



机械设备点火风险评估 (MEIRA)

Mechanical Equipment Ignition Risk Assessment (MEIRA)

邓胤 | 高级过程安全顾问 | DEKRA 德凯达管理咨询 (上海) 有限公司

Carl Deng | Senior Process Safety Consultant | DEKRA Shanghai Office

嘉宾介绍 Speaker Bio

- 姓名：邓胤
- 职位：高级过程安全顾问
- 公司：DEKRA 德凯达管理咨询（上海）有限公司
- 联系方式：18623558441（微信同号）

-
- 背景：超过15年的过程安全管理，过程安全工程和工业卫生管理的经验，包括EHS审核，PSM和IH体系的建立及优化，EHS要求的实施，新项目的过程安全评估及工程要求实施等。在粉尘燃爆风险防控，静电及其它点火源风险防控，工艺危害分析，小试至放大生产的EHS评估体系优化等方面具有较多的项目经验。目前主持及进行过的ATEX（危险区域划分及点火源风险评估）及DHA（粉尘燃爆评估）相关的项目及培训超过150个。



议程 Agenda

- **燃烧及爆炸基本理论** Basic theory about fire and explosion
- 危险区域划分小结 Summary of hazardous classification
- 危险区域机械设备的危险和基本要求 Hazard and basic requirement for mechanical equipment in hazardous areas
- MEIRA 方法介绍（机械设备点火风险评估） Introduction of MEIRA method (Mechanical Equipment Ignition Risk Assessment)
- 案例分享 Cases share
- 关键内容总结 Summary for key contents

燃烧及爆炸 Fire and explosion

- FUEL 燃料 - 能被氧化的液体(蒸汽或雾)、气体或固体。燃烧通常在气相状态下发生; 燃烧前, 液体被挥发, 固体被分解为蒸汽
- OXIDANT 氧化剂 - 支持燃烧的物质,通常为空气中的氧气
- IGNITION SOURCE 点火源 - 能引发燃烧反应的能量源



Fuel + Oxygen = Flame + Heat + Gaseous Combustion Products
燃料 + 氧 = 火焰 + 热量 + 气态燃烧产物

ATEX 爆炸性环境 Explosive atmosphere

- Explosive/Flammable atmosphere 爆炸性环境:
 - 在大气条件下，可燃性物质以气体、蒸气或粉尘的形式与空气形成的混合物，被点燃后，能够保持燃烧自行传播的环境（GB/T 3836.1 爆炸性环境 第1部分：设备通用要求）
 - 气体及液体蒸气通常以超过25% LEL（爆炸下限）或温度超过闪点，以判断是否可能构成爆炸危险区域
 - 粉尘通常以超过MEC（最低可爆浓度）以判断是否可能构成爆炸危险区域



ATEX（爆炸性环境及点火源评估） 目的为以上环境的识别及防控，非火灾危害

ATEX 关键步骤 Key Steps in ATEX

识别易燃环境 Identify flammable atmosphere
在哪里? 范围有多大? 它会被减少/ 消除吗?



ATEX/HAC 危险区域
划分评估

识别点火源 Identify ignition sources
会发生什么? 有多活跃? 它们会引起燃烧吗?
它们可以预防吗?



电气设备选型

后果是什么? What are the consequences
评估爆炸保护要求

MEIRA机械点火源评估

议程 Agenda

- 燃烧及爆炸基本理论 Basic theory about fire and explosion
- **危险区域划分小结 Summary of hazardous classification**
- 危险区域机械设备的危险和基本要求 Hazard and basic requirement for mechanical equipment in hazardous areas
- MEIRA 方法介绍（机械设备点火风险评估） Introduction of MEIRA method (Mechanical Equipment Ignition Risk Assessment)
- 案例分享 Cases share
- 关键内容总结 Summary for key contents

易燃/易爆环境识别 Flammable atmosphere identification

- 通常通过危险区域划分/防爆区域划分 (HAC) 实现
- 识别易燃环境可能出现的地点和方式：频率，范围，设备内部和外部，状态（气体、蒸气、雾、粉末）
- 再以释放源存在的频率将危险区域划分为不同的等级：

Grade 等级	Duration of release 释放持续时间	Zone 分区
Continuous 连续的	> 1000 小时每年 hours per year > 1 小时每班 hour per shift	0 or 20
Primary 主要的	< 1000 小时每年 hours per year > 10 小时每年 hours per year	1 or 21
Secondary 次要的	< 10 小时每年 hours per year	2 or 22

