

鄂尔多斯盆地延长组长7油层组碳酸质喷积岩初探

郑庆华,刘行军,柳益群,周鼎武,杨开艳,王贵文,张洋洋,陈朕,刘亮

引用本文:

郑庆华, 刘行军, 柳益群, 等. 鄂尔多斯盆地延长组长7油层组碳酸质喷积岩初探[J]. 沉积学报, 2021, 39(5): 1222–1238. ZHENG QingHua, LIU XingJun, LIU YiQun, et al. A Preliminary Study of Carbonatite Magmatic-hydrothermal Exhalative Sedimentary Rock of the Chang 7 Member, Yanchang Formation, Ordos Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2021, 39(5): 1222–1238.

相似文章推荐(请使用火狐或IE浏览器查看文章)

Similar articles recommended (Please use Firefox or IE to view the article)

三塘湖盆地二叠系芦草沟组喷爆岩岩石学、矿物学特征及相关问题探讨

Petrology and Mineralogy Features of Magmatic-Hydrothermal Explosion Rocks in the Permian Lucaogou Formation of Santanghu Basin and Relative Discussions

沉积学报. 2019, 37(3): 455-465 https://doi.org/10.14027/j.issn.1000-0550.2018.145

凝灰岩型含油层系特征与成因分析——以准噶尔盆地火烧山油田二叠系平地泉组为例

Characteristics and Origin of Tuffaceous Tight Oil:Based on a reference of tight oil in Permain Pingdiquan Formation in Huoshaoshan oil field, Jung-gar Basin

沉积学报. 2018, 36(4): 768-776 https://doi.org/10.14027/j.issn.1000-0550.2018.056

鄂尔多斯盆地南部延长组长7段凝灰岩形成时代、物质来源及其意义

Geochronology, Potential Source and Regional Implications of Tuff Intervals in Chang-7 Member of Yanchang Formation, South of Ordos Basin

沉积学报. 2017, 35(4): 691-704 https://doi.org/10.14027/j.cnki.cjxb.2017.04.004

鄂尔多斯盆地陇东地区长9油层组油源分析

Oil-source Analysis for Chang-9 Subsection (Upper Triassic) of Eastern Gansu Province in Ordos Basin 沉积学报. 2015, 33(5): 1023-1032 https://doi.org/10.14027/j.cnki.cjxb.2015.05.018

鄂尔多斯晚三叠世湖盆异重流沉积新发现

Discovery of Hyperpycnal Flow Deposits in the Late Triassic Lacustrine Ordos Basin 沉积学报. 2015, 33(1): 10-20 https://doi.org/10.14027/j.cnki.cjxb.2015.01.002

文章编号:1000-0550(2021)05-1222-17

DOI: 10.14027/j.issn.1000-0550.2020.075

鄂尔多斯盆地延长组长7油层组碳酸质喷积岩初探

郑庆华1,刘行军2,柳益群3,周鼎武4,杨开艳5,王贵文5,张洋洋5,陈朕5,刘亮5

1.榆林学院化学与化工学院,陕西榆林 719000

2.中国石油测井有限公司长庆事业部,西安 710201

3. 西北大学地质学系, 西安 710069

4.山东科技大学地球科学与工程学院,山东青岛 266590

5.中国石油新疆油田分公司风城油田作业区,新疆克拉玛依 834000

摘 要鄂尔多斯盆地延长组长7油层组黑色岩系中首次发现主要呈纹层状、脉状等顺层分布于油页岩或凝灰岩中的碳酸质岩 浆一热液喷流型沉积岩(简称喷积岩),具有重要的研究价值。通过野外露头和钻井取心观察,薄片鉴定,扫描电镜、电子探针、 全岩元素分析等测试方法,对上述碳酸质喷积岩的岩石学、矿物学、地球化学以及与生烃母质关系特征进行了初探。结果显示, 按物质来源、形成方式和结构构造可将长7油层组碳酸质喷积岩划分为碳酸质喷爆岩、碳酸质喷溢岩、碳酸质喷流岩三大类型, 三者主量元素、微量元素、稀土元素等地球化学特征具有岩浆碳酸岩和热水沉积岩的双重特征,且与生烃母质的发育具有正相 关性。因此,碳酸质喷积岩在鄂尔多斯盆地延长组长7油层组黑色岩系沉积期发育,且对长7油层组生烃研究具有重要的理论 和实际意义。

关键词 碳酸质喷积岩;生烃;黑色岩系;长7油层组;延长组;鄂尔多斯盆地

第一作者简介 郑庆华,男,1980年出生,博士,讲师,油气储层地质学、致密油、页岩油,E-mail: 272594012@qq.com 中图分类号 P534.51 P618.13 文献标志码 A

0 引言

黑色岩系的概念于1973年首次被提出^[1],专指广 泛分布于我国南方下寒武统牛蹄塘组的海相黑色页 岩、黑色硅质岩等。目前,关于黑色岩系的定义尚不 统一,主要指"以黑色泥岩、页岩等细粒沉积岩为主 的一套岩性组合"^[2],常为烃源岩。1996年,熊寿生 等^[3]就已提出我国各裂谷盆地黑色岩系中均发育玄 武质熔岩及其凝灰碎屑岩和膏盐岩夹层的认识。现 有研究表明,黑色岩系中发育的"黑色页岩、油页岩、 碳硅泥岩"等岩性与深大断裂、深源岩浆有关的海/湖 相热水沉积岩密切相关,常形成热液型铀矿床^[4]。可 见,黑色岩系发育过程中常伴有深源岩浆一热液活 动。2013年,柳益群等^[5]通过野外露头和钻井取心观 察,薄片鉴定、电子探针、全岩元素分析等分析测试 方法,首次在新疆三塘湖盆地二叠系芦草沟组黑色 岩系中提出了喷积岩的新认识,喷积岩即深源岩浆 一热液物质流体以喷爆、喷溢、喷流方式参与海/湖相 沉积作用过程形成的新类型沉积岩,其在岩石、矿物 和地球化学上具有岩浆一热液沉积特征,按物质来 源、形成方式和结构构造可划分为喷爆岩、喷溢岩、 喷流岩等成因岩石组合系列。

鄂尔多斯盆地延长组烃源岩主要位于长7油层 组^[6],该油层组油页岩等黑色岩系岩性最为发育^[7],具 有良好的喷积岩发育条件,如其沉积期鄂尔多斯盆 地内部存在基底深大断裂活化^[8]和壳一幔岩浆活 动^[9],盆地周缘火山活动强烈^[10],同时其黑色岩系中 也发现了热水沉积岩(喷流岩)^[11-12]和热液铀矿^[13]。 以鄂尔多斯盆地延长组长7油层组长7₃小层黑色岩 系发育的淌泥河剖面和霸王庄剖面为例,其地质上 位于该盆地多组北西走向与北东走向基底深大断裂 的交汇处^[10],附近走滑断层、正断层发育^[14],可见邻近

收稿日期:2020-04-30;收修改稿日期:2020-08-26

基金项目:榆林学院博士科研启动基金(18GK28);教育部科技发展中心高等学校博导基金项目(20106101110020);大陆动力学国家重点实验室(西 北大学)重点基金项目(BJ08133-3)[Foundation:Doctoral Scientific Research Staring Foundation for Yulin University of China, No. 18GK28; University Research Fund of Science and Technology Development Center of Ministry of Education of China, No. 20106101110020; Key Fund Project of Continental Dynamics National Key Laboratory of Northwest University of China, No. BJ08133-3]

