

纺织工业出版社

(苏) E. A. 谢尔巴科娃 编著 李莉 译 钱言信 郑慧琼 校

亚麻联合 工厂除尘器的防爆

亚麻联合工厂除尘器的防爆

〔苏〕E.A.谢尔巴科娃 编著

李莉 译 钱言信 郑慧琼 校

纺织工业出版社

内 容 提 要

本书论述了纺织企业除尘设备起火爆炸的危险性,着重分析了亚麻厂吸尘系统除尘器内粉尘起火爆炸的各种因素,以及除尘器的爆炸与工艺设备、工艺管道内发生爆炸的关系。用理论计算和进行爆炸试验等方法探索了各种防爆手段和防爆装置,提出了除尘器的设计和工艺上应采取的措施。可供纺织科研人员、基建设计人员、亚麻厂和其它纺织厂工程技术人员以及从事安全生产工作的人员参考。

责任编辑: 郑剑秋

ВЗРЫВООЗАЩИТА ФИЛЬТРОВ АСПИРАЦИОННЫХ СИСТЕМ ЛЬНОКОМБИНАТОВ

Е. А. Шербакова

亚麻联合工厂除尘器的防爆

[苏联] А. 谢尔巴科娃 编著

李莉 译 钱言偏 郑慧琼 校

纺织工业出版社出版

(北京东长安街12号)

纺织工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

787×1082毫米 1/32 印张: 2 12/32 插页: 1 字数: 50千字

1989年1月 第一版第一次印刷

印数: 1—4,000 定价: 0.92元

ISBN 7-5064-0216-5/TS·0213

译者的话

生产过程中的防火防爆，对于纺织工厂，尤其对于亚麻厂和其它麻纤维加工厂，是一个十分重要的问题，不仅关系到生产任务的完成，更重要的是关系到国家财产和人民生命的安全。翻译介绍本书正是为满足当前纺织系统开展防火防爆安全工作，¹¹¹¹保证生产建设顺利进行的需要。

本书是苏联中央轻工业情报和技术经济科学研究院发表的情报述评《机械与动力》1985年第二期，是关于亚麻厂除尘器防爆的一个专册，书中主要介绍了苏联有关亚麻厂和科研单位试验研究除尘器粉尘爆炸的情况，对其它国家的防爆装置也有介绍。

本书的最后审定，得到冯贵枢同志帮助，在此表示感谢。

由于译者水平有限，译文中难免有不当之处，望读者指正。

译 者

1987年11月

目 录

一、引言.....	(1)
二、除尘器内爆炸的预防.....	(4)
三、用安全装置实施除尘设备的防爆.....	(9)
(一) 膜片安全装置.....	(10)
(二) 膜片安全装置在静荷载下的动作压力.....	(18)
(三) 加荷速度对膜片动作压力的影响.....	(30)
(四) 泄爆孔所需面积的确定.....	(37)
四、带泄爆元件的安全装置和专用活门.....	(49)
五、降低除尘器爆炸危险性的结构设计和工艺措施.....	(51)
六、按最大爆炸压力计算滤尘器和旋风集尘器的机体.....	(58)
七、自动抑爆.....	(59)
八、结束语.....	(62)
主要参考文献.....	(63)

一、引言

各种工艺方法的应用和不断发展象征着技术的进步，同时也伴随产生一些空气分散物质，它们是由各种不同材料的固体颗粒悬浮在气态介质中而成。迫于生产的工艺要求和经济性，以及卫生方面的要求，必须从工业气体中清除悬浮的固体颗粒。现代技术为此提供了各种不同的手段，当前已有数百种不同结构的除尘器。尽管其结构不同，但都是依据有关实现悬浮相沉降的几种基本原理。

在纺织和轻工业中最广泛使用的离心式惯性装置是旋风集尘器。而为了能高效清除气体中的微尘，广泛使用各种类型的滤尘器，首先是布质滤尘器。

设备发生爆炸的条件，是必须在设备中同时出现达到爆炸浓度的粉尘气体混合物和使之起火的火源。下面研究旋风集尘器和滤尘器内产生这种混合物和火源的可能性，列举旋风集尘器内离心分离过程对燃爆有影响的若干特征。

