

工业防毒面具滤毒罐用活性炭的研究

余晨颖^{1*}, 钟芳权², 陈祖云^{1#}, 郭裕民², 张际敏², 骆炳林², 刘立新³, 赖昭琦³

¹江西理工大学应急管理与安全工程学院, 江西 赣州

²江西耀升钨业股份有限公司, 江西 崇义

³赣州有色冶金研究所有限公司, 江西 赣州

收稿日期: 2023年4月28日; 录用日期: 2023年6月22日; 发布日期: 2023年6月28日

摘要

活性炭作为一种常用的多孔吸附材料,在吸附方面已有广泛应用并再次成为研究热点之一。文中对用来装填于过滤型防毒面具上的滤毒罐内活性炭的化学特性做出了必要的解析,并在试验的基础上研究了在实际应用中对活性炭的防护时间有影响的一些因素,具有一定的工程价值。

关键词

工业防毒, 防毒面具, 滤毒罐, 活性炭

Research on Activated Carbon for Industrial Gas Mask Poison Filter Canisters

Chenyang Yu^{1*}, Fangquan Zhong², Zuyun Chen^{1#}, Yumin Guo², Jimin Zhang², Binglin Luo², Lixin Liu³, Zhaoqi Lai³

¹School of Emergency Management and Safety Engineering, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou Jiangxi

²Jiangxi Yaosheng Tungsten Industry Co., Ltd., Chongyi Jiangxi

³Ganzhou Nonferrous Metallurgy Research Institute Co., Ltd., Ganzhou Jiangxi

Received: Apr. 28th, 2023; accepted: Jun. 22nd, 2023; published: Jun. 28th, 2023

Abstract

As a commonly used porous adsorption material, activated carbon has been widely used in adsorp-

*第一作者。

#通讯作者。

tion and has once again become one of the research hotspots. In this paper, the chemical characteristics of activated carbon in the filter canister used to fill the filter type gas mask are analyzed, and some factors that affect the protection time of activated carbon in practical applications are studied on the basis of experiments, which have certain engineering value.

Keywords

Industrial Anti-Virus, Gas Mask, Poison Filter Canisters, Activated Carbon

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

防毒面具主要用于防毒工作,对工作场所的安全防护有一定的作用。滤毒罐被认为是过滤式防毒面罩的核心结构,它的顶端采用活性炭材料制造,具备物理吸附、化学吸附以及催化吸附等多重吸附机制,可以有效地去除空气中的毒素,从而保护人们的健康。活性炭由于其特有的空隙构造和高比表面积,可作为一种优良的吸附材料广泛应用于环保、工业、能源、化学防护等领域[1] [2]。在化学防护应用中,以活性炭为载体制备的炭基催化剂装载在军用过滤吸收器和滤毒器中,可以有效地阻止氢氰酸、氯化氰等传统化学物质的污染[3]。贾建国等研究发现表面酸性基团的增加有助于改善活性炭的表面亲水性和增加氯化氰防护时间[4] [5]。然而,现有研究对影响活性炭防护性能的因素探讨较少,本文对用于装填在过滤式防毒面具上的滤毒罐盒中活性炭的性质进行了一定的分析,并在试验的基础上探讨了在实际使用中对活性炭的防护时间有影响的几个因素。

2. 防毒面具的滤毒原理

防毒面具是在不缺氧(即含氧量大于 18%)的环境下佩戴的一种特殊的呼吸防护装备,它可以有效地阻挡有毒气体、放射性灰尘、细菌、病毒等污染物,以保护人们免受毒害。它的结构由滤毒罐、导气管和面罩三部分组成,其中滤毒罐是最重要的部件,当有毒气体进入防毒面具时,滤毒罐里面的活性炭会进行截留、吸附、催化和分解,从而将净化后的空气传送给工作人员,以便人们能够更好地保护自己,并且能够更快地适应周围的环境。

3. 活性炭的吸附特性对吸附性能的影响

由于其内部的活性炭,滤毒罐可以发挥出其重要的功效,它可以通过物理吸附、化学反应、中和及催化等过程,将有害的污染物拦截,达到保护人们免受污染的目的。对此,影响防毒面具滤毒罐有效防护时间的因素跟活性炭结构性质息息相关,具体分析如下。

