

# 炭黑粉尘防爆安全技术研究与应用

郝之勇

(山东奥瑟亚建阳炭黑有限公司, 山东 薛城 277000)

**摘要:** 炭黑粉尘是一种导电性粉尘, 粉尘的平均粒径为 10~20  $\mu\text{m}$ , 爆炸下限浓度 36~45  $\text{g}/\text{m}^3$ 。本文从工程措施、管理措施、培训教育措施、个体防护措施和应急处置措施等五个方面, 对炭黑粉尘防爆的安全技术进行探析, 从而论述了炭黑粉尘可防、可控、可治, 保证企业安全稳定生产。

**关键词:** 炭黑粉尘; 防爆; 安全技术; 稳定生产

**中图分类号:** TQ330.381

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1009-797X(2025)03-0014-05

**DOI:** 10.13520/j.cnki.rpte.2025.03.004

## 0 概述

在炭黑生产过程中, 从原料投入的反应炉开始, 就产生了炭黑粉尘, 而炭黑粉尘是一种导电性可燃粉尘。根据《爆炸危险环境电力装置设计规范》(GB 50058—2014) 附表 E 的描述, 炭黑粉尘在高温表面堆积粉尘层 (5 mm) 的引燃温度为 535  $^{\circ}\text{C}$ , 粉尘层的引燃温度  $>600^{\circ}\text{C}$ , 爆炸下限浓度 36~45  $\text{g}/\text{m}^3$ , 粉尘的平均粒径为 10~20  $\mu\text{m}$ , 粉尘分级为 III C 级的导电性粉尘。从炭黑粉尘的危险性来看, 如果管控不到位, 在生产过程中炭黑粉尘极易出现粉尘燃烧爆炸等安全事故, 此类事故一旦发生, 将会给企业带来严重的人员伤亡和财产损失。炭黑粉尘的防爆安全技术对每个生产企业来说, 就显得尤为重要。

炭黑见图 1。



图 1 N220 牌号的炭黑

## 1 炭黑粉尘产生环节

炭黑粉尘产生环节贯穿炭黑生产各个环节, 主要包括反应工序、分离粉碎工序、造粒干燥工序、输送包装工序等几个环节。下面, 我们逐个工序进行分析:

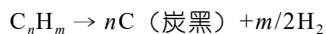
### 1.1 反应工序

(1) 燃料油使用发热量为在 9 800 kcal 左右的轻质组分油, 由燃料油罐经泵送至反应炉, 与经空气预热器预热到 850  $^{\circ}\text{C}$  (硬质炭黑) 或 750  $^{\circ}\text{C}$  (软质炭黑) 的空气在反应炉内混合、完全燃烧, 产生约 1 200~1 900  $^{\circ}\text{C}$  (软质炭黑为 1 200~1 400  $^{\circ}\text{C}$ , 硬质炭黑为 1 500~1 900  $^{\circ}\text{C}$ ) 的高温燃烧气流。

(2) 原料油使用芳烃指数  $\text{BMCI} \geq 155$  的重质组分油, 按一定配比混合后, 经泵送至原料油罐。原料油经泵送至原料油预热器, 将原料油预热到 180~250  $^{\circ}\text{C}$  后, 喷入反应炉, 与高温燃烧气流混合, 迅速热解, 生成炭黑烟气 (成分是炭黑粉尘和尾气)。

(3) 在反应炉后部, 直接把急冷水喷入高温炭黑烟气中, 使其温度迅速降低, 终止炭黑生成反应, 急冷水在高温下全部形成蒸汽进入炭黑烟气中。由于热解时的副反应, 炭黑烟气中产生 CO 和少量的  $\text{CH}_4$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{CO}_2$  等物质。

反应炉内的主要反应式为:



硬质反应炉与软质反应炉结构示意图见下图 2。

### 1.2 分离粉碎工序

热解反应生成的高温炭黑烟气经过空气预热器换

**作者简介:** 郝之勇 (1978—), 男, 本科, 化工安全类国家注册安全工程师, 一级危险化学品从业单位安全生产标准化评审员, 安全总监兼安环部部长, 一直从事炭黑安全生产和管理方面的研究工作。



图2 硬质炭黑反应炉和软质炭黑反应炉

热后，烟温降为 650 °C，降温后的炭黑烟气与原料油预热器进行换热，降温至 500 °C 后进入余热锅炉进行余热回收产生蒸汽。经余热锅炉进行热回收后的炭黑烟气温约 300 °C，先进入竖式换热器中喷入适量的水分，再进入在团粒器中进行团粒，聚集后的炭黑经团粒器挤出，生成粒径的炭黑尘粒，随气流进入收集效率不低于 99.9% 的一级布袋式袋滤器进行气固分离。

分离后的气体为炭黑尾气，经风机加压后，送往后续工艺进行利用；分离后的固体为袋滤器捕集下的炭黑粉尘，经负压风送系统气力输送至高级粉碎机进行一级粉碎后，粉末炭黑送往收集效率不低于 99.9% 的二级布袋式袋滤器，从二级布袋式袋滤器收集的炭黑经二级微米粉碎机进一步粉碎后进入造粒工序。

为了防止炭黑粉尘逸出、保证造粒稳定，二级微米粉碎与二级袋滤器之间形成负压，少量粉碎不彻底的大颗粒闭路循环回到二级袋滤器重新进入二级微米粉碎后进入造粒工序。

### 1.3 造粒干燥工序

粉碎后的炭黑粉尘进入缓冲罐后通过给料泵进入造粒机，造粒机使用卧式带夹套的湿法造粒机，夹套采用热水或蒸汽为循环加热介质。按工艺操作要求配制的粘结剂（主要成分为木质素磺酸钠）经泵送至造粒水混合器充分混合，采用微机自动调节造粒水和炭黑物料的比例后喷入造粒机内。造粒机内的炭黑粉尘与粘结剂、造粒水等物料充分混合、搅拌、密实、均匀浸湿，最后形成均匀炭黑粒子，这时炭黑由粉尘状转变为颗粒状。颗粒状炭黑进入干燥温度约为 170~220 °C 的干燥机进行干燥，干燥后炭黑，由于经历滚动、挤压造成部分颗粒破碎，总体含颗粒状约 95%~99%，含有粉尘状约 1%~5%。

### 1.4 输送包装工序

从干燥机出来的炭黑（200 °C），经一级提升机送到筛分机、磁性筛分机，再经二级提升机送到输送机，经输送机送到成品罐，成品经包装机包装入库或直接由散装运输送至用户。

筛分机筛分出大颗粒的炭黑以及提升机、输送机等设备运转过程中产生的炭黑粉尘，经设置在包装车间内部的回收袋滤器统一收集，收集后的炭黑通过负压风管道输送到一级高级粉碎机进口重新粉碎回收，再加工成为合格产品。

## 2 炭黑粉末防爆安全技术

通过分析炭黑粉尘产生的以上四个环节，根据《粉尘防爆安全规程》（GB 15577—2018）、《爆炸危险环境电力装置设计规范》（GB 50058—2014）、《可燃性粉尘环境用电气设备》（GB 12476）和《爆炸性环境》（GBT 3836）的相关要求。本文主要从工程技术措施、管理措施、教育培训措施、个体防护措施和应急处置措施等五个方面来探讨炭黑粉尘防爆的管控措施。

### 2.1 工程技术措施

#### 2.1.1 选用符合标准规范的粉尘防爆电气设备

炭黑粉尘爆炸危险场所的电机、控制柜、开关箱、仪表等电气设备的设计、安装应严格按照 GB50058—2014 的有关规定执行，所用电气设备应符合 GB12476.1、GB3836.15 的相关规定；应防止由电气设备或线路产生的过热及火花，防止炭黑粉尘进入产生电火花或高温部件的外壳内。

鉴于炭黑粉尘作为金属种类可燃导电性粉尘（IIIC 级），根据炭黑粉尘环境出现的频繁程度和持续时间，分为 20 区、21 区和 22 区。

20 区范围主要包括炭黑粉尘连续生成的管道、生产和处理设备的内内区域。为不合格产品储罐内部、斗式提升机内部、旋转筛内部、合格产品储罐内部、包装袋滤器内部等；炭黑企业 20 区范围内一般没有用电设备。

