煤层气勘探开发现状及前景展望	杨曙光 何深伟 李瑞明(194)
中国非常规油气资源及开发前景	柳少波 宋岩 洪峰(199)

鄂尔多斯三交地区煤层气勘探开发潜力分析

李小军 王 峰 吴雪飞 陈彩红 王 濮

(中石油煤层气有限责任公司 北京 100028)

摘要: 三交地区位于鄂尔多斯盆地的东缘,是我国煤层气研究和勘探最早的地区之一。本文在分析总结前期工作的基础上,结合煤层气勘探开发的最新进展,对该区煤层气勘探开发潜力进行了分析研究。研究认为三交地区煤层气富集特征明显,具有构造稳定简单,埋藏适中,煤层厚度较大,含气量较高,水文条件较好的特点;根据沉积环境、煤岩煤质、储层物性和含气性等地质条件,纵向上,可划分为山西组 3[#]/4[#]/5[#]煤层气藏和太原组 8[#]/9[#]两套煤层气藏;初步评估该区资源丰富,勘探潜力巨大,煤层埋深在 1000m 以浅的煤层气资源量在 $1000 \times 10^8 \text{m}^3$ 以上,属于中浅埋深、中高丰度、大型煤层气田。煤层气试采情况显示,该区煤层气具有较好的可采性,预示着该区具有良好的煤层气开发前景,将成为中国煤层气勘探开发最具潜力、最为成功的地区之一。

煤层气是一种新兴的能源,随着国际金融危机的蔓延,中国宏观经济增速趋缓,在新一轮大规模投资推动下,新能源产业借势崛起,中国煤层气产业迎来发展机遇。鄂尔多斯盆地东缘西起黄河,东抵吕梁山脉,面积约 $3.4 \times 10^4 \text{km}^2$,不仅是我国大型煤炭基地,也是我国煤层气资源最为富集的地区之一。三交地区位于鄂尔多斯盆地东缘的中段,是我国煤层气研究和勘探最早的地区之一。随着煤层气勘探步伐的加快,对该区煤层气勘探潜力取得了一些新的认识。本文结合该区煤层气勘探实践的最新进展,对该区煤层气勘探潜力进行了分析研究。这不仅对该区煤层气的勘探开发具有一定的指导意义,同时也将为我国巨大的中煤阶煤层气资源的勘探开发提供良好的借鉴作用。

1 区域地质背景

1.1 区域地层

三交地区位于鄂尔多斯盆地的东缘,晋西挠折带的中段(图 1),鄂尔多斯盆地为稳定克拉通内的大型沉积盆地^[1]。研究区内地层为典型的华北地区地层,地层出露自东向西,由老到新。出露地层由老至新顺次为:太古界界河口群、吕梁山群,元古界野鸡山群,震旦系,古生界寒武系中、上统,奥陶系下、中统,石炭系中统及二叠系下、中、上统,中生界三叠系下、中统,新生界古近—新近系、第四系。老地层出露于东部、东南及东北方位的枣林、汉高山、关帝山、峪口、张子山及起云山一带,早古生代地层出露于煤田边缘地带,晚古生代含煤地层出露于离石煤盆及黄河东缘临县—柳林一带,中生代地层沿黄河分布于河东煤田西侧,新生界地层广泛出露。

作者简介:李小军,男,1968 年生,高级工程师,主要从事煤层气勘探开发及对外合作工作。地址:(100028)北京市朝阳区太阳宫金星园 8 号昆仑大厦 B 座。电话:(010)63591231。E-mail:leexj@petrochina.com.cn。

三交地区上古生界二叠系含煤地层十分发育,二叠系山西组和太原组是区内主要含煤层系。太原组为海陆交互相沉积,岩性主要为石灰岩、砂岩、砂质泥岩和煤层,主要成煤环境为潮间泥坪。山西组为陆相三角洲沉积,岩性主要为长石石英杂砂岩,其次为泥岩、粉砂质泥岩、粉砂岩和煤层,主要成煤环境为河间沼泽和泛滥平原。为煤层气的生成富集奠定了良好的物质基础。

