

粉尘风险无国界：
可燃粉尘管理与
亚洲 Dust Hazard Analysis (DHA)最新进展

可燃粉尘危害的有效管理体系方法

Chen Minghui 陈明辉
Er. Chan Keng Yong 曾项詠
AcuTech（艾戈泰） 咨询私人有限公司

© AcuTech 2026

AcuTech
PROCESS RISK MANAGEMENT

讨论议程

1. 一、可燃粉尘挑战
2. 二、全球与亚洲监管格局
3. 三、跨区域事故教训
4. 四、高风险行业领域
5. 五、DHA：主动式风险工具
6. 六、关键结论与行动步骤

© AcuTech 2026

AcuTech
PROCESS RISK MANAGEMENT

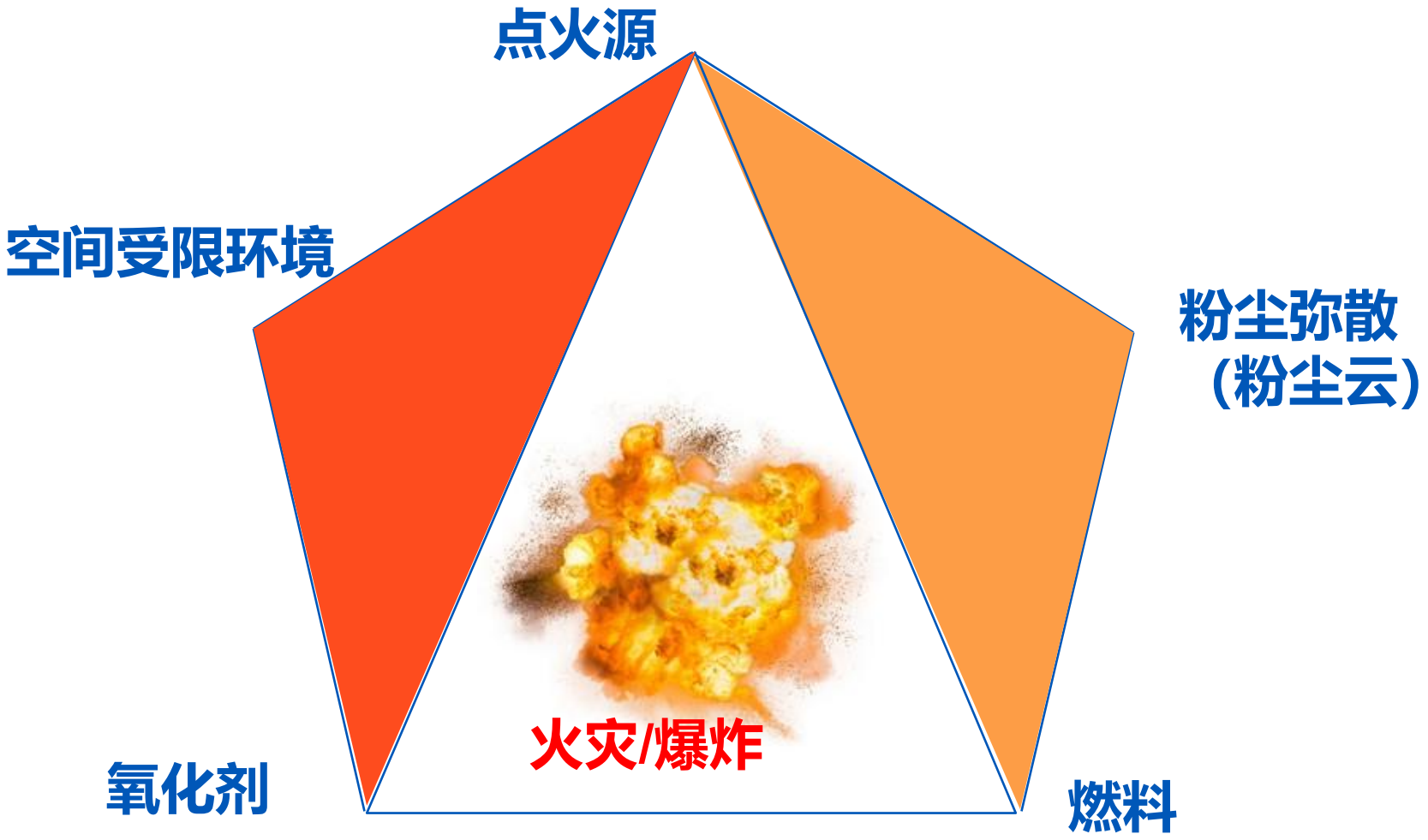
1. 可燃粉尘挑战



© AcuTech 2026

AcuTech
PROCESS RISK MANAGEMENT

粉尘火灾与爆炸的要素



AcuTech
PROCESS RISK MANAGEMENT

长期存在，但被低估的重大危害

62	94	263	53
死亡人数	受伤人数	火灾	爆炸

01 **“看不见的”风险：积尘**

02 **亚洲增长放大风险：制造业扩张、新材料**

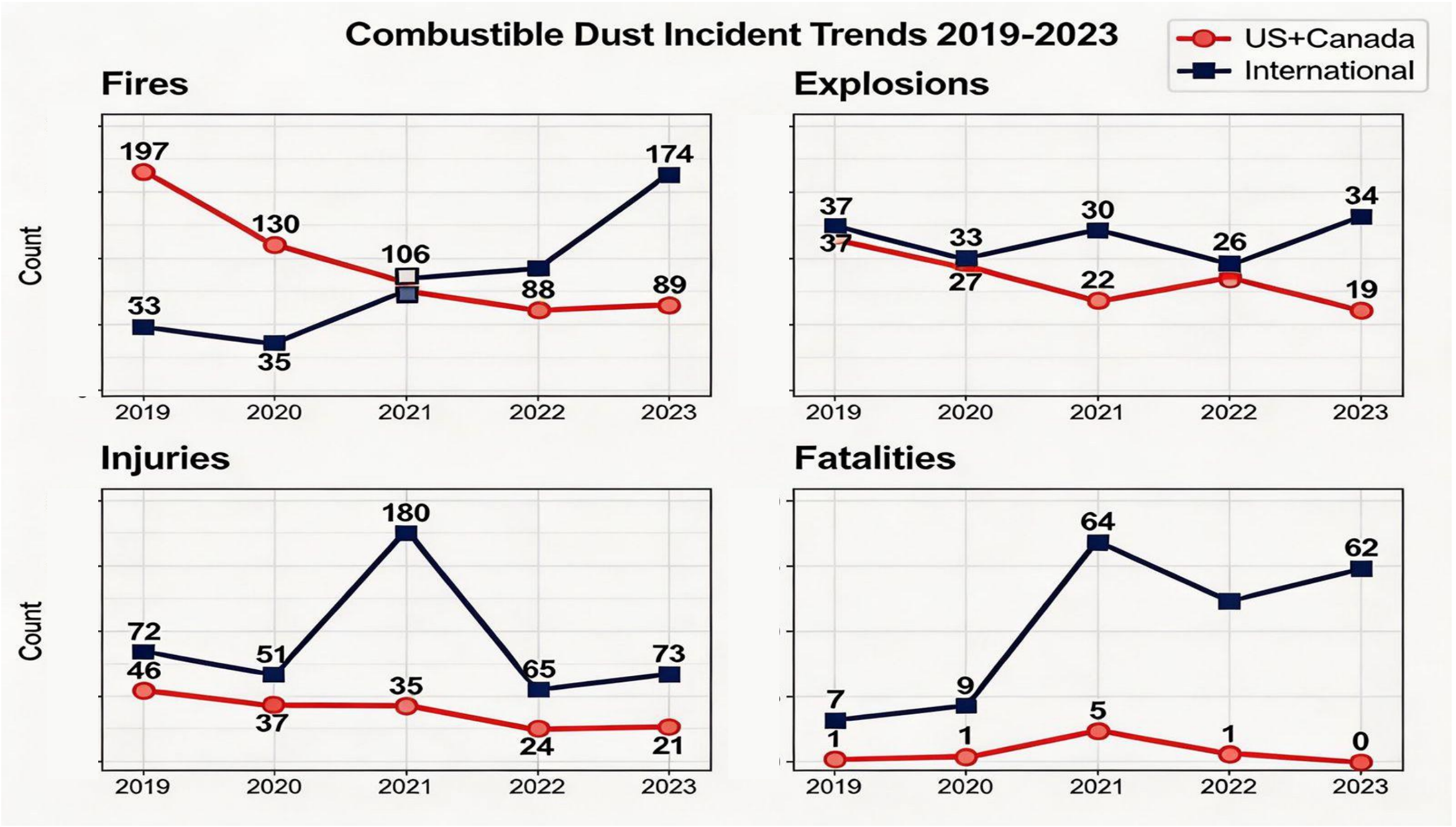
