

华北石炭、二叠系煤化变质程度与 煤层气储集性的关系*

宁正伟 陈霞

(地质矿产部华北石油地质局地质研究大队, 河南郑州 450007)

煤化变质程度与煤层气储集性关系密切。华北石炭、二叠系煤化变质程度分为低、中、高三级。低演化变质程度的煤, 微孔隙发育而大中孔隙及裂隙不发育, 渗透率和解吸率虽然较高, 但吸附性和甲烷含量较低, 对煤层气的扩散、运移不利。高演化变质程度的煤因受高温高压的影响, 亦是微孔隙较发育而大中孔隙及裂隙不发育, 虽然吸附性和甲烷含量高, 但渗透率和解吸率都低, 是储层评价中不利的煤级。中演化变质程度的煤, 因温度和压力适中, 产生大量的内裂隙, 大中孔隙十分发育, 增加了渗透性和孔隙连通性, 大量的气体生成后得以吸附保存, 在勘探开发中易降压、解吸、扩散和运移, 是煤层气勘探中最有利的煤级。太原-长治-郑州弧形高演化变质带的内外翼及弧形内侧太行山东麓含煤区是寻找煤层气的有利地区。

关键词 华北 煤层气 石炭、二叠系 煤化变质程度 储层物性

第一作者简介 宁正伟 男 43岁 工程师 石油与天然气地质

华北石炭、二叠系煤层发育、沉积稳定、厚度较大、分布广、含气量高, 是勘探开发煤层气的重要领域。其中, 本溪组煤层厚度较小, 分布局限, 主要发育在该区的东北部, 一般1~2层, 累计厚度3 m。太原组煤层沉积较稳定, 结构相对简单, 层数多, 分布面积广, 厚度大, 累计厚度达35 m, 以中、北部区厚度最大。山西组煤层沉积稳定, 结构简单, 厚度大, 累计厚度15 m, 全区均有分布。上石盒子组、下石盒子组主要在该区郑州-徐州以南发育, 煤层稳定性差, 结构较复杂, 分叉尖灭明显, 累计厚度20 m。

综上所述, 华北地区石炭、二叠系煤层厚度大、层数多、分布广, 为煤层气的形成奠定了雄厚的物质基础。本文煤层气的含义是指以煤层为气源岩, 又以煤层为储层的甲烷及少量其他气体。

1 煤化变质程度

石炭、二叠纪沉积之后, 三叠纪继续沉降, 沉积了一套厚度达3 000~4 000 m以陆相为主的碎屑建造, 对促进石炭、二叠系煤层的煤化变质起到了一定的控制作用^[1]。据初步计算^{**}, 此时太原组、山西组煤层镜煤反射率值0.6%~0.8%, 进入长焰煤-肥煤阶段, 由低演化变质程度进入中演化变质程度。印支、燕山构造运动使石炭、二叠系煤层在前期煤化的基础上进一步演化变质, 特别是在热异常区, 已进入无烟煤阶段, 局部因受岩浆岩影响, 煤层已演化变质为天然焦, 由中演化变质程度进入到高演化变质程度。

该区煤级从长焰煤~无烟煤均有分布(图1), 以太原-长治-郑州弧形高演化变质带为中心向四周递变。

* “八五”国家重点科技攻关项目(85-102-11-01)

** 华北石油地质局地质研究大队, 华北地区石炭、二叠系煤成气赋存的地质条件及资源评价, 1985

收稿日期: 1995-05-25 改回日期: 1995-08-16

中心部位镜煤反射率值一般 2.5%~3.0%，最高达 6.32%，进入无烟煤煤级，外围迅速递变为气、肥煤。北京、邯郸、徐州等地，因受岩浆岩侵入的影响，局部煤演化变质程度也较高，已进入无烟煤及天然焦。

2 与煤层气储集性关系

2.1 孔隙结构

由于煤演化变质程度的不同，从而使孔隙结构有着一定的差异性。通过对焦作、淮南、安阳、唐山、平顶山等地石炭、二叠系煤层 45 个样品的压汞、氮试验表明，煤的孔隙结构特征与演化变质程度有着一定的相关性（表 1）。

