

【武器装备】

灰色关联分析在装备故障诊断中的应用

王宗帅¹, 杨作宾¹, 罗永丰², 程伟宏³(1. 防空兵指挥学院, 郑州 450052; 2. 75134 部队, 广西 崇左 532200;
3. 68306 部队, 西安 710680)

摘要:灰色关联分析是事物之间或系统因素与主行为因素之间不确定性的关联分析, 是研究信息不完备系统的一种有效方法, 故提出了基于灰色关联分析的一种故障诊断方法, 对某导弹发射装置液压泵的诊断信号进行了监测, 根据对各种模式的关联度的计算, 对诊断结果进行了分析, 结果表明该模型在实践中可减少不必要的故障诊断, 大大提高诊断效率。

关键词:灰色关联分析; 液压系统; 故障诊断

中图分类号: TJ06

文献标识码: A

文章编号: 1006-0707(2010)11-0050-03

灰色系统理论研究的是“部分信息明确, 部分信息未知”的“小样本, 贫信息”不确定性系统, 他通过对已知“部分”信息的生成去开发了解、认识现实世界, 着重研究“外延明确, 内涵不明确”的对象。灰色关联分析是事物之间或系统因素与主行为因素之间不确定性的关联分析, 是研究信息不完备系统的一种有效方法。他能够利用不完全的、随机的表示系统行为特征的因素序列, 通过一定的数据生成处理, 计算出因素间的关联系数和关联度, 找出他们的关联序, 确定他们的关联性。

在武器装备系统中, 故障与故障征兆之间的关系并不是一一对应的, 可以将其看作是一个信息不完备的复杂的灰色系统。本文即是在研究灰色关联分析基本原理的基础上, 提出了基于灰色关联分析的一种故障诊断方法。

1 灰色关联分析基本原理

灰色关联是指事物间的不确定关联, 灰色关联度是灰色系统分析和处理随机量的一种方法, 代表了不同研究对象(灰色因数)之间的关联程度。灰色关联分析的基本思想是根据序列曲线几何形状间的相似程度来判断其联系是否紧密。曲线越接近, 相应序列之间的关联度就越大, 反之就越小。他同时可描述系统发展过程中因素间相对变化的情况, 如果二者在发展过程中的相对变化基本一致, 则认为二者关联度大; 反之, 则认为二者关联度就小。如图1所示, 曲线 a 对应于参考序列 x_1 , 曲线 b 、 c 对应于比

较序列 x_2 、 x_3 。曲线 a 与曲线 c 几何形状非常相似, 则对应的序列 x_1 与序列 x_3 的灰关联度很大, 其发展状态趋势基本相同; 而曲线 b 与曲线 a 的几何形状差别很大, 则序列 x_1 与序列 x_2 的灰关联度很小, 其发展状态趋势差别很大。因此, 序列 x_3 与序列 x_1 的灰关联度最大, 其发展状态趋势最接近; 序列 x_2 与序列 x_1 的灰关联度最小, 其发展状态趋势的差别最大。

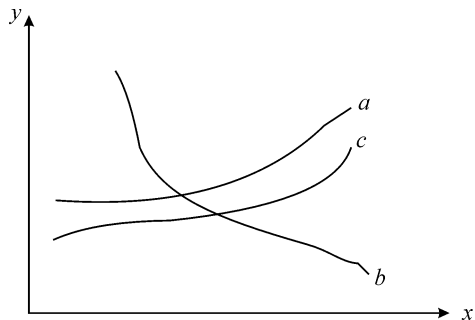


图1 灰色关联分析示意图

当利用灰色关联分析进行故障诊断时, 常通过计算样本的关联度来确定相互间的关联程度。应该注意的是, 关联度只是样本各因素之间相互影响的一种表现形式, 关联序列才是样本各因素之间相互影响的实质体现。通过对相关数据进行预处理并计算出关联系数和关联度, 可得到具有可比性的标准化序列数据。根据数据处理方法不同, 关联系数和关联度的大小亦不同, 但关联序一般不会改

收稿日期: 2010-07-09

作者简介: 王宗帅(1984—), 男, 硕士研究生, 主要从事装备综合保障研究。

变,这正是我们所关心的。

2 灰色关联分析故障诊断方法

2.1 基本思想

灰关联分析故障诊断方法的思想:分别用属于正常和故障状态的本序列列作为参考序列,通过对序列之间关联程度的计算,来对系统运行状态做出诊断。图2给出了灰色关联分析的故障诊断原理,首先获取序列间的差异信息,建立差异信息空间;其次计算差异信息的关联度;最后建立因素间的灰色关联序并进行结果分析。

