

文章编号: 1001-1986(2020)01-0018-09

湖南省煤系石墨成矿规律与找矿方向探讨

莫佳峰¹, 赵训林¹, 朱文卿¹, 李焕同²

(1. 湖南省煤炭地质勘查院, 湖南 长沙 410014; 2. 西安科技大学地质与环境学院, 陕西 西安 710054)

摘要: 湖南省侵入岩多, 构造较复杂, 为系统研究煤系石墨资源成矿规律, 在收集现有地质资料的基础上, 借鉴国内外煤系石墨矿床的赋存特点, 结合湖南省石墨资源的分布特点和开发现状, 采用地质调查、生产井调查、采样化验等手段, 研究骑田岭岩体和天龙山岩体 2 个花岗岩体周边现有矿区的矿体地质特征, 探讨石墨矿的成因类型和控矿因素。结果表明, 研究区石墨矿成因类型为接触变质型, 主要控矿因素为岩体的侵位机制、构造作用方式、矿体的形态及变质程度。进而提出了 3 种石墨赋存模式: 兜底式、向斜式、背斜式。提出研究区寻找煤系石墨的突破方向: 煤系走向与主压应力方向大致垂直并在岩体附近 1.0~1.5 km 范围内。

关键词: 煤系石墨; 成矿规律; 成因类型; 控矿因素; 花岗岩体; 赋存模式; 湖南 手机阅读

中图分类号: P618.11; P619.252 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-1986.2020.01.003



Metallogenic law and prospecting direction of coal-based graphite in Hunan Province

MO Jiafeng¹, ZHAO Xunlin¹, ZHU Wenqing¹, LI Huantong²

(1. Hunan Provincial Coal Geological Exploration Institute, Changsha 410014, China;

2. School of Geology and Environment, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China)

Abstract: There are many intrusive rocks and complex structures in Hunan Province. In order to study the mineralization law of coal-based graphite, on the basis of collecting the existing geological data, drawing on the characteristics of coal-based graphite deposits at home and abroad, combining the distribution characteristics and development status of graphite resources in Hunan Province, using geological surveys, production well surveys, sampling tests, etc., the geological characteristics of the ore bodies in the existing mining areas around the two granite bodies were studied, the genetic type and ore controlling factors of the graphite deposits were explored, the genetic type is contact metamorphism, the main ore controlling factors are the emplacement mechanism of the rock mass, the mode of tectonic action, the shape of the ore body and the degree of metamorphism, furthermore, three modes of graphite occurrence are proposed: pocket bottom type, syncline type and anticline type. The breakthrough direction for graphite exploration was proposed, the strike of organic-rich strata is roughly perpendicular to the direction of the main compressive stress and within 1.0–1.5 km around the rock mass.

Keywords: coal-based graphite; metallogenic law; genetic type; ore-controlling factors; granite body; occurrence mode; Hunan

2014—2016 年初, 新疆、黑龙江、四川、湖北、江西等省(自治区)相继发现大、中型石墨资源。黑龙江、内蒙古石墨资源占全国晶质石墨矿储量的 66%, 内蒙古、湖南石墨资源占全国隐晶质石墨矿储量的 67%, 其中湖南省占到 27%^[1], 排在全国第二。湖南的隐晶质石墨都是煤系石墨, 其保有资源

量是 20 世纪 80 年代查明的^[2-7], 至今多年未见新的资源报道。安江华等^[8]对骑田岭、天龙山周边地区, 横向距岩体 1 326 m 范围内, 深度 2 000 m 以浅资源量进行预测, 推测骑田岭西部、鲁塘石墨矿区北部为湖南省石墨矿的勘查区, 但是其认识仅依托于引用的数据, 存在较大的局限性。关于煤系石墨成矿

收稿日期: 2019-11-26; 修回日期: 2019-12-24

基金项目: 湖南省煤田地质局科学研究计划项目(2016B06); 湖南省国土资源厅地质勘查项目(20170332)

Foundation item: Scientific Research Plan Project of Hunan Coalfield Geological Bureau(2016B06); Geological Exploration Project of Department of Land and Resources of Hunan Province(20170332)

第一作者简介: 莫佳峰, 1983 年生, 男, 广西来宾人, 硕士, 高级工程师, 从事煤系、前寒武系地质研究工作。E-mail: 78284197@qq.com

引用格式: 莫佳峰, 赵训林, 朱文卿, 等. 湖南省煤系石墨成矿规律与找矿方向探讨[J]. 煤田地质与勘探, 2020, 48(1): 18–26.

MO Jiafeng, ZHAO Xunlin, ZHU Wenqing, et al. Metallogenic law and prospecting direction of coal-based graphite in Hunan Province[J]. Coal Geology & Exploration, 2020, 48(1): 18–26.

规律, 前人也开展了大量的研究工作, 并取得了相应的认识。谢有赞等^[9]、李焕同等^[10-11]、张浩等^[12]对天龙山岩体周边的石墨矿微观特征开展了大量的研究工作。杨雄庭等^[13]研究指出, 岩体呈“蘑菇菌盖”的不断扩大, 形成推覆断层倾向由平缓而变陡, 深部有利于煤系保存。莫佳峰等^[14]研究指出, 煤层距岩体边界 1 000 m 范围内才是寻找石墨的远景区。何艳林等^[15]、周旭林等^[16]相继研究表明, 寒婆坳矿区南部石巷里—井门山一带距离岩体近, 地表煤系出露较好, 延伸范围广, 岩石蚀变强, 以往有民采现象, 认为该区具有寻找大型隐晶质石墨矿的潜力。R. E. Franklin^[17]通过实验研究指出, 只有原始碳结构呈现初步定向性时石墨化作用才会进一步进行; R. M. Bustin 等^[18]的实验表明, 煤的变质程度越高, 变质成石墨的过程中需要的温度越低; K. R. Wilks 等^[19]的实验预示高煤级煤相比低煤级煤更易石墨化, 而烟煤在发生石墨化作用之前需要先变质成无烟煤; 王路等^[20]针对煤、半石墨与石墨的对比实验发现, 显微组分孔隙边缘、胞腔结构边缘似乎更容易发生石墨化, 提出煤向石墨演化呈阶段性和差异性的演化特征。矿化剂有助于煤石墨化已经是不争的事实。I. Mochida 等^[21]用铬、锰和钼的氧化物, E. Fitzner 等^[22]用少量硫, M. I. Inagaki^[23]采用 CaCO_3 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 CaO , 发现碳酸钙催化所需的温度要比钙的氧化物高; D. González 等^[24]认为伊利石、铁白云石、菱铁矿要比高岭石的催化效果好; 张晓欠^[25]认为硼酸比 FeCl_3 催化效果好。

