

苯系物中毒及预防

BENXIWU ZHONGDU JI YUFANG

郑 华 王金萍 主编

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

苯系物中毒及预防

郑 华 王金萍 主编

中国石化出版社

内 容 提 要

本书主要介绍了苯系物(苯、甲苯及二甲苯等)的理化性质、分布及治理,苯系物作业的潜在危险及改进措施,苯系物中毒病人的抢救及中毒事故案例剖析等。

本书可供石油化工行业从事与苯系物有关作业的管理人员、操作人员阅读,也可供其他相关专业的人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

苯系物中毒及预防/郑华,王金萍主编. —北京:中国石化出版社,2007

ISBN 978 - 7 - 80229 - 454 - 7

I. 苯… II. ①郑… ②王… III. 职业中毒;苯中毒 - 预防(卫生) IV. R135.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 168084 号

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com.cn

金圣才文化发展(北京)有限公司排版

河北天普润印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

*

850 × 1168 毫米 32 开本 5.375 印张 139 千字

2008 年 1 月第 1 版 2008 年 1 月第 1 次印刷

定价:15.00 元

前 言

苯系物是指苯及其同系物(统称为芳香烃),包括苯、甲苯、乙苯、二甲苯(邻二甲苯、间二甲苯及对二甲苯)、异丙苯等化合物,其中最重要的是苯、甲苯、二甲苯(简称 BTX),被称为一级基本有机原料。

苯系物是石油化工的基础原料,在国民经济中起着极为重要的作用。现代石油化学工业的发展、科学技术的进步以及人们物质、文化生活水平的日益提高,极大地促进了以苯、甲苯、二甲苯为基础原料的化学纤维、塑料、橡胶等合成材料以及农药、医药、涂料、有机合成中间体等生产的快速发展。苯的最大用途是生产苯乙烯、环己烷和苯酚,三者占苯消费总量的80%~90%,其次是硝基苯、顺酐等。甲苯大部分用作汽油组分,其次是用作脱烷基制苯及歧化制苯和二甲苯的原料;甲苯也是优良溶剂,与酮类混合作为润滑油酮苯脱蜡的溶剂;甲苯的化工利用主要是生产硝基甲苯、苯甲酸等。二甲苯中用量最大的是对二甲苯,是生产聚酯纤维和薄膜的主要原料;邻二甲苯是制造增塑剂、醇酸树脂、不饱和聚酯树脂的原料;大部分间二甲苯异构化制成对二甲苯,也可氧化为间苯二甲酸,以及用于农药、染料、医药的二甲基苯胺的生产。此外,苯系物在军工、航空等行业也有着广泛的用途。

然而,苯系物在造福社会、改善人们生活质量的同时,也因其毒性给人们的生存带来严重威胁,如长期接触苯系物会损害人体的造血系统,引起白细胞和血小板减少,重者导致再生障碍性贫血、引起白血病;直接吸入甲苯液体可引起肺炎、肺水肿、肺出血;高浓度的苯乙烯导致中枢神经系统麻醉。

因此，为了做好苯系物危害的防治工作，给从事苯系物作业的人员提供有关苯系物的物性、毒性及其危险防范、救护等方面的知识，提高苯系物作业人员的自我防护意识及自我防护能力，避免或减少苯系物中毒事故的发生，特编写了本书。本书介绍了防治苯系物中毒的意义、苯系物的性质及其危害、苯系物的分布及治理、苯系物作业的潜在危险及改进措施、中毒病人的抢救以及苯系物中毒案例等。

本书在编写过程中得到了党纲、金国锋、王庆莽等装置专家、技术人员的帮助与指导，特在此表示感谢。

由于编者知识水平有限，时间仓促，疏漏与欠妥之处在所难免，敬请各位读者予以批评指正。

编 者

目 录

第1章 概述	(1)
1.1 苯系物	(1)
1.1.1 苯系物的用途及其来源	(1)
1.1.2 苯系物中毒	(2)
1.1.3 预防苯系物危害的意义	(3)
1.2 毒物基础知识	(3)
1.2.1 毒物的毒性和分级	(4)
1.2.2 毒物侵入人体的途径	(5)
1.2.3 毒物对人体危害的影响因素	(8)
第2章 苯系物的性质及其危害	(12)
2.1 苯	(12)
2.1.1 苯的理化性质	(12)
2.1.2 苯的质量指标	(13)
2.1.3 苯的危害	(14)
2.2 甲苯	(17)
2.2.1 甲苯的理化性质	(17)
2.2.2 甲苯的质量指标	(18)
2.2.3 甲苯的危害	(19)
2.3 二甲苯	(21)
2.3.1 二甲苯的理化性质	(21)
2.3.2 二甲苯的质量指标	(24)
2.3.3 二甲苯的危害	(25)
2.4 乙苯	(26)
2.4.1 乙苯的理化性质	(26)

