

第四篇 化学品应急响应中化学防护服的选择、使用和维护

2013年三月份以来,我国频发重特大生产安全事故,2013年8月13日,上海宝山区某公司发生液氨泄漏事故,造成15人死亡,30余人受伤,直接经济损失达2500多万元。2013年11月22日青岛黄岛输油管道严重泄漏引起巨大爆炸,造成62人死亡,100多人受伤。化学事故对社会的极大危害性,也使得化学事故应急救援成为近年来国家重点开展的一项社会减灾救灾工作。但由于化学品本身的毒性、复杂性和反应性,易造成了严重的人员伤害和环境污染。而且,在现行的应急响应体系中,进行抢险救援的消防战士可能暴露在高浓度的核心区域,进行现场处置的消防战士面临极大的威胁。经过多年的教育和实践,目前各级指挥员和战士对呼吸防护有足够的认识,但是对于如何避免化学品通过皮肤吸收进入人体,还需要加强认识。因此如何评估危害、正确选择和合理配备化学防护服,如何正确使用和保养化学防护服成为我们讨论的核心内容。

对于化学防护服,最初的认识来自于军用防化服。总体上来说,面对传统的几种战争毒气的军用产品已经成熟。但是军用装备不一定适合于目前以处置工业化学品泄露为主的消防应急响应处置。其中一个重要的原因就是工业用危险、剧毒化学品品种繁多,性能各异。不能通过选择性吸附的方法达到广谱防护的要求。

我国工业领域化学防护服的产品,目前主要采用PVC或丁基橡胶涂层材料,但是防护能力较低,可防护的化学品种类少。而款式上基本采用全包裹式设计,虽然增加了防护系数,但是沉重的橡胶材料也大大增加了服装的重量,也影响了轻便性。

材料的局限固然造成了目前防护产品防护不足,使用者对化学品和防护知识的不足也影响了高性能装备的普及和使用。事实上,目前在使用过程中发现,由于防护服材料防护性能低造成“防护不足”和由于使用不当出现的“防护不足”一样需要我们的警惕。前者可以通过增加装备的采购费用解决。但后面一个问题则需要投入教育资源,对指战员进行长效培训。

本文将结合国内外的现状和发展,从下面4个方面为指战员阐述有关化学品和化学品防护的知识,为正确选择、使用和维护化学防护服提供参考。

1. 对防护对象——化学品毒性,反应性和如何伤害人体的了解
2. 对防护服材料性能,包括化学防护性能和物理强度的了解
3. 对需要的防护等级和不同级别防护服合理配置的了解
4. 对防护服日常使用培训和保养维护的了解

1. 防护对象-化学品

据统计随着工业的增长,每年全球新增约1000种化学品。越来越多的人不断接触各种化学品。国际劳工组织统计在每年220万个死亡事故中,有43.9万个与接触化学品有关;在1.6亿个职业病案例中有3500万个与接触化学品有关;全球10%的皮肤癌和接触化学品有关。这些数据的背后的受害人承受着生理和心理伤害,家庭的痛苦,社会的、经济上的损失。

化学品本身的化学性质是我们首先关注的。这包括化学品的腐蚀性、反应性、可燃性和稳定性等等。我们都了解一定浓度的硫酸、烧碱都具有很强的腐蚀性。我们也了解金属钠不能用水隔离,因为钠和水反应会形成氢氧化钠并放出大量的热。但是我们也许不了解四氯化钛遇水也会有类似的反应,而且会放出氯化氢,形成盐酸的酸雾。我们无法也没有必要用记忆的方法记住所有化学品的性能,但是我们必须熟悉使用各种有关化学品的性能手册或数据库。这其中应用最为广泛的是MSDS(材料安全数据)。MSDS将提供一些基本的化学信息。

除此以外，MSDS 也能提供另外一个重要信息：化学品的毒理性。MSDS 也可能提供化学品通过呼吸系统吸入、皮肤和眼睛的吸收、消化系统摄入中哪种形式进入人体的信息。

