



## RAST用户手册



版本：2.0

版本发布日期：2019年3月25日

文件拥有者：Louisa Nara, CCPS全球技术总监

# 前 言

为加快CCPS相关资源的中文转化，促进相关过程安全资源在国内的广泛传播，CCPS中国分部于2017年9月发起“CCPS出版物翻译计划”，旨在联合各界有志为中国过程安全事业贡献的人员，共同合力，加速中国过程安全水平的整体提升。

该计划由CCPS中国分部主任赵东风教授指导，CCPS中国分部副主任孟亦飞博士具体组织实施。在全国范围内招募形成了一支50余人的志愿者团队，团队成员覆盖20余家企业、高校、咨询机构。

RAST用户指南是志愿者团队发起的第三个翻译项目，参加该项目的成员如下：

FMC	张振香
漳州古雷海腾码头	张懿晨
万华化学集团股份有限公司	潘文超
西安交通大学	张静文
暨南大学	杨慧芳
北方工业大学	韩玉杰
阿朗新科高性能弹性体（常州）有限公司	李 晶
华南理工大学广州学院	陈 晨
中国化工集团有限公司、第一届化工安全复合型人才高级研修班	李 宁
辉瑞制药、第二届化工安全复合型人才高级研修班	陈树权
万华化学、第三届化工安全复合型人才高级研修班	唐 鹏（最终校核）
万华化学、第三届化工安全复合型人才高级研修班	王金锁（最终校核）
万华化学、第三届化工安全复合型人才高级研修班	刘佳耀（最终校核）
中石油克拉玛依石化、第三届化工安全复合型人才高级研修班	陈 勇（最终校核）

十分感谢他们在百忙之中牺牲个人时间为本项目提供无偿奉献，也感谢他们所在公司对他们参与本项目的支持。

在翻译过程中，陶氏化学的卢朋慧为翻译者进行了RAST软件介绍，加深了翻译成员的理解，为翻译工作提供了巨大的助力，十分感谢他的帮助。

尽管翻译及校核工作花费了志愿者们的大量时间，但仍不能保证所有翻译内容都是完全准确的，“CCPS出版物翻译计划”不对翻译过程中出现的错误以及由此带来的相关问题而负责。

# 风险分析筛选工具用户手册

## 目的

本参考文件供RAST用户及风险筛选工具培训课程使用。

## 反馈要求

请通过CCPS网站([www.aiche.org/ccps](http://www.aiche.org/ccps))就本文的内容向RAST委员会提出反馈意见或评论。

## 修订历史:

本文件的最后部分附有完整修订记录

## 声明

我们诚挚的希望这份文件中的信息能够提升整个行业的安全水平；然而，美国化学工程师协会(AIChE)及其顾问、化学过程安全中心(CCPS)技术指导委员会和分委员会成员、其雇主、官员和董事以及陶氏化学公司及其雇员均未明确或暗示地保证或表示本文件所列信息内容的正确性或准确性。(1)美国化学工程师学会(AICHE)、其顾问、化学过程安全中心(CCPS)技术指导委员会和小组委员会成员、其雇主、其雇主的官员和董事，或陶氏化学公司及其雇员，(2)及本文件的使用者，在这两者之间，任何因使用或错用该本文中信息而导致的后果，用户需自负法律责任。

版权©2019

美国化学工程师协会

## 1. 介绍

### 针对用户

风险分析筛选工具（RAST）软件的针对用户是需要对已建和待建工业生产设施进行筛选等级危害评估或风险分析(如保护层分析)的人员，包括：

- 制造（生产）人员
- 研究与开发工程师
- 工艺工程师
- 其他工艺安全角色

用户手册目标：

RAST手册的手册纲要：

- 熟悉RAST工具，以便评估小组在主席和工艺安全人员的帮助下，能够进行风险筛选及风险评估。
- 提供一个演示示例，使用户了解这一工具的局限性，以及何时使用更先进的方法或聘请专题专家。

### 章节

在“风险分析筛选工具用户手册”中有9个章节，包括：

1. 导言
2. 开始使用RAST
3. 化学特性
4. 反应危害的评估
5. 补充输入和报告
6. 场景发展
7. 保护层分析
8. 案例研究
9. 总结

## 过程风险管理

工艺风险是一种以可能性和严重程度为标准，判定事故造成的人员伤害、环境破坏或经济损失。风险管理是对分析、评估和控制相关的管理政策及流程的系统化应用。它采用风险分析和风险评估相结合的方法。过程风险管理旨在通过管控人、财产和环境的风险，长期不断改善制造工厂的安全、健康和环境绩效。RAST通过每个公司特定的标准为用户持续进行评估，以此支持风险分析。

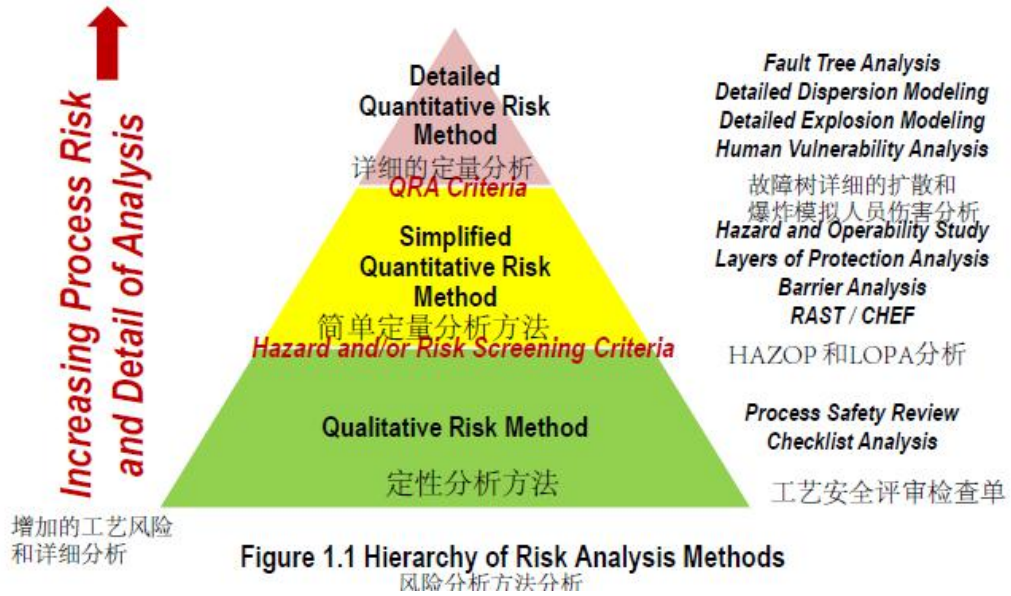
## RAST是什么？

RAST是一个过程安全和风险分析筛选工具的集合，基于以下输入的通用信息，可以协助使用者进行风险识别和风险分析(HIRA)的研究。包括：

- 陶氏火灾爆炸指数 (FEI)
- 陶氏化学品暴露指数 (CEI)
- 反应危害评价
- 常见场景的识别
- 危害与后果评价概要
- 安全泄放装置泄放流体筛选
- 风险分析（改进的保护层分析或LOPA）

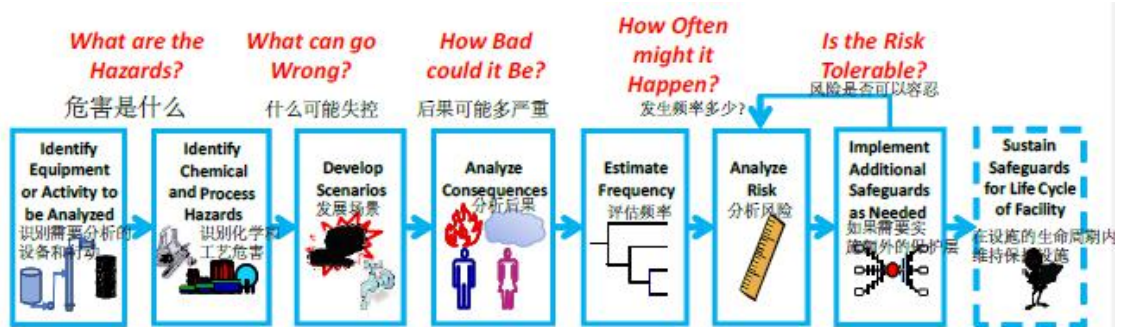
RAST作为一种具有高效率的工具，旨在帮助评估小组进行危险识别和风险分析(HIRA)的研究，在强化公司规定和准则的同时，为危害识别和风险分析团队提供团队间一致的标准。它利用简化的、经验法来量化危险、后果和风险。这些方法质量都经过了验证，它们和其他公司开发出售的复杂软件预测的结果也有相当的吻合度。

RAST弥补了定性和详细定量风险评估之间的差异，（从而使其在高风险场景应用中提供更加严格和更多细节上的评估(图1.1)。在某些（超出RAST评估能力的）情况下，可能需要用其他软件或严格的评估方法来满足公司的风险分析要求。对于这些情况，RAST在整体研究中可兼容其他软件或方法（包括定性估计的输入。



危险识别和风险分析-是一个汇总性术语，包括在设施的整个生命周期内确定危险和评估风险的所有活动，以确保对雇员、公众或环境的风险始终控制在组织的容忍范围内。根据建议的危险识别和风险分析 (HIRA) 的工作流程 (图1.2)，RAST来回答以下基本问题：

- 危险是什么？
- 什么可能出错？
- 它会有多糟糕？
- 它可能发生多频繁？
- 风险是否可以承受？



**Figure 1.2 Hazard Identification and Risk Analysis Work Flow**  
 危害识别和风险识别工作流程

RAST及相关的化学危害工程基础 (CHEF) 资料是以按照特定顺序进行HIRA任务为基础的。任务执行的顺序是基于总体工作流程的，这样特定估计的结果 (例如源模型) 可以作为后续任务的输入 (例如蒸汽扩散)。RAST被设定为以最少信息为起点，随着演算进程添加更多的信息，以改进分析和生成附加的报告。

**RAST中HIRA的总体工作流程包括：**

**识别我们打算进行分析的设备或活动。** RAST使用含有特定化学品或化学混合物的特殊设备的操作来定义该活动。例如，储罐、反应堆、管网等的操作。需要输入的信息为化学数据、设备设计信息、操作条件和工厂布局。

识别化学品和工艺危害，或“对人、财产或环境有潜在危害的的化学或物理特性”。RAST同时考虑与化学品和操作相关的危害。化学危害包括易燃性、毒性、腐蚀性和反应性(储存的化学能量)。操作上的危害包括储存的压力-体积能量、高温或低温(热烧伤的可能性潜在热伤害)，以及某种程度上的电导率(静态放电的潜力)。RAST包含人为指定的筛选参数(例如考虑易燃性危害的闪点、考虑毒性危害的ERPG-3浓度等)，来帮助确定哪些危害需要考虑。

RAST包含了一个化学性质数据表(截至本手册发行的日期为250种化学品)，用于量化危险，(和)在源模型中用于确定泄漏率。用户可以根据需要在HIRA研究过程中输入额外化学品的性质。对于化学性质，有几个限制，其中最重要的是蒸汽被视为理想气体，热力学性质与温度呈简单的线性关系。一些在临界点(临界温度和临界压力)附近操作的化学过程(/工艺)的泄漏源模型将比在正常沸点或低于正常沸点的过程(/工艺)更不精确。

每个公司都有能力更新RAST隐藏工作表中的默认筛选参数(来适应自己的特定标准)。CCPS(不偏好任何标准)，只是提供了程序运行的初始值供公司参考。

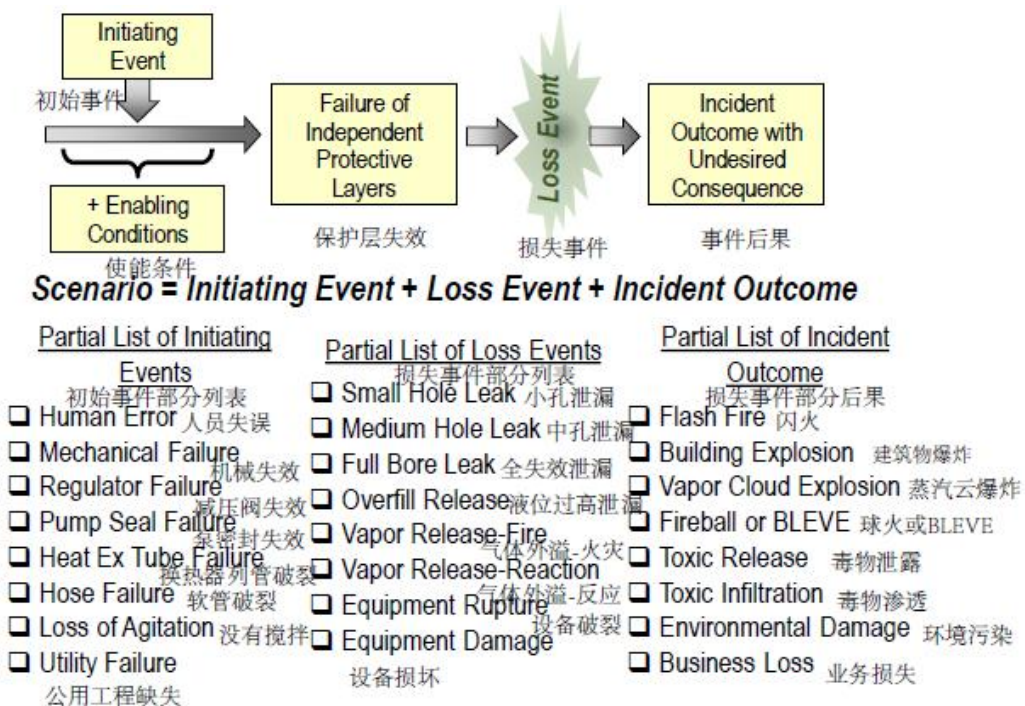
在没有任何法规或其他要求的前提下，如果危险严重程度被合理的判定为)较低的，则可能不需要进行HIRA研究(换句话说，“筛选排除”)。在这种情况下，RAST危险总结报告可以用来记录为什么研究小组认为风险很低。

场景的开发涉及“导致损失事件及其相关影响的意外事件或事件序列的详细描述，包括事件序列中涉及的保护措施的成功或失败”。除了原因(或初始事件)和后果(或事件结果)，RAST场景还包含一个独特的损失事件。损失事件的详细信息有助于分析团队澄清事件顺序。此外，损失事件与一个特定的源参数组相关联，可以让RAST执行简单的后果分析。

应该注意，一个RAST场景只包含一个损失事件(图1.3)。如果整个事件序列包含多个一次损失事件，则将其视为多个RAST场景。例如：易燃液体泄漏(第一次损失事件)引发池火，将相邻容器加热至破裂点或激活泄压装置(第二次损失事件)将被视为多个RAST场景(第二次损失事件是第一次的多米诺效应)。每一次易燃物料泄漏，可能点燃并造成池火，影响该地区的另一容器，将作为单独的场景处理。池火的热源导致泄压排气、破裂或损坏，将作为一种附加场景处理。这与保护层分析方法是一致的。

初始事件和事故结果的标准化清单也用于在RAST中开发场景。所分析设备类型的常见参数偏差用于将一些损失事件与符合危险和可操作性研究（HAZOP）方法的初始事件联系起来。RAST生成一个建议的场景列表，供研究团队考虑。

RAST提供的建议场景列表并非旨在代表有效的HIRA研究所需的所有方案，而是为评估团队提供了可以在此之上建立的起点。



**Figure 1.3 Scenario Development in RAST**

RAST中的场景发展

RAST还考虑了操作限值，以评估场景的可行性。例如，最大系统压力是否超过设备的设计极限或泄压装置的设定压力？最后，RAST是“实时”的，因此输入信息的更新将自动更新场景列表以供考虑。

RAST中的后果分析使用了来自CCPS和其他文献资源的各种来源和效果模型。损失事件分为与孔尺寸（蒸汽、液体或两相）、物料平衡（如过度填充）、热平衡（如火灾暴露导致的蒸发）、破裂（瞬时释放）或设备损坏相关的各类事件。如果释放物是液体或两相，则通过简单的闪蒸、气溶胶蒸发和池蒸发模型来估算蒸发速率。

一种通用的事件树（图1.4）与RAST一起使用，根据释放位置、释放量和物理状态、与公众不同距离的浓度、建筑物内人员情况或现场人员位置以及工艺区域的拥挤程度和其他标准来确定损失事件导致的事件后果。RAST行政事件后果的准则可以根据需要进行改变来反映公司



标准，以此用于做出适合公司的判断或决策。RAST软件中提供的参数值是供公司考虑的示例性标准。

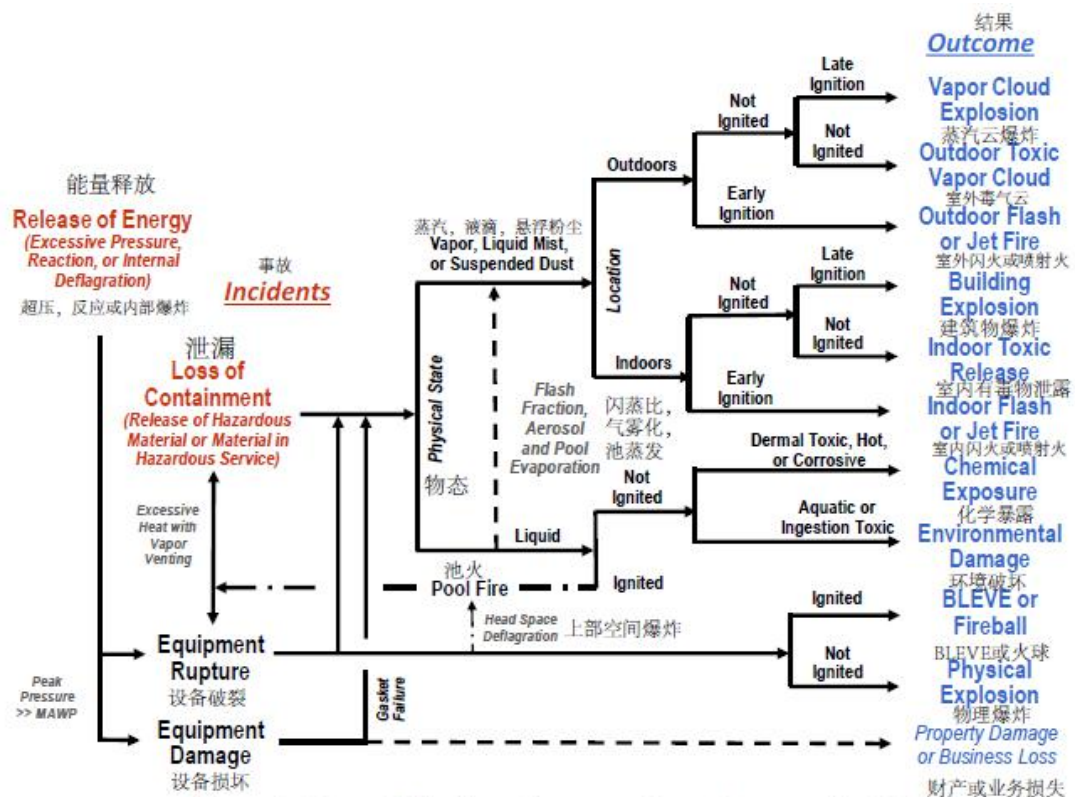


Figure 1.4 Generic Incident Outcome Event Tree used in RAST

在RAST中用到的通常事故后果事件树

RAST给每个事件后果估测出一个“最坏”严重等级。有三种方法可用于对RAST中人身伤害的后果严重性进行分类。

**人体伤害的简化定量估计：**该方法包括使用数学模型来估计释放速率、后续扩散以及毒性或爆炸效应。RAST中使用的模型在化学危害工程基础（CHEF）手册中进行了描述，可从CCPS免费下载（该）手册。除了直接与公司的风险承受标准进行比较外，定量分必须认识到，实际发生的事件后果可能远比计算结果轻微或严重。用于判定“最坏”后果的假设，例如天气条件、风向和泄漏方向，都可能与现实情况不符。

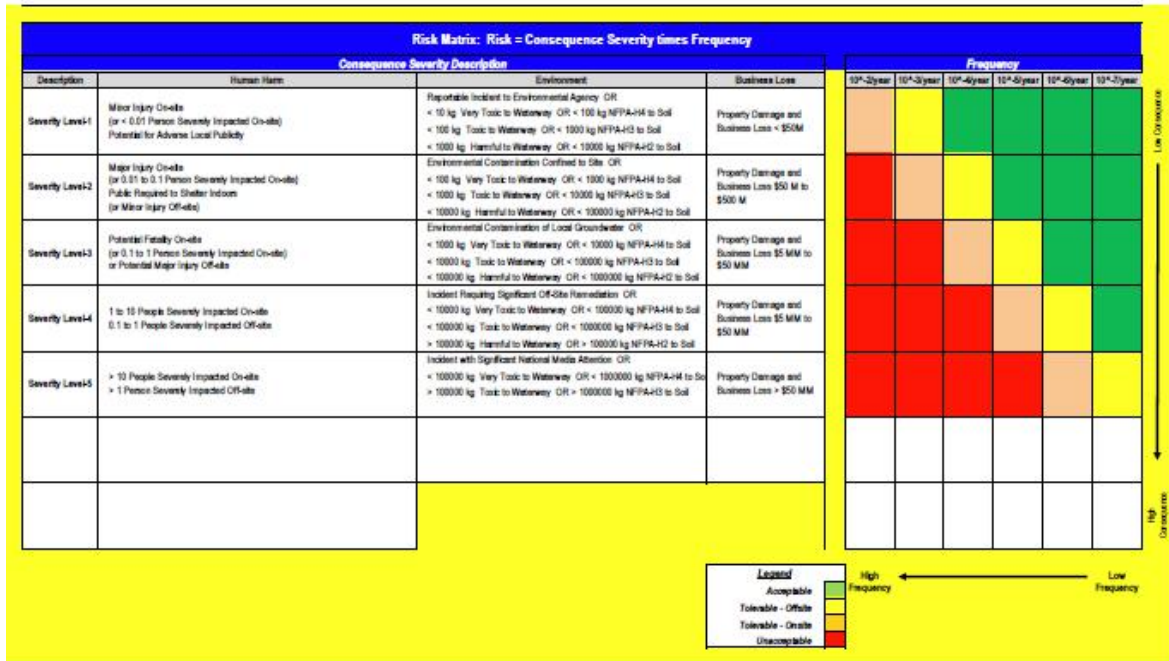
**不直接以人员伤害为参照的严重性判定：**这种方法是基于简单的扩散或爆炸模型的结果，例如，在释放时，到ERPG-2浓度的范围超过1000米，或与1 Psi爆炸超压的距离超过500米。每个事件后果与（危险距离除以可接受等级）或（浓度除以可接受等级）相关联。用于将

后果严重程度与分散和爆炸模型估算结果相关联的人为指定的参数可以进行更新，以反映公司的具体标准。

这种方法避免直接估计潜在伤害或死亡的数量，这似乎意味着伤害或死亡是可以容忍的。这一方法还辨识出估计可能受到伤害的人数和可能造成的伤害严重程度的困难性。例如，有毒物质的释放可能会导致一人或多人死亡或完全没有伤害，这取决于人们是否接近释放地点和他们逃离的能力。

**RAST以外的后果严重性预测：**RAST允许用户输入研究小组商定的严重性级别，而不使用所提供的估计值。环境损害的后果严重程度是根据液体向地面或水道的释放量，对环境损害的严重程度给予特定的NFPA健康危害等级(或GHS危害等级)。(例如，GHS危害分类的1000公斤“水生生物毒性”或“吞食有毒”物料)。商业损失的后果严重程度是根据用户输入的修理损坏设备的费用加上业务中断导致的业务损失严重程度的费用计算的。

**RAST中的场景发生的频率**是数量级的，并且基于独立的初始事件、使能条件/条件修正因子和保护层。初始事件频率、使能条件因子或条件因子概率(如点火概率)和独立保护层(IPL)的需求时的故障概率(PFD)的列表储存在系统中作为人为指定参数。其他失效(由磨损或疲劳等长期问题而不是工艺过程异常导致的泄漏)在RAST中被标记为机械完整性场景，其频率基于公布的相关泄漏频率数据。这些列表和相关系数可以更新并用于公司风险分析的特定频率值。场景频率=(初始时间频率)乘以(使能条件或条件因子概率)乘以(每个适用于该情景的保护层失效概率)。



**Figure 1.5 Example RAST Risk Matrix for Consequence Severity times Frequency**

RAST中的风险分析涉及到将后果严重程度和场景频率转换为表示不同数量等级级别。一个风险矩阵表用于汇总矩阵中的每个单元格的结果(图 1.5) (在结果严重程度和场景频率交叉点处的数值)，每个单元格来表示特定的场景风险值。可以用相同的风险矩阵表来汇总可容忍的风险，并将其与分析的场景风险值进行比较，确定是否需要进一步降低风险。不同后果严重级别的可容忍频率值应作为人为指定参数进行更新，以反映特定公司的风险容忍标准。如果一家公司不愿使用严重伤害或死亡人数作为参考，上述矩阵中的人员伤害标准也与危险距离相关（/相关联（互相转换））。RAST中提供的默认参数应该被视为“示例”，因为CCPS并未界定何特定的风险标准。

RAST还提供了累积频率与后果严重程度的图表作为厂外风险的指标。对于人员伤害的后果，这一图表类似于用于作出风险决策的F-N曲线，。

RAST中的保护层分析(LOPA)工作簿用于汇总与每个要分析的场景相关的风险。分析小组从风险分析场景列表中选择场景。相对较低风险的场景可根据公司的风险筛选标准从考虑进行LOPA分析的场景中筛除，标准参数可作为人为指定输入参数。这些代表“最坏的情况”的场景被标识出来(需要尽可能多的保护层以满足公司的风险承受标准)，以帮助分析团队选择将哪些场景(+需要)包括在LOPA分析中。

在LOPA期间，研究小组不断添加额外成本的有效独立保护层，直到每个场景都达到或低于可容忍的风险标准为止。一旦得到公司领导层的批准，这些增加的IPLs将被实施并进入公司的

检查、测试和维护程序，以确保所有的保障措施都能持续到工厂的寿命周期。RAST包括几个报告，可以帮助研究小组为有效的IPLs提供设计基础(例如估计保护层的最大允许响应时间)。

### **RAST文档**

RAST保存新化学品的数据表、建议的场景、后果分析结果，以及每一被评估设备的保护层分析的结果。这些数据表与RAST软件的新版本兼容并可以被导入，以便有效地管理与HIRA研究相关的数据和文档。通过将以前的研究报告导入RAST的最新版本，回顾和更新输入，以及生成更新的报告，可以方便地更新今后对该设施的HIRA研究。

所有的化学，设备，工艺条件和位置的输入信息都以设备名称或单元操作名称作为分类存储在RAST中。用户可以选择HIRA研究中的任何设备名称来查看输入或结果，（以）进行适当的更改或添加，并保存更新的信息。与特定场景的风险分析相关的所有信息都以场景号为序存储在RAST中。用户可以选择任何场景编号来查看场景详细信息和识别的保护层，进行更改，并保存更新的信息。根据特定报告需要，所有报告和分析结果均可以通过选择设备名称或场景编号来查看。

### **RAST培训材料**

RAST有三个相关的培训手册(也有培训班)。

**化学危险工程基础**(是CHEF) 专为新的工程师或作为有经验的人员复训使用。它描述了进行危险识别和风险分析(HIRA)研究的方法。这里使用了许多简化的假设，但可能并不适用于每一种情况。RAST用户应该熟悉CHEF资料，这样在特定的HIRA研究中当简化的假设不合适时，就可以识别出来。

**风险分析筛选工具(RAST User)** 的重点是如何利用该软件帮助HIRA研究小组提高研究的效率、一致性和质量。工具中各种输入和报告都有实例详解。

**RAST技术管理员**旨在向经验丰富的过程安全人员展示如何将公司的特定风险矩阵和其他筛选标准纳入RAST软件。它是为那些作为RAST技术管理员角色的人而不是为RAST用户而设计的。

## 2. 开始

RAST是过程安全和风险分析筛选工具的集合，用于进行危险识别和风险分析(HIRA)。这里将使用一个简单的学习示例来说明RAST工具的一些特性。本手册中介绍的示例包括简单的危险识别和处理一种化学品的单个设备相关的风险评估。复杂的情况信息输入和分析细节将在附加的RAST输入和报告一节中讨论。该工具基于Microsoft Excel平台。

### 打开RAST工具

打开RAST电子表格。第一个选项卡是一个“介绍”工作表，其中包含与最近更改相关的注释，其他信息是您将看到的第一个选项卡。将工具的“空白”副本保存到桌面上，然后在右上角选择“转到主菜单”，或者使用页面底部的工作表选项卡转到“主菜单”。您还可以通过在右上角选择“转到说明”或使用页面底部的工作表选项卡来查看“说明工作表”。

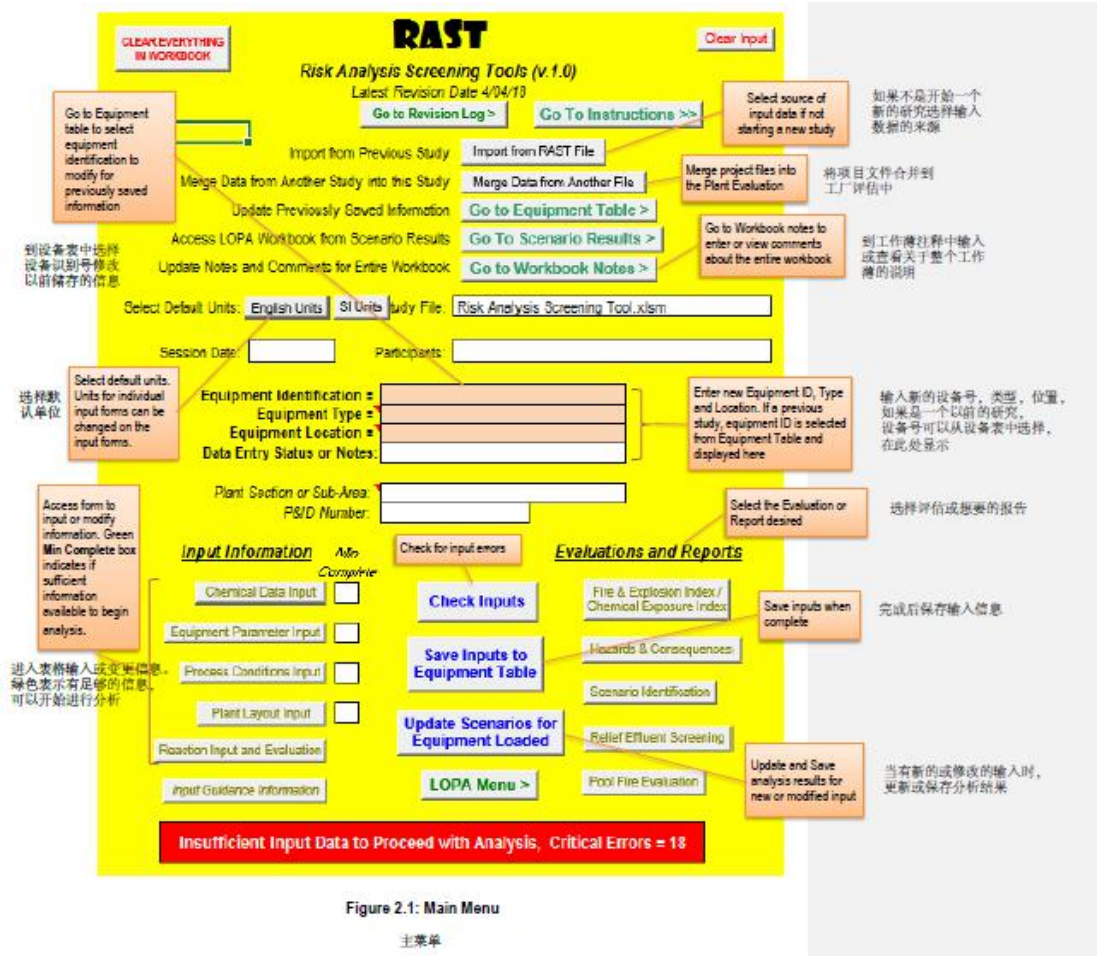
### 主菜单

将设备标识、设备类型和位置(户外或室内)输入主菜单工作表(图2.1)。在主菜单页，我们还可以：

- 还可以选择输入信息的源文件(先前的LOPA 或RAST工作簿)。
- 输入设备识别、设备类型和分析地点。(如果更新以前的研究，则从设备表中检索设备标识、设备类型和位置。)
- 访问工作簿说明可以输入和查看有关整个工作簿的注释，以及查看计算中使用的选定参数(例如环境温度值)
- 访问输入信息的表单，如化学性质、设备数据、操作条件和工厂或设施布局信息。
- 保存所选设备识别所需的所有输入信息。
- 选择所需的评估或报告。
- 更新和保存新设备或修改设备的分析结果。

### 颜色编码指南

在整个RAST工作表中，“橙色”颜色单元格代表最低要求的信息，而“黄色”颜色单元格表示其他关键信息。此外，每个页面顶部的“绿色”宏按钮用于导航到其他工作表，“黑色”用于执行计算，“红色”用于清除信息，“蓝色”用于保存信息



## 举例学习

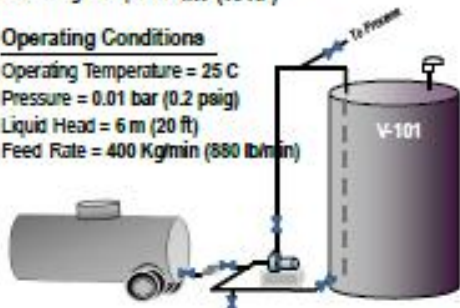
作为一个例子，为了说明RAST工具，考虑一下图2.2所示的含丙烯腈的储罐在25°C (77 F) 和 0.01 Barg (0.2 psig) 下的简单危险评估和风险分析：

### Equipment Parameters

Tank Volume = 100 m<sup>3</sup> (26000 gal)  
Chemical = Acrylonitrile  
Maximum Allowable Working Pressure = 0.2 bar (2.9 psig)  
Flat Bottom Non-Anchored Tank  
Bottom Outlet Nozzle = 100 mm (4 inch)  
Circulating Pump = 7.5 kW (10 HP)

### Operating Conditions

Operating Temperature = 25 C  
Pressure = 0.01 bar (0.2 psig)  
Liquid Head = 6 m (20 ft)  
Feed Rate = 400 Kg/min (880 lb/min)



### Acrylonitrile Reaction Data

Heat of Reaction: - 326 cal/gm  
Activation Energy: 32 Kcal/gm mole  
Detected Onset Temperature: 190 C  
Detected Onset Rate: 0.08 C/min  
Test Method: ARC with Phi Factor of 2.1

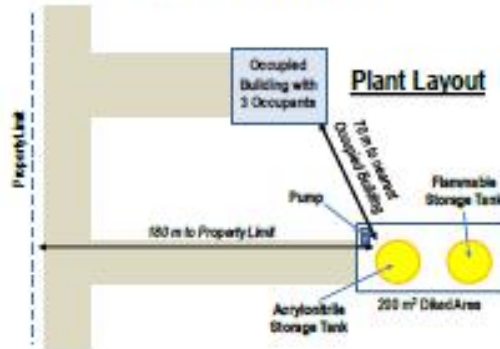


Figure 2.2: PFD for example (acrylonitrile storage tank)

## 研究输入信息

让我们从输入最少所需输入信息开始一项新的研究。

步骤1：在主菜单工作表中：

输入设备标识，V-101，从下拉列表中选择设备类型：“容器/储槽”，位置：，“室外”。如果输入为空白，则假定位置位于室外。如果更新以前的研究，设备识别将从设备表中选择，并在研究菜单表格上替换。

选择默认单位作为 SI 单位，如果更新以前的研究，不要选择默认单位，因为信息已经以之前选定的单位完成输入。从主菜单中选择“化学数据输入”以输入“化学信息”。化学信息输入到化学数据工作表中(图 4)。在此工作表上，人们可以：

选择所分析设备中包含的化学品(或化学混合物)。

从化学品数据表中获取关键化学品信息。

估算操作温度下的特定化学和物理性质，包括物理状态(蒸汽、液体或固体)、蒸汽压力、蒸气组成、液体密度、液体热容和蒸发热。其他化学信息，如估计混合物沸点和饱和温度(在操作压力下的沸点)也是可用的。

在“化学品数据表”中输入未提供或缺少的其他化学品信息

**步骤2：在化学数据输入工作表中：**

从可用列表中选择**化学品名称**“丙烯腈”，并输入**进料重量分数**为1.0。

输入**操作温度**为25℃，**工作压力**为0.01bar/公斤(表压)(接近大气压)。

选择“转到主菜单”以继续输入其他信息。

**\*注意：**

在化学品数据输入工作表上有“橙色”单元格，它表示最少输入信息。一旦在这些单元中输入，它们就不再是“橙色”了。此外，一旦所有的最少所需信息输入已经完成，在主菜单上的“最少完成”框已变成绿色的化学品数据输入。