基于前人在煤系石墨成矿规律的认识, 笔者在收集现有地质资料的基础上, 借鉴国内外的煤系石墨矿床的赋存特点, 结合湖南省石墨资源的分布特点和开发现状, 采用地质调查、生产井调查、采样化验等手段, 深入分析骑田岭、天龙山 2 个花岗岩体周边现有矿区的矿体地质特征, 探讨煤系石墨的成因类型和控矿因素, 进而提出煤系石墨赋存模式与找矿方向。

1 湖南省煤系石墨概况

湖南省煤系石墨的开发仍处在成长阶段, 但资源相对集中, 全省保有资源储量 953 万 t, 全部分布于骑田岭、天龙山岩体周边, 其中, 骑田岭岩体周围煤系石墨保有量 885.7 万 t, 占全省 93%(图 1), 其他地区未发现中型以上资源量。主要矿产地为湘南郴州市骑田岭花岗岩体西侧的鲁塘矿区、荷叶矿区, 南侧的梅田矿区、白腊水矿区(图 2a), 及湘中娄底市天龙山花岗岩体东侧的寒婆坳矿区。

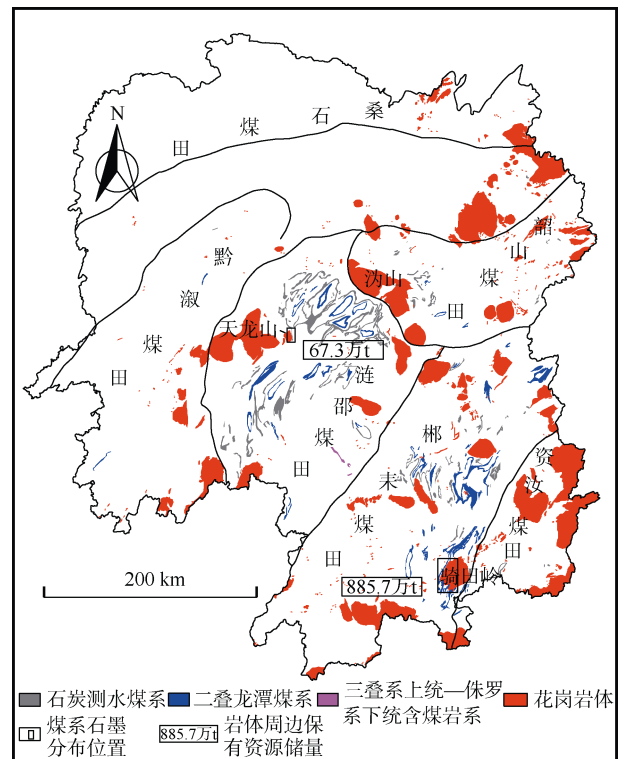


图 1 湖南省主要煤系石墨地质简图

Fig.1 Geological sketch of coal-based graphite in Hunan Province

1.1 石墨类型与煤系石墨

石墨的变质类型包括区域变质型、接触变质型和岩浆热液型。煤系石墨变质类型主要为接触变质型。

煤系石墨主要产于石炭—二叠纪含煤岩系中, 也包括极少量前寒武纪石煤中, 是煤与岩浆岩接触变质而成, 主要受煤的沉积厚度、层数, 岩浆岩侵位控制, 当矿层走向平行于岩体边界时, 矿体保存条件最好。品位较高, 固定碳质量分数一般为 60%~80%, 最高可达 95%以上。石墨依据其晶体形态可分为晶质石墨和隐晶质石墨, 世界生产的隐晶质石墨大部分来自这类矿床^[26]。

我国此类矿床中, 岩体一般为酸性或中酸性花岗岩、闪长岩, 岩体常沿背斜轴部或倾伏端等构造有利部位侵入。接触变质晕宽一般可达 2~3 km, 含煤岩系变质程度一般为绿片岩相或角闪岩相, 煤层的煤级达无烟煤以上, 矿床规模以中、小型为主。

1.2 成矿地质背景

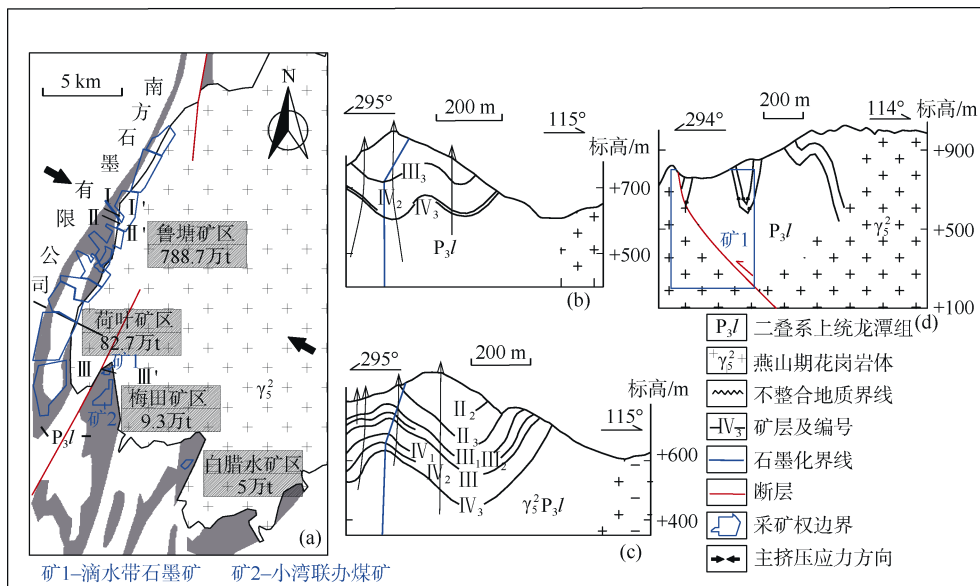
湖南省的主要含煤岩系大致以雪峰山隆起带为界分布在湘中、湘东、湘南。现已发现石墨的地区分属涟邵煤田、郴耒煤田。涟邵煤田位于华南褶皱系、长邵断拗的中部和西部, 自北而南多以纺锤形较为连续的线形褶皱及断块形的含煤向斜组成, 为向西突出的弧形, 总体呈 NE—NNE 向展布。包括北段的涟源

