

华阳川铀多金属矿有用元素赋存状态研究

王守敬^{1,2,3}

1. 中国地质科学院郑州矿产综合利用研究所,河南 郑州 450006;
2. 自然资源部多金属矿综合利用评价重点实验室,河南 郑州 450006;
3. 西北地质科技创新中心,陕西 西安 710054

中图分类号:TD91 文献标识码:A 文章编号:1001-0076(2020)04-0097-06
DOI:10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2020.04.012

摘要 采用矿物解离度分析仪(MLA)分析、电子探针分析等方法对华阳川铀多金属矿进行了详细的赋存状态研究。分析结果显示矿石中 90.99% 的铀和 84.94% 的铈赋存在铈钽铀矿中,46.15% 的铅赋存在方铅矿中,92.55% 的稀土赋存在褐帘石中,锶和钡分布较分散。铈钽铀矿和方铅矿等有用矿物粒度较粗有利于其选矿富集。褐帘石中稀土元素含量低、提取难度较大,综合利用较为困难。锶和钡含量低、分布分散,综合利用价值不大。

关键词 华阳川;铀矿;赋存状态;铈钽铀矿;褐帘石;稀土;方铅矿

华阳川铀多金属矿位于华阴市罗夫镇。地质上位于小秦岭西段,是一个以铀为主、伴生多种金属元素的复杂多金属矿,具有规模大、矿种多、品位低、埋深浅、易开采的特点。初步估算矿床已查明资源量铀×万 t、铈 11 万 t、铅 218 万 t,伴生银 4 310 t、稀土 55 万 t,重晶石 2 706 万 t,天青石 2 851 万 t^[1]。

目前多家研究单位已经对华阳川铀多金属矿进行过选矿试验和工艺矿物学研究^[2-5]。确定了矿石中铀、铈、铅和银等有用元素的赋存状态。均认为铈钽铀矿中的铀和铈、方铅矿中的铅可回收利用,而白铅矿等矿物中的铅综合利用难度较大。但对于矿石中的稀土元素、钡、锶等元素是否可以利用还存在一定的争议。

本次研究对华阳川铀多金属矿进行工艺矿物学研究,确定矿石中铀、铈、铅、稀土、钡和锶等主要有用元素的赋存状态,为矿石的开发利用提供依据。

1 样品的元素组成

本次研究分 15 个点采取了华阳川铀多金属矿坑道和地表样品。对采集的样品按比例混合后进行详细的工艺矿物学研究。

对混合样的化学分析结果(表 1)显示样品中铀、铈和铅含量较高,是主要的有用元素。铅的物相分析

结果显示(表 2),矿石中铅氧化程度较高。

表 1 混合样化学分析结果

Table 1 Main chemical compositions of the ore /%									
元素	U*	Nb ₂ O ₅	RE _x O _y *	Ag*	Pb	S	TFe	TiO ₂	CaO
含量	162	237	811	3.50	0.61	0.69	2.67	0.23	7.32
元素	K ₂ O	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Mn	P ₂ O ₅	SrO	BaO	MgO
含量	4.66	1.50	8.88	60.34	0.17	0.15	0.89	1.94	0.80

注:“*”单位为 10⁻⁶。

表 2 铅物相分析结果

Table 2 Phase analysis of lead in the ore /%			
	方铅矿中铅	白铅矿中铅	铅矾中铅
含量	0.23	0.20	0.02
分布率	51.11	44.44	4.44

2 样品的矿物组成

本次研究采用 MLA 分析确定了矿石的矿物组成。分析结果显示(表 3)矿石中有用矿物主要为铈钽铀矿和方铅矿等矿物,含少量的晶质铀矿和铅贝塔石等铀矿物。

收稿日期:2018-08-15

基金项目:中国地质调查局地质调查项目(DD20160014,DD20190186)

