

营口蛇纹石玉负离子释放功能及机理探讨

周维卫¹, 传秀云¹, 王时麒¹, 陈卞琨²

(1. 北京大学 造山带与地壳演化教育部重点实验室, 北京 100871; 2. 北京航空航天大学, 北京 100191)

摘要: 营口玉是传统岫岩玉中的特别类型, 它的物理化学特征及成矿类型均与传统岫岩玉不同。采用 ETS-2 能量测试系统、偏光显微镜、电感耦合等离子质谱仪等现代测试技术手段对营口蛇纹石玉负离子释放量及机理进行了研究。结果表明 营口蛇纹石玉具有很好的负离子释放功能 ($840 \sim 933$ 个/ cm^3), 接近都市公园水平 ($1\,000 \sim 2\,000$ 个/ cm^3), 甚至高于环境矿物材料电气石。营口玉释放负离子的根本原因是玉石内部放射性微量元素导致空气分子及水分子电离而产生负离子。具有生物和化学活性的蛇纹石与玉石内具有放射性的微量元素共同作用使营口玉具有较好的负离子释放功能。

关键词: 营口玉 负离子 空气电离 微量元素 蛇纹石

中图分类号: P578.964; P579

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2011)S0-0144-08

A discussion on the negative ion emission function and mechanism of Yingkou serpentine jade

ZHOU Wei-wei¹, CHUAN Xiu-yun¹, WANG Shi-qi¹ and CHEN Bian-kun²

(1. Key Laboratory of Orogen and Crust Evolution, Peking University, Beijing 100871, China; 2. Beijing University of Aeronautics, Beijing 100191, China)

Abstract: Serpentine jade from Yingkou is a special kind of traditional Xiuyan Jade. Its physicochemical characteristics and metallogenic type are considerably different from those of Xiuyan Jade. In this paper, the negative ion emission function and mechanism of Yingkou serpentine jade were investigated using the modern analytical techniques such as ETS-2 Energy Measurement system, polarizing microscope and ICP-MS. It is found that the serpentine jade from Yingkou has a good function of releasing negative ions whose concentration is similar to that in the city park and higher than that of tourmaline, which is regarded as an excellent environment material. The negative ions are generated because of the ionization of surrounding air and water which is caused by the radioactive elements in the serpentine jade. The serpentine with biological and chemical activity and the radioactive trace elements in the Yingkou Jades work on the air and water and consequently generate high quantity of negative ions.

Key words: Yingkou Jade; negative ions; air ionization; minor elements; serpentine

空气负离子来源于微环境下空气分子的电离作用, 电离能使空气分子电离出自由电子, 周围空气分子捕获电子变成带负电荷的负离子。被誉为“空气维生素”的负离子的含量是空气质量好坏的关键, 它有利于身心健康, 还有除尘埃、消灭病菌、净化空气

的作用(王继梅, 2004)。目前海内外学者研究的负离子材料主要是电气石、奇冰石、蛋白石、奇才石、海底矿物等, 其中又以电气石和蛋白石居多(汤云晖, 2002; Elisabetta, 2003; Wu and Lee, 2004; 袁昌来等, 2007)。而关于蛇纹石是否能释放负离子目前还没

收稿日期: 2011-05-19; 修订日期: 2011-06-23

基金项目: 辽宁省科技攻关项目(301217) 国家自然科学基金资助项目(40972027)

作者简介: 周维卫(1987-), 女, 硕士研究生, 从事材料及环境矿物学研究, E-mail: zhouww@126.com; 通讯作者: 传秀云, 女, 汉, 教授, 博导, 主要从事矿物材料科学教学和科研工作, E-mail: xychuan@pku.edu.cn

有任何报道。蛇纹石是一种含 OH 的层状硅酸盐矿物,既可以用作建筑材料、耐火材料,质地细腻、颜色好看的还可以制成玉雕,又因为其断裂面上存在大量活性基团,具有很高的化学活性和良好的吸附性,所以还是优良的环境材料(李学军等,2003;王时麒等,2007)。蛇纹石玉是人类最早认识和利用的玉石品种之一,也是我国开发历史悠久、产量大、产地多、应用较广泛的玉石品种。

本研究采用现代测试分析技术对辽宁省营口蛇纹石玉进行了负离子释放功能及化学成分的分析,确定了该地区蛇纹石玉具有永久自发地释放负离子的特性,并探讨了该地区玉石释放负离子的机理。