悬浮在气体中的固体颗粒，由于其平衡轨迹大于或等于旋风器的半径，颗粒在极短的时间内就达到器壁，并沿器壁呈条束状向下移动。因此旋风器内粉尘绝大部分位于器壁附近，而旋风器的中心部位实际上没有粉尘。

锥体装有闸门的旋风器，被分离的物质成条束状运动直至闸门处。锥体大小应跟旋风器按固相计算的除尘量相应。随着进入旋风器气流速度的加大，旋转的气流可以夹带更多的固体物质，但是对于每一种分离工况有一个含尘率极限值，超出这极限值时，条束就开始解体。

在条束解体时，旋风器的很大一部分容积内可能形成爆

炸性浓度的空气悬浮物。当旋风集尘器因气体的轴向速度低而被粉尘堵塞以及空气吸入旋风器尘计时也会造成这种状况。当含有悬浮固相的气体在带有尘斗的旋风器内分离时，只有很少一部分气流（总量的5%~10%）进入尘斗，这部分气流改变自己的方向，并失去速度，从而使固体颗粒脱离气体而落下。尘斗内这些颗粒的空间密度变化范围很大。

滤尘器内的过滤过程，就是空气分散物质在通过滤布时发生分离，悬浮颗粒（分散相）被分离出来并集聚在滤布上，随后进行回收。滤尘器内粉尘的浓度是由很多因素确定的：滤尘器的滤尘量；被净化气体的粉尘浓度，滤布再生的间歇周期；同时再生的滤布表面面积，再生处理的效果，粉尘的悬浮速度；滤尘器的几何形状和空气动力状况（分散介质和分散相的运动特性和速度，滞流区的存在，等等）以及其它因素。

在过滤过程中，滤布上只要积沉少量粉尘，就足以使滤尘器体内在滤布再生时产生爆炸性的粉尘空气混合物。例如，着火浓度下限为 10g/m^3 的粉尘（如橡胶粉尘），在 $\Phi\text{PKH}-30\text{B}$ 型滤尘器的滤袋空间形成爆炸性粉尘浓度，总共只需要28g。

滤尘器结构上的缺点和不正确的使用，都会促使滤尘器内积聚粉尘，从而增加了滤尘器起火爆炸的危险性。为此， ΦPM 滤尘器的所有各组之间用尘箱和尘斗互相联通^[1]。这样，当滤尘器的一个分组吹风时，一部分粉尘就随着“吹风”的气流进入此时处于负压状态的其它分组。在 $\Phi\text{PKH}-\text{B}$ 、 ΦPY 、 $\Gamma\text{ЧБФМ}$ 和其它型号的滤尘器中均为此种情况^[2]。通过滤尘器壳体上的缝隙和各种部件（闸门、干净空气阀等）吸入空气，也会使滤尘器的滤袋内积聚粉尘。当旋

风集尘器和滤尘器不是从空气，而是从可燃的气体和液体蒸汽中收集粉尘时，即当它们是在对各种起始脉动非常敏感的所谓杂化物进行工作时，就急剧提高了集尘器和滤尘器发生爆炸的危险^[3~6]。在除尘设备中出现这种杂化物是有可能的，例如有些工艺装置的吸尘系统所使用的除尘设备，由于工艺要求，该装置以可燃液体工作并需填充散粒材料。在干燥机吸风系统的旋风集尘器和过滤器中，也可能产生杂化物，因为这些设备所蒸发的液体就是可燃溶剂。此外，还有其它情况也会形成此种杂化物。

在除尘设备中产生杂化物，目前在纺织企业中并不突出，但是采用新工艺的企业在设计吸尘系统时，必须考虑杂化物起火爆炸的特殊危险性。当旋风集尘器和滤尘器内存在爆炸性混合物时，只要有足够能量的火源，就会发生爆炸。应区分从外部进入除尘设备的火源和除尘设备本身产生的火源。

各种工艺设备吸尘系统所用旋风集尘器和滤尘器爆炸，可能是被工艺设备中已着火的阴燃粉尘引爆的。对于除尘器来说，最大的危险是当被抽吸的工艺设备中易燃混合物发生爆炸，高速的火焰和高温气体从排风系统进入除尘器。例如，亚麻粉尘爆炸从 10m^3 的爆炸室通过直径800mm、长33m的风管，“转移”到ФPM-ΠB-10的滤尘器，使滤尘器的 9.2m^2 面积的尘袋被毁，风管接管被抛出很远^[7]。

