

基于 SDG 的压缩机故障诊断方法研究

聂银燕, 林晓焕

(西安工程大学 电子信息学院, 陕西 西安 710043)

摘 要: SDG(Signed Directed Graph) 是一种重要的定性建模技术. 基于符号有向图(SDG)的故障诊断是故障诊断领域中的一个重要研究方向, 具有很大的应用和发展前景. 本文针对往复式压缩机, 提出了一个综合性 SDG 故障诊断架构. 该综合性故障诊断架构采用基于经验知识的建模方法, 引入分级 SDG 建模的思想和基于假设—验证的双向推理方法. 研究表明, 该方法具有较强的故障诊断能力.

关键词: SDG; 故障诊断; 压缩机; 定性模型

中图分类号: TP206

文献标识码: A

文章编号: 1000—7180(2013)03—0140—03

Research on the Fault Diagnosis of Compressor Based on the SDG Method

NIE Yin-yan, LIN Xiao-huan

(Electronic Information Institute, Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710043, China)

Abstract: SDG is an important technology of building qualitative model. The signed directed graph (SDG) is an important research branch of the fault diagnosis field, with a lot of application and development prospect. For the reciprocating compressor, this paper puts forward a comprehensive SDG fault diagnosis structure. The comprehensive fault diagnosis structure takes the modeling method based on the experience knowledge, introduces the idea of hierarchical modeling and the bidirectional inference method based on assumptions—verification. The research shows that this method has strong ability of fault diagnosis.

Key words: SDG; fault diagnosis; compressor; qualitative model

1 引言

符号有向图(Signed Directed Graph, SDG)是一种定性的故障诊断方法, 它采用节点表示某种类型的故障和系统变量, 用支路来表示节点间的因果关系, 基于符号有向图的模型具有直观、简单、清晰等特点. 在压缩机系统中节点可以是温度、压力、流量等等, 节点之间的因果关系用有向边来表征. 基于符号有向图的深层知识模型与复杂系统的故障之间具有很好的对应关系, 它可以有效地表达复杂的因果关系. 基于 SDG 的故障诊断作为故障诊断领域中的一个重要研究方向, 将具有极大的发展前景.

2 压缩机 SDG 故障诊断建模

SDG 建模是故障诊断的基础, 主要的建模方法有以下三种: 基于流程图、基于数学模型、基于经验知识. 本文采用第三种, 即基于知识经验的建模方法. 由于压缩机系统比较复杂, 将分级建立压缩机的 SDG 模型. 对压缩机的各部件进行分析和研究的基础上, 分别建立每一级的 SDG 模型. 然后, 依据所建模型, 从报警节点按照相关的路径, 对压缩机的故障进行识别与诊断, 寻找出故障源.

本文以三级往复式压缩机为例进行研究, 其流程图如图 1 所示. 所谓三级压缩即根据所需压力, 将压缩机的气缸分成三级, 逐级提高压力, 并在每级压缩之后设立中间冷却器, 冷却每级压缩后的高温气

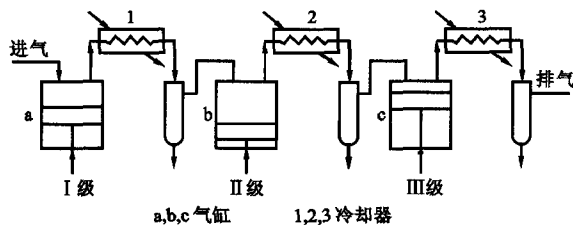


图 1 三级压缩机结构图

体. 这样, 便能降低每级的排气温度. 由于压缩机结构的复杂性, 直接建立压缩机的整体 SDG 模型并不容易, 而分级的方法能够有效的使建模过程得到简化. 本文主要研究压缩机的气缸部分: 气缸、气阀、活塞、填料等等. 首先分析各个变量之间的相互关系, 建立起压缩机每一级的 SDG 模型, 然后将每一级的 SDG 模型进行相关组合, 从而构建出整体的 SDG 模型.

