

GB/T18664-2002《呼吸防护用品的选择、使用与维护》系列讲座

姚红

3M 中国有限公司技术部

第五讲：呼吸防护用品防护等级的分级方法——指定防护因数 APF

第四讲介绍了如何识别危害环境性质和判定危险程度，将危害环境分为 IDLH 环境和非 IDLH 环境；并说明应对 IDLH 环境提供最安全的呼吸防护用品。那么如何评判呼吸防护用品的防护等级呢？在这一讲，我们介绍一个新概念，即呼吸防护用品的指定防护因数（Assigned Protection Factor, (APF)）。

指定防护因数 APF 是指，一种或一类适宜功能的呼吸防护用品，在适合使用者佩戴且正确使用的前提下，预期能将空气污染物浓度降低的倍数。APF 越高，表明其安全性和可靠性越高，防护等级越高。如果一类呼吸防护用品的 APF 为 100，说明在适合使用者佩戴且正确使用的前提下，它能够将有有害物的浓度降低 100 倍，若降低 100 倍后的有害物浓度低于职业卫生标准，说明可预防职业病，呼吸防护有效，否则就应选更高的防护等级（APF）。表 1 是部分常见呼吸防护用品的 APF。

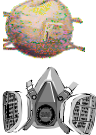



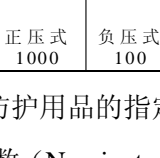


过滤式			隔绝式			
自吸过滤式		动力送风 过滤式 >200 <1000	供气式		携气式	
半面罩 10	全面罩 100		正压式 1000	负压式 100	正压式 >1000	负压式 100
						

表 1 部分常见的呼吸防护用品的指定防护因数

为说明 APF 的来源，需先说明标定防护因数（Nominated Protection Factor, NPF）和现场防护因数（Workplace Protection Factor, WPF）。呼吸防护用品的标定防护因数 NPF 来自实验室检测（参见图 1），在实验仓中发生浓度恒定的气溶胶，由真人佩戴呼吸防护用品模拟实际操作，同时测定实验仓内浓度（ C_1 ）和面罩内浓度（ C_2 ），计算总泄漏率（Total Inward Leakage %, TIL）， $TIL=C_2/C_1$ （%），它是滤料、气阀和面罩密封存在的泄漏总和，TIL 是质量认证机构评价呼吸防护用品性能的方法，通常是在产品标准中提出的性能要求。标定防护因数 $NPF=1/TIL$ （取整数）。由于是实验室测试结果，NPF 代表了呼吸防护用品的某种理想防护水平。

呼吸防护用品的现场防护因数 WPF 是在实际作业过程中测量的（参见图 2），为工人佩戴呼吸防护用品从事实际作业过程中，现场环境中空气污染物浓度与漏入面罩内浓度的比值，代表呼吸防护用品的某种实际防护水平。

图 1 在实验室测定总泄漏率

图 2 从事现场防护因数研究的人员在现场给工人佩戴的防尘口罩安装检测装置

呼吸防护用品的指定防护因数 APF 是以 WPF 为基础，由政府和标准化机构按照一定的方法“人为”制订的，代表各类呼吸防护用品的某种可以接受的通常的防护能力。

我国缺少对呼吸防护用品现场应用的研究，没有 WPF 的资料。本标准采取了比较灵活的办法，参考部分国内呼吸防护用品产品标准的 TIL 参数，本着保持与国外同类标准基本一致的原则，制订了我国的 APF。这样做虽有一定风险，但它是能够限制呼吸防护用品应用范围的唯一方法，是本质性的进步，同时提出现场研究的需求，以便逐步完善我国的 APF 体系。

APF 主要与面罩种类和面罩内空气压力的高低两个因素有关，如果在吸气和呼气阶段面罩内压力能够始终保证高于大气压，就是正压式，否则就是负压式。若固定压力因素进行分析，相对于全面罩，半面罩较难取得与人脸口、鼻区域的密合，较易出现泄漏，所以同样是正压式或是负压式，半面罩的 APF 总比全面罩低；若固定面罩种类进行分析，相对负压式，正压式面罩内维持的正压可以防止外部有害物进入面罩，安全防护性较高，APF 比负压式的高，如正压供气式半面罩的 APF 为 50，自吸过滤式和负压供气式半面罩的 APF 都是 10。

[有奖争答]

问题 1：自吸过滤式半面罩的 APF 是多少？

问题 2：自吸过滤式全面罩的 APF 是多少？

问题 3：负压全面罩携气式呼吸防护用品的 APF 是多少？

[第四讲问题答案]

