

文章编号: 1001-6112(2000)02-0131-05

对我国煤层气勘探前景的再认识

池卫国, 吴松钦

(中国石化新星公司 华北石油局规划设计研究院, 河南 郑州 450006)

摘要: 我国的煤层气勘探已经取得了令人鼓舞的成果, 众多地区的勘探开发试验取得了工业性突破, 并发现了大型煤层气田。与此同时, 也存在着勘探开发的技术难题和不同认识, 主要集中体现在煤层气地质条件的影响方面。作者从影响煤层气勘探的地质条件出发, 探讨了煤层气资源的可采性, 认为目前能够采用排水采气方法开发煤层气资源的地区是有限的, 这主要受制于煤层气的可采性, 而煤层气的可采性则主要取决于煤体结构、地层压力和水文地质条件。文中首次提出了划分煤层气的 3 种水文地质类型及分布区域, 分析了不同水文地质类型对煤层气可采性造成的不同影响, 探讨了煤层气综合勘探开发的前景, 并提出了今后煤层气勘探工作的建议。

关键词: 综合勘探; 水文地质; 地层压力; 煤体结构; 资源; 煤层气;

中图分类号: P618.11; TE132.2

文献标识码: A

我国自“八五”开展煤层气勘探工作以来, 地矿、煤炭、石油部门及地方政府先后在华北、东北、华南含煤区进行了煤层气勘探和勘探开发试验, 尤其是在联合国开发计划署援华项目资金和技术的资助下, 我国的煤层气勘探获得了长足进步, 先后在山西柳林和晋城、河北大成及辽宁铁法等地获得了勘探开发试验的重大进展, 单井日产煤层气一般为 30004000m^3 , 最高达到 16000m^3 ; 同时, 随着国家中联煤层气有限责任公司的组建, 我国的煤层气勘探进入了新的历史发展阶段, 也进一步吸引了外资及外商不断进入该领域进行风险勘探。目前, 国内已打煤层气探井 120 余口, 并在山西沁水盆地南部发现了一个总面积 1200km^2 、总资源量达 $2000 \times 10^8\text{m}^3$ 的大型整装煤层气田。除此之外, 矿井范围的钻孔煤层气抽放新技术试验也取得了积极成果, 并取得了初步的经济和社会效益。尽管我国煤层气勘探已经取得了引人注目的进展, 但至今还没有形成较大规模煤层气田的商业性井网开发和产生直接的经济效益, 而且我国复杂的煤层气地质条件仍然会给煤层气勘探不断带来新的研究课题。这里根据国内近几年煤层气的勘探和研究进展, 浅谈一下煤层气勘探前景的一些新的认识和见解。

1 煤层气资源

我国是世界上煤层气资源最丰富的主要国家之一, 煤层气资源主要分布于华北、西北及西南地区的石炭系、二叠系和下一中侏罗统含煤地层之中。关于煤层气资源量, 有些部门的科学预测认为, 埋深 2000m 以浅的全国煤层气资源总量达到 $32.68 \times 10^{12} \text{m}^3$ ^[1], 还有些部门对煤层甲烷含量大于或等于 $4\text{m}^3/\text{t}$ 、埋深 2000m 以浅的全国煤层气资源量进行了计算, 其计算结果为 $14.34 \times 10^{12} \text{m}^3$ ^[2]。这些煤层气资源量的计算和预测结果, 足以说明我国煤层气资源的绝对量是巨大的, 是勘探和开发煤层气的基础。对于目前以地面垂直钻井的排水降压法采气的煤层气勘探来讲, 开发煤层气的地区必须具有较好的煤层气地质条件, 如地质历史上构造活动相对稳定、煤层结构保存较完整、煤层含气量较高的盆地或区块。按照国内外煤层气勘探实际, 一般要求煤层含气量大于 $4 \sim 5\text{m}^3/\text{t}$, 而石炭系、二叠系煤层则要求其含气量更高一些。因此, 只有具备较好煤层气地质条件的地区, 其煤层气资源量对煤层气的勘探开发才是有效的。为此, 笔者近来对煤炭资源量

收稿日期: 1999-08-29; 修订日期: 2000-02-16.

