HUAGONGSHEBEITUFASHIGUCHULIYUFENXIYUFANGJISHUGUIFANSHIWUQUANSHU

化工设备突发事故处理与分析预防技术规范实务全书

◎ 主编：黄明达 李庄 ◎

天津电子出版社

化工设备突发事故处理与分析预防技术规范实务全书

第二卷

天津电子出版社

第五篇

化工设备事故预测与诊断技术

第一章　化工过程危险性分析方法

第一节　化工过程危险性分析方法概述

本章的目的是对各种危险性分析方法作一简要介绍，在以后的各章中将对这些方法作详细说明，读者可根据需要选读其中的某一部分。所列出的分析方法并不是对所有分析对象都适用，换句话说，对不同的分析对象应选用不同的分析方法，各种分析方法适用于项目发展过程中（或称工程项目发展过程）的不同阶段，如“安全检查（Safety Review）”、“安全检查表分析（Safety Checklist Analysis）”、“故障假设分析（What - If Analysis）”等分析方法适用于项目发展的初期阶段，如概念设计阶段；而“危险与可操作性分析（Hazard and Operability Analysis，简称 HAZOP）”则适用于过程详细设计阶段和正常操作时对过程进行分析，“故障树分析（Fault Tree Analysis，简称 FTA）”及“事件树分析（Event Tree Analysis，简称 ETA）”是对某一个或几个特定的分析对象进行定性或定量的分析。某些过程危险分析方法如故障树分析、事件树分析、原因 - 后果分析、人的可靠性分析则需要经过专门的学习并具有实践经验的分析人员才能完成。正确选用这些危险性分析方法对项目发展过程的各个阶段进行危险性分析，可以发现设计、生产过程中可能产生的危险，并提出改进措施，这样可以大大的提高过程的安全性。

对每一种分析方法的简介包括以下内容：方法描述、目的、分析结果，以及所需资料。这些信息有助于选择合适的危险分析方法。

另一个重要因素是分析对象的大小和复杂程度，为了估计这种影响并让分析人员大致估计完成某一分析所需时间，将分析问题分成两类，即简单/较小的系统和复杂/较大的系统。

（1）简单/较小系统—如化学品的卸料和贮存系统，需要考虑卸料平台、输送管线、泵、贮槽，压力控制以及蒸气返回管线等。

（2）复杂/较大系统—如化学反应过程要考虑进料系统、反应系统、产品的分离与回收、紧急释放系统，以及与之相连的管路和控制系统。该过程一般有 10 ~ 20 个主要的容器，包括反应器、塔器、贮槽等。

上述两种类型的系统可作为估计危险性分析所需时间的基准。用某一种危险分析方法对某特定分析对象进行分析包括三个步骤：分析的准备、分析、分析报告。分析的准备包括资料的收集、确定分析范围以及分析的组织；分析就是按照选定的分析方法进行实际分析的过程，如采用 HAZOP 分析，则整个分析过程则必须以会议的形式进行。对

特定的分析方法应当包括复杂故障逻辑模型的建立，以及模型的发展阶段；分析报告不仅应当包括分析会议（过程）的记录，而且应当包括对主要工艺过程的描述、重要结果的讨论、表格或逻辑模型、对拟采取的重要措施作简要的解释。

通常以小时、天、周来估计分析所用的时间。某些分析组成员可以只参加整个分析过程的一个或两个阶段，如 HAZOP 分析，而某些分析成员特别是分析组的领导或组织者必须参加整个分析过程。此外还应当考虑其他一些因素，如分析组对某一分析方法的熟练程度。

以上内容只是让分析人员了解完成某一分析过程大致需要作哪些工作和大致所用的时间。然而因为还有很多其他的因素，分析人员在估计分析过程所用的时间时应当慎重，实际分析过程所用的时间通常比估计的时间要多得多。如果分析人员及分析的组织者对分析方法富有经验，将大大提高分析过程的效率。下面简要介绍主要的危险分析方法。

