贵州余庆地区层间破碎带热液型重晶石矿床地球化学特征与成因分析

李源洪[1,2a]，杜红毅[1,2b*]，陈军[3a,3b]，徐石辉[1]，胡涛[1]，袁清松[1]

1. 贵州省地质矿产勘查开发局 106 地质大队，贵州 遵义 563000；
2. 中国地质大学（武汉）a. 地球科学学院；b. 资源学院，武汉 430074；
3. 贵州大学 a. 资源与环境工程学院；b. 喀斯特地质资源与环境教育部重点实验室，贵阳 550025

第一作者，E-mail：451858936@qq.com

* 通信作者，E-mail：763707020@qq.com

2024-06-24 收稿；2024-11-29 修回；2024-12-05 接受

基金项目：贵州省地质矿产勘查开发局地质科研项目(黔地矿科合 [2022]9 号)

中图分类号：P611　　文章编号：2096-8523(2025)03-0122-12　　doi: 10.19509/j.cnki.dzkq.tb20240350

摘　要：热液型重晶石因其高品质而成为近些年的重点勘查对象。位于扬子克拉通中部的武陵-苗岭一带是我国主要的热液重晶石成矿区，已成为重要钡资源基地。近些年，在贵州黔北新发现了受上寒武统娄山关群白云岩与下奥陶统桐梓组底部页岩接触部位控制的重晶石矿体，矿体延伸稳定，具有较大的成矿潜力，但其特殊热液成矿机制尚未开展系统研究，制约了进一步的勘查部署工作。以贵州余庆地区热液型重晶石为研究对象，开展了系统的岩相学、主微量元素地球化学和硫同位素组成分析研究。野外地质调查表明，硅(碎屑岩)-钙(白云岩)界面产生的层间破碎带及张性裂隙是该区重晶石的主要控矿构造。元素地球化学分析表明，围岩白云岩样品 δCe 呈现无异常特征(平均 1.06)，而重晶石样品呈明显的 δCe 负异常(平均 0.66)，揭示重晶石在氧化条件下形成。(Cu+Zn)与 Sr 元素协变关系和 Y/Ho 比值指示成矿物质可能来自寒武系富 Ba 的碳酸盐岩(含膏岩)地层。同样重晶石硫同位素组成($\delta^{34}S_{VCDT}$ 为 30.94‰ ~ 41.27‰)也指示硫主要来自寒武系海相蒸发岩。综合前人研究认为，构造运动驱使盆地流体发生运移，并萃取富 Ba 蒸发岩地层，在层间断层(硅-钙界面)与大气降水混合，形成重晶石矿床。研究成果为重晶石矿床的勘查提供重要参考。

关键词：主微量元素；硫同位素；热液重晶石矿床；余庆地区；贵州；层间破碎带

中生代时期，在扬子克拉通中部及西南部发生了大面积低温成矿作用，形成以金、锑、汞、铅锌、重晶石、萤石等为主的低温热液矿床及矿集区[1]。因其成矿时代较为集中，成矿元素组合特色鲜明，且以低温热液矿床为主，因此被称之为“华南大面积低温成矿域”[2-3]。近些年，有关金、锑、铅锌等低温成矿作用开展了大量的研究工作[3-5]，并取得了诸多研究共识。相对而言，重晶石和萤石等非金属矿产资源研究相对较少，尤其是针对重晶石-萤石区域成矿规律及富集机制研究较为匮乏，严重制约了对区域大面积低温成矿机制的全面认识。其中，在扬子克拉通内部武陵-苗岭一带(图 1a)，大量重晶石(萤石)矿床广泛分布形成著名的“武陵-苗岭重晶石成矿带”[7-10]，已成为高品质重晶石(白矿)的重要资源基地之一。因此，有必要加强该区重晶石(萤石)矿床成矿理论研究，为进一步的找矿突破提供理论支撑。

近些年，贵州省正在实施“富矿精开”战略行动，其中重晶石矿是该行动重点攻克的矿种之一。从贵

著录信息：李源洪，杜红毅，陈军，等. 贵州余庆地区层间破碎带热液型重晶石矿床地球化学特征与成因分析 [J]. 地质科技通报，2025，44(3)：122-133.
LI Yuanhong, DU Hongyi, CHEN Jun, et al. Geochemistry and genesis of hydrothermal barite deposits within interlaminar fracture zone, Yuqing area, Guizhou Province[J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 2025, 44(3): 122-133.

© Editorial Office of Bulletin of Geological Science and Technology. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license.　https://dzkjqb.cug.edu.cn

州省重晶石矿床类型来看，主要以沉积型和热液型重晶石为主(图 1b)。沉积型重晶石主要分布在天柱和镇宁地区，储量大，矿体产出稳定[11]；而热液型重晶石主要分布在黔东北的务川–湄潭一带，以及黔东南的施秉–都匀等地[9](图 1b)。然而，沉积型重晶石通常洁白度差，仅适用于钻井泥浆加重剂及各种钡化合物的原材料，不宜直接用作锌钡白颜料等化工、填料工业。相反，热液型重晶石可达到化工用Ⅰ、Ⅱ级品精矿要求，可广泛用于化工、橡胶、塑料、造纸等工业。因此，近些年贵州省加大对热液型重晶石的找矿勘查工作，但由于这些热液型重晶石矿明显受构造断裂控制，找矿勘查难度大，其区域成矿规律和找矿预测仍需深入研究。

为此，本研究聚焦黔北热液型重晶石成矿带，该成矿带目前形成 2 个成矿区[6]，分别是务川–湄潭重晶石成矿区和施秉–都匀重晶石成矿区(图 1b)。随着找矿勘查的深入，近些年在上述 2 个重晶石成矿区过渡地带的余庆地区(图 1b)，新发现了受上寒武统娄山关群白云岩与下奥陶统桐梓组底部页岩接触部位层间破碎带控制的重晶石矿体，产出特征较为典型，矿体延伸稳定，具有较大的成矿潜力，预测远景资源量超过 3 000 万 t。然而，该区域重晶石矿床的特殊热液成矿机制尚未开展系统研究，制约了进一步的勘查工作部署。基于此，笔者以区域内典型的余庆县构皮滩镇齐坡–八龙山重晶石矿床作为研究对象，开展重晶石矿相学观察、主微量元素和硫同位素地球化学研究，以揭示其成矿环境和成矿物质来源，为建立区域成矿模式提供依据，为提升重晶石

