

CN8900004

CNIC-00050

SMC-0003

中國核科技報告

CHINA NUCLEAR SCIENCE & TECHNOLOGY REPORT

SM-1 型負離子源的研製



中國核情報中心

China Nuclear Information Centre

CNIC-00050

SMC-0003

SM-1 型负离子源的研制

黄振钧 王建珍

(苏州医学院, 江苏)

中国核情报中心

北京 · 1987

摘 要

本文重点介绍SM-1型负离子源工作原理及特性。该机有除臭氧装置,既能保留负高电压电晕放电产生的高浓度负离子,又可清除其产生危害人体的臭氧成分。在距离该机面板50cm处,负离子浓度大于250万个/cm³,臭氧浓度小于1ppb;不用电扇、无噪声,自动喷射负离子。

本机可用于医疗、防腐,抑菌、净化空气;国防、工业、农业,林业、牧业、副业及负离子浓度低或臭氧浓度高的设备和场所。

关键词 负离子 除臭氧电场 电气候学

SM-1 NEGATIVE ION SOURCE

Huang Zhenjun Wang Jianzhen

(Suzhou Medical College, Jiangsu)

ABSTRACT

The working principle and characteristic of SM-1 Negative Ion Source is mainly introduced in this article. In the instrument there is a device to remove O_3 . This instrument can keep high density of negative ions which is generated by the electrical coronas setting out electricity at negative high voltage and can remove the O_3 component which is harmful to the human body. The density of negative ions is higher than $2.5 \times 10^6 P./cm^2$ while that of O_3 components is less than 1 ppb at the distance of 50 cm from the panel of the instrument.

The instrument sprays negative ions automatically without the help of electric fan, so it works noiselessly.

It is widely used in national defence, industry, agriculture, forestry, stock raising, sidelines and in the places with an equipment of low density of negative ion or high concentration of O_3 components. Besides, the instrument may also be used to treat diseases, prevent against rot, arrest bacteria, purify air and so on.

前 言

为适应科学技术、国民经济的发展和人们生活需要，负离子的研究和制造越来越被人们重视。数十年来，许多学者进行了不懈的努力，对负离子的研究已形成了一门崭新的学科——电气候学。

目前，在世界上许多科学技术先进的发达国家，空气负离子化技术已在医疗卫生、工矿企业、国防装备、食品贮运、公共设施、农业牧副业及家庭等方面得到了广泛的应用，并逐步扩展到所有行业。

对于气体放电产生负离子，前人在理论和实验上作了大量深入的研究，人工产生负离子的方法很多。既经济又简单的方法是负电量放电，但此方法同时会产生对人有毒害的臭氧。探索既消除臭氧又保留高浓度负离子的方法，则是本项研究的核心问题。

现将SM-1型负离子源的工作原理，结构和性能介绍如下。

一、工作原理

(一) 负离子的形成

理论根据：原子或分子附上一个电子，电子占据着一个能级。例： $O + e \longrightarrow O^- + h\nu$ 该电子须付出一部分能量以光子 $h\nu$ 形式辐射出去。从原子或分子上去掉这个电子也必须给电子提供同样的能量，这个能量称为电子结合能或称电子对某种元素的亲和力。

反应几率可用量子力学的反应截面来表示，理论上可采用变分法，Hartree-Fock近似法或统计法来近似计算。

实验测定：用负离子吸收光谱法^[1]和表面电离法^[2]。

按物理机制划分，产生负离子的方法可有如下三种形式^[3]：

1. 辐射电子的俘获



其反应截面为

$$\sigma_{\nu,c} = \frac{g^-}{g_0} \cdot \frac{(h\nu)^2}{(kc)} \cdot \sigma_{\nu,c}$$

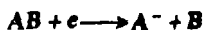
g_0 、 g^- 分别为原子A和负离子 A^- 的权重 k ，是电子的冲量， c 为光速， $\sigma_{\nu,c}$ 为光衰减截面^[4]。

实验上，氧对辐射电子的俘获截面是利用气体放电管进行计算^[5]。

负离子的分解或衰减是通过俘获光子或与原子、分子碰撞而失去这个“额外”的电子。与辐射电子俘获同一类型的还有三体碰撞

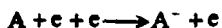


以及电子和分子之间的碰撞



2. 电荷迁移产生负离子

原子和离子在碰撞过程中互相交换电荷，它们的电荷数将在碰撞过程中按得失电子数而变化



通常在较低能量6.5eV状态下，电子、分子碰撞过程产生负离子的截面有一极大值。如图1所示。负离子的存在比起电子的存在，在热力学上更为可取，所以从低温等离子体放电直接抽取负离子是合理的选择。

