

① 94(6)

3-7

研究·设计

# 液压系统故障的模糊诊断方法

湛从昌\*

TH137

**A 摘要** 论述了液压系统的模糊性和模糊诊断意义,提出了模糊诊断的基本原则,通过某一液压系统,介绍了在生产现场中方便易行的模糊诊断方法。

**关键词** 液压系统 故障分析 模糊诊断

## 1 引言

液压系统的故障是与正常相对立的一种工况,在生产过程控制系统中,它有以下三种含义:(1)一般性故障。系统虽能运行,但性能明显低于设计水平,效益明显下降;(2)危险性故障。系统输出或状态变量大大偏离期望指标;(3)灾难性故障。系统的重要部位或所有部位均丧失功能,不能工作。

为了能向工作人员提供故障发生、故障位置和故障程度等信息,故障检测诊断系统应具备如下三个功能:

(1) 检测功能 当系统发生故障时,能及时发出警报信号。

(2) 隔离功能 能判定故障原因,确定故障位置,以便迅速去处理故障。

(3) 估计功能 应用各种状态(或参数变化)估计的方法去确定故障大小,为处理故障提供重要依据。故障的检测、隔离和估计都是以测得系统的输入和输出值为依据来进行的,可用结构功能图 1 来表示。

在生产过程中,通过观察、测试仪表检测,首先要判断系统有无故障。如果系统正常工作,没出现异常现象,则不必进行后续工作。若发生故障,就按顺序启动故障隔离和故障程度中有关检测仪表及模块。对系统故障进行定位,同时确定其故障程度,便于对故障进行处理。

## 2 液压系统故障诊断中的模糊性

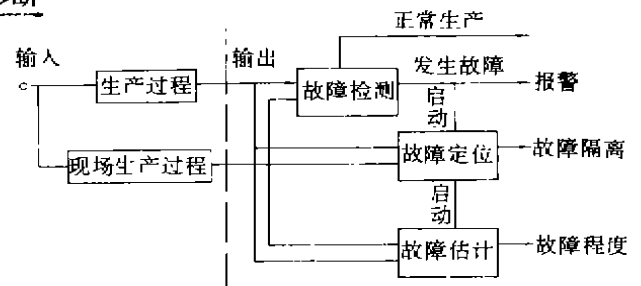


图 1 故障检测结构功能示意图

所谓模糊性,就是自然界、人类社会及一切工程技术中普遍存在的一切不确定性,其主要表现是亦此亦彼,模棱两可。对于液压设备故障而言,模糊现象难判断的故障到处可见。故障的症状,如压力波动严重、系统油温过高、容积效率太低、液压泵温升过高、液压缸爬行、液压马达转速太慢等都是模糊的。

从故障原因的角度来看,如液压元件质量差、液压系统设计不合理、油液不干净、维护保养不良,元件使用时间过长、操作人员素质低等也是模糊的。

液压元件损坏的程度和产生故障所涉及的范围也是模糊的。

液压系统的渐变性故障,其边界是不清晰的,故障发展要经历一个漫长的而且具有模糊性的中间过渡过程。

在液压元件与液压系统的故障诊断中,振动信号分析是一种非常重要的手段。诊断的对象主要是各类液压泵、溢流阀、液压缸、液压马达等。检测的参量主要有元件壳体的振动信号、压力脉动信号等,对振动信号进行分析的方法主要有功率谱法等。在进行谱法

\* 武汉钢铁学院研究生部,430081 湖北武汉

分析时,可根据振动幅值、峰值、频率、位置变化来判断故障。而振动幅值的相对高度变化和振动峰值、频率、位置变化都是模糊的,即它们不仅反映是否存在故障,同时也反映故障程度,故振动信号分析和模糊判别是相容的。

铁谱技术能从液压油中分离并分析出磨粒的相对数量、形态、尺寸大小、分布规律、颜色和成份以至组成元素,根据这些信息能较准确地得到液压设备的磨损部位、磨损形式、磨损程度。因此,铁谱技术也是液压故障诊断的一种重要技术手段。磨粒的有关信息是模糊的,但可以很方便地进行量化。

