

文章编号:1000-582X(2002)12-0049-06

运载火箭控制系统漏电故障诊断问题求解^{*}

曾雪红¹, 樊友平¹, 韩荣军¹, 黄席樾¹, 唐贤明^{1,2}, 毛万标²

(1. 重庆大学自动化学院, 重庆 400044; 2. 西昌卫星发射中心, 四川 西昌 615000)

摘要:从系统的角度分析了运载火箭控制系统漏电故障诊断的特殊性,提出了故障也是系统要素之间的一种联系方式,通过建立部件、征兆、观测和故障等基本概念,用图中的节点代表部件,边代表部件之间的故障传播关系,把系统模型化为图。在此基础上,根据信息论的原理给出了诊断算法的设计原则(对分原则)。通过分析实际操作的可行性和熵函数的特点,采用部件权值代替部件熵的方法,给出了基于图论模型的诊断问题求解方法。

关键词:运载火箭; 漏电故障; 结构与行为模型

中图分类号: V554; R446

文献标识码: A

运载火箭控制系统的供电采用直流浮地方式,其供电母线和运载火箭及设备仪器壳体之间是绝缘的,当母线和壳之间绝缘电阻下降时,便产生一条从正母线经过壳体回到负母线的电流通路,这种现象称为漏电。控制系统的某个部件发生漏电故障后,就会通过电路传播到系统的每个部件,而且漏电故障诊断的手段比较特殊(不可能在控制系统内部添加传感器),控制系统的漏电检测通常是将系统的部件分离后通过接在发控台上的漏电表来进行逐个排查的。这种方法不仅繁琐而且检测缓慢。

笔者根据漏电检测诊断的特点,建立了漏电故障诊断问题的图论模型,分析了信息论在故障诊断中的应用,并且根据前面的分析结果,设计针对漏电故障的诊断算法,实现漏电故障的快速定位。

1 设备故障问题的图论模型

从系统工程的观点看,被诊断的设备被称为系统,因为设备由若干相互联系的零部件按某种特定方式组成,并且具有一定的功能和特征:目的性、集合性、相关性、阶层性、整体性和环境适应性^[1]。系统的集合性表明:系统是由两个或两个以上的可以相互区分的要素所组成,用数学公式表述为:

$$U = \{u_i \mid u_i \in U, i = 1, 2, \dots, n, n \geq 2\} \quad (1)$$

其中 u_i 是系统的组成要素或单元。集合性确定了系统组成要素,但只有组成要素而要素之间没有相关关系,还不能构成系统。系统的相关性说明了系统内各要素之间的相互关系。设 $u_i \in U_i \subset U, u_j \in U_j \subset U$, 则其相关关系 R 可以表述为:

$$u_i R u_j, u_j R u_i \quad (2)$$

因此,系统 S 可表述为:

$$S = \{U \mid R\} \quad (3)$$

式(3)表明,系统 S 是以具有关系 R 的集合 U 来表征的。在故障诊断领域, R 用来表征要素或元件之间的故障影响关系,即故障的传播性。

从上面的分析可知,如果用节点表示系统的各个要素,用边表示各要素之间的故障影响关系,一个被诊断系统就可以用一个图来表示,称之为该系统的基于元件的故障关系传播图。但是,它与故障树等基于故障的故障关系传播图是不同的,前者的节点是元件,后者的节点是故障。

从理论上说,任何一个被诊断系统都可以模型化为系统要素及要素之间的故障传播关系图。但是由于实际系统要素及其关系之间的复杂性,不是所有系统都可以轻易的表示为图形,在实际应用中要从故障诊断的要求出发,并不要求对元件进行很详细的物理描述,而是通过分析多个元件之间的相互连接来模拟系

• 收稿日期:2002-09-10

基金项目:国防预研基金资助项目(2001281);教育部高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(99061116)