1 样品和测试方法

样品采自营口市大石桥后仙峪玉石矿区,根据

颜色及外观特征被分为翠绿玉、墨绿玉、青铜玉和花斑玉 4 类(图 1),编号分别为 A、B、C 和 D。样品从野外采回来后分别被处理成 $\Phi = 2\text{ cm}$ 、 $\Phi = 4.5\text{ cm}$ 的圆片和 100 目的粉末。

采用 ETS-2 型静态物质能量测试系统分别测试 4 类玉石的负离子释放量,测试周期为 200 s。采用 Agilent 7500 ce/cs 电感耦合等离子质谱仪(ICP-MS)测试了 20 件样品的微量元素和稀土元素含量,测试精度 $\text{RSD} < 5\%$;采用编号为 19990007 的数字化高纯锗 γ 谱仪,测试了 8 件特征样品的放射性元素比活度。样品放射性元素比活度分析在中国地质大学(北京)材料与工程学院完成,微量元素和稀土元素含量在北京大学造山带与地壳演化教育部重点实验室完成,负离子发生量测定在北京航空航天大学材料与工程学院完成。



图 1 不同外观特征的 4 类玉石样品

Fig. 1 Serpentine jade samples of different features

2 实验结果与分析

2.1 营口玉光学特征

在偏光显微镜下(型号 Eclipse 600, Nikon),观察各类蛇纹石玉的光学特征。A 类玉石主要成分为纯蛇纹石(图 2a),B 类玉石主要成分为蛇纹石和少量碳酸盐(图 2b),C 类玉石主要成分为蛇纹石和橄榄石(图 2c),D 类玉石主要成分为蛇纹石和碳酸盐(图 2d)。

2.2 负离子发生量检测及分析

ETS-2 型测试系统由空气离子采集器、电量信号捕获电路、控制电路、计算机及其支持测量和数据记录处理的软件系统构成。实验用静态法在晴天、温度 20°C 、湿度 30% RH 室内条件下完成测试,4 类 20 件样品规格均为 $\Phi = 4.5\text{ cm}$ 、 $h = 0.5\text{ cm}$ 圆片,200 s 记录一次实验数据,平均测试时间为 4 h。该方法的工作原理是给电容器加载一定电压,通过连续检测电容器在连续捕获材料诱生空气离子的电量

引起的电压变化来计算离子浓度。由于不同国家、不同行业的研究标准和采用的检测仪器差异很大,本研究以中国建筑材料科学研究院制定的《材料负离子发生量的测试方法》建材行业标准(王继梅等,2006)为依据,评价了 4 类蛇纹石玉的负离子发生量,评价结果为每秒每平方厘米发生的负离子个数。ETS-2 型测试系统采用差分法减小系统误差计算离子浓度,在实验结果基础上乘以实验系数即可计算出玉石样品真正的负离子发生量,实验系数为2 500/

样品件数×12.5,其中 2 500 为实验测试系统空间面积大小,12.5 为样品占据面积大小。实验结果(表 1)表明,4 类玉石样品中 C 类青铜玉负离子发生量最高,A、B 两类玉石居中且接近,D 类花斑玉样品负离子发生量最低,玻璃本底对实验结果不产生影响。

2.3 营口玉的岩石化学特征

蛇纹石玉是以蛇纹石类矿物为主要组分的矿物集合体,主要有 3 种类型:叶蛇纹石、利蛇纹石和纤蛇纹石,化学成分通式为 $M_6[Si_4O_{10}](OH)_8$,M 主要

