

# 山东蓝宝石资源的特征及其开采利用方向

韩 美

(山东师范大学地理系, 济南 250014)

**摘要:** 运用野外实地考察、钻孔勘探、室内样品分析等方法, 对山东蓝宝石的赋存特征与规律进行了研究, 对蓝宝石的质量做了深入探讨, 并针对其特点提出了今后找矿和加工利用的方向。

**关键词:** 蓝宝石; 资源特征; 找矿方向; 山东。

中图分类号: P619.28<sup>+</sup>1 文献标识码: A

文章编号: 1000-2383(2000)06-0599-05

**作者简介:** 韩美, 女, 副教授, 1963年生, 主要从事资源与环境问题研究。

山东蓝宝石分布于郯庐断裂带中段西侧的玄武岩分布区, 隶属昌乐、临朐两县, 是目前我国发现的最大宝石矿之一。本文对其赋存特征、质量特征及找矿方向和加工利用方向作了探讨, 以期对蓝宝石资源的勘探开发及合理利用提供科学依据。

## 1 蓝宝石赋存特征

### 1.1 原生矿与砂矿并存

原生矿与砂矿并存是山东蓝宝石资源最突出的特征之一。世界上已发现的蓝宝石有两种类型: 一种是变质岩源岩型, 另一种为玄武岩源岩型。前者如缅甸、泰国、斯里兰卡的蓝宝石, 后者如澳大利亚、中国、越南南方的蓝宝石。无论哪种类型的蓝宝石几乎全部产在砂矿床中, 因为, 刚玉通常仅作为副矿物散见于变质岩和玄武岩中, 其中虽有色丽透明者可作宝石原料, 但由于产出分散稀少又不易提取而不具实际经济价值, 只有通过风化分解、搬运富集之后才能形成具有开采价值的蓝宝石砂矿。山东不仅发现了蓝宝石砂矿, 而且还发现了品位高、储量大、开采价值高的蓝宝石原生矿, 这在世界上是罕见的。

山东之所以形成丰富的蓝宝石原生矿与其独特而有利的成矿条件密不可分: (1)地幔深处富铝贫硅的玄武岩浆为蓝宝石形成奠定了物质基础。(2)郯庐深大断裂带为含矿玄武岩浆的快速喷发提供了必要

通道。(3)含矿玄武岩浆所处的高温(1 186℃±)、高压(2.4~3.0 GPa)、低氧逸度(681 Pa)<sup>[1,2]</sup>环境为蓝宝石结晶与保存创造了良好条件。(4)含矿岩浆快速(1.1 km/a)<sup>[1]</sup>上升为形成原生矿起了决定性作用。在上述条件的综合作用下, 蓝宝石在地幔深处从富铝贫硅的岩浆中晶出, 然后被深部的碱性玄武岩浆捕获而带至地表, 赋存在玄武岩中, 形成丰富的蓝宝石原生矿。

### 1.2 原生矿赋存特征

**1.2.1 矿点分布特征** 目前已发现的蓝宝石原生矿矿点主要有方山、邱家河、牛山、朐山, 这些矿点均位于郯庐断裂带中段西侧昌乐—临朐断陷盆地内。除朐山矿点赋矿玄武岩为中心式喷发外, 其余火山均为裂隙式喷发, 且多以SE—NW向展布为主。

**1.2.2 寄主岩石特征** 蓝宝石寄主岩石为牛山期玄武岩。受郯庐断裂带活动性影响, 昌乐—临朐盆地于晚第三纪发生过3次大的岩浆喷溢活动, 分别是中新世牛山期(N<sub>1n</sub>)、山旺期(N<sub>1s</sub>)及上新世尧山期(N<sub>2y</sub>), 其中牛山期岩浆喷发强度大、次数多、玄武岩厚度大、分布广, 是火山活动最强烈的一期<sup>[3]</sup>。蓝宝石原生矿就赋存在牛山期玄武岩中, 岩石K—Ar年龄为(14.18±0.79) Ma, 含矿层岩性为碱性橄榄玄武岩(图1)和碧玄岩, 在化学组成上富Al, Ti, Na, Zr, Nb, Ga, Ta, Th, 低Si, Mg, Ba, Cr, Cu, Ni, Sc。

