

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2020.01.010

小秦岭西段稀土矿特征及找矿远景浅析

康清清^{1,2}, 张熊猫², 孟华²

(1. 东华理工大学, 江西 南昌 330013; 2. 中陕核工业集团二二四大队有限公司, 陕西 西安 710024)

摘 要:小秦岭西段是重要的稀土元素成矿地段。受华阳川断裂、金堆城-青岗坪断裂和太古代变质基底等因素的控制产出了区内碳酸岩型和伟晶岩型 2 类稀土矿化。碳酸岩型稀土矿含矿主岩为各类碳酸岩脉, 以小河断裂为界, 南北含矿碳酸岩在矿物组合上具有差别明显, 含稀土矿物主要为磷钇矿、独居石和氟碳铈镧矿, 稀土元素以轻稀土为主, 但重稀土相对偏高, 并具有以华阳川为中心向外围逐渐富集重稀土的特点。伟晶岩型稀土矿含矿主岩为含褐帘石伟晶岩, 含稀土矿物为褐帘石, 稀土元素以轻稀土为主。2 类稀土矿化在形成时间上存在较大差异, 碳酸岩型稀土矿化形成于印支期, 伟晶岩型稀土矿化形成于古元古代晚期。区内已发现了众多的稀土矿床(点), 成矿远景较好, 特别是碳酸岩型稀土矿床(点)及碳酸岩脉带展布地段具有较大的找矿潜力。

关键词:小秦岭西段; 稀土矿; 碳酸岩; 伟晶岩; 找矿远景

中图分类号: P618.7

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2020)01-0107-15

Analysis on the Characteristics and Prospecting of Rare Earth Ore in the Western Section of Xiaojinling

KANG Qingqing^{1,2}, ZHANG Xiongmao², MENG Hua²

(1. East China University of Technology, Nanchang 330013, JiangXi, China; 2. Team 224 of Sino
Shaanxi Nuclear Industry Group, Xi'an 710024, ShaanXi, China)

Abstract: The western section of Xiaojinling is an important metallogenic area of REE. Controlled by Huayangchuan fault, Jinduicheng-Qingpinggang fault and Archean metamorphic basement, two types of rare earth mineralization such as carbonatite type and pegmatite type, are produced in this area. The main ore-bearing rock of carbonatite type is all kinds of carbonate dike, which is bounded by Xiaohe fault. There are obvious differences in the mineral assemblages between the north and the south ore-bearing carbonates. The rare earth minerals are mainly yttrium phosphate, monazite and bastnaesite. The rare earth elements are mainly light rare earth, the heavy rare earth relatively high, and gradually enriching around Huayangchuan. The main ore-

收稿日期: 2019-06-03; 修回日期: 2019-11-18

基金项目:科技部国家重点研发计划“深地资源勘查开采”专项典型覆盖区航空地球物理技术示范与处理解释软件平台开发子课题“北秦岭华阳川地区隐伏铀矿空-地-井协同勘查技术示范研究”(2017YFC0602205), 中国地质调查局“西安地质调查中心秦岭成矿带安康-凤太地区地质矿产调查陕西省华阳川地区铀多金属矿调查评价华阳川矿区标段钻探工程”(0617-1611FZ2063)

作者简介:康清清(1986-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事铀及多金属矿勘查评价及科研工作。E-mail: 463633095@qq.com

bearing rock of rare earth ore in the pegmatite type is epidote-bearing pegmatite. The mineral-bearing rare earth is epidote. The rare earth elements are mainly light rare earth. The formation time of the two types of rare earth mineralization is quite different. Carbonatite type was formed in the Indosinian period, and pegmatite type was formed in the late Paleoproterozoic period. Many rare earth deposits (points) have been found in the area, with a good metallogenic prospect. the carbonate type rare earth deposits (points) and the carbonate vein belt especially has great potentiality.

Keywords: West section of Xiaoqinling; rare-earth ore; carbonatite; pegmatite; prospecting perspective

小秦岭西段是中国著名的钼、铅、铀多金属矿集区,区内目前已发现金堆城、黄龙铺(含大石沟、石家湾、秦岭沟、宋家沟等)超大型钼矿床、华阳川超大型铀钼铅多金属矿床以及众多的中、小型钼、铅、铀多金属矿床。值得注意的是该地区也是陕西省境内重要的稀土成矿地段(李六权,2015;樊会民等,2018)。20 世纪 60 至 70 年代多家地勘单位在区内发现了许多稀土矿(化)点,尤其是驾鹿、小夫峪等重稀土矿床。20 世纪 70 年代以后矿产勘查工作主要集中于钼等有色金属方面,稀土找矿工作处于停滞状态。近年来,随着以华阳川铀钼铅稀土矿床为中心的区域矿产综合评价工作的开展以及部分学者对黄龙铺等碳酸岩型钼矿中稀土矿化的研究,又新发现了一些新的稀土矿(化)点,显现出良好的稀土成矿前景。笔者在以往稀土矿找矿工作基础上,结合近年来勘查成果,对区内稀土矿特征进行总结、论述,并对区域稀土找矿远景进行分析,以期得到更多地质工作者的关注,从而推动该地区稀土矿勘查评价工作。

1 区域地质背景

研究区位于秦岭造山带与华北板块交接部位的小秦岭地区,大地构造位置处于太华断隆和华北陆块南缘前陆盆地结合部位,行政区划隶属陕西省渭南地区华阴市、华州区及商州地区洛南县。研究区大致以小河断裂带、金堆城断裂为界,北部主要出露太古代太华岩群、太古代太峪岭-翁岔铺片麻岩套等古老变质岩基底(王北颖等,1996),元古代小河岩体、侏罗纪-白垩纪华山和老牛山等复式岩基以及元古代铁洞沟组陆源碎屑夹中酸性火山岩建造;南部主要出露长城系熊耳群裂谷型火山-沉积岩系及高山河群的一套稳定大陆边缘陆架碎屑岩沉积建造。

研究区内南北分别为太要断裂和洛南栾川断裂。中部发育有由多期次不同性质的断裂构造复合形成的华阳川韧-脆性断裂带,自华州区小夫峪向西经华阳川至塬头一带,形成北西向-近东西向的长度超过 20 km 的断裂破碎带。该断裂带控制了研究区北部稀土矿床(点)的分布。发育于研究区中南部的金堆城断裂是早期韧脆性、晚期脆性的区域性大断裂,自华州区青岗坪到金堆城,向东可能一直延伸到太子坪、驾鹿一带,呈北东向展布,总长约为 50 km。该断裂控制了研究区南部稀土矿床(点)的展布。

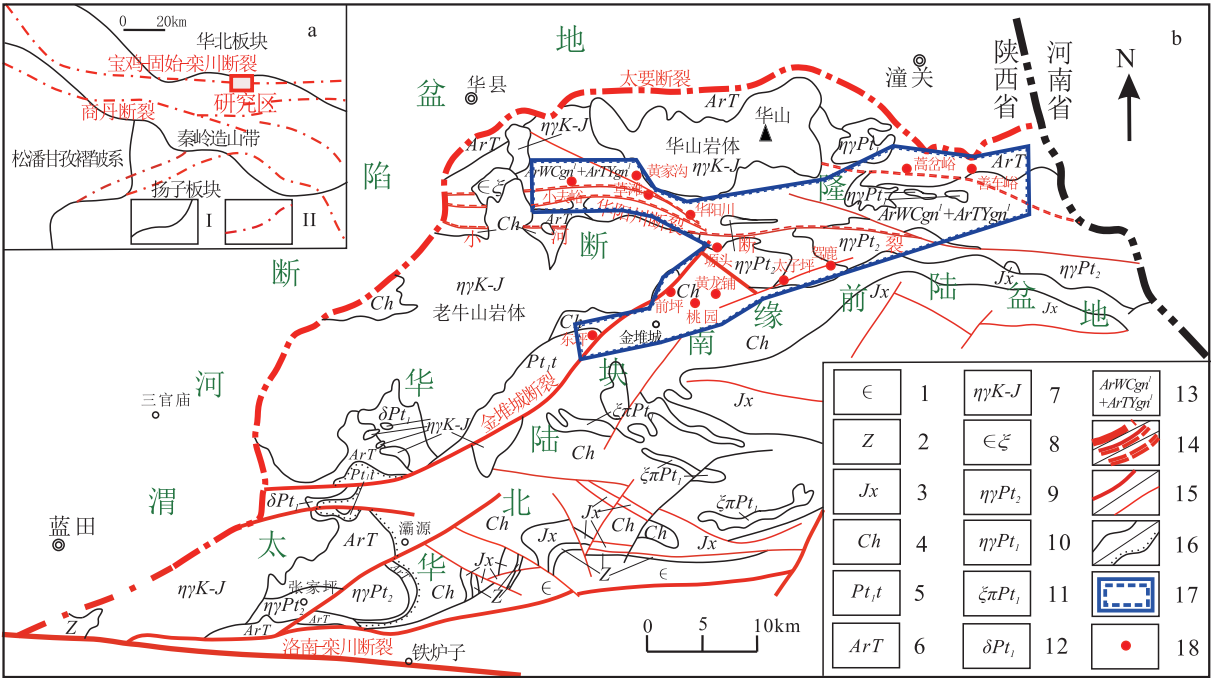
根据稀土矿化主岩的不同,研究区内稀土矿化类型可分为碳酸岩型和伟晶岩型,其中以前者为主。2 种稀土矿化类型不仅含矿主岩不同,其在成矿特征及成矿时代上均有较大的差异。碳酸岩型主要有驾鹿重稀土矿床、小夫峪钼、塬头重稀土矿点、华阳川伴生稀土矿床、黄龙铺伴生稀土矿床、草滩重稀土矿点、回马坪-太子坪重稀土矿点、桃园-前坪稀土矿化区及东坪重稀土矿化区;伟晶岩型则以黄家沟轻稀土矿点、善车峪轻稀土矿点为代表(图 1、表 1、表 2)。

