

新疆阿斯喀尔特 伟晶—气成—热液型绿柱石 及海蓝宝石的研究

冯荫林 江晓波

(冶金部天津地质研究院)

主题词: 绿柱石, 海蓝宝石, 伟晶岩, 白云母花岗岩, 新疆

提 要: 本文根据阿斯喀尔特矿区地质特征, 通过化学分析、包体测温、红外光谱、光学吸收光谱等测试方法的研究, 总结出本区绿柱石及海蓝宝石的矿物特征。

新疆是我国伟晶岩分布的主要地区之一, 它蕴藏着各种类型宝、玉石矿产资源。阿斯喀尔特矿区及其外围是一盛产绿柱石及其变种——海蓝宝石的地区。前人在本区曾对绿柱石进行勘探和开采, 而对其变种——海蓝宝石则未作研究。有鉴于此, 我们对其作了一些研究。

一、矿区地质概况

阿斯喀尔特位于新疆阿勒泰地槽褶皱带的可可托海复式背斜内。矿区出露地层为零星分布的中上奥陶统哈巴河群上亚群(O_2^{ub})的黑云石英片岩、片麻岩及混合岩。断裂呈北西—南东向延伸, 其中分布于矿区中部和西部者为两条压扭性断裂, 位于东部者为张扭性断裂。

(F₁), 属控矿构造。火成岩侵入体在本区广泛发育, 约占矿区面积的 90% 以上, 侵入时代主要为海西期和印支期^{①②}。海西期黑云母斜长花岗岩 (γ_4) 分布面积最大, 占总面积的 70—80%, 印支期白云母花岗岩 (γ_5) 面积最小, 多分布于河谷两侧。

二、绿柱石矿床地质特征

本区绿柱石矿床主要由细粒钠长石化白云母花岗岩 (γ_5^{1-2})、伟晶岩和绿柱石矿带所组成 (图1)。

1. 细粒钠长石化白云母花岗岩

白云母花岗岩 (γ_5) 呈一向外倾斜之岩钟状, 围岩是海西期斑状黑云母斜长花岗岩 (γ_4^n)。其岩相具规律性变化, 由外向内为斑状中粗粒白云母花岗岩 (γ_5^{1-1}) → 中粗粒白云

