在役装置安全仪表系统安全完整性等级SIL评估内容及流程

- 声明：本资料非本公司编制，来源于网络.

青岛劳帕安全技术咨询有限公司

核心业务

- 安全仪表系统功能评估：安全完整性等级SIL定级、验证/验算
- 过程工艺危害分析 **HAZOP**
- 培训：安全完整性等级SIL定级、验证/验算、HAZOP等培训

微信扫一扫

微信号 :**qd13184148810**

电话：13184148810

QQ:1930712371

邮箱：qingdaolopa@163.com

网址：www.qingdaolopa.com

在役装置安全仪表系统安全完整性等级（SIL）评估

主要内容

一、安全仪表系统与安全仪表功能

二、安监总局关于SIS的相关规定

三、安全仪表系统（SIS）安全生命周期

四、在役装置SIS系统SIL评估

一、为什么要开展SIL评估

1.为什么要开展SIL评估

《关于加强化工安全仪表系统管理是指导意见》安监总局116号文

涉及“两重点一重大”在役生产装置或设施的化工企业和危险化学品储存单位，要在全面开展过程危险分析（如危险与可操作性分析）基础上，通过风险分析确定安全仪表功能及其风险降低要求，并尽快评估现有安全仪表功能是否满足风险降低要求。

企业应在评估基础上，制定安全仪表系统管理方案和定期检验测试计划。对于不满足要求的安全仪表功能，要制定相关维护方案和整改计划，**2019年底前完成安全仪表系统评估和完善工作。**

一、为什么要开展SIL评估

1.为什么要开展SIL评估

国家安全监管总局关于印发危险化学品从业单位安全生产标准化评审标准的通知（安监总管三〔2011〕93 号）

- 二级企业化工生产装置未设置自动化控制系统，或涉及危险化工工艺和重点监管危险化学品的化工生产装置未根据风险状况设置安全联锁或紧急停车系统等，扣100分（A级要素否决项）。
- 一级企业涉及危险化工工艺的化工装置未设置安全仪表系统，或未建立安全仪表系统功能安全管理体系，扣100分（A级要素否决项）。
- 新建大型和危险程度高的化工装置，在设计阶段未进行仪表系统安全完整性等级评估的，扣 2 分 。

一、为什么要开展SIL评估

1. 为什么要开展SIL评估

国家安全监管总局《关于加强化工过程安全管理的指导意见》（安监总管三〔2013〕88号）

（十七）设备安全运行管理。

开展安全仪表系统安全完整性等级评估。企业要在风险分析的基础上，确定安全仪表功能（SIF）及其相应的功能安全要求或安全完整性等级（SIL）。企业要按照《过程工业领域安全仪表系统的功能安全》（GB/T21109）和《石油化工安全仪表系统设计规范》的要求，设计、安装、管理和维护安全仪表系统。

一、为什么要开展SIL评估

2. SIL评估解决的问题

应该在哪里设置联锁？----HAZOP、LOPA

应该设置什么样的联锁？-----LOPA

如何设置联锁才能满足风险降低需求？----SIS设计

如何管理和维护联锁，才能保持其功能？----操作与维护

不符合要求的如何整改？----依据法律法规、标准规范

二、在役装置SIL评估的主要内容

- 过程危害分析PHA
- SIL定级建立的工艺过程的安全目标（可接受风险）
- 保护层分析（LOPA）报告（SIL定级报告）
- 过程安全需求规范（SRS）
- HAZOP完善报告（对已经开展过HAZOP报告）
- SIL验证报告
- SIL验证不符合项的建议等。

三、在役装置SIL评估的主要流程

1. 工艺过程危害分析PHA

三、在役装置SIL评估的主要流程

1. **确认可容许风险。**依据法律法规及企业实际，建立工艺过程的安全目标（可容许风险）； ------确认量化的可接受风险值

风险矩阵表（示例）

严重性	可能性-定性					
	1 $10^{-5}>F\geq10^{-6}$	2 $10^{-4}>F\geq10^{-5}$	3 $10^{-3}>F\geq10^{-4}$	4 $10^{-2}>F\geq10^{-3}$	5 $10^{-1}>F\geq10^{-2}$	6 $F\geq10^{-1}$
A	A1	A2	A3	A4	A5	A6
B	B1	B2	B3	B4	B5	B6
C	C1	C2	C3	C4	C5	C6
D	D1	D 2	D3	D4	D5	D6
E	E1	E2	E3	E4	E5	E6

三、在役装置SIL评估的主要流程

风险区域及说明

区域	
低风险	A1、A2、A3、A4、A5、A6、B1、B2、B3、B4、C1、C2、D1
中风险	B5、B6、C3、C4、C5、D2、D3、D4（无人员死亡时）、E1、E2、E3（无人员死亡时）
高风险	C6、D4（有人员死亡时）、D5、E3（有人员死亡时）、E4
严重高风险	D6、E5、E6

可能性等级	频率 F（次/年）（半定量）	定性描述
6	F≥10-1	作业场所内发生过/本企业发生过多次
5	10-1＞F≥10-2	本企业发生过/系统内发生过多次
4	10-3＞F≥10-3	系统内发生过/石油石化行业发生过多次
3	10-3＞F≥10-4	石油石化行业发生过/世界范围内发生过
2	10-4＞F≥10-5	世界范围内发生过/石油石化行业内未发生过
1	10-5＞F≥10-6	世界范围内未发生过

三、在役装置SIL评估的主要流程

后果严重性等级及说明（示例）

严重性	人员伤害	财产损失	环境污染	声誉
A	急救处理；医疗处理，但不需住院；短时间身体不适	一次事故直接经济损失在1万元以下	系统内或防护堤内泄漏，不造成污染或耗费	公司内部影响；公司内部关注
B	工作受限；轻伤（损失工作日一天以上）	直接经济损失1万元以上，10万元以下；局部停车	轻微污染，一次性泄漏或超标排放，不造成后续污染	社区、邻居、合作伙伴影响
C	严重伤害；职业相关疾病；部分失能	直接经济损失在10万元及以上，100 万元以下；1-2套装置停车	当地社区污染；影响社区，多次超过法规限制；短时大量消耗资源	地区影响。政府管制，公众关注负面后果
D	1到2人死亡或丧失劳动能力；多人重伤	直接经济损失100万以上；3套以上装置停车；区域内火灾，闪爆	短期严重的环境污染；需要采取措施恢复；一段时间超过法规限值	国内影响。政府管制，媒体和公众关注负面后果
E	3人以上死亡；10以上重伤	一次事故直接经济损失在500万元及以上；失控火灾或爆炸	长期严重的环境污染；大范围的损害，触犯法律或超过法规限值	国际影响

三、在役装置SIL评估的主要流程

确认可容许风险。依据法律法规及企业实际，建立工艺过程的安全目标（可容许风险）； ------确认量化的可接受风险值（示例）

序号	后果严重性		可接受风险频率			备注
			人员	财产	环境	
1	A	轻微影响	1.0E-1	1.0E-1	1.0E-1	
2	B	中等影响	1.0E-2	1.0E-2	1.0E-2	
3	C	较大影响	1.0E-3	1.0E-3	1.0E-3	
4	D	较大	1.0E-5	1.0E-5	1.0E-5	
5	E	严重性的	1.0E-6	1.0E-6	1.0E-6	

三、在役装置SIL评估的主要流程

确认可容许风险。中国石化安〔2018〕150号文推荐的

推荐的TMEL值

事故严重性等级	安全影响TMEL	社会影响TMEL	财产损失TMEL
A	$\leqslant 1\times10^{-1}$	$\leqslant 1\times10^{-1}$	$\leqslant 1\times10^{-1}$
B	$\leqslant 1\times10^{-2}$	$\leqslant 1\times10^{-1}$	$\leqslant 1\times10^{-1}$
C	$\leqslant 1\times10^{-3}$	$\leqslant 1\times10^{-2}$	$\leqslant 1\times10^{-2}$
D	$\leqslant 1\times10^{-5}$	$\leqslant 1\times10^{-4}$	$\leqslant 1\times10^{-4}$
E	$\leqslant 1\times10^{-6}$	$\leqslant 1\times10^{-5}$	$\leqslant 1\times10^{-5}$
F	$\leqslant 1\times10^{-7}$	$\leqslant 1\times10^{-6}$	$\leqslant 1\times10^{-6}$
G	$\leqslant 1\times10^{-7}$	$\leqslant 1\times10^{-6}$	$\leqslant 1\times10^{-6}$

