

重庆南桐煤田龙潭组煤系气赋存特征及潜力评价

江越潇¹ 王维星² 徐宁² 陆松嵩² 贾毅¹

1. 湖北省地质环境总站 湖北武汉 430000

2. 重庆一三六地质队 重庆 401120

摘要: 南桐煤田矿井和钻孔采集的煤、泥页岩进行化验时发现其具有较好的生烃潜力。为探究煤系气地质和资源潜力, 本文通过区域地质资料、煤田勘查报告收集整理、水工环地质调查、样品采集及测试等方法, 对研究区内煤田地质特征、煤系气储层特征、煤岩及含气特征进行对比分析, 初步计算煤系气资源潜力, 提出了未来煤系气勘探建议。研究表明: 南桐煤田龙潭组地层分布广泛, 最有利的储气组合层位位于龙潭组下-中部; 煤系地层生气组合为自身封隔型, 分为泥岩+薄煤层生气的储气组合和厚煤层+泥岩生气的储气组合; 埋深2000m以浅总资源量潜力预测值为 $6873.73 \times 10^8 \text{m}^3$, 开发利用前景较大。通过对南桐煤田煤系气赋存特征及资源评价, 可为进一步的勘探和开发提供指导。

关键词: 煤系气; 南桐煤田; 潜力评价

Occurrence characteristics and potential evaluation of coal measure gas in Longtan Formation, Nantong Coalfield, Chongqing

Yuexiao Jiang¹, Weixing Wang², Ning Xu², Songsong Lu², Yi Jia¹

1. Geological Environmental Center of Hubei Province, Hubei Wuhan, 430000

2. Chongqing One Three Six Geological Team, Chongqing Yubei, 401120

Abstract: The shale collected from mines and boreholes in Nantong Coalfield was found to have good hydrocarbon generation potential. In order to explore the geology and resource potential of coal-measure gas, this paper uses methods such as regional geological data, coalfield exploration report collection and arrangement, hydraulic and environmental geological survey, sample collection and testing, etc. to study the coalfield geological characteristics, coal-measure gas reservoir characteristics. Preliminary calculation of the potential of coal-measure gas resources, and suggestions for future coal-measure gas exploration. The research shows that the Longtan Formation strata in Nantong Coalfield are widely distributed, and the most favorable gas storage combination is located in the lower-middle part of the Longtan Formation; the gas-generating combination of coal-measure strata is self-sealed, and can be divided into gas storage combination of mudstone with thin coal seam and gas storage combination. The predicted value of the total resource potential at depths below 2000m is $6873.73 \times 10^8 \text{m}^3$. Through the evaluation of the occurrence characteristics and resources of coal-measure gas in Nantong coalfield, it can provide guidance for further exploration and development.

Keywords: Coal measures gas; Nantong coalfield; Potential evaluation

第一简介: 江越潇 (1990-), 女, 工程师, 硕士, 地质工程, 水工环地质。E-mail: 27752240@qq.com

通讯作者简介: 王维星 (1989-), 女, 高级工程师, 硕士, 石油与天然气工程, 非常规气勘探开发。E-mail: 25336998@qq.com

引言:

煤系气作为清洁、高效、安全、低碳的新能源,在美国、澳大利亚、加拿大等国勘探开发已经取得成功^[1-3]。南桐煤田位于重庆东南80km处,为我国西南地区的能源基地之一,煤系厚度平均为100m,所采煤层为龙潭煤系,具有很高的含气性^[7]。在以往研究中,主要以煤田地质勘探开发为主,对煤层附气研究相对较少,资料不完整,煤系气的勘探开发研究工作相对滞后。

本文在对南桐煤田二叠系上统龙潭组煤系地层厚度、空间分布特征和演化、煤系气参数井地质资料及钻孔资料充分分析基础上,结合试验数据,对煤系气赋存特征进行详细分析,旨在以期指导后续勘探开发。

一、区域地质背景

重庆市地质构造条件较为复杂,南北地质构造特征差异明显,各时代地层出露齐全,总体以城巴断裂为界分为扬子与秦岭两个地层区,南桐煤田位于重庆市东南80km处,属于四川盆地地层分区—荣昌小区和万州小区,含煤地层属晚二叠世龙潭煤系^[4],主要分布于荣昌小区(图1)。研究区除泥盆系、石炭系、和新近系地层缺失,其余地层均有出露。