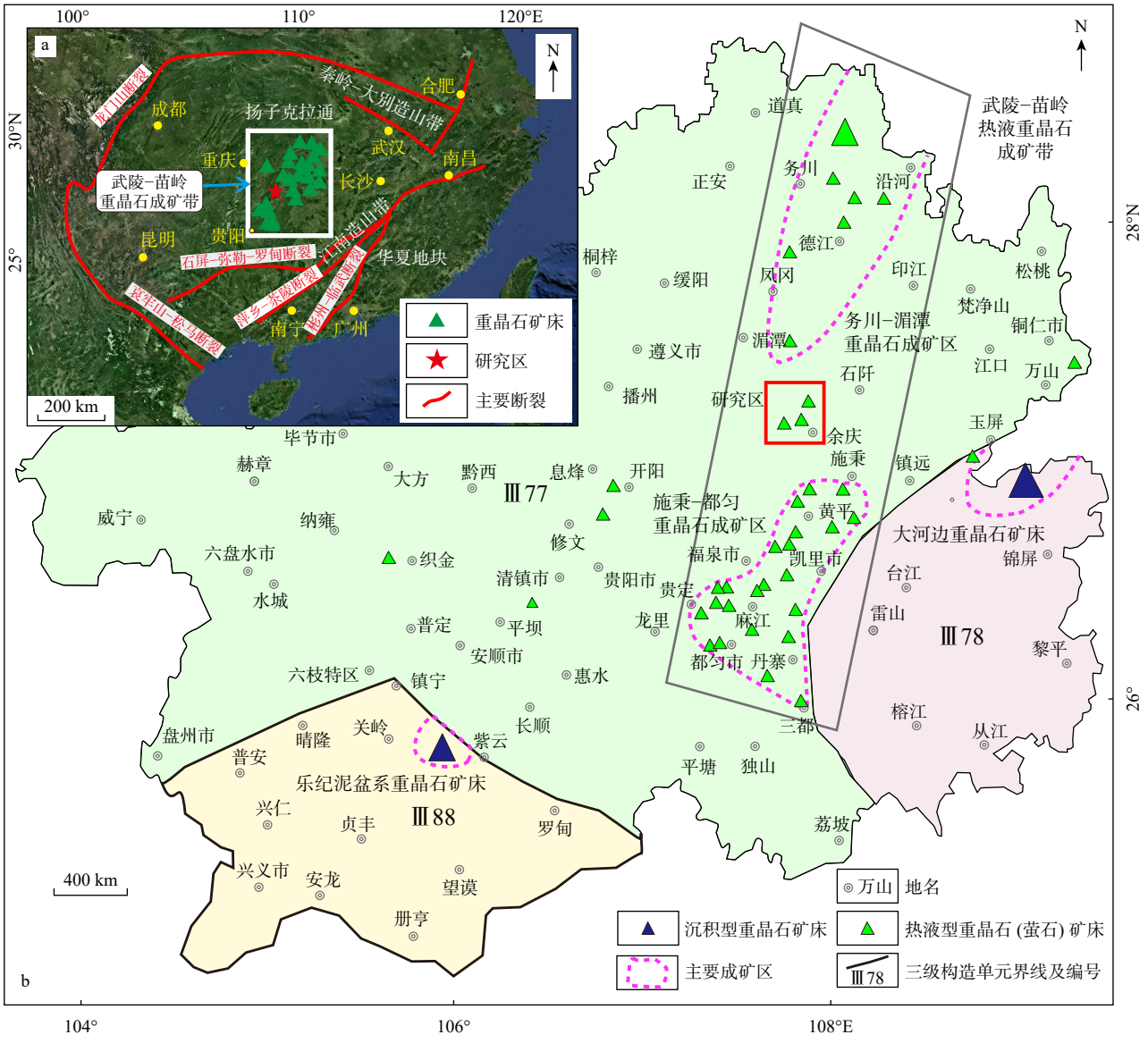


图 1　研究区大地构造位置 (a) 及贵州重晶石矿床分布（沉积型和热液型）(b) 图（据文献 [6] 修改）

Fig. 1　Geotectonic location of the study area (a) and distribution of barite deposits in Guizhou Province (b)

资源供给能力和促进地方经济建设提供资源保障。

1　区域地质背景

本研究区大地构造位置位于上扬子地块黔北隆起区凤冈 SN 向隔槽式褶皱变形区南侧(图 1a)。根据成矿带划分,余庆–瓮安地区重晶石矿床属于武陵–苗岭重晶石成矿带之川东南成矿分区[12]。在这一成矿区内,受新元古代以来多期构造演化(加里东–燕山期)的影响,主要形成一些列以 NE 和 NEE 向为主的断裂的褶皱构造,在区域上控制着重晶石和萤石矿床的产出[8]。研究区出露地层由老至新有震旦系、寒武系、奥陶系、志留系、二叠系、三叠系和第四系零星。其中热液型重晶石主要在震旦系、寒武系、奥陶系和二叠系中均有分布,但以奥陶系和寒武系居多。区域上除重晶石矿床外,在川东南地区和贵州务川地区重晶石常伴生萤石矿化[9],整体上形成重晶石–萤石矿集区。重晶石–萤石含矿围岩岩性较为单一,主要为白云岩与石灰岩。矿体受构造控制显著,多呈脉状或透镜状、似层状、不规则囊状及团块状产出。

2　矿床地质

本研究主要针对最为典型的贵州省余庆县构皮滩镇齐坡–八龙山重晶石矿床开展工作(图 2),该区已探明重晶石资源量 200 余万 t,远景资源量 1 300 余万 t,该矿床是区域内唯一已查明同类型矿床,其矿化特征在区域内具有较好的代表性。研究区内主要发育 NE 向断层,与区域上构造行迹基本一致,其对重晶石矿体的产出有控制作用(图 2)。钻孔柱状对比图显示(图 3),重晶石矿体主要赋存于上寒武统娄山关群(顶部白云质灰岩)与下奥陶统桐梓组(底部页岩)接触部位的层间破碎带中,矿化规模较大,产状稳定,具有层控热液矿床的特点(图 3),有巨大找矿潜力。矿体呈似层状、脉状、囊状、透镜状产出,厚度介于 0.5 ~ 3.5 m 之间,矿石 $BaSO_4$ 质量分数介于 50.21% ~ 92.30% 之间。

