

# 广西煤中热液脉体的岩石学研究\*

## A Petrological Study on Hydrothermal Veins in Coal in Guangxi

陈儒庆      龙斌\*      曹长春  
Chen Ruqing      Long Bin      Cao Changchun

(桂林工学院 桂林市建干路 12号 541004)

(Guilin Institute of Technology, 12 Janggan Road, Guilin, Guangxi, 541004)

**摘要** 详细讨论了广西早奥陶世、早石炭世、晚二叠世煤中热液脉体的种类、岩石学特征及其与煤变质程度的关系。无论什么时代的无烟煤,随着其变质程度升高,煤中脉体种类增多,矿物成分变得复杂,较高温热水矿物出现。

**关键词** 煤变质 热液脉体 岩石学特征

**Abstract** It is an important evidence of coal hydrothermal metamorphism that hydrothermal veins with highly vein-bearing content are found in coals. Hydrothermal veins were discussed on their types, petrological characters and the relations to coal ranks in Early Ordovician, Early Carboniferous and upper permian in Guangxi. The types of veins increase, the mineral components get more complicated and higher temperature hydrothermal minerals evolve as the anthracite metamorphic ranks, whenever they are, get higher.

**Key words** coal metamorphism, hydrothermal vein, petrological characteristics

煤变质与热液作用有着密切的关系。杨起等<sup>[1,2]</sup>在研究中国煤变质问题时就注意到这一事实,随后方道恕等<sup>[3]</sup>、郝永富<sup>[4]</sup>、陈儒庆等<sup>[5,6]</sup>对此进行了深入的研究。但所有这些研究,都是间接地从煤的围岩获得热液作用的地质事实,他们通过研究围岩的蚀变作用、热液脉体及其矿物组合、结构构造和气体包裹特征等来评价煤的变质类型、变质程度和分布规律。直接地从煤中获得热液作用的地质依据,国内外均未见报道。一方面,这与对煤的热液变质作用认识不够有关,事实上,煤中被肉眼观察到的热液脉体也不发育;长期以来人们只重视煤的深成变质、热接触变质和动力变质,因为这些变质作用在煤层中均能找到直接的地质依据;另一方面,与样品加工技术有关,研究高变质煤时,为了更客观地统计煤的反射率和更方便地研究煤的微观特征,多将样品粉碎、过筛,然后制作成煤砖(光片),这样使产于煤中的脉体由于其与煤

的接触面较为脆弱而脱落下来,即使有少量残留也由于脉体多由透明矿物组成而在反光镜下难以被认识。

煤在热液变质作用过程中应该留下直接的可见的依据。基于这样的认识,笔者选取了广西不同时代、不同变质类型的煤作为研究对象,直接用未经粉碎的块煤及其围岩来磨制薄片,以便研究煤及其围岩中脉体的分布规律,煤中脉体与煤阶的对应关系。这在国内、外无疑属首次,尤其对那些原来认为是深成变质成因的煤,由于煤中存在大量热液脉体,而不得不令人重新考虑。

广西内生金属矿床和花岗岩类分布广泛,热液作用强烈而频繁。特别是中生代以来,受花岗岩浆活动的影响,岩浆热液及通过岩浆热驱动派生出的地下热卤水、大气降水热液在桂北、桂西北等地尤为强烈,分布广泛,使石炭纪、二叠纪的煤遭受了程度不同的热液变质作用,这对煤中热液脉体的研究提供了典型的例证。

### 1 煤的热液变质作用机理及脉体的形成

陈儒庆等<sup>[6]</sup>1992认为,热液与煤发生对流换热

1995-12-11收稿

\* 国家自然科学基金资助项目(编号 49070168),广西区科委科技攻关项目。

而导致煤的变质, 这种作用称为煤的热液变质作用。渗滤和扩散, 是煤的热液变质作用的两种机理。一方面, 煤中孔隙基本上是连通的, 内生和外生裂隙也较为发育, 这为热液的渗滤作用提供了便利条件; 另一方面, 当富含大量无机组分的热液与富含有机质的煤接触时, 势必产生浓度扩散作用, 直至煤中与热液中的无机组分达到某种化学平衡为止。