注 Comments: 一年 8760 hours in one year

消除及减少释放源 Eliminate or reduce release source

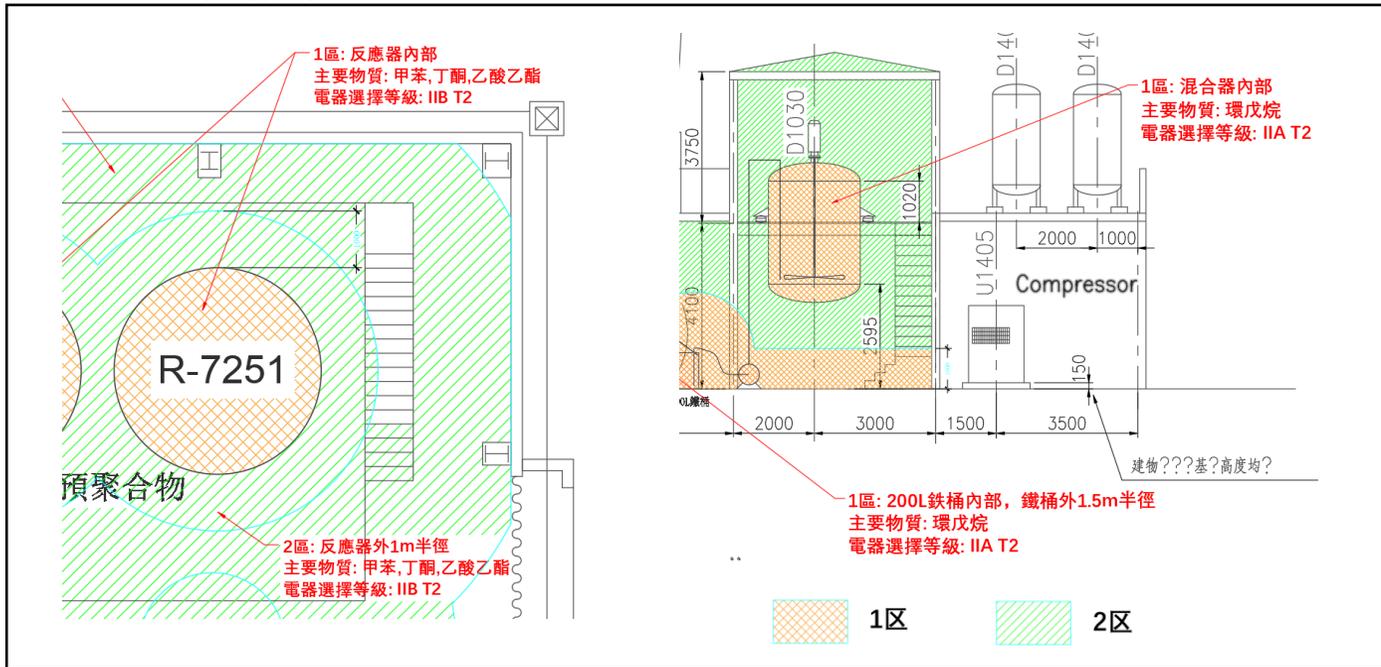
- 采取措施减少易燃环境的可能性和范围:

- 保持溶剂的开口处关闭
- 避免敞开式装卸
- 泵, 阀门和管道的良好保养
- 使用全焊接管道
- 使用封闭的取样系统
- 使用无动密封的液体泵
- (LEV) 使用局部排风
- 更换滤材时先用水清洗
- 粉尘的及时清扫
- 采取惰性气体保护或/和降低温度 (降低内部危险区域可能性)

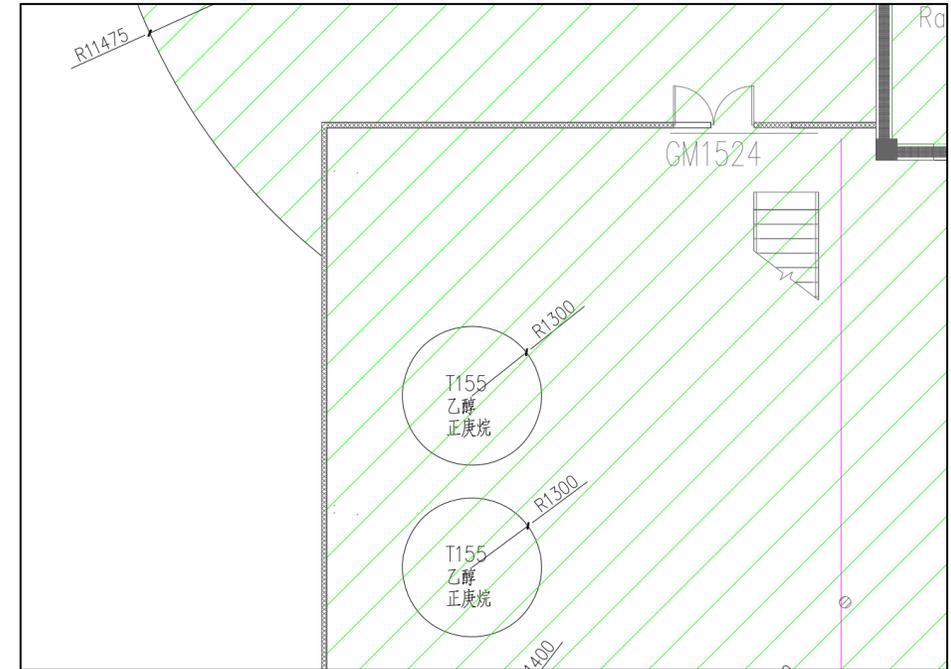


危險區域划分图 Hazardous area drawing

Good 正确 – 区分内部和外部区域，复杂的设备推荐建立立面图



Wrong 错误 – 未识别及区分内部和外部区域

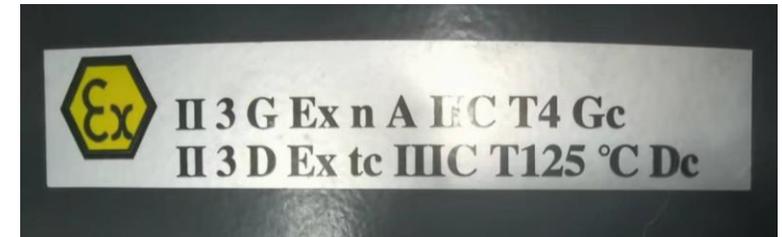


防爆电器 Ex electrical equipment

粉尘防爆电器标识

Ex ta IIIC T500 120 °C Da				
Ex	ta	IIIC	120 °C	Da
IEC Ex Marking	防爆形式	组别	温度等级	保护级别

