



移动扫码阅读

杨 博,田继军,冯 烁,等.准噶尔盆地东部中侏罗世煤中记录的古野火事件[J].煤炭科学技术,2022,50(7):261-270.
YANG Bo, TIAN Jijun, FENG Shuo, *et al.* Wildfires recorded in Middle Jurassic coals in Eastern of Junggar Basin in Xinjiang, China[J]. Coal Science and Technology, 2022, 50(7): 261-270.

准噶尔盆地东部中侏罗世煤中记录的古野火事件

杨 博¹,田继军¹,冯 烁¹,杨金辉²,李勇泽³

(1.新疆大学 地质与矿业工程学院,新疆 乌鲁木齐 830047;2.新疆大学 化学学院,新疆 乌鲁木齐 830047;
3.新疆力源信德环境检测技术服务有限公司,新疆 乌鲁木齐 830002)

摘 要:煤中惰质组是植物体不完全燃烧的产物这一论述被越来越多的学者所接受,伴随而来的是其指示古野火的意义更加突出。通过准噶尔盆地东部中侏罗统西山窑组煤层样品的惰质组含量和反射率信息,同时利用快速溶剂萃取法得到了煤岩样品中的 16 种多环芳烃的含量特征,综合分析了该组煤层在沉积过程中所经历的古野火事件。试验结果显示,西山窑组煤层中惰质组含量 31.14%~82.64%,平均 55.78%,惰质组平均反射率 1.08%~1.54%,惰质组含量高是该煤层的主要特点。多环芳烃的试验结果显示不同层位间 PAHs 含量变化范围相对较大,范围 3 881~6 525 ng/g,均值 4 433 ng/g,且同层位不同种类的多环芳烃的含量相差极大。将惰质组含量、惰质组反射率和 PAHs 含量特征进行综合分析,得出了该煤层在沉积期间至少经历过 3 次野火频发的时期,根据木炭反射率数据进行的温度解释,这 3 个时期的野火类型均为中低温的地面火。同时从全球碳循环的角度对野火可能造成的气候环境影响做出了理论分析与推测,泥炭的堆积对全球气候产生了净降温效应,但是野火的发生能在一定程度上削弱这种效应并会将大量的碳排放到大气中。本研究结合多环芳烃特征对准噶尔盆地的古野火事件进行了识别与分析,对今后这一地区的煤田地质研究有一定的借鉴意义。

关键词:惰质组;反射率;古野火;多环芳烃;准噶尔盆地;中侏罗世

中图分类号:TD163 文献标志码:A 文章编号:0253-2336(2022)07-0261-10

Wildfires recorded in Middle Jurassic coals in Eastern of Junggar Basin in Xinjiang, China

YANG Bo¹, TIAN Jijun¹, FENG Shuo¹, YANG Jinhui², LI Yongze³

(1. Institute of Geology and Mining Engineering, Xinjiang University, Urumqi 830047, China; 2. College of Chemistry, Xinjiang University, Urumqi 830047, China; 3. Xinjiang Liyuanxinde Environmental Testing Technology Co. LTD., Urumqi 830002, China)

Abstract: The argument that the inert group in coal is the product of incomplete combustion of plants has been accepted by more and more scholars, and its significance of indicating ancient wildfires has become more prominent. In this paper, the content characteristics of 16 kinds of polycyclic aromatic hydrocarbons in coal and rock samples were obtained through the information of inertinite content and reflectivity of coal seam samples of Middle Jurassic Xishanyao Formation in the eastern Junggar Basin, and the content characteristics of 16 kinds of polycyclic aromatic hydrocarbons in coal samples were comprehensively analyzed. Ancient wildfires experienced during the deposition of coal formations. The experimental results show that content of inertinite ranges from 31.14% to 82.64%, with an average of 55.78%, and the average reflectivity is from 1.08% to 1.54%. The high content of inertinite is the main characteristic of this coal of Xishanyao Formation. The experimental results of PAHs show that the variation range of PAHs between different layers is relatively large, ranging from 3 881 to 6 525 ng/g, with an average value of 4 433 ng/g, and the content of different types of PAHs in the same layer varies greatly. A comprehensive analysis of the characteristics of inertinite content, inertinite reflectivity and PAHs content shows that the coal

收稿日期:2021-10-02 责任编辑:常 琛 DOI:10.13199/j.cnki.cst.2020-1024

基金项目:新疆维吾尔自治区自然科学基金资助项目(2019D01C056);国家自然科学基金资助项目(41662010);2019 年国家级大学生创新训练计划资助项目(201910755095)

作者简介:杨 博(1996—),男,河南焦作人,硕士。E-mail:ybzky35@163.com

通讯作者:冯 烁(1987—),男,新疆乌鲁木齐人,讲师。E-mail:ayanamiboa@126.com

seam has experienced at least three periods of frequent wildfires during the deposition. The temperature interpretation based on the charcoal reflectivity showed that the types of wildfires in these three periods were all ground fires of medium and low temperature. At the same time, from the perspective of global carbon cycle, theoretical analysis and speculation are made on the possible climate and environment impact caused by wildfires. The accumulation of peat has a net cooling effect on global climate, but the occurrence of wildfires can weaken this effect to a limited extent and release a large amount of carbon into the atmosphere. In this study, the wildfire events in Junggar Basin were identified and analyzed for the first time by combining the PAHs, which will provide some reference for the future research on coal geology in this area.

Key words: inertinite; reflectivity; ancient wildfire; polycyclic aromatic hydrocarbons; Junggar Basin; Middles Jurassic

0 引言

野火是森林沼泽系统演化过程中一个重要的干扰因素,高强度野火毁灭现有的生物群落,随着生态系统的自然恢复,新生的生物群落可能会产生跳跃或倒退形式的演化,这极大改变了地区生物群落原有的演化进程^[1-3]。大规模野火事件会产生大量二氧化碳、氨气、二氧化硫和气溶胶等排放物,这不仅会改变大气反射率和成分,甚至能在一定时期内改变区域的气候环境^[4-6]。野火燃烧使生物有机质中的碳一部分以二氧化碳的形式释放到大气中,一部分则以生物残骸的形式贮存在沉积物种,因此野火的发生加速了自然界中的碳循环^[7]。研究野火事件对古生物群落演化、古气候分析和地质历史时期的碳循环有着重要意义,而识别古野火事件更是研究的前提^[8-11]。确定野火发生的条件能够为我们识别古野火事件排除干扰。现有研究结果表明火源、燃料和氧气浓度是野火发生的三大要素^[12]。其中火源是随机因素,它可能是雷击、自燃和落石火星等。除海洋和湖泊的有机质外,任何有机质都可充当燃料^[13]。氧气浓度是影响火灾发生的重要因素,已有的研究表明当氧气浓度低于 15% 时,植物体是无法被点燃的^[12,14-15],这就很好解释了为什么现有的古野火事件均发生在泥盆纪植物登陆以后^[16-18]。在确定了三要素后,就需要对古野火发生的证据进行发现和整理。目前,古野火的识别标志主要有炭屑、碳黑、燃烧源多环芳烃和树轮火疤等,这些物质统一的特征是既易长时间保存在地质体中又是物质燃烧的特征产物^[19-22]。SCOTT 利用扫描电镜观察和反射率测定的方法从外形和物理性质上对现代植物组织不完全燃烧形成的木炭和沉积岩的丝碳进行了研究,试验结果表明无论是在宏观特征(易形成立方体小块)和微观特征(具有植物胞腔结构)上,两者都具有有一致性。并且现代植物体在缺氧条件下经加热后产生的木炭拥有着和煤中丝炭类似的理化性质,如植物组织细胞壁的均质化、反射率升高和碳含量的增加。因此他认为木炭等同于宏观煤岩类型中的丝