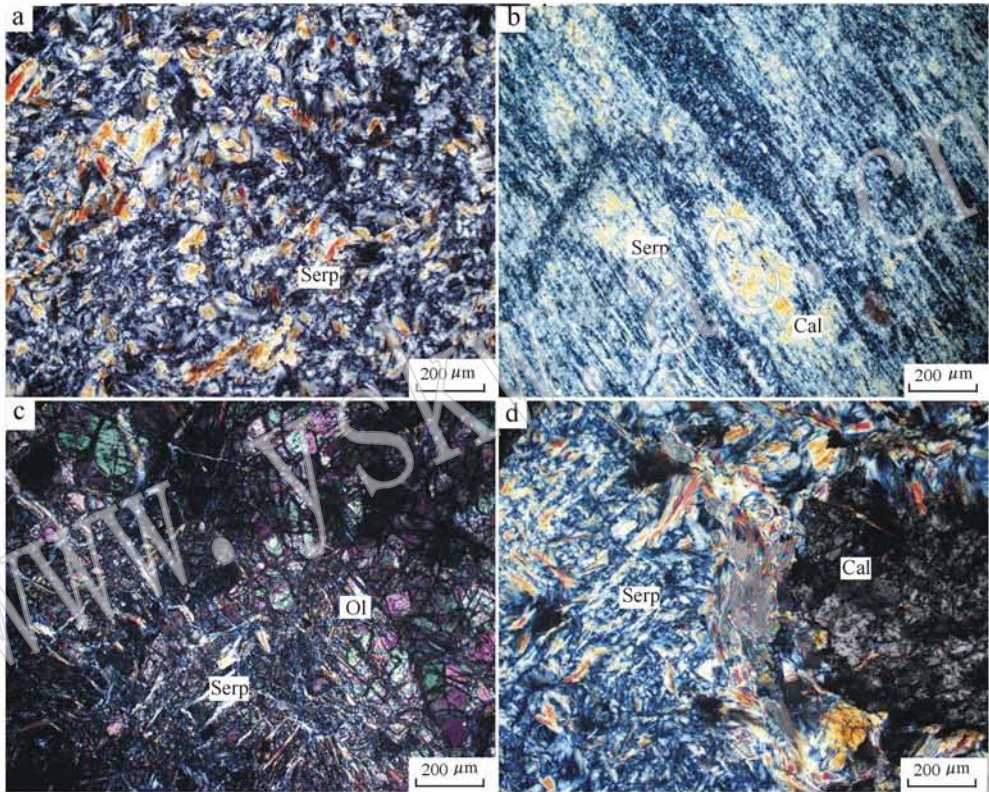


图 2 4 类玉石典型样品正交偏光显微镜下形貌

Fig. 2 Featured pictures of four kinds of serpentine jade taken under crossed nicols

a—翠绿玉中片状蛇纹石(serp); b—墨绿玉中定向鳞片状蛇纹石和细晶碳酸盐(cal); c—青铜玉中残余交代结构的蛇纹石和橄榄石(ol); d—花斑玉中鳞片变晶结构蛇纹石和粗晶碳酸盐(Cal)

a—flake-shaped serpentine (serp) in green jade; b—oriented flake-shaped serpentine with fine-grained carbonates (Cal) in dark green jade; c—olive (ol) replaced by serpentine and shown as relicts in bronze jade; d—serpentine showing lepidoblastic texture with coarse-grained carbonates (Cal) in spotted jade

表 1 样品负离子发生量实验测试结果

Table 1 Negative ions detection results of samples

样品种类	样品特征	平均离子浓度(个/cm ² ·s)	样品数量(件)	负离子发生量(个/cm ² ·s)
A 类翠绿玉	翠绿色,质地细腻	21	5	840
B 类墨绿玉	深绿-墨绿色,质地细腻	16	4	800
C 类青铜玉	青铜色,颗粒粗,有磁性	28	6	933
D 类花斑玉	浅绿色,星点状、斑状结构	17	5	680
玻璃本底	无色透明	3	20	30

为 Mg^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Ni^{2+} 可以置换 Mg^{2+} (潘兆鲁, 1994)。负离子材料结构、化学成分与其理化性质直接决定着其负离子释放量,对于蛇纹石玉来说由于微量元素和放射性元素会形成电场导致空气电离辐射,是影响负离子功能的关键,故本文未对玉石的常量元素含量进行阐述。选取 4 种类型 8 件代表性玉石样品进行了微量元素、稀土元素和放射性元素成分分析。空气中分子或原子在能量作用下被电离,每产生 1 个自由电子所需能量为 33.85 eV(卢玉楷, 2004),水分子的电离能也需要 1.25 eV(黄春松等, 2006),故蛇纹石玉石要产生负离子,各种能量必须要大于空气的电离能或者水的电离能(吴志湘等,2007)。

2.3.1 微量元素特征

一般原子序数在 84 以上的微量元素都具有放射性(卢玉楷,2004),8 件代表性样品微量元素分析数据见表 2。营口蛇纹石玉不但含有有益于人体的 Ti、V、Mn 等元素,而且很多元素具有微弱放射性,能够释放出一定能量。该地区蛇纹石玉总体微量元素含量低于上地壳的平均成分(韩吟文等,2003),只

