

张晋霞 牛福生 著 |

Flotation Theory and Application of
Kyanite Ore under Neutral Condition

蓝晶石矿 中性浮选理论及应用



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

蓝晶石矿 中性浮选理论及应用

张晋霞 牛福生 著

冶金工业出版社

2016

内 容 提 要

本书首先介绍了试验样品与研究方法、蓝晶石矿物的晶体结构与表面性质,在蓝晶石、石英及黑云母矿物可浮性研究的基础上,根据矿物浮选过程动力学研究结果,研究了蓝晶石矿物的浮选机理,并进行了蓝晶石矿中性浮选小型试验及工业应用。

本书可供从事蓝晶石矿选矿的工程技术人员使用,也可供高等院校矿物加工工程专业师生和从事矿业开发利用的人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

蓝晶石矿中性浮选理论及应用/张晋霞,牛福生著. —北京:
冶金工业出版社, 2016. 2

ISBN 978-7-5024-6583-4

I. ①蓝… II. ①张… ②牛… III. ①蓝晶石—浮游选矿
IV. ①TD923

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016) 第 041454 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcs@cnmp.com.cn

责任编辑 杨秋奎 美术编辑 杨 帆 版式设计 孙跃红

责任校对 李 娜 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-6583-4

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;固安华明印业有限公司印刷

2016 年 2 月第 1 版, 2016 年 2 月第 1 次印刷

169mm×239mm; 10.5 印张; 205 千字; 158 页

36.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

前

言

蓝晶石矿是一种天然的铝硅酸盐矿物原料，其煅烧之后具有良好的膨胀效应和热稳定性，因此广泛应用于冶金、建材、陶瓷、航空、电力、化工等领域。随着工业原料需求不断增加，高品质蓝晶石矿产资源已基本枯竭，目前大部分蓝晶石原矿中矿物含量只有10%~30%，同时伴生矿物复杂，一般都需要经过选矿富集后才可以作为工业原料使用。蓝晶石矿的选矿方法通常包括重选、磁选、电选、浮选等，其中浮选是获得高品位精矿的主要方法。随着国民经济的快速发展，工业部门对蓝晶石的需要不仅是数量上的增长，而且对品质也有了更高的标准，目前高纯蓝晶石的行业标准正在制定之中。因此，积极加强低品质蓝晶石矿的选矿加工利用研究，对于减少此类产品进口依赖和提高矿产资源高效利用具有重要意义。

蓝晶石矿的浮选提纯包括酸法和碱法工艺，生产实践表明，酸法工艺更有利于蓝晶石精矿稳定生产，已建成的具有一定规模的蓝晶石选矿厂几乎都是采用的酸法。随着环保要求标准日益严格，企业节能减排，降本增效以及满足清洁生产需要，酸法浮选工艺造成的设备损耗、污染压力和职业健康等不利因素开始凸显。为推动蓝晶石浮选技术进步，丰富完善硅酸盐矿物浮选理论体系，解决蓝晶石矿选矿实践中存在的关键技术难题，著者在系统研究蓝晶石、石英及黑云母矿物中性浮选行为规律的基础上，结合试验研究和工业生产撰写了本书。

在成书过程中,得到了多位老师和同行的鼓励与支持,华北理工大学研究生张晓亮、康倩、邹玄、李卓林参与了大量的试验研究工作以及书稿的整理、排版工作,在此一并表示诚挚的谢意!

由于著者水平所限,书中不足之处,敬请广大读者批评指正。

著 者
2015 年 10 月

目

录

1 绪论	1
1.1 蓝晶石资源概况	1
1.2 蓝晶石的工艺特性、用途及质量标准	4
1.2.1 蓝晶石工艺特性	4
1.2.2 蓝晶石用途	5
1.2.3 蓝晶石质量标准	6
1.3 蓝晶石矿开发利用现状	7
1.4 蓝晶石矿分选加工技术研究现状及趋势	8
1.4.1 蓝晶石矿分选技术现状	8
1.4.2 蓝晶石矿分选过程中存在的问题	10
1.4.3 蓝晶石选矿发展趋势	11
1.5 蓝晶石矿物浮选理论研究进展	12
1.5.1 捕收剂对矿物浮选作用机理研究进展	12
1.5.2 金属阳离子对矿物浮选作用机理研究进展	13
1.5.3 调整剂对矿物浮选作用机理研究进展	15
1.6 研究内容及目的意义	17
1.6.1 研究目标	17
1.6.2 研究内容	17
1.6.3 技术路线	18
1.6.4 课题研究的目的是和意义	18
2 试验样品与研究方法	20
2.1 矿样的采集与制备	20
2.1.1 纯矿物试样	20
2.1.2 实际矿石矿样	22
2.2 化学试剂与设备仪器	23
2.2.1 化学试剂	23
2.2.2 设备仪器	24