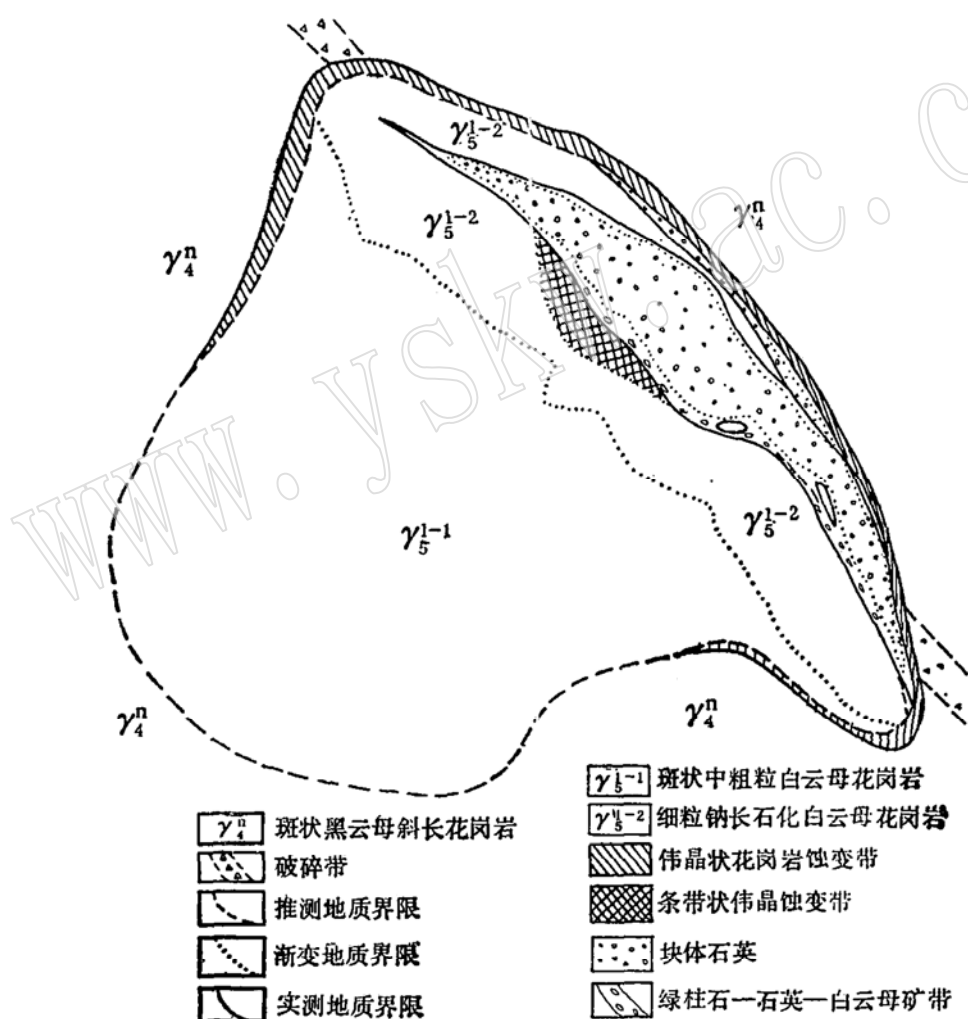


图 1 阿斯喀尔特矿区地表地质图

Fig. 1 Geologic map of the Arskartor mine

- ① 在矿区采集白云母花岗岩全岩样, 通过 V. G354 热离子质谱仪 Rb-Sr 稀释法测定, 等时线年龄为 $234\text{M} \cdot \text{Y} \pm 12\text{M} \cdot \text{Y}$ 。按 W. B. Harland 等 1982 年最新地质年代代表确定为印支期花岗岩。
- ② 铷锶法同位素地质年龄由天津地质矿产研究所黄承义、卢伟测定。

母花岗岩 (γ_0^{1-1}) $\rightarrow$ 细粒钠长石化白云母花岗岩 (γ_0^{1-2})。

细粒钠长石化白云母花岗岩 (γ_0^{1-2})，位于岩钟顶部，绿柱石呈浸染状，晶体一般长0.3—0.8毫米，颜色多为蓝绿色。绿柱石含量由北向南（距矿带由近而远）逐渐变少，至中粗粒白云母花岗岩即消失。

2. 伟晶岩

本区伟晶岩属简单型。它主要由伟晶状花岗岩蚀变带、块体石英带和条带状伟晶蚀变带所组成（图1）。各带特征如下：

（1）伟晶状花岗岩蚀变带 长500米，宽2—10米，形态受白云母花岗岩岩钟控制。本带内部构造较复杂，呈巢状、带状，系以伟晶结构为主夹花岗结构、斑杂构造的似伟晶岩带。外带为奥长石（更长石），内带为微斜长石，尚有石英、白云母和少量锰铝榴石、黄铁矿、辉钼矿等。绿柱石属偶见矿物，呈黄绿色、半透明。

（2）块体石英带 长260米，中间宽30米，向两端逐渐变窄而尖灭，呈北西—南东向分布。向深部延伸60米。块体石英带与含矿带接触部分，颜色呈灰色与灰黑色，破碎，劈理较发育。

（3）条带状伟晶蚀变带 位于块体石英带之南侧，是矿带下盘边缘带，长80米，中间膨大，宽15米，向两端变窄尖灭，向下延伸70米。本带由钠长石（或微斜长石）、白云母、石英集合体组成，它们相互平行，偶尔交错排列。与矿带接触处具有强烈的角砾岩化。绿柱石为浅绿—黄绿色，呈长柱状或放射状晶体，长0.5—3厘米，直径0.3—2厘米，长轴多与条带状构造相垂直。在条带接触面上多见辉钼矿、黄铁矿和锰铝榴石分布。

3. 绿柱石矿带

（1）控矿构造 矿带赋存在岩钟东北侧的穹窿构造中，受张扭性断裂（ F_1 ）和走向北西而倾角不同的两组裂隙控制。

（2）矿带形态、产状 绿柱石矿带以似蛋壳状包裹厚大的块体石英带。依产状划分，分布在石英块体带南侧的称下盘矿带，分布在北侧的称上盘矿带。

下盘矿带是主要含矿带，长265米，宽0.1—5米，产状走向 320° — 345° ，倾向北东，倾角变化大，在矿带膨大部位一般较平缓（ 15° — 20° ），局部接近水平，而在其它部位较陡（ 35° — 50° ）。上盘矿带长125米（断续出现），宽0.1—1.1米，两端与下盘矿带相连，产状与下盘矿带相同，倾角在 40° — 50° 间。