具体的建模步骤如下(图 2):

- ①将压缩机系统每一级分为一个设备单元。
- ②确定每一单元的变量,此步将确定出重要的变量:故障源节点。
- ③列出每一单元各个变量间的相互关系方程组。
- ④建立每一单元的 SDG 模型。
- ⑤构建整体 SDG 模型。

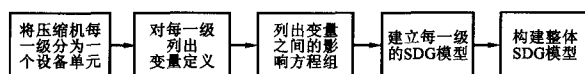


图 2 压缩机的建模流程图

2.1 压缩机第一级 SDG 模型

首影响压缩机生产能力的因素很多,比如泄露损失、吸入气阀的阻力、吸入气体的温度等.具体概括起来,气缸部分的相关变量主要包括排气量、压力、温度等.第一级的节点变量及其对应的符号如表1所示.

表 1 第一级的节点变量及其对应的符号

一级吸气压力	P11	一级排气压力	P12
一级吸气温度	T11	一级排气温度	T12
一级吸气量	V11	一级排气量	V12
一级吸气管线阻力	L11	一二级间管线阻力	L12
吸气管线处气压	P1	一级冷却器效率	Q1

根据经验知识,确定变量间的相互关系方程组.得到的影响方程组如下:

$$V_{11} \leftarrow +L_{11}, -A_1, -B_1, -C_1, +D_1, -E_1$$

$$V12 \leftarrow +V11, -B1$$

$$P11 \leftarrow +P1$$

$$P_{12} \leftarrow +V_{12}, -T_{11}, +L_{12}, -F_1$$

$$T_{11} \leftarrow +A_1$$

$$T_{12} \leftarrow -Q_1, +B_1$$

$$L11 \leftarrow 0$$

$$Q1 \leftarrow 0$$

对于一级气缸组件常见的故障包括:进气阀泄露、排气阀泄露、活塞问题、填料漏气、放泄阀漏气等.结合本文所建模型,其表现如下:

一级进气阀泄露(定义为故障代码 A1):当进气阀泄露时,会导致在气阀关闭时,高压气体回流到进气腔内,对气阀温度造成较大影响,同时会对流量产生影响;一级排气阀泄露(定义为故障代码 B1):当排气阀泄露时,会导致在非排气阶段排气腔内气体流入气缸,进而影响排气压力;一级活塞环泄露(定义为故障代码 C1):活塞泄露,会造成吸气量不足,吸气压力上升,排气压力上升,排气量不足,另外,活塞泄露产生逆流,导致排气温度异常升高. 一级入口滤清器阻塞(定义为故障代码 D1):入口过滤器不清洁,或者有杂物阻塞,会造成吸气压力异常低. 一级填料函泄露(定义为故障代码 E1):填料与活塞杆磨损引起泄露,导致排气量不足. 一级放泄阀、旁通阀漏气(定义为故障代码 F1):当放泄阀、旁通阀漏气时,会使排气压力异常底.

通过影响方程组,可以得到如图 3 所示的 SDG 模型。

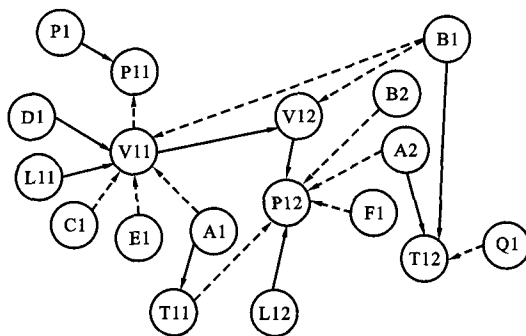


图 3 压缩机第一级 SDG 模型图

2.2 压缩机的第二级 SDG 模型

同样的方法,首先认真分析压缩机第二级的部件结构,以及各部件之间的相互影响关系,确定出第二级的节点变量和变量间相互影响的方程组。从而,建立第二级的SDG结构模型,如图4所示。

2.3 压缩机气缸部分的整体 SDG 模型图的建立

由于往复式压缩机系统结构复杂,各级之间的相互影响也较大,因此在建立 SDG 模型时,应注意考虑各级变量之间的相互关系.压缩机气缸部分

的整体 SDG 模型图如图 5 所示.

