

晴隆铈矿古油藏沥青及烃类包裹体的拉曼光谱特征

刘路¹⁾, 胡煜昭^{1,2)}, 张桂权³⁾

1) 昆明理工大学国土资源工程学院, 昆明, 650093; 2) 云南省矿产资源预测评价工程实验室, 昆明, 650093;

3) 中国石油化工股份有限公司勘探分公司, 成都, 610041

内容提要: 贵州晴隆铈矿是我国重要的铈矿床。前人在晴隆铈矿的包裹体中多见含烃包裹体, 但对烃类来源的认识并不明确。晴隆铈矿古油藏的发现为研究铈矿中有机质的来源提供了新的契机, 也为黔西南坳陷和峨眉山玄武岩组的油气勘探拓展了新的区域。晴隆铈矿古油藏的存在说明晴隆铈矿田曾经发生过较大规模的油气运移。沥青及烃类包裹体的拉曼光谱特征显示, 古油藏的演化程度很高, 并且在演化过程中生成大量以甲烷为主的天然气。推测曾有古气藏存在, 在黔西南坳陷保存较好的地区有天然气勘探的潜力。结合现有的晴隆铈矿成矿年龄数据和埋藏史曲线等证据, 认为古油藏的形成和热演化均应早于晴隆铈矿的成矿。

关键词: 古油藏; 拉曼光谱; 晴隆铈矿田; 贵州

位于滇黔桂三省边界地区的南盘江—右江盆地从泥盆纪至中三叠世发育了多套海相生储盖组合, 是我国南部海相油气勘探的重要区块(周明辉, 1999)。区域内分布有众多的古油藏和残余油气藏并且广泛发育 Au、Sb、Hg、As 等低温热液矿床, 油气藏或古油藏与矿床在烃源岩和矿源层、储集空间和容矿空间、以及运移通道等方面多具有相似性, 两者的形成和演化过程有着或多或少的联系(施继锡等, 1995; 张志坚等, 1997, 1998, 1999; 尹福光等, 2000; 包志伟等, 2005, 王聚杰等, 2015)。从本质上讲, 沉积盆地内的金属成矿与油气成藏同是盆地流体活动的产物, 油气藏是一种被封存起来的以碳氢化合物为主的盆地有机流体, 而固态金属矿床则大多是以水溶液相为主的盆地流体在适当部位将所溶解携带的成矿金属组分沉淀卸载的结果(刘建明等, 2000a, 2000b; 顾雪祥等, 2007, 2010)。基于沉积盆地中油气藏与金属矿产成藏、成矿过程和机理的相似性, 同盆共存的油气与金属矿产资源协同勘探已经在国内其他地区进行了一些尝试(阳翔等, 2000; 李亮等, 2001; 周奇明等, 2003; 刘建军等, 2005; 真允庆等, 2008; 章邦桐等, 2014)。前人在对晴隆铈矿田的研究中, 多次观察到包裹体

内含有有机成分, 虽然很多研究者也讨论铈矿形成与有机质的关系, 但是由于沥青这个重要的研究材料太少而难以开展(叶造军等, 1997; 庄汉平等, 1997; 王国芝等, 2002; 彭建堂等, 2003; 胡煜昭, 2011)。

晴隆铈矿古油藏的发现为研究铈矿中有机质的来源提供了新的契机, 也为南盘江盆地及峨眉山玄武岩组的油气勘探拓展了新的区域。前人在川滇黔交界地区的峨眉山玄武岩中发现有沥青与铜矿共生的现象, 李厚民等(2004, 2006)的研究已经证实与铜矿共生的沥青直接来源于石油, 王富东等(2011)的实验表明川滇黔交界地区铜矿的成矿与共生的沥青密不可分。而对川西雅安地区峨眉山玄武岩中天然气藏的研究显示, 玄武岩型气藏的有效储集空间多由次生作用产生并以溶蚀孔洞和喷溢间歇形成的风化壳为主, 构造裂缝和垂直于层面的节理会破坏其保存环境(冯仁蔚等, 2008; 邓敏等, 2014)。

与古油藏中沥青共生的透明矿物中发育的流体包裹体往往保存了反映古油藏演化过程的重要信息。激光拉曼探针作为一项非破坏性的微区分析技术已经应用到了地学研究的各个领域, 使用激光拉曼研究沥青和烃类包裹体已经有了较多的尝试。张

注: 本文为国家自然科学基金项目(编号: 41362007)、成矿动力学及隐伏矿预测云南省高校创新团队、国土资源部我国典型金属矿科学基地研究项目(编号: 20091107)和全国危机矿山西南地区典型层控矿床成矿规律总结研究项目(编号: 20089943)资助的成果。

收稿日期: 2015-09-17; 改回日期: 2016-04-22; 责任编辑: 刘志强。Doi: 10.16509/j.georeview.2016.04.017

作者简介: 刘路, 男, 1982年生。硕士研究生, 研究方向为油气地质与金属成矿耦合。通讯作者: 胡煜昭, 男, 1964年生。博士, 教授级高级工程师, 博士生导师。长期从事石油天然气和金属矿产的勘探和研究工作。Email: huyuzhao155@sohu.com。

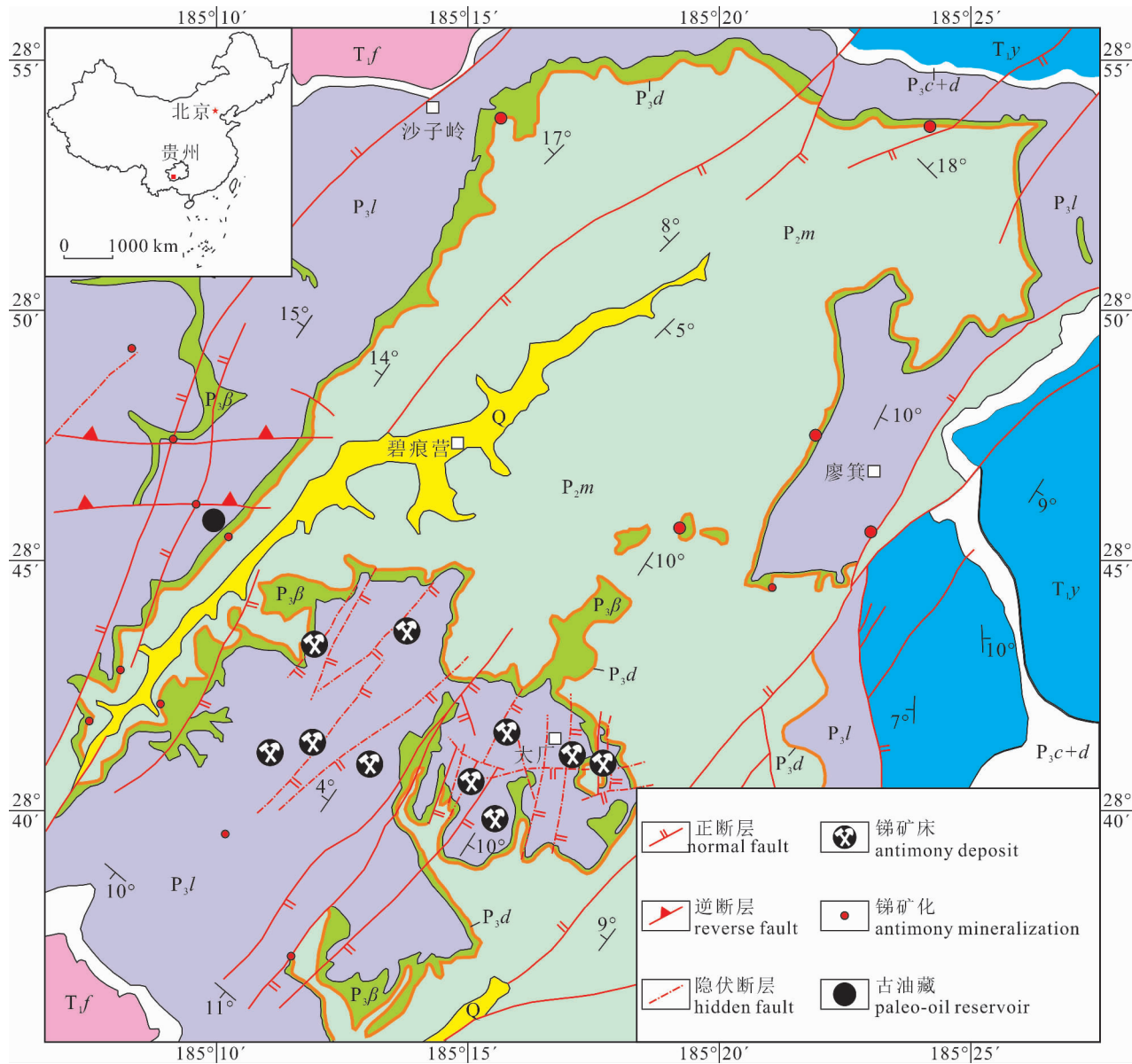


图 1 晴隆锑矿田区域地质图(据贵州省地质矿产局区调大队 1:5 万地质矿产图和矿床地质调查修改)
Fig.1 Regional geological map of the Qinglong antimony deposit, Guizhou Province (modified from regional geological survey team of Guizhou Bureau of Geology and Mineral Resource 1: 50,000 geology and mineral resources map and deposit geology survey)