- 危险区域应采用防爆电器:
 - 电器的保护级别、防爆形式、组别、温度等级需满足危险区域的要求
 - 注意区别气体防爆和粉尘防爆电器（常见的选型错误）



粉尘防爆电器

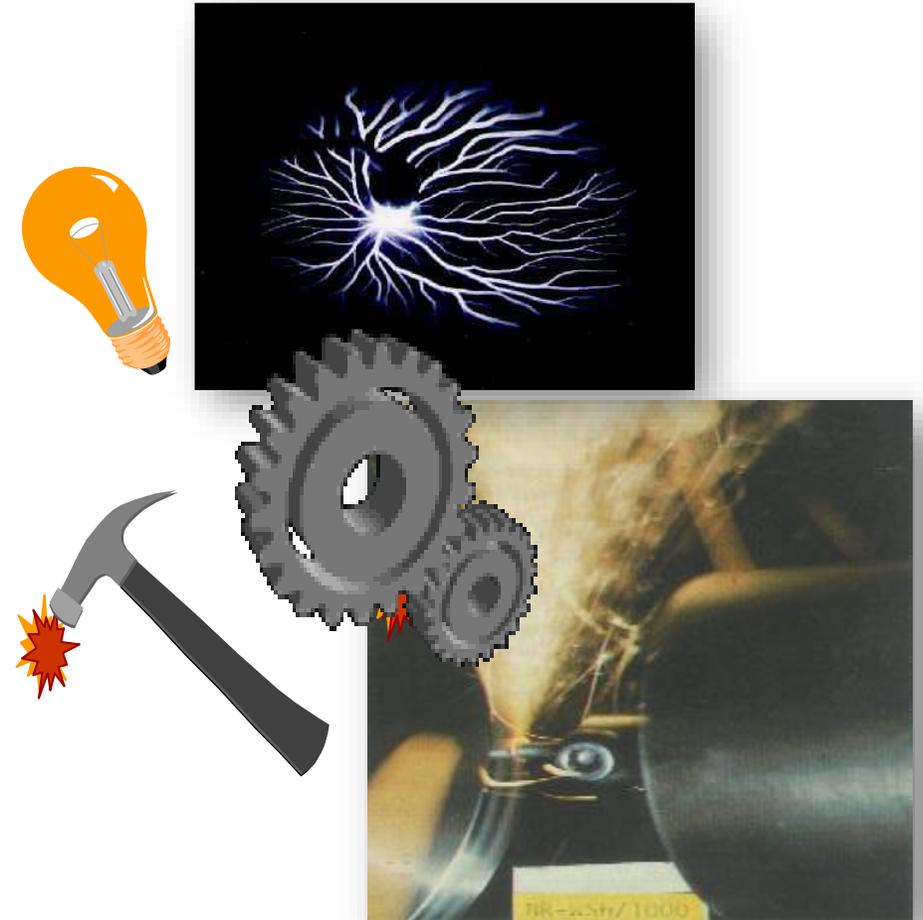
议程 Agenda

- 燃烧及爆炸基本理论 Basic theory about fire and explosion
- 危险区域划分小结 Summary of hazardous classification
- **危险区域机械设备的危险和基本要求 Hazard and basic requirement for mechanical equipment in hazardous areas**
- MEIRA 方法介绍（机械设备点火风险评估） Introduction of MEIRA method (Mechanical Equipment Ignition Risk Assessment)
- 案例分享 Cases share
- 关键内容总结 Summary for key contents