2.4.2 乙苯的危害	(26)
2.5 苯乙烯	(27)
2.5.1 苯乙烯的理化性质	(28)
2.5.2 苯乙烯的危害	(28)
第3章 苯系物生产工艺、分布及治理	(31)
3.1 苯系物的主要生产工艺	(31)
3.1.1 催化重整工艺	(31)
3.1.2 石油烃热裂解	(38)
3.1.3 芳烃生产联合工艺	(41)
3.1.4 煤焦油	(42)
3.2 苯系物的分布	(44)
3.2.1 苯	(44)
3.2.2 甲苯	(45)
3.2.3 二甲苯	(46)
3.3 苯系物中毒危害的治理措施	(47)
3.3.1 管理措施	(48)
3.3.2 技术措施	(48)
3.3.3 个人防护措施	(51)
3.3.4 监测措施	(53)
第4章 石油化工企业中苯系物作业的潜在危险及改进措施	(54)
4.1 人的潜在危险因素及改进措施	(55)
4.1.1 人的生产行为	(56)
4.1.2 强化人的安全行为, 预防事故发生	(56)
4.1.3 改变人的不安全行为, 控制事故发生	(58)
4.2 物的潜在危险因素分析及改进措施	(59)
4.2.1 预先危险性分析	(59)
4.2.2 苯系物生产过程中的危险性分析及预防措施	(63)

4.2.3	苯系物储存过程中的危险性分析及预防措施	(73)
4.2.4	苯系物运输过程中的危险性分析及预防措施	(76)
4.2.5	苯系物装置检修过程中的危险性分析及预防措施	(80)
4.3	环境的潜在危险因素及预防措施	(86)
4.3.1	作业环境的危险因素分析及预防措施	(86)
4.3.2	自然灾害的危险因素分析及预防措施	(89)
4.4	个体防护用品	(90)
4.4.1	个体防护用品	(90)
4.4.2	呼吸系统防护	(92)
4.4.3	眼睛防护	(108)
4.4.4	皮肤防护	(108)
4.4.5	其他防护	(109)
4.4.6	个体防护用品使用规定	(109)
第 5 章	苯系物中毒病人的抢救	(113)
5.1	中毒救护知识	(113)
5.1.1	急性中毒的现场急救原则	(113)
5.1.2	急性中毒的现场急救方法	(113)
5.2	苯系物中毒病人的救护	(119)
5.2.1	苯中毒病人的诊断及处理原则	(119)
5.2.2	甲苯中毒病人的诊断及处理原则	(121)
5.2.3	二甲苯中毒病人的诊断及处理原则	(123)
5.2.4	乙苯中毒病人的诊断及处理原则	(124)
第 6 章	苯系物中毒案例剖析	(126)
6.1	苯系物中毒事故案例与分析	(126)
6.1.1	案例一	(126)

6.1.2 案例二	(127)
6.1.3 案例三	(128)
6.2 甲苯中毒事故分析	(129)
6.2.1 案例一	(129)
6.2.2 案例二	(130)
6.2.3 案例三	(131)
6.2.4 案例四	(131)
6.3 二甲苯中毒事故分析	(133)
6.3.1 案例一	(133)
6.3.2 案例二	(134)
6.4 混苯中毒事故分析	(135)
6.4.1 案例一	(135)
6.4.2 案例二	(136)
6.5 其他	(136)
6.5.1 案例一	(136)
6.5.2 案例二	(137)
6.5.3 案例三	(138)
6.5.4 案例四	(139)
附录	(140)
附录一 职业性苯中毒诊断标准(摘录)	(140)
附录二 职业性急性甲苯中毒诊断标准	(143)
附录三 中华人民共和国职业病防治法	(144)
参考文献	(162)

