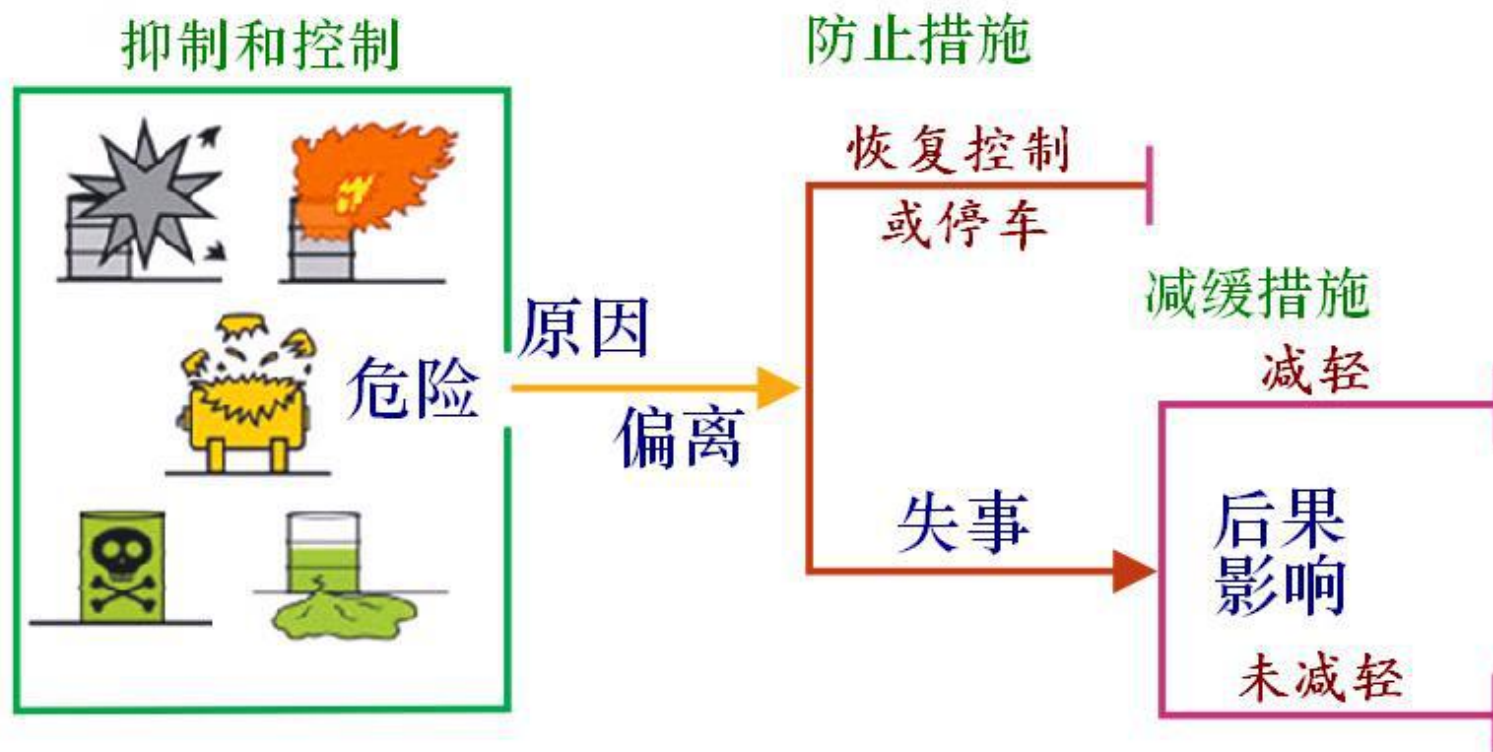


保护层分析 (LOPA)