03 **除农业/食品行业外：制药、特种化工、金属加工及新兴能源。**

一次 爆炸 → **冲击波** 使沉积粉尘再次扬起 → **粉尘云** 巨大可燃体积 → **二次** 毁灭性爆炸

来源：2023 年报告，https://dustsafetyscience.com/combustible-dust-incident-report/

© AcuTech 2026

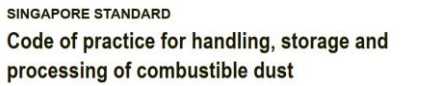
AcuTech PROCESS RISK MANAGEMENT



来源：2023 年，https://dustsafetyscience.com/combustible-dust-incident-report/

二、全球与亚洲监管格局







© AcuTech 2026

AcuTech
PROCESS RISK MANAGEMENT

全球监管基准：美国 NFPA技术 标准

标准	名称
NFPA 660 ★	可燃粉尘与危险场所标准
NFPA 652 ★	可燃粉尘基础
NFPA 654	可燃颗粒固体制造、加工与搬运过程的火灾与粉尘爆炸预防
NFPA 484	可燃金属
NFPA 68	*爆燃泄爆防护*
NFPA 69	防爆系统

★ *基石标准*
2020 年前须完成 DHA

共识性标准 · 全球引用最广的技术框架

NFPA：共识性技术标准；通过 652 强制要求 DHA（2020 年 9 月截止）； 2024 年整合为 NFPA 660。

来源：NFPA（652/654/484/68/69/499/660 等）

© AcuTech 2026

AcuTech PROCESS RISK MANAGEMENT

全球监管基准：美国

标准	名称
NFPA-655	硫磺火灾与爆炸预防
NFPA-664	木材加工与木工场所火灾与爆炸预防
NFPA-496	电气设备吹扫与正压外壳
NFPA-70	国家电气规范（NEC）
NFPA-499	化工装置区域电气安装可燃粉尘及危险（分区）场所分类推荐规程

来源：NFPA（655/664/496/70/499）

© AcuTech 2026

AcuTech PROCESS RISK MANAGEMENT

全球监管基准：欧盟

标准	适用范围
Directive 1999/92/EC	改善爆炸作业场所防护的最低要求
ATEX 2014/34	爆炸环境用设备与防护系统
EN 60079-10-2	粉尘区域划分
EN 1127-1★	爆炸预防与防护（含粉尘危害）
EN 14034	粉尘爆炸特性测试
EN 15089	爆炸隔爆系统
EN 14491	泄爆防护系统
EN 14373	爆炸抑爆系统

