

机电技术

基于 Petri 网的新型电动机故障快速处理方法及应用

张红斌

(重庆电子工程职业学院,重庆 401331)

摘要 目前我国电动机保护技术落后,针对电动机故障的早期诊断问题,提出了一种电动机故障诊断 Petri 网模型,该模型根据电动机一般故障和外在征兆,只需经过简单的矩阵运算,即可达到快速分析检测电动机故障的目的。该方法比传统的电动机故障检测方法,具有简单方便,快速精确等方面的优点,最后通过实验证明该方法是确实可行的。

关键词 快速分析 电动机故障 Petri 网建模

中图法分类号 TM307.1; **文献标志码** A

各行各业对电的需求都非常大,其中百分之九十的电能将会被电动机耗费掉,因为我国电动机保护技术比较落后,所以电动机被烧坏的事件非常多。因此需要研究出一套可以诊断电动机是否发生故障的检测技术,不仅可以检查出目前已经存在的问题,还可以提前对电动机存在的隐患检测出来,起到提前预防的作用,并且得到相关的警报^[1]。为了更深入地对收集到的信息进行分析,找出电动机发生故障的原因和判断损伤程度,使得对电动机的修理和维护起到及时的效果,减少因机器故障而导致的生产问题。现在对电动机故障早期诊断方面越来越多地引入了人工智能方法,比如其中的人工神经网络的引入、专家系统、模糊方法和这些方法的综合应用。这些智能化技术的引入主要是利用平时对大量数据的积累和收集,然后建立起相应的数据与故障之间的关系,使得这两者之间有相互对映的关系,可以是一种映射关系,最终形成一种早期对故障是否存在的诊

断和识别。这种人工智能方法的引入极大地提高了电动机故障诊断方法的效率,并且具有非常高的精确性,虽然前景很好,但是需要技术人员和科研人员对人工智能的研究,并且需要投入大量的训练时间,实时性差^[2]。

Petri 网的理论,即主要是通过以系统中存在的各元件之间的相互关系为基础,用网络的形式直接将系统中发生的各类项目的同时性、顺序发生和循环性表现出来,此时可以通过矩阵的运算来解释,这是一种较好的建模方式^[3]。在 Petri 网的故障诊断方法的基础上,可以把理论知识的表示与推理诊断很好地结合起来,只需通过一些简单的矩阵就可以立刻把故障结果最终地呈现出来。现利用 Petri 网的理论知识设计出一种可以诊断电动机故障的模型,通过收集到的实际案例开展了一些诊断分析证明了该模型的准确性,为电动机的诊断提供了一种快速的方法。

1 Petri 网的基本概念

Petri 网的概念是最先由德国人 Carl Adam Petri,在 1962 年自己的博士论文中提出,主要是使用自动机通信,然后由像 Hack 和 Peterson 这些后来的学者不断地研究,慢慢形成一种叫可并发的状态变

2012 年 4 月 27 日收到

作者简介:张红斌(1966—),男,汉族,四川大竹人,重庆电子工程职业学院副教授。研究方向:电路及电工技术理论与实践。E-mail: 15961292702@139.com。

迁模型^[4]。现在很多领域方法都涉及到了相应地研究,在 20 世纪 80 年代后期已广泛应用。在 Petri 网知识表示和推理诊断的基础上,现在学者和科研人员不断地对其进行研究,目前已经开始应用于电力系统故障诊断的领域。

基本的 Petri 网主要是由节点和边构成的有向图 $F = (X, Y)$, 如图 1 所示。节点 X 可以分为两类: 位置 P (place) 和变迁 T (transition), 位置表示系统发生变化的条件, 变迁表示四通八达的状态改变^[5]。在图中, 位置用圆圈表示, 变迁用画线表示, 而边用有向线段表示, 每条边将一个位置连接到一个变迁, 或将一个变迁连接到一个位置。位置中可以包含令牌(to. ken), 表示与该位置相连的条件是否成立。位置和所含的令牌构成系统的一个标识。如果一个变迁的所有指向它的位置都至少含有一个令牌, 那么该变迁是可以发生的。如果变迁是可以发生的, 并且使它发生的外部逻辑条件也得到了满足, 则称这个变迁是可发射的。变迁发射后, 从这个变迁的各输入位置中取出一个令牌, 并在这个变迁的各输出位置中放入一个令牌, 系统进入一个新的标识状态。

