

文章编号: 0258-7106 (2013) 03-0591-12

西南天山乌拉根铅锌矿床有机地球化学特征及其地质意义*

韩凤彬¹, 陈正乐^{1**}, 刘增仁², 陈柏林¹, 崔玲玲¹, 丁文君¹, 蒋荣宝¹, 李丽¹

(1 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081; 2 有色金属矿产地质调查中心新疆地质调查所, 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要 乌拉根铅锌矿床位于塔里木盆地西北缘的喀什凹陷中, 含矿岩石为一套中-新生代砂砾岩, 矿区伴随铅锌矿化普遍产出大量油气残留物、干沥青等有机质。文章通过有机碳、硫、氯仿沥青“A”及其族组成和饱和烃气相色谱分析等有机地球化学方法, 对乌拉根铅锌矿的有机质进行测试分析, 进而探讨了有机质在铅锌矿床形成过程中的作用。测试结果显示, 乌拉根矿区铅锌的有机碳、硫含量均较高, 表明其铅锌的成矿作用与油气的还原作用关系密切, 铅锌等成矿元素是在还原状态下沉淀富集的。矿区有机质的氯仿沥青“A”变化不大(0.004%~0.025%)。A的族组中, 总烃平均为46.22%, “非烃+沥青质”平均为53.77%, 饱和烃/芳香烃平均为9.59, 具I型有机母质特征。饱和烃气相色谱参数特征分析显示, 有机质以海相为主, 母质来源以藻类为主。矿区样品中, Pr/Ph为0.41~1.84, 平均为1.04, 说明有机质是处在还原环境中的; $\delta^{13}C_{org}$ 为0.75~1.07, 平均为0.92, 显示了有机质高成熟的特征; CPI为1.03~1.30, 平均为1.16, 指示热演化程度较高。综合野外证据和测试结果, 表明油气活动参与了乌拉根铅锌矿床的成矿作用, 油气还原是成矿金属元素富集沉淀成矿的重要因素。

关键词 地质学 有机地球化学 铅锌矿床 乌拉根 西南天山

中图分类号: P618.42; P618.43

文献标志码: A

Organic geochemistry of Wulagen Pb-Zn deposit in Southwest Tianshan Mountains and its implications

HAN FengBin¹, CHEN ZhengLe¹, LIU ZengRen², CHEN BaiLin¹, CUI LingLing¹,
DING WenJun¹, JIANG RongBao¹ and LI Li¹

(1 Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China; 2 Xinjiang Geological Survey, China Non-ferrous Metals Resources Geological Survey, Urumqi 830011, Xinjiang, China)

Abstract

The Wulagen lead-zinc deposit, located in Kashi Sag on the northwestern margin of the Tarim basin of Xinjiang, is hosted in Mesozoic-Cenozoic sandstones and conglomerates, where lots of organic matters are widely spread, such as residues of oil and gas and dry asphalt. This paper mainly presents analytical data of organic carbon, sulfur, chloroform bitumen “A” and its group composition, and saturated hydrocarbons detected by gas chromatography in ore bodies and host rocks, so as to better understand the roles of organic mater in the mineralization of lead and zinc. The results show that the composition of organic and sulfur in lead-zinc ores is relatively

* 本文得到国家自然科学基金项目(41072071)、国家重点基础研究发展计划(973)项目(2007CB411305)、国家 305 项目(2011BAB06B05-03)中国地质科学院地质力学研究所基本科研业务费项目(DZLXJK201209)和公益性行业科研专项(深部探测项目)(2011311191-02)的联合资助

第一作者简介 韩凤彬, 男, 1981 年生, 助理研究员, 主要从事矿床与矿田构造研究。Email: hielei@126.com

** 通讯作者 陈正乐, 男, 1967 年生, 研究员, 主要从事矿田构造与构造地质研究。Email: chenzhengle@263.net

收稿日期 2012-04-27; 改回日期 2013-05-05。秦思婷编辑。

rich, suggesting that the lead-zinc mineralization was closely related to the reduction of oil and gas. The content of chloroform bitumen "A" in organic matter varies from 0.004% to 0.025%. The ratio of total hydrocarbons is 46.22% on average, that of "non-hydrocarbon + asphaltenes" is 53.77% on average, and the average ratio of saturated hydrocarbons to aromatic hydrocarbons is 9.59, implying that the organic matter is similar to I-type parent material. These characteristics suggest that the organic matter might have been sourced from the marine algae. The ratios of Pr/Ph in ores and rocks vary from 0.41 to 1.84, with 1.04 on average, indicating a deoxidization environment for the organic matter. Odd-even predominance indices (OEP) vary from 0.75 to 1.07, averagely 0.92, showing that the maturity of organic matter is relatively high. Carbon preference indices (CPI) are from 1.03 to 1.30, with 1.16 on average, indicating a higher degree in thermal evolution. Field evidence and analytical results of organic matter in ores and rocks suggest that the oil and gas took part in the lead-zinc mineralization, and the deoxidization of oil and gas played an important role in the deposition and enrichment of ore-forming elements such as lead and zinc.

Key words: geology, organic geochemistry, Pb-Zn deposit, Wulagen, southwest Tianshan Mountains

乌拉根铅锌矿床位于西南天山新疆乌恰县境内。该矿床于 1943 年发现,起初被认为是小型热液型铅锌矿床,而未引起重视(蔡宏渊等,2002)。后来不少学者对乌拉根铅锌矿床及其外围进行了大量找矿评价和科研工作,取得了一定成果。近十年来的研究发现,乌拉根铅锌矿床成矿地质条件优越、矿床类型特殊,已有的勘探证实其具有大型规模,远景储量可观,潜在经济价值巨大(有色金属矿产地质调查中心,2009)。前人对乌恰及邻区的大地构造及演化、乌拉根铅锌矿床的特征及成矿地质背景等方面进行了较为深入的研究(孔祥兴,1984;彭守晋,1990;蔡宏渊等,2002;谢世业等,2002;高珍权等,2002a,2002b;Liu et al.,2002;张桂权等,2003;张秋茶等,2003;李丰收等,2005;赵孟军等,2005;何鸿,2007;白洪海等,2008;康亚龙等,2009;祝新友等,2010;刘宏林等,2010;胡剑辉等,2010;刘增仁等,2010,2011;张舒,2010;李志丹,2011;韩凤彬等,2012a),但对矿床的成因尚有争论,提出了多种成因模式。

笔者在野外工作期间,发现乌拉根铅锌矿区及其外围存在大量的油气活动迹象,铅锌矿化部位普遍伴随褪色化蚀变、发育还原斑点以及黑色油气残留物、沥青等有机质。以往仅有少数研究者注意到区域上油气活动与金属矿床形成之间的关系(刘增仁等,2010;韩凤彬等,2012a,2012b),而且都集中在油气活动与铀矿床成因联系方面(黄以,1997;李盛富等,2008;韩凤彬等,2012b),但对矿床大量发育的油气活动残留迹象与铅锌矿床的关系一直未见详细报道。

本文针对乌拉根铅锌矿区及其外围发现的油气活动迹象,通过矿石和围岩的有机碳、硫元素分析和饱和气相色谱等有机地球化学测试分析,进而讨论其有机质的来源,分析有机质的成熟度和氧化还原条件,探索油气活动和乌拉根铅锌矿床成因之间的联系。

1 地质背景及矿床特征

乌拉根铅锌矿床的大地构造位置处于塔里木板块西缘喀什凹陷的北部(图 1A),受南天山和西昆仑两大造山带夹持(李向东等,2000;刘宏林等,2010)。区域性深大断裂有北西向的塔拉斯-费尔干纳走滑断裂(图 1A)、东西向的乌恰断裂和西昆仑山前断裂等。这些断裂规模巨大、切割深、平行断裂和配套断裂发育、活动频繁,为成矿物质的运移、聚集、储存成矿创造了条件(高珍权等,2002a,2002b)。在乌恰地区,中-新生界中产出有多个铜、铅锌、铀矿床以及油气田。

