



国际炭黑协会

# 炭黑用户指南

安全、健康和环保信息

#### 重要提示

本手册不是安全数据表 (SDS)，也不能用作 SDS 的替代品。  
使用该产品前，请通过您的炭黑供应商获取并查阅最新 SDS。

国际炭黑协会 (ICBA) 是一家始建于 1977 年的非营利性科技公司。ICBA 的宗旨是赞助、开展并参与炭黑生产和使用的健康、安全和环保方面的调查、研究和分析。

协会是由成员公司共同指定的董事会进行经营和管理。该董事会设定策略并向科学顾问组 (SAG) 和地区产品安全与监管委员会 (PSRC) 提供总体方向，同时整合、监督 SAG 和 PSRC 的活动，以确定目标和优先事项。

四家单位负责向董事会报告，并执行制定的策略和优先事项。它们包括科学顾问组 (SAG) 和北美、欧洲及亚太地区产品安全与监管委员会。

更多信息请见 [www.carbon-black.org](http://www.carbon-black.org)。

本指南概述了与炭黑使用可能相关的操作设计、维护、培训、应急响应和操作处置规范方面的必要健康、安全与环保信息。本文所含信息可供经过培训合格的炭黑用户来补充相关知识。

本出版物代表了国际炭黑协会成员到出版日期为止的现有知识。用户应当保持了解在出版日期之后出现的关于炭黑性质、操作技术和监管要求的最新发展和信息。有任何问题都应联系您的炭黑供应商。

# 目录

<b>一般信息</b>		<b>职业接触限值</b>	<b>14</b>
什么是炭黑?	4	粒子大小评估	14
如何生产的?	4	工程控制	15
炭黑、煤烟和黑碳	5	呼吸防护	15
粒子结构 — 形态	6	<b>医疗监护</b>	<b>16</b>
<b>安全</b>		<b>环保</b>	
可燃性 / 爆炸性粉尘危险	9	温室气体排放	17
火灾危险	9	水资源使用	17
清洁工作与安全操作规范	9	废弃处置	17
储存和操作处置	10	空气	17
密闭空间进入	10	废水	17
急性救护	10	泄漏	18
<b>健康</b>		<b>运输</b>	
人类研究	11	装运容器	19
动物致癌性研究	12	运输分类	19
致癌性分类	12	自发热	19
突变性	13	<b>产品监管</b>	
生殖影响	13	食品接触材料用炭黑	20
慢性摄入	13	国家注册信息和其他适用法规	20
眼睛接触	13	<b>附录 A</b>	<b>22</b>
皮肤接触	13	炭黑、橡胶和墨粉行业从业者健康研究	
致敏性	13	<b>附录 B</b>	<b>28</b>
动物刺激试验	13	相关的炭黑职业接触限值	
<b>职业卫生</b>		<b>参考文献</b>	<b>30</b>
概述	14		
空气中接触评估	14		

# 一般信息

## 什么是炭黑？

炭黑 [C.A.S.号 1333-86-4] 实际上是胶体颗粒形式的纯元素碳，由气态或液态碳氢化合物在受控条件下部分燃烧和受热分解生成。其物理外观为细微分散的黑色颗粒或粉末。它在轮胎、橡胶和塑料制品、印刷油墨和涂料中的用途与比表面积、粒子大小和结构、电导率及颜色有关。表 1 提供了关于炭黑的一般信息。2012 年全球产量约为 240 亿磅 [1100 万公吨]。其中约 90% 生产的炭黑用于橡胶应用，其余量作为关键成分用于数百种各类应用，如塑料、颜料和涂料。

现代炭黑产品是 3,500 多年前最先由中国人生产的早期“灯黑”的直接派生物。这些早期灯黑并不十分纯净，其化学成分与现在的炭黑差异很大。自 20 世纪中期以来，大部分炭黑通过油炉法制得，通常称为炉法炭黑。

## 如何生产的？

世界上几乎所有炭黑都是通过两种炭黑生产工艺（炉法炭黑和热裂法炭黑）制得，其中炉法炭黑工艺是最常用的。

炉法炭黑工艺采用重质芳烃油作为原料。生产炉在密闭反应器中使用雾化喷嘴在精确受控条件（主要是温度和压力）下热裂解原料油。原料油进入热气流中经过汽化和裂解，形成微小的碳颗粒。在大多数炉法反应器中，反应速率通过蒸汽或水喷雾进行控制。在连续工艺中，从反应器产生的炭黑流过热交换器，冷却后在袋滤器中进行收集。排出的炭黑可进一步加工，去除杂质。经过袋滤器后，炭黑被造粒、干燥、筛选，并准备装运。炉法反应器的残余气体或尾气包括

**表 1**  
一般信息与理化性质

<b>化学品名称:</b>	炭黑
<b>同义词:</b>	乙炔黑、槽法炭黑、炉法炭黑、气黑、灯黑、热裂法炭黑
<b>CAS 名称:</b>	炭黑
<b>CAS 注册号:</b>	1333-86-4
<b>化学 (分子) 式:</b>	C
<b>分子量:</b>	12 (作为碳)
<b>物理状态:</b>	固体: 粉末或颗粒
<b>溶解性:</b>	水: 不可溶, 溶剂: 不可溶
<b>颜色:</b>	黑色

各种气体，如一氧化碳和氢气。大多数炉法炭黑工厂利用其中一部分残余气体产生热量、蒸汽或发电。（请参阅图 1a. 典型炉法炭黑生产工艺。）

热裂法炭黑工艺采用天然气作为原料，其中主要含甲烷。该工艺使用一对燃炉，每五分钟左右交替进行预热和炭黑生产。天然气被注入到耐火材料内衬的燃炉中，在隔绝空气的条件下，耐火材料的热量将天然气分解为炭黑和氢气。气溶胶物质流通过水喷雾急冷，然后在袋滤室内过滤。排出的炭黑可进一步加工，去除杂质后造粒、筛选、包装及发货。氢废气在空气中燃烧，以预热另一个燃炉。残余热量可用于发电。（请参阅图 1b. 典型热裂法炭黑生产工艺。）

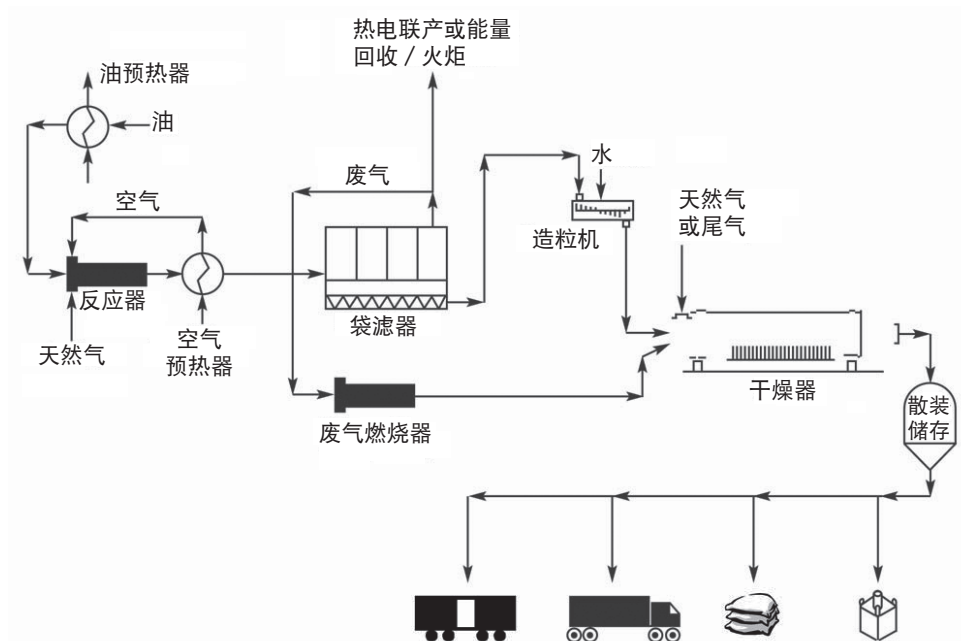


图 1a

典型炉法炭黑生产工艺

## 炭黑、煤烟和黑碳

炭黑既不是煤烟，也不是黑碳。“煤烟”和“黑碳”是在火灾和含碳燃料（如废油、燃油、汽油燃料、柴油燃料、煤、煤焦油沥青、油页岩、木材、纸张、橡胶、塑料和树脂）不完全燃烧中排放物两种最常见的名称。这些排放物含有一些元素碳，但也有大量有机物和其他化合物。“煤烟”指各种不同燃烧过程产生的碳含量较高的颗粒，其中柴油废气是主要的城市煤烟来源。“黑碳”一词用来描述在最近许多环境和室

内颗粒物研究中测得的城市或环境空气中悬浮的碳质颗粒物。炭黑几乎完全由纯元素碳组成 (>97%)，而煤烟是一种由不同组分形成的物质，其中元素碳含量低于 60% 并包含大量无机杂质（灰分和金属）及有机碳形态。炭黑通常含有不到 1% 的可提取有机化合物，其中包括多环芳香烃 (PAH)。相反，煤烟颗粒则由超过 50% 的各种有机物组成，并且可能包括高浓度的金属和 PAH，这些取决于原材料。例如，柴油废气煤烟颗粒通常由元素碳芯组成，包裹着含氮有机物和 PAH。

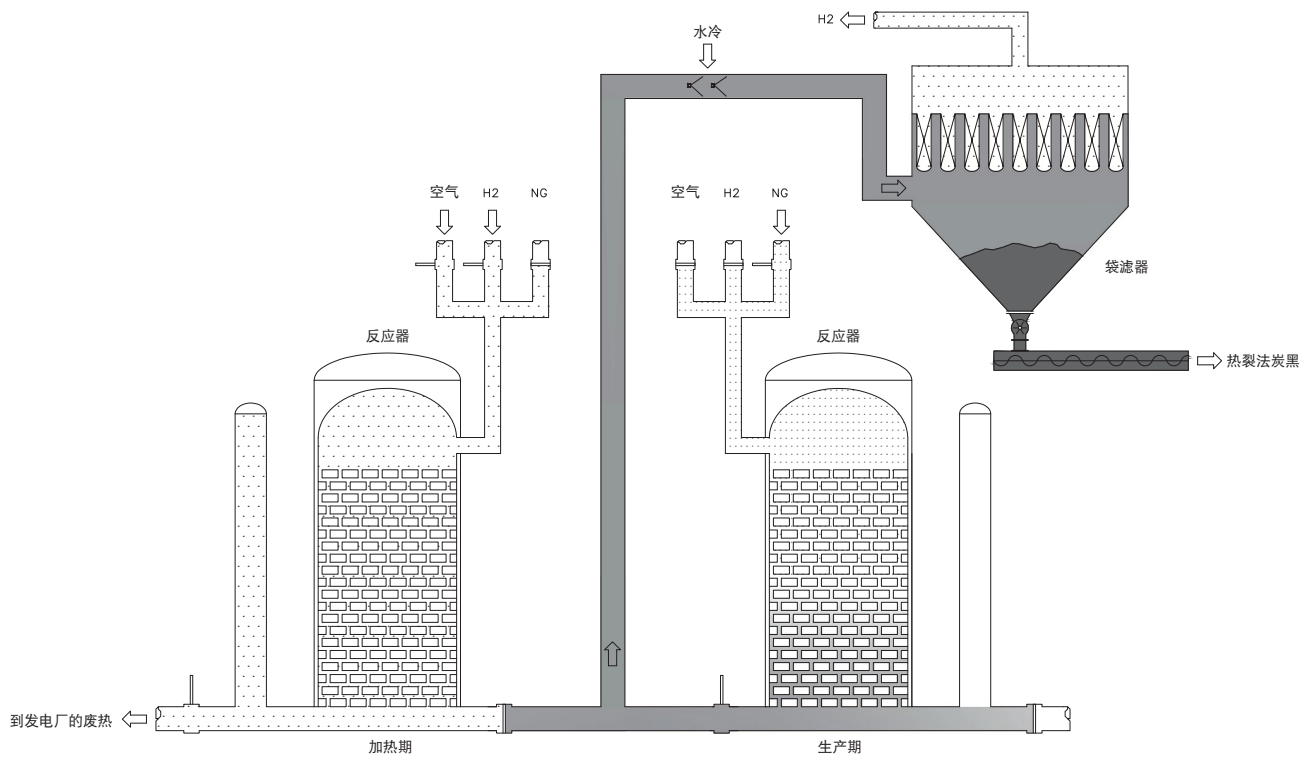


图 1b

典型热裂法炭黑生产工艺

对于工业炭黑，PAH 等有机污染物只有在非常严苛的实验室分析过程中，在高温和强有机溶剂条件下才能被提取出来。水和体液无法去除炭黑表面的 PAH；因此，当 PAH 吸附到炭黑上时，并不认为其具有生物可利用性。

