



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109523171 A
(43)申请公布日 2019.03.26

(21)申请号 201811380722.9

(22)申请日 2018.11.20

(71)申请人 未必然数据科技(北京)有限公司
地址 100080 北京市海淀区花园东路30号
花园饭店6号楼5层6504室

(72)发明人 李郭敏

(74)专利代理机构 北京天江律师事务所 11537
代理人 任崇

(51)Int.Cl.
G06Q 10/06(2012.01)

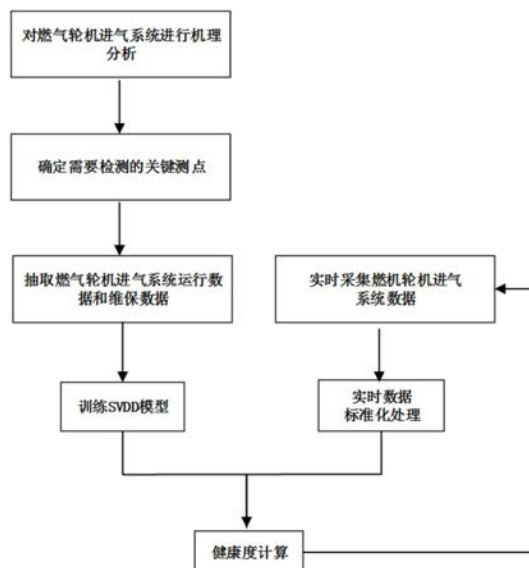
权利要求书3页 说明书6页 附图2页

(54)发明名称

一种基于SVDD的燃气轮机进气系统健康度评估方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于SVDD的燃气轮机进气系统健康度评估方法,步骤为:针对燃气轮机进气系统进行机理及影响因素分析,根据分析结果得到所有的关键测点及性能参数,最终确定需要监测的测点;抽取燃气轮机进气系统的运行数据和维保数据,得到模型训练数据集;训练SVDD模型;利用SVDD模型计算新的观测值距离进气系统正常状态的距离;对进气系统状态进行评估判定。本发明综合考虑了多个参数的变化情况,避免了基于单一参数预警导致的片面性,提高了健康度评估结果的准确性;此外,本发明可以实时量化进气系统的健康度,提高了监测结果的实用性和应用范围,不仅可以做故障预警,提前采取措施排除故障,还可以用于日常维护的效果评估。



1. 一种基于SVDD的燃气轮机进气系统健康度评估方法,其特征在于:所述方法的整体步骤为:

步骤1、针对燃气轮机进气系统进行机理及影响因素分析,根据分析结果得到所有的关键测点及性能参数,最终确定需要监测的测点为环境温度 t_1 、功率 k_w 、转速 r 和进气滤器压差 d_p ;

步骤2、抽取燃气轮机进气系统的运行数据和维保数据,并对历史运行数据进行整理和清洗,得到模型训练数据集;

步骤3、基于步骤2中获取的训练数据集训练SVDD模型;

步骤4、实时抽取燃气轮机进气系统关键参数值,利用步骤3中创建的SVDD模型计算新的观测值距离进气系统正常状态的距离;

步骤5、根据计算结果,对进气系统状态进行评估判定。

2. 根据权利要求1所述的基于SVDD的燃气轮机进气系统健康度评估方法,其特征在于:所述步骤2的具体步骤为:

步骤2.1、编写针对实时数据库的数据抽取代码,从数据库中抽取最近1年的燃气轮机进气系统数据,时间间隔为固定的5分钟,抽取的数据包含步骤1中确定的4个关键测点,然后将这些数据存入历史数据库;

步骤2.2、剔除各个测点的异常值,并基于工况功率 k_w 和转速 r 选择机组稳定运行时间段内的数据,排除机组在启停机过程中数据剧烈变动的情况;

步骤2.3、分别计算选取的4个关键测点的均值和标准差,并存入历史数据库;

步骤2.4、基于维保记录,筛选出进气滤器更换后5天内的运行数据,并按照公式一进行标准化处理:

$$x_i = \frac{X_i - \bar{X}}{S} \quad \text{公式一}$$

其中, x_i 为待标准化向量的第 i 个值, \bar{X} 和 S 分别为待标准化向量在步骤2.3中计算得到的均值和标准差,通过标准化处理,所有样本数据落入区间 $[0, 1]$ 之间,消除不同测点之间的量纲和数量级差别的影响。