典型点火源 Typical Ignition Sources

- 电器设备
- 热分解
- 明火作业
- 设备热表面
- 机械摩擦与火花
- 撞击火花
- 静电放电

可纳入机械点火源的
评估范围

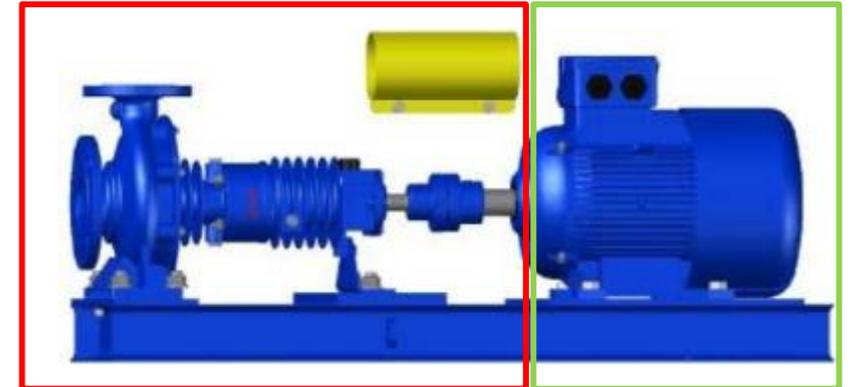


机械点火源危害 Hazard of mechanical Equipment Ignition

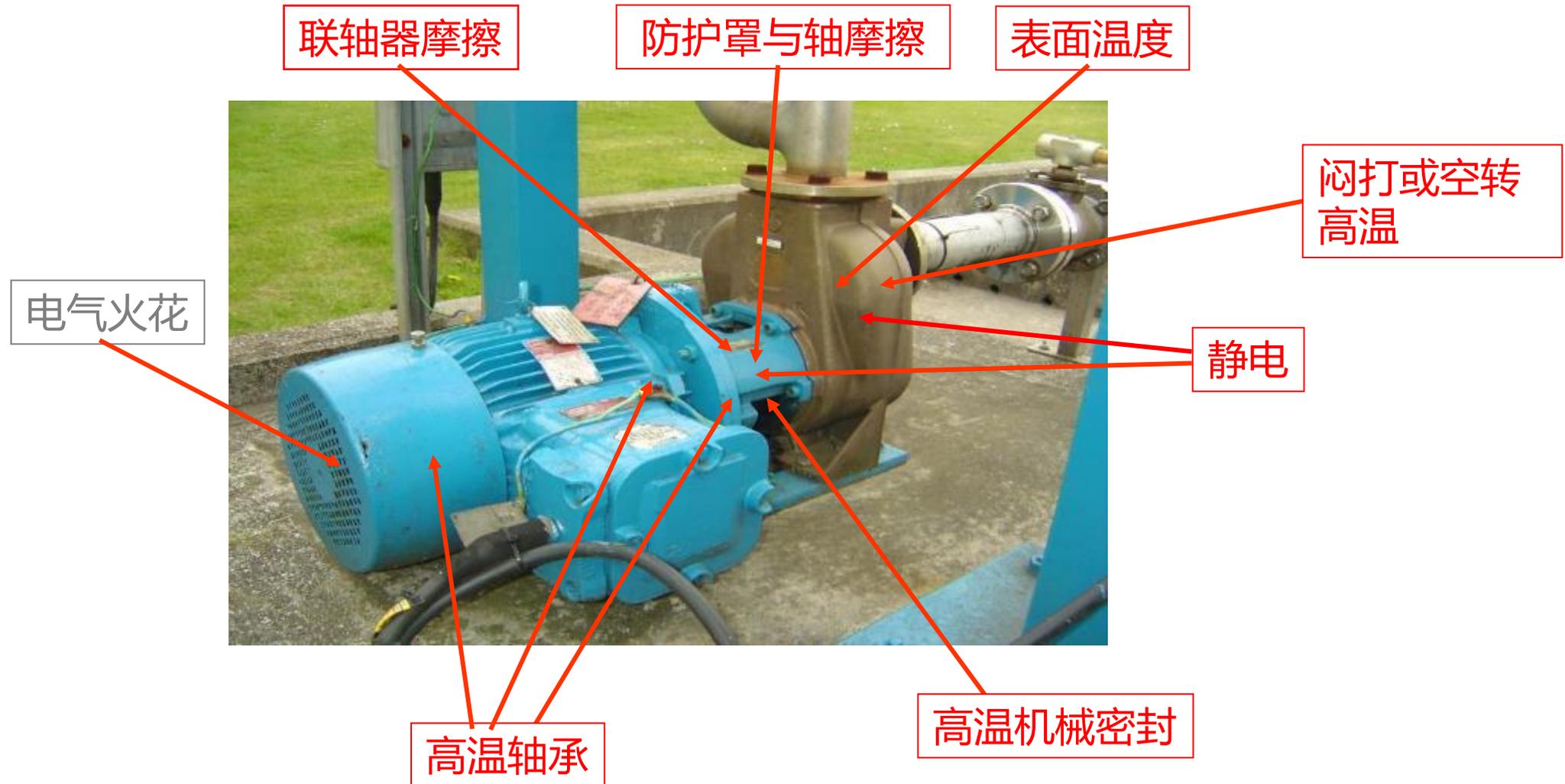
- 在危险区域内工作的所有设备均应符合区域分类要求
- 大多数在危险区域工作的设备只获得电气方面的认证，而没有机械方面的认证
- 机械设备在一定的条件下（通常为某种失效）可能释放足以点燃危险环境的能量或温度
- 常见的机械设备：
 - 泵：压力泵，真空泵等
 - 搅拌器
 - 风机
 - 研磨设备
 - 离心机 等

电器设备的Ex防爆标识

Ex d IIC T4 Gb



液体泵的危害 Hazards of liquid pump



法规要求 Regulation requirement

- 设备制造商需要依照ISO 80079-36和-37标准进行差距分析，提供符合要求的设备，工厂应选用符合要求的设备：
 - ISO 80079-36-2016 Non-electrical equipment for explosive atmospheres — Basic method and requirements
 - ISO 80079-37-2016 Non-electrical equipment for explosive atmospheres -- Non-electrical type of protection constructional safety "c", control of ignition sources "b", liquid immersion "k" ' '
 - GB/T 3836.28-2021 爆炸性环境 第28部分：爆炸性环境用非电气设备 基本方法和要求
 - GB/T 3836.29-2021 爆炸性环境 第29部分：爆炸性环境用非电气设备 结构安全型 "c" 、控制点燃源型 "b" 、液浸型 "k" "



CE  Ex h IIB T3 Gc

标识：2019年11月起，欧盟强制使用

中国已有与ISO/IEC一致的标准，对于使用认证的设备，目前未作为强制要求，PSCI也未作为强制要求，但PSCI要求工厂应评估机械设备的风险

PSCI健康及安全要求 Health & Safety in PSCI Audit Checklist

- **87.** Does the facility perform risk assessment related to the explosion of flammable liquids, vapors, powders, and gases in processing operations (including storage, transfer and charging)? 工厂是否对工艺生产中（含存放，转运和投料）涉及的易燃液体，蒸汽，粉尘和气体进行爆炸相关的风险评估？
 - **a.** Does it include the following steps? 评估是否包含以下步骤？
 - **ii.** Hazardous area classification (zones according EU-ATEX and Classes according to US-NFPA) including documentation (drawing) and is the equipment appropriate for respective zoning? 含文件记录（图纸）在内的（符合欧盟ATEX分区和/或美国NFPA分级的）危险区域划分，且设备等级是否对应其所在分区？
 - **vi.** Assessment of the hazards due to mechanical ignition sources? 评估机械点火源的安全隐患？