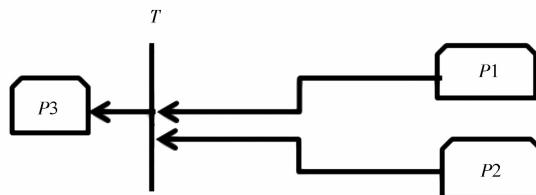


图 1 Petri 网结构示意图

为了能够清晰地描述 Petri 网系统, 可以用矩阵来表示 Petri 网模型。假定一个 Petri 网由 m 个位置, n 个变迁构成, 则可以定义如下的网络描述矩阵。

输出矩阵 $D(i,j)$, 其中

$$D(i,j) = \begin{cases} 0, & \text{如果位置 } i \text{ 不是变迁 } j \text{ 的输出位置} \\ 1, & \text{如果位置 } i \text{ 就是变迁 } j \text{ 的输出位置} \end{cases}$$

输入矩阵 $E(i,j)$, 其中

$$E(i,j) = \begin{cases} 0, & \text{如果位置 } i \text{ 不是变迁 } j \text{ 的输出位置} \\ 1, & \text{如果位置 } i \text{ 就是变迁 } j \text{ 的输出位置} \end{cases}$$

系统标识状态列向量 $N(i)$, 其中 $N(i,j) =$

$$\begin{cases} 0, & \text{如果位置 } i \text{ 含有令牌} \\ 1, & \text{如果位置 } i \text{ 不含有令牌} \end{cases}$$

变迁是否可以发生列向量 $X(i)$, 其中

$$X(i) = \begin{cases} 0, & \text{如果变迁 } i \text{ 不发生} \\ 1, & \text{如果变迁 } i \text{ 发生} \end{cases}$$

变迁发射条件列向量 $Y(i)$, 其中

$$Y(i) = \begin{cases} 0, & \text{如果变迁 } i \text{ 发射条件成立} \\ 1, & \text{如果变迁 } i \text{ 发射条件不成立} \end{cases}$$

设 Petri 网的初始标识状态为 $N_0(m)$, 则有

$$X = \overline{E^T N_0}, \quad (1)$$

定义 n 列向量

$$P = X \cap Y \quad (2)$$

$$\text{式(2)中 } P(i) = \begin{cases} 0, & \text{如果变迁 } i \text{ 不能发射} \\ 1, & \text{如果变迁 } i \text{ 可以发射。} \end{cases}$$

网络中可发射的变迁发射之后网络新的标识状态 N' 可用下式计算:

$$N' = N_0 \cap \overline{EP} + DP \quad (3)$$

式(1)、式(2)和式(3)中的加、乘、与分别为逻辑加、逻辑乘和逻辑与。

2 Petri 网建模方法研究

Petri 网系统的目的是研究系统中组织的机构和动态的行为, 并且在系统中关注每一种变化与变化之间的相关关系, 在此主要关注的不是物理变化和化学变化, 而是对发生改变的条件将会对整体系统发生什么样的影响^[6]。Petri 网的想法可以将它比喻为经典的 if 和 then 之间产生式规则, 那么就是规则的前提与规则结果的表达方式。可以将利用 Petri 网络中的输入位置来代表前提, 将输出位置表示为结论, 这样就可以形成这种产生式规则。如果输入的信息是和原命题相互吻合的, 那么就可以通过模型中一个命令来表示, 并且将命令送到相应的位置。推导出一个相应的结果就等同于利用 Petri 网络, 将实际存在的情况或者信息转化为网络的初始标识状态, 经过相关的变迁发射将命令到它之后的位置得到一条新的网络标识状态, 与此命题有关的 Petri 网模型最终送出命令就是此命题的结果^[7]。

Petri 网模型方法, 是通过规则中前提-规则的

结论的观点对系统的机构和系统行为进行解释和分析,将实际情况抽象化时,还保证了模型与实际对象在逻辑上一致性,这也是这种建模方法为什么可以被广泛地应用到各类系统建模中的主要原因^[8]。

