

交通环保系列丛书



港口散货粉尘污染防治 理论与技术方法

Gangkou Sanhuo Fenchun Wuran Fangzhi
Lilun yu Jishu Fangfa

张光玉 主 编
詹水芬 副主编
张晓春



人民交通出版社
China Communications Press

交通环保系列丛书



港口散货粉尘污染防治 理论与技术方法

Gangkou Sanhuo Fenchén Wuran Fangzhi

Lilun yu Jishu Fangfa

张光玉 主 编

詹水芬 副主编

张晓春



人民交通出版社

China Communications Press

内 容 提 要

本书是在多年理论研究和工程实践的基础上,详细阐述了港口散货粉尘污染防治的理论和技术方法。本书共分5篇20章,分别介绍了港口粉尘污染的污染源、分类、性质与危害,港口粉尘防治的基本知识、基本理论,港口粉尘的试验模拟和起尘扩散规律,主要除尘技术方法,主要抑尘技术方法等内容。

本书在编写上力求内容丰富详实,突出先进性和实用性,可为港口粉尘防治研究人员和工程应用人员提供技术参考,亦可供相关领域的教学、科研、设计、生产使用。

图书在版编目(CIP)数据

港口散货粉尘污染防治理论与技术方法 / 张光玉等主编.

北京:人民交通出版社,2009.4

ISBN 978-7-114-07690-9

I. 港… II. 张… III. 散货港—粉尘—污染防治 IV.
X513

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第047698号

书 名:港口散货粉尘污染防治理论与技术方法

著 作 者:张光玉 詹水芬 张晓春

责任编辑:刘永芬

出版发行:人民交通出版社

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpres.com.cn>

销售电话:(010)59757969, 59757973

总 经 销:北京中交盛世书刊有限公司

经 销:各地新华书店

印 刷:北京交通印务实业公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:22

字 数:538千

版 次:2009年4月第1版

印 次:2009年4月第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-07690-9

定 价:60.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

编 委 会

主 编:张光玉

副 主 编:詹水芬 张晓春

编 委:洪宁宁 张斌斌 王心海 何泽慧 宋善柏
张亚青 王建峰 韩桂波 马 春 丛晓春
井 亮 赵宏鑫 彭士涛 于 航 袁俊岭



前言

Preface

港口,承担着国际贸易总运量的大半数,中国进出口货运总量的九成,是具有水陆联运设备和条件,供船舶安全进出和停泊的运输枢纽,水陆交通的集结点,国际运输链和国际生产贸易体系的活跃参与者和重要组成部分。

21 世纪前 8 年,中国港口业以锐不可挡之势,创造了一个又一个奇迹。迄今,中国已成为世界上拥有亿吨港口最多的国家。当前,中国经济结构特点和工业化进程,决定了中国港口运输在今后较长时期内,将继续保持较快增长。

同时,港口大宗固体散货输运对港口及周边区域大气环境造成的影响越来越受到社会各界的关注。在多年理论研究和工程实践的基础上,我们拟通过本书阐述港口散货粉尘污染防治的理论和技術方法。

本书共分五篇二十章,分别介绍了港口粉尘污染的污染源、分类、性质与危害,港口粉尘防治的基本知识、基本理论,港口粉尘的试验模拟和起尘扩散规律,主要除尘技术方法,主要抑尘技术方法等内容。本书在编写上力求内容丰富翔实,突出先进性和实用性,可为港口粉尘防治研究人员和工程应用人员提供技术参考,亦可供相关领域的教学、科研、设计、生产使用。

希望能够通过本书为港口散货粉尘污染防治的理论研究和工程实践尽微薄之力。

鉴于编者水平有限,加之成文时间仓促,书中难免出现漏误之处,敬请各位专家和读者给予批评指正。

编 者

2009 年 3 月

目 录

Contents

第一篇 总论	1
第一章 港口粉尘污染概述	1
第一节 港口粉尘及分类	1
第二节 粉尘的物理性质	3
第三节 港口粉尘污染的特点和危害	9
第四节 港口粉尘防治的相关法律标准	11
第二篇 港口粉尘污染防治理论基础	14
第二章 流体力学理论	14
第一节 流体的类型	14
第二节 气体的状态参数	15
第三节 气体流动的基本方程	18
第三章 空气动力学	19
第一节 气体的物理性质	19
第二节 流体一维流动的基本方程	22
第三节 流体多维流动的基本方程	23
第四章 气溶胶力学	31
第一节 气溶胶粒子的基本性质	31
第二节 气溶胶粒子的粒径分布	34
第三节 气溶胶粒子的分形几何特征	37
第四节 气溶胶粒子的运动	41
第五节 气溶胶粒子的扩散	45
第六节 气溶胶粒子的凝聚	52
第五章 粒径分布理论	55
第一节 粉尘的粒径	55
第二节 粉尘的粒径分布	57
第三节 粉尘的物理性质	62
第四节 粉尘捕集理论基础	67
第五节 除尘装置的性能指标	70



