

华北晚古生代煤变质演化及煤质预测

华北晚古生代煤变质演化及煤质预测

杨 起 潘治贵

翁成敏 苏玉春 汪正平*

提 要 华北晚古生代煤具有中部和南部变质程度较高而南部边缘和北部低的特点。这是华北晚古生代经历了3个阶段变质演化的结果。华北地台稳定阶段除个别地区外,深成变质作用使绝大多数晚古生代煤只演化到低变质阶段;地台活化早期叠加的区域岩浆热变质作用造成部分低煤级煤提高到中、高变质阶段;地台活化晚期紫荆关断裂的右旋移动奠定了华北晚古生代煤变质分布的格局。根据岩浆性质、侵入规模等特点将区域岩浆热变质作用划分为3个亚型。区域岩浆热变质煤的分布受燕山期岩浆沿一定方向断续侵入的控制。从成因上阐述区域岩浆热变质作用的主要特点。基于地质因素分析和煤变质作用类型预测华北晚古生代煤级分布,新的预测增加了炼焦煤的储量,且部分已被钻探证实。

关键词 煤的演化阶段 区域岩浆热变质 地温梯度 受热史

晚古生代煤在华北具有南缘和北部变质程度低,中部和南部较高的特点(图1)。特别是沁水盆地北部、晋东南到豫中的高变质带的成因是长期以来争论而未能解决的问题。笔者在野外观察、室内测试以及广泛收集资料的基础上对华北晚古生代煤的变质特征、演化阶段、变质作用类型和变质的地质因素等问题进行了探讨,并据此从成因上编绘煤级分布图进行煤质预测。

研究区位于太行断块、冀鲁断块和豫皖断块单元内。区内普遍发育了晚石炭世太原组和早二叠世早期山西组的聚煤作用。上、下石盒子组在豫中和淮南也是重要的含煤岩系。晚古生代煤系的下伏岩系为太古界、元古界、寒武系、中、下奥陶统和只分布于华北中部和北部的本溪组。上覆岩系自下而上为石盒子群、石千峰组、三叠系、局部发育的侏罗系、白垩系和新生界。当然豫中和淮南一带的煤系上覆岩系应从石千峰组开始。华北晚古生代煤变质特点是经过3个演化阶段不同类型变质作用叠加的结果。

、华北地台稳定期的深成变质作用

华北的太原组和二叠系厚度较薄,且在大多数地区变化不大。三叠系整合于二叠系之上,但覆盖面积减小,并从晋东南侯马到豫西北济源一带出现了一个三叠系厚度较大的地区(图2),其中济源一带的三叠系保存完整,厚度最大,近3700m,其它地区的三叠系则遭受了不同程度的剥蚀。除少数区外,华北三叠系和石炭、二叠系总的厚度都比较薄,如邯

