



EUROPEAN PROCESS
SAFETY CENTRE



Translated by

工艺过程安全须知

避免危险化学品事故的安全操作基本原则

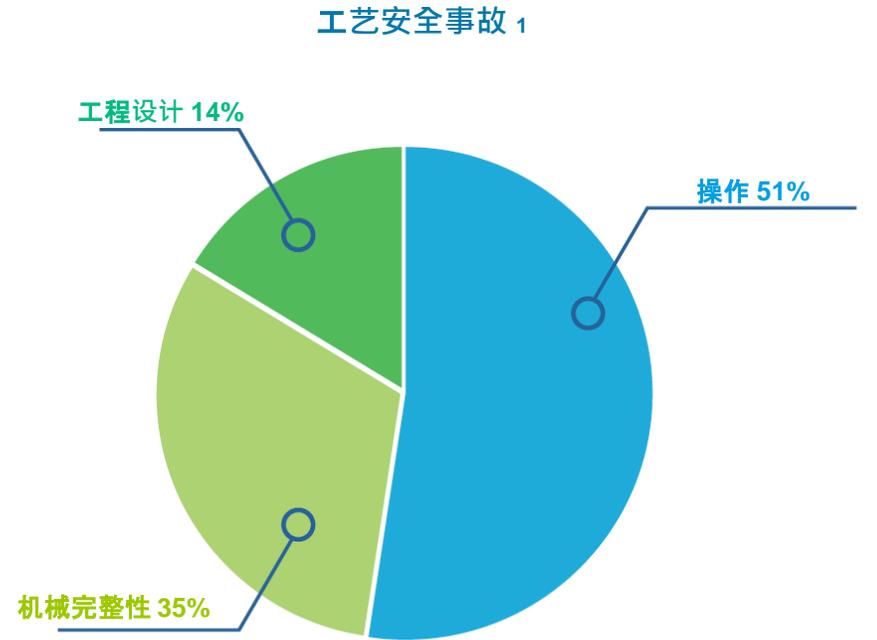
Remark: this Chinese translation is developed by PPS APAC group,
for questions contact: Kelvin.Chen@Covestro.com

EPSC PSF are free of charge and meant to create awareness on operational aspects.
EPSC can not be hold liable for the use of the information provided.

背景



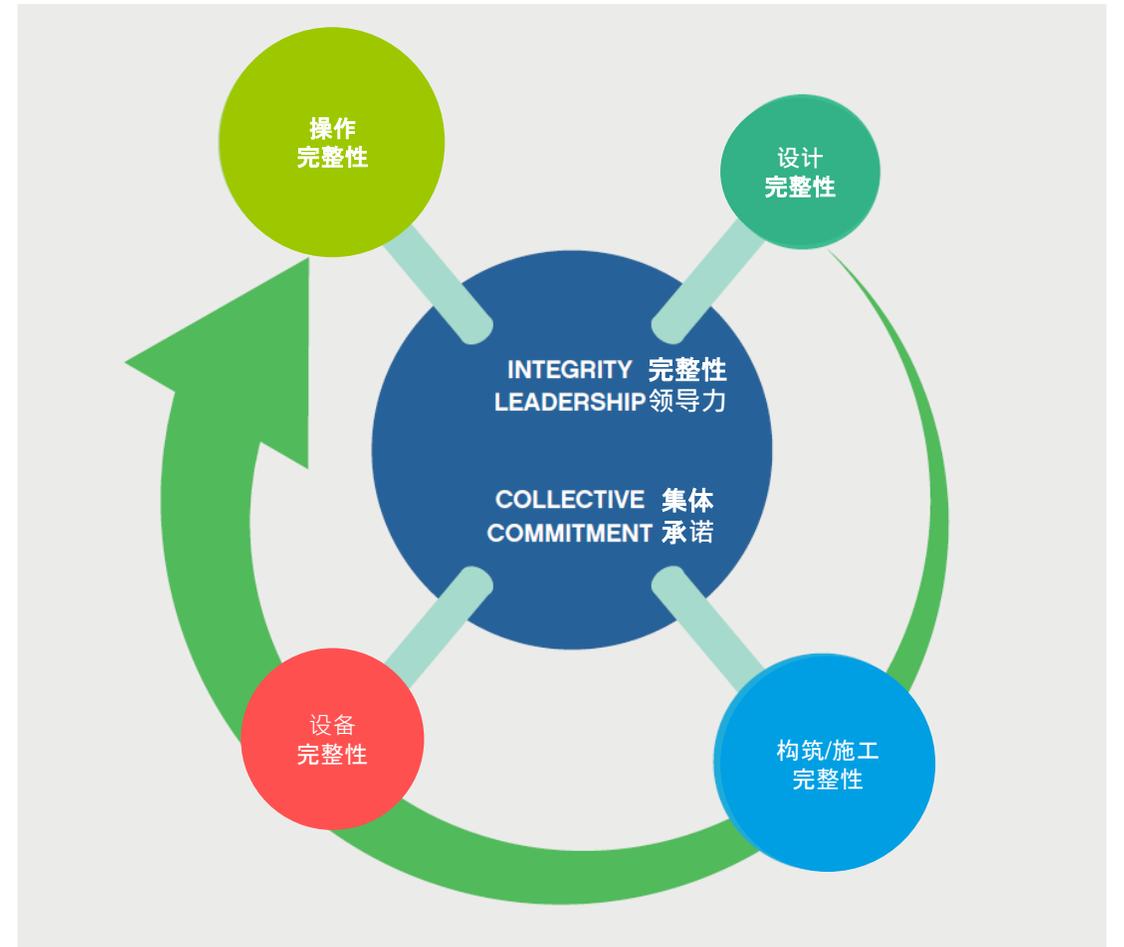
- 工艺过程安全就是如何避免危险化学品及能量的意外释放。围绕这一目标，工艺过程安全和**卓越运营**、**机械完整性**和**工程设计**这三个方面息息相关。
- 众多调查表明绝大部分事故源于装置设施的操作运行水平。损失常常由由于**操作**或者维护不当导致。据此，人们意识到**卓越运营**对于工艺过程安全至关重要。
- 制定本**工艺过程安全须知**旨在帮助“高固有风险基地”强化其工艺过程安全卓越运营。
- 同时，工艺过程安全卓越运营也离不开关键操作和维护任务所必须的**领导力和专业能力**。