Q—第四系;T₁f—下三叠统飞仙关组;T₁y—下三叠统夜郎组;P₃c + d—上二叠统大隆长兴组;P₃l—上二叠统龙潭组;
P₃β—上二叠统峨眉山玄武岩组;P₃d—上二叠统大厂层;P₂m—中二叠统茅口组

Q—Quaternary; T₁f—Lower Triassic Feixianguan Formation; T₁y—Lower Triassic Yelang Formation; P₃c + d—Upper Permian Dalong Formation and Changxing Formation; P₃l—Upper Permian Longtan Formation; P₃β—Upper Permian Emeishan Basalt Formation; P₃d—Upper Permian Dachang layer; P₂m—Middle Permian Maokou Formation

甯等(2007, 2009, 2010)已经在实验室内对沥青和烃类包裹体的拉曼光谱特征进行了大量的研究,并获得了可信的成果。目前,大部分研究认为激光拉曼谱图可以体现沥青和烃类包裹体组分的总体特征,但不能作为区分具体烃类的证据(Blanchet et

al., 2003; Grimmer et al., 2002; Volk et al., 2002; Makhoukhi et al., 2003; 张甯等, 2007, 2009, 2010)。本文以拉曼光谱为主要研究手段,结合岩芯和镜下观察以及包裹体的温度数据,尝试讨论晴隆锑矿古油藏的形成和演化过程。

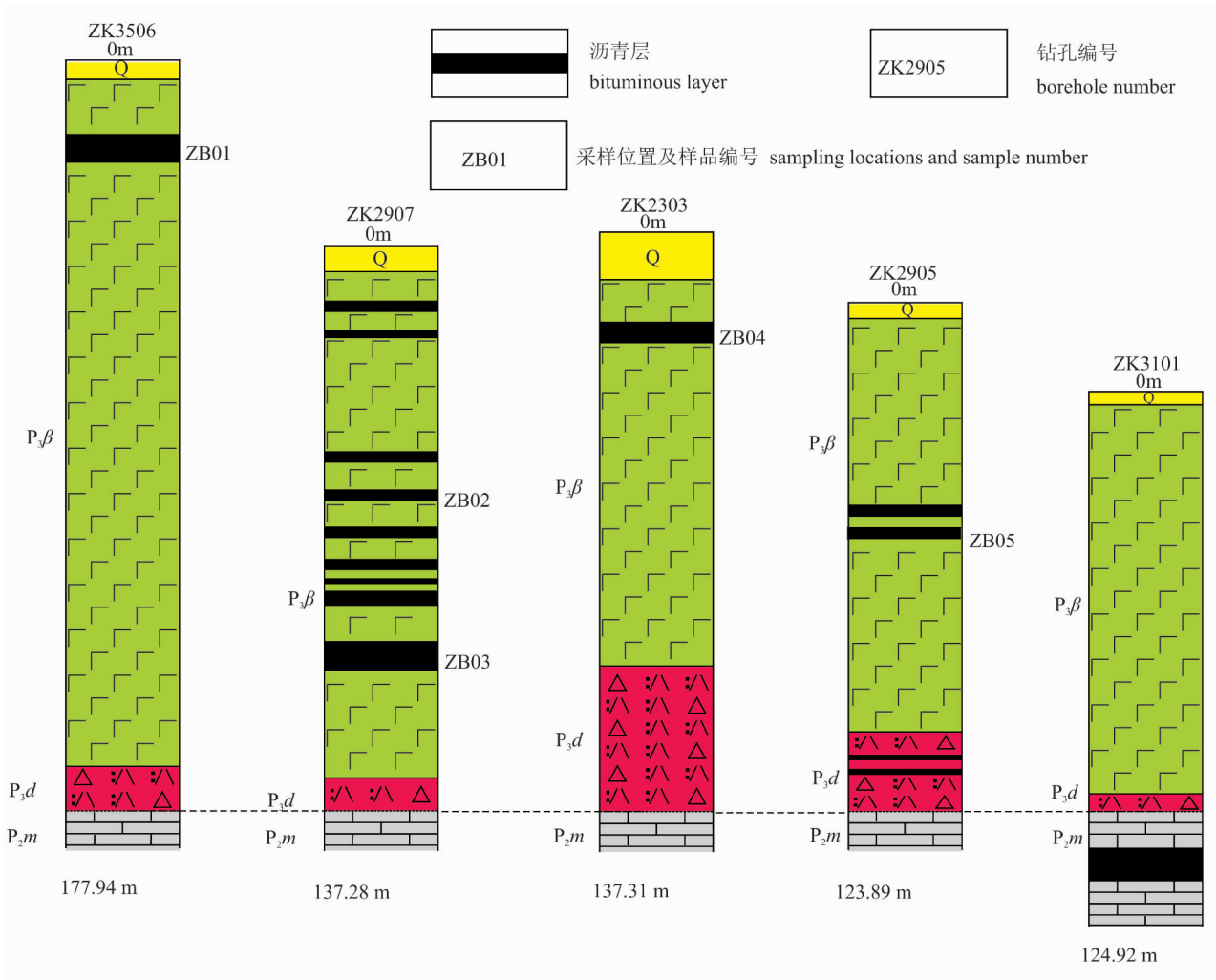


图 2 晴隆锑矿古油藏含沥青层钻孔岩性柱状对比图
Fig. 2 Rock character in the borehole with bitumen layer

Q—第四系;P₃β—上二叠统峨眉山玄武岩组;P₃d—上二叠统大厂层;P₂m—中二叠统茅口组
Q—Quaternary;P₃β—Upper Permian Emeishan Basalt Formation;P₃d—Upper Permian Dachang layer;
P₂m—Middle Permian Maokou Formation

1 晴隆锑矿古油藏的发现及地质概况

晴隆锑矿古油藏发现于2012年下半年,在晴隆锑矿田沙子岭矿段进行的锑矿勘查过程中,5个钻孔合计发现16层沥青,其中最厚8.39 m,最薄0.2 m,5个钻孔沥青层累计厚度最大14.30 m,最小3.17 m,平均9.02 m。有13层沥青赋存层位为上二叠统峨眉山玄武岩组,有2层沥青分布于上二叠统大厂层火山角砾岩和凝灰岩,1层分布于中二叠统茅口组。岩芯中16层沥青含量(有效面孔隙度)最大15%,最小0.5%,加权平均4.86%。5个钻孔控制的沥青层走向长度920 m,倾向宽度870 m,控

制面积约 $4.0 \times 10^5 \text{ m}^2$ 。按沥青储量=平均厚度×面积×有效总孔隙度(有效面孔隙度×1.4)×1.5(沥青比重)估算,沥青储量可达到36.84万吨。

研究区位于南盘江—右江盆地黔西南坳陷,属于以中三叠世浊积岩作为区域盖层的南盘江油气保存区,在抬升剥蚀之前有良好的油气保存条件(郑宽兵,2005)。矿区内出露的地层自老至新依次为:中二叠统茅口组灰岩、上二叠统大厂层火山角砾岩和凝灰岩、峨眉山玄武岩组和龙潭组煤系地层(图1)。锑矿体较靠近大厂背斜的核部,分布于花鱼井断层和青山镇断层之间,明显受北东向断层控制。晴隆锑矿古油藏则位于大厂背斜的西北翼,以峨眉

