

秘 密

个人防护器材技术基础

上 册

中国人民解放军防化学院训练部

一九八二年九月

本教材供我院防化学专业学员使用。

分上、下两册，共十三章。第一、三、四、五、六章由高虎章编写；第二、七、八、九章由汪新余编写；第十、十一、十二和十三章由陈力立、邓正吾编写。

江苏工业学院图书馆
藏书章
打字员

章、汪新余、
邓正吾。
周桂芬、刘晋、

崔新力。

油印员：郭桂素、赵冰。

目 录

(上 册)

第一章 化学防护器材结言

- 第一节 个人防护器材对化学武器的防御任务及
防护器材的发展概况..... 1 - 1
- 第二节 对呼吸器官和皮肤防护器材的要求..... 1 - 7
- 第三节 我军个人防护器材发展简介..... 1 - 18

第二章 呼吸器官防护器材的构造和作用

- 第一节 我军过滤式防毒面具的构造和作用..... 2 - 1
- 第二节 我军其它特种用途的防毒面具..... 2 - 22
- 第三节 外军普通军用过滤式防毒面具简介..... 2 - 32

第三章 活性炭和活性炭—催化剂

对毒剂蒸气的静态平衡吸附

- 第一节 一般概念..... 3 - 1
- 第二节 吸附力的本性..... 3 - 15
- 第三节 活性炭对毒剂蒸气的吸附..... 3 - 22
- 第四节 活性炭的吸附等温线方程..... 3 - 37
- 第五节 吸附性能与活性炭结构和
蒸气物理性质的关系..... 3 - 64
- 第六节 化学吸着和催化作用..... 3 - 71

第四章 活性炭和活性炭—催化剂

对毒剂蒸气的动态吸着过程

- 第一节 动态吸着的基本概念..... 4 - 2
- 第二节 活性炭对毒剂蒸气的吸附动力学..... 4 - 12

第三节	动态吸附方程.....	4-31
第四节	低浓度渗出曲线方程.....	4-55
第五节	装填层的临界层厚度.....	4-72

第五章 活性炭和活性炭—催化剂

第一节	活性炭的制备.....	5-1
第二节	活性炭—催化剂的制备.....	5-22
第三节	活性炭吸附特性和孔隙特性测定.....	5-27

第六章 滤烟层对有害气溶胶的防护原理

第一节	与过滤有关的气溶胶特性.....	6-2
第二节	滤烟层及其对气溶胶的过滤过程.....	6-10
第三节	影响滤烟层性能的因素.....	6-21

第七章 普通军用过滤式防毒面具

的性能及其影响因素

第一节	过滤式防毒面具对毒剂蒸气 的防毒性能及其影响因素.....	7-2
第二节	过滤式防毒面具对有害气溶胶的 防毒性能及其影响因素.....	7-24
第三节	过滤式防毒面具的使用性能 及对人体的生理影响.....	7-28

第一章 化学防护器材绪言

第一节 个人防护器材对化学武器的防御任务及防护器材的发展概况

当代，化学武器被认为是具有大规模杀伤作用的武器。在战争中，利用有害化学物质杀伤敌方的历史可以追溯到很远的年代。公元前431年斯巴达克人就曾把能放出大量二氧化硫的硫磺纵火弹用于围城的战斗而一举战胜雅典人。但是，把有害化学物质作为一种武器大规模使用于战争，是始于第一次世界大战。1915年4月22日黄昏，德军在比利时的伊泊尔附近对毫无准备的英法联军施放了六千个氯气钢瓶，造成了一万五千人伤亡，其中五千人丧生，使英法联军防线打开了一个四英里的缺口。尽管当时作为毒剂使用的氯气毒性很低，使用方法也很原始，但其产生的意外效果引起了许多国家的重视。此后，各国的军事化学家们，为了保护人员免遭毒气的伤害，研制出了一些防护呼吸道用的防护器材。例如，浸渍硫代硫酸钠、苏打、水和甘油的湿式纱布口罩，可以对氯气进行防护。第一次世界大战中也出现了装碱石灰的干式防毒面具。它对氯气、光气有一定的防护能力。但是，上述用化学吸收法制成的面具，对后来出现的氯化苦，在防护上显得无能为力了。1915年战场上出现了使用活性炭来吸收毒剂蒸气的防毒面具，从此，防毒技术进入了一个新的阶段，作用广泛的物理吸附代替了有选择性的化学吸收，为现代防毒面具的发展奠定了基础。