作者简介: 池卫国(1964-), 男(汉族), 河南确山人, 高级工程师, 主要从事煤层气勘探与研究。

占全国煤炭资源总量近 53%^[3]、煤层含气量较高、埋深 2000m 以浅的华北地区煤层气资源量进行了计算,按煤层含气量大于 4~5m³/t 的计算结果是近 10×10¹²m³;按具有较好煤层气地质条件、能够进行煤层气勘探和开发的地区统计,其煤层气资源量约为 7×10¹²m³。这样的地区主要分布于华北西部鄂尔多斯盆地、沁水盆地等,时代为石炭纪和二叠纪。相对而言,华北东部大多石炭系和二叠系残留区尽管有较高的煤层气资源丰度,但煤层气勘探的地质条件较差,如豫西、淮南构造煤发育的地区等,在目前的勘探技术条件下不宜进行煤层气的勘探和开发。就全国范围来讲,真正具备煤层气勘探和开发条件的地区并不是很多,因此,也应当认识到能够进行勘探开发的煤层气资源量是有限的。

2 煤层气可采性

煤层气勘探开发的成功与否,从根本上主要取决于煤层气的可采性,也即将煤层气从地下煤层采出的难易程度如何。影响煤层气可采性的地质因素很多,主要有煤层渗透率、相对渗透率、地层压力、煤层气等温吸附形态和含气饱和程度等;工程方面的影响因素主要有完井方式、压裂规模和开发方案等。上述诸多因素在地质背景上最终应归结为煤层的煤体结构、地层压力和煤层所处的水文地质条件的优劣。

2.1 煤体结构

煤体结构指煤层经过地质构造运动所形成的结构特征。煤体结构的好坏,制约着煤层割理的发育和保存程度,进而影响着煤层的渗透性。煤体结构保存较好的煤层往往具有较为发育的割理网络和较高的渗透率;反之,煤体结构差的煤层,其渗透率极低。煤层能否保存有较完整的原生结构和发育的割理网络系统,很大程度上与构造运动的性质和强度有直接关系。当含煤沉积盆地或凹陷遭受的后期构造改动较弱或含煤地层处于整体均衡抬升时,煤层能够保存较好的原生结构和完好的割理网络系统;反之,当含煤地层经历强烈的构造变动时,由于煤层本身是一种“软地层”,往往充当大型挤压型逆冲推覆构造的“滑脱面”或拉张型构造的“滑动面”,在构造应力和刚性围岩错动的双重作用下,煤体结构破坏严重,常常形成构造煤,如碎裂煤、碎粒煤和糜棱煤等,煤层割理网络系统也常常损失殆尽。

我国煤体结构受构造变动影响最大的为石炭系和二叠系煤层,地质历史上经历了印支、燕山和喜山 3 次大的构造运动,其中以印支-燕山运动对石炭系和二叠系煤层煤体结构的影响最为剧烈。以我国华北及邻区为例,印支-燕山运动时期,该地区遭受了强烈的褶皱挤压作用,导致部分含煤区褶皱隆起,挤压褶皱、逆冲断层和推覆构造广泛发育;而且该时期的褶皱挤压作用以华北及邻区的东部地区表现最为显著,如华北地台北缘的阴山-燕山挤压构造带、安徽的淮南挤压构造带、河南西部的豫西推覆-滑脱构造带、江苏徐州-安徽淮北一带的徐淮挤压构造带、江苏南部的苏南推覆构造带以及位于湖南中部和东南部的湘中南挤压构造带等均为该时期构造作用的结果^[4]。上述地区煤层的煤体结构遭到不同程度的破坏,如淮南煤田新集矿,煤层位于推覆体下盘,其主要煤层 13-1 煤的下部已被改造成鳞片状和粉末状;谢家集矿区陡倾带 11-2 煤全部变为粉末状;豫西荥巩煤田山西组 2-1 煤几乎全被改造为粉煤;苏南及湘中南含煤区构造煤广泛发育;河北唐山矿、辽宁的红阳煤田也都有较为发育的构造煤。因此,这些地区煤层的割理网络系统能够保存下来的并不多,煤层的渗透性较差甚至极差,在上述地区开展的煤层气开发试验几乎都以失败而告终,这些地区的石炭系和二叠系煤层气勘探前景十分有限。相对而言,在挤压褶皱作用相对较弱的华北西部地区如鄂尔多斯盆地、沁水盆地等主体发生的是以盆地整体抬升为主的构造运动,虽然煤系地层也发生变形,但仅形成一些相对宽缓的褶曲,煤体结构未受到严重损害,一些地区煤层原生结构和割理系统保存完好;而且煤系地层发生轻微褶曲反而促进了煤层外生裂隙的发育,有利于连通煤层割理网络、提高煤层渗透性。如鄂尔多斯盆地东缘的离石柳林大型鼻状褶曲,石炭系和二叠系煤层割理密度达到 831 条/5cm,试井渗透率高达 1 至数十 10⁻³μm²,因而这些地区煤层气的可采程度较高。