21 区的范围与炭黑粉尘一级释放源相关联，主要是释放源周围 1 m 距离范围内应划分为 21 区。为不合格产品储罐进出料口、斗式提升机进出料口、旋转筛进出料口、合格产品储罐进出料口、包装袋滤器进

出料口等设备的一级释放源半径 1 m 范围；炭黑企业 21 区范围内主要有设备传动装置用的电机。

22 区的范围是由炭黑粉尘二级释放源形成的场所，其区域的范围受到粉尘量、释放速率、颗粒大小和物料湿度等粉尘参数的限制，并考虑引起释放的条件，主要是超出 21 区 3 m 及二级释放源周围 3 m 的距离确定。炭黑企业 22 区范围内主要有控制电机传动的控制柜、开关箱、仪表设施等。

炭黑粉尘防爆环境电气设备的选择见表 1。

表 1 20 区、21 区和 22 区粉尘防爆环境电气设备的选择

危险区域	设备保护级别 (EPL)	电气设备防爆结构	防爆形式	温度级别
20 区	Da	本质安全型	iD	$T_3$ (200 °C) 及以上
		浇封型	mD	
		外壳保护型	tD	
21 区	Da 或 Db	本质安全型	iD	$T_3$ (200 °C) 及以上
		浇封型	mD	
		外壳保护型	tD	
		正压型	pD	
		本质安全型	iD	
22 区	Da、Db 或 Dc	浇封型	mD	$T_3$ (200 °C) 及以上
		外壳保护型	tD	
		正压型	pD	

### 2.1.2 加强电气设备、管线的静电接地和法兰静电跨接。

为防止因静电引燃火花引发炭黑粉尘爆炸，除要严格按照《防止静电事故通用导则》(GB 12158—2006) 的相关要求外，还应遵守下列规定：

(1) 炭黑各生产装置系统或装置单元的总泄漏电阻都应在以下  $1 \times 10^6 \Omega$ ，各专设的静电接地体的接地电阻一般不应大于  $100 \Omega$ 。

(2) 炭黑粉尘爆炸危险区域内的所有金属设备、装置外壳、金属管道、支架、构件、部件等，应采用防静电接地措施；不便或工艺不允许直接接地的，可通过导静电材料或制品间接接地，接地电阻不就应大于  $4 \Omega$ 。

(3) 输送炭黑粉尘金属管道的法兰连接处，应进行防静电跨接，其跨接电阻应小于  $0.03 \Omega$ 。

(4) 直接用于盛装炭黑粉尘的器具、输送炭黑粉尘的管道等，应采用金属或防静电材料制成。

### 2.1.3 防止铁质异物摩擦、碰撞产生火花

为防止因摩擦、碰撞产生火花引发炭黑粉尘爆炸，炭黑粉尘爆炸危险场所设备和装置应采取防止发生摩擦、措施。

(1) 在炭黑生产工艺流程的粉尘进料处，如粉碎机、风机等，应设置能除去混入料中杂物的磁铁去除

器、沉降桶、筛网等，防止杂物和铁质进入的设备或设施。

(2) 炭黑粉尘风送系统所用的风机叶片应采用导电、运行时不产生火花材料制造。

(3) 炭黑生产系统所用设备和装置及内部的零部件要安装牢固、运转正常，如粉碎机的压盖、顶丝、风机的叶片等，防止松动脱落与壳体产生碰撞、摩擦和异常杂音。

## 2.2 管理措施

### 2.2.1 制定科学合理的粉尘定期清理管理制度

由于不能完全防止炭黑粉尘泄露的特殊性，企业要对炭黑粉尘爆炸危险场所制定包括清扫范围、清扫方式、清扫周期等内容的粉尘清理制度；对所有可能沉积粉尘的区域及设备设施的所有部位按照制度进行及时全面的规范清扫。清扫应采用不产生扬尘的清扫方法和不产生火花的清扫工具，不应使用压缩空气进行吹扫，宜采用负压吸尘方式清洁。