图表 2.3：化学数据输入

[1] 从下拉列表中选择一种化学品

[2] 输入正常工作温度和压力

[3] 输入重量分数

从主菜单中，点击设备参数输入，输入设备信息。

在设备输入工作表（图 2.4）中输入设备参数。在工作表中，用户可以：

输入容量、最大允许工作压力、管道或喷嘴直径、建筑(/建造)材料、表面积和标高等关键设备信息。

输入专用设备的设计信息，例如传热面积、加热介质温度、冷却液(/介质)温度、管道长度、泵密封类型等。

输入关于设计问题的信息，例如腐蚀或应力开裂潜能、易受振动疲劳影响、易受物理损坏的管道、导电汲取管的使用或底部填充等。

输入减压装置设计信息，例如释放设定压力、泄压口尺寸(直径)、泄压方式、出口管道直径和泄放高度。

**步骤 3：在设备输入工作表中：**



在容器体积输入 100 立方米，最大允许工作压力（MAWP）输入 0.2bar，喷嘴或管道尺寸输入 100mm。这些是最少输入信息。

应该输入的“额外设备参数”有循环泵马达功率 7.5KW（储罐的机械能输入）。如果需要的话，你也可以输入设备描述。

点击转到主菜单，继续输入附加信息。

\*注意，设备输入列表已经没有“橙色”单元格，这意味着最少输入要求已经满足。同时主菜单的设备参数输入的“最少完成”方框也已经变绿。

图表 2.4: 设备输入工作表

[1]: 输入设备容量和最大允许工作压力

[2]: 输入喷嘴或管道大小（/尺寸）

[3]: 输入电机功率

[4]: 输入设备描述

[5]: 如果值为空，从最大可容工作压力中确定真空等级

从主菜单中，点击输入工艺条件，输入工艺和操作条件信息

在工艺条件工作表中输入工艺和操作条件信息（图表 2.5）。

在工作表中，可以：

在分析中输入要使用的环境温度

输入关键工艺条件，例如最大填充或进料速度和用于计算低操作压力容器的液体压头。

输入额外进料信息，例如总库存、最大进料压力和进料方式（连续或间歇）

输入关于保护气使用的信息，例如保护气压力、最大保护气流速和是否在设备中保持不可燃的（气相）环境

**步骤 4: 在工艺条件工作表:**

输入：设备内液压头：6m，最大进料或流量：400kg/min。。确保输入单位是正确的。在这种情况下，液压头对可供泄漏的压降有着显著影响），注明输入液体压头（储罐在小于等于一个大气压下运行）。注意，在溢出或泄漏场景下，如果总库存量一栏不输入数值，则默认为无限库存）。

点击转到主菜单，继续输入附加信息

\*这时设备输入列表已经没有“橙色”单元格，这意味着最少输入要求已经满足。同时主菜单的设备参数输入的“最少完成”方框也已经变绿。

图表 2.5：工艺条件工作表

[1]:输入容器内的液体压头

[2]: 输入最大进料或流量

从主菜单中，点击装置布局输入，进入工艺和操作条件信息。

在装置布局工作表中输入现场和装置布局信息。在工作表中，可以：

输入关键位置信息，例如到装置界限或警戒线的最小间隔，到厂界的最大间隔，到占用建筑物的距离和建筑物内总人数。

还可以输入最多两个厂外人口活动区域。如果设备位置为“室内”，关键信息包括封闭的建筑物内体积。

- 输入其他位置信息，例如：如果人员经常在中间区域，中间工作区域有效出口，设备稠密程度，围堰面积，排水到偏远位置，以及到运行设备的距离。
- 设备位置在室内，输入封闭区域内人员的数量。
- 输入占用的建筑信息，包括名称、通风进口高度、通风速率以及是否有集中的通风切断设施。

**步骤 5：在工厂布局输入工作表中：**

- 输入到财产边界或围栏线的距离为 180 m，到占用建筑物或封闭工作区的距离为 70 m，建筑物内人数多为 3 人。请注意，如果设备位置为“室内”，则封闭的建筑物内体积将成为必需的输入项。

选择转到主菜单以检查输入、将输入保存到设备表或查看评估或报告。

\*请注意，工厂布局工作表上不再有“橙色”单元格，表示满足了最低输入要求。另请注意，对于工厂布局输入，主菜单上的“最少完成”框已变为绿色。

从主菜单中，选择检查输入（蓝色宏按钮）。

检查输入是否有丢失信息、丢失单位或超出正常范围的值。错误分为注释、警告或关键错误。

在进行初步评估之前，必须解决关键错误。用作缺失输入信息的任何默认值都描述为注释。

Equipment Data	Error Message	颜色标识错误	Type
	No Input for Maximum Allowable Working Pressure (MAWP)	橙色-关键	Critical
	No Input for Relief Device Set Pressure - No Relief Device Assumed	黄色-警告	Warning
	No Input for Relief Discharge Pipe Size	白色-注释	Comment
	No Input for Relief Discharge Elevation	白色-注释	Comment
	No Input for Relief Distance to Fenceline - Equipment Distance to Fenceline will be Used	白色-注释	Comment
	No Input for Relief Distance to Occupied Building - Equipment Distance to Occupied Building will be Used	白色-注释	Comment
	No Input for Relief Distance to Center of Occ Building - Equipment Distance to Center of Occ Building will be Used	白色-注释	Comment
	No Input for Relief Distance to Occ Building 2 - Equipment Distance to Occ Building 2 will be Used	白色-注释	Comment
	No Input for Relief Distance to Center of Occ Build 2 - Equipment Distance to Center of Occ Build 2 will be Used	白色-注释	Comment
	No Input for Occ Build 2 in Same Wind Direction for Relief - Occ Build 2 in Same Wind Direction for Equipment will be Used	白色-注释	Comment
	No Input for Vacuum Rated - Full Vacuum Capability is Assumed	黄色-警告	Warning
	No Input for Material of Construction	黄色-警告	Warning
	No Input for Feed through Dip Pipe or Bottom Fill - None Assumed	白色-注释	Comment
	No Input for Number of Nozzles or Flanges - 2 above and below Liquid Level is Assumed	白色-注释	Comment
	No Input for Drain Valve Size - 1/2 inch assumed	白色-注释	Comment
	No Input for Screwed Piping - None is Assumed	白色-注释	Comment
	No Input for Sight Glass - No Sight Glass is Assumed	白色-注释	Comment
	No Replacement Cost including Business Loss Entered, \$50M to \$500M will be assumed	白色-注释	Comment
	No Input for Equipment Surface - 5 times Volume <sup>2/3</sup> is Assumed	黄色-警告	Warning
	No Input for Insulation - No Insulation is Assumed	黄色-警告	Warning
Site/Location Data			
	Missing Inputs for Offsite Population Density and Distance. Default of 0.0015 people/sq m will be Used	黄色-警告	Warning
	No Input for Personnel Routinely in Immediate Area - Assumed as None	黄色-警告	Warning
	No Input for Effective Egress from Process Area - Potential Evasive Action Credit	白色-注释	Comment

Figure 2.7: Error Messages from Check Inputs

### 保存输入信息

从主菜单或任何输入工作表（设备输入、化学数据、工艺条件、工厂布局或反应输入）中，选择保存输入到设备表（蓝色宏按钮）。所有输入信息将存储在设备表中，每行由唯一的设备标识或标签标识（图 2.8）。

View Summary F&EI and CEI information for entire workbook using Column Filter 1  
使用Column Filter 1可以查看整个工作表的汇总FEI和CEI信息

Equipment Tag	Input Status	Equipment Description	Date Input Last Saved	Plant Section	P&ID Number	Equipment Type	Personnel Routinely in Immediate Area	Elevation of Nearest Work Area	Elevation of Nearest Work Area Units	Distance to Nearest Work Area	Distance to Nearest Work Area Units	Exc. Score
v-101			10/4/2017 10:35			Vessel/Tank			m		m	No

Retrieve Information for an Equipment Item by selecting any cell in the desired row and entering Load Selected  
通过选择在指定行的任何单元格并点击“load selected”按钮可以检索一台设备的信息

Figure 2.8: Example Equipment Table

其他设备项的输入信息存储在设备表的后续行中。为了节省创建输入的时间，可以检索、修改先前存储的设备标识或标签的信息，以反映所需的新输入，并保存在另一个唯一的设备标识或标签下。如果设备表中已经存在特定设备标签的输入信息，则会出现一条消息，询问信息是否要更新或覆盖（图 2.9）。

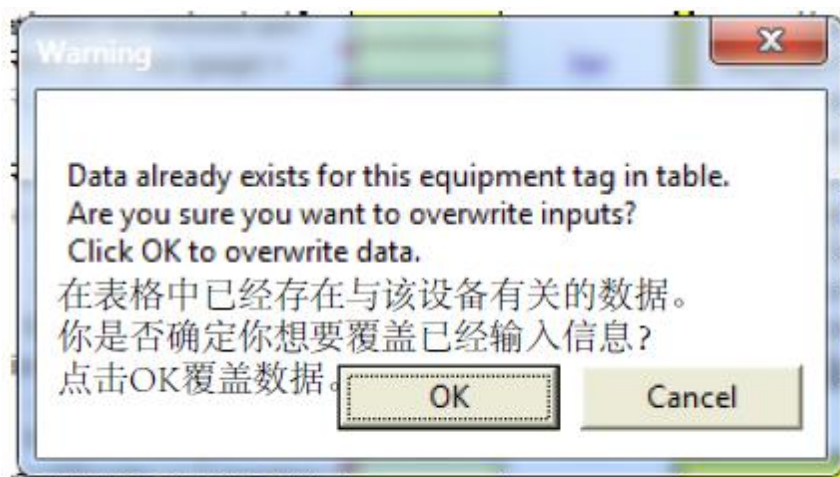


Figure 2.9: Warning notice

## 评估和报告

一旦完成了最低要求的输入，用户或分析团队就可以开始评估和识别危险情况。随着更多信息的输入，可能会进行更彻底的评估。这样，一个项目团队可能从很少的初始信息开始。由

于输入了更多的信息，因此增加了其他危险情况以供考虑。与筛选级别的危险评估相关的选定评估和总结将在“入门”的下一节中讨论。

### 初步火灾爆炸指数

即使信息有限，也可以估计陶氏火灾和爆炸指数（F&EI）或化学暴露指数（CEI）。公司可以使用这些代表“相对分级”指数，来筛选何时应使用定性和定量的 HIRA 方法。需要定量与定性 HIRA 研究的一个示例标准可以是 128 或更高的 F&EI 指数。

火灾爆炸指数按表 1.1 所示对过程危险进行分类：

**表 1.1：火灾和爆炸指数危险度** F&EI 范围危险度 1 - 60 轻 61 - 96 一般 97 - 127 中 128 - 158 重 159 及更严重

\*注意，RAST 工具中的初步 F&EI 是基于**单个设备项目**。《陶氏火灾和爆炸指数危险分类指南》允许在一次分析内就对较大的“工艺装置”（由多个设备条目组成）完成评估。

陶氏化学火灾爆炸指数危险分级指南指出，对于化学品数量小于 5000 磅 (2269 千克) 的工艺装置，风险会被夸大。需要谨慎考虑涉及少量化学品设备的初始结果。指南还指出一些火灾爆炸指数问题的回答是基于可以获取的输入信息评估出来的，但这些输入信息可能和问题标准不相匹配。其结果是，指数和暴露半径可能和使用道化学火灾爆炸指数获得的结果略有不同，但是通常在数值的 5%到 10%之内。

如要查看初始火灾爆炸指数，应从“学习菜单”工作表（图例 2.10）中选择“火灾爆炸指数/化学品暴露指数”。

Reviewer and Review Date may be entered

<< Go To Main Menu

Clear Input This Worksheet

### ESTIMATED FIRE & EXPLOSION INDEX

RAS7 Version 1.0 (Does not include Warehouse)

Prepared by: \_\_\_\_\_ Date: \_\_\_\_\_  
 Reviewed by: \_\_\_\_\_ Review Date: \_\_\_\_\_

**PLANT DATA**

Process Unit: Vessel/Tank; V-101

Key Chemical: Acrylonitrile

Fraction Key Chemical: 1

Physical State: Liquid

Adjusted NFPA Flammability: 3

Adjusted NFPA Reactivity: 2

Quantity Handled, kg: 63752.0

MATERIAL FACTOR (per Table 1 Criteria): 24

**1. General Process Hazards**

Base Factor	Penalty Factor Range	Penalty Factor Used
Base Factor	1.00	1.00
A. Exothermic Chemical Reaction -	0.30 to 1.25	0.00
B. Endothermic Chemical Reaction -	0.20 to 0.40	0.00
C. Material Handling and Transfer	0.25 to 1.25	0.00
D. Enclosed or Indoor Process Unit	0.25 to 0.9	0.00
E. Access	0.20 to 0.35	0.00
F. Drainage and Spill Control	0.25 to 0.50	0.50

Dike Area = sq m

General Process Hazards Factor (F1): 1.60

**2. Special Process Hazards**

Base Factor	Penalty Factor Range	Penalty Factor Used
Base Factor	1.00	1.00
A. Toxic Materials	0.20 to 0.80	0.80
B. Sub-Atmospheric Pressure (<500 mm Hg)	0.50	0.00
C. Operation In or Near Flammable Range	0.30 to 0.80	0.80
D. Dust Explosion	0.25 to 2.00	0.00
E. Pressure		0.00
F. Low Temperature	0.20 to 0.30	0.00
G. Quantity of Flammable/Unstable Material		
Flammable or Reactive Quantity in Process: 0 kg		0.00
Flammable or Reactive Quantity in Storage: 10390 kg		0.64
Combustible or Reactive Solids in Process or Storage: 0 kg		0.00
H. Corrosion or Erosion	0.10 to 0.75	0.00
I. Leakage - Joints and Packing	0.10 to 1.50	0.00
J. Use of Fired Equipment		0.00
K. Hot Oil Heat Exchange System -	0.15 to 1.15	0.00
L. Use of Rotating Equipment	0.50	0.00

Operating Pressure = 0.01 bar Relief Set Pressure = bar

Special Process Hazards Factor (F2): 8.24

Process Units Hazard Factor (F1 X F2 = F3): 4.87

**Fire and Explosion Index (F3 X MF): 117**

Radius of Exposure: 30 m

For No Penalty Use 0.00

Material Factor based on Chemical Data Input

General Process Hazards based on Equipment Type, Location, Reaction Data and Plant Layout

Special Process Hazards based on Equipment Parameters and Process Conditions Inputs

Preliminary F&EI and Radius of Exposure

Figure 2.10: Fire & Explosion Index Preliminary Results

左 1. 可以输入评估人和评估日期

右 1. 物质系数基于输入的化学品数据

右 2. 一般工艺危害基于设备类型、位置、反应数据和工厂布局

右 3. 特殊工艺危害基于输入的设备参数和工艺条件

右 4. 初始火灾爆炸指数和暴露半径

2. 开始使用

## 初始化学暴露指数

初始化学品暴露指数的评估是基于化学品数据工作表中的 EPRG-2 和 EPRG-3(应急响应计划指南)浓度。基于输入的距离单位(米或英尺),计算单位选用国际单位或美制/英制单位。可以对 4 种标准情形进行估算:

按照以下 CEI 标准,管线或喷嘴失效是基于孔尺寸的泄漏率:

- 直径小于 2 英寸(50mm) - 全孔失效
- 直径在 2 英寸到 4 英寸(100mm)之间 - 按照 2 英寸孔估算
- 直径大于 4 英寸(100mm) - 按照孔的 20%横截面估算

设备溢出的泄漏率相当于进料的速率。

泄压装置的释放量是基于输入的设计能力或按照泄放直径和设定压力估算。(如果泄放装置信息没有被输入,这个事件的结果就空着)

暴露于火灾情形下的蒸汽排放量是基于 NFPA-30 标准的估计,将火灾热量除以蒸发热。(如果基于输入的化学品数据的火灾隐患是不可能的,且“区域内其它易燃物料量”为零或空着,这个事件的结果就空着)

化学品暴露指数和 ERPG-2 浓度的相关危险距离(HD-2),或 ERPG-3 浓度的相关危险距离(HD-3)是基于持续至少 5 分钟的地面标高泄漏量。选择定量评估方法或定性评估方法的一个示例标准就是化学品暴露指数是否大于等于 200。

如要查看初始化学品暴露指数,应从“主菜单”工作表(图例 2.11)中选择“火灾爆炸指数/化学品暴露指数”。

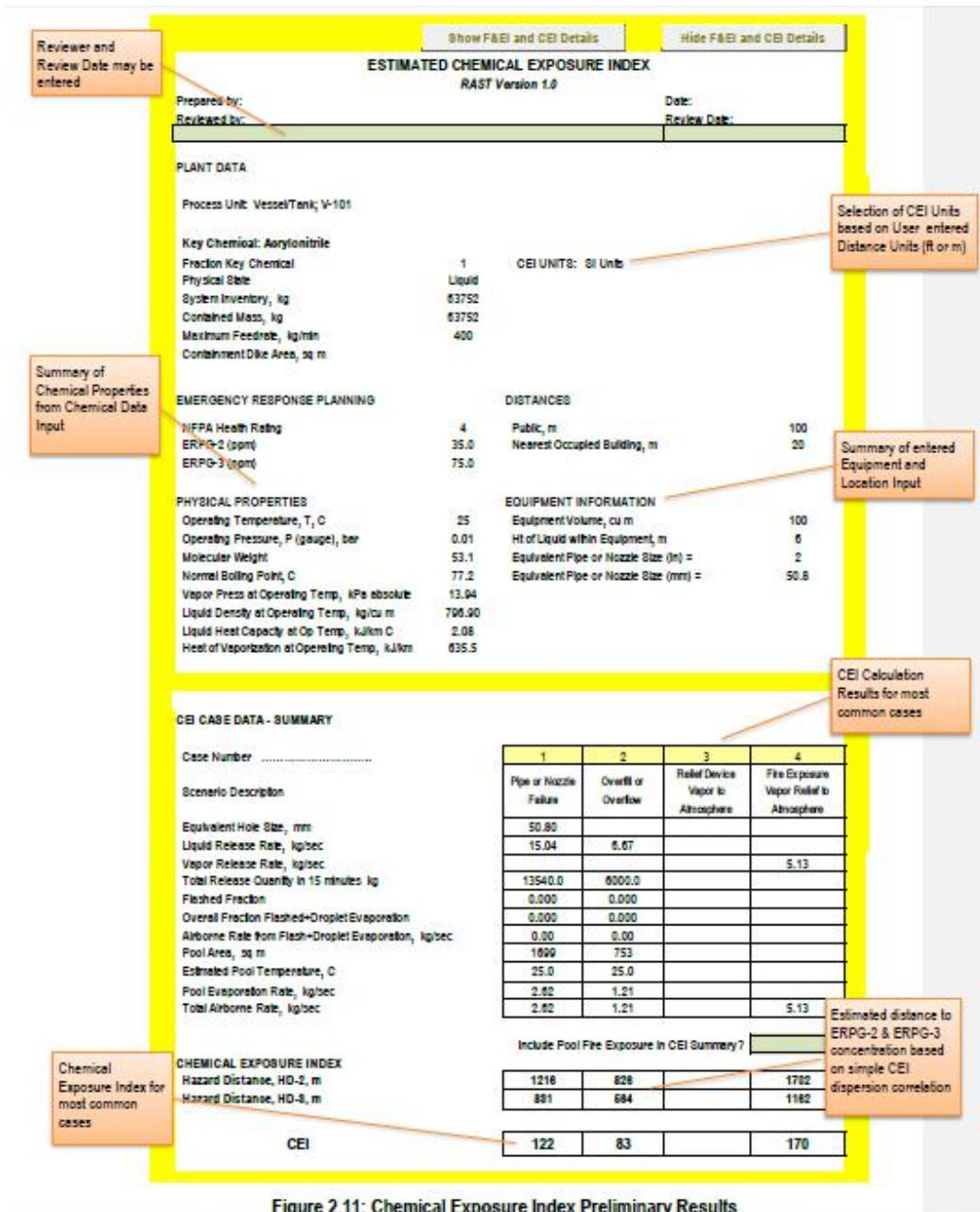


Figure 2.11: Chemical Exposure Index Preliminary Results

- 左 1. 可以输入评估人和评估日期
- 左 2. 从输入的化学品数据获取化学性质汇总
- 左 3. 最常见情形的化学品暴露指数
- 右 1. 基于用户输入的距离单位（米或英尺）选择化学品暴露指数的单位
- 右 2. 输入的设备 and 位置汇总
- 右 3. 最常见情形的化学品暴露指数计算结果



右 4. 基于化学品暴露指数的简化扩散相关性，估计 ERPG-2 浓度和 ERPG-3 浓度的危险距离

## 危害总结

基于针对正常和异常的工艺条件所输入的信息，可以得出工艺危害的汇总信息。超压危害（可能使设备破裂和/或泄放装置启动），化学品暴露（热和/或化学品灼伤、皮肤中毒），易燃性（包括可能存在池火），吸入毒性和反应性都包括在本概要中。如果输入的信息超过最少要求的，应当考虑额外的危害。评估团队应当考虑那些没有列在本概要中的危害。

### 例如初始危害筛选结果汇总如下：

**易燃性危害**，如果符合以下条件，足够用于进一步考虑：

- 闪点低于特定值（比如 60 摄氏度），或
- 最高工艺温度（在正常或异常工艺条件）高于闪点一定值（比如 5 摄氏度），或
- 化学品被认为是可燃粉尘或粉尘-可燃液体混合物

**毒性危害**，如果符合以下条件，足够用于进一步考虑：

- ERPG-3 浓度低于一定值（例如按体积计 1000ppm），或
- 化学品被标识为有毒的，包括接触皮肤，或对环境有毒，或被法定机构认为是有毒的。

**反应性危害**，如果符合以下条件，足够用于进一步考虑：

- 反应热/质量高于一定值（比如-50J/gm），或
- 有证据表明物料易挥发或可以形成气体产物，或
- 有证据表明物料与水或其他不经意加入的化学品反应，或
- 该化学品被认为可能是一种凝聚相易爆物（爆炸物）

**有害供给**，如果符合以下条件，足够用于进一步考虑：

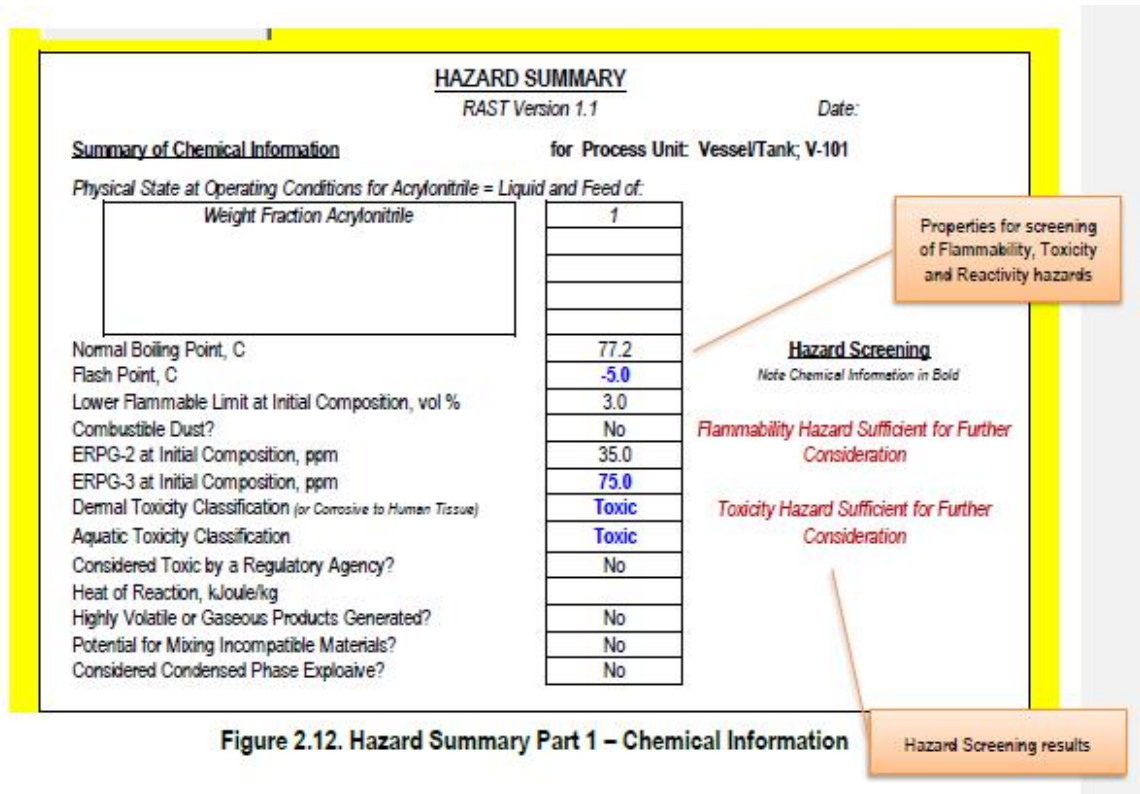
- 最高工艺温度（在正常工艺、异常工艺或反应条件下）高于热灼伤的特定温度（比如对于液体来说是 60 摄氏度，或对于蒸汽来说是 100 摄氏度），或者温度低于一定

值（比如零下 20 摄氏度），或

- 使用的化学品被认为对人体组织有腐蚀性，或
- 估计的最高工艺压力或蒸汽压（在正常工艺、异常工艺或反应条件下）超过设备最高允许工作压力或泄放装置设定压力

指南指出在隐藏的工作表单建立的危害筛选标准可以被改变，以反映某个公司的特定标准。建议公司里擅长化工风险分析的代表（充当 RAST 技术管理职责）负责修改分析参数，而不是由 RAST 的使用人员或分析团队人员来修改。RAST 中设定的参数应当被认为是例子，因为 CCPS 不认同任何特定的风险标准。

图例 2.12，2.13 和 2.14 给出了丙烯腈的危害综述的例子



<b>Summary of Equipment and Process Conditions</b>	Temperature	Pressure	Pressure Exceeds Maximum Allowable Working or Relief Set Pressure?
<i>Equipment or Vessel Volume 100 cu m</i>	C	bar gauge	
Normal Operating Conditions	25	0.01	
Maximum Allowable Working or Relief Set Pressure	83.1	0.20	
Catastrophic Failure/Burst Pressure for Low Design Pressure	85.7	0.30	
<i>Full Vacuum Rated? Not Entered</i>			
Catastrophic Failure High Temperature	600.0		
<i>Temperature where Low Temp Embrittlement may Occur? Not Entered</i>			
Maximum Feed Pressure		Not Entered	
Maximum Gas Pad Pressure		Not Entered	
Maximum Downstream Equipment Pressure		Not Entered	
Maximum from Liquid Displacement <i>(based on 9 X compression or feed pressure)</i>		4.55	Yes
Estimated Maximum Headspace Deflagration Pressure		10.13	Yes
Maximum Pressure from Hydraulic Surge (Piping Only)			
Maximum Ambient Conditions	25	0.01	No
Maximum Feed Temperature			
Minimum Coolant Temperature			
<i>Normal Boiling Point of Equipment Contents</i>	77.2		
Maximum from Heating Media Temperature			
Estimated time to Relief Set Pressure or MAWP from Heat Transfer at Low Level, min			
Estimated time to Relief Set Pressure or MAWP from Heat Transfer at High Level, min			
Heating Media Source Pressure		0.00	No
Max from Mechanical Energy at Low Level: Non-Insulated	34.8	0.11	No
Estimated time to Relief Set or MAWP from Mechanical Energy at Low Level, min			
Max from Mechanical Energy at High Level: Non-Insulated	29.3	0.05	No
Estimated time to Relief Set or MAWP from Mechanical Energy at High Level, min			
<i>Maximum Mechanical Energy Temperature may also exceed the Flash Point</i>			
			Max. Temperature Exceeds High Temperature Failure
<i>Maximum Temperature, C</i>	34.8		No
			Min Temperature less than Embrittlement Temperature
<i>Minimum Temperature, C</i>	25		No

Summary of Normal and selected Upset Process Hazards

图 2.13: 危害概述第 2 部分-设备和工艺条件

反应危害	<b>Potential for Uncontrolled Reaction</b>	<input type="text" value="No"/>		<i>Relief Device may not be adequately sized for Uncontrolled Reaction</i>
	<i>Reaction Temperature of No Return is Greater than the Boiling Point at Relief Set Pressure or MAWP or non-Reactive</i>			
	Exothermic Reaction Temperature of No Return	<input type="text"/>		
	Maximum Reaction based on Adiabatic and Initial Temperature as Operating Temperature	Temperature, C	Pressure, barg	<i>Pressure Exceeds Maximum Allowable Working or Relief Set</i>
	25.0	1.01		
	<i>Max Reaction Temp Exceeds High Temperature Failure?</i>			
潜在的池火评估	<b>Potential for Pool Fire</b>	<input type="text" value="Yes"/>		
	<i>The Flash Point is Less Than: 60 C, Ambient Temperature + 5 C, Operating Temperature + 5 C, Heating Media Temperature + 5 C, Max Mechanical Energy Temperature + 5 C</i>			
	Quantity Flammable Available based on System Inventory	63752.0	kg	<i>Relief Device may not be adequately sized for Pool Fire Exposure</i>
	Maximum Pool Fire Duration based on Direct Fire	513.2	minutes	
	Fire Heat Input per API 2000 or NFPA 30 for Storage or Low Pressure Tank	10222235.8	Kwatt	
	<i>Contents Reach Relief Conditions at Pool Fire Duration</i>			
	<i>Contents Reach Failure or Rupture Conditions at Pool Fire Duration</i>			

图 2.14: 危害概述第 3 部分-反应性和火灾信息

### 后果概述

后果概述中提供了基于单个设备项目的各种失效事件的潜在后果概述。选中的失效事件以及对于空气传播量、蒸汽扩散、爆炸和对于包含 LOPA 可容忍频率因子和使用中建筑物的影响评估被显示出来。（指定失效事件后，将会呈现它们的估算结果，如：空气传播、蒸汽扩散、爆炸、LOPA 可容忍频率因子及在用建筑物影响评估。）

重要提示: RAST 的后果分析是基于“稳态”条件下，而不是基于化学组成和输入在化学数据及工艺条件工作表中的流量的“动态”条件。

重要提示: RAST 的后果分析基于“稳定状态”，而不是基于在“化学品数据与工艺条件输入工作表”中的动态的化学组成与流量。

一些单元操作可能需要通过动态模拟来确定详细的危害和风险评估，而不是使用 RAST 软件中所使用的“平均”组成或工艺条件。组成随时间或设备内位置而变化的单元应该是反应器

或蒸馏塔。反应器和分馏塔内物料的组成随时间和位置的变化而变化。管道系统内的液体或蒸汽流速也可能与时间或位置有关。在这些情况下，用户需要确定 RAST 软件是否能够提供所需的精度和细节等级。

**对标失效事件种类的特征泄放模型包括：**

**孔尺寸：**释放速率由通过模拟特定直径、工艺压力和流体密度条件下的小孔排出量而决定。释放速率由特定工艺压力和密度的流体通过特征直径小孔的排出量决定。一个小孔（5~15mm）可能相当于垫片失效或泵机械密封泄漏。一个中孔（25mm）可能相当于重大设备或管道泄漏，而一个大孔（100mm 以上）可能相当于是软管、管道或设备管口破裂。

**溢出或特征速率：**释放速率由进料速率或其他特定的释放速率而决定。

**过热：**释放速率由热量输入速率除以汽化热而决定。

**设备破裂：**代表设备内全部物料的突然释放，适用于能量和危险化学品的释放。

**由于液体释放而导致的空气传播：**包括对液体释放速率、闪蒸分数、蒸发比和液池内蒸发量的估计。

**蒸汽扩散：**包括对通过喷射混合或大气扩散的连续或瞬时释放的浓度和距离的估计。同时还考虑了浮力、动量、海拔和通风设施对室内释放的影响。

**爆炸：**包括物理爆炸（设备破裂）、室外蒸汽云爆炸、室内建筑物（或密闭空间）爆炸。爆炸的危险性和破坏程度与爆炸超压面与爆炸中心的距离有关。

**影响评估：**包括对可能受到闪火、蒸汽云爆炸、建筑物爆炸、物理爆炸、有毒物质释放和化学品暴露等各种事件后果潜在影响的人数的评估。考虑了对室外、封闭的工艺区域和使用中的建筑物中的人员的影响。如果表示后果严重程度的参数选项设置为“危险距离”，则影响评估中严重程度是通过蒸汽扩散和爆炸估算的，而不是通过人数估算的。

图 2.15、2.16 和 2.17 展示了丙烯腈示例的结果概述。

### CONSEQUENCE SUMMARY

RAST Version 2 Date: \_\_\_\_\_

Event for: Vessel/Tank; V-101 Containing Acrylonitrile : Gasket Failure

**Airborne Quantity Summary:**

Release Temperature, C: 25.0

Release Pressure, barg: 0.010

Physical State at Release Conditions: Liquid

Heat Input, Kcal/min: \_\_\_\_\_

Equivalent Hole Size, cm: 1.000

Release Rate, Kg/sec: 0.45

Release Duration, min: 60.00

Spray Distance, m: 5.8

Flash + Aerosol Evaporation Fraction: 0.003

Estimated Aerosol Droplet Diameter, micron: 1225

Pool Area, sq m: \_\_\_\_\_

Estimated Pool Temperature, C: \_\_\_\_\_

Maximum Pool Evaporation Rate, kg/sec: \_\_\_\_\_

Total Airborne Rate, kg/sec: \_\_\_\_\_

Total Airborne Quantity, Kg: \_\_\_\_\_

**Airborne Quantity Composition:**

Mole Fraction Acrylonitrile	
1.000	
Mole Fraction Pad Gas (at Mw = 29)	
56.6	
121.3	
596.9	
75.0	
99.2	
3.00	

ERPG-2 for Vapor Composition, ppm by volume: 56.6

ERPG-3 for Vapor Composition, ppm by volume: 121.3

LC-50 Concentration, ppm by volume: 596.9

One-hour ERPG-3 for Vapor Composition, ppm by volume: 75.0

One-hour LC-1 Concentration, ppm by volume: 99.2

LFL for Vapor Composition, % by volume: 3.00

Release Location: Outdoors

Prob of Exposure (proximity based) with Personnel Not in Immediate Area

Factor	Probability
On-Site Toxic POE	
Flash Fire POE	
Chemical Exposure POE	
Physical Explosion POE	

Estimated probabilities of exposure and suggested credit factors

Assessment of leak possibility and suggested factors

Concentration Exceeds ERPG-2

Ground or Work Area Exceeds Multiple of LFL or Time-Scaled ERPG-3

图 2.15: 丙烯腈示例后果概述 第 1 部分

<b>CONSEQUENCE SUMMARY</b>	
RAST Version 2	Date:
Loss Event for: Vessel/Tank; V-101 Containing Acrylonitrile :	Gasket Failure
<b>Dispersion Summary</b> (Atmospheric Stability Class D with 3 m/sec wind except as noted):	
Max Distance to Time-Scaled ERPG-2, m	180.4
Max Distance to Time-Scaled ERPG-3, m	123.2
Max Distance to 1% Lethality for 1.5 F weather, m	350.7
Max Distance to Estimated LC-50 Concentration, m	55.4
Max Distance to Flash Fire Impact or 0.5 LFL, m	15.5
Maximum Ground Elevation Concentration, ppm	1000000.0
Concentration at Distance to Fence Line, ppm	56.8
Concentration at Distance to Unrestricted Work Area, ppm	1000000.0
Concentration within Occupied Bldg 1, ppm	146.0
Concentration within Occupied Bldg 2, ppm	
Concentration within Enclosed Process Area, ppm	
Conc within Enclosed Process Area w/Ventilation, ppm	
<b>Explosion Summary:</b>	
VCE or Building Explosion Energy, kcal	
VCE or Building Explosion Distance to 1 psi Overpressure, m	
Maximum Distance to LFL Concentration, m	10.6
Blast Overpressure at Center of Occupied Building 1, psi	0.0
Blast Overpressure at Center of Occupied Building 2, psi	0.0
Distance to Severe Thermal Radiation Impact, m	
Rupture Explosion Energy, kcal	
Distance to Direct Blast Impact (10 psi), m	
Maximum Fragment Range, m	
Rupture Distance to 1 psi Overpressure, m	
Rupture Overpressure at Center of Occupied Building 1, psi	0.0
Rupture Overpressure at Center of Occupied Building 2, psi	0.0
	Probability of Ignition (POI)
	2
	Probability of Explosion (POX)
	2