2.3 研究方法	25
2.3.1 单矿物试验	25
2.3.2 实际矿石试验	26
2.3.3 分析与检测方法	26
3 蓝晶石矿物的晶体结构与表面性质	28
3.1 矿物晶体结构中化学键的理论计算	28
3.2 矿物的晶体结构	30
3.3 矿物表面荷电机理	34
3.3.1 蓝晶石	34
3.3.2 石英	35
3.3.3 黑云母	36
3.4 矿物在不同捕收剂作用下的可浮性	37
3.5 矿物表面原子丰度	40
3.6 矿物表面溶解	40
3.7 酸处理对矿物表面的影响	42
3.8 矿物颗粒粒度与可浮性	43
3.9 本章小结	44
4 蓝晶石、石英及黑云母矿物可浮性	46
4.1 捕收剂对矿物的可浮性影响	46
4.1.1 十二胺对矿物可浮性影响	46
4.1.2 十八胺对矿物可浮性影响	49
4.1.3 十二胺与醇复合对矿物可浮性影响	51
4.2 多价金属阳离子对矿物可浮性影响	52
4.2.1 二价金属离子对矿物可浮性影响	53
4.2.2 三价金属离子对矿物可浮性影响	57
4.3 无机阴离子调整剂对矿物可浮性影响	60
4.3.1 氟化钠对矿物可浮性影响	61
4.3.2 硅酸钠对矿物可浮性影响	62
4.3.3 六偏磷酸钠对矿物可浮性影响	65
4.3.4 硫化钠对矿物可浮性影响	68
4.4 有机调整剂对矿物可浮性影响	70
4.4.1 淀粉对矿物可浮性的影响	71

4.4.2 糊精对矿物可浮性的影响	72
4.4.3 柠檬酸对矿物可浮性影响	74
4.4.4 新型抑制剂 AP 对矿物可浮性影响	76
4.5 本章小结	79
5 矿物浮选过程动力学	81
5.1 浮选动力学理论	81
5.1.1 浮选动力学研究基础	81
5.1.2 浮选动力学影响因素	82
5.1.3 浮选动力学的应用	84
5.2 单矿物分批浮选试验	86
5.2.1 无 AP 条件下十二胺用量对矿物浮选的影响	86
5.2.2 加入 AP 条件下十二胺用量对矿物浮选的影响	87
5.2.3 抑制剂 AP 用量对矿物可浮性的影响	88
5.3 矿物浮选速度常数及其分布	89
5.3.1 浮选速度常数	89
5.3.2 速度常数分布	90
5.4 浮选动力学模型建立	94
5.5 数据拟合分析	96
5.6 本章小结	97
6 蓝晶石矿物的浮选机理	99
6.1 金属阳离子的溶液化学分析及作用机理	99
6.1.1 金属阳离子的溶液化学分析	99
6.1.2 金属阳离子对蓝晶石矿物表面电性的影响	103
6.1.3 金属阳离子对蓝晶石矿物作用前后 RNH_3^+ 浓度变化分析	104
6.2 抑制剂 AP 对蓝晶石矿物的抑制机理研究	110
6.2.1 抑制剂 AP 对蓝晶石矿物表面电性的影响	110
6.2.2 抑制剂 AP 在蓝晶石矿物表面吸附行为分析	112
6.2.3 抑制剂 AP 与蓝晶石作用前后的 FTIR 分析	114
6.3 本章小结	117
7 蓝晶石矿中性浮选小型试验	118
7.1 脱泥试验	119