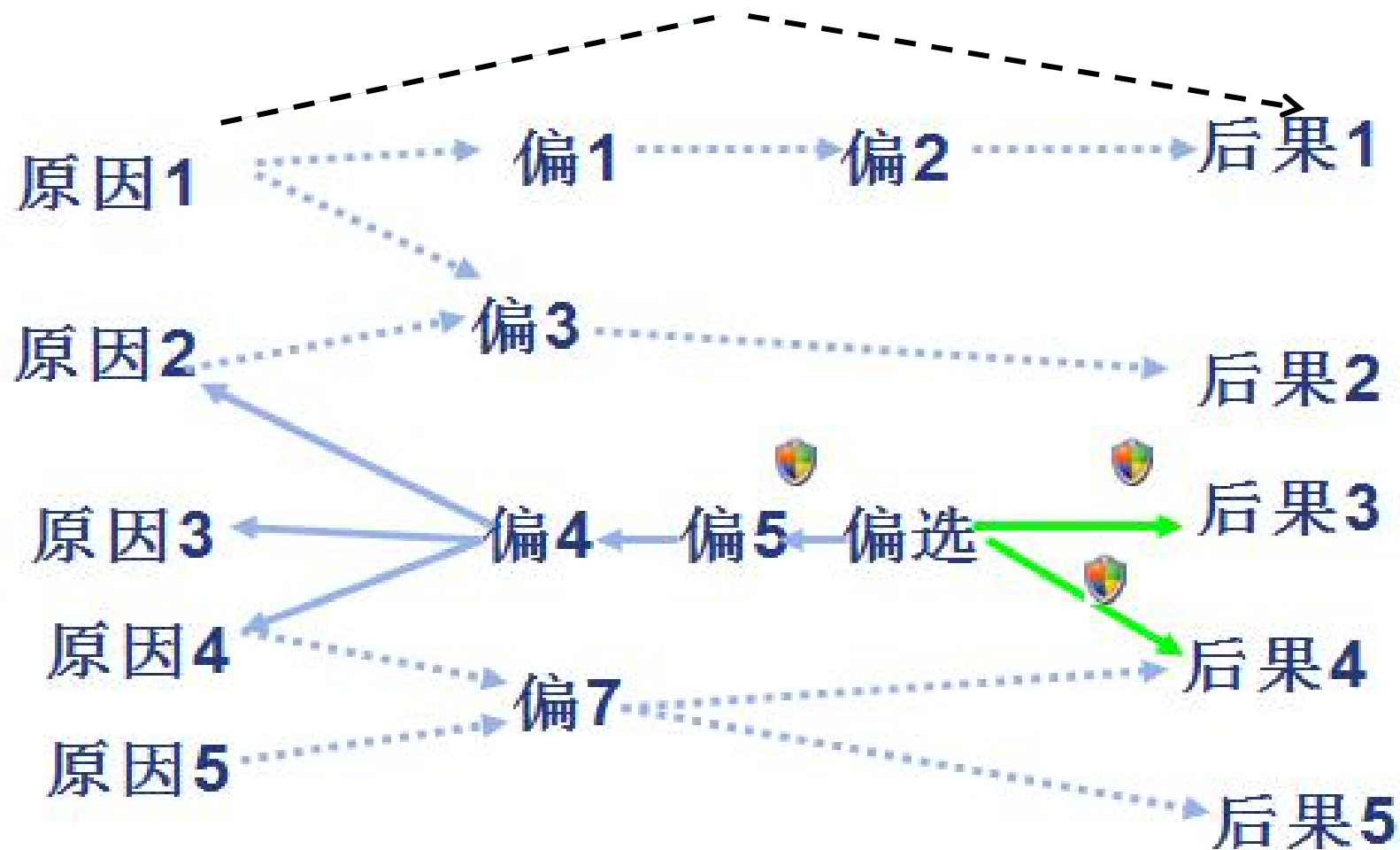
过程安全事故发展过程



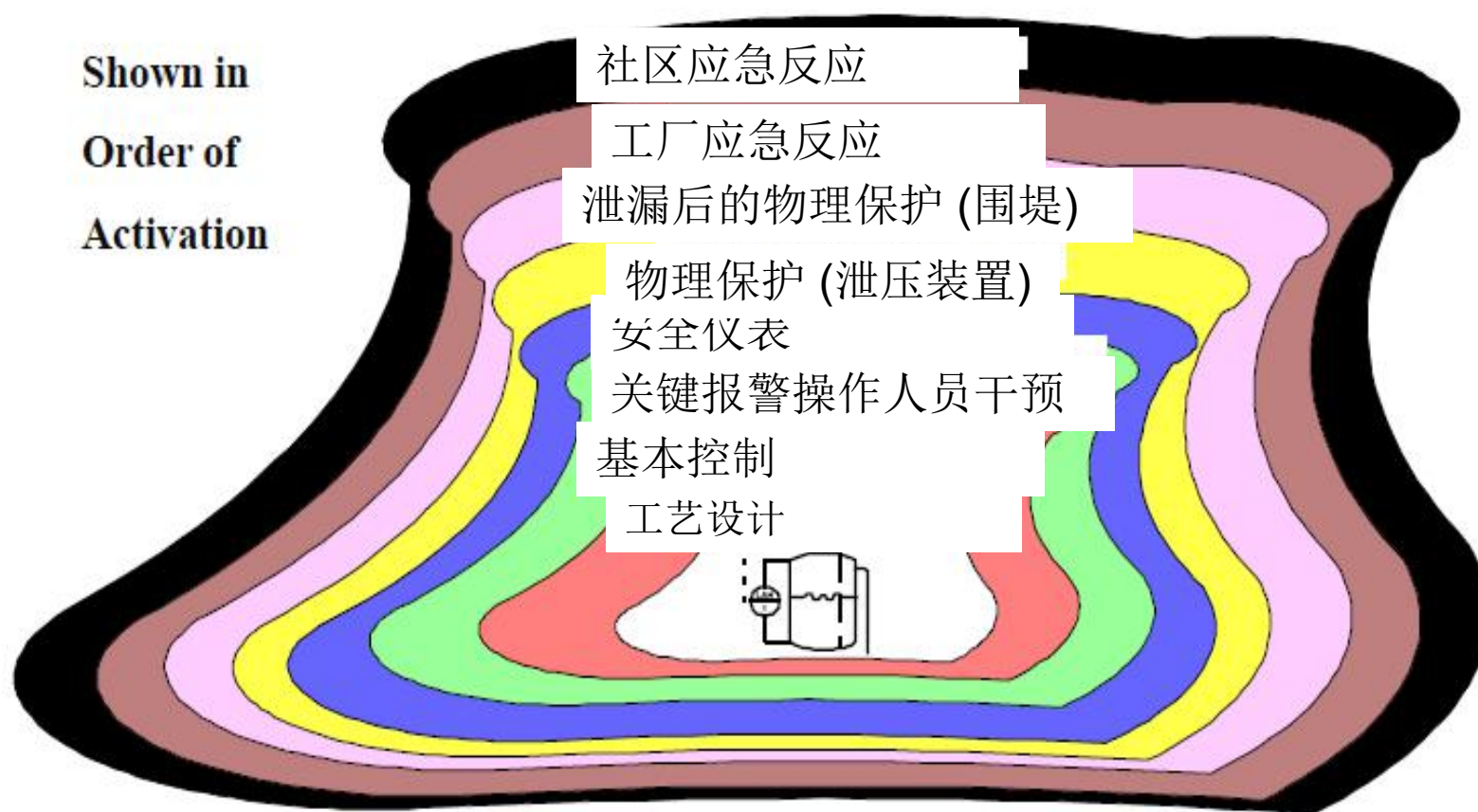
过程安全事故类型

- 参数不偏离，物料泄漏导致
- 参数偏离，没有得到有效控制导致

过程安全事故的识别



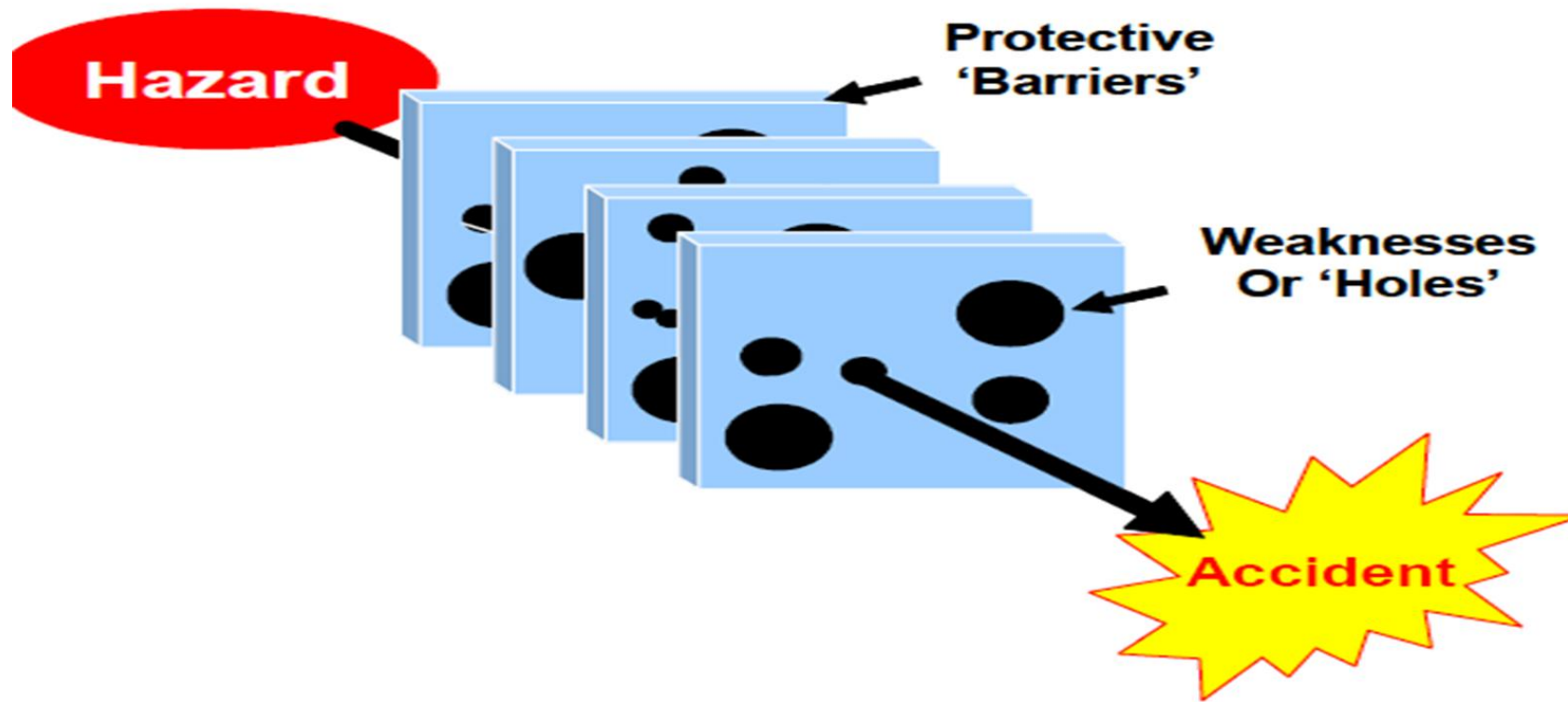
过程安全事故的预防



- 工艺设计（物料，容纳）
- 基本控制
- 关键报警加人为干预
- 安全仪表功能
- 物理保护（释放装置）
- 泄漏后的物理保护

过程安全事故的预防

剧情事故的预防-奶酪模型:



- 1. 过程安全事故发生的频率不可能为零
- 2. 减低过程安全事故发生的频率的两个途径：
增加奶酪，减少奶酪的孔，孔不重合
- 3. 把剧情事故的发生的频率降低到可以接受的程度（每家公司执行的标准不一致）

- 1. 在现有措施以后，后果发生的可能性争议比较大
- 2. 现有的保护措施的保护效果究竟如何，例如：
 - 操作规程
 - 培训
 - 报警
 - 安全阀
 - 联锁
 - 各种泄漏以后的保护措施

- 3. 假如小组认为现有的风险较大，需要增加保护措施，那么在增加保护措施时，又会遇到增加怎样的保护措施，以及增加的保护措施是否能够将风险降低

- 为了解解决定性PHA分析（HAZOP, What-if, Checklist)的不足，发明了保护层分析（Layer Of Protection Analysis) (LOPA).
- LOPA 分析样例：



Microsoft Excel
工作表