三、在役装置SIL评估的主要流程

国家安全生产监督管理总局
State Administration of Work Safety
强化安全发展观念
提升全民安全素质

首页 > 公告公文 > 公告 > 正文

安全监管总局网站　2014/05/09　稿件来源：安全监管总局监督管理三司

【字号 大 中 小】　【打印本页】　关闭窗口

国家安全生产监督管理总局

公 告

2014年 第13号

《危险化学品生产、储存装置个人可接受风险标准和社会可接受风险标准（试行）》已经2014年4月22日国家安全生产监督管理总局局长办公会议审议通过，现予以公布。

国家安全监管总局

2014年5月7日

《危险化学品生产、储存装置个人可接受风险标准和社会可接受风险标准（试行）》

三、在役装置SIL评估的主要流程

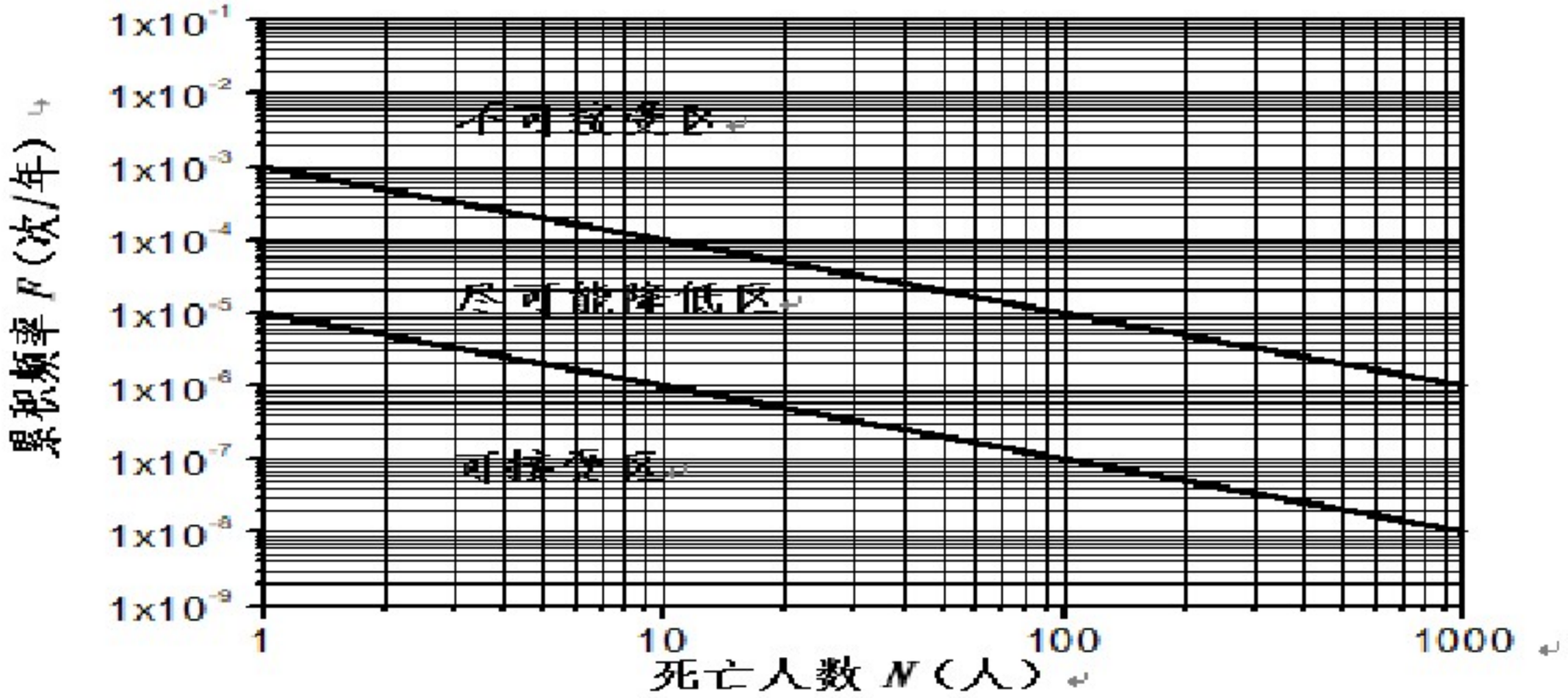
- **二、个人可接受风险标准**

我国个人可接受风险标准值表

防护目标	个人可接受风险标准（概率值）	
	新建装置（每年）≤	在役装置（每年）≤
低密度人员场所（人数<30 人）：单个或少量暴露人员。	1×10^{-5}	3×10^{-5}
居住类高密度场所（30 人≤人数＜100 人）：居民区、宾馆、度假村等。 **公众聚集类高密度场所**（30 人≤人数＜100 人）：办公场所、商场、饭店、娱乐场所等。	3×10^{-6}	1×10^{-5}
高敏感场所：学校、医院、幼儿园、养老院、监狱等。 **重要目标**：军事禁区、军事管理区、文物保护单位等。 **特殊高密度场所**（人数≥100 人）：大型体育场、交通枢纽、露天市场、居住区、宾馆、度假村、办公场所、商场、饭店、娱乐场所等。	3×10^{-7}	3×10^{-6}

三、在役装置SIL评估的主要流程

三、社会可接受风险标准



我国社会可接受风险标准图

三、在役装置SIL评估的主要流程

2. 确认事故场景。

- 对HAZOP分析中可能出现人员伤亡或后果相当的场景

附表 HAZOP 分析工作表

节点名称	节点.1									
分析日期	16 年 9 月 20 日									
参加人员										
节点描述	丙烯球罐									
设计意图	丙烯储存									
运作条件										
流程图	176091D0321 45-00/02									
序号	偏离	原因	后果	L	S	RR	安全措施	RR1	建议措施	RR2
1.1							1.			
1.2										
1.3										
1.4										
1.5	丙烯自气体分馏装置来管线流量/过多	上游装置输送过多，大量排放	管线压力超压，法兰撕裂，丙烯~~液化气~~泄漏，人员中毒	L3	E	C3(1)	1.设置 4 个罐气相线连通， 2.设置有安全阀，超压直接排放至高压火炬管网	B3(1)		B3(1)
1.6										
1.7	丙烯罐区 0303-2-TK-001 液位/过多	阀门故障，人员误操作，液位远传失灵	造成 TK-001 液位/过多，罐压力过高，丙烯~~液化气~~泄漏人员中毒，甚至燃爆	L4	E	C4(1)	1. 设置有控制室液位显示 LI1001，人员巡检、抄表； 2. 现场设置有 LIA100 高高位连锁关阀; 3. 现场设置有 XV1001 紧急切断阀;	B3(1)		B3(1)

三、在役装置SIL评估的主要流程

2. 确认事故场景。

- 现有联锁回路进行逐回路分析

中国石化XX炼化有限责任公司								
联 锁 、报 警 台 帐								
记录编号			使用部门					
装置名称：储运部一球罐区								
序号	联锁类型	联锁级别	联锁名称	仪表位号	报警值	联锁值	联锁关系	备注
装置名称：储运部一球罐区								
序号	联锁类型	联锁级别	联锁名称	仪表位号	报警值	联锁值	联锁关系	备注
1	工艺联锁	A	丙烯罐液位开关联锁	0303-2-LS1005 0303-2LT1001		≥12500mm	高限联锁关进口阀门0303-2-XV1001	二取二
2	工艺联锁	A	丙烯罐液位开关联锁	0303-2-LS1007 0303-2LT1002		≥12500mm	高限联锁关进口阀门0303-2-XV1002	二取二
3	工艺联锁	A	丙烯罐液位开关联锁	0303-2-LS1009 0303-2LT1003		≥12500mm	高限联锁关进口阀门0303-2-XV1003	二取二
4	工艺联锁	A	丙烯罐液位开关联锁	0303-2-LS1011 0303-2LT1004		≥9700mm	高限联锁关进口阀门0303-2-XV1004	二取二
5	工艺联锁	A	LPG球罐液位开关联锁	0303-3-LS1008 0303-3LT1001		≥14000mm	高高液位联锁液化气切断阀0303-3-MV1001	二取二
6	工艺联锁	A	LPG球罐液位开关联锁	0303-3-LS1010 0303-3LT1002		≥14000mm	高高液位联锁液化气切断阀0303-3-MV1002	二取二

三、在役装置SIL评估的主要流程

3.SIF辨识及SIL等级确定。对确认的事故场景开展保护层分析，确认是否需要安全仪表功能SIF及SIL等级；-修正的风险图、LOPA

- **HAZOP--LOPA**

表 F.1　从 HAZOP 导出的用于 LOPA 的数据

LOPA 要求的信息	HAZOP 所导出的信息
影响事件	后果
严重性等级	后果严重性
引发原因	原因
引发可能性	原因频率
保护层	现有保护装置
要求的附加减轻	推荐的新保护装置

三、在役装置SIL评估的主要流程

3. SIF辨识及SIL等级确定 -修正的风险图

风险被定义为发生伤害的概率与严重程度的组合。在过程领域，风险是以一下4个参数的函数：

------危险状况的后果（C）；发生危险事件很可能导致的死亡和/或严重受伤的人数、财产损失及环境影响的程度。C_A C_B C_C C_D

（注：与企业制定的可结束风险有关）

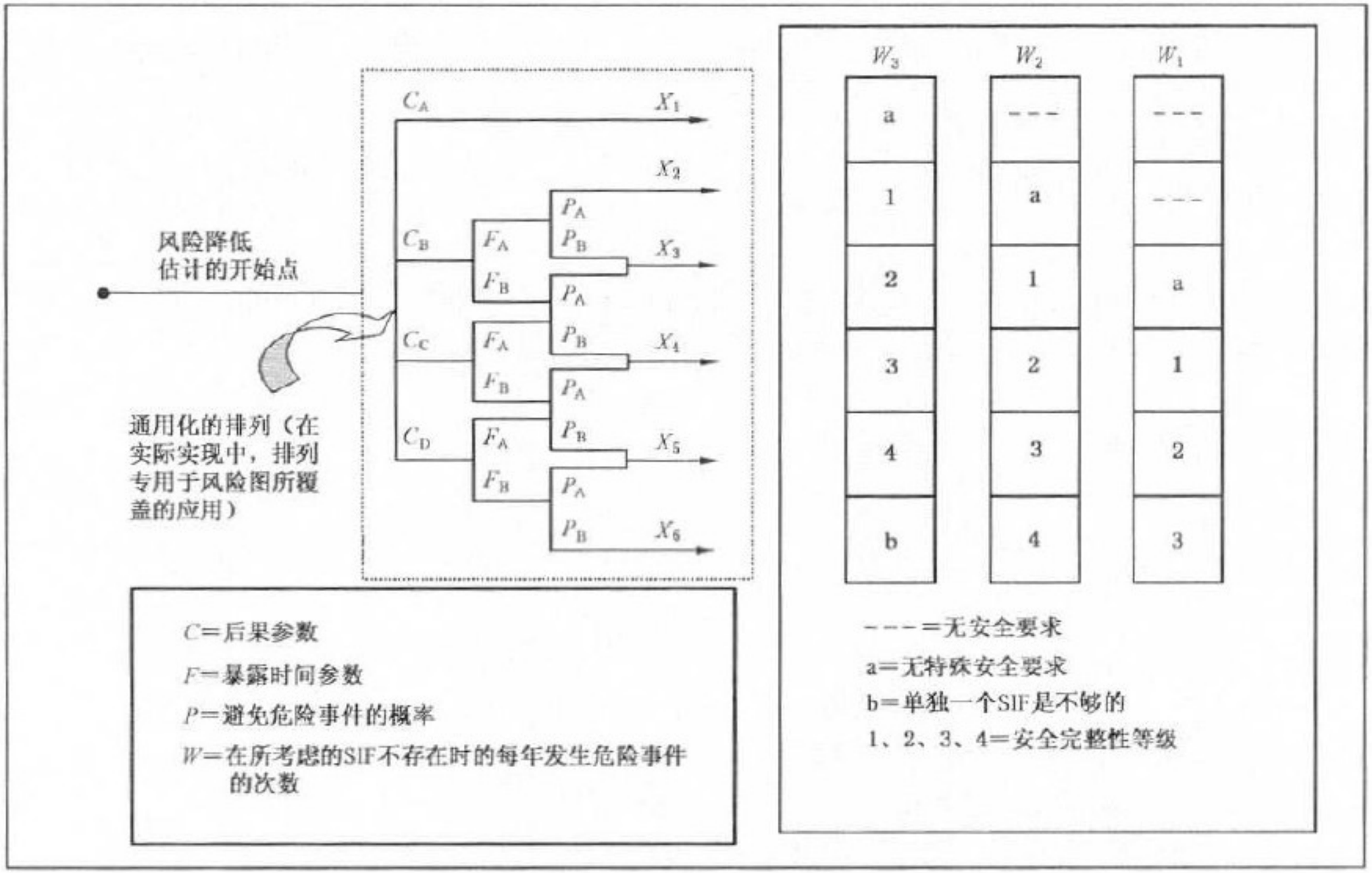
------占有率（暴露区域被占用的概率）（F）；在发生危险事件时段内暴露区被占用的概率。F_A F_B

