

基于多层流模型的一回路 报警元件分析算法研究

马 杰, 郭立峰, 张宇声, 彭 俏

(海军工程大学 船舶与动力学院, 湖北 武汉 430033)

摘要: 针对一回路发生故障时报警元件多、信息量大的特点, 本文采用了基于多层流模型的方法来分析报警元件, 并对报警算法进行了分析。该算法采用因果图原理对报警部件进行深度优先搜索, 确定故障报警元件及报警传播路径。基于多层流模型的报警分析系统可作为运行支持系统的子系统来辅助运行人员决策。

关键词: 核动力装置; 多层流模型; 因果图; 报警分析

中图分类号: TP18 文献标志码: A 文章编号: 1000-6931 (2010) S0-0378-04

Study on Alarm Analysis Algorithm Based on Multilevel Flow Models for Fault Component of Primary Coolant

MA Jie, GUO Li-feng, ZHANG Yu-sheng, PENG Qiao

(College of Naval Architecture and Power, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China)

Abstract: In order to analyse alarm of fault components and fault information, this paper utilized the theory of MFM (multilevel flow model) to identify fault components in complex fault situation of primary coolant. This algorithm based on CDG (causal dependency graph) can perform depth-first search of alarm components, confirm the root cause of alarm component and the path of alarm propagation. Alarm analysis system based on MFM can be used as sub-system of operation support system to assistant operators to make decision.

Key words: nuclear power plant; MFM; CDG; alarm analysis

核动力装置是装备大量传感器的复杂大系统, 在故障发生时具有信息量大、报警元件多的特点, 同时由于监测参数之间的耦合关系, 使得报警具有传递性和混杂性。传统的报警分析系统多采用基于模式信号的处理方式, 缺乏分级归类、解释推理等技术的支持, 一旦运行过程中出现异常工况, 将引发系统综控台短时间内产生大量报警信息, 即使训练有素、经验丰富的运行人员也难以有效处理大量报警信息, 易发生误判^[1]。因此, 通过开发运行支持系统 (Operation Support

System) 来辅助运行人员进行报警分析是目前国内外的一个研究热点。

本文采用基于多层流模型 (Multilevel Flow Model, MFM) 的方法来分析核动力装置的报警信号, 协助运行人员搜寻引发大量报警的故障元件。

1 多层流模型

1.1 多层流模型符号

MFM 故障诊断方法是利用图形化模型来

分析复杂系统的过程，它采取了如图 1 所示的一系列标准化的抽象符号^[2]，依据方式-目的和整体-部分的原则，将复杂系统分解为不同的功能层，相互之间通过完成关系、实现关系和条件关系相连接。功能层由多个流结构组成，MFM 模型主要定义了 3 种流结构：物质流、能量流和信息流。

1.2 基于 MFM 故障诊断方法

图 2 为 1 个简单的供水系统及其多层流模型，该系统主要包括两个水箱、两个阀门和一个水泵。

供水系统的主要目标是保持上水箱的水位，为实现该目标还需一保持水泵运转的次级目标。假定该系统有 5 个信号可测：泵流量、上水箱水位、阀门 1 流量、下水箱水位和阀门 2 流量。依据可测信号的波动和报警阈值可判