LOPA的来源

- 20世纪80年代末：美国化学品制造商协会出版了《过程安全管理标准责任》，书中建议将“足够的保护层”作为有效的过程安全管理系统的一个组成部分。
- 1993年：美国CCPS《化工过程安全自动化指南》，书中建议将LOPA作为确定安全仪表功能完整性水平的方法之一。
- 2001年：CCPS发布了《保护层分析——简化的过程风险管理》，书中详细地讨论了LOPA的基本规则和应用。
- 2003年：国际电工委员会（IEC）发布了IEC61511：过程工业领域安全仪表系统的功能安全，将LOPA技术作为确定安全仪表系统完整性水平的推荐方法之一。

LOPA的作用

- LOPA 是简化的风险评估工具
- LOPA 是假设一个事故场景，所有独立防护层都失效的情况下（存在失效概率），计算出单一事故后果出现的可能性(频率)。
- LOPA 分析的结果为是否降低风险提供一个依据

- 1. SIL 定级
- 2. 后果严重的场景
- 3. 对事故的可能性需要给出相对准确的值

- 单一事故场景
- 独立保护层
- 初始事件
- 发生频率
- 要求时失效概率
- 可接受风险
- 可容忍风险
- 使能事件或使能条件（也有叫触发事件或触发条件）
- 修正因子

单一场景频率计算（无修正）

- 单一事故场景发生的频率计算（低要求模式），见AQ3054-2010，保护层分析：

$$f_i^C = f_i^I \times \prod_{j=1}^J PFD_{ij} = f_i^I \times PFD_{i1} \times PFD_{i2} \times \cdots \times PFD_{ij}$$