*参加工作的还有唐亚兰、张耀团、韩志文和汤达镇。

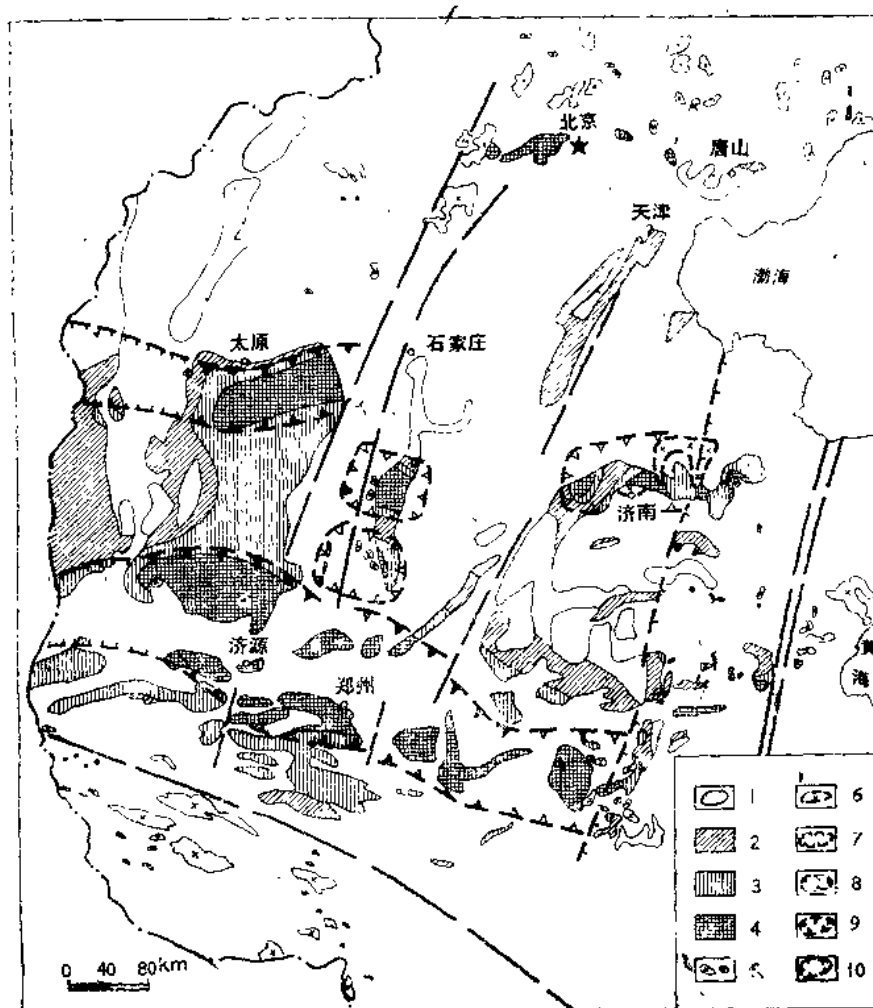


图1 华北山西组主煤层变质分带与岩体分布图

Fig. 1. Map Showing the intrusion distribution and the rank zonation of main coal of Shanxi Formation in North China

1—长焰煤、气煤；2—肥煤、焦煤；3—瘦煤、贫煤；4—无烟煤；5—岩体；6—隐伏岩体；
7—推测岩体区；8—深成岩体区；9—中深成岩体区；10—浅成岩体区

邢煤田厚度为1800—2300m，淮北与淮南不足1500m，鲁中和鲁西仅约1000m左右⁽²⁾(图3)。

由于深成变质作用的热源是正常地温，因而是普遍存在的。如邢东区太原组煤的 V' 平均为37.92%，山西组为40.54%；河东煤田北部太原组和山西组的 V' 平均值依次为36.30%与38.96%；淮南煤田太原组和上石盒子组的煤分别达到了肥气煤与气煤阶段。

根据TTI法计算，除前述三叠系厚度较大地区如晋城的 R_{max} 为1.00%、侯马为1.10%均达肥煤阶段，济源(R_{max} 1.36%)可达焦煤阶段外，大多数地区的 R_{max} 均 $\leq 0.84\%$ ，与一些未受岩浆热影响地区实测的 R_{max} 值一致，仅达气煤，肥气煤阶段(表1)。