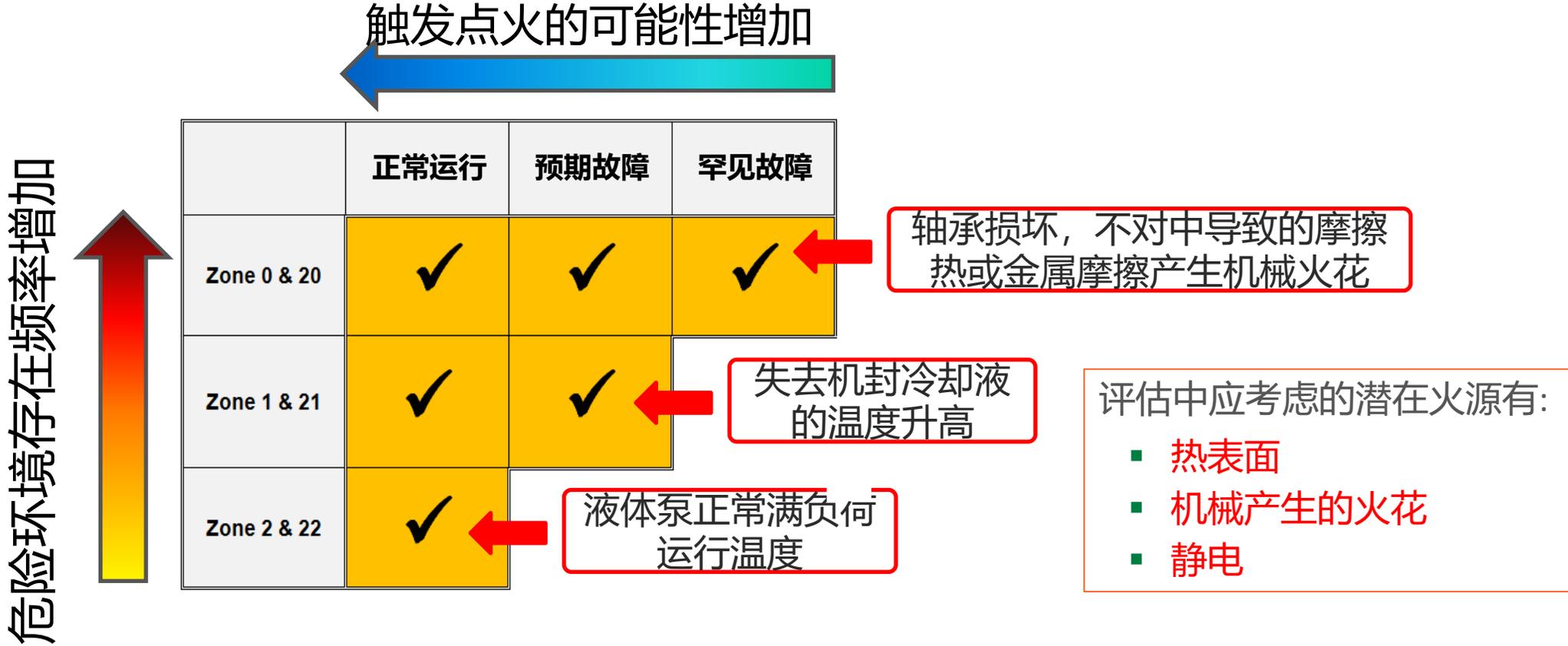
议程 Agenda

- 燃烧及爆炸基本理论 Basic theory about fire and explosion
- 危险区域划分小结 Summary of hazardous classification
- 危险区域机械设备的危险和基本要求 Hazard and basic requirement for mechanical equipment in hazardous areas
- **MEIRA 方法介绍（机械设备点火风险评估）** Introduction of MEIRA method (Mechanical Equipment Ignition Risk Assessment)
- 案例分享 Cases share
- 关键内容总结 Summary for key contents

机械设备点火风险评估 Mechanical Equipment Ignition Risk Assessment

- 评估中应考虑潜在火源有：
 - Hot surfaces 热表面
 - Mechanically generated sparks 机械火花
 - Static electricity 静电
- 每一种火源可能在以下情况下出现，并足够点燃爆炸环境：
 - Normal operation 正常运行 - 当设备在正常运行参数范围内运行时可能出现的火源
 - Expected malfunction 预期故障 - 由于预期故障模式、操作错误或维护错误可能发生的火源
 - Rare malfunction 罕见故障 - 点火源理论上可发生，但频率很低（或双重故障时出现），即使工厂现在还未出现
- 危险区域内应评估并防控的点火源故障频率：
 - Zone 0 / 20 - Normal operation 正常运行, Expected malfunction 预期故障, Rare malfunction 罕见故障
 - Zone 1 / 21 - Normal operation 正常运行, Expected malfunction 预期故障
 - Zone 2 / 22 - Normal operation 正常运行

机械设备点火风险评估 Mechanical Equipment Ignition Risk Assessment



Matrix in Mechanical Equipment Ignition Risk Assessment (MEIRA)
 机械设备点火风险评估 (MEIRA) 矩阵

防护措施实施顺序 Priority of safe measures

减小点火源出现的可能性



减小点火源变为有效的可能性



减小危险爆炸环境接触点火源的可能性



抗爆及减小火焰传播的可能性

- 采用低转速/速度的部件
- 接地良好的金属部件
- 足够大的间隙防止金属刮擦
- 部件高温联锁停机
- 在线振动/轴偏移监测并停机
- 润滑程序及联锁
- 液体浸没式密封
- 防尘密封
- 耐压抗爆设计
- 隔爆阀

调查 Survey

1. 危险区域划分是否同时考虑了设备内及设备外的等级？
2. 是否识别了消除或降低危险区域的措施（密闭、通风、惰化等）？
3. 电器选型是否区分了气体环境和粉尘环境？
4. 您是否知道危险区域内的机械设备的认证要求？
5. 是否考虑并评估了机械设备的燃爆风险，采用了哪种方法？