然而，旧的矛盾解决了，新的矛盾又会产生，攻和防两种手段在战争中相互促进，不断发展。德国人首先发现，活性炭颗粒不能有效地防护毒剂烟雾。这就使德国人首先把二苯氯砷，二苯氰砷和苯氯乙酮等刺激性毒剂以烟状用于战场。为了防护烟雾状毒剂，在面具滤毒罐活性炭层的基础上专门加了一层能过滤烟雾的滤烟层，这是用棉花、羊毛等充填的容积式滤烟层。但已基本具备了现代面具滤毒罐的雏型。这是第一次世界大战末期的情况。

后来，小分子量，低沸点，高挥发度毒剂（如： AsH_3 ，

PH_3 ， HCN ， $ClCN$ 等）的出现，给防毒面具的发展又提出了新课题。由于这些毒剂特殊的物理化学性质，致使它们不能很好地为当时的活性炭所吸附，而成为穿透面具的毒剂。为了防护这些难吸附性的毒剂，一些国家的研究工作者又转回到原来的化学吸收的途径，从而开始了浸渍炭的研究，即在活性炭上浸渍某些化学物质。

第一次世界大战期间，德国首先进行了浸渍炭的探索，如把氨气通入活性炭或把炭浸渍在氢氧化氨溶液中，再于真空条件下加热，经上述处理的炭大大提高了对 AsH_3 的防毒能力。在浸渍炭方面最重要的发展，可算是铜浸渍剂的应用。美国在一次大战末期已经制出了浸铜的 A 型惠特来特炭，浸渍铜的炭与基质活性炭比较，在干燥条件下对 AsH_3 的防毒能力提高了十几倍，对 HCN 提高两倍，对光气提高一倍。

浸铜炭并未达到理想程度，它在吸湿条件下几乎丧失了对

AsH₃的防毒能力。为了寻求在潮湿情况下有效防护AsH₃的浸渍炭，1941年美国又在铜浸渍液中加入银，制成功Cu-AgAS型惠特莱特炭，从而大大提高了在炭吸湿条件下防护AsH₃的性能。

第一次世界大战结束以后，一些国家集中力量解决HCN、ClCN的战斗使用问题。HCN是第一次大战中出现的速杀性全身中毒性毒剂，法国人在1916年就把HCN用于战场。大战期间法国使用了4000吨HCN，但未取得明显的军事效果。主要原因是，这种毒剂不能在近地面造成所需的战斗浓度。1939年以后，相继研究出一系列的施放器材，利用这些器材在短时间内可以在近地面造成HCN、ClCN的高浓度，在这种浓度下几分钟就可以使人员致死。因而，至今苏美仍分别把HCN、ClCN列为装备毒剂。HCN、ClCN使用性能的改善，进一步促进了浸渍炭的发展。铜银浸渍炭在防护ClCN的能力上已显得很不足了。于是，1942年又出现了浸渍铜、铬、银的炭。这种浸渍炭无论在干燥还是潮湿条件下，对HCN、ClCN都有较好的防护性能。

从第一次世界大战使用简陋的纱布口罩开始，发展到浸渍炭面具，化费了近30年的时间。可见，在防护技术上的每一项重要突破都要付出艰苦的努力。然而事情并未到此结束，仅在浸渍炭研究方面，如何提高其（一）抗老化性能、提高吸着速度等问题，仍然是今后研究的重要课题。另外，可以想象由于第二次世界大战后高毒性毒剂（沙林、梭曼、V类等）的出现和大

规模使用以及今后现代化战争的复杂情况，不仅对面具的防毒性能而且对其使用性能都提出了更高的要求。诸如减轻重量，降低阻力，扩大视野，增强通话性能，保证结构的气密以及研制适合伤病员，儿童和各种特殊需要的面具等，这些问题的圆满解决有赖于每个从事防护工作的同志不断地努力。

