

# 天青石及锶盐的生产与市场分析

魏 虹

(地矿部矿产综合利用研究所)

摘要 本文综述了世界天青石加工技术, 锶盐的生产方法以及世界锶盐市场的前景展望。

## 一、概述

天青石是一种主要的含锶矿物, 化学成分为 $\text{SrSO}_4$ , 其中Sr含量占45~47%。锶是一种银白色的金属, 密度为 $2.54 \text{ g/cm}^3$ , 熔点 $769^\circ\text{C}$ , 沸点 $1384^\circ\text{C}$ 。世界天青石的大规模开发利用是随着 $\text{SrCO}_3$ 大量用于彩色电视玻璃和磁性材料而开始的。70年代初期, 世界上只有墨西哥、西班牙、英国、土耳其等少数国家从事天青石生产。到80年代, 由于 $\text{SrCO}_3$ 应用范围的不断扩大以及需求量的日益增长, 天青石的生产迅速扩大到中国、苏联、意大利、巴基斯坦等国。然而, 迄今为止, 处于领先地位的仍是墨西哥、西班牙、伊朗和英国, 这四个

国家的产量占世界天青石总产量的80%以上<sup>〔1〕</sup>。

天青石主要以 $\text{SrCO}_3$ 的形式用于各个领域。目前,  $\text{SrCO}_3$ 的应用已从炼锌、制糖、焰火等低产值行业发展到硬磁材料、电视玻璃、电子陶瓷等领域。现在, 已研制出氧化锶、硝酸锶、钛酸锶、金属锶、铝锶合金、硅化锶等含锶产品。此外, 一些技术力量雄厚的 $\text{SrCO}_3$ 生产企业已开始研究高纯度、特级品以及用于高科技领域 $\text{SrCO}_3$ 的生产技术。 $\text{SrCO}_3$ 应用市场的不断拓宽, 刺激了世界锶盐工业的发展, 一些 $\text{SrCO}_3$ 生产国纷纷扩大产量。墨西哥最大的天青石生产企业CMV去年已将 $\text{SrCO}_3$ 的产量增至50,000吨/年, 另一家公司(Sales Y Oxidos)的产量已增至15,000吨/年, 加

努鲁儿虎及其毗邻地区矿产资源开发中的许多问题的产生大都与开发管理有关, 而开发管理工作薄弱对矿产资源保护存在着巨大的威胁。因此一定要明确矿产资源保护是为了矿产资源开发, 保护应在规划建设和开发中保护, 开发管理就是处理好开发与保护的重要手段。开发管理中要全面深入地贯彻《矿产资源法》、《矿产资源勘察登记管理(暂行)办法》、《全民所有制矿山企业采矿登记管理(暂行)办法》、《矿产资源监督管理(暂行)办法》和地方有关规定, 抓好“三量”和“三率”管理, 并且以此为考核企业经济效益的重要指标, 在管理和保护方面, 勘查、设计、规划、地方政府、主管部门、司法机关和银行要共同协作, 以一致的目标——充分地开发矿产资源和有

效地保护矿产资源——实行管理和保护, 提高开发效益, 杜绝破坏现象, 把浪费降低到最低限度。

## 6. 建立矿产保护区

将价值高、远景储量大、而目前尚不具备开发条件的矿产地段划为暂时保护区。

由于地质勘查和矿山地质工作基础薄弱, 有多种矿产有较好的探矿前景, 加上矿产资源是非再生资源, 暂时的绝对保护意味着将来能获得巨大的经济利益, 矿产存于“地下银行”里, 随着时间的推移, 其价值和储量(工业技术可开发量)都在增加。因此, 目前对价值高、远景储量大、但地质勘查程度不高、目前尚不能开发的矿产地段划为暂时保护区, 意义将十分巨大。