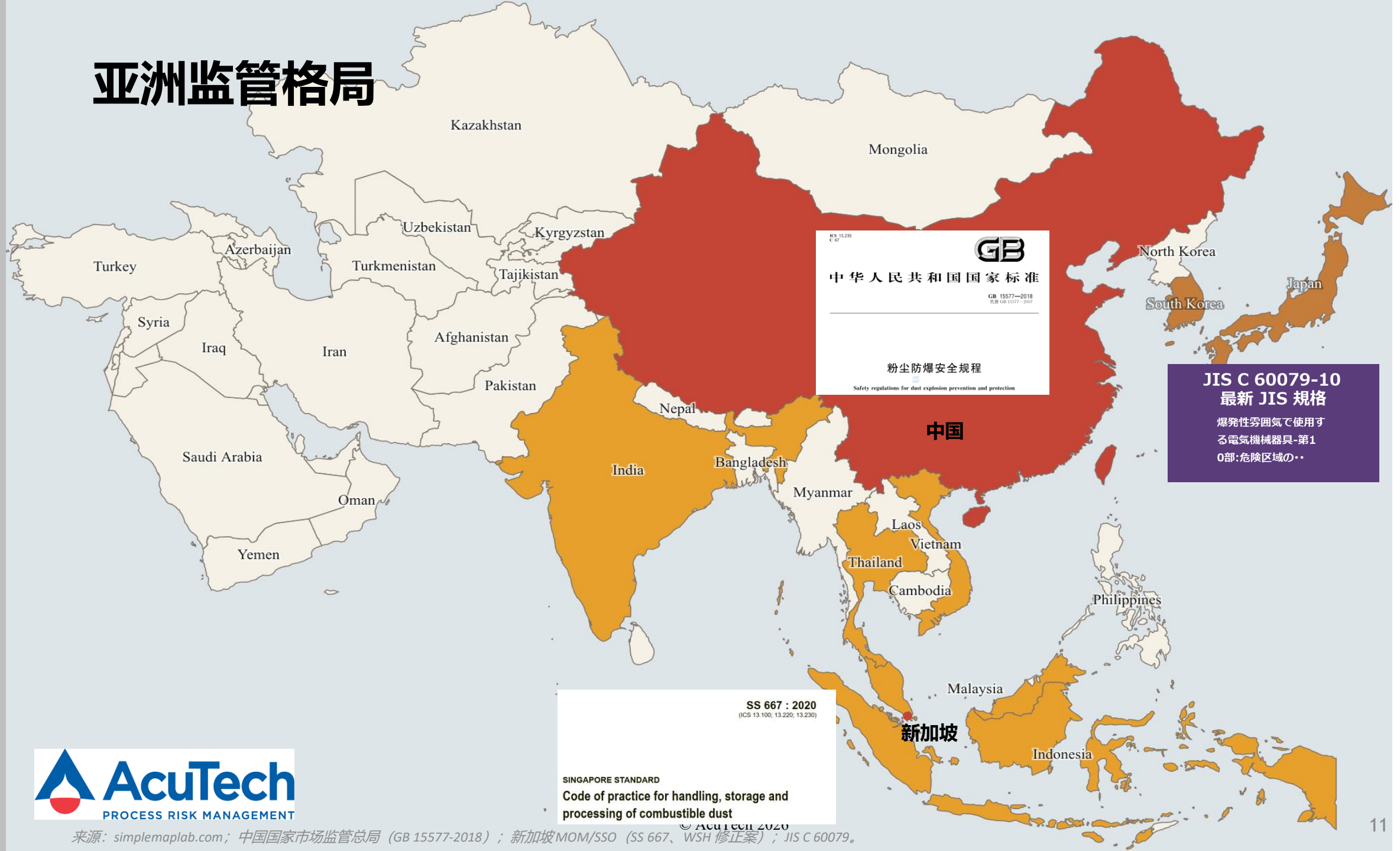
★ 基石指令
欧盟全境法定强制
来源：EUR-Lex ATEX 指令；CEN EN 1127-1/14034/15089/14491

强制指令 + 协调标准 · 市场准入与现场运营

© AcuTech 2026

AcuTech PROCESS RISK MANAGEMENT

亚洲监管格局



ICS 13.230
C 67

GB

中华人民共和国国家标准

GB 15577—2018
代替 GB 15577—2007

粉尘防爆安全规程

Safety regulations for dust explosion prevention and protection

JIS C 60079-10
最新 JIS 规格

爆発性雰囲気で使用する電気機械器具-第10部:危険区域の・・

SS 667 : 2020
(ICS 13.100; 13.220; 13.230)

SINGAPORE STANDARD

Code of practice for handling, storage and processing of combustible dust

AcuTech
PROCESS RISK MANAGEMENT

© AcuTech 2020

来源：simplemaplab.com；中国国家市场监管总局（GB 15577-2018）；新加坡MOM/SSO（SS 667、WSH 修正案），JIS C 60079。

亚洲监管格局

中国	新加坡	日本	韩国	印度及东南亚（越南、泰国、印尼、马来西亚）
GB 15577-2018 粉尘防爆规程	SS 667: 2020 可燃粉尘实施规范	工业安全卫生法（ISHA） JIS C 60079 粉尘防爆	ISHA Art.36 KOSHA 技术指南 KS IEC 粉尘标准	快速对标 追赶阶段
成熟体系 *强制执行*	**成熟体系** *强制执行*	**已建立** *稳定合规基础*	**已建立** *稳定合规基础*	尚无明确的粉尘危害管理法规或标准

来源：中国SAMR（GB 15577-2018）；新加坡MOM/SSO（SS 667）；日本JISC

© AcuTech 2026

AcuTech PROCESS RISK MANAGEMENT

三、事故教训跨区域



CSB
U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board

Fatal Combustible Dust Explosions at Didion Milling Inc.
Cambria, Wisconsin | Incident Date: May 31, 2017 | No. 2017-07-I-WI

