

# 化工过程安全管理导则

## 本质更安全

汇报人：孟亦飞

2023年2月17日

联系电话：15806569036

邮箱：myf213@163.com

微信：myfupc



目录  
Content

01

本质更安全基础

02

本质更安全策略

03

本质更安全的几个关键认知

04

企业如何推进本质更安全工作

»»» 01 | 本质更安全基础





## 一、本质更安全基础

### 1.1 本质安全由来

Flixborough, UK, 1974



*intrinsically safe*



Trevor Kletz, 1922–2013

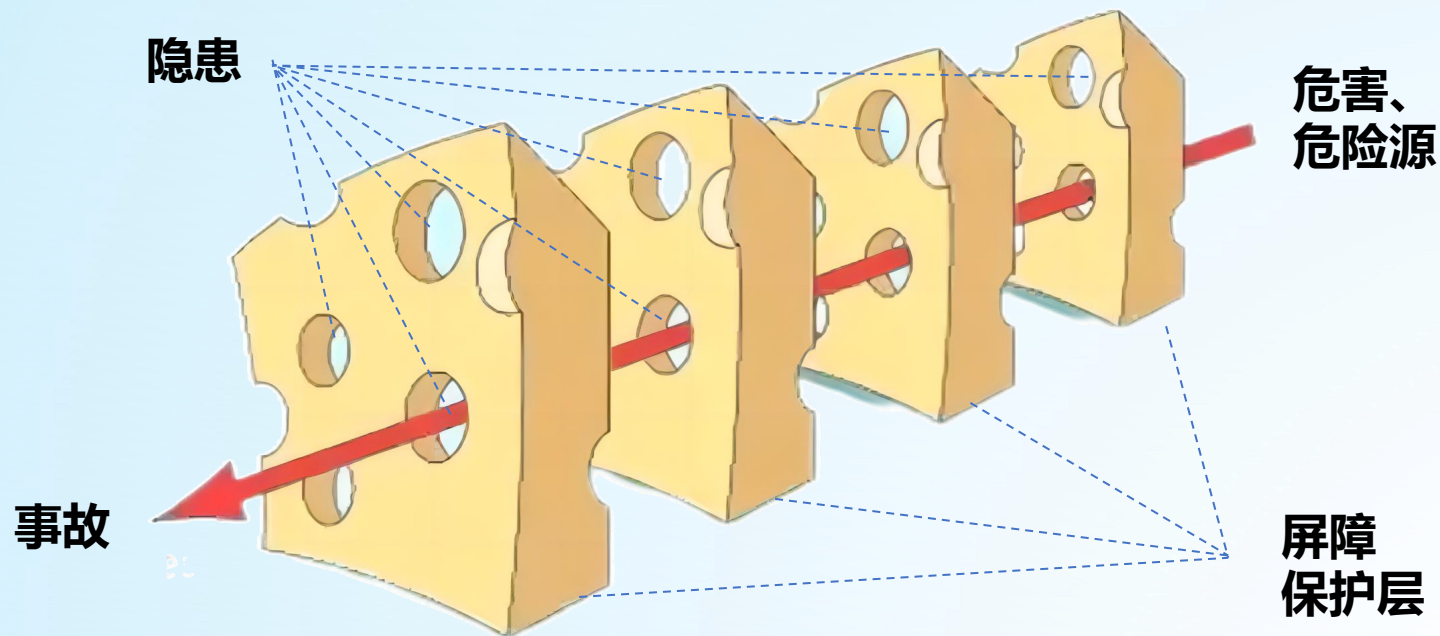
“减弱”危害而非“控制”危害的理念

Kletz, T.A., (1978) *Chemistry and Industry* pp, 287–292 “What You Don’t Have, Can’t Leak”



## 一、本质更安全基础

### 1.1 本质安全由来



系统出现了问题（人的不安全行为&物的不安全状态）后仍具有较低危险性。

1984    intrinsically safe     $\longrightarrow$     inherent safety

intrinsic safety, 专指潜在可燃氛围内电器设备安全的一种特殊技术。

本安型电器设备    intrinsic safety     $\subseteq$     inherent safety



## 一、本质更安全基础

### 1.2 本质安全定义

本质安全是一种通过消除或减小危害而不是管理或控制危害从而降低风险的设计**理念**，适用于企业生产的**全生命周期**，是一个不断迭代完善的过程。

一个系统如果具备“**系统出现了问题（人的不安全行为&物的不安全状态）后仍具有较低危险性**”的特性，则可认为其具有“本质安全”的属性。

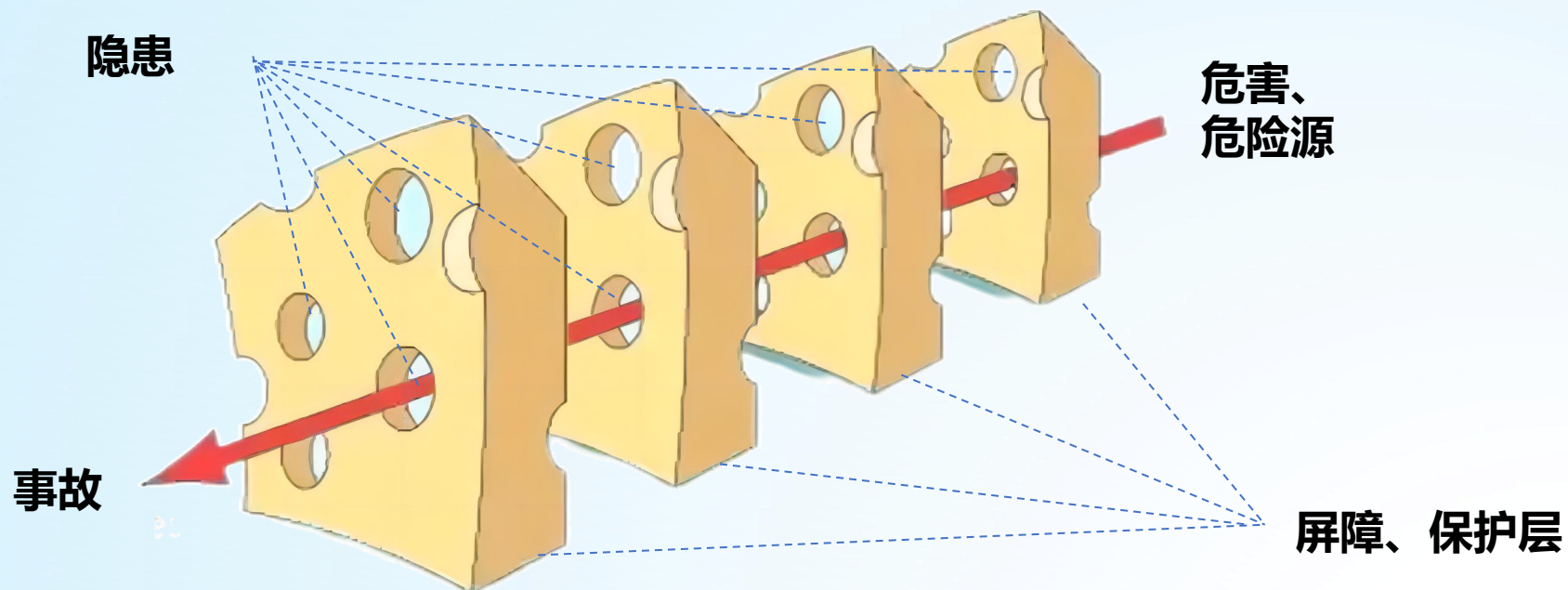
关键词：

- **Inherent** - “existing in something as a **permanent** and **inseparable** element...”
- safety “**built in**”, not “**added on**”
- **本质**——**永久、不可分割**地存在于系统中，不会因为操作人员的熟练度或精神状态而发生变化。
- “**融入、植入**”安全，而非“**加入**”安全。使系统本身具备“安全”的属性。