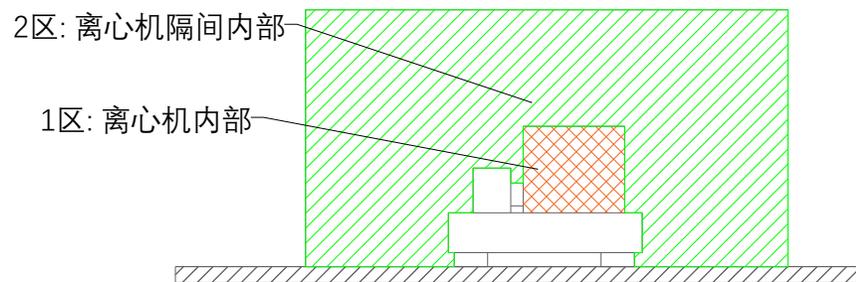


议程 Agenda

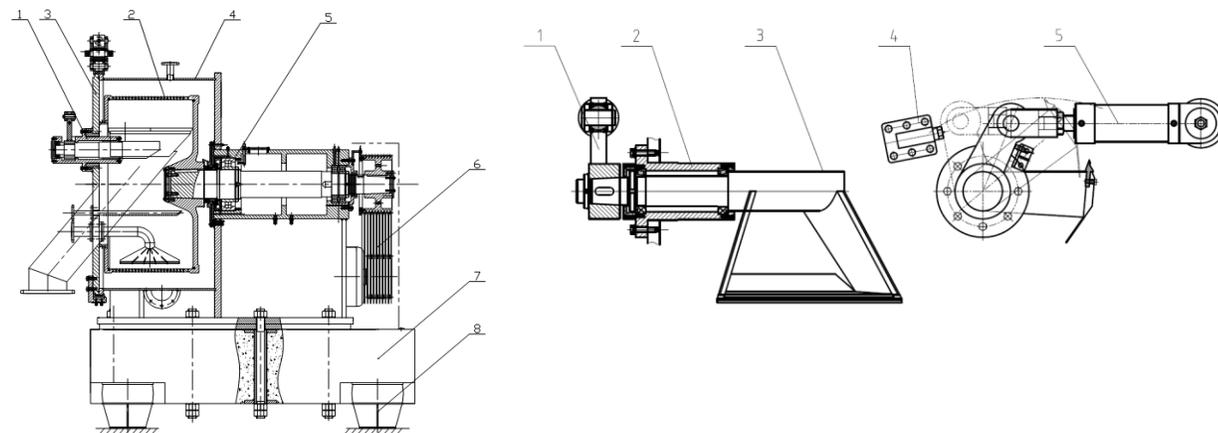
- 燃烧及爆炸基本理论 Basic theory about fire and explosion
- 危险区域划分小结 Summary of hazardous classification
- 危险区域机械设备的危险和基本要求 Hazard and basic requirement for mechanical equipment in hazardous areas
- MEIRA 方法介绍（机械设备点火风险评估） Introduction of MEIRA method (Mechanical Equipment Ignition Risk Assessment)
- **案例分享** Cases share
- 关键内容总结 Summary for key contents

接触易燃溶剂的离心机 Centrifuge handling flammable solvents

Area / Installation 区域 / 装置	Equipment / Components 设备 / 部件	ATEX Zone	Ignition sources 点火源	Causes 原因	Possibility 可能性	Required EPL 要求的EPL	Measure to reduce Possibility 减少可能性的措施	Residual Possibility 剩余可能性	Residual EPL 剩余EPL	Further action 进一步行动
卧式刮刀离心机 (PTFE内衬)	刮刀	1	Mechanically generated sparks 机械火花	液压器故障, 刮刀的位置异常, 可能与滤布和转鼓内表面接触摩擦, 刮刀及转鼓内表面均为PTFE层 (约1mm厚度), 接触时PTFE可能破损, 直接金属摩擦产生火花 (线速度超过10m/s), 可能点燃易燃蒸气	B 预期故障	Gc	1. 限位器: 刮刀运行限位器, 调试至安全的位置 2. 接近开关: 装于外面, 如刮刀距离过近, 联锁关闭刮刀液压油泵, 刮刀退回 3. 降低速度: 刮料时程序控制降低速度至300rpm左右 4. 检查: 每次离心机打开后, 检测刮刀及转鼓的表面	D 可忽略	—	不需要
	轴承 (外部)	1	Mechanically generated sparks 机械火花	长期运行, 或物料太多过载, 轴承磨损及损坏, 导致转鼓晃动偏心, 在一般的晃动的情况下, 由于间歇较大 (10cm), 不会直接摩擦外壳, 极端情况下断裂将直接金属摩擦产生火花, 可能点燃易燃蒸气	C 罕见故障	—	1. 在线振动保护并自动停机 2. PM计划: 每三年更换轴承	D 可忽略	—	不需要



离心机危险区域划分



离心机及刮刀结构

机械火花 Mechanically generated sparks

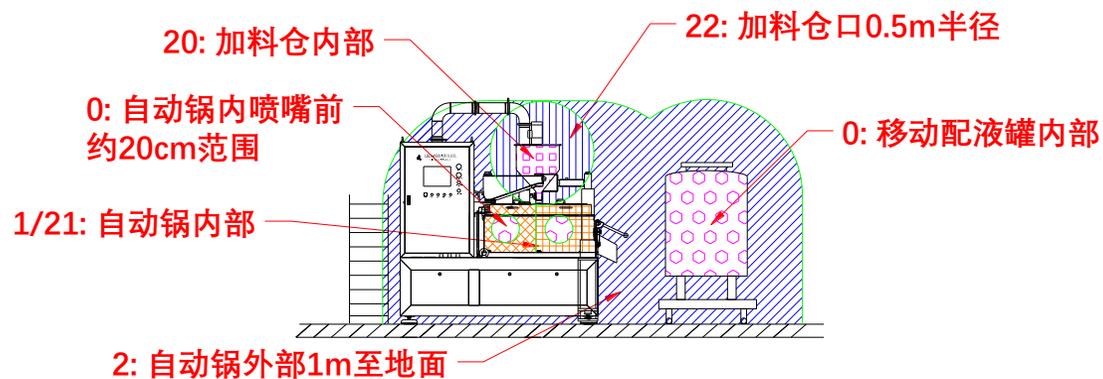
- 物体在撞击或摩擦时可产生机械火花

- 机械火花的点燃能力目前无较权威的标准，大多需依赖实验得出可靠的结论
- 机械火花的能量大小与接触物质的材质（硬度），是否容易被氧化，撞击速度或摩擦速度，接触面积及压力等均相关
- 一些可供参考的经验导则：