------避免风险状况的概率（P）；如果要求时SIF失效，暴露的人员能够避免存在的风险状况的概率。P_A P_B

------要求率（W）；在所考虑的SIF不存在的情况下，每年发生危险状况的次数。W_1 W_2 W_3

三、在役装置SIL评估的主要流程

3. SIF辨识及SIL等级确定。 -修正的风险图



三、在役装置SIL评估的主要流程

3. SIF辨识及SIL等级确定 -修正的风险图

风险图法SIS选定示例2

在HAZOP研究中识别出一个SIF，存在200磅剧毒的碳酰氯从制作聚碳酸酯树脂的反应器中释放出来的事故风险，该风险将导致7.6人死亡，这种事故未减低风险的频率为每112年发生一次。参照风险矩阵完成一个SIL选定。

由HAZOP报告可知：

C：可能导致7.6人死亡；

W：每112年发生一次

F：？

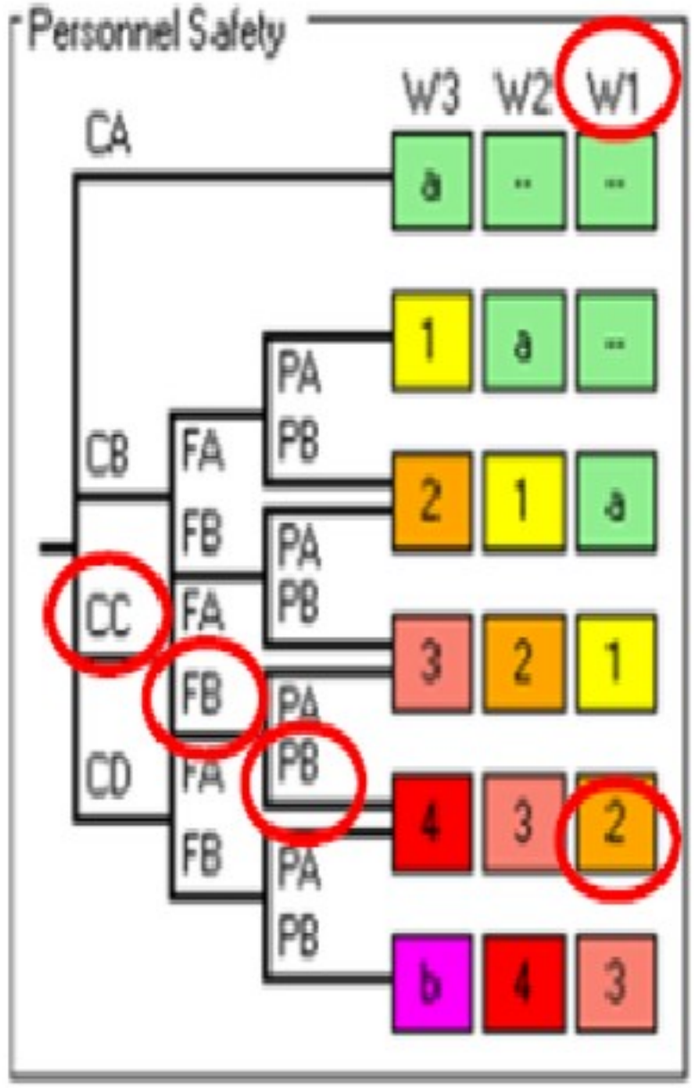
P：？

三、在役装置SIL评估的主要流程

3. SIF辨识及SIL等级确定 -修正的风险图

Demand Rate		Consequence Category					
		Health and Safety		Environment		Assets (Economics)	
W1	Very Low (less than once in 10 years)	CA	Minor Injury	E1	Small, Uncontained Release	A1	Moderate $100K to $1M, 1-5 days
W2	Low (1 to 10 years)	CB	Severe Injury/One Death	E2	Moderate Uncontained Release	A2	Major $1M to $6M, 5 - 15 days
W3	High (<1 year)	CC	Several Deaths	E3	Large Uncontained Release	A3	Extensive $6M to $12M, 15-30 days
		CD	Many Deaths/ Catastrophe	E4	Extensive Uncontained Release	A4	Catastrophic >$12M, > 30 days

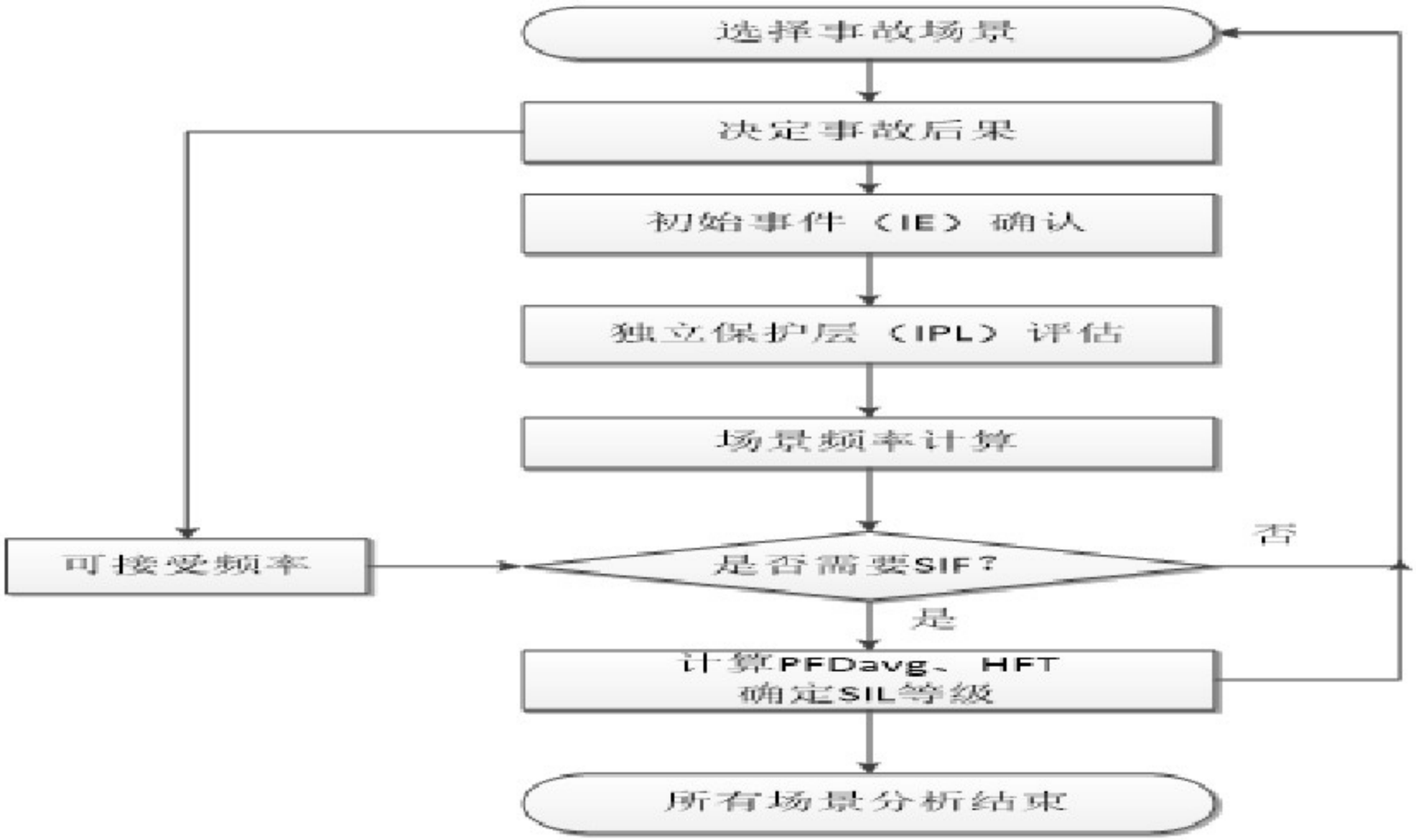
Additional Parameters			
Occupancy		Probability avert Hazard	
FA	Seldom to Frequently (<0.1)	PA	Under Certain Circumstances
FB	Frequently to Continuously	PB	Almost Impossible