3 Petri 网的电动机故障分析建模

只有在非常庞大的数据和经验方面的累积,才可以完整地建立起一套覆盖全部电动机类型的故障种类和相关征兆的数据库平台,这样才可以将本文所说的通过 Petri 网理论建立起的电动机故障诊断模型完美地应用起来,使得此系统具有实用性和适用性。通过对相关文献的收集和分析,总结出了如表 1 所示电动机常见故障及其征兆表。

在这张表格的基础之上,对 Petri 网建模的相关方法建立了电动机故障诊断 Petri 网模型,如图 2 所示。在此说明,随着今后对于电动机故障方面经验不断地累积和创新,在此建立的这种模型可以很方便地对其进行修改。

表 1 电动机常见故障及其征兆

故障类型	故障征兆						
	定子绝缘电阻	定子电流	绝缘分解	三相阻抗	振动	噪音	通电
定子铁心绝缘损坏	正常	正常	有	正常	正常	大	正常
定子绕组绝缘故障	小	正常	正常	正常	小	正常	正常
定子绕组匝间短路	正常	不对称	正常	正常	正常	正常	正常
转子轴承故障	正常	正常	正常	正常	正常	大	正常
转子绕组接地	正常	正常	正常	正常	正常	正常	有
转子绕组匝间短路	正常	脉动	有	不平衡	正常	正常	正常
鼠笼断裂或开焊	正常	脉动	正常	正常	正常	大	正常

在此主要解释下 Petri 网模型,它用 15 个位置来表示故障的征兆和故障的类型,并且命令的有无代表这是否存在相关的故障征兆或者是用来判断是否属于这类故障;而其中的 7 个变迁则表示一种对应关系,即故障征兆和故障类型的关系。

该模型的输出矩阵 $D(m, n)$ 和输入矩阵, $E(m, n)$ 分别为

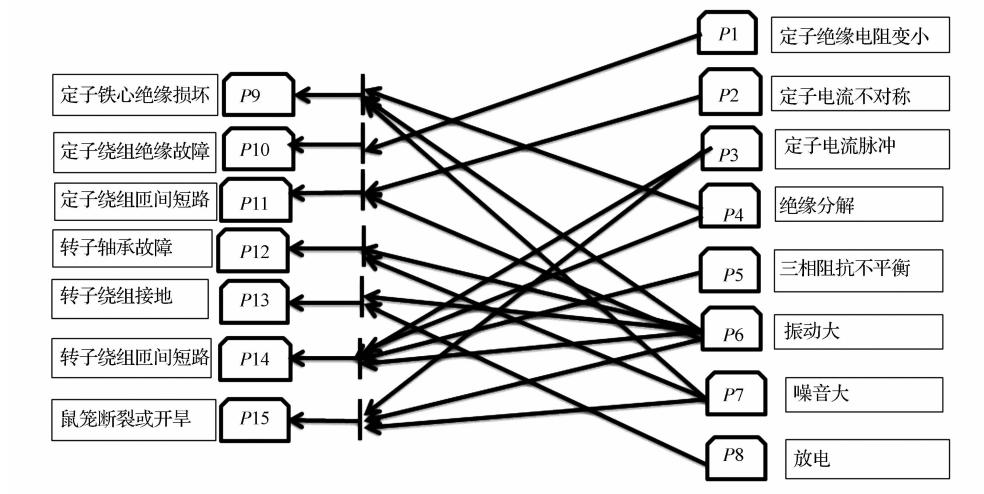


图 2 电动机故障诊断 Petri 网模型

$$D(15,7) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$E(15,7) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

这类模型相对其他比较容易,变迁的发射不受外界逻辑的干扰,变迁发生,那么发射就可以完成,所以在此要设出变迁发射条件列向量 $R(n) = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]^T$ 。

通过以上矩阵,可以通过将电动机故障征兆对应的初始标识状态 $N_0(m)$,结合式(1)、式(2)和式(3)的计算,最终得到新的标识状态 $N'(m)$,如果矩阵中有数字为 1,这说明 $N'(m)$ 中与故障类型相关的位置存在命令,就是说存在这种故障类型的故