凹陷和南部的邵阳凹陷,越城岭—牛头寨—关帝庙华夏系构造带又将南部的邵阳凹陷和郴耒煤田分开。涟邵煤田广泛沉积了早石炭世的含煤岩系,含煤地层以石炭系下统测水组为主,二叠系龙潭组次之,少量下侏罗统。煤系石墨主要分布于涟邵煤田中部印支期天龙山花岗岩体东侧的测水组中。

郴耒煤田位于华南加里东褶皱带的攸兰断拗中,主要受长寿街—双牌断裂带及茶陵—临武断裂带的控制。构造线方向多呈 SN 向,在北部偏向 NNE 向。向斜宽缓,背斜较紧密,呈隔档式构造。二叠系龙潭组为主要含煤岩系,石炭系测水组、上三叠统一侏罗统的煤层仅零星可采。煤系石墨主要分布于郴耒煤田东南部燕山期骑田岭花岗岩体西部和南部龙潭组中。

1.3 煤系石墨分布特征与资源

骑田岭岩体周围的煤系石墨勘查程度较高,当地对煤系石墨的认识程度也较高,能认定为石墨的矿区基本有生产矿井。现存 4 个矿区,保有资源储量分别为鲁塘矿区 788.7 万 t、荷叶矿区 82.7 万 t、梅田矿区 9.3 万 t、白腊水矿区 5.0 万 t(图 2a)。天龙山岩体周围的勘查程度相对较低,寒婆坳矿区保有资源储量 67.3 万 t,原有三尖石船石墨矿正在生产,位于天龙山岩体东部最突出端,岩体从矿区中部穿过,资源面临枯竭。该矿北部 1 km 做过物探勘查,显示煤系被侵入岩体破坏,但北部 1 km 之外有煤矿生产,煤系与地表岩体边界相距约 1 km,虽有煤矿开采,但未做过勘查,矿种也有待进一步核实;该矿南部约有 3 km 煤系与岩体接触,可进一步调查。



(a) 骑田岭岩体周边煤系石墨地质简图; (b) I—I'剖面; (c) II—II'剖面; (d) III—III'剖面

图 2 骑田岭岩体周边煤系石墨地质简图及代表性剖面

Fig.2 Geological sketch and representative section of coal-based graphite around Qitianling granite

2 典型矿区赋矿特征

煤系石墨矿床是湖南正在生产石墨的唯一类型,因此,先从位于骑田岭岩体的鲁塘、荷叶典型矿区开展研究,再延伸至天龙山岩体周围。

现行的勘查规范中,关于石墨的定义未有明确的定量指标作为划分依据。本文对采集的矿样送具有国家认证认可的郴州市产品质量监督检验所检验,X射线衍射(XRD)可进行煤与石墨的区分^[27-30]。

2.1 骑田岭岩体周边矿区

2.1.1 鲁塘、荷叶矿区

鲁塘矿区与荷叶矿区接壤,位于骑田岭花岗岩体西侧,煤系石墨由二叠系龙潭组煤层变质而成,原普查报告中龙潭组被命名为“乐平组”^[2]。骑田岭

花岗岩体最早形成于印支期,之后燕山期花岗岩进一步侵入,煤系石墨逐渐形成。该区域石墨资源全部由南方石墨有限公司开采。按含矿性、岩性将二叠纪地层分为上、中、下 3 段。其中,下段不含矿;上段按岩性特征及含矿性自下而上划分 4 个沉积旋回,主要含 I、II、III、IV 等 4 个矿层(图 2c),为区内含矿层位。

研究区同一矿层中既有煤又有石墨(即同层异矿),大体而言,煤层分布于鲁塘—沙田复式向斜西翼,石墨矿层分布于东翼,特别指出的是鲁塘—沙田复式向斜东翼并非全部是石墨矿层,在远离岩体的北部部分地段仍然是煤层,I 石墨矿层在 12 线以北被风化剥蚀(图 3),II₃、III₃ 石墨矿层在矿区内仅零星分布,IV₂ 石墨矿层主要分布在矿区 8 线以北地

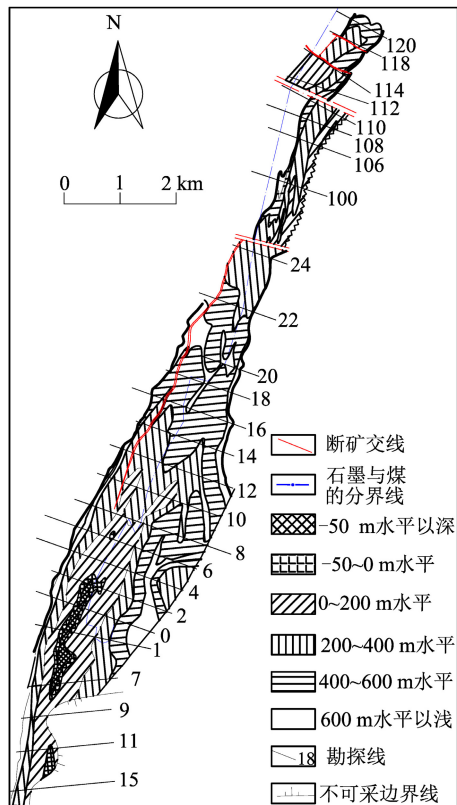


图 3 鲁塘、荷叶矿区 IV₃ 矿层底板等高线水平投影及石墨化界线

Fig.3 Horizontal projection of floor contours and graphitization boundary of IV₃ graphite deposit in Lutang and Heye mining areas

段, IV₃ 石墨矿层全区均有分布, 但发育最好的是 0—20 线间(图 3)。区内可采矿层为 I₂、II₃、III₃、IV₂、IV₃ 等 5 层(图 2)。因此, IV₃ 矿层石墨化界线最具代表性。

