

# 热液变质煤<sup>\*</sup>

陈儒庆 吴海鸥 曹长春

(桂林工学院隐伏矿床预测研究所)

**摘 要** 热液与煤发生对流换热导致煤的变质, 该作用称煤的热液变质作用, 形成的煤称热液变质煤。渗滤和扩散作用是热液变质煤的主要形成机理。影响煤热液变质作用的外因是热液的温度、规模、作用时间及频繁程度; 内因是煤的渗透性、水分、变质前煤阶、围岩的封闭性。介绍了热液变质煤的空间分布、地球化学和化学结构等特征。

**关键词** 煤; 热液作用; 地球化学; 化学结构

**分类号** P618. 11 P618. 01

自王竹泉<sup>[1]</sup>提出煤变质与岩浆活动有关以来, 杨起等<sup>[2~4]</sup>研究了煤的区域岩浆变质作用, 亦认为煤变质与岩浆热液有着密切关系; 方道恕等<sup>[5]</sup>、郝永富<sup>[6]</sup>通过研究顶底板围岩的蚀变作用和岩脉发育情况间接分析了煤的热液变质作用; 笔者<sup>[7]</sup>直接研究了煤中各种脉体的种类、岩石学特征并探讨了煤热液变质的微观机理。Stadler<sup>[8]</sup>据德国鲁尔煤田北部出现黄铜矿和闪锌矿等热液矿物来推断煤田的古地温。在原苏联的顿巴斯、德国的鲁尔、英国中部、美国伊利诺斯以及我国豫西北、山西省西山等地的高变质煤中, 都发现与热液有关的闪锌矿、黄铜矿和方铅矿。众多的资料表明, 大多数的高变质煤经历了热液变质作用的影响。

热液的来源是复杂的, 既可以是岩浆热液、变质热液, 也可以是大气降水热液和地下热卤水等等。如湘南早石炭世和晚二叠世热液变质煤, 与该地区大量发育的燕山早期小岩体密切相关, 引起煤变质的热液主要为岩浆热液; 位于凡口超大型铅锌矿床附近的晚二叠世曲仁煤田经受了大气降水热液的长期影响而变质成煤种均一的无烟煤; 桂北、桂东北早古生代的石煤受加里东期区域变质作用派生的热液影响而变质成无烟煤, 其无机围岩的变质程度亦达到低级变质相。

## 1 热液变质煤的形成机理

热液与煤发生对流换热而导致煤的变质, 这种作用称为煤的热液变质作用, 所形成的变质煤称为热液变质煤。

无机岩石的有效孔隙度较小, 渗透性差。当热液沿这些孔隙渗透时只能形成浸染状矿石, 在构造断裂发育地段则形成脉体。热液与旁侧围岩发生交代作用形成的蚀变岩, 是二者

1996年6月11日收稿, 8月28日改回。

第一作者简介: 陈儒庆, 男, 1963年出生, 硕士, 副研究员, 矿床地质专业。

<sup>\*</sup>国家自然科学基金资助项目(49070168); 广西壮族自治区科学研究与技术开发项目(桂科攻9544012)。

达到某种浓度平衡的结果。可以说, 蚀变岩的形成阻止了热液进一步向远处围岩的扩散, 使无机岩石不能产生大规模的变质。

煤(或泥炭、腐泥)与无机岩石不同, 尽管其孔隙度只有  $2\% \sim 16\%$ , 但孔隙度与水分含量却呈线性关系。据朱春笙<sup>[9]</sup>研究, 孔隙度( $\varphi$ )与水分( $M_{ad}$ )在煤中依  $M_{ad} = 1/2\varphi$  的关系变化, 即无论煤的孔隙度有多小, 均有吸入相应含量的水, 表明煤中的孔隙基本上是连通的。此外, 与无机岩石相比, 煤层是相当薄弱的构造带, 发育大量的内生和外生裂隙。正是由于煤中相互连通孔隙和大量微裂隙的存在, 使热液很容易沿这些低压空间发生渗透, 充分与空隙(孔隙和裂隙)周围的煤分子接触并与之发生对流换热。另一方面, 煤是一种有机岩石, 无机组分含量相对较少。当含大量无机组分的热液与煤层接触时, 势必产生一种难以达到平衡的浓度扩散作用。在不含夹矸或夹矸断续分布的煤层内, 浓度扩散作用很容易进行, 热液中的无机组分源源不断地进入煤中, 或与煤中有机物形成螯合物, 或取代煤中脱落支链的位置, 直到煤与热液达到某种浓度平衡为止。温度较高、密度较小的热液向上迁移到煤层的同时, 又促使煤层及其围岩中温度较低密度较大的地下水向下迁移, 这样就构成了一个热对流的循环系统。通过不断的反复热循环, 热液在煤层中的渗透和浓度扩散作用得以充分进行, 使整个煤层的煤种基本趋于均一。