式中：

f_i^C ——初始事件*i*的后果*C*的发生频率，单位为 /a；

f_i^I ——初始事件*i*的发生频率，单位为 /a；

PFD_{ij} ——初始事件*i*中第*j*个阻止后果*C*发生的IPL的PFD。

初始事件

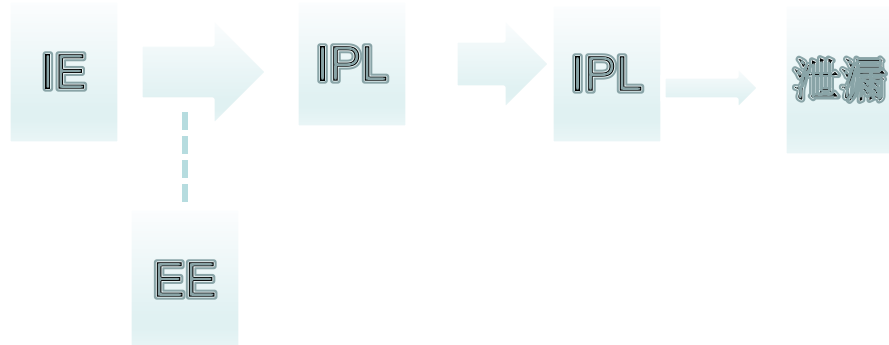
- 初始事件 (IE)发生频率， 需要各家公司给出，也可以采取行业协会，或标准推荐值：
- 1. CCPS 推荐值：
- 2. AQ3054 推荐值：
- 3. 假如以上的值没有时， 根据经验， 小组自行确定一个相对合理值
- 4. 在LOPA 计算时， 初始事件发生频率的单位为次/年



Microsoft Word
文档

使能事件或条件

- 使能事件和条件解释：不直接导致场景的事件或条件，但是对于场景的继续发展，这些事件或条件应存在。



使能事件或条件发生的概率没有量纲，目的是对IE发生频率的修正，也可以叫做前修正。

使能事件或条件

- 使能事件或条件：时效使能条件和操作使能条件
- 初始事件是某个瞬间发生的一件事情，而使能条件通常是一个某个事件状态，只有当初始事件发生的瞬间落在某个状态区间内，才能进行修正；
- 使能事件也是某个瞬间发生的事情，但这个瞬间和触发事件要重合，且只有使能事件也发生时，事件才能向后发展，但这个很难有这样的例子。
- 使能事件或条件的发生率叫做概率，没有量纲
- 进行修正的条件初始故障发生后，能及时发现

条件修正（修正因子）

物料泄漏以后，假如事件向后发展，还需要条件的条件，例如：点火概率，人员出现概率，致死率，泄漏以后的事故整个事故的发展，参见下图，是否需要后进行修正取决于场景



条件修正（修正因子）

LOPA 的计算，通常是算到独立保护层在要求时失效时，物料外漏的频率，假如需要具体计算到人员伤害，财产损失等具体HSE后果时，还要考虑其他独立的事件或条件在物料外漏后，发生的概率。

通常包括：点火率，人员暴露频率，伤害率。这些数据的选取非常困难。

条件修正（修正因子）

- 物料泄漏以后，假如事件向后发展，最终事故的发生频率计算如下：

e) 低要求模式的后果发生频率按式(1)计算：

$$f_i^C = f_i^I \times P_i^E \times P_i^C \times \prod_{j=1}^J \text{PFD}_{ij} \dots\dots\dots(1)$$

式中：

f_i^C ——初始事件 i 造成后果 C 的频率,单位为次每年;

f_i^I ——初始事件 i 的发生频率,单位为次每年;

P_i^E ——使能事件或使能条件发生的概率,假如没有使能事件或使能条件,则 P^E 取 1;

8 P_i^C ——条件修正因子,假如没有任何条件修正,则 P^C 取 1;

PFD_{ij} ——初始事件 i 中第 j 个阻止后果 C 的独立保护层要求时危险失效概率(PFD)。

条件修正的困难

- 后果的条件修正取值是个难题，没有统一的标准，许多时候是分析人员估计的，这会对事故的发生频率降低的非常快，这个使用需要慎重
- **AQ3046-2013**的附件，有推荐性修正值，但个人以为可以作为参考。

- 定义：假如本身无故障时，能够百分之百阻止特定的事故链向后发展的一种设备，系统或行动，且（对于同一场景）独立于初始事件和其它独立防护层，且本身失效具有特定的失效概率（通常小于0.1）
- 独立防护层的三个特性：有效性，独立性，可审查性，（有失效概率）
- 独立防护层要求时的失效概率举例：



Microsoft Excel

???

独立防护层介绍

独立保护层失效概率的解释：

- 独立保护层处于休眠状态，当初始事件发生后（可能需要使能事件或条件），会激发独立保护层（也叫唤醒）工作，此时独立保护层不能**完全**工作的可能性。
- 独立保护层的失效概率用PDFavg（Probability of Demand on Failure)avg, avg 代表在独立防保护层生命周期内，独立保护层的平均失效概率，通常avg省略不写，但PFD任然指的是平均要求时失效概率。
- 失效概率是没有量纲。
- 失效概率的来源：行业协会统计，标准推荐，企业标准，小组根据经验，确定一个合理值。

- 工艺设计：本质安全设计

例如： 设计压力大于最大工况压力； 选用一定压力的蒸汽，就不会导致物料温度超标； 选用合适的材质可以特定的腐蚀等等。

对于本质安全的**PFD** 选择，是个难题。主要问题是那种本质安全有**PFD**.

