



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114742300 B

(45) 授权公告日 2023. 05. 09

(21) 申请号 202210389304.6

(22) 申请日 2022.04.14

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 114742300 A

(43) 申请公布日 2022.07.12

(73) 专利权人 西安热工研究院有限公司
地址 710032 陕西省西安市碑林区兴庆路
136号

专利权人 中国石油大学(北京)

(72) 发明人 谭祥帅 辛志波 邓春 李昭
何信林 赵如宇 姚智 吴青云
王林 潘耀宇 朱培林 蔺奕存
郭云飞 赵威

(74) 专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司 11245

专利代理师 赵悦

(51) Int.Cl.
G06Q 10/04 (2023.01)
G06Q 50/06 (2012.01)
G06N 3/04 (2023.01)
G06N 3/08 (2023.01)
G08B 21/24 (2006.01)
G08B 31/00 (2006.01)

审查员 王瑞婷

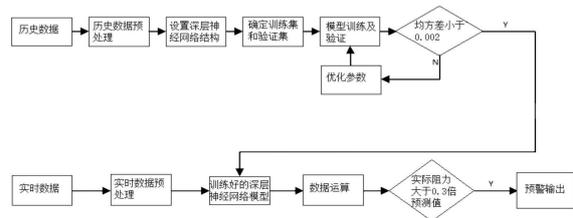
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

一种脱硝设备锅炉烟道阻力预警方法及系统

(57) 摘要

本发明属于火力发电技术领域,涉及一种脱硝设备锅炉烟道阻力预警方法和系统,包括:将脱硝装置烟道阻力运行正常时和异常时的参数分为训练集和验证集;通过训练集的参数对网络模型进行训练,获得以机组正常运行工况的脱硝设备烟道阻力值为输出的脱硝设备烟道阻力网络模型;将实时采集的脱硝设备烟道参数输入脱硝设备烟道阻力网络模型,输出预测的脱硝设备烟道阻力值;根据数据运算综合,判断预测的脱硝设备烟道阻力值是否正常,并结合脱硝设备烟道阻力专家知识库判断是否需要预警,若是,则发送报警信号,并推送相应的解决措施。其能够在脱硝装置烟道阻力异常初期提醒运行人员吹灰或调整运行工况,改善脱硝设备烟道阻塞情况。



1. 一种脱硝设备锅炉烟道阻力预警方法,其特征在于,包括:

将脱硝装置烟道阻力运行正常时和异常时的参数分为训练集和验证集;

通过所述训练集的参数对网络模型进行训练,获得以机组正常运行工况的脱硝设备烟道阻力值为输出的脱硝设备烟道阻力网络模型;

将实时采集的脱硝设备烟道参数输入所述脱硝设备烟道阻力网络模型,输出预测的脱硝设备烟道阻力值;

根据数据综合运算,判断所述预测的脱硝设备烟道阻力值是否正常,并结合脱硝设备烟道阻力专家知识库判断是否需要预警,若是,则发送报警信号,并推送相应的解决措施;

深层网络结构包括若干层隐藏层和一层输出层,通过所述训练集的参数对网络模型进行训练,通过所述验证集对网络模型进行验证,并根据验证结果进行参数调整;

所述数据综合运算为脱硝设备烟道阻力网络模型获得的预测的脱硝设备烟道阻力值,与实测的脱硝设备烟道阻力值进行比较,判断其是否超出异常工况边界值 ε ;

所述异常工况边界值 ε 的计算公式为:

$$\varepsilon = \frac{\Delta P_{\text{实测}} - \Delta P_{\text{预测}}}{\Delta P_{\text{预测}}}$$

其中, $\Delta P_{\text{实测}}$ 为实测的脱硝设备烟道阻力值, $\Delta P_{\text{预测}}$ 为脱硝设备烟道阻力网络模型获得的预测的脱硝设备烟道阻力值;

所述脱硝设备烟道阻力专家知识库包括故障库,参数库和方案库;

所述故障库,用于总结收集脱硝装置烟道阻力发生故障案例;

所述参数库,用于在分析脱硝装置烟道阻力故障案例时,提供相关度最高参数集合;

所述方案库,用于根据所述故障库中的不同故障提供相应的解决方案和最佳处理措施。

2. 如权利要求1所述的脱硝设备锅炉烟道阻力预警方法,其特征在于,所述参数为:总风量、未校正总煤量、SCR出口烟气含氧量、SCR出口烟气温度,SCR入口烟气压力、SCR出口烟气压力和SCR烟气阻力中至少一个。