第三篇 港口粉尘起尘扩散规律	74
第六章 港口粉尘粒径分布规律	74
第一节 粉尘粒径分布的测试方法	74
第二节 港口煤炭和矿石的粒径分布	80
第七章 港口粉尘起尘扩散试验模拟	83
第一节 概述	83
第二节 风洞模拟矿物颗粒起降尘的理论分析	83
第三节 试验设备和仪器	93
第四节 港口粉尘起尘扩散规律的试验设计	95
第八章 港口粉尘起尘规律	99
第一节 概述	99
第二节 起尘试验的主要结果	101
第三节 起尘规律的数学模型	107
第九章 港口粉尘扩散规律	114
第一节 粉尘扩散的基本理论	114
第二节 粉尘扩散规律的实验研究	119
第四篇 港口粉尘污染主要除尘技术方法	129
第十章 机械式除尘	130
第一节 重力除尘设备	130
第二节 惯性除尘设备	135
第三节 旋风除尘设备	140
第十一章 湿式除尘	162
第一节 概述	162
第二节 工作原理与参数	163
第三节 湿式除尘设备	168
第十二章 电除尘	176
第一节 电除尘设备概述	176
第二节 工作原理及其分类	179
第三节 除尘性能的影响因素	197
第四节 电除尘器的结构设计	203
第十三章 过滤式除尘	206
第一节 工作原理	206
第二节 过滤层的收集效率	211
第三节 常用滤料的种类及性能	212
第四节 滤料的选用	215
第十四章 复合式除尘	217
第一节 惯性冲击静电除尘器	217

第二节	静电旋风除尘器	219
第三节	静电增强纤维过滤除尘器	220
第四节	磁力除尘技术	221
第五节	电凝聚除尘技术	222
第十五章	除尘技术的选择	224
第一节	除尘器选择的原则	224
第二节	除尘器的选择要点	225
第三节	除尘器的性能	227
第四节	除尘器选择的流程	229
第五篇	港口粉尘污染主要抑尘技术方法	231
第十六章	洒水抑尘	231
第一节	洒水抑尘自动管理系统	231
第二节	洒水抑尘系统的老化改造	237
第十七章	化学抑尘	241
第一节	化学抑尘概述	241
第二节	抑尘剂的化学性能	242
第三节	抑尘剂的抑尘性能	245
第四节	抑尘层的应力性能	250
第五节	抑尘剂的经济分析	257
第十八章	生态抑尘	259
第一节	生态抑尘概述	259
第二节	防风林带动力效应的数学模型	262
第三节	防风林的防风效果研究	268
第四节	植物的滞尘能力	274
第十九章	防风网	279
第一节	防风网的工作原理	279
第二节	防风网的结构和功能	280
第三节	防风网研究进展	281
第四节	防风网抑尘效果的影响因素	283
第五节	防风网研究案例一	290
第六节	防风网研究案例二	298
第二十章	筒仓系统	304
第一节	筒仓系统概述	304
第二节	钢筒仓结构设计基本理论	304
第三节	筒仓系统研究案例	314
附录	港口煤尘防治规定	318
	主要参考文献	322

第一篇 总 论

第一章 港口粉尘污染概述

第一节 港口粉尘及分类

粉尘是主要的大气污染物之一,是能够悬浮于空气中的固体微粒,其粒径范围由 $0.1\mu\text{m}$ 至百余微米。长期以来我国粉尘污染较为严重,仅 2006 年我国粉尘(工业粉尘、烟尘)排放总量为 1897.2 万吨,其中工业污染源产生尘占 88.18%。粉尘中较小颗粒随气流进入空气环境,形成气溶胶,严重影响大气环境和人身健康。稍大的粉尘在现场及周围沉积下来,但受到振动或气流影响时,易回到空气中形成二次扬尘。对于煤炭颗粒而言同样如此。因此,对于煤炭生产、储运地区而言,煤炭颗粒,尤其较小粒径粉尘颗粒污染环境,影响着正常的生产和生活。