所选失效事件蒸汽扩散概述

Potential Toxic Impact within Occupied Building (Indoor Conc > one-

失效事件筛选注释

所选失效事件爆炸概述

图 2.16: 丙烯腈示例后果概述 第 2 部分-所选失效事件的扩散与爆炸概要

<b>CONSEQUENCE SUMMARY</b>		
<i>RAST Version 2</i>		<i>Date:</i>
<b>Loss Event for: Vessel/Tank; V-101 Containing Acrylonitrile :</b>	<b>Gasket Failure</b>	
<b>Incident Outcome and Consequence Summary:</b>	<b>LOPA Tolerable Frequency</b>	
Impact Assessment with Personnel routinely in the immediate area	Exceeds Threshold Criteria	<b>Factors Based On</b> <i>Estimated Number of People Impacted</i>
Offsite Toxic Impact based on Toxic Integration Method and 180 m to Fence Line	Yes	<input type="text" value="5"/>
Onsite Toxic Impact based on Distance to LC-50 Concentration of 55 m <i>Outdoor Toxic Exposure Duration 600 sec</i>	Yes	<input type="text" value="4"/>
Onsite Flash Fire Impact based on Distance to 0.5 LFL Concentration of 15 m	Yes	<input type="text" value="4"/>
Chemical Exposure based on Dermal or Thermal Hazards and Spray Distance of 6 m		<input type="text" value="3"/>
Onsite Direct Blast Impact based on Distance to 10 psi of 0 m		<input type="text"/>
Onsite Thermal Radiation Impact based on Distance from Fireball of 0 m		<input type="text"/>
Occupied Building Toxic Impact <i>Number of Potential Serious Impacts for Building 1: 0.6 people</i> <i>Number of Potential Serious Impacts for Building 2: 0 people</i>	Yes	<input type="text" value="4"/>
Occupied Building Impact from Vapor Cloud Explosion <i>Number of Potential Serious Impacts for Building 1: 0 people</i> <i>Number of Potential Serious Impacts for Building 2: 0 people</i>	No	<input type="text" value="NA"/>
Occupied Building Physical Explosion Impact <i>Number of Potential Serious Impacts for Building 1: 0 people</i> <i>Number of Potential Serious Impacts for Building 2: 0 people</i>	No	<input type="text"/>
Environmental Impact:		<input type="text" value="NA"/>

图 2.17: 丙烯腈示例后果概述 第 3 部分-所选失效事件影响评估概要, 包括所选失效事件的 LOPA 可容忍频率因子

### 场景识别

根据操作经验、事故历史和历史风险分析开发了一个场景库。RAST 中的场景库是基于将输入的设备项作为一个研究“节点”，识别其常见参数和偏差——一种用于危险和可操作性研究（HAZOP）的技术方法。对于简化的过程风险分析，参数偏差主要考虑那些能够导致有害物质或能量的意外释放（失效事件）进而对人员或环境造成影响的方面。仅涉及设备损坏或业务损失的很少包含其中。

场景库中的不满足“可行性”标准的场景以灰色显示，不包括在场景结果工作表中。场景识别清单是为了协助危害评估或风险分析小组识别出设备项目操作中可能出现的错误。这个列表是交互式的：添加或修改输入信息将更新列表。如果这个工作表选项卡直接访问此工作表，则应使用“Update”命令确保信息是最新的。



图 2.18 展示了一些选定场景的建议场景截图。

带有注释或描述的场景类型

如果直接通过“工作表”选项卡“更新”访问，则使用“更新”命令

Scenario Type	Scenario Comments	Parameters and Deviation	Initiating Event (Cause)	Initiating Event Description	Loss Event	Outcome	Potential Outcome / Tolerable Frequency Factors													
							On-Site Toxic Release	Off-Site Toxic Release	On-Site Toxic Release	Off-Site Toxic Release	Toxic Infiltration	Chemical Exposure	Flash Fire or Fireball	Vapor Cloud Explosion	Building Explosion	Equipment Explosion	Property Damage or Business Loss	Environmental Damage		
Drain or Vent Valve Open	Drain or Vent Valve left open following infrequent maintenance, purging or clearing	Flow-Loss of Containment	Human Failure Action once per quarter or less	Operator leaves Drain or Vent Open following infrequent maintenance	Drain or Vent Leak	On-Site Toxic Release, On-Site Toxic Release, Toxic Infiltration, Chemical Exposure, Flash Fire or Fireball	5	4	4	4	3	4								
Excessive Heat Input - Pool Fire Exposure	Vapor Pressure exceeds Relief Set or Burst Pressure from Pool Fire Exposure	Pressure-High	EF#3 as determined by Process Safety	Leak of Flammable Material or Material above its Flash Point which may ignite	Vapor Relief Vent - Fire Equipment Rupture at Fire Conditions	On-Site Toxic Release, On-Site Toxic Release, Toxic Infiltration, Chemical Exposure, Flash Fire or Fireball, Equipment Explosion	6	5	5	6	4	4							3	
Ignitable Headspace	Chemical is Flammable or Combustible: Maximum Operating, Mechanical Energy or Heating Media Temperature exceeds Flash Point, less 5 C	Composition-Wrong Concentration	BPCS Instrument Loop Failure	Failure of Pressure or NonCombustible Atmosphere Control	Equipment Rupture - DeRagration	On-Site Toxic Release, On-Site Toxic Release, Toxic Infiltration, Chemical Exposure, Flash Fire or Fireball, Equipment Explosion	6	6	6	3	4								3	
Overflow or Overfill	Overflow or Backflow of liquid with spill rate equal to the feed rate to a maximum quantity of the available inventory minus contained mass	Level-High	BPCS Instrument Loop Failure Human Failure Action more than once per quarter	Failure of Level Indication with continued addition of material Operator opens venting valve or initiates filling when equipment is not empty	Overflow Release	On-Site Toxic Release, On-Site Toxic Release, Toxic Infiltration, Flash Fire or Fireball On-Site Toxic Release, On-Site Toxic Release, Toxic Infiltration, Flash Fire or Fireball	6	5	5	4										
Vacuum Damage	Rating for Full Vacuum Not Entered for Low Design Pressure Equipment	Pressure-Low	BPCS Instrument Loop Failure	Failure of Pressure Control	Full Bore Hole Size Leak above Liquid Level	On-Site Toxic Release, Flash Fire or Fireball	3				4									
Excessive Heat Input - Heat Transfer	No Heating Media Temperature was noted	Pressure-High	BPCS Instrument Loop Failure	Failure of Flow Control	Criteria for Triggering Incidents Not Met															
Excessive Heat Input - Mechanical	Vapor Pressure plus pad gas exceeds Maximum Allowable Working Pressure or Relief Set Pressure at Maximum Temperature from Mechanical Energy Input	Pressure-High	Human Failure Action once per quarter or less	Agitation or Pump Recirculation left running for extended time allowing slow temperature increase	Vapor Relief Vent - Mechanical Energy	Consequence Does Not Exceed Threshold Criteria for Contributing with LOPA														
Excessive Pad Gas Pressure	Maximum Pad Gas Pressure Does Not Exceed the Maximum Allowable Working Pressure or Relief Set Pressure	Flow-High	Regulator Failure	Regulator Fails causing high flow or pressure	Criteria for Triggering Incidents Not Met															
High Temperature Failure	Maximum Feed Temperature Does Not Exceed Temperature limits of Equipment	Temperature-High	BPCS Instrument Loop Failure	Failure of Temperature Control	Criteria for Triggering Incidents Not Met															
Pad Gas Compression	Maximum Feed or Downstream Pressure does not exceed the Maximum Allowable Working Pressure or Relief Set Pressure	Pressure-High	BPCS Instrument Loop Failure	Failure of Pressure Control	Criteria for Triggering Incidents Not Met															

图 2.18: 丙烯腈示例的部分建议场景

输入参数变更的影响示例:

为了说明输入参数更改的后果:

从主菜单中选择场景识别并查看场景列表,

返回主菜单, 选择设备参数输入。输入“隔离”作为“是”

同样, 从主菜单中选择场景识别。

注意, 添加了一个新的场景(图 2.19):

**Suggested Scenarios from the RAST Library**

<< Go To Main Menu      Update      Go To Scenario Results >

**HAZOP Node:** Plant Section = Vessel/Tank, Equipment Type = Vessel/Tank, Equipment Tag = V-101

**HAZOP Design Intent:** V-101 is a Vessel/Tank containing Acrylonitrile that operates at 25 C and 0.01 bar. The volume is 100 cu m with a maximum allowable working pressure of 0.2 bar. The maximum feed or flow rate is 400 kg/min.

*Scenarios in gray were considered but are excluded for reason noted*

**LOPA Menu Filters:** Mechanical Integrity Scenarios will NOT be reported. Scenarios with NO IPL's Required will NOT be reported.

Scenario Type	Scenario Comments	Parameters and Deviation	Initiating Event (Cause)	Initiating Event Description	Loss Event	Outcome	Potential Outcome / Tolerable Frequency Factors												
							Off-Site Toxic Release	On-Site Toxic Release	Indoor Toxic Release	Toxic Infiltration	Chemical Exposure	Flash Fire or Fireball	Vapor Cloud Explosion	Building Explosion	Equipment Explosion	Property Damage or Business Loss	Environmental Damage		
Drain or Vent Valve Open	Drain or Vent Valve left open following infrequent maintenance, purging or cleaning	Flow-Loss of Containment	Human Failure Action once per quarter or less	Operator leaves Drain or Vent Open following infrequent maintenance	Drain or Vent Leak	Off-Site Toxic Release, On-Site Toxic Release, Toxic Infiltration, Chemical Exposure, Flash Fire or Fireball	5	4		4	3	4							
Excessive Heat Input - Mechanical	Vapor Pressure plus pad gas exceeds Maximum Allowable Working Pressure or Relief Set Pressure at Maximum Temperature from Mechanical Energy Input	Pressure-High	Human Failure Action once per quarter or less	Agitation or Pump Recirculation left running for extended time allowing slow temperature increase	Vapor Relief Vent - Mechanical Energy	Consequence Does Not Exceed Threshold Criteria for Continuing with LOPA													
					Equipment Rupture at Saturation Temperature	Off-Site Toxic Release, On-Site Toxic Release, Toxic Infiltration, Chemical Exposure, Flash Fire or Fireball, Vapor Cloud Explosion, Equipment Explosion	6	6		5	4	5	5	3					

图 2.19: 由于增加保温而添加的新场景

如果这个容器隔热效果良好，那么由于循环产生的少量热量可能会缓慢地将最高温度提高到某个温度点导致丙烯腈的蒸汽压力超过设备设计极限。另外一个例子：

从主菜单中选择“输入工艺条件”。

输入下游压力（表压） 0.5 bar，以反映下游流体的压头。

回到主菜单，再次选择场景识别。

注意，已经修改了这个场景（图 2.20）：

**Suggested Scenarios from the RAST Library**

<< Go To Main Menu      Update      Go To Scenario Results >

**HAZOP Node:** Plant Section = Vessel/Tank, Equipment Type = Vessel/Tank, Equipment Tag = V-101

**HAZOP Design Intent:** V-101 is a Vessel/Tank containing Acrylonitrile that operates at 25 C and 0.01 bar. The volume is 100 cu m with a maximum allowable working pressure of 0.2 bar. The maximum feed or flow rate is 400 kg/min.

*Scenarios in gray were considered but are excluded for reason noted*

**LOPA Menu Filters:** Mechanical Integrity Scenarios will NOT be reported. Scenarios with NO IPL's Required will NOT be reported.

Scenario Type	Scenario Comments	Parameters and Deviation	Initiating Event (Cause)	Initiating Event Description	Loss Event	Outcome	Potential Outcome / Tolerable Frequency Factors												
							Off-Site Toxic Release	On-Site Toxic Release	Indoor Toxic Release	Toxic Infiltration	Chemical Exposure	Flash Fire or Fireball	Vapor Cloud Explosion	Building Explosion	Equipment Explosion	Property Damage or Business Loss	Environmental Damage		
Overfill or Backflow	Overfill or Backflow of liquid with spill rate equal to the feed rate to a maximum quantity of the available inventory minus contained mass	Flow-Backflow	Pump (blower, compressor, etc.) Failure	Pump Failure causing backflow	Backflow Release	Consequence Does Not Exceed Threshold Criteria for Continuing with LOPA													
					Equipment Rupture at Operating Temperature	Off-Site Toxic Release, On-Site Toxic Release, Toxic Infiltration, Chemical Exposure, Flash Fire or Fireball, Vapor Cloud Explosion	6	6		6	3	5	5						
Overfill or Overflow	Overfill or Backflow of liquid with spill rate equal to the feed rate to a maximum quantity of the available inventory minus contained mass	Level-High	BPCS Instrument Loop Failure	Failure of Level Indication with continued addition of material	Overfill Release	Off-Site Toxic Release, On-Site Toxic Release, Toxic Infiltration, Flash Fire or Fireball	6	5		5	4								
			Human Failure Action more than once per quarter	Operator opens wrong valve or initiates filling when equipment is not empty		Off-Site Toxic Release, On-Site Toxic Release, Toxic Infiltration, Flash Fire or Fireball	6	5		5	4								

图 2.20: 由于增加下游压力而进行的场景修改

通过增加第二失效事件来反映通过回流方式可能导致溢流发生。还要注意，可以添加其他的初始事件。

注意回流速率可能还需要进行后果评估。（结果注释指出，结果不超过 LOPA 中执行的阈值标准。

## 保存初步分析结果

从主菜单中，选择进入设备表格，选择含有 V-101 的单元格，然后选择加载选定项。这将撤销保温和下游压力输入内容的变化，然后返回主菜单。为加载的设备选择更新场景（黑色宏按钮）。初步分析的结果将存储在场景结果工作表的一行中，这一行由唯一的场景编号标识。结果包含有关设备类型、场景类别、初始事件、失效事件、事件结果、后果、释放量概述和危险距离估算概述的信息。

## 场景结果工作表可以通过 LOPA 菜单进入。

它本身不会进行“计算”，而是根据可用的输入信息在某个时间点捕获场景信息。如果输入内容被更改并在一段时间后启动设备加载项来更新场景，则将对每个现有场景的估计值与之前的值进行比较。当估计值与之前的估计值不匹配时，包含更改结果的单元格将变为“绿色”，先前的值存储在单元格注释中。这样允许用户确定输入信息更改所带来的影响。

场景结果工作表的一个示例在图 2.21 中展示

View results summary without Protective Layer details using Column Filter 1

Each Scenario is stored in a single row identified by a unique Scenario Number

Each Scenario contains an Equipment Type, Scenario Type, Initiating Event, Loss Event, Outcome, Consequence (LOPA Tolerable Frequency) and Key Chemical Involved.

Comparison to previous analysis results

SCENARIO	Cross Ref	Equipment Tag	Scenario Type	Initiating Event General Description	Loss Event	Outcome	Tolerable Frequency Factor	Revised Tolerable Frequency Factor	Tolerable Frequency Factor Used	Initiating Event Factor	Probability of Ignition	Lead Probability of Ignition	Ability of Ignition Used	Probability of Exposure	Lead Probability of Exposure	Ability of Exposure Used	Probability of Risk or Other Condition	Layers of Protection Required	In Layers of Protection	Worst Case Scenario for Further Analysis	Analyze via LOPA?	Source	Tool Version Used for Last Calc	Date of Last Calc	Comparison with Last Run
15	10.01	V-101	Ignitable Headspace	BPCS Instrument Loop	Equipment Rupture - Deflagra	Chemical Exposure	3	3	1	1	1	0	0	0	0	1	1				Tool	2	3/19/2019 13:27	New	
16	12.01	V-101	Ignitable Headspace	BPCS Instrument Loop	Equipment Rupture - Deflagra	Equipment Explosion	3	3	1	1	1	0	0	0	0	1	1				Tool	2	3/19/2019 13:27	New	
17	11.01	V-101	Ignitable Headspace	BPCS Instrument Loop	Equipment Rupture - Deflagra	Flash Fire or Fireball	4	4	1	1	1	0	0	0	0	2	2				Tool	2	3/19/2019 13:27	New	
18	7.01	V-101	Ignitable Headspace	BPCS Instrument Loop	Equipment Rupture - Deflagra	Off-Site Toxic Release	6	6	1	1	1	0	0	0	0	4	4	High TF & IPL			Tool	2	3/19/2019 13:27	New	
19	8.01	V-101	Ignitable Headspace	BPCS Instrument Loop	Equipment Rupture - Deflagra	On-Site Toxic Release	6	6	1	1	1	0	0	0	0	4	4	High TF & IPL			Tool	2	3/19/2019 13:27	New	
20	9.01	V-101	Ignitable Headspace	BPCS Instrument Loop	Equipment Rupture - Deflagra	Toxic Infiltration	6	6	1	1	1	0	0	0	0	4	4	High TF & IPL			Tool	2	3/19/2019 13:27	New	
21	24.01	V-101	Overflow or Overflow	BPCS Instrument Loop	Overflow Release	Flash Fire or Fireball	4	4	1	1	1	0	0	0	0	2	2				Tool	2	3/19/2019 13:27	New	
22	21.01	V-101	Overflow or Overflow	BPCS Instrument Loop	Overflow Release	Off-Site Toxic Release	6	6	1	1	1	0	0	0	0	5	5	High TF & IPL			Tool	2	3/19/2019 13:27	New	
23	22.01	V-101	Overflow or Overflow	BPCS Instrument Loop	Overflow Release	On-Site Toxic Release	5	5	1	1	1	0	0	0	0	4	4				Tool	2	3/19/2019 13:27	New	
24	23.01	V-101	Overflow or Overflow	BPCS Instrument Loop	Overflow Release	Toxic Infiltration	5	5	1	1	1	0	0	0	0	4	4				Tool	2	3/19/2019 13:27	New	
25	24.02	V-101	Overflow or Overflow	Human Failure Action m	Overflow Release	Flash Fire or Fireball	4	4	1	1	1	0	0	0	0	2	2				Tool	2	3/19/2019 13:27	New	
26	21.02	V-101	Overflow or Overflow	Human Failure Action m	Overflow Release	Off-Site Toxic Release	6	6	1	1	1	0	0	0	0	5	5	High TF & IPL			Tool	2	3/19/2019 13:27	New	
27	22.02	V-101	Overflow or Overflow	Human Failure Action m	Overflow Release	On-Site Toxic Release	5	5	1	1	1	0	0	0	0	4	4				Tool	2	3/19/2019 13:27	New	
28	23.02	V-101	Overflow or Overflow	Human Failure Action m	Overflow Release	Toxic Infiltration	5	5	1	1	1	0	0	0	0	4	4				Tool	2	3/19/2019 13:27	New	
29	26.01	V-101	Vacuum Damage	BPCS Instrument Loop	Full Bore Hole Size Leak abov	Flash Fire or Fireball	4	4	1	2	2	0	0	0	0	1	1	High TF			Tool	2	3/19/2019 13:27	New	
30	25.01	V-101	Vacuum Damage	BPCS Instrument Loop	Full Bore Hole Size Leak abov	On-Site Toxic Release	3	3	1	1	1	0	0	0	0	2	2	High IPL			Tool	2	3/19/2019 13:27	New	

图 2.21:初步分析结果

### 3. 化学数据

经过处理的物料的化学和物理性质是危害评估和风险分析的基础。RAST 包含一个小型化学品数据库，并且这个数据库允许修改或创建单个物质和混合物的关键化学参数。

这部分包含：

- 常用化学性质随温度变化的简单关系式。
- 如何输入一种新化学品的化学性质。
- 如何从列出的化学物质中创建混合物。
- 在 RAST 中如何通过一个被假设为“理想”混合物的液体化合物估计蒸汽组分。

RAST 中化学性质的关系式

化学性质需要在几个温度下进行筛选计算。下面是 RAST 中使用的关键化学性质的一些简单关系式，这些性质只需要在敏感区域中不同温度下的两个数据点。

蒸汽压： $\ln (P_{\text{sat}}) = a - b / (T - c)$ 。如果只有两个数据点与温度  $T$ （单位 K）一起使用，则“ $c$ ”常数为 0

液体密度： $\rho = a - b T$

液体热容： $CS = a + b T$

汽化热： $\lambda = a - b T - c T^2$ 。如果只使用两个数据点，则“ $c$ ”常数为零。

蒸汽密度可以通过将其作为理想气体来估算：

$\rho V = 0.12 P M_w / T$ ，其中  $P$  表示压力，单位 kPa， $T$  表示温度，单位 K

注意，上述关系式中的系数通常为正数，“符号”是关系式的一部分。

RAST 中的简单性质关系式不包括状态方程（蒸汽作为理想气体进行估算）。

这一局限将导致在较高温度和压力下被操作的含有液相的设备（例如在物质临界温度附近的液化气）的估算结果精度较低。在某些情况下，可能需要使用更先进的软件来估算热力学性质，以确定接近临界点时的物质或能量释放速率。

#### 输入新的化学性质

RAST 化学数据表中提供了相当全面的化学性质信息。但是，如果化学品没有列出或用户想要修改已有数据，则必须使用 Enter New chemical 选项。

注意：要创建化学混合物，每个组分的性质必须从化学表清单中获取。见图 3.1。

输入新的化学品

Equipment Identification:	V-101
Equipment Type:	Vessel/Tank
Location:	Outdoors
Key Chemical:	Acrylonitrile

Operating Temperature =	25	C
Operating Pressure (gauge) =	0.01	bar
Saturation Temperature =	77.5	C
Physical State =	Liquid	

图 3.1:输入新的化学品

### 3. 化学数据

从化学数据工作表中，选择 Enter New Chemical。人们可以从现有化学品的性质开始，在“Starting chemical that is similar”列下选择一个化学品名称，或者仅仅在“User Supplied Values”列下输入值。注意，如果用户更新了任何化学性质，则需要保存为化学清单上不同化学名称。

选择 Save Data to Chemical Table，将信息保存为“用户”化学品，以便在当前 RAST 文件中使用。所有“用户”化学品都将包含在从该文件“导入”的新的 RAST 文件中。联系 RAST 管理员，用于在 RAST 工具内的全局可用列表中添加、更新或删除化学信息。

#### 新化学性质的输入示例

例如，我们将输入 t-丁基胺（CAS 75-64-9）作为一种新化学品的数据。输入的信息可能来自各方多种来源，包括各种物理性质数据库、供应商 NFPA 评级、美国工业协会 ERPG 值（或美国交通部保护行动标准）、材料安全数据表或其他文献引用。

#### 步骤 1：输入初始数据

分子量：73.14

熔点：-86.7°C

沸点：44.4°C



选择两个温度来关联蒸气压、液体密度、液体热容和汽化热。

这些温度应该被选择代表敏感区域（包括工作温度、环境温度、沸点等）和处于熔点与低于 0.8 倍临界温度（如果已知）之间或 1.2 倍的沸点（单位 K）（在这个例子中，被列出的临界温度是 211°C 或 484K，或者 0.8 倍的临界温度，也就是 387K 或 114°C。）选择 0°C 和 100°C 的温度。通常使用“饱和”（压力等于蒸汽压力）状态下的液体特性值。

Property	Units	Point 1	Point 2
Temperature, 1 and 2	C	0	100
Vapor Pressure (absolute)	kPa	16.3	517.1
Liquid Density	Kg/cu m	711	607
Liquid Heat Capacity	J/gm C	2.58	2.73
Heat of Vaporization	J/gm	413	323

**步骤 2:** 输入两个选定温度下的化学性质数据。使用图 3.2 中来自外部源的数据:

性质	单位	值 1	值 2
温度, 1 和 2	C	0	100
蒸汽压 (绝压)	KPa	16.3	517.1
液体密度	Kg/cu m	711	607
液体热容	J/gm C	2.58	2.73
汽化热	J/gm	413	323

图 3.2: 外部数据的化学性质

**步骤 3:** 将供应商材料安全数据表 (MSDS), ERPG 数据库以及其他来源信息的剩余可用的化学数据输入到中心 (白色) 列中。

闪点: -8°C

燃烧下限：1.7%

燃烧上限：8.9%

自燃温度：380℃

ERPG-2：0.38 ppm

### 3. 化学数据

ERPG-3：56 ppm

NFPA-健康级别：3

NFPA-易燃性级别：3

NFPA-稳定性级别：0

**步骤 4：**如果相关信息表明，该危险特性不在默认的“正常点火”类别之内，则输入点火类别。根据氧化燃烧热、最小点燃能量、自燃温度、基本燃烧速度以及最大实验安全间隙等评定系统，可分为低着火点/燃点（Low Ignition）、正常着火点/燃点（Normal Ignition）、较高着火点/燃点（Elevated Ignition）和高着火点/燃点（High Ignition）。这些分类信息详见《具有爆燃风险的气体和蒸汽引燃概率评估报告》，（Larry G. Britton, Neolytica Inc.：2005年3月10日）。以下为各类材料依据可燃性的分类举例：

- 低点火：氨、二氯甲烷和三氯乙烯
- 正常点火：正丁烷、丙烯、丙酮、甲烷和甲醇
- 次高点火：氢、乙炔、环氧乙烷、环氧丙烷、二硫化碳和乙烯
- 高点火：硅烷和各种烷基铝化合物（通常称为自燃）

**步骤 5：**若相关信息表明，该危险特性不在“介质”的默认类别之内，则输入燃料反应性类别。根据基本燃烧速度小于 45cm/s、介于 45 - 75cm/s 之间和大于 75cm/s，可分为低、中、高三类。

**步骤 6:** 若相关信息表明, 该危险特性不在默认的“半导体”类别中, 则输入电导率类别。根据液体电导率 (ps/m) 小于 100ps/m、介于 100 - 10000 ps/m 之间和大于 10000 ps/m, 分为不导电、半导体和导电三类。

**步骤 7:** 若相关信息表明, 材料中含有 (联合国) 全球协调系统或欧洲危险物质指令中列出的毒性物质, 则输入皮肤毒性和水生生物毒性类别。

**步骤 8:** 若材料是固体, 且有相关信息表明该粉尘为易燃物, 则应输入粉尘危险分类。通常, 易燃信息与粉尘处理设备相关, 化学表中不加以显示。在此种情况下, 需要将粉尘分类信息输入化学数据和主菜单, 并保存到设备表中。

用户化学数据输入界面见图 3.3。

The screenshot shows the 'User Chemical Data Input' form with several callout boxes:

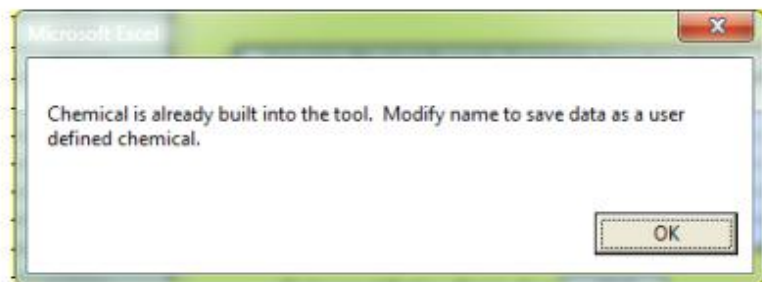
- 修改现有数据或重新输入** (Modify existing data or re-enter): Points to the 'Existing Chemical to Enter from 'scratch'' section.
- 完成时将数据保存到化学数据, 必须以新的化学名称命名** (When finished, save data to chemical data, must be named with a new chemical name): Points to the 'Save Chemical Data to Chemical Table' button.
- 粉尘数据只用于固体** (Dust data is only for solids): Points to the 'Dust Min' field.
- 橙色区域表示必填数据** (Orange area indicates required data): Points to orange-shaded input fields.
- 输入两种温度下的化学性质数据** (Enter chemical property data at two temperatures): Points to the 'Calculate Physical Property Constants from Data Points' table.
- 用户输入值将覆盖初始值** (User input values will override initial values): Points to the 'User Supplied Values' column.
- 正常沸点由输入数据的相关关系估算得到** (Normal boiling point is estimated from related relationships of input data): Points to the 'Estimated Boiling Point, C' field.

Property	Units	Point 1	Point 2
Temperature, 1 and 2	C		
Vapor Pressure (absolute)	kPa		
Liquid Density	Kg/cm <sup>3</sup>		
Liquid Heat Capacity	J/gm C		
Heat of Vaporization	J/gm		

Figure 3.3: New Chemical Data Input

图 3.3: 新化学数据输入

**步骤 9:** 在“需要保存的新化学品特性”下输入化学品名称，并选择“Save”（“保存”），将化学数据保存到化学表。如果选择了化学表中已经出现过的化学名称，则会出现一个对话框，提示新数据将不被保存在选定名称下。选择“OK”（“是”），然后选择另一化学名称。参见图 3.4。

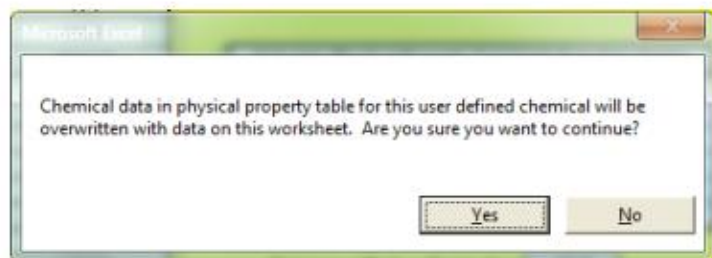


**Figure 3.4: Error if choose already existing name**

图 3.4: 选择已经存在名称，显示出错

#### 4. 反应性数据和评价

如果选择了用户指定的化学品名称，并且该名称已经存在于化学品表中，则会出现一个对话框。若只需要为用户指定的化学品更新数据，请选择“OK”（“是”）。参见图 3.5。



**Figure 3.5: Dialog box to ensure you want to overwrite chemical data**

图 3.5: 更新化学数据的对话框

由于反应数据可以保存到用户指定化学品的化学表中，所以必须输入反应信息并保存到反应输入工作表中，选择“OK”（“是”）。参见图 3.6。

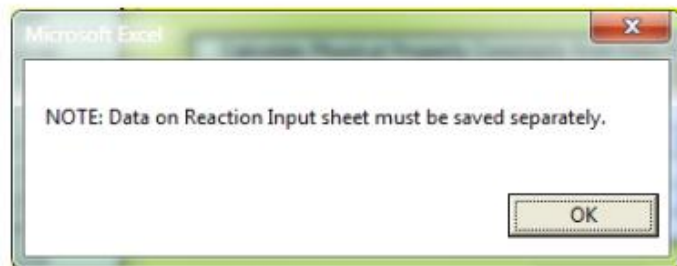


Figure 3.6: Reminder to enter Reaction Data

图 3.6: 提示输入反应数据

### 化学混合物

如有考虑混合物需求，最简单的方法是选择一个关键成分。所示样例如下。此类方法可以满足一般风险评估的需求。温度范围应包括工作温度、环境温度和正常沸点（normal boiling point）。下列“混合规则”通过单位质量分数或摩尔分数对所选化学性质进行了合理估算。

混合物液体密度可由添加剂剂量估算：

$1/\rho_{\text{混合物}} = \text{液体总量} / \text{各组分密度的和}$

例如：若 1.0 gm/cc 浓度的液体 A 占总重量的 50%，0.6 gm/cc 浓度的液体 B 占总重量的 50%。则混合液体体积则  $= 0.5 / 1 + 0.5 / 0.6 = 1.333 \text{ cc/gm}$ ，混合物密度  $= 1 / 1.333 = 0.75 \text{ gm/cc}$

混合气体密度可估计为理想气体，即：

$$\rho V = 0.12 P M_{\text{avg}} / T$$

其中  $\rho V$  表示蒸汽密度 (kg/m<sup>3</sup>)，P 表示压力 (kPa)，T 是热力学温度 (deg K)， $M_w$  是蒸汽混合物的平均分子质量。

例如：在 101.3 kPa 压力和 298 K 温度条件下，估算分子量为 30 的 50% 重量的 A 物质和分子量为 100 的 50% 重量的 B 混合物的蒸汽密度。

则其平均分子量为  $1 / (0.5/30 + 0.5/100) = 46.2$

$$\rho V = 0.12 P$$

$$M_{\text{avg}} / T = 0.12 (101.3) 46.2 / 298 = 1.88 \text{ kg/m}^3$$

混合液体的热容可粗略估计为各组分的液体总量乘以热容之和。

例如：估计 1.5 焦耳/gm 的 50%重量的 A 与 3 焦耳/gm 的 50%重量的 B 混合物的液体热容。则混合热容 =  $0.5(1.5) + 0.5(3) = 2.25$  焦耳/gm C

混合物的汽化热可估计为各组分的蒸汽总量乘以汽化热之和。

例如：估算 600 焦耳/克 50%重量的 A 和 400 焦耳/克 50%重量的 B 蒸汽混合物的汽化热。混合汽化热 =  $0.5(600) + 0.5(400) = 500$  焦耳/克

### RAST 中的汽液平衡

混合蒸汽压力需要从已知液体平衡蒸汽成分进行估计。一般的风险分析要求假设理想混合物中各组分的部分蒸汽压与纯组分蒸汽压乘以其在液体中的摩尔分数相等（拉乌尔定律）。

将上述内容进行进一步简化，可表述为：假设在较窄的温度范围内恒定的相对挥发性和恒定的蒸汽压之比。每个组分的气液平衡比率为  $k_i = y_i / x_i$ 。  $y_i$  是 i 组分的摩尔蒸汽占比，  $x_i$  是 i 组分摩尔蒸汽占比。相对挥发度为  $k_i$  值之比，其也可通过与  $k_{key}$  相比估测得到：

$$k_i = k_i / k_{key} = x_{key} y_i / (x_i y_{key})$$

对于“理想”的混合物，相对挥发度等于蒸汽压的比率。

注意：蒸汽压比值一般随温度升高而降低。根据液体成分估计蒸汽比值时需要选择合适的温度范围。

两种液相（假定均为理想液体）组成非混相液体的混合物。该种情况下，即认为每个组分都存在于液相 A 或液相 B 中。混合物的分压是每个液相的分压之和。根据物料成分和感兴趣区域的假定常数，评估每个组分的活性系数：

$$\gamma_i = x'_i + x''_i - x_i / x_i$$

该式中，  $x'_i$  和  $x''_i$  分别为组分 i 在液相 A 和 B 中的液体摩尔占比，  $x_i$  是组分 i 的总液体摩尔占比。

各部分分压情况为：

$$P_i = P_i^{sat} x_i \gamma_i$$

其中  $P_i^{sat}$  为组分 i 的蒸汽压。

总压力为各部分分压之和：

$$\Pi = \sum P_i^{sat} x_i \gamma_i \text{ and } \Pi = x_{key} \gamma_{key} P^{sat}_{key} / y_{key}$$

上式中  $x_i$  为组分  $i$  的总液体摩尔占比；

$y_i$  为组分  $i$  的蒸汽摩尔占比；

$\gamma_i$  为组分  $i$  的活跃度系数；

$P_i$  为组分  $i$  的分压；

$\Pi$  为总压力。

注意：含有酸或碱的液体混合物高度复杂，不适用于该模型。

### 液体混合物注入示例

例如，在 25°C，0.01 巴（brag）压力下，注入 50%丙烯腈和 50%水的混合物。

第一步：在化学数据工作表中输入液体成分。输入丙烯腈的重量分数 0.5。从化学列表中选择第二种化学物质“Water”（“水”），并输入其重量分数 0.5。

第二步：若有形成第二液相的化学物质，则将其输入。在水的第二液相处输入“Yes”（“是”）。当输入“Yes”时，蒸汽成分变化和估计饱和温度将被记录。两种混相液体与非混相液体的估算值有明显差异。

第三步：适当更新混合物闪点、熔点、自燃温度和易于引燃物质类别、燃料反应性、皮肤毒性、水毒性和液体导电性。混合物的这些参数未能得到准确估计，因此需要选择代表混合物中“最差”化学物质的对应值。根据大气压力下的平衡蒸汽组成，可以估计物质最低易燃温度，给出估计的混合物闪点。如果该值有效，则应该始终输入确定的实验值。

观察水作为第二液相或溶液时沸点的变化。操作温度改变到 80°C，将物理状态变为“蒸汽”进行观察。参见图 3.7。

不要保存该示例。倒入清水，并改变物料中丙烯腈的重量分数至 1.0。

Figure 3.7: Chemical Mixture Data Input

Annotations:

- 最先列出的是主要化学物质 (The main chemical is listed first)
- 显示操作温度、压力和饱和温度下的 (Shows operating temperature, pressure, and saturation temperature)
- 输入化学物质名称和质量分数，其加和应为 1 (Enter chemical name and mass fraction, sum should be 1)
- 对于能够形成第二液相的化学物质，输入“YES” (For chemicals that can form a second liquid phase, enter "YES")
- 与液体进料平衡时的估计蒸汽组成 (Estimated vapor composition at liquid feed equilibrium)
- 显示所选化学性质的估计值，可通过输入混合数据进行更新 (Shows estimated values of selected chemical properties, which can be updated by inputting mixture data)
- 可选择是否勾选单一“伪化学”模型 (Can choose whether to check the single "pseudo-chemical" model)
- 显示或隐藏详细化学数据，例如关联系数，美国消防协会 (NFPA) 评级等 (Shows or hides detailed chemical data, such as activity coefficients, NFPA ratings, etc.)