7.2 粗选条件试验	122
7.2.1 矿浆浓度试验	122
7.2.2 抑制剂 AP 用量试验	123
7.2.3 十二胺盐酸盐用量试验	123
7.2.4 柴油用量试验	124
7.3 正交试验	125
7.3.1 试验方案设计	125
7.3.2 试验方案及结果	126
7.3.3 试验结果极差分析	126
7.3.4 试验结果方差分析	127
7.4 扫选试验	129
7.5 精选试验	130
7.6 试验总流程及技术指标	131
7.7 连选试验	131
7.8 产品检测与分析	133
7.8.1 产品化学成分分析	133
7.8.2 扫描电镜分析	133
7.8.3 产品粒度分析	134
7.8.4 密度测定	135
7.8.5 产品沉降特性分析	135
7.9 本章小结	138
8 蓝晶石矿中性浮选工业应用	139
8.1 矿石性质分析	139
8.1.1 原矿多元素分析	139
8.1.2 粒度分析	139
8.1.3 原矿工艺矿物学分析	140
8.1.4 矿石可磨度分析	142
8.2 工艺流程及配置	143
8.3 工艺流程及主要设备	144
8.4 工业调试	145
8.4.1 开车前准备及清水试车	145
8.4.2 浮选药剂	145
8.4.3 带料运转调试	146

8.4.4 设备及流程改造	146
8.5 选矿工艺流程考查	146
8.5.1 取样及检测制度	146
8.5.2 生产工艺流程及考查结果	146
8.6 中性反浮选流程与酸法正浮选流程对比	148
8.7 本章小结	149
9 结语	150
参考文献	152

1 绪 论

蓝晶石、矽线石、红柱石是化学成分相同 ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$)、结构相异的三种同质多相无水富铅硅酸盐矿物,可统称为蓝晶石类矿物,其理论化学组成为: Al_2O_3 62.93%, SiO_2 37.07%。蓝晶石属三斜晶系,其晶体呈扁平的板条状,有时呈放射状几何体;显微镜下观察颜色为蓝色、带蓝的白色、青色且具有完全和中等的两组解理;硬度有明显的异向性,故又名二硬石;平行晶体伸长方向上莫氏硬度为4.5,垂直方向上为6;密度为 $3.53 \sim 3.65\text{g}/\text{cm}^3$;属于区域变质作用矿物,在结晶片岩和片麻岩中出现。

蓝晶石不仅是生产高品级氧化铝的主要矿物,同时也是一种优良的合成莫来石原料。蓝晶石经过高温煅烧莫来石化后具有耐火度高、高温载荷大、抗化学腐蚀、热膨胀性低、抗磨性和绝缘性强、耐急冷急热以及热态机械强度高等一系列优良特点,使其成为冶金、建材、耐火材料等工业部门的重要基础原料。

1.1 蓝晶石资源概况

据文献[8]报道,世界蓝晶石储量(不包括我国)共有1.08亿吨,主要分布在加拿大、美国、南非、奥地利、印度、前苏联、澳大利亚、利比里亚、肯尼亚和巴西等国,各国蓝晶石探明储量见表1-1。

表 1-1 世界蓝晶石资源

国 家	已探明的蓝晶石 资源/kt	占世界总量的 百分比/%	国 家	已探明的蓝晶石 资源/kt	占世界总量的 百分比/%
加拿大	45000	42	肯尼亚	1230	1
美 国	>30000	28	巴 西	1000	1
南 非	12000	11	保加利亚	800	<1
奥地利	4000	4	芬 兰	300	<1
印 度	>3800	4	马拉维	300	<1
前苏联	3500	3	索马里	132	<1
澳大利亚	3000	3	纳米比亚	120	<1
利比里亚	2500	2	世界总计	>107796	100

据文献 [8] 报道, 蓝晶石类矿物虽然在世界上普遍产出, 但它们的消耗却集中在少数几个高度工业化的国家和地区。这些国家和地区既是制造耐火材料的地区, 又是主要的钢铁产区, 如北欧、英国、美国和日本。

加拿大探明的蓝晶石资源储量第一, 但是本国并无大量开采, 蓝晶石主要靠进口。

美国是世界上第二大三石矿物生产国, 主要产品是蓝晶石。矿石为含蓝晶石的石英岩, 蓝晶石含量为 15% ~ 40%。在弗吉尼亚州的蓝晶石采矿公司生产的产品中: 精矿中含蓝晶石 91%, Al_2O_3 含量为 61.8%, $\text{Fe}_2\text{O}_3 < 0.6\%$ 。粒度有 4 个品级: 小于 0.295mm、小于 0.147mm、小于 0.074mm、小于 0.043mm, 物料在旋转管中焙烧以后得到莫来石产品。此外, 蓝晶石尚有在锆砂生产中以副产品形式回收锆—硅线石混合物; 或生产红柱石—叶蜡石绢黑云母混合物。蓝晶石精矿产量约 9 万吨/年, 主要市场为西欧、远东和南非。