定警报是否触发。

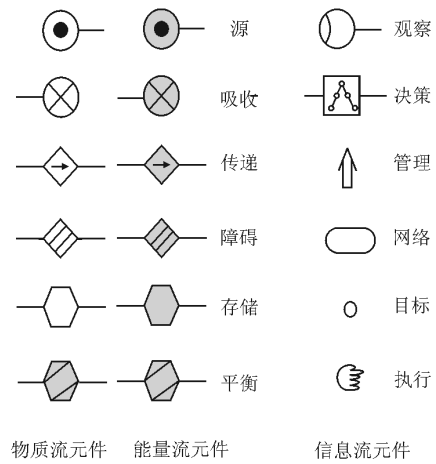


图 1 多层流模型的符号表示

Fig. 1 Symbols of multilevel flow model

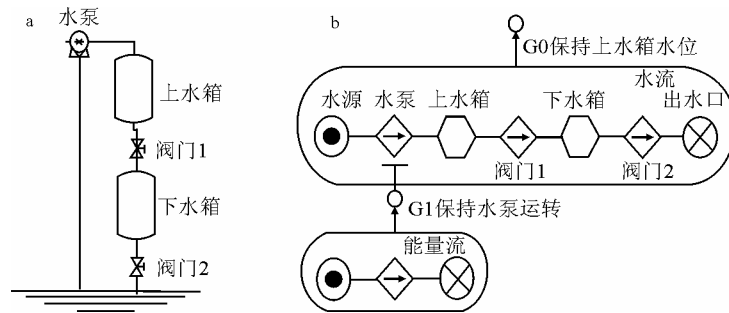


图 2 基于多层流故障诊断的简单实例

Fig. 2 Simple example for fault diagnosis by MFM

a——供水系统；b——多层流模型

在故障状态下，会产生多个报警信号，其中 1 个是由源故障部件引发的报警，其它相连的部件会随之产生次级报警。例如，在供水系统中水泵发出流量低报警，那么，上水箱、阀门 1、下水箱和阀门 2 会相应地产生流量低报警。基于 MFM 的故障诊断方法就是利用因果图 (Causal Dependency Graph, CDG) 的次序分析方法将源故障引发的警报从各种次级警报中分离出来，结合已触发的警报，找出故障的传播路径，经过故障辨识确定出故障部件及故障原因。

根据 MFM 的推理规则，可建立供水系统模型的次序分析图 (图 3a)。图 3a 中，N、H、

L 分别代表正常、高和低报警，状态之间的箭头表示 MFM 模型的推理规则。假设在运行过程中发生了阀门 1 堵塞故障，系统几乎同时产生上水箱水位高、下水箱水位低、阀门 2 流量低和泵流量低的警报。

故障报警的传播途径如图 3b 所示，当阀门 1 堵塞后，上水箱水位会升高，水箱压力增大，触发自动控制系统使得水泵入口流量减少，同时，由于阀门 1 的堵塞造成下水箱水位下降及出口流量减少。经过 CDG 分析可判定，阀门 1 流量低是源故障引发的报警，其它故障报警是由源故障引起的次级报警，认定故障的真正原因是阀门 1 堵塞。