作者简介:王守敬(1982-)男,陕西潼关人,硕士,高级工程师,从事矿产资源工艺矿物学研究工作。

表 3 主要矿物含量 /%

Table 3 Main mineral compositions of the ore

铌钽 铀矿	铅贝 塔石	钽石	晶质 铀矿	褐钨 铀矿	方铅矿	白铅矿	天青石
0.08	0.02	0.03	少量	微量	0.34	0.51	1.63
褐帘石	独居石	重晶石	菱锆矿	磁铁矿	褐铁矿	黄铁矿	方解石
0.36	0.01	2.48	0.57	2.26	0.77	0.77	12.38
钠长石	钾长石	石英	角闪石	黑云母	白云母	磷灰石	楣石
13.55	23.73	33.75	2.15	1.98	0.51	0.32	0.48
绿泥石	锆石	钛铁矿	石榴子石	斜长石			
0.81	0.03	0.01	0.26	0.21			

3 主要矿物嵌布特征

3.1 主要矿物嵌布粒度

本次研究采用 MLA 分析等方法确定了矿石中主要有用元素的磨矿粒度,分析结果(表 4)显示,矿石中铌钽铀矿、方铅矿等有用矿物嵌布粒度较粗,而晶质铀矿等矿物嵌布粒度较细。

表 4 主要矿物磨矿粒度 /%

Table 4 dissemination size of main minerals

粒度/mm	铌钽铀矿	铅贝塔石	钽石	晶质铀矿	方铅矿	白铅矿
0.5~1	0	0	0	0	32.14	4.67
0.3~0.5	45.45	0	0	0	17.15	11.14
0.15~0.3	34.79	0	56.57	0	26.22	23.48
0.075~0.15	8.29	2.03	16.66	67.13	13.98	14.14
0.038~0.075	4.92	4.56	15.21	0	4.25	11.92
0.02~0.038	2.5	11.42	2.05	6.52	3.64	10.44
0.01~0.02	2.11	29.4	4.88	10.2	1.27	11.33
<0.01	1.93	52.6	4.63	16.14	1.33	12.9

粒度/mm	褐帘石	独居石	重晶石	菱锆矿	天青石
0.5~1	1.64	0	12.22	0	0
0.3~0.5	1.68	0	15.68	26.76	0
0.15~0.3	5.55	0	19.92	23.82	13.7
0.075~0.15	10.08	0	16.66	25.02	18.11
0.038~0.075	12.52	5.52	11.55	6.03	14.72
0.02~0.038	13.07	41.72	9.78	8.2	19.53
0.01~0.02	14.19	34.05	6.05	4.24	12.6
<0.01	41.28	18.7	8.17	5.92	21.34

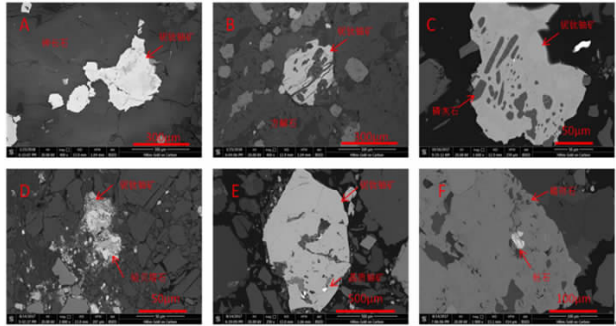
从分析结果可以看出,矿石中铌钽铀矿、方铅矿、白铅矿、菱锆矿和重晶石等矿物粒度很粗,而其他矿物粒度较细。

3.2 铀、铌矿物嵌布特征

矿石中铀、铌矿物主要有铌钽铀矿、晶质铀矿、铅贝塔石、钽石和褐钨铀矿等矿物。

矿石中铌钽铀矿多呈浸染状分布在矿石中,与多与钾长石、方解石等矿物伴生,另多见其包裹磷灰石等矿物(图 1)。

矿石中晶质铀矿、铅贝塔石等矿物含量较低,多与铌钽铀矿紧密共生(图 1),可与铌钽铀矿一起选别。钽石、褐钨铀矿含量较低,多分布在褐帘石等矿物中(图 1)。



A: 钾长石包裹铌钽铀矿;B: 方解石包裹铌钽铀矿;C: 铌钽铀矿包裹磷灰石;D: 铌钽铀矿与铅贝塔石共生;E: 铌钽铀矿包裹晶质铀矿;F: 褐帘石包裹钽石

图 1 铀矿物照片

Fig. 1 uranium mineral (A: betafite encapsulated by potash feldspar; B: betafite encapsulated by calcite; C: apatite encapsulated by betafite; D: plumbobetafite coexistence with betafite; E: uraninite encapsulated by betafite; F: thorite encapsulated by allanite)