从剖面图可以看出, 石墨化界线大致平行于岩体边界线(图 2b、图 2c)。有报道指出, 相距岩体边界线 350~900 m 以内均变质为石墨^[2,5,31], 在 8—16 线最宽者达 1 326 m 的石墨矿带(图 3)。从平面上看石墨化存在明显的差异性, 在 1 326 m 的热变质影响范围内, 15 线以南煤层没有石墨化, 3 线以北煤层石墨化了。可能是因为 15 线以南的花岗岩体在整个骑田岭岩体向西膨胀挤压时, 先造成一条近 SN 向的张性断裂带, 而后岩体再充填, 此时中心岩体不再向外膨胀挤压, 该处的压力不足以使煤层变质为石墨, 因此该处没有形成石墨。3 线以北煤层发生石墨化, 则表明这一区段位于岩体的主要挤压带上, 应力最大, 0 线至 18 线离膨胀中心最近, 受力最大, 能石墨化的范围也最大。其他地段受力小, 能石墨化的范围也较小。另一方面, 当褶皱增多时, 会造成应力的散失, 褶皱越多, 散失的越快, 20 线的石墨化范围明显小于 18 线。

在矿区最北部 120 线附近的太竹石墨矿采取 III₃、IV₂、IV₃ 矿层各 1 个样品, 化验结果显示石墨化度、固定碳含量及水分含量均较高(表 1)。水分含量高可能与样品取自生产矿井, 其采掘、运输等过程暴露在富水条件下时间较长相关。化验分析结果与原勘查报告基本一致。

表 1 鲁塘矿区太竹石墨矿样品化验结果
Table 1 Test results of samples from Taizhu graphite ore in Lutang mining area

矿层	工业分析 ω/%				ω(S _{t,d})/%	石墨化度/%
	M _{ad}	A _d	V _{daf}	FC _d		
III ₃	8.33	27.66	2.53	69.81	0.60	95.0
IV ₂	4.88	16.53	2.37	81.10	0.14	94.3
IV ₃	7.90	17.06	2.26	80.68	0.45	94.8

2.1.2 梅田矿区

梅田矿区位于骑田岭岩体西南, 花岗岩体从东、北、西 3 面包围煤系, 由北向南分布 2 个石墨矿井: 滴水带石墨矿和小湾联办煤矿(图 2a)。构造形态为褶皱, 以背斜、向斜为主, 呈“M”形, 小褶曲较发育, 两侧岩体与煤系呈断层接触关系(图 2d)。受 3 侧岩体挤压, 煤系倾向较陡, 普遍大于 60°, 由于次级褶皱发育, 造成矿层埋藏浅。

在滴水带石墨矿发育 2 层可采矿层, 各采样 1 组, 位于 450 m 水平、410 m 水平。测试结果为: 石墨化度分别为 89.3%、96.5%, 固定碳含量分别为 88.51%、83.24%, 表明这两个样都是石墨。

小湾联办煤矿北界至北部花岗岩体的三角地带, 其最远直线距离约 800 m, 东西宽约 1 200 m, 考虑煤层稳定性、构造复杂程度、岩体边界的变化, 勘查风险较高。小湾联办煤矿南部为煤矿, 煤层距离岩体直线超过约 1 300 m, 煤层主要构造形态为复式背斜, 造成应力散失, 不利于煤层变质为石墨。

2.2 天龙山岩体寒婆坳矿区

石炭系测水组是寒婆坳矿区的含(石墨矿)煤层, 分布于天龙山花岗岩体东侧, 大致呈一向斜, 发育 2 个矿层(图 4a、图 4b)。近地表处岩体边界较陡, 有利于煤层的保存, 但是深部岩体边界产状有待进一步查明。

寒婆坳向斜西翼由北向南矿井依次为: 稠木煤矿、胜利煤矿、稗冲煤矿、石巷里煤矿、石船石墨矿。在保证各矿井每矿层都有样品化验的前提下, 随机在各矿井下采取了 12 组样品, 在石巷里煤矿以南的石船石墨矿采样 1 组。将 13 组样送实验室化验。采样方法为刻槽法。

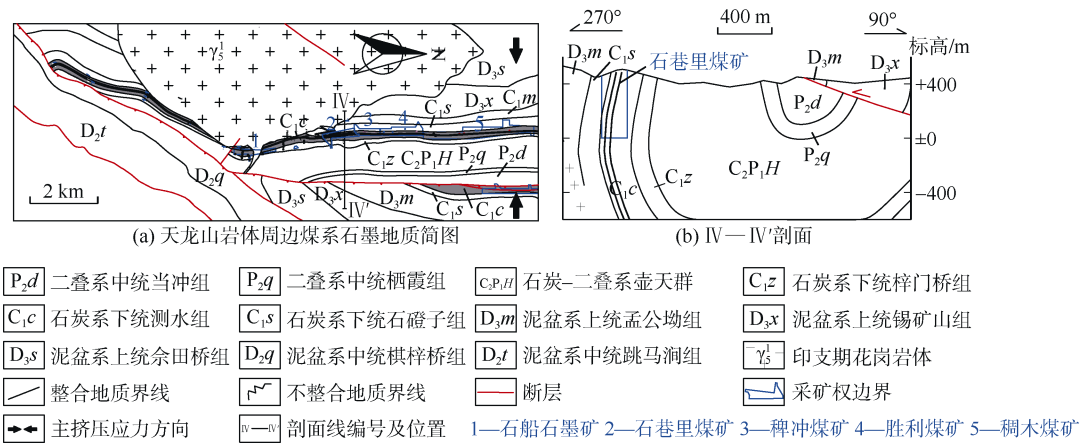


图 4 天龙山岩体周边煤系石墨地质简图及代表性剖面

Fig.4 Geological sketch and representative section of coal-based graphite around Tianlongshan granite

稠木煤矿在岩体边界 1.5 km 之外, 该矿井中的 3 组样品未见石墨化特征; 胜利煤矿在岩体边界 1.2 km 之内, 向南稗冲煤矿、石巷里煤矿、石船石墨矿逐渐与岩体接近, 采于这些矿井的 10 组矿层样有明显石墨化特征, 均为隐晶质石墨矿。3 号矿层固定碳质量分数为 63.67%~83.73%, 平均品位为 75.86%(表 2), 品位变化系数为 12.49%。5 号矿层固定碳质量分数 83.50%~92.76%, 平均品位为 86.27%, 品位变化系数为 5.04%。大体上越接近岩体石墨化程度越高, 深部样品石墨化程度高于浅部。

