

国家自然科学基金项目 (50674052)

带式输送机输煤系统 转载点粉尘控制技术研究

马云东 贾惠艳 著

煤炭工业出版社

带式输送机输煤系统转载点 粉尘控制技术研究

马云东 贾惠艳 著

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

带式输送机输煤系统转载点粉尘控制技术研究/

马云东, 贾惠艳著. —北京: 煤炭工业出版社, 2008. 12

ISBN 978 - 7 - 5020 - 3424 - 5

I. 带… II. ①马…②贾… III. 选煤-带式输送机-煤尘-污染防治-研究 IV. TD94

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第166701号

煤炭工业出版社 出版
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)

网址: www.cciph.com.cn
北京房山宏伟印刷厂 印刷
新华书店北京发行所 发行

*

开本 850mm × 1168mm^{1/32} 印张 6^{3/4}

字数 170 千字 印数 1—1,000

2008 年 12 月第 1 版 2008 年 12 月第 1 次印刷

社内编号 6229 定价 25.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 本社负责调换

内 容 提 要

本书运用流体力学、多孔介质渗流力学、传质传热学、湍流两相流和数值模拟等相关理论,对带式输送机输煤系统转载点小尺寸空间粉尘析出、逸散规律和风流流场、浓度场的分布规律及其耦合作用机理进行了系统的理论分析和计算机数值模拟研究,探索了转载点的流场特点、转载点粉尘的产尘机理和逸散规律,寻求从源头上控制转载点粉尘污染的方法,提出了粉尘污染控制新方案——封闭负压控尘系统方案。通过实际系统的现场测试和转载点粉尘颗粒的动力学研究,从理论上得到了粉尘颗粒的运动、扩散及分布特征,建立了转载点气固两相流模型,并进行了数值模拟,得出了转载点风流流场和浓度场的分布规律,实现了对转载点流场内负压的控制,形成了带式输送机输煤系统转载点粉尘控制技术体系,经过在工程实际中的应用,取得了良好的技术与经济效果。

本书适用于矿业工程、安全工程、环境工程等专业的研究生及相关领域的科研工作者和工程技术人员阅读参考。

前 言

煤流运输加工系统，尤其是目前已被广泛应用于煤矿井下运煤、露天矿长距离输送、选煤厂和装卸车站（码头）及燃煤电厂等处的带式输送机输煤系统，在运输过程中产生大量的煤尘污染，对周边大气环境造成巨大危害，直接影响工人身体健康，特殊条件下还发生煤尘爆炸或沉积煤尘参与瓦斯爆炸等严重事故。据统计，带式输送机输煤系统的煤尘飘逸主要集中在转载点，由于转载点含尘气固两相流动的复杂性，致使理论研究长期滞后，因此，如何防止转载点处煤尘的析出和扩散一直是理论研究和设备改进的重点和难点。

目前，国内外对于转载点粉尘的控制技术主要采用的是抑尘、降尘、除尘和排尘等具体措施，即主要是堵和排，而缺少对粉尘防治整体工艺方案的优化设计及关键成型设备选择，更缺少对转载点流场的系统理论研究及粉尘的发尘机理、逸散规律研究，因此很难达到预想的粉尘治理效果。

从目前关于转载点粉尘治理技术研究工作来看，对带式输送机输煤系统转载点粉尘防治的研究还只限于具体的控制措施，没有在理论上进行系统的研究，因此不能用理论指导实践，造成由于采取的除尘措施不合理，

而带来的选用的除尘设备不能有效利用或容易损坏的现象；另一方面，由于转载点结构的特殊性，使气流和粉尘运动更为复杂，增加了理论研究的难度，对于已有的风流中粉尘运动和浓度分布，只限于在现场实测的方法基础上归纳出特定条件下的粉尘浓度分布的定性和定量规律。近年来，气固两相流和数值模拟的方法发展以及大型多物理场耦合软件的出现，为粉尘运动和分布规律的研究提供了新的途径。

本课题在前人研究的基础上，运用流体力学、多孔介质渗流力学、传质传热学、湍流两相流和数值模拟等相关理论，系统地开展带式输送机输煤系统转载点小尺寸空间粉尘析出、逸散规律和风流流场、浓度场的分布规律以及其耦合作用机理的理论分析和计算机数值模拟研究，探索转载点的流场特点、转载点粉尘的产尘机理和逸散规律，寻求从源头上控制转载点粉尘污染的方法，以期较好地解决转载点粉尘污染问题。

