

职业安全健康北京市重点实验室

工程纳米材料 职业健康与安全

Occupational Safety and Health Effects Associated with
Engineering Nanomaterials

唐仕川 常 兵 主编



科学出版社

工程纳米材料职业健康与安全

Occupational Safety and Health Effects Associated with
Engineering Nanomaterials

唐仕川 常 兵 主编



科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是职业健康与安全领域第一部为控制工程纳米材料对人体潜在职业安全与健康影响提供相关基础知识和技术方法的专业书籍。本书介绍了纳米材料的定义与特性、纳米材料的应用与环境健康风险、纳米材料的暴露评价,着重阐述了纳米材料毒理学研究、纳米材料风险评估与风险管理,并首次系统介绍了纳米材料职业暴露控制方法。同时本书把国际纳米材料职业健康与安全领域制定有效可行的法规制度以及防控措施亦编入本书。本书对工程纳米材料对职业安全与健康影响评价、纳米材料职业暴露控制方法具有指导意义,同时对接触工程纳米材料的所有人员的健康保护具有实际帮助。

本书适合纳米材料职业健康和安全领域的相关人员阅读参考,对控制工程纳米材料对人体潜在职业安全与健康影响可起到积极作用。

图书在版编目(CIP)数据

工程纳米材料职业健康与安全/唐仕川,常兵主编. —北京:科学出版社,2015.6

ISBN 978-7-03-044956-6

I. ①工… II. ①唐…②常… III. ①纳米材料-研究 IV. ①TB383

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第129460号

责任编辑:杨 震 霍志国/责任校对:张小霞

责任印制:张 倩/封面设计:铭轩堂

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

三河市骏杰印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015年6月第一版 开本:720×1000 1/16

2015年6月第一次印刷 印张:31 1/2

字数:630 000

定价:138.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

本书编委会

主 编	唐仕川	常 兵				
副 主 编	张美辨	李剑峰				
编 委	余 珉	赵 鹏	邢鸣鸾	许志珍	李国珍	
	余 再	沈臻霖	邹 华	高向景	付朝晖	
	于 森	李东航	颜鲁春	徐华东	胡贵平	
	赵 琳	乔佩环	周兴藩	陈小真		

参加编写人员

唐仕川	北京市劳动保护科学研究所
李剑峰	北京市劳动保护科学研究所
赵 鹏	北京市劳动保护科学研究所
许志珍	北京市劳动保护科学研究所
沈臻霖	北京市劳动保护科学研究所
付朝晖	北京市劳动保护科学研究所
李国珍	北京市劳动保护科学研究所
周兴藩	北京市劳动保护科学研究所
陈小真	北京市劳动保护科学研究所
常 兵	中国疾病预防控制中心职业卫生与中毒控制所
于 森	中国疾病预防控制中心职业卫生与中毒控制所
李东航	中国疾病预防控制中心职业卫生与中毒控制所
乔佩环	中国疾病预防控制中心职业卫生与中毒控制所
张美辨	浙江省疾病预防控制中心
邢鸣鸾	浙江省疾病预防控制中心
邹 华	浙江省疾病预防控制中心
高向景	浙江省疾病预防控制中心
余 珉	浙江医学科学院
徐华东	北京大学医学部
胡贵平	北京大学医学部
赵 琳	北京大学医学部
颜鲁春	北京科技大学
余 再	约翰威力商务服务（北京）有限公司

序

纳米技术是 21 世纪高新科技前沿之一，在科学技术及国民经济各方面都具有广阔的应用前景，对未来的产业升级和经济增长将产生重要影响。近年来，纳米技术已成为许多发达国家和新兴工业国家优先支持和发展的领域。根据美国国家纳米技术发展计划的预测，2020 年纳米技术所带动的经济产值可达 3.1 万亿美元，全球纳米相关产业从业人员达 600 万人。目前，中国已迈入纳米技术快速发展时期，纳米技术研发和成果转化居世界前列，研发基地和产业园区发展势头强劲，产业发展规模将持续扩大。

从科技发展历史看，新技术的发展往往风险与机遇并存。世界卫生组织于 2012 年发布了《纳米技术与人类健康：科学证据和风险管理》，警示人们要更加重视纳米产业的职业健康与安全风险。纳米材料生产和应用企业普遍存在职业接触风险高、员工职业防护意识薄弱、职业安全防护措施不当等问题。随着纳米技术发展及相关产品的广泛使用，社会公众和生态环境所面临的接触风险与潜在健康危害亦不容忽视。

