

独居石与锆英石 选矿

张勳兆 编著

冶金工业出版社

74.4
591

獨居石与鋳英石选矿

张助兆 編著

3122051

冶金工业出版社

独居石与锆英石选矿

张勳兆 編者

冶金工业出版社出版（地址：北京市灯市口甲45号）

北京市书刊出版业营业许可证出字第 093 号

冶金工业出版社印刷厂印 新华书店发行

— * —

1960年2月 第一版

1960年2月北京第一次印刷

印数 2,020 册

开本 $850 \times 1168 \cdot 1/32$ · 60,000字 · 印张 $2 \frac{22}{32}$ ·

— * —

统一书号 15062 · 2074 定价 0.37 元

內容提要

独居石与鋯英石是制取稀土金属的主要工业原料。在現代科学技術高度发展的形勢下，稀土金属的应用范围也愈来愈广。因此，各国都在大量开采和精选稀土金属的各种矿物原料。

本书簡明扼要地叙述了独居石与鋯英石的性质、用途及其矿床分布情况，並將国内外有关独居石与鋯英石的各种选別方法、工艺流程和生产結果做了比較詳細的介紹。

本书可供有关矿山企业的选矿工程技術人員和工人在实际工作中参考，对各大专学校选矿专业学生以及在科学研究部門中从事稀有金属选矿研究工作的入員也有很大用处。

目 录

第一章 独居石与锆英石概况	5
第一节 独居石与锆英石的性质、成份和用途	5
一 独居石	5
二 锆英石	9
第二节 冶炼对独居石、锆英石精矿的技术要求	12
一 独居石	12
二 锆英石	13
第三节 独居石与锆英石选矿在我国的发展	14
第四节 独居石与锆英石的世界生产水平	14
第二章 独居石与锆英石的矿床和分布	16
第三章 选矿方法和流程概述	21
第四章 粗选	26
第一节 摇床选矿	26
第二节 溜槽选矿	26
第三节 螺旋选矿机选矿	30
第四节 浮选	36
第五章 精选	37
第一节 磁力选矿	37
第二节 静电选矿	39
第三节 粒浮选矿	42
一 原理	42
二 影响粒浮的因素	42
三 药剂	47
四 设备	55
五 操作	61
第四节 浮选	69
第五节 精选流程	69
参考文献	84

74.4
591

獨居石与鋳英石选矿

张助兆 編著

3132051

冶金工业出版社

独居石与锆英石选矿

张勳兆 編者

冶金工业出版社出版（地址：北京市灯市口甲45号）

北京市书刊出版业营业许可证出字第 093 号

冶金工业出版社印刷厂印 新华书店发行

— * —

1960年2月 第一版

1960年2月北京第一次印刷

印数 2,020 册

开本 $850 \times 1168 \cdot 1/32$ · 60,000字 · 印张 $2 \frac{22}{32}$ ·

— * —

统一书号 15062 · 2074 定价 0.37 元

內容提要

独居石与鋯英石是制取稀土金属的主要工业原料。在現代科学技術高度发展的形勢下，稀土金属的应用范围也愈来愈广。因此，各国都在大量开采和精选稀土金属的各种矿物原料。

本书簡明扼要地叙述了独居石与鋯英石的性质、用途及其矿床分布情况，並將国内外有关独居石与鋯英石的各种选別方法、工艺流程和生产結果做了比較詳細的介紹。

本书可供有关矿山企业的选矿工程技術人員和工人在实际工作中参考，对各大专学校选矿专业学生以及在科学研究部門中从事稀有金属选矿研究工作的入員也有很大用处。

目 录

第一章 独居石与锆英石概况	5
第一节 独居石与锆英石的性质、成份和用途	5
一 独居石	5
二 锆英石	9
第二节 冶炼对独居石、锆英石精矿的技术要求	12
一 独居石	12
二 锆英石	13
第三节 独居石与锆英石选矿在我国的发展	14
第四节 独居石与锆英石的世界生产水平	14
第二章 独居石与锆英石的矿床和分布	16
第三章 选矿方法和流程概述	21
第四章 粗选	26
第一节 摇床选矿	26
第二节 溜槽选矿	26
第三节 螺旋选矿机选矿	30
第四节 浮选	36
第五章 精选	37
第一节 磁力选矿	37
第二节 静电选矿	39
第三节 粒浮选矿	42
一 原理	42
二 影响粒浮的因素	42
三 药剂	47
四 设备	55
五 操作	61
第四节 浮选	69
第五节 精选流程	69
参考文献	84