上、下盘矿带于深部由于块体石英带尖灭，两盘汇合变窄，插到细粒钠长石化白云母花岗岩中趋于尖灭，延伸100米。

（3）矿物组合 主要矿物为白云母（30—40%）、石英（20—30%）、绿柱石（2—20%）及最大微斜长石（2—20%）。次要矿物有黄铁矿、辉钼矿、锰铝榴石、辉铋矿、闪锌矿、磷灰石、钽铌铁矿等。

（4）结构与构造 矿带内矿物主要呈伟晶结构，其微斜长石、白云母、黄铁矿、绿柱石等呈巨粒产出。主要矿物粒径为5—20厘米，绿柱石晶体长轴为40—80厘米，直径为5—15厘米。其构造以梳状、角砾状、带状构造为特征。

（5）矿化特征 矿化类型主要有三个基本类型：角砾充填型、裂隙充填型和边界充填型。矿带的产状变化与矿化富集有密切关系，凡矿带分支汇合和倾角突变的地段，矿化最

富,厚度也较大。凡黄铁矿化较强的地段,矿化亦强;黄铁矿化弱的地段,矿化亦差。

三、绿柱石及海蓝宝石的矿物特征

1. 化学成分及其它特征

本区绿柱石化学成分列于表1,与国外资料相比,Al团小于其理论值而为3.4;Be团除黄绿色绿柱石超过理论值6之外,其余在6以内。Be团中代替Be的碱金属赋存于晶体结构的孔道之中,而对颜色、透明度产生影响。从分析结果可知,矿区中天蓝色和深蓝色绿柱石所呈现的颜色和较好的透明度,与Be团中碱金属值含量较低有关(见表1)。

本区绿柱石中深色者为天蓝与深蓝色,浅色者为金绿色。从绿柱石硬度和折光率、比重数据来看(见表2),深色绿柱石比浅色绿柱石的硬度值高;而浅色绿柱石的折光率、比重值比深色者高。

表1 阿斯喀尔特矿区内绿柱石的分析结果(重量%)

Table 1 Chemical analyses of beryls from the Arskartor mine (in wt.%)

名称 含量	天蓝色 绿柱石	浅蓝色 绿柱石	浅绿蓝色 绿柱石	黄绿色 绿柱石	蓝白色 绿柱石	深蓝色 绿柱石	灰绿色 绿柱石	金绿色 绿柱石	白色 绿柱石
SiO ₂	64.10	65.49	64.42	64.57	65.07	64.44	64.37	65.08	64.82
Al ₂ O ₃	16.70	17.27	16.28	17.01	16.57	16.57	16.01	16.65	17.01
TiO ₂	0.027	0.027	0.080	0.027	0.027	0.027	0.053	0.040	0.027
TFe	1.10	0.73	0.83	0.87	0.77	1.31	0.89	1.23	0.83
BeO	13.45	13.43	13.62	15.40	12.98	10.24	13.32	13.74	13.56
MgO	0.05	<0.02	0.28	0.05	<0.02	0.09	0.42	0.02	0.21
CaO	1.49	0.52	1.49	1.43	0.45	1.17	1.62	0.68	1.30
Na ₂ O	0.51	0.24	0.52	0.31	0.41	0.42	0.68	0.39	0.32
K ₂ O	0.06	0.09	0.06	0.05	0.09	0.05	0.05	0.09	0.05
MnO	0.013	0.008	0.012	0.016	0.008	0.018	0.017	0.016	0.016
H ₂ O*	1.94	1.61	2.52	1.26	2.13	1.79	2.79	2.31	1.79

以36(O)为基准阴离子数

Si	10.67	10.90	10.72	10.74	10.83	10.72	10.71	10.83	10.79
Ti	0.0034	0.0034	0.010	0.0034	0.0034	0.0034	0.0066	0.0050	0.0034
Al	3.276	3.388	3.194	3.337	3.251	3.251	3.147	3.267	3.337
TFe	0.138	0.0914	0.104	0.109	0.140	0.164	0.162	0.154	0.104
Ti + Al + TFe	3.417	3.483	3.308	3.449	3.354	3.418	3.316	3.426	3.444

