



中华人民共和国国家标准

GB/T xxxx—xxxx

商业工业应用中固体生物质颗粒燃料的安全处理和储存

Safe handling and storage of solid biofuel pellets in commercial and industrial applications

(ISO 20024:2020, Solid biofuels—Safe handling and storage of solid biofuel pellets in commercial and industrial applications, IDT)

(征求意见稿)

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前 言.....	II
引 言.....	III
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 使用指南.....	8
5 风险管理.....	9
6 设计、施工要求.....	12
7 安全运维要求.....	15
8 输送机和转运点.....	19
9 筒仓.....	23
10 大型料仓.....	29
11 仓库.....	33
附录 A 固体生物质颗粒燃料供应链说明和装置操作的一般安全指南.....	34
附录 B 自加热及自产气.....	45
附录 C 粉尘导致的火灾和爆炸及对应风险预防措施.....	51
附录 D 安全性和紧急情况处理指导.....	63
附录 E 用于冷却散料的通风装置.....	76
附录 F 惰性气体分配系统和进气口的设计.....	77
附录 G 与生物质颗粒行业相关的各种传感器和检测系统的布置示例.....	79
附录 H 安全性和紧急情况处理指导.....	84
参考文献.....	93

前 言

本文件按照GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草阶段》的规定起草。

本文件等同采用ISO 20024:2020《固体生物燃料 商业和工业应用中固体生物质燃料颗粒的安全处理和储存》。

本文件做了下列最小限度的编辑性改动：

——将文件名称改为《商业和工业应用中固体生物质燃料颗粒的安全处理和储存》。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由全国能源基础与管理标准化技术委员会（SAC/TC 20）提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

引 言

在全球范围内，固体生物质燃料，尤其是生物质颗粒燃料的生产、储存、处理、散装运输和使用呈上升趋势。

固体生物质燃料的物理特性、处理和储存方式可能会导致火灾和/或爆炸，同时也存在一定的健康风险，例如，接触一氧化碳（CO）中毒，缺氧窒息，出现过敏反应等。

由于颗粒燃料的储存在一定程度上存在受伤或死亡风险，因此采取适当的安全措施非常重要。可能发生火灾和爆炸事件表明，安全问题是需要首先考虑的关键性问题。首要问题是保障人身安全，其次还应避免因能源供应中断而造成的严重后果。如果出现安全问题，会损害市场对固体生物质燃料作为可靠能源的信心，同时，业务中断也会造成财务损失，提高获得保险的难度。

本文件为设施业主、物流供应商、设备供应商/制造商、顾问、当局和保险供应商提供支持、建议和指导，以评估和降低搬运和储存固体生物质颗粒燃料时产生的风险。根据普遍接受的工作安全要求，为人员安全防护和个人预防措施提供一般性指导。作为确定和评估固体生物质燃料风险的一部分，本文讨论了适用的质量标准和相关测试方法，并对其他方法提出了建议。由于固体生物质燃料采用生物材料制成，会出现老化和潮湿污染等降解问题，从而导致反应性发生变化，因此需要在风险评估过程中留有一定的余地。在自加热和排气方面，两批固体生物质燃料可能表现为完全不同的物理和化学特性，因此建议认真监测、增加测试频率、加强内部管理。

商业和工业应用中固体生物质颗粒燃料的安全处理和储存

1 范围

本文件规定了商业和工业应用中安全处理和储存固体生物质颗粒燃料的原则和要求。本文件采用基于风险的方法确定需要考虑的安全措施。

ISO 20023适用于存储容量小于100吨的设施。通常情况下，对于存储容量小于1000吨的最终用户设施而言，如果存储原则和设施复杂度符合ISO 20023的适用范围，也可参照ISO 20023。

本文件涉及以下应用中颗粒燃料的处理和储存过程：颗粒燃料生产工厂，从冷却器装置出口至装载运输；商业分销商，从接收站至装载运输；以及工业最终用户，从接收站运输至燃料制备或燃烧过程。

尽管船舶、火车或卡车等的装卸过程包含在上述操作范围以内，但运输本身的安全问题并不在本文件的范畴之内。

本文件还为火灾探测和灭火系统提供了具体指导，并规定了安全高效开展消防作业的准备措施，以及火灾和爆炸事件管理指南。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注明日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修订）适用于本文件。

ISO 12100，机械安全——一般设计原则——风险评估和风险处理

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

ISO 和 IEC 标准化术语数据库的维护地址为：

— ISO在线浏览平台：<https://www.iso.org/obp>

— IEC电子百科：<http://www.electropedia.org/>

3.1 常用术语

3.1.1 生物质颗粒燃料

采用压缩生物质生产的生物质成型燃料，直径不超过25mm，形状为立方体或圆柱体，可通过使用添加剂或不使用添加剂。

注1：通常情况下，生物在致密化前已研磨。

注2：参见非木质颗粒燃料或木质颗粒燃料。

[来源：ISO 16559:2014，4.31]

3.1.2 可燃性粉尘

在标准大气压和温度条件下，可与空气形成爆炸性混合物，且标称尺寸小于等于500 μm 的细颗粒。

注1：该条目包括ISO 4225中定义的灰尘和砂砾。

注2：术语“固体颗粒”指固相颗粒，且不排除空心颗粒。

[来源：ISO/IEC 80079-20-2:2016, 3.1]

3.1.3 可燃性飞絮

包括纤维在内的固体颗粒，标称尺寸大于500 μm ，在标准大气压和温度下可能与空气形成爆炸性混合物。

注1：长宽比大于或等于3。

[来源：ISO/IEC 80079-20-2:2016, 3.2, 修改——删除注释2。]

3.1.4 小颗粒

燃料中小于某一预定义尺寸的小颗粒，在本定义中应小于3.15mm。

[来源：ISO 16559:2014, 4.90, 修改——“通常”替换为“此处”，以明确定义的范围。]

3.1.5 火源

引发燃烧的能量来源。

[来源：ISO 13943-2008, 4.189]

3.1.6 产品安全数据表

定义产品物理性质、特性和健康安全数据的规范表。

3.1.7 自热

材料内部可导致材料温度升高的放热反应。

[来源：ISO 4880:1997, 55]

3.1.8 自燃

自热（3.1.7）引起的燃烧。

[来源：ISO 4880:1997, 56]

3.1.9 阴燃

材料在没有可见光的情况下缓慢燃烧，通常表现为温度升高和/或冒出烟雾。

[来源：ISO 4880:1997, 58]

3.1.10 木质颗粒燃料

采用木质生物质生产的生物质成型燃料，直径通常为3.15至40mm，多数为25mm左右，形状为立方体或圆柱体，可使用添加剂或不使用添加剂。

注1：根据ISO 17225-1表1的规定，木质颗粒燃料的原材料为木质生物。颗粒燃料通常在压模中生产，总含水量小于其湿基质量的10%。

注2：用于颗粒燃料生产原料的木质生物将按照客户规范研磨至一定尺寸。根据ISO 17803测定颗粒燃料成分的粒度分布。

[来源：ISO 16559:2014, 4.228]

3.2 风险管理

3.2.1 事故

导致死亡、疾病、伤害或其他损害的事件。

[来源：ISO 21101:2014， 3.25]

3.2.2 突发事件

需要立即采取行动的严重情况。

[来源：ISO/TR 21102:2013， 2.8]

3.2.3 故障保险

适用于设备或系统的术语，其设计方案应确保在系统任何部分发生故障时，自动启动可稳定系统或保证操作安全的装置。

[来源：ISO 13628-7:2005， 3.1.49]

3.2.4 失效模式及影响分析 FMEA

通过分析，确定可能的设备故障模式以及这些模式对于系统和任务的潜在不利影响。

注1：主要用于审查关键组件的设计工具。

[来源：ISO/TS 16901:2015， 3.11]

3.2.5 危害

造成人或动物受伤，损害人或动物的健康，或对财产或环境造成损害。

[来源：ISO/IEC导则51:2014， 3.1， 修改——增加“或动物”。]

3.2.6 危险

潜在危害（3.2.5）源。

[来源：ISO/IEC导则51:2014， 3.2]

3.2.7 危险事件

可能导致危害（3.2.5）的事件。

[来源：ISO/IEC导则51:2014， 3.3]

3.2.8 危险情况

人或动物、财产或环境暴露于一种或多种危险（3.2.6）环境中的情况。

[来源：ISO/IEC 导则51:2014， 3.4， 修改——增加“或动物”。]

3.2.9 危险与可操作性研究 HAZOP

跨学科团队采用系统性方法，识别因偏离预期工艺条件范围而产生的危害（3.2.6）和可操作性问题

注1：所有四个步骤均已执行到位并记录在案，以全面管理可能出现的危险。

[来源：ISO/TS 16901:2015， 3.16]

3.2.10 事件

可能（但不一定）存在伤害(3.2.5)风险(3.2.14)的事件，包括因剪切、压碎、坠落、冲击、卡住、火灾、触电、天气影响等可能产生的风险。

[来源：ISO/TS 25740-1:2011， 3.13]

3.2.11 本质安全设计

通过改变产品或系统的设计方案或运行特性来消除危害（3.2.6）和/或降低风险（3.2.14）所采取的措施。

[来源：ISO/IEC导则51:2014， 3.5]

3.2.12 预期用途

根据产品或系统提供的信息使用，如并未提供此类信息，则根据普遍理解的使用模式使用产品或系统。

[来源：ISO/IEC导则51:2014， 3.6]

3.2.13 可合理预见的误用

以容易预测，但在供应商预期之外的方式使用产品或系统。

[来源：ISO/IEC导则51:2014， 3.7， 修改——已删除注1和注2。]

3.2.14 风险

危害（3.2.5）发生概率与危害严重程度的组合。

注1：发生概率包括接触危险情况、发生危险事件以及避免或减少出现伤害的可能性。

[来源：ISO/IEC导则51:2014， 3.9]

3.2.15 风险分析

系统性地使用可用信息识别危害（3.2.6），评估风险（3.2.14）。

[来源：ISO/IEC导则51:2014， 3.10]

3.2.16 风险评价

风险分析（3.2.15）和风险评定（3.2.20）的全过程。

[来源：ISO/IEC导则51:2014， 3.11]

3.2.17 风险控制

管理和/或降低风险（3.2.14）的决策过程；根据风险评价（3.2.16）的结果不时实施、执行和重新评估。

3.2.18 风险准则

评价风险（3.2.14）重要性的依据。

注1：风险准则基于组织的目标和内外外部状况。

注 2：风险准则可出自于标准、法律、方针和其他要求。

[来源：ISO/IEC导则73:2009， 3.3.1.3]

3.2.19 风险评估

为事件发生概率及其后果赋值的过程。

[来源：ISO 13824:2009, 3.15]

3.2.20 风险评定

基于风险分析（3.2.15）的评定过程，以确定是否超过了可容忍风险（3.2.14）。

[来源：ISO/IEC导则51:2014, 3.12]

3.2.21 风险管理

针对风险（3.2.14）指挥和控制组织的协调活动。

[来源：ISO/IEC导则73:2009, 2.1]

3.2.22 风险处理措施保护措施

消除危险（3.2.6）或降低风险（3.2.14）的措施或行为。

[来源：ISO/IEC导则51:2014, 3.13, 修改——已删除示例。]

3.2.23 残留风险

风险处理（3.2.22）后余留的风险（3.2.14）。

[来源：ISO/IEC导则51:2014, 3.8]

3.2.24 安全

不存在不可容忍的风险（3.2.14）】。

[来源：ISO/IEC导则51:2014, 3.14]

3.2.25 重大危险

已被识别的危险(3.2.6),根据风险管理(3.2.21)要求,需要采取具体措施消除或减少该风险(3.2.14)。

3.2.26 可容许的风险

基于当前社会价值观，在给定环境下可接受的风险（3.2.14）水平。

注1：就本文件而言，“可接受风险”和“可容忍风险”含义相同。

[来源：ISO/IEC导则51:2014, 3.15]

3.3 储存、搬运和操作

3.3.1 机械桥联性

在固体散装仓库中形成稳定桥联性的过程，其中大颗粒经机械连锁形成障碍，防止材料流动。

注1：桥联性也被称为拱架。

3.3.2 粘结桥联性

当颗粒因为水分、小颗粒含量、颗粒形状、温度等因素的影响而粘结在一起，形成阻止材料流动的障碍时，颗粒在固体散装存储中形成稳定桥联性的过程。

注1：桥联性也被称为拱效应。

3.3.3 散装材料

无法从宏观层面上区分其组成部分的材料。

[来源：ISO 11648-1:2003，3.1.1]

3.3.4 料斗

储存材料的容器，主要部分为垂直器壁，最下方的部位通常为漏斗形。

注1：大型料斗通常用于运输至燃烧炉前的短期燃料储存。

[来源：ISO 1213-1:1993，9.1.6，修改——删除“料箱”，增加注1。]

3.3.5 料斗底板

料斗（3.3.4）上方用于支撑传送带系统的钢结构，以及方便维护的钢格栅。

3.3.6 料斗盖板

用于覆盖料斗底板（3.3.5）的结构，协助料斗（3.3.4）通风系统产生的气流从料斗仓（3.3.7）进入料斗。

注1：料斗盖板可以减少填充过程中扩散到料斗和环境中的灰尘，同时也可在料斗内部开展维护工作时，降低异物落入料斗的风险。

3.3.7 料斗仓

料斗（3.3.4）、料斗底板（3.3.5）以及传送系统上方的结构，防止生成沉淀，避免灰尘扩散到环境之中。

3.3.8 中心流

限制在通过出口的垂直轴周围立柱内的物流，表面上的物料滑入向下移动的立柱。

[来源：ISO 1213-1:1993，10.1.15]

3.3.9 漏斗流

重力储存期间，当从出口处提取材料时，会在料仓内部形成一个通道，当散装材料从材料堆表面脱落时，会通过该垂直通道内发生流动。

注1：靠近料斗壁的材料保持静止。

注2：有时使用中心流一词代替漏斗流。

[来源：ISO 15117-1:2004，3.15，修改——增加注2。]

3.3.10 漏斗

装散装物料的容器，如谷物、岩石或垃圾，通常是一个自上向下逐渐变细，能够从底部卸下内容物的锥形容器。

3.3.11 维护手册

详细说明为保证设备、机器或系统良好运行而需遵守的维护规程文件注1：维护手册将详细说明定期检查和更换零件、润滑剂类型、保护过程以及每次检查之间的时间间隔。该文件将说明如何确定故障、维修和更换部件。此外，还应包括组成完整装置所需的零件详单，以及各零件的参考编号和所需数量，以及如何购买所需的更换件。

[来源：ISO/TR 11065:1992，385，修改——将定义的一部分移至注1]

3.3.12 质量流量

料仓、筒仓或料斗中所有内容物运动时发生流动，这一现象会在物料是整个横截面上形成基本均匀的流速。

[来源：ISO 1213-1:1993，10.1.14，修改——删除标题中的“料仓内”；增加料仓、筒仓。]

3.3.13 操作手册

为人员提供必要信息的文件合集，帮助人员熟悉设施、系统或设备项目的操作和维护。

[来源：ISO 26870:2009，3.11，修改——删除标题中的维护一词。]

3.3.14 个人防护用品 PPE

包括但不限于服装、手套、头盔、鞋和面部防护装备。

[来源：ISO/TR 21808:2009，2.1]

3.3.15 机动搬运设备

通常由操作人员直接控制，并且能够以某种形式自行推进的设备。

注1：机动搬运设备包括土方机械（如压路机、平地机、铲运机、滑移装载机）、轮式装载机和轮式装载设备、卡车、挖掘机、移动式起重机、吊升器械、升降工作平台、混凝土浇筑臂、伸缩式堆料机和叉车、火车和货车。

3.3.16 料仓管状出料口

仅在筒仓、料仓（3.3.4）或漏斗（3.3.10）出口上方形成的通道处出料。

注1：形成管状出料口的原因在于材料具有一定的粘性，因此成型通道外的材料不会流入其中，一旦中央通道被排空，将不再流出材料。

注2：料仓管状出料口也被称为管道。

注3：另见定义3.3.9漏斗流。

3.3.17 SCBA

自给式呼吸器。

呼吸防护装置的总称，这类装置可为佩戴者提供空气、氧气或可呼吸的气体，以供其在呼吸时使用

[来源：ISO 16972:2010，A.267]

3.3.18 螺旋输送机、螺运机

使用旋转螺旋叶片（通常位于管道内部）转移液体或颗粒材料的机构。

3.3.19 筒仓

用于储存一定体积散装材料（3.3.3）的结构。

[来源：ISO 6707-1:2014，3.2.20，修改——使用“散装”材料一词替代“松散”材料，删除“大型”一词。]

3.3.20 仓库、平仓、A字型仓库

用于储存的结构或建筑物，如车库、仓储用房和货运站。

3.4 储存、搬运和操作

3.4.1 压缩空气泡沫 CAF

由水、泡沫浓缩液、空气或氮气在压力条件下混合产生的均质泡沫。

[来源：ISO 7076-5:2014, 3.5]

3.4.2 压缩空气泡沫系统 CAFS

该系统可在压力条件下，不断将泡沫浓缩液和空气添加到消防泵排出的水中。

[来源：ISO 7076-6:2016, 3.5]

3.4.3 泡沫膨胀率

泡沫体积与泡沫溶液体积之比。

[来源：ISO 7076-2:2012, 3.4]

3.4.4 气体检测系统

监控空间内是否存在相关气体（如易燃和有毒气体、氧气浓度）以及气体浓度的系统，当该浓度达到预定浓度时，该系统可启动警报和控制措施。

注1：也包括适用的个人移动式气体监测设备（G.2.5）。

[来源：ISO 10418:2003, 3.1.20, 修改——删除“海上安装”，增加“有毒气体”和注1。]

3.4.5 高倍数泡沫

膨胀系数大于200的泡沫。

[来源：ISO 7076-4:2016, 3.1]

3.4.6 火源探测系统

由一个或多个装置组成的系统，能够检测是否存在主动点火源，或发热、过热材料。

注1：高灵敏度探测器，用于检测火花、发热或发光颗粒，例如气动和机械输送机。

4 使用指南

本文件旨在为颗粒燃料供应链的设计人员、搬运系统的采购人员以及操作人员提供帮助，避免产生安全隐患，对颗粒燃料的质量产生不利影响。本文件采用基于风险的方法确定需要采取哪些安全措施。

本文件中规定的强制性要求是针对木质颗粒燃料的特定要求，应纳入公司现有的安全管理体系。

本文件的用户应了解当地法规。

供应链包括颗粒燃料生产商、商业分销商/仓库和终端用户的搬运和储存工作，包括大型工业（如发电厂）、中型锅炉和分销商/贸易商将其交付给小型锅炉供私人使用。

颗粒燃料的具体特性可能会因使用的原材料和生产工艺而异。供应商发布的质量规范和安全数据表规定了特定品牌颗粒燃料在搬运和储存期间应达到的质量、安全和健康标准。

本文件的重点在于设计和操作。第5章概述了风险管理的一般流程，用于识别可能存在的风险，并评估针对各特定设施采取的风险处理/控制措施的必要性。第6至第11章进一步说明了特定风险和危害、安全操作和维护措施，以及不同搬运和储存工作的专用安全措施，这些信息也决定了各设施需要考虑采取哪些安全措施。

储存容量并不是决定采取哪些安全措施的唯一参数。颗粒燃料的年营业额和现场情况的复杂度可能与储存容量同等重要或更加重要。各类影响因素包括输送机的数量、类型和尺寸，以及各仓储单元的数量、类型和尺寸等。

因此，整体风险管理流程对于制定适用于各独立设施配置、运行和维护工作的所有安全措施而言至关重要。

有关固体生物质颗粒燃料供应链和装置运行常见安全问题的详细情况，请参阅附录A。

附录H为中型商用木质颗粒燃料店铺的风险评估示例。

5 风险管理

5.1 概述

为提高固体生物质颗粒燃料处理和储存的安全性，应同时考虑其设计和操作。安全是每个直接或间接参与设施运营和维护的人员责任，此处仅限于本文件的范围。

对于已识别的危害，应至少遵循以下优先级：

- a) 消除；
- b) 替换；
- c) 工程控制；
- d) 管理控制；
- e) 个人防护装备(PPE)。

由于第一项是最有效的，因此在设计、运行和维护过程中都应重视此过程。并且在设计过程中已经完成不少工作。

在职业健康和安全的运行管理方面，应使用符合ISO 45001的计划-实施-检查-行动(PDCA)模型。

图1说明了评估风险时应遵循的步骤以及风险与风险管理的关系。

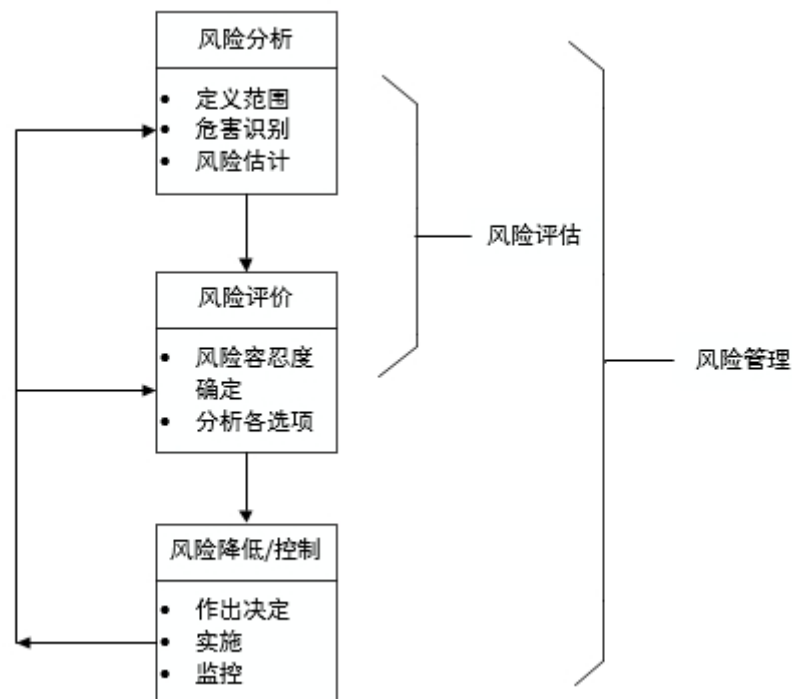


图1 风险管理

风险管理过程包括构成风险评估基础的风险分析和风险评价，以及每项具体操作所需的风险降低/控制措施。

风险管理包括设计、施工、运行、预防性和补救性维护以及应急程序的预先计划。有关输送机和相关附件的具体信息/指南（第8章）、筒仓（第9章）、燃料仓（第10章）和仓库储存（第11章），可在本文件中找到。风险管理应形成文件保存，用于指导、培训和记录。

文件应描述和证明所采取的措施，但也包括不适用或不相关的方面。

负责风险管理过程的人员应具有进行风险管理和火灾爆炸风险评估的可验证能力，所需的能力水平应与待评估设施的复杂性相称，即：

- 对固体生物质颗粒燃料有很好的了解；
- 对生产和生物质颗粒燃料供应链的设备和工艺有很好的了解；
- 对建筑控制和功能的消防相关方面有很好的了解，并在消防安全和消防问题方面受过相应培训或有经验；
- 适当了解国家消防和安全法规以及其他执法机构和利益相关者（即保险公司）的要求，了解相关国家和地方法规以及应用经验；
- 当地法规规定的任何其他特定能力要求。

5.2 风险管理过程

5.2.1 概述

风险管理步骤如图2所示。5.2.2~5.2.6对风险管理各过程进行了定义和描述。

5.2.2 定义范围

在进行风险分析时，有必要定义范围，即分析所包括的系统。这包括定义系统的边界和识别用户的意图使用和合理可预见的误用。还应定义分析的假设和限制。应包括与问题/系统相关的技术、环境、组织和其他方面。

5.2.3 危害识别

危害识别包括系统地审查所研究的系统，以确定存在的固有危害的类型以及可能实现这些危害的方式。应识别不同的危害和风险来源，并分析其造成的危害类型。危害识别方法主要分为三类：

- a) 比较方法(例如检查清单、危险指数和历史数据审查)；
- b) 基本方法，旨在激励人员将远见与他们的知识相结合，以识别危害的任务(例如 HAZOP[危险与可操作性]和 FMEA[失效模式与影响分析])；
- c) 归纳推理技术(例如，事件树逻辑图)。

风险来源的重要性应根据基于后果分析的初步评估进行分析。分析目的是确定是否：

- 1) 采取措施消除或减少危害；
- 2) 由于危害不显著，可以终止分析；
- 3) 继续分析并进行风险估计。

影响风险管理的因素很多，如储存量、颗粒年度周转率等和现场处理的复杂性，并考虑可能对特定设施有效的所有变量。至少在危害识别过程中应考虑第6章及第8~11章中有关部分所述的危害，以及在第7章中对安全操作和维护提出的要求。

5.2.4 风险分析

风险分析应检查起始事件或情况、相关事件的顺序、任何缓解特征以及个别危害可能产生的有害后果的性质和频率，以衡量正在分析的风险水平，解决人、动物、财产或环境风险，以及考虑估计带来的不确定性。风险估计过程可以通过以下步骤描述：

- d) 用于估计危害识别阶段的频率分析。为了估计事件频率，通常采用三种不同的方法：使用相关的历史数据、分析或模拟技术和专家判断；
- e) 后果分析用于估计意外发生时可能产生的影响；
- f) 风险计算应以最合适的术语表示风险，例如：个人风险，预测的死亡频率，频率与后果图（F-N曲线）、统计上预期的伤亡率、经济损失或环境损害，特定损害水平的风险分布。

5.2.5 风险评价

完成风险分析后，应按照 ISO 12100进行风险评价，确定是否需要降低风险。如果需要降低风险，则应选择并应用适当的措施。

5.2.6 风险降低/控制

在风险评估的基础上，应采取措施以达到可容忍的风险水平。如果已查明存在多种风险的危险或危险情况，应谨慎采取措施，防止为降低一种风险而选择的降低风险措施导致另一种无法忍受的风险。降低风险可以分为在设计阶段和使用阶段采取的措施。这些措施依次分为不同的步骤或者部分，依次采取：

- g) 设计阶段的风险降低措施：
 - 1) 内部安全设计；
 - 2) 防护和保护装置；
 - 3) 使用信息/说明。
- h) 使用阶段的风险降低：
 - 1) 额外的保护装置；
 - 2) 训练；
 - 3) 工作安排，设备应用和监督；
 - 4) 个人防护装备。

图2显示了风险管理的过程，以及通过风险降低和风险评估（如果适用）的迭代过程。

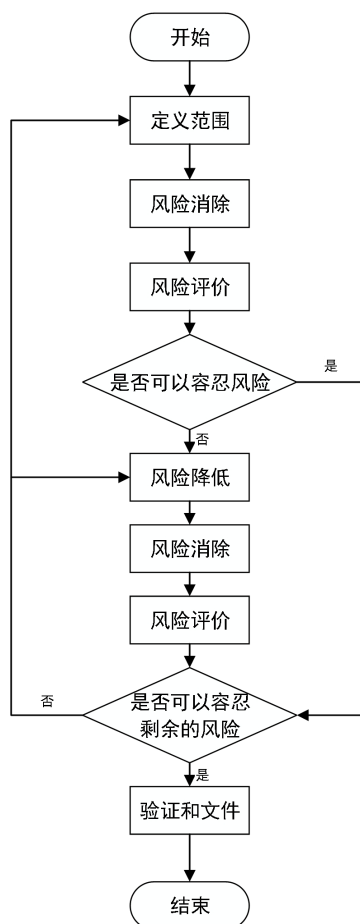


图 2 风险评估和风险降低的迭代过程（根据 ISO/IEC 指南 51:2014）

6 设计、施工要求

6.1 概述

本章描述了一般设计和施工的要求。特定对象的其他要求见第8章~第11章。安全操作和维护要求见第7章。

6.2 处理固体生物质颗粒燃料的具体风险考虑

以下危险条件在涉及固体生物质颗粒燃料的所有操作（包括生产、处理、运输和储存过程）中普遍存在，在风险管理过程中应将其视为最低限度：粉尘爆炸、火灾、热解气爆炸（这是阴燃火灾的结果）、有毒气体的排放、氧气浓度较低区域、储存设施中的颗粒高墙坍塌（如雪崩）在人员和移动处理设备。影响颗粒质量和价值的主要因素是：物理退化（例如，分解）；水（可能导致真菌生长）、湿度、外来物质的污染。本文件仅进一步讨论与安全直接相关的质量相关危害。

设备和设施的建筑方式应使风险最小化。设施的所有方面应尽可能遵循故障安全原则，即单个故障不应导致二次灾难性故障的发生。

注：可通过联锁、备用电源、重力倾动物料等方式实现。

该设备应使颗粒的降解最小，并使其远离火源。

设施的设计和建造(包括调试和移交)以及操作、预防性和补救性维修和应急程序应尽量减少与以下相关的风险:

- a) 可燃或潜在爆炸性粉尘，
固体生物质颗粒燃料含有易在空气中传播的粉尘。小于 500 μm 的粉尘如果浓度足够高并与火源接触时，则具有爆炸性（见 6.2h）。所有木屑均应假定为可燃，除非通过适当和有代表性的测试证明另有说明。处理过程中产生的细粉尘容易分层沉积在横梁、电机外壳、橱柜、栏杆、地板、灯罩等平面上。与和热表面接触的灰尘云相比，层内粉尘的着火温度相对较低。由于一层材料暴露在高温表面较长一段时间后会开始发光，因此温度会显著升高，从而为尘云产生大量点火源(见 6.2 b)。涉及处理或储存可能存在爆炸性粉尘或气体的固体生物质颗粒燃料的所有操作区域，应按风险区划分和分类。风险区域应标明有国家或地区法规(如 ATEX 指令、NFPA 标准)的情况（见附录 C）。
- b) 自热，
固体生物质颗粒燃料和相关粉尘在储存期间有自热倾向，特别是在生产后相对较短时间内，或在水分含量升高(例如由于水入侵)和环境温度升高时(见 B.2)。根据颗粒的质量，自热在某些情况下可能发展成阴燃，需要进行灭火干预和紧急排放。对存储的散装物料表面和内部温度监测对于获得自热的迹象是很重要的。在燃料堆正上方测量 CO 可以提供额外的信息。应考虑紧急排放的可能性。还应注意的是，木屑在温暖的表面上形成的粉尘层可能会开始自热，因此即使在粉尘层确定的最低着火温度（MIT）以下也会引起火灾（见附录 C）。
- c) 粉尘排放到环境中的危险以及工厂附近的工人和其他人暴露的危险，
空气中悬浮的一定数量和特性的细粉尘在吸入时会对健康造成危害，并且某些类型的木屑可能致癌(NTP, 2016 年)。应在设计阶段规划实施控制粉尘暴露的措施。
- d) 操作人员暴露于窒息或中毒，
固体生物质颗粒燃料会随着氧气的快速耗尽而释放一氧化碳(CO)和二氧化碳(CO₂)等气体，也会释放少量甲烷和氢气以及恶臭碳氢化合物（见 7.5 和 D.2）。
- e) 雪崩，
固体生物质颗粒燃料通常具有类似于谷物的高流动性，但在某些情况下，当储存在重力底部进料的筒仓或料仓中时，可能会导致颗粒壁变高或架桥和鼠洞。如果在卸料过程中进入储料仓，很容易发生吞没或掩埋。在这种情况下，使用救生索和“围堰”（防止人员被颗粒掩埋的屏障）进行救生是为数不多的几种救生方法之一。
- f) 机械装置，
涉及运动部件的机械（在正常操作和故障情况下）可能会造成人员伤害，应考虑采取适当的降低风险防护措施。应符合 ISO 12100（机械安全）以及任何当地法规的要求。
- g) 移动车辆，
在正常运行情况下，尤其是在因自热或火灾导致仓库紧急排放的情况下，移动车辆可能会导致人员受伤。主要风险因素是运行中的许多车辆（如轮式装载机、卡车）因烟雾导致的能见度降低、因驾驶员使用 SCBA 设备导致的能见度降低。应考虑适当的风险降低措施。
- h) 火灾危险，
颗粒和干木屑都会引起火灾，应避免火源。颗粒储存过程中存在许多潜在的点火源，在危险区分类期间应予以考虑（见 6.2a 和附录 C）。这些点火源可在正常运行和/或故障情况下出现，在设计和调试期间以及运行期间需要考虑：
 - 1) 热表面（例如灯罩、灯泡、过热滚珠轴承和电机外壳、干燥器、移动设备中的过热辊（托辊）和导辊、排气杆）；
 - 2) 自热（放热反应）（在散装材料储存和加热表面上的灰尘沉积中的）；

- 3) 火焰、热气和热颗粒（包括外部火灾、维护期间的动火作业、阴燃材料的运输、从车辆排气系统产生的气体）；
- 4) 机械产生的火花（摩擦、磨损、冲击）；
- 5) 电气设备；
- 6) 杂散电流；
- 7) 静电（例如火花放电、传播刷放电）；
- 8) 闪电。

6.3 风险区域

在几个典型区域中，固体生物质颗粒燃料可能会给人员造成危害，或在供应链上导致质量下降(可能影响安全)。

以下是一些会发现这些风险的区域(但不限于)：

- a) 船舶货舱、楼梯间、封闭仓库、封闭房间(窒息、封闭)；
- b) 颗粒卸料和输送机(船舶卸料机、火车卸料机、转运点、输送机等)(爆炸性环境、人身伤害等)；
- c) 存储设备(自热、排气、耗氧、爆炸性环境)；
- d) 机动装卸设备(火灾、爆炸、人员伤亡)。

关于颗粒质量，设计师应评估设计，以确定以下内容：

- a) 污染的地方，如沉淀或外来物质可能进入颗粒（在处理和储存期间）；
- b) 颗粒受到冲击或破裂的地方；
- c) 可能发生离析，导致细粒分离或集中的地方。

对于每一种情况，设计方应评估对质量可能产生的影响程度，这对安全具有重要意义，并采取适当措施确保质量不会降低到货主无法接受的水平。

通常会发现这些风险的主要场所包括：

- 开放的船舱（沉淀污染）；
- 卸船机（因冲击和破碎而降解）；
- 输送机转移点（因冲击而退化，跌落高度过大）；
- 给料系统，如输送机、拖链给料机（因压力或磨损而降解）；
- 通过装卸设备（如前装载机和卡车）在木屑上行驶进行回收，导致降解和污染。

6.4 安全操作的一般要求和建议

设施和设备的设计以及操作指南（见第7条）可以消除或最大限度地降低固体生物质颗粒燃料处理和储存期间的风险。以下列出了一些重要的方面，而与某些物体（输送机、筒仓、料仓和仓库）相关的更加具体方面在第8~11条中给出。

