

PREVENTION AND MITIGATION OF COMBUSTIBLE DUST EXPLOSION AND FIRE
(可燃粉尘爆燃的预防及控制)

目录

页码

1.0 范围.....	3
1.1 变更.....	3
2.0 防损措施建议.....	3
2.1 综述.....	3
2.2 房间/建筑物爆炸危险.....	5
2.2.1 建筑结构和位置.....	5
2.2.2 场所用途.....	7
2.2.3 保护措施.....	7
2.2.4 操作和维护.....	9
2.3 设备爆炸危险.....	10
2.3.1 综述.....	10
2.3.2 爆炸危险消除.....	10
2.3.3 爆炸危险控制.....	11
2.3.4 点火源控制.....	17
2.4 除尘器和旋风除尘器.....	19
2.4.1 建筑结构和位置.....	19
2.4.2 保护措施 (3.1.21).....	19
2.4.3 点火源控制.....	20
2.4.4 非封闭式除尘器 (3.1.24).....	20
2.5 连接管道 (3.1.25).....	21
2.5.1 场所用途.....	21
2.5.2 保护措施.....	21
2.6 料仓 (3.1.26).....	22
2.6.1 保护措施.....	22
2.6.2 设备和工艺.....	23
2.7 斗式提升机 (3.1.27).....	23
2.7.1 建筑结构和位置.....	23
2.7.2 保护措施.....	23
2.7.3 点火源控制.....	24
2.8 喷雾干燥器.....	25
2.8.1 保护措施.....	25
2.9 散装原粮处理.....	25
2.9.1 设备和工艺.....	25
2.10 增材制造 (3D 打印) (3.1.29).....	25
2.11 粉尘的火灾危险.....	26
3.0 相关建议的技术支持.....	27
3.1 意见和技术支持.....	27
3.1.1 是否存在仓储环境管理问题? (2.2.4.2).....	27
3.1.2 将爆炸危险转移到室外 (2.3.1.1).....	27
3.1.3 惰化 (钝化) (2.3.2.3).....	28
3.1.4 FM Global 爆炸效应计算 - DustCalc (2.3.3.1).....	28
3.1.5 无焰泄压装置 (2.3.3.1.2).....	29
3.1.6 容器强度 (2.3.3.1.3).....	30
3.1.7 泄压质量 (惯性) 的影响 (2.3.3.1.6).....	30
3.1.8 泄压管的影响 (2.3.3.1.7).....	31
3.1.9 重新关闭泄压装置 (2.2.3.4 和 2.3.3.1.9).....	32

3.1.10 爆炸产生的压力和火球效应 (2.3.3.1.11).....	32
3.1.11 泄压口表面附近的固定障碍物 (2.3.3.1.12)	33
3.1.12 泄压口的分布 (2.3.3.1.15)	33
3.1.13 除尘器工作压力 (2.3.3.1.17).....	33
3.1.14 隔爆 (2.3.3.2)	33
3.1.15 隔离系统 (2.3.3.3)	34
3.1.16 快速关闭阀（浮动型） (2.3.3.3.4).....	34
3.1.17 真空作业 (2.3.3.6).....	34
3.1.18 火花熄灭与抑爆 (2.3.4.1)	35
3.1.19 最小点火能量 (MIE)(2.3.4.2)	35
3.1.20 磁性或其他异物分离器 (2.3.4.3).....	36
3.1.21 除尘器的洁净侧与脏污侧 (2.4.2)	36
3.1.22 旋风除尘器防爆 (2.4.2.3)	36
3.1.23 “导电”除尘袋 (2.4.3.1).....	36
3.1.24 非封闭式除尘器 (2.4.4)	37
3.1.25 连接管道 (2.5).....	37
3.1.26 料仓 (2.6)	38
3.1.27 斗式提升机 (2.7)	39
3.1.28 粉碎设备（打磨机、粉碎机、锤磨机等）	39
3.1.29 增材制造（3D 打印） (2.10)	39
4.0 参考文献	43
4.1 FM Global	43
4.2 其他	43
附录 A 术语表	44
附录 B 文件修订记录	46
附录 C 有关粉尘爆炸危险的研究信息	47
附录 D 参考文献	47

示图清单

图 1. 可燃粉尘处理工艺或设备的首选位置	6
图 2. 伸出屋顶的屋顶泄压装置示意图	8
图 3. 旋转气闸	14
图 4. 快速关闭阀（闸式）	15
图 5. 快速关闭阀（浮动型） (Ventix ESI®).....	15
图 6. 防爆换向器.....	16
图 7. 防爆换向器的室内安装.....	16
图 8. 高速中止闸.....	16
图 9. 弯管处的管道泄压示例.....	22
图 10. FM 认证的无焰泄压装置（图片由 Rembe GmbH 提供）	30
图 11. 非封闭式除尘器示例	37
图 12. 粉末床工艺.....	40
图 13. 材料沉积工艺	40
图 14. 3D 打印和液体处理.....	41
图 15. SLS 设计概念（Chemical Engineering Progress, 2014 年 5 月）	41
图 16. 工业级 3D 系统：ProX300 和 Concept M2 激光打印机.....	41

表格清单

表 1 粉尘处理场所的结构.....	6
表 2 斗式提升机防爆泄压.....	24
表 3 典型粉尘的体积密度.....	27

1.0 范围

本数据册介绍了降低可燃粉尘爆炸频率的建议预防措施，以及最大限度减少可燃粉尘爆炸造成的损坏的保护特征。粉尘火灾的危害请参阅其他数据册，这些数据册中提供了详细的场所特定建议。但是，本数据册中的建议适用于并非仅有谷物处理设施所特有的危险。

本数据册不包含谷物处理、仓储和加工所特有的粉尘爆炸预防和保护方案。有关这些场所的防损建议，请参见数据册 7-75, *Grain Storage and Milling*。但是，本数据册中的建议适用于并非谷物处理设施所特有的危险。

粉尘爆炸危险评估技术主要采用公制 (SI) 单位，本数据册中使用的也是公制单位。

本数据册引用的软件名为 DustCalc。DustCalc 专有软件专为 FM Global 工程师使用而开发，用于为存在可燃粉尘爆炸危险的建筑物和设备确定泄压装置的尺寸。防爆泄压装置尺寸的确定还有其他的方法，但 FM Global 不使用这些方法。

1.1 变更

2017 年 4 月。临时修订。为清晰起见，对有关斗式提升机保护的[建议 2.7.2.3](#)进行了修改。

2.0 防损措施建议

2.1 综述

2.1.1 所有的可燃粉尘处理设备，以及任何可燃粉尘可能存在并处于悬浮状态的房间或建筑物，都应被视为存在粉尘爆炸危险。

2.1.2 在所有可燃粉尘处理设施中通过变更管理工艺，以确定未发生但可增加现有粉尘危害严重程度或后果的变化，或引入了以前不存在的粉尘危险。此类变化的举例如下：

- 添加新设备，如搅拌机、打磨机、切割刀具、除尘器、旋风除尘器等
- 生产工艺温度升高，可能导致较干燥的材料被处理
- 添加新材料
- 通过添加可燃材料或减少惰性材料的比例来改变产品配方
- 变更工艺，减少半成品材料的颗粒尺寸

2.1.3 如果计划对工艺、设备、原材料或产品进行可显著改变粉尘的特性，请重新测试粉尘的爆炸特性。

2.1.4. 确保变更管理工艺至少具有以下特点：

- a) 提供识别应受变更管理工艺约束的变化的方法
- b) 提供有关建议变更的文档
- c) 对建议变更中涉及的防损注意事项进行正式分析
- d) 确定是否需要更新人员培训
- e) 向相关人员（如维护人员、操作人员、安全和紧急响应人员）传达变化和防损后果
- f) 制定任何所需的管理程序（包括危害、培训等的文档、检查清单等）
- g) 确定任何所需的授权

2.1.5 如存在粉尘爆炸的可能，需使用以下方法之一消除隐患或尽量减轻其后果：

- a) 使用围护装置、除尘系统和设备设计控制扬尘释放。
- b) 按照建筑结构（防尘和防爆隔离）或间距分隔不同的危险场所，以此布置产生粉尘的作业位置。
- c) 通过布置建筑构件和设备来降低粉尘积聚的可能性，从而最大程度地减少粉尘积聚的机会。利用光滑、易清洁的墙壁、装在箱子中或带遮盖的水平表面（梁、托梁等）以及与水平面倾斜至少 60° 的表面等特性。
- d) 如果建筑物中存在扬尘释放和积聚现象，则结构设计时应确保能使用防损结构安全地进行爆炸泄压。
- e) 将粉尘收集和输送设备放在室外，远离重要的建筑物和公共设施。
- f) 建造可燃颗粒处理或输送设备，以便密封或安全地进行爆炸泄压。
- g) 如果无法在设备中进行泄爆或密封，请通过惰化来消除系统中的氧气，或安装抑爆系统。

2.1.6 对生产和保护设备实施有效维护。有效的维护程序应包括下列内容：

- a) 确定并不断清除扬尘源。
- b) 按照制造商的指南或至少每月一次，对火花探测和抑制系统、隔爆装置和泄压装置进行检查、测试和维护，确保它们处于正常运转状态。
- c) 至少每季度对金属和非金属探测与萃取设备进行一次测试与维护，确保其处于正常运转状态。
- d) 至少每季度对传送带和转动设备的校准情况进行一次检查，防止其成为摩擦发热源。
- e) 按照制造商的指南或至少每季度润滑一次轴承和旋转设备（风扇、风机、粉碎设备）
- f) 至少每季度清除一次积聚在转动设备轴承和部件上的灰尘，确保其运行顺畅，防止摩擦发热。
- g) 布置相应的职责并保留准确的记录。

2.1.7 在可燃粉尘存在于封闭处理系统内或作为扬尘存在于建筑物内的所有场所，确保实施全面的粉尘爆燃风险认知计划。包括以下内容：包括以下内容：

- a) 提供基本教育培训，提高对可燃粉尘危险的认知并加深了解
- b) 对新员工进行部门工作特殊危险和预防措施方面的指导
- c) 至少进行年度指导、演习，并熟悉当地公共消防服务和/或内部消防队配置
- d) 对所有厂务工作人员定期进行再培训

2.1.8 可能存在可燃粉尘的场所，严格控制潜在的粉尘点火源。

- a) 确保所有电气设备的等级符合 NFPA 70、美国国家电气规范第 500、502 和 506 条（适用情形下）所规定的 2 类 1 区 (Class II, Division 1) 或 2 类 2 区 (Class II, Division 2)，或者 20 区 (Zone 20)、21 区 (Zone 21) 或 22 区 (Zone 22) 设备的要求，或者国际同等规范的同等要求。（参见数据表 5-1, *Electrical Equipment in Hazardous Locations*，获得有关区域划分和设备选择的更多详细信息。）
- b) 利用热加工许可系统来管理所有热加工操作。（参见 DS 10-3, 《热加工操作管理》和 *Hot Work Management Kit*, P9601_CHS）
- c) 禁止吸烟和明火。

d) 为电阻小于 1×10^6 欧姆的金属部件提供接地和等电位连接。（参见 DS 5-8, *Static Electricity*。）至少每年一次检查金属部件的稳定性、搭接头是否牢固。

2.1.9 除非“a”条或所有“b 到 h”条适用，否则禁止在建筑物或房间内进行空料分离器空气循环：

- a) 回流空气管道应排放到不含扬尘、可燃设备或仓储、可燃结构、高价值设备或对生产至关重要的设备的区域，或者
- b) 在空料分离器的下游安装过滤器，以防止 10 微米粉尘以最低 99.9% 的效率返回到围护装置，并且
- c) 安装用于测量过滤器压降的装置，并通过警报指示何时需要清洁或更换过滤器，并且
- d) 用金属网筛或其他方法为过滤器提供支撑，使过滤器可以承受不低于其上游设备的 P_{red} 值的压力，并且
- e) 在建筑物与系统中最后一个除尘器（下游最远端的除尘器）之间提供隔爆，并且
- f) 激活隔爆系统时，关闭所有连接的除尘设备，并且
- g) 不包含易燃蒸气、气体或混合物，并且
- h) 除尘系统符合本数据册其他章节中的保护要求。

如果符合这些特点，那么空料分离器排气循环就不会致使建筑物/房间需要通风等防爆功能（但是，建筑物/房间中存在的其他因素可能会产生这种需求）。

2.2 房间/建筑物爆炸危险

2.2.1 建筑结构和位置

通过结构分隔或距离，将处理可燃粉尘的区域与其他较低危险的场所相分隔，以最大程度地减少潜在爆炸或火灾造成的损坏。需要分隔的区域为不容易控制扬尘的区域，例如进行研磨、打磨、锯割、开放式输送、填充开放式容器等作业的区域，不包括的区域为含有通风良好的除尘器、喷雾干燥器、流化床干燥器等装置的房间。

在可能存在一些扬尘的新建筑结构中，尽可能增大爆炸泄压能力，并大于 DustCalc 的计算值，这样可为以后的生产工艺或更换材料提供更好的灵活性，而且通常只需极少的额外成本即可完成。

2.2.1.1 按优先顺序，使用下列方法分隔处理可燃粉尘的区域（另请参见图 1，表 1）：

- a) 与重要建筑物或设施至少相距 50 英尺（15 米）的独立外部位置（图 1，位置 1）
- b) 沿重要建筑物的外墙，最好在拐角处，以限制暴露程度（图 1，位置 2）
- c) 布置在重要建筑物的一层，选择外角处或者外墙沿线。避免多层建筑物较高楼层上的位置。如果无法设置在底层位置，请确保房间的地板和顶板与墙壁具有相同的耐压性。（图 1，位置 3 和 4）

如果使用 DustCalc 软件进行确认，间距可减少到低于上述“a”条中建议的值或表 1 中的距离 X。

2.2.1.2 避免将可燃粉尘处理设备布置在无法配备充足泄压口的地下场所。

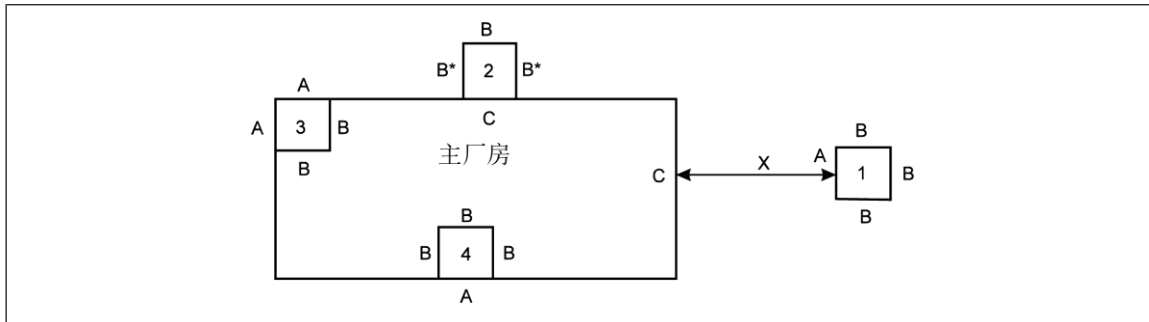


图 1. 可燃粉尘处理工艺或设备的首选位置

表 1 粉尘处理场所的建筑物结构

位置	距离 X, 英尺	房间/建筑结构			外墙 C 的建筑物结构	
		A	B			屋顶
1 (注 3)	> 50 (15)	PV	PV		PV 或 LW	任一
	10 - 50 (3 - 15)	PR	PV		PV 或 LW	任一
	< 10 (3)	PR	PV		PV 或 LW	PR 适用于水平和垂直方向上超出外露结构 10 英尺 (3 米) 的情况
2	贴邻	DNA	B	B*	PV 或 LW	PR 适用于水平和垂直方向上超出邻接结构 10 英尺 (3 米) 的情况
			PV	PV		
	贴邻	DNA	B	B*	PR	PR 适用于水平方向上超出邻接结构 10 英尺 (3 米) 的情况
			PV	PV		
	贴邻	DNA	B	B*	PR	PR 仅限邻接墙壁
			PV	PR		
3 (注 5)	内部	PV	PR		PR	DNA
4 (注 5)	内部	PV	PR		PR	DNA

1. 此表仅针对爆炸危险的防护。

2. 材质结构类型的定义如下：

PR = 耐压

PV = 泄压

LW = 轻质, 不可燃

3. 如果通过 DustCalc 软件的计算进行确认, 则位置 1 距离 X 可能小于上面列出的值。

4. 对于上下都有空间且空间所含场所不太危险的地板和顶板, 也需要 PR 结构。

5. 如果仅使用墙壁就能提供足够的泄压能力, 那么屋顶 (不是顶板) 就不需要为泄压类。

2.2.1.3 采用不燃或经 FM 认证的 1 类材料建造存在可燃粉尘危险的建筑物。

2.2.1.4 确保隔离粉尘危险区的物理隔断为完全密封, 不透粉尘的不燃材料。如果物理隔断具有耐火性能, 请确保这些密封材料也具有这种性能。

2.2.1.5 使用门密封条、窗密封条、室内正压控制等, 防止粉尘进入自身没有扬尘源的相邻区域并积聚。

2.2.1.6 确保隔离粉尘危险区域的物理隔断具有足够的防爆性, 以避免在安全泄放压力之前发生故障。

2.2.1.7 防爆墙上不得有开口。如果无法避免开口, 请保持这些墙体上的所有门都处于常闭状态, 并确保它们与墙体本身具有相同的防爆性能。(有关防爆门窗的设计和安装, 请参见 DS 1-44, *Damage-Limiting Construction*。)

2.2.1.8 根据 FM Global DustCalc 软件进行的计算, 提供耐压性能和泄压面积。

2.2.1.9 在尽管生产工艺设计和设备正常运行过程中仍可能存在一些扬尘的建筑物内，请根据需要布置建筑构件和设备，以减少以下任何或所有因素造成的粉尘积聚的可能性和数量：

- a) 尽可能少用窗台，以使得内部墙壁光滑。
- b) 如有可能，应在大梁、横梁、窗台和设备顶部等的水平面上配置进行过抛光处理的斜盖板，以避免空气中的粉尘落在表面上。
- c) 除非已知较小的坡度也足以满足要求，否则斜盖板与水平面之间的夹角应为 60°。
- d) 对于不在正常真空除尘或清扫操作范围内，并具有水平壁架（如上部或侧向位置中的工字梁或 U 型槽）的高空结构件，应使用不燃材料封闭成箱体，以消除积聚粉尘的凹槽。

2.2.2 场所用途

2.2.2.1 如果建筑物内含有可燃粉尘处理设备，且这些设备的设计和保护目的是根据本数据册的相关章节控制或安全地进行内部防爆泄压，则可将该建筑物视为没有可燃粉尘危害。

2.2.2.2 如果在新作业中可能会出现大量扬尘，或者在现有作业中有过多扬尘，请根据需要执行以下任一或所有步骤：

- a) 检查加工设备，确定粉尘释放源。
- b) 改造、维修或更换设备，消除或者至少减少粉尘逸散。
- c) 在释放粉尘的场所设置永久性真空拾取点，例如研磨、抛光、袋式卸料区、输送系统的开放式转移点以及经常释放大量粉尘的其他设备/场所。在某些情况下，有可能需要为现有设备建造通风罩或安全壳。
- d) 在轻微负压下运行封闭的粉尘处理系统，以减少粉尘逸散。
- e) 改造设备时，对现有作业进行额外的内务整理（请参见第 2.2.4 节）。

