

## 青海战略性非金属矿产资源特征及可利用性分析

雷恩

(中国建筑材料工业地质勘查中心青海总队, 青海 西宁 810000)

**摘要:** 晶质石墨、萤石、高纯石英、硼等非金属矿产广泛应用于高端装备制造、生物医药、新材料、新能源及新一代信息技术等战略性新兴产业。本文全面总结了青海战略性非金属矿产资源特征, 结合石墨、石英、滑石、石榴子石的选矿与提纯实验结果以及萤石、硼矿、重晶石的加工技术性能, 分矿种完成了可利用性分析评价。根据省内锂电、新能源、新材料等产业对各矿产原料的需求与发展趋势, 认为晶质石墨、萤石、高纯石英、硼矿、重晶石五个矿种最具开发利用前景。研究成果将为青海矿产资源开发与相关产业布局提供依据。

**关键词:** 战略性非金属矿; 晶质石墨; 萤石; 硼矿

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2025.02.015

中图分类号: TD989 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532(2025)02-0102-07

**引用格式:** 雷恩. 青海战略性非金属矿产资源特征及可利用性分析[J]. 矿产综合利用, 2025, 46(2): 102-108.

LEI En. Characteristics and availability of strategic non-metallic mineral resources in qinghai province[J].

Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2025, 46(2): 102-108.

矿产资源是人类赖以生存和发展的物质基础, 我国当前 93% 的能源、80% 的工业原料和 70% 的农业生产资料来自于各类矿产品<sup>[1]</sup>。而非金属矿广泛应用于石油、化工、冶金、建筑、机械、农业、环保、医药等行业, 并越来越多地用于国防、航天、通信等高科技领域, 其开发利用规模和水平已成为衡量一个国家科学技术发展和人民生活水平的重要标志之一<sup>[2]</sup>。随着非金属矿产的物理和化学新性质不断研究与发现, 以非金属矿产为主要原料的矿物功能材料等新应用不断拓展<sup>[3]</sup>, 逐渐应用于高端装备制造、生物医药、新材料、新能源及新一代信息技术等战略性新兴产业。本文在全面总结青海战略性非金属矿产资源特征的基础上, 结合有关矿种的选矿、提纯实验结果与矿物的加工技术性能, 开展了石墨、萤石、高纯石英等矿种的可利用性分析。根据省内新能源、新材料产业现状与发展趋势, 初步探讨了各矿种的开发利用前景。

## 1 战略性非金属矿产的界定

早在 2002 年, 陈毓川院士<sup>[4]</sup>从矿产资源的经济和国防意义角度提出了战略性矿产概念, 即对国家经济、社会发展、国防安全必不可少, 而国内无法保障的矿产资源以及可以影响国际市场的矿产资源。2016 年 11 月, 国土资源部等 6 部委发布了《全国矿产资源规划(2016—2020 年)》, 将石油、天然气、煤炭、稀土、晶质石墨等 24 种矿产列为战略性矿产, 这是我国首次制定的战略性矿产目录, 体现了战略性矿产资源在保障国家经济安全、国防安全和战略性新兴产业发展中的极端重要性。王登红<sup>[5]</sup>提出“战略性关键矿产”是在战略性新兴产业领域中必需的或者能够发挥关键性作用的矿产。汪灵<sup>[3]</sup>提出对“战略性”和“关键性”矿产资源种类的划定必然是动态、发展的。

随着我国矿产资源保障程度和战略性新兴产业发展对矿产原料需求的变化, 国内学者不断调整战略性非金属矿产的矿种。汪灵<sup>[3]</sup>建议将磷

收稿日期: 2022-06-10

基金项目: 青海省地质勘查基金项目(2021074005ky005)

作者简介: 雷恩(1983-), 男, 高级工程师, 从事非金属矿勘查、成矿规律与综合利用研究。

矿、钾盐、萤石、石墨、石英（高纯）、高岭土、叶蜡石、膨润土、凹凸棒石、海泡石、硅藻土、重晶石、硼矿、锂矿、锆英石共 15 种矿产列为我国在当前和今后一段时期内的战略性非金属矿产。陈正国等<sup>[6]</sup>重点强调战略性非金属矿产的 3 个含义：①战略性新兴产业发展所必需；②国内短缺、供应存在风险；③国内资源丰富，并具有一定话语权的市场优越性，并将晶质石墨、萤石、石英（高纯）、硼、重晶石、滑石、石榴子石、硅藻土、高岭土、叶蜡石 10 个矿种列为战略性非金属矿产。本文更倾向陈正国将石墨、萤石、石英（高纯）等 10 个非金属矿列为战略性非金属矿产。