由于寒武系娄山关白云岩与上覆奥陶系桐梓组页岩之间的岩石性质差异,常在这种岩石能干性差

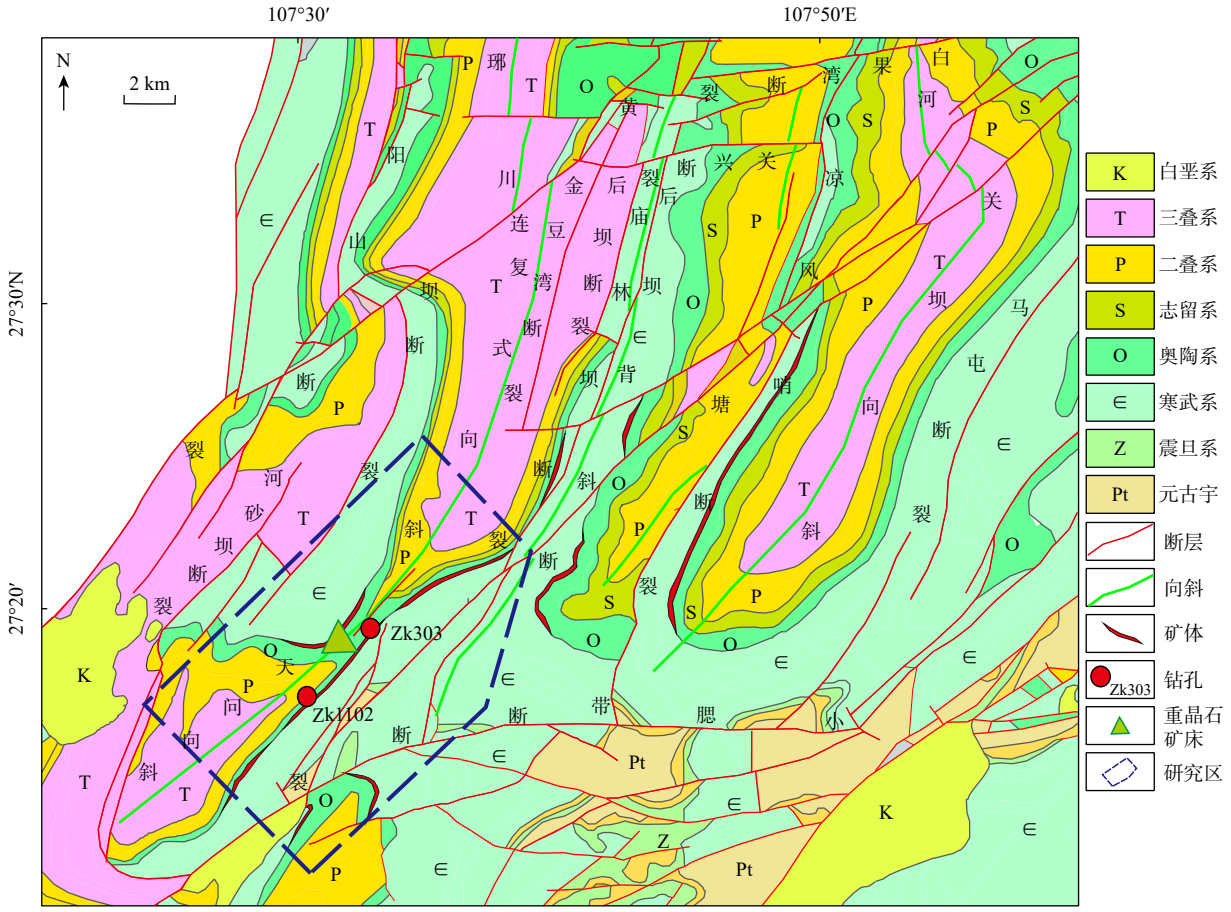


图 2　研究区重晶石矿地质略图

Fig. 2　Geological sketch of barite mine in the study area

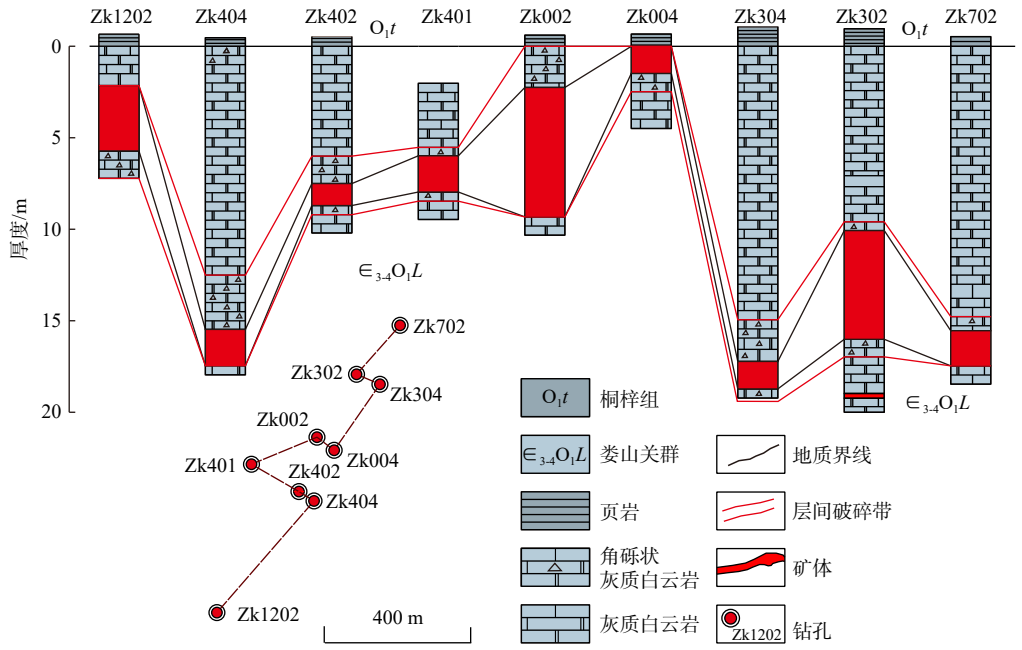


图 3　贵州余庆地区寒武系娄山关群赋矿重晶石钻孔柱状对比图

Fig. 3　Histogram comparison of barite boreholes of the Cambrian Loushanguan Group in Yuqing area, Guizhou Province

异面形成层间破碎带(图 3)。野外调查显示,重晶石矿体主要赋存在桐梓组页岩之下的寒武系娄山关群顶部白云岩、白云质灰岩及灰质白云岩中(图 4a),形成厚度较为稳定的脉状矿体(图 4b),为余庆地区最具工业价值的重晶石矿体类型。在由伸展构造形成的次级张性裂隙中,常形成纹层状和条带状重晶石矿体(图 4c, d)。需要强调的是,在部分重晶石矿石中,可见有机质与重晶石共生(图 4e)。此外,角砾状矿石是最为常见的矿石类型,主要呈现为热液流体沿着层间破碎带白云岩/灰岩角砾孔隙充填,形成品位变化较大的重晶石矿体(图 4f ~ i)。在余庆构皮滩重晶石成矿区,见成矿后期走滑断层切穿矿体(图 4j, k),但这种断层断距一般小于 10 m,对矿体破坏程度不大。贵州余庆地区高品位重晶石矿石构造以块状为主,中−低品位矿石为角砾状和纹层状构造,在脉体靠近围岩一侧可见放射状结构重晶石(图 4l)。矿物组成主要为重晶石、白云石和少量黄铁矿(图 5)。重晶石在白云岩溶蚀孔隙中呈自形粒状结构(图 5a),在重晶石脉中为板柱状结构(图 5c)以及半自形粒状结构(图 5d)。在靠近重晶石脉的白云岩中,可见白云石呈他形细粒状,具反射多色性,并见有星点状黄铁矿(图 5b)。

3　样品采集和分析方法

本研究样品采集于贵州省余庆县沟皮滩−三江口一带已施工钻孔(如 Zk1102 和 Zk303)、剥土工程(BT02)和野外露头剖面,总计采集样品 70 余件。样品采集对象主要为不同品位重晶石矿石和白云岩围岩。经室内清洗后,首先进行系统的岩相学观察,并选择代表性样品进行薄片磨制,用于显微结构构造观察。

代表性样品主微量元素和硫同位素组成分析均在中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室完成。样品测试前经过逐渐破碎、筛选等多个步骤完成样品处理后开始样品测试,其中主量元素分析样品 11 件,使用仪器为 X-RARL Perform' X 4200 型 X 荧光光谱仪,分析元素为 SiO_2、Al_2O_3、Fe_2O_3、MgO、CaO、Na_2O、K_2O、MnO、P_2O_5、TiO_2、BaO、SO_3、SrO 和 LOI。微量元素分析 21 件,采用仪器为加拿大 Perkin-Elmer 公司 ELAN DRC-e 型四级杆型电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS),对微量元素和稀土元素的检测下限为 $0.n\times10^{-9}$ ~ $n\times10^{-9}$ (n 为 1 个占位符,代表元素检测下限的实际数值,需根据具具体元素替换为实际数值),分析精度优于 10%,大多数优于 5%,详细的分析方法参照文献 [13]。硫同位素组成分析样品 12 件,样品测试流程为初选→碎样→挑选单矿物→测试等。实验所用仪器为连续硫同位素质谱仪 CF-IRMS(EA-IsoPrime, 型号为 Euro3000, GV instruments),测试环境温度 20℃,湿度 50%(RH),测定数据采用以国际硫同位素 CDT 标准标定的国家硫同位素标准 GBW-4414(^{34}S=



图 4　贵州余庆地区重晶石矿体和矿石特征（$Є_{3-4}O_1l$. 娄山观组；Brt. 重晶石；下同）

Fig. 4　Characteristics of barite ore body and ore in Yuqing area, Guizhou Province

−0.07‰)和 GBW-4415(^{34}S=22.15‰)较正，测试误差小于±0.2‰(2σ, σ 为参考标准值)。

4　分析结果

对 Zk303 钻孔 10 件样品和 1 件剥土工程(BT02-Y1)不同品位重晶石样品进行主量元素分析(表 1)，结果显示：w(BaO)介于 0.13%～64.50%，w(SO_3)介于 0.05%～30.07%，w(SiO_2)介于 2.32%～58.09%，w(Al_2O_3)介于 0.13%～5.39%，并含少量的 Fe_2O_3(平均为 1.01%，质量分数，下同)、SrO(平均为 1.10%)、MgO(平均为 3.02%)和 Na_2O(w(Na_2O)平均为 0.53%)。

对毛家沟矿点和三江口矿点 26 件样品进行微量元素分析(表 2)，其中 5 件为上寒武统娄山关群白云岩/灰岩，8 件样品为重晶石化白云岩/灰岩(脉状、层状和角砾状构造)，13 件为重晶石矿石(基本为块状构造)。5 件白云岩/灰岩样品 w(∑REE)为 18.39×10^{-6}～64.50×10^{-6}，La_N/Yb_N 介于 9.73～54.07，w(Cu+Zn)为 15.16×10^{-6}～43.18×10^{-6}，w(Sr)为 63.7×10^{-6}～109×10^{-6}。8 件重晶石化白云岩/灰岩 w(∑REE)为 29.32×10^{-6}～113.81×10^{-6}，La_N/Yb_N 介于 7.73～43.79，w(Cu+Zn)为

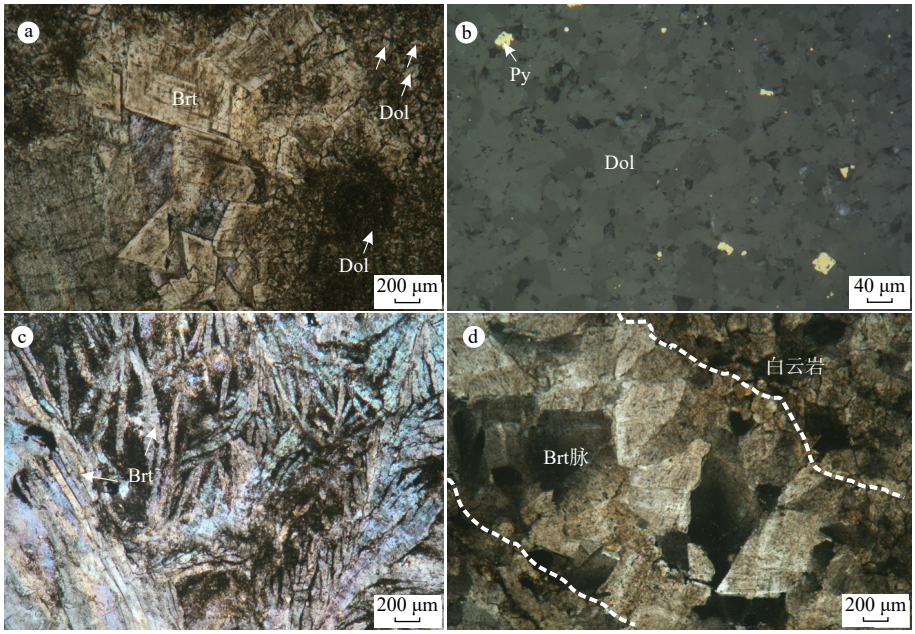


图 5　贵州余庆地区重晶石矿石结构特征（Dol. 白云石；Py. 黄铁矿）

Fig. 5　Texture characteristics of barite ore in Yuqing area, Guizhou Province

表 1　贵州余庆地区重晶石矿石的主量元素组成

Table 1　Major elements composition of barite ore in Yuqing area, Guizhou Province