- a) 一般设计和施工应注意避免产生粉尘、粉尘沉降，材料堆积等。
 - 1) 无法定期清洁且位于建筑物内用于处理和储存生物燃料颗粒的梁、壁架和结构应有顶部锐角小于 60°的盖子，以防止灰尘积聚。
 - 2) 应尽量减少灰尘积聚的“死角”。用金属板覆盖梁桁或填充泡沫塑料等材料，以阻止灰尘积聚在法兰上。
 - 3) 潜在沉积物或堆积物的位置应易于接近。
 - 4) 安装监控和缓解措施，以进行早期检测和缓解。
- b) 可通过以下方式避免产生灰尘：
 - 1) 使用封闭的输送路线、封闭的转运点和/或除尘系统；
 - 2) 尽量减少转移点的数量及其下落高度和/或对颗粒的影响。

- c) 定期检查的可执行性;
- d) 内务管理的可执行性;
- e) 消防的无障碍性;
- f) 仓库紧急排放的可达性/可能性;
- g) 在工厂的设计和施工阶段,应考虑采取准备措施,以防止火灾或减少火灾/爆炸事件的后果(详见 8.3、9.3、10.3 和 11.3);
- h) 如有必要,防爆系统与爆炸隔离组件相结合,降低沿输送机转移爆炸和火灾的风险,以及连接设备中的二次爆炸风险。应在室外引导泄压(见 8.3.2);
- i) 在处理过程中的粉尘飞扬,无法完全避免爆炸性粉尘/空气混合物发生的区域应划分为危险区/区域。在区域内,只能使用经批准用于相关区域的设备(电气或机械)(见附录 C);
- j) 所有已识别的风险区/区域应有明确的标志和警告符号进行识别;
- k) 电气设备和防雷。不应使用卤素灯或其他热表面照明设备。电气设备外壳应有针对人身安全、异物、进水和防爆保护的适当分类;
- l) 储存设施(如办公室、食堂和会议室)附近的废气或热解气体(CO、CO₂)积聚的风险,尤其是在自热或火灾情况下。

附录C给出了与粉尘相关风险的更多信息,附录D总结了紧急情况(如自热、火灾)处理指南。

7 安全运维要求

7.1 概述

基于风险评估的下列要求(如适用)应成为操作和维护手册的一部分。

7.2 操作、维护和手册的一般要求

应组织设施的运行和维护,以避免危险情况,如果发生紧急情况,应提供疏散和急救指导。了解在发生伤害时应采取的措施,以及将损害降至最低的关闭程序。历史上已知会造成伤害甚至死亡的是典型情况包括但不限于进入密闭空间、粉尘和气体爆炸、四肢和衣物卷入机械、触电、暴露在高温表面、被碎片绊倒。

为避免此类事故,雇主应确保每位工人接受足够的安全和健康培训,尤其是针对其工作站或工作的信息和说明:

- 招聘时;
- 如果发生调动或工作变动;
- 在引进新的工作设备或更换设备的情况下;
- 在引进任何新技术的情况下。

培训应根据新的或变化的风险进行调整,并在必要时定期重复。

应定期告知人员与密闭空间相关的风险,并配备测量CO和O₂含量的个人气体探测器,因为在正常操作条件下可能会暴露在高/低浓度下。

在操作和维护期间,重要的是要严格遵守有关机械和电气锁定机械的规定,例如运行之前清除任何障碍物或进行其他维护工作。这些规则还应包括火灾/爆炸探测和灭火系统的锁定,并确保在任何操作开始前重新激活这些系统。如有可能,与安全相关的检测系统仍应处于活动状态。

7.3 操作程序文件

以下文件应在处理和储存固体生物质颗粒燃料的设施中编制,必要时提供并保持最新。

- a) 程序和指南：
 - 1) 日常程序，包括启动和关闭程序；
 - 2) 应急程序；
 - 3) 内务管理程序；
 - 4) 操作员培训大纲；
 - 5) 地方/国家工作安全指南；
 - 6) 日志和报告要求（操作条件、事件/异常条件、事故）；
 - 7) 组织的报告结构；
 - 8) 安全行为。
- b) 维护手册：
 - 1) 预防性维护程序（例如定期控制轴承）；
 - 2) 补救性维护程序（例如，获取关键备件以实现快速更换）。
- c) 现场工作的访客和承包商的安全指南（例如定向计划、密闭空间进入规则，机械上锁）；
- d) 任何设施生产和/或处理的固体生物质颗粒燃料的特性（产品安全）数据表：
 - 1) 鉴定；
 - 2) 危害识别；
 - 3) 组成；
 - 4) 物理性质；
 - 5) 化学性质；
 - 6) 自热性能；
 - 7) 排气和耗氧性能；
 - 8) 粉尘的安全特性（见附录 C）；
 - 9) 毒理学信息。

7.4 操作安全

7.4.1 操作

应定期对整个装卸系统进行目视检查，以识别灰尘堆积、溢出的材料、故障或损坏设备的迹象。建议使用手持式IR（红外）摄像机或IR温度计以增加检测加热材料/设备的可能性。

限制储存时间，尽量采用先进先出的原则。尽量避免混合不同类型、质量和含水量的燃料，以避免由于含尘量、粒径等在边界层产生的分层加热。

在采取必要的安全预防措施后，应对储存的颗粒进行目视检查。此类检查也应在燃料入库时进行。

对于预期储存时间超过3~4周且无任何转移操作的储存，应考虑控制装载到仓库中的颗粒性质，例如自热倾向。

注：正在开发一种确定自热倾向的方法，ISO/TC 238/WG 7目前正在制订ISO 20049-11。

应使用用于温度和/或气体检测的，移动和/或固定传感器对储存的颗粒进行定期监测（见附录G）。由于储存设施和储存条件可能会有很大的变化，监测整体温度（和/或气体浓度）的变化率通常比特定阈值更为重要，因为异常增加的变化率表明某种形式的变化条件和可能的问题。

每周都应回收一次中间物料，建议（在入口和/或出口处）监测移动颗粒。

保持对正常情况的良好跟踪，对于了解有关特定储存的更多信息，以及可能在早期阶段检测到任何异常情况至关重要。在这种情况下，应采取适当的安全预防措施，例如燃料的移除、惰性或冷却（进一步指南见附录D）。清空后，应在重新填充之前清除储存库中的颗粒和粉尘。中间仓库需要定期清空和清洁（每年宜至少一次），以避免灰尘积聚。

在处理和储存袋装颗粒时，主要风险与稳定性相关，尤其是颗粒高度堆叠时。低位托盘损坏可能导致整个托盘堆倒塌，存在人员受伤风险。

应保存与任何事件的处理和报告程序有关的相关操作的日志清单，包括后续措施，并持续更新。

7.4.2 后勤

粉尘堆积既存在严重的爆炸危险（见附录C），也存在健康风险，应采取技术、组织措施避免人员接触粉尘。因此，应制定检查粉尘扩散/粉尘积聚的常规程序。应基于清洁频率或最大粉尘层制定并维护清洁计划，以便定期清除灰尘。

一般而言，灰尘层超过0.5 mm~1 mm，或超过3 mm的灰尘层覆盖超过5%的粉尘则应视为潜在的危险作业区域。

注1：事实证明，用彩色标记潜在堆积区域是成功的，当彩色标记不再可见时，表明应立即进行清洁（VGB，2013）。

注2：“给定工作区”被视为工作场所的一个区域，其边界由它周围的各种物理结构定义，可以包围、包含或分隔该区域。这些结构可以包括墙壁、地板、天花板、工艺设备或这些的任何组合，它们具有完全或部分封闭、包含或分隔设施内工作区域的效果。灰尘积聚区域内的限制、封闭或遏制范围越大，则发生爆炸的风险就越大。

对于表面粗糙的大型墙面，可涂有光泽的防静电涂料，以便避免灰尘积聚并最大限度减少静电积聚的产生。

应根据当地法律法规的要求，对真空吸尘器在爆炸性环境中使用进行认证。由于存在扬尘风险，不应使用压缩空气或高压清洁器进行清洁。

应特别注意空气中的粉尘对健康的危害，木屑浓度超过1 mg/m³被视为危险水平。暴露在其中对于哮喘、皮肤和眼睛都会有影响，而且可能致癌。经常接触灰尘的人员，例如从事内务、操作和维护工作的人员应穿戴防护设备。

7.4.3 维护

所有关键机械设备，如输送机、阀门、各种监控设备、火灾探测器和消防设备的维护计划应保持更新。认证设备应根据供应商的建议和当前维护计划进行维护和检查，以确保安全性能。

为避免雨水进入仓库，应适当建设围护结构，并定期检查缺陷。雨水沟也应定期检查，以确保其正常运行，避免堵塞导致雨水侵入建筑物。

预防性维护程序应包括检查电机、风扇外壳以及其他导电物体的接地情况。对地或物体之间的电阻应小于1 MΩ，以防止静电、放电产生火花的风险。导电物体可通过直接接地的导电路径接地，或将其连接到另一个已经接地的导电物体上。有些物体由于与地面接触而本身连接或接地。最大电阻还应包括互连部件，例如软管和管道、皮带材料和驱动轮或软管和设备。IEC TS 60079-32-1提供了更多信息。

潜在爆炸区域内的工作场所应在开始工作前由合格人员进行检查，并仅在执行相应的放行程序后打开。

潜在爆炸区域的系统应在首次启动前由合格人员进行检查，并定期重复检查。

如果通过永久或偶尔对封闭系统进行惰性化来避免爆炸性粉尘/空气混合物，则应进行额外的风险评估，包括操作和维护人员在低氧区的额外风险。

某些设备的清空和清洁（例如，在无物料的情况下运行输送机、清空和清洁仓库）应在较长的运行静止期或维护期之前完成。

动火作业（焊接、切割、钎焊、使用高速工具加工，以及其他产生热量或火花的作业）应在获得工厂授权人员的书面许可后进行。开始工作前，应采取必要的预防措施，以清除工作区域内的任何可燃材料。灭火设备应可用且随时可用，工程应由一名或多名消防人员监督。可能需要锁定火灾/爆炸探测系统，以避免激活。许可程序还应确保在再次开始任何操作之前重新激活系统。应清除润滑油（如油和油脂）以及液压油的溢出物，以防止它们成为自热的催化剂。

只有在通过具体的检测结果以确认O₂和CO的气体浓度提供了安全通道后，才能进入密闭的颗粒物仓库（尤其是筒仓和燃料仓）进行维修或维护。

警告-不要仅测量氧气浓度，应同时测量O₂和CO（见D.2.2）。

作为额外的安全措施，工作应由留在危险区外的第二个人进行，并在进入人员身上系上安全绳。陪同人员应始终与仓库内人员进行眼神交流或语音交流。

7.4.4 访客/承包商指南

7.4.5 承包商指南

承包商员工应了解以下规则：

- 穿戴个人防护设备（PPE）（头盔、防护眼镜、噪声防护装置，防护鞋、反光服、呼吸防护设备或设施相关的任何其他特定 PPE）；
 - 涉及特定危险的区域；
 - 进入密闭空间。应按要求获得特别许可，接受教育和培训，使用的移动式气体探测器至少能够满足 O₂ 和 CO 气体的检测要求，并在进入受限空间的入口外侧有人陪同；
 - 涉及任何动火作业的活动。有许可、教育和培训，并有配备灭火器材的消防队护送；
 - 火灾或其他紧急情况下的行动，疏散路线和“集合点”的位置；
 - 与该设施相关的任何其他具体安全注意事项。
- 承包商应收到口头和书面形式的信息，并签字确认。

7.4.6 访客指南

未经员工陪同，访客不应进入设施的任何操作区域，确保访客未进入任何危险区域。在进入操作区域之前，应通知所有访客始终与陪同人员待在一起并听从建议。所有访客应至少佩戴头盔、反光服、防护眼镜，以及噪音防护装置或任何其他必要的PPE。

7.5 应急预案

在适用的情况下，运营商应与消防和救援服务部门合作进行预先规划和编制检查表，以涵盖可能的情况。应考虑的典型事件包括：

- 启动输送机中的点火源检测系统；
- 输送机中的火灾检测；
- 指示在存储中的自热；
- 确认仓库发生火灾；
- 启动工厂内的任何防爆系统；
- 从密闭空间营救人员。

火灾前规划应包括：

- 应急组织结构，包括所有相关内部人员和外部关键人员（如消防和救援服务、惰性气体和相关设备供应商、货运公司、健康和安全部门、环境主管部门）的联系方式（如手机号码、私人电话号码等）；
- 针对各种预期事件场景和至少上述六种典型场景的一般风险评估和安全规则；
- 如何执行与特定对象和事件场景相关的更新的现场风险评估的程序；
- 立即采取行动（最好是检查清单）以最大限度地降低相关人员的风险（见下文）并减少事故后果；
- 需要警告标志和警告系统，以及封锁某些区域的设备；

- 火灾（或爆炸）事件的预期持续时间以及与此相关的措施（较小的事件可以在几个小时内处理，而筒仓火灾可能需要几天甚至几周）；
- 在指示的自热或火灾情况下紧急排放储存的准备、设备和程序；
- 某些设备的紧急关闭程序；
- 灭火介质和受污染材料的处理说明；
- 针对各种事故场景对人员进行教育和培训（包括操作人员、消防和救援人员以及灭火设备/介质相关的关键供应商）；
- 定期更新应急程序的流程；
- 定期检查和补充急救物资。

第8章~第11章还提到了在各种设备/位置的预规划工作中包括/考虑的更多细节。附录D中提供了关于如何管理各种设备紧急情况的一般指南。

预案文件还应包括工厂的必要图纸和照片，以可视化各种消防系统的安装位置、各种传感器的id号、消防栓的位置以及有关最大流速和压力的信息、建筑物内和输送机沿线的应急路线和出口，某些设备的详细施工图等。

7.6 人员风险

在各种可能的紧急情况的预先规划期间和正在进行的紧急行动期间，应考虑以下人身伤害风险，包括但不限于：

- 接触有毒气体（例如，由于废气或自热/火灾情况导致的高浓度 CO）；
- 氧气浓度低的区域；
- 在惰化/消防操作中使用惰性气体（窒息、暴露于冷液化气）；
- 爆炸的影响（考虑粉尘和气体爆炸）、操作爆炸通风口或因爆炸而丢弃的施工部件造成的伤害、二次爆炸的风险和影响；
- 回流（例如，如果打开一个持续阴燃的筒仓）；
- 在密闭空间内工作，以及人员被吞没或掩埋的风险；
- 火灾期间结构的不稳定性（例如，架高的输送机结构、筒仓的倒塌）；
- 高处作业。

8 输送机和转运点

8.1 概述

火灾的典型原因，特别是在输送机中的通常是由于表面过热（例如过载，润滑不足，履带支重轮（引导轮）损坏、导轮和内部定位滚珠轴承损坏、电机外壳过热、制动器过热、皮带打滑、皮带倾斜、皮带摩擦、超速、与物料沉积物的摩擦）或形成火花（例如高速（相对速度>1m/s）、材料匹配不当、等电位连接不足或者缺失产生的静电火花、电气设备和设施故障、异物）。这些问题在风险评估中应被考虑到。

在 8.2 和 8.3 中列出了更具体的内容，这些内容在工厂输送机的项目设计和施工阶段,如果被认为有关或必要, 至少应在风险管理过程中（第 5 条和第 6 条）被考虑和记录，并尽可能用做为降低风险/控制风险措施。如果风险评估表明应在设计中实施特定措施，则 8.4 中给出了进一步的信息、建议和要求。

8.2 检测

应考虑以下降低风险/控制风险措施：

- 进料的温度监测，用于识别温度异常的颗粒（即颗粒温度超过正常运行时的温度）。
- 进料和转运点的火源检测系统，用于识别输送机上的发热和灼热的物料（8.3.1）。
- 运动感应装置，用于检测皮带打滑、皮带减速或输送机堵塞的，例如由于转运点物料堆积或堵塞。
- 电流消耗的测量，用于检测驱动器过载。
- 皮带错位检测传感器。
- 振动传感器，用于检测驱动器、滚柱等中的不良轴承。
- 温度监测，用于识别驱动器、滚柱等中的热轴承。
- 沿输送机系统的探测系统，用于识别明火（例如线性温度探测电缆、火焰探测器等）。
- 对人员不定期巡查的区域进行视频监控。
- 对选定的检测系统进行联锁控制，旨在可能导致火灾的情况下安全关闭输送机（8.4.2）。
- 启动一种安全的输送方式，防止拒收物料进入贮存设施。

检测系统的选择应考虑在运行过程中进行维护和测试的可能性。在选择检测系统时，还应考虑所运输物料的着火标准。关于各种监测和探测系统的进一步资料见附件 G。

8.3 防护措施

8.3.1 防火

应考虑以下降低风险/控制风险措施：

- 禁止在输送机下方停放车辆和贮存易燃物料。
- 使用防火和灭火带（根据 ISO 340 和 ISO 284 的 Cat 2B 或 Cat 4A）。
- 可进行目视检查、室内维护和手动灭火。
- 可通过合适的舱口接触到每个已安装的喷水器/喷嘴、火灾探测器，以进行检查和维护，或者通过在输送机外部轻松拆卸喷嘴/探测器进行检查和维护。
- 转运点上的火源检测器与快速激活水喷射系统连接。
- 在传送带上检测到异常温热、热或灼热的物料时，拒收物料并输送到筒仓或扁平仓库。
- 意外停机时清空输送机系统随时待命。
- 室内有盖输送机通过自动喷水灭火系统或水喷雾系统保护。
- 室外的完全封闭或部分开放的由不燃材料制成的高出地面输送机通过喷水系统保护。
- 在具有陡坡度或类似条件的火势蔓延的输送通道中的雨淋式喷水灭火系统可能比传统自动喷水灭火系统的操作更快。
- 具有高价值、容易造成严重损失或火灾的高发区域需要配置可快速响应或可迅速大面积冷却的雨淋喷水系统。
- 除了雨淋式喷水系统，大型输送通道的分隔与消防通风相结合，以降低火灾迅速蔓延的风险。
- 输送机联锁，在喷水灭火系统水流或火灾被检测到时自动安全关闭(8.4.2)。
- 带连接件固定立管系统，用于消防和救援服务或者最后灭火。
- 输送机系统至少在两端为消防和运行维护人员提供进出可能性。
- 应急照明装置覆盖所有有盖系统/通道。
- 警告/报警系统（光/声）布置在系统所有部分的适当位置，以确保尽早撤离。
- 在适当位置布置手动启动火灾报警器按钮以及消防软管卷盘和/或灭火器。
- 单独输送机用于紧急排出（8.4.3）。

8.3.2 防爆

应考虑以下降低风险、控制风险措施。

爆炸的危险主要来自粉尘的产生。如果与当地政策没有任何冲突，则根据危险区域分类(见附件 C)，

应考虑以下防爆措施：

- 减少粉尘(8.4.4)产生的输送机系统结构；
- 使用有盖输送机结构以减少灰尘的扩散,收集结构内部的灰尘并连接除尘系统。
- 根据操作条件（包括设备的启动/停止和维护），安装经过认证的防爆设备，以符合输送机沿线的爆炸风险区域级别。
- 封闭/有盖输送机，包括例如配备了防爆系统的除尘系统,作为限制爆炸超压的措施的一部分，以避免碎片飞溅。
- 为确保有效泄压和避免启动时人员受伤的风险,防爆通风孔的类型、尺寸和位置被专门设计。
- 将爆炸泄压装置引导至建筑物外部或使用经认证的无焰室内爆炸通风装置（8.4.4）；
- 防爆隔离系统（作为防爆通风口的补充或替代品），以避免爆炸和火灾沿着输送机转移，从而导致连接设备发生二次爆炸
- 爆炸抑制系统（作为爆炸通风口或爆炸装置的补充或替代物隔离系统）。
- 防爆设计（作为其他防爆措施的补充或替代）。
- 输送机联锁，在检测到爆炸时自动停机（8.4.2）。
- 使用合适的经认证可用于爆炸性环境的真空清洁系统或使用低压水清洁系统（8.4.4）清洁灰尘沉积物。
- 具体考虑输送机应急输送的粉尘爆炸风险和适当的相应防爆措施。

8.4 输送机系统设计和保护的附加信息、建议和要求

8.4.1 总则

如果通过风险评估流程确定需要包括 8.2 和 8.3 中所述的特定降低风险/控制措施，则本条款提供额外信息、建议和要求。

8.4.2 探测系统

用于识别进料和转运点的输送机上的热或灼热物料的火源检测系统，也可以连接到快速激活的水喷射系统和/或物料拒收系统（见 8.4.3）。

火源检测系统应联锁，以便在可能导致火灾事故的情况下安全关停输送机。停机顺序还应包括停止输送机的所有输送机。停机顺序的设计也应确保不会因停机本身而增加火灾风险。

温度监测系统通过线性温度检测电缆识别驱动器、滚筒等中的热轴承，或者如果输送机轴承未封闭，则可使用红外摄像机或红外温度计。

输送机系统沿线用于识别明火的探测系统（例如，线性温度探测电缆、火焰探测器等）对于长的有盖输送机尤为重要。在某些应用中，检测系统可由自动喷水灭火系统代替（见 8.4.3）。

8.4.3 防火

在一些特定位置，例如在输送到筒仓之前，应启动检测系统,此外还应启动一种安全的防止拒收物料进入筒仓的输送方式，例如，通过设计一种安全的运输方式将物料拒收或送入安全倾倒区（见 8.3.1）。取决于物理布局和物料流动，可以通过反转输送机的方向来处理拒收的物料。输送拒收物料的输送机应在停机前输送干净。

如建筑天花板已经安装自动喷水灭火系统（设计用于覆盖输送机系统）进行保护，则室内开放式输送机可能不需要特定的喷水灭火保护系统。

可以对输送机系统进行目视检查、清洁管理、维护和手动灭火，例如，使其两侧都可以通过，为高架输送机在两侧增加走道，并安装真空清洁系统）。

如果火源检测系统重复启动，系统应关闭输送机系统。

如果天气寒冷，可能发生冰冻，应考虑使用干式或预作用系统替代自动喷水灭火系统。对于干式消防竖管系统，应考虑充水时间。

用于保护陡坡输送机输送通道的雨淋系统，当预计火灾会迅速蔓延，或可能发生严重损失或火灾频率高，雨淋系统应覆盖整个皮带输送机，包括回流皮带。干式管道系统的填充时间也应被考虑到。

用于消防和救援服务的固定立管系统应在整个输送机系统的适当位置配备消防软管接头。

如果安装了带灭火装置的火源检测系统，则应考虑通过适当位置设置手动按钮以启动灭火系统。此外，系统的手动启动系统应保证输送机系统安全的关闭顺序，如 8.4.2 所述。

用于紧急排出的输送机的设计应能承受热物料和阴燃物料的输送，并且便于目视监督和手动喷水灭火，或配备合适的火源/火灾探测系统，并结合固定喷水灭火系统，以熄灭任何卸到输送机上的阴燃物料。如果多个贮存设施通过普通输送机进行输送，则应考虑使用单独的输送机进行紧急排出。

注：更多关于喷水灭火保护输送机的细节，见例如 FM Global Data 7-11 页 (FM Global, 2015) 或 NFPA 15。

8.4.4 防爆

输送机系统的构造应通过尽量减少转运点的数量和下降高度来减少粉尘的产生。

输送机结构应封闭，以最大限度地减少灰尘的传播，并且通过其构造使结构内的灰尘积聚至底部。输送机应连接集尘系统或配置等效措施，以减少粉尘排放。

输送机系统上安装的所有设备需经过认证，符合爆炸风险场所分级。爆炸风险场所分级应基于所有操作条件，包括设备的启动/停止和维护。

封闭/有盖输送机，包括例如除尘系统，应配备爆炸泄压系统，作为限制爆炸超压的措施的一部分，以避免碎片飞溅。

选择防爆通风口的类型、尺寸和位置时，应确保有效泄压，但也应避免人员启动时受伤的风险，例如，避免通风口前面的通道和/或在通风口开口处使用阻火器。

如果输送机位于室内，爆炸泄压应引导至建筑物外部，或使用经认证的无火焰室内泄爆装置。在这种情况下，建筑结构的强度应被考虑到。

应使用经认证可在爆炸性环境中使用的真空清洁系统或低压水清洁系统清洁灰尘沉积物。不得使用压缩空气或高压水清洗系统。

紧急排出的输送机系统需要特别考虑火灾和爆炸的风险，因为输送的物料可能含有阴燃物料，当物料暴露在空气中时可能导致明火。

9 筒仓

9.1 总则

典型的颗粒贮存筒仓火灾的原因通常与以下因素有关：

- 颗粒的自热（见附录 B）；
- 通过输送机系统输入筒仓的热物料；
- 机械故障，例如筒仓底部卸料设备等。

筒仓顶部空间内的爆炸可能是以下原因造成的：

- 通过输送机引入筒仓的阴燃物料，可点燃筒仓内填充期间产生的尘雾；
- 输送机系统中的一次爆炸导致的筒仓内的二次爆炸；
- 筒仓内的阴燃火灾，产生的高浓度的可燃气体（CO、未燃尽的碳氢化合物）导致气体爆炸。

在 9.2 和 9.3 中，列出了更具体的方面，这些方面至少应在风险管理过程（见第 5 条和第 6 条）中予以考虑，并在筒仓贮存的设计和施工阶段（如认为相关或必要）作为可能的降低风险/控制风险措施予以实施。如果风险评估表明应在设计中实施特定措施，则 9.4 中给出了进一步的信息、建议和要求。各种紧急情况的处理指南见附件 D。

9.2 检测、温度和气体监测

应考虑以下降低风险/控制风险措施：

- 火源检测系统监控颗粒流入筒仓，以识别进入输送机系统的温热、热或灼热物料（9.3.1.1）；
- 监测筒仓顶部空间和排出口附近的气体成分或气体浓度；
- 通过从筒仓顶部悬挂的温度传感器电缆监测散装物料内部的温度；
- 火源检测系统监控筒仓卸料口的颗粒，用于识别温热、热或灼热物料，以控制卸料至输送机系统（见 9.3.1.1）；
- 对人员不定期巡查的区域进行视频监控。

9.3 预防措施

9.3.1 防火

9.3.1.1 筒仓的总体设计

应考虑以下降低风险/控制风险措施：

- 保证筒仓间以及与相邻建筑物之间的最小距离，以确保良好的可及性，以及在发生火灾时准备紧急排出的可能性。
- 筒仓结构的气密性，特殊通风布置除外（见下文），以限制空气进入散装物料，同时在灭火操作时尽量减少惰性气体泄漏。
- 筒仓内部结构（如仓顶钢梁），以防止灰尘积聚。
- 仓顶结构能够承受连接在屋顶上的温度检测电缆的负载，并最大限度地减少水凝结并滴入颗粒中的风险。
- 地板顶层材料，最大限度地降低移动搬运设备产生火花的风险。
- 最大限度地降低桥接和鼠洞的风险。
- 在入口和出口安装气密阀。
- 关闭和密封门、开口、舱口，尤其是筒仓最大料位以下部分，最大限度地减少意外进入空气的可能性。
- 防止直接连接至筒仓的熔炉向筒仓内排气或回火。
- 在火灾情况下，可以关闭基于自由对流的通风装置或关闭强制通风系统。
- 在筒仓入口之前和排放出口之后，提供足够的高度，以允许颗粒在适当位置自由下落，从而允许安装火源探测器，最好与抑制系统或快速作用物料排除装置结合使用。
- 通过安排和程序减少从筒仓顶部落下的颗粒影响而产生的粉尘（见 A.5.2.1）。
- 安排紧急排出装置，用于处理排出的热/阴燃/燃烧物料。
- 可用于处理输送的热/阴燃/燃烧物料的特定存储区域。

9.3.1.2 灭火/防火用惰性气体系统

应考虑以下降低风险/控制风险措施：

- 筒仓底部的固定惰性气体分配系统，用于散装物料的惰化（见 9.4.3.2）。
- 安装压力/真空排气阀（或其他类似装置），其排气能力与筒仓惰化操作期间使用的气体流速相对应。
- 用于保护筒仓顶部空间的固定惰性气体分配系统（见 9.4.3.3）。不得将 CO₂ 用作灭火介质，除非使用雾化器来保证 CO₂ 的气态形式，因为存在爆炸风险，见 D.2.3.2。
- 布置从筒仓顶部空间到安全位置的固定气体取样管线，在火灾情况下气体分析仪器可放置在安全位置。

- 安装在筒仓顶上的固定雨淋（水）/泡沫/CAF 系统，用于在明火情况下保护筒仓顶部空间。
- 带连接件固定立管系统，供消防和救援服务机构用于额外消防或最终灭火。
- 注入惰性气体以降低筒仓内的氧气浓度，用以防火。
- 控制整体温度的强制通风系统。

注：使用大量的水将导致颗粒膨胀，并可能由于颗粒膨胀产生的力而危及整个筒仓结构。

9.3.2 防爆

在正常运行期间，爆炸风险主要与粉尘爆炸有关。例如，这可能是由于进入的阴燃物料点燃了颗粒下落到筒仓中时产生的尘雾。在筒仓内的阴燃火灾情况下（例如，由自热引起），存在气体积聚（例如 CO 和未燃尽的碳氢化合物）的重大风险，这可能导致气体爆炸。

除 8.3.2 中提到的防爆措施外，还应考虑以下额外的降低风险/控制风险措施：

- 根据特定区域/设备的爆炸风险分级，安装在爆炸风险分级场所的筒仓中的设备应经过认证。
- 筒仓结构上配置防爆装置，防止爆炸压力超过整个筒仓结构的最大设计压力。
- 做好泄压后密封通风口的准备工作，以尽量减少筒仓惰化操作期间的空气进入和惰性气体损失。

如果使用自动关闭的爆炸通风孔，则必须安装真空通风阀，因为燃烧后热气体的冷却会在筒仓中产生真空，从而导致变形。通风阀的流量应根据筒仓的体积和强度进行设计。

9.4 筒仓设计和保护的附加信息、建议和要求

9.4.1 总则

如果通过风险评估流程确定需要包括 9.2 和 9.3 中所述的特定降低风险/控制措施，则本条款提供额外信息、建议和要求。

9.4.2 探测系统

通过气体检测系统监测气体成分或 CO/CO₂ 探测器监测气体浓度，可对筒仓内的散装物料颗粒进行监测。测量应在筒仓顶部空间进行，最好也靠近排出口。

当通过从筒仓顶部悬挂的温度传感器电缆监测散装物料内部的温度时，每条电缆上单个温度传感器的垂直间距不得超过 3m。传感器电缆的数量和电缆之间的间距应根据具体条件确定，例如筒仓直径、筒仓顶部结构、贮存时间。仓顶的设计需要承受由于填充和排出期间的流动颗粒而连接到屋顶的温度检测电缆的负载。

注：传感器电缆可连接至筒仓底部（具有易断开连接），或通过其他方式固定，以在填充期间保持电缆处于垂直位置。

9.4.3 消防系统

9.4.3.1 总体设计

一般筒仓结构（仓壁、仓顶、仓壁和仓顶之间的连接、仓壁和筒仓基础之间的连接）应尽可能密封，以限制空气进入散装物料，同时在灭火操作时尽量减少惰性气体的泄漏。

建造筒仓，以便将架桥和鼠洞的风险降至最低。

筒仓入口和排出口均应配备气密阀。在进料输送机系统中检测到火灾时，入口阀应自动关闭，以防止外部火灾蔓延至筒仓。在排出口检测到火灾时，入口和出口阀门应自动关闭。

门、开口、舱口尤其是位于最大料位以下的应关闭和密封，以最大限度地减少意外进入空气的可能性，以避免局部自热和着火。

筒仓顶部空间的通风（基于自由对流或强制通风）应能够在火灾情况下关闭。阀门应是气密的，并可通过远程控制和手动进行就地控制。如果筒仓通过筒仓壁和顶部之间的环形间隙通过自由对流行通风，则应安装一些装置，以便能够关闭间隙。

如果筒仓配备了用于冷却散装物料的通风系统，该系统还应能够关闭，并且进气口/排气口能够关闭和密封（另见 9.4.3.6）。

如果筒仓直接连接到熔炉，则应考虑采取适当的预防措施，防止因强制通风系统造成的低压而产生反气或回火。

当通风系统关闭时，应配备一个压力/真空通风阀（或其他类似装置），其通风能力应与筒仓惰化操作期间使用的气体流速相对应。

为了能在筒仓入口和筒仓排出口安装火源探测器，应设置斜槽使颗粒自由下落。溜槽应位于进料输送机和筒仓口之间或筒仓入口前的适当位置，以及出料口和出料输送机之间或筒仓出口后的适当位置。火源探测器将可以与以下系统一起安装

- 快速启动水喷射系统或
- 快速作用的物料拒收系统（然后将拒收物料引导至安全收集区）。

作为直接落入筒仓的替代方案，过饱进料可用作筒仓进口机构，但是这并不意味直接落入（粉尘产生）。可通过表面测量和随后的火源检测进行温度监测。

为了减少从筒仓顶部落下的颗粒的影响产生的灰尘，除非进行清洁，建议不要完全清空筒仓。从低高度落在颗粒上的颗粒的影响远小于落在混凝土或钢吊臂上的颗粒。也有所谓的“豆梯”、“谷物梯”或“填充管”，位于筒仓中心，提供从上到下的滑动或阶梯式雪崩（A.5.2）。

紧急排出的准备工作应通过安装一个单独的输送机系统来进行，该系统设计用于处理排出的热/阴燃/燃烧物料。如果几个筒仓仅由一个输送机提供服务，这一点尤其重要（参见下面的注释）。如果计划使用普通卸料输送机系统，则应配备增强型防火装置（8.3.1）。

应提供一个特定的贮存区域，用于处置排出的热/阴燃/燃烧物料。选择位置时应仔细考虑到附近物体、邻近活动、主导风向等可能存在的风险。贮存区域应包括收集任何灭火介质的可能性。

注：有许多筒仓火灾的例子，其中缺乏应急卸料准备导致筒仓以受控方式卸料出现重大问题，在一些情况下，这导致了颗粒和筒仓的完全损失。如果多个筒仓仅使用一台输送机，则会增加复杂性和问题，因为存在火灾蔓延的风险。如果输送机系统位于筒仓下方的涵洞中，消防人员接近输送机也将更加困难。因此，强烈建议每个筒仓单独排出。

9.4.3.2 用于散装物料的惰性气体系统

固定式惰性气体分配系统应安装在筒仓底部，用于散装物料的惰化。气体分配入口的数量和管道布置的设计应基于筒仓横截面积。

供气和配气系统的设计应确保每小时的流速不低于 5 kg/m^2 （筒仓横截面积）。流量和压力计算应假设筒仓中充满了预期渗透率最低的颗粒。

不运行时，入口/连接到气体分配系统应封闭，以避免空气/水分进入筒仓。

在筒仓维护期间，气体分配系统应能够用水冲洗，因此应向排水点倾斜。

筒仓底部的气体注入开口/喷嘴应设计可防止散装物料堵塞或堵塞。

卸压开口/阀门应布置在筒仓顶部空间，并设计为能够排空与注入惰性气体流量相对应的气流。开口应设计为止回阀，允许气体流出阻止空气/氧气流入，除非筒仓内出现明显的低压（例如，由于快速降温导致，见 9.3.2）。

布置固定气体取样管线时，应考虑到在火灾情况下从筒仓顶部空间到安全位置的，因为这将提供监测惰化和灭火过程的可能性。仪器最好能够测量 O_2 和 CO/CO_2 浓度（%-单位）。