香1井中的霞石正长斑岩和粗面岩共生于长7,小层 油页岩内¹¹⁵¹,同时长7,小层凝灰岩也较为发育,可能 为盆地南部的火山喷发沉积¹¹⁰¹,为本次研究的重点。 2017年,董杰等¹¹⁴¹在霸王庄剖面长7,小层油页岩中 发现了灰岩、白云岩等碳酸质结核,并对其岩石学、 矿物学、碳氧同位素特征进行了初步研究,认为结核 的形成与产烷带微生物代谢活动有关,其中富含的 方解石和白云石圆球粒可能是蓝细菌细胞方解石化 或白云石化的结果,即该碳酸质结核为"生物作用和 成岩作用形成的次生碳酸盐岩结核"。然而,本文发 现上述碳酸质结核可能属于碳酸质喷积岩,其在岩 石、矿物和地球化学上具有岩浆一热液沉积特征,可 按物质来源、形成方式和结构构造划分为碳酸质喷 爆岩、碳酸质喷溢岩、碳酸质喷流岩等成因岩石组合 系列¹¹⁵¹。

为此,本次研究以延长组长7油层组野外露头剖 面为主(淌泥河剖面和霸王庄剖面)、取心井为辅 (H269井、Y56井、G135井、C96井、ZH22井、Z62井、 香1井),取样19块,磨制电子探针薄片21个、普通薄 片10个,扫描电镜制样10个,通过岩石薄片鉴定(31 个),扫描电镜分析(10个),电子探针分析(8个)以及 全岩主量元素、微量元素、稀土元素分析(8件)等分 析测试方法对碳酸质结核等岩性的岩石学、矿物学及 地球化学特征进行初步分析,并尝试以2013年柳益 群等¹⁵提出的喷积岩概念体系为指导,探索性地建立 起碳酸质喷积岩岩石组合系列,以期为鄂尔多斯盆地 延长组长7油层组黑色岩系生烃研究提供理论参考。

1 地质概况

鄂尔多斯盆地横跨陕西、甘肃、宁夏、内蒙古、山 西五省,是在华北克拉通地块基础上发育起来的中 新生界含油气沉积盆地,其上三叠统延长组沉积记 录了鄂尔多斯大型内陆湖盆从发生、发展到消亡的 完整演化历史,自上而下划分为长1~长10十个油层 组,其中长7油层组(自上而下又可划分为长7,、长7, 和长7,三个小层)发育于该湖盆的鼎盛时期,半深湖 一深湖区面积最大,油页岩等黑色岩系岩性最发 育^[6-7],特别是长7,小层。该盆地石油主要分布于北 起盐池、南至铜川、西抵崇信、东达安塞范围的延长 组和延安组(本次研究区)(图1a),受长7油层组黑色 岩系中油页岩等烃源岩发育区的控制(图1b)。可根 据基底性质、现今构造形态及特征将鄂尔多斯盆地 划分为六个一级构造单元,即伊盟隆起、西缘逆冲 带、渭北隆起、晋西挠褶带、天环坳陷和伊陕斜坡^[6], 其中本次研究的H269井、Y56井、G135井、C96井、 ZH22井、Z62井、香1井和淌泥河剖面、霸王庄剖面横 跨天环坳陷、伊陕斜坡和渭北隆起三个一级构造单 元(图1a)。

2 碳酸质喷积岩的岩矿特征

喷积岩是地球深部岩浆一热液流体脉动式喷流 沉积的累积物,富含幔源热液矿物和岩浆微屑,发育 微角砾、碎裂结构和同沉积变形构造等^[5]。按物质来 源、形成方式和结构构造特征,可将鄂尔多斯盆地长7 油层组碳酸质喷积岩划分为三大类型:碳酸质喷爆 岩,以岩浆喷发爆破形成的岩浆碎屑为特征;碳酸质 喷溢岩,以发育岩浆溢流特征的矿物及结构构造为特 征;碳酸质喷流岩,以"白烟囱型"矿物组合为特征^[15]。

2.1 碳酸质喷爆岩

喷爆岩指深源岩浆、热液物质流上涌进入湖 (洋)底喷流通道,岩浆矿物爆炸和破碎形成的微粒 晶质矿物碎屑被含热液流体的湖水(海水)所胶结而 形成的纹层状微角砾沉积岩,常与喷溢岩或热水沉 积岩伴生,具有正粒序,成分相对单一,碎屑常呈棱 角状、爆裂状^[5]。

鄂尔多斯盆地长7₃小层碳酸质喷爆岩主要呈纹 层状顺层分布于油页岩或凝灰岩中,具有叠锥状隐 晶质结构和半自形粒状结构特征,前者可能为一种 特殊的碳酸质喷爆岩^[15]。

在薄片上(样品JB4A),叠锥状隐晶质碳酸质喷 爆岩与碳酸质喷溢岩共生,呈纹层状顺层分布,大量 沥青质等有机质发育其间(图2a~g)。下部叠锥状隐 晶质碳酸质喷爆岩呈正粒序,碳酸质碎屑呈棱角状、 爆裂状(图2a~c);中部喷溢为主的叠锥状隐晶质碳 酸岩正粒序不明显,具有熔岩流动特征(图2a,d,e); 上部叠锥状隐晶质碳酸质喷爆岩呈正粒序,碳酸质 碎屑呈撕裂状、爆裂状(图2a,f,g)^[15]。

半自形粒状结构碳酸质喷爆岩常与黑色沥青质 等有机质共生,可见由方解石矿物组成的碳酸质喷 爆岩呈纹层状顺层分布,方解石颗粒发育半自形— 自形结构,呈棱角状、爆裂状(图2h~j),与新疆三塘 湖盆地二叠系芦草沟组黑色岩系中发育的碳酸质喷 爆岩—致^[5]。



(a)鄂尔多斯盆地构造单元及研究区位置图(据文献[6]修改);(b)研究区内长7油层组油页岩厚度分布图(据文献[7]修改)
 Fig.1 Simplified geological map of the Ordos Basin

2.2 碳酸质喷溢岩

喷溢岩是指岩浆在低压下沿喷流通道宁静式溢 流进入湖(洋)底冷凝、结晶或气化后形成粉尘状颗 粒(多具同沉积软变形构造)并与湖水混合沉积而成 的岩石^[5]。

鄂尔多斯盆地延长组长7,小层野外露头剖面见 顺层状分布于油页岩或凝灰岩中的椭球状碳酸岩透 镜体(图3a,b),可能为同沉积期形成。碳酸岩透镜体 呈灰褐色、褐灰色或褐黑色,为富含沥青质等有机质 所致,底部为层状构造,向上变为块状构造(图3c)。 薄片上,从底到上反映了碳酸岩熔岩的喷溢、结晶过 程(图3d):底部发育的灰褐色纹层状、流动状的隐晶 质喷溢碳酸岩(图3d,e)与沥青质等有机质相间共生, 向上喷溢碳酸岩厚度增加,流动特征越发不明显,结 晶程度变高,沥青质等有机质减少(图3d,f);中下部 发育的浅灰褐色喷溢碳酸岩可见类似于"海相玄武岩 熔岩流形成的枕状构造",含较少沥青质等有机质(图 3d,g,h);上部灰褐色碳酸岩为它形镶嵌状结构,含少 量沥青质等有机质(图3d,i,j)^[15]。图3d中的下、中、 上红框内岩性分别对应样品 JB-7-1、JB-7-2和 JB-7-3 (含 JB-7-3-1、JB-7-3-2)。