独立防护层的解释-基本控制

- 基本控制（**BPCS**):是执行持续监测和控制日常生产过程的控制系统。包括监测部件，逻辑处理部件，执行部件。

注意:

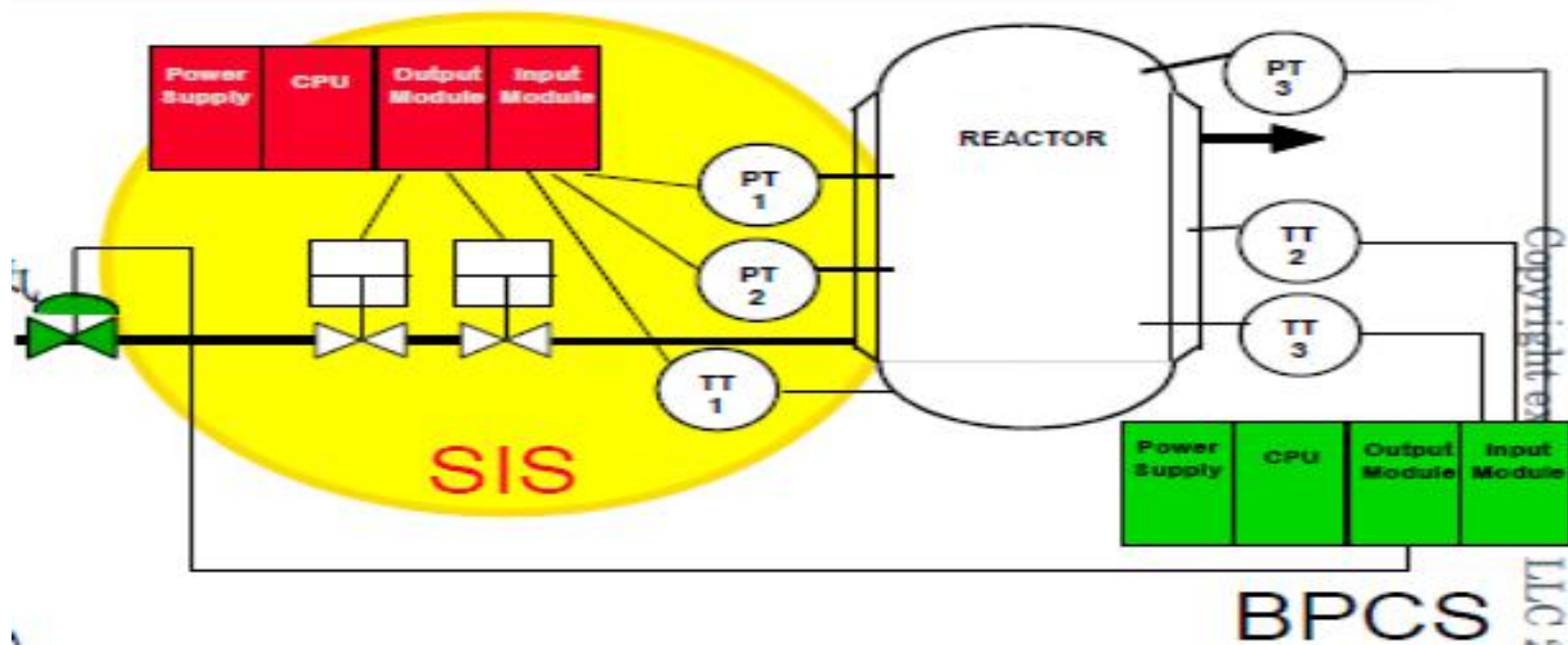
A. 监测部件，输入/输出卡和执行部件要独立与其它独立防护层或初始事件

B. 一个事故链中的**BPCS** 最多为多少个?

- 报警的监测部件和输入/输出卡必须独立与其它保护层
- 报警加合适的人员干预为独立的防护层
- 一个事故链中，只允许有一个报警加人员干预
- 人员干预的条件：报警始终可监测，有时间反应（>10分钟），且每组内操作人员，每10分钟，处理的报警不能超过1个，会反应，反应后的行动必须有效。
- 假如公司的报警已经进行了优化（分级报警），也许时间可以缩短，但没有具体值进行支撑，需要各家公司自己确定

独立防护层的解释-安全仪表

- 所有部件（监测，输入/输出卡，执行）独立于BPCS
- 国际电工组织（IEC）已经把安全仪表功能（SIF）的安全完整性等级（SIL）划分为四个等级



SAFETY INTEGRITY LEVEL-安全完整性等级

SIL

要求操作模式

安全完整性等级 SIL	平均要求时失效概率 PFD	风险降低因子 RRF
4	$\geq 10^{-5}$ to $< 10^{-4}$	$> 10,000$ to $\leq 100,000$
3	$\geq 10^{-4}$ to $< 10^{-3}$	> 1000 to $\leq 10,000$
2	$\geq 10^{-3}$ to $< 10^{-2}$	> 100 to ≤ 1000
1	$\geq 10^{-2}$ to $< 10^{-1}$	> 10 to ≤ 100