Figure 3.7: Chemical Mixture Data Input

图 3.7: 化学混合物数据输入

### RAST 中的多组分闪蒸

在 RAST 中，假定相对挥发性不变，可对单级平衡闪速进行估测。由物质守恒可得：

$$F = V + L$$

$$F z_i = V y_i + L x_i$$

$$z_i = (V / F) y_i + (1 - V / F) x_i = F_v y_i + (1 - F_v) x_i$$

$$x_i = z_i / \{ F_v (y_i / x_i) + 1 - F_v \}$$

用  $\alpha_i = k_i / k_{key} = x_{key} y_i / (x_i k_{key})$  和  $\Pi = x_{key} \gamma_{key} P^{sat}_{key} / y_{key}$  进行代换可得：

$$x_i = z_i / \{ F_v (\alpha_i \gamma_{key} P^{sat}_{key} / \Pi) + 1 - F_v \}$$



系统产生热平衡：

$$F_v = (T_0 - T) C_s / \lambda$$

RAST 采用简单的瑞利蒸馏(单平衡级)，在液体停止进池后，从液体池中蒸发多组分。物料平衡相关关系为：

$$x_i = z_i e^{\alpha_i \ln[(1-F_v)x_{key}/z_{key}] / (1-F_v)}$$

该式中：

F 表示进料流的摩尔流量；

L 表示闪蒸后摩尔液体流量；

V 表示闪蒸后摩尔蒸汽流量；

$z_i$  表示组分 i 的进给摩尔分数；

$x_i$  表示组分 i 经过闪蒸或蒸发后的液相摩尔分数；

$y_i$  表示组分 i 闪蒸或蒸发后的蒸汽摩尔分数；

$x_{key}$  表示关键组分经过闪蒸或蒸发后的液体摩尔分数；

$y_{key}$  表示关键组分闪蒸或蒸发后的蒸汽摩尔分数

$z_{key}$  表示物料主要成分的总摩尔分数；

$\gamma_{key}$  表示主要成分的活度系数；

$P^{sat}_{key}$  表示主要成分在最终温度下的蒸汽压；

$F_v$  表示闪蒸；

$\Pi$  表示闪蒸或蒸发后的总压强；

$T_0$  表示初始温度；

T 表示闪蒸后的最终温度；

$C_s$  表示摩尔液体热容；

$\lambda$  是摩尔汽化热。

上述温度相关性已经过反复试验，可使物料和能量，满足  $\sum x_i = 1$ 。

## 4. 反应性数据及评估

### 简介

对反应性危害的评估极具挑战性。评估通常涉及对反应性化学物质测试数据的分析。RAST 除了提供筛选分析技术外，还允许输入反应性化学品测试数据。

本节包括：

- 反应性筛选评估：最大反应温度和压力估计，不回归温度（TNR），到达最大反应速率（TMR）时间
- 检查绝缘材料或包装的防火性能
- 检查潜在爆炸物
- 反应性化学测试数据与一级动力学的相关性
- 对反应速率的潜在过程扰动进行评估，如：催化杂质、反应物的“池化”、装载错误或配方错误

### 反应数据及评价

反应数据工作表用于输入反应性化学品数据及筛选反应性危害的评估。输入数据包括：反应热、活化能、检测起始温度、检测起始速率、测试方法以及每单位体积材料的挥发性或产气量。

检测到的起效温度、起效率和活化可以表示反应性化学数据与一级动力学模型的“最佳拟合”状态。加速速率量热法（ARC）或排气施胶包（VSP）测试法还需要热惯性或 phi 因子。phi 因子表示试样保留的总反应热比例，用于将数据扩展应用到大型设备上。如果测试方法为差示扫描量热法（DSC），则不需要检测起始效率。对于理论测试法，输入值已经根据大型设备进行了调整。

依据设备、化学物质和化学反应，若干筛选评价被输入系统。评价包括：最高反应温度和压力，不回归温度（TNR）和 4 个初始温度的最高速率时间（TMR）。反应性参数估计了潜在爆炸材料指数（指数 > 20），该过程类似于反应性下的化学危害工程基础（CHEF）工作坊中提到的吉田关联。最后，通过物料的热导输入，对在工作温度和最高 4 个初始温度下粉体和固体“自发反应”的 Frank-Kamenetskii 临界直径进行了估算。

反应数据输入与评价示例(见图 4.1)

例如，输入无抑制丙烯腈的反应性化学测试数据。该数据是基于 MD-1987-000517 加速速率量热法测定的。

**第一步：输入反应热。** 本实验测得的热量为-1058 J/g 或-253 cal/g，该数据仅为理论报告值-17.3 千卡/摩尔或-326 千卡/克的 80%。输入-326cal/ g。

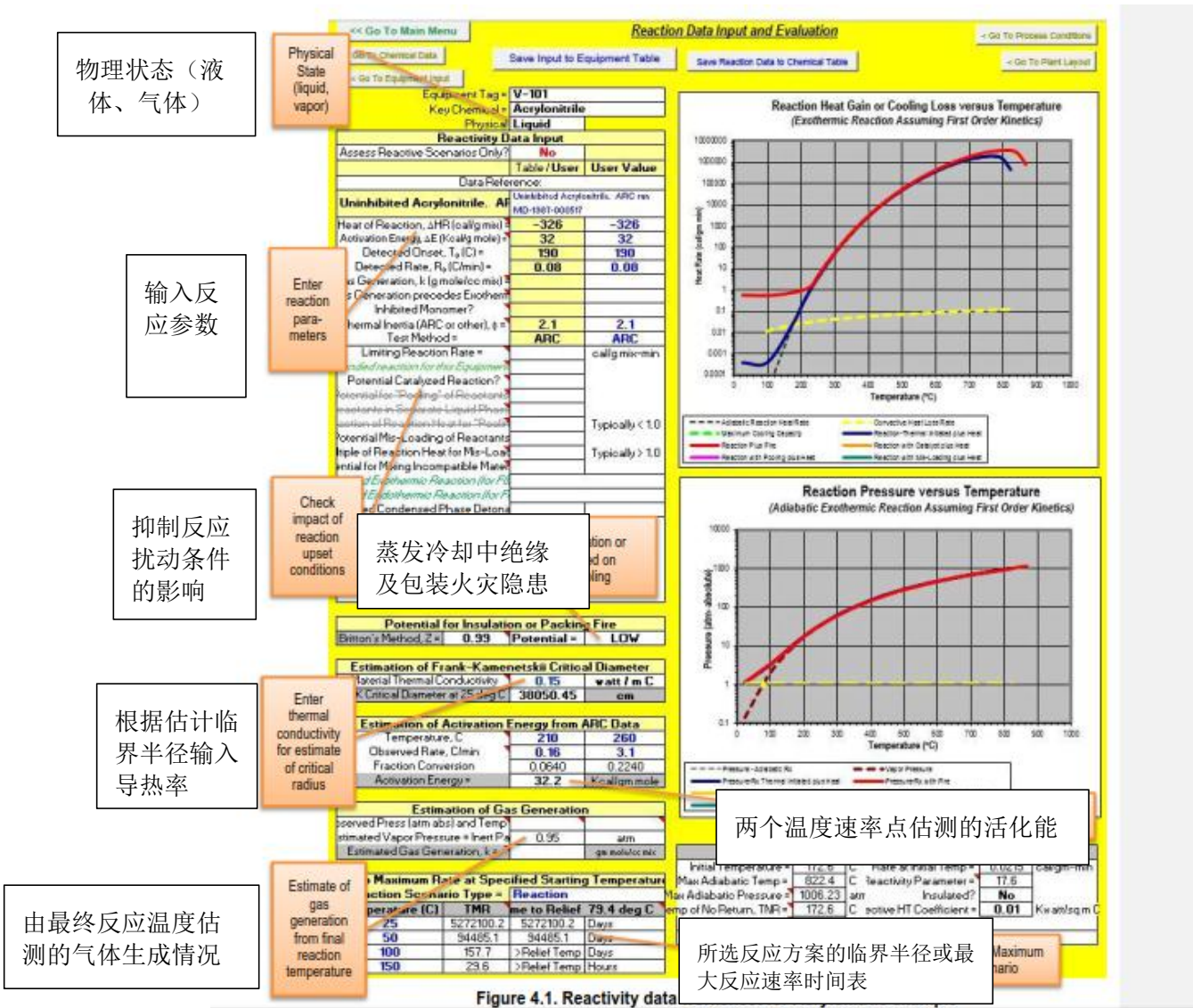


Figure 4.1. Reactivity data

图 4.1 丙烯腈反应性数据工作表示例

注意，对于连续反应，RAST 中每质量的反应热可以将原料加热到最大反应温度，使表观反应热变为  $\Delta H_R / 2$ 。

**第二步：输入活化能。**活化能应基于反应性化学物质数据与一阶模型的“最佳拟合”。输入 32 Kcal/gm mole。

如果有两个温度-速率数据可用（“最佳拟合”线上两点），可以将数据输入“电弧数据估算活化能”部分。两个数据点应在一个区间内选择，该区间应位于温升范围后 1/2 处。输入 210C 条件下 0.16C/min，260 C 时的数据 3.1 C/min（ARC 实验数据点，见图 4.2）。估计活化能为 32.2 Kcal/gm mole（图 4.3）。（注意，估计活化能会随着检测到的反应起始温度和起始速率的变化而略有变化。）

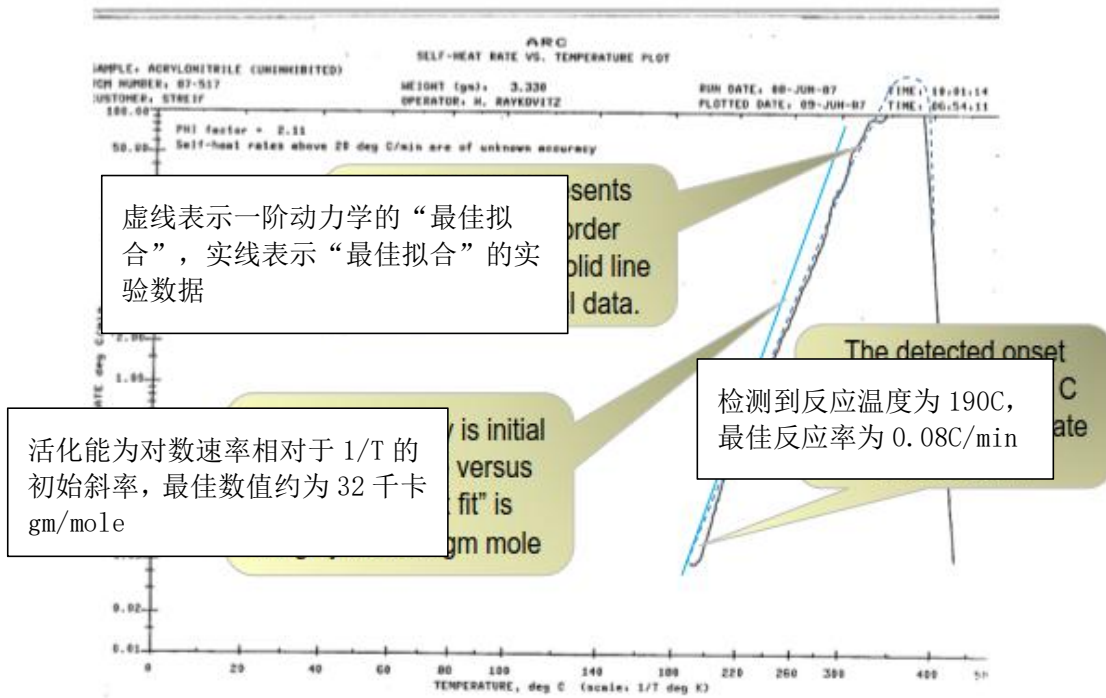


Figure 4.2 ARC data for example

图 4.2 ARC 数据示例

Estimation of Activation Energy from ARC Data		
Temperature, C	210	260
Observed Rate, C/min	0.16	3.1
Fraction Conversion	0.0640	0.2240
Activation Energy =	32.2	Kcal/gm mole

Figure 4.3 Results from Reactivity Data worksheet

图 4.3 反应性数据工作表结果

**第三步：输入检测到的反应温度和反应率。**图 4.2 中检测到的反应发生温度表明了测试仪器的检测区间。如果输入数据基于理论模型而不是试验数据，对应检测起始速率的起始温度建议为 0.01 cal/min(约 0.02 deg C/min)。如果采用 ARC 或 VSP 进行测试，则热惯量或 phi 因子也需要输入。输入 190 C 作为检测起始温度，输入 0.08 C/min 作为第一阶段“最佳拟合”反应率，phi 因子为 2.1，检测方法选择“ARC”。这表示该实验测得的起始温度下的“最佳拟合”速率。

**第四步：进入产气阶段。**由蒸汽压与温度的数据(图 4.4)可知，没有证据表明实验中有挥发性或气态的反应产物。输入 0 或留空。

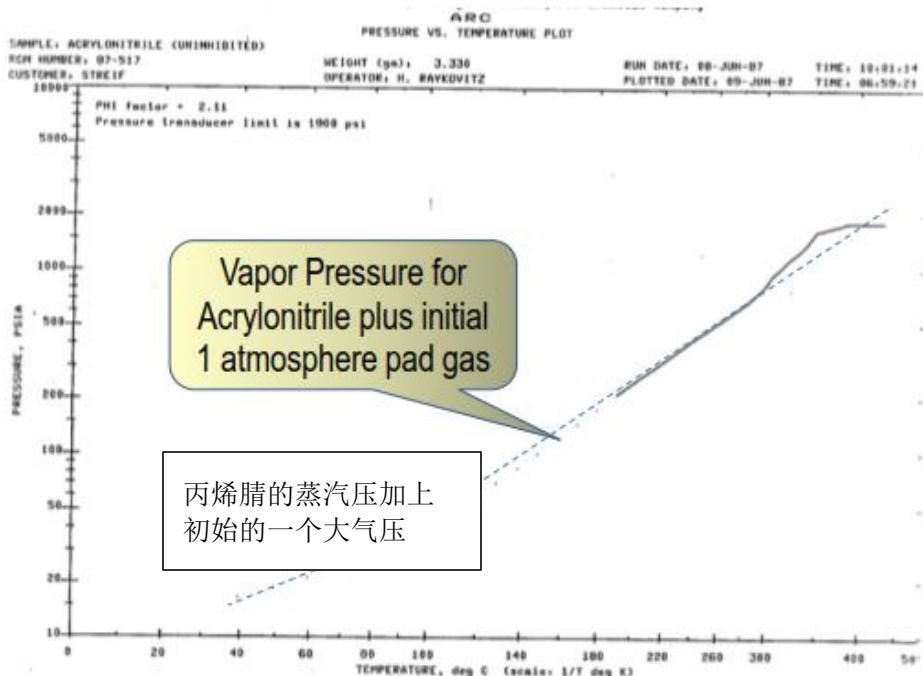


Figure 4.4 Vapor pressure vs. Temperature for example

图 4.4 蒸汽压和温度示例

实验结束时，单一压力-温度可以用来估计产气量。实验临近结束时，386C 下的气压为 1865 psia (126.9 atm)。输入该数据点以及估计蒸气压+惰性垫(来自输入数据)为 134 atm，略高于零(或空)的观测压力。每 cc 反应液体生成的 gm 摩尔气体的典型范围在 0 至 0.01 之间。

对于气相反应，产气项表示为摩尔生成物除以摩尔反应物，该值一般在 0.5 到 2 之间。

Estimation of Gas Generation		
Observed Press (atm abs) and Temp (C)	126.9	386
Estimated Vapor Pressure + Inert Pad	134.26	atm
Estimated Gas Generation, k =		gm mol/cc mix

Figure 4.5 Gas generation results for example

图 4.5 产气结果示例

**第五步：回答问题：“产气是否先于放热？”和“是否对单体有抑制？”**问题结果虽然不影响初步反应性评估，但可能对于了解可能导致反应失控或产生过量的粗糙工艺条件至关重要。

注意，即使在正常的工作温度下，任何产生挥发性或气态产物的反应都会缓慢对“封闭”系统加压。

**第六步：绝缘或填料火灾隐患。** 绝缘或填料火灾隐患分为高、中、低三种(图 4.6)。该指标基于布里顿方法，对物料闪点和自燃温度进行了比较。若化学物质不能发生氧化反应，该指数可忽略。结果不包括可能发生的其他放热反应(如聚合反应)。

Potential for Insulation or Packing Fire			
Britton's Method, Z =	0.99	Potential =	LOW

Figure 4.6 Potential for Insulation or Packing Fire

图 4.6 绝缘或包装着火可能性

**第七步：估算 Frank-Kamenetskii 临界直径。** Frank-Kamenetskii 理论要求将反应系统的温度梯度考虑在内。这一点对于固体或高粘性流体，在对流换热中可能产生较大阻力的物质至关重要。该临界直径与形状有关，RAST 中报告的临界直径基于“无限厚板”。F - K 临界直径代表固体或流体的“深度”，在此“热点”发生一段时间后，充足的诱导时间可能导致反应失控。

输入工作温度为 25C 时，丙烯腈的导热系数为 0.15 watt/m C，临界直径估计为 38050 cm，表明流体内部的热梯度使其在正常工作温度下发生反应失控的可能性极小。（图 4.7）。

Estimation of Frank-Kamenetskii Critical Diameter (Slab)		
Material Thermal Conductivity	0.15	watt / m C
F-K Critical Diameter at 25 deg C	38050.45	cm

Figure 4.7 F-K Critical Diameter

图 4.7 F-K 临界直径

根据表格中数据可以估算出不同温度下反应的 F-K 临界直径。选择 F-K 临界直径并输入所需的温度(图 4.8)。临界直径没有达到足够小，以表明无回热温度下的相应状态(基于对流热损失和塞门诺夫理论，假设内部反应介质温度相等)。

Time to Maximum Rate at Specified Starting Temperatures			
Reaction Scenario Type =		F-K Critical Diameter	
Temperature (C)		Crit Diam (cm)	
25		38050.5	cm
50		5093.9	cm
100		208.1	cm
150		18.4	cm

Figure 4.8 F-K Critical Diameter vs. Temperature

图 4.8 F-K 临界直径随温度变化表

**步骤 8: 初步反应性评价。**进入反应输入界面后，黑色虚线表示热速率与温度的关系，其接近“绝热”条件。黄色虚线表示来自设备的对流热损失估算值(基于外部表面积和来自设备输入工作表的绝缘输入)。黄色虚线的交点表示热损失，而反应热速率表示不回归温度——基于对流热损失发生失控反应的温度。

**步骤 9: 将输入保存到设备表。**

如果在设备输入中输入了机械能或传热输入数据，图中第二行会进行显示，表示反应热额外附加的热输入(深蓝色线)。如果存在池火隐患，则第三条线表示反应热与反应池火热输入之和(红线)(图 4.9)。

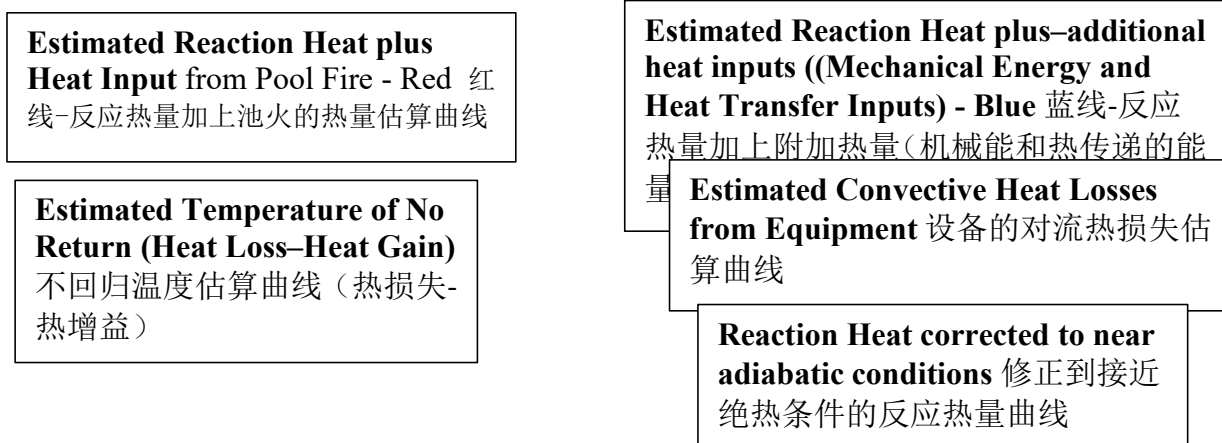


图 4.9 反应热增益或冷却损失表

## 5. 附加输入报告



有关压力与温度的估算见于下一图表。黑色虚线表示从表 3.7 化学数据工作表输入的各种组合物的蒸气压。注意，这里不考虑由于化学反应导致的混合物成分变化的影响。深蓝色曲线表示反应热加上附加热（包括初始的垫层气和任意气体产生的热量）后的总压力。若存在池火，则红线表示反应热加上池火热，否则不做考虑。若无法获取泄放设施的相关信息，则黄色虚线表示泄放设施的设定压力或最大允许工作压力（MAWP）。反应压力曲线和泄放设施设定压力（或 MAWP）曲线交叉点处的黄色三角形表示在这种反应条件下，泄放设施可能会动作（图 4.10）。

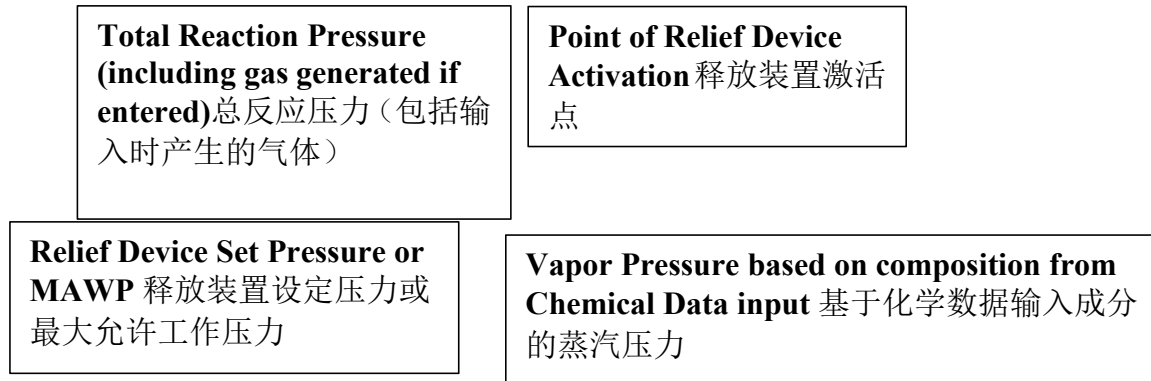


图 4.10 反应温压曲线

反应输入工作表的左下角的表格显示潜在爆炸物的最高反应温度、压力、不回归温度和反应参数。需要通过选择反应场景类型以确定呈现数值。（图 4.11）

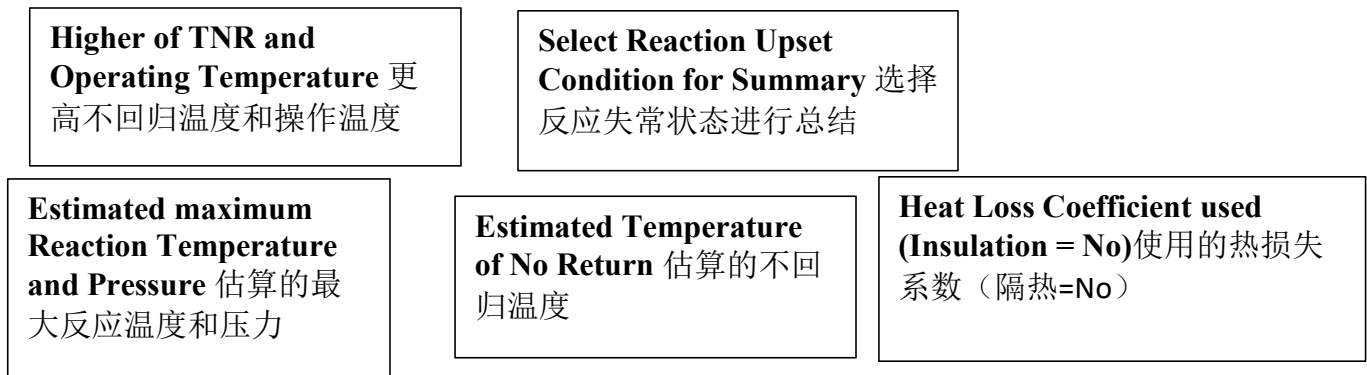


图 4.11 反应总结

反应场景类型为“Reaction”（反应）。所示值表示没有附加的热量输入。尝试其他反应场景类型以查看恰当的危险筛选值。

### 潜在过程扰乱的评估

在一些情况下，可以通过适当调整动力学参数来评估过程扰乱对反应的影响。常见的过程扰乱是：

在某些情况下，通过调整适当的动力学参数，可以对潜在的过程扰乱进行评估，筛选出过程扰乱对反应的影响。常见的过程问题包括：

- 反应外部加热
- 每质量反应热的改变（装载错误或按比例放大）
- 引入有催化作用的杂质
- 反应物的“池化”

RAST的过程扰乱评估是基于“稳态”方法将“平均”组成输入化学数据工作表和简单的一级反应动力学，因此能够识别出过程扰乱。需要通过失控反应的仿真模拟来进一步处理反应系统的细节问题，比如泄放系统设计。

**外部热量的影响：**外部热量可能来自传热表面、机械能（如搅拌器或循环泵）或外部火灾。外部热量使温度升高但不消耗反应物。在反应热速率远低于外热输入的温度下，反应转化率基本为零，总热速率主要由外部决定。RAST用简单一级动力学模型来确定反应热速率和恒定的外部热速率（例如针对外部火灾或机械能）或取决于与加热介质（例如热交换）温差的外部热速率。总热速率等于反应热和外部热源之和。

外部热量对丙烯腈储罐样品的影响。最大反应温度、压力和热耗率随外热输入的增加而增大。外部火焰（红线）反应热对温度表现出比绝热反应高近80°C的峰值速率（黑色虚线），从而导致更高的峰值热率和压力（图4.12）。



图 4.12 具有 1 c/min 外部热量的简单动力学模型示例

**每质量反应热的变化：**每质量反应热的变化影响最高温度、每一温度增量的转换和初始热速率。这种变化可能是放大的结果，因为大型设备的热惯性（对设备或样品容器的反应热损失）较小。每质量反应热的变化也可能是由于加载错误或反应物浓度变化。较稀的放热反应每质量产生的总热量较少。。

下面反应的温升(图4.13)大约是0.2除以0.15，即20%重量的反应物的升温幅度是15%的1.33倍。对于浓度较高的反应，相应的最大反应速率显著较高(接近一个数量级)。

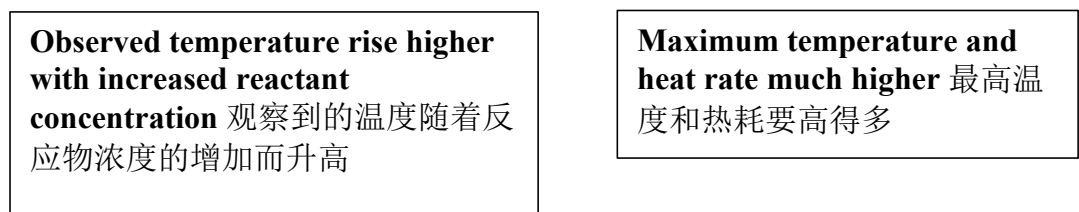


图 4.12 具有 1 c/min 外部热量的简单动力学模型示例

**每质量反应热的变化：**每质量反应热的变化影响最高温度、每一温度增量的转换和初始热速率。这种变化可能是放大的结果，因为大型设备的热惯性（对设备或样品容器的反应热损失）较小。每质量反应热的变化也可能是由于加载错误或反应物浓度变化。较稀的放热反应每质量产生的总热量较少。。

下面反应的温升(图4.13)大约是0.2除以0.15,即20%重量的反应物的升温幅度是15%的1.33倍。对于浓度较高的反应,相应的最大反应速率显著较高(接近一个数量级)。

**Observed temperature rise higher with increased reactant concentration** 观察到的温度随着反应物浓度的增加而升高

**Maximum temperature and heat rate higher at increased concentration** 最高温度和热耗率随着浓度的增加而升高

图 4.13 反应物浓度变化的简单动力学模型示例

对于浓度较高的反应,反应输入工作表可用于评估每质量反应热变化的影响。假设反应在50%溶剂中进行(具有与反应物类似的液体热容),并且可能存在的扰乱条件是没有添加溶剂。对于“Potential Mis-Loading of Reactants?”(“反应物的潜在误加载?”)这一问题,输入“Yes”(“是”)。输入“Multiple of Reaction Heat for Mis-Loading”(“加载错误时反应热的倍数”)为2。这相当于反应热相同但质量仅为总质量的1/2。但要注意的是,这里的温升基本上是绝热温升的两倍。这种变化导致预估的峰值反应速率提高了两个数量级以上(图4.14)。

**Green line is estimated reaction conditions for the change in reaction heat per mass. Here the temperature rise is roughly double the adiabatic reaction** 绿线是每质量反应热变化的估计反应条件。这里的温升大约是绝热反应的两倍。

**Enter “Yes” for Potential Misloading of Reactants and 2 for Multiple of Reaction Heat per Mass** 输入“Yes”(“是”)表示反应物的潜在误加载,输入2表示每质量反应热的倍数。

图 4.14 反应物误加载的影响

**引入催化剂或催化杂质：**引入少量催化材料可显著提高放热反应的整体自热速率。正常保持在安全操作范围内的化学品,在操作温度下可能很快发展到潜在的失控状态。。图4.15中加入500ppm BFO催化剂后,聚合反应速率显著提高(接近一个数量级)。注意,催化剂的加入只影响反应速率,而不影响温升(或反应热)。

**Observed self heat rate at the same temperature is higher with catalyst or catalytic impurity.**观察到的温升(或反应热)不受影响。

**Observed Temperature Rise (or heat of reaction) is not affected.**在相同温度下观察到的自热速率随催化剂或催化剂杂质的增加而增大。

图 4.15 添加催化剂的简单动力学模型示例

反应输入工作表可用于评估催化剂的影响。在“**Potential Catalyzed Reaction**”（“潜在催化反应”）问题中输入“**Yes**”（“是”）。通过增加一阶速率常数，直到反应热速率超过正常工作温度下的冷却能力（橙色线，图 4.16），在 RAST 中进行估算。这是一种假设情况，可能无法反映实际发生的情况。这仅仅是为了解决这样一个问题：“如果存在足够有效的催化剂，使得在正常操作温度下发生不受控制的反应，那么对反应参数有什么影响？”

如果催化剂的潜在作用显著影响分析结果，强烈建议通过实验数据进行验证。

**Enter “Yes” for Potential Catalyzed Reaction** 输入 “Yes” （“是”）表示潜在催化反应

**Orange line is estimated reaction conditions assuming sufficient catalyst for the reaction heat rate to exceed the cooling capability at the operating temperature** 橙色线表示估计反应条件，假设有足够的催化剂使反应热速率超过工作温度下的冷却能力。

图4.16潜在催化反应效果

请注意，对于丙烯腈案例来说，除非温度远高于其正常沸点77°C（TNR=140°C），否则聚合反应不会明显发生，即使对于不受抑制的材料也是如此。该设备不能在与丙烯腈蒸汽压力相对应的140 °C(约76 psia或5.2 bar)的压力下工作，因为设备可能会出现故障，物质也会在达到不回归温度之前蒸发。但是，如果不小心添加了催化剂，可能会提高潜在爆炸性反应速率。“催化剂”可能为强酸或强碱，因此，若该容器放置于洗涤剂中，可能造成洗涤剂液体污染。

**反应物池化：**控制放热反应的常用方法是缓慢加入限制性试剂，使总反应热速率与加入率成正比。“池化”发生在限制试剂的浓度允许增加的情况下——通常由于缺少混合或低温。随着未反应物质的积累，在间歇反应动力学影响下可能发生反应失控。

对于间歇反应，限制反应速率估计为反应热除以添加时间。对于连续反应，极限反应速率被预估为每质量的反应热除以停留时间。停留时间通过反应器的总质量容量除以物质的质量进料速率来进行估算。

假设反应由单体的加入控制超过60分钟。输入-326/60min或-5.43 cal/g-min的极限反应速率。为了估计反应条件，若50%的进料没有反应，输入“**Yes**”（“是”）表示反应物的“**Potential for Pooling**”（“潜在池化”）？“池”反应热分数为0.5。[注-在输入值之前，这些线都是“灰色”的。]在RAST中对这种情况进行估计，用热率与温度曲线图上的紫色线表示（图4.17）。

**Enter -5.43 for LimitinReaction Rate, “Yes” Potential Pooling of Reactants and 0.5 foFraction of Reaction Heat for Pooling** 输入 -5.43 表示限制反应速率，“Yes”（“是”）表示潜在的反应物池，“0.5”表示反应热的分数

**Purple line is estimated reaction conditions for a runaway reaction based on 50% of reactants participating** 紫色线是根据参与反应的反应物的 50%来估计失控反应的反应条件。

图 4.17 反应物池化效果

在某些情况下，可能存在两种液相。例如，如果反应混合物为 25%的丙烯腈和 75%的水，则每质量的反应热为 0.25 (-326) 或 -81.5 cal/g 混合（状态）。在“Reactants in Separate Liquid Phase”（“分离液相反应物”）项中选择“**Yes**”（“是”），保守预估 RAST 内第二种液体没有热损失的反应条件。注意，“pooling of reactants”（“反应物池化”）不适用于蒸汽相反应。

**不要保存潜在反应物加载错误、潜在催化反应和潜在的反应物“池化”的条目。**

## 5. 附加 RAST 输入和报告

### 介绍

RAST 允许输入设备、工艺条件和工厂布局的详细信息。这些附加信息用于支持危险情况识别和风险量化改进。

本节包括：

- 如何使用附加的设备参数信息来识别场景和评估危险。
- 如何使用附加的工艺条件信息来识别场景和评估危险。
- 如何使用附加的工厂布局信息来识别场景和评估危险。

### 设备参数

除了最低要求的输入外，各种评估和报告还可能需其他信息。信息越多，评估就越彻底。但是，只需输入正在评估的具体设备的信息即可。更多示例参见图 5.1。

### 通用设备信息

通用设备信息适用于大多数类型的设备。所需的最小输入为容积和最大允许工作压力（MAWP）。其他输入包括：

**全真空等级?**——若发生真空故障，应回答“**No**”（“否”）。若 MAWP 小于 1 个大气压力计（101 kpag 或 14.7 psig），则输入突出显示“**Yellow**”（“黄色”）作为建议输入。若为空，则默认假设设备为真空额定值。

**预计高温故障**——由于材料强度减弱，在正常工作压力下可能发生设备故障的温度。

**预计的脆化温度**——是指设备在冲击应力下可能因从韧性转变为脆性而失效的温度。

**喷嘴或管道直径**——表示喷嘴、管道或软管故障情况下的最大实际孔尺寸。其为除盛装固体的设备以外所有设备的最低输入要求。

**法兰或喷嘴数量**——输入用于评估较小孔尺寸（5 毫米和 25 毫米）的机械完整性场景，通常与法兰或垫圈故障有关。

**施工材料**——常用施工材料清单。用于确定设备是否“易碎”（在超压故障或破裂时可能导致许多碎片）、易受绝缘（外部腐蚀）下的腐蚀以及确定机械完整性场景的故障频率。

**设备质量**——用于更好评估过热情况下的“故障时间”。若为空，则默认为故障时间为 0，这样评估中只使用设备容量相关的质量。对于泵，如果此输入为空，则使用基于离心泵数据的默认设备质量估值。

**内部腐蚀或应力开裂的可能性?**——如果设备容量代表建筑材料的内部腐蚀或应力开裂可能性，则应回答“**Yes**”（“是”）。此输入用于确定机械完整性场景的故障频率。若为空，则默认假设施工材料与设备内容兼容。

**General Equipment Information—Used for most equipment types** 大多数设备类型使用的一般设备信息

**Piping parameters** 管道参数

**Parameters specific to pumps** 泵的特定参数

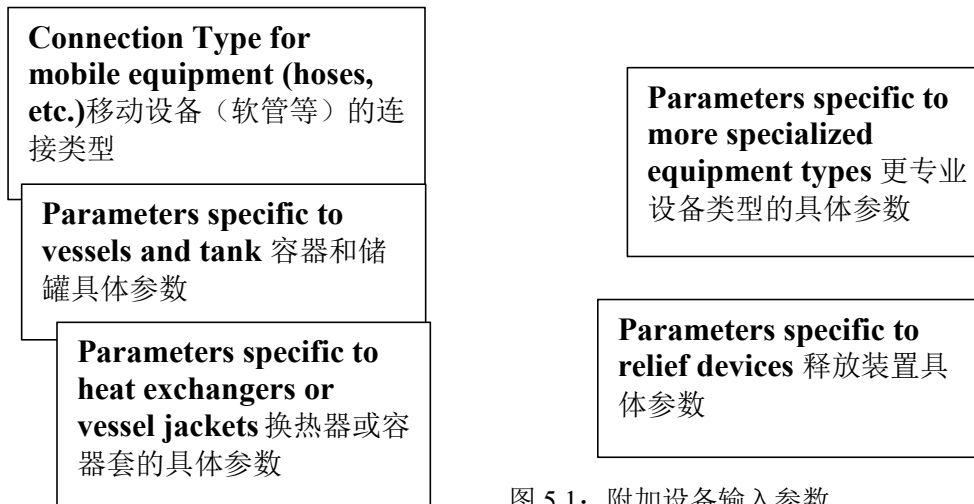


图 5.1: 附加设备输入参数

## 6. 保护层分析

**易受振动疲劳影响?**——若振动疲劳可能导致小孔大小的泄漏，表示较大管道中的“裂纹”或较小管道分支的故障，则应回答“Yes”（“是”）。

**电机功率**——表示设备（如容器搅拌器或搅拌机、循环泵等）的机械能输入，也可表示电加热器或伴热器。假设整体“无效率”为 50%（产生热量的功率），这对泵和搅拌器是保守的，但对电加热器是乐观的。对于液压效率为 0.6、电机效率为 0.9 且与所需液压功率完全匹配的泵，热效率约为  $(1-0.6)(1-0.9)=0.36$ ，而不是 0.5。用户可能需要调整功率输入以改进对最大机械能温度的评估。