问题 1：对呼吸危害而言，哪种环境是最危险的环境？答案：是 IDLH 环境

问题 2：IDLH 环境可能是哪些情况？答案：是危害未知的环境，或是否缺氧未知和缺氧的环境，或是有害物浓度超过 IDLH 浓度的环境。

问题 3：IDLH 浓度是职业卫生标准吗？答案：不是

GB/T18664-2002《呼吸防护用品的选择、使用与维护》系列讲座

姚红

3M 中国有限公司技术部

第六讲：可用于立即威胁生命和健康（IDLH）环境的呼吸防护用品

IDLH 环境是呼吸防护用品应用风险最高的环境，理应严格限制适用的种类。在确定限制界限时，需考虑呼吸防护用品的安全可靠性、作业人员可以接受的风险和可行性三方面因素。绝对安全可靠的产品是不存在的。受各国技术标准水平和检测方法差异的限制，在安全可靠性方面，符合不同标准的同类产品彼此存在一定差异，这是可以接受和理解的；但作业人员可接受的风险在原则上不应因国家的不同而不同，这一点体现了呼吸防护的原则——危害程度相同，防护等级相同。

综观世界各国在这个问题的处理方法，虽然对 IDLH 环境下允许选择的呼吸防护用品种类存在某些差异，但防护等级是基本相当的（参见表 1），全部为隔绝式，本标准的规定不仅与国外标准一致，也符合我国现行的缺氧危险作业安全规程（GB 8958-88）“缺氧作业必须选用隔绝式呼吸防护用品”的规定。

表 1 各国标准对 IDLH 环境选择呼吸防护用品规定举例

标准举例	各标准对 IDLH 环境选用呼吸防护用品的规定
英国 BS 4275: 1997 《有效执行呼吸防护用品计划指南》	- 隔绝式呼吸防护用品（供气式或携气式），配适用的逃生呼吸防护用品
美国 ANSI Z88.2-1992 《呼吸防护标准》	- 正压携气式呼吸防护用品 - 配携气式辅助呼吸防护用品的供气式呼吸防护用品（复合供气型）
美国 OSHA29CFR1910.134 《呼吸保护标准》	- 使用时间不少于 30 分钟的配全面罩的正压携气式呼吸防护用品 - 配携气式辅助呼吸防护用品的全面罩正压供气式呼吸防护用品
澳大利亚/新西兰 AS/NZS 1715: 1994《呼吸防护用品的选择、使用与维护》	- 供气式呼吸防护用品 - 配辅助安全装置的供气式呼吸防护用品 - 使用时间不少于 15 分钟的携气式呼吸防护用品 - 配携气式辅助呼吸防护用品的供气式呼吸防护用品。
中国标准 GB/T18664-2002 《呼吸防护用品的选择、使用与维护》	- 全面罩正压携气式呼吸防护用品 - 配适合的辅助逃生呼吸防护用品的全面罩正压供气式呼吸防护用品

结合第五讲的呼吸防护用品指定防护因数（APF）的内容，我国标准所允许的可用于 IDLH 环境的呼吸防护用品是都是 APF 最高的一类，第一种允许使用的是：**配全面罩的正压携气式**，它的 APF 是 >1000，是最高的，那为什么不能用具有同样 APF 的半面罩正压携气式呢？原因是全面罩的密合性比半面罩更好，安全可靠性更高；第二种可以使用的是：**配适合的辅助逃生呼吸防护用品的全面罩正压供气式**。全面罩正压供气式的 APF 为 1000，在配备了适合的辅助逃生呼吸防护用品的条件下，这样的配置可以在供气式的呼吸管意外断开的情况下提供逃生选择，大大提高了系统安全性。那么，什么是适合的辅助逃生呼吸防护用品

呢？在标准 4.2.3.1b)的注中有明确的规定：“辅助逃生型呼吸防护用品应适合 IDLH 环境的性质。例如，在有害环境性质未知、是否缺氧未知及缺氧环境下，逃生型呼吸防护用品应为携气式，不允许使用过滤式；在不缺氧，但空气污染物浓度超过 IDLH 浓度的环境下，逃生型呼吸防护用品可以是携气式，也可以是过滤式，但应适应该空气污染物种类及其浓度水平。”在最后这种情况选择过滤式时，可以考虑选择容量大的滤毒罐，也可以通过预测防护时间帮助判断其适用性。

