

中国深部煤层气勘探开发前景初探

郭广山, 柳迎红, 吕玉民

(中海油研究总院 新能源研究中心, 北京 100028)

摘要:目前我国煤层气勘探开发大多集中在中浅煤层。近年来,在鄂尔多斯盆地东缘和沁水盆地开展了深部煤层气的勘探评价及试采工作。深部煤层气的研究和勘探开发在我国尚处于起步阶段。依据煤层气勘探开发经验,一般认为深部煤层气是指埋藏深度在 1000 m 以深的煤层,其煤岩性质、含气性和储层物性与中浅部煤层有着较大的差异,这样势必造成深部煤层气富集成藏和工艺技术上的特殊性。我国深部煤层气资源量占全国煤层气资源量的 61%。借鉴美国和加拿大深部煤层气开发的成功经验,开展我国深部煤层气富集成藏及深部煤层气工艺技术研究,将有助于全面开发我国煤层气资源。

关键词:深部煤层气;成藏条件;含气性临界深度;地应力

中图分类号:P618.13 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-6772(2015)01-0125-04

Preliminary exploration and development prospects on deep coalbed methane in China

GUO Guangshan, LIU Yinghong, LYU Yumin

(New Energy Research Center, China National Offshore Oil Corporation Research Institute, Beijing 100028, China)

Abstract: At present, the coalbed methane exploration and development are mostly concentrated in the shallow coal seams in China. In recent years, the exploration and trial mining work in deep coalbed methane were carried out in the eastern margin of Ordos Basin and Qinshui Basin. The research and exploration of deep coalbed methane in China was still in early stage. According to the experience of coalbed methane exploration and development, the deep coalbed methane was contained in the coal seam with the buried deep depth of 1000 m, in which the coal rock properties, gas and reservoir properties were different from those in the shallow coal seam. The special cause determined the particularity of development ways. The deep coalbed methane resources accounted for 61% of the total amount coal-bed methane resources in China. The successful deep coalbed methane development experience of the United States and Canada could be used to guide the development of the deep coalbed methane in China.

Key words: deep coalbed methane; forming condition; gas containing critical depth; ground stress

0 引 言

据我国最新一轮煤层气资源评价结果,我国埋深 2000 m 以浅的煤层气资源量约为 36.8 万亿 m^3 ,主要集中在沁水盆地、鄂尔多斯盆地、准噶尔等 14 个含煤盆地内。深部煤层气资源十分丰富。据估算,埋深在 1000 m 以深的煤层气资源量达到 22.45 万亿 m^3 ,约占总资源量的 61%。目前,煤层气勘探开发程度最高的沁水盆地埋深在 1000 m 以深的煤

层气资源量占全盆地总资源量的 47%,鄂尔多斯盆地埋深在 1000 m 以深的煤层气资源量占全盆地总资源量的 72%。这一部分煤层气资源的开发利用将全面推动我国煤层气产业的发展,填补我国在深部煤层气未取得商业性开发利用的空白^[1-2]。

自 20 世纪 80 年代以来,我国煤层气勘探开发主要集中在埋深小于 1000 m 的含煤区。近几年,我国主要在沁水盆地的南部和鄂尔多斯盆地东缘的浅部开展了大规模的煤层气勘探开发。忽略深部煤层

收稿日期:2014-08-14;责任编辑:孙淑君 DOI:10.13226/j.issn.1006-6772.2015.01.029

作者简介:郭广山(1982—),男,河北沧州人,工程师,博士,从事非常规油气地质方面的研究工作。E-mail:guogsh2@cnooc.com.cn

引用格式:郭广山,柳迎红,吕玉民.中国深部煤层气勘探开发前景初探[J].洁净煤技术,2015,21(1):125-128.

GUO Guangshan, LIU Yinghong, LYU Yumin. Preliminary exploration and development prospects on deep coalbed methane in China [J]. Clean Coal Technology, 2015, 21(1): 125-128.