Investigation Report

Published: December 2023

SAFETY ISSUES:
- Process Hazard Recognition
- Dust Hazard Analysis
- Engineering Controls for Co
- Structural Design for Comb
- Fugitive Dust Management
- Management of Change
- Incident Investigations
- Process Safety Information
- Management of Audits and

21 JANUARY 2022

Report of the Inquir
Committee for the a
at Stars Engrg Pte Lt
24 February 2021
(PART I – MAIN REPORT)

青岛即墨青岛仟佰味食品配料有限公司“2·15”较大粉尘爆炸事故调查报告

2025 年 2 月 15 日 13 时 6 分许，青岛市即墨区青岛仟佰味食品配料有限公司发生一起较大粉尘爆炸事故，造成 5 人死亡，直接经济损失约 840 万元。

事故发生后，省、市领导相继做出批示，要求全力救治伤员，查明事故原因，严肃追责问责，要引以为戒，举一反三，迅速组织隐患排查整治，防止再出现类似事故。根据《中华人民共和国安全生产法》《生产安全事故报告和调查处理条例》和《山东省安全生产条例》《山东省生产安全事故报告和调查处理办法》等法律法规规章规定，青岛市政府成立了由市政府分管副秘书长任组长，市应急局、市工业和信息化局、市公安局、市市场监管局、市总工会、市消防救援局和即墨区政府有关人员组成的事故调查组，邀请市纪委监委机关、市检察院派员介入调查，聘请专家成立专家组参与事故调查。事故调查组下设综合组、管理组、技术组，聘请省内外工贸、安全管理、事故调查等领域专家参加事故调查工作。省政府安委会办公室对该起事故查处实行挂牌督办。

事故调查组按照“科学严谨、依法依规、实事求是、注重实效”的原则和“四不放过”要求，通过现场勘验、调查取证、技术鉴定、人员询问和综合分析，查明了事故发生的经过、原因、人员伤亡和直接经济损失，认定了事故性质和责任，提出了对事

© AcuTech 2026

AcuTech
PROCESS RISK MANAGEMENT

事故教训：成熟市场

2017 年 Didion 制粉厂爆炸事故

物料	玉米制粉
后果	**5 人死亡、14 人受伤，全厂被毁（损失 1500 万美元）**
根因	清扫管理缺失；输送线未泄爆；缺失变更管理（MOC）；二次爆炸放大灾情
教训	工艺危害辨识、粉尘危险分析（DHA）、逃逸粉尘管理、工艺安全领导力，以及可燃粉尘的监管覆盖

来源：美国 CSB 事故调查报告

© AcuTech 2026

AcuTech PROCESS RISK MANAGEMENT

事故教训：新兴市场

2025 年山东青岛仟佰味食品配料有限公司

物料	食品粉料及外来金属杂物
后果	**5 人死亡，厂房被毁（损失 840 万元人民币）**
根因	金属碎片混入混合机；清扫不善；车间未泄爆；无粉尘防护措施
教训	安全意识与培训、正式 DHA、控制措施（作业许可 PTW、清扫、接地等）、配备胜任人员、设备需具备安全设计与防护。

来源：2025 青岛千佰味调查报告

© AcuTech 2026

AcuTech PROCESS RISK MANAGEMENT

事故教训：新兴市场

2025 年上海镁源动力科技有限公司

物料	镁粉
后果	**5 人受伤，厂房受损（损失 40 万元人民币）**
根因	吸尘器静电引燃镁粉；清扫不善；未落实 DHA 防护措施
教训	辨识粉尘危害并培训、正式 DHA、设备具备安全设计与防护。

来源：2025 上海镁源调查报告

© AcuTech 2026

粉尘事故教训汇总

事故	关键发现
Didion Milling (2017) **玉米粉尘爆炸** **Qingdao Qianbaiwei (2025)** **淀粉爆炸** **Shanghai Meiyuan (2025)** **镁粉爆炸**	1. 典型**二次爆炸**模式 2. 常规操作下仍全厂被毁 3. **细粉散落**作业区 4. 前期危害分析未考虑粉尘 5. 电气设备无粉尘防护等级 6. **DHA 不充分** 7. 缺乏**粉尘特性**认识 8. **粉尘危害意识不足** 9. 缺乏培训与风险管理