3.1. 活性炭的孔隙结构

活性炭是一类多孔的含炭化合物,其孔分布很分散,一般含有微孔、过度孔和大孔。微孔的有效半径一般相当于约 1.8~2.0 nm,这个数值与分子的平均尺寸接近。而对于不同的活性炭来说,微孔容量一般在约 0.15~0.5 ml/g 左右。因为其尺寸紧凑、数量众多,使得其在活性炭中的比表面积大约达到 90%,从而为其有效地捕获有害物质,如有机污染物,提供了良好的净化效果。因此,微孔的数量与位置在较

大程度上也取决于某些特殊活性炭的吸收功能。而过度孔的有效半径大约为 2~100 nm，而孔容量则大约在 0.02~0.1 ml/g 左右。而大孔的有效半径一般为约 500~2000 nm 左右，孔容量一般在约 0.2~0.5 ml/g 之间。活性炭的孔隙结构通常由大孔垂直连接到微粒的表面，而过度孔则从大孔分支，微孔也从过度孔分支。这些孔隙主要用于传递物质，使得被吸附的物质能够快速进入微孔。对气体和蒸汽的吸收作用，主要通过微孔[6]。

3.2. 活性炭的吸附特性

活性炭最重要的特征就是孔大小的多分散性，所以在吸附质蒸气不同的相对压强区域里，吸收性质也就不一样。而活性炭对蒸汽的主要吸收就发生在它的小孔内部和大孔的外表。由于小孔的整个空间存在着吸收物质空间，被吸收物质流入小孔后，会引起窄洞四周吸收物质的共同相互作用，产生的凝聚力远大于单个表面之间的吸引作用。所以，小孔内的吸收属强吸收。因为大孔的积极小，其吸收率往往忽略不计。随着孔径的差异，发生吸附的特性也不一样。

3.2.1. 微孔吸附

当温度保持不变的情况下，实际压强与完全饱和蒸气压强的差异很小，这样就可以使吸收能量集中在吸收表面的优势区域。由于活性炭的微孔具有相对孔室的吸收能力，比起大、中孔隙，它的吸附能力更强，因此，吸收能量的来源主要是这些孔隙。

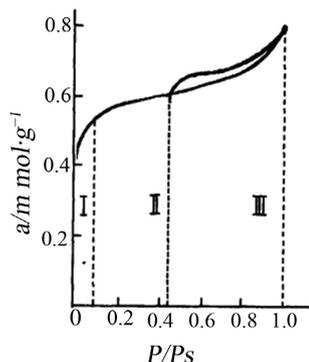


Figure 1. Schematic diagram of activated carbon adsorption isotherm partition [7]
图 1. 活性炭吸附等温线分区示意图 [7]

由于微孔的孔径面积积极小，并没有在其上产生吸收物质，而是直接将原丝体物质在小孔容积中填充，在微孔充填区(见图 1，图中 I 区)，由于微小的压强改变就会导致吸收率的明显增加，使吸收等温线陡然地增加。因此微孔充填区的吸收功能，对活性炭的防毒活性具有重要价值。微孔吸收功能并不在于微孔的比表面积多少，而仅与微孔的穿孔容量多少密切相关。对容易吸收的有毒蒸气来说，选用微孔容量较大的活性炭，对滤毒罐的防毒效能的改善必不可少。

3.2.2. 大、中孔径的吸附

当相对压力 P/P_s 值小于 0.4 时，即当微孔体积被逐渐填充的同时，在大、中孔的表面也进行着吸附。先是为单分子层吸收，进而发展为多原子层吸收，由于大、中孔的比表积极小，吸收率随相对压强上升而扩大的方向相对平稳(见图 1，图中 II 区)。

3.2.3. 毛细凝聚

随着相对压力的增加，中孔的表面会受到毛细凝聚的影响，而这种结构正好与中孔材料的性质一致。

一旦形成了毛组结构,它将导致吸附率的急剧增加,从而形成一条明显的吸附曲线。

在一般毒蒸气条件中,由于毒剂蒸气含量较难满足产生更大凝聚后所需的分压,所以,气体中孔的较大聚集现象对滤毒罐的保护功能缺乏实际意义。

活性炭自身的功能选择上,对一些在常温下容易吸收的毒性物质也提出了相应的保护功能,所以,针对滤毒罐对的毒性物质来说,选用微孔容量越大的活性炭,其保护效能就越高[7]。