## 2 影响煤热液变质作用的主要因素

### 2.1 热液的温度

热液的温度越高, 煤的变质程度越高。热液与煤对流换热过程中, 温度是直接造成煤中大量稠合度小的有机化合物脱落的主要原因。一般岩浆热液(除远成岩浆热液外)和变质热液的温度高于大气降水热液和地下热卤水, 所形成的热液变质煤的煤阶普遍高于后者。例如, 围绕湖南骑田岭印支期花岗岩体产出的晚二叠世热液变质煤(无烟煤), 是岩浆热液的产物, 其变质程度高于大气降水热液成因的粤北曲仁晚二叠世热液变质煤(贫煤—无烟煤)。

### 2.2 热液的规模

热液的规模越大, 提供的热容量越大, 使正在变质的煤层获得源源不断的热量和组分补给, 为热液对流系统的良性循环提供了物质基础。对相同温度的热液而言, 热液的活动规模越大, 煤变质的程度越高, 越容易使整个煤层向均一煤种方向演化。如广西晚二叠世热液变质煤, 其煤变质的热液主要来自大气降水, 在横县、宜州等地仅出现规模较小的热液变质煤(贫煤), 热液活动范围不大; 而在整个桂西地区(东兰、凤山、凌云、乐业等)则出现分布范围极广的热液变质煤(无烟煤), 尽管煤矿规模不大(主要为矿点), 但大范围内出现如此多的煤种均一的矿点却说明热液活动的规模在整个桂西地区是空前的。

### 2.3 热液作用的时间

对相同温度的热液而言, 当它与煤分子接触产生对流换热时, 尤其是煤中稠合度小的有机化合物基本脱落消失后, 热液作用于煤层的时间越长, 煤向石墨化方向的有序化程度越高, 即煤的变质程度越高。如东兰晚二叠世热液变质煤, 受长时间的热液作用影响, 其有序化程度普遍高于兴全煤田同时代的和早石炭世的热液变质煤。

### 2.4 热液作用的频繁程度

热液作用的频繁程度, 一般与热液的活动规模成正比。这与热液惯有的脉动性密切相

关。多期次的热液频繁地作用于煤层时, 沿煤中微裂隙形成的脉体与煤之间的接触界面通常是一构造薄弱部位, 很容易被下一次到来的热液所利用, 成为渗透作用的良好通道, 为煤的进一步变质创造条件。热液的活动期次越多, 煤中脉体越发育, 脉体成分越复杂, 煤的变质程度越高。属大气降水热液变质成因的广西罗城早石炭世煤田, 煤中大量发育多期次的石英脉、绿泥石脉和方解石脉等, 煤的变质程度较高( $V_{\text{adl}} = 2.97\% \sim 9.73\%$ ), 而兴全煤田煤中仅见少量的绿泥石脉和大量的方解石脉, 煤的变质程度较低( $V_{\text{adl}} = 11.63\% \sim 15.33\%$ )。

## 2.5 煤的水分

在上升热液的驱动下, 煤中比重较大的游离水在重力作用下降至地下深部热源, 重新接受加热使温度急剧增加比重突然减少, 变成新的热液并向上迁移, 加入到热对流循环系统, 使整个系统的规模不断扩大。煤中游离水分含量越高, 生成的新生热液越多, 最终导致煤变质程度升高和变质规模的扩大。

## 2.7 热液变质前的煤阶

若要烟煤在对流换热过程中向无烟煤方向转变, 热液变质前的煤阶越低, 需要的热量越多; 热液变质前的煤阶越高, 需要的热量越少。一般而言, 时代越新, 热液变质前的煤阶越低。湘桂粤三省(区)早石炭世煤热液变质前的煤阶(贫煤—无烟煤)普遍高于晚二叠世煤热液变质前的煤阶(肥气煤—瘦煤)和早侏罗世—晚三叠世煤热液变质前的煤阶(肥煤)。稍经热液变质后, 早石炭世贫煤—无烟煤即转变成分布极为广泛的更高级的无烟煤。湖南骑田岭地区晚二叠世瘦煤, 在经过中远成岩浆热液的长期作用后, 才转变成无烟煤, 甚至其有序度仍普遍低于早石炭世无烟煤。早侏罗世—晚三叠世肥煤, 只在局部高温岩浆热液作用地段才转变成无烟煤。如湖南瑶岗仙高温岩浆热液型钨矿床附近出现的早侏罗世无烟煤。