3. 根据权利要求2所述的基于SVDD的燃气轮机进气系统健康度评估方法,其特征在于:所述步骤3中SVDD模型的具体构建方法为:

通过最小化半径 R 定义一个最小超球体,使其尽量包含所有的训练样本 X_i ;通过求解下面的最优二次规划问题获取SVDD模型:

$$\min \quad R^2 + C \sum_{i=1}^n \xi_i \quad \text{公式二}$$

$$s.t. \quad (x_i - a)^T (x_i - a) \leq R^2 + \xi_i, i = 1, \dots, n,$$

$$\xi_i \geq 0, i = 1, \dots, n. \quad \text{公式三}$$

x_i 代表训练数据集中的第 i 条观测, $i = 1, \dots, n$; R 为需要计算的球体半径; C 为惩罚系数且 $C = 1/(nf)$,其中 n 为训练数据集的观测数, f 为期望的异常值占比,通常为0.0001; ξ 是松弛

变量; a 是球心; T 代表矩阵转置;

将公式二转换为求其对偶形式的最大化问题,内积采用核函数代替:

$$\max \sum_{i=1}^n \alpha_i k(x_i, x_i) - \sum_{i,j} \alpha_i \alpha_j k(x_i, x_j) \quad \text{公式四}$$

$$s.t. \sum_{i=1}^n \alpha_i = 1, 0 \leq \alpha_i \leq C, i = 1, \dots, n. \quad \text{公式五}$$

$$k(x_i, x_j) = \exp \frac{-\|x_i - x_j\|}{2S^2} \quad \text{公式六}$$

其中, S 为高斯径向基函数的带宽, S 取值越小,生成的支持向量越多, S 取值越大,支持向量越少,球体半径越大; x_i 代表训练数据集中的第*i*条观测, $i=1, \dots, n$; x_j 代表训练数据集中的第*j*条观测, $j=1, \dots, n$; α_i 为第*i*个拉格朗日系数; α_j 为第*j*个拉格朗日系数; k 为核函数, $k(x_i, x_j)$ 代表对 x_i, x_j 进行核变换的核函数, $k(x_i, x_i)$ 代表对 x_i, x_i 进行核变换的核函数;

通过迭代求解公式四的最大值获取 α_i 的最优解,满足 $0 \leq \alpha_i \leq C$ 条件的样本即为支持向量SV,在此基础上,利用公式七和公式八获取超球球心 a 和半径 R ,其中 x_k 代表第*k*个支持向量;

$$a = \sum_{i=1}^n \alpha_i x_i \quad \text{公式七}$$

$$R = k(x_k, x_k) - 2 \sum_i \alpha_i k(x_i, x_k) + \sum_{i,j} \alpha_i \alpha_j k(x_i, x_j), x_k \in SV \quad \text{公式八}$$

$$dt = k(x_i, x_i) - 2 \sum_i \alpha_i k(x_i, x_i) + \sum_{i,j} \alpha_i \alpha_j k(x_i, x_j) \quad \text{公式九}$$

$$d_0 = \min(dt) \quad \text{公式十}$$

其中, x_i 为训练数据集中的第*i*条观测,计算训练数据集中所有观测值到超球中心 a 的距离 dt , d_0 为所有距离中的最小值,将 d_0 存入数据库,作为计算进气系统健康度的最优基准值。

4. 根据权利要求3所述的基于SVDD的燃气轮机进气系统健康度评估方法,其特征在于:所述步骤4的具体步骤为:

步骤4.1、每隔5分钟抽取燃气轮机进气系统的测点数据,获取环境温度 t_1 、功率 k_w 、转速 r 和进气滤器压差 d_p ,并利用步骤2.3中计算的各测点均值和标准差进行标准化处理;

步骤4.2、计算该时点的测点数据到步骤3中训练所得SVDD模型的球心距离 d ,公式如下:

$$d = k(z, z) - 2 \sum_i \alpha_i k(x_i, z) + \sum_{i,j} \alpha_i \alpha_j k(x_i, x_j) \quad \text{公式十一}$$