碳和煤岩显微组分中的惰质组^[23-24]。近年来,随着对惰质组研究的不断深入,惰质组是植物体不完全燃烧的产物这一论述被越来越多的学者所接受,因此其用作指示古野火的意义也更加突出^[12,25-27]。同时惰质组的反射率也被证明与其形成温度成正相关,当惰质组反射率大于 1% 时,其形成温度大于 350 ℃,显然绝大部分地区的地温梯度是达不到的,而自然界中的野火可以轻易达到这一温度,大规模森林火灾形成的高温甚至在 800 ℃ 以上^[8-10]。因此,炭屑反射率的测定对判别古火灾同样有着重大的意义。多环芳烃(PAHs)主要以气溶胶和固体的形式广泛存在于土壤、大气、水体及动植物组织等环境介质中,并且由于其稳定的化学性质而很难被生物所利用。VENKATESAN 等^[28]在世纪 20 世纪 80 年代研究白垩纪古野火事件时就将 PAHs 作为判别证据。YUNKER^[29]更是进一步依据多环芳烃不同种类之间的比例将其划分出了 3 个来源,分别是石油源、生物质燃烧源和化石燃料燃烧源。

目前,国内对古野火的研究主要集中在生物大灭绝时期,强度大、范围广、影响深是这一时期野火的主要特点^[24,30-32],而对于那些区域性的古野火事件研究则先对较少。事实上,我国西部地区中侏罗统蕴藏着大量煤炭资源,这说明其在中侏罗世时期有着丰富的植被。同时期的各种模型也显示中侏罗世氧气浓度在 20% 以上^[1-2,33-34]。侏罗纪是全球重要的成煤期,我国侏罗纪煤更是占到了煤炭资源总量的 2/3^[35-31],但是关于该时期古野火的研究却相对较少^[12,34,37-38]。通过煤岩样品中惰质组含量和反射率信息,结合 PAHs 数据对中侏罗世准噶尔盆地东部的古野火事件进行了识别,并对其产生的古环境影响进行了分析。

1 地质背景

研究区位于新疆准噶尔陆相含煤盆地东部,卡拉美丽山南麓。研究区煤岩样品均采自准噶尔东部煤田的五彩湾矿区。五彩湾矿区位于准噶尔东部煤田西北部(图 1),北邻卡拉麦里山南麓,东邻沙帐褶

褶皱带。含煤地层为中侏罗统西山窑组,含煤层厚 62 m,厚度稳定,分布广泛。

准噶尔盆地经过印支运动期间秦-昆洋于三叠纪末闭合和昆仑-秦岭崛起的构造挤压远程效应,使得盆地周缘造山带进一步隆起,逆冲推覆广泛发育,盆山整体构造抬升,聚煤作用微弱;燕山早期,

早-中侏罗世盆、山构造抬升已趋于平静,而盆地开始向“广盆”“大湖”的方向发育,因此该阶段为准噶尔盆地乃至西北地区最大规模聚煤事件。并且自二叠纪以来,盆地内就少有火山活动,尤其是研究区自侏罗纪以来更是少见岩浆侵入^[41]。

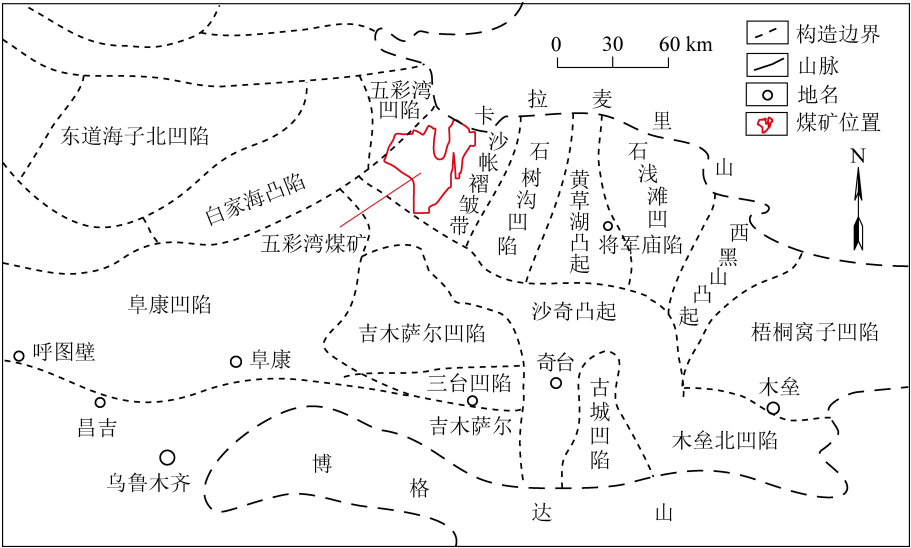


图 1 研究区地质概况
Fig.1 Outline map of study area

2 采样与测试方法

参照《煤层煤样采取方法》(GB/T 482—2008),对准东煤田五彩湾矿区一露天矿坑垂直采样 20 件,样品均来自同一巨厚煤层(63 m),自上而下编号为 SH1-20(图 2)。煤岩光片制备按照 GB/T 15590—2008 的标准进行,并利用光学显微镜对煤岩光片进行观察。所采取的手段是通过蔡司 Axio Scope A1 显微镜配以放大倍数为 10 倍的目镜和 50 倍的油浸镜头对制备好的抛光块进行观察,在进行壳质组的观察时再配以紫色荧光,每个抛光块均匀分布至少 500 个计数点。采用同样的显微镜和镜头并配以 J&M 的 MSP200 显微分光光度计对惰质组反射率进行测定。煤中 PAHs 的提取与测定参照并改进王道玮^[42]萃取土壤中 PAHs 的方法,利用快速溶剂萃取装置对 PAHs 进行提取,氮气吹扫浓缩后再通过弗罗里硅土固相萃取柱对 PAHs 进一步提纯,然后再进行氮气吹扫浓缩。16 种 PAHs 外标液浓度分别为 0,0.1,0.2,1.0,2.0,4,10 $\mu\text{g/mL}$,内标液为 5 种氘代多环芳烃。由于煤岩样品中有机质含量较高且较为致密,因此在前处理时要减少样品量至 5 g,采用 33 mL 的萃取池,煤岩颗粒应控制在 0.150 mm