3.3 铅、银矿物

矿石中含铅矿物主要为方铅矿和白铅矿。
矿石中方铅矿多呈浸染状分布在碳酸盐脉中。其粒度较粗(图 2),与碳酸盐等脉石矿物紧密共生(图 2)。部分方铅矿已经部分氧化,表面多蚀变为白铅矿(图 2),对矿石中铅的回收影响较大。

矿石中未见银的独立矿物,但对方铅矿精矿的分析显示,其银含量达到 630 g/t,因此推测其多呈微细粒银矿物赋存在方铅矿等矿物中。可以和铅一同回收。

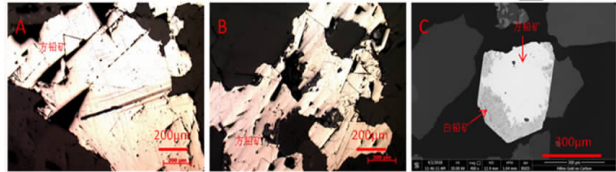


图 2 铅矿物照片

Fig. 2 lead mineral

3.4 锶、钡矿物

矿石中锶、钡等元素主要赋存在重晶石等矿物中,还有部分锶赋存在天青石、菱锆矿等矿物中。

矿石中重晶石多分布在方解石石英脉中,与方解

石等脉石矿物紧密共生(图 3)。其粒度较粗,有利于其单体解离。

矿石中天青石和菱锆矿等矿物含量较低,多呈浸染状分布在方解石脉中,与方解石等矿物紧密共生(图 3)。

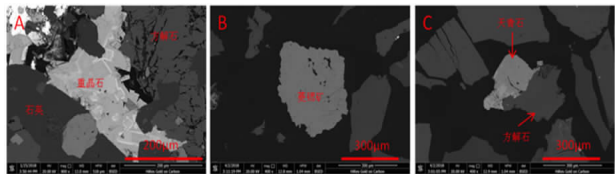


图 3 锶、钡矿物照片
Fig. 3 Strontium and barium minerals

3.5 稀土矿物

矿石中稀土矿物主要为褐帘石以及少量的独居石等矿物。

矿石中褐帘石多呈浸染状分布在矿石中,与脉石矿物紧密共生(图 4)。褐帘石粒度较粗,可见其包裹独居石和钍石等矿物(图 4)。

独居石在矿石中含量较低,多呈浸染状分布(图 4),其粒度较细,单体解离难度较大。

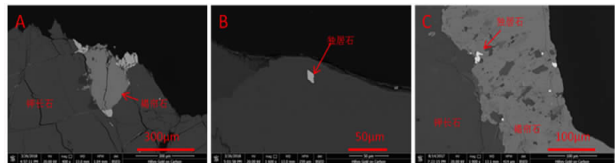


图 4 稀土矿物照片
Fig. 4 rare earth elements minerals

3.6 脉石矿物

矿石中岩石类型分为方解石石英脉、伟晶岩脉和片麻岩三类。脉石矿物主要为石英、长石、云母、角闪石和方解石等矿物。

石英方解石脉是矿石中铅的主要赋矿岩石。其主要由方解石、石英、重晶石等矿物组成。石英方解石脉多呈网脉状分布,一般脉体边缘为方解石,中心为石英。

伟晶岩是矿石中铀、钼矿物的赋矿岩石。其主要由钾长石、石英等矿物组成。其呈脉状分布,被后期方解石石英脉改造严重,可见方解石脉中包裹交代残留的钾长石。

片麻岩是矿石中主要的赋矿围岩,主要由云母、角闪石、斜长石和石英等矿物组成。其中云母、角闪石等矿物主要呈片状定向分布。

4 矿石主要有用元素赋存状态

4.1 主要矿物电子探针分析结果

本次研究采用电子探针分析了矿石中主要矿物的元素组成。电子探针型号为岛津 EPMA - 1720,分析条件为 AccV: 15.0 kV, BC: 10.0 nA, Beam Size: 5 μm, SC: 8.1 nA。分析结果见表 5 ~ 表 7。