其他的测试参量则几乎都可以进行模糊化处理。

模糊数学为人工智能提供了很有效的数学工具。将模糊理论引入到液压故障诊断领域有利于更加深入细致地刻画与描述故障的特征,有利于克服故障判断中的非此即彼的绝对性,使推理过程与客观实际更加相符;同时有利于综合考虑各种因素的影响,以至能方便地在繁杂的情形中理出清晰的条理并分清主次轻重;有利于运用人工智能来辅助诊断液压设备的故障。总之,它给液压故障诊断注入了新的活力。

模糊数学的出现为专家系统的深入发展提供了有力的数学基础,一个模糊诊断的系统包括图2所示几个部分,其特点是模糊识别。

### 3 液压系统模糊诊断的基本原则

液压系统故障模糊诊断方法注重事物现象与本质之间的联系,综合考虑各相关因素。在故障诊断过程中,通过各种渠道尽可能地获取信息,并利用模糊数学去调用与处理信息。模糊诊断方法较适合于复杂液压系统的故障诊断,在这些系统中,既有确定性因素,又有随机性因素,各种影响因素相互交错。一般情况下,故障具有渐变与隐蔽的特点。

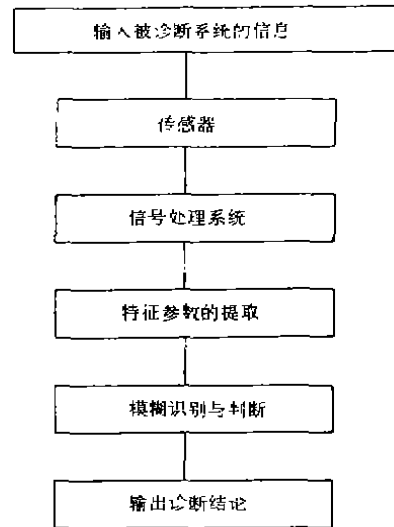


图2 模糊诊断系统

我们在工作实践中体会到,液压系统故障模糊诊断的基本原则是:

1) 分层分段诊断,逐步深入原则 液压系统是由若干个元件和基本回路组成的,需将这些基本单元划成相应的子系统,所以故障诊断分层分段进行是必然的。一种较好的思路是以寻找深层原因为线索,分层分段深入搜索。在寻找故障原因过程中利用模糊方法逐步完成定性、定位与定量。

2) 采用假设与验证相结合原则 利用模糊方法对液压系统出现各种故障症状进行排序和归类,以此为基础,从最可能的故障方向入手,进行深入的分析 and 分层分段测试,以确定故障的存在,这样能实现较高的工作效率。此外,还可以参考对引起故障原因的概率值的大小来假设发生故障原因。

3) 综合评判原则 综合评判(也叫综合决策)是一个模糊变换。在作出任何决策之前,人们总比较不同事物,然后择优录取。任何事物都有多种属性,因此,评价事物也要兼顾各个方面。特别是在生产规划、故障诊断等复杂系统中,要作出任何一个决策都必须对多个相关因素作出综合考虑,这就是综合评判。综合评判的数学模型可分为一级模型和多级模型。

影响液压系统正常工作的因素很多,因素具有交错性、随机性等特点,其交错性表现在多种的原因可能引起相同或类似的症状,一个原因会引起不同的症状,由此形成症状之间和原因之间的重叠;其随机性主要表现在问题的出现是不确定的,难以事先准确预测,因此问题是复杂的。我们利用模糊数学方法较方便地将各种因素纳入评价体系,并使它们得到适当的处理。