以下。

3 试验结果

3.1 煤中的惰质组

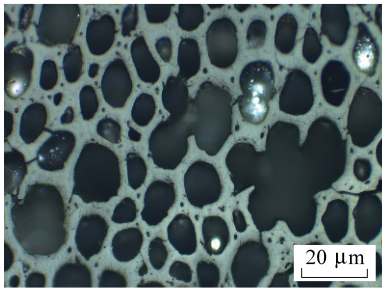
对煤中显微组分的观察和定量分析表明,本次样品显微组分以镜质组和惰质组为主,壳质组含量极少(表 1)。其中惰质组含量 38.89%~87.72%(平均 53.26%),镜质组含量 11.08%~59.68%(平均 45.66%)。各层位惰质组均以半丝质体和碎屑惰质组为主,丝质体含量较少,并见少量微粒体。镜质组均以基质镜质体和碎屑镜质体为主,见少量的均质镜质体。惰质组反射率测定的主要目标是微观木炭,即丝质体、半丝质体和碎屑惰质体(图 2)。惰质组反射率测定结果显示各样品间除最大反射率相差较大外(1.95%~3.17%),其平均反射率和最小反射率相差均在 0.5%以内,标准差范围 0.29~0.54。

3.2 煤中的 PAHs

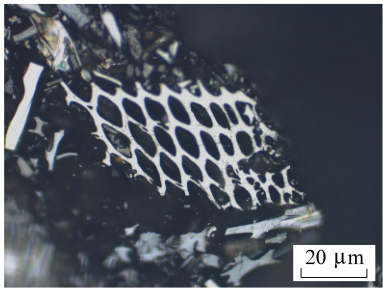
根据提取的 20 个样品中 16 种 PAHs 含量数据显示,这 16 种 PAHs 分别是:萘(Nap)、苊烯(AcPy)、苊(Acp)、芴(Flu)、菲(PA)、蒽(Ant)、荧蒽(FL)、芘(Pyr)、苯并(a)蒽(BaA)、屈(CHR)、苯

表 1 样品的显微煤岩组分占比及惰质组反射率统计

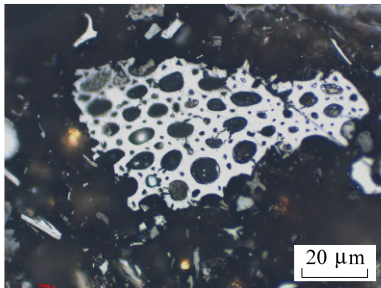
Table 1 Maceral compositions and inertinite reflectivity of samples						%
样品号	惰质组	镜质组	壳质组	最小反射率	最大反射率	平均反射率
SH-1	41.86	56.16	1.98	0.88	1.86	1.23
SH-2	46.21	51.78	2.01	1.02	2.19	1.46
SH-3	42.44	55.72	1.84	0.79	2.12	1.25
SH-4	38.89	59.34	1.77	0.77	2.50	1.24
SH-5	48.92	49.48	1.60	0.70	2.45	1.14
SH-6	87.72	59.68	1.38	0.75	3.17	1.42
SH-7	38.94	11.08	1.20	0.90	2.61	1.41
SH-8	49.03	49.62	1.35	0.82	2.24	1.11
SH-9	51.59	47.44	0.97	0.73	2.55	1.09
SH-10	86.38	12.66	0.96	0.79	2.86	1.54
SH-11	50.17	48.88	0.95	0.80	2.06	1.18
SH-12	42.53	56.54	0.93	0.76	1.95	1.17
SH-13	58.38	40.75	0.87	0.75	1.96	1.14
SH-14	52.67	46.48	0.85	0.75	2.47	1.22
SH-15	58.58	40.58	0.84	0.73	2.46	1.08
SH-16	43.35	55.82	0.83	0.88	2.51	1.18
SH-17	51.21	48.34	0.45	0.74	2.23	1.12
SH-18	46.94	52.72	0.34	0.80	2.55	1.39
SH-19	64.66	35.05	0.29	0.72	1.91	1.14
SH-20	53.66	46.01	0.33	0.72	2.11	1.24



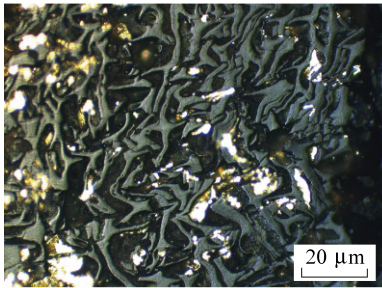
(a) 具有明显细胞结构的丝质体



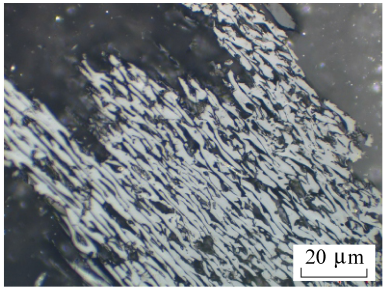
(b) 具有明显细胞结构的丝质体



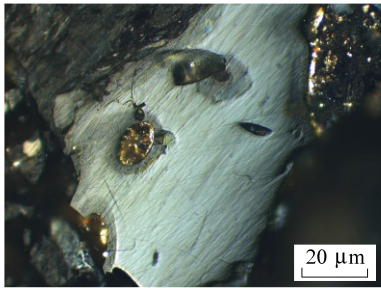
(c) 具有明显细胞结构的丝质体



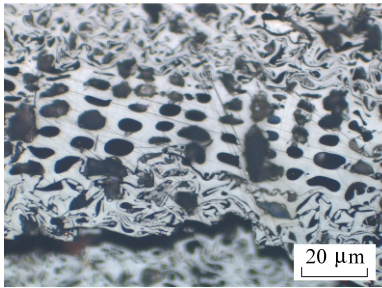
(d) 半丝质体与黄铁矿



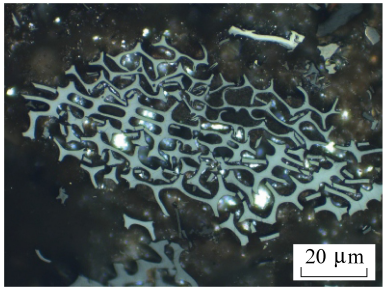
(e) 碎屑惰质体



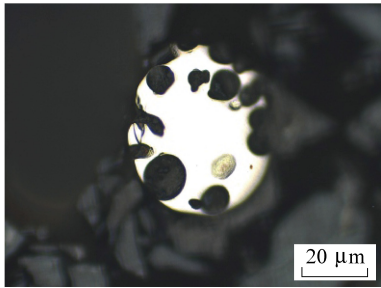
(f) 粗粒体，可见高突起



(g) 丝质体与半丝质体



(h) 丝质体与半丝质体



(i) 煤中天然木炭

图 2 煤中部分惰质组

Fig.2 Partial inertinite of coal

并(k)荧蒽(BkF)、苯并(b)荧蒽(BbF)、苯并(a)芘(BaP)、茚并(123-cd)芘(IND)、二苯并(ah)蒽(DBA)和苯并(ghi)芘(BghiP)。研究区内不同层位间 PAHs 含量变化范围相对较大(表 2),范围 3 881~6 525 ng/g,均值 4 433 ng/g,且同层位不同

