

中国煤变质作用*

杨起

吴冲龙

汤达祯

康西栋

刘大锰**

(能源地质系, 北京 100083) (资源学院, 武汉 430074)

(能源地质系, 北京 100083)

摘要 通过煤变质热源及其作用方式的研究, 总结了我国煤变质作用主要类型、动态地史—热史模拟表明, 煤盆地的地热状态以非均一地温场影响深成变质格局, 如鄂尔多斯盆地三叠纪的地温高于前后时代, 大地热流值向盆地中心增高, 四川盆地中心莫霍面较浅, 与高变质煤分布基本一致。区域岩浆热变质是形成中国大多数中高煤级煤的主因。模拟分析了湘赣中南部印支—燕山期花岗岩体与煤变质、煤热水变质作用以载热的深循环流体构成派生热源, 确定了抚顺盆地裂陷期古莫霍面温度值, 计算出抚顺煤层经成岩作用的煤级和经后期辉绿岩浆侵入的增高煤级, 建立了辉绿岩床散热过程的多层平壁非稳态导热模型, 计算出闽粤叠合盆地永安煤经受深成变质和叠加岩浆热变质的煤级。中国煤变质规律主要表现为: 在构造稳定区, 煤变质作用具有继承性发展的特点; 煤变质地热背景表现出明显的时空变化; 多热源、多阶段叠加变质作用对中国煤的变质演化具十分深刻的影响, 特别是燕山期区域岩浆热变质作用对中国煤级起着显著的改造作用; 第三纪的构造位移奠定了中国煤级分带的分布格局。

关键词 煤变质作用类型, 多阶段多热源叠加变质作用, 动力学模拟, 煤变质规律。

中国法分类号 P511.5, P618.11

第一作者简介 杨起, 男, 教授, 中科院院士, 1919年生, 1946年毕业于北京大学地质学系, 获硕士学位, 现主要从事煤田地质、煤变质作用及煤综合利用与环境保护方面的研究。

0 引言

中国大陆位于欧亚板块东南部, 多期构造运动的叠加改造形成了复杂的中国大地构造格局。中生代运动, 特别是燕山运动, 对中国煤变质的演化和中高煤级煤变质带的形成起了重要作用。

中国煤变质在空间上具有明显的分区分带性。根据大地构造、聚煤时代、地形地貌以及煤级的分布等一系列特征, 可划分出北、中、南3大煤变质区。北区与中区以艾比湖—居延海—额尔齐斯—西拉木伦地壳对接消减带为界; 中区与南区以修沟—玛沁—山阳—桐城地壳对接消减带为界。3大煤变质区可以贺兰山—龙门山—哀牢山—线为界进一步划分成6个煤变质亚区, 其中准噶尔、塔里木与青

藏高原煤变质亚区位于西部, 松辽、华北和华南煤变质亚区位于东部, 各亚区的内部还可划分出若干个煤变质带。

中国晚古生代煤都已超过成岩阶段而且中高煤级煤占重要比例。中生代煤以低煤级烟煤为主, 也有未达变质阶段的褐煤; 第三纪煤除少数地点出现低煤级烟煤外, 多为处于成岩阶段的褐煤^[1]。在空间分布上, 中国煤级总体有自北而南, 从西到东逐渐增高的趋势(图1)。

1 中国煤的主要变质作用类型

中国主要存在4种煤变质作用类型, 即煤的深成变质作用、区域岩浆热变质作用、接触变质作用和热液热水变质作用。由于其热源类型、热传导方式、热源的埋深、规模、形态等各不相同, 由此而引起的煤变质特征也有差异。煤的深成变质作用具有普遍性; 区域岩浆热变质作用涉及的地域广且叠加

1996年2月7日收稿。

*地质矿产部重点地质科技项目资助。

**潘治贵、苏玉春、陈嘉斌、周春光、刘刚和周江羽也参加了工作。

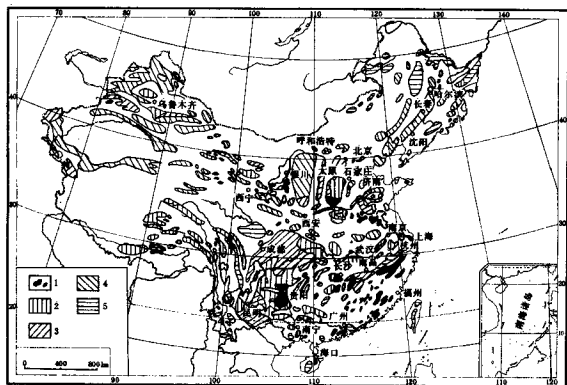


图1 中国主要聚煤期煤级分布略图

Fig.1 Sketch showing the distribution of coal ranks during main coal-forming periods in China