上述碳酸岩 CaO 和 SiO₂的质量分数分别为 94.01%、3.89%,方解石体积百分含量大于90%,粒径 主要介于 100~400 μm,为典型的中粒相钙质碳 酸岩^[16]。

图 3c 中的上部红框与图 3d 中的上部红框内的 岩性相似,为灰褐色喷溢碳酸岩(样品 BK-1),但热水 蚀变特征明显,总体反映碳酸岩溢流出湖底后与热 水沉积伴生。样品 BK-1为他形镶嵌结构的方解石 碳酸岩(图4a~c),其内由岩浆淬火迅速冷却而结晶、 顺解理破裂的方解石发育,方解石周围呈放射状(图 4d~f),可能为热水蚀变所致。热水蚀变强烈时,方解 石总体可具有球状特征(图4g~i)。方解石及其周围 呈放射状部分的电子探针分析表明,矿物主要为方 解石,其次为碱性长石(钾长石)、含镁方解石、磷灰 石等碳酸岩中常见的矿物组合,可见重晶石、石英、 伊利石等热水沉积矿物组合(图4j~1)^[15]。重晶石直 径介于几个微米到几十个微米,多呈不规则状,常呈





图 2 陕西省铜川市金锁关镇延长组长7,小层碳酸质喷爆岩 (a)霸王庄黑色油页岩中碳酸质喷溢岩和喷爆岩,JB4A;(b)为(a)的下部红框内的单偏光特征,可见碳酸质碎屑呈棱角状、破裂状(-);(c)为(b)的正交偏光下 插入石膏试板特征(+、石膏试板);(d)为(a)的中部红框内的喷溢碳酸岩的单偏光特征(-);(e)为(d)的正交偏光下插入石膏试板特征(+、石膏试板);(f)为(a) 的上部红框内的单偏光特征,可见碳酸质碎屑呈撕裂状、破裂状(-);(g)为(f)的正交偏光下插入石膏试板特征(+、石膏试板);(h)单偏光下,淌泥河尘凝灰岩 中由方解石组成的碳酸质喷爆岩纹层特征(-);(i)为(h)的正交偏光下插入石膏试板特征(+、石膏试板);(j)为(h)中放大的方解石颗粒呈棱角状、破裂状(-) Fig.2 Carbonatite explosive rock in Chang 7₃ submember of Yanchang Formation in Jinsuoguan town,

Tongchuan city, Shaanxi province

单体或集合体状分布于方解石间、含镁方解石微碎 屑内的溶孔间,或包绕含镁方解石微碎屑形成环边 (图4k,1)。同时,碳酸岩中可见一定量的石英(图 4k),而石英一般不与正常沉积的碳酸盐矿物共生^[17], 在热水沉积中发育^[18]。

2.3 "白烟囱型"喷流岩

喷流岩是指以热液喷流为特征的"白烟囱型"和 "黑烟囱型"热水沉积岩^[5],其中"白烟囱型"喷流岩主 要表现为铁白云岩纹层、铁白云岩脉两种类型^[15],主 要呈顺层状分布,常见其早成岩A期及之前的充填、 交代产物,反映沉积物尚未完全固结的同沉积 特征^[19]。

2.3.1 铁白云岩纹层

"白烟囱型"铁白云岩纹层为同沉积期产物,主 要在油页岩中呈水平状或低角度斜层状顺层分布 (图5a~c),大量发育可形成"铁白云岩脉"(图5d,对 应样品ZH22-1624)。铁白云岩纹层为铁白云石微晶 集合体构成,具有脉动性纹层结构(图5c,e,f)。

2.3.2 铁白云岩脉

铁白云岩脉一般呈近水平状顺层分布,为同沉 积期产物(对应样品 H269-2533)(图 6a)。在热水喷 口附近,铁白云岩脉底部常与高角度铁白云岩细脉 相连(图 6b,c),具有共生关系。铁白云岩脉中部常 发育叠椎状结构(图 6a,d,e),而边部常发育近垂直



图 3 陕西省铜川市金锁关镇霸王庄延长组长7,小层碳酸质喷溢岩

(a)碳酸岩透镜体顺层分布于细砂级晶屑凝灰岩中;(b)碳酸岩透镜体呈椭球状;(c)碳酸岩透镜体底部的层状构造;(d)为(c)下部红框内的普通薄片特征; (e)为(d)下部红框内底部的单偏光特征(-);(f)为(d)下部红框内顶部的单偏光特征(-);(g)为(d)中部红框内的单偏光特征(-);(h)为(g)的正交偏光下插入 石膏试板特征(+、石膏试板);(i)为(d)上部红框内的单偏光特征(-);(j)为(i)的正交偏光下插入石膏试板特征(+、石膏试板)

Fig.3 Carbonatite effusive rock in Chang 7₃ submember of Yanchang Formation in Bawangzhuang village, Jinsuoguan town, Tongchuan city, Shaanxi province

的板条状结构(图 6a,d,f),可能为热液快速冷凝成 因。叠椎状结构的铁白云岩脉(图 6a,d,e)富含 Sb、 Mn等元素(图 6g,h),反映热水沉积特征。与铁白云 岩脉底部相连的高角度铁白云岩细脉常与黄铁矿细 脉共生(图 6c,i),后者发育于前者内(图 6i~k),表明 二者均为同沉积期产物,但黄铁矿脉形成稍晚于铁 白云岩脉。同时,铁白云岩脉,特别是发生同沉积变 形而破碎的铁白云岩脉内发育黄铁矿且交代铁白云 石(图 6c,i,l~r)。

3 碳酸质喷积岩的地球化学特征

喷积岩的岩浆--热液活动萃取了海/湖相沉积物

中的化学元素,导致其具有较复杂的地球化学特征^[5]。

3.1 微量元素地球化学特征

鄂尔多斯盆地延长组长7₃小层碳酸质喷爆岩 (JB4A)、喷溢岩(JB-7-1、JB-7-2、JB-7-3-1、JB-7-3-2、 BK-1)在微量元素特征上与世界铁质、镁质、钙质碳 酸岩相似,具有较高的不相容元素(Sr、Ba、Rb、U、Th、 Nb、Sc、Ta、La、Ce等)和LREE元素、低的HREE元素 和高LREE/HREE值的特征(表1,2、图7,8)^[15],而 正常沉积的碳酸盐岩多不具备上述地球化学特征^[23]。 同时,碳酸质喷溢岩透镜体样品从底至顶(JB-7-1、 JB-7-2、JB-7-3-1、JB-7-3-2、BK-1)热液改造作用增强, 表现为不相容元素(除Sr)呈现明显的降低趋势 (表1,2、图7,8),特别是顶部样品BK-1更加富集热



图4 陕西省铜川市金锁关镇霸王庄延长组长7,小层碳酸质喷溢岩

(a)图3c中上部红框内的他形镶嵌结构碳酸岩的单偏光特征,BK-1(-);(b)为(a)的正交偏光下特征(+);(c)为(a)的正交偏光下插入石膏试板特征(+、石膏试 板);(d)为(a)中方解石颗粒周缘被蚀变为放射状的单偏光特征(-);(e)为(d)的正交偏光下特征(+);(f)为(d)的正交偏光下插入石膏试板特征(+、石膏试 板);(g)为(a)中方解石颗粒周缘被蚀变为球形的单偏光特征(-);(h)为(g)的正交偏光下特征(+);(i)为(g)的正交偏光下插入石膏试板特征(+、石膏试板); (j)为(a)的电子探针背散射下方解石呈球形放射状;(k)为(a)的电子探针背散射下方解石周围呈放射状,其间发育重晶石、磷灰石、含镁方解石、钾长石和伊 利石等;(1)为(a)的电子探针背散射下大量方解石周围呈放射状,颗粒间发育重晶石、含镁方解石