¹ 欧洲工艺过程安全协会通过统计分析得出的结论（2019年近1000个定性为工艺安全事故的根本原因）

目的

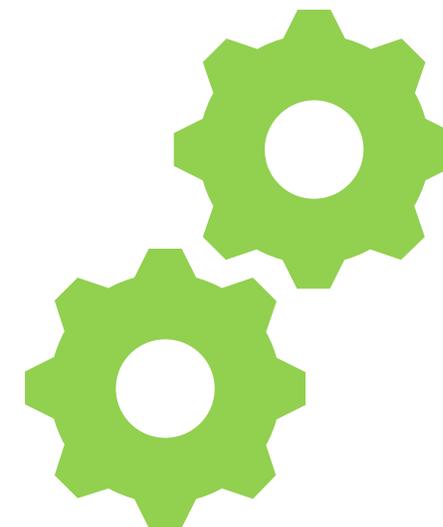
- **工艺安全须知**由一系列基本原则组成，旨在为一线员工、主管及生产运营管理者提供必要支持。
- 重点关注哪些有可能导致**具有潜在严重后果的危险化学品意外释放事故事件**的情形。
- 重点介绍防范此类事故事件发生的**既有优秀实践**的同时也阐释了“**典型的难以做到位的关键点**”。
- 工艺安全须知**没有引入全新的安全操作准则**，而是通过直观的易于理解的方式阐述了众所周知的基本原则。期许一线员工据此进一步理解与其日常工作活动密切相关的**工艺过程安全**。