w_B/%

样品编号	岩性简述	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	MnO	P_2O_5	TiO_2	BaO	SO_3	SrO	*LOI*	*SUM*
Zk303-Y1	角砾状矿石	35.51	1.88	1.06	0.50	0	0.44	0.73	0	0	0.101	34.18	16.78	0.82	7.91	99.90
Zk303-Y2	块状矿石	8.48	0.98	0.55	0.39	0	0.64	0.27	0	0	0.052	54.37	26.72	1.13	6.35	99.93
Zk303-Y3	块状矿石	8.18	0.74	0.55	0.41	0	0.53	0.30	0.023	0	0.049	54.74	26.97	1.22	6.21	99.92
Zk303-Y4	角砾状矿石	11.94	1.04	0.71	0.41	0	1.18	0.47	0	0	0.076	50.17	25.41	1.47	6.97	99.84
Zk303-Y5	重晶石白云质灰岩	58.09	3.45	2.77	1.03	0	0.32	1.82	0.022	0.035	0.188	15.05	9.26	0.50	7.40	99.94
Zk303-Y6	角砾状矿石	11.58	1.59	1.07	6.65	6.25	0.42	0.84	0.014	0	0.098	36.64	17.12	1.20	16.46	99.93
Zk303-Y7	块状矿石	6.34	0.58	0.27	0.39	0	0.89	0.32	0	0	0.047	64.50	19.23	1.85	5.49	99.90
Zk303-Y8	角砾状矿石	36.00	5.39	2.50	3.18	2.83	0.28	2.73	0.046	0	0.324	19.07	11.78	0.56	15.21	99.89
Zk303-Y9	角砾状矿石	18.39	1.34	1.21	0.48	0	0.45	0.75	0	0.110	0.093	42.95	21.38	1.38	11.21	99.75
Zk303-Y10	纹层状含萤石白云岩	9.48	0.38	0.22	19.53	29.11	0	0.13	0.038	0	0.036	0.13	0.05	0	40.80	99.90
BT02-Y1	块状矿石	2.32	0.13	0.15	0.34	0	0.63	0.05	0	0	0	61.94	30.07	1.99	2.35	99.97

注：*LOI*. 烧失量；*SUM*. 总计，由于仪器存在误差和数据四舍五入，*SUM*一般在98%～102%之间

29.76×10^{-6}～220.80×10^{-6}，w(Sr)为 202×10^{-6}～$3\,715\times10^{-6}$。13 件重晶石矿石 w(∑REE)为 12.42×10^{-6}～53.68×10^{-6}，La_N/Yb_N 介于 16.15～125.85，w(Cu+Zn)为 40.19×10^{-6}～218.40×10^{-6}，w(Sr)为 $1\,276\times10^{-6}$～$4\,092\times10^{-6}$。赋矿白云岩中 δCe 基本为无异常(0.93～1.21)，但其他重晶石化样品中均呈现出 δCe 的负异常(表 2)。在本研究中，除赋矿白云岩无 δEu 外，其他含重晶石样品均呈现异常高的正异常值(δEu 最高为 124)，这是因为在 ICP-MS 测试过程中，Ba 含量偏高时会造成 Eu 的正异常[14-15]，因此 Eu 异常在本研究中不做讨论。

10 件重晶石矿石样品中分选的重晶石单矿物溶液法硫同位素分析结果显示(表 3)，$\delta^{34}S_{VCDT}$ 介于 30.94‰～41.27‰，平均 35.09‰。与区域沉积型重晶石和寒武纪海水相比，本研究样品 $\delta^{34}S_{VCDT}$ 低于下寒武统牛蹄塘组重晶石($\delta^{34}S_{VCDT}$ 为 38‰～49‰)[16]，但整体上略高于寒武纪同时期海水硫酸盐($\delta^{34}S_{VCDT}$ 为 28‰～34‰)[17]。

5　讨　论

5.1　元素地球化学对热液成矿作用的指示

(1)成矿物化环境

稀土元素分析结果显示，余庆地区重晶石矿床整体呈现为低稀土特征。但是，赋矿地层娄山关群白云岩中 w(∑REE)相对较高(平均为 47.60×10^{-6})，

表 2　贵州余庆地区重晶石矿石微量元素组成

Table 2　Trace elements composition of barite ore in Yuqing area, Guizhou Province

$w_B/10^{-6}$

矿点	样品编号	岩性简述	Cu	Zn	Rb	Sr	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y
毛家沟	MJG-3①	白云质灰岩	2.42	15.3	1.740	89.0	16.40	25.900	2.200	7.93	1.190	0.30	1.100	0.140	0.770	0.150	0.380	0.050	0.300	0.040	5.73
	MJG-4	白云岩	2.46	12.7	1.860	65.0	20.20	29.000	2.340	8.41	1.200	0.37	1.190	0.140	0.770	0.150	0.380	0.050	0.270	0.040	6.05
	MJG-5	泥质白云岩	4.46	13.4	2.950	63.7	4.57	8.280	0.780	2.84	0.470	0.22	0.450	0.060	0.320	0.060	0.160	0.020	0.140	0.020	2.15
	ZK1102-4-2	白云岩	5.23	26.0	15.100	109.0	8.07	21.100	2.260	8.87	1.760	0.39	1.430	0.220	1.360	0.270	0.710	0.100	0.600	0.009	8.09
三江口	ZK303-Y10	纹层状白云岩	4.98	38.2	2.320	95.6	16.10	21.600	2.020	7.11	1.070	0.40	1.160	0.140	0.690	0.130	0.330	0.040	0.240	0.030	4.95
毛家沟	BAR-1	脉状重晶石化白云岩	18.80	202.0	3.570	2149.0	5.59	6.570	0.630	3.58	0.600	8.87	2.560	0.060	0.340	0.070	0.200	0.030	0.190	0.030	3.36
	BAR-2	脉状重晶石化白云岩	21.60	113.0	10.500	3715.0	4.70	6.700	0.860	5.21	1.100	8.70	2.770	0.170	1.010	0.200	0.500	0.070	0.440	0.070	5.71
	MJG-3②	纹层状重晶石化白云岩	6.97	27.9	4.600	202.0	22.10	31.400	2.720	9.81	1.440	2.14	1.920	0.180	0.950	0.180	0.470	0.060	0.360	0.050	7.12
	ZK1102-1	细脉状重晶石化灰岩	15.10	42.6	13.800	969.0	8.03	15.700	1.640	7.28	1.440	5.83	3.280	0.190	1.160	0.230	0.620	0.090	0.580	0.090	7.24
	ZK1102-4-1	纹层状重晶石化白云岩	9.36	20.4	0.560	832.0	14.90	48.300	5.930	24.20	4.660	5.55	4.430	0.530	2.850	0.490	1.120	0.130	0.640	0.080	19.00
	ZK1102-5	细脉状重晶石化白云岩	9.30	31.9	12.600	697.0	7.51	15.300	1.610	6.79	1.340	3.61	2.420	0.190	1.120	0.230	0.610	0.090	0.570	0.080	6.99
三江口	ZK303-Y5	重晶石白云质灰岩	16.70	77.0	20.700	2617.0	5.18	5.420	0.660	4.08	1.130	32.20	1.630	0.080	0.430	0.080	0.240	0.040	0.260	0.050	3.86
	ZK303-Y8	角砾状重晶石化灰岩	19.90	81.9	31.500	2927.0	7.12	9.530	1.150	5.90	1.360	31.20	2.420	0.120	0.760	0.150	0.480	0.070	0.530	0.090	5.73
毛家沟	BAR-3	浸染状矿石	21.10	72.1	4.760	2097.0	2.75	1.370	0.110	1.60	0.279	7.58	1.180	0.016	0.106	0.021	0.062	0.011	0.078	0.017	1.86
	BAR-4	角砾状状矿石	20.40	198.0	4.910	3540.0	2.95	1.640	0.187	2.07	0.376	9.41	1.210	0.023	0.128	0.023	0.061	0.010	0.066	0.014	1.87
	MJG-7	块状矿石	20.00	50.5	0.102	2244.0	2.19	0.307	0.026	1.25	0.195	9.32	1.080	0.002	0.012	0.002	0.009	0.004	0.013	0.008	1.26
	SB-1	块状矿石	18.60	43.9	0.183	1276.0	1.93	0.160	0.014	1.09	0.171	8.28	0.743	0.001	0.006	0.001	0.005	0.004	0.011	0.007	1.12
	SB-2	粗脉状矿石	15.50	34.0	2.950	3296.0	4.48	3.890	0.453	2.38	0.423	6.41	0.981	0.034	0.164	0.028	0.068	0.010	0.059	0.011	1.60
三江口	ZK303-Y1	角砾状矿石	18.10	88.3	9.660	3199.0	4.40	2.580	0.299	3.15	0.991	40.00	1.590	0.040	0.240	0.047	0.144	0.022	0.150	0.028	3.37
	ZK303-Y2	块状矿石	12.40	58.3	3.720	3051.0	3.88	1.250	0.186	2.46	0.799	38.50	1.310	0.023	0.132	0.026	0.082	0.013	0.085	0.019	2.76
	ZK303-Y3	块状矿石	12.90	74.9	4.040	2960.0	4.08	1.020	0.143	2.42	0.819	40.90	1.410	0.018	0.119	0.024	0.075	0.013	0.087	0.018	2.66
	ZK303-Y4	角砾状矿石	10.30	42.5	4.620	3687.0	3.40	2.090	0.271	2.56	0.778	30.00	1.180	0.046	0.263	0.049	0.146	0.023	0.151	0.031	3.01
	ZK303-Y6	角砾状矿石	10.90	39.2	6.810	3289.0	4.02	3.260	0.374	2.72	0.732	28.70	1.690	0.039	0.228	0.048	0.144	0.023	0.141	0.027	2.88
	ZK303-Y7	块状矿石	9.33	31.1	2.460	3141.0	2.95	0.816	0.092	1.77	0.544	30.00	1.050	0.011	0.059	0.012	0.043	0.007	0.047	0.009	2.00
	ZK303-Y9	角砾状矿石	7.26	39.1	5.820	4092.0	3.42	4.110	0.577	3.34	0.829	19.30	1.170	0.060	0.315	0.053	0.146	0.020	0.123	0.021	2.83
	BT02-Y1	块状矿石	9.39	30.8	0.791	3420.0	3.19	0.636	0.089	1.74	0.591	31.90	1.040	0.007	0.035	0.008	0.031	0.005	0.037	0.007	1.98