物理保护：安全阀，爆破片。

注意：安全阀，爆破片的释放量和设定压力的选择必须能100%阻止特定事故链向后传播。所以在做LOPA计算的时候，要核实释放装置的设计依据

。此设计依据要移交操作部门，作为工艺安全信息的一部分。

释放后保护：通常包括围堰，收集池，防爆墙，防火涂料，阻火器。

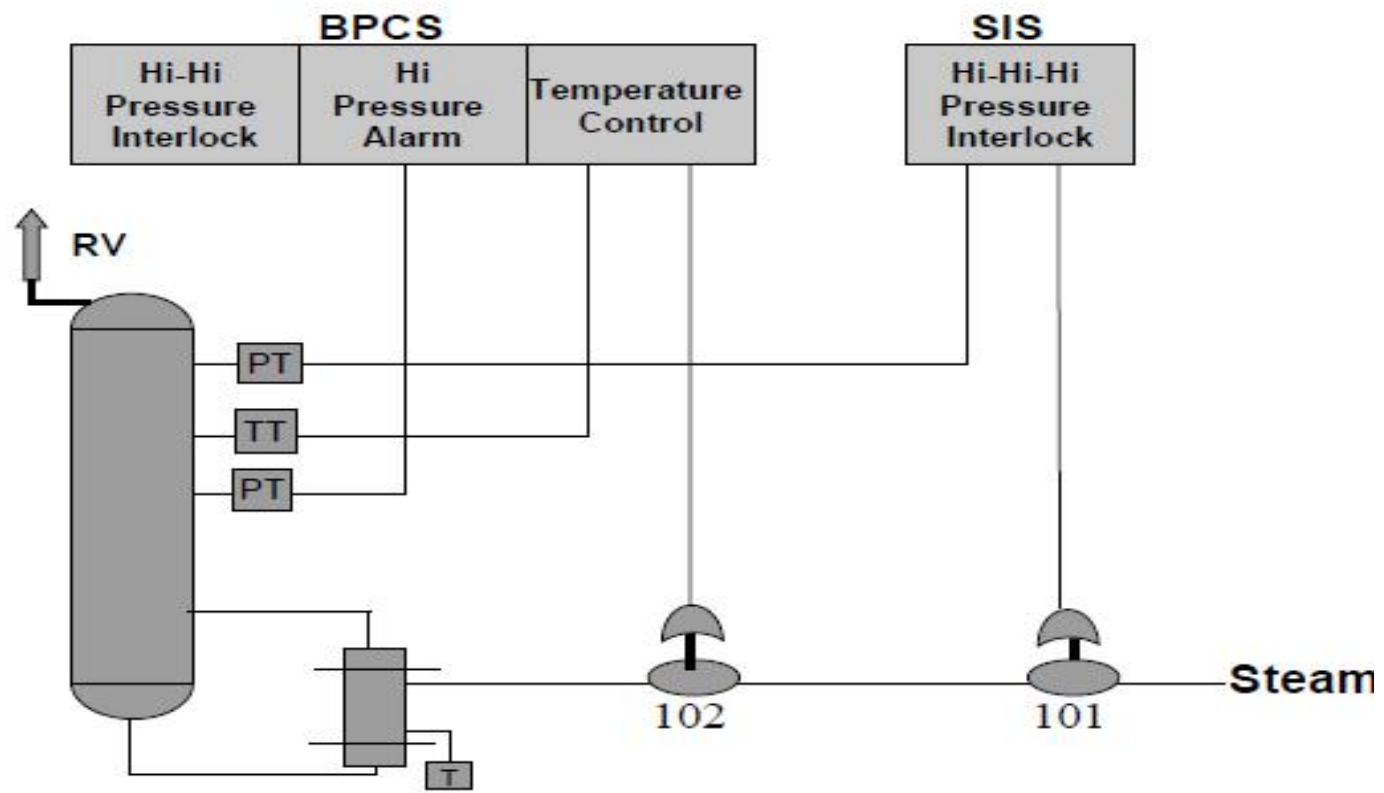
注意：

- 选择围堰，收集池作为IPL的时候，要注意他们的容积是否能阻止选定的事故链。
- 通用的消防系统通常不作为独立防护层，除非是专门为某个特定火灾设计的。

举例练习 (1)

Example 1

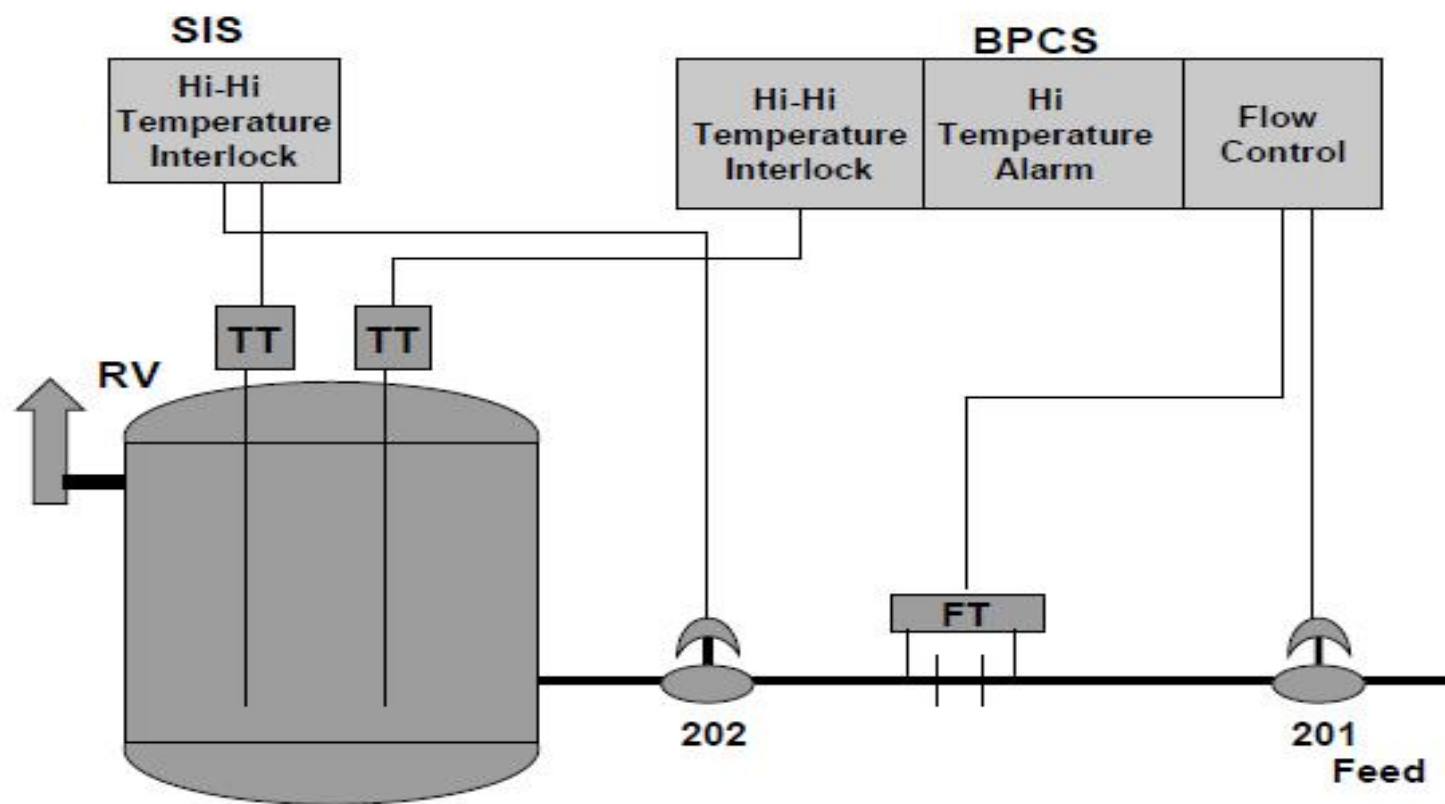
Distillation Column Overpressure from High Steam Flow.