9.4.3.3 筒仓顶部空间的防火

惰性气体分配系统的管道和进气口应位于筒仓的上部，以避免发生爆炸时损坏管道系统。入口数量应基于筒仓横截面积，气体入口尺寸，以确保低入口速度避免灰尘形成。 CO_2 不得用作灭火介质（见注 1）。

供气和配气系统的设计应确保每小时的流速不小于 $1\text{-}3 \text{ kg/m}^2$ （筒仓横截面积）。

筒仓顶部空间的气体注入开口/喷嘴应尽可能远离泄压口（见 9.3.1.2），以尽可能减少惰性气体损失。开口/喷嘴的位置应确保其不会被最大料位下的散装物料覆盖，并设计为不会被灰尘阻塞或堵塞。

筒仓天花板上可安装固定式雨淋（水）/泡沫/CAF 系统，作为惰性气体系统的补充，可以在明火情况下保护筒仓顶部空间。此类系统非常重要，尤其是在大直径筒仓或配备有爆炸通风口的筒仓中，爆炸后，很难有效密封，难以甚至不可能仅使用惰性气体获得灭火效果。使用具有高质量膨胀泡沫的泡沫系统（例如，作为 CAF 应用）将减少水的使用，并在顶部提供泡沫垫，或减少氧气进入到散装物料中（见注 2）。

由于存在气体/粉尘爆炸的风险，不建议使用手动泡沫灭火，因为通过开口喷入空气。如果需要使用手动泡沫灭火，则应将开口设置在能够喷均匀的一层泡沫的位置，可覆盖筒仓中颗粒的整个顶层。开口的设计应尽可能限制空气进入。

应考虑使用带有连接件的固定立管系统，供消防和救援服务机构用于额外或最终消防。管道系统应在筒仓顶部的检修平台的适当位置配备消防软管接头。应考虑消防人员的进出/逃生路线。

注 1：不建议使用 CO₂ 作为灭火介质，因为筒仓顶部空间可能由于产生的热解气体而形成爆炸性环境，CO₂ 的排放会产生静电电荷，从而可能在筒仓顶部空间内产生火花并导致爆炸（见 D.2.3.2）。

注 2：使用大量水将导致颗粒膨胀，并可能由于颗粒膨胀产生的力而危及整个筒仓结构。

9.4.3.4 用于防火的惰性气体系统

如果自热和自燃风险增加和/或火灾后果不可接受，则应考虑注入惰性气体以降低筒仓内的氧气浓度。

惰性气体供应应连接至筒仓底部的气体分配系统（见 9.4.3.2），其容量应足以将散装物料中的氧气浓度保持在约 10% 以下。

作为使用液化氮生产氮气的替代方案（见 9.4.3.5），可安装氮气发生器，通常产生约 95% 的氮气和 5% 的氧气的混合物。此外，容量应足以将氧气浓度保持在 10% 以下（见注 1 和注 2）。

为了限制所需的氮气量，特别是对于大直径筒仓，气体分配系统可分为多个部分，气体喷射一部分区域维持数小时，再切换到下一部分，等。

为确保系统性能使用筒仓顶部空间中气体分析仪测量氧气浓度的。如果通过作为操作程序的一部分来确保测量频率，则可使用移动式气体分析仪。

注 1：氧气浓度 < 10% 预计足以起到预防目的，而在消防情况下，建议筒仓顶部空间的最大氧气浓度为 5%。

注 2：EN 16750 标准可为固定式氧减量系统的设计、安装和维护提供进一步指导。

9.4.3.5 惰性气体供应

用于防护/惰化散装物料和顶部空间的惰性气体供应应基于

a) 装有液氮的惰性气体移动罐，以及在紧急情况下连接至气体分配系统（底部和顶部空间）的移动蒸发装置，

b) 一个装有液氮的现场固定罐和一个固定蒸发装置，

c) 与气体分配系统相连的惰性气体发生器系统（容量有限且当气体中氧含量过高可能对灭火操作是一个问题）。

为了将移动式气体供应装置连接至气体分配系统（用于散装物料和顶部空间系统），连接歧管应位于筒仓外部的适当位置。

对于使用移动式储罐的道路运输等方式从外部供应商处供应惰性气体，应与供应商充分协调惰性操作的程序和容量要求，以确保充足的供应。

注：氮气气弹只能作为非常小的筒仓的惰化操作的替代品，或作为惰化操作的第一步，直到获得进一步的气体供应。

9.4.3.6 通过强制通风冷却散装物料

在世界某些地区，由于天气炎热，固体生物质燃料颗粒具有较高的初始温度，通常与使用含有大量氧化物质的活性原料生产颗粒相结合。为了控制整体温度，可在这些情况下使用强制通风系统。然

后应考虑以下方面。(见附录 E)

通风气流应由强力风机产生，通过筒仓底部的间隙或对于小直径筒仓通过筒仓出料锥中的穿孔金属板供应和分配空气。冷却空气通过筒仓顶部的挡板完成排放。

散装物料的温度通过多条温度传感器电缆监测（见 9.4.2）。

传感器配置的设计应考虑热导率特性、渗透率和渗透率变化、通风机容量和新鲜空气入口的几何形状。

温度监控系统将显示散装物料中的温度分布图片，如果任何温度传感器超过预定水平，则应发出警报。在这种情况下，自热产生的热量高于冷却能力，应考虑紧急措施。

风机通常由温度监控系统控制，通过该系统打开和关闭将温度保持在预定范围内。在某些装置中，风机可连续运行，只有当入口通风空气温度超过散装物料的温度时，风机才会关闭。

风机容量应基于物料的整体渗透性和筒仓的几何形状。风机容量应足够高以提供足够的冷却。如果风机容量过低，通风会使情况变得更糟，因为增加物料中的氧气供应会增加氧化过程，从而导致温度升高而不是温度降低。因此，在正常电源故障的情况下风机应具有备用电源。

入口空气中的高湿度可能会导致问题，为了避免这种情况，如果相对湿度超过 80%，则应关闭通风，或者应安装除湿系统。

如果温度上升超过临界值，则通风系统可与惰性气体注入（见 9.4.3.2）结合使用。在这种情况下，通风系统的设计应确保空气供应完全堵塞，以便于惰化操作（见 D.4）。

9.4.4 防爆

安装在风险分级场所内的设备应根据不同操作程序（如填充、排出或维护）期间仓库的爆炸风险分级进行认证。

如果筒仓结构的设计不能承受全部爆炸压力，筒仓应配备泄压装置，以防止爆炸压力超过整个筒仓结构的最大设计压力。

对于有波纹钢板壁的筒仓，仓顶与筒仓壁或仓顶结构本身的连接通常为结构弱点，应在计算和设计泄压装置时予以考虑（见注释）。

应做好排气后密封通风孔的准备，以尽量减少筒仓惰化操作期间的空气进入和惰性气体损失。

注：还有几个例子（特别是大直径筒仓内的爆炸）表明，整个筒仓顶部作为爆炸通风口，仓顶被从筒仓壁结构炸起来，然后再回落，即使仓顶装备了经认证的爆炸通风口。在某些情况下，仓顶的一部分也被炸飞，掉到筒仓壁旁的地面上。这会阻止筒仓有效的惰化过程，可能导致筒仓顶部空间中的氧气浓度无法被降低。

10 大型料仓

10.1 总则

料仓的大小和形状存在一定差异，从家用的小型料仓到发电厂的大型料仓不等（见附录 A）。第 10 章中的描述主要适用于大型料仓，某些方面也适用于小型料仓。

生物质颗粒料仓存在的安全着火隐患通常有：

- 各种外部点火源（如照明、电气设备、明火作业等）；
- 通过输送机进入料仓的阴燃材料；
- 燃料颗粒的自热（主要存在于生物质颗粒长时间存放的情况下，例如在停机或闲置期间）；
- 锅炉装置的回火或机械故障，例如料仓底部的卸料设备；

料仓爆炸的原因通常有：

- 通过传送带进入料仓的阴燃材料点燃料仓内的粉尘云；

- 输送机或除尘系统中的一次爆炸导致料仓的二次爆炸，
- 料仓内的阴燃材料产生的高浓度可燃气体（一氧化碳或未燃尽的碳氢化合物）导致气体爆炸。

在10.2和10.3小结中列出了更具体的情况。尤其是在燃料储存的设计和建造阶段，应在风险管理过程中考虑（见第 5 和 6 条）并作为可能的风险降低/风险控制措施实施。10.4中则给出进一步的关于特定措施的相关信息、建议和要求。附录 D 中介绍了处理各种紧急情况的指南。

10.2 料仓内温度和气体监测

应考虑以下风险降低/风险控制措施：

- 点火源检测系统监测流入料仓的颗粒，以识别输送带上混入的发热或发光颗粒（见 10.3.1.1）。
 - 监测料仓、料仓除尘系统中靠近排放口的气体成分或气体浓度。
 - 在料仓内配备吸气监测系统。
 - 在料仓内配备粉尘监测系统。
 - 通过悬挂在料仓地板上的温度传感器电缆监测生物质颗粒燃料堆内部的温度。
 - 在料仓出料口处配备火源检测系统，在线监测生物质颗粒中存在的发热或发光颗粒（见 10.3.1.1）。
 - 对人员不经常到访的区域进行视频监控。
- 关于各种监测和探测系统的详情见附件G。

10.3 预防措施

10.3.1 防火

10.3.1.1 料仓总体设计

应考虑以下风险降低/风险控制措施：

- 料仓结构的气密性，特殊通风布置除外，应限制空气进入料堆中；
- 在密封门、开口、舱口处，尤其是其位置低于最大填充线时，应尽量减少其意外夹带空气的可能性；
- 将“搭桥”和“鼠洞”的风险降至最低；
- 限制粉尘的产生；
- 防止料仓内部结构性灰尘积聚；
- 在料仓内部增加地板结构，以承受温度检测电缆的荷载；
- 采用实心墙结构；
- 在料仓进料口和出料口处提供足够的高度，以允许颗粒在适当的位置自由下落，安装火源探测器，最好与灭火系统结合使用；
- 在料仓配备通风装置；
- 在料仓排气口安装气密阀；
- 在计划停机的情况下，及时清理料仓内的物料；
- 设计用于处理排放热空气的紧急排放装置；
- 预留可用于处理排出的阴燃颗粒的特定存储区域。

10.3.1.2 料仓建筑保护

应考虑以下风险降低/风险控制措施：

- 用于保护料仓的固定式雨淋（水）/泡沫/CAF系统，。
- 固定式惰性气体分配系统，用于惰性化料仓中的散装物料。

----配备固定立管系统，带连接件，供消防和救援服务机构使用。

10.3.2 防爆

在正常运行期间，爆炸风险主要与粉尘爆炸有关。例如，由于进入掩体的阴燃材料点燃了自由下落时产生的粉尘云。在料仓内发生火灾时，可燃气体积聚（如一氧化碳和未燃烬的碳氢化合物）可能导致气体爆炸。

除8.3.2中提到的防爆措施外，还应考虑以下额外的风险降低/风险控制措施：

----应根据特定区域/设备的风险分类，对安装在风险分类区域内的设备进行认证。

----料仓的急救措施安排。

----除尘系统中的防爆装置。

----释放后密封通风口的准备工作，以最大限度地减少灭火操作期间的空气夹带和泡沫和/或惰性气体损失。如果使用自动关闭爆炸通风口，则必须安装真空排气阀，因为燃烧后热气体的冷却可能会在料仓室内产生真空，进而导致变形。通风阀的流量应根据料仓的体积和强度进行设计。

10.4 料仓设计和保护的附加信息、建议和要求

10.4.1 总则

如果通过风险评估流程确定需要包括10.2和10.3中所述的特定风险降低/控制措施，则本条款提供额外信息、建议和要求。

10.4.2 探测系统

可通过气体检测系统监测气体成分或使用CO/CO₂探测器监测气体浓度来监测料仓内的气体成分。监测位置应在料仓地板下方和排放口附近。

对于燃料库的监控，由于通风的大小和影响，吸气式气体检测系统应安装在整个空间的最佳覆盖范围位置处。

当通过悬挂在料仓地板上的温度传感器电缆监测料堆内部的温度时，每条电缆上单个温度传感器的垂直间距不得超过3m。传感器电缆的数量和单个电缆之间的间距应根据具体情况而定，例如料仓区域、料仓的任何分区、料仓地板的施工、储存期限。

料仓室内的粉尘监测系统可用于指示除尘系统工作正常和/或指示接收颗粒的质量变化。

注意：料仓内的地板结构设计应能承受温度检测电缆，在装填和卸料过程中因颗粒流动而产生的荷载（如已安装）。

10.4.3 消防系统

10.4.3.1 料仓总体设计

料仓结构的一般墙壁结构应在最大填充水平以下尽可能密封，以限制空气进入料堆中。应关闭并密封位于最大填充水平以下的门、开口、舱口，以最大程度地减少可能导致局部自热和着火的意外空气夹带的可能性。

限制粉尘的产生，且料仓内部结构应设计防止粉尘积聚。为减少加注时对料仓的粉尘污染，并防止操作过程中物体掉入料仓内，应在料仓地板施工的顶部安装沙坑覆盖物。除进气口外，该结构应尽可能密封。进气口应允许来自料仓的清洁空气代替集尘系统从料仓内部抽取的空气。入口的设计和定位应确保获得至少 0.5 m/s的流速，并且气流尽可能有效地收集产生的灰尘。用于从输送机填充料仓的开口应以灵活的方式密封。

料仓的通风，基于料仓除尘系统或任何其他强制通风系统或自然对流，应可关闭或密闭的，例如：在发生火灾的情况下。阀门应远程控制 and 手动本地控制实现随时关闭。

在具有多个排放口的大型料仓中，料仓的每个部分都应使用坚固的墙壁结构进行细分，直至地板，以减少阴燃火灾在料仓各个部分之间蔓延的可能性。每个排放口应配备标称气密阀。

为了在料仓的入口和料排放口都安装火源检测器，可以设置溜槽以使颗粒自由下落。溜槽应位于进料输送机 and 料仓口之间，或料仓入口前的适当位置，亦或是卸料口和卸料输送机之间，或料仓出口后的适当位置。这将允许将点火源探测器与以下两种传感器一起安装

----快速启动注水系统

----快速反应的物料拒收系统（应将拒收物料引导至安全存放区域）。

作为自由落体出口的替代方案，阻风门进料系统可用作排放系统，但这不适用于自由落体（粉尘产生）系统。应通过表面测量和随后的点火源检测进行温度监测。

紧急排放的准备工作应通过安装一个单独的输送机来完成，该输送机设计用于处理排放的热/阴燃/燃烧材料。如果燃料库位于地下和/或多个燃料库仅由一个输送机提供服务。如果计划使用普通卸料输送机系统，则应配备增强型防火装置（见8.3.1）。

应提供一个特定的储存区域，用于处理排出的热/阴燃/燃烧材料。考虑到附近物体、邻近活动、主导风向等可能存在的风险/问题，应仔细选择位置。。

10.4.3.2料仓保护

为了保护料仓（位于料仓地板上），应在料仓天花板上安装固定式雨淋（水）/泡沫/CAF系统，以控制/抑制传送系统、电缆或其他物体中的灼热余烬或明火。最好使用具有高质量膨胀泡沫的泡沫系统（例如压缩空气泡沫CAF），因为泡沫会保护颗粒表面，避免氧气进入颗粒。通过料仓地板上的各种开口向下流入料仓的泡沫也将部分覆盖和保护颗粒表面。

注：仅使用大量水将导致颗粒膨胀，并可能导致桥接或鼠洞，甚至由于产生的力而危及整个料仓结构。

为保护料仓（料仓地板下方），应在料仓地板内或下方的适当位置安装固定式雨淋泡沫/CAF或高膨胀泡沫系统，以确保完全覆盖颗粒表面，从而控制/抑制灼热余烬或露天火灾。

如果料仓由分隔墙间隔，则雨淋系统也应分段，以便激活指定区域。首选使用具有高质量膨胀泡沫的泡沫系统（例如，作为CAF应用），因为这将保护颗粒表面，减少氧气渗透到散装材料中，并减少水量。当表面覆盖泡沫时，可在适当的间隔内进行额外的泡沫应用。

如果考虑使用高膨胀泡沫系统，则泡沫发生器的布置应确保使用新鲜的外部空气产生泡沫。从料仓和料仓室到外部的通风孔应具有与泡沫产生能力相对应的容量。更多指南可参见EN 13565-2和NFPA 11。另一种方法是使用设计用于内部（污染）空气的高膨胀泡沫系统。

应安装带有连接的固定立管系统，供消防和救援部门在火灾情况下进行额外或最终灭火。管道系统应在靠近掩体房所有入口点的合适位置连接消防水带。应考虑消防人员出入/逃生的可能性。

注：如果在激活高膨胀泡沫系统时发生严重火灾，由于燃料舱/顶部空间中的高温和泡沫破坏性气体，可能会出现泡沫快速分解的问题。使用高膨胀泡沫也会给消防和救援服务人员进入掩体房造成问题，例如 额外的手动灭火操作

10.4.3.3灭火用惰性气体系统

惰性气体系统可被视为使用10.4.3.3中所述泡沫系统对燃料仓进行保护的补充。惰性系统将有助于控制储存的生物质颗粒料堆内部深处的阴燃，因为它将阻止向火灾提供氧气。如果不可能进行特定的紧急排放，则此选项尤其重要。应遵循筒仓保护的一般原则，系统设计应按 9.3.1.2 和 9.4.3.2 的适用部分进行，灭火操作应按 D.4 中的建议进行。

如果使用惰性气体作为灭火的补充，重要的是要认识到气体也会穿透泡沫层并降低料仓中的氧气浓度。因此，任何进入料仓的人员都应佩戴SCBA设备（自给式呼吸器），因为即使火势似乎得到控制或扑灭，氧气浓度也可能非常低。

10.4.3.4气体供应

惰性气体供应的各种替代方案如9.4.3.5所述。

10.4.4防爆

在风险分类区域安装和使用的设备应根据存储在不同操作过程中的爆炸风险分类进行认证，例如：填充、排放或维护。

料仓和除尘系统的爆炸泄压装置的设计应防止爆炸压力超过每个外壳的设计压力。应选择防爆门的类型、尺寸和位置，以确保有效释放压力，同时防止启动时造成人员受伤的风险，例如：防止通过通风口或在通风口使用阻火器。泄压最好在室外引导到安全区域，或者使用经过认证的无焰室内泄爆装置。在这种情况下，应考虑建筑结构的强度。

如果料仓由惰性气体系统保护，则应在释放后做好密封排气口的准备工作，以尽量减少在料仓惰性化操作过程中的空气夹带和惰性气体损失。

11 仓库

11.1 总则

颗粒仓库火灾的典型原因通常与颗粒的自热（见附录B）、地下排放系统中的自热/阴燃或通过输送机进入仓库的阴燃材料有关。

此外，仓库内的其他设备，如天花板上的输送机（用于进料颗粒）或地板结构中的各种排放系统（用于自动排放），也可能是潜在火源（见8.1）。

也可能由于外部火源，例如轮式装载机或其他外部设备的热表面或火源。

仓库内的爆炸可能是以下原因造成的：

- 通过传送带进入仓库的阴燃材料点燃料仓内的粉尘云；
- 输送机或除尘系统中的一次爆炸导致仓库的二次爆炸，
- 仓库内的阴燃材料产生的高浓度可燃气体（一氧化碳或未燃尽的碳氢化合物）导致气体爆炸。
- 由移动搬运设备或其他设备引起的一次爆炸。

在11.2和11.3中，列出了更为具体的方面，这些方面至少应在风险管理过程中予以考虑（见第5条和第6条），并作为可能的风险降低/风险控制措施予以实施。如果风险评估表明应在设计中实施特定措施，则11.4中给出了进一步的信息、建议和要求。各种紧急情况的处理指南见附件D。

11.2 检测

应考虑以下风险降低/风险控制措施：

- 点火源检测系统监测流入仓库的颗粒，以识别输送带上混入的发热或发光颗粒（见 10.3.1.1）。
- 监测仓库内气体成分或气体浓度。
- 检测大宗材料的温度。
- 点火源检测系统监测废弃颗粒中的发热或发光颗粒。
- 检测地下自动排放系统中的气体成分和浓度。
- 轮式装载机的发动机舱内应配制火灾探测/灭火系统，应配备便于驾驶员使用的便携式干粉灭火器（最小6 kg）。
- 对人员不经常到访的区域进行视频监控。

11.3 预防措施

11.3.1 防火

应考虑以下风险降低/风险控制措施：

- 仓库结构的气密性，应限制空气进入料堆；
- 仓库的内部结构设计应防止灰尘积聚；

- 大型仓库应设计若干开口用于卸货；
- 用混凝土墙划分仓库；
- 光滑、平坦的表面，以最大限度地减少移动搬运设备产生火花的风险。
- 屋顶结构能够承受温度检测电缆负载。
- 如果使用输送机系统填充和/或卸载颗粒，则应提供足够的高度，以允许颗粒在适当位置自由下落，在仓库入口之前和排放出口之后，应安装点火源探测器，最好与颗粒快速拒收系统结合使用。
- 可用于处理废弃的热/阴燃/燃烧材料的特定存储区域。
- 仓库天花板上应安装固定式雨淋（水）/泡沫/CAF系统，用于着火时保护物资，或控制/抑制露天火灾。
- 固定立管系统，带连接件，供消防和救援服务机构使用。
- 红外摄像机，用于检测填充和排放期间散装材料中的热材料或阴燃材料。
- 轮式装载机驾驶员应配备SCBA设备（自给式呼吸器）。

11.3.2 防爆

在正常运行期间，爆炸风险主要与粉尘爆炸有关。这可能是由于进入的阴燃材料点燃了自由下落到仓库中时产生的尘雾。在颗粒堆团发生阴燃时，气体积聚（如CO和未燃烧的碳氢化合物）可能会导致封闭区域（如地下排放系统）发生气体爆炸。

除8.3.2中提到的防爆措施外，还应考虑以下额外的风险降低/风险控制措施：

- 根据特定区域/设备的爆炸风险分类对安装在该仓库中的设备进行安全认证
- 设计用于在多尘环境中工作的轮式装载机。
- 存在粉尘或气体爆炸风险的封闭区域内应安装防爆装置。

11.4 关于仓库设计和保护的附加信息、建议和要求

11.4.1 检测系统

可通过气体检测系统监测气体成分或使用CO/CO₂检测器监测气体浓度来监测仓库内的散装颗粒。检测系统最好包括地下自动排放系统。考虑到通风的大小和影响，吸气式监控系统可以覆盖整个仓库。应注意的是，在仓库内使用电动移动搬运设备可能会干扰气体检测系统，并导致错误警报。

靠近表面的散装材料的温度监测可通过使用带温度传感器的插枪进行，而对颗粒堆较深处的监测需要使用悬挂在仓库屋顶的温度传感器电缆。每根电缆上单个温度传感器的垂直间距不得超过3m。传感器电缆（或插枪）的数量和单个电缆之间的间距应根据具体条件确定，例如仓库的大小、仓库屋顶的构造、储存时间。传感器电缆应连接到仓库地板上，或通过其他安排保持在适当位置，以便在填充期间保持电缆处于垂直位置。如果使用轮式装载机进行卸料，则应能够在卸料操作期间轻松地将传感器电缆移动到安全位置。

由于轮式装载机发动机舱内的火灾可能是点燃灰尘和储存颗粒的潜在火源，因此最好在轮式装载机发动机舱内安装火灾探测系统（和固定灭火系统）。

监控卸料的检测系统应安装在最可能起火的位置，例如，如果使用自动地下卸料系统，则安装在输送机系统的第一个转运点，如果使用轮式装载机卸料，则安装在主卸料输送机系统的料斗出口下方。

关于各种监测和探测系统的一些进一步信息见附件G。

11.4.2 防火

仓库结构的墙壁结构设计在最大填充水平以下应尽可能密封，以限制空气进入散装材料。大型仓库最好有几个门洞，以便卸料。当不使用时，位于最大填充水平以下的门、开口、舱口应关闭和密封，以最大限度地减少空气进入颗粒堆，降低局部自热和点火的可能性。

对于大型仓库，应考虑使用混凝土墙进行细分，以使不同批次颗粒能够彼此分离（避免不同质量和条件的混合），并降低了在散装颗粒阴燃火焰蔓延的可能性。单独储存区的布局不得妨碍颗粒运输和移动搬运设备的移动。

仓库的内部结构设计（如屋顶钢梁）应防止灰尘积聚。

应在仓库上方的进料输送机和分配输送机之间，或在分配输送机之前的适当位置，设置一个入口滑槽，使进料颗粒自由下落，以允许将点火源探测器与以下两种装置安装在一起：

----快速启动注水系统，

----速动排料阀，

----可反转分配输送机进行拒收（然后将拒收材料引导至安全收集区）。

应提供一个特定的储存区域，用于处理排出的热/阴燃/燃烧材料。考虑到附近物体、邻近活动、主导风向等可能存在的风险，应仔细选择位置。储存区域应可以收集所有灭火介质。

可通过在仓库天花板上安装固定式雨淋泡沫/CAF系统来保护颗粒堆，应确保能完全覆盖颗粒表面，从而控制/抑制灼热余烬或露天火灾。如果仓库通过分隔墙进行细分，则雨淋系统也应分段，以便激活选定的部分。应使用高质量膨胀泡沫的泡沫系统（例如，作为CAF应用），减少氧气渗透到散装颗粒。

作为固定消防系统的补充（或替代），应在仓库内的适当位置安装固定立管系统，以供消防和救援服务使用。在紧急排放颗粒期间，该系统可以快速熄灭颗粒堆中暴露在外的阴燃/燃烧颗粒。如果没有安装固定的泡沫系统，则还应配备合适的泡沫浓缩液、泡沫配比设备和泡沫支管/泡沫监测器，以便在颗粒堆表面覆盖一层泡沫。使用移动CAF系统是最佳选择。立管系统应在适当位置（可能在仓库内外）配备消防软管接头。应考虑消防人员进出和逃生。

应配备移动红外摄像机，以检测卸货期间散装材料中的热材料或阴燃材料。

应提供SCBA设备（自给式呼吸器），供轮式装载机驱动装置和进入受烟气影响区域的人员使用。所有人员必须接受SCBA设备相关教育和定期培训。

11.4.3 防爆

安装在风险分类区域内使用的设备应根据不同操作程序（如填充、排放或维护）进行认证。

轮式装载机的设计应适应多尘环境，例如，具有热屏蔽表面、轮式装载机铲斗应采用不产生火花材料、配备火灾探测和灭火系统。

爆炸泄压装置应安装在有粉尘或气体爆炸风险的封闭区域。应选择爆炸通风孔的类型、尺寸和位置，以确保有效泄压，同时防止启动时人员受伤的风险。

附录 A

(资料性)

固体生物质燃料颗粒供应链说明和装置操作的一般安全指南

A.1 引言

供应链包括颗粒生产商、商业分销商/仓库和最终用户的搬运和储存，包括大型工业应用（如发电厂）、中型锅炉和分销商/贸易商，小型锅炉和私人。生物燃料颗粒的供应链可能涉及水上、铁路或公路运输。

由于储存的规模、年周转率和复杂性可能会有很大差异。本文件使用基于风险的方法来确定应考虑的安全措施。因此，本文件的使用者必须具备与设施的复杂性相对应的知识和经验，以确定哪些条款适用于所考虑的设施。

第 A.2 节是固体生物质燃料颗粒典型供应链中的单元操作流程。

第 A.3 至 A.5 节提供了固体生物质燃料颗粒通用供应链中主要装置操作的更多细节。

A.2 固体生物质燃料颗粒供应链说明

A.2.1 生产者

本条款包含工艺设备的简要说明，如图 A.1 所示，包含颗粒压缩后的一整条生产线。。图 A.1 中供应链中的所有单元操作均有对应编号，以方便在文本中引用。

供应链中的操作包括：

- 在颗粒压缩机（1）之后，颗粒由气流（2）冷却；
- 在滤网或筛子（3）中去除冷却颗粒的灰尘和颗粒碎屑；
- 随后通过输送机（4）将颗粒输送至仓库（5），该仓库可以是筒仓或仓库；
- 从存储中的颗粒装载至散装运输（6-10）（通过贸易商（见 a.2.2）或直接至住宅/小型最终用户（见 ISO 20023）或工业最终用户（见 a.2.3）（散装运输可通过卡车、铁路或船舶进行）；或
- 装袋并在运输前储存（11-12）。

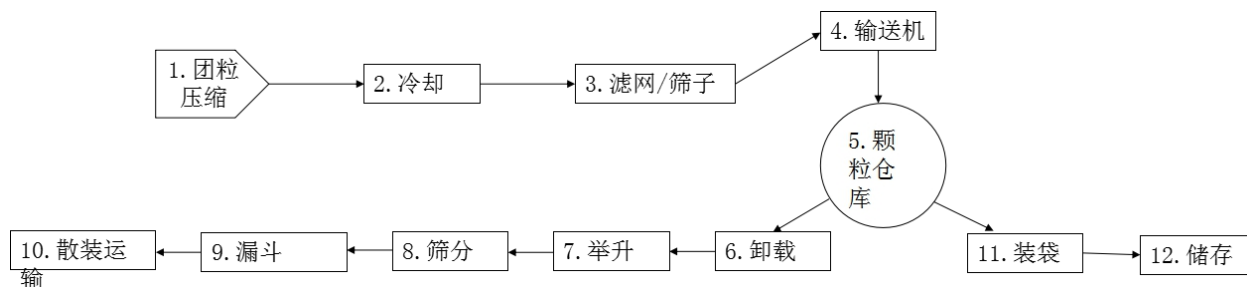


图 A.1 生产现场固体生物质燃料颗粒处理示例

A.2.2 商业分销商/仓库

固体生物质燃料颗粒从生产现场的储存设施装载。许多商业分销商直接自己或使用服务提供商进行存储。筒仓或扁平仓库是最常见的，图 A.2 显示了将固体生物质燃料颗粒转移至贸易商仓库以及将固体生物质燃料颗粒回收并分配给最终用户的常用步骤。

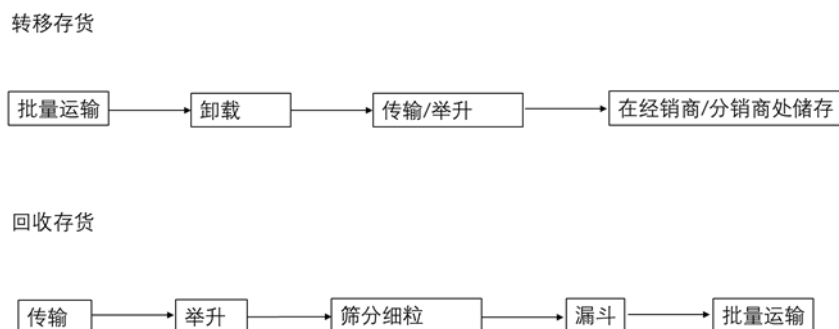


图 A.2 通过贸易商/分销商在生产和最终用户之间运输和储存固体生物质燃料颗粒的搬运阶段示例

A.2.3 产业终端用户

本条款包含主要设施、工艺和设备的简要说明，这些设施、工艺和设备可构成最终用户的颗粒处理线，见图 A.3。

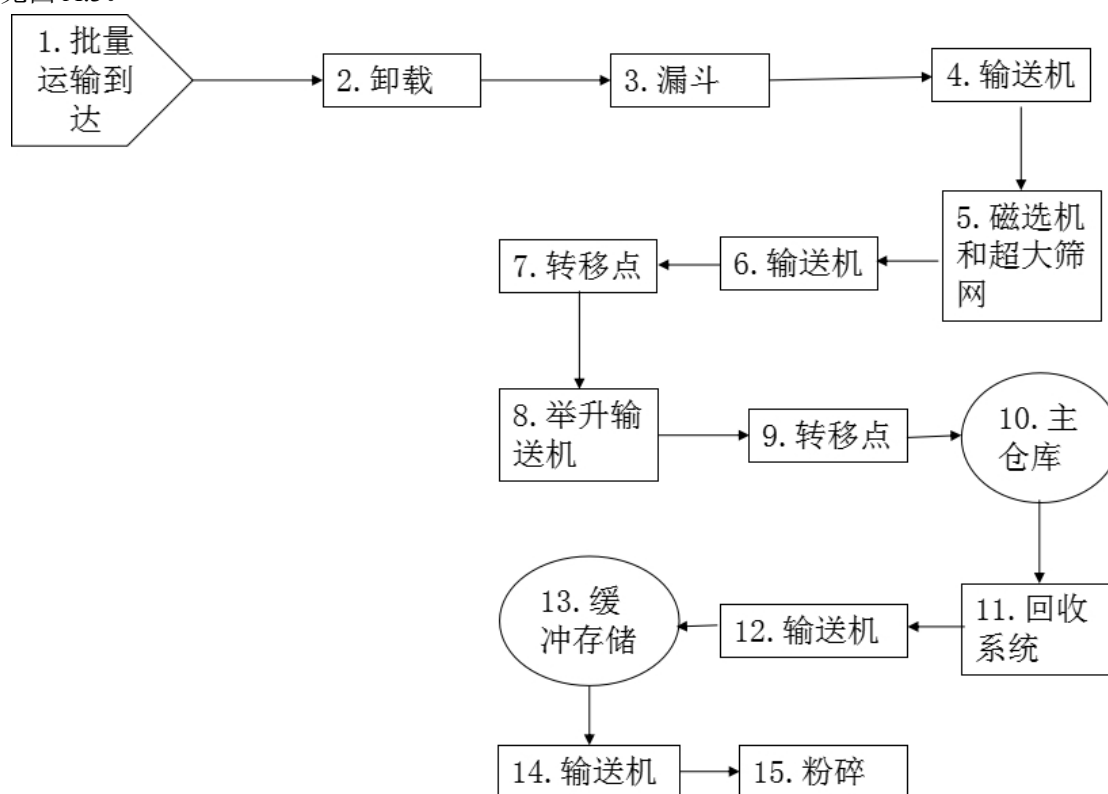


图 A.3 发电厂处理阶段示例

图中

- 1 到达接收站的散装运输
- 2 和 3 卸料和料斗，其中颗粒被转移到第一条传送带
- 4 至 9 输送机系统，通过转运点进行分段连接
- 5 用于去除异物的磁选机和超大筛网
- 10 主要储存设施（筒仓/圆顶；仓库）
- 11 取料系统（重力进料、带螺旋输送机或链式刮板的机械化卸料或，通过轮式装载机等机动装卸设备进行回收
- 12 和 14 输送机系统，各部分通过转运点连接

13 较小的缓冲仓库（筒仓、料仓），为锅炉房的锅炉或制粉装置供电

15 粉碎过程（不属于本文件的一部分）

对于大型发电厂（例如将发电厂的燃煤转换为生物燃料颗粒），以下内容可构成颗粒处理系统的概述。图 A.3 中的每个项目（1-14）包括一个或多个机组操作和相关设备，详见 A.3-A.5。

