

# **VII**

## **Dust explosion and safety protection**

### **粉尘爆炸与安全防护**

台湾水上乐园爆炸（2015年，516人受伤，淀粉）

## 8.2 昆山爆炸事故（2014年，75人死亡，185人受伤，金属粉）

秦皇岛淀粉厂爆炸（2010年，19死49伤，淀粉）

哈尔滨纺织厂爆炸（1987年，54死1821伤，亚麻粉）

本溪煤矿爆炸（1942年，死亡1549人，煤粉）



mswchina2010@Blog.163.com

## 7.1 粉尘爆炸基础知识

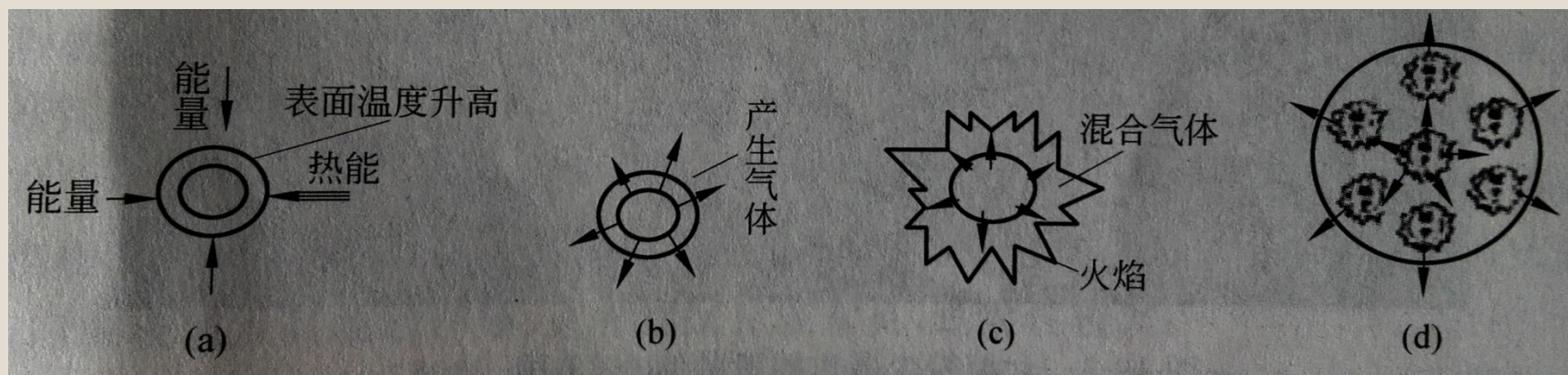
# a1 粉尘爆炸-简介

## ➤ 粉尘爆炸

也称**爆燃**，是**悬浮**在空气中的可燃性固体微粒**接触到火源**（明火或火花）时发生的爆炸现象。它是一个剧烈的氧化还原过程，属于**化学爆炸**。**任何以细粉末形态扩散的易氧化物质都可以爆炸**

## ➤ 粉尘爆炸条件：

- **可燃粉尘**：即能够被氧化的粉尘
- **氧化物**：如空气中的氧气等，需超过极限氧浓度才能发生爆炸
- **一定浓度的悬浮粉尘云**：需达到爆炸下限浓度
- **点火源**：需超过最小点火能量或最低着火温度
- **空间密闭性**：相对封闭环境，但大量粉尘泄露时即使敞开环境也能发生爆炸。



粉尘爆炸着火模型



## ➤ 粉尘爆炸危害：

粉尘爆炸危害主要来源于三个方面

■ **冲击波(压力或冲击波)**：工业粉尘发生爆炸时，会产生0.3-1MPa甚至更高的压力累积，部分脆性材料工业结构的破坏压力载荷下表所示。

结构	波纹石棉瓦	窗户玻璃	木框架	水泥块	砖墙	钢筋混凝土
破坏压力/ (lbf/in <sup>2</sup> )	0.3	0.5	1~2	3~3.5	5~6	5~40

部分结构破坏压力，1lbf/in<sup>2</sup>=0.00689 MPa

■ **碎片**：爆炸碎片具有较高的动能和势能，因此对周围的人员和设备危害性较大，粉尘爆炸的最大爆炸压力不超过1 MPa，但如果初爆在密封设备中发生，很容易导致薄弱联接部件废除，产生大量碎片。

