

ICS 13.230  
C 67



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 37241—2018

---

## 惰化防爆指南

Guide on inerting for the prevention of explosions

2018-12-28 发布

2019-07-01 实施

---

国家市场监督管理总局  
中国国家标准化管理委员会 发布



## 目 次

前言 .....	III
引言 .....	IV
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 一般要求 .....	3
5 惰化方法 .....	4
6 惰化系统 .....	6
7 个人防护 .....	10
附录 A (资料性附录) 常见可燃气体、粉尘的极限氧浓度值 .....	11
附录 B (资料性附录) 可燃气体和可燃粉尘的爆炸浓度范围 .....	15
附录 C (资料性附录) 惰化计算 .....	22
附录 D (资料性附录) 防止空气向下扩散进入放散管内 .....	25
附录 E (资料性附录) 固体物料双联阀 .....	27
附录 F (资料性附录) 开口容器装料 .....	29
附录 G (资料性附录) 工艺设备惰化实例 .....	31
附录 H (资料性附录) 常见氧浓度探测器 .....	34
参考文献 .....	36



## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中华人民共和国应急管理部提出。

本标准由全国安全生产标准化技术委员会(SAC/TC 288)归口。

本标准起草单位:公安部天津消防研究所、东北大学工业爆炸与防护研究所、陕西省公安消防总队、中国五环工程有限公司、中国石化工程建设有限公司、中冶赛迪工程技术股份有限公司、威特龙消防安全集团股份公司、神华集团有限责任公司。

本标准主要起草人:任常兴、杜霞、李野、钟圣俊、张明、李晋、张欣、张网、王婕、杨建国、董海斌、王若青、陈乐、李伟、李会英、李华。

## 引 言

惰化保护是通过向被保护的设备中通入惰性气体或添加惰性粉尘,防止设备内可燃粉尘或气体发生爆炸的一种惰化防爆技术。惰化防爆常用于煤化工、电力、钢铁、水泥等煤粉制备系统,也可用于石油化工、塑料、制药、农药等可燃粉尘、可燃气体或混合物爆炸性环境的气氛惰化保护。对具有较低压力上升速率的粉尘,混入少量惰性粉尘即可使爆炸性急剧下降。通常混入 60% 的惰性粉尘,爆炸性就完全丧失。粉尘惰化作用可能对爆炸压力影响不大,但对爆炸压力上升速率影响很大,可以减缓爆炸的发展或使爆炸变成缓慢的燃烧。本标准暂不涉及惰性粉尘惰化防爆。

本标准对于优化选择工业防火防爆惰化技术方法,确定可燃混合粉尘或气体最低氧含量,计算惰性气体的流量,以及惰性气体的储存、监测系统及联动控制的设计等具有指导意义。

# 惰化防爆指南

## 1 范围

本标准给出了可燃粉尘或可燃气体爆炸性环境进行气氛惰化防爆的基本方法和惰化系统技术要求。

本标准适用于向可燃粉尘、可燃气体或其混合物爆炸性环境通入惰化气体进行完全惰化防爆的惰化技术,部分惰化可参照执行。

本标准不适用于下列情况:

- 采用向可燃粉尘中添加惰性粉尘以防止粉尘爆炸的惰化技术;
- 采用在容器或储罐内的气体空间设置阻火金属网以防止可燃液体蒸气爆炸的技术;
- 灭火;
- 采用控制可燃物质浓度超出爆炸上限以避免形成爆炸性环境的技术;
- 控制粉尘层或粉尘堆积物发生着火、自燃、放热反应或燃烧在粉尘层中传播的保护措施。

## 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 15604 粉尘防爆术语

GB 25285.1 爆炸性环境 爆炸预防和防护 第1部分:基本原则和方法

## 3 术语和定义

GB/T 15604、GB 25285.1 中界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

#### 惰化 **inerting**

通过向被保护系统充入惰性气体或向可燃粉尘中添加惰性粉尘,使系统内混合物不能形成爆炸性环境,或增加混合物点燃难度的防爆技术。

### 3.2

#### 气氛惰化 **atmosphere inerting**

通过向被保护系统内充入惰性气体,使系统内混合物不能形成爆炸性环境,或增加混合物点燃难度的防爆技术。

### 3.3

#### 完全惰化 **absolute inerting**

惰化技术的一种,由于被保护系统内惰性气体的比例浓度足够高,无论可燃物与含氧混合气体的比例如何变化都不会形成爆炸性环境。

### 3.4

#### 部分惰化 **partial inerting**

惰化技术的一种,通过向被保护系统内充入惰性气体而控制系统内氧浓度,使可燃气体或可燃粉尘

与空气形成的爆炸性混合物在所有可预期点火源出现的情况下不会被引燃。

3.5

**极限氧浓度 limiting oxygen concentration; LOC**

依据标准的测定方法测得的可燃物、空气(或氧气)和惰性气体混合物中不能形成爆炸性环境的氧浓度。

注: 极限氧浓度与可燃物特征和惰性气体种类有关。附录 A 给出了常见可燃气体、粉尘极限氧浓度值。

3.6

**最大允许氧浓度 maximum allowable oxygen concentration; MAOC**

当发生某些可预见的异常或误操作时,被惰化保护的系统内不应超过的氧浓度值。

注: 实际工程应用中,最大允许氧浓度比工况条件下极限氧浓度低。该安全裕量需考虑工艺条件的变化,通常为 2 个百分点。

3.7

**停机氧浓度 trip point of system shutdown; TPSS**

**联锁停车氧浓度**

氧浓度监控设备启动被保护系统的停机程序来保障工艺系统安全,防止空气进入而形成爆炸性环境的氧浓度阈值。

注: 停机不是指被保护系统完全关停,而是以设定的安全方式停止被保护系统作业,并启动应急保护措施。

3.8

**惰化系统动作氧浓度 set point of inerting system; SPIS**

氧浓度监控设备开始控制惰性气体流量、压力或充入量(以维持氧浓度在安全范围内)的氧浓度阈值。

注: 惰化系统动作氧浓度与惰性气体的流量、温度和压力的合理变化具有关联性,达到动作氧浓度设定点后,在正常操作和存在可预见的波动情况下控制系统能够及时调整氧浓度,以防氧浓度达到停机阈值。

3.9

**安全裕量 safety margin**

极限氧浓度与最大允许氧浓度、最大允许氧浓度与停机氧浓度、停机氧浓度与惰化系统动作氧浓度之间的差值,分为三类。

3.10

**惰性气体 inert gas**

不与氧气、可燃气体、可燃蒸气和可燃粉尘反应的气体。

3.11

**稀有气体 noble gases**

元素周期表 18 族气体,如氦、氖、氩、氪、氙和氡等。

3.12

**烟气 flue gases**

一种燃烧产生的气体混合物,用于惰化时其氧气浓度限定在一定范围。

3.13

**可燃性杂混物 combustible hybrid mixture**

可燃粉尘、可燃气体或可燃液体蒸气与助燃气体的多相流体混合物。

注: 例如,甲烷、粉尘与空气的混合物,汽油蒸气、汽油雾滴与空气的混合物。

3.14

**加压惰化 pressure-swing inerting**

一种惰化方法,通过先向封闭系统加压充入惰性气体再放空,使系统压力恢复到大气压力,以降低



系统内氧浓度。

### 3.15

#### 真空惰化 vacuum-swing inerting

一种惰化方法,通过对密闭系统先抽真空再充入惰性气体到大气压力,以降低系统内氧浓度。

### 3.16

#### 吹扫惰化/通流惰化 sweep through intering /flow through interting

一种惰化方法,通过向有放散口的系统连续通入惰性气体,以降低系统内氧浓度。

### 3.17

#### 置换惰化 displacement inerting

一种惰化方法,通过充入与系统内气体有明显密度差的惰性气体以降低系统内氧浓度,在此过程中不发生显著的气体混合。

### 3.18

#### 连续氧浓度监测 continuous oxygen measurement

通过氧浓度探测器连续在线监测被惰化保护系统的氧浓度,直接判定被保护系统的惰化状态。

### 3.19

#### 间断氧浓度监测 discontinuous oxygen measurement

通过对工艺(包括故障情况)的深入分析,在不连续直接测量氧浓度的情况下,保证达到惰化要求的氧浓度监测方法。

#### 3.19.1

##### 定期氧浓度监测 periodic oxygen measurement

通过定期采样测量被保护系统氧浓度,校验氧浓度水平是否达到惰化要求。

注:该方法通常与流量控制和压力控制方法联用。定期氧浓度测量一般采用便携式氧浓度探测仪进行。

#### 3.19.2

##### 顺序氧浓度监测 sequential oxygen measurement

通过按顺序分别对不同工艺设备的取样点进行氧浓度测量,监测所有取样点氧浓度的偏离状况。

注:由于对不同采样点进行分时测量,测量结果存在延时。当系统可能出现氧浓度积聚变化的情况时,该方法不可用。

## 4 一般要求

### 4.1 用于惰化的惰性气体应与可燃物质和氧气均不发生反应。

注:在特定条件下蒸汽、二氧化碳或氮气等惰性气体可能与可燃物发生反应,如熔化的锂金属可与氮气反应。

### 4.2 应采用但不限于下列惰性气体:

- a) 氮气;
- b) 二氧化碳;
- c) 蒸汽压大于 0.3 MPa 的蒸汽;

注:蒸汽惰化冷凝时,压力下降将导致空气进入设备或产生真空。

- d) 烟气;
- e) 稀有气体。

### 4.3 采用烟气惰化时,应符合以下要求:

- a) 燃烧产生的烟气用于惰化,其氧气浓度应可控制在给定的范围内;
- b) 应采取措施使氧浓度波动最小化,如设置烟气缓冲罐等;
- c) 极限氧浓度可根据氮气的极限氧浓度计算;

d) 烟气的使用不应应对设备性能、产品质量或环境产生危害。

#### 4.4 爆炸性环境应确定极限氧浓度,并应符合下列要求:

- a) 惰化设计时应确定可燃物质在工艺条件下的极限氧浓度,并应考虑惰性气体种类、运行温度和压力等对可燃物质极限氧浓度的影响;
- b) 可燃气体、蒸气或可燃粉尘与惰性气体的混合物,极限氧浓度的确定应给出以下信息:
  - 可燃气体和蒸气:组分;
  - 可燃粉尘:组分、粒度分布和含水量;
  - 惰性气体:组分和氧浓度;
- c) 可燃性杂混物的极限氧浓度应取可燃粉尘、可燃气体或可燃蒸气的较低值,除非实验表明在较高的氧浓度下不会形成爆炸性混合物。

注:可燃气体和可燃粉尘爆炸浓度范围及影响因素的确定参见附录 B。

## 5 惰化方法

### 5.1 惰化方法选择

#### 5.1.1 工艺系统设备选择惰化方法时应考虑以下因素:

- a) 系统设备工艺运行方式:连续式或间歇式;
- b) 系统设备设计压力:可允许承受的正压和负压范围;
- c) 健康和环境限制。

5.1.2 惰性气体与被保护系统内气体容易混合,且被保护系统能够承受一定正压,宜采用加压惰化方法。

5.1.3 仅可承受负压的被保护系统(不能承受正压),宜优先选择真空惰化。

5.1.4 无法承受正压和负压的被保护系统,宜选择吹扫惰化。

5.1.5 惰性气体与被保护系统内气体分子量相近时,宜采用吹扫惰化。多分支复杂管道设备不宜采用吹扫惰化。

注:纯氮或烟气(含二氧化碳体积分数为 12%~18%,氧气体积分数为 2%和平衡氮气)与惰化设备内空气分子量相近。

5.1.6 惰性气体与被保护系统内气体分子量相差较大时,宜采用置换惰化。

### 5.2 加压惰化

5.2.1 加压惰化设定的最大惰化压力不应超过设备的最高工作压力。

注:最高工作压力是指压力容器在正常使用过程中,压力容器顶部可能出现的最高压力(无特别注明时,系指表压力)。

5.2.2 加压惰化应采用以下步骤:

- a) 切断系统与其他设备和大气之间的通道,确保系统密闭;
- b) 充入惰性气体直至系统内压力达到设定的最大惰化压力,停止充入惰性气体;
- c) 通过预先设计的放空阀放空系统内气体至常压;
- d) 重复步骤 a)~c)直至系统内氧浓度达到设计的氧浓度。

5.2.3 加压惰化的次数参见附录 C 中的 C.1,且计算换气次数时,应考虑惰性气体中氧气含量。

5.2.4 加压惰化前宜进行正压泄漏测试,确保被保护系统的气密性,并采取防止人员窒息的预防措施。

### 5.3 真空惰化

5.3.1 真空惰化应采用以下步骤:

- a) 切断系统与其他设备和大气的通道,确保系统密闭;
- b) 抽真空至设定的真空度;
- c) 向系统充入惰性气体直至系统内压力达到常压;
- d) 重复步骤 a)~c)直至系统内氧浓度达到设计的氧浓度。

5.3.2 真空惰化前应进行真空泄漏测试,确保被保护系统的气密性。

5.3.3 设备的泄压装置应能承受可预期的负压,计算公式参见附录 C 中的 C.2。

#### 5.4 吹扫惰化/通流惰化

5.4.1 窄长的设备或管道应从一端通入惰性气体,同时从远离端排出混合气体,并在周围采取预防人员窒息的措施。

5.4.2 吹扫惰化所需时间计算公式参见附录 C 中的 C.3,吹扫安全系数( $F$ )按下列方式取值:

- a) 一端为惰性气体入口,另一端为出口的无分支的管道, $F=1$ ;
- b) 惰性气体入口和出口位于无分支设备两端,且相距较远时, $F=2$ ;
- c) 惰性气体入口和出口相距比较近时, $F$ 取值 3~5。

5.4.3 被保护系统正常运行时,宜通过评估循环风量和漏风率来调控惰化气体流量,确保所需的惰化气氛;短时间停产时,宜采用较小的惰化气体流量维持被保护系统的惰化气氛。

#### 5.5 置换惰化

5.5.1 置换过程中应缓慢充入,避免惰性气体与被保护系统内气体混合。

5.5.2 惰性气体比被保护系统内气体轻时,惰性气体入口应位于被保护系统上部位置,反之位于下部位置,且惰性气体入口应远离放散口。

#### 5.6 维持惰化环境要求

5.6.1 应采用连续氧浓度监测或间断氧浓度监测确保被保护系统氧浓度不超过最大允许氧浓度,并及时补充惰性气体。

5.6.2 设备与大气相通时应避免形成空气对流。

注:如设备受热、被保护系统内气体密度与大气密度差别较大时,可导致设备内空气对流。

5.6.3 采用吹扫惰化或置换惰化时,应避免空气通过放散口进入,惰性气体充入速率计算公式参见附录 D。

5.6.4 放散管(口)存在爆炸风险时,放散管应能承受爆炸压力,且应采取隔爆措施。

#### 5.7 装料作业要求

5.7.1 液体和气体进料时,应避免空气进入被保护系统。

注:如液体进料时,用泵从液体容器中抽取液体,或高位重力液体加料或真空抽取液体等。

5.7.2 固体进料时,应在加料入口处采用双阀(门)设计,粉体双联阀进料参见附录 E。固体物料流量较大(无法采用双阀设计)采用开放式溜槽进料时,应采取惰化及其他爆炸防护措施,且防止人员窒息。

5.7.3 开口设备填料时应维持连续吹扫惰化,且采取必要的人员防护措施,容器内氧浓度计算公式参见附录 F。

5.7.4 设备置换惰化时,应在开口部位设置局部通风系统,以降低工况环境人员窒息风险。

5.7.5 应依据装料方式和系统防护等级要求等,确定被保护系统的惰性气体流量。

注:如开口容器的氮气流速维持管道末端 0.3 m 范围内氧气含量的体积分数为 5% 以下。

#### 5.8 卸料作业

5.8.1 系统卸料作业时,应避免空气进入被保护系统。

5.8.2 液体卸料时,应确保被保护系统内惰性气体的供应流量不低于液体的体积排出量。

5.8.3 固体卸料时,应采取措施避免空气进入被保护系统。

注:如回转阀(星型阀)卸料时避免旋转阀吸入空气。

5.8.4 应采取预防空气进入放散管的措施,惰性气体的流量计算公式参见附录 D。

## 6 惰化系统

### 6.1 一般要求

6.1.1 惰化系统应由惰性气体供给装置、氧浓度探测器(在线氧浓度探测器或便携式氧浓度探测仪)、监测控制组件(主控制器、紧急报警控制器)和供气管道等组成。氧浓度探测器应能有效地探测惰化防护区的氧浓度,控制组件在惰化防护区氧浓度达到动作氧浓度时,应能自动和(或)手动启动供气装置,并应有相应的报警。

6.1.2 惰化系统设计应包含以下因素:

- a) 被保护系统运行的最大允许氧浓度;
- b) 被保护系统的工艺、温度、压力和原料加工处理等参数;
- c) 惰性气体供给源及设备安装;
- d) 惰性气体与工艺过程相容性;
- e) 操作控制;
- f) 维修、检测和测试;
- g) 惰性气体泄漏的个人防护;
- h) 呼吸防护装备(如氧呼吸器);
- i) 设备泄漏和通风漏气的惰性气体补给能力。

注:工艺设备惰化实例参见附录 G。

6.1.3 应分析评估以下主要因素:

- a) 被保护系统工艺过程的危险性;
- b) 关键设备设施的危险类型、火灾风险程度。

6.1.4 监测和控制被保护系统氧浓度的相关数据信息应整理归档,主要包含但不限于以下内容:

- a) 监测和控制目标;
- b) 工艺装置监控区;
- c) 工艺设备参数(包括容积、直径和耐压能力等)、设备布置间距及高度等;
- d) 启动、运行、停止以及短时运行和紧急关停等工艺过程的参数变化,主要包括流量、温度、压力、氧浓度等;
- e) 工艺流程图及说明;
- f) 工艺区环境温度;
- g) 工艺联锁控制装置。

6.1.5 应定期开展被保护系统的安全巡检和安全检查,惰化系统操作人员应经专门的培训,方可上岗。

6.1.6 惰性气体用于吹扫火炬或焚烧炉前的可燃性物质收集管线时,应设置防回火措施或回火保护措施。

6.1.7 对于气体输送前需要连接的管线,例如槽车等,应在输送前将被保护系统先吹扫至极限氧浓度之下,或者在连接处附近位置设置回火保护设施。

6.1.8 对于可能生成硫化亚铁等其它易于自燃物质的设备,如果设备维持在低氧浓度环境下运行,应采用防止自燃的预防和控制措施。

6.1.9 被保护系统的惰性气体流量、惰化时间和惰化次数参见附录 C 计算确定。

6.1.10 惰化系统防护区内应设置防止人员窒息的警示信号和警示标识。

## 6.2 惰性气体供给装置和供气管道

6.2.1 被惰化保护系统的惰性气体最小供给量应符合以下要求：

- a) 惰性气体的最小供给流量不应小于被保护系统正常运行的物料排出体积量；
- b) 被保护系统温度和压力变化导致的真空状态，应由足够量的惰性气体及时补偿供给；
- c) 惰性气体供给量不应小于 a) 和 b) 计算的最大供给流量，且应控制被保护系统良好运行的温度和压力状态。

6.2.2 应保持被保护系统内部混合气体的均匀性，确保该系统内部任何位置的氧浓度低于最大允许氧浓度，并留有一定的安全裕量。同时，应综合分析评估以下要素：

- a) 惰化方式；
- b) 被保护系统惰性气体的入口位置；
- c) 被保护系统混合气体的排放位置；
- d) 入口位置惰性气体的压力、温度和流量；
- e) 排放气体的流量。

6.2.3 应保证被保护系统最远端的惰化状态满足系统运行安全要求。

注：如增大惰性气体入口的孔径和供给压力等。

6.2.4 应检测被保护系统距离惰性气体入口最远端部位的氧气浓度，以验证被保护系统的惰化程度。设有闭口分支的被保护系统，还应检测相关点的氧气浓度。

6.2.5 惰性气体进入被保护系统前应与工艺温度相匹配。

6.2.6 被惰化保护系统内的露点不应低于运行环境温度。

注：通入惰性气体可能导致被保护系统内温度降低。

6.2.7 惰性气体的储存设备和压力管道应符合工艺设备和管道设计要求。

6.2.8 惰性气体管道应符合以下要求：

- a) 惰性气体压力超过 103 kPa 时，管道系统应按压力管道设计；
- b) 应设置过滤或其他类似措施，预防杂物进入管道关键部件，如调压器、阀门和仪表等；
- c) 应采用必要的除湿措施；
- d) 主管分支点应设置手动关闭阀；
- e) 应采取防止惰性气体管路被污染的措施，如设置单向阀和(或)止回阀等；
- f) 不应与其他系统管道交叉连接；
- g) 应定期清理管道；
- h) 管道泄压口应通向安全区域，且避开人员密集场所和主要道路。

## 6.3 惰化系统监测控制

6.3.1 应采用连续氧浓度监测或间断氧浓度监测，并采取相应控制措施确保该系统正常运行氧浓度低于最大允许氧浓度或设定的安全裕量浓度。

6.3.2 根据实际的惰化应用，应采取包括多点氧浓度监测和多种监测方法的冗余监测措施。监测措施应根据惰化方式及以下因素选取：

- a) 系统复杂程度；
- b) 系统偏离设定氧浓度的出现频率；
- c) 被保护系统内有效点火源的出现频率；
- d) 测量和检测方法的可靠性；
- e) 随机监测的取样点应位于被保护系统最高氧浓度位置。

6.3.3 被保护系统为负压或闭路系统运行时,应采用连续氧浓度监测。

6.3.4 间断氧浓度监测时,应符合下列要求:

- a) 初次运行时应检验被保护系统的氧浓度,正常运行过程应定期校验系统氧浓度;
- b) 应监测被保护系统惰性气体的压力或流量,且确定监测参数与氧浓度的关联性,以设定报警阈值、手动或自动启动保护措施或紧急停车设施等;
- c) 连续监测惰性气体压力或流量时,应保证物料输送或装卸,以及密封不严导致空气进入的惰性气体损失量得到及时补偿;
- d) 被保护系统设备容积变化时,应重新校验该系统惰化状态的氧浓度。

6.3.5 被保护系统氧浓度应控制在极限氧浓度(LOC)之下,并应符合以下要求:

- a) 设定系统安全裕量应根据以下因素:氧浓度的波动情况、检测和控制设备的敏感性和可靠性、发生爆炸的可能性和后果损失程度。
- b) 被保护系统氧浓度的安全裕量宜设定为三级(见图 1),惰化区位于安全裕量 2 和安全裕量 3。