地质调查发现, 天龙山花岗岩的侵位有如下特点: 地表花岗岩体与围岩的接触层位不一; 石巷里煤矿井下未见花岗岩体侵入煤层(石墨)中, 石船石墨矿中有岩体侵入, 石船石墨矿以南煤系被岩体吞蚀了大半, 南部有老窑开采的迹象, 但煤层发育不佳, 厚度往往小于 0.5 m; 花岗岩岩体边界产状基本稳定, 向东倾斜, 倾角约 65°。结合化验结果, 从胜利煤矿北 400 m 至石巷里煤矿南 500 m, 长约 2.9 km, 深度上从 ±0 m 水平(500 m 以深)未进行勘查, 该区域具有大型石墨矿床潜力, 是今后找矿方向。

表 2 天龙山花岗岩体东侧样品化验结果

Table 2 Test results of samples from the east side of Tianlongshan granite

矿山名称	矿层号	石墨化度/取样标高	FC _d /%	导电性	矿山名称	矿层号	石墨化度/取样标高	FC _d /%	导电性
稠木煤矿	3	—/202.5		导电	稗冲煤矿	5	61.4/169	83.50	导电
稠木煤矿	5	—/202.5		导电	石巷里煤矿	3	79.0/163.5	82.99	导电
稠木煤矿	5	—/260.0		导电	石巷里煤矿	3	64.4/175.0	83.73	导电
胜利煤矿	3	55.1/150.0	73.55	导电	石巷里煤矿	5	65.8/163.5	84.20	导电
胜利煤矿	5	58.7/150.0	90.98	导电	石巷里煤矿	5	64.4/175.0	92.76	导电
稗冲煤矿	3	58.6/170.1	73.06	导电	石船石墨矿	3	87.7/159.25	63.67	导电
稗冲煤矿	5	58.5/169.6	84.64	导电					

注: 石墨化度单位为%, 取样标高单位为 m; —表示无明显石墨特征峰。

3 煤系石墨赋存控制因素探讨与赋存模式

本文采取的 18 个样品均进行导电性测试, 测试结果显示样品均导电。其中, 石墨化度大于 55% 样品有 15 个, 距离岩体均小于 1 000 m, 然而骑田岭岩体边界 500 m 范围内同样存在未石墨化但导电的煤层, 这表明煤层石墨化是多种要素共同作用的结果, 除了与岩体的距离之外, 可能还跟岩体的大小、侵入期次、作用时间, 构造规模、作用方式、作用时间及煤层变质程度等因素

相关, 总体上分为外因即岩体和构造应力与内因(煤层自身性质)。

3.1 外因

3.1.1 岩体大小、侵入期次、作用时间、矿层与岩体边界距离

前人已研究得出岩体侵入对煤成石墨的主导作用^[1-5]。岩体侵入时, 受岩体挤压, 煤层的流变作用明显, 导致煤层的尖灭, 不同岩体周围保存距离不同。

天龙山地区的石墨层倾角大于 70°, 位于向斜西翼, 呈近直立或倒转。天龙山岩体地表出露约 30.7 km²,

上小下大, 岩体边界倾角约 65° , 矿层与岩体边界小角度相交, 交角约 15° , 相距大于 35 m 就能保存。

鲁塘地区石墨矿层倾角 $34^\circ\sim 65^\circ$, 位于复式向斜东翼。骑田岭岩体地表出露约 502.1 km^2 , 上小下大, 岩体边界倾角约 60° , 矿层与岩体边界交角约 40° , 距岩体大于 100 m 才能保存。变质差异大, 有的距岩体 356 m 就发现了无烟煤, 最远的 1 326 m 也发现了石墨矿。

骑田岭岩体西南的梅田矿区, 岩体兜底, 从 3 面将富炭岩层包围在中间, 矿层呈复式背斜, 长轴南北向, 底部岩体边界与矿层相距 0~400 m, 背斜轴距东西两侧岩体边界均小于 1 000 m, 此范围内全部石墨化; 而其南部随着岩体边界距离矿体间距的加大、加深未变质为石墨。

岩体的大小变化很大, 从 $30\sim 502\text{ km}^2$, 30 km^2 的天龙山岩体与 502 km^2 骑田岭岩体均能形成煤系石墨, 煤层石墨化的范围与岩体的大小无递增关系。

岩体的侵入为印支期、燕山期, 都是花岗岩体, 各期次岩体周边都造成煤层变质, 甚至石墨化。可能是每一期次的岩体都有多次侵入, 有足够的活动时间。因此, 侵入期次也不是影响煤层石墨化的直接要素。

3.1.2 构造规模、作用方式、作用时间

岩体从褶皱的两翼侵入比从褶皱的扬起或倾伏端更容易造成煤层的石墨化, 如位于褶皱两翼的鲁塘、寒婆坳石墨化明显, 而骑田岭岩体南部的灯盏窝煤矿未完全石墨化。

压性断裂带比张性断裂带更容易造成煤层石墨化, 如骑田岭岩体西南的荷叶矿区, 岩体侵入一张性断裂带中, 其西侧的煤层及距岩体 356 m 范围也

未完全石墨化。

构造对石墨化作用不可忽视, 其作用有 3 个方面^[32-24]: 导热辅助成矿、应力主导成矿和同期或后期改造。

3.2 内因

3.2.1 煤变质程度

前人实验成果表明, 煤的变质程度越高越容易石墨化。我国区域变质作用形成的晶质石墨矿赋存于寒武系及其之前的地层, 变质相往往达到绿片岩相下界—麻粒岩相, 虽然并非煤系石墨, 但同样佐证变质程度的重要作用。

3.2.2 煤的成分、粒度

显微组分孔隙边缘、胞腔结构边缘似乎更容易发生石墨化^[20], 粒度越小越有利于煤的石墨化^[25], 惰质组比镜质组更易石墨化^[25], 煤中含有锰、铁、钙、硼的化合物时更易石墨化^[21-25]。