图1 地层分区图

大地构造单元隶属于扬子准地台重庆台坳重庆陷褶皱。区内褶皱为狭长的背斜和宽缓的向斜,组成典型的隔挡式褶皱,构造线以NNE为主。在万州凹褶皱束内构造线由NNE向自然转弯近EW向,形成“万州弧”。在华蓥山穹褶皱束,北端受北西向的大巴山台缘褶皱带的约束而发生联合,形成“喇叭状”弧形构造;南端受渝黔南北向构造复合,形成南北向“重庆弧”。

二、煤田地质特征

1. 沉积环境

研究区煤田含煤地层为二叠系上统龙潭组,沉积环

境为潮坪环境。潮上带常为泥坪沼泽及泥炭沼泽,下部多为泥岩,常含植物根茎碎屑,上部为煤层,局部煤层之上有含炭质泥岩;潮下带不发育,以泥岩、粉砂质泥岩为主;潮间带以宽展的席状砂体为特征,多属薄至中厚层状细砂岩、粉砂岩,具典型的水平一波状条带状、脉状、透镜状以及砂—泥薄互层层理,生物扰动较普遍,局部可见介屑及沿层面分布的炭化植物碎屑。龙潭组中下煤组沉积期,发生大规模水进,水体由浅变深,主要发育的沉积相为泻湖潮坪相—滨浅海相,沉积微相,中煤组发育间湾沼泽、砂坪、泥坪、沙泥坪;下煤组发育浅海陆棚,滨海沼泽等。

2. 地层发育特征

南桐煤田的煤层主要发育在二叠系龙潭组中,煤系地层共分为五段,动植物化石丰富。龙潭组五段以深灰色泥岩为主,与上覆二叠系地层呈整合接触;四段为微晶灰岩、微晶白云灰岩夹深灰色泥岩,厚度及层位稳定,是划分中、上煤组的标志;三段是主要含煤层段由深灰、粘土岩等组成;二段岩性以硅质泥晶灰岩为主,偶夹泥质灰岩,本段岩石坚硬,层位稳定,是对比K₄煤层的标志,也是划分中、下煤组标志;一段上部以灰黑色泥岩为主,局部出现煤层,下部为深灰色泥岩,底部为高岭石质硫铁矿(即硫铁矿层),层位稳定,厚度变化较大,是本区标志层之一。

3. 构造特征

剖面上看,煤田主要的构造为桃子荡背斜及丰盛场背斜,背斜两翼倾角较陡,断层穿过背斜轴部,剖面形态与高陡褶皱带的构造类型相吻合。上二叠统煤层倾角大部分地段较平缓,约在30°左右,仅局部地段可达50°~60°,向深部一般可以减少10°~20°。在青羊、砚石台井田煤层倒转现象,浅部倒转倾角约30°~40°,至1500m埋深处,倒转角较大,达60°左右(图2)。

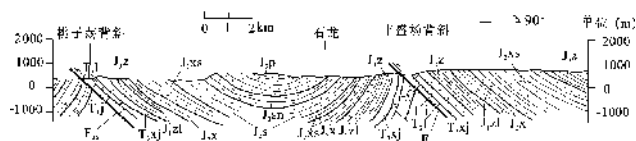


图2 南桐煤田剖面图

4. 水文地质特征

研究区大气降水充沛,地形高差大,近地表及浅部地层岩溶发育,地下水在浅部循环活跃,并就近排泄,煤层无露头且埋深大时,水对煤层气运移无洗刷作用;中下部地层含水性强,地下水以顶底板水网络形式对煤层进行封闭,对煤层气的保存起到了良好的封盖作用。区内含煤地层中泥质岩占主要成分,含煤层段,煤层顶

底板大部分为致密的泥岩、泥质灰岩，其间分布的弱含水层在泥质盖层的基础上进一步以网络状微渗滤水对煤层气进行封闭，主力煤层深埋于含煤地层底部，位于上述盖层之下，煤层气保存条件较好。

三、煤系气储层特征

1. 煤系地层厚度特征

据统计，南桐煤田南桐—松藻矿区二叠系龙潭组地层厚73~108m，平均85m，其中泥岩总厚45m，单层厚2~10m不等；砂岩总厚13m，单层厚1~5m不等；灰岩总厚20m，单层厚1.5~11m不等；一般含煤8~12层，煤层总厚2.91~9.17m。全区可采和大部可采煤层4~6层，可采煤层总厚2.43~7.43m，可采系数2.4~9.78%。具体情况分述如下：

综合研究周边煤田勘查资料，分析南桐煤田二叠系煤系地层主要含煤段为一、三、五段，整个地层的含煤累计厚度总体在0.5~5m的范围内，煤层累计厚度最厚为5m，向北东、南西煤层累计厚度逐渐降低（图3）。