Fig.4 Carbonatite effusive rock between Chang 7₃ submember of Yanchang Formation in Bawangzhuang village, Jinsuoguan town, Tongchuan city, Shaanxi province

水沉积中常见的Sr、Ba元素。

在微量元素沉积石灰岩标准化配分图上,"白烟 囱型"喷流岩铁白云岩纹层样品ZH22-1624与碳酸 质喷溢岩样品JB-7-1、JB-7-2相似,而铁白云岩脉样 品H269-2533与碳酸质喷爆岩(JB4A)、喷溢岩(JB-7-1、JB-7-2、JB-7-3-1、JB-7-3-2、BK-1)样品相似,特别是 样品BK-1(表1、图7)。因此,此类"白烟囱型"喷流 岩与碳酸岩及其相关的热水沉积具有相关性。

3.2 稀土元素地球化学特征

从碳酸质喷爆岩(JB4A)到碳酸质喷溢岩(从底 到顶,如JB-7-1、JB-7-2、JB-7-3-1、JB-7-3-2、BK-1),特 别是碳酸质喷溢岩从底到顶受热水改造作用越发明 显,表现为ΣREE、HREE、Eu负异常程度降低(表2、 图8),如碳酸质喷溢岩顶部(样品BK-1)具有典型的 热水沉积地球化学特征,表现为轻/重稀土元素分异、 Eu正异常。

在稀土元素球粒陨石标准化配分图上,"白烟囱型"喷流岩样品ZH22-1624与碳酸质喷溢岩样品JB-7-3-1、JB-7-3-2相似,而样品H269-2533与碳酸质喷 爆岩(JB4A)、喷溢岩(JB-7-1、JB-7-2、JB-7-3-1、JB-7-3-2)相似(图8),这也反映此类"白烟囱型"喷流岩与 碳酸岩及其相关的热水沉积具有相关性。

同时,在稀土元素球粒陨石标准化配分图上,世 界铁质、镁质碳酸岩与研究区碳酸质喷爆岩(JB4A)、



图 5 鄂尔多斯盆地延长组长7₃小层"白烟囱型"微晶铁白云岩纹层(碳酸质喷流岩) (a)B36井,2002.15m,近水平状顺层分布的铁白云岩纹层;(b)B522井,1943.44m,近水平状和斜层状分布的铁白云岩纹层;(c)陕西省铜川市金锁关镇霸王 庄近水平状铁白云岩纹层;(d)ZH22井,1624.65m,大量铁白云岩纹层形成似水平状铁白云岩脉,Z22-1624;(e)为(c)中铁白云岩纹层发育反映同沉积特征的 构造(+、石膏);(f)为(c)中铁白云岩微晶组成的脉动性纹层结构(+、石膏)

Fig.5 Laminated "white smoke type" microcrystalline iron dolomite in carbonatite exhalative hydrothermal rock in Chang 7₃ submember of the Yanchang Formation, Ordos Basin

喷溢岩(JB-7-1、JB-7-2、JB-7-3-1、JB-7-3-2、BK-1)相 似,反映幔源岩浆成因特征(图8)。最近,有研究者 发现位于鄂尔多斯盆地内部铜川市金锁关镇霸王庄 西部的庆深1井蓟县系白云岩中发育的镁质碳酸岩 岩脉锆石年龄为240 Ma^[21],与长7₃小层底部凝灰岩 形成年龄相当^[24]。庆深1井蓟县系白云岩中的镁质 碳酸岩侵入岩脉(样品QS1、QS2)与世界钙质碳酸岩 较为相似,而紧临侵入镁质碳酸岩脉的白云岩围岩 (样品QS3、QS4)可能受到热水作用的改造,与碳酸 质喷爆岩(JB4A)、喷溢岩(JB-7-1、JB-7-2、JB-7-3-1、 JB-7-3-2)相似(表2、图8),表明碳酸质喷爆岩 (JB4A)、喷溢岩(JB-7-1、JB-7-2、JB-7-3-2) 的成因可能与蓟县系约240 Ma发育的镁质碳酸岩及 其白云岩围岩有相关性^[15]。

3.3 特征元素成因判识

LgU-LgTh关系图解中(图9),靠近东太平洋中脊 热水沉积范围样品为JB4A、JB-7-1,位于东太平洋中 脊热水沉积范围内样品为JB-7-2,石化的热水沉积范 围内样品为JB-7-3-1、JB-7-3-2、BK-1;不同沉积物Zr-Cr关系图解中(图10),样品JB-7-1、JB-7-2、JB-7-3-1、 JB-7-3-2、BK-1、ZH22-1624整体呈现出向热液含金属 沉积物趋势线集中的趋势;不同沉积物Zn-Ni-Co关 系图解中(图11),"白烟囱型"喷流岩样品H269-2533 与JB-7-1、JB-7-2靠近或位于海底热水沉积范围 内¹¹⁵¹。上述特征,总体显示出从碳酸质喷爆岩 (JB4A)到碳酸质喷溢岩(JB-7-1、JB-7-2、JB-7-3-1、JB-7-3-2)受热液改造作用增强的特征。

3.4 同位素地球化学特征

前人研究表明,鄂尔多斯盆地延长组长7₃小层 "白烟囱型"喷流岩样品(微晶铁白云岩纹层)全岩微 量元素富集 Mn(1 338 μg/g)、Cu(366 μg/g)等元素, 且.Sr、U、V、Mo等元素正异常,显示热水沉积特征^[12]。 同时,上述微晶铁白云岩纹层内的单矿物原位 δ¹³C_{V-PDB}值、δ¹⁸O_{V-PDB}值分别为 3.03%e、-16.41%e, 2.88%e、-16.70%e^[12],根据δ¹⁸O_{V-SMOW}=1.030 91δ¹⁸O_{V-PDB}+ 30.01^[28],δ¹⁸O_{V-SMOW}值分别为 13.10%e、12.79%e,位于南 非火成岩碳酸岩范围内,显示火成碳酸岩特征(图 12);或临近碳酸岩分布区,位于 2.0 Ga石灰石范围 内,显示石灰石和碳酸岩过渡特征(图13)。



图6 鄂尔多斯盆地延长组长7,小层"白烟囱型"铁白云岩脉(碳酸质喷流岩)

(a)H269井,2533.10m,水平状分布的铁白云岩脉;(b)Y56井,3065.00m,铁白云岩脉及其底部的铁白云岩细脉;(c)ZH22井,1624.40m,铁白云岩 脉及其底部的铁白云岩和黄铁矿细脉;(d)为(a)中红框中的铁白云岩脉薄片;(e)为(d)中上部红框中水平状分布且具叠椎状结构的铁白云岩的正 交偏光下插入石膏试板特征(+、石膏);(f)为(d)中下部红框中铁白云岩脉的正交偏光下插入石膏试板特征(+、石膏);(g)为(e)中叠椎状结构的铁白 云岩脉的扫描电镜特征;(h)为(g)中具叠椎状结构的白云岩的扫描电镜能谱分析特征;(i)G135井,1837.40m,铁白云岩脉形成水平状分布、叠椎状 结构的铁白云岩脉,内发育热液黄铁矿脉,两者为共生关系(右侧为顶);(j)为(i)中左侧红框中正交偏光下插入石膏试板特征(+、石膏);(k)为(j)的 单偏光下反射光特征,反映隐晶质热液铁白云岩脉内部发育热液黄铁矿脉,后者形成稍晚于前者,两者为共生关系(-、反);(l)为(i)中右侧红框中正 交偏光下插入石膏试板特征,见水平状、叠椎状结构的铁白云岩脉及其脉附近热液白云岩交代围岩碎屑颗粒,其内发育热液黄铁矿沉积(+、石膏); (m)为(l)的单偏光下反射光特征(-、反);(n)G135井,1824.65m,原水平状、叠椎状结构的铁白云岩脉发生强烈的同沉积变形构造而破碎,并被黄铁 矿充填并交代(右侧为顶);(o)为(n)中红框内正交偏光下插入石膏试板特征(+、石膏);(p)为(o)的单偏光下反射光特征,反映(n)中原水平状、叠椎 状结构的铁白云岩脉破碎,其间充填黄铁矿(-、反);(q)为(o)中红框内正交偏光下插入石膏试板特征(+、石膏);(r)为(q)的单偏光下反射光特征, 反映破碎的铁白云岩脉,被黄铁矿所包绕并交代(-、反)