一、安全检查

（一）说明

毫无疑问，安全检查（Safety Review）是第一个危险分析方法，这种方法又称为过程安全检查（Process Safety Review）、设计检查（Design Review）、避免危险检查（Loss Prevention Review），这种方法可用于工艺过程发展的各个阶段。当分析对象为已投入运行的装置时，安全检查可以是非正式的、感性的，也可以是正式的、由专门的分析组花上几个星期完成的工作；对正在进行设计的工艺过程，项目设计组可对图纸进行安全检查。

安全检查用来识别可能导致人员伤亡、财产损失、环境破坏等事故的装置条件或操作程序。典型的安全检查包括与装置有关的人员座谈，这些人员包括：操作人员、维修人员、工程技术人员、管理人员、安全人员及与装置有关的其他人员。安全检查应该致力于提高整个系统的安全和操作性能，而不是去干扰正常的操作或者制定一系列的惩罚条款。各方面的合作是开展工作的基础，在认识到对装置人员和设计者带来的好处之前人们通常会固执己见，因此整个分析过程都应取得各方面的支持。

安全检查通常瞄准主要的危险，枝节问题不是安全检查的目的，当然这些枝节问题也是需要进一步改进的。安全检查还应吸收其他工艺过程的安全经验，如常规安全检查以及其他危险分析方法（安全检查表、故障假设分析）。

安全检查结束时，分析人员应对存在的安全隐患提出相应的处理方案，对处理方案进行评价，推荐负责人，以及完成日期，接下来的工作是督促检查是否按要求完成了所提出的处理方案。

（二）目的

安全检查可用于保证装置和操作以及维修符合设计要求和建设标准，安全检查过程的目的是：①让操作人员对过程危险保持警惕；②对操作程序进行检查并作必要的修改；③发现由于设备或工艺改变所带来的新的危险；④对控制和安全系统的设计依据进行评估；⑤对新的安全技术应用于已存在危险进行检查；⑥检查维修及安全检查是否适当。安全检查还常常用于过程开车前的安全检查。

（三）分析结果

安全检查是对过程潜在安全问题的定性描述，并提出改正措施。安全检查报告包括若偏离设计的工艺条件所引起的安全问题、偏离规定的操作规程所引起的安全问题、新发现的安全问题，以及确认改正措施的负责人。

（四）所需资料

对工艺过程进行安全检查之前，分析组成员应获得并研读以下资料：

（1）规范或标准；

（2）以往的安全分析报告；

（3）详细的工艺和装置描述，PID（带控制点的工艺流程图）和 FID（工艺流程图）；

（4）开停车、正常操作、维修、紧急情况下的操作规程；

（5）人员伤害报告；

（6）危险事故报告；

（7）维修记录，如关键设备的检查，安全阀的测试，压力容器的检测；

（8）工艺物料性质，如毒性和反应活性。

参加安全检查的人员需对安全标准和程序非常熟悉，同时需要建筑、电气、压力容器以及其他特定项目的具有专业知识和丰富实践经验的人员参加。表 5－1－1 是估计完成安全检查所用时间。

表 5－1－1　安全检查需用时间

范　围	准　备	分　析	报　告
简单/较小系统	2～4 小时	6～12 小时	4～8 小时
复杂/较大系统	1～3 天	3～5 天	3～6 天

二、安全检查表分析

（一）说明

安全检查表分析（Safety Checklist Analysis）是将一系列分析项目列出安全检查表进行分析以确定系统的状态，这些项目包括设备、操作、控制、环保、安全等各个方面。传统的安全检查表分析方法所列项目差别很大，而且通常用于检查各种规范和标准的执行情况。安全检查表分析方法很容易掌握，可用于项目发展过程的各个阶段，通过将工艺过程与安全检查表进行对比，可使无经验的人员熟悉工艺过程，分析人员对工艺或操作的评估还为管理检查提供第一手资料。

详细的安全检查表为过程危险性的标准评价提供依据，它也可以对某些特殊情况进行分析，但它应当用于那些需进一步考虑的问题。安全检查表分析方法通常与其他分析方法配合使用来对危险情况进行估计。安全检查表分析受分析人员经验的限制，因此，需由对分析系统具有丰富经验的人员来完成安全检查表分析。通常，安全检查表内容包括规范、标准和规定，并随时关注并采用新颁布的有关规范、标准和规定。