乌拉根铅锌矿床位于乌拉根向斜的两翼(图 1B)。矿区出露的地层主要为长城系、侏罗系—白垩系、古近系和新近系。铅锌矿赋存于下白垩统克孜勒苏群第五岩性段(K_1kz^5)灰白色砂砾岩和下古新统阿尔塔什组(E_1a)底部的坍塌角砾灰岩中。矿区内未见岩浆岩出露(图 1B)。乌拉根向斜轴向近东西向,向东扬起,向西变宽,缓慢散开。向斜南、北两翼皆发育断裂构造,其中,南翼较大的一条断裂为乌拉根断裂,为一逆冲断层,切断了侏罗系和长城系;北翼一条断裂为吾合沙鲁断裂,该断裂穿越了乌拉根

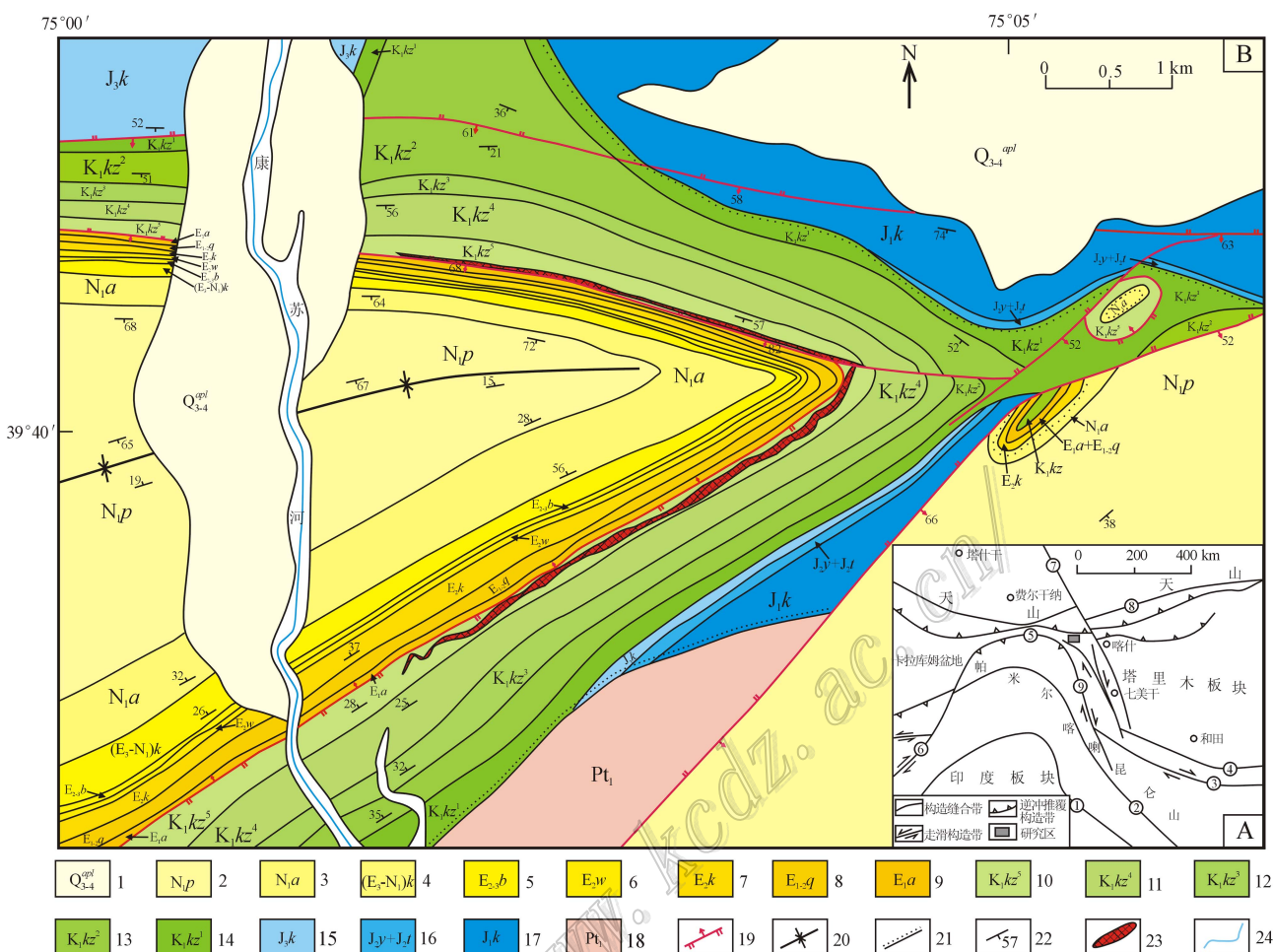


图1 乌拉根铅锌矿床大地构造位置图(A)(据李向东等, 2000)和乌拉根铅锌矿床地质图(B)

(据李丰收等, 2005; 祝新友等, 2010)

1—上更新统一全新统冲洪积层; 2—中新统帕卡布拉克组; 3—中新统安居安组; 4—上渐新统一中新统克孜洛依组; 5—上始新统一渐新统巴什布拉克组; 6—中始新统乌拉根组; 7—中始新统卡拉塔尔组; 8—中-上古新统一下始新统齐姆根组; 9—下古新统阿尔塔什组; 10—下白垩统克孜勒苏群第五段; 11—下白垩统克孜勒苏群第四段; 12—下白垩统克孜勒苏群第三段; 13—下白垩统克孜勒苏群第二段; 14—下白垩统克孜勒苏群第一段; 15—上侏罗统库孜贡苏组; 16—中侏罗统塔尔杂组和杨叶组; 17—下侏罗统康苏组; 18—古元古界阿克苏群; 19—逆断层; 20—向斜轴; 21—不整合面; 22—产状; 23—铅锌矿体; 24—河流

①—喜马拉雅-印度缝合带; ②—双湖-空喀山口缝合带; ③—康西瓦右行走滑构造带; ④—库地北缝合带; ⑤—帕米尔前缘逆冲推覆构造带; ⑥—恰曼左行走滑断裂系; ⑦—塔拉斯-费尔干纳右行走滑构造带; ⑧—天山缝合带; ⑨—塔什库尔干右行走滑构造带

Fig. 1 Tectonic location of the Wulagen lead-zinc deposit(A) (modified after Li et al., 2000) and Geological map of the Wulagen lead-zinc deposit(B) (modified after Li et al., 2005; Zhu et al., 2010)

1—Upper Pleistocene-Holocene alluvium and diluvium; 2—Miocene Pakabulake Formation; 3—Miocene Anju'an Formation; 4—Upper Oligocene-Miocene Keziluoyi Formation; 5—Upper Eocene-Lower Oligocene Bashibulake Formation; 6—Middle Eocene Wulagen Formation; 7—Middle Eocene Kalatar Formation; 8—Middle and Upper Paleocene-Lower Eocene Qimugen Formation; 9—Lower Paleocene Artashi Formation; 10—5th lithologic member of Lower Cretaceous Kizilsu Group; 11—4th lithologic member of Lower Cretaceous Kizilsu Group; 12—3rd lithologic member of Lower Cretaceous Kizilsu Group; 13—2nd lithologic member of Lower Cretaceous Kizilsu Group; 14—1st lithologic member of Lower Cretaceous Kizilsu Group; 15—Upper Jurassic Kuzigongsu Formation; 16—Middle Jurassic Targa and Yangye Formation; 17—Lower Jurassic Kangsu Formation; 18—Proterozoic Aksu Group; 19—Thrust fault; 20—Synclinal axis; 21—Unconformity; 22—Attitude; 23—Lead-zinc ore body; 24—River