2.2.2.3 如果存在以下情况，含有少量、局部（不到建筑面积的 5%，且在任何情况下都不超过 1,000 平方英尺 [93 平方米]）可燃扬尘的既有建筑物可以不采用限爆结构：

- a) 扬尘的逸散和积聚速率非常低，即，对于体积密度约为 36 磅/立方英尺（580 千克/立方米）的粉尘，在三个月期间内小于 1/16 英寸（2 毫米），并且
- b) 清洁频率足够高，即使在漏掉一次定期计划清洁的情况下，粉尘积聚也不会达到上述 1/16 英寸（2 毫米）的不可接受水平

2.2.3 保护措施

2.2.3.1 按照数据册 1-44, *Damage-Limiting Construction* 中的规定建造泄压耐压墙。

- a) 将爆炸泄压压力 (P_{stat}) 设计为抗风设计所允许的尽可能低的值。在低风速区域， P_{stat} 可低至 20 磅/平方英尺（0.01 巴），而在高风速区域，通常为 30 至 40 磅/平方英尺（0.015 巴）。
- b) 根据 FM Global DustCalc 软件进行的计算，提供耐压性能和泄压面积。

2.2.3.2 不得在屋顶使用泄压装置进行防爆泄压。

2.2.3.3 如果经全面的工程研究表明仅采用防爆墙无法提供所需的泄压面积，那么可使用屋顶泄压装置来提供部分所需的泄压面积，但泄压装置上不得积聚冰雪。可接受的方法如下：

- a) 将泄压装置至少呈 60° 放置，可以放在以一定角度倾斜的屋顶上，也可以伸出屋顶（参见图 2）。对于伸出屋顶的泄压装置，其计算的有效泄压面积必须是可燃气体流经的最小横截面面积。
- b) 沿泄压装置周边和整个表面区域提供伴热。
 1. 使伴热一直处于运行状态，或在外部温度降至 0°C (32°F) 及以下时自动启动系统。
 2. 确保伴热电缆的布线具有一定的裕量，以允许泄压装置按计划展开。
 3. 使用经 FM 认证的伴热设备。
- c) 提供非绝热的泄压装置挡板，以使建筑热量融化冰雪。预计泄压装置下方会出现冷凝，并采取措施确保冷凝水不会引起次生灾害。

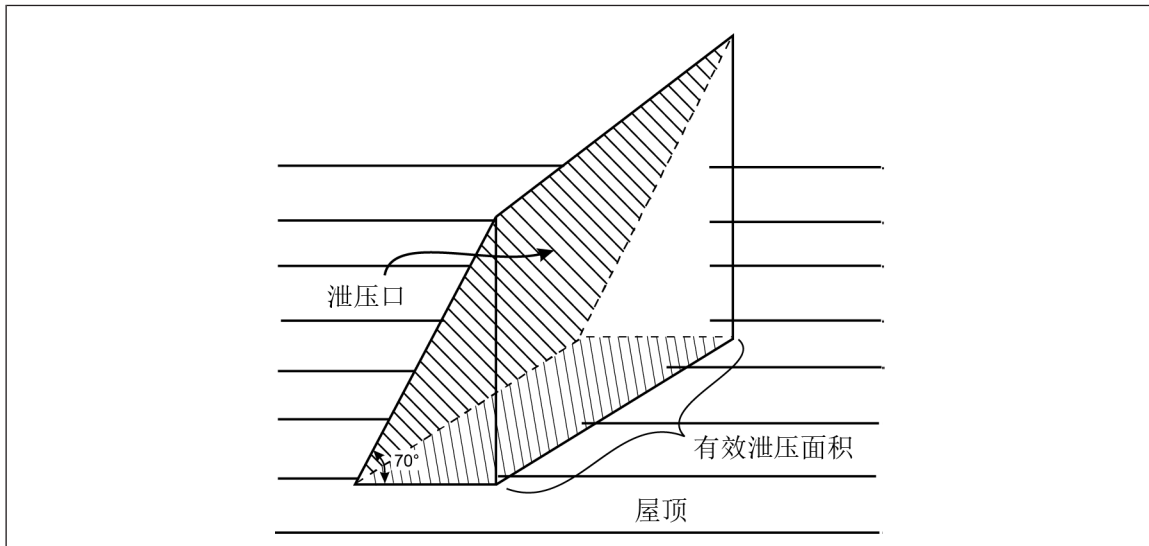


图2. 伸出屋顶线的屋顶爆炸泄压器示意图

2.2.3.4 当泄压装置出现位移但未发生破裂时，使用重力或机械装置确保它们不会重新闭合。(3.1.9)

2.2.3.5 为了防止泄压装置挡板非受控脱落造成投射危险，请采取以下步骤：

- a) 采用系绳限制爆炸泄压装置移动。
- b) 将系绳固定到不超过两个角落处，并确保系接的角落相邻。
- c) 为防止爆炸后系绳挡板重新摆回到爆炸泄压装置开口，请在挡板的侧面或底部而非顶部进行连接。这可使挡板完全摆出泄压装置开口，在爆炸过程中为可燃气体提供一条畅通无阻的通道，并使新鲜空气在爆炸后进入受保护的围护装置中。
- d) 采用以下公式确定系绳的最小长度：

$$l \geq \frac{a \times b}{2 \times (a+b)}$$

其中

l = 系绳的长度

a、b = 泄压装置的侧面尺寸

e) 如果系绳长度小于以上确定的长度，则在执行计算时将泄压装置视为铰接挡板，以确定泄压面积和爆破压力 (Pred)。这就考虑了短系绳对爆炸泄压过程造成的阻碍。

f) 如果系绳位于所有四个角落，则当绳缆长度超过上面 d 中的最小设置时，可被视为可接受。任何较小的面积和泄压面积都受限于由绳缆长度和挡板尺寸决定的环隙，而不是挡板本身的尺寸。

2.2.3.6 请勿将自动喷水灭火系统管道连接到可能因房间或建筑物爆炸的压力而移位的任何墙壁、顶板或屋顶上。

2.2.4 操作和维护

2.2.4.1 尽管生产工艺设计和设备保养很好，但建筑物内仍可能存在扬尘，请在扬尘控制方案中采用以下措施：

- a) 指定责任并保留记录。
- b) 定期提交时间和资源。
- c) 创建一个维护计划表并定期检查，以确保其充分。
- d) 特别注意消除高于地面上的积聚物，比如设备的顶部和建筑结构构件处，因为这种粉尘更可能会悬浮（空气传播），如果受到扰动，会产生易爆炸云。
- e) 视情况采用中央式，便携式，或车载真空系统进行真空除尘
- f) 如果不能使用真空除尘器除灰，可采用扫除或水冲洗。
- g) 如果压缩空气吹扫是唯一可行的清理方法，请使用以下预防措施：
 - 1. 吹扫的频次应足够防止有害粉尘积聚。
 - 2. 在空气体积和压力尽可能低的情况下，将吹扫范围限制在较小的区域。
 - 3. 关闭不适合 2 类 2 区危险场所的电气设备。
 - 4. 禁止明火和热加工作业，并确保不存在高温表面。

2.2.4.2 任何扬尘积聚都可能引起二次爆炸，对于没有限损结构 (DLC) 的建筑物，必须消除扬尘积聚；对于有 DLC 的建筑物，采用以下方法对其进行控制 (3.1.1)。

- a) 除尘频次应基于可防止在室内地面面积大于 5% 的区域内积聚超过 1/16 英寸（2 毫米）的厚度。
- b) 如果扬尘的厚度或面积超过上述规定，则触发启动清理。
- c) 确保总积聚面积不超过 1,000 平方英尺（93 平方米）。
- d) 1/16 英寸（2 毫米）的厚度是基于体积密度约 36 磅/立方英尺（580 千克/立方米）的典型木材或农业粉尘。不同密度的粉尘的厚度则取决于其体积密度比。

2.2.4.3 定期检查泄压装置，以防止其状况或移动性受损。可能的损害包括以下：

- a) 腐蚀
- b) 对可移动零件和防爆膜的不当喷涂
- c) 结冰
- d) 爆炸泄压装置上面或前面有积雪
- e) 管道、导线或其他公用设施造成阻塞
- f) 泄压装置旁安装了永久或临时设备

其中任何一种都可能增加有效爆炸泄压压力 (P_{stat})，并导致防爆墙在爆炸中损坏和/或损坏建筑结构。

2.3 设备爆炸危险

2.3.1 综述

2.3.1.1 尽可能将所有存在爆炸危险的设备置于室外 (3.1.2)。

2.3.1.2 如果设备存在爆炸危险，请执行以下步骤之一：

- a) 使用第 2.3.2 节中详述的技术措施消除爆炸危险，或者
- b) 使用爆炸泄压、抑制、密封或真空方法，或这些方法的适当组合，降低爆炸危险，详情请参见第 2.3.3 节。

2.3.2 爆炸危险消除

2.3.2.1 在设备处理粗糙材料时，可通过适当的方法防止在处理材料时产生粉尘，或预清洁粗糙材料以去除大多数工艺设备上的所有粉末。

2.3.2.2 在设备处理粗糙材料时，可通过使用液体喷雾（水雾或其他相容液体）除去加工设备内部的空气传播粉尘，防止在处理材料时产生粉尘，如下所示：

- a) 在涉及大量紊流的工艺中的某个位置喷洒液体抑制剂，例如在排放喷嘴处，以确保抑制剂与物流完全混合。
- b) 安装联锁装置，如果将联锁系统作为危险控制的唯一手段，则该装置将在抑制剂喷洒系统故障时关闭固体工艺物流。
- c) 通过在设备运行时观察检查设备（例如，打开检修口或检查口），以确认系统在设备中消除粉尘的有效性。
- d) 制定包含书面程序和完成记录的维护和检查方案，以确保在处理固体工艺物流时抑尘剂喷洒系统能够正常工作。

2.3.2.3 按以下方法将可燃粉尘与不燃粉尘混合（称为“钝化”）(3.1.3)，从而对可燃粉尘进行惰化：

- a) 按照 ASTM E1226、EN 14034-1 和 2 或其他国际等效标准进行测试，以确定混合物不具有爆炸性。
- b) 在进一步处理材料时，确保不燃粉尘与可燃粉尘不会分离。

2.3.2.4 按照数据册 7-59, *Inerting and Purging of Equipment* 中的建议，使用惰性气体降低生产工艺过程中的氧含量。

2.3.2.4.1 如果数据册 7-59 中没有适用于所处理的特定材料的限氧含量 (LOC) 值，则应在实验室测试该材料，以确定其 LOC 值。

2.3.2.4.2 在使用惰性气体保护新研磨或新制造的轻质金属粉末（铝、镁、钛、锆）的气动输送时：

- a) 提供至少 1% 的氧浓度，以确保可以形成一个稳定的氧化层来钝化粉尘。
- b) 如果金属粉末不会暴露在空气中，或者测试表明可接受较低的氧气含量，则低于 1% 的浓度也可被接受。

2.3.2.4.3 金属粉末（钛、镁、锆、铀和钍）将在纯二氧化碳中点燃。使用氩气、氦气或氮气（可在纯氮气中点燃的钛除外）在这些材料处置工艺时进行惰化。

2.3.2.5 作为处理新制造的轻质金属粉末（铝、镁、钛、锆）的惰性气体的替代物，应采取以下步骤：

- a) 使用湿式除尘器（水洗）而不是干式除尘器。
- b) 关闭除尘系统之前，先除去收集到的粉尘，并采用安全方式进行处置。
- c) 始终保持除尘器持续通风，直到将除尘器中积聚的金属/水沉淀物除去。

铝的 MIE 特别低（低至 0.1 MJ），这使得铝很容易燃烧，金属粉末通常具有较高的 K_{st} ，并且很难提供足够的爆炸泄压功能。用水润湿的铝粉末会形成少量氢气，因此需要始终保持湿润。

2.3.3 爆炸危险控制

2.3.3.1 泄压

2.3.3.1.1 根据使用 FM Global DustCalc 软件进行的计算提供泄压面积 (3.1.4)。

2.3.3.1.2 如果无法将具有爆炸危险的室内设备迁移到室外，请采用以下方式之一安装泄压装置：

- a) 将容器布置在外墙附近，通过一个短泄压导管将爆炸泄放到室外。
- b) 采用经 FM 认证的无焰泄压装置将压力泄放到周围不会产生扬尘的区域 (3.1.5)。
 1. 增大泄压面积（与开放式或无障碍爆炸泄压器相比），以适应无焰泄压装置导致的泄压效率降低。
 2. 使用 FM Approvals 出版物《认证指南》中所列的经 FM 认证的无焰泄压装置的泄压效率。

如果上述方法不可行，请按照 2.3.1.2.b 中所述的其他爆炸危险控制方法。

2.3.3.1.3 在没有设备设计强度数据的情况下计算泄压面积时，假设在安全泄放的爆炸中可能发生某些容器变形，对于普通结构的设备，使用以下 P_{red} （最大允许压力）值：

- a) 低强度矩形容器（例如袋式除尘器）：0.2 巴（2.9 磅/平方英寸）
- b) 圆柱形容器（例如旋风除尘器）或高强度（强化）矩形容器：0.3 巴（4.4 磅/平方英寸）(3.1.6)

2.3.3.1.3.1 对于无法接受变形的容器，获取设备的设计强度或假设 P_{red} 为上述数值的 $\frac{1}{2}$ 。

2.3.3.1.4 按照下列标准，将爆炸泄压装置的泄压压力 (P_{stat}) 设置得尽可能低：

- a) 当容器的工作压力低于此压力时，不超过 0.05 巴（0.7 磅/平方英寸），或者
- b) 对于较高的工作压力，压力至少比假设的 P_{red} 低 0.1 巴（1.4 磅/平方英寸）

2.3.3.1.5 在有设备设计强度数据的情况下计算泄压面积时，请根据以下条件设置 P_{red} 值：

- a) 如果可以接受容器变形，则使用等于设计强度 2 倍的值。
- b) 如果要防止容器变形，则使用等于设计强度的值 (3.1.6)。

2.3.3.1.6 采用重量尽可能轻（单位面积质量）的材料制造爆炸泄压装置，以尽量减少所需的泄压面积。爆破膜（例如预制的泄爆片、铝箔等）等装置几乎没有惯性，不需要调整所需的泄压面积 (3.1.7)。

2.3.3.1.6.1 如果爆炸泄压装置比轻质膜重，则使用 FM Global DustCalc 软件计算对泄压面积的影响。

2.3.3.1.7 按照以下步骤安装泄压导管，以将燃烧产物从爆炸泄压装置重新引导至安全区域：

- a) 将泄压装置布置到安全的室外区域。
- b) 管道不允许出现弯曲。
- c) 将管道的长径比 (L/D*) 限制为 1。
- d) 确保泄压导管的强度至少与容器的 P_{red} 设计一样，
- e) 不得封闭管道的出口端，以免阻碍排出材料的自由通风。
- f) 当无法满足上述条件时，使用 FM Global DustCalc 软件量化对泄压面积的影响 (3.1.8)。

* 按照以下公式计算非圆形管道的等效直径 (D_{eff})：

$$D_{eff} = \sqrt{\frac{4A_d}{\pi}}$$

其中 A_d 为管道的横截面积（平方米或平方英尺）

2.3.3.1.8 如果爆炸泄压装置与大气之间需要安装金属丝网筛或其他障碍物，请按以下步骤调整爆炸泄压装置的有效面积，以降低泄压效率：

- a) 如果网筛或障碍物不超过泄压面积的 15%，则无需调整。
- b) 如果网筛或障碍物介于泄压面积的 15% 和 40% 之间，则使用以下公式计算有效泄压面积：

$$A_{v,eff} = A_{v,actual} \times \frac{115 - \% \text{ 堵塞}}{100}$$

- c) 如果网筛或障碍物超过泄压面积的 40%，则表明堵塞过大。更换网筛或障碍物，更换为导致较小堵塞的部件。

2.3.3.1.9 当泄压装置向外摆动而不是发生破裂时，使用重力或机械装置确保它们不会重新闭合并产生会使受保护设备发生坍塌/内爆的真空条件 (3.1.9) (3.1.9)。

2.3.3.1.9.1 如果爆炸泄压装置再次闭合，并且没有其他可能吸入空气的开口，则应提供真空消除器。（有关尺寸调整信息，请参见德国工程标准 VDI 3673。）

2.3.3.1.10 为防止爆破板在可能会产生投射危险的地方自由释放，请根据 2.2.3.5 提供系绳。

2.3.3.1.11 切勿在爆炸泄压的路径中放置容易发生火灾或压力损坏的物体 (3.1.10.1 和 3.1.10.2)。

2.3.3.1.12 对于新安装装置，在泄压口（爆炸泄压装置或泄压管的外表面）与任何大型固定式平坦障碍物（例如墙壁）之间至少留出两个泄压口直径的距离。对于横截面不是圆形的泄压口，请使用下面计算得出的水力直径 (3.1.11)。

水力直径 = $4A/p$ ，其中

A = 爆炸泄压器的横截面积

p = 横截面的周长

2.3.3.1.13 在泄压管末端安装了防雨罩（“雨帽”）的情况下，请按以下步骤估算对泄压效率的影响：

- a) 如果管道末端和防雨罩之间至少有 1 个泄压口直径的距离，则不会影响效率
- b) 如果距离介于 1/4 到 1 个泄压口直径之间，则在计算泄压管的效率时，应将防雨罩视为通风气流中的 90° 弯曲
- c) 除非设计为在发生爆炸时飞出，否则防雨罩与泄压管口的距离不得小于 1/4 的泄压口直径。

对于非圆形管道，使用等效直径进行这些计算 (2.3.3.1.12)。

2.3.3.1.14 如果粉尘或其燃烧产物有毒、有放射性、对附近设备或结构具有腐蚀性，或者由于任何其他原因不得从其他封闭系统中释放，请勿提供爆炸泄压。应使用替代方法进行通风，例如消除爆炸危险、抑制爆炸、遏制防爆或高真空作业。

2.3.3.1.15 如果需泄压的容器中含有严重阻碍气体自由流动的障碍物，请在容器的不同位置提供多个分散式泄压口，而不是在同一区域提供一个大的泄压口 (3.1.12)。

2.3.3.1.16 如果容器中同时含有悬浮的可燃粉尘和可燃液体蒸气或易燃气体（杂混物），则混合物的反应将需要比可燃粉尘本身更大的泄压面积。

- a) 如果浓度不超过爆炸下限 (LEL) 的 5%，则可忽略易燃蒸气或气体。
- b) 如果气体浓度超过其 LEL 的 5%，则通过测试确定杂混物的反应性。

2.3.3.1.17 在设备容器的工作压力超过 0.1 巴（1.5 磅/平方英寸表压力）时，需要特别考虑具有粉尘爆炸危险的容器所需的泄压面积，并需要仔细分析。FM Global DustCalc 软件可处理全容积爆炸的最高 4 巴（58 磅/平方英寸）的初始压力。

- a) 将泄压压力 P_{stat} 设置为比正常最大工作压力至少高 0.1 巴（1.5 磅/平方英寸）(3.1.13)。
- b) 从熟悉高初始压力泄放的专家处获取泄压口的尺寸标准。

2.3.3.1.18 泄爆时产生的反冲力甚至可以推动未正确锚固的大型容器。执行以下操作之一以控制反冲力：

- a) 在容器的相对两侧提供相同尺寸的泄压口。
- b) 计算爆炸泄压口的动态反冲力（或等效静压力）的幅度和持续时间，并提供锚固以抵抗这些作用力 (3.1.10.3)。