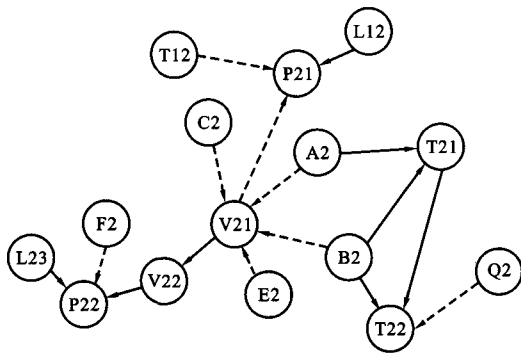


图 4 压缩机第二级 SDG 模型图

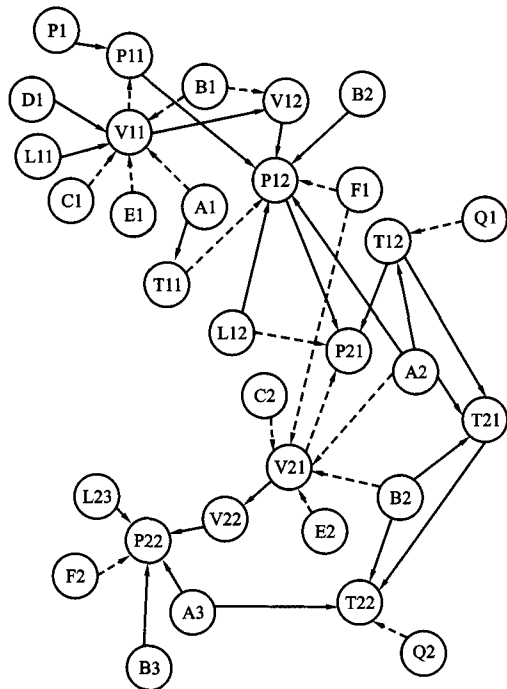


图 5 压缩机气缸部分整体 SDG 模型图

3 SDG 模型的诊断推理

本文将采用故障瞬态可测样本,进行故障诊断测试.某三级压缩机的故障瞬态样本如表 2 所示.应用 SDG 的模型图,并依据正向和反向相混合的推理策略,查找出故障源的所在.

表 2 某压缩机故障的瞬态样本

P11	P12	P21	P22	T11	T12	T21	T22
0	+	-	-	-	-	0	0

由表 2 可知,一级排气压力 P12 异常偏高,出现报警现象.首先,从报警的节点 P12 开始,向可能导致 P12 偏高的节点进行反向搜索,找出所有可行的相关通路,共有 10 条,如下所列:

① $A1 \xrightarrow{+} T11 \xrightarrow{-} P12+$

② $A1 \xrightarrow{-} V11 \xrightarrow{+} V12 \xrightarrow{+} P12+$

③ $B1 \xrightarrow{-} V11 \xrightarrow{+} V12 \xrightarrow{+} P12+$

④ $B1 \xrightarrow{-} V12 \xrightarrow{+} P12+$

⑤ $C1 \xrightarrow{-} V11 \xrightarrow{+} V12 \xrightarrow{+} P12+$

⑥ $D1 \xrightarrow{+} V11 \xrightarrow{+} V12 \xrightarrow{+} P12+$

⑦ $E1 \xrightarrow{-} V11 \xrightarrow{+} V12 \xrightarrow{+} P12+$

⑧ $L11 \xrightarrow{+} V11 \xrightarrow{+} V12 \xrightarrow{+} P12+$

⑨ $A2 \xrightarrow{+} P12+$

⑩ $B2 \xrightarrow{+} P12+$

将以上 10 条通路以根节点为起点,进行正向的推理,然后与观测到的节点样本值对比,去掉与样本值不相符的通路,最后得到 2 条通路.如表 3 所示.

表 3 压缩机故障诊断的结果

产生故障的原因	故障传播路径
1 级入口滤清器 不清洁或阻塞	⑥ $D1 \xrightarrow{+} V11 \xrightarrow{+} V12 \xrightarrow{+} P12+$
2 级吸气管线阻 过大	⑧ $L11 \xrightarrow{+} V11 \xrightarrow{+} V12 \xrightarrow{+} P12+$

根据表 3 可知,最后得到了 2 组故障传播路径.技术员采用排除法,就可以很快的查找出故障原因.从而,大大降低了技术人员的工作量.对于滤清器故障,可以直接通过清洗过滤器来排除故障.一级吸气管线阻力过大时,应进行检查与清洗管线.