上其它公司的产量, 墨西哥的  $\text{SrCO}_3$  总产量已达到 8.7 ~ 8.8 万吨/年<sup>[2]</sup>; 世界最大的  $\text{SrCO}_3$  生产企业—德国 Kali—Chemie 在南朝鲜的  $\text{SrCO}_3$  年  $\text{BaCO}_3$  生产厂已投产, 产量为 4 万吨/年  $\text{SrCO}_3$ 、 $\text{BaCO}_3$ ; 美国化学产品公司 (CPC) 在墨西哥境内的  $\text{SrCO}_3$  厂已投入建设; 与日本合资的墨西哥 Quimicu Dinamica 公司也打算将  $\text{SrCO}_3$  的产量增至 3 万吨/年。据统计, 1990 年, 世界  $\text{SrCO}_3$  的总产量为 23 万吨, 而实际需求量仅为 15 万吨, 有些专家预言, 在 2000 年以前, 完全没有必要再增加  $\text{SrCO}_3$  的产量<sup>[3]</sup>。

国外生产  $\text{SrCO}_3$  和  $\text{Sr(NO}_3)_2$  对天青石的质量要求见表 1。

表 1 国外天青石质量标准

项目	制碳酸锶	制硝酸锶
$\text{SrSO}_4$ (%)	≤ 90	≤ 95
$\text{CaSO}_4$ (%)	—	≤ 1.5
$\text{BaSO}_4$ (%)	≤ 2	≤ 2
F (%)	≤ 0.1	—
块度 (cm)	≤ 15.24	≤ 15.24 + 0.64

墨西哥、西班牙、德国等作  $\text{SrCO}_3$  原料的天青石矿品位在 93% ( $\text{SrSO}_4$ ) 左右; 我国一般为 82%。

$\text{SrCO}_3$  的质量标准各国都不统一, 不同的应用领域对  $\text{SrCO}_3$  的要求也各不相同。一般市售  $\text{SrCO}_3$  产品的纯度都在 95 ~ 97% 左右。我国的  $\text{SrCO}_3$  产品质量标准目前尚未公布。四川省外贸标准为<sup>[4]</sup>:  $\text{SrCO}_3$  97%;  $\text{BaCO}_3$  0.50%;  $\text{CaO}$  0.22%;  $\text{Na}_2\text{O}$  0.55%;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  0.01%;  $\text{SO}_4^{2-}$  0.10%;  $\text{Cl}^-$  0.15%;  $\text{H}_2\text{O}$  0.5%。

## 二、资源

到目前为止, 已发现的锶矿床仅有天青石和菱锶矿两种, 并且世界上已探明的锶矿资源

绝大多数为天青石, 仅有中国找到了具有独立开采价值的菱锶矿床。据报道, 世界天青石已探明的总储量至少有 2000 多万吨, 年开采能力已达 20 多万吨<sup>[1]</sup>。其中以墨西哥探明的储量最多, 质量也较好。西班牙和土耳其次之。其他国家, 虽然也有一定储量, 但质量都比较差。

墨西哥是最大的天青石生产国, 年产量占世界产量 (15 万吨/年) 的 20 ~ 25%。主要生产企业为 CMV 和 Sale Y Oxidos CMV 和 Sale 的原矿品位都高达 90 ~ 94%

( $\text{SrSO}_4$ ), 一般经手选后便可直接用作生产  $\text{SrCO}_3$  的原料。此外, 墨西哥还有一些小型的天青石生产矿山。墨西哥的天青石矿除供应本国外还出口到美国、日本、德国等国。

西班牙也有大量优质的天青石储量。主要生产矿山 Monte vive 的年产量达 6 万吨, 品位高达 90% ( $\text{SrSO}_4$ ) 以上, 经手选后就得到  $\text{SrSO}_4$  含量 90 ~ 94% 的精矿。矿石大部分出口到日本, 仅有小部分供应给本国  $\text{SrCO}_3$  厂作原料。

土耳其发现的天青石远景储量达 200 万吨, 并且品位超过 90%。全国的天青石生产由该国天青石生产公司—Barit Maden 承担。所有的天青石原料以及手选尾矿处理后所有的精矿都出口到德国和苏联。