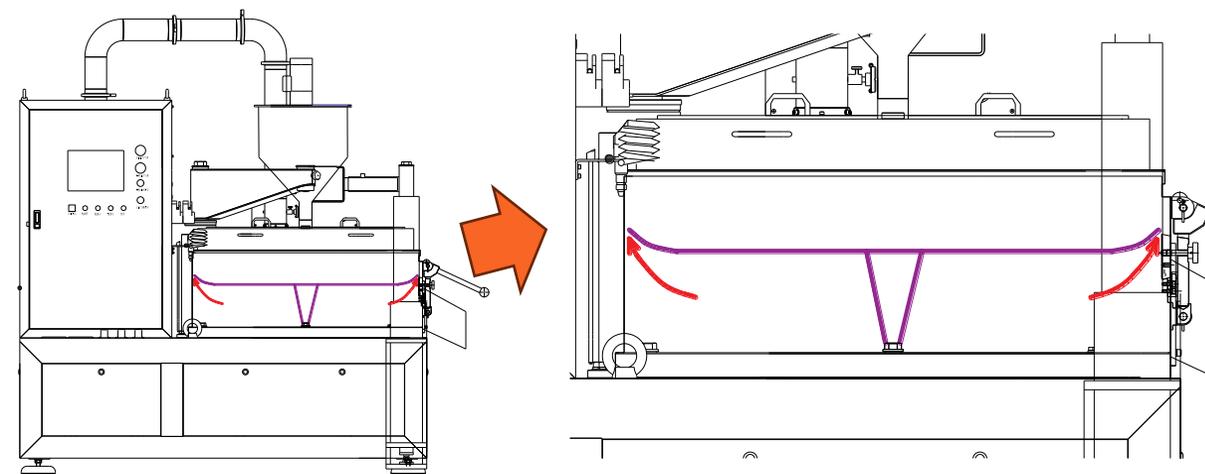
Friction from Rubbing vs. Relative Speed 摩擦与相对速度的关系	
Relative/Tip Speed 相对/线速度 (m/sec) (米/秒)	Dust Ignition Study Conclusions 粉尘点燃研究结论
Less than 1 小于 1	No additional hazard from friction 摩擦不会带来额外的危险
1 to 10 1至10	Consider each case based on material properties 基于物质性质考虑每种情况
Greater than 10 大于10	An ignition hazard exists 存在点燃危险

自动制丸锅 Automatic pelleting machine

Area / Installation 区域 / 装置	Equipment / Components 设备 / 部件	ATEX Zone	Ignition sources 点火源	Causes 原因	Possibility 可能性	Required EPL 要求的EPL	Measure to reduce Possibility 减少可能性的措施	Residual Possibility 剩余可能性	Residual EPL 剩余EPL	Further action 进一步行动
自动制丸锅 (离心锅)	自动锅旋转盘的 联轴	1/21	Mechanically generated sparks 机械 火花	1. 在拆卸旋转盘进行清洗时, 可能导致卸 旋转盘碰撞变形, 再次装入自动锅, 并且 运行时, 平衡失效, 导致旋转盘边缘与锅 内壁摩擦 (间歇约1mm), 摩擦能量及温 度可能点燃乙醇蒸汽 (最大转速为180rpm, 直径1m, 线速度约9.4m/s, 点燃可能性不 可忽略) 2. 连轴结合处由于高频率拆卸及安装 (约 15天拆卸一次), 导致结合处磨损及变形, 再次装入自动锅, 并且运行时, 导致旋转 盘边缘与锅内壁摩擦 (间歇约1mm), 摩 擦能量及温度可能点燃乙醇蒸汽	B 预期故障	Gc	1. 专用的旋转盘提升工具, 并且采用 气缸提升, 降低在自动锅内壁碰撞的 可能性, 并且减少拆装时对联轴器的 摩擦碰撞 2. 转盘在启动阶段, 首先加入基丸, 再加入粉末, 基丸和粉末将覆盖转盘 的边沿, 减少同时接触空气、粉尘云 和乙醇蒸汽的可能性, 减少摩擦点燃 的可能性	B 预期故障	Gc	1. 优化清洗方法, 减少转盘的 拆卸频率, 建议少于半年一次 2. 专职人员拆卸: 经过培训和 考核的合格人员进行自动锅的 拆装 3. 每次安装后, 采用塞尺对旋 转盘的间隙进行检测, 再空转 测试 4. 对转盘的平衡失效制定ITPM 的程序, 定期维护, 关键维护 项目应考虑厂家进行



自动制丸锅危险区域划分



转盘位置

MEIRA用于操作评估 MEIRA for operation risk analysis

- MEIRA（机械设备点火风险评估）的直接对象为机械设备，包括危险区域内的大部分动设备，及部分静设备（静电及热表面风险）
- MEIRA同样可用于危险区域内的操作评估，并且可将MEIRA的矩阵转化为PHA或JSA的可能性等级，并用LS风险矩阵进行评级：

点火源频率	危险区域及可能性		
	Zone 0 / 20	Zone 1 / 21	Zone 2 / 22
3 - 正常操作出现	G	F	E
2 - 预期故障时发生	F	E	D
1 - 罕见故障时发生	E	D	C