种类的多环芳烃的含量相差极大。PAHs 含量数据表明苯并(k)荧蒽、苯并(b)荧蒽和茚并(123-cd)芘的含量要普遍高于同层位其他种类的含量,以 PAHs 环数分类,二环芳烃占 4.51%,三环占28.69%,四环占 23.57%,五环占 24.83%,六环占 18.41%。

表 2 样品中 16 种 PAHs 的含量
Table 2 Content of 16 PAHs of samples

样品	SH-1	SH-2	SH-3	SH-4	SH-5	SH-6	SH-7	SH-8	SH-9	SH-10	SH-11	SH-12	SH-13	SH-14	SH-15	SH-16	SH-17	SH-18	SH-19	SH-20
Nap	274.8	189.8	171.4	188.4	176.8	252.8	190.2	194.8	230.8	287.4	178.2	176.8	178.6	174.6	170.4	179.0	196.8	306.4	170.8	183.0
AcPy	234	232.6	232.6	233.0	232.4	233.0	232.4	232.4	232.8	234.0	232.6	232.2	233.0	232.4	232.4	232.4	232.4	234.2	232.4	232.4
AcP	233.6	233.8	233.8	234.2	234.0	234.8	233.6	233.4	234.0	237.6	233.4	233.4	233.8	233.4	233.6	233.6	233.4	235.2	233.4	234.6
Flu	244.2	243.6	243.6	244.4	243.8	246.2	243.8	244.6	243.6	249.2	243.4	243.4	243.8	243.6	243.4	243.4	245.2	245.2	243.4	243.2
PA	261.4	259.0	256.4	260.4	259.2	262.4	255.6	258.6	256.0	271.4	255.4	254.4	256.2	254.2	254.6	255.8	255	261.2	255.4	254.6
Ant	427	306.2	302.6	302.0	301.8	309.4	301.6	301.8	302.0	318.2	298.0	300.2	300.6	299.6	301.4	300.2	301.4	322.4	299.6	299.6
FL	282.6	279.0	270.4	270.4	271.4	294.2	270.4	272.0	272.2	292.4	270.0	271.6	272.4	269.0	272.6	271.2	273.2	294.2	269.8	269.0
Pyr	267.8	266.6	259.6	263.8	260.8	282.8	260.8	262.2	261.4	281.8	258.6	261.4	262.4	262.2	264.0	261.2	262.2	273.4	261.4	260.4
BaA	291.6	283.4	285.6	284.4	283.2	309.2	286.2	284.8	284.4	301.2	284.4	284.4	284.4	284.6	286.2	284.8	285.2	292.6	283.8	283.4
CHR	227.2	224.0	210.6	212.8	207.6	297.4	208.2	208.8	218.2	230.2	201.6	208.8	211.4	200.4	207.4	204.4	206.4	275.6	201.0	201.4
BkF	282.2	295.6	303.8	315.2	351.0	637.6	271.8	276.2	505.8	696.0	272.8	358.8	478.2	337.6	324.4	364.6	367.2	1 286.6	294.0	468.4
BbF	409.6	302.0	354.0	301.8	319.8	529.0	288.6	305.8	553.4	841.8	344.2	305.2	366.0	444.0	357.2	385.6	373.2	858.6	467.0	492.0
BaP	196.2	200.2	211.2	205.8	212.8	295.0	198.0	209.8	216.8	301.0	207.6	204.4	221.0	227.0	211.0	225.8	227	405.8	220.2	203.2
IND	302.8	248.4	289.6	251.2	282.6	441.4	237.4	271.8	252.2	657.2	281.6	255.6	299.6	345.8	277.6	316.4	286.6	583.6	368.4	459.0
DBA	221.4	216.4	218.8	215.8	220.4	236.2	215.0	216.6	215.6	254.0	216.6	215.2	220.6	223.0	218.0	221.2	222.4	248.2	223.4	229.2
BghiP	227.4	192.4	214.0	193.6	214.4	293.0	187.6	206.4	196.2	425.2	215.2	201.2	214.4	245.2	224.6	227.4	225.8	402.4	252.6	449.2
总量	4 383.8	3 973.0	4 058.0	3 977.2	4 072.0	5 154.4	3 881.2	3 980.0	4 475.4	5 878.6	3 993.6	4 007.0	4 276.4	4 276.6	4 078.8	4 207.0	4 193.4	6 525.6	4 276.6	4 762.6

4 讨 论

4.1 古野火存在的证据

4.1.1 木炭方面的证据

前人的研究结果显示煤中 10~500 μm 的惰质组成分可以当做古野火证据^[23]。许云等^[44]通过煤中惰质组的含量和反射率确定了侏罗纪鄂尔多斯盆地古野火类型和事件造成的气候影响;WANG 等^[40]也通过同样的手段对我国东北地区早白垩世的古野火范围,类型和强度进行了分析,同时对当时的古气候环境进行了推断;蔡垚峰^[45]通过对新疆大龙口一剖面木炭化石的显微观察和反射率测定,确定了古野火的发生层位和古环境信息。惰质组相关数据显示,样品惰质组含量 31.14%~82.64%,平均 55.78%。这一平均含量是被认为发生过野火事件二连盆地的 1.6 倍,更是高于当前环境下泥炭中 4.27%惰质组含量^[39],并与鄂尔多斯盆地相持平^[44]。这

表明研究区煤层沉积时期野火的频率要高于二连盆地聚煤时期的野火频率。依据煤岩学理论,较多的惰质组含量,极少的壳质组代表了其成煤植被以灌木和乔木为主,同时前人研究结果也显示研究区成煤环境以干燥-潮湿森林沼泽为主^[46]。大量发育的木质类植物和较为干燥的环境也为野火的发生提供了物源和前提。现代研究表明煤中的丝质体和半丝质体是有机质受到野火影响热变质形成的,在低阶煤中其反射率要明显大于镜质组。因此样品中含量较多且反射率较高的丝质体和半丝质体表明研究区在聚煤阶段发生过古野火事件。

4.1.2 PAHs 方面的证据

SHEN 等^[31]在研究中国眉山二叠-三叠纪生物灭绝事件时,认为大规模的野火事件是生物灭绝的主要原因之一,并将 PAHs 的含量异常作为野火发生的重要证据;VERGNOUX 等^[21]对法国南部森林表层土壤中 PAHs 的分布特征进行研究,得出了森