我国中、新生界煤层受构造变动影响的主要是喜山期发生的拉张型块断作用,除断裂附近可能造成煤体结构损害之外,一般煤层结构保存较为完整,是我国目前煤层气的主要勘探目的层系之一,已经在辽宁铁法煤田取得了开发试验的工业性突破。

2.2 地层压力

煤层气勘探中的地层压力是指煤层裂缝中的流体压力。习惯上将煤层中的地下水静液面能够达到

井口的煤层称为正常压力的煤层,高出井口的称为超压煤层,而静液面在井口之下的煤层为欠压煤层。也有研究者更进一步依据煤储层压力梯度将储层压力状态划分为4类,即欠压($<9.30\text{kPa/m}$)、正常($9.30\sim 10.30\text{kPa/m}$)、高压($10.30\sim 14.70\text{kPa/m}$)和超压($>14.70\text{kPa/m}$)^[2]。以往的国内外勘探开发实践和研究表明,地层压力对煤层气可采性的作用主要表现在两个方面:一是通过煤储层裂隙和割理中的流体压力抵御地应力和上覆地层压力对煤储层天然裂隙系统的破坏,改善煤层渗透性;二是地层压力是煤储层流体产出的主要驱动力,地层压力增高,气、水采收率均相应提高。可见,正常—超压的煤层,其煤层气可采性强于欠压煤层。对于我国广泛分布的石炭系和二叠系煤系地层来讲,由于其遭受了多期构造抬升和断裂作用的影响,致使大部分地区煤储层处于欠压状态(表1),煤层渗透性普遍较差,渗透率普遍较低,这就要求在煤层气评价选区及勘探过程中注重盆地压力分析研究,以寻找煤储层压力较高的地区。

盆地压力分析可采用构造演化史分析、沉积分析及水动力学方法进行。一般来讲,年轻含煤盆地(如中、新生界盆地)中高压地区主要分布于差异压实、封闭区域的烃类聚集地区;对于较老的含煤盆地(如石炭系和二叠系盆地),较高的压力分布区往往发生在地下水供给充足的封闭滞流承压区域;含

煤盆地欠压或严重欠压区常常是由开启性断裂、大面积岩溶陷落或大规模采矿活动引起的^[5]。因此,一个含煤盆地中通常可同时存在从欠压、正常到高压甚至超压的区域,在煤层气布井之前应当做充分的盆地压力预测工作,以减少盲目性。

2.3 水文地质条件类型划分、分布及对煤层气可采性的影响

煤层气勘探开发的机理是排水、降压和采气,这一过程始终离不开水文地质条件。煤层气水文地质条件不仅指煤层本身的富水性和水质状况,还包括煤层围岩含水性以及区域强含水层对煤层产气的影响。按照传统的水文地质类型划分原则,并结合煤层气勘探开发的实际情况,本文提出将煤层气水文地质条件划分为简单型、中等型和复杂型3种类型。简单型水文地质条件指煤层及煤系地层富水性弱,钻孔单位涌水量(q)小于 $0.1\text{L}/(\text{s}\cdot\text{m})$,有独立的隔水边界,与区域性强含水层没有水力联系。中等型水文地质条件系指煤系地层富水性中等, q 为 $0.1\sim 1\text{L}/(\text{s}\cdot\text{m})$,与煤系之外的区域性强含水层水力联系较弱,有较为完整的隔水边界。复杂型水文地质条件则指煤系地层本身富水性较强, q 一般大于 $1\text{L}/(\text{s}\cdot\text{m})$,隔水边界不很完整,常常与区域性强含水层有一定的水力联系。

依据上述划分类型,我国含煤区煤系地层水文地质条件以简单型为主。以贵州六盘水地区为例,

表1 我国部分含煤区煤储层压力分布状态
Table 1 Distribution of reservoir pressure in the part coal-bearing areas of China

含煤区	时代	储层压力状态	含煤区	时代	储层压力状态
贵州六盘水	P ₂	欠压—正常	山西韩城	C—P	正常—超压
江西丰城	P ₂	欠压	离柳—三交	C—P	正常—高压
淮南	C—P	欠压—高压	晋城	C—P	欠压—正常
淮北	C—P	欠压	霍东	C—P	欠压
河南平顶山	C—P	正常	阳泉—寿阳	C—P	欠压—正常
焦作	C—P	欠压	太原西山	C—P	正常—超压
安阳—鹤壁	C—P	欠压	辽宁铁法	J ₃	欠压—高压
河北峰峰	C—P	欠压—高压	沈北	E ₃	正常
大成	C—P	欠压—正常	阜新	J ₃	欠压
开滦	C—P	欠压	红阳	C—P	正常—超压
陕西吴堡	C—P	正常			

