

文章编号: 1000- 6524 (2001) 04- 0474- 03

# 电气石的电场效应及其在环境领域中的应用前景

吴瑞华, 汤云晖, 张晓晖  
(中国地质大学, 北京 100083)

**摘要:** 电气石具有永久性的自发电极, 电气石微粒的周围存在着以  $c$  轴轴面为两极的静电场。在电场作用下, 水分子发生电解, 形成活性分子  $H_3O^+$ , 吸引水中的杂质、污垢, 净化水质;  $OH^-$  和水分子结合形成负离子, 改善人们的生活环境; 电场对带电粒子有吸附作用, 可以吸附粉尘, 净化空气。电气石还具有高的机械化学稳定性, 与沸石、蒙脱石等的吸附作用相比, 电气石不具有饱和极限, 可持续使用, 重复利用率高, 在环境领域具有很好的发展前景。

**关键词:** 电气石; 电场效应; 应用前景

**中图分类号:** P578. 953; P579 **文献标识码:** A

有关电气石的记载, 始于古锡兰<sup>[1]</sup>, 之后陆续发现它具有电性、压电性<sup>[2-7]</sup>, 并被用于红外光谱探测和热成像等仪器上<sup>[2,8]</sup>。1989年, 日本学者 Kubo<sup>[9]</sup>首次发现了电气石存在自发电极, 电气石微粒周围存在静电场现象, 就此对电气石微粉的电场效应展开了一系列应用研究, 由此兴起了电气石在环境、人体保健领域的研究新热潮。此后, 日本、美国等国学者纷纷开始了对这一方面的应用性研究, 陆续申请了多项专利。我国具有丰富的电气石资源, 除作为宝石及科研设备部件外, 还有相当大量的没有得到开发与利用, 尤其是黑电气石。电气石具有高的机械化学稳定性, 可重复利用, 对环境无污染, 是很好的绿色环保材料。本文通过对电气石的电学性质及晶体结构的研究, 展望了其在环境、人体保健方面的应用前景。

## 1 电气石的晶体结构

电气石的化学分子式为  $XY_3Z_6[Si_6O_{18}][BO_3]_3(O, OH, F)_4$  ( $X = Ca, K, Na; Y = Fe^{2+}, Mg^{2+}, Al, Li, Fe^{3+}, Mn^{2+}; Z = Al, Cr^{3+}, Fe^{3+}$ ), 三方晶系,  $C_{3v}^{-}R3m$ , 晶体结构由  $[Si_6O_{18}]$  复三方环、 $[BO_3]$  三角和  $[Y-O_5(OH)]$  三重八面体组成。 $[Y-O_5(OH)]$  由三个  $Y-O_5(OH)$  八面体共棱且共一角顶连接而成, 其中  $O(1)$ 、 $O(3)$  为  $OH$  的位置基本单位, 水平地分布于菱面体的角顶, 并为  $Y-O_5(OH)$  所连接。 $Y-O_5(OH)$  八面体共棱连接成平行于  $c$  轴的螺旋柱。 $X$  原子位于  $[Si_6O_{18}]$  复三方环空隙的上方, 配位数为 9。构成  $[Si_6O_{18}]$  复三方环的六个硅氧四面体, 角顶指向同一方向, 被解释为其极性存在的原因<sup>[10,11]</sup>。

## 2 电气石的电学性质

### 2.1 电荷的产生

一般认为, 产生电荷是由于电气石具热电性和压电性。Nakamura 指出<sup>[9]</sup>, 电荷的产生有两个来源, 一

收稿日期: 2001- 05- 07; 修订日期: 2001- 09- 21

基金项目: 国家自然科学基金资助项目“电气石微粒自发极化机理及其环境净化功能研究”

作者简介: 吴瑞华(1947-), 女, 博士, 教授, 从事环境矿物材料研究。

个是由自发的极化效应  $P_s$  导致,  $P_s = dP_s/dT$ , 被称为初次热电效应; 另一个是由晶体的热振动或受应力导致, 在一定方向的电极化现象可表示为:  $I = S[(dP_s/dT) + d_{33} c_{33}(d\epsilon_3/dT) + 2d_{32} c_{22}(d\epsilon_2/dT)]dT/dt$ 。括号中的3项分别代表初次极化效应、由热膨胀和压电效应产生的二次热电效应。电气石的电效应主要是指由热膨胀和压电效应导致的二次热电效应。根据计算, 二次热电效应(300℃)可达  $I = 2 \times 10^{10} \sim 3 \times 10^{10}$  A, 与观察到的现象相吻合。电气石的热电性是一种带电的、不对称的、非简谐性振动, 热电系数  $K$  随温度增高而非线性增加。根据 Donnay 研究<sup>[12]</sup>, 热电效应主要是由于位于晶体结构中心3个八面体共有的 O(1) 的不对称、非简谐性振动引起的。在实验中, 温度从 193 至 293 K 变化时, 它的重心偏移了 0.005Å, 即标准偏差的 10 倍。这是惟一一个原子, 其偏移量远远超出实验的误差许可。热电性也有可能与 Na 和 O(2) 有关, 它们也存在异常大的温度系数, 但没有大的位移。由于样品是不含 Fe 的锂电气石, 应该考虑到 Fe 对热电效应的负作用, 很多文献提到, 黑电气石(Fe-电气石)几乎没有可检测到的热电效应<sup>[11]</sup>。