**1.2.3 矿体埋藏特征** 矿体以层状赋存于玄武岩中, 初步探明分两层: 第一层在方山顶以缓倾斜状出现, 层厚1.5~3 m, 刚玉或蓝宝石呈包裹体状产于



图 1 碱性橄榄玄武岩(比例尺 1:3)

Fig. 1 Alkalic olivine basalt

灰黑色橄榄玄武岩中;第二层在邱家河一带出露,主矿层厚 40 cm 左右,岩石呈缓倾斜的层状,刚玉或蓝宝石在岩层中星散分布,两矿层或出露地表或浅埋于 1~2 m 以下,易于开采。

**1.2.4 矿石包体特征** 原生矿层中含有大量二辉橄榄岩、二辉岩的深源包体,并有巨晶辉石(图 2)、斜长石及刚玉等矿物包体。以二辉橄榄岩包体最丰富,该包体强烈蛇纹石化,呈团块状,直径 6~15 cm,个别可达 30 cm。根据包体特多(含量可达矿体总体积的 30%~40%<sup>[4]</sup>)可将矿层与上、下层围岩(亦为橄榄玄武岩)明显区别开来。邱家河原生矿层中含大量斜长石巨晶包体,且具有斜长石越多,蓝宝石越富集的规律。化学分析表明,含矿橄榄玄武岩、



图 2 巨晶辉石包体(比例尺 1:1.5)

Fig. 2 Inclusion of megacrystalline augite

碧玄岩与非含矿同类型岩石的最大差别在于前者含大量深源包体及巨晶矿物。

### 1.3 砂矿赋存特征

目前区内已发现的蓝宝石砂矿区主要有五图—郑母、北岩、北展、大柳树、崔家庄、上林等。纵观这些矿区有以下赋存特征。

(1)矿体呈层状,埋藏浅,易开采。该区蓝宝石砂矿多见于冲洪积物和残坡积物中。冲洪积砂矿多分布于新、老河床中,一般有 2~4 层含矿层,每层厚 0.5~1 m,最大埋深 10 m 以上。含矿层的层数、厚度和埋深取决于河流的规模。如位于白浪河主流上的大柳树矿区,矿层埋深可达 7~10 m,矿体 2~4 层,而支流上的矿区,矿层埋深仅 3~5 m,而且较薄。残坡积砂矿见于原生矿附近的残坡积层中,矿层厚 1~8 m,由棱角状含矿母岩(玄武岩)及其风化物组成,有时亦夹有石灰岩的风化残块。含矿层岩石呈棱角状,未经搬运和胶结,易于选矿,开采时可用手直接选取。

(2)属近源砂矿。矿区距矿源数 km 至十余 km,在近原生矿的小溪、小河上游常形成较富矿层。如在靠近方山原生矿体的白浪河、丹河上游沉积了五图、大柳树、北展、北岩矿床。

(3)矿体严格受地形地貌控制。冲洪积矿床平面形态和冲沟、洼地轮廓基本一致,呈狭长带状、树枝状、产状近于水平或向沟谷下游倾斜。残坡积矿床平面形态与山形展布轮廓一致,矿层厚度在山脊、山顶处薄,山腰及近山脚处厚。

(4)宝石矿中有一些伴生矿物。山东蓝宝石的主要伴生矿物有镁铁尖晶石、锆石、石榴石、辉石、歪长石等,可作为寻找蓝宝石的标志。

## 2 蓝宝石找矿方向

(1)以研究和普查新生代火山岩盆地的玄武岩为龙头,着重研究与蓝宝石矿床关系密切的 SE—NW 向展布的裂隙式喷发火山,同时重新评价中心式喷发火山岩体的含矿性。重点对牛山、胸山、大柳山等进行全面仔细的研究。(2)抓住赋矿主要层位碱性橄榄玄武岩,其中尤以富含深源包体和巨晶刚玉、斜长石、辉石、橄榄石、伴生锆石、尖晶石、石榴石、金红石等副矿物,在化学组成上富 Al, Ti, Na, Sr, Zr, Nb, Ga, Ta, Th, 低 Si, Mg, Ba, Cr, Cu, Ni, Sc 的含矿有利层位进行构造地球化学研究,确立成矿构造地