有另外两种工业碳质产品通常与炭黑混淆，即活性炭和骨黑。它们是通过不同于炭黑的工艺制成，各自具有独特的物理和化学性质。

## 粒子结构 — 形态

ASTM D3053-13a 炭黑相关标准术语 *Standard Terminology Relating to Carbon Black* 中提供了有关炭黑及其形态的下列定义和讨论：

炭黑，名词 — 一种工程材料，主要由元素碳组成，通过碳氢化合物的部分燃烧或热分解得到，其存在形式是由球形初级粒子组成的多核形态聚集体，在给定的聚集体<sup>[1]</sup>中这些初级粒子具有一致的粒子大小，其自身具有乱层石墨型结构。

<sup>[1]</sup> 对于制成炭黑这种通性的一种例外情况是热裂法炭黑，其中初级粒子可能孤立存在，并且初级粒子在聚集体中也不一定大小一致。



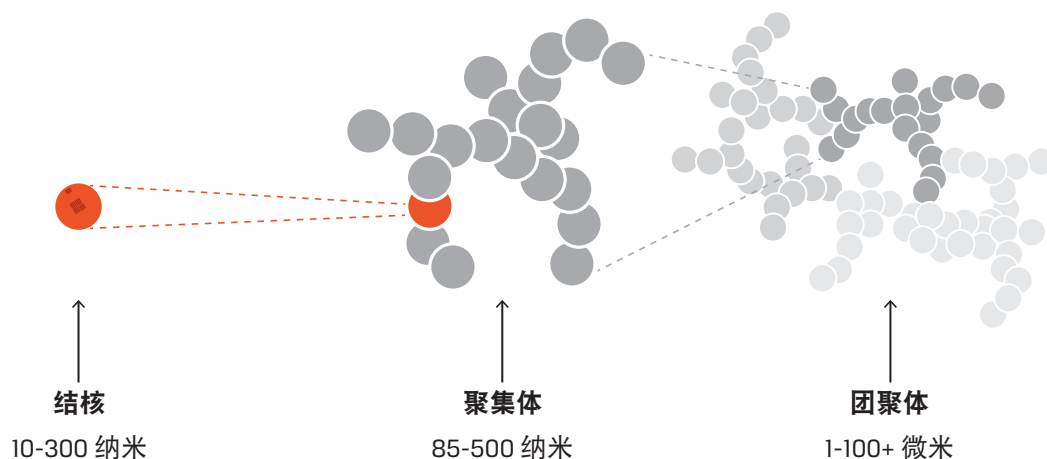


图 2

炭黑结构发展序列

球形结核（初级粒子）是炭黑的基本组成部分，经过强力融合成多核（葡萄样）形态的胶态尺寸聚集体。强大的电作用力维持着聚集体的完整性，并有助于形成团聚体。

炭黑具有层次结构的形态特征：粒子（即初级粒子）、聚集体和团聚体。炭黑的基本组成部分是初级粒子，它们几乎不会孤立存在，而是由共价键强力融合成聚集体。<sup>[1]</sup> 初级粒子本质上只是个概念，聚集体形成后，初级粒子便不复存在，它们不再离散，其中也没有物理边界。单个聚集体生成后由范德华力结合在一起，形成团聚体。除非施加足够的力（如剪切力），否则团聚体不会分解成更小的组成部分。初级粒子和聚集体大小是分布式性质，随炭黑品种变化。透射电镜照片显示，虽然初级粒子和聚集体大小在给定炭黑品种中有较大差异，但初级粒子大小在单个聚集体中却基本上一致。<sup>[1]</sup>

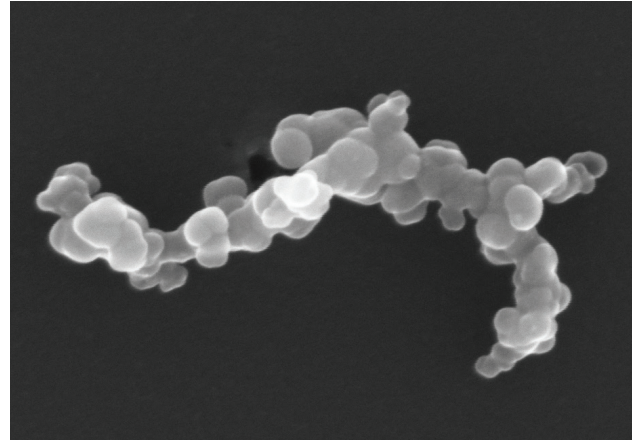
根据 ASTM D3053-13a 定义并使用国际标准化组织 (ISO) 的 2015 年技术规范 80004-1，炭黑被认为是纳米结构的材料（即，具有纳米级内部和表面结构的材料）。

图 2 描述了结构发展序列。概念性的初级粒子大小在纳米级范围内。但是，通常初级粒子并不孤立存在于炭黑粉末中。由于初级粒子通过融合 / 共价键结合在一起，因此初级粒子大小分布与炭黑无关。如上所述，球形初级粒子强有力地结合或融合在一起，形成了称为聚集体的离散实体（图 3）。聚集体是稳定的结构，能经受剪切力；它们是最小的可分散单元。由于团聚体在施加剪切力时会分开，因此难以准确测量。

通常，炭黑以颗粒（即压缩团聚体）形式装运并投放市场，有助于方便处理，并降低粉尘的形成（图 4）。颗粒大小通常小于一毫米。

**图 3**

由融合初级粒子组成的典型炭黑聚集体扫描电子显微镜视图  
(280,000x)

**图 4**

通常投放市场的炭黑颗粒（压缩团聚体）



# 安全

## 可燃性<sup>[2]</sup> / 爆炸性粉尘危险

根据各种国际测试方法（如 ASTM 1226、EN 14034、VDI 2263），炭黑在实验室测试条件下是一种爆炸性粉尘（危险等级 ST-1，弱爆炸）。所有爆炸性粉尘都是可燃的；但并非所有可燃性粉尘都会爆炸。炭黑是可燃的，并且会爆炸。

空气中悬浮炭黑粉尘的**最低爆炸浓度** (MEC) 是  $>50\text{g/m}^3$ 。这一浓度远高于当前的职业接触限值。

炭黑和其他爆炸性粉尘之间的主要差异在于炭黑引起粉尘爆炸需要很高的点火能量。根据国际测试方法（如 ASTM 2019、EN 13821、VDI 2263），大多数在空气中悬浮的足够数量的炭黑粉尘 ( $>50\text{g/m}^3$ ) 具有  $>1\text{kJ}$  的**最小点火能量** (MIE)。

MEC 和 MIE 取决于粒子大小和水分含量。当炭黑与其他物质混合时，这些参数可能发生变化，尤其是当炭黑与可燃物或易燃物混合时。因此，建议对具体混合物进行测试，以确定爆炸参数。

隐燃的炭黑会释放一氧化碳 (CO)，而一氧化碳与炭黑结合后，遇到空气会一起形成爆炸性混合物。根据混合物 (CO/炭黑) 的组成，爆炸参数（如可燃下限、MEC 和 MIE）可能发生变化。

炭黑粉尘可能会促使二次粉尘爆炸（微小的第一次爆炸的冲击波可形成炭黑粉尘云，冲击波能量引爆粉尘云接着第二次爆炸）。

为了最大程度地减少炭黑排放导致的在水平和某些垂直表面上的积聚，必须实施良好工程规范、良好清洁工作规范和有效除尘系统。对于炭黑扬尘，应最大程度地予以减少，并定期进行清洁工作（请参阅 NFPA 654，表 A.6.7）。

## 火灾危险

蓬松粉末或颗粒状的炭黑可燃烧，其燃烧缓慢（隐燃），并且可能看不到烟或火。若发生火灾，请注意，由于隐燃的炭黑粉末漂浮在水上，强直流水枪或水流可能导致火势扩散。如果用水作为灭火剂，建议使用喷雾。同样，泡沫也是可接受的灭火剂。对于筒仓或密闭区域内的隐燃炭黑，氮或  $\text{CO}_2$  气体可用作灭火剂。着过火（或疑似着火）的炭黑应最少观察 48 小时，确保隐燃已停止。在隐燃过程中产生的燃烧气体包括一氧化碳 (CO)、二氧化碳 ( $\text{CO}_2$ ) 和硫氧化物。

## 清洁工作与安全操作规范

泄漏清理和常规清洁工作对于控制炭黑接触非常重要。炭黑粉尘容易通过几乎任何气流或流动在空气中扩散。并且，炭黑可能附着在接触表面上。强烈建议采用清洁工作程序，避免工艺中产生粉尘或扬尘。通过适当的过滤系统进行干式真空除尘是去除表面粉尘和清理泄漏的首选方法。但应当避免干扫或使用压缩空气。散装炭黑应当始终盖起来或置于容器中。为了避免产生可能导致不必要接触的条件，应当谨慎处理。

<sup>[2]</sup> 可燃性粉尘定义为：在空气中扩散和点火时有粉尘火灾或粉尘爆炸危险的微小固体颗粒。（NFPA, 654, 2013）

炭黑粉尘能穿透电气盒和其他电气装置，可能造成电气危险，导致设备故障。对于可能接触炭黑粉尘的电气装置，应当严密密封或以清洁空气吹扫，定期检查并按需清理。

一些品种的炭黑可能具有较低的导电性，在操作过程中可导致静电能量聚集。在一定情况下，可能需要给设备和输送系统接地。若对特定品种的炭黑性质有疑问，请联系您的炭黑供应商。

安全工作规范包括排除炭黑粉尘附近的潜在点火源；实施良好清洁工作规范，以避免各种表面上的粉尘堆积；适当的排气通风设计和维护，以将空气悬浮粉尘的浓度控制在相应的职业接触限值以下；避免干扫或加压空气进行清理；避免将炭黑与不相容材料一起使用（如氯酸盐和硝酸盐）；以及适当的员工危险培训。

## 储存和操作处置

炭黑应当存放在远离高温、明火源和强氧化剂（如氯酸盐、溴酸盐、液体或压缩氧气和硝酸盐）的清洁、干燥、无污染区域中。炭黑会吸收水分和化学气体，因此应当存放在封闭容器中。请查阅生产商或供应商的安全数据表，以获取更多信息。

## 密闭空间进入

进入用于装运或存放炭黑的箱体、筒仓、铁路罐车、罐车或其他密闭空间时，应当遵守进入密闭空间的相关程序。某些品种炭黑的粒子表面可能吸附有微量浓度的一氧化碳。在密闭空间或通风有限的区域内，隐隐燃炭黑可能产生有害等级的一氧化碳。

## 急性救护

目前没有证据表明急性接触炭黑会造成危及生命的伤害或疾病。摄入是不太可能的意外接触方法。炭黑不会造成呼吸或皮肤过敏。与许多粉尘一样，吸入炭黑可能在患有肺病的人群中引起支气管反应。

**吸入：**短期接触较高浓度的炭黑可能造成上呼吸道暂时不适，进而可能引起咳嗽和哮喘。正常情况下，不接触炭黑即可使症状缓解，不会造成持续影响。

**皮肤：**反复和长期接触炭黑粉尘或粉末可能使皮肤干燥。皮肤干燥也可能是由于频繁清洗被炭黑污染的皮肤造成的。皮肤上的炭黑可使用温和的肥皂及水轻轻擦洗。为了去除炭黑，可能有必要重复清洗。此外，在暴露的皮肤表面使用护肤霜是一种有效的方法，可最大程度减少皮肤接触。