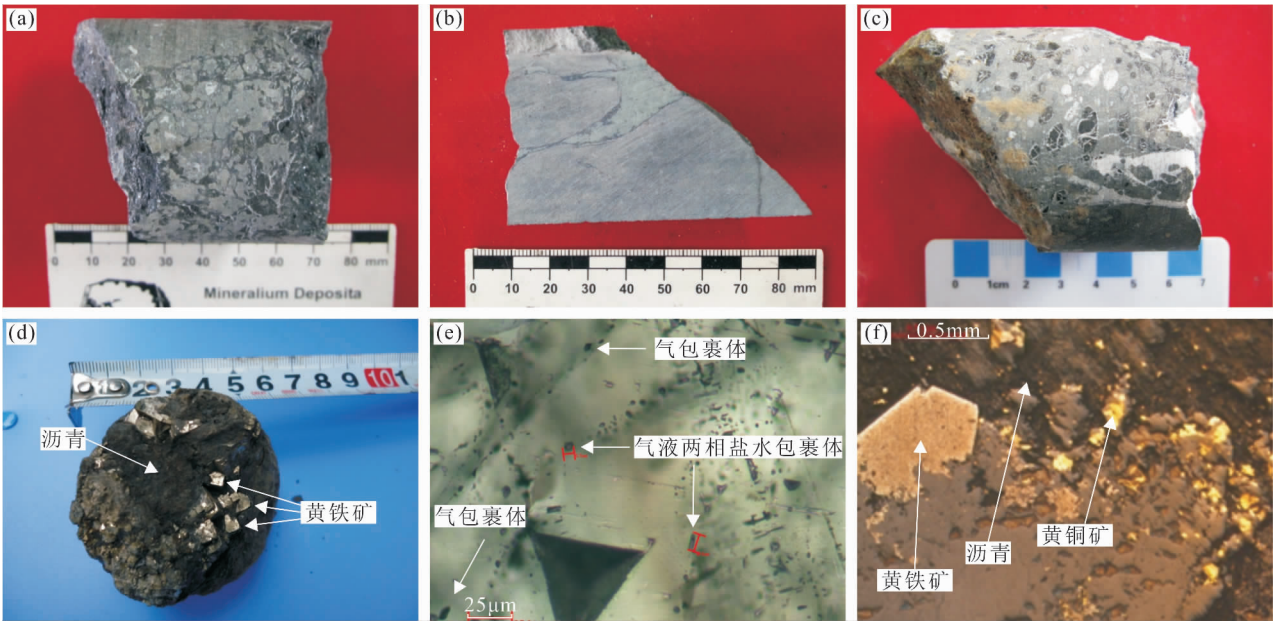


图 3 晴隆铈矿古油藏岩芯照片和镜下照片

Fig. 3 Rock core Photos and Microscope photos

(a) 玄武岩裂隙中的沥青;(b) 凝灰岩裂隙中的沥青;(c) 玄武岩气孔中的沥青;(d) 岩芯断面上的沥青与立方体黄铁矿;
(e) 方解石脉中的包裹体;(f) 镜下观察到的沥青与黄铁矿、黄铜矿共生
(a) Bitumen filling fissures in basalt; (b) Bitumen filling fractures in tuff; (c) Bitumen filling the pores of basalt; (d) Bitumen and pyrite cube on core section; (e) Inclusions in calcite lodes; (f) Bitumen, pyrite, chalcopyrite symbiosis observed under the microscope

山玄武岩组为主要储层,与沥青有共生关系的主要有黄铁矿、黄铜矿和方解石。古油藏所在位置的大厂层中可见硅化、粘土化和石膏化。

2 样品选择和测试

本次研究选取与沥青密切共生的方解石脉磨制成包裹体片 5 件,对沥青,及方解石脉捕获的烃类包裹体进行镜下观察和拉曼光谱测试,并对与烃类包裹体共生的盐水包裹体进行了均一温度和冰点温度测定。5 件包裹体样品的编号为 ZB01 ~ ZB05 (采样位置见图 2)。以 ZB02-1 代表样品 ZB02 的第 1 组拉曼光谱数据,以此类推。

拉曼光谱测试在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室完成,主要测试仪器为 RM-1000 型显微激光拉曼光谱仪 G92255,激光波长 532 nm,激光器输出功率 22 mw,狭缝宽 25 μm。

均一温度和冰点温度测定在中国石化石油勘探开发研究院无锡石油地质研究所实验研究中心进行,共测得气液两相盐水包裹体的均一温度数据 8 个,分布于 121.5 ~ 150.5 ℃,平均 132.5 ℃;冰点温度 2 个: - 3.5 ℃ 和 5.5 ℃,对应的盐度为: 5.62% ~ 8.51%NaC_{leq}。

3 岩芯观察及镜下观察

所采岩芯显示沥青主要赋存于上二叠统峨眉山玄武岩组和上二叠统大厂层的裂缝、孔隙和气孔中,沥青颜色为黑色和棕褐色,性硬而脆,不染手,树脂光泽,贝壳状断口,不能燃烧。肉眼可见部分沥青中分布黄铁矿、黄铜矿和斑铜矿,沥青层中未发现铈矿物,常见沥青与方解石共同填充成脉(图 3)。黄铁矿等与沥青共生说明古油藏中的烃类可能通过硫酸盐的热化学还原作用(Thermochemical Sulfate Reduction, TSR)为金属硫化物的沉淀提供了硫源(H₂S)。

TSR 反应: 烃类 + CaSO₄ → CaCO₃ + H₂S + H₂O ± CO₂ ± S(顾雪祥等, 2010)。

据镜下观察,与沥青共生的主要为方解石,其他矿物仅可见少量石英、黄铁矿、黄铜矿和斑铜矿。方解石中的包裹体十分发育,包裹体大小不一,多小于 15 μm,包裹体形态多呈较规则的椭圆形、多边形和长条状,也有部分包裹体呈不规则状。镜下可见气相包裹体、液相包裹体、固相包裹体和气液两相包裹体,包裹体多成群分布。