球化学障所在。(3)原生矿研究和砂矿研究相结合,在砂矿富集区或发现地点沿古、现代河道追寻原生矿床,对乔山、苍山、桃花山、黄山、丛山、蟠龙山等进行重点考察。

在寻找砂矿时应做到:(1)以已发现的原生矿点玄武质火山为龙头,沿四周坡积层及古、现代水系搜索,尤其要注意较大水系中游第四纪冲积层和古河道的砂矿寻找。(2)特别注意某些现虽未发现原生矿,但其顶部缺失或出露较薄尧山组地层的火山,在其四周可能会找到砂矿。(3)加强对玄武岩基底上古风化壳蓝宝石砂矿的找矿。

### 3 蓝宝石质量特征

山东蓝宝石颜色以深靛蓝色为主,较鲜艳纯正。晶体较完整,颗粒大,透明度好,出成率高。迄今为止,是国内质量最好的蓝宝石,在世界玄武岩源岩类蓝宝石中占有重要地位,可与澳大利亚蓝宝石媲美,但其质量次于缅甸、斯里兰卡、印度克什米尔的变质岩源岩类蓝宝石。山东蓝宝石质量受多种因素制约,其中裂开、熔蚀构造、色带、包裹体是主要因素。它们一方面通过影响蓝宝石的颜色、透明度、形状、大小、出成率等降低蓝宝石的质量,另一方面在某些特殊情况下,又可形成星光蓝宝石、魔彩蓝宝石、花色蓝宝石等稀有珍贵品种,提高蓝宝石的价值。

裂开是影响蓝宝石形状、大小、出成率及加工成败的重要因素。山东蓝宝石中存在严重影响质量的裂开。这些裂开开展广、平行性强,常使宝石粒度变小成为薄片,出成率大大降低。本区裂开最发育的原料产自崔家庄矿区,部分原料上四组裂开都很发育,使宝石外貌呈现为似层状,严重时宝石不能利用。星光宝石中裂开常见,且多平行于 $\{0001\}$ ,因而在磨制过程中常造成平行星光宝石表面的裂口、破裂而使宝石产品成为残次品。

熔蚀作用是影响蓝宝石晶体形状的主要因素。本区遭受熔蚀的晶体只占一部分,受蚀晶体的晶面、晶棱均轻度圆化,晶面变得光滑闪亮。熔蚀严重的个体其某一侧面或一端被熔掉。受蚀晶面上可出现一些规则的负性凹坑和正性突起;前者如三角形小坑、倒置三角形蚀坑及由此连结成的菱形网格;后者类似砖块平行C轴叠加于六方双锥晶面上,表现为正性的长方条带。有时,也可出现不规则的较大蚀坑。总之,熔蚀作用通过影响蓝宝石形状而降低蓝宝石

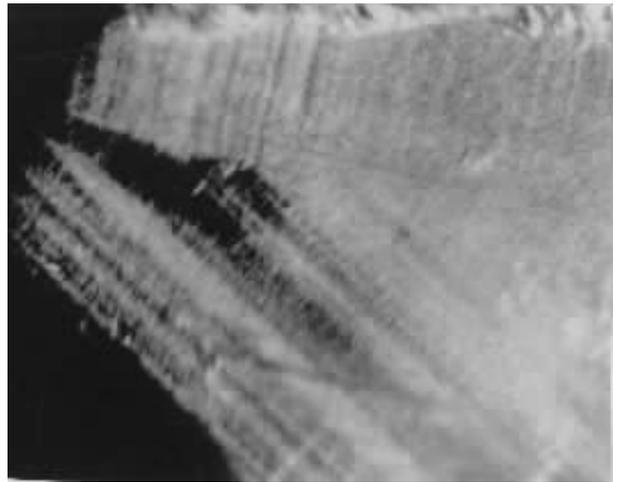


图3 宝塔飞檐(比例尺1:3.4)

