

ICS XXX

A XX

团 体 标 准

T/CPASE PTXXX—2023

无火焰粉尘爆炸泄压装置性能试验方法

Test method for performance of fameless explosion venting devices

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国特种设备安全与节能促进会 发 布

目 录

前 言.....	III
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语与定义.....	1
4 通则.....	4
5 无火焰爆炸泄压装置的性能试验.....	5
附 录 A（资料性附录）无火焰泄压设计示例.....	9
附 录 B（资料性附录）有效泄压面积的计算示例.....	10

前 言

无火焰爆粉尘炸泄压装置性能试验方法

1 范围

本标准规定了适用于可燃粉尘的无火焰爆炸泄压装置的技术要求。

本标准不适用于有毒性或腐蚀性的粉尘、烟花爆竹、火炸药或其它不需要助燃气体即可自身发生爆炸的粉尘。

本标准不适用于可能发生粉尘爆轰或热失控反应的工艺设备或设施。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 567.1 爆破片安全装置 第1部分：基本要求

GB 12476.1 可燃性粉尘环境用电气设备 第1部分：通用要求

GB 15605 粉尘爆炸泄压规范

GB/T 15604 粉尘防爆术语

GB/T 16426 粉尘云最大爆炸压力和爆炸指数测定方法

3 术语与定义

GB 15605和GB/T 15604界定的以及下列术语和定义适用于本文件。为便于使用，以下重复列出了GB 15605中的某些术语和定义。

3.1

围包体 safety risk

内部存在相对封闭的空间，其中可能形成爆炸性危险环境的容器、工艺设备、建（构）筑物和设施。

3.2

爆炸泄压 explosion venting

一种控制围包体内爆炸压力的防护方法，通过打开预先设计的泄压口，释放未燃混合物与燃烧产物，防止压力上升超过设计强度以保护围包体。

3.3

爆炸泄压装置 explosion venting device

采用爆炸泄压措施保护围包体的装置，在正常作业时封闭泄压口，在爆炸时打开泄压口释放爆炸压力。

3.4

无火焰爆炸泄压 flameless explosion venting

一种可以防止火焰传播到被保护设备和泄压装置的外部，并降低爆炸对外部造成危害的爆炸泄压方法。

3.5

无火焰爆炸泄压装置 flameless explosion venting device

带有灭火元件，采用无火焰爆炸泄压方法保护围包体的装置。

3.6

可再用爆炸泄压装置 explosion venting device with reusable elements

发生爆炸泄压后，无需更换泄压元件，并可通过自动或手动方式复位，可以重复使用的爆炸泄压装置。

3.7

不可再用爆炸泄压装置 explosion venting device with non-reusable elements

发生爆炸泄压后，需要更换一个或多个泄压元件才能重新使用的爆炸泄压装置。

3.8

保持元件 retaining element

爆炸泄压装置上用于确定静开启压力的一个或多个元件。

注：保持元件可以是可再用的或不可再用的。

3.9

泄压元件 venting element

爆炸泄压装置上，非爆炸条件下封闭泄压口，并在爆炸条件下开启的元件。

注：泄压元件可以包含或不包含保持元件，可以是可再用的或不可再用的

3.10

基准泄压元件 baseline venting element

单位面积重量小于 $0.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 且在惯性作用下不阻碍泄压过程的泄压元件。