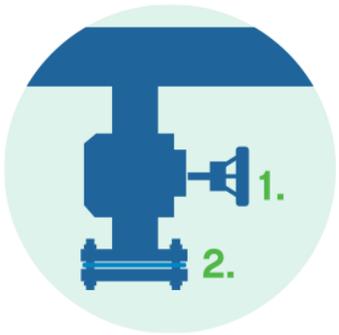


如何使用本须知

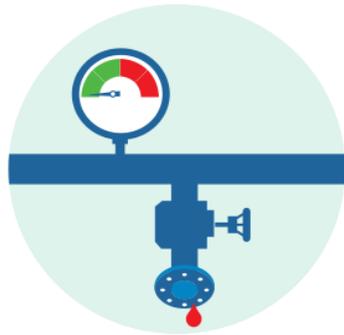


- 本须知目前包括**18种典型操作场景及其安全操作准则**。可能并非所有这些场景都适用于你所在的工厂，也可能会遗漏某些场景。
- 建议确定**适用于你所在工厂的场景**，据此制定应用计划，比如选择一个或多个场景，通过一年左右的试用推进对应安全操作准则的落地。
- 在引入本须知时，建议同来自生产、维保、工艺安全、资产完整性等部门的同事一起组织一次**研讨会**，以鼓励并获取大家的承诺和参与。
- 使用本须知还可以**有许多种方式**，例如将其融入诸如安全培训、审计和检查、培养和推进安全意识的宣传教育（安全一刻、工具箱会议、宣传海报等）、事故后审查、HSE系列改进项目、风险评估等中。
- 本工艺过程安全须知作为**Life saving 准则的补充**用于完善既有的工艺过程安全管理体系。

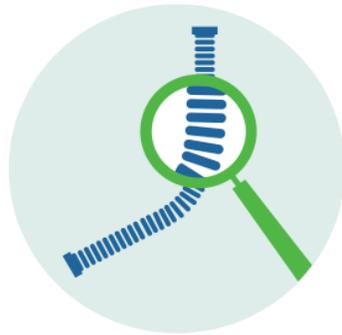




应用“双重”隔离



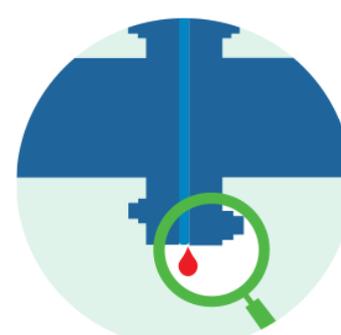
破管前物料“清空”
及能量“卸载”