注：与设计、施工和运行相关的其他重要指南可从 VGB（VGB，2013）发布的出版物《生物质发电厂的防火防爆》和英国能源研究所（能源研究所，2016）发布的《火力发电厂生物质的安全搬运和储存》中获得。虽然主要针对大型发电站，但也有许多与小型设施相关的概况。

A.3 接收站

A.3.1 海港装卸

A.3.1.1 一般信息

作为整个供应链的一部分，大量颗粒由船舶运输。虽然运输本身不是本文件的一部分，但文件涵盖了颗粒的装卸。以下信息主要描述卸载过程，但大部分信息也适用于装载过程，应在适用应用中予以考虑。成功的装卸活动需要船员、港务局、装卸工和其他相关人员的合作。装载和卸载时应尽量减少颗粒的降解，并适当考虑环境影响。

装卸设备的选择和操作规程应尽量减少扬尘的排放、颗粒的溢出和污染（包括水分）。

装卸（或卸货）应按照 IMO SOLAS 公约（IMO）下的 IMSBC 规范和港口当局规定的地方法规进行，并采用适用的港口手册或指南。IMSBC 规范规定了海上运输过程中的封闭舱口盖，在密闭空间（如船舱）中，从颗粒物中大量释放出的 CO 和 CO₂ 等气体可，使氧气含量降至几乎为零，进而使舱内空气变得惰性，从而对人员带来致命风险。因此，在进入船舱之前，应自然通风、最好是强制通风，并使用 CO 和 O₂ 计验证空气的可接受水平。

根据换气次数，达到大型船舱和楼梯间的可接受氧气浓度大概需要 24 小时。颗粒的大量移动也会吞噬人员。因此，应严格控制人员进入货舱，并对进入货舱的人员进行风险评估。

船舱内经常使用移动式装卸设备，以协助卸货以及拖运和清洁。应制定特殊的操作程序，以尽量减少人员接触灰尘和恶劣空气。移动设备的类型和操作程序还应旨在将这些活动的持续时间和相关火灾风险降至最低。

船舶上的工作安全受 IMO、当地法规以及当地工作安全指南的监管，因为它们涉及：

- 待卸载船舶的类型和船舶配置；例如无齿轮、龙门起重机、甲板起重机、自动卸船机、舱盖类型等；
- 颗粒（散装和物理化学）和机器处理的任何其他材料的特性；
- 减少粉尘排放的要求；
- 噪音水平；
- 尽量减少颗粒降解的要求；
- 如果卸货期间在货舱内使用带操作员的移动设备，则存在暴露风险（粉尘、一氧化碳和氧气耗尽）。IMSBC 规范（IMO，第 3 节）规定了人员进入货舱顶部空间和楼梯前的通风。如果天气允许，通常在船舶到达后立即进行通风，并且在允许卸货之前，应始终进行气体检查。气体检查应至少包括 CO 和 O₂ 浓度的测量。

A.3.1.2 抓斗起重机

带抓斗的起重机通常用于将船舶中的颗粒卸至码头或将颗粒从一艘船向另一艘船或驳船卸货。起重机可以是船上的齿轮固定式或在车轮或轨道上移动的移动式，或在驳船上移动，或固定在码头上。如果货物是在陆地上接收，通常会将其放入料斗中，有时会使用风扇产生压力，以抑制与颗粒结合产生的灰

尘。料斗可配备格栅，用于清除不规则物料。装载和卸载期间的所有装置操作应致力于最大限度地减少对颗粒的损坏，并最大限度地减少粉尘的产生和排放。

接收料斗应为导电材料，因此不应使用绝缘覆层，以确保颗粒和灰尘在着陆时与耗散表面接触。

应安装设备，以检测料斗出口处的热材料或阴燃材料，以及灭火或冷却或喷射材料的方法（另见 A.4.2）。良好的做法是在卸货前和卸货过程中使用手动红外传感器对货物进行温度抽查。一些商业供应合同规定了货物的最高可接受温度，以供设施验收。如果温度超过最高允许温度，则必须对货物进行冷却，否则必须将货物卸在码头上进行通风和冷却。

A.3.1.3 连续卸料机（CSU）

以下概述了连续卸料机（CSU）的主要类型。

---螺旋输送机：

---螺旋输送机卸料机通常包括位于垂直输送机末端的反向旋转头、螺旋输送机、动臂中的进料皮带或螺旋输送机以及卸料输送机，通常安装在码头区的轨道上。

---优点：高吞吐量，封闭式卸货系统。

---缺点：功耗高，螺钉长度有限，导致动臂和臂内有轴承。较大的异物也会堵塞螺钉。此外，螺钉对木颗粒的高度冲击会增加细粒含量（见 A.4.3.7）。

---真空卸料机：

---真空卸料机包括吸嘴、大型过滤容器、连接管、空气移动器和卸料输送机。空气移动器产生足够的气流，将颗粒从吸嘴通过连接管输送到过滤容器中，颗粒在过滤容器中从空气中排出，通常通过旋转阀进入卸料输送机。可以是安装在码头区的车轮或轨道。

---优点：封闭式卸油系统，燃油内无运动部件。

---缺点：过滤器外壳有爆炸危险，颗粒在高空气速度下降解，能耗高。

---斗轮/斗式输送机：

---铲斗安装在可调臂或车轮上。由于尺寸较大，斗轮输送机通常安装在码头区的轨道上。

---优点：吞吐量高，可在大型船舶舱口下进入。

---缺点：由于爆炸风险相对较高，不适用于颗粒装卸，斗轮卸料机和卸料机内的转运点会产生大量粉尘排放。

---夹层皮带和自卸车（进料斗）：

---这些船舶由安装在卸料输送机上方的几个货舱组成。夹层皮带装置用于将颗粒输送至船首，并沿吊杆输送至排放点，通常是漏斗。

---优点：不需要专用卸载系统。

---缺点：船舶容量小，货舱内输送机周围的货物和人员之间没有隔离，货舱和输送机之间的粉尘排放可能很严重。

A.3.2 列车卸货

A.3.2.1 总则

用于运输固体生物质燃料颗粒的轨道车有盖，通常为谷物型，带有用于卸货的手动或气动底部闸门。轨道车通常分为 3 或 4 个内部料斗，每个料斗通过单独的底部闸门排空。其他类型包括底部封闭的旋转轨道车和可拆卸或铰接的顶盖，当整个车厢翻转时，顶盖打开。

A.3.2.2 接轨漏斗

接轨漏斗的容量在单辆货车和整列列车之间可能有所不同。料斗顶部通常位于地面，料斗和回收机构（通常为螺旋或链式输送机）位于地下。

轨道接收料斗应位于盖下，以避免颗粒和搬运设备进水。地板表面的轮廓应确保任何液体都可从料斗排出，以将污染降至最低。

接收料斗应为导电材料，不应使用绝缘覆层，以确保颗粒和灰尘在着陆时与耗散表面接触。由于存在脱轨风险，轨道接收通常不配备粗格栅作为不定期清理的第一步，而是配备空气抽取系统，以清除燃料排出的空气中的灰尘。角度挡板可用于改善空气抽取系统的性能。

卸货点应尽量减少铁路接收区的占用，并提供足够的个人防护设备（PPE）。

应避免粉尘积聚，以防止粉尘层形成引发的火灾和爆炸。适当的措施包括相关区域的内部导电覆层、安装脱落板、抽气系统、提供清洁设备，以及在必要时提供清洁活动通道。

应按照必要评估的要求安装火灾探测和灭火设备。为了避免将过热材料装入储存设施，建议对热进料进行检测和中止。合适的检测系统应为对日光不敏感的红外传感器。

A.3.3 卡车卸货

A.3.3.1 总则

用于运输固体生物质燃料颗粒的卡车有盖，通常配有液压系统，用于将货物卸入接收料斗或直接卸到仓库内的地板上。

A.3.3.2 卡车接收料斗

卡车接收料斗通常位于地面，回收机构（带式输送机、链式输送机或螺旋进料）位于地下。

卡车接收料斗应位于盖下，以避免颗粒和搬运设备进水。地板表面的轮廓应确保任何液体都可从料斗排出，以将污染降至最低。

料斗应配备粗格栅作为清除杂质的第一步，并配备空气抽取系统，以清除燃料排出的空气中的灰尘。角度挡板可用于改善空气抽取系统的性能。

接收料斗应为导电材料，因此不应使用绝缘覆层，以确保颗粒和灰尘在着陆时与耗散表面接触。

卡车应在卸货前接地。在卸货点应尽量减少占用并提供足够的 PPE。

应避免粉尘积聚，以防止粉尘层形成引发的火灾和爆炸。适当的措施包括相关区域的内部导电覆层、安装脱落板、抽气系统、提供清洁设备，以及在必要时提供清洁活动通道。

应按照必要评估的要求安装火灾探测和灭火设备。

为避免将过热材料装入储存设施，建议检测和中止热进料。合适的检测系统应为对日光不敏感的红外传感器。根据接收料斗的操作情况，手动手持探测器就足够了。

A.3.3.3 移动接收系统

几种不同类型的系统用于接收卡车运输的木材颗粒。有时在地面上使用移动地板或传送带从车上卸下颗粒。用于进一步运输至仓库。建议使用除尘系统以尽可能降低该区域的粉尘浓度。

A.3.4 粉尘处理

尽量减少粉尘的产生和有效的粉尘处理对于整体安全至关重要。附件 C 提供了关于粉尘风险的进一步信息以及关于预防和缓解粉尘爆炸的建议。

A.4 输送机系统

A.4.1 总则

A.4.1.1 输送机设计

由于掉落和摩擦，木材颗粒在输送机运输过程中会受到冲击和磨损。应避免所有可能导致碰撞或摩擦、楔入或研磨的输送机。为了保护颗粒免受沉淀和污染，并尽量减少粉尘对环境的影响，输送机应有盖。

当设计输送机时考虑以下概况：

---输送机的最佳长度不仅应取决于运输距离和几何结构，还应取决于材料负载和驱动电机的尺寸。掉落的次数数和高度应保持在最小值（见 a.4.3.2）。在紧急情况下传播燃烧或阴燃材料的风险。紧急排放时，最好使用专门设计用于处理高温或阴燃材料的输送机。

- 外来物质可作为点火源。在颗粒进入之前，应使用外部材料分离器（如磁选机）进行提取，例如储存或粉碎机。
- 考虑分离和分隔设计。
- 设计降低运动速度的输送机，以防止因运动部件之间的接触而产生火花（例如，不适用于带式输送机）。
- 应避免出现灰尘积聚的空间。避免高温表面。操作过程中可能变热的机器部件应进行屏蔽，以避免与灰尘接触。
- 在恒定载荷下，带有滚珠轴承或衬套的滚柱（托辊）应具有防尘外壳，在高磨损应用中的位置应配备线性电缆探测器、热电偶等，并使用红外热传感器或摄像机进行监测（见 g.2.8）。
- 输送机的导辊和托辊应由导电材料（如金属）制成，以消散摩擦产生的静电。
- 转移点最好具有集尘和冲击限制偏转装置（见 A.4.3.2）。
- 应考虑带式输送机的倾斜角度和表面摩擦，以便材料不会崩塌。最大坡度取决于木材颗粒的特性（直径、长度、表面摩擦力），可以通过实验确定。常见的平断面皮带上的参考坡度为 21°至 25°，如果皮带带有肋，则可能更陡。
- 皮带最好由非静电材料制成。
- 皮带最好由阻燃材料制成。
- 输送机系统应具有从上游开始的停机序列。
- 在特定位置最好有在紧急情况下反转传送带方向的措施，以倾倒燃烧或阴燃物。
- 自动取样站通常需要大量处理木材颗粒。取样站可与输送机系统的一部分集成，或与转运点一起安装。有些站点是半自动的，甚至是手动的，必须采取特殊的预防措施来保护操作员免受伤害。

A.4.1.2 室内输送机系统的保护

应使用不可燃的盖子。

如果该区域由天花板上的自动喷水装置保护，请勿将输送机放置在彼此上方（平行或交叉）。

避免输送机通过防火墙。如有必要，应安装适当的保护措施，以确保防火墙等级。

输送机上方用于阻止灰尘扩散的悬挂裙板应为静电式。

耗散材料和适当接地。。

不得将可燃物储存在宽度超过 1.2 m 的室内传送带下，除非传送带下方设有适合危险的非可燃屏障和自动喷水保护装置。

A.4.1.3 室外输送机系统的保护

输送机廊道、隧道等应使用不可燃外壳和绝缘材料。应喷涂易积尘的垂直粗糙表面。最好涂上防静电漆。

可燃绝缘层应覆盖阻燃涂层或用不可燃绝缘层代替。

输送机钢结构的常规维护，防止交通、积雪、滑坡等的影响。

A.4.1.4 操作和维护

对人员不定期参与的区域进行视频监控。

预防性维护应包括定期润滑、更换活动部件，如滚珠轴承、衬套、水平仪等。

定期检查输送机走廊，确保输送机旁边或下方没有灰尘沉降或碎屑堆积。使用手持式红外摄像机检测材料摩擦/灰尘积聚、金属对金属、轴承过热、倾斜等。可安装固定红外摄像机，以全面监测装置操作区域的热点，在这些区域，设备可能过热或热颗粒可能会落在收集箱等处。

A.4.2 检测系统

为实现和保障操作，应考虑在关键物流转运点安装足够的火灾和阴燃检测系统。可安装固定红外摄像机，以便对装置操作区域的热点进行全面监控，设备可能过热，或热颗粒可能降落，如收集箱等。早期检测始终是减少火灾最有效的方法。应考虑在输送机中安装与快速启动灭火系统相连的点火源检测系

统或可能发生材料拒收的点火源检测系统。这将降低外部火源（如火花、摩擦热等）在筒仓或扁平仓库中引起颗粒着火的风险。此外，还应考虑安装区域明火传感器或接近传感器，以检测皮带的断裂或堵塞。

A.4.3 输送机类型

A.4.3.1 带式输送机

市场上有几种类型的带式输送机，如标准开口带、折叠带和管带类型。管状带式输送机可包括垂直和水平两部分，因此可尽量减少转运点的数量。带式输送机通常功耗低，不会对输送过程中的产品造成或最小程度造成损坏（但可能存在与输送点相关的损坏），并且可以延长输送距离（单条带的最大传输距离为 1000 m）。但是，皮带返回部件和转移点可能产生泄漏（废物），因此需要特别注意灰尘控制和泄漏。

除了传统的输送型皮带外，还有一种用于卸船的垂直双皮带输送机。由于一些缺点，例如船舶不能完全清空，需要额外的轮式装载机（超过抓斗或气动卸载），这种类型的装载机尚未广泛使用。此外，进料装置可能会对颗粒造成损坏。不过其卸载能力大，高达 1500 t/h。

A.4.3.2 皮带传送点

在颗粒从一条传送带掉落到运行的第二条传送带上的过程中，传送带以高达 3 m/s 的速度运行，因此传送点的设计至关重要。

在自由下落转移过程中，颗粒速度将增加，从而导致诱导气流。后者导致尘埃飘散。这时可通过最小化气流中夹带的空气量来“引导”颗粒流。例如“勺罩式转移”和“抑尘料斗（DSH）”，它们在自由下落转移过程中显著减少了粉尘的形成。

A.4.3.3 斗式升降机

对于散装物料的垂直输送，斗式升降机被广泛使用。但是，没有适当错位布置、温度传感器及联锁装置的斗式升降机具有较高的火灾和爆炸率，应特别注意确保设计正确。由于固体生物质燃料颗粒的固有性质（即火灾和粉尘爆炸风险）带来了许多安全事故，新的项目中使用斗式升降机的越来越少。通过监测皮带歪斜、皮带错位或堵塞，以及使用旋转给料机和电梯进行绝缘可以减轻这些危害。

A.4.3.4 摆锤式斗式升降机

摆锤式斗式升降机是斗式升降机的一种变式。其中铲斗可以旋转，也可以用于水平输送。其好处在于铲斗在卸料点倾斜，仅在重力作用下卸料，因此皮带速度可以较低。其容量低于标准升降机，但其优势在于可被广泛用于处理精细的产品。工业上由于许多运动部件和搬运产品的研磨性使得这种技术在颗粒运输中并不常见。

A.4.3.5 专用带式输送机

对于垂直/倾斜输送，可使用特殊的输送带。这些输送带配备有柔性颊板，防止产品从输送带侧面掉落。输送带分为多个隔间，形成一系列分离的包裹。对于垂直输送，口袋是桶形的，而不是平坦的。

A.4.3.6 链式输送机

链式输送机通常用于水平运输，但也可改装为斜坡运输。链式输送机需完全封闭，以免颗粒受外部影响并有效控制粉尘。链式输送机可配备抑尘系统和通风装置，以处理小范围应用中夹带粉尘的产品。

链的平均速度约为 1 m/s；对颗粒而言，速度一般较缓慢。一个重要参数是链的负载。投料过量将增加颗粒损坏。此外，与水平和倾斜链式输送机相比，垂直链式输送机将产生更多的细粒和灰尘。这种链式输送机的一种特殊型号是圆盘管。其中颗粒被固定在链条上等间距的圆盘之间被向前拖动。使用该系统，链条可在水平和垂直方向发生弯曲。容量限制在 90 m³/h 左右，对于大多数颗粒应用来说偏低。

A.4.3.7 螺旋输送

螺旋输送机用于多种应用，如从料斗或仓库运输产品，运输距离可达 20m。平底筒仓可以有一个清扫螺旋输送机，将颗粒送入通向地下输送机系统的中央闸门。螺旋输送机也用于给锅炉投料。

螺旋输送机最适用于短距离运输，可实现完全封闭和防尘。也可倾斜和垂直输送，但会增加颗粒的损坏。螺旋输送机需要优化间隙和降低转速的特殊设计，以通过最大限度降低颗粒的损坏。它们可能很难完全空载运行，并且在处理颗粒时会产生噪音。

A.4.3.8 气动输送

气动输送有时用于将木材颗粒从船舶或驳船卸至发电厂。它也可用于发电厂内的颗粒运输。颗粒被气流夹带并高速移动，气流的任何弯曲都会导致颗粒与管壁碰撞，从而产生灰尘。颗粒通过分离器通过重力从气流中提取。由于发电厂通常将颗粒研磨成粉尘，因此降解本身不是问题，但输送机不适合作为长期储存的主要系统。粉尘以高速运输时会带静电，除非管道和接收收集器由耗散材料（通常为金属）制成。重要的是要确保通道设计正确，以避免灰尘着火。

气动输送机是封闭的，可最大限度地减少泄漏并保护颗粒，短弯曲的随机路径使得整体布局灵活，并且转移点可以完全防尘。

但是，功耗比带式输送机高 10-20 倍，应特别关注旋转阀、管道弯头等易损件的磨损情况。

A.4.4 粉尘处理

尽量减少粉尘的产生和有效的粉尘处理对于整体安全至关重要。

附录 C 提供了关于粉尘风险的进一步信息以及关于预防和减轻粉尘爆炸的建议。

A.5 储存设施

A.5.1 一般设计考虑

在选择存储类型（筒仓或平板存储）和大小时，应至少考虑以下内容：

- 操作类型（如颗粒生产商、港口短期储存、港口长期储存、动力/加热设备的主存储、颗粒分配器的中间存储等）。
- 所需的最小存储容量。特定颗粒的休止角将决定筒仓的填充程度。这可以在产品安全数据表或类似的产品规范中找到。
- 填充和卸载期间的典型数量（例如，卡车装载、一组轨道车、跨大西洋装船）。
- 预期周转（即最小/正常/最大存储时间）。
- 要储存的颗粒类型（来自一个来源或多个不同类型和来源）。渗透性大不相同的颗粒混合可导致自加热（见 B.2）。
- 自动化处理的需要。
- 可用于搬运和储存的土地面积。筒仓之间的位置和距离需要允许消防和救援车辆安全进入该区域。
- 地点（邻里活动）。
- 材料处理的可行性和措施，包括用于预防自热或火灾等问题的足够大的堆放区域（例如，仅储存设施或在可燃颗粒的发电/加热厂）。应急处理非常重要，强烈建议安装一个单独的输送机设计用于处理放热/阴燃/燃烧的材料。这一点在多个筒仓或料仓仅由一个输送机系统提供服务时尤为重要。

A.5.2 筒仓和圆顶

A.5.2.1 概述

筒仓既可用于短期储存，也可用于长期储存木材颗粒，除非提供适当的通风和冷却，否则通常不建议对新生产的颗粒进行长期储存。筒仓存储在处理和调节存储条件以及从安全角度进行监控方面具有高度自动化。但是，产品的目视检查只能从顶部进行，并不安全，因为顶部空间会积聚废气，并且会严重耗氧。

因此，需要考虑替代措施来监测存储，例如安装从筒仓悬挂的温度传感器电缆，以控制散装材料内部的温度和筒仓顶部空间中的某种形式的气体检测器和湿度传感器。根据筒仓的大小和正常周转/储存

时间，对各种检测系统的需求将有所不同。通常，应考虑在入口和出口（转运点输送机筒仓）安装一个检测系统。

对于周转非常快的小型筒仓（几个小时到几天），例如，对于中间存储，可能不需要额外的检测系统。

对于中小型筒仓，颗粒储存几天到几周，应考虑使用多气体检测器（MGD）或CO气体检测。如果通风程度较高（例如，通过除尘系统），则应考虑散装材料的温度监测系统，例如，从筒仓顶部悬挂的温度传感器电缆。

对于小/中/大型筒仓，球团可储存长达数月，应考虑使用气体检测系统（多气体检测器MGD或CO/CO₂）和散装材料温度监测系统。在大直径筒仓中，最好采用吸气式气体检测系统，以确保覆盖整个顶空体积。此外，温度传感器电缆的数量应延伸至覆盖整个散装材料。

筒仓的设计也很重要，以避免架桥和鼠洞的风险。如果筒仓直径较小，且散装物料中含有大量灰尘和细粉，并且在自加热/着火的情况下，水分和阴燃可能导致材料结块，则发生问题的风险会增加。在颗粒粉从顶部自由下落的过程中，颗粒和夹带的灰尘会自然分离。由于重力作用，颗粒沿着筒仓中的桩体斜坡向下滚动，并聚集在桩体周围，同时灰尘积聚在桩体中心。这有助于材料的桥接和打洞。这还会导致颗粒从筒仓流出时不均匀，在某些情况下会成为装运的质量问题。除了几何结构、产品质量以及颗粒和细料的分布外，料仓内物料流动的问题（例如桥接、鼠洞）与填充和排放操作的顺序密切相关

（D.2.5.4）。如果筒仓有一个所谓的“豆梯”、“谷物梯”或“填充管”，位于筒仓中心，从上到下提供滑动或阶梯式崩塌，则可消除分离。隔离也可以是通过在筒仓顶部进水口下方安装倒锥消除或至少最小化。圆锥体将使粉尘和颗粒更均匀地向周围扩散，如果直径设计正确，颗粒和粉尘的混合物将均匀地分布在桩中。这消除了大部分分层风险，也使物料从筒仓流出时更加均匀和均匀，此外，还应消除桥接和鼠洞的大部分风险。

在紧急情况下（散装自热/火灾、筒仓顶部空间粉尘/气体爆炸），快速排放的可能性非常有限。相反，必须使用安装在筒仓底部和筒仓顶部空间的固定惰性气体系统来控制情况，以避免进一步升级，并允许使用普通排放系统进行排放。然而，在复杂设施中，可能需要设计和安装单独的紧急排放系统（见注释）。

注：有许多筒仓火灾的例子，其中缺乏紧急排放造成了筒仓以受控方式排放的重大问题，在一些情况下，这导致了颗粒和筒仓的完全损失。如果多个筒仓仅使用一台输送机，则会增加复杂性和问题，因为存在火灾蔓延的风险。如果输送机系统位于筒仓下方的涵洞中，消防人员接近输送机也将更加困难。因此，强烈建议每个筒仓单独排放。

A.5.2.2 筒仓类型

A.5.2.2.1 大直径独立筒仓

大直径独立筒仓均为平底筒仓，建造在平坦的混凝土结构上，地面下方的涵洞中设有卸料输送机系统。主要散装物料通过一个或多个闸门通过重力排出，直到达到散装物料的休止角。然后，通常使用循环取料螺旋输送机将物料送入闸门所在的中心，从而实现完全卸料。对于在技术上不可行的超大直径筒仓，通过在地面结构下方使用多个平行输送机系统形成多个卸料口，从而最大限度地减少剩余物料，进而实现最终卸料。但是，最终卸料必须用到轮式装载机进行完全卸料。另一种替代方案是使用振动地板结构，该结构可实现完全卸料，且无需手动操作。

大直径筒仓有三种不同的施工原则。

---钢筒仓，其墙体结构由焊接钢或由螺栓连接在一起的波纹钢板弯曲段制成。墙体结构不能承受任何朝向墙的不均匀荷载，这意味着筒仓应通过筒仓底部中心的闸门通过重力均匀卸料。屋顶也是一个钢结构，与筒仓壁相连。屋顶可配备防爆板（见注释）。

---具有混凝土墙结构的筒仓，通过使用连接在一起的混凝土墙构件形成圆形墙，或通过筒仓墙的常规成型/滑动成型。由于墙体结构更坚固，因此能够承受朝向墙体的不均匀荷载。这些筒仓通常有一个很

大的空间，墙壁上的门开口使轮式装载机能够进入，例如筒仓的最终卸料。屋顶为钢结构，连接至筒仓壁。屋顶可配备防爆板（见注释）。

---穹顶筒仓由一个半球形钢筋混凝土薄壳构成。圆顶的外表面由一个加固的 PVC 翼型组成，在初始施工阶段，该翼型由一个风扇系统充气。PVC 翼型的内部覆盖有喷涂泡沫隔热层，达到确定的厚度，然后进行钢筋和喷射混凝土喷涂，以获得混凝土外壳的必要厚度。由于施工方法，圆顶筒仓通常比钢筒仓更密封。该结构非常坚固，可以承受约 1 bar 的超压，屋顶结构可以承受相当大的荷载。

注释 在大直径筒仓内发生爆炸时，即使顶部配备了爆炸通风口，仍出现过整个筒仓顶部通过从筒仓壁结构上抬起，然后再次倒下，起到爆炸通风口的作用的例子。在某些情况下，屋顶的一部分也会被抛开，掉到筒仓壁旁的地面上。由于可能无法降低筒仓顶部空间中的氧气浓度，有效的惰化过程将受到阻碍。

A.5.2.2.2 塔式筒仓

通常是非常高的混凝土结构（通常为 25 m 至 50 m，但可能更高），许多独立筒仓单元（直径通常为 4 m 至 12 m）连接到一个大型单元，包括 10 至 30 个独立单元。现有的塔式筒仓通常用于处理和储存粮食、动物饲料，在某些应用中，塔式筒仓也用于球团储存。

塔式筒仓通过重力卸料，底部呈锥形/倾斜，朝向位于输送机系统上方的卸料口，通常适用于多个筒仓单元。

A.5.2.2.3 中小型筒仓

---独立式钢筒仓（通常直径 3 m 至 10 m，高度 5 m 至 15 m），通过锥形料斗重力卸料。

---矩形筒仓结构（通过几个锥形料斗重力卸料或通过螺旋/链式输送机沿一个矩形料斗卸料）。

对于这种类型的筒仓，筒仓壁有时采用低摩擦涂层处理，例如聚四氟乙烯（PTFE），以改善流动性并减少悬挂和架桥的倾向。

A.5.3 燃料坑

A.5.3.1 小型燃料坑

用于颗粒存储的小型燃料坑，通常称为“颗粒燃料坑”，通常是指位于地下或地下室的燃料仓，其检修门从混凝土或钢制成的垂直面进入。燃料坑可以通过卡车倾卸来填充，但主要是通过筒仓卡车的连接器吹入颗粒。地下仓库只有一个检修孔，但没有垂直的检修门。

许多此类燃料库/颗粒库的尺寸和容量有限，且符合 ISO 20023 的规定。

A.5.3.2 中型和大型燃料坑

在颗粒被转移到锅炉中之前，燃料坑通常用作最后的短期缓冲储存，在某些情况下，通过研磨装置转移。该结构类似于带有一个或多个锥形料斗的矩形筒仓结构，其中颗粒通过旋转阀或底部的螺旋输送机自由流动排出。与筒仓不同的是，燃料坑有一个开口顶部结构，因此集成在覆盖整个燃料坑的独立建筑（燃料坑房）中。颗粒通常由沿料仓顶部料仓室运行的皮带输送机装入料坑，从而允许颗粒在任何位置卸入料坑。由于填充过程会产生大量灰尘，建议安装燃料坑盖，比如覆盖结构，并配备空气分离系统以减少灰尘向燃料坑扩散。燃料坑覆盖结构还降低了异物落入球团的风险。

一般来说，颗粒的翻转相对较短，但对于筒仓而言，对仓内的温度进行监测，并对燃料坑和燃料坑房中的气体进行监测是很重要的。另外，在输送机上安装一个火源检测系统以检测进料颗粒也很重要。由于粉尘的产生，对整个料仓以及安装在料仓和设备进行彻底的区域分类至关重要。应通过建设性措施尽可能减少料仓/料仓内表面上的累积灰尘，例如最大限度地减少横梁上的水平表面积。料仓和设备需要特别注意保管和维护，粉尘监测系统可用于验证除尘系统是否正常工作。

尽管移交时间很短，仍应考虑因计划外停机或紧急情况而紧急排放的必要性/可能性。固定式消防系统（泡沫、CAFS）很可能是保护料仓房和料仓顶部所必需的，而料仓内散装材料惰化系统的需要取决于紧急排放的可能性。

A.5.4 仓库

仓库的主要优势在于，与具有类似容量的筒仓相比，其建造成本更低，并提供一定程度的灵活性，例如，可以在仓库中的不同区域储存不同质量的颗粒。储存还为对储存的颗粒进行目视检查提供了良好的可能性。仓库在自加热/火灾情况下也有一些优势，因为可能会排放造成问题的特定区域的颗粒。

主要缺点是仓库在正常运行期间通常需要更多的人力。颗粒的卸料主要通过使用轮式装载机将颗粒从料堆移动至料斗、筛子或料仓，以便进一步输送至装载站或锅炉系统等。另一个缺点是灰尘的形成。尽管主要使用沿天花板的带式输送机系统对仓库进行自动填充，但从输送机下降到地板/颗粒堆会导致粉尘形成。因此，应考虑采用某种形式的抑尘系统。使用轮式装载机卸料时也会产生灰尘，尤其是将铲斗卸入料斗时。应通过施工措施尽可能减少仓库内表面上的累积灰尘，例如，结合清洁程序尽量减少横梁上的水平表面积。总的来说，需要从健康角度和火灾/爆炸角度，对仓库中的正常操作可能造成的多尘环境以及颗粒可能产生的尾气加以考虑。

如果仓库很大，用于季节性储存，且没有将其分成单独的堆，则仅进行目视检查不足以确保检测到堆中的任何自热倾向。为了监测地表或近地表温度，可以使用红外传感器。在某些情况下，可手动引入桩内的带温度传感器的标枪来补充/改进控制。然而，这需要人员在桩顶行走，可能造成安全风险（如排气、灰尘和包裹），同时存在一个问题，即标枪只能在桩内 1-2 m 处提供温度测量。为了监测整个散装货物的温度状况，可能有必要在仓库天花板上安装温度传感器电缆。这可能会在使用轮式装载机卸料期间造成问题，但也有一些在继续卸料时将温度线移出该区域的实例。至于筒仓储存，可能还需要在仓库天花板上安装烟雾和气体探测系统以及湿度传感器。

综上所述，仓库的卸货过程通常涉及使用轮式装载机，装载机可能包含多个潜在的点火源。如果建筑物被划分为区域，则应在运行前消除这些缺陷。这可能需要对作为潜在点火源的各个部件（例如，排气系统、发动机、灯）采取特殊措施。也可能有与分类区域内设备使用相关的具体要求，包括维护和检查流程。

附录 B

(资料性)

自加热及自产气

B.1 引言

本附件简要描述了在处理和储存生物质燃料颗粒时需要考虑的自热和自产气现象。文本基于 IEA 指南(IEA, 2013)第 3 和 4 条的某些部分。更多详细信息, 请参阅 IEA 文件。更进一步的信息也可从 The Pellet Handbook (Oberberger and Thek, 2010)中获得。自产气是自热的结果, 早期检测到废气, 特别是一氧化碳, 是颗粒堆发生化学反应的迹象。参见附录 E, 了解一种防止料仓自热产生废气的方法。

B.2 自热现象的一般说明

自热是一个公认的问题, 已经在许多不同的原料和不同的条件下观察到这一问题。最有名的易于自热和自燃的物料是浸油的织布类。然而, 任何可以分解或被空气氧化的物料在某些情况下都可以放热达到自燃 (Babrauskas, 2003 年)。自热可被视为最终可能导致自燃过程的第一步。Babrauskas(Babrauskas, 2003)将这些步骤定义为以下步骤:

- a) 自热: 由于燃料中的放热反应而导致的温度升高。
- b) 热失控: 快速加速至高温的自热。
- c) 自燃: 阴燃辉光或因热失控而燃烧。

根据该定义, 自燃不一定是明火。当初始反应到达与空气接触的表面时, 或者当物料中产生的气体与筒仓顶部空间中的空气混合并点燃时, 就会产生明火。由于颗粒之间的空隙通常小于淬灭直径, 因此在料堆内很少出现明火。由于初始反应的扩散受到氧气可用性的影响, 因此扩散并不总是对称的, 而是跟随氧气, 这会导致料堆中出现奇怪的阴燃现象。由于加热和冷却过程之间关系, 自热通常在料堆的中心最为明显。堆内的热对流推动热量向上, 例如不同体积渗透率的颗粒混合导致不均匀, 例如堆内灰尘层的分层阻塞自然对流, 湿点和氧气的不对称性, 导致自热可能并不总是发生在料堆中心。如果将生物质颗粒集中堆叠起来, 则在从堆中取出生物质颗粒时存在发生明火的风险, 因为氧气可能接近发生阴燃的部位。

在容易自热的生物质颗粒中, 自热过程发生在所有物料中。通过散热可以控制温度升高。环境温度和其他条件使得散热大于自热的系统称为亚临界系统。这意味着增加热导率或降低反应热将降低自热倾向。热量的产生与生物质颗粒料堆的体积成正比, 而冷却与暴露的表面积成正比。因此, 自热趋势与体积/表面比成正比。

生物质中的自热是一种公认的现象 (Kubler, 1987)。这些材料通常是多孔的, 受到来自生物代谢反应 (微生物生长)、放热化学反应 (化学氧化) 或热物理过程 (例如吸湿) 产生的热量影响, 因此容易发生自热和自燃。受到三个过程单独或组合作用, 其中主导过程取决于条件, 例如温度和水分含量。所涉及的氧化反应发生在材料颗粒的表面 (涉及固相反应), 这意味着具有大表面积与体积比的多孔材料会出现自热和自燃问题。

高于此温度, 化学氧化占主导地位并进一步升高温度, 在许多情况下达到不受控制的温度范围。生物质中的自加热是一种公认的现象 (Kubler, 1987)。生物制燃料颗粒易受生物代谢反应 (微生物生长)、放热化学反应 (化学氧化) 和产热物理过程 (例如吸湿) 的影响产生热量, 因此易于自热和自燃。这三