示例：

爆破板。

3.11

约束元件 restraining element

爆炸泄压装置上，用于防止形成危险抛射物的一个或多个元件。

3.12

灭火元件 flame quenching element

无火焰爆炸泄压装置上，用于防止火焰传播到被保护容器外部从而降低爆炸泄压对容器外部造成危害的一个或多个元件。

3.13

集成式无火焰爆炸泄压装置 integrated flameless explosion venting device

灭火元件与泄压元件集成在一起，无法单独更换泄压元件的无火焰爆炸泄压装置。

注：集成式无火焰爆炸泄压装置的泄压元件通常是可再用的。

3. 14

爆破板 rapture panel

一种不能重新关闭泄压口，且不能再次使用的爆炸泄压装置，它在一定的静开启压力下破裂打开泄压口。

3. 15

受控爆炸压力 reduced explosion overpressure

p_{red}

采取了爆炸控制措施后，被保护围包体内发生爆炸的压力峰值。

注：如果爆炸控制措施为爆炸泄压，受控爆炸压力也称泄爆压力。

3. 16

最大受控爆炸压力 maximum reduced explosion overpressure

$p_{red, max}$

系统地改变可燃物的浓度所测得的受控爆炸压力 p_{red} 的最大值。

注：如果爆炸控制措施为爆炸泄压，最大受控爆炸压力也称最大泄爆压力。

3. 17

粉尘云最大爆炸压力 maximum explosion pressure of a dust cloud

p_{max}

在规定容积和点火能量下粉尘云中可燃粉尘浓度范围内不同浓度值对应的所有爆炸压力峰的最大值。

3. 18

静开启压力 static activation pressure

p_{stat}

按标准的测试方法，通过压力缓慢上升使泄压装置动作的内外压力差。

3. 19

静开启压力允差 static activation pressure tolerance range

爆炸泄压装置的最大静开启压力和最小静开启压力与其标称静开启压力的差值。

3. 20

规格化爆炸压力上升速率 normalized rate of explosion overpressure

K_m

在规定的测试条件下，在密闭容器中采用特定的可燃物质与空气混合物测得的爆炸压力上升速率 $(dp/dt)_m$ 与测试容器容积的立方根 $V^{1/3}$ 的乘积，即：

$$K_m=(dp/dt)_m \cdot V^{1/3} \quad (1)$$

式中：

$(dp/dt)_m$ ——爆炸压力上升速率。

注： K_m 是一个与浓度相关的参数，同一种粉尘，浓度不同， K_m 可能不同。

3.21

粉尘爆炸指数 dust explosion constant

K_{st}

在规定的测试条件下，在密闭容器中采用特定的粉尘爆炸时产生的最大爆炸压力上升速率与测试容器的容积的立方根的乘积称为粉尘的爆炸指数。

注： K_{st} 是一个与浓度无关的参数，是多种反应物浓度下，即最大的 K_m 值。

3.22

几何泄压面积 geometric venting area

A_V

在考虑流通截面减小的情况下，包括背压支撑装置、约束装置和爆炸泄压后的残留部件，爆炸泄压时泄压口的最小流通截面积。

3.23

有效泄压面积 effective venting area

A_E

对于有惯性的泄压装置，达到同样泄压效果的基准泄压元件的几何泄压面积。

注：“同样泄压效果”用达到同样的最大受控爆炸压力 $p_{red, max}$ 来衡量。

3.24

泄压效率 venting efficiency

E_F

为有效泄压面积与几何泄压面积的比值，表示泄压装置因为存在惯性或灭火元件而降低泄压效果的无量纲数。

3.25

标称保护容积 nominal protection volume

$V_{max, FV}$

根据制造商提供的设计，允许仅被单一无火焰爆炸泄压装置保护的容器的最大容积。

4 通则

4.1 一般要求

无火焰爆炸泄压装置包括一个爆炸泄压装置和至少一个灭火元件。灭火元件应适合其使用场所的化学和物理条件，包括温度范围，机械强度，粉尘类型，腐蚀环境，机械振动环境，潮湿环境等。

无火焰爆炸泄压装置应避免因泄漏的工艺粉尘进入灭火元件而导致泄压效率降低。

无火焰爆炸泄压装置的设计应适合环境条件和工艺条件，包括防止积雪和积冰，防止物料在泄压装置的内表面积累等。

无火焰爆炸泄压装置在所受压力达到其静开启压力时（在其静开启压力允差范围内）应开启。不以泄压为目的的部件，在爆炸泄压时不应爆裂。无火焰爆炸泄压装置的泄压元件不应形成危险的飞掷物。

4.1.1 如无火焰爆炸泄压装置的应用环境存在热量散失或结露的情况，则装置的内外表面应设计安装隔热材料。

4.1.2 无火焰爆炸泄压装置的垫片和密封件应与制造商规定的型号规格一致，且应满足使用场所的化学和物理条件，包括腐蚀环境，高温环境，低温环境，机械振动环境，潮湿环境等。