其中, z 为待测的标准化后的燃气轮机进气系统实时数据。

5. 根据权利要求4所述的基于SVDD的燃气轮机进气系统健康度评估方法,其特征在于:所述步骤5的具体步骤为:

将步骤4计算得到的距离 d 和步骤3中得到的球体半径 R 进行比较,若 $d \leq R$,则判定进气系统状态良好,反之若 $d > R$,则判定进气系统发生异常;为量化评估燃气轮机进气系统状态,

便于维护工程师使用和维保效果评估,通过公式十将距离和半径R的比较直接转换为分数形式,转换公式如下:

$$score = \begin{cases} \maxscore - (\maxscore - rscore) \frac{d - d_0}{R - d_0}, d \leq R \\ rscore - (\maxscore - rscore) \frac{d - R}{R - d_0}, d > R \end{cases} \quad \text{公式十二}$$

其中,score为转换后的进气系统健康度评分,maxscore为进气系统在状态良好情况下的分数,rscore是观测值正好落在球体半径上时对应的分数,d₀为SVDD模型训练时得到距离的最小值,R为超球半径。

一种基于SVDD的燃气轮机进气系统健康度评估方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种评估方法,尤其涉及一种基于SVDD的燃气轮机进气系统健康度评估方法。

背景技术

[0002] 燃气轮机是海上钻井平台的大型核心生产设备,其性能是实现企业生产目标的重要保障。进气系统作为燃气轮机的重要组成部分,进口的空气质量和纯净度是提高燃气轮机性能和可靠性的前提。当进口空气滤器滤网因污脏或冬季结霜而堵塞时,进气系统性能下降,压气机的比功增加,出力将更多地消耗于带动压气机,导致燃气轮机的功率和效率降低。因此,需要对进气系统进行健康度评估技术研究,以便及时发现其性能下降,并采取相应的维保措施,降低生产损失。

[0003] 燃气轮机的设计非常复杂,包含了压气机、喷嘴、润滑系统、进气系统等多个部件和子系统,能够获取的参数也相当繁多,维护人员不可能对所有参数都进行监测,通常会采取单参数预警模型。单参数预警模型是依据专家经验挑出为数不多的关键参数,然后为每个关键参数设定阈值,当参数值没有超过阈值时,则认为其健康状态良好,不需要进行维修;当参数值超过设定阈值时,则认为其健康状态存在问题,需要立即对其进行检修。实际维护中,燃气轮机进气系统主要监控的关键参数为进气滤器压差,当进气滤器压差超过设定的阈值时,维护人员就需要采取除冰等维保操作或者直接更换进气滤器。

[0004] 但是现有技术仍存在以下技术缺陷有待解决:

[0005] (1) 单参数预警模型仅以单一性能参数来评估进气系统健康度下降情况,并未全面考虑所有相关参数的异常变化和参数之间的相互影响,因此得到的评估结果往往具有很强的不确定性和片面性;

[0006] (2) 单参数预警模型对进气系统健康度的评估无法量化,不能给出进气系统健康度下降的严重程度,也无法对采取维保措施的效果进行准确评估。

发明内容

[0007] 为了解决上述技术所存在的不足之处,本发明提供了一种基于SVDD的燃气轮机进气系统健康度评估方法。

[0008] 为了解决以上技术问题,本发明采用的技术方案是:一种基于SVDD的燃气轮机进气系统健康度评估方法,整体步骤为:

[0009] 步骤1、针对燃气轮机进气系统进行机理及影响因素分析,根据分析结果得到所有的关键测点及性能参数,最终确定需要监测的测点为环境温度 t_1 、功率 k_w 、转速 r 和进气滤器压差 d_p ;

[0010] 步骤2、抽取燃气轮机进气系统的运行数据和维保数据,并对历史运行数据进行整理和清洗,得到模型训练数据集;

[0011] 步骤3、基于步骤2中获取的训练数据集训练SVDD模型;

[0012] 步骤4、实时抽取燃气轮机进气系统关键参数值,利用步骤3中创建的SVDD模型计算新的观测值距离进气系统正常状态的距离;