### 2.2.2 严格执行动火等特殊作业审批制度

在炭黑粉尘爆炸危险场所开展动火等特殊作业前，要开展作业危害分析，制定相应的安全风险管控措施，交叉作业时要明确协调人；按照 GB30871—2022 的要求办理相关安全作业票；入场前要仔细检查

所用工器具的安全性能，严禁不合格机具入场。

## 2.3 教育培训措施

### 2.3.1 加强安全培训，提高操作技能，严禁违章作业

加强对员工的安全生产教育与培训，使其熟练掌握本职工作所需的有关在工艺、设备、电气、仪表等方面的炭黑粉尘防爆安全知识，熟悉有关的安全生产规章制度、安全操作及安全作业规程，提高安全生产技能，通过考核取得培训合格证后才能上岗。

加强外来作业人员的安全教育培训，必须经培训考核合格后方可进场作业，严格作业前的风险交底、技术交底和安全交底，落实全程作业安全监督，强化作业过程管控。

### 2.3.2 持续开展安全警示教育，提高全员安全意识

近年来，国内粉尘爆炸事故频频发生，如造成75人死亡，185人受伤的昆山中荣金属制品有限公司的“8.2”特别重大事故给我们带来的惨痛教训历历在目。为深刻汲取粉尘爆炸事故教训，进一步强化炭黑粉尘防爆环节的安全风险防范措施，举一反三，压紧压实全员安全责任，有效防范粉尘爆炸事故的重复发生，让悲剧不再上演，定期开展警示教育非常有必要，警示教育能提高全员的安全意识，消除麻痹侥幸心理，时刻紧绷安全这根弦，牢固树立“安全第一、预防为主”的理念。

## 2.4 个体防护措施

### 2.4.1 严格个体防护设备的配备

企业要按照《个体防护装备配备规范》(GB 39800)等标准，为进入炭黑粉尘爆炸危险作业现场的作业人员购置、配备、发放具有相应防护功能的个体防护装备，如安全帽、护目镜、防静电工作服、自吸过滤式防颗粒物呼吸器等，并做好人员使用培训。

对处于炭黑粉尘爆炸危险作业地点的包含承包商、劳务派遣工、实习生在内的其他外来作业施工人

员，也必须按照与进行作业的劳动者相同的标准，配备相应的劳动防护用品。

### 2.4.2 严格个体防护设备的配备使用

员工在作业过程中，应当按照规章制度和劳动防护用品使用规则，正确佩戴和使用劳动防护用品。当出现经定期检验或检查被判定不合格、功能失效破损、超过有效期、说明书中规定的其他判废或更换条件等四种情况之一时，被判废或被更换后的人体防护装备，员工不得两次使用。

## 2.5 应急处置措施

### 2.5.1 编制炭黑粉尘爆炸应急处置方案。

企业要加强企业应急体系和应急能力建设，完善现场应急处置方案。在全面风险分析的基础上，编制科学严谨的炭黑粉尘爆炸应急处置方案，应急处置措施要科学合理，具有可操作性和适用性。

### 2.5.2 经常性开展应急预案的演练。

企业要强化对班组人员的应急培训，经常性开展应急演练。班组人员要掌握正确、快速的应急处置方法，提高现场员工应急处置能力和水平，防止出现面对突发情况时手足无措甚至错误操作的情况，造成事故扩大或引发次生事故。

## 3 结论

总之，对于炭黑粉尘具有的爆炸危险性，我们要有清醒的认识。通过从工程技术、管理、教育培训、个体防护和应急处置等5个方面采取管控措施，炭黑粉尘的爆炸危险性是可防、可控和可治的，企业的安全稳定生产是有保证的。

### 参考文献：

- [1] 孙鲁光, 丁利虎, 陈新中. 节能技术在炭黑生产过程中的应用[J]. 化工管理, 2021(09):44-45.
- [2] 廉雅斌, 白立晓, 刘国桓. 炭黑工艺研究与转筒干燥器工艺计算[J]. 天津化工, 2013,27(05):41-43.
- [3] 潘叶平, 胡磊. 化工工艺与化工设备的适应性设计[J]. 化工管理, 2021(09):163-164.