2 碳酸岩型稀土矿床(点)特征

2.1 驾鹿稀土矿床

矿床产于太古代翁岔铺片麻岩套武家坪片麻岩中,赋矿围岩主要为黑云斜长片麻岩。矿床位于金堆城断裂带的东端,矿床受断裂带控制;断裂带内发育有霓辉石正长岩、钠铁闪石正长岩、正长花岗岩、辉绿岩、石英锰方解石脉及钾、钠长石化蚀变岩等各类岩石等。其中,石英锰方解石脉是矿区最主要的含矿脉岩类型,目前,圈定的矿体绝大部分属于该类型;充填网脉状石英方解石脉强蚀变钾钠长石化蚀变岩也是重要的含矿地质体。含矿脉岩有以大脉出

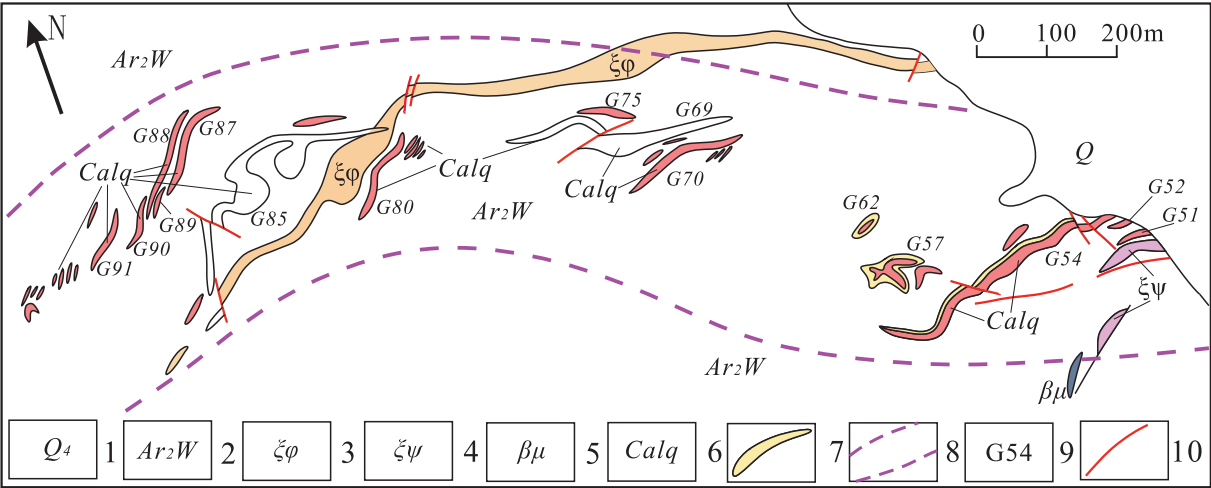
现,亦有呈网脉状者,其中前者矿化更好。单个脉岩受断裂带内北东向次级张性断裂控制,一般呈北东向展布。含矿脉岩密集分布,形成总体呈北西西向或近东西向展布的脉岩密集带(图 2)。



I. 构造界线; II. 区域断裂; 1. 寒武系; 2. 震旦系; 3. 蓟县系; 4. 长城系; 5. 远古界铁沟沟组; 6. 太古界太华群; 7. 白垩—侏罗纪二长花岗岩; 8. 寒武纪正长岩; 9. 元古代二长花岗岩; 10. 元古代闪长岩; 11. 元古代正长斑岩; 12. 元古代闪长岩; 13. 太古代太峪岭、翁盆铺片麻岩套; 14. 喜山期地壳拼贴断裂、脆韧性剪切带、韧性剪切带; 15. 区域性断裂、一般性断裂; 16. 地质界线; 17. 稀土矿(化)带范围; 18. 稀土矿床、点; a. 研究区大地构造简图(据喻学慧等,1992 修编); b. 研究区地质、矿产简图(据 1:5 万区域地质图修编)

图 1 研究区区域地质简图

Fig. 1 Simplified regional geological map in the study area



1. 第四系; 2. 太古代武家坪黑云斜长片麻岩; 3. 霓辉石正长岩; 4. 钠铁闪石正长岩; 5. 辉绿岩; 6. 锰方解石石英脉; 7. 钾钠长石化蚀变岩; 8. 含矿脉岩密集带; 9. 矿体编号; 10. 断层

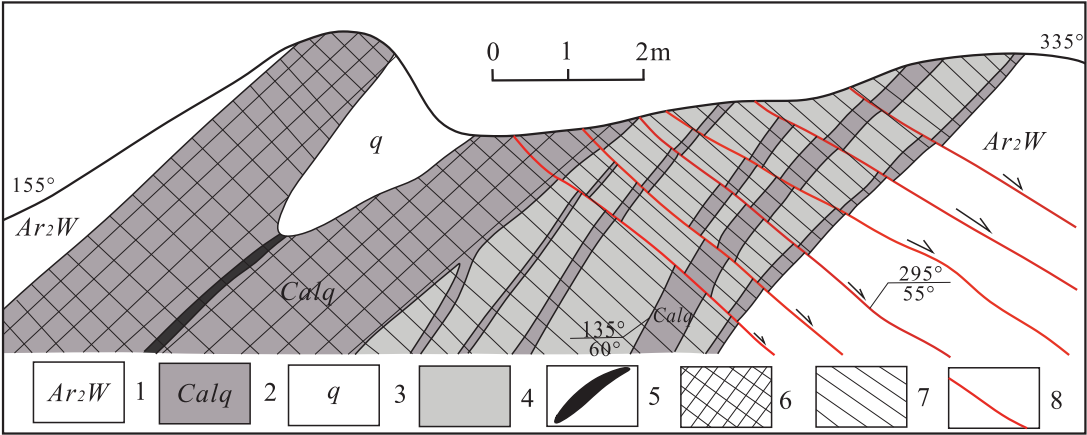
图 2 驾鹿重稀土矿床西矿段地质简图

Fig. 2 Simplified geological map of western section of Jialu heavy rare earth deposit

矿床共圈定 63 个矿体,矿体一般长 55~247 m,厚度一般为 1~3 m;规模最大的 G54 号矿体长 444 m,厚度为 3~6 m;目前工程控制矿体延伸一般为 100 m 左右,最大为 230 m;因勘查工作仅在地表及浅部开展,矿体走向和倾向上未封闭,实际规模不清。粗大的锰方解石石英脉(或石英方解石脉)及其上下盘的碳酸岩化(碳酸岩网脉群)钾钠长石化蚀变带构成了矿体的分带现象,前者往往构成工

业矿体的主体,后者则是低品位矿体(图 3);前者重稀土含量较高,而后者则主要是轻稀土矿,重稀土矿含量低。矿化的规模与碳酸岩脉(锰方解石石英脉、重晶石方解石石英脉等)的规模及密集程度直接相关。

矿体重稀土($Y_2O_3 + Yb_2O_3$)平均品位为 0.058 7%,轻稀土($La_2O_3 + Ce_2O_3$)平均品位为 0.222 4%(除上述 4 种,其他稀土元素未计算)。



1. 太古代武家坪黑云斜长角闪片麻岩;2. 锰方解石石英脉;3. 石英条带;4. 钾钠长石化蚀变岩;5. 磷铈矿细脉;
6. 工业稀土矿体;7. 低品位稀土矿体;8. 断层

图 3 驾鹿 G54 号矿体剖面简图

Fig. 3 Profile map of G54 orebody in Jialu deposit

根据本次取样结果(表 1)显示,驾鹿地区碳酸岩轻重稀土分异不明显,ΣLREE/ΣHREE=0.47~1.59,驾鹿稀土矿床还含有较高的 Pr、Nd、Dy 等稀土元素。除稀土元素外,矿体中还伴生有 Mo (0.011%~0.177%)、Cu (0.005%~0.02%)、Pb (0.12%~0.56%)、Zn (0.01%~0.05%)、U (0.002%~0.012 8%)、W(萤石方解石石英脉中含量 1%~3%)、Au(0.72×10^{-6})、Ag(1×10^{-6} ~ 50×10^{-6})。以往该矿床在局部地段地表浅部(100 m 以浅)落实稀土资源为 3 190 t,其中重稀土为 678 t。