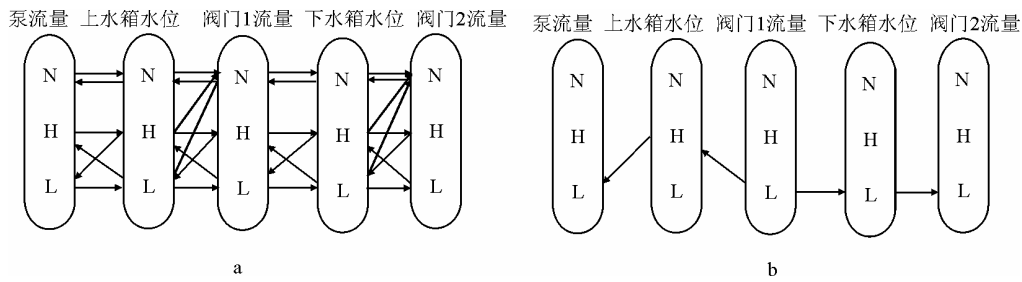


图 3 供水系统故障报警的次序分析图

Fig. 3 Consequence analysis result of water supply system

a——供水系统模型的次序分析；b——故障报警的传播途径

2 核动力装置多层流模型

根据核动力装置的结构特点和运行规程，建立了核动力装置一回路 MFM 模型（图 4），

各符号代表的元件及相互之间的功能关系已在图 4 中标出。

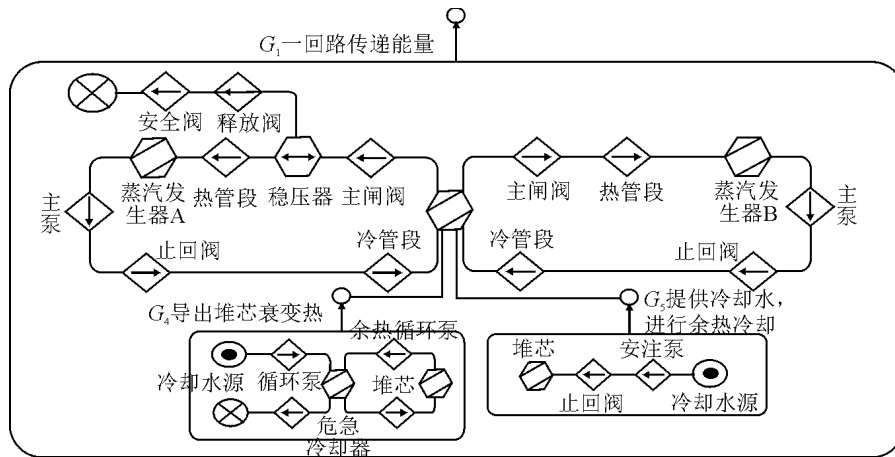


图 4 核动力装置 MFM 图

Fig. 4 MFM model of nuclear power plant

3 基于多层流模型的报警算法分析

基于多层流模型的报警分析算法最早由 Larsson 教授^[3]提出，并且应用于重症病人监护项目。Dahlstrand^[4]提出了 Consequence analysis theory 的方法来分析警报，并认为 Larsson 教授的分析方法只是其中的 1 个特例。根据多层流模型理论，本文警报分析采用了 CDG 的原理，算法流程图如图 5 所示。

当警报发生的同时，报警分析系统首先启动警报确认程序，确定超过运行阈值的报警元件。通过运用 Consequence analysis theory 的分析方法^[5]来确定报警传递路径，如果某个传递路径能够根据 CDG 原理将报警元件遍历，那

么这条报警路径的起始报警元件可认为是故障报警部件。其中，Consequence analysis theory 的分析方法是按照追溯式的深度优先算法来实现的，多层流模型中各部件之间的关系通过 CDG 原理来确定。

4 结论

本文介绍了一种基于 MFM 模型的报警分析算法，并将其应用于核动力装置一回路的警报分析中，建立了核动力装置的多层流模型并进行了算法分析。作为运行支持系统的 1 个子系统，基于多层流模型的报警分析系统可辅助运行人员理清报警信息，做出正确的判断。

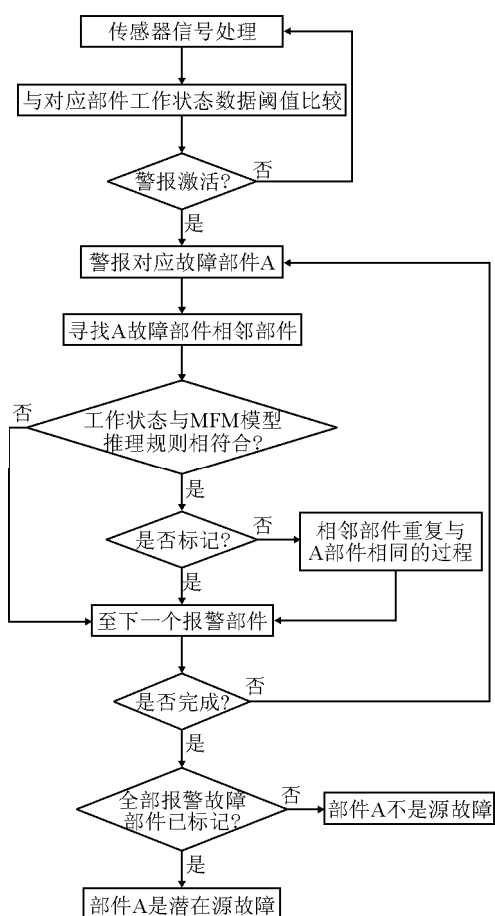


图5 基于MFM模型的诊断系统算法流程图

Fig. 5 Flowchart of fault diagnosis system based on MFM model

参考文献:

[1] Institute of Nuclear Power Operations. Material for a case study on the Three Mile Island unit 2 accident, INPO 88-008[R]. Atlanta: INPO, 1988.

[2] LIND M. Representing goals and functions of complex system: An introduction to multilevel flow modeling[D]. Denmark: Institute of Automatic Control Systems, Technical University of Denmark, 1990.

[3] LARSSON J E. Diagnosis based on explicit means-end models[J]. Artificial Intelligence, 1996, 80(1): 29-93.

[4] DAHLSTRAND F. Consequence analysis theory for alarm analysis[J]. Knowledge-Based System, 2002, 15(1): 27-36.

[5] OUYANG Jun, YANG Ming, YOSHIKAWA H, et al. Modeling of PWR plant by multilevel flow model and its application in fault diagnosis[J]. Journal of Nuclear Science and Technology, 2005, 42(8): 695-705.