[0013] 步骤5、根据计算结果,对进气系统状态进行评估判定。

[0014] 进一步地,步骤2的具体步骤为:

[0015] 步骤2.1、编写针对实时数据库的数据抽取代码,从数据库中抽取最近1年的燃气轮机进气系统数据,时间间隔为固定的5分钟,抽取的数据包含步骤1中确定的4个关键测点,然后将这些数据存入历史数据库;

[0016] 步骤2.2、剔除各个测点的异常值,并基于工况功率kw和转速r选择机组稳定运行时间段内的数据,排除机组在启停机过程中数据剧烈变动的情况;

[0017] 步骤2.3、分别计算选取的4个关键测点的均值和标准差,并存入历史数据库;

[0018] 步骤2.4、基于维保记录,筛选出进气滤器更换后5天内的运行数据,并按照公式一进行标准化处理:

$$[0019] \quad X_i = \frac{X_i - \bar{X}}{S} \quad \text{公式一}$$

[0020] 其中, X_i 为待标准化向量的第*i*个值, \bar{X} 和*S*分别为待标准化向量在步骤2.3中计算得到的均值和标准差,通过标准化处理,所有样本数据落入区间[0,1]之间,消除不同测点之间的量纲和数量级差别的影响。

[0021] 进一步地,步骤3中SVDD模型的具体构建方法为:

[0022] 通过最小化半径*R*定义一个最小超球体,使其尽量包含所有的训练样本 X_i ;通过求解下面的最优二次规划问题获取SVDD模型:

$$[0023] \quad \min \quad R^2 + C \sum_{i=1}^n \xi_i \quad \text{公式二}$$

$$[0024] \quad \text{s.t.} \quad (x_i - a)^T (x_i - a) \leq R^2 + \xi_i, i = 1, \dots, n, \quad \text{公式三}$$

$$\xi_i \geq 0, i = 1, \dots, n.$$

[0025] x_i 代表训练数据集中的第*i*条观测, $i=1, \dots, n$; *R*为需要计算的球体半径; *C*为惩罚系数且 $C=1/(nf)$,其中*n*为训练数据集的观测数,*f*为期望的异常值占比,通常为0.0001; ξ 是松弛变量; *a*是球心; *T*代表矩阵转置;

[0026] 将公式二转换为求其对偶形式的最大化问题,内积采用核函数代替:

$$[0027] \quad \max \quad \sum_{i=1}^n \alpha_i k(x_i, x_i) - \sum_{i,j} \alpha_i \alpha_j k(x_i, x_j) \quad \text{公式四}$$

$$[0028] \quad \text{s.t.} \quad \sum_{i=1}^n \alpha_i = 1, 0 \leq \alpha_i \leq C, i = 1, \dots, n. \quad \text{公式五}$$

$$[0029] \quad k(x_i, x_j) = \exp \frac{-\|x_i - x_j\|}{2s^2} \quad \text{公式六}$$

[0030] 其中,*S*为高斯径向基函数的带宽,*S*取值越小,生成的支持向量越多,*S*取值越大,支持向量越少,球体半径越大; x_i 代表训练数据集中的第*i*条观测, $i=1, \dots, n$; x_j 代表训练数

据集中的第j条观测, $j=1, \dots, n$; α_i 为第i个拉格朗日系数; α_j 为第j个拉格朗日系数; k 为核函数, $k(x_i, x_j)$ 代表对 x_i, x_j 进行核变换的核函数, $k(x_i, x_i)$ 代表对 x_i, x_i 进行核变换的核函数;