呈黑色的气相包裹体和固相包裹体多属于有机

包裹体。其中黑色气相包裹体多孤立存在或不规则分布,包裹体壁有明显的黑边和黑色阴影(图 4f),黑边为粘着于包裹体壁的固态沥青,黑色阴影是气

态部分的特征,可能是原先的烃包裹体在未发生渗漏的情况下经地质作用组分发生分解使轻烃与沥青分离而形成的;固相包裹体完全被黑色物质填充,捕

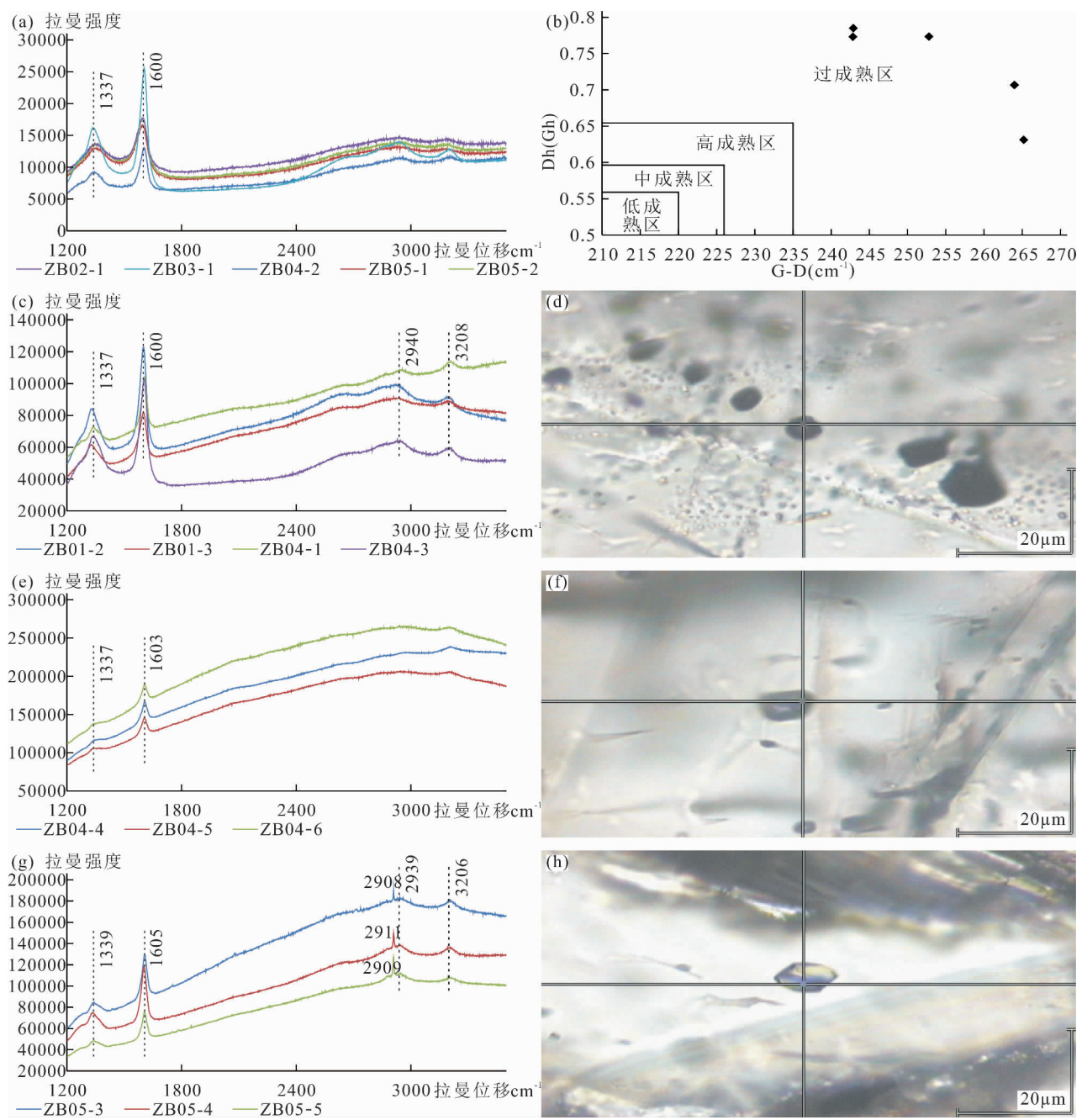


图 4 拉曼谱图、镜下照片和沥青成熟度分布图

Fig. 4 Raman spectra, microscopic photos and Distribution of bitumen maturity

(a) 沥青的拉曼谱图;(b) 沥青成熟度分布图;(c) 固相包裹体的拉曼谱图;(d) 固相包裹体的镜下照片(样品 ZB01-3);(e) 黑色气相包裹体的拉曼谱图;(f) 黑色气相包裹体的镜下照片(样品 ZB04-5);(g) 灰色含甲烷气相包裹体的拉曼谱图;(h) 灰色含甲烷气相包裹体的镜下照片(样品 ZB05-4)

(a) Raman spectra of bitumen; (b) Maturity distribution of bitumen; (c) Raman spectra of solid inclusion; (d) Microscopic photograph of solid phase inclusion (sample ZB01-3); (e) Raman spectra of black gas-phase inclusion; (f) Microscopic photograph of black gas-phase inclusion (sample ZB04-5); (g) Raman spectra of grey gas-phase inclusion with methane; (h) Microscopic photograph of grey gas-phase inclusion with methane (Sample ZB05-4)

获的可能是半固化的沥青,多呈带状分布(图 4d),可能为多个较小的方解石晶体连成较大的晶体时或者愈合裂缝时捕获的,捕获时间应晚于黑色气相包裹体。由此推断方解石的结晶过程可能贯穿了整个古油藏的演化过程。可以初步确认古油藏的演化程中有天然气生成。

4 拉曼光谱特征

在拉曼光谱测试中,对液相包裹体和气液两相包裹体未能获得有效的拉曼谱图,可能是由主矿物(方解石)的荧光干扰导致的。但经过多次尝试,对固相包裹体和气相包裹体获得了较好的拉曼谱图。

4.1 沥青的拉曼光谱特征

多数沥青质受其主要成分稠环芳烃中芳香环的荧光效应影响,没有明显的拉曼尖峰,而本次测试获得的拉曼谱图(图 4a)多具有 1337 cm⁻¹(D 峰)和 1600 cm⁻¹(G 峰)左右两个成对的拉曼峰,并以 1600 cm⁻¹左右的拉曼峰较为突出的特征。这一特征说明与方解石共生的沥青是碳质沥青(张鼎等, 2009),演化程度较高(房忱琛等, 2015)。

利用拉曼谱图中 D 峰与 G 峰的比值和两者的拉曼位移差来推算沥青的成熟度已经有多位学者进行了尝试并获得了较好的成果(胡凯等, 1993; 段菁春等, 2002; 刘德汉等, 2013; 王茂林等, 2015)。计算本次研究中 5 个沥青样品的 G-D 差值和 Dh/Gh 的比值数(表 1)做沥青成熟度分布图(图 4),用 G-D 差值的 220 cm⁻¹、226 cm⁻¹、235 cm⁻¹和 Dh/Gh 值的 0.558、0.596、0.654 数值分别画出相应的低成熟、中成熟、高成熟、过成熟区域(张鼎等, 2013)。全部 5 个样品均落在过成熟区域,也反映出晴隆铈矿田古油藏的演化程度很高。

4.2 固相包裹体的拉曼光谱特征

黑色固相包裹体的拉曼谱图与沥青的拉曼谱图近似,但除具有 1337 cm⁻¹(D 峰)和 1600 cm⁻¹(G 峰)左右两个成对的拉曼峰,并以 1600 cm⁻¹左右的

拉曼峰较为突出的特征外,还具有位于 2940 cm⁻¹和 3208 cm⁻¹附近的一对宽缓的拉曼峰(图 4c)。这说明此种包裹体可能是在沥青接近固化的时候形成的,包裹体中除碳质沥青外还残留有少量其他烃组分(张鼎等, 2009)。

4.3 气相包裹体的拉曼光谱特征

黑色气相包裹体的拉曼谱图除 1600 cm⁻¹附近的一个拉曼尖峰和 1337 cm⁻¹附近微弱的被荧光宽缓的拉曼突起外,整体呈荧光拱包状(图 4e)。1337 cm⁻¹附近的拉曼峰不显著说明具有非晶质石墨无序结构和结构单元间缺陷的成分较少,而荧光拱包是由于覆盖于包裹体壁上的沥青含有较多的多环苯环导致的。此种包裹体是原先的烃类包裹体在未发生渗漏的情况下经地质作用组分发生分解使轻烃与沥青分离而形成的,在轻烃与沥青分离的过程中可能导致包裹体内部的压力大于外界压力。据前人的模拟实验结果,同样温度下压力升高导致沥青热演化的产物结构更加规整,芳香结构增多,芳环碳所占比例增加(高志农等, 2002)。所以覆盖于此种包裹体壁上的沥青与包裹体外的碳质沥青相比,含有更多的芳香结构。此种包裹体由于荧光拱包的存在而无法通过拉曼谱图鉴别其气相成分。

在测试过程中发现一个一半灰色一半较透明的包裹体(图 4h),在其灰色部分获得的拉曼谱图(图 4g, ZB05-4 和 ZB05-5)和较透明部分获得的拉曼谱图(图 4g, ZB05-3)均具有 1339 cm⁻¹和 1605 cm⁻¹、2939 cm⁻¹和 3206 cm⁻¹两对成对的拉曼峰以及 2909 cm⁻¹附近明显的拉曼尖峰。此包裹体的位置距离薄片的上下表面均有一定距离,可以排除磨片时破坏了包裹体壁的情况。由于古油藏的演化程度较高,在经地质作用后很难有透明的液态烃存在于包裹体中,并且此包裹体内未见气泡,故认为此包裹体为纯气相包裹体。拉曼谱图中 1339 cm⁻¹和 1605 cm⁻¹、2939 cm⁻¹和 3206 cm⁻¹两对成对的拉曼峰表示包裹体壁上粘着的黑色物质为碳质沥青,包裹体

表 1 沥青成熟度分布数据表

Table 1 Bitumen maturity distribution data table

样品编号	D 峰	G 峰	G - D	Dh	Gh	Dh/Gh
	拉曼位移(cm ⁻¹)			拉曼强度		
ZB04-2	1338.2	1602.1	263.9	9273	13112	0.71
ZB05-1	1350.6	1593.4	242.8	13068	16627	0.79
ZB05-2	1353.1	1595.9	242.8	13703	17708	0.77
ZB02-1	1343.2	1595.9	252.7	13745	17752	0.77
ZB03-1	1337.0	1602.1	265.1	16193	25634	0.63

一半呈灰色一半较透明的现象可能是由于包裹体内沥青的含量较少没有完全覆盖包裹体壁而形成的。根据 2909 cm^{-1} 附近明显的拉曼尖峰可以判断此气相包裹体中含有甲烷。相对于黑色气相包裹体来说,此含甲烷气相包裹体的颜色较浅,呈透明一半透明,可能是由于包裹体内甲烷纯度较高导致的(刘德汉等, 2010)。另外,测得的拉曼位移 2909 cm^{-1} 相对 2914 cm^{-1} 有较大的偏移量,可以大致反映包裹体内的压力较高(Lu Wanjun et al., 2007)。

5 讨论

从测得的烃类包裹体拉曼光谱特征来看,方解石脉发育的包裹体在形成时捕获的流体为液态石油和半固化的沥青,与镜下观察获得的认识相符。根据含甲烷的气相包裹体内具有较高压力可以判断古油藏在演化过程中形成天然气的量较大,推测曾有天然气藏存在。