1. 无烟煤; 2. 高变质烟煤; 3. 中变质烟煤; 4. 低变质烟煤; 5. 褐煤; 图中国界线按中国地图出版社1989年出版的《中华人民共和国地形图》绘制

效果显著; 煤的接触变质作用也较常见, 但影响范围有限; 煤的热液热水变质作用可在断裂带或岩浆活动区发育。

1.1 煤的深成变质作用

晚古生代, 华北地台与扬子地台主体为巨型波状坳陷, 构成当时主要聚煤区。印支早期, 中国北方普遍发育干旱气候下的红色沉积, 海水逐渐退居秦岭—祁连山—昆仑山一线以南。印支晚期, 统一大陆形成并开始出现东西分异的新格局。我国东部, 范围广阔的三叠纪沉积对古生代煤系的保存起重要作用。至晚三叠世, 北方沉积区明显向西萎缩, 南方则出现狭长坳陷带与大型波状坳陷分别隔于东西的格局(图2)。燕山早期, 新的聚煤坳陷或叠加在早先克拉通内稳定盆地之上继承性发育, 或在块断基础上产生, 以三叠系、侏罗系为主体的大型坳陷如鄂尔多斯盆地、四川盆地得以长期继承性发展, 这类大型盆地在重力负荷配套作用下, 主要表现为整体的升降运动。燕山晚期至喜山早期, 中国西部出现含煤区为褶皱山系分割环绕的宏观局面; 中国东部多数煤系因叠层剥蚀而临近地表, 煤的深成变

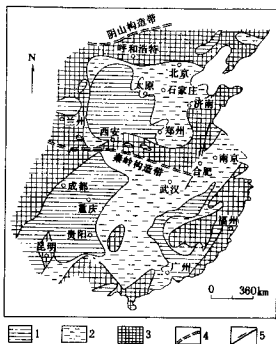


图2 中国东部三叠纪沉积分布

Fig.2 Distribution of Triassic deposits in eastern China

1. 三叠纪沉积区; 2. 晚三叠世隆起区; 3. 基底隆起; 4. 构造带; 5. 断裂带

质作用趋于“停滞”状态。

随着地壳拉伸减薄、挤压增厚、沉积补偿甚至壳层变质,都可能引起地球表层热流的起伏变化^[2-3]。诸如松辽盆地、柴达木盆地、塔里木盆地等中生代大型拗陷中心位置上至今表现为地壳厚度减小、莫霍面隆起,地温梯度呈现由盆缘向盆内增高的趋势。

四川盆地现今地温等值线平面分布与盆地轮廓形态相近,盆地内部基底稳定,在南充、内江一带莫霍面深度 <39 km,向周围地壳厚度增大。尽管在盆地东部华蓥山,盆地西南古蜀—沐川曾受构造、岩浆活动带来高温的影响,盆地内煤级分布仍然与莫霍面深度有着明显对应关系(图3)。地幔隆起不仅影响到煤的深成变质地热状态,甚至还曾制约着构造变动和盆地沉积充填过程。

鄂尔多斯盆地是华北地台东升西降过程中逐渐发育成形的中生代大型拗陷,印支期盆内三叠系的发育主要服从于区域性北隆南拗的构造格局,盆地南部长武—铜川—韩城—一线三叠系总厚可达3000 m左右。燕山期出现的東西差异沉降,使盆地向西萎缩,沿西缘断裂展布的沉降中心位置,侏罗系最大厚度近3000 m,白垩系亦有厚逾千米的沉积。在盆地东北缘,拟合的热流值自寒武纪到现在,大约从67.2 mW/m²减弱为42 mW/m²;在盆地东南和南部,三叠纪热流值随沉降幅度增大而显著增高可达91.6~100.4 mW/m²。

深成变质作用通常使中国晚古生代煤达到低—中变质烟煤阶段,中生代煤多进入低变质烟煤阶段,而第三纪煤以褐煤为主,中生代大型盆地中

巨厚盖层的发育,可使不同时代煤在较大的埋深下经历长期持续的深成变质作用,产生局部中—高变质煤级,地温分布的不均一性及其随时间的地温场变化也在一定程度上制约着中国煤深成变质作用的发展。