气勘探开发潜力的主要原因是,深部煤层气处于“三高”地质环境下,即高地温、高地应力、高储层压力。高地应力极大地降低了煤储层渗透性,高温高压条件会影响煤层气吸附、解吸特征,同时高温高压条件下,煤层非均质性、塑性更强,储层改造更加复杂化,这些因素使深部煤层气富集主控因素变得异常复杂,在勘探开发过程中表现出储层改造难度大,可采性差,单井产量低的特点^[3]。因此,在选区评价过程中,埋深在1000 m以深的区块极少被列入优选区来勘探开发。

国内深层煤层气研究较少,尚未形成系统的、能够指导生产实践的成熟思路与工艺技术。然而,北美地区在深部煤层气的勘探开发的商业成功给我国煤层气产业发展以极大的启示。加拿大 Alberta 盆地 Mannville 煤层属于深部煤层气,其中盆地南部 Fort Assiniboine 地区的 Mannville 深层煤层气先导试验区在 2005 年已宣布进入商业性开发。据不完全统计,截至 2012 年, Fort Assiniboine 地区完钻 280 多口井,主要以多分支水平井为主,最高产气量达到 194000 m³/d^[4-5]。系统认识深部煤层气储层性质、资源潜力及勘探开发工艺,将有助于全面开发我国煤层气资源,促进我国煤层气产业的发展。

1 深部煤层气成藏的特殊地质条件

深部煤层气作为我国非常规天然气勘探的一个新领域,剖析其煤储层特征及富集机理,是深部煤层气勘探开发必需的基础工作。

借鉴加拿大 Alberta 盆地中南部 Fort Assiniboine 地区的 Mannville 煤层商业性开发的成功经验,可以发现该区块产气量高值区主要集中在中部,而中部区带的煤层特征表现为煤质好,煤层厚度大、地应力低的特点。煤质好反映了具有相对稳定的成煤环境,稳定的环境有利于形成厚煤层,加之较高的含气量保证了资源潜力;而低地应力区带的渗透率相对较高,为煤层气的开发提供很好的渗流通道。在进行工艺设计时,更注重有效应力、渗透率及其相互关系。通过结合岩石力学方法,建立渗透性模型,模拟数据变化,确定一套与渗透性、地应力相匹配的开发工艺^[5]。

我国学者从不同角度出發,研究了深部煤层煤層吸附特征、地应力以及渗透性特征。

1) 深部煤层吸附特征。一般认为 90% 以上的煤层气主要通过范德华力以吸附态形式赋存于煤层

中。由于深部煤层“三高一低”(高地温、高地应力、高储层压力和低渗透性)的地质环境,深部煤层的吸附能力同时受到储层温度和压力的共同控制。温度增加所产生的负效应有时会大于地层压力正效应,导致含气量随着埋深增加呈现降低的趋势。

秦勇等^[6]认为在一定埋深条件下,地层压力正效应和地温负效应相近或相等,形成煤层含气量-埋深关系的拐点,称为含气性临界深度。

同时国内学者对鄂尔多斯盆地不同区块进行煤层气吸附量随深部变化模拟试验,通过试验数据分析,在 500 m 以前的埋深,吸附量随埋深快速增加;在 500~1000 m 埋深范围内,吸附量随埋深缓慢增大;在 1000~1600 m 内出现了拐点,之后随着埋深增加吸附量逐渐减小(图 1)^[7-8]。

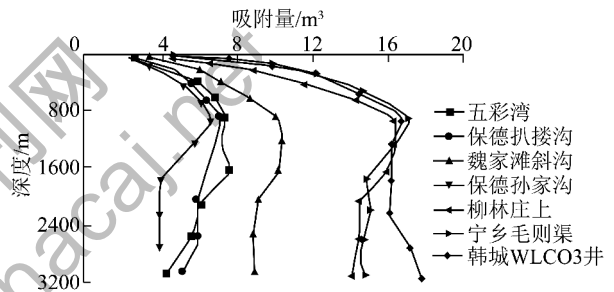


图 1 煤层气吸附量随深度变化曲线

2) 深部煤层地应力特征。现今地应力控制着煤层割理、裂缝发育情况,应力场改变导致割理、裂缝开启、闭合,进而导致渗透率改变。其中最大水平主应力是影响深部煤储层物性的主要因素。