**摄入：**摄入炭黑预计没有不良影响。不要人工诱导呕吐。

**眼睛：**炭黑没有化学刺激。如果发生机械性刺激，要对症治疗。用水彻底冲洗眼睛，以去除粉尘。如果仍有刺激或症状加重，需及时就诊。

# 健康

## 人类研究

过去几十年，炭黑一直是各种健康科研的主题，以及国际癌症研究所 (IARC) 于 1984、1987、1995 和 2006 年发布的四篇综合评测的主题。尽管基于“实验动物的充分证据”发现结果，炭黑已被 IARC 分类为 2B 类致癌物（可能对人类致癌），但是“炭黑对人类的致癌性证据不足。”科学证据指出，实验室大鼠是对持续高剂量吸入直径 <1.0 微米、低溶解度颗粒的肺部反应特别敏感的物种。在其他啮齿类动物（如小鼠和仓鼠）中并未观察到在大鼠中观察到的肺部作用，包括最终导致肺部肿瘤的炎症和纤维化反应。炭黑生产从业者的死亡率研究并未显示炭黑接触与升高的肺癌率存在关联。

但研究表明，经常接触炭黑和其他难溶颗粒可能会在很长时间内使肺活量下降，这由一秒钟用力呼气量 (FEV<sub>1</sub>) 测得。为了维持从业者接触低于职业接触限值，应当遵循良好职业卫生规范。（请参阅职业卫生章节和附录 B。）

## 死亡率研究

Sorahan 等人在 2001 年对英国炭黑生产工厂进行的一项研究发现，五家工厂中有两家工厂的工人患肺癌的风险升高；但是，风险的升高与炭黑剂量无关。因此，研究人员认为肺癌风险升高并不是由炭黑接触引起的。德国研究人员对一家炭黑生产工厂工人的研究（Morfeld 等人，2006；Buechte 等人，2006）发现工人患肺癌的风险有类似程度的增加，但未发现肺癌风险增加与接触炭黑的相关性，这与 2001 年 Sorahan 等人在英国开展的研究的结论相似。在对美国 18 家工厂进行的一项大型研究显示，炭黑生产工人患肺癌风险下

降（Dell 等人，2006）。根据这些研究，国际癌症研究所 (IARC) 的 2006 年 2 月工作组得出对人类致癌性证据不足的结论 (IARC, 2010)。

在 IARC 这次对炭黑作出评价之后，Sorahan 和 Harrington 于 2007 年使用替代接触理论重新分析了英国研究的数据，在五家工厂中的两家发现与炭黑接触有关的明确证据。Morfeld 和 McCunney 于 2009 年将同样的接触理论应用到德国研究中；也被 Dell 等人于 2015 年应用到美国研究中；相比之下，他们发现炭黑接触与肺部风险并无关系，因此没有迹象可支持 Sorahan 和 Harrington 使用的替代接触理论。

除了替代接触分析，Dell 等人于 2015 年更新了美国研究，其中加入了 2011 年生命状态评估以及累积剂量-反应接触评估。作者们并未在肺癌或非恶性呼吸系统疾病方面有更多发现。

这些详细的研究结果最终并未发现炭黑接触与人类癌症风险升高之间存在因果关系。

## 患病率研究

对炭黑生产工人进行的流行病学研究结果表明，长期接触炭黑者可能出现轻微的非临床性肺功能下降。在美国进行的一项呼吸患病率研究表明，持续 40 年每天 8 小时接触 TWA 浓度为 1 mg/m<sup>3</sup>（可吸入部分）的炭黑时，FEV<sub>1</sub> 下降 27 ml (Harber, 2003)。早前进行的欧洲研究表明，工作环境炭黑浓度为 1 mg/m<sup>3</sup>（可吸入部分）的工作时间达到 40 年，将导致 FEV<sub>1</sub> 下降 48 ml (Gardiner, 2001)。然而，这两项研究的估计 FEV<sub>1</sub> 下降量都只具有临界统计意义。在相同时间内与年龄相关的正常下降量约为 1200 ml。

在美国进行的研究发现，接触最高的不吸烟人群中约有 9% 曾报告有类似于慢性支气管炎的症状。相比之下，非接触人群出现症状的比例为 5%。在欧洲进行的研究中，受实施调查的方法限制，难以得出关于报告症状的结论。但是，该研究表明炭黑与胸片上的小阴影之间存在联系，但对肺功能的影响则可以忽略。

请参阅附录 A，获取关于这些人类研究的更多详细信息。

## 动物致癌性研究

长达两年的长期吸入研究发现，某些在实验中接触过高炭黑浓度的大鼠出现了慢性炎症、肺纤维化和肺部肿瘤。在类似研究条件下，其他动物中并未观察到肿瘤。当大鼠接触多种其他难溶性粉尘颗粒时，也观察到同样的作用。许多开展大鼠吸入研究的研究人员认为，观察到的影响是由于在接触过高浓度后大鼠肺部出现大量累积的小粉尘颗粒造成。这些累积颗粒破坏了大鼠的自然肺部清除机制，并造成一种称为“肺部超负荷”的现象。这些作用并非肺部粉尘颗粒的特定毒性作用结果。许多吸入毒理学家认为，上述大鼠研究中观察到的肿瘤反应与物种有关，与人类接触没有关联 (ECETOC, 2013)。

## 致癌性分类

国际癌症研究所 (IARC) 结论 (分别为 65 与 93 号专著；1996 与 2010 年) 认为，“有炭黑对实验动物致癌性的充足证据。”此分类以 IARC 指导原则为依据，它要求如果一个物种在两项或多项研究中表现出致癌性，则必须归入这一类别。但是，IARC 发现，没有充分的证据证明炭黑对人类具有致癌性。IARC 的最终结论为，炭黑可能对人类具有致癌性 (2B 类)。

其他权威机构、研究或监管组织对于炭黑被分类为致癌物的立场如下：

- ◆ 美国政府工业卫生专家协会 (ACGIH, 2010) 将炭黑分类为 A3，确定有动物致癌性，但与人类的相关性未知
- ◆ 美国国家毒理学计划 (NTP) 未将炭黑列入致癌物
- ◆ 美国职业安全与卫生署 (美国 OSHA) 未将炭黑列入致癌物
- ◆ 美国国家职业安全与健康研究所 (NIOSH) 1978 年的炭黑标准文档建议仅多环芳烃族烃污染大于 0.1% (1,000 ppm) 的炭黑被视为可疑致癌物
- ◆ 美国加州环保局环境健康危害评估办公室 (OEHHA) 于 2003 年 2 月 21 日将“炭黑 (空气中悬浮的可吸入大小、未结合的颗粒)” (CAS 号 1333-86-4) 加入到提案 65 物质列表中。该列表通过加州法规汇编的“权威机构”机制产生，仅基于 IARC 的 1996 年炭黑作为 2B 类致癌物分类
- ◆ 德国 MAK 委员会将炭黑分类为 3B 类疑似致癌物
- ◆ 日本劳动、健康与福利部“建议”将炭黑分类为 2 类致癌物；重复接触后产生特定靶器官毒性，1 类
- ◆ 台湾行政院劳工委员会“建议”将炭黑分类为致癌物，2 类
- ◆ 韩国职业安全健康局“建议”将炭黑分类为 2 类致癌物；重复接触后产生特定靶器官毒性，1 类
- ◆ 根据美国 OSHA 的 2012 年危险性公示标准采用的联合国全球统一制度 (GHS) 框架，国际炭黑协会已确定，炭黑不符合作为人类致癌物分类的标准。精心进行的研究得出的流行病学证据显示，炭黑接触与人类的非恶性呼吸系统或恶性疾病风险之间没有因果联系。

成品炭黑中的 PAH（有时称多核芳烃 [PNAs]）含量引起关注。在非吸附形式下，有些 PAH 在动物研究中已被发现是致癌的。但是，体外研究表明，炭黑中所含 PAH 强有力地附着在炭黑上，并且 PAH 不具备生物可利用性 (Borm, 2005)。科研证明，炭黑中的 PAH 在与橡胶基体结合后不会从橡胶基体迁移 (Hamm, 2009)。

现代生产和质量控制程序通常能将炭黑中的可提取 PAH 水平控制在 0.1% (<1000 ppm) 以下，PAH 作为代表更小可提取物部分的致癌物监管。可提取 PAH 含量取决于诸多因素，包括但不限于炭黑生产工艺，以及分析程序提取、识别并测量可提取 PAH 的能力。关于 PAH 含量的具体问题应当联系您的炭黑供应商。

## 突变性

由于炭黑的不可溶性，因此不适合直接在细菌（艾姆斯试验）和其他体外系统中进行测试。然而，对炭黑的有机溶剂提取物进行测试时发现，结果未显示致突变作用。炭黑的有机溶剂提取物中可能含有微量的 PAH。

在体内实验研究中，曾报告以吸入方式接触炭黑的大鼠肺泡上皮细胞的 *hprt* 基因发生了突变 (Driscoll, 1997)。研究人员认为此观察结果是大鼠所特有，由“肺部超负荷”所致，会引发慢性炎症并释放活性氧。因此，这种机制被当作遗传毒性副效应，而炭黑本身不会被认为是致突变的。

## 生殖影响

在对动物的长期反复给药毒性研究中，未曾报告对生殖器官或胎儿发育有影响。

## 慢性摄入

在长达两年的喂食研究中，未在大鼠或小鼠中观察到明显异常。

## 眼睛接触

未描述过不良影响。眼睛进入炭黑造成的反应无异于眼睛进入其他粉尘。

## 皮肤接触

在对小鼠、家兔和大鼠皮肤涂敷炭黑悬浮液后，未报告出现皮肤肿瘤。

反复或长期接触粉尘可能使皮肤干燥。

## 致敏性

豚鼠皮肤测试未产生过敏。未曾报告有人类中致敏作用的案例。

## 动物刺激试验

主要眼睛刺激（家兔）：产生轻微结膜发红，于七天内消除。

主要皮肤刺激（家兔）：非常轻微的红斑（发红）。

# 职业卫生

## 概述

职业卫生（也称为劳动卫生）原则可用于工作环境中的各类接触管理。这些原则包括预测和识别从业者潜在接触情况、测量从业者接触并实施相关控制，以将接触降低到最低可行水平。尽管本部分将关注炭黑，但劳动卫生原则适用于工作环境中存在的所有潜在接触介质和情况。

经验表明，在工作中最可能接触到空气中悬浮炭黑的日常活动是人工操作、包装、散货装运和一些维修相关的活动。与维护操作相关的非常规活动和异常工况也有可能接触炭黑。

每个用人单位必须根据其工作环境活动（日常和非日常）和特定场所条件的具体情况开展特定作业的危险评估。

## 空气中接触评估

最主要的接触途径是吸入空气中悬浮的炭黑；因此，评估期间的主要关注点应当是空气中接触。个体监控技术可用于采集从业者呼吸区域（口/鼻区域）的空气样本。在从业者位置进行的测量并不能代表其呼吸区域，可能会过低或过高估计空气中接触。

空气采样方法可能随国家/地区不同，可能取决于对应职业接触限值（OEL）的粒级/大小范围。空气样本采集设备的类型和空气采样流速各不相同，具体取决于空气样本是否需要总数、可吸入或可呼吸的炭黑样本。空气样本采集应当由受过培训的人员进行，如职业/劳动卫生专家。有关这一主题的出版物，可通过美国工业卫生协会（AIHA）获得。

空气中接触评估结果确定并量化了吸入接触和需要接触控制的操作。此外，这些结果还设立了下述工作的基线数据：评估控制措施的有效性、确定监管和非监管职业接触限值的合规性，以及提供可用于归纳历史接触特点的信息。其他信息和指南可通过国家或地区专业职业卫生协会获得。

## 职业接触限值

空气中悬浮炭黑的职业接触限值（OEL）随国家/地区而不同，并且会发生改变（请参阅附录 B）。这些限值以特定的空气悬浮颗粒部分表示（即，总数、可吸入或可呼吸）。在开展空气中接触评估时，每种颗粒部分/大小范围需要采用不同的方法。