1.2 区域构造

三交地区区域构造属鄂尔多斯盆地东缘晋西挠折带的中断,吕梁隆起的西翼,三交地区主体位于河东煤田中部的离柳矿区。按照地块理论,位于华北地块之次级构造单元河东块凹之中,块凹与吕梁块隆以南北向拗隆为特征;从地质力学观点看,研究区为祁吕贺山字型构造脊柱东侧地盾与东翼内带之间的沉积煤盆地,属于吕梁山复背斜西翼的一部分,三交地区总体表现为向西倾斜的单斜构造,构造比较简单。

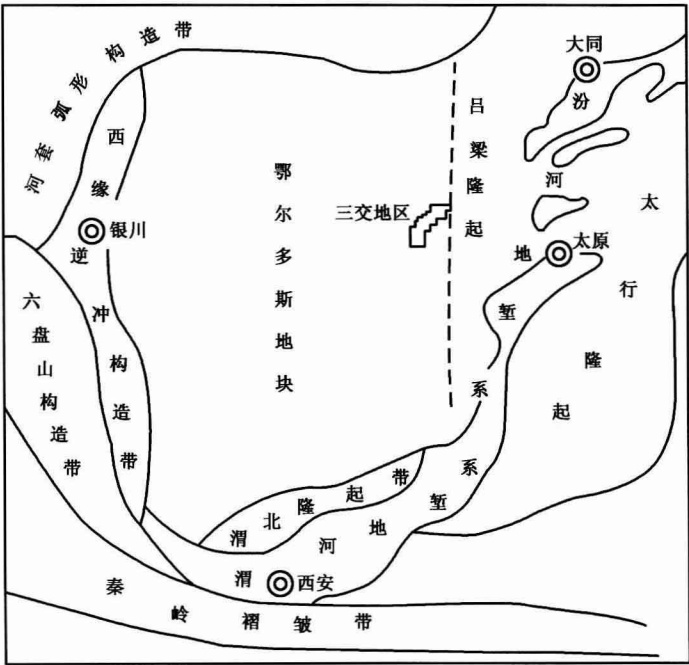


图1 三交地区位置及区域构造单元划分

2 煤层气勘探潜力分析

三交地区内二叠系下统的山西组和太原组为主要的含煤层系。自上而下分别发育山西组的01[#]、02[#]、03[#]、1[#]、2[#]、3[#]、4[#]、5[#](4[#]+5[#])、5_下[#]煤层和太原组的6_上[#]、6[#]、7[#]、7_下[#]、8[#]、9[#](8[#]+9[#])、10[#]、11[#]煤层,共含煤17层。其中,山西组主要可采煤层3[#]/4[#]/5[#]煤和太原组8[#]/9[#]煤层为该地区的主力产煤层系。根据沉积环境、煤岩煤质、储层物性和含气性等地质条件,煤层气资源主要集中于这两套煤层气藏(含煤层系)之中,研究重点探讨其成藏条件^[2]。

2.1 主力煤层分布特征

从分布三交地区的煤层气及煤炭钻井资料来看,三交地区主力煤层广泛发育,分布稳定。

根据三交地区煤炭钻孔以及煤层气钻孔资料统计,目标煤层主要属中厚~厚煤层,各煤层发育特征有所差异(表1)。

表1 三交地区主要煤层特征表

煤 层	煤层厚度(m) (最小—最大/平均)	煤层间距(m) (最小—最大/平均)	结构	稳定性	赋存特点及 可采特征
3 [#]	0.45 ~ 1.60/1.04		较简单	较稳定	山西组中部
4 [#]	0.73 ~ 3.56/1.7	0 ~ 12.5/8	较简单	较稳定	
5 [#]	0.35 ~ 7.88/3.8	0 ~ 10	较复杂	较稳定	
3 [#] /4 [#] /5 [#]	2.4 ~ 10.1/5	三交地区大部可采,南部3 [#] 精查区多合并			
8 [#]	2.50 ~ 9.72/3.2	41 ~ 78/54	较简单	稳定	太原组中下部, 三交地区可采
9 [#]	0.15 ~ 8.0/3.5	0 ~ 21.6/8.7	较复杂	稳定	
8 [#] /9 [#]	6.78 ~ 10.2/8				
3 [#] /4 [#] /5 [#] + 8 [#] /9 [#]	5.8 ~ 20.3/13				