1.2 煤的区域岩浆热变质作用

根据岩浆性质、侵入规模、侵入深度和沉积盖层的封闭程度等,可将区域岩浆热变质作用划分为3个亚型,即浅成、中深成和深成岩浆热变质作用。浅成岩浆热变质作用主要是由小型的中酸性和基性侵入岩体所引起,侵入深度一般距地表0.5~1.5 km。煤层的沉积盖层较薄,断裂发育,岩浆主要要侵入煤系,中深成岩浆热变质作用的热源主要来自中酸性和碱性岩浆,岩体常为岩床、岩株或岩墙,热液和热气作用较强,岩浆主要侵入于含煤岩系以下地层,侵入深度一般为1.5~3 km,多形成中等规模的煤变质带。深成岩浆热变质作用多由大型酸性隐伏岩体所引起,热液和热气作用强烈,侵入深度距煤层一般大于3 km,形成大面积煤变质分带。

区域岩浆热变质煤常可达到很高的变质程度,煤级分带一般为环带状,越靠近岩体,煤的变质程度就越高(图4)。受区域岩浆热变质作用影响的煤,变质梯度高,一般大于0.1 R_{0,mo}%/100 m。由于遭受了异常高温作用,煤中常发育气孔、小球体和镶嵌结构。高变质煤带的围岩往往发生蚀变,如硅化、叶腊石化、绢云母化、碳酸盐化、绿泥石化以及黄铁矿化等。热液石英脉和方解石脉是区域岩浆热变质作用的重要标志。此外,在区域岩浆热变质作用发育的地区常伴有热液矿床,中生代岩浆活

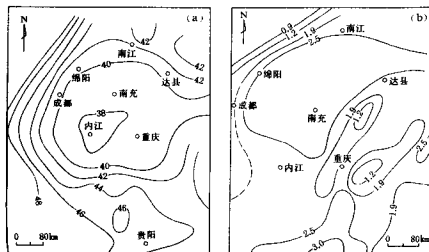


图3 四川盆地莫霍面深度(km)
(a)与晚二叠世煤化作用(%)
(b)等值线图

Fig.3 Contour maps of the depth of Moho (a) and of coalification at Late Permian (b) in Sichuan Basin

的函数,且岩层古地温是煤化程度的主控因素,而古地温梯度是煤化梯度的主控因素,因此影响古地温和古地温梯度的各种因素可视为影响煤化程度和煤化梯度的因素,此即为进行煤变质作用热动力

分析的理论依据。

从地热状态平衡与破坏的角度,将地温热流与叠加地热流进行综合,通过理论推导,成功地建立了以沉降史和热演化史为基础的一维煤的深成变质作用热力学模型和一维煤的岩浆热变质作用热力学模型。还采用地壳热结构分析方法,建立起煤变质作用的热动力学经验公式,并以抚顺盆地和浙、闽、粤东部地区为例,定量地描述了多热源、多阶段叠加的煤变质作用,初步实现了煤变质作用的动态数学模拟。

2.2 抚顺煤变质作用热力学分析结果

抚顺盆地老第三纪古新世古城子组赋存超厚煤层,其煤级达长焰煤—气煤阶段,煤化程度大大超过正常情况。通过对该盆地煤变质过程的一维动态模拟,得出抚顺盆地形成期的古地温热结构(表1),并由此计算出抚顺盆地曾达到的地温梯度,在该地温梯度作用下超厚煤层的煤化程度至今最高可达褐煤阶段($R_{\text{max}} \approx 0.4\%$)。模拟结果还充分证实了抚顺盆地煤层超常煤化的原因是聚煤期后渐新世辉绿岩岩浆大规模侵入造成的地热异常,使古城子组的煤级达到长焰煤—气煤阶段($R_{\text{om}} = 0.5\% \sim 0.85\%$) (表2)。

用上述同样的方法,较好地模拟了浙、闽、粤东部上古生界和下中生界各煤层在正常沉降情况下的升温过程和煤化作用过程,花岗岩岩浆侵入后的

表1 抚顺盆地古地温热结构分析数据及结果

Table 1 Analysis data and results of paleogeothermal structure in Fushun Basin

层位	H/km	$k/\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	$A/\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$	$q/\text{mW}\cdot\text{m}^{-2}$	$T/^{\circ}\text{C}$	
地表	0.0			82.0	10.2	
上地壳	E_2	0.5	2.7	0.8	81.8	25.3
	E_1	1.1	1.45	1.8	81.3	58.7
	K	1.6	2.1	1.05	81.0	78
	Ar	10.0	2.2	0.73	78.0	364
中地壳	花岗岩层	16.0	3.1	2.45	70.6	487
下地壳	硅镁层	31.8	2.5	0.31	68.0	927

注: H —埋深; k —热导率; A —放射性生热率; q —地面热流值; T —地面温度

表2 抚顺盆地 E_1 600 勘探线古城子组煤层区域岩浆热变质过程模拟结果

Table 2 Simulation results of telemagmatic metamorphism of coal seam of Guchengzi Formation along the line E_1 600 in the Fushun Basin