矿石组分复杂,镜下鉴定的矿物种类超过 30 种。主要稀土元素工业矿物有磷铈矿、氟碳铈镧矿、氟碳钙铈矿、独居石及磷铝铈矿,其中磷铈矿是最主要的工业稀土矿物。主要金属矿物有辉钼矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、黄铁矿、磁铁矿、自然金及自然铜等;脉石矿物主要有方解石、钾钠长石、石英、重晶石、菱锆矿等。

2.2 塬头稀土矿点

该矿床位于太古代片麻岩基底与元古代小河岩体接触带,华阳川断裂破碎带的东端。矿床赋矿围岩为太古代黑云斜长片麻岩、花岗片麻岩及元古代小河岩体片麻状花岗岩。含矿主岩为石英方解石脉(亦有方解石石英脉),含矿脉岩受断裂构造的控制形成沿断裂或次级裂隙充填的大脉或网脉群。稀土矿化主要受北北西向的断裂控制。北北西及北西西向展布的含矿脉岩一般规模较大,长一般为 100~700 m,最长为 1 100 m;厚为 1~20 m,最厚可达 40 m 以上。

该矿点共圈定 3 个重稀土矿体,表内矿体 1 个,表外矿体 2 个。矿体空间上严格受石英方解石脉或其网脉带的控制(图 4)。矿体控制长度为 530 m,厚度为 1.65~8.08 m。矿体重稀土($Y_2O_3 + Yb_2O_3$)平均品位为 0.039 8%~0.061 7%,轻稀土($La_2O_3 + Ce_2O_3$)品位为 0.05%~0.8%。与稀土矿共生的钼矿平均品位为 0.0628%~0.144%,可形成独立矿

表 1 小秦岭西段主要稀土矿床点稀土元素含量表(10⁻⁶)

Tab. 1 Table of rare earth element contents at major rare earth deposits in the western section of Xiaoling (10⁻⁶)

序号	样品 编号	取样 地点	岩性	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	ΣLREE	ΣHREE	ΣREE	ΣLREE/ ΣHREE	备注		
1	JL-1	驾鹿	石英方 解石脉	238.91	493.67	52.42	174.60	58.81	24.10	58.69	13.16	64.19	13.26	44.98	9.38	52.34	7.76	431.64	1042.51	695.42	1737.93	1.50			
2	JL-2	驾鹿	石英方 解石脉	276.94	536.71	62.60	221.90	69.07	24.27	69.15	13.92	71.07	15.85	48.50	8.57	51.40	7.97	461.34	1191.50	747.76	1939.26	1.59	平均		
3	JL-3	驾鹿	石英方 解石脉	185.81	345.37	39.14	165.63	52.83	18.23	63.47	10.87	75.74	14.39	45.18	8.26	54.65	7.12	546.86	807.00	826.55	1633.55	0.98	1.14 本文		
4	JL-4	驾鹿	石英方 解石脉	74.94	239.17	37.43	194.88	82.87	25.64	102.70	18.32	124.04	24.80	72.27	12.91	84.89	10.31	930.90	654.94	1381.14	2036.08	0.47			
5	YT-1	塬头 TC104	石英方 解石脉	9 件样品平均																	1450.00	433.56	1883.56	3.34	
6	YT-2	塬头 TC105	石英方 解石脉	10 件样品平均																	2460.00	604.50	3064.50	4.07	徐凤 祥等， 1972
7	YT-3	塬头 TC106	石英方 解石脉	30 件样品平均																	1161.67	435.67	1597.34	2.67	
8	HYC-1	华阳川 ZK5604	含霓辉 石英英 方解 石脉	580	1159	104	337	44.3	10.5	37.2	4.91	25.7	5.00	15.6	2.67	18.0	2.76	166	2235	278	2512.64	8.04			
9	HYC-2	华阳川 ZK3205	含霓辉 石英英 方解 石脉	1228	2325	199	613	68.7	14.4	55.6	5.85	27.1	5.13	16.4	2.69	18.4	2.86	162	4448	296	4744.13	15.03	平均 6.42 本文		

续表 1

序号	样品 编号	取样 地点	岩性	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	ΣLREE	ΣHREE	ΣREE	ΣLREE/ ΣHREE	备注
含霓辉																							
10	HYC-3	华阳川 ZK3205	石英英 方解 石脉	369	973	88.1	308	45.2	11.4	35.9	4.98	26.7	5.40	16.7	2.90	19.8	3.02	176	1795	291	2 086.10	6.16	
含霓辉																							
11	HYC-4	华阳川 ZK802	石英英 方解 石脉	250	494	53.3	186	27.9	7.11	21.9	3.06	17.0	3.46	11.1	1.98	13.8	2.22	114	1018	189	1206.83	5.40	
含霓辉																							
12	HYC-5	华阳川 ZK802	石英英 方解 石脉	148	319	42.7	180	36.2	10.0	27.6	4.43	25.8	5.39	16.6	2.99	20.7	3.27	176	736	283	1018.68	2.60	平均 6.42
含霓辉																							
13	HYC-6	华阳川 ZK5602	石英英 方解 石脉	172	356	38.3	134	21.6	5.64	18.2	2.72	16.1	3.49	11.5	2.13	15.2	2.59	117	728	189	916.47	3.85	
含霓辉																							
14	HYC-8	华阳川 ZK4804	石英英 方解 石脉	491	806	85.1	294	41.2	9.94	58.3	10.4	25.8	10.1	19.2	5.56	19.30	6.09	157	1727	312	2038.99	5.54	
含霓辉																							
15	HYC-9	华阳川 ZK4804	石英英 方解 石脉	176	631	41.5	164	28.0	8.28	33.3	7.23	19.3	7.67	13.8	4.17	14.8	4.67	117	1049	222	1270.72	4.73	
含霓辉																							
16	H20	华阳川	石英英 方解 石脉	203	428	63.9	280	64.2	19.00	66.5	11.10	61.6	12.00	39.4	6.44	45.5	6.35	0	1058	249	1306.99	4.25	惠小 平均 4.73
含霓辉																							
17	H40	华阳川	石英英 方解 石脉	225	430	61.2	242	48.8	15.50	47.2	7.84	43.1	9.68	33.6	5.76	42.4	6.84	0	1023	196	1218.92	5.21	
含霓辉																							
18	HD80-11	黄龙铺 大石沟	石英英 方解 石脉	195	500	70.2	275	58.7	16.60	52.3	7.40	41.9	11.00	33.2	4.50	43.9	4.90	295	1116	494	1609.60	2.26	
含霓辉																							
19	HD81-21	黄龙铺 大石沟	石英英 方解 石脉	450	1150	137.5	575	118.8	30.00	93.0	11.30	78.4	13.40	38.4	6.10	43.9	5.10	375	2461	665	3125.90	3.70	黄典 平均 2.91
含霓辉																							
20	HD81-95	黄龙铺 大石沟	石英英 方解 石脉	456	1184	162.8	678	147.7	36.38	106.7	13.90	76.2	18.70	39.7	6.70	42.9	5.90	419	2665	730	3394.28	3.65	蒙等， 1985
含霓辉																							
21	HD81-48	黄龙铺 大石沟	石英英 方解 石脉	220	579	79.0	333	81.1	22.10	76.6	11.50	68.9	19.60	47.5	8.60	58.4	8.70	486	1314	786	2100.10	1.67	

续表 1

序号	样品 编号	取样 地点	岩性	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	ΣLREE	ΣHREE	ΣREE	ΣLREE/ ΣHREE	备注
22	HD81-25	黄龙铺 大石沟	石英方 解石脉	409	909	112.6	439	93.2	23.30	72.1	9.60	58.3	15.30	35.3	6.20	41.4	5.80	362	1986	606	2591.30	3.28	
23	HLP-1	黄龙铺 石家湾	石英方 解石脉	220.00	516.00	47.90	200.00	41.70	11.30	38.00	5.72	34.30	8.28	28.60	4.86	35.30	5.55	365.00	1037	526	1197.51	1.97	
24	HLP-2	黄龙铺 石家湾	石英方 解石脉	147.00	466.00	46.00	199.00	42.90	1.30	38.90	5.59	33.50	7.92	26.30	4.48	32.30	5.02	339.00	902	493	1056.21	1.83	
25	HLP-3	黄龙铺 石家湾	石英方 解石脉	130.00	445.00	46.10	210.00	58.20	17.90	61.20	11.30	77.40	19.20	67.30	11.80	86.00	13.30	841.00	907	1189	1254.70	0.76	许成 平均 等， 1.66 2009
26	HLP-4	黄龙铺 石家湾	石英方 解石脉	279.00	764.00	76.90	336.00	71.90	18.60	60.70	8.80	49.60	10.90	34.20	5.23	34.70	4.82	426.00	1546	635	1755.35	2.44	
27	HLP-5	黄龙铺 石家湾	石英方 解石脉	140.00	516.00	53.20	240.00	60.10	17.20	56.80	9.48	59.70	13.60	44.90	7.52	53.00	8.11	589.00	1027	842	1279.61	1.22	
28	HLP-6	黄龙铺 石家湾	石英方 解石脉	186.00	527.00	52.40	230.00	50.90	13.50	45.50	6.84	41.60	9.73	32.90	5.47	37.90	5.61	421.00	1060	607	1245.35	1.75	
29	HYC-11	华阳川 杨峪沟	含褐帘 石伟晶	718.0	13654	115.0	358	40.5	9	33.1	4	17.6	3	10.9	2	12.3	2	111.0	14894	196	15090	76.1	
30	HYC-12	华阳川 杨峪沟	含褐帘 石伟晶	315	657	58.0	180	21.1	4.89	17.1	1.94	9.59	1.86	5.87	1.02	6.95	1.14	60.0	1236	105	1341.46	11.72	
31	HYC-13	华阳川 杨峪沟	含褐帘 石伟晶	360	792	70.8	223	24.4	4.84	19.5	2.02	8.84	1.67	5.33	0.84	5.90	0.92	54.1	1475	99	1574.16	14.88	平均 25.04
32	HYC-14	华阳川 杨峪沟	含褐帘 石伟晶	285	610	57.6	187	22.3	4.56	17.4	1.99	9.19	1.67	5.00	0.75	4.78	0.71	49.3	1166	91	1257.25	12.85	
33	HYC-15	华阳川 杨峪沟	含褐帘 石伟晶	783	1604	144	455	54.9	12.1	45.1	5.17	25.4	4.88	15.0	2.55	17.8	2.87	155	3053	274	3326.77	11.15	