表 5 铀矿物的电子探针分析结果 / %
Table 5 Main chemical compositions of uranium mineral by EP-MA

矿物	编号	PbO ₂	CaO	Nb ₂ O ₅	UO ₂	TiO ₂	ThO ₂	Fe ₂ O ₃	Total
铌钽铀矿	1	0.41	14.08	32.30	31.42	16.97	0.05	0.27	95.50
	2	0.24	14.47	31.15	31.44	17.10	0.00	0.21	94.61
	3	0.52	14.14	32.82	30.39	15.63	0.08	0.14	93.69
	4	0.27	14.03	28.91	30.55	18.40	0.08	0.04	92.28
	5	0.29	13.74	28.60	31.31	19.06	0.10	0.05	93.15
	6	0.51	14.27	30.38	31.05	18.54	0.01	0.06	94.82
	7	0.41	13.85	29.50	31.12	18.35	0.10	0.06	93.38
	8	0.44	14.07	30.47	30.47	17.82	0.00	0.06	93.33
	9	0.41	13.87	28.43	31.43	18.82	0.12	0.09	93.16
	平均	0.39	14.06	30.28	31.02	17.86	0.06	0.11	93.77
铅贝塔石	1	34.56	2.59	23.40	15.50	8.89	1.42	2.50	88.84
	2	42.74	1.98	20.80	11.05	7.71	1.92	2.59	88.79
	3	38.82	1.74	21.01	11.37	10.50	2.82	3.01	89.27
	4	37.93	1.94	22.01	12.54	10.43	2.01	2.79	89.65
	5	37.45	1.73	20.65	11.33	10.75	2.10	3.11	87.11
	6	36.71	1.74	20.93	11.94	10.80	2.49	2.86	87.46
	平均	38.03	1.95	21.47	12.29	9.84	2.13	2.81	88.52

从分析结果可以看出矿石中铌钽铀矿主要由铌、钽、铀和钙组成,其含量变化不大,其中 CaO 平均含量 14.06%, UO₂ 含量 31.02%, Nb₂O₅ 含量 30.28%, TiO₂ 含量 17.86%。铅贝塔石与铌钽铀矿元素组成相似,只是铅含量较高,钙含量低。

对褐帘石和独居石的电子探针分析结果显示其元素含量变化不大。其中稀土矿物均以轻稀土元素为主。褐帘石中稀土元素含量较低,平均仅为 22.60%,独居石中稀土元素含量较高,平均 65.49%。

对重晶石的电子探针分析显示其元素组成以钡和硫为主,含少量的锶,说明矿石中重晶石为含锶重晶石。天青石的电子探针分析结果显示其含有一定量的钡。菱锆矿元素组成以锆为主,其他元素含量较低。