本书结合作者多年从事矿山粉尘治理的理论研究和工程实践，在国家自然科学基金和神华集团科技发展基金的资助下，对转载点粉尘治理问题进行了系统的研究。采用机理分析、现场测定、理论推导及计算机模拟相结合的方法，在粉尘污染现状测试和产尘机理分析的基础上，提出了转载点粉尘污染控制新方案——封闭负压控尘系统方案。通过对实际系统的现场测试，获取对转载点流场和粉尘的基本认识，并为数值模拟提供基础数据。通过对转载点粉尘颗粒的动力学研究，从理论上

得到粉尘颗粒的运动、扩散及分布特征，从理论上证明了采用负压控尘的必要性。根据现场实际情况建立转载点气固两相流模型并进行模拟，得出转载点风流流场和浓度场的分布规律，实现了对转载点流场内负压的控制，为除尘设备的设计和选型奠定了基础。本书的主要研究内容包括：

(1) 利用输送带牵引风流、诱导风流和剪切气流理论对转载点产尘机理进行系统分析，先后提出了封闭抑尘系统和封闭负压控尘系统的除尘方案。

(2) 对封闭抑尘系统进行现场测试分析，获得系统内部粉尘的浓度及粒度分布规律和断面风流特点，通过对粉尘颗粒的容积份额的计算，确定了带式输送机输煤系统转载点流场为稀疏湍流气固两相流。

(3) 采用气固两相流湍流理论，对封闭抑尘系统内粉尘颗粒进行受力分析，得到粉尘颗粒的运动、沉降规律及分布规律；研究了封闭负压控尘系统内部粉尘在流动介质中的扩散规律及在外力作用下的扩散规律。

(4) 针对封闭抑尘系统和封闭负压控尘系统内的流场特点，建立了气固两相流模型，采用 Comsol 多物理场耦合软件进行数值模拟，并对两种系统模拟结果进行对比分析。

(5) 以理论研究为基础，采用封闭负压控尘系统对准格尔黑岱沟露天矿选煤厂作业车间转载点除尘方案进行了优化设计，并对实际应用效果进行了测试分析。

在课题的研究过程中，得到了辽宁工程技术大学齐

庆杰教授、准格尔能源有限责任公司郭昭华总工程师和武国平高级工程师的帮助与支持，辽宁工程技术大学章庆丰高级工程师参加了部分测试工作，在此表示衷心的感谢。

由于学识和水平有限，本书作为在转载点气固两相流理论和粉尘综合治理技术方案研究方面的探索和尝试，缺点和错误在所难免，恳请读者批评指正。

作 者

2008 年 10 月

目 次

1 绪论	1
1.1 粉尘的危害及转载点粉尘产生的原因	1
1.2 转载点粉尘控制技术发展现状	4
1.3 气固两相流的理论研究现状	13
1.4 气固两相流数值模拟的研究现状	18
1.5 转载点粉尘控制技术研究中的问题	24
1.6 本书的研究内容、方法及意义	25
2 转载点粉尘析出机理及控制技术方案研究	29
2.1 转载点粉尘析出机理分析	29
2.2 转载点封闭抑尘系统除尘方案	38
2.3 转载点封闭负压控尘系统除尘方案	41
3 转载点风流和粉尘现场测试分析研究	43
3.1 转载点概况和测试内容	43
3.2 转载点封闭抑尘系统的风速测定	45
3.3 封闭抑尘系统的粉尘浓度测定	47

3.4	封闭抑尘系统粉尘粒度分布测定	52
3.5	带式输送机输煤系统转载点尘源 分析	55
3.6	转载点气固两相流特性分析	59
4	转载点粉尘运动、扩散及分布规律研究	62
4.1	粉尘颗粒的运动方程	63
4.2	转载点粉尘颗粒的运动规律	69
4.3	转载点粉尘颗粒的扩散规律	80
4.4	粉尘颗粒在封闭系统风流中的分布	89
5	转载点封闭抑尘系统气固两相流数值 模拟研究	96
5.1	封闭抑尘系统内两相流的实际特征	96
5.2	建立数学模型的基本假设	98
5.3	转载点气固两相流数学模型	100
5.4	数值模拟	107
5.5	模拟结论与建议	122
6	转载点封闭负压控尘系统气固两相流 数值模拟研究	123
6.1	封闭负压控尘系统的风流分析	123
6.2	封闭负压抑尘系统数学模型的 建立	125
6.3	数值模拟	128

6.4	模拟结论	143
7	实例研究	144
7.1	选煤厂转载点粉尘污染概况及治污 要求	144
7.2	选煤厂原煤和产品煤平均水分分布 规律	146
7.3	转载点作业空间的粉尘测试分析	153
7.4	输送带转载点粉尘治理综合方案 设计	157
7.5	除尘参数的优化	168
7.6	毛煤仓仓顶落煤转载点粉尘析出 机理、逸散规律与控制技术研究	174
7.7	毛煤仓仓下落煤转载点粉尘析出 机理、逸散规律与控制技术研究	178
7.8	筛分破碎车间转载点粉尘析出机理、 逸散规律与控制技术研究	180
7.9	除尘方案实施后的效果分析和 效益分析	185
8	结论与展望	191
8.1	结论	191
8.2	展望	193
	参考文献	194