①—Himalayan-Indus River suture zone; ②—Shuanghu-Kongkashankou suture zone; ③—Kangxiwar dextral strike slip belt; ④—North Kudi suture zone; ⑤—Pamir frontal margin thrust belt; ⑥—Qiaman sinistral strike slip fault system; ⑦—Talas-Ferghana dextral strike slip fault; ⑧—Tianshan suture zone; ⑨—Taxkorgan dextral strike slip belt

铅锌矿的北矿带,导致下白垩统克孜勒苏群(K_1kz)与上覆阿尔塔什组(E_1a)或齐姆根组($E_{1-2}q$)之间呈断层接触。根据矿体与向斜构造的位置关系,乌拉根铅锌矿床可以分为南、北 2 个矿带(图 1B)。南矿带层间断裂及节理发育,北矿带吾合沙鲁断裂破碎带中产有较富的透镜状方铅矿体。

矿区内金属矿物主要有闪锌矿、方铅矿、黄铁矿,少量毒砂,偶见黄铜矿。脉石矿物有石英、方解石、白云石、天青石和石膏等。矿石结构以粒状结晶结构为主,少数为胶状结构、交代溶蚀结构和纤维状结构等;构造有浸染状、条带状和块状构造等。不同硫化物常紧密共生,尤其是方铅矿与闪锌矿,方铅矿结晶细小,赋存于砂粒间的胶结物中,与闪锌矿共生,含量一般较闪锌矿低。矿床中,不发育明显的脉状穿插,成矿阶段和成矿期次不明显。与铅锌矿化

直接相关的围岩蚀变普遍较弱且类型简单,主要有石膏化、方解石化、白云石化、天青石化、黄铁矿化等。区域性的褪色蚀变现象广泛发育于下白垩统克孜勒苏群(K_1kz)砂砾岩中。

2 矿床有机质特征

本次研究在乌拉根铅锌矿发现了大量的有机质,特别是油气活动残留迹象(图 2)。乌拉根向斜扬起端东部地表有油气苗显示(王清华等,2003)。在乌拉根铅锌矿区地表露头(图2a、c、d)和采矿平硐(图 2b)中可以见到,红色的下白垩统泥岩、砂岩和砂砾岩中发育有大量黄色、灰色或黑色斑点或条带,形状大小不一,显示出典型的油气还原特征;在灰黑色、黄色的矿化砾岩中,还发现干沥青和斑点状油气

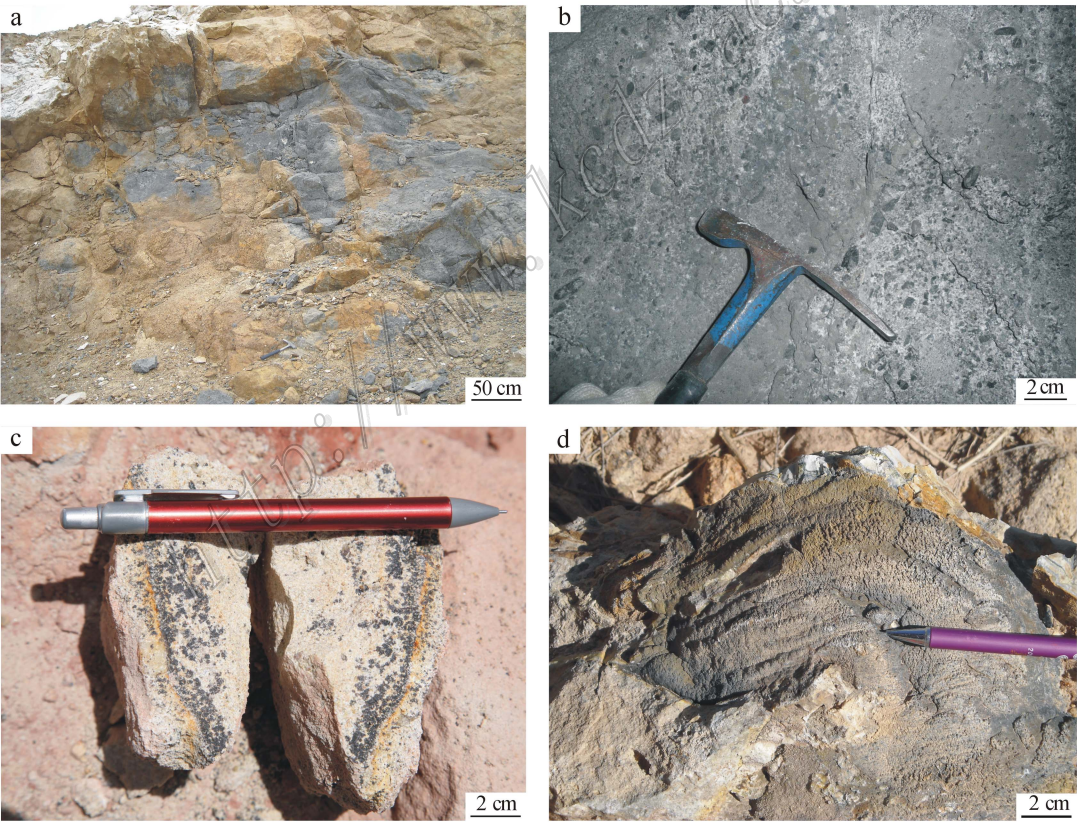


图 2 乌拉根铅锌矿床油气还原现象野外照片

- a. 乌拉根铅锌矿南矿带含矿层位油气将原生红色的砾岩还原成灰黑色; b. 乌拉根南矿带平硐内油气还原灰黑色砾岩矿体;
- c. 乌拉根北矿带含矿砂岩的油气还原斑点; d. 乌拉根北矿带吾合沙鲁断裂带中的干沥青

Fig. 2 Field photos of oil and gas reduction in the Wulagen lead-zinc deposit

- a. Original red conglomerate deoxygenized by oil and gas in south Wulagen ore belt; b. Conglomerate type ore body under the oil and gas reduction in south Wulagen ore belt; c. Oil and gas reduction spots in sandstone of north Wulagen ore belt; d. Dry asphalt from Wuheshalu fault in north Wulagen ore belt

残留迹象(图 2b、c),而且含矿的砂岩、砂砾岩胶结松散,渗透性良好。北矿带吾合沙鲁断裂破碎带中存在比较强烈的油气显示(图 2d)。下白垩统克孜勒苏群(K_1kz)在区域上颜色普遍为红色、紫红色,但乌拉根矿区的下白垩统克孜勒苏群(K_1kz)含矿地层颜色一般为黄色、灰色和灰黑色(图 2a、b),前人研究证实这种颜色变化与烃类流体还原有关(马艳萍等, 2005)。这些现象都表明油气活动参与了乌拉根铅锌矿床的成矿作用。

室内观测进一步证实了油气还原现象的存在。在乌拉根含矿围岩和矿石中,发现大量油气残留物质(图 3a)和油气包裹体(图 3b、c、d)。油气残留物质主要是沥青,UV 激发荧光镜下,这些残留物质显示

暗褐色、浅黄色及浅黄绿色荧光(图 3a)。油气包裹体是油气成藏过程中在沉积矿物的次生加大边或胶结物中圈闭的石油、烃类等油气物质,进一步证实了乌拉根铅锌矿成矿过程中有油气的参与。镜下观察发现,油气包裹体主要为液烃包裹体(图 3b)、气烃包裹体(图 3c、d)以及含烃盐水包裹体(图 3c)。同时,油气包裹体与闪锌矿、方铅矿等硫化物有着密切的空间分布关系。显微镜下,金属硫化物的边部或附近常有气泡出现,气泡中常见微细粒的闪锌矿或其他硫化物(祝新友等, 2010; 刘增仁等, 2011),显示气泡与成矿有密切的成因联系,这可能正是油气还原铅锌成矿的特点。