3. 如权利要求2所述的脱硝设备锅炉烟道阻力预警方法,其特征在于,在采取所述参数后,需要对所述参数进行预处理,所述预处理的方法包括变更数据格式和重建数据空间,所述重建数据空间通过多项式插值、线性插值、二次插值或Cubic插值实现。

4. 如权利要求1所述的脱硝设备锅炉烟道阻力预警方法,其特征在于,所述网络模型的验证方法为:

将所述训练集中数据输入网络模型中进行训练,每次训练结束,输出预测值,计算预测值与实际值的均方误差,当均方误差小于预设值时,结束模型训练;

将所述验证集中数据输入经过训练的模型,输出预测值,计算预测值与实际值的均方误差,若大于预设值,则修改网络结构或修改训练参数进行重复训练,直到达到脱硝设备烟道阻力要求的均方误差值为止;若均方误差小于预设值,则模型通过验证,输出经过训练的模型。

5. 如权利要求1所述的脱硝设备锅炉烟道阻力预警方法,其特征在于,所述预警的条件是:连续若干次判断预测的脱硝设备烟道阻力值异常。

6. 一种脱硝设备锅炉烟道阻力预警系统,其特征在于,包括:

数据采集处理模块,用于将脱硝装置烟道阻力运行正常时和异常时的参数分为训练集和验证集;

模型训练模块,用于通过所述训练集的参数对网络模型进行训练,获得以机组正常运行工况的脱硝设备烟道阻力值为输出的脱硝设备烟道阻力网络模型;

模型测试模块,用于将实时采集的脱硝设备烟道参数输入所述脱硝设备烟道阻力网络模型,输出预测的脱硝设备烟道阻力值;

输出预警模块,用于根据数据综合运算,判断所述预测的脱硝设备烟道阻力值是否正常,并结合脱硝设备烟道阻力专家知识库判断是否需要预警,若是,则发送报警信号,并推送相应的解决措施;

深层网络结构包括若干层隐藏层和一层输出层,通过所述训练集的参数对网络模型进行训练,通过所述验证集对网络模型进行验证,并根据验证结果进行参数调整;

所述数据综合运算为脱硝设备烟道阻力网络模型获得的预测的脱硝设备烟道阻力值,与实测的脱硝设备烟道阻力值进行比较,判断其是否超出异常工况边界值 ε ;

所述异常工况边界值 ε 的计算公式为:

$$\varepsilon = \frac{\Delta P_{\text{实测}} - \Delta P_{\text{预测}}}{\Delta P_{\text{预测}}}$$

其中, $\Delta P_{\text{实测}}$ 为实测的脱硝设备烟道阻力值, $\Delta P_{\text{预测}}$ 为脱硝设备烟道阻力网络模型获得的预测的脱硝设备烟道阻力值;

所述脱硝设备烟道阻力专家知识库包括故障库,参数库和方案库;

所述故障库,用于总结收集脱硝装置烟道阻力发生故障案例;

所述参数库,用于在分析脱硝装置烟道阻力故障案例时,提供相关度最高参数集合;

所述方案库,用于根据所述故障库中的不同故障提供相应的解决方案和最佳处理措施。

一种脱硝设备锅炉烟道阻力预警方法及系统

技术领域

[0001] 本发明涉及一种脱硝设备锅炉烟道阻力预警方法及系统,属于火力发电技术领域。

背景技术

[0002] 火力发电厂锅炉炉膛中煤粉燃烧后产生的烟气,先进入脱硝设备降低NO_x含量,然后进入空气预热器烟气仓,在预热器中利用烟气余热使一二次风得到预热。从空气预热器排出的烟气通过除尘器和引风机及脱硫系统排至烟囱。由于烟气中携带飞灰,脱硝装置烟道内部不可避免会造成沉积,若吹灰不及时,则会造成系统阻力增大从而导致烟风系统电耗增加,严重时甚至造成脱硝装置烟道二次燃烧,严重威胁机组安全运行。若能在脱硝装置烟道阻力异常初期及时发出预警,提醒运行人员吹灰或调整运行工况,则能够避免将此类事故发生。

[0003] 目前火力发电厂中只能通过脱硝装置烟道阻力差压变送器或进出口压力变送器之差并结合机组实际运行工况人为判断烟道阻塞情况,在DCS控制系统中单纯设定差压报警经常会出现误报情况,且由于烟道阻塞并非经常性故障,这就使得运行人员非常容易忽略此类故障。