化学品对人体的伤害形式，包括腐蚀伤害，直接破坏身体结构。某些溶剂也会溶解皮肤中的油脂，导致皮肤干燥，形成皲裂并发展成皮炎和/或过敏。

除了这些急性伤害之外，也有慢性伤害会发生。化学物质可以通过毛囊透过皮脂腺细胞和毛囊壁直接进入真皮乳头毛细血管而被血液吸收，并通过血液的循环，致使身体的其它部分受伤害。比如具有致癌性的苯就可以经皮肤吸收进入人体。而象硫酸二乙酯这样的化学品能够导致下一代基因变化。

另外，化学品浓度的高低，接触时间的长短，也会影响对人体的伤害程度。

在化学品泄露事件中，对于应急响应人员来说，他们首先面临的是难以迅速确定何种化学品。因为，他们可能面临不止一种化学品，而每种化学品对防护材料的渗透能力各不相同。在这种情况下，可以参考单种化学品中最危险的化学品进行处置。

但是，还有一种情况就是人员面对化学品完全未知的泄露环境，这个时候我们只能选择具有最高防护性能的材料，以及具有最高防护效能的服装。

这里需要介绍材料化学防护性能的两个重要概念渗透和穿透。

穿透是指在防护装备的服用过程中，化学物质从防护服的拉链、缝合处等防护材料的空隙处透过的现象。见图 1。

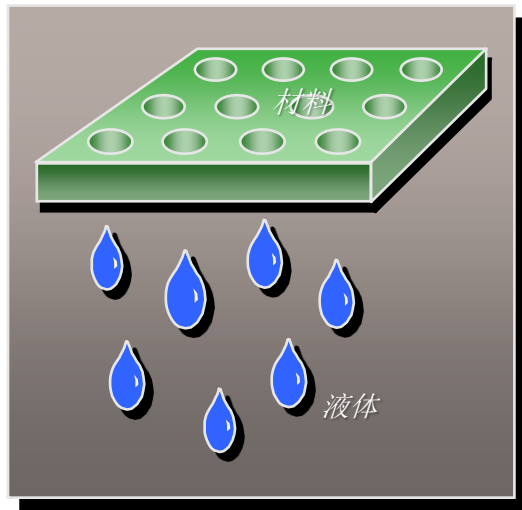


图 1 液体穿透材料表面空隙示意图

由此可见，穿透是一种凭肉眼可见的过程，这也是诸多测试方法的评价依据。之所以会发生穿透，一方面和材料的结构、纤维之间的空隙、材料亲液性等材料特性有关。另一方面和服装的设计、接缝方式、辅料的选择也密不可分。

渗透是指化学物质在防护服材料中溶解或化学物质以分子运动的方式穿透防护服材料的过程。过程见图 2，分子首先吸附在界面上，然后通过分子运动到达材料另一边，最后通过解吸透出。

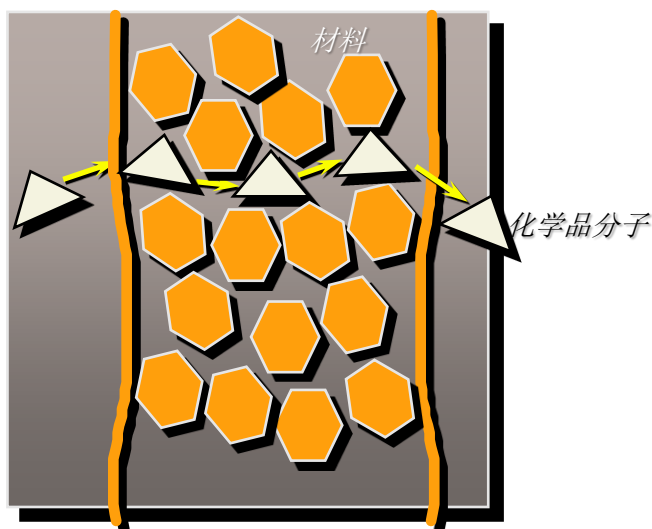


图 2 化学品分子渗透通过材料示意图

与穿透性不同的是，在很多情况下，化学物质渗透并没有明显的迹象。因为液滴与化学物质分子大小有天壤之别，液滴不能穿过的材料表面孔径对分子而言是轻而易举，因此防穿透性指标好的材料未必有好的防渗透性。需要强调的是对 A 类化学品防渗透性能好，对 B 类化学品可能会很差。材料本身的结构是决定防渗透性的重要因素。单层结构的防渗透性能往往有限，这也是为什么一些高等级防护面料需要采用多重防护膜结构的原因。需要指出的是，目前并没有有效手段能绝对阻隔这种因分子扩散而形成的渗透现象，好的防护材料所起到的作用也仅仅是增加扩散运动的壁垒，减缓扩散的速度而已。

