



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109523171 B

(45) 授权公告日 2022. 11. 25

(21) 申请号 201811380722.9

(22) 申请日 2018.11.20

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 109523171 A

(43) 申请公布日 2019.03.26

(73) 专利权人 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
专利代理师 任崇

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

(56) 对比文件

CN 106092594 A, 2016.11.09

CN 106295712 A, 2017.01.04

CN 108334907 A, 2018.07.27

WO 2018044507 A1, 2018.03.08

US 2011153295 A1, 2011.06.23

蒋东翔等.关于重型燃气轮机预测诊断与健康管理的 研究综述.《热能动力工程》.2015,(第 02期),

审查员 刘继业

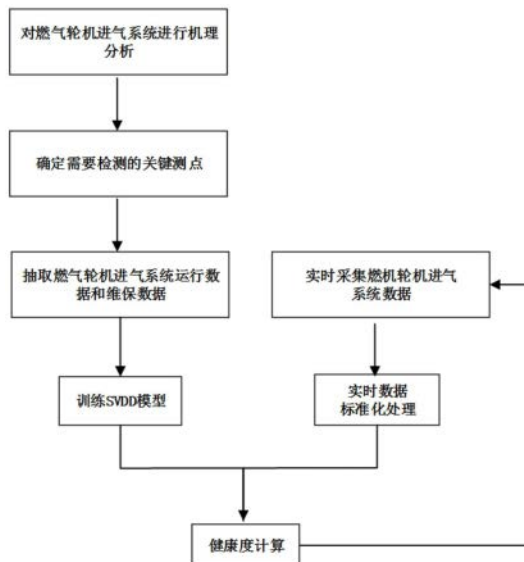
权利要求书3页 说明书6页 附图2页

(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:

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

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, d_0 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:

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

$$[0024] \quad \begin{aligned} s.t. \quad & (x_i - a)^T (x_i - a) \leq R^2 + \xi_i, i = 1, \dots, n, \\ & \xi_i \geq 0, i = 1, \dots, n. \end{aligned} \quad \text{公式三}$$

[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:

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

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

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

[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:

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

[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 和进气过滤器压差 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,筛选出进气过滤器更换后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:

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

$$\begin{aligned}
 [0061] \quad s.t. \quad & (x_i - a)^T(x_i - a) \leq R^2 + \xi_i, i = 1, \dots, n, \\
 & \xi_i \geq 0, i = 1, \dots, n.
 \end{aligned}
 \tag{公式三}$$

[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:

$$[0064] \quad \max \quad \sum_{i=1}^n \alpha_i k(x_i, x_i) - \sum_{i,j} \alpha_i \alpha_j k(x_i, x_j)
 \tag{公式四}$$

$$[0065] \quad s.t. \quad \sum_{i=1}^n \alpha_i = 1, 0 \leq \alpha_i \leq C, i = 1, \dots, n.
 \tag{公式五}$$

$$[0066] \quad k(x_i, x_j) = \exp \frac{-\|x_i - x_j\|}{2s^2}
 \tag{公式六}$$

[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, 在此基础之上, 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。

$$[0069] \quad a = \sum_{i=1}^n \alpha_i x_i
 \tag{公式七}$$

$$[0070] \quad R = k(x_k, x_k) - 2 \sum_i \alpha_i k(x_i, x_k) + \sum_{i,j} \alpha_i \alpha_j k(x_i, x_j), x_k \in SV
 \tag{公式八}$$

$$[0071] \quad dt = k(x_i, x_i) - 2 \sum_i \alpha_i k(x_i, x_i) + \sum_{i,j} \alpha_i \alpha_j k(x_i, x_j)
 \tag{公式九}$$

$$[0072] \quad d_0 = \min(dt) \tag{公式十}$$

[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, 本发明也并不意味着上述举例, 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。