■ **火焰**：封闭容器内部粉尘爆炸火焰瞬时温度可达2000℃以上，由于时间极短，一般不超过1s，对金属器件危害不大，但对塑料等非金属设备则被瞬时融化或引燃。

## a2 粉尘爆炸的影响因素

可燃粉尘/空气混合物能否发生着火、燃烧或爆炸以及爆炸的猛烈程度，与粉尘理化性质、粉尘云特性以及外界调节有关。

### ■ 粉体理化性质

- (1) 燃烧热：单位质量粉体燃烧所产生的热量，其值越大，爆炸越猛烈
- (2) 反应动力学性质：如活化能越大，粉体越稳定，越不容易产生爆炸
- (3) 物理性质：如粉体粒径、性质、表面状况均能影响颗粒表面反应速率

### ■ 粉尘云特性

- (1) 粉尘浓度：一般来说，粉尘浓度越高，爆炸压力越大，但超过最佳爆炸浓度后，因氧含量不足，导致粉尘燃烧不完全，爆炸压力降低；
- (2) 氧含量：氧含量提高有助于粉尘最大爆炸压力以及爆炸指数的提高；
- (3) 湿度：粉尘云湿度越大，降低粉尘表面能，促使粉尘团聚，粉尘活性降低，
- (4) 初始湍流：初始湍流增大，反应物与氧化物接触面积增大，加剧反应进行
- (5) 粉尘分散状态：一般粉尘分布并不均匀，理论平均浓度常低于某区域内粉尘浓度

### ■ 外界条件

如初始压力、初始温度、点火源、设备形状与尺寸等因素均会对粉尘爆炸的发生以及爆炸强度产生明显影响。

## a3 粉尘爆炸的防治技术

粉尘爆炸的防止可分为预防和防护两个方面。前者防止爆炸仿生，后者是爆炸发生后通过技术手段减少事故损失。预防措施主要包括以下两个方面：

### ■ 避免可爆粉尘云

(1) 采用本质安全型防爆工艺：通过工艺的彻底改进使得流程中根本不存在爆炸性粉尘云，如在冶金行业中采用湿法研磨生产锆粉；在粮食行业，采用整体流动式料仓和缓冲斗代替传统漏斗式结构，很好的避免粉尘飞扬。