许多机构使用标准的安全检查表对项目发展的各个阶段（从初步设计到装置报废）进行分析，换句话说，安全检查表内容是一定的。但是完整的安全检查表应当随着项目从一个阶段到下一个阶段而不断完善，这样，安全检查表可作为交流和控制的手段。

（二）目的

传统的安全检查表分析主要用于确保有关规定和标准得以实施，某些情况下，分析人员将安全检查表分析方法与其他危险分析方法结合起来去发现只用安全检查表分析可能无法发现的危险（如故障假设/安全检查表分析）。

（三）分析结果

分析人员确定标准的设计或操作以建立传统的安全检查表，然后用它产生一系列基于缺陷或差异的问题。所完成的安全检查表包括对提出的问题回答“是”、“否”、“不适用”或“需要更多的信息”。定性的分析结果随不同的分析对象而变化，但都将作出与标准或规范是否一致的结论。此外，安全检查表分析通常提出一系列的提高安全性的可能途径并提供给管理者考虑。

（四）所需资料

为了较好地完成安全检查表分析，需要一份适当的安全检查表、工程设计程序及操作方法，以及完成安全检查表分析的人员应当具有待分析过程的基本知识。如果根据以往的工作能得到一份可靠的安全检查表，只要它还具有指导意义，分析人员应当尽量使用它；如果没有，必须由一人（有时是几个人）来准备安全检查表并完成分析。有经验

的管理者或总工程师应当检查安全检查表分析结果并指导下一步的工作。建立安全检查表时可参考本书附录 B。

安全检查表分析的弹性很大，既可用于简单的快速分析，也可用于更深层次的分析，它是识别已知危险的有效方法。表 5－1－2 是完成安全检查表分析需用时间。

三、预危险性分析

（一）说明

预危险性分析（PHA，Preliminary Hazard Analysis）由美国 MSSSPR（U.S Military Standard System Safety Program Requirement）衍变而来。PHA 主要用于对危险物质和装置的主要工艺区域进行分析。它常常在过程发展的初期，当无详细设计和操作程序资料时进行，而且是进一步危险分析的先导，在过程发展的初期使用这一方法非常有效。因为该方法有军工背景，PHA 有时用于检查非受控状态下有能量释放的工艺区域。

通过考虑以下工艺特点，PHA 将危险和危险状态列表：

- 原料，中间和最终产品，以及它们的反应活性；
- 操作环境；
- 装置设备；
- 设备布置；
- 操作活动（测试、维修等）；
- 系统之间的连接。

一个或几个危险分析人员对主要的过程危险进行评估，并对每一个特定危险状态划分等级，以区分为提高安全性所提出的意见或建议的先后顺序。

（二）目的

PHA 常用于过程发展的初期阶段的危险性分析，通常在工艺装置的概念设计或研究和发展阶段使用，而且在进行厂址选择时非常有用，它还经常作为 PID 设计之前的设计检查工具。

虽然 PHA 方法一般用于项目发展的初期阶段，此时对潜在的安全问题无经验可借鉴，但当分析大型的已投入运行的装置或者对危险划分先后次序时也是很有帮助的。

（三）结果

PHA 定性说明与过程设计有关的危险；PHA 还提供危险状态的定性等级，为在项目发展过程的后续阶段消除或减少危险所提出的意见或建议划分先后顺序。

（四）所需资料

使用 PHA 方法需要分析人员获得装置设计标准、设备说明、材料说明及其他资料。

可由一个或两个具有过程安全知识的人员完成 PHA，对于缺乏经验的人也可完成 PHA，但不太可能进行详细的分析，因为这种方法需要分析人员进行大量的判断。表 5－1－3 列出了 PHA 方法所需时间。表 5－1－3 列出了 PHA 所需时间。

四、故障假设分析

（一）说明

故障假设分析（What－If Analysis）方法是一种创造性的分析方法，它是由熟悉工艺过程、富有经验的人员所组成的分析组，通过提出问题（故障假设）来发现可能潜在的事故隐患。它不同于其他的分析方法（如 HAZOP 和 FMEA），它需要分析人员将基本概念用于特定对象。有关故障假设分析方法的资料很少，然而几乎在项目发展的各个阶段都可以使用故障假设分析方法，并取得满意的效果。