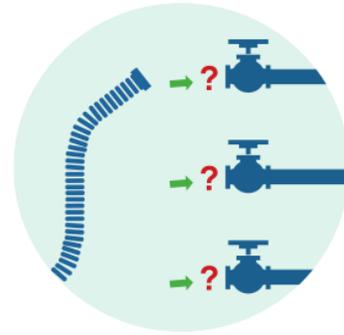
软管状态检查



炉膛点火前检查



检维修后的检漏



装卸作业控制



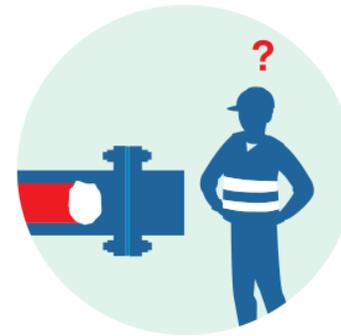
“在用”排放点管理



保持在安全范围内运行



关键安全系统的
超驰管理



清堵作业管理



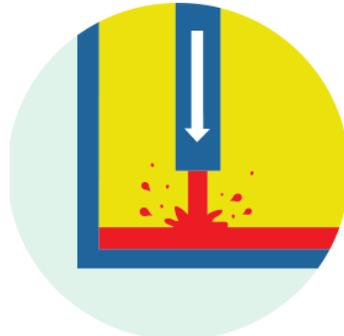
报告关键安全设备异常



报告工艺安全事故



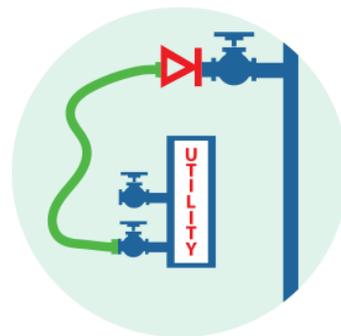
避免失控反应



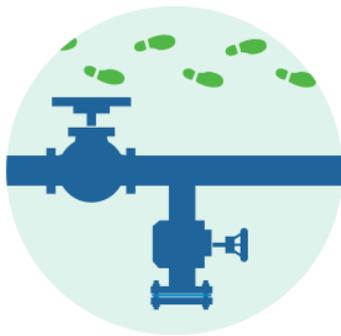
避免飞溅卸料



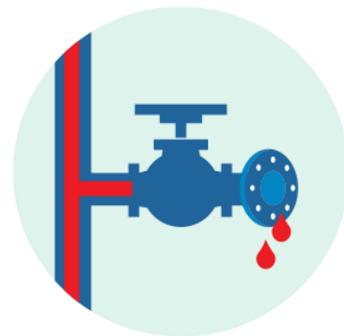
与能量释放点/路
径保持安全距离



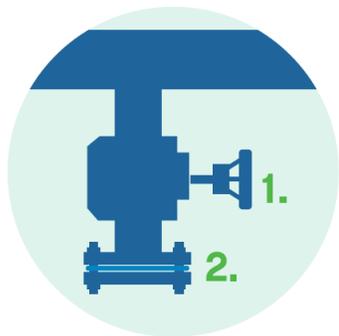
正确使用公用
工程系统



巡线检查



防范单阀
隔离失效



应用“双重”隔离

危害

如未设置第二道隔离，则当第一道隔离（例如隔离阀）失效时即可发生（危险）物料泄漏。

操作场景

日常操作及特殊作业中：排空和采样作业，装卸车作业，连接公用工程。

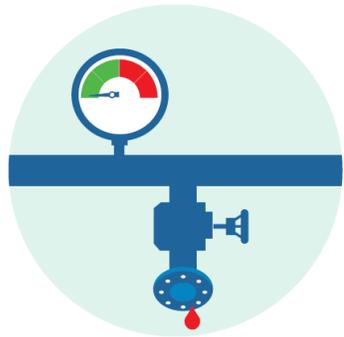
面临的挑战

- 既有（老）工厂的设计未考虑第二道隔离
- 维修作业完成后未及时恢复（末端）盲法兰
- 末端盲法兰螺栓未上紧/或管口缺失管帽
- 员工未充分理解“有效隔离”的重要性
- 阀门存在手柄被误触而打开的可能



正确的做法

- 带压工艺系统的隔离不应完全依赖于单道隔离阀
- 定期检查工艺系统排放点盲法兰或管帽是否就位
- 发现（排放点）盲法兰或者紧固螺栓缺失及时纠正
- 及时汇报并调查排放点相关的异常及泄漏事故
- 对可能被误触误开的阀门的手柄采取必要措施（如锁定）



破管前物料“清空”及能量“卸载”

EUROPEAN PROCESS
SAFETY CENTRE



危害

破管或打开设备时，危险能量或化学品的意外泄放

场景

当脱卸（工艺系统）螺栓/螺母，工艺设备上进行钻孔和切割作业；在处于运行状态的工艺设备上作业。

面临的挑战

- 在错误的位置进行作业
- 管线系统的复杂性导致破管顺序和点位选择不合适
- （在隔离点位）无法实施“双重隔离+排放阀”
- 压力放空或物料排空点位堵塞（无法放尽）/ 隔离点阀门存在内漏
- 装设盲板作业较为困难
- 排放至错误/不安全的位置

正确的做法

- 制定充分的隔离计划，在P&ID等图纸上标示隔离点位及其实施顺序。
- 遵循LOTO程序（加标锁定）确保能量隔离受控。
- 正确清空并清洗设备。
- 签发工作许可前，安排操作员工再次检查能量隔离是否就位且有效。
- 充分考虑未吹空排尽的残存化学品，穿戴合适的PPE，并准备好应对物料泄漏所需的吸附材料。
- 开管前，机修人员或承包商工作员工实施“作业前一分钟风险管控”状态核实，确认压力指示为零，没有流量，排空口已打开，工艺系统处于环境温度，待打开设备没有弄错。
- 遵循隔离要求，依照管道参数选用合适的盲插板。
- 当情况发生变化时，再次核实隔离有效性。



“在用”排放点管理



危害

从储罐或者设备向环境排放的过程中，发生物料意外释放

场景

装有碳氢化合物的罐子往地沟排水时；进行工艺设备倒空时

面临的挑战

- （操作工）被其他事情分散注意力
- 长时间的排放
- 恶劣天气
- 低估物料释放的潜在后果
- 未完全关死排放阀门

正确的做法

- 确定工厂涉及的关键排放（空）作业
- 限定排口尺寸（通常1英寸）来限制危化品的释放速率
- 对于短时间的排放操作，通过应用弹簧复位排放阀确保操作人员排放期间的专注性
- 开始排放作业前充分评估所需的排放时间
- 合理设计，使得操作员可在安全位置关闭排放阀门
- 监控排放时，操作员应专注
- 发生紧急情况，离开排放点前应先关闭排放
- 交接班时，应合理暂停排放作业



关键安全系统的“超驰”管理

EUROPEAN PROCESS
SAFETY CENTRE



危害

因关键安全系统未就位或被旁路导致安全防护缺失

场景

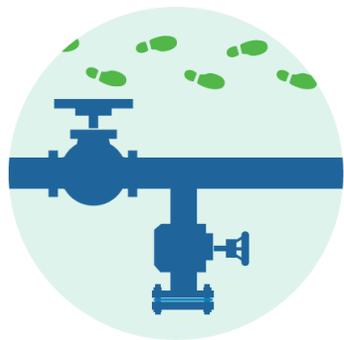
安全系统故障或不可靠，连锁处于测试状态，系统处于大修或检维修、试运行、开停车阶段