## 一、本质更安全基础

### 1.2 本质安全定义



#### 狭义的本质安全

将本质安全理念（策略）着眼于直接改变危害危险源（事故发生的根源——第一类危险源）。

#### 广义的本质安全

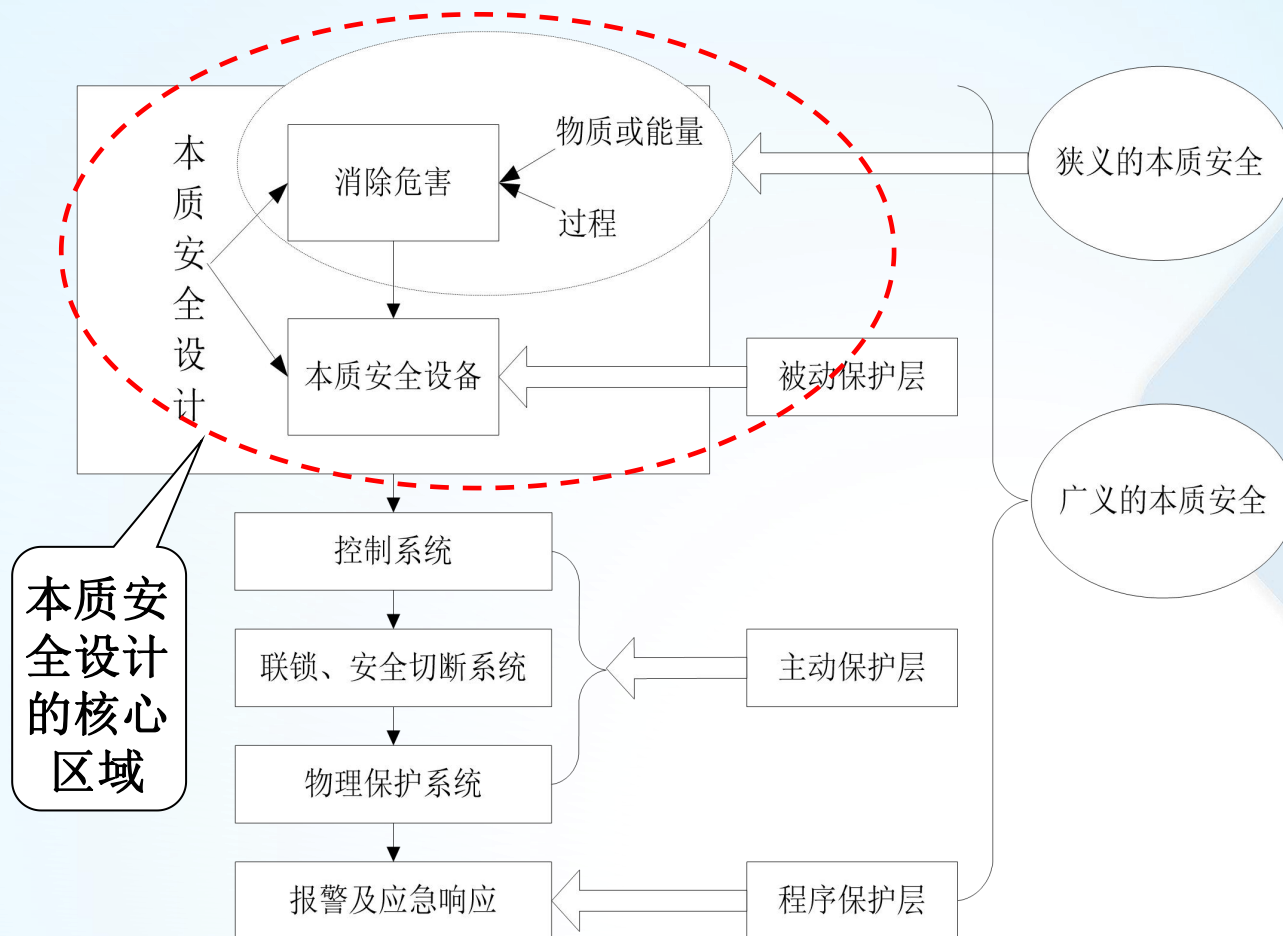
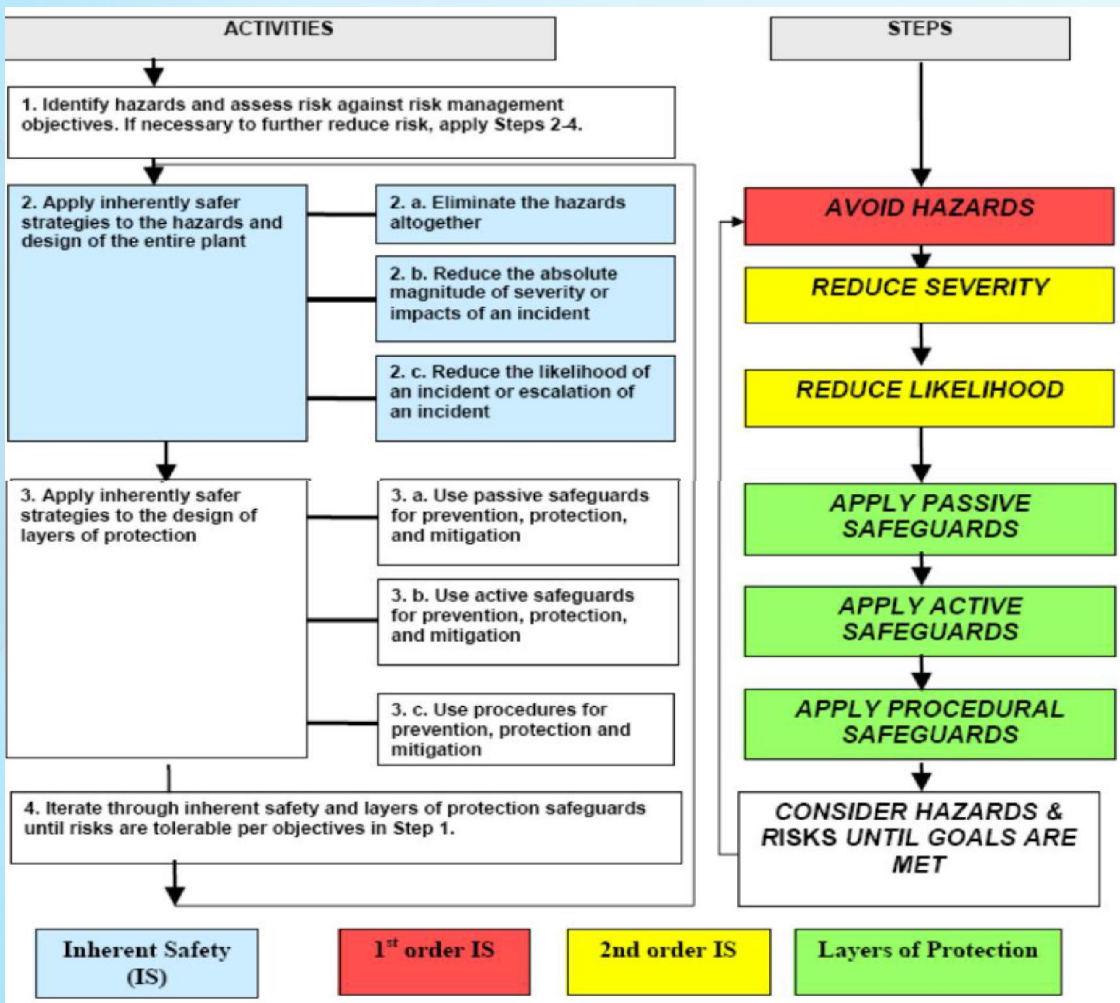
将本质安全理念（策略）拓展到屏障/保护层的本质安全（可靠）。