上述资料表明稳定期的深成变质作用使华北晚古生代煤普遍变质，但除侯马—济源一带外，只演化到长焰煤、气煤或肥气煤阶段。

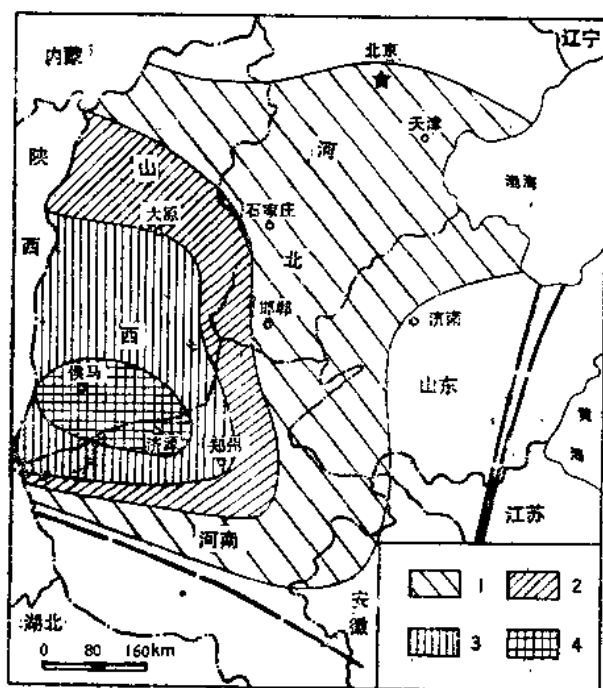


图 2 华北三叠系推测等厚图

Fig. 2. Map showing the Triassic thickness in North China

1—三叠系厚度为0—1000m; 2—三叠系厚度为1000—2000m; 3—三叠系厚度为2000—3000m;
4—三叠系厚度大于3000m

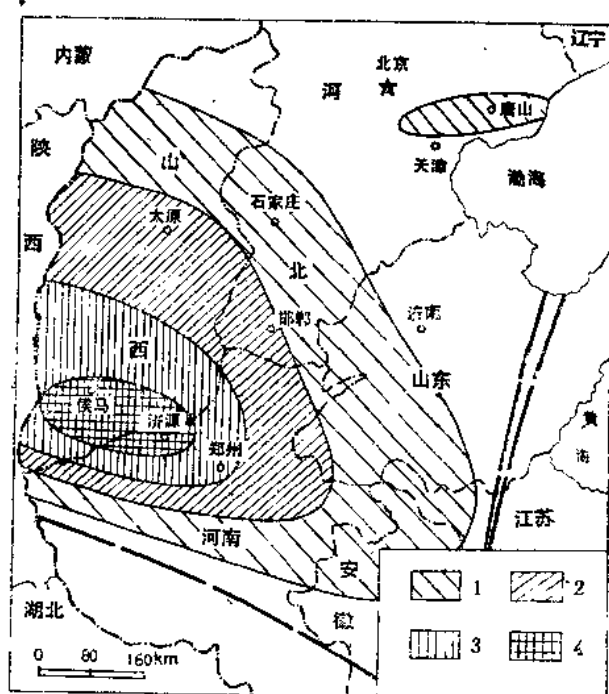


图 3 华北二叠系—三叠系等厚图

Fig. 3. Map showing the Permo-Triassic thickness in North China

1—二叠、三叠系厚1000—2000m. 2—二叠、三叠系厚2000—3000m; 3—二叠、三叠系厚
3000—4000m; 4—二叠、三叠系厚度大于4000m

表 1 华北若干山西组深成变质煤的 $R_{\max}$ 与煤级 (以牌号表示)
Table 1. The reflectances and ranks of geothermally metamorphosed coals of Shanxi Formation in North China

地 区	$R_{\max}$ %	煤 级	地 区	$R_{\max}$ %	煤 级
河 曲	0.65	长 焰 煤	肥 城	0.77	气 煤
浑 源	0.58—0.60	长 焰 煤	尧 州	0.71	气 煤
邢 台	0.82	肥 气 煤	新 汶	0.78	气 煤
赵 各 庄	0.79	气 煤	徐 州	0.77	气 煤
东 河	0.79	气 煤	淮 北	0.84	肥 气 煤

二、华北地台活化早期的区域岩浆热变质作用

燕山期的岩浆活动形成了一些热异常带,使带内稳定期经深成变质作用形成的低煤级煤叠加了区域岩浆热变质作用,提高为中、高变质煤,包括部分超无烟煤。

(一) 区域岩浆热变质作用分类

根据岩浆性质、侵入规模、侵入层位和深浅以及沉积盖层封闭程度,将华北晚古生代区域岩浆热变质作用进一步划分为3个亚型^[3]。

1. 浅成岩浆热变质作用: 沉积盖层较薄,断层发育,岩浆主要侵入煤系,而直接侵入煤层者则形成天然焦;以小型侵入体为主,煤级分带窄,侵入深度为0.5—1.5km。鲁中—苏北—皖北各煤田属于这一亚型。

2. 中深成岩浆热变质作用: 岩浆主要侵位于下、中奥陶统或寒武系内,岩体常呈岩床、岩株、岩瘤状;侵入深度大致在1.5—3km之间,多形成中型规模的变质分带,如太行山东麓煤田和太原西山煤田。

3. 深成岩浆热变质作用: 热源为规模较大的隐伏侵入体;侵位深,侵入层位低于奥陶系、寒武系,深度多大于3km;常形成大面积的高变质带,晋东南—豫中和沁水煤田北部是典型实例。

(二) 区域岩浆热变质煤的分布

华北燕山期岩浆侵入呈现明显的方向性,沿东西方向断续分布的有北纬35°—36°之间、北纬37°—38°之间和北纬40°附近。沿北北东方向断续分布的有沿太行山东麓断裂和郑庐断裂带与沾化—枣庄—宿县一线。华北晚古生代中高变质煤带的赋存与燕山期侵入体的分布一致,是受岩浆侵入方向控制的。