职业接触限值通常以特定时期内的平均浓度表示。完整班次 OEL 通常是 8 小时的时间加权平均值（TWA），一些国家/地区也规定短期接触限值（STEL），即 15 分钟的平均值。

其他信息和指南可通过国家或地区专业职业卫生协会获得。

## 粒子大小评估

研究得出结论，炭黑生产从业者不会接触到纳米级（大小范围在 1 到 100 纳米之间）的炭黑颗粒。一项 ICBA 赞助的 2000 年在欧洲和美国炭黑工厂开展的研究发现，不存在小于 400 纳米空气动力学直径的炭黑颗粒接触（Kuhlbusch, 2004）。随着测量技术的进步，ICBA 持续支持在这方面的工作。



## 工程控制

若空气悬浮炭黑采样结果表明，从业者接触超过可接受限值，则必须确定并采取适当的控制，以降低接触。

工程控制设计用于消除或降低炭黑粉尘职业接触至最低可行水平，这些措施优先于使用呼吸器或其他类型个人防护设备。工程控制可通过消除危险或防止从业者接触危险，来避免或最大程度地降低与危险的接触。实施工程控制最具成本效益的时间是在新操作的规划和设计阶段，或者现有操作改良期间。

成功用于炭黑操作的工程控制包括：(1) 用于控制从事样本处理的实验室人员接触的局部排气通风（如实验室烟罩）；(2) 用于粉尘作业的来源吸尘罩，如装袋、分袋和散货装运；以及(3) 将粉尘限制在密封的混合、加工和传送系统中。在轻微负压下操作时，密封系统（如密闭输送机）尤其有效，可最大程度减小扬尘排放和泄漏。

对于清洁日常使用区域中的泄漏炭黑，使用专用中央真空清洁系统而非干扫是更加有效的方法。真空系统的电机和空气清洁设备应安置在室外，并在远离设备区域的位置排气。在炭黑运输、处理或使用的区域中，应当提供大量不使用时密封的真空连接端口。策略上应当在整个可能使用到的区域布置足够长的真空软管。要防止炭黑粉尘及其悬浮物在空气中散播，泄漏后应当立即吸尘。

上述局部排气通风和真空系统应当进行适当的设计，以最大程度确保其有效性，避免性能问题。良好行业通风设计的原则可通过最新版的ACGIH出版物 *Industrial Ventilation, A Manual of Recommended Practice*（行业通风建议规范手册）获取。

## 呼吸系统防护

需要使用呼吸系统防护来最大限度减少炭黑接触时，相关方案应遵照国家/地区、省或州适当主管部门的要求。请参考可能适用于您的操作的最新版本的标准或法规。

呼吸器选择的正确依据是：需要防护的炭黑接触浓度，以及可能在工作场所中释放的其他污染物的存在情况。为了确保选择适当的呼吸器，必须对可能遇到的污染物进行代表性接触评估测量。

# 医疗监护

涉及炭黑粉尘接触作业的员工可能有关于接触的健康影响问题。这些问题通常集中于了解更加专业的医学检查是否适当。应当强调的是，基于大量从业者研究的结果，炭黑接触和升高的癌症率（包括肺癌率）之间不存在剂量—反应关系。

在考虑员工医疗监护时，医生应当了解岗位职责之间存在相当的差异。医生应当处理的主要医疗问题是，进行特定岗位评价的个人是否有肺部疾病史（如肺气肿或哮喘）和/或皮肤病史。在接触任何类型的高浓度粉尘时，这些状况可能被加剧，包括炭黑。

建议医生熟悉各种工作岗位的操作、工作条件和潜在接触浓度。此外，还建议职业医生进行定期的工作参观。

从业者加入医疗监护方案的决定应当基于工作条件，如炭黑接触浓度和呼吸器使用情况。理想的情况是，医生为每个员工制定完整职业经历记录，作为医疗监护方案的一部分，其中至少应包括病史、之前在其他职业环境中的工作经历以及个人生活习惯（如吸烟史、嗜好等）。

# 环保

## 温室气体排放

炭黑生产工艺使用碳含量较高的原料和氧气。反应工艺是以水急冷，最大程度地减少碳氧化成二氧化碳，并最大程度地提高炭黑回收。通过工艺收率提高的操作，以及使用工艺中的燃烧副产品气体产生蒸汽和/或发电，减少温室气体排放。由于生产工艺随设施设计和生产的炭黑产品而不同，应当从您的供应商处获得关于温室气体排放和碳足迹的信息。

## 水资源使用

水在炭黑生产中用于使生产反应急冷，并由某些生产商用来对炭黑进行造粒。工艺水循环和雨水回收是业内广泛做法。生产工艺水的使用会随工厂和生产的产物而有所差异。有关详细信息，请联系您的供应商。

## 废弃处置

除了经化学处理和水分散性产品，最常用的炭黑处置方法是垃圾填埋场，但垃圾填埋场要符合所有适用的法规。炭黑是无毒的，不会通过垃圾填埋场向地下水浸出或释放任何成分。

炭黑也可用作煤窑替代燃料，或作为非危险废物在城市垃圾焚烧炉中焚烧。它具有和煤粉几乎相同的热值，可完全燃烧，排放量低并且几乎没有残余灰烬。为了确保完全燃烧，需要提供充足的停留时间和氧含量。这些替代垃圾填埋场的处置方法是环保适用的，只要符合有关法规。

炭黑具有高比表面积和强吸附能力。有机材料与炭黑接触后，可以吸附在其上，并且此后不易分离。因此，废弃处置决定应当考虑可能吸附到炭黑上的任何化学品。炭黑不可生物降解。处置过程中要始终小心，在提货、运输和后续的垃圾填埋场废料或者在其他处置活动中控制粉尘排放。

## 空气

通常炭黑并不按照特定物质空气污染控制或环境空气质量标准进行监管，但是大气中的炭黑排放物通常作为工厂的颗粒物 (PM) 进行监管，或者在其他条例中按照粉尘排放进行监管。空气法规随地区不同，通常随这些地区的空气质量而不同。使用袋式过滤器及其他 PM 捕获和收集技术来最大程度降低 PM 排放是业内惯用做法，这种做法对于确保适用法规的合规性可能是必要的。在某些地区，颗粒物法规是基于排放的颗粒大小，有的法规针对小于 2.5 微米的粒子；小于 10 微米的粒子和 / 或总粒子质量。

## 废水

含炭黑的废水排放必须符合相关要求。炭黑不溶于水，比重为 1.7 到 1.9 (水 = 1)。重力沉降是一种去除废水中炭黑的有效并且最常用的技术。在某些情况下，沉降可能由于小粒子尺寸和 / 或高耐湿比表面积而受到抑制。各种金属盐 (如硫酸铁或硫酸铝) 和 / 或合成聚合物可以有效地用作絮凝剂，促进沉降。絮凝剂类型和最佳剂量率最好通过小规模试验或实验室测试来确定。此外，也可采用过滤系统的技术去除固体颗粒。

## 泄漏

炭黑泄漏应当立即清理，以防蔓延和扩散。建议采用干燥除尘法收集泄漏的炭黑。若使用便携式真空除尘器，应当配备高效微粒空气 (HEPA) 过滤系统，并且必须注意确保过滤器经过维护。针对日常清洁工作和局部工艺泄漏清理，应当考虑采用中央真空系统。用于中央真空系统的收集器应当位于室外，并且配有袋式过滤器。若有必要通过干扫清理边远或少量的泄漏，应当小心操作，勿将炭黑扩散到空气中。

炭黑不易湿，水可能使泄漏物料扩散，因此不建议采用喷水或湿法清洁。但是，若要采用该方法，应当小心操作，潮湿的炭黑会令行走表面非常滑。

# 运输

## 装运容器

可重复使用的装运容器应当交还给生产商。纸袋可根据全国和地方法规焚毁、再利用或在适当的垃圾填埋场处理。

## 运输分类

工业炭黑未被以下机构分类为危险材料：

- ◆ 联合国关于危险货物运输的建议书
- ◆ 欧洲关于国际危险货物运输 (ADR) 的协议
- ◆ 关于危险货物铁路国际运输 (RID) 的条例，国际铁路货物运输公约的组成部分
- ◆ 欧洲关于国际危险货物内河运输 (AND) 的协议
- ◆ 国际海上人命安全公约 — 国际海运危险货物规则 (IMDG 规则)
- ◆ 国际民用航空公约 — 附录 18 — 空运危险品的安全运输

- ◆ 加拿大危险货物运输条例
- ◆ 国际航空运输协会 (IATA-DGR)
- ◆ MARPOL 73/78，附录 II
- ◆ IBC 规则
- ◆ 美国交通运输部
- ◆ 加拿大危险货物运输条例
- ◆ 澳大利亚危险货物规则

关于运输分类的具体问题，应当咨询您的炭黑供应商。

## 自发热

炭黑已根据联合国自发热固体方法进行测试，发现其“并非第 4.2 部分所述自发热物质。”此外，炭黑已根据联合国易燃固体方法进行测试，根据当前联合国关于危险货物运输的建议书，发现其“并非第 4.1 部分所述易燃固体”。

# 产品监管

## 食品接触材料用炭黑

用特定工艺生产的炭黑，在特定条件下，已通过批准用于涉及食品接触的特定用途。有关更多信息，请联系您的炭黑供应商。

## 国家注册信息和其他适用法规 (不完整清单)

下列目录中收录了炭黑，CAS 编号为 1333-86-4。

- ◆ 澳大利亚：澳大利亚化学物质目录 (AICS)。
- ◆ 加拿大：加拿大环境保护法 (CEPA)，国内物质列表 (DSL)。
- ◆ 中国：中国现有化学物质名录 (IECSC)。
- ◆ 欧盟：欧洲现有商用化学物质目录 (EINECS)，215-609-9。
- ◆ 欧盟：REACH 条例 (EC) No. 1907/2006：需要公司特定注册；请联系您的供应商以获取更多信息。

- ◆ 日本：现有和新化学物质 (ENCS)，工业安全与健康法目录 (ISHL)。
- ◆ 韩国：有毒化学品控制法 (TCCL)，韩国现有化学品目录 (KECI)。
- ◆ 菲律宾：菲律宾化学品和化学物质目录 (PICCS)。
- ◆ 台湾：化学物质提报及申请 (CSNN)。
- ◆ 美国：有毒物质控制法案 (TSCA) 目录。

注意：读者应当查阅其国家、省级、州、当地和联邦安全、健康和环保法规，以及其炭黑供应商的安全数据表 (SDS)。具体问题应当联系您的炭黑供应商。

本指南并非当前产品 SDS 的替代品。请联系您的炭黑供应商，以获得相关炭黑 SDS。

# 附录与参考文献

## 附录 A

# 炭黑、橡胶和墨粉行业从业者健康研究

### 炭黑从业者流行病学研究和癌症风险

目前已开展不同类型的研究，旨在评估炭黑生产或使用过程中炭黑导致癌症、肺部疾病或任何其他不良健康影响的可能性。随后是主要流行病学和毒理学研究摘要，这些研究说明了炭黑接触的潜在癌症和 / 或不良呼吸影响。

为了说明接触特定物质或特定行业的从业者中的潜在健康相关风险，通常会开展流行病学研究。死亡率研究评估所研究的工作组相对于一般人群死于特定类型疾病的风险。它们与毒理学和接触评估一起构成了国际致癌物分类系统和从业者接触限值的基础。

炭黑及其相关研究（包括流行病学研究）已成为世界卫生组织所属的国际癌症研究所（IARC）在 1984 年 4 月、1987 年 3 月和 1995 年 10 月的众多科学综述的主题。大多数可能由炭黑接触造成癌症的最新综合风险评估由 IARC 工作组于 2006 年 2 月开展（IARC 2010）。工作组提到以下几个要点：(1) 肺癌是要考虑的最重要的健康终点（关于潜在恶性影响），以及 (2) 炭黑生产场所从业者接触是潜在癌症风险评估的最相关组别。2006 年 IARC 工作组认为，人类致癌性证据不充分，这证实了首次在 1995 年 IARC 工作组会议中提到的 2B 分类（IARC 2010）。炭黑的 2B 分类意味着，致癌性科学证据是基于动物研究结果的“可能的”人类致癌物。人类致癌性证据被 2006 年 IARC 工作组认为“不充分”。