如果设备之间的管道很长，就应该考虑管道内发生爆燃^[3, 8]（尤其对杂化物）和爆燃波进入除尘器的可能性。

从除尘器流出的爆炸产物，通过与其相接的管道，也会引起管道内发生高速爆炸过程。

有可能直接在除尘设备内产生的火源，可归纳为以下几

种：静电放电、摩擦生热（例如异物落入除尘器闸门或螺旋推进器中）、冲击和摩擦产生的火花（异物碰撞除尘器部件）。产生这些火源的条件及对其危险性的分析，在有关著作中有详细研究^[9~15]。

因此，旋风集尘器和滤尘器是有燃爆危险的设备，在其内部有可能起火和爆炸。有关这些设备的防火防爆安全问题，已有大量著作，但至今还有许多问题尚未得到解决。本书将对这个问题的某些方面进行研究。

二、除尘器内爆炸的预防

众所周知，爆炸要具备三个条件才能发生：达到爆炸浓度的含尘空气、具有引爆能量的火源以及氧化剂（通常为空气中的氧气）。用降低含尘空气中的粉尘浓度，使其低于着火浓度下限的方法来防止爆炸是不可靠的，因为除尘器内的粉尘浓度是一个变量，变化范围很大。所以，要在这些装置中防爆，只能是完全排除其中火源的出现，或者用不可燃气体（阻滞剂）使装置中的氧气浓度降到安全值以下（惰性化方法）。下面对旋风集尘器和滤尘器内的防爆方法进行研究。

除尘器的火种在多种情况下是来自使用这些除尘器的工艺设备。所以，工艺设备使用中防火措施的目标应该是消除被加工原料和废料产生火源的各类事故^[1, 7, 16]。但是，用管道与除尘器相连接的设备，在有可能发生爆炸的情况下，必须使用各种装置来截断阴燃粉尘、火焰，以及不同性质爆炸所产生的燃烧产物和冲击波沿管道进入旋风集尘器和滤尘器。属于这类装置的首先应是那些以自动检测起火（爆

炸)迹象和快速机械截断风管截面(用闸门、旋转式挡板或砂子)为基本原则的装置: 气力输送管路中的火焰截断装置^[18](СНО-ПТЛ)、火焰截断器ΠО-100~ΠО-350(其热控装置受压力差动继电器的脉冲而动作)^[19], 带检测风管内阴燃物的传感器ИП-02^[1]的阻火阀КОИ-1Э^[20], 使用线性电动机的火焰截断器。

为截断沿管道扩散的火焰, 不仅可利用上述机械断火器, 还可使用一些将灭火剂送入受保护的管道以形成屏幕的断火装置。这些装置的工作原理是: 在管道内蔓延的火焰, 被一个光学检测器测出, 检测器通过一个放大器向电雷管发送脉冲, 电雷管把处于12MPa压力下的灭火剂(最好是磷酸铵)瓶口炸开, 灭火剂通过专用喷雾器喷入管道。

管道断火抑爆的示意图见图1。

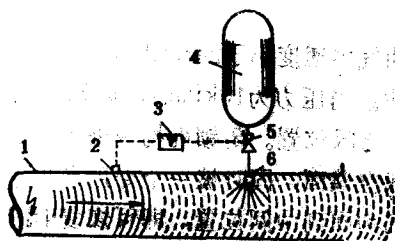


图1 管道断火抑爆示意图

图中1为管道, 2为检测器, 3为放大器, 4为灭火剂瓶, 5为带电雷管的阀门, 6为喷雾器, 联邦德国“TOTAL”公司的管道断火抑爆装置, 就是按这种原理工作的。

最引人注意的是使用爆炸阻截装置来预防爆炸在管道中扩散, 当其装设处的压力升高时就自动动作^[3, 21, 24~26]。属于此种装置的如“Ventex Esi”阀门^[3, 21], 其原理如图

