

# HAZOP分析

---

南京工业大学



节点	偏差	原因	后果	安全保护	建议措施
(1) DAP 反应器	无 搅 拌	(1) 搅拌器电动机故障 (2) 搅拌器机械联接故障 (3) 操作人员未启动搅拌	未反应的氮 带 入 DAP 贮槽并释放到封闭的工作区域	氮检测器和报警器	(1) 考虑安装反应器无搅拌时的报警/停车系统 (2) 确保工作区域通风良好, 或者使用封闭的 DAP 贮槽

# I 前言

---

## □ 1.1 HAZOP方法应用现状

- 能够预期分析、发现问题，将危险消灭在最初阶段是人们最想得到的结果。这就是安全评价所要解决的主要问题。
- 危险与可操作性分析方法以其分析全面、系统、细致等突出优势成为目前危险性分析领域最盛行的分析方法之一。





- ❑ 英国石化有限公司制定的《健康、安全 and 环境标准与程序》（HSE8）中明确规定在项目设计阶段必须进行设计方案的HAZOP分析；
- ❑ 德国拜尔公司1997年制定《过程与工厂安全指导》中规定，其所属工厂必须进行HAZOP分析并形成安全评估报告；
- ❑ 美国政府颁布的《高度危险化学品处理过程的安全管理》（PSM）法规中也建议采用HAZOP方法对石油化工装置进行危险评估。

- 
- 在我国，危化品建设项目的验收前评价，建议以安全检查表的方法为主，尽可能以危险和可操作性研究法（HAZOP）为辅。



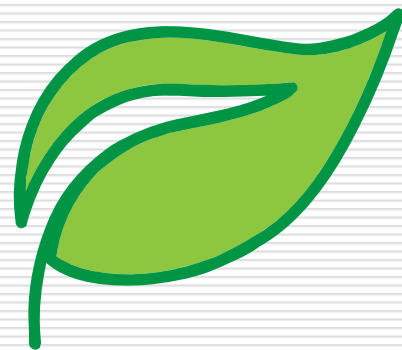
## 1.2 HAZOP方法的使用范围

---

- HAZOP分析既适用于设计阶段，又适用于现有的生产装置。
- 同时，对于连续生产过程和间歇生产过程都可以采用HAZOP分析。



- 
- 在连续过程中，分析的对象确定为管道。
  - 在间歇过程中，分析的对象是主体设备，如反应器等。



- 
- 通过HAZOP分析，能够发现装置中存在的危险，根据危险带来的后果明确系统中的主要危害。
  - 通过HAZOP分析，对于在装置的工艺过程及设备中存在的危险及应采取的措施会有透彻的认识。
-



## 1.3 HAZOP分析的作用

---

- (1) 尽可能将危险消灭在项目实施早期
  - 识别设计、操作程序和设备中的潜在危险，将项目中的危险尽可能消灭在项目实施的早期阶段，节省投资。
  - HAZOP分析组应包括设计者和操作人员等，采用系统分析的研究方法，以便能够识别出设计中存在的潜在危险。HAZOP既适用于新建装置，也适用于在役装置。
-



- HAZOP生成的记录，为企业提供危险分析证明，并应用于项目实施过程。HAZOP提供早期的措施与实际采取措施偏差之间的因果关系，以消除或降低风险。
- HAZOP只是识别技术，不是解决问题的方法。
- HAZOP不能看做纯粹的设计功能检查。HAZOP的优点是系统检查整套装置，而不是像设计人员那样只检查他们自己感兴趣的区域。

---

□ **（2）为操作指导提供有用的参考资料**

□ HAZOP分析为企业提供系统危险程度证明，并应用于项目实施过程。对许多操作，HAZOP分析可提供满足法规要求的安全保障。HAZOP分析确定需采取措施，以消除或降低风险。

---

- 
- HAZOP能够为包括操作指导在内的文件提供大量有用的参考资料，因此应将HAZOP的结果全部告知操作人员和安全管理人員。
  - HAZOP可以减少29%设计原因的事故和6%操作原因的事故。