举例练习 (3)

Example 3

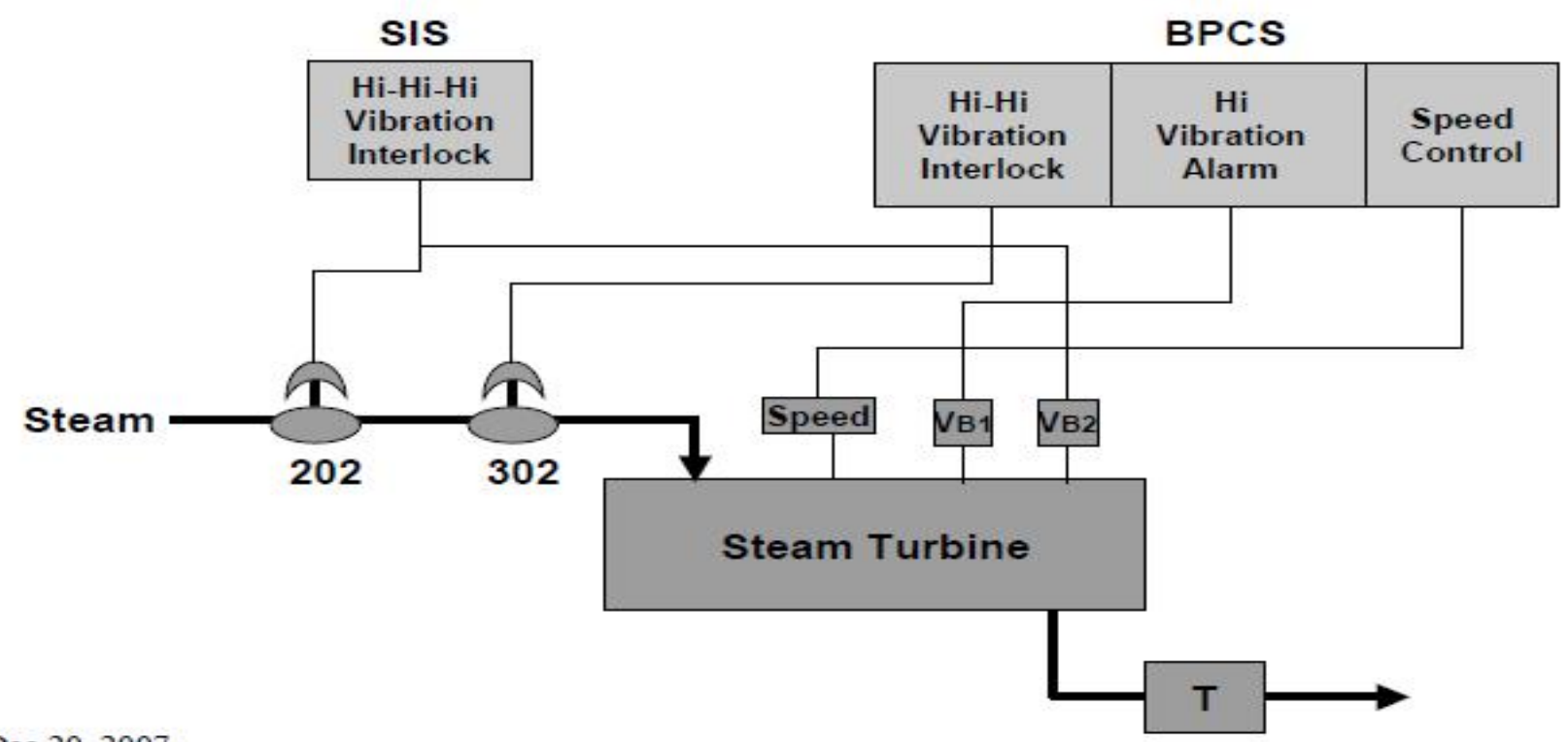
Run-away Reaction from High Reactor Temperature



举例练习 (4)

Example 4

Steam Turbine - Internal damage from High Vibration



风险矩阵与可接受风险

安全风险矩阵		发生的可能性等级--从不可能到频繁发生							
		1	2	3	4	5	6	7	8
事故严重性等级 (从轻到重)	后果等级	类似的事件没有在石油石化行业发生过, 且发生的可能性极低	类似的事件没有在石油石化行业发生过	类似事件在石油石化行业发生过	类似的事件在中国石化曾经发生过	类似的事件在本企业相似设备设施 (使用寿命内) 或相似作业活动中发生过	在设备设施 (使用寿命内) 或相同作业活动中发生过1或2次	在设备设施 (使用寿命内) 或相同作业中发生过多次	在设备设施或相同作业活动中经常发生 (至少每年发生)
		≤10 ⁻⁶ /年	10 ⁻⁶ -10 ⁻⁵ /年	10 ⁻⁵ -10 ⁻⁴ /年	10 ⁻⁴ -10 ⁻³ /年	10 ⁻³ -10 ⁻² /年	10 ⁻² -10 ⁻¹ /年	10 ⁻¹ -1/年	>1/年
	A	1	1	2	3	5	7	10	15
	B	2	2	3	5	7	10	15	23
	C	2	3	5	7	11	16	23	35
	D	5	8	12	17	25	37	55	81
	E	7	10	15	22	32	46	68	100
	F	10	15	20	30	43	64	94	138
	G	15	20	29	43	63	93	136	200