作者简介:曾雪红(1977-),男,江苏丹阳人,重庆大学硕士研究生,主要研究方向为智能控制与知识工程、复杂控制系统的智能故障诊断。

统中的故障传播关系,以达到诊断故障的目的^[2-3]。

定义1 系统中有明确输入输出行为的组成单元称为部件。

定义2 在部件的输入端和输出端进行地确定系统行为的测量称为观测。

定义3 部件的实际观测与其预期输出不相符合的行为称为该部件的征兆。

定义4 一个部件在一次观测中有征兆存在,称该部件是故障的。

定义5 如果部件A的故障能导致部件B也出现故障,称部件A到部件B之间存在着故障传播关系,用 R_f 表示。

定义6 如果用节点 v 表示部件,用连接2个节点的边 e 来表征部件间存在的故障传播关系,则图 $G = (V, E)$ 称为系统对应的故障传播关系图论模型,其中 $v \in V, e \in E$ 分别代表系统中所有的部件和故障传播关系。

由于故障传播关系既可以是单向的,也可以是双向的,所以在故障传播关系图中,单向故障传播关系用有向边表示(图1(a)),双向故障传播关系可以使用2条有向边来表示,也可用无向边来表示(图1(b))。

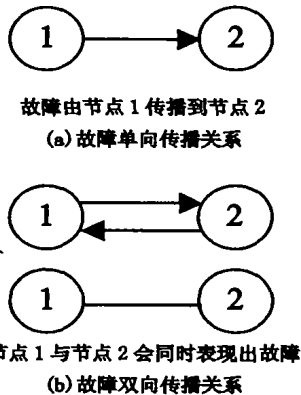


图1 故障传播关系示意图

故障关系传播图还有一些基本假设。

假设1 故障传播关系具有传递性。

传递性是指:若 $v_i, v_j, v_k \in V$ 并且存在 $v_i R_f v_j$ 和 $v_j R_f v_k$,则必有 $v_i R_f v_k$ 。

这是故障传播关系的逻辑基础。故障传播关系具有传递性表明:图中某一节点的故障可以迅速传播到图中与它有传播关系的其他节点上去。这与实际情况是相符合的,在实际系统中往往一个原发故障会引起一大片其他正常的部件具有征兆,因而也表现出故障。漏电故障可以通过电路导线将故障传播到整个系统,使系统的所有部件都表现为故障,这是漏电故障与其他故障相比最大的特点,也是造成漏电故障没有特效

诊断方法的原因。

假设2 部件故障诊断意义的输出为二值逻辑。任何一个部件都只有2种状态,要么是正常部件,要么是异常部件。

假设3 部件多个故障诊断意义的输入与它的故障诊断意义的输出是“或”逻辑。

在故障关系图中,一个节点与多条指向它的边相连,只要有一条边传递来了故障,该节点就表现为故障,部件正常当且仅当所有指向它的边都没有传递故障。所有以该部件为起点的边,当部件发生故障时,都会向各条边的终点节点传播故障。

2 基于图论模型的诊断问题求解

一个具体系统采用基于图论模型的方法进行诊断的过程如图2所示。

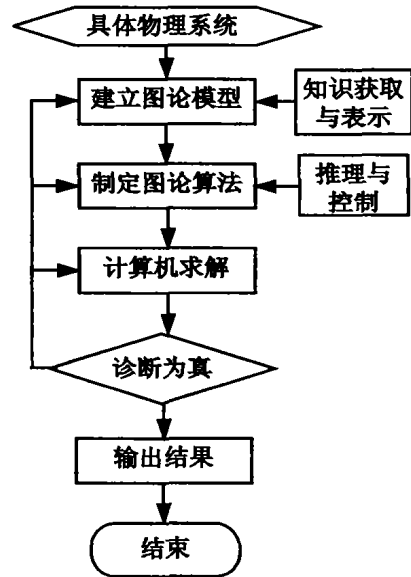


图2 基于图论模型的诊断过程

图2表明了对一个具体问题的求解过程。其中关键一步是构造图论模型,即通常意义下的获取知识和表示知识。制定图论算法要求用有效的方法尽量减少测试的时间和诊断时间。如果诊断解不符合要求,则根据情况回溯到建立模型阶段,制定算法阶段或求解阶段进行修改,如此反复循环,直至诊断求出为止。

知识的获取问题一直是基于知识系统的瓶颈问题。基于系统结构与行为模型的诊断利用的是系统的深知识,即系统行为和结构方面的知识。深知识的来源主要是系统的设计知识,即用一系列机械图、电路图、设计准则及微分方程等形式描述的知识。深知识主要包括:系统结构知识、部件行为知识和其他诊断相关知识^[4-5]。