低演化变质程度的气煤和高演化变质程度的贫煤、无烟煤微孔隙较发育，占总孔隙体积 50%以上，大、中孔隙较低，平均小于总孔隙体积的 20%；中演化变质程度的肥煤、焦煤、瘦煤大、中孔隙较发育，尤以焦煤最高，可占总孔隙体积的 38%左右，微孔隙相对较低，小于总孔隙体积的 50%。中演化变质程度的煤大、中孔隙发育，对煤层气的降压、解吸、扩散、运移有利，是煤层气储层评价中最有利的煤级。

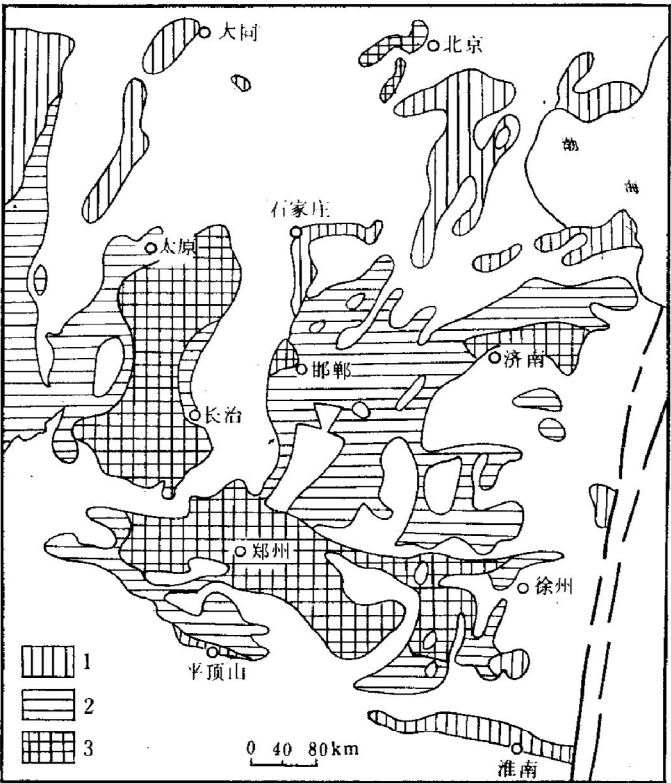


图 1 华北石炭、二叠系煤化程度展布图
1—低煤级（长焰煤、气煤）；2—中煤级（肥煤、焦煤、瘦煤）；3—高煤级（贫煤、无烟煤）

表 1 煤级与煤孔隙结构特征表

煤级	R_o (%)	孔溶/ $\text{ml} \cdot \text{g}^{-1}$	孔 隙 结 构 (%)			
			大 孔	中 孔	小 孔	微 孔
气煤	0.79~0.89	0.0246	11.19	7.68	26.16	54.97
肥煤	0.91	0.0273	15.40	9.90	27.10	47.60
焦煤	1.37~1.51	0.0270	22.20	15.85	26.65	35.30
瘦煤	1.69~1.80	0.0234	11.30	11.55	28.45	48.70
贫煤	2.00	0.0192	13.00	4.30	32.30	50.40
无烟煤	2.36	0.0354	4.25	3.95	32.20	59.60

注：<100×10⁻¹⁰ m 为微孔，100×10⁻¹⁰~1000×10⁻¹⁰ m 为小孔，1000×10⁻¹⁰~5000×10⁻¹⁰ m 为中孔，>5000×10⁻¹⁰ m 为大孔。

2.2 裂隙性

通过对峰峰、安阳、平顶山、焦作、淮南等地石炭、二叠系不同演化变质程度的煤内生裂隙观测统计，焦、瘦煤裂隙最发育，达 35~40 条/5 cm，气、肥煤 15~30 条/5 cm，贫煤 10~20 条/5 cm，无烟煤 1~7 条/5 cm，变化特征与 Ammosov 和 Eremin^[2]的研究结果基本一致，说明煤的内生裂隙发育受演化变质程度控制。中演化变质程度的煤最有利于裂隙的形成，对煤层气的降压、解吸、扩散、运移最有利，是煤层气储层评价中最有利的煤级。

2.3 渗透性

渗透率与煤的演化变质程度有着明显的相关性(表 2),低、中演化变质程度的气-肥煤级渗透率较高,平均在 $0.2525\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$,随着演化变质程度的增加,渗透率逐渐降低,进入高演化变质程度的无烟煤时渗透率平均仅 $0.00093\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。说明随着煤演化变质程度的增加,煤层受地层压力及温度的影响,煤质压实增强,孔隙收缩,渗透率降低。