个过程可以单独或组合进行，其中主要过程取决于条件，例如温度和水分含量。所涉及的氧化反应发生在材料颗粒表面（涉及固相反应），这意味着具有较大表面积与体积比的多孔材料会出现自热和自燃问题。如上所述，自热会发生在许多不同的原料中，例如：大多数有机物质、农产品和食品。

如上所述，许多不同的材料（例如，大多数有机物质、农产品和食品）都会发生自热，但只有当产生的热量无法及时散热，自热才会成为问题。散热过程取决于材料的性质、储存的大小和形状以及环境条件。

原料的含水率同样会影响自热反应过程。含水量高会导致在蒸发的过程中吸收大量的热量而限制自热反应。另一方面，颗粒的水含量升高至 16% 以上会促进微生物发酵过程（Krause, 2009）。对于干燥原料，添加水会由于吸附/冷凝热而导致温度升高。多孔材料的导热性受水分含量的显著影响，特别是对于温度为 60°C 至 100°C 的材料（Sjöström 和 Blomqvist, 2014 年）。不同类型的生物质颗粒在储存时的自热和排气方面表现非常不同。干燥固体生物燃料，如木屑颗粒、煤球和其他干燥固体生物燃料，需要保护储存，以保持燃料的结构和低水分含量。这可以在筒仓或室内完成，例如在 A 型框架建筑中。燃料颗粒生产的原料通常是木材（锯末、刨花、木片、收获残渣等）。木材是一种复杂的材料，含有纤维素、半纤维素和木质素以及一些萃取性化合物，如萜烯、脂肪酸和树脂酸和酚类等。不同种类的树种含有不同量的这些化合物；并且可能发生季节性变化。

生物燃料颗粒本身是无菌的（不含细菌、酵母或霉菌），因为在干燥过程中严重暴露于热、锤磨过程中的分馏以及在挤压成颗粒过程中的压力。颗粒生产中相对高温状态和所得颗粒的低水分含量的综合影响足以限制生物活性。但是，如果生产后被水污染，木屑颗粒可能会滋生微生物，导致自热和排气。生物燃料颗粒也会受到氧化以及堆中水动力水分迁移的影响，从而导致自热和排气。

燃料颗粒在大规模储存中肯定会发生自热，但在某些情况下，在正常环境温度下储存的较小堆中也会发生自热。对于木质颗粒，自热趋势似乎在不同质量的颗粒之间有所不同，并且在生产后相对较短的时间内最为明显。据观察，在颗粒储存期间，堆或筒仓中的温度会在生产后几天甚至几小时内升高。温度可能会有所不同，具体取决于粒料原材料，大多数情况下约为 60°C 至 65°C（Arshadi 和 Gref, 2005; Arshadi 等人, 2009）。温度升高有时会更（对于某些颗粒质量高达 90°C），但在这样的温度下，温度失控导致自燃的风险会增加，特别是如果堆的体积很大或颗粒储存在筒仓中。处理此类温度的最常见程序是将颗粒以薄层分布在桩表面上，以实现最大程度的冷却。用这些类型的颗粒以高填充率填充筒仓将限制冷却的可能性并增加温度失控的风险。混合不同水分含量的颗粒是另一个潜在的产热来源，因为在平衡堆中水分的过程中会产生热量。

部分热量的产生也可能是由于材料中存在易氧化成分导致的低温氧化。有人提出，燃料中高含量的不饱和脂肪酸会增加木质颗粒的低温氧化和自热问题（Arshadi 和 Gref, 2005 年）。氧化过程非常复杂，主要是以链式反应（自由基反应）为主。在这些反应中，颗粒中的脂肪酸被氧化成醛和酮，并伴随着热量的产生。这些醛和酮进一步氧化将产生小分子羧酸（Arshadi 和 Gref, 2005 年）。

这些挥发性有机化合物已在颗粒储存过程中检测到。

新鲜的松木屑含有大量的不饱和脂肪酸。

此外，颗粒吸收水分是一个放热过程，会产生热量。涉及两种现象：冷凝热和差热。颗粒具有吸湿性，并且在空气湿度高的情况下会吸收空气中的水蒸气，尤其是在颗粒表面温度低于空气温度的情况下（Arshadi 等人, 2009 年）。一旦被吸收，水蒸气会在颗粒表面冷凝，然后释放冷凝热。

当水分含量在从初始设定点到饱和点的区间内增加时，会释放不同的吸附热。当从空气中吸收水分时，释放的冷凝热远大于差热。

当倾向于表现出一种或多种发热过程的颗粒大量储存时，堆内温度会升高，这可能导致颗粒储存设施中的自燃。储存颗粒的自热过程导致的主要风险如下，按发生顺序排列：

----室息性气体（主要是 CO₂）和有毒气体（如 CO）以及刺激性气体（如醛类和萜烯）的释放（另见 B.3）。自燃导致散装材料热解并释放热解/燃烧气体。

----气体和/或粉尘爆炸，通常是由于人员在火灾救援工作中接近筒仓顶部隔间引起的，另见 D.2.4、D.2.5.2。

----地面火灾和火灾蔓延，通常由筒仓爆炸引起。

B.3 排气现象的一般说明

B.3.1 总则

尾气排放是指固体生物燃料颗粒在供应链（即从制造到终端使用）中排放不同的挥发性化合物。原料的种类、生产前的处理以及造粒条件都会对排气特性和排放的气体产生影响。观察到的废弃可分为可冷凝气体和不可冷凝气体。

然而，导致废弃产生的机制以及这些机制如何受原材料特性、工艺参数和储存条件的影响目前尚不为人所知。自热通常被认为是产生废气的前兆。木质纤维素生物质，例如固体生物质燃料颗粒会发生化学氧化（有时称为自动氧化），并且在某些潮湿环境下也可能发生微生物分解，产生热量和不凝性气体（CO、CO₂、CH₄、H₂）作为可冷凝气体(VOC)。此外，生物质会遭受机械降解，产生细小的粉尘颗粒，如果被吸入，这会带来健康风险，也会带来火灾和爆炸的安全风险，Oberberger 和 Thek, 2010 年）。自热与脂肪酸和树脂酸的自氧化（Arshadi 等人，2009 年；Svedberg 等人，2004 年；Arshadi 和 Gref, 2005 年）相关，这会促进可冷凝和不可冷凝气体的排放。萃取物的含量越高，废气的含量就越高。

B.3.2 可冷凝气体

B.3.2.1 概述

在高温下，干燥树脂和脂肪酸会迁移到木材颗粒表面，在那里它们更容易水解和氧化（Nielsen, 2009）。这些化学过程改变了生物质分子结构的成分，并产生了挥发性有机化合物，如醛类、酮类、羧酸类和萜烯类，其中一些在木材老化的各个阶段形成了木材特有的气味（Back 和 Allen, 2000）。

B.3.2.2 可冷凝气体的健康注意事项

醛类物质的排放是一个健康问题。戊醛和己醛从储存的小球中以高水平排放。已知己醛是一种可引起皮肤刺激并影响上呼吸道的物质。它可以通过皮肤接触或吸入进入人体，因此，它可以被视为职业和家庭健康危害（Svedberg 等人，2004 年）。国家和国际组织发布的有关职业接触限值（OEL）的准则更多详情，应咨询区域当局和颗粒制造商在安全数据表中提供的信息。表 B.1 显示了一些醛的接触限值：

表 B.1-某些常见醛的允许暴露限值（PEL）和短期暴露限值（STEL）（AFS 2018:1）

醛类	CAS nr	PEL (工作日)	STEL(15 分钟)
乙醛	75-07-0	25 ppm(45 mg/m ³)	50 ppm (90 mg/m ³)
甲醛	50-00-0	0.3 ppm(0.37 mg/m ³)	0.6 ppm (0.74 mg/m ³)
糠醛	98-01-01	2 ppm(8 mg/m ³)	5 ppm (20 mg/m ³)
戊二醛	111-30-8	-	0.1ppm (0.4mg/m ³)

参考书目提供了可冷凝气体排放研究的综合文件清单。发生可冷凝气体排放的区域应适当通风，以保持浓度低于规定的 OEL。工作场所的组织应确保工作人员不必在这些区域花费超过必要的时间，即使浓度低于 OEL。

职业卫生学家应评估已知发生排放的区域，操作计划或类似文件应包括人员指南，以尽量减少暴露时间。

B.3.3 不凝性气体

B.3.3.1 概述

木质纤维素生物质在储存过程中排放的不凝性气体主要有 CO、CO₂ 和 CH₄。在安全地设计特定存储系统时，了解存储量和速率非常重要。与可冷凝气体一样，排气特性可能因类型和来源而异，比如材料、生产方式、含水量等。由于这些不可冷凝气体会导致氧气耗尽，在某些情况下可能有毒，因此需要确保储藏室充分通风，必需的二氧化碳的情况尤其如此，因为它比空气重，因此可能会安置在存储仓中或流向较低位置的燃油排放区域。

注：目前正在使用一种测试方法来确定固体生物燃料颗粒的排气和耗氧在 ISO/TC 238/WG 7 (ISO TS/WD 20048-1) 范围内开发。

B.3.3.2 不凝性气体健康注意事项

CO 是生物质中所含脂肪自氧化过程的产物，其排放通常与己醛相关 (Svedberg 等人, 2004 年)。CO 是一种有毒物质，与血红蛋白的化学亲和力比氧气强 245 倍，血红蛋白是一种将氧气输送到人体组织的血液蛋白。然而，它与这种蛋白质的结合率比与氧气的结合率慢 20% (NRC, 2010)。当环境中存在高浓度的 CO 和低浓度的氧气时，血红蛋白与 CO 结合，形成碳氧血红蛋白 (COHb)。COHb 的存在不仅会导致与血红蛋白结合的氧气减少，还会影响氧合血红蛋白的解离，最终导致组织氧分压降低导致组织缺氧 (NRC, 2010)。我们体内 COHb 的正常水平为 0.5% 至 0.8%，而吸烟可呈现高达 8% 的浓度。致命阈值水平被认为是 40% (NRC, 2010)。已知以下对人类健康的影响 (NRC, 2010)：

---暴露于 420 ppm 以上 10 分钟或 150 ppm 30 分钟以上的一氧化碳会导致不可逆转或严重、长期的不良健康影响，或逃生能力受损，包括易感个体 (患有心血管疾病的人)；

---暴露于 1700 ppm 以上 10 分钟、600 ppm 持续 30 分钟或 330 ppm 持续 60 分钟可能会导致危及生命的健康影响或死亡

CO₂ 置换导致窒息的空气 (氧气)。大量或长期暴露于二氧化碳和缺氧的症状是头痛、心率加快、头晕、疲劳、呼吸急促、视觉和听觉功能障碍：

---当二氧化碳含量为 3% 时，呼吸频率加倍；

---当二氧化碳浓度为 5% 时，呼吸速度是正常速度的四倍。超过上述浓度时，CO₂ 浓度直接有毒。因此，储存室和较低位置的燃料排放区域的适当通风至关重要。

木块释放的 CH₄ (甲烷) 无毒，但与 CO₂ 一起，通过置换空气 (氧气) 增加窒息风险。由于氧气耗尽，吸入高浓度甲烷可能对健康造成的影响包括呼吸和脉搏频率增加、肌肉协调性不足、情绪不安、恶心和呕吐、意识丧失、呼吸衰竭和死亡。

B.3.3.3 耗氧

上文第 B.3 节中提到的自动氧化导致生物质颗粒在封闭储存空间中的氧气迅速耗尽。因此，建议保持 19.5% 的最低氧气水平，同时监测 CO 水平。国际海事组织 (IMO) 禁止进入空间，除非氧气含量至少为 20.7%，一氧化碳含量最高为 100 ppm (Oberberger 和 Thek, 2010 年)。目前可避免 CO 中毒的安全指南考虑适当的区域通风，使用 CO 和 O₂ 的气体表，当这些气体的水平不在安全范围内时使用自备的呼吸器 (Oberberger 和 Tek, 2010)。

缺氧会自发增加呼吸速率，在 CO 浓度较高的环境中，呼吸速率会迅速增加有毒 CO 的摄入，称为过度通气 (或低通气)。在氧气含量低于 5% 的大气中呼吸会在几个呼吸周期内导致无意识，是极其危险的。大约 20% 的氧气摄入进入大脑，大脑对缺氧非常敏感。封闭式顶部空间 (如船舱和大型封闭式

仓库)中的氧气水平在几天内可达到5%的氧气水平。事实上,国际海事组织条例规定,在远洋航行期间,应关闭舱口盖,以尽可能降低氧气含量,消除船舱火灾风险(国际海事组织,1974年)。应注意氧气水平与CO的结合。氧气耗尽有时甚至更危险。海平面空气中的氧含量为20.9%。应注意规定的19.5%氧气的最低可接受水平,允许1.4%的其他气体,其中一些可能是CO₂或CO。1.4%与14000ppm相同,其中很大一部分可以掩盖CO的存在(如B.3.3.2所示,将健康暴露风险与1700ppm水平下的潜在致命结果进行比较)。同时测量密闭空间中的氧气和CO浓度至关重要。

附录 C

(资料性)

粉尘导致的火灾和爆炸及对应风险预防措施

C.1 引言

附录 C 提供了设计、操作和维护生物质颗粒储存过程中产生的粉尘，有助于提高安全性的指南。本文件解释了产生粉尘的生物质固体燃料在搬运和储存过程中的环境和风险，以及减少接触的常见措施。涉及处理或储存可能存在潜在爆炸性粉尘或气体的生物质固体燃料颗粒的所有操作区域应划分并分类为应考虑国家或地区法规的风险区域（见 C.5）。在设计和运行期间都应考虑风险和后果降低措施。术语“可燃粉尘”和“易爆粉尘”通常可以互换，“爆炸性”和“可燃性”也是如此。在本文件中，使用术语“可燃性粉尘”和“可燃性”。

C.2 粉尘和爆炸的分类

C.2.1 总则

在处理 and 储存过程中，生物质固体燃料颗粒由于磨损和冲击而释放出各种大小的碎片。释放的碎片量取决于产品的耐用性。在生产过程中，生物质固体燃料颗粒中也固地夹带了细粒和灰尘。在处理和储存过程中吸收水分会逐渐分解生物质固体燃料颗粒，并对可燃性特性产生重大影响。此外，由于材料化学和机械结构的变化，生物质固体燃料颗粒的老化往往会降低耐久性。处理和丢弃的次数越多，生成的片段就越多。

生物质固体燃料颗粒的生产、处理和储存过程中产生的粉尘可能具有非常不同的形状和大小。源自锯末和打磨操作的粉尘通常是球形的，而源自刨花和锤磨原料的粉尘通常是扁平的。来自颗粒的灰尘通常以大表面积（有时称为“二维”）压缩。可燃粉尘的定义在各种标准和指南中可能略有不同，但本文件中也使用的普遍接受的定义是小于 500 μm (3.1.1) 的颗粒。颗粒越小，风险越大。小于 100 μm 的颗粒在沉降之前可以传播一段距离，小于 1 μm 的灰尘可以在空气中停留几乎无限时间并传播很长的距离。因此，如果控制不当，灰尘会在远离源头的地方堆积并在制造工厂内外形成层。

在搬运和储存过程中，由于磨损和撞击，固体生物燃料颗粒会释放出各种大小的碎片。释放的碎片数量取决于产品的耐久性。

根据其特性，灰尘可分为“一次”或“二次”，其特征如下：

----一次粉尘：在生产或其他工作过程中产生，存在于产尘或废物处理设备附近或下方的地板和表面上。一次粉尘是二次粉尘的来源。一次扬尘主要由更绿、更潮湿和更粗的颗粒物组成，而未经管理的一次扬尘如果不及时消除，会随着时间的推移释放出更细、更干燥的二次扬尘。

----二次粉尘：广泛分散的细颗粒和干燥颗粒，通常沉积在远离生产或处理区域的表面上，如椽子、天花板和横梁、管道系统、墙壁、接头、机械、机柜，甚至是表面粗糙的墙壁。

爆炸也分为“一次”或“二次”爆炸，其特征如下：

----一次爆炸：通常发生在粉尘收集系统或处理设备中的事件，粉尘层或粉尘云容易形成，并直接受到火花、静电放电、热粒子或火焰等火源的影响。

----二次爆炸：当粉尘层受到干扰并形成尘云，并被一次爆炸（也称为爆燃）点燃时发生的事件，这意味着燃烧材料以非常高的速度分布。燃烧的材料可能撞击物体和人员，造成重大损坏或损伤。图 C.1 说明了一次爆炸到二次爆炸的过程。

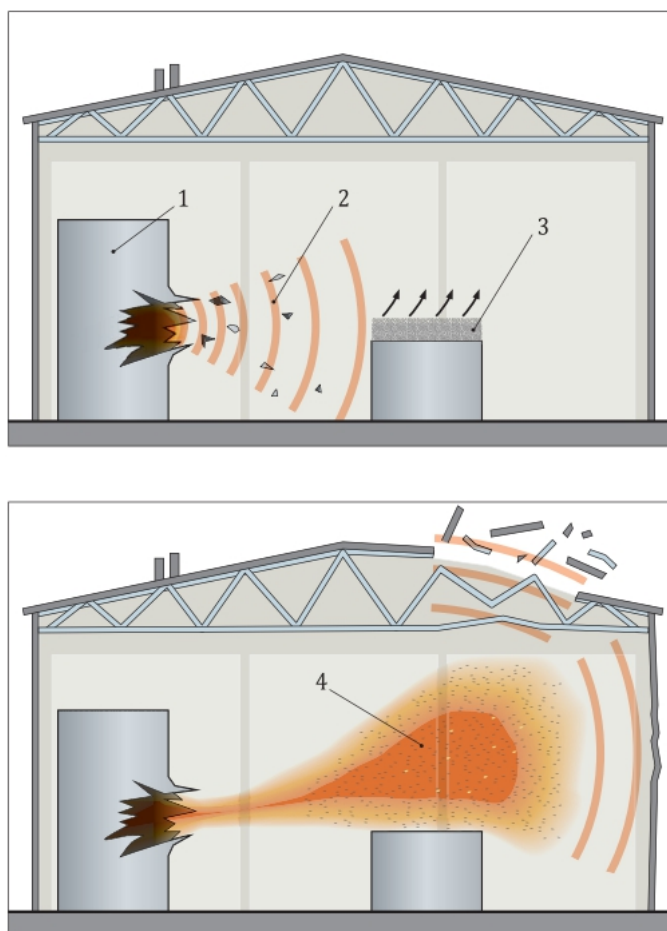


图 C.1-一次有限爆炸发展为一次或多次大型二次爆炸的原理

图中：

- 1 爆炸主体
- 2 冲击波
- 3 夹带粉尘层，形成尘云
- 4 可能导致广泛的二次爆炸

生物质固体燃料颗粒产生的粉尘需要高温（C.4.2）或大量能量（C.4.4）才能点燃悬浮在空气中的粉尘。此外，粉尘浓度需要超过最小爆炸浓度（C.4.8）。

经验法则是，在 2 米的距离处，阻挡 400 流明光输出（相当于 25 W 白炽灯或 6,6 W LED）的灯的浓度表明存在爆炸风险。这种高粉尘浓度仅存在于某些区域，如封闭式料斗或料仓以及料仓中的特定区域。

对于尘云而言，点燃粉尘层所需的温度要低得多（C.4.3），由于木质材料的导热系数极低，粉尘层越厚，点燃温度越低。在操作设施中经常会发现几毫米厚的粉尘层，这是一个主要的风险，因为热颗粒很容易落在粉尘层上并引起着火。

C.2.2 粒度分布的测定

生物质固体燃料颗粒处理设施有几个单元操作（卸载、输送机转运点、斗式提升机、使用前装载机移动物料、装载到存储空间、装载车辆等—见A.2）。每次操作都会产生和积聚不同粒度分布的粉尘。建议从已知粉尘积聚的位置了解粉尘的粒度分布，以确保在确定所处理材料的粉尘燃烧性参考值时，为测试目的采集的样品具有代表性。应根据ISO 17827-2测定待测细料和粉尘的粒度分布。

生物质固体燃料颗粒通常在燃烧前在粉碎机或锤式粉碎机中粉碎成细粉尘。还有可用的计算机辅助图像分析仪，它不仅提供粒度分布，还提供形状分布，这在优化能量转换期间的燃烧性能时很有价值。

C.3 粉尘爆炸性和相关消防安全特性试验

C.3.1 总则

测试粉尘的爆炸性需要工业测试实验室通常没有的专用设备。每个实验室都需要特殊认证，并定期接受检查。测试程序的性质还需要经过专门培训的人员和安全预防措施。需要几个参数来全面评估粉尘的风险。C.4提供了更常见测试的方向。送往爆炸实验室进行测试的所有材料在到达时本质上被归类为危险材料，并由实验室进行相应的处理和储存。

C.3.2 试验用粉尘的取样和样品制备

对具有大颗粒和高含水量的“原样”粉尘进行测试，不一定能为设施的安全设计提供可靠的可燃性数据。此外，使用手册中常见的“木粉”的特性并不一定代表生物质固体燃料颗粒产生的灰尘。

因此，测试特定设施产生的粉尘是确定粉尘燃烧特性的最佳方法。以下章节提供了确定安全操作、维护、搬运设备和储存设施设计（C.4）最重要参数的试验方法参考。

用于测试的样品应始终从粉尘层收集，最好是累积的“二次”粉尘（C.2），具有最高的着火或爆炸倾向。但是，根据空气循环设施内的颗粒大小和形状，粉尘很容易被远距离输送，因此有时难以收集或组装代表性样品进行测试。风险评估和风险区评估（C.5）与位于某一区域的设备相关，在选择用于测试的样品时应予以考虑。来自多个不同装置操作的综合除尘袋室的灰尘可能具有代表性，适合测试。

如果无法获得足够数量的代表性粉尘进行测试，在这种情况下，可通过研磨产生粉尘。粉尘应从类似原料制成的颗粒中产生，或者如果不可能，粉尘应从拟用于制造生物质固体燃料颗粒的原料中产生。然而，研磨、锯磨和砂磨作业产生的粉尘可能不同于生物质固体燃料颗粒产生的粉尘（C.2）。

C.3.3 测试用粉尘样品的装运

由于水分会影响灰尘的燃烧性，从而影响测试结果，因此保护样品免受空气中水分的侵入非常重要。样品应包装在密封容器中。

应筛选试样，使其尺寸符合相应试验方法规定的粒度分布。如果无法在装运前进行此类筛选，应联系实验室确认实验室是否可以此类筛选。

测试所需的样本量取决于所要求的测试类型。C.4中提到的大多数测试都是迭代的，需要许多单独的测试来确定代表性的参数值。应咨询实验室，以估计所需量。

有关样品的适当包装和标签，请联系实验室。国际和国家法规要求任何危险品的装运均应附有说明、商业文件和产品安全数据表（如有），以确定预期特性以及材料的健康。

C.4 确定可燃粉尘的安全特性

C.4.1 总则

由于两种状态下的反应性非常不同，因此灰尘以悬浮形式和层状形式进行测试。粉尘的反应性在专业实验室进行测试，而商业测试实验室通常不会进行测试。实验室通常符合ISO/IEC 17025标准。制造商发布的产品安全数据表通常提供每个特定品牌的生物质固体燃料颗粒颗粒的详细信息。

生物质固体燃料颗粒颗粒的爆炸特性取决于试样的含水量和粒度分布。ASTM标准（如ASTM E1226）和NFPA指南（如NFPA 68）规定了95%减去200目（ $<75\mu\text{m}$ ）的粒度和 $<5\%$ 的水分用于测试样品，并规定了再现性和重复性范围。ISO/IEC 80079-20-2没有规定严格的水分和粒度分布值，也不提供再现性或重复性范围。这意味着水分和粒度分布以及试验方法需要记录在试验报告中。因此，使用不同的试验方法不一定会产生可比较的结果。

以下各节介绍了用于表征生物质固体燃料颗粒和相关粉尘的主要参数的设计方向。参考标准提供了测试程序的详细说明。

C.4.2 尘云最低点火温度（MIT）的测定

尘云在受热面上的点火行为由尘云的最低点火温度（MIT）描述，也称为尘云的自动点火。其定义为在规定试验条件下（ISO/IEC 80079-20-2或ASTM E1491），热表面触发粉尘和空气混合物点火的最低温度。试验方法使用试验方法中规定的Godbert Greenwald（GG）或BAM仪器。

C.4.3 粉尘层自燃温度（TL）的测定

应根据ISO/IEC 80079-20-2或ASTM E2021标准，在规定的条件下，通过使用加热板加热特定厚度的粉尘，直到其点燃，从而确定粉尘层（TL）的自燃温度。使用不同的厚度可以外推到其他厚度。

C.4.4 最小点火能量（MIE）的测定

根据ISO/IEC 80079-20-2或ASTM E2019，应在规定条件下使用哈特曼管测定最小点火能量（MIE）。MIE是一种测量点燃尘云所需静电放电能量的方法，根据湿度、颗粒大小和形状，其变化范围很大。

C.4.5 尘云最大爆炸压力（P_{MAX}）的测定

根据ISO/IEC 80079-20-2或ASTM E1226，应在规定条件下使用Siwek爆炸室测定最大爆炸性压力（ P_{MAX} ）。粉尘在封闭的室内湍流、点燃和爆炸。 P_{MAX} 是爆炸过程中预期压力的度量单位，单位为bar。 P_{MAX} 是设计爆炸泄放时使用的关键参数之一。

C.4.6 最大爆炸压力率（ dp/dt_{MAX} ）的测定

根据ISO/IEC 80079-20-2或ASTM E1226，应在规定条件下使用Siwek爆炸室测定爆燃指数（ K_{ST} ）。粉尘在封闭的室内湍流、点燃和爆炸。 dp/dt_{MAX} 是爆炸期间最大压力速率的度量单位，单位为bar/s。

C.4.7 尘云爆燃指数（ K_{ST} ）的测定

爆燃指数（ K_{ST} ）是基于 dp/dt_{MAX} 的计算值，应按照ASTM E1226和NFPA 68或EN 14034-2的公式（C.1）进行计算。 K_{ST} 是以巴为单位的最大压力升高的测量值·在爆炸过程中以米/秒的速度移动。

$$K_{ST} = dp/dt_{MAX} V^{1/3} \quad (C.1)$$

式中

p是压力，单位为bar；

t是时间，单位为s；

V是体积，单位为 m^3

C.4.8 最小爆炸浓度（MEC）的测定

根据ISO/IEC 80079-20-2或ASTM E1515，应在规定条件下使用Siwek爆炸室测定最小爆炸浓度（MEC）。

粉尘在封闭的室内湍流、点燃和爆炸。MEC是测量点燃时发生爆炸所需的最小粉尘浓度，单位为 g/m^3 。由于它是粉尘控制的关键参数之一，经验法则是选择一个低于实际测量值的值，用于设计目的。

C.4.9 极限氧浓度（LOC）的测定

根据ISO/IEC 80079-20-2或ASTM E1515，应在规定条件下使用Siwek爆炸室测定极限氧浓度（LOC）。粉尘在封闭的室内湍流、点燃和爆炸。LOC是测量点燃时发生爆炸所需的最小氧气浓度百分比。该基本参数用于确保仓库、船舶货舱等的安全大气，并可用于估算大型筒仓顶部空间惰性化所需的惰性气体。

C.4.10 直流（DC）电阻率的测定。

木材产生的灰尘具有很高的直流（DC）电阻率，因此当材料在非导电导管或未正确接地的导管中运输时，容易积聚摩擦电荷。如果导管或管道接地，电荷会流到导电表面，几乎不会造成威胁。输送固体生物燃料颗粒的进料管、料斗、导管，尤其是高速时，应始终接地。如果分段，每个元件应直接接地或至少与接地元件连接。接地是装卸设施设计中最重要安全考虑因素之一。这也适用于固定软管系统以及符合IEC 61340-5-1、IEC 61340-5-2和相关ESD批准的清洁剂的静电耗散（ESD）移动真空系统。各

种标准（IEC 60079-14、IEC TS 60079-32-1、EN 1127-1）和国家或地区规范中规定了接地和连接的综合规则（第250条-接地和连接（NFPA 70））。

ASTM D257规定了测定体积和表面直流电阻率的方法，ISO/IEC 80079-20-2规定了材料体积电阻率的简化方法。含水量和粒径分布的粉尘的直流电阻率符合ASTM规定的测试要求。

C.4.11 导热系数的测定

生物质固体燃料颗粒和相关粉尘的热导率非常低。这意味着，例如，堆中的热量传播非常缓慢，这反过来意味着热量在较长时间内集中在相对较小的区域，导致高挥发性气体释放，如果受到火花或静电的影响会导致阴燃或明火。热导率取决于堆中的水分含量、环境温度和对流或通风。散装生物质固体燃料颗粒的渗透性是堆中空隙的函数（颗粒的几何形状和夹带的细粉量）。ISO 8301和ASTM C518标准规定了测定导热系数的方法，用于计算两种材料之间的最大距离大型仓库中的温度传感器。

C.4.12 生物质固体燃料颗粒粉尘可燃性的测定

可燃性是衡量火灾或阴燃在材料中传播速度的指标，测量单位为毫米/分钟，主要用于确定运输过程中的包装要求。UN MTC试验N.1（UN，2013b）规定了试验方法。将试验材料装入一个250 mm长的带有凹槽的模具中，并在一端点燃。2 min后测量火灾或阴燃的移动距离。如果距离小于等于200 mm，则该材料被归类为不易燃材料。

C.5 风险区域分类

C.5.1 总则

处理和储存含有可燃粉尘的材料时产生的火灾和爆炸危险归因于材料中的正常化学和物理过程以及环境条件，如温度、湿度和氧气（空气）的接触在局部区域。风险与粒度分布、区域内累积的材料数量以及累积时材料的停留时间（分层或悬浮形式）直接相关。定期内务管理对于应对风险至关重要。

以下章节总结了几项标准，以提供将易燃蒸汽、气体和灰尘和飞沫区域的风险降至最低的指南。

C.5.2 类别/划分和区域分类方法的比较

有两种主要的分类方法，如下所示：

a) 美国联邦法规CFR 1910.307《危险场所分类法》为美国的危险区域分类提供了一个框架，称为分类和划分方法。美国国家消防协会（NFPA）已将该分类编入国家电气规范（NFPA 70），该规范基于正常和异常运行条件下的风险评估。NEC已确定气体和蒸汽排放环境为一级，粉尘排放环境为二级，飞灰排放环境为三级。根据发布的严重性，每个类都有称为第1或第2部分的子类。北美处理和储存生物质固体燃料颗粒的设施的标准名称为II类1类（见表C.1）。

加拿大采用了经过一些修改的分类和划分方法，并由加拿大标准协会（CSA）作为CSA-C22.2（编号60079-X-16）发布为《加拿大电气规范》（CEC）。

分类法是北美的一种自愿分类系统。

b) 欧洲指令1999/92/EC为欧洲风险区域分类提供了法律和约束性框架。

ATEX分类方法已被欧洲电工标准化委员会采用，并基于爆炸性粉尘环境的频率和持续时间（以空气中的粉尘云的形式），有时称为带名称的欧洲区域方法。

20区、21区和22区用于灰尘（0区、1区或2区用于气体、蒸汽和液体）。

欧洲国家的爆炸性粉尘区域分类标准基于欧洲CENELEC标准EN 60079-10-2，该标准基于国际IEC标准IEC 60079-10-2）。

区域分类方法在所有欧盟国家都是强制性的。

表C.1总结并比较了北美和欧洲分类方法的风险区域定义。北美方法中定义了更具体的释放操作条件，而欧洲方法则侧重于释放的频率/持续时间。

表C.1-北美和欧洲风险区定义的比较

粉尘和飞灰释放的分类标准			
NFPA 70 (NEC)/CEC		EN 60079-10-2	
条件的定义	等级/分支	区域	条件的定义
在正常运行条件下，空气中的可燃粉尘数量足以产生爆炸性或可燃性混合物的位置，或	等级II,分支1	20	爆炸性粉尘环境以空气中可燃粉尘云的形式持续存在，或长时间或频繁存在的地方
机械或设备的机械故障或异常操作可导致产生此类爆炸性或可燃性混合物，并且还可通过电气设备的同时故障、保护措施提供火源		21	在正常运行中，可能偶尔会出现爆炸性粉尘环境（以空气中可燃粉尘云的形式）的场所
其中E组可燃粉尘的含量可能足以构成危险。			
由于异常操作导致的可燃粉尘可能大量存在于空气中的位置足以产生爆炸性或可燃性混合物，或	等级II,分支2	22	爆炸性粉尘环境（以空气中的可燃粉尘云的形式）在正常运行中不太可能发生，但如果发生，将仅持续很短时间的区域
此处存在可燃性粉尘积			

<p>聚，但通常不足以干扰电气设备或其他设备的正常运行，但如果搬运或处理设备偶尔出现故障悬浮在空气中，则可能会导致可燃性粉尘积聚，或</p>			
<p>电气设备上、内部或附近积聚的可燃粉尘足以干扰电气设备的安全散热，或可能因电气设备的异常操作或故障而着火</p>			
<p>由于存在易点燃的纤维，或处理、制造或使用产生可燃飞灰的材料，但此类纤维飞灰不可能悬浮在空气中，其数量不足以产生可燃混合物</p>	<p>等级III，分支1</p>	<p>不适用</p>	<p>不适用</p>
<p>存放或处理易点燃纤维/</p>	<p>等级III，分支2</p>		

飞片的位置，而不是在 制造过程中			
---------------------	--	--	--

C.5.3 可燃材料类别分类

可导致爆炸性粉尘环境的可燃材料按照北美和欧洲方法分类。它们都涵盖相同的材料，但名称不同。表C.2总结了集团分类的两个系统。根据欧洲标准（基于国际IEC标准），第三组根据下表细分为子组。

表C.2-按欧洲和北美方法划分的材料组分类

可燃粉尘和飞灰	材料组名称	
	欧洲*	北美
周围环境含有的飞灰	IIIA	
周围环境含有的非导电粉尘	IIIB**	
周围环境含有的导电粉尘	IIIC	
导电粉尘		E
碳质粉尘		F
农业粉尘		G**

*根据IEC 60079-10-2和EN 60079-10-2进行分类。

**包括木屑产生的灰尘。

各子组的风险不同，因此IIIA类设备可用于IIIA类粉尘环境，IIIB类设备可用于IIIA和IIIB类粉尘环境，IIIC类设备可用于IIIA、IIIB和IIIC类粉尘环境。

C.6 与粉尘相关的安全认证

在分类为潜在危险 (C.5) 的区域中设计、安装和操作设备时，需要考虑各种法规。为了降低处理和储存生物燃料的操作风险，设备（主要是电气设备）可能需要根据司法管辖区的具有法律约束力或自愿性的安全认证。在欧洲，ATEX 指令 2014/34 EU 为爆炸性环境中使用的设备提供了一个具有法律约束力的框架。设备认证基于国际公认的标准，而这些标准又构成了适用于区域或当地的标准和指南的基础。认证程序因每个地区而异，涉及被认可或被通知专门测试、评估、检查、批准、审核和颁发设备安全认证的组织。这些认证机构通常必须符合 ISO/IEC 17025、ISO/IEC 17020 和/或 ISO/IEC 17021-1。