4) 获取信息原则 知识的获取是研究如何把“知识”从人类专家脑子中提取和总结出来,并且保证所获取的知识的一致性,它是模糊诊断和专家系统开发中的一道关键工序。液压系统的各个部分是有机的整体,故障产生之后以不同的方式表现出来,我们在进行故障诊断时,应尽量获取现场信息和已总结记载此类故障的信息,尽可能找出特征信息,充分利用这些信息,使问题更加明朗化。液压系统故障具有重叠性,单个参量有时不能说明问题,只有综合考虑各个参量才可能定论。对实际系统来讲往往受到各种随机性因素的影响,单个参量的准确性十分有限,而多个参量可弥补这一不足。从多方面提取信息可使诊断的浓度加大,从而减小诊断的层次;节省时间。此外,这样做还能降低对诊断技术手段的要求。显然,故障参量并不是越多越好,而应根据其与故障的因果关系选取。获取信息的主要原则是:(1)发生故障时出现的症状;(2)引起故障的主要因素;(3)发生故障时必定不可能存在的特征参量;(4)处理过同类故障的成功经验。

5) 通过对外在性能的考证来判断系统内部结构的劣化原则 液压系统性能变化的信息较容易获取,而结构的磨损、锈蚀和破坏等却不太容易获得准确信息,通过拆装液压系统来获取信息也比较麻烦,但性能的变化是由结构变化等诸因素引起的,因此,在进行故障诊断时应注意找到性能变化与结构变化等诸因素的对应关系,并利用这些关系由表

及里地查找问题。在此,还要指出的是,环境因素与考察对象之间的相互影响与相互制约的关系是十分重要的。因此,也应通过对环境因素的考察来推断对象状态的变化。

6) 对比判别确定故障原则 通过对诊断对象与正常工作对象和严重损坏而无法工作的对象进行对比,从中发现其差异,而使问题的分析变得简单。由于用模糊数学方法对故障作了定量描述,当系统发生变化时,其细小的差别也能反映出来。

7) 找出最严重的故障点的原则 液压系统在工作中,渐变型故障较为普遍,因为各液压元件均在磨损劣化,液压油老化而逐步变质,因此,在分析故障原因时,应全面考虑,认真进行考察与比较,并将故障原因进行排序,找出最严重的故障点,以便排除。

#### 4 一种模糊诊断方法

现代控制理论已获得很大成功,但其成功条件是要有精确的数学模型。对许多生产过程来说,要想获得有效、精确的数学模型是很困难甚至是不可能的。从70年代开始,研究用模糊逻辑方法处理过程控制,形成了模糊控制理论。液压系统中误差、误差变化,控制量三者的变化实际上都是确切值而不是模糊集。为了使用模糊算法,必须把误差和误差变化的确切量转化为模糊集,并把控制量变化的模糊集转化为确定量,前一步骤称为模糊化,后一步骤称为判决。若误差、误差变化分别取模糊集  $A$  和  $B$ ,模糊关系  $R$ ,根据模糊推理合成规则,输出控制量变化是模糊集  $U$ ,其表达式为:

$$U = (A \ B) \cdot R$$

近几年来,在液压系统故障诊断中,应用模糊控制理论,取得了较好效果。特别是在模糊综合评判故障排序、液压系统劣化状态与趋势的模糊测评,故障原因模糊聚类等方面开展了探讨,取得了一些进展。现按上述基本原则提出一种模糊诊断方法。

##### 1) 确定考察对象并作故障分析

确定考察对象后,再根据现场发生的故障,分别不同类型予以评定,特别是结合已取得的资料,认真进行综合分析,为确定评价标准提供一定的依据。

2) 建立评价标准

- (1) 确定考察对象的工作内容及范围。
- (2) 找出每种故障可能产生的原因。
- (3) 对各种故障严重程度进行评价并提出模糊评价标准。
- (4) 找出各故障原因的相关信息并给出量化评价标准,同时确定模糊关系密切系数。

(5) 对上述步骤作多次循环,不断深入与细化。

3) 提出判断结论

应用模糊数学进行计算,将计算得出的评价结果与故障原因的标准模型作比较,比值最大者为可能产生故障的部位,从此入手,再进行深入的分解或测试,综合评价结果与测试结果,提出判断结论。