**绝缘**——用于确定能量平衡估算中的热损失系数。选择“Yes”（“是”）、“No”（“否”）和“Fireproof”（“防火”）。选择“Fireproof”将减少外部火灾的预计热输入。如果设备工作温度在绝缘温度范围内腐蚀，输入将标记为“潜在腐蚀绝缘（CUI）”。

**绝缘热折减系数**——这是一个折减系数，乘以传热系数表示绝缘。如果不输入，默认值为 0.05。

**用户设备湿表面积**——是用于火灾热输入或对流热损失的设备湿表面积。若为空白，将根据设备体积和储罐/容器几何结构使用预估的湿润表面积。

**伴热器?**——如果设备进行了伴热，则输入为“Yes”（“是”）。

**设备表面标高**——表示液体池上方泄漏的标高或高度。该输入用于确定火灾热输入（大于 30 英尺或 9.1 米海拔时，火灾热为零）、液体喷雾距离和气溶胶液滴持续时间，从而评估空气质量。如果该输入为空，则使用默

认值 1m。

**泄水阀通径**——相当于“通孔通径”，用于评估泄漏率，适用于意外开启泄水阀的情况。如果输入为空白，使用默认½英寸(表示一个标准¾英寸旋塞阀相当于½英寸孔)。

### 容器或储罐具体参数

除了一般设备参数外，针对容器或储罐的附加输入还包括：

**容器/罐几何?**——采用水平、垂直、平底和/或锚定的几何形状，以改进表面积和破裂压力的评估。

**弱缝顶低压罐?**——用于确定容器是否锚定为弱缝顶。

**被视为“储存”的容器/罐?**——根据 API 521 确定储罐是否被视为存储器。其为 F&EI 输入，用于确定火灾热输入。

**导电性浸渍管还是底部填充物?**——若适用，应回答“**Yes**”（“是”）。回答“**Yes**”时，建议将此设计特点作为一种潜在的安全相关保护系统，用于防止含有易燃材料的储罐或容器发生静电排放。

### 换热器或容器套夹套具体参数

除一般设备参数外，换热器或容器套夹套具体附加输入包括：

**传热面积**——用于估算热输入速率的面积  $A$ ， $q = U A \Delta T$ ，其中  $\Delta T$  为传热流体温度与工作温度之间的温差。

**供热总量  $U$** ——传热系数  $U$ ，用于评估供热率。如果传热面积或加热总量  $U$  为空白，则不进行热输入率的评估。

**传热流体温度**——用于确定最大工作蒸汽压是否超过设计限值，最大工作温度是否超过不回归反应温度，以及估计热输入速率。

**传热流体压力**——用于确定管道或换热器的故障是否会将传热流体泄漏到过程中，或过程流体是否会泄漏到传热系统中。

**管道故障释放到大气中?**——如果管道故障会导致过程流体释放到大气中，应回答“**Yes**”（“是”）。

**传热流体名称**——用于查找传热流体的化学性质，以评估管道泄漏危险。传热流体状态不是通过输入方式，而是根据流体性质、温度和压力进行评估。

**管道或泄漏直径**——用于估计泄漏率和管道故障的潜在后果。

**管数**——输入为“ $<100$ ”或“ $>100$ ”，以确定 LOPA 中的起始事件因素。



**冷却转移区域、冷却整体 U 和冷却液温度**——用于评估反应场景中不回归冷却温度的输入。

### 管道具体参数

除一般设备参数外，针对管道的附加输入还包括：

**管道长度**——在同一化学设施中与整个管道回路相关联的管道长度。

**管道易损坏？**——用于确定是否应该将管道损坏场景添加到要考虑的场景列表中。

**应用螺纹连接惩罚？**——此输入具有以下选项：无惩罚、通过非常小、通过中等、通过较大和通过非常大。通过所记录的孔尺寸，对机械完整性方案进行处罚。注意，管道输入仅在设备类型为管道、泵、压缩机或鼓风机、涡轮或气体膨胀机时使用。

### 泵的具体参数

除了容积、最大允许工作压力(MAWP)和电机功率等一般设备参数外，泵的附加输入还包括：

**设备容积**——表示泵加管道系统的容积。根据离心泵的数据，估算出离心泵的泵腔容积。

**泵类型**——用于确定建议的泵压头类型，以便进行评估。选项有：离心式，正排量，或有限源压力隔膜。如果输入为空，则默认为离心。

**密封或密封类型**——用于确定密封或套管泄漏场景的初始事件。选项有：单机械，双机械，磁驱动或罐装，或双密封。

**远程启动泵？**——如果使用“off, jog, auto”现场开关(不能处于手动“on”位置)，并且开关位置超出与泵故障相关的严重危险影响区域，则应回答“Yes”（“是”）。如果输入为空，则默认为“No”（“否”）。

**自动吸入或排出？**——如果仪表空气或基本过程控制故障可能导致排放和/或吸入值意外关闭，从而造成泵死区，则应回答“Discharge Only”（“仅排放”）或“Both Suction and Discharge”（“吸入和排出”）。

### 释放装置具体参数

为所有类型的设备输入释放装置信息。输入释放设定压力表示正在评估的设备项存在（或正在计划）释放装置。附加的释放装置参数用于评估释放装置出水或评估保护分析层内的释放速率。

**释放装置标识**——是供参考的释放装置标识号。

**释放类型**——释放装置的类型，包括：破裂盘、石墨盘、安全阀、先导操作阀、ERV、PVRV、释放管线、组合PSV和组合盘。

**释放至**——提供有关释放位置和方向的信息。选项包括：室内、室外向上、室外水平、室外对地、泵或压缩机吸入、排气集管到排污罐、洗涤器或安全壳。

**释放设定（仪表）**——是释放装置的设定压力。如果为空白，则假定未使用释放装置对正在评估的设备进行超压保护。

**释放尺寸（等效直径）**——是安全值的孔直径或其他类型设备的直径。它用于评估释放装置激活的实际流量。

**释放设计实际流量**——释放设计计算中的实际流量，必须与化学品输入工作表中的成分相匹配。如果实际流量是基于释放孔设计程序，而该程序只比较混合物中最坏情况下的化学物质，则输入应留空，并使用基于装置直径和设定压力的估计值。

**释放尾管直径**——是尾管的直径，用于确定释放系统的出口速度。该速度是确定“喷射混合”法稀释排放物的一个重要参数。如果输入为空白，则假定为低速。

**释放排出高程**——释放排出的高程，用于地面浓度与距离的离散建模。如果输入为空，则假定最坏情况下的“地面”高程释放。

**离最近的高架工作区最近的距离**——用于确定离释放位置最近的高架工作区最近边缘处有毒或易燃物质的浓度，是最典型的是释放装置。

**距离最近的高架工作区域最远的距离**——用于确定距离释放位置最近的高架工作区域的最远边缘(大面积)有毒或易燃物质的浓度，最典型的是释放装置

**最近工作区域的标高**——用于确定最近工作区域内有毒或易燃物质的浓度。

**释放装置具体位置**——仅当与设备位置不同时才输入，包括：

- 到物业界限或围栏线的释放距离
- 到使用的 1 号建筑物或区域的释放距离
- 到使用的 1 号建筑物中心的释放距离
- 使用的 2 号建筑物在同一风向上是否需要释放？

·到使用的 2 号建筑物的释放距离

·到使用的 2 号建筑物中心的释放距离

以释放装置出水筛选评价为例，对于释放装置出水评价，继续以“入门”研究为例。（注意，工厂布局工作表上的输入也会影响排放污水的筛选）

**步骤 1:** 转到设备表，在代表 V-101 输入的行中选择一个单元格。使用加载所选命令。V-101 的信息现在应该在设备输入工作表上是“active”（“激活”）。

**步骤 2:** 进入设备输入，输入释放装置标识为 PVRV-101。选择“PVRV”作为“Relief Type”（“释放类型”）。同时输入释放尺寸 250 mm（10 英寸），释放设定压力 0.07 barg（1 磅/平方英寸），释放排放高度 6 m（20 英尺）。选择“Save Input to Equipment Table”（“保存输入到设备表”）。

第 3 步：选择转到主菜单，然后从主菜单中选择“Relief Outlines Screening Report”（释放略图筛选报告）（图 5.2）。

**Effluent Screen is summarized for up to 14 standard scenarios plus 2 user defined scenarios** 出水屏幕总结了多达 14 个标准场景加上 2 个用户定义的场景

**Criteria not meeting Effluent Screening criteria is noted** 注意不符合污水筛选的标准

**A LOPA Scenario Number may be entered to capture scenario where Effluent Screening fails** 可以输入 LOPA 场景编号来捕获出水筛选失败的场景

图 5.2:排放污水筛选报告

其对 14 个标准方案和 2 个用户定义方案的排放物筛选进行汇总。输入 LOPA 场景编号，证明对这些情况进行了充分的风险管理，以完成文件要求。通过选择具体场景汇总详细信息。

第 4 步：从可用列表中选择“Overfill or Overflow”（“装得太满或溢出”）。一份报告使用同样的排放物筛选工具，显示了所选具体案例的详细信息。参见图 5.3。

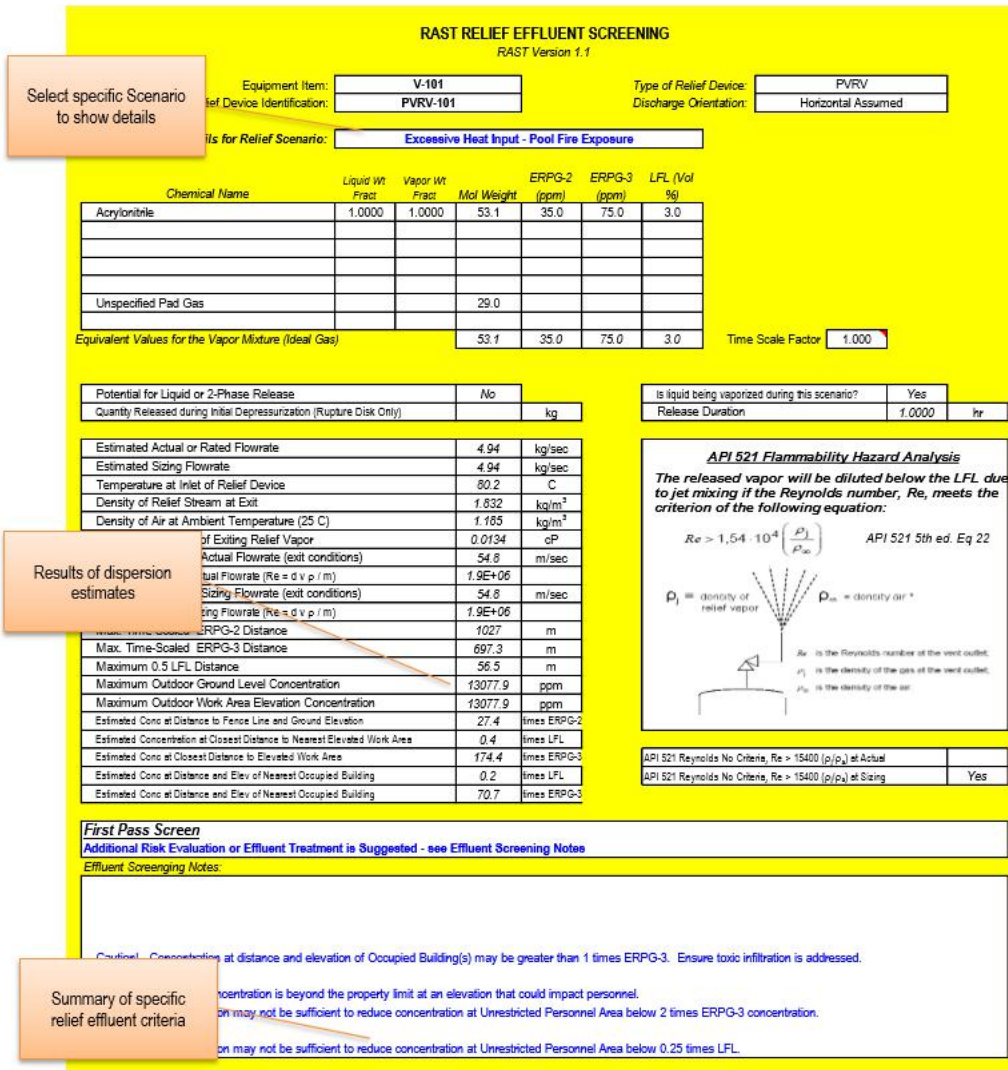


图 5.3: 具体实例污水排放报告

(图中注释的部分)

Select specific Scenario to show details

选择特定场景以显示详细信息

Results of dispersion estimate

离散估计的结果

Summary of specific relief effluent criteria

特定排放污水标准摘要

特种设备的参数除了重置成本和业务损失外，还包括高度专业化的参数，如：

除高度专业化的参数外，其他设备参数还包括更换成本、业务损失等

重置成本和业务损失-用于确定业务损失的后果。

**圆筒干燥机容积**——是干燥机的容积，而不是正在评估的设备的容积(通常是圆筒状)。

**高速旋转设备?**-用于确定固体处理设备的点火概率。“是”意味着最大叶尖速度> 9.5 米/秒。

**使用波纹管还是膨胀节?**-如合适，应回答“是”。回答“是”指的是为火灾和爆炸指数增加合适的泄漏损失。

**视镜使用?**-如合适，应回答“是”。如果答案为“是”，则表示可能出现视镜故障的情况，并在火灾和爆炸指数中增加合适的泄漏损失。

## 工艺及操作条件

各类评估或报告除了需要输入最大进料或流量和设备扬程(最低操作压力) 等设备最低要求输入信息外,还需要其他过程和操作信息。参见图 5. 4。

**Process Conditions Input**

Equipment Identification: Storage Tank  
Equipment Type: Vessel/Tank  
Location: Outdoors

Process Description

Summary of chemical specific information, for reference

Process/Operating Conditions		
Ambient Temperature =		C
Inventory Limit (blank is unlimited) =		kg
Liquid Head within Equipment, Δh =	6	m
Limiting Maximum Fill Fraction =		
Limiting Minimum Fill Fraction =		
Maximum Feed Press (gauge) =		bar
Maximum Feed or Flow Rate =	400	Kg/min
Maximum Feed Temperature =		C
Type of Feed (Batch or Continuous)		
Non-Ignitable Atmosphere Maintained?		
Potential for Aerosol or Mist?		
Pad Gas Name =		
Max Pad Gas Pressure (gauge)=		bar
Maximum Pad Gas Rate =		kg/min
Downstream Pressure (gauge) =		bar
Maximum Back Flow Rate =		kg/min
Equipment Vents to ... =		

Summary for Acrylonitrile		
Operating Temperature =	25	C
Operating Pressure (gauge) =	0.1	bar
Physical State =	Liquid	
Saturation Temperature =	80.2	C
Contained Mass =	63752	kg
Maximum Contained Mass =	79690	kg
Inventory for Reference =	103690	kg

Operating Procedures		
Percent of Time in Operation =		
Frequent Turnaround or Cleanout?		
Centralized Ventilation Shut-Off Bldg 1?		
Centralized Ventilation Shut-Off Bldg 2?		

Review of Operating Procedures for Selected Equipment Item by:

Use Time-based Release for Equipment Rupture?  sec

Information on normal process or conditions

Summary of chemical specific information, for reference

Time based model may be selected for equipment rupture if appropriate

**Process Conditions Input**

**Equipment Identification:** Storage Tank  
**Equipment Type:** Vessel/Tank  
**Location:** Outdoors

**Process Description**

**Process/Operating Conditions**

Ambient Temperature =		C
Inventory Limit (blank is unlimited) =		kg
Liquid Head within Equipment, Δh =	6	m
Limiting Maximum Fill Fraction =		
Limiting Minimum Fill Fraction =		
Maximum Feed Press (gauge) =		bar
Maximum Feed or Flow Rate =	400	Kg/min
Maximum Feed Temperature =		C
Type of Feed (Batch or Continuous)		
Non-Ignitable Atmosphere Maintained?		
Potential for Aerosol or Mist?		
Pad Gas Name =		
Max Pad Gas Pressure (gauge) =		bar
Maximum Pad Gas Rate =		kg/min
Downstream Pressure (gauge) =		bar
Maximum Back Flow Rate =		kg/min
Equipment Vents to ... =		

**Summary for Acrylonitrile**

Operating Temperature =	25	C
Operating Pressure (gauge) =	0.1	bar
Physical State =	<b>Liquid</b>	
Saturation Temperature =	80.2	C
Contained Mass =	63752	kg
Maximum Contained Mass =	79690	kg
Inventory for Reference =	103690	kg

**Operating Procedures**

Percent of Time in Operation =	
Frequent Turnaround or Cleanout?	
Centralized Ventilation Shut-Off Bldg 1?	
Centralized Ventilation Shut-Off Bldg 2?	

**Review of Operating Procedures for Selected Equipment Item by:**

--	--

Use Time-based Release for Equipment Rupture?  sec

图 5.4: 附加工艺条件参数

(图中注释的部分)

Information on normal process or conditions

关于正常工艺或条件的信息

Summary of chemical specific information, for reference

化学专用资料摘要，供参考

Time based model may be selected for equipment rupture if appropriate

适时选择设备断裂的时间模型

**总库存**——在生产过程中可能添加到被评估设备中的化学物质的总量。对于储罐，它表示在“满”罐加上任何罐车、轨道车内等可以卸到罐中的数量。总库存和估计的最大装载量之间的差异是在超载情况下可以释放的最大数量。

**最大限制填充率**——用于估计设备加热时间等的最大填充率。如果为空白，则假定为 0.9 或 90%。

**最小限制填充率**——用于估计设备加热时间等的最小填充率。如果空白则假定为 0.1 或 10%。**最大进料压力**(仪

表)——被评估设备进料的气压。如果最大进料压力小于泄压装置设定压力, 则不可能出现过充或液压过压的情况。

**最大进料温度**——被评估设备的进料最高温度。

**进料类型(间歇或连续)**——用于确定某些场景案例中最有可能的初始事件。

**不燃的气体维护?**—如果“惰性气体损失或空气进入”的场景案例包括在潜在场景案例的列表内, 请回答“是”。

**潜在的气溶胶或薄雾?**—气溶胶或薄雾经过喷溅、充填、剧烈搅拌或混合, 会增加内部爆燃着火概率。

**气垫名称**—用于查找气垫的化学性质。如果为空白, 假设 pad 气体的分子量为 29。分子量为 29 假设为垫气。

**最大气垫压力(仪表)**—气垫气体供给设备的源压力。如果最大气垫压力大于溢流装置设定的压力, 则考虑超压情况。

**最大垫气速率**——垫气进入被评估设备的最大速率。该输入用于估计气垫系统故障时的压力上升速率。

**下游压力(仪表)**—下游设备的最大压力, 并包括由于海拔变化而产生的压力。如果该压力远远大于操作压力, 则考虑回流情况。

**最大回流速率**——可能发生的最大回流速率, 用于估计回流场景的释放速率。

**设备通风口...**—用于场景案例的识别。选项包括: 直接区域、物料/蒸汽平衡、洗涤系统、点火装置(有毒-闪燃)、不通风或浮顶罐。

## 操作程序

与所选通用操作程序相关的信息可以输入, 以便在保护分析层(LOPA)中使用。包括:

**操作时间百分比**—用于确定是否在 LOPA 分析中使用风险初始因子

**频繁周转还是清理?**—如果批量作业需要经常清理设备, 请回答“是”。

**1号建筑物通风是否有效?**—在适当的情况下, 回答“是”, 这意味着存在有毒渗透场景潜在 LOPA 分析的赋值结果。

**2号建筑物通风隔断是否有效?**—在适当的情况下, 回答“是”, 这意味着存在有毒渗透场景潜在 LOPA 分析的赋值结果。

**使用基于时间的设备破裂释放?**—如果要使用基于时间的模型来计算设备的破裂结果, 请回答“是”。还需要输

入以秒为单位的响应持续时间(最大输入 600 秒)。如果输入“空白”或“否”，将使用破裂(或瞬时)释放模型。对于非常快速的事件，如压力容器中的爆炸、爆轰或非常快速的失控反应，都应该使用破裂释放模型。对于较慢的事件，如一周时间的煤层顶断裂或低压容器底部从地基升起，基于时间的模型在“适当”的时间长度上可能更准确。

## 工厂布局信息

除了至少要输入到产权内护栏线的距离、到有人的构筑物的距离和建筑物居住者人数等内容外，还需输入其他工厂布局信息来进行各种评价或报告。参见图 5.5。

图 5.5: 附加的工厂布局参数

(图中注释的部分)

Information for the specific equipment location

具体设备位置信息

Information for the enclosed process area if indoors



如在室内，请提供封闭加工区域的信息

Nearest occupied building information

接近有人居住的建筑物资料

Information for a second occupied building, if appropriate

如合适，可提供第二个有人居住的建筑物的资料

Information regarding environmental impacts

有关环境影响的资料

### **特定设备位置信息**

**到护栏线或受影响区域最远的距离**-用于估算受影响区域最大的面积，用于输入室外有毒或易燃气体的人口密度。在这个距离之外，几乎没有人会在现场。

**现场室外最大人口密度**——表示可在室外工作的人数除以室外装置区。如果该输入为空白(这是许多工业设施的平均值)，则默认使用 0.0002 人/m<sup>2</sup>。

**经常在附近工作的人员?**—如需要操作人员出勤，设备位置靠近人行道等，请回答“是”。如果输入为空，默认值为“是”。

**离装置外区域 1 结束的距离**-分析中会用到两种离区域 1 的人口密度：离区域 1 结束的距离超过产权界区距离，区域 1 的超出距离

**区域 1 装置外 1 的人口密度**-装置外人口密度紧挨产权界限距离至区域 1 距离。如果为空，将使用缺省的装置外人口密度。通常，“稀疏”人口是 0.0002 到 0.0005 人/平方米，“中等”人口是 0.001 到 0.002 人/平方米，“密集”人口是 0.003 到 0.005 人/平方米。

**区域 1 之外的装置外人口密度**-装置外人口密度立即超过区域 1 距离。如果为空，将使用缺省的装置外人口密度。

**工作区域的有效出口?**-如工作人员不会被困在高架工作平台上，并有畅通无阻的逃生通道，请回答“有”。

**紧急服务通道?**-用于火灾和爆炸指数的输入。选项包括:适当、不适当和部分适当。

**区域内设备拥塞程度?**-用于测定爆炸能量。选项包括:低、中和高。

**围堵区或堤防区**-是泄漏物料表面积能被限制的区域。如果该输入为空，则假定溢出不受限制。

**考虑到围堤破坏导致容器破裂吗?**—回答“是”，以假设溢出堤坝的液体“冲击波”或防火堤破裂失效的场景。

**排水/间接火灾吸附热度的赋值?**—如果排水系统的火灾不直接位于设备下方，则回答“是”。“是”意味着将减少美国国家防火协会规定的火灾热度(带有远程蓄水池)的50%，或在美国石油协会规定热度输入中使用较低的相关系数。

**距离最近的着火设备的距离**—用于确定火灾和爆炸指数的因素和用LOPA计算的爆炸概率。选项包括:不在范围内，10米以内(33英尺)，20米以内(65英尺)，30米以内(100英尺)和大于30米(100英尺)。

**区域内“其他”易燃液体的量**——是为池火灾提供燃料的设备附近易燃物质的数量。这个数量不包括被评估设备内的量。

**邻近区域内“其他”易燃液体的量**—是邻近区域内为池火灾提供燃料的设备或容器内易燃物质的量。

**相邻容器表面积**—是指被限制周围相邻区域的溢出的表面积。

**自动EBV限制溢油量?**—如合适，请回答“是”。该输入用于火灾和爆炸指数。

**封闭过程区域信息**

**封闭过程体积**—是所在的设备封闭过程区域的体积。如果设备位于与工艺过程厂房的其他区域是隔离的厂房中时，则应只输入厂房容积。

**封闭式过程通风率**——代表工艺过程区域的机械通风率。此输入用于估计封闭过程区域内的浓度，以确定机械通风是否可能代表保护层分析中的“赋值”。此输入不影响保护层分析结果。

**封闭区域人员数量**——表示可能在封闭过程区域内受到影响的人员数量。如果该输入为空，则默认为两个人。

**有人的构筑物信息占领建筑信息**

最多可为两栋有人居住的建筑物构筑物使用相同的投入。如果将第二座建筑物纳入评估，问题是:是否存在同一风向的已占用第二个建筑物?应根据实际情况回答“是”或“否”。参见图5.6中的示例。

描绘同一风向的有人居住的建筑物

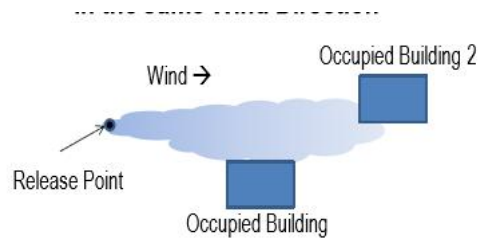


图 5.6:描绘两幢在顺风方向有人的构筑物有人居住的建筑物

**有人的构筑物名称**——是一个文本字段，供评估小组参考。

**到有人的构筑物或区域的距离?**—是所需输入的最小值，表示到有人的构筑物或封闭过程建筑物内被占用区域最近边缘的距离。

**有人的构筑物通风标高**—是通风入口的标高，通常与建筑物屋顶标高相对应。

**到有人的构筑物中心的距离**—用于估计建筑物的爆炸损害。这个值应该总是大于到有人的构筑物的距离。如果该输入为空，则使用到有人的构筑物的默认距离。

**有人的构筑物类型**—用于确定有人的构筑物的爆炸损害。选项包括：“低强度”表示低强度的活动板房，或“典型建筑”表示典型的住宅或工业建筑。在 RAST 软件筛选评估中没有考虑对高强度或抗爆炸建筑物的影响。

**有人的构筑物的通风率**—用于估计有毒物质渗入室内的浓度。此输入不影响 LOPA 分析中的赋值。

**集中通风关闭?**—如果合适，回答“是”，这将意味着潜在的 LOPA 分析可信度。建筑物居住人数—是最少的所需输入，并应代表一天中建筑物的最高入住率

## 环境输入

RAST 软件包含一张近似表格，用于估计环境后果。泄漏到土壤和泄漏到水都在考虑范围中。

**泄漏到土壤需要修复?**—若能使用此环境后果表估计泄漏土壤的可容许频率，请回答“是”。结果将基于美国国家防火协会规范中除了泄漏数量之外的健康排名。

**潜在的水污染**—如果使用这个环境后果表估计泄漏到水道的可容忍频率，那就回答“是”。后果估算表将根据泄漏到水体的毒性(有害的、有毒的、非常有毒的)和溢出量来估计。

设施下游人口密集?—如果一个城市或其他人口密集的地区恰好位于泄漏地点的下游, 请回答“是”。 “是”将导致水污染的后果类别(或可容忍的频率)增加 1。

### RAST 估计受工厂布局信息影响的人数

必须指出, 估计场景影响的人数是一般是不准确的。后果严重程度的预测往往明显高于或低于实际历史事件。RAST 软件的目的是为危险识别和风险分析研究之间的一致性和比较提供估计。

当使用后果严重程度选项而不直接涉及人类伤害时, 危险距离或浓度除以关注程度的相关性所固有的就得到人口密度或建筑物居住人数。当人口密度显著大于或者小于相关关系固有值时, 或者建筑居住人数显著大于或者小于相关关系固有值时; 风险分析中可能需要调整或增加约束条件。

下面的图 5.7 描述了 RAST 各种输入的位置参考。

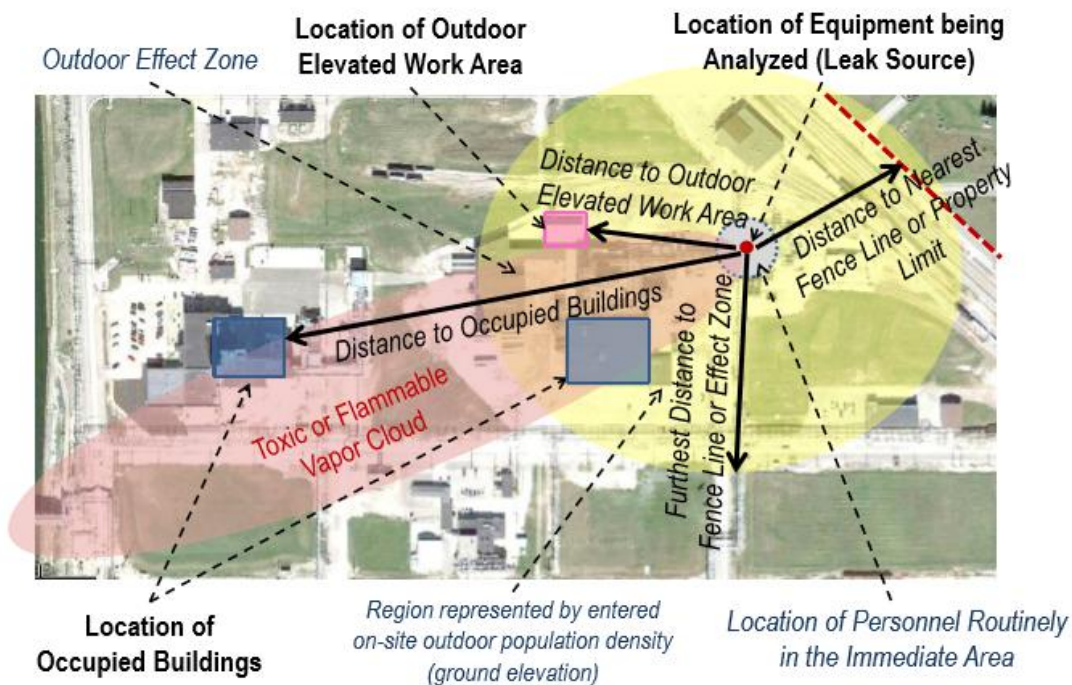


图 5.7: RAST 软件输入参考的位置

(图中注释的部分)

Outdoor Effect Zone 户外受影响区域

Location of Outdoor Elevated Work Area

室外高处作业区域的位置

Location of Equipment being Analyzed (Leak Source)

被分析设备位置(泄漏源)

Location of Occupied Buildings

有人的构筑物的位置

Region represented by entered on-site outdoor population density (ground elevation)

进入室外现场人口密度(地面标高)表示的区域

Location of Personnel Routinely in the Immediate Area

在邻近区域常规人员的位置

Distance to outdoor elevated work area

到现场高处作业的距离

Distance to occupied buildings 到有人构筑物的距离

Distance to nearest fence line or property limit 到接近围墙或产权边界的距离

Furthest distance to fenceline or effect zone 到围墙或受影响区域的最远距离

户外现场受影响人员的最大数量估计为:

直接区域内的常规人员

+从事高处工作的人员

+受影响区域“足迹”面积乘以最大人口密度

注意,受影响区域的面积估计为0.3乘以距离2的“饼状”圆段。蒸汽云距离 $\frac{1}{2}$ 低浓度可燃极限(易燃云)或多个 ERPG-3 浓度(有毒云)在地面高程将使用受限,除非进入一个最大“距离最远的警戒线或存在现场人员”。

在有人的构筑物内受影响的人数估计为“受伤率”(或受影响的构筑物居住者占比)乘以每幢建筑物的最大居住

者人数的总和。对于室外释放场景，将受影响的室外现场人员数量加到有人的构筑物内的受影响人员数量中，得到受影响的总人数。

例如：考虑一个易燃的释放，估计距离 $\frac{1}{2}$ LFL 浓度 250 米，最大人口密度为 0.0002 人/平方米在受影响区域内，人员指出“常规直接区域”，在浓度升高的工作区域的位置超过 $\frac{1}{2}$ LFL，和一个构筑物内，在产生的蒸气云爆炸的冲击波有 10 人，这样居民受伤率是 50%。受此方案影响的总人数估计如下：

1 人在直接区域

+ 1 人从事高处作业区域内

+  $0.3(250 \text{ 米})^2(0.0002 \text{ 人/平方米}) = 3.8$  人在受影响区域内

+  $10(0.5)$  = 有人的构筑物内的 5 人

= 10.8 人受影响

关于估计建筑物使用者的受影响区域和有毒或爆炸损害易损性的其他资料载于《化学危害工程基础训练材料》(CHEF)。

### 池火灾评估工作表

池火余热是危害评价和泄压设计的常见情况。池火灾评估工作表为任何设备项目提供关键池火灾信息的摘要。这一摘要包含了对火灾吸热率和池火灾持续时间的估计。此外，在泄压装置设定压力下加热至饱和温度的时间，在破裂或灾难性破坏压力下设定压力下加热到饱和温度的时间，加热到反应温度没有返回的时间均进行了估计。图 5.8、5.9 和 5.10 描述了池火灾评估工作表。

[<< Go To Main Menu](#)
[Save Input to Equipment Table](#)
[Clear Input This Works](#)

**Reviewed by:**   
**Review Date:**

Equipment Item	V-101	
Equipment Type	Vessel/Tank	
Vessel/Tank Considered as "Storage"?	<input type="checkbox"/>	
Location	Outdoors	
Vessel or Equipment Volume	100.0	m <sup>3</sup>
Vessel or Equipment Maximum Wetted Mass		Kg
Maximum Allowable Working Pressure	0.20	bar(g)
Vessel or Equipment Orientation	<input type="checkbox"/>	
Maximum Wetted Surface Area	100.64	m <sup>2</sup>
Equipment Elevation to Surface	1.2	m
Credit Fireproof Insulation?	<input type="checkbox"/>	
Credit Drainage to Reduce Fire Heat rate?	<input type="checkbox"/>	
Containment or Dike Surface Area		m <sup>2</sup>
Adjacent Containment or Dike Surface Area		m <sup>2</sup>
Quantity of "Other" Flammables in Immediate Area		kg
Quantity of Flammables in Adjacent Area		kg
Operating Temperature	25.0	C
Reaction Temperature of No Return (if applicable)	176.6	C
Temperature at Relief Set Pressure	80.2	C
Temperature at Failure or Burst Pressure	85.7	C

*Based on Catastrophic Failure at 1.5\*MAWP*  
*Potential for Two-Phase Release. Churn-Turbulent Void Fraction of 0.21*

Liquid Density of Other Flammable Material  g/cc or Sp. Gravity

图 5.8:池火灾评估工作表第 1 部分

## Pool Fire Evaluation Worksheet

### Fire Heat Adsorption Summary for Storage or Low Pressure Tank

QFire =  $963400 (1083 \text{ sq ft})^{0.338}$   
 = **1.02E+07** BTU/hr or **715.5** Kcal/sec  
 per API 2000 or NFPA 30 for Storage or Low Pressure Tank

Maximum Fire Heat Adsorption (without drainage) = **715.5** Kcal/sec

### Maximum Fire Duration based on Self Leak Rate and Pool Area = $2 \cdot \text{Vol}^{2/3}$ :

Area of Burning Pool for Fully Engulfed = **43.15** m<sup>2</sup>

Leak Rate for Fully Engulfed = **2.07** Kg/sec

Maximum Contained Mass = **63752** Kg

Maximum Fire Duration = **513.23** min

### Maximum Fire Duration based on Leak of Other Flammables in Immediate Area and Pool Area = $2 \cdot \text{Vol}^{2/3}$ :

Immediate Area Flammable Mass = **63752** Kg

Leak Rate for Fully Engulfed = **2.08** Kg/sec

Maximum Fire Duration = **min**

### Maximum Fire Duration based on Containment Surface Area:

Maximum Flammable Inventory = **63752** Kg

Maximum Depth within Confined Area = **m**

Fire Duration = **min**

### Maximum Indirect Fire Duration based on Adjacent Containment Surface Area:

Maximum Depth within Confined Area = **m**

Fire Duration = **min**

Pool fire heat adsorption estimate based on NFPA or API methods which are based on Low Pressure, Storage or Process Vessels