由本次研究获得的均一温度($121.5 \sim 150.5\text{ }^{\circ}\text{C}$)和盐度($5.62\% \sim 8.51\% \text{ NaCl}_{\text{eq}}$),选择葛云锦(2010)通过在重质原油环境下人工合成碳酸盐岩烃类包裹体获得的 5% 盐度储层盐水包裹体均一温度与捕获温度的校正曲线计算得到本次研究中方解石脉捕获盐水包裹体的捕获温度约为 $144 \sim 177\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

按照王津津(2011)根据胡煜昭(2010)反演的晴隆地区埋藏史曲线计算得到的晴隆锑矿埋藏深度与温度关系式: $t = 41 + B \cdot H$ (其中 t 为温度, B 为地温梯度, H 为深度),代入杨惠民等(1999)测得的晴隆锑矿床一带晚二叠世—三叠纪古地温梯度: $3.25\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ 和方解石脉中盐水包裹体的捕获温度,计算得到盐水包裹体的捕获深度约为 $3169 \sim 4185\text{ m}$,在晴隆锑矿地层埋藏史曲线图中对应埋深和抬升两个阶段。

根据镜下观察盐水包裹体和烃类包裹体之间没有明显的期次关系,并且方解石脉的存在本身代表了晴隆锑矿古油藏中存在无机流体,故此推测盐水包裹体的捕获深度与古油藏的形成深度基本一致。鉴于发现沥青层的峨眉山玄武岩和大厂层均不具备生烃潜力,晴隆锑矿古油藏的原油应为下部烃源岩生成液态石油之后运移到目前层位的。可以确定,晴隆锑矿田曾发生过较大规模的油气运移。

在南盘江盆地内可能为晴隆锑矿古油藏提供液态石油的烃源岩有中下泥盆统、石炭系和二叠系,但这三套烃源岩在侏罗纪之前就已进入干气阶段(赵孟军等, 2006a, 2006b)。因此,晴隆锑矿古油藏应

形成于三叠纪,早于晴隆锑矿测年数据显示的成矿时间(彭建堂等, 2003),也早于达到最大埋深的时间(图5)。由此,可以认为晴隆锑矿古油藏的热演化过程也早于晴隆锑矿的成矿时间。

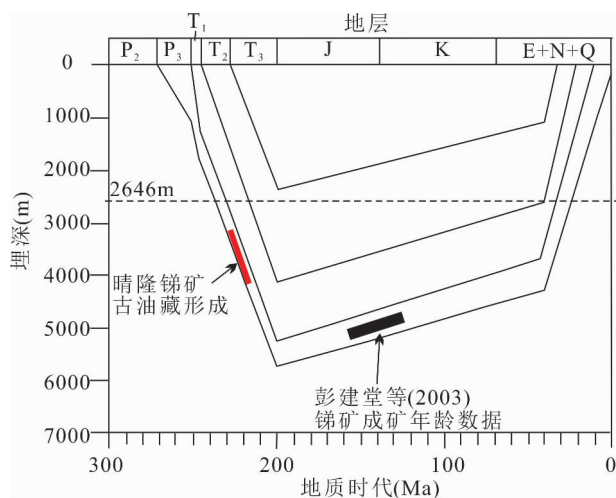


图5 晴隆锑矿地层埋藏史曲线(据胡煜昭,2010 修改)

Fig. 5 Burial history curves of Qinglong Antimony Ore Field (modified from Hu Yuzhao, 2010)

值得注意的是,峨眉山玄武岩和大厂层的 Sb 元素丰度均远高于地壳 Sb 元素丰度值(王津津等, 2011),镜下和肉眼均可见黄铁矿和黄铜矿与沥青共生,但是在古油藏所在区域的峨眉山玄武岩和大厂层中却没有发现同为硫化物的辉锑矿。通常认为发生 TSR 反应的温度应高于 $127\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Machel, 2001),将此温度代入前文所述埋深深度与温度关系式计算得到反应发生的最小埋深为 2646 m 。由于本区大厂层内多见石膏化,在埋深达到 2646 m 以上时 TSR 反应有烃类参与就可以顺利进行。所以,晴隆锑矿古油藏形成的初期,大厂层孔隙中流体的锑含量可能较低。

古油藏中的沥青为研究晴隆锑矿包裹体中的有机成分来源提供了大量材料。本文研究认为,古油藏中有机包裹体成分与晴隆锑矿中有机包裹体成分(叶造军, 1997)相似,并且位于大厂背斜西北翼的古油藏与位于大厂背斜核部的晴隆锑矿在层位和空间位置上十分接近,两者具有相似的演化程度和可能的亲缘关系。对于新发现的古油藏,我们还开展了有机地球化学、无机地球化学研究和成藏年代研究(相关研究成果尚未发表),正在寻找关于古油藏与锑矿之间关系的更加直接的证据。

根据川西地区峨眉山玄武岩天然气藏的勘探经

验,上二叠统峨眉山玄武岩—上二叠统龙潭组煤系地层是有利的天然气储盖组合,结合上二叠统峨眉山玄武岩在贵州西部、黔西南州北部呈西厚东薄的分布规律分析(王砚耕等, 2003; 陈文一等, 2003),青山镇断层以西的黔西南坳陷盘县断阶(毛健全等, 1999)被广阔的上二叠统龙潭组煤系地层和三叠系含泥岩地层覆盖地区,具有寻找火山岩型天然气藏的潜力,如普晴地区和盘县地区(有效勘探面积约 2000 km²)。若能在上述地区发现隐伏构造或圈闭,则有可能实现黔西南坳陷天然气勘探的突破。

6 结论

(1)晴隆铈矿田曾经发生过较大规模的油气运移,地质事件和包裹体的捕获顺序在时间上由早到晚依次为:原油充注到峨眉山玄武岩储层中形成晴隆铈矿古油藏→方解石捕获液态原油经地质作用形成包裹体壁上覆盖有沥青的气相包裹体→方解石捕获近固化的沥青经地质作用形成固相包裹体→最终方解石与碳质沥青共同充填成脉。

(2)晴隆铈矿古油藏的演化程度很高,属于过成熟区。古油藏在演化过程中产生了大量以甲烷为主要成分的天然气。古油藏产生的天然气可能形成了天然气藏。黔西南坳陷保存较好的油气单元应具有天然气勘探的潜质。

(3)晴隆铈矿古油藏的形成时间和热演化过程均早于晴隆铈矿的成矿时间。

致谢:野外工作得到了贵州省晴隆铈矿郑绍光同志、昆明中色矿产勘查有限责任公司赵晶晶、李进、赵永明、肖何等同志的大力支持,拉曼光谱测试工作得到了中国地质大学(武汉)何谋春老师的帮助,在此深表谢忱。

参 考 文 献 / References

(The literature whose publishing year followed by a “&” is in Chinese with English abstract; the literature whose publishing year followed by a “#” is in Chinese without English abstract)

包志伟, 赵振华, UHA Jayant. 2005. 黔西南微细粒浸染型金矿床有机地球化学研究. 地质学报, 79(1): 120 ~ 133.

陈文一, 刘家仁, 王中刚, 郑启铃. 2003. 贵州省峨眉山玄武岩喷发期岩相古地理研究. 古地理学报, 5(1): 17 ~ 27.

邓敏, 侯明才, 张本健, 李秀华. 2014. 川西南部周公山地区峨眉山玄武岩有利储层分析. 中国地质, 41(2): 378 ~ 386.

段菁春, 庄新国, 何谋春. 2002. 不同变质程度煤的激光拉曼光谱特征. 地质科技情报, 21(2): 65 ~ 68.

房忧琛, 熊永强, 李芸, 梁前勇, 陈媛. 2015. 原油裂解过程中固体沥青的拉曼光谱演化特征. 地球化学, 44(2): 196 ~ 204.

冯仁蔚, 王兴志, 张帆, 杨跃明, 李跃纲, 庞艳君, 张若祥. 2008. 四川西南部周公山及邻区“峨眉山玄武岩”特征及储集性能研

究. 沉积学报, 26(6): 913 ~ 924.

高志农, 胡华中. 2002. 高压对天然沥青结构组成演变的影响. 沉积学报, 20(3): 499 ~ 504.

葛文锦. 2010. 碳酸盐岩烃类包裹体形成机制及其对油气成藏的影响. 导师: 周瑶琪. 中国石油大学(华东)博士学位论文.

顾雪祥, 李葆华, 徐仕海, 付绍洪, 董树义. 2007. 右江盆地含油气成矿流体性质及其成藏—成矿作用. 地学前缘, 14(5): 133 ~ 146.