(2) 惰化工艺：向悬浮粉尘中充入惰性气体，降低气氛中氧浓度，这种方法成本较高，一般不用于传统无机非制造行业。

(3) 限制悬浮粉尘浓度：改进防尘设备，并及时监测除尘设备的工作状况，及时清灰。

### ■ 避免点火源

(1) 电点火源：电气设备在正常运行和事故运行时都会产生电火花，因此必须采取严格的设计、安装、使用、检修及适当的防爆措施，将危害降到最低；

(2) 明火：在爆炸危险厂房、生产等设备周边必须严格遵守安全动火规定；

(3) 摩擦与冲击：设备、机械、工具碰撞或冲击产生的火花，禁止穿带钉鞋进入爆炸危险性生产区域。

(4) 静电火花：如火花放电、电晕放电等，需合理设计选材、及时对空气进行增湿、加抗静电剂、静电接地等措施来避免。



## 容易发生粉尘爆炸的设备



集尘器



除尘器



气力输送机



干燥器



仓筒





## 7.2 可吸入粉尘对人体的危害

# 纳米材料在生物医学领域的应用

➤ 细胞分离

➤ 组织工程

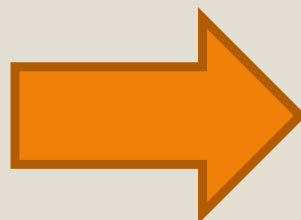
➤ 细胞代谢实时观测

➤ 肿瘤靶向

➤ 医用抗菌材料

➤ 体内局部可控释药

➤ 纳米机器人



➤ 医学诊断

➤ 生物光学传感

➤ 体外成像

➤ 光热治疗

➤ ○ ○ ○ ○

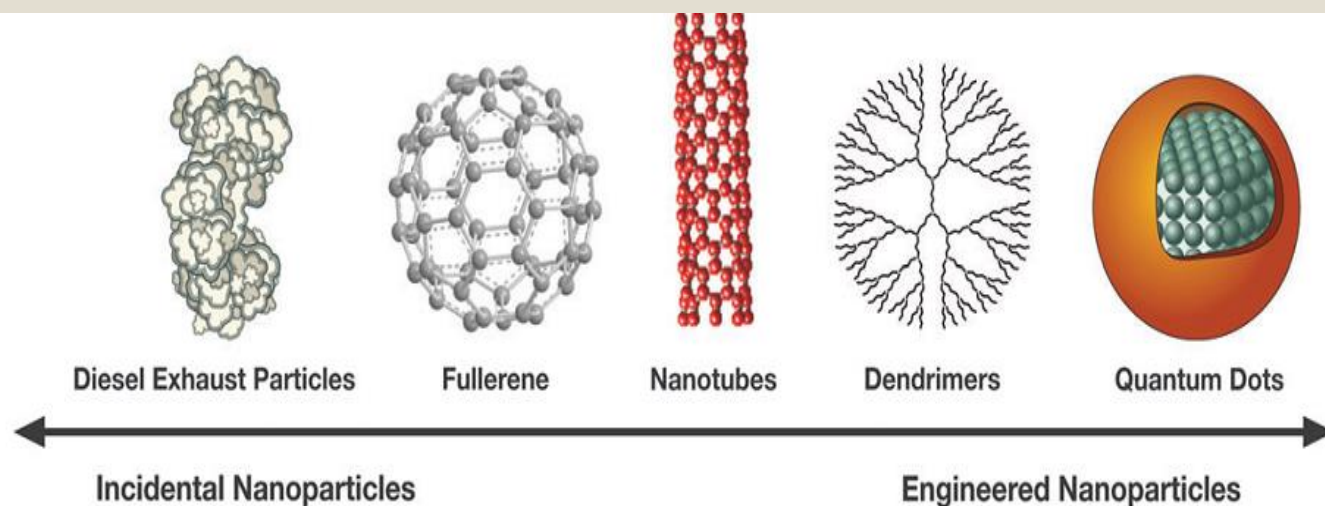
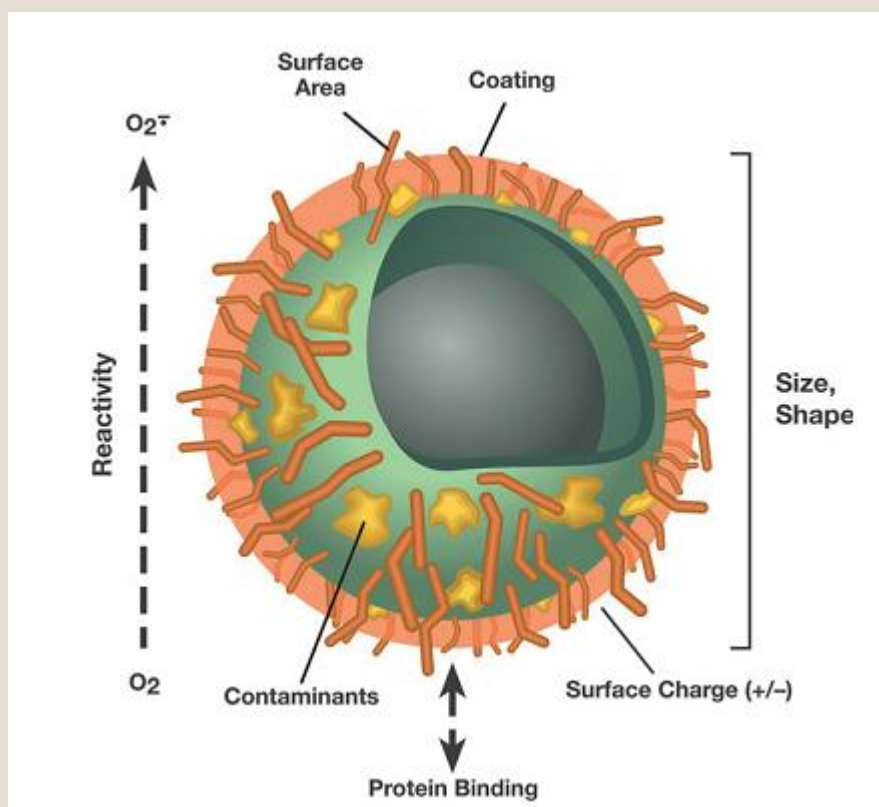
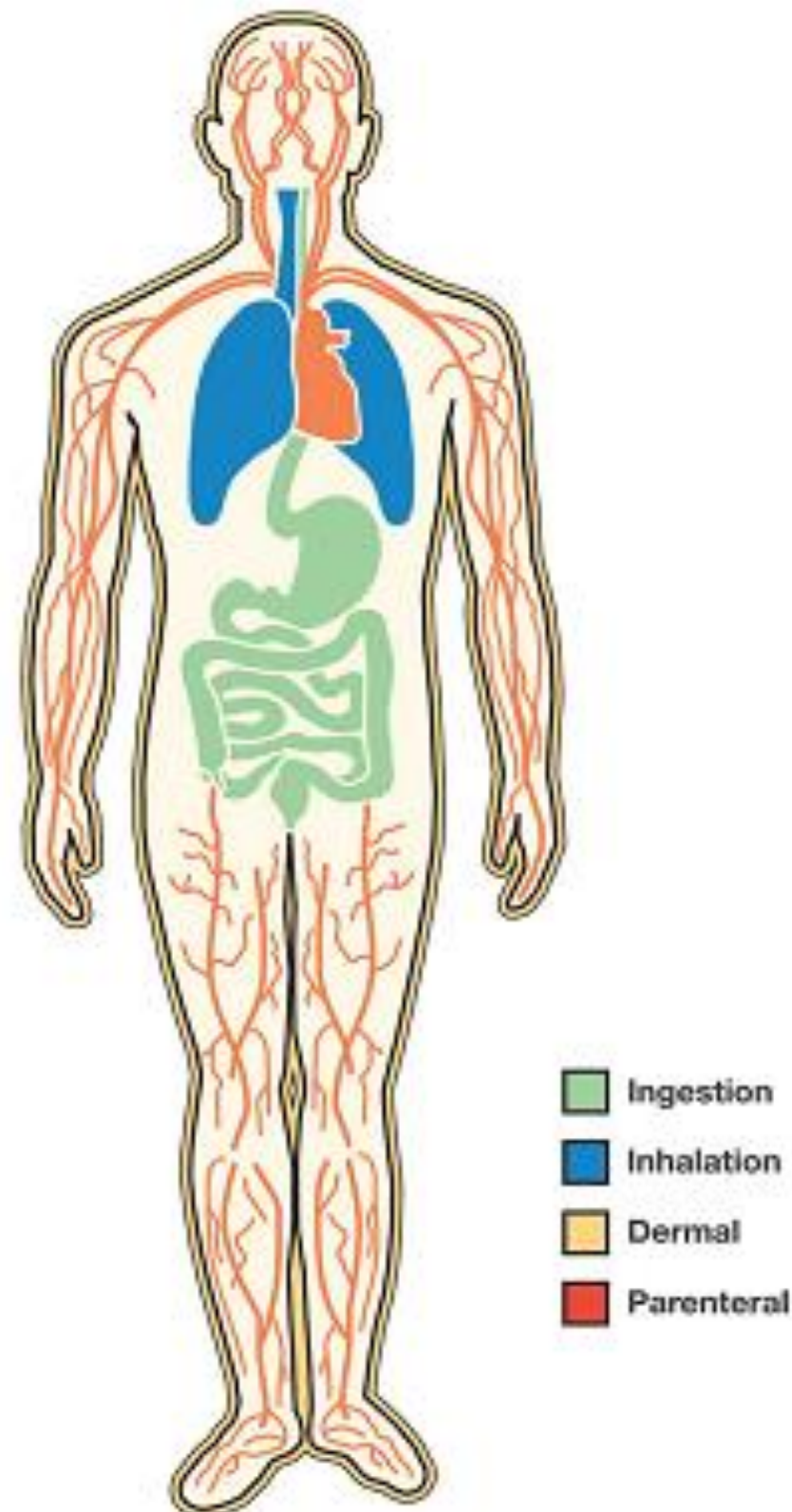