障,这就对电动机故障诊断的工作顺利的完成了。

4 算例

算例 1 有一个工厂有一台电动机,功率为 2.5 kW,在检修时检查出两相之间的绝缘电阻只有 0.1 MΩ,并且各相对地(机座)绝缘电阻都为(0.1 ~ 0.2) MΩ,但是没有发生其他不正常情况。

诊断 故障的征兆为定子绝缘电阻变小,可得初始标识状态为 $N_0(m) = [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$,经计算膨 $N'(m) = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$,诊断为定子绕组绝缘故障。实际情况为电动机轴承润滑油甩出后,粘在定子绕组上,形成油泥,长时间腐蚀绕组和相间绝缘,使绝缘纸老化,造成定子绝缘电阻降低。属定子绕组绝缘故障。

算例 2 有一台信号为 J2108 型对开单色胶印机的主电机(JZT51—4,7.5 kW 电磁调速异步电动机),在运行时发生振动和响声不正常。

诊断 故障征兆为振动和噪声大,可得初始标识状态为 $N(m) = [0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$,经计算 $N'(m) = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0]^T$,诊断为转子轴承故障。将电机拆开检查,发现轴承有不同程度的磨损。属转子轴承故障。

算例 3 某一个电厂有一台风机振动不正常,并且发现有异味,定子电流来回摆动,经测量三相阻抗不平衡。

诊断 故障征兆为振动大,绝缘分解,定子电流脉动,三相电阻不平衡,可得初始标识状态为 $N_0(m) = [0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$,经计算 $N'_0(m) = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1]^T$,诊断为转子绕组匝间短路。实际情况为转子绕组匝间短路。

5 结论

首先对 Petri 网理论概念进行了基本的介绍,然后描述了 Petri 网中的矩阵描述方法和一般的 Petri 网建模方法,建立出一种可以诊断电动机故障的 Petri 网模型,因此提供了一种可以在短时间内有效为电动机故障的离线诊断的工具。和传统的人工智能诊断方法相比,方法简单,诊断具有实效性,精确度高等优点。最后通过对实际案例的分析和验

证,证明了模型的有效性。与传统的电动机故障诊断人工智能方法相比,具有简单直观,诊断速度快,准确度高的优点。最后用搜集到的实例对模型的有效性进行了验证。随着今后对于电动机故障方面经验不断的累积和创新,在此建立的这种模型可以很方便地对其进行修改。

参 考 文 献

- 1 Donnel P O'l. Report of large motor reliability survey of industrial and commercial installation, part one and part two. IEEE committee Report, IEEE Trans on Industry Application, 1985;21(4):853—872
- 2 Donnell P O'. Report of large motor reliability survey of industrial and commercial installation, part Three. IEEE committee Report, IEEE

Trans on Industry Application, 1987;23(1):153—158

- 3 王家军,马国进. 基于 Petri 模糊神经网络磁通观测器的感应电动机无速度传感器控制. 控制理论与应用, 2010; 27 (9): 1195—1200
- 4 赵洪山,米增强,杨奇逊. 基于冗余嵌入 Petri 网技术的变电站故障诊断. 电力系统自动化,2002;26(4):32—35
- 5 牛同训,周 利. 基于 Petri 网模型的牵引电动机可靠性定量分析. 机车电传动,2010;(6): 31—34
- 6 孙 静,秦世引,宋永华. 一种基于 Petri 网和概率信息的电力系统故障诊断方法 ,电力系统自动化,2003;27(13):10—14
- 7 王建元,纪延超. 模糊 Petri 网络知识表示方法及其在变压器故障诊断中的应用 . 中国电机工程学报,2003;23(01):121—125
- 8 沈标正. 电机故障诊断技术 . 北京:机械工业出版社, 1996: 210—212

New Petri Net Motor Fault Rapid Processing Method and Application

ZHANG Hong-bin

(Electron Engineering Professor of Chongqing Institute, Chongqing 401331, P. R. China)

[Abstract] China motor protection technology is backward, for the early diagnosis of motor failure, a motor fault diagnosis Petri net model is proposed. The model based on the general motor failures and external signs, just through simple matrix operations the purpose of rapid analysis and detection of motor faults can be achieved. Than conventional motor fault detection method has the advantages of easy, fast and precise aspects, and finally proved that the method is indeed feasible.

[Key words] rapid analysis motor fault Petri net modeling