Pool fire duration based on:

- Self-leakage
- Leakage within a diked area
- Containment surface area
- Adjacent containment surface area

图 5.9:池火灾评估工作表第 2 部分

(图中注释的部分)

Pool fire heat adsorption estimate based on NFPA or API methods which are based on Low Pressure, Storage or Process Vessels

基于 NFPA 或基于低压、储罐或工艺容器的 API 方法的池火灾热吸附估算

Pool fire duration based on:

- Self-leakage
- Leakage within a diked area
- Containment surface area
- Adjacent containment surface area

池火持续时间基于:



- 自渗漏
- 障碍区域内渗漏
- 容器表面积
- 相邻容器表面积

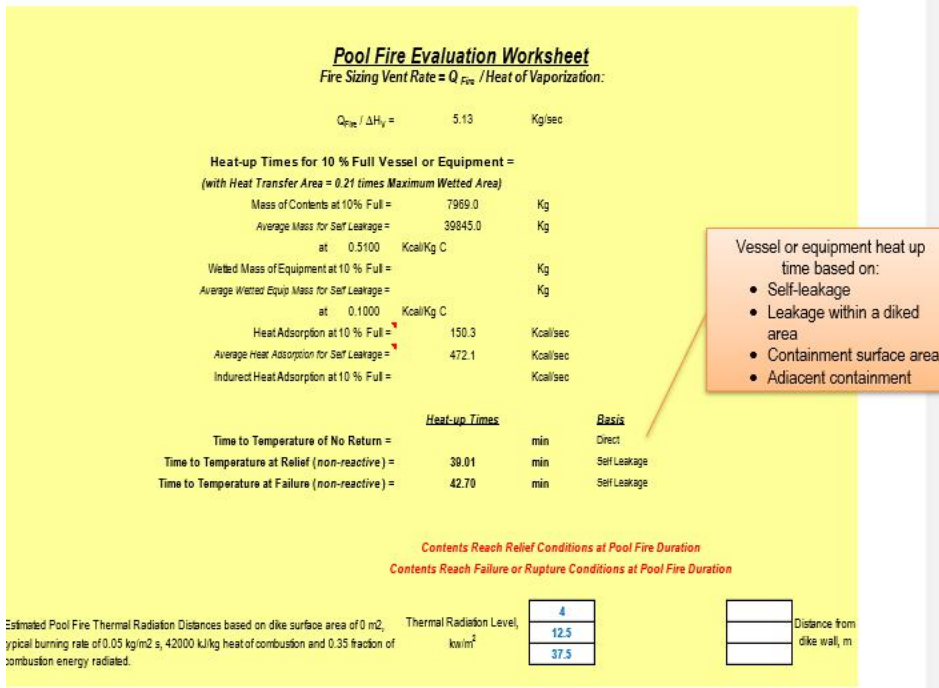


图 5.10:池火灾评估工作表第 3 部分

(图中注释的部分)

Vessel or equipment heat up time based on:

- Self-leakage
- Leakage within a diked area
- Containment surface area
- Adjacent containment

容器或设备加热时间根据:

- 自渗漏

•障碍区域内渗漏

•容器表面积

•相邻的容器

Contents Reach Relief Conditions at Pool Fire Duration

Contents Reach Failure or Rupture Conditions at Pool Fire Duration

在池火持续时间达到救援条件的信息

在池火持续时间内，达到失效或破裂状态的信息

Additional information associated with Pool Fire Evaluation is covered in the Layers of Protection

与池火灾评估相关的其他信息包含在池火灾频率评估下的保护分析层分析的文档中。

工作簿注释和设置单元会显示在场景结果工作表上

工作簿注释选项卡可用于 LOPA 团队中应用于整个工作簿的注释。工作表上还总结了分析的基础，包括环境温度、风速和现场人口密度的值。

为场景结果工作表中的所有场景显示的标准装置也可以在此工作表的右下角输入。如果没有输入，装置将显示为用户自由输入的装置。例如，距离装置在工厂布局将由用户在工作表上输入“到财产界限或栅栏线的距离”（每个设备输入可能不同）。在工作簿工作表上输入标准报告单元将确保场景结果工作表中的所有场景的单元都是相同的。参见图 5.11。

**RAST**  
Risk Analysis Screening Tools (v.2)

Workbook Reviewed by:   
Review Date:

Notes or Comments:

**Basis for Analysis**

<u>Dispersion Parameters:</u>		<u>Explosion/Fire Parameters:</u>	
Ambient Temperature Default	25 C	Fraction LFL for Flash Fire Severe Impact	0.5
Maximum Release Duration Limit	3600 sec	Vapor Cloud Explosion Limiting Rate	4 Kg/sec
Day Wind Speed	3 m/sec	Vapor Cloud Explosion Limiting Quantity	1000 Kg
Night Wind Speed	1.5	Flash/Jet Fire Limiting Rate	0.2 Kg/sec
Day Atmospheric Stability Class	Class D	Pool Fire Limiting Quantity	100 Kg
Night Atmospheric Stability Class	Class F	Fraction of LFL Limit for Building Explosion	1
Surface Roughness	Industrial	Fraction Combustible Consumed in Pool Fire	0.9
Fraction Night Weather for Offsite	0.2	Direct Blast Impact Overpressure Screening	10 psi
Indoor Wind Speed Equivalent	0.1 m/sec	<u>Other Parameters:</u>	
Daytime Solar Radiation to Outdoor Liquid Pool	0.5 Kw/m <sup>2</sup>	Maximum Operating Fill Fraction	0.8
Occupied Building Ventilation Default	3	Minimum Operating Fill Fraction	0.2
Enclosed Process Ventilation Default	0.5	Convective Heat Loss Coeff-Insulated	0.0005 Kw/sq m C
Fraction Indoor/Outdoor Concentration Limit	0.5	Convective Heat Loss Coeff-Uninsulated	0.01 Kw/sq m C
Averaging Time Correction for Flammable	2	Hazard Distance Limit for Severe Impact	3 m
Note: 10 Minutes Averaging Time for Toxics		<u>Equipment Failure Limits:</u>	
<u>Toxicity Parameters:</u>		Multiple of MAWP Not-Anchored API	1.1
Inhalation Toxic Screening Limit	1000 ppm	Multiple of MAWP Anchored API Tank	1.5
Default Toxic Time-Scale Exponent (1/n)	0.5	Multiple of MAWP Pressure for ASME Vessel	2
Default LC <sub>50</sub> /ERPG-3	2	Default Failure Temperature	600
Default LC <sub>50</sub> /ERPG-3	5	<u>Population Parameters:</u>	
<u>Thermal Parameters:</u>		Default Offsite Population Density	1500 people/km <sup>2</sup>
High Temp Thermal Burns Screening - Liquid	55 C	Default Onsite Outdoor Population Density	200 people/km <sup>2</sup>
Low Temp Thermal Burns Screening - Liquid	-23 C	Day Fraction Population Outdoors	0.1
High Temp Thermal Burns Screening - Vapor	80 C	Night Fraction Population Outdoors	0.1
Thermal Radiation Screening Limit	4 Kw/sq m	Indoor Population Limit	2 people
<u>Consequence Severity for Human Harm Based on:</u>		<u>Standard Reporting Units for Scenario Results</u>	
Estimated Number of People Impacted		Distance	<input type="text"/>
		Hole Diameter	<input type="text"/>
		Mass	<input type="text"/>
		Flow	<input type="text"/>
		Area	<input type="text"/>
		Pressure	<input type="text"/>
		Equipment Volume	<input type="text"/>

Show Possible IPLs      Hide Possible IPLs

Notes for the entire workbook (versus notes for a specific piece of equipment) may be entered

Standard units for display of results on the Scenario Results worksheet may be entered

Method selected for human harm consequence severity. Options are: "Estimated Number of People Impacted" or "Hazard Distance"

图 5.11:工作簿注释工作表

(图中注释的部分)

Notes for the entire workbook (versus notes for a specific piece of equipment) may be entered

可以输入整个工作簿的注释(相对于特定设备的注释)

Standard units for display of results on the Scenario Results worksheet may be entered

可以输入用于在场景结果工作表上显示结果的标准单元

Method selected for human harm consequence severity. Options are: "Estimated Number of People

## Impacted” or “Hazard Distance”

方法选择人体危害后果严重程度。选项有：“估计受影响人数”或“危险距离”

工作簿右侧的工作表显示了用于RAST风险分析的特定风险矩阵。建议公司代表(称为RAST“技术管理员”)更新风险标准和风险矩阵,以反映公司的风险承受标准。技术管理员还应该更新严重性和频率级别的数量,以保证公司内RAST软件用户的一致性。人类危害标准可以表示为受严重影响的人数(当前的缺省值),也可以表示为化学物质释放的特性,如从释放点到危险浓度的距离。RAST中提供的默认参数应该被视为“示例”,因为CCPS不支持任何特定的风险标准。

## 6. 场景开发

幸运的是,灾难性事件的数量相对于每年错过的事件总数或接近未遂事件的数量来说是很小的。那些具有极端后果的事件通常与低频率或概率有关。

我们中的一些人在职业生涯中不会亲身经历灾难性的事件。这可能在评估哪些潜在场景是可信的方面是一个挑战。本节将介绍:

- 如何开发场景
- 了解常见场景的RAST数据库
- 如何进入用户定义的场景

### 场景定义

场景表示导致具有不希望的结果的损失事件的意外事件序列场景是指可能导致不期望后果的一种事件或时间序列。

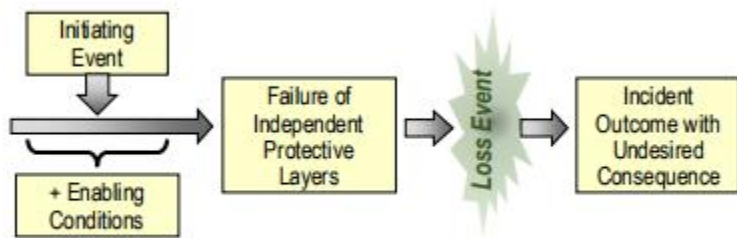


Figure 6.1 Schematic of a scenario

### 6.1 场景示意图

#### •事件一

过程中发生的、可能由于设备能力或人员行动或影响风险控制系统的的外部因素引起的过程事件。

- 事件序列**——由初始事件、可能导致事故的中间事件组成的一些特殊的、计划外的事件系列。
- 损失事件**——当发生不可逆转的物理事件，有可能造成损失和伤害影响时，在异常情况下的时间点。这些例子包括危险物质的释放，可燃蒸汽或可燃尘云的燃起，以及储罐或容器的超压破裂。一个事故可能涉及多个损失事件，例如易燃液体泄漏(首次损失事件)随后发生闪火和池火(第二次损失事件)，使相邻的容器及其内容物加热到破裂点(第三次损失事件)。通常与危险事件同义。
- 初始事件(初始原因)**——操作错误、机械故障或外部事件或影响是事件序列中的第一个事件，标志着从正常状态过渡的不正常状态的情况。
- 事件结果-事件的物理表现**:对于有毒物质，事件结果是有毒物质的释放，而对于易燃材料;事件的结果可能是沸腾的液体膨胀蒸汽爆炸(BLEVE)、闪火、蒸汽云爆炸(VCE)等。例如，火车车厢氯泄漏事故的结果是有毒物质的释放。
- 后果**——损失事件的不良后果，通常以健康和影响、环境影响、财产损失和业务中断成本来衡量。
- 使能事件/条件**——不是故障、错误或保护层，而是使事件序列能够继续处理所关注的结果的条件。它包括一个条件或操作阶段，该条件或操作阶段并不直接导致该场景，但必须存在或处于活动状态，以便该场景继续发生损失事件;用无量纲概率表示。

### RAST中的场景开发

RAST基于对特定类型的设备和化学服务的常见流程异常（或流程参数偏离设计意图）开发场景。场景案例包含初始事件、单个损失事件和事件结果。场景类型也可能是用于提供一个关键短语来描述整个事件序列。

初始事件+损失事件+事件结果

例如，由过程控制失效（初始事件）导致的设备破裂（损失事件）造成潜在的现场外有毒物质释放（事件结果），这表示在达到最大值时可能发生的情况压力超过了设备的设计极限。我们还可以选择将此事件序列或场景类型描述为压力破坏，以指示压力偏离设计意图。

RAST中的设备类型

运用RAST为特定设备项的公共过程设置开发了场景，如图6.2所示



Figure 6.2 Equipment Type Selection

图 6.2 设备选型

常用的设备类型包括:

化工过程设备

- 吸收器/洗涤器
- 压缩机或鼓风机
- 蒸馏
- 罐/IBC桶
- 萃取
- 过滤器/离心机
- 换热器
- 管道
- 泵
- 搅拌反应器/结晶器
- 油罐车/火车运送
- 涡轮或膨胀机
- 设备容器/罐

燃烧设备(绿色文本显示)

- 燃烧设备-燃烧单元
- 燃烧设备-火管燃烧单元
- 燃烧设备-焚烧炉或TTU
- 燃烧设备-火炬
- 燃烧设备-蒸汽淬火
- 燃烧设备-过程加热器

固体物料处理设备(红色文字显示)

- 袋装/袋装垃圾(固体)
- 搅拌机/混合器(固体)
- 运输机(固体)
- 气动运输机(固体)
- 机械干燥机(固体)
- 干燥器喷雾或流化床(固体)
- 粉尘过滤器或袋室(固体)
- 料斗储存(固体)
- 铣床/磨床(固体)

- 筛或筛子(固体专用设备)
- 鼓烤箱
- 用户自定义-设备

### **在RAST中初始事件**

最初，最有可能的初始事件是在非常高的级别上确定的。完成后果分析后，这些将被更详细地定义(“这怎么可能发生在我的装置”)。这些都是可以广泛的分类为:控制系统故障、人为故障或机械故障。这些大类详细介绍了RAST中列出的初始化事件包括:

### **控制系统故障**

- BPCS仪表回路故障

### **人为错误**

- 每季度操作一次以上的人为失误
- 每季度操作不超过一次的人员失误
- 第三方干预

### **机械故障**

- 机械故障(例如导致设备内火花或热点)
- 换热器管泄漏< 100管
- 换热器管泄漏> 100管
- 卸载/装载软管失效
- 机械加载臂失效
- 目镜故障
- 泵(风机、压缩机等)流量失效损失
- 调节器故障
- 单面机械密封失效
- 双面机械密封失效
- 屏蔽泵/磁力泵故障
- 一般公用工程故障
- 自然灾害(风暴、地震等)

## 按故障频率因素分类的其他启动事件(初始化事件因素(IEF))

- IEF=0(1/年) , 由故障树或详细分析确定
- IEF=1(1/10或10-1/年) 由故障树或详细分析确定
- IEF=2(1/100或10-2/年) 由故障树或详细分析确定
- IEF=3(1/ 1000或10-3/年) 由故障树或详细分析确定
- IEF=4(1/ 10000或10-4/年) 由故障树或详细分析确定
- IEF=5 4(1/100,000或10-5/年) 由故障树或详细分析确定

## RAST中的损失事件类别

损失事件通常与“有害物质或能量的意外释放”有关。RAST中的损失事件按照用于确定释放速率的估计类型进行分类。

### □ 释放孔洞大小

标准化的孔尺寸简化了筛分分析, 例如:

- 5 - 15mm表示垫片失效。

- 100毫米至全口径, 表示管道或设备接管故障。

□ 溢出或其他物质释放率从饲进料或填充率估计。

□ 过热,过高的热量, 蒸汽的释放速率由输入热量除以汽化热估算出来。

□ 设备破裂的突然释放整个设备物料和反应或压力-容积能量。

□ 设备损坏是造成损害的事件的发生需要维修或更换的设备没有损失的容器。

对于RAST中列出的损失事件, 这些大类被细分为更详细的类别:

## 孔大小分类

- 非常小的孔尺寸泄漏代表5毫米(3/16英寸)的孔泄漏, 这可能是阀门的阀杆填料密封效的典型泄漏
- 小孔尺寸泄漏是一种标准尺寸, 可用于工艺缴粗情况。默认设置是 $\frac{1}{2}$ 英寸(12.7毫米)。
- 机械密封孔尺寸泄漏表示泵密封失效时的最大孔尺寸。默认的设置 $\frac{1}{2}$ 英寸(12.7毫米)。
- 密封垫孔尺寸泄漏是密封垫失效的典型孔尺寸。默认设置是 $\frac{1}{2}$ 英寸孔(12.7毫米)。
- 密封垫孔尺寸泄漏(顶部)表示来自充液容器蒸汽空间的密封垫泄漏通过减压的垫气饱和的液体含量
- 中孔尺寸泄漏被用于机械完整性场景。默认设置为25毫米(1英寸)洞。
- 中孔尺寸泄漏(顶部)表示液体填充容器的蒸汽空间中, 通过压缩气体饱和液的含量,从液体填充容器的蒸汽空间中泄漏。
- 全孔尺寸泄漏表示全孔管道或喷嘴孔, 这是喷嘴常见的情况故障和管道破裂。



- 大孔尺寸泄漏(顶部)表示从充液容器的蒸汽空间泄漏饱和液饱和垫气的减压
- 非常大和非常大的孔尺寸用于机械完整性场景。默认的设置100毫米(4英寸)或250毫米(10英寸)孔分别和。
- 非常大和非常大的孔尺寸(顶部)表示液体的蒸汽空间泄漏通过减压填充容器的垫气饱和的液体内容物。
- 排水孔或通气孔大小表示用户输入的表示开口排水孔或通气孔的孔大小排气阀。
- 疏水或通气孔尺寸(顶部)表示液体填充容器的蒸汽空间的泄漏饱和液饱和垫气的减压
- 管孔尺寸(工艺)表示用户输入的孔尺寸，表示“全孔”换热管故障。
- 管孔尺寸(传热流体)表示“全孔”热的传热流体泄漏管交流失败。
- 用户孔大小表示用户输入的孔大小。
- 用户孔尺寸(顶部)表示液体填充容器的蒸汽空间泄漏饱和液饱和垫气的减压溢料及其他与物料平衡有关的损失事件
- 排气口释放基于用户输入的进给速度，主要用于与排气口相关的场景处理系统，如洗涤器、照明弹或热氧化剂。
- 垫气释放量表示相当于垫气最大进给速度的释放量。
- 过充释放代表的释放速率等于输入进料速率、垫气或回流速率。如果输入给料压力大于溢流系统的压力，则假定溢流器从溢流系统中流出缓解压力。
- 充液时的蒸汽排量等于输入液体进给量。
- 固体溢出表示与进料速率相等的固体溢出。假定发生了释放从失败的喷嘴或柔性连接。
- 用户定义发布是用户输入的发布速率。

### 过热或其他热平衡损失事件

- 排汽通风口-火灾表示从火灾暴露热率除以估算的释放率汽化热通过减压系统释放出来。
- 排汽口-传热代表所有排汽口，其速度计算为 $UA\Delta T$ 除以汽化热这取决于在释放压力下加热介质和饱和度。
- 排汽口-机械能代表所有排汽口，其速度计算为机械能产生的热量除以汽化热。
- 排汽口-反应代表所有排汽口，是排汽时的反应热效率温度除以汽化热。两相流的检查用于反应由喷出的液体的闪蒸或蒸发而产生的外壳和蒸气被加入到所产生的蒸气中从反应热量。如果反应最大，则假定排气是通过泄放系统进行的压力超过安全阀设定的压力。对于这五种主要结构中的任何一种，都可能发生蒸汽泄放反应类型:绝热、外热、火、催化、反应物的聚集或错装反应物。

### 设备破裂损失事件

- 设备在运行温度下的破裂表示在爆炸时能量的释放压力和正常工作温度。除了冲击波的突然释放在压力作用下，假定设备的全部内容被“瞬间”释放正常过程温度。
- 设备在峰值压力下的破裂表示在爆炸压力和时能量的释放温度等于气相压加气相热膨胀之和。在除冲击波突然释放压力外，设备的全部内容假设在爆压饱和温度下“瞬间”释放。

- 设备在饱和温度下破裂表示在爆炸时能量的释放压力和饱和温度(爆裂压力下的沸点)。除了冲击波从压力的突然释放，假定设备的全部内容为在爆压饱和温度下“瞬间”释放。
- 设备在火灾条件下的破裂表示在爆炸压力和饱和温度。除了冲击波突然释放的压力外，整个过程都是如此该设备的内容被认为是释放“瞬间”在火灾爆发的压力饱和温度。
- 设备破裂-内部爆燃代表爆燃释放能量压强大约是10atm。除了冲击波的突然释放外压力时，假定设备的全部内容被“瞬间”释放正常过程温度。
- 设备破裂-爆轰/爆燃代表能量的释放与破碎假设是一种凝聚相炸药。除了爆炸产生的冲击波之外压力释放时，假定设备的全部内容被释放“瞬间”在爆破压力饱和温度。其他损失的事件
- 设备损坏表示超压或高温事件超出设计不会导致破裂的限制。设备损坏可能与经济损失或业务场景丢失。
- 高于设计温度的设备故障表示设备因温度过高而发生温度故障而不是超压。分析结果与全孔尺寸泄漏相似。
- 二次粉尘释放是指能够堆积在梁、椽上的粉尘的释放，或其他表面，稍后被替换为可燃或可燃尘云。
- 燃烧液体释放代表一个特殊的情况，用于与燃烧有关的场景设备。

### 事件结果在RAST

RAST中的事件结果基于一个通用的事件树(图6.3)。一个单一的损失事件可能有几个潜在的结果包括:

易燃的结果:

- 闪火或火球
- 蒸气云爆炸
- 建筑或密闭空间爆炸

有毒的结果:

- 厂外毒素暴露
- 现场毒素暴露
- 有毒占领建筑的渗透

化学接触

其他的结果:

- 物理爆炸
- 环境事件
- 设备损坏或业务损失

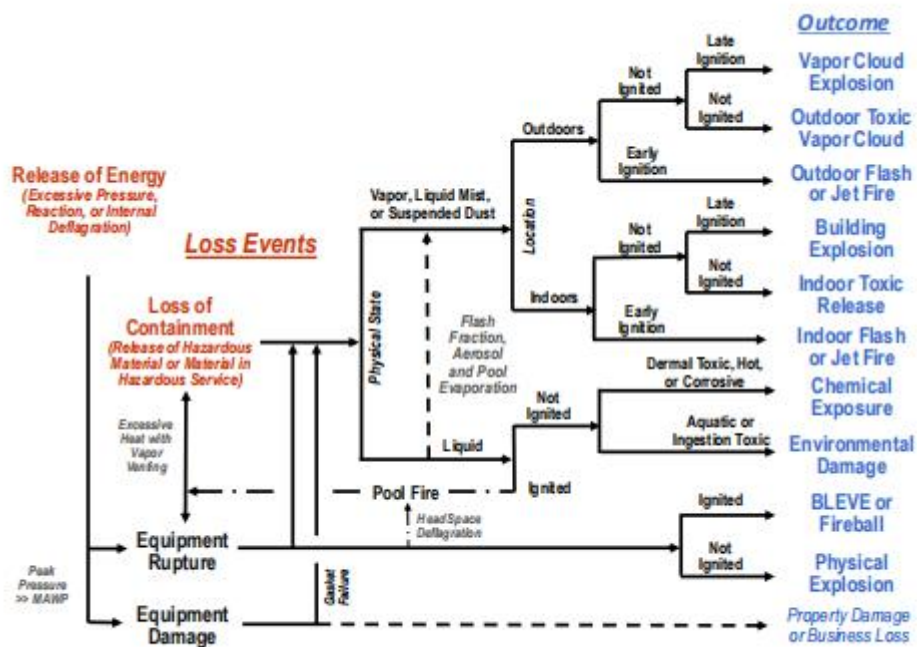


Figure 6.3 Generalized Event Tree for RAST

### 6.3一般事件树形图

筛选各种事件结果的示例标准融合在《化学危害工程》的基础培训中，包括：

□ 闪火(或喷射火)

人员暴露于多重燃烧下限浓度的易燃云中

□ 蒸气云爆炸

1000千克易燃物料(100千克为高火焰速度)在5分钟内释放

□ 建筑物爆炸

室内平均浓度超过燃烧下限

□ 物理爆炸

1 psi超压(0.3 psi破碎)距离超过阈值距离

□ 有毒蒸汽释放(室内、室外)

-装置外暴露于> ERPG-2浓度下(60分钟为基础)

-在装置内短时间暴露于>浓度的LC-50(5-10分钟)

-基于在已有人的建筑物内60分钟的现场暴露> ERPG-3浓度的。

这些标准由RAST技术管理员在RAST的隐藏工作电子表中管理。

### 场景库的开发

RAST工具中有一个场景应用数据库。数据库的目的是为团队提供初步的分析想法，而不是执行危害评估的替代品。场景发展大致是基于关键工艺参数的偏差，类似于用于危险与可操作性分析(HAZOP)(图6.4)

Guidewords → Parameter ↓	More	Less	None	Reverse	Part Of	As Well As	Other Than
Flow	High flow	Low flow	No flow	Back flow			Loss of containment
Pressure	High pressure	Low pressure	Vacuum		Partial pressure		
Temperature	High temperature	Low temperature				Cryogenic	
Level	High level	Low level	No level				Loss of containment
Composition State	Additional phase	Loss of phase		Change of state	Wrong concentration	Contaminants	Wrong material
Reaction	High reaction rate	Low reaction rate	No reaction	Reverse action	Incomplete reaction	Side reaction	Wrong reaction

Figure 6.4 Example HAZOP Deviations

图 6.4 HAZOP 偏离的例子

小心改变输入，例如化学成分或性质、设备类型、最大允许工作压力等为建议的情景类型和情景可行性取决于化学数据、设备和工艺条件的输入。还要注意，RAST 中的场景文库只辨识最有可能的初始化事件。在保护层分析中，对团队来讲，分析启动事件是否可能发生是非常重要的，可以根据需要修改建议的初始事件，也可以创建事件用于基于过程知识进行分析的其他场景用例。

场景类型用于对常见的参数偏离进行分类，通常与特定参数类型的设备相关。常见的参数偏离有助于定义最常见的初始化事件的场景。例子包括：

RAST场景类型示例

- 未经处理的排气孔或废物
- 热膨胀封堵
- 过热输入-传热能
- 补充气或蒸汽的流量
- 可燃性的顶部空间
- 过量、溢流或回流
- 压力损失
- 真空破坏
- 泵扬程

HAZOP参数与偏差

- 浓度，堆积量高
- 温度高，流量大
- 高能-高压-高温
- 流量高
- 浓度
- 高流量-回流
- 压力大
- 低流量
- 压力高-流量无-温度高

软管或装载臂因移动而损坏	流动损失的控制
排泄阀或排气阀打开	流动损失的控制
密封泄漏	流动损失的控制

此外，还使用了允许事件序列发生的过程条件的“可行性”检查。基于流程限制的低概率事件的场景情况建议不列入RAST的列表中。

可燃性	火灾和爆炸
闪点	工艺温度>闪点
较低的可燃性极限	最大浓度>易燃极限较低
最小的点火能量	最小点火能量

毒性	毒性
吸入毒性	最大蒸汽浓度> ER值
皮肤毒性	潜在的皮肤暴露
水生动物毒性	潜在的环境破坏

反应性	反应性
反应热	最大压力> MAWP或减压设置
检测到起始温度最大	工艺或加热温度>温度不返回
产生气体	

### RAST场景组和场景

RAST场景组也类似于“领结图”。属性表示单个丢失事件相关启动事件和事件结果。图6.5表示RAST中使用的一般领结。RAST基本上评估所有感兴趣的事件结果，但最初只包括最常见的一个或者两个初始事件。如果需要，研究团队将在保护层分析选择场景之前，优先选择感兴趣的事件添加到表示其他初始化的附加场景中。

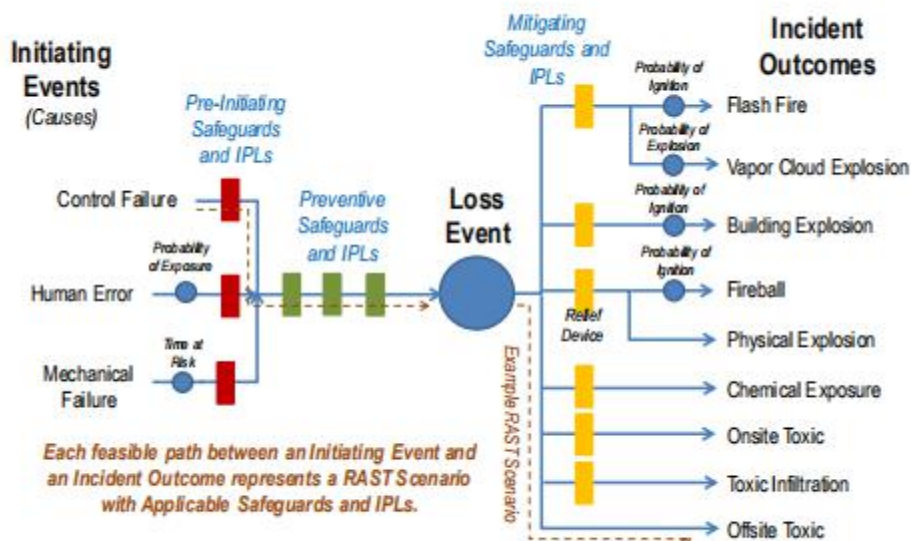


Figure 6.5 Generic Bow Tie diagram used in RAST

图 6.5 RAST 中使用的一般领结图

都代表了一个RAST场景,具有适用的安全保护层和IPLs。RAST场景类型

场景类型还用于“链接”特定设备类型和化学品服务中的损失事件库的场景。RAST中的场景表示设备类型(化工的)的特定组合处理可能引发的事件之一和可能发生的事件之一的损失事件结果。场景类型的例子包括:

**未处理的排气孔或废物的堆积用于燃烧设备**——焚烧炉或TTU代表当排气口释放到大气中而没有被充分破坏的情况下。最可能的启动事件是基本过程控制系统(BPCS)故障。

在处理冷冻液体的管道或设备内可能发生热膨胀堵塞,需要跟踪的高熔点材料,或者需要非常长的非绝缘管道(>100米)被太阳辐射加热。据推测,压力的积聚会导致充满液体的垫圈失效直到随后通过该管道或设备传输材料时才发现的系统。

套管或密封壳的失效是由于罐装或磁性驱动泵的套管失效而引起的倒转、磨损或疲劳。

连接失效表示与固体处理设备的柔性连接发生故障,导致固体泄漏。典型的初始事件是常见的机械故障。

排泄阀或排气阀的开启可能发生在维修活动之后,或者在连接或断开运输设备(桶、手提袋、油罐车、轨道车等)期间运输设备(桶、手提袋、油罐车、轨道车等)。假定由操作员操作失败引发的排水孔径泄漏是最常见的。

由于高温下的蒸汽压过高,过多的热量输入会导致超压事件。假定这种压力可能导致所有的蒸汽通过泄放系统(如果是泄放装置)泄放或设备在饱和状态下破裂(如果最大压力超过爆破压力)。排除反应性场景,有三种特定类型与特定的蒸汽匹配救援损失事件:

**过量的热输入**——换热器如果蒸汽压在最大的加热介质上,就会触发传热温度超过安全阀设定的压力。

**过量的热输入**——机械能如果蒸汽压达到最高温度，就会触发机械能通过一个简单的设备来评估热平衡是否超过了安全阀设定的压力。

**过量的热输入**——火灾如果所处理的化学品易燃或有其他易燃物品，则会引发火灾该区域的材料。据推测，火灾将持续足够长的时间，以提供救援设备和设备爆破压力要达到。

**过量的垫层气体流量**表示释放速率等于垫层气体的进给速率或充满化学制品的空气。假定通过泄放系统发生的泄放量最大惰性气体压力超过安全阀设定的压力。

**擦除媒体的耗尽**表示擦除媒体耗尽的场景导致排气口释放，通常是由于组合件控制失效(BPCS失效)引起的。

**高能馈源的闪回用于燃烧设备**——焚烧炉、热氧化剂或燃烧器表示燃烧向上游设备传播，导致设备损坏。这是假设最可能的启动事件是基本过程控制系统(BPCS)故障。

熄火时的燃料积累用于燃烧设备表示在设备启动过程中由于设备损坏或设备破裂而产生的**过程扰动**——**爆燃**。假定最可能发生的故障是基本过程控制系统(BPCS)故障。

在操作过程中燃料的积累是用于燃烧的设备，代表过程中发生的激进导致设备损坏或设备破裂的操作。爆燃这是假定的基本过程控制系统(BPCS)最可能发生故障。

**下降时的燃料积累用于燃烧的设备**，表示不进入时燃料的泄漏导致设备损坏或设备破裂的操作。爆燃这是假定的基本过程控制系统(BPCS)最可能发生故障。

**高燃料流量或能量含量用于燃烧的设备**，表示在正常过程中发生了扰动导致设备损坏或设备破裂的操作。爆燃这是假定的最基本过程控制系统(BPCS)可能发生故障。

**采用高温失效**，最大进给温度超过设计温度该设备在设计温度以上导致设备故障。它被认为是最有可能的启动事件是温度损失或流量控制(BSCS故障)。

**软管或装载臂连接失败**可能发生在连接或断开运输过程中设备(手提袋、油罐车、轨道车等)。假设有一个小孔尺寸的泄漏(垫圈失效)最常见的是由操作员操作失败引发的。

**软管或加载臂的运动损坏**表示a运输车辆连接时。大孔尺寸泄漏的可能性被认为是最常见的由第三方介入发起。

如果阀门关闭过快(或在泵启动期间)，由于长管道中流体动力的突然变化，可能会发生液压冲击。

可燃的顶隙可能导致内部爆燃和设备破裂 - 如果处理的化学品温度高于闪点5℃，即发生爆燃。假设爆燃峰值压力达到10个大气压，其在大气压点火，并且可能超过一些设备的爆破压力。

带液蒸汽进料意思是与火炬进料相关的过程偏离，它可能导致火雨危害或设备损坏。假设其最可能的初始事件是基本过程控制系统(BPCS)失败。

流量损失 - 吸收器或洗涤塔就是一种场景，即蒸汽进料未经处理，但假定以进料速率通过排气系统。如果进料流的物理状态对于吸收器或洗涤器的设备是“蒸汽”，则触发该场景。假定其最可能的初始事件是基本过程控制系统(BPCS)失败。

流量或液位损失 - 燃烧设备就是一种工艺过程偏差，淬灭设备或工艺加热器可能会在设备损坏或饱和条件下破裂时看到过高的温度。 假设最可能的初始事件包括泵故障或基本过程控制系统（BPCS）故障。

**火炬头或点火器的失效用于燃烧设备** - 火炬，就是在操作期间的火焰损失，未处理物料通过排气系统释放。

**真空损失-热氧化器用于燃烧设备- 焚化炉或TTU**，就是在操作过程中失去真空，未处理物料通过通过排气系统释放。

**低温脆变**，就是结构材料在低温下变脆，导致应力或热冲击时断裂的可能性。 假设最可能的初始事件是在设备维护准备时的人为失误，使低沸点化学品蒸发冷却，随后导致全通径管道或设备喷嘴的故障（大孔径泄漏）。

**机械完整性失效**，就是由腐蚀，磨损或疲劳引起的管道或设备泄漏。 孔尺寸包括非常小，中等，非常大和极其大，故障频率取决于管道的长度。

**易燃液体或薄雾的移动**，就是在易燃液体运输过程中静电可能积聚，例如运输或混合导致设备破裂 - 爆燃。 假设峰值爆燃压力达到10个大气压，其在大气压下点火并且可能超过某些设备的爆破压力。

**溢流或溢出**，溢出或回流表示如果有足够的物料量，则释放速率等于过程化学品的进料速率（或回流速率）。 如果峰值压力超过释放设定压力，则假定通过泄放系统释放。

**溢流** - 泡沫或夹沫是一种溢流或回流场景，适用于处理蒸汽/液体混合物（如蒸馏）的设备。

**溢出** - 堵塞或冻结是一种溢流或回流场景，适用于包含可能容易堵塞或冻结的材料和设备。

**物理损坏或刺穿**， 就是由于升降机或车辆碰撞造成的管道泄漏。假设大孔径泄漏最常由第三方干预引发。

**管道或设备泄漏** - 少量，是机械装载臂，视镜或其他小型设备泄漏的一般场景。 小孔尺寸用作损失事件。

**管道或设备LOPC** - 大量，是由于软管故障、视镜失效或由于振动引起的机械故障导致的全孔尺寸泄漏事故。

**堵塞或冷冻的排气管用于燃烧设备** - 火炬导致设备损坏。 最可能的初始事件假定为共用设施的失效。。

压力损坏是固体处理设备的一种普遍场景，如果峰值压力超过设备最大允许工作压力，则，则有固体漏出。 如果峰值压力超过爆破压力，则工作温度下的破裂是需要选择的损失事件。

