

能源及化工过程中的事故仿真

肖立川 薛国新
(江苏石油化工学院)

[摘要] 在首先提出了能源及化工过程中的事故设置的通用方法之后,提出了用于事故状态和正常工况衔接的过渡泛函,还提出了事故发生和退出判断准则通用形式,还对有关的细节问题如事故的进入方式和事故的继发性进行了考虑。

关键词 事故 仿真 过渡泛函 事故判断 事故继发性

中图法分类号 O242.1

0 引言

在能源和化工生产过程中,各种事故的发生会给人们的生命和财产带来巨大的损失,因此事故的仿真培训特别重要^[1],如何正确仿真各类事故的行为是仿真界所关心的问题,但人们在以往的有关仿真软件开发中偏重于就特殊问题将机理模型和经验相结合建立事故模型,再根据现场操作工程师对软件的感觉对软件作出修改,而建立事故模型的一般理论研究相对较为缺乏,为此,对事故仿真的通用方法作了研究,其内容包括:如何设置事故即表现事故现象,如何实现事故的进入和退出,以及事故的继发性等。现分述如下:

1 事故设置

事故设置按照建模方法不同可分为统一模型方法、专用事故模型方法及事故工况法三种。现分述如下:

1.1 统一模型方法

这种方法对于正常工况和各种可能发生的事故采用一个统一的数学模型,这首先要要求有这种统一数学模型存在的可能性,其次是要能正确建立这种具有大范围适应性的数学模型^[2,3]。假定已建立起这种数学模型,那末,为设置事故,只要令某模型中参数发生改变即可,例如,考虑如下形状的系统

$$\frac{dy_i}{dt} = f_i(x_j, y^k, p^l), i = 1, \dots, M; j = 1, \dots, N; K = 1, \dots, M; l = 1, \dots, L, \quad (1)$$

对此微分方程组采用数值求积方法进行求解,设某事故对应于参数 $P_{i_0} = P_{i_0}^{(*)}$,那末,当从教师指令台获得该事故的设置信息后,即令 P_{i_0} 变为 $P_{i_0}^{(q)}$,这种变化可以是突发的,也可能是逐渐过渡的。

1.2 事故专用模型方法

设置事故后,根据事故的具体种类,采用相应的专用数学模型。例如,原本由式(1)表示的系统,可演变为由如下常微分方程组所表示的系统

$$\frac{dy_i}{dt} = \bar{f}_i^{(q)}(x_j, y^k, p^l), i = 1, \dots, M; j = 1, \dots,$$

$$N; K = 1, \dots, M; l = 1, \dots, L, \quad (2)$$

其中 q 表示当前的事故号, 同上一样, 这里也存在着一个由正常情形向事故情形的过渡问题, 如果设置第 q 号事故后直接用式 (2) 进行计算, 那末只要以设置事故时的各状态作为初始条件进行逐步积分计算即可, 否则就要考虑如何实现从式 (1) 到式 (2) 的过渡, 实际上这时式 (2) 仅能表示第 q 号事故已发展了一段时间的情况, 对于相当多的事故而言, 这种过渡情况特别是事故发生的瞬间情况较为复杂, 例如象锅炉爆燃一类的事故就是如此, 但从仿真培训的效果角度考虑, 关键在于把握事故的主要特征, 因此, 计算上允许有一定的模糊性, 只要主要趋势及数量级与实际一致即可, 为了表示这种过渡特征, 本文提出过渡算子 J 的概念, 所谓过渡算子是一个三元泛函, 其前两个变元是任意函数 F_1 和 F_2 , 第三个变元是时间量 $t - t_0$, 它满足

$$(i) \quad J[F_1, F_2, 0] = F_1 \quad (3)$$

$$(ii) \text{ 当 } t \rightarrow \infty \text{ 时, } |J[F_1, F_2, 0] - F_2| \rightarrow 0 \quad (4)$$

