

# 时间事件树在高温气冷模块反应堆 示范电站设计阶段的应用

闵 苹, 童节娟

(清华大学 核能与新能源技术研究院, 北京 100084)

**摘要:** 电站设计阶段具有多种不确定性、反复性和复杂性, 概率安全分析(PSA)存在一些困难。为解决诸如设计的更改对 PSA 造成的影响、设计人员与 PSA 人员间的信息不一致等困难, 设计了一种时间事件树。在一棵时间事件树中, 除反映事故发展进程和逻辑关系外, 与传统事件树相比, 它还可明确反映安全系统、信号、人的动作等投入的时间点、持续工作的时间长度。这种事件树是设计人员与 PSA 人员间沟通的桥梁, 使得两者的信息保持一致, 从而更加有效地发挥 PSA 在电站设计阶段的作用。

**关键词:** 概率安全分析; 时间事件树; 设计阶段

中图分类号: TL364.5

文献标识码: A

文章编号: 1000-6931(2007)06-0641-03

## Application of Time-Related Event Tree During High-Temperature Gas-Cooled Reactor Pebble-Bed Module Design Phase

MIN Ping, TONG Jie-juan

(Institute of Nuclear and New Energy Technology, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract:** Due to the special characteristics of concerning in probability safety analysis (PSA) in the new reactor design phase, such as insufficient information, unavoidable iterations, complicated communications among multiple specialties and so on, efficient measures were developed to further the projects. A time-related event tree approach presented in the paper is one of them. Compared with ordinary event tree, the time-related event tree intends to illustrate not only the accident propagation processes, but also the key time points when safety systems, signals and operator actions are challenged and the durations. It seems to be a good bridge between designers and PSA engineers for the consistent understanding and more efficient information exchanging.

**Key words:** probability safety analysis; time-related event tree; design phase

随着 10 MW 高温气冷试验堆(HTR-10)<sup>[1]</sup>的成功运行, 200 MW 高温气冷模块反应堆(HTR-PM)项目目前正处于设计阶段, 计划

在“十一五”期间建成示范电站。基于模块式高温气冷堆的安全概念, HTR-PM 将以球床式环形堆芯结构和成熟的蒸汽透平技术为主要特

点。HTR-PM 概率安全分析第一阶段的主要目标是评估 HTR-PM 可能发生的几种典型潜在事故将对公众健康和环境造成的风险,确保其符合相应的安全目标,且在这个阶段完成初步概率安全分析报告(PSAR)。

设计中存在如下问题:1) 设计变动对 PSA 产生干扰;2) 各设计部门的信息不一致,更新版本未及及时统一;3) PSA 所需的时间长,分析成果难以及时应用到设计中。所以,拟研究设计一种时间事件树。

### 1 时间事件树

时间事件树和传统事件树<sup>[2-3]</sup>的主要区别在于:前者不仅可反映事故进程和题头事件间的逻辑关系,还可准确记录和表示每个题头事件在每个事故序列中发生的时间点及持续的时间长度,甚至可在事故序列中标明相应的操作规程。图 1 为 1 棵时间事件树的示意图,它由图 2 所示的 1 棵传统事件树转化而来。

图 1 中,A、B、C、D、E 表示系统启动、信号发出或人的行为,即图 2 的题头事件;横向表示成功,纵向表示失败,这种表示与传统事件树相同; $t_1、t_2、\dots、t_6$  表示系统启动、信号发出或人行动的时间点,粗线表示延续的时间长度(可用数字精确标明),这些信息在图 2 中无法体现;每个序列最后给出事故序列后果  $L_1、L_2、\dots、L_8$ ,与传统事件树相同。从图 1 可看到,在时间事件树中,传统事件树中的题头事件的位置不再

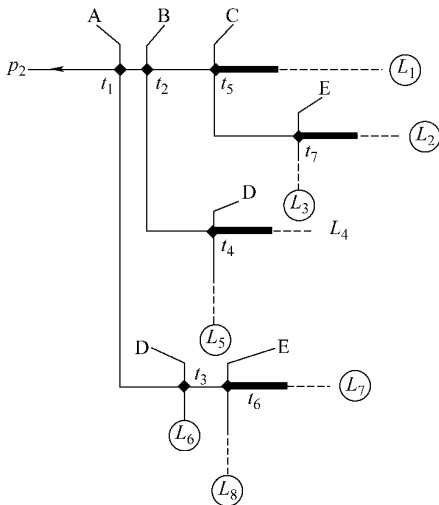


图 1 时间事件树示意图

Fig. 1 Scheme of time-related event tree

固定在最上方,而是随着事故序列的发展,在相应的时间点上表示出来,且它们间的间隔也并非等距,而是根据时间的间隔确定。

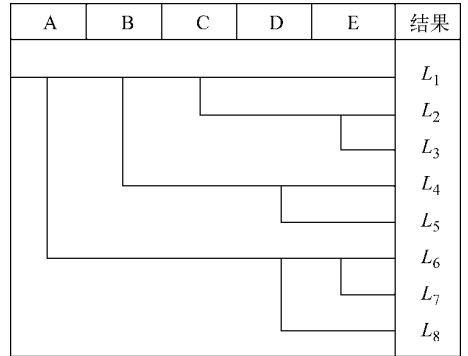


图 2 传统事件树示意图

Fig. 2 Scheme of traditional event tree

这种时间事件树既可满足 PSA 的需求,完成事件树的基本功能,同时又可成为与设计人员沟通和统一的桥梁。根据电站系统设计人员和进行物理计算的需要,可选择时间事件树中的重要序列,将其直接转化为表单形式(表 1),作为物理计算的基本输入文本,可迅速带入模型进行计算。当设计发生变化时,可及时更新时间事件树,PSA 传统事件树和物理计算所用的表单也随之自动更新,确保三者信息的一致。