1. 港口粉尘污染源

港口粉尘主要来源于煤炭、金属矿石、水泥、化肥和粮食等干散货物在装卸、运输过程产生的粉尘;煤炭、金属矿石的堆存受自然风力作用而产生的粉尘;此外,生活、生产辅助设施等使用燃料也产生一定的粉尘污染。

港口输运的大宗固体散货,主要是煤炭、矿石,在装卸过程中污染扩散已构成了港口粉尘污染的主体。据统计,2003 年世界干散货运量增量中 70% 来自中国。至 2007 年,中国港口除集装箱外的货物吞吐量为 52.64 亿吨,同比增长 14.5%,其中干散货 35.65 亿吨,占 68%,在干散货中,煤炭及其制品吞吐量为 10.63 亿吨,金属矿石 7.89 亿吨,两者占干散货物吞吐量的比例为 52%。

我国煤炭资源丰富,煤炭产量保持稳步增长。作为能源消费大国,煤炭在我国能源消费结构中占有 $2/3$ 的比重,在我国港口散货吞吐量中所占比重也在 20% ~ 30% 左右。受国内经济拉动和国家鼓励煤炭出口政策影响,我国沿海主要港口煤炭吞吐量上升趋势加快,煤炭一次下水量已由 1995 年的 1.25 亿吨增长到 2003 年的 2.77 亿吨。“西煤东送、北煤南运”将是我国今后长时期煤炭运输的基本格局。据预测,2010 ~ 2020 年,我国需要 20 ~ 26 亿吨煤炭,每年至少需要净增产 5000 万吨。2010 年我国沿海港口煤炭一次下水量将在 4 亿吨以上,港口煤炭吞吐量将达 7 ~ 8 亿吨。此外,铁矿石进口量连续几年保持高速增长,2003 年达 1.5 亿吨,



同比增长 31.4% ;2004 年上半年达 1.027 亿吨,同比增长 40.1%。预测到 2010 年全国外贸进口铁矿石为 2.5 亿吨左右。

中国经济结构特点和工业化进程,决定了沿海港口运输在今后一段时期内,还将保持较快增长。

我国煤炭北煤南运、西煤东运、铁海联运的基本格局与地理环境因素导致了与铁路相连接的水上运输的主要枢纽港口主要集中在沿海城市,我国主要枢纽港口的煤炭运量占整个沿海地区的 95% 以上;矿石的中转、贮运亦基本集中在几个沿海大港。

统计显示,1995 年沿海港口煤炭吞吐量已达到 2.3 亿吨,煤炭产生的粉尘量为 46 万吨;金属矿石 8500 万吨,产尘量为 67 万吨;非金属矿石 2200 万吨,产尘量为 4.5 万吨。按此速度估算,到 2010 年,仅煤炭和矿石两项,沿海港口粉尘产生量分别达到 100 万吨和 140 万吨。当今正是我国沿海港煤炭、矿石吞吐量增长的高峰期,由此引起的粉尘排放和扩散污染问题十分严峻。

港口作业属敞开式露天作业。我国各主要煤港、矿石码头目前多采用露天堆存为主,而堆存状态在装卸、传输、堆存这几个主要产生环节中所占比例最大,约占 50% 之多。在风力作用下,露天堆场源源不断地产生大量粉尘,对大气环境的危害最为严重。

生产、生活辅助设施产生的粉尘主要为有机物质燃烧或不完全燃烧时,排放物中含有大量微小的尘粒和烟雾。例如煤炭、油料及植物枝叶等有机物质燃烧时,氧气供应不足或其他原因使之不能充分燃烧,空气排出物中,除含有微小的炭粒外,还伴有不完全燃烧的游离炭黑(亦即烟尘),从而形成黑色烟雾。此外,在对粉状物料的混合、转运、筛分、包装等生产过程中,也有一定量尘粒从设备缝隙间逸出。

目前我国港口大气的 TSP 值普遍超标。根据近 10 年的降尘分布及 TSP 变化数据显示,国内许多港口城市综合污染达到中等至极重污染。据目前大气颗粒源解析的结果可知,港口粉尘污染已构成中国沿海城市大气 TSP 的主要成分之一,如某市,港口粉尘对该市大气污染贡献率为 27.6%,仅次于建筑扬尘(其贡献率为 32.1%)。由于历史原因,这些沿海港口的煤炭、矿石码头与居民区相距很近,一些敏感区域的日降尘值达到 $1.33\text{g}/\text{m}^2$, 高出《环境空气质量标准》(GB 3095—1996)所规定的居民区的大气颗粒物二级标准日(平均 $0.15\text{g}/\text{m}^2$)的限值,民众反映强烈。