为了突破防护器材，提高化学武器的杀伤威力，第一次世界大战期间在战场上出现了作用更为复杂的毒剂，其中最突出的是芥子气。1917年7月，英军在伊泊尔地区遭到德军装有油状液体的追击炮弹的袭击，碰到这些油状液体的人员，几小时后就出现了一些当时谁也搞不清的症状。英国查明，这种液体就是2,2'-二氯二乙硫醚，就是现在所称的芥子气。新毒剂能迅速穿透服装，引起一种长时间难以治愈的皮肤灼伤，并能造成地面、透服装武器装备长时间的染毒。

这种长时间发生毒害作用的持久性皮肤糜烂毒剂的战斗使用，开辟了一个化学战的新时期。芥子气以其多种中毒途径，复杂的毒伤效应以及毒害作用的持久性，使得当时简陋的防护措施几乎失去作用，皮肤作用性毒剂的出现在军事上有很大的实际意义。因为人体大面积的皮肤比呼吸道更难防护，用皮肤作用性毒剂进攻，比用呼吸道中毒性毒剂更易获得理想的军事效果。同时，要防止皮肤中毒，就必须使用皮防器材，当时只有用油布制成的防毒衣，或一种防毒油膏，这类皮防器材的使用，不但影响士兵的战斗动作，而且会造成不良的生理影响，严重地削弱部队的战斗力。皮肤中毒性毒剂的使用，还使战争中的供应、装备、后勤保障和医护工作等变得复杂而繁重。第一次世界大战中有统计，完

成一个芥子气中毒伤员的抢救、后送、治疗任务，需要七个保障人员。

目前皮肤防护器材的现状说明，皮肤防护较之呼吸道防护更为复杂。时至今日，在各国无论是防化专业分队还是合成军，所装备的皮防器材均未达到理想的程度，尤其是合成军更是如此。当前皮防器材普遍装备的是用橡胶布制作的隔绝式防毒衣。这种防毒衣有良好的防毒（防液滴，蒸气、气溶胶）性能，但其严重的缺陷是散热散湿性能差、笨重，对人员生理性能影响大。因此，对合成军使用是极不适宜的，即使是对防化专业分队，在炎热气候条件下，可穿着的时间也是很短的。多数国家是用隔绝材料制成防毒斗篷（披肩）、手套、靴套等作为合成军的局部皮肤防护器材。

为了改善防毒衣的生理性能，解决合成军皮肤防护问题，许多国家在发展透气性防毒材料上进行了研究。二次世界大战中，只有芥子气、路易氏气和氮芥气少数几种皮肤性毒剂，它们有比较相近的化学性质，都能与氯胺类化合物发生反应而被消毒。因此，在美国首先发展起化学吸收型氯胺浸渍服。它能对芥子气等毒剂蒸气，微小液滴和毒剂污抹进行防护，但对较大的液滴和气溶胶的防护能力很差。把隔绝材料制成的斗篷、靴套与浸渍服结合使用作为合成军通过染毒地段时的一种防护方式可能有一定的实用价值。

浸渍服的缺点，除了在防护上有选择性外，氯胺本身对皮肤有一定的刺激作用，并且能降低织物的强度，影响服装穿着寿命，因而用作合成军的皮防器材也不是理想的。同时，由于梭曼、V

类毒剂的出现，氯胺浸渍服的实用价值大大降低了。于是在透气材料研究上，又由化学吸收途径转向了物理吸附。英国于六十年代研制装备了含炭透气防毒衣。它是在无纺织布的内表面粘合上活性炭粉，外表面用含氟化合物进行防油处理，既可防蒸气又可防液滴，称为“防油——吸附”型透气防毒衣。该防毒衣在防护性能上一个显著的缺点是不能抗液滴“压透”。七十年代对“防油——吸附”型防毒衣进行了改进，加了一层能使液滴很快铺展的外层织物。这样，不但防止了液滴的“压透”，而且增强了穿着牢固性。这种防毒衣称为“铺展——防油——吸附”型透气防毒衣。

吸附型透气防毒衣比隔绝式防毒衣在生理性能上有了很大的提高，克服了化学吸收型浸渍服防毒上选择性的缺点，这在皮防技术上是一个很大的进步。吸附型透气防毒衣目前仍存在有待改进之处，它对于合成军使用还显得笨重，包装体积较大，不便携带，多次使用的消毒问题还未很好地解决。