5 液压系统故障模糊诊断实例

现列举一个液压系统为例,对上述方法予以说明。

1) 确定考察对象与建立故障评价标准

(1) 确定考察对象,并对故障进行分析

以某厂 4000g 注塑机的塑化液压传动系统为考察对象。其液压系统原理如图 3 所示。

首先了解该液压系统工作原理并较深入地了解各液压元件的型号、结构、工作原理和作用。然后分析液压系统出现的故障并查找其原因。

(2) 列出有关故障并给出故障严重程度的评价标准

塑化液压马达转速低、回转无力,评价标准为:

|             |    |    |    |    |    |
|-------------|----|----|----|----|----|
| 最高转速(r/min) | 40 | 35 | 30 | 25 | 20 |
| 评价          | 正常 | 较低 | 低  | 很低 | 极低 |

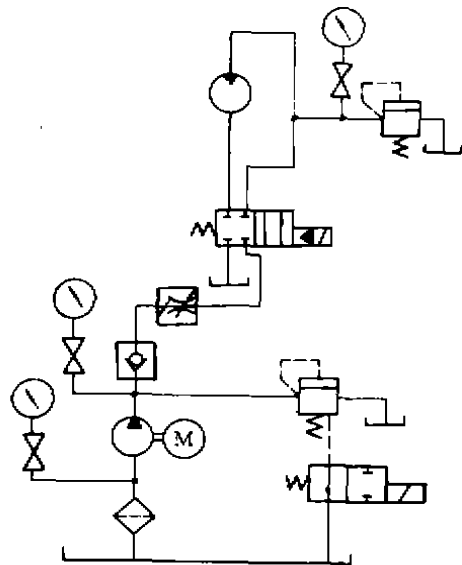


图3 塑化液压传动系统

其故障表现为:

- a. 液压马达磨损。
- b. 调压回路故障。
- c. 液压泵磨损。
- d. 电液阀泄漏严重。

其他元件的故障可用简单的方式辨别。

(3) 给出故障原因成立的相关信息、量化评价标准,以及综合评价模式

如果液压马达损坏将会出现的相关信息(评价标准略)为:

- a. 塑化换向阀打开前后压力指示变化大。
- b. 液压马达的外泄漏量明显增大。
- c. 液压马达的使用期长。
- d. 液压油不清洁。
- e. 液压马达壳体严重发热。

如果主调压回路产生了故障将会出现的相关信息(评价标准略)为:

- a. 系统压力调不高。
- b. 系统压力调节不灵。
- c. 各执行器的速度刚度明显下降。
- d. 调压阀或其他阀使用期长。
- e. 调到最高压力时液压泵振动无变化且外泄漏量也无变化。

如果液压泵磨损将会出现的相关信息与

液压与气动

评价标准为:

a. 各动作尚未开始时系统压力调不高, 评价标准如下(设最高压力  $p_{max}$ ):

|                 |    |      |     |      |    |
|-----------------|----|------|-----|------|----|
| $p_{max}$ (MPa) | 20 | 17.5 | 15  | 12.5 | 10 |
| 评价值 $F_a$       | 0  | 0.25 | 0.5 | 0.75 | 1  |

b. 系统由卸荷状态转为负载状态时吸油压力上升明显(由液压泵内泄漏所致)。评价标准如下(设泵由卸荷状态转为10MPa的负载时,吸油压力上升量为  $p_0$ ):

|             |   |      |     |      |      |
|-------------|---|------|-----|------|------|
| $p_0$ (MPa) | 0 | 0.05 | 0.1 | 0.15 | 0.20 |
| 评价值 $F_b$   | 0 | 0.25 | 0.5 | 0.75 | 1    |

c. 液压泵壳体发热严重,评价标准为(用手触摸泵的端面):

|           |     |     |     |
|-----------|-----|-----|-----|
| 感 觉       | 不烫手 | 烫手  | 很烫手 |
| 评价值 $F_c$ | 0   | 0.5 | 1   |