第 1 章 概 述

1.1 苯系物

苯系物是指苯及苯的同系物(亦称为芳香烃)。常见的苯系物有苯、甲苯、二甲苯、乙苯、苯乙烯等。

1.1.1 苯系物的用途及其来源

苯系物是石油化学工业的基础原料之一,其中苯、甲苯和二甲苯(简称 BTX)被称为一级基本有机化工原料,在国民经济中有着极为重要的作用。苯最大的用途是做乙苯,其次是异丙苯、环己烷、苯胺/硝基苯和烷基苯等。甲苯则主要是通过脱烷基转为苯或经甲苯歧化(TDP)转化为苯和二甲苯,还可用作溶剂和生产甲苯二异氰酸酯(TDI)的原料,也可作为汽油组分以提高汽油辛烷值。混合二甲苯是邻、间、对二甲苯和乙苯的混合物,主要用作油漆、涂料的溶剂、航空汽油的添加剂及染料、农药等。二甲苯中用量最大的是对二甲苯,对二甲苯是生产聚酯纤维和薄膜的主要原料。

我国苯系物主要来自催化重整油、裂解汽油和煤焦油。随着石油化工的发展,石油苯系物已成为主要产品。

(1) 催化重整油

催化重整装置的催化重整油是苯系物的主要来源之一。所谓催化重整是指以 $C_6 \sim C_{10}$ 石脑油为原料,在一定的操作条件和催化剂作用下,石脑油烃类分子结构进行重新排列整理,转变成富含苯系物(主要是苯、甲苯及混合二甲苯)的重整汽油,并副产液化石油气和氢气的过程。

(2) 裂解汽油

石油烃热裂解装置的副产品裂解汽油是苯系物的另一个来源。石油烃热裂解的主要目的是生产乙烯,同时可得裂解副产

品——裂解汽油(含苯、甲苯和二甲苯)等。裂解副产品约占整个产品组成的 60% ~ 80%。一般来说,一套 600kt/a 的乙烯生产装置可联产苯 120 ~ 140kt/a、甲苯 90 ~ 100kt/a、二甲苯 80 ~ 90kt/a。

(3) 煤焦油

煤干馏所得的液态产品煤焦油经蒸馏、萃取等分离方法可制得苯系物。由于现代催化重整技术和蒸汽裂解技术的发展,来自煤焦油中的苯系物份额已逐步减少。

1.1.2 苯系物中毒

改革开放以来,随着国民经济的迅速发展,苯系物的重要性更加突出,苯系物的需求量逐年增加。但因苯系物的毒性(如苯损害人体的造血功能、可致癌等),若处置管理不当会对人体、环境甚至生态均能造成相当危害。由苯系物引发的危害问题日益突出。

一项对某化工厂苯系物作业职工 10 年血象(指血中成分的分析)的研究报告表明,在苯系物环境下的作业人员末梢血象有下降趋势。该报告记载:自 1990 ~ 2000 年对该厂职工进行了职业性体检,同时选择不接触苯及苯系物的人员为对照组,排除各种原因引起的白细胞减少症,两组人员年龄、工龄相近。该厂是一个现代化的企业,设备先进,工艺复杂,虽然其生产具有密闭性、自动化、连续化的特点,但也存在易腐蚀、易泄漏等危险因素,在整个生产过程中,生产的副产品、中间产品和所用的催化剂都是对人体具有不同程度危害的有毒物质,其中苯系物的毒性最大,也是影响职工身体健康的最危险因素。体检资料表明,在该浓度作业条件下,工人末梢血象仍有下降趋势,尤以白细胞更为明显。1998 年检出率与对照组相比有非常显著的差异。

河北省高碑店市“白沟苯中毒事件”涉及 4 县 1 市、50 多个乡镇共 20 万从业人员,数百名劳动者的健康受到影响,在事件披露时已有 6 人因苯中毒导致白血病死亡;浙江某制鞋企业 4 人苯中毒死亡;大连某制衣厂为国外某公司加工一次性广告服,47