2.3.3.2 隔爆

避免含有粉尘爆炸危险的多个设备互连。当从另一台设备传播爆炸时，受保护的设备可能会发生故障。必须采取隔断措施以防止这种情况 (3.1.14)。

2.3.3.2.1 在设计用于控制爆炸压力（防爆设计）的所有容器（或容器组）的连接上提供隔爆。

2.3.3.2.2 对于单独受爆炸泄压（或其他控制方法）保护的容器，如果连锁爆炸会导致不可接受的财产损失或生产中断，所有的容器（或容器组）之间的连接处均需提供隔爆。

2.3.3.2.3 对于抗爆设计的容器，机械隔断装置的设计压力应与容器的设计压力一致。对于泄爆设计的容器，机械隔断装置的设计压力基于 P_{red} 值。这包括旋转式气闸、快速关闭阀、火焰锋/防爆换向器、高速中止闸、双泄放阀和反向爆炸挡板

2.3.3.2.4 确保依靠探测系统机械启动设备的主动隔离装置有足够间距，以便装置在火焰到达之前关闭。

2.3.3.2.5 通常，采用密相气动输送可燃粉尘的管道不存在传爆危险。如果输送的材料不是金属粉尘或杂物，则管道可不安装隔爆装置。

2.3.3.3 隔爆系统

本节包括可接受的隔爆方式，以及确保系统发挥有效阻燃作用所需的特征 (3.1.15)。

2.3.3.3.1 化学防爆系统

a) 按照数据册 7-17, *Explosion Protection Systems* 安装系统。

b) 安装经 FM 认证的设备。

c) 在以下情况下，这些系统可能不适用：

1. 工艺流速较高。
2. 主要爆炸发生在一个非常大的容器中。
3. 主要爆炸发生在受爆炸遏制保护的容器中。

2.3.3.3.2 旋转气闸安装设备应按照以下步骤操作：

a) 确保相邻叶片之间的角度与壳体的形状允许每侧始终接合 2 个叶片（靠近壳体壁）。

b) 确保叶片（包括尖端）由金属制成，厚度至少 $\frac{1}{8}$ 英寸（3 毫米）。

c) 确保叶片尖端与壳体之间的间隙介于 0.2 毫米到 0.25 毫米之间（对于铝粉末，应不超过 0.1 毫米）。更多关于允许间隙的信息请查阅附录 D 中的参考文献 17。

d) 连锁旋转气闸，以便在发生爆炸时自动停止，以防止燃烧物质通过。如果燃烧物质不会导致二次火灾或爆炸，则不需要连锁。

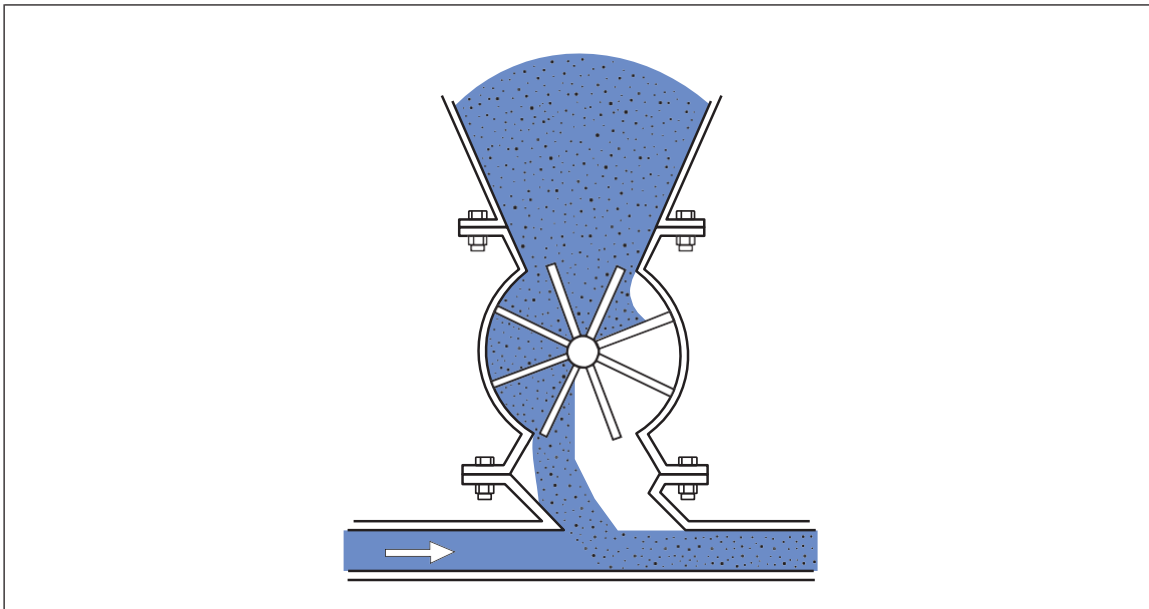


图 3. 旋转气闸

2.3.3.3.3 快速关闭阀，闸式或蝶式

确保爆炸探测设备和快速关闭阀之间的距离足够长，以使该阀在粉尘火焰锋到达之前完全关闭。



图 4. 快速关闭阀（闸式）

2.3.3.3.4 快速关闭阀（浮动型）(3.1.16)

此类阀门的一个示例是 Ventex ESI（图 5）。

- a) 将快速关闭阀放置在离发生爆炸的设备至少 5 米（16 英尺）且不超过 12.5 米（41 英尺）的位置。
- b) 确保快速关闭阀上游或下游的泄压口的 P_{stat} （开启压力）值大于关闭阀门所需的压差，通常约为 0.1 巴（1.5 磅/平方英寸）。
- c) 如果 P_{stat} 必须低于所需的压差，请布置一个闭合机构，方法是在爆炸源处安装一个感光探测系统，该系统将触发浮阀附近的压缩气体高速释放，以迫使其关闭。
- d) 切勿将浮阀置于具有大量磨蚀性粉尘的气流中，否则会导致漂浮物表面过早磨损。

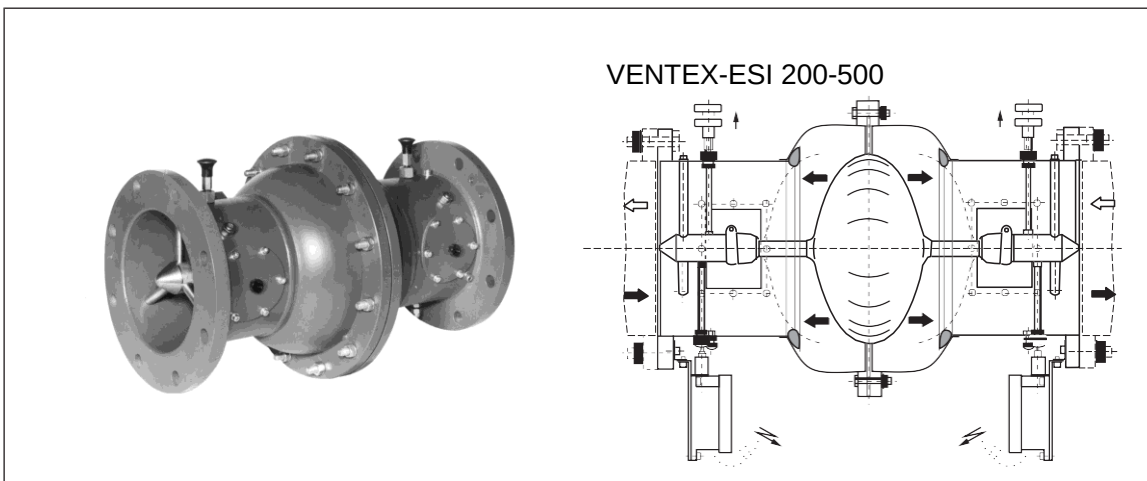


图 5. 快速关闭阀（浮动型）(Ventex ESI ®)

2.3.3.3.5 火焰锋换向器或防爆换向器

- a) 请勿将此设备安装在气动设备的上游，因为来自换向器上游的爆炸物会通过换向器。
- b) 请勿在含有大量研磨粉尘的气流中使用防爆换向器，因为这样最终会侵蚀防爆换向器盖。
- c) 对于易燃蒸气超过 LEL 的杂混物，切勿使用防爆换向器。

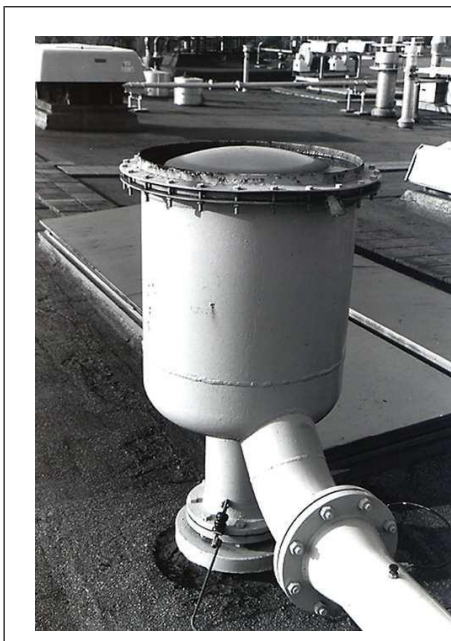


图 6. 防爆换向器

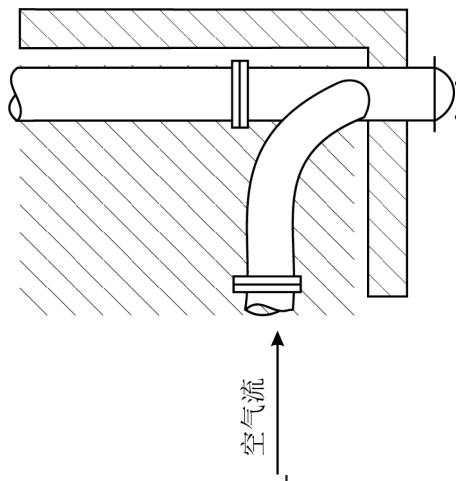


图 7. 防爆换向器的室内安装

2.3.3.3.6 高速中止闸

- a) 在有可能发生爆炸的上游容器中，通过压力探测或红外爆炸探测方式启动高速中止闸。
- b) 确保探测系统和中止闸响应的速度足够快，以使得在粉尘火焰锋到达之前完全关闭中止闸。
- c) 确保手动复位中止闸。不得采用自动复位。

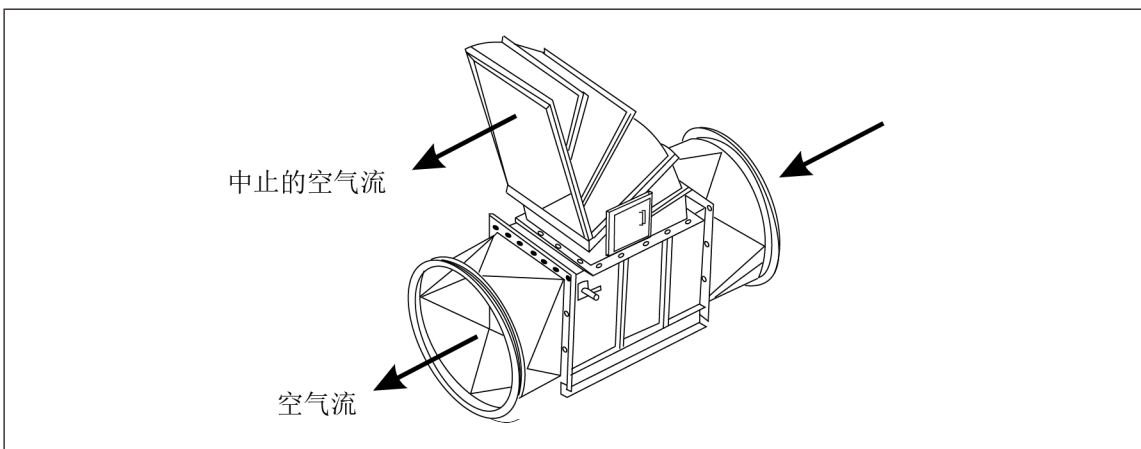


图 8. 高速中止闸

2.3.3.3.7 双泄压阀

提供联锁装置以确保两个阀不会同时打开。

2.3.3.3.8 反向爆炸减振器

这本质上是一个止回阀，它能有效地阻止与正向流动方向相反的爆炸传播。确保设备在系统正向流动的下游配有泄压口。

2.3.3.4 抑制

2.3.3.4.1 如果选择了抑爆来减少爆炸危险：

- a) 按照数据册 7-17, *Explosion Protection Systems* 进行爆炸抑制系统安装。
- b) 安装经 FM 认证的设备时应符合其认证的限制要求。

2.3.3.5 防爆

2.3.3.5.1 如果选择了防爆作为减轻爆炸危险的方法，则使用防爆设计方法。现有的抗冲击容器可用于防爆。

- a) 防爆设计是指设计压力为大于等于 6 巴（87 磅/平方英寸）的任何容器，且该容器在初始（预爆炸）压力低于 0.1 巴（1.5 磅/平方英寸）时不会因粉尘爆炸而变形。
- b) 抗冲击设计是指根据 ASME 锅炉和压力容器规范（第 VIII 部分）进行设计时，具有大于等于 3 巴（43 磅/平方英寸）设计压力的任何容器，或者根据其他规范，屈服强度为 6 巴（87 磅/平方英寸）或以上的容器。采用此设计时，如果在初始（预爆炸）压力低于 0.1 巴（1.5 磅/平方英寸）时发生粉尘爆炸，容器可能会变形，但不会破裂。
- c) 为防止损坏防爆容器的上游和下游连接的其他设备，请进行隔爆。

2.3.3.6 高真空 (3.1.17)

2.3.3.6.1 如果采用高真空控制防爆危险，请使用以下标准：

- a) 在小于 0.1 巴绝对压力（1.5 磅/平方英寸绝对压力）的负压下操作粉尘处理系统
- b) 提供联锁装置，以便在失去真空时自动启动或关闭流程。

2.3.4 点火源控制

2.3.4.1 如果生产工艺或系统可能会发生高频粉尘爆炸，请执行以下操作：

- a) 在惰性气体中操作产生火花或高温/灼热颗粒的设备，或者
- b) 安装火花探测系统，并结合火花熄灭系统或高速中止闸，并且
- c) 将火花熄灭系统或高速中止闸布置在第一台具有设备爆炸危险的设备的上游，并且
- d) 启动火花探测系统后关闭任何连接的除尘设备。

安装上述火花控制装置并不能消除对爆炸危险控制功能的需要 (3.1.18)。

2.3.4.1.1 以下情况被视为具有高频粉尘爆炸的可能性：

- a) 木制品工业：旋转式干燥器、闪蒸干燥器、砂磨设备、刨花板铣削设备（参见数据册 7-10, *Wood Processing and Woodworking Facilities*, 了解与此行业相关的额外消防和防爆要求）

b) 任何带有连接设施的机械切割设备，如下游旋风除尘器（例外情况：就本建议而言，磨煤机和人类食品碾磨不被认为具有高爆炸频率。）

c) 定期产生会进入除尘系统的火花或余烬（例如，由于研磨或摩擦导致）的工艺

d) 在 10 年内经历 2 次或更多次爆炸的任何工艺或系统

2.3.4.2 为了最大限度地减少因静电积聚和放电而引起的粉尘云点燃，请执行以下措施：

a) 采用数据册 5-8, *Static Electricity* 中的所有适用建议，以尽量降低点燃的可能性。

b) 如果可能，使用正确接地和等电位连接的金属管道和管道系统输送可燃粉尘。

c) 如果使用塑料管或管道系统输送材料，由于塑料的绝缘特性，接地和等电位连接将无效。但是，如果此类系统中存在导电或金属部件，例如连接到金属管的塑料管或软管，则必须为这些导电部件提供正确的接地和等电位连接。

d) 如果材料很容易点燃（最低点燃能量低于 10 兆焦），请考虑以下方案以减少静电点燃的机会：

1. 在惰性环境下操作存在爆炸危险的任何设备（参见 2.3.2.4）(3.1.19)。
2. 在低于 0.1 巴绝对压力（1.5 磅/平方英寸绝对压力）的压力下操作。
3. 通过以不超过 50% 的 MEC 操作来消除可燃混合物。
4. 通过降低输送材料流速等工艺变化来减少电荷生成或积聚。
5. 提供静电消除器或中和器。确保它们已牢固固定、良好接地、正确调整，并且无异物积聚。
6. 让具有特殊专业知识的人员评估情况并制定适当的行动方案。

2.3.4.3 在所有粉碎设备（例如打磨机、粉碎机、锤磨机或其他涉及与工艺材料发生机械碰撞的设备）的上游提供磁性分离器 (3.1.20)。

2.3.4.3.1 如果有色金属或其他物体（例如岩石）可能进入产品生产并可能产生点燃危险，则可以使用磁性分离器以外的分离器（例如，空气分离器、栅格、粗网筛）。

2.3.4.4 扬尘气流中的风扇和风机可能会成为点火源。按照以下建议安装这些设备：

2.3.4.4.1 在负压系统中，将风扇布置在除尘器的排气侧（即洁净侧）。

2.3.4.4.2 在正压系统中，将风机布置在粉尘进入点的上游。

2.3.4.4.3 如果由于设计原因，必须将风扇布置在较多的粉尘气流环境中，且粉尘/气流浓度高于 MEC 的 25%：

a) 按照 AMCA 99-0401-86, *Classifications for Spark Resistant Construction* 安装采用 A 型或 B 型耐火花结构的风扇和风机

b) 如果根据试验表明粉尘难以点燃，则可在浓度不受限制的粉尘气流中使用普通风扇和风机。

2.3.4.4.4 如果根据试验表明粉尘难以点燃，则可在浓度不受限制的粉尘气流中使用普通风扇和风机。

2.3.4.4.5 如果旋风除尘器（主除尘器）位于风扇的上游，处理木屑的系统可以使用袋式除尘器上游的普通风扇。

2.3.4.4.6 如果在风扇与任何重要或有价值的下游设备之间安装了高速中止闸或经 FM 认证的火花熄灭系统，则可以使用普通风扇和风机。

2.3.4.5 通过实施以下措施，防止自发热材料成为爆炸源：

- a) 通过保持足够的输送速度，防止在管道内积聚。
- b) 经常进行清洁，防止在设备中积聚。
- c) 切勿让湿气接触此类材料；但是，可在需要在管道中使用自动洒水喷头或火花熄灭系统。
- d) 每天或根据需要清洁处理自发热残留物的收集器，以防止加热和危险积聚。

2.3.4.6 避免使用高转速或高功率的机械驱动装置，因为它们会因摩擦或火花产生的热量而导致粉尘点燃。

2.3.4.6.1 根据旋转部件的切向速度 (v)，使用以下指南确定危险情况的可能性：

- a) 当 $v < 1$ 米/秒 (3.3 英尺/秒) 时：不存在点火危险。
- b) 当 $1 < v < 10$ 米/秒 ($3.3 < v < 33$ 英尺/秒) 时：单独判断每种情况，考虑产品和材料的特定特性，例如 MIE 和粒径（对于每种情况，值越低越容易点燃）。
- c) 当 $v > 10$ 米/秒 (33 英尺/秒) 时：始终存在点燃可能性。

注：要将 rpm 转换为切向速度，请使用 $v = \text{rpm} \times 2\pi r \times 1/60$ ，其中

v = 每秒长度（单位与 r 相同）

r = 旋转部件的长度，从轴中心到外端

2.3.4.6.2 在使用低速、高功率设备时（通常用于研磨作业或螺杆输送机和搅拌机），需要考虑因停留时间过长、在轴承处积聚、异物等造成的加热不受控的可能性，并通过使用剪切销、过载检测和警报、正确的维护和清洁、网筛和分离器加以保护。