d. 液压泵使用期,评价标准为:

|           |      |     |      |   |
|-----------|------|-----|------|---|
| 使用期(年)    | 1    | 2   | 3    | 4 |
| 评价值 $F_d$ | 0.25 | 0.5 | 0.75 | 1 |

e. 油脏,评价标准:

|           |    |     |       |
|-----------|----|-----|-------|
| 油状况       | 清洁 | 不清洁 | 看得见颗粒 |
| 评价值 $F_e$ | 0  | 0.5 | 1     |

f. 液压泵外泄漏量,评价标准为:

|           |    |     |      |
|-----------|----|-----|------|
| 泄漏状况      | 微量 | 明显  | 急速外漏 |
| 评价值 $F_f$ | 0  | 0.5 | 1    |

液压泵磨损最严重时的标准评价综合评价模式为:

$$F_{max} = \sum (\text{各重要性系数} \cdot \text{各症状的最高得分})$$

其中重要性系数反映各相关信息与液压泵磨损的关系密切程度,在此,取

$$G_a = 1, G_b = 1, G_c = 0.5, G_d = 0.5, G_e = 0.5, G_f = 1, \text{由此得:}$$

$$\begin{aligned} F_{max} &= G_a \cdot F_{amax} + G_b \cdot F_{bmax} + G_c \cdot F_{cmax} + G_d \cdot F_{dmax} \\ &\quad + G_e \cdot F_{emax} + G_f \cdot F_{fmax} \\ &= 1 + 1 + 0.5 + 0.5 + 0.5 + 1 \\ &= 4.5 \end{aligned}$$

1994年第6期

## 2) 现场诊断

症状: 塑化马达回转无力, 转速缓慢, 最高转速 21 r/min。

评价: 转速极低, 问题很严重。

根据可能原因确定真实原因: 利用上述评价标准进行评价, 液压泵磨损得分最高, 是最可能存在的原因, 有关数据及评价过程如下:

- (1) 系统最高可调压力 10MPa  $\Rightarrow F_a = 1$
  - (2) 有负载时吸油压力上升 0.2MPa  $\Rightarrow F_b = 1$
  - (3) 泵表面有烫手现象  $\Rightarrow F_c = 0.5$
  - (4) 泵使用期为 3 年  $\Rightarrow F_d = 0.75$
  - (5) 油液不清洁  $\Rightarrow F_e = 0.5$
  - (6) 泵泄漏严重  $\Rightarrow F_f = 1$
- $$\begin{aligned} F &= G_a \cdot F_a + G_b \cdot F_b + G_c \cdot F_c + G_d \cdot F_d \\ &\quad + G_e \cdot F_e + G_f \cdot F_f \\ &= 1 \cdot 1 + 1 \cdot 1 + 0.5 \cdot 0.5 + 0.5 \cdot 0.75 + 0.5 \cdot 0.5 + 1 \cdot 1 \\ &= 3.875 \end{aligned}$$

将这一总评价得分值  $F$  与最严重故障得分值  $F_{max}$  进行比较得:

$$H = F / F_{max} = 3.875 / 4.5 = 0.861$$

根据上述评价结果, 液压泵可能产生故障。因此, 我们将柱塞泵拆开, 发现转子上柱塞孔与柱塞之间的间隙较大, 转子与配流盘表面有拉槽, 更换液压泵以后, 系统故障被消除。

## 参考文献

1. 黄志坚. 液压系统故障的模糊评判. 第三届全国机械设备故障诊断学术研讨会论文, 洛阳, 1994. 4
2. 黄志坚 湛从昌. 注塑机液压系统故障的分析. 全国液压气动技术交流会论文集, 上海, 1994. 12
3. 虞和济 侯广琳. 故障诊断的专家系统. 冶金工业出版社, 1991. 11
4. James E. Anderson, Sr. Industrial Hydraulics Troubleshooting. 1983