英国唯一的天青石生产公司—Bristol 矿物公司正面临储量逐年缩小的危机。该公司的天青石产量在 1982 年达到峰值—1.8 万吨。公司所采原矿经手选、水洗和筛分后,  $\text{SrSO}_4$  含量提高到 92 ~ 94%, 进一步处理后销往北欧, 少量出口到澳大利亚, 本国的用量仅占 4% 左右<sup>[5]</sup>。

中国的锶矿资源也较丰富, 现已勘探了两种不同成因的锶矿床: 即江苏溧水次火山—中低温热液充填型脉状天青石矿床和重庆合川层控型天青石矿床。<sup>[6]</sup>地质探明储量均达 100 万吨以上, 总储量为 500 万吨。但是, 中国天青石矿大多数矿山商品矿的品位为 65 ~ 90%<sup>[1]</sup>, 中国的锶矿资源主要集中在四川重庆地区, 该

地区已探明的储量占全国总储量的95%以上。四川重庆与江苏溧水已形成国内两大重要的锶矿基地,年开采能力达万吨以上。产品主要供所属的 $\text{SrCO}_3$ 生产厂使用。其余地区中、小型天青石矿山的产物也基本出售给国内的 $\text{SrCO}_3$ 生产厂。部分富余的天青石出口到日本、意大利等国。

美国、日本、德国都是世界上最大的锶消费国,但又都是贫锶国。日本国内没有天青石生产,完全依赖进口维持国内 $\text{SrCO}_3$ 厂的生产。美国虽探明一定储量的天青石矿资源,但全都因质量太次不具备使用价值。

### 三、天青石及其锶盐的生产

天青石生产并不是以得到高品位精矿为目的的。虽然,目前仍有一些以出售原矿为主的矿山和企业,但是,世界上绝大多数的天青石资源拥有国都已将初级品(原矿或精矿)和含锶化合物( $\text{SrCO}_3$ 等锶盐)的生产溶为一体。所以,天青石及其锶盐的生产应包括选矿和锶盐生产两个部分。

#### 1. 选矿

重选是天青石选矿中最常用的方法,最普遍的流程结构为以跳汰—摇床为主体的流程。跳汰用于处理粗粒物料,而摇床用于细级别物料。英国 Bristol 矿物公司,印度得利切诺保利公司以及我国一些选厂在天青石重选中采用的都是这种流程结构。

对于品位偏低的矿石,在跳汰前增加一道预选工序往往能收到较好的效果。土耳其 Barit Madon 公司在处理本公司 $\text{SrSO}_4$ 含量为62%的手选尾矿时,以一台 Stripa 重介质分选机作为预选设备,预选可使 $\text{SrSO}_4$ 含量提高到77%,回收率为91%。进一步破碎后,-10+3mm的物料进入跳汰,而-3mm用摇床处理。混合精矿中 $\text{SrSO}_4$ 含量达96%以上<sup>[8]</sup>。

浮选由于需要细磨并且要用多种药剂,因而成本比重选高些。浮选主要用于处理组成复杂,品位低的天青石矿石。就近期的应用和研

究而言,浮选用于处理天青石矿石是完全可行的。加拿大,苏联,波兰等国都对天青石的浮选进行过较为深入的研究。塞浦路斯某公司用浮选法处理 $\text{SrSO}_4$ 含量60~90%,且与粘土、石灰石和石膏共生的天青石矿,得到 $\text{SrSO}_4 \geq 94\%$ 的精矿产品。详细流程未见报道<sup>[5]</sup>。

除常用的天青石捕收剂油酸盐和胺类以外,波兰的研究结果还表明,在存在石灰石的情况下,8-羟基喹林对天青石有较强的捕收能力。8-羟基喹林与天青石表面的Sr形成稳定、疏水的络合物<sup>[9]</sup>。苏联的试验也证实了这一点。