3.3 赋存模式

从湖南省煤系石墨的赋存形态、形成原因和形成的石墨带宽度, 可以总结出 3 种赋存模式: 兜底式、向斜式、背斜式。

3.3.1 兜底式

石墨带至少经历了两次不同方位的挤压抬升, 造成煤系被岩体包围, 这种包围可以是完全的, 也可以是不完全包围, 如骑田岭花岗岩西南部的金江镇, 花岗岩体从东、北、西三面将滴水带石墨矿、小湾联办煤(石墨)矿半包围(图 2d)。岩体边界在底部距矿层底部最远距离约 400 m, 地表两侧相对的岩体边界最远距离可达 2 000 m, 此时岩浆高温在煤层变质为石墨的过程中起决定性作用, 可不考虑主应力的方向(图 5a)。

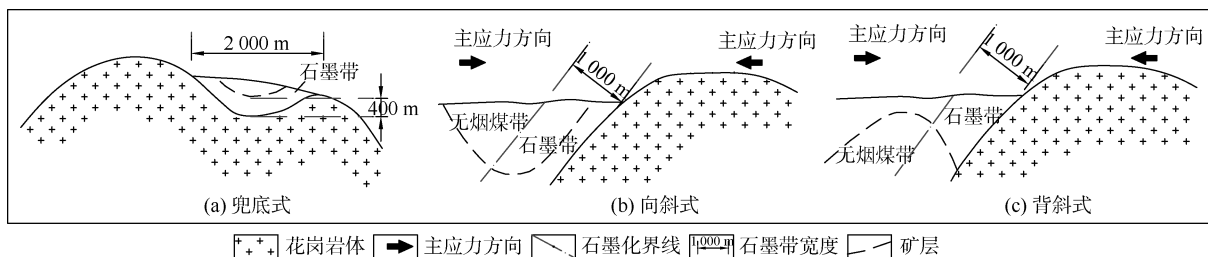


图 5 煤系石墨赋存模式

Fig.5 Mode of occurrence of graphite in coal measures

3.3.2 向斜式

当岩体从煤系一侧侵入时, 接触变质带石墨化的范围较窄, 据荷叶矿区骑田岭 I—I'剖面显示, 石墨化带可达 1 000 m 以上, 石墨化范围大致平行岩体边界线(图 2b), 应考虑主应力的催化作用。主应力从含煤向斜的一翼向另一翼挤压, 最理想的样式是煤层的产状与岩体边界的产状基本一致, 因向斜

轴部应力集中造成煤层流变, 石墨带与无烟煤带的界线大都集中在向斜轴部附近略偏向岩体外侧, 石墨化带应考虑主应力与岩体的共同作用(图 5b)。

3.3.3 背斜式

与向斜式石墨化受力原理相同, 不同的是煤层倾向与岩体边界倾向相反, 骑田岭 II—II'剖面(图 2c)显示, 石墨化带可达 1 000 m 以上, 石墨化

范围大致平行岩体边界线,背斜造成煤层远离岩体,应力衰减较快,因此,这种情况下,石墨带与无烟煤带的界线大都偏向于岩体边界附近。接近岩体一侧的煤层倾向越陡,石墨化范围越大,最理想的形态是煤层发生倒转,煤层倾向与岩体边界倾向相同,石墨化带应考虑主应力与岩体的共同作用(图 5c)。

4 结论

a. 湖南省侵入岩多,面积超过 1.7 万 km^2 , 占全省面积的 8.3%, 岩体往往侵入煤层, 石墨成矿范围大。但岩体侵入直接导致煤层变质为石墨的范围有限, 岩体边界约 350 m 之外的岩体高温、构造变形等多种因素共同作用更有利于形成石墨矿。

b. 同一岩体周边成矿条件也各不相同, 同样的距离岩体的影响程度也存在差异, 煤层石墨化程度也不同, 褶皱的两翼成矿条件优于褶皱的扬起或倾伏端; 压性断裂带优于张性断裂带; 岩体从原岩两侧侵入造成的石墨化作用的影响范围大于从底部侵入。

c. 依据煤系石墨的赋存形态、形成原因和形成的石墨带宽度, 建立研究区石墨矿的 3 种赋存模式, 即兜底式、向斜式、背斜式。

d. 目前骑田岭岩体周边的石墨保有量全省第一, 但潜力有限; 煤系走向与主压应力方向大致垂直, 岩体附近 1.0~1.5 km 范围内是寻找石墨的目标区, 如天龙山岩体周边有望找到大型石墨矿, 同时具有上述条件的含石煤地层也是石墨矿形成的有利区。

请听作者语音介绍创新技术成果

等信息, 欢迎与作者进行交流



OSID 码

参考文献(References)