秦勇等^[6]依据 Hoek-Brown 规律,对华北盆地、沁水盆地、鲁西南煤田和华北其他地区地应力进行分析,认为在地应力状态进入临界深度以浅,水平最大与最小主应力差较大,使沿水平主应力方向展布的煤层裂隙呈相对拉张或相对挤压状态,从而对煤储层渗透率造成强烈影响;在临界深度以深,水平应力与垂直应力之间的相对大小发生转换,主应力差相对减小,煤储层三轴受压,裂隙区域闭合,渗透率变差,且受孔隙的影响更为明显(图 2)。

吴建光等^[9]通过对沁水盆地南部不同埋深范围内最大水平地应力值的频率分布及正态分布特点分析得出,随着深度增加,最大水平主应力增加外,更显著的一个特点是,随着埋深的增加,地应力呈台阶式跃变(图 3)。

3) 深部煤层渗透性特征。深部煤层在有效应力和温度共同作用下,孔隙和裂隙呈现不同的开闭

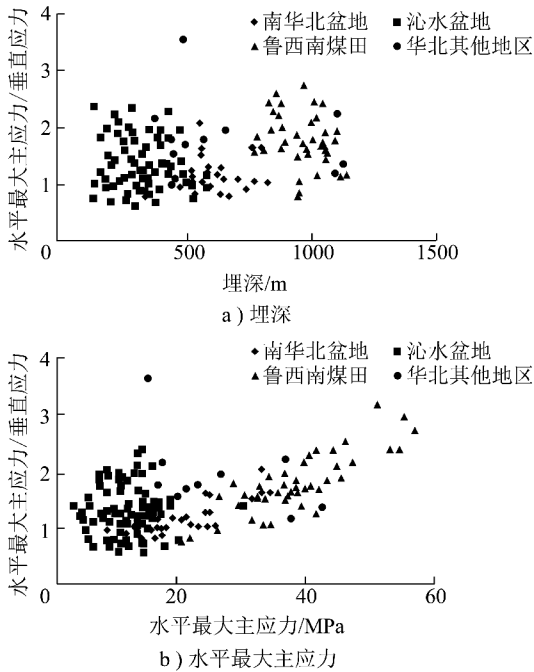


图2 华北地区现代水平最大主应力与垂向应力比值随埋深及水平最大主应力的变化

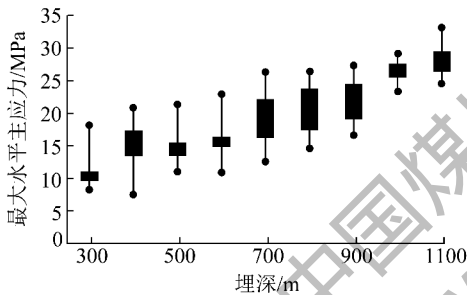


图3 沁水盆地南部水平最大主应力随埋深变化

状态,进而影响煤层渗透率特征。其中起到决定性作用的主要是有效应力作用^[6]。

吴建光等认为最大水平主应力变化是影响储层物性的主要因素。通过对沁水盆地南部的应力分析,发现煤储层物性与最大主应力均有跃变性的变化特征。

国外学者通过研究不同渗透率储层与有效应力的关系,发现有效应力对不同渗透率煤层影响程度不尽相同。随着有效应力增加,煤层渗透率下降,低等渗透率煤层渗透率下降相对明显,呈指数递减,而中等渗透率煤层渗透率呈线性降低^[10-11]。

2 深部煤层气勘探开发展望

目前,我国已经在鄂尔多斯盆地东缘和沁水盆地煤层气区块进行了深部煤层气勘探试采等工作,并取得了较好的产气效果。位于鄂尔多斯盆地东缘

的延川南区块23井,试采2号煤和10号煤层,埋深1497~1503 m,日产气量达到3600 m³;沁水盆地郑庄区块郑60井,试采3号煤层,埋深1337 m,日产气量2336 m³。