2.1 系统结构知识

系统结构知识就是系统的拓扑结构,即各个部件的相互连接关系。从系统的故障传播关系图可以得到对部件之间故障逻辑关系的直观理解。但当系统中的部件数目很大时,用图的方式表示结构就显得过于复杂,而且图形也不能进行计算和处理。通常是采用矩阵的方式来描述系统的结构,最常用的一种称为邻接矩阵(Adjacency Matrix)^[6]。

2.2 部件行为知识

行为知识是描述一个部件的功能上输入和输出之间的关系,即关于部件如何正常工作的知识。

2.3 其它诊断相关知识

诊断中要用的知识还有部件的故障率、故障传播时间等。部件的故障率是指系统中部件发生故障的概率,这是一种长期积累的历史经验,它是引导诊断过程的重要依据。故障传播时间通常在大的、有时滞的非电类系统中运用。供电系统中的故障传播时间是无法计算的,而且对于诊断毫无帮助。

系统的设计知识应该是完备的,因为这是系统运行的基础。但这些知识并不能直接应用于诊断,因此必须建立一套规范化的方法来将设计知识转化为诊断可用的形式。

具体来说,将设计知识转化为系统诊断知识主要有以下几个步骤:

- 1) 获取各种形式的设计知识,并且与设计人员交互,以加深对系统设计知识的理解。
- 2) 确定系统边界和部件边界。系统的边界确定了诊断的范围。部件边界指在诊断意义下对系统中的要素重新组合,使之成为可诊断部件。所确定的部件应该是可诊断的,并且符合诊断粒度的要求。诊断粒度是与需要的信息量成反比的,粒度越小,诊断所需要的信息量越大,花费的代价自然就大,反之亦然。对电路系统,通常是需诊断到元件级。
- 3) 获取每个部件的行为模型。
- 4) 不断重复对部件进行仿真或测试,直到模型达到诊断要求的精度范围。

3 漏电诊断算法的设计和分析^[7-8]

漏电故障会通过电路传播到系统的每个部件,系统的可达矩阵是全 1 矩阵。而且获取漏电故障诊断数据的手段比较特殊,通常是将系统的部件分离后进行测量以获取数据,这种特性决定对它只能采用序贯诊断方式。

设漏电系统的每个部件有 2 个不相容的随机状

态:正常或漏电。设正常状态为 1,漏电状态为 0。部件 U_i 的熵为:

$$H(U_i) = -P(0)\log_2(P(0)) - P(1)\log_2(P(1)) \quad (4)$$

系统 S 由 n 个部件构成。从火箭漏电故障产生的原因可知,系统中各个部件发生漏电故障是相互独立的,则系统的熵是各个部件熵之和,系统的熵为:

$$H(S) = \sum_{i=1}^n H(U_i) \quad (5)$$

根据信息论的原理,如果每次诊断所获得的信息量为原系统熵的 1/2 时,那么这样进行诊断的平均诊断步骤是最少的,这就是工程上常用的“对分法”。所以在对整个系统进行分割测量时,指导原则是将整个系统分为熵相等的两部分,任取一个子系统进行测量。如果该子系统漏电,则可将另一子系统排除。如果不漏电,则知漏电故障发生于另一子系统。

但在实际的算法中,却没有直接利用熵来进行计算,而是根据部件发生漏电故障的经验概率大小,赋予各个部件相应的权重,系统的权重则是组成它的部件权重之和。在对系统进行分割时,要求分割后的 2 个子系统的权重应该基本相等。这样处理的理由是:

1) 在实际系统中,各个部件发生漏电故障的概率是无法精确获知的,而人们对各个部件发生漏电故障的概率通常有一种对比层次的认知,例如人们常说部件 A 几乎不发生故障,部件 B 偶尔发生故障,而部件 C 常常发生故障。因此用权重来表达部件发生漏电故障的层次上的对比。

2) 部件的熵函数

$$h(w) = -w\log_2 w - (1-w)\log_2(1-w) \quad (6)$$

$$0 \leq w \leq 1$$

当 $w = 0.5$ 时函数 $h(w)$ 取得最大值, $0 \leq w \leq 0.5$ 时函数是单调上升的, $1 \geq w \geq 0.5$ 时函数是单调下降的。对于运载火箭这样的航天器,其部件的可靠性是非常高的,通常部件的故障发生率会低于 5%。所以运载火箭的部件故障概率会分布在 $0 \leq w \leq 0.5$ 内,在这个范围内,函数单调上升,也就是随着部件故障概率的提高,部件的熵会提高,这与根据部件故障概率的大小来设定权值是一致的。