面临的挑战

- 后果不可预知
- 安全系统可能阻碍开车进程
- 对管理流程理解不透彻
- 关键授权的缺位

正确的做法

- 理解关键安全系统并在现场明确标示
- 基于风险评估管控旁路/超驰，适用合理的批准流程（如工作票）
- 界定待旁路系统的重要性等级，如安全仪表SIL等级
- 依照重要性等级界定授权要求
- 定义并落实合理有效的替代保护措施
- 任何旁路应纳入旁路管理审批流程，相关文件应在中控并易于获取
- 交接班中涵盖对“目前处于旁路状态的系统”相关的讨论和记录
- 定义哪些工艺单元当关键安全系统不可用时必须得到安全停车
- 控制旁路存续时间，需长期旁路的应遵循变更管理流程严格管理
- 采取必要措施避免安全连锁在现场被轻易旁路
- 日常回顾当前存续的旁路，如每日晨会
- 定期统计并回顾旁路的情况



巡线检查

危害

管线未满足要求而被投入运行，如末端或者排口尚处于开的状态、管线连接错误的阀门或容器，导致泄漏或交叉污染

场景

未停车后重新启动、切出设备、工艺设施改造检维修、进行排放作业而完成传输管线连接后

面临的挑战

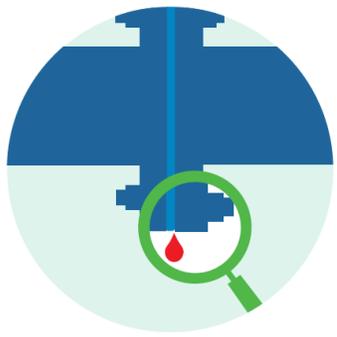
- 临近交接班仓促投用管线
- 长距离输送管线，无法完全实地确认
- 操作员分心处理其他事务
- 恶劣天气或晚上能见度低
- 管线或阀位不易目视确认



EUROPEAN PROCESS
SAFETY CENTRE

正确的做法

- 启泵或投用管线前，现场确认管线正确连接（阀门、储罐、泵）
- 启泵后再次巡线检查导淋、软管、法兰或泵体密封是否有漏
- 依据P&ID最好时单线图巡线检查
- 标示现场设备，如阀门、管线走向及泵，帮助现场检查
- 标示排放点和导淋
- 定期检查储罐液位与泵流量匹配情况，核对传输状态。发现异常立即采取行动



检维修后的检漏



危害

检维修后，尽管设备和工艺系统法兰已复位，在引入危险化学品时，仍存在泄漏可能。

场景

涉及打开设备和法兰的检维修工作完成后
(工艺系统重启可能涉及) 温度变化会影响紧固螺栓张紧力从而导致泄漏

面临的挑战

- 法兰装配人员的素质
- 检漏技术能力或程序的缺失

正确的做法

- 引入危险化学品前进行检漏
- 检漏的手段
 - 用危险性小的气体进行保压试验
 - 在动过的法兰进行肥皂泡捉漏
 - 超声波检漏
- 明确泄漏测试验收合格标准
- 对泄漏测试后被复位的法兰建立特别的管理
- 检查螺栓扭矩是否合适
- 设备升温后，验证并调整螺栓张力 (“热紧”)
- 记录泄漏测试的结果



防范单阀隔离失效

危害

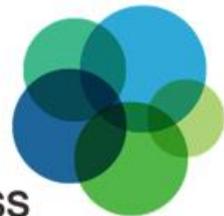
单阀隔离存在因未完全关闭，结垢或者本体内漏而失效，在单阀隔离点后面工作时，可能面临意外泄漏。

场景

检维修活动中进行或者已实施破管，而（隔离点）上游的工艺单元未完全泄压

面临的挑战

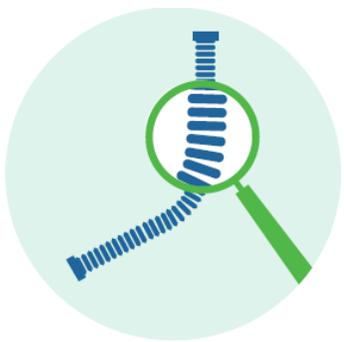
- 既有（老）工厂的设计未考虑第二道隔离无法实施“双重隔离+排放阀”进行有效隔离
- 设置盲插板或者切换8字盲法兰位置时无法避免（单阀隔离）