2 所示。

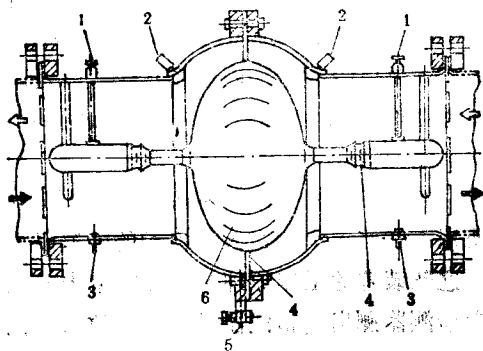


图 2

- 1—起始位置复位按钮 2—电触头 3—差压计的接
□ 4—弹簧 5—冷凝水排放管 6—闭锁机构

当管道内的气体速度小于 24m/s 时，阀门的闭锁机构被弹簧从两边拉住。当压力为 10kPa 时，闭锁机构就移向一边（左边或右边）极限位置。闭锁机构一进入这个位置，就堵塞了阀门的全部空截面，同时被一个专用卡头止住，并发出信号。将闭锁机构回到中间位置，即可恢复阀门的功能。

“Ventex Esi” 阀门只适用于粉尘浓度低的管道。

为制止管道内的爆燃，可使用爆燃截断器^[27]。

人为阻止管道内快速移动的爆炸产物进入除尘器，可采用泄放装置^[3, 24, 28]。这种装置如图 3 所示。

但是，这类装置不同于截爆阀和灭火剂阻火装置，它存在着爆炸产物进入除尘器的可能性。

维利科鲁克亚麻联合工厂（Великолукский льнокомбинат）在试验台上制成并试验了“套管”式的截爆装

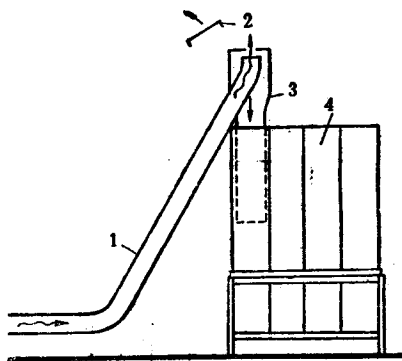


图 3

1—含尘空气管道 2—顶盖 3—泄放装置 4—除尘器

置，其结构类似于泄放装置[全苏法律鉴定科学研究所(ВНИИСЭ)报告]。

“套管”式截爆装置的原理如图 4 所示。

截爆装置安装在 10m^3 爆炸室的泄爆孔上(直径为600 mm)。用包装纸作为泄爆孔的膜片材料。在爆炸室试验过程中，将泄爆孔堵住。将质量为2kg的试样用压缩空气喷撒在爆炸室内，以形成亚麻粉尘空气混合物。使用52.5kJ能量的点火器点燃按上述方法形成的含尘空气。为模拟在截爆装置中产生含尘空气的条件，使附着在截爆装置构件上的粉尘飞卷起来，在装置的各部段上都放了一定剂量的粉尘。含尘空气燃烧的高温产物及火焰通过截爆装置时，在风道11和接管12内用端厚 $25\mu\text{m}$ 的钨铼热电偶 9 和专用聚乙烯条 进行记录测定，并进行目测。

试验时，爆炸室内压力增长速度的变化范围为120~520

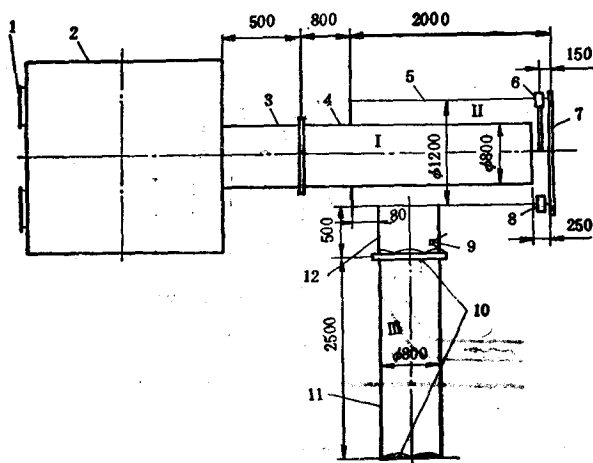


图4

- 1—爆炸室泄爆孔 2—体积为10m³的爆炸室 3—爆炸室风道
4—截爆装置的内管道 5—截爆装置的外管道 6、8—压力传感器
II-10转接头 7—截爆装置膜片 9—热电偶 10—专用聚乙烯条
11—排气风道 12—排气接管