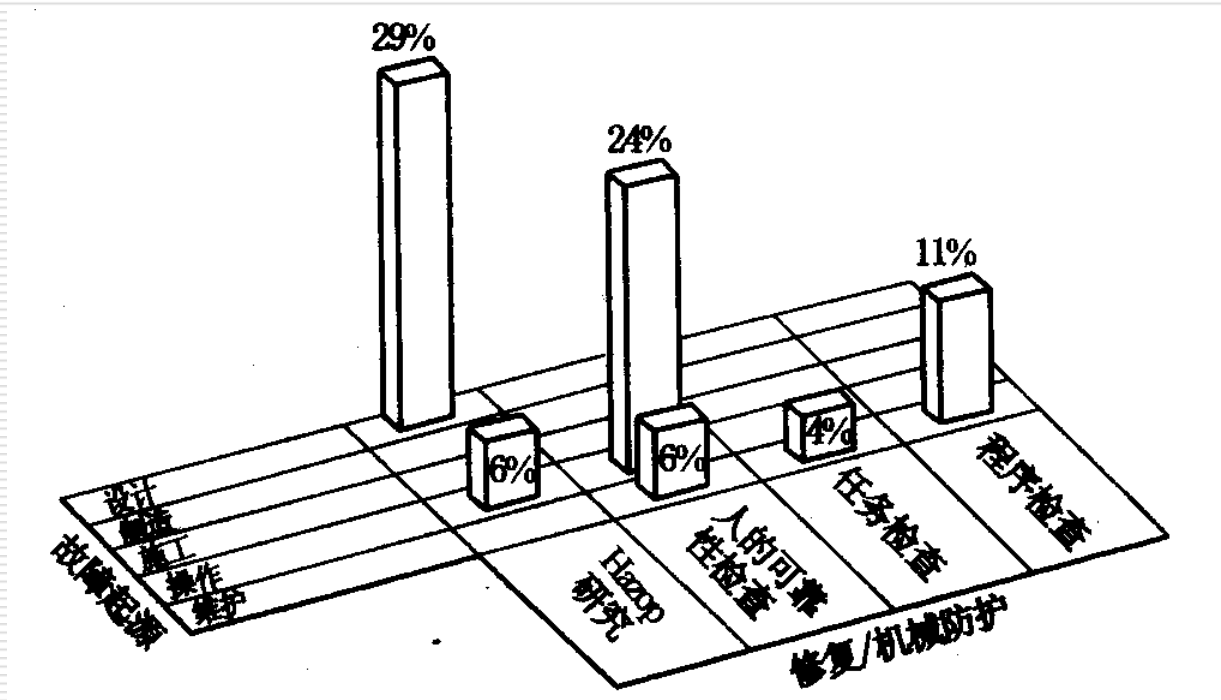


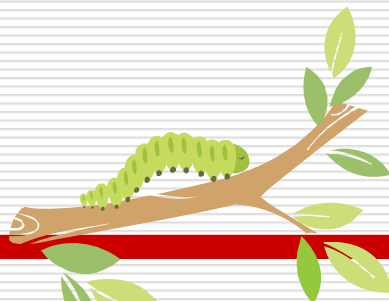
图1—1 HAZOP分析示例

## 2 HAZOP分析方法

---

### □ 2.1 HAZOP方法简介

- HAZOP（Hazard and Operability Analysis，危险与可操作性分析）。
  - HAZOP方法现在已经广泛应用于生产工艺过程，通过对整个工厂的因果分析来确定新的或已有的工程方案、设备操作和功能实现的危险。
-



HAZOP分析是一种用于辨识设计缺陷、工艺过程危害及操作性问题的结构化分析方法，方法的本质就是通过系列的会议对工艺图纸和操作规程进行分析。在这个过程中，由各专业人员组成的分析组按规定的方式系统的研究每一个单元（即分析节点），分析偏离设计工艺条件的偏差所导致的危险和可操作性问题。

- 
- HAZOP分析组分析每个工艺单元或操作步骤，识别出那些具有潜在危险的偏差，这些偏差通过引导词引出，使用引导词的一个目的就是为了保证对所有工艺参数的偏差都进行分析。





## 2.2 HAZOP术语

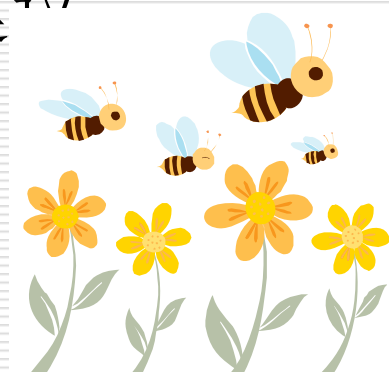
---

- （1）分析节点 指具有确定边界的设备单元，对单元内工艺参数的偏差进行分析。
  - （2）操作步骤 间隙过程的不连续动作；可能是手动、自动或计算机自动控制的操作。
  - （3）引导词 用于定性或定量设计工艺指标的简单词语。
  - （4）工艺参数 与过程有关的物理和化学特性。
-



- （5）工艺指标 确定装置如何按照希望的操作而不发生偏差。
- （6）偏差 分析组使用引导词系统地对每个分析节点的工艺参数进行分析发现的系列偏离工艺指标的情况；偏差的形式通常是“引导词+工艺参数”。
- （7）原因 发生偏差的原因。

- 
- （8）后果 偏差所造成的结果。
  - （9）安全措施 工程系统或调节控制系统。
  - （10）补充措施 修改设计、操作规程，或者进一步进行分析研究的建议



## 2.3 分析节点划分

---

- 对于连续的工艺操作过程，HAZOP分析节点为工艺单元；而对于间歇操作过程来说，工艺单元是指具有确定边界的设备单元；操作步骤是指间歇过程的不连续动作，或者是由HAZOP分析组分析的操作步骤。





- 对于连续工艺过程，分析节点划分的基本原则如下：
- 一般按照工艺流程进行，从进入的PID管线开始，继续直至设计意图的改变，或继续直至工艺条件的改变，或继续直至下一个设备。
- 上述状况的改变作为一个节点的结束，另一个节点的开始。
- 在选择分析节点以后，分析组组长应确认该分析节点的关键参数，并确保小组中的每一个成员都知道设计意图。

## 2.4 偏差确定方法

---

### 2.4.1 引导词法

- 偏差=引导词+工艺参数。
- (1) 通用的引导词



表2-2 HAZOP常用引导词表

引导词	含意	说明
No（空白）	对设计意图的否定	设计或操作要求的指标或事件完全不发生
Less（减量）	数量减少	同标准值比较，数值偏小
More（过量）	数量增加	同标准值比较，数值偏大
Part Of（部分）	质的减少	只完成即定功能的一部分
As Well As（伴随）	质的增加	在完成即定功能的同时，伴随多余事件发生
Reverse（相逆）	设计意图的逻辑反面	出现和设计要求完全相反的事或物
Other Than（异常）	完全代替	出现和设计要求不相同的事或物

---

## □ （2）常用的HAZOP分析工艺参数

□ 流量； 温度； 时间； .....。

## □ （3）偏差的构成

引导词+工艺参数=偏差

---



# 工艺参数分为两类：

---



- 概念性的工艺参数，当与引导词组合成偏差时，常发生歧义，如“过量+反应”可能是指反应速度快，或者说是指生成了大量的产品。
- 具体的工艺参数，有些引导词与工艺参数组合后可能无意义或不能称之为“偏差”，如“伴随+压力”，或者有些偏差的物理意义不确切，应拓展引导词的外延和内涵。如：
  - ①对“时间+异常”，引导词“异常”就是指“快”或“慢”；
  - ②对“位置”、“来源”、“目的”而言，引导词“异常”就是指“另一个”；
  - ③对“液位”、“温度”、“压力”而言，引导词“过量”就是指“高”。

