



第二单元 / 第二章

危险源辨识、 风险评价和控制

《工程师职业素养》课程组

危险源辨识、风险评价和控制

内容

1 危险有害因素的分类及辨识方法

2 风险控制

3 案例分析

1 危险有害因素的分类及辨识方法

危险有害因素

- **危险因素** 指能使人造成伤亡，对物造成突发性损坏，或影响人的身体健康导致疾病，对物造成慢性损坏的因素。通常为了区别客体对人体不利作用的特点和效果，分为危险因素（强调突发性和瞬间作用）和危害因素（强调在一定时间范围内的积累作用），统称危险因素。
- **危险源** 指可能导致人身伤害和（或）健康损害的根源、状态或行为，或组合。
- **重大危险源** 导致重大事故的危险源。
- **危险源辨识** 指识别危险源的存在并确定其特性的过程。

1 危险有害因素的分类及辨识方法

危险和有害因素分类

➤ 根据危险和有害因素进行分类

- 人的因素
- 物的因素
- 环境因素
- 管理因素

➤ 根据事故形式分类的方法进行分类

参照GB 6441-1986《企业职工伤亡事故分类》，综合考虑起因物、引起事故的先发诱导性原因、致害物、伤害方式等，将危险因素分为**20类**。

物体打击、车辆伤害、机械伤害、起重伤害、触电……

1 危险有害因素的分类及辨识方法

危险和有害因素的辨识方法

通常分为经验对照法和系统安全分析法两大类。

- **经验对照法** 指人们根据以往的事故经验弄清导致各种事故发生的主要危险和有害因素，然后现到实际中去辨识类似活动或场所的危险和有害因素。
 - **优点：**简单易行，缺点是不系统、易疏漏，在没有可供参考先例的新开发系统的场合不适用。一般来说，对照法很少单独使用。
 - **常用方法：**询问、交谈；现场观察；头脑风暴；测试分析；查阅有关记录；获取外部信息；工作任务分析；安全检查表等。

1 危险有害因素的分类及辨识方法

危险和有害因素的辨识方法

通常分为经验对照法和系统安全分析法两大类。

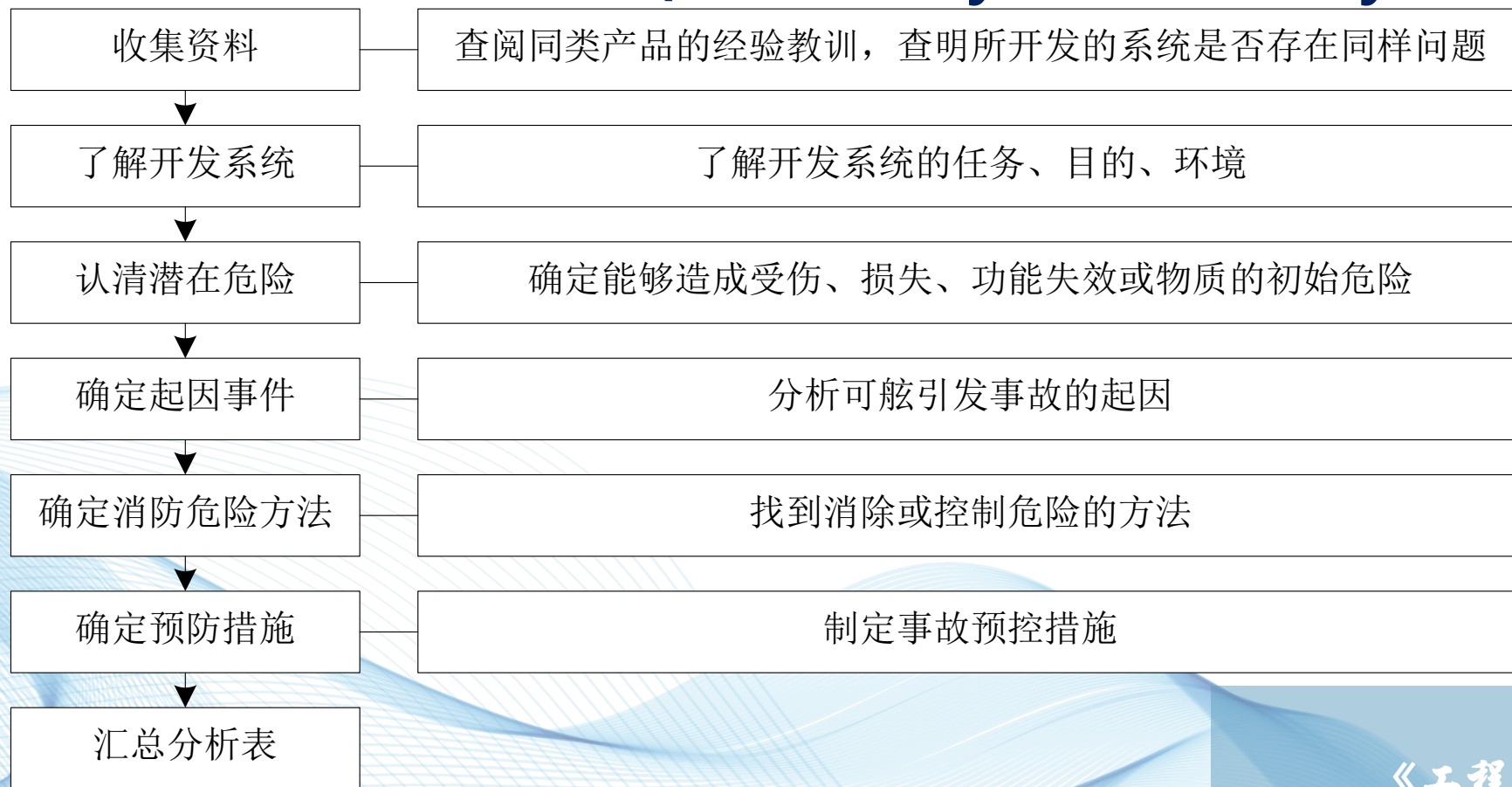
➤ **系统安全分析法** 指从安全角度进行系统分析，通过揭示系统中可能导致系统故障或事故的各种因素及其相互关联来辨识系统中的危险和有害因素。。