- [1] 肖克炎, 孙莉, 李思远, 等. 我国石墨矿产地质特征及资源潜力分析[J]. 地球学报, 2016, 37(5): 607-614.
XIAO Keyan, SUN Li, LI Siyuan, et al. Geological characteristics and mineralization potential of graphite resource in China[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2016, 37(5): 607-614.
- [2] 邵志富, 王义, 施静均, 等. 湖南省桂阳县荷叶矿区石墨矿详细普查地质报告[M]. 郴州: 湖南省地质矿产局湘南地质队, 1985.
SHAO Zhifu, WANG Yi, SHI Jingjun, et al. Geological report on the detailed and general survey of graphite deposits in Heye mining area, Guiyang County, Hunan Province[M]. Chenzhou: South Hunan Geological Team of Hunan Bureau of Geology and Mineral Resources, 1985.
- [3] 邵志富, 王义, 施静均, 等. 湖南省桂阳县荷叶矿区煤矿详细普查地质报告[M]. 郴州: 湖南省地质矿产局湘南地质队, 1985.
SHAO Zhifu, WANG Yi, SHI Jingjun, et al. Geological report on the detailed and general survey of coal deposits in Heye mining area, Guiyang County, Hunan Province[M]. Chenzhou: South Hunan Geological Team of Hunan Bureau of Geology and Mineral Resources, 1985.
- [4] 黄存基. 鲁塘石墨矿床的构造控制[J]. 非金属矿, 1982, 5(3): 33-37.
HUANG Cunji. Structural control of Lutang graphite deposit[J]. Non-Metallic Mines, 1982, 5(3): 33-37.
- [5] 邵志富, 车勤建. 桂阳县荷叶石墨矿床地质特征[J]. 湖南地质, 1988, 7(1): 33-37.
SHAO Zhifu, CHE Qinjian. Geological characteristics of Heye graphite deposit in Guiyang County[J]. Geology of Hunan, 1988, 7(1): 33-37.
- [6] 黄文彬, 吴惠兹, 刘开祥, 等. 湖南省冷水江市三尖石墨矿普查地质报告[M]. 株洲: 湖南省建材工业地质队, 1979.
HUANG Wenbin, WU Huizi, LIU Kaixiang, et al. Geological report on general prospecting of Sanjian graphite mine, Lingshuijiang City, Hunan Province[M]. Zhuzhou: Hunan Building Materials Industry Geological Team, 1979.
- [7] 黄坦安, 赖成宗, 段子玉, 等. 湖南省冷水江市三尖石墨矿物探工作报告[M]. 株洲: 湖南省建材工业地质队, 1979.
HUANG Tan'an, LAI Chengzong, DUAN Ziyu, et al. Report on the geophysical exploration of Sanjian graphite minerals in Lingshuijiang City, Hunan Province[M]. Zhuzhou: Hunan Building Materials Industry Geological Team, 1979.
- [8] 安江华, 唐分配, 李杰. 湖南石墨矿成矿规律与资源潜力分析[J]. 地质学报, 2016, 40(3): 433-437.
AN Jianghua, TANG Fenpei, LI Jie. Metallongenic rules and resource potential of the graphite deposit in Hunan Province[J]. Journal of Geology, 2016, 40(3): 433-437.
- [9] 谢有赞, 晏元江. 关于天龙山土状石墨的化学组分与结构特征的研究[J]. 碳素, 1989, 16(4): 12-17.
XIE Youzan, YAN Yuanjiang. Study of Tianlongshan aphanitic graphite chemical composition analysis and structural properties[J]. Carbon, 1989, 16(4): 13-17.
- [10] 李焕同, 莫佳峰, 武玉良, 等. 湖南新化地区煤变形变质与构造环境特征[J]. 煤田地质与勘探, 2017, 45(4): 7-12.
LI Huantong, MO Jiafeng, WU Yuliang, et al. Coal deformation, metamorphism and tectonic environment in Xinhua, Hunan[J]. Coal Geology & Exploration, 2017, 45(4): 7-12.
- [11] 李焕同, 陈飞, 邹晓艳, 等. 湖南新化天龙山岩体侵入对煤系变形变质的构造效应[J]. 煤炭学报, 2019, 44(7): 2206-2215.
LI Huantong, CHEN Fei, ZOU Xiaoyan, et al. Effect of intrusion of the Tianlongshan granite body on coal seam deformation and metamorphism characteristics in Xinhua area, Hunan Province[J]. Journal of China Coal Society, 2019, 44(7): 2206-2215.
- [12] 张浩, 侯丹丹, 秦召, 等. 煤系石墨氧化过程中结构变化研究[J]. 河北工程大学学报(自然科学版), 2017, 34(1): 92-96.
ZHANG Hao, HOU Dandan, QIN Zhao, et al. Study on structure

- change during the oxidation process of different graphitization graphite[J]. Journal of Hebei University of Engineering(Natural Science Edition), 2017, 34(1): 92-96.
- [13] 杨雄庭,戴斌. 一个与岩浆侵入有关的逆冲推覆构造及其研究意义[J]. 中国煤炭地质, 2008, 20(10): 50-52.
YANG Xiongting, DAI Bin. Thrust nappe structure genetically related to magmatic intrusion and its research significance[J]. Coal Geology of China, 2008, 20(10): 50-52.
- [14] 莫佳峰,李焕同,郭经纬. 湖南省寒婆坳地区煤层石墨化特征及成因探讨[J]. 能源技术与管理, 2016, 41(1): 1-4.
MO Jiafeng, LI Huantong, GUO Jingwei. Discussion on the characteristics and genesis of coal seam graphitization in Hanpo'ao area, Hunan Province[J]. Energy Technology and Management, 2016, 41(1): 1-4.
- [15] 何艳林,陈睿卿,肖海斌. 浅析天龙山岩体对寒婆坳矿区煤层的影响[J]. 国土资源导刊, 2016, 13(1): 35-38.
HE Yanlin, CHEN Ruiqing, XIAO Haibin. On the impact of Tianlongshan granite to coal seam in Hanpo'ao mining area simple analysis[J]. Land & Resources Herald, 2016, 13(1): 35-38.
- [16] 周旭林,何艳林,刘和生. 湖南涟邵煤田北段寒婆坳矿区煤及石墨矿地质特征[J]. 煤田地质与勘探, 2017, 45(2): 9-13.
ZHOU Xulin, HE Yanlin, LIU Hesheng. Coal and graphite mine geological characteristics analyse of Hanpo'ao mining area in Lianshao coalfield of Hunan Province[J]. Coal Geology & Exploration, 2017, 45(2): 9-13.
- [17] FRANKLIN R E. Crystallite growth in graphitizing and non-graphitizing carbons[J]. Proceedings of the Royal Society A Mathematical Physical & Engineering Sciences, 1951, 209(1097): 196-218.
- [18] BUSTIN R M, ROSS J V, ROUZAUD J N. Mechanisms of graphite formation from kerogen: Experimental evidence[J]. International Journal of Coal Geology, 1995, 28(1): 1-36.
- [19] WILKS K R, MASTALERZ M, ROSS J V, et al. The effect of experimental deformation on the graphitization of Pennsylvania anthracite[J]. International Journal of Coal Geology, 1993, 24(1/2/3/4): 347-369.
- [20] 王路,董业绩,张鹤,等. 煤成石墨化作用的影响因素及其实验验证[J]. 矿业科学学报, 2018, 3(1): 9-19.
WANG Lu, DONG Yeji, ZHANG He, et al. Factors affecting graphitization of coal and the experimental validation[J]. Journal of Mining Science and Technology, 2018, 3(1): 9-19.
- [21] MOCHIDA I, OHTSUBO R, TAKESHITA K, et al. Catalytic graphitization of graphitizable carbon by chromium, manganese and molybdenum oxides[J]. Carbon, 18(1): 25-30.
- [22] FITZER E, WEISENBURGER S. Evidence of catalytic effect of sulphur on graphitization between 1 400 and 2 000°C[J]. Carbon, 1976, 14(4): 195-198.
- [23] INAGAKI M I. Natural graphite: Experimental evidence for its formation and novel applications[J]. Earth Science Frontiers, 2005, 12(1): 171-181.
- [24] GONZÁLEZ D, AND M M, GARCIA A B. Influence of inherent coal mineral matter on the structural characteristics of graphite materials prepared from anthracites[J]. Energy & Fuels, 2005, 19(1): 235-240.
- [25] 张晓欠. 神府煤及其煤岩组分催化石墨化研究[D]. 西安: 西安科技大学, 2014.
ZHANG Xiaoqian. Study on catalytic graphitization of Shenfu coal and macerals[D]. Xi'an: Xi'an University of Science and Technology, 2014.
- [26] 崔源声,李辉,徐德龙. 世界天然石墨生产、消费与国际贸易[J]. 中国非金属矿工业导刊, 2012, 28(4): 48-51.
CUI Yuansheng, LI Hui, XU Delong. Production, consumption and global trade of natural graphite[J]. China Non-Metallic Minerals Industry, 2012, 28(4): 48-51.
- [27] 廖慧元. 隐晶质石墨与无烟煤的简单鉴别[J]. 非金属矿, 1994, 17(2): 10-11.
LIAO Huiyuan. Simple identification of aphanitic graphite and anthracite[J]. Non-Metallic Mines, 1994, 17(2): 10-11.
- [28] 董业绩,曹代勇,王路,等. 地质勘查阶段煤系石墨与无烟煤的划分指标探究[J]. 煤田地质与勘探, 2018, 46(1): 8-12.
DONG Yeji, CAO Daiyong, WANG Lu, et al. Indicators for partitioning graphite and anthracite in coal measures during geological exploration phase[J]. Coal Geology & Exploration, 2018, 46(1): 8-12.
- [29] 郑辙. 煤基石墨微结构的高分辨电镜研究[J]. 矿物学报, 1991, 11(3): 214-219.
ZHENG Zhe. HRTEM studies of microstructures of coal-based graphite[J]. Acta Mineralogica Sinica, 1991, 11(3): 214-219.
- [30] 郑辙,陈宣华. 煤基石墨的 Raman 光谱研究[J]. 中国科学(B 辑), 1994, 24(6): 640-647.
ZHENG Zhe, CHEN Xuanhua. Raman spectroscopic study on coal-based graphite[J]. Science in China(Series B), 1994, 24(6): 640-647.
- [31] 潘伟尔,杨起,潘治贵. 湘赣中南部地区煤的岩浆热变质作用[J]. 现代地质, 1993, 7(3): 326-338.
PAN Wei'er, YANG Qi, PAN Zhigui. Magmatic thermal metamorphism of coal in central-southern Hunan and Jiangxi Province[J]. Geoscience, 1993, 7(3): 326-338.
- [32] 曹代勇,张鹤,董业绩,等. 煤系石墨矿产地质研究现状与重点方向[J]. 地学前缘, 2016, 23(1): 1-11.
CAO Daiyong, ZHANG He, DONG Yeji, et al. Research status and key orientation of coal-based graphite mineral geology[J]. Earth Science Frontiers, 2016, 23(1): 1-11.
- [33] 王路,曹代勇,董业绩,等. 湖南鲁塘矿区煤成石墨的构造-热条件控制作用研究[C]//中国地球物理学会. 2017 中国地球科学联合学术年会论文集. 北京: 中国和平音像电子出版社, 2017: 47-48.
WANG Lu, CAO Daiyong, DONG Yeji, et al. Study on the