## 2 青海战略性非金属矿产资源特征与可利用性分析

青海省矿产资源较为丰富，截至 2021 年底，共发现各类矿产 137 种，其中非金属矿产有 78 个（亚）种（按工业用途分类）。在上述 10 个战略性非金属矿产中，除硅藻土未有发现外，其余

9 个矿种在青海均有发现，且部分矿产具有一定的资源与质量优势。

### 2.1 晶质石墨

#### (1) 资源特征

随着石墨列为战略性矿产以来，青海石墨勘查取得了重要成果。截至 2021 年底，青海共发现石墨矿床（点）45 处（超大型 1 处，大型 1 处，中型 2 处，小型 7 处，矿点 34 处），估算石墨矿物资源量大于  $2\,000 \times 10^4$  t，各矿床平均固定碳含量 3.87%~10.06%。

查明资源量的矿床均为晶质石墨，其中典型的格尔木市妥拉海河矿床估算矿物资源量超过  $1\,500 \times 10^4$  t，平均固定碳含量 4.8%，片径+0.15 mm 的大鳞片石墨占比>90%。

#### (2) 可利用性分析

目前，青海石墨矿尚未开发利用，对石墨矿开展了可选性实验的矿床仅有妥拉海河石墨矿、巴勒木特尔石墨矿、大通沟南山石墨矿、黄矿山石墨矿<sup>[7-9]</sup>，典型石墨矿床选矿结果对比见表 1。

表 1 国内典型石墨矿床选矿结果对比  
Table 1 Comparison of beneficiation results of typical graphite deposits in China

矿床名	石墨片径分布含量/%				选矿样固定碳含量/%	选矿实验结果/%				资料来源
	+0.3 mm	-0.3+0.18mm	-0.18+0.15 mm	-0.15 mm		产品	产率	固定碳含量	回收率	
青海妥拉海河	48.3	27.6	15.2	9.1	7.03	精矿1	7.12	96.15	97.23	文献[7]
					4.33	精矿2	4.4	95.26	96.27	
青海巴勒木特尔	67.6	18.5	7.9	6.0	5.56	精矿	5.71	94.18	94.35	文献[8]
青海大通沟	一般0.01~0.05 mm，-0.02 mm居多				12	精矿	11.38	83.34	78.90	文献[9]
青海黄矿山	一般0.01~1.16 mm，以+0.15 mm为主				19.65	精矿	21.33	83.27	95.81	
黑龙江萝北	23.0		30.2	46.8	13.27	精矿	12.6	96.11	91.3	文献[10]
黑龙江柳毛		0.3~1.0 mm居多			12.86	精矿		96.34	78.25	文献[11]
山东南墅		0.1~0.4 mm居多			4.5	精矿	3.87	90	87.3	文献[12]

针对妥拉海河石墨矿特征，对两件样品样采用“一次粗选、二次扫选、粗精四段再磨、四次精选、中矿顺序返回”的闭路工艺流程完成选矿实验，分别获得石墨精矿固定碳品位 96.15%、95.26%，回收率 97.23%、96.27% 的选别指标<sup>[7]</sup>。巴勒木特尔石墨精矿固定碳品位 94.18%、回收率 94.35%<sup>[8]</sup>。大通沟石墨精矿固定碳品位 83.34%、回收率 78.90%，精矿产品粒度微细，含有 5% 左右的有机碳，选矿难以将其除去。黄矿山石墨精矿固定碳品位 83.27%、回收率 95.81%，产品粒度

极细，多小于 0.038 5 mm<sup>[9]</sup>。

对比分析国内典型矿床石墨片径与选矿实验结果，妥拉海河石墨矿、巴勒木特尔石墨矿原矿的石墨鳞片大，可选性好，选矿获得的精矿达到高碳石墨（94.0%≤C<99.9%）的标准，且回收率明显高于省内外其他矿床。因原矿鳞片较大，后续开发中探索保护石墨大鳞片工艺对提高矿床的经济价值至关重要<sup>[13]</sup>。