EUROPEAN PROCESS
SAFETY CENTRE

正确的做法

- 确认并有效沟通“无法设置双重隔离”的情形
- （单阀隔离）并开始作业前，应尽量移除工艺系统中的物质或能量
- 如单阀隔离无法避免，须注意：
 - 采取措施验证单阀隔离是否有效，如通过隔离点下游排放点检查，或参考压力测点的数据
 - 锁定隔离阀手柄避免在作业期间被意外打开，确定自动阀门失效关位置后锁止其执行机构
 - 在单阀隔离后设置盲插板或法兰
 - 破管期间直到盲插板设置完毕前，现场保持必要应急响应力量
 - 作业期间穿戴适当的个人防护设备
 - 缩短作业时间，在此期间避免隔离点上游产生苛刻的工艺条件



软管状态检查



危害

软管失效导致的危险流体泄漏；快接/连接松脱时压力释放导致软管甩动

场景

拆卸处于受压状态或含有有害物质的软管

面临的挑战

- 不正确的连接，导致软管异常的扭曲或拉伸
- 备用软管存放不当

正确的做法

- 使用正确的软管：制造材料，适用温度和压力等级
- 使用软管前对软管进行目视检查，检查是否存在腐蚀、磨损或机械损坏等缺陷
- 用于危险化学品的软管（及接头）应由专门机构定期检查
- 避免软管用于剧毒化学品（如光气）
- 软管应具有适合的标签和对应的维护计划
- 不使用时，正确存放软管，适当的折弯半径、垂直或平放
- 连接软管应避免扭曲或异常应力
- 准确连接软管，关注可能的振动
- 如适用，预防性地实施软管更换，确保现场及时移除被淘汰的软管
- 拆卸软管前检查确认系统已被正确卸压



保持在安全范围内运行



危害：

超出安全操作边界时，可能引发设备损坏，反应失控和危险能量释放

场景：

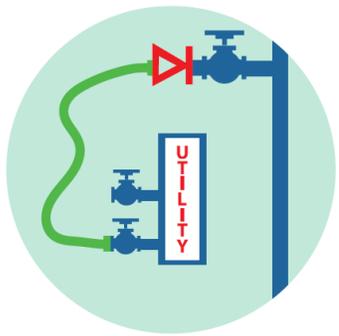
工况偏离正常操作范围；临时性操作工况、批次性工艺、开/停车期间；技术性变更时

面临的挑战

- 边界标示不清或者不明确
- 未有效遵循MOC程序
- 源于生产任务的压力

正确的做法：

- 明确关键工艺参数和对应操作场景的安全范围，并确保操作人员获取并理解相关信息
- 通过检查验证确保仪表工作正常
- 充分理解可能在异常时导致设备损坏或意外泄漏（LoPC）的关键工艺参数
- 关键工艺参数设置必要警报和联锁
- 针对保持工艺参数在安全边界内运行定义必要纠偏措施。
- 汇报并分析偏离操作边界运行可能的原因
- 理解非常规工况下可能的化学危害，建立化学品相容性矩阵（管控热危害）



正确使用公用工程系统



危害

当临时连接公用工程系统和工艺单元时，危险物质可能以回流并污染公用工程系统。

场景：

为惰化、清洗和清堵工艺设备而连接公用工程；
取样作业时，使用公用工程介质来吹扫系统

面临的挑战：

- 缺乏必要的知识
- 公用工程站和软管管理不当
- 危害未充分辨识

正确的做法：

- 对公用工程系统可能受到工艺介质的污染保持警惕
- 理解工艺系统的压力和它在操作过程中的波动范围
- 界定倒流防护措施，设置一道必要的止回阀
- 任务完成后及时拆除连接在工艺系统上的公用工程软管
- 确保使用的软管具有适用于工艺系统要求的压力等级和化学相容性
- 如公用工程系统和工艺系统之间存在固定连接时，通过工艺危害分析评估管控倒流的风险