- structure-thermal condition control of coal-formed graphite in Lutang mining area, Hunan Province[C]//Chinese Geophysical Society. Proceedings of the China Earth Science Joint Academic Annual Conference(2017). Beijing: China Peace Audiovisual Electronic Publishing House, 2017: 47-48.
- [34] 曹代勇, 王路, 董业绩, 等. 煤成石墨演化过程中构造应力作用机制研究[C]//中国地球物理学会. 2017 中国地球科学联合学术年会论文集. 北京: 中国和平音像电子出版社, 2017: 31-32.
- CAO Daiyong, WANG Lu, DONG Yeji, et al. Study on the mechanism of tectonic stress in the evolution of coal derived graphite[C]// Chinese Geophysical Society. Proceedings of the China Earth Science Joint Academic Annual Conference(2017). Beijing: China Peace Audiovisual Electronic Publishing House, 2017: 31-32.

(责任编辑 范章群)

(上接第 17 页)

- [15] 丁正云, 曹代勇, 王路, 等. 福建漳平可坑矿区煤系石墨赋存规律研究[J]. 地质力学学报, 2019, 25(2): 198-205.
- DING Zhengyun, CAO Daiyong, WANG Lu, et al. Study on occurrence regularity of coal-based graphite in Kekeng mining area in Zhangping, Fujian Province[J]. Journal of Geomechanics, 2019, 25(2): 198-205.
- [16] BUSECK P R, BEYSSAC O. From organic matter to graphite: Graphitization[J]. Elements, 2014, 10(6): 421-426.
- [17] 李霞, 曾凡桂, 王威, 等. 低中煤级煤结构演化的拉曼光谱表征[J]. 煤炭学报, 2016, 41(9): 2298-2304.
- LI Xia, ZENG Fangui, WANG Wei, et al. Raman characterization of structural evolution in the low-middle rank coals[J]. Journal of China Coal Society, 2016, 41(9): 2298-2304.
- [18] GERD R, WOLFGANG L, EVELIN F. On the discrimination of semi-graphite and graphite by Raman spectroscopy[J]. International Journal of Coal Geology, 2016(159): 48-56.
- [19] 王路, 曹代勇, 丁正云, 等. 闽西南地区煤成石墨的控制因素与成矿区带划分[J/OL]. 煤炭学报. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2190.TD.20191205.1725.002.html>.
- WANG Lu, CAO Daiyong, DING Zhengyun, et al. Controlling factors and metallogenic belts of coal-based graphite in the southwestern Fujian Province[J/OL]. Journal of China Coal Society. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2190.TD.20191205.1725.002.html>.
- [20] 颜玲亚, 高树学, 陈正国, 等. 中国石墨矿成矿特征及成矿区带划分[J]. 中国地质, 2018, 45(3): 421-440.
- YAN Lingya, GAO Shuxue, CHEN Zhengguo, et al. Metallogenic characteristics and metallogenic zoning of graphite deposits in China[J]. Geology in China, 2018, 45(3): 421-440.

(责任编辑 范章群)