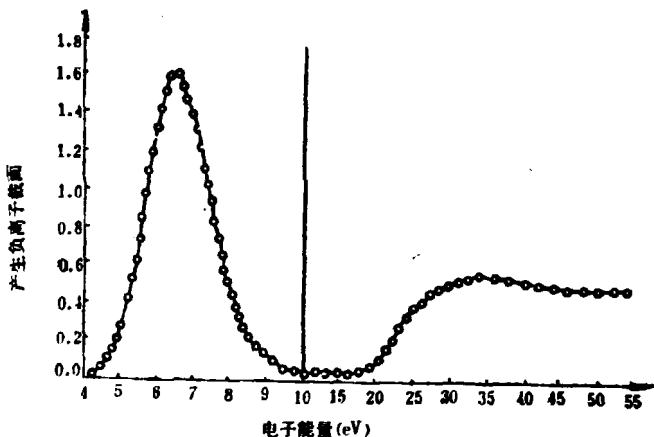


图1 电子轰击O₂产生负离子截面

3. 表面电离产生负离子

中性原子轰击热金属表面，俘获热金属释放的电子，成为一个负离子而离开表面。

(二) 负电晕放电

针尖负电晕放电时，当电场足够强，电子获得的能量就会超过中性气体分子的电离电压，不断地进行碰撞电离而形成电子雪崩。在稍微离放电电极一段距离处，由于电场强度的急剧下降，碰撞电离停止，使电离区域局限在放电电极表面的狭窄空间内。通过碰撞电离所产生的电子群，因电子群的迁移率大于正离子约10³倍，所以非常迅速地离开电离区域。当与具有附着电子性的气体分子（O₂、H₂O、CO、SO₂、NO、NO₂等，而N₂不是）相撞时，就附着在其上，并变成低迁移率的负离子而飞向正电极（接地）。负离子与中性气体分子碰撞时把动能给予中性气体分子，结果伴随着电晕放电自放电电极向空间发生离子风。见图2^[6]。

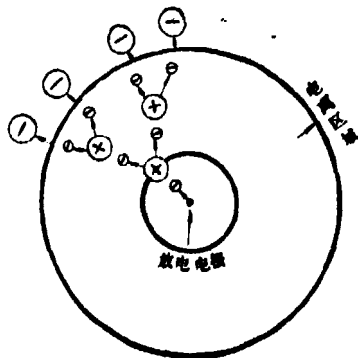


图2 碰撞电离

(三) 电子的临界能量

电子的临界能量由下面近似公式表示:

$$E_c \approx \frac{600}{Z} \text{MeV} \quad \text{对于空气 } E_c \approx 83 \text{MeV}^{(7)}$$

Z 是阻滞原子的电荷数。当电子能量 $E < E_c$ 时,吸收体(空气)中束缚电子的激发和电离占统治地位。当 $E > E_c$ 时,以光辐射为主。

本仪器的电子能量 $E \approx 30 \text{keV} \ll 83 \text{MeV}$,从且在空气中束缚电子的激发和电离占统治地位,主要形成离子。

(四) 电子的行程长度

具有动能大于气体粒子的平均能量的带电粒子,在气体中穿过时,它的能量降低到气体的平均能量时所通过的距离,就称为这种带电粒子在这种气体中的行程长度 R 。在一定气体中电子的行程长度 R 与气体密度成反比。因此当各种其它条件不变时, R 和绝对温度 T 成正比,与气体压强 p 成反比。电子的能量 E 愈大以及气体分子量 M 愈小,则 R 愈大。以上关系用经验公式表示为:

$$R = 1.4 \times 10^{-7} \frac{TE^2}{pM} \text{cm}$$

式中 p 以毫米汞柱为单位,此式对于初始能量 $E \geq 2 \times 10^3 \text{eV}$ 的电子都很准确^[8]。

设 $E = 30 \text{keV}$, $T = 300 \text{K}$, $p = 760 \text{mmHg}$, $M = 28$,则计算得 $R \approx 2.1 \text{cm}$,表明此电子的行程很短。由此可知,低于临界能量的电子轰击空气分子最终得到的不是电子而是离子。