有 Mn、Zn 高于上地壳平均成分;Rb、Sr、Sn、Hf、Tl、Pb 含量远低于上地壳平均成分。A 类样品中 Ni、Ba 含量高于上地壳平均含量;B 类样品 Ba、Th 含量高于上地壳;C 类样品中 Co、Ni、Cd、Y、W、Th、U 含量高于上地壳;D 类玉石仅一件样品 Y 略高于上地壳该元素的平均含量,因此 C 类玉石内部物质能量最高。与传统岫岩玉相比,营口蛇纹石玉内部物质能够释放更高的能量,它们的物理化学性质及矿床特征也不相同(王时麒等,2007)。

2.3.2 稀土元素特征

利用 Leedy 球粒陨石值(Boynton,1984)对玉石样品的稀土元素含量值进行数据标准化,轻重稀土元素分馏程度用比值 $(La/Yb)_N$ 来表示,并计算 Eu 异常。结果(表 3)表明,营口地区蛇纹石玉总体稀土元素含量普遍偏低。从 REE 配分模式图(图 3)可以看出,营口玉稀土元素配分复杂, Eu 均为负异常,表明源区有斜长石残留。A、B 类样品表现为轻稀土元素相对富集、中稀土元素略微亏损;C-7 和 D-4 样品表现为重稀土元素富集,可能是角闪石分离结晶而

表 2 营口蛇纹石玉微量元素含量表

Table 2 Minor elements of serpentine jade from Yingkou

$w_B/10^{-6}$

元素	A-1	A-2	B-2	B-3	C-3	C-7	D-4	D-6	地壳
7 Li	1.487	6.528	1.741	3.136	3.605	7.996	5.616	6.398	20
9 Be	0.829	1.289	0.790	0.759	0.376	0.638	0.293	0.518	3
45 Sc	6.537	11.530	5.990	8.862	9.900	8.857	6.193	4.586	11
47 Ti	43.570	158.500	134.400	72.320	330.700	119.400	253.300	125.800	650
51 V	10.400	21.100	32.320	27.170	65.000	19.940	22.640	26.480	60
53 Cr	0.655	2.160	4.372	5.565	5.278	4.222	1.779	4.243	35
55 Mn	412.900	454.000	596.600	263.900	935.600	1 054.000	680.800	513.200	80
59 Co	7.372	7.027	5.612	6.325	30.590	15.000	5.706	5.577	10
60 Ni	25.320	19.930	14.880	18.630	49.460	36.650	8.875	12.860	20
63 Cu	1.136	1.612	0.655	1.286	8.603	4.492	0.929	5.692	25
66 Zn	174.900	232.400	81.990	113.100	121.300	136.300	112.700	76.690	71
71 Ga	1.063	1.278	6.311	3.925	2.168	0.680	2.120	1.904	17
85 Rb	0.605	0.728	3.269	0.889	0.389	0.206	4.103	2.710	112
88 Sr	8.083	5.851	4.928	21.960	2.462	16.170	64.460	23.350	350
89 Y	3.790	3.265	5.034	2.814	2.071	25.230	38.040	7.960	22
90 Zr	1.322	55.630	10.660	2.354	20.690	17.630	5.207	4.182	190
93 Nb	2.502	2.511	0.609	0.808	7.588	1.809	1.013	0.769	12
111 Cd	0.031	0.288	0.018	0.017	0.032	0.074	0.201	0.034	0.098
118 Sn	0.671	0.826	1.134	0.774	2.088	0.502	0.495	0.341	5.5
133 Cs	0.169	0.214	0.856	0.290	0.041	0.032	2.083	1.930	3.7
137 Ba	1.264	124.200	10.750	369.600	3.436	14.050	3.526	2.962	30
178 Hf	0.054	1.477	0.295	0.083	0.745	0.583	0.185	0.111	5.8
181 Ta	0.460	0.465	0.185	0.194	1.168	0.171	0.203	0.431	0.96
182 W	0.161	0.249	0.507	0.261	9.088	3.843	0.941	0.477	2.0
205 Tl	0.012	0.010	0.017	0.004	0.006	0.019	0.023	0.011	0.75
208 Pb	0.772	4.210	1.108	3.004	1.457	2.701	1.350	0.541	20
232 Th	0.581	0.764	1.271	22.050	30.370	12.680	5.053	1.536	10.7
238 U	0.090	0.200	0.048	2.677	9.167	1.996	0.147	0.224	2.8