顾雪祥, 章永梅, 李葆华, 薛春纪, 董树义, 付绍洪, 程文斌, 刘丽, 吴程赞. 2010. 沉积盆地中金属成矿与油气成藏的耦合关系. 地学前缘, 17(2): 83 ~ 105.

胡凯, 刘英俊, Wilkins R W T. 1993. 激光喇曼光谱碳质地温计及其地质应用. 地质科学, 28(3): 235 ~ 245.

胡煜昭. 2010. 基于埋藏史—剥蚀史的晴隆铈矿成矿深度、成矿时间分析. 矿床地质, 29(S): 403 ~ 404.

胡煜昭. 2011. 黔西南坳陷沉积盆地分析与铈、金成矿研究. 导师: 方维萱. 昆明理工大学博士学位论文.

李厚民, 毛景文, 徐章宝, 陈毓川, 张长青, 许虹. 2004. 滇黔交界地区峨眉山玄武岩铜矿化蚀变特征. 地球学报, 25(5): 495 ~ 502.

李厚民, 毛景文, 张冠, 徐章宝, 高宏光, 张长青, 王登红, 许虹. 2006. 滇黔交界地区玄武岩铜矿蚀变分带和有机包裹体特征及其地质意义. 地质学报, 80(7): 1026 ~ 1034.

李亮, 王永康, 张建晔. 2001. 在油气藏周围寻找砂岩型铀矿. 西安石油学院学报, 16(5): 7 ~ 10.

刘德汉, 戴金星, 肖贤明, 田辉, 杨春, 胡安平, 米敬奎, 宋之光. 2010. 普光气田中高密度甲烷包裹体的发现及形成温度和压力条件. 科学通报, 55(4 ~ 5): 359 ~ 366.

刘德汉, 肖贤明, 田辉, 闵育顺, 周秦, 程鹏, 申家贵. 2013. 固体有机质拉曼光谱参数计算样品热演化程度的方法与地质应用. 科学通报, 58(13): 1228 ~ 1241.

刘建军, 李怀渊, 陈国胜. 2005. 利用铀—油关系寻找地浸砂岩型铀矿. 地质科技情报, 24(4): 67 ~ 72.

刘建明, 叶杰, 刘家军, 谭骏, 牛静静. 2000a. 论盆地流体成矿/成烃作用的耦合关系. 矿物岩石地球化学通报, 19(3): 164 ~ 171.

刘建明, 叶杰, 刘家军, 谭骏, 朱和平. 2000b. 盆地流体中有机组分的成矿效应. 矿物岩石地球化学通报, 19(3): 141 ~ 148.

毛健全, 顾尚义, 张启厚. 1999. 右江—南盘江裂谷构造格局. 贵州地质, 16(3): 188 ~ 194.

彭建堂, 胡瑞忠, 蒋国豪. 2003. 萤石 Sm-Nd 同位素体系对晴隆铈矿成矿时代和物源的制约. 岩石学报, 19(4): 785 ~ 791.

施继锡, 余孝颖, 王华云. 1995. 古油藏、沥青包裹体在金属成矿中的应用. 矿物学报, 15(2): 117 ~ 122.

王富东, 朱笑青, 韩涛, 王中刚. 2011. 川滇黔地区与峨眉山玄武岩有关的自然铜矿床成因实验研究. 矿物学报, 31(3): 322 ~ 327.

王国芝, 胡瑞忠, 苏文超, 朱赖民. 2002. 滇—黔—桂地区右江盆地流体流动与成矿作用. 中国科学 D 辑: 地球科学, 32(S1): 78 ~ 86.

王津津. 2011. 贵州晴隆铈矿构造—流体耦合关系的研究. 导师: 胡煜昭. 昆明理工大学硕士学位论文.

王津津, 胡煜昭, 韩润生. 2011. 贵州晴隆铈矿田微量元素地球化学特征及其对成矿流体的指示意义. 矿物学报, 31(3): 571 ~ 577.

王聚杰, 曾普胜, 麻菁, 代艳娟, 苟瑞涛. 2015. 黑色岩系及相关矿产——以扬子地台为例. 地质与勘探, 51(4): 677 ~ 689.

王茂林, 肖贤明, 魏强, 周秦. 2015. 页岩中固体沥青拉曼光谱参数作为成熟度指标的意义. 天然气地球科学, 26(9): 1712 ~ 1718.