表 3　贵州余庆地区重晶石矿石硫同位素组成

Table 3　Sulfur isotopic composition of barite ore in Yuqing area, Guizhou Province

样品号	特征	$\delta(^{34}S/^{32}S)$	$\delta^{34}S_{VCDT}$/‰
BAR-1	脉状矿石	36.56	36.45
BAR-2	网脉状矿石	34.43	34.21
BAR-3	浸染状矿石	35.48	35.32
BAR-4	角砾状状矿石	36.74	36.65
MJG-7	块状矿石	34.37	34.14
SB-1	块状矿石	35.82	35.67
SB-2	粗脉状矿石	35.31	35.14
Zk1102-1	细脉状矿石	31.33	30.94
Zk1102-4-1	纹层状矿石	41.11	41.26
Zk1102-5	脉状矿石	31.49	31.11

而随着重晶石矿化程度加强，稀土含量逐渐降低(重晶石样品质量分数平均为 32.81×10^{-6})。前人在川南–黔东北萤石矿中萤石、方解石和重晶石内包裹体水的 H-O 同位素分析，区内成矿流体主要来源于海水，少量为大气降水，结合研究区区域上无岩浆岩产出的事实认区内成矿流体为非岩浆流体[7, 18]。稀土配分模式图显示(图 6a, b)，围岩和不同品位重晶石矿石中稀土配分模式存在差异，在重晶石样品中出现 Ce 和 Tb, Dy, Ho, Er 的相对亏损。由于热液成矿过程中物化条件常存在变化，因而热液矿物的 δEu(Eu/Eu*)和 δCe(Ce/Ce*)异常可用于指示流体的物化条件，如温度、pH 和氧化还原条件[21]。但是，由于 δEu 异常会受到 Ba 含量的干扰，因此本研究主要通过 δCe 来探讨重晶石的沉淀的氧化还原环境。热液体系 Ce 异常通常受水/岩反应程度(围岩组分)和氧化还原环境的影响。在一些封闭沉淀体系中，由于流体与围岩之间发生相互水/岩反应，由于 Ce^{3+}和 Ce^{4+}离子半径的不同，从而导致被交代围岩和流体中 Ce 的异常[22]。另一方面，氧化还原条件会对热液矿物的 Ce 异常产生影响，在氧化条件下重晶石沉淀时，由于 Ce^{3+}被氧化成 Ce^{4+}，前者相对容易进入重晶石晶格，表现为 Ce 的负异常[23]。在本研究中，重晶石主要在张性构造中形成，且重晶石脉体与围岩接触界限截然(图 4b, h, 5d)，说明成矿以热液充填为主，没有发生强烈的水岩反应，这也与川南–黔东北萤石–重晶石矿床中流体包裹体研究所揭示的低温低压成矿条件一致[8]，进一步说明水/岩反应不是引起重晶石 Ce 异常的主要原因。因此，本研究测试发现在重晶石化样品中均呈现出 δCe 的负异常(平均 0.66)，说明重晶石是相对氧化的条件下在张性断裂空间充填沉淀。