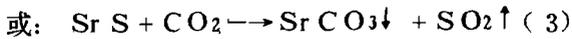
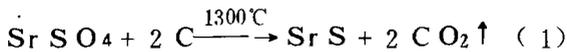
西班牙在天青石和方解石的纯矿物浮选分离试验中发现,当以油酸钠作捕收剂时,在pH5~12范围内,偏硅酸钠对方解石的抑制作用都比天青石强。但是,当油酸钠的浓度较高时,偏硅酸钠的抑制作用明显降低<sup>[9]</sup>。不难看出,这是因为油酸钠也是方解石的良好捕收剂的缘故。天青石与其伴生矿物方解石、重晶石、赤铁矿等相似的表面性质是造成浮选难度大的主要原因。因而,浮选分离的关键是选择合理的调整剂和抑制剂并严格控制矿浆的pH值。

#### 2. 锶盐的生产

化工处理就是将天青石精矿加工成 $\text{SrCO}_3$ , $\text{Sr(NO}_3)_2$ 、 $\text{SrCl}_2$ 、 $\text{SrTiO}_3$ 以及其它形式的锶盐。在众多的锶盐中,最重要的当数 $\text{SrCO}_3$ ,它不仅用途最广,用量最大,而且还可转化为其它形式的锶盐。例如,将 $\text{SrCO}_3$ 置入一个钢反应器中,加入 $\text{HNO}_3$ 或 $\text{HCl}$ 便可得到 $\text{Sr(NO}_3)_2$ 或 $\text{SrCl}_2$ ;以四氯化钛,氯化锶为原料,采用“化学液相共沉法”可制成高纯钛酸锶;用于金属材料工业中的金属锶及锶合金也是以 $\text{SrCO}_3$ 为原料制成的。 $\text{SrCO}_3$ 的生产方法主要有还原法和复分解法两种,但以前者居多。世界上几家大型的锶盐生产企业,如,德国Kali-Chemie,墨西哥CMV, Sale Y Oxidos等,都是采用还原法生产。

还原法又称黑灰法,也就是经高温焙烧后,

使  $\text{SrSO}_4$  转换成  $\text{SrCO}_3$ 。主要化学反应为:



复分解法主要是利用纯碱或碳酸铵与除钙后的天青石发生复分解反应,生成粗碳酸锶。酸溶,精制后再与纯碱或碳酸氢铵反应生成  $\text{SrCO}_3$ 。

复分解法和还原法二者各有所长。在产品质量方面,二者的差别不大;但就成本而言,由于复分解法流程长,需要的化工原料多,因而成本比还原法高40%以上。这也许是大多数厂家选用还原法的主要原因之一。复分解法最大的优点是废液易处理,这一点是还原法无法与之相比的。

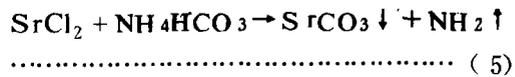
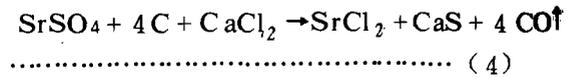
还原法生产中含硫废液的污染已引起世界各国的关注。前几年我国江苏溧水化工厂曾试验过用气提法处理硫酸铵废液,收到较好效果;国外以  $\text{CO}_2$  代替  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  对  $\text{SrS}$  精制液进行碳酸化,从而避免含硫废液的产生。目前,仍有若干新的工艺、新的设备正在试验之中。减少污染是还原法发展的主要方向之一。

最近国内正在试验的新方法是,利用浸出的方式使  $\text{SrSO}_4$  直接转换成  $\text{SrCO}_3$ ,这对于降低成本,减少污染有极大的吸引力。具体方法是以碳酸钠溶液作浸出剂,直接浸出天青石精矿。试验所用矿石为天然高品位天青石原矿。原矿经破碎,磨矿,筛分成  $-65+100$ ,  $-100+150$ ,  $-150+200$ ,  $-200+250$ ,  $-250+325$  目几个级别,供试验用。试样中  $(\text{Ba}+\text{Ca})$  杂质含量  $< 1\%$ 。浸出试验在 0.25L 的烧瓶中进行。浸出剂  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  浓度为 0.2 mol,浸出时间 300 分钟,温度 328 K,  $\text{PH} 8 \sim 12$ 。结果分析表明,浸出产物全部为  $\text{SrCO}_3$ 。这种方法目前还处于试验阶段<sup>[10]</sup>。