表 2 煤级与渗透性关系表

地区	煤级	样品数/个	渗透率/ $10^{-3}\mu\text{m}^2$	平均渗透率/ $10^{-3}\mu\text{m}^2$
淮南	气-肥煤	4	0.005~0.5000	0.2525
峰峰	焦-瘦煤	3	0.0025~0.2500	0.1263
鹤壁	瘦-贫煤	3	0.0375~0.0750	0.0563
焦作	无烟煤	4	0.0008~0.00125	0.00093

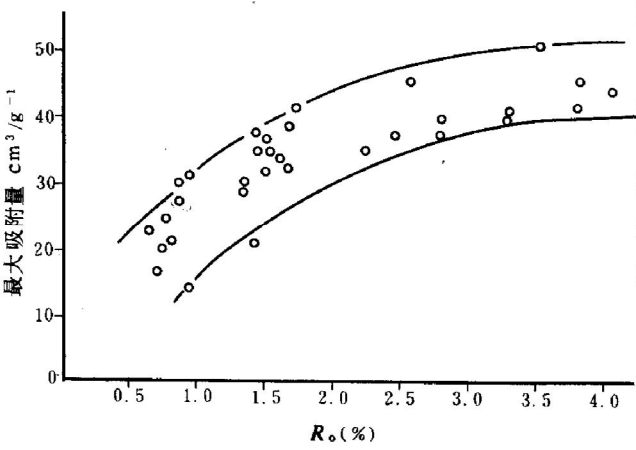


图 2 煤变质程度与甲烷最大吸附量关系图

2.5 含气性

通过 10 个勘探区、169 个钻井所测得的煤层含气量资料,煤的含气性与演化变质程度有着一定的相关性(表 3),煤在低演化变质程度时,甲烷含量平均小于 $5\text{ m}^3/\text{t}$,随着煤演化变质程度的增高,进入高煤级贫煤、无烟煤时,甲烷含量均大于 $10\text{ m}^3/\text{t}$ 。

2.6 解吸率

解吸率是指含气量测定时,逸散量十解吸量占总含气量的百分比值。解吸率的变化反映煤的渗透性、扩散性和煤层气的可采性。通过 80 多个煤层含气量资料计算,解吸率值变化在 7%~80%之间,与煤的演化变质程度关系密切(图 3),挥发分含量大于 24%时,解吸率平均小于 45%左右;挥发分含量 10%~20%之间时,解吸率最高达 80%;当挥发分含量小于 8%时,解吸率急剧下降小于 10%。

通过上述分析,表明中演化变质程度的煤级有较好的生、储条件,在煤层气勘探开发中有利于降压、解吸、扩散、运移,是煤层气开发最有利的煤级。在太原-长治-郑州弧形高演化变质带的内、外两翼,是寻找煤层气的有利地区,弧形外侧的淮南、平顶山、山西河东煤田及弧形内侧的太行山东麓含煤区,含煤面积广,煤层厚度较大,埋藏深度适中,煤级以气煤-瘦煤为主,含气量较高,选定有利点进行勘探,可能会有所突破。

2.4 吸附性

通过吸附试验,表明最大甲烷吸附量与煤演化变质程度具有相关性(图 2),当镜煤反射率值在 1%时,甲烷吸附量平均小于 $25\text{ cm}^3/\text{g}$;镜煤反射率值达 2%时,甲烷吸附量平均在 $35\text{ cm}^3/\text{g}$ 左右;镜煤反射率值达 4%时,甲烷吸附量平均在 $45\text{ cm}^3/\text{g}$ 左右。这种变化趋势与 Бакалдина^[3]的研究结果一致。

表 3 煤级与煤层甲烷含量关系表

煤 级	甲烷含量/ $\text{m}^3\cdot\text{t}^{-1}$	样品数/个	勘探区
气-肥煤	4.50	17	淮南潘集区
肥 煤	4.21	8	唐山区
肥-焦煤	4.26	12	平顶山矿深部区
焦 煤	6.77	8	安阳红岭区
焦-瘦煤	7.84	24	平顶山十三矿
瘦 煤	8.03	12	鹤壁冷泉区
瘦 煤	8.76	15	禹县梁北区
贫 煤	10.50	20	登封井田区
无烟煤	15.00	25	荥巩井田区
无烟煤	15.27	28	焦作古汉山区