3[#]/4[#]/5[#]煤层:在三交地区广泛分布,厚度较大,为南北—北东向展布的聚煤带。从平面分布上看,3[#]/4[#]/5[#]煤整体西厚东薄,厚度2.5~10.1m,中部沉积稳定,南北—北东向展布的聚煤带厚度在3~6米。南部3[#]煤变厚,5[#]煤变薄。5[#]煤深度在300~850m,西南部煤层埋深在300~800m,煤层埋深适中,适合煤层气开发。

8[#]/9[#]煤层:分布稳定,厚度较大,为滨浅湖沼泽发育集中区,向东煤层整体有变薄的趋势。8[#]/9[#]煤层在三交地区广泛分布,到南部8[#]与9[#]煤层合并在一起。在平面分布上,8[#]/9[#]煤发育南北—北东向展布的聚煤带。区内9[#]煤层底界埋深由东向西变深,煤层埋深一般小于1000m,煤层埋深适中,适合煤层气开发。

2.2 主力煤储层特征

三交地区煤岩主要受深成变质作用控制,从浅到深,镜质组反射率(R_o)逐渐增加。3[#]/4[#]/5[#]煤层 R_o 为0.91%~1.19%,平均1.06%,属于肥煤;8[#]/9[#]煤层 R_o 为1.02%~1.44%,平均1.18%,属于肥、焦煤。从变质程度来看,属于典型的中煤阶。

样品测试表明,3[#]/4[#]/5[#]煤层含气量一般为6~12m³/t,最大达18.39m³/t,最小1.45m³/t,平均8.48m³/t。综合钻井测试以及煤田瓦斯资料^[3],重新绘制了主力煤层3[#]/4[#]/5[#]、8[#]/9[#]煤含气量平面等值线图。含气量数值4~18m³/t,一般为6~10m³/t。两套主力煤层的含气量在平面上变化规律基本一致,总体表现为东高西低、南高北低的特点。以三交地区西南部的SG03井—磴口井组间含气量较高,最大达20m³/t,一般10~20m³/t。

勘探表明,山西组主煤组3[#]/4[#]/5[#]储层压力在3.29~6.24MPa,储层压力梯度0.53~1.018MPa/100m,太原组主煤组8[#]/9[#]煤储层压力为4.57~6.69MPa。储层压力梯度0.53~1.09MPa/100m,其中南部和中部大部分地区为基本正常,仅在北部ZK3-2井区表现为欠压。

试井结果显示,三交地区山西组3[#]/4[#]/5[#]煤层的渗透率为(0.028~5.62)mD;太原组8[#]/9[#]煤层的渗透率值为(0.096~0.83)mD;均属于低到较高渗透率,具有较好的渗透条件,有利于煤层气开采。山西组3[#]/4[#]/5[#]煤层的渗透率要略大于太原组8[#]/9[#]煤层的渗透率;总体呈现出了煤岩渗透率随煤层埋藏深度加大而降低的变化趋势。

根据煤层气井煤心的测定,山西组3[#]/4[#]/5[#]煤空气干燥基的饱和吸附量(VL)平均为

16. $15\text{m}^3/\text{t}$,太原组 8[#]/9[#]煤平均为 $19.97\text{m}^3/\text{t}$,表明煤层具有中等—较强的储气能力。