## 2.4.2 基于偏差库的方法

---

- 一般是在HAZOP分析会议之前，由HAZOP组织者或记录员对标准偏差库进行调查，以确定每个节点或操作步骤的哪些偏差是适当的，形成要进行分析的偏差库。



## 2.4.3 基于知识的方法

---

- 是一种特殊的基于引导词的HAZOP分析，但所使用的引导词部分或全部来自分析组的知识 and 特殊的检查表。



## 2.5 偏差分析

---

- 分析的内容包括原因、后果、保护措施、建议措施。
  - 原因是指引起偏差发生的原因。
  - 后果是指偏差造成的后果。
  - 保护措施是指设计的工程系统或调节控制系统。
  - 建议措施是指修改设计、操作规程，或者进一步进行分析研究的建议等。
-

## 2.6 HAZOP分析报告

---

### 2.6.1 HAZOP分析表

- 必须记录所有重要的信息。通常HAZOP分析会议以表格形式记录，如表2-3。

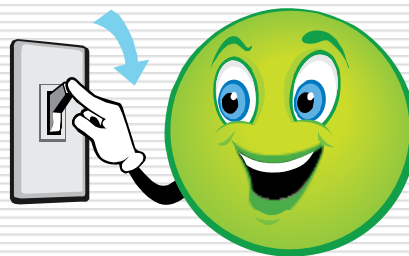


表2—3 HAZOP 分析记录表

分析人员：

图纸号：

会议日期：

版本号：

--	--	--	--	--	--

分析节点或操作步骤说明：确定设计工艺指标

--	--	--	--	--	--

# HAZOP分析可以分为以下四种方法：

---

- **（1）原因到原因分析法** 在原因到原因的方法中，原因、后果、安全保护、建议措施之间有准确的对应关系。特点：分析准确，减少歧义。如表2-4所示。



表2－4 HAZOP 原因分析表

偏差	原因	后果	安全保护	建议措施
偏差1	原因1	后果1 后果2	安全保护1 安全保护2 安全保护3	不需要
	原因2	后果1	安全保护1	措施1
	原因3	后果2	无	措施2



- 
- **（2）偏差到偏差分析法** 对某个偏差所列出的所有原因并不一定产生所列出的所有后果，即某偏差的原因 / 后果 / 保护设施之间没有对应关系（见表2-5）。



表2—5 HAZOP偏差分析表

偏差	原因	后果	安全保护	建议措施
偏差1	原因1 原因2 原因3	后果1 后果2	安全保护1 安全保护2 安全保护3	措施1 措施2

特点是省时、文件简短。



- （3）只有异常情况的**HAZOP**分析表 表中包含那些分析组认为原因可靠、后果严重的偏差。优点是分析时间及表格长度大大缩短，缺点是分析不完整。
- （4）只有建议措施的**HAZOP**分析表 只记录分析组作出的提高安全的建议措施。能最大地减少HAZOP分析文件的长度，节省大量时间，但无法显示分析的质量。

## 2.6.2 HAZOP分析报告

---

- 在上述工作的基础上，将会议记录结果进行整理、汇总、提炼出恰当的结果，形成HAZOP分析报告文件。



# 3 HAZOP分析实施过程

---

- HAZOP分析需要将工艺图或操作程序划分为分析节点或操作步骤，然后用引导词找出过程的危险，识别出那些具有潜在危险的偏差，并对偏差原因、后果及控制措施等进行分析。

# 一般的原则为：

---

- ❑ ①每个偏差的分析及建议措施完成之后再进行分析；
- ❑ ②在考虑采取某种措施以提高安全性之前应对与分析节点有关的所有危险进行分析。



# 整个HAZOP的实施过程包括以下几方面：

---

- ❑ ①分析的准备；
- ❑ ②HAZOP分析；
- ❑ ③编制分析结果报告；
- ❑ ④行动方案落实。



## 3.1 分析的准备

---

### 3.1.1 定义目标与范围

- ❑ ①评估节点最好在PID图上定义；
  - ❑ ②评估时的设计状态，用定义PID版次状态来表示；
  - ❑ ③影响程度和应考虑邻近工厂；
  - ❑ ④评估程序包括采取的行动和最终的报告；
  - ❑ ⑤涉及对邻近或相关工厂的整体评估的准备。
-



# HAZOP分析进度表依赖于：

---

- ❑ ①项目执行的日期；
- ❑ ②可用的文件；
- ❑ ③可用的人力资源。



## 3.1.2 获取必要的资料

---

□ （1）一是准备用于控制HAZOP项目实施的项目管理资料：

- 项目工作计划；
  - HAZOP分析项目的目标和策略；
  - 项目管理实施细则；
  - HAZOP分析项目实施程序；
  - 培训材料、会议记录管理、资料管理等。
-

---

## □ （2）二是需要企业提供的技术资料：

- 工艺仪表流程图（PID）；
- 工艺流程图（PFD）；
- 装置设计工艺包；
- 装置工艺技术规范；
- 装置安全技术规范；
- 装置岗位操作规程；





- 平面布置图；
- 工艺介质数据表；
- 设备数据表；
- 管道数据表；
- 安全附件资料；
- 装置操作与维护手册；
- 历次事故记录；
- 当地天气状况数据。
- 当所有的资料准备好时，就可以开始HAZOP分析。

