

安全评价系列讲座 - 故障树分析 PDF转换可能丢失图片或格式，建议阅读原文

https://www.100test.com/kao_ti2020/449/2021_2022__E5_AE_89_E5_85_A8_E8_AF_84_E4_c62_449570.htm 故障树分析 (FTA)

技术是美国贝尔电话实验室于1962年开发的，它采用逻辑的方法，形象地进行危险的分析工作，特点是直观、明了，思路清晰，逻辑性强，可以做定性分析，也可以做定量分析。

体现了以系统工程方法研究安全问题的系统性、准确性和预测性，它是安全系统工程的主要分析方法之一。一般来讲，安全系统工程的发展也是以故障树分析为主要标志的。1974年美国原子能委员会发表了关于核电站危险性评价报告，即“拉姆森报告”，大量、有效地应用了FTA，从而迅速推动了它的发展。

1、数学基础 1.1基本概念 (1) 集：从最普遍的意义上说，集就是具有某种共同可识别特点的项（事件）的集合。这些共同特点使之能够区别于他类事物。(2) 并集把集合A的元素和集合B的元素合并在一起，这些元素的全体构成的集合叫做A与B的并集，记为 $A \cup B$ 或 $A \vee B$ 。若A与B有公共元素，则公共元素在并集中只出现一次。例若 $A=\{a, b, c, d\}$ ； $B=\{c, d, e, f\}$ ； $A \cup B=\{a, b, c, d, e, f\}$ 。(3) 交集两个集合A与B的交集是两个集合的公共元素所构成的集合，记为 $A \cap B$ 或 $A \wedge B$ 。根据定义，交是可以交换的，即 $A \cap B=B \cap A$ 。例若 $A=\{a, b, c, d\}$ ； $B=\{c, d, e\}$ ；则 $A \cap B=\{c, d\}$ 。(4) 补集在整个集合（ Ω ）中集合A的补集为一个不属于A集的所有元素的集。补集又称余，记为 $\bar{A}$ 或 A' 。1.2布尔代数规则布尔代数用于集的运算，与普通代数运算法则不同。它可用于故障分析，布尔代数可以帮助我们将事件表达为另一些基本事件

的组合。将系统失效表达为基本元件失效的组合。演算这些方程即可求出导致系统失效的元件失效组合（即最小割集），进而根据元件失效概率，计算出系统失效的概率。布尔代数规则如下（ x 、 Y 代表两个集合）：

- （1）交换律 $X \cdot Y = Y \cdot X$ $X + Y = Y + X$
- （2）结合律 $(X \cdot Y) \cdot Z = X \cdot (Y \cdot Z)$ $(X + Y) + Z = X + (Y + Z)$
- （3）分配律 $X \cdot (Y + Z) = (X \cdot Y) + (X \cdot Z)$ $X + (Y \cdot Z) = (X + Y) \cdot (X + Z)$
- （4）吸收律 $X \cdot (X + Y) = X$ $X + (X \cdot Y) = X$
- （5）互补律 $X + \bar{X} = \Omega = 1$ $X \cdot \bar{X} = \varphi$ （ φ 表示空集）
- （6）幂等律 $X \cdot X = X$ $X + X = X$
- （7）摩根定律 $\overline{(X \cdot Y)} = \bar{X} + \bar{Y}$ $\overline{(X + Y)} = \bar{X} \cdot \bar{Y}$
- （8）对合律 $\overline{\bar{X}} = X$
- （9）重叠律 $X \cdot X = X$ $X + X = X$

2、故障树的编制故障树是由各种事件符号和逻辑门组成的，事件之间的逻辑关系用逻辑门表示。这些符号可分逻辑符号、事件符号等。

2.1故障树的符号及意义

- （1）事件符号
 - 矩形符号：代表顶上事件或中间事件。是通过逻辑门作用的、由一个或多个原因而导致的故障事件。
 - 圆形符号。
 - 屋形符号。
 - 菱形符号。
 - 椭圆形符号。
- （2）逻辑符号故障树中表示事件之间逻辑关系的符号称门。

2.2建树原则故障树的树形结构是进行分析的基础。故障树树形结构正确与否，直接影响到故障树的分析及其可靠程度。因此，为了成功地建造故障树，要遵循一套基本规则。

（1）“直接原因原理”（细步思考法则）编制故障树时，首先从顶上事件分析，确定顶上事件的直接、必要和充分的原因，应注意不是顶上事件的基本原因。将这直接、必要和充分原因事件作为次顶上事件（即中间事件），再来确定它们的直接、必要和充分的原因，这样逐步展开。这时，“直接原因”是至关重要的。按照直接原因原理，才能保持故障树的严密的逻辑性，对事故的基本原因