山西组 3[#]/4[#]/5[#]煤层含气饱和度为 52% ~ 89%;8[#]/9[#]煤层为 54% ~ 100%,总体上含气饱和度(吸附饱和度)偏低。呈现南高北低、西高东低的特点。

2.3 煤层气资源

针对三交地区 1000m 以浅的 675km^2 范围内的煤层气资源进行了估算,按低、中、高三个方案(表 2),预测煤层气资源量分别是 $1212 \times 10^8\text{m}^3$ 、 $1447 \times 10^8\text{m}^3$ 、 $1685 \times 10^8\text{m}^3$,资源丰度分别达到 $1.79 \times 10^8\text{m}^3/\text{km}^2$ 、 $2.14 \times 10^8\text{m}^3/\text{km}^2$ 、 $2.49 \times 10^8\text{m}^3/\text{km}^2$ 。虽然估算倾向于更为乐观,但结果还是表明了三交地区的煤层气资源丰富。

表 2 三交地区煤层气资源估算表

煤层	面积 (km^2)	低		中		高	
		资源丰度 ($\times 10^8\text{m}^3/\text{km}$)	储量 ($\times 10^8\text{m}^3$)	资源丰度 ($\times 10^8\text{m}^3/\text{km}$)	储量 ($\times 10^8\text{m}^3$)	资源丰度 ($\times 10^8\text{m}^3/\text{km}$)	储量 ($\times 10^8\text{m}^3$)
3 [#] + 4 [#] + 5 [#]	675.34	0.69	465.19	0.79	532.72	0.89	600.26
8 [#] + 9 [#]	675.46	1.11	746.51	1.36	915.38	1.61	1084.24
合计	675.46	1.79	1211.70	2.14	1448.10	2.49	1684.50

三交地区的煤层气勘探工作始于 20 世纪 90 年代,截至目前,已初步形成了一系列适合煤层气勘探开发的配套技术系列,其中煤层气直钻井技术^[4]、水平井钻井技术^[5]和直井压裂增产改造技术成效尤为突出^[6]。该区部分煤层气资源已得到了基本探明^[7],这为三交地区的煤层气开发奠定了坚实的储量基础。

3 煤层气开发潜力分析

3.1 煤层气开发地质条件

从目前的勘探情况可以看出,三交地区具有很好的煤层气开发地质条件^[7]。① 三交地区构造简单,地层平缓(构造形态总体上为一个平缓的单斜,地层倾角小于 6°)。② 煤层埋藏深度适中,适合煤层气开发(目标煤层埋深小于 1000m)。③ 煤层分布稳定,煤层气保存条件有利。煤田勘探和煤层气勘探表明,煤层的直接顶板基本上为裂隙不发育、封盖能力强的泥岩,对气体起到良好的保护作用。煤层水型为弱碱性碳酸氢钠水型,甲烷含量在 90% 以上,表明三交地区的煤层气保存条件良好。④ 煤储层物性相对较好。注入/压降试井结果表明,煤层的渗透性比较好,有利于气体的渗流,这一点从实际排采结果基本得到证实。⑤ 气藏有较强的产气能力。煤层含气饱和度在 52% ~ 100% 之间,为含气不饱和气藏,从实际排采结果来看,三交地区煤层具有较好的产气能力。

3.2 大井组开发试验

三交地区自 21 世纪初开始煤层气排采试验。其中,三交井组和磧口井组共 14 口井,为 2002 年之前进行的排采试验井,先后试采 32 个月、10 个月,井组产量接近 $1 \times 10^4\text{m}^3$ 。显示了三交地区煤层气井具有较高的煤层气产能^[8],具备了扩大开发试验的基础。按照“整体规划、分步实施、滚动开发”的部署原则,优选煤层气成藏条件有利、地质认识和勘探程度高、前期排采效果好的地区,开展大井组试验。

在三交地区开展大井组试验的目的有三^[9],一是通过大井组试采,评价该区单井及区块的真实产能,为编制开发方案,最大限度地降低投资风险,提供依据;二是通过大井组试采,获取足够的试采数据,确定合理高效的开发方式;三是通过大井组试采,开展必要的新技术试验,确定适用的开发技术。大井组煤层气开采试验是通往区域规模煤层气开发的必由之路。