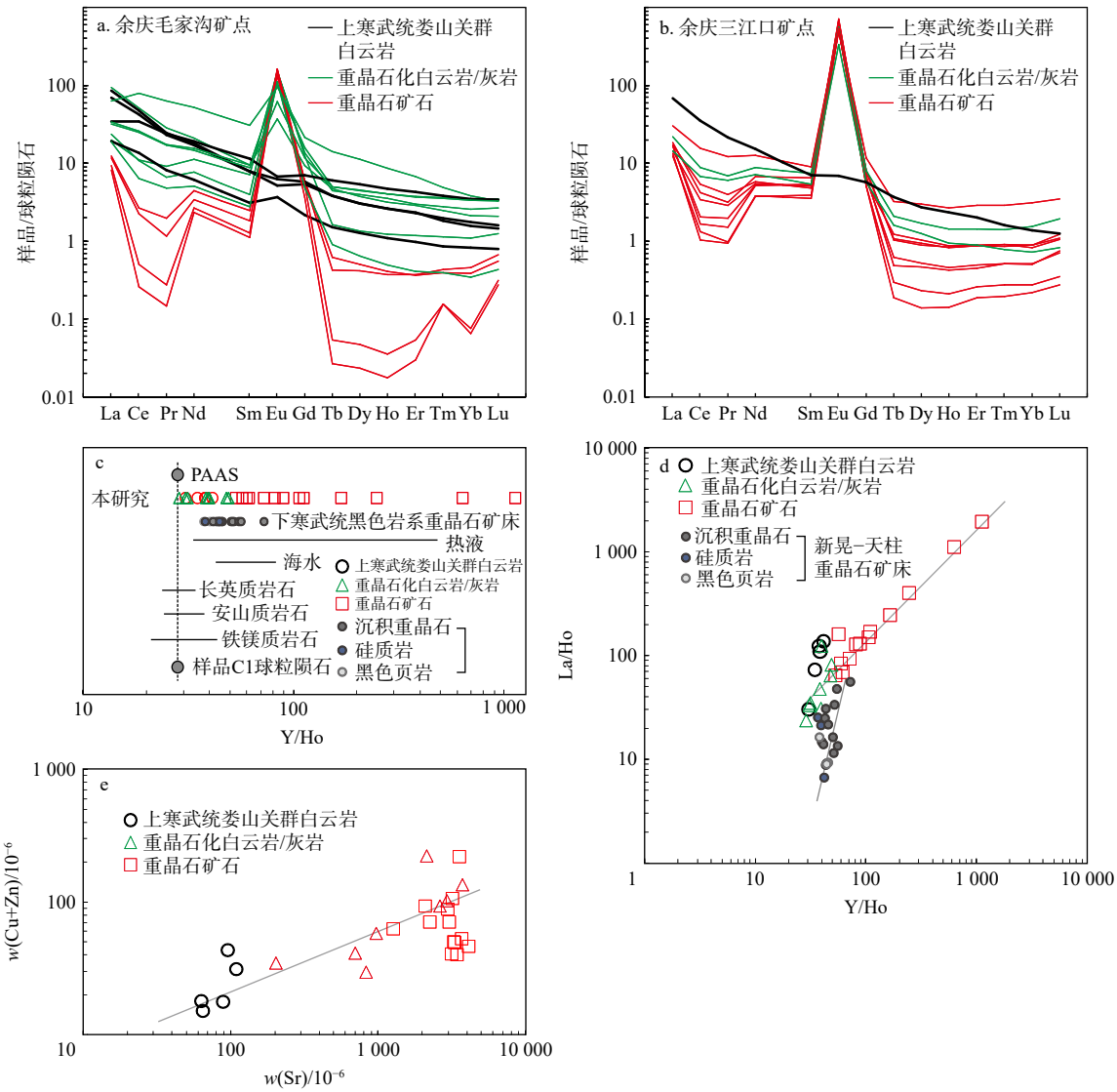
(2)成矿物质来源指示

余庆地区重晶石矿体主要赋存在寒武系娄山关群层间破碎带，显示明显的热液充填成因特征。微量元素分析结果显示，白云岩/灰岩样品 w(Sr)为 $63.7\times10^{-6}\sim109\times10^{-6}$，重晶石化白云岩/灰岩样品 w(Sr)为 $202\times10^{-6}\sim3\,715\times10^{-6}$，而重晶石样品 w(Sr)高达 $1\,276\times10^{-6}\sim4\,092\times10^{-6}$，显示出随着重晶石矿化程度的增强，Sr 含量逐渐增加。由于 Sr^{2+}与 Ba^{2+}的地球化学性质十分相似，使得 Sr^{2+}可作为 Ba^{2+}的良好“示踪剂”[24-26]，Sr 的来源一定程度上能够代表 Ba 的来源。基于此，本研究对热液元素(Cu+Zn)和 Sr 相关性分析发现，所有样品中(Cu+Zn)与 Sr 含量呈正相关关系(图 6e)。在湘西–黔东地区，寒武系白云岩也是热液铅锌矿的主要赋矿层位[5, 27]，地层中的铅锌主要来自于后期热液。因此，重晶石样品中(Cu+Zn)和 Sr 含量的协同升高，揭示其成矿流体可能流经了这些富 Pb-Zn 的地层。根据前人统计[26, 28]，下奥陶统分乡组灰岩、红花园灰岩和大湾组碳质页岩中 w(Ba)分别为 402.00×10^{-6}, 130.00×10^{-6}, 674.00×10^{-6}，而下寒武统牛蹄塘组黑色岩系中 w(Ba)高达 $1\,135\times10^{-6}\sim13\,220\times10^{-6}$，从元素富集程度来看，这些地层都有可能为后期热液重晶石成矿提供物质来源。

Y 和 Ho 具有相似的离子半径，在地质活动中往往具有相似的地球化学行为，同源的物质往往具有相似的 Y/Ho 比值[29-30]。为进一步确定重晶石成矿物质源区，本研究对下寒武统黑色岩系沉积型重晶石与余庆地区热液重晶石的 Y/Ho 比值进行对比(图 6c, d)，显示出余庆热液重晶石具有明显高的 Y/Ho 比值，表明成矿物质 Ba 可能不是来自于下寒武统黑色页岩。另一方面，在热液作用过程中，黑色岩系一般作为一个化学还原障，流体很难萃取其中的成矿元素。相反，一些富 Ba 的碳酸盐岩地层相比黑色页岩易受流体溶蚀，释放 Ba 而进入成矿流体。

5.2　硫同位素组成对成矿物质来源的指示

在热液矿床中，硫酸盐以及硫化物中硫的来源是揭示矿床成矿物质来源的主要同位素示踪手段[31-35]。热液矿床中矿石元素多是以硫氢根络合物离子团迁移或是以硫化物或硫盐矿物沉淀，对于热液重晶石矿床而言，硫很有多种来源，如海水中的硫酸盐、岩浆来源，沉积物继承和细菌还原 S[36]。余庆地区重晶石和川东南地区热液重晶石类似，都属于断裂控矿重晶石，其硫同位素组成主要受硫源控制[7]。本次研究发现，余庆地区重晶石 $\delta^{34}S_{VCDT}$ 介于 30.94‰～



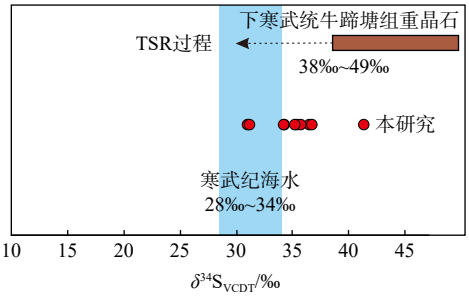
a, b. 球粒陨石标准化稀土元素配分模式图; c. 不同岩石的 Y/Ho 比值统计对比; d. La/Ho–Y/Ho 相关性图; e. w(Cu+Zn)–w(Sr)图解。a, b 中标准化值源自文献 [19]; d 中不同 Y/Ho 比值数据源自文献 [20]; PAAS. panasqueira average abundance standard, 平均上地壳化学标准化

图 6　余庆地区重晶石矿床主微量元素地球化学图解

Fig. 6　Geochemical diagram of major and trace elements of barite deposits in Yuqing area

41.27‰, 平均 35.09‰(图 7), 这种相对均一的硫同位素组成暗示重晶石的 S 具有相对单一的来源。根据前人研究, 在川东南及黔东北地区寒武系广泛发育含膏盐白云岩系[7, 37], 厚度可达 1 500 m 以上。由图 7 可知, 余庆地区重晶石硫同位素值主要与寒武系海相蒸发岩 δ^{34}S 的范围接近, 因此硫源与蒸发岩有关。事实上, 在湘西–黔东区域铅锌矿床中, 其成矿所需 S 也主要是由沉积蒸发岩经过还原作用提供[5]。但是, 相比寒武纪同时期海水, 本次所测余庆地区重晶石 $\delta^{34}S_{VCDT}$(30.94‰ ~ 41.27‰)整体上稍高寒武纪同时期海水硫酸盐(28‰ ~ 34‰)[17], 可能与在局限和滞流闭塞环境中形成的蒸发岩有关, 这种蒸发岩一般会富集重硫(^{34}S)[17]。

年代学研究显示, 川东南–黔北地区重晶石–萤石成矿时代主要在燕山期(萤石 Sm-Nd 年龄为 104±14 Ma)[25], 流体来源为建造水和大气降水混合[38-39], 流体演化具有从中温–高盐度向低温低盐度的演化趋势(温度为 89 ~ 188℃, $w_{等效}$(NaCl)为 3.23% ~ 21.19%)[8]。在区域上, 这种初始高盐度流体的形成与膏岩层的溶解关系密切。结合余庆地区重晶石矿床地质特征、微量元素和硫同位素分析结果, 笔者认为余庆地区重晶石形成主要为大规模造山作用形成大量断裂构造[40], 驱使盆地流体发生运移, 并萃取富 Ba 碳酸盐岩地层(如寒武系蒸发岩), 在层间断层(硅–钙界面)与大气降水混合, 导致温度和盐度降低引发大量热液型重晶石沉淀, 形成重晶石矿床。



下寒武统牛蹄塘组重晶石硫同位素组成引自文献 [16]；寒武纪同时期海水硫同位素组成引自文献 [17]

图 7　余庆地区重晶石矿硫同位素地球化学图解

Fig. 7　Geochemical diagram of sulfur isotopes in barite ore in Yuqing area

6　结　论

（1）余庆地区重晶石主要受沿奥陶系下统桐梓组硅酸岩和寒武系娄山关群碳酸岩组成的硅−钙界面和层间破碎带控制。

（2）重晶石化样品中均呈现出 δCe 的负异常（平均 0.66），揭示重晶石是在氧化条件下形成。

（3）微量元素 Sr−(Cu+Zn)元素协变关系和 Y/Ho 比值指示成矿物质可能来自寒武系富 Ba 的碳酸盐岩（含膏岩）地层。重晶石 $\delta^{34}S_{VCDT}$ 介于 30.94‰～41.27‰，略高于寒武纪同时期海水，结合前人研究成果，认为硫主要来自寒武系海相蒸发岩。

（4）余庆地区重晶石形成是大规模造山作用驱使盆地流体发生运移，并萃取富 Ba 碳酸盐岩地层（如寒武系蒸发岩），在层间断层（硅−钙界面）与大气降水混合，温度和盐度降低从而沉淀形成重晶石矿床。

所有作者声明不存在利益冲突。

The authors declare that no competing interests exist.