Fig.6 Veined "white smoke type" iron dolomite in carbonatite exhalative hydrothermal rock,

Chang 73 submember, Yanchang Formation, Ordos Basin

(x10 ⁻⁶)	资料来源				文献[20]											
ocks (D	25.6	36.05	21.39	3.06	2.61	3.48	4.90	11.99	8.70	13	7.2	2.2			
ate ro	$^{\mathrm{Th}}$	13.79	11.16	1.97	0.39	0.46	0.50	9.21	16.96	52	93	276	1.7			
arbon	$\mathbf{P}_{\mathbf{b}}$	16.09	25.72	3.95	0.88	1.01	1.13	29.54	32.85	56	89	217	6			
and c	Та	0.84	0.61	0.09	0.02	0.03	0.03	0.53	0.98				I			
) atite	JΗ	5.40	2.25	0.42	0.44	0.46	0.17	1.86	3.42				I			
≣(×10 ° carbon	Ba	608.13	383.81	214.88	206.56	213.56	2 357.95	547.66	481.98		I	I	I			
紊 苫 ated	$_{\rm Cs}$	2.66	8.37	1	0.22	0.28	0.25	1.17	16.6							
或重刀 mdre	Nb	9.86	8.62	1.47	0.38	0.43	0.48	2.35	13.02	1 204	569	1 292	0.3			
睒単石() 3asin, á	Zr	206.67	82.30	17.07	41.05	43.2	7.44	37.69	126.49	189	165	127	19			
石、痰 rdos]	Y	30.27	18.46	11.69	1.63	1.57	1.52	14.19	48.46	119	61	204	30			
∃大镢躞 ation, O	Sr	94.31	123.67	1 746.69	980.74	863.69	2 642.89	771.82	376.82				 光	质谱仪。		
父具他∉ g Forma	Rb	88.64	130.80	17.82	3.62	4.58	5.06	34.81	137.74	14	31	~	33	(等离于		
预 积石, nchang	Ge	0.65	1.67	0.35	0.13	0.13	0.09	0.75	1.59			I		00DR(
戦刃馬 of Yan	Ga	9.36	17.76	2.62	1.46	1.52	п	10.50	22.83					LAN61		
√运版 nber (Zn	83.60	77.03	7.18	3.53	3.59	2.67	63.32	87.76	188	251	606	20	쪂 븃 F		
日下 / 3/J submen	Си	34.48	105.84	17.48	4.64	4.98	7.2	7.79	70.83	24	27	16	4 4	去,仪恭		
) 迎 大 望 1g 7。	Ni	13.58	38.12	10.18	6.83	7.16	8.56	7.83	42.62	18	33	26	20	将後7		
割留地 Char	Co	6.84	23.03	5.02	4.3	6.2	3.25	TT.T	28.76	11	17	26	0.1	巡过		
ESR,	Ľ	9.78	56.66	7.78	3.03	3.52	5.84	14.54	78.71	13	55	62	11 11	室刈町		
कर । ज्ञ onatite	Λ	38.58	190.5	27.19	44.72	42.36	10.99	42.63	149.38	80	89	191	20 20	〔点买题		
ı carb	Sc	6.12	11.38	2.65	1.33	1.23	1.16	11.81	17.82	7	14	10		国豕重		
ints ir	Be	0.62	2.66	0.69	0.19	0.19	0.18	1.26	3.41					対力学		
eleme	E	20.07	41.54	4.34	8.29	7.54	1.49	14.42	54.17					大陆		
Trace	节			钙质	碳酸岩			滅 団 上 石	铁白 云石脉	酸岩	酸岩	酸岩		西北大学		
Table 1	样品	JB4A	JB-7-1	JB-7-2	JB-7-3-1	JB-7-3-2	BK-1	ZH22-1624	H269-2533	何 一 一 一	镁质碳	铁质碳	近积石 4	田:五		

1230

第39卷

	0 n ,
10^{-6})	Formati
) 一	gu
元素合	Yancha
生	$\mathbf{0f}$
当、碳酸盐岩 和	submember
酸增	۲
相关碳	Chang
其他	.u
岩及	ESR
喷积	atite
國際	urbon
医路	1 C2
3.1	(i)
治大7	(REF
西地窟大	lements
斯结	th e
公後	ear
2 鄂	Rare
表	0
	Table

	资料来源	本 研 宛									据 文	献 [21]		据文献 [0]				
	LREE	164.45	131.65	27.08	4.80	5.54	6.23	106.72	240.19	222.45	217	18.41	18.34	I	I	I		
	HREE	20.19	13.37	6.58	0.90	0.90	0.93	9.44	27.88	19.05	17.24	2.37	2.15	I	I	I	l	
	Lu	0.46	0.26	0.13	0.03	0.03	0.02	0.17	0.57	0.35	0.26	0.05	0.05	I		I		
n	Yb	3.12	1.82	06.0	0.17	0.16	0.15	1.09	3.87	1.35	1.18	0.37	0.30	S	9.50	15.50	0.50	
-	Tm	0.47	0.28	0.14	0.02	0.02	0.02	0.17	09.0	0.25	0.20	0.06	0.05	I		I		
; (×10 ⁻⁶)	Er	3.13	1.93	1.06	0.15	0.15	0.14	1.18	4.26	1.85	1.82	0.33	0.32	I			l	
te rocks	Нo	1.06	0.68	0.38	0.05	0.05	0.05	0.42	1.46	0.85	0.78	0.12	0.10	I		I		
carbona	Dy	5.26	3.50	1.83	0.22	0.21	0.21	2.31	7.17	4.50	4	0.61	0.55	I	l	Ι		
ite and	$^{\mathrm{Tb}}$	0.88	0.61	0.29	0.03	0.03	0.04	0.46	1.22	1.25	1.05	0.11	0.08	6	4.50	16	0.20	
arbonati	Gd	5.81	4.29	1.86	0.22	0.24	0.30	3.65	8.72	8.65	7.95	0.72	0.70	105	~	130	1.30	
n, and related c	Eu	1	0.97	0.37	0.06	0.06	0.24	1.07	1.99	3.25	3.2	0.16	0.15	39	12	34	0.20	
	Sm	6.42	4.91	1.55	0.22	0.23	0.26	4.66	9.16	11.2	11.5	0.79	0.75	130	45	128	1.3	
os Basir	Nd	32.87	25.92	6.32	1.03	1.17	1.26	21.05	48.58	50.5	49.8	4.01	3.98	883	634	1 618	4.70	
Ord	Pr	8.80	6.78	1.46	0.26	0.30	0.32	5.53	13.62	13.50	12.50	1.11	1.05	I		I		
	Ce	77.60	61.12	11.49	2.12	2.48	2.65	49.02	109.42	98.5	96.5	8.08	7.82	1 687	2 183	5125	11.5	
	La	37.75	31.95	5.89	1.11	1.28	1.49	25.39	57.42	45.50	43.50	4.26	4.59	608	764	2 666	4.50	
	者性	纬质碳酸岩							铁白云石脉	镁质碳酸岩	镁质碳酸岩	白云岩	自云岩	(碳酸岩	(碳酸岩	(碳酸岩	石灰岩	
	样品	JB4A	JB-7-1	JB-7-2	JB-7-3-1	JB-7-3-2	BK-1	ZH22-1624	H269-2533	QS1	QS2	QS3	QS4	領质	镁	铁顶	沉积	