《工程纳米材料职业健康与安全》一书，在深入分析纳米材料的特性、纳米材料的应用与环境健康风险、纳米材料毒理学研究成果和未来研究趋势的基础上，阐述了纳米材料暴露评价和风险评估的新理论、新经验、新成果，提出了纳米材料职业暴露危害风险的控制体系和相关举措。

本书的编者及其团队在国内纳米技术产业职业健康和安全生产研究领域具有良好的实践基础和专业水平，搭建了可开展纳米技术产业纳米颗粒物检测、分析、评价的技术平台以及安全生产管理对策研究体系。

本书的出版将有助于人们了解纳米技术及产品可能导致的职业安全与健康问题，帮助从业人员掌握科学有效的职业卫生检测方法以及先进的纳米产业职业安全健康管理经验，继而从工程技术、职业安全健康管理、实施操作层面实现保护劳动者健康和安全生产的目标，对于贯彻落实职业病防治工作“预防为主，防治结合”方针，深化纳米技术产业绿色、健康、和谐发展具有重要意义。



2015.6.3

前 言

从 1959 年物理学家理查德·费曼在美国物理学会年会首次提及操纵原子制造器件的设想，到 1974 年东京理科大学的谷口纪男教授正式提出“纳米技术”；从 1991 年碳纳米管材料问世，21 世纪，纳米技术产业已成为一个迅速发展的行业，到 2011 年上千种人工纳米材料产品被制造，纳米技术已经从设想-诞生-应用快速进入我们的日常生活，应用纳米技术的产品已达到 1300 余种。预计到 2020 年，纳米技术所带动的经济产值可达 3.1 万亿美元，全球纳米相关产业从业人员将达 600 万。

纳米技术 (nanotechnology) 指在接近原子尺度范围内生产新的结构、材料与设备的操作方法。基于纳米技术且满足至少一维尺度在 $1\sim 100\text{nm}$ 范围内的物质可被定义为纳米材料。纳米材料拥有表面与界面效应、小尺寸效应、量子尺寸效应以及宏观量子隧道效应等与宏观物质材料截然不同的特性。工程纳米材料 (engineering nanomaterial) 是一类为特定目的和功能而设计的纳米材料。随着纳米技术的发展和普及，工程纳米材料研发和生产应用将得到快速发展，相关产业工人很可能在生产、包装、储存以及运输等过程存在职业接触风险。因此，工程纳米材料的职业暴露风险评估和职业健康危害控制值得重视与关注。

工程纳米材料职业健康风险与安全性已成为纳米技术发展的重要导向之一。纳米材料化学成分、晶体结构、粒径尺寸、表面修饰等特征的差异决定着其独特的毒副作用，这对于纳米材料毒理学评价工作提出了新的挑战；不同纳米产品涉及不同的生产工艺和生产方式，决定了不同企业存在着不同程度的暴露风险，这对于作业场所职业暴露风险评估和控制提出了新要求；纳米材料的生产和使用不仅对作业人员产生健康风险，可能导致肺功能下降、肺纤维化、肺部炎症、哮喘等症状，还可能影响生态环境。所以，应加强工程纳米材料作业场所的风险控制管理，这对于纳米材料生产和使用企业的职业卫生安全工作提出了更高要求。

《工程纳米材料职业健康与安全》借鉴、参考、吸收国内外最新研究成果，收集、梳理、整合国内外切实可行的安全管理法规和策略、纳米毒理学发展趋势、纳米材料危害评估发展趋势、纳米技术产业暴露风险评估方法、纳米产业职业危害风险控制管理策略，使读者对工程纳米材料毒性、暴露特征、健康危害、防护措施等方面有更为深刻、全面的理解，进一步提高我国纳米产业职业危害研究和实践工作的水平，促进纳米产业可持续发展。