4 结论

研究以及勘探实践表明,三交地区煤层气成藏地质条件优越,煤层气资源丰富;煤层气试采证实,三交地区煤层气具有良好的开发地质条件和可采性,具备大规模开发的潜力;三交地区大井组煤层气开发试验,是通往区域规模煤层气开发的必经之路;三交地区将成为中国煤层气勘探开发,特别是中煤阶的勘探开发,最具潜力、最为成功的地区之一。

参考文献

- [1] 冯三利等.鄂尔多斯盆地煤层气资源及开发潜力分析.地质通报,2002,21(10):658~662
- [2] 刘成林等.煤层气藏保存条件评价.天然气勘探与开发,1998,21(1):1~5
- [3] 刘效贤等.测井评价煤层气储层的方法探讨.中国煤炭地质,2008,20(12):1~3
- [4] 王西民.煤层气丛式井钻进工艺.煤炭技术,2009,28(2):130~132
- [5] 鲜保安等.煤层气分支井井身结构设计模型研究.天然气技术,2007,1(6):28~30
- [6] 张亚蒲等.煤层气藏直井压裂开发数值模拟研究.石油天然气学报,2006,28(3):352~354
- [7] 李明宅等.煤层气探明储量计算中的有关技术问题讨论.中国石油勘探,2007,1:87~90
- [8] 王晓敏等.煤层气的开发概述.中国西部科技,2009,8(1):11~13
- [9] 李景明等.中国煤层气资源特点及开发对策.天然气工业,2009,29(4):9~13

韩城—合阳地区下二叠统煤层气富集的沉积条件

陈 震

(中联煤层气国家工程研究中心有限责任公司 北京 100095)

摘要: 本文以鄂尔多斯东南缘韩城—合阳地区下二叠统太原组和山西组为例,以海平面升降旋回为前提,讨论了主要含煤地层的沉积相特征、聚煤模式,并通过煤层与顶底板之间的沉积相组合关系、海平面升降作用对煤岩煤质的影响分析,初步探讨了研究区各煤层煤层气富集的沉积条件。研究表明,太原组发育三角洲、潮坪—潟湖—障壁岛—局限浅海—碳酸盐台地、潮坪—局限浅海—碳酸盐台地沉积体系,主力煤层形成于较大的海退—海侵阶段的潮坪、潟湖相,煤层稳定,连续性好,顶板岩性岩相为煤层气保存富集的关键;山西组主要为三角洲相沉积,煤层形成于暂时性海退—海侵阶段,与上覆地层间隔期短、泥炭沼泽不发育、后期河道改道冲刷作用影响煤层发育,上覆河道相砂岩、泛滥平原相泥质砂岩、砂质泥岩封盖能力较弱,影响了煤层气的富集。

煤层气的富集受多种因素控制,包括构造条件、沉积条件、水文条件和成岩作用等^[1]。本文以鄂尔多斯东南缘韩城—合阳地区二叠系为例,以海平面升降旋回为前提,讨论了主要含煤地层的沉积相特征、聚煤模式,及其对煤层厚度和分布范围的控制作用,并通过煤层与围岩之间的沉积相组合关系、海平面升降作用对煤岩煤质的影响分析,初步探讨了研究区各煤层煤层气富集的沉积条件。

1 研究区背景

韩城—合阳地区位于鄂尔多斯盆地东南缘,渭北隆起带与晋西挠折带。南临渭河地堑,东至韩城大断裂。主要含煤地层下二叠统太原组和山西组为此次研究的目的层段,厚 100 ~ 150m,其岩性主要由砂岩、泥岩夹灰岩和煤层组成,为一套海陆交互相沉积^[2]。含煤层数多,达 13 层,其中,主要可采煤层为 3[#]煤、5[#]煤、11[#]煤三个煤层,可采煤层总厚度为 4 ~ 18m,一般为 10 ~ 14m,煤层由东向西逐渐变深,埋深多在 500 ~ 1200m 之间,主力煤层含气量和埋深变化趋势一致,由东向西逐渐增加,主要分布在 6 ~ 14m³/t,以瘦煤、贫煤为主,次为焦煤、无烟煤^[3]。