热液流经煤系地层时, 与围岩发生了交代和充填作用, 形成了各种蚀变岩和热液脉体, 这是大家所熟知的事实。但对热液在煤层中的充填作用和交代作用, 却很少有人涉及。热液的充填作用主要发生于煤的内生和外生裂隙以及各种断裂构造、孔隙中, 在大多数热液变质煤中, 肉眼可见的脉体确实不太发育, 有时偌大一个矿井仅见寥寥几条, 很难让人相信这几条脉体的存在就是煤发生热液变质作用的地质依据。人们在研究煤的岩浆热接触变质作用时发现, 类似于热液脉体的岩浆岩脉, 其旁侧的变质煤很少达到 50 m, 多为 0.5 m~ 5.0 m 就过渡到正常煤。温度比岩浆低得多的热液, 其影响范围应该更小。表面上, 这似乎很有道理。但必须注意到, 岩浆与煤换热, 热液与煤换热的机理截然不同, 前者是传导换热, 影响范围小; 后者是对流换热, 影响范围大; 此外, 煤中的热液脉体十分发育, 含脉率 (1 mm<sup>2</sup> 范围内脉体的数量) 一般为 2条 /mm<sup>2</sup>~ 10条 /mm<sup>2</sup>, 这比热液成因金属矿床的围岩中含脉率还要高得多。每条脉体与其旁侧的煤同时发生对流换热时, 可以想象, 1 mm<sup>2</sup> 范围内的煤都将经受热液作用的影响形成变质程度近乎一致的热液变质煤。

热液在煤层中的蚀变作用, 实质上是煤中部分元素被带出, 部分元素被带入, 其岩石学特征主要表现在煤粒的圆化、蚀变矿物的出现上。要深入研究煤的蚀变作用, 必须借助微量元素地球化学的理论和方法, 但这不是本文研究的内容, 将有另文阐述。

## 2 煤中热液脉体的岩石学特征

### 2.1 早奥陶世石煤中热液脉体的岩石学特征

以广西兴安县金石早奥陶世无烟煤 ( $V_d = 2.28\%$ ) 为例, 围岩为变质石英砂岩、绿泥绢云母板岩。受加里东期越城岭花岗岩体及其燕山期小岩体热液作用的影响, 围岩发生绿泥石化蚀变, 形成低含脉率 (0.06条 /mm<sup>2</sup>) 的石英脉, 脉宽 0.02 mm~ 0.10 mm, 延长大于 14.0 mm。而煤中脉体却十分发育, 依形成的先后次序分述如下:

(1) 绿泥石脉: 分布于煤粒内部、煤粒边缘和煤线中, 脉宽 < 0.01 mm~ 0.06 mm, 延长 0.08 mm~

0.22 mm, 含脉率 0.12条 /mm<sup>2</sup>~ 4.02条 /mm<sup>2</sup>。脉体全部由绿泥石组成。绿泥石脉与煤的接触部位是一个构造薄弱带, 在后期地质作用下易与煤粒一起从整体分裂下来, 造成残留煤粒边缘被绿泥石包围起来的假环带结构。

(2) 糜棱岩化石英脉: 脉宽大于 18.40 mm, 由粗粒和细粒石英组成 (图 1)。粗粒石英中大量发育变形纹、变形条带、不均匀消光和波状消光、亚颗粒、机械双晶 (一个石英晶体最多可达 62个双晶叶片); 细粒石英主要分布于粗粒石英边缘, 是动态重结晶的产物。这说明煤的热液变质作用期后, 煤层曾经发生了强烈的韧性剪切作用。



图 1 广西兴安县金石早奥陶世石煤中石英脉和方解石脉, G—煤, Qz—石英, Cc—方解石,  $d = 2.48$  mm (+)

Fig. 1 Quartz and calcite veins in the Lower Ordovician stone coal in Jinshi mine, Xingan county, Guangxi. G—coal, Qz—quartz, Cc—calcite,  $d = 2.48$  mm (+)