表 5－1－2　安全检查表分析需用时间

范　围	准　备	分　析	报　告
简单/较小系统	2～4 小时	4～8 小时	4～8 小时
复杂/较大系统	1～3 天	3～5 天	2～4 天

表 5－1－3　PHA 需用时间

范　围	准　备	分　析	报　告
简单/较小系统	4～8 小时	1～3 天	1～2 天
复杂/较大系统	1～3 天	4～7 天	4～7 天

故障假设分析方法实质上是要求危险分析小组从思考问题入手。然而，任何对过程安全的考虑都必须指出，即使不以问题的方式提出来。例如：

我考虑提供的原料不对（不以问题的方式）

如果开车过程中泵停止运行会发生什么情况（以问题的方式）

如果操作人员打开阀门 B 而不是 A 会发生什么情况（以问题的方式）

通常由记录人员将所有问题制作成图表、卡片等，然后分门别类，如电气安全、防火、人员安全等，然后分成几个分析小组分头进行分析。所提出的问题基于实际经验、图纸及工艺说明；对正在运行的装置，应与分析组以外的人员座谈（不拘形式，除非组织者将过程分为不同的功能系统）。所提出的问题涉及任何与装置有关的非正常条件，而不仅仅是设备故障或工艺变量。在进行故障假设分析时可参考本书附录 B。

（二）目的

故障假设分析的目的是识别危险或隐患，或可能导致不良后果的事故事件。有经验

的分析组将找出事故隐患，分析可能的后果，已有的安全保护措施，提出降低或消除危险的方法。分析方法包括检查设计、安装、技改或操作过程中可能产生的偏差，它需要对整个工艺过程有一个基本的了解，能预测可能产生的与设计要求不同的偏差及其可能导致的后果。这就要求分析人员具有丰富的经验，否则其分析结果将是不完整的或根本达不到预期效果的。

（三）分析结果

故障假设分析方法首先提出一系列的问题，然后回答这些问题。分析结果可以表格的形式出现，主要内容包括：问题、对问题的回答（可能后果）、安全措施、降低或消除风险的可能方法。

（四）所需资料

因为故障假设分析方法非常灵活，在项目发展的任何阶段均可使用。因此与过程有关的材料都可能用到。对任意一个局部过程，由 2～3 人即可完成分析，当然也可组织较大的分析组，视具体的分析对象确定具体的参加人员。对复杂的系统，最好组织由各方面人员参加的分析组，并且将复杂问题尽可能分解成若干小的问题。

故障假设分析所需时间与装置的复杂程度及分析区域的数量成正比，当然还与分析组的组织及成员的经验有很大的关系。表 5－1－4 列出了使用故障假设分析方法所需时间。

五、故障假设/安全检查表分析

（一）说明

故障假设/安全检查表分析（What－If/Safety Checklist Analysis）是将具有创造性的故障假设与具有系统性的安全检查表分析方法结合起来的分析方法。这种分析方法吸收了各自的优点和长处，弥补了各自的不足。例如，安全检查表分析方法是基于经验的方法，使用这种分析方法主要依靠安全检查表分析者的经验，如果所列安全检查表不完整，分析人员就不能有效地找出危险情况；而故障假设分析方法鼓励分析人员思考潜在事故事件及后果，它不受分析人员经验的限制，因此可以分析到安全检查表分析无法分析到的问题；反过来安全检查表分析方法使故障分析方法更具系统性。故障假设/安全检查表分析方法可用于项目发展的各个阶段。

表 5－1－4　故障假设分析所需时间

范　围	准　备	分　析	报　告
简单/较小系统	4～8 小时	4～8 小时	1～2 天
复杂/较大系统	1～3 天	3～5 天	1～3 周

与大多数的其他分析方法一样，故障假设/安全检查表分析同样需要对工艺过程具有丰富经验的人才能很好的完成。该方法常用于分析存在于过程中的最普通的危险，虽然它能分析几乎所有层次的事故隐患，但该方法一般不作更为详细的分析，而不像后面将介绍的 FMEA 分析方法。通常，故障假设/安全检查表分析方法用于过程危险的初步分析，然后再用其他分析方法对发现的问题进行详细分析。