### 炭黑从业者死亡率队列研究

IARC 在其 2006 年工作组会议上审查了在美国、英国和德国进行的三项大型炭黑从业者队列流行病学研究。每项研究调查了炭黑生产工厂从业者的肺癌死亡率。每个队列评估结果的摘要如下。

1. 美国对 18 家工厂 5,011 名从业者的队列研究观察到 127 个案例中低于预期的肺癌标准死亡率（SMR）0.85；（95%-CI<sup>[3]</sup>：0.71, 1.00）（Dell 等人，2006）。本项研究中没有吸烟数据，因此该研究不能针对吸烟情况进行纠正。最近发布了对 2006 年美国研究的更新，其中确认了 2011 年的生命状态，讨论如下（Dell 等人，2015）。
2. 1985 年，首次发布了一项关于英国炭黑从业者的研究，并在随后进行更新（Hodgson 等人，1985；Sorahan 等人，2001）。研究显示，五家生产工厂的 1,147 人的队列，其 SMR 为 1.73（61 个案例，0.95-CI：1.32, 2.22）（Sorahan 等人，2001）。在长达 20 年的滞后时间内，未提到粗略评估的累积接触趋势。在两家工厂观察到肺癌 SMR 升高；其他三家工厂的 SMR 无异常。研究队列中吸烟数据不可用，因此该研究不能针对吸烟情况进行纠正。
3. 在德国北莱茵威斯特法伦州（NRW）的一家特定工厂中，对 1,528 名炭黑从业者开展了一项队列研究，并在各种情况下进行了评估（Wellmann 等人，2006；Morfeld 等人，2006；Buechte 等人，2006；Morfeld 等人，2006）。初次评估显示，当采用德国国家肺癌率为参考人群时，在 50 个案例中肺癌 SMR 为 2.18（CI:1.61-2.87）。肺癌 SMR 为 1.83（CI:1.36-2.41）；但是，当工作组与 NRW 人群的地区肺癌率相比时，由于一般人群中吸烟者盛行率较高，NRW 的背景肺癌率较高。与上述英国研究一样，未提到与炭黑接触的正面趋势。该研究发现，吸烟和之前接触已知致癌物是重要风险因素，这就可以解释过高风险的主要原因。

<sup>[3]</sup> CI = 置信区间



### IARC 2006 年评价以来的炭黑从业者队列死亡率研究

在最近的 2006 年 IARC 评价之后，已发布了这三个主要炭黑研究的进一步评价。英国死亡率研究的作者们进行了扩展后续研究，并采用了一个新的接触度量“倒推”，尝试说明近期炭黑接触对肺癌风险的潜在作用（Sorahan 和 Harrington, 2007）。相比滞后，“倒推”分析着重于近期接触，而非久远的接触。作者们假设炭黑可能是五家工厂中其中两家晚期肺癌致癌物，这五家工厂在 1985 和 2001 年出版物中提到 SMR 升高（Hodgson 等人, 1985 和 Sorahan 等人, 2001）。若“倒推”假设为真，即，近期接触带来实际风险，则升高的 SMR 应当逐步降低，并在停止接触后大幅降低；预计应当与“倒推”累积炭黑接触有正面关联。例如，“倒推”接触 15 年，意味着仅在风险分析中考虑最近 15 年的接触。作者们提到在肺癌 SMR 升高的两家英国工厂中有“倒推”效应。在出版物中，作者们建议在其他队列研究中重复采用他们的方法。

随后，“倒推”假设在德国炭黑队列研究中进行了测试（Morfeld 和 McCunney, 2007、2009）。尽管实际上德国队列研究发现肺癌 SMR 明显升高，但既未提到在停止接触后 SMR 降低，也未提到与“倒推”累积炭黑接触有正面关系。因此，采用相同方法的德国队列研究并未证实英国的“倒推”假设。另一项德国队列研究采用了贝叶斯偏差分析，以探索所有的潜在风险因素和可能有助于 SMR 结果的混杂因素（Morfeld 和 McCunney 2010）。这些另外的研究不支持“倒推”假设。

有关对美国队列死亡率研究的更新已经完成并发布出来（Dell 等人 2015）。更新的队列研究包括 2011 年的生命状态评估；Dell 等人 2006 年的研究讨论了 2003 年的生命状态。对于研究成员，开展了个人累积剂量-反应接触评估。这种度量是基于定量接触数据，以及对作业描述、职责和生产工艺改变的全面综述。此外，为了进行三项研究之间的直接结果对比，还开展了单独的“倒推”分析。

这项美国炭黑从业者死亡率回顾性研究是全球文献中发布的最大规模队列研究。它包括追溯至 20 世纪 30 年代的炭黑行业中雇用的超过 6,000 名从业者。针对死亡率风险，既对旨在降低潜在幸存者偏差的起始队列进行了单独评价，也对总队列进行了单独评价。在这项流行病学研究中，一个明显的优势是详细的个人累积接触评估，其中按统一的工种进行了分析，以便实现稳健的剂量反应分析。追溯至 1979 年近 30 年的实际炭黑空气中悬浮监测数据的可用性有助于计算可靠的接触估值。

结果表明，在总队列或起始队列中肺癌或任何恶性疾病均未增多。剂量-反应分析表明，炭黑接触和恶性疾病风险之间没有关联。该研究中另一个明显的优势是在确定生命状态中达到的出色确认水平，其中 98.5% 的合格队列成员被确定为生存或死亡。

总之，2015 年研究的作者们得出结论：“无论接触是否基于滞后、倒推或总累积估值，未见肺癌或非恶性呼吸系统疾病中有一致关联。”

### 炭黑从业者患病率队列研究

患病率研究评价在工作场所活动和接触潜在危险后的疾病风险。对于职业炭黑接触，已经评估了其对非癌症疾病的影响，如超过 50 年的肺部疾病。患病率研究评估从业者人群中可能归因于化学或物理介质接触的疾病发病率和盛行率。患病率研究可以在一个特定时间（横向）基于记录综述（回顾式）开展，或者将研究持续到未来时间（纵向）。患病率研究结果通常用作确立职业接触限值的科学依据，如美国政府工业卫生专家协会（ACGIH）的容许最高浓度（TLV）。事实上，ICBA 赞助的大部分患病率研究已作为炭黑 ACGIH TLV® 的基础（Harber 等人, 2003）。

这部分概述了对炭黑从业者开展的主要患病率研究，他们曾参与欧洲和美国的横向患病率研究。这两项研究都针对接触（定性和定量定义）和指定健康终点（异常胸片、肺功能下降或特定呼吸道症状率升高）之间的潜在关系（请参阅 Gardiner 等人 1995 年截至当时的患病率研究综述）。

尽管各项研究之间的对比由于采用不同方法对接触和健康影响进行评估而会比较复杂，但考虑不同患病率研究的结果对于理解风险很有帮助。例如，不同的炭黑接触部分（即可吸入、可呼吸和“总”粉尘）已通过不同类型的采样方法进行测试。同样，在不同的研究之间，用于审查胸片的读出器数量、评估肺功能的设备标准化以及用于收集症状信息的调查问卷类型也有相当大的差异。例如，德国研究采用了全身体积描记法来评估肺部功能，而大多数其他研究采用肺活量测定法来评估肺部功能（Kuepper 等人, 1996）。

### 欧洲炭黑从业者患病率研究

首个大型的欧洲炭黑从业者患病率研究于 1986 年出版 (Crosbie 等人, 1986)。在 19 家欧洲工厂中平均工作时间超过 10 年的 3,000 多名炭黑从业者中, 提到炭黑接触 (基于工种) 与慢性咳嗽和咳痰之间有较弱关联 (Crosbie 等人, 1986)。由于没有关于粉尘水平的数据, 因此无法建立剂量-反应关系。其中提到用力肺活量 (FVC) 和一秒钟用力呼气量 ( $FEV_1$ ) 存在与接触相关的轻微下降。

1988 年启动了进一步长期患病率研究, 设计为分三个不同阶段共 10 年完成。该研究包括七个西方欧洲国家 18 家炭黑工厂的 3,000 多名从业者 (Gardiner 等人, 1993 年)。在三个不同阶段采集了接触与健康结果数据: 阶段 I (1987 - 1989)、阶段 II (1991 - 1992) 和阶段 III (1994 - 1995)。该研究类似于前瞻性纵向研究。健康结果测量包括肺功能、呼吸系统症状和胸片。

在阶段 I 的 3,086 名从业者中, 提到炭黑接触和特定症状 (咳嗽、咳痰) 之间的关系。炭黑平均接触为  $1.52 \text{ mg/m}^3$  (可吸入部分)。但是, 采集症状信息的方式是应 ACGIH 的 TLV® 委员会要求进行的独立科学综述的主题。综述提到, 从研究者获得症状数据并进行独立分析的方式存在方法问题。综述认为, 欧洲研究的数据问卷调查部分无法进行有意义的解释。作者们承认调查问卷数据在其研究结果讨论中的限制 (Gardiner 等人, 2001)。

在炭黑从业者队列研究中, 在各类型接触的人员年龄、身高和性别中, 肺功能测量平均值超过了全部的预测值, 最高接触组的吸烟者除外 (预测值的 98.3%)。但是, 当以汇总表分析所有结果时, 提到炭黑接触和 FVC 与  $FEV_1$  下降量之间有较小但具有统计意义的关系。作者们这样描述其发现 “与非刺激性呼吸道影响一致” (Gardiner 等人, 1993)。

根据国际劳工组织 (ILO) 使用的读取胸片尘肺的评分系统, 在照过胸片的 1,096 名从业者中, 9.9% 的人显示 1/0 的读数 (小阴影) 或者更高。但是, 这些结果实际上低于未接触任何类型粉尘的欧洲人群的平均背景胸片读数 (11.3%) (Meyer 等人, 1997)。在整个工作组中, 三人读数为 2/2 或更高 (小阴影大量增加)。

此外, 也发布了阶段 II 和 III 的数据 (Gardiner 等人, 2001 和 van Tongeren 等人, 2002)。在阶段 II 中, 对 2,955 名从业者进行了评价。组中吸烟者约占 48%。平均炭黑接触为  $0.81 \text{ mg/m}^3$  (可吸入部分), 约比该研究阶段 I 中报告的结果低 50%。

在阶段 III 中, 参与率为 95%, 组中 45% 为吸烟者。炭黑平均接触为  $0.57 \text{ mg/m}^3$  (可吸入部分), 比阶段 II 又进一步下降。炭黑从业者的平均年龄为 41 岁, 在该行业的平常工作时间为 15 年。

作者们报告, 炭黑对大多数呼吸系统症状和肺部功能造成显著影响, 尽管他们承认症状数据中存在一些问题: “呼吸系统症状结果可能有所偏差, 应当谨慎解释这些结果” (Gardiner 等人, 2001)。尽管测量了与接触相关的肺功能下降量, 但是对于评价肺功能的关键参数  $FEV_1$  和 FVC, 预计肺活量百分比 (如上所述) 均超过了 100%。这些结果表明, 与炭黑接触健康影响相关的结论是基于结果的统计意义, 而非临床相关性。

在德国炭黑生产工厂的一项横向研究中, 在接触员工中进行了 677 次检查; 未提到支气管高反应性 (根据全身体积描记法进行评估) 和炭黑接触之间有显著关系 (Kuepper 等人, 1996)。炭黑接触并未增加非吸烟者或戒烟者肺部相关症状或肺功能下降的风险。

在前南斯拉夫 1975 年的一项研究中, 炭黑可呼吸粉尘浓度为  $7.2 \text{ mg/m}^3$  和  $7.9 \text{ mg/m}^3$  (Valic, 1975)。在 35 名从业者中, 提到吸烟者中  $FEV_1$  有轻微下降。非吸烟对照组中未提到存在任何关系。根据在西欧和北美炭黑工厂进行的粒子大小特征化研究 (Kerr, 2002; Kuhlbusch, 2004), 南斯拉夫 1975 年报告的这些可呼吸粉尘浓度的量级表明对 “总量” 和可吸入粉尘有极高接触水平。