[0031] 通过迭代求解公式四的最大值获取 α_i 的最优解, 满足 $0 \leq \alpha_i \leq C$ 条件的样本即为支持向量SV, 在此基础之上, 利用公式七和公式八获取超球球心 a 和半径 R , 其中 x_k 代表第k个支持向量;

$$[0032] \quad a = \sum_{i=1}^n \alpha_i X_i \quad \text{公式七}$$

$$[0033] \quad R = k(x_k, x_k) - 2 \sum_i \alpha_i k(x_i, x_k) + \sum_{i,j} \alpha_i \alpha_j k(x_i, x_j), x_k \in SV \quad \text{公式八}$$

$$[0034] \quad dt = k(x_i, x_i) - 2 \sum_i \alpha_i k(x_i, x_i) + \sum_{i,j} \alpha_i \alpha_j k(x_i, x_j) \quad \text{公式九}$$

$$[0035] \quad d_0 = \min(dt) \quad \text{公式十}$$

[0036] 其中, x_i 为训练数据集中的第i条观测, 计算训练数据集中所有观测值到超球中心 a 的距离 dt , d_0 为所有距离中的最小值, 将 d_0 存入数据库, 作为计算进气系统健康度的最优基准值。

[0037] 进一步地, 步骤4的具体步骤为:

[0038] 步骤4.1、每隔5分钟抽取燃气轮机进气系统的测点数据, 获取环境温度 t_1 、功率 k_w 、转速 r 和进气滤器压差 dp , 并利用步骤2.3中计算的各测点均值和标准差进行标准化处理;

[0039] 步骤4.2、计算该时点的测点数据到步骤3中训练所得SVDD模型的球心距离 d , 公式如下:

$$[0040] \quad d = k(z, z) - 2 \sum_i \alpha_i k(x_i, z) + \sum_{i,j} \alpha_i \alpha_j k(x_i, x_j) \quad \text{公式十一}$$

[0041] 其中, z 为待测的标准化后的燃气轮机进气系统实时数据。

[0042] 进一步地, 步骤5的具体步骤为:

[0043] 将步骤4计算得到的距离 d 和步骤3中得到的球体半径 R 进行比较, 若 $d \leq R$, 则判定进气系统状态良好, 反之若 $d > R$, 则判定进气系统发生异常; 为量化评估燃气轮机进气系统状态, 便于维护工程师使用和维保效果评估, 通过公式十将距离和半径 R 的比较直接转换为分数形式, 转换公式如下:

$$[0044] \quad score = \begin{cases} \maxscore - (\maxscore - rscore) \frac{d - d_0}{R - d_0}, & d \leq R \\ rscore - (\maxscore - rscore) \frac{d - R}{R - d_0}, & d > R \end{cases} \quad \text{公式十二}$$

[0045] 其中, $score$ 为转换后的进气系统健康度评分, \maxscore 为进气系统在状态良好情况下的分数, $rscore$ 是观测值正好落在球体半径上时对应的分数, d_0 为SVDD模型训练时得到距离的最小值, R 为超球半径。

[0046] 本发明综合考虑了多个参数的变化情况,避免了基于单一参数预警导致的片面性,提高了健康度评估结果的准确性;此外,本发明可以实时量化进气系统的健康度,提高了监测结果的实用性和应用范围,不仅可以做故障预警,提前采取措施排除故障,还可以用于日常维护的效果评估。

附图说明

[0047] 图1为本发明的整体流程示意图。

[0048] 图2为SVDD模型的原理示意图。

具体实施方式

[0049] 下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细的说明。

[0050] 图1所示的一种基于SVDD的燃气轮机进气系统健康度评估方法,整体步骤为:

[0051] 步骤1、针对燃气轮机进气系统进行机理及影响因素分析,根据分析结果得到所有的关键测点及性能参数,最终确定需要监测的测点为环境温度 t_1 、功率 k_w 、转速 r 和进气滤器压差 d_p ;

[0052] 步骤2、抽取燃气轮机进气系统的运行数据和维保数据,并对历史运行数据进行整理和清洗,得到模型训练数据集。具体步骤如下:

[0053] 步骤2.1、编写针对实时数据库的数据抽取代码,从数据库中抽取最近1年的燃气轮机进气系统数据,时间间隔为固定的5分钟,抽取的数据包含步骤1中确定的4个关键测点,然后将这些数据存入历史数据库(这里采用MySQL数据库);

[0054] 步骤2.2、剔除各个测点的异常值,并基于工况功率 k_w 和转速 r 选择机组稳定运行时间段内的数据,这样就排除了机组在启停机过程中数据剧烈变动的情况;

[0055] 步骤2.3、分别计算选取的4个关键测点的均值和标准差,并存入历史数据库;