郑庆华等:鄂尔多斯盆地延长组长7油层组碳酸质喷积岩初探

1231

注:由西北大学大陆动力学国家重点实验室刘晔测试,溶液法,仪器型号ELAN6100DRC等离子质谱仪。



Fig.7 Carbonatite ESR trace element pattern compared to sedimentary limestone in Chang 7₃ submember of Yanchang Formation, Ordos Basin (sedimentary limestone data from reference [20])





4 碳酸质喷积岩与生烃的关系

岩石学、矿物学及地球化学特征研究表明,鄂尔 多斯盆地延长组长7油层组黑色岩系沉积期可能发 育一套深源碳酸质喷积岩(即碳酸质岩浆—热液喷 流型沉积岩),对其油页岩等烃源岩生烃研究具有重 要的理论和实际意义。

热液活动可以提高沉积物中有机物质的含量^[33], 利于烃源岩的发育。鄂尔多斯盆地三叠系延长组长 7₃小层黑色岩系也具有该特征,其油页岩等烃源岩 Al/(Al+Fe+Mn)比值与总有机碳(TOC)含量具有良 好的正相关性,表明烃源岩形成期热液活动强度越 大,有机质丰度越高¹¹¹。郑庆华¹¹⁵通过大量的岩石薄 片观察也发现长7₃小层黑色岩系烃源岩主要生烃母 质(似胶磷矿质藻、似碳酸质球形藻等)丰度、总有机 碳(TOC)含量与碳酸质的喷爆岩、喷流岩等喷积岩的 发育程度最具正相关性,主要表现为以下特征:总有 机碳(TOC)含量相对较高的油页岩中常发育大量似 胶磷矿质藻,其间发育呈棱角状,破裂状的碳酸质喷 爆岩碎屑(图14a,b);水平状分布的铁白云岩脉(喷 流岩)(图6a)内发育大量似胶磷矿质藻(图14c~e);



1233



Fig.9 Relationship diagram of carbonatite ESR for LgU and LgTh in Chang 7₃ submember of Yanchang Formation, Ordos Basin (base map from reference[25])



Fig.10 Relationship diagram of carbonatite ESR for Zr and Cr in Chang 7₃ submember of Yanchang Formation, Ordos Basin (base map from reference[26])

呈顺层状分布于油页岩中的椭球状碳酸岩透镜体 (图 3c)之下,见同沉积褶皱的玻屑晶屑凝灰岩层轴 部(图 14f)或呈顺层水平状分布的玻屑晶屑凝灰岩 层中部均发育众多热水喷口(图 14g),喷口处可能发 育大量热水成因的白云石和水铵长石^[34](图 14h~k), 且与热水喷口相连处发育大量似球形碳酸质藻(图 14h,i,l,m),反映热水喷口形成于同沉积期,可能早 于凝灰岩层发生同沉积变形构造的时间。同时,碳 酸质的喷爆岩、喷溢岩、喷流岩等喷积岩大量发育的 霸王庄延长组长7₃小层黑色岩系中,可见较多顺层 分布的脉状沥青(图 15a,b)或纹层状沥青(图 15c), 可能为碳酸质喷积岩所携带的大量热量导致,具有 同沉积期生烃特征。

总之,鄂尔多斯盆地延长组长7油层组黑色岩系 中碳酸质喷积岩的发现,可能将使其烃源岩的形成 因素不再局限于半深湖—深湖的沉积环境以及火山 喷发活动的影响等认识,成藏因素也不再局限于正 藏埋藏成藏认识,将会涉及鄂尔多斯盆地构造属性、 喷积岩的发育特征及其与烃源岩生烃关系的探讨, 这对延长组长7油层组黑色岩系烃源岩生烃研究具 有重要的理论和实际意义。





图 12 鄂尔多斯盆地延长组长7₃小层微晶铁白云岩 纹层δ¹³C_{v.PDB}-δ¹⁸O_{v.SMOW}关系图(底图中,原生碳酸岩数 据据文献[29],南非火成碳酸岩数据据文献[30],淡水 碳酸盐和海相碳酸盐数据据文献[31])

Fig.12 Relationships between δ¹⁸C_{V-PDB} and δ¹⁸O_{V-SMOW} in laminated microcrystalline iron dolomite, Chang 7₃ submember of Yanchang Formation, Ordos Basin (in base map, carbonatite data from reference[29]; southern African carbonatite data from reference[30]; freshwater and marine carbonate data from reference[31])



 图 13 鄂尔多斯盆地延长组长7₃小层微晶铁白云岩纹 层δ¹³C_{V-PDB}-δ¹⁸O_{V-SMOW}关系图(底图据文献[32])
 Fig.13 Relationships between δ¹⁸C_{V-PDB} and δ¹⁸O_{V-SMOW} in

laminated microcrystalline iron dolomite, Chang 7₃ submember of Yanchang Formation, Ordos Basin (base map from reference[32])

5 结论

(1)鄂尔多斯盆地延长组长7,小层黑色岩系中 发育以深源碎屑和热液流体为物质组成的碳酸质喷 积岩,可系统地划分为碳酸质喷爆岩、碳酸质喷溢岩 以及"白烟囱型"矿物组合为特征的碳酸质喷流岩, 它们主要呈纹层状或脉状等顺层分布于油页岩或凝 灰岩中。

(2)碳酸质喷爆岩主要为方解石等碳酸质岩浆 矿物爆炸和破碎形成,发育叠锥状隐晶质结构和半 自形粒状结构,碎屑颗粒多呈大小不一、形态各异的 棱角状、撕裂状、破裂状,其间普遍发育沥青质,具有 明显的正粒序。碳酸质喷溢岩主要为碳酸质岩浆溢 流形成,具有岩浆流动特征,由底到顶由层状、块状 变化,反映了碳酸岩喷溢、结晶的过程。碳酸质喷流 岩以铁白云石等"白烟囱型"矿物组合为特征,主要 发育铁白云岩纹层、铁白云岩脉两种类型。从碳酸 质喷爆岩、碳酸质喷溢岩到碳酸质喷流岩,其微量元 素、稀土元素等地球化学特征不但具有碳酸岩和热 水沉积岩的双重性,而且具有由碳酸岩向热水沉积