表 3 营口蛇纹石玉稀土元素含量分析结果

$w_B/10^{-6}$

Table 3 REE of serpentine jade from Yingkou

样号	A-1	A-2	B-2	B-3	C-3	C-7	D-4	D-6
139 La	1.868	0.689	1.737	0.927	0.721	4.196	2.271	1.610
140 Ce	3.757	1.963	3.917	2.116	1.462	13.72	6.538	3.547
141 Pr	0.416	0.283	0.503	0.274	0.194	2.190	0.890	0.432
146 Nd	1.755	1.393	2.259	1.127	0.758	10.388	4.775	1.861
147 Sm	0.450	0.380	0.565	0.310	0.166	3.336	1.488	0.526
153 Eu	0.022	0.038	0.029	0.094	0.013	0.119	0.066	0.020
157 Gd	0.519	0.446	0.671	0.376	0.177	4.013	2.809	0.641
159 Tb	0.097	0.082	0.130	0.069	0.032	0.742	0.664	0.114
163 Dy	0.649	0.540	0.880	0.466	0.249	4.657	5.270	0.721
165 Ho	0.150	0.122	0.201	0.109	0.057	0.976	1.314	0.163
167 Er	0.486	0.406	0.653	0.349	0.191	2.853	4.191	0.553
169 Tm	0.091	0.086	0.113	0.055	0.035	0.502	0.730	0.102
172 Yb	0.666	0.796	0.833	0.383	0.231	3.615	4.613	0.713
175 Lu	0.097	0.17	0.117	0.060	0.039	0.62	0.717	0.117
ΣREE	11.024	7.395	13.272	12.607	4.325	52.377	36.336	11.120

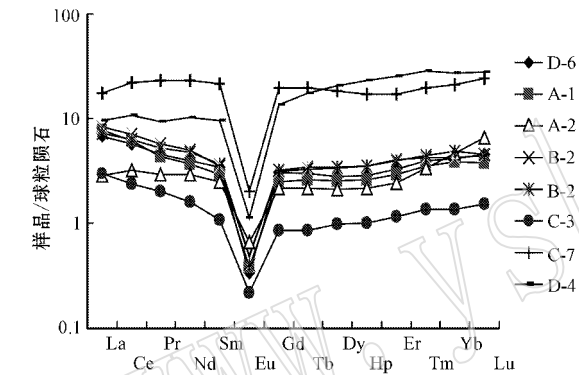


图 3 4 类玉石稀土元素配分图

Fig. 3 Chondrite-normalized REE patterns of four kinds of serpentine jade

成。总体说来,4 类玉石中,A、B 类稀土元素含量相当,C 类 C-7 玉石稀土元素含量高,D 类 D-6 玉石稀土元素含量偏高。重稀土元素富集、稀土元素含量高的样品放射性可能会相对偏高。

2.3.3 微量放射性元素特征

天然放射性元素中,放射能量最大的数 Th 、 Ra 和 ^{40}K ,能够自发地从不稳定的原子核内部放出射线(α 、 β 、 γ 射线等),同时一次能释放几十 MeV 能量。因此在微量元素分析的基础上,又对 8 件样品中放射性元素含量进行了精确的分析。4 类样品粉末在 $100^{\circ}C$ 下烘干后,在环境温度 $22^{\circ}C$ 、湿度 $25\% \sim 35\%$ RH 室内条件下完成测试。实验比活度分析结果(表 4)与微量元素分析及稀土元素分析一致。A 类样品放射性元素比活度低并且相近,B 类有样品放射性最低但 B-2 高于 A 类,C 类样品放射性最强,D 类样品放射性强度高于 A 类低于 B、C 类。放射性元素一方面

发出能量引起空气电离,另一方面产生的 α 、 β 、 γ 射线有可能对人体内外造成伤害。2002 年国家颁布的《建筑材料放射性核素限量》标准规定,放射性元素内外照射参数 $I_{Ra} \leq 0.5$, $I_{\gamma} \leq 0.6$,符合此标准的建筑材料使用范围不受限。内照射参数 $I_{Ra} = C_{Ra}/200$, C_{Ra} 指 ^{226}Ra 比活度;外照射参数 $I_{\gamma} = C_{Ra}/370 + C_{Th}/260 + C_K/4200$ 。4 类玉石内外照射参数均符合此项标准。