[0056] 步骤2.4、基于维保记录,筛选出进气滤器更换后5天内的运行数据,并按照公式一进行标准化处理:

$$[0057] \quad X_i = \frac{X_i - \bar{X}}{S} \quad \text{公式一}$$

[0058] 其中, X_i 为待标准化向量的第 i 个值, \bar{X} 和 S 分别为待标准化向量在步骤2.3中计算得到的均值和标准差,通过标准化处理,所有样本数据落入区间 $[0,1]$ 之间,消除了不同测点之间的量纲和数量级差别的影响。

[0059] 步骤3、基于步骤2.4中获取的训练数据集训练SVDD(Support Vector Data Description,支持向量数据描述)模型,SVDD模型的基本思想是通过最小化半径 R 来定义一个最小超球体,使其尽可能包含所有的训练样本 X_i ,可通过求解下面的最优二次规划问题获取SVDD模型:

$$[0060] \quad \min \quad R^2 + C \sum_{i=1}^n \xi_i \quad \text{公式二}$$

[0061]

$$\begin{aligned} s.t. \quad & (x_i - a)^T(x_i - a) \leq R^2 + \xi_i, i = 1, \dots, n, \\ & \xi_i \geq 0, i = 1, \dots, n. \end{aligned} \quad \text{公式三}$$

[0062] x_i 代表训练数据集中的第*i*条观测, $i=1, \dots, n$; R 为需要计算的球体半径; C 为惩罚系数且 $C=1/(nf)$, 其中 n 为训练数据集中的观测数, f 为期望的异常值占比, 通常为0.0001; ξ 是松弛变量; a 是球心; T 代表矩阵转置;

[0063] 将公式二转换为求其对偶形式的最大化问题, 内积采用核函数代替:

$$\max \sum_{i=1}^n \alpha_i k(x_i, x_i) - \sum_{i,j} \alpha_i \alpha_j k(x_i, x_j) \quad \text{公式四}$$

$$s.t. \quad \sum_{i=1}^n \alpha_i = 1, 0 \leq \alpha_i \leq C, i = 1, \dots, n. \quad \text{公式五}$$

$$k(x_i, x_j) = \exp \frac{-\|x_i - x_j\|}{2s^2} \quad \text{公式六}$$

[0067] 其中, S 为高斯径向基函数的带宽, S 取值越小, 生成的支持向量越多, S 取值越大, 支持向量越少, 球体半径越大; x_i 代表训练数据集中的第*i*条观测, $i=1, \dots, n$; x_j 代表训练数据集中的第*j*条观测, $j=1, \dots, n$; α_i 为第*i*个拉格朗日系数; α_j 为第*j*个拉格朗日系数; k 为核函数, 常用的核函数有高斯径向基函数、多项式函数核和多层感知器核, $k(x_i, x_j)$ 代表对 x_i, x_j 进行核变换的核函数, $k(x_i, x_i)$ 代表对 x_i, x_i 进行核变换的核函数。

[0068] 通过迭代求解公式四的最大值获取 α_i 的最优解, 满足 $0 \leq \alpha_i \leq C$ 条件的样本即为支持向量 SV , 在此基础上, 可利用公式七和公式八获取超球球心 a 和半径 R , 其中 x_k 代表第*k*个支持向量。SVDD模型的原理图如图2所示。

$$a = \sum_{i=1}^n \alpha_i x_i \quad \text{公式七}$$

[0070]

$$R = k(x_k, x_k) - 2 \sum_i \alpha_i k(x_i, x_k) + \sum_{i,j} \alpha_i \alpha_j k(x_i, x_j), x_k \in SV \quad \text{公式八}$$

[0071]

$$dt = k(x_i, x_i) - 2 \sum_i \alpha_i k(x_i, x_i) + \sum_{i,j} \alpha_i \alpha_j k(x_i, x_j) \quad \text{公式九}$$

$$d_0 = \min(dt) \quad \text{公式十}$$

[0073] 其中, x_i 为训练数据集中的第*i*条观测, 计算训练数据集中所有观测值到超球中心 a 的距离 dt , d_0 为所有距离中的最小值, 将 d_0 存入数据库, 作为计算进气系统健康度的最优基准值。