2021 年妥拉海河石墨矿完成一件提纯实验样，石墨原矿固定碳含量 7.03%，共制备提纯实验

用石墨精矿粉 4 kg，精矿固定碳含量 95.34%。对石墨精矿首先采用“王水-氢氟酸”混酸提纯，混酸法提纯后石墨固定碳含量为 99.98%。后继续对其使用中频感应炉进行高温提纯，高温提纯后石墨固定碳含量为 99.999 1%<sup>[7]</sup>，固定碳含量高于人造金刚石碳源（固定碳含量高于 99.995%）、核燃料元件用天然石墨（固定碳含量高于 99.995%）纯度要求。

## 2.2 萤石

### (1) 资源特征

青海萤石矿勘查工作程度较低，截至 2021 年底，共发现 16 处萤石矿床（点），完成勘查评价或正在勘查的有 13 处矿床（大型 2 处，中型 6 处，小型 5 处），共估算 CaF<sub>2</sub> 资源量约 600×10<sup>4</sup> t，各矿床 CaF<sub>2</sub> 品位 20.1%~70.9%。

已评价的典型矿床为都兰县大格勒萤石矿，查明 CaF<sub>2</sub> 资源量 217.3×10<sup>4</sup> t，CaF<sub>2</sub> 平均品位 57.28%。随着全省对萤石矿找矿工作的重视与开展，近两年取得了较好的萤石矿勘查成果，如都兰县德里特萤石矿（2020 年）估算 CaF<sub>2</sub> 资源量 49×10<sup>4</sup> t、德令哈市牙马萤石矿（2021 年）估算 CaF<sub>2</sub> 资源量 100×10<sup>4</sup> t、格尔木市喀拉克登北萤石矿（2021 年）估算 CaF<sub>2</sub> 资源量 85.5×10<sup>4</sup> t、都兰县大格勒南萤石矿（2021 年）估算 CaF<sub>2</sub> 资源量 40×10<sup>4</sup> t。

### (2) 可利用性分析

省内主要萤石矿床规模为中、大型以上，除 1 处为硫化矿型萤石矿外，其他均为单一的萤石、石英—萤石型矿石类型，可采用国内外成熟的浮选法对萤石进行选矿提纯<sup>[14-15]</sup>，使与之共生的脉石矿物分离，从而生产纯度较高的萤石精粉，用于

下游的氟加工高新技术产业。对于硫化矿型萤石矿，一般可采用硫化矿捕收剂优先选出金属硫化矿物，然后采用脂肪酸类捕收剂从浮选尾矿中回收萤石，实现综合回收利用。

## 2.3 石英（高纯）

### (1) 资源特征

青海目前尚未发现真正意义上的高纯石英（SiO<sub>2</sub>>99.99%）原料，只是将石英岩、脉石英进行选矿提纯后可作超白光伏玻璃用和球形二氧化硅微粉用硅质原料。

青海石英资源丰富，主要种类为石英岩、脉石英、水晶。截至 2021 年底，青海已发现 43 处石英岩、13 处脉石英、37 处水晶矿床（点）。石英岩查明资源量 265 427.9×10<sup>4</sup> t（其中玻璃用 203 022.1×10<sup>4</sup> t，冶金用 62 405.8×10<sup>4</sup> t），保有资源量 264 926.1×10<sup>4</sup> t（其中玻璃用 202 955.77×10<sup>4</sup> t，冶金用 62 284.57×10<sup>4</sup> t）。石英岩矿石 SiO<sub>2</sub> 一般 97.42%~99.70%，Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.01%~0.40%，Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.14%~2.78%。

2 处脉石英矿床查明玻璃用脉石英矿资源量 454.19×10<sup>4</sup> t，矿石 SiO<sub>2</sub> 一般 96.58%~98.27%。1 处水晶矿床查明资源量 386.698 t（其中压电水晶 29.698 t，熔炼水晶 357 t）。

### (2) 可利用性分析

青海石英资源虽然丰富，目前仅用于玻璃和冶金行业。如用于生产高附加值的下游产品，通常需要对原矿进行选矿提纯后才能应用。

青海典型石英矿区选矿提纯实验结果表明（表 2），不同质量的石英岩、脉石英原矿经“破碎—预先筛分—磨矿—分级—中磁—强磁—浮选—酸洗”等选矿工艺处理后产出的石英精砂 SiO<sub>2</sub>>