### 3.1.3 选择分析小组

---

- 对于大型的、复杂的工艺过程，分析组一般由5～7人组成较为理想，包括设计、工艺或工程、操作、维修、仪表、电气、公用工程等。
- 对相对较小的工艺过程，3～4人的分析组就可以了。
- HAZOP组长、工艺技术人员和设备技术人员的职责。

# (1) HAZOP组长

---

- 是所分析装置 / 设备的管理者。小组领导的职责是：
- 明确组员的职责；
- 与工厂其他相关部门进行协调；
- 保持小组的分析工作的方向；
- 控制工作进度；
- 实施质量检查和数据的审核；
- 停止和提交已完成的项目。



## （2）工艺技术人员

---

- ❑ 装置HAZOP分析节点的划分；
- ❑ 确定系统和设备的工艺操作条件；
- ❑ 根据设备的工艺条件、环境、材质和使用年限等评价失效机理的类型、敏感性和对设备的破坏程度。



### (3) 设备技术人员

---

- ❑ 职责是确定设备的条件数据和历史数据。
- ❑ 提供所需的装置和设备的设计数据和规范；
- ❑ 提供对必要的历史检测数据的比较；
- ❑ 进行偏差的设备方面的原因、后果和措施等。





### 3.1.4 将资料变成适当的表格并拟定分析顺序

---

- 这个阶段的所需的时间与过程的类型有关。
  - 对于连续过程而言，准备工作较小。在分析会议之前使用已更新的图纸确定分析节点，保证每一位分析人员在会议上都有这些图纸。
  - 对于间隙过程而言，准备工作量通常更多些，主要因为操作过程更加复杂。
-

## 3.1.5 安排会议

- 一旦资料收集齐全时，小组领导就负责组织会议，合理制定会议计划。

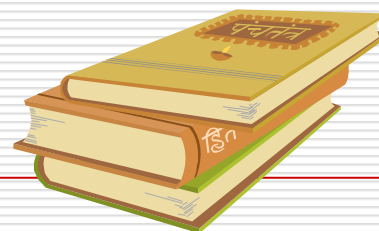


## 3.1.6 HAZOP分析培训

---

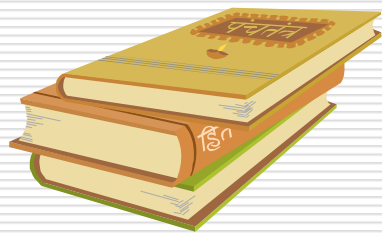
- 培训不仅是为了使工作人员具备实施HAZOP项目所需要的能力，使之能担负责任，而且还是一个企业与HAZOP技术服务商进一步沟通的机会。





□ 第一阶段培训的对象是企业的管理层和参与HAZOP项目的有关部门和人员，培训内容主要对HAZOP方法的理解和项目的管理和控制方面，希望使企业的管理层和各职能部门能够认可HAZOP方法和了解自己在整个项目中的职责；

- 
- 第二阶段的培训主要是面向HAZOP项目的具体参与者，即HAZOP工作组的人员。培训主要是具体的HAZOP的工作要求和流程，明确HAZOP小组成员在这个团队中的角色，培训完成指定工作所需要的技能。



# 培训的内容可以包括：

---

- HAZOP原理；
  - HAZOP风险评估的原理及所采用HAZOP方法的介绍；
  - HAZOP工作组的组成和职责；
  - 数据的采集；
  - 数据的审核和缺失数据的处理。
-

## 3.2 HAZOP分析

---

- HAZOP分析需要将工艺图或操作程序划分为若干分析节点或工艺单元，分析组对每个节点使用所有引导词依次进行分析，得到一系列结果：
- （1）偏差原因、后果、保护装置、建议措施。
- （2）需要更多的资料，才能对偏差进行进一步的分析。
- HAZOP分析过程中重要操作如下：