该区上二叠统龙潭—汪家寨组含煤地层富水性极弱, q 为 $0.0083 \sim 0.0178 \text{L}/(\text{s}\cdot\text{m})$, 煤系顶部为三叠系飞仙关组的一套非渗透性砂泥岩层, 阻隔了煤系与三叠系灰岩裂隙强含水层的水力联系; 煤系底部存在几至十余米厚的铝土岩和数百米厚的非渗透性峨眉山玄武岩隔水层, 隔绝了煤系与下伏茅口组灰岩强含水层的水力沟通, 这决定了该地区煤系地层水文地质条件较为单一。除六盘水地区之外, 属于简单型水文地质条件的含煤区还有淮南、淮北、徐州、豫西大部、鄂尔多斯东部山西组、沁水盆地大部分地区及辽宁沈北、红阳含煤区等。中等类型区有鄂尔多斯东部太原组、豫西部分地区、辽宁铁法、阜新以及黑龙江鹤岗含煤区等。复杂类型主要分布于太行山东麓的安阳、焦作、峰峰含煤区、山西阳泉太原组、唐山开平含煤区以及鲁西部分含煤区等。

不同水文地质类型对煤层气可采性的影响程度差别较大, 其中, 以复杂型的影响为最大, 以安阳红岭矿区为例, 该区发育有众多的纵张正断层, 有不少断层成为石炭系和二叠系煤层与太原群灰岩、奥陶系灰岩岩溶强含水层的通道。在煤层气小井网排采试验过程中, 只产水不出气, 而且出水量超过 $60 \text{m}^3/\text{d}$, 超过了现有设备的排水能力。再如唐山开平向斜地区的石炭系和二叠系含煤地层, 构造裂隙极其发育, 主煤层 12 煤至 14 煤间砂岩裂隙含水层钻孔的单位涌水量分布于从小于 $0.1 \text{L}/(\text{s}\cdot\text{m})$ 到大于 $2.0 \text{L}/(\text{s}\cdot\text{m})$ ^①, 煤系与上覆第四系强含水层和下伏奥陶系灰岩岩溶强含水层均有不同程度的水力联系, 水文地质条件复杂, 致使煤层含气量及地层压力均较低。在向斜西北翼煤层气的钻井过程中, 煤系地层漏失严重, 极大地影响了施工工程的进展, 小井网排采试验煤层解吸气产量较低。中等型水文地质条件的煤层在工程压裂排采中, 尽可能不要压穿邻层含水层, 如华北石炭系太原组煤层下部的灰岩及奥陶系的灰岩岩溶含水层。简单型水文地质条件对煤层气可采性影响较小, 一般来讲, 煤层气保存条件较好, 水头高, 排采初始气、水产量较高; 简单型水文地质条件中还有一种情况应当引起注意, 就是煤层含水微弱、煤层顶、底板均为致密层, 它造成降压极其困难, 影响了煤层解吸气的产出。如辽宁沈北煤田下第三系一、二煤层, 其顶板为 $20 \sim 30 \text{m}$ 厚的油页岩, 油页岩之上是数百米厚的致密泥页岩, 煤层底板是几十米

厚的致密凝灰岩段, 断层的导水性极弱, 小井网排采煤层日产量由最初的十几立方米降至后来的不足 1m^3 , 产气量由最初的 1000 多立方米降至不足 100m^3 , 到最后几乎产不出水。

现有的排采试验表明, 无论处于何种水文地质类型, 我国煤层的含水程度都是比较低的, 钻孔单位涌水量几乎都小于 $0.1 \text{L}/(\text{s}\cdot\text{m})$, 甚至大部分小于 $0.01 \text{L}/(\text{s}\cdot\text{m})$, 远远低于国外煤层气田的钻孔涌水量(如美国黑勇士盆地为 $0.031 \sim 2.162 \text{L}/(\text{s}\cdot\text{m})$, 圣胡安盆地为 $0.1 \sim 3.909 \text{L}/(\text{s}\cdot\text{m})$ ^[6])。这也基本反映了我国煤储层割理系统、储层压力的实际分布情况和煤储层低渗透性的特征。

3 综合勘探开发潜力

我国拥有的巨大煤层气资源量仅靠目前这种地面钻井、采用排水降压采气的开采方法是不够的, 有很多地区的地质条件不能满足这种方法的需要, 因此, 有必要进行煤层气的综合勘探开发。