3.1 基于深度优先搜索的算法

基于深度优先搜索漏电故障诊断算法的基本原理是:利用深度优先搜索访问图中节点,并计算访问过的节点的权值和,当该权值和为图的权值和的 1/2 时,则提示检测人员将访问过的节点与其它节点断开并进行测试,如果检测发现有漏电,则可以认为故障节点在访

问过的节点之中,否则在未访问过的节点中,在排除正常节点的基础上进行下一轮的检测。另外,对于排除了漏电嫌疑的节点,在计算图的权值时应不再考虑这些节点的权值,即当确定节点是 v 正常时,权值 $WEIGHT(v)$ 为0。该算法一次只能诊断出一个节点漏电故障。

尽管可以针对各种特殊情况对算法的细节修改,从而达到优化算法的目的,但该算法在指导实际诊断时,却显得较为“笨拙”。因为算法提供的测试节点集中的节点并不一定是直接联系在一起的,而漏电故障诊断要求它们为一个整体进行测量,在大型系统中,有时寻找这样的桥梁并不容易。因此又设计了基于路集的诊断算法。

3.2 基于最小路集的诊断算法

基于最小路集的诊断算法主要是解决测试节点集中的节点没有直接联系的问题。它与基于深度优先搜索的算法有很大的不同。系统的漏电故障传播关系图是连通的,漏电故障能在整个系统里传播。同时发现在故障关系传播图中有很多边是冗余的,也就是去掉这些边后,漏电故障仍可以在图中传播,而不影响系统对外所表现的关于漏电故障方面的性质。图的支撑树(以下简称树)是具有最少边的连通子图^[3],树的边数为 $|V|-1$ 。由于树的漏电故障的可达矩阵也是全1矩阵,因此可用图的树来替代图。在树中,如果任取一个节点为根节点,那么那些只有一条边相连的节点就是叶节点。从根节点 r 到叶节点 l 的不重复的节点序列 $\{rv_1v_2\cdots v_kl\}$ 为最小路,树中所有最小路的集合为最小路的集。可以发现任何2条最小路之间至少有一个共同节点,那就是根节点。在诊断的过程中,刚开始时以最小路为诊断单元,那么待诊断的最小路之间是可以保证直接连接的,当定位故障于某条最小路后,根据最小路中节点的顺序来选择待诊断的节点集,那么这样的待诊断节点集可以保证是直接连接的。这就是基于最小路集诊断算法的基本原理。

在获得了图的支撑树后,首先要确定树的叶节点。叶节点只与一边相连接,在树的节点序列对中只出现一次。另外,根节点有可能也在节点序列对中仅出现一次,对节点序列对搜索是不应该包括根节点。介绍该算法之前,先定义几个符号:对每个节点 v ,引入标记 $COUNT(v)$,用来表示节点 v 在树中出现次数;对每个节点序列对 (v,w) ,引入标记 $MARK(v,w)$,其值为0或1,用以表示该节点序列对是否被访问过,开始时每个节点序列对的 $MARK(v,w)=0$,表示它们未被访问过,无论何时,节点序列对一旦被访问过则 $MARK(v,$

$w)=1$ 。该算法如下:

输入 树和根节点 r 。

输出 叶节点集 L 。

1) 对于每个节点 v , $COUNT(v)\leftarrow 0$,树 T 中的每个节点序列对 (v,w) , $MARK(v,w)\leftarrow 0$, $L\leftarrow \varphi$ 。

2) 如果 T 中的所有节点序列对的 $MARK$ 值为1,则转到(4);否则转到(3)。

3) 从 T 中取出一个未被访问节点序列对 (v,w) , $MARK(v,w)\leftarrow 1$, $COUNT(v)\leftarrow COUNT(v)+1$, $COUNT(w)\leftarrow COUNT(w)+1$,转到(2)。