澳大利亚从钛铁矿的尾矿中回收的蓝晶石, Al_2O_3 含量最高, 为 60.00%。瑞士是欧洲唯一的蓝晶石生产国, 原矿 Al_2O_3 含量为 24%, 经选矿后精矿含 Al_2O_3 59.0%, Fe_2O_3 不大于 1.0%; 粒度在 0.25mm 以下, 年产量约为 1.5 万吨。

巴西也生产蓝晶石, 某矿床由大块蓝晶石组成, 原矿在现场磨矿后, 产品 Al_2O_3 含量为 58.0%, Fe_2O_3 含量为 0.8%, 碱性物含量为 0.3%, 年产量为 1.5 万 ~ 2.0 万吨。

除了上述主要生产国外, 尚有一些国家少量生产, 如朝鲜、津巴布韦、马拉维等。

根据文献 [8] 的不完全统计 (内蒙古、西藏、台湾、新疆大部分未统计), 我国蓝晶石储量有 0.37 亿吨, 矿石平均品位为 10% ~ 25%, 主要分布在江苏沭阳, 河南南阳、桐柏, 河北邢台, 内蒙古丰镇, 新疆富蕴、契布拉克, 山西繁峙, 安徽岳西、霍山, 辽宁大荒沟, 四川汶川、丹巴, 云南热水塘, 吉林磐石等地。

蓝晶石具有中级区域变质岩的特点, 一般产于变质程度较高的地层中, 产于变质高峰期, 形成时的温度、压力都较高。

原地质矿产部对非金属矿矿床进行划分, 以矿物储量为依据划分为特大型、大型、中型、小型矿床, 见表 1-2。

表 1-2 矿物矿床规模的划分

矿床规模	矿物储量/万吨	矿床规模	矿物储量/万吨
特大型	>1000	中 型	200 ~ 50
大 型	1000 ~ 200	小 型	<50

根据以上划分, 我国蓝晶石矿床规模见表 1-3。

表 1-3 我国蓝晶石矿床规模

名称与产地	品位/%	矿床规模	现状（是否开采）
河南南阳市隐山	类型不同品位不一，高>50，低>15	大	已开采
河南南阳市桐柏	10~30，高>40，平均约15以上	中~大	待开采
江苏沭阳县韩山	15~20	中~大	待开采
河北邢台内丘县		小	已开采

我国目前蓝晶石精矿产品 Al_2O_3 含量多为 55%~56%， Fe_2O_3 为 1.0%~1.5%。少数生产厂 Al_2O_3 含量达到 57%~59%， Fe_2O_3 不大于 1%。

从表 1-4 中可以看出，一般矿床有用矿物含量均较少，大都在 10%~25%，故皆需选矿后使用。

表 1-4 蓝晶石矿床类型

类型	矿床类型	矿床特征	典型矿床
区域变质矿床	黑云石榴蓝晶石片麻岩型	产于太古界变质岩系中，含矿岩石以蓝晶石、石榴子石、黑云母斜长片麻岩为主。蓝晶石矿体呈层状、大扁豆体状，单矿体延长数百米。蓝晶石含量 10%~25%，可回收石榴子石和独居石	河北卫鲁、辽宁大荒沟、安徽霍邱
	蓝晶石绿泥片岩型	产于太古界，蓝晶石不均匀地分布在绿泥片岩中。矿体呈透镜体状，蓝晶石含量为百分之几至百分之二十几	江苏韩山、河南隐山、吉林磐石、四川汶川等
动力变质矿床	蓝晶石型	矿体产于蓝晶石英岩中，位于动力变质岩中心，产状与动力变质带的糜棱纹理、片理一致，蓝晶石呈他形粒状或板粒状，粒径小于 1cm，含量约 15%~30%	吉林柳树沟