### 北美炭黑从业者患病率研究

美国炭黑从业者患病率研究已开展了 50 多年。最近研究评价了超过 1,000 名北美炭黑从业者, 以评估炭黑接触与对应的肺部相关症状和肺功能之间的关系 (Harber 等人, 2003)。本研究结果对近期制定的炭黑 ACGIH TLV® 有重大影响。来自 22 个北美生产工厂的从业者 (1,175) 进行了肺功能测试并填写了健康问卷调查。分析表明累积接触和肺功能少量降低 ( $FEV_1$ ) 之间存在关联。近期接触表明对症状或肺功能测量没有影响。结果指出, 除了正常的随年龄增长每年降低 ~30 ml 或者 1,200 ml, 超过 40 年职业生涯中  $1.0 \text{ mg/m}^3$  的炭黑接触可能会导致  $FEV_1$  降低 27 ml。

在 2003 年患病率研究之前，对美国七家炭黑工厂的员工进行了案例对照患病率研究（Robertson 和 Ingalls, 1989）。在提交健康保险索赔（附带特定类型疾病诊断，尤其是呼吸和循环系统疾病）的从业者中，开展了与炭黑接触相关的评价。基于累积粉尘接触的估计，未提到在炭黑和指定疾病之间有明显关系。

除了肺功能、症状和纤维化疾病的健康指标外，美国炭黑工人也开展了癌症患病率评价，即诊断出恶性肿瘤但未导致死亡（Ingalls, 1950; Ingalls 和 Risquez-Iribarren, 1961; Robertson 和 Ingalls, 1989）。将炭黑从业者中的癌症发病率与未接触炭黑从业者和各州编制的癌症率进行了对比。这些调查研究中未提到癌症患病率增加。

此外，还对同样的队列进行了巢式病例对照研究（Robertson 和 Ingalls, 1989）。病例定义为提交了健康保险索赔附带恶性疾病或循环系统和呼吸系统疾病诊断的研究人群中的成员。两个对照与每个从业者匹配，通过测得的特定作业类别的相关炭黑浓度对累积炭黑接触进行估计。未提到任何恶性疾病风险出现具有统计意义的升高。

### 炭黑接触案例报告

尽管案例报告对职业健康的价值有限，但是它们可用于强调异常情况。2012 年的一项报告描述：“一位 44 岁的男性 [此人] 曾大量接触炭黑，当时他的起重机撞上了拖着装满炭黑的卡车。”一周后，他出现了气短和咳嗽症状。肺功能测试发现有轻度阻塞。“患者对氟替卡松和沙美特罗治疗有反应，症状减轻，肺活量测定恢复到正常范围。”（Halemarlam, 2012）作者们得出结论：“急性炭黑接触会造成呼吸道症状和阻塞性通气障碍。”

所幸的是，这种不幸且罕见的事件其结果并不糟糕。然而，报告强调了粉尘控制的重要性，实际上，无论惰性如何，任何粉尘都会对平常的肺部防御机制造成重大影响，并且如果接触足够多且未提供呼吸防护，则会导致各种症状。

### 炭黑从业者人类研究总结

患病率研究评价了疾病死亡的风险，包括癌症、非恶性呼吸系统疾病和心血管疾病。这些研究并未将任何整体患病率或肺癌死亡的升高与炭黑接触相关联。

患病率研究讨论了炭黑是否会导致呼吸系统症状、肺功能下降量或者胸片异常的增多。制造行业中长期接触炭黑可能导致 FEV<sub>1</sub> (27 - 48 ml) 轻微下降，这是除了随年龄增长而下降 1,200 ml 之外的 40 年工作时间的额外损失。此外，还提到胸片中出现少量变化。炭黑从业者中观察到的胸透阴影与未接触粉尘人群中观察到的阴影趋于相似，尽管在某些炭黑从业者中提到一些轻微增加。研究并未描述这些影响是否与炭黑有关，或者反映出其他相对惰性、难溶、无机粉尘也可能出现的影响。

除了接触任何极高浓度的难溶性粉尘的预计影响（如前面的案例报告中所述）外，急性接触炭黑并未对健康造成任何显著风险。在职业环境中，空气中悬浮的炭黑包括可在上呼吸道沉积的大尺寸团聚体。因此，在高浓度中，某些环境中可能出现咳嗽或眼睛刺激。这类影响预计都是暂时性的，不会造成任何长期肺功能影响。炭黑几乎全部由碳组成，在体内无法代谢，并且保持惰性。

## 炭黑从业者持续研究

### 心脏疾病风险 meta 分析

最近的意见书（包括美国心脏协会的一篇综述）呼吁关注粒子在导致或加剧心脏疾病中的潜在作用（Brook 等人, 2010）。为了说明炭黑生产从业者中的这一潜在健康风险，在美国、德国和英国对三项炭黑从业者队列研究进行了单独分析与合并分析（meta 回归）。其中将执行扩展 SMR 和 Cox 回归，包括英国的死亡率后续研究更新。由于德国的隐私法律，更早的队列研究评价记录已被销毁，因此不能对此队列研究作进一步更新。

### 用户行业的案例对照研究

案例对照研究对比在人口特征方面类似人群的特定疾病案例，如年龄、性别和职业等。其目的在于对比非接触人群，评价患有特定疾病的人群（如肺癌）是否曾有更大量的潜在危险接触。这些类型的研究有助于评估罕见疾病的风险以及大量案例何时可以汇编在一起。遗憾的是，这些类型研究的主要限制因素是“记忆偏差”，其中患有严重疾病的受试者常常无法准确回忆过去事件发生时的情况。然而，考虑到队列死亡率研究和案例对照研究的结果，可以就是否可能存在重大危险（如人类致癌物）得出合理评估。

关于工作场所炭黑接触与肺癌风险之间的关系，在加拿大蒙特利尔的两项基于大规模人群的案例对照研究中进行了调查（Parent 等人，1996；Ramanakumar 等人，2008）。研究 I 的作业与接触相关的采访于 1979-1986 年开展（857 个案例、533 个人群对照、1,349 个癌症对照），研究 II 的采访于 1996-2001 年开展（1,236 个案例和 1,512 个对照）。采访获得了详细的作业经历，并且卫生专家和化学家团队评价了大量包括炭黑在内的职业物质的接触证据。针对各种接触分析了肺癌风险，同时调整了多项潜在混杂因素，包括吸烟。职业接触炭黑的受试者并未出现任何可检测的过高肺癌风险。

### 炭黑用户行业的死亡率和患病率研究

炭黑主要用于橡胶行业；其它不常见的用途包括印刷油墨和墨粉制造。这些行业的最近死亡率和患病率研究重点如下。综述的重点主要在于说明炭黑可能在各种研究结果中所起的作用，而不是全面评估这些行业中的癌症或患病率风险。

#### 橡胶行业死亡率研究

炭黑的主要用途之一是制造橡胶产品，尤其是轿车和卡车轮胎，以及其他运输应用等。在橡胶行业开展了大量流行病学研究，除了炭黑外，还使用其他材料（包括促进剂和溶剂）。早期橡胶行业的死亡率研究混杂了制造厂存在的石棉因素。在橡胶和橡胶产品制造业中从业已被国际癌症研究所（IARC）分类为致癌（1 类），但没有特定物质被指定为病原体（IARC，1982；IARC，1987）。

1998 年的评论文章总结了自从 IARC 在 1982 年和 1987 年评审橡胶行业以来所开展的橡胶行业从业者研究（Kogevinas 等人，1998）。作者们得出结论：根据在九个国家 / 地区进行的 12 项队列研究以及大量巢式病例对照和基于社区的研究的结果，橡胶行业中存在“膀胱癌、肺癌和白血病的过高风险”。在四项队列研究中提到过高肺癌风险，SMR 范围为 1.7-3.3。其他队列研究中未提到过高风险。作者们得出结论，没有特定接触（如炭黑）与癌症风险关联的信息。

随后，一项约 9,000 名德国橡胶从业者的研究评价了与使用橡胶行业中特定制剂相关的癌症风险（Straif 等人，2000）。作者们声称，他们的报告首次研究了橡胶行业中癌症风险的特定接触数据。在此项超过 8,000 名从业者的研究中，在炭黑和癌症风险之间未观察到致病关联。相反，作者们推测，橡胶行业从业者中观察到的肺癌风险可能是由于石棉和滑石接触。

在波兰进行的超过 17,000 名橡胶轮胎工人的队列死亡率研究表明，无过高肺癌风险（Wilczynska 等人，2001）。最后，一项包括 3,400 多名从业者的大型美国橡胶制造厂的研究表明，无过高肺癌风险（Beall 等人，2007）。

自从 20 世纪 80 年代的 IARC 橡胶行业评估以来，橡胶行业已成为最近开展的研究的主题。过去几十年来，制造工艺的技术变化和危险物质接触控制已得到改善，而人们热衷于评估是否当代橡胶行业具有与早期工艺和时间段相同的癌症风险。这些最近研究的讨论如下。

在对英国橡胶行业的相对近期雇用的员工中（1982-1991）死亡率和癌症发病率调查表明，肺癌死亡率未增加（Dost 等人，2007）。作者们表明，“英国橡胶从业者历史队列中报告的胃癌和肺癌 SMR 升高将不会出现在最近的队列中。”在对德国橡胶行业人员的类似研究表明，没有具有统计意义的癌症显著增加。但是作者们提醒，队列“仍然过于年轻，难以提供结论性的证据”（Taeger 等人，2007）。

1962-2004 年对意大利轮胎制造厂工人的队列死亡率研究已经出版（Mirabelli 等人，2012）。在 1962 年工厂开始运作到 2000 年期间最先雇用的 9,501 名工人的死亡率表明，所有原因、所有癌症（包括肺癌）、心血管和缺血性心脏疾病的 SMR 显著下降。这个队列相对年轻；已死亡人数 <10 %。因此，要检测到罕见癌症部位风险的少量增加，能力受到限制。按照计划会对这个队列作进一步的流行病学监测。1954 到 2008 年期间意大利橡胶轮胎工厂雇用的 6,246 名从业者的死亡率显著低于所有癌症（SMR = 79）和所有原因（SMR = 85）的预期值（Pira 等人，2012）。这项研究表明，1954 年以后雇用的男性橡胶轮胎工人中，没有过高的癌症风险。

Paget-Bailly 分析了 99 种出版物，并注意到橡胶行业从业者的喉癌 meta 相关风险（meta-RR）显著升高（meta-RR 1.39；95% CI 1.13 到 1.71）（Paget-Bailly 等人，2011）。炭黑未包含在报告的喉癌增高潜在因素之中。

超过 12,000 名德国橡胶行业从业者的队列后续研究表明，男性肺癌和胸膜癌 SMR 显著升高（Vlaanderen 等人，2013）。肺癌具有统计意义的显著升高，SMR 为 1.23（95% CI: 1.12-1.35）；胸膜癌也具有统计意义的显著升高，SMR 为 2.57（95% CI: 1.59-3.93）。女性肺癌 SMR 也出现升高。炭黑未包含在结果中。

尽管橡胶行业已与某些类型的癌症增加相关，但是没有研究将炭黑接触包含在这些发现结果的原因之中，包括早期研究中报告的肺癌风险。

当前欧洲正在进行的关于橡胶行业潜在健康问题的活动包括对英国橡胶行业队列的后续研究（McElvenny, 2014）。正在进行一项超过 40,000 名从业者的大型回顾性队列研究。根据 EXASRUB 项目（粉尘、烟雾、溶剂和 N-亚硝胺）的可用测量数据，采用定量接触建模对疑似致癌物的剂量-反应关系进行了评估。这是该类型中最大、最具统计意义的队列，将进行详尽的定量接触评估。

### 橡胶行业死亡率风险结论

一项 2009 年 IARC 橡胶行业评价得出结论，除了白血病和淋巴瘤风险增加外，有充分证据证明人类肺癌、膀胱癌和胃癌风险升高。其中未提到在橡胶行业中使用炭黑对这些癌症风险升高的作用（IARC, 2012）。