续表 1

序号	样品 编号	取样 地点	岩性	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	ΣLREE	ΣHREE	ΣREE	ΣLREE/ ΣHREE	备注
34	HYC-16	华阳川 杨峪沟 ZK6402	含褐帘 石伟晶 岩	675	1070	92.4	275	28.6	5.48	23.1	2.18	8.51	1.47	4.64	0.69	4.43	0.69	45.4	2146	91	2237.59	23.56	
			含褐帘																				
			石伟晶																				平均 本文 26.84
35	HJG-1	黄家沟	含褐帘 石伟晶 岩	660.061145.	51104.39	261.76	27.73	5.91	40.51	3.38	7.17	1.34	5.41	0.48	2.84	0.45	34.81	2205	96	2301.74	22.88		
36	HJG-2	黄家沟	含褐帘 石伟晶 岩	699.581204.	62107.02	265.37	27.93	6.34	40.86	3.32	6.71	1.21	5.20	0.42	2.56	0.43	28.89	2311	90	2400.43	25.80		
37	HJG-3	黄家沟	含褐帘 石伟晶 岩	802.371267.	63108.97	266.07	26.50	6.70	40.71	3.14	5.39	0.94	4.38	0.30	1.87	0.33	20.73	2478	78	2556.03	31.86		
38	H2	华阳川 川街	伟晶岩	463	668	83.4	251	25.9	5.22	17.2	1.73	7.57	1.31	3.39	0.62	3.95	0.59	36.6	1497	73	1569.48	20.51	惠小 平均 朝， 34.92 2014
39	H5	华阳川 川街	伟晶岩	1876	2865	242	713	66.8	12.7	42.1	3.53	13.2	1.92	4.41	0.67	4.16	0.47	46.6	5776	117	5892.56	49.34	

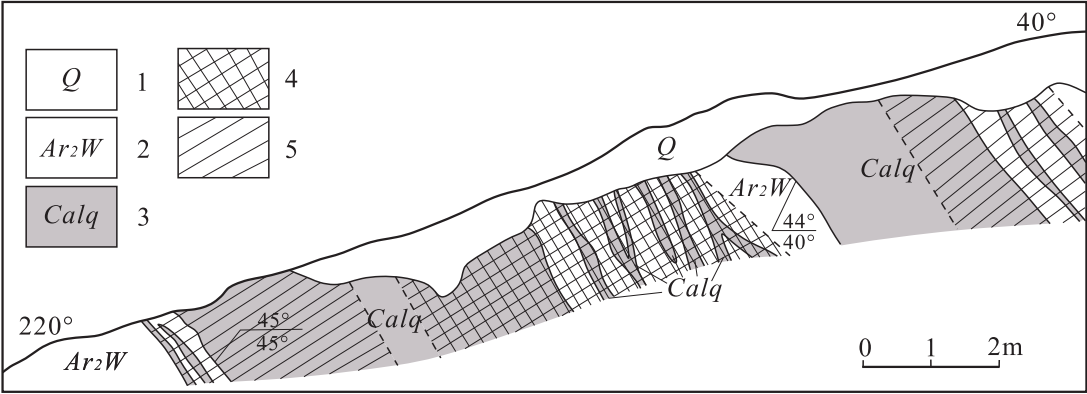
表 2 研究区其他碳酸岩型稀土矿化点概况表
Tab. 2 General table of mineralization points of other carbonate types of rare earth in the study area

矿床点名称	含矿主岩	围岩	主要稀土矿物	稀土含量	伴生元素	备注
草滩重稀土矿点	石英方解石脉	太古代武家坪黑云斜长 片麻岩	磷钇矿、独居石、褐帘石	ΣLREE;0.45%~0.5% ΣHREE;0.035%~0.11%	N、Nb、Pb	徐凤祥等,1972
小夫峪重稀土矿点	天青石石英方解石脉	太古代侯家村黑云角闪 斜长片麻岩	磷钇矿、独居石	Y;0.08%~0.2%, 平均 0.126%	U、Sr	
太子坪-回马坪稀土 矿化区	石英方解石脉	太古代侯家村黑云角闪 斜长片麻岩	氟碳铈矿、磷钇矿	Ce;0.2%,La;0.01%~0.1%, Y;0.01%Yb;0.001%	U、Mo、Pb	
桃园-前坪-东坪稀土 矿化区	重晶石石英方解石脉	熊耳群变质火山岩	磷钇矿、氟碳铈矿、 独居石、褐钇铈矿	Ce;0.03%~1%,La;0.03%~1%, Y;0.001%~0.05%, Yb;0.001%~0.005%	Nb	贾鸿涛,1972

体。除此之外,该地段石英方解石脉中还发现有铀矿化,目前尚未开展进一步开展工作。铀的赋存状态和矿化特征不清。矿体以往工作落实重稀土矿资源为 1 017.1 t,轻稀土为 1 000 t。

近年来,该地段主要开展以钼为主的勘查工作,

已落实了一处中型钼矿床。
矿石中主要稀土矿物为磷钇矿,其次为独居石;金属矿物有辉钼矿、方铅矿、黄铁矿等;矿石中还发现了铈钍铀矿等铀矿物;主要的脉石矿物主要为石英、方解石,次为天青石、微斜长石和黑云母。



1. 第四系;2. 太古代武家坪黑云斜长片麻岩、花岗片麻岩;3. 石英方解石脉;4. 工业稀土矿体;5. 低品位稀土矿体

图 4 源头稀土矿体剖面图

Fig. 4 Profile map of Yuantou rare earth orebody

2.3 华阳川(伴生)稀土矿床

矿床赋存于华山岩体和老牛山岩体夹持的太古代太峪岭、翁岔铺片麻岩套中,主要赋矿围岩有花岗片麻岩、黑云斜长片麻岩、黑云角闪斜长片麻岩以及含辉石角闪斜长片麻岩等。矿床的含矿主岩为受北西向展布的华阳川断裂控制的伟晶岩脉和碳酸岩脉(图 5)。含矿碳酸岩脉可细分为长石霓辉石石英方解石脉、含霓辉石石英方解石重晶石杂脉、含黑云母或少量霓辉石的方解石重晶石杂脉和含沸石石英方解石脉等(康清清等,2017,2018;高成等,2017)。各类碳酸岩脉强烈改造早期形成的伟晶岩脉并与其混杂、交织形成密集的网状脉群(图 6)。脉岩群总体走向为 290°~310°,倾向北东 40°~50°。其中伟晶岩中稀土元素主要以轻稀土为主,含量为 0.21%~1.49%;重稀土含量极少,仅为 0.009 1%~0.019 6%。碳酸岩中稀土元素以轻稀土为主,但含相对较高的重稀土,轻、重稀土含量分别为 0.073 6%~0.444 8%、0.018 9%~0.031 2%(表 1)。