	78023	203-1	85003	N800	N1150	N1600	胜55-4
1	0.2	0.25	0.50	0.15	0.15	0.50	0.25
2	386.4	386.3	295.5	338.4	339.0	288.3	347.6
3	25.0	24.0	30.0	32.0	28.0	34.0	25.0
4	0.79	0.85	0.52	0.50	0.50	0.48	0.62

1. 到达最高温度时间(ka); 2. 到达最高温度($^\circ\text{C}$); 3. 恢复则正常地温时间(ka); 4. 煤的岩浆热影响结果(R_{om})平均值。

表3 闽粤叠合盆地宁化—泉州剖面各煤产地 T_1 末、 J_1 末地壳古热结构

Table 3 Earth crust paleo-geothermal structure of various coal districts along Ninghua—Quanzhou profile in the Fujian—Guangdong superimposed basin at the ending of Early Triassic and of Early Jurassic

地层	宁化		清流		永安		大田		安溪		南安	
	热流 (mW/m^2)	温度 ($^\circ\text{C}$)	热流 (mW/m^2)	温度 ($^\circ\text{C}$)	热流 (mW/m^2)	温度 ($^\circ\text{C}$)	热流 (mW/m^2)	温度 ($^\circ\text{C}$)	热流 (mW/m^2)	温度 ($^\circ\text{C}$)	热流 (mW/m^2)	温度 ($^\circ\text{C}$)
T_1	100.29	15.00	99.74	15.00	95.40	15.00	91.29	15.00	103.27	15.00	82.09	15.00
C_2-P_2	99.80	23.33	99.43	26.95	94.75	38.77	90.00	60.32	102.24	56.10	81.87	21.83
D_3-C_1	98.82	73.92	98.32	84.11	93.72	89.13	88.93	110.09	101.56	92.40	81.53	36.13
地壳基底	98.39	88.86	97.01	110.82	92.95	114.58	88.37	127.55	101.23	104.80	81.40	39.83
中地壳	89.03	366.52	81.80	541.29	85.93	361.40	81.35	316.13	93.62	339.35	78.47	113.85
下地壳	65.75	603.67	64.65	696.62	66.33	545.96	66.65	450.68	65.44	616.51	69.89	194.48
莫霍面	62.00	923.05	62.00	920.04	62.00	862.35	62.00	849.50	62.00	908.36	62.00	887.27
J_1	100.13	15.00	99.83	15.00	96.07	15.00	92.31	15.00	104.01	15.00	81.28	15.00
C_2-P_2	99.66	33.31	98.06	82.94	93.88	95.73	88.70	141.71	101.43	114.34	80.08	52.65
D_3-C_1	98.68	83.83	96.95	138.15	92.85	145.62	87.63	190.75	100.73	150.35	79.74	66.63
地壳基底	98.25	98.75	96.18	164.49	92.08	170.84	87.07	207.96	100.40	161.93	79.61	70.25
中地壳	88.89	375.99	80.97	590.96	85.06	367.66	80.89	393.65	92.79	394.48	76.68	221.34
下地壳	65.61	598.38	63.82	744.53	65.46	550.11	65.35	525.83	64.61	668.75	69.33	836.27
莫霍面	62.00	905.16	62.00	897.52	62.00	843.79	62.00	809.83	62.00	889.30	62.00	863.27

注:表中的热流和温度值均为各地层的顶面值。

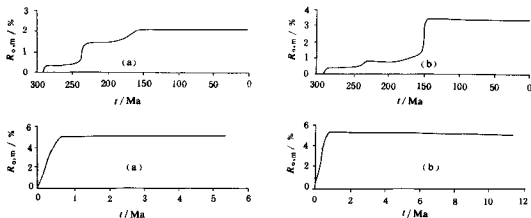


图5 福建清流(a), 南安(b)深成变质作用条件下(上)及叠加区域岩浆热变质作用条件下(下)计算机模拟煤化作用曲线
Fig.5 Computer simulated coalification curve in Qingliu (a) and Nan'an (b) of Fujian Province under geothermal metamorphism (upper) and superimposed tectonic metamorphism (lower)

热传导与降温过程以及煤层在大规模岩浆侵入情况下的升温 and 变质过程。通过模拟计算出宁化(甘木潭)、清流(罗口)、永安(加福)、大田(上京)、安溪(剑斗)和南安等6个煤产地在上、下两个叠合盆地封闭时的地壳古热结构(表3), 进而在深成变质作用条件下, 下二叠统童子岩组的煤级只能达到肥煤(盆地边缘)—低级无烟煤(盆地中心), 而在聚煤期后多期大规模花岗岩岩浆侵入的情况下, 所造成的附加地热场使其达到中级无烟煤(盆地边缘)—超无烟煤(盆地中心)(图5)。因此该研究区煤级超常增高, 是在深成变质的基础上叠加了多期次强烈的区域岩浆热变质作用的结果。