2.4 除尘器和旋风除尘器

除上述要求和 DS 7-73, *Dust Collectors* 中的要求外，以下是除尘器和旋风除尘器的一些特定要求。

2.4.1 建筑结构和位置

2.4.1.1 对于新安装装置，请为每个工艺区域使用单独的粉尘收集系统，以最大程度地降低涉及多种作业的粉尘爆炸的可能性。例如，对于在一个区域内锯割粗糙木材、在另一个区域内打磨抛光木材的作业，每一个都涉及到多个锯和砂磨站，2 台独立的除尘器可减少单个事件造成的停机时间。这比通过整体除尘系统然后分支隔爆装置更可靠。

2.4.2 保护措施 (3.1.21)

2.4.2.1 在确定介质型除尘器（例如，袋式、纸滤器纸张或滤筒）的泄压面积时，应同时包括洁净侧和脏污侧，以计算除尘器的容量。

2.4.2.2 对于介质型除尘器，请将泄压口完全置于除尘器的脏污侧。

2.4.2.2.1 需要在洁净侧安装泄压口时，请使用以下等式计算必须在脏污侧提供的总泄压面积的最小值：

$$A_{v,dirty,min} \geq (V_{dirty}/V_{total})^{2/3} \times A_{v,total}$$

公式中：

$A_{v,total}$ 是所需的总泄压面积
 $A_{v,dirt,min}$ 是除尘器脏污侧的最小泄压面积,
 V_{dirty} 是除尘器脏污侧的容积
 V_{total} 是除尘器的总容积

2.4.2.3 如果旋风除尘器符合以下所有标准, 则可被视为具有充分的防爆泄压能力, 无需额外安装泄压口:

- a) 正在处理的粉尘的 K_{st} 不超过 80 巴-米/秒, 并且
- b) 废气通过旋风除尘器的顶部出气口直接进入大气, 并且
- c) 出气口直径至少为旋风除尘器本身直径的 45%, 并且
- d) 气体的自由流出不受网筛阻挡。
 - 1. 只要“防雨帽”在出气口上方的距离不小于出气口直径的一半, 则位于出气口孔上方的“防雨帽”就不违反此标准 (3.1.22)。

2.4.2.3.1 使用 FM Global 的 DustCalc 软件计算所有其他情况 (K_{st} 更高、出气口更小、出气口连接了 L/D 大于 1 的管道、管道带弯头等) 下的泄压口尺寸。

2.4.3 点火源控制

2.4.3.1 袋式除尘器不需要任何类型的特殊“导电”袋材料来释放静电荷。

- a) 如果已经提供了这些特殊的“导电”袋, 则应制定一个检查和维护方案, 以确保用于将除尘袋接地的带子始终与除尘器结构连接良好。
- b) 无论使用何种类型的除尘袋, 都要为除尘袋保持架 (金属丝支架) 提供可靠的接地连接 (3.1.23)。

2.4.4 非封闭式除尘器 (3.1.24)

非封闭式除尘器通常与它们所服务的设备位于同一个房间中

2.4.4.1 如果满足以下所有条件, 则可以使用非封闭式除尘器:

- a) 它们不能与产生火花、高温或灼热颗粒的设备一起使用, 如金属打磨机、砂磨作业、磨砂器或高温作业工艺
- b) 它们不用于金属粉尘
- c) 在使用它们的房间内配备了自动喷水灭火系统, 旨在保护主要场所
- d) 每个除尘器的最大空气处理能力为 5000 立方英尺/分钟 (140 立方米/分钟)
- e) 除尘器系统的操作无规律或只是偶尔使用, 不适用于连续或频繁的生产工艺。
- f) 在操作过程中, 不要摇晃过滤器介质被对其进行压力脉冲以去除粉尘。
- g) 除尘材料的最小点火能量 (MIE) 大于 500 兆焦。
- h) 每天或以除尘限制到不超过 20 磅 (9 千克) 的频率进行除尘。
- i) 扬尘受到良好控制, 深度限制到不超过 1/16 英寸 (2 毫米), 以及限制到在系统的 10 英尺 (3 米) 范围内
- j) 同一房间内的多个除尘器之间至少相隔 20 英尺 (6 米)。
- k) 除尘器与可燃仓储或任何类型的系统之间至少相隔 20 英尺 (6 米)。
- l) 过滤器介质不能位于会点燃其所含材料的粉尘云的任何明火或高温表面的 35 英尺 (11 米) 范围内。

- m) 按照第 2.3.4.4 节在脏污侧安装风扇或风机
- n) 除尘系统 10 英尺（3 米）范围内无普通电气设备
- o) 未在脏污气流中的风扇或风机电机适用于 2 类 2 区或 3 类（22 区）。

2.5 连接管道 (3.1.25)

生产工艺或除尘系统中各部分的管道可以提供一条路径来传播初始爆炸，并且可能含有足够的粉尘来传播其自身的爆炸。本节不适用于气料分离器下游的洁净空气管道，或以远超 MEC（密相输送）的浓度对工艺材料进行气动输送。

2.5.1 场所用途

2.5.1.1 使用以下方法控制除尘系统中的粉尘浓度，以防止管道中形成连续的可爆气体：

- a) 当粉尘生成率可变时，保持粉尘低于最低爆炸浓度 (MEC) 25% 的平均浓度。在任何时候都是仅在几秒内将峰值粉尘排放率限制在 MEC 的 100% 以上。
- b) 当粉尘生成率稳定且没有明显的峰值时，保持粉尘浓度不超过 MEC 的 90%。

2.5.1.2 如果管道中的浓度经常超过 MEC，请为额外的管道内爆炸危险提供保护 (2.5.2.3)。

2.5.1.3 在传送可燃粉尘的管道内，气流速度要保持在所输送材料的沉降速度以上。

注：典型工业粉尘（例如，锯屑）的速度范围为 3500 至 4000 英尺/分钟（1070 至 1220 米/分钟）。如果材料的沉降速度未知，请参见数据册 7-78, *Industrial Exhaust Systems*，以了解一般传输速度建议。

2.5.2 保护措施

2.5.2.1 对于含有浓度始终低于 MEC 的可燃粉尘且以不太可能出现粉尘沉降的速度输送粉尘的管道，按以下方式提供隔爆装置：

- a) 在连接重要设备的接头上
- b) 在返回到包含可能受损的昂贵设备或重要工艺且可能含有扬尘的建筑物的管道上。

如果不提供 MEC 值，则可以使用 30 克/立方米（0.03 盎司/立方英尺）的估计值。

2.5.2.2 按以下方式布置浓度始终或经常超过 MEC 的可燃粉尘、或以预期会出现粉尘沉淀的速度输送粉尘的管道：

- a) 将管道布设到室外。
- b) 在管道和设备之间的每个连接点处安装一个隔爆装置。
- c) 通过以下方法之一保护管道免受爆炸混合物的爆炸传播影响：
 - 1. 根据 2.5.2.3 为管道安装泄压装置。
 - 2. 将管道设计为在压力尽可能低但不超过 0.3 巴（4.4 磅/平方英寸）时发生断裂。

2.5.2.2.1 如果含有浓度超过 MEC 的粉尘或以低于粉尘沉降速度的速度输送粉尘的除尘管道必须位于室内，请采取以下预防措施：

- a) 在管道和设备的每个连接点处安装一个隔爆装置，并且
- b) 设计防爆（抗震）的管道，或者

c) 根据 2.5.2.3 为管道配置爆炸泄压，但将泄压口布设在室外。

2.5.2.3 在以下情况下，沿管道长度设置泄压口：

a) 计算泄压口之间的最大距离 ($L_{\max}$)，如下所示：每个位置提供至少等于管道横截面积的泄压面积。

$$L_{\max} = 7.5 D^{1/3}, \text{ D 和 L 的单位为米, 或}$$

$$L_{\max} = 16.5 D^{1/3}, \text{ D 和 L 的单位为英尺。}$$

对于非圆形管道，通过以下等式为上述等式计算有效直径：

$$D_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{4A_d}{\pi}}$$

公式中： A_d = 管道的横截面积（平方米或平方英尺）

b) 在每个位置提供至少等于管道横截面积的泄压面积。

c) 提供一个全尺寸泄压口，从管道连接点到设备的距离不超过 2 倍直径。

d) 将泄压口的泄压压力 (P_{stat}) 设置得尽可能低，最大值为 0.1 巴（1.5 磅/平方英寸）。

e) 在所有弯头和端部法兰处安装一个泄压口（参见图 10）。

f) 当爆炸产物位于内部时，通过一个短管 (L/D 小于或等于 1) 将其引导至外部。

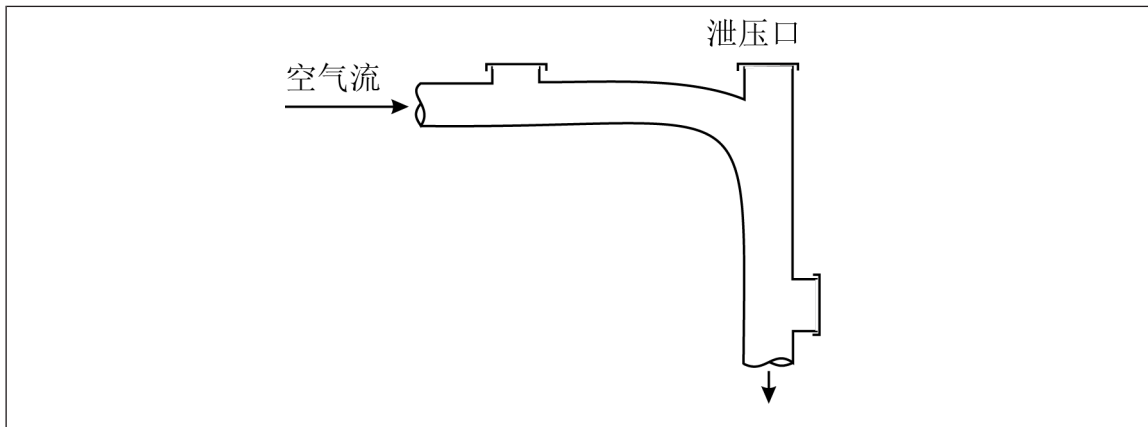


图9. 弯管处的管道泄压装置示例

2.6 料仓 (3.1.26)

2.6.1 保护措施

2.6.1.1 当料仓的通气孔上装有除尘器（非简单的排气袋）时，请按以下方式提供防爆保护：

a) 如果存在以下任一情况，请将除尘器/料仓组合视为一个单元：

1. 连接料仓至除尘器之间的管道的 L/D 比不超过 2，或者
2. 连接管道的横截面积至少与单独保护除尘设备容积所需的泄压面积一样大。

b) 根据 2 个装置的总容量，为料仓/除尘器组合提供爆炸泄压。

c) 如果可能，在除尘器上安装局部泄压口，但不要超过连接管的横截面积，尽管所有泄压口都可能位于料仓上。

2.6.1.2 除尘器/料仓组合不符合单个单元的条件时：

- a) 根据每个部件各自的容积为其提供泄压口。
- b) 根据 2.5.2.3 为连接管道本身提供泄压口。

2.6.1.3 确保为料仓的泄压面积不会超过其横截面积 (A_{x-sect})。任何超过此值的爆炸泄压都不会降低爆炸压力。任何超过此值的泄爆都不会有助于降低爆炸压力。

2.6.1.3.1 如果计算结果显示所需的泄压面积大于横截面积, 请使用抑爆系统或加固料仓, 使其能够承受相当于 $A_v = A_{x-sect}$ 的 P_{red} 值

2.6.2 设备和工艺

2.6.2.1 如果材料的颗粒小于约 500 微米, 请勿在处理可燃材料的料仓内使用空气炮断桥。

2.7 斗式提升机 (3.1.27)

2.7.1 建筑结构和位置

2.7.1.1 处理可燃粉尘的封闭斗式提升机存在爆炸危险, 需要按照下列方式之一进行安装:

- a) 将斗式提升机放置在室外。
- b) 将室内斗式提升机放置在靠近外墙的位置, 以便通过短管道向室外爆炸泄压。
- c) 采用经 FM 认证的淬火管道为室内斗式提升机提供抑爆或爆炸泄压。

2.7.1.2 如要在斗式提升机内部增加衬层以解决局部腐蚀问题, 请使用不可燃材料。

2.7.2 保护措施

2.7.2.1 对于处理 K_{st} 低于 200 的粉尘的封闭斗式提升机, 应根据以下条件提供爆炸泄压:

- A. 按照表 2, 根据提升机类型、 K_{st} 和围护装置的 P_{red} , 沿斗式提升机的中心线高度以中心距布置爆炸泄压器。
- B. 通过短 (小于 3 英尺 [1 米]) 而直的管道对室内提升机向室外爆炸泄压, 或提供经 FM 认证的无焰爆炸泄压装置。
- C. 爆炸泄压装置可以安装在壳体的侧面或表面上。
- D. 在缸盖部分 (顶部) 中安装与壳体支腿的横截面积相等的爆炸泄压装置
- E. 将第一个壳体泄压装置安装在尽可能靠近斗式提升机给料室 (底部) 的位置, 但不要超过表 2 中规定的间距。
- F. 将泄压装置的尺寸调整到与提升机支腿围护装置的横截面积相等。泄压装置区域可作为独立的半尺寸泄压装置安装在围护装置的对侧。
- G. 为双壳体设计上的上、下支腿安装泄压装置。
- H. 将泄压装置的泄压压力 (P_{stat}) 设为 0.1 巴 (1.5 磅/平方英寸) 或更低, 然后采用轻质材料制作泄压装置。

表 2 斗式提升机的爆炸泄压

斗式提升机类型	Kst (巴·米/秒)	间距, 米 (英尺)		
		Pred ≤0.2 巴	0.2 <Pred ≤0.5 巴	<0.5 Pred ≤1.0 巴
双壳	<100	6 (20)	不需要	不需要
	100-150	3 (10)	10 (33)	19 (62)
	151-175	不适用	4 (13)	8 (26)
	176-200	不适用	3 (10)	4 (13)
单壳	<100	不适用	不需要	不需要
	100-150	不适用	7 (23)	14 (46)
	151-175	不适用	4 (13)	5 (16)
	176-200	不适用	3 (10)	4 (13)

注: N/A = 不允许
除非特别设计, 否则假定 Pred = 0.2 巴。

2.7.2.2 如果升降机头或给料室为存在爆炸危险的设备或区域给料, 请配备使用抑爆装置的阻爆系统或其他类型的物理隔离装置, 如机头或给料室与相邻区域或设备之间的旋转锁气器。

2.7.2.3 使用自动喷水灭火系统保护斗式提升机时, 如下所示:

- 安装在围护装置不燃的立式斗式提升机轴的顶部。如果围护装置由可燃材料制成, 则沿轴以 10 至 12 英尺 (3 至 3.7 米) 的间隔提供额外的自动洒水喷头保护 (即, 将其视为具有可燃侧面的垂直轴)。
- 设计自动洒水喷头, 使最远端喷头的流量不低于 25 加仑/分钟 (95 升/分钟)。
- 如果洒水喷头处于可能会发生冻结的区域, 请确保安装装置适合的预期温度。

2.7.3 点火源控制

2.7.3.1 为了防止斗式提升机发生爆炸:

- 为皮带驱动的升降机提供一种机械或机电装置, 如皮带减速超过 20%, 则切断驱动电机的电源并发出报警。
- 在升降机壳内不得放置或裸露轴承。
- 安装皮带对齐联锁装置, 在皮带不能对齐的情况下关闭升降机。

2.7.3.2 如果可行, 请使用以下预防措施:

- 在所有提升机支腿上使用耐磨轴承。
- 按照制造商的建议维护所有轴承, 并保持轴承不含粉尘、产品和过度润滑。
- 仅在碰撞点、磨损面和连接的料斗上使用可燃衬层 (例如塑料、橡胶、木材)。
- 安装电阻不超过 1 兆欧的传动皮带 (例如三角带、正时皮带和平皮带), 并确保其防火性和耐油性。
- 使用 1.5 倍使用系数设计的传动系, 以便停止传动时不会打滑。
- 将皮带安装在表面电阻率小于每平方 100 兆欧并且防火耐油的提升机支腿中 (在面粉厂中不需要耐油)。
- 对于皮带速度超过 500 英尺/分钟 (2.6 米/秒) 的建筑物内提升机支腿, 提供轴承温度监控或振动探测。

2.8 喷雾干燥器

2.8.1 保护措施

2.8.1.1 喷雾干燥器通常以低于 MEC 的浓度与大多数干燥器配合使用，并按照以下要求提供防爆保护：

- a) 获取准确的计算结果，以确认圆柱形部分内的平均粉尘浓度低于所处理材料的 MEC。在此基础上，只有干燥器底部的锥形部分和任何下游设备（例如旋风除尘器、袋式除尘器）才有可爆混合物。
- b) 使用 FM Global 的 DustCalc 软件确定仅在容器总容积的一小部分中有可燃云时所需的泄压面积。
- c) 尽管建议仅在锥形截面附近安装泄压口，但仍应将泄压口均匀分布在干燥器表面。

2.8.1.2 有关防火信息，请参阅 DS 6-9, *Industrial Ovens and Dryers* “处理粉尘的喷雾干燥器”章节。

2.9 散装原粮处理

2.9.1 设备和工艺

2.9.1.1 进行散装谷物处理存在粉尘爆炸危险时，执行以下操作可以控制或消除这些危险：

- a) 使用油雾（或其他液体）除尘措施，以减少用于处理散装原粮的房间或建筑物和设备中的粉尘爆炸危险。
 1. 如果油雾能够成功地将扬尘排放减少到足够低的程度，并且正常的仓储管理可将积聚物保持在危险水平以下，那么可认为室内爆炸危险已消除。（请参见 2.2.4.2 以确定粉尘积聚何时处于危险水平。）
 2. 如果油雾能够成功地防止粉尘在设备内通过空气传播，可视为该设备已消除爆炸危险。在设备运行时目测观察设备来确认这一点（即通过打开检修口或检查口）。只能通过对正在处理的所有材料彻底喷上油雾来完全消除加工设备内部的空气传播粉尘。
- b) 在涉及大量紊流的工艺中的某个位置喷洒油或其他液体抑制剂，例如在排放喷嘴处，以确保抑制剂与谷物完全混合。
 1. 请勿在斗式提升机中使用抑制剂，因为这可能导致橡胶皮带打滑并可能产生摩擦加热。
- c) 制定维护和检查方案，以确保在处理谷物时粉尘抑制剂喷洒系统能够正常工作。
- d) 安装联锁装置，如果连锁装置作为防爆保护的唯一手段，联锁装置将在抑制剂喷洒系统故障时关闭谷物处理。

2.10 增材制造（3D 打印）(3.1.29)

大多数增材制造 (AM) 工艺都使用非常细的材料粉末，如金属、塑料、陶瓷或玻璃。细粉末可轻松分散到空气中，可燃金属粉末具有低点火能量。该设备通常价格昂贵，需要专用的设施，因此可布置在专用区域、房间或建筑物内。以下指南适用于使用可燃粉尘的增材制造 (AM) 工艺。

2.10.1 实施与可燃粉尘处理和仓储相关的基本安全措施。

2.10.1.1 特别是，对所有处理细可燃粉末的设备进行接地和等电位连接，因为这些设备尤其容易受到静电点燃的影响。

2.10.2 将增材制造设备放置在与其他生产或仓储区隔离的区域，通过畅通的空间、墙壁隔离，或放置在单独的建筑物内。

2.10.3 在密闭的导电容器中储存、处理和运输粉末。

2.10.4 如要在非导电容器中储存或处理 MIE 小于 10 兆焦的粉末，请使用静电消散容器。静电消散材料的表面电阻应介于 10^5 和 10^9 欧姆/平方之间 (NFPA 77)。