- **常用方法：**预先危险性分析法；故障类型和影响分析；故障类型和影响、致命度分析；事件树分析法；故障树分析法等。

1 危险有害因素的分类及辨识方法

● 系统安全分析法——预先危险性分析法

(Preliminary Hazard Analysis, PHA)



1 危险有害因素的分类及辨识方法

● 系统安全分析法——预先危险性分析法

危险性等级划分表

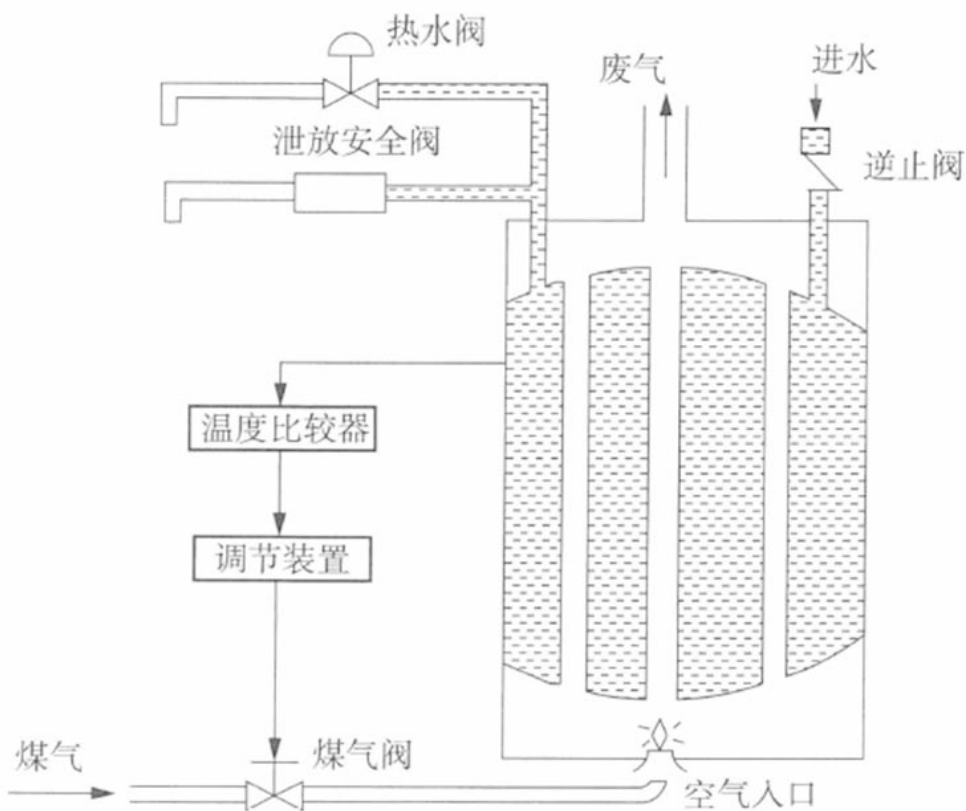
级别	危险程度	可能导致的后果
I级	安全的	不会造成人员伤亡及系统损坏
II级	临界的	处于事故的边缘状态，暂时还不至于造成人员伤亡、系统损坏或降低系统性能，但应予以排除或采取控制措施
III级	危险的	可能导致事故、造成人员伤亡和系统损坏，必须措施加以控制
IV级	灾难性的	可能导致事故、造成人员严重伤亡及系统严重破坏的灾难性事故，必须予以设计排除并进行重点防范