林火灾主要产生低分子量的多环芳烃的结论;赵红梅等^[47]对三江平原沼泽土中多环芳烃的含量分布进行了研究,结果发现有火烧迹象沼泽土中的多环芳烃含量高于无火烧迹象的沼泽土。

由于热事件、生物降解和风化会导致 PAHs 的降解,当 PAHs 作为古野火事件指标时一定要排除这 3 个因素的干扰^[3,9,48]。现有的研究显示准噶尔盆地东部侏罗纪之后没有规模性的岩浆侵入事件,而生物降解在同一地质历史时期的差异性又极小,采集新鲜样品又排除了风化因素的干扰,因此本次试验得出的 PAHs 的数据是有效的。将试验数据代入到 YUNKER 等判别 PAHs 来源的模型中,可以得出所有样品的 PAHs 主要来源均为有机物质燃烧(图 3)^[29];另一方面,SH-6,SH-10,SH-18 所在层位,无论是 PAHs 总量还是常见的 8 种被认为是燃烧源的 PAH^[21,31] 含量要明显高于其他层位(图 4);最后将木炭丰度和反射率数据与 PAHs 含量数据对比,可以观察到两者有较高的吻合度(图 5),均在 SH-6,SH-10,SH-18 所在层位出现了异常。结合现有的研究成果,足以说明研究区在聚煤期间至少发生了 3 次规模较大的野火事件。

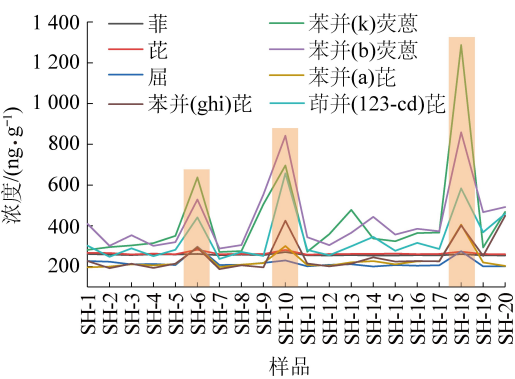


图 3 常见的 8 种燃烧源 PAHs 含量

Fig.3 Concentration of 8 combustion-derived PAHs

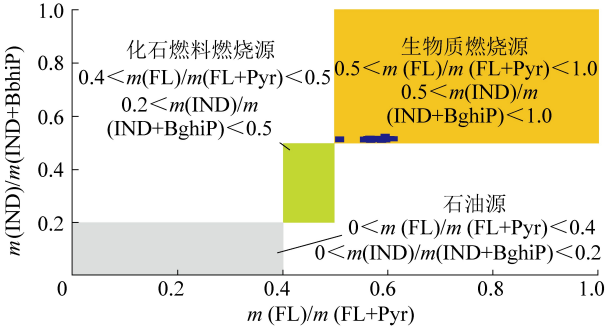


图 4 PAHs 来源模型^[29]

Fig.4 Model of source of PAHs^[29]

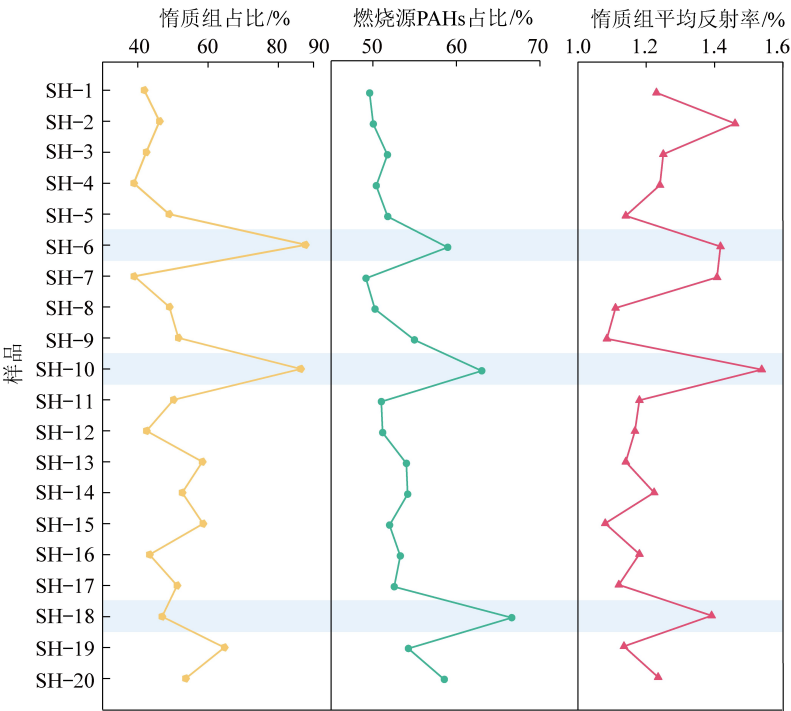


图 5 惰质组和 PAHs 特征综合分析

Fig.5 Comprehensive analysis of inertinite and PAHs

虽然模型显示所有样品 PAHs 的来源均为生物质燃烧,但是全都处于化石燃料燃烧源和生物质燃烧源的边界上,而与化石燃料燃烧源没有十分清晰

的界限。这可能是因为原本已经沉积的泥炭受到后期野火事件的影响,野火产生的高温使得已沉积泥炭中的 PAHs 产生了类似于化石燃料燃烧的热解反

应,一定程度上破坏了原有 PAHs 成分,造成了在模型上的偏移。事实上,采样点是一整套厚约 63 m 的煤层,如此厚的煤层其沉积时期必定是漫长的,期间可能发生过多次的野火事件,各种指标也指示出了至少 3 个时期的高频率野火事件,即 SH-6,SH-10 和 SH-18 所在层位的野火事件。因此研究区在聚煤期间至少有过 3 次规模较大的野火事件是可靠的。

4.2 古野火的类型

根据燃烧物质和温度的不同,野火的类型可分为 3 类:① 燃烧地表落叶层之下有机质的地面火,温度在 300 ℃ 左右;② 燃烧地表落叶层、草本植物和灌木的地表火,温度在 600 ℃ 左右;③ 燃烧树木树冠和大型灌木的树冠火,温度在 800 ℃,甚至更高^[12,16,49]。JONES^[50]最早得出了惰质组反射率与形成温度之间的对应关系并沿用至今,尽管这种关系不是完全的线性关系,但是燃烧温度大致可以通过式(1)进行计算^[51-53]。

$$T = 184.10 + 117.76R_o. \quad (r^2 = 0.91) \quad (1)$$

其中, T 为惰质组形成时的温度; R_o 为所测得的惰质组反射率。利用惰质组反射率判别古野火类型的研究早已屡见不鲜^[40,44]。将测得的惰质组反射率代入式(1),再结合古野火划分依据即可得出研究区中侏罗世西山窑组沉积期间的野火类型。在选取反射率值时应当考虑到微观木炭(惰质组)可能会被周围空气产生的热气流卷入高空,然后随风进行远距离搬运到几百甚至几千公里以外的地方,因此常见的选取惰质组平均反射率来判断古野火类型。事实上,利用平均反射率来判断古野火类型也并非是最准确的,因为无论是何种强度的野火,在其发生时总有燃烧不充分和温度较低的位置,这些位置的反射率不具有代表性,因此在判别古野火类型时应当将这一部分数据多加处理,尤其是在判别地表火和树冠火时应该尤为注意。但是现有的研究还未明确在利用惰质组反射率判别古野火类型时应当如何对数据进行处理和修正,解决这一问题需要大量的室内试验和数据分析,暂用惰质组平均反射率来判别古野火类型。研究区西山窑组沉积煤层中 SH-6、SH-10 和 SH-18 样品平均反射率对应的形成温度分别为 351、365 和 347 ℃,表明这 3 个样品沉积期间野火主要以中低温的地面火为主。