表 4 放射性元素比活度分析结果

$10^{-3}Bq/Kg$

Table 4 Results of specific activity of radioactive elements

样品名称	^{226}Ra 比活度	^{232}Th 比活度	^{40}K 比活度
A-1	1.57 ± 0.61	2.22 ± 0.78	< 4.60
A-2	3.09 ± 0.40	2.25 ± 0.39	< 4.60
B-2	0.83 ± 0.22	0.54 ± 0.17	< 4.60
B-3	6.41 ± 0.73	16.69 ± 1.48	< 4.60
C-3	17.66 ± 1.31	19.82 ± 1.76	< 4.60
C-7	13.31 ± 1.19	26.76 ± 2.15	< 4.60
D-4	1.42 ± 0.38	11.88 ± 1.30	< 4.60
D-6	3.46 ± 0.62	4.64 ± 1.03	< 4.60

3 负离子产生机理及作用机理

3.1 自然界负离子产生机理

常见的负离子有负羟基离子 $H_3O_2^-$ 、负氧氢离子 OH^- 和负氧离子 O_2^- ,其形成有三大机理:一是空气分子受紫外线、宇宙射线、放射性物质、雷电、风暴等因素影响发生电离,产生空气负离子;二是水的喷筒电效应使水分子裂解,瀑布冲击、海浪推卷及暴雨跌落等自然过程中的水在重力作用下高速运动裂解产生大量负离子;三是森林的树冠、枝叶的尖端放电以及绿色植物的光合作用形成的光电效应促进空气电解除产生空气负离子(韦宇洪,2006)。因此,在公园、

郊区田野、海滨、湖泊、瀑布附近和森林中会更容易产生负离子,负离子含量高(公园中负离子含量为 $1\,000\sim 2\,000$ 个/ cm^3 ,森林、瀑布区更高达 $1\times 10^5\sim 5\times 10^5$ 个/ cm^3),而在室内、住宅、社区等负离子含量低(都市住宅封闭区负离子含量仅为 $40\sim 50$ 个/ cm^3)(杨建松等,2006)。近年来人们研究出两种人工获得负离子的途径,一种是利用高压电产生电离能使空气产生负离子;另一种利用天然矿物质加工而成(钟正刚等,2003)。

3.2 负离子作用机理

空气负离子的作用已经被广大医学界认同,它可以还来自大气的污染物质、氮氧化物、香烟等产生的活性氧,可以使空气中的尘粒、烟雾、病毒、细菌等生物悬浮污染物变成重离子而沉降;还可以与室内附在墙壁、天花板上的苯、甲醛、酮、氨等刺激性气体发生反应去除污染(Kreuger, 1976)。此外,负离子通过呼吸途径进入人体血液后,放出电荷,反射刺激内感受器官,通过神经系统传导,作用于大脑中枢神经及植物神经系统,改善神经功能。负离子被吸入人体后还可以改善肺的换气功能,促进血液循环,促进新陈代谢、增强免疫系统能力等。它还对高血压、失眠、气喘、皮肤过敏、关节炎等许多疾病有一定的预防和治疗作用(韦宇洪,2006)。这也解释了通常人们会选择负离子含量高的地区作为度假疗养地区,而长期生活在装有空调的室内由于空气正负离子失调人们会产生不适感。

3.3 营口玉负离子产生机理讨论

由实验分析可知,营口地区蛇纹石玉具有释放负离子性能,平均释放量 813 个/ $\text{cm}^2\cdot\text{s}$,已经高于电气石 550 个/ $\text{cm}^2\cdot\text{s}$,最高释放量接近 933 个/ $\text{cm}^2\cdot\text{s}$,基本接近都市公园水平,能够维持健康的基本需要并且远高于装空调的室内、都市住宅封闭区、甚至城市街道绿化区的负离子水平。

蛇纹石族矿物为低对称矿物,主要是单斜晶系,正纤蛇纹石和副纤蛇纹石是斜方晶系,蛇纹石具备自发永久的偶极矩,而且蛇纹石表面有大量活性键,具有高表面能和化学活性、生物活性,还有良好的吸附性能(王长秋等,2003;李学军等,2003),因此蛇纹石很容易对周围的水产生吸附作用。由于水分子的电离能比较低,蛇纹石表面能足以引起其表面水分子电离从而产生负离子。根据爱因斯坦光子理论 $E=h\nu=h/\lambda$, h 为普朗克常量, ν 为光的频率, λ 为光波波长,蛇纹石放射性元素 ^{232}Th 产生的 α 射线在