在今后一个较长时期,港口粉尘的主要来源仍将是码头堆存的煤炭、矿石等干散货,港口粉尘污染的防治仍将是交通环保领域的重点。

2. 粉尘的分类

按粉尘的特征进行分类。根据粉尘的理化特性不同,可分为有机性粉尘和无机性粉尘;根据粉尘粒径的大小可分为降尘和飘尘等。

1) 按化学性质分类

(1) 有机性粉尘,主要包括:

植物性粉尘,如港口粮食散货的谷物粉尘等;

人工有机粉尘,如港口化肥散货装卸过程中产生的粉尘、港口生产和生活辅助设施所用燃料燃烧产生的烟尘等。

(2) 无机性粉尘,主要包括:



矿物粉尘,各种矿物在卸货、装船和码头堆存过程中产生的粉尘,如煤炭、石英、铁矿石及其他矿物粉尘等。

人工无机性粉尘,如水泥等在装船和卸船过程中产生的粉尘。

2) 按物理性质分类

(1) 粉体:固体物质的细小颗粒,称为粒子,而固体粒子的堆集状态,称为粉体。

(2) 粉尘:因运输、装卸、风蚀等过程而产生的微细粒子,能在气体中悬浮一定时间的固体粒子,称为粉尘。粉尘的粒径范围很广,由 $0.1\mu\text{m}$ 到数百微米。

(3) 烟尘:因物理化学过程而产生的微细固体粒子,称为烟尘。例如冶炼、燃烧、金属焊接等过程中,由于升华及冷凝而形成,烟尘的特点是粒度大多比较细,在 $1\mu\text{m}$ 以下。

(4) 烟雾:燃烧草料、木柴、油、煤等生成的黑烟,称为烟雾。烟雾粒径很细,甚至在 $0.5\mu\text{m}$ 以下。

(5) 粉末:工艺生产中的粉料,称为粉末。

3) 按粉尘粒径的大小分类

(1) 降尘

降尘一般指粒径大于 $10\mu\text{m}$ 的尘粒。这种尘粒在静止的空气中,停留时间较短,比较容易沉降下来,一般认为这种尘粒按加速度沉降。这种尘粒用眼睛可以分辨,通常也称为可见性粉尘。

(2) 飘尘

一般把粒径小于 $10\mu\text{m}$ 的尘粒统称为飘尘。其中粒径介于 $0.1 \sim 10\mu\text{m}$ 之间的尘粒,因其粒径较小,能长时间在空气中飘浮。一般认为这种尘粒在静止的空气中按斯托克斯定律作等速下降,下降速度相当缓慢,这种尘粒在显微镜下才可分辨,通常称之为显微粉尘。粒径小于 $0.1\mu\text{m}$ 的微粒,因其粒径极微小,扩张能力极强,一般认为这种尘粒在空气中按布朗运动扩散,即在空气中能连续不断地进行无规则的扩散运动,在静止的空气中几乎不能下降,这种尘粒只有在超倍显微镜或电子显微镜下才能分辨,通常称之为超显微粉尘。

第二节 粉尘的物理性质

粉尘本身具有一定的物理、化学性质。粉尘具有的与防治技术关系密切的特性有:密度、粒径、粒径分布、安息角、粘附性、爆炸性、荷电性、浓度、凝聚等。

1. 粉尘密度

粉尘密度有堆积密度和真密度之分。自然堆积状态下单位体积粉尘的质量,称为粉尘堆积密度(或称容积密度)。密实状态下单位体积粉尘的质量,称为粉尘真密度(或称尘粒密度)。二者均可用下式表示

$$\rho = \frac{m}{V}$$

式中: m ——粉尘的质量,g;

V ——粉尘的体积, cm^3 。

真密度和堆积密度之间有如下关系式:





$$\rho_s = (1 - \varepsilon)\rho$$

式中: ρ_s ——粉尘的堆积密度, g/cm^3 ;

ρ ——粉尘的真密度, g/cm^3 ;

ε ——粉尘的空隙率, %。

空隙率是指尘粒之间的空隙体积与整个尘粒所占总容积之比。因此空隙率的数值永远小于1。

了解粉尘的密度,对于港口粉尘污染防治途径的正确选择有重要意义。例如即使粉尘的真密度较大,但是若其堆积密度很小,而且粒径很细,要想利用以重力或惯性力为主的除尘手段来实现对港口粉尘污染的防治就相当困难;这些尘粒即使有一部分已被捕集下来,也很容易被气流卷起,产生二次扬尘,影响港口粉尘防治的效果。