## 3.2.1 划分节点

---

### 划分节点时应注意以下因素：

- ❑ ①单元的目的与功能；
- ❑ ②单元的物料；
- ❑ ③合理的隔离 / 切断点；
- ❑ ④划分方法的一致性。





## 3.2.2 解释工艺指标或操作步骤

---

- 在选择分析节点以后，分析组组长应确认该分析节点的关键参数，并确保小组中的每一个成员都知道设计意图。



### 3.2.3 确定有意义的偏差

---

- 根据引导词法、基于偏差库的方法和基于知识的方法等三种偏差确定方法，结合具体的分析设备确定出有实际意义的分析偏差。



## 3.2.4 对偏差进行分析

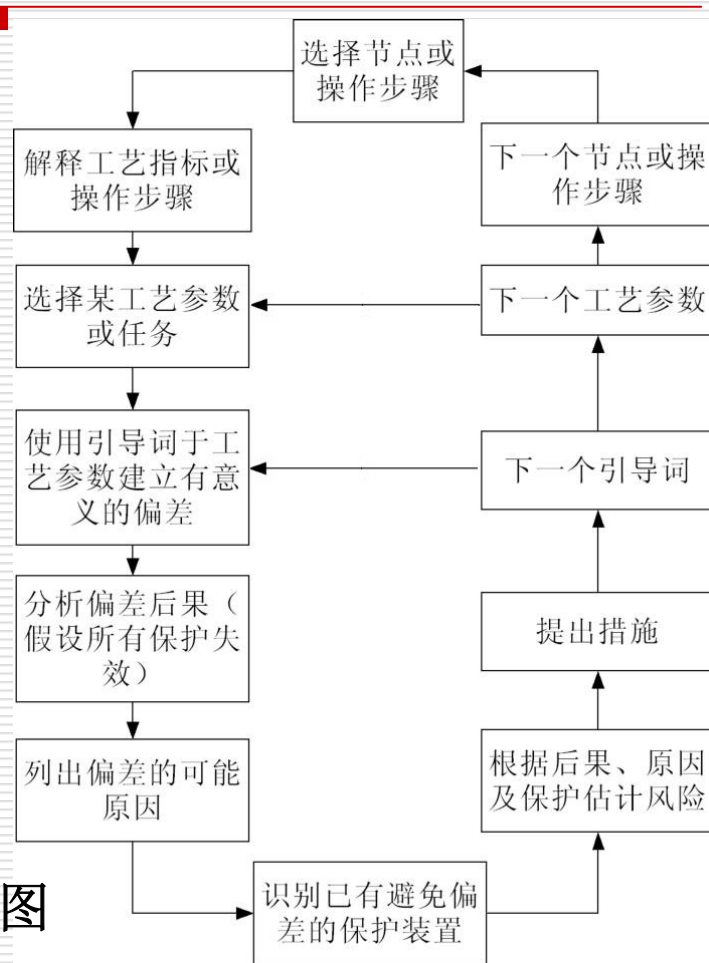


图3—2 基于引导词法的HAZOP分析流程图

# HAZOP分析流程图的意义：

---

- ❑ ①一次选择一个节点进行分析；
- ❑ ②选择该节点的一个工艺参数；
- ❑ ③使用引导词建立有意义的偏差；
- ❑ ④分析偏差后果、列出可能的原因、提出措施。



为尽量减少那些悬而未决的问题，  
一般的原则为：

---

- ①在一个偏差的分析及建议措施完成之后再进行分析；
  - ②在考虑采取某种措施以提高安全性之前应对与分析节点有关的所有危险进行分析。
  - HAZOP分析的主要目的是发现危险或问题，而不是解决危险或问题。
-

## 3.3 编制分析结果文件

---

- HAZOP分析结果应由秘书精确地记录下来。
- HAZOP分析使用许多的表格，可以采用计算机化的系统产生报告。
- 会议记录是HAZOP分析的一个重要组成部分，会议记录人员将分析讨论过程中所有重要的内容精确地记录在事先设计好的工作表内。

表3—1 HAZOP会议记录表

分析人员： 图纸号：

会议日期： 版本号：

序号	偏差	原因	后果	安全保护	建议措施
分析节点或操作步骤说明，确定设计工艺指标					

## 3.4 行动方案的落实

---

- 通过HAZOP分析可以提出一些装置改进的安全措施。

这种审查有三个目标：

- ①确保所有的整改不损害原来的评估；
- ②审查资料，特别是制造商的数据；
- ③确保已经执行了所有提出的推荐措施。





## 3.5 HAZOP分析示例

---

### 3.5.1 氨与磷酸混合反应生成磷酸 氢二铵（DAP）HAZOP分析

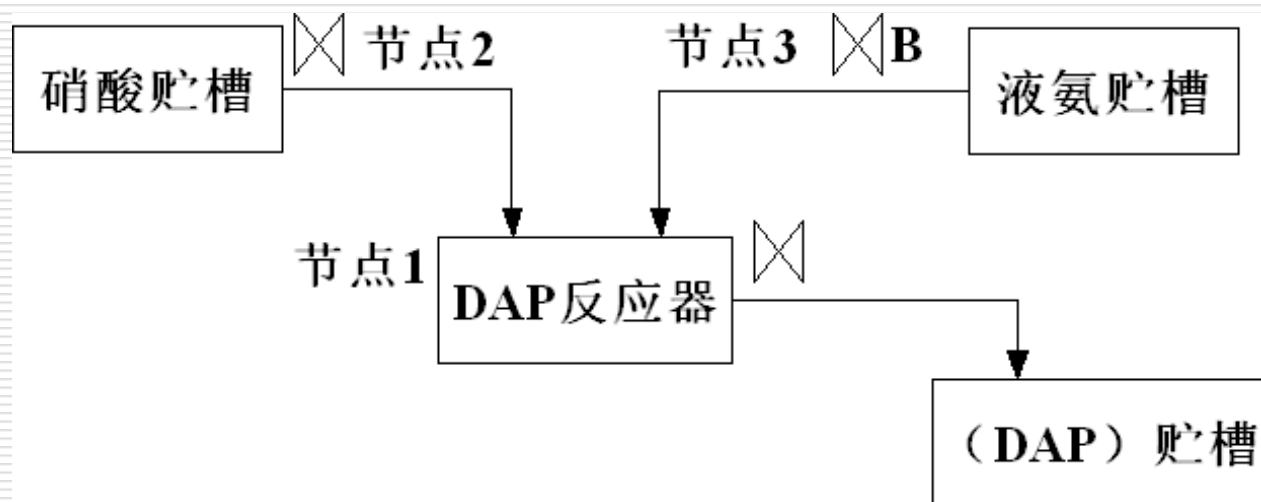
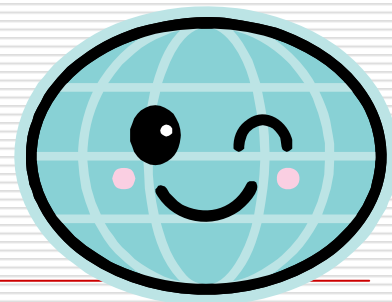


图3—3 DAP工艺流程简图

- 
- ①分析节点：**DAP**反应器；
  - ❑ ②设计工艺指标：在一定的温度和压力下搅拌反应；
  - ❑ ③选择引导词：**NO**（空白）；
  - ❑ ④工艺参数：搅拌；
  - ❑ ⑤偏差：空白+搅拌=无搅拌；
  - ❑ ⑥后果：未反应的氨带入**DAP**贮槽并释放到封闭的工作区域。