2 构造演化及海平面变化特征

鄂尔多斯盆地早古生代主要为陆表海环境^[4-5],周围被古陆和岛屿环绕形成碳酸盐沉积。中奥陶世,盆地整体隆起,遭受长期风化剥蚀,晚石炭世本溪组韩城—合阳地区才开始接受沉积,发生填平补齐作用。至晚石炭世末,受西伯利亚板块俯冲挤压作用的影响,华北地台北缘因洋壳消减而抬升,区域构造体制北隆南倾,华北板块在拉张应力作用下整体缓慢下沉,海水

作者简介:陈震,男,1983 年 1 月生,2009 年毕业于中国石油大学(北京),现从事煤层气地质勘探研究,助理工程师,北京市海淀区北清路 156 号中关村环保科技示范园地锦路 5 号 D 座,邮编:100095, E-mail:chenzhen00100@163.com。

由 E-SE 方向侵入韩城—合阳地区,研究区太原组形成了一套海陆交互相沉积体系,经历了多期海侵—海退旋回,在太原组沉积中期海侵规模达到最大,在研究区沉积了一套厚 0~11m 的海相生物灰岩—庙沟灰岩,之后海平面总体缓慢下降,至中二叠世,华北地台整体抬升,海水自鄂尔多斯盆地东西两侧退出,研究区由陆表海盆演变为内陆湖盆沉积。此次研究中,海平面变化主要通过克拉通内海侵—海退所形成的相对薄的沉积旋回来识别,根据海侵事件层(海相生物灰岩、海相泥岩)以及以煤层、碳质泥岩为标志的海退事件层,作者尝试编制了韩城—合阳地区上石炭系—下二叠系的相对海平面变化曲线(图 1)。应当说明的是,目前尚无法测得各次海平面变化的幅度,曲线中海平面变化幅度是根据海相层在板块内所延伸的范围推断的,为相对变化幅度。

图1 韩城—合阳地区沉积综合柱状图

研究区太原组发育三角洲、潮坪—潟湖—障壁岛—局限浅海—碳酸盐台地(障壁海岸沉积体系)、潮坪—局限浅海—碳酸盐台地沉积体系(无障壁海岸沉积体系)(图1),沉积相类型

丰富,碎屑岩—碳酸盐岩混合沉积为其主要特征,沉积体系展布满足阿姆斯特朗碎屑岩—碳酸盐岩混积型沉积相模式(Armstrong, 1974);山西组沉积类型相对较单一,发育一套河流—三角洲相沉积,主要为三角洲平原和三角洲前缘亚相,前三角洲不发育。

研究区的主要可采煤层 3[#]煤位于山西组中部,5[#]煤、11[#]煤分别位于太原组顶底,为了精细研究煤层的垂向沉积演化特征,本次研究将各组按海侵—海退旋回划分开,尤其是在太原组,鉴于阿姆斯特朗碎屑岩—碳酸盐岩混积型沉积相模式中碳酸盐岩沉积成煤模式与其碎屑岩成煤模式的显著差异,将海侵最大时的碳酸盐岩沉积划为中期旋回,重点研究上下两个海退旋回中碎屑岩沉积模式下主力煤层的沉积特征,并在此基础上,对影响煤层发育的顶底板岩性岩相特征进行了精细研究。