图3 南桐煤田煤层厚度等值线图

2. 煤岩类型特征

通常以煤的类别表示其变质程度或煤化程度，如以褐煤为未变质煤，长焰煤—气煤为低变质（程度）煤，气肥煤、肥煤和焦煤为中变质（程度）煤，瘦煤、贫煤、无烟煤为高变质（程度）煤。南桐煤田肥、焦煤呈线性条带状展布，背斜翼部至向斜过渡为瘦煤和贫煤，只有在南桐煤田南部发育部分无烟煤（图4）。

采样结果显示，南桐煤田镜质组含量较高，平均79.38%，惰性组含量变化与镜质组相反，平均22.5%；稳定组26.74~50.35%；无机显微组分含量1.54~24.37%，平均14.83%，以粘土类和氧化物类为主，碳酸盐类、硫化物类含量较低；粘土类少量~13.77%，平均6.62%。氧

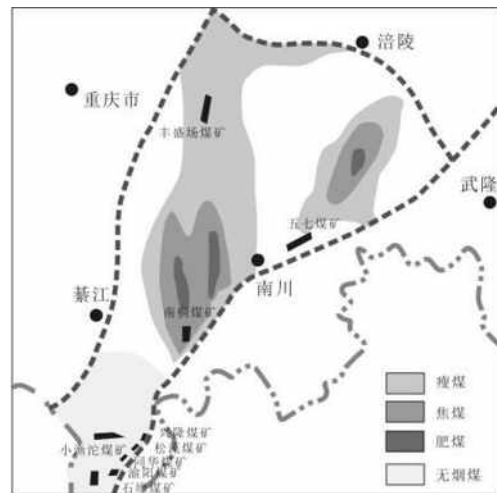


图4 研究区二叠系龙潭组煤系地层煤质分布图

化物类含量一般<1%。碳酸盐类0~3.13%，平均1.31%。硫化物平均1.22%。

根据收集到的重庆龙潭组富有机质泥页岩有机质平均成熟度数据统计结果，可以看出研究区现今龙潭组富有机质泥页岩有机质热演化程度较高，均处于成熟—过成熟阶段。南桐煤田龙潭组一段泥岩烃源岩层共6段，最优一段地层厚度为2.42m，TOC为3.18%，干酪根类型为Ⅲ型，为成熟烃源岩层。

3. 储气组合特征

岩相组合变化不仅具有沉积环境与层序地层指示意义，而且是煤系气共生组合模式变化的重要参考依据^[5]。按研究区纵向岩性分布，划分的储气组合特征可以分为两种类型：

一是自身封隔，泥岩与薄煤层生气的储气组合。该组合的岩性特征为一大段泥岩段（含砂质泥岩）夹煤层、致密砂岩、致密灰岩。如南桐煤矿龙潭组一段中部钻孔柱状图，其组合上顶板为7m厚的硅质灰岩层，巨厚层灰岩储集性较差，基本可认为其不赋存气体。在灰岩与K₂煤层之间为一套砂质泥岩夹薄层灰岩，K₂煤层以下至灰岩底板为一套厚层泥岩。该组合中泥岩（含煤层）的连续厚度达13.12m，其烃源岩层可为厚层富有机质泥岩或者煤层，其他岩层可为其组合的储层（图5）。

二是自身封隔，厚煤层+泥岩生气的储气组合。该组合的纵向上的岩性特征为，厚煤层及其煤层上下的泥岩顶底板层，其组合连续厚度不大，主要生气层为煤层，煤层厚度大于1.5m。如松藻煤矿二叠系龙潭组中段，为典型的以厚煤层生气为主的储气组合。在细砂岩段之下，发育了顶底板均为泥岩的厚层煤层段，煤厚达到4.1m，为主力生气层位；砂岩段之上为连续泥岩段夹薄煤层，泥岩连续厚度为12.71m，其泥岩的连续厚度不大，未能到好

的生烃标准。其中所夹的砂岩段可作为致密砂岩储层，因此该组合为厚煤层为主+泥岩生气的储气组合（图6）。

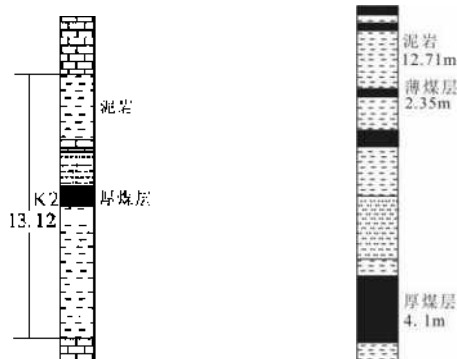


图5 龙潭组一型煤系地层 图6 龙潭组二型煤系地层
储气组合示意图 储气组合示意图

四、煤系气含气特征

1. 孔渗特征

龙潭组富有机质泥页岩发育多种孔隙类型，其中主要的孔隙类型包括：有机质孔、粒内孔、粒缘（间）孔、溶蚀孔、微裂缝等，另外还有数量极多的纳米级微孔。孔隙度介于1.27%~2.63%，平均值为1.72%，孔隙度较小。渗透率介于0.028~0.101×10⁻³μm²，渗透率极低而且不同地区差别较大，相差数量级，渗透率值分布相对集中于0.02~0.04×10⁻³μm²之间。