SIL 2 needed

三、在役装置SIL评估的主要流程

4. SIF辨识及SIL等级确定 --保护层分析法



三、在役装置SIL评估的主要流程

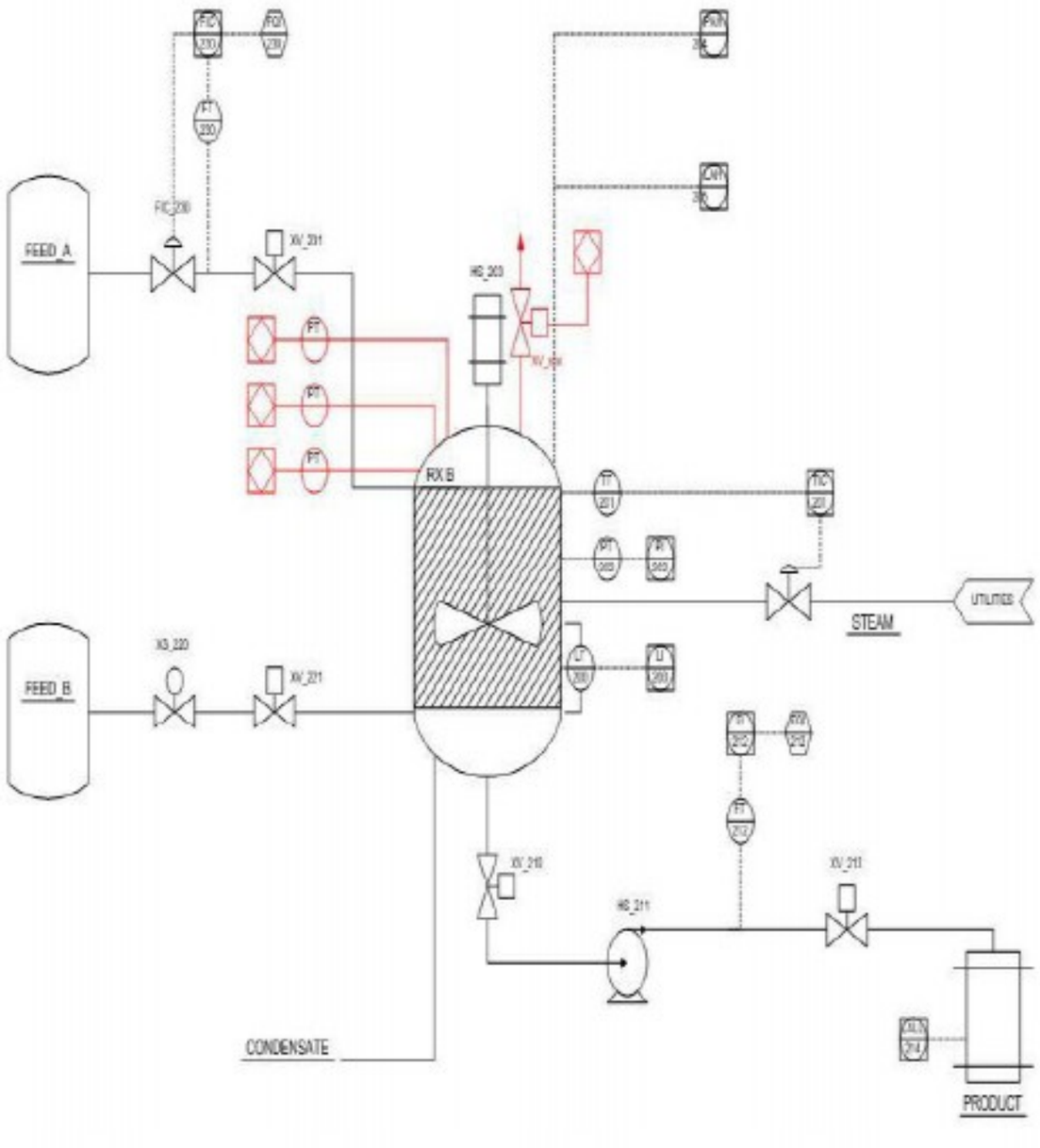
4. SIF辨识及SIL等级确定 -保护层分析（LOPA）

独立保护层（IPL）具有以下特点：

- 专一性：只被设计用来防止或减轻一个潜在的危险事件的后果，由于多种原因都可能导致同一危险事件，因此，多个事件情景都可由一个IPL来启动动作。例如：某储罐超压可以由安全阀保护，但造成超压的事件情景有多种。
- 独立性：IPL是与已验明的危险相关系统的其他保护层相独立的。
- 可信性：可信任IPL能执行所设计的那些功能（随机失效和系统失效）。
- 可审核性：它被设计成能有助于定期确认保护功能。安全系统的检验测试和维护是必要的。

三、在役装置SIL评估的主要流程

4. SIF辨识及SIL等级确定-保护层分析（LOPA）示例



◆ 搅拌器停运可能造成反应器超压泄漏，可接受频率10^{-5}次/年

◆ 搅拌器马达每两年失效一次

◆ 保护层**PFD**为：

- 操作时间为一年的29%

-操作响应失效，PFD=0.1

-骤停失效，PFD=0.1

-减压阀失效，PFD=0.07

三、在役装置SIL评估的主要流程

4. SIF辨识及SIL等级确定-保护层分析（LOPA）示例

INITIATING EVENT	PL #1	PL #2	PL#3	PL#4		OUTCOME
Agitator Motor	Batch not	Operator	Adding	Pressure		Explosion
Fails	running	Response	Shortstop	relief valve		爆炸
搅拌马达失效	批量未运行	操作员响应	增加骤停	压力释放阀		
						Explosion
						爆炸
						无事件
						No Event

三、在役装置SIL评估的主要流程

4. SIF辨识及SIL等级确定 -保护层分析（LOPA）示例

INITIATING EVENT	PL #1	PL #2	PL#3	PL#4	OUTCOME
Agitator	Batch in	Operator	Shortstop	Pressure	Explosion
Motor Fails	Operation	Response	Fails	Relief Valve	
				0.07	1.02E-04
			0.1		Explosion
		0.1			
	0.29				
0.5 /yr					
					No Event

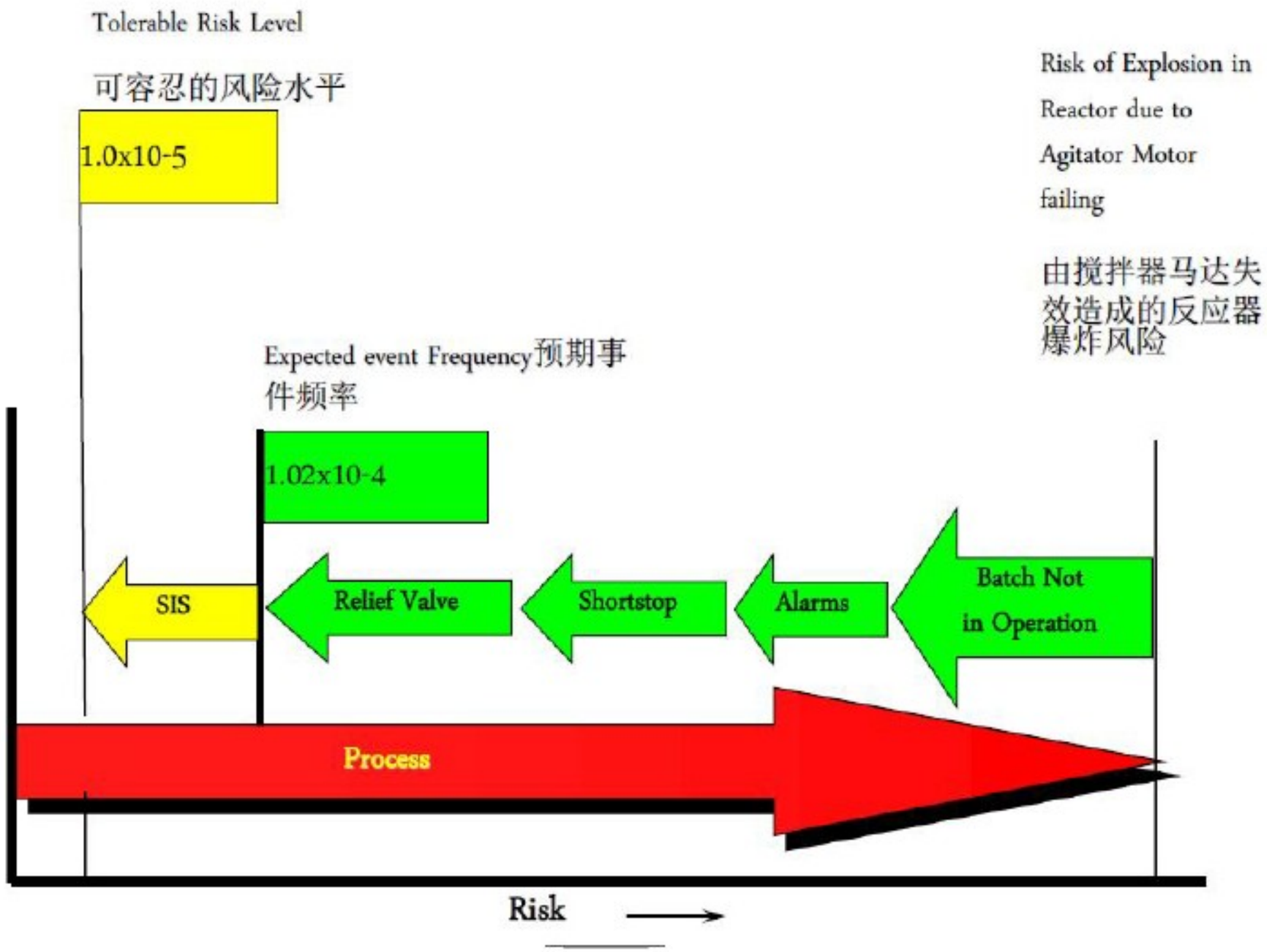
F = 0.5 /yr * 0.29 * 0.1 * 0.1 * 0.07 = 1.02 x 10^{-4}/yr

That results in 1 explosion in every 9,804 years
结果为每9804年发生一次爆炸

Is that any good? 是否足够?