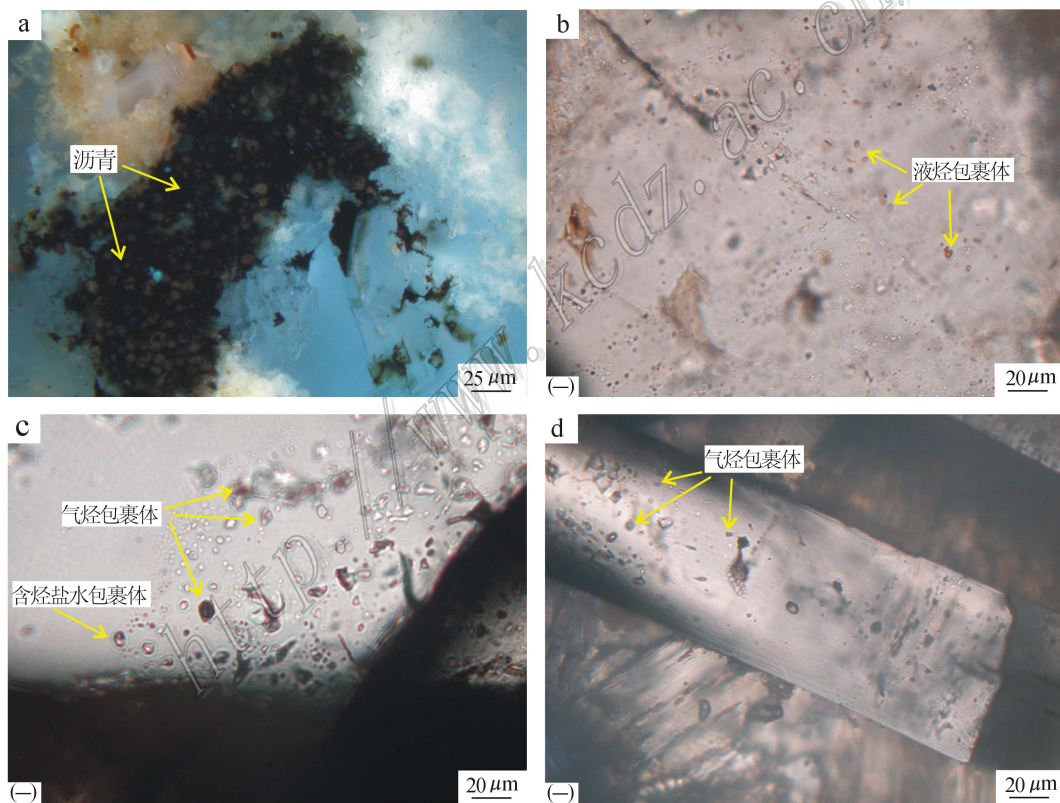


图 3 乌拉根铅锌矿床油气还原现象显微照片

a. UV 激发荧光镜下,方铅矿中部分微裂缝为深褐色沥青充填,沥青充填物显示暗褐色荧光; b. 矿化砂砾岩中,沿石英内微裂隙成带状分布的淡黄色-灰色液烃、气液烃包裹体; c. 铅锌矿石中,沿石英内微裂隙成带状分布的灰色气烃(体)包裹体和淡黄色-灰色含烃盐水包裹体; d. 方铅矿矿石中,重晶石矿物内成群分布的深灰色气烃包裹体以及浅灰色-灰色含烃盐水包裹体

Fig. 3 Micrographs of oil and gas reduction of the Wulagen lead-zinc deposit

a. Under UV excitation fluorescence microscope: asphalt filling the micro cracks of Galena, asphalt fillings showing dark brown fluorescence; b. Mineralized sandstone, pale yellow liquid hydrocarbon and gas liquid hydrocarbon inclusions developed along the micro fissures cutting through detrital quartz with zonal distribution; c. Lead-zinc ores, salt solution-bearing gray gas hydrocarbon inclusions and yellowish gray hydrocarbon inclusions developed along the micro fissures of detrital quartz within zonal distribution; d. Galena ore, salt solution-bearing dark gray gas hydrocarbon inclusions and light gray-gray hydrocarbon inclusions growing within a clumped distribution in barite

3 样品采集与测试

本次测试的所有样品均采自乌拉根铅锌矿区,岩性为铅锌矿石和围岩(表 1、2),笔者对其进行了有机碳(TOC)、全硫(ΣS)、氯仿沥青‘A’及其族组成和饱和烃气相色谱分析。测试工作均在中国石油勘探开发研究院石油地质实验研究中心完成。进行氯仿沥青‘A’及其族组成和饱和烃气相色谱分析时,先用物理方法除去样品表面污染,将待测矿石样品粉碎至 200 目,用脂肪抽提器法对测样进行氯仿沥青‘A’抽提,抽提出的氯仿沥青‘A’用分柱层析法分别将饱和烃、芳烃、非烃与沥青质 4 个组分分离出来,再以族组分棒薄层火焰离子化分析法(执行标准:SY/T6338-1997)对上述组分进行定量分析。气相色谱用 HP-5890GC 型气相色谱仪。测试结果见表 1、表 2。

4 测试结果与讨论

4.1 有机碳和全硫

岩石中有机碳含量和全硫含量是衡量岩石还原能力的重要指标。本次对乌拉根铅锌矿矿石和围岩有机碳的分析(表 1)表明,乌拉根铅锌矿矿石、矿化和油气还原的灰白色、灰黑色砂岩样品的有机碳含量为

0.02%~12.43%,平均为 1.08%(17 件样品),相对含量均较高。无矿化、原生的红色、紫红色砂(泥)岩样品的有机碳含量普遍较低,介于 0.02%~0.1%。

岩石中有机碳(TOC)含量是其处于氧化、还原状态的良好指示。由表 1 可以看出,铅锌矿化越强,TOC 含量越高,说明在氧化条件下形成的红色、紫红色的原生岩石到灰白色、灰黑色的含矿岩石,期间经历了从氧化状态到还原状态的转变。原始沉积时,赋矿岩层中的有机碳含量相对较少,经过含油气流体的还原后,铅锌沉淀成矿,TOC 含量变高。

岩石中全硫(ΣS)是硫酸盐还原作用的产物,其含量的高低反映岩层氧化还原性的高低。一般认为 ΣS 为 0.05% 时,就表征具有还原性(吴柏林,2005)。乌拉根矿区样品全硫平均含量为 3.56%(17 件样品),其中,油气显示越明显,铅锌矿化越强, ΣS 值越大;无矿化、原生的红色、紫红色砂(泥)岩样品的 ΣS 值一般较小。这表明从原生岩石到铅锌矿石,还原性依次增强,暗示在氧化状态向还原状态转变过程中,发生了铅锌成矿。油气则是氧化还原作用中的还原剂。

4.2 氯仿沥青‘A’及其族组分

乌拉根有机质的氯仿沥青‘A’变化不大,为 0.0040%~0.0250%(表 2),其中含矿样品氯仿沥青‘A’为 0.0046%~0.0171%、平均为 0.0107%,不含

表 1 乌拉根铅锌矿床有机碳-全硫分析结果
Table 1 Organic carbon and sulfur analyses of the Wulagen lead-zinc deposit

样号	岩性	采样位置	矿化程度	有机质特征	TOC/%	ΣS /%
W10-59-2	方铅矿石	南矿带	强	油气残留物	12.43	19.67
W10-59-1	矿化灰绿色砂岩	南矿带	强	油气残留物	2.72	5.55
T43-2	含方铅矿粗砂岩	南矿带	强	油气残留物	0.03	5.45
W10-42-3	方铅矿石	北矿带东段	强	油气残留物	1.04	1.48
W10-58-6	矿化灰黑色砂岩	北矿带	强	油气残留物	1.31	1.78
T47-4	含矿油气还原粗砂岩	北矿带	一般	油气残留物	0.02	2.26
T48-1	含矿油气还原砂岩	北矿带	一般	油气残留物	0.02	2.87
X08-556	油气还原残留物	北矿带东段	无	油气残留物	0.04	14.13
X08-561	含沥青砂岩	北矿带	无	砂岩中沥青	0.02	0.03
X08-564	油浸砂岩	北矿带	无	油气残留物	0.03	5.25
T44-4	油气还原粗砂岩	南矿带	无	油气残留物	0.02	0.03
W10-23-1	褐红色砂岩	乌拉根	无	—	<0.1	0.009
W10-24-1	灰白色砂岩	乌拉根	无	—	<0.1	0.013
W10-26-1	灰白色夹紫红色粉砂质泥岩	乌拉根	无	—	<0.1	1.94
W10-27-3	紫红色砂岩	乌拉根	无	—	<0.1	0.034
W10-29-2	紫红色砂岩	乌拉根	无	—	<0.1	0.030
W10-29-3	油气还原砂岩	乌拉根	无	油气残留物	<0.1	0.020