(3) 方解石脉: 分布于早期石英脉和残留煤线、煤粒中。脉宽 0.01 mm~ 0.50 mm, 含脉率低, 由方解石和微量石英组成。

从脉体的发育程度看来, 煤的热液变质作用主要发生于早期, 与绿泥石脉的出现有关; 而晚期石英脉、方解石脉的形成, 可能对煤的热液变质作用贡献不大。

### 2.2 早石炭世煤中热液脉体的岩石学特征

该区早石炭世煤的煤种单一, 几乎全部为无烟煤。受燕山早期花岗岩浆活动所派生的各种热液影响, 煤层及其围岩中发育种类复杂的热液脉体和蚀变岩。依煤变质程度自低至高, 分别阐述煤中热液脉体的岩石学特征。

#### 2.2.1 低级变质无烟煤中热液脉体

以广西兴安县唐市煤矿点 ( $V_d = 12.85\%$ ) 为

例。围岩为生物碎屑微晶灰岩，其中发育有方解石脉和石英脉，二者同时形成，互相叠加，未见蚀变现象。围岩中方解石脉，脉宽 0.02 mm~ 2.30 mm，延长大于 5.0 mm，含脉率 0.12 条/mm<sup>2</sup>~ 0.36 条/mm<sup>2</sup>；石英脉脉宽 0.01 mm~ 0.04 mm，延长大于 5.0 mm，含脉率 0.06 条/mm<sup>2</sup>~ 0.12 条/mm<sup>2</sup>。煤中脉体种类与围岩的不全相同，依形成的先后次序描述如下：

(1) 绿泥石块体：分布于残留煤线内部，约占煤线的 8%，呈长透镜状、长条状、团粒状和不规则状集合体出现，块体粒径 0.07 mm~ 0.36 mm

(2) 方解石脉：主脉宽 4.50 mm 以上，支脉宽 0.02 mm~ 0.56 mm，由方解石和少量石英组成。脉体呈网格状，网眼为煤粒。主脉中的方解石含有大量的碳质包裹体，偶见 (0112) 双晶

由脉体的发育程度判断，煤的热液变质作用可能与绿泥石块体的大量出现有关，而与方解石脉的出现关系不大。绿泥石呈“非脉状”的块体出现，可能是一种较低温变质作用的标志。

### 2.2.2 中低级变质无烟煤中热液脉体

以广西全州县文桥煤矿点为例 ( $V_d = 11.31\%$ )，围岩为碳质泥晶灰岩，发生了绿泥石化蚀变作用，岩石中绿泥石含量约 10%；发育有绿泥石脉或石英绿泥石脉，脉宽 0.02 mm~ 6.60 mm 不等，由绿泥石、石英和方解石组成。煤中脉体比围岩的更为发育，依形成先后次序描述如下：

(1) 绿泥石脉：脉宽 0.01 mm~ 0.04 mm，延长 0.08 mm~ 0.65 mm，含脉率 4.61 条/mm<sup>2</sup>~ 10.76 条/mm<sup>2</sup>。主要分布于煤中微裂隙内和晚期方解石脉的尾枝上。

(2) 方解石脉和渗透成因的方解石晶体：脉宽 0.01 mm~ 0.04 mm，脉体含量占煤的 10%~ 20%。脉体多追踪煤中裂隙发育，常将煤粒及其中的绿泥石脉分割包围使之成为孤岛状。此外，由于煤具有较大的流变性，形成了一些独立的渗透成因的方解石晶体，含量约占煤的 50%。

煤中高含脉率的绿泥石脉和方解石脉以及热液渗透作用形成的方解石晶体均表明，煤的热液变质作用经历了两个主要时期。

### 2.2.3 中高级变质无烟煤中热液脉体

以广西罗城煤田 ( $V_d = 2.88\% \sim 8.32\%$ ) 为例，围岩为碳质页岩、泥晶灰岩，均发生了强烈的绿泥石化蚀变作用，岩石中绿泥石含量 25%~ 35%。围岩中热液脉体较为发育，种类复杂，主要有绢云母石英脉、石英脉、绿泥石脉、方解石脉，脉宽