表 2 青海脉石英、石英岩矿选矿提纯结果对比

Table 2 Comparison of purification results of Qinghai vein quartz and quartzite ore beneficiation

矿区		分析项目/%			选矿提纯工艺	资料来源
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		
大柴旦大头羊西沟脉石英矿	原矿石	98.2	0.20	0.079	煅烧—水淬—破碎—粉碎—磁选—浮选—酸洗	[16]
	选矿后精砂	99.91	0.026	0.002 1		
德令哈市延森哈达—亚麻图脉石英矿 q1 脉	原矿石	98.92	0.28	0.18	破碎—预先筛分（0.71 mm）—磨矿—中磁—强磁—浮选—酸洗	实验
	选矿后精砂	99.928	0.056	0.000 56		
德令哈市乌兰希勒脉石英矿	原矿石	98.04	0.41	0.24	破碎—筛分—磨矿—分级—磁选—浮选—擦洗	[17]
	选矿后精砂	99.57	0.17	0.007 4		
大通县花脖湾石英岩矿	原矿石	98.57	0.39	0.041	破碎—预先筛分（0.6 mm）—磨矿—分级—中磁—强磁—浮选	[18]
	选矿后精砂	99.86	0.082	0.008 2		

99.57%、 $\text{Fe}_2\text{O}_3 < 0.008\%$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3 < 0.17\%$ ，其中粒径在 0.1~0.71 mm 之间的精砂可作为超白光伏玻璃用硅质原料和光学酸洗石英砂和仪器玻璃石英砂等，粒径 $< 0.1$  mm 的精砂可用于球形二氧化硅微粉用硅质原料和环氧树脂浇注料、工程塑料、硅橡胶等重要的功能性填料。

另外， $\text{SiO}_2$  含量 $\geq 98\%$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  含量 $\leq 0.15\%$  的石英岩、脉石英原矿可用于生产工业硅，进而作为多晶硅的原料，再用于生产单晶硅、各种晶体管、太阳能电池片、硅片、晶圆等。

## 2.4 硼矿

### (1) 资源特征

硼矿为青海优势矿产，截至 2021 年底，青海已发现硼矿床（点）（含共生矿产）20 处（超大型 2 处，大型 3 处，中型 3 处，小型 5 处，矿点 7 处），共查明  $\text{B}_2\text{O}_3$  资源量  $4\,533.9 \times 10^4$  t（其中固体  $976 \times 10^4$  t，液体  $3\,557.9 \times 10^4$  t）。

### (2) 可利用性分析

青海硼矿属第四纪盐湖蒸发沉积型矿床，固液相共存，并以液相为主。其中固体硼主要为柱硼镁石—钠镁解石型，通过浮选方法可获得硼精矿，矿石可选性良好。液体硼（即盐湖卤水中的硼），可采用硫酸法和盐酸法酸化沉淀提硼、溶剂萃取法提硼，也可用浮选法提硼。总之盐湖型硼矿经过一系列选矿工艺流程后可生产出硼砂、纯度较高的硼酸。据得尔硼业的行业新闻<sup>[9]</sup>，青海中天硼锂矿业有限公司所产“青藏高原牌”硼酸纯度高，质量稳定，和同等级产品比较经济实惠，性价比较高，主要应用到冶金耐材、磨料、电镀、农业等行业，并可代替进口硼酸中的土耳其硼酸。

## 2.5 重晶石

### (1) 资源特征

截至 2021 年底，青海已发现重晶石矿床（点）13 处（中型、小型各 2 处，矿点 9 处），查明重晶石矿石资源量  $905.3 \times 10^4$  t。其中玛多县抗得弄舍金多金属矿、茫崖市黑柱山地区铅锌矿中共生的重晶石达中型矿床规模， $\text{BaSO}_4$  品位  $32.27\% \sim 60.14\%$ ，属中低品位矿床。

### (2) 可利用性分析

锡铁山南重晶石矿、黑柱山铅锌矿中  $\text{BaSO}_4$  含量  $41.22\% \sim 60.14\%$ ，原矿无法直接利用，需选矿加工成纯度较高的重晶石粉后才能利用。锡铁