表 2 乌拉根铅锌矿床矿石和围岩中有机质的氯仿沥青“ A ”及其族组成
Table 2 Chloroform bitumen “ A ” and its family compositions of the organic matter in ores and rocks of the Wulagen lead-zinc deposit

样号	岩性	采样位置	有机质特征	矿化程度	w(B)/%					饱和烃 /芳烃	非烃 /沥青质		
					氯仿沥青“A”	饱和烃	芳烃	非烃	沥青质			总量	总烃
X08-556	油气还原残留物	乌拉根北矿带东段	油气残留物	无矿化	0.0250	21.58	4.17	24.08	50.17	100.00	25.75	5.18	0.48
X08-557	砂岩	拉根北矿带东段	油气残留物	无矿化	0.0061	16.60	2.81	26.12	54.47	100.00	19.41	5.91	0.48
X08-564	油浸砂岩	乌拉根北矿带中段	油气残留物	无矿化	0.0135	31.51	4.77	38.89	24.83	100.00	36.28	6.61	1.57
X08-57	含矿油浸砂岩	乌拉根南矿带	油气残留物	矿化一般	0.0171	17.68	8.09	46.63	27.60	100.00	25.77	2.19	1.69
T43-2	含方铅矿粗砂岩	乌拉根南矿带	油气残留物	矿化强	0.0050	57.38	13.55	16.72	12.35	100.00	70.93	4.23	1.35
T44-4	油气还原粗砂岩	乌拉根南矿带	油气残留物	无矿化	0.0040	59.18	1.39	27.01	12.42	100.00	60.57	42.58	2.17
T47-4	含矿油气还原粗砂岩	乌拉根北矿带平洞	油气残留物	矿化一般	0.0163	54.14	14.09	18.80	12.97	100.00	68.23	3.84	1.45
T48-1	含矿油气还原砂岩	乌拉根向斜转折端平洞	油气残留物	矿化一般	0.0046	54.07	8.78	20.77	16.38	100.00	62.85	6.16	1.27

矿样品氯仿沥青“ A ”为 0.0040 % ~ 0.0250 %、平均为 0.0121 %。含矿样品和不含矿样品的氯仿沥青“ A ”值变化范围均较小,表明其有机质来源一致或者经历了相同的成矿过程。A 的族组分中,含矿样品饱和烃为 17.68 % ~ 57.38 %、平均为 45.8175 %,不含矿样品饱和烃为 16.6 % ~ 59.18 %、平均为 32.22 %。含矿样品的氯仿沥青“ A ”平均比不含矿样品低,而饱和烃含量比不含矿样品增加,说明原生有机质在矿化时发生了明显的热成熟效应,反映含矿地段具有热成熟异常。

7 件样品 (X08-556、X08-561、X08-564、T43-2、T44-4、T47-4、T48-1) 的有机转化率 (A/C, 即氯仿沥青“ A ”占有机碳的百分数) 介于 16.7 % ~ 81.5 %, 平均为 41.4 %, 相对较高, 指示矿物有机物质已经明显受到热影响而成熟。

所测样品的总烃均值为 46.22, 饱和烃/芳香烃均值为 9.59, 非烃/沥青质均值为 1.31 (表 2)。其中, 饱和烃/芳香烃比值显示具有 I 型有机母质特征。OEP (奇偶优势指数) 可以用来指示有机质的成熟度。所测样品的 OEP 为 0.75 ~ 1.07 (表 3), 平均为 0.92, 无明显的奇偶优势, 显示了有机质高成熟特征, 指示沉积水介质为强还原条件。CPI (碳优势指数) 为 1.03 ~ 1.30 (表 3), 平均为 1.16, 指示热演化程度较高。

4.3 饱和烃气相色谱特征

正构烷烃主峰碳的分布与原始母质性质有关, 以藻类为主的有机质表现为低碳数主峰的特点, 其主峰多位于 C₁₅ ~ C₂₁ 之间, 如绿藻 nC₁₇ 占优势, 褐藻 nC₁₅ 占优势; 以高等植物为主的有机质表现为高碳数主峰的特点, 主峰碳数多为 C₂₅ ~ C₂₉ (易发成等,

2005)。从乌拉根饱和烃气相色谱参数特征 (表 3) 可以看出, 饱和烃碳数分布范围很广, 基本上位于 C₁₆ ~ C₂₅ 之间 (图 4), 大部分样品显示轻烃组分占绝对优势, 表明以海相有机质为主, 其烃源母质来源以绿藻占优势的水生低等的藻类生物为主 (Caldicott et al., 1973)。所有样品饱和烃气相色谱的基线都有上隆现象, 基线的上隆通常是有机质遭受水洗和生物降解的结果。

C₂₁-/C₂₂⁺ 是碳原子数在 C₂₁ 以前 (包括 C₂₁) 的轻烃含量总和与碳原子数在 C₂₂ 以后 (包括 C₂₂) 重烃含量总和的比值。C₂₁-/C₂₂⁺ 值若大于 1, 则说明轻烃含量高, 指示有机质来自海相生物; 若小于 1, 则重烃含量高, 指示有机质来自陆相生物; 若接近于 1, 则表明有机质为海相生物及陆相生物混合来源。本次研究所测试样品的 C₂₁-/C₂₂⁺ 值在 0.24 ~ 3.02 之间 (表 3), 平均值为 1.30, 说明原始有机质主要来自海相生物。(nC₂₁ + nC₂₂)/(nC₂₈ + nC₂₉) 比值可以区别海相或陆相生物成因的母质类型, 是油气地球化学研究的一个常用的生物输入指标, 当比值为 0.6 ~ 1.2 时, 属于陆相有机质输入型; 当比值为 1.5 ~ 5.0 时, 则为海相有机质输入型。本次测试样品的 (nC₂₁ + nC₂₂)/(nC₂₈ + nC₂₉) 比值在 0.59 ~ 4.30 之间 (表 3), 平均值 1.69, 反映原始有机质来自海相生物。乌拉根矿床外围区域岩石中有机质主要来源于海相藻类生物。

4.4 氧化还原背景

由于异戊二稀烃类的姥鲛烷 (Pr) 和植烷 (Ph) 具有结构上的稳定性和较高的含量, 其比值成为常用的油源对比与沉积环境分析的标志化合物。姥鲛烷是在氧化条件下, 植醇基团经氧化为植烷酸再经脱

表 3 乌拉根铅锌矿床有机质饱和烃气相色谱参数特征

Table 3 Characteristics of vapor-phase chromatography of saturated hydrocarbon in organic matter from the Wulagen lead-zinc deposit