综上所述可以看出，圆满地解决皮肤防护方面的问题还需做大量的工作。

个人防护器材对化学武器的防御任务应包括：防止毒剂蒸气、气溶胶，细菌微生物以及放射性灰尘对人员呼吸器官、眼睛、面部皮肤的侵袭毒害；防止毒剂蒸气，气溶胶、液滴以及细菌微生物、放射性灰尘对人体各部皮肤的侵袭毒害。

第二节 对呼吸器官和皮肤防护器材的要求

化学、生物武器和放射性灰尘危害人员的重要途径之一就是**通过呼吸器官吸入人体而发生毒害作用**。通过呼吸器官中毒具有速效性。为使防毒面具有可靠的防护性能应该明确其基本的要求。

当前，苏美强调利用毒剂的高毒性和化学武器使用的突然性来克服防毒面具，达到呼吸道中毒的目的。同时还强调用大规模、连续使用或经常性的扰乱性袭击的手段来迫使对方长时间地佩戴面具，以达到削弱部队战斗力的目的。在这种条件下，面具不仅要有良好的防毒性能，而且还应有良好的使用性能。

面具的防毒性能至少应包括两个方面。一是滤毒罐（过滤元件）滤除染毒空气中的毒剂蒸气和烟雾时，应能将其浓度降至安全浓度以下，并能维持一定的时间；一是面具各部件的漏气量必须在允许值以下。

面具滤毒罐（过滤元件）对毒剂蒸气的防毒能力，通常用防毒时间表示。在一定毒剂蒸气浓度、流量和温度、湿度条件下，从毒剂蒸气进入滤毒罐开始，到滤毒罐尾气中出现不伤害人体的最大浓度为止，这段时间称为滤毒罐的防毒时间，以分钟计。应当说明，标志滤毒罐防毒性能的防毒时间的数据，是在实验室条件下对面具评价的一个示性数，绝不能认为这就是面具实战使用条件下的防毒时间。因为实战条件是错综复杂的。至于滤毒罐在战场条件下能使用多久，某面具是否还能使用，这将在以后章节中讨论。为了评价滤毒罐的防毒性能，在防毒

技术中还使用另一个示性数，即吸着容量。滤毒罐在防毒时间 θ 以内，即毒剂穿透前，所吸着的毒剂蒸气量，称为吸着容量 M ，以克表示。如果防毒时间为 θ (分)，进入滤毒罐的蒸气浓度为 C 。(毫克/升)，人员的呼吸量为 Q (升/分)，则吸着容量为：

$$M = \theta \cdot C \cdot Q / 1000 \text{ (克)} \quad (1-1)$$

合成军使用的轻便面具，对难吸附和易吸附的毒剂蒸气吸着容量应分别达几克到十几克；防化专业分队使用的面具应分别达几克到几十克。我们把目前苏美装备的毒剂分为持久性和暂时性两种，象梭曼、芥子气和 V 类等均属持久性的，它们具有沸点高，低挥发度，一般战场浓度较低，而且极易被活性炭吸附，是属于易吸附性毒剂。目前军用防毒面具对这类毒剂都有充足的防毒时间。我军防化专业分队用的面具，在常见战场浓度下防护时间可达几十小时；合成军使用的轻便面具，也可达数小时之久。因此，可以认为，面具对持久性毒剂蒸气的防护要求是容易满足的。

暂时性毒剂（主要有 HCN 和 ClCN ），属于难吸附性毒剂，虽然目前它们在军用毒剂中不占首要地位，但由于这类毒剂与民用化学工业有密切的关系，具有相当大的生产潜力，使用技术比较成熟，容易造成高浓度，且解决了贮存变质问题，所以仍受到苏美的重视。目前，军用面具对这类毒剂的防毒时间比较短，特别是在大的用毒剂量条件下。例如，一次较大规模的氯化氰炮弹袭击，在有利气象条件（逆温、风速为 1 米/秒）下，在最大杀伤地段某一点浓度随时间的变化可用图（1-1）表示。