人中有 42 人苯中毒；北京市某公司 11 名农民工苯中毒，2 人死亡，等等。

诸多事例表明，苯系物的毒性危害严重地威胁着各类从事苯系物作业人员的身体健康，因此必须给予高度重视。

1.1.3 预防苯系物危害的意义

随着我国石油化工行业的迅速发展，人们生活质量的改善与提高，苯系物的应用越来越广泛，接触苯系物的人数越来越多，随之带来的职业病危害也相应增加。

苯系物作为重要的化工基础原料，广泛用于石油化工等工业生产中，主要有以下接触机会：苯系物的生产，如石脑油的催化重整、石油烃裂解或煤焦油分馏生产苯及其同系物甲苯、二甲苯等；以苯系物为原料，如生产酚、硝基苯与氨基苯、香料、药物、合成纤维、合成洗涤剂、塑料、染料、农业杀虫剂等；苯系物用作溶剂及稀释剂，在制药、橡胶加工、有机合成及印刷等工业中用作溶剂，在喷漆制鞋行业中用作稀释剂。在现代生活中，住宅装潢、工艺品等制作方面使用的各种漆、胶、涂料等含有苯系物，进而增加了人群接触苯系物的机会。

目前发现慢性苯系物中毒的行业多为造漆、喷漆、炼焦、石油化工、橡胶粘合、染料中间体、有机合成及皮鞋业的粘合等。急性苯系物中毒问题也很严重，根据卫生部 2002 ~ 2004 年的职业病发病率的统计数据显示，在生产过程中，因苯系物造成的急性中毒排在第二位，引起死亡率为 25%。由此可见，苯系物所导致的职业病危害问题已十分突出。所以，做好苯系物危害的防治工作，提高苯系物作业人员的自我防护意识及自我防护能力，保障苯系物作业人员的身体健康，具有重要的现实意义。

1.2 毒物基础知识

当某物质进入机体，累积到一定量，就会与体液和组织发生生物化学作用或生物物理学变化，扰乱或破坏机体的正常生理功能，进而引起暂时性或持久性的病理状态，甚至危及生命，该物

质称为毒物。在工业生产中所使用或产生的毒物，通常指化学物质，统称为工业毒物或生产性毒物。石油化工生产中所使用的原材料，生产过程中的成品、半成品、中间体、副产品以及含于其中的杂质和生产中的“三废”排放物中的毒物等，均属于工业毒物。

1.2.1 毒物的毒性和分级

(1) 毒性及其评价

毒性是一种物质对机体造成损害的能力。毒性较高的物质，只要相对较小的数量，则可对机体造成一定的损害；而毒性较低的物质，需要较多的数量，才呈现毒性。物质毒性的高低仅具有相对意义。在一定意义上，只要达到一定数量，任何物质对机体都具有毒性；在一般情况下，如果低于一定数量，任何物质都不具备毒性；关键是此种物质与机体接触的量。除物质与机体接触的数量外，还与物质本身的理化性质及其与机体接触的途径有关。

毒性大小所用的单位一般以化学物质引起实验动物某种毒性反应所需要的剂量来表示。气态毒物，以空气中该物质的浓度表示。所需剂量(浓度)愈小，表示毒性愈大。最通用的毒性反应是动物的死亡数。常用的评价指标有：

① 绝对致死量或浓度(LD_{100} 或 LC_{100})，系指能造成一群体全部死亡的最低剂量。

② 半数致死量或浓度(LD_{50} 或 LC_{50})，系指能引起一群个体50%死亡所需剂量，也称致死中量。表示 LD_{50} 的单位为mg/kg体重， LD_{50} 数值越小，表示物质的毒性越强；反之， LD_{50} 数值越大，则物质的毒性越弱。

(2) 毒物毒性分级

毒物急性毒性常按 LD_{50} (吸入2h的结果)进行分级，可将毒物分为剧毒、高毒、中等毒、低毒和微毒等五级。

(3) 职业性接触毒物危害程度分级

国标GB 5044—85依据急性毒性、急性中毒发病状况、慢性

中毒患病状况、慢性中毒后果、致癌性和最高容许浓度等六项指标将职业接触毒物分为极度危害(Ⅰ级)、高度危害(Ⅱ级)、中度危害(Ⅲ级)、轻度危害(Ⅳ级)等四个级别,见表1-1。