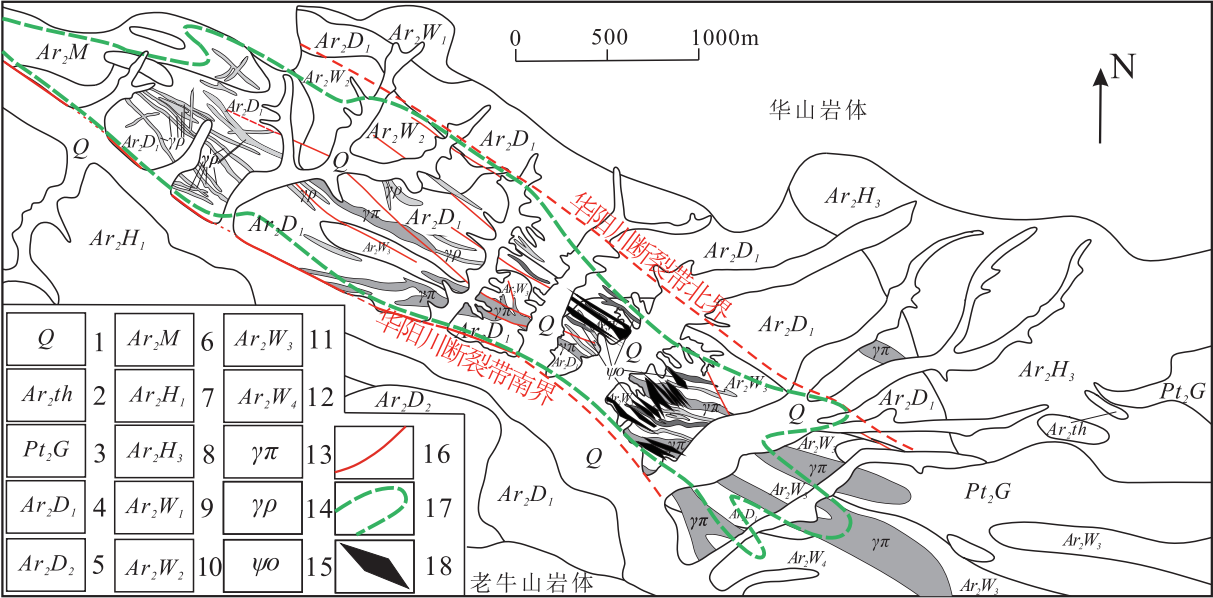
矿区目前圈定铀钼铅(稀土)矿体一个,铀钼铅矿体展布与密集网脉带总体展布方向一致,呈北西走向、倾向北东的厚大板状、似层状及厚大网脉状。脉体分布密度愈大,范围愈广,矿体规模则愈大;反之,脉体分布稀疏,范围小,则矿体规模小。目前控

制矿体总长约 2.6 km,矿体平均厚度大于 500 m。华阳川矿床稀土元素主要以伴生为主,矿体平均稀土平均品位为 0.075 8%,其中轻稀土平均品位为 0.062 1%,重稀土平均品位 0.013 7%;但矿区北西部杨峪沟一带伟晶岩型稀土矿化品位较高(表 1),可独立形成稀土矿体。该矿床目前探获伴生稀土氧化物总量为 97.09 万 t,规模为大型。此外,矿床目前探获 Nb₂O₅ 为 21.79 万 t,Pb 为 551.89 万 t;Nb₂O₅ 品位为 0.018 9%,Pb 品位为 0.51%。估算伴生 Ag 7 708.60 t,平均品位为 6.02×10⁻⁶;Bi 为 8 4346.46 t,平均品位为 65.87×10⁻⁶;Cd 为 3 073.20 t,平均品位为 2.4×10⁻⁶;磁铁矿为 1 421.35 万 t,平均品位 mFe 为 1.11 %(康清清等,2018)。

矿石组分复杂,目前鉴定出的矿物近 50 种。主要的稀土矿物为独居石和褐帘石,次为氟碳铈镧矿、褐钇铈矿;主要铀矿物为铈钍铀矿,次为晶质铀矿;金属矿物有方铅矿、磁铁矿、黄铁矿;主要的脉石矿物为石英、方解石、钾长石、霓辉石、天青石-重晶石等。

2.4 黄龙铺(伴生)稀土矿床

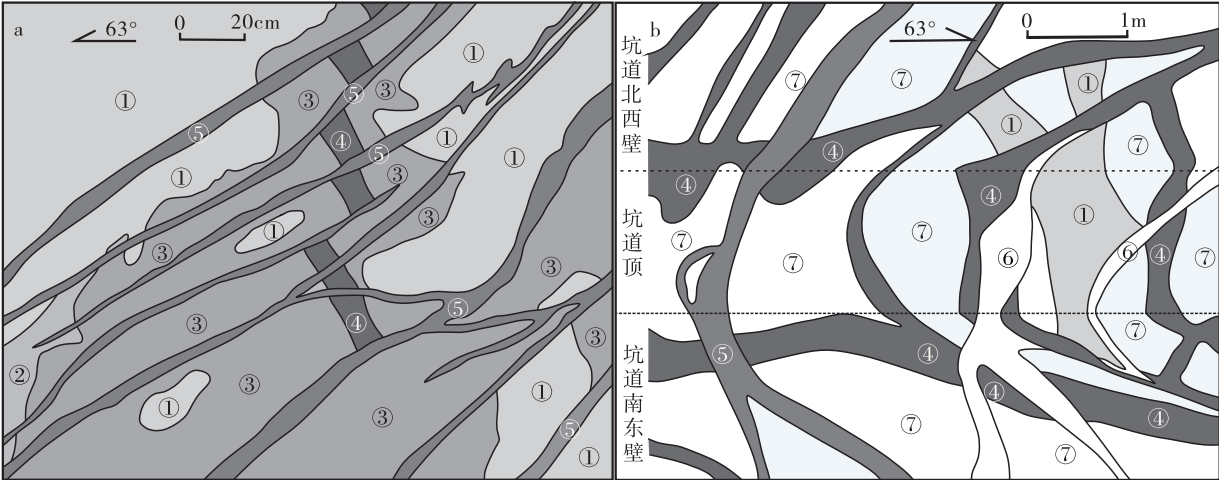
黄龙铺矿床(含文公岭、上河、大石沟、秦岭沟、宋家沟、石家湾等矿床)产于长城系熊耳群火山沉积岩系及高山河群陆源碎屑岩沉积岩系中(图 7)。位



1. 第四系;2. 太古代太华群;3. 元古代甘沟单元;4. 大月坪片麻岩第一片麻岩带;5. 大月坪片麻岩第二片麻岩带;6. 马驹峪片麻岩;7. 侯家村片麻岩第一片麻岩带;8. 侯家村片麻岩第三片麻岩带;9. 武家坪片麻岩第一片麻岩带;10. 武家坪片麻岩第二片麻岩带;11. 武家坪片麻岩第三片麻岩带;12. 武家坪片麻岩第四片麻岩带;13. 花岗斑岩;14. 花岗伟晶岩;15. 黑云母角闪岩;16. 断层;17. 含矿脉岩密集带;18. 铈钕铅(稀土)矿体

图 5 华阳川矿床矿区地质简图

Fig. 5 Simplified geological map of the Huayangchuan deposit



①. 伟晶岩(铈钕稀土矿化);②. 石英方解石脉;③. 石英长石霓辉石脉(铈钕稀土矿化);④. 含霓辉石重晶石石英方解石杂脉(铈钕稀土矿化);⑤. 含黑云母少量霓辉石重晶石石英方解石杂脉(铈钕铅稀土矿化);⑥. 含沸石石英方解石杂脉(铅矿化);⑦. 黑云斜长片麻岩

图 6 华阳川矿床含矿脉岩形态图

Fig. 6 Morphology of ore vein in the Huayangchuan deposit

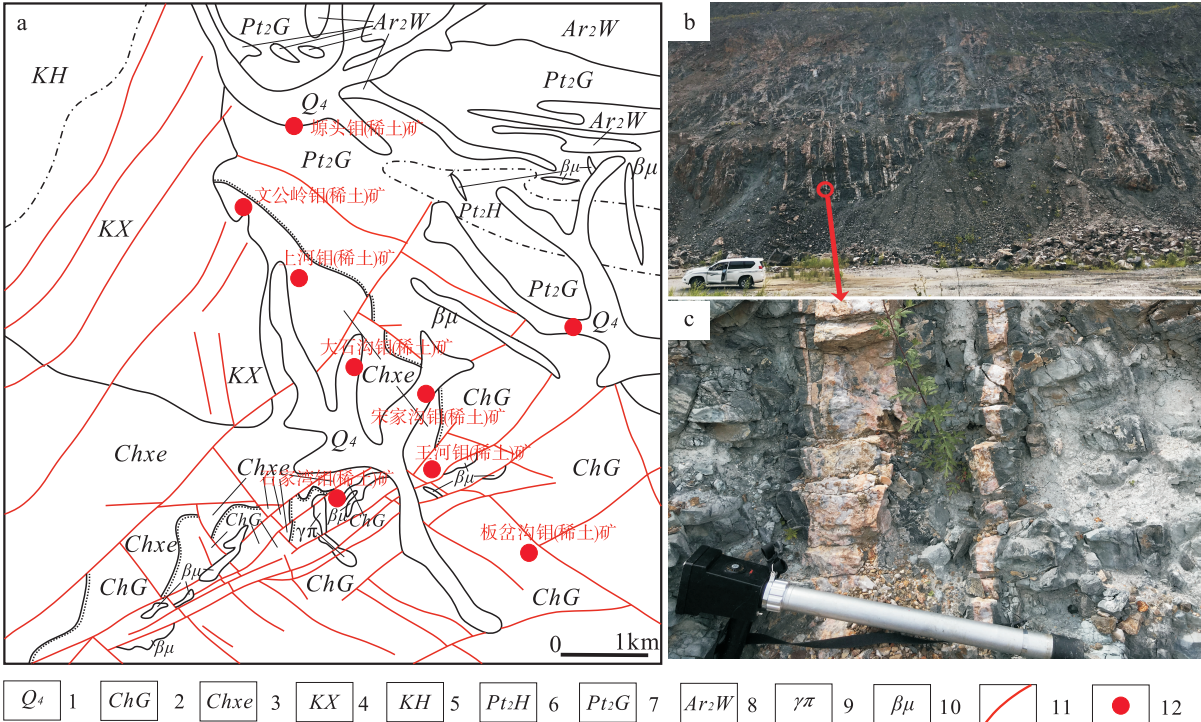
于北东向的金堆城断裂带与北西向的华阳川断裂带的交汇部位,区内密集的发育北东向和北西向断裂构造,形成复杂的断裂构造系统,控制了矿床的展布。沿断裂带侵入有辉绿岩、正长斑岩、石英方解石