4.3 侏罗纪古野火事件与古气候的关系

众多研究表明三叠-侏罗边界发生了 6 亿年来最大生物灭绝事件,大西洋中部岩桨省火山的大规

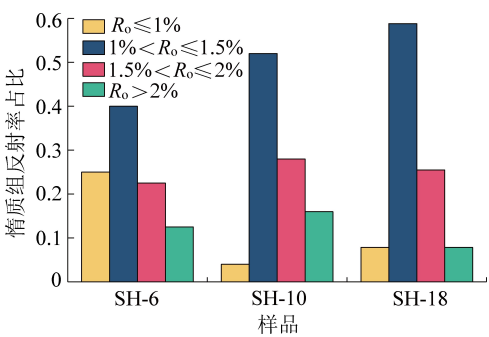


图 6 部分样品惰质组反射率占比

Fig.6 Proportion of reflectivity of inertinite in some samples

模活动增加了大气中的 CO₂ 浓度,而进行光合作用的植物大量灭绝则导致了氧含量的急剧下降。由于岩浆活动和大部分进行光合作用的植被灭绝,大气 CO₂ 含量上升的趋势一直持续。根据 SELLWOOD^[53]的大气环流模型,在早、中侏罗世全球气温比现代高 5~10 ℃,海水温度比现代高 8 ℃。大气 CO₂ 含量增加产生了强烈的温室效应,直至中侏罗世,此时大气中 CO₂ 含量达到顶峰^[54],植物种类变得丰富^[55],大量植物进行光合作用消耗 CO₂ 产生 O₂,在提升了大气氧含量的同时固定大气中的碳。BAKER^[56]的研究结果表明,在全球碳总量不变的情况下,地层中有机碳含量的增加将会导致大气氧含量的增加,而在氧含量上升的影响下,即使是湿润燃料依旧能被点燃并保持燃烧^[39]。因此在这一时期野火频发,野火对植被的破坏和产生的大量 CO₂ 气体又极大干扰了植物对 C 的固定作用,使得大气 CO₂ 含量削减变缓,去温室效应减弱。

BERNER^[37,57]的研究显示:频繁的野火会将大量的碳固定在沉积物中,导致大气中碳含量降低,继而引起氧气浓度升高。然而 PAGE^[58]和 VAN DER WERF 等^[59]的研究则证明 1997 年和 1998 年的印尼大火使得约 0.95 Gt 的碳被释放到大气中,这大约相当于当时 15% 的全球化石燃料的碳排放量^[60]。此外,野火产生的烟雾对光合作用的影响也会抑制植物对大气中二氧化碳的吸收从而延长温室效应的周期^[5-6]。

泥炭的积累对整个全新世的地球气候产生了净降温效应^[61],与全新世一样,侏罗纪也是全球重要的成煤时期。泥炭沉积区的野火会干扰碳储量,导致土壤碳流失^[62],同时减缓去温室效应的进程。但是已沉积的泥炭是否会在野火或其他因素影响下(大气氧含量、温度和加热时间)被点燃,使泥炭地成为碳排放的一大来源,从而更深层次的影响全球碳循环,还需要进一步的研究。

6 结 论

1)准噶尔盆地东部中侏罗世西山窑组煤中惰质组含量较高,惰质组含量 38.89%~87.72%,平均 53.26%,各层位惰质组均以半丝质体和碎屑惰质组为主。

2)PAHs 特征表明,该煤层 PAHs 来源为生物质燃烧源,且在 SH-6、SH-9、SH-18 层位生物质燃烧源 PAHs 含量明显增多,该异常与惰质组特征相吻合,这表明在该煤层(62 m)沉积期间至少发生过 3 次广泛的古野火事件,且这 3 次古野火类型均为中低温的地下火。

3)古野火产生的 CO₂、烟尘和对植被的破坏能够在一定程度上干扰植被对大气中碳的固定,使得大气中碳含量增加,温室效应加剧。

参考文献 (References) :

[1] MARYNOWSKI L,SIMONEIT B T. Widespread Upper Triassic to Lower Jurassic wildfire records from Poland:evidence from charcoal and pyrolytic polycyclic aromatic hydrocarbons[J]. *Palaaios*,2009, 24:785-798.

[2] ZHANG Zhihui,WANG Chengshan,LYU Dawei,*et al.* Precession-scale climate forcing of peatland wildfires during the early middle Jurassic greenhouse period[J]. *Global and Planetary Change*, 2020,184.

[3] 占长林,曹军骥,韩永明,等.古火灾历史重建的研究进展[J]. *地球科学进展*,2011,26(12):1248-1259.

ZHAN Changlin,CAO junji,HAN Yongming,*et al.* Research progress on reconstruction of paleofire history[J]. *Advances in Earth Science*,2011,26(12):1248-1259.

[4] BIRD M I,MOYO C,VEENENDAAL E M. Stability of elemental carbon in a savanna soil[J]. *Global Biogeochemical Cycles*,1999, 13(4):923-932.

[5] DAVIES S J,UNAM L. Smoke-haze from the 1997 Indonesian forest fires:effects on pollution levels,local climate,atmospheric CO₂ concentrations,and tree photosynthesis[J]. *For Ecol Manag*,1999, 124:137-144.

[6] HEIL A,LANGMANN B,ALDRIAN E. Indonesian peat and vegetation fire emissions: Study on factors influencing large-scale smoke haze pollution using a regional atmospheric chemistry model [J]. *Mitig Adapt Strateg Glob Chang*,2007,12,113-133.

[7] HARRISON S P,MARLON J R,BARTLEIN P J. Fire in the Earth system [C]//DODSON J. *Changing Climates, Earth Systems and Society*,2010:21-48.

[8] SCOTT A C. Charcoal in sediments. In: Middleton G V (ed.), *encyclopaedia of sediments and sedimentary rocks* [J]. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers,2003,121-123.