发明内容

[0004] 针对上述问题,本发明的目的是提供了一种脱硝设备锅炉烟道阻力预警方法及系统,其能够在脱硝装置烟道阻力异常初期提醒运行人员吹灰或调整运行工况,改善烟道阻塞情况。

[0005] 为实现上述目的,本发明提出了以下技术方案:一种脱硝设备锅炉烟道阻力预警方法,包括:将脱硝装置烟道阻力运行正常时和异常时的参数分为训练集和验证集;

[0006] 通过训练集的参数对深层神经网络模型进行训练,获得以机组正常运行工况的脱硝设备烟道阻力值为输出的脱硝设备烟道阻力网络模型;

[0007] 将实时采集的脱硝设备烟道参数输入脱硝设备烟道阻力网络模型,输出预测的脱硝设备烟道阻力值;

[0008] 根据数据运算综合,判断预测的脱硝设备烟道阻力值是否正常,并结合脱硝设备烟道阻力专家知识库判断是否需要预警,若是,则发送报警信号,并推送相应的解决措施。

[0009] 进一步,参数为:总风量、未校正总煤量、SCR(选择性催化还原系统)出口烟气含氧量、SCR出口烟气温度,SCR入口烟气压力、SCR侧出口烟气压力和SCR烟气阻力中至少一个。

[0010] 进一步,在采取脱硝设备烟道参数后,需要对参数进行预处理,预处理的方法包括变更数据格式和重建数据空间,重建数据空间通过多项式插值、线性插值、二次插值或Cubic插值实现。

[0011] 进一步,脱硝设备烟道阻力网络模型结构包括若干层隐藏层和一层输出层,通过训练集的参数对网络模型进行训练,通过验证集对网络模型进行验证,并根据验证结果进

行参数调整。

[0012] 进一步,脱硝设备烟道阻力网络模型的验证方法为:将测试集中数据作为训练集,每次训练结束,输出预测值,计算预测值与实际值的均方误差,当均方误差小于预设值时,结束模型训练;将验证集中数据输入经过训练的模型,输出预测值,计算预测值与实际值的均方误差,若大于预设值,则修改网络结构或修改训练参数进行重复训练,直到达到烟道阻力要求的均方误差值为止;若均方误差小于预设值,则模型通过验证,输出经过训练的模型。

[0013] 进一步,脱硝设备烟道阻力数据综合运算为脱硝设备烟道阻力网络模型获得的预测的脱硝设备烟道阻力值,与实测的脱硝设备烟道阻力值进行比较,判断其是否超出异常工况边界值 ε 。

[0014] 进一步,脱硝设备烟道阻力异常工况边界值 ε 的计算公式为:

$$[0015] \quad \varepsilon = \frac{\Delta P_{\text{实测}} - \Delta P_{\text{预测}}}{\Delta P_{\text{预测}}}$$

[0016] 其中, $\Delta P_{\text{实测}}$ 为实测的脱硝设备烟道阻力实测值, $\Delta P_{\text{预测}}$ 为脱硝设备烟道阻力网络模型获得的预测的脱硝设备烟道阻力值。

[0017] 进一步,脱硝设备烟道阻力专家知识库包括脱硝设备烟道阻力故障库、脱硝设备烟道阻力参数库和脱硝设备烟道阻力方案库;脱硝设备烟道阻力故障库,用于总结收集脱硝装置烟道阻力发生故障案例;脱硝设备烟道阻力参数库,用于在分析脱硝装置烟道阻力故障案例时,提供相关度最高参数集合;脱硝设备烟道阻力方案库,用于根据故障库中的不同故障提供相应的解决方案和最佳处理措施。

[0018] 进一步,预警的条件是:连续若干次判断预测的脱硝设备烟道阻力值异常。

[0019] 本发明还公开了一种脱硝设备锅炉烟道阻力预警系统,包括:脱硝设备烟道阻力数据采集处理模块,用于将脱硝装置烟道阻力运行正常时和异常时的参数分为训练集和验证集;模型训练模块,用于通过训练集的参数对网络模型进行训练,获得以机组正常运行工况的脱硝设备烟道阻力值为输出的脱硝设备烟道阻力网络模型;脱硝设备烟道阻力模型测试模块,用于将实时采集的脱硝设备烟道参数输入脱硝设备烟道阻力网络模型,输出预测的脱硝设备烟道阻力值;输出预警模块,用于根据数据运算综合,判断预测的脱硝设备烟道阻力值是否正常,并结合脱硝设备烟道阻力专家知识库判断是否需要预警,若是,则发送报警信号,并推送相应的解决措施。