对白铅矿的电子探针分析显示其中含有一定量的锶,说明矿石中方铅矿氧化过程中有锶的加入。

表 6 稀土矿物电子探针分析结果 /%

Table 6 Main chemical compositions of rare earth elements mineral by EPMA

矿物 编号	褐帘石					独居石				
	1	2	3	4	平均	1	2	3	4	平均
SiO ₂	29.59	30.36	29.76	32.47	30.55	0.29	0.24	0.13	0.14	0.20
Al ₂ O ₃	7.97	8.07	8.11	8.71	8.22	—	—	—	—	—
Fe ₂ O ₃	18.76	18.14	18.79	18.35	18.51	—	—	—	—	—
TiO ₂	1.28	1.32	0.59	1.27	1.12	—	—	—	—	—
MgO	1.07	1.08	1.09	0.78	1.01	—	—	—	—	—
CaO	9.25	9.04	8.90	9.76	9.24	0.40	0.43	0.35	0.16	0.33
MnO	1.00	0.98	1.07	1.05	1.02	—	—	—	—	—
P ₂ O ₅	0.04	0.03	0.00	0.00	0.02	33.09	31.93	32.59	31.81	32.35
La ₂ O ₃	7.31	7.55	7.40	4.59	6.71	20.04	18.91	19.58	20.29	19.71
Ce ₂ O ₃	10.19	10.41	10.72	10.13	10.36	30.26	31.07	30.78	30.23	30.58
Pr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Nd ₂ O ₃	2.89	2.97	2.86	3.75	3.12	7.89	8.25	8.43	8.74	8.33
Sm ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Eu ₂ O ₃	0.08	0.26	0.25	0.25	0.21	0.43	0.59	0.52	0.71	0.56
Gd ₂ O ₃	1.50	1.70	1.78	1.67	1.66	5.70	5.89	6.33	5.84	5.94
Tb ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dy ₂ O ₃	0.30	0.60	0.50	0.47	0.47	0.00	0.00	0.00	0.15	0.04
Ho ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.23	0.08	0.09
Er ₂ O ₃	0.04	0.10	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tm ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.04	0.01	0.32	0.03	0.00	0.07	0.10
Yb ₂ O ₃	0.00	0.04	0.00	0.03	0.02	0.08	0.16	0.00	0.00	0.06
Lu ₂ O ₃	0.00	0.06	0.00	0.00	0.01	0.14	0.03	0.16	0.00	0.08
稀土总量	22.31	23.69	23.50	20.92	22.60	64.88	64.94	66.03	66.11	65.49
Y ₂ O ₃	0.06	0.13	0.09	0.47	0.19	0.00	0.08	0.13	0.15	0.09
ThO ₂	—	—	—	—	—	0.25	0.27	0.19	0.65	0.34
Total	91.35	93.04	92.04	93.84	92.57	98.91	97.90	99.41	99.01	98.81

4.2 铈铈的赋存状态

对矿石中铈、铈的金属量平衡计算结果见表 8。

表 8 铈、铈金属量平衡计算结果 /%

Table 8 metal mass balance of uranium and niobium

矿物	矿物量	U		Nb ₂ O ₅	
		含量*	分布率	含量	分布率
铈铈铈矿	0.08	27.34	90.99	30.28	84.94
铅贝塔石	0.02	10.83	9.01	21.47	15.06
晶质铈矿	0.00	88.15	0.00	0.00	0.00
其他	99.90	0.00	0.00	0.00	0.00
平衡系数		148.40		120.33	

注：“*”根据电子探针分析结果中的 UO₂ 含量回算结果。

从分析结果可以看出,计算平衡系数较高,主要是矿石中铈、铈矿物含量低,分析结果误差大造成的。矿石中 90.99% 的铈和 84.94% 的铈赋存在铈铈铈矿中,其余的铈赋存在铅贝塔石、晶质铈矿等矿物中。

表 7 铈铈铅矿物电子探针分析结果 /%

Table 7 Main chemical compositions of Strontium, barium and lead minerals by EPMA