可用于 IDLH 环境的呼吸防护用品有两个特点，一是具有高的指定防护因数 APF，二是具有已知的或能可靠预测的防护时间，因为它是安全可靠性的另一个重要体现。

根据笔者的了解，在缺乏其他的数据来源和技术导则的情况下，过去人们只能根据防护用品的检测条件推测实际使用性能。在 GB2890-1995《过滤式防毒面具通用技术条件》中，检测滤毒盒和滤毒罐防护时间所用的空气污染物浓度基本都超过 IDLH 浓度（参见表 2 和表 3），且该标准的 9.1 条款面具使用条件中，有“毒气浓度‘参考’防护时间检测中使用的空气污染物浓度”的表述，实践中确实存在使用过滤式呼吸防护用品用于高风险的紧急维修甚至抢险的现象。

我们应注意到这样的一个事实，滤毒罐或滤毒盒防护时间是在实验室测定的，测定时对温度、湿度、气流量等都有限制性规定，并使用单一毒剂检测防护时间。实际作业的条件与实验室不同——不同的温度、不同的湿度、不同的劳动强度下的不同的呼吸量、不同的空气污染物及其组合等等，利用限制性条件下测出防护时间预测实际条件的防护时间，存在着过多未知的和不确定的因素，可靠性低。另外一个重要因素是，过滤式防毒面具为负压式，若在 IDLH 环境中使用，任何微小的泄漏都可能是致命的。**由作业人员承担所有这些风险是不合理的。**因此，本标准在这个问题上采纳了与其他国家相同的规定，**不允许选择过滤式防护用品单独用于 IDLH 环境作业。**

表 2 GB 2890-1995 对滤毒盒防护时间检测规定举例

滤毒盒编号	防护对象举例	试验毒剂	试验气浓度 ppm	IDLH浓度 ppm	防毒时间 min
3	苯、丙酮二硫化碳、汽油等	苯	苯 1 540	苯 3 000	45
4	氨、硫化氢	氨 硫化氢	氨 1 080	氨 500	25
7	二氧化硫、氯气、硫化氢、氮的氧化物等	二氧化硫	750	100	30

表 3 GB 2890-1995 对滤毒罐防护时间检测规定举例

滤毒罐编号	防护对象举例	试验毒剂	试验气浓度 ppm	IDLH浓度 Ppm	防毒时间 min
1	氢氰酸、氯化氰、砷化氢、光气、双光气、氯化苦、苯、溴甲烷、二氯甲烷、路易氏气、芥子气	氢氰酸	10 000 大型 (L) 5 000 中型 (M) 3 000 小型 (S)	50	80 40 20
3	苯、氯气、丙酮、醇类、苯胺类、二硫化碳、四氯化碳、三氯甲烷、溴甲烷、氯甲烷、硝基烷、氯化苦	苯 氯气	10 000 L 5 000 M 3 000 S	苯 3 000 氯气 30	苯 氯气 150 L 80 L 130 M 55 M 70 S 20 S
7	二氧化硫、氯气、硫化氢、氮的氧化物、光气、磷和含氯有机农药	二氧化硫	10 000 L 5 000 M 3 000 S	100	35 L 32 M 20 S
8	硫化氢	硫化氢	10 000 L 5 000 M 3 000 S	300	80 L 120 M 40 S

下面举一个IDLH环境选择呼吸防护用品的实例（标准附录D的例2）：

一、作业描述

一名油漆工在一储罐中从事喷涂作业，罐直径4m，高2m，无强制通风，作业时间约1h，使用二甲苯溶剂，罐内温度20°C。

二、识别有害环境性质

作业场所不缺氧。国家职业卫生标准规定的二甲苯最高允许浓度为100 mg/m³，IDLH浓度为4 400 mg/m³；在880 mg/m³浓度下二甲苯对眼、鼻有刺激性。

由于空间小，通风差，作业空间空气中二甲苯浓度会快速升高。20°C下二甲苯蒸气压为9 mmHg，饱和蒸气浓度会达到53 000 mg/m³，将超过IDLH浓度。

三、判定危害程度

作业场所不缺氧，二甲苯浓度会超过IDLH浓度，属于IDLH环境。

四、根据危害程度和空气污染物种类选择呼吸防护用品

考虑到作业时间的长短，根据GB/T18664标准，可选择使用时间在1h以上的全面罩正压携气式呼吸防护用品；因供气管在狭小空间中不会妨碍作业，也可选择全面罩正压供气式

呼吸防护用品配辅助逃生型呼吸防护用品,该辅助逃生呼吸防护用品可以是短时逃生型携气式,也可以是能够防高浓度(53 000 mg/m³)有机蒸气的过滤式逃生呼吸防护用品。

五、评价采取呼吸防护措施后的危害程度

通过下式计算工人预计的暴露浓度:

$$\text{预计暴露浓度} = \frac{\text{预测现场二甲苯浓度}}{\text{选择的呼吸防护用品的 APF}} = \frac{53\,000 \text{ mg/m}^3}{1000} = 53 \text{ mg/m}^3$$

若面罩与工人脸部适合,使用方法正确,作业人员的预期暴露浓度为 53 mg/m³,低于国家职业卫生标准。

[有奖争答]

问题 1: 是否允许选择过滤式防护用品单独用于 IDLH 环境作业?