2. 粉尘粒径

粉尘粒径是表征粉尘颗粒大小的最佳代表性尺寸。对球形尘粒,粒径是指它的直径。

实际的尘粒形状大多是不规则的,一般也用“粒径”来衡量其大小,然而此时的粒径却有不同的含义。同一粉尘按不同的测定方法和定义所得的粒径,不但数值不同,应用场合也不同。因此,在使用粉尘粒径时,必须了解所采用的测定方法和粒径的含义。例如,用显微镜法测定粒径时,有定向粒径、定向面积等分粒径和投影面积粒径等;用重力沉降法测出的粒径为斯托克斯粒径或空气动力粒径;用光散射法测定时,粒径为体积粒径。

在港口环境保护领域,几种常用的平均粒径为:

(1) 算术平均径,用尘粒直径的总和除以尘粒的颗粒数,即

$$\overline{d}_1 = \frac{1}{N} \sum d_i n_i$$

式中: N ——尘粒颗粒总数;

d_i ——第 i 种尘粒的直径;

n_i ——粒径为 d_i 的尘粒颗数。

(2) 平均表面积径,用尘粒表面积的总和除以尘粒的颗粒数,然后取其平方根。

$$\overline{d}_2 = \left(\frac{1}{N} \sum d_i^2 n_i \right)^{1/2}$$

式中符号同上。

(3) 面积长度平均径,用尘粒表面积的总和除以尘粒粒径的总和,即

$$\overline{d}_3 = \frac{\sum d_i^2 n_i}{\sum d_i n_i}$$

(4) 体积面积平均径,用全部尘粒的总体积除以全部尘粒的总表面积,即

$$\overline{d}_4 = \frac{\sum d_i^3 n_i}{\sum d_i^2 n_i}$$

(5) 质量中位径,在粉尘样品中,以某一尺寸为界将大于和小于该尺寸的粉尘分为质量相等的两部分,该直径称为质量中位径。

(6) 计数中位径,在粉尘样品中,以某一尺寸为界将大于和小于该尺寸的粉尘分为颗粒数相等的两部分,该直径称为计数中位径。

3. 粒径分布

粉尘的粒径分布又称粉尘分散度。粉尘的粒径分布可用分组(按粉尘粒径大小分组)的质量百分数或数量百分数来表示。前者称为质量分散度,后者称为计数分散度。粉尘的分散度不同,对人体的危害以及除尘机理和采取的除尘方式也不同。因此,掌握粉尘的分散度是评价粉尘危害程序,评价除尘器性能和选择除尘器的基本条件。由于质量分散度更能反映粉尘的粒径分布对人体和除尘器性能的影响,所以在港口粉尘污染防治技术中普遍采用质量分布。我们遵从此惯例。

通过对筛分试验结果的分析,我们认为,粉尘的粒径分布存在真分布与表观分布的区别,具体将在理论基础的粉尘颗粒和粒径分布部分进行详细介绍。

表示尘粒粒径分布的方法很多,最简便而且最简单的方法是列表法。表 1.1 列出了某港口煤炭粉尘样品的粒径表观分布情况。

港口煤炭粉尘粒径表观分布

表 1.1

分段	1	2	3	4	5	6
粒径 $d(\mu\text{m})$	28 ~ 45	45 ~ 75	75 ~ 125	125 ~ 250	250 ~ 500	> 500
平均粒径 $\bar{d}_p(\mu\text{m})$	35	58	97	177	354	707
煤炭样品 MRH	—	0.55	5.65	9	8.5	76.35
煤炭样品 FXY	0.1	0.7	2.5	5	5.5	86.24
煤炭样品 DDH	0.15	1.6	4	8.5	11.5	74.44