第一章 独居石与锆英石概况

第一節 獨居石与锆英石的性質、成份和用途

一、独居石

独居石亦名磷鉍鑛，名称来自希臘語，系指它是“单独的”。通常遇到的独居石一般呈很小的单个結晶，有时遇到个别結晶有重达数公斤者。

独居石屬单斜晶系，有厚板状、稜柱状或假像斜方晶癖，普通多成粒状及砂状。

独居石硬度5~5.5〔1〕，比重4.9~5.3，光泽呈玻璃状或树脂状，顏色有鮮紅、黄、淡黄綠、淡黄褐、淡紅褐等色，有时因有混合物(C)而为黑色〔2〕，条痕色白，微透明或不透明或边部透光，性脆，断口呈貝壳状或参差状，解理依底面而完全，常具放射性(因含二氧化鈾之故)。

独居石的光学性質因各种矿床的化学成份不同而異，正光性， $N_p=1.786-1.800$ ， $N_m=1.788-1.801$ ， $N_g=1.837-1.849$ ，散光率弱， $2V=11-14^\circ$ 。

独居石在吹管火中不熔，与硼砂加热烧之成淡黄紅色玻璃質物体，冷却后則变成无色，加硫酸火焰呈浅蓝綠色，溶于盐酸并有白色沉淀。

独居石的化学成份为鉍鑛土磷酸盐(Ce,La,Dy)PO₄，有时有杂质ThO₂和SiO₂，按斯塔林克維奇-包尔涅曼的研究結果〔2〕，在独居石成份中有三种化合物：(1)磷酸鉍；(2)矽酸鈾；(3)硫酸鈣。它們具有同一型的化学公式ABX₃，并类質同像地相互变化着。

独居石中含二氧化鈾量因产地而異，自1~12%不等。独居石

中主要含有鈾及鈾族稀土元素，釷族稀土元素的含量平均为4%，鈾与鈾族稀土諸元素的含量大致相等，且有以下关系〔3〕：

Ce : Pr = 8 : 1, Nd : Pr = 3 : 1, Ce : Nd = 2~3 : 1, Nd : Sm = 3 : 1.

A. Г. 別捷赫琴介紹独居石的組成如下〔4〕：50~60%的稀土元素，主要是鈾和釷的氧化物；5%以下的氧化釷同晶雜質；还有成同晶雜質形式的氧化鈾，其量为5~10%，有时达28%；間或有氧化鈾7%以下；还有6%以下的SiO₂、有时也含有CaO和SO₃。A. Г. 別捷赫琴指出，独居石中含有不同原子价的元素，因此它是“杂原子价同晶型”的极好例子。他建議独居石的化学式用 (Ce, La, Th, Ca) (PO₄, SiO₄, SO₄) 的形式表示。

外国矿床中独居石的各种組份已知的最高限度如下〔2〕
(以百分数計)：

MgO.....0.4以下	Al ₂ O ₃2.9	SiO ₂9.7
CaO.....1.8	Y ₂ O ₃0.4—7.7	TiO ₂1.4
PbO.....4.9	La ₂ O ₃14.0—30.8	(TaNb) ₂ O ₅6.4
MnO.....0.6	Dy ₂ O ₃24.0	Sb ₂ O ₃3.3
Fe ₂ O ₃5.6	Co ₂ O ₃16.3—45.4	P ₂ O ₅18.9—29.9
FeO.....3.6	Th ₂ O ₃23.4	

几个主要产独居石的資本主义国家的独居石成份分析結果示于表1, a〔5〕

我国某地独居石成份如下(%)：

ThO ₂4.2~4.4	Pr ₂ O ₃2.5	Dy ₂ O ₃0.5
P ₂ O ₅24.8~26.35	Nd ₂ O ₃10.0	Er ₂ O ₃0.2
La ₂ O ₃13.0	Gd ₂ O ₃1.0	Yb ₂ O ₃0.5
CeO ₂27.0	Sm ₂ O ₃2.0	Y ₂ O ₃1.5

独居石为稀土类元素矿物在經濟上最有价值的一种。它是制取稀土金屬的主要工业原料。絕大部份的稀土金屬是从独居石中制取的，同时，独居石又是提取鈾的最主要的原料。由于近代科