通用教训：先辨识粉尘危害并开展 DHA。
造成大多数伤亡与破坏的，是二次爆炸，而非一次爆炸。

来源：美国 CSB 报告；2025 青岛仟佰味调查报告；2025 上海镁源调查报告；AcuTech 培训资料

© AcuTech 2026

AcuTech PROCESS RISK MANAGEMENT

四、高风险行业领域

© AcuTech 2026

AcuTech
PROCESS RISK MANAGEMENT

高风险行业

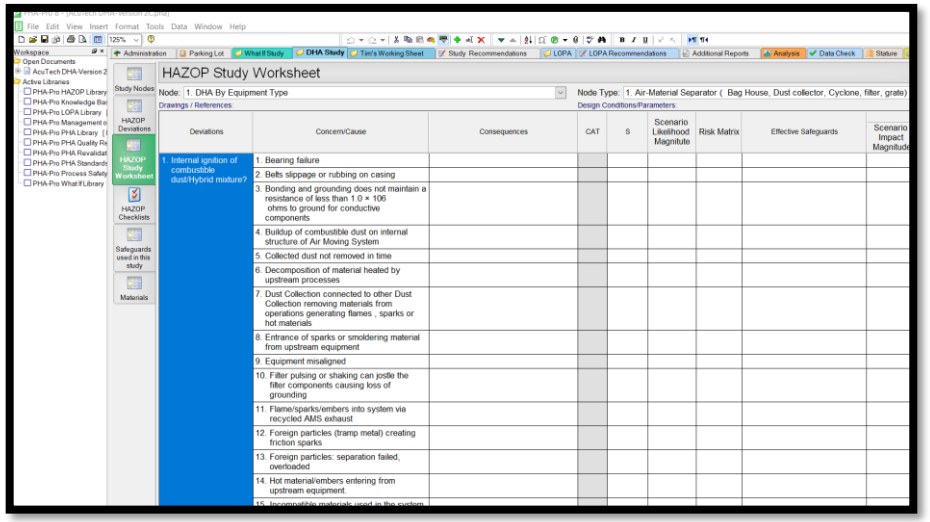
当今亚洲增长最快的粉尘风险：

制药（原料药 API）	人工搬运超细 API 粉（吨袋/桶装）；部分物料最小点燃能量（MIE）极低
特种化工（含塑料与树脂）	硬脂酸钙、硫磺、多聚甲醛粉尘 PE、PVC、橡胶粉；散料储存与输送
金属加工	铝、钛、碱金属粉尘；金属回收
新能源	电池正/负极材料、硅粉；超细粉