Be	5.38	5.372	5.488	6.16	5.192	4.096	5.238	5.496	5.424
Mg	0.012	<0.005	0.0694	0.0124	<0.005	0.0223	0.104	0.005	0.052
Na	0.165	0.0774	0.1677	0.1000	0.1323	0.1355	0.2194	0.1226	0.1033
Ca	0.266	0.0927	0.2657	0.2532	0.0802	0.2086	0.0889	0.1213	0.2318
K	0.013	0.0191	0.0127	0.0106	0.0190	0.0106	0.0106	0.0196	0.0106
	5.836	5.566	6.004	6.536	5.429	4.473	5.951	5.7439	5.822

注:1.由天津地质研究院分析室王洪兰测定。

2.用化学分析法中的重量法、容量法、比色法、原子吸收分光光度法、火焰光度法测试。

表2 阿斯喀尔特矿区内绿柱石的折光率、硬度与比重的测定值

Table 2 Refraction indexes, hardness and specific gravity of beryls from the Arskartor mine

名 称	折 光 率		硬度 (摩氏)	比 重
	Ne	No		
天蓝色绿柱石	1.5743	1.5788	7.7	2.73
浅蓝色绿柱石	1.5743	1.5790	7.7	2.72
深蓝色绿柱石	1.5743	1.5788	7.8	2.73
黄绿色绿柱石	1.5743	1.5790	7.7	2.69
金绿色绿柱石	1.5788	1.5838	7.7	2.74
白色绿柱石	1.5750	1.5790	7.7	2.70

注: 1. 由天津地质研究院罗湘凤等测定。

2. 折光率在白光下测定, 精度 ± 0.0002 。

3. 硬度 (摩氏) 测定方法: 显微硬度测定法。

比重测定方法: 悬浮法。

表3 阿斯喀尔特矿区绿柱石中微量元素分析结果表 (ppm)

Table 3 Analyses of trace elements in beryls from the Arskartor mine (in ppm)

元 素 名称 含 量	Nb	Zr	Y	Sr	Rb	Pb	Zn	Cu	Sn	V	Cr	Ba	Ni
天蓝色绿柱石	<1	2	<1	24	1050	14	960	<10	<10	29	460	<10	<10
浅蓝色绿柱石	<1	<1	<1	<2	60	10	220	<10	<10	1046	6	<10	<10
深蓝色绿柱石	<1	<1	<1	4	51	<10	260	<10	<10	66	130	<10	<10
黄绿色绿柱石	<1	<1	<1	4	71	<1	700	<10	<10	26	130	<10	<10
金绿色绿柱石	<1	6	<1	<2	8	11	170	<10	<10	30	120	16	<10
白色绿柱石	<1	<1	<1	<2	33	1010	550	<10	<10	59	<50	<10	<10

注: 1. 由天津地质研究院分析室李锦勋测定。

2. 测定方法为X荧光光谱法。

2. 微量元素特征

微量元素分析结果 (表3) 表明, 天蓝色绿柱石含Cr、Sr、Pb、Zn高; 深蓝色绿柱石含V较高, 含Cr、Rb稍高; 金绿色绿柱石Zr、Ba和Cr稍高, 总的趋势是Rb、Pb、Zr、V含量高者, 颜色稍深; 含量低者颜色稍浅。

3. 包体测温

(1) 气液包体特征 矿区内矿物中普遍含有包体, 大小一般在 $4 \times 7\mu$ 以上; 形状以圆形和椭圆形为主, 其次为不规则状; 包体成因中以原生包体为主, 次生包体偶见; 包体类型以液态包体 (包括含 CO_2 液态包体) 为主, 气态包体较少。

(2) 温度测定 由图2可见绿柱石均一法温度值集中分布在 340°C — 445°C 间的以气态包体 (气液比65—90%) 为主, 属气成—高温热液阶段; 在 210°C — 330°C 间的以液态 (包括含 CO_2 液态) 包体为主, 属高一中温热液阶段。从测温结果看, 气成—高温热液阶段较短, 而高一中温热液阶段较长。

伟晶岩的均一法温度集中分布在 230°C — 350°C 的温度范围内 (图3)。

在气成—高温条件下,成矿溶液处于沸腾状态。含 CO_2 液态包体的存在表明本区成矿溶液中 CO_2 等挥发分含量很高。液态包体广泛分布,说明成矿溶液在高—中温热液阶段是相对稳定的。