## 2.8 煤围岩的封闭性

煤围岩(尤其是上覆围岩)的封闭性越好, 热对流循环系统就不易被破坏, 循环中的热液就不易散失, 整个系统的热能就得以长时间地维持下来, 有利于煤发生热液变质作用并向更高煤阶方向的转变。一般而言, 煤层顶底板常见各种类型的泥岩和页岩, 它们均呈致密块状, 具良好的隔热和隔水性能。只要断裂构造不是很发育, 煤围岩的封闭性对整个热对流循环系统就不会构成太大的影响。

# 3 热液变质煤的一般特点

## 3.1 分布特点

一般来说, 热液所提供的热能, 完全有可能满足煤层变质成中高变质煤的需要。无论煤田的规模有多大, 热液的渗透和浓度扩散作用, 最终结果是让整个煤田变成相对均一的煤种单一的高变质煤, 很少出现煤种的分带现象或分带极不明显, 这可能与强烈活动的热液及其长期性而使浓度扩散作用得以彻底进行的结果。这种单一高变质煤的分布, 承袭了其原始的地质产状。豫西北煤变质区、山西沁水煤田、华夏煤变质区和下扬子煤变质区, 未变质前就是规模巨大的煤田, 受热液作用变成无烟煤和高变质烟煤, 沿区域构造线方向大面积分布, 煤田附近只偶尔见到一些金属矿点。湘桂粤地区, 煤田的原始规模不是很大, 受热液作用后多变成小规模单一高变质煤, 附近常有大型金属矿床出现。

## 3.2 围岩热液活动特征

热液流经煤层顶底板围岩时,一方面充填围岩中的构造裂隙而形成脉体,主要有石英脉、方解石脉,次为黄铁矿脉、绿泥石脉、菱铁矿脉和叶腊石脉等;另一方面与之发生交代作用,形成硅化、碳酸盐化、绢云母化、叶腊石化、黄铁矿化、绿泥石化和绿帘石化等。煤围岩中热液脉体和蚀变岩的出现,间接说明煤经受了热液变质作用的影响。脉体和蚀变岩的矿物组合、规模大小、活动期次等特点亦从另一个侧面反映煤的变质程度。如骑田岭周围晚二叠世岩浆热液变质煤的围岩,在低级变质无烟煤的围岩中,未见蚀变岩出现,仅出现含脉率极低的石英绿泥石脉和方解石石英脉,在中级变质无烟煤的围岩中,局部见绿泥石化蚀变,出现多期次含脉率较高的石英脉、绿泥石脉和方解石脉;在高级变质无烟煤的围岩中,普遍出现绿泥石化和碳酸盐化,有大量多期次的绿帘绢云石英脉、绿泥石脉和方解石脉。

### 3.3 煤中脉体的岩石学特征

热液在煤层中对流循环时,充填煤的内生和外生裂隙及各种断裂构造,形成各种各样的脉体。一般而言,煤的时代越老,经历的热液变质次数越多,变质程度越高。早奥陶世高级无烟煤中常见绿泥石脉、糜棱岩化石英脉和方解石脉。早石炭世低级无烟煤中主要发育绿泥石块体和方解石脉,中低级无烟煤中常见绿泥石脉、方解石脉和水滴状方解石晶体,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。晚二叠世瘦煤中仅见少量的绿纤石脉和绿纤石石英脉,贫煤中见少量的绿泥石脉、方解石脉和水滴状方解石晶体,低级无烟煤中见少量的绿泥石脉、石英脉、石英方解石脉,高级无烟煤中见少量绿泥石脉、石英脉、萤石脉和大量的方解石脉。早侏罗世一晚三叠世气煤—焦煤中仅见极少量的方解石脉。

### 3.4 地球化学特征

煤的地球化学特征多数是间接通过原煤灰的化学成分来反映的。而煤灰既可来自煤中的无机矿物包括陆源碎屑、自生矿物和后生矿物,也可来自与有机质结合在一起的无机金属元素包括成煤古植物吸收的和后期热液交代的。这就构成了热液变质煤地球化学特征的复杂化。对低灰分的热液变质煤而言,除煤灰的  $\text{SiO}_2$  多低于 40% 具明显的超基性和基性特征外,一般随煤变质程度升高,煤灰中  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  和煤中 Pb, Zn, Mo, Rb, Sr 等惰性组分增加,煤灰中 CaO,  $\text{SO}_3$  和煤中 F, I, Hg, As, Sb 等活泼组分急剧减少。