(五) 空气中负离子种类

电晕放电在空气和纯负电性气体中向阳极运动的都是负离子,而在纯正电性气体中则是电子^[9]。电子的亲合力 A : O 为 1.5eV , O_2 为 $0.46 \pm 0.02 \text{eV}$ ^[10]。

大气中负离子^[11-13]多数元素的电子亲和力能十分精确地计算($Z \leq 17$)^[12]。

由于宇宙射线和放射性物质的辐射,地面空气中平均每秒每立方厘米产生7~20个正负离子对^[14, 15]。在大气压下,低电场条件下产生的电子迅速转变为负离子,主要是氧的负离子^[16]: O_2^- (O_2^- , O_4^- , CO_2^- , N_2O_2^-), O_3^- (O_3^- , CO_3^-), O^- , NO_2^- , NO_3^- , OH^- , H^- , HCO_3^- , $(\text{H}_2\text{O})_n\text{O}^-$, $n \leq 5$ ^[17, 18]还有水分子^[19]。因此,负电晕放电得到的离子主要是负氧离子。离子的浓度依赖于温度、湿度和空气的流动。

表1 负离子的电子结合能

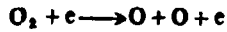
负离子	$\text{H}^-(1\text{S})$	H^-	C^-	O^-
电子结合能	0.77 ± 0.02	0.8 ± 0.1	1.25 ± 0.03	$1.465 \pm 0.005 (\text{eV})$
	(kJmol^{-1})	(eV)	(eV)	1.461 eV

(六) 负离子的寿命

负离子的寿命： $i \approx \frac{1}{a_i n}$ ， a_i 为负离子复合系数，在空气中约为 10^{-8} ， n 为负离子浓度，约为 10^8cm^{-3} ，天然的负离子寿命约为 100s^{-1} 。

在人为的空气电离时，由于 n 很大，则 i 很小。而且在气体放电中，负离子的消失不仅仅在于复合，而且与电场的方向有关，因此上式在此情况下不适用。

(七) 放电中臭氧的形成^[10]

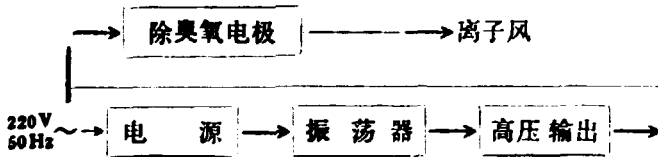


M为气体中所有分子，包括 O_2 。

二、整机结构及特性

(一) 整机结构

(方框图)



(二) 特性

1. 负离子的发生量与外加电压的关系

表2 负离子浓度随电压变化的实验数据表

电压 (kV)	15	20	25	30	35	40
负离子浓度 (10^6cm^{-3})	0	110	210	300	380	480

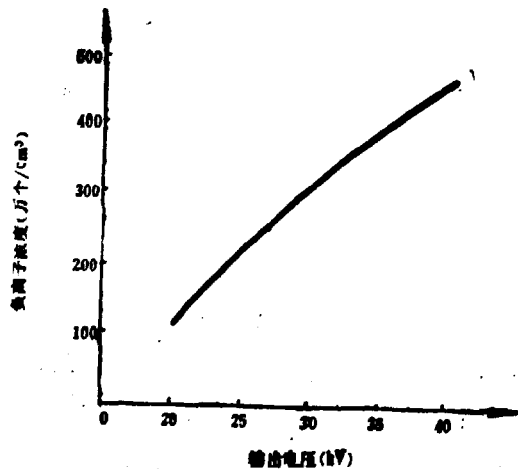


图3 SM-1型负离子源负离子的发生量与外加电压的关系

在一个大气压,20℃,相对湿度70%的条件下,用SD-8003型大气离子浓度测量仪,测试SM-1型负离子源在20~30kV电压范围内,负离子浓度随其电压的增加而上升,见图3。

2. 负离子浓度与距离的关系

在一个大气压,20℃,相对湿度70%的条件下,用SD-8003型大气离子浓度测量仪,测试SM-1型负离子源,输出30kV电压,负离子浓度随距离的增加而扩散。见图4。

表3 负离子浓度随距离的变化值

距离 (cm)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	150	200
负离子浓度 10^4cm^{-3}	3500	1600	800	410	250	150	100	67	46	12	3