4) 遍历树中的每个节点 v ,如果 $COUNT(v)$ 的值为1,并且 v 不等于 r ,则 $L\leftarrow L\cup\{v\}$ 。

5) 结束。

取得图中的叶节点后,下一步就是求树的最小路集。求最小路集的方法也有多种,搜索法是其中简单明了的方法。它有2种方式,一种是以根节点为起点,一步步走向叶节点;另一种是以叶节点为起点,一步步走向根节点。笔者采用了后者,该算法如下:

输入 树 T 和根节点 r ,叶节点集 L 。

输出 最小路集 P 。

1) L 的每个节点 v , $MARK(v)\leftarrow 0$, $P\leftarrow \varphi$,队列 Q 为空。

2) 如果 L 中的每个节点的 $MARK$ 值为1,则转到(5);否则取出一个未被访问的叶节点 v , $MARK(v)\leftarrow 1$, v 加入 Q 。

3) 如果 v 不等于 r ,则转到(4);否则, $P\leftarrow P\cup\{Q\}$,然后清空 Q ,转到(2)。

4) 搜索 T 中的节点序列对,选出节点序列对 (u,v) , u 加入 Q , $v\leftarrow u$,转到(3)。

5) 结束。

最小路是用节点序列表示的,在数据结构的实现上采用了队列结构。有了最小路集,即可对图进行漏电故障诊断。介绍该算法之前,先定义几个符号:对每条最小路 p ,引入标记 $MARK(p)$,其值为0或1,用以表示该最小路是否被访问过,开始时每条最小路的 $MARK(p)=0$,表示它们未被访问过,无论何时,最小路一旦被访问过则 $MARK(p)=1$;对每条最小路 p ,引入标记 $CHECK(p)$,其值为0或1,用以表示该最小路是否有故障的可能,当为0时,表示最小路 p 有可能是故障的,即最小路 p 可能包含故障节点,当为1时,表示最小路 p 的所有节点都是正常的。开始时每个最小路 p 的 $CHECK(p)=0$,表示它们都有可能是故障的; $WEIGHT(p)$ 是最小路 p 的权值,最小路的权值是最小路的节点权值之和,注意,如果最小路中有节点的

CHECK 值为 1,则在计算最小路的权值时不会累加该节点的权值; T 、 E 均为最小路集。漏电故障的诊断算法:

输入 最小路集 P 和最小路集 P 的权值和 W 。

输出 故障节点 v 。

1) 图 P 中的对于每个节点 v , $CHECK(v) \leftarrow 0$, P 中每条最小路 p , $CHECK(p) \leftarrow 0$, 同时 $T \leftarrow \varphi$, $E \leftarrow P$, $w \leftarrow 0$ 。

2) 从 E 中任选出一条最小路 p 。

3) $m \leftarrow w + WEIGHT(p)$, 如果 $m \leq W/2$, 则转到 4); 否则转到 5)。

4) $w \leftarrow m$, $T \leftarrow T \cup \{p\}$, $E \leftarrow E - \{p\}$, 转到 2)。

5) 如果 T 为空集, 则 $w \leftarrow m$, $T \leftarrow T \cup \{p\}$, $E \leftarrow E - \{p\}$, 然后输出提示要求测量人员对 T 进行测量。

6) 如果 T 的最小路集是漏电的, 首先 E 中所有最小路的 CHECK 值为 1, 然后有 $E \leftarrow T$, $T \leftarrow \varphi$; 否则先令 T 中所有最小路的 CHECK 值为 1, 然后 $T \leftarrow \varphi$ 。然后 $W \leftarrow W - w$, $w \leftarrow 0$ 。

7) 如果 E 只有一条最小路, 则转到 8); 否则转到 2)。

8) 从 E 中取出唯一的最小路 p , 对列 q 为空。

9) 从 p 的尾部取出节点 v 。

10) 如果节点 v 的 CHECK 值为 1, 将 v 加入 q , 从 p 删除 v , 则转到 (9); 否则转到 11)。

11) $m \leftarrow w + WEIGHT(v)$, 如果 $m \leq W/2$, 则转到 12); 否则转到 13)。

12) $w \leftarrow m$, 将 v 加入 q , 从 p 中删除 v , 转到 9)。

13) 如果 q 为空, 将 v 加入 q , 从 p 中删除 v , 然后输出提示, 要求测量人员对 q 进行测量。

14) 如果 q 漏电, 首先 p 中所有节点的 CHECK 值为 1, 然后有 $p \leftarrow q$, q 清空; 否则先令 q 中所有节点的 CHECK 值为 1, 然后 q 清空。