我国开展蓝晶石类矿物资源的普查找矿和开发利用的研究工作始于 20 世纪 80 年代，到目前为止，查明了很多具有开发价值的蓝晶石工业矿床，其矿石性质见表 1-5。

表 1-5 我国蓝晶石矿矿石性质

蓝晶石产地	原矿品位/%		矿石性质
	Al_2O_3	矿物	
河北邢台	21.65	13.13	石榴蓝晶黑云斜长片麻岩，主要组成矿物：蓝晶石、铁铝榴石、黑云母、石英、斜长石、钛铁矿及其他铁矿物；蓝晶石呈半自形晶板状和板柱状，晶体内常含有石英、黑云母、金红石、铁矿物等包体，有些被黑云母、滑石交代，并多以单晶出现，含 Fe_2O_3 达 1.23%，粒度（以宽度计）一般为 0.1~1.0mm
江苏沭阳	17.32	22.2	蓝晶石石英岩和蓝晶石白云母片岩，主要组成矿物：蓝晶石、石英、白云母、叶蜡石、黄玉、磷钙铝石、金红石、铁矿物等；蓝晶石呈自形半自形板状，晶体中常见金红包体，较大晶体中石英颗粒构成似筛网结构，有些颗粒受铁质污染严重，粒度（以宽度计）一般为 0.2~1.5mm

续表 1-5

蓝晶石产地	原矿品位/%		矿 石 性 质
	Al ₂ O ₃	矿物	
河南南阳	19.44	20.4	蓝晶石石英岩和蓝晶岩白云石英岩，主要组成矿物：蓝晶石、石英、白云母、金红石、褐铁矿、黄玉、高岭石等，蓝晶石呈自形、半自形板柱状，晶体中普遍包裹有金红石和石英，有的包有白云母，蓝晶石粒度不均匀
河南桐柏	25.3	25~30	蓝晶石石英岩，主要组成矿物：蓝晶石、石英、白云母、高岭石、黄玉、金红石、钛赤铁矿、磁铁矿；蓝晶石呈半自形晶柱状和板状，晶体中含有金红石、石英包体，有的以残留体他形粒状与高岭石集合体嵌布，粒度（以宽度计）0.1~1.5mm
山西繁峙	30.8	19.6	蓝晶斜长黑云绿泥石片岩，主要组成矿物：蓝晶石、斜长石、石英、黑云母、叶绿泥石、滑石、方解石、电气石、石榴子石、金红石、铁矿物；蓝晶石呈半自形柱状，无包体、无蚀变，粒度长5~8mm，宽1.0~3.2mm
四川汶川	17.14	7.13	蓝晶石云母石英片岩，主要组成矿物：蓝晶石、石英、白云母、石墨、黑云母、硅线石、金红石、铁矿物；蓝晶石多为柱状单晶，晶体中较多石英、石墨、黑云母等包体，被石墨污染严重，粒度0.046~0.805mm
云南云阳	24~25.5	10~20	石榴蓝晶二云片岩，主要组成矿物：蓝晶石、黑云母、白云母、石英、长石、石榴子石、十字石、金红石、独居石、铁矿物等；蓝晶石呈半自形或其他形板柱状，晶体中常含有石英、云母包体，粒度一般0.5~1.0mm

1.2 蓝晶石的工艺特性、用途及质量标准

1.2.1 蓝晶石工艺特性

蓝晶石之所以能广泛应用于国民生产各行各业，主要得益于以下优异的工艺特性：

（1）热膨胀性。蓝晶石在加热过程中转化为莫来石和 SiO₂ 混合物，在这个转化过程中伴随着体积膨胀，形成良好的莫来石针状网络，蓝晶石加热至 1000℃ 无变化，在 1300℃ 以上逐渐转变为莫来石和白硅石。蓝晶石在转化为莫来石的过程中，将产生一定的体积膨胀。体积膨胀分平缓期、剧化期、下降期。

平缓期：当温度在 1100~1300℃ 时，试样体积膨胀不大，蓝晶石分解缓慢，莫来石化不完全，晶体微小。

剧化期：当温度达到 1300~1450℃ 时，蓝晶石快速分解，莫来石化渐趋完全，体积膨胀很大，约在 1450℃ 时达到最大。

下降期：当温度超过 1450℃ 时，蓝晶石已完全分解，莫来石化完成，晶体开

始发育,物料基本不再膨胀,甚至产生收缩。

蓝晶石的膨胀性是评价其质量的重要依据,蓝晶石颗粒越大体积膨胀也越大,反之则小;蓝晶石的膨胀性不仅与颗粒有关,同时也与纯度有关,纯度越高,膨胀也就越大,并随 Al_2O_3 含量增高,其线膨胀也增大。