三、华北地台活化晚期的煤变质带

一般认为中、新生代的地温与现代地温近似。华北太行山以东的现代地温梯度多低于3℃/100m^[4]。经过燕山运动的断裂褶皱,除中、新生代沉降区外,华北大多数晚古生代煤被抬升到埋深较浅处,因此活化后期所经受的温度一般低于50℃,尚不足使煤继续进行明显的变质。但是华北晚古生代煤变质分带格局却是在活化晚期奠定的。中生代形成的沿相同纬度断续分布的中高变质煤带被新生代紫荆关断裂带的右旋移动断开,使断裂带东侧的

邯邢和鲁西两个中、高变质带从北纬 37° — 38° 向南移动约纬度 1° 的距离, 移到了北纬 36° — 37° 一带; 同样紫荆关断裂带东侧的豫中高变质带由北纬 35° — 36° 也向南移动。紫荆关断裂带在北纬 40° 附近的平移则不明显(图1)。还有类似的断裂, 但规模较小, 如阳谷—东明—太康的北北东向断裂。

四、区域岩浆热变质特点与成因探讨

区域岩浆热变质具有下列主要特点, 它们也反映了高变质煤带的成因。

1. 区域岩浆热变质分带的特点

变质分带常呈环带状, 其分布主要取决于岩体的形状和侵位方向以及后期构造的改造。如太原西山煤田东南部和西部的弧形变质分带、太行山东麓煤田的几个环带状煤变质分带都与煤田主构造方向斜交或垂直^[4]。当岩体分布比较集中或规模较大时则可以形成大面积的高变质煤带。这些特点显然与岩浆热的传递方式和岩浆热与流体热、气体热主要沿垂向传导有关。

2. 高反射率、高变质梯度与高地温梯度

正常古地温梯度一般推测为 $3^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 。华北晚古生代深成变质煤的镜质组反射率通常 $<0.84\%$, 反射率梯度 (ΔR) 一般为 0.023 — $0.036\text{R}\% / 100\text{m}$ (表2), 而荣巩煤田和峰峰康二城矿煤的镜质组反射率最高分别达到 6.23% 和 7.85% , 前者的反射率梯度高达 $0.57\text{R}\% / 100\text{m}$, 远非深成变质作用所能形成。其所以如此, 是这些高变质带所经变的温度和地温梯度比正常地温高得多所致。表3所提供的高变质煤带中石英包体测温结果做了很好的说明。

表2 不同变质作用类型的反射率与反射率梯度
Table 2. The reflectances and reflectance gradients of different types of metamorphism

变质类型	地 区	埋 深 (m)	$R_{\text{max}}\%$	$R_{\text{max}}\%/100\text{m}$ (ΔR)	时 代
深 成 变 质	顿巴斯谢列林斯克	3000—5000	<1.20	0.040 — 0.024	C_3
	澳洲库珀盆地	2200	1.00	0.038	P_1
	四川中梁山	4200	1.60	0.054	P_2^1
	四川天府	4200	1.67	0.053	P_2^1
	贵州凯里鱼洞	3550	0.84	0.023	P_2^1
	贵州盘县月亮里	7650	0.92	0.025	P_2^1
	贵州惠水断杉	4050	1.21	0.030	P_2^1
	鄂尔多斯	2800	1.00	0.036	C_3
区 域 岩 浆 热 变 质	太原西山	<3200	1.19—2.67	0.29—0.49	C_3 — P_1^1
	峰峰	1800—2300	7.85(最高)	0.17—0.34	C_3 — P_1^1
	平顶山—荣巩	2700—4450	1.04—6.13	0.12—0.57	C_3 — P_1^1

沁水盆地北部和南部晚古生代煤所经受的古地温梯度分别为 9.3 — $9.8^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 和 7.3 — $8.3^{\circ}\text{C}/100\text{m}$, 这显然是岩浆活动的结果。

3. 气孔、镶嵌结构和中间相小球体

河南禹县、新密、焦作、山西晋城等煤田的高变质煤中发育了多种形态的气孔; 荣巩

表 3 高变质煤带中石英包体测温

Table 3. The quartz inclusion thermometry of high ranking zones

地 点	石 英 包 体 温 度 $^{\circ}\text{C}$	测 试 数 量
太 原 晋 祠	$\frac{184-415}{315}$	27
太原西山毛儿沟	$\frac{193-424}{268}$	42
晋 城 后 疙 瘩 套	$\frac{158-452}{234}$	19
晋 城 刀 背 岭	$\frac{174-603}{267}$	48