矿物	编号	SO ₃	PbO ₂	CaO	SrO	BaO	Fe ₂ O ₃	Total
菱铈矿	1	—	0.00	3.60	65.10	0.05	0.05	68.80
	2	—	0.13	7.45	62.39	0.05	0.00	70.02
	3	—	0.12	2.04	69.02	0.01	0.00	71.18
	4	—	0.00	5.23	65.84	0.00	0.00	71.08
	5	—	0.04	5.01	65.93	0.00	0.00	71.01
	6	—	0.00	6.44	63.07	0.04	0.00	69.56
	平均	—	0.05	4.96	65.23	0.02	0.01	70.27
天青石	1	40.35	—	0.88	22.21	36.84	0.00	100.29
	2	38.31	—	1.07	26.57	34.54	0.05	100.54
	3	37.60	—	0.79	25.23	37.01	0.07	100.70
	4	37.96	—	1.06	24.38	37.47	0.01	100.88
	5	37.04	—	1.11	23.69	38.80	0.07	100.72
	6	38.10	—	1.09	23.85	37.68	0.00	100.73
	平均	38.23	—	1.00	24.32	37.06	0.03	100.64
重晶石	1	35.87	—	0.01	2.34	61.32	0.00	99.53
	2	32.76	—	0.05	3.40	64.06	0.00	100.26
	3	32.28	—	0.07	2.56	66.71	0.00	101.61
	4	31.67	—	0.08	3.30	63.88	0.00	98.93
	5	33.27	—	0.02	2.04	65.45	0.00	100.78
	6	32.86	—	0.11	2.16	64.66	0.00	99.79
	7	32.79	—	0.09	2.49	64.99	0.05	100.40
	平均	33.07	—	0.06	2.61	64.44	0.01	100.19
白铅矿	1	—	80.28	0.28	2.56	0.12	0.15	83.38
	2	—	80.39	0.15	1.22	0.00	0.00	81.77
	3	—	64.67	0.67	12.01	0.11	0.04	77.50
	4	—	65.53	0.41	10.79	1.71	0.06	78.50
	5	—	90.85	0.02	0.00	0.04	0.01	90.90
	6	—	74.98	0.60	8.07	0.00	0.00	83.67
	7	—	76.60	0.27	4.44	0.01	0.04	81.36
	平均	—	76.19	0.34	5.58	0.28	0.04	82.44

4.3 铅的赋存状态

对矿石中铅的金属量平衡计算结果见表 9。

表 9 铅金属量平衡计算结果 /%

Table 9 metal mass balance of lead

矿物种类	矿物含量	Pb 含量*	Pb 分布率
方铅矿	0.34	86.61	46.15
白铅矿	0.51	65.99	52.74
菱铈矿	0.57	0.04	0.04
铈铈铈矿	0.08	0.34	0.04
铅贝塔石	0.02	32.94	1.03
其他	98.48	0.00	0.00
平衡系数		104.61	

注:方铅矿中铅含量根据分子式计算获得,其他矿物根据电子探针分析结果中的 PbO₂ 含量回算结果。

从分析结果可以看出,矿石中 46.15% 的铅赋存在方铅矿中,只有这部分铅是可利用的。而白铅矿选矿难度较大,需经过表面硫化处理后才能选别,且回收率也并不高^[6,7],选矿难度较大。

4.4 稀土元素的赋存状态

矿石中稀土元素的金属量平衡计算结果见表 10。

表 10 稀土元素金属量平衡计算结果 /%

Table 10 metal mass balance of rare earth elements			
矿物种类	矿物含量	稀土含量	稀土分布率
褐帘石	0.36	22.60	92.55
独居石	0.01	65.49	7.45
其他	99.63	0.00	0.00
平衡系数		108.40	

从分析结果可以看出,矿石中 92.55% 的稀土元素赋存在褐帘石中。

4.5 铈钡的赋存状态

矿石中铈钡的金属量平衡计算结果见表 11。

表 11 铈、钡元素金属量平衡计算结果 /%

Table 11 metal mass balance of Strontium and barium					
矿物种类	矿物含量	BaO		SrO	
		含量	分布率	含量	分布率
重晶石	2.48	64.44	72.52	2.61	7.51
菱铈矿	0.57	0.02	0.01	65.23	43.16
天青石	1.63	37.06	27.41	24.32	46.02
白铅矿	0.51	0.28	0.06	5.58	3.30
其他	94.81	0.00	0.00	0.00	0.00
平衡系数		113.59		96.79	

从分析结果可以看出,矿石中 72.52% 的钡赋存在重晶石中,铈赋存在菱铈矿和天青石中,其分布较分散。

5 讨论与结论

5.1 讨论

华阳川铀多金属矿中有用元素种类多,其铀、铈、铅、稀土、铈、钡、银等元素含量均比较高,但并不是所有元素均能综合利用。

以稀土元素为例,矿石中稀土总量为 811×10^{-6} ,本次研究显示其以轻稀土元素为主,且绝大部分赋存在褐帘石中。众所周知目前利用的稀土矿中稀土主要

赋存在独居石、氟碳铈矿等磷酸盐、碳酸盐矿物中或以离子吸附状态分布。这些稀土矿物和吸附状态的稀土元素均很容易提取。而褐帘石属于硅酸盐矿物,其中的稀土元素含量较低,且其稳定性很高,很难提取,目前还没有关于褐帘石中稀土提取工艺的报道和应用实例。因此华阳川铀多金属矿中稀土元素较难综合利用。