# 原因：

---

- ❑ ①搅拌器电动机故障；
- ❑ ②搅拌器机械联接故障；
- ❑ ③操作人员未启动搅拌。
- ❑ 停电
- ❑ 安全保护： 定期维护氨检测器和报警器。



## 建议措施：

---



- ①考虑安装反应器无搅拌时的报警 / 停车系统；
- ②确保工作区域通风良好，或者使用封闭的DAP贮槽。
- HAZOP分析内容记录见表3—2。

表3-2 DAP工艺过程HAZOP分析结果表（部分）

节点	偏差	原因	后果	安全保护	建议措施
(1) DAP 反应器	无 搅 拌	(1) 搅拌器电动机故障 (2) 搅拌器机械联接故障 (3) 操作人员未启动搅 拌	未反应的 氮 带 入 DAP 贮 槽并释放 到封闭的 工作区域	氮检测器 和报警器	(1) 考虑安装反应器无 搅拌时的报警/停车系 统 (2) 确保工作区域通风 良好, 或者使用封闭的 DAP 贮槽

# 5 HAZOP风险评估

---

- 作为隐患辨识的主要方法，HAZOP分析可以找出装置在设计中存在的隐患。而随着风险技术发展，将风险矩阵应用于HAZOP分析成为了可能，并形成了一种新的分析方法——HAZOP风险评估。利用事故的后果严重等级和事故发生频率等级在 $5 \times 7$ 风险矩阵中计算事故的风险等级。

## 5.1.1 确定事故后果等级

表5—1 后果等级分类表

等级(S)	严重程度	说·明
1	微后果	职员——无伤害 公众——无任何伤害 环境——事件影响未超过界区 设备——最小的设备损害，估计损失低于 10000 元，没有产品损失
2	低后果	职员——很小伤害或无伤害，无时间损失 公众——无伤害、危险 环境——事件不会受到管理处的通告或违反允许条件 设备——最小的设备损害，估计损失大于 10000 元，没有产品损失





续上表

等级(S)	严重程度	说·明
3	中后果	职员——一人受到伤害，不是特别严重，可能会损失时间 公众——因气味或噪声等引起公众的报怨 环境——释放事件受到管理处的通告或违反允许条件 设备——有些设备受到损害，估计损失大于100000元或有小量的产品损失
4	高后果	职员——一人或多人严重受伤 公众——一人或多人受伤 环境——重大泄漏，给工作场所外带来严重影响 设备——生产过程设备受到损害，估计损失大于1000000元或损失部分产品
5	很高后果	职员——人员死亡或永久性失去劳动能力的伤害 公众——一人或多人严重受伤 环境——重大泄漏，给工作场所外带来严重的环境影响，且会导致直接或潜在的健康危害 设备——生产设备严重或全部损害，估计损失大于10000000元或产品严重损失

## 5.1.2 确定事故频率等级

---

### □ (1) 不考虑保护措施的事故频率 ( $F_u$ )

□ ①事故频率 ( $F_u$ ) 由初始原因事件频率和促使原因事件发展为后果事件的条件事件发生的概率决定。

□ ②事故频率 ( $F_u$ ) 计算如下：

$$\square F_u = F \times P_1 \times P_2 \times \dots$$

□ 式中  $F_u$ ——事故发生的频率；

□  $F$ ——初始原因事件频率；

□  $P_1$ 、 $P_2$ ...——条件事故发生的概率；（条件1，条件2，...）

## (2) 考虑保护措施的事故频率 ( $F_m$ )

---

- ①保护措施是指可以独立的行使安全保护功能而不受其他保护措施失效影响的安全保护措施。
- ·自动行动的安全联锁系统
- ·基本控制、报警系统
- ·安全仪表系统
- ·固有的安全设计特征
- ·操作人员的干预
- ·压力释放系统
- ·公众紧急响应
- ·工厂紧急响应
- ②常用的保护措施及失效概率统计数据见表5—2:

表5—2 常用的保护措施及失效概率统计数据

独立的保护措施种类	失效概率（PFD, Probability of failure on demand）
阀门	0.1
止逆阀	0.001
安全阀	0.001
静电保护	0.001
减压阀	0.001
爆破片	0.001
冷冻水	0.001
电	0.001
报警	0.001
呼吸阀	0.001

---

□ ③保护措施总失效概率（TPFD——Total PFD）：

□  $TPFD = PFD1 \times PFD2 \times \dots$

□ ④事故频率（Fm）计算如下：

□  $Fm = Fu \times TPFD$

□ 式中Fm——考虑保护措施的事故频率；

□ Fu——不考虑保护措施的事故频率；

□ TPFD——保护措施总失效概率。



### (3) 事故频率等级分类（见表5—3）。

---

表5—3 事故频率等级（L）分类表

频率等级（L）	频率说明（F）
1 →	后果频率= $10^{-6} \sim 10^{-7}$ /年
2 →	后果频率= $10^{-5} \sim 10^{-6}$ /年
3 →	后果频率= $10^{-4} \sim 10^{-5}$ /年
4 →	后果频率= $10^{-3} \sim 10^{-4}$ /年
5 →	后果频率= $10^{-2} \sim 10^{-3}$ /年
6 →	后果频率= $10^{-1} \sim 10^{-2}$ /年
7 →	后果频率= $1 \sim 10^{-1}$ /年

## 5.1.3 确定事故风险等级

---

- 风险是事故后果严重程度与发生频率的结合。
- ①只考虑被动安全防护的潜在风险（RRu）；
- ②同时考虑保护措施和被动安全防护的剩余风险（RRm）。
- 结合确定的事故后果等级和事故频率（Fu或Fm）等级，在如图5—2所示5×7风险矩阵中就可以查出事故的潜在风险和剩余风险。