《工程纳米材料职业健康与安全》包含 7 章，内容包括术语、纳米技术概述、

纳米材料的应用与环境健康风险、纳米材料的暴露评价、纳米材料毒理学研究、风险评估与风险管理、纳米材料职业暴露控制方法。同时，以附录形式摘取了可用于指导实践活动的纳米材料职业危害风险控制方面的规范，如附录 A 日本厚生劳动省“预防工作场所纳米材料接触的措施”、附录 B 工程纳米材料健康与安全的管理方法、附录 C 纳米材料生产、运输和储存过程中的控制策略和附录 D 纳米材料的职业暴露与危险性评价。本书旨在帮助评估工程纳米材料暴露的潜在危害、减少潜在在工作场所暴露、提高职业健康与安全水平、保护劳动者，提供基础理论和技术方法的参考。

本书在编写过程中，得到了中国疾病预防控制中心、北京大学医学部、北京市劳动保护科学研究所、浙江省疾病预防控制中心、浙江省医学科学院等单位的大力支持和协助。同时，认真思考了纳米技术产业职业健康与安全领域急需解决的问题：将国内外先进经验与理论研究成果转化为具有实践意义的指南，使职业健康导则和标准满足纳米材料职业健康安全防护的发展趋势，政府、科学家、公众对于纳米材料的健康风险和保护措施进行有效地沟通，希望通过我们的努力，能为政府、工程纳米材料生产企业、产业工人提供作业场所纳米颗粒物暴露评估技术指导、纳米技术产业职业危害防护建议，促进公众对纳米材料健康影响的认知，提高应对工程纳米材料潜在职业健康风险的能力。

由于时间紧迫，本书难免存在疏漏或不妥之处，恳请广大读者提出宝贵意见和建议。

唐仕川 常 兵

2015 年 6 月

目 录

序	
前言	
第 0 章 术语	1
第 1 章 纳米技术概述	25
1.1 纳米材料的概念与特性	25
1.1.1 纳米材料的基本效应	25
1.1.2 物理和化学性质	27
1.1.3 常用纳米材料及其特性	30
1.2 纳米技术的发展	37
1.2.1 自然界中存在的纳米物质	37
1.2.2 纳米技术的早期发展	37
1.2.3 纳米技术起源	38
1.2.4 纳米技术的重大突破	39
1.2.5 纳米技术飞速发展	39
1.2.6 纳米技术全面发展	39
1.3 纳米技术应用所引发的认识突破和伦理学思考	40
1.3.1 人类对纳米科技认识的突破	41
1.3.2 伦理学介入纳米技术的必要性	43
1.3.3 纳米技术应用潜在的职业健康风险	45
1.4 纳米材料的管理	46
1.4.1 纳米材料管理相关法规与政策的发展近况	46
1.4.2 涉及纳米材料的行业管理法规与政策概况	48
1.4.3 纳米材料管理法规与政策的后续发展思路	50
参考文献	50
第 2 章 纳米材料的应用与环境健康风险	54
2.1 纳米科学和纳米技术全球发展战略	54
2.1.1 美洲	55
2.1.2 欧洲	55
2.1.3 亚洲	56
2.1.4 公司	57

2.2 纳米材料应用	58
2.2.1 纳米吸附降解材料	58
2.2.2 纳米材料催化剂	60
2.2.3 纳米材料在环境修复中的应用	63
2.2.4 纳米材料在纺织业中的应用	67
2.2.5 纳米材料在电子行业中的应用	69
2.2.6 纳米材料药品中的应用	70
2.2.7 纳米材料在涂料中的应用	74
2.3 纳米材料环境、安全和健康风险	76
2.3.1 职业接触风险	76
2.3.2 消费者接触风险	77
2.3.3 环境暴露风险	78
参考文献	79
第3章 纳米材料的暴露评价	102
3.1 工作场所纳米材料暴露来源、环节及暴露途径	102
3.1.1 纳米材料的范畴	102
3.1.2 纳米颗粒潜在来源	103
3.1.3 纳米颗粒暴露环节	104
3.1.4 纳米颗粒暴露途径	107
3.2 纳米材料的表征方法	108
3.2.1 纳米材料的测量指标	108
3.2.2 纳米颗粒测量的影响因素	111
3.2.3 采样或测试策略	111
3.3 工作场所纳米颗粒暴露浓度测量及呼吸道暴露模型研究	112
3.3.1 纳米颗粒暴露浓度测量	112
3.3.2 呼吸道暴露模型研究	119
3.4 纳米材料职业暴露评价的方法	120
3.4.1 初步评价	120
3.4.2 主要评价	123
3.4.3 扩展评价	125
参考文献	127
第4章 纳米材料毒理学研究	133
4.1 纳米毒理学研究现状与面临的挑战	133
4.1.1 纳米毒理学的作用和重要性	133
4.1.2 纳米毒理学的主要成就	134