表 1-1 职业性接触毒物危害程度分级依据

指 标		分 级			
		I (极度危害)	II (高度危害)	III (中度危害)	IV (轻度危害)
急性中毒	吸入 LC ₅₀ / (mg/m ³)	<200	200 ~	2000 ~	>20000
	经皮 LD ₅₀ / (mg/kg)	<100	100 ~	500 ~	>2500
	经口 LD ₅₀ / (mg/kg)	<25	25 ~	500 ~	>5000
急性中毒发病状况		生产中易发生中毒,后果严重	生产中可发生中毒,预后良好	偶可发生中毒	迄今未见急性中毒,但有急性影响
慢病中毒患病状况		患病率 (≥5%)	患病率较高 (<5%)或症状发生率高 (≥20%)	偶有中毒病例发生或症状发生率较高 (≥10%)	无慢性中毒,而有慢性影响
慢性中毒后果		脱离接触后,继续进展或不能治愈	脱离接触后,可基本治愈	脱离接触后,可恢复,不致严重后果	脱离接触后,自行恢复,无不良后果
致癌性		人体致癌物	可疑人体致癌物	实验动物致癌物	无致癌物
最高容许浓度/(mg/m ³)		<0.1	0.1 ~	1.0 ~	>10

(4) 毒物的最高容许浓度

所谓最高容许浓度是指在目前医学水平上,认为对人体不会发生危害作用的限量浓度。它是通过卫生学调查、临床医学检查、化验检查和动物实验等系统研究而制定的。化学物质的急性毒性分级见表1-2。

最高容许浓度是以每立方米空气中含毒物的毫克数来表示的,单位为 mg/m³。

1.2.2 毒物侵入人体的途径

毒物侵入人体的途径主要是呼吸道,其次是皮肤,再其次是消化道。

表 1-2 化学物质的急性毒性分级

毒 性 分 级	大鼠一次经口 LD ₅₀ /(mg/kg)	6 只大鼠吸入 4h 死亡 2~4 只的浓度/ (mg/m ³)	免涂皮时 LD ₅₀ /(mg/kg)	对人可能致死量	
				g/kg	总量/g (60kg 体重)
剧 毒	<1	<10	<5	<0.05	0.1
高 毒	1~50	10~100	5~44	0.05~0.5	3
中等毒	50~500	100~1000	44~350	0.5~5	30
低 毒	500~5000	1000~10000	350~2180	5~15	250
微 毒	>5000	>10000	>2180	>15	>1000

注：摘自《化学物质毒性全书》。

(1) 呼吸道

在作业环境中，被有毒气体、蒸气污染的空气随时可能经呼吸道进入人体。有毒的固体粒子进入呼吸道后，须溶解于支气管和肺泡壁表面的液体层才能被吸收，故毒物的水溶性愈高，潜在危险性愈大。对于气态毒物，有的以溶液状态被吸收，有的则可直接被吸收。从呼吸道吸收的毒物，不先经过肝脏解毒而直接进入血液，分布到全身，所以毒害较为严重。

(2) 皮肤

皮肤是通过表皮屏障、毛囊、汗腺导管等三条途径吸收毒物的。脂溶性毒物(能溶于脂肪或类脂质的毒物)经表皮吸收后，还须有水溶性，才能进一步扩散和吸收。所以水、脂都溶的物质易被皮肤吸收。只有脂溶而水溶极微的苯，经皮肤的吸收量较少。

如皮肤受伤(外伤、灼伤等)，则表皮屏障的完整性被破坏，可促进毒物的吸收。潮湿也促进皮肤吸收毒物，特别是促进吸收气态毒物。环境温度较高，出汗较多，也会促使黏附在皮肤上的毒物被吸收。此外，皮肤经常接触苯、乙醇等有机溶剂，会使皮肤表面的类脂质溶解，也会促进毒物的吸收。

经皮肤侵入人体的毒物，不经过肝脏的解毒而随血液分布全身。

(3) 消化道

由呼吸道侵入人体的毒物，一部分黏附在鼻咽部或混于口鼻

咽的分泌物中，可被吞入消化道。作业人员用沾染毒物的手取食、饮水或吸烟等，也会将毒物带入消化道。毒物进入消化道后，主要在小肠内被吸收，其中只有部分未经肝脏解毒的物质进入血循环。所以经消化道吸收毒物的后果不如经呼吸道及皮肤吸收的严重。