山南矿石类型主要为石英—重晶石型和方解石—重晶石型，采用浮选—重选联合工艺可将重晶石与脉石分离。黑柱山与抗得弄舍矿石类型为石英—重晶石—方铅矿—闪锌矿型，原矿采用“铅锌混合浮选—浮选重晶石”的工艺流程，可获得产率  $45.24\%$ 、 $\text{BaSO}_4$  含量  $94.09\%$  的重晶石精矿，可就近用作青海花土沟油田的钻进泥浆加重剂。

## 2.6 滑石

### (1) 资源特征

截至 2021 年底，青海已发现各类滑石矿产地 17 处，查明资源量或估算资源量的有 5 处，分别是茫崖市茫崖石棉滑石蛇纹岩矿、祁连县草大坂滑石菱镁矿、茫崖市野马滩滑石矿、格尔木市铜金山滑石矿、都兰县合支龙滑石矿，共估算滑石矿石资源量  $16\,500 \times 10^4$  t 以上。近年来在茫崖市野马滩、都兰县合支龙发现了质量较好、规模较大的优质滑石矿，尤其是合支龙滑石矿中一级品（滑石含量 $\geq 80\%$ ）资源量达  $110 \times 10^4$  t。另外在格尔木铜金山地区发现的滑石矿估算资源量  $12\,000 \times 10^4$  t，达超大型规模，滑石品位  $36.92\% \sim 80.24\%$ ，平均  $42.83\%$ 。

### (2) 可利用性分析

相比国内其他地区滑石矿资源和品质特征，青海滑石资源少，尤其是缺少高品级滑石。茫崖石棉滑石矿床的滑石资源量虽达超大型规模，但该滑石为超基性岩热液蚀变形形成，与石棉共生，选矿不能除去石棉。而石棉对人体危害大，各类滑石产品不能有石棉检出，因此茫崖石棉滑石矿中的滑石不能开发利用。

近两年新发现的格尔木铜金山滑石矿具有钙高滑石品位低的特征，矿石主要由滑石和方解石、白云石、石英组成，平均滑石含量  $42.83\%$ （低于工业品位），也不能直接利用，需进行浮选加工后方能用于下游产业。选矿实验表明，当原矿滑石品位为  $41.4\%$  时，经浮选后滑石品位为  $87.7\%$ 、回收率  $90.44\%$ ，精矿产率  $37.07\%$ ，精矿中  $\text{CaO}$  含量仍有  $5.60\%$  左右，产品可初步用于造纸、橡胶、油漆、电缆等制造的填料。

都兰合支龙滑石矿属优质滑石，该矿经手选后可直接作化妆品用块滑石，经济价值高。

## 2.7 石榴子石

### (1) 资源特征

截至 2021 年底，青海发现石榴子石矿产地

11 处, 其中 2 处超大型矿床为金红石钛矿共生石榴子石矿(乌兰县丁叉叉山南坡钛矿石榴子石矿床、乌兰县那日托钛矿石榴子石矿床), 共查明石榴子石矿物资源量  $7\ 880 \times 10^4$  t, 石榴子石平均含量 38.64%~41.8%。

### (2) 可利用性分析

石榴子石产于榴辉岩中, 矿石组成矿物有: 石榴子石(类型为铁铝榴石)、绿辉石、角闪石、斜长石和绿泥石。原矿在  $-74\ \mu\text{m}$  38.26% 的磨矿细度条件下, 采用“重选—浮选—磁选—电选”的选矿工艺流程, 实验最后得到产品指标如下: 金红石产率 0.82%、 $\text{TiO}_2$  92.44%, 金红石回收率 56.29%; 石榴子石产率 56.00%, 石榴子石 94%, 回收率 90.29%; 绿辉石产率 17.00%, 绿辉石 94.5%, 回收率 72.82%<sup>[20]</sup>。经济效益分析显示, 石榴子石是该矿效益最大的产品, 其次为绿辉石, 可用于砂喷、敷涂磨料、抛光粉等有较高价值的磨料用砂或粉。

## 2.8 高岭土、叶蜡石

青海省内已发现高岭土矿床(点) 7 处(小型 2 处、矿点 5 处), 查明资源量  $414.9 \times 10^4$  t, 目前仅用作水泥原料。发现叶蜡石矿化点 1 处, 叶蜡石产于花岗闪长岩的节理裂隙中, 规模甚小, 无找矿和开发利用前景。