问题 2: 允许用于 IDLH 环境的呼吸防护用品应具有哪两个特点?

问题 3: 是否允许使用配过滤式辅助逃生呼吸防护用品的全面罩正压供气式用于呼吸危害未知类型的 IDLH 环境?

[第五讲问题答案]

问题 1: 自吸过滤式半面罩的 APF 是多少? 答案: 10

问题 2: 自吸过滤式全面罩的 APF 是多少? 答案: 100

问题 3: 负压全面罩携气式呼吸防护用品的 APF 是多少? 答案: 100

第七讲：如何选择普通危害环境中使用的呼吸防护用品

在第四讲中已经介绍过如何识别有害环境性质和判定危害程度。普通的危害环境就是非立即威胁生命和健康的环境（非 IDLH 环境）：环境不缺氧，有害物浓度低于 IDLH 浓度，但超过职业卫生标准。对于非 IDLH 环境，我们用危害因数评价危害程度：

$$\text{危害因数} = \frac{\text{空气污染物浓度}}{\text{国家职业卫生标准规定浓度}}$$

若危害因数大于 1，说明作业场所空气污染物浓度超过职业卫生标准，根据《职业病防治法》要求，需采取职业病防护措施。危害因数越高，说明环境越危险，选择的呼吸防护用品的指定防护因数 APF 应越高。标准规定，必须选择 APF 大于危害因数的呼吸防护用品。若同时存在一种以上的空气污染物，应分别计算危害因数，取数值最大的作为该作业场所的危害因数。

空气中有害物存在形态有粉尘、烟、雾、气体和蒸气 5 种形态。在第二讲中我们介绍了，由于不依靠过滤材料，隔绝式呼吸防护用品适用于各类有害物存在的情况。若选择过滤式，就必须选择适合的过滤部件。为此，在 GB/T 18664 的 4.2.4 段，对选择过滤式防护用品的方法提出了更具体的要求。

一、若空气污染物为颗粒物，选择过滤式呼吸防护用品应注意以下几点：

1. 防尘口罩不适合挥发性颗粒物的防护，应选择同时过滤颗粒物及其挥发物的过滤部件。

例如，喷漆产生的漆雾本身是颗粒物的一种，但漆是挥发性的有机物，会产生有机蒸气，所以应选择同时防有机蒸气和颗粒物的过滤部件组合。

2. 应根据颗粒物的分散度选择适合的防尘口罩。

我国现行粉尘职业卫生标准包括两种粉尘浓度限值，即总粉尘和呼吸性粉尘。简单讲，总粉尘包括粗粉尘和细粉尘，呼吸性粉尘只包括 7 微米以下的细粉尘，是能够进入肺泡导致尘肺病的那类粉尘。符合现行的防尘口罩标准（GB/T2626-92 和 LD 29-92 认证）的产品更适合对总粉尘的防护，原因是检测过滤效率时使用的颗粒物粒度比较大；而符合现行的防微粒口罩（GB/T 6223-1997）的产品适合对呼吸性粉尘的防护，尤其是对烟的防护（如焊接烟），因为这个标准使用 0.3 微米的颗粒物检测过滤效率。

3. 若颗粒物为液态或具有油性，应选择适合的过滤材料。

液态颗粒物好理解，就是雾。油性颗粒物并不多见，但也会遇到，如沥青烟、柴油发动机尾气、金属热切割过程所喷的油雾等。由于我国防尘口罩标准对过滤材料的适用性不分类，检测时只用固体非油性颗粒，所以在遇到上述情况时，还应向产品制造者了解其产品是否适合雾和油性颗粒物。从进口产品看，一些国外标准对防尘过滤材料分类，以美国标准为例，

防颗粒物的过滤材料分 3 类：

- N 类：适合非油性颗粒物（粉尘、烟和雾）；
- R 类：适合所有颗粒物，对油性的颗粒物限制使用时间为一个工作班；
- P 类：适合所有颗粒物，无具体使用时间限制，一般建议使用时间不宜超过 40h。