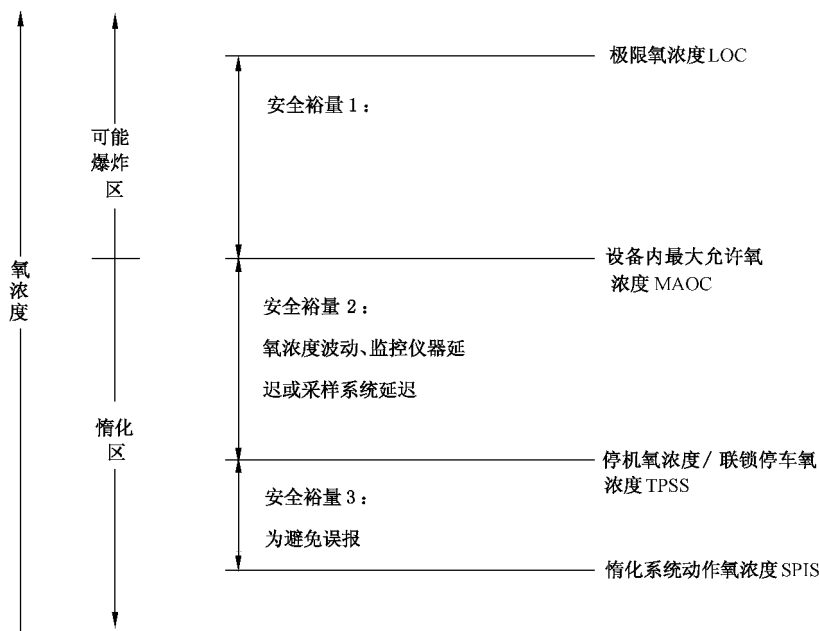


图 1 被保护系统惰化氧浓度安全裕量设定

- c) 设备的最大允许氧浓度 MAOC,结合工艺过程的温度和压力的变化,通常比极限氧浓度 LOC 低 2 个百分点。
- d) 被保护系统连续氧浓度监测时,系统停机氧浓度 TPSS 应按以下原则确定:最大允许氧浓度 MAOC 不低于体积分数为 5%时,系统停机氧浓度 TPSS 应至少低于该值 2 个百分点;否则,系统停机氧浓度 TPSS 不应超过系统最大允许氧浓度 MAOC 值的 60%。该原则不适用于部分氧化工艺,应根据工艺实际条件确定氧浓度安全裕量。
- e) 被保护系统间断氧浓度监测时,系统停机氧浓度 TPSS 应按以下原则确定:被保护系统最大允许氧浓度 MAOC 不低于体积分数为 5%时,系统停机氧浓度 TPSS 不应超过系统最大允许氧浓度 MAOC 值的 60%;否则,系统停机氧浓度 TPSS 不应超过系统最大允许氧浓度 MAOC 值的 40%。同时,应定期校验被保护系统的氧浓度。常压储罐和低压储罐的气体密封蒸气空间可不监测系统氧浓度,如氮封。

## 6.4 惰化状态判定方法

### 6.4.1 一般要求

6.4.1.1 应依据连续或间断监测的氧浓度数据,结合惰化方式综合评估判定被保护系统的惰化状态。

6.4.1.2 应选择合适的氧分析仪或氧浓度探测器(参见附录 H),并符合以下要求:

- a) 应满足整个系统的总响应时间(如分析仪和采样系统的响应时间);
- b) 同时设定气体流量报警时,应与氧浓度报警优先级一致;
- c) 应与工艺过程条件相匹配,并采取防尘设计;
- d) 应在工艺要求的温度和压力范围内正常运行,且不应受背景气体干扰;
- e) 氧分析仪或氧浓度探测器的结构、材质和成分等应满足应用要求(如不锈钢、哈氏合金等);
- f) 探测器中的活性材料应与采样气体相匹配,如水溶性电解质和电极之间的副反应等。

### 6.4.2 连续氧浓度监测

6.4.2.1 应选取一个或多个代表性的点,连续测量氧浓度来判定被保护系统的惰化状态。

6.4.2.2 应定期检测原位探测器是否被污染,例如,直接插入工艺物料流或设备中的探测器。

6.4.2.3 应确保除去样品中可能干扰测定的污染物或物料。

6.4.2.4 应定期维护和校准,且不应影响连续工艺的正常运行。

### 6.4.3 间断氧浓度监测

6.4.3.1 应全面分析工艺、设备及异常状态的惰性气体供应量,选择定期氧浓度监测、顺序氧浓度监测或惰性气体流量、压力监测中的一种或几种,以确定被保护系统处于完全惰化状态,并采取预防惰化气体泄漏的措施。

6.4.3.2 定期氧浓度监测应符合下列要求:

- a) 定期测量被保护系统的氧浓度,校验是否达到惰化氧浓度安全裕量范围;
- b) 定期氧浓度监测应与流量或压力等监测参数联合校验,并应符合 6.4.3.4 和 6.4.3.5 的规定;
- c) 现场人工取样分析时应配备便携式氧浓度探测仪。

6.4.3.3 顺序氧浓度监测应符合下列要求:

- a) 应按一定序列顺序依次取样进行分析,以判定被保护系统的惰化运行氧浓度;
- b) 应校验测定延时导致的偏差;
- c) 不应用于氧浓度有较大波动的场所。

6.4.3.4 惰化状态气体压力监测应符合下列要求:

- a) 压力监测应确保被保护系统惰化时的运行压力(如加压惰化的最大值、真空惰化的最小值)处于压力测定范围之内;
- b) 应依据被保护系统的复杂程度确定加压次数;
- c) 复杂工艺设备应自动联锁惰化控制,以保证惰化状态良好;
- d) 应定期测定被保护系统的氧浓度,以校验氧浓度在安全裕量范围之内。

注:压力监测是指通过测量被保护系统的压力和加压次数,来计算判定该系统的惰化状态(参见附录 C 中的 C.1)。

6.4.3.5 惰化状态气体流量监测应符合下列要求:

- a) 应采用自动联锁控制,确保惰性气体流量和供给时间符合被保护系统惰化状态要求;

注:流量监测是指测量并控制被保护系统惰性气体的流量,以维持该系统惰化状态。

- b) 应定期检测被保护系统的氧浓度,以校验氧浓度在安全裕量范围之内。

## 7 个人防护

7.1 惰化防护区应采取预防人员窒息伤害的保护措施,且氧浓度降低区域、惰性气体系统和受限空间均应张贴窒息危害警告标识。

7.2 惰化防护区应制定详细的安全操作规程,至少应包含以下内容:

- a) 进入许可制度,并明确需要采取的安全防护措施;
- b) 通风要求;
- c) 气体分析;
- d) 充足的呼吸防护用品。

7.3 应采取联锁或其他防护措施,防止人员进入正常运行的惰化保护设备内。

7.4 加压惰化时应采取相应的防护措施,防止设备泄漏导致周邻人员窒息,或形成爆炸性环境区域。

7.5 惰性气体排出时,应采取措施防止外部爆炸或火灾蔓延导致的回火损坏,且应有效处置排放的混合气。

7.6 取样时应采取防止人员窒息和惰性气体泄漏的措施,且应避免在被惰化保护的开口容器处采样。



## 附录 A

(资料性附录)

## 常见可燃气体、粉尘的极限氧浓度值

采用氮气或二氧化碳惰化的可燃气体极限氧浓度见表 A.1。

氮气惰化可燃粉尘极限氧浓度见表 A.2。

表 A.1 采用氮气或二氧化碳惰化的可燃气体极限氧浓度

可燃气体/蒸气	极限氧浓度 LOC(体积分数)/%	
	氮气-空气	二氧化碳-空气
甲烷 Methane	10.0	12.5
乙烷 Ethane	9.0	11.5
丙烷 Propane	9.5	12.5
丁烷 <i>n</i> -Butane	10.0	12.5
醋酸丁酯 <i>n</i> -Butyl acetate	9.0	—
异丁烷 Isobutane	10.0	13.0
正戊烷 <i>n</i> -Pentane	10.0	12.5
异戊烷 Isopentane	10.0	12.5
正己烷 <i>n</i> -Hexane	10.0	12.5
正庚烷 <i>n</i> -Heptane	9.5	12.5
乙醇 Ethanol	8.7	—
乙烯 Ethylene	8.0	9.5
丙烯 Propylene	9.5	12.0
丁烯 1-Butene	9.5	12.0
异丁烯 Isobutylene	10.0	13.0
丁二烯 Butadiene	8.5	11.0
3-甲基-1-丁烯 3-Methyl-1-butene	9.5	12.0
苯 Benzene	10.1	12.0
甲苯 Toluene	9.5	—
苯乙烯 Styrene	9.0	—
乙苯 Ethylbenzene	9.0	—
甲基苯乙烯 Vinyltoluene	9.0	—
二乙烯基苯 Divinylbenzene	8.5	—
乙苯 Diethylbenzene	8.5	—
环丙烷 Cyclopropane	9.5	12.0

表 A.1 (续)

可燃气体/蒸气		极限氧浓度 LOC(体积分数)/%	
		氮气-空气	二氧化碳-空气
汽油 Gasoline	(73/100)	10.0	13.0
	(100/130)	10.0	13.0
	(115/145)	10.0	12.5
煤油 Kerosene		8.0 (150 °C)	11.0 (150 °C)
喷气燃料	JP-1 fuel	8.5 (150 °C)	12.0 (150 °C)
	JP-3 fuel	10.0	12.5
	JP-4 fuel	9.5	12.5
天然气 Natural gas (Pittsburgh)		10.0	12.5
氯丁烷 <i>n</i> -Butyl chloride		12.0	—
		10.0 (100 °C)	—
二氯甲烷 Methylene chloride		17.0 (30 °C)	—
		15.0 (100 °C)	—
二氯化乙烯 Ethylene dichloride		11.0	—
		9.5 (100 °C)	—
1,1,1-三氯乙烯 1,1,1-Trichloroethane		12.0	—
三氯乙烯 Trichloroethylene		7.0 (100 °C)	—
丙酮 Acetone		9.5	12.0
正丁醇 <i>n</i> -Butanol		NA	14.5 (150 °C)
二硫化碳 Carbon disulfide		3.0	5.5
一氧化碳 Carbon monoxide		3.5	3.5
注：NA 表示不涉及。			

表 A.2 氮气惰化可燃粉尘极限氧浓度

可燃粉尘	中粒径值/ $\mu\text{m}$	氮气惰化极限氧浓度 LOC(体积分数)/%	
纤维材料 Cellulose materials	纤维素 Cellulose	22	9
	纤维素 Cellulose	51	11
	木粉 Wood flour	27	10
食品和饲料 Food and Feed	豆粉 Pea flour	25	15
	玉米淀粉 Corn starch	17	9
	发芽大麦废料 Waste from malted barley	25	11
	黑麦粉 Rye flour	29	13
	淀粉衍生物 Starch derivative	24	14
	小麦粉 Wheat flour	60	11
煤粉 Coals	褐煤 Brown coal	42	12
	褐煤 Brown coal	63	12
	褐煤 Brown coal	66	12
	褐煤粉 Brown coal briquette dust	51	15
	烟煤 Bituminous coal	17	14
塑料、树脂、橡胶 Plastics, Resins, Rubber	树脂 Resin	<63	10
	橡胶粉 Rubber powder	95	11
	聚丙烯腈 Polyacrylonitrile	26	10
	聚乙烯 Polyethylene, h.p.	26	10
医药品, 杀虫剂 Pharmaceuticals, Pesticides	氨基比林 Amino-phenazone	<10	9
	蛋氨酸 Methionine	<10	12
中间产品、添加剂 Intermediate Products, Additives	硬脂酸钡 Barium stearate	<63	13
	过氧化苯甲酰 Benzoyl peroxide	59	10
	双酚 A Bisphenol A	34	9
	月桂酸镉 Cadmium laurate	<63	14
	硬脂酸镉 Cadmium stearate	<63	12
	硬脂酸钙 Calcium stearate	<63	12
	甲基纤维素 Methyl cellulose	70	10
	对苯二甲酸二甲酯 Dimethyl terephthalate	27	9
	二茂铁 Ferrocene	95	7
	双(三甲基硅基)三氟乙酰胺 Bistrimethyl-silyl-urea	65	9
	萘酸酐 Naphthalic acid anhydride	16	12
	2-萘酚 2-Naphthol	<30	9
	多聚甲醛 Paraformaldehyde	23	6
	季戊四醇 Pentaerythritol	<10	11