无火焰爆炸泄压装置应通过性能试验。

无火焰爆炸泄压装置应包括以下参数：

- (1) 静开启压力 p_{stat} 及其允差；
- (2) 预期用途的爆炸指数 K_{st} ；
- (3) 几何泄压面积 A_V ；
- (4) 泄压效率 E_F 。

4.2 无火焰爆炸泄压系统的设计

4.2.1 采用单一无火焰爆炸泄压装置时，被保护容器的容积应不超过性能试验时所采用的测试容器的容积。（参见附录 A）。

4.2.2 如果单一无火焰爆炸泄压装置受此限制不足以保护时，可采用多个相同型号、尺寸 of 无火焰爆炸泄压装置。（参见附录 A）。

4.2.3 当采用多个无火焰爆炸泄压装置保护的容器的容积是单一无火焰泄压装置标称保护容积 $V_{\text{max, FV}}$ 的 n 倍（不足 n 倍时按 n 倍计算）时，则该容器应至少使用 n 个无火焰泄压装置（参见附录 A）。

5 无火焰爆炸泄压装置的性能试验

5.1 一般要求

5.1.1 制造商应提供以下内容：

- (1) 装置适用的工艺条件，包括环境温度和环压压力；
- (2) 装置的安装尺寸，几何泄压面积 A_V 和泄压效率 E_F ；
- (3) 泄压元件的静开启压力 p_{stat} ；
- (4) 标称保护容积 $V_{\text{max, FV}}$ ；
- (5) 最大受控爆炸压力 $p_{\text{red, max}}$ ；
- (6) 适用粉尘的性质，包括粉尘的 K_{st} 、 p_{max} ；
- (7) 装置的类型和结构（例如材质，外形尺寸）和其它相关的质量控制参数。

5.1.2 无火焰爆炸泄压装置的性能试验应测试以下项目：

- (1) 静开启压力试验；
- (2) 爆炸试验，包括：
 - ① 功能和机械完整性；
 - ② 灭火消焰性能；
 - ③ 泄压效率；
 - ④ 对外部环境的影响。
- (3) 如带有感知泄压装置开启的探测装置，则应测试其安全性；
- (4) 如预期用途带有遮盖物或隔热装置，则应测试其影响。

5.1.3 所有性能试验都应有文档记录。

5.1.4 如在任意一次无火焰爆炸泄压装置的性能试验中有火星喷出，则该无火焰爆炸泄压装置不应在粉尘爆炸危险环境中使用。

注：“粉尘爆炸危险环境”指的是被保护围包体的外部。

5.2 静开启压力试验

5.2.1 一般要求

5.2.1.1 根据爆炸泄压装置的类型，静开启压力的试验应采用以下方法之一进行：

- (1) 压力试验方法：通过在泄压元件上施加一个持续上升的气压来确定静开启压力的方法；
- (2) 机械试验方法：通过在泄压元件上施加一个持续上升的机械压力来确定静开启压力的方法。