国内近两年推出的新工艺主要有钙法和热法两种。

钙法的主要流程是还原—复分解—一步转化

法生成,以氯化锶为主的黑灰,然后通过水溶、精制后再与碳酸氢铵反应,制取  $\text{SrCO}_3$ 。主要化学反应为:



四川省某化工厂已采用该工艺生产出合格的  $\text{SrCO}_3$  产品。原矿为四川大足、铜梁、合川产的天青石,含  $\text{SrSO}_4 70 \sim 85\%$ ,  $\text{CaSO}_4 > 8 \sim 15\%$ ,  $\text{BaSO}_4 3 \sim 15\%$ ;  $\text{SrCO}_3$  产品纯度达 97%,  $\text{CaCO}_3 \leq 1$ 。

该工艺的不足之处是,钙法生产中的中间媒介  $\text{CaCl}_2$  对产品成本的影响较大。最近,  $\text{CaCl}_2$  价格有所上浮,因而致使  $\text{SrCO}_3$  成本和价格也随之上升。另外,沉淀反应中,碳酸氢氨水溶液损失较大;碱土金属分离中,锶盐损失率比较高<sup>[11]</sup>。

热法是建立在还原法基础上的一种新工艺。该工艺是四川泸州化校与川东南地质队联办厂为处理四川唯一的菱锶矿而设计的。流程为:先将锶矿和焦炭按一定比例混和后,在  $1290^\circ\text{C}$  的高温下煅烧;所生成的含  $\text{SrO}$  和其它金属氧化物的熟料用水浸取,制成粗锶液;经沉淀,过滤,除去杂质后,加入  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$ ,生成  $\text{SrCO}_3$  沉淀;最后再分离,烘干,粉碎即得产品。

联办厂已利用该工艺生产出了全省一流的  $\text{SrCO}_3$  产品,年产量为 500 吨。所用原料为四川铜梁县菱锶矿。原矿含  $\text{SrSO}_4 79.39\%$ ;  $\text{CaCO}_3 19.06\%$ ;  $\text{MgCO}_3 0.8\%$ ;  $\text{Fe}_2\text{O}_3 0.31\%$ 。产品  $\text{SrCO}_3$  纯度高达 98.69%;  $\text{Fe}_2\text{O}_3 0.0054\%$ ;  $\text{CaO} 0.22\%$ ;  $\text{Cl}^- 0.009\%$ ; 各项指标均超过四川外贸标准。产品几乎全部出口。此外,生产流程中的最终浸渣还可供建筑行业用,锶浆中分离出的清液为稀氨水,可用于农业生产,也可从中回收碳酸氢氨。这样就使原料得到了综合利用。目前生产中存在的主要问题是,煅烧和浸取的工艺条

件难以控制,矿石中的铈难以回收干净,浸渣中所含铈仍需采用酸法处理回收<sup>[4]</sup>。

#### 四、铈化合物的应用及市场分析

用于制造彩色电视玻璃:  $\text{SrCO}_3$  能够吸收电视机中阴极电势所放出的大量伽玛射线。并且能改善折射率及融融,玻璃的流动性。该应用中需要高纯度的  $\text{SrCO}_3$  (98%) , 并且不含任何有害元素。用于该领域的  $\text{SrCO}_3$  占总量的 70%。