1 绪 论

1.1 粉尘的危害及转载点粉尘产生的原因

1.1.1 粉尘的危害

带式输送机输煤系统目前已被广泛应用于煤矿井下运煤、露天矿长距离输送、选煤厂和装卸车站（码头）及燃煤电厂等处的输煤系统中，在运输过程中产生大量的煤尘污染，对周边大气环境造成巨大危害，直接影响工人身体健康，特殊条件下还发生煤尘爆炸或沉积煤尘参与瓦斯爆炸等严重事故。据分析，带式输送机输煤系统的煤尘飘逸主要集中在转载点，因此如何防止转载点处煤尘的析出和扩散一直是学者们研究和改进的重点和难点。以带式输送机为主的连续输煤系统中粉尘的防治，在选煤厂最为典型，本书对粉尘的研究以选煤厂为例，其他环境下转载点粉尘防治同样适用。

输煤系统中大量粉尘的存在不仅导致煤尘爆炸和燃烧等重大安全隐患，而且严重危害着职工的身体健康，影响正常生产，主要危害有以下几个方面：

（1）最为严重的是对处于粉尘作业环境的人体造成生理危害。长期接触煤尘易得煤肺病或煤硅肺病，目前尘肺病仍占中国九大职业病的首位，它不仅严重地威

胁着广大职工的身体健康，而且还给国民经济造成巨大的损失，对社会的文明进步也产生了不良影响。从1998年的资料看，作为职业病之首的尘肺病，其新发病人数占全国职业病发病人数的49.1%，到1998年底，全国累计尘肺病患者已超过53万人，累积死亡12万人，尚存尘肺病患者41万余人。目前，无论从接尘人数、尘肺病患者累积数量、死亡数量和新发现病人数，我国都居世界首位，从而严重制约了我国工业和经济的发展。

(2) 煤尘积落在工作岗位，影响环境卫生和文明生产，不利于管理者的检查和操作者对设备的巡视与监控；大量的粉尘由于在重力的作用下自然沉降，加大机器磨损，降低机器设备的使用寿命；大量的细小颗粒长期漂浮于空气中，影响职工的视力范围，使职工不能正常操作机器，给企业带来一定的经济损失；煤尘沉积在选煤设备上，易发生电路中断、输送带打滑、阻碍照明和影响设备正常运转等机电事故。

(3) 当产生的大量粉尘颗粒沉积在地面时，必须进行冲洗，这样不仅浪费了大量的水资源，而且冲洗后的冲洗水还带来了二次污染，不但污染了周围水体，也给选煤厂带来一定的经济负担。

由此可见，输煤系统中的粉尘污染问题已成为制约企业经济、社会效益与可持续发展的重大问题。

1.1.2 转载点粉尘产生的原因

以选煤厂为例，发尘量大的根本原因除了一些客观

因素外,如原煤失水后在自然干燥状态下,细颗粒粉尘在生产运输过程中,不能黏附在粗颗粒上或从粗颗粒上脱落、分离出来而形成粉尘,更为关键的因素是由于选煤厂的带式输送机输煤系统中的转载点产尘量过大而造成的。选煤厂生产环节复杂,由原煤破碎、运输、转载、储存、筛分、洗选等工艺组成,而各生产环节之间与带式输送机输煤系统又是分不开的。带式输送机作为一种爬坡能力强,运输连续,生产率高,运输距离短,且成本低的运输方式,是选煤厂使用较为广泛的连续动作式输送设备,尤其对于选煤厂不同生产车间高差较大的情况,带式输送机的优越性更为显著,但也构成了选煤厂最为主要的产尘环节。经过多年测试和治理总结可知,在带式输送机输煤系统转载点,粉尘产生的主要原因有以下几个方面^[1]:

1) 来煤水分含量低

通过对准格尔黑岱沟选煤厂的来煤水分进行测试表明,当来煤的含水率低于7%时,在煤的处理过程中煤尘飞扬严重,来煤中的水分越低,粉尘飞扬越严重。准格尔黑岱沟选煤厂地处内蒙古中西部,常年干旱少雨,同时由于采用露天开采工艺,原煤长时间暴露在干燥大气中,这是造成选煤厂粉尘污染的客观因素。