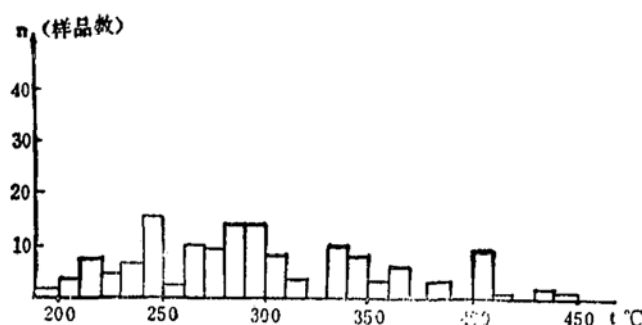


图2 绿柱石包体均一温度直方图

Fig. 2 Histogram showing homogenization temperatures of inclusions in beryls

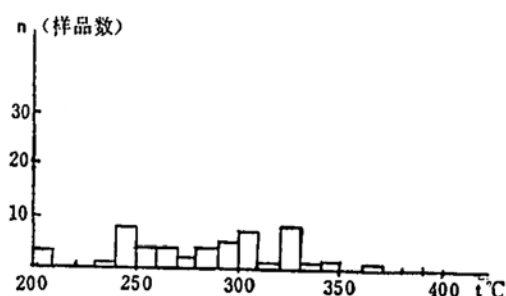


图3 伟晶岩包体均一温度直方图

Fig. 3 Histogram showing homogenization temperatures of inclusions in pegmatites

注:由天津地质研究院实验室夏桂兰、谈芬大测定

(3) 包体气体成分和成矿压力的估算 包体气体成分主要是在绿柱石和块体石英中测定的,其结果以 CO_2 为主($29.63\text{—}47.58\mu\text{l/g}$),次为 CH_4 ($1.6\text{—}3.34\mu\text{l/g}$)、 CO ($2.5\text{—}4.63\mu\text{l/g}$)和 H_2 ($2.26\text{—}8.07\mu\text{l/g}$),而 N_2 痕量, O_2 不存在。

包体测压是选用 CO_2 密度法,按E. N. Amagat的具有比容等值线的 CO_2 的P-V-T图解,进行了近100个含 CO_2 液态原生包体中 CO_2 与水的混溶度与压力关系的数值分析,求出绿柱石形成压力为 $659 \times 10^5 \pm 51 \times 10^5 \text{Pa}^{[1]}$ 。

综上所述,可认为阿斯喀尔特矿床属伟晶—气成—高中温热液型,它是在漫长的成岩成矿的地质作用过程中形成的,先后经历了岩浆晚期的自变质作用与气成高温热液期的蚀变交代作用。上述作用是连续的互相叠加的。

4. 红外光谱

通过红外光谱对三个不同颜色绿柱石进行测定^①,绿柱石样在 1630cm^{-1} 和 $3602\text{—}3708\text{cm}^{-1}$ 间都有变形振动,其 1630cm^{-1} 是属于 H_2O 分子窄谱带区; $3602\text{—}3708\text{cm}^{-1}$ 是属于 H_2O 分子另一窄谱带区和O—H伸缩振动区^[2]。证实本区绿柱石结构孔道中存在水分子。

5. 光学吸收光谱

绿柱石样的光学吸收光谱测定结果见图4说明全部样品中含有 Fe^{3+} , Fe^{3+} 造成的吸收峰在 3730Å 和 4290Å 处,应系 Fe^{3+} 置换 Al^{3+} 的结果。再从透过谱上可知, 3730Å 处于紫外区,不影响矿物的颜色, 4290Å 处于紫区,一般吸收峰较小,对矿物颜色影响较小。但 Fe^{3+} 和 O^{2-} 形成电荷转移吸收峰,虽峰值在所测的图外,处于短波方向,而它的长波一直延伸在谱图中,直接影响矿物的颜色。当 $\text{Fe}^{3+} - \text{O}^{2-}$ 电荷转移谱较弱,长波边延伸不远时形成蓝色、蓝绿色的绿柱石;当 $\text{Fe}^{3+} - \text{O}^{2-}$ 电荷转移谱较强,长波延伸至蓝区,矿物中蓝色透过减弱,使绿柱石矿物呈现绿色;当 $\text{Fe}^{3+} - \text{O}^{2-}$ 电荷转移谱很强,其长波边更进一步延伸到绿区,则绿柱石呈现黄色^[3]。