预先危险分析表

序号	主要危险源位置	事故故障类型	触发条件	危险等级	主要对策措施

1 危险有害因素的分类及辨识方法

● 系统安全分析法——预先危险性分析法



初步的热水器方案设计示意图

初步的热水器方案设计预先危害分析

事故	可能的事故原因	风险等级	建议的措施
热水器爆炸	煤气连续燃烧，使水产生气泡，造成水压升高，安全阀没有及时动作	Ⅲ	装爆破片，定期检验安全阀
水过热烫伤	煤气连续燃烧，造成水温升高，安全阀没有及时动作	Ⅱ	装爆破片，定期检验安全阀
火灾、爆炸	火嘴熄灭，煤气阀开，煤气泄漏，形成爆炸性混合气体，遇火源	Ⅲ	火源和煤气阀装连锁装置；加强通风；装设气体检测仪；定期检查
煤气中毒	火嘴熄灭，煤气阀开，煤气泄漏，人接触	Ⅱ	火源和煤气阀装连锁装置；加强通风；装设气体检测仪；定期检查

1 危险有害因素的分类及辨识方法

● 系统安全分析法——故障类型和影响分析

故障类型和影响分析（Failure Mode and Effect Analysis. FMEA）对系统或产品各个组成部分、元件进行分析，找出系统中各子系统及元件的影响以及最终对整个系统的影响，提出可能采取的消除或控制这些影响的措施，以提高系统或产品的可靠性和安全性。早期主要是**定性分析**。

● 系统安全分析法——故障类型和影响、致命度分析

故障类型和影响分析发展到**定量分析**，则形成了故障类型和影响、致命性分析（Failure Mode Effect and Criticality Analysis, FMECA）。在系统进行初步分析（如故障类型和影响分析）之后，对其中特别严重的故障类型再单独进行详细分析。致命度分析就是对系统中各个不同的严重故障类型计算临界值-致命度指数，即给出某种故障类型产生致命度影响的概率。

1 危险有害因素的分类及辨识方法

● 系统安全分析法——故障类型和影响、致命度分析

致命度指数计算公式

$$C = \sum_{i=1}^n \alpha \beta K_1 K_2 \lambda t$$

C: 致命度指数;
n: 导致系统重大故障或事故的故障类型总数;
 λ : 元素的基本故障率;
 K_1 : 元素实际运行状态的修正系数;
 K_2 : 元素实际运行环境条件的修正系数;
t: 元素的运行时间;
 α : 导致系统重大故障或事故的故障类型总数占全部故障类型总数的比例;
 β : 导致系统重大故障或事故的故障类型出现时, 系统发生重大故障或事故的概率,

故障影响	发生概率 β	故障影响	发生概率 β
实际损失	$\beta=1.00$	可能出现的损失	$0<\beta<0.10$
可以预计的损失	$0.10\leq\beta<1.00$	没有影响	$\beta=0$

1 危险有害因素的分类及辨识方法

● 系统安全分析法——事件树分析法

事件树分析法 (Event Tree Analysis, ETA) 是一种从原因推论结果的 (归纳的) 系统安全分析方法, 它在给定的一个**初因事件**的前提下分析此事件可能导致的后续事件的结果。整个事件序列成树状。