报告安全关键设备异常



危害

安全关键设备设计作为安全屏障用于防止重大事故或限制其后果。

场景：

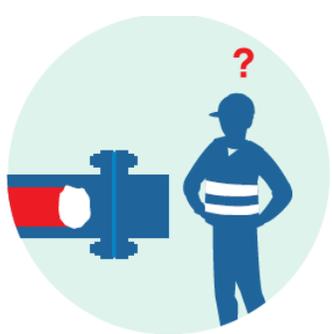
安全关键设备出现异常

面临的挑战

- 可能需要装置停车以修复受损的安全关键设备
- 员工对安全关键设备的重要性认知不足
- 没有察觉故障 — 无测试
- 无法有效目视检查安全关键设备状态，如观察视镜结垢

正确的做法：

- 明确安全关键设备
- 了解安全关键设备及其具有潜在危害的异常状态
- 安全关键设备具备明确的测试范围和频次
- 报告安全关键系统的故障或偏离（如通过测试发现）
- 当安全关键设备出现异常时，界定合理应对措施，如必要，安全的停止装置运行
- 如需保持装置运行，必须落实有效的经批准的临时性补救措施
- 以最高优先级修复或更换安全关键设备
- 安全关键设备故障时应分析其原因
- 对已停用的安全关键设备应记录在案



清堵作业管理



危害

清堵作业可能需要打开设备，从而导致意外泄漏。

场景

因为结垢、物料聚合、腐蚀，维修作业残余物等导致的工艺设备堵塞。

面临的挑战

- 未预期的严重的工艺流量限制
- 缺乏清堵程序或好的做法
- 不想中断生产

正确的做法：

- 清堵作业前考虑停止生产
- 清堵作业前应具备经由风险分析的经批准的作业方案
- 理解造成堵塞的源头和原因。
- 理解清堵作业中的危害，制定防范意外泄漏的应对措施
- 充分意识因堵塞可能造成仪表可能传递错误信息，或者安全阀不能正常工作。
- 理解即便打开设备后，堵塞部分仍可能会憋压
- 清堵作业管理中充分隔离和贯彻“按照首次打开设备”界定强化的防护措施。
- 禁止使用危险气体介质吹扫管线 / 设备。



与能量释放点/路径保持安全距离

EUROPEAN PROCESS
SAFETY CENTRE



危害

暴露于非预期的能量释放或化学品泄漏，或类似人孔等运动物体，真空，从而造成伤害

场景

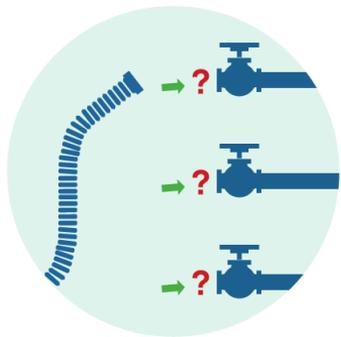
运行在非大气压力下的工艺装置。

面临的挑战

- 能量泄放点设计不合理：例如安全阀泄放点影响人员通道
- 人孔（或进出口）被卡住
- 火炬的热辐射

正确的做法：

- 现场正确标示能量泄放点或者物体吊运通道及其周边影响范围，例如在地面上画定警示范围
- 清楚能量泄放点的位置，与这些泄放点或者能量泄放路径保持安全距离，如安全阀，泄爆门/堵头
- 防止人员进入到火炬的热辐射区。
- 打开设施设备时保护好自己（保持身体处于安全位置）。
- 设置物理屏障，避免人员错误进入危险区域
- 核实并确保安全阀排放至安全位置
- 打开法兰时，先松动离你远那侧的螺栓



装卸作业控制



危害

非预期的失控反应，生成有毒物质，过度灌装或意外泄漏。

场景

工厂接收化学品，卸料至储罐或反应器，废弃物操作

面临的挑战

- 承包商或操作人员缺乏必要知识或指示
- 管路连接
- 化学品标识。

正确的做法：

- 确认装卸正确的化学品，通过诸如取样分析，在线分析（如密度），质量证书，条码及标志标签
- 具有明确检查项目的装卸作业程序。
- 为避免接错管线，对危险化学品应用特殊的连接形式
- 管线和接头通过颜色标识（或条码）确保易于区分确认
- 委托专业公司（符合ADR, ADN和RID标准）承运化学品。
- 为装卸车的承包商工作人员建立正确操作指南
- 接受物料前确认接收设备有足够的空余体积。
- 理解化学品危害，建立化学品兼容性矩阵。