为了实现由式 (1) 至式 (2) 的过渡, 又有如下两种不同的方法, 方法 (a) 对式 (1) 和式 (2) 分别求解再用过渡算子综合它们的求解结果

设各自相应的解分别为

$$\text{式 (1) 的解: } y_i = h^{(1)}(f), i = 1, \dots, n \quad (5)$$

$$\text{式 (2) 的解: } y_i = h^{(2)}(f), i = 1, \dots, n \quad (6)$$

则实际所用解由下式给出

$$y_i = J[h^{(1)}, h^{(2)}, f] \quad (7)$$

方法 (b) 先用过渡算子综合式 (1) 和式

(2) 得如下常微分方程组

$$\frac{dy_i}{dt} = J[f_i, \bar{f}_i^{(q)}, f] \quad (8)$$

再对上式所表示的常微分方程组进行求解

1.3 事故工况法

所谓事故工况法, 是指根据经验直接设定事故发展的规律

$$y_i = h^{(q)}(f), i = 1, \dots, n \quad (9)$$

如果事故的发展是趋向于某一稳定的状态, 可由经验得出在稳定状态下的各状态量

$$y_i = h^*, i = 1, \dots, n \quad (10)$$

然后用过渡算子综合式 (1) 的解 [如式 (5) 所示] 和上式

$$y_i = J[h^{(1)}, h^*, f], i = 1, \dots, n \quad (11)$$

2 事故进入方式及判断准则

事故进入方式有两种, 一种方式是由误操作引起, 另一种方式则是由教师指令台设置, 诚然, 所设计的仿真程序并不要求学员故意地进行误操作, 但是, 如果学员发生了有关的误操作, 程序必须能判断出事故的发生。

设 y_1, y_2, \dots, y_n 为有关的状态量, 它们的变化速度为 y_1, y_2, \dots, y_n , 事故判断准则的一般形式为

$$\Delta^{(q)}(y_1, y_2, \dots, y_n; y_1, y_2, \dots, y_n) \geq 0, \quad r = 1, 2, \dots, R \quad (12)$$

其中 r 表示条件序号, q 表示事故号, 注意上式中通常包含着状态量的变化速度 (有正负号), 一般对某些量的变化速度的限制不是仅着眼于一个时间点上的值, 而是观察其在一段时间内的变化趋势, 有时式 (11) 与各式之间是相与的关系, 即必须其中各式同时满足才能表示事故发生; 而有时则仅需其中一式成立就意味着事故的发生

3 事故的继发性

当发生了某事故后, 如果处理不当或处理不及时, 就会使某些量偏离正常值越来越远, 从而导致其它事故的发生, 例如, 对于煤粉锅炉中的炉膛灭火事故, 如果在一段限定的时间内未作处理, 就会引起爆燃事故, 这是

因为灭火后炉膛内煤粉和空气的大量积聚,氧含量和煤粉浓度在上升,在满足着火条件时引发爆燃事故

4 事故的退出

当对事故进行正常的处理后,可以退出事故状态,在对事故采用专用模型的情形下,如何标志经过正确处理转入正常是一个关键问题,我们提出如下的方法,将对事故处理的操作量组成的向量记为 ΔX ,其对应的单位向量为 ΔI / $\|\Delta I\|$,转入正常的条件可表示如下形式

$$\Delta X / \|\Delta X\| \in K \quad (13)$$

$$\|\Delta I\| > W \quad (14)$$

当上两式同时满足时,则认为已转入正常,转而采用相应的退出事故的计算程序

5 实例

对于锅炉灭火事故,设置了一个变化过程,如果灭火事故是由操作不当引起的,则利用相应的准则来判断灭火事故是否发生,譬如,如果风量操作不当造成含氧量过低且油嘴未投,则会引起灭火,这时的判断准则就是炉膛含氧量和油嘴投用与否;如果事故是由教师指令台设置的,则程序也同样能表现事故的这种发展过程,其初始条件通常为正常工况,对于灭火事故现象中的有关量的变化,作如下处理:汽温,汽压等参数由程序中的能量平衡关系自动地进行变化;炉膛负压,一、二次风压等变量,由于它们均单调变化,故可为它们各自设定一变化终值,然后用过渡泛函平滑地衔接初始状态和事故发展稳定后的终态;而对于水位,同时为其设定一较低值和较高值,使用过渡算法,先使其由事故设置时的初态平滑地降到较低的设定值,再令其平

滑地升到较高的设定值。

锅炉灭火事故必须及时处理,否则,就会引起爆燃事故,造成较大的损失,在仿真计算中,设定一限定时间值,如果在灭火后过了限定时间后尚未处理的话,则就设置爆燃事故,在发生爆燃事故后,就认为锅炉系统无法再工作,反之,如果及时作出灭火事故的正确处理而回到正常工况,则认为锅炉系统可继续运行且可再设置事故,其中包括再设置灭火事故本身。