火焰或燃烧粉尘的传播， 用于固定处理设备，就是上游设备的偏离，可能会点燃下游的粉尘。

泵堵塞是指当泵或压缩机运行时，进料阀和排出阀中的一个或两个关闭的事件。 假设热量和压力累积导致设备在饱和条件下破裂或可能导致失控反应 - 热量的形成。

泄压装置故障是指由于压力循环或疲劳导致爆破片在正常操作压力下失效。

旋转设备损坏是指在工作温度下的失效或破裂，主要是由于高速（涡轮机）或振动（其他旋转设备）。

密封泄漏是指由于偏差，磨损或疲劳导致的机械泵或其他旋转设备密封的泄漏。 故障频率取决于密封装置的类型 - 单机械密封，双机械密封，磁力驱动或密封泵。

管道故障引起的物料泄漏与热交换器相关。 如果过程源压力高于传热流体压力和泄放设定压力，则泄漏被假定为过程流体。 如果传热流体源压力高于释放设定压力和工作压力，则泄漏被认为是传热流体。



失控反应是指由于气体产生或高温下的高蒸气压导致的一组超压情况。这种压力可能导致蒸汽排放通过泄放系统释放（如果释放装置足够大），如果最大压力超过爆破压力，设备在饱和条件下破裂，或设备破裂 - 高反应性系统产生爆轰。 反应类型包括：

**失控反应** - 热生成是指工艺过程的最大加热介质或机械能温度超过不回归温度。

**失控反应** - 火焰诱发， 假定火势将持续足够长的时间以使系统超过不回归温度。

**失控反应** - 催化剂或杂质，是指在正常操作温度下可由催化剂或杂质引发的反应。

**失控反应** - 反应物的累积， 就是反应通常受进料速率限制，但可能累积反应物，然后反应就像间歇反应一样。

**失控反应** - 错误用量， 就是投加物料大于正常反应物或低于正常溶剂，使得单位质量混合物的反应热增加。

**失控反应** - 不相容物料，指由用户错误操作导致的或NFPA反应性等级大于等于2的反应物混合。

**真空损坏表示设备损坏或喷嘴故障的可能性** - 设备的容器顶部未达到真空额定值。

## 用户自定义的场景

用户可以通过为正在评估的设备项选择场景类型，初始事件，损失事件和事件结果来加入其他场景情形。如果其中一个标准方案类型未充分描述流程偏离，则可以选择“用户定义方案类型”，并在“初始事件描述”下输入详细信息。

可以从损失事件标准列表中选择损失事件，其将允许通过RAST工具内的计算方法估计后果。 选择用户定义损失事件允许从其他软件工具输入各种危险参数，例如释放率，总释放量，到ERPG-3浓度的距离等。

使用RAST工具估计各种危险参数，通过影响分析估算事件后果。 如果选择了用户定义损失事件，则可以输入在其他软件工具中评估出的危险参数以继续进行影响分析。 或者，可以在不使用定量评估的情况下选择容许频率因子。

## 用户自定义场景的例子

输入一个用户场景：（第2-5步骤请参阅图例6.5）

**步骤1：**从场景列表或场景结果工作表中选择创建用户场景。

**步骤2：**从列表中选择“场景类型”或“用户定义的场景类型”。“场景类型”仅用于“说明”或将“损失事件”与“场景清单”中的“初始事件和结果”相关联。从列表中选择压力损坏。

**步骤3：**从列表或基于初始事件因子选择初始事件。 输入初始事件的描述，用于场景文件。 也可以从LOPA工作簿输入或更新初始事件描述。 从列表中选择调节失效。 输入失效描述，例如“垫式气体压力调节器失效”。

**步骤4：**选择损失事件或用户定义损失事件。 将显示各种危险参数的RAST评估概要。 如果选择了“用户定义损失事件”，则会显示另一列，以便在需要时输入危险参数。 从列表中选择工作温度下的设备破裂。

**步骤5：**从列出的选项选择一个结果。

根据使用RAST所实施的影响分析，显示每个结果的后果或可容忍频率因子表以帮助选择。



2	选择初始事件
3	初始事件描述
4	从其他软件输入结果分析参数的栏目
5	选择损失事件类型
6	选择事故结果
7	保存场景
8	损失事件的 RAST 后果分析结果的概要

## 7. 保护层分析

保护层分析 (LOPA) 是一种评估独立保护层 (IPLs) 有效性的方法，以减少非期望事件的可能性或严重性。LOPA 建立在危害筛查和评估期间获取的信息和方案的基础上。该分析使用简化的“数量级”方法来分析过程风险。

本章内容涵盖以下话题：

- RAST 如何实施保护层分析
- 如何输入和更新 LOPA 未减轻风险信息（例如可容忍频率因子，初始事件和条件因子）。
- 如何输入保护层信息
- 如何使用为 LOPA 分析提供支持评估的工作表。

### LOPA 菜单

在 LOPA 菜单工作表上（图例 7.1）；显示设备识别，设备类型和位置（室外或室内）。使用 LOPA 菜单，可以：

- 返回主菜单
- 更新与正在被分析的设备项相关情形的情景分析。
- 更新与设备表中所有设备项相关情形的场景分析。
- 为将在“场景分析”中创建的情形设置控制
- 进入“场景结果”工作表以选择 LOPA 场景情形。
- 从 LOPA 工作表返回时为场景结果工作表设置筛选标准
- 使用特殊的 LOPA 工作表，包括池火评估，保护层 (IPL) 摘要，最大允许响应时间 (MART) 的估计和最大允许泄漏率 (MALR) 的估算。
- 查看风险概要

## 更新场景分析

该指令使用当前评估更新“场景结果”工作表。完成更新后，将显示“场景结果”工作表。

RAST Excel 工作簿中的所有计算都是“实时”或当前的，输入值显示在各种输入工作表上。**更新场景分析**允许将当前评估结果的“快照”保存为潜在的 LOPA 场景情形。与“场景结果”工作表中的先前值进行比较，以允许用户跟踪对先前评估的更改。

**更新所有场景情形**会对设备表中的所有设备项执行更新场景分析。请注意，对于大型文件，此更新可能需要一个多小时才能完成。

（其他信息可在下面的“场景结果”工作簿中找到。）

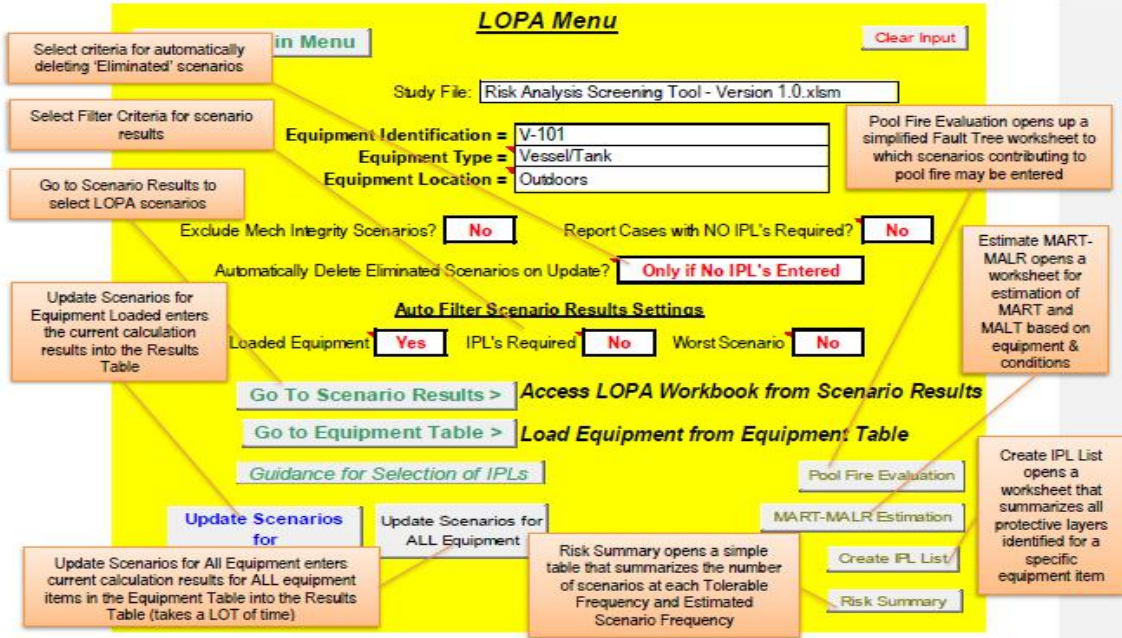


图 7.1: LOPA 菜单

编号	项目
1	选择自动删除“消除”场景的条件
2	为场景结果选择筛选条件
3	“Go to Scenario Results” 按钮以选择 LOPA 场景
4	“Pool Fire Evaluation” 按钮用以打开一个简化的故障树工作表，可以输入导致池火的场景
5	“Update Scenarios for Equipment Loaded” 按钮将当前计算结果输入结果表
6	“估计 MART-MALR” 按钮可以打开一个基于设备和条件估算 MART 和 MALT 的工作表
7	“Update Scenarios for All Equipment ” 按钮将设备表中所有设备项目的当前计算结果输入结果表（需要很长时间）
8	“Risk Summary” 按钮会打开一个简单的表格，总结每个容忍频率和估计场景频率的场景数量
9	“Create IPL List” 按钮将打开一个工作表，其中汇总了为特定设备识别的所有保护层

## 场景结果工作表

“场景结果”工作表（图例 7.2）包含所有从场景库或用户输入中识别出来的场景情形的评估摘要。每个场景的概要情形存储在由 RAST 工具分配的唯一场景号下。此工作表的左上角的“筛选”按钮允许从此视图中排除保护层详细信息。

From the Scenario Results Worksheet one may access the LOPA Worksheet.

从场景结果工作表中，可以访问 LOPA 工作表。

图 7.2: 场景结果工作表

1	使用筛选 1 栏目查看没有保护层详细信息的结果概要
2	每个场景存储在通过唯一场景编号识别的单个行中
3	每个场景包含设备类型，场景类型，初始事件，损失事件，事件结果，后果（LOPA 容忍频率）和涉及的关键化学品。
4	与以前的分析结果比较
5	创建，修改或复制场景
6	LOPA Worksheet 按钮将激活 LOPA 工作表，用于在分析中使用 LOPA 列 CS 选择为 YES 的设备

## 场景结果工作表的描述

此工作表左侧的列中识别场景情形的 设备项，设备类型，场景类型，初始事件，初始事件描述，损失事件，事件结果和 关键化学品。 这些列用“黄色”标题表示。

下一列是通知用户**闪蒸收敛错误**（带有粉红色标题的 K 列）。如果您要在此列中显示条目，请参阅以下选项：

- A. 如果收敛不会成为风险分析一部分的情景 - 只忽略它。
- B. 如果失效是冷凝过程，以致回流没有冷凝，这很可能，因为很少有化学物质或混合物在释放后会冷凝。  
（注意，只有低蒸汽压物料在非常高的温度下释放，例如 > 200°C，才会在环境空气中过饱和并冷凝。）
- C. 如果有围堰或堤存在且没有人员进入，则可能会纠正该问题。（非常大的液池区域难以收敛到良好的平均液池温度。）
- D. 稍微调整组分。最大的问题似乎是液体中的少量溶解气体。在这些情况下，一小部分物料的蒸发引起液池蒸气压的显著变化。
- E. 为混合物选择“假”单一化学品，这通常是更保守的结果但更不可能收敛，因为试验和误差计算中没有组成部分（只有闪蒸部分或温度被试验）。

以下这些列表示评估结果概要。 这些列用“橙色”标题表示。 包括：

总释放量

最大释放率

总气体产生量

最大空气传播速率

与 ERPG-2 浓度的最大距离

与 ERPG-3 浓度的最大距离

到严重毒性影响的距离（LC-50 浓度）

在有人建筑物内的浓度

封闭的工艺区域浓度

到严重易燃物影响区域的距离（多个 LFL，BLEVE 或 Dust Fireball）

破裂后产生直接爆炸冲击的距离（超压或碎片）

破裂后产生 1 psi 过压的距离



破裂后在有人建筑物处产生的超压

点火概率的基础（空气传播速率或 LFL 距离）

爆炸后产生 1 psi 超压的距离

爆炸后在有人建筑物处产生的超压。

释放设定压力或爆破压力的时间

以下这些列表表示每个场景情形的未减轻风险的概要。除非用户选择备用分析方法，否则概要基于 RAST 工作簿中的分析。包括：

结果描述

后果描述 - 基于场景情形的 RAST 分析

LOPA 可容许频率因子

备用可容许频率因子 - 如果不使用 RAST 分析，可以输入

初始事件因子

点火概率

备用 POI - 如果不使用 RAST 分析，可以输入

暴露的可能性

备用 POE - 如果不使用 RAST 分析，可以输入备用 POE

时间风险或其他情形

需要的保护层

缺少的保护层

下面几栏收集关于 LOPA 场景情形的选择和审核的信息。包括：

最糟糕的情形情景以进一步分析 - 为选择“最差”场景情形提供指导。对于每个场景组，记录具有最高可容许频率因子（表示为 High TF），所需保护层的最大数量（表示为 High IPL）或两者兼具（表示为 High TF & High IPL）的场景情况（或情况）。场景组是具有相同设备项目，化学服务，场景类型和损失事件但具有不同的初始事件或事件结果的场景。

对“最坏情况”情景的分析代表了起点。

- 如果仅使用“预防性”保护层（停止事件顺序，例如在高液位时停进料泵或高温时关闭加热介质供应），则所有其他情况将得到充分管理（无其他场景情形需要分析）。

- 如果使用多个“缓解”保护层（减少结果的严重程度，如用于池火场景的喷水灭火系统），则表示除“最坏情况”以外的其他场景情况可能不需要分析结果。
- 如果使用多个“预初始”保护层（降低初始事件的可能性，例如检查清单以防止排水阀打开），则表示除“最坏情况”以外的其他场景情况可能需要分析初始事件。

进行 LOPA 分析？ - 输入“是”以选择 LOPA 分析的场景情形。只有表示“是”的场景情形才会转移到 LOPA 工作表中进行进一步分析。

用于上次计算的源工具版本 - 抓取 RAST 版本号，用于当前在场景结果工作表中捕获的结果。

数据源 - 显示输入的场景情形来自哪个 RAST 数据库（“工具”或“用户”输入）。

与上次运算比较 - 将每个场景情形标识为：

- **相同** - 任何结果信息都没有差异
- **修订** - 在一个或多个存储值中找到差异
- **新增** - 添加了以前不存在的新情形
- **消除** - 案件不再符合筛选标准。（请注意，如果 LOPA 团队想要保留消除的场景情形，则可以将“源”列从“工具”更改为“用户”，并使用“修改用户场景”命令更新场景信息。执行更新场景命令时“消除”情形的结果不会更新。）
- **孤立** - 设备表中不再存在创建方案的设备项。

**注释** - 可用于抓取与特定 LOPA 因子无关的场景详细信息。

“意见/待解决问题” - 可用于抓取行动项。

制造名称，制造日期 - 用于抓取 LOPA 场景情形分析的制造认证信息。

工艺安全名称，工艺安全日期 - 用于抓取 LOPA 场景情形分析的工艺安全认证信息。

工艺控制名称，工艺控制日期 - 用于抓取 LOPA 场景情形分析的工艺控制批准信息。

场景结果工作表的其余列用于存储 LOPA 分析中的所有保护层信息，包括描述，因子，仪器标识号等。如 RAST - Getting Stated 中所述，从以前保存的结果追踪变化，任何包含已更改值的单元格将变成“绿色”，并且先前值将存储在单元格注释中。。

场景结果工作表中的现有场景情形可以通过以下方式修改：

通过选择表示场景可被复制的行中的任何单元格并使用“**复制方案**”命令，可以复制场景情形。该工具将分配一个唯一的场景编号。

可以通过选择用户场景行中的任何单元格并使用“**修改用户场景**”命令来修改用户场景，该命令将打开“用户场景”工作表进行编辑。

## LOPA 工作单

从场景结果工作表激活 LOPA 工作表时，只有在场景结果工作表上“过滤”的场景情形才会在 LOPA 工作簿中查看。例如，如果设备标签（或设备标识）仅过滤到一个设备项目，则仅显示特定设备项目的情景情形，其中在“按 LOPA 分析？”下输入“是”。这允许 LOPA 工作表的特定部分处于活动状态而不是整个工作表。

Equipment Loaded  
V-101

<< Go To LOPA    Export to DowGEP    LOPA Worksheet >

Sort    Create User Scenario    Modify User Scenario    Clear Results    Risk Summary

Transfer Scenario Information a separate LOPA worksheet by using the *LOPA Worksheet* command on the Scenario Results worksheet.

Scenario ID	Scenario Name	Description of Scenario	Scenario Definition	Probability of Ignition	Probability of Response	Time to Shut-in	MFC Control	MFC Control	ISB Function	ISB Function	Pressure Relief Device	ISB 1
1001	Scenario 1	Scenario 1 Description	Scenario 1 Definition									
1002	Scenario 2	Scenario 2 Description	Scenario 2 Definition									
1003	Scenario 3	Scenario 3 Description	Scenario 3 Definition									
1004	Scenario 4	Scenario 4 Description	Scenario 4 Definition									
1005	Scenario 5	Scenario 5 Description	Scenario 5 Definition									

图 7.3: 进入 LOPA 工作单

编号	项目
1	通过在场景结果工作表上使用 LOPA 工作表命令，传输方案信息单独的 LOPA 工作表。

## 残余风险 - LOPA 工作簿的“左”侧

LOPA 工作表的“左侧”显示了采纳与风险，包括可容许频率因子（或 TFF），初始事件，点火概率（或替代 POI），暴露概率（或替代 POE），风险时间或其他促成因素。

可以使用 RAST 后果分析和频率评估的结果或用户提供的替代方法。用户需要输入初始事件的附加详细信息（例如基本过程控制失败的传感器和最终元件标识，人为错误的过程可靠性等）。

## 非期望后果的描述

RAST 中提供的描述包括场景类型，设备类型，涉及的化学品，损失事件，释放数量，空气传播速率和（如果可用）过程安全时间的估计。对于用户定义的场景，报告的数量是用户输入的数量。见图例 7.4。

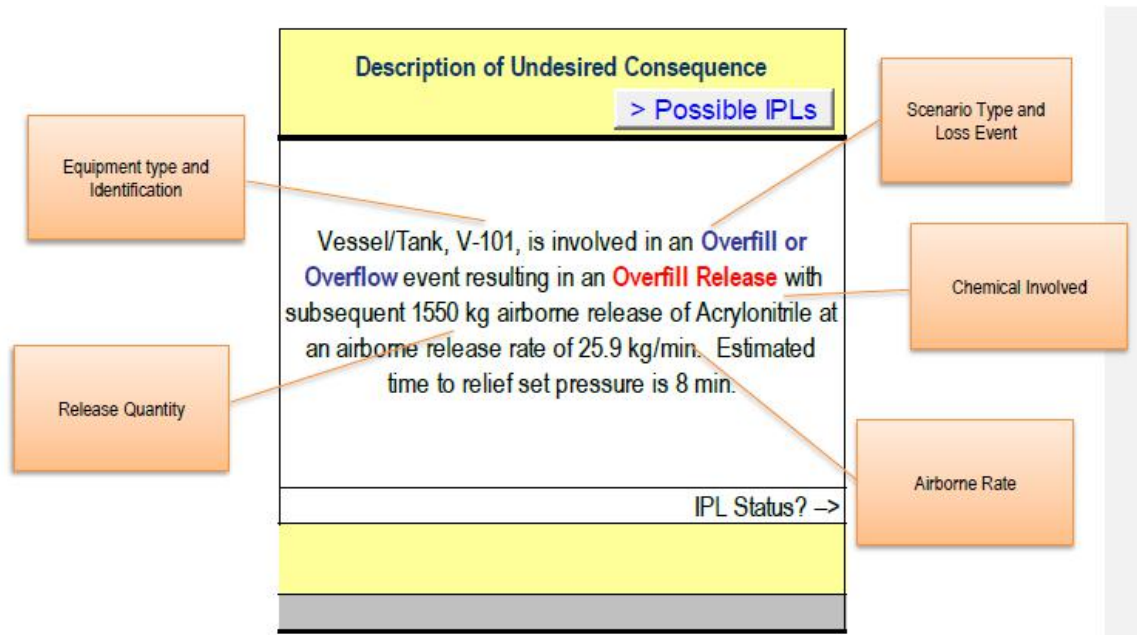


图 7.4： 后果描述

编号	项目
1	设备类型和标识
2	场景类型和损失事件
3	泄漏量
4	涉及的化学品
5	泄漏速率

## 可容许频率因子描述

可容许频率因子说明解释了如何通过 RAST 工具确定容许频率。描述中包括选定的事故结果，危险距离（例如距 ERPG-2 浓度的距离），人员位置参考（例如到围栏线的距离）以及后果分析方法的细节。用户可以使用容许频率因子描述中的“+”宏按钮选择备用容许频率因子方法，并且可以使用空白列输入用户描述并从“下拉”列表中选择容许频率因子。参见图 7.5。

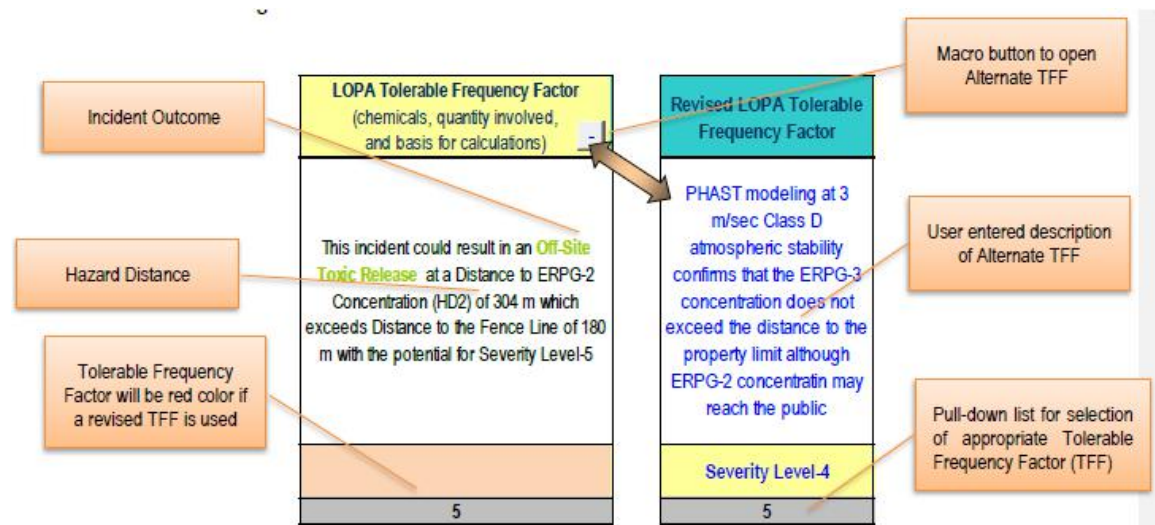


Figure 7.5: Tolerable Frequency Factor Description

图 7.5: 可容许频率因子描述

编号	项目
1	事故后果
2	危险距离
3	如果使用修订的 TFF，则容许频率因子将为红色
4	用于打开备用 TFF 的宏按钮
5	用户输入了备用 TFF 的说明
6	用于选择合适的可容许频率因子（TFF）的下拉列表

## 初始事件因素

RAST 一开始基于最普遍的初始事件确定 IEF，但是用户可以从可用的“下拉”菜单对 IEF 进行改变。用户也应该更新初步描述（蓝色文本），以更好地反映“这种问题在我的工厂如何发生”的情况。初步描述只会在更新前显示，一旦更新，RAST 不会返回到更新前的初步描述。

如果初始事件是人为失误，通过点击“人为失误”的宏按钮，就可以输入程序的可靠度和执行频率，对初始事件因子进行交叉检查。如果初始事件是基本过程控制系统失效，通过点击“+”宏按钮，可以进入传感器和最终元件信息。参考图 7.6。

[1]Initial Initiating Event description. LOPA team to update 默认初始事件描述。  
LOPA 团队可更新。

[2]Macro button to open Procedure Information 打开程序信息的宏按钮

[3]Macro button to open BPCS Information 打开基本过程控制系统（BPCS）信息的宏按钮

BPCS loop Information may be captured to check for sharing of instruments or final elements with scenario protection layers 获取 BPCS 回路信息，检查场景保护层的仪表或最终元件的共用问题

Procedure reliability information may be captured for reference. 获取程序可靠度信息作为参考

[2]Initiating Event pull-down list 初始事件的下拉列表

[3]Initiating Event Frequency Factor 初始事件频率因子

[4]Probability of Ignition(POI) 点燃概率

图 7.6

The POI for an outdoor release is determined in RAST using results of simple dispersion modeling. If needed, an Alternate Probability of Ignition method may RAST 使用简单扩散模型确定户外释放的点燃概率。如果有需要，点击“+”宏按钮，可



以输入其他的点燃概率计算方法。有一个空列用来输入对点燃概率的描述，下拉菜单中可以选择点燃概率。参考图 7.7.

[1]Macro button to open Alternate POI information 用于打开其他 POI 信息的宏按钮

[2]User entered description of Alternate POI 用户输入的其他 POI 描述

[3]Description and value for Probability of Ignition is pre-populated based on RAST evaluation. 点燃概率的描述和取值是根据 RAST 的评估预先填入的。

[4]Pull-down list for selection of appropriate POI 用于选择适合的 POI 的下拉菜单

Probability of Exposure(Presence Factor)暴露概率（人员在场因子）

图 7.7

RAST 工具从简单扩散或爆炸模型（与 PHAST 模型中释放“足迹”相似）影响区域和现场人员的人口密度，估计人员在场因子。点击“+”宏按钮，可以输入其他的暴露概率计算方法。空列用来输入对暴露概率的描述，下拉菜单中可以选择暴露概率。参考图 7.8.

[1]Description and value for Probability of Exposure is pre-populated based on RAST evaluation

暴露概率的描述和取值是根据 RAST 估计预先填入。

[2]User entered description of Alternate POE if appropriate 如果适用的话，用户输入其他的 POE 的描述。

[3]Pull-down list for selection of appropriate POE 下拉列表选择适合的 POE

[4]POE Probability Factor per the Pull-down list 下拉列表中的 POE 概率因子

图 7.8

在 RAST 版本的 LOPA 工作簿中有一个附加列来记录危害暴露时间或其他能动因子。在 RAST 中没有对危害暴露时间的评估，取值从一个下拉列表中选择。

### 保护层——LOPA 工作簿的“右”面

LOPA 工作表的“右”面为保护层部分，包括对基本过程控制动作，操作员对警报的响应，安全仪表系统功能，泄压装置和安全相关保护系统的输入。第一次执行“更新场景”时，提供了一般场景情形的建议保护层。分析团队可对这些建议重新修订或更新。使用每个保护层的下拉列表，确定合适的 LOPA 因子。可以记录每个保护层的状态以帮助确定工作优先级，选项包括：充分实施、正在进行和已建议。

保护层状态

基于场景类型的常见保护层的初步描述。供 LOPA 团队更新

保护层类别

供 LOPA 团队选择的保护层下拉列表

得分或要求失效概率因子

使用“可能的 IPLs”宏按钮展示可能的 IPLs，该展示为一个可以由工厂或分析团队更新的部分列表。参考图 7.10

[1]Possible IPLs 可能的独立保护层

[2]Displays a listing of possible IPLs based on type of scenario 根据场景类型展示一个可能的独立保护层列表

图 7.10

通过点击“+”宏按钮，可以输入自动化保护层的附加信息。出现在另一列区域，输入关键的仪表信息。参考图 7.11

[1]Detailed description of the IPL by the LOPA team-instrument identification in this field or within Detailed Instrumentation fields

LOPA 团队仪输入对保护层的详细描述，该区域输入仪表识别，或者放在详细仪表信息区域。

[2]Status may be: Proposed, In-progress, or Fully implemented 状态：已建议，进行中，或全部实施。

[3]Pull-down list for selection of appropriate IPL factor 选择合适的保护层因子的下拉菜单。

[4]Macro button to open Detailed Instrumentation Fields 打开详细仪表信息输入区域的宏按钮

[5]Detailed Instrumentation Fields 详细仪表信息区域

图 7.11

安全相关保护系统和相关得分的列表都是基于行业先例。得分也可以“手工”输入，取值要得到过程安全专家们的同意。

点击“返回场景结果”的按钮（表 7.12），保存已在 LOPA 工作表中输入的信息。在每个场景事件中，LOPA 信息与场景信息一起，保存在有唯一场景编号标识的单行中。在正确的位置手动保存整个工作簿。

“返回场景结果”操作将在任何输入的保护层分析工作表中保存到场景结果工作表。

RAST 在 RAST 中的示例场景选择和 LOPA 分析

作为例子，我们会挑选与丙烯氰储罐 V-101 相关的场景。

**步骤 1:** 确保在 RAST 内 V-101 信息为“活跃”状态

从主菜单或 LOPA 菜单，查看设备识别。参考表 7.13

[1]If the Equipment Identification is not is not V-101, use Load Selected from the Equipment Table.

如果设备识别不是 V-101，点击“设备桌面的已选路径”。

图 7.13

**步骤 2:** 确保更新分析。如果设备项目还未分析过或从上次分析后，输入的信息已发生改变，选择“更新已加载设备的场景”，在完成时会进入场景结果的工作表。

**步骤 3:** 在场景结果工作表（表 7.14）中选择 LOPA 分析的场景事件。有许多列举事件，专注于识别为“最坏情况事件”，因为该事件在大类场景中需要最高的可容忍频率因子，需要更多的独立保护层数，或两者都有。

注：可容忍频率因子，初始事件因子和其它使能因子都是预先填入的。

下拉列表中点击“是”，选择场景

注意这些场景下很多的可容忍频率因子是高的。返回工厂平面图（经过主菜单），在堤防区输入 200 平方米。选择“保存输入到设备”，保存您的更改。返回到 LOPA 菜单和更新已加载设备的场景，完成时会再次进入场景结果工作表。注意几个场景事件已更新（“绿色”表格）。输入一个堤防区或围堰区域极大地减少池性蒸发和总体扩散量，因此降低某些场景事件的可容忍频率因子。参考表 7.16.

[1]Several RAST Estimated Initiating Even Factors have been updated. (Green Highlight)

几个 RAST 预估的初始事件因子已更新（绿色强调）

表 7.16

**步骤 4:** 选择 LOPA 工作表。RAST 预估的信息会在 LOPA 工作表中记录，供 LOPA 团队进一步输入和评估。参考表 7.16.

[1]Ensure LOPA team understands each scenario and its consequence. Use Notes Column for clarity as appropriate.

确保 LOPA 团队知道每个场景及其后果。使用注释栏，确保清晰。

[2]LOPA Team should update the initiating event description and ensure the appropriate factor is used.

LOPA 团队更新初始事件描述，确保使用正确的因子。

[3]LOPA Team should complete the detailed protective layer description and select IPL from the pull-down list.

LOPA 团队完成详细的保护层描述，在下拉列表中选择 IPL

表 7.16

**步骤 5:** 评审由 RAST 提供的不期望后果描述和 LOPA 可容忍频率因子。该概要和可容忍频率因子都是基于一个特定的 RAST 分析，也许不可改变。触及输入用户场景事件，这些事件描述不包括分析设备相关的过程风险。如果有更为详细的后果分析，不同的 LOPA 可容忍频率因子，可以输入描述，此时不采用 RAST 分析。

**步骤 6:** 审查初始事件描述，并酌情更新。LOPA 团队成员都应该对内容清楚理解。决定是否使用正确的初始事件因子并做必要更新。

从开放式排污阀开始，更新初始描述，更好体现这如何发生。考虑排水阀操作频繁程度，例如为泵或管道维护做准备每年打开少于一次，或者在每次输送物量后排空卸载软管都要打开。如果适用的话，从下拉菜单中改变初始事件因子至“操作员失误每季度多于一次”

**步骤 7:** 审查能动因子并酌情更新

**步骤 8:** 决定管控过程风险的最有效保护层

LOPA 工作簿的“右”边输入保护层信息。RAST 列出一些常见的保护层，LOPA 团队要去更新描述并从每一个下拉菜单中输入合适的“得分”

在这个场景事件，如果操作员有足够的时间阻止泄漏并明显减轻后果，在“操作员响应警报”下记录可燃物料泄漏检测器及报警。这代表一个“缓解”保护层，并不能阻止损失事件（在一个开放式排水阀中泄露）的发生。

**步骤 9:** 输入任何有助于解释场景事件的注解，完成 LOPA 分析。RAST 版本的 LOPA 工作簿提供在另一列，记录问题和行动项。另外，也有表格列用于记录过程安全、制造和过程控制审查人和审查日期。

**步骤 10:** 在场景结果工作表中保存 LOPA 输入。点击“返回场景结果”按钮，保存输入 LOPA 工作表。一旦 LOPA 工作表已经“关闭”，应当存盘整个 RAST 表格。

### RAST 机械完整性场景

机械完整性 (MI) 失效占过程安全事件的 50%。如果不是腐蚀或疲劳的原因，很难在 LOPA 中加以分析。如果没有识别到一个“原因”，只能经常检查和减缓保护层。所幸的是，管道和设备的机械完整性失效出现并不频繁，在许多情况下，不会对保护层有要求。

根据“数量级”的行业频率数据，RAST 对机械完整性的失效进行筛选。这个功能可以在 LOPA 菜单上通过“排除机械完整性场景”上输入“是”来禁用。机械完整性场景在场景结果工作簿上显示为“管道或设备从主围堰中泄漏—xxx”，xxx 代表特定孔径。筛选对应 4 个孔尺寸：5mm, 25mm, 100mm 和 250mm (或在管理参数下输入其它孔尺寸)。

### 池火评估

对于池火事件, RAST 使用表代表泄漏且伴随点燃的通常初始事件来进行筛选。不管怎样，池火频率估算是复杂的，并需要评估所有潜在的燃料泄露源。工作表的池火频率部分可以基于 LOPA 场景信息来开展一个非常简单的故障树分析，获得一个对初始事件因子更合理的估计。

**步骤 1:** 从主菜单或 LOPA 菜单中选择池火评估，因为池火评估概述通常用来决定哪个设备需要开展更加详细的池火频率估计，通过主菜单和 LOPA 菜单都可以进入。

**步骤 2:** 在场景结果工作表中，识别在所分析设备区域可导致可燃物泄漏的场景事件（点燃的泄漏与池火无关？？？？）。参考图 7.17。影响 V-101 的池火事件可以由 V-101、泵 P-101 或者其他在同一防火堤或是围堰范围内的罐泄漏引起。

为确定非池火但又存在燃烧后果的事件，可以在结果为“闪火、喷射火或池火”或“蒸汽云爆炸”或“建筑物爆炸”中进行筛选场景，排除“过热输入——池火”。

为了减少促成事件的数量（少于 10），应该选择发生最高频率的场景事件（或初始事件加上着火概率加上非缓解保护层因子总和最小？？？的事件）。促成场景的频率总和和

会显著地受到排除极低频事件的影响。

每个促成场景的标识号

**步骤 3:** 记录与这些设备有关的点燃结果的场景的标识号。

在池火工作表的左边一列，输入促成事件的场景标识号。RAST 会拾取每个场景的信息，包括保护层信息，在同一行的附加列加以总结。总体频率和频率因子在工作表的底部右边展示。在 LOPA 工作簿的下拉菜单中，然后这个频率因子可以用来更新在 V-101 场景中池火引起过热输入的初始事件因子。参考图 7.18.

[1]Enter Scenario Identification Number for contributing scenario

输入每个促成场景的场景标识号

[2]Contributing Scenario Identification may be saved to the equipment file

促成场景标识可以保存在设备文件中

[3]Overall Pool Fire Frequency is estimated from the sum of frequencies for each scenario

估测由每个场景的频率相加而得到的总的池火频率

表 7.18

**步骤 4:** 使用“保存输入至设备表格”命令，保存促成场景列表。

### 最大允许响应时间

在一个 LOPA 分析中识别的每个安全仪表系统，需要对最大允许响应时间进行估测。最大允许响应时间为仪表规格书提供关键信息。RAST 工具给常见场景提供一个协助 MART 估测的工作表。MART-MALT 估算工作表从 LOPA 菜单进入。参考图 7.19.