图 1.1a) 表示粉尘中,某一粒径范围与该粒径范围内以百分数表示的相对质量数的关系,称为相对频率分布,简称为频率分布。

图 1.1b) 表示粉尘群体中,某一粒径范围与大于(或小于)该粒径范围累计的质量数的关系,称为累计分布。

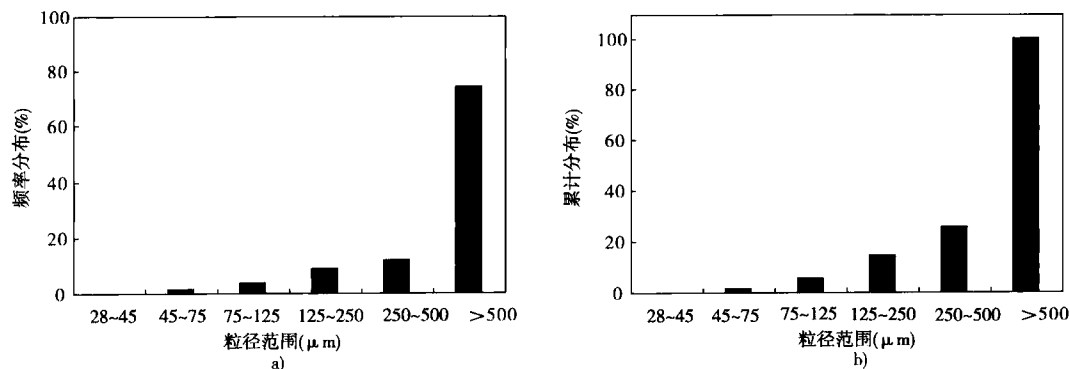


图 1.1 港口煤炭粉尘粒径表观分布(煤炭样品 DDH)

4. 粉尘安息角

将粉尘自然地堆放在水平面上,堆积成圆锥体的锥底角称为粉尘安息角。安息角也称休止角、堆积角,一般为 $35^\circ \sim 55^\circ$ 。将粉尘置于光滑的平板上,使此平板倾斜到粉尘开始滑动时的角度,为粉尘滑动角,一般为 $30^\circ \sim 40^\circ$ 。粉尘安息角和滑动角是评价粉尘流动特性的一个

重要指标(表 1.2)。

几种常见港口散货粉尘的安息角

表 1.2

	粉尘安息角(°)	粉尘滑动角(°)		粉尘安息角(°)	粉尘滑动角(°)
烟煤粉	37 ~ 45	30	白云石粉	—	35
无烟煤粉	37 ~ 45	27 ~ 30	水泥	40 ~ 45	35

安息角与粉尘粒径、含水率、尘粒形状、尘粒表面光滑程度、粉尘粘附性等因素有关。一般来说,粒径越小的尘粒,其比表面积越大,表面的吸附能力及粘性就越大,因而其安息角就大;表面比较粗糙或含水率高的尘粒,其安息角也较大;含水率小、表面光滑,接近球形的尘粒,其安息角相对就小。

安息角是设计港口煤炭、矿石等干散货的堆存方式以防治粉尘污染的主要依据之一。

5. 粉尘亲水性

粉尘的亲水性是指固体尘粒与液体界面接触时,液体对固体微粒表面的浸润程度,也即粉尘粒子被水(或其他液体)湿润的难易程度。

这一现象表现为液体分子对固体表面作用力的大小,这一特性与液体表面张力的大小有密切联系。对同一粉尘来说,一般液体表面张力越小,对粉尘粒子的表面作用力就越大,也就是说,粉尘越容易被浸润。

同一液体对不同粉尘的浸润程度是不相同的,有的粉尘(如矿石粉尘等)容易被水湿润,与水接触后会发生凝聚、增重,有利于粉尘从气流中分离,这种粉尘称为亲水性粉尘。有的粉尘(如炭黑、石墨等)很难被水湿润,这种粉尘称为疏水性粉尘。

此外粉尘的粒径和形状对粉尘的湿润性也有影响,也就是说亲水性和疏水性的分类是相对的。即使是亲水性粉尘,尘粒越细就越难被水所浸润。因为尘粒越细,其比表面积越大,对气体的吸附作用就越强,尘粒表面就形成一层气膜,从而阻止尘粒被水浸润。尘粒的亲水性除与粒径有关外,与尘粒的形状也有一定关系。一般来说,不规则形状尘粒的亲水性要比球形尘粒的亲水性强。

粉尘的亲水性质,对于正确分析港口粉尘的起尘特征,选择适宜的除尘、抑尘措施有重要的现实意义。例如港口粉尘的化学抑尘方法中喷洒的抑尘剂即是为了改善所堆存的煤炭或矿物的亲水性,减少固液之间的表面张力,从而减缓堆表面水分的散失。

6. 粉尘粘附性

粉尘之间或粉尘与固体表面(如车船、装卸设备、存储设备等)之间的粘附性质称为粉尘粘附性。粉尘相互间的凝聚与粉尘在固体表面上的堆积都与粉尘的粘附性相关。粉尘的凝聚使粉尘粒径增大,在各种除尘、抑尘设备中有助于粉尘的捕集;粉尘对港口除尘、抑尘设备或装卸设备的粘附易使设备发生故障,并且不易清理。

粉尘的形状、组分特征、分散度等对粉尘的粘附性均有影响。

此外,与尘粒的含水率、荷电量及粒径大小有密切关系。一般来说,含水率高、荷电量大的尘粒,其粘性也就大;相互碰撞时,粒径越细的尘粒越易粘附凝聚成较大颗粒,对设备的粘附力也较大。