15) 遍历 p 中节点, 如果 p 只有一个节点 v 的 CHECK 值为 0, 则转到 16); 否则 $W \leftarrow W - w$, $w \leftarrow 0$, 转到 9)。

16) 节点 v 为故障节点, 诊断结束。

在最小路集中, 最小路没有排序, 选取最小路是任意的。但在实际测量中, 如果待测的最小路集中的最小路之间具有较多公共点, 那么在诊断时需要断开的电路就会少一些, 所以在选择最小路时, 应该遵循以下原则: 开始时任选一条最小路 p_1 , 接下来选的最小路 p_2 应该是与 p_1 有共同节点最多的最小路, 再接下来选的最小路 p_3 应该是与 p_2 有共同节点最多的最小路, 以此类推。

改良算法如下:

输入 最小路集 P 和最小路集 P 的权值和 W 。

输出 故障节点 v 。

1) 最小路集 P 中的对于每个节点 v , $CHECK(v) \leftarrow 0$, P 中每条最小路 p , $CHECK(p) \leftarrow 0$, 同时 $T \leftarrow \varphi$, $E \leftarrow P$, $w \leftarrow 0$, 令队列 o 为空。

2) 从 E 中选出与队列 o 有最多公共节点的最小路 p 。

3) $m \leftarrow w + WEIGHT(p)$, 如果 $m \leq W/2$, 则转到 4); 否则转到 5)。

4) $w \leftarrow m$, $T \leftarrow T \cup \{p\}$, $E \leftarrow E - \{p\}$, 令 $o \leftarrow p$, 转到 2)。

5) 如果 T 为空集, 则 $w \leftarrow m$, $T \leftarrow T \cup \{p\}$, $E \leftarrow E - \{p\}$, 然后输出提示要求测量人员对 T 进行测量。

6) 如果 T 的最小路集是漏电的, 首先 E 中所有最小路的 CHECK 值为 1, 然后有 $E \leftarrow T$, $T \leftarrow \varphi$; 否则先令 T 中所有最小路的 CHECK 值为 1, 然后 $T \leftarrow \varphi$ 。然后 $W \leftarrow W - w$, $w \leftarrow 0$ 。

7) 如果 E 只有一条最小路, 则转到 8); 否则令队列 q 为空, 转到 2)。

8) 从 E 中取出唯一的最小路 p , $w \leftarrow 0$, 对列 q 为空。

9) 从 p 的尾部取出节点 v 。

10) 如果节点 v 的 CHECK 值为 1, 将 v 加入 q , 从 p 中删除 v , 则转到 9); 否则转到 11)。

11) $m \leftarrow w + WEIGHT(v)$, 如果 $m \leq W/2$, 则转到 12); 否则转到 13)。

12) $w \leftarrow m$, 将 v 加入 q , 从 p 中删除 v , 转到 9)。

13) 如果 q 为空, 将 v 加入 q , 从 p 中删除 v , 然后输出提示, 要求测量人员对 q 进行测量。

14) 如果 q 漏电, 首先 p 中所有节点的 CHECK 值为 1, 然后有 $p \leftarrow q$, q 清空; 否则先令 q 中所有节点的 CHECK 值为 1, 然后 q 清空。

15) 遍历 p 中节点, 如果 p 只有一个节点 v 的 CHECK 值为 0, 则转到 16); 否则 $W \leftarrow W - w$, $w \leftarrow 0$, 转到 9)。

16) 节点 v 为故障节点, 诊断结束。

4 漏电故障诊断实例与结论

以电源 I 负母线等效网络图(图 3) 为例作了模拟故障测试。图中节点表示组成系统的一个元件或部件, 连线表示漏电故障在相邻节点之间的传播。如果某一节点出现漏电故障后, 测试与之相邻的所有节点时将出现漏电故障征兆。该典型故障诊断系统在逻辑上是与运载火箭控制系统情况相符的。实际中, 某一元件或装置发生漏电故障后, 将传播至全网络, 影响与之相接的其他元件的正常工作。