3.1 太原组

太原组经历了多期海侵—海退旋回,可以归纳为 3 个长期旋回,即早期海退、中期海侵和晚期海退,厚度 40 ~ 60m,总体上自西北向东南沉积厚度增大。岩性大致可以分为三部分,早期旋回以灰色、深灰色、灰黑色泥岩、碳质泥岩、粉砂岩、泥质粉砂岩和黑色煤岩为主,厚 10 ~ 25m,粒度较细,仅在局部出现粗粒碎屑和氧化色泥岩,11[#]煤发育在旋回底部,韩城地区分布较稳定,合阳地区仅局部可见;中期旋回由灰色灰岩、灰黑色灰岩、泥岩、碳质泥岩及少量薄煤层组成,灰岩为海相生物灰岩,块状,泥质含量较高,一般 2 ~ 3 层,厚 0 ~ 11m;晚期旋回主要以灰色泥岩、深灰色泥岩、灰黑色泥岩、砂质泥岩、粉砂岩为主,粒度较细,粗粒碎屑不发育,砂岩泥质含量较高,厚 15 ~ 25m,5[#]煤发育在旋回顶部,全区较稳定分布。

早期海退旋回以太原组底部泥岩为起点,以庙沟灰岩底部为终点,该沉积时期物源主要来自于研究区北部,碎屑物向东南方向注入盆地,形成三角洲相沉积,但分布范围较小,仅分布在韩试 4 井、韩试 6 井、韩试 8 井一带以及研究区北部 WLC09 井、WCL10 井、韩试 17 井附近。研究区的其他大部地区发育了潮坪—潟湖—障壁岛—局限浅海相沉积。该旋回底部沉积了 11[#]煤。在海平面升降旋回来看,11[#]煤形成于旋回下部,发育于海退—海侵的转换面,与上覆地层有比较大的沉积间断,因此,煤层底板作为煤层沉积的载体,其沉积相特征对上覆煤层沉积演化尤为重要。在 WLC01 井以南地区,11[#]煤层底板岩性主要为本溪组的铝土质泥岩(K₁),是奥陶系石灰岩的风化残积物,以碎屑或胶体溶液方式被地表水搬运到海湾—潟湖边缘沉积而成,主要起填平补齐作用,这一时期构造活动较弱,碎屑沉积体系能量较低,活动性差,几乎废弃,因此分布范围及厚度主要受古地貌影响^[6],11[#]煤就形成于这种低能沉积体系之上,主要成煤环境为滨岸泥炭沼泽,受古地貌影响明显,在合阳地区、韩试 8 井区相对地形较高的地区缺失,成煤中心集中在 WLC06 井、WLC03 井附近潮坪、潟湖沉积区,向南北厚度减薄。在 WLC01 井以北地区,11[#]煤层底板岩性主要为三角洲泛滥平原沉积,沉积体系活动性相对较强,由于受到较高古地形及三角洲分流河道冲刷影响,煤层较薄。

中期海侵旋回以庙沟灰岩底部为起点,以庙沟灰岩顶部或其上的碳质泥岩、煤层顶部为终点。该沉积时期研究区经历了二叠系最大规模的一次海侵,海侵方向为 E—SE,研究区陆源碎屑物停止注入,全区沉积了一套碳酸盐台地相的海相生物灰岩,为本区的标致层(K₂)。该套灰岩一般分 2 ~ 3 层,其间夹杂泥岩、碳质泥岩或煤线,碳酸盐台地相与潮坪相交互沉积,反映海侵期海水不断升降变化,水体较动荡,沿研究区倾向方向总体呈东南厚西北薄的特征,沿海岸线向深水区碳酸盐岩厚度变大。该时期局部地区形成厚度较薄的煤层,通常仅几十厘米厚,

煤层气经济可采价值低。

晚期海退旋回以庙沟灰岩顶部泥岩为起点,以5[#]煤顶部为终点。该沉积时期海平面总体呈下降趋势,沉积体系向海推进,除研究区东北部三角洲相发育外,其他地区陆源供应很少,障壁海岸沉积和无障壁海岸沉积同时发育,障壁海岸沉积以障壁岛—潟湖—潮坪相为主,局部发育河口湾相和潮汐三角洲相沉积,无障壁海岸沉积以潮坪—局限浅海相为主,与潟湖边缘潮坪相相比,受潮汐影响加大。研究区东北部三角洲相以三角洲平原亚相及三角洲前缘亚相沉积为主,泛滥平原亚相发育。该旋回顶部沉积了5[#]煤,依据煤层底板的岩性及其沉积相分析,5[#]煤主要由下列沉积环境演化发育而来。