© AcuTech 2026

AcuTech PROCESS RISK MANAGEMENT

五、DHA： 主动式风险工具



© AcuTech 2026

AcuTech PROCESS RISK MANAGEMENT

DHA 分析方法

What-if/Checklist

基于设备节点法

Risk Matrix
风险矩阵法

DHA-LOPA

保护层分析法（LOPA）

© AcuTech 2026

AcuTech
PROCESS RISK MANAGEMENT

DHA 流程图（参照 SS 667）

界定范围与工艺边界

物料危害辨识

辨识可信事故场景：原因与后果

风险评估

辨识保护层 / 独立保护层（IPL）

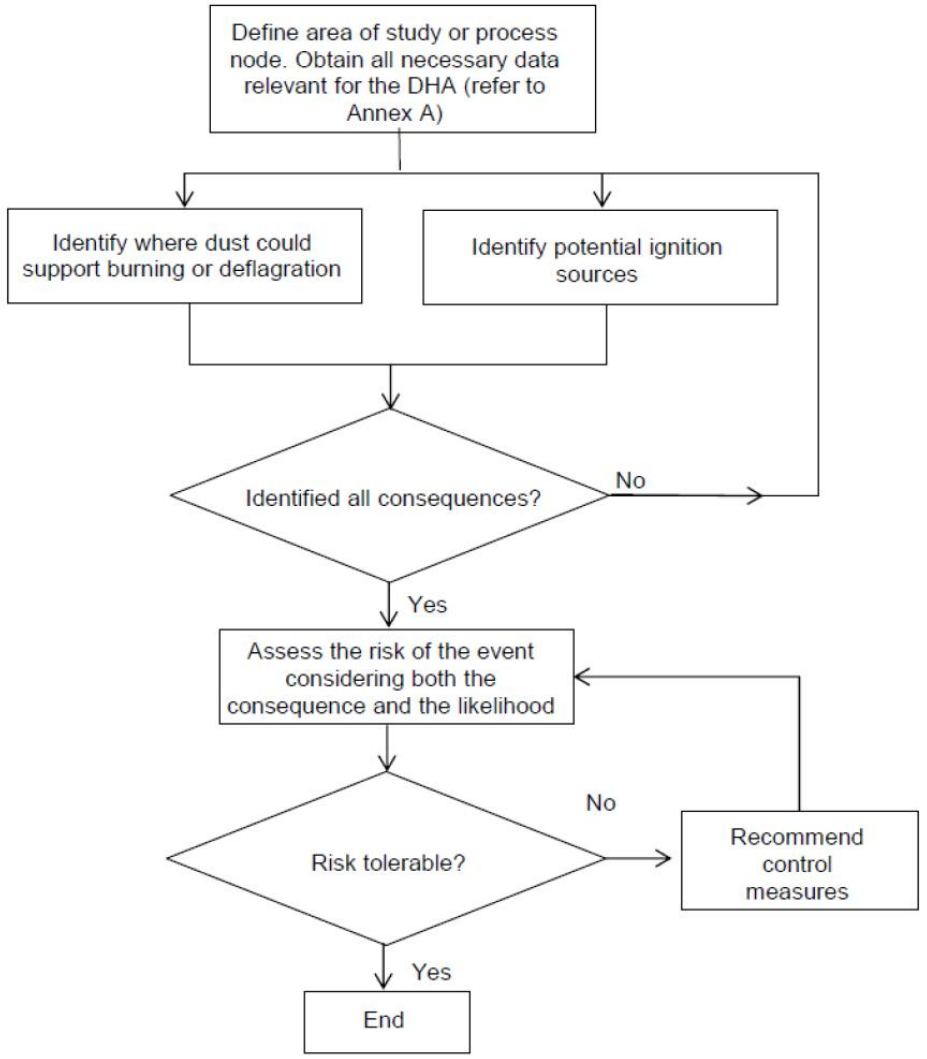


Figure 2 – Dust hazard analysis (DHA)

来源：AcuTech 培训资料

DHA 后果严重度——示例

事件	典型后果严重度	说明
一次爆炸	C4 or C5	取决于设备位置及分析小组评估（DHA 阶段）
传播性爆炸	C4 or C5	取决于设备位置及分析小组评估（DHA 阶段）
二次爆炸	C5	二次粉尘爆炸始终导致最严重后果
闪燃	C3 or C4	取决于分析小组评估（DHA 阶段）
阴燃火灾	C2 or C3	取决于分析小组评估（DHA 阶段，需考虑烟气损害）
层状/蔓延火灾	C2 or C3	取决于分析小组评估（DHA 阶段）

来源：AcuTech 培训资料

AcuTech PROCESS RISK MANAGEMENT

DHA 初始原因可能性

Initiating Cause	Likelihood of Failure (events/year)	Negative Log Value (-log ICL)	Comments/Guidance
Combustible Dust-Related Causes			
Ignition - electrostatic	10^{-2}	2	MIE ≥ 100 mJ
Ignition - electrostatic	10^{-1}	1	MIE > 10 mJ but </= 100 mJ
Ignition - electrostatic	10^{0}	0	MIE value </= 10 mJ
Ignition – Electrical discharge and arcs	10^{-2}	2	For electrically classified areas (Class II Div 1, 2; Zone 20, 21; Zone 10, 11 or better)
Ignition – Electrical discharge and arcs	10^{0}	0	For electrically unclassified areas
Ignition – friction	10^{0}	0	External testing can be done to confirm if friction is a potential ignition source
Ignition – impact	10^{0}	0	If impact testing was positive using the Bruceton statistical analysis
Ignition-smoldering or burning nest	10^{0}	0	Depends on minimum hot surface ignition temperature
Ignition-self heating	10^{0}	0	If material self-heats and no scale up analysis was done
Ignition-self heating	10^{-1}	1	If material self-heats, and (T_{onset} - $T_{operating}$) is <25 °C
Ignition-self heating	10^{-2}	2	If material self-heats, and (T_{onset} - $T_{operating}$) is >/= to 25°C and < 50°C
Ignition-self heating	10^{-3}	3	If material self-heats and (T_{onset} - $T_{operating}$) is ≥50°C, not a credible scenario for ignition by self-heating
Ignition-Open flames, welding	10^{0}	0	This ignition sources should not normally be present during operation
Ignition- Hot surfaces	10^{0}	0	When MIT data indicates that the T hot surface > (MIT 40°C)
Ignition-Fires and Explosions	10^{-3}	3	This value should be used if no frequency is developed for fire or explosion scenarios during the CDA
Ignition-Hot Air Stream	10^{0}	0	When temperature of hot air stream is > (MIT – 40°C)
Powder or dust accumulation above unacceptable levels	10^{0}	0	1/32 inch thick used as initial guideline.