[9] SCOTT A C. Forest fire in the fossil record. In: Cerdà A, Robichaud P (eds.), *Fire Effects on Soils and Restoration Strategies* [J]. New Hampshire: Science Publishers Inc,2009,1-37.

[10] SCOTT A C,DAMBLON F. Charcoal:taphonomy and significance in geology, botany and archaeology [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*,2010,291(1/2):1-10.

[11] TIAN Ning,WANG Yongdong,MARC P,*et al.* New record of fossil wood Xenoxylon from the Late Triassic in the Sichuan Basin, southern China and its palaeoclimatic implications [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, [http:// dx. doi. org/10.1016/j. palaeo.2016-02-06](http://dx.doi.org/10.1016/j.palaeo.2016-02-06).

[12] SCOTT A C. The Pre-Quaternary history of fire[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*,2000,164(1/4):281-329.

[13] 沈文杰,张 华,孙永革,等.二叠纪—三叠纪界线大火燃烧的地层记录:研究进展回顾与评述[J]. *地球科学进展*,2012, 27(6):613-623.

SHEN Wenjie,ZHANG Hua,SUN Yongge,*et al.* Evidences for the Permian-Triassic wildfire event:review and appraisal[J]. *Advances in Earth Science*,2012,27(6):613-623.

[14] PATTERSON W A,EDWARDS K J,MAGUIRE D J. Microscopic charcoal as a fossil indicator of fire[J]. *Quaternary Science Reviews*,1987,6(1):3-23.

[15] BUTLER K. Interpreting charcoal in New Zealand's palaeoenvironment; What do those charcoal fragments really tell us? [J]. *Quaternary International*,2008,184(1):122-128.

[16] SCOTT A C,JONES T P. The nature and influence of fire in Carboniferous ecosystems [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*,1994,106:91-112.

[17] FINKELSTEIN D B,PRATT L M,CURTIN T M,*et al.* Wildfires and seasonal aridity recorded in Late Cretaceous strata from south-eastern Arizona [J]. *USA Sedimentology*,2005,52(3):587-599.

[18] BOWMAN D M J S,BALCH J K,ARTAXO P,*et al.* Fire in the earth system[J]. *Science*,2009,324:481-484.

[19] SCHMIDT M W I,NOACK A G. Black carbon in soils and sediments: Analysis, distribution, implications, and current challenges [J]. *Global Biogeochemical Cycles*,2000,14(3):777-793.

[20] SWETNAM T W. Fire history and climate change in giant sequoia groves[J]. *Science*,1993,262:885-889.

[21] VERGNOUX A,MALLERET L,ASIA L,*et al.* Impact of forest fires on PAH level and distribution in soils [J]. *Environmental Research*,2011,11(12):193-198.

[22] 张筱青,张国权,席书娜,等. 三叠系-侏罗系界线古火灾事件研究:方法、进展及展望 [J]. *古生物学报*,2016,55(3):331-345.

ZHANG Xiaqing,ZHANG Guoquan,XI Shuna,*et al.* Wildfire event at the Triassic/Turassic boundary: Approaches, progress, and perspective [J]. *Acta Palaeontologica Sinica*,2016,55(3):331-345.

[23] SCOTT A C,GLASSPOOL I J. Observations and experiments on the origin and formation of inertinite group macerals[J]. *International Journal of Coal Geology*,2007,70(1/2/3):53-66.

[24] SUN Y Z,ZHAO C L,PÜTTMANN W,*et al.* Evidence of widespread wildfires in a coal seam from the Middle Permian of the North China Basin[J]. *Lithosphere*,2017,9(4):595-608.

[25] DIESSEL C F K. The stratigraphic distribution of inertinite[J]. International Journal of Coal Geology, 2010, 81(4): 251-268.

[26] SHAO Longyi, WANG Hao, YU Xiaohui, *et al.* Paleo-fires and atmospheric oxygen levels in the latest permian: evidence from maceral compositions of coals in eastern yunnan, southern China [J]. Acta Geologica Sinica, 2012, 86(4): 949-962.

[27] YAN M, WAN M, HE X, *et al.* First report of Cisuralian (early Permian) charcoal layers within a coal bed from Baode, North China with reference to global wildfire distribution[J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2016, 459: 394-408.

[28] VENKATESAN M I, DAHL J. Organic geochemical evidence for global fires at the Cretaceous /Tertiary boundary [J]. Nature, 1989, 338(6210): 57-60.

[29] YUNKER M B, MACDONALD R W, VINGARZAN R, *et al.* PAHs in the Fraser River Basin: a critical appraisal of PAH ratios as indicators of PAH source and composition [J]. Organic Geochemistry, 2002, 33(4): 489-515.

[30] JASPER A, UHL D, Guerra-SOMMER M, *et al.* Palaeobotanical evidence of wildfires in the Late Palaeozoic of South America-EARLY Permian, Rio BONITO Formation, PARANÁ Basin, Rio Grande do Sul, Brazil[J]. Journal of South American Earth Sciences, 2008, 26(4): 435-444.

[31] SHEN Wenjie, SUN Yongge, LIN Yangting, *et al.* Evidence for wildfire in the Meishan section and implications for Permian-Triassic events[J]. Geochimica Cosmochimica Acta, 2011, 75(7): 1992-2006.

[32] KAUFFMANN M, JASPER André, UHL D, *et al.* Evidence for palaeo-wildfire in the Late Permian palaeotropics-Charcoal from the Motuca Formation in the PARNAÍBA Basin, Brazil [J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2016, 450: 122-128.

[33] MARYNOWSKI L, SCOTT A C, ZATON M, *et al.* First multi-proxy record of Jurassic wildfires from Gondwana: Evidence from the Middle Jurassic of the NEUQUÉN Basin, Argentina [J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2011, 299: 129-136.

[34] GLASSPOOL I J, SCOTT A C. Phanerozoic concentrations of atmospheric oxygen reconstructed from sedimentary charcoal[J]. Nature Geoscience, 2010, 3: 627-630.

[35] 王 佟, 田 野, 邵龙义, 等. 新疆准噶尔盆地早-中侏罗世层序-古地理及聚煤特征[J]. 煤炭学报, 2013, 38(1): 114-121. WANG Tong, TIAN Ye, SHAO Longyi, *et al.* Sequence-paleogeography and coal accumulation of the early and middle Jurassic in the Junggar Basin[J]. Journal of China Coal Society, 2013, 38(1): 114-121.

[36] 王 佟, 夏玉成, 韦 博, 等. 新疆侏罗纪煤田构造样式及其控煤效应[J]. 煤炭学报, 2017, 42(2): 436-443. WANG Tong, XIA Yucheng, WEI Bo, *et al.* Structural styles and their control effect on Jurassic coalfield in Xinjiang[J]. Journal of China Coal Society, 2017, 42(2): 436-443.

[37] BERNER R A, GEOCARBSULF: a combined model for Phanerozoic atmospheric[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2006, 70, 5653-5664.