2) 带式输送机机头、机尾的高落差落煤和输送带运行速度过大

所谓输煤系统的转载点是指上下两层输送带与煤流的交接位置,一般由上层带式输送机的机尾和下层带式

输送机的机头的位置组成,即由两个转载点和斜坡溜槽组成。带式输送机的机头、机尾就是输煤系统的转载点位置,原煤在转载点处转载时作抛物线运动,在输送带速度较大的情况下,粒径小于 $76\mu\text{m}$ 的颗粒容易附着在大颗粒上一起作抛物线运动;但小颗粒粉尘将会长期漂浮于空气中而难以降落。有数据表明,在破碎站小于 13mm 粒级的粉尘含量由40%增至60%,其中小于 $76\mu\text{m}$ 粒级的粉尘量约为 70t/h ,直接导致了转载点粉尘产生量的上升。已经降落的粉尘在较大煤块的冲击下还会再次扬起,形成二次污染。

3) 安装的通风除尘系统设计不合理

安装的机械除尘器系统设计不够合理,一方面引风能力不足,漏风严重;另一方面不能形成合理的流场,导致含尘气体不能按预定密闭通道流动。甚至部分转载点没有安装除尘设备,仅仅是将转载点部分封闭,不能有效控制粉尘的外逸;有的转载点设在地下室的角落,转载点通风效果不好,使粉尘难以得到有效控制。

4) 给料溜槽设计不合理

选煤厂的多数给料溜槽落煤高度过大,给料方向不合理,一方面易造成撒煤和输送带跑偏;另一方面也加大了煤尘飞扬程度^[3],加剧了作业车间的污染程度。

1.2 转载点粉尘控制技术发展现状

选煤厂粉尘的严重污染所造成的职业危害——尘肺病和煤尘爆炸灾害已被煤炭界充分认识。多年来,国内

外学者在煤矿粉尘防治技术方面开展了多层次、多方位的攻关研究。通过对以降低作业空间粉尘浓度为中心进行的一系列防尘技术的研究,开发了一批技术含量高、降尘效果好的技术和设备,使输煤系统转载点抑尘、排尘技术又推向一个新的水平,在预防和控制煤尘爆炸技术方面也取得了新的成果。

1.2.1 转载点粉尘控制技术概述

粉尘治理的措施是根据输煤系统的特点制定相应的控制尘源的对策。针对粉尘特性及产生粉尘污染的主要原因,国内一般采用抑尘、降尘、除尘、防尘和排尘5种综合方法。国内外常见的控制转载点粉尘产生的方法有:

1) 密闭点源

此种方法就是将转载点尽量封闭起来,以达到粉尘控制的目的。由于转载点体积较大,并且为了维修的方便,一般采用全封闭式,最大限度地防止颗粒的外逸。

2) 减少转载点带式输送机高度势能差

这是一种行之有效的控尘措施,不仅可以减轻大煤块对输送带的冲击,减少粉尘的二次扬尘量,还可以延长输送带的使用寿命。

3) 设置良好的排风系统

好的通风系统可以及时排出室内废气,保证转载点处的空气新鲜,特别是当转载点在地下室通风不良时,应采用离心风机,强制通风,加强排尘风速、风量^[1]。

4) 喷雾洒水

当来煤水分低于 7% 时, 在输送带转运点处应设置喷雾装置, 控制水量加湿外来煤, 降低转载点粉尘污染。但喷雾洒水的方法对粉尘的除尘效率较低 (特别是对呼吸性粉尘); 另外, 如果喷水量过大, 不但会导致输送带在滚动时打滑, 而且还会影响煤炭的质量, 造成产品煤的质量下降。

5) 减小输送带的运行速度

减小输送带的运行速度在很大程度上能减少粉尘的发生量, 但选煤厂的产量就会受到很大影响。在现代采煤技术迅速发展的今天, 采煤量的急剧增加往往是不允许选煤厂的产量减少, 而是要不断加大选煤厂的生产量。

1.2.2 国内外研发的新型除尘技术

近些年, 国内还研发了许多新型的除尘技术和设备, 增强了对转载点粉尘的控制能力。除尘技术主要分为湿式除尘技术 (设备) 和干式除尘技术 (设备), 对于带式输送机输煤系统转载点粉尘的治理可采用湿式除尘、干式除尘或干湿结合的方式。

1) 湿式除尘

湿式除尘主要是指向尘源喷洒能够抑制或捕捉粉尘的液体, 以达到防尘、降尘目的的除尘技术。按喷洒液体的性质分为两类:

(1) 以普通清水为喷洒液的喷洒除尘。

(2) 以普通清水为溶剂, 混合液、载体、添加其他物质的喷洒除尘。例如, 近年发展起来的湿润剂溶