图 14 鄂尔多斯盆地延长组长 7,小层碳酸质喷积岩与生烃母质的关系

(a)淌泥河油页岩中大量似胶磷矿质藻间发育碳酸质喷爆岩;(b)为(a)中红框内的正交偏光下插入石膏试板特征,可见碳酸质喷爆岩碎屑呈棱角状、 破裂状(+、石膏);(c)H269井,2533.10 m,铁白云岩脉薄片;(d)为(c)中红框内的单偏光特征,大部分生烃母质被黑色石油覆盖(-);(e)为(d)的单偏 光下反射光特征,可见大量似胶磷矿质藻(-、反);(f)霸王庄油页岩中发育同沉积褶皱的玻屑晶屑凝灰岩层轴部发育众多热水喷口构造;(g)霸王庄 延长组长7₃小层油页岩中顺层水平状分布的玻屑晶屑凝灰岩层(紧邻图3c碳酸质结核之下)中部发育众多热水喷口构造;(h)为(g)中红框内的样品 切割面特征;(i)为(h)中红框内的薄片;(j)为(i)中左侧红框内的正交偏光下插入石膏试板特征(+、石膏);(k)为(j)中红框内的电子探针背散射特 征,热水喷口附近可见大量白云石、水铵长石沉积,为典型的热水沉积(+、石膏);(1)为(i)中右侧红框内的正交偏光下插入石膏试板特征,大量似球形碳酸质藻(+、石膏)

> Fig.14 Relationship between carbonatite ESR and hydrocarbon-generating materials, Chang 7₃ submember of Yanchang Formation, Ordos Basin

岩的过渡性。

(3)碳酸质喷积岩的提出对鄂尔多斯盆地晚三 叠世延长组长7油层组黑色岩系的生烃研究具有重 要的理论和实际意义,然而有关其岩石学、矿物学、 地球化学特征以及与生烃母质关系的研究仍较为薄 弱,有待于后期进一步深入。



图 15 陕西省铜川市金锁关镇霸王庄延长组长7,小层顺层分布的脉状或纹层状沥青 (a)油页岩中顺层分布脉状沥青(粉红色框内);(b)为(a)中红框内放大的顺层分布脉状沥青(粉红色框内);(c)油页岩中顺层分布纹层状沥青(粉红色框内) Fig.15 Veined and laminated bituminous material, mainly growing along the layer, in Chang 7, submember of Yanchang Formation, Bawangzhuang village, Jinsuoguan town, Tongchuan city, Shaanxi province

参考文献(References)

- 范德廉,杨秀珍,王连芳,等. 某地下寒武统含镍钼多元素黑色 岩系的岩石学及地球化学特点[J]. 地球化学,1973(3):143-164. [Fan Delian, Yang Xiuzhen, Wang Lianfang, et al. Petrological and geochemical characteristics of a nickel-molybdenummulte-element-bearing Lower-Cambrian black shale from a certain district in South China [J]. Geochimica, 1973 (3): 143-164.]
- [2] 姜在兴,张文昭,梁超,等.页岩油储层基本特征及评价要素
 [J].石油学报,2014,35(1):184-196. [Jiang Zaixing, Zhang Wenzhao, Liang Chao, et al. Characteristics and evaluation elements of shale oil reservoir [J]. Acta Petrolei Sinica, 2014, 35 (1): 184-196.]
- [3] 熊寿生,卢培德.火山喷溢—喷流活动与半无机成因天然气的 形成和类型[J].石油实验地质,1996,18(1):14-35. [Xiong Shousheng, Lu Peide. Volcanic eruption-effusion and their relationship with the formation and type of semi-inorganic gas[J]. Experimental Petroleum Geology, 1996, 18(1): 14-35.]
- [4] 漆富成,张字龙,李治兴,等.中国碳硅泥岩型铀矿床时空演化规律[J].铀矿地质,2012,28(2):65-71. [Qi Fucheng, Zhang Zilong, Li Zhixing, et al. Temporal and spatial evolution pattern of carbonaceous-siliceous-argillaceous rock type uranium deposits in China[J]. Uranium Geology, 2012, 28(2): 65-71.]
- [5] 柳益群,周鼎武,焦鑫,等.一类新型沉积岩:地幔热液喷积岩: 以中国新疆三塘湖地区为例[J]. 沉积学报,2013,31(5):773-781. [Liu Yiqun, Zhou Dingwu, Jiao Xin, et al. A new type of sedimentary rocks: Mantle-originated hydroclastites and Hydrothermal exhalites, Santanghu area, Xinjiang NW China[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2013, 31(5): 773-781.]
- [6] 杨俊杰.鄂尔多斯盆地构造演化与油气分布规律[M].北京: 石油工业出版社,2002:104-213. [Yang Junjie. Tectonic evolu-

tion and oil-gas reservoirs distribution in Ordos Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002: 104-213.]

- [7] 杨华,李士祥,刘显阳.鄂尔多斯盆地致密油、页岩油特征及资源潜力[J].石油学报,2013,34(1):1-11. [Yang Hua, Li Shixiang, Liu Xianyang. Characteristics and resource prospects of tight oil and shale oil in Ordos Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2013, 34(1):1-11.]
- [8] 赵文智,胡素云,汪泽成,等.鄂尔多斯盆地基底断裂在上三叠统延长组石油聚集中的控制作用[J].石油勘探与开发,2003,30(5):1-5.[Zhao Wenzhi, Hu Suyun, Wang Zecheng, et al. Key role of basement fault control on oil accumulation of Yanchang Formation, Upper Triassic, Ordos Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30(5):1-5.]
- [9] 翁凯,李荣西,徐学义,等.鄂尔多斯盆地西南缘龙门隐伏碱性杂岩体地球化学特征[J]. 新疆地质,2012,30(4):471-476.
 [Weng Kai, Li Rongxi, Xu Xueyi, et al. Geochemistry characteristic of Longmen concealed alkaline intrusive complex in southwest Ordos Basin [J]. Xinjiang Geology, 2012, 30 (4): 471-476.]
- [10] 邱欣卫.鄂尔多斯盆地延长期富烃凹陷特征及其形成的动力 学环境[D].西安:西北大学,2011. [Qiu Xinwei. Characteristics and dynamic settings of Yanchang period hydrocarbon-rich depression in Ordos Basin, China[D]. Xi'an: Northwest University, 2011.]
- [11] 贺聪,吉利明,苏奥,等.鄂尔多斯盆地南部延长组热水沉积 作用与烃源岩发育的关系[J].地学前缘,2017,24(6):277-285. [He Cong, Ji Liming, Su Ao, et al. Relationship between hydrothermal sedimentation process and source rock development in the Yanchang Formation in southern Ordos Basin [J]. Earth Science Frontiers, 2017, 24(6):277-285.]
- [12] 张文正,杨华,解丽琴,等.湖底热水活动及其对优质烃源岩 发育的影响:以鄂尔多斯盆地长7烃源岩为例[J].石油勘探

与开发, 2010, 37(4): 424-429. [Zhang Wenzheng, Yang Hua, Xie Liqin, et al. Lake-bottom hydrothermal activities and their influences on the high-quality source rock development: A case from Chang 7 source rocks in Ordos Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2010, 37(4): 424-429.]