● 系统安全分析法——故障树分析法

故障树分析法(Fault Tree Analysis, FTA)又称事故树分析, 是一种演绎的系统安全分析方法。它是从要分析的**特定事故或故障**开始层层分析其发生原因, 一直分析到不能再分解为止。将特定的事故和各层原因之间用逻辑门符号连接起来, 得到形象、简洁地表达其逻辑关系的逻辑树图形, 即故障树。

常用系统安全分析法特点比较

分析方法	分析目标	定性 定量	方法特点	适用范围	应用条件	优缺点
预先危险性分析(PHA)	危险有害因素分析危险性等级	定性	讨论分析系统存在的危险、有害因素、触发条件、事故类型、评价危险性等级	各类系统设计、施工、生产、维修前的概路分析和评价	分析评价人员熟悉系统，有丰富的知识和实践经验	简便易行，受分析评价人员主观因素影响
故障类型和影响分析(FMEA)	故障（事故）原因影响程序等级	定性	列表、分析系统（单元、元件）事故类型、故障原因、故障影响、评定影响程度等级	机械电气系统、局部工艺过程、事故分析	分析评价人员熟悉系统，有丰富的知识和实践经验，要有根据分析要求编制的表格	较复杂、详尽受分析评价人员主观因素影响
故障类型和影响危险性分析(FMECA)	故障原因故障等级危险指数	定性 定量	列表、分析系统（单元、元件）事故类型、故障原因、故障影响、评定影响程度等级。在FMEA基础上，由元素故障概率、系统重大故障概率计算系统危险性指数	机械电气系统、局部工艺过程、事故分析	同FMEA有元素故障率、系统重大故障（事故）概率数据	较FMEA复杂、精确
事件树分析(ETA)	事故原因触发条件事故概率	定性 定量	归纳法、由初始事件判断系统事故原因及条件内各事件概率计算系统事故概率	各类局部工艺过程、生产设备装置事故分析	熟悉系统、元素间的因果关系、有各事件发生概率数据	简便、易行受分析评价人员主观因素影响
事故树分析(FTA)	事故原因事故概率	定性 定量	演绎法，由事故和基本事件逻辑推断事故原因，由基本事件概率计算事故概率	宇航、核电工艺、设备等复杂系统事故分析	熟练掌握方法和事故、基、有基本事件概率数据	复杂、工作量大、精确故障树编制有误差失真

危险源辨识、风险评价和控制

内容

1 危险有害因素的分类及辨识方法

2 风险控制

3 案例分析

2 风险控制

风险控制程序

安全技术措施

安全管理措施

2.1 风险控制工作程序

风险控制工作程序



➤ **划分作业活动** 按生产（工作）流程的阶段划分为主，根据实际情况也可以采取按地理区域划分，按与装置有关的操作划分、按作业划分的方法。

➤ **危害识别**

- 对每个作业步骤，识别出与此步骤有关的人的不安全行为和物的不安全状态'然后将各步骤中的危害汇总；
- 将整个作业活动作为一个整体，识别出与此作业有关的作业环境缺陷和管理缺陷；
- 将上述识别出的危害汇总，汇总中合并同类项。

2.1 风险控制工作程序

风险控制工作程序



➤ **风险评价** 对识别出的每项危害，都应进行风险评价，评价的方法根据行业特点、系统复杂程度等因素采取合理的评价方法。

➤ **确定不可接受的风险**

不可接受风险通常理解为：

- 超出本组织的方针、目标和规章等；
- 超出了法律、法规 and 规定等的要求；
- 超出了人们普遍接受的要求。

2.1 风险控制工作程序

风险控制工作程序



➤ 风险控制

- **技术控制：**采用安全技术措施对固有危险和有害因素进行控制，主要技术有消除、控制、防护、隔离、监控、保留和转移等。
- **管理控制：**涉及对物的管理和对人的管理。对物的管理，是指在系统的各生命周期时段，用于建立、实施、保持和改进安全技术措施的管理过程及手段。对人的管理，是指在人的工作周期时段，建立、实施、保持和改进用于控制人的不安全行为的管理过程及手段。。