## 2.2 自发电极的存在与电场效应

电气石自发的极化效应  $P_s$  表现为电气石周围静电场的存在, 就象磁铁的磁极一样, 有自发的磁性存在。自发电极的存在已为实验所证实<sup>[9]</sup>, 被解释为组成六连环的硅氧四面体  $SiO_4^{4-}$  角顶定向所致。电气石的自发电极, 为永久性电极, 不受外界电场影响, 其自发极化值是一个与温度无关的数值。Voigt<sup>[9]</sup>检测了在室温下电气石晶体的自发极化值, 得到  $P_s = 0.011 \mu C/cm^2$ , 是  $BaTiO_3$  在室温下的 1/2 400。

电气石的电场效应主要表现为: 电场对水的电解作用; 静电场对带电离子的吸附与中和作用。

### (1) 电场对水的电解作用

由于自发极化效应, 在电气石的周围存在着以  $c$  轴轴面为两极的静电场,  $E_0 = P_s/2\epsilon_0$ 。据 Voigt 给出的  $P_s$  值, 得到  $E_0 = 6.2 \times 10^6$  V/m。静电场随着远离中心迅速减弱,  $E_r = (2/3) E_0(a/r)^3$ ,  $a$  为电气石微粒半径,  $r$  为距中心的距离。由此可知, 在电气石表面厚度十几微米范围内存在  $10^7$ (最高值)  $\sim 10^4$  V/m 的高场强。在静电场的作用下, 水分子发生电解, 形成  $H^+$  和  $OH^-$ ,  $H^+$  和水分子结合形成活性分子  $H_3O^+$ , 活性分子具有极强的界面活性, 可以吸引水中的杂质、污垢, 起到净化水源的作用;  $OH^-$  和水分子结合形成负离子, 可以增加空气中的负离子数, 改善人们的生活环境。

### (2) 静电场对带电离子的吸附与中和

实验证实, 静电场对处于其中的带电粒子有吸附作用, 可以用于吸附粉尘、带电离子等。将电气石微粒分别置于 pH= 1、13 的酸碱溶液中, 1 小时后  $H^+$ 、 $OH^-$  浓度显著减少, 酸碱趋于中和。溶液中  $H^+$  浓度与时间成线性关系:  $\log[H^+] = A - Bt$ , 也可表示为:  $-d[H^+]/dt = B[H^+]$  ( $A, B$  为常数)

电气石微粒与水的作用机制解释如下: 通过电气石表面的高强静电场, 表面十几微米范围内的  $H^+$ 、 $OH^-$  离子被吸附到电气石的两极, 与电解形成的  $H^+$  和  $OH^-$  中和, 过多的  $H^+$  以氢气的形式被释放出去。随着电气石表面  $H^+$  离子的减少, 在浓度差作用下, 远处的  $H^+$  离子不断向电气石表面移动, 直至达到平衡为止。 $H^+$  离子的减少速率与水中  $H^+$  浓度成正比。

## 3 应用前景展望

根据电气石的电场效应原理, 电气石在环境方面的应用<sup>[13-16]</sup>包括:

(1) 环境保护 电气石能与带电粒子发生反应, 吸附空气中的粉尘, 处理工厂废气, 净化水质、处理污水, 能中和水中的酸碱, 可用于酸雨、土壤酸化治理等。

(2) 人体健康 电气石可以增强饮用水活性或使空气中负离子增加, 可广泛应用于饮用水活性化、农作物施喷水和净化空气各领域, 促进植物生长和人体健康。而且电气石能发出波长为 4~14  $\mu m$  的远红外区域的电磁波辐射, 影响人体的白血球活动、抑制不饱和脂肪酸的过氧化, 改善血液循环, 可广泛应用于美容、医疗行业, 具有巨大潜能。

(3) 避免环境污染 电气石能增强水的活性, 吸附水中杂质, 除去水中油污, 可作为各种洗衣粉、洗涤剂的替代品, 避免化学物质对环境的污染; 作为远洋船只的防护涂料, 在船只的船身涂料中掺入电气石微