4 结束语

往复式压缩机各级之间的相互影响较大,某一级的某一参数,如温度或压力的特别异常与很多因素有关,因而其他级的温度和压力也有不同的异常反映.因此,直接查找故障源是一件很困难的事情.从以上的分析和研究可以看出,采用基于 SDG 模型的故障诊断方法,使得故障源的范围得到有效的缩小.虽然没能唯一的确定出故障所在,但是却简化了工作内容,从而加快了排故的速度.因此,使用 SDG 模型的故障诊断方法,能够很好的确保生产装置的安全、稳定、长周期运行,为企业带来直接的经济效益.

参考文献:

[1] 孙炯明.往复式压缩机技术问答[M].北京:中国石化出版社,2005.

(下转第 147 页)

是影响算法性能和效率的关键,因此如何确定BFOA的最优参数使多核处理器任务调性能更优是将来研究的方向。

参考文献:

- [1] Burger D, Goodman J R. Billion—Transistor architectures: there and back again [J]. IEEE Computer, 2004, 37, (3): 22-28.
- [2] Jo Ann M Paul, Donald E Thomas, Andrew S. Cassidy: high-level modeling and simulation of single-chip programmable heterogeneous multiprocessors [J]. ACM Transaction of Design Automation Electric System. 2005, 10(3): 431-46.
- [3] David Geer. Industry trends: chip makers turn to multi-core processors Computer, 2005, 38, (5): 11-13.
- [4] 苗蕾, 齐勇, 侯迪, 等. 基于遗传算法的片上多处理器任务调度策略研究[J]. 微电子学与计算, 2007, 24 (6): 8-11.
- [5] 杨洪斌, 陈伟, 吴悦. 基于粒子群算法的多核处理器线程调度研究[J]. 计算机工程与设计, 2010, 31 (5): 1045-1047.
- [6] 赵国材, 刘洋. 基于 MMAS 的多目标优化算法研究[J]. 计算机仿真, 2011, 28(7): 232-235.
- [7] 蒋建春, 汪同庆. 多核处理器的任务调度算法[J]. 计算机工程与应用. 2009, 45(33): 52-56.
- [8] Ravindran K. Task allocation and scheduling of concurrent applications to multiprocessor systems [D]. Berkeley: University of California, Berkeley, 2007.
- [9] 邱卫东, 陈燕, 李洁萍, 等. 一种实时嵌入式系统的任务调度算法[J]. 软件学报, 2004, 15(4): 504-511.
- [10] 徐成, 王立东. 基于遗传算法的多核多帧任务分配[J]. 计算机应用研究, 2009(11): 4066-4068.
- [11] 易军, 李太福. 求解作业车间调度的变邻域细菌觅食优化算法[J]. 机械工程学报, 2012, 38(12): 179-204.
- [12] 周雅兰. 细菌觅食优化算法的研究与应用[J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(20): 16-19.

作者简介:

吴波 男, (1972—), 硕士, 副教授. 研究方向为计算机应用.

郝春梅 女, (1975—), 硕士, 副教授. 研究方向为计算机应用.

(上接第 142 页)

- [2] 赵铁. 往复式压缩机气阀故障诊断的实验研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2003.
- [3] Isermann R. (1993). Fault diagnosis of machines via parameter estimation and knowledge processing: tutorial paper[J]. Automatica, 29(4): 815-835.
- [4] 徐章遂, 房立青, 王希武, 等. 故障信息诊断原理及应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2000.
- [5] 刘敏华. 基于 SDG 模型的故障诊断及应用研究[D]. 北京: 清华大学, 2005.
- [6] 杨帆, 萧德云. 基于 SDG 的复杂系统故障传播规律分析[J]. 高技术通讯, 2005, 15(10): 33. 36.
- [7] 徐新海. 基于层次 SDG 的航空发动机故障诊断方法研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2010.

作者简介:

聂银燕 女, (1986—), 硕士研究生. 研究方向为控制工程.

林晓焕 女, (1964—), 教授, 研究生导师. 研究方向为数据通信与计算机控制.