0.02 mm~ 1.76 mm，延长 0.15 mm~ 20.02 mm，含脉率 0 条/mm<sup>2</sup>~ 0.69 条/mm<sup>2</sup>。煤中脉体与之相比，具有含脉率高、延伸短的特点，依形成的先后次序描述如下：

(1) 石英脉：脉宽 0.03 mm~ 10 mm，延长 0.62 mm~ 24.48 mm，含脉率 0.69 条/mm<sup>2</sup>~ 1.03 条/mm<sup>2</sup>。脉体多顺层理面分布；石英垂直脉壁生长构成梳状构造；较粗大的石英常见波状消光、不均匀消光和亚颗粒等塑性变形现象。此外，煤中还发育渗透成因的石英，呈团粒状、粒状分布于石英脉尾端外侧。

(2) 绿帘石脉：脉宽 0.02 mm~ 0.43 mm，延长 0.15 mm~ 1.54 mm，含脉率 0.34 条/mm<sup>2</sup>~ 1.89 条/mm<sup>2</sup>，分布于煤粒内或煤与围岩的接触带上，绿帘石斜交脉壁生长构成斜梳状构造。

(3) 绿泥石脉：脉宽 0.0009 mm~ 0.15 mm，延长 0.05 mm~ 3.85 mm，含脉率 0.69 条/mm<sup>2</sup>~ 48.27 条/mm<sup>2</sup>，呈透镜状、长透镜状和脉状，平行排列或侧幕排列。绿泥石垂直脉壁生长构成梳状构造 (图 2)。

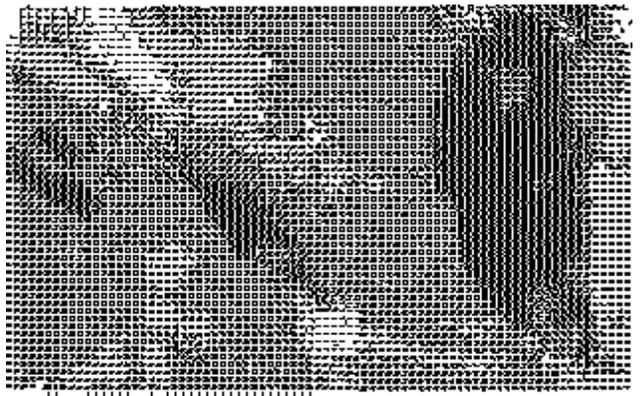


图 2 广西罗城煤田呼略矿早石炭世——煤中绿泥石脉，G—煤，ChI—绿泥石， $d = 0.55 \text{ mm} (+)$

Fig. 2 Chlorite vein in the 1st coalbed of Lower Carboniferous coal in Hulue mine, Luocheng coalfield, Guangxi  
G—coal, ChI—chlorite,  $d = 0.55 \text{ mm} (+)$

(4) 方解石脉：脉宽 0.0009 mm~ 1.54 mm，延长 0.04 mm~ 5.81 mm，含脉率 0.34 条/mm<sup>2</sup>~ 297.38 条/mm<sup>2</sup>，多沿层理方向将煤分割成似层状和长透镜体 (图 3)。方解石垂直脉壁生长，常见 (0112) 双晶。

这四种脉体均具有较高的含脉率，其中的矿物大多数都留下了应力作用的痕迹，说明煤的热液变质作用既强烈又频繁，并有动力变质作用的叠加。

## 2.3 晚二叠世煤中热液脉体的岩石学特征

该区晚二叠世煤的煤种主要为瘦煤、贫煤和无烟煤。从区域地层资料分析,瘦煤和贫煤可能是深成变质作用的产物。印支期和燕山早期花岗岩浆活动十分强烈,由热驱动派生的各种热液使晚二叠世的烟煤再次发生变质形成无烟煤。下面,分别讨论不同变质程度煤中热液脉体的岩石学特征。