3 中国煤的多阶段变质演化与多热源叠加变质

中国煤之所以煤级较全并形成现今的煤级分布格局, 主要是由于它们一般经历了多阶段演化 and 经受了多热源叠加变质作用。

3.1 第一演化阶段以深成变质作用为主

以华北为例晚古生代煤系, 一般厚度不足300m, 而三叠系厚达1000~2100m, 个别地区更厚, 三叠系对华北的石炭—二叠纪煤的深成变质程度起着重要作用, 但总的煤系的盖层仍较薄, 因此未受异常热影响的华北晚古生代煤级一般低于肥煤阶段。内蒙大青山石拐沟为多纪煤田, 其晚古生代产气煤、肥煤, 早、中侏罗世的煤达气煤阶段, 而时代最

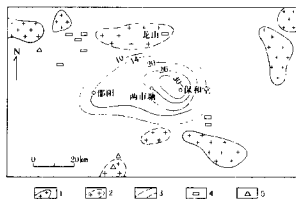


图6 保和堂龙潭组煤级反向环带^[4]

Fig.6 The reverse lobes of coal rank in the Longtan Formation, Baohetang mining district, central Hunan Province

1. 侵入岩体; 2. 隐伏岩体; 3. $3V_m$ (%) 等值线; 4. 中温热液矿点; 5. 浅成低温热液矿点

新的早白垩世煤仍为褐煤。

3.2 第二演化阶段以多热源叠加变质作用为主

中国赋存着比较丰富的中、高煤级煤资源, 它们不是单纯深成变质作用的结果, 而是又叠加了其他变质作用所致, 促使中国煤变质的热源和变质作用类型多样化, 在煤的第二演化阶段发育了多种叠加变质作用类型。

3.2.1 深成变质叠加区域岩浆热变质作用 整个湘中涟邵煤田周围为断裂出露的中生代侵入体所环绕, 并在南北两个含煤向斜群之间又有望云山、白马山、龙山等岩体作东西向分布, 构成南北含煤向斜群都被断裂分布的中生代岩体所环绕(图6),

因此导致选部煤田南北两部分的低煤级煤从中心向周边部煤级增高,发育为中、高煤级反向环带。

3.2.2 深成变质叠加一次以上的区域岩浆热变质作用 峰峰康二城井下燕山期正长岩岩浆顺太原组野青煤层底部侵入,形成岩床,煤并未转变为天然焦却成为粉末状无烟煤,而邻区未受岩浆侵入的同一煤层仍为肥气煤,原来早在燕山早期闪长岩岩浆就侵入到距野青煤之下150~500m的中奥陶世灰岩中,闪长岩岩浆的“烘烤预热作用”已使野青煤经受了第一次区域岩浆热变质而失去了粘结性,已不再具备结焦条件,因此正长岩岩浆侵入导致叠加的第二次区域岩浆热变质只能使煤级进一步增高而不能形成天然焦。在深成变质作用基础上叠加一次以上区域岩浆热变质作用在福建最为典型。由于太平洋板块多次向西俯冲中国大陆板块,海西—印支期、燕山早期与晚期都有构造岩浆事件发生,如大田的上京早二叠世童子岩组至少经过3期岩浆侵入,煤经受了多次次区域岩浆热变质作用, R_{max} 高达5.6%。

3.2.3 深成变质叠加区域岩浆热变质和接触变质作用 此处指的是与区域岩浆热变质作用伴生、共同叠加于深成变质煤的接触变质作用。由于岩浆温度高、热量大、压力大、盖层封闭条件较好,常可形成一定规模的石墨、半石墨矿,如湘南中生代骑田岭花岗岩岩浆侵入造成的区域岩浆热变质影响范围较广,向西距岩体34km的袁家向斜的煤,其 R_{max} 仍高达1.91%,同时与岩浆直接接触的煤层变质为100~400m宽的石墨带和400~1000m宽的半石墨带。

3.2.4 深成变质叠加热液、热水变质作用 叠加热液、热水变质作用的典型实例是青海中侏罗世热水煤田。煤田北部的海德和默勒矿区只经受过深成变质作用的煤为长焰煤、不粘煤和弱粘煤,而煤田南部的外力哈达与热水矿则从肥煤到无烟煤都有赋存,且同一剖面出现中间二煤层高于上下煤层的反希尔特规律的现象。煤田及邻区未见成煤期后的侵入体,南部矿区断层发育并有多处温泉沿断层分布,导致煤级提高的热源是深循环热水,它沿煤田南界通道F₂断层上导,再通过与之斜交的次级断裂和作为热循环三级通道的二煤层顶板砂岩以及作为四级通道的煤、岩层的裂隙,因此中间的二煤层煤级高于上覆和下伏煤层。