kPa/s, 泄放压力为10~72kPa (泄放压力, 即在设有泄爆孔的设备内粉尘与空气混合物发生爆炸时产生的最大压力)。在这样的条件下, “套管”式截爆装置有70%的机率阻止火焰及亚麻粉尘燃烧后的高温产物进入排气风道。截爆效率在很大程度上取决于膜片的爆破压力^①、爆炸室内最大爆炸压力与膜片爆破压力之比和粉尘空气混合物燃烧的持续时间。随着膜片爆破压力和燃烧持续时间的增长, 以及随着

① 在技术文献中, 除“爆破压力”这个术语外, 还使用“动作压力”、“开封压力”等术语。

爆炸压力与膜片爆破压力之比的下降，火焰进入截爆装置的或然率增长。

“套管”式截爆装置的爆炸试验说明，有必要研制一种更完善的类似的截爆装置，并在生产条件下使用。

为阻止爆炸产物从设备进入与除尘器连接的管道，应采用炸不透的闸阀或螺旋推进器。滤尘器和旋风集尘器本身就应具备这种闸阀或螺旋推进器^[29]。国外生产炸不透闸阀的有瑞士的Buhler-Miag公司和联邦德国的Beth公司。

除了从外界进入除尘器的燃烧源以外，还必须考虑除尘器本身可能产生的各种燃烧源。关于防止这种燃烧源的产生和限制其能量的问题，在一系列著作^[9~13, 30]中已有详细研究。各工业部门使用的除尘器中一种十分可靠的防爆方法，就是使除尘器内的氧气浓度降低到安全浓度以下即低于最低爆炸性含氧量(MBCK)。降低氧气浓度的方法是用氮气、碳酸气和其它抑燃气体来稀释粉尘空气混合物^[3, 9, 31, 32]。但是纺织企业吸尘系统输送的风量大（约1百万立方米每小时），这决定了用惰化方法实施这些系统的防爆是不经济的。从经济观点看，只有那些送风量不大，设备密封的吸尘系统（如辅料生产的吸尘系统）才能考虑采用这种方法。

三、用安全装置实施除尘设备的防爆

大家知道，爆炸室内可燃粉尘的浓度即使很低，低到接近于它的爆炸浓度下限，粉尘爆炸的最大压力仍比纺织企业所用滤尘器机体的强度要大得多。例如，容积为 0.125m^3 的爆炸室内，当亚麻粉尘浓度为 $56\text{g}/\text{m}^3$ 时（爆炸浓度下限为

32g/m³), 其最大爆炸压力为151kPa^[33], 而长方形的除尘器机体在没有重大破损状况下所能承受的压力约为15kPa。因此, 在试验过程中, 当粉尘爆炸压力为23kPa和压力增长速度为220kPa/s^[34]时, 4ΦΠC除尘器的尘斗从支架上被甩出来, 框架严重变形。具有旋转体形状的旋风集尘器在爆炸时所能承受的压力比除尘器要大。直径较小的旋风集尘器在爆炸时产生变形或受破坏的, 通常只有长方形的粉尘进口管。旋风集尘器在壁厚和机体材料强度不变的情况下, 其强度随直径加大而降低。

各工业部门为保护除尘设备在可燃粉尘发生爆炸时不受破坏, 日益广泛地采用专门的安全装置。已有标准文件规定必须在除尘器中装设安全装置。例如, 建筑标准与规则 СНиП—11—33—75的4.150条规定: “对于干式集尘器和干式除尘器, 为清除空气中的爆炸性粉尘(可燃性粉尘、纤维或废料, 其爆炸量下限与空气容量之比等于或小于05g/m³), 集尘器和除尘器结构上应装有并设计成与大气相通的防爆阀”。属于这类防爆阀的首先是膜片安全装置、带泄爆元件的装置和一些专用阀。必须指出, 普通结构的安全阀由于自身的惰性(起动时间约为0.1s^[35])和通道截面较小, 不能用于除尘器防爆。