高要求模式：大于第一道IPL 测试频率的2倍，或者大于每年1次。

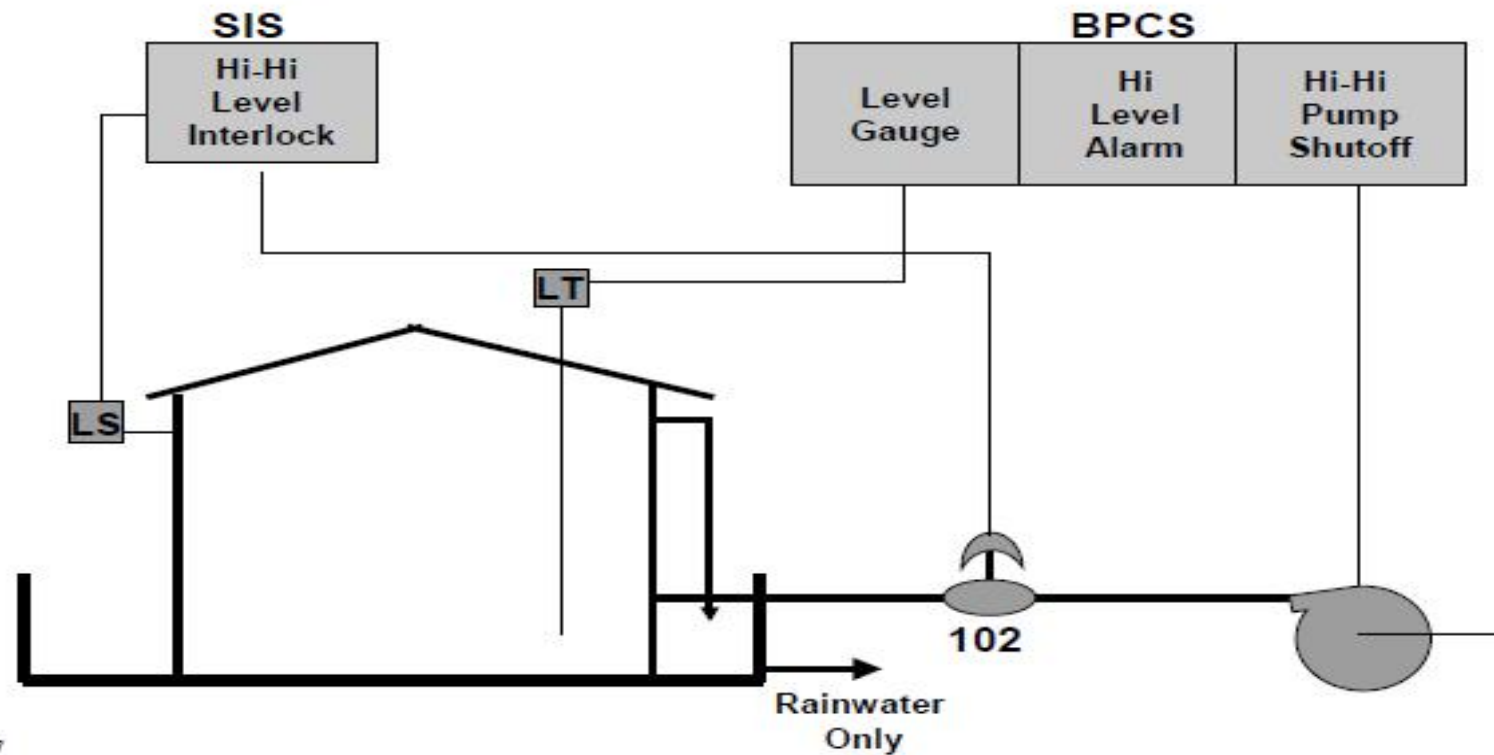
高要求模式计算：用第一道IPL的失效频率代替修正后的初始事件，此时第一个IPL的PFD 不再参与计算，或者2倍的测试频率代替修正后的初始事件 。

因此，对于高要求模式， LOPA 计算时， 独立保护层的顺序， 尤其是第一道独立保护层的顺序不能颠倒。

对于有多个 IPL 的高要求模式,且第 1 个 IPL 的失效频率可以获得,则使用第一个 IPL 的失效频率作为经过使能事件或条件修正过的初始事件的发生频率,即带入式(1),即替代 $f_i^I \times P_i^E$ 进行计算,此时需要忽略第一个 IPL 的 PFD。假如第 1 个 IPL 的失效频率无法获得,则可以用 $2 \times (\text{第一个 IPL 检验测试频率,次/年}) \times (\text{第一个 IPL 的 PFD})$ 替代经过使能事件或条件修正过的初始事件的发生频率,即带入式(1)替代 $f_i^I \times P_i^E$ 进行计算,此时需要忽略第一个 IPL 的 PFD。

Example 2

Storage Tank Overflow - Environmental Incident



THE
END



北京京科盛华科技有限公司

专业的安全咨询服务供应商



公司介绍

Company Introduction

北京京科盛华科技有限公司，是一家以安全技术咨询与服务、过程安全管理与提升、现场安全环保隐患的排查与管控、标准规范解读与培训、企业安全及各类课题内训等服务为主的咨询公司，为化工企业提供一体化整体解决方案。我们致力于石油化工、煤化工、制药、精细化工等各大领域的安全管理与技术提升服务。



团队简介

团队由多专业复合型人才队伍组成，其中项目经理熟悉各类化工工艺流程，拥有10年以上化工生产技术或工艺设计经历，具有丰富的过程安全管理咨询经验。核心技术骨干具有20年以上化工工艺流程模拟的技术背景，熟悉各种类型的化工工艺流程与操作，长期致力于化工行业的过程安全管理。



业务简介

我们侧重于对装置现场存在的源头管控开展精准排查，提升装置本质安全。过程危害分析PHA各工具方法，内部人才的培养及有效开展的解决策略；操作规程管理，审核、编制与JCA方法应用；变更管理MOC要素，试生产前安全审查 PSSR等要素的建立、现场审核与提升等，深挖企业的痛点问题，真正提升企业自我安全风险辨识、评价、监测、管控管理能力，确保各制度体系的落地。



业务范围

Business Scope





联系我们

Contact Us



扫码了解更多



王杨



15652757221



jksh_026@163.com