煤中稀土元素是分析煤变质类型和煤变质程度的有效示踪元素。受热液影响的区域变质煤和岩浆变质煤,煤中稀土元素已略有分离,向着富集重稀土元素的方向演化,稀土元素北美页岩标准化图呈略向左倾斜的直线。低级热液变质煤,煤中稀土元素基本未发生分离,稀土元素北美页岩标准化图呈近水平的直线;中级热液变质煤,煤中稀土元素发生较程度的分离,稀土元素北美页岩标准化图呈缓右倾的或陡左倾的曲线;高级热液变质煤,煤中稀土元素发生强烈的分离,稀土元素北美页岩标准化图呈强烈右倾的曲线, Eu 异常或正或负。一般说来,热液变质煤的时代越老,煤中稀土元素的分离就越强烈。

### 3.5 谱学特征

3.5.1 X 射线衍射特征 热液变质烟煤的有序化程度升高主要归因于煤中稠合度小的有机化合物的脱落,随变质程度升高, (002) 和 (101) 衍射峰由宽缓变窄锐,半高宽缩小,表征煤晶核大小的  $L_a$  和  $L_c$  与非热液变质烟煤牌号的相似。当煤的热液变质达到无烟煤阶段时,煤中稠合度小的有机化合物已基本脱落消失,煤的有序化程度主要取决于热液作用时间的长短。一般地,热液作用于煤层的时间越长,煤向石墨化方向转变的有序化程度越高,其  $L_a$ 、 $L_c$  值比非热液变质无烟煤同种牌号的大得多。

3. 5. 2 红外光谱特征 与非热液变质煤明显不同之处，在于热液变质煤具有强度极大的缔合 O—H 吸收峰。当热液与煤对流换热时，煤中支链不断脱落，热液中水分子以缔合 O—H 的形式取代脱落支链的位置而使煤中缔合 O—H 的含量不断增多。一般说来，随煤变质程度升高，缔合 O—H 吸收峰的强度不断增大。但当煤遭受多期次较高温热液作用后，则出现相反的情形，如兴安金石早奥陶世和东兰晚二叠世热液变质无烟煤，后期热液使早期热液与煤形成的缔合 O—H 再次从煤中脱落下来，而导致煤中缔合 O—H 吸收峰的减弱或消失。

此外，与非热液变质煤相比，热液变质煤的 C—O— 吸收峰多呈强度较大的单峰，主要与 OH 的（面外）变形振动有关；那些变质程度较高的热液变质煤，其稠合度较大的芳烃（CH 面外变形振动）在热液作用下仍能发生部分脱落，导致芳烃吸收峰由 3 个减少为 2 个或 1 个且吸收峰强度急剧降低。

3. 5. 3 拉曼光谱特征 热液变质煤拉曼散射谱的基线大致呈水平直线。无烟煤之前的煤种（ $V_{adl} > 10\%$ ），随变质程度升高，位于较高波数段的稠合度较小的有机化合物不断脱落，导致较低波数区段的稠合度较大的有机化合物（芳烃为主）相对增多，出现较多的拉曼散射峰，并在低级无烟煤的范围内散射峰的数目达到最多。当达到高级无烟煤阶段时，稠合度较大的芳烃在热液作用下发生部分脱落，导致拉曼光谱数目又趋于减少，尤其是芳烃（CH 面外变形振动）散射峰的强度急剧降低并向高波数方向强烈偏移<sup>[10]</sup>。

参 考 文 献

1 王竹泉. 华北煤种牌号的带状分布及其地质因素, 煤矿技术, 1956 (7): 19~21  
2 杨 起, 韩德馨. 中国煤田地质 (上). 北京: 煤炭工业出版社, 1979. 77~79  
3 杨 起, 任德贻. 中国煤变质问题的探讨, 煤田地质与勘探. 1981, (1): 1~10  
4 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. 60~77  
5 方道恕, 潘相铨, 陈宝岭等. 华东区二叠纪变质规律及其变质作用, 煤田地质与勘探. 1984, (6): 24~28  
6 郝永富. 论豫西无烟煤的变质成因, 中国煤田地质. 1989, (1): 15~17  
7 陈儒庆. 华南湘桂粤地区煤中热液脉体的岩石学研究, 大地构造与成矿学. 1995, (1): 35~44  
8 Stadler G., Teidhmüller M. Die, 1971, Umwandlung der Kohlen und die Diagenese der Ton- und Sandsteine in der Untertagebohrung 150 der Steinkohlenbergwerke Ibbenbüren. Fortschr. Geol. Rheinl. u. Westf., 18: 125~146.  
9 朱春筌. 煤的孔隙度与煤质的关系, 煤田地质与勘探. 1986, (5): 29~32  
10 陈儒庆, 曹长春, 阮贵华. 广西煤的拉曼光谱特征. 桂林工学院学报. 1996, 16 (4): 362~369