2 风险控制

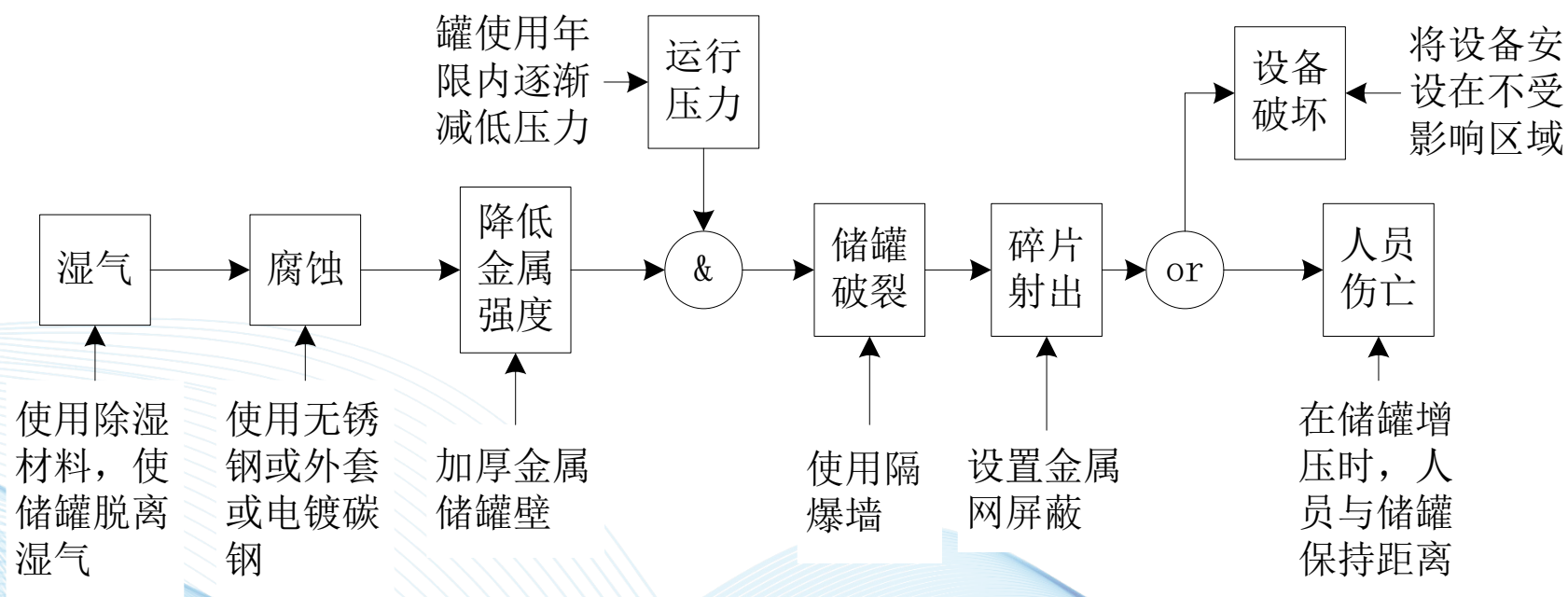
风险控制程序

安全技术措施

安全管理措施

2.2 安全技术措施

- 安全技术措施涉及工作场所直接用于控制事故发生的物和人的两方面条件。



金属压力储罐爆裂事故控制的安全技术措施

2.2 安全技术措施

危险源

- (1) 工作场所存在的可能意外能量的能量源。
- (2) 工作场所存在和可能出现的诱发能量源意外释放能量导致事故发生的因素（物的不安全状态；人的不安全行为；“存在和出现的”可称为“隐患”）。
- (3) 工作场所可能受能量意外释放影响的人员（安全生产还涉及物的财产）。

安全技术措施包括：

- (1) 控制能量意外释放造成损害的技术措施。
- (2) 控制物的不安全状态的技术措施。
- (3) 控制人的不安全行为的技术措施。

生产技术着重于如何高效率地利用或生产能量；安全技术着重于如何防止能量意外释放。

2.2 安全技术措施

① 控制能量意外释放的技术措施

1) 防止能量意外释放的技术措施

- 消除危险源

消除 (elimination)可能导致伤害的能量物质或载体对象;
用不承载某种有害能量的物质替代(substitution)承载某种有害能量的物质。

- 限制危险源意外释放的能量程度

减少能量物质或载体的能量; 防止能量积蓄; 安全释放能量

- 隔离

分离 (separation)和屏蔽 (shielding)

屏蔽较分离更可靠, 屏蔽又可分为封闭 (lockins)和关闭 (lockouts)