脉(沙亚洲等,2010)。

石英方解石脉是本区稀土(钼)矿化的含矿主岩。石英方解石脉发育北东向脉和北西向脉 2 组。北东向脉为矿区主要含矿脉体,规模较大;总体走向

为 35°~65°,成群出现(图 7b),单脉一般长达 40~500 m,宽为 0.5 至数十米,常与辉绿岩、正长斑岩相伴产出(图 7a)。北西向脉为次要含矿脉体,规模较小。总体走向为 120°左右,脉体密集程度稀疏,单脉长为 20~30 m,宽为 0.5~2 m。矿体的规模及品位与石英方解石脉的规模和密集程度呈正比。

矿体中普遍伴生稀土,如宋家沟 I 号主矿体平均稀土含量为 $1\,305.88\times10^{-6}$,轻稀土平均含量为 $1\,153.49\times10^{-6}$,重稀土平均含量为 152.39×10^{-6} 。前人资料显示,大石沟、石家湾的碳酸岩中稀土含量为 $1\,056.21\times10^{-6}\sim3\,394.28\times10^{-6}$,其中重稀土含量为 $494\times10^{-6}\sim1\,189\times10^{-6}$ (表 1)。



1. 第四系;2. 高山河群变质砂岩、板岩;3. 熊耳群变质火山岩;4. 白垩系西牛峪单元中细粒二长花岗岩;5. 白垩系黄狗峪单元中粒二长花岗岩;6. 元古代后沟单元片麻状中粒二长花岗岩;7. 元古代甘沟单元片麻状细粒二长花岗岩;8. 太古代武家坪片麻岩;9. 花岗斑岩;10. 辉绿岩;11. 断层;12. 钼(稀土)矿床点;a. 黄龙铺地区地质简图;b、c. 大石沟钼(稀土)矿含矿碳酸岩脉展布特征

图 7 黄龙铺钼(稀土)矿床地质简图

Fig. 7 Simplified geological map of Huanglongpu molybdenum (rare earth) deposit

矿石中主要的稀土矿物为独居石、氟碳铈镨矿,其余稀土元素主要分散于方解石中。此外,矿石中主要的金属矿物为辉钼矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、黄铁矿、钛铀矿等;非金属矿物主要为方解石、石英,期次为钾长石、天青石等。

除驾鹿、塬头、华阳川、黄龙铺等地,区域上还发现了众多的碳酸岩型稀土矿化点区,概要特征见表 2。

总体来看,碳酸岩型稀土矿床点主要沿华阳川断裂、金堆城断裂展布,空间上在老牛山岩体外接触带形成“>”型的展布特征。研究区内稀土矿化碳酸

岩脉受断裂构造控制形成北西向展布的小夫峪-塬头碳酸岩带和北东向展布的黄龙铺-驾鹿碳酸岩带控制。

大致以小河断裂带为界,北部矿化主要产出于太古代变质基底;含矿碳酸岩脉以富含霓辉石、黑云母的石英方解石脉为主,如华阳川地区稀土矿化脉岩主要有霓辉石重晶石石英方解石脉、含黑云母霓辉石石英方解石脉,至少有 5 期以上的成分和规模具有明显差异的碳酸岩脉叠加形成错综复杂的网脉密集带(图 6)。值得注意的是华阳川地区霓辉石作为 SiO₂ 不饱和的碱性矿物与石英、方解石等共同组

成脉体。前人认为可能是硅酸岩浆、碳酸岩浆和霓长岩化流体共同作用的结果(喻学惠,1992)。南部矿化主要出于熊耳群火山沉积岩及高山河碎屑岩沉积;矿化碳酸岩脉以浅色的石英方解石脉为主,极少含有霓辉石、黑云母等暗色矿物,如驾鹿稀土矿含矿脉岩为锰方解石石英脉或石英方解石脉(图 2),黄龙铺伴生稀土矿床主要稀土矿化脉岩为石英(浅红色)方解石脉,含矿碳酸岩脉多呈平行密集脉群出现(图 7b、图 7c)。

碳酸岩型稀土矿化以轻稀土为主,但相对富集重稀土,重稀土相对含量明显高于目前报道的世界上已发现的所有碳酸岩(许成,2009)的重稀土含量。其中,驾鹿、塬头、小夫峪、黄龙铺等地的重稀土可独立形成矿体(表 1)。碳酸岩稀土总量为 $916 \times 10^{-6} \sim 4\,744 \times 10^{-6}$,其中轻稀土含量为 $736 \times 10^{-6} \sim 4\,448 \times 10^{-6}$,主要为 La、Ce、Nd;重稀土含量为 $196 \times 10^{-6} \sim 1\,381 \times 10^{-6}$,主要为 Y。碳酸岩 $\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}$ 一般为 1.14~6.42(表 1),碳酸岩轻重稀土分异程度不高(许成等,2009),尤其驾鹿地区和石家湾地区轻重稀土含量近于相当(轻重稀土比值为 0.47~2.44)。从轻重稀土比值来看,区域上大致表现为以华阳川为中心向外围(前人资料显示华阳川以西的小夫峪是以 Y 为主的重稀土矿)比值逐渐变小,即

由华阳川矿床向外围碳酸岩逐渐相对富集重稀土(表 1)。

区域上与碳酸岩型稀土共伴生的矿种已发现有铀、铈、铅、钼、铜、钨、金、锌、银等。其中铀与碳酸岩型稀土矿化的关系最为密切。目前,发现的绝大部分碳酸岩型稀土矿床点均发现了铀矿化,其中华阳川、草滩、驾鹿、塬头等地铀矿物主要为铈钛铀矿,黄龙铺一带主要铀矿物为钛铀矿。这一现象可能反应了碳酸岩型稀土矿化与铀矿化可能存在密切的成生联系。

据前人研究显示,研究区稀土矿化碳酸岩形成时期为印支期,主要测定的年龄数据集中在 181~220 Ma(喻学惠,1992;邱家骧,1993;黄典豪,1994,2009;陈华勇等,2015)。鉴于碳酸岩与稀土矿化的成生联系,认为该类型的稀土主成矿期应为印支期。

3 伟晶岩型稀土矿床(点)特征

轻稀土矿(化)点总体呈近东西向展布,目前发现的有杨峪沟(华阳川矿区东部)轻稀土矿点、黄家沟轻稀土矿化点、善车峪轻稀土矿化点、蒿岔峪轻稀土矿化点(表 3)。另外,华阳川矿床主矿区(川街一带)早期伟晶岩也富含稀土。

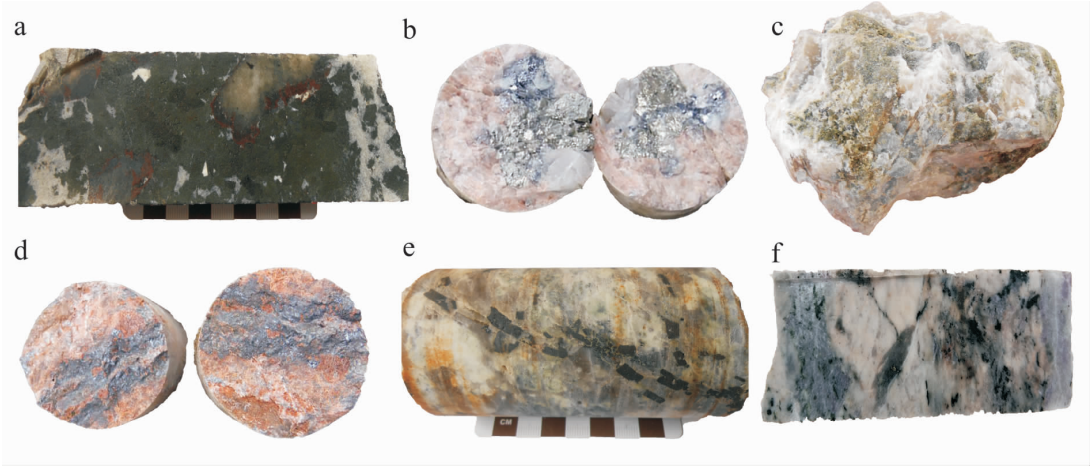
表 3 研究区其他伟晶岩型稀土矿化点概况表
Tab. 3 General table of mineralization points of other pegmatite types of rare earth in the study area