鄂尔多斯盆地东缘和沁水盆地是我国煤层气勘探开发程度较高的地区,在浅部煤层勘探开发方面已经积累了大量的研究基础和勘探开发经验,为进行该区深部煤层气勘探开发试验奠定了基础。因此,可供勘探开发的深部煤层气现实区块主要集中在鄂尔多斯盆地东缘和沁水盆地。

2.1 鄂尔多斯盆地东缘深部煤层气

鄂尔多斯盆地埋深在1000 m以深的煤层气资源量相当丰富,据估算约为7.01万亿m³。目前鄂尔多斯盆地东缘是我国煤层气勘探开发最高的基地之一。鄂尔多斯盆地东缘主要位于晋西挠褶带,整体呈一向西倾斜的单斜构造,煤层埋深总体呈现“东浅西深、北东浅西南深”的分布格局^[5]。埋深在1000 m以深的区域主要位于府谷—兴县—吴堡—石楼—吉县一线以西^[12]。

鄂尔多斯盆地东缘二叠系含煤地层为山西组和太原组。山西组发育1~5煤,以陆相沉积背景为主;太原组发育6~10煤,以海陆交互沉积背景为主,其中山西组5号煤层和太原组的8号煤层是区内煤层气主要开发层位。山西组5号煤层在区内主要发育3个厚度带,分别在准格尔—河曲—保德一线,三交—柳林一线,延川南—韩城—合阳一线,厚度基本上超过5 m;太原组8号煤厚度较山西组更加稳定,单层厚度一般大于3 m,在北部准格尔地区厚度达到15 m以上。

山西组5号煤层和太原组8号煤层含气量整体呈现“北低南高、东低西高”的分布格局。

盆地内山西组5号煤层在区内东北部含气量最低,基本在2 m³/t以下;沿三交北—三交—石楼—临汾一带为含气量高值区。在浅部,含气量随着埋深加大而增加;当深度达到煤层含气量临界解吸深度时,煤层含气量随着深度加大反而有所降低。

2.2 沁水盆地深部煤层气

据估算沁水盆地埋深在1000 m以深的煤层气资源量约为2.08万亿m³,开发潜力巨大。

从煤层气形成地质条件看,盆地内以中高变质烟煤和无烟煤为主,整个盆地浅部区主要分布在盆地的西侧和中侧,埋藏深度在1000 m以深。

沁水盆地含煤地层主要是上石炭统太原组和下

二叠统山西组,它是在奥陶系古风化壳之上发育的一套近海海陆交互相含煤沉积。整个沁水盆地煤层总厚度呈现出“三高两低”的格局,大体呈北东向的带状分布。三大厚度大的带自北向南为介休—平遥—榆次、沁源—武乡—榆社和沁水—长子—屯留地区,煤层厚度为8~12 m。富煤中心主要在榆社、武乡一带及盆地西南部,最后达到15 m。

盆地内主要煤层含气量的分布特征与煤层埋深呈现一定联系,表现为自盆地周边煤层露头线向盆地腹地含气量不断增大。在煤层埋藏深度小于300 m地带,含气量一般低于 $8 \text{ m}^3/\text{t}$,但在晋城地区由于煤变质程度较高,太原组15号煤含气量可达 $10\sim 12 \text{ m}^3/\text{t}$;埋藏深度在 $300\sim 600 \text{ m}$,含气量一般在 $10\sim 16 \text{ m}^3/\text{t}$;深度在 $600\sim 1000 \text{ m}$,含气量变化在 $14\sim 22 \text{ m}^3/\text{t}$;当深度接近 1500 m ,含气量高达 $25 \text{ m}^3/\text{t}$ 。含气量的变化受到深层作用和煤变质程度的共同影响,随着深度加大呈现增加的趋势,但含气量的变化梯度由浅到深呈现逐渐减小的趋势^[13-16]。

3 结 论

1) 深部煤层处于“三高一低”地质环境下,即高地温、高地应力、高储层压力和低渗透性。

2) 深部煤层气特殊地质条件主要表现为:①深部煤层吸附能力受到地层压力正效应和地温负效应共同作用,在含气性临界深度以浅,吸附能力随埋深加大逐渐加大,在含气性临界深度以下,吸附能力变化趋势与浅部相反;②深部地应力状态可能发生转换,转换的临界深度与水平最大主应力的大小有关;③煤层物性主要受到有效应力的作用,有效应力对不同渗透率煤层影响程度不尽相同。