4.1.3 纳米毒理学面临的挑战和未来战略	140
参考文献	141
4.2 纳米颗粒的毒代动力学	147
4.2.1 简介	147
4.2.2 纳米颗粒体内 PK 的特点	148
4.2.3 纳米颗粒毒代动力学的影响因素	150
4.2.4 小结	152
参考文献	152
4.3 纳米颗粒在细胞内的转运	154
4.3.1 简介	154
4.3.2 纳米颗粒胞吞作用类型和机制	156
4.3.3 纳米颗粒胞吞作用的影响因素	158
4.3.4 纳米颗粒的胞吐作用	161
4.3.5 小结	162
参考文献	163
4.4 纳米颗粒的细胞毒性	166
4.4.1 简介	166
4.4.2 细胞培养实验的背景及应用	167
4.4.3 体外实验系统	168
4.4.4 纳米颗粒细胞毒性的评价指标	170
4.4.5 纳米颗粒细胞毒性的评价方法	172
4.4.6 小结	177
参考文献	178
4.5 纳米颗粒的遗传效应	182
4.5.1 简介	182
4.5.2 遗传毒性基本概念及内容	183
4.5.3 纳米材料遗传毒性的试验观察分析	185
4.5.4 纳米材料遗传毒性的分子分析	192
4.5.5 小结	195
参考文献	196
4.6 纳米颗粒的生殖发育毒性及内分泌毒性	201
4.6.1 简介	201
4.6.2 纳米颗粒对生殖系统的影响	203
4.6.3 纳米颗粒的胚胎毒性	213
4.6.4 纳米材料对生殖以外的内分泌系统的毒性影响	215

4.6.5 小结	216
参考文献	219
4.7 纳米颗粒对肺部炎症的影响	230
4.7.1 简介	230
4.7.2 纳米颗粒在肺部的沉积	242
4.7.3 纳米颗粒在肺部的清除	244
4.7.4 纳米颗粒诱发的肺部炎症	247
4.7.5 小结	255
参考文献	258
4.8 纳米材料的生态毒性效应	268
4.8.1 纳米生态毒理学的形成	268
4.8.2 纳米材料生态毒性的评价方法	270
4.8.3 纳米材料的生物效应	273
4.8.4 纳米材料与其他物质的复合效应	278
4.8.5 小结	280
参考文献	280
第5章 风险评估与风险管理	287
5.1 风险评估与风险管理的发展趋势	287
5.1.1 风险评估	288
5.1.2 风险管理	289
5.2 纳米产品风险评估与风险管理发展趋势	291
5.2.1 官方及研究机构的发展概述	291
5.2.2 纳米产品风险评估技术概述	293
5.2.3 纳米技术产业与纳米产品风险管理方面	297
5.3 纳米产品风险评估总体框架及研究成果	297
5.3.1 风险评估关键技术应用与发展	298
5.3.2 纳米产品风险评估步骤概要	300
5.4 纳米产品风险评估案例分析	302
5.4.1 富勒烯 C60 执行总结	302
5.4.2 纳米碳管 CNTs 执行总结	309
5.4.3 二氧化钛执行总结	315
5.5 纳米技术风险管理策略和举措	321
5.5.1 纳米技术风险管理基本策略及指导性建议规范概要	322
5.5.2 预警风险管理决策	322
5.5.3 纳米技术产业防护措施的参考性建议	327

5.5.4 纳米技术危害控制管理相关领域研究进展及其意义	329
参考文献	333
第 6 章 纳米材料职业暴露控制方法	336
6.1 职业安全与健康管理体系	336
6.1.1 初步危害评估	336
6.1.2 设计预防	338
6.1.3 应用于纳米材料的职业接触限值	339
6.1.4 分类控制	340
6.2 接触控制策略与控制层级	340
6.2.1 消除	341
6.2.2 替代	341
6.2.3 工程控制	341
6.2.4 管理控制	346
6.2.5 个体防护设备 (PPE)	347
6.3 纳米技术工艺与工程控制	348
6.3.1 主要纳米技术生产与下游工艺	348
6.3.2 用于减少接触的工程控制方法	349
6.3.3 通风及其影响因素	350
6.3.4 针对通用工艺的接触控制技术	351
参考文献	360
附录 A 日本厚生劳动省“预防工作场所纳米材料接触的措施”	363
附录 B 工程纳米材料健康与安全的管理方法	374
附录 C 纳米材料生产、运输和储存过程中的控制策略	418
附录 D 纳米材料的职业暴露与危险性评价 (HSG 272, 2013)	475