# 3 青海战略性非金属矿产开发利用前景探讨

## 3.1 晶质石墨与萤石开发利用前景

2016 年开始, 青海提出在“十三五”期间全力打造“千亿锂电产业基地”, 借助省内的锂资源和绿电资源优势, 吸引了一批国内外知名锂电项目入驻。目前青海“盐湖提锂—正负极材料—电解液—隔膜—锂电池制造”的完整产业链建设项目已落地。因此省内锂电产业的发展对石墨负极材料需求较大, 随着妥拉海河超大型石墨矿成果的提交, 将有助于推动省内优质石墨的开发利用, 也将就近解决原材料问题。

青海要建成全国重要的锂电产业基地, 而六氟磷酸锂作为锂离子电池电解液的核心材料, 是由萤石精粉制成氢氟酸后, 再进行深加工的产品。因此, 青海氟化氢、电解液、含氟精细化工等氟化工产业对萤石资源的需求较大, 萤石矿的开发前景好。

## 3.2 石英开发利用前景

2021 年伊始至今, 国内石英下游产业多晶硅、太阳能光伏、晶硅新材料等产业发展势头强劲, 对高纯石英砂的需求持续加大, 而优质原料短缺、供不应求, 导致国内高纯石英砂及硅料价格不断上扬, 因此在今年一段时间内高纯石英砂、高纯多晶硅等高端石英制品的市场前景极好。2021 年 1 月 26 日, 国家发展改革委公布《西部地区鼓励类产业目录(2020 年本)》, 青海省鼓励的产业有“高端、大规模集成电路用材料、电子特气及电子化学品”, 即硅材料相关产业成为青海的重要发展方向。

近年来青海着力打造国家清洁能源产业高地, 光伏新能源产业发展迅速, 相关企业对晶硅的需求将持续增长, 需要大量的高品质石英原料和高纯石英砂作为发展的支撑, 有助于推动青海石英原料的开发及深加工利用。

## 3.3 硼矿开发利用前景

自 2017 年以来, 我国是全球硼化物最大进口国, 近年硼矿对外依存度在 70% 左右<sup>[21]</sup>, 主要从土耳其、美国、俄罗斯、智利等国进口。近年来, 凯盛科技集团聚焦高端 5.0 中性硼硅玻璃包装材料关键核心攻关, 成功生产中国首片高品质中性硼硅药用玻璃, 用于疫苗玻璃瓶的核心原材料, 由此实现了“零”的突破。随着我国硼化工的发展和中性硼硅、高硼硅玻璃工业的日趋成熟, 对硼砂和硼酸的需求大增, 因此硼产品市场前景极好。以打造“千亿锂电产业基地”为契机, 青海将掀起盐湖硼矿综合利用的热潮。

## 3.4 其他矿种开发利用前景

青海油气资源丰富, 开发强度大, 油气开采需消耗大量的钻井液用重晶石粉。青海目前无重晶石开发矿山, 油气开采所用重晶石粉主要采购自陕西、四川等地, 因此省内重晶石矿开发利用前景好。

对于滑石、石榴子石、高岭土, 青海省内暂无相关深加工利用的下游产业, 相比国内其他地区具有区位优势的相关资源, 这 3 个矿种的开发利用前景较差, 产业化生产前需要进行充分的市场需求调研、产品论证、经济评估等工作, 确保项目的可盈利性后才能开发利用。

综上所述, 青海省内新能源、新材料产业对晶质石墨、萤石、高纯石英、硼矿、重晶石有较

大的需求,除重晶石外均有较好的资源与质量优势,这五个矿种最具开发利用前景,其余矿种开发利用前景较差。

## 4 结 论

(1) 在10种战略性非金属矿产中,青海已发现9种。其中晶质石墨可选性好,可用于球形石墨、负极材料、人造金刚石碳源等;萤石可用于生产氟化氢、含氟精细化工等氟化工产业;石英经选矿提纯后可作超白光伏玻璃用和球形二氧化硅微粉用硅质原料;硼矿可用于生产硼砂、纯度较高的硼酸等。

(2) 青海石英、硼矿、晶质石墨、萤石具有一定的品质和资源量优势,省内新能源、新材料产业对这几种矿产有较大的需求,开发利用前景尚好,应进一步引导、促进相关产业发展,更好地服务地方经济建设。

(3) 对于资源较为丰富的滑石、石榴子石,青海省内没有相关的下游应用产业,产品需求有限,与省外其他矿产地相比不具备区位优势,开发利用前还需进行充分的市场调研、产品论证、经济评估等工作,以确定项目的可行性。