AcuTech PROCESS RISK MANAGEMENT

DHA 独立保护层（IPL）清单

Independent Protection Layer (IPL)	Probability of Failure on Demand (PFD)	Negative Log Value (-log PFD)	Comments/Guidance
Combustible Dust-Related IPLs			
Administrative control - Control of small dust cloud formation during manual charging	10^{-1}	1	There must be a written procedure that states specific steps that prevent or minimize the formation of dust clouds during charging or discharging operations. Training must be provided and documented.
Bonding and Grounding Program	10^{-1}	1	Written bonding and grounding procedure developed in accordance with Mechanical Integrity require2ments. This includes documentation of tests and results kept on file, all systems components must be conductive or made to be conductive for this credit to be taken. For dusts with MIE <30mJ operator grounding is required as part of the bonding and grounding program.
Containment	10^{-2}	2	Mechanical Integrity of the vessels should be evaluated in accordance to the Mechanical Integrity program.
Deflagration Vents	10^{-2}	2	1) The emergency relief system, needs to be properly sized and the following must be documented: • Relief requirement calculations for the specific powders or dust being used in the system. When ducting exists, it must be considered in the calculations. • The source of all Process Safety Information utilized in the calculations. 2) Deflagration vents that are being used to protect rooms or buildings should also be designed according to the guidelines detailed above. 3) For use in secondary dust explosion mitigation, the design must ensure that the primary explosion deflagration vents are located to discharge to outside locations where they will not present a hazard.

来源：AcuTech 培训资料

最佳实践：防护措施与独立保护层

预防类保护层

- 惰化（氧含量降至极限氧浓度 LOC 以下）
- 跨接与接地管理
- 清扫管理（可燃粉尘层）
- 局部排风 / 除尘
- 火花探测与点火源控制

多重独立保护层——任何单一防护措施均不足。

© AcuTech 2026

AcuTech PROCESS RISK MANAGEMENT

最佳实践：防护措施与独立保护层

减缓类保护层

- 爆燃泄爆（依据 NFPA 68）
- 互联管道爆炸隔爆
- 受护设备抑爆系统
- 必要处采用耐压结构

多重独立保护层——任何单一防护措施均不足。

© AcuTech 2026

AcuTech PROCESS RISK MANAGEMENT

六、关键结论与行动步骤

© AcuTech 2026

AcuTech
PROCESS RISK MANAGEMENT

行动步骤：启动你的 DHA 之旅

评估	实施	风险管理与维持
1. 全面开展 DHA	1. 落实 DHA 整改建议	1. 每次 MOC 重新评估
2. 覆盖所有涉粉场所	2. 升级泄爆与隔爆	2. 每 3-5 年复评
3. 收集 SDS 与既有数据	3. MOC 纳入粉尘审查	3. 审计清扫纪律
4. 补测 Kst / MIE	4. 培训操作与维修人员	4. 跟踪未遂事件指标
5. 高风险优先排序	5. 回顾事故历史	5. 对标 NFPA 652 / ATEX

最大的误区，是把 DHA 当成一次性填表工作
——应将其嵌入 PSM / MOC 体系以确保持续成效。

框架依据 NFPA 652 的 DHA 要求、BakerRisk 七步法及 AcuTech 项目经验

© AcuTech 2026

AcuTech PROCESS RISK MANAGEMENT

关键结论

适用于所有行业、场所类型与地区的四条原则

1	粉尘危害无国界，存在于众多行业
2	二次爆炸才是致命主因
3	开展物料粉尘特性测试
4	开展 DHA

从今天开始——预防成本永远低于事故代价。

综合 NFPA 652/654/484、CSB 事故调查、中国 MEM 报告及 AcuTech 咨询经验

© AcuTech 2026

AcuTech PROCESS RISK MANAGEMENT

提问与讨论

粉尘风险无国界：可燃粉尘管理与亚洲 DHA最新进展

谢谢

AcuTech
PROCESS RISK MANAGEMENT

© AcuTech 2026