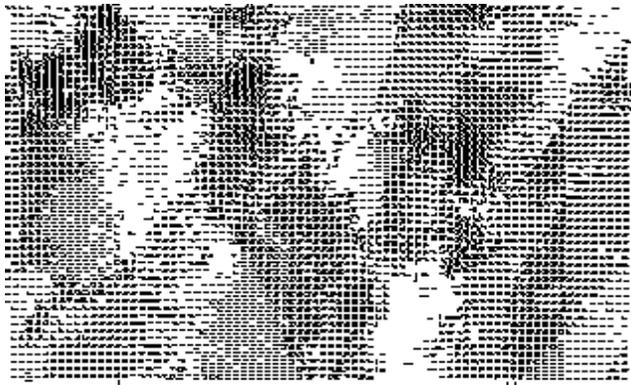


图 3 广西罗城煤田插花矿早石炭世一煤中绿泥石脉和方解石脉, C—煤, Ch—绿泥石, Cc—方解石,  $d = 0.94 \text{ mm}$  (+)

Fig. 3 Chlorite and calcite veins in the 1st coalbed of Lower Carboniferous coal in Chahua mine, Luocheng coalfield, Guangxi

C—coal, Ch—chlorite, Cc—calcite,  $d = 0.94 \text{ mm}$  (+)

### 2.3.1 瘦煤中热液脉体

以广西河池市龙友煤矿点 ( $V_d = 26.03\%$ )为例。围岩为碳质生物碎屑灰岩、泥质岩,无任何蚀变现象,仅发育一些方解石脉。方解石脉脉宽  $< 0.03 \text{ mm}$ ~ $1.80 \text{ mm}$ ,方解石晶体未见塑性变形现象。煤中脉体与围岩的相差甚大,主要发育绿纤石脉和绿纤石石英脉,二者同时形成,仅在矿物成分和脉体发育程度方面略有差异。

(1) 绿纤石脉: 脉宽  $0.02 \text{ mm}$ ~ $0.23 \text{ mm}$ , 延长  $0.65 \text{ mm}$ ~ $2.30 \text{ mm}$ , 含脉率  $0.80 \text{ 条}/\text{mm}^2$ , 脉体平直,多呈侧幕式排列,全部由绿纤石组成(图4)。绿纤石常斜交脉壁生长而构成斜梳状构造,可能是同构造作用的产物。

(2) 绿纤石石英脉: 脉宽  $0.02 \text{ mm}$ ~ $0.45 \text{ mm}$ , 延长  $0.2 \text{ mm}$ ~ $4.5 \text{ mm}$ , 含脉率  $0.24 \text{ 条}/\text{mm}^2$ , 由石英、绿纤石和少量残留煤粒组成。

从绿纤石的地质产状推断,瘦煤中的热液脉体是一种较低温的热热水溶液产物。脉体的含脉率不到  $1.0 \text{ 条}/\text{mm}^2$ , 远低于热液变质煤中脉体的含脉率,可以认为瘦煤中的热液脉体对煤变质所起的作用不大。

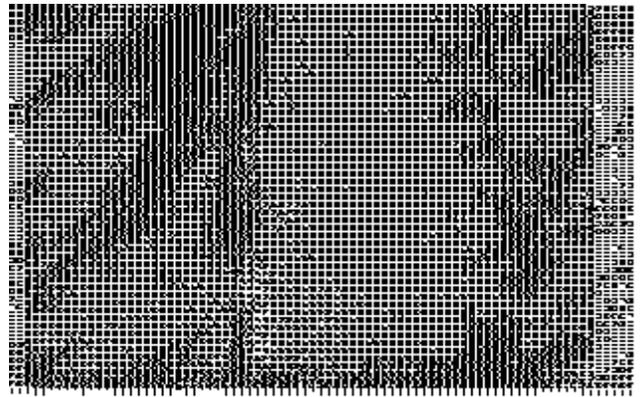


图 4 广西河池市龙友矿晚二叠世煤中绿纤石脉, C—煤, Pu—绿纤石,  $d = 0.06 \text{ mm}$  (+)