三、在役装置SIL评估的主要流程

4. SIF辨识及SIL等级确定-保护层分析（LOPA）示例



三、在役装置SIL评估的主要流程

4. SIF辨识及SIL等级确定。 -保护层分析（LOPA）示例

已知事件预期发生率=1.02×10^{-4}

已知可容风险水平=1×10-5

不满足可容许风险水平，需要一个超压保护的SIF

计算SIF的SIL:

PFD=可容忍风险/预期风险

PFD = 1×10^{-5} / 1.02×10^{-4} = 0.098

RRF = 1/PFD = 1/0.098 = 10.2

SIF必须是一个SIL1的系统，

准确地描述为SIL1且RRF大于10.2

三、在役装置SIL评估的主要流程

4. SIF辨识及SIL等级确定 -保护层分析（LOPA）示例

文件 视图 Export 工具 帮助　　炼油五部四加氢 - 中国石化镇海炼化分公司

Dashboard | PHA | LOPA | SRS

Add Hazard Scenario　Add EC　Add IPL　Add CM　Add IE

Individual | Multiple

Business

	Target Frequency	Actual Frequency	RRF
B	1.00E-3	2.25E-3	2.25
E	1.00E-1	2.25E-3	NA
S	1.00E-5	2.25E-4	22.5

1. PS2121/PS2122/PS2123，反
2. PSA2120A/B/C，反应加热炉
3. C2103NI，F2101鼓风机C210
4. P2101A/BNI，进料泵停，联
5. PS2209A/B/C(2oo3)，分馏
6. PS2211A/B/C,分馏塔底重沸
7. FICAS2203/FICAS2204/FICA
8. C2104NI，F2102鼓风机C210
9. LS2124A/B/C，T2103液位低
10. LS2121A/B/C,热高分V2102
11. LS2111A/B/C，冷高分V210
12. TS2807/TS2808/TS2809（1
13. PS2802A/B/C（2oo3），加
14. LS2120A/B/C，循环氢压缩
15. ZS2441_42（2oo2),压缩机

1. PS2121/PS2122/PS2123，反应进料加热炉F2101燃料气压力低低，火嘴熄灭,回火,会造成炉膛闪爆，可能造成人员伤害，经济损失200万元以下。			IPLs								CMs					
Initiating Event	Frequency [per year]		PIA2103低报警		防爆门至少4只		长明灯		操作人员巡检占比		Intermediate Frequency [per year]		Comments			
管网来料压力低	2.50E-2	B	0.1	B	0.1	B	1	B	NA	B	2.50E-4	公司燃料气管网压低可能性40年一次				
		E	0.1	E	0.1	E	1	E	NA	E	2.50E-4					
		S	0.1	S	0.1	S	1	S	0.1	S	2.50E-5					
装置燃料分液罐V3125压力控制回路PICA3902故障，PV3902故障关	0.1	B	0.1	B	0.1	B	1	B	NA	B	1.00E-3	操作人员巡检每两小时一次，周围逗留时间10分钟。仪表人员巡检5分钟。				
		E	0.1	E	0.1	E	1	E	NA	E	1.00E-3					
		S	0.1	S	0.1	S	1	S	0.1	S	1.00E-4					
炉前燃料气管网过滤器堵	0.1	B	0.1	B	0.1	B	1	B	NA	B	1.00E-3	靠操作人员观察燃料气管网前后压力指示来确定切换过滤器				
		E	0.1	E	0.1	E	1	E	NA	E	1.00E-3					
		S	0.1	S	0.1	S	1	S	0.1	S	1.00E-4					

三、在役装置SIL评估的主要流程

4. SIF辨识及SIL等级确定。 -保护层分析（LOPA）示例

文件 视图 Export 工具 帮助　　炼油五部四加氢 - 中国石化镇海炼化分公司

Dashboard | PHA | LOPA | SRS

Add Hazard Scenario　Add EC　Add IPL　Add CM　Add IE

Individual　Multiple　Add a new hazard scenario within the project

Business

	Target Frequency	Actual Frequency	RRF
B	1.00E-3	1.30E-3	1.3
E	1.00E-1	1.30E-3	NA
S	1.00E-1	1.30E-3	NA

1. PS2121/PS2122/PS2123，反
2. PSA2120A/B/C，反应加热炉
3. C2103NI，F2101鼓风机C210
4. P2101A/BNI，进料泵停，联
5. PS2209A/B/C(2oo3)，分馏
6. PS2211A/B/C,分馏塔底重沸
7. FICAS2203/FICAS2204/FICA
8. C2104NI，F2102鼓风机C210
9. LS2124A/B/C，T2103液位低
10. LS2121A/B/C,热高分V2102
11. LS2111A/B/C，冷高分V210
12. TS2807/TS2808/TS2809 (1

14. LS2120A/B/C，循环氢压缩机入口分液罐V2110液位高高，液位高高会造成氢气带液损坏压缩机转子，机组停机，装置停工，经济损失200万元以内，对人员伤害可能性很小。	Frequency [per year]			IPLs								Intermediate Frequency [per year]		Comments
				循环氢脱硫塔T2103液位控制LICA2118		压缩机振动高 VIA2441_42、VIA2443_44联锁停机		干气密封一次气泄漏量FIA2141/2142高报警						
Initiating Event														
分液罐V2110液位控制LICA2119回路故障，LV2119故障关。	0.1			B	NA	B	0.1	B	0.1	B	1.00E-3			
				E	NA	E	0.1	E	0.1	E	1.00E-3			
				S	NA	S	0.1	S	0.1	S	1.00E-3			
循环氢脱硫塔，出口氢气带液过多	0.3			B	0.1	B	0.1	B	0.1	B	3.00E-4			
				E	0.1	E	0.1	E	0.1	E	3.00E-4			
				S	0.1	S	0.1	S	0.1	S	3.00E-4			

三、在役装置SIL评估的主要流程

4. SIF辨识及SIL等级确定 -保护层分析（LOPA）示例

文件 视图 Export 工具 帮助　　球罐区 - 中国石化北海炼化

Dashboard | PHA | LOPA | SRS

Add Hazard Scenario | Add EC | Add IPL | Add CM | Add IE

Individual | Multiple

健康和安全影响 (人员场

	Target Frequency	Actual Frequency	RRF
人员	1.00E-5	6.15E-7	NA
财产	1.00E-6	5.00E-5	50
社会影响	1.00E-3	5.00E-5	NA

1. 0303-2-LS1005/0303-2LT1001
2. 0303-2-LS1007/0303-2LT1002
3. 0303-2-LS1009/0303-2LT1003
4. 0303-2-LS1011/0303-2LT1004
5. 0303-3-LS1008/0303-3LT1001
6. 0303-3-LS1010/0303-3LT1002
7. 0303-3-LS1012/0303-3LT1003
8. 0303-3-LS1014/0303-3LT1004
9. 0303-3-LS1016/0303-3LT1005
10. 0303-3-LS1018/0303-3LT1006
11. 0303-3-LS1020/0303-3LT1007
12. 0303-3-LS1022/0303-3LT1008

2. 0303-2-LS1007/0303-2LT1002 (2oo2)，2#丙烯罐液位高，液位高会导致球罐压力升高，丙烯泄漏着火爆炸，1-2人伤亡，直接经济损失5000万元以内。	Frequency [per year]	ECs		IPLs										CMs				Intermediate Frequency [per year]		Comments
Initiating Event		进料时间占比		球罐液位指示高报警 LIA1014		球罐压力指示报警 PIA1002		球罐设双安全阀 PSC1003/1004		可燃气体报警器		球罐视频监控，发现泄漏时DCS报警可以提醒外操处理或人员疏散		人员在现场占比		点火因子				
0303-2LT1002回路故障假指示或人员误操作，监控不及时	0.1	人员	0.5	人员	1	人员	0.1	人员	0.01	人员	1	人员	0.1	人员	0.41	人员	0.3	人员	6.15E-7	
		财产	0.5	财产	1	财产	0.1	财产	0.01	财产	1	财产	NA	财产	NA	财产	NA	财产	5.00E-5	
		社会影响	0.5	社会影响	1	社会影响	0.1	社会影响	0.01	社会影响	1	社会影响	NA	社会影响	NA	社会影响	NA	社会影响	5.00E-5	