- 王砚耕, 王尚彦. 2003. 峨眉山大火成岩省与玄武岩铜矿——以贵州二叠系玄武岩分布区为例. 贵州地质, 20(1): 5~10.
- 杨惠民, 刘炳温, 邓宗怀. 1999. 滇黔桂海相碳酸盐岩地区最佳油气保存单元的评价与选择. 贵阳: 贵阳科技出版社, 1~286.
- 阳翔, 赵友方, 姚锦琪. 2000. 油气藏上方异常成因机理浅析. 矿产与地质, 14(6): 397~400.
- 叶造军, 施继锡, 胡瑞忠. 1997. 贵州大厂锑矿有机质与有机质成矿作用. 矿物学报, 17(3): 311~315.
- 尹福光, 万方, 唐文清. 2000. 黔西南微细粒金矿的油气成藏模式. 沉积与特提斯地质, 20(3): 1~8.
- 章邦桐, 凌洪飞, 吴俊奇. 2014. 赣南6722铀矿床钛铀矿—晶质铀矿—铀石—沥青铀矿显微共生组合的厘定及成因意义. 地质论评, 60(6): 1418~1424.
- 张鼎, 田作基, 冷莹莹, 王汇彤, 宋孚庆, 孟建华. 2007. 烃和烃类包裹体的拉曼特征. 中国科学D辑: 地球科学, 37(7): 900~907.
- 张鼎, 田作基, 毛光剑, 吴胜华, 刘建宪, 脱奇. 2009. 沥青包裹体的拉曼光谱特征. 地球化学, 38(2): 174~178.
- 张鼎, 毛光剑, 王汇彤, 魏彩云, 脱奇, 刘建宪. 2010. 大分子烃类拉曼光谱特征及在烃包裹体研究中的意义. 地球化学, 39(4): 345~353.
- 张鼎, 王招明, 鞠凤萍, 肖中尧, 房启飞, 张宝收, 卢玉红, 余小庆. 2013. 塔北地区奥陶系碳酸盐岩中的储层沥青. 石油学报, 34(2): 225~231.
- 张志坚, 张文淮. 1997. 滇黔桂地区低温矿床有机成矿流体及与矿化的关系. 矿物学报, 17(4): 483~490.
- 张志坚, 张文淮. 1998. 贵州省烂泥沟金(汞、锑)矿床有机成矿流体研究. 矿床地质, 17(4): 343~354.
- 张志坚, 张文淮. 1999. 黔西南卡林型金矿成矿流体性质及其与矿化的关系. 地球科学, 24(1): 74~78.
- 赵孟军, 赵陵, 张水昌, 刘培初. 2006a. 南盘江盆地主要烃源岩地球化学特征研究. 石油实验地质, 28(2): 162~167.
- 赵孟军, 张水昌, 赵陵, 刘培初. 2006b. 南盘江盆地主要烃源岩热演化史及油气生成史. 石油实验地质, 28(3): 271~275.
- 真允庆, 郝红蕾, 付怀林, 吴金凤, 曾朝伟. 2008. 广东三水盆地油气田与金属矿床的成因关系. 地质学报, 82(6): 795~804.
- 郑宽兵. 2005. 滇黔桂地区二叠系—三叠系层序地层格架研究. 导师: 邓军. 中国地质大学(北京)博士学位论文.
- 周明辉. 1999. 南盘江拗陷油气系统研究. 云南地质, 18(3): 248~265.
- 周奇明, 周立宏. 2003. 大港油田已知油气田上方化探效果及异常模式. 物探与化探, 27(5): 345~349.
- 庄汉平, 卢家烂, 傅家谟, 刘金钟, 施继锡. 1997. 黔西南金锑矿床成矿流体中轻烃物质的初步研究. 科学通报, 42: 1753~1755.
- Bao Zhiwei, Zhao Zhenhua, UHA Jayant. 2005#. Organic geochemical studies of fine grained disseminated gold deposit in southwest Guizhou. Acta Geologica Sinica, 79(1): 120~133.
- Blanchet A, Pagel M, Walgenwitz F Lopez A. 2003. Microspectrofluorimetric and microthermometric evidence for variability in hydrocarbon fluid inclusions in quartz overgrowths: Implications for inclusion trapping in the Alwyn North field, North Sea. Org Geochem, 34(11): 1477~1490.
- Chen Wenyi, Liu Jiaren, Wang Zhonggang, Zheng Qiqian. 2003#. Study on lithofacies palaeogeography during the permian Emeishan basalt explosion in Guizhou Province. Journal of Palaeogeography, 5(1): 17~27.
- Deng Min, Hou Mingcai, Zhang Benjian, Li Xiuhua. 2014#. Favorable reservoir analysis of Emeishan basalt in Zhougongshan area of southwest Sichuan Province. Geology in China, 41(2): 378~386.
- Duan Jingchun, Zhuang Xinguo, He Mouchun. 2002#. Characteristics in laser raman spectrum of different of coal. Geological Science and Technology Information, 21(2): 65~68.
- Fang Chenchen, Xiong Yongqiang, Li Yun, Liang Qianrong, Chen Yuan. 2015#. Raman spectra characteristics of solid bitumens generated during oil cracking. Geochimica, 44(2): 196~204.
- Feng Renwei, Wang Xingzhi, Zhang Fan, Yang Yueming, Li Yuegang, Pang Yanjun, Zhang Ruoxiang. 2008#. The Study on Reservoir Property and Characteristics of the Emeishan Basalts of Zhougongshan and Its Neighbour Area in the Southwest Sichuan. Acta Sedimentologica Sinica, 26(6): 913~924.
- Gao Zhinong, Hu Huazhong. 2002#. The influence of high pressure on the structural and compositional evolution of natural bitumen. Acta Sedimentologica Sinica, 20(3): 499~504.
- Ge Yunjin. 2010#. Trapping mechanism of hydrocarbon inclusion in carbonate and its response to hydrocarbon accumulation. Supervisor: Zhou Yaoqi. A Dissertation Submitted to China University of Petroleum (EastChina) for Doctoral Degree.
- Grimmer J O W, Pironon J, Teinturier S Mutterer J. 2003. Recognition and differentiation of gas condensates and other oil types using microthermometry of petroleum inclusions. J Geochem Explor, 78~79: 367~371.
- Gu Xuexiang, Li Baohua, Xu Shihai, Fu Shaohong, Dong Shuyi. 2007#. Characteristics of hydrocarbon-bearing ore-forming fluids in the Youjiang Basin, South China: implications for hydrocarbon accumulation and ore mineralization. Earth Science Frontiers, 14(5): 133~146.
- Gu Xuexiang, Zhang Yongmei, Li Baohua, Xue Chunji, Dong Shuyi, Fu Shaohong, Cheng Wenbin, Liu Li, Wu Chengyun. 2010#. The coupling relationship between metallization and hydrocarbon accumulation in sedimentary basins. Earth Science Frontiers, 17(2): 83~105.
- Hu Kai, Liu Yingjun, Wilkins R W T. 1993#. Laser raman carbon geothermometer and its application to mineral exploration. Scientia Geologica Sinica, 28(3): 235~245.
- Hu Yuzhao. 2010#. Based on burial history and denudation history of Qinglong antimony mineralization in depth, mineralization time analysis. Mineral Deposits, 29(S): 403~404.
- Hu Yuzhao. 2011#. Southwest Guizhou depression sedimentary basin analysis and antimony, gold mineralization research. Supervisor: Fang Weixuan. A Dissertation Submitted to Kunming University of Science and Technology for Doctoral Degree.
- Li Houmin, Mao Jingwen, Xu Zhangbao, Chen Yuchuan, Zhang Changqing, Xu Hong. 2004#. Copper mineralization characteristics of the emeishan basalt district in the Yunnan—Guizhou border area. Acta Geoscientia Sinica, 25(5): 495~502.
- Li Houmin, Mao Jingwen, Zhang Guan, Xu Zhangbao, Gao Hongguang, Zhang Changqing, Wang Denghong, Xu Hong. 2006#. Alteration zoning and organic fluid inclusions in basalt copper deposits in northeastern Yunnan and western Guizhou and their geological significance. Acta Geologica Sinica, 80(7): 1026~1034.
- Li Liang, Wang Yongkang, Zhang Jianye. 2001#. Exploiting the sandstone uranite mineral deposits around oil and gas reservoirs. Journal of Xi'an Petroleum Institute (Natural Science Edition), 16(5): 7~10.
- Liu Dehan, Dai Jinxing, Xiao Xianming, Tian Hui, Yang Chun, Hu Anping, Mi Jingkui, Song Zhiguang. 2010#. High density methane inclusions in Puguang gasfield: Discovery and a T—P genetic study. Chinese Science Bulletin, 55(4~5): 359~366.
- Liu Dehan, Xiao Xianming, Tian Hui, Min Yushun, Zhou Qin, Cheng Peng, Shen Jiagui. 2013#. Sample maturation calculated using