因此对化学品渗透的防护成为选择服装时的核心指标。而穿透往往只作为一个参考指标存在。验证材料的可防护化学品渗透的种类和性能也成为选择化学品防护服的首要指标。

此外也需要考虑防护材料的耐久性。耐久性低的服装易受到划伤、刺穿或其他损伤，导致其防护性能下降。

由于可能遇到极端温度的影响，比如象液氨或液氮的泄露。本身毒性不大，对皮肤伤性也有限，也不会通过消化系统摄入。但是，低温可能导致材料失去柔韧性，变脆开裂。因此特别需要关注材料在低温环境中是否不会僵硬开裂。

需要注意的一点，防化服装不能按消防战斗服来使用。当遇到明火时，穿着人员应当迅速脱离接触。事实上，防化服装提供的阻燃性能也是针对提供有限的脱离时间而设计的。

另外，和军用防化材料不同的是：在高等级防护材料领域，目前没有透气性的材料。原因就在于在这个应用领域可能接触的化学品远比有限的几种军用毒剂复杂。因此，目前都采用完全隔绝的防护理念来设计材料。

2. 防护服材料

材料是决定对应于各种危险物质的能力。目前防护液体或气体危害的防护服材料分为重复使用和有限次使用两大类。

有限次使用的材料为多层复合材料结合专业化学防护膜的技术。通过不同膜的组合，防护化学品的种类大大增加，目前有些复合材料产品的渗透性能测试数据显示可以防护 327 种高危化学物质，对其中 260 种化学品的防渗透时间可达到 8 小时以上。有限次使用的防护服防护性能好，成本较低，维护费用较少，但是使用寿命较短。目前在欧美应用广泛的是杜邦公司的 Tychem® BR 和 TK 材料。

重复使用的材料包括 PVC，普通橡胶，改性橡胶（Hyplon®，Viton®等牌号的橡胶）。重复使用材料制成的防护服防护化学品种类少，即使是防护性能较高的改性橡胶产品可以防护的化学品种类也较少，而传统的 PVC 橡胶对有机化学品的防护效果和防护时间都很少。前面讲到过，

材料的防化学品渗透性能使选择防护服的重要指标，而一些低端的重复使用材料则可能没有任何渗透数据方面的支持。重复使用的防护服初始采购成本较高，维护费用较多，但是使用寿命较长。但从防护的角度来看，由于没有一种材料可以长期、重复地防护化学品。化学防护服一旦接触了化学物质，其内部就可能积存一定量的化学物质，这些化学物质可能从化学防护服向防护服环境内外慢慢扩散，从而增加了皮肤感染的风险。除此之外，外来化学物质也可能改变化学防护服的渗透性能，降低材料再次使用时候的防护性能。

下表就是重复使用材料和限次性使用材料针对常用的 21 种化学品的渗透时间，其中包括了气体，液体，有机类溶剂和无机类的酸碱，从中可以看出限次性使用的化学防护服对于化学品的抗渗透时间更长，防护的范围也更大。