第 0 章 术 语

A

Accumulative toxicity 蓄积毒性：给试验动物反复染毒或接触化学物质后，吸收量大于排泄量，或毒性作用多次累加所致功能性或结构性损害。

Acrosomal reaction 顶体反应：是指精子获能后，与卵相遇时，顶体开始产生的一系列改变。顶体是覆盖于精子头部细胞核前方、介于核与质膜间的囊状细胞器。

Acute toxic effect zone 急性毒作用带：半数致死剂量与急性阈剂量的比值。

Acute toxicity rating 急性毒性分级：根据动物经口、经皮半数致死剂量 (LD_{50})、吸入半数致死浓度 (LC_{50}) 进行的分级。

Acute toxicity 急性毒性：一次或 24h 内多次给试验动物染毒化学物质所指的中毒效应。

Additive effect 相加作用：两种或两种以上毒物同时或先后作用于机体所产生的毒作用相当于各个物质单独所致效应的算术总和。

Aerodynamic diameter 空气动力学直径：某种粉尘粒子，无论其直径大小、密度及几何形状如何、在静止或层流空气中、其沉降速度若与一种密度为 1 的球形粒子相同时，则该球形粒子的直径即为某种粉尘粒子的空气动力学直径 (μm_A)。

Aerosol 气溶胶：以液体或固体为分散相，分散在气体介质中的溶胶物质，如粉尘、雾或烟。

Agglomerate 凝聚物：松散结合的粒子团或聚合物或两者的混合，其所得到的外表面积近似于单个成员的表面积之和。

Aggregate 聚集：包括颗粒间的牢固结合或颗粒的融合，其所得到的外表面积明显小于单个成员的表面积之和。

Air changes 换气次数：单位时间内室内空气的更换次数，即新风量与通风房间体积的比值。

Air collector 空气收集器：用于采集空气中气态、蒸气态和气溶胶态有害物质的器具，如大注射器、采气袋、各类气体吸收管、固体吸附剂管、无泵型采样器和滤料采样夹等。

Air determination 空气检测：工作场所空气中有害物质的采集和测定。

Air distribution 气流组织：布置送风口、排风口位置，分配风量以及选用风

口形式,对室内空气的流动形态和分布进行合理优化的组织,以便用最小的通风量达到最佳的通风效果,以满足工作场所空气质量的要求。

Air humidity 空气湿度:空气中的含湿量。空气湿度常用相对湿度(relative humidity)表示,即一定空气温度时的水蒸气分压力与同一温度下的饱和水蒸气分压力之比。

Air monitoring 空气监测:在一段时期内,通过定期(有计划)地检测工作场所空气中有害物质的浓度,以评价工作场所的职业卫生状况和劳动者接触有害物质的程度及可能的健康影响。

Air sampler 空气采样器:以一定的流量采集空气样品的仪器,通常由抽气动力和流量调节装置等组成。

Air-purifying respiratory protective equipment 过滤式呼吸防护用品:能把吸入的作业环境空气通过净化部件的吸附、吸收、催化或过滤等作用,除去其中有害物质后作为气源的呼吸防护用品。

Air-supplied respiratory protective equipment 供气式呼吸防护用品:佩戴者靠呼吸或借助机械力通过导气管引入清洁空气的隔绝式呼吸防护用品。