从图(1-1)看出, 初始浓度可高达20 mg/l, 但高浓度维持时间很短。经12分钟及浓度下降到零。在整个毒剂作用时间内的总剂量为:

$$D = \int_0^{12} c \cdot dt = \sum c_i \cdot \Delta t_i$$

$$= 86 \text{ 毫克} \cdot \text{分} / \text{升}.$$

如果人员的呼吸量以 $Q = 30 \text{ 升} / \text{分}$ 计, 则在毒剂作用的总时间内, 滤毒罐的吸毒量为:

$$M = Q \cdot \int_0^{12} c \cdot dt = 30 \times 86 = 2.6 \text{ 克}$$

我军防化专业分队使用的64型面具能抗四次这种规模的袭击。

美军曾把

$C \cdot t = 3 \text{ 毫克} \cdot \text{分} / \text{升}$, 作为一般伤害的弹药消耗标准。

$C \cdot t = 30 \text{ 毫克} \cdot \text{分} / \text{升}$, 作为高浓度的弹药消耗标准。

$C \cdot t = 200 \text{ 毫克} \cdot \text{分} / \text{升}$, 作为穿透罐子的最高剂量标准。

如果在上述毒气中佩戴面具, 呼吸量仍以 $30 \text{ 升} / \text{分}$ 计, 则面

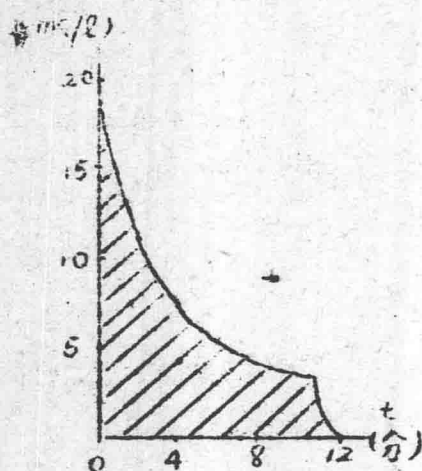


图1-1 最大杀伤段某点上氯化氰浓度的变化。

具滤毒罐的吸毒量分别为0.09克、0.9克和6克。一般认为合成军使用的轻便面具，能抗一次高浓度或十次低浓度的袭击是必要的。这样，在一般呼吸量（30升/分）条件下，滤毒罐、过滤元件应有1克以上的氯化氰吸毒量，我军65型轻便面具对氯化氰的吸毒量：在干燥条件下为：1.35克（ $C=2\text{mg}/\ell$ ， $Q=30\ell/\text{分}$ ）；增湿条件下为1.37克（ $C=2\text{mg}/\ell$ ， $Q=30\ell/\text{分}$ ）。

通过呼吸道途径中毒，除毒剂蒸气外，还有毒剂，放射性和生物气溶胶。目前常以气溶胶状态使用的毒剂有芥子气、梭曼、V类、西埃斯、苯氯乙酮、亚当氏剂。面具对气溶胶的防护是由滤毒罐中的滤烟层来承担的。面具对气溶胶的防护性能由穿透系数来表示。气溶胶穿过滤烟层的浓度为 C_b ，与未通过滤烟层前的初始浓度 C_0 之比，称为穿透系数：

$$K = \frac{C_b}{C_0} \times 100\% \quad (1-2)$$

穿透系数通常以百分数表示。实验证明，滤烟层如能满足防护毒剂气溶胶的要求，则对放射性气溶胶和大多数的生物气溶胶的防护也是可靠的。如果滤烟层满足防护毒剂气溶胶的要求是从最不利的条件出发，则当前毒性最高，最难防护的气溶胶是V类。VX一般常见战场浓度为0.1毫克/升（此浓度在战场条件下持续时间不长），其允许剂量为0.4微克·分/升（ 4×10^{-4} 毫克·分/升）。如果30分钟内，透过滤烟层的毒剂不超过允许剂量，则允许透过浓度约为 1.3×10^{-6}