HYDROTHERMALLY METAMORPHOSED COAL

Chen Ruqing Wu Haiou Cao Changchun

(Research Institute of Hidden Ore Deposits Prognostiction Guilin Institute of Technology)

**Abstract** It is named the hydrothermal metamorphism of coal that the heat exchange by convection between hydrothermal solution and coal will have coal metamorphosed. This coal is called a hydrothermally metamorphosed coal. Filtration and diffusion are the major mechanism by which normal coal is changed into hydrothermally metamorphosed coal. There are two factors to influ-

ence the hydrothermal metamorphism of coal. One is the temperature, scale, time and frequency of the hydrothermal process. The other is the osmolarity and moisture of coal as well as the coal rank of premetamorphism and the enclosed system of wall rocks. In addition, the space distribution, geochemistry and chemical construction of hydrothermally metamorphosed coal are briefly discussed.

**Key words** coal; hydrothermal process; geochemistry; chemical construction

## 新疆青河老山口地区发现闪斜煌斑岩质爆破角砾岩

刘家远 喻亨祥

(桂林工学院东准科研队)

去年 10 月, 作者在开展国家 305 研究项目野外工作时, 在新疆青河县至二台公路东侧出山口处(紧挨公路)的老山口地段, 发现了闪长玢岩质的爆破角砾岩(野外定名)。其延长达数公里以上, 呈岩墙状侵入于闪长岩中, 与闪长岩一起构成分异杂岩体。爆破角砾岩具有明显的角砾与胶结物同成分的特征, 即角砾与胶结物均为外貌特征十分近似的闪长玢岩, 同时含有具明显中、细粒等粒结构的闪长岩角砾。闪长岩和闪长玢岩角砾多数呈圆度极好的浑圆状, 少数呈次棱角状; 角砾大小不一, 大者径长 30~40cm, 小者 0.5~1cm, 一般 5~20cm。岩石致密坚硬, 呈暗灰色致密块状。据闻前人曾将此地角砾岩定名为火山角砾岩、枕状熔岩等。

标本经胡承绮副教授薄片鉴定, 定名为闪斜煌斑岩质爆破角砾岩, 角砾和胶结物均为闪斜煌斑岩。其结构和成分特征为: 角砾和胶结物具有类似的斑状结构、煌斑结构, 角闪石在斑晶和基质中均呈十分完好的自形, 总含量达 50%~60%。主要组成矿物包括角闪石、斜长石和少量碱性长石。角闪石为普通角闪石, 长柱状, 多色性明显,  $N_g = N_m =$  草绿色,  $N_p =$  浅黄色, 具角闪石式节理, 二级兰干涉色,  $N_g \wedge C = 22^\circ$ , 具环带结构, 以  $\langle 100 \rangle$  为双晶结合面的简单双晶和聚片双晶发育。斜长石呈板状, 正低突起, 具环带结构, 中心已钠黝帘石化, 部分绢云母化;  $N_p \wedge (010) = 10^\circ \sim 14^\circ$ ,  $A_n = 27 \sim 34$ , 为中长石, 总含量约占 35%。胶结物与角砾的不同点是, 角闪石含量更高, 粒度变细, 黄铁矿增多, 碳酸盐化和绿帘石化增强。

闪斜煌斑岩多为侵入体晚期的脉岩, 呈规模较大的独立侵入体产出, 一般不多见; 特别是形成闪斜煌斑岩质的爆破角砾岩, 在国内似无先例。因此, 这种具隐蔽爆破作用特征的闪斜煌斑岩侵入体的发现, 在岩石学上无疑具有理论意义和研究价值。尤其值得重视的是其与金矿的关系, 据取闪斜煌斑岩胶结物分析, 含金量达 0.37g/t, 据闻在这种闪斜煌斑岩质爆破角砾岩体内的构造破碎带中已发现有金矿线索。而作为主侵入体闪长岩的内外接触带上, 已发现有具有一定工业价值的含铜磁铁矿, 目前已由青河、富蕴两县联营开采。很可能从老山口至卡拉先格尔一带, 与闪长岩—闪斜煌斑岩质爆破角砾岩组合的分异杂岩体有关, 存在一个值得重视的 Cu—Fe—Au 组合的成矿系列。呼吁有关方面加强对这一带闪长岩—闪斜煌斑岩质爆破角砾岩杂岩体岩石学及其成矿作用的研究。