（二）目的

故障假设/安全检查表分析的目的是识别潜在危险，考虑过程或活动中可能发生的事故类型，定性估计这些事故的可能后果，确定已有安全保护措施是否对潜在的事故起作用。通常，分析人员还应提出降低或消除过程操作风险的方法。

（三）分析结果

危险分析组使用故障假设/安全检查表分析方法将得到一份分析结果表，内容包括事故情况、后果、已有的安全保护、拟采取的措施，该分析结果还包括完整的安全检查表。不同的机构对结果文件有不同的要求。

（四）所需资料

大多数情况下，故障假设/安全检查表分析由对过程有经验的设计、操作、维修人员组成。所需人数取决于待分析过程的复杂程度、内容及阶段。通常，使用这种分析方法所需人员和时间比使用 HAZOP 分析方法少。表 5－1－5 列出了这种分析方法所需时间。

六、危险与可操作性分析

（一）说明

危险与可操作性分析（HAZOP）方法是用来识别和估计过程的安全方面的危险以及操作性问题，虽然这些操作性问题可能并没有什么危险性，但通过可操作性分析以保证装置达到设计能力。该分析方法最初是为缺乏预报危险和操作性问题经验的分析组设计的，但发现该方法同样适用于已投入运行的工艺过程。使用 HAZOP 分析技术需要有关过程设计和操作的详细资料，因此它总是在详细设计阶段过程中或详细设计阶段完成之

后用该方法对过程的危险与操作性问题进行分析，在化学工业实际应用中有多种 HAZOP 分析方法。

HAZOP 分析，是由各学科组成的分析组运用创造性的、系统的方法识别由于偏离过程设计要求（称为偏差）而引起的危险与操作性问题，这些危险与操作性问题可能导致不希望的后果。有经验的分析组的组织者将使用一些固定词组（称为“引导词”或“关键词”），引导分析组系统地对装置的设计进行分析，将这些引导词应用于装置设计的特定单元或分析节点，并与设计的工艺参数组合起来识别那些与装置的设计和操作规程不符的偏差。

例如，引导词“空白（NONE）”与工艺参数“流体流动”组合起来就构成偏差“无流体流动”。一般地，作为分析组的组织者应使用安全检查表或对过程的经验，为分析组提供在 HAZOP 分析会议上必须讨论的偏差项目。然后分析组对引起偏差的原因（如：操作人员关闭泵的出口阀门）、偏差的后果（如：泵过热）、为防止这种偏差所使用的安全装置进行讨论。如果原因和后果比较重要，而且安全装置也不适当，则分析组应当提出相应的措施提供给管理人员考虑。某些情况下，分析组分析到了某种偏差的原因，但不知道将产生什么样的后果，此时应当提出进行进一步分析以确定可能的后果。

表 5－1－5　故障假设/安全检查表分析所需时间

范　围	准　备	分　析	报　告
简单/较小系统	6～12 小时	6～12 天	4～8 小时
复杂/较大系统	1～3 天	4～7 天	1～3 周

（二）目的

HAZOP 分析的目的是系统、详细地对工艺过程和操作进行检查，以确定过程的偏差是否导致不希望的后果。该方法可用于连续或间隙过程，还可以对拟定的操作规程进行分析。HAZOP 分析组将列出引起偏差的原因、后果，以及针对这些偏差及后果已使用的安全装置，当分析组确信对这些偏差的保护措施不当时，将提出相应的改进措施。

（三）分析结果

HAZOP 分析结果是分析组经分析会议讨论确定的。它包括对危险与操作性问题的识别、对设计及操作规程等的修改意见、系统的改进、对那些暂时因缺乏资料而未作出结论的问题作进一步分析研究的建议。分析组对过程的每个节点或单元的偏差原因、后果、安全装置、改进措施的讨论结果应以表格的形式逐项记录。