样号	饱和烃碳数 分布范围	峰形特征	主峰碳数	C ₂₁ -/C ₂₂ ⁺	(nC ₂₁ + nC ₂₂) / (nC ₂₈ + nC ₂₉)	Pr/Ph	Pr/nC ₁₇	Pr/nC ₁₈	CPI	OEP
X08-556	C ₁₄ -C ₃₃	前高单峰	C ₁₆	1.24	1.28	0.41	0.56	1.67	1.15	0.79
08-557	C ₁₄ -C ₃₃	前高单峰	C ₂₂	0.98	2.12	1.27	0.77	0.58	1.03	0.83
X08-564	C ₁₃ -C ₃₄	前高双峰	C ₁₆ 、C ₂₂	2.57	1.65	1.42	0.58	0.65	1.25	0.75
X08-57	C ₁₄ -C ₃₀	后高单峰	C ₁₆	3.02	4.30	0.78	0.64	0.99	1.30	0.79
T43-2	C ₁₁ -C ₃₄	后高双峰	C ₁₅ 、C ₂₅	0.25	0.59	0.88	0.69	0.87	1.13	1.06
T44-4	C ₁₁ -C ₃₄	后高单峰	C ₂₄	0.24	1.25	0.74	0.75	0.97	1.15	1.05
T47-4	C ₁₁ -C ₃₅	前高双峰	C ₁₅ 、C ₂₅	1.72	0.77	1.84	0.26	0.22	1.13	1.02
T48-1	C ₁₁ -C ₃₃	后高单峰	C ₂₃	0.41	1.56	0.96	0.47	0.45	1.14	1.07

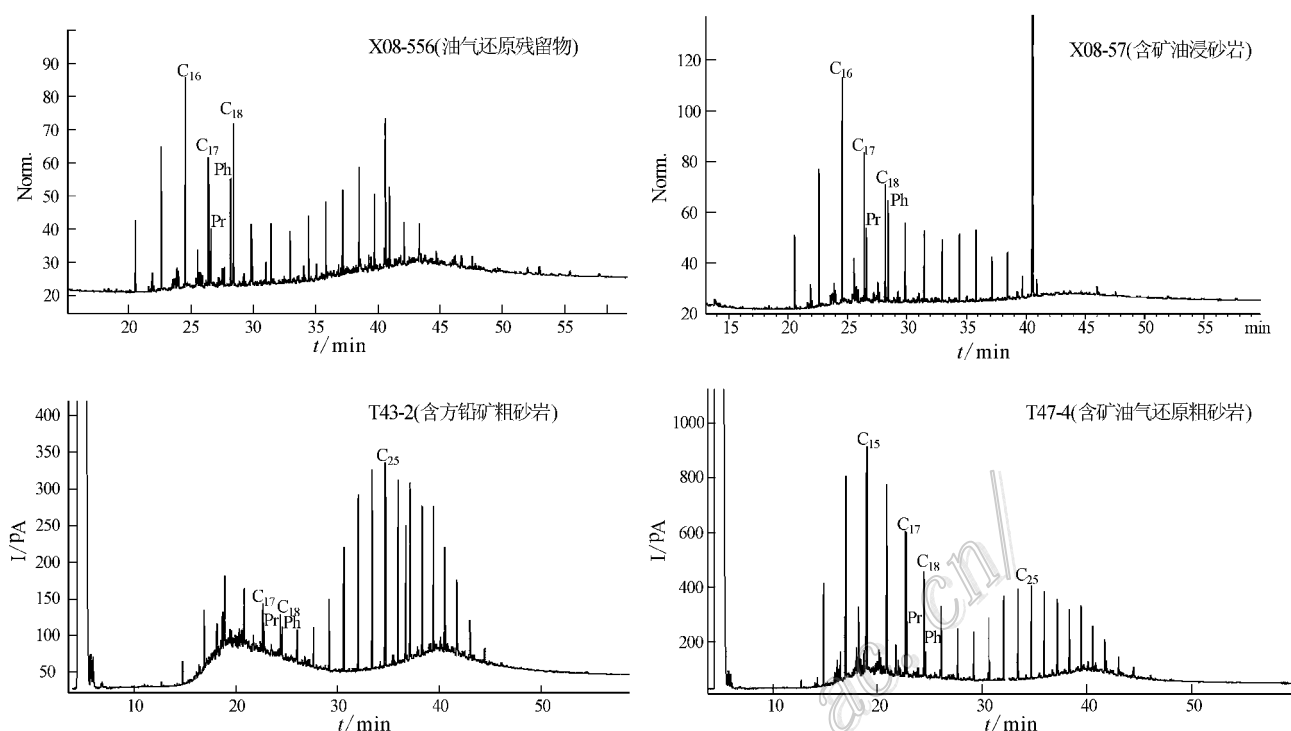


图 4 乌拉根铅锌矿床围岩和矿石中有机质饱和烃气相色谱图

Norm—相对丰度；I—电流

Fig. 4 Gas chromatograms of saturated hydrocarbons from hosted rocks and ores from Wulagen lead-zinc deposit

羧而成的植烷则是在还原条件下植醇基团加氢脱水而成的。在强还原的沉积环境中,常见强烈的植烷优势,在高含盐环境中,嗜盐菌等参加到沉积物有机质中并在成岩过程中被降解,也可释放出大量的植烷(王铁冠,1990)。而在弱氧化-弱还原环境中,常具有姥鲛烷优势。本次所有测试样品中均检测出了姥鲛烷(Pr)和植烷(Ph)。乌拉根铅锌矿样品 Pr/Ph 比值为 $0.41 \sim 1.84$ (表 3),平均为 1.04,姥鲛烷不具优势,证明有机质是处在还原环境中的。 Pr/nC_{17} 和 Ph/nC_{18} 均值分别为 0.59 和 0.8,小于 1,不具明显的奇偶优势,指示烃源母质形成于一种较强的还原环境(Peters et al., 1993)或与高成熟度有关(Blumer et al., 1971)。

4.5 矿床成因讨论

有机质及各种有机流体广泛参与金属元素成矿过程,已经为众多研究者所证实(Saxby, 1977; 涂光炽, 1988; 殷鸿福等, 1999; 卢家烂等, 2004; 张长青等, 2010)。国内外很多不同类型的矿床均发现与有机质有密切联系。如著名的卡林型金矿(Hausen et al., 1986)和 MVT 型铅锌矿(MacQueen et al., 1983)。在中国也发现大量与有机质有一定成因联

系的矿床,如云南金顶铅锌矿(薛春纪等, 2009; Xue et al., 2007)、滇中砂岩铜矿(庄汉平等, 1996a)、黔西南微细粒浸染型金矿(庄汉平等, 1996b)、粤北凡口铅锌矿(刘景委等, 2005)、四川赤普铅锌矿(张长青等, 2010)以及西北砂岩型铀矿(刘池阳, 2005)等。这些矿床成矿元素主要为 Cu、Pb、Zn、U、Au 等化学性质活泼的金属元素,含矿层位多为时代较新的地层,矿体或矿石中均可见油气残留物、沥青等有机质,在成因上与有机质的形成演化以及区域油气活动有关。庄汉平等(1996b)将这些与有机质有成因联系的金属矿床定义为 CGOM 型矿床(Ore Deposits Connected Genetically with Organic Matter),并指出这类矿床大多与沉积作用有关。

金属矿床中的有机质具有含量少、成分简单和高度分散的特点,不同于烃源岩中的有机质(卢家烂等, 2004)。对于有机质及各种有机流体是如何参与金属成矿过程这一关键问题,一直存在争议。多数研究者认为,有机质表现出的还原性质决定了其参与金属元素成矿的地球化学过程(庄汉平等, 1996b)。已有实验证明,原油的生成、运移对金属成矿元素具有活化、迁移的作用(叶连俊, 1998),而且

煤、沥青和干酪根等有机质可以把金属离子从溶液中还原出来(卢家烂等,2004)。有机质对金属元素的活化、迁移作用主要有2种方式:一种是以金属-络合物的形式活化、迁移;另一种是通过金属-胶体化合物表面形成保护膜,使之易于溶解而发生迁移。同时,也有模拟实验确认油气的破坏过程是金成矿的过程,从而建立了一个油气演化与金成矿之间的模式(林清等,1993)。