三个全球主导的设备安全标准方案是IEC、NEC和ATEX。这三种方法在法规方面都有一些不同的要求，尽管规定的许多保护技术是相似的，并且在危险条件下能够提供高水平的保护。

IEC 60079和ISO 80079系列标准分别规定了适用于电气和非电气防爆设备的保护技术，也是IECEX和ATEX安全认证的基础。ATEX还要求对保护系统进行认证。NEC（NFPA 70）规范还涵盖所有类型的设备和工作环境。北美传统上使用NEC（加拿大CEC）安全认证规范，尽管IEC规范在北美某些工业部门也逐渐被接受。作为全球协调工作的一部分，进入保护（IP）代码现在作为NEC代码下的一种替代方案。但是，ATEX不被接受，也不在北美使用。

美国国家电气制造商协会（NEMA）规定的重型工业防护外壳在北美行业中占据主导地位。IEC 60079和ISO 80079系列标准在欧洲和北美以外的世界上广泛存在。根据这些标准，防爆设备的验收在世界这些地区逐渐得到认可。

发布工作环境法规通常由区域或地方健康和安全部门负责。工厂所有者或运营商有责任遵守适用法规。在欧洲，国家当局执行指令1999/92/EC。在美国，职业安全与健康管理局（OSHA）拥有监管权。在加拿大，加拿大卫生部和省级对应机构有权监管工作场所安全。在许多司法管辖区，木屑等可贸易商品的生产商必须发布产品安全数据表，该数据表与设备和工作场所安全考虑相结合，为安全环境提供了基础。在大多数管辖区，风险区域分类（C.5.2）是工作场所认证的一部分。

C.7 火灾和爆炸的预防和缓解

C.7.1 总则

预防和缓解爆炸涉及与处理和储存生物质固体燃料颗粒设施的设计、运行和维护相关的许多考虑因素。为了更有效地理解火灾和爆炸的物理性质，以防止和缓解正在发生的事故，以下各小节引用了C.4中所述以及生物质固体燃料颗粒供应商在其各自产品安全数据表中提供的可燃性参数。（UN，2013a）或REACH（指令2008/1272/EC）中规定了产品安全数据表中关于可燃性的要求声明。

由于相对较低的自动点火温度，工业中的许多粉尘爆炸都是从粉尘层中的小火开始的。火灾启动所需的参数如下所示。

如果火灾条件与另外两个参数相结合，即可燃材料（粉尘）的扩散和限制，则有可能发生爆炸，即所谓的一次爆炸。

a) 火灾的基本条件：

- 燃料（例如：粉尘）；
- 氧气（例如：空气）；
- 热（例如摩擦、热表面）。

b) 爆炸的基本条件：

- 燃料（例如：积尘）；
- 氧气（例如：空气）；
- 点火源（例如：火花、小明火）；
- 燃料分散（例如：形成尘云）；
- 限制（例如：房间、机器外壳）。

如果尘埃云被点燃，爆炸会产生压力波，使桁架、梁、地板等处的尘埃层移位并扬起。如果悬浮尘埃达到MEC之上的浓度，则初级爆炸将发展为所谓的二次爆炸（见图 C.1）。

燃烧的燃料降落并粘附在暴露的表面上，通常会造成严重的损坏和伤害。粉尘爆炸通常以亚音速传播（爆燃）。当压力波通过隧道和管道等狭窄空间时，爆燃速度会被放大。

重要的是，通过勤勉的内务管理消除该升级过程的初始步骤，以最大限度地减少粉尘在各层中的累积（见C.7.2.2）。

C.7.2 预防性点火避免

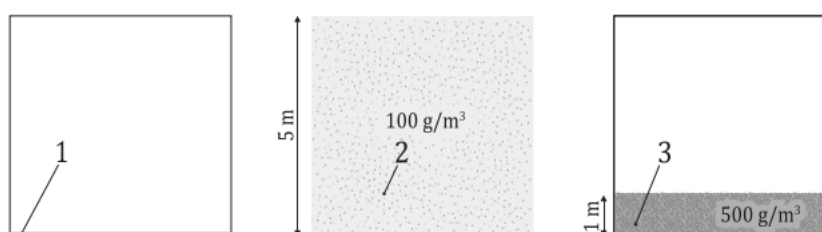
C.7.2.1 概述

避免点火的预防措施主要与下列参数有关，并与设计、操作和维护考虑因素相结合。此外，生物质固体燃料颗粒的材料特性也起着重要作用。某些燃料质量（如化学成分和细粉含量）比其他燃料具有更大的风险。

控制参数 (见C.4)	TC, MIE, MEC, LOC, TL
-------------	-----------------------

C.7.2.2 运行和维护

通过清扫地板和吸尘器对容易积聚灰尘的区域进行清洁是最重要的，应持续进行，最好由专门的人员集中控制灰尘。即使地板上有一层薄薄的灰尘，也足以形成可燃的灰尘云（见图C.2）。二次粉尘层（见图C.2）的厚度不应超过3mm（见NFPA 499中的进一步详细指南）。



图C.2-薄粉尘层如何形成可燃尘云的图示

图中：

1. 1 mm厚的粉尘层，堆积密度为500 kg/m³
2. 灰尘在整个外壳内均匀分散
3. 粉尘均匀分散到1米高度

在处理和储存颗粒燃料的区域应禁止吸烟。

应使用经静电认证的移动式真空吸尘器（经批准可用于可燃粉尘），以拾取粉尘和溢出的材料。

除非生产机械关闭且排除有效的火源，否则通常禁止在运行的工厂内使用压缩空气。

当停放在单独区域时，压缩空气可用于清洁移动的非活动机械。积聚在发动机或排气系统表面上的灰尘可能会达到接近或高于TL水平的温度，这是一种危险。装有内燃机的移动设备应在发动机舱内配备自动内置灭火器。应监测发动机舱中高温部件的温度，以在超过温度时发出警报。装有用于移动生物质固体燃料颗粒的铲斗或刮刀的轮式装载机应配备静电消散材料的边缘，以避免产生火花。

一些司法管辖区可能规定使用静电消散服。提供并推荐具有ESD（静电耗散）认证鞋底的硬头工作鞋。

作为定期维护计划的一部分，应检查所有电气接地连接。

点火源探测器的保护窗需要定期清洁。

焊接和磨削等动火作业应按照当地安全指南进行。

C.7.2.3 惰性化

如果氧气含量保持在相关材料的极限氧气浓度 (LOC) 以下，则可以防止爆炸和火灾。建议使用低于 LOC 2% 到 4% 的安全裕度。氧气浓度的控制可以通过几种不同的方式来实现，例如用氮气、蒸汽或无氧废气进行惰性化。这可能适用于反应器、粉碎机、锤磨机、混合器、干燥机、旋风分离器、除尘器、输送机、螺旋进料器、斗式提升机、料斗、筒仓等。如果使用惰性化，确保容器不包含气穴很重要 或者惰性化介质在通过系统的过程中没有绕过空间卷。同样重要的是，诸如装满材料的容器之类

的气闸不会形成老鼠孔或通道，空气可以通过这些孔洞或通道进入惰性空间体积。考虑人身安全和监测氧气也很重要。

然而，应指出的是，一旦木材被点燃且温度足够高，即使在LOC以下，也可以继续阴燃，因为木材含有超过40%的化学结合氧，在高温下足以维持阴燃。

C.7.2.4 粉尘收集

袋式除尘器和旋风除尘器因火灾和爆炸而臭名昭著。木颗粒的直流电阻为1012Ω，而煤尘的直流电阻为106Ω。具有高电阻的粒子在高速行驶时有在表面上积聚电荷的倾向，例如摩擦电荷。如果它们所经过的管道不能从通过的粒子中放出电子

粒子流将变得越来越带电（见C.4.4中的MIE），并可能导致突然的静电放电。如果颗粒浓度足够高（见C.4.8中的MEC），则如果存在足够的氧气（空气）（见C.4.9中的LOC），颗粒可能会点燃。通向袋式除尘器的管道和管道以及滤袋的安装结构应适当接地，以实现有效的接地排出任何积聚的电荷。袋式除尘器和旋风除尘器对于在产生粉尘的区域分离空气中的粉尘非常有效。然而，进入袋式除尘器的热颗粒会引发火灾和爆炸。进入袋式除尘器时，金属和石头的碎片也是如此，因为它们会产生火花，引发火灾和爆炸。袋式除尘器和旋风除尘器的进料应由传感器保护

熄灭或偏转热颗粒和碎片（见C.7.2.7）。袋式除尘器和旋风除尘器应配备面向建筑物外部的防爆板，并远离人员可能出现的区域。也可考虑使用灭火系统和/或隔爆系统。袋式除尘器产生的粉尘适合作为样品进行C.3.2中所述的燃烧性试验。

C.7.2.5 粉尘浓度限制和稀释

如果灰尘被认为会造成健康风险（见6.2 c）或代表爆燃危险，则灰尘收集系统的排气不应再循环回建筑物。

防护罩和外壳的设计和位置应确保产生的木屑或颗粒落下、投射或吸入防护罩或外壳，以最大限度地减少扬尘排放，而不会干扰机器和其他设备的安全和满意运行。所有罩和外壳应为不可燃结构，除非使用自动喷水装置进行保护。

在粉尘输送机中，风机应尽可能放置在过滤器的清洁侧。放置在系统灰尘负载部分的风扇应针对应用进行设计和认证。

C.7.2.6 火源检测和灭火

火源检测系统通常连接到雨淋水系统、惰化系统（例如氮气驱）、蒸汽灭火或中止闸门，以熄灭火源或将火源转移到安全区域。检测系统的灵敏度水平通常可以设置为实际水平，这意味着可以检测到较小的火花，但可能没有足够的能量点燃其内部的材料

因此，不会启动灭火操作，以避免不必要的生产线中断。当火花以与材料相同的速度传输时，可使用火花检测系统，且探测器与灭火装置之间的距离应确保灭火装置有足够的时间作出反应，以避免火花泄漏旁路。

C.7.2.7 抑尘

可在产生或积聚灰尘的区域喷洒水、雾或化学缓解剂。

但是，水或雾会降低生物燃料的热量含量，也可能导致真菌和阴燃（见B.2），只能使用极少量的细喷雾器或雾化器。

在许多情况下，化学品的使用是不可接受的，因为它可能被视为污染物，并可能在处理、储存和燃烧过程中产生严重后果。此外，任何沉积在颗粒表面的物质都可能在传送带、料斗、轨道车或卡车内部以及船舱壁上留下痕迹。清洁此类表面可能非常昂贵，并且可能被禁止，因为它可能污染通过同一系统运输的其他商品。

另一种抑尘方法是在用于颗粒和型煤的原料中混合粘合剂，从而提高固体生物质燃料颗粒的耐久性，以尽量减少粉尘的产生。

然而，最简单的方法是避免产品掉落在坚硬表面上，从而避免弹性冲击。当产品落在产品上时，冲击是有弹性的，因此产生的灰尘较少。需要考虑的一点是避免将筒仓完全清空，并始终在底部留下一些产品。

C.7.3 尽量减少爆炸影响的措施

C.7.3.1 概述

将爆炸影响降至最低的预防措施（施工措施）主要与下列参数有关，并与设计、运行和维护考虑因素相结合。此外，生物质固体燃料颗粒的材料特性也起着重要作用。

某些燃料质量（如化学成分和细粉含量）比其他燃料具有更大的风险。

控制参数（见C.4）	MIE, MEC, LOC, P_{MAX} , dp/dt_{MAX} , K_{ST}
------------	---

C.7.3.2 防爆耐压设计

爆炸防护是最基本和最理想的设计水平，但通常昂贵得令人望而却步，而且在许多情况下不实用。此外，在连接容器的某些设计配置中，可能会发生压力桩。目的是使设备能够承受通过单容器配置试验确定的最大爆炸压力 P_{MAX} 和爆炸压力速率 dp/dt_{MAX} 。

C.7.3.3 爆炸隔离

通过快速作用阀门有效切断压力波路径，可以阻止通过管道或管道传播的爆炸（NFPA 654:2017第7.1.6.1节）。这些阀门可以是被动的，也可以是主动的。被动阀设计用于使用增加的压力关闭自身，并在压力下降时重置自身。主动阀有一个传感装置，在检测到压力升高后，在毫秒内关闭阀门。另一种主动阀设计是在毫秒内以高速高压释放压缩空气，并挤压套筒，从而切断通路。另一种设计是使用化学抑制剂来阻止爆燃压力波或火焰前锋的推进。

另一个概念是使用快速动作中止或分流器闸门，将管道或管道中的介质从系统中偏转到安全位置。闸门通过过压、超温或闸门上游的火源探测器激活。

翻板阀可用于防止阀门下游爆炸引起的背压。阀门在向前方向打开，但当管道或管道中的反向压力超过正向压力时，活门迅速下降并关闭（NFPA 69:2017第12.2.3节）。

耐火部件（例如经过测试和认证的旋转阀）可防止爆炸传播到设施的其他部分。

C.7.3.4 爆炸抑制

通常情况下，外壳内的压力从爆炸变为破坏性压力需要30-100毫秒。

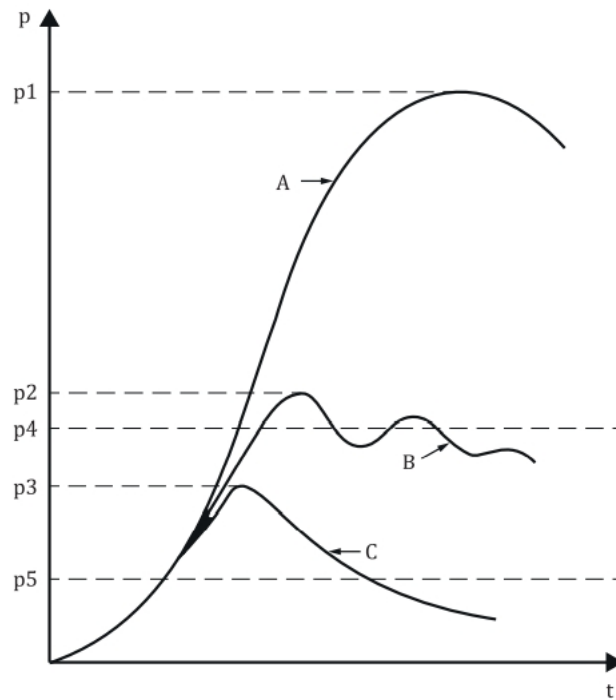
为了抑制爆炸，必须及早检测压力，以启动抑制剂的释放，从而阻止外壳内火球的发展。此外，释放速度必须足够快，以便在破坏性超压形成之前熄灭所有火焰。爆炸抑制成本很高，通常仅在以下情况下使用：

- 无法通过防爆或泄压通风进行保护，或
- 当无法在安全位置进行爆炸通风时，或
- 无法达到排气的能力。

有时，防爆安全防护装置与防爆通风装置结合使用，以保护外壳的完整性。

C.7.3.5 爆炸通风

爆炸通风是一种保护措施，用于消除压力，使其高于外壳设计的压力，并在安全的地方释放压力波，以避免伤害和损坏设备。外壳的薄弱区域，即所谓的防爆板，专门设计用于在预定压力下打开并释放压力。图C.3说明了爆炸通风的原理。曲线A显示了压力波的“正常”进展。“容器强度”是容器（外壳）设计的最大压力，包括检修门、人孔盖等。曲线C显示了足够尺寸的爆炸面板破裂后的减压。曲线B显示了较小尺寸爆炸板破裂后的减压情况。



图C.3-爆炸通风原理

图中：

t 时间

p 压力

A 无味的

B 尺寸不合适的通风孔

C 大排气口

p1 最大压力

p2 不适当排气的减压

p3 大排气口压力降低

p4 容器强度（设计压力）

p5 排气口开启压力（静态）

代表外壳中可能包含的粉尘的 K_{ST} 和 dp/dt_{MAX} 值对于计算爆炸面板中材料的尺寸和 P_{stat} （破裂压力）特性至关重要。

附录 D

(资料性)

安全性和紧急情况处理指导

D.1 引言

本附录提供了处理各类紧急情况的指导，可用于预先计划和准备清单，也可用于定义正在发生的事故中持续更新风险评估的程序（7.5）。紧急情况包括输送机火灾、自热、疑似火灾或确认火灾、爆炸以及密闭空间内的人员救援。不同类型的设施采取不同的处理方式，应对本标准第 8-11 条款中涵盖的输送机系统以及筒仓、料仓、仓库的火灾情况分别给出建议。

这类紧急情况会产生严重的人身伤害风险，因此附录的第一部分涉及了安全风险。应全面考虑可能的安全因素，根据风险评估情况制订预规划。而特定的紧急情况是特殊事件，因此风险评估应全过程持续进行，以解决与工作中即将发生的情况有关的风险。

附录 D 也提供了一些计划过程和消防期间各种有用的灭火介质的通用信息。

D.2 紧急情况下的安全因素

D.2.1 概述

本章节的重点介绍了紧急情况下需要考虑的安全因素，这些紧急情况包括自热和火灾。筒仓火灾是最复杂的情况之一，因此以下提到的各种安全因素、最严重的风险均基于筒仓火灾。筒仓火灾会给工厂人员和应急服务人员带来严重伤害或死亡的风险。除筒仓火灾外，在本文涵盖的许多其他火灾场景中也会出现类似的风险。

其他与废气排放、粉尘、气体爆炸相关的安全信息见附录 B 和 MSB 筒仓手册（MSB，2013）、IEA 指南（IEA，2013）及颗粒手册（Oberberger 和 Thek，2010）。

D.2.2 一氧化碳（CO）和二氧化碳（CO₂）的形成

如 B3.3.3 中所述，自氧化正在导致木质颗粒密闭储存空间中的氧气迅速消耗。即使在检测到自热或火灾之前，一氧化碳的组成物质也会扩散到全厂，带来严重风险。由于一氧化碳完全无味，因此必须通过特殊的一氧化碳检测器来检测。设施内的测量表明，在正常条件下，筒仓上部结构或底部通道内的一氧化碳浓度超过 100ppm。在这些与火灾有关的位置，一氧化碳的浓度超过 1000ppm。船只在长途海上航行抵达港口卸下木质颗粒后，测出舱内一氧化碳浓度达 5000-10000ppm（0.5-1%），并结合了 5%-10% 的氧气浓度（Svedberg 等，2008 年）。因此，在允许人员进入船舱前必须通风。

在筒仓顶部，气体浓度明显更高。在颗粒加剧氧化的情况下，一氧化碳浓度会达到 5000-10000ppm（0.5%-1.0%）。一旦发生火灾，筒仓顶部一氧化碳的浓度会超过 10%，造成非常严重的威胁（见下文注释）。氧化、自热或火灾会产生非常高浓度的二氧化碳，在某些情况下可形成超过 30% 的未燃烃类，进一步增加风险。

不得完全依赖氧气浓度的测定。通常空气中氧气的含量约为 21%，在允许的氧气浓度范围内，例如 20%，也可能导致非常严重的后果。如果降低的氧气浓度由一氧化碳取代，对应的一氧化碳浓度约为 10000ppm，这会使人很快失去知觉，甚至死亡。

因此，建议将最低氧气水平保持在 19.5%，并同时检测一氧化碳的水平。国际海事组织（IMO）规定，当空间内氧气浓度小于 20.7% 且一氧化碳浓度大于 100ppm 时，禁止进入。现行的安全指南考虑了区域

内的适当通风，以避免一氧化碳中毒。使用气量计测量一氧化碳和氧气，当这些气体的水平不在安全范围内时需使用自给式呼吸器。

注意：一氧化碳是一种无异味的气体，其密度与空气相同。瑞典工作环境管理局设定的工作环境允许暴露限值（PEL）为：在一氧化碳浓度 35ppm 的环境中最多可暴露 8 小时，浓度 100ppm 的环境中最多可暴露 15 分钟。PEL 限值因地区而异。暴露于一氧化碳浓度 1400-1700ppm 的环境中 30 分钟，或浓度 6000-8000ppm 的环境中 5 分钟，会致人意志丧失。暴露于一氧化碳浓度 2500-4000ppm 的环境中 30 分钟，或浓度 12000-16000ppm 的环境中 5 分钟，会致人死亡。10000ppm 对应 1% 的体积。一氧化碳浓度在 12.5-74% 之间是易燃的。

D.2.3 使用氮气和二氧化碳作为灭火剂的风险

D.2.3.1 氮气

处理氮气会带来风险，因为它会降低空气中的氧气含量，从而导致窒息。根据当地法规，最低的氧气含量范围为 19.5% 至 20%，如果水平低于 18%，则应使用呼吸设备（咨询当地相关部门）。如果氮气被释放到露天，例如从油罐车向移动储气罐加注的过程中，气体会迅速分散，因为它的重量与空气差不多，不会造成危险。相比之下，氮气可以长时间存在于已惰性化的封闭区域或邻近的封闭区域，例如筒仓下方的输送机隧道。这意味着氧气含量非常低，会很快致人意识丧失。

临界暴露时间示例见表 D.1。

表 D.1—临界暴露时间示例

氧气浓度	临界暴露时间
7%	1 分钟
5%	20 秒
3.5%	15 秒

注：暴露时间超过临界暴露时间后，人员将失去意识。

在消防期间，环境中也可能会出现一氧化碳和二氧化碳浓度非常高，以及因火灾导致氧气含量低的情况，非常危险。

因此，有必要在火灾发生时持续控制设施中的一氧化碳和氧气的浓度。在受影响的区域（筒仓上部结构的底部和顶部），所有人员都应佩戴完整的呼吸装置。在连接区域（控制室、人员区域、楼梯间、电梯等处），气体浓度也可能增加，在这些地方必须佩戴呼吸装置，直到连续测量确保工作环境是安全的。应该考虑的另一个风险是处理液氮时可能发生的冻伤。由于液氮的温度为 $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，储罐和蒸发器之间的软管以及蒸发器本身可能会变得极冷，因此不得在没有防护手套的情况下触摸这些表面。设备的安装和填充等应由受过培训的人员处理，例如气体供应商的服务人员，重要的是要确保应急响应人员了解所需的安全说明。即使软管破损的风险非常低，未经授权的人员也不得停留在有液氮的设备和软管附近。

液氮或极冷的氮气直接接触也会对某些材料造成损坏，例如非合金（“黑色”）钢、塑料、橡胶等。相比之下，黄铜、铜和铝可以相对较好地承受这种接触。关于从蒸发器到筒仓注入点的气体分布，重要的是要确保不会发生泄漏或软管破损。当氮气以气态形式分布时，气体压力通常只有几 bar，但重要的是要确保不超过蒸发器的容量，因为这可能导致非常低的氮气温度而使软管损坏。

关于使筒仓顶部空间惰性化，氮气的好处是不会引起任何与静电有关的问题，因为只要不超过蒸发器的容量，它就会以气态形式注入。

D.2.3.2 二氧化碳

二氧化碳是一种传统的灭火剂，用于便携式灭火器和封闭空间中的固定灭火系统。由于高压，二氧化碳气体在储存容器内呈液态。典型应用是扑灭小型泄漏火灾和电气设备、计算机房等火灾。灭火机理主要是由于氧气浓度的置换结合一定程度的冷却。然而，在处理筒仓时，使用二氧化碳存在严重的缺点。从

历史上看，二氧化碳一直是用于筒仓灭火的灭火剂。然而，这些响应中的许多都遇到了问题，在某些情况下导致失败。如果在某些情况下使用二氧化碳，还有可能使火势恶化。

下面总结了为什么不应该在消防中使用二氧化碳的原因。

最重要的安全方面是二氧化碳具有很强的静电积聚倾向，这是由于液态二氧化碳通过排放喷嘴流出并形成冰晶而引起的。由于筒仓内的阴燃火灾会产生大量的热解气体，筒仓顶部空间内的气体很可能是易燃的（见 D.2.4）。冰晶的静电放电会点燃筒仓顶部空间中的可燃气体混合物并引起强烈爆炸。一些标准给出了关于在潜在爆炸性环境中使用二氧化碳的警告（BS 5306-4, NFPA 12），有几个示例表明，在使用固定系统和从气瓶通过舱口进入筒仓顶部空间的手动应用过程中，二氧化碳的应用会导致爆炸，并在某些事故中造成致命的损害（Hedlund, 2018 年）。

另一个严重的风险是，在阴燃的筒仓火灾中通常会发现二氧化碳能增加一氧化碳的产生。在高于 650 °C 至 700 °C 的温度下，再加上有限的氧气供应，生物质与碳同时作用，使二氧化碳通过反应 $C + CO_2 \leftrightarrow 2CO$ 生成一氧化碳。在这种情况下，从惰化过程中添加二氧化碳有助于产生可燃的一氧化碳气体。因此，使用二氧化碳不仅不能灭火，反而可能导致更严重的火灾增长。

使用二氧化碳时的另一个问题是它会导致严重的实际问题。二氧化碳是一种液化气体，罐中的压力取决于周围的温度。二氧化碳的一个属性经常会产生一些问题，它在低于 5.2bar 的压力下不能以液体形式存在。相反，液体冻结成固体（碳酸冰）。这意味着通过软管或管道系统输送液态二氧化碳需要在整个气体输送管线中保持至少 5.2 巴的压力，以避免结冰和阻塞通道。在固定灭火系统中，最小压力由定制的喷嘴保证，但在将气体送入筒仓顶部空间时很难保持压力，通常是通过末端带有某种开口管道的消防软管。在这些情况下，通常采用非常高的流速使软管中的压降维持高压。然而，这会导致在压力不够高的软管末端结冰，最终导致软管完全堵塞。在这个阶段，上游的软管堵塞含有液态和气态的二氧化碳混合物，由于周围环境的加热，软管中的压力会迅速增加，从而导致软管破裂。为避免这种情况，可以将软管与压力罐/罐车断开，并允许向后减压。这是一项非常危险的操作，当软管中的气体流出时会导致形成二氧化碳云。此项操作还涉及以下方面的巨大风险：

- 软管堵塞；
- 断开时软管会摆动；
- 有毒的二氧化碳（见下文注释）。

如果尝试将液态二氧化碳直接送入散装材料中，也会出现结冰问题，例如在筒仓的底部。一旦气体离开软管或进料管，压力就会下降，气体就会冻结。这导致在散装材料中形成大量冰，从而导致散装材料的孔隙被阻塞，阻止气体的继续应用。

为减少结冰和静电问题可以使用蒸发器以确保气体以气态形式排放到筒仓中。由于二氧化碳的沸点相对较高，这种蒸发器将需要强大的外部热源。

注意：二氧化碳是一种无异味的气体，密度是空气的约 1.5 倍，由于它聚积在较低位置，可能会带来严重的安全风险。二氧化碳不仅像氮气一样能降低氧气浓度，而且还影响呼吸功能。国家和地区当局通常规定工作 8 小时的环境内二氧化碳的限值为 5000ppm，暴露 15 分钟的限值为 10000ppm（10000 ppm = 1%）。当使用二氧化碳作为灭火介质时，设计浓度非常高，至少为 30%至 50%。在不到一分钟的时间里，浓度达到 20%至 30%时就会使人丧失意识和痉挛。

D.2.4 粉尘和气体爆炸

筒仓设备中材料的正常处理总是会产生或多或少的粉尘，最终会用粉尘覆盖所有水平表面和建筑部件。如果这些粉尘分散到云中并且存在点火源，则可能发生粉尘爆炸。这种“一次”爆炸通常会卷起附带的粉尘，并导致比初级爆炸更强大的“二次”爆炸。

即使是一层薄薄的粉尘也可能造成重大风险。堆积密度为 500kg/m³ 的 1mm 厚的粉尘层在转至 1m 高时粉尘浓度为 500g/m³，如果转至 5m 高则粉尘浓度为 100g/m³。由于许多类型粉尘的可燃性范围从大约 50g/m³ 到大约 2000g/m³ 不等，因此爆炸的风险是显而易见的（另见 C.2 和 C.7）。

在筒仓内持续阴燃的火灾期间,会形成大量由一氧化碳和不同类型未燃烧的碳氢化合物组成的可燃热解气体。在高于约 700℃ 的温度下,也会发生与水的反应,即所谓的水-气反应, $C + H_2O \rightarrow H_2 + CO$, 这会产生氢气和更多的一氧化碳。水,既通过化学结合存在于储存的有机材料中,也在燃烧过程中产生,或者在使用水基灭火剂的过程中被加入。总而言之,筒仓火灾会带来重大风险,即筒仓顶部空间中存在易燃气体混合物。

如果气体被点燃,可能导致非常强大的气体爆炸。例如,未受保护的电气设备、静电或在筒仓顶部钻孔。小型气体爆炸也可以看作是“一次爆炸”,可导致更强大的二次粉尘爆炸。

过去的事故表明,气体和粉尘爆炸会导致大规模的破坏。整个筒仓屋顶可能会被掀翻,屋顶上人员受伤/死亡的风险非常高。建筑部件掉落等也给地面上的人员和设备带来重大风险隐患。气体和粉尘爆炸的风险对于大小筒仓来说是相同的。

由于气体和粉尘爆炸的风险是与筒仓火灾相关的最严重的危险,因此进行现场风险评估以确定应该封锁哪些风险区域、在哪里放置灭火设备等是非常重要的。应意识到顶部空间爆炸的风险是始终存在的,因此,风险评估将根据,例如筒仓顶部空间中的气体测量结果和目视观察情况不断更新。在进行灭火和卸料期间,情况可能发生变化,并且随时可能发生爆炸。

因此将粉尘和气体爆炸的风险降至最低是极其重要的,建议采用具有很多优点的氮气惰化灭火技术。气体的使用提供了一个非常可控的过程,因为气体主要是在筒仓底部注入的,扬起粉尘的风险很小。在对含有粉状材料(如木粉)的筒仓进行惰化时,重要的是以低气流开始气体喷射,以避免产生可能导致粉尘爆炸的粉尘云。目前尚未建立“安全”的气体流量限制,因为它取决于以下参数:

- 粉末密度;
- 粉末渗透性;
- 筒仓中的粉末填充水平;
- 气体如何在筒仓内分布(进气口数量)。

在筒仓顶部工作(密封开口、安装测量仪器、安排通风/泄压、准备惰化等)时,不得产生任何火源、可燃气体混合物或粉尘。在已发展的热解火灾(明显的烟雾等)中,会形成高浓度的一氧化碳和不同类型的未燃烧烃类化合物,这些烃类化合物可能属于易燃性物。如果筒仓顶部空间中的氧气浓度足够高(超过 5-10%),只要有合适的点火源,气体就会被点燃。在这些情况下,必须要意识到爆炸风险的存在。仅含木粉的最低氧气浓度(MOC)(参见附录 C)约为 10%,烃类化合物混合物的 MOC 甚至更低。不推荐通过使用 LEL(爆炸下限)监测仪器测量内部(例如筒仓顶部空间)可燃热解气体的浓度来评估爆炸风险。这些仪器针对一种特定气体(通常是甲烷或丙烷)进行校准,这意味着要应用校正因子来测量任何其他气体。这些校正因子在 0.5 到 3.0 之间变化,由于气体混合物的成分未知,因此误差可能很大并导致评估完全错误。

如果认为爆炸的风险很高,则应尽量减少继续工作,直到筒仓顶部空间被惰性化。无论采用惰化还是其他灭火手段,都应以安全的方式进行,使筒仓内不会产生气体或粉尘爆炸。这适用于所有规格的筒仓。

D.2.5 其他健康危害

D.2.5.1 火势迅速升级

筒仓火灾会因很多因素而迅速升级且无法控制。筒仓可能被设计成有屋顶开口或者半屋顶的型式,或者因爆炸而形成爆炸面板。这都会使氧气能够进入顶部空间引发火灾或材料的阴燃。这反过来会增加热解气体的产生,可能会爆炸,或者增加火灾强度及屋顶结构坍塌的风险。保持控制的最佳措施是注入泡沫(CAF 或低/中膨胀泡沫)并覆盖整个顶层材料以阻挡氧气。如果顶部空间的条件不受控制,很容易失去筒仓。

紧急排放期间,筒仓中可能会出现另一种火灾迅速升级并导致粉尘爆炸的情况。在卸料过程中,如果筒仓未适当惰化,阴燃材料突然暴露(如因筒仓内悬挂或桥架材料的坍塌),产生的粉尘可能会点燃并导致火灾迅速发展/粉尘爆炸。

在自热引起的仓库火灾紧急排放期间，也可能发生火灾的快速发展。增加的氧气遇到阴燃火源时，将使阴燃变成明火，同时也增加了易燃热解气体的产生。

火灾很可能会使炽热的余烬蔓延，再加上热辐射的增加，会在整个堆顶引发大火，导致火势迅速发展。因此，在卸货时应要求消防员处于待命位置以完全控制情况。有可能激活泡沫/雨淋系统以覆盖整个堆场表面，避免完全损失。必须意识到，由于烟雾的产生，仓库内的能见度可能非常有限，这会进一步阻碍手动灭火的可能性。还应为参与卸货操作（如轮式装载机）的人员考虑高浓度烟气和降低的生存能力，SCBA 设备的使用很重要。

D.2.5.2 回吸

筒仓火灾中可能会出现回吸情况。例如，在没有事先对散装物料进行惰化的情况下，通过在筒仓壁上开孔，让物料流道地面进行紧急排放。则筒仓会含有高浓度的热解气体，打开筒仓时，流出的热气将被新鲜空气取代。这会产生可燃的浓度，很可能被点燃而导致气体的强烈膨胀（爆炸），从开口处喷射火焰，伤害消防人员并点燃相邻的物体。当喷射火焰达到约 50m 长时，可能会导致周围环境着火，也会蔓延炽热的余烬引发火灾，例如在筒仓顶部。

在打开可能会积聚燃烧气体的封闭空间/物体时，也可能发生类似的情况。

D.2.5.3 结构不稳定

在许多情况下，输送机、步行桥等通过筒仓（或仓库）的结构来支撑。如果筒仓/仓库被火灾损坏，也可能导致这种支撑结构的倒塌。在筒仓火灾中使用大量的水也可能对结构造成损坏。固体生物质燃料颗粒在湿润时会膨胀约 3 倍，这将导致非常强大的力量将筒仓壁胀裂。即使在筒仓中没有储存膨胀材料，由于积水对筒仓壁造成很高的静压，使用大量的水也可能损坏筒仓结构。根据具体设计，颗粒膨胀也可能导致仓库或料仓出现问题。

D.2.5.4 钻孔、桥接

一般来说，固体生物质燃料颗粒表现为自由流动状态，在从筒仓中排放时通常不会产生任何问题。根据筒仓结构，例如平底或锥形底，物料流可定义为质量流或漏斗流。质量流表示在卸料过程中全部物料穿过整个筒仓横截面向下移动。底部物料通过循环螺旋输送机（取料机）或从具有很陡的锥形出口的小直径筒仓中排出。漏斗流（也称为芯流）表示物料从物料表面脱落并通过物料内形成的垂直通道向下流向卸料口。