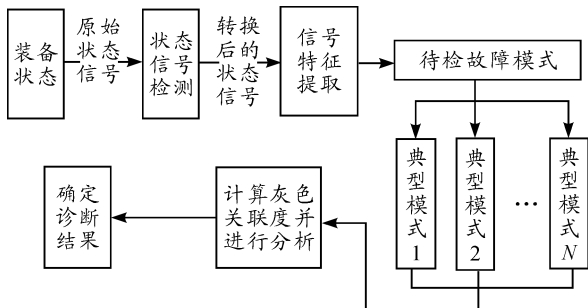


图2 灰色关联分析的故障诊断原理结构

2.2 分析步骤

1) 收集评价数据

根据评价目的确定评价指标体系,收集评价数据。将数据序列形成如下矩阵

$$(X_0, X_1, \dots, X_m) = \begin{bmatrix} x_0(1) & x_1(1) & \dots & x_m(1) \\ x_0(2) & x_1(2) & \dots & x_m(2) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ x_0(n) & x_1(n) & \dots & x_m(n) \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中: m 为待检参数个数; n 为指标的个数; $x_i = [x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(n)]^T, i = 1, 2, \dots, m$ 。

2) 确定参考数据列

参考数据列是一个比较标准序列,可以以各指标的最优值(或最劣值)构成参考数据列,也可根据评价目的选择其他参照值,记作 $x_0 = [x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(n)]^T$ 。

3) 数据处理

在计算相关系数前应对指标数据序列进行无量纲化,即将该序列所有数据分别除以第1个数据,有

$$x'_i(k) = \frac{x_i(k)}{x_i(1)} \quad (i = 0, 1, \dots, m; k = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

无量纲化后的数据序列可形成如下矩阵

$$(X'_0, X'_1, \dots, X'_m) = \begin{bmatrix} x'_0(1) & x'_1(1) & \dots & x'_m(1) \\ x'_0(2) & x'_1(2) & \dots & x'_m(2) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ x'_0(n) & x'_1(n) & \dots & x'_m(n) \end{bmatrix} \quad (3)$$

4) 求关联系数

$$\gamma_{0i}(k) = \frac{m + \xi M}{\Delta_i(k) + \xi M}, \xi \in (0, 1) \quad (4)$$

$$(k = 1, 2, \dots, n; i = 1, 2, \dots, m)$$

式中:

$$M = \max_i \max_k \Delta_i(k)$$

$$m = \min_i \min_k \Delta_i(k)$$

$$\Delta_i(k) = |x'_0(k) - x'_i(k)|$$

$$\Delta_i = (\Delta_i(1), \Delta_i(2), \dots, \Delta_i(n))$$

$$k = 1, 2, \dots, n; i = 1, 2, \dots, m \quad (5)$$

ξ 为分辨系数,他在客观上反映了系统各因素对关联度的间接影响程度,在主观上体现了不同研究者对 $\max_i \max_k \Delta_i(k)$ 的重视程度,其取值可调节关联系数 $\gamma_{0i}(k)$ 的大小和变化区间,直接影响关联度的计算结果。这里乘以 ξ 是为了减小极值对计算的影响,从而提高分辨率。在故障诊断中,根据大量的实践,希望 ξ 在 0.5 附近,故本文取 $\xi = 0.5$ 。

5) 计算关联度 γ_{0i} , 进行关联分析

$$\gamma_{0i}(k) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \gamma_{0i}(k) \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (4)$$

3 故障诊断实例

液压系统是某型导弹发射装置的重要组成部分,在作战过程中起着至关重要的作用。轴向(斜盘)柱塞式液压泵(定量型)是该液压系统的动力源,是整个液压系统的核心,其好坏直接影响着整个液压系统的正常工作。在正常使用条件下,经过磨合期后,液压泵将开始出现故障,其中以额定流量降低、压力无法调节到正常值、泵的振动噪声变大、内部结构元件失效为常见形式。其典型故障有:滑靴的松动或脱落、柱塞与缸体间的磨损以及缸体与配流盘间的磨损。由于滑靴松动和柱塞磨损是相伴随的,可以统称为“松靴故障”。因此,本文研究的液压泵故障模式有:正常、松靴故障和配油盘磨损故障。信号采集选用 CA-YD-139 型压电式加速度传感器通过监测液压泵的振动信号来实现。通过研究发现,当发生故障时,其振动信号时域参数中的绝对均值、均方根值、峰峰值、歪度指标和峭度指标均较液压泵正常时有明显的增大,且增大程度不一样,可见,这 5 个时域参数能有效地区分故障,因此选取这 5 个时域参数作为液压泵故障预测所需的特征参量。用 X 表示所采集的样本, V 表示所采集样本的振动信号指标, X_1, X_2, X_3 为正常运行状态下的标准样本, X_4, X_5, X_6 为松靴故障运行状态下的标准样本, X_7, X_8, X_9 为配油盘磨损故障运行状态下的标准样本, X_{10}, X_{11}, X_{12} 为所采集的正常运行状态与故障运行状态下的待验证样本,则所收集的数