- Raman spectroscopic parameters for solid organics: Methodology and geological applications. *Chinese Science Bulletin*, 58(13): 1228 ~ 1241.
- Liu Jianjun, Li Huaiyuan, Chen Guosheng. 2005&. Exploration uranium deposit of in-situ leachable sandstone type using the relation between oil and uranium. *Geological Science and Technology Information*, 24(4): 67 ~ 72.
- Liu Jianming, Ye Jie, Liu Jiajun, Tan Jun, Niu Jingjing. 2000a&. Oil accumulation and ore-formation. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 19(3): 164 ~ 171.
- Liu Jianming, Ye Jie, Liu Jiajun, Tan Jun, Zhu Heping. 2000b&. On ore-forming effect of organic compounds in basin fluids. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 19(3): 141 ~ 148.
- Lu Wanjun, Chou I-Ming, Burruss R C, Song Yucai. 2007. A unified equation for calculating methane vapor pressures in the $\text{CH}_4\text{—H}_2\text{O}$ system with measured Raman shifts. *Geochim Cosmochim Acta*, 71: 3969 ~ 3978.
- Machel H G. 2001. Bacterial and thermochemical sulfate reduction in diagenetic settings: Old and new insights. *Sedimentary Geology*, 140(1/2): 143 ~ 175.
- Makhoukhi S, Marignac Ch, Pironon J Schmitt J M, Marrakchi C, Bouabdelli M, Bastoul A. 2003. Aqueous and hydrocarbon inclusions in dolomite from Touissit—Bou Beker district, Eastern Morocco: A Jurassic carbonate hosted Pb—Zn (Cu) deposit. *J Geochem Explor*, 78 ~ 79: 545 ~ 551.
- Mao Jianquan, Gu Shangyi, Zhang Qihou. 1999&. Framework of fault tectonics in Youjiang—Nanpanjiang Rift. *Guizhou Geology*, 16(3): 188 ~ 194.
- Peng Jiantang, Hu Ruizhong, Jiang Guohao. 2003&. Samarium—Neodymium isotope system of fluorites from the Qinglong antimony deposit, Guizhou Province: Constraints on the mineralizing age ore-forming atersals' sources. *Acta Petrologica Sinica*, 19(4): 785 ~ 791.
- Shi Jixi, Yu Xiaoying, Wang Huayun. 1995&. The role of ancient oil reservoirs, bitumens and bitumen inclusions in metallogenetic research. *Acta Mineralogica Sinica*, 15(2): 117 ~ 122.
- Volk H, Horsfield B, Mann U Suchy V. 2002. Variability of petroleum inclusions in vein, fossil and vug cements: A geochemical study in the Barrandian Basin (Lower Palaeozoic, Czech Republic). *Org Geochem*, 33(12): 1319 ~ 1341.
- Wang Fudong, Zhu Xiaoqing, Han Tao, Wang Zhonggang. 2011&. An experimental study on genesis of emeishan basalt-related native copper deposit in the Sichuan—Yunnan—Guizhou area. *Acta Mineralogica Sinica*, 31(3): 322 ~ 327.
- Wang Guozhi, Hu Ruizhong, Su Wenchao, Zhu Laimin. 2002#. Fluid flow and mineralization in Youjiang Basin in the Yunnan—Guizhou—Guangxi area. *Science in China(Series D)*, 32(S1): 78 ~ 86.
- Wang Jinjin. 2011&. The study of the coupling of metallotectonics and ore-forming fluid of Qinglong antimony deposit, Guizhou Province. Supervisor: Hu Yuzhao. A Dissertation Submitted to Kunming University of Science and Technology for Master Degree.
- Wang Jinjin, Hu Yuzhao, Han Runsheng. 2011&. Geochemical characteristics and its implications of trace elements in Qinglong antimony deposit, Guizhou Province, China. *Acta Mineralogica Sinica*, 31(3): 571 ~ 577.
- Wang Jujie, Zeng Pusheng, Ma Jing, Dai Yanjuan, Gou Ruitao. 2015&. Black rock series and associated minerals: an example of the Yangze Platform. *Geology and Exploration*, 51(4): 677 ~ 689.
- Wang Maolin, Xiao Xianming, Wei Qiang, Zhou Qin. 2015&. Thermal maturation of solid bitumen in shale as revealed by raman spectroscopy. *Natural Gas Geoscience*, 26(9): 1712 ~ 1718.
- Wang Yangeng, Wang Shangyan. 2003&. Emeishan large igneous provinces and basalt copper deposits: an example from Permian basalt areas in Guizhou. *Guizhou Geology*, 20(1): 5 ~ 10.
- Yang Huimin, Liu Bingwen, Deng Zonghuai. 1999#. Evaluation and selection of the best of Petroleum Preservation Units in marine carbonate rocks of Yunnan—Guizhou—Guangxi area. Guiyang: Guiyang Science and Technology Press, 1 ~ 286.
- Yang Xiang, Zhao Youfang, Yao Jinqi. 2000&. Analysis on Hg anomaly forming mechanism above oil and gas reservoir. *Mineral Resources and Geology*, 14(6): 397 ~ 400.
- Ye Zaojun, Shi Jixi, Hu Ruizhong. 1997&. Organic matter and its role in mineralization in Dachang antimony deposit, Guizhou, China. *Acta Mineralogica Sinica*, 17(3): 311 ~ 315.
- Yin Fuguang, Wan Fang, Tang Wenqing. 2000&. The disseminated gold deposits in southwestern Guizhou: mineralization model and its correlation with oil-generation theories. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 20(3): 1 ~ 8.
- Zhang Bangtong, Ling Hongfei, Wu Junqi. 2014&. New finding of brannerite—uraninite—coffinite—pitchblende micro-assemblage and its genetic significance at the No. 6722 uranium deposit, southern Jiangxi Province. *Geological Review*, 60(6): 1418 ~ 1424.
- Zhang Nai, Tian Zuoji, Leng Yingying, Wang Huitong, Song Fuqing, Meng Jianhua. 2007#. The raman characteristic of hydrocarbons and hydrocarbon inclusions. *Science in China(Series D)*, 37(7): 900 ~ 907.
- Zhang Nai, Tian Zuoji, Mao Guangjian, Wu Shenghua, Liu Jianxian, Tuo Qi. 2009&. Raman spectroscopic characteristics of bitumen inclusions. *Geochimica*, 38(2): 174 ~ 178.
- Zhang Nai, Mao Guangjian, Wang Huitong, Wei Caiyun, Tuo Qi, Liu Jianxian. 2010&. Raman spectroscopic characteristics of macromolecular hydrocarbons and its significance in the study of hydrocarbon inclusions. *Geochimica*, 39(4): 345 ~ 353.
- Zhang Nai, Wang Zhaoming, Ju Fengping, Xiao Zhongyao, Fang Qifei, Zhang Baoshou, Lu Yuhong, Yu Xiaoqing. 2013&. Diagenetic bitumen in Ordovician carbonate reservoirs of the northern Tarim Basin. *Acta Petrolei Sinica*, 34(2): 225 ~ 231.
- Zhang Zhijian, Zhang Wenhui. 1997&. Relationship between organic metallogenic fluid and mineralization in the border region between Guizhou, Yunnan and Guangxi. *Acta Mineralogica Sinica*, 17(4): 483 ~ 490.
- Zhang Zhijian, Zhang Wenhui. 1998&. The study of organic ore-forming fluids in the Lannigou gold (mercury, antimony) deposit, Guizhou Province. *Mineral Deposits*, 17(4): 343 ~ 354.
- Zhang Zhijian, Zhang Wenhui. 1999&. Investigation into metallogenic fluid feature in carlin type gold deposits and its relation to mineralization in southwest Guizhou Province. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 24(1): 74 ~ 78.
- Zhao Mengjun, Zhao Ling, Zhang Shuichang, Liu Peichu. 2006a&. Geochemical characteristics of main source rocks in the Nanpanjiang Basin. *Petroleum Geology & Experiment*, 28(2): 162 ~ 167.
- Zhao Mengjun, Zhang Suichang, Zhao Ling, Liu Peichu. 2006b&. The thermal evolution history and oil and gas generation history of main source rocks in the Nanpanjiang Basin. *Petroleum Geology & Experiment*, 28(3): 271 ~ 275.
- Zhen Yunqing, Hao Honglei, Fu Huailin, Wu Jinfeng, Zeng Chaowei. 2008&. Genesis relation between hydrocarbon reservoirs and metal ore deposits in the Shanshui Basin, Guangdong Province. *Acta*

Geologica Sinica, 82(6): 795 ~ 804.

Zheng Kuanbing. 2005. Study on sequence stratigraphic framework of the permian and triassic in the Dian—Qian—Gui area. Supervisor: Deng Jun. A Dissertation Submitted to China University Geosciences for Doctoral Degree.

Zhou Minghui. 1999. A study on the petroleum system of Nanpanjiang SAG. Yunnan Geology, 18(3): 248 ~ 265.

Zhou Qiming, Zhou Lihong. 2003. The effect and anomaly model of

geochemical exploration over the know oil—gas field in the Dagang Oilfield. Geophysical & Geochemical Exploration, 27(5): 345 ~ 349.

Zhuang Hanping, Lu Jialan, Fu Jiamo, Liu Jinzhong, Shi Jixi. 1997. A preliminary study of ore-forming fluids in light hydrocarbon substances southwestern Guizhou gold—antimony deposit. Chinese Science Bulletin, 42: 1753 ~ 1755.

Raman Spectral Characteristics of Qinglong Antimony Ore Field Paleo-oil Reservoir Bitumen and Hydrocarbon Inclusions

LIU Lu¹⁾, HU Yuzhao^{1,2)}, ZHANG Guiquan³⁾

1) Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming, 650093;

2) Yunnan Mineral Resource Laboratory, Kunming, 650093; 3) Exploration Company, SINOPEC, Chengdu, 610041

Objectives: Guizhou Qinglong Antimony Ore is an important antimony deposit in China. Previous studies found that many of hydrocarbon inclusions in Qinglong Antimony Ore Field. But the understanding of the hydrocarbon source is not clear. The discovery of paleo-oil reservoir in Qinglong Antimony Ore Field makes sources of hydrocarbons with a new possibility, and show new oil and gas exploration area for Southwest Guizhou Depression and Emeishan Basalts. Through fluid inclusions study, we discuss the evolution of paleo-oil reservoir.

Methods: We chose calcite veins and bitumen in calcite veins mill made inclusions sample, to do the microscopic observation and Raman spectroscopy detect, and measuring the uniformly temperature and freezing point temperatures of salt water inclusions. By analyzing the characteristics of Raman spectroscopy to determine characteristics of fluid which captured when inclusions formed. Use uniformly temperature and capture temperature calibration curve calculated the capture temperature. According to the relationship between the burial depth and temperature relationship, calculate the depth of paleo-oil reservoir formation. Combined with the antimony mineralization time, determine the relationship between paleo-oil reservoirs and antimony ore.

Results: By analyzing the Raman Spectroscopy characteristics of bitumen, this paleo-oil reservoir has a high degree of evolution. The inclusions captured liquid petroleum when it formation, and converted into natural gas and bitumen in the geological process. The main component of natural gas is methane. A large amount of natural gas with methane is generated in the process of evolution. Presumably there exists ancient gas reservoir. The capture temperature of inclusions about 144 ~ 177 °C, corresponding to the capture depth about 3169 ~ 4185 m. Speculated that the formation of the paleo-oil reservoir earlier than antimony ore.

Conclusions: The well preserved area in Southwest Guizhou Depression has the potential of natural gas exploration. A wide range of hydrocarbon migration occurred prior to the formation of antimony ore. Ancient reservoirs and antimony ore in the formation context of time may indicate the existence of a relationship between them.

Keywords: paleo-oil reservoir; raman spectroscopy; Qinglong antimony ore field; Guizhou

Acknowledgements: This research was supported by grants from the Natural Science Foundation of China (41362007), base of typical metal ore of Ministry of Land and Resources (20091107), and national crisis mine in Southwest China typical strata bound deposit metallogenic regularity summarize research project (20089943).

First author: LIU Lu, male, born in 1982. Postgraduate. Mainly engaged in petroleum geology and metal coupling mineralization.

Corresponding author: HU Yuzhao, male, born in 1964. Ph. D., senior engineer, doctoral tutor. Long been engaged in oil and gas exploration, metal ores exploration and research, the main research area in the Tarim Basin and marine sedimentary area in southern China. Email: huyuzhao155@sohu.com.

Manuscript received on: 2015-09-17; Accepted on: 2016-04-22; Edited by: LIU Zhiqiang.

Doi: 10.16509/j. georeview. 2016. 04. 017