

模糊数学在机电设备故障诊断中的应用

随着我们的科学技术迅速发展，人类遇到了一些经典理论不能或难于分析的问题，比如我们现实生活中的“健康”问题、“寿命”的长短问题，还有我们机械电子工程中的系统“稳定性”问题和“故障”问题，作为一名研究故障诊断的研究生，我们不能对系统只有“好”与“坏”两个事件进行研究，如果那样，我们的精密系统就不能产生，因此我们必须在[好，坏]此闭区间进行分析系统的工作状态，很明显，传统数学的绝对性不适合于分析这些连续事件。正是在这诸多形式的逼迫下，模糊数学便应运而生了。

模糊数学并非“模糊的数学”，而是研究模糊现象，利用模糊信息的精确理论，与其它的实用理论一样，模糊数学所追求的目标是为解决各种实际问题提供更加有效的思路与方法。

在模糊数学的应用和研究上美国和日本处于领先的地位，20世纪60年代，美国学者Lotfi.A.zadeh认为经典控制理论过于强调精确性而无法处理复杂的系统，他认为“在处理生物系统时，需要一种彻底不同的数学----关于模糊量的数学，该数学不能用概率分布来描述，他的这一思想形成了模糊集合理论，并于1965年发表了《fuzzy sets》这一开创性论文，为处理客观世界中存在的模糊性问题提出了有力的工具，1973年他又继续发表了《分析复杂系统和决策过程的新方法纲要》，在引入语言变量的概念的基础上，提出了用TF-THEN的规则来量化人类的知识。20世纪80年代，日本大量运用模糊理论建造电子水净化厂、地铁系统的，创造了当时世界上最好先进的地铁系统，也引起模糊领域的一场巨变。近年来，我国对模糊数学的研究也取得了许多成果，集中体现在系统的控制和设备的故障分析上。

通常情况下，我们机电设备的故障诊断是概率分布的，比如，轴的破损等一般情况下是有周期的，然而，模糊性在机电设备中是固有的，主要表现在：
1、设备状态从正常到异常有一个渐变过程，而结构的“完好”与“失效”之间也往往不存在清晰的界限；
2、故障的原因与相应的症状之间往往没有明确的规律可循。

我们的机电设备故障诊断是通过对机电设备和其工作的信息检测、分析与辨识来判断其过程的状态，进一步找出故障的具体部位和原因，预测故障的发展和潜在的危险，并根据此确定应采取的相应措施和对策。

常见的设备运行中的动态信号（温度、振动、噪音、等等），携带了丰富的信息，我们通过信息处理，从时域和频域上反映信号是否正常。可是我们都知道“人有旦夕祸福，天有不测风云”，简单偶然因素干扰造成的不确定性我们能用概率来处理，如果是个复杂系统，故障原因和征兆之间大多不是一一对应的，就算是对应的，可是其程度也是一个模糊的难题，这错综复杂的渐变关系，因此要对其进行精确的系统分析我们只能求助于模糊数学而别无它发了。

我们假设用一个集合来定义一个系统所有可能发生的各种故障原因，然后通过一些获得的征兆的隶属度来求出各种故障原因的隶属度。如下：

$Y=\{y_1, y_2, y_3, \dots, y_n\}$, 其中 n 是故障类的个数。

$X=\{x_1, x_2, x_3, \dots, x_m\}$, 其中 m 是各种症状的个数。

根据模糊数学原理，很明显有下列关系；

$$Y=X*R$$

其中“*”是模糊算子，在不同的条件下可表示不同的逻辑运算：

$M()$ 适合于其结果只是由指标最大者决定，其余指标在一定范围内变化并不影响评判结果的情形。

$M()$ 可用于 $M()$ 模型的评判结果不可区别的失效情况。

$M()$ 是综合评判模型，按着各症状在总评因素中所起的作用的大小均衡兼顾，同时考虑了

所有因素的影响。

对于同一种评判现象，在同样的 X 、 R 下，按各种模型计算的结果有所不同，但在实际中，综合评判的最后结果 Y 的绝对大小没有多大意义，有意义的是不同对象间的比较，即相对大小。通过比较，进行分析原因。此时我们可运用模糊诊断矩阵的性质：

R_{ij} 表示第 i 种征兆 X_i 对第 j 种原因 Y_j 的隶属度， $0 \leq R_{ij} \leq 1$ ，这一矩阵我们只有借鉴老一辈专家的数据和自己在以后的实践中进行摸索、修改，使其能适合于我们自己的系统的分析。

举例分析：

某柴油机“负荷转速不足”的 5 个故障原因是： Y_1 （气门弹簧断）， Y_2 （喷油头积碳堵塞）， Y_3 （机油管破裂）， Y_4 （喷油过迟）， Y_5 （喷油泵驱动键滚键）。6 个征兆分别为： X_1 （排气过热）， X_2 （震动）， X_3 （扭矩急降）， X_4 （机油压过低）， X_5 （机油耗量大），其严重程度分别为 0.5，0.6，0.8，试求其故障原因。

根据柴油机的经验资料和机理分析，确定每一症状分别对应每个原因的隶属度，由此得出模糊诊断矩阵 R 如表 1 所示：

解：根据已知条件，得到征兆向量为 $(0, 0, 0.5, 0.6, 0.8, 0)$ 诊断算法取模型 $M(-, \cdot)$ 。故障原因向量为

$Y = X \cdot R = (0.475, 0, 1, 0.15, 0.49)$ 。

即故障原因向量中各元素的隶属度为 $Y_1=0.475$ ， $Y_2=0$ ， $Y_3=1$ ， $Y_4=0.15$ ， $Y_5=0.49$ 。其中 Y_3 最大，根据最大隶属原则，可以认为故障原因为 Y_3 ，即机油管破裂。

以上方法在简单故障方法上较方便，但太依赖于实践经验，为使其更实用，我们还可以进行改进，使其对复杂故障也能准确诊断！

在复杂故障中，往往需要对征候 U_i 相对于不同的故障 V_i 选择不同的权值 R_{ij} ，因此要对原因向量改进一下，得：

不为 0 的对角线元素表示最后综合结果，其他元素为 0。

例 2、设齿轮泵的正常状态、齿轮抹损、侧板磨损、气损 4 种典型状态以及容积效率、振动 2 种征候。取权矩阵（诊断矩阵）

齿轮泵工作压力为 11.1Mpa, 工作温度为 40.7, 容积效率和振动信号的诊断结果为 $(0.90, 0.93, 0.30, 0.80)$ 和 $(0.50, 0.90, 0.20, 0.60)$ ，确定齿轮泵的工作状态。

解：得

由最大隶属度原则，确定齿轮泵处于齿轮磨损状态。

例 3、若上题中工作压力为 9.0Mpa，工作温度为 30.2，容积效率和振动信号诊断结果分别为 $(0.35, 0.40, 0.80, 0.50)$ 和 $(0.50, 0.40, 0.60, 0.30)$ ，要求确定工作状态。

解：得

则评判结果为齿轮泵处于侧板磨损状态。