(2) 稳定性。据资料报道,用蓝晶石矿物生产耐火材料的稳定性比黏土质耐火材料高 1.5 倍,蓝晶石耐火砖比黏土砖的损耗低 43%,此外蓝晶石还具有良好的体积稳定性,对酸碱甚至氢氟酸具有惰性。

(3) 耐火度。一般黏土质耐火材料的耐火度为 $1670 \sim 1770^\circ\text{C}$,而含蓝晶石的耐火材料的耐火度通常大于 1790°C ,最高达 1850°C 。

(4) 不可逆性。蓝晶石矿物煅烧成莫来石是一个不可逆的转化,在 1810°C 以下是稳定的。因此莫来石耐火材料具有高温下体积稳定、膨胀率低、抗化学腐蚀性强、机械强度高和抗热冲击能力强的特点。

1.2.2 蓝晶石用途

蓝晶石类矿物主要用于生产耐火材料,从 20 世纪 20 年代起就作为耐火材料大量用于有色冶金和玻璃工业上,少量用于黑色冶金、陶瓷窑中。蓝晶石类矿物材质优良,用其生产莫来石砖具有成本低、性能好、耐火度高 (1825°C 以上)、热膨胀低、节能、抗化学腐蚀性强、抗渣性强、荷重软化点高、机械强度高、蓝晶石矿物的热冲击强和使用寿命长等显著特点,已大量用于钢铁工业。

自 20 世纪 60 年代以来,钢铁工业中消耗量以每年约 10% 的速度增长,而且近些年来几乎消费了总产量的一半,主要以耐火砖和型材形式,用于热风炉、热风塔、再热炉、均热炉、加热炉的关键部位和各种辅助性浇注和操作设备。我国对蓝晶石的应用较晚,1976 年才开始试生产用于冶金工业的耐火可塑料,使用结果表明,用其包扎冷管可使加热炉降低 20% 左右的能耗,用其筑炉裙、炉顶,可使炉子作业率提高 5% 左右。

此外,在其他工业部门主要用来砌筑窑炉设施,吹制高温铝硅酸盐绝缘体,用于制动衬里、瓷砖、玻璃配料、化学和电器瓷料,制作火花塞绝缘体等。

近年来,各国还十分注意研究和开发蓝晶石类矿物的新用途。如前独联体国家和美国利用超纯蓝晶石生产高强度轻质硅铝合金,比用合成法和电热法生产氧化铝成本低、经济效益高,可满足制造汽车、飞机、船舰、宇宙飞船和雷达等轻质、高强、耐高温部件的特殊要求。用蓝晶石类矿物生产的金属纤维增强陶瓷部件,可制作超音速飞机和宇宙飞船的导向翼。有些缺铝的国家还用蓝晶石作为提取金属铝的原料。近年来,用蓝晶石生产防止铸件粘砂的新型有效面料,不仅成本低,而且有效地代替了贵重的石墨。

表 1-6 中列举了蓝晶石矿物的主要用途及其优点。

表 1-6 蓝晶石矿物的主要用途及其优点

用 途	特 点	应 用 部 门
耐火材料	(1) 高温下体积稳定, 不收缩; (2) 比其他高铝耐火材料生产成本低; (3) 节约能源, 热容比黏土砖高 12%, 用于平炉, 可缩短冶炼时间, 能耗低; (4) 加入不定形耐火材料中作高温膨胀剂, 使产品在高温下不收缩和剥落	冶金、建材、机械、化工、轻工等部门
硅铝合金和金属纤维	(1) 比用合成法(用熔炼金属硅和电解铝)或用电热还原高岭土等方法成本低, 经济效益高; (2) 可满足制造汽车、宇宙飞船和雷达部件的特殊技术要求	冶金、机械、宇航等工业部门
氧化铝(烧结法)	比用霞石或高岭土为原料时物料处理量少 1/3 ~ 1/2	冶金
防铸件粘砂新型面料(涂料、膏剂和各种混合剂)	防粘砂性能比石英粉佳, 接近锆石粉, 而且价格低廉	冶金、机械等工业部门
莫来石	产品耐火度高, 热膨胀低, 抗化学腐蚀性强。机械强度高, 抗热冲击能力强, 使用寿命长	冶金、机械、化工等部门
高铝蓝晶石水泥	耐火度高达 1650℃	军工建筑、冶金等部门
高级陶瓷原料	制品耐高温、耐酸碱	轻工、化工等部门