表 1 序列  $L_1$  的事件列表

Table 1 Accident list of sequence  $L_1$

事件	起始时间	持续时间
A	$t_1$	0
B	$t_2$	0
C	$t_5$	$\Delta t_5$

### 2 示例

针对 HTR-PM 的进水事故(蒸汽发生器小破口事故),初步设计了 1 棵时间事件树,并可自动与传统故障树(图 3)相互转化。图 4 所示为这棵时间事件树的局部。

### 3 小结

时间事件树既保留了传统事件树的基本功能,又增加了“时间”要素,可同时满足设计者和 PSA 人员的需要。而且它可作为一种沟通依据,确保设计者与 PSA 人员的信息一致性,减少两者的重复劳动,提高工作效率。

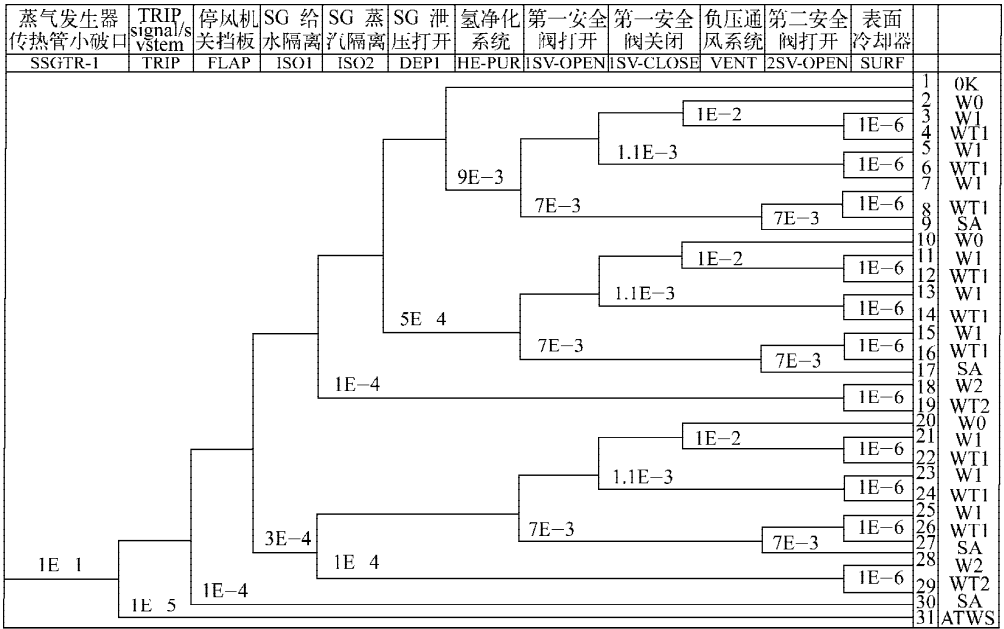


图 3 HTR-PM 进水事故事件树(完整)

Fig. 3 Event tree of HTR-PM water ingress accident (whole)

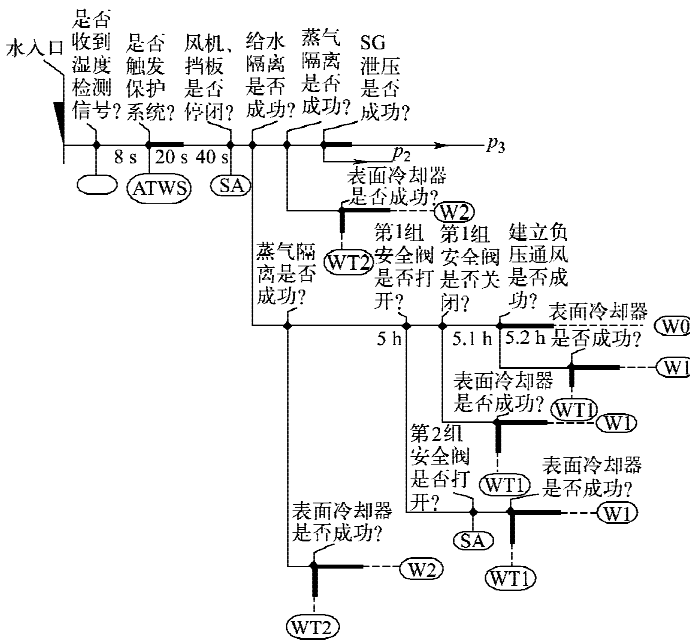


图 4 HTR-PM 进水事故时间事件树(局部)

Fig. 4 Time-related event tree of HTR-PM water ingress accident (partial)

参考文献:

[1] 林立志,杨小晶,林雷. 高温气冷堆核电站:新型的核能发电技术[J]. 国际电力, 2004(4): 30-31.  
 LIN Lizhi, YANG Xiaojing, LIN Lei. High-temperature gas-cooled reactor (HTR) pebble-bed module nuclear power plant: A new type of

power generation technology of nuclear energy [J]. International Electric Power For China, 2004(4): 30-31(in Chinese).  
 [2] 周法清. 核电厂概率安全评价[M]. 上海:上海交通大学出版社,1996.  
 [3] 朱继洲. 核反应堆安全分析[M]. 西安:西安交通大学出版社,2000.