表 A.2 (续)

可燃粉尘		中粒径值/ $\mu\text{m}$	氮气惰化极限氧浓度 LOC(体积分数)/%
金属粉、合金粉 Metals, Alloys	铝粉 Aluminum	22	5
	钙铝合金 Calcium/aluminum alloy	22	6
	镁硅铁合金 Ferrosilicon magnesium alloy	17	7
	硅铁合金 Ferrosilicon alloy	21	12
	镁合金 Magnesium alloy	21	3
其他无机产品烟灰 Other Inorganic Products Soot	烟灰 Soot	<10	12
	烟灰 Soot	13	12
	烟灰 Soot	16	12
其他 Others	膨润土衍生物 Bentonite derivative	43	12

注：数据来源于 NFPA69 附录 C 的表 C.1(a)(数据实验室常温常压下测定)和 C.1(b)(数据来自 R.K. Eckhoff, Dust explosions in the process industries, 2013)。

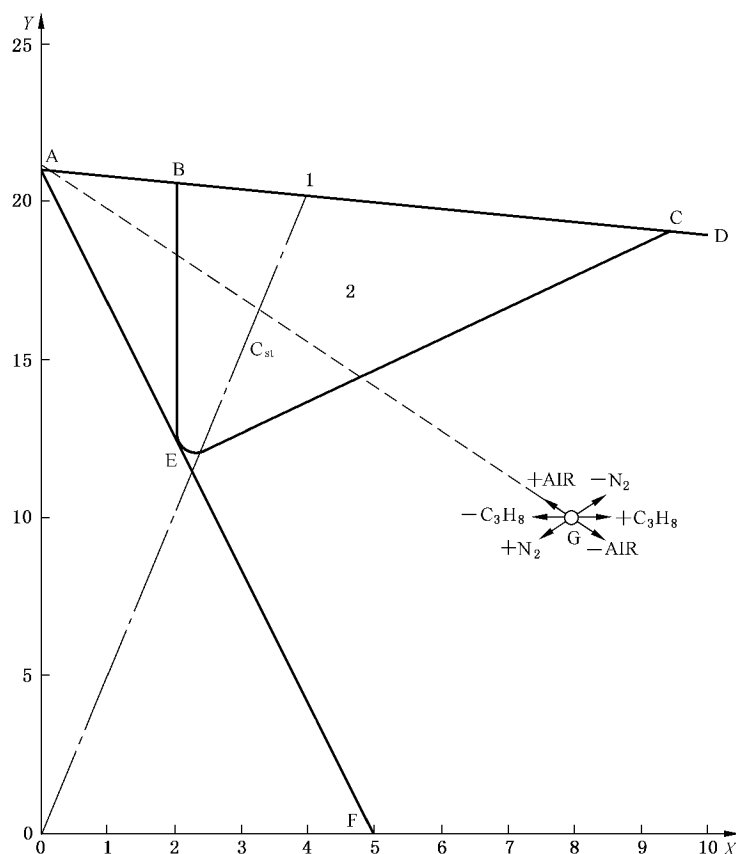
## 附录 B

(资料性附录)

## 可燃气体和可燃粉尘的爆炸浓度范围

## B.1 可燃气体爆炸浓度范围

空气中可燃气体爆炸极限采用 GB/T 12474 进行测定。可以根据不同氧浓度下可燃气体爆炸极限绘制可燃气体、空气和惰性气体的爆炸浓度分布图。完全惰化环境是指充入一定量惰性气体后,任何比例浓度的空气和可燃物都不能形成爆炸性气体环境。以丙烷为例绘制可燃气体、空气和惰性气体的爆炸浓度分布图,见图 B.1。丙烷与空气混合物的极限氧浓度体积分数为 11.5% (体积分数,下同,图 B.1 中的 E 点),相应丙烷下限浓度为 2.2%,加入氮气的浓度为:  $Z_{N_2}(\%) = 100\% - 4.77Z_{O_2}(\%) - Z_{C_3H_8}(\%)$ 。惰化过程如下:丙烷与空气混合物的组成比例沿 ABC 下降,B 为丙烷的爆炸下限(体积分数为 2.2%),C 为丙烷的爆炸上限(体积分数为 9.5%),化学计量浓度  $C_{st}$  线与 BC 线交点丙烷浓度的体积分数为 4.02%。用氮气惰化 BCE 三角形爆炸浓度区,加入体积分数为 52.7% 的氮气就可以防止混合物爆炸。



说明:

X —— 丙烷浓度(体积分数)以%表示;

Y —— 氧气浓度(体积分数)以%表示;

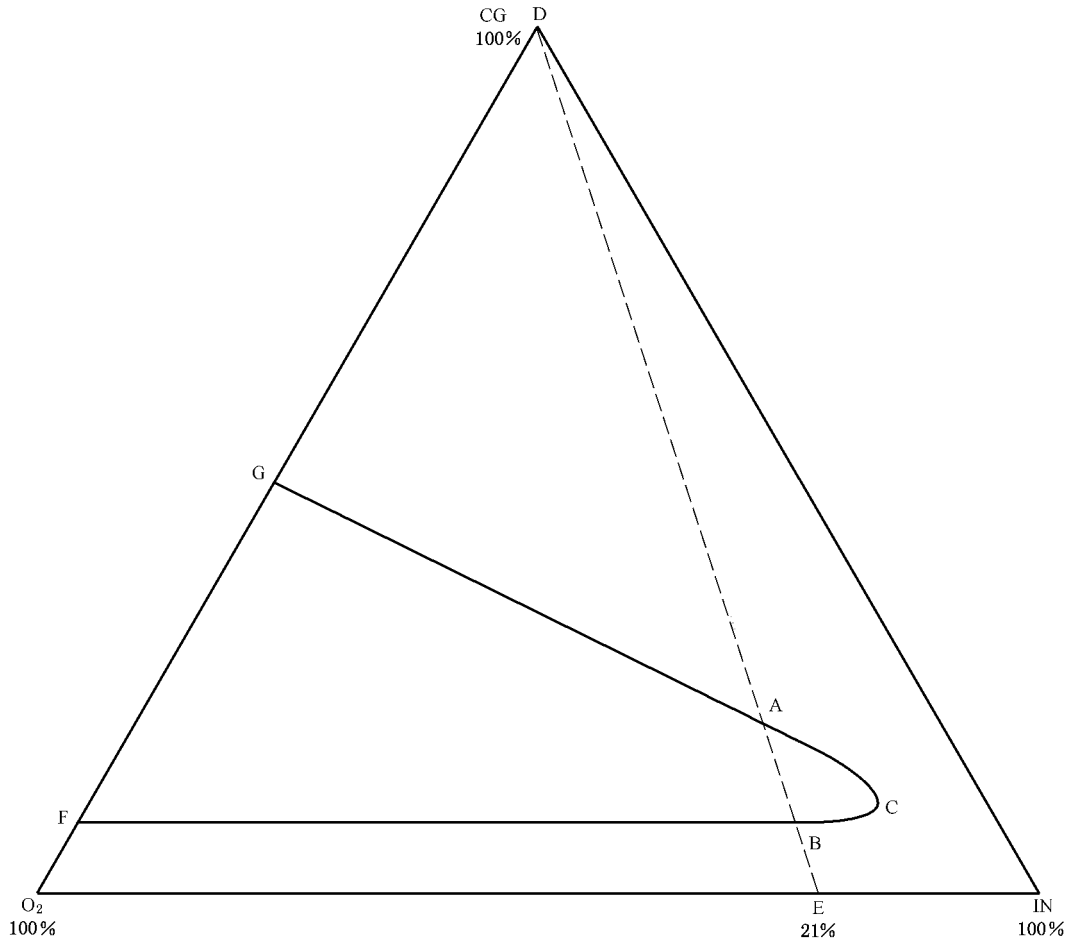
1 —— ABCD 线上的非混合区;

2 —— BEC 爆炸浓度区;

 $C_{st}$  —— 燃料气在空气中的当量浓度。

图 B.1 空气-丙烷与氮气的爆炸浓度范围

可燃气体、氧气和惰性气体的三角坐标系爆炸浓度分布区如图 B.2 所示,三种气体的浓度(以体积分数表示)绘制在三条轴上,顶点分布表示体积分数为 100 %的可燃气体、氧气和惰性气体。DABE 为空气线,表示空气和可燃气体的所有可能比例,与氧气轴交点为体积分数 100 %的空气浓度点,与可燃区 FBCAGF 的交点即为可燃气体的爆炸上限 A 点和爆炸下限 B 点。C 点代表着极限氧浓度点,低于该氧浓度的混合物是不可燃的。F 点和 G 点分别为可燃气体在纯氧气中的爆炸上限和爆炸下限。



说明:

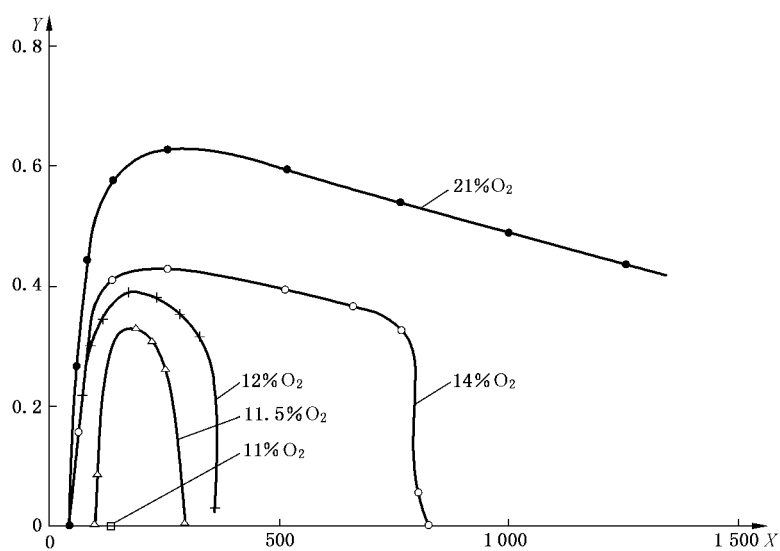
- CG —— 可燃气体浓度(体积分数)以 % 表示;
- IN —— 惰性气体浓度(体积分数)以 % 表示;
- 1 —— FBCAGF 可燃区外的非可燃区;
- 2 —— FBCAGF 可燃区。

图 B.2 可燃气体-氧气-惰性气体的爆炸区图

## B.2 可燃粉尘爆炸浓度影响因素

惰性气体惰化可燃粉尘爆炸性环境时,通常认为可燃粉尘的浓度变化对被保护系统内氧浓度的改变无影响,其惰化状态也与该系统内点火源的能量和出现概率有关。例如,褐煤氧浓度对爆炸压力和爆炸压力上升速率的影响见图 B.3 和图 B.4,不同类型惰性气体对最大爆炸压力的影响见图 B.5。粉尘云爆炸下限浓度、最大爆炸压力和最大压力上升速率的测定方法采用 GB/T 16425 和 GB/T 16426。