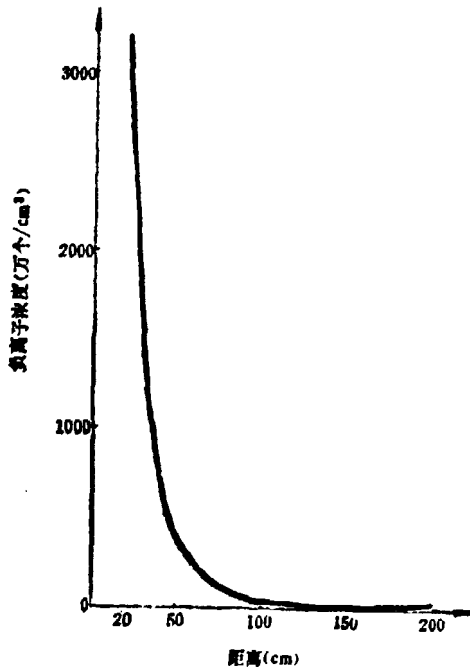


图4 SM-1型负离子源负离子浓度与距离关系(方位角0°)

3. 如何使SM-1型负离子源既清除臭氧又保留负离子呢?

(1) 电路的选择

负离子发生器的电源电压低,臭氧少,但负离子浓度低。要想提高负离子浓度需要增加电源电压,但同时带来高浓度的臭氧。考虑SM-1型负离子源的结构时,要既能清除臭氧又保留高浓度的负离子,要达到电源功耗小,效率高,稳定可靠,价格便宜,不用电扇,无噪音和自动喷射离子。我们从低电压向高压逐步进行多种电路实验,最后选用高压电源。

(2) 电极材料及其结构的选择

电极材料及其结构的选择,对提高负离子浓度、降低臭氧浓度起重要作用,国外研究主要集中在这方面。本仪器电极结构独创,经多次测试,对增加负离子浓度,降低臭氧有明显效果,同时可以不用电扇,自动喷射离子。

(3) 除臭氧电极选择

电极结构本身可以使臭氧减少,再加上除臭氧电极,两者结合导致臭氧浓度极低。根据世界上多数国家规定人们长期呼吸的最低安全值为15ppb。因此,把臭氧降低到几个ppb是本仪器的一个重要特点。为了选择行之有效的除臭氧电极,我们作了大量实验,进行了多种除臭氧方法。最后,选用分解臭氧的方法,来清除臭氧。

参 考 文 献

- [1] E. Clementi, A. D. McLean, *Phys. Rev.*, 133A, 419 (1964).
- [2] R. Gaspar, B. Molnar, *Acta Phys. Hung.*, 5, 75 (1955).
- [3] L. M. Branscomb, S. J. Smith, *J. Chem. Phys.*, 25, 587 (1956).
- [4] M. Seman, L. M. Branscomb, *Phys. Rev.*, 125, 1602 (1962).
- [5] G. Z. Boldt, *Z. F. Phys.*, 154, 319 (1959).
- [6] 静电手册, 1981年科版, p. 475, p. 542.
- [7] 汉斯·费朗费尔德等著, 王忠民等译, 亚原子物理学, 原子能出版社, 第23页。
- [8] H. A. 卡普卓夫气体与真空中的电现象, 高等教育出版社, 1958, 第227~243页。
- [9] 成都电讯工程学院选编, 气体放电及离子管, 1961, 第344页。
- [10] *Phys. Rev. Lett.* 6, 111 (1961).
- [11] H. S. W. Massey, *Negative Ions*, 3rd ed. (Cambridge University Press London, 1976).
- [12] H. Hotop and W. C. Lineberger, *J. Chem. Phys. Ref. Data* 4, 539 (1975).
- [13] H. S. W. Massey, *Adv. At. Mol. Phys.* 15, 1 (1979).
- [14] B. F. J. Schonland, *Atmospheric Electricity*, Methuen, London (1953).
- [15] E. Kuffel, *Proc. IEE (Ibc.)*, 133 (1959).
- [16] M. Lecuiller et al, *J. Chem. Phys.* 9, 1353-1359 (1972).
- [17] M. Goldman et al, *Gaseous Electronics*, 1, ACADEMIC PRESS, 221 (1978).
- [18] J. L. Moruzzi et al., *J. Chem. Phys.* 45, No. 12, 4617 (1966).
- [19] 臭氧制造及其应用译文集, 第二辑, 1976年8月, 第1、3、9、10页。

CHINA NUCLEAR SCIENCE & TECHNOLOGY REPORT



China Nuclear Information Centre