对于乌拉根铅锌矿床的成因,前人已有一些论述,归纳起来主要有5种观点:①沉积型或沉积-弱改造型(彭守晋,1990);②海底喷流沉积型(蔡宏渊等,2002;谢世业等,2002;2003);③热卤水沉积-改造铅锌矿床(高珍权等,2002a;2002b;Liu et al., 2002;李丰收等,2005;白洪海等,2008;康亚龙等,2009);④MVT铅锌矿床(张舒,2010;祝新友等,2010);⑤多成因复成矿床(刘宏林等,2010)。研究表明,油气广泛参与了乌拉根铅锌矿的成矿作用。

乌拉根铅锌矿的含矿地层为下白垩统克孜勒苏群,地层岩石颜色以红色为典型特征,为氧化条件下沉积的产物,但矿区的含矿岩石普遍为灰色-灰白色-灰黑色,为还原环境下的产物;其次,方铅矿和闪锌矿等金属硫化物也不可能在氧化条件下沉淀或保存。因此,一般的热卤水沉积-改造型成因模式不能圆满解释上述问题。乌拉根铅锌矿的赋矿岩性以砂岩、含砾砂岩和砂砾岩为主,局部为灰岩角砾岩,形成的大地构造背景与区域造山带挤压和盆地压缩演化有关。赋矿砂砾岩暗示大地构造环境以压缩沉降为主,代表一种较活动的构造背景。卢家烂等(2004)实验发现,在油气生成和运移过程中,油气对分散的Pb、Zn等金属元素具有强烈的活化和富集能力,即油气是成矿金属元素运移的载体。结合区域地质和有机质地球化学特征,推断乌拉根铅锌矿是在盆地压缩而引发的古油气藏破坏的过程中形成,其中的油气是铅锌富集成矿的重要还原剂,油气还原在该矿床的形成中发挥了重要作用。油气可能直接参与了乌拉根铅锌矿床的形成,不仅参与了成矿物质(铅锌)的搬运,也参与了成矿物质(铅锌)的沉淀。主要证据有:①野外露头发现了大量的油气活动残留物;②含矿和不含矿的砂砾岩中均检测出大量有机质,测试表明以海相有机质为主,其母质来源为以绿藻占优势的水生低等藻类生物,而且有机质是处在还原环境中的;③含矿和不含矿的砂砾岩薄片观测到油气包裹体。因此,乌拉根铅锌矿床的

成因可能与油气还原作用有关。油气可以溶解铅锌,在生成和运移过程中,还从围岩中进一步萃取铅锌等成矿元素。铅锌伴随油气的形成、迁移而导致在有机相(油气)中的富集,并在后期被油气还原而产生矿化,而且含硫高的原油的分解也可能提供了铅锌矿床形成所需要的硫(林清等,1993)。

喀什凹陷为长期稳定下沉的凹陷,造山前沉积了大量碳酸盐岩、碎屑岩地层,同时富含Pb、Zn等成矿物质,并在合适位置形成了古油气藏。乌拉根铅锌矿一带的烃源岩主要为中-下侏罗统湖相泥岩和页岩(赵孟军等,2005),最主要的储层为下白垩统克孜勒苏群(K_1kz)粗碎屑岩(张桂权等,2003)。位于矿床东北部的阿克莫木气田含气层系即为下白垩统克孜勒苏群砂砾岩(张秋茶等,2003)。中-新生代以来,昆仑山和西天山两大逆冲推覆构造体系对冲构造运动活跃,致使乌拉根一带逆冲断裂十分发育,形成了隆起(乌拉根隆起)-盆地沉积的构造格局,这些为赋存于下白垩统克孜勒苏群(K_1kz)或下伏层位的油气形成和运移提供了有利的条件。强烈的逆冲推覆作用使早期形成于盆地中的(含矿)热液沿着断裂不断运移并切穿了古油气藏,使油气混合于(含矿)热液之中。矿区北侧中泥盆统白云岩中产出有沙里塔什铅锌矿(叶庆同等,1999)。韩凤彬等(2012a)研究发现,矿床Pb、Zn等成矿金属物质主要来自区域古老地层。混合了油气的热液在运移过程中不断萃取周围地层中的Pb、Zn等成矿物质,形成富含金属成矿物质的流体。由于下白垩统克孜勒苏群第五岩性段(K_1kz^5)顶板为古近系阿尔塔什组(E_1a)石膏层,底板为泥岩,二者都对油气和热液有较好的阻挡作用,因此,富含金属成矿物质的油气热液沿砂砾岩层发生还原作用,铅锌等成矿物质沉淀出来,从而形成了乌拉根铅锌矿。

5 结 论

(1) 乌拉根铅锌矿区岩矿样品的有机碳(TOC)含量越高,全硫(ΣS)值越大,则铅锌矿化越强,暗示了在氧化状态向还原状态转变过程中,发生了铅锌成矿。油气则是氧化还原作用中的还原剂。

(2) 乌拉根矿区有机质的氯仿沥青“A”变化不大,含矿地段有机质具有热成熟异常。矿石和围岩有机质均显示为I型有机母质,其来源以海相藻类为主。Pr/Ph比值证明有机质是处在还原的环境

中,OEP值显示了有机质的高成熟特征,CPI值指示热演化程度较高。

(3) 区内油气活动参与了乌拉根铅锌矿床的成矿作用,油气还原是铅锌等金属元素富集沉淀成矿的重要因素。

志 谢 野外工作得到了新疆鑫汇地质矿业有限责任公司同行们的热情帮助和指导,有机地球化学数据处理得到了中国地质科学院矿产资源研究所张长青老师的指导和黄凡博士的帮助,在此深表谢意!

参考文献/References

白洪海,年武强,曲曼姑力. 2008. 新疆乌恰县乌拉根铅锌矿床地质特征及找矿模式探讨[J]. 新疆有色金属, (5): 1-4.

蔡宏渊,邓贵安,郑跃鹏. 2002. 新疆乌拉根铅锌矿床成因探讨[J]. 矿产与地质, 16(1): 1-5.

高珍权,刘继顺,舒广龙,匡文龙,胡江春. 2002a. 新疆乌恰地区中新生成盆地寻找热卤水成因的超大型铅锌矿床的地球化学证据[J]. 地质地球化学, 30(1): 13-20.

高珍权,刘继顺,舒广龙,匡文龙,胡江春. 2002b. 新疆乌恰铅锌矿床成矿的地质条件及成因[J]. 中南工业大学学报, 33(2): 116-120.

韩凤彬,陈正乐,刘增仁,陈柏林,崔玲玲,丁文君,蒋荣宝,李 丽,周永贵,王 永. 2012a. 塔里木盆地西北缘乌恰地区乌拉根铅锌矿床 S-Pb 同位素特征及其地质意义[J]. 地质通报, 31(5): 783-793.

韩凤彬,陈正乐,陈柏林,李细根,刘增仁. 2012b. 新疆喀什凹陷巴什布拉克铀矿流体包裹体及有机地球化学特征[J]. 中国地质, 39(4): 985-998.

何 鸿. 2007. 新疆乌恰县乌拉根铅锌矿床地质特征与成因初步分析(硕士论文)[D]. 导师: 韦龙明. 桂林: 桂林工学院. 1-58.

胡剑辉,吉蕴生,曾志钢. 2010. 新疆乌拉根铅锌矿床地球化学异常模式研究[J]. 矿产勘查, 1(3): 260-268.

黄 以. 1997. 木盆地中新世代红层的次生还原作用与铀矿化[J]. 新疆地质, 15(1): 84-89.

康亚龙,欧阳玉飞,樊俊昌,刘文玉. 2009. 新疆乌恰地区乌拉根铅锌矿床热卤水成因探讨[J]. 四川地质学报, 29(4): 400-405.

孔祥兴. 1984. 塔里木盆地西部乌拉根多金属矿床[J]. 新疆地质, 2(2): 75-80.

李丰收,王 伟,杨金明. 2005. 新疆乌恰县乌拉根铅锌矿床地质地球化学特征及其成因探讨[J]. 矿产与地质, 19(4): 335-340.