据如表 1 所示。

表 1 预处理数据表

	绝对均值/ (m·s ⁻²)	均方根值/ (m·s ⁻²)	峰峰值/ (m·s ⁻²)	歪度 指标	峭度 指标
X ₁	1.84	2.25	9.79	-0.11	2.17
X ₂	1.83	2.25	9.85	-0.11	2.16
X ₃	1.85	2.27	9.61	-0.09	2.17
X ₄	2.03	2.57	11.82	-0.44	2.77
X ₅	2.01	2.54	11.64	-0.39	2.75
X ₆	1.96	2.47	11.27	-0.43	2.67
X ₇	2.57	3.38	16.26	-1.00	3.64
X ₈	2.59	3.44	15.89	-1.00	3.62
X ₉	2.54	3.37	16.07	-1.03	3.71
X ₁₀	1.88	2.29	9.54	-0.08	2.15
X ₁₁	1.99	2.55	11.64	-0.41	2.69
X ₁₂	2.55	3.38	16.26	-1.03	3.70

3.1 灰色关联故障诊断

根据前面所列步骤,以 X₁ 为参考序列,即可计算出关联度。在此,利用灰色建模系统软件对灰色关联度进行计算,结果如图 3 所示。

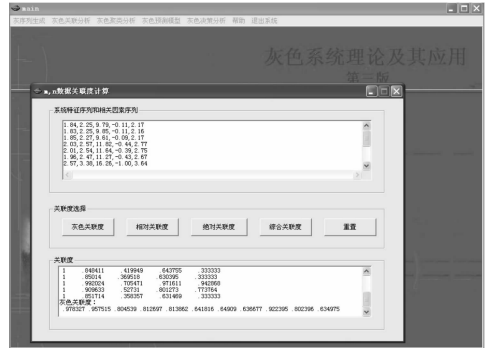


图 3 以 X₁ 为参考数据列计算灰色关联度

3.2 诊断结果分析

通过以上计算可以看出:各样本数据序列的灰色关联序列为 X₂、X₃、X₁₀、X₆、X₅、X₄、X₁₁、X₈、X₇、X₉、X₁₂,并且 X₂、X₃、X₁₀ 比较接近,X₄、X₅、X₆、X₁₁ 比较接近,X₇、X₈、X₉、X₁₂ 比较接近,而 X₁₀、X₁₁ 与 X₁₂ 三者相差比较大。由于 X₁、X₂、X₃ 为液压泵正常工作时的指标,因此,样本 X₁₀ 应为正常状态,X₄、X₅、X₆ 应为液压泵出现松靴故障时的指标,故样本 X₁₁ 为松靴故障状态;X₇、X₈、X₉ 为配油盘磨损故障运行状态下的标准样本,故 X₁₂ 为配油盘磨损故障状态。

分别以 X₄ 和 X₇ 为参考数据列,计算灰色关联度如表 2 和表 3 所示,同样可以得出上面的结论,即 3 种待诊断状态模式分别为正常状态、松靴故障状态和配油盘磨损故障状态。此即为某型导弹发射装置液压系统灰色关联故障诊断结果,与实际相符合。

表 2 以 X₄ 为参考数据列计算的灰色关联度

i	1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12
γ _{0i}	0.823 212	0.831 553	0.809 947	0.982 960	0.977 624	0.727 897	0.747 366	0.721 986	0.792 667	0.981 316	0.717 965

表 3 以 X₇ 为参考数据列计算的灰色关联度

i	1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12
γ _{0i}	0.665 583	0.670 193	0.659 709	0.728 264	0.720 443	0.720 731	0.951 612	0.991 959	0.653 402	0.733 345	0.979 262

4 结束语

灰色关联分析是根据因素之间的相似程度来衡量因素间关联程度的方法。利用灰色关联分析方法进行故障诊断,对样本的数量及其分布规律没有特殊要求,且计算简单便捷、易于实现、结果可靠,能够为装备维修及状态预测提供理论指导,具有可行性。本文对某型导弹发射装置的液压泵故障进行了计算,结果表明该故障诊断模型有效,是在不能够得到完整信息情况下的一种较好的诊断方法。

参考文献:

[1] 刘思峰,党耀国,方志耕,等. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京:科学出版社,2008.

[2] 李洪儒,许葆华. 某型导弹发射装置液压泵故障预测研究[J]. 兵工学报,2009,30(7):900-906.
 [3] 董立立,朱煜,黄道,等. 灰关联分析及其在装备故障诊断中的应用[J]. 华东理工大学学报:自然科学版,2008,34(4):563-567.
 [4] 莫翔宇,唐庆如,杨晓强. 基于灰色关联分析的航空发动机气路故障诊断方法研究[J]. 航空维修与工程,2009(5):51-52.
 [5] 李肖丽. 柴油添加剂功效影响因素的灰色关联分析及功效预测[D]. 广州:华南理工大学,2002.
 [6] 沈庆根,郑水英. 设备故障诊断[M]. 北京:化学工业出版社,2006.
 [7] 董立立. 灰色理论及其在故障智能诊断中的应用研究[D]. 上海:华东理工大学,2007.