

安全评价系列讲座(八)-故障树分析(Fault Tree Analysis, FTA)(下) PDF转换可能丢失图片或格式，建议阅读原文

https://www.100test.com/kao_ti2020/204/2021_2022__E5_AE_89_E5_85_A8_E8_AF_84_E4_c62_204120.htm 3故障树定性分析故障树分析，包括定性分析和定量分析两种方法。在定性分析中，主要包括最小割集、最小径集和重要度分析。限于篇幅，以下仅介绍定性分析中的最小割集和最小径集。

3.1 最小割集及其求法

割集：它是导致顶上事件发生的基本事件的集合。最小割集就是引起顶上事件发生必须的最低限度的割集。最小割集的求取方法有行列式法、布尔代数法等。现在，已有计算机软件求取最小割集和最小径集。以下简要介绍布尔代数化简法。图89为一故障树图，以下是用布尔代数化简的过程。

$$T = A_1 A_2 = X_1 X_2 A_3 X_4 A_4 = X_1 X_2 (X_1 X_3) X_4 (X_5 X_6) = X_1 X_2 A_1 X_1 X_2 A_3 X_4 X_5 X_4 X_6 = X_1 X_2 X_4 X_5 X_4 X_6$$

所以最小割集为 $\{X_1, X_2\}$ ， $\{X_4, X_5\}$ ， $\{X_4, X_6\}$ 。结果得到三个交集的并集，这三个交集就是三个最小割集 $E_1 = \{X_1, X_2\}$ ， $E_2 = \{X_4, X_5\}$ ， $E_3 = \{X_4, X_6\}$ 。用最小割集表示故障树的等效图。

3.2 最小径集及其求法

径集：如果故障树中某些基本事件不发生，则顶上事件就不发生，这些基本事件的集合称为径集。最小径集：就是顶上事件不发生所需的最低限度的径集。最小径集的求法是利用它与最小割集的对偶性。首先作出与故障树对偶的成功树，即把原来故障树的与门换成或门，而或门换成与门，各类事件发生换成不发生，利用上述方法求出成功树的最小割集，再转化为故障树的最小径集。例：将上例中故障树变为成功树用 T' 、 A'_1 、 A'_2 、 A'_3 、 A'_4 、 X'_1 、 X'_2 、 X'_3 、 X'_4 、 X'_5 、 X'_6 表示事件 T 、 A_1 、 A_2

A3、A4、X1、X2、X3X、X的补事件，即成功事件；逻辑门作相应转换。用布尔代数化简法求成功树的最小割集： $T' = A' \mid A' 2 = (X' \mid A' 3 X' 2)(X' 4 A' 4) = (X' \mid X' 2 X' \mid X' 3)(X' 4 X' 5 X' 6) = (X' \mid X' 2)(X' 4 X' 5 X' 6) = X' \mid X' 4 X' \mid X' 5 X' 6 X' 2 X' 4 X' 2 X' 5 X' 6$ 成功树的最小割集： $\{X' 2, X' 5, X' 6\}$ 。即故障树的最小径集： $P1=\{X1, X4\}$
 $P2=\{X1, X5, X6\}$ $P3=\{X2, X4\}$ $P4=\{X2, X5, X6\}$ 如将成功树布尔化简的最后结果变换为故障树结构，则表达式为 $T=(X1 \mid x4)(x1 \mid x5 \mid x6)(x2 \mid x4)(x2 \mid x5 \mid x6)$ 形成了四个并集的交集，如用最小径集表示故障树则如图8-12所示。

3. 3最小割集和最小径集在故障树分析中的应用

(1)最小割集表示系统的危险性
 求出最小割集可以掌握事故发生的各种可能，了解系统的危险性。每个最小割集都是顶上事件发生的一种可能，有几个最小割集，顶上事件的发生就有几种可能，最小割集越多，系统越危险。从最小割集能直观地、概略地看出，哪些事件发生最危险，哪些稍次，哪些可以忽略，以及如何采取措施，使事故发生概率下降。例：共有三个最小割集 $\{X1\}$ 、 $\{X2, X3\}$ 、 $\{X4, X5, X6, X7, X8\}$ ，如果各基本事件的发生概率都近似相等的话，一般地说，一个事件的割集比两个事件的割集容易发生，五事件割集发生的概率更小，完全可以忽略。因此，为了提高系统的安全性，可采取技术、管理措施以便使少事件割集增加基本事件。就以上三个最小割集的故障树为例。可以给一事件割集 $\{X1\}$ 增加一个基本事件X，例如：安装防护装置或采取隔离措施等，使新的割集为 $\{X1、X9\}$ 。这样就能使整个系统的安全性提高若干倍，甚至几百倍。若

不从少事件割集入手，采取的措施收效不大。假设上述例中各事件概率都等于0.01，即 $q_1=q_2=q_3=q_4=q_5=q_6=q_7=q_8=q_9=0.01$ 。在未增加X以前顶上事件发生的概率约为0.0101，而增加X9后概率近似为0.0002，使系统安全性提高了50倍，在可靠性设计中常用的冗长技术就是这个道理。注意，以上是各事件概率相等时采取的措施。采取防灾措施必须考虑概率因素，若 X_i 的发生概率极小，就不必考虑 $\{X_i\}$ 了。(2)最小径集表示系统的安全性求出最小径集可以了解到，要使顶上事件不发生有几种可能的方案，从而为控制事故提供依据。一个最小径集中的基本事件都不发生，就可使顶上事件不发生。故障树中最小径集越多，系统就越安全。从用最小径集表示的故障树等效图可以看出，只要控制一个最小径集不发生，顶上事件就不发生，所以可以选择控制事故的最佳方案，一般地说，对少事件最小径集加以控制较为有利。(3)利用最小割集、最小径集进行结构重要度分析。(4)利用最小割集、最小径集进行定量分析和计算顶上事件的概率等。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