渗透时间	Chemical	Tychem®C	氯丁橡胶	腈基橡胶	丁基橡胶	普通氟橡胶	Tychem®F	Tychem®TK
小时	丙酮	<1	<1	<1	>8	<1	>8	>8
	乙腈	<1	<1	<1	>8	<1	1 - 4	>8
	氯气	<1	1 - 4	240	>8	>8	1 - 4	>8
	1, 3-丁二烯	<1	<1	<1	1 - 4	>8	>8	>8
	二硫化碳	<1	<1	<1	<1	>8	>8	>8
	氯气	<1	>8	240	>8	>8	>8	>8
	二氯甲	<1	<1	<1	<1	<1	<1	>8
	二乙基氨	<1	<1	<1	<1	<1	>8	>8
	二甲基酰胺		<1	<1	>8	<1	>8	>8
	乙酸乙酯	<1	<1	<1	1 - 4	<1	>8	>8
	环氧乙烷	<1	<1	<1	1 - 4	<1	1 - 4	>8
	正己烷	<1	<1	>8	<1	>8	>8	>8
	氯化氢	<1	>8		>8	>8	>8	>8
	甲醇	<1	<1	<1	>8	>8	1 - 4	>8
	甲基氯	<1	<1		1 - 4	>8	>8	>8
	硝基苯	<1	<1	<1	>8	>8	>8	>8
	氢氧化钠	>8	>8	>8	>8	>8	>8	>8
	硫酸	>8	1 - 4	<1	>8	4 - 8	>8	>8
四氯乙烯	<1	<1	1 - 4	<1	>8	>8	>8	
四氢呋喃	<1	<1	<1	<1	<1	4 - 8	>8	
甲苯	<1	<1	<1	<1	>8	>8	>8	
分钟	平均突破时间	48	74	79	240	286	383	480

3. 防护等级和防护服的合理配置

- 防护服的等级分类

根据美国环保署的规定，对不同威胁情况下对个人防护装置采取了 4 级分类的方法。规范了在不同危险下个人防护装备的配置要求。

级别	要求	呼吸防护	皮肤防护	眼/面部防护	手防护	足部防护
A	面临最高可能性将暴露在危险中，需要最高级别的呼吸，皮肤眼睛防护	SCBA 或气体管道	密封气密性防护服 Tychem® TK	SCBA 面部防护以及扶助的面部防护部件	内层和外层的化学品防护手套	化学品防护靴和化学品防护软鞋
B	环境要求最高级别的呼吸防护（就象 A 级防护），但皮肤防护要求略低		化学品泼溅防护服 Tychem® C Tychem® F Tychem® ThermoPro			化学品防护靴和选用化学品防护软鞋
C	环境所要求的皮肤防护低（同 B 级防护），而且呼吸防护要求更低	过滤式呼吸器		面罩，风镜或呼吸器的面部部件	化学品防护手套	
D	提供最低的皮肤防护，无呼吸防护	无呼吸防护	连体服 Tyvek®	风镜或安全眼镜	工作手套或化学品防护手套	工作靴或安全防护鞋

中国消防标准 GA 770-2008《消防员化学防护服》中参考了美国 NFPA 1992 的标准也规定了化学防护服的分类标准简化了选项，便于指战员在应急场所做出最快的反应。见下表：

级别	服装结构	颜色	呼吸防护
一级	全密闭式 大视窗的连体头罩	黄色	正压式消防空气呼吸器背囊
二级	连体式结构	红色	外置式正压式消防空气呼吸器

中国的标准，一级的防护装备等同于 A 级防护，二级就是 A 级以下的防护装备了。

化学防护服的选择一般分为以下几个步骤：根据实际情况确定防护水平，即是 A 级防护还是 B 级 C 级 D 级防护，这决定了防护服的设计和接缝方式以及相应的其他配置。再根据危害的物质确定防护服的材料（化学防护性 - 穿透，渗透；物理强度）和防护服的类型（重复使用；有限次使用）

- 应急区域的划分和装备配置

整个应急事故区域分为高度危险的热区，基本没有危险的冷区以及二者之间的温区。每个区域有在此区域执行任务的人员队伍，每个区域的队伍根据危险的不同需要配备不同的防护装备，没有装备或者装备不充分的人员不得进入该区域。为了避免污染扩散，不同区域的队伍在没有更换受污染服装之前，不得跨区域移动。根据以上原则，整个应急响应队伍应当划分成如下专业组：