① 泥炭沼泽在海退过程中由潟湖或局限浅海淤积填平而成。这类沼泽位于潮上带,属于泥炭坪沉积,沼泽下部沉积的主体为潟湖相或局限浅海相,二者的差异在于有无障壁岛和潮汐影响程度强弱,但演化模式相似。在海平面逐渐下降过程中,滨岸沉积体系向海进积,泥炭沼泽逐渐向海扩大,潟湖或局限浅海最终淤积,在湖盆近中央地带沉积较厚层的煤岩(图5)。WLC06井、WLC04井、WLC03井、合试2井等都属于这种类型,其差别在于5号煤层分叉与否。单一煤层形成于海退旋回初期的潟湖主体区,大的海退旋回中后期短暂海侵时该处水体仍较深,对该地区沉积岩性影响不大;煤层分叉的井受此影响较大,在此次海侵之前的缓慢海退过程中,WLC06井、合试2井等井处水体下降,接近潟湖或局限浅海边缘,适合植物大量生长,泥炭沼泽开始堆积,后期海侵使得泥炭沼泽停止生长,泥炭层保存下来,形成碳质泥岩或薄煤层,其上重新过渡为潟湖或局限浅海相,旋回后期海平面再次下降,重新演变为潮坪环境堆积泥炭形成煤层,而且靠近沉积中心煤层较厚^[7]。其沉积序列自下而上依次为:a. 碳酸盐台地石灰岩—潟湖(局限浅海)泥岩—泥炭坪煤层;(图2);b. 碳酸盐台地石灰岩—潟湖(局限浅海)泥岩—泥炭坪煤层(碳质泥岩)—潟湖(局限浅海)泥岩—泥炭坪煤层;c. 碳酸盐台地石灰岩—局限浅海泥岩—障壁岛砂岩—潟湖泥岩—泥炭坪煤层—潟湖泥岩—泥炭坪煤层。这类沼泽形成的煤层硫含量普遍高(1%),常见黄铁矿。

② 泥炭沼泽由三角洲平原上的沼泽或分流河道淤积填平而形成。这种沼泽沉积的煤层底板为三角洲平原泛滥平原沉积的泥岩、分流河道砂岩或者三角洲前缘分流间湾暗色泥岩。此类泥炭沼泽一般属于半咸水—淡水环境,其沉积的煤层硫含量普遍较低(<1%)。这类环境的沉积序列自下而上依次为分流河道砂岩—泛滥平原泥岩—泥炭沼泽煤层、分流河道砂岩—煤层或水下分流河道砂岩—分流间湾泥岩—泥炭沼泽煤层。比较特别的一种是潮汐三角洲沉积成煤,以WLC05井为例,位于潟湖与局限浅海的连通处,主要由潮汐作用形成,而且由于此处为障壁岛的潮道,潮汐作用较强,早期形成的障后泥炭坪煤层被后期潮汐三角洲砂岩冲刷,煤层薄且分层多,而且顶板为潮汐三角洲砂岩,对煤层气的保存不利,此类沉积分布范围较小,本区仅在局部可见。

3.2 山西组

山西组地层厚度整体自南向北厚度增加,物源区来着北面,研究区南部、东南部为主要的沉积中心。研究区山西组沉积相类型较单一,发育三角洲沉积体系,主要为三角洲平原亚相和三角洲前缘亚相,前三角洲不发育。其中分流河道砂体较发育,有利的成煤区泛滥平原亚相泥炭沼泽微相不发育,主要的成煤演化模式与太原组三角洲沉积类似(图5-4)。