Fig. 4 Pumpellyite vein in Upper Permian coal in Longyou mine, Hechi city, Guangxi

C—coal, Pu—pumpellyite,  $d = 0.06 \text{ mm}$  (+)

### 2.3.2 贫煤中热液脉体

以广西东罗煤田 ( $V_d = 15.43\% \sim 22.68\%$ )为例。煤田周围无岩浆岩体出露,下部也无隐伏岩体分布,无围岩蚀变,推测该地区的热液以大气降水热液为主。围岩中热液脉体不甚发育,偶见方解石脉;煤中脉体种类较多但不太发育,按脉体形成的先后次序分述如下:

(1) 绿泥石脉: 脉宽  $0.003 \text{ mm}$ ~ $0.02 \text{ mm}$ , 延长  $0.08 \text{ mm}$ ~ $0.22 \text{ mm}$ , 含脉率  $0 \text{ 条}/\text{mm}^2 \sim 4.13 \text{ 条}/\text{mm}^2$ , 脉体多呈长透镜状,局部构成网格状,全部由绿泥石组成,含量不到煤的  $1\%$ 。

(2) 方解石脉和渗透成因的方解石晶体: 脉宽  $0.003 \text{ mm}$ ~ $0.155 \text{ mm}$ , 延长  $0.05 \text{ mm}$ ~ $8.16 \text{ mm}$ , 含脉率  $0.17 \text{ 条}/\text{mm}^2 \sim 72.97 \text{ 条}/\text{mm}^2$ 。脉体多平行层理分布,呈短脉状,长透镜状,由方解石和少量铁质、碳质组成。渗透成因的方解石晶体,多分布于方解石脉末端的外侧,有时带根须(微脉)。

贫煤中热液脉体的矿物组合与瘦煤的明显不同,形成温度略高一些。绿泥石脉的含量极低,对煤变质的贡献不大;高含脉率的方解石脉及其渗透成因方解石晶体的出现,表明由瘦煤变质成贫煤过程中,该期热液作用有较大的贡献。

### 2.3.3 无烟煤中热液脉体

无烟煤中热液脉体最为发育,具有种类复杂、多期次、多来源的特点。脉体中矿物成分复杂,形成温度较高。煤中热液脉体的种类和发育程度,主要取决于该地区热液活动的特点和规律,其次取决于煤变质程度的高低。以广西东兰县武篆煤田 ( $V_d = 3.54\% \sim 5.19\%$ )为例,据袁奎荣等资料(1986,中国南方

部分地区隐伏花岗岩体分布及预测图说明书), 该煤田位于凌云、巴马大约 130 km 的东西向构造岩浆带, 该岩带上分布有 3 个规模巨大的隐伏花岗岩体。煤田内出露零星的燕山晚期石英斑石和锑矿点。围岩未发生蚀变作用, 主要发育绿泥石脉和多期次的方解石脉, 与围岩中脉体相比, 煤中脉体种类繁多, 含脉率高, 但脉宽和延长较小; 脉体常分割、切穿、包围煤层形成网格状构造和孤岛状煤粒, 依形成的先后次序分述如下:

(1) 绿泥石脉: 脉宽 0.01 mm~ 0.85 mm, 含脉率 0.24 条/mm<sup>2</sup>~ 0.36 条/mm<sup>2</sup>, 呈脉状。网脉状将煤粒分割成孤岛状; 煤粒已部分圆化, 与晚期脉体形成的尖棱状煤粒明显不同。脉体由绿泥石和少量石英组成, 绿泥石垂直脉壁生长, 石英分布于脉体核部。

(2) 早期方解石脉: 是煤中最为发育的脉体, 脉宽 0.5 mm~ 200 mm, 全部由方解石组成, 含残留煤线, 后期脉体多贯入其中。方解石呈长柱状、纤维状集合体, 晶体较脏。