和焦作的无烟煤中还发育了镶嵌结构；太原西山和晋城的中间相小球体随煤级增高而颗粒增大。禹县、新密、荥巩、焦作高变质煤中的气孔直径和含量，荥巩和焦作无烟煤中的镶嵌结构特点都与永夏煤田的天然焦相似。将不同煤级的煤样在高压釜中按 50°C 间隔增温加热，在 $250-300^{\circ}\text{C}$ 之间煤开始软化并逸出气体，导致煤中产生气孔。随着温度的继续增高，出现中间相小球体，继续加热，小球体聚集固结，于正交偏光下观察，煤呈现出镶嵌结构。

随着温度的增高，煤中气孔率显出增大的总趋势，如在 300°C 时气孔率为 $2-18\%$ ， 500°C 时达到 $40\pm\%$ 。在中间阶段略有减少，可能与热解时高分子破坏的进程有关。不同煤级煤在加热后气孔的大小不同。长焰煤的气孔直径以 $10-20\mu$ 为主（图版 I，1），气煤和肥气煤以 $10-80\mu$ 为主。肥煤的气孔常发生合并联生，气孔直径加大，从 10μ 到 200μ 以上（图版 I，2）。而焦煤和瘦煤的气孔直径又转小，多在 20μ 以内（图版 I，3）。不同变质程度的煤加热后软化的程度不同，以 450°C 的软化情况为例，气煤、肥气煤和肥煤受热软化后，原生结构已遭破坏（图版 I，4），而长焰煤、焦煤和瘦煤则仍留有原生结构的痕迹（图版 I，5）。镶嵌结构于 400°C 开始出现（图版 I，6），到 450°C 和 500°C 依次增加其明显程度（图版 I，7，8）。

从高温高压实验中得出的气孔生成温度为 $250-300^{\circ}\text{C}$ ，随后出现小球体（在炼焦过程中 300°C 产生小球体）和镶嵌结构。自然界区域岩浆热变质作用的时间较长，形成气孔、镶嵌结构所需的温度可能要低些，但是单纯的深成变质作用也是很难达到的。应是区域岩浆热变质作用的结果。

4. 围岩的变化和内生矿床的共生

济源、荥巩无烟煤带的围岩蚀变如叶腊石化和绿泥石化等；济源、焦作、偃龙、荥巩、太原西山和邯邢高变质煤的围岩中以及下伏的奥陶纪灰岩中多发育有热液石英脉和方解石脉；峰峰康二城与薛村间的铜铅钼矿，济源、沁阳、太原西山等地的铅锌矿都说明这些高变质煤带的形成与岩浆侵入是密切相关的，其中不少是与隐伏岩体有关，虽然晋东南—豫中高变质煤带的边缘部位到目前为止只见到小型侵入体。

5. 煤的受热史和等变质线的特点

反射率梯度曲线的倾斜程度可以反映煤的受热历史。图4的4条反射率—深度曲线倾斜度依次由1到4逐渐变缓，表明豫中由南向北煤经受的古地温逐步加高。图5中反射率值由南向北依次加大，而且反射率等值线倾向南方并向北变缓，指明了愈向北愈接近异常热源。

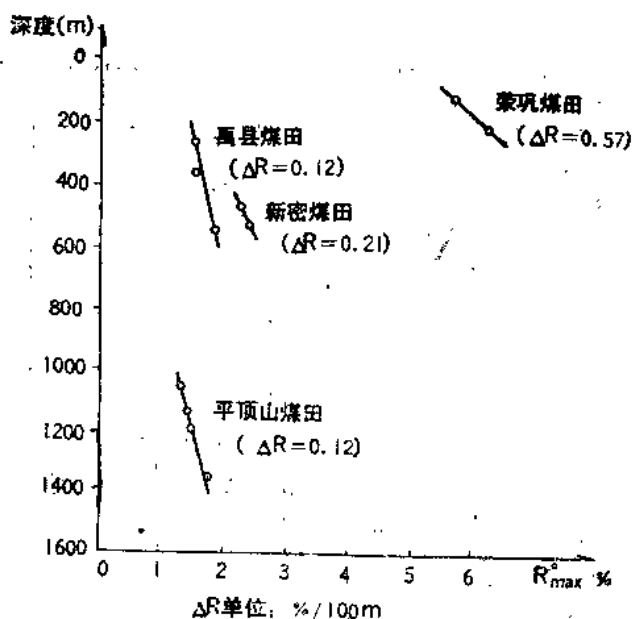


图 4 平顶山—蒙兀煤田反射率与埋深关系曲线图

Fig.4. Profile showing the increase of vitrinite reflectance from Pingdingshan Coalfield to Xinggong Coalfield