三、在役装置SIL评估的主要流程

5. SIL验证。

对SIL1及以上的SIF（RRF大于等于10）进行验证

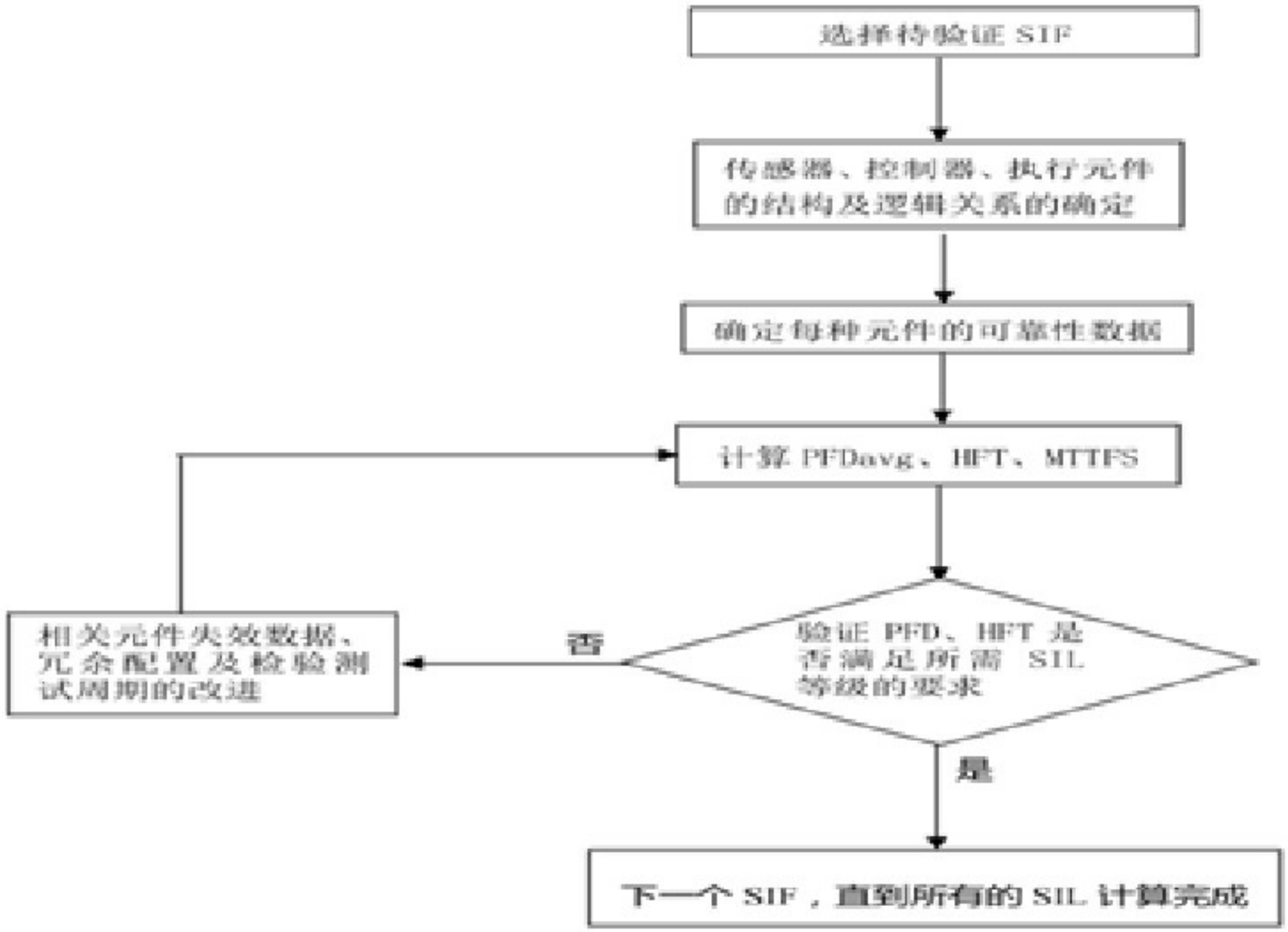
GB/T21109要求依据安全要求规范，设计符合要求的安全仪表系统，应符合三方面要求：

- 平均失效率（PFDavg/PFH）--满足需求时的失效概率PFDavg(低需求模式）或危险失效频率PFH（高要求或连续模式）；
- 结构约束（AC）----冗余形式；
- 系统能力约束(SC)----

三、在役装置SIL评估的主要流程

5. SIL验证

主要流程



三、在役装置SIL评估的主要流程

5. **SIL验证**-----需求时的失效概率PFDavg(低需求模式)

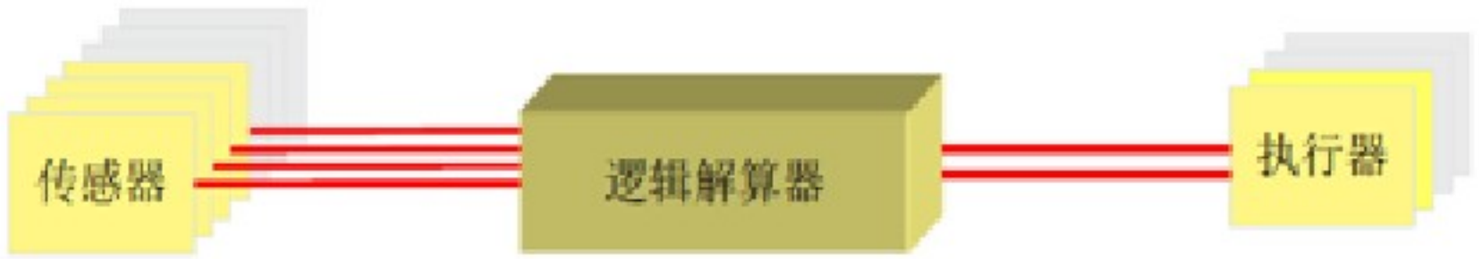
Safety Integrity Level (SIL)	Target average probability of failure on demand	Target risk reduction (or RRF)
4	$\geq 10^{-5}$ to $< 10^{-4}$	> 10,000 to ≤ 100,000
3	$\geq 10^{-4}$ to $< 10^{-3}$	> 1000 to ≤ 10,000
2	$\geq 10^{-3}$ to $< 10^{-2}$	> 100 to ≤ 1000
1	$\geq 10^{-2}$ to $< 10^{-1}$	>10 to ≤ 100

三、在役装置SIL评估的主要流程

5. SIL验证-----需求时的失效概率PFDavg(低需求模式)

SIF回路所有设备及附件的总失效概率PFD_{System}应小于等于要求的PFD_{avg}

按照IEC 61508考虑回路的整体安全功能



$$PFD_{System} = \sum PFD_{Component}$$

三、在役装置SIL评估的主要流程

5. SIL验证-----需求时的失效概率PFDavg(低需求模式)

Overall SIF PFD(avg):	**1,42E-04**	**RRF:**	**7034,80**	**SIL3**							
Proof Test Interval (Ti):	**12 months**										
Pressure Transmitter		F-AI		F-CPU 1oo1D		Profisafe		F-DO		Solenoid Valve	
PFD(avg): 4,00E-04										PFD(avg): 8,78E-04	
Pressure Transmitter		PFD(avg): 4,96E-08		PFD(avg): 1,24E-04		PFD(avg): 1,00E-05		PFD(avg): 6,97E-06		Solenoid Valve	
PFD(avg): 4,00E-04										PFD(avg): 8,78E-04	

三、在役装置SIL评估的主要流程

5. **SIL验证**-----需求时的失效概率PFDavg(低需求模式）影响因素

1.每件产品的失效率包括失效模式和自动诊断的诊断覆盖率 **产品**

2.运行时间（最终用户实践的属性） **最终用户**

3.检验测试间隔（由最终用户实践指定） **最终用户**

4.检验测试有效性（检验测试方法的属性）。 **最终用户**

5.检验测试期间（最终用户实践的属性） **最终用户**

6.平均修复时间（最终用户实践的属性）。 **最终用户**

7.包含共因失效的设备冗余（SIF设计的属性）。 **系统设计**

8.运行/维护能力（最终用户实践的属性） **最终用户**

三、在役装置SIL评估的主要流程

5. **SIL验证**-----需求时的失效概率PFDavg(低需求模式）影响因素

$$PFDavg \approx C_{PT}\,\lambda_{DU}\,TI/2 + (1\text{-}C_{PT})\,\lambda_{DU}\,MT/2 + PTD/TI + \lambda_{DU} * MTTR + \lambda_{DD} * MTTR$$