溢流和倒流—MART 工作表的这一段，从输入高液位报警设定点到在最大进料速率下“满压”或从工艺变量工作表中输入最大倒流率来预测 MART。输入传感器时间常数值，将一

个一阶延时包含到 MART 估计值中。

保护气超压—MART 工作表这一段，按照过程变量工作表中最大保护气体流率，从输入的高压报警点到低于最大工作压力或释放装置设定点的时间来估计 MART，也可输入传感器时间常数值，将一个一阶延时包含到 MART 估计值中。

**过热**——MART 工作表这一段，通过从一个输入高温警报设定点到比 MAWP 低（或根据热传输，机械能或做出的泄压装置设定压力）的饱和温度的时间来预测 MART。也可输入传感器时间常数值，会将一个一阶延时并入到 MART 估测中。

**反应**——MART 工作表这一段，通过从一个设定的高温警报点到比 MAWP 低的饱和温度的时间来预测 MART，或根据从设定的高温警报点达到不同反应的热输入做出的泄压装置设定压力下的饱和温度的时间来预测 MART。同时，输入传感器时间常数值，会将一个一阶延时并入到 MART 估测中。由于反应产热率可能会很高，基于输入传感器时间常数，会返回一个达到需要值的实际高温警报设定点。

注意没有保存 MART—MALR 工作表估计，在 LOPA 工作表的 SIS 仪表详细信息中可以记录结果。

对于液体溢流情况，输入报警设定点和传感器时间常数。

对于超压情况，输入报警设定点和传感器时间常数。

在过热或过激反应情况下输入警报设定点和传感器时间常数。

显示估计响应时间

## 最大允许泄露率

在一个 LOPA 分析中，每个识别出的安全仪表系统也要求估计最大允许泄露率。这给仪表规格书提供关键信息。RAST 工具提供一个工作表，用以帮助估计。MART—MALT 评估工作表从 LOPA 菜单中进入。参考表 7.20

最大允许泄露率要么基于限制事故结果来阻止一个对潜在的严重人员影响，要么根据阻止或延迟事件序列进行限制，例如：



**限制释放速率**，阻止潜在严重人员影响，这需要降低释放速率，使 ERPG-3 的倍率浓度或燃烧下限一半浓度的距离少于 3m(10ft)或在受限工作区域内的氧气浓度大于 19.5%（体积百分比）。

**阻止事件序列**，防止其达到可引起泄漏的过程条件。这涉及到限制设备内最大压力，令其低于 MAWP 或泄压装置的设定压力。例如，限制流体的传热速率，使最高温度低于可以导致超过 MAWP 或泄压装置设定压力而引起泄漏温度。

在一个足够长的时间内，延迟事件序列使其不能达到潜在泄漏的条件——通常被认为 24 小时。例如，限制容器的进料速率，这样从警报响起到溢流超过 24 小时。

**危险品允许释放率**——这一部分 MALR 工作表从危害泄漏预测 MALR，这样 ERPG-3 的倍率浓度或燃烧下限一半浓度的距离的少于 3m(10ft)。必须输入泄露位置（“在室内”或“在室外”）或“默认”使用“在室外”。如果位置在室内，对应氧气浓度的高于 19.5% 的情况下的泄漏率也需要报告。

**阻止损失事件的允许加成率**—MALR 工作表这一段通过总热平衡来估计 MALR。第一个估测是最大允许热介质流量，限制最大温度高于已设定温度的警报值。第二个是基于输入的全部设备中物质的部分限制剂来估测最大允许反应剂流量，以限制反应温度，避免其超过已设定温度警报值。

**延迟损失事件 24 小时的加成率**—MALR 工作表的这部分是根据总体物质与能量平衡估测 MALR。第一项估测是基于 24 小时内存在于全部设备中物料的部分限制剂来估计最大允许热介质流速，使最大温度在低于 MAWP 或泄压装置设定压力下低于沸点。第二个估测因子是最大允许反应剂流，基于 24 小时内在该设备中的反应抑制剂分率，该流率使得反应温度低于沸点（在 MAWP 压力或泄压装置设定压力条件下）。第三项估测是进料速率或保护气流动速率，该流率在 24 小时内限制压力是从高压报警设定点到低于 MAWP 或释放装置设定压力。（注意根据液体进料速率计算的最大压力是根据在该估测中蒸汽压头空间的“压缩”情况）

**注意没有保存 MART**—MALR 工作表的估计。在 LOPA 工作表的 SIS 仪表详细信息中可以记录结果。

输入泄露位置

基于易燃或有毒个人暴露的 MALR

根据反应热率估测阻止事件序列的 MALR

根据热率展示 24 小时 MALR

根据液体或蒸气供给率情况展示 24 小时 MALR

### 保护层摘要

Loop ID or Alarm ID	IPL Type	IPL Col	Scenario No.	Equipment Tag	Credit Fa	General Description	Detail Description	IPL Status
Alarm 101D	2 - OPR	1	3.01	V-101	1	Human Response to Abnormal Condition	Flammable leak detection with alarm and Operator Response	Proposed
Alarm 101D	2 - OPR	1	13.01	V-101	1	Human Response to Abnormal Condition	Flammable leak detection with alarm and Operator Response	Proposed
Alarm 101D	2 - OPR	1	16.01	V-101	1	Human Response to Abnormal Condition	Flammable leak detection with alarm and Operator Response	Proposed
Alarm 101D	2 - OPR	1	21.01	V-101	1	Human Response to Abnormal Condition	Flammable leak detection with alarm and Operator Response	Proposed
SIF-101A	3 - SIS	3	21.01	V-101	2	SIS - SIL 2	High Level Interlock with feed pump to vary outlet flow	Fully Implemented
SIF-101B	3 - SIS	3	7.01	V-101	2	SIS - SIL 2	Low pressure interlock with discharge pump to prevent spill	Fully Implemented
na	4 - Relief	5	7.01	V-101	2	Explosion Panel's meeting NFPA 68 or equivalent	Weak seam/roof which would relieve explosion pressure	In Progress
na	4 - Relief	5	16.01	V-101	2	Fully Meets Relief Design Criteria (no. 6)	Pressure Relief Device Sized for Scenario and verified by calculation	Fully Implemented
na	5 - SRPS	6	3.01	V-101	1	1 - Other Safety related protection systems	Procedure to pressure check all equipment and piping to ensure integrity	Fully Implemented
na	5 - SRPS	6	13.01	V-101	1	Effluent Treatment System (Scrubber) Filter	The ERV is piping to a flare system	Proposed
na	5 - SRPS	7	13.01	V-101	1	Mitigation System (Deluge, Foam, etc.)	The tank farm area is equipped with a sprinkler/deluge system	Fully Implemented
na	5 - SRPS	6	16.01	V-101	1	Mitigation System (Deluge, Foam, etc.)	The tank farm area is equipped with a sprinkler/deluge system	Fully Implemented
na	5 - SRPS	6	21.01	V-101	1	1 - Other Safety related protection systems	Procedure to check tank level to ensure instruments and valves are working	Fully Implemented
Alarm 101D	FG-101					25 ppm	Flammable leak detection with response per procedure P-101 A	
Alarm 101D	FS-101					25 ppm	Flammable leak detection with response per procedure P-101 A	
Alarm 101D	FG-101					25 ppm	Flammable leak detection with response per procedure P-101 A	
Alarm 101D	FS-101					25 ppm	Flammable leak detection with response per procedure P-101 A	
SIF-101A	LT-101A	LT-101B		Pump P-101		0.95		
SIF-101B	PT-101			Pump P-101		10 mPa		
na								
na								
na								
na								
na								
na								

图 7.21 独立保护层摘要

### 风险摘要

可以为 LOPA 工作簿中的每个场景输入保护层的状态。所有“分析过”的场景都有 LOPA 后果（作为可容忍频率因子）与 LOPA 频率（考虑或不考虑完全实施的保护层）的表格。此风险图摘要用以帮助确定风险降低资本支出的优先顺序。可以查看设备表中所有设备项目的风险图摘要，也可使用“过滤”选定本工作表左侧所选的特定设备项目。可以通过 LOPA 菜单访问风险摘要。参见图 7.22。

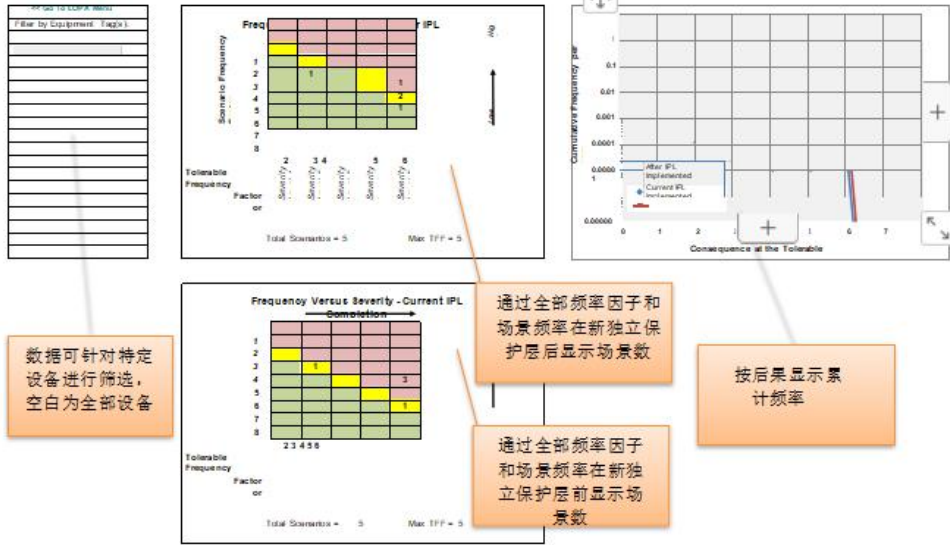


图 7.22 风险摘要工作表

## 7. 案例学习

为熟悉 RAST 表单工具, 我们继续使用在“开始部分”描述的问题举例。

### 案例-输入信息

在开始部分, 分享了以下例子。

#### Equipment Parameters 设备参数

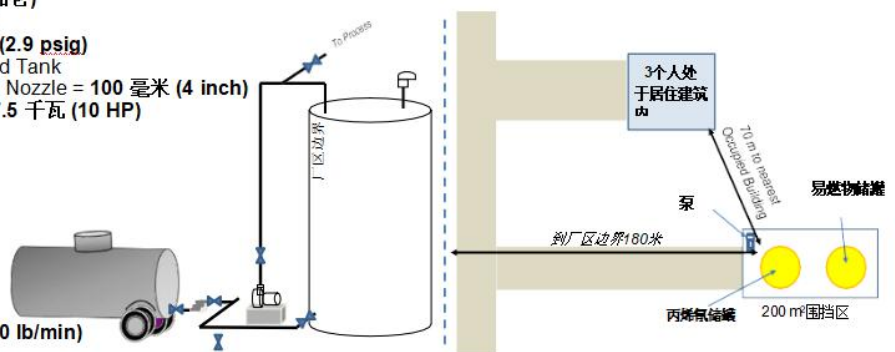
罐容 = 100 立方米 (26000 加仑)  
 物质 = Acrylonitrile 丙烯腈  
 最大允许工作压力 = 0.2 巴 (2.9 psig)  
 平底无锚固罐 Non-Anchored Tank  
 底部出口喷嘴 Bottom Outlet Nozzle = 100 毫米 (4 inch)  
 循环泵 Circulating Pump = 7.5 千瓦 (10 HP)

#### Operating Conditions 操作条件

作条件

操作温度 Operating Temperature = 25 C

压力 = 0.01 bar (0.2 psig)  
 液体压头 = 6 m (20 ft)  
 进料速率 = 400 Kg/min (880 lb/min)



在储罐之外, 还对罐车和泵以及200米输送管道进行分析

额外输入信息包括:

储罐, V-101

- 平底无锚固储罐，位于防火堤围成的200平方米的范围内，该区域有7000公斤其他可燃物。
- 泄放设备PVRV-101是一个250毫米（10英寸）直径的PVRV，设定压力0.07 巴(1 psig)。水平泄放口，泄放出口高度为6米。
- V-101内保持不能点燃浓度。最大垫气压力调节至1 巴（14.5 psig），最大流量为100标准立方米/小时（3500 ft<sup>3</sup> / hr）。
- V-101在卸载时与油罐车保持“蒸气平衡”。
- 最大液位为6米，容器未按全真空标定。

### 丙烯腈

- 罐车容积为21 立方米（5500加仑），最大允许工作压力为1 巴（14.5 psig），未按全真空标定。
- 最高液位为2米。
- 使用直径75毫米（3英寸）的软管以400千克/分钟（880磅/分钟）的速率卸载。
- 卸载操作期间需操作员值守。

### 泵 P-101及附属管道

- 该泵为离心泵，有一个75毫米（3英寸）吸入口，有双机械密封，位于200平方米围堤区域
- 最大泵出口压力3 巴，最大允许工作压力10巴（145psig）
- 附属管道200米长，有20个法兰

### 丙烯腈应数据

- 反应热 - 326 cal/g
- 活化能： 32 Kcal/g mole
- 检测到起始温度： 190 C
- 检测到的起始速率： 0.08 C/min
- 检测方法： 加速率量热仪Phi因子2.1

<p>案例 筛选评估</p>	<p><i>对于每个设备项目</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> 完成必要的输入</li> <li><input type="checkbox"/> 决定火灾爆炸指数 F&amp;EI 以及化学品暴露指数 CEI</li> <li><input type="checkbox"/> 审查危害和潜在损失事件后果，注意哪些危害可能需要进行分析</li> <li><input type="checkbox"/> 审查场景清单（在场景识别工作表中），注意是否有不合理的场景或容忍频率因子</li> <li><input type="checkbox"/> 审查 PVRV-101 泄放物质筛选</li> </ul>
<p>案例 初步风险分析</p>	<p><i>对于每个设备项目</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> 审查场景清单，加入你认为应当考虑的额外的场景</li> <li><input type="checkbox"/> 更新场景并选择合适的场景以进行保护层分析</li> <li><input type="checkbox"/> 对每个设备项目至少完成 2 个场景的保护层分析</li> <li><input type="checkbox"/> 针对至少一个场景估计最大允许反应时间和最大允许泄漏率</li> </ul>

## 8. 参考文献

Crowl和Louvar，《化工过程安全基本原理与应用》，第3版，马萨诸塞州波士顿（2011年）

《场外后果分析风险管理计划指南》，美国环境保护局（1999）

《基于风险的过程安全指南》，化工过程安全中心，纽约（2007年）

《危害评估程序指南》，第3版，化工过程安全中心，纽约（2000年）

《化工过程定量风险分析指南》，第2版，化工过程安全中心，纽约（2000年）

《化学品释放后果分析指南》，化工过程安全中心，纽约（1999年）

《蒸气云爆炸、压力容器爆炸、沸腾液体扩散蒸汽云爆炸和闪火危害指南》，第2版，化工过程安全中心，纽约（2010年）

《外部爆炸、火灾和有毒性物质释放的工艺厂房评估指南》，第2版，化工过程安全中心，纽约（2012年）

《保护层分析-简化过程风险评估》，化工过程安全中心，纽约（2001）

《保护层分析中的初始事件和独立保护层指南》，化工过程安全中心，纽约（2015）

《保护层分析中的使能条件和条件性修饰指南》，化工过程安全中心，纽约（2014）

《泄压和污水处理系统指南》，化工过程安全中心，纽约（1998年）

《API标准521：泄压和减压系统》，第6版，美国石油协会，华盛顿特区（2016）

《化工危害工程基础》，化工过程安全中心（2018）

Daycock, J. 和 Rew, P., 《现场点燃概率测定方法的开发》，健康与安全执行局：研究报告 226（2004）

Franks, A., Comah, 《控制主要事故危害背景下的防线/保护层分析》，健康与安全执行官（1999）

Chambers, C.、Wilday, J. 和 Turner, S., 《燃料气储罐过度充装保护层分析综述》，健康与安全执行局：研究报告716（2009）

《用于风险评估的故障率和事件数据》，健康与安全执行局（2012年）

《过程泄漏频率》，石油和天然气生产商协会-风险评估数据目录：报告434（2010）

Mannan, S., 《李的过程工业损失预防》，第三版，Elsevier（2005）

First, K. 《保护层分析的场景识别和评估》，过程工业损失预防杂志，第23卷，Elsevier（2010）

Study, K., Allan, P., Cozat, A., Meliefste, K., Roche, E., and Wagner, T., Good, “直到最后一滴：阀门漏多少是泄漏太多？”《过程安全进展》，第25卷（2016年）

First, K., 《反应性危险评估中反应性化学品测试数据的整合》，Mary Kay O'Conner 工艺安全研讨会（2010年）

Eure, D., 《针对不可接受风险的大气释放装置筛选》，Mary Kay O'Conner 工艺安全研讨会（2009年）

## 9. 术语

**急性危害：** 由于瞬时或短时暴露于事故的影响而潜在发生的伤害或损坏

**管理性措施：**用于控制、监视或审核人员表现的程序性机制，比如上锁/挂牌程序，旁通批准程序，铅封程序以及许可制度。

**资产完整性管理：**确保资产在生命周期内保持完整性的过程安全管理体系

**大气扩散：**气体与空气由于湍动能交换而产生的低速混合，是风速（机械涡流形成）与大气温度状态（热量涡流形成）的函数。

**审计：**系统而独立的审查以验证与事先规定的相关标准的符合性，该方法使用确定的审查流程以确保一致性，并使得审核员得到可靠的结论。

**屏障：**用于控制，防止或阻碍能量流动的任何事物，包括工程的（物理，设备设计）和管理的（程序和工作流程）；另见保护层。

**基本过程控制系统：**响应来自工艺及其相关设备、其他可编程系统和/或操作员的输入信号并产生输出信号，使过程及其相关设备以所期望的方式和正常操作极限运行的系统。

**冲击波：**从爆破点向外扩散的超压波。

**沸腾液体扩散蒸汽云爆炸：**一个快速的相变过程，在密闭容器中的一种高于常压沸点的液体压力被快速释放，造成一种从液体到气体并伴随能量释放的瞬间转变。可燃材料的沸腾液体扩散蒸汽云爆炸通常伴随着一个大的雾化火球，这通常是由于外部火与气相空间壁直接接触造成。然而，沸腾液体扩散蒸汽云爆炸的发生并不需要液体是可燃的。

**领结图：**可用于风险管理的预防和缓解障碍类型的可视化图表。危害置于屏障的左边，不期待的事件放在中间，后果放在右边，表达出有害物质或能量从屏障流向其终点。危害或者威胁可以从左边通过具体的屏障（保护措施、保护层）着手以阻止危险事件发生，缓解事件后果的屏障放于右边。

**灾难性的释放：**有毒，反应性的或易燃的材料从工艺系统中不受控地释放，可能引起场内或场外的急性健康影响，显著环境影响（如对公众饮用水的影响），或者显著的场内或场外的财产损失。

**化工过程安全中心（CCPS）：**美国化学工程师协会旗下的基于公司会员的非营利组织，该组织识别解决大量设施的过程安全需要，包括处理，存储、使用或加工，以及运输有害物质。

**检查表分析：**使用一种或多种预先准备的过程安全关注清单来提示团队开展对已有安全措施是否足够的讨论。

**化工过程定量风险分析 (CPQRA or QRA):** 定量评估潜在事故场景中的风险。分析检查后果与频率, 以及他们如何结合成为总的风险量度。CPQRA过程总是在定性系统识别过程危害之后开展, CPQRA结果可以用来做决定, 特别是考虑风险消减之后。

**可燃粉尘:** 细微的可燃固体颗粒, 在空气中悬浮或者在一定浓度范围的特定氧化介质中可产生闪火或者爆炸危害。

**共因失效:** 多个元件、项目或系统因为相同原因导致的失效。

**凝聚态爆炸:** 材料为液态或固态时发生的爆炸

**条件性修饰:** 在场景风险计算中多个可能概率中的一个, 通常出现在当风险标准终点用影响术语(如死亡)而不是主要损失事件术语(如释放, 容器爆炸)表达时。条件性修饰包括但不限于: 形成危害气体的概率, 点燃概率, 人员出现的概率, 受伤或死亡的概率以及设备损坏或其他财务风险的概率。

**受限爆炸(或建筑物爆炸):** 在一个封闭系统(如容器或建筑物)中的燃氧混合形成的爆炸。

**限制物:** 用于限制扩散性或爆炸性气团膨胀的建筑物的墙和屋顶、容器、管道等障碍物。

**拥挤度:** 在火焰路径上造成湍流的障碍物。

**后果:** 一个损失事件产生的不利结果, 通常用健康和影响, 环境影响, 财产损失以及商业冲击的成本来量度。

**后果分析:** 对可预见的后果影响的分析, 不考虑频率及概率。

**后果筛查:** 评估后果严重程度以确定风险分析需要达到的深度和细节。

**可忽略风险:** 被大多数人视为可广泛接受并不需要进行进一步风险削减的风险级别

**爆燃:** 在未反应的介质中传热和传质并以亚音速扩散的燃烧

**要求:** 一种要求保护系统或设备采取合适动作以阻止危害的工艺状况或事件 (1) 可以改变设备状态的一个信号或动作, 或者 (2) 一种行动机会, 或者失效。

**检测系统:** 一种自动识别物质存在或者环境参数(压力、温度或成分)变化的机械、电气或化学装置

**爆轰:** 一种由化学反应传播引起的能量释放, 该化学反应的前端在未反应物质中以超音速前进。

**偏差:** 处于设计限值、安全操作限值或标准操作程序之外的工艺参数状态。

**堤(或堰):** 一种用于阻止液体流入周围区域的挡体或墙。

**多米诺效应:** 次生事件的引发, 如主事件为爆炸时引起的毒性泄漏, 导致后果升级或影响区面积增加。只在初始事件后果显著升级时考虑。



**剂量：**浓度对时间的积分

**影响区：**对于产生毒性泄漏后果的事件，气体浓度等于或超过关注水平的区域。对于易燃气体释放，指特定事件后果按照特定标准产生的影响区域。

**设备：**可通过其包含的机械、电气或仪表组件进行定义的单元硬件

**使能条件：**本身并非失效、误差或者保护层，但可能令事件序列造成需要关注的后果。由条件或操作阶段构成，不会直接导致事件场景，但必须存在才能使得场景演进造成损失事件。表示为无量纲概率。

**事件：**由设备性能、人为动作或过程外部事件引发的一种过程事件。

**事件序列：**一种特定的意外事件序列，由初始事件和可能造成事故的中间事件组成。

**爆炸：**引起压力突变或冲击波的能量释放

**F-N曲线：**累计频率与后果（通常表达为死亡数量）的关系图

**设施：**开展管理系统活动的物理场所，在生命周期早期，设施可以指公司的中心研究实验室，试验工厂，或者技术供应商的工程办公室。后期，设施可以指典型的化工厂，储存终端，分发中心或者公司办公室。

**失效：**一种在期望与观察到的表现之间不可接受的区别

**故障树分析：**图形化分析某给定事件的失效逻辑，以识别多种失效场景（称为割集），以支持对该事件频率的概率估计的一种方法。

**最终元件：**执行物理动作以保持安全状态的过程控制设备或安全设备，比如阀门、齿轮箱、电机，包括他们的辅助设备（如用于操作阀门的电磁阀）

**火球：**燃料与空气云团在常压下燃烧，能量大部分以辐射热发出，释放燃料的内核由纯燃料构成，而最先燃烧的外层由燃料及空气的混合物构成。随着热气的浮力逐渐占据主导地位，燃烧气团升起在形状上更加呈现出圆形。

**易燃：**一种与气状氧化剂如空气或氯气混合后可燃烧且有火焰的气体，易燃气体包括高于其闪点的易燃或可燃液体中挥发出来的蒸气。

**闪火：**一种火焰头前端弥漫的燃料中（如粉尘，气体或可燃液体的蒸气）快速传播并且不产生破坏性压力的火。

**频率：**某事件单位时间内发生的次数（如 1次/1000年=  $1 \times 10^{-3}$  次/年）

**全球统一系统：**联合国化学品分类与标识系统，官方网站““Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GHS)”

( [https://www.unece.org/trans/danger/publi/ghs/ghs\\_welcome\\_e.html](https://www.unece.org/trans/danger/publi/ghs/ghs_welcome_e.html) )

**危害：**一种潜在引起对人，财产或环境的损害的内在的化学或物理特性。

**危害与可操作性分析：**一种系统性的定性分析技术，通过使用一系列引导词研究过程偏差，用于识别过程危害和潜在操作问题。危害与可操作性分析对过程每部分进行询问，以发现哪些偏离于设计的偏差可能会发生，可能存在什么样的原因和后果。这是通过使用合适的引导词系统性的完成的。这是一种系统性的详细审查技术，适用于间歇和连续工艺工厂，也适用于新建或已建过程的危害识别。

**危害距离：**从泄漏点到关注浓度或超压冲击波的距离。例如，到爆炸下限分数的距离可能代表低于该距离会发生因闪火造成的严重的人员伤害。

**危害评估：**识别系统的个人危害，确定其可能造成不期待事件的机理，并且对这些事件造成的健康（包括公众健康），环境和财产等后果进行评估。使用定性技术指出设施设计和操作中可能引起事故的薄弱点。

**危害识别：**因事故发生而产生不良后果的材料、系统、过程和设备特性的盘点。。

**危害识别与风险分析研究：**一个集合名词，指识别危害与评估设施全生命周期风险并确保这些风险对员工，公众或环境都一致地控制在组织风险的容许范围内的全部活动。

**风险筛选：**对严重程度估计以确定危害评价以及后续的风险分析应达到的必要的程度。

**危害化学品：**有毒，反应性的或者易燃的并且泄漏可能造成过程安全事故的物质，也称危险物质。

**人为失误：**产生不适当的后果的有意的或无意的人的作为或不作为，包括设计人员，操作员，工程师或经理们可能导致事故的行为。

**人类可靠性分析：**一种用于评估系统所需的人工操作、任务或作业是否能在所需的时间内成功完成的方法。还用于确定不会执行对系统有害的无关人为动作的概率。

**混合物料：**可燃气体与可燃粉尘或可燃烟雾的混合物。

**影响：**对于损失事件最终损失和损害的量度。影响可以表达为受伤和/或死亡事件数量，环境损害的程度和/或损害大小，比如财产损失，材料损失，生产损失，市场份额损失以及恢复成本。

**事故：**一个或一系列导致单个或多个不期待的后果的事件，比如对人员造成伤害，对环境造成损失，或资产/商业损失。这些事件包括火灾、爆炸，毒性或其他伤害性物质的释放。

**事故调查：**一种系统的方法，用于确定事件的原因，并针对这些原因提出建议，以帮助预防或减轻未来的事件。也可见根本原因分析以及显然原因分析。

**事故后果：**事故的物理表现：对于毒性材料，事故后果是毒性释放，对于易燃材料，事故后果可能是沸腾液体扩散蒸气云爆炸，闪火，蒸气云爆炸等。

**独立保护层：**一种能够阻止场景发展成为不期待后果、并且不受初始事件或者其他该场景的保护层不利影响的装置、系统或动作。

**个人风险：**危害附近对个人的风险。这包括了对人伤害的性质，伤害发生的可能性以及伤害可能发生的时间段。

**本质安全设计：**对于化工过程和工厂设计将重心放在消除或减少危害而不是管理与控制危害的思维方法。

**初始原因（或初始事件）：**操作失误、机械故障、外部事件或机构，是事件序列中的第一个事件，标志着从正常状态向异常状态的过渡。

**联锁：**由过程参数超限引起的保护性反应。在一部分过程没有动作时不允许另一部分的过程动作的仪表。一种不允许设备在危害存在的情况下运行的装置。将两部分结合在一起这样他们相互之间通过物理干扰紧密联结。一种提供需要的参数物理状态的证明并向主要安全控制回路提供该种证明的装置。

**喷射火：**通常由液体、蒸气或气体从小孔中泄漏到自由空间造成的火灾，泄漏的动量引起周围大气与泄漏气体进行混合。

**保护层分析：**分析事故场景（因果对）的一种方法，通过预先定义的初始事件频率，独立保护层失效概率以及后果严重程度，以比较一个场景风险，与风险标准进行比较以确定是否需要额外的风险降低措施或者更详细的分析。场景由其他方法定义，通常由基于场景分析的危害评估程序如危害与可操作性分析。

**关注级别：**气态化学物质浓度，在意外泄漏时短时暴露在超过该浓度氛围内会对人员健康造成不利影响

**可能性：**对某个事件预计发生的概率或频率的量度。这可以表达为事件频率（如事件数/年）、在一个时间段内的发生概率（如年度概率）或者一个条件概率（如：在前置事件已经发生的情况下的发生概率）

**损失事件：**在异常状况中的某个时间点发生的可能导致损失和伤害影响的不可逆的物理事件。例子包括有害物质泄漏，易燃气体或粉尘云团点燃，一个储罐或容器超压破裂。一个事故可

能包括多个损失事件，如可燃液体溢漏（第一事件），随后点燃发生闪火和池火（第二事件）将临近的容器和内装物料加热到破裂点（第三事件）。通常与危害事件为同义词。

**主围堰失效：**物料从主围堰中非计划或非受控地泄漏，包括非毒性和非可燃性物料（如蒸汽、热凝液、氮气、压缩二氧化碳或压缩空气）

**变更管理：**用于识别、审查和批准设备、程序、原材料以及过程变量变更（不包括同类更换）的管理系统，以确保在变更实施前过程变更被正确地分析（如潜在的不利影响）、记录并对受到影响的员工进行告知。

**机械完整性（或设备完整性、资产完整性）：**确保设备按期望的功能进行设计、安装以及维护的管理体系。

**平均无故障时间（MTBF）：**在功能单元标称的生命周期内，在标称条件下两次连续失效之间的平均时长。

**削减：**降低损失事件的影响。

**削减措施：**降低损失时间影响的保护措施

**联邦消防局（NFPA）：**美国消防管理机构，该机构建立和维护地方政府采用的标准

**未遂事件：**实际上没有构成事故，但如果条件不同或继续发展，可能导致伤害或损失的意外事件序列。

**正常操作：**在启动和关停之间的所有过程操作，以支持在安全上限和下限确定的操作范围内进行连续生产。

**居住人员脆弱度：**如果假定事件发生，可能会造成伤害或死亡的建筑物内人员比例。伤害程度是根据所使用的人员脆弱度模型的技术基础来定义。

**场外人口：**位于场地界线之外但可能会受到场内事故影响的人员。

**场内人员：**设施中的员工、承包商人员、访客、服务提供商和其他人员。

**操作程序：**操作设备所需的书面化的逐步指导和信息的汇编文件，包括操作指导、工艺说明、操作极限、化学危害和安全设备要求。

**操作员：**负责监视，控制和执行必要任务以完成系统生产活动的人员。操作员还泛指执行各种任务的人员，这些任务例如：读数、校准、零星维护、管理装载/卸载和存储危险材料。

**参数：**描述给定系统中变量关系的数量。注意：参数可以是常数，也可以取决于某些系统变量的时间或大小。

**被动系统：**故障仅通过测试或要求发生时才发生的一种系统。

**个人防护设备 (PPE)：**旨在保护员工免受因接触化学性、放射性、物理的、电气的、机械的或其他工作场所危害而导致的严重工伤或疾病的设备。除了面罩、安全眼镜、安全帽和安全鞋外，PPE还包括各种装置和服装，如护目镜、连体服、手套、背心、耳塞和呼吸器。

**物理爆炸：**通过反应以外的方式或从过热液体的液相到汽相的突然相变导致的加压气体/蒸气填充容器的灾难性破裂。

**管道和仪表图 (P&ID)：**显示管道，容器和仪表详细信息的图表。

**池火：**从火焰底部的液体层蒸发出的物质形成的燃烧。

**潜在爆炸场所 (PES)：**工厂内具有足够的拥挤度和/或限制的一个空间，可燃性蒸气云在该空间点燃可能会发展成为爆炸。

**初始事件预防措施：**用于防止初始事件或原因发生的一种保护措施。

**预防性保护措施：**在初始原因已发生的前提下，一种防止特定损失事件发生的保护措施。即，事件序列中在初始原因和损失事件之间进行干预的保护措施。

**预防：**消除或阻止与特定活动相关的危险或风险的过程。有时使用预防来描述为减少不期望事件的可能性而提前采取的行动。

**概率：**表示事件或事件序列在一段时间内发生的可能性，或事件在测试或按需时成功或失败的可能性的表述。概率被表示为从0到1的无量纲数。

**概率单位 (Probit)：**一种用于各种效果模型的随机变量，平均值为5，方差为1。基于概率单位的模型由剂量-反应的实验数据衍生，通常用于估计在给定强度和持续时间范围内暴露于有害物质或条件（例如，暴露于有毒气体或热辐射）而可能产生的健康影响。

**过程危害分析 (PHA)：**有组织地识别和评估与过程和操作相关的危害，以使其得到控制。该工作通常涉及使用定性技术来识别和评估危害的重要性，并得出结论和适当的建议。有时，也采用定量方法帮助确立需要优先降低的风险。

**过程安全管理体系：**通过制定全面的政策、程序和实践来确保对意外事件的保护屏障被建立，被使用和有效。

**过程安全：**通过应用良好的设计原则、工程和操作实践建立起的一种规范框架，用于管理生产系统和危险物质处理过程的完整性。它着力于预防和控制可能释放有害物质或能源的事故。此类事故可能引起毒性效果、火灾或爆炸，最终导致严重伤害、财产损失、生产损失和环境影响。

**过程安全评审：**对工厂/过程单元、图纸、程序、应急计划和/或管理系统等的检查；通常由一个现场团队完成，本质上是一种解决问题的方法。（参见“审核”以做对比）。

**定性：**主要依靠使用历史经验和工程判断做出描述和比较，几乎没有量化危害、后果、可能性或风险等级。

**定量风险分析：**使用工程评估和数学方法，系统地对与设施或操作相关的潜在事故的预期频率和严重程度地进行数值估计。

**可靠性：**保护层的核心属性，与设备在相关条件下按照设计规格在既定的时间段内正常运行的概率相关。

**风险：**根据事故可能性和损失或伤害的程度对人身伤害、环境破坏或经济损失的一种衡量。

**风险分析：**通过识别潜在的事故场景来估算场景、过程、设施和/或组织的风险，然后评估和组合每个存在关注后果的场景的预期频率和影响；在必要时，可将场景风险累加，以获得分析所针对风险的总风险估计。

**基于风险的过程安全（RBPS）：**化工过程安全中心（CCPS）的过程安全管理系统方法，该方法使用与过程安全活动，资源可用性和现有过程安全文化的风险需求相称的、基于风险的策略和实施技巧来设计，纠正和改进过程安全管理活动。

**风险矩阵：**用于呈现风险承受能力标准的表格，通常在Y轴标示事故可能性的分级，X轴标示事故后果严重程度的分级。

**风险管理：**系统地将管理政策、程序和实践应用于分析、评估和控制风险的工作，以保护员工、公众、环境和公司资产并避免业务中断。包括使用适当的工程和管理控制来降低风险的决策。

**风险容忍度标准：**预定的风险量度，用于帮助决定是否需要开展进一步降低风险的工作。

**安全措施：**任何在初始事件后切断事件链或削减后果程度的设备、系统或操作。安全措施可以是工程系统或管理控制。并非所有安全措施都符合独立保护层的要求。

**安全仪表系统（SIS）：**由传感器，逻辑控制器，最终元件和支持系统组成的分立且独立的系统，通过设计和管理以达到指定的安全完整性等级。一个SIS可以实现一个或多个安全仪表功能（SIF）。

**场景：**对导致损失事件及其相关影响的意外事件或事件序列的详细描述，包括事件序列中涉及的安全措施的有效或失效。

**筛选标准：**做出判断或决策所依据的预定措施、标准或规则（通常基于公司或监管要求）。

**严重性：**假设没有安全措施的情况下最可信的后果或影响。

**筛选工具：**功能有限的简化模型，适用于筛选级别的研究。

**喷射距离：**流体在速度减慢和/或流体落到地面之前行进的最大距离。

**社会风险：** 一群人面临的风险的量度，通常由不同伤亡事件的频率分布来表达。

**源项：** 释放参数（例如幅度，速率，持续时间，方向，温度），用作确定危险材料和/或能量释放到周围环境的损失事件的后果的初始条件。对于蒸气扩散建模，是依据释放规范对要输入到扩散模型中的实际气团温度条件、气溶胶含量、密度、大小、速度和质量进行的估计。

**可容忍频率：** 被视为可容忍的特定后果的最大频率。

**可容忍频率因子（TFF）：** - 以10为底的容许频率的对数值

**可容忍风险等级：** 在特定技术过程或条件下，在问题情形中视为可以容忍的最高风险等级。

**蒸汽云爆炸（VCE）：** 点燃一团易燃蒸气、气体或雾团引起的爆炸，其中火焰加速到足够高的速度并产生显著的超压。

**虚拟源：** 使用高斯扩散模型产生最大浓度100%的源位置，与气体或蒸气特定释放源的距离存在偏移。

**如果…怎么样分析：** 基于场景的使用头脑风暴方法的危害评估程序，通常由一个或多个熟悉目标工艺的人员组成的团队围绕什么可能出错，可能产生什么后果以及现有的保障措施是否充分进行询问或表达关注。

**最坏情况：** 对所识别的最严重事件的后果进行保守估计（高估）。

## 10. 修改历史

版本	日期	描述
1.0	08-Apr-2018	最初发布。最初捐赠的文档略有修改。
1.1	13-Sep-2018	部分 RAST 软件更正更新。解决了部分格式问题。
1.2	11-Feb-2018	更新了简介。更新了术语以与 CCPS 过程安全词汇表保持一致。增加了手册词汇表。
2.0	25-Mar-2019	RAST 软件的主要修订，反映在 CHEF 手册，CHEF 工作簿，本 RAST 用户手册中。包括反映早期版本反馈意见的一些技术澄清，更新和改进的描述。