### 橡胶行业患病率研究

鉴于对橡胶行业的癌症风险和死亡率风险开展的大量科研工作，以及大量已发布的研究，令人惊讶的是，鲜有对该行业进行的患病率研究。一家伊朗橡胶工厂报告了一项此类患病率研究（Neghab 等人, 2011）。其中设计了横向患病率评估，旨在评估并归纳橡胶从业者人群中与炭黑职业接触关联的肺部反应（若有）的特征。

参与者包括来自仓库、装货和密炼区域的 72 名从业者，以及该工厂的 69 个对照样本。通过问卷调查和肺功能测试对症状进行了评估。接触评估包括可吸入和可呼吸部分。咳嗽和哮喘在接触组中较高（分别为 23.6% 比 1.44% 以及 25% 比 1.44%）。

在该研究中，由于未提供基本采样计划的详情（区域、人员、生产条件等），接触评估方法不清楚。然而，接触是过量的。报告的浓度比当前北美炭黑行业可吸入接触高出五、六倍。因此，对任何类型粉尘的大量接触，无论是可反应的或是惰性的，都可能造成这些结果。在该研究中，(1) 接触显著高于过去和当前 OEL；(2) 缺乏工程控制、维护、工作规范、员工培训和劳动卫生活动；以及 (3) 没有呼吸防护。

### 墨粉行业死亡率研究

炭黑的另一个常见用途是生产墨粉。一些激光打印机和复印机使用墨粉，其中通常包含混有热敏聚合物的炭黑。这些产品在全世界的企业和家庭中很普遍。下列信息旨在总结墨粉行业的研究，其中测量、评估或讨论了炭黑接触。

对 33,671 名职业接触墨粉的员工进行了大型死亡率风险回顾性研究（Abraham 等人, 2010）。接触组包括涉及墨粉制造的员工和进行现场复印机检修的客户服务工程师。对于墨粉接触人群的所有原因 SMR，男性和女性分别为 0.65 和 0.84。所有癌症 SMR（包括肺癌）均低于 1.0。对于分析的 23 类死亡，没有证据表明墨粉接触会增加所有原因死亡率或特定原因死亡率的风险。

### 墨粉行业患病率研究

一项对日本墨粉和复印纸制造公司的 1,504 名男性从业者的研究表明，没有对肺功能或胸部 X 光检查不良影响的证据（Kitamura 等人, 2014 a、b、c）。个人 8 小时可呼吸粉尘浓度均值从墨粉制造的 0.012 mg/m<sup>3</sup> 到墨粉和复印机回收的 0.989 mg/m<sup>3</sup>。作者们还提到，对比非墨粉操作组，墨粉操作组的呼吸困难盛行率明显更高。未观察到呼吸困难和肺功能下降或胸部 X 光检查纤维化改变的关联性。作者们提到，对比日本人群，墨粉操作组和非墨粉操作组的哮喘患病率更高（Kitamura 等人, 2014, a、b、c）。

## 附录 B

## 相关的炭黑职业接触限值\*

国家 / 地区	浓度, mg/m <sup>3</sup>	
阿根廷	3.5, TWA	ACGIH® 美国政府工业卫生专家协会
埃及	3.5, TWA	mg/m <sup>3</sup> 毫克 / 立方米
爱尔兰	3.5, TWA; 7.0, STEL	DNEL 衍生无作用剂量
澳大利亚	3.0, TWA, 可吸入	GBP 不含已知具体毒性的粒状生物持久性颗粒 (炭黑未在 TRGS 900 中列出)
巴西	3.5, TWA	纳米-GBP 不含具体毒性和纤维结构的生物持久性纳米材料粉尘 (炭黑未在 BeKGS 527 中列出)
比利时	3.6, TWA	NIOSH 美国国家职业安全与健康研究所
德国 - BeKGS527	0.2 x 纳米-GBP 密度, 单位 g/cm <sup>3</sup> , TWA, 可呼吸 — 若其他相关信息不可用	OSHA 职业安全与卫生署
德国 - MAK	0.3 x GBP 密度, 单位 g/cm <sup>3</sup> , TWA, 可呼吸; 4.0, TWA, 可吸入	PEL 允许接触限值
德国 - TRGS 900	0.5 x GBP 密度, 单位 g/cm <sup>3</sup> , TWA, 可呼吸; 10, TWA, 可吸入	REL 建议接触限值
俄罗斯	4.0, TWA	STEL 短期接触限值
法国 - INRS	3.5, TWA/VME 可吸入	TLV 容许最高浓度
芬兰	3.5, TWA; 7.0, STEL	TRGS Technische Regeln für Gefahrstoffe (危险物质技术规则)
哥伦比亚	3.0, TWA, 可吸入	TWA 时间加权平均值, 八小时, 除非另有指定
韩国	3.5, TWA	
加拿大 (安大略)	3.5, TWA	
捷克	2.0, TWA	
马来西亚	3.5, TWA	
美国	3.5, TWA, OSHA-PEL 3.0, TWA, ACGIH-TLV®, 可吸入** 3.5, TWA, NIOSH-REL	
墨西哥	3.5, TWA	
日本 - MHLW	3.0	
日本 - SOH	4.0, TWA; 1.0, TWA, 可呼吸	
瑞典	3.0, TWA	
西班牙	3.5, TWA (VLA-ED)	
意大利	3.5, TWA, 可吸入	
印度尼西亚	3.5, TWA/NAB	
英国	3.5, TWA, 可吸入; 7.0, STEL, 可吸入	
中国	4.0, TWA; 8.0, TWA, STEL (15 分钟)	
中国香港	3.5, TWA	

\*请参考可能适用于您的操作的最新版本的标准或法规。

### \*\*关于 ACGIH TLV® 衍生内容和欧盟 REACH<sup>[4]</sup> 法规衍生无作用剂量的更多详细信息：

2011 年 2 月 1 日，美国政府工业卫生专家协会 (ACGIH) 容许最高浓度 (TLV®) 委员会宣布采用 3 mg/m<sup>3</sup> 炭黑的新健康指导原则 (TLV®)，该值是通过 8 小时时间加权平均值 (TWA) 的可吸入粉尘部分测得 (ACGIH, 2011)。为了符合欧盟 REACH 法规的要求，炭黑 REACH 联盟 (即 CB4REACH) 计算了职业环境 2 mg/m<sup>3</sup> 的炭黑衍生无作用剂量 (DNEL)，该值是通过 8 小时 TWA 的可吸入粉尘部分测得。DNEL 包含在炭黑注册卷宗内，于 2009 年 1 月 26 日通过了欧盟化学品管理署的完整性检查。

TLV®和DNEL值都是通过同一美国炭黑从业者接触研究衍生而来 (Harber 等人, 2003)。ACGIH (2011) 表示“支气管炎症状是对炭黑接触最敏感的人类健康影响；因此，建议 TLV-TWA 可用于防止炭黑相关的支气管炎。”该组织还提到，“仅在 40 年中接触均值  $\geq 137.9$  mg 年/m<sup>3</sup> (相当于 3.44 mg/m<sup>3</sup>) 的非吸烟者中，支气管炎具有统计学意义但轻微幅度的增加 (从 5% 到 9%)。”3 mg/m<sup>3</sup> (可吸入) TLV® 指可防止支气管炎症状。

1. 尽管累积接触组中非吸烟者的支气管炎症状增加具有统计学意义，但是增加幅度比较小 (相比最低接触排列的 5%，第四和第五排列分别为 10% 或 9%)。
2. 基于 2000-2001 年劳动卫生数据的近期接触表明，即使在最高接触排列 3.8 mg/m<sup>3</sup> 也没有出现支气管炎症状增加。
3. 当接触  $> 3.5$  mg/m<sup>3</sup>，FEV<sub>1</sub> 有下降；但下降在正常均值 FEV<sub>1</sub> 内。ACGIH (2011) 表明：“这些接触水平的肺功能值变化并未用作基础，而是对 TLV-TWA 建议的支持。”测得的肺功能数据并未显示高于正常年龄相关肺功能下降的显著不良影响。

### DNEL 衍生

DNEL 衍生在由炭黑 REACH 联盟制定的关于炭黑的欧盟 REACH 化学安全报告卷宗中有所描述。该报告指出，Harber 等人 (2003) 描述了对比 138 mg 年/m<sup>3</sup> 的可吸入粉尘接触或 40 年 3.5 mg/m<sup>3</sup> 接触的平均浓度  $[(138 \text{ mg 年/m}^3) / (40 \text{ 年})]$ ，最高接触排列中出现症状盛行率升高 (慢性支气管炎)。但是，DNEL 衍生也承认，支气管炎症状增加也在代表累积接触的第四排列中观察到。因此，有必要基于直至第三排列的累积接触中仍未检测到症状增加的数据，来确定不良作用阈值 (表 6，Harber 等人, 2003)。

该研究的作者们并未对数据进行年龄调整；因此，有可能第五排列的从业者年龄更大，因此更易患病。阈值水平在  $(3/5) * 3.5 \text{ mg/m}^3 = 2 \text{ mg/m}^3$  (可吸入) 进行估计，对应人类 2 mg/m<sup>3</sup> (可吸入粉尘部分) 的 DNEL。考虑到未进行年龄调整，系数 3/5 被用于说明第三和第五排列之间的不良作用阈值。由于第三排列并未表现出不良作用，通过将第五排列的值乘以系数 3/5，该阈值在连续接触范围上取近似值。

<sup>[4]</sup> 欧盟 REACH - 欧洲议会和理事会 2006 年 12 月 18 日关于化学品注册、评估和授权 (REACH) 的条例 (EC) 编号 1907/2006

## 参考文献

- Abraham AG *et al.* Retrospective mortality study among employees occupationally exposed to toner. *J Occup Environ Med* 2010; 52 (10): 1035-41.
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Committee on Industrial Ventilation: Industrial Ventilation, A Manual of Recommended Practice, 28th edition; ACGIH, Cincinnati, OH, 2013.
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists: Threshold Limit Values for Chemical and Physical Agents and Biological Exposure Indices. ACGIH, Cincinnati, OH. 2013.
- American National Standards Institute: American National Standard for Respiratory Protection; ANSI Z88.2-1992, New York, NY, 1992.
- ASTM *Standard Terminology Relating to Carbon Black*. Designation: D3053-15. ASTM International, 100 Barr Harbour Dr., P.O. box C-700 West Conshohocken, Pennsylvania USA
- Beall C *et al.* Mortality and cancer incidence among tire manufacturing workers hired in or after 1962. *J Occup Environ Med* 2007; 49: 680-690.
- Bergmann, C., Trimbach, J., Haase-Held, M., Seidel, A. "Consequences of European Directive 2005/69/EC for Tire Industry," *Kautschuk Gummi Kunststoffe*, October 2011.
- Borm PJA, Cakmak G, Jermann E, Weishaupt C, Kempers P, van Schooten FJ, Oberdörster G and Schins RPF. (2005) Formation of PAH-DNA adducts after in vivo and vitro exposure of rats and lung cells to different commercial carbon blacks. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 205 (2), 157-167.
- Brook RD *et al.* Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: Scientific statement from the American Heart Association. *Circulation* 2010; 121: 2331-2378.
- Büchte SF, Morfeld P, Wellmann J, Bolm-Audorff U, McCunney RJ, Piekarski C. Lung cancer mortality and carbon black exposure: a nested case-control study at a German carbon black production plant. *J Occup Environ Med* 2006; 48(12): 1242-1252.
- Confined Space Entry, An AIHA Protocol Guide; American Industrial Hygiene Association, Fairfax, VA, 1995.
- Crosbie, W.: Respiratory Survey on Carbon Black Workers in the UK and the U.S.; *Arch Environ Health* 1986; 41: 346-53.
- Dell L *et al.* A Cohort Mortality Study of Employees in the U.S. Carbon Black Industry. *J Occup Environ Med* 2006; 48: 1219-1229.
- Dell L *et al.* Carbon Black Exposure and Risk of Malignant and Nonmalignant Respiratory Disease Mortality in the U.S. Carbon Black Industry Cohort; *J Occup Environ Med* 2015; 57: 984-997.
- Donnet, J., R. Bausal, and M. Wang (eds.): *Carbon Black, Science & Technology*, 2nd edition; Marcel-Dekker, New York, NY, 1993.
- Dost A *et al.* A cohort mortality and cancer incidence survey of recent entrants (1982-91) to the UK rubber industry: Findings for 1983-2004. *Occup Med (Lond)*. 2007; 57 (3): 186-90.
- Driscoll KE, Deyo LC, Carter JM, Howard BW, Hassenbein DG and Bertram TA (1997) Effects of particle exposure and particle-elicited inflammatory cells on mutation in rat alveolar epithelial cells. *Carcinogenesis* 18 (2) 423-430.
- ECETOC 2013. Poorly Soluble Particles/Lung Overload, Technical Report No. 122 ISSN-0773-8072-122 (Print); ISSN-2073-1526-122 (Online)
- Gardiner, K., N. Trethowan, J. Harrington, C. Rossiter, and I. Calvert: Respiratory Health Effects of Carbon Black: A Survey of European Carbon Black Workers; *Brit J Ind Med* 1993; 50: 1082-1096.
- Gardiner, K.: Effects on Respiratory Morbidity of Occupational Exposure to Carbon Black: A Review; *Arch Environ Health* 1995; 50: (1) 44-59.
- Gardiner, K., van Tongeren, M., and J.M. Harrington: Respiratory Health Effects from Exposure to Carbon Black: Results of the Phase II and III Cross-Sectional Studies in the European Carbon Black Manufacturing Industry. *Occup Environ Med* 2001; 58: 496-503.
- Hailemariam Y, H. Mojazi Amiri and K. Nugent Acute respiratory symptoms following massive carbon black exposure. *Occup Medicine* 2012; 62: 578-580.
- Harber, P., H. Muranko, *et al*: Effect of Carbon Black Exposure on Respiratory Function and Symptoms; *J Occup Environ Med* 2003; 45: 144-155
- Hodgson, J., and R. Jones: A Mortality Study of Carbon Black Workers Employed at Five United Kingdom Factories Between 1947-1980; *Arch Environ Health* 1985; 40: 261-268.
- Hamm St, Frey Th, Weinand R, Moninot G, and Petiniot N (2009). "Investigations on the extraction and migration behaviour of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) from rubber formulations containing carbon black as reinforcing agent", *Rubber Chemistry and Technology*, 2009, Vol. 82 No. 2.
- Ingalls, T.: Incidence of Cancer in the Carbon Black Industry; *Arch Ind Hyg and Occup Med* 1950; 1: 662-676.
- Ingalls, T., and R. Riskey-Iribarren: Periodic Search for Cancer in the Carbon Black Industry; *Arch Environ Health* 1961; 2: 429-433.