5.2.1.2 泄压装置的约束元件和泄压元件应按制造商的使用说明正确安装在测试容器上。

5.2.1.3 静开启压力试验进行之前，爆炸泄压装置的内外压力应相等。

5.2.1.4 静开启压力应在以下情况之一下确定：

- (1) 测试介质从测试设备中释放时；
- (2) 泄压元件从约束元件上脱离时。

5.2.1.5 试验过程的压力-时间曲线应有记录。

5.2.1.6 对于含有可再用元件的爆炸泄压装置，静开启压力试验应在每次爆炸试验后重新进行，并验证装置的密闭性。

5.2.1.7 试验时，应采取安全措施。

5.2.2 机械试验方法

5.2.2.1 机械压力的施加方向应与泄压元件的开启方向一致。

5.2.2.2 机械压力的施力点应根据泄压装置的设计来确定。

5.2.2.3 机械压力的升压速率应不超过 10 kPa/min。

5.2.3 温度影响

5.2.3.1 静开启压力试验应在（15~30）℃的温度范围内进行。

5.2.3.2 如爆炸泄压装置的使用环境温度对静开启压力有影响，则试验应在该装置的设计使用温度范围内进行。

5.2.4 测试数量

5.2.4.1 对于不可重复使用爆炸泄压装置，每一批次的测试数量应根据表 1 确定。

5.2.4.2 泄压装置生产过程中的质检测试不应计算到静开启压力的测试数量中。

表 1 不可重复使用爆炸泄压装置的测试数量

批次数	测试数量
<10	2
10~15	3
16~30	4
31~100	6
101~250	4%且不少于 8
251~1000	3%且不少于 10

5.2.4.3 对于可再用元件，每个元件均应至少进行三次测试，并验证其密封性是否完好。

5.2.4.4 试验测得的静开启压力值均应在 GB/T 567.1 要求的压力允差范围内。

5.3 爆炸试验

5.3.1 一般要求

5.3.1.1 制造商应规定无火焰爆炸泄压装置的安装尺寸、几何泄压面积和静开启压力 p_{stat} 。

5.3.1.2 如无火焰爆炸泄压装置采用相同的设计，且具有一系列标称尺寸，则应按以下方法选取进行试验的尺寸：

(1) 最小尺寸和最大尺寸；

(2) 如该系列标称尺寸不少于 5 个，则至少还应选取一个中间尺寸进行试验。

5.3.1.3 无火焰爆炸泄压装置应直接或通过一个合适的连接器安装在测试容器上，且泄压装置的几何泄压面积应不大于测试容器的开口面积。

5.3.1.4 功能和机械完整性、灭火性能、泄压效率、对外部环境的影响应通过爆炸试验来验证。

5.3.2 试验介质

5.3.2.1 试验粉尘在测试容器中 p_{max} 和 K_{st} 应不低于对应的标称值，且试验结果与 GB/T 16426 试验结果的差值应符合以下要求：

(1) p_{max} 的差值应 $\leq 10\%$ ；

(2) K_{st} 的差值应 $\leq 20\%$ 。

5.3.2.2 如制造商规定了无火焰泄压装置适用的粉尘种类，则试验粉尘应与标称的粉尘种类一致。

5.3.3 测试装置

5.3.3.1 性能试验所用测试容器的容积应不小于无火焰爆炸泄压装置的标称保护容积 $V_{\text{max, FV}}$ 。

5.3.3.2 对于未进行性能试验的中间尺寸，标称保护容积应按式 (2) 计算：

$$V_{\text{max, FV, 2}} = V_{\text{max, FV, 1}} \times \frac{A_2}{A_1} \quad (2)$$

式中：

A_1 ——已进行试验的装置的泄压面积；

A_2 ——设计相同，尺寸不同，未进行试验的装置的泄压面积， $A_2 < A_1$ ；

$V_{\text{max, FV, 1}}$ ——已进行试验的装置的标称保护容积；

$V_{\text{max, FV, 2}}$ ——设计相同，尺寸不同，未进行试验的装置的标称保护容积。

5.3.3.3 测试容器的长径比宜为 1:1，且不应大于 1:3。

5.3.3.4 无火焰爆炸泄压装置与测试容器的连接应符合 5.3.1.3 的要求。

5.3.4 功能和机械完整性

5.3.4.1 爆炸试验所采用粉尘的 K_m 应不低于装置设计适用的 K_{st} 。

5.3.4.2 爆炸试验的 p_{red} 应不低于装置设计适用的 $p_{\text{red, max}}$ 的 1.1 倍。

5.3.4.3 机械完整性应满足：

(1) 未设计为爆裂或失效的部件应保持其机械完整性；

(2) 未设计为开启的部件应保持其原始位置；

(3) 没有危险的抛射物产生。

5.3.5 灭火性能

5.3.5.1 所有性能试验均应有视频记录，且每次试验均应从至少 2 个不同视角进行拍摄。

5.3.5.2 所有性能试验均不应有火焰喷出。

5.3.6 泄压效率

5.3.6.1 待测泄压装置（包括泄压元件和影响泄压性能的附加元件）的几何尺寸和静开启压力 p_{stat} ，应与带有基准泄压元件的泄压装置相同。

5.3.6.2 爆炸试验的 K_m 值应包括泄压装置的标称 K_{st} 和其与 $5 \text{ MPa} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 之间均匀分布的至少 3 个值。