如果散装材料的流动性降低（例如由高含量的细粉或潮湿材料引起），可能会发生钻孔或桥接。钻孔表示漏斗是空的，因为漏斗外部的材料不流动，导致卸料停止。如果发生例如粘性散装材料在整个筒仓或卸料口的上方局部形成稳定桥架的情况，会发生桥接而阻碍进一步卸料。

除了几何形状、产品质量以及颗粒和细粉的分布外，筒仓内的物料流动问题（例如钻孔、桥接）与填充和卸料操作的顺序密切相关。由于大多数筒仓都有中心卸料，有些甚至配备了卸料锥，产品的装卸导致产品内部的压力水平完全不同。在筒仓充装过程中，筒仓底部的压力迅速增加。由于进入的产品分层沉淀，产品与筒仓壁之间的摩擦几乎没有关系。在卸料过程中，筒仓壁与下落产品之间的摩擦力增加，导致筒仓底部压力降低，筒仓壁处的垂直载荷增加。

即使储存较长时间，减压也可降低产品压实和结块的可能性。因此，可以通过严谨的筒仓操作来降低物料流相关问题（如桥接和核心流）的可能性。

钻孔和桥接都可能导致严重的问题，并且很可能在火灾情况下发生，特别是在较小直径的筒仓中并使用水作为灭火介质的情况下。打碎板结的材料是有风险的，需要考虑特定的风险（见 6.2 e 和 9.3.1）。

类似的问题也可能发生在大直径筒仓或平坦仓库中，在这些地方颗粒可能会出现陡高挂壁，从而导致颗粒堆积的风险和人员埋葬的风险。靠近这种颗粒挂壁非常危险，应采取适当的安全预防措施。

D.3 火灾/爆炸事件时输送机-处置

如果发生火灾或爆炸事件，应遵循预计划文件中的一般检查表，包括如下行动：

- 按照风险评估程序定义任何与实际火灾情况相关的具体安全措施。并在整个操作过程中不断评估风险评估，以处理与工作相关的风险。
- 确保输送机已关闭。
- 如果特定的输送机设计为在关闭前通过排出阀将物料输送到应急堆上，应检查堆上是否有变色、发热或冒烟的迹象。
- 确保任何自动喷水/水喷雾/雨淋系统处于启动状态。
- 关闭所有转换点的阀门，例如筒仓入口处。
- 特别是在陡坡的情况下，应考虑到火灾在有顶的输送机内部蔓延速度非常快。
- 尽快定位火源，增加手动灭火措施。使用手持式热成像相机可以很好的定位有顶传送带上的火源。
- 如果有产生灰尘的风险，应尽可能轻柔地使用水/灭火剂。
- 检查/监督输送线上的所有转换点和系统，以核实任何可能的火灾蔓延，特别是火灾地点下游的任何储存库(筒仓、燃料仓或平面仓库)。
- 如果输送机发生爆炸，火势可能会在爆炸位置的上游和下游发生长距离蔓延。
- 考虑附加的爆炸和二次爆炸的风险。

D.4 筒仓自热和火灾事故的处理

D.4.1 自热状态下应采取的行动

如发现自热情况，应按照预计划文件中的清单执行，包括如下行动：

- 按照风险评估程序定义任何与实际火灾情况相关的具体安全措施。并在整个操作过程中持续评估风险评估，以处理与工作相关的风险。
- 尽可能开始筒仓卸料，以分散发热的物料区域。
- 如果发生在使用木屑颗粒作为燃料的发电厂或供热厂，应尽可能直接将颗粒转移到炉中。
- 如果发生在存储设施中，应将颗粒转移到另一个筒仓或平面仓库。如果可能的话，另一种选择是将颗粒转移回原来的筒仓。如果没有其他选择，则应将颗粒转移到准备用于紧急卸料的存储区域。
- 加强对排出物料的控制，确保自热尚未导致自燃。如果发现有发热、变色或阴燃的物料，应立即终止卸料并对筒仓进行惰化(见 D.4.2.1)。

注:由于很难判断指示的自热过程的程度，因此在任何卸料行动开始之前，需通知消防救援服务。

D.4.2 消防作业及紧急卸料

D.4.2.1 散料内部自燃

如果确认散装物料有阴燃的或火灾嫌疑很大，应尽快启动筒仓惰化操作。

按照预计划文件的清单，包括如下行动：

- 按照风险评估程序定义任何与实际火灾情况相关的具体安全措施。并在整个操作中不断评估风险评估，处理与工作相关的风险，包括气体或粉尘爆炸的风险，高浓度的有毒燃烧气体的可能性，或是由于惰性气体的使用和氧气的消耗而导致的低氧浓度的可能性。
- 关闭仓内所有开口(包括进、出料阀)。
- 关闭任何通风系统，关闭或密封所有通风口。
- 确保在筒仓顶部空间有泄压装置，以便在开始注入惰性气体时使燃烧气体和过量气体排出，但应防止气体流入(除非筒仓中有明显的负压)。
- 不得打开筒仓;这会导致非常快的火灾发展和/或爆炸。
- 除非有明火，否则不要用水(见下文)。

- 尽快从筒仓底部注入惰性气体。
 - 如果筒仓顶部空间存在气体或粉尘爆炸的重大风险，也应将惰性气体直接注入筒仓顶部空间，直至达到安全条件。（另见 D.4.2.2）。
 - 持续跟踪筒仓顶部空间空气气体浓度读数，保持氧气浓度低于 5%。
 - 只有当火灾被判断得到控制时（筒仓顶部空间的一氧化碳和二氧化碳水平显著降低）才可以卸料。这可能要好几个小时。（在火灾情况下，建议使用测量范围最好是 5%-10%浓度的一氧化碳分析仪。
 - 在整个卸料过程中继续在筒仓底部注气，并确保卸料过程中筒仓顶部空间的氧气浓度保持在 5%以下。
 - 如果氧气浓度超过 5%，应停止卸料，直到氧气浓度再次低于 5%。
 - 在卸料过程中，应对卸出的物料进行持续控制，并熄灭任何阴燃物质。卸料过程中可能会遇到一些问题，例如大块的烧焦物料时排出口堵塞，需要人工干预。
 - 卸出的物料最好通过单独的输送机转移到筒仓外，以便进一步运输到指定的用于紧急卸货的存储区域。如果可能的话，将未受影响的颗粒从那些有阴燃迹象的颗粒中分离出。
 - 如果主输送机用于卸货，请监督所有转运点和输送机，以防止任何可能的火势蔓延。在这种情况下，设计这种输送热/阴燃材料的输送机是很重要的。
 - 在卸料过程中，应持续控制仓内的挂壁或桥接的趋势，特别是在小直径的仓内。
- 更多信息见附录 B。

D.4.2.2 筒仓顶部空间的明火

- 由于进入的阴燃材料在进入的输送机中未被检测到，可能会在筒仓顶部空间发生明火。另一个原因，可能是块料内部深处的阴燃火灾产生的热解气体被点燃（通常是导致气体爆炸后的明火）。火灾也可能是散装材料表面上的明火和热解气体中火灾的组合。应考虑以下建议：
- 火灾可能会加剧，并威胁到筒仓顶部结构和筒仓壁的裸露部分，特别是在顶部通风的情况下。例如，由于爆炸，面板已打开并且没有自动关闭设计。
 - 如果估计筒仓顶部空间惰化时间太长或由于使用通风口而效率低下，可以使用泡沫（或水）来控制明火。（使用水会导致颗粒膨胀，产生的力会危及整个筒仓结构，见 D.2.5.3）。
 - 最好在筒仓顶部使用固定安装的（水）/泡沫/CAF 喷水灭火系统（见 9.4.3.3），以避免为消防人员手动喷洒泡沫/（水），而在筒仓顶部增加开口和通风。首选采用泡沫，因为泡沫可以保护颗粒表面，减少氧气渗透到散装物料并减少水量（从而减少块料的膨胀效应）。当表面覆盖泡沫时，可以在适当的间隔内喷洒。
 - 在某些情况下，另一种方法是采用高膨胀泡沫，但是这种方法也不是完全有效，因为在大直径筒仓中有限的扩散、散装物料在高度上的巨大差异，以及在筒仓顶部高温和泡沫破坏性气体使得泡沫快速破裂。由于地面与筒仓顶空应用点之间的高度差布置高膨胀泡沫发生系统也可能存在问题。
 - 在主要灭火操作后，移动红外摄像机可以非常有效地检测任何残留的火焰、热点或块状表面的炽热余烬。
 - 当表面火灾得到控制后，整个筒仓应根据 D.4.2.1 在开始排放之前进行惰化，因为在大多数情况下，散装物料内部的火灾无法从顶部空间扑灭。
- 筒仓消防的进一步指导由 MSB 提供(MSB, 2013)。

D.5 大型料仓自热和火灾事故的处理

D.5.1 自热情况下的行动

如发现自热情况，应按照预计划文件中的清单执行，包括如下行动：

—按照风险评估程序定义任何与自热情况相关的具体安全措施。并在整个操作过程中持续评价风险评估，以处理与工作有关的风险，包括气体或粉尘爆炸的风险，高浓度的有毒燃烧气体或低氧气浓度的风险。

—如果可能的话，将相关的料仓部分直接卸放到炉膛。

—如果没有其他选择，将颗粒转移到用于紧急卸料的存储区域。

—加强对卸出物料的控制，确保自热尚未导致自燃。如果有发热、变色或阴燃的物料，应立即终止卸料，料仓部分应覆盖泡沫，最好也进行惰化（见 D.5.2）。

注：由于很难判断指示的自热过程的程度，因此在任何卸料行动开始之前，应通知消防救援服务。

D.5.2 料仓间或料仓发生火灾时的行动

如果确认发生火灾，应按照预计划文件中的清单执行，包括如下行动：

—按照风险评估程序定义任何与实际火灾情况相关的具体安全措施。并在整个操作过程中持续评价风险评估，以处理与工作有关的风险，包括气体或粉尘爆炸的风险，高浓度的有毒燃烧气体或低氧气浓度的风险。

—应尽快开始灭火行动，因为火势会迅速蔓延，并威胁到料仓的顶部结构、料仓壁的裸露部分以及位于料仓顶以上料仓间内的输送机和其他装置。

—根据主火灾的位置，启动料仓间内或料仓顶以下系统安装的固定（水）/泡沫/CAF 喷水灭火系统（见 10.3 和 10.4）。优先采用泡沫，特别是涉及到料仓中的散装材料时，因为泡沫可以保护颗粒表面，减少氧气渗透到散装材料中，可以减少水量（从而减少颗粒的膨胀效应）。当表面覆盖泡沫时，可以在适当的间隔内喷洒。

—在主要灭火操作后，移动红外摄像机可以非常有效地检测任何残留的火焰、热点或块状表面的炽热余烬。

—当表面火灾得到控制时，在开始卸料之前，最好按照 10.4.3.4 中所述的系统对整个料仓进行惰化处理，特别是如果认为火灾情况还涉及散装材料深处的阴燃火灾。散装材料内部的火灾仅通过泡沫很难从顶部空间扑灭。

注：如果颗粒没有任何火灾蔓延或爆炸的风险，可以使用指定的紧急卸料输送机直接送入到炉膛进行燃烧或输送到安全存储区域，这种情况不需要进行完全的惰化操作。

D.6 仓库内自热和火灾事故的处理

D.6.1 使用地下卸料系统的自热情况处理

如发现自热情况，应按照预计划文件中的清单执行，包括如下行动：

—按照风险评估程序定义任何与实际火灾情况相关的具体安全措施。并在整个操作过程中持续评价风险评估，以处理与工作有关的风险，包括气体或粉尘爆炸的风险、一氧化碳浓度过高或氧气浓度过低的风险。

—开始卸料，如有可能，回收区域应尽可能靠近可能受热区域，以此破坏受热环境。

—加强对卸出物料的控制，确保自热尚未导致自燃。

—如果发现有高温、变色或阴燃的材料，或有烟味，则应立即停止卸料。及时关闭所有与卸料输送机相连的通风系统，避免空气/氧气进入输送机及仓库，并做好紧急卸料和消防的准备。

注：由于很难判断指示的自热过程的程度，因此在任何卸料行动开始之前，应通知消防救援服务。

D.6.2 使用轮式装载机卸料的自热情况处理

如发现自热情况，应按照预计划文件中的清单执行，包括如下行动：

—按照风险评估程序定义与自热情况相关的任何具体安全预防措施。并在整个操作过程中持续评价风险评估，以处理与工作相关的风险，包括气体或粉尘爆炸的风险、一氧化碳浓度过高或氧气浓度过低的

风险。应特别考虑在自热已经导致阴燃火灾的情况下火灾快速发展的风险。

—确保随时可用的第一手消防设备，例如，连接到消火栓系统并放置在合适位置的消防水带（在本阶段无需充满水）。

—使用轮式装载机等工具卸出热的物料堆。

—确保对剩余的物料和卸出的物料进行持续控制，例如使用红外摄像机，以确保自热没有导致自燃。

—如果仓库位于发电厂/供热厂，应尽可能将颗粒直接送入炉膛内。

—如果仓库是存储设施的一部分，应将颗粒转移到另外的平面仓库或筒仓。如果没有其他选择，应将颗粒转移到准备紧急卸料的存储区域。

—如果显示堆内温度持续升高或发现有高温、变色或阴燃的材料，或者有“烟味”，应立即停止卸料，并做好紧急卸料和消防的准备。

D.6.3 仓库消防作业与卸料

如果已确认散装物料中发生阴燃火灾，或者发生火灾的可能性非常大，则在开始卸料之前应准备好安全预防措施。应按照预计划文件中的清单执行，包括如下行动：

—按照风险评估程序定义任何与实际火灾情况相关的具体安全措施。并在整个操作过程中持续评价风险评估，以处理与工作有关的风险，包括仓库中高浓度有毒燃烧气体和低浓度氧气产生的风险，火灾快速发展的风险以及由于产生的烟雾和轮式装载机遮挡视线使可视范围降低产生的风险。

—为灭火操作做好准备，包括为手动灭火（如果相关）和屋顶的固定（水）/泡沫喷淋系统的供水。

—如果可能的话，也应准备用于散装物料的手动泡沫灭火系统。

—在配备 SCBA 的消防人员到位之前，不得开始卸料作业。

—轮式装载机驾驶员也应配备 SCBA。

—重点关注烟雾或气味的变化，或者是否能在任何位置观测到温度升高（例如使用红外摄像头）。

—如果烟雾增加，应在整个颗粒堆上喷洒一层泡沫（例如 CAFS 或中膨胀泡沫），以减少与空气的接触，并在有燃烧余烬的情况下降低火势蔓延的风险。优先选用移动泡沫枪/监测器及泡沫喷淋系统。根据需要进行重复的泡沫喷洒，保持物料堆上的泡沫层。

—如果灰尘或烟气妨碍卸料操作（如能见度），应开启屋顶通风系统。

—如果检测到高温或阴燃材料，应在受影响区域喷洒水，以避免产生明火。

—将物料卸放到指定的应急卸料储存区。将未受影响的颗粒与有阴燃迹象的颗粒分离。在整个卸料操作过程中，应对卸放的物料进行连续控制，并熄灭任何阴燃的可能。

—如果堆中存在明显的不易熄灭的明火，应停止卸料操作。在手动灭火的同时启动喷淋系统。

—调整卸料操作，确保在卸料操作完成前，现场情况可控。

D.7 灭火介质

D.7.1 氮气（CAS7727-37-9）

沸点：-196℃；

在 1013bar 大气压和 15℃ 下的气体密度：1.185kg/m³；

在 1013bar 大气压和 15℃ 下的比容：0.844m³/kg；

在 1013bar 大气压和 15℃ 时的相对密度（空气=1.0）：0.97；

（数据来源：<https://encyclopedia.airliquide.com/>）

具体的安全数据可以在供应商的产品安全数据表中找到，当氮气用作灭火介质时要考虑的安全因素见 D.2.3.1。

D.7.2 二氧化碳（CO₂）（CAS 号 124-38-9）

沸点（升华点）：-78.5℃；

在 1013bar 大气压和 15°C 下的气体密度：1.87kg/m³；

在 1013bar 大气压和 15°C 下的比容：0.534m³/kg；

在 013bar 大气压和 15°C 时的相对密度（空气=1,0）：1.53；

（数据来源：<https://encyclopedia.airliquide.com/>）

具体的安全数据可以在供应商的产品安全数据表中找到，当二氧化碳用作灭火介质时要考虑的安全因素见 D.2.3.2。

D.7.3 泡沫

D.7.3.1 概述

将泡沫浓缩液与水混合形成泡沫溶液（预混液）通过泡沫发生设备产生泡沫。根据泡沫浓缩液的类型和泡沫发生设备的不同，可产生各种类型的成品泡沫。

D.7.3.2 泡沫浓缩物的类型

泡沫的主要用途是扑灭易燃液体火灾（通常指“B 类火灾”）。有各种类型的泡沫浓缩液，即所谓的“B 级泡沫”浓缩液，通常称为“AFFP”、“FFFP”、“3F”和“洗涤剂”，前两种类型被称为“成膜泡沫”，含有氟表面活性剂（全氟和多氟烷基物质（PFA））。后两种被称为“无氟泡沫”，不成膜，不含氟表面活性剂。根据不同配方，浓缩物的标称浓度通常为 1%至 6%。

还有一些泡沫主要用于扑灭“A 类火灾”，例如产生阴燃的固体材料火灾，比如纸、木材、纺织品。这种泡沫浓缩物被指定为“A 类泡沫”。

A 类泡沫通常包含“亲油”（被油吸附）和“亲水”（被水吸附）的表面活性剂混合物。这意味着生成的 A 类泡沫与烃类化合物具有较好的亲和性，这为水浸泡典型 A 类材料上形成的碳层提供了理想条件。与 B 类泡沫浓缩液（传统消防泡沫）相比，A 类泡沫的使用浓度较低，通常在 0.1%之间和 1.0%。

从环境角度来看，建议仅使用 A 类泡沫浓缩物或无氟泡沫（洗涤剂或 3F）的泡沫浓缩液来灭火。应避免使用含有氟表面活性剂的泡沫，因为它们会对环境造成长期影响，并且需要在发生火灾后对废水进行收集和焚烧。含氟表面活性剂还可能污染地下水，从而导致健康问题。

根据泡沫发生设备的不同，泡沫可以产生不同程度地膨胀。泡沫的膨胀程度被称为“发泡倍数”，是生成的泡沫体积与用于生成泡沫的泡沫溶液体积之比。生成的泡沫分为 3 类：

—低倍数泡沫（LEX）发泡倍数 < 20

—中等倍数泡沫（MEX）20 ≤ 发泡倍数 < 200

—高倍数泡沫（HEX）发泡倍数 ≥ 200

为了获得不同的发泡倍数，可使用不同类型的泡沫发生设备，例如低倍数泡沫枪、中倍数枪或高倍数泡沫发生器。通常使用“吸气式泡沫产生装置”（利用泡沫溶液产生的文丘里效应将空气吸入泡沫枪）生成低倍数和中倍数泡沫。高倍数泡沫发生器通常使用风扇提供足够的空气以产生更高的膨胀。低倍数和中倍数泡沫通常是用于覆盖水平燃料表面，而高倍数泡沫通常用于充满整个封闭空间（例如船上的机房、飞机库）。

CAFS 是另一种泡沫发生设备，它使用压缩空气产生泡沫（称为 CAF）。使用泡沫配比设备将水和泡沫混合在一起，该设备的配比比例明显低于传统泡沫设备中常用的比例，使用 A 类泡沫浓缩物时，配比比例为 0.1%到 1%。泡沫配比完成后，来自独立压缩机的压缩空气被混合到预混合溶液中，产生具有小而稳定的气泡的均匀泡沫。生成的（膨胀的）泡沫随后通过软管分配给操作软管的消防员，并且可以在不用任何泡沫喷嘴的情况下使用。由于软管中含有膨胀泡沫，与用水相比，重量明显降低，因此更容易操作。可以通过改变膨胀率以产生低倍数或中倍数泡沫，并且还可以产生非常“稳定”的泡沫，进而产生类似于“剃须膏”的特性。这有几个优点，例如，可在倾斜或垂直表面上使用泡沫。排水率（产生的泡沫中水分的流失）也很低，从而减少了水损害（如颗粒的湿润和膨胀效应）。

D.7.4 水

水是最常见的灭火介质，可通过多种不同的方式使用，通过消防软管和消防喷嘴手动使用，或通过固定

系统供应洒水器或细水雾系统。

注意：避免使用强大的高压水柱射流装置，因为它可能会使靠近表面的阴燃火焰暴露，并产生可能被点燃并导致粉尘爆炸的粉尘云。

因为细小水珠蒸发效果更好，可有效提高冷却效果，因此细水雾系统的使用可有效减少用水量。但是，细小液滴对气流更敏感，仅适用于在天花板高度较低或中等的封闭空间。自动喷水系统通常使用更高的流速，产生更大的水滴，从而产生更好的渗透和浸湿能力。

各种水消防系统也用于输送机，例如，作为转换点的快速动作阀，用于保护输送机的自动喷水系统/细水雾系统。

如果可能，应避免在生物燃料颗粒的密闭储存中大量加水，例如在筒仓、料仓中，因为水会导致颗粒膨胀，膨胀力可能导致桥接甚至整个筒仓结构破裂（见 D.2.5.3）。

D.7.5 沙子

如果在大量散装物料堆中发生不受控制的火灾，且水或其他灭火介质不可用或无法使用时，可以使用沙子将其覆盖。这是一种比较常用的方法，如可用于大型垃圾堆中的火灾。这将需要大量的沙子，并需使用轮式装载机和远程挖掘机。

附录 E

(资料性)

用于冷却散料的通风装置

在一些国家,现代化的生物质颗粒储存设施还应当包含强制通风系统,用于控制储存生物质颗粒的温度条件。然而,在空气相对湿度较高的地区,由于生物质颗粒自身的平衡水分(EMC)因素,需要考虑到将外部空气流入储存区域的影响。生物质颗粒中湿度增加将有助于增强微生物活性。同时潮湿的空气会使颗粒膨胀。此外,在环境温度高于颗粒温度的情况下,流入的水蒸气的热量将使生物质颗粒升温。换言之,在某些情况下,用相对湿度较高的空气进行通风,实际上可能导致储存的物料温度升高而不是温度降低。为了避免这种不受控制的情况,通风系统应包括一个除湿器,以控制流入储存区域气体的水含量。

为了控制大型筒仓的整体温度,北美地区越来越多地进行筒仓通风。在许多情况下,由于天气炎热与使用具有高氧化性原料生产颗粒,生物质颗粒具有较高的初始温度。通风气流由强力风扇产生,空气始终保持经由筒仓底部的缝隙进行分布。通风是通过筒仓顶部的阻尼器完成的。温度通过许多温度电缆进行监测,其中传感器配置的设计需要考虑导热性、渗透性与渗透性变化、通风风扇容量和新鲜空气入口的几何形状。温度监控系统会显示散装物料的温度分布图,当温度超过一定水平时会发出警报,例如:45℃。风扇通常由温度监控系统控制,通过系统开关将温度保持在预定范围内。在一些装置中,风扇会持续运行,并且只有在入口通风空气温度超过散料的温度时才会关闭。提供有线温度监测系统的服务公司还应通过互联网提供全天候远程服务,以提供温度记录以及传达给筒仓当地操作人员的若干警报消息。各种安全措施须确保到位,以确保断电及/或通信中断不会危及安全操作。这样可以实现非常有效的监控,并使筒仓操作员因注意力不集中而犯错误产生的风险消除。

储存具有不同体积渗透率的生物质颗粒可能会导致筒仓中的热量分层,从而导致温度上升。将生物质颗粒与隔离的细料或粉尘从火车或海运船填入大型仓库,可能会产生层状结构,从而阻碍料堆中的对流或空气流动,也可能导致温度上升。考虑到堆内渗透率的变化,通风机的容量必须根据最坏的情况来确定。如果风扇容量太低,通风可能会导致更坏的情况发生,因为通风增加的氧气停留在料堆中会增加氧化过程,从而导致温度上升而不是温度下降。由于这个原因,风扇通常会有一个备用电源,以备正常电源出现故障时使用。像前面所说的,进口中的高湿空气可能会产生问题,为了避免这种情况,如果相对湿度超过80%,就有必要关闭通风,或者安装一个除湿器系统。

如果温度上升到临界值以上,通风系统可以与通入惰性气体相结合。在这种情况下,设计通风系统是极其重要的,这样可以完全阻断空气供应,以促进惰性气体的作用。除了强制通风,固体生物质燃料颗粒的冷却可以通过将材料循环到另一个筒仓来实现。在一些装置中,使用了外部传送系统,并通过传送带之间的下落过程进行透气(另见D.4.1)。

附录 F

(资料性)

惰性气体分配系统和进气口的设计

F.1 总则

本节总结了一些关于筒仓中惰性气体分配系统设计的简要信息，并基于 MSB (MSB, 2013 年第 7 章) 给出的部分建议。如需更多知识与详细信息，请阅读完整的出版物。

还应该注意的，这些建议是基于以生物质颗粒作为散料的经验、测试和模拟，并且来自测试和真实火灾的经验仅限于直径相对较小的筒仓。

F.2 惰性气体供应

由于可用性和风险因素，液氮被认为是被选作惰性气体的主要替代品 (见 D.2.2)。

液氮的供应主要有两种选择：

- 通过卡车或铁路运送液氮
- 由固定安装位置供应的液氮

注意：也可以使用压缩氮气瓶，但从实际应用来看仅限于小范围的仓储设施惰惰性化。也可以使用氮气发生器，产生约 95% 的氮气和 5% 的氧气的气体混合物，但主要用于防火而不是灭火 (见 9.4.3.4)。这种设备的局限性与气体中剩余的氧气浓度有关，剩余的氧气这将使气体的灭火效率降低，并且与液氮的供应相比，这种气体发生器的容量有限。

除了使用移动罐或固定安装罐提供液态氮气外，还需要一个蒸发器单元确保气体能够以气态形式输送到筒仓，并配备必要的压力释放阀，压力调节器、低温传感器等。使用固定安装时，所有管道都是固定的，由不锈钢制成。在移动供应的情况下，各种单元 (临时储罐、蒸发器单元、受保护筒仓处的气体分配系统) 通常使用适用于处理液态气体与/或冷气化气体的柔性软管连接。

固定氮气分配系统是可行的，因为设备已经到位，可以对火灾事件做出快速响应，而移动的氮气分配设备也可以使用，前提是在紧急情况下，所有必需的设备 and 氮气的输送都可以在合理的短时间内得到保障。为确保气体设备的安全处理和操作，独立于使用移动或固定系统，整个系统应由专业公司设计。

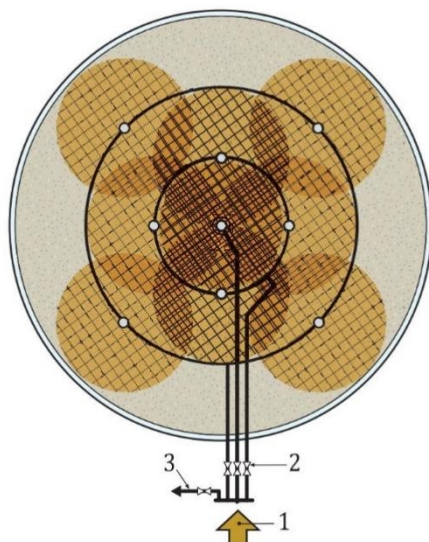
F.3 筒仓底部的固定气体分配系统

所有筒仓最好通过在筒仓底部安装气体分配管道系统来准备灭火工作。这种系统有两个主要目的，一个是保障消防与救援服务可以快速响应，另一个是确保气体能够均匀分布，从而使整个筒仓惰惰性化。有效气体分配的范围与筒仓的大小有关，否则灭火操作可能会失败，因为气体可能无法到达阴燃的起火点位置。固定的气体分配系统可实现高效操作，可以保护较大的筒仓，但最重要的优点是可以快速响应，为所有人员保持高安全度。

设计的基础应该是确保基于筒仓横截面积的气体流速至少为 $5\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ，并且气体分布尽可能均匀。对于直径较小的筒仓，1-3 个气体入口通常就足够了。对于直径为 10-15m 或更大、存储高度相对有限的

筒仓, 将需要额外的进气口。为了让气体径向扩散并在气体前沿破坏储存材料的表面之前形成“活塞流”, 随着筒仓/储存设施高度的降低, 每个入口的覆盖面积需要更小 (更多入口)。图 F.1 中的圆圈标记了每个入口的理论覆盖区域, 这意味着会发生一些重叠, 但也会存在一些间隙。

对于需要更多进气口数量的较大筒仓, 系统应分成几个气体回路, 如图 F.1 所示。这将减小系统的管道尺寸, 并在消防操作期间将气流引导到筒仓的各个部分提供更大的灵活性。



图示

- 1-气体接入口
- 2-气体分配管的阀门
- 3-供气给筒仓顶空分布系统

图 F.1-筒仓气体分配系统示例, 气体分配系统共有 9 个气体分配入口, 分为两个环路, 每个环路上有 4 个入口, 有一个单独的气体分配入口在出料口处

应准备好向筒仓顶部空间供气。气体接入口应保持关闭, 以免外部潮湿空气通过气体接入口进入筒仓。为了防止气体分配入口被堵塞, 每个气体分配入口都应该被盖住。这可以需要在混凝土地板上安装边或直径约为 0.3-0.4m 的方形或圆形钢板, 在钢板和地板之间保持约 30mm 的间隙。如果筒仓配有螺旋输送机进行卸料, 则气体分配入口和钢板应降低到地板上, 并可能配备一个坚固且相对较细的格挡, 以防止物料被螺旋输送机压到钢板下。如果筒仓地面需要完全光滑, 可以让轮式装载机行驶, 图 F.2 中另一种解决方式也是比较好的。



图 F.2-筒仓底板内气体管道和气体分配入口的主要设计

附录 G

(资料性)

与生物质颗粒行业相关的各种传感器和检测系统的布置示例

G.1 引言

本附录一般性地描述了不同传感器技术的示例，它们通常如何应用以及各自的优点/缺点。预防措施和早期发现是避免危险事件或将此类事件的风险和后果降至最低的最有效方法。可以通过使用不同类型的传感器/检测器来防止材料着火，提供自热事件的早期指示，以及阴燃和火灾的指示。不同技术的组合通常可以更好地正确评估情况，从而为采取适当行动提供更好的条件。

由于储存设施和储存条件可能会有很大差异，因此监测温度（和/或气体浓度）变化率通常比特定阈值更重要，因为变化率异常增加表明某种形式的变化条件和可能问题。因此，保持对正常情况的良好跟踪对于了解有关特定存储的更多信息并有可能在早期发现任何异常情况至关重要。

大多数单元操作已在 A.2 至 A.5 中所阐述，其中所需要的传感器和检测系统的安全操作如下所述。

G.2 传感器

G.2.1 火花探测器

火花探测器是一种点火源检测器，用于检测在近红外(NIR)光谱范围内所发射的可见光和/或辐射的火花。典型布置：探测器安装在选定的落槽壁上，例如传送带之间的转运点、仓库的入口和仓库的出口。可以检测带有运动部件的机器中产生的火花，并检测产品线中的阴燃材料。通常在检测到时会启动自动水灭火系统。

优点：在许多情况下，可以在点火发生之前采取预防措施。

缺点：火花探测器通常对日光敏感，应安装在内部环境完全黑暗的位置。火花探测器通常对可见火花非常敏感，但对通常由摩擦相关问题引起的热黑色颗粒的敏感性较低，即热黑色点火源在较长波长范围内发射 IR 辐射，并且具有足够的温度和能量来点燃材料。检测器镜头应保持无灰尘，否则会降低灵敏度。

G.2.2 热粒子探测器

热粒子检测器是一种点火源检测器，用于检测在 NIR 和/或中红外(MIR)光谱范围内发射辐射的热粒子和火花。

典型布置：探测器安装在选定的落槽壁上，例如传送带之间的转运点、仓库的入口和仓库的出口。可以检测带有运动部件的机械中产生的火花和热粒子。还可以检测阴燃材料和在产品线中的与热无关物品。在存储的出口处，热粒子检测器可用于检测产品线中的自热和阴燃材料。通常在检测到时会启动自动水灭火系统。

优点：在许多情况下，可以在点火发生之前采取预防措施。热粒子探测器可检测火花和热粒子，可检测材料在灰尘云中最低点火温度(MIT)范围内的温度和在材料最低点火能量(MIE)范围内能量含量(见 C.4)，即可能导致材料着火的所有类型的颗粒。热粒子探测器对日光不敏感，可以安装在可见光存在的位置。

缺点：检测器镜头应保持无灰尘，否则会降低灵敏度。

G.2.3 火焰探测器

火焰探测器可以快速响应在探测器视野内发生的明火。

典型布置：火焰探测器可用于监控机械设备，如磨机、压料机、输送机等。火焰探测器还可用于监控存

储区域、材料卸载区域和其他通常存在火灾危险的区域。

优点：响应时间非常快。可以有效监控比较大的区域。易于安装。

缺点：对发光材料的检测无效。检测器光学元件应远离可能降低灵敏度的灰尘。

G.2.4 多种气体探测器

分析周围环境的化学成分。探测器测量评估来自不同火灾相关气体的几个不同传感器信号水平的组合。它不会提供特定气体类型的气体浓度单位值（例如，ppm）。超过燃烧气体水平或出现水平的快速上升可能是初期的自热或燃烧事件。

典型布置：探测器固定安装在储存/筒仓顶部空间的上部区域，即气体预计会分散的区域。检测器也可以位于料仓出料区域，用于检测来自材料出料的气体。

优点：持续监控环境并提供早期自热事件的早期指示。几种不同的典型火灾气体由同一个探测器监测和评估。检测器一般可以监测比较大的区域。设计可承受多尘环境。

缺点：检测器必须位于存在气体的位置。必须仔细考虑通风处的空气流动。高粉尘浓度，例如，如果通过吹气运输颗粒，可能需要经常清洁。

G.2.5 气体监测（CO、CO₂、CH₄等）

监测周围环境中的气体水平。气体水平升高或气体水平快速上升可能表明初期的自热或燃烧事件。

典型布置：固定安装的气体探测器通常安装在存储/筒仓顶部空间的上部，或预计气体会分散的区域，例如传送带的走廊。操作人员在进入某些区域时携带个人气体监测设备，以测量氧气水平并检测某些气体（CO等）的存在和浓度。

优点：固定安装的气体探测器持续监测环境，并提供自热事件的早期指示。个人气体监测设备将监测操作员直接附近的环境，并在环境危险时警告操作员。

缺点：气体水平的正常变化可能会被检测为一个事件。检测器必须位于存在气体的位置。高粉尘浓度，例如，颗粒通过吹气运输，可能需要经常清洁。个人监控设备仅在操作员在场且操作员直接靠近时才会监控环境，但它适合作为操作员的安全设备。