[0074] 步骤4、实时抽取燃气轮机进气系统关键参数值, 利用步骤3中创建的SVDD模型计算新的观测值距离进气系统正常状态的距离, 具体步骤如下:

[0075] 步骤4.1、每隔5分钟抽取燃气轮机进气系统的测点数据, 获取环境温度 t_1 、功率

kw、转速r和进气滤器压差dp,并利用步骤2.3中计算的各测点均值和标准差进行标准化处理;

[0076] 步骤4.2、计算该时点的测点数据到步骤3中训练所得SVDD模型的球心距离d,公式如下:

$$[0077] \quad d = k(z, z) - 2 \sum_i \alpha_i k(x_i, z) + \sum_{i,j} \alpha_i \alpha_j k(x_i, x_j) \quad \text{公式十一}$$

[0078] 其中,z为待测的标准化后的燃气轮机进气系统实时数据。

[0079] 步骤5、将步骤4计算得到的距离d和步骤3中得到的球体半径R进行比较,若 $d \leq R$,可判定进气系统状态良好,反之若 $d > R$,可判定进气系统发生异常。为量化评估燃气轮机进气系统状态,便于维护工程师使用和维保效果评估,通过公式十将距离和半径R的比较直接转换为分数形式,转换公式如下:

$$[0080] \quad score = \begin{cases} \maxscore - (\maxscore - rscore) \frac{d - d_0}{R - d_0}, & d \leq R \\ rscore - (\maxscore - rscore) \frac{d - R}{R - d_0}, & d > R \end{cases} \quad \text{公式十二}$$

[0081] 其中,score为转换后的进气系统健康度评分,maxscore为进气系统在状态良好情况下的分数,rscore是观测值正好落在球体半径上时对应的分数, d_0 为SVDD模型训练时得到距离的最小值,R为超球半径。

[0082] 此外,上述对方法的定义并不仅限于实施例中提到的各种具体结构、形状或方式,本领域普通技术人员可对其进行简单地更改或替换,例如:

[0083] (1) 数据标准化还可以采用离差标准化的方法;

[0084] (2) 如果只是做状态异常检测,可以省略步骤5。

[0085] 本发明与现有技术相比,有益效果为:

[0086] (1) 本发明利用SVDD方法同时综合考虑了多个参数的变化情况,避免了基于单一参数预警导致的片面性,提高了健康度评估结果的准确性;

[0087] (2) 本发明可以实时量化进气系统的健康度,提高了监测结果的实用性和应用范围,不仅可以做故障预警,提前采取措施排除故障,还可以用于日常维护的效果评估。

[0088] 上述实施方式并非是对本发明的限制,本发明也并不仅限于上述举例,本技术领域的技术人员在本发明的技术方案范围内所做出的变化、改型、添加或替换,也均属于本发明的保护范围。