2.10.5 在处理或输送粉末时，应控制粉末的意外释放、悬浮云的形成，并保持高水平的内务管理。

2.10.6 使用管道系统输送粉末时，应使用最大电阻为 1 兆欧的接地和等电位连接至接地来控制静电积聚。

2.10.7 如果在惰性气体中操作 AM 设备，请执行以下操作：

A. 以低于正在使用的气体测量的粉末的 LOC 的值操作。

1. 当 LOC 大于或等于 5% 时，保持至少比 LOC 低 2 个体积百分点的安全余量。

2. 当 LOC 小于 5% 时，操作设备时不要超过 LOC 的 60%。

B. 监测惰性气体或氧气浓度。

C. 联锁系统，防止在没有可接受的惰化水平时启动。

D. 当超过安全的惰性气体或氧气含量时，关闭系统。

2.10.8 按以下方式处理成品（收获），以最小化或控制夹带粉末的释放：

A. 在打开打印机围护装置之前，确保操作员已正确接地。

B. 使用适当通风的护罩或围护装置，通过正确设计的除尘系统清洁产品中的多余粉尘。

2.10.9 确保用于清理多余粉末的便携式真空除尘器适合在 2 类 2 区或 22 区中使用，且位于含有收集的可燃粉尘的围护装置内的部件适用于 2 类 1 区或 20 区。

2.10.9.1 使用经可靠第三方机构认证的便携式真空除尘器。

2.10.10 对于包含可燃结构或场所的制造和仓储区域，提供设计用于金属加工场所 (HC2) 的自动喷水灭火系统保护。

2.10.11 处理或储存可燃金属粉尘时，请安装 D 类便携式灭火器，并培训人员正确使用。

2.11 粉尘火灾危险

除了本文档中提及的爆炸危险外，可燃粉尘还可能存在火灾危险，必须加以控制。以下数据册涵盖了各种设备或工艺中的粉尘火灾的保护和预防措施：

a) 喷雾干燥器内部：数据册 6-9, *Industrial Ovens and Dryers*

b) 木材加工和木材加工设施：数据册 7-10, *Wood Processing and Woodworking Facilities*

c) 除尘器：数据册 7-73, *Dust Collectors and Collection Systems*

d) 谷物处理设施：数据册 7-75, *Grain Storage and Milling*

e) 管道：数据册 7-78, *Industrial Exhaust Systems*

f) 木屑仓库：数据册 8-27, *Storage of Wood Chips*

3.0 相关建议的技术支持

3.1 意见和技术支持

3.1.1 是否存在仓储环境管理问题? (2.2.4.2)

基本规则是，设备外部积聚的任何粉尘都可能会引起二次爆炸，因此应将其清除，并消除释放源。为受此类无法解决的非受控释放影响的区域提供 DLC。

根据经验，应对 $\frac{1}{16}$ 英寸（2 毫米）的粉尘进行清理。（这是基于木屑的体积密度约为 36 磅/立方英尺 [580 千克/立方米] 考虑的）。这约等于 25 美分硬币的厚度。

如果使用不同体积密度的粉尘，则与 $\frac{1}{16}$ 英寸（2 毫米）木屑等量质量的粉尘，其厚度与体积密度成反比。例如，如果粉尘的体积密度为 60 磅/立方英尺（950 千克/立方米），则相当于一个约 0.04 英寸（1 毫米）厚的层。

等效厚度 = 2 毫米 $\times$ (580 千克/立方米 / 950 千克/立方米) 或 1 毫米

在小房间（200 平方英尺、19 平方米）内积聚的任何粉尘都会造成严重的二次爆炸危险。在大房间中，例如 20,000 平方英尺（1860 平方米），覆盖 200 平方英尺（19 平方米）面积的粉尘将不会造成太严重的事件。

实际上，在没有 DLC 的情况下，在大空间内的其中一小部分区域中存在粉尘积聚是可接受的，只要经常清理和清除粉尘来源即可。5% 的面积，其中含有 $\frac{1}{16}$ 英寸（2 毫米）可处于悬浮状态的粉尘，这将被视为“可容忍的”极限。在任何普通建筑结构中，任何超过 1,000 平方英尺（93 平方米）的粉尘积聚面积都会被视为不可接受。

任何在托梁、横梁、设备顶部等高出地面位置的粉尘都应被视为处于悬浮状态。由于年限、热量、湿气等原因而积聚的粉尘不应被视为处于悬浮状态，但可归结为持续的内勤管理问题或不受控制的释放来源。地面上的粉尘可能会处于悬浮状态，但其风险要低于高处积聚的粉尘的风险。

请密切注意附在墙上的粉尘，因为它们很容易脱落。还应考虑其他悬伸物，如可为粉尘积聚提供表面的灯具。

轻钢搁架或钢梁上可用于粉尘沉积的表面积约为地面面积的 5%。但是，有些钢梁的表面积可能相当于地面面积的 10%，例如，当给定地理区域的柱子间距长于平均值时，或者当较大的建筑高度差因预期的积雪载荷而需要更强的屋面结构时。

下面是典型的体积密度数据，仅供参考。

表 3 典型粉尘的体积密度

材料	磅/立方英尺	千克/立方米
煤、沥青（小于 420 微米）	50	800
面粉、小麦	35-40	560-640
淀粉	25-50	400-800
硫粉	50-60	800-960
木屑	16-36	260-580

来源：附录 D，参考 15

3.1.2 将爆炸危险转移到室外 (2.3.1.1)

在室外布置粉尘处理设备的一个常见问题是在寒冷天气条件下，容器内壁会形成冷凝，并将湿气引入粉尘流动中。如果湿气导致颗粒积聚或产品不合格，则湿气可能造成工艺问题。某些材料可能会出现自发热危险。在粉尘处理设备提供防潮保护可消除湿气。但是，泄压口必须正确工作，不受防潮盖的影响。可采用预制的防破裂泄压口，它配有泡沫防潮芯，可防止

在泄压口内部出现冷凝。无需在这样的泄压口上使用额外的防潮层，从而确保防潮层不会妨碍泄压口工作。

3.1.3 惰化（钝化）(2.3.2.3)

必须合理地混合可燃和不燃粉尘，才能形成真正安全的不可爆产物。通常，惰性粉尘重量需占总重量的 50% 至 75%。

有时使用碳酸盐、磷酸盐和盐进行惰化。在采煤业中会用到岩粉，因为它的供应非常丰富。遗憾的是，没有数学相关性可以预测所需的惰性粉末极限浓度。必须对所有混合物进行测试，以确定混合物的惰性。

3.1.4 FM Global 爆炸效应计算 - DustCalc (2.3.3.1)

许多建议都推荐使用 FM Global 的 DustCalc 软件，以根据具体的特定情况进行所有爆炸压力预测计算。这是由 FM Global 开发的专有专家系统，它考虑了下列变量以计算各种爆炸效应。

数学模型基于 FM Global 和其他粉尘爆炸专家的多年研究。某些相关性已与 NFPA 共享，并已在从 2002 版开始的 NFPA 68 部分中采用。要充分利用 FM Global 的方法，必须使用 DustCalc 软件。

对爆炸效应产生影响的容器变量如下：

- 容器容积 (V)
- 粉尘爆炸系数 (K_{st}) 和最大未泄压力 (P_{max})
- 泄压面积 (A_v)
- 泄压口泄压压力 (P_{stat})
- 泄压板的质量和方向
- 泄压导管的长度 (L_d) 和面积 (A_d)（如果存在）
- 含有可爆炸混合物的容器容积分数
- 预防爆设备压力 (P_o)

本数据册不包括确定泄压口尺寸的公式，也不包含任何描述以前测试材料特征的粉尘测试结果。首先，由 FM Global 开发的用于预测爆炸结果的数学相关性

非常复杂，只使用计算器很难应用。这很容易导致计算错误。通用数据可用于对现有爆炸泄压系统进行初步评估，但要处理的特定粉尘数据可能有所不同，设计中只能使用专门开发的测试数据。

DustCalc 软件在全球所有 FM Global 办事处均有提供，但仅限于接受过基础知识和使用详情培训的人员使用。这将确保得出的结果已考虑设计中的所有重要因素。

Journal of Loss Prevention in the Process Industries（1996 年春季刊）的一期关于粉尘爆炸的专刊上发表了一篇文章，详细说明了得出 FM Global 方法的分析和实验工作。有关该文章的详细参考，请参阅附录 C。

FM Global 尚未采用德国 VDI (Verein Deutscher Ingenieure) 的计算方法 (VDI 3673)。因为用于制定 VDI 指南的许多数据都被用于制定 FM Global 指南，因此在许多情况下，DustCalc 和 VDI 的答案都相似。但是，由于 FM Global 对 VDI 方法进行了改进，除了 FM Global 开发或改进的其他计算工具外，DustCalc 软件还对 VDI 的功能进行了扩展。

对于 2002 版的 NFPA 68，FM Global 已提交并且 NFPA 委员会批准了很多但并非所有 FM Global 公式和方法。其实施应用了大量公式和计算图表。2007 版保留了许多相同的方法，但还进行了一些其他调整。

NFPA 68-2007 的另一个主要区别是从指南变更为标准。现在的语言具有法律约束力，可被具有司法权的当地司法机构采用。而作为指南，AHJ 不能强制实施这些要求。

DustCalc 软件程序还可以提供基于 NFPA 或 VDI 方法的解决方案，并指明与 FM Global 方法存在差异的地方和原因。

3.1.5 无焰泄压装置 (2.3.3.1.2)

无焰泄压装置（淬火管）（图 10）与安装在泄爆片上的阻火器类似。它也被称为“无焰爆炸泄压器”或“消焰和颗粒滞留装置”（NFPA）。由于消焰部件的作用，与打开的爆炸泄压器相比，有效泄压面积有所减少。

使用无焰泄压装置时，需要考虑以下因素：测量的粉尘 K_{st} 、 P_{max} 和粉尘浓度 (c_{st})、粉尘类型、效率因数 ($\eta_{\text{总计}}$) 和最大受保护容积 (MPV)。

K_{st} 和 P_{max} (ST-1、2) 是唯一用于确定受保护容器泄压面积的因素。

粉尘的类型（非融化、融化或纤维）对无焰泄压装置的效率因素有影响。目前没有经 FM 认证可用于金属粉尘的装置。

效率系数 ($\eta_{\text{总计}}$) 是指考虑设备阻燃部件的影响后代表泄压面积有效值的数字分数 (0.99 或更小)。在《认证指南》列表中，它主要由“有效泄压面积”表示。在 EN 标准中，它由“效率 (E_i)”表示。它们的效率计算方法与 FM Approvals 测试中使用的方法不同。

有效泄压面积 (EVA) 是考虑效率系数后的可用泄压面积。EVA 只能通过测试来确定。

最大保护容积 (MPV) 受限于设备上的粉尘浓度、 $m''_{st,max}$ 、每个公称泄压面积下的粉尘浓度（磅/平方英寸，克/平方厘米）。此浓度与认证测试中使用的公称粉尘浓度直接相关（磅/立方英尺，克/立方米）。这些只是表示进入无焰泄压装置的粉尘量的两种不同方式。

输送至无焰泄压装置的粉尘质量与粉尘浓度和测试（或受保护）容器的容积有关。

如果容器中有更多粉尘，会影响淬火基体，从而降低效率。如果浓度足够高，可能会导致无焰泄压装置发生故障。MPV 基于认证测试中使用的粉尘浓度。MPV 基于认证测试中使用的粉尘浓度。

在实际应用时，设计浓度基于泄压口尺寸设计中使用的粉尘的 c_{st} 。 c_{st} 是通过测试确定的浓度，其中会出现 K_{st} 和 P_{max} 。实际上，如果 c_{st} 与用于测试的粉尘浓度不同，则可能需要调整 MPV。调整系数为：调整系数为：

$$V_{\max 2} = V_{\max 1} (c_{st1} / c_{st2})$$

其中：

$V_{\max 1}$ = 列出的 MPV。

$V_{\max 2}$ = 为 c_{st} 校正的容积。

c_{st1} = 认证测试中使用的浓度。

c_{st2} = 测试确定的设计粉尘浓度。

在选择合适的无焰泄压装置时，应计算所需的泄压面积，然后使用《认证指南》列表中的“有效泄压面积”选择至少能提供所需泄压面积的装置。这可能需要一个或多个装置。

此外，所选的装置不应超过 MPV。如果使用多个装置来提供所需的爆炸泄压，则可以添加每个装置的 MPV 以确定总 MPV。例如，如果使用了 2 个装置，每个装置的 MPV 都为 110 立方英尺 (3.1 立方米)，那么要保护的容器容积将被限制为 220 立方英尺 (6.2 立方米)。

由于爆炸是通过无焰泄压装置排出的，因此任何燃烧的或未燃烧的粉尘将被保留，燃烧气体将被冷却，并且淬火管中不会出现任何火焰痕迹。此外，爆炸泄压器外的近场爆炸（压力）效应也大大降低。因此，无焰泄压装置可以安全地

将爆炸泄放到室内，无需担心点燃附近的可燃物或在室内产生破坏性压力。但是，排出的气体非常热（大约 212°F [100°C]）。

可根据大约 212°F (100°C) 的气体排出温度和以下公式保守估计释放气体的实际压力效应：

$$\Delta p = 1.74 p_0 \frac{V_1}{V_0}$$

公式中：

V_0 是建筑物容积（米³或英尺³）

V_1 是爆炸泄压设备容积（米³或英尺³）

P_0 是绝对环境压力（14.7 磅/平方英寸绝对压力或 1.01 巴绝对压力）

Δp 是由释放气体产生的压力增量（磅/平方英寸或巴）

例如，如果设备容积是建筑物容积的 1/100， V_1/V_0 是 1/100，压力增量大约为 0.26 磅/平方英寸（18 毫巴，1.8 千帕）。这不会造成任何严重的建筑物损坏。

所有 FM 认证装置的列表均包括其泄压效率，这是减少设备有效泄压面积的因素。这与上述压力效应计算不同。

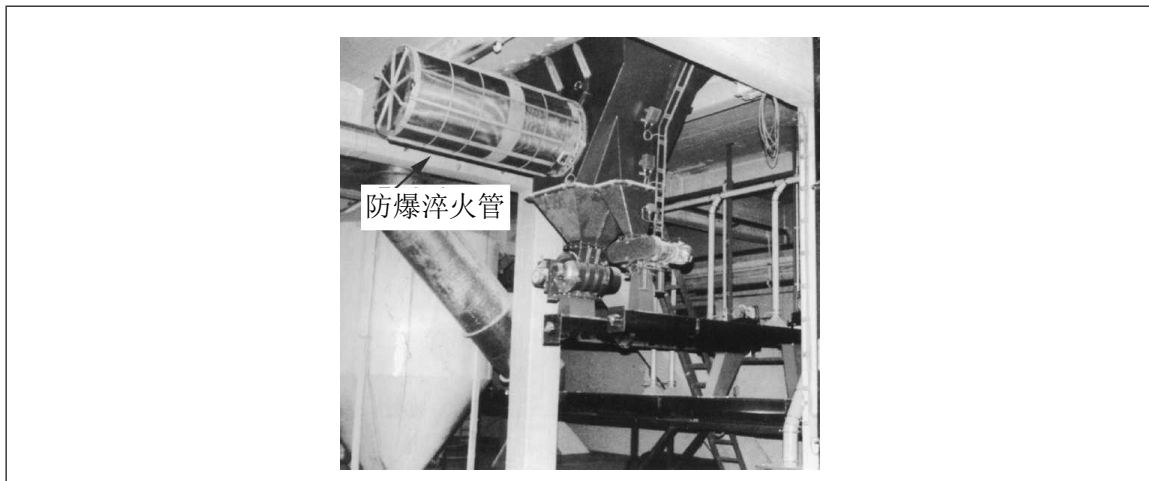


图 10. FM 认证的无焰泄压装置（图片由 Rembe GmbH 提供）

3.1.6 容器强度 (2.3.3.1.3)

当泄压口的设计是基于允许容器变形的 P_{red} 值时，这将防止容器发生灾难性的故障，并允许爆炸力和爆炸产物安全地通过泄压口。但是，这可能会使容器不适合将来使用。

如果无法获得有关容器强度的数据，并使用 3 至 4.4 磅/平方英寸表压力（0.2 至 0.3 巴表压力）的 P_{red} 假设值来计算泄压口的尺寸，那么在容器采用常规设计时，则不太可能会发生变形。但是，仍存在变形的可能。设备设计中的众多变化可能会使容器的强度比其他看似相同的容器低。在大多数情况下，假定值将足够保守，可防止容器破裂。对一般类型容器可以承受的压力的估计包括了不确定性。对于正在评估或计划保护的容器，最好始终尝试获取实际设计信息。

3.1.7 泄压装置质量（惯性）的影响 (2.3.3.1.6)

与类似尺寸的轻质泄爆板相比，重型板移出所需的时间更长，并且会在结构内产生更高的压力。由于延迟时间与泄爆板的重量呈连续函数关系，因此只要泄爆板的惯性大于零，就需要评估其影响。

爆破膜通常是非常薄的金属片或塑料膜，是一种零惯性装置。但是，任何其他类型的泄爆板的影响都不能被忽略，应当进行计算。

对全球众多组织得出的实验数据进行的广泛审查使 FM Global 能够在理论框架内关联数据，从而生产出有效的预测工具。

3.1.7.1 典型泄爆板的质量（惯性）

以下是可用作泄爆板或墙体结构的材料示例及其质量：

- 单层金属板：10 千克/平方米（2 磅/平方英尺）
- 隔热金属夹心板：15 至 20 千克/平方米（3 至 4 磅/平方英尺）
- 经 FM 认证的泄爆窗：12 千克/平方米（2.5 磅/平方英尺）
- 经 FM 认证的 Kalwall 板：12 千克/平方米（2.5 磅/平方英尺）

注：以下材料具有额外的厚度尺寸，单位为英寸（厘米）。

- 石膏板：8 千克/平方米/厘米（4 磅/平方英尺/英寸）
- 钢：77 千克/平方米/厘米（40 磅/平方英尺/英寸）
- 铝：27 千克/平方米/厘米（14 磅/平方英尺/英寸）
- 玻璃：29 千克/平方米/厘米（15 磅/平方英尺/英寸）
- 混凝土：23 千克/平方米/厘米（12 磅/平方英尺/英寸）

3.1.8 泄压导管的影响 (2.3.3.1.7)

在确定泄压口的尺寸时必须预测泄压导管的效果。在泄压口的出口放置一个泄压导管会显著影响围护装置内部的压力。根据泄压导管的长度和直径，可将 P_{red} 增加一个数量级（10 倍），这通常足以完全破坏受保护的容器。

在考虑泄压导管对泄压的影响时，有 2 个因素最为重要：(a) 爆炸过程中泄压导管内的粉尘燃烧，以及 (b) 爆炸前导管内空气质量的惯性。

在泄压的早期阶段，未燃烧的粉尘从容器喷射到泄压导管前端的火焰锋。当火焰锋进入导管时，粉尘开始在管道内燃烧并产生额外的燃烧产物。这些燃烧产物在所有方向上膨胀，因此会减慢甚至逆转容器内的气流，并且压力会积聚在容器内。