3 结语

煤演化变质程度在煤储层评价中起着至关重要的作用。低演化变质程度的煤,微孔隙较发育,裂隙频率、吸附性、含气性、解吸性相对较低,对煤层气的扩散、运移较为不利。中演化变质程度阶段的煤,因地层温度、压力适中,成煤物质在发生物理、化学性变化时,特别是凝胶化作用使成煤物质均匀收缩,产生大量内生裂隙,增加了煤的渗透性及基质孔隙的连通性,使煤储层物性条件变好,同时又有大量的气体生成并得以保存,在勘探开发过程中易降压、解吸、扩散、

运移,是煤层气勘探开发中最有利的煤级。随着煤演化变质程度的加深,煤级进入贫煤、无烟煤时,受过高温度和地层压力作用的影响,压实增强,孔隙降低,多以微孔为主,内生裂隙闭合,渗透率降低,虽然吸附性、含气量增高,但渗透性、解吸率降低,是煤层气储层中较为不利的煤级。

致谢: 本文得到张文惠高级工程师审核,并提出了修改意见,在此一并致谢。

参 考 文 献

- 1 杨起,潘治贵,翁成敏等. 华北石炭、二叠纪煤变质特征与地质因素探讨. 北京:地质出版社,1988. 54~59
- 2 Ammosov I, Eremin I V. Fracturing in coal translated from Russian. Washington D C: IZDAT Publishers, 1960. 109
- 3 Бакалдина А. Л. Газоносность Угольных Бассейнов И Месторождений СССР. Москва: Недра, 1980, 3: 102~122

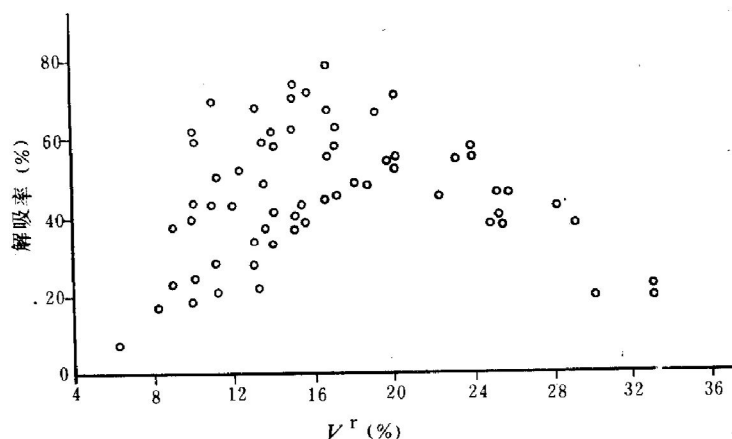


图3 煤变质程度与甲烷解吸率关系图

RELATIONS BETWEEN METAMORPHISM AND COAL-BED GAS RESERVOIRING OF CARBONIC-PERMIAN IN NORTH CHINA

Ning Zhengwei Chen Xia

(Geological Brigade, North China Bureau of Petroleum Geology, MGMR, Zhengzhou, Henan)

Abstract

Reservoiring property bears close relation to metamorphic grade. According to the metamorphic grade, the Carboniferous and Permian Systems in North China could be divided into three kinds. In lower metamorphic coal beds, micropores developed well, but middle to big pores and fractures are not so well; though permeability and desorption are high enough, sorption capacity and methane content are both low. This kind of coal formations are not favourable for the diffusion and migration of coal-bed gas. High metamorphic coal suffered high pressure and high temperature, contains rich micropores, less fractures and less big to mid size pores. This kind of coal is not good in reservoiring property even if its sorption capacity and methane content are high. Mid metamorphic grade coal contains large amounts of internal fractures, big and mid pores developed well due to proper temperature and pressure. Most of the gas could be sorbed and preserved after generation, and the gas could be degraded, desorbed and migrated easily. This kind of coal is most favourable for coal-bed gas exploration. So it is proposed that the coal-bearing areas of the outer and inner flanks, the arc inside Taiyuan-Changzhi-Zhengzhou high metamorphic zone and the east foot of Taihang Mountains should be taken as target areas for coal-bed gas exploration.