可燃粉尘的纯度、粒度、湿度等不同,其极限氧浓度也不一致,采用文献可燃粉尘极限氧浓度时应比对粉尘的基本状态参数和实际工况条件。



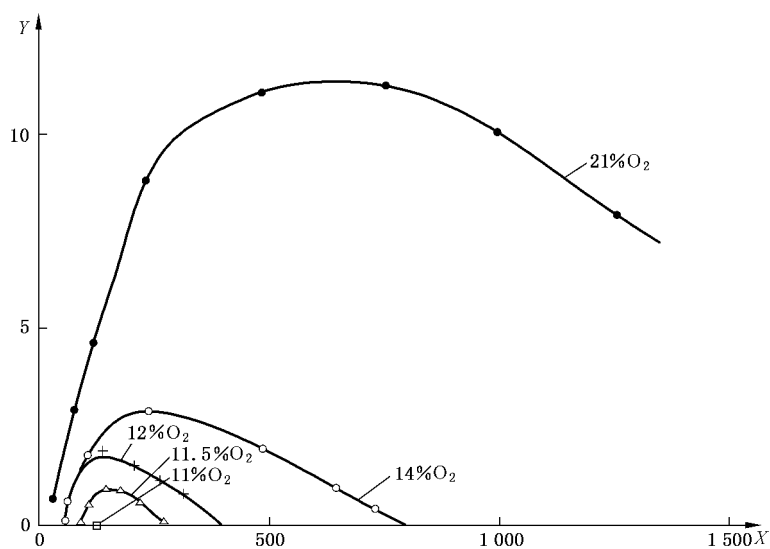
说明:

X —— 粉尘浓度,单位为克每立方米( $\text{g}/\text{m}^3$ );

Y —— 爆炸压力,单位为兆帕(MPa)。

注:●,○,+,△表示测试点。

图 B.3 褐煤氧浓度对爆炸压力的影响



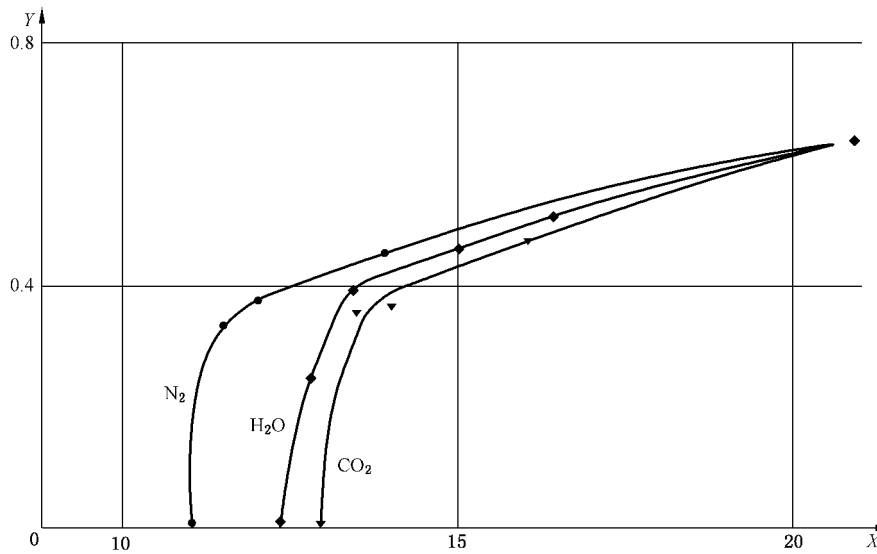
说明:

X —— 粉尘浓度,单位为克每立方米( $\text{g}/\text{m}^3$ );

Y —— 爆炸压力上升速率,单位为兆帕每秒( $\text{MPa}/\text{s}$ )。

注:●,○,+,△,□表示测试点。

图 B.4 褐煤氧浓度对爆炸压力上升速率的影响



说明：

X——氧气浓度(体积分数)以%表示；

Y——最大爆炸压力,单位为兆帕(MPa)。

注：●、◆、▼表示测试点。

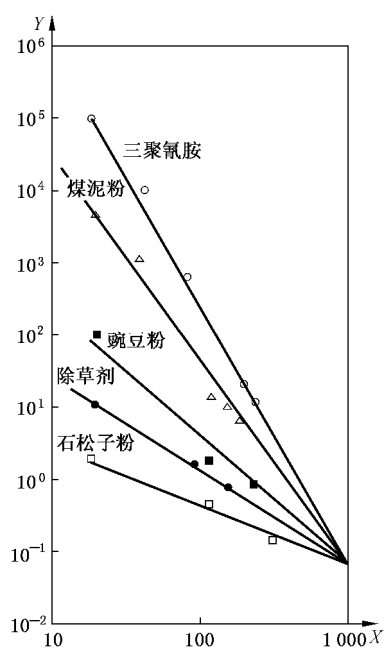
图 B.5 褐煤氧浓度对最大爆炸压力的影响(初始温度 150 °C, V = 1 m<sup>3</sup>, E = 10 000 J)

### B.3 工艺参数影响

可燃粉尘的最小点火能随着温度的升高而降低,1 000 °C时收敛于 0.1 mJ,见图 B.6。同时,随着温度的升高,极限氧浓度降低,见图 B.7。对于碳氢化合物(卤化碳氢化合物除外),温度每升高 100 K,其极限氧浓度降低的体积分数为 1%~2%,且少许杂质对极限氧浓度是有影响的。例如,环境温度升高的 100 °C时,二氯甲烷的极限氧浓度从体积分数为 20.3 %降低到体积分数为 9.5 %。可燃气体和蒸气也具有类似的情况,如二氯甲烷在 0.1 MPa 大气压状态 100 °C以下是不燃的,加入体积分数为 0.5 %的甲醇蒸气,27 °C时变为可燃物质。

压力对褐煤和丙烷的惰化浓度的影响见图 B.8 和图 B.9。随着初始压力的升高,惰化褐煤所需的极限氧浓度随之降低,惰化丙烷气体所需的惰性气体用量随之增加。





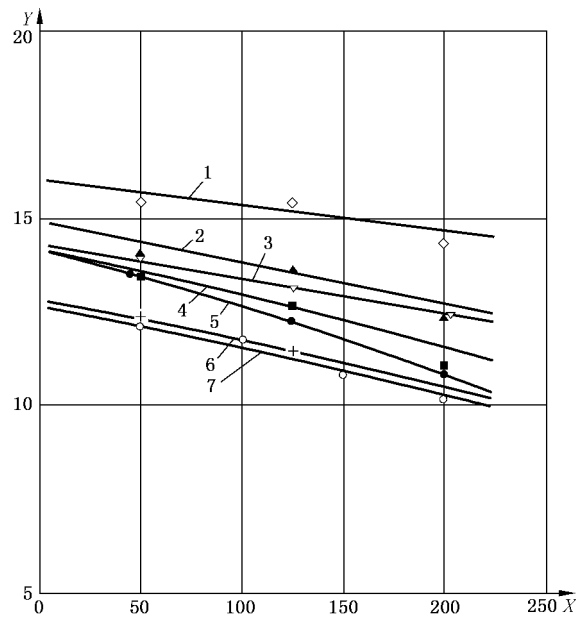
说明:

X——温度,单位为摄氏度(°C);

Y——最小点火能,单位为毫焦(mJ)。

注: ○, △, ■, ●, □ 表示测试点。

图 B.6 温度对粉尘点火能的影响



说明:

X —— 初始温度,单位为摄氏度(°C);

Y —— 极限氧浓度,以体积分数表示(%);

1 —— 脱脂奶粉,  $D_{50} = 65 \mu\text{m}$ ;

2 —— 沥青,  $D_{50} = 19 \mu\text{m}$ ;

3 —— 长焰煤,  $D_{50} = 19 \mu\text{m}$ ;

4 —— 泥煤,  $D_{50} = 46 \mu\text{m}$ ;

5 —— 木材粉,  $D_{50} = 59 \mu\text{m}$ ;

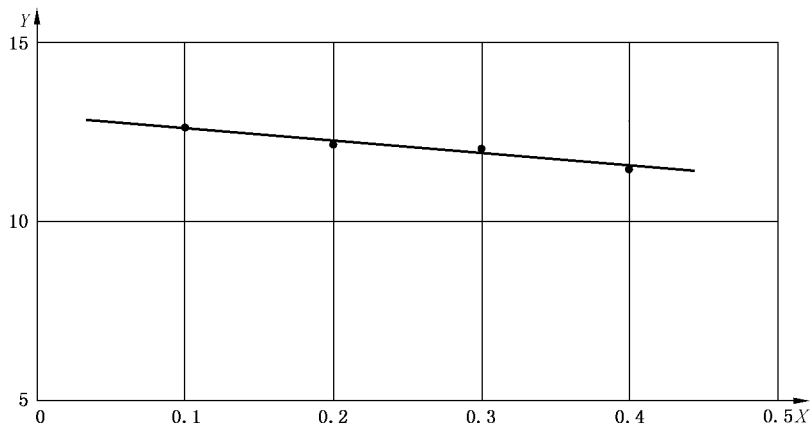
6 —— 凝胶,  $D_{50} = 43 \mu\text{m}$ ;

7 —— 褐煤,  $D_{50} = 52 \mu\text{m}$ 。

注 1:  $D_{50}$  表示小于或等于某粒径的颗粒质量百分比为 50%,该粒径称为 50% 粒径。

注 2:  $\diamond, \blacktriangle, \blacktriangledown, \blacksquare, \bullet, +, \circ$  表示测试点。

图 B.7 温度对可燃粉尘极限氧浓度的影响( $N_2, V = 1 \text{ m}^3, E = 10\ 000 \text{ J}$ )

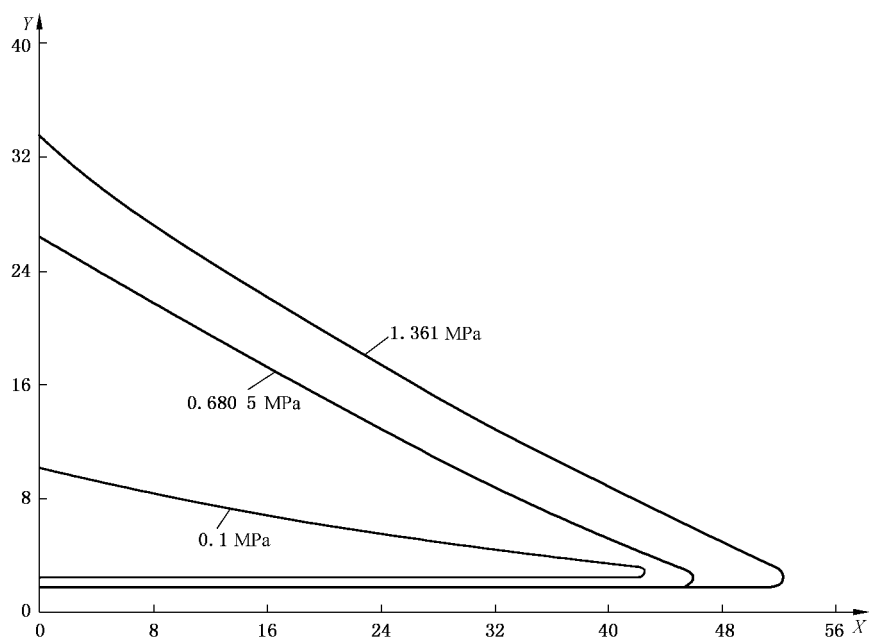


说明:

X —— 初始压力,单位为兆帕(MPa);