李盛富,王 成. 2008. 巴什布拉克铀矿床形成机理及其找矿标志[J]. 世界核地质科学, 25(3): 143-149.

李向东,王克卓. 2000. 塔里木盆地西南及邻区特提斯格局和构造意义[J]. 新疆地质, 18(2): 113-120.

李志丹. 2011. 新疆南天山盆地沉积环境中的两类重要铅锌矿床研究(硕士论文)[D]. 导师: 薛春纪. 北京: 中国地质大学. 1-120.

林 清,傅家谟,刘德汉,盛国英,卢家烂. 1993. 油气演化与一些金矿床成因的关系[J]. 地球化学, (3): 217-226.

刘池阳. 2005. 盆地多种能源矿产共存富集成藏(矿)研究进展[M]. 北京: 科学出版社. 1-264.

刘宏林,胡庆雯,田培仁. 2010. 关于新疆乌恰盆地中新世代砂岩型铅锌铜铀层状成矿问题浅析[J]. 矿产与地质, 24(2): 113-119.

刘景委,林明月,秦 鹏,孟志强. 2005. 凡口铅锌矿有机地球化学特征及成矿意义讨论[J]. 河北建筑科技学院学报, 22(4): 54-59.

刘增仁,陈正乐,韩凤彬,陈柏林,周永贵,崔玲玲,蒋荣宝,李 丽. 2010. 新疆喀什乌拉根铅锌矿油气还原迹象与成矿作用关系初析[J]. 矿床地质, 29(增刊): 1049-1050.

刘增仁,田培仁,祝新友,陈正乐,陈柏林,漆树基,叶 雷,余子昌,任经武. 2011. 新疆乌拉根铅锌矿成矿地质特征及成矿模式[J]. 矿产勘查, 2(6): 669-680.

卢家烂,傅家谟,彭平安,庄汉平,刘德汉,刘金钟,林 清,李 丽,贾蓉芬. 2004. 金属成矿中的有机地球化学研究[M]. 广州: 广东科技出版社. 1-349.

马艳萍,刘池洋,吴柏林,赵俊峰,房建军. 2005. 砂岩漂白现象的形成及其启示[A]. 盆地多种能源矿产共存富集成藏(矿)研究进展[C]. 北京: 科学出版社. 141-151.

彭守晋. 1990. 喀什地区主要铅锌矿床地质特征及成因探讨[J]. 新疆有色金属, (2): 8-15.

涂光炽. 1988. 中国层控矿床地球化学(第三卷)[M]. 北京: 科学出版社. 1-35.

王清华,胡熠昭,刘 胜,钟 瑞,杨芝林,杨云龙,黄智斌,张桂权. 2003. 塔里木盆地喀什凹陷北部露头区油气地质[M]. 北京: 石油工业出版社. 108-193.

王铁冠. 1990. 试论我国某些原油与生油岩中的沉积环境生物标志化合物[J]. 地球化学, 19(3): 256-263.

吴柏林. 2005. 中国西北地区中新世代盆地砂岩型铀矿地质与成矿作用(博士论文)[D]. 导师: 刘池阳. 西安: 西北大学. 90-95.

谢世业,莫江平,杨建功,杨金明. 2002. 新疆乌恰县乌拉根新生代热卤水喷流沉积铅锌矿地质特征及成矿模式[J]. 矿床地质, 21(增刊): 495-498.

谢世业,莫江平,杨建功,杨金明. 2003. 新疆乌恰县乌拉根新生代热卤水喷流沉积铅锌矿成因研究[J]. 矿产与地质, 17(1): 11-17.

薛春纪,高永宝,Chi G X, David L L. 2009. 滇西北兰坪金顶可能的古油气藏及对铅锌大规模成矿的作用[J]. 地球科学与环境学报, 31(3): 221-229.

叶连俊. 1998. 生物有机质成矿作用和成矿背景[M]. 北京: 海洋出版社. 1-460.

叶庆同,吴一平,傅旭杰,陈明勇,叶锦华,庄道泽,杨富全,白洪海. 1999. 西南天山金和有色金属矿床成矿条件和成矿预测[M].

- 北京:地质出版社. 129-140.
- 易发成,杨 剑,陈兴长,刘岁海. 2005. 贵州金鼎山下寒武统黑色页岩的有机地球化学特征[J]. 岩石矿物学杂志,24(4):294-300.
- 殷鸿福,张文淮,张志坚. 1999. 生物成矿系统论[M]. 武汉:中国地质大学出版社. 1-58.
- 有色金属矿产地质调查中心. 2009. 乌拉根铅锌矿项目获中国地质学会 2007 年度地质找矿十大成果奖[EB/OL]. <http://www.cnnem.cn/d269306856.htm>. 2009-01-12.
- 张长青,余金杰,毛景文,于 航,李厚民. 2010. 四川赤普铅、锌矿床生物标志化合物特征研究[J]. 沉积学报,28(4):832-847.
- 张桂权,吕 勇,丁维敏. 2003. 喀什凹陷北部下白垩统克孜勒苏群(K_{1kz})储层评价[J]. 南方油气,16(2):25-30.
- 张秋茶,王福煥,肖中尧,卢玉红,吴 懿. 2003. 阿克 1 井天然气气源探讨[J]. 天然气地球科学,14(6):484-487.
- 张 舒. 2010. 南天山典型铅锌矿床地质-地球化学特征及成因研究(硕士论文)[D]. 导师 张招崇. 北京:中国地质大学. 1-84.
- 赵孟军,王招明,宋 岩,张水昌,肖中尧,王清华,秦胜飞. 2005. 塔里木盆地喀什凹陷油气来源及其成藏过程[J]. 石油勘探与开发,32(2):50-54.
- 祝新友,王京彬,刘增仁,方同辉. 2010. 新疆乌拉根铅锌矿床地质特征与成因[J]. 地质学报,84(5):694-702.
- 庄汉平,冉崇英,何明勤,卢家烂. 1996a. 楚雄盆地铜、盐、有机质相互作用与砂岩铜矿生成[J]. 地质学报,70(2):162-173.
- 庄汉平,卢家烂. 1996b. 与有机质有成因联系的金属矿床[J]. 地质地球化学,4:6-11.
- Blumer M, Guillard R L and Chase T. 1971. Hydrocarbons of marine phytoplankton[J]. Mar. Biol., (8):183-184.
- Caldicott A B and Englinton G. 1973. Surface waxes. Phytochemistry 3 [M]. In: Miller L P, ed. New York: Inorganic elements and special groups of chemicals. 162-194.
- Hausen D M and Park W C. 1986. Observations on the association of gold mineralization with organic matter in Carlin type ores[A]. In: Dean W E, ed. Organism and ore deposits, Proceedings of the Denver region exploration geologist society symposium [C]. 119-136.
- Liu J S, Gao Z Q, Deng G Q, Li M and Liu Q D. 2002. One potential super large Pb-Zn ore occurrence with Himalayan thermal brine genesis Wuqia Region, Xinjiang, China [J]. Journal of Central South University of Technology, 9(1):41-47.
- MacQueen R W and Powell T G. 1983. Organic geochemistry of the Pine Point lead-zinc ore field and region, Norrhest Territories, Canada[J]. Econ. Geol., 78(1):1-25.
- Peters K E and Moldowan J M. 1993. The biomarker guide: Interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments[M]. New York: Prentice Hall Inc., 1-347.
- Saxby J D. 1977. The significance of organic matter in ore genesis[A]. In: Wolf K H, ed. Handbook of strata-bound and stratiform ore deposits[M]. Vol H. Oxford: Elsevier. 111-129.
- Xue C J, Zeng R, Liu S W, Chi G X, Qing H R, Chen Y C, Yang J M and Wang D H. 2007. Geologic, fluid inclusion and isotopic characteristics of the Jinding Zn-Pb deposit, Western Yunnan, South China: A review[J]. Ore Geology Reviews, 31(1-4):337-359.