# 一、本质更安全基础

## 1.2 本质安全定义







## 一、本质更安全基础

### 1.2 本质安全定义

由于完美的安全往往很难达到，在实际生产实践中，往往更多使用术语

本质（更）安全

**Inherently Safer**

本质（更）安全技术

**Inherently Safer Technology(IST)**

本质（更）安全设计

**Inherently Safer Design(ISD)**

»»» 02 | 本质更安全策略



## 二、本质更安全策略

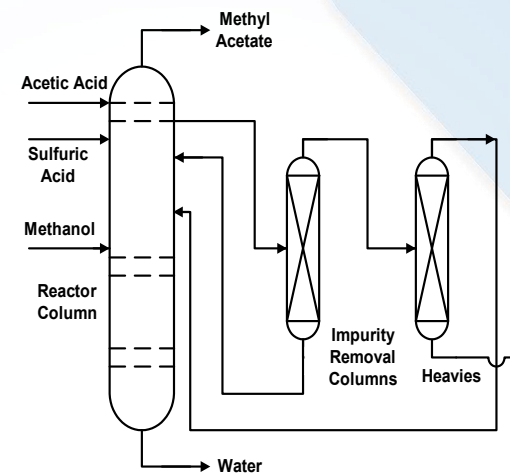
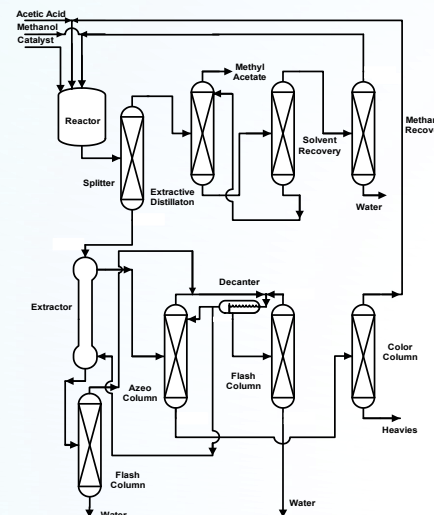
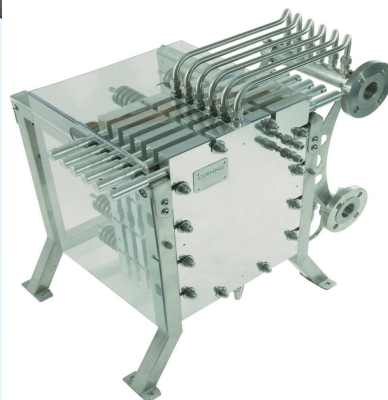
- **最小化 (Minimize)**
  - **替代 (Substitute)**
  - **缓和 (Moderate)**
  - **简化 (Simplify)**
  - **容错 (Error tolerance)**
  - **限制影响 (limit effects)**
- 避免连锁效应  
Avoiding knock-on effects
  - 消除错误安装可能性  
Making incorrect assembly impossible
  - 状态清晰  
Making status clear
  - 易于控制  
Ease of control
  - 软件和管理程序  
Software and management procedures



## 二、本质更安全策略

ISD 策略	定义	应用示例
最小化	减少生产过程或生产装置的物料、能量或能量密度。	<ul style="list-style-type: none"> <li>□a) 通过工艺优化减少危险有害物料的在线量;</li> <li>□b) 通过提升生产运行管理,降低危险物料的中间库存;</li> <li>□c) 通过优化供应商管理,降低危险原辅材料的库存;</li> <li>□d) 通过加强销售管理,降低产品库存。</li> </ul>

AQ/T 3034-2022, 4.8.4



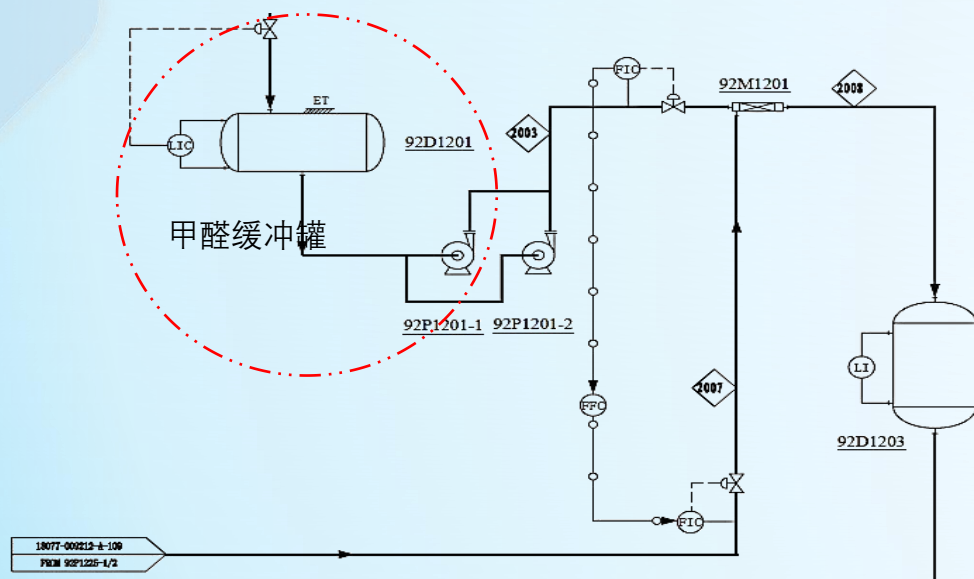




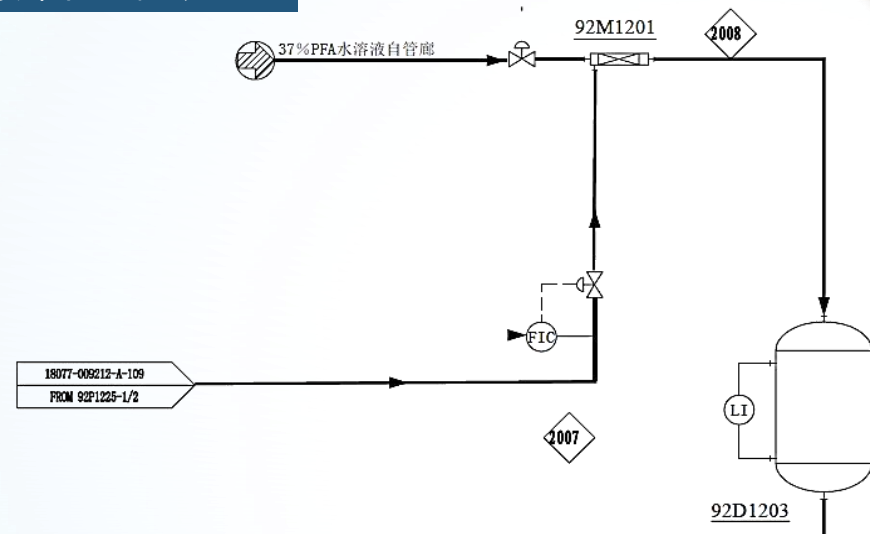
## 二、本质更安全策略

ISD 策略	定义	应用示例
最小化	减少生产过程或生产装置的物料、能量或能量密度。	<ul style="list-style-type: none"><li>❑ a) 通过工艺优化减少危险有害物料的在线量;</li><li>❑ b) 通过提升生产运行管理,降低危险物料的中间库存;</li><li>❑ c) 通过优化供应商管理,降低危险原辅材料的库存;</li><li>❑ d) 通过加强销售管理,降低产品库存.</li></ul>