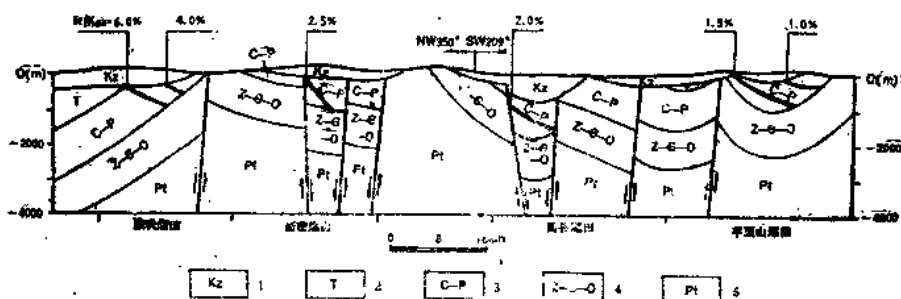


图 5 平顶山—蒙兀煤田煤系剖面及反射率等值线图

Fig.5. Graph showing the increase in reflectance gradient from Pingdingshan Coalfield to Xixinggong Coalfield (from south to north)

1—新生界；2—三叠系；3—石炭系—二叠系；4—奥陶系，寒武系，震旦亚界；5—下元古界

五、煤质预测

1. 北部地区，大致在山西省北纬38°以北，河北省和山东省北纬37°以北地区，晚古生代煤的变质较低，其中从河曲县磁窑沟向东经朔县北部，到浑源以北，以长焰煤为主；宁武静乐煤田周边浅部为气煤，向中心依次增级为肥煤到焦煤。天津西南到景县的北东向含煤地带有岩浆活动，预测其变质程度以气煤—焦煤阶段为主。

2. 沁水盆地与河东煤田，基于沁水盆地北部和南部的高变质煤是受到两个东西向断续展布的岩浆活动带影响的观点，认为河东煤田南北部之间为一煤级相对较低的纬向炼焦用煤分布带。因此预测河东煤田乡宁至石楼一段主要为焦煤和肥煤阶段（其中部分地区已为近期钻探证实）。在太岳山以东的沁水盆地中段西部也有焦煤和肥煤的存在。

3. 豫中高变质煤带及其周围, 从济源经商丘到永城、夏邑以无烟煤为主的长椭圆形高变质带其周围煤的变质程度逐渐降低。其中向南在豫中的平顶山气煤带较窄, 到淮南气煤带加宽; 向东在较短距离内煤已脱离岩浆活动的影响而仍为气煤。

4. 皖北、江苏西北角和鲁西南、鲁中的广大地区属于河北省和山东省北纬 37° 以南与豫中皖北之间地带, 除去为数不多、规模不大的燕山期岩浆侵入所造成的局部高变质煤外, 大部分地区为气煤或肥气煤。

5. 对位于紫荆关断裂带以西沿北纬 $37^{\circ}-38^{\circ}$ 之间和北纬 $35^{\circ}-36^{\circ}$ 之间, 紫荆关断裂带以东沿北纬 $36^{\circ}-37^{\circ}$ 之间和沿北纬 $34^{\circ}-35^{\circ}$ 之间以及北纬 40° 附近的煤田, 应注意是否有中、新生代侵入体及其岩性和规模或上述区域岩浆热变质的特点, 以预测是否有中高变质煤的存在。

6. 在开采煤矿的深部与外围, 除注意有无中、新生代侵入体及能表明其存在的标志外, 凡是发现高于肥气煤阶段的煤, 应预计深处和周围存在中高变质煤的可能。

结 论

1. 华北晚古生代煤变质是 3 个演化阶段的综合结果。华北地台稳定期的深成变质作用除济源—侯马一带外, 使大面积的煤仅达到长焰煤到肥气煤的低变质阶段。活化早期叠加的区域岩浆热变质作用使一部分地区的煤级增高, 最高达到超无烟煤阶段。活化晚期的变质作用一般不明显, 但新生代的构造运动, 特别是象紫荆关断裂带的右旋移动奠定了华北晚古生代煤变质带的分布格局。