泄压导管内的空气惯性也会增加受保护容器内的爆破压力。当泄压口打开且燃烧气体首先开始流入导管时，这些气体必须将所有空气推出管道。在喷射空气所需的时间内，压力会继续在容器内增大，因为燃烧气体受阻而无法到达户外。在较长的管道中，该空气质量会延迟燃烧气体的排放，从而显著增加容器中的压力。

与之前注意到的管道内燃烧和空气惯性的影响相比，流经管道的气体产生的摩擦影响通常几乎不会影响到爆炸，但弯曲或其他几何中断造成的潜在影响除外。

由于 P_{red} 随泄压导管长度的增加而急剧升高，因此，如果泄压导管的 L/D 比超过 1 至 2 的值，通常无法通过泄压导管来保护低强度容器，除非爆炸泄压器尺寸成比例增大。

尽管安装横截面小于泄压口的泄压导管将会增加 P_{red} 的值（即，造成更糟的情况），但使用横截面大于泄压口的泄压导管不会降低 P_{red} 。

FM Global 的 DustCalc 软件可轻松计算出通风管造成的影响。

3.1.9 重新关闭泄压口 (2.2.3.4 和 2.3.3.1.9)

在房间或容器内的粉尘燃烧结束并且不再生成气体来产生压力后，泄压口也会因重力而重新关闭。滞留在房间或容器内的极热燃烧气体开始冷却，除非新鲜空气足够快地进入围护装置（例如，通过适当大小的真空消除器），否则会产生真空。这种真空会致容器损坏或设备内爆。在房间或建筑物中，真空损坏的严重程度较低，但仍有可能发生。

3.1.10 爆炸产生的压力和火球效应 (2.3.3.1.11)

粉尘爆炸会导致短期压力和围护装置外部的火球效应。一些有限的研究允许估计这些效应，建议使用如下公式：

使用以下公式估计泄压口附近和正向方向上的压力效应：

步骤一：使用以下公式计算泄压围护装置外爆炸产生的最大超压 ($P_{\text{blast,max}}$)：

$$P_{\text{blast,max}} \text{ (巴)} = 0.2 A_v^{0.1} V^{0.18} P_{\text{red}}$$

其中

A_v 是泄压面积，米²

V 是泄压围护装置的容积，立方米

P_{red} 是指在通风过程中围护装置内降低的压力，巴表压力

步骤二：使用以下公式计算从泄压口到 $P_{\text{blast,max}}$ 的垂直距离 (R_{max})：

$$R_{\text{max}} \text{ (米)} = 0.25 L_{f,\text{max}}$$

其中

$L_{f,\text{max}}$ = 最大火焰喷射长度，米

步骤三：对于大于 R_{max} 的距离 R ，按以下公式计算距离特定的爆破压力：

$$P_{\text{blast}} \text{ (巴)} = (R_{\text{max}}/R)^{1.5} P_{\text{blast,max}}$$

注 1： 这些计算出的压力非常接近从泄爆中喷出的火球。这与整个封闭放假或建筑物内产生的总爆破压力 (P_{red}) 不同。在大型建筑物中，这种冲击压力可能是靠近爆炸设备的墙壁所承受的最大压力，但通常，封闭泄压口的房间墙壁上的压力取决于爆炸产生并泄放到房间内的燃烧气体量。无论墙壁与泄压容器之间的距离如何，此类压力在整个房间内基本一致。

注 2： 用于预测压力效应的公式仅对单个泄压口有效。对于在同一方向打开的多个泄压口，应计算每个泄压口的 $P_{\text{blast,max}}$ ，然后添加相应的值来估计组合的保守压力效应。

3.1.10.2 使用以下公式估计泄压口正向方向上的最大火焰喷射长度：

$$L_{f,\text{max}} = 8 V^{(1/3)}$$

其中

$L_{f,\text{max}}$ = 最大火焰喷射长度，m

V = 泄压围护装置的容积，立方米

此式仅对 $P_{\text{red}} \leq 1$ 巴 (14.5 磅/平方英寸) 和 $P_{\text{stat}} \leq 0.1$ 巴表压力 (1.5 磅/平方英寸表压力) 的 ST1 粉尘 (即 $K_{\text{st}} \leq 200$) 有效。对于超出规定限制的情况，没有已发布的相关性规定。我们认为 P_{stat} 的变化会改变预测的火球的大小；但是，目前的估算方法尚未量化该影响。

3.1.10.3 使用以下公式估算爆炸后产生的反冲力 (2.3.3.1.18)：

- a) 要获得动态反冲力，请使用以下公式：

$$F_R = 119 A_v P_{red}$$

单位： F_R （千牛）、 A_v （米²）、 P_{red} （巴表压力）

$$F_R = 1.2 A_v P_{red}$$

单位： F_R （磅）、 A_v （英寸²）、 P_{red} （磅/平方英寸表压力）

- b) 在反冲力持续时间内，使用以下公式（仅适用于没有泄压管的围护装置）：

$$t_f = 10^{-4} K_{st} V / (P_{red} A_v)$$

单位： K_{st} （巴·米/秒）、 V （米³）、 P_{red} （巴）、 A_v （米²）、 10^{-4} （平方²米⁻²）常数

- c) 作为动态力锚固设计的替代方案，使用以下公式计算等效静力 (F_s)：

$$F_s = 0.52 F_R$$

单位：原等式中采用千牛或磅

FM Global 的 DustCalc 软件可轻松计算压力和火球造成的影响。

3.1.11 泄压口表面附近的固定障碍物 (2.3.3.1.12)

过于靠近泄压口的固定障碍物对燃烧产物从泄压口中自由流出的阻力非常大。这被认为主要是由于粉尘从受保护设备中喷出后燃烧造成的。由于燃烧发生在容器与障碍物之间的半受限区域，因此会发生与二次爆炸类似的情况。这会对抑爆设备产生重大背压影响。关于这种现象的认知状态有限，不可能对此影响进行量化。由于不同几何形状产生局部受限的影响非常复杂，也无法提供有关与非平坦障碍物的安全距离的指导。唯一的安全措施是布置泄压口及其方位，使其不朝向附近障碍物的表面。

3.1.12 泄压口的分布 (2.3.3.1.15)

如果受保护容器内存在大量障碍物，根据 2 项爆炸原理，提供分布均匀的泄压口则变得非常重要。

首先，如果朝向容器一端泄压口的气体必须流经被阻挡的区域，那么气体的流出速度将不会像未受阻挡的气体那样快。鉴于此，泄放的爆破压力 P_{red} 可能会升到预期水平以上。

其次，如果朝向泄压口的气体在明显的障碍物上方流过，则容器内的紊流将显著增加。由于爆炸的升压率随紊流的增加而增加，因此障碍物会使爆炸情况变得恶化。

分布在整個围护装置内的泄压口有助于确保爆炸过程中泄放的气体采取最短的路径从围护装置中排出。

3.1.13 除尘器工作压力 (2.3.3.1.17)

除尘和除尘处理系统的正常工作压力范围是 +40 至 40 毫巴（+16 英寸 H₂O 至 16 英寸 H₂O）。在此压力范围内，无需调整标准爆炸泄压指南。

3.1.14 隔爆 (2.3.3.2)

当受防爆保护的封闭装置发生爆炸时，压力和火焰（即燃烧的粉尘）会沿任何方向打开、连接的管道传播到另一个封闭装置。如果第二个容器也采用了耐压设计，则由于通常称为“压力累积”的影响而可能会不足。第二个容器中的压力将在点火源（即燃烧的材料）到达之前增加，因为压力干扰将以声速从第一个容器传到第二个容器，声速

通常大于火焰锋的速度。因此，当第二个容器内的粉尘爆炸物被点燃时，初始压力将远远高于正常（环境）压力。

对于给定的空燃比，爆炸的最终未泄放压力与初始压力成正比。例如，如果第一次爆炸将第二个容器预加压至 3 巴（44 磅/平方英寸）的绝对压力，则第二个容器的最终爆破压力将增加 3 倍。对于 $P_{\max}$ 值为 9 巴绝对压力的粉尘，本例中的最终未泄放压力将为 27 巴绝对压力，远远超过为粉尘爆炸压力控制设计的最坚固的容器的强度。因此，在使用防爆容器作为保护方法的情况下，提供隔爆以防止另一爆炸对容器进行预加压力非常重要。

当受防爆保护的一个容器连接到受泄爆保护的另一个容器时，会产生与预加压无关的保护问题，而是与压力波前产生的紊流和来自火焰锋的非常急剧的点火源有关。结果是第二个容器发生了更快速的爆炸，由于设计未考虑到这点，第二个容器会因此而损坏。

如果所连接的容器都受到泄爆保护，则出现这种影响的程度较低。

因此，在使用爆炸泄压作为保护方法的情况下，必须提供隔爆，以将泄压容器与其他已连接的受防爆保护的容器分离。

密相气力输送系统在相对低的输送速度（200 至 1,000 英尺/分钟；1 至 5 米/秒）、高固体浓度和高压（高达 125 磅/平方英寸；8.6 巴）的情况下工作。由于具有高粉尘浓度（远高于 MEC），因此不可能从爆炸中传播火焰锋。

稀相气力输送系统在高速（3,000 至 8,000 英尺/分钟；25 至 40 米/秒）、低固体浓度和低压力（低于 15 磅/平方英寸；1 巴）的情况下工作。

3.1.15 隔离系统 (2.3.3.3)

当使用主动（相对于被动）装置进行隔爆时，爆炸火焰锋从探测点移动到隔离装置的最大速度是一个重要的考虑因素。很多论文都探讨了估算粉尘爆炸引起的火焰传播，但仍没有一个简单的解决方案。隔离装置制造商必须为该装置提供适当的分离。

3.1.16 快速关闭阀（浮动型） (2.3.3.4)

这些设备会在火焰锋到达时产生的压差下启动，或在管道中的气体高速移动时启动。因此，用于抑爆的设备的泄压压力 (P_{stat}) 必须足够高，约为 0.2 巴（3 磅/平方英寸），才能确保阀门被关闭。如果需要更低的 P_{stat} 来保护设备，则需要额外的爆炸传感器和辅助气体来启动阀门。

Ventex 装置上的数据表示需要指定的最小和最大间隔距离来确保装置正确关闭且未发生爆燃转爆轰。这些距离由测试确定，但在广泛的工作条件范围内大致有效。如果涉及杂混物，则两个距离都将缩短，具体数值取决于阀门/管道尺寸。

制造商的数据将取代此一般指南。

Ventex 阀为单向阀或双向阀，即只能因一个方向或任一方向而打开。一旦关闭，它们就会锁定在该位置，并且需要手动复位。

3.1.17 真空作业 (2.3.3.6)

由于爆炸后的最终压力与初始（爆炸前）压力成正比，因此在低于 0.1 巴绝对压力（1.5 磅/平方英寸绝对压力）的环境下发生的粉尘爆炸将产生小于 1 巴绝对压力（14.5 磅/平方英寸绝对压力）的绝对爆炸压力。因此，不存在爆炸造成的潜在损坏。

此外，如果生产工艺在小于 50 毫巴（0.73 磅/平方英寸）（绝对压力）的压力下运行，通常不会引爆。

3.1.18 火花熄灭与抑爆(2.3.4.1)

损失数据表明，对火花熄灭系统的功能可能存在误解。火花熄灭系统在减少可燃粉尘爆炸的频率方面非常有效。但是，它们不会影响爆炸的严重程度，也不能替代泄爆、阻爆系统或防抑爆系统。

火花熄灭系统也称为火花抑制系统，可探测和熄灭除尘设备上游的火花或余烬，以防止这些点火源进入除尘器并引发爆炸。探测系统使用红外传感器来查找在高温下通过的颗粒。灭火器是一种位于探测系统下游的水喷雾灭火装置。

无论通过的高温颗粒大小如何，探测器都将正常工作。它可探测各种高温颗粒，小至火花大至破损的砂带，都能被探测到。但是，如果颗粒较大，灭火系统可能不会工作。全部火花都应被熄灭，但大型燃烧或阴燃材料可能不会被熄灭，在这种情况下，如果下游除尘设备中存在可燃性粉尘云，则可能发生爆炸。

火花熄灭系统不会降低所引起的爆炸的严重程度，因此需要为存在粉尘爆炸危险的设备提供相同级别的爆炸防护或控制措施。

火花熄灭系统会熄灭点火源，但一旦爆炸开始就不能抑爆。通过防止可爆炸云被点燃，火花熄灭系统可以完全防止爆炸。

抑爆系统可以探测爆炸的早期阶段，并抑制爆炸，以防止压力升高至可能损坏或损毁设备的水平。

抑爆系统可以降低爆炸的严重程度，而火花熄灭系统只能降低爆炸的频率。

火花熄灭系统仅用于消除一种点火情况：高温小颗粒被输送到除尘器中，可燃粉尘云在这里会被点燃。还有其他一些火花熄灭系统无法影响的点燃情况。例如：

- 夹杂金属（例如螺钉或钉子）被吸入除尘系统。金属会在其撞击火花熄灭系统下游的管道或金属设备时产生火花。
- 火花熄灭系统下游产生的点火源；例如，高温表面、在除尘设备上/周围进行切割和焊接的区域。

对于大多数工艺，从产生粉尘的工艺输送到除尘系统的高温小颗粒是目前为止最常见的潜在粉尘爆炸点火源。安装的火花熄灭系统可以每周启动一次或更频繁，并且不会发生事故。这证明了系统始终能够探测和消除高温颗粒，甚至是最小的高温颗粒。

当燃烧材料通过火花抑制区进入集尘设备并引发爆炸时，会有损失。燃烧材料可能因其尺寸或形状或火花熄灭设备或其安装缺陷而通过。由于其他限损功能（如爆炸泄压或隔断系统）可能已经缺失或不充分，因此引发的爆炸会损坏除尘设备。此外，燃烧的物质被迫进入（喷入）工作区域，要么通过热空气回路前进，要么向后进入除尘点。充分的爆炸泄压与暖空气回路上的安全装置相结合（在此推荐，参见数据册 7-73, *Dust Collectors and Collection Systems*），可以防止任何燃烧的材料被喷入设施。

3.1.19 最小点火能量(MIE)(2.3.4.2)

绝大部分粉尘的 MIE 值都高于 10 兆焦，因此无需定期测试粉尘的 MIE 值。此类测试通常仅在有理由怀疑粉尘可能特别容易被静电点燃时进行。MIE 的测试标准包括 ASTM E2019 和 EN 13821 以及其他国际同等标准。任何报告 MIE 等于或低于 10 兆焦的测试结果都应被解释为证明静态可燃性。

将绝缘粉末输送到料仓或箱体时，或绝缘衬层（如塑料）覆盖金属表面（带衬金属管道）时，会产生易燃的静电电荷。绝缘粉末堆表面上的电荷可产生刷形放电，通常限制为 20 兆焦，以不会点燃典型的可燃粉尘。在带衬表面上产生的电荷会导致传播刷形放电，从而释放足够的能量（数百兆焦）以点燃可燃粉尘。如果存在这些情况，应由静电学专家进行评估。

3.1.20 磁性或其他异物分离器 (2.3.4.3)

在所有与工艺材料进行机械碰撞的设备的上游使用分离器，防止金属和其他异物进入设备。如果不使用分离器，夹杂金属或其他进入设备的材料可能会产生碰撞或摩擦火花，从而点燃粉尘云。

3.1.21 除尘器的洁净侧与脏污侧 (2.4.2)

在考虑爆炸情况时，洁净和脏污空气侧之间的区别并不重要。爆炸中产生的压力经常使过滤器介质破裂，因为爆炸会在洁净侧和脏污侧传播。此外，即使在爆炸之前，过滤器介质也可能被破坏（例如，袋式除尘器），从而使粉尘进入洁净侧。

与洁净侧和脏污侧有关的泄压口的布置既是理论问题，也是实际问题。大多数测试都是在无内部障碍物、有远离点火源的泄压口的围护装置上进行的。

袋式除尘器或其他障碍物会改变爆炸和泄压过程。袋式除尘器通常会在爆炸的早期发生故障，对泄压过程产生轻微影响，但分隔洁净侧和脏污侧的管道可能是更大的障碍。该公式指定了脏污侧必须具有的泄压口的最小数量，该公式的基础是，如果袋式除尘器未受损且不允许任何气体通过除尘器的洁净侧排出，则为脏污侧爆炸提供充分的爆炸泄压。

3.1.22 旋风除尘器泄爆 (2.4.2.3)

根据典型设计比例对旋风除尘器进行爆炸泄压的计算结果表明，在假设压力阻力约为 0.3 巴（4.4 磅/平方英寸）的情况下，直径为旋风除尘器直径一半的典型出气口可为 K_{st} 值不超过 80 的粉尘提供足够的泄压面积。 K_{st} 值为 80 的粉尘通常比较粗糙（例如，锯屑、玉米粉）、挥发性含量极低（例如碳）或燃烧能极低（例如铁粉尘、惰性纤维含量高的 FRP）。

如果旋风除尘器管道的 $L/D > 1$ 并且管道从出气口上方伸出，则不能假定具有充分的爆炸泄压。与任何在泄压口上设有管道的容器一样，需要进行爆炸压力计算来量化影响。

由于泄压管的弯曲会产生显著的背压效应，因此任何配备 180° 管道（鹅颈管）的出气口都不可能有足够的爆炸泄压效果。如果可行，将鹅颈管替换为雨帽，盖在开启的出气口上。

典型的旋风除尘器比例包括直径 D 、筒体高度和锥体高度（每个均为 $2D$ ）、出气口直径 $\frac{1}{2}D$ 。

3.1.23 “导电”除尘袋 (2.4.3.1)

“导电”除尘袋通常用细线编织或固定在布袋中。导线网格连接到一个或多个接地带/线，然后再连接到除尘器结构。由于没有可靠的机构将电荷从不导电集尘袋材料的表面迁移到最近的接地线，因此集尘袋表面和导线之间可能存在可测量到的（有时也可能存在较大的）位差。

尚未确定是否需要任何类型的特殊集尘袋来防止因静电引起的粉尘点燃。使用普通的非导电集尘袋时，集尘袋的整个表面上可能会积聚静电，但静电放电只能在极小面积上释放积聚的能量。即使是最易点燃的粉尘，此能量释放也不可能将其点燃。

还有一个与“导电”除尘袋有关的问题。接地带可能会脱落，这会将除尘袋变成一个巨大的电容器。从除尘袋表面收集电荷的所有嵌入式导线

可能会突然释放足够的静电以点燃粉尘云。通过反复摇晃或吹风来清洁除成袋可能导致一个或多个接地带断裂或断开。需要进行维护和检查，以防止这种情况发生。

3.1.24 非封闭式除尘器 (2.4.4)

在收集扬尘时，非封闭式除尘器将脏污空气排放到织物袋内，“洁净”空气逸散到周围环境中，这增加了周围环境中扬尘积聚的可能性，因此该系统限制为不规则或者偶尔使用。（参见图 11）（参见图 11）

非封闭式除尘器不适用于从工艺设备或其他曝气粉尘源产生的大多数粉尘。细粉尘会迅速堵塞过滤器，从而导致性能下降，并可能导致扬尘释放到周围环境中。

由于通常只有除尘袋可以防止可燃粉尘的释放，因此在 10 英尺（3 米）范围内的任何区域都可被视为需要配置额定电气设备的 2 类 2 区（22 区）区域。更好的解决方案是限制受限区域中的普通电气设备 [参见 NFPA 499-2013 图 6.10(c)]

如图 11 所示，许多无封闭除尘器都被分成多个带有容器的除尘袋。5000 立方英尺/分钟（140 立方米/分钟）的限制是指通过总成的总气流，而不仅仅是通过装有收集材料容器的单个除尘袋。