AQ/T 3034-2022, 4.8.4



直接来自甲醛装置





## 二、本质更安全策略

ISD 策略	定义	应用示例
替代	采用可以消除或减少危害的替代品取代危险物料或工艺。	<ul style="list-style-type: none"><li>□ a) 采用相对安全的材料;</li><li>□ b) 采用相对安全的工艺。</li></ul>

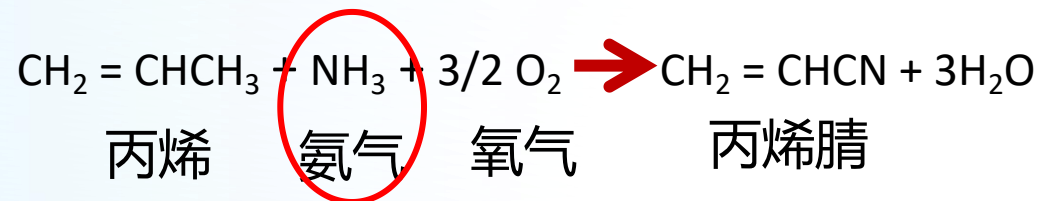
AQ/T 3034-2022, 4.18.5 企业应按替代原则, 采用相对安全的材料或工艺替代比较危险的材料或工艺。



常规工艺



替代工艺



印度博帕尔实践的启示!



## 二、本质更安全策略

ISD 策略	定义	应用示例
替代	采用可以消除或减少危害的替代品取代危险物料或工艺。	<input type="checkbox"/> a)采用相对安全的材料; <input type="checkbox"/> b)采用相对安全的工艺。

AQ/T 3034-2022, 4.18.5企业应按替代原则,采用相对安全的材料或工艺替代比较危险的材料或工艺。

油性涂料 → 水性涂料

油导热 → 水导热

氟利昂制冷剂 → 氨制冷剂



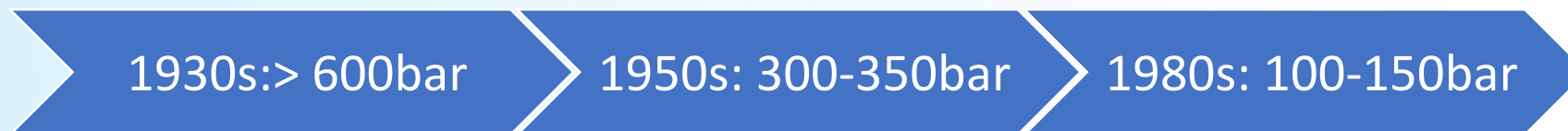
## 二、本质更安全策略

ISD 策略	定义	应用示例
缓和	在更低危害或能量的条件下使用物料，或设计工厂时采取措施以减轻危害引发的事故影响。	<ul style="list-style-type: none"><li><input type="checkbox"/> a) 较温和的操作条件 (例如温度、压力);</li><li><input type="checkbox"/> b) 稀释物料, 减少操作和储存风险;</li><li><input type="checkbox"/> c) 储存温度低于闪点;</li><li><input type="checkbox"/> d) 危险品设施选址远离工厂区域/居民区。</li></ul>

AQ/T 3034 4.18.6 企业应通过工艺技术改进和新催化剂的应用,尽可能缓和生产工艺条件。

低压力:

合成氨工艺:



低温度:

某装置的蒸汽主要用于**管线伴热以及成品物料熟化**, 最高需求温度约120°C。

**优化前**, 使用**S5蒸汽** (0.5MPaG 160°C), 温度压力均较高, 发生泄漏时危险性较大。

**优化后**, 将蒸汽由S5调整为**S2** ( 0.2MPaG 135°C ) 。



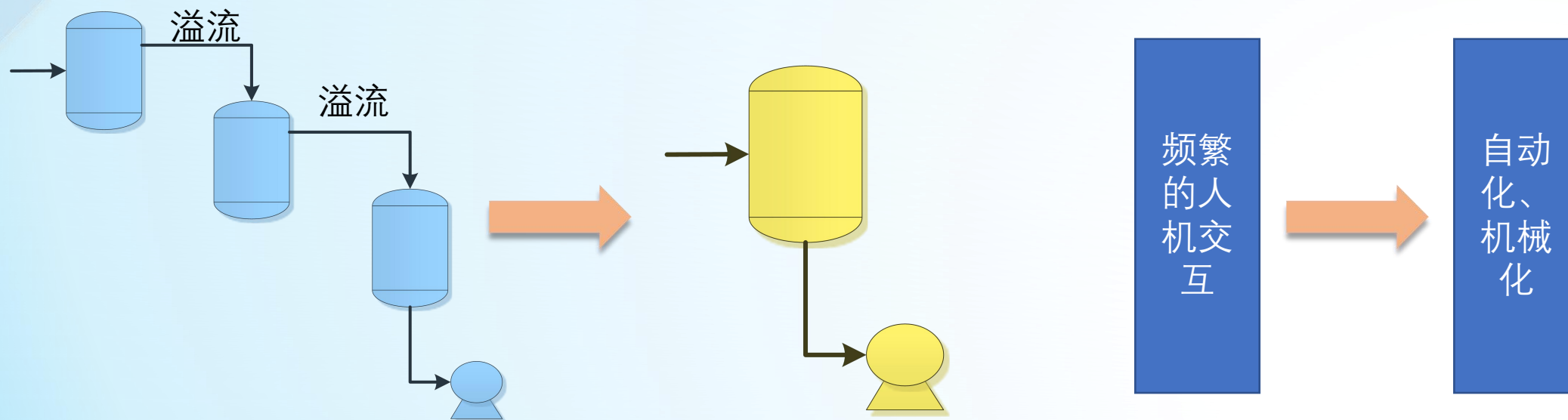


## 二、本质更安全策略

ISD 策略	定义	应用示例
简化	减少不必要的复杂设计或操作，从而降低或消除化工风险。	<ul style="list-style-type: none"><li>❑ a) 简化工艺流程，减少操作和维护；</li><li>❑ b) 减少对人机交互的依赖；</li><li>❑ c) 减少化学品的种类和数量；</li><li>❑ d) 更少的操作步骤。</li></ul>