参考文献：

[1] 胡瑞忠，陈伟，毕献武，等. 扬子克拉通前寒武纪基底对中生代大面积低温成矿的制约 [J]. 地学前缘，2020，27(2)：137-150.
HU R Z, CHEN W, BI X W, et al. Control of the Precambrian basement on the formation of the Mesozoic largescale low-temperature mineralization in the Yangtze Craton[J]. Earth Science Frontiers, 2020, 27(2): 137-150. (in Chinese with English abstract)

[2] 涂光炽. 我国西南地区两个别具一格的成矿带（域）[J]. 矿物岩石地球化学通报，2002，21(1)：1-2.
TU G C. Two unique mineralization areas in Southwest China[J]. Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry, 2002, 21(1): 1-2. (in Chinese with English abstract)

[3] HU R Z, FU S L, HUANG Y, et al. The giant South China Mesozoic low-temperature metallogenic domain: Reviews and a new geodynamic model[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2017, 137: 9-34.

[4] CHEN J, HUANG Z L, YANG R D, et al. Gold and antimony metallogenic relations and ore-forming process of Qinglong Sb(Au) deposit in Youjiang Basin, SW China: Sulfide trace elements and sulfur isotopes[J]. Geoscience Frontiers, 2021, 12(2): 605-623.

[5] WU T, HUANG Z L, YE L, et al. Origin of the carbonate-hosted danaopo Zn-Pb deposit in western Hunan Province, China: Geology and *in situ* mineral S-Pb isotope constraints[J]. Ore Geology Reviews, 2021, 129: 103941.

[6] 陶平，陈建书，陈启飞，等. 关于贵州省成矿区带的划分方案 [J]. 贵州地质，2018，35(3)：171-180.
TAO P, CHEN J S, CHEN Q F, et al. Division scheme about the metallogenic zones of Guizhou Province[J]. Guizhou Geology, 2018, 35(3): 171-180. (in Chinese with English abstract)

[7] 潘忠华，范德廉. 川东南脉状萤石−重晶石矿床同位素地球化学 [J]. 岩石学报，1996，12(1)：127-136.
PAN Z H, FAN D L. Isotope geochemistry of vein fluorite and barite deposits in Southeast Sichuan[J]. Acta Petrologica Sinica, 1996, 12(1): 127-136. (in Chinese with English abstract)

[8] ZOU H, ZHANG S T, CHEN A Q, et al. Hydrothermal fluid sources of the Fengjia barite-fluorite deposit in Southeast Sichuan, China: Evidence from fluid inclusions and hydrogen and oxygen isotopes[J]. Resource Geology, 2016, 66(1): 24-36.

[9] 陈云明，刘志臣，郭宇，等. 贵州务川地区热液型重晶石矿床地质特征与控矿因素研究 [J]. 矿物学报，2023，43(6)：813-823.
CHEN Y M, LIU Z C, GUO Y, et al. A study on geological characteristics and ore-controlling factors of hydrothermal barite deposits in the Wuchuan area, Guizhou Province[J]. Acta Mineralogica Sinica, 2023, 43(6): 813-823. (in Chinese with English abstract)

[10] 张怡婷，钟怡江，王春连，等. 中国重晶石矿床分布特征、成因类型、资源应用现状及其展望 [J/OL]. 中国地质：1-30[2024-02-27]. https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1167.P.20240226.1646.004.html.
ZHANG Y T, ZHONG Y J, WANG C L, et al. Distribution characteristics, genesis types, current status of resource application of barite deposits in China and its prospects[J/OL]. Geology in China: 1-30[2024-02-27]. https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1167.P.20240226.1646.004.html. (in Chinese with English abstract)

[11] 杨瑞东，李鑫正，莫洪成，等. 湘西黔东寒武纪重晶石矿成矿规律与成矿模式 [J]. 矿物学报，2023，43(2)：173-184.
YANG R D, LI X Z, MO H C, et al. Metallogenic regularity and model of Cambrian barite deposits in the western Hunan and eastern Guizhou[J]. Acta Mineralogica Sinica, 2023, 43(2): 173-184. (in Chinese with English abstract)

[12] 邹灏，徐旖章，张寿庭，等. 重庆彭水火石垭重晶石−萤石矿床控矿因素与成因 [J]. 成都理工大学学报(自然科学版)，2013，40(1)：89-96.
ZOU H, XU Z Z, ZHANG S T, et al. Ore-control factors and genesis of Huoshiya barite-fluorite deposit in Pengshui, Chongqing, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2013, 40(1): 89-96. (in Chinese with English abstract)

[13] LIANG Q, JING H, GREGOIRE D C. Determination of trace elements in granites by inductively coupled plasma mass spectrometry[J]. Talanta, 2000, 51(3): 507-513.

[14] DULSKI P. Interferences of oxide, hydroxide and chloride analyte

species in the determination of rare earth elements in geological samples by inductively coupled plasma-mass spectrometry[J]. Fresenius' Journal of Analytical Chemistry, 1994, 350(4): 194-203.

[15] SHIELDS G, STILLE P. Diagenetic constraints on the use of cerium anomalies as Palaeoseawater redox proxies: An isotopic and REE study of Cambrian phosphorites[J]. Chemical Geology, 2001, 175(1/2): 29-48.

[16] 孙泽航, 胡凯, 韩善楚, 等. 湘黔新晃-天柱重晶石矿床微量稀土元素和硫同位素研究 [J]. 高校地质学报, 2015, 21(4): 701-710.
SUN Z H, HU K, HAN S C, et al. Trace and rare earth elements and sulfur isotope analysis of barite deposits in West Hunan and East Guizhou[J]. Geological Journal of China Universities, 2015, 21(4): 701-710. (in Chinese with English abstract)

[17] CLAYPOOL G E, HOLSER W T, KAPLAN I R, et al. The age curves of sulfur and oxygen isotopes in marine sulfate and their mutual interpretation[J]. Chemical Geology, 1980, 28: 199-260.

[18] RONCHI L H, TOURAY J C, MICHARD A, et al. The ribeira fluorite district, southern Brazil[J]. Mineralium Deposita, 1993, 28(4): 240-252.

[19] SUN S S, MCDONOUGH W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes[J]. Geological Society, London, Special Publications, 1989, 42(1): 313-345.

[20] BAU M, DULSKI P. Comparative study of yttrium and rare-earth element behaviours in fluorine-rich hydrothermal fluids[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1995, 119(2): 213-223.

[21] SASMAZ A, KRYUCHENKO N, ZHOVINSKY E, et al. Major, trace and rare earth element (REE) geochemistry of different colored fluorites in the Bobrynets region, Ukraine[J]. Ore Geology Reviews, 2018, 102: 338-350.

[22] CASTORINA F, MASI U, PADALINO G, et al. Trace-element and Sr-Nd isotopic evidence for the origin of the Sardinian fluorite mineralization (Italy)[J]. Applied Geochemistry, 2008, 23(10): 2906-2921.

[23] MICHARD A. Rare earth element systematics in hydrothermal fluids[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1989, 53(3): 745-750.

[24] KESLER S E, JONES L M. Sulfur- and strontium-isotopic geochemistry of celestite, barite and gypsum from the Mesozoic basins of northeastern Mexico[J]. Chemical Geology, 1981, 31: 211-224.

[25] WHITFORD D J, KORSCH M J, SOLOMON M. Strontium isotope studies of barites; implications for the origin of base metal mineralization in Tasmania[J]. Economic Geology, 1992, 87(3): 953-959.