上述安全装置的功能, 是在单位时间内从受保护的设备中排出足够数量的可能发生的爆炸产物, 使爆炸压力在设备体内产生的应力在许可范围之内。

(一) 膜片安全装置

膜片安全装置(在膜片安全装置暂行技术规范BTY—1—

● 最好称“安全装置”, 即保护设备不使其压力超过允许压力。

73 МПV中称为膜片式泄爆器)由膜片和紧固膜片的零件^①(夹紧元件)组成。膜片固定在受保护设备的泄爆(泄放)孔和排气管的法兰盘之间。

膜片是这个装置的主要部件。它在设定的压力下被破坏,打开泄爆孔的通道,将爆炸产物从设备中排出。膜片安全装置的工作特征,形象地显示在记录亚麻粉尘空气混合物在爆炸室内爆炸的参数波形图上。爆炸室容积为 1m^3 ,试验采用不同的泄爆孔面积和膜片爆破压力(图5a~图5e)。图6描绘了泄放压力与膜片爆破压力之间的关系,爆炸室容积为 1m^3 ,泄爆孔孔径为100、176和250mm(相应曲线1、2、3)。在波形图上记录了压力传感器ДД-10的读数,以及位于爆炸室中心和室壁附近的光电二极管和热电偶的读数(相应为 $\Phi\Pi\Pi$, T_u , ΦT_{cr} , T_{cr})。

图5波形图所表示的亚麻粉尘空气混合物的爆炸试验参数如下:

在图5a中,膜片破裂压力 p_0 等于泄放压力 p_p ,为41kPa (0.41kgf/cm^2),压力增长速度 $dp/d\tau$ 为730kPa/s ($7.3\text{kgf/cm}^2\cdot\text{s}$),爆炸室壁附近气体的最高温度 T_{cr} 为794°C,爆炸室中心的气体最高温度 T_u 为1227°C;

在图5b中, $p_0 = 48\text{ kPa}$ (0.48kgf/cm^2), $p_p = 73\text{ kPa}$ (0.73kgf/cm^2), $dp/d\tau = 740\text{ kPa/s}$ ($7.4\text{kgf/cm}^2\cdot\text{s}$), $T_{cr} = 1021^\circ\text{C}$, $T_u = 1081^\circ\text{C}$;

在图5c中, $p_0 = 82\text{ kPa}$ (0.82kgf/cm^2), $p_p = 157\text{ kPa}$ (1.57kgf/cm^2), $dp/d\tau = 191\text{ kPa/s}$ ($1.91\text{kgf/cm}^2\cdot\text{s}$), $T_{cr} = 931^\circ\text{C}$, $T_u = 996^\circ\text{C}$;

① 在指导性技术资料PTM^[36]中,允许直接在法兰盘之间安装直径为600mm的平面膜片,

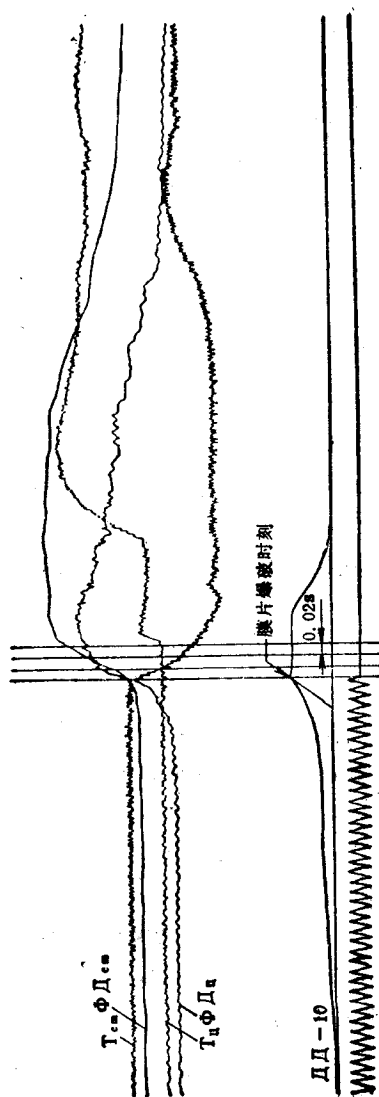


图5a