2. 丰富了区域岩浆热变质的鉴定特征与标志, 提出了煤变质温度的数据; 划分出华北区域岩浆热变质的 3 个亚型和它们的分布; 较详细地论证了沁水盆地和豫中高变质带的成因, 是区域岩浆热变质叠加在深成变质上的结果。

3. 通过煤变质作用的研究, 进一步明确对含煤地区的燕山期岩浆活动的方向性、多期性以及侵位的特点; 也为区域地质构造, 如对紫荆关断裂带在新生代的活动性质, 为岩浆侵入区的预测和古地温梯度研究提供了重要资料。

4. 对华北晚古生代煤质结合成因分析进行了预测, 其中预测山西河东煤田中部和南部除瘦煤外, 还应赋存有肥煤、焦煤, 太岳山以东也有焦煤和肥煤, 从而可增加炼焦用煤的储量, 提高本区煤的使用价值。

参 考 文 献

- [1] 王鸿祯主编: 1980, 中国古地理图集 (第一版) 地图出版社, 第75-94页。
- [2] Yang Qi, Ren Deyi and Pan Zhigui, 1982, Preliminary Investigation on the Metamorphism of Chinese Coals, International Journal of Coal Geology, No. 2, 31-48.
- [3] 杨起、潘治贵、翁成敏、苏玉春、汪正平, 1987, 区域岩浆热变质作用及其对我国煤质的影响, 现代地质, 第1卷, 第1期, 第123-130页。
- [4] 中国科学院地质研究所地热组, 1973, 地热研究论文集 (第一版), 科学出版社, 第32-44页。
- [5] 杨起、任德贻, 1981, 中国煤变质的探讨, 煤田地质与勘探, 第1期, 第1-10页。

THE METAMORPHIC EVOLUTION OF THE LATE PALEOZOIC COAL AND ITS RANK PREDICTION IN NORTH CHINA

Yang Qi Pan Zhigui

Weng Chengmin Su Yuchun Wang Zhengping

(China University of Geosciences)

Abstract

In North China, the late paleozoic coal was metamorphosed mainly to middle and high ranking in the central and southern belts, but only to low ranking in the northern belt and southern margin. Such a feature is the comprehensive result of coal metamorphism through three evolutionary stages. During the stable stage of the North China platform the late paleozoic coal evolved through geothermal metamorphism only to low ranking except in some individual region; in the early mobile stage of the platform, part the low rank coal had been promoted to medium and high metamorphic stages by additional telemagmatic metamorphism due to the strong magmatic intrusion of Yanshan Movement; in the late mobile stage the dextrally moving of the Zijingguan fault zone constructed the distribution frame of the late Paleozoic coal metamorphic zonation in North China. Based upon the nature and intruding scale of the intrusives and other characteristics three subtypes of telemagmatic metamorphism are subdivided. Distribution of the telemagmatic metamorphosed coal is controlled by the Yanshan intrusives which were intruded discontinuously along certain directions. The characteristics and determining indices of coal telemagmatic metamorphism are discussed with respect to their genesis. Taking the geologic analysis and the type of coal metamorphism as bases the rank distribution of late Paleozoic coal in North China is predicted. The predicting reserves of coking coal have been increased in the new assessment and is already partly proved by drilling.

Key words: Stages of coal evolution, Telemagmatic metamorphism, geothermal gradient, heating history

图 版 说 明

图 版 I

1. 长焰煤加温300°C后残渣样。气孔较少、较小。油浸物镜，放大320倍。
2. 肥煤加温300°C后残渣样。气孔较多、较大。干物镜，放大320倍。
3. 焦煤加温300°C后残渣样。气孔少而小。干物镜，放大320倍。
4. 肥气煤加温450°C后残渣样。气孔多，常聚集成大孔。干物镜，放大32倍。
5. 长焰煤加温450°C后残渣样。气孔多，较小，沿层理方向排列，表明仍有原生结构痕迹。干物镜，放大64倍。
6. 气煤加温400°C后残渣样。结构完全被破坏，孔壁上有细粒镶嵌结构。干物镜，正交偏光放大320倍。
7. 气煤加温450°C后残渣样。孔壁上有细一中粒镶嵌结构。油浸物镜在正交偏光下放大320倍。
8. 肥气煤加温500°C后残渣样。有粗粒镶嵌结构。干物镜在正交偏光下放大320倍。