Fig. 3 Pagoda

的质量。

色带常降低宝石的级别,但色带的特殊组合或配置,也可形成价值昂贵的画意蓝宝石。本区蓝宝石多出现多色色带,常见组合为:带的外环为蓝色,而黄或玫红、棕等色带组成中心环。但也有玫红色带成为外环者,甚至黄、蓝、红三种色带并存。这种多种色别的宝石是依据俏色设计成珍贵宝石的基础。反应色带对宝石质量有较大影响,是花色蓝宝石品种大量出现的主要原因。本区花色蓝宝石约占宝石总量的10%~15%;色带特殊组合可形成具有神奇艺术画面的画意蓝宝石。当宝石中两种以上对比明显的色带或色块分布不规则、不均匀时可构成画面,如“熊崽思亲”。本区蓝宝石色带多呈六边形、三角形、四边形、五边形等规则形状,有时可因菱面体生长纹与六方双锥生长纹间的巧妙结合,局部缺失、变形而构成特殊的图像,如“宝塔飞檐”(图3)。总之,色带一方面影响蓝宝石质量,降低蓝宝石等级,同时在特殊情况下又可组合成奇特画面,形成画意蓝宝石。

包裹体影响宝石的纯净、透明度、颜色和外观,严重者影响宝石品级优劣和宝石车工款式的选择。但如果包体颜色、形态特别,或在晶体内作有规律的排列,则有时不仅无害,还可形成特异宝石、星光宝石。调查发现,山东蓝宝石中的包裹体主要产生如下作用:(1)影响蓝宝石颜色和透明度。影响山东蓝宝石颜色和透明度的包裹体主要是分散状不透明包裹体,含这种包裹体群越多,颜色越深,透明度越低,宝石质量越差,并且这种宝石的颜色和透明度不易改善。黑色钛铁矿、褐色或赤红色的铁氧化物( $Fe_2O_3$ )

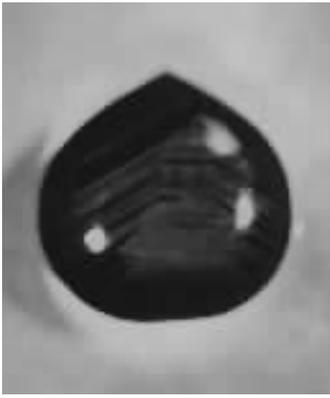


图 4 金红石作  $\gamma$  型定向( $\times 6.7$ )

Fig. 4  $\gamma$ -type orientation of rutile

•  $n\text{H}_2\text{O}$ ) 是山东蓝宝石主要致色包体。这些包体颗粒细小(一般为  $\mu\text{m}$  级),呈分散状态,对蓝宝石背景色及透明度起着重要作用。(2)形成星光蓝宝石。山东蓝宝石含金红石晶质包裹体。包裹体呈针状、柱状、粒状和不规则形状,其中针状体的排列方向是决定是否出现星光的主要条件。当针体只按  $\gamma$  型(图 4)或  $a$  型取向,且针体的长短、密集度、均匀度均适宜时可形成简单六射星光。当针体按  $m$  型取向,即  $\gamma, a$  两种取向叠合在一起并彼此相交  $30^\circ$  时,就形成了双重星光,出现 12 条反射光带。(3)形成魔彩蓝宝石。在特殊情况下,包裹体的存在会产生魔彩效应,形成魔彩蓝宝石。产生魔彩效应的原因有二:一是包体与蓝宝石间存在不平整、不规则片状空隙,这种空隙厚度约  $580\sim 740\text{ nm}$ ,与红、黄光波的波长相近;二是由异形包体形成,某些气液包体具有不规则形态,包体与周围空间的负晶轮廓一起构成某种画面,如“西施浣纱”。异形包体也可引起光的干涉作用,包体、裂隙面及干涉效应可综合作用组成画面,如“一帆风顺”。总之,山东蓝宝石中包裹体的存在一方面影响了宝石的颜色和透明度,降低了宝石等级;另一方面在一些特殊情况下又可形成星光宝石及魔彩宝石等珍稀品种。

## 4 蓝宝石加工利用方向

### 4.1 使优质原料尽善尽美

山东确有少数金黄、果绿、橙粉、紫红、浅蓝、浅紫红者,它们透明度高( $T=35\%\sim 83\%$ ),饱和度高( $PT=12\%\sim 75\%$ )。对这些“天生丽质”者不需改色,只需加工前认真做些矿物学研究和宝石学方面

的设计,使其尽善尽美,加工成刻面宝石,高度要足够,使其不漏光。一般高为宽的  $64\%$  以上,原料颜色越浅该比例应越大( $69\%\sim 70\%$ )。冠面不要过大,为宽的  $55\%$  左右较适宜。诸翻的角度要规范,抛光粉要细,这样加工出的刻面“火”好,色好,亮度高,瑰丽无比。