Severity 严重性	Likelihood 可能性						
	$> 10^{-1}$ (普遍, 每日发生)	$10^{-1} \cdot 10^{-2}$ (普遍每周、每月发生)	$10^{-2} \cdot 10^{-3}$ (每年有多次发生的可能)	$10^{-3} \cdot 10^{-4}$ (可能发生)	$10^{-4} \cdot 10^{-5}$ (特定情况下发生)	$10^{-5} \cdot 10^{-6}$ (不太可能发生)	$\leq 1 \cdot 10^{-6}$ (没听说过)
	G	F	E	D	C	B	A
5	很高	很高	高	高	中	中	低
4	很高	高	高	中	中	低	低
3	高	中	中	中	低	低	低
2	中	中	中	低	低	低	低
1	中	中	低	低	低	低	低

- 燃爆的后果严重性可评定为等级4（人员安全）：死亡1~2人或重伤2~5人

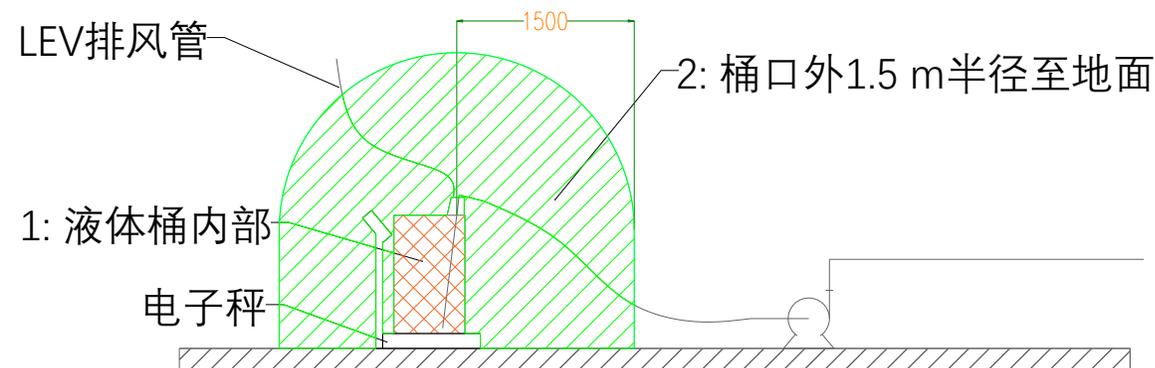
风险等级	描述
IV 很高	不能接受：立刻采取风险消减措施
III 高	不期望：在合适时机采取风险消减措施
II 中	可接受：选择性采取风险消减措施
I 低	可接受：低风险，无需措施

易燃液体进料 Charging flammable liquid to vessel

设备/物体	分区	可信点火源	原因	后果	原始风险			现有工程及管理措施	剩余风险			建议
					S	L	R		S	L	R	
金属桶	1	静电放电	进料时，金属桶放在金属秤上（秤的轮子为绝缘橡胶），金属桶未接地，在转移物料时可能积累静电，并发生火花放电（在桶口处容易发生），点燃易燃液体蒸气（1区，正常操作可发生）	桶内或通口处发生闪火或爆炸，导致旁边的操作人员重伤或死亡	4	F	III	人工接地：人员通过有报警功能的静电夹对金属桶进行接地	4	E	III	考虑以下措施之一： 1. 考虑将金属秤的轮子更换为导电橡胶材质，金属称的秤面与基座跨接联通，放于防静电地面上，可对金属桶接地 2. 考虑静电夹与隔膜泵的气源开关阀连锁，未有效连接静电夹，将无法进料，防止静电积累

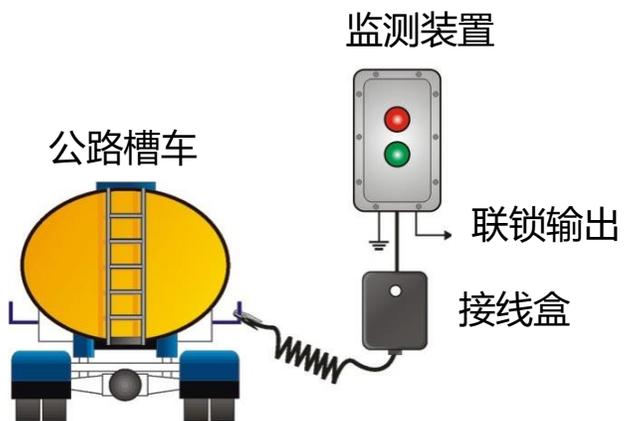
点火源频率	危险区域及可能性		
	Zone 0 / 20	Zone 1 / 21	Zone 2 / 22
3 - 正常操作出现	G	F	E
2 - 预期故障时发生	F	E	D
1 - 罕见故障时发生	E	D	C

本场景可能性的评级



液体进料图示及危险区域划分

接地可靠性 Reliability of grounding



典型槽车接地验证及联锁



合格静电夹



增加对静电点火风险的控制>

- 导电物体优先考虑“被动接地”，即采用金属碰金属的结构连接实现接地（不依赖接地或跨接线），被动接地能达到等级4或5

关键内容总结 Summary for key contents

- 爆炸环境的风险防控应按照以下顺序实施
 - 识别易燃环境，采取消除或降低危险区域等级，减少范围的措施
 - 识别可信点火源，采用有效的预防措施，应考虑故障模式下出现的点火源
 - 仍然有不能接受的剩余风险，采取爆炸保护措施，如泄爆、隔爆或抗爆等
- 爆炸危险区域内除电气设备应满足防爆要求外，机械设备的点火风险也应可接受
- 爆炸危险区域内的机械设备目前有国际及中国的法规认证要求，但目前在中国为非强制监管要求，工厂可根据设备的关键性、成本及可行性考虑是否选择有认证的设备
- 没有认证的设备可进行风险评估，参考MEIRA方法或采用PHA/JSA的方法进行
- 可采用以上方法对操作的燃爆风险进行评估，适用于人工操作较多的API及制剂工厂
- MEIRA评估依赖完善的设备信息及维护数据，工程设备人员为关键角色，如工厂已建立了系统性的ITPM程序，评估将更高效

提问环节 Q&A