用于生产磁性材料: 由于铈铁氧体磁石比钡铁氧体磁石具有更高的矫磁力; 更容易脱磁, 因而可用于一些需要脱磁的领域。例如, 以陶瓷的形式用于自动化生产, 铁矿石分选, 直流马达等方面。用于制铈铁氧体的  $\text{SrCO}_3$  中磁性有害的杂质,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Ca}$ ,  $\text{Na}$  的含量必须低于 0.2 ~ 0.25%;  $\text{MgO}$  和  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  的含量应在 0.1% 以下<sup>[5]</sup>。

用于制电子陶瓷材料: 用钛酸铈粉体制成的电子陶瓷材料, 具有介电损耗低, 热稳定性好等优点。现已用高纯的钛酸铈制成了 PTC 热敏电阻, 晶界层电容器等高性能、高可靠性、体积小的电子元件。生产  $\text{SrO} \cdot \text{TiO}_2$  需要高纯度的  $\text{SrCO}_3$ 。

用于陶瓷、油漆、牙膏等方面的  $\text{SrCO}_3$  对其产品质量要求不太高。一些低档产品可用于这些领域。

在上述几个主要的消费市场中, 最为强大的要数彩色电视玻璃市场。世界上最大的  $\text{SrCO}_3$  消费国——中国和日本在该领域的  $\text{SrCO}_3$  用量分别达到 65% 和 80% 以上<sup>[1]</sup>, 而且近几年还有上升的趋势, 该领域将继续成为  $\text{SrCO}_3$  的最大消费市场。

用于磁性材料及电子陶瓷生产的  $\text{SrCO}_3$  近十几年也增长迅速, 尤其是在一些发达国家更是如此。1985年, 美国用于生产磁性材料的  $\text{SrCO}_3$  为 5%, 日本为 15%。据美国预测, 到 2000年, 用于生产铁氧体的铈量将达 2000万吨, 几乎为目前的一倍<sup>[5]</sup>。我国近几年也先后

从国外引进了四条专用磁性材料生产线。估计, 今年国内磁性材料的产量将达 2 万吨以上, 碳酸铈的需求量将超过 2000 吨<sup>[1]</sup>。尖端技术及电子计算机工业的迅速发展预示着电子陶瓷和磁性材料领域将会成为稳定且有潜力的  $\text{SrCO}_3$  消费市场。

其它一些市场, 如制糖、油漆、焰火、普通陶瓷、牙膏、油漆等近几年内将保持稳定, 不会有太大增长。

碳酸铈产品市场却不象消费市场那么令人乐观。尽管  $\text{SrCO}_3$  需求量逐年增长, 但是与每年新增加的  $\text{SrCO}_3$  产量相比却相差甚远。世界每年新增加的  $\text{SrCO}_3$  产量大大超过需求量的上升值, 这种状况将一直维持到 2000 年。几年前市场供不应求的繁荣景象早已被产品过剩的忧虑所代替。世界上所有的大、中、小铈盐生产企业都已面临市场供过于求的威胁。

毫无疑问, 这种供过于求的市场状况将会使大量的产品积压, 但是并非所有的产品都会遭遇这样的厄运。在将来的市场, 高纯度, 特级品  $\text{SrCO}_3$  将会有极强的竞争能力, 纯度 97% 的  $\text{SrCO}_3$  将会走俏。

#### 五、结 语

天青石工业在近十几年内发展极为迅速。80 年代初期, 天青石矿山、铈盐生产企业以及消费市场都达到了历史上前所未有的最佳状态。80 年代后期,  $\text{SrCO}_3$  产品市场的不景气, 使铈矿工业受到极大影响, 一些  $\text{SrCO}_3$  生产厂因此而减产。许多铈矿生产企业都纷纷将精力转向铈盐的生产技术上, 企图以低成本、高纯度、多档次的产品来为自己的产品打开销路, 而对于伴生矿产的综合利用无暇顾及。目前, 除重晶石在  $\text{SrCO}_3$  生产厂被加工成产值较高的  $\text{BaCO}_3$  以外, 其它伴生矿物, 如方解石, 赤铁矿, 石膏等的综合利用尚未引起足够重视。

#### 主要参考文献

(下转第 39 页)