（四）所需资料

HAZOP 分析需要准确、最新的 PID 图和相关图纸，以及详细工艺资料，如操作规

程。HAZOP分析还需要工艺、仪表及操作等方面的资料，所有这些资料通常由分析组成员提供，因为他们都是某一方面的专家或专业人员。此外，训练有素、富有经验的分析组的组织者是有效的、高质量的HAZOP分析的重要因素。

对于大型的、复杂的工艺过程，HAZOP分析组可由5～7人组成，包括设计、工艺或工程、操作、维修、仪表、电气、公用工程等方面的人员。对相对较小的工艺过程，3～4人的分析组就可以了，但都应富有经验。HAZOP分析所需时间见表5－1－6。

七、失效模式与效应分析

（一）说明

失效模式与效应分析（FMEA，Failure Mode and Effects Analysis；参考国家标准GB 7826—87，该标准等同于国际标准IEC 812—1985）就是把系统或设备的失效模式与效应列表。失效模式描述故障是如何发生的（打开、关闭、开、关、泄漏等），失效模式的效应是由设备故障对系统的应答决定的。FMEA识别那些直接导致事故或者是导致事故的主要原因的失效模式。通常，FMEA不检查操作人员的失误（指失误原因），但是由于操作人员失误而产生的误操作将在失效模式中表现出来。FMEA无法识别由一系列设备故障的组合所导致的事故。

（二）目的

FMEA分析的目的就是识别装置或过程内单个设备或单个系统的失效模式以及每个失效模式的可能后果。这种分析将提出提高设备可靠性建议，从而增加系统的安全性。

（三）分析结果

FMEA分析完成后将对设备、失效模式、效应进行定性和系统的说明，包括单个故障的最坏的后果。当改变设计或系统/装置修改后FMEA的分析结果很容易更新。FMEA分析结果是表格形式的文件，包括对所列项目为提高安全性的建议。

（四）所需资料

FMEA分析方法需要下列数据和资料：系统或装置的设备安全检查表或PID图，设备功能及失效模式的知识，系统或装置功能对设备失效的反应的知识。

表 5－1－6　HAZOP 分析所需时间

范　围	准　备	分　析	报　告
简单/较小系统	8～12 小时	1～3 天	2～6 天
复杂/较大系统	2～4 天	1～3 周	2～6 周

FMEA 分析可由一个人独立完成，但是这种分析结果应让他人检查以保证其完整性。所需分析人员由分析对象的复杂程度而定。FMEA 的所有分析人员应当熟知设备功能、失效模式，以及故障如何影响系统或装置的其他部分。

FMEA 分析所用时间与过程的大小及设备的多少有关，平均来说，分析 2～4 个设备 1 个小时就足够了，对相同功能的相同设备，分析时间将大大缩短。表 5－1－7 列出了 FMEA 分析所需时间。

八、故障树分析

（一）说明

故障树分析（FTA，Fault Tree Analysis）对某一特定事故或主要系统故障提供一种确定事故原因的方法。故障树以图形方式显示各种导致主要系统故障（称为顶层事件或顶事件）的设备故障和人为失误的组合。FTA 作为定性分析工具的优点在于它能识别导致事故的基本事件（基本的设备故障）与人为失误的组合，这就让危险分析人员设法避免或减少导致事故的基本原因，从而降低事故发生的可能性。FTA 还可进行定量分析。

（二）目的

FTA 的目的是识别导致事故的设备故障与人为失误的组合。FTA 非常适合于高度重复性的系统。对单一故障可能导致事故的系统，最好是使用面向单一故障的分析方法，如 FMEA 或 HAZOP 分析。

（三）分析结果

FTA 使用布尔逻辑门（如：与，或）产生系统的故障逻辑模型来描述设备故障和人为失误是如何组合导致顶层事件的。许多故障树模型可通过分析一个较大的工艺过程得到；实际的模型数目取决于危险分析人员选定的顶层事件数，一个顶层事件对应着一个故障树模型。故障树分析人员常对每个故障树逻辑模型求解产生故障序列，称为最小割集，由此可导出顶层事件。这些最小割集序列可以通过每个割集中的故障数目和类型定性的排序。一般地，含有较少故障数目的割集比含有较多故障数目的割集更可能导致顶层事件。最小割集序列揭示了系统设计/操作的缺陷，对此分析人员应提出可能的提高过程安全性的途径。