矿化点名称	含矿主岩	围岩	主要稀土矿物	稀土含量(%)	伴生元素	备注
太峪东沟轻稀土矿化点	花岗岩伟晶岩	太古代大月坪花岗岩片麻岩	褐帘石	La:0.45~0.5 Ce:0.035~0.11	U	沈自求,1959
蒿岔峪轻稀土矿化点	花岗岩伟晶岩	太古代大月坪花岗岩片麻岩	褐帘石	La:0.3~0.5 Ce:0.2~1	U	李田森,1959

杨峪沟轻稀土矿点。杨峪沟轻稀土矿点产于太古代太峪岭片麻岩套大月坪花岗岩片麻岩中。矿化主要受北西向展布的含褐帘石伟晶岩(图 8e)控制。含褐帘石伟晶岩多受后期改造,且碳酸盐化发育。主要含稀土矿物为褐帘石,期次为独居石。稀土元素主要以轻稀土 Ce 为主,其次为 La、Nd、Pr,少量重稀土以 Y 为主。稀土总量为 $1\,257 \times 10^{-6} \sim 15\,090 \times 10^{-6}$,其中轻稀土含量为 $1\,166 \times 10^{-6} \sim 14\,894 \times 10^{-6}$,重稀土含量为 $91 \times 10^{-6} \sim 247 \times 10^{-6}$; $\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}$ 一般为 11.15~76.10,平均为

25.04,轻重稀土分异明显。含稀土伟晶岩多伴有一定程度的铀矿化,这在本区是一种普遍的现象,局部 U 含量高者可形成独立的工业铀矿体。

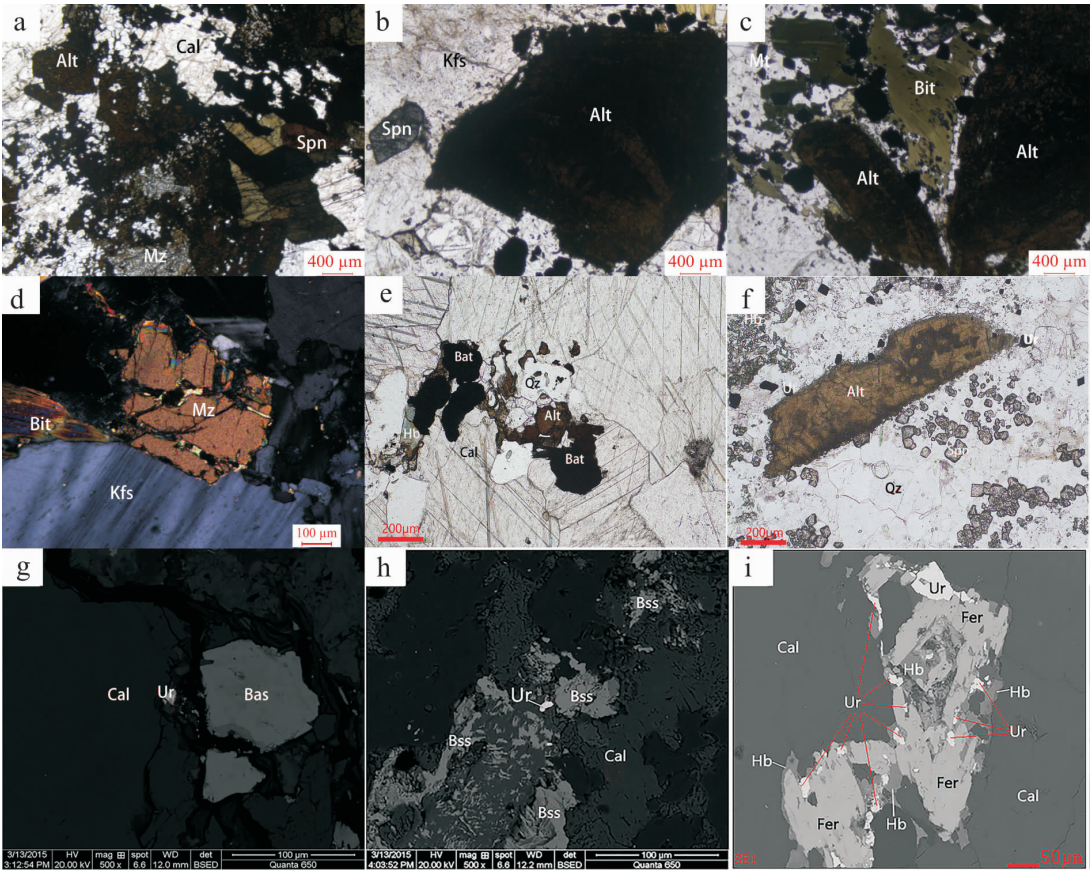
黄家沟轻稀土矿化点。黄家沟稀土矿点产于太古代翁岔铺片麻岩套侯家村黑云角闪斜长片麻岩中。矿化主要受含褐帘石伟晶岩、细晶岩控制。含褐帘石伟晶岩总体产状以近东西向为主,亦有呈南北向展布者。主要稀土矿物为褐帘石,其次为独居石(图 9)。稀土元素主要以轻稀土 La、Ce、Pr、Nd 为主,少量重稀土以 Gd、Y 为主;稀土总量为 $2\,307 \times 10^{-6}$



a. 华阳川铀钼稀土矿石(霓辉石石英方解石脉);b. 宋家沟钼稀土矿石(石英方解石脉);c. 驾鹿稀土矿石(方解石石英脉);d. 秦岭沟钼稀土矿石(石英方解石脉);e. 杨峪沟铀稀土矿石(含褐帘石伟晶岩脉);f. 黄家沟钼稀土矿石(含褐帘石伟晶岩脉)

图 8 研究区部分稀土矿床(点)矿石照片

Fig. 8 Photographs of some rare earth deposits (sites) in the study area



Alt. 褐帘石;Mz. 独居石;Spn. 榍石;Cal. 方解石;Kfs. 钾长石;Bit. 黑云母;Mt. 磁铁矿;Qz. 石英;Hb. 角闪石;Bat. 铈钍铀矿;Ur. 晶质铀矿;Bas. 氟碳铈镧矿;Fer. 含褐帘钇铈矿;a. 华阳川碳酸盐化伟晶岩;b、c. 杨峪沟含褐帘石伟晶岩;d. 黄家沟含褐帘石伟晶岩;e. 华阳川碳酸岩;f. 华阳川含褐帘石伟晶岩;g、h、i. 华阳川碳酸岩

图 9 研究区稀土矿物镜下特征图

Fig. 9 Microscopic Characteristics of rare earth minerals in the study area

$\sim 2\,556 \times 10^{-6}$, 其中轻稀土含量为 $2\,205 \times 10^{-6} \sim 2\,478 \times 10^{-6}$, 重稀土含量为 $78 \times 10^{-6} \sim 96 \times 10^{-6}$; $\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}$ 一般为 $22.88 \sim 31.86$, 平均为 26.84 , 轻重稀土分异明显。与杨峪沟矿点相似, 黄家沟矿化点含稀土伟晶岩普遍发育一定程度的铀矿化, 局部 U 含量高者可独立形成工业铀矿体。

善车峪轻稀土矿化点。善车峪轻稀土矿点产于太古代太峪岭片麻岩套大月坪花岗片麻岩中。主要含矿地质体为花岗伟晶岩, 其特征主要表现为富含颗粒粗大的褐帘石, 褐帘石也是主要的含稀土矿物。稀土元素以轻稀土 La、Ce 为主, 其中 La 含量为 $0.03\% \sim 1\%$, Ce 含量为 $0.1\% \sim 1\%$ 。前人资料显示, 善车峪含褐帘石伟晶岩普遍具有放射性, U 含量一般大于 0.005% , 局部常大于 0.02% 。

总体来看, 研究区内伟晶岩型稀土矿(化)点分布于小河断裂以北, 受区域上大致呈近东西向展布的一套含褐帘石花岗伟晶岩控制。稀土元素为 La、Ce 等轻稀土, 重稀土含量低, 轻重稀土分异大。

区内杨峪沟一带含褐帘石花岗伟晶岩测定锆石 U-Pb 年龄为 $(1899 \pm 17)\text{Ma}$ (康清清等, 2017), 表明该套花岗伟晶岩形成于古元古代晚期, 这与华北古大陆在 1.85 Ga 之前完成终极克拉通化时形成了大量的花岗伟晶岩的事实一致。根据该类型稀土矿化与含褐帘石花岗伟晶岩的密切关系。笔者认为伟晶岩型稀土矿化时代为古元古代晚期, 与前述碳酸岩型稀土矿化在成矿时代上差异巨大。前者的形成可能与太古代基底的变质作用有关, 而后者与印支期岩浆活动有关。2 类稀土矿化在小河断裂以北的黄家沟、杨峪沟和华阳川一带同时出现, 并且可见碳酸岩型稀土矿化脉体切割伟晶岩型稀土矿化脉体(图 6)。至于同一地区出现的 2 类稀土矿化是否存在本质上的联系, 仍需进一步开展工作。