宝石的最大魅力在于它的鲜艳的色彩和耀人的光泽,这往往可以通过对宝石成品的背衬和组合而得到加强,所谓背衬就是使用内亮的、有色的金属箔片(如银、锌)、有色的布、甚至蝴蝶翅膀和孔雀羽毛衬在宝石背后,以增强反射光,如在宝石底下或金属箔表面刻上星彩痕迹,看上去会产生星彩效果。将几种宝石或其他材料组合在一起而构成新的宝石,称为组合宝石。组合的方式很多,有夹层、衬底、附生等,也可以是几种(二种、三种)宝石的组合,也可以是宝石和材料的组合。如二颗小粒的祖母绿、红宝石、金刚石可粘结成一块较大的宝石,用钛酸锶为底,上面冠以蓝宝石或尖晶石的“帽子”,这样既发挥了钛酸锶的高折射率、高色散的特点,又有坚硬的表面,因而酷似金刚石。用两块海蓝宝石或祖母绿,中间夹上一层绿色的颜料,组合后的宝石与祖母绿极其相似,使人难以分辨。这种背衬和组合工艺在充分利用低档资源、小粒宝石,提高宝石价值上有较大的意义。

总的说来,矿物的颜色、透明度、光泽、折射率等光学性质是由其内部电子能级和能带所决定的,而矿物的元素组成、结构决定了它的能级和能带,矿物的内在特殊构造(如颗粒排列、裂隙等)是形成干涉、衍射、色散、散射的基础,光照下产生的猫眼、闪光、彩晕等特殊现象具有较好的色彩效果。因此,对宝石矿物进行人工改善,首先应当深入了解矿物成因和地质环境,通过各种手段(如光学显微镜、电子探针、X射线衍射仪、红外分光光度计等)对其物质组成和结晶构造进行深入研究,了解致色因素。用差热分析仪了解其高温下相变情况通过光学显微镜、扫描电镜观察了解其

表面形貌(如裂隙分布等)和包体分布,以分析改色过程中可能发生的变化。从而确定该宝石矿物能否改色、用什么方法改色和具体怎样改色,只有这样,使改色工作更具有针对性、科学性,通过反复实践,才会达到较好的改色效果。

随着自然科学的不断进步,人们对宝玉石颜色的认识从宏观进入微观;新技术、新方法的不断出现,使宝玉石改色从几千年前的火烧改色进入了当今的高科技领域,并日臻完善。如自动记录温控仪不仅可以控制炉温,又可控制气氛大大提高了改色效果和重复性。核反应堆的建立为某些矿物的改色提供了极好的手段,激光技术的发展为(激光)消除金刚石包体提供了新的方法。科学技术的发展是无止境的,本文所介绍的改色方法仅仅是初步的,人工改色处理方法并非仅限于此,如最近激光加色技术和等离子溅射方法在宝玉石改色上的应用已初显成效。笔者认为:宝玉石颜色改善正是人类充分发掘宝石内在的自然美,随着人们的不懈努力进取,必然会有更大的进步,天然宝石的内在潜力必将得到更大的利用和发挥。

### 主要参考资料

- (1) 王濮、潘兆橐等编著 系统矿物学 地质出版社 1982
- (2) 浙江大学等编 硅酸盐物理化学 中国建筑工业出版社 1980
- (3) 中国地质宝石矿物公司北京宝石研究所编 宝石 No 1、2、3-4
- (4) Kurt Nassau Gemstone Enhancement London 1984
- (5) Lapidary Journal Vo. 41-11(1988) P 32-
- (6) 谷秀兰《四川科技情报》1990 No 3
- (7) 盛东劲《四川科技情况》1986 No 6
- (8) 《Industrial Minerals》1988 No 3 增刊号
- (9) C·A·vol·112
- (10) 《Hydrometallurgy》1989 No 6
- (11) 王志坚《无机盐工业》1990 No 4
- (12) 雷建恒《无机盐工业》1990 No 1