AQ/T 3034 4.18.7 企业应按照简化的策略,尽可能简化工艺流程及操作方法,减少人为失误的概率。

AQ/T 3034 4.18.8 企业应通过全流程自动化、机械化,尽量减少现场操作人员。



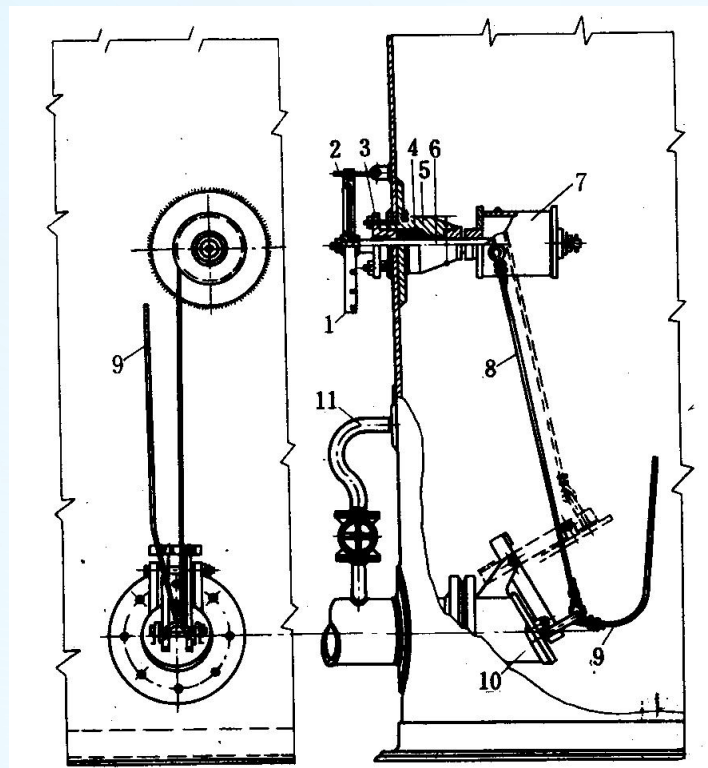


## 二、本质更安全策略

### 容错——故障安全 or 失误安全



壁厚设计时考虑了最糟糕情况



油罐保险活门



漏电保护器



## 二、本质更安全策略

### 限制影响

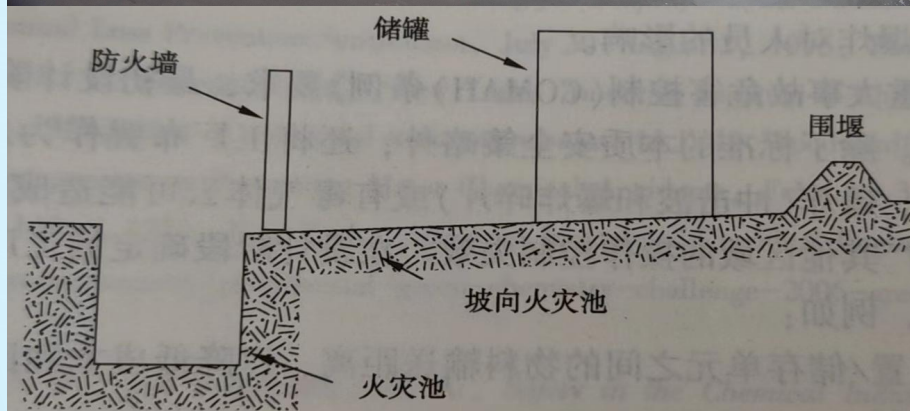


图 5.3 易燃液体的围堰设计(参考文献 5.6 England)

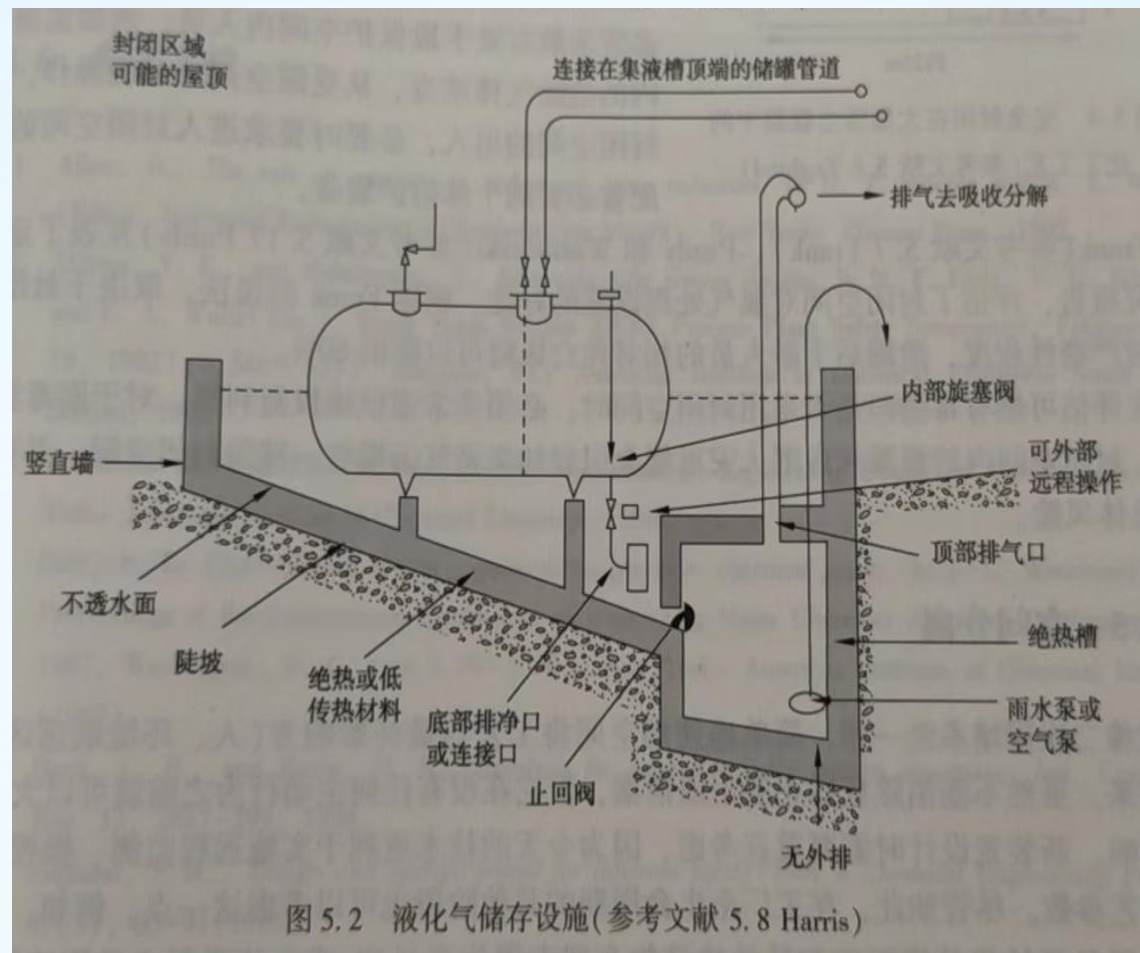


图 5.2 液化气储存设施(参考文献 5.8 Harris)