- Ingalls, T., and J. Robertson: Morbidity and Mortality from Cancer in the Cabot Corporation. Unpublished report, Framingham Union Hospital, Framingham, MA. 1975.
- ISO/TS 80004-1: 2015 Nanotechnologies – Vocabulary – Part 1: Core Terms. International Standards Organization
- International Agency for Research on Cancer: IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Vol. 65, Printing Processes and Printing Inks, Carbon Black and Some Nitro Compounds, Lyon, France; 149-262, 1996.
- International Agency for Research on Cancer: IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Vol. 93, Carbon Black, Titanium Dioxide, and Talc. Lyon, France, 2010.
- International Agency for Research on Cancer: IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans: Occupational Exposures in the Rubber Manufacturing Industry. Lyon, France, 2012.
- Kerr, S., J. Vincent, and H. Muranko: Personal Sampling for Inhalable Aerosol Exposure of Carbon Black Manufacturing Industry Workers; *J Appl Occup Environ Hyg* 2002; 17 (10); 681-692.
- Kitamura H *et al.* (a) A cohort study of toner handling workers on inflammatory, allergic, and oxidative stress markers: Cross sectional and longitudinal analyses from 2003-2008 *Hum Exp Toxicol*; online as of July 24
- Kitamura H *et al.* (b) A cohort study on self reported respiratory symptoms of toner handling workers: Cross sectional and longitudinal analysis from 2003-2008. *BioMed Research International* 2014, Article ID 826757, 10 pages
- Kitamura H *et al.* (c) A cohort study using pulmonary function tests and x-ray examination in toner handling workers: Cross sectional and longitudinal analyses from 2003 to 2008. *Hum Exp Toxicol* published online 16 July 2014.
- Kogevinas M *et al.* Cancer risk in the rubber industry: a review of the recent epidemiological evidence *Occup Environ Med* 1998; 55: 1-12
- Kuepper, H.U., R. Breitstadt, and W.T. Ulmer: Effects on the Lung Function of Exposure to Carbon Black Dusts – Results of a Study Carried out on 677 Members of Staff of the Degussa Factory in Kalscheuren/Germany. *Int Arch Occup Health* 1996; 68: 478-483.
- Kuhlbusch, TAJ., S. Neumann, M. Ewald, H. Hufmann, and H. Fissan: Number Size Distribution, Mass Concentration, and Particle Composition of PM1, PM2.5, and PM10 in Bag Filling Areas of Carbon Black Production; *J Occup Environ Hyg*, 2004; 1, 660-671.
- Kuhlbusch, TAJ, H Fissan. Particle Characteristics in the Reactor and Pelletizing Areas of Carbon Black Production. *J Occup Environ Hyg* 2006; 3, 558-567.
- Long, CM, MA Nascarella, PA Valberg. Carbon Black vs. Black Carbon and Other Materials Containing Elemental Carbon: Physical and Chemical Distinctions. *Environmental Pollution*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2013.06.009>.
- McCunney, RJ, Valberg P, Muranko H, Morfeld, P "Carbon Black" in Patty's Industrial Hygiene and Toxicology 2012; pp 429-453
- McElvenny D *et al.* Cancer mortality in the British Rubber industry – a 45-year follow-up. *Occup Environ Med*. 2014 Jun; 71 Suppl 1: A88.
- Meyer, J., S. Islam, A. Ducatman, and R. McCunney: Prevalence of Small Lung Opacities in Populations Unexposed to Dust. *Chest* 1997; 111: 404-10.
- Mirabelli D *et al.* Cohort study of workers employed in an Italian tire manufacturing plant, 1962-2004 Morfeld P *et al* Carbon black and lung cancer-testing a novel exposure metric by multi-model inference *Am J Ind Med* 2009; 52: 890-89
- Morfeld P, Büchte SF, McCunney RJ, Piekarski C. Lung Cancer Mortality and Carbon Black Exposure: Uncertainties of SMR Analyses in a Cohort Study at a German Carbon Black Production Plant. *J Occup Environ Med* 2006; 48, 1253-1264.
- Morfeld P, Büchte SF, Wellmann J, McCunney RJ, Piekarski C. Lung Cancer Mortality and Carbon Black Exposure: Cox Regression Analysis of a Cohort from a German Carbon Black Production Plant. *J Occup Environ Med* 2006; 48, 1230-1241.
- Morfeld P. Letter to the Editor. *Inhal Toxicol* 2007; 19: 195.
- Morfeld P and McCunney RJ. Carbon Black and Lung Cancer: Testing a New Exposure Metric in a German Cohort. *Am J Ind Med* 2007; 50 (8), 565-567.
- Morfeld P and McCunney RJ. Carbon Black and Lung Cancer – Testing a Novel Exposure Metric by Multi-model Inference. *Am J Ind Med* 2009; 52 (11), 890-899.
- Morfeld P and McCunney RJ. Bayesian bias adjustments of the lung cancer SMR in a cohort of German carbon black production workers. *J Occup Med Toxicol* 2010; 5: 23,
- Nagy, John: Explosibility of Carbonaceous Dusts, Report of Investigations 6597; U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines, Washington, D.C., 1965.
- NFPA 654. Standard for the Prevention of Fire and Dust Explosions from the Manufacturing, Processing, and Handling of Combustible Particulate Solids. National Fire Protection Association, 2013.
- National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH): Criteria for a Recommended Standard - Occupational Exposure to Carbon Black; DHHS/NIOSH Pub.No. 78-204; Cincinnati, OH, 1978.

- Neghab M *et al.* Symptoms of Respiratory Disease and Lung Functional Impairment Associated with Occupational Inhalation Exposure to Carbon Black Dust J Occup Health 2011; 53: 432-438
- OECD Guidelines for the Testing of Chemicals. Organization for Economic Co-operation and Development. Test Guidelines 401 (acute oral LD50), 404 (skin corrosion/irritation), 405 (eye damage/irritation), 406 (sensitization).
- Paget-Bailly, S, Cyr D, MS, and Luce D. Occupational Exposures and Cancer of the Larynx—Systematic Review and Meta-analysis; J Occup and Environ Med, 2011, 54(1): 71-84
- Parent ME, Siemiatycki J, Renaud G. Case-control study of exposure to carbon black in the occupational setting and risk of lung cancer. Am J Ind Med.1996 Sep; 30 (3): 285-92.
- Pira E *et al.* Mortality From Cancer and Other Causes in an Italian Cohort of Male Rubber Tire Workers J Occup Environ Med 2012; 54: 345-349.
- Ramanakumar AV, Parent ME, Latreille B, Siemiatycki J. Risk of lung cancer following exposure to carbon black, titanium dioxide and talc: results from two case-control studies in Montreal. Int J Cancer. 2008 Jan 1; 122 (1): 183-9.
- Rivin D. and R. Smith: Environmental Health Aspects of Carbon Black; Rubber Chemistry and Technology; 55 (3) 707-761, 1982.
- Robertson, J. and T. Ingalls: A Mortality Study on Carbon Black Workers in the United States from 1935-1974; Archives of Environmental Health 1980; 35 (3): 181-186.
- Robertson, J. and T. Ingalls: A Case-control Study of Circulatory, Malignant, and Respiratory Morbidity in Carbon Black Workers in the U.S.; Am Ind Hyg Assoc J 1989; 50 (10): 510-515.
- Robertson, J., and K. Inman: Mortality in Carbon Black Workers in the U.S.; Brief Communication; J Occup Environ Med 1996; 38 (6): 569-570.
- Sorahan, T., L. Hamilton, M. van Tongeren, K. Gardiner, and J. Harrington: A Cohort Mortality Study of U.K. Carbon Black Workers 1951-96; Am J Ind Med 2001; 39: 158-170.
- Sorahan, T., Harrington JM. A "Lugged" Analysis of Lung Cancer Risks in UK Carbon Black Production Workers; Am J Ind Med 2007; 50 (8), 555-564.
- Straif K, Keil U, Taeger D *et al.*; Exposure to nitrosamines, carbon black, asbestos, and talc and mortality from stomach, lung, and laryngeal cancer in a cohort of rubber workers. Am J Epidemiol, 2000; 152: 297-306.
- Taeger D *et al.* Cancer and non-cancer mortality in a cohort of recent entrants (1981-2000) to the German Rubber Industry. Occup Environ Med 2007; 64: 560-561.
- Valic, F., D. Beritic-Stahuljak, and B. Mark: A Follow-up Study of Functional and Radiological Lung Changes in Carbon Black Exposure; Int Arch Arbeitsmedizin. 1975; 34: 51-63.
- Vlaanderen J, Taeger D, Wellman J, Keil U, Schüz J, Straif K. Extended cancer mortality follow-up of a German rubber industry cohort. J Occup Environ Med. 2013; 55 (8): 966-72.
- van Tongeren, M., K. Gardiner, C. Rossiter, J. Beach, P. Harber, and J. Harrington: Longitudinal Analysis of Chest Radiographs from the European Carbon Black Respiratory Morbidity Study; Eur Respir J 2002; 20: 417-25.
- Wellmann, J, SK Weiland, G Klein, K Straif. Cancer Mortality in German Carbon Black Workers 1976-1998. Occup Env Med 2006; 63 (8), 513-521.
- Wilczyńska U, Szadkowska-Stańczyk I, Szeszenia-Dąbrowska N, Sobala W, and Strzelecka A (2001). Cancer Mortality in Rubber Tire Workers in Poland. International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health, 2001; 14 (2), 115-125.

国际炭黑协会尽力保持完整和最新的与炭黑相关的职业与环境健康文献的参考书目。有关更多信息，请联系您的炭黑供应商。