作详尽的分析。（2）基本规则I事件方框图内填入故障内容，说明什么样的故障，在什么条件下发生。（3）基本规则

对方框内事件提问：“方框内的故障能否由一个元件失效构成？”如果对该问题的回答是肯定的，把事件列为“元件类”故障。如果回答是否定的，把事件列为“系统类”故障。“元件类”故障下，加卜或门，找出主因故障、次因故障、指令故障或其他影响。“系统类”故障下，根据具体情况，加上或门、与门或禁门等，逐项分析下去。主因故障为元件在规定的工作条件范围内发生的故障。如：设计压力 P_0 的压力容器在工作压力 $P \leq p_0$ 时的破坏。次因故障为元件在超过规定的工作条件范围内发生的故障。如：设计压力为 P_0 的压力容器在压力 $p > P_0$ 时的破坏。指令故障为元件的工作是正常的，但时间发生错误或地点发生错误。其他影响的故障：主要指环境或安装所致的故障，如湿度太大、接头锈死等。

（4）完整门规则在对某个门的全部输入事件中的任一输入事件作进一步分析之前，应先对该门的全部输入事件作出完整的定义。（5）非门规则门的输入应当是恰当定义的故障事件，门与门之间不得直接相连，门连接的出现说明粗心。在定量评定及简化故障树时，门门连接可能是对的，但在建树过程中会导致混乱。

2.3故障树分析步骤

（1）确定所分析的系统确定分析系统即确定系统所包括的内容及其边界范围。（2）熟悉所分析的系统指熟悉系统的整个情况，包括系统性能、运行情况、操作情况及各种重要参数等，必要时画出工艺流程图及布置图。（3）调查系统发生的事故调查分析过去、现在和未来可能发生的故障，同时调查本单位及外单位同类系统曾发生的所有事故。（4）确定故障树的顶

上事件是指确定所要分析的对象事件。将易于发生且后果严重的事故作为顶上事件。调查与顶上事件有关的所有原因事件。（5）故障树作图按建树原则，从顶上事件起。一层一层往下分析各自的直接原因事件，根据彼此间的逻辑关系，用逻辑门连接上下层事件，直到所要求的分析深度，形成一株倒置的逻辑树形图，即故障树。（6）故障树定性分析定性分析是故障树分析的核心内容之一。其目的是分析该类事故的发生规律及特点，通过求取最小割集（或最小径集），找出控制事故的可行方案，并从故障树结构上、发生概率上分析各基本事件的重要程度，以便按轻重缓急分别采取对策。（7）定量分析定量分析包括 确定各基本事件的故障率或失误率； 求取顶上事件发生的概率，将计算结果与通过统计分析得出的事故发生概率进行比较。（8）安全性评价根据损失率的大小评价该类事故的危险性。这就要从定性和定量分析的结果中找出能够降低顶上事件发生概率的最佳方案。事件树是判断树在灾害分析上的应用。判断树

（DecisionTree）是以元素的可靠性系数表示系统可靠程度的系统分析方法之一。是一种既能定性，又能定量分析的方法。1、分析步骤及应用范围判断树用于灾害分析时，常称为事件树。这时，树形图从作为危险源的初始事件出发，根据后续事件或安全措施是否成功作分支，最后到灾害事件的发生为止。事件树图的具体作法是将系统内各个事件按完全对立的两种状态（如成功、失败）进行分支，然后把事件依次连接成树形，最后再和表示系统状态的输出连接起来。事件树图的绘制是根据系统简图由左至右进行的。在表示各个事件的节点，一般表示成功事件的分支向上，表示失败事件的

分支向下。每个分支上注明其发生概率，最后分别求出它们的积与和，作为系统的可靠系数。事件树分析中，形成分支的每个事件的概率之和，一般都等于1。事件树分析主要应用于：（1）搞清楚初期事件到事故的过程，系统地图示出种种故障与系统成功、失败的关系。（2）提供定义故障树顶上事件的手段。（3）可用于事故分析。

2、应用举例

例1

有一泵和两个串联阀门组成的物料输送系统。物料沿箭头方向顺序经过泵A、阀门B和阀门C，泵启动后的物料输送系统的事件树。设泵A、阀门B和阀门C的可靠度分别为0.95、0.9、0.9，则系统成功的概率为0.7695，系统失败的概率为0.2305。

例2

某工厂的氯磺酸罐发生爆炸。致使3人死亡，用事件树分析的结果如图75所示。该厂有4台氯磺酸贮罐。因其中两台的紧急切断阀失灵而准备检修，一般按如下程序准备：将罐内的氯磺酸移至其他罐；将水徐徐注入，使残留的浆状氯磺酸分解；氯磺酸全部分解且烟雾消失以后，往罐内注水至满罐为止；静置一段时间后，将水排出；打开人孔盖，进入罐内检修。可是在这次检修时。负责人为了争取时间，在上述第3项任务未完成的情况下，连水也没排净就命令维修工人去开人孔盖。由于人孔盖螺栓锈死，两检修工用气割切断螺栓时，突然发生爆炸，负责人和两名检修工当场死亡。

100Test 下载频道开通，各类考试题目直接下载。详细请访问 www.100test.com