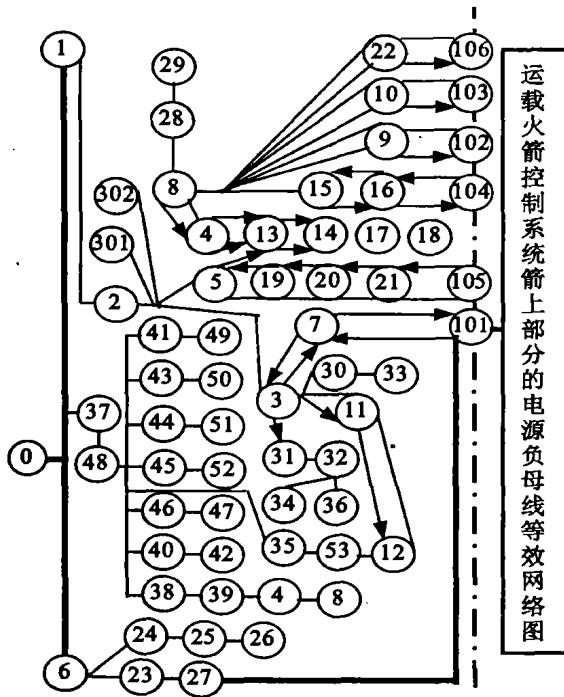


图 3 电源 I 负母线等效网络图

漏电故障诊断的基本步骤如下:

- 1) 读入控制系统的逻辑连接关系即生成控制系统的网络图;
- 2) 生成故障树;
- 3) 分割故障树;
- 4) 子网络优化;

5) 测点优化选择, 由计算机自动形式故障诊断的优化模型的目标函数;

6) 求解目标函数, 直到得到满意解。

在假定各节点发生故障的概率相同或不同情况下的测试诊断结果充分证实了上述的正确性。电源 I 负母线故障诊断的模拟测试结果表明, 该方法能够有效地用于火箭控制系统漏电故障的诊断, 诊断效率大大提高。

参考文献:

- [1] 夏绍玮. 系统工程概论[M]. 北京: 清华大学出版社, 1994.
- [2] JOSEPH W, LIU H. A Graph Partitioning Algorithm by Noode Separators[J]. ACM Transactions on Mathematical Software, 1989, 15(3): 198 - 219.
- [3] KOKAWA M. Fault Location Using Diagraph and Inverse Direction Search With Application[J]. Automat ica, 1983, 19(2): 729 - 735.
- [4] LIN K Y, YANG Z. Using Structure Information to Guide Diagnosis[J]. Transactions of Tianjing University, 1997, 3(1): 48 - 53.
- [5] DAVIS R. Diagnostic Reasoning Based on Structure and Behavior [J]. Artificial Intelligence, 1984, 24(2): 347 - 410.
- [6] 王树禾. 图论及其算法[M]. 合肥: 中国科技大学出版社, 1990.
- [7] REITER R. A Theory of Diagnosis from First Principles[J]. Artificial Intelligence, 1987, 32(1): 57 - 95.
- [8] 杨叔子, 丁洪. 基于知识的诊断推理[M]. 北京: 清华大学出版社, 1993.

Leak Current Fault Diagnosis Problem - Solving in Launch Vehicle Controlling System

ZENG Xue-hong¹, FAN You-ping¹, HAN Rong-jun¹,
HUANG Xi-yue¹, TANG Xian-ming^{1,2}, MAO Wan-biao²

(1. Automation College, Chongqing University, Chongqing 400044, China;

2. XiChang Satellite Launching Centre, XiChang 615000, China)

Abstract: In point of view of the system, the characteristic of leak current fault diagnosis in launch vehicle controlling system is analyzed. It is presented that the fault is a connecting way for sytem factors. By building some basic concepts such as componts, syptoms, observation and faults, the system model is turned into graph, where nodes represent components and edges represent fault transmission among components. Besides, designing rule, that is, bisection rule for diagnosing algorithm is given based on the information theory. Operating feasibility and entropy function characteristic are analyzed using component trade - off value to substitute component entropy, giving fault problem - solving way based on the drawing model.

Key words: launch vehicle; leak current faultl ; structure and behaviour model

(责任编辑 张 萍)