4. 若颗粒物具有放射性，应选择过滤效率为最高等级的呼吸防护用品。

无论是国内的标准，还是国外的标准，防尘口罩的过滤效率都分几个档次，如 90%、95%、99% 或 100%。尽管标准规定呼吸防护用品的 APF 和过滤材料等级没有直接关系，只要是半面罩，无论过滤材料的过滤效率有多高，其 APF 都是 10。由于呼吸性粉尘进入人体肺泡后就无法排出，吸入放射性颗粒物会产生内照射，为避免内照射导致的职业病，应尽可能选择过滤效率等级最高的产品。

二、若空气污染物为有害气体或蒸气，选择过滤式呼吸防护用品应注意以下几点：

1. 应根据气体或蒸气的种类选择过滤部件。

我国现行标准对滤毒罐/滤毒盒的防护对象有分类，规定了标号和标色（参见表 1 和表 2）。但国外标准对防护对象分类、标色、标号的规定与我国不同，所以在选择时应向销售者了解。

表 1 我国标准规定的滤毒罐编号与标色

滤毒罐编号	滤毒罐标色	试验毒剂	防护对象举例
1	绿	氢氰酸	氢氰酸、氯化氰、砷化氢、光气、双光气、氯化苦、苯、溴甲烷、二氯甲烷、路易氏气、芥子气
2	桔红	氢氰酸 一氧化碳	一氧化碳、各种有机蒸气、氢氰酸及其衍生物
3	褐	苯、氯气	苯、氯气、丙酮、醇类、苯胺类、二硫化碳、四氯化碳、三氯甲烷、溴甲烷、氯甲烷、硝基烷、氯化苦
4	灰	氨、硫化氢	氨、硫化氢
5	白	一氧化碳	一氧化碳
6	黑	汞蒸气	汞蒸气
7	黄	二氧化硫	二氧化硫、氯气、硫化氢、氮的氧化物、光气、磷和含氯有机农药
8	蓝	硫化氢	硫化氢

表 2 我国标准规定的滤毒盒编号与标色

滤毒盒编号	滤毒盒标色	试验毒剂	防护对象举例
3	褐	苯	苯、丙酮、二硫化碳、汽油等
4	灰	氨、硫化氢	氨、硫化氢
6	黑	汞蒸气	汞蒸气
7	黄	二氧化硫	二氧化硫、氯气、硫化氢、氮的氧化物等

2. 对于没有警示性或警示性很差的有毒气体或蒸气，应优先选择有失效指示器的呼吸

防护用品，或选择隔绝式。

失效指示器是警告使用者呼吸防护接近失效的装置。对于过滤式呼吸防护用品，失效指示器在滤毒罐/滤毒盒防护时间即将结束时，通过显色、发声、发光等措施提醒使用者更换。另外，称重也是一种判断防护接近失效的办法，某些国内生产的防护一氧化碳、氨等的滤毒罐就规定，滤毒罐重量达到某一限值时，说明防护失效，但承重只适用于使用前。但并非对所有气体或蒸气都有现成的失效指示技术，有时这类装置极其昂贵，如果不便选择隔绝式，另一个可行的办法就是建立滤毒罐/滤毒盒更换时间表，根据现场浓度预测过滤装置的防护时间，在防护失效前更换过滤部件。这部分内容将在第九讲中介绍。

三、若空气污染物为颗粒物和有害气体或蒸气的混合物，选择过滤式呼吸防护用品应注意选择有效的过滤部件组合。

我国标准 GB2890-1995《过滤式防毒面具通用技术条件》规定，带滤烟层的滤毒罐、滤毒盒可以防雾或烟。检测滤烟层过滤效率使用的是油雾，所以滤烟层一般适合各种颗粒物。我国标准对带滤烟层的滤毒罐、滤毒盒的标色与标号的规定是，区别于不带滤烟层，标号后加“L”，标色加“白道”。

[有奖争答]

问题 1：当危害因数大于 1 时，说明什么？

问题 2：选择的呼吸防护用品的 APF 可以小于危害因数吗？

问题 3：我国标准规定的防护有机蒸气的滤毒罐标号和标色是什么？

[第六讲问题答案]

问题 1：是否允许选择过滤式防护用品单独用于 IDLH 环境作业？答案：不允许

问题 2：允许用于 IDLH 环境的呼吸防护用品应具有哪两个特点？答案：一是具有高的指定防护因数 APF，二是具有已知的或能可靠预测的防护时间。

问题 3：是否允许使用配过滤式辅助逃生呼吸防护用品的全面罩正压供气式用于呼吸危害未知类型的 IDLH 环境？答案：不允许