5.3.6.3 泄压效率 E_F 应按式（3）进行计算：

$$E_F = A_E / A_V \times 100\% \quad (3)$$

5.3.6.4 有效泄压面积 A_E 的测试和计算步骤如下：

（1）在指定的测试条件（测试容器的容积 V ，爆炸泄压装置的泄压面积 A_V ，静开启压力 p_{stat} ，长径比 L/D ）下，测试出基准装置的受控爆炸压力 $p_{red, baseline}$ ；

（2）根据 GB/T 15605，计算出基准装置受控爆炸压力对应的 $p_m \cdot K_m$ 值；

（3）在相同的测试条件下，测试待测装置的受控爆炸压力 $p_{red, test device}$ ；

（4）根据之前计算的 $p_m \cdot K_m$ 值和待测装置的受控爆炸压力 $p_{red, test device}$ ，计算出有效泄压面积 A_E 。

5.3.6.5 图 1 为计算有效泄压面积 A_E 的流程图，附录 B 为计算示例。

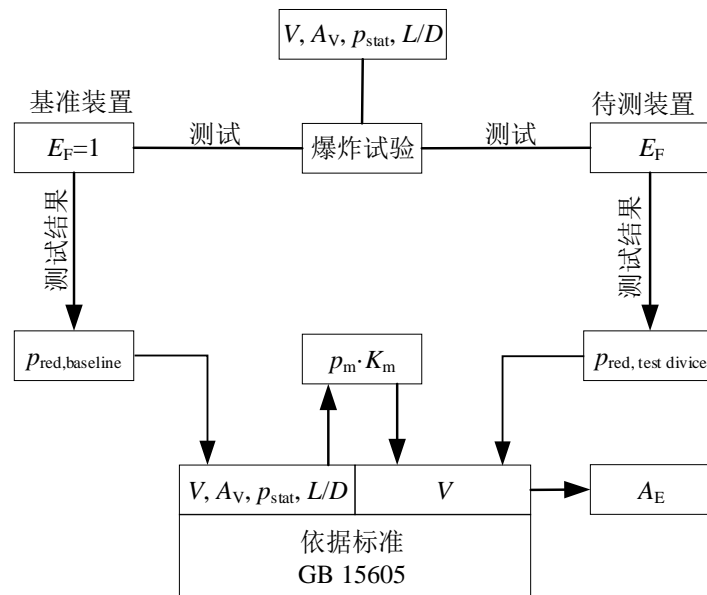


图 1 直接比较法计算有效泄压面积

说明：

V ——测试容器的容积；

L/D ——测试容器的长径比；

$p_{red, baseline}$ ——基准装置的受控爆炸压力；

$p_{red, test device}$ ——待测装置的受控爆炸压力。

5.3.6.6 所有试验中的受控爆炸压力 p_{red} 应不小于静开启压力 $p_{stat}+0.01 \text{ MPa}$ 。

5.3.7 对外部环境的影响

试验应记录以下内容：

（1）泄压装置的外表面温度（例如使用红外测温仪测试）；

（2）试验过程中泄压装置外的气体温度（例如使用热电偶测试）；

（3）从视频中估测爆炸试验过程中从泄压装置喷射出的可见云团的大小。

(4) 距泄压口轴线方向 1 m 处的压力和温度。

5.4 试验报告

试验报告应至少包括以下内容：

(1) 试验粉尘的特性和条件：

- ① 一般物理性质和化学性质；
- ② 试验粉尘的预处理方法，例如加热、粉碎、研磨和筛分；
- ③ 粒度分布和含水量；
- ④ 爆炸性参数，包括 p_{\max} 、 K_{st} 。