表 1, a

資本主义国家独居石成份分析

元 素	含 量, %			
	美 国	巴 西	馬 來 亞 和 澳 大 利 亞	印度和錫蘭
ThO ₂	1.2~7.0	1.1~10.0	3.4~8.4	7.9~10.8
Ce ₂ O ₃	31.4~37.3	31.2~32.4	25.5~33.7	26.7~31.9
(La, Dy) ₂ O ₃	25.5①~31.6	26.0~36.0	30.3~35.5	28.5~33.5
P ₂ O ₅	18.4~29.3	25.5~29.3	23.7~27.9	24.6~27.7
SiO ₂	0.3~6.4	0.6~10.1	0.9~2.2	0.9~2.5
ZrO ₂	0.7~3.2	0.6~5.7	—	—
TiO ₂	0.6~4.7	2.6	—	—
Fe ₂ O ₃	0.6~7.8	0.6~4.2	0.4~2.8	0.8~1.5
Al ₂ O ₃	0.2~2.5	0.1~0.8	0.03~0.8	0.1~0.7
CaO	0.7~1.2	0.1~1.1	0.2~0.9	0.1~0.8
H ₂ O	0.2	0.2~0.9	0.5~1.3	0.2~2.2
其他	6.4②~7.7③	1.2④	—	2.7④

① 包括ZrO₂, BeO, Ta₂O₅;

② Ta₂O₃;

③ 包括4.1% (Nb, Ta) Ta₂O₅和3.6%FeO;

④ U₃O₈。

学技术的高度发展，稀土金屬的应用范围愈来愈广，它在各项新技术中有着极重要的用途，因此近年来世界上稀土金屬的生产水平有了迅速的提高。由下面列举的一些稀土金屬用途，即可看出独居石对国民經济的重要意义。

稀土金屬的主要用途〔2, 6, 7, 8〕：

(1) 冶金工业。不銹鋼、高速鋼、硅鋼和耐热鋼里含有一定成份的稀土金屬，就可以提高鋼的質量，改良其机械性能（特别是冲击韌性）、抗蝕性、耐热性和加工性能。在生鉄中加入稀土混合金屬0.75%，便可提高生鉄的鑄造質量，改善其热鍛性、抗氧化能力和强度，以及改善鑄件表面、降低浇鑄溫度等。鋼中加入稀土混合金屬可使鋼脫氧、脫硫甚至除氮。此外，稀土金屬

还广泛用于制造打火石。

加稀土金属属于镍铬合金中，可以延长合金在高温下的使用期限；加于铝合金或镁合金中，则可提高其高温强度而用以制造飞机的引擎部份。含 0.05~0.35% 铈的铝铜合金和铝铜硅合金，是制造飞机发动机各种零件的材料。

(2) **原子能技术**。近几年来，由于在核子物理学方面卓有成效的实验工作，使得在工业方面利用钍获得原子能的可能性成为现实，即可用钍作为制取原子核易燃的 U^{233} 的原料，而钍的储量（主要是独居石中的钍）超过铀储量的三倍，所以独居石的开采利用就愈来愈显得重要。

美国拟在纽约州的印第安-帕音特建立一座发电量为 236,000 瓩的布利捷尔——反应器，其利用率为 25%，在第一年内钍的耗用量预计为 19 吨（需要含 ThO_2 为 6% 的独居石 420 吨左右）。

在原子反应堆中可用稀土金属及其化合物作热中子的吸收剂，以便控制原子反应堆的核反应。镧的化合物被用来作为制备和分离超铀元素时的载体，铈和钐的氧化物能强烈地吸收中子，所以在制造原子核反应器的瓷护面时使用它们。

(3) **电真空技术和电气工业**。稀土金属在电真空技术上有其特别的用途，它们是电器真空技术上非分散性的气体吸收剂，如用作灯泡、真空管、电子仪器等的吸收剂。铯在核子反应堆中经中子辐射后即变为 γ 辐射体，这是铯近年来另一项极其重要的用途。此时所生成的同位素 Tm^{140} 可用来制造医疗上和探伤仪上软性 X 光的轻便发射器。在电气工业上氟化铈被用来浸透探照灯的炭棒和电影放映机上的炭棒，这样可使炭灯心在强热时增强电弧的光亮。

(4) **化学工业和轻工业**。稀土金属及其化合物在油漆、颜料、发光成份、催化剂及各种化学试剂、照相药剂等方面都得到了广泛的应用。稀土元素的盐类在纺织工业中作为织物染色前的媒染剂，并能使纺织品具有不透水性。此外，它还用于鞣制皮革。