# Research and application of explosion proof safety technology for carbon black dust

Hao Zhiyong

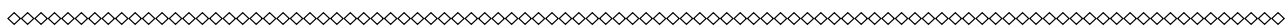
(Shandong OCI Jianyang Carbon Black Co. LTD., Xuecheng 277000, Shandong, China)

**Abstract:** Carbon black dust is a conductive dust with an average particle size of 10~20 μm and an

explosive lower limit concentration of 36~45 g/m<sup>3</sup>. This article explores the safety technology of carbon black dust explosion prevention from five aspects: engineering measures, management measures, training and education measures, personal protective measures, and emergency response measures. It discusses that carbon black dust can be prevented, controlled, and treated to ensure the safe and stable production of enterprises.

**Key words:** carbon black dust; explosion proof; security technology; steady production

(R-03)



## 中企助力，轮胎出口暴增 129% !

**With the assistance of Chinese enterprises, tire exports have surged by 129%!**

据柬埔寨商业部统计，2024 年柬埔寨汽车轮胎出口额达 8.7 亿美元（约 63.04 亿人民币），较 2023 年的 3.8 亿美元，增长了 129%。

轮胎制造业正在迅速成为柬埔寨经济增长的重要驱动力，尤其是在橡胶产业的发展上发挥着关键作用。

目前，柬埔寨已吸引 5 家外国轮胎制造企业设立生产基地，所有企业均来自中国。已有 3 家轮胎厂投入运营，分别是位于柴桢省巴域市的赛轮轮胎、西哈努克省的通用轮胎，以及桔井省的双星轮胎厂。

此外，2025 年 1 月，万力轮胎柬埔寨生产基地举行了奠基仪式。该项目位于柴桢省新巴域特区，分为两期建设，其中一期投资约 2.39 亿美元，总占地面积约 32 公顷。建成后，年产 600 万条半钢子午线轮胎的生产能力将逐步实现。

另外，柬埔寨发展理事会（CDC）去年批准正道轮胎投资项目，预计年产 600 万套半钢子午线轮胎及 120 万套全钢子午线轮胎。

轮胎制造业已经取代基础设施建设、能源和成衣业，成为柬埔寨最大的外资直接投资项目。

据悉，柬埔寨的橡胶资源丰富，政府提供了有利的投资政策，加之与中国的紧密关系，以及美国未对柬埔寨轮胎征收反倾销税，这些因素吸引了中国轮胎制造商在柬埔寨设厂。

通过在柬埔寨投资建厂，中国企业不仅能够规避美国的高额关税，还能更加有竞争力地进入美国市场。此外，在柬埔寨生产还可以更直接地获取成本效益高的原材料，从而降低运输成本和简化供应链。

根据柬埔寨政府估计，一旦上述 5 家中国轮胎厂全部投产，预计每年将需要 20 万~30 万 t 乳胶，作为制造轮胎的原料，这将进一步推动柬埔寨橡胶加工行业的蓬勃发展。据柬埔寨农林渔业部数据，目前柬埔寨的橡胶种植园总面积达到 40.4 万公顷，其中 80% 的种植区已进入可收割期。

摘编自“车轱辘”

## 巴西对华轮胎用钢帘线作出反倾销初裁

**Brazil makes preliminary anti-dumping ruling on steel cord used in Chinese tires**

2025 年 1 月 23 日，巴西发展、工业、贸易和服务部外贸秘书处发布 2025 年第 6 号公告，对原产于中国的轮胎用钢帘线作出反倾销否定性初裁，鉴于未有足够证据表明涉案产品存在倾销，决定不对中国的涉案产品征收反倾销税，继续调查。涉案产品的南共市税号为 7312.10.10。将本案作出终裁时限延长至自立案起 18 个月内。

2024 年 7 月 1 日，巴西发展、工业、贸易和服务部外贸秘书处发布 2024 年第 26 号公告称，应巴西国内企业 BMB Belgo Mineira Bekaert Artefatos de Arames Ltda. 于 2024 年 1 月 29 日提交的申请，对原产于中国的轮胎用钢帘线发起反倾销调查。案件倾销调查期为 2022 年 10 月至 2023 年 9 月，损害调查期为 2018 年 10 月至 2023 年 9 月。

摘编自“中国橡胶杂志”

(R-03)