人体吸收毒物后，毒物在体内产生一系列化学变化，称为代谢。代谢结果一般都使毒性减少甚至消失，这就是解毒作用。但也有少数毒物经代谢转化成更毒的物质。机体的各部分组织在不同程度上都有代谢作用，但主要是在肝脏中进行代谢。需要指出的是，人体的解毒能力是有限的，而且当某一器官有缺陷或处于病态时，如果接触可能损害该器官的毒物，则更易中毒。所以不能因人体有解毒功能而忽视预防人体吸收毒物的工作。

进入体内的毒物可在转化前或转化后逐渐经呼吸道、肾脏及肠道等途径排出体外，某些毒物也有少量随唾液、汗液、乳汁、月经等排出体外。大多数毒物排出很快，从进入人体到排出仅需要数小时，最多数天。但也有许多毒物，特别是金属毒物，可在体内积蓄很长时间，即使停止接触这些毒物，也往往在长时间内仍有这些毒物存在体内。如继续接触，则毒物的量还可能逐渐增加。

进入人体的毒物，在吸收、分布和排出过程中，除受身体的解毒作用外，还损害机体的组织或功能。职业中毒的临床表现，通常可分为急性和慢性两种。急性中毒是指在短时间内大量毒物迅速作用于人体后所发生的病变现象。慢性中毒则是由于少量的毒物持续侵入人体逐渐发生的病变现象，它的发生是由于人体内有有毒的物质蓄积和机能蓄积的结果。所谓机能蓄积，即毒物进入人体后，虽然可排出或转化，但其毒作用是累积的，随着毒物不断的进入体内，其毒作用可继续加深，以致到达一定程度而出现明显症状。此外，介于急性中毒和慢性中毒二者之间的中毒称为亚急性中毒。职业中毒多为慢性中毒，急性中毒较为少见，往往是在意外事故中出现。

1.2.3 毒物对人体危害的影响因素

毒物对人体危害的影响因素主要有以下几方面：毒物的化学结构与理化特性、毒物的浓度与接触时间、毒物的联合作用、作业环境和劳动强度、个体对毒物的感应性等。

(1) 毒物的化学结构与理化特性

毒物的毒性与化学结构有关，其一般规律如下：

① 在脂肪烃化合物的同系物中，随着碳原子数的增加，其毒性增强，如醇类中丁醇、戊醇的毒性都大于乙醇和丙醇。但碳原子数超过一定限度时（一般碳原子数在9以上），毒性反而迅速下降。但也有例外，如甲醇的毒性比其他醇的毒性都大。在碳氢化合物的同分异构体中，直链烃的毒性比支链烃的毒性大，如庚烷的毒性大于异庚烷；脂环烃比脂肪烃的毒性大，如环己烷毒性比己烷大；碳链上氢原子被卤族元素取代后，毒性增大，卤族元素取代越多，其毒性越大（如三氯甲烷毒性比二氯甲烷毒性大）；不饱和键增多，其毒性增大（如乙炔毒性大于乙烯毒性）。

② 在芳香烃化合物中，如苯环上氢被氯、甲基或乙基取代时，其毒性（抑制造血机能）相应减弱，但刺激性增加；当苯环中的氢原子被氨或硝基取代时，其毒性（形成高铁血红蛋白的作用）增大；在苯环上有两个基团时，对位物的毒性通常比邻位物的大，邻位物的比间位物的大；当苯环上的氢原子被羧基（—COOH）取代时，毒性明显减弱。

毒物的理化性质对其进入人体的途径及在体内吸收、分布、代谢、排出有重要影响。影响人体健康最主要的毒物理化性质有溶解度、粒子粗细、挥发性及纯度等。

a. 溶解度。溶解度与毒物能否吸收有直接关系，一般来讲，毒物溶解度愈大，其毒性愈大。脂溶性大的毒物易透过皮肤角质层进入体内，水溶性的则不易透过，但水溶性的又易被吸收进入血液。

b. 粒子粗细。细粒子能随空气被吸入呼吸道的深部，粒子愈细，化学活性愈大，溶解速度也愈快，其毒作用就愈大。