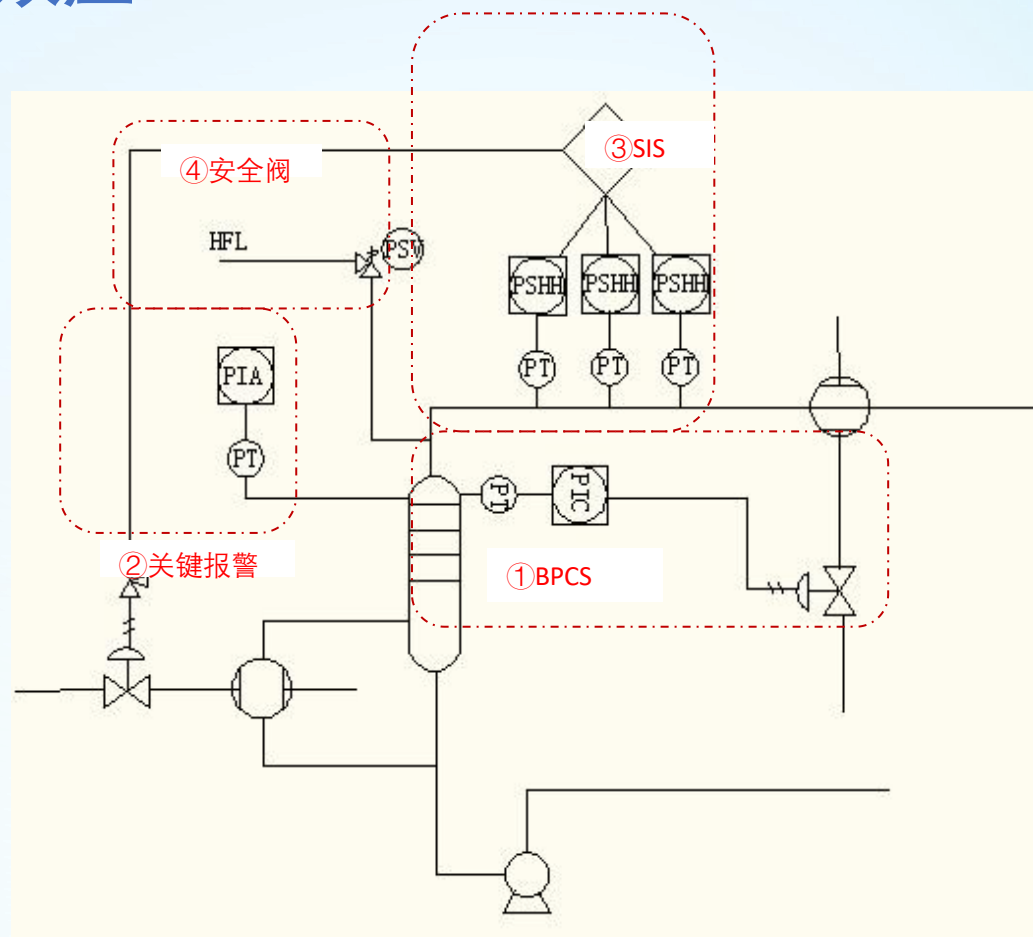


## 二、本质更安全策略

### 避免连锁效应



防爆墙



安全联锁



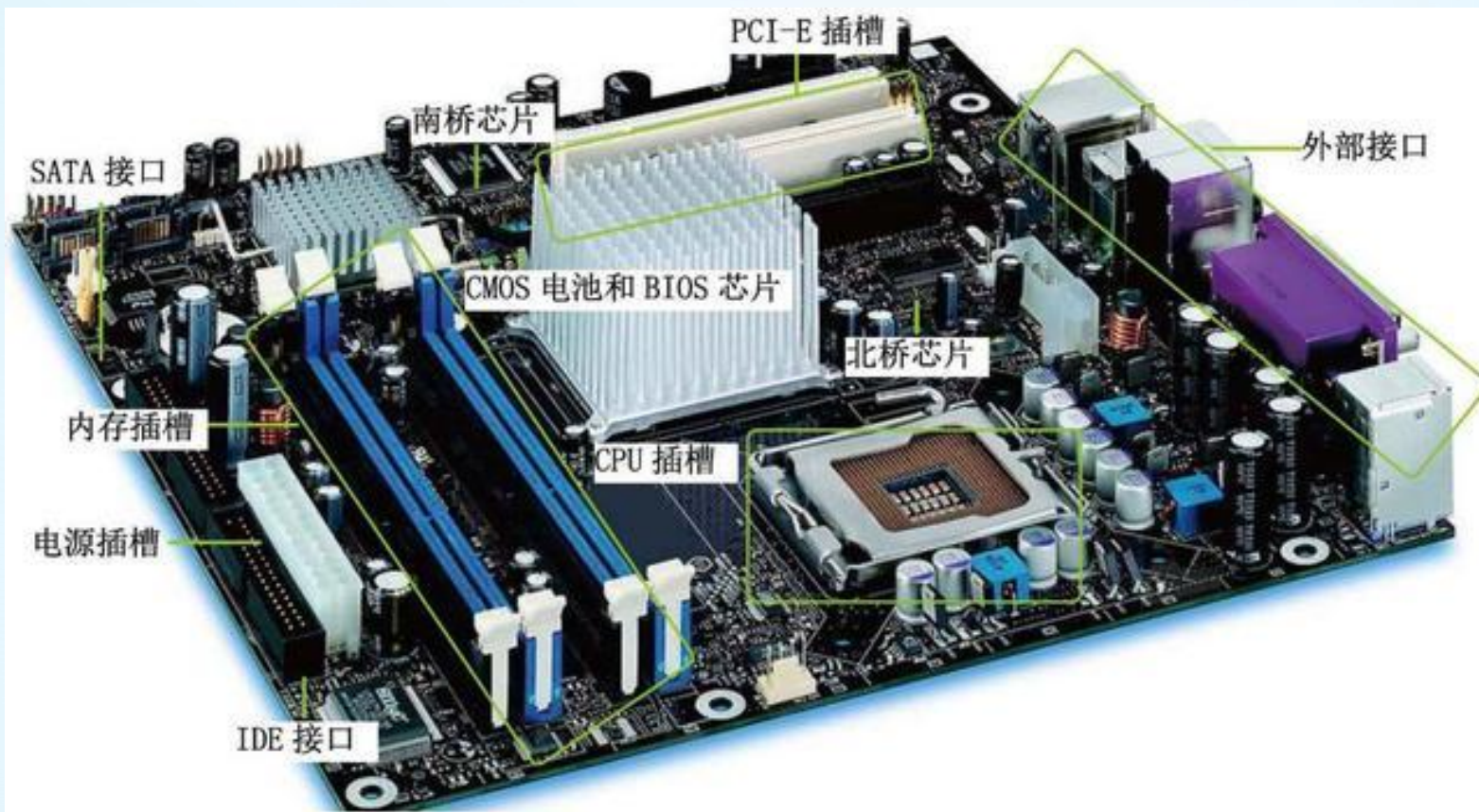


## 二、本质更安全策略

### 消除错误安装可能性



电脑主机的防插错设计



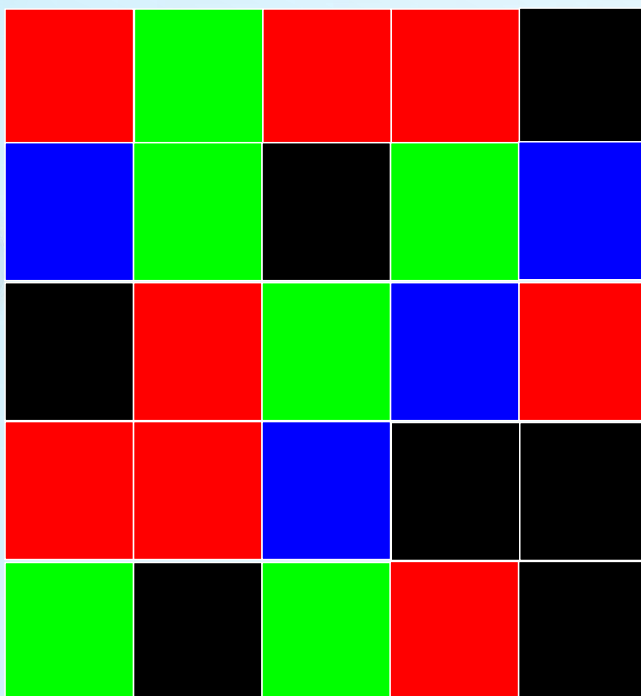
主板插槽的防错设计



## 二、本质更安全策略

### 状态清晰

有多少红色方块？



BLACK	RED	BLACK	BLUE	GREEN
RED	RED	BLUE	GREEN	BLUE
BLACK	BLUE	GREEN	RED	BLUE
BLACK	RED	GREEN	RED	BLACK
BLACK	YELLOW	GREEN	RED	RED

BLUE	RED	BLACK	GREEN	RED
BLACK	RED	GREEN	BLUE	GREEN
GREEN	BLUE	RED	BLACK	BLUE
GREEN	GREEN	BLACK	BLUE	RED
BLACK	RED	GREEN	RED	GREEN