粉,能吸附阴离子,并且通过对水的电解形成一单分子膜,可阻止海洋生物如贝类、藻类附着在船体上生长,从而避免了有害的涂料对海洋环境的破坏。

(4) 电磁屏蔽 人体周围很多物体,如手机、微波炉、电脑、电话,都会发出电磁波,对人体造成不同程度的负面影响。电气石可与空气中的水分子发生反应,形成阴离子,中和辐射发出的阳离子,以阻碍电磁波的传播。只要用含电气石微粉的物质做成外壳,就能有效的起到电磁屏蔽的作用。

目前,对电气石在环境应用方面的研究与利用还处于初步阶段,存在的主要问题是:如何提高电气石微粒的电场效应? 目前研究的重点一方面是进行基础理论研究,探讨影响电气石的自发极化效应的内部与外部因素,另一方面是进行实践尝试,研究电气石微粉的载体如何有效地分隔开电场间干扰、促进与空气中水的接触并发生反应。

#### 参考文献:

- [1] Dietrich R V. The tourmaline group[M]. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1985.
- [2] Lang S B. The history of pyroelectricity: from ancient Greece to space missions[J]. *Ferroelectrics*, 1999, 230: 99~ 108.
- [3] Schmidt J G. Curiöse Speculationes bey Schlaf\_Josen Nächten, Conrad Stoffeln[M]. Chemnitz and Leipzig, 1707.
- [4] Lemery L. Histoire de l'Academie Royale des Sciences[M]. Paris, 1717.
- [5] Brewster D. Observations on the Pyro\_Electricity of Minerals[J]. *Edinburgh Journal of Science*, 1824, 1, 208.
- [6] Gaugain J M. Note sur les propriétés électriques de la tourmaline, Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences (Paris)[M]. 1856, 42: 1264.
- [7] Gladkii V V and Zheludev I S. Methods and results of an investigation of the pyroelectric properties of some single crystals [J]. *Kristallografiya*, 1965, 10, 63~ 67.
- [8] Sivian L J. Energy translation utilizing pyroelectricity[P]. U S Patent: 2299260, 1942- 10- 20.
- [9] Nakamura T and Kubo T. Tourmaline group crystals reaction with water[J]. *Ferroelectrics*, 1992, 137: 13~ 31.
- [10] Barton R Jr. Refinement of the crystal structure of buergerite and the absolute orientation of tourmaline[J]. *Acta Crystallographica*, 1969, B25: 1524~ 1533.
- [11] Barton R Jr and Donnay G. Absolute orientation of tourmaline by anomalous dispersion of X-rays (abst)[J]. *Geological Society of America*, special paper, 1968, 101: 12~ 13.
- [12] Donnay G. Structure mechanism of pyroelectricity in tourmaline[J]. *Acta Cryst.*, 1977, A33: 927~ 932.
- [13] Kubo. Interface Activity of Water Given Rise by Tourmaline[J]. *Solid State Physics*, 1989, 24(12).
- [14] Legionella Contamination Prevention for Cooling Systems[J]. *New Technology Japan*, 1990, 18 (12): 30.
- [15] Surface Tension and Permeability of Water Treated by Polar Crystal Tourmaline[J]. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, 1991, 38 (5): 422.
- [16] Matsumura K, *et al.* Ecological uses of tourmaline proceedings first international symposium on environmentally conscious design and inverse manufacturing[J]. 1999, 2(1~ 3): 912~ 915.

## The Electrostatic Field Effect of Tourmaline Particles and the Prospect of Its Application to Environmental Protection Field

WU Rui\_hua, TANG Yun\_hui and ZHANG Xiao\_hui  
(China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

**Abstract:** One of the most important properties of tourmaline is its electric property. Tourmalines have spontaneous and permanent poles, which form electrostatic fields around tourmaline particles with *c* axial planes as two poles. The effect of the electrostatic field of tourmaline can be expressed as follows: under the action of the elec\_

(下转第 484 页) (to be continued on p. 484)

www.yskw.ac.cn

---

(上接第 476 页)(Continued from p. 476)

trostatic field, water molecules are electrolyzed and hence produce active molecules  $H_3O^+$  and  $OH^-$ , in which the former attract impurities or dirt to tourmaline surface, thus purifying the water, whereas the latter combine with water molecules to form negative ions, hence improving living conditions of the mankind; charged particles are attracted by electric fields so that charged particulates in air are attracted to tourmaline and the air is purified. Tourmaline has high mechanical and chemical stability: compared with other minerals with absorption capacities such as zeolite and montmorillonite, tourmaline shows high repeated availability without saturation limit, so its application to the environmental protection field has brilliant prospect.

**Key words:** tourmaline; electrostatic field; prospect of application