炉膛点火前检查



危害

如果炉膛中累积大量的可燃气体而产生爆炸性氛围，此时如进行点火，会导致爆炸。

场景

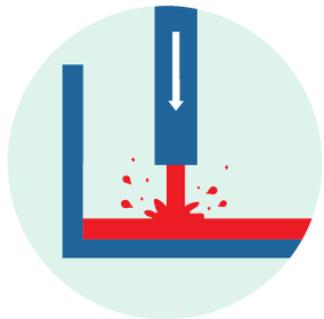
启炉或者重启，冷启，跳车后重启

现场的挑战

- 仪表的可靠性
- 缺乏好的管理程序/做法
- 为避免停车需要的快速重新启炉

正确的做法

- 点火前，使用空气吹扫炉膛，清除所有可燃气体避免爆炸性气氛
- 建立和维护燃烧炉和锅炉的开车程序。管理层应定期核实这些程序的正确执行情况
- 及时报告炉子管理系统的故障或者启动程序的偏离
- 限制点炉的尝试次数（并在两次尝试之间设置足够的间隔时间）
- 在点炉前对燃气供应系统进行泄漏测试
- 点炉前，用 LEL 检测仪检查炉膛中的（爆炸）氛围
- 安全仪表（火焰探测器、气体检测探头）旁路应被严格管理
- 将启炉时，避免无关人员进入相关区域
- 在启动或重新启动避免时间压力



避免飞溅卸料



危害

非导电性可燃液体进料时，储罐内可能生成爆炸性氛围，被带电液滴静电放电产生的火花点燃，导致爆炸事故

场景

- 进行可燃液体输送转料时，液体落下并形成液滴

面临的挑战

- 对危害认知不足
- 设计缺陷 例如：泵、液下卸料管
- 沟通不足（船与码头间）

正确的做法

- 卸料过程中，控制管道进料速度低于 1 m/s，保证比较少的液滴形成且不至于产生火花放电
- 安排码头装船时，应在协议中明确管道直径和泵速要求
- 确保管道、储罐、容器接地
- 当灌装管浸入容器或罐内液位以下时，液滴飞溅的风险已经消失，泵速可以适当增加
- 通过惰化可以避免罐内爆炸性氛围
- 了解哪些化学品是导电性不良的可燃液体（如苯、煤油、丁烷、庚烷）。这些液体易与空气形成的爆炸性混合物，液体本身的获得的静电不易消散或者消散很慢。



避免失控反应



EUROPEAN PROCESS
SAFETY CENTRE

危险

由于可能导致爆炸、物料泄漏和飞散碎片等，放热反应失控具有很高的破坏力。

场景

放热型间歇反应，活性化学品的储存，物料意外聚合或分解

面临的挑战

- 操作人员很难了解或获知升温后的化学特性
- 冷却可能失效，或冷却能力可能无法应对以指数增长的反应速率

正确选项

- 理解异常状况如更高温度梯度时的化学特性和副反应
- 理解冷却能力不足以应对反应热指数级增长的温度点（反应临界点）
- 确保所涉及反应的热平衡都有良好的设计数据（如DSC曲线）
- 理解冷却异常或失效的影响
- 建立反应关系矩阵，确保操作人员了解应避免的相反应的危险化学品互相接触
- 确保冷却的可靠性，如需要设置备用冷却系统
- 验证反应抑制剂的存在/活性
- 设置诸如安全联锁，泄爆板，防护掩体等适用安全措施
- 建立应急程序：反应失控后人员应立即撤离危险区域！



报告工艺安全事故

EUROPEAN PROCESS
SAFETY CENTRE



危险

容忍小泄漏、未遂事故或不按规范操作

场景

安全关键设备相关异常、小泄漏和保护层/措施被触发

面临的挑战

- 未形成促进全员负责安全的开放型学习文化
- 源自生产任务的压力
- 对报告的时间缺乏良好跟进和有效反馈
- 缺乏简便易用的报告工具

正确的做法

- 创建一种文化，将报告负面情况视为对提升安全有益的反馈。并为此投入精力。
- 报告跑冒滴漏：建立简易的数据库来落实相关报告
- 落实跟进并及时提供反馈
- 依照标准界定LoPC事故，设定明确的KPI
- 培养员工对于早期迹象（薄弱环节）的辨识能力，此类信号包括：
 - 小泄漏和小火灾
 - 安全关键系统故障
 - 诸如安全联锁等最后一道防线被激活
 - 异常水锤、震动、腐蚀等现象
 - 超压或超温
 - 铅封开/管阀门锁定位置错误
 - 长时间持续或频繁出现的工艺报警
 - 防爆区域内出现非受控点火源；防爆电器ATEX缺陷
 - 偏离关键程序的行为