根据以上研究我们认为,矿石中有用元素的确定不能仅根据其含量判断,而要根据其含量和赋存状态综合判断。

5.2 结论

(1) 矿石中铀、铈、铅是主要的有用元素,银可以综合利用,稀土、钡、铈综合利用难度较大。

(2) 矿石中 90.99% 的铀和 84.94% 的铈赋存在铈钒铀矿中,集中系数较高。其他的铀和铈赋存在铅钒塔石等矿物中,且这些矿物与铈钒铀矿紧密共生,可以一起选别,有利于其选矿富集。

(3) 矿石中 46.15% 的铅赋存在方铅矿中,52.74% 的铅赋存在白铅矿中,说明部分方铅矿已经氧化成白铅矿,不利于其选矿富集。矿石中未见银的独立矿物,多赋存在方铅矿中,可以和铅一起回收。

(4) 矿石中 92.55% 的稀土赋存在褐帘石中,由于褐帘石中稀土含量低不易提取,综合利用价值不大。钡、铈含量较低、分布较分散,综合利用价值不大。

(5) 铈钒铀矿粒度粗、比重大,建议通过重选等方法提取。

参考文献:

[1] 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-钨-铅-稀土矿床[J]. 地球化学,2015,46(5):446-455.

[2] 高成,康清清,张熊猫,等. 华阳川碳酸岩岩石特征及铀矿赋存状态[J]. 陕西地质,2015,33(2):10-13.

[3] 康清清,江宏君,李鹏,等. 陕西华阳川铀钨铅矿床矿石矿物学特征[J]. 东华理工大学学报,2018,41(2):111-123.

[4] 武翠莲,刘志超,马嘉,等. 华阳川多金属矿床中铀的赋存状态研究[J]. 铀矿冶,2015,34(1):30-34.

[5] 惠小朝,何升. 陕西华阳川铀、钨、钼多金属矿石工艺矿物学研究[J]. 金属矿山,2016,479:85-90.

[6] 刘凤霞,陈建华,吴伯增,等. 白铅矿、褐铁矿的硫化浮选试验研究[J]. 矿产保护与利用,2007(1):27-30.

[7] 刘凤霞,陈建华,魏宗武. 氧化铅矿浮选研究进展[J]. 矿产保护与利用,2008(1):48-55.

Study on the Occurrence of the Useful Element in Huayangchang Uranium Polymetallic Ore

WANG Shoujing^{1,2,3}

1. Zhengzhou Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, CAGS, Zhengzhou 450006, China;
2. Key Laboratory of Evaluation and Multipurpose Utilization of Polymetallic ore of Ministry of Land and Resources, Zhengzhou 450006, China;
3. Northwest China Center for Geoscience Innovation, Xi'an 710054, China

Abstract: The MLA, EPMA, and other analysis was used to study the occurrence of the useful minerals in Huayangchang uranium polymetallic ore in this paper. The result shows that 90.99% of uranium and 84.94% of niobium in the ore exists in betafite. 46.15% of lead exists in galena. And 92.55% of rare earth elements exist in allanite. Strontium and barium in the ore exist in various minerals. The particle size of the betafite and galena are very crude, which are beneficial to be separated. The content of rare earth elements in allanite is so low that it is difficult to be extracted. So the rare earth elements in the ore can't be used. As the content of strontium and barium is low, and it exist dispersion, so it can't be used.

Key words: Huayangchan; uranium ore; occurrence; betafite; allanite; rare earth elements; galena

引用格式:王守敬. 华阳川铀多金属矿有用元素赋存状态研究[J]. 矿产保护与利用,2020,40(4):97-102.

Wang SJ. Study on the occurrence of the useful element in Huayangchang uranium polymetallic ore[J]. Conservation and utilization of mineral resources, 2020, 40(4): 97-102.