对于港口抑尘除尘设备,利用尘粒的粘附凝聚作用,可以提高设备的除尘效率。但是尘粒

对器壁的粘附堆积,易造成设备的堵塞,致使设备发生故障。

因此,掌握港口粉尘的粘附性对选择设计适宜的除尘抑尘方式,制订合理的运行操作规范有积极意义。苏联研究人员曾根据粉尘层的断裂强度制定粉尘粘附性分类(表 1.3)。

粉尘粘附性分类

表 1.3

类别	粘附性	断裂强度(Pa)	粉尘示例
I	无粘附性	0~60	干矿渣粉、干石英粉等
II	微粘附性	60~300	焦粉、干镁粉、干滑石粉等
III	中等粘性	300~600	泥煤粉、湿镁粉、黄铁矿粉、氧化铅、氧化锌、炭黑、干水泥、粮食粉尘等
IV	强粘附性	>600	湿水泥、石膏粉、含盐的钠、石棉等

7. 粉尘爆炸性

悬浮在空气中的某些粉尘,当达到一定浓度时,如果存在着能量足够的火源(如火焰、电火花、炽热物体或由于摩擦、振动、碰撞等引起的火花)就会发生爆炸。

粉尘的爆炸在瞬间产生,伴随着高温、高压。热空气膨胀形成的冲击波具有很大的摧毁力和破坏性。

粉尘爆炸与气体爆炸相似,是一种连锁反应,即粉尘在火源或其他诱发条件作用下,局部化学反应释放能量,迅速诱发较大区域粉尘发生反应并释放能量,这种能量使空气提高温度,急剧膨胀,形成摧毁力很大的冲击波。

与气体爆炸相比,粉尘爆炸有 3 个特点:(1)必须有足够数量的尘粒飞扬在空中才能发生粉尘爆炸。尘粒飞扬与颗粒的大小和气体的扰动速度有关。(2)粉尘燃烧过程比气体燃烧过程复杂,感应期长。有的粉尘要经过粒子表面的分解或蒸发阶段,即便是直接氧化,这样的粒子也有由表面向中心延烧的过程。感应时间(接触火源到完成化学反应的时间)可达几十秒,为气体的几十倍。(3)粉尘点爆的起始能量大,几乎是气体的几十倍。

在粉尘爆炸的危害有以下两个主要特点:(1)粉尘爆炸有产生二次爆炸的可能性,因为粉尘初始爆炸的气浪会将沉积的粉尘扬起,在新的空间形成爆炸浓度而产生爆炸,这叫二次爆炸。这种连续爆炸会造成极严重的破坏。(2)粉尘爆炸会产生两种有毒气体:一种是一氧化碳;另一种是爆炸物自身分解的毒性气体。

影响粉尘爆炸的因素有粉尘自身形成的与外部条件形成的两方面因素(表 1.4)。一般常见的粉尘爆炸形成的三个要素是:粉尘的可燃性、空气的存在和点火源。

粉尘爆炸的影响因素

表 1.4

粉尘的化学因素	粉尘的物理因素	外部环境条件
燃烧热	粉尘浓度	气流运动状态
燃烧速度	粒径分布	氧气浓度
与水汽及二氧化碳的反应	颗粒形状	温度
	比热容	可燃气体浓度
	表面状态	阻燃条件
	颗粒的凝聚性	点火源状态与能量
		惰性气体浓度

在一定的浓度和温度(或火焰、火花、放电、碰撞、摩擦等作用)下会发生爆炸的粉尘称为爆炸危险性粉尘。爆炸危险性粉尘(如煤炭粉尘、矿物粉尘、粮食粉尘等)在空气中的浓度只有在达到某一范围内才会发生爆炸,这个爆炸范围的最低浓度叫做爆炸下限,最高浓度叫做爆炸上限。粉尘的爆炸上限,由于浓度值过大,在大多数条件下都达不到,故在进行港口粉尘污染防治设计时,一般较多考虑粉尘爆炸的下限。表 1.5 给出了几种港口常见粉尘的爆炸下限。

港口常见粉尘的爆炸下限

表 1.5

粉尘类型	爆炸下限(g/m^3)	粉尘类型	爆炸下限(g/m^3)
铝粉	58.0	煤炭粉尘	114.0
硫矿粉尘	13.9	泥炭粉尘	10.1
谷物粉尘	227.0		