不建议尝试使用 LEL（爆炸下限）监测仪器测量筒仓顶部空间等可燃裂解气体的浓度，以评估爆炸风险。见 D.2.4。

G.2.6 用于气体监测的吸气系统（烟雾、CO、CO₂、CH₄等）

气体监测系统也可以设计为吸气系统，其中来自选定位置的空气通过管网被吸入中央检测器。

典型布置：在封闭系统中，例如传送带走廊、平面存储、换气系统可用于烟雾/气体检测。该系统由一个带有多个喷嘴的管组成，连接到一个检测单元。检测单元由过滤器、检测器和泵组成。过滤器可以是旋风分离器和织物过滤器的组合，并且泵可以具有反向功能以实现管道的清洁。

优点：系统可以覆盖大面积，采样管最长可达 100m。根据探测器的类型，该系统可以测量许多与烟雾/气体相关的参数，并且具有高灵敏度的系统可以作为其他监测设备的良好替代或补充。

缺点：从多个位置抽取空气的吸气系统无法精确定位气源的位置。由于输送机走廊等中存在风效应的风险，可能需要在输送机两侧安装抽吸系统。

G.2.7 湿度或相对湿度(RH)传感器

湿度传感器测量空气中的相对湿度(RH)。

典型布置：RH 传感器通常放置在仓库的天花板或筒仓顶部空间中，因为与周围大气相比，增加的 RH 值可能表明正在进行自热或燃烧过程并产生水蒸气。仓库顶部或筒仓顶部空间中的显著冷凝也可能影响上层颗粒导致颗粒分解，降低颗粒的质量，从而导致细粉量增加。RH 检测器也可用于确定环境相对湿度。如果环境湿度超过例如 85%，一些使用室外空气冷却筒仓的通风系统将关闭，以避免水分进入强制通风的筒仓。

优点：提供避免冷凝的可能性，例如通过启动通风风扇。将与温度和气体监测系统一起提高检测自热过程的可能性。

缺点：有些湿度计对腐蚀很敏感。

G.2.8 温度传感器

G.2.8.1 概述

不同类型的温度传感器可用于监测储存的颗粒和表面的温度。重要的是不要只关注某个温度阈值，而是要遵循温度变化率。异常增加的变化率表明某种形式的变化条件和可能的问题。

注：筒仓存储中最大温升和最大整体温度的常用值分别为每小时 1 到 1.5℃ 和 60℃，但在某些情况下，甚至更低的数字也可能表明存在严重问题。

然而，也有颗粒生产商使用摊平存储，在生产后直接存储，报告颗粒堆表面的温度约为 80℃。由于在摊平存储中可以将颗粒分布在较薄的层中，并且堆中的热量损失比在筒仓中更有效，因此温度传感器可以处理这种情况。此外，如果暴露在阳光直射下，筒仓中的材料往往会从筒仓壁吸收热量。这清楚地表明，考虑到工厂布局、颗粒质量、获得的经验等，为每个工厂规定具体温度阈值非常重要。

G.2.8.2 温度传感器电缆

传感器电缆是配备有沿其长度安装的温度传感器的长金属电缆。沿电缆分布的传感器数量可以不同，但传感器之间的常见距离为 2m 到 4m。电缆连接到数据记录器系统，通常与工厂的整体操作系统集成在一起。作为物理电缆连接的替代方案，温度电缆的顶部可以容纳一个记录器和一个用于将数据传输到基站的发射器。

典型布置：传感器电缆从天花板悬挂到储存的颗粒堆中，其总长度可测量存储堆的整个深度（见图 G.1）。电缆的数量因

应用场景（筒仓、扁平存储）而异，但更紧密的电缆网络提供了更好的机会来监控整体温度并定位任何潜在发生自热的问题。通常，这些系统与安装的气体监测器相结合，以增加在早期检测到自热的机会。

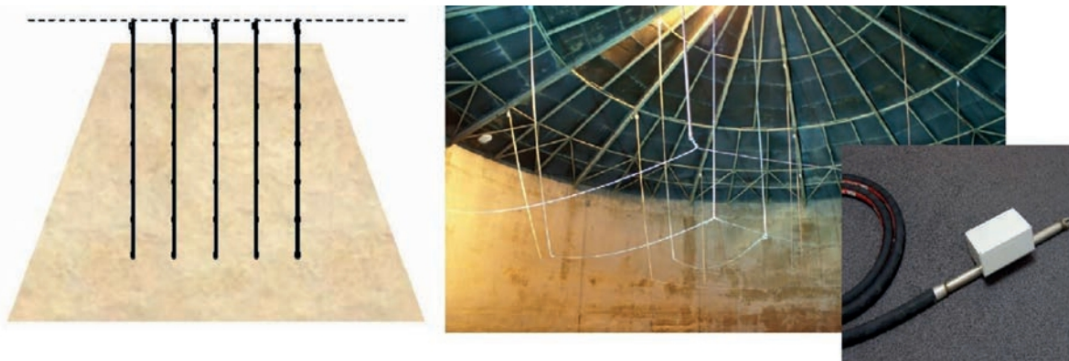


图 G.1-显示温度传感器电缆和电缆顶部数据发送器安装的主要示意图和照片

优点：该系统可以覆盖大体积并在存储堆的不同深度提供测量，并提供堆内部温度概览并获得典型趋势的长期经验的可能性。无需人员进入存储堆。

垂直温度电缆在天花板上施加非常高的静态和动态应力，并且通常需要加强支撑。通常使用数学模型来计算阻力。

缺点：传感器电缆会受到颗粒的巨大阻力，因此屋顶结构必须足够坚固以承受这些力，这一点很重要。在填充过程中，

电缆倾向于被向外侧推，例如朝向筒仓壁，从而使测量位置的实际位置不确定。一种可能性是将电缆连接到地板或在下

端将它们相互连接以减少此问题。然而，这进一步增加了对电缆的作用力。如果电缆连接到地板，最重要的是如果使用回

收螺钉进行筒仓的最终卸料，这些电缆是可断裂的可能性。

G.2.8.3 温度传感器热电偶

温度传感器热电偶是移动温度探头。温度传感器热电偶有几个沿温度传感器热电偶长度方向安装的温度

传感器。温度传感器热电偶的顶部装有一个记录器和一个用于将数据传输到基站的发射器。该基站可以将信息重定向到例如网站或其他应用程序。

典型布置：温度传感器热电偶可用于无法使用内置设备的区域，例如平面存储或驳船存储。探头用于测量普通货物温度（见图 G.2）。

探头越多，监测整体温度和定位任何自热问题趋势的机会就越大。探头通常用于对货物进行频繁的目视或红外检查。在某些

应用中，这些系统还与安装的气体监测器相结合，以增加早期检测自热的机会。

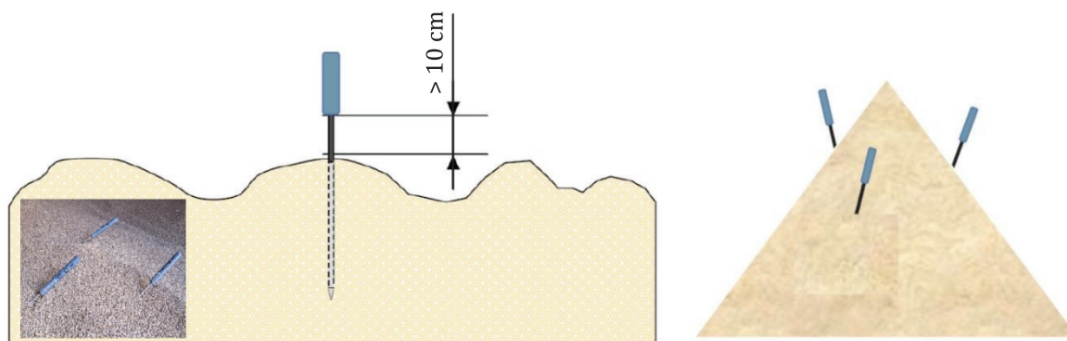


图 G.2-显示使用温度传感器热电偶监控颗粒存储的主要示意图

优点：温度传感器热电偶是可移动的，可以定位在指定的位置，由于填充/回收，可以根据需要移动。

缺点：温度传感器热电偶的长度决定了将它们推入颗粒堆深度有限。结果是只有颗粒堆的上层可以监测。将探头放入堆中时，要考虑人员的安全，例如货物移动的风险、气体和粉尘危害。

G.2.8.4 热像仪（IRcameras）

热像仪测量物体的热辐射（红外线）。热像仪可用于非常准确地测量物体/材料的表面温度，并轻松显示单度差异。

典型布置：红外热像仪可以固定用于监控特定区域，热图像显示在例如控制室的监视器上，也可以是手持的或热图像显示在热像仪显示器上。红外热像仪可用于监测各种物体或表面的温度，例如颗粒堆或筒仓上表面的表面温度、输送机中螺栓轴承的温度、摩擦引起的热量。消防和救援服务也使用它来检测充满烟雾的外壳中的明火。红外摄像机可能是对例如温度传感器热电偶的使用的有用补充。

优点：红外摄像机非常有用，因为可以在距物体的距离上进行测量，并且使用手持红外摄像机可以轻松快速地监控大面积区

域。手持式摄像机也可用于促进有针对性的消防操作，例如被烟雾或墙壁阻挡的火灾。

缺点：红外热像仪只能用于测量外表面温度。来自材料深处（例如筒仓内部）的火灾产生的热量首先必须通过材料传播，然后影响筒仓壁的内部，然后才能从外部检测到。因此，在发生深阴燃火灾的情况下，使用红外摄像机获取可用信息是有限的，并且可能性受到筒仓直径/桩大小的反向影响。

G.2.8.5 热探测器（例如在传送带走廊、特定外壳中）

热探测器可响应火灾的对流热能，并检测环境温度何时超过预定的固定温度（固定温度热探测器）或环境温度发生快速升高（上升率探测器）。

典型布置：热探测器通常安装在区域、围墙等的天花板上，预期火灾产生的热量会尽可能早地到达探测器的位置。

优点：易于安装。

缺点：响应时间慢，可能无法及时响应快速火灾事件或直到火灾达到一定强度。

G.2.8.6 线性热敏探测器电缆

当电缆内超过预定的固定温度时，线性热敏探测器电缆会做出响应。

典型布置：线性热敏电缆通常用于监控长距离的机械或电气，例如皮带输送机、电缆桥架、电缆隧道等。

对于皮带输送机，电缆通常安装在皮带输送机的上方和两侧输送机，靠近可能发生摩擦热相关火灾的滚柱轴承的位置。

优点：能够监测在长距离恶劣环境条件下经常出现的地方。易于安装。

缺点：为了尽可能早地进行检测，电缆必须靠近热源。可能无法及时响应快速火灾事件。在检测静态事件中，不适用于检测带式输送机上的移动火灾。

G.2.8.7 闭头自动喷水系统（可代替感温探测器）

自动洒水器响应火灾的对流热能，并检测环境温度何时超过预定的固定温度。

典型布置：自动洒水器通常安装在预期火灾热量会尽早到达探测器的区域、外壳等的天花板上。洒水器也可用于室内或室外传送带的防火。

优点：提供了相对快速的检测和立即开始灭火的可能性。

缺点：如果用于保护传送带，重要的是要关闭连锁传送带以避免火灾蔓延到其他区域和给洒水系统造成超负荷。闭头自动喷水系统在干式系统或在可能结冰的寒冷气候中的作用有限。

G.3 附加监控系统

除了各种温度传感器、气体检测系统、点火源检测器外，还有几个检测系统可以控制输送机可能会导致火灾的状况。这些检测系统通常是运动传感装置、过载传感器、皮带错位传感器、振动传感器。闭路电视摄像机对于人员不经常出现的区域的视频监控也很有价值。

附录 H

(资料性)

中型商用木质颗粒仓库风险评估示例

H.1 引言

供应链包括颗粒生产商、商业分销商和终端用户的搬运过程和储存设施，可能以大规模商业用途的形式（如发电厂），中型锅炉和分销商/贸易商的形式，或是私用小型锅炉的形式。因此，存储的大小、年周转率和复杂性可能会有很大的不同，故本文件使用基于风险的方法来确定应考虑哪些安全措施。

本附录给出了一个复杂度相对较低的中型商用木质颗粒仓库风险评估示例，包括危险识别和风险预估。所有当前的危险都被认为是足够严重的以至于可以实施技术和组织措施，来对危险源进行永久/定期监测，以预防和应对将要发生的危险。风险分析给出了一个此类风险分析的可能结构，但最终内容和判断对于所涉及的实际设施显然非常重要。

以下其他机构定义的法规本示例中未考虑：

—国家或地区级法律法规（如与爆炸危险相关）；

—保险法规；

—职业协会等机构制定的标准（如美国消防协会（NFPA））。

对于规模更大和/或更复杂的搬运过程和储存设施，将需要更深入的风险评估，本附录中所述的结构可能不完全有效。

H.2 案例企业简介和边界的定义

本案例中的企业根据ISO 17225-2所界定的标准生产质量等级为A1级的颗粒。企业的存储能力约为1500吨。颗粒的年平均周转量约为6000吨到9000吨。

设施的总体特征如图H.1所示。

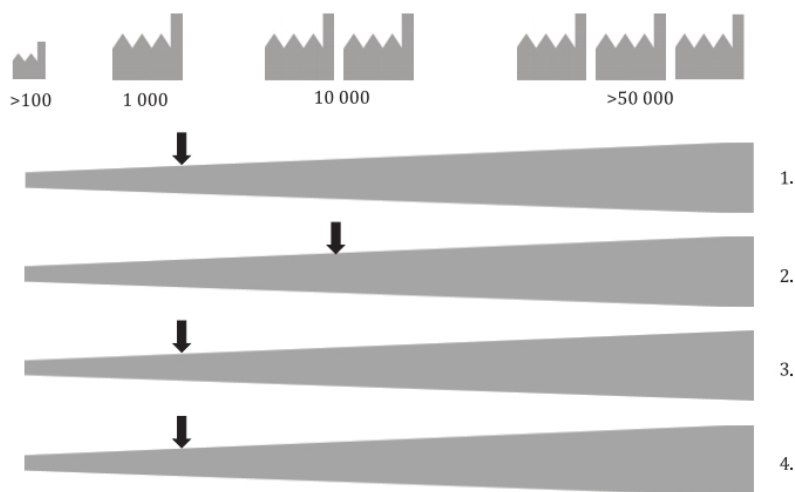


图 H.1 H.2 和 H.3 中用作示例的设施特性示意图

图中：

- 1 存储量（吨）
- 2 年平均周转量
- 3 现场处理设施（如输送机）的复杂程度
- 4 与设施配置以及操作和维护要求相应的安全措施

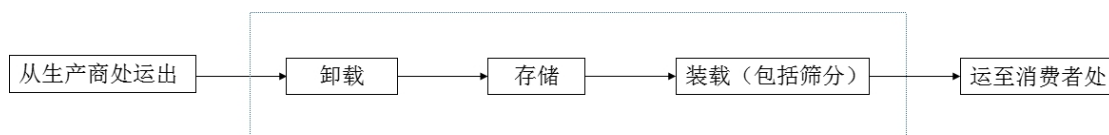
风险评估的范围包括以下过程（见图 H.2）：

—送货车在仓库入口区域的掩蔽型卸货点卸货。将颗粒从卡车的谷物仓直接倾倒入敞开的移动式皮带输送机上，并将其运送到仓库的堆垛上。

—颗粒在仓库中储存约两个月的实际。储存的颗粒的填充高度约为 4 米。仓库的基本面积约为 900 平方米，包括约 300 平方米的流通面积，以在将货物卸至装载站期间使用轮式装载机搬运颗粒。

—为了将货物交付给客户，颗粒由轮式装载机装载到料斗中，再由输送机运输至安装在仓库中的筛分设备。

—筛分后颗粒的由升降机和链式输送机运输至带料斗的掩蔽型输装载站，然后再装入运输车。



- 设备/设施：
- 移动式皮带输送机
 - 存储区域
 - 轮式装载机
 - 料斗
 - 输送机
 - 筛分设备
 - 电梯/链式输送机
 - 装载站

图 H.2 风险评估的边界和影响到的设备设施

H.3 风险评估结构示例

表 H.1 至 H.7 展示了 H.2 中示例公司的风险管理的文件编制流程, 包括根据第 5 部分规定原则制定的风险分析、风险评估和风险控制/降低措施。表格中的空白单元格表示无必要的相关具体措施。

表 H.1 卸料点和仓库输送机的风险评估

序号	风险	风险估计和评价	探测	技术措施	组织措施
1.1	粉尘-火灾和爆炸	每批木质颗粒中都含有一定量的小于 500 μm 的爆炸性粉尘, 取决于其浓度和火源位置。与木制颗粒相比, 木制粉尘是高度易燃的	—周期性检查表面的粉尘聚集	—避免颗粒从高空坠落 —施工中避免可能的火源 —安装带有防尘外壳的滚珠轴承 —使用耐火和抗静电的输送带	—定期清洁表面 —制定应急行动计划(如火灾时紧急排颗粒) —禁止在输送机下停放车辆和储存易燃材料 —禁止吸烟和使用明火 —用警告标志标记潜在爆炸区域 —为员工提供关于危险的信息 —(从供应商处购买筛分过的颗粒)
1.2	粉尘-吸入	空气中漂浮的粉尘的浓度和品质在吸入时会对健康造成危害		—避免颗粒从高空坠落	—必要时使用 PPE 进行呼吸保护 —卸载期间工人应与卡车的谷物舱口保持约 2 米的距离 —为员工提供关于危险的信息 —(从供应商处购买筛分过的颗粒)
1.3	因移动	必须避免移动机器部	—周期性机器	—遮盖移动	—为员工提

机器组件而造成的伤害	件可能导致的严重伤害	检查	的部分	供关于危险的信息
------------	------------	----	-----	----------

表 H.2 仓库存储区的风险评估

序号	风险	风险估计和评价	探测	技术措施	组织措施
2.1	粉尘-火灾和爆炸	见上表（表 H.1， 1.1 行）	<ul style="list-style-type: none"> —安装与仓储区相匹配的空气探测器 —使用带温度传感器的标枪周期性货物堆的温度 —周期性检查表面的粉尘聚集 	<ul style="list-style-type: none"> —避免颗粒从高空坠落 —在最大填充高度以下进行密闭仓墙施工 —设计用于防止粉尘积聚和冷凝的结构 —在使用移动设备（轮式装载机）时，使用地板顶层材料，将产生火花的风险降至最低 —避免其他可能的火源 —集成多个门洞，用于（紧急）排放 —安装与仓储区相匹配的空气探测器以警示操作人员 —安装由消防队提供的干管喷水灭火系统 —安装消防队提供的立管系统 —安装应急照明 —在仓库附近选择/开辟一个区域，用于在紧急排放时临时储存阴燃/燃烧的颗粒 	<ul style="list-style-type: none"> —定期清洁表面 —避免将不同品质和条件(如水分含量，提取物)的颗粒混合储存 —保证颗粒的自由流动 —制定应急行动计划（例如火灾情况下的颗粒疏散） —禁止吸烟和使用明火 —为员工提供关于危险的信息 —允许使用移动红外摄像头定位货堆中的热/阴燃颗粒
2.2	粉尘-吸入	见上表（表 H.1， 1.2 行）		<ul style="list-style-type: none"> —避免颗粒从高空坠落 	<ul style="list-style-type: none"> —为员工提供关于危险的信息
2.3	自燃	在某些情况下，木质颗粒和粉尘在储存过程中表现出自热倾向，可能导致自燃和 CO 脱气	<ul style="list-style-type: none"> —使用带温度传感器的标枪周期性货物堆的温 		<ul style="list-style-type: none"> —制定应急行动计划（例如火灾情况下的颗粒疏散） —为员工提供关于危

			度		险的信息
2.4	CO 排气	在某些可能导致严重健康风险的情况下，木质颗粒可能会释放 CO	—明确仓库工作人员携带和使用 CO 探测器的义务	—整合地面层（但在直接存储区域）和墙壁上部的通风孔。上部通风口应能远程关闭	—为员工提供关于危险的信息 —根据颗粒的排气性质进行检查
2.5	墙的桥接和搭建	在某些情况下，散装颗粒的装载不会形成一个休止角，而是形成一道可能坍塌和掩埋员工的垂直墙		—在适当位置固定安全点，以便连接带电线路	—当颗粒墙在受控条件下坍塌时提供轮式装载机 —明确工人使用带电线路的义务以防发生在颗粒堆上停留的情况，安排另一个员工作为备份 —为员工提供关于危险的信息

表 H.3 卸料点和仓库输送机的风险评估

序号	风险	风险估计和评价	探测	技术措施	组织措施
3.1	粉尘-火灾和爆炸	见上表（表 H.1， 1.1 行）		—使用防尘输送设备 —避免颗粒从高空坠落 —在输送设备中安装真空吸尘装置（连接到中央吸尘装置） —在输送机中安装带防尘外壳的滚珠轴承	—必要时使用 PPE 进行呼吸保护 —避免轮式装载机在储存的颗粒上行驶 —定期清除料斗中的积尘 —禁止吸烟和使用明火 —在潜在爆炸区域标记警告标志 —为员工提供关于危险的信息
3.2	轮式装载机-火灾和爆炸	见上表（表 H.1， 1.1 行）		—使用专门用于在多尘环境中工作的车辆（例	—为轮式装载机制定周期性检查维修保养方案

				如,屏蔽热表面制成的设备、非火花产生材料制作的铲斗、驾驶室的手持式灭火器) —在卸料点和输送机上安装真空吸尘装置 —使用防尘输送设备 —避免颗粒从高空坠落	—为员工提供关于危险的信息 —从供应商处购买经过筛分的颗粒
3.3	粉尘-吸入	—空气中漂浮的粉尘的浓度和品质在吸入时会对健康造成危害 —必须采取措施避免空气中粉尘高浓度聚集		—避免颗粒从高空坠落	—定期更换驾驶室滤清器
3.4	因移动机器组件而造成的伤害	必须避免移动机器部件可能导致的严重伤害	—周期性机器检查	—遮盖移动的部分	—为员工提供关于危险的信息

表 H.4 筛分设备的风险评估

序号	风险	风险估计和评价	探测	技术措施	组织措施
4.1	粉尘-火灾和爆炸	见上表(表 H.1, 1.1 行)	—周期性检查筛网甲板	—安装真空吸尘装置	—禁止吸烟和使用明火 —为员工提供关于危险的信息
4.2	粉尘-吸入	见上表(表 H.1, 1.2 行)	—周期性检查筛网甲板	—安装真空吸尘装置	—为员工提供关于危险的信息
4.3	因移动机器组件而造成的伤害	见上表(表 H.1, 1.3 行)	—周期性机器检查	—遮盖移动的部分	—为员工提供关于危险的信息

表 H.5 至装载站的运输过程风险评估

序号	风险	风险估计和评价	探测	技术措施	组织措施
5.1	粉尘-火灾和爆炸	见上表（表 H.1, 1.1 行）		<ul style="list-style-type: none"> —安装真空吸尘装置 —在输送设备中安装真空吸尘装置（连接到中央吸尘装置） —避免颗粒从高空坠落 —安装传感器以检测电梯皮带的错位 —在输送机安装室安装喷水灭火系统 —安装应急照明 	<ul style="list-style-type: none"> —禁止在输送机下停放车辆和储存易燃材料 —禁止吸烟和使用明火 —为员工提供关于危险的信息
5.2	粉尘-吸入	<ul style="list-style-type: none"> —空气中漂浮的粉尘的浓度和品质在吸入时会对健康造成危害 —必须采取措施避免空气中粉尘高浓度聚集 		<ul style="list-style-type: none"> —避免颗粒从高空坠落 —在输送设备中安装真空吸尘装置（连接到中央吸尘装置） —安装真空吸尘装置 	<ul style="list-style-type: none"> —为员工提供关于危险的信息
5.3	因移动机器组件而造成的伤害	必须避免移动机器部件可能导致的严重伤害	—周期性机器检查	—遮盖移动的部分	—为员工提供关于危险的信息

表 H.6 装载站的风险评估

序号	风险	风险估计和评价	探测	技术措施	组织措施
----	----	---------	----	------	------

6.1	粉尘-火灾和爆炸	见上表（表 H.1, 1.1 行）	见上表（表 H.1, 1.1 行）	见上表（表 H.1, 1.1 行）	见上表（表 H.1, 1.1 行） —补充:定期去除料斗表面的粉尘
6.2	粉尘-吸入	见上表（表 H.1, 1.2 行）	见上表（表 H.1, 1.2 行）	见上表（表 H.1, 1.2 行）	见上表（表 H.1, 1.2 行） —补充:定期去除料斗表面的粉尘

表 H.7 卸料点和仓库输送机的风险评估

序号	风险	风险估计和评价	探测	技术措施	组织措施
7.1	滑倒、绊倒和摔倒	滑倒、绊倒和坠落可能导致严重伤害。		—在所有区域安装明亮的照明	—受影响员工有义务穿着安全鞋并保持良好的抓地力 —定期清洁设施
7.2	高空作业—坠落风险	从任何高度跌落都可能导致擦伤和骨折。		—在必要的地方安装扶手	—如果无法安装扶手,受影响员工有义务使用带电线路 —使用安全电梯
7.3	触电或烧伤	员工可能因使用有故障的电气设备或错误的安装而触电或烧伤	—定期检查电气装置	—选择专业的电气安装	—只有经过专业训练的人员才能被允许进行电气安装
7.4	因移动机器组件而造成的伤害	现场的车辆交通（如卸货区和装货区的卡车、轮式装载机）可能会导致人员受伤,尤其是在紧急操作的情况下	—激活声学反向驱动信号	—用于警戒风险区域的设备	—制定应急行动计划（如火灾时疏散颗粒） —受影响员工有义务穿着反光服 —为员工提供关于危险

					的信息
7.5	水-颗粒分解	与水接触会导致颗粒膨胀和分解。这不仅会损害颗粒质量，还会增加自燃和爆炸的风险	—定期检查整个设施的积水和颗粒分解情况	—避免雨水进入和(由明显的温差引起的)水凝结	—为员工提供关于危险的信息

参 考 文 献

- [1] ISO 284, Conveyor belts — Electrical conductivity — Specification and test method
- [2] ISO 340, Conveyor belts — laboratory scale flammability characteristics — requirements and test method
- [3] ISO 8301, Thermal insulation — Determination of steady-state thermal resistance and related properties — Heat flow meter apparatus
- [4] ISO/IEC 17020, Conformity assessment — Requirements for the operation of various types of bodies performing inspection
- [5] ISO/IEC 17021-1, Conformity assessment — Requirements for bodies providing audit and certification of management systems — Part 1: Requirements
- [6] ISO/IEC 17025, General requirements for the competence of testing and calibration laboratories.
- [7] ISO 17827-2, Determination of particle size distribution for uncompressed fuels — Part 2: Vibrating screen method using sieves with aperture of 3,15 mm and below
- [8] ISO 20023, Solid biofuels — Safety of solid biofuel pellets — Safe handling and storage of wood pellets in residential and other small-scale applications
- [9] ISO 20049-1, Solid biofuels — Determination of self-heating of pelletized biofuels — Part 1: Isothermal calorimetry
- [10] ISO 45001, Occupational health and safety management systems — Requirements with guidance for use
- [11] ISO/IEC 80079-20-2, Explosive Atmospheres — Part 20-2: Material characteristics — Combustible dust test methods
- [12] IEC 60079, Explosive atmospheres
- [13] IEC 60079-14, Explosive atmospheres — Part 14 Electrical installations design selection and erection
- [14] IEC 60079-17, Explosive atmospheres — Part 17 Electrical installations inspection and maintenance
- [15] IEC 60079-19, Explosive atmospheres — Part 19: Equipment repair, overhaul and reclamation
- [16] IEC/TS 60079-32-1, Explosive atmospheres — Part 32-1: Electrostatic hazards, guidance.
- [17] IEC 61340-5-1, Electrostatics — Part 5-1: Protection of electronic devices from electrostatic phenomena — General requirements
- [18] IEC/TR 61340-5-2, Electrostatics — Part 5-2: Protection of electronic devices from electrostatic phenomena — User guide
- [19] IMO 1974, Fire protection arrangements in cargo spaces, IMO SOLAS Convention 1974, Chapter II-2 Part C Regulation 53
- [19] IMO International Maritime Solid Bulk Cargoes (IMSBC) Code.
- [20] UN, 2013a, Globally Harmonized System for Classification and Labelling of Chemicals, STG-SGAC10-30-Rev(6)

[21] UN 2013b, Recommendations on the Transport of Dangerous Goods, Manual of Tests and Criteria, ISBN 978-92-1-139148-0

[22] Directive 1999/92/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 1999 on minimum requirements for improving the safety and health protection of workers potentially at risk from explosive atmospheres (15th individual Directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC), EC, Editor. 1999 (ATEX 137)

[23] Directive 2008/1272/EC, European Union's Registration, Evaluation and Authorization of Chemical (REACH) Regulation for Classification, Labeling and Packaging

[24] Directive 2014-34-EU of the European Parliament and of the Council of 26 February 2014 on the harmonization of the laws of the Member States relating to equipment and protective systems intended for use in potentially explosive atmospheres (recast) Applicable from 20 April 2016

[25] EN 1127-1, Explosive atmospheres — Explosion prevention and protection — Basic concepts and methodology

[26] EN 13565-2, Fixed firefighting systems — Foam systems — Part 2: Design, construction and maintenance

[27] EN 14034-2, Determination of explosion characteristics of dust clouds — Part 2: Determination of the maximum rate of explosion pressure rise $(dp/dt)_{max}$ of dust clouds

[28] EN 16750, Fixed firefighting systems — Oxygen reduction systems — Design, installation, planning and maintenance

[29] AFS, 2018:1, Occupational Exposure Limit Values, The Swedish Work Environment Authority.

[30] ASTM C518, Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus

[31] ASTM D257, Standard Test Methods for DC Resistance or Conductance of Insulating Materials

[32] ASTM E1226, Standard Test Method for Explosibility of Dust Clouds

[33] ASTM E1491, Standard test Method for Minimum Autoignition Temperature of Dust Clouds

[34] ASTM E1515, Standard Test Method for Minimum Explosible Concentration of Combustible Dusts

[35] ASTM E2019, Standard Test Method for Minimum Ignition Energy of Dust Cloud in Air

[36] ASTM E2021, Standard Test Method for Hot-Surface Ignition Temperature of Dust Layers

[37] BS 5306-4, Fire extinguishing installations and equipment on premises. Specification for carbon dioxide systems

[38] NFPA 11, Standard for Low-, Medium-, and High-Expansion Foam

[39] NFPA 12, Standard on Carbon Dioxide Extinguishing Systems

[40] NFPA 15, Standard for Water Spray Fixed Systems for Fire Protection, (7.2.3 Belt conveyors+Annex)

[41] NFPA 68, Standard on Explosion Protection by Deflagration Venting

[42] NFPA 69:2019, Standard on Explosion Prevention Systems

- [43] NFPA 70, “National Electrical Code”
- [44] NFPA 499, Recommended Practice for the Classification of Combustible Dusts and of Hazardous (Classified) Electrical Installations in Chemical Process Areas
- [45] NFPA 654:2017, Standard for the Prevention of Fires and Dust Explosions from the Manufacturing, Processing, and Handling of Combustible Solids
- [46] Arshadi M., Geladi P., Gref R., Fjällström P.2009, , Emission of Volatile Aldehydes and Ketones from Wood Pellets under Controlled Conditions. *Ann. occup. Hyg.*
- [47] Arshadi M., Gref R.2005, , Emissions of volatile organic compounds from softwood pellets during storage. *Forest Products Journal.* 55(12): p. 132-135
- [48] Babrauskas V., 2003, *Ignition Handbook*, Issaquah, WA, USA: Fire Science Publishers
- [49] Back E.L., Allen L.H., 2000, *Pitch control, wood resin and deresination*, Atlanta, USA: Tappi Press
- [50] Energy Institute 2016, *Safe handling and storage of biomass in thermal power stations*, March 2016
- [51] Global F.M. 2015, *Data Sheet 7-11, Conveyors*, Oct 2015
- [52] Hedlund F.H.2018, , Carbon dioxide not suitable for extinguishment of smouldering silo fires: Static electricity may cause silo explosion, *Biomass and Bioenergy* 108, p 113-119
- [53] IEA 2013 *Health and Safety Aspects of Solid Biomass Storage, Transportation and Feeding*, May 2013 (incl 185 references)
- [54] Krause U., ed. *Fires in Silos — Hazards, Prevention, and Fire Fighting.* 2009, Wiley-VCH
- [55] Kubler H.1987, , Heat Generating Processes as Cause of Spontaneous Ignition in Forest Products. *Forest Products Abstracts*, 10(11): p. 299-327
- [56] Lönnermark A., Persson H., Blomqvist P., Hogland W.2008, , *Biobränslen och avfall — Brandsäkerhet i samband med lagring*, SP Rapport 2008:51, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut: Borås, Sweden (in Swedish)
- [57] MSB 2013, *Silo Fires-Fire extinguishing and preparatory measures*, July 2013, <https://www.msb.se/sv/Produkter--tjanster/Publikationer/Publikationer--fran--MSB/Silo--fires--fire--extinguishing--and--preventive--and--preparatory--measures/> (incl about 55 references)
- [58] Nielsen N.P.K.2009, , Effect of storage on extractives from particle surfaces of softwood and hardwood raw materials for wood pellets. *European Journal of Wood and Wood Products*, 67: p. 19-26
- [59] NRC 2010, *Acute Exposure Guideline Levels for Selected Airborne Chemicals, Volume 8.* 2010, The National Academies Press, National Research Council, Committee on Acute Exposure Guideline Levels, Committee on Toxicology
- [60] NTP (National Toxicology Program) 2016. *Report on Carcinogens, Fourteenth Edition.*; Research Triangle Park, NC: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. (Clause 6.2c)
- [61] Obernberger I., Thek G., eds. 2010, *The Pellet Handbook - The production and thermal*

utilisation of biomass pellets, BIOS BIOENERGIESYSTEME GmbH, Austria

[62] Persson H., Blomqvist P. 2004, Släckning av silobränder, SP-AR 2004:16, SP Swedish National Testing and Research Institute: Borås

[63] Pratt T., 2000, Electrostatic Ignitions of Fires and Explosions, Center for Chemical Process, Society of the American Institute of Chemical Engineers, ISBN 0-8169-9948-1

[64] Sjöström J., Blomqvist P. 2014, , Direct measurements of thermal properties of wood pellets: Elevated temperatures, fine fractions and moisture content, Fuel, 134, p 460-466

[65] Svedberg U., Högberg H.-E., Högberg J., Galle B. 2004, , Emission of Hexanal and Carbon Monoxide from Storage of Wood Pellets, a Potential Occupational and Domestic Health Hazard. Ann. occup. Hyg., 48(4): p. 339–349

[66] Svedberg U., Samuelsson J., Melin S. 2008, , Hazardous Off-Gassing of Carbon Monoxide and Oxygen Depletion during Ocean Transportation of Wood Pellets, Ann. occup. Hyg., 52, 4, p.259-266

[67] VGB 2013, Fire and Explosion Protection in Biomass Power Plants, VGB-S-018-00-2013-12-EN