Y —— 极限氧浓度(体积分数)以%表示。

图 B.8 压力对褐煤惰化的影响( $N_2, V = 1 \text{ m}^3, E = 10\ 000 \text{ J}$ )



说明:

X —— 氮气浓度(体积分数)以%表示;

Y —— 丙烷浓度(体积分数)以%表示;

$I_{\text{空气}}(\%) = 100\% - I_{\text{丙烷}}(\%) - I_{\text{氮气}}(\%)$ 。

图 B.9 压力对丙烷惰化用气的影响

**附 录 C**  
(资料性附录)  
**惰化计算**

**C.1 加压惰化**

假设膨胀和压缩过程是等温的,加压惰化被保护系统内的氧浓度可采用式(C.1)进行计算:

$$C_n = C_i + (C_0 - C_i) \left( \frac{p_1}{p_2} \right)^n \quad \dots\dots\dots (C.1)$$

式中:

- $C_n$  ——  $n$  次加压惰化后被保护系统的氧浓度(体积分数), %;
- $C_i$  —— 惰性气体中的氧浓度(体积分数), %;
- $C_0$  —— 被保护系统的初始氧浓度(体积分数), %;
- $p_0$  —— 被保护系统初始压力(绝压),单位为兆帕(MPa);
- $p_2$  —— 加压惰化后被保护系统压力上限(绝压),单位为兆帕(MPa);
- $n$  —— 加压惰化次数。

涉及高压或剧烈压力变化的过程可视为绝热过程,其氧浓度采用修正公式(C.2)进行计算:

$$C_n = C_i + (C_0 - C_i) \left( \frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{n}{k}} \quad \dots\dots\dots (C.2)$$

式中:

$k$  —— 气体定压比热容和定容比热容的比值,即气体绝热指数。

达到某一给定氧浓度所需的加压次数  $n$  采用式(C.3)、式(C.4)计算。

$$n = \frac{\lg \left( \frac{C_n - C_i}{C_0 - C_i} \right)}{\lg \left( \frac{p_1}{p_2} \right)} \quad \dots\dots\dots (C.3)$$

$$n = k \left( \frac{\lg \left( \frac{C_n - C_i}{C_0 - C_i} \right)}{\lg \left( \frac{p_1}{p_2} \right)} \right) \quad \dots\dots\dots (C.4)$$

通常泄放至常压之前,被保护系统加压至最低 0.1 MPa(表压),为确保混合均匀至少加压循环两次。已知加压次数和被保护系统所需氧浓度,最小压力比  $R$  按式(C.5)、式(C.6)、式(C.7)计算:

$$R = \left( \frac{C_0 - C_i}{C_n - C_i} \right)^{\frac{1}{n}} \quad \dots\dots\dots (C.5)$$

$$R = \left( \frac{C_0 - C_i}{C_n - C_i} \right)^{\frac{k}{n}} \quad \dots\dots\dots (C.6)$$

$$R = \left( \frac{p_2}{p_1} \right) \quad \dots\dots\dots (C.7)$$

**示例 1:**

惰化 10 m<sup>3</sup> 的容器,控制氧体积分数降低至 5 % 以下,使用表压为 0.2 MPa 的氮气,其中含有体积分数低于 0.1 % 的氧气。进气流量和排气流量均为 50 m<sup>3</sup>/h。需要多少次循环?

50 m<sup>3</sup>/h 流量气体在 24 min 内将容器加压至 0.2 MPa(表压),采用式(C.1)的反解方程式(C.3)进行计算,带入所给的数值:

$$n = \frac{\lg\left(\frac{5-0.1}{21-0.1}\right)}{\lg\left(\frac{0+0.1}{0.2+0.1}\right)} = 1.32, \text{即 } 2 \text{ 个循环。}$$

示例 2:

含氧量体积分数为 1.5 % 的氮气惰化保护一个 50 L 的小容器,15 s 内加压至 0.3 MPa(表压)然后泄压,反复加压惰化循环三次。惰化完成后容器内氧含量是多少?

由于所需时间较短,不满足等温条件,采用式(C.2)进行计算。绝热系数  $k$  由国际工艺常数表查出为 1.401,代入式(C.2)得:

$$C_n = 1.5 + (21 - 1.5) \left( \frac{0.1}{0.1 + 0.3} \right)^{\frac{3}{1.401}} = 2.502\%$$

## C.2 真空惰化

真空惰化过程的计算方程与压力惰化计算方程相同。抽真空后切断真空源(如真空泵),定期测定容器内压力上升速率  $J$ ,见表 C.1。建议至少抽真空 2 次以确保混合均匀。常见惰性气体的绝热指数见表 C.2。

表 C.1 真空系统的典型压力上升速率

真空压力 MPa	压力上升速率 $J$ MPa / min		
	A 类	B 类	C 类
0.000 133~0.001 33	0.000 066 661	0.000 026 664	0.000 006 666 1
0.001 33~0.004 00	0.000 133 322	0.000 066 661	0.000 006 666 1
0.004 00~0.013 3	0.000 266 645	0.000 066 661	0.000 006 666 1
类别说明: A 类代表一般应用; B 类代表较严格应用,如包含大量法兰的被保护系统; C 类代表严禁空气进入的惰化被保护设备,例如制药和半导体工业。			

表 C.2 惰性气体的绝热指数  $k = C_p/C_v$

气体	$k$ (15 °C, 0.1 MPa)
氩 Ar	1.66
二氧化碳 CO <sub>2</sub>	1.304
氦 He	1.664
氮气 N <sub>2</sub>	1.404
蒸汽(100 °C时)H <sub>2</sub> O	1.324

## C.3 吹扫惰化

假设被惰化保护系统内空气和惰性气体完全混合均匀,任何位置的氧气浓度在同一时间是相同的,

吹扫惰化时间可采用式(C.8)进行计算:

$$t = F \frac{V}{Q} \ln \left( \frac{C_i - C_0}{C_i - C_f} \right) \dots\dots\dots (C.8)$$

式中:

- $t$  ——吹扫惰化时间,单位为秒(s);
- $F$  ——吹扫安全系数,取值见 5.4.2;
- $V$  ——被保护系统体积,单位为立方米( $m^3$ );
- $Q$  ——惰性气体流量,单位为立方米每秒( $m^3/s$ );
- $C_f$  ——吹扫惰化后的氧气浓度(体积分数),%;
- $C_0$  ——被保护初始氧浓度(体积分数),%;
- $C_i$  ——惰性气体本身氧浓度(体积分数),%。

吹扫惰化后被保护系统的氧浓度计算公式见式(C.9),惰性气体供给流量计算公式见式(C.10)。

$$C_f = C_i + \frac{C_0 - C_i}{\exp(Q t / F V)} \dots\dots\dots (C.9)$$

$$Q = F \frac{V}{t} \ln \left( \frac{C_i - C_0}{C_i - C_f} \right) \dots\dots\dots (C.10)$$

**示例 1:**

3  $m^3$  的设备采用纯氮气进行吹扫惰化,惰化后氧气浓度降至体积分数为 5 % 以下。吹扫气流流量为 10  $m^3/h$ ,孔径为 25 mm,计算需要的吹扫时间?

经计算,惰性气体吹扫速率为 5.6  $m/s$ ,惰化后混合状态较好,安全系统  $F$  取值 2,代入式(C.8):

$$t = 2 \times 3 / 10 \ln \left( \frac{0 - 21}{0 - 5} \right) = 0.86 \text{ h} = 52 \text{ min}$$

**示例 2:**

对于示例 1 中的设备,采用含氧量体积分数为 2% 的氮气吹扫惰化,计算被保护系统内氧浓度从体积分数为 21 % 降低至体积分数为 5 % 所需要的吹扫流量。采用式(C.10)进行计算,所得如下(52 min 为 0.86 h):

$$Q = 2 \times 3 / 0.86 \ln \left( \frac{2 - 21}{2 - 5} \right) = 12.87 \text{ m}^3/\text{h}$$

附录 D  
(资料性附录)

防止空气向下扩散进入放散管内

为防止大气中的空气进入放散管内,惰性气体流量可采用式(D.1)计算:

$$v = \left( \frac{0.002\ 044}{h} \right) \left( \frac{6}{x} \right)^{0.64} \left( \frac{28}{M} \right)^N (e^{6.299\ 2D} - 0.96e^{0.16(39.37D-M)}) \dots\dots\dots (D.1)$$

式中:

- $v$  —— 惰性气体折算流量,单位为米每秒(m/s);
- $h$  —— 末端至通风口距离,单位为米(m);
- $x$  —— 需要控制的氧浓度,(体积分数),%;
- $M$  —— 惰性气体的摩尔质量,单位为克每摩尔(g/mol);
- $N$  —— 与放散管直径相关的指数系数,由图 D.1 确定;
- $D$  —— 放散管直径,单位为米(m)。

式(D.1)的量纲不一致,是纯经验公式。



说明:

- $X$  —— 通风直径,单位为米(m);
- $N$  —— 指数系数;
- $a$  —— 外推。

图 D.1 不同管径的指数系数  $N$

式(D.1)适用于氧气浓度体积分数为范围 3%~6% 的情况。对于氮气,因为其摩尔质量为 28 g/mol,所以计算结果与指数系数  $N$  无关。注意,如果惰性气体用于吹扫出其它气体(例如氢气),则吹扫氧气的惰性气体(实际上是惰性气体和该种其它气体的混合气体)的分子量将被改变。在这种情况下需要的惰化流量增加,使用式(D.1)时应予以考虑。

在采取持续通入惰性气体保持容器惰化时,环境温度和压力的变化可能产生容器向外的出流和呼

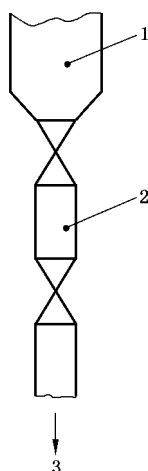
吸回流。此时,放散管中应维持惰化气体的流量。如果容器存在呼吸效应,则对容器内物料应有保持惰性气体覆盖的设计。惰化设计应考虑温度压力的变化和物料存量的改变。是否有必要对有泄压设备(例如爆破片和泄压阀)的放散管道进行吹扫,应根据具体的应用咨询专家。



**附 录 E**  
(资料性附录)  
**固体物料双联阀**

固体装料和卸料时,为了保持系统惰化常采用双联阀(见图 E.1)或回转阀(也称旋转给料器),可以确保固体物料贮料仓与大气隔绝。加料仓阀打开时固体物料进入惰化仓,这时惰化仓下方阀关闭;加料仓阀关闭后对惰化器吹扫惰化,惰化仓下方阀打开时固体物料进入贮料仓。固体物料双联阀控制的惰化计算公式符号如下:

- $U$  —— 贮料仓气隙体积,单位为立方米( $m^3$ );  
 $C_m$  —— 贮料仓内最大容许氧浓度(体积分数),%;  
 $C_n$  —— 固体物料添加初始时刻的贮料仓内氧浓度(体积分数),%;  
 $V_s$  —— 固体物料的总体积,单位为立方米( $m^3$ );  
 $V_v$  —— 惰化仓的体积,单位为立方米( $m^3$ );  
 $n$  —— 添加次数;  
 $f$  —— 固体物料的孔隙率。



说明:

- 1—— 固体物料加料仓  
 2—— 惰化仓;  
 3—— 贮料仓。

**图 E.1 固体物料双联阀示意图**

固体物料中的气体含量为  $fV_s$ ,若惰化仓未被填满,其空气余量为  $V_v - V_s$ 。假定空气中的氧含量为 21%,则惰化仓内氧气的体积按式(E.1)计算:

$$0.21(V_v - V_s + fV_s) \quad \dots\dots\dots (E.1)$$

贮料仓内初始氧体积量为  $C_n U$ ,固体物料添加后假设惰化仓内氧气全部进入贮料仓,则贮料仓内氧气的总体积量为按式(E.2)计算:

$$0.21(V_v - V_s + fV_s) + C_n U \quad \dots\dots\dots (E.2)$$

贮料仓内氧浓度计算式见式(E.3)

$$0.21(V_v - V_s + fV_s)/U + C_n \quad \dots\dots\dots (E.3)$$

固体物料通过惰化仓添加  $n$  次后,氧气的添加体积量见式(E.4):

$$0.21n(V_v - V_s + fV_s) \quad \dots\dots\dots (E.4)$$

贮料仓内最大容许氧浓度是  $C_m$ , 则固体物料添加次数  $n$  的计算式见式(E.5)、式(E.6):

$$UC_m = 0.21n(V_v - V_s + fV_s) + C_n U \quad \dots\dots\dots (E.5)$$

$$n = \frac{(C_m - C_n)U}{0.21(V_v - V_s + fV_s)} \quad \dots\dots\dots (E.6)$$

**附 录 F**  
(资料性附录)  
开口容器装料

警示——开口容器直接装料可能导致操作人员窒息,且存在失去惰化保护而导致爆炸事故的风险。

### F.1 加料槽添加袋装物料

加料槽添加袋装物料时若没有惰化保护,随着空气的进入其氧气浓度不断升高。采用惰性气体吹扫保护时,随着袋装物料的添加,贮料仓内氧气的浓度缓慢上升,添加  $n$  袋袋装物料后贮料仓内氧气的体积量计算公式见式(F.1):

$$V_n = V_i \left( \frac{1 - \exp(-Qn\Delta t/U)}{1 - \exp(-Q\Delta t/U)} \right) + V_0 \quad \dots\dots\dots (F.1)$$

式中:

- $V_n$  —— 添加  $n$  袋物料后贮料仓内氧气体积量,单位为立方米( $m^3$ );
- $V_i$  —— 每袋物料中的氧气体积量,单位为立方米( $m^3$ );
- $V_0$  —— 未添加物料时贮料仓内氧气体积量,单位为立方米( $m^3$ );
- $Q$  —— 惰化气体流量,单位为立方米每秒( $m^3/s$ );
- $n$  —— 添加物料袋数;
- $\Delta t$  —— 连续添加袋装物料的时间间隔,单位为秒(s);
- $U$  —— 贮料仓的未充满空间体积,单位为立方米( $m^3$ )。

式(F.1)偏于保守,可以预测体积分数为 21% 以上的氧浓度,当贮料仓内氧气浓度低于体积分数为 10% 时计算误差是可容许的。

### F.2 袋装物料添加平衡状态

袋装物料添加过程中,惰性气体惰化保护使贮料仓内氧浓度保持恒定,惰性气体流量计算公式见式(F.2):

$$Q = \frac{U}{\Delta t} \ln \left( \frac{C_i - C_r - C_b KS / (BU)}{C_i - C_r} \right) \quad \dots\dots\dots (F.2)$$

式中:

- $Q$  —— 惰化气体流量,单位为立方米每秒( $m^3/s$ );
- $U$  —— 贮料仓内未充满空间体积,单位为立方米( $m^3$ );
- $\Delta t$  —— 连续添加袋装物料的时间间隔,单位为秒(s);
- $C_i$  —— 惰化气体中的氧气浓度(体积分数),%;
- $C_r$  —— 贮料仓内最大氧气浓度(体积分数),%;
- $C_b$  —— 粉状固体物料中的氧气浓度(体积分数,通常取 0.21),%;
- $K$  —— 每袋物料的重量,单位为千克(kg);
- $S$  —— 块状物料的孔隙率(如果未知,通常假设为 0.5);
- $B$  —— 粉状物料密度(如果未知,通常假设为  $500 \text{ kg}/m^3$ )。

### F.3 袋装物料添加活塞流状态

袋装物料添加活塞流状态时,贮料仓内氧浓度平衡被破坏,需要再次惰化吹扫保护,吹扫惰化时间采用式(C.8)进行计算,通常需要5次惰化置换。

### F.4 加料槽吹扫气流的设置位置

加料槽吹扫气流的入口位置与贮料仓的内部温度有关。贮料仓内液体物料温度高于环境温度,则惰性气体应从贮料仓入口以上位置通入。对于贮料仓内高沸点低压液体物料,惰性气体应直接通入贮料仓内。

#### 示例 1:

贮料仓容积为  $6.3 \text{ m}^3$ ,盛有  $3 \text{ m}^3$  的液体,每小时加入 40 袋 25 kg 的袋装物料,惰性气体的通入量  $Q$  为  $1 \text{ m}^3/\text{h}$ 。贮料仓内初始氧浓度的体积分数为 2%,计算加料完毕后贮料仓内氧浓度?若最大允许氧浓度为 6.0,请判定惰性气体通入量是否满足?

贮料仓内未充满空间体积为  $(6.3-3)\text{m}^3=3.3 \text{ m}^3$ ,初始氧气体积量  $V_0$  为  $3.3 \text{ m}^3 \times 0.02=0.066 \text{ m}^3$ 。物料密度未知,通常采用  $500 \text{ kg}/\text{m}^3$ ,孔隙率为 0.5。填充空气的氧浓度的体积分数为 21%,每袋物料的氧体积量为  $25/500 \times 0.5 \times 0.21=0.00525 \text{ m}^3$ 。添加物料袋数  $n$  为 40,连续添加袋装物料的时间间隔  $\Delta t$  为  $1/40=0.025 \text{ h}$ 。采用式(F.1)计算如下:

$$V_n = 0.00525 \left( \frac{1 - \exp(-1 \times 40 \times 0.025/3.3)}{1 - \exp(-1 \times 0.025/3.3)} \right) + 0.066 = 0.2478 \text{ m}^3$$

贮料仓内氧气浓度体积分数为  $0.2478/3.3=7.5\%$ 。可见,高于贮料仓内最大允许氧浓度,应加大惰性气体通入流量。

#### 示例 2:

针对示例 1,袋装物料的添加频率降低,为维持贮料仓初始氧浓度的体积分数为 2%的,连续添加袋装物料的时间间隔  $\Delta t$  采用式(F.2)计算如下:

$$\Delta t = \frac{U}{Q} \ln \left( \frac{C_i - C_r - C_0 KS / (BU)}{C_i - C_r} \right) = 3.3/1 \times \ln[(0 - 0.02 - 0.21 \times 25 \times 0.5) / (500 \times 3.3)] / (0 - 0.02) = 0.2525 \text{ h}$$

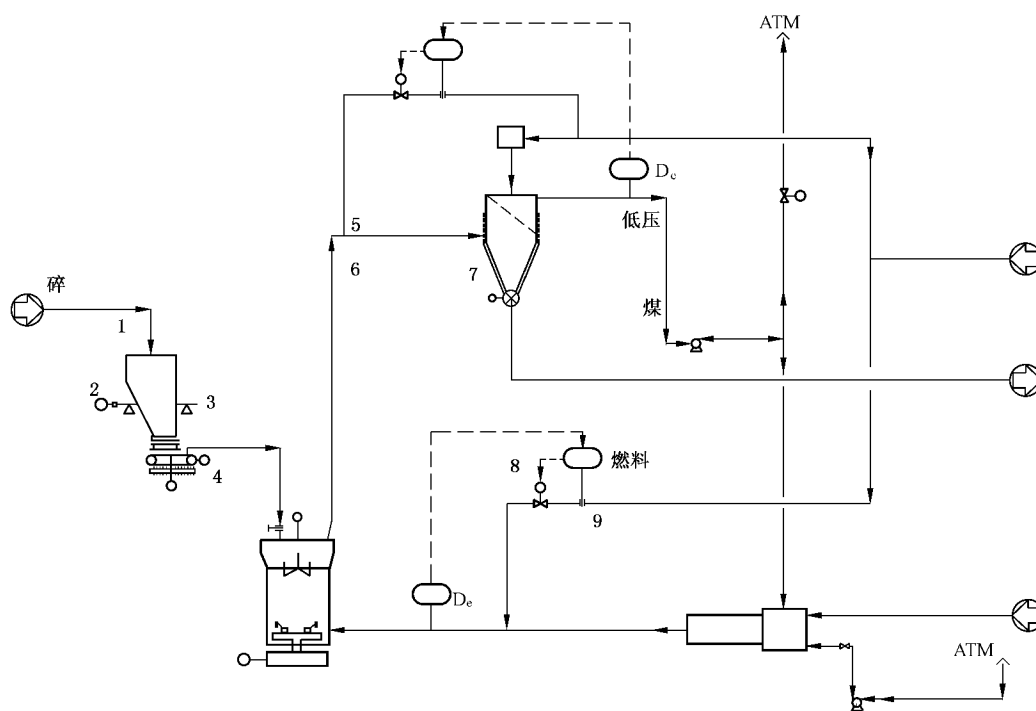
可知,添加物料大约需要 10 h,更好的方法是增加惰性气体通入量。若惰性气体通入量为  $10 \text{ m}^3/\text{h}$ ,则总的填料时间可以缩短为  $0.2525 \times 40/10=1.01 \text{ h}$ 。

附 录 G  
(资料性附录)  
工艺设备惰化实例

### G.1 磨煤干燥系统惰化工艺

由于磨煤干燥系统温度较高,惰性气流进入磨煤机的进口温度在 300 ℃ 左右,排出磨机的温度为 105 ℃~130 ℃。图 G.1 为煤粉气化装置磨煤干燥系统中的典型惰化工艺流程。在磨煤机运行时,磨煤过程中可能引起温度升高,存在潜在煤粉燃爆危险。在煤粉收集器处设备渗入空气现象时有发生,如氧浓度过高,煤粉易自燃,属于潜在燃爆危险源。为了保证该系统安全运行,要求控制整个系统中氧浓度不能超过体积分数为 8 %:

- a) 在热风炉与磨煤机之间的惰性气体管道上设置一套氧气监测系统,如在此处检测到氧含量超过控制要求值,即刻开启补氮管线上流量控制阀,向惰性气体中补充氮气;
- b) 在煤粉收集器出口管道上设置一套氧气监测系统,如在此处检测到氧含量超过控制要求值,即刻开启补氮管线上流量控制阀,向煤粉收集器进口管道中补充氮气,以控制整个磨煤干燥系统的氧浓度在安全允许范围之内。



说明:

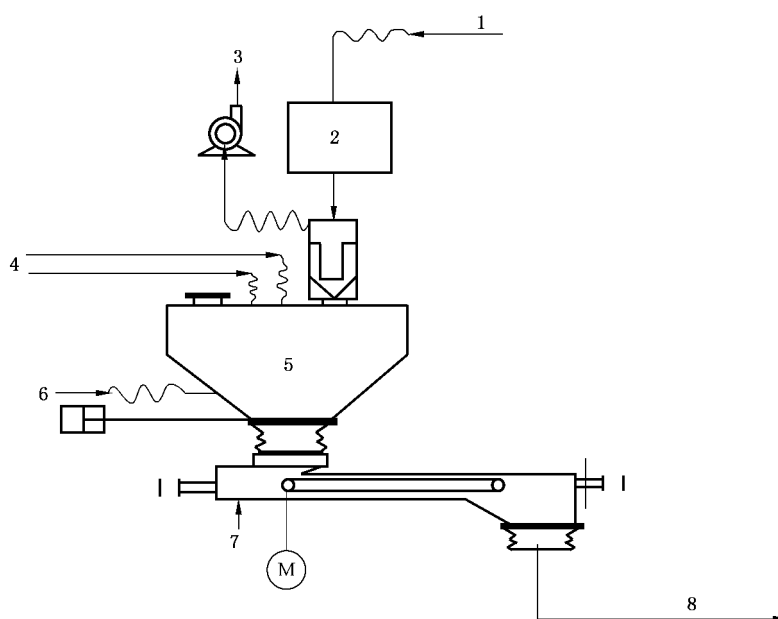
- |           |             |            |
|-----------|-------------|------------|
| 1——碎煤仓;   | 4——磨煤机;     | 7——循环风机;   |
| 2——称重给煤机; | 5——煤粉收集器;   | 8——热风炉;    |
| 3——旋转分离器; | 6——煤粉旋转给料机; | 9——燃烧空气风机。 |