FIG. 1. Examples of incidental and engineered nanoparticles.

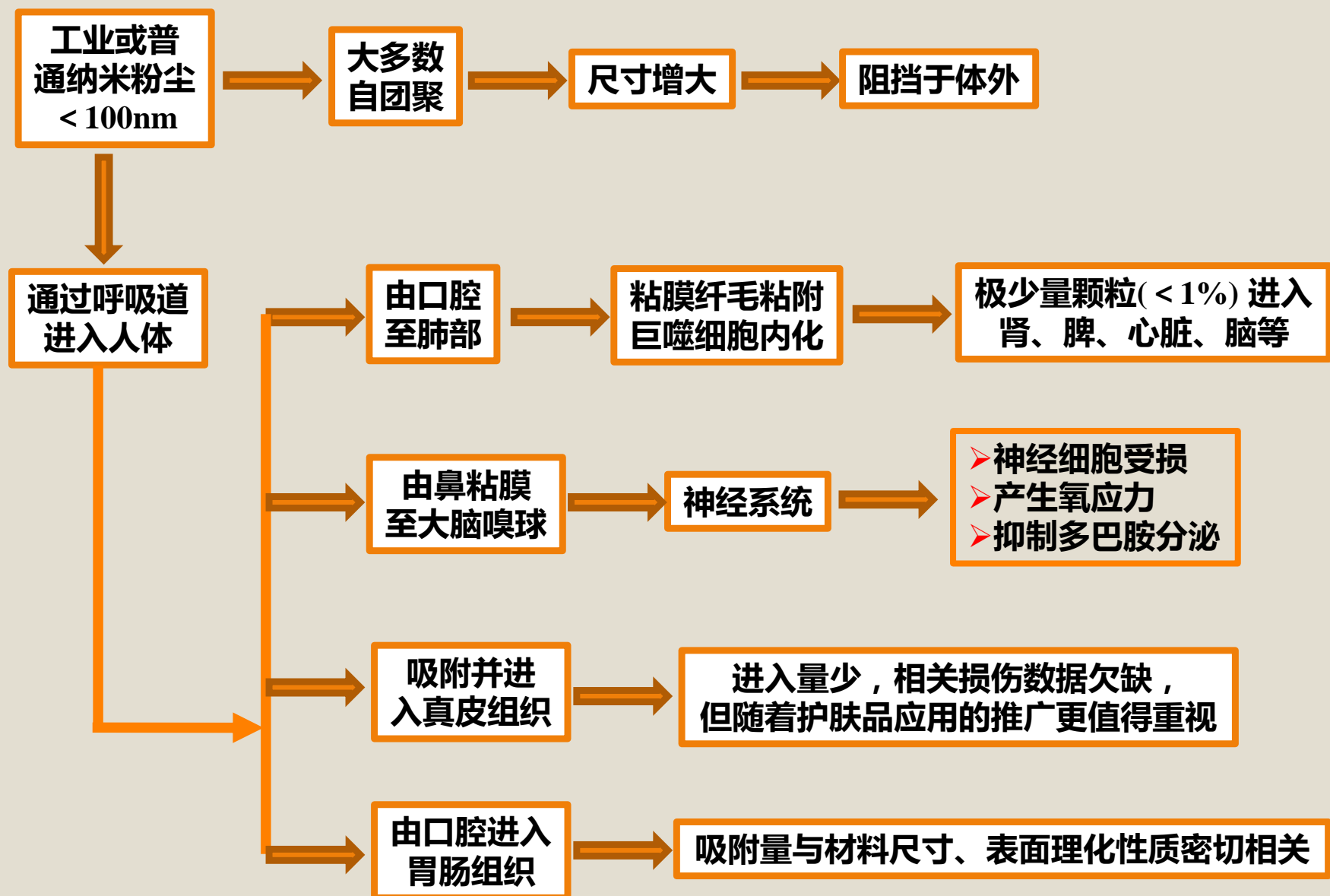


纳米颗粒理化性能对其生物相容性影响



Potential routes of nanoparticles exposure





Species	Nanoparticle <sup>a</sup>	Administration route/study duration	Dose	Adverse effects/lesions	Ref.
Mice	MWCNT	Intratracheal instillation/1, 2, 3, 7 and 30 days	1, 2.5 and 5 mg/kg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dose-dependent lethality<sup>b</sup></li> <li>• Inflammation</li> <li>• Dose- and time-dependent fibrosis and granulomas</li> </ul>	Carrero-Sanchez <i>et al.</i> , 2006
Several studies— human, rabbits and guinea pigs	Nano-scale TiO <sub>2</sub>	Skin and ocular irritation, sensitization, photo-irritation, photo-sensitization/ Various durations	Various doses	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TiO<sub>2</sub> considered non-irritant to mild irritant in all studies</li> <li>• No evidence of sensitization, photo-sensitization, or photo-irritation in any studies</li> </ul>	SCCNFP, 2000
Mouse	20 nm Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	po, ip, iv	> 2.1, > 1.6, > 0.4 <sup>a</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No deaths observed</li> <li>• No histopathological lesions</li> </ul>	Xia <i>et al.</i> , 2005
Mouse	58 nm Zn	po	> 5 <sup>c</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Kidney</b>, tubular dilation, casts</li> <li>• <b>Liver</b>, hydropic degeneration</li> </ul>	Wang <i>et al.</i> , 2006
Mouse	25 nm Cu	po	0.4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Kidney</b>, proximal tubular necrosis</li> <li>• <b>Liver</b>, steatosis</li> <li>• <b>Spleen</b>, atrophy</li> </ul>	Chen <i>et al.</i> , 2006
Mouse	25, 80, and 155 nm TiO <sub>2</sub>	po	> 5 <sup>a</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Kidney</b>, glomerular swelling</li> <li>• <b>Liver</b>, hydropic degeneration, spotty necrosis</li> </ul>	Wang <i>et al.</i> , 2007