- [13] 张本浩,吴柏林,刘池阳,等.鄂尔多斯盆地延长组长7富铀烃 源岩铀的赋存状态[J].西北地质,2011,44(2):124-132.
 [Zhang Benhao, Wu Bailin, Liu Chiyang, et al. Occurrence of uranium in hydrocarbon of Chang-7 member of Yanchang Formation of Ordos Basin[J]. Northwestern Geology, 2011, 44 (2):124-132.]
- [14] 董杰,胡作维,袁效奇,等.鄂尔多斯盆地南缘长7油层组碳酸盐结核的特征及石油地质意义[J].成都理工大学学报(自然科学版),2017,44(5):553-564.[Dong Jie, Hu Zuowei, Yuan Xiaoqi, et al. The carbonate concretions of Chang-7 and their hydrocarbon significance in southern Ordos Basin, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2017, 44(5): 553-564.]
- [15] 郑庆华.鄂尔多斯盆地长7黑色岩系成因及生烃研究[D].西安:西北大学,2017. [Zheng Qinghua. The characteristics of origin and oil generation of black rock series in Chang 7 member of Yanchang Formation in Ordos Basin [D]. Xi' an: Northwest University, 2017.]
- [16] Woolley A R. The spatial and temporal distribution of carbonatites [M]//Bell K. Carbonatites: Genesis and evolution. London: Unwin Hyman, 1989: 15-37.
- [17] Machel H G. Saddle dolomite as a by-product of chemical compaction and thermochemical sulfate reduction [J]. Geology, 1987, 15(10): 936-940.
- [18] 金之钧,朱东亚,胡文瑄,等. 塔里木盆地热液活动地质地球 化学特征及其对储层影响[J]. 地质学报,2006,80(2):245-253. [Jin Zhijun, Zhu Dongya, Hu Wenxuan, et al. Geological and geochemical signatures of hydrothermal activity and their influence on carbonate reservoir beds in the Tarim Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(2): 245-253.]
- [19] 陈先沛,高计元,陈多福,等. 热水沉积作用的概念和几个岩 石学标志[J]. 沉积学报,1992,10(3):124-132. [Chen Xianpei, Gao Jiyuan, Chen Duofu, et al. The concept of hydrothermal sedimentation and its petrological criteria [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1992, 10(3): 124-132.]
- [20] 杨学明,杨晓勇,Le Bas M J. 碳酸岩的地质地球化学特征及其 大地构造意义[J]. 地球科学进展,1998,13(5):457-466.
 [Yang Xueming, Yang Xiaoyong, Le Bas M J. Geological and geochemical characteristics of carbonatites and their implication for tectonic settings[J]. Advance in Earth Sciences, 1998, 13 (5):457-466.]
- [21] 席胜利,李振宏,刘新社.鄂尔多斯盆地西南缘中生代火成碳酸盐岩的发现及意义[J].石油与天然气地质,2016,37(2): 173-179,188. [Xi Shengli, Li Zhenhong, Liu Xinshe. Discovery and significance of the Mesozoic igneous carbonate rock at

the southwestern margin of Ordos Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2016, 37(2): 173-179, 188.]

- [22] Boynton W V. Cosmochemistry of the rare earth elements: Meteorite studies [J]. Developments in Geochemistry, 1984, 2: 63-114.
- [23] 叶海敏,张翔. 碳酸岩研究新进展[J]. 资源调查与环境, 2015,36(1):21-27. [Ye Haimin, Zhang Xiang. Advances on the carbonatite research in recent years[J]. Resources Survey & Environment, 2015, 36(1): 21-27.]
- [24] 张文正,杨华,彭平安,等.晚三叠世火山活动对鄂尔多斯盆 地长7优质烃源岩发育的影响[J].地球化学,2009,38(6): 573-582. [Zhang Wenzheng, Yang Hua, Peng Ping'an, et al. The influence of Late Triassic volcanism on the development of Chang 7 high grade hydrocarbon source rock in Ordos Basin [J]. Geochimica, 2009, 38(6): 573-582.]
- [25] Boström K. Genesis of ferromanganese deposits-diagnostic criteria for recent and old deposits [M]//Rona P A, Boström K, Laubier L, et al. Hydrothermal processes at seafloor spreading centers. Boston: Springer, 1983: 473-489.
- [26] Marchig V, Gundlach H, Möller P, et al. Some geochemical indicators for discrimination between diagenetic and hydrothermal metalliferous sediments [J]. Marine Geology, 1982, 58 (3): 241-256.
- [27] 叶杰,范德廉.辽宁瓦房子铁锰矿床微量元素特征[M]//中国 科学院地球化学研究所矿床地球化学开放研究实验室.矿床 地球化学研究.北京:地震出版社,1994:80-82. [Ye Jie, Fan Delian. Trace elements characteristics of Fe-Mn ore deposits in Wafangzi, Liaoning province [M]//Opening Laboratory of Ore Deposits and Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Scinces. Study of ore deposits and geochemistry. Beijing: Seismological Press, 1994: 80-82.]
- [28] Coplen T B, Kendall C, Hopple J. Comparison of stable isotope reference samples [J]. Nature, 1983, 302 (5905) : 236-238.
- [29] Taylor Jr H P, Frechen J, Degens E T. Oxygen and carbon isotope studies of carbonatites from the Laacher See District, West Germany and the Alnö District, Sweden[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1967, 31(3): 407-430.
- [30] Horstmann U E, Verwoerd W J. Carbon and oxygen isotope variations in southern African carbonatites [J]. Journal of African Earth Sciences, 1997, 25(1): 115-136.
- [31] 孟祥金,董光裕,刘建光,等. 江西冷水坑斑岩型铅锌银矿床
 [M]. 北京:地质出版社,2007. [Meng Xiangjin, Dong Guangyu, Liu Jianguang, et al. The Lengshuikeng porphyry Pb-Zn-Ag deposit in Jiangxi province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2007.]
- [32] Rollinson H R. Using geochemical data: Evaluation, presentation, interpretation[M]. Harlow: Longman Scientific & Technical, 1993.
- [33] van Dover C L, Humphris S E, Fornari D, et al. Biogeography

and ecological setting of Indian Ocean hydrothermal vents[J].

the condor Oilshale deposit, Queensland, Australia [J]. Mineralogical Magazine, 1983, 47(344): 327-334.

[34] Loughnan F C, Roberts F I. Buddingtonite (NH₄-feldspar) in

Science, 2001, 294(5543): 818-823.

A Preliminary Study of Carbonatite Magmatic-hydrothermal Exhalative Sedimentary Rock of the Chang 7 Member, Yanchang Formation, Ordos Basin

ZHENG QingHua¹, LIU XingJun², LIU YiQun³, ZHOU DingWu⁴, YANG KaiYan⁵, WANG GuiWen⁵, ZHANG YangYang⁵, CHEN Zhen⁵, LIU Liang⁵

1. School of Chemistry & Chemical Engineering, Yulin University, Yulin, Shaanxi 719000, China

2. Changqing Division, China Petroleum Well Logging Limited Company, Xi'an 710201, China

3. Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, China

4. College of Earth Science and Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China

5. Fengcheng Field Operation District, Xinjiang Oilfield Company of PetroChina, Karamay, Xinjiang 834000, China

Abstract: Carbonatite magmatic - hydrothermal exhalative sedimentary rock (ESR) was first discovered in the oil shale or tuff in the black rock series of the Chang 7 member of the Yanchang Formation, Ordos Basin. It is mainly characterized by its growth along the layering of the laminated and veined structure. For the obviously important research value of this discovery, the carbonatite ESR was initially subjected to petrological, mineralogical, and geochemical analysis, and its relationship with hydrocarbon-generation materials was examined in field outcrop sections and drill cores, thin sections, scanning electron microscope (SEM) analysis, electron probe microanalysis, whole-rock element analysis, and other methods. These studies categorized the carbonatite rock material source, formation mode, texture and structure, into three types: explosive, effusive and exhalative-hydrothermal rock. All three types contain the major elements, trace elements and rare earth elements (REE) of carbonatite and hydrothermal sedimentary rock. They exhibit significant positive correlation with hydrocarbon-generation materials, and are of considerable theoretical and practical significance for further investigation of hydrocarbon potential in the area.

Key words: carbonatite magmatic-hydrothermal exhalative sedimentary rock; hydrocarbon generation; black rock series; Chang 7 member; Yanchang Formation; Ordos Basin

第39卷