0°C 、 1 Pa 的射程为 6 cm ,在这段轨迹上产生的能量可以产生 2.1×10^5 离子对,这种高能量很容易离解空气分子和水分子。如果玉石内部微量元素达到 1×10^{-6} 数量级,微量元素所产生的能量也能导致水分子电离。因此蛇纹石玉释放负离子的根本原因是由于内部放射性元素能量激发所致。C类青铜玉微量元素及放射性元素含量最高,负离子释放量也最高就证明了这一点。A类翠绿玉、B类墨绿玉负离子发生量相近均在 800 个/ $\text{cm}^2\cdot\text{s}$ 左右,A类略高于B类,这两类玉石微量元素含量相近,A类玉石负离子发生量略高的原因是由于A类玉石为纯蛇纹石,蛇纹石含量高于B类,能够吸附周围空气中更多水分子使晶体表面能对水分子产生电离作用,导致负离子浓度更高。D类花斑玉微量元素含量居中,但负离子发生量最低,是因为蛇纹石含量低的缘故。

综上所述,营口蛇纹石玉释放负离子的机理主要是玉石内部放射性微量元素产生空气电离、高活性蛇纹石表面能及微量元素的电离能对附近水分子及空气分子产生电离综合作用的结果。

4 结论

(1) 营口蛇纹石玉具有较好的负离子释放功能,平均负离子发生量接近都市公园水平。C类青铜玉负离子发生量最高,其次依次为A类翠绿玉、B类墨绿玉、D类花斑玉。

(2) 营口蛇纹石玉释放负离子根本原因是因为玉石内部含有一定量合乎安全标准的微量元素、稀土元素和放射性元素。负离子发生量高是因为蛇纹石玉石主要矿物成分是蛇纹石,蛇纹石具有自发永久偶极矩和高生物化学活性及良好吸附性的缘故。

(3) 营口蛇纹石玉质地细腻,与传统岫岩玉相比颜色丰富、比重大、硬度高,与电气石相比,负离子发生量更高,可以作为良好的建筑装饰材料。营口玉雕件还能够直接与人体相互作用成为既美观又实用的保健产品。

致谢 北京玉器厂王金兰老师在样品制备方面提供帮助,北京大学造山带与地壳演化重点实验室王河锦、黄宝玲、马芳、李健老师对于样品处理检测提供了帮助,中国地质大学(北京)材料与工程学院王南萍教授在放射性元素检测提供了帮助,在此一并表示感谢!