3) 我国深部煤层气资源丰富,约为22.45万亿 m^3 。借鉴美国和加拿大深部煤层气开发的成功经验,进行我国深部煤层气储层特征及成藏条件的研究,启动深部煤层气勘探开发试验,将有助于全面开发我国煤层气资源。

参考文献:

- [1] 宋岩,秦胜飞,赵孟军,等.中国煤层气成藏的两大关键地质因素[J].天然气地球科学,2007,18(4):545-553.
- [2] 王红岩,张建博,李景明,等.中国煤层气富集成藏规律[J].天然气工业,2004,24(5):11-13.
- [3] 赵丽娟.国内深部煤层气研究现状[J].中国煤层气,2010,7(2):38-40.
- [4] Bearinger D, Majcher M. Controls on manville coalbed methane

production in fort assiniboine, alberta [C]//Proceedings of canadian unconventional resources and international petroleum conference, Calgary, Alberta, Canada, society of petroleum engineers, 2010:1-9.

- [5] Johnson B A. Coalbed methane artificial lift challenges from Alberta's Mannville coal [C]//Proceedings of Canadian unconventional resources and international petroleum conference, Calgary, Alberta, Canada, society of petroleum engineers, 2010:11-18.
- [6] 秦勇,申建,王宝文,等.深部煤层气成藏效应及其耦合关系[J].石油学报,2012,33(1):48-54.
- [7] 陈刚,李五忠.鄂尔多斯盆地深部煤层气吸附能力的影响因素及规律[J].地质勘探,2010,31(10):47-49.
- [8] 赵丽娟,秦勇,Geoff Wang,等.高温高压条件下深部煤层气吸附行为[J].高校地质学报,2013,19(4):648-654.
- [9] 吴建光,孙茂远,冯三利,等.国家级煤层气示范工程建设的启示:沁水盆地南部煤层气开发利用高技术产业化示范工程综述[J].天然气工业,2011,31(5):9-15.
- [10] Tonnsen R R, Miskimins J L. Simulation of deep-coalbed-methane permeability and production assuming variable pore-volume compressibility [C]//Proceedings of Canadian unconventional resources and international petroleum conference, Calgary, Alberta, Canada, society of petroleum engineers, 2010:24-33.
- [11] Ian Palmer. The permeability factor in coalbed methane well completions and production [C]//Proceedings of western regional meeting, Anaheim, California, USA, society of petroleum engineers, 2010:1-11.
- [12] 陈刚,秦勇,李五忠,等.鄂尔多斯盆地东部深层煤层气成藏地质条件分析[J].高校地质学报,2012,18(3):465-473.
- [13] 刘洪林,李贵中,王广俊,等.沁水盆地煤层气地质特征与开发前景[M].北京:石油工业出版社,2009.
- [14] 崔思华,彭秀丽,鲜保安,等.沁水煤层气田煤层气成藏条件分析[J].天然气工业,2004,24(5):14-16.
- [15] 蒋达源,文志刚,何文祥,等.沁水盆地煤层气地质研究进展[J].重庆科技学院学报:自然科学版,2004,15(6):70-74.
- [16] 叶建平,彭小妹,张小朋,等.山西沁水盆地煤层气勘探方向和开发建议[J].中国煤层气,2009,6(3):7-11.

“煤炭燃烧及污染物防治理论与技术” 特刊征文通知

为全面落实国家“十二五”规划制定的煤炭产业政策,全面展示煤炭燃烧及污染物防治领域的新理论、新技术、新装备、新产品,促进煤炭清洁高效燃烧,实现污染物近零排放。本刊拟于2015年3月在《洁净煤技术》第2期出版“煤炭燃烧及污染物防治理论与技术”特刊(正刊)。围绕此次特刊,现面向全国征集相关论文。

征文截止时间:2015年3月15日

征文投稿邮箱:coalfire@163.com

联系方式:白娅娜 010-84262927-12