（四）所需资料

使用 FTA 需要详细懂得装置或系统的功能、详细的工艺图和操作程序以及各种故障模式和它们的结果。良好训练和富有经验的分析人员是有效和高质量 FTA 的保证。

合格的分析人员能自己建立故障树，但必须懂得详细的工艺过程，然后所得到的模型应当经工程技术人员、操作人员，以及其他具有系统和设备操作经验的人员进行检查。在整个故障树的建立过程中可以每个人负责一个简单的故障树（一个故障树可由多个简单的故障树组成），但是分析人员必须掌握与顶层事件有关的故障的所有资料；如果系统很复杂或者需要建立多个故障树时，也可以由分析组集体完成，并且可以分组，每个组完成一个或几个故障树。组与组之间的交流以及与其他有经验的人交流是必要的，以保证相关或相连故障树模型的一致性。

FTA 所需时间和费用与分析系统的复杂程度和分析要达到的水平有关。有经验的分析组对某一简单过程的一个顶层事件大约用一天的时间。对于复杂的系统、或者有许多潜在事故事件或存在较大的问题，即使有经验的分析组也需要几周甚至几个月才能完成。表 5－1－8 列出了 FTA 所需时间。

表 5－1－7　FMEA 分析所需时间

范　围	准　备	分　析	报　告
简单/较小系统	2～6 小时	1～3 天	1～3 天
复杂/较大系统	1～3 天	1～3 周	2～4 周

表 5－1－8　FTA 所需时间

范　围	准　备	建立模型	定性分析	报　告
简单/较小系统	1～3 天	3～6 天	2～4 天	3～5 天
复杂/较大系统	4～6 天	2～3 周	1～4 周	3～5 周

九、事件树分析

（一）说明

事件树分析（ETA，Event Tree Analysis）是以图形的方法表示初始事件（特别是设备故障或人为失误）导致事故的可能性。当确定事故是否发生时 ETA 将考虑安全系统和操作人员对初始事件的反应。ETA 的结果是事故顺序，即是说，是导致事故的故障或失误的集合。这些结果以从初始事件开始的一系列事件（安全系统成功或失败）来描述事故发生的可能性。事件树分析非常适合对特定初始事件有多层安全系统或紧急处置预

案的复杂工艺过程进行分析。

（二）目的

事件树用于识别复杂工艺过程可能发生的各种事故。当得出单个的事故顺序后，用故障树分析就能确定导致事故的故障组合。

（三）分析结果

事件树的分析结果将得到事件树模型和每个确定的输出其安全系统是成功或失败。事件树中描述的事故顺序表示事件是以逻辑“与”组合；因此，这些顺序可变换成故障树的形式以作进一步的定性分析。分析人员用这些分析结果去找出设计或程序上的缺陷，提出降低潜在事故发生的可能性或后果的建议。

（四）所需资料

使用 ETA 需要知道初始事件（即可能导致事故的设备故障或系统波动）、消除每个初始事件的安全系统的功能或紧急处置预案。

事件树分析可由一人单独完成，只要他详细了解整个系统，但最好是由 2～4 人的分析组来完成，运用集体的智慧使事件树更加完善。分析组中至少有一人熟悉 ETA，其他的人员应当熟悉工艺过程并且有对待分析系统的经验。

ETA 所需时间和费用取决于初始事件的数量和复杂程度，以及分析中所包含的安全系统功能。对相对简单的工艺过程，如果只分析几个初始事件几天就足够了；而对复杂的系统则需要几个星期。表 5－1－9 列出了 ETA 所需时间。

十、原因－后果分析

（一）说明

原因－后果分析（CCA，Cause－Consequence Analysis）是将故障树和事件树组合而形成的分析方法。CCA 的最大优点是它可以作为一种交流工具：原因－后果图显示事故发生（后果）与它们的基本原因之间的关系。这种分析方法常用于所分析的事故其故障逻辑比较简单的情况，因为将故障树与事件树放在同一图上将变得更为复杂。

（二）目的

正如它的名称一样，原因－后果分析是为了识别潜在事故的原因和后果。