2.2 安全技术措施

① 控制能量意外释放的技术措施

2) 避免或减少能量意外释放造成损失的技术措施

基本出发点是防止意外释放的能量达及人或物，或者减轻其对人和物的作用。

- 隔离

隔离措施有远离、封闭和缓冲三种

- 个体防护装备

个体防护装备也是一种隔离措施，它把人体与意外释放的能量隔离开

- 薄弱环节

接受微小损失

- 避难与援救

2.2 安全技术措施

② 控制物的不安全状态的技术措施

- 安全系数

安全系数的基本思想是，把结构、部件的强度设计到超出其可能承受的应力的若干倍，这样就可以减少因设计计算误差、制造缺陷、老化及未知因素等造成的破坏或故障。

- 降低许用值

减低结构和部件的运行压力会减少它们的故障率和提高可靠性。

- 冗余

采用冗余设计构成冗余系统，可以大大地提高可靠性，减少故障的发生。在各种冗余方式中，并联冗余和备用冗余最常用

2.2 安全技术措施

② 控制物的不安全状态的技术措施

- 故障-安全

故障-安全会使得系统、设备、结构的一部分发生故障或破坏的情况下，在一定时间内也能保证安全。按系统、设备、结构在其一部分发生故障后所处的状态，故障-安全可以分成3种：故障-正常方案；故障-消极方案；故障-积极方案。

- 耐故障

又称容错，是在系统、设备、结构的一部分发生故障或破坏的情况下，仍能维持其功能。

- 高质量

设备、结构等是由若干元件、部件组成的系统。由高可靠性的元素组成的系统，其可靠性也高。

- 安全监控系统

在生产过程中经常利用安全监控系统监测和控制与安全有关的状态参数

2.2 安全技术措施

③ 控制人的不安全行为的技术措施

- **用机器代替人操作** 用机器代替人操作是防止人的不安全行为发生的最可靠的措施。并非任何场合可以用机器取代人。
- **冗余系统** 采用冗余系统是提高系统可靠性的有效措施，也是提高人的可靠性、防止人的不安全行为的有效措施。
- **耐失误** 耐失误 (foolproof) 是通过精心地设计使得人员不能发生失误或者发生失误了也不会带来事故等严重后果。
- **人-机-环境匹配** 人-机-环境匹配问题主要包括人机功能的合理分配、机器的人机学设计以及生产作业环境的人机学要求等。