3.3. 影响活性炭吸附性能的因素

在滤毒罐中,活性炭的制备方法采用了优质的煤粉、果壳等材料,它们的机械强度较高,而且拥有多种分散的微孔、中孔、大孔,这些孔隙系统使得它们的吸附效果十分显著,然而,它们的耐久性却不太好,因此,麦克林伯格方程就成了衡量它们的耐久性的重要参考指标:

$$\theta = a_0(H - h) / C_0V \quad (1)$$

式中: θ ——防护时间, min;

a_0 ——活性炭吸附容量, mg/cm³;

C_0 ——毒性浓度, mg/L;

V ——气流比速, L/(min·cm²);

H ——炭层厚度, cm;

h ——无效层厚度, cm。

根据上述公式可发现,活性炭吸附能力跟毒气浓度、气流比速有关。活性炭的吸附容量越大,炭层的厚度越厚,防护时间就越长,反之,毒气浓度越大,气流比速越大,防护时间就越短。然而,公式并未涉及到环境中的湿度以及其他环境因子。下面采用三组3号滤毒盒(即利用活性炭的物理吸附净化有机气体并与过滤式防毒面具配套)为样品,进行不同毒气浓度、空气湿度和试验气流量时的防护时间测定,以明确这些因素的综合影响。

3.3.1. 毒气浓度的影响

用DX-1型动态吸附分析装置,在环境温度为20℃,空气相对湿度为50%、3%,通过滤毒盒的试验气流量为(300.3) L/min的试验条件下,将含有一定苯蒸气的混合空气不断的通过滤毒盒。从通入毒气开始计时,至毒气透过滤毒盒,且浓度达到规定值(用2%的NaNO₂,硫酸溶液为指示剂),这段时间间隔为该滤毒盒对苯蒸气的防护时间;而苯蒸气的浓度则是根据防护时间内舟形瓶中苯的减少量及试验气流量计算得出,浓度的大小则通过控制流量计的液柱高度来实现;将第一组样品,测定在不同浓度苯蒸气中的防护时间[8]。

实验表明:在与其它实验条件一样的前提下,由于苯含量差异,保护持续时间也肯定是有区别的,因为活性炭是一个具有能量分配不平衡现象的强吸附剂,它对低浓度的蒸气或分子气体具有很大的吸收功能,故苯蒸气含量低,保护持续时间就长;而苯蒸气含量高,则保护持续时间就短;而滤毒盒的防护时间的长度,和所处的工作条件也有较大的联系,工作条件中污染物的含量越低,则防毒面具可穿戴的持续时间就长,否则可穿戴的持续时间也就短。

3.3.2. 空气湿度的影响

将第二组3号滤毒盒取出,放入一个具有72%~80%相对湿度的环境中,经过一段时间的实验,以及与实验一相同的设备和环境,来评估其防护能力。

经过实验证明,随着暴露在潮湿环境中的时间延长,保护时间会变短,而且,增重的效果会变得更加显著,这是由于环境因素的影响,一般情况下,暴露的时间较短,但是,如果能够在潮湿的环境中持

续暴露,那么这种效果将会变得更加明显。

3.3.3. 试验气流量的影响

《过滤式防毒面具通用技术要求》(GB2890-1995) [9]提出,在测试过程中,应将每分钟的气流速设置在 (30 ± 0.3) L,以便更好地反映出每位使用者的正常通氧能力。然而,在日常生活中,由于每位使用者的肺部功能及其他身体状况,每分钟的通氧能力有所不同,有些使用者只需要 20 L/min (静态),有些使用者则需要 150 L/min (剧烈运动状态),为了观察呼吸量大小对防护时间的影响,对第三组 3 号滤毒盒做了如下试验,在温度、空气相对湿度、苯浓度等其它试验条件基本不变,试验过程同试验一的情况下,提高试验时气体的流量,测试防护时间。以便更好地反映出每位使用者在不同情况下的正常通氧能力。经过改进的第三组 3 号滤毒盒,在水温、室内空气水温、苯浓度等实际环境中保持稳定,也可以通过增加实验中的气体流量来延长实验的持续时间[10]。