值得注意的是区内伟晶岩型稀土矿化与碳酸岩型稀土矿化均与区内的铀矿化有着高度的时空一致性, 表明两者可能经历了相同的成矿过程。鉴于区内稀土矿化与铀矿化的密切关系, 放射性异常可以作为寻找稀土矿化的重要标志(李靖辉等, 2017)。

4 找矿远景浅析

研究区以往单独对于稀土矿的勘查工作主要集中的 20 世纪 50~60 年代。近年来, 稀土矿化的发

现主要是对局部地段开展钼铅金铀为主的多金属矿勘查过程中综合评价。总体来说, 本区稀土矿的勘查程度低, 已发现的稀土矿床(点)多且呈规律性的展布, 未来进一步找矿的前景巨大。

以目前已发现的重稀土矿点为例: 驾鹿重稀土矿和源头重稀土矿以往工作仅开展了少量的地表和主要矿体百米以浅的揭露工作, 落实了一定的资源量。但矿体的深部和已发现的大多数地表矿体均未开展系统的勘查评价工作, 未来需进一步的开展勘查工作, 找矿潜力较大, 有望落实中到大型的重稀土矿床。华阳川和黄龙铺一带的稀土矿化仅在开展其他多金属勘查的过程中进行了初步的综合评价工作, 该 2 处含稀土碳酸岩分布范围广、规模巨大, 而且根据目前资料显示重稀土矿可独立形成工业矿体, 未来有必要系统的开展针对稀土矿的系统勘查评价工作。本区重稀土矿的含矿主岩碳酸岩总体呈北西西向连续分布于小夫峪—华阳川—黄龙铺—驾鹿一带, 分布长度超过 30 km , 且均发现不同程度的稀土矿化, 未来找矿前景巨大, 其稀土找矿工作应引起足够的重视。

就本区轻稀土矿化而言, 其含矿主岩含褐帘石伟晶岩呈近东西向广泛分布于小河断裂以北的太古代变质基底中, 但已发现稀土矿化主要为轻稀土矿化, 且矿化一般较为分散, 目前不具太大的进一步勘查的意义。但其对于区内稀土及铀矿的成矿作用的研究具有重要的意义, 应在今后的研究工作中加以重视。

5 结论

(1) 研究区内已发现的稀土矿(点)众多, 有碳酸岩型和伟晶岩型 2 种类型。其中碳酸岩型稀土矿是区内主要类型, 由北西西向的华阳川断裂和北东向的金堆城—青岗坪断裂控制, 形成 2 条与控制断裂走向一致的碳酸岩稀土成矿带; 伟晶岩型稀土矿受太古代变质基底内近东西向展布的含褐帘石伟晶岩脉群控制, 形成与之走向一致的伟晶岩型稀土成矿带。

(2) 碳酸岩型稀土矿含矿主岩为碳酸岩, 以小河断裂为界, 南北含矿碳酸岩差别明显, 北部以富含霓辉石等暗色矿物成分复杂的石英方解石脉为主, 南部以成分较为简单浅色的石英方解石脉为主。含稀土矿物主要为磷钇矿、独居石和氟碳铈镧矿。稀土元素以轻稀土为主, 但重稀土相对偏高, 并具有以华

阳川为中心向外围逐渐富集重稀土的特点。与之共伴生的矿产有钼、铅、铀矿等,其中与铀的关系最为密切。伟晶岩型稀土矿含矿主岩为含褐帘石伟晶岩,含稀土矿物为褐帘石,稀土元素以轻稀土为主,与铀矿密切伴生。

(3)研究区发育 2 期明显的稀土矿化作用,早期大致为古元古代晚期,表现为富含稀土的含褐帘石伟晶岩脉的形成;晚期为印支期,表现为稀土矿化碳酸岩的形成。

(4)区内稀土矿勘查程度低,成矿远景较好。已发现的碳酸岩型稀土矿床(点)及碳酸岩脉带展布地段具有较大的找矿潜力。

参考文献(References):

康清清,江宏君,李鹏,等. 陕西华阳川铀钼铅矿床矿石矿物学特征[J]. 东华理工大学学报(自然科学版),2018,41(02):111-123.

KANG Qingqing, JIANG Hongjun, LI Peng, et al. Ore Mineralogical Characteristics of the Huayangchuan U-Nb-Pb Deposit[J]. Journal of East China University of Technology(Natural Science), 2018,41(02):111-123.

高成,康清清,江宏君,等. 秦岭造山带发现新型铀多金属矿:华阳川与伟晶岩脉和碳酸岩脉有关的超大型铀-钼-铅-稀土矿床[J]. 地球化学,2017,46(05):446-455.

GAO Cheng, KANG Qingqing, JIANG Hongjun, et al. A unique uranium polymetallic deposit discovered in the Qinling orogenic belt: The Huayangchuan super-large U-Nb-Pb-REE deposit associated with pegmatites and carbonatites[J]. Geochimica, 2017,46(05):446-455.

惠小朝. 陕西省华阳川铀多金属成矿作用地球化学研究[D]. 北京:核工业北京地质研究院,2014.

HUI Xiaochao. Study on mineralization and geochemistry of the Huayangchuan uranium polymetallic deposit, Shaanxi Province[D]. Beijing: Beijing Research Institute of Uranium Geology, 2014.

许成,宋文磊,漆亮,等. 黄龙铺钼矿田含矿碳酸岩地球化学特征及其形成构造背景[J]. 岩石学报,2009,25(2):422-430.

XU Cheng, SONG Wenlei, QI Liang, et al. Geochemical characteristics and tectonic setting of ore-bearing carbonatites in Huanglongpu Mo ore field. Acta Petrologica Sinica, 2009,25(2):422-430.

喻学惠. 陕西华阳川碳酸岩地质学和岩石学特征及其成因

初探[J]. 地球科学,1992,17(2):151-244.

YU Xuehui. Geological, petrol-mineralogical characteristics and origin of the carbonatites from Huayangchuan, Shaanxi Province [J]. Earth Sci, 1992, 17(2): 151-244.

黄典豪,王义昌,聂凤军,等. 一种新的钼矿床类型——陕西黄龙铺碳酸岩脉型钼(铅)矿床地质特征及成矿机制[J]. 地质学报,1985,(03):241-257+275.

HUANG Dianhao, WANG Yiehang, NIE Fengjun, et al. A new type of molybdenum deposit—geological characteristics and metal-logenic mechanism of the huanglongpu carbonatite vein-type of molybdenum (lead) deposit, shaanxi[J]. Acta Geological Sinica, 1985,(03):241-257+275.

李靖辉,陈化凯,张宏伟,等. 豫西太平镇轻稀土矿床矿化特征及矿床成因[J]. 中国地质,2017,44(02):288-300.

LI Jinghui, CHEN Huakai, ZHANG Hongwei, et al. Mineralization characteristics and ore genesis of the light rare earth deposit in Taiping Town, western Henan[J]. Geology in China, 2017, 44(2): 288-300.

樊会民,张嘉升,柏千惠,等. 陕西秦巴地区地球化学分区及找矿意义[J]. 西北地质,2018,51(02):75-82.

FAN Huimin, ZHANG Jiasheng, BAI Qianhui, et al. Geochemical Landscape of Qinba Area in Shaanxi Province and Its Prospecting Significance[J]. Northwestern Geology, 2018,51(02):75-82.

王北颖,陈陇刚,薛煜洲,等. 1:5万华阳川幅、华山幅、太峪口幅区域地质调查报告[R]. 西安:陕西省地矿局综合研究队,1996.

沙亚洲,陈冰,刘伟,等. 陕西省洛南县宋家沟钼矿勘探报告[R]. 西安:陕西省核工业地质局二二四大队,2010.

康清清,江宏君,李鹏,等. 陕西华阳川地区铀多金属矿调查评价与勘查示范华阳川矿区钻探工作报告[R]. 西安:中陕核工业集团二二四大队有限公司,2017.

贾鸿涛. 洛南驾鹿稀土元素矿区普查评价报告[R]. 商洛:陕西省地质局第 13 地质队,1972.

徐凤祥,郭文选,彭振云,等. 陕西省华阴县垣头石英脉型稀土矿点地质报告[R]. 西安:陕西省地质局第六地质队,1972.

沈自求. 太峪东沟、善车峪矿点评价报告[R]. 渭南:陕西省地质局渭南地质队,1959.

李田森. 陕西省渭南县蒿岔峪矿点(脉石英、含稀有元素的花岗伟晶岩)检查报告[R]. 渭南:陕西省地质局渭南地质队,1959.

李六权. 渭南商洛两市三稀矿产找矿前景展望[J]. 陕西地质,2015,33(01):1-8.