[26] 邹灏. 川东南地区重晶石-萤石矿成矿规律与找矿方向 [D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2013.
ZOU H. Metallogenic regularity and prospecting direction of barite-fluorite deposit in southeast Sichuan[D]. Beijing: China University of Geosciences(Beijing), 2013. (in Chinese with English abstract)

[27] 李堃, 刘飞, 赵武强, 等. 湘西-黔东地区碳酸盐岩容矿铅锌矿床成矿模式 [J]. 地球科学, 2021, 46(4): 1151-1172.
LI K, LIU F, ZHAO W Q, et al. Metallogenic model of carbonate-hosted Pb-Zn deposits in West Hunan and East Guizhou Provinces, South China[J]. Earth Science, 2021, 46(4): 1151-1172. (in Chinese with English abstract)

[28] 潘忠华. 川东南脉状萤石-重晶石矿矿床地质地球化学与成因研究 [D]. 北京: 中科院地质研究所, 1993.
PAN Z H. Geology, Geochemistry and genesis of vein-like fluorite-barite deposits in Southeast Sichuan[D]. Beijing: Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences, 1993. (in Chinese with English abstract)

[29] BAU M, DULSKI P. Distribution of yttrium and rare-earth elements in the Penge and Kuruman iron-formations, Transvaal Supergroup, South Africa[J]. Precambrian Research, 1996, 79(1/2): 37-55.

[30] 曹华文, 张寿庭, 高永璋, 等. 内蒙古林西萤石矿床稀土元素地球化学特征及其指示意义 [J]. 地球化学, 2014, 43(2): 131-140.
CAO H W, ZHANG S T, GAO Y Z, et al. REE geochemistry of fluorite from Linxi fluorite deposit and its geological implications, Inner Mongolia Autonomous Region[J]. Geochimica, 2014, 43(2): 131-140. (in Chinese with English abstract)

[31] 罗华, 郭盼, 刘力, 等. 湖北来凤革勒车地区铅锌-萤石矿流体包裹体与 C-H-O-S-Pb 同位素特征及其地质意义 [J]. 地质科技通报, 2024, 43(1): 39-50.
LUO H, GUO P, LIU L, et al. Fluid inclusion and C-H-O-S-Pb isotope characteristics and geological significance of lead-zinc-fluorite deposits in the Geleche area, Laifeng, Hubei Province[J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 2024, 43(1): 39-50. (in Chinese with English abstract)

[32] 徐书奎. 豫西寺家沟金矿床氢氧硫同位素特征及地质意义 [J]. 地质科技情报, 2017, 36(5): 143-147.
XU S K. Hydrogen, oxygen and sulfur isotopic characteristics and geological significance of Sijiagou gold deposit, western Henan[J]. Geological Science and Technology Information, 2017, 36(5): 143-147. (in Chinese with English abstract)

[33] 郎兴海, 邓煜霖, 王旭辉, 等. 西藏雄村矿区Ⅲ号矿体硫、铅同位素特征及成矿物质来源 [J]. 地质科技情报, 2018, 37(4): 1-9.
LANG X H, DENG Y L, WANG X H, et al. Geochemical characteristics of sulfur and lead isotope compositions and implications for the sources of metals from No. Ⅲ ore body in Xiongcun mining area, Tibet[J]. Geological Science and Technology Information, 2018, 37(4): 1-9. (in Chinese with English abstract)

[34] 张海坤, 胡鹏, 曹亮, 等. 印度尼西亚戴里 Sedex 型铅锌矿集区成矿流体特征及成矿物质来源: 流体包裹体及同位素地球化学证据 [J]. 地质科技通报, 2020, 39(3): 170-177.
ZHANG H K, HU P, CAO L, et al. Characteristics of mineralization fluids and mineralization material sources of the Sedex-type Dairi Pb-Zn ore concentration area in Indonesia: Evidence from fluid inclusions and isotopic geochemistry[J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 2020, 39(3): 170-177. (in Chinese with English abstract)

[35] 于皓丞, 邱昆峰, 孙志佳, 等. 新疆阿合奇地区色帕巴衣铅矿床成因: 地质、地球化学研究的启示 [J]. 地质科技情报, 2017, 36(2): 20-28.
YU H C, QIU K F, SUN Z J, et al. Metallogenic model for the Sepabayi lead deposit in Akqi area, Xinjiang: Constraints from geology and geochemistry[J]. Geological Science and Technology Information, 2017, 36(2): 20-28. (in Chinese with English abstract)

[36] 林秋伶, 李小虎, 孟兴伟, 等. 现代海底热液区重晶石的地球化学特征及其影响因素 [J]. 地质科学, 2023, 58(3): 1091-1117.
LIN Q L, LI X H, MENG X W, et al. Geochemical characterization of barite from modern submarine hydrothermal field and its affecting factors[J]. Chinese Journal of Geology (Scientia Geologica Sinica), 2023, 58(3): 1091-1117. (in Chinese with English abstract)

[37] 李文炎, 余洪云. 中国重晶石矿床 [M]. 北京: 地质出版社, 1991.
LI W Y, YU H Y. Barite deposits in China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1991. (in Chinese)
[38] 潘忠华, 范德廉. 川东南脉状萤石−重晶石矿床流体包裹体研究 [J]. 矿物岩石, 1994, 14(4): 9-16.
PAN Z H, FAN D L. Fluid inclusion study of vein fluorite and barite ore in Southeast Sichuan[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 1994, 14(4): 9-16. (in Chinese with English abstract)
[39] 邹灏, 张寿庭, 徐旃章, 等. 川东南地区重晶石−萤石矿的稀土元素地球化学特征及其地质意义 [J]. 矿物学报, 2013, 33(增刊 2): 191-192.
ZOU H, ZHANG S T, XU Z Z, et al. Geochemical characteristics of rare earth elements in barite-fluorite deposits in southeastern Sichuan and their geological significance[J]. Acta Mineralogica Sinica, 2013, 33(S2): 191-192. (in Chinese with English abstract)
[40] 张星垣. 川东南重晶石、萤石层控矿床的地质构造特征 [J]. 中国区域地质, 1988, 7(4): 81-85.
ZHANG X Y. Barite and fluorite stratabound deposits in southeastern Sichuan and ore-controlling geological conditions[J]. Regional Geology of China, 1988, 7(4): 81-85. (in Chinese with English abstract)

Summary for “贵州余庆地区层间破碎带热液型重晶石矿床地球化学特征与成因分析”

Geochemistry and genesis of hydrothermal barite deposits within interlaminar fracture zone, Yuqing area, Guizhou Province

LI Yuanhong[1,2a], DU Hongyi[1,2b*], CHEN Jun[3a,3b], XU Shihui[1], HU Tao[1], YUAN Qingsong[1]

1. 106 Geological Brigade of Guizhou Provincial Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Zunyi Guizhou 563000, China;
2a. College of Geosciences; 2b. College of Natural Resources, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan 430074, China;
3a. College of Resources and Environmental Engineering; 3b. Key Laboratory of Karst Geological Resources and Environment, Ministry of Education, Guizhou University, Guiyang 550025, China

First author, E-mail: 451858936@qq.com
* Corresponding author, E-mail: 763707020@qq.com

Abstract: [**Objective**] Hydrothermal barite deposits are the main exploration targets for barium. The Wuling-Miaoling area, located in the middle part of the Yangtze Craton, contains abundant hydrothermal barite deposits. In recent years, some barite orebodies have been discovered within the interlaminar fracture zone between the Upper Cambrian Loushanguan Formation and the Lower Ordovician Tongzi Formation in the region. These orebodies, which exhibit stable extension, have significant metallogenic potential. However, the genesis of the barite deposits in the Yuqing area is poorly understood, leading to ambiguity regarding further ore exploration. [**Methods**] In this study, we investigate the barite deposits in the Yuqing area and present a metallogenic model based on detailed petrographic observations and major/trace elements and sulfur isotopic analyses. [**Results**] Results show that the interlayer fracture zone and tensile fractures generated by the silica-calcium interface are the main ore-controlling structures for barite in this area. The geochemistry of barite shows that the δCe of the wall rocks (dolomite) is normal. In contrast, the negative δCe anomaly (mean value is 0.66) in the barite samples indicates that barite was formed under oxidation conditions. The (Cu+Zn) vs. Sr, Y/Ho ratios, and sulfur isotopes suggest that the ore-forming materials (S and Ba) originated from marine evaporites in the Cambrian. Based on previous studies, we propose that the tectonic event drove the migration of basinal fluids, extracting the Ba-rich evaporite strata. The mixing of these fluids with meteoric water led to the precipitation of barite along the interlayer faults (silica-calcium interfaces). [**Conclusion**] The research results provide an important reference for the exploration of barite deposits.

Key words: major and trace element; sulfur isotope; hydrothermal barite deposit; Yuqing area; Guizhou Province; interlaminar fracture zone

Received: 2024-06-24; Revised: 2024-11-29; Accepted: 2024-12-05

doi: 10.19509/j.cnki.dzkq.tb20240350