(2) 试验条件：

- ① 装置尺寸简图；
- ② 测试容器的容积、长径比和表面积；
- ③ 粉尘分散系统；
- ④ 试验粉尘在测试容器中的爆炸性参数；
- ⑤ 点火延时。

(3) 爆炸泄压装置：

- ① 类型和结构，包括材料、规格和物理尺寸等；
- ② 静开启压力 p_{stat} 。

(4) 试验结果：

- ① 泄压效率；
- ② $p_{\text{red, max}}$ ；
- ③ 无焰性能试验结果；
- ④ 对外部环境的影响；
- ⑤ 表面和外部温度。

(5) 其它信息，包括依据标准、部件的非弹性形变、可再用元件在爆炸试验中静开启压力的变化。

附 录 A
(资料性附录)
无火焰泄压设计示例

A.1 假设工况

封闭建筑内设有一台容积为 20 m^3 ，设计强度为 0.05 MPa 的容器，用于处理麦芽粉。麦芽粉的爆炸指数 K_{st} 为 $10.6 \text{ MPa}\cdot\text{m/s}$ ，最大爆炸压力 p_{\max} 为 0.83 MPa ，容器的长径比 L/D 为 1。

A.2 泄压设计举例

A.2.1 由于容器位于封闭建筑内，因此容器应采用无火焰泄压方式。

A.2.2 根据 GB 15605 的要求，当最大受控爆炸压力为 0.05 MPa 时，有效泄压面积应为 0.41 m^2 。

A.2.3 以泄压效率为 75% 的无火焰爆炸泄压装置为例，总泄压面积应为 0.55 m^2 。

A.2.4 假设存在适用于该种粉尘的无火焰爆炸泄压装置，其泄压面积不小于 0.55 m^2 ，且性能试验所采用的测试容器容积不小于 20 m^3 ，则只需一台装置即可保护该容器。

A.2.5 假设性能试验所采用的测试容器容积为 12 m^3 （标称保护容积 $V_{\max, FV}$ 为 12 m^3 ），采用的无火焰爆炸泄压装置的泄压面积为 0.36 m^2 时，则需两台装置才可保护该容器，每个足够保护 10 m^3 的容积。

附录 B
 (资料性附录)
 有效泄压面积的计算示例

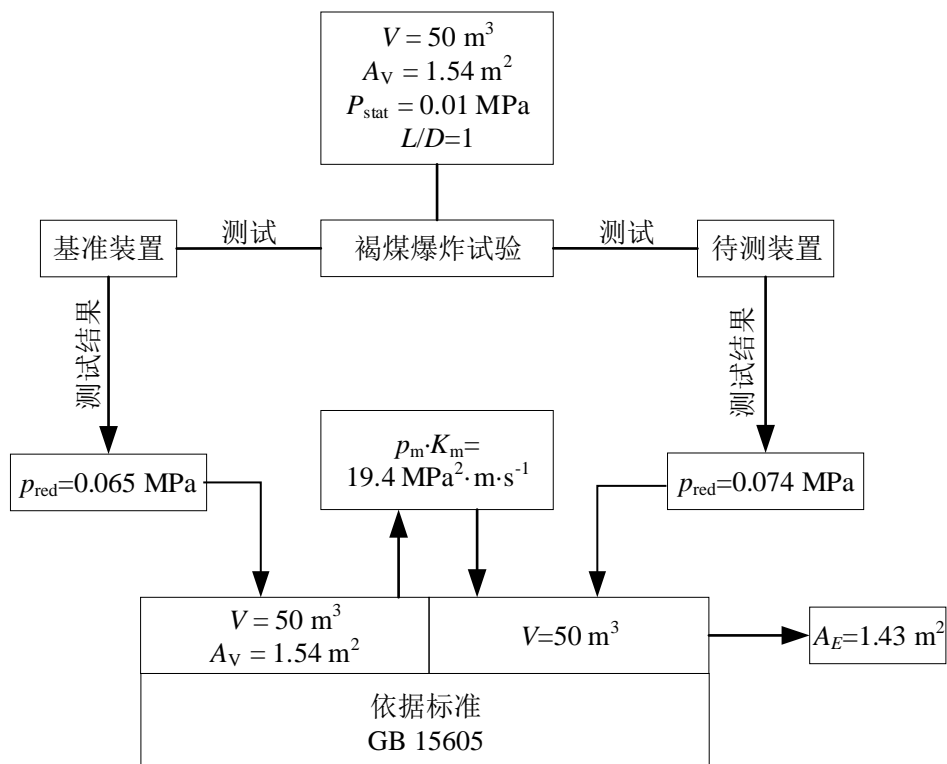


图 B 有效泄压面积的计算示例