## 二、本质更安全策略

- 最小化 (Minimize)

- 替代 (Substitute)

- 缓和 (Moderate)

- 简化 (Simplify)

- 容错 (Error tolerance)

- 限制影响 (limit effects)

- 避免连锁效应

Avoiding knock-on effects

- 消除错误安装可能性

Making incorrect assembly impossible

- 状态清晰

Making status clear

- 易于控制

Ease of control

- 软件和管理程序

Software and management procedures

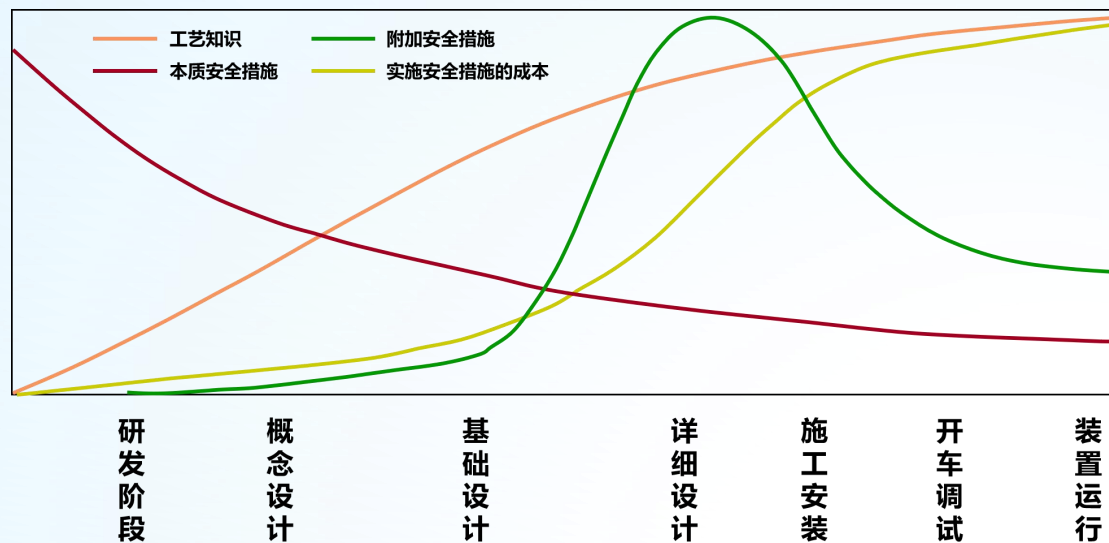
▶▶▶ 03 | 本质更安全的几个关键认知





### 三、本质更安全的几个关键认知

IST是一种理念，并非仅可用于设计阶段，其可应用于设计及运营的整个生命周期，包括制造、运输、储存、使用及废弃处置。**变更是在役装置实现本质更安全的重要机会。**



AQ/T 3034-2022 4.18.10 企业应在生产装置发生重大变更时,充分调研同行业、同类装置的新技术、新工艺、新材料、新设备,实现装置的本质更安全。



### 三、本质更安全的几个关键认知

IST不是一蹴而就的，而是一个反复迭代实施过程安全策略的过程。



AQ3034-2022 4.18.2 企业宜定期评估本质安全程度.通过本质安全审核等工作定期对企业的本质安全水平进行评估。



### 三、本质更安全的几个关键认知

**本质更安全提升工作并非仅是设计人员的事情，需要全员参与**

- ❑ **本质更安全理念既可适用于宏观的工艺路线设计，也可适用于具体的操作步骤设计，每个人能在自己的岗位发现本质更安全提升机会；**
- ❑ **在执行作业安全分析JSA时和操作维护时，加强消除风险的观念，而不仅仅是降低风险等；**
- ❑ **培训全体员工了解什么是本质更安全，帮助员工构建正确的本质更安全理念可以使得本质安全提升事半功倍。**



AQ/T 3034, 4.18.1 企业应制定本质更安全的发展战略,建立本质更安全的管理制度,并通过培训确保企业所有人员了解本质更安全的相关制度。



### 三、本质更安全的几个关键认知

本质更安全设计是针对具体危害而确定的，多危害并存条件下本质更安全措施的确定需要综合权衡。很多实例表明，我们在尝试降低某个危害的风险水平时，可能会引入新的危害或者导致另一个危害的风险增加。

哪个本质更安全？







### 三、本质更安全的几个关键认知

**局部本质更安全并不代表整体本质更安全。局部实现本质更安全可能是将风险转移给了其他部分。**

**哪个本质更安全？**





### 三、本质更安全的几个关键认知

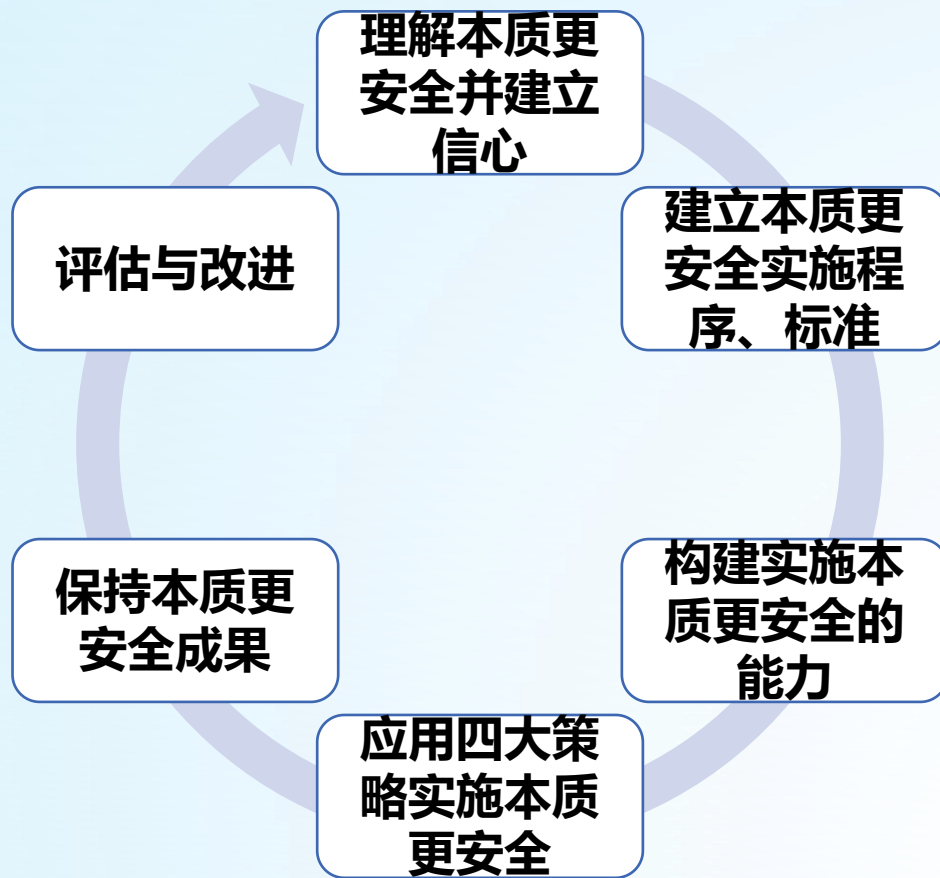
本质更安全的方案应该得到优先考虑，但并非唯一选择。

**风险与综合收益的权衡是进行控制措施选择的依据，而非单纯的“本质更安全”。**

»»» 04 | 企业如何推进本质更安全工作



## 四、企业如何推进本质更安全工作



AQ/T 3034, 4.18.1 企业应制定本质更安全的发展战略,建立本质更安全的管理制度,并通过培训确保企业所有人员了解本质更安全的相关制度.