粉尘的粒径越小,比表面积越大,粉尘和空气的湿度越小,爆炸危险性越大。对于有爆炸危险的粉尘,在进行港口粉尘防治系统设计时须给予充分考虑,采取必要的防爆措施,降低安全隐患。例如,对于煤炭、水泥、散粮等使用筒仓储存系统,其爆炸性一直是一个需要特别注意的问题。

8. 粉尘荷电性

港口粉尘在其装卸、运输过程中,由于相互之间的碰撞、放射线照射、与物体之间的摩擦、电晕放电及接触带电体等原因而带有一定电荷的性质,称为粉尘荷电性。

粉尘带电后,它的物理性质将有所改变,如凝聚性和附着性增强,并影响尘粒在气体中的稳定性等等。

粉尘的种类、温度与湿度影响尘粒的荷电性。粉尘的荷电量随温度的升高、比表面积的加大及含水率的减小而增大。

尘粒荷电后更容易沉附于肺泡和支气管中,对人体的危害性增强。因此,粉尘的荷电性在港口粉尘污染防治系统设计是可以作为考虑的因素之一,对荷电性强的粉尘采取较为严格并利于导出电荷的防治措施,以防止在粉尘防治过程中而使粉尘荷电,对人体产生更大的危害。

9. 粉尘浓度

港口粉尘污染研究中,粉尘浓度用于描述港口及周边地区空气受到粉尘物质污染的程度。粉尘浓度的质量体积浓度方式以粉尘颗粒物的质量与空气介质体积和粉尘体积的总和,单位为 mg/m^3 ,表示如下

$$C_{mv} = \frac{m_k}{V_1 + V_k}$$

式中: m_k ——粉尘颗粒物的质量,mg;

V_k ——粉尘颗粒物的体积,一般可略去, m^3 ;

V_1 ——空气介质的体积, m^3 。

港口粉尘污染防治工程中,掌握港口区域的粉尘浓度情况,对于选择适宜的粉尘污染防治措施,以使港口工作环境和港区生活环境空气中的粉尘含量符合国家规定的卫生标准,使港口粉尘排放达到国家规定的排放标准等有重要的意义。

第三节 港口粉尘污染的特点和危害

1. 港口粉尘污染的特点

尽管各港口码头堆存散货的种类、数量、特性及装卸工艺流程各有不同,但港口粉尘污染具有共同的特点:

(1) 港口粉尘污染源较为固定,且相对集中,对港口周边局部地区可以造成严重污染。

港口规划和建设过程中,散货码头和集装箱码头各有区域,散货码头在储存和装卸过程中也有各自的区域,一般来说,港口煤炭和矿石等会集中存放,相对而言,区域较为集中和固定(图 1.2)。

(2) 粉尘污染物的排放量大,局部浓度过高。

港口码头散货相对集中的布局,有利于货物的堆存、装卸和运输,便于进行作业管理和环境管理。但是,相对集中的存放方式,尤其露天堆存容易造成局部区域粉尘污染物的浓度过高(图 1.3)。

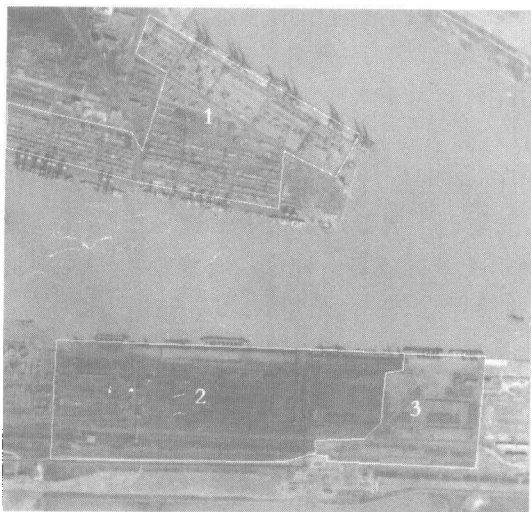


图 1.2 某港口码头区域设置

1-集装箱码头区域;2-煤炭堆存码头区域;3-矿石堆存码头区域



图 1.3 某港口码头区域粉尘浓度分布图

(3) 排放的粉尘污染物中含有害物成分,容易对人体产生潜在的危害。

2. 港口粉尘的危害

粉尘的危害是多方面的,它可以对人体、生产过程、产品质量、经济效益、环境、自然风景、生态平衡产生影响,其严重程度取决于粉尘的物化性质,粉尘量及尘源周围的情况。

粉尘的危害主要表现在以下几方面:

(1) 对人体的危害

港口粉尘污染最为严重的危害是对处于粉尘污染环境的人体造成的生理危害。20 世纪