除尘袋内部可能具有潜在的粉尘爆炸危险，但是如果袋内的粉尘云被点燃，除尘袋将会很容易失效，因此通常会发生闪燃。没有爆炸泄压产生。与此类似，开放式结构允许使用顶板洒水喷头（如果存在）来控制可能发生的火灾。



图 11. 非封闭式除尘器示例

3.1.25 连接管道 (2.5)

在属于扬尘控制系统一部分的管道中输送粉尘，或将产品从工艺的一部分移到另一部分。扬尘输送几乎始终是以显著低于 MEC 的值进行的，而工艺输送可以显著高于 MEC 的值进行。工艺输送可能是指密相输送。流程输送可能是指密相输送。

要正确了解危险，需要了解输送条件。这可以通过了解一段时间内处理/收集的数量来确定，也可以通过采样或监测管道中的实际流量来测量。有时，职业安全和健康专业人员可以获取这些数据。

管道中的危险可能会受到实际输送速率或因管道中流速不足而沉降并积聚的粉尘的影响。切记不要发生这种情况；可以通过保持足够的气流来控制，

气流通常按 3500-4000 英尺/分钟（1070-1220 米/分钟）的数量级流动。通过爆炸产生的压力波会重新夹带积聚的粉尘，并产生局部可燃浓度，随压力波移动并被后面的火焰锋所点燃。经过相当长的传播后，这种紊流喷射火焰将成为非常急剧的点火源，可破坏看似正确保护的设施。

极少量的沉积粉尘就会导致爆炸。对于直径为“D”且沉降在其 $\frac{1}{4}$ 内圆周（即底部）上的粉尘层厚度为“h”的圆形管道，均匀分布在管道横截面上的粉尘浓度将为 $C = \rho_{\text{bulk}} h/D$ 。例如，粉尘体积密度为 31 磅/平方英尺（500 千克/立方米）、层厚仅为 1/125 英寸（0.2 毫米）、管道直径为 8 英寸（0.2 米），可能会产生 500 克/立方米的粉尘浓度。这种浓度远远高于几乎所有粉尘的 MEC，因此会传爆。

沉积的粉尘很可能不会均匀地分散在整个管道中，但美国矿物局 (US Bureau of Mines) 的研究表明，即使在低至 MEC 一半的平均粉尘浓度下，爆炸也会通过管道传播。传播所需要的只是一条浓度高于 MEC 的混合物的连续路径。即使没有足够的粉尘注入浓度高于 MEC 的混合物的管道的整个容积，也会满足此条件。因此，即使是极少量的粉尘也足以传播爆炸，因此通过管道的气流速度应充足，以防止输送的粉尘沉淀。

管道系统中的泄压装置不是用于保护管道的（它们通常价格不高且易于更换），但可以减少沿管道长度传播的潜在爆炸的威力。这不会阻止爆炸传播，但会使含有悬浮粉尘的连接设备暴露在能量较低的点火源中。在不会危及设备的情况下，设计在低压下失效的管道，而不是安装泄压设备，可能是一种可接受的替代方法。

如果因设备未防护发生的事件或回火导致建筑物出现不可接受的后果，可能需要隔爆系统来连接管道。例如，大型砂光机可能有 6 个除尘点，3 个在顶部，3 个在底部，全部连接到一个共用管道中。每个除尘管都不需要隔离装置。主管道离开建筑物后，最好对其进行隔爆，以防止除尘器中的爆炸传播回砂光机。

3.1.26 料仓 (2.6)

即使料仓用于含有极小部分粉末的颗粒材料，料仓也可能存在粉尘爆炸危险。由于粗粒材料不断输送到料仓，它将掉落到料仓底部，但最细、最易爆的材料仍将悬浮。如果输送操作的持续时间足够长，空气中的可燃粉尘浓度将超过 MEC，并造成爆炸危险。

当除尘器直接安装在料仓上时（即使用直径足够大的短接管），除尘器内的任何点火都会产生相同的料仓爆炸效应，就像在料仓内发生爆炸一样。因此，除尘器可被视为料仓的一部分。只要料仓和除尘器总成上提供的任何泄压口的大小是根据两个容积之和确定的，就应该充分进行爆炸泄压，而不管爆炸是在料仓还是在附带的除尘器中引起的。

当除尘器通过小管道或细长管道与料仓分离时，料仓和除尘器在爆炸期间不再作为单个容积。如果爆炸发生在本身没有泄压口的除尘器中，喷射火焰将沿着连接管传播，点燃料仓内任何可燃的粉尘云。与传统（较弱）火源点燃的料仓爆炸相比，这会导致料仓内发生更剧烈的爆炸。

用于破坏桥拱的空气炮可能会将散装材料中的粉末分散到料仓顶部空间中。即使粉末占比很小（例如 1%-2%），反复的气冲也会将粉末集中在粉末层的顶部。反复的空气枪操作会在粉末层的顶部形成更多的粉末，并且每次空气炮喷射时都会在顶部空间中形成更高浓度的粉尘。只需要一个点火源就会导致潜在的严重粉尘爆炸。

此外，煤、谷物和木材等特定可燃材料容易产生自发热，而长时间吸入空气会增加产生此类自发热的可能性。进入炽热燃烧状态的空气可能会导致火焰或点燃粉尘爆炸。

解决空气枪问题的替代方案包括使用振动棒临时或永久插入料仓底部或使用声波除拱和破拱刺。

3.1.27 斗式提升机 (2.7)

斗式提升机有 2 种配置：单壳或双壳（单支腿和双支腿）：(1) 在单壳配置中，料斗在具有共用机头（顶部）和给料室（底部）的相同壳体（围护装置）中上下移动；(2) 在双壳配置中，尽管有单独的壳体用于上下移动料斗，但仍然是共用机头和给料室。

尽管散装可燃材料可能会有很小比例的粉末混合到过粗的材料中，从而构成粉尘爆炸危险，但处理散装材料可能会在斗式提升机围护装置中造成爆炸危险。由于在斗式提升机外壳内粉尘急速流动，任何细颗粒都极易被卷入悬浮流中。由于越来越多的粉末不断添加到提升机的气室中，并且几乎没有落下来的粉末，这样粉尘浓度就会超过 MEC，构成粉尘爆炸危险。

这种情况的一个示例包括未研磨的去壳大豆提取，其不会爆炸。大部分这种产品都非常粗糙（中等粒径约为 1000 微米），但有大约 3% 的粉末小于 75 微米。但在一个例子中，在斗式提升机中输送此产品几分钟后，粉末被释放，然后发生点火和爆炸。

3.1.28 粉碎设备（打磨机、粉碎机、锤磨机等）

在存在可燃粉尘的情况下，粉碎设备存在机械碰撞的固有危险。机械碰撞会产生摩擦和冲击加热。如果金属异物进入机器，可能会产生火花。这可能会导致灼热颗粒离开设备成为下游设备中的点火源，也可能导致实际点燃设备中的粉尘云。这些机器通常结构坚固，能够承受内部爆炸而不会受损。

通常不需要爆炸泄压，但应考虑爆炸传播到装置的其他部分，并且可能需要使用隔爆技术。

定期维护这些装置，以确保提供充分的润滑，保持适当的间隙，并且粉尘和碎屑不会积聚并点燃或影响正常运行。

3.1.29 增材制造（3D 打印）(2.10)

增材制造 (AM)，通常被称为 3D 打印，在制造复杂零件方面的重要性日益增加。从玩具到航空航天，正在为各种服务生产部件。

图 12、13 和 14 显示了主要技术类别及其特性的示意图。图 14 中提到的 3D 打印更能代表个人级打印机，而不是工业级打印机。

粉末床熔融似乎是最常用于金属粉末的方法。它涉及使用数字设计数据逐层形成部件，交替沉积一层厚 20 至 100 微米（0.02 至 0.1 毫米，0.0008 至 0.004 英寸）的材料，然后将部件模式熔融到层中并重复该顺序，直到完成“构建” - 所创造的部件。使用金属粉末时，可使用激光或电子束进行熔融，而聚合物/塑料可使用激光熔融或将粘性液体喷涂到粉末层上。

图 15 显示了生产实际产品的选择性激光烧结 (SLS) 熔融层技术的示意图。粉末层的分布通过刚好位于构建平台或前一层表面上方的撑杆实现。

材料沉积工艺使用粉末或挤压法逐层构建设计。一种技术是通过气流喷印法选择性地分散粉末，然后用热或电子束来熔融（材料喷射）。这些流程使用小型单独的材料“喷射”，通常不会在设备中产生粉尘云。

最后，在池中使用液体塑料树脂，其中成形机构使用光束（激光、紫外线）将聚合物熔融成所需的形状（立体平版印刷）。一种方法使用高闪点液体树脂（超过 212°F、100°C）和中等闪点清洗液（185°F、85°C）。

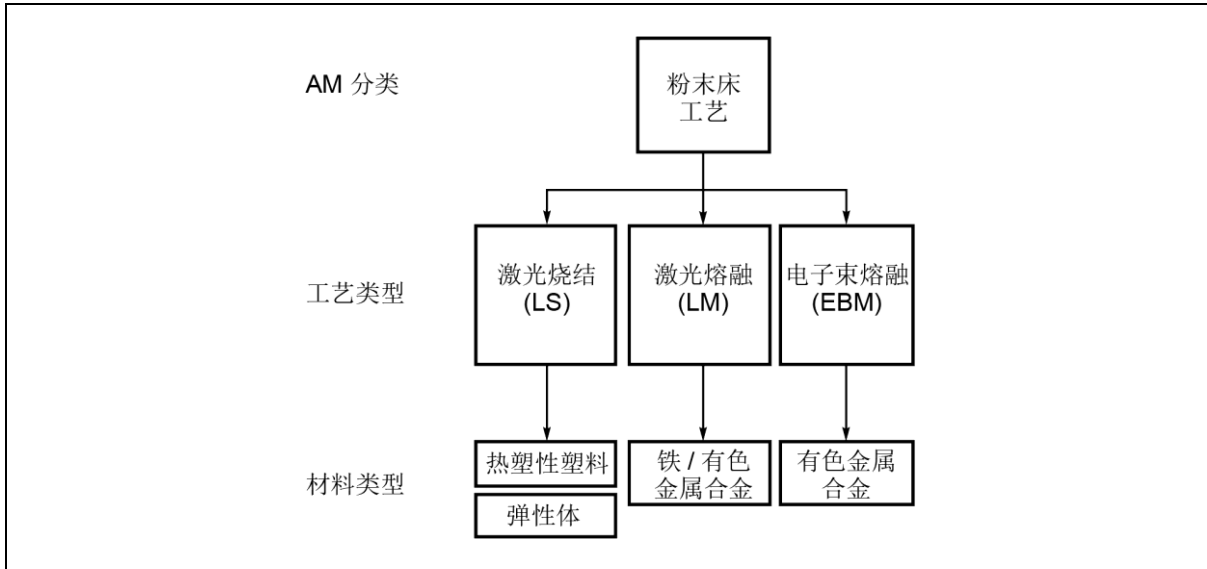


图 12. 粉末床工艺

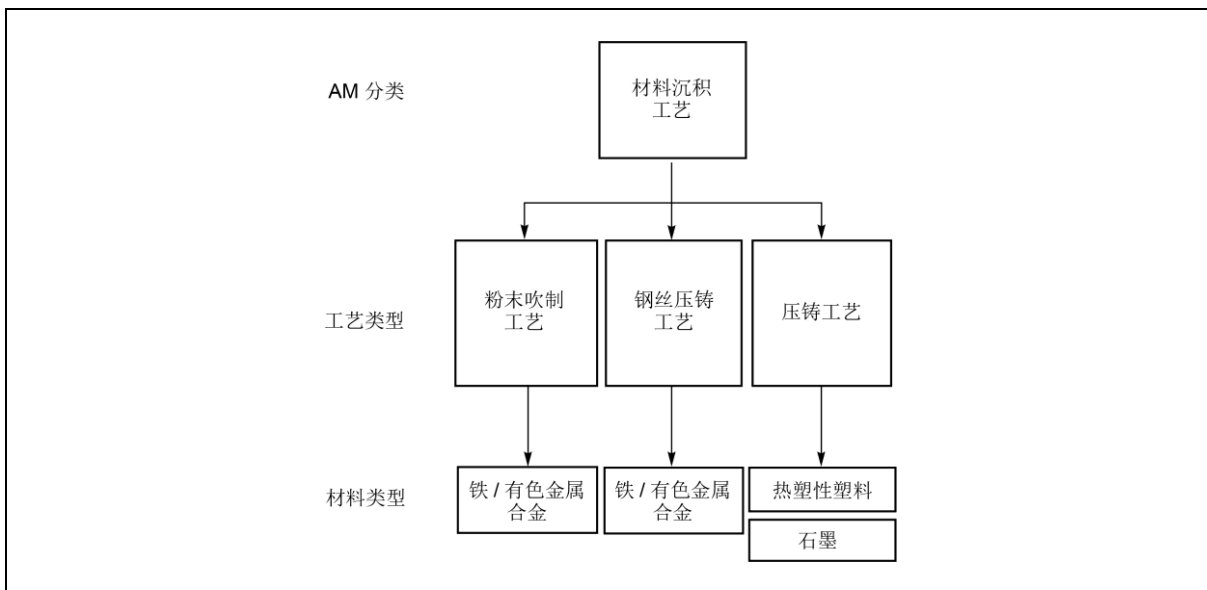


图 13. 材料沉积工艺

构建材料可以是细粉末金属、塑料、陶瓷或玻璃。常用的金属合金粉末包括钴-铬、铝-钛、镁、不锈钢（铁和铬以及其他更少的添加剂）和铬镍铁（镍和铬与铁和其他金属一起作为较少的添加剂）。材料的爆炸性 (Kst) 随特定金属或合金而变化，通常应将其视为可燃粉尘，除非经测试证明是其他材料。

图 16 显示了典型工业打印机的示例。ProX 300 和 Concept M2 具有大约 250 x 250 x 300 毫米（10 x 10 x 12 英寸）的成形范围（打印部件的封套）。工业级打印机每台机器的价格可能为 50 万美元或更多。

3.1.29.1 潜在危险

从个人安全角度来看，问题包括烟雾和粉末颗粒需要进行适当通风；腐蚀性和刺激性材料需要佩戴个人防护装备（手套、护目镜等）；高温表面；激光或紫外线；以及高电压。

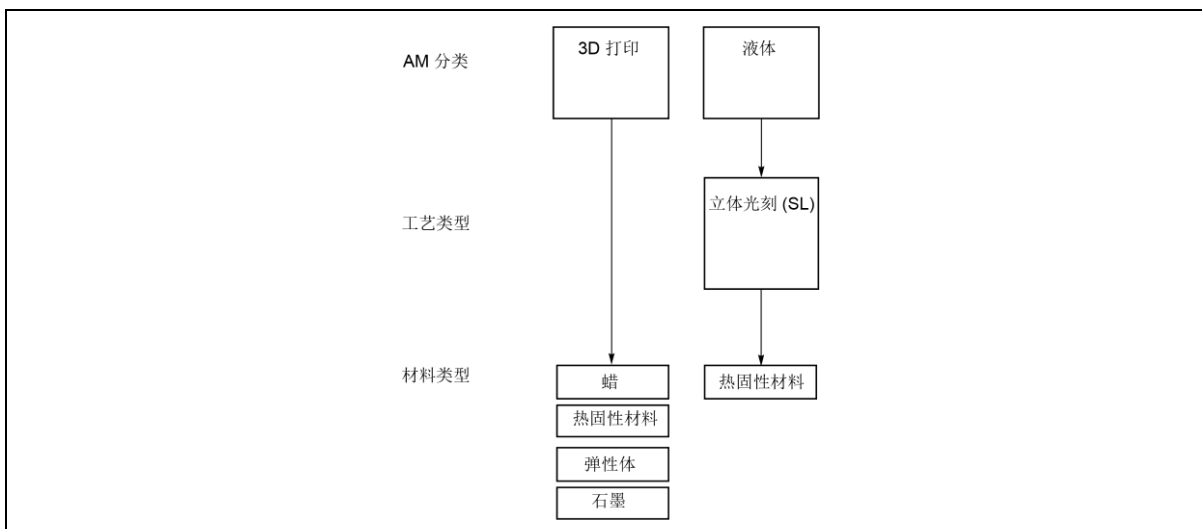


图 14. 3D 打印和液体处理

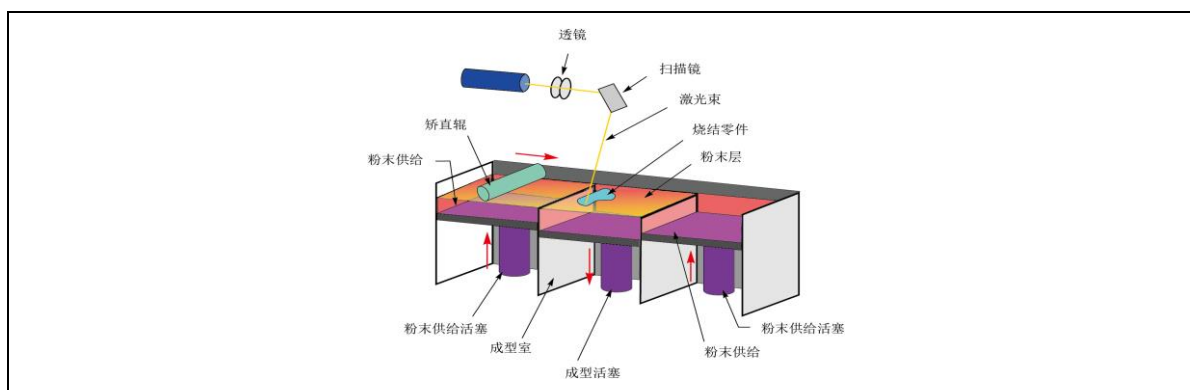


图 15. SLS 设计概念（Chemical Engineering Progress, 2014 年 5 月）

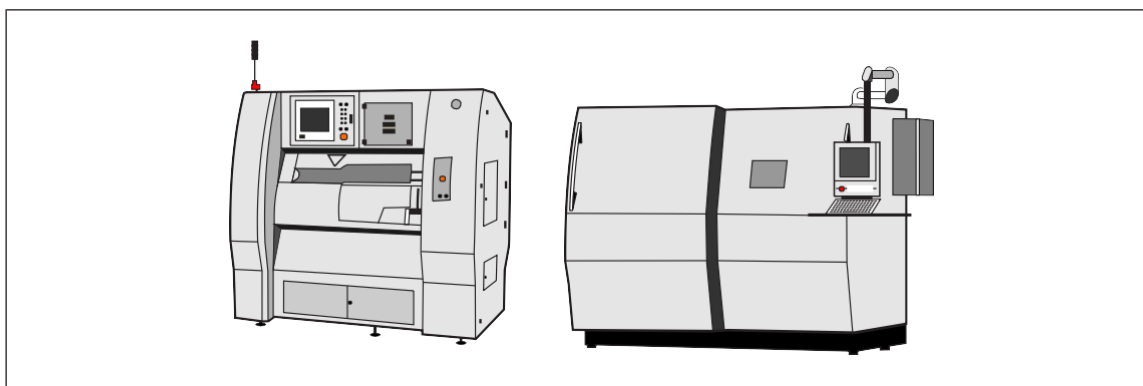


图 16. 工业级 3D 系统：ProX300 和 Concept M2 激光打印机（来源：制造商手册）

主要的性能危险包括以细粉末形式（通常不超过 50 微米）处理的可燃粉尘，以及一些系统使用的可燃液体。这里仅涉及与粉末操作相关的危险，重点介绍金属粉末。

基于金属的工艺在低氧大气（氧气含量少于 1%）下运行，以达到产品质量目的，因此在成型室或惰性大气再循环系统中

不会有爆炸危险。该系统可包括主要是或完全是可燃结构的筒式或板式过滤器。大多数过滤器可用于 2 到 3 个构建周期，然后进行更换。某些系统将激光流程中产生的烟雾识别为“高度易燃金属冷凝物”，需要采取特殊处理和预防措施以防止点燃，这可能导致在拆卸过滤器并将其暴露于空气时过滤器发生自发阴燃事件。