严重性		可能性				
		1 描述: 可能性下限:1e-5 可能性上限:1e-4	2 描述: 可能性下限:1e-4 可能性上限:1e-3	3 描述: 可能性下限:1e-3 可能性上限:1e-2	4 描述: 可能性下限:1e-2 可能性上限:1e-1	5 描述: 可能性下限:1e-1 可能性上限:1
	5 描述: 财产损失:>1000k 人员伤亡: 环境污染: 触犯法律: 声誉损害:	I	II	III	V	V
	4 描述: 财产损失:1000k-1000k 人员伤亡: 环境污染: 触犯法律: 声誉损害:	I	II	III	IV	V
	3 描述: 财产损失:100k-1000k 人员伤亡: 环境污染: 触犯法律: 声誉损害:	I	II	II	III	IV
	2 描述: 财产损失:10k-100k 人员伤亡: 环境污染: 触犯法律: 声誉损害:	I	I	II	II	III
	1 描述: 财产损失:<10000 人员伤亡:0 环境污染: 触犯法律: 声誉损害:	I	I	I	II	III



# 5.1.4 风险分析

表5－4 风险等级说明

风险等级（RR）	说 明
None	不需采取行动
Opt	可选择性的采取行动（评估可选择的方案）
Next	选择合适的采取行动（通知企业管理部门）
Immed	立即采取行动（通知企业管理部门）

## 5.1.5 HAZOP风险分析表格形式

表5-6 事故风险分析表

风险分析表号: ↕			
参考资料 (PID) 号: ↕	Rev.n <sup>0</sup> ↕	日期↕	↕
工厂名称: ↕		装置名称: ↕	
工艺单元: ↕		分析节点: ↕	
要避免的事故↕	↕		
事故后果↕	人员↕	↕	
	环境↕	↕	
	财产↕	↕	

## 续上表

事故的必要引发事件↵	(1) ↵	F=↵	
	(2) ↵	P <sub>1</sub> =↵	
	(3) ↵	P <sub>2</sub> =↵	
	(4) ↵	P <sub>3</sub> =↵	
事故频率↵	F <sub>u</sub> =F×P <sub>1</sub> ×P <sub>2</sub> ×P <sub>3</sub> ↵		
由初始原因事件到事故发生造成事故后果的剧情描述：↵			
描述：↵			
↵			
事故的严重等级： 人员：↵			
环境：↵			
财产损失：↵			
↵			
↵	后果等级↵	概率等级↵	风险等级↵
不考虑安全预防措施时事故的危险程度↵	↵	↵	↵
预防措施：降低事故发生的频率↵		TPFD↵	

## 续上表

安全保护层 1: ↵ 安全保护层 2: ↵ .....↵		↵	
防护措施：降低事故后果的严重程度↵			
↵			
↵			
↵	后果等级↵	概率等级↵	风险等级↵
考虑安全预防措施时事故的危險程度↵	↵	↵	↵
提高安全水平的建议措施：↵ （1）↵ （2）↵ ↵			
↵	后果等级↵	概率等级↵	风险等级↵
考虑添加新安全防护措施后事故的危險程度：↵	↵	↵	↵
↵			
关键安全参数↵	↵		

# 6 计算机辅助HAZOP分析

---

## 6.1 SDG技术

人工HAZOP安全评价技术存在以下弱点：

- ❑ 人工难于处理大规模的数据、信息和计算；
  - ❑ 人工分析大规模系统无法得到完备的结果；
  - ❑ 口头讨论方式不严格，讨论时易出现概念混乱；
  - ❑ 人工评价得出的文本（说明）不规范，事后难于看懂；
  - ❑ 人工评价费时、费力、成本高。
-

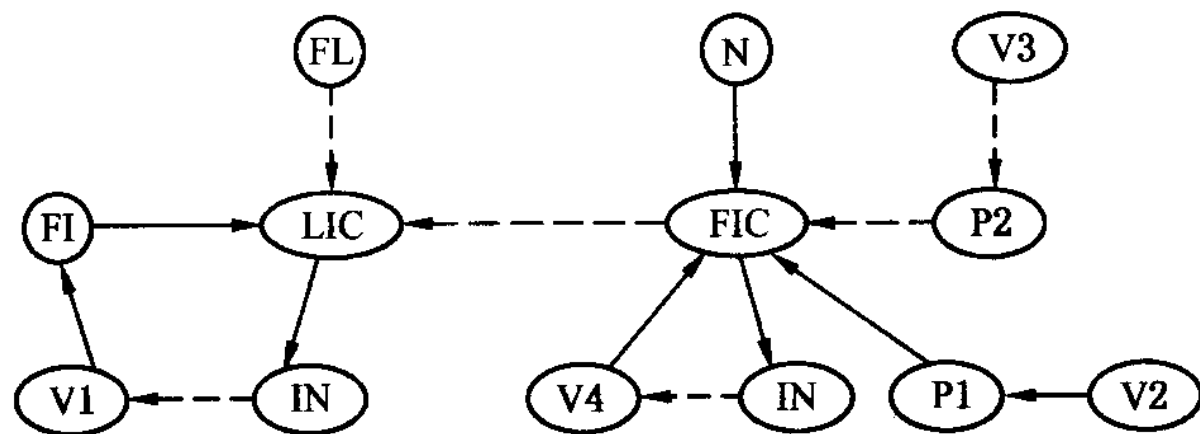


- 所谓**SDG**，即符号定向图（Signed Directed Graph），是一种由节点（nodes）和节点之间有方向的连线（又称支路）构成的网络图。
- SDG看似简单，但却能够表达复杂的因果关系，并且具有包容大规模潜在信息的能力。图中的每一个节点都有表示一个物理变量，并且都可能取“+”、“-”、“0”三种状态中的一种，其中某个节点取“+”值表示该物理变量超过了允许的上限，取“-”值表示低于允许的下限，取“0”表示变量处于正常范围。