Allergen 致敏物:又称变应原或过敏原(anaphylactogen),指能引起变态反应的抗原,包括完全抗原和半抗原。

Analog 类似物:结构或性质上相似的化学物质。

Antagonistic effect 拮抗作用:两种或两种以上毒物同时或先后作用于机体所产生的毒作用低于各个化学物质单独毒性效应的总和。

Apoptosis 细胞凋亡:指为维持内环境稳定,由基因控制的细胞自主的有序的死亡。

Area sampling 定点采样:将空气收集器放置在选定的采样点进行的采样。

Area under concentration curve, AUC 浓度曲线下面积:代表一次用药后的吸收总量,反映药物的吸收程度。

Artificial nanoparticles 人造纳米颗粒:人造纳米颗粒是一种人工制造的、大小不超过100nm的微型颗粒。它的形态可能是乳胶体、聚合物、陶瓷颗粒、金属颗粒和碳颗粒。纳米颗粒,又称纳米尘埃,纳米尘末,指纳米量级的微观颗粒。它被定义为至少在一个维度上小于100nm的颗粒。小于10nm的半导体纳米颗粒,由于其电子能级量子化,又被称为量子点。

Asbestos and asbestos fibers 石棉与石棉化纤:石棉是一种具有纤维状结构的硅酸盐矿物,分两大类:蛇纹石类(温石棉);闪石类E青石棉(兰石棉)、铁石棉、直闪石、透闪石、阳起石、角闪石。石棉纤维是指直径 $<3\mu\text{m}$,长度 $>5\mu\text{m}$ 且长度与直径比 $>3:1$ 的纤维。

Assigned protective factor, APF 指定防护因数: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。

Atmosphere-supplying respiratory protective equipment 隔绝式呼吸防护用品:能使佩戴者呼吸器官与作业环境隔绝,靠本身携带的气源或者依靠导气管引入作业环境以外的洁净气源的呼吸防护用品。

Atmospheric aerosols 大气气溶胶:大气气溶胶是悬浮在大气中的固态和液态颗粒物的总称,粒子的直径多在 $0.001\sim 100\mu\text{m}$ 之间。主要包括6大类7种气溶胶粒子,即沙尘气溶胶、碳气溶胶(黑碳和有机碳气溶胶)、硫酸盐气溶胶、硝酸盐气溶胶、铵盐气溶胶和海盐气溶胶。

Atmospheric particles 大气颗粒物:大气颗粒物(atmospheric particulate matters)是大气中存在的各种固态和液态颗粒状物质的总称。各种颗粒状物质均匀地分散在空气中构成一个相对稳定的庞大的悬浮体系,即气溶胶体系,因此大气颗粒物也称为大气气溶胶(atmospheric aerosols)。

Average length of employment at disease onset 平均发病工龄:劳动者从事某种作业开始至确诊为患与该作业有关的职业病时所经历的时间的平均值。

B

Background concentration (blank) of air collector 空气收集器空白:空气收集器自身含有待测物的量。

Basic occupational health service, BOHS 基本职业卫生服务:以预防和控制职业病,保护和促进劳动者健康和工作能力为目的,采用科学合理和社会可接受的方法,通过初级卫生保健方式为所有劳动者所提供的必要的职业卫生技术服务。

Benchmark dose, BMD 基准剂量:又称基线剂量,指与本底相比概率为1%、5%或10%的受试个体出现效应剂量的95%可信限下限。

Biological effect 生物效应:是指某种外界因素(如生物物质、化学药品、物理因素等)对生物体产生的影响。

Biological exposure limit, BEL 生物接触限值:又称生物接触指数(biological exposure indices, BEIs)或职业接触生物限值(biological limit value, BLV),对接触者生物材料中有毒物质或其代谢、效应产物等规定的最高容许量。

Biological monitoring 生物监测:在一段时期内,通过定期(有计划)地检测人体生物材料中有害物质或其代谢物的含量(浓度)或由它们所致的生物效应水平,以评价劳动者接触有害物质的程度及可能的健康影响。

Biological sample (specimen) 生物样品:根据生物监测需要采集的、具有

代表性的作为检测样品的人体生物材料。

Biomarker 生物标志物：又称生物学标记或生物标志，指反应生物体系与外源化生物、物理和生物之间相互作用的任何可测定的指标，包括化学、生化、生理、行为或其他的改变。它分为接触生物标志物、效应生物标志物和易感性生物标志物。

Blank sample 空白样品：在采集空气样品的同时制备空白样品，其制备过程除不采集工作场所空气外，其余操作与空气样品完全相同。

Blood-testis barrier, BTB 血睾屏障：睾丸组织与流经睾丸的血液之间有一个防护层，称为血睾屏障。可防止精子与免疫系统接触，防止有害物质损伤精子及为精子提供良好的生成环境。