6 总结与展望

本文考虑了较为一般情形下的事故仿真算法,对于某些事故引起的个别变量的发展,在其发生后难以用原有的数学模型来描述系统,则必须用分段模型,这时,关键在于如何给出正确的中间和终了状态以及选择合适的过渡泛函,当一个事故引发另一个事故后,必须考虑几种事故的并发现象。

如果对事故处理也给出较为通用的仿真方法,就可给出事故的较为通用的编程方法,对于特定的一类能源化工问题,预先可以充分考虑到各种可能的事故,将可能用通用编程方法事故列在一起,可望用组态方法将它们个别地加入仿真软件中,这对在程序中考虑新的事故特别方便。

参考文献

- 1 石智象,陈显才,李建华,任振芳编.压力容器事故案例.北京:劳动部锅炉压力容器安全杂志社,1990年2月
- 2 Seborg Dale E, Edgar Thomas F, Mellichamp Duncan A. Process dynamics and control. John Wiley & Sons, 1989.
- 3 Lisienko V G, Malikov G K, Malikov Yu K. Numerical Heat Transfer. Part B, 1992. 22: 1~24

(复 编)

discusses the design philosophy of the modification scheme and proposes a new type of high-temperature boiler flue gas tube construction. **Key words** high-temperature boiler flue gas tube, failure analysis, structural design

模糊自组织神经网络在汽轮机转子故障诊断中的应用 = (Application of Fuzzy Self-organizing Neural Networks in a Steam Turbine Rotor Fault Diagnosis) [刊, 中] / Wang Jian, Jiang Dongxiang, Ni Weidou (Qinghua University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1998, 13(1). - 43- 45

In the light of the problems involved in a steam turbine rotor fault diagnosis proposed in this paper is a new diagnostic method based on a fuzzy self-organizing neural network. The proposed method features a simple structural algorithm, supervision-free self-study and lateral thought association, etc. This highly effective method for turbine rotor failure classification has been verified in the course of its practical use. **Key words** steam turbine rotor, failure diagnosis, fuzzy mathematics, neural network

能源及化工过程中的事故仿真 = (Failure Simulation in Energy Sources and Chemical Engineering Processes) [刊, 中] / Xiao Lichuan, Xue Guoxin (Jiangsu Petrochemical Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1998, 13(1). - 46- 48

After a discussion of the universal method for failure setting in energy sources and chemical engineering processes the authors come up with a transitional general function for the interface of failure status and normal operating condition. A generally applicable form of failure occurrence and an exit from ascertainment criteria are also given. Furthermore, other details concerning the failure entering form and its succession have been taken into account. **Key words** failure, simulation, transitional general function, failure ascertainment, failure succession

炉内冷态流场数值模拟算法讨论及验证 = (A Discussion and Verification of the Numerical Simulation of a Cold-state Flow Field in a Boiler) [刊, 中] / Sun Ping, Fan Jianren, Cen Kefa (Zhejiang University), Xie Hailong (Northeast Electrical Power Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1998, 13(1) - 49- 52

Studied in this paper are some convergence promotion methods for the simulation of flow fields in a boiler furnace by the use of a Simpler method and the specific features of Quicke scheme. Heating surfaces in the furnace are treated through the use of multi-hole rate in conjunction with resistance distribution. The calculated results agree well with experimental ones. **Key words** simulation of flow field, Quicke scheme, multi-hole rate

旋转机械振动故障的模糊诊断 = (Fuzzy Diagnosis of Rotating Machinery Vibration Faults) [刊, 中] / Ruan Yue, Xu Shichang (Harbin Institute of Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. 01998, 13(1). - 53- 56

After making an analysis of the existing difficulties in the failure analysis of rotating machinery vibration failures this paper presents a mathematical model for conducting failure mechanism study and failure diagnosis. On the basis of symptoms asserting a positive and negative trend of the vibration failures proposed is a fuzzy recognition matrix of fault diagnosis with the realization of a complex failure diagnosis. **Key words** vibration failure, fuzzy diagnosis, mathematical model, rotating machinery

自然循环蒸发系统运行特性分析模型 = (A Model for Analysing the Operating Characteristics of a Natural Circulation Boiling System) [刊中] / Wang Guangjun, Li Hongyuan (Northeast Electrical Power Engineering Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power - 1998, 13(1). - 57- 60

Proceeding from a basic physical equation a distribution parameter model of natural circulation boiling system was established and a numerical calculation method based on a fluid microelement tracing philosophy also proposed. By using this model it is possible to not only conduct the static-state calculation of the boiling system