2. 含气性特征

根据以往地质勘探资料，二叠系上统龙潭组各主要可采煤层的煤层甲烷含量大于8m³/t，属富气区。该地区同一煤层在同一水平上的瓦斯压力差别较大、倾斜方向上瓦斯压力梯度大部分呈现出无规律的现象。南桐煤矿为高沼气严重突出矿井，主采K₃、K₁煤层和作为保护层，开采的K₂煤层均属突出煤层，其中K₃煤层为普遍突出煤层，K₂、K₁煤层为局部突出煤层。各煤储层瓦斯最大压力变化范围0.3~7.0MPa，瓦斯主要成分是甲烷，含量7.0~19.6m³/t。煤层含气量16~22m³/t，资源丰度为0.8×10⁸m³/km²，煤层渗透系数2.9~3.5×10⁻³m²/MPa²·d。

五、潜力评价

南桐煤田远景区位于南桐煤田东南部边缘，龙潭组优选层位初定为1层，位于中一下煤组，在典型剖面柱状图上，其储气组合类型为：自身封隔，厚煤层+泥岩生气的储气组合，其组合其连续地层厚度为14.93m，埋深在880m，煤层含气量16~22m³/t，泥岩样品TOC值1.8~3.1%，干酪根类型为Ⅲ型，孔隙度为1.2~1.8%，渗透率为0.02~0.10md，由煤系地层气优选原则，该层位为煤系地层气有利层位。

结合本研究区的实际条件，参照《DZ/T0254-2020

页岩气资源量和储量估算规范》，采用技术可采储量估算方法计算煤系地层气体潜力资源量^[6]。估算公式如下：

$$G_i = 0.01AhDC_{ad}$$

式中： G_i —煤系地层气地质潜力资源量，10⁸m³；

A —估算范围面积，km²；

h —含气层平均层厚度，m；

D —岩石密度，t/m³；

C —储气层含气量，m³/t；

根据以上远景区评价标准，在对研究区各煤系地层气有利储气层位的沉积相、厚度、埋深、生烃潜力、储集条件等综合分析的基础上，估算出研究区2000m以浅储量潜力值为6873.73×10⁸m³。

六、结论

1. 南桐煤田煤炭资源丰富，肥、焦煤呈线性条带状展布，南部发育部分无烟煤。二叠系龙潭组为目标煤层，其中龙潭组一段及龙潭组三段煤系气成藏条件好，是勘探开发的主要层位。

2. 结合南桐煤田煤系气形成所需的地质条件，从煤岩与煤质特征、煤层厚度特征、含气性特征、煤岩吸附特征、水文地质条件和煤层顶板的岩性等条件进行综合分析认为：南桐煤田东南部是煤系气最有利的勘探区块，储气组合类型为厚煤层+泥岩生气的储气组合。

3. 南桐煤田煤系气资源量丰富，按储量标准公式估算研究区2000m以浅总资源量潜力预测值为6873.73×10⁸m³，具有很大的开发前景。

参考文献：

- [1]张水昌，米敬奎，刘柳红，等.中国致密砂岩煤成气藏地质特征及成藏过程——以鄂尔多斯盆地上古生界与四川盆地须家河组气藏为例[J].石油勘探与开发，2009，36（3）：320-330.
- [2]欧阳永林，田文广，孙斌，等.中国煤系气成藏特征及勘探对策[J].天然气工业，2018，38（3）：15-23.
- [3]邹才能，杨智，黄土鹏，等.煤系天然气的资源类型、形成分布与发展前景[J].石油勘探与开发，2019，46（3）：433-442.
- [4]崔玉朝，滕子军，王怀洪，等.贵州黔西龙场煤矿煤层气资源及开发利用价值[J].天然气地球科学，2011，22（2）：367-372.
- [5]吴志强，钱招军，唐代学.贵州省长岗向斜地区煤层气的赋存特征及其利用前景[J].资源环境与工程，2022，36（4）：643-471.
- [6]DZ/T 0254-2020，页岩气资源量和储量估算规范[S].