[38] 张 瑞, 戴 霜, 张明震, 等. 内蒙古乌拉特后旗乌兰剖面记录的早白垩世火灾事件[J]. 地质学报, 2014, 88(6): 1177-1186. ZHANG Rui, DAI Shuang, ZHANG Mingzhen, *et al.* Early Cretaceous paleo-wildfire events recorded on the Wulan Section in the Urat Back Banner of Inner Mongolia, China[J]. Acta Geologica Sinica, 2014, 88(6): 1177-1186.

[39] GLASSPOOL I J, SCOTT A C, WALTHAM D, *et al.* The impact of fire on the Late Paleozoic Earth system[J]. Frontiers in Plant Science, 2015, 6: 756.

[40] WANG Shuai, SHAO Longyi, YAN Zhiming, *et al.* Characteristics of Early Cretaceous wildfires in peat-forming environment, NE China[J]. Journal of Palaeogeography - English, 2019, 8(3): 238-250.

[41] 李 鑫. 新疆准东煤田中部矿区中侏罗统西山窑组层序地层分析及聚煤规律研究[D]. 武汉: 中国地质大学(武汉), 2010. LI Xin. Sequence stratigraphic analysis and coal accumulation of Middle Jurassic Xishanyao Formation in the middle of Eastern Junggar Coal Field [D]. Wuhan: China University of Geosciences (Wuhan), 2010.

[42] 王道玮, 赵世民, 金 伟, 等. 加速溶剂萃取-固相萃取净化-气相色谱/质谱法测定沉积物中多氯联苯和多环芳烃[J]. 分析化学, 2013, 41(6): 861-868. WANG Daowei, ZHAO Shimin, JIN Wei, *et al.* Simultaneous Determination of 28 Polychlorinated Biphenyls and 16 Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Sediments Using ASE-SPE-GC-QQQ-MS/MS [J]. Chinese Journal of Analytical Chemistry, 2013, 41(6): 861-868.

[43] ROBSON B E, COLLINSON M E, RIEGEL W, *et al.* Early Paleogene wildfires in peat-forming environments at Schöningen, Germany [J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2015, 437: 53-62.

[44] 许 云, 张 宁, 赵存良, 等. 鄂尔多斯盆地侏罗纪煤中古野火事件及其对古气候的影响[J]. 中国地质, 2022, 49(2): 643-654. XU Yun, ZHANG Ning, ZHAO Cunliang, *et al.* Wildfires in Jurassic coal seams from Ordos Basin and its impact on palaeoclimate[J]. Geology in China, 2022, 49(2): 643-654.

[45] 蔡垚峰. 新疆和华南二叠纪-三叠纪之交的野火事件[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2019. CAI Yaofeng. Wildfire during the Permian-Triassic transition in Xinjiang and South China [D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2019.

[46] 李 鑫, 庄新国, 周继兵, 等. 准东煤田中部矿区西山窑组巨厚煤层煤相分析[J]. 地质科技情报, 2010, 29(5): 84-88. LI Xin, ZHUANG Xinguo, ZHOU Jibing, *et al.* Coal facies analysis of thick coal seam of Middle Jurassic Xishanyao Formation in the middle part of eastern Junggar COAL Field, Xinjiang[J]. Geological Science and Technology Information, 2010, 29(5): 84-88.

[47] 赵红梅, 王 健, 于晓菲, 等. 三江平原沼泽土中多环芳烃分布及火烧的影响[J]. 湿地科学, 2010, 8(1): 43-47.

ZHAO Hongmei, WANG Jian, YU Xiaofei, *et al.* Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in marsh soils from the Sanjiang Plain and fire effect on it [J]. *Wetland Science*, 2010, 8(1): 43–47.

[48] WANG Ruwei, LIU Guijian. Variations of concentration and composition of polycyclic aromatic hydrocarbons in coals in response to dike intrusion in the Huainan coalfield in eastern China [J]. *Organic Geochemistry*, 2015, 83/84: 202–214.

[49] SCOTT A C. Observations on the nature and origin of fusain [J]. *International Journal of Coal Geology*, 1989, 12: 443–475.

[50] JONES T P. Fusain in late Jurassic sediments from the Witch Ground Graben, North Sea UK [J]. *Oceanogr Lit Rev*, 1998, 45(9): 1554.

[51] GUO Y, BUSTIN R M. Fire spectroscopy and reflectance of modern charcoals and fungal decayed woods: implications for studies of inertinite in coals [J]. *International Journal of Coal Geology*, 1998, 37(1/2): 29–53.

[52] PETERSEN H I, LINDSTRÖM S. Synchronous. Wildfire activity rise and mire deforestation at the Triassic–Jurassic Boundary [J]. *PLoS ONE*, 2012, 7(10): e47236.

[53] SELLWOOD B W, VALDES P J. Jurassic climates [J]. *Proceedings of the Ueologists Association*, 2008, 119(1): 1–17.

[54] 钟筱春, 赵传本, 杨时中. 中国北方侏罗纪(二)古环境与油气 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2003: 53–65.

ZHONG Xiaochun, ZHAO Chuanben, YANG Shizhong. Jurassic system in the north of China Volum II Paleoenvironment and oil and gas [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003: 53–65.

[55] 邓胜徽, 卢远征, 赵 怡, 等. 中国侏罗纪古气候分区与演变 [J]. *地学前缘*, 2017, 24(1): 106–142.

DENG Shenghui, LU Yuanzheng, ZHAO Yi, *et al.* The Jurassic palaeoclimate regionalization and evolution of China [J]. *Earth Science Frontiers*, 2017, 24(1): 106–142.

[56] BAKER E W, LOUDA J W. Porphyrins in the geological record [J]. *Mol. Gen. Genet. MGG*, 1986, 24, 125–225.

[57] BERNER R A. Phanerozoic atmospheric oxygen: new results using the GEOCARBSULF model [J]. *American Journal of Science*, 2009, 309: 603–606.

[58] PAGE S E, SIEGERT F, RIELEY J O, *et al.* The amount of carbon released from peat and forest fires in Indonesia during, 1997 [J]. *Nature*, 2002, 420: 61.

[59] Van der Werf, RANDERSON G R, GIGLIO J T, *et al.* Global fire emissions and the contribution of deforestation, savanna, forest, agricultural, and peat fires (1997–2009) [J]. *Atmospheric Chemistry Physics*, 2010, 10: 11707–11735.

[60] TURETSKY M R, BENSCOTER B, PAGE S, *et al.* Global vulnerability of peatlands to fire and carbon loss [J]. *Nat Geosci*, 2015, 8: 11–14.

[61] FROLKING S, ROULET N T. Holocene radiative forcing impact of northern peatland carbon accumulation and methane emissions [J]. *Glob Chang Biol*, 2007, 13: 1079–1088.

[62] FROLKING S, TALBOT J, JONES M C, *et al.* Peatlands in the Earth's 21st century climate system [J]. *Environmental Reviews*, 2011, 19: 371–396.