C_{PT}----检验测试能力

TI-----检验测试时间间隔

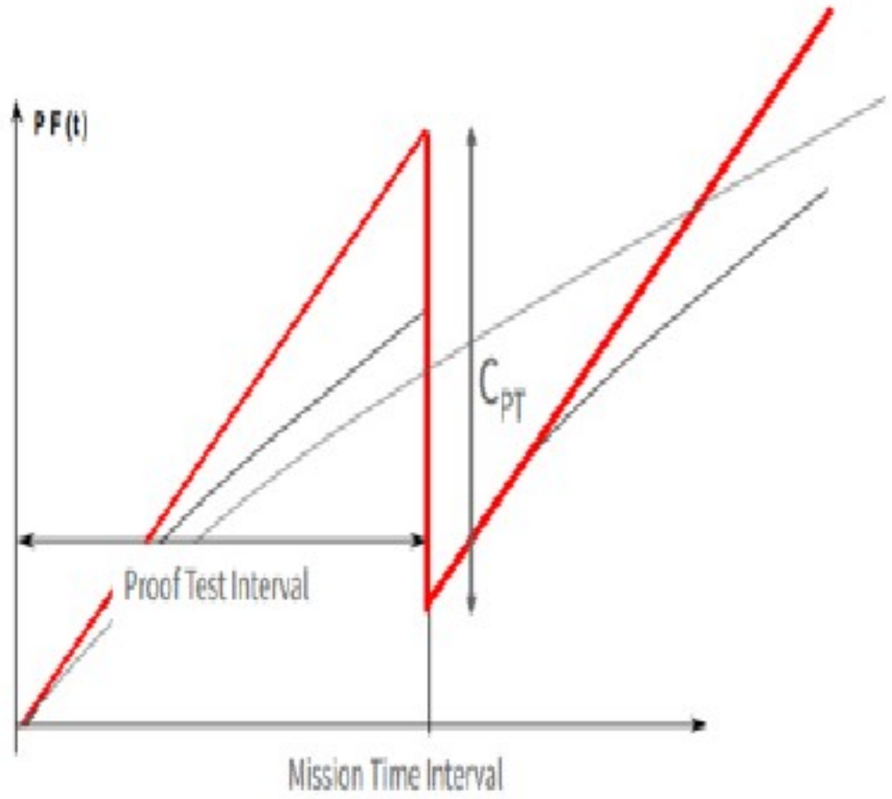
MT-----SIF的操作寿命

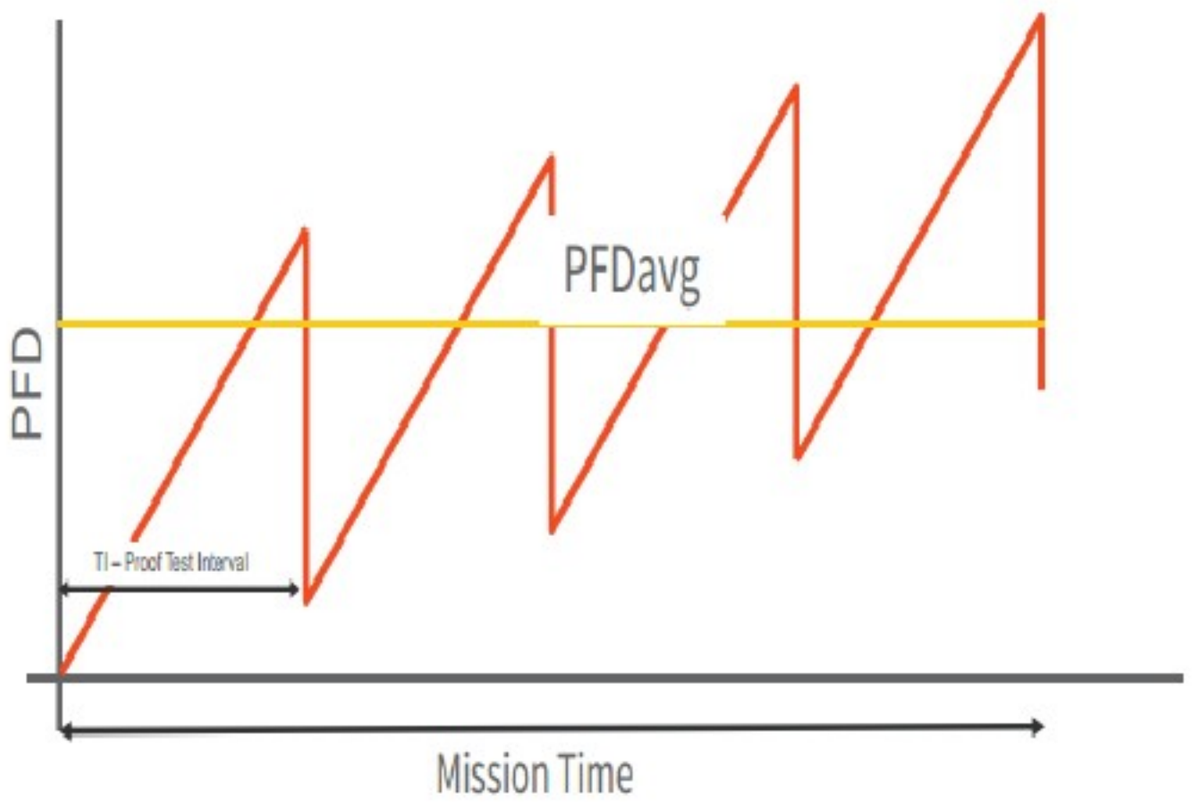
PTD---测试持续时间

MTTR—平均修复时间

三、在役装置SIL评估的主要流程

5. **SIL验证**-----需求时的失效概率PFDavg(低需求模式）影响因素





三、在役装置SIL评估的主要流程

6. SIL验证-----结构约束AC

为消除系统失效，达到一定的安全完整性等级，必须满足硬件故障裕度（HFT）要求，HFT与设备的安全失效分数、设备类型有关

- IEC61511.1-2003传感器、最终元件和非逻辑控制器的HFT

SIL	最小硬件故障裕度
1	0
2	1
3	2
4	特殊要求应用（见IEC61508）

三、在役装置SIL评估的主要流程

6. SIL验证-----结构约束

以单台仪表： λs=0.01次/年； λd=0.01次/年;TI=1年

序号	冗余方式	误跳车率STR	失效率PFDavg	备注
1	1001	0.01/年	0.01	
2	1002	0.02/年	0.00013	
3	2002	0.0001/年	0.02	
4	2003	0.003/年	0.0004	