由于大多数当前的工业机器只需要少量的材料（最大可达几百磅/千克），因此可在尺寸不超过约 2 加仑（7.6 升）的重型纤维板容器或塑料瓶中处理工艺粉末。输送这些粉末时可能发生静态积聚，制造商通常会建议在执行这些操作过程中对人员、容器和机器进行等电位连接和接地。在材料处理侧，考虑到这些系统的当前使用规模，通过接地、等电位连接等方式控制点火源比惰化操作更实用。

生产级设备可能需要其他材料处理方法，并且需要根据涉及的粉末和其他可燃粉尘的属性进行评估。

隔声室的清理流程通常使用便携式真空除尘器进行，这些真空除尘器需要适用于涉及可燃金属或塑料粉尘的危险操作。

从设备中取出完成的零件，手动或机械抖掉多余的粉末，或使用工厂用压缩空气吹出，然后进行其他抛光处理流程。某些塑料使用手套箱中的高压喷水器进行清洁。吹气可能会造成小型局部粉尘闪火危险，或者相关的集尘系统可能会存在粉尘爆炸危险。

3.1.29.2 保护措施

如前所述，处理可燃金属粉末的机器在惰性气体中运行，不存在粉尘爆炸危险。需要评估使用其他可燃粉末的机器，以了解工艺的工作原理以及是否会产生大量的可燃粉尘云。

机器围护装置完全封闭可燃粉末，因此对周围具有危险性的电气设备不需要进行防护。

如果使用筛选或其他方法进行粉末回收作业，则应在通风良好的通风柜中进行。同样，还应在适当的通风柜或围护装置内清理产品以清除内部空间中的粉末。

使用专为服务而设计的便携式真空除尘器进行粉末清理。对于收集金属或任何其他可燃粉尘的真空除尘器的认证，没有明确的标准可用。似乎大多数真空除尘器都适合在粉尘危险区域内使用，与其他电气设备相同。

EN 60335 标准第 2-69 部分，“有关湿式和干式真空除尘器的特殊要求”，广泛解决了用于在 22 区操作的设备的认证问题。该文档的附录 CC 专门阐述了对符合 22 区使用条件所需的主要标准的修改。附件 CC 的第 24.1 条规定“位于含有收集的可燃粉尘的围护装置内的部件应适用于第 20 区。”

4.0 参考文献

4.1 FM Global

数据册 1-44, *Damage Limiting Construction*
数据册 5-1, *Electrical Equipment in Hazardous Locations*
数据册 5-8, *Static Electricity*
数据册 5-20, *Electrical Testing*
数据册 6-9, *Industrial Ovens and Dryers*
数据册 7-10, *Wood Processing and Woodworking Facilities*
数据册 7-17, *Explosion Protection Systems*
数据册 7-32, *Ignitable Liquid Operations*
数据册 7-59, *Inerting and Purging of Tanks, Process Vessels and Equipment*
数据册 7-73, *Dust Collectors and Collection Systems*
数据册 7-75, *Grain Storage and Milling*
数据册 7-78, *Industrial Exhaust Systems*
数据册 10-3, *热加工操作管理*
热加工操作管理 (P9601_CHS)

4.2 其他

空气流动和控制协会 (AMCA)。 *Classifications for Spark Resistant Construction*. AMCA 99040186, 最新版。

美国材料与测试协会 (ASTM)。可燃粉尘云极限氧（氧化剂）浓度的标准试验方法。E2931。

美国材料与测试协会 (ASTM)。 *Standard Test Method for Minimum Explosible Concentration of Combustible Dusts*。标准 E1515, 最新版。

美国材料与测试协会 (ASTM)。 *Standard Test Method for Minimum Ignition Energy of a Dust Cloud in Air*. ASTM E2019, 最新版。

美国材料与测试协会 (ASTM)。 *Standard Test Method for Pressure and Rate of Pressure Rise of Combustible Dusts*. 标准 E1226, 最新版。

Bhatia, S.K. and S.Sharma. “3D Printed Prosthetics Roll off the Presses.” *Chemical Engineering Progress*, 2014 年 5 月。

欧洲标准化委员会 (CEN)。粉尘云的爆炸特性测定
- 第 1 部分：粉尘云的最大爆炸压力 P_{max} 的测定。EN 14034-1。

欧洲标准化委员会 (CEN)。粉尘云的爆炸特性测定
- 第 2 部分：粉尘云的最大爆炸升压率 $(dP/dt)_{max}$ 的测定。EN 14034-2。

欧洲标准化委员会 (CEN)。粉尘云的爆炸特性测定。第 3 部分：粉尘云的爆炸下限 (LEL) 的测定。
（也称为最低爆炸浓度，MEC）。EN 14034-3。

欧洲标准化委员会 (CEN)。粉尘云的爆炸特性测定。第 4 部分：粉尘云的极限氧浓度 (LOC) 的测定。
EN 14034-4。

欧洲标准化委员会 (CEN)。 *Fire and Explosion Prevention and Protection for Bucket Elevators*. TR16829
（初步）。

欧洲标准化委员会 (CEN)。家用电器和类似用途电器的安全，第 2-69 部分：商用带电动刷的湿式和干式真空除尘器的特殊要求。EN 60335-2-69。

欧洲标准化委员会 (CEN)。 *Potentially Explosive Atmospheres - Explosion Prevention and Protection - Determination of Minimum Ignition Energy of Dust/Air Mixtures*. EN 13821。

Holbrow, P., G.A.Lunn, and A.Tyldesley. “Explosion Venting of Bucket Elevators.” *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. Vol. 15, No. 5, 2002。

国际标准化组织 (ISO)。防爆系统 - 第 1 部分：空气中可燃粉尘爆炸指数测定方法。ISO 6184/1，最新版。

美国国家消防协会 (NFPA)。Recommended Practice for the Classification of Combustible Dusts and of Hazardous (Classified) Locations for Electrical Installation in Chemical Process Areas.NFPA 499，最新版。

美国国家消防协会 (NFPA)。Recommended Practice on Static Electricity.NFPA 77，最新版。

美国国家消防协会 (NFPA)。Standard on Explosion Prevention Systems.NFPA 69，最新版。

美国国家消防协会 (NFPA)。Standard on Explosion Protection by Deflagration Venting.NFPA 68，最新版。

埃克塞特大学加层制造中心。什么是加层制造？

<http://emps.exeter.ac.uk/engineering/research/calm/whatis>.2016 年 10 月 16 日访问。

Verein Deutscher Ingenieure (VDI)。VDI 指南 2263 第 8.1 部分，粉尘火灾和粉尘爆炸：危险、评估、防护措施；升降机上的防火防爆。2011。

Verein Deutscher Ingenieure (VDI)。VDI 指南 3673 第 1 部分，第 1 部分，“粉尘爆炸的泄压”。最新版。

附录 A 术语表

A_v ：泄压面积

气料分离器：广义上是指将粉末与输送它的空气相分离的设备。通常，这里指的是旋风除尘器或除尘器。

Bara：巴，绝对压力（压力单位）。

Barg：巴，表压力（压力单位）

等电位连接：两个导电物体之间的电气连接，可最大程度地减少它们之间的电位差。

限损结构 (DLC)：设计用于最大程度减少设备或建筑物内的爆燃（爆炸）导致的损坏的结构。这可以是耐压、减压或两者的某种组合。最常见的 DLC 是围护装置（建筑物或设备）上的爆炸泄压板，可在低于围护装置强度的压力下释放。

设计强度：容器可暴露于其中而不存在任何损坏风险的压力（因为屈服强度已应用了安全系数）。

双泄压阀：串联布置的两个闸阀或蝶形阀。一次只能打开一个。此阀通常用于从一个容器中排出的材料在重力作用下进入另一个容器的情况（即，不是通过气动输送），例如除尘器将物料排入其下方的料斗中，或者物料搅拌机或打磨机将物料排入气动输送系统中。

粉尘：小固体颗粒可通过倾倒、吹扫、打磨等方式悬浮在空气中。就本数据册而言，它仅指可燃粉尘。

可燃粉尘：任何有机物质（农业、塑料、化学、煤等）、未氧化的金属颗粒或其他可氧化物质（例如硬脂酸锌）都应被视为可燃物质。涉及将火花、火柴、本生灯或麦克灯火焰应用到小型材料层或材料堆的测试可能有助于识别此类材料，但会导致漏报率。

可爆粉尘：根据 ASTM E1226,《粉尘爆炸的标准试验方法》或国际同等标准（例如 EN 14034-1,《粉尘云的爆炸特性测定 - 第 1 部分：粉尘云的最大爆炸压力 P_{max} 的测定》和 EN 14034-2,《粉尘云的爆炸特性测定 - 第 2 部分：粉尘云的最大爆炸升压速率 $[dP/dt]_{max}$ 的测定》确定。在层或堆测试中不会点燃和燃烧的粉尘可在 E1226 型式测试中被确定为可爆炸。

非封闭式除尘器：设计并用于在过滤器介质未封装或处于容器内时去除输送空气中粉尘的装置。

隔爆：防止爆炸效应从一个容积传播到相邻容积的系统或单个装置。

爆炸控制：用于在爆炸开始后减少爆炸损害的方法。

防爆：用于通过控制空气、燃料、点火源或这些物质的组合来防止爆炸的方法。

经 FM 认证：本数据册中提及的“经 FM 认证”是指产品和服务符合 FM 认证标准。FM 认证产品和服务的完整名录参见《认证指南》（Approval Guide）。

接地：导电物体与地面之间的电气连接，可最大程度地减少物体与地面之间的电位差。

可燃液体：能够引起燃烧的任何液体或液体混合物，包括易燃液体、可燃液体或任何其他将会燃烧的液体。可燃液体必须有一个着火点。

K_{st} ：粉尘爆炸系数，定义为 1 立方米容器中粉尘爆炸的最大升压速率。单位为巴-米/秒 (bar m/s)。用于获取此系数的测试方法已在全球范围内标准化。此值 (K_{st}) 用于确定所有现代粉尘泄压口的尺寸，以确定特定粉尘的反应性（即，可爆炸性）。此常数仅使用公制单位。

MEC：最低爆炸浓度，可支持自传播爆炸的最低粉尘浓度。（术语 LEL [爆炸下限] 或 LFL [可燃下限] 含义相同，但不常用于粉尘爆炸语境中。）

介质型除尘器：通过让空气流过干燥过滤介质将干燥的固体材料与空气相分离的装置（围护装置）。示例包括带袋式过滤器的围护装置、筒式过滤器（通常是以圆柱形布置的褶式过滤器，类似于汽车空气过滤器）、转筒式过滤器和板式过滤器。（有关过滤器类型的信息，请参见数据册 1-45, *Air Conditioning and Ventilating Systems* 和数据册 7-73, *Dust Collectors and Collection Systems*。）

MIE（最小点火能量）：在可燃混合物中某点释放的最小热能量，以在指定测试条件下引起无限火焰传播。MIE 的下限值，称为 LMIE，可在特定的最佳混合物中找到。该值通常以 MIE 表示。

钝化：将惰性粉尘与可燃粉尘混合以减少或消除爆炸危险的过程。

$P_{blast, max}$ ：由火球产生的局部压力和由爆炸泄压产生的压力。

P_{max} ：按照 ASTM E1226 方法测试粉尘的可爆性时，在 20 升球体中产生的最大压力。这是用于帮助确定爆炸泄压器尺寸的因素。

P_{red} ：受爆炸泄压装置保护的容器内的最高爆炸压力；常用单位是巴表压力或磅/平方英寸表压力。

P_{stat} ：爆炸泄压压力；常用单位是巴表压力或磅/平方英寸表压力。

$Psia$ ：磅/平方英寸绝对压力（压力单位）。

$Psig$ ：磅/平方英寸表压力（压力单位）。

急剧点火源：急剧点火可提供超过大约 100 焦耳的能量。

- a) 急剧点火源的示例包括明火、焊弧、气体或粉尘爆炸以及电弧/短路。
- b) 相反，非急剧点火源的示例包括摩擦火花、机械碰撞火花、静电火花、香烟、高温表面、电气部件过热。

高强度容器：可以承受 0.2 巴表压力（3 磅/平方英寸表压力）以上的爆炸压力而不会受到损坏或损毁的容器。这包括在欧洲制造或使用的大多数工艺容器。

管板：用于安装筒式过滤器或袋式过滤器导管上的板。

极限强度：围护装置被扯开（即破裂）时的压力。

低强度容器或围护装置：不能承受 0.2 巴表压力（3 磅/平方英寸表压力）以上的爆炸压力且会受到损坏或损毁的结构。这包括大多数房间、建筑物和许多北美工艺容器。

屈服强度：使围护装置变形但不会破裂的压力。

附录 B 文件修订记录

2017 年 4 月。临时修订。为清晰起见，对有关斗式提升机保护的[建议 2.7.2.3](#)进行了修改。

2017 年 1 月。临时修订。进行了以下修改：

- A. 添加了有关增材制造（3D 打印）的新内容。
- B. 扩展了爆炸泄压的设计标准，并增加了有关斗式提升机的消防标准。
- C. 添加了有关未封闭式除尘器的新内容。
- D. 扩展了有关正确应用无焰泄压装置（淬火管）的信息。
- E. 进行了编辑修改。

2014 年 10 月。临时修订。通过去除特定颗粒尺寸限制，对可爆粉尘的定义进行了修改，使其符合工业实践。

2014 年 1 月。进行了细微的编辑修改。2013 年 4 月。进行了细微的编辑修改。

2012 年 1 月。修订了与可燃液体相关的术语，以提高 FM Global 针对可燃液体危险的防损建议的清晰度和一致性。

2009 年 3 月。针对本修订进行了细微的编辑修改。2009 年 1 月。对 2.4.2.2.1 节中的等式进行了更正。

2008 年 5 月。对文档尤其是建议进行了格式调整，以使其更清晰、更易于使用。针对粉尘危害场所的首选位置，增加了更多建筑结构和位置指南。强调了爆炸危险消除和控制功能。

添加了快速关闭阀作为隔离方法。

改进了位于扬尘环境中的风扇和风机的标准 - 在扬尘气流中，风扇和风机可能成为超过 MEC 的大气中的点火源。

简化了对未知强度容器的保护标准。

解决了与其他数据册不一致的问题，尤其是数据册 7-73, *Dust Collectors*。

简化了“建议支持”部分。

2006 年 5 月。针对本修订版本进行了细微的编辑修改。

新增了第 3.2.3.9.1 节，典型泄压板质量（惯性）

2005 年 5 月。添加了实施变更管理计划的建议。2005 年 1 月。细微的编辑修改

2004 年 5 月。细微的编辑修改，2003 年 5 月。细微的编辑修改

2001 年 1 月。重新组织了文档，以提供一致的格式。

1995 年 8 月。主要修订实施基于 K_{st} 的泄压口尺寸确定技术，并放弃以前的泄压面积法，改为保护容积法。

本数据册包括许多 1976 年版中没有的新建议，但许多地方需要的保护比以前版本需要的要少。一般防爆要求有以下例外：

- 对于处理 K_{st} 小于 80（易爆）的粉尘且顶部的开放出气口的直径等于或超过旋风除尘器直径的 45% 时，不需要进行泄爆。
- 在低于 0.1 巴绝对压力（1.5 磅/平方英寸绝对压力）的压力下运行的系统不需要任何保护。
- 与其他具有相同容积的设备相比，喷雾干燥器需要较少的爆炸泄压量。注：现在，使用 FM Global Research DustCalc 软件可以计算出喷雾干燥器和其他设备的泄压面积。

附录 C 有关粉尘爆炸危险的研究信息

请参阅以下文章：

Tamanini, F. and Valiulis, J.V. “Improved guidelines for the sizing of vents in dust explosions”, Journal of Loss Prevention in the Process Industries (Vol. 9.No. 1. 1996), 105-118

附录 D 参考文献

1. Bartknecht, W. Dust Explosions: Course, Prevention, Protection. Springer-Verlag, New York, NY, 1989.
2. Alfert, F., and K. Fuhre. Flame and Dust Free Venting of Dust Explosions by Means of a Quenching Pipe. CMI-Report No. 89-25820-1. Chr. Michelsen Institute (Norway), 1989.
3. Eckoff, R.K. Dust Explosions in the Process Industries. Butterworth-Heinemann, Oxford, 1991.
4. van Wingerden, K. “Prediction of pressure and flame effects in the direct surroundings of installations protected by dust explosion venting.” Journal of Loss Prevention in the Process Industries (Vol. 6, No. 4, 1993): 241–249.
5. WirknerBott, I., et. al. “Dust Explosion Venting: Investigation of the Secondary Explosion.” Paper presented at the Seventh International Symposium on Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries, Taormina, Italy, 1992.
6. Lunn, G.A. Dust Explosion Prevention and Protection Part 3 — Venting of Weak Explosions and the Effect of Vent Ducts. Rugby: Institute of Chemical Engineers, 1988.
7. Cooper, M. G., et. al. “On the Mechanisms of Pressure Generation in Vented Explosions.” Combustion and Flame (1986) 65: 1–14.
8. Cubbage, P. A., and W. A. Simmonds. “An Investigation of Explosion Reliefs for Industrial Drying Ovens. I-Top Reliefs in Box Ovens.” Transactions of the Institute of Gas Engineers (1955) 105: 470–526.
9. Siwek, R., and O. Skov. “Modellberechnung zur Dimensionierung von Explosionsklappen auf der Basis von praxisnahen Explosionsversuchen.” VDI Berichte (1988) 701: 569–616.
10. Pineau, J.P. “Protection Against Fire and Explosion in Milk Powder Plants.” Europex First International Symposium, Antwerp, Belgium, April 16–19, 1984.
11. Hurlimann, H. “Results from Real Scale Explosion Tests.” Third International Symposium on Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries, Basel, Switzerland, 1980.
12. van Wingerden, C.J.M., and H.J. Pasman. “Explosion Venting of Partially Filled Enclosures.” Conference on Flammable Dust Explosions, St. Louis, Missouri, USA, November 2–4, 1988.
13. Zeeuwen, J.P., and G.G.M. van Laar. “Explosion Venting of Enclosures Partially Filled with Flammable Dust/Air Mixtures.” International Symposium on Control of Risks in Handling and Storage of Granular Foods, Paris, France, April 24–26, 1985.
14. Siwek, R. “New Knowledge About Rotary Air Locks in Preventing Dust Ignition Breakthrough.” Plant Operations Progress (July 1989) Vol. 8, No. 3: 165–176.
15. Green, D. W., and R. H. Perry. Perry’s Chemical Engineers’ Handbook, Eighth Edition (Chemical Engineers Handbook). New York: McGraw-Hill, 2007.

16. DeGood, R. "Isolation: Another Way to Take the Bang out of Explosions." CPI Equipment Reporter (Jan-Feb 1988).
17. Siwek, R. "A Review of Explosion Isolating Techniques." Europex International Seminar, March 1996.