- 队伍构成

热区队伍

温区队伍

冷区队伍/警戒隔离队伍

- 队伍责任

热区队伍需要进入污染中央区域。由于污染高、危害大,因此对防护的等级要求高，并且随着污染物的不同，所配备的相应防护装备也不一样。通常由特勤中队或特勤班组承担。

热区队伍的主要责任包括减少污染源的量和污染面积，切断或者消除污染源（中止反应，降低浓度），经可能的恢复现场，运送受害人。

温区处于热区之外的缓冲地带，起到隔离的作用。同时，也是在热区工作人员离开热区后，进行洗消作业的区域。该区域的主要危害物质是某些消毒剂、浓度稍低的污染物等。温区队伍的主要责任就是完成洗消作业

冷区通常是为受到污染的区域。通常，指挥中心，通讯中心，医疗中心等机构都在该区域。通常的服装要求时，带有醒目标志的制服，具有防水性能的服装。同时，在该区域中还有一些执行特殊任务的人员，可能进入温区，因此也需要和温区相当或略低的防护装备。

- 人员配置

热区队伍：由于受空气呼吸器（SCBA）钢瓶容量和特殊作业的限制，需要采取轮班作业的方式。

温区队伍：温区队伍的人数取决于热区队伍的人数以及采用几级洗消方案。通常一般为热区队伍相同数目或 1.5 倍人员数目。

● 装备配置

热区队伍的装备:全包裹式气密或非气密型防护服的化学防护服装以及包括冰背心、SCBA、通讯器材、防切割和防化手套、防化鞋等在内的个人防护品。

温区队伍:洗消设备、全包裹非气密型防护服或连体式防护服装、空气呼吸器(SCBA)或者过滤式呼吸面具、手套和防化鞋。

4. 化学防护服的使用和维护及其培训

任何化学防护服的防护功能都是有限的,没有一种化学防护服可以抵挡所有的化学品。防护性能好的防护服能够防护尽可能多的化学品。另外,化学防护服必须和其他防护器材一起使用才能发挥全面的防护性能。如果穿着人员没有穿带配套设备如手套和头罩,就有可能导致受到不必要的伤害。

另外进入有害环境前,应先穿好化学防护服;在有害环境作业的人员,应始终穿着化学防护服。当使用中穿着人员感到皮肤瘙痒、刺痛、恶心等不适症状时,应立即离开有害环境。在检查化学防护服和附件,确定并排除故障后方可重新进入有害环境。

在必须进入应急抢险事故现场内的有关作业人员和其他进入人员,应接受事故抢险型化学防护服和与之配套的呼吸防护用品使用方法培训。

防护服功效的发挥取决于穿着者对产品信息的掌握和正确的使用。对化学防护服特别是高等级防护服的使用人员、管理人员以及其他相关人员(如:协助穿着防护服的工作人员、清洁和保养的工作人员)进行正规地培训。培训内容包括化学危害知识、使用方法、洗消程序、维护保养等:

- 1) 工作环境中的化学危害的性质、程度以及对健康的影响(包括皮肤影响);
- 2) 要使用的化学防护服的使用目的、功能、正确使用方法、局限性;
- 3) 检查方法(包括日常检查、穿着前检查和穿着状态检查等);
- 4) 化学防护服洗消程序;
- 5) 化学防护服适应性训练;
- 6) 化学防护服的维护和储存;

培训的贯彻应该由能胜任的专业人员来执行;所有培训都应要有书面记录;培训要通过常规监督不断完善巩固。培训的内容要不断的更新以保持其先进性。

化学防护服的维护可以保持防护服处于最佳状态。需要每季度或每年进行定期维护。需要目视检查服装的完整性,表面是否有损伤。此外对于气密性的防护服需要同时进行气密性测试。在条件允许的情况下,此类服装应当存放在避光、通风的条件下。避免高温或低温,这都会影响使用寿命。此外,悬挂存放有助于洗消后服装减少化学品残留,也可以避免服装受压或因不当折叠而损坏。事实上,有些服装正是因为面屏被折叠后受损而不得不退役的。

装备是形成战斗力的重要外因。新的装备有助于提高人员的防护水平,增强队伍的应急处置能力。但是,如果没有懂得装备的人员,提升防护水平将可能打折扣。为了更好地提升对消防战士的防护水平,我们应当调动一切资源,进一步加强和提升团队的知识水平和应用能力。

注:杜邦™和 Tychem® 是美国杜邦公司及其关联企业的商标和注册商标。