① 由天津地质矿产研究所赵人芳测定。

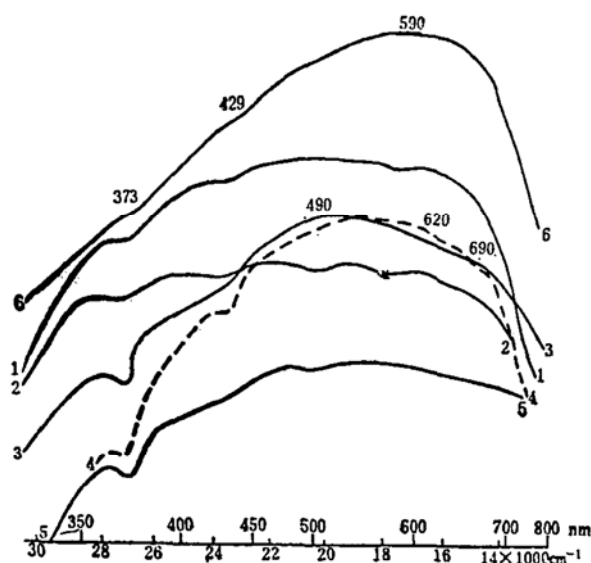


图4 各色绿柱石的光学吸收光谱图

Fig. 4 Optical absorption spectra of beryls with different colours

注：由贵阳地球化学研究所陈丰测定。

湘凤等同志承担，在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] 何知礼, 1982, 包体矿物学. 地质出版社.
- [2] 叶大年、丛柏林, 1981, 岩矿实验室工作方法. 地质出版社.
- [3] 陈丰, 1981, 矿物的吸收光谱研究. 地质地球化学, 第7期, 第53—57页.

A Study of the Pegmatitic-Pneumatolytic-Hypothermal Beryls and Aquamarines from the Arskartor Mine in Xinjiang

Feng Yinlin and Jiang Xiaopo

(Tianjin Geological Academy, Ministry of Metallurgical Industry, Tianjin)

Key words: beryl; aquamarine; pegmatite; muscovite granite; Xinjiang

Abstract

The Arskartor beryl deposit is made up of fine albitized muscovite granite (γ_5^{1-1} , γ_5^{1-2}), pegmatite and beryl ore zone. The muscovite granite is a cupola, dipping outward. The pegmatite is of the simple type which can be divided from outer part to inner into pegmatitic altered granite, altered pegmatite and quartz core. The beryl ore zone, characterized by comb, brecciated and banded

Fe^{3+} 和 Fe^{2+} 的电荷转移谱, 一般认为在6200 Å和7000 Å附近, 绿柱石样品只有少数显示出6200 Å (相当620nm) 吸收峰。所以, 本区绿柱石类高档的海蓝宝石少见, 现见到的是中、低档的海蓝宝石。

总之, 本区绿柱石类海蓝宝石的颜色主要与来自 Fe^{3+} 置换 Al^{3+} 进入六配位和 $\text{Fe}^{3+}-\text{O}^{2-}$ 的电荷转移跃迁所产生的吸收带强弱有关。海蓝宝石的特性: 硬度7.7; 折光率 $n_e=1.5743$; $n_o=1.5788$; 比重2.73; 含Cr并于结构孔道中含水分子。

本区海蓝宝石成矿主要属高—中温热液型, 而巨型绿柱石则属气成期产物。

在野外工作期间, 承蒙可可托海矿务局地测科贾富义、唐鸿勤同志大力支持和协助。本文测试工作由陈丰、赵人芳、黄承义、卢伟、夏桂兰、谈芬大、王洪兰、李锦勋、罗

structures as well as pegmatitic texture, lies in a periclinal structure on the northeast of the cupola, and is controlled by a tension-torsion fault.

Following are some mineralogical characteristics of the beryls and the aquamarines:

Chemical analyses indicate that the colour and the relatively good transparency of the azure and dark blue beryls are related to the fairly low content of alkali metals in the Be clusters, and that the azure beryl is high in Cr, Sr, Pb and Zn, while the dark blue beryl has high V and somewhat higher Cr and Rb. Temperature measurements of inclusions in beryls suggest that the deposit belongs to pegmatitic-pneumatolytic-hypothermal-mesothermal type (the aquamarines formed at high-medium temperatures), with the formation pressure being 650 ± 50 atm. The aquamarines contain water molecules in their textural pores, and have hardness of 7.7, refraction indexes $N_e = 1.5743$, $N_o = 1.5788$ and specific gravity 2.73.