2 风险控制

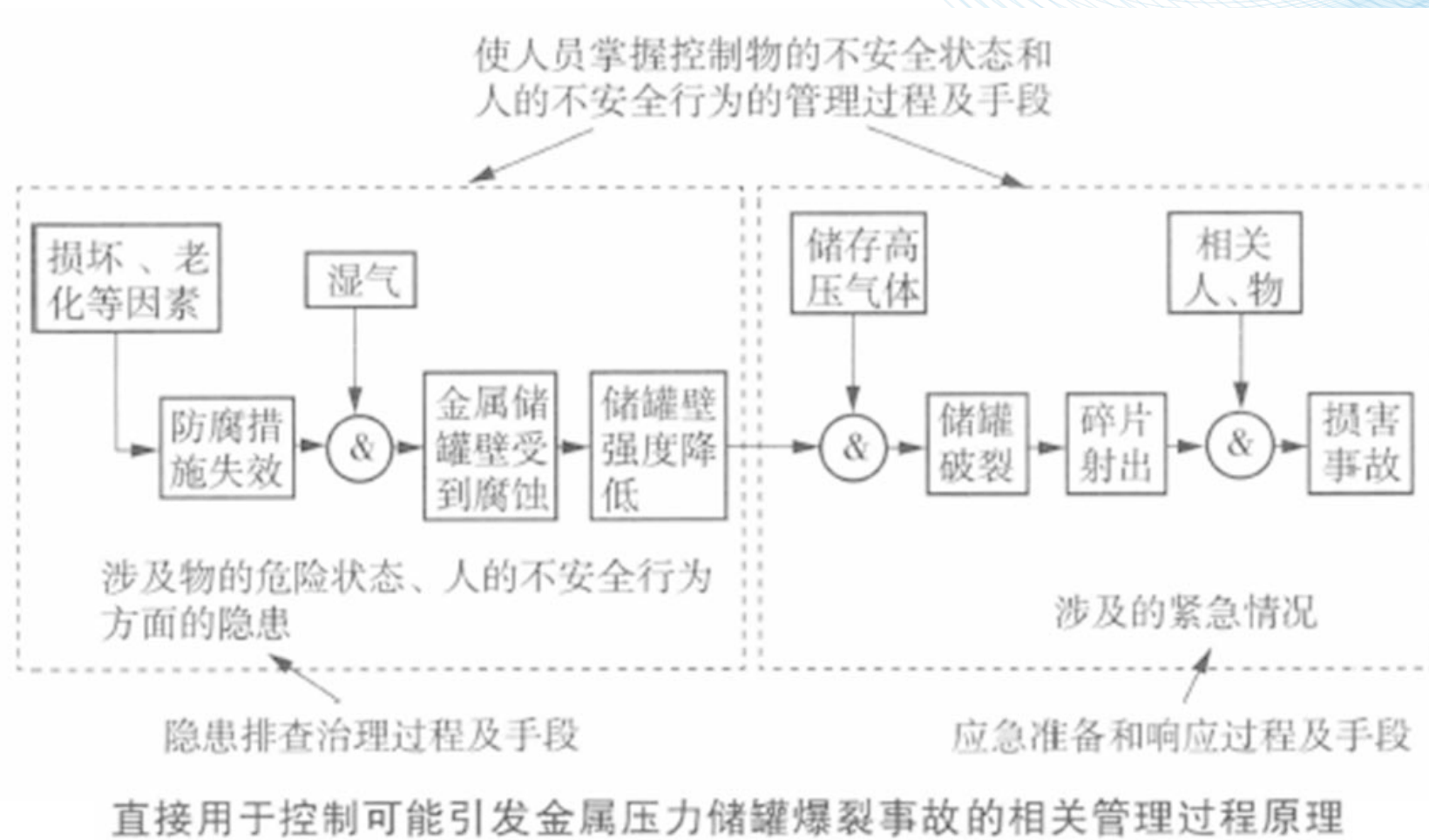
风险控制程序

安全技术措施

安全管理措施

2.3 安全管理措施

安全管理措施



2.3 安全管理措施

安全管理措施涉及对物的管理和对人的管理。

- **对物的管理**，是指在系统的各生命周期时段，用于建立、实施、保持和改进安全技术措施的管理过程及手段。**具体**可涉及物的规划和设计、精确施工和加工、采购和安装、评审和验收、监测和检查、维修、更新和改造等方面，建立、实施、保持和改进安全技术措施的管理过程及手段。

- **对人的管理**，是指在人的工作周期时段，建立、实施、保持和改进用于控制人的不安全行为的管理过程及手段。**具体**可从人员的入职、风险及控制规则告知（包括培训、规程、制度、作业许可、标识等）、工作安排、监督和检查、意识和文化等方面，建立、实施、保持和改进用于控制人的不安全行为的管理过程及手段。

2.3 安全管理措施

安全管理措施

在不改变安全技术措施的条件下，直接用于安全技术措施实施和保持的**管理过程**主要包括如下三个方面：

- (1) 使人员掌握控制**物的不安全状态和人的不安全行为**的管理过程及手段。
- (2) **隐患排查**治理的管理过程。
- (3) **应急准备和响应**的管理过程

2.3 安全管理措施

安全管理措施

在**实际工作**中，使人员掌握控制：

- 物的不安全状态和人的不安全行为的管理过程及手段涉及人员入职管理、风险及控制规则告知；
- 隐患排查治理的管理过程及手段涉及制度、标准等；
- 用于应急准备和响应的管理过程及手段涉及预案、程序等。

一般地，系统运行阶段在安全技术措施一定的条件下，主要是**通过安全管理措施**，控制物的不安全状态和人的不安全行为。

危险源辨识、风险评价和控制

内容

1 危险有害因素的分类及辨识方法

2 风险控制

3 案例分析

3 案例分析-建筑施工风险识别及控制案例

某建筑施工企业2008年通过职业健康安全管理体系的认证，制定了危险源辨识风险评价管理程序，规定了各级部门相应的职责。

1. 职责

该建筑公司规定安全技术部负责危险源辨识风险评价管理程序的编制、修改和实施情况的检查、指导；安全技术部负责汇总编制公司不可接受风险的危险源及其控制计划清单；办公室负责对公司机关办公区域的危险源进行识别和评价；分公司及项目部安全技术部负责施工过程中的危险源的识别和评价，编制《危险源辨识与风险评价结果一览表》及《不可承受风险的危险源及其控制计划清单》。