References

- Boynton W V. 1984. Cosmochemistry of the rare earth element : meteorite studies [A]. Henderson P. Rare Earth Element Geochemistry [C]. New York : Elsevier, 175.
- Elisabetta B. 2003. Positive and negative gas-phase ion chemistry of chlorofluorocarbons in air at atmospheric pressure [J]. Mass Spectrom, 16 : 1~8.
- Han Yinwen and Ma Zhendong. 2003. Geochemistry [M]. Beijing : Geological Publishing House, 46~47 (in Chinese).
- Huang Chunsong, Huang Xiang and Wu Zhixiang. 2006. The research on decontamination of material with negative ions [J]. Contamination Control & Air-conditioning Technology, 2 : 12 (in Chinese with English abstract).
- Kreuger A P and Reed E J. 1976. Biological impact of small air ions [J]. Science, 193(12) : 9~13.
- Li Xuejun, Wang Lijuan, Lu Anhuai, *et al.* 2003. A discussion on activation mechanism of atom groups in serpentine [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 22 (4) : 386~389 (in Chinese with English abstract).
- Lu Yukai. 2004. Concise Handbook of Radioisotope Application [M]. Beijing : Science Press, 4 (in Chinese).
- Pan Zhaolu. 1994. Crystallography and Mineralogy (Part II) [M]. Beijing : Geological Publishing House, 182~183 (in Chinese).
- Tang Yunhui. 2002. Tourmaline's Surface Absorption and Its Electrode Reaction Research (Master Degree Thesis) [D]. China University of Geosciences in Beijing (in Chinese with English abstract).
- Wang Changqiu, Wang Lijuan and Lu Anhuai. 2003. Chrysotile and its significance in new nano-material and environment science [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 22 (4) : 409~413 (in Chinese with English abstract).
- Wang Jimei. 2004. Studies on Negative ion of air and materials and its Application (Master Degree Thesis) [D]. Beijing : China Building Materials Research Institute (in Chinese with English abstract).
- Wang Jimei, Ji Zhijiang, Wang Jing, *et al.* 2006. Building material Industry standard of testing method of negative ion concentration for materials [J]. China Building Materials Science & Technology, 15 (3) : 113 (in Chinese with English abstract).
- Wang Shiqi, Zhao Chaohong, Yu Guang, *et al.* 2007. Chinese Xiuyan Jade [M]. Beijing : Science Press, 67~75 (in Chinese).
- Wei Yuhong. 2006. Evaluate target of the minus-ion fuction building decorative Material Used for health care [J]. China Building Materials Science & Technology, 15(3) : 88 (in Chinese with English abstract).
- Wu C C and Lee G W M. 2004. Oxidation of volatile organic compounds by nesative air ions [J]. Atmospheric Environment, 38 : 6 287~6 295.
- Wu Zhixiang, Huang Xiang, Huang Chunsong, *et al.* 2007. Experimental research on the concentration of negative air ions [J]. Journal of Xi'an University of Engineering Science and Technology, 21 (6) : 803~806 (in Chinese with English abstract).
- Yang Jiansong, Yang Hui, Li Shaofei, *et al.* 2006. The content research of air negative ion in different vegetational types [J]. Journal of Guizhou Meteorology, 30 (3) : 23 (in Chinese with English abstract).
- Yuan Changlai, Liu Xinyu and Wang Hua. 2007. Study on negative-air-ions properties of natural mineral tourmaline [J]. Journal of Functional Materials, 38(9) : 3 317 (in Chinese).
- Zhong Zhenggang, Wang Yinsheng and Yu Cuiping. 2003. Negative-ion technology and industry development [J]. Andvanced Materials Industry, 11 : 76~79 (in Chinese).

附中文参考文献

- 韩吟文, 马振东. 2003. 地球化学 [M]. 北京 : 地质出版社, 46~47.
- 黄春松, 黄 翔, 吴志湘. 2006. 负离子材料的净化研究 [J]. 洁净与空调技术, 2 : 12.
- 李学军, 王丽娟, 鲁安怀, 等. 2003. 天然蛇纹石活性机理初探 [J]. 岩石矿物学杂志, 22(4) : 386~389.
- 卢玉楷. 2004. 简明放射性同位素应用手册 [M]. 上海 : 上海科学普及出版社, 4.
- 潘兆槽. 1994. 结晶学及矿物学(下册) [M]. 北京 : 地质出版社, 182~183.
- 汤云晖. 2002. 电气石的表面吸附与电极表面研究 (博士学位论文) [D]. 北京 : 中国地质大学.
- 王长秋, 王丽娟, 鲁安怀. 2003. 纤蛇纹石在纳米材料及环境中的意义 [J]. 岩石矿物学杂志, 22(4) : 409~411.
- 王继梅. 2004. 空气负离子及负离子材料的评价与应用研究 (硕士学位论文) [D]. 北京 : 中国建筑材料研究院.
- 王继梅, 冀志江, 王 静, 等. 2006. 《材料负离子发生量的测试方法》建材行业标准介绍 [J]. 新材料与新方法, 3 : 113.
- 王时麒, 赵朝洪, 于 洸, 等. 2007. 中国岫岩玉 [M]. 北京 : 科学出版社, 67~75.
- 韦宇洪. 2006. 保健用途负离子功能材料的综合评价 [J]. 中国建材科技, 3 : 88.
- 吴志湘, 黄 翔, 黄春松, 等. 2007. 空气负离子浓度的实验研究 [J]. 西安工程科技学院学报, 21(6) : 16.
- 杨建松, 杨 绘, 李绍飞, 等. 2006. 不同植物群落空气负离子水平研究 [J]. 贵州气象, 30(3) : 23.
- 袁昌来, 刘心宇, 王 华. 2007. 天然矿物电气石产生空气负离子性能研究 [J]. 功能材料, 38(9) : 3 317.
- 钟正刚, 王寅生, 于翠萍. 2003. 负离子技术与负离子产品研制 [J]. 新材料产业, 11 : 76~79.