毫克/升。这样滤烟层的穿透系数为

$$K = \frac{C_b}{C_0} = \frac{1.3 \times 10^{-6}}{0.1} = 0.01\%$$

即对滤烟层穿透系数的要求应不大于0.01%。CS比氯乙酮的激性高4-10倍，其最低刺激浓度为 $5 \times 10^{-6} \text{ mg/l}$ ，面罩内长时间的允许浓度为 $5 \times 10^{-6} \text{ mg/l}$ ，CS战场最高浓度是 0.05 mg/l ，则有：

$$K = \frac{5 \times 10^{-6}}{5 \times 10^{-2}} = 0.01\%$$

利用防毒面具防护毒剂的可靠性，不仅依靠滤毒罐（元件）的良好防毒性能，还要依靠整个防毒面具的良好气密性来保证。人员在使用面具时，由于吸气和滤毒罐阻力的结果，可使面罩内（连同导气管内）造成负压，外界染毒空气就会通过各种不密合处漏入面罩内而造成伤害。造成面具不密合的原因是多方面的：面具设计、制造上的因素；使用中螺纹连接部件处不密合；选配、佩戴的不正确以及呼气活门，面罩内侧被灰尘、草屑、发丝等物污染等均能造成面具的漏气。对面具气密性要求同样与毒剂的毒性大小，浓度高低有关。由于上述原因，面具在实际使用中的漏气性可能的变化范围是较大的。如呼气活门被较大尘粒，发丝，草屑弄脏时，可使人员马上感到不可耐的刺激。因此，这里所谈的对面具的气密性要求主要指面具结构

合理性的最基本的要求。

在防毒技术中，面具的气密性是以漏气系数表示的。漏入面罩内的毒剂浓度 C_M 与外界浓度 C_0 之比，称为漏气系数 K_M ，通常以百分数表示：

$$K_M = \frac{C_M}{C_0} \times 100\% \quad (1-3)$$

若在一分钟的呼吸过程中，经过面具不密合处漏入面罩的染毒空气体积为 V ，外界染毒空气的浓度为 C_0 ，则进入面罩内的毒剂量为： $m = VC_0$ ；人员的呼吸量为 Q 升/分，面罩内 m 数量的毒剂被 Q 升空气冲淡，于是面罩内毒剂浓度等于：

$$C_M = \frac{m}{Q} = \frac{VC_0}{Q} \quad (1-4)$$

或
$$\frac{C_M}{C_0} = \frac{V}{Q} = K_M \quad (1-5)$$

假定以高毒性的梭曼为代表，在梭曼毒气中暴露 1 分钟的最低伤害浓度为 $1 \times 10^{-6} \text{ mg/l}$ ，考虑到面罩内长时间存在的浓度至少应比最低伤害浓度低 10 倍（即不大于 $1 \times 10^{-7} \text{ mg/l}$ ）才偏于安全，而梭曼常见战场浓度为 0.1 mg/l ，则面具的允许透气系数应是：

$$K_M = \frac{1 \times 10^{-7}}{0.1} = 1 \times 10^{-6} = 0.0001\%$$

故面具的透气系数应不大于0.0001%。

假定呼吸量为 $Q=30\text{ l/分}$ ，可用式(1-5)求出一分钟内漏入面罩内的染毒空气量：

$$U = K_M \cdot Q = \frac{0.0001}{100} \times 30 = 0.00003\text{ 升/分} \\ = 0.03\text{ 厘米}^3/\text{分}$$

若每分钟吸气20次，则每吸一次气允许漏入的染毒空气量是：

$$0.03/20 = 0.0015\text{ 厘米}^3 \\ = 1.5\text{ 毫米}^3$$

面具的气密性要求如此之高，故对面具的设计、制造提出了很高的要求。同时由于面具气密性与使用状况有密切关系，所以要求使用者对面具要合理选配、正确佩戴、精心保管、加强佩戴训练。否则，就可能引起严重后果。

面具除具有良好的防毒性能以外，还应力求满足较好的使用性能。佩戴面具后，往往要对人体造成一定的影响，这种影响表现在呼吸、视觉、听觉、通话及血液循环系统的机能活动受到部分的损害，其结果是导致人员战斗力在一定程度上的减弱。

佩戴面具后对人员最明显的生理影响是呼吸困难，在剧烈运动时尤为突出。这是由于面具系统存在阻力和有害空间所引起的。为使气流通过防毒面具，人的肺部要克服一定的阻力，增加呼吸肌的负担。阻力以毫米水柱表示，它可由大气压力和