(3) 石英脉: 脉宽 0.05 mm~ 0.50 mm, 延长 1.7 mm~ 18.0 mm, 分布于煤中和早期方解石脉中, 由石英和少量方解石组成。在脉体尾端外侧常出现断续分布的渗透成因石英晶体。

(4) 萤石脉: 脉宽 0.05 mm~ 0.40 mm, 延长 2.0 mm~ 30.0 mm, 含脉率 0.002 条/mm<sup>2</sup>, 主要发育于早期方解石脉中。脉体全部由紫色萤石组成, 萤石具有不均匀的紫红色色斑, 含少量碳质包裹体。

(5) 晚期方解石脉: 脉宽 0.1 mm~ 0.7 mm, 平行或斜交早期方解石脉的 c 轴方向发育, 呈长透镜状、脉状。脉体全部由方解石组成, 与早期方解石不同之处, 在于方解石晶体呈它形粒状、干净。

该无烟煤是在多期次较高温热液作用下形成的。早期出现的绿泥石脉, 尽管其含脉率不高, 但其矿物成分复杂, 且使被分割的煤粒圆化, 说明热液的充填作用减弱, 与煤发生强烈的交代作用而形成了低含脉率、成分复杂的脉体。此外, 石英脉、萤石脉等较高温脉体的出现, 也说明热液的温度较高; 高含脉率的早期方解石脉, 对煤的热液变质也有一定的贡献。较高温、多期次、早期交代作用是该无烟煤形成的主要原因。

### 3 结论

(1) 热液的充填作用, 在煤层中形成了各种脉体,

这些脉体是煤发生热液变质作用的重要依据之一, 当含脉率大于 1 条/mm<sup>2</sup> 或煤粒被圆化时, 说明该期热液对煤变质有较大的贡献。

(2) 受加里东期至燕山早期构造、岩浆活动的长期影响, 早奥陶世煤发生了多期次的热液变质作用, 并伴有动力变质作用。煤中常见绿泥石脉、糜棱岩化石英脉和方解石脉, 其中以高含脉率的绿泥石脉与煤变质关系最为密切。

(3) 早石炭世无烟煤主要受燕山早期花岗岩浆活动所派生的热液影响, 随变质程度不同, 脉体的种类、组合形式和发育程度均有所不同。低级变质无烟煤中主要发育绿泥石块体和方解石脉; 中低级变质无烟煤中发育高含脉率的绿泥石脉和主解石脉以及渗透成因的方解石晶体; 中高级变质无烟煤中则发育石英脉、绿帘石脉、绿泥石脉和方解石脉。

(4) 晚二叠世高变质煤受印支期和燕山早期构造—岩浆活动影响, 煤中脉体类型随地质背景和煤变质程度不同而异。瘦煤中仅见低含脉率的绿纤石脉和绿纤石英脉, 对煤变质贡献不大; 贫煤中见低含脉率的绿泥石脉和方解石脉以及渗透成因的方解石晶体, 对煤变质有一定贡献; 无烟煤中见低含脉率的绿泥石脉、石英脉、萤石脉、晚期方解石脉和高含脉率的早期方解石脉以及蚀变作用形成的圆化煤粒。

(5) 不论什么时代的无烟煤, 随着变质程度的升高, 煤中脉体种类增多, 总的含脉率提高, 矿物成分更加复杂化, 较高温热水溶液矿物和圆化煤粒逐渐增加。

### 参考文献

- 1 杨起等. 中国煤田地质(上). 北京: 地质出版社, 1979.
- 2 杨起等. 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.
- 3 方道恕等. 华东区二叠纪煤变质规律及其变质作用. 煤田地质与勘探, 1984, 6.
- 4 郝永富. 论豫西无烟煤的变质成因. 中国煤田地质, 1989, 1.
- 5 陈儒庆. 岩浆作用与煤变质. 桂林冶金地质学院学报, 1990, 2: 191~ 200.
- 6 陈儒庆. 热液变质煤与金属矿床的关系. 桂林冶金地质学院学报, 1992, 1: 21~ 29.

(责任编辑: 蒋汉明 邓大玉)