### 4.2 使星光原料物尽其用

星光蓝宝石的出现,大大改善了山东蓝宝石在市场上的地位,博得许多宝石界人士和客商的青睐,所以在宝石加工过程中要认真选料,正确判断,充分利用能够加工成星光宝石的原料。(1)棕—褐色、不透明或微透明的蓝宝石。因含大量平行于三个晶轴的显微针状金红石包裹体,经定向加工后可出现六射“星光”,故可直接加工成底面垂直晶体  $C$  轴的凸面宝石,其长轴方向应平行于六边形环带的边或内角平分线,星线多为红棕色、黄棕色。(2)少数具色带的原料也可加工成星光宝石。如对棕褐色夹乳蓝色条带者,定向加工后会出现十二射星光,一组星线为棕色,另一组星线为蓝色,二组夹角  $30^\circ$ 。再如乳蓝夹蓝白色半透明者,同样磨制可出现蓝色星光,很珍贵,只是其长轴应垂直六边形环带。(3)对星线不清或不完整者进行弱氧化气氛的“热处理”,使晶格中可能存在的钛离子游离出来,再与气氛中的氧生成  $\text{TiO}_2$  微细包裹体。此种处理可在添加钛粉的条件下进行。

### 4.3 使缺陷原料得到改善

(1)对深蓝者进行减色处理,同时提高其透明度。关于这方面的研究很多,此不赘述。据市场统计,深蓝色宝石改色后山东蓝宝石原料利用率由原来  $80\%$  增加至  $85\%\sim 90\%$ ,增值  $15\text{ 元/g}$ ,而改色成本为  $5\text{ 元/g}$ ,净增值  $10\text{ 元/g}$ 。

(2)对具乳白色、蓝白色色带者进行还原气氛的“热处理”,使其增蓝和提高透明度,并达到减弱条带界限使之更趋均匀之目的。对具红蓝相间色带的原料在弱氧化—氧化条件下“热处理”,可使红色部分扩大,且颜色更鲜艳,透明度提高。

### 4.4 使加工深度更加提高

据调查,山东蓝宝石年平均加工能力为  $320\text{ 万克拉}$ ,而实际年平均加工量仅为  $46\text{ 万克拉}$ ,相当于年平均开采量( $606\text{ 万克拉}$ )的  $7.6\%$ ,年平均加工能力( $320\text{ 万克拉}$ )的  $14.4\%$ ;说明一方面实际加工量未能满足已有的加工能力,造成机器闲置;另一方面大量蓝宝石原料以很低的价格流向国外,造成资源

严重浪费,今后应加强蓝宝石资源管理和加工,禁止原料外流,增加加工量和加工深度,从以出口原料为主转为以出口成品、半成品为主,以赚取更多外汇。

致谢:本文部分照片由李风森提供。

#### 参考文献:

[1] 邹进福,袁奎荣. 山东昌乐新生代玄武岩中蓝宝石宝石学特征及在岩浆中保存条件的探讨(二)[J]. 珠宝,

1991, (1): 17~20.

[2] 董振信,杨良锋,王月文. 山东蓝宝石原生矿床成因探讨[J]. 地球学报,1999, 20(2): 177~183.

[3] 韩美. 山东临朐、昌乐地区晚第三纪火山地貌[J]. 地理研究,1990, (1): 18~26.

[4] 朱而勤. 山东昌乐蓝宝石[M]. 济南: 山东科技出版社, 1997. 8~10.

## CHARACTERIZATION, EXPLORATION AND UTILIZATION OF SAPPHIRE RESOURCES IN SHANDONG PROVINCE

Han Mei

(*Geography Department, Shandong Teacher's University, Jinan 250014, China*)

**Abstract:** In this paper, the occurrence features and patterns of the sapphire in Shandong Province are introduced by field investigation, drilling prospecting and indoor sample analysis. In addition, the paper presents the direction of the future mineral exploration, the factors that may affect the quality of the sapphire, and the ways to utilize the sapphire in the future.

**Key words:** sapphire; resources feature; prospecting direction; Shandong Province.