图 G.1 磨煤干粉系统惰化工艺示意图

### G.2 碎煤仓煤粉惰化工艺

碎煤仓煤粉惰化工艺如图 G.2 所示,惰化过程如下:

- a) 碎煤由皮带输送机进入到碎煤仓时会有小部分煤粉飘扬,为了防止煤粉扬尘在碎煤仓顶部设有外滤式布袋除尘器,反吹系统使用氮气(0.45 MPa),保持外滤式布袋除尘器的惰化环境。
- b) 在碎煤仓中部设有应急用氮气,一旦碎煤仓内出现温度超限或自燃等现象,通入应急用氮气进行惰化保护。
- c) 碎煤通过称重给煤机进入到中速磨内,称重给煤机设备连续通入氮气,对转动部分氮封保护,防止中速磨内的气体和煤粉从中速磨的进煤口往外泄漏,也可避免外部空气通过进煤口进入中速磨内,破坏中速磨内的惰性环境。



说明:

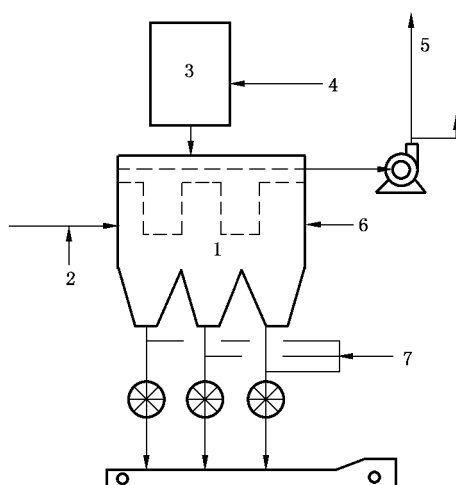
- |             |             |                       |
|-------------|-------------|-----------------------|
| 1——氮气吹扫;    | 4——碎煤;      | 7——称重给煤机氮气保护;         |
| 2——袋滤器清扫系统; | 5——碎煤仓;     | 8——碎煤(268 °C, 3 kPa)。 |
| 3——排气;      | 6——碎煤仓氮气补入; |                       |

图 G.2 碎煤仓惰化工艺示意图

### G.3 布袋收尘器惰化工艺

布袋收尘器的惰化工艺如图 G.3 所示,惰化保护设施如下:

- a) 碎煤通过中速磨研磨后,合格的煤粉在热惰性气体的夹带进入布袋收尘器。在进入布袋收尘器之前(110 °C, 4.35 kPa),设有补充氮气将整个磨煤干燥系统的氧浓度控制在安全允许范围之内。
- b) 煤粉通过外滤式布袋收尘器进行收集,反吹系统采用氮气,在布袋收尘器内形成惰性环境。
- c) 布袋收尘器中部设有应急用氮气,一旦出现煤粉温度过高或自燃时,紧急通入氮气。
- d) 在布袋收尘器下面旋转给料阀设有密封保护氮气。



说明:

- |                           |                              |
|---------------------------|------------------------------|
| 1——布袋收尘器(110 °C, -7 kPa); | 5——排气 30mg/Nm <sup>3</sup> ; |
| 2——惰性气体和煤粉混合物氮气补入;        | 6——中部氮气补入;                   |
| 3——反吹系统;                  | 7——旋转给料阀氮封。                  |
| 4——氮气吹扫;                  |                              |

图 G.3 布袋收尘器惰化工艺示意图

#### G.4 天然气输(配)气场站惰化保护

利用二氧化碳气体对清管作业和过滤清洗作业进行惰化保护,实现工艺区清管装置和过滤装置的清洗作业安全,提高净化天然气输(配)气站场及阀室抗御火灾风险的能力。惰性气体管路输送气态CO<sub>2</sub>,用于惰化、清洗、排污等清管操作;清管作业时,对排污池、收发球装置/过滤装置进行惰化保护,抑爆阻燃。

#### G.5 石化工艺或装置惰化保护

石油化工有限公司常采用通流惰化方式(也称为吹扫惰化),即通过向有放散口的系统连续通入惰性气体,降低系统内氧浓度,使系统内混合物不能形成爆炸性环境,或增加混合物点燃难度的防爆技术。通流惰化通常不包括通入可燃气体(如甲烷或天然气等燃料气)来降低氧浓度的防爆技术措施,也不包括通过降低可燃物浓度至爆炸下限(LEL)的防爆技术措施。部分工艺应用实例:

- a) 聚乙烯、聚丙烯装置的粉料输送,控制系统运行在极限氧浓度(LOC)以下;
- b) 工艺装置开车前采用氮气吹扫,置换系统内的氧气以控制在极限氧浓度以下。

**附 录 H**  
**(资料性附录)**  
**常见氧浓度探测器**

### H.1 概述

实际工程应用中有些氧在线分析仪表测得的氧浓度是干基,水蒸汽一般列入惰性气体而要求的惰化系统氧浓度是湿基,在选择氧浓度探测器时应特别注意。

氧浓度探测器的使用温度不应小于惰化系统的工作温度范围,其最大量程不应大于 25%(体积分数),其精度不低于满量程的 $\pm 2\%$ 。

电化学氧浓度探测器分为体积分数型氧浓度探测器和分压型氧浓度探测器。

电化学氧浓度探测器是基于电化学原理,探测器中含有阳极、阴极和电解液,能够产生正比于氧浓度的输出电流。使用时要依据具体过程选用最佳的电化学探测器,其使用寿命通常为 12 个月,过期后需要替换或者重新组装某些分压型探测器。同时,要考虑电化学氧浓度探测器的温度使用范围,避免影响测试结果。

对于没有采样系统的电化学氧浓度探测器,应用过程中测试气体样品中的溶剂蒸气和颗粒物可能污染探测器而导致测试故障。对于易燃易爆场所,多选用本质安全型电化学氧浓度探测器。

此外,还有氧化锆探测器、顺磁式氧分析仪等。

### H.2 体积分数型氧浓度探测器

采用毛细管探测技术,主要特性如下:

- 对压力波动不敏感;
- 不需要零点气,易于标定;
- 可作为本质安全型探测器;
- 不受撞击和震动的影响;
- 失效时输出零;
- 探测器寿命通常为 1 年。

### H.3 分压型氧浓度探测器

分压型氧浓度探测器分为固定式膜燃料电池型和极谱充电型两类,对压力变化敏感。这些探测器过期后,燃料电池需要完全替换,极谱型探测器需要更换新膜并装填新的电解质。分压型氧浓度探测器的特性如下:

- 对压力波动敏感;
- 需要零点气;
- 可作为本质安全型探测器;
- 不受撞击和震动影响;
- 失效时输出零;
- 探测器寿命通常为 6 个月 ~12 个月。



#### H.4 氧化锆探测器

氧化锆探测器与电化学探测器工作原理相同,阳极和阴极分别位于锆管的两端。锆管被加热到 550 °C 以上,沿管施加极化电压,将产生一个强度与锆管内表面氧分压成正比的信号。氧化锆探测器氧浓度测试范围较广,可以从  $10^{-6}$  级到 100% 纯氧,且响应速度非常快。可以直接用于采样点,但需考虑气样中的颗粒物对探测器的污染,且不适用于含有高浓度溶剂蒸气的气体样品。氧化锆探测器的特性如下:

- 量程宽(氧浓度从  $10^{-6}$  级到 100%);
- 响应时间快;
- 不适用于烃类蒸气;
- 对压力波动敏感;
- 对撞击和震动敏感;
- 需要零点气。

#### H.5 顺磁式氧分析仪

顺磁式氧分析仪的工作原理是基于氧的顺磁性倾向,包括磁力机械式、磁压式和热磁式,通常没有使用寿命限制。顺磁式氧分析仪的特性如下:

- 响应快;
- 无损耗型探测器;
- 对流量、压力和温度波动敏感;
- 对撞击和震动敏感;
- 需要零点气;
- 对背景气体敏感;
- 不适用于原位测定。

参 考 文 献

- [1] GB/T 12474—2008 空气中可燃气体爆炸极限测定方法
  - [2] GB/T 16425 粉尘云爆炸下限浓度测定方法
  - [3] GB/T 16426 粉尘云最大爆炸压力和最大压力上升速率测定方法
  - [4] 赵衡阳.气体和粉尘爆炸原理.北京:北京理工大学出版社,1996
  - [5] EN 1839-2003 Determination of explosion limits of gases und vapours
  - [6] EN ISO 4126-6 Safety devices for protection against excessive pressure—Part 6: Application,selection and installation of bursting disc safety devices (ISO 4126-6:2003)
  - [7] EN 50104 Electrical apparatus for the detection and measurement of oxygen—Performance requirements and test methods
  - [8] EN 14034-4 Determination of explosion characteristics of dust clouds—Part 4: Determination of the limiting oxygen concentration LOC of dust clouds
  - [9] EN 14756:2006 Determination of the limiting oxygen concentration (LOC) for gases and vapours
  - [10] API Standard, API 2000—1992 American Petroleum Institute, Washington D.C.
  - [11] NFPA 68 Standard on Explosion Protection by Deflagration Venting
  - [12] NFPA 69 Standard on Explosion Prevention
  - [13] VDI 2263 Blatt 2 Staubbrde und Staubexplosionen—Gefahren, Beurteilung, Schutzma ahmen; Inertisierung (Dust Fires and Explosions -Hazards, Assessment, Protective Measures)
  - [14] ASTM E2931 Standard Test Method for Limiting Oxygen (Oxidant) Concentration of Combustible Dust Clouds
  - [15] ASTM E2079 Standard Test Method for Limiting Oxygen (Oxidant) Concentration for Gases and Vapors
  - [16] CEN/TR 15281—2006 Guidance on Inerting for the Prevention of Explosions
  - [17] CLC/TR 50404—2003 Electrostatics—Code of practice for the avoidance of hazards due to static electricity.
  - [18] Zabetakis, M. G. Flammability Characteristics of Combustible Gases and Vapors, U.S. Bureau of Mines Bulletin,1965, 627
  - [19] Wiemann, W. Einfluss der Temperatur auf Explosionskenngren und Sauerstoffgrenzkonzentrationen, VDI-Bericht 494,1984, 89 - 97, VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf
  - [20] Bodurtha, F. T. Industrial Explosion Prevention and Protection, McGraw-Hill Book Company, 1980,ISBN 0-07-006359-1
-



中 华 人 民 共 和 国

国 家 标 准

情化防爆指南

GB/T 37241—2018

\*

中国标准出版社出版发行  
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)  
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址: [www.spc.org.cn](http://www.spc.org.cn)

服务热线: 400-168-0010

2019年1月第一版

\*

书号: 155066 · 1-61957

版权专有 侵权必究



GB/T 37241-2018