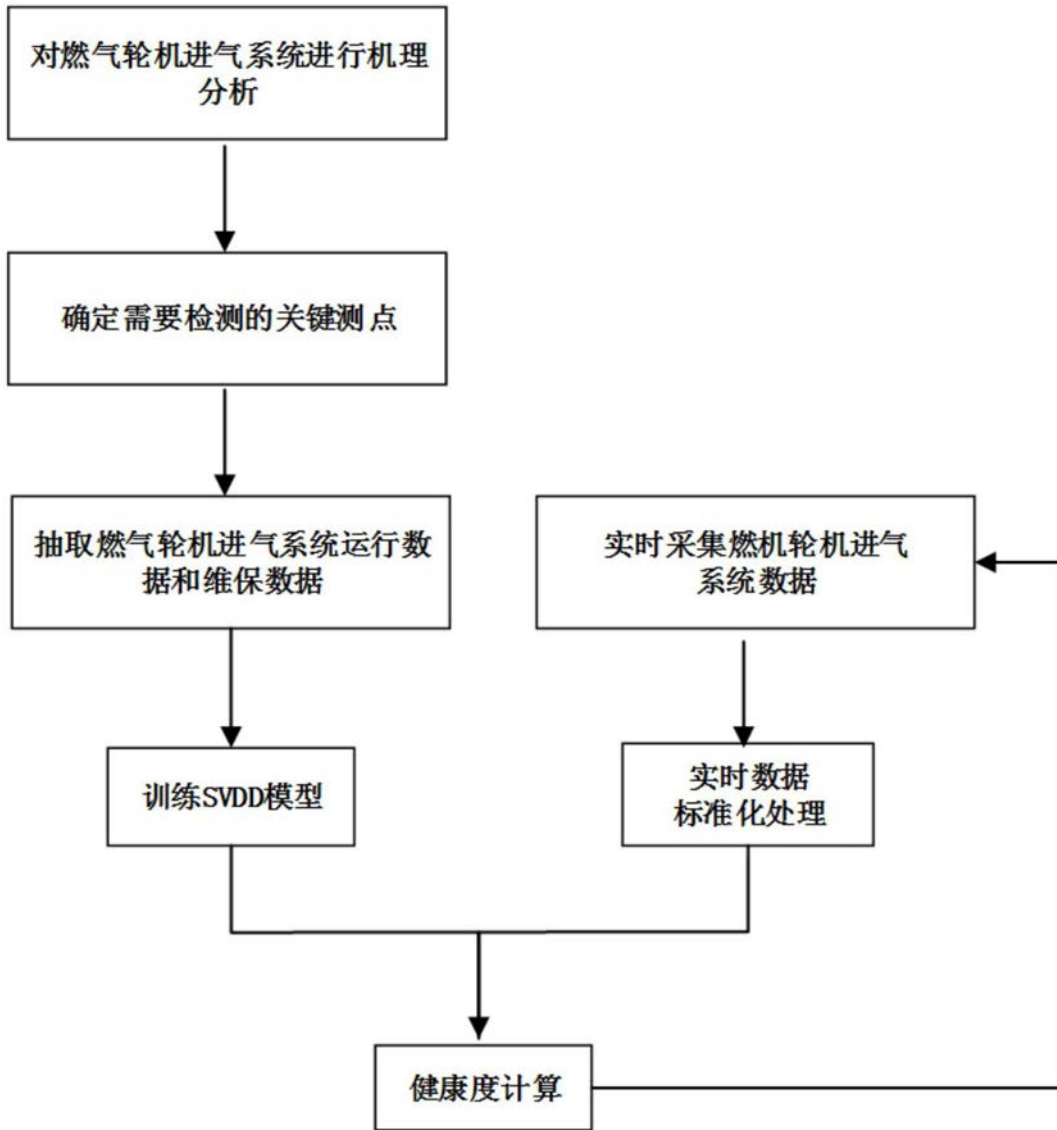


图1

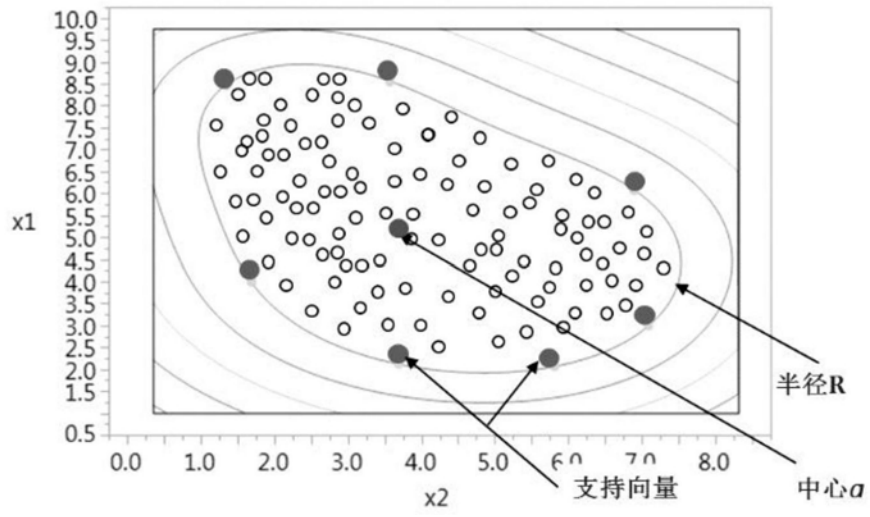


图2