1.2.3 蓝晶石质量标准

蓝晶石矿市场的发展与耐火材料的进步和发展以及国民经济中各部门的发展息息相关, 尤其是钢铁工业生产中耗用的耐火材料占其总产量的 70% 左右。但应指出的是, 随着各工业部门的发展, 对耐火材料的需求不再是数量的增长, 主要是对材质的要求越来越高, 即要求原料或制品品种增加, 质量改善。

蓝晶石选矿产品化学成分直接影响着蓝晶石在耐火材料及其他领域的应用, 包括对产品耐火度、膨胀率和各制品的性能的影响。为保证耐火制品具有高温条件下的良好性能, 对蓝晶石选矿产品化学成分, 尤其是铝、硅、铁、钛、碱金属等的含量均有比较严格的要求。

1.2.3.1 国外蓝晶石矿物原料的工业要求

世界各国对蓝晶石族矿物的质量要求根据其用途与工艺技术水平的不同而不同。以澳大利亚对蓝晶石矿物原料的工业要求为例, 质量标准见表 1-7。

表 1-7 国外蓝晶石矿物原料的工业要求 (%)

名 称	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	K ₂ O + Na ₂ O
澳大利亚耐火材料	<37	>55	<1.3	0.5 ~ 0.7	<0.5
澳大利亚硅铝合金		>58	<1.5		
澳大利亚陶瓷		>55	<0.5 ~ 0.75		

工业应用的基本要求是：铝要高，一般 $\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 55\%$ ，铁杂质、石英和云母等应尽可能降低，一般 Fe_2O_3 和 TiO_2 均在 1.5% 以下。

由此可见，除少数富矿经手选可直接供应市场以外，大多数蓝晶石族矿石都要经过选矿，产品质量才能满足要求。

1.2.3.2 我国不同行业对蓝晶石矿物原料的工业要求

我国不同行业对蓝晶石矿物原料的质量要求见表 1-8。

表 1-8 我国不同行业对蓝晶石矿物原料的质量要求

用 途	成分/%					耐火度/℃
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	K ₂ O + Na ₂ O	
高级耐火材料	>50	—	<1 ~ 2	—	<1 ~ 1.5	≥1790
技术陶瓷原料	>55	—	<0.5 ~ 0.15	—	<0.5	—
硅铝合金原料	>58	<37	<1.5	—	—	—
耐火材料（宝钢）	≥60	—	≤1.5	<2.0	—	≥1825

1.3 蓝晶石矿开发利用现状

蓝晶石的开发利用，国外起步较早。在第一次世界大战前，蓝晶石还未被使用，仅仅是博物馆的珍品。在第二次世界大战期间，已在航空发动机和火花塞上使用，还作为新型陶瓷原料。到了 20 世纪中期，由于发现蓝晶石矿物的特殊性质，欧美一些国家已将其作为特种耐火材料使用。

我国对蓝晶石类矿物的需求是从 1978 年建设宝山钢铁厂时开始的。伴随着蓝晶石工业利用范围的不断扩大，蓝晶石精矿需求量同步上升，其增长率每年为 5% ~ 7%，钢铁工业方面增长率每年约为 10%。蓝晶石目前的开发利用存在产品与市场需求相矛盾的局面，低质量蓝晶石产品已趋饱和，高质量的蓝晶石产品供不应求，市场缺口较大。应当加强选矿技术研究，开发出经济上合理的高质量蓝晶石产品生产技术，以缓解目前供求矛盾。

目前，我国对蓝晶石类矿物应用局面尚未打开，而且产品多从国外进口。随着国内需求日益增加，蓝晶石类矿产资源开发利用势在必行。近些年来，科技工作者对大部分蓝晶石矿床进行了可选性试验研究，并已在河北邢台、江苏东海等建成了蓝晶石选矿厂。但由于起步晚，加工利用水平也比较低，目前存在的主要