## 四、企业如何推进本质更安全工作

### 1) 工艺研发阶段

最小化（消除）、替代、缓和

影响因素	设计目标	设计方法
原料路线	减少或限制过程危害	无毒、低毒→有毒、高毒（最小化、替代）； 不燃→可燃（最小化、替代）； 采用低腐蚀性物料（替代）。
反应路线	改善过程条件的苛刻度	采用更有效的催化剂（缓和）； 采用新的工艺路线以避免危险的原料或产生危险的中间产物（最小化）。
反应条件	缓和反应条件	降低反应介质浓度（缓和）； 降低压力和温度（缓和）。



## 四、企业如何推进本质更安全工作

### 1) 工艺研发阶段



#### 指数型本质更安全评估方法:

使用安全指标评估几种替代工艺之间的相对安全水平，辅助工艺路线选择

#### 反应危害评估:

对选定工艺路线的目标反应和副反应开展反应量热测试。根据反应量热报告确定目标反应动力学数据和工艺条件（如温度、压力等）

#### 本质更安全策略应用检查表:

工艺路线、反应物料、催化剂和溶剂等各方面充分应用本质更安全策略，实现所选定的工艺路线本质更安全。



## 四、企业如何推进本质更安全工作

### 2) 设计阶段

简化、最小化（消除）、缓和

设计阶段主要侧重于简化策略的应用，缓和和替代的应用机会较前阶段少。

- ✓ 确定压力容器的设计压力，使其能承受反应失控产生的最大压力。这样，可以避免超压泄放设施动作甚至设备的超压破裂风险。 **(缓和)**
- ✓ 在满足生产需求的前提下，可以优化工艺设备、管线和储罐数量，以消除和减少危险物料的系统存量。 **(最小化)**
- ✓ 优化设备管线布置，采用重力流输送物料，消除机泵，彻底避免危险物料的泄漏。 **(简化)**
- ✓ 扩大装置间距，降低火灾爆炸影响后果。 **(缓和)**

工具

**本质更安全策略应用检查表：**针对各设备、管线、布局等各方面充分应用本质更安全策略。



## 四、企业如何推进本质更安全工作

### 2) 设计阶段



#### 一、容器故障情景

序号	操作偏差	失效场景	潜在的设计解决方案		
			本质上更安全/被动	主动	程序
1	超压	液体溢出导致背压或过大的静压头	<ul style="list-style-type: none"><li>● 适应最大供应压力的容器设计。</li><li>● 使用开放式通风口或溢流管。</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>● 紧急救援装置。</li><li>● 液位装置互锁以防止溢出。</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>● 传输期间监控电平的说明。</li><li>● 在转移前验证水箱有足够的空闲板。</li><li>● 高液位警报, 指示干预以防止过度填充。</li></ul>
2	超压	无意或不受控制地打开高压公用系统	<ul style="list-style-type: none"><li>● 没有高于容器压力等级的公用设施连接。</li><li>● 不兼容的公用设施接头, 以防止连接高压公用设施。</li><li>● 容器上带有开放式排气口的实用机械流量限制(例如, 节流孔)。</li><li>● 容器设计可适应最大公用压力。</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>● 船舶或公用管线上的紧急释放装置。</li><li>● 压力传感器互锁隔离公用压力。</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>● 公用设施连接的标签。</li></ul>





## 四、企业如何推进本质更安全工作

### 3) 工程施工阶段

简化、替代

阶段	本质更安全工作要点	示例
采购阶段	简化管理程序，避免物资错用带来的风险	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ 在满足质量和价格的前提下，同类设备和材料的采购应尽可能缩小供货商范围，避免供货商过多导致同类设备和材料存在质量差别，给将来的生产运行埋下隐患；</li><li>✓ 不同种类设备和材料应单独存放或有明显的标识，避免入库、存放、出货和使用发生错误；</li><li>✓ 特殊材料或配件直接从厂家供货到用户现场，避免或减少中间环节，防止特殊件与普通材料混放带来的潜在风险；</li><li>✓ 及时回收和清理现场存放的多余采购物资，避免物资损坏或错用。</li></ul>
施工阶段	(1) 确保设计上的本质更安全特征或内容不会因施工而改变 (2) 状态清晰	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ 采用阀杆上升和下降的操作机构、8字盲板等，确保状态清晰，减少人员失误；</li><li>✓ 采用不同的法兰尺寸或特性，确保阀门不能反向安装，比如单向阀；</li><li>✓ 避免或减少软管连接，尤其是加工处理极度危害物质的工厂设施；</li><li>✓ 使用法兰连接代替不必要的快速接头、螺纹连接；</li><li>✓ 采用水压试验，避免或减少气压试验。</li></ul>
试车阶段	替代危险介质	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ 如果条件允许，使用水作为新装置试运行介质。</li><li>✓ 采用惰性气体或空气吹扫设备管线，而不是直接使用工艺介质。</li></ul>



## 四、企业如何推进本质更安全工作

### 4) 生产运行阶段

简化、最小化（消除）、缓和

#### 保持工艺设计的本质更安全特性

- (1) 建立工艺和设备设计的本质更安全特性文档，包括批准、存放、使用、更新等，确保工艺生命周期本质更安全特性不会因为操作、工艺和设备变更（MOC）而改变。
- (2) 生产运行阶段的任何改变必须确保：a.以前的本质更安全特性没有被破坏;b.变更后的设备或设计、安装、操作和维护通过本质更安全设计。

#### 寻找持续改进本质更安全的机会

依托变更管理（MOC）、事故调查、周期性PHA分析、管理评审等机会对工艺流程、设备设施、操作程序、安全工作实践等进行本质安全提升。

AQ/T 3034-2022 4.18.10 企业应在生产装置发生重大变更时,充分调研同行业、同类装置的新技术、新工艺、新材料、新设备,实现装置的本质更安全。





## 四、企业如何推进本质更安全工作

工具

### 4) 生产运行阶段

变更管理本质更安全检查表

本质更安全策略	本质更安全检查问题
最小化	变更涉及的危险物料库存是否已最小化？
	变更涉及的管线死区和管线的低流量部分是否已经最少？实施变更时，是否可以消除管线死区和管线的低流量部分？
	变更涉及的危险物料能否随用随供？运输部门的风险是否发生变化并进行了评估？
	变更后没有点火源或点火源已经最少？
	评估变更后的人机界面，是否减少了人员疲劳？变更后是否需要修改现有的班组轮换模式？
	变更评估中是否有机会消除危险原料、中间品或副产品？
	变更评估中是否有机会消除或最小化点火源？
	变更评估中是否有机会减少与变更设备设施相关联的其他设备设施的危险物料库存？





## 四、企业如何推进本质更安全工作

### 5) 停用或退役阶段

最小化（消除）、缓和、简化

停用的设备设施可能仍然含有危险物料或者能量，或者与其他正在运行设施没有完全隔离，可能会发生潜在的物料泄漏或能量释放，对人员、财产或环境造成影响。对能量进行消除（最小化）以及可靠隔离（缓和）是本阶段的重点。

- ✓ 拆除永久停用设备
- ✓ 采用盲板、法兰盖或物理断开等机械隔离方式
- ✓ 清除设备中有害物料
- ✓ .....



## 四、企业如何推进本质更安全工作

### ➤ 本质更安全提升机会发现的基础

**选择一个方案的前提是必须知道有此方案!**

AQ/T 3034-2022 4.18.9 企业应定期跟踪同类企业、同类装置在本质更安全方面的最佳工程实践,将行业内的最佳工程 实践逐步应用。



# 谢谢!

<http://www.chemicalsafety.org.cn>