3.2.5 深成变质作用叠加区域岩浆热变质和热液、热水变质作用 以福建永安加福煤矿为例,由于中生代的多期岩浆活动使福建大部分地区的古地热值较高,加福矿区童子岩组煤的沉降深度又较大,约为4000m,因此在深成变质作用下加福煤的 R_{om} 已达1.8%~2.0%,形成小陶岩体的燕山早期岩浆侵入于矿区之南,距加福最近处为9km,露出面积约1200km²,对加福煤产生了区域岩浆热变质的叠加效果,使煤的 R_{om} 提高到4.5%。但加福煤的实测 R_{om} 为5.44%,显然加福煤除受小陶岩体传导热之外,还受到因侵入形成的地下热液、热水对流变质的叠加影响,进一步将煤级提高到 R_{om} 5.44%。

3.2.6 深成变质叠加区域岩浆热变质、热液热水变质和接触变质作用 这种煤的叠加变质特点可以鸡西煤田为例。鸡西的主要含煤组是城子河组和穆棱组,深成变质作用使鸡西煤达到气煤、肥煤阶段,而多数地区如大通沟、滴道、黑台、平岗和张新东南部有较大型侵入岩体,使叠加了区域岩浆热变质的煤达到焦煤阶段,少数达贫煤、无烟煤阶段。而新发、二吕地区受到叠加热液变质影响的煤达到焦煤、瘦煤阶段;煤田内还发育了多处小型侵入体,如二道河内长岭岩与煤接触产生天然焦。

导致煤叠加变质的侵入岩浆热源还包括派生的液热、气热和岩体的放射性元素衰变热。深大断裂带常常是地下深处地热上导的通道,如郑庐断裂带沿线的沂南和庐江附近的地温多高于邻区3~5℃,邻近密山—敦化断裂带的鸡西其地温梯度为3.57℃/100m,依兰—伊通断裂带附近辽源的地温梯度为3.42℃/100m。沿雅鲁藏布江断裂带除高温上导外,还有多次喜山期岩浆活动,以上断裂带附近的煤级都有不同程度的增高。地壳厚度陡变带常是长期发育的深大断裂带,如太行山重力梯度带附近的邯鄲、鹤壁煤田,银川—六盘山重力梯度带附近的呼鲁斯太、汝箕沟都有中、高级煤分布。

地温增高还可能起因于地幔物质上涌形成的地幔柱或莫霍面的抬升,如辽河下游、河南商丘、鹿邑、江西安福、遂川、贵州贞丰、罗甸、四川内江等地莫霍面都较周围地区浅约2km,导致煤的变质程度增高。

3.3 第三演化阶段以奠定中国煤变质格局为主
第三演化阶段提高煤级不再是主要的,而是以中生代晚期、新生代的构造运动使前两个演化阶段

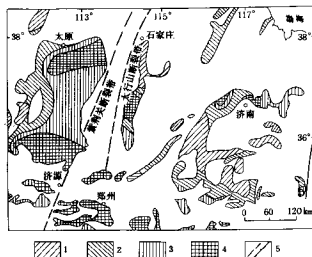


图 7 紫荆关断裂带的右旋活动将东侧煤变质带南移
Fig.7 Zijinguan dextral fault zone removed coal metamorphic zonation in east side southwards

1. 低变质烟煤; 2. 中变质烟煤; 3. 高变质烟煤; 4. 无烟煤; 5. 新层

形成的煤变质分带产生位移为特征, 通过构造变动最后奠定了中国煤变质格局。对前两个阶段形成的煤变质分带起显著改造作用的是北东—北北东向深大断裂, 如第三纪紫荆关断裂沿北北东向作右旋移动(图 7), 使紫荆关断裂以东的太行山东麓与鲁中高煤级带, 相对断裂西侧的沁水盆地北端, 向南移动了大约所处纬度 1° 左右的距离, 原来与紫荆关西侧晋东南高煤变质带处于同一纬度的豫中高煤级带也相应地南移。这种位移是由于太平洋板块向欧亚板块作北西西向俯冲, 使北东—北北东向紫荆关断裂出现顺扭剪切活动。郑庐断裂带新第三纪以来也是以挤压兼右旋剪切为主^[1], 位移常使已形成的煤变质分带遭到破坏, 如太行山东麓煤田的煤变质分带原为串珠状, 在第三阶段受到断裂切割, 使残留下的变质分带貌似垂直于区域走向。隆升地区的煤级分带一般会因遭受剥蚀而残缺不全。