✓不同结构的安全性：

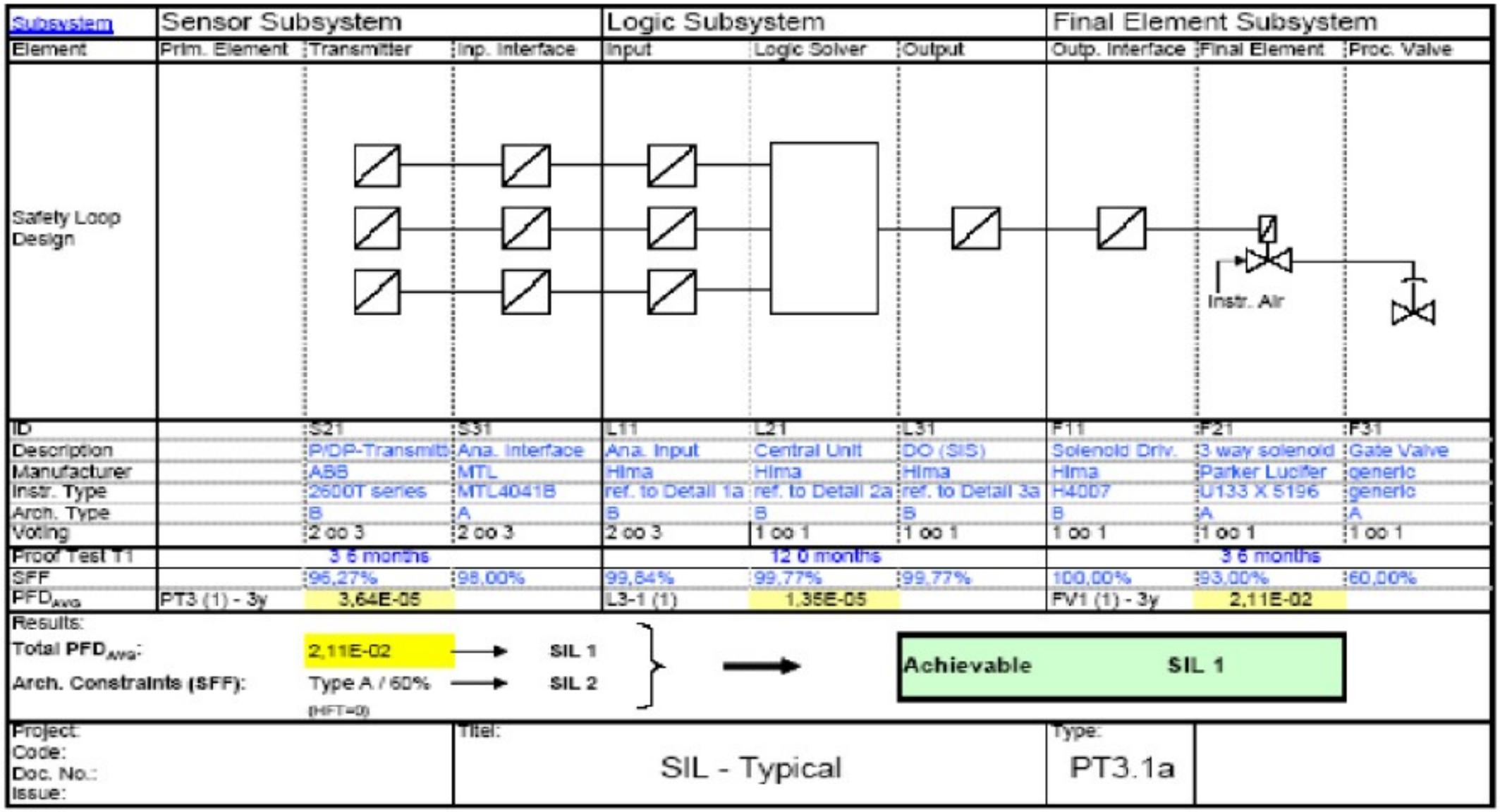
1002＞2003 ＞ 1001＞2002

✓不同结构的可用性：

2002＞2003 ＞ 1001＞1002

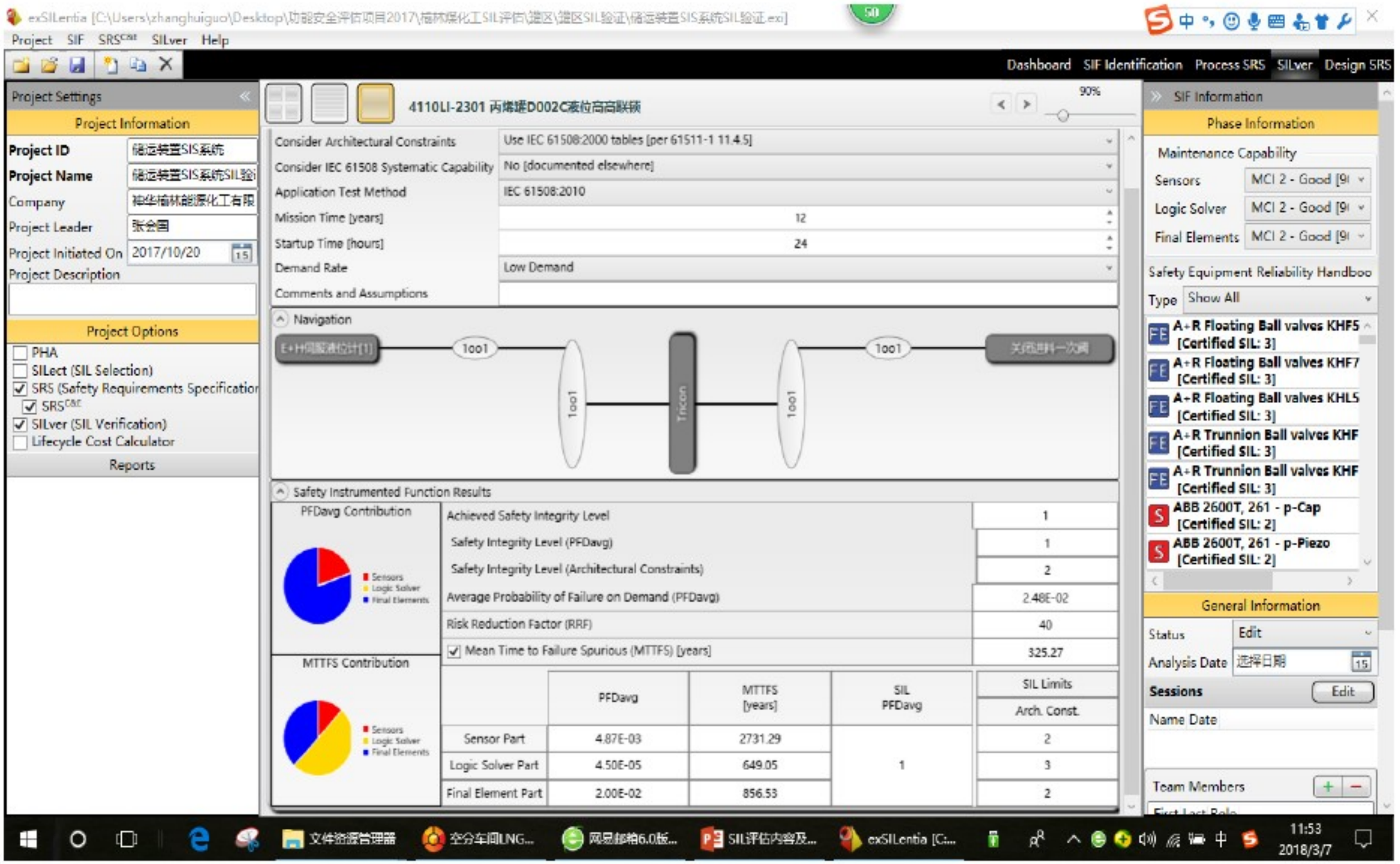
三、在役装置SIL评估的主要流程

6. SIL验证-----结构约束



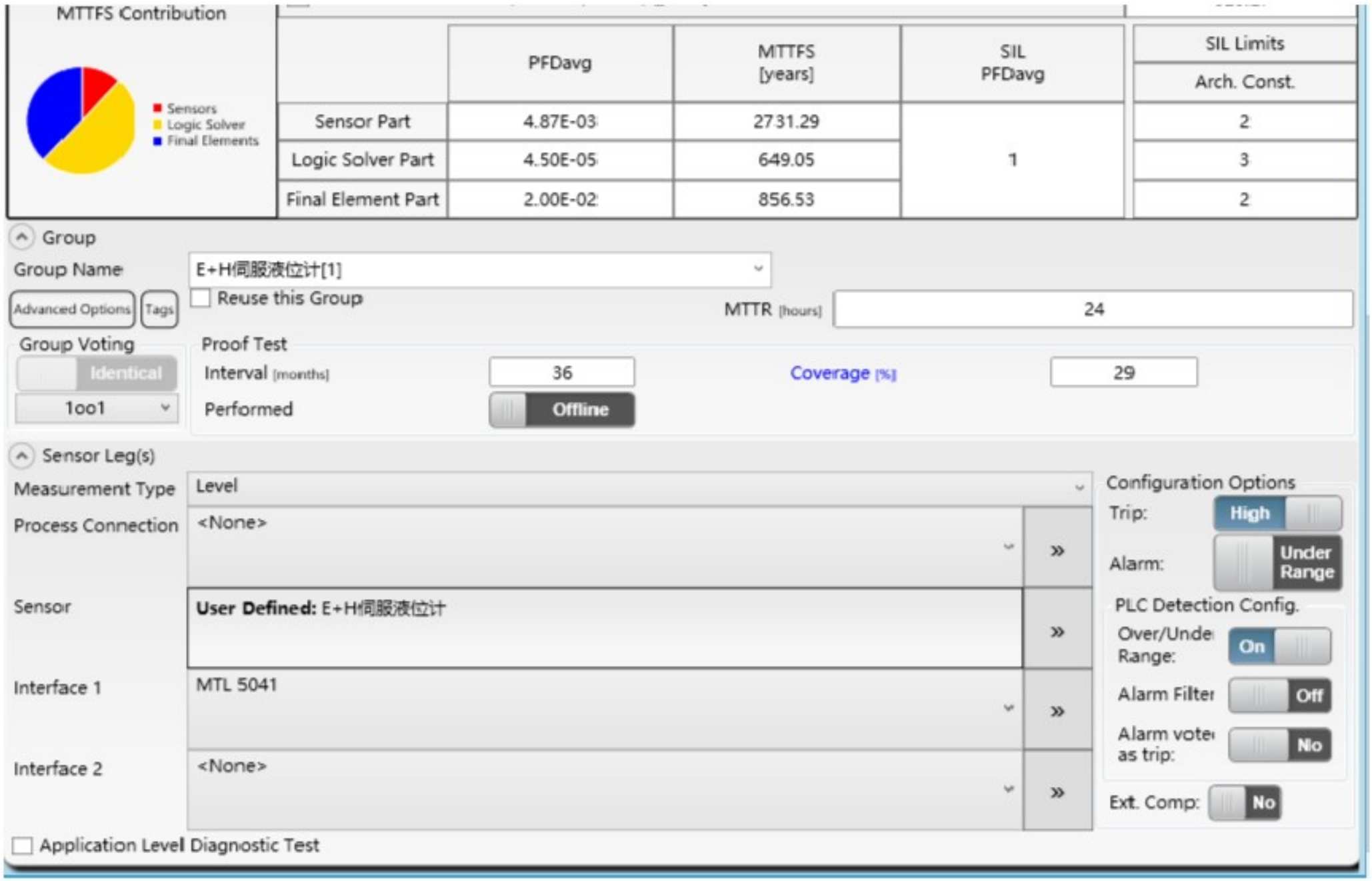
三、在役装置SIL评估的主要流程

7. SIL验证实例



三、在役装置SIL评估的主要流程

7. SIL验证实例

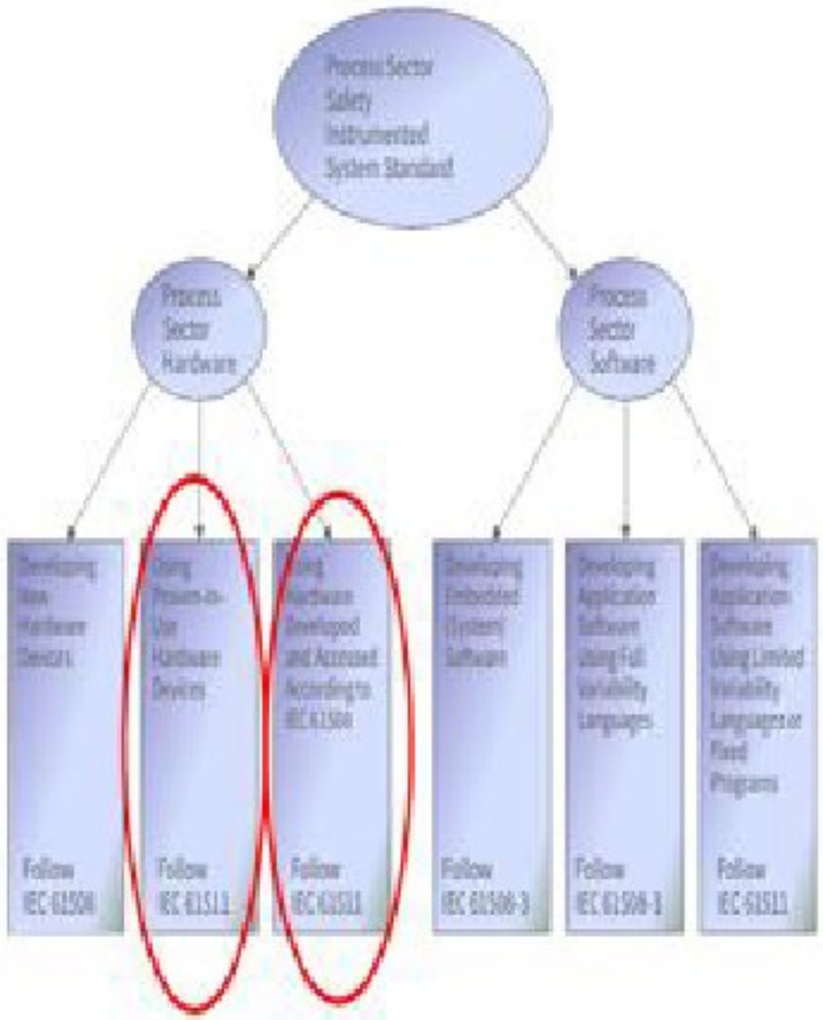


三、在役装置SIL评估的主要流程

8. SIL验证-----能力约束SC

在不同SIL等级的SIF回路，选用现场仪表及附件，要具备相应的能力（认证或先前使用验证）。

- IEC61508标准认证产品
- 以往经验使用



三、在役装置SIL评估的主要流程

9. **对不满足要求的SIF提出其整改建议**

- 调整设备选型
- 调整AC
- 选择合理的检验测试时间间隔

三、在役装置SIL评估的主要流程

10. SIL评估报告的主要内容：

- SIL定级建立的工艺过程的安全目标（可接受风险）
- 保护层分析（LOPA）报告（SIL定级报告）
- 过程安全需求规范（SRS）
- HAZOP完善报告
- SIL验证报告
- SIL验证不符合项的建议等。

四、目前在役装置SIL评估的状况

在役SIS系统在确定SIL等级并加以验证时国内缺乏相关的软件及数据库，这是我国目前落实安监局116号文件实施的一个短板

失效数据是安全仪表系统安全完整性等级评估的基础，目前比较典型的工业仪表及设备的时效数据库有如下几种可供参考：

a)海上设备可靠性数据库（OREDA）-DNV

b)过程设备可靠性数据库（PERD）-CCPS

c)安全设备可靠性数据库（SERH）-EXIDA

d)安全仪表系统可靠性数据库（PDS）-STNTEF

不当之处敬请批评指正

谢谢！

青岛劳帕安全技术咨询有限公司

核心业务

- 安全仪表系统功能评估：安全完整性等级SIL定级、验证/验算
- 过程工艺危害分析 **HAZOP**
- 培训：安全完整性等级SIL定级、验证/验算、HAZOP等培训

微信扫一扫

微信号 :**qd13184148810**

电话：13184148810

QQ:1930712371

邮箱：qingdaolopa@163.com

网址：www.qingdaolopa.com