- 
- 图6—1的SDG所表达的所有节点可能取得不同状态的组合，又称为样本（patterns）数。组合的样本总数

$$P_{\max} = 3^N$$





FI:水罐上游入口流量  
N:泵电机功率  
P2:泵出口压力

FL:水罐漏水流量  
FIC:泵出口流量  
IN:调节器输入

LIC:水罐液位  
P1:泵入口压力  
OUT:水调节器输出

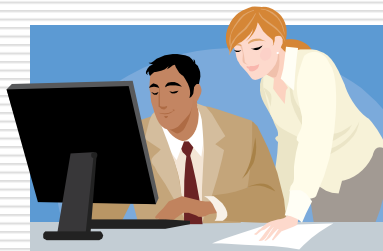
图6-1 离心泵与液位系统SDG模型



- 
- 由于有向支路的约束，计算 $P_{\max}$ 时节点之间的位置不能调换，因此， $P_{\max}$ 的计算符合“密码锁”的规律。SDG具有包容大量信息的能力，在人工智能领域，称SDG模型为深层知识模型，运用SDG模型揭示复杂系统的变量间内在因果关系及影响，是定性仿真的一个重要分支。

---

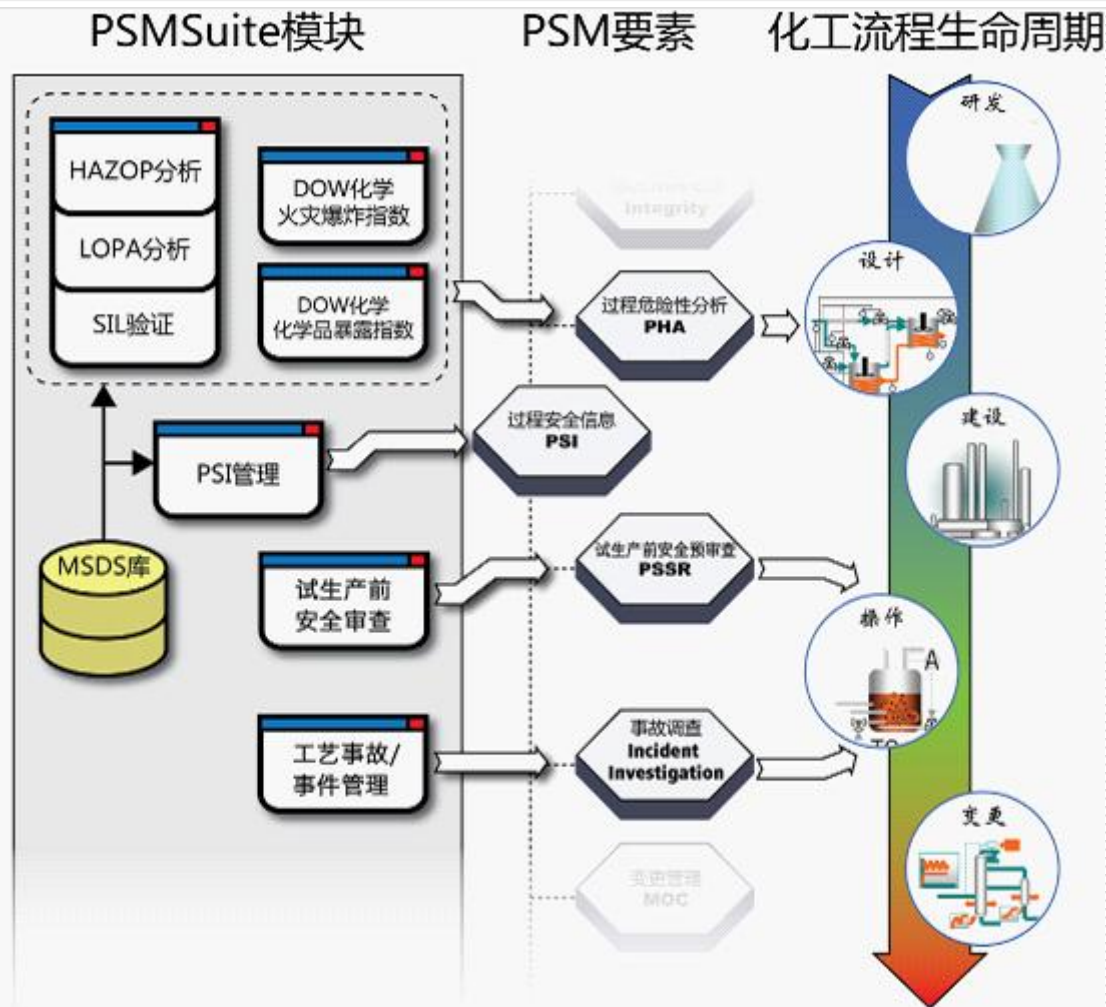
□ SDG方法的缺点是：用于故障诊断难于早期发现；多义性推理结论导致分辨率差；如果模型不准，将导致诊断失误或结论的不完备性；计算大系统时，费时费力，成本高、实时性不好。



---

□ 纵观计算机辅助HAZOP技术的发展，可以说经历了两个阶段，即早期的逻辑化计算机辅助HAZOP阶段和近期的智能化计算机辅助HAZOP阶段，如图6—2所示：





- 
- “逻辑化”是从形式上辅助人工进行HAZOP分析。
  - 智能化方法可以划分为两大类：基于历史数据的经验方法和基于模型的仿真方法。基于历史数据的经验方法又称为浅层知识的“专家系统”，此类系统由知识库和推理机组成，知识库中存有以规则形式表达的经验信息。基于模型的危险分析方法又分为定性模型分析和定量模型分析两类。由SDG模型推理建立的专家系统又称为深层知识专家系统。



- 计算机辅助HAZOP今后的发展方向是：以智能化为核心，结合浅层知识和深层知识的“专家系统”各自的优点，采用动态仿真技术进行案例试验，开发具有综合优势的自动HAZOP软件，同时以逻辑化辅助HAZOP软件为下游自动生成HAZOP文件。