(4) 战略性非金属矿产广泛应用于新材料相关产业,青海新材料非金属矿的开发应用尚在起步阶段,需大力进行各类矿产资源及质量优势的宣传,加强相关产业的招商引资工作和引导开发利用,形成矿产资源开发—新材料生产的产业链,从而促进资源转化为社会经济发展的动力。

## 参考文献:

- [1] "采掘业"—百度词条. [EB/OL]. <https://baike.baidu.com/item/%E9%87%87%E6%8E%98%E4%B8%9A/7584234?fr=aladdin>.
- [2] 《矿产资源工业要求手册》编委会. 矿产资源工业要求手册[M]. 北京:地质出版社,2010.  
Editorial board of mineral resources industry requirements manual. Mineral resources industry requirements manual[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2010.
- [3] 汪灵. 战略性非金属矿产的思考[J]. 矿产保护与利用, 2019, 39(6):1-7.  
WANG L. Considerations on strategic non-metallic mineral resources[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2019, 39(6):1-7.
- [4] 陈毓川. 建立我国战略性矿产资源储备制度和体系[J].

国土资源, 2002(1):20-21.

CHEN Y C. Establishing the reserve system of strategic mineral resources in China[J]. Land & Resources, 2002(1):20-21.

[5] 王登红. 战略性关键矿产相关问题探讨[J]. 化工矿产地质, 2019, 41(2):65-72.

WANG D H. Discussion on issues related to strategic key mineral resources[J]. Geology of Chemical Minerals, 2019, 41(2):65-72.

[6] 陈正国, 颜玲亚, 高树学. 战略性非金属矿产资源形势分析[J]. 中国非金属矿工业导刊, 2021(2):1-8.

CHEN Z G, YAN L Y, GAO S X. Analysis on the situation of strategic non-metallic mineral resources[J]. China Non-metallic Minerals Industry, 2021(2):1-8.

[7] 中国建筑材料工业地质勘查中心青海总队. 青海省格尔木市妥拉海河一带石墨矿普查报告[R]. 西宁:中国建筑材料工业地质勘查中心青海总队, 2022.

China Building Materials Industry Geological Exploration Center. Qinghai Headquarters. Census report of graphite mine along Tolahai River, Golmud City, Qinghai Province [R]. Xining: China Building Materials Industry Geological Exploration Center, 2022.

[8] 中国建筑材料工业地质勘查中心青海总队. 青海省都兰县巴勒特尔石墨矿详查报告[R]. 西宁:中国建筑材料工业地质勘查中心青海总队, 2010.

China Building Materials Industry Geological Exploration Center. Qinghai Headquarter. Detailed investigation report on the graphite mine of Baletel, Dulan County, Qinghai Province [R]. Xining: China Building Materials Industry Geological Exploration Center, 2010.

[9] 徐新文, 段建华, 路耀祖, 等. 青海省石墨矿地质特征及可利用性评价[J]. 金属矿山, 2019(1):125-138.

XU X W, DUAN J H, LU Y Z, et al. Geological characteristics and availability evaluation of graphite deposit in Qinghai Province[J]. Metal Mine, 2019(1):125-138.

[10] 刘海营, 劳德平, 李崇德, 等. 黑龙江萝北鳞片石墨浮选新工艺研究[J]. 中国矿业, 2015(S2):182-185.

LIU H Y, LAO D P, LI C D, et al. Floatation technical study of luobei flake graphite in Heilongjiang Province[J]. China Mining, 2015(S2):182-185.

[11] 何保罗, 薛东才. 鸡西柳毛石墨浮选尾矿回收[J]. 中国非金属矿工业导刊, 2001(4):17-18.

HE B L, XUE D C. Recovery of Liumao graphite flotation tailings[J]. China Non-metallic Minerals Industry, 2001(4):17-18.

[12] 周洪生. 山东南墅石墨矿床成因探讨[J]. 非金属矿, 1978(1):21-25.

ZHOU H S. Discussion on the genesis of Nanshu graphite deposit in Shandong Province[J]. Non-metallic Mines, 1978(1):21-25.