分公司及项目部将识别的《危险源辨识与风险评价结果一览表》及《不可承受风险的危险源及其控制计划清单》上报公司安全保卫部。公司安全技术部根据分公司、项目部、公司机关的《不可承受风险的危险源及其控制计划清单》，汇总发布公司《不可承受风险的危险源及其控制计划清单》并发放到公司机关各部门。

3 案例分析-建筑施工风险识别及控制案例

2. 工作程序

工作流程：危险源识别→风险评价→确定不可承受风险的危险源→控制措施

3. 确定检查区域和流程

公司和项目部分别组织人员进行危险源的识别与评价工作。

识别的范围包括施工过程、作业区、办公区、项目部临时生活区域。

3 案例分析-建筑施工风险识别及控制案例

4. 危险源识别

采用下述方法识别危险源，并通过**作业条件风险评价法**($D=LEC$)，获得《**危险源辨识与风险评价结果一览表**》见表3-5。

- (1) 调查表法。
- (2) 通过收集国家、地方、行业和有关部门公布的法律、法规、规范、规程等。
- (3) 按照施工工序，逐个鉴别和评价的方法。
- (4) 按照地点或功能区逐个识别的方法。

5. 风险控制措施

根据危险源辨识与风险评价结果，采取下述控制措施，具体内容见表3-6 《**不可接受风险的危险源及控制管理措施清单**》。

表3-5 危险源辨识与风险评价结果一览表（举例说明在钢筋生产过程中）

活动、产品或服务中的危险源		L	E	C	D	控制措施
设备设施缺陷	钢筋拉伸设备维修保养不到位，卷扬机钢丝绳断丝或磨损超过标准未更换	1	1	3	3	由机电人员对该机械传动部位进行打油保养，钢丝绳断丝达到报废标准及时更换，符合安全后方可使用
	钢筋切断机外壳脱落，松动	1	2	7	14	由机电人员进行维修加固
	钢筋切断机刀口有两处破损	3	1	7	21	由机电人员更换，更换后经检查符合安全要求可投入使用
	对焊机作业时，没有配备灭火器材	3	6	3	54	将对焊机周围的易燃物品远离，按照职业健康安全有关管理制度配备干粉或泡沫灭火器
	钢筋机具没有重复接地	1	1	15	15	由机电人员按照JGJ 46-2005要求增加

注：根据作业条件风险评价法(D=LEC)进行判别，级别见表3-6，如D>70，就判断为不可接受风险的危险源

表3-6 不可接受风险的危险源及控制管理措施清单（按事故类别划分）

序号	事故类别	危险源	控制计划		
			目标	安全技术措施	制度或应急预案
1	高处坠落	1. 各种高空作业未使用或正确配带安全防护用品； 2. 高空作业时违章操作； 3. 大风天进行高空作业； 4. 高处防护设施缺损； 5. 高处作业注意力不集中	不发生高处坠落事故	1. 做好“四口”“五临边”的安全防护措施； 2. 六级以上大风，不得在高空作业； 3. 作业过程中不得打闹、要注意周围的情况； 4. 拆除防护设施、措施要经项目批准	高空作业安全管理规定及事故应急预案
2	物体打击	1. 未正确使用各种施工机械； 2. 高处作业时，物品乱扔或未正确放置； 3. 作业未正确佩戴个人防护用品； 4. 各种防护措施未设置、或破损	不发生物体打击事故	1. 按建筑高处作业要求，搭设合格的高处防护措施； 2. 搭设符合专项方案的脚手架，并挂设立网、铺设竹棍； 3. 各种机械做好防护措施； 4. 加强机械保养、监测、检查确保防护措施灵敏、有效； 5. 从安全通道通行，不随意跨越禁行标志	物体打击安全技术措施及安全防护方案

讨论

- 1 分析身边存在的危险源
- 2 分析防止汽车碰撞行人有哪些技术措施与管理措施？
- 3 大家知道的电梯要哪些安全技术措施？
- 4 实验室、寝室防止高压触电哪些安全管理措施？
- 5 计算机能为安全技术与管理措施提供哪些帮助？

本章结束

欢迎沟通交流！

- 陈金玉老师 职业安全与卫生管理
- 程森林老师 环境保护与可持续发展
- 谷振宇老师 工程管理
- 陈玲老师 经济决策