Body segment 体段：人体的各个部分。

Breathing zone 呼吸带：距离人的鼻孔 30cm 所包含的空气带。

Bulk material 大粒径材料：与纳米材料相对应的具有相同化学成分的大粒径材料。

C

Capture point 控制点：距排风罩罩口最远的有害物放散点。

Capture velocity 控制风速：将控制点处的有害物吸入罩内所需的最小风速。

Carbon black nanoparticles 炭黑纳米颗粒：炭黑算无定形碳的一种；炭黑纳米颗粒是具有石墨层状结构的纳米颗粒。

Carbon nanotubes 碳纳米管：又名巴基管，是一种具有特殊结构（径向尺寸为纳米量级，轴向尺寸为微米量级、管子两端基本上都封口）的一维量子材料，在 1991 年 1 月由日本物理学家饭岛澄男使用高分辨率分析电镜从电弧法生产的碳纤维中发现。碳纳米管主要由呈六边形排列的碳原子构成数层到数十层的同轴圆管。层与层之间保持固定的距离，约 0.34nm，直径一般为 2~20nm。

Carcinogenesis 致癌作用：致癌物引起或诱导正常细胞发生恶性转化并发展成为肿瘤的过程。

Cell culture 细胞培养：就是从动物机体中取出相关的组织，将它分散成单个细胞（使用胰蛋白酶或胶原蛋白酶），然后放在适宜的培养基中，让这些细胞生长和增殖。

Cell line 细胞系：指原代细胞培养物经首次传代成功后所繁殖的细胞群体。

Chemical 化学物质：工业用和民用的化学原料、中间体、产品等单分子化合物、聚合物以及不同化学物质组成的混合剂与产品。

Chronic toxic effect zone 急性毒作用带：急性阈剂量与慢性阈剂量的比值。

Chronic toxicity 慢性毒物：试验动物在其正常生命期的大部分内连续或反

复给试验动物染毒化学物质所致的中毒效应。

Cold strain 冷应激反应：由冷应激引起的全身性生理反应。

Cold stress 冷应激：综合考虑劳动者的代谢热、气象条件（及气温、湿度、气流和冷辐射）以及防护服要求的所接触的冷负荷净值。

Cold zone 后方区：又称冷区、清洁区、绿色区、支持区或安全区，控制事故所设置的区域，是用于指挥和维持救援任务所必须的区域。

Combined effect 联合作用：两种或两种以上毒物同时或先后作用于机体所产生的毒作用。

Comfort ability 舒适性能：护品使劳动者在生理上和心理上感到适宜的性能。

Confined space 密闭空间：与外界相对隔离，进出口限制，自然通风不良，足够容纳一人进入并从事非常规、非连续作业的有限空间 [如炉、塔、釜、罐、槽车以及管道、烟道、隧道、下水道、沟、坑、井、池、涵洞、船舱（船舶燃油舱、燃油柜、锅炉内部、主机扫气道、罐体、容器等封闭空间和大舱）、地下车库、储藏室、地窖、谷仓等]，分为无需准入密闭空间和需要准入密闭空间。

Confirmed (established) human carcinogen 确定的人类致癌物：对人类致癌性证据充分的物质。

Control zone 限制入内区：又称禁区 (exclusion zone)、红区或热区 (hot zone) 指邻接危险事故点的区域，该区域的范围足够大 (广)，在此区域外，足以防止泄漏物对身体产生有害作用。

Core temperature 核心温度：人体的温度是由位于人体脑部下视丘的“体温调节中枢”所设定的。它可使人体核心温度维持在一个很稳定的状态，平均约为 37°C 左右，上下不超过 $1\sim 1.3^{\circ}\text{C}$ 。因此，当人体核心温度超过 38.3°C 时（肛温最接近中心体温），就算是发烧。

Corrosive material 腐蚀物：可致眼、皮肤或呼吸道黏膜发生可逆性炎症反应的物质。

Corticosterone 皮质酮：是一种皮质激素类二十一碳甾体激素，由肾上腺的皮质产生出来。

Cytotoxicity 细胞毒性：由细胞或者化学物质引起的单纯的细胞杀伤事件，不依赖于凋亡或坏死的细胞死亡机理。

D

Dangerous water reactive material 遇水反应的危险化学品：遇水反应时产生明显有毒气体的物质。

Delayed toxicity 迟发毒性：接触某些毒物，当时不引起明显病变，或者在