(5) **玻璃和陶瓷工业。**稀土金属是玻璃工业的最大消费者。它在这方面有着重大而又特殊的作用。镧族元素加入玻璃中能使其具有吸收紫外线和红外线能力而用以制造防护眼镜；含铈的玻璃可以防护核子反应堆的放射线；氧化铈是一种最好的玻璃磨光材料，并可作为制造照相机镜头、光度计、稜镜及其他光学仪器的原料；还可漂白和染色玻璃，制造各种颜色的特种玻璃；在陶瓷工业中则被用来使瓷器着色。

(6) **医药和农业。**稀土金属的某些盐类是配制医疗药剂的原料，可以治疗胃病、肺病、癌肿、癲疯、湿疹、风湿等症；一些化合物又是农业上的杀虫剂、细菌防腐剂及菌肥等；工业纯硫酸铈可用来防治葡萄藤病，用来消灭霉菌，用于胶水和生物组织的防腐，用于消毒等。

(7) **人造液体燃料工业。**硝酸铈用于自煤炭制取液体燃料的触媒剂。

目前，稀土元素产量可能超过需要量，因此研究它们的性质和寻找新的应用领域，有着极为重大的意义。

二、 鋯 英 石

鋯英石又名风信子石，为正方晶系之柱状及锥状，或成双晶产出，又有圆粒状及他种不规则之形状。

鋯英石的硬度为7.5 [1]，比重4.4~4.8，光泽呈金刚石状或玻璃状，颜色普通为褐色或淡灰色，透明者则呈红色，有时又为黄色及绿色者；条痕色白或无色，透明至半透明或不透明，性脆，断口呈贝壳状。

鋯英石有以下几种：

- (1) 普通鋯英石，为长或短正方柱状晶体；
- (2) 红鋯英石，为透明之淡红或淡褐色晶体；
- (3) 黄鋯英石，透明而色浅，常成无色或烟色；
- (4) 蓝鋯英石，色蓝透明，可供作宝石之用。

鋯英石不熔融，但燒之失其本色，不溶于酸類；加碳酸鈉燒后溶于稀鹽酸內，則溶液由薑黃色變為橙黃色。

光性 (+) [9] 折光率 $n_e = 1.985 \sim 1.993$, $n_o = 1.925 \sim 1.931$, 重折光率高, $n_o - n_e = 0.060 - 0.062$, 有時現反常雙軸性。

鋯英石是提取鋯金屬的最主要的原料，其成份為 $ZrSiO_4$ ，或 $ZrO_2 \cdot SiO_2$ ；含 ZrO_2 67.2%， SiO_2 32.8%，常含少量的鐵。鋯英石一般含有微量的稀土元素，印度產出者含 0.3% [3]，巴西者 0.2%，朝鮮某地者含 $[Ce]_2O_3$ 0.12%， $[Y]_2O_3$ 0.19%。而變種鋯英石（指鋯英石的含水，曾經變質，其成份富於鐵、鈣、鎂，且含有 Nb_2O_5 , Ta_2O_5 , TiO_2 及 P_2O_5 諸成份者而言）中，稀土元素含量普通可達 6%，最大可達 17%；二氧化鈷的含量有時甚至達 12% [4]，而八氧化三鈾含量可達 1.5%。

鋯英石中通常含有雜質氧化鉛 (HfO_2)，含量在 0.5%~4% 之間 [10]，以及雜質 Fe_2O_3 達 0.35% 和 CaO 0.05~4%。在某些變體中，例如鉛鋯石礦物（挪威）中氧化鉛的含量可達 16% [4]。

我國某地鋯英石成份如下（含量%） [3]：

CaO	0.13	$(Zr+Hf)_2$	65.44
MgO	0.12	SiO_2	33.44
MnO	—	TiO_2	痕跡
Fe_2O_3	0.83	U_3O_8	—
Al_2O_3	0.20	$(Nb, Ta)_2O_5$	—
稀土類元素.....	—	H_2O^+	0.43
ThO_2	—	H_2O^-	0.25
		合計:	100, 74

鋯的用途十分廣泛，有的鋯精礦可直接應用。在每一個已應用鋯的部門中相應製品的性質都獲得很大的改善。它的作用是任何其他金屬所不能代替的，因此可以認為，鋯乃是大力促進新技術發展的一種金屬。