综合勘探开发方法除上述远离矿井的地面垂直钻井法之外, 还包括矿井范围内的煤层采动区地面垂直钻井法和矿井下的水平定向长钻孔抽取采空区煤层气法两种。前者是引进国外煤层气勘探开发的新方法, 其原理是通过采煤前在地面施工若干大口径垂直井、对非抽排层段和含水层段固井后, 在抽排层段采用筛管完井或裸眼完井, 充分利用采煤后采煤上方所形成的裂隙带等采动影响区来抽排主采煤层和上覆煤层及上覆地层中的煤层气, 使得抽排煤层气能力以工业气流方式产出^[7]。国内已进行了成功的尝试, 辽宁某矿区在两年内单井平均日产煤层气 1200m^3 。该方法不需要长期排水作业, 生产成本低, 易于推广应用。矿井下的水平定向长钻孔抽取采空区煤层气法是在煤层上方的岩石中打水平定向钻孔, 在回采煤层前抽取邻近层采空区的煤层气。国内目前已拥有引进的千米井下定向钻机, 水平钻进最长已超过 300m 。某矿区在 7 个月的连续抽取中, 单孔平均日产煤层气 3000m^3 。

上述矿井范围内和矿井下两种抽取煤层气的方法, 不象排水降压法开采煤层气那样严格, 可用于煤层结构破碎的高瓦斯矿或超级瓦斯突出矿, 采集的煤层气易于和矿区煤气管道并网输送, 且利于煤矿

① 吕深. 河北煤田地质与勘探技术. 河北煤田地质局, 1994.

安全生产和矿区大气环境保护,具有较低的经济投入和较高的经济利用价值。对于一个含煤盆地或含煤区而言,煤层气综合勘探开发可形成由浅层到中、深层和由垂直钻井到水平钻井的立体开发结构,这是开发利用我国丰富煤层气资源的必然趋势。

4 几点建议

(1)要集中有限资金,重点投入,力争工业开发。煤层气勘探开发要有全国一盘棋的思想,应集中国家、地方或外资等有限资金重点投入到煤层气地质条件较好的地区,如鄂尔多斯盆地东缘、沁水盆地和铁法等地,集中全国优势技术搞会战,勘探一块解剖一块,形成工业性开发规模,减少以前各部门之间的资料封锁、重复投资和盲目投资现象。

(2)要定期召集全国性煤层气技术成果交流会,交流各部门在煤层气科研方面的最新进展和在

煤层气勘探生产方面的最新成果,共同探讨和解决煤层气勘探开发中遇到的新的技术难题。

参考文献:

- [1] 张新民,等.中国煤层甲烷资源的分布特征及对策[A].煤层气开发与利用国际会议论文集[C].北京:1995.
- [2] 叶建平,等.中国煤层气资源[M].徐州:中国矿业大学出版社,1999.43-59.
- [3] 胡天玉,等.中国煤炭资源远景预测[M].北京:地质出版社,1995.114-120.
- [4] 赵舒,等.煤层气评价选区的地质学原理及方法[M].成都:四川科学技术出版社,1998.29-49.
- [5] 池卫国.煤层气评价选区新思路——地层能量评价法及其应用[J].天然气工业,1998,18(4):13-16.
- [6] Kaise W R, et al. Hydrologic framework of the fruitland formation, San Juan Basin[J]. New Mexico Bureau of Mines & Mineral Resources, 1994, Bulletin 146.
- [7] 张遂安,等.煤矿采动区井煤层气排采技术[J].中国煤层气,1999,8(2):70-72.

A REDISCUSSION ON THE EXPLORATION PROSPECT OF COAL BED GAS IN CHINA

CHI Wei-guo, WU Song-gin

(Research Institute of Programme and Design,
North China Bureau of Petroleum, CNSPC, Zhengzhou, Henan 450006, China)

Abstract: Encouraging achievements have been obtained from the exploration of coal bed gas in china. In many areas, an industrial breakthrough has been made in exploitation and development tests, and large scale coal bed gas fields have been discovered. But there exists technical problems and different opinions to the exploration and development which mainly reflect the influence from the geologic conditions of coal bed gas. From the geologic conditions which affect the exploration of coal bed gas, the author studied the mineability of coal bed gas resources and considered that the area whose coal bed gas resources can be developed by the drainage gas-collecting method is limited at the present. This is mainly controlled by the mineability of coal bed gas. The mineability of coal bed gas mainly depends on coal texture, formation pressure and hydrogeologic conditions. In this paper, three hydrogeologic types of coal bed gas and their distributive regions were suggested for the first time, different influence caused by different hydrogeologic types to the mineability of coal bed gas was analysed, and the prospect to the comprehensive exploration and development of coal bed gas was discussed. Also, the author gave some advises to the later exploration work of coal bed gas.

Key words: comprehensive exploration; hydrogeology; formation pressure; coal texture; resources; coal bed gas