4 结语

(1) 中国煤的变质作用主要存在 4 种类型, 煤的深成变质作用具有普遍性, 煤盆地的地热状态以非均一地温场影响深成变质作用格局, 深成变质奠定了以低煤级为主的变质基础, 煤的区域岩浆热变质作用是中国另一重要的煤变质作用类型, 是形成中国大多数中高煤级煤的主要原因, 煤的热液热水

变质作用发生在对流为主的热体制中, 载热的深循环流体构成派生热源, 煤的接触变质作用影响范围局限。(2) 从地热状态平衡与破坏的角度, 将深成地热流与叠加地热流分析综合, 成功地建立了以沉降史为基础的煤变质作用动力学模型, 并以抚顺煤田和浙闽粤东部地区为测定量地描述了多阶段、多热源叠加的煤变质作用。(3) 中国多煤级煤的形成是多阶段演化、多热源叠加变质的结果。中国煤的第一演化阶段是以深成变质作用为主, 主要形成低煤级煤。第二演化阶段以多热源叠加变质为主, 使部分低煤级煤提高到中、高煤级。叠加于深成变质的有区域岩浆热变质、接触变质和热液热水变质中的一种或多种。第三演化阶段的特点是构造变动使已形成的煤变质分带产生位移, 奠定了中国煤的变质格局。

参 考 文 献

- 1 杨起, 中国煤变质研究. 地球科学——中国地质大学学报, 1989, 14(4): 341~345
- 2 Cochran J R. Effects of finite rifting times on the development of sedimentary basins. Earth Planet Sci Lett, 1983, 66: 289~302
- 3 Falvey D A, Middleton M F. Passive continental margins: evidence of a prebreakup deep crustal metamorphic subsidence mechanism. Colloquium on Geology of Continental Margins (C3), Oceanologica Acta, 1981, 4 (suppl): 103~114
- 4 McKenzie D. Some remarks on the development of sedimentary basins. Earth Planet Sci Lett, 1978, 40: 25~32
- 5 Sawyer D S. Effects of basement topography on subsidence history analysis. Earth Planet Sci Lett, 1986, 78: 427~434
- 6 潘伟尔, 杨起, 潘治贵, 湘赣中南部煤的岩浆热变质作用. 现代地质, 1993, 7(3): 326~336
- 7 杨起, 煤化作用. 见: 杨起主编, 煤地质学进展. 北京: 科学出版社, 1988. 156~195
- 8 杨起, 煤变质作用研究. 现代地质, 1992, 6(2): 437~443
- 9 杨起, 任德盼. 中国煤变质问题的探讨. 煤田地质与勘探, 1981, (1): 1~10
- 10 杨起, 潘治贵, 翁成敏, 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. 60~83
- 11 张文佑, 叶洪, 钟富猷, 断裂与板块. 中国科学, 1978, (2): 195~221

COAL METAMORPHISM IN CHINA

Yang Qi

(Department of Energy Resources and Geology, China University of Geosciences, Beijing 100083)

Wu Chonglong

(Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074)

Tang Dazhen Kang Xidong Liu Dameng

(Department of Energy Resources and Geology, China University of Geosciences, Beijing 100083)

Abstract The predominant coal metamorphism types in China are summed up through the study of the heat source and its operating mode on coal metamorphism. The dynamic simulation of geologic-thermal history shows that the geothermal state of coal basins influenced the geothermal metamorphism pattern of coal with inhomogeneous geotemperature field. For example in Ordos basin, not only the Triassic geotemperature was obviously higher than that of the previous or later and also the geothermal flux increased from the margin to the center of the basin. The basement of Sichuan basin is relatively plastic, and towards its center the Moho depth is shallower, which is on the whole in accordance with the medium-high rank coal distribution. The telemagmatic metamorphism is the main cause for the formation of the larger number of medium-high rank coals in China. The coal metamorphism provoked by magma intrusion during the Indosinian and Yanshanian in central-southern Hunan and Jiangxi Provinces is simulated. Deep circulating fluid as the heat carrier constructs the induced heat source of hydrothermal metamorphism. The paleo-Moho temperature during the rifting of the Fushun basin is determined and the coal rank through diagenesis in the basin is calculated, which reaches the low-rank bituminous stage owing to the later intrusion of diabase magma. The non-equilibrium heat conduction model of multilayer plate during the heat dispersion of the diabase sill is set up. Also worked out is the Yongan coal rank, located in the superimposed basin of Fujian-Guangdong, which was formed by deep metamorphism and additive magmatic metamorphism. The metamorphism regularities of Chinese coals mainly are: in the tectonic stable region, the coal metamorphism characterized by the nature of inherited development; the geothermal background of coal metamorphism displaying the obvious space-time changes; in multi-heat sources and multi-period superimposed metamorphism influence profoundly over the evolution of Chinese coal metamorphism especially the telemagmatic metamorphism since Yanshan orogeny have evidently reformed the Chinese coal marks; the Tertiary tectonic displacement brought about the distribution frame of the Chinese coal-rank zonation.