鋯與鉛在自然界中總是伴生的，而兩者的化學性質又極相

似，分离困难，因而在谈锆的用途时，实际是指含有微量铅的锆铅合金，同时除特殊要求外，一般的产品中锆与铅不需要分离。

归纳起来，锆主要用于下列几方面〔6〕〔10〕〔11〕：

(1) **耐火材料**。全世界所产的锆精矿大部份用于制造耐火制品和特种陶瓷，常用以制造高级的冶金耐火砖和水泥。这些物质所以被用于冶金炉中，不仅因为它们具有很高的耐火度，而且还因为它们具有不被金属氧化物、炉渣、铝所熔蚀的这个特殊性能。这个性质能保证得到最纯的金属，而不为炉底物质所弄脏。这种纯金属能很容易并且很快地和炉衬分离，不会发生应用一般耐火材料时所发生的问题。二氧化锆的熔点高达 $2700\sim 2900^{\circ}\text{C}$ ，热膨胀率低，化学性能稳定，故可制造高压线路绝缘子、高频电器设备绝缘子、耐高温的坩埚及高温电炉上的耐火砖，此外还可用来制造特殊的锆搪瓷和锆玻璃。

由于锆具有巨大的机械强度和化学抗力及低而均匀的热膨胀系数，因而可用锆来制造优质的特别是在温度急剧变化下使用的化学仪器。近来锆已用来制造汽车零件、化学工业上的一些零件以及精密仪器零件和医疗器械等。

(2) **国防工业**。金属锆粉具有很易氧化而爆炸，着火点很低（约 210°C ）及燃烧速度很大和高的燃烧热量等优点，可用来制造炮弹、导火管、炸弹的定时信管等。锆所以能在这一方面获得很大的应用，除有以上优点外，还因为它不和任何一种一般的引火物的组份起反应，置于水中无妨，其燃烧产物——氧化锆对枪炮筒毫无损伤，因而在战争年代里对锆的需求急剧增长。

(3) **无线电工业**。金属锆是氧、氮、二氧化碳等气体的良好吸收剂，在制造电子管时用以除去残余的气体以获得高度真空的电子管，也用来制造真空管零件。

(4) **原子能工业**。不含铅的展性金属锆能耐高温，对中子吸收性能较差，因而广泛应用在原子能工业上制造各种零件，成为原子反应堆的主要结构材料；铅与锆相反，对中子有较强吸收

能力，故在原子反应堆中用作中子吸收剂。

(5) 黑色冶金。含锆的合金钢具有各种不同性能，如有极好的可焊性、高度的可锻性和坚固性等，故可用于制造坦克、船舶和大炮。由锆、钍、镁组成的合金是近年来新研究成功的一种特殊高温合金，对喷气式飞机工业的发展具有重大的意义。

用锆作为还原剂或去硫剂时，不但可降低非金属成份的含量，而且还能保证得到细粒结构钢，因而用少量锆作填料便能大大提高不锈钢、耐热钢、滚珠轴承钢、钻杆钢和制造钢模用钢的质量。

第二節 冶煉对獨居石、鋳英石精礦的技術要求

一、独居石

据国外市場的要求，独居石精矿应当含有約95%的独居石。

据美国材料，不同矿床的独居石精矿有下列标准成份（表 1, b）。

表 1, b

独居石精矿的成份〔2〕

元 素	品 位 %				
	錫 兰	尼日里亚	印 度	巴 西	卡罗来納州 (美国)
ThO ₂	9.45~28.20	3.20~8.0	8.65~10.22	6.06	4.32
Ce ₂ O ₃	20.65~27.15	30.50~36.53	31.90	} 12.11~	—
La ₂ O ₃	21.63~29.59	28.80~30.00	28.00		62.00
Dy ₂ O ₃ 及其他 釷族氧化物	0.94~3.93	0.39~1.43	0.46~0.62	0.80	1.10
Fe ₂ O ₃	0.87~1.13	0.81~1.20	1.09~1.50	0.97	—
Al ₂ O ₃	0.17~0.29	0.10~0.20	0.12~0.17	0.10	—
CuO	0.10~0.45	0.17~0.21	0.13~0.20	0.21	—
SiO ₂	0.67~6.09	0.63~1.79	0.90~1.00	0.75	0.86
P ₂ O ₅	20.20~26.12	28.16~28.29	26.82~50.26	28.50	29.30
烧失量	0~0.48	0.29~0.21	0.46	0.38	—