- [13] 仝忠蕴, 刘磊, 袁致涛. 鸡西地区晶质石墨保护大鳞片新工艺技术研究[J]. 矿产综合利用, 2021(6):53-58.
- TONG Z Y, LIU L, YUAN Z T. Study on new technology of crystalline graphite to protect large flake in Jixi Area[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2021(6):53-58.
- [14] 吕良, 曹飞, 王守敬, 等. 豫西某石英型萤石矿浮选工艺研究[J]. 矿产综合利用, 2022(2):92-99.
- LYU L, CAO F, WANG S J, et al. Study on flotation process of a quartz fluorite ore in Western Henan[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2022(2):92-99.
- [15] 曾小波, 印万忠. 共伴生型萤石矿浮选研究进展与展望[J]. 矿产综合利用, 2021(11): 1-7.
- ZENG X B, YIN W Z. Reserch progress and prospect of flotation of assou ciated fluorite minerals[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2021(11): 1-7.
- [16] 中国建筑材料工业地质勘查中心青海总队. 青海省大柴旦行委大头羊西沟高纯石英矿普查报告[R]. 西宁: 中国建筑材料工业地质勘查中心青海总队, 2013.
- China Building Materials Industry Geological Exploration Center, Qinghai Headquarter. Report on the census of high purity quartz mine in Daitouyangxigou, Dachaidan Committee, Qinghai Province[R]. Xining: China Building Materials Industry Geological Exploration Center, 2013.
- [17] 德令哈晶华矿业有限公司. 青海省德令哈市乌兰希勒石英岩矿详查报告[R]. 德令哈: 德令哈晶华矿业有限公司, 2019.
- Delingha Jinghua Mining Co. . Detailed investigation report of Wulanxil quartzite mine, Delingha, Qinghai Province [R]. Delingha: Delingha Jinghua Mining Co. , 2019.
- [18] 中国建筑材料工业地质勘查中心青海总队. 青海省大通县花脖湾石英岩矿普查报告[R]. 西宁: 中国建筑材料工业地质勘查中心青海总队, 2015.
- China Building Materials Industry Geological Exploration Center, Qinghai Headquarter. Census report of Huabuwan quartzite mine, Datong County, Qinghai Province [R]. Xining: China Building Materials Industry Geological Exploration Center, 2015.
- [19] 青海硼矿及盐湖含硼资源—得尔硼业. [EB/OL]. <http://www.zzdoer.com/article/show/id/296.html>
- Boron mines and salt lake boron-bearing resources in Qinghai-Delboron. [EB/OL]. <http://www.zzdoer.com/article/show/id/296.html>
- [20] 青海聚能钛业有限公司. 青海省乌兰县丁叉叉山南坡钛矿普查报告[R]. 西宁: 青海聚能钛业有限公司, 2015.
- Qinghai Jouneng Titanium Industry Co. Census Report of Titanium Mine on the South Slope of Dingqiao Mountain, Wulan County, Qinghai Province [R]. Xining: Qinghai Jouneng Titanium Industry Co. 2015.
- [21] 张福祥, 赵莎, 刘卓, 等. 全球硼矿资源现状与利用趋势[J]. 矿产保护与利用, 2019, 39(6):142-151.
- ZHANG F X, ZHAO S, LIU Z, et al. Current situation and utilization trend of the global boron resources[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2019, 39(6):142-151.

## Characteristics and Availability of Strategic Non-metallic Mineral Resources in Qinghai Province

LEI En

(Qinghai Branch of China Building Materials Industrial Geological Exploration Center, Xining 810000, Qinghai, China)

**Abstract:** Non-metallic minerals such as crystalline graphite, fluorite, high-purity quartz and boron are widely used in strategic emerging industries such as high-end equipment manufacturing, biomedicine, new materials, new energy and new generation information technology. This paper comprehensively summarizes the characteristics of strategic non-metallic mineral resources in Qinghai, and completes the analysis and evaluation of their availability by mineral types in combination with the beneficiation and purification test results of graphite, quartz, talc and garnet, and the processing technical performance of fluorite, boron ore and barite. According to the demand and development trend of lithium battery, new energy, new materials and other industries in the province for various mineral raw materials, it is considered that the five minerals of crystalline graphite, fluorite, high-purity quartz, boron ore and barite have the most development and utilization prospects. The research results will provide a basis for the development of mineral resources and the layout of related industries in Qinghai.

**Keywords:** Strategic non-metallic mines; Crystalline graphite; Fluorite; Boron ore