实验表明:试验气流速和保护时限是成反比的,即气流速越高,则保护时限就越短,而由于对活性炭的吸附力量是固定的,也就是说,即使携带着含有活性炭的保护装备,其实用的保护时限也将因每个人的肺活量和力度有所不同,而有较大的差别。

4. 结论与展望

本文通过分析实验,可得出如下结论:

- (1) 活性炭吸附的特性随着孔径的差异而改变;
- (2) 活性炭吸附能力跟毒气浓度、气流比速有关,为了提升活性炭的吸附能力,延长其防护时间,应当采取措施,如增加其碳层厚度,增加其吸附容量,同时降低毒气的浓度和气流比速,以达到最佳的吸附效果;
- (3) 滤毒盒的防护效果取决于工作环境的污染程度,当污染物的浓度较低时,滤毒盒的防护效果会更好,而当污染物浓度较高时,滤毒盒的防护效果会相应减弱;
- (4) 随着活性炭暴露于潮湿的环境,其防护效果会显著降低;
- (5) 试验气流量与防护时间成反比。对于那些拥有较高肺活量的人以及那些需要承受较高劳动强度的职业者来说,他们穿戴的防护用品的有效性要低得多,其有效的防护时间比其他人多。

经过对防毒面具滤毒罐的研究,我们发现,要想提高防毒面具滤毒罐的防护时间、延长防毒面罩的使用寿命,应该重点关注活性炭,综合考虑浓度、空气湿度和试验气流量等因素,加强对活性炭的制备条件和装填工序的控制,保证产品的质量,同时还需因人而异,要根据每个人的肺活量进行制定,正确地估算实际情况的防护时间,提高活性炭的利用率,同时还要做好日常的储存、良好的检查管理,保证活性炭的有效性,从而确保使用高品质的活性炭,可以延长防毒面罩和过滤器的使用寿命,为所有人的健康和安全提供最佳的保障。

基金项目

国家自然科学基金委员会资助项目(51864016)。

参考文献

- [1] 蒋剑春. 活性炭制造与应用技术[M]. 北京: 化学工业出版社 2017: 1.
- [2] Wang, J., Nie, P., Ding, B., *et al.* (2017) Biomass Derived Carbon for Energy Storage Devices. *Journal of Materials Chemistry A*, 5, 2411-2428. <https://doi.org/10.1039/C6TA08742F>
- [3] 李玉琴, 张振华, 史洪涛, 等. 活性炭复合床层对动活性的影响试验[J]. 中国个体防护装备, 2013(6): 34-35.
- [4] 贾建国, 李闯, 朱春来, 等. 活性炭的硝酸表面改性及其吸附性能[J]. 炭素技术, 2009, 28(6): 11-15.

- [5] 翟玲娟, 贾建国, 郭娟丽, 等. 有机酸改性浸渍炭对氯化氰的防护性能研究[J]. 舰船防化, 2012(4): 24-28.
- [6] Njoku, V.O. and Hameed, B.H. (2011) Preparation and Characterization of Activated Carbon from Corncob by Chemical Activation with H_3PO_4 for 2, 4-Dichlorophenoxyacetic Acid Adsorption. *Chemical Engineering Journal*, **173**, 391-399. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.07.075>
- [7] 孙文杰, 张雪丽. 防毒面具用活性炭的结构与特性研究[J]. 中国安全科学学报, 1999, 9(2): 74-78.
- [8] 谭雯莉, 杨博, 杨小兵, 石贵滨, 张明明. 仪器法与化学法测定防毒面具滤毒罐苯蒸气防护时间研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2021, 17(2): 183-188.
- [9] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局、中国国家标准化管理委员会. GB2890-2009 呼吸防护自吸过滤式防毒面具[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [10] 罗伶. 正确发挥活性炭在防毒面具中的作用[J]. 安全, 2004, 25(3): 3.