Key words coal metamorphism type, multi-period evolution and multi-heat sources superimposed metamorphism, dynamic simulation, coal metamorphic regularity.

新疆沙尔布拉克金矿床成因矿物学成矿模式*

方耀奎

(成都理工学院应用化学系, 成都 610059)

摘 要 通过沙尔布拉克金矿床标型矿物组合中黄铁矿、毒砂及石英的化学成分、矿物包裹体及同位素等标型特征及时空演化的研究, 论述了该矿床系地下热卤水溶滤型的成因矿物学成矿模式。

关键词 沙尔布拉克金矿床, 载金矿物, 标型特征, 成矿模式, 新疆。

中图法分类号 P611, P571, P618.51

作者简介 方耀奎, 男, 副教授, 1938年生, 1961年毕业于北京地质学院放射性地质专业, 现主要从事矿床地球化学教学和科研工作。

新疆沙尔布拉克金矿是近年来首次确认的微观浸染型(卡林型)金矿床。该类型金矿不仅为新疆阿尔泰地区提供了规模较大的黄金基地, 而且对我国, 尤其是北疆地区找寻同类型金矿床具有重要的意义。

1 矿区地质概况

沙尔布拉克金矿床位于额尔齐斯褶皱带和布尔津—二台褶皱带过渡地带的沙尔布拉克—喀拉通克复向斜中^[1]。主要构造线方向为NW向。下石炭统南明水组(C_1n)出露在矿区范围内, 厚度近千米。主要岩性为: 底部(C_1n^1)以含炭粉砂岩、泥岩为主, 其次为岩屑砂岩、砾岩及骨屑灰岩。中部(C_1n^2)为含炭粉砂岩、岩屑砂岩、安山质凝灰岩, 条带状含炭凝灰岩夹电气石岩, 是矿区的主要赋矿层位。上部(C_1n^3)以含炭粉砂岩、粉砂质泥岩为主, 其次为岩屑砂岩、砾岩。该套地层属弧后盆地中的深水—半深水陆棚火山碎屑岩和正常碎屑岩建造。因受区域构造、岩浆活动影响, 导致南明水组出现绿帘石—葡萄石相的低温变质作用。矿区见有流纹斑岩脉及安山玢岩岩墙。

矿区主要构造格局是由南明水组组成一系列

NW向平行线状褶皱的背斜、向斜, 其中在沙尔布拉克主背斜NE翼近轴部, 走向为NW向的逆冲断层中, 发育有一系列呈雁形排列、倾向SW、走向 $290^\circ \sim 340^\circ$ 的切层逆断层和倾向NE、走向NW $320^\circ \sim 340^\circ$ 的顺层逆断层以及两者配套的近E—W向平移断层, 构成了具菱形网格, 长达20余公里的初—脆性挤压剪切带, 是矿区金的主要控矿构造。其次, 矿区尚有切割主背斜两翼近E—W走向, 控制弱金矿化的平移断层。

金矿化带赋存于初—脆性挤压剪切带内含炭粉砂岩、安山质凝灰岩、含炭条带状凝灰岩。通常矿体成群出现, 具等距特点和侧列排列。单个矿体呈透镜状、脉状, 常有膨大收缩、尖灭再现、分支复合现象。矿体长为 $60 \sim 480\text{m}$, 宽 $1.43 \sim 15.00\text{m}$ 。金的平均含量为 $2.06 \times 10^{-6} \sim 5.82 \times 10^{-6}$ 。矿化形式主要为浸染状, 其次为细脉—网脉状。矿体与围岩界限不清。

矿体围岩热液蚀变作用有毒砂化、黄铁矿化、硅化、钠长石化、电气石化、碳酸盐化、绿泥石化、绢云母化等。热液蚀变作用的种类及强度与金矿化关系十分密切。

金矿石中主要脉石矿物为石英、方解石、白云石、铁白云石及少量钠长石、电气石、绢云母、绿泥石等, 主要矿石矿物为毒砂、黄铁矿, 其他矿石矿物少见, 表生矿物以褐铁矿、臭葱石为主, 含少量黄铜

1995年5月2日收稿。

*新疆地质局科研项目(91—115)资助。