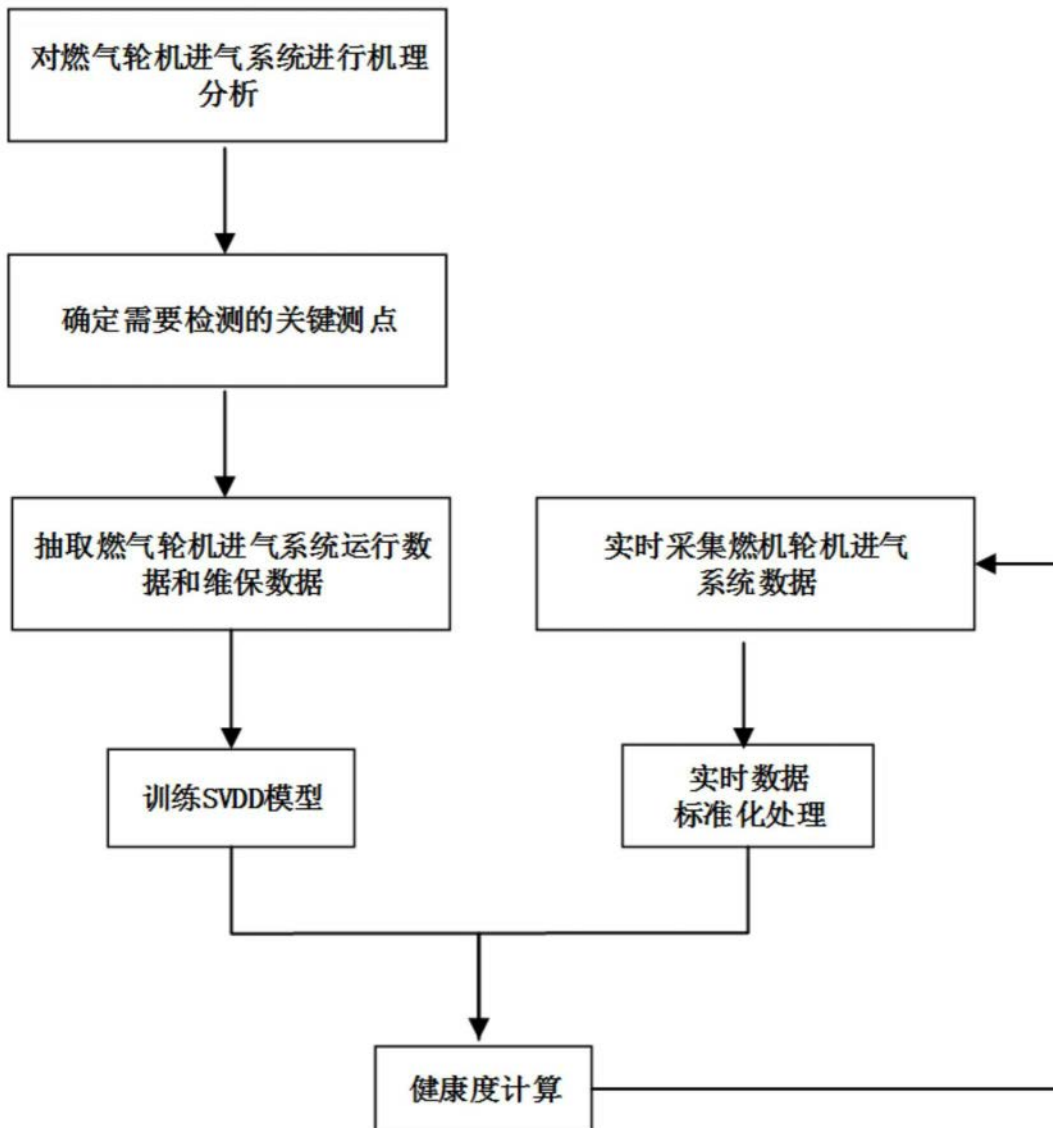


图1

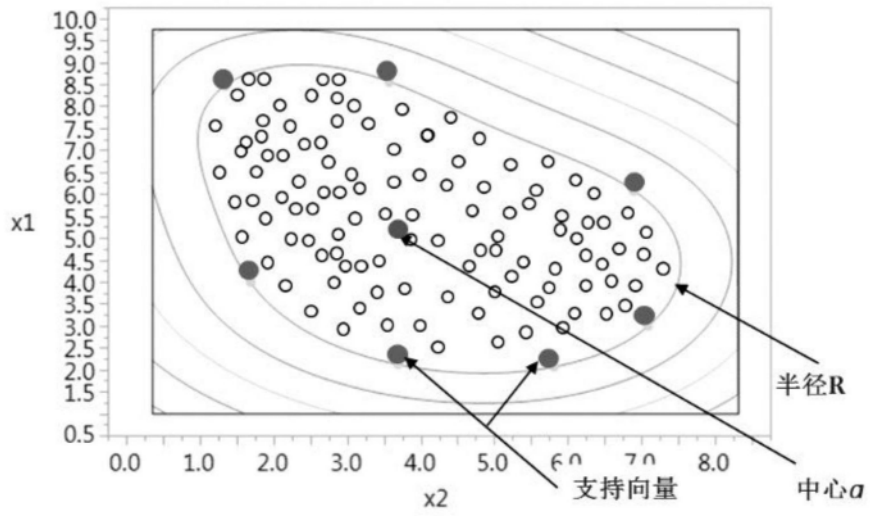


图2