[0020] 本发明由于采取以上技术方案,其具有以下优点:本发明通过获取机组运行历史大数据信息,将历史运行大数据进行数理建模,得到的脱硝装置烟道阻力预警模型,能够在脱硝装置烟道阻力异常初期提醒运行人员吹灰或调整运行工况,改善脱硝设备烟道阻塞情况,能够避免由于未发现脱硝设备烟道阻力增大而导致的厂用电率增加问题及能够提前预判由于飞灰沉积造成尾部烟道二次燃烧的问题,并能够提高系统自动化程度,减小运行人员监盘压力。

附图说明

[0021] 图1是本发明一实施例中基于深度神经网络的脱硝设备锅炉烟道阻力预警方法的示意图;

- [0022] 图2是本发明一实施例中预警条件的流程图；
- [0023] 图3是本发明一实施例中脱硝装置A侧烟道阻力预测效果图；
- [0024] 图4是本发明一实施例中基于深度神经网络的锅炉烟道阻力预警系统的示意图。

具体实施方式

[0025] 为了使本领域技术人员更好的理解本发明的技术方案,通过具体实施例对本发明进行详细的描绘。然而应当理解,具体实施方式的提供仅为了更好地理解本发明,它们不应该理解成对本发明的限制。在本发明的描述中,需要理解的是,所用到的术语仅仅是用于描述的目的,而不能理解为指示或暗示相对重要性。

[0026] 为了解决现有技术中,在DCS控制系统中单纯设定差压报警经常会出现误报情况,且由于烟道阻塞并非经常性故障,使得运行人员非常容易忽略此类故障的技术问题,本发明提供一种基于深度神经网络的脱硝设备锅炉烟道阻力预警方法及系统,该方法通过脱硝装置烟道阻力专家知识库,获取机组运行预支相关的历史大数据信息,将历史运行大数据进行数据处理,确定训练集及验证集,应用机器学习得到脱硝装置烟道阻力预警的模型,将模型部署至大数据平台,将机组运行的实时数据输入到模型中,经过脱硝装置烟道阻力异常预警推送模块,最终实现在尾部烟道阻力异常初期及时发出预警,提醒运行人员吹灰或调整运行工况。下面结合附图,通过实施例对本发明的方案进行详细说明。

[0027] 实施例一

[0028] 本实施例公开了一种基于深度神经网络的脱硝设备锅炉烟道阻力预警方法,如图1所示,包括:

[0029] S1将脱硝装置烟道阻力运行正常时和异常时的参数分为训练集和验证集;

[0030] 本步骤中脱硝设备锅炉烟道阻力参数为:总风量、未校正总煤量、SCR(选择性催化还原系统)A侧出口烟气含氧量、SCR A侧出口烟气温度,SCR A侧入口烟气压力、SCR A侧出口烟气压力和SCR A侧烟气阻力中至少一个,但也可以根据实际需要选择合适的参数进行表征。

[0031] 在采取参数后,需要对参数进行预处理,预处理的方法包括变更数据格式和重建数据空间,重建数据空间通过多项式插值、线性插值、二次插值或Cubic插值实现。本实施例中优选的插值方法为多项式插值的方法。

[0032] 在本实施例中,经处理后共产生脱硝装置A侧阻力样本共计2346万个,其中脱硝装置A侧烟道阻力深度神经网络模型训练数据集样本个数为1564万个,脱硝装置A侧烟道阻力深度神经网络模型测试数据集样本个数为782万个。

[0033] S2通过训练集的参数对深度神经网络模型进行训练,获得以机组正常运行工况的烟道阻力值为输出的脱硝设备烟道阻力深度神经网络模型。

[0034] 选择总风量,未校正总煤量,SCR A侧出口烟气含氧量,SCR A侧出口烟气温度作为深度神经网络模型的输入值,用机组正常运行工况的烟道阻力值作为输出值,建立脱硝设备烟道阻力深度神经网络模型。

[0035] 深度神经网络结构包括若干层全连接网络结构,本实施例中优选为3层,其中,全连接网络结构包括2层隐藏层和一层输出层,通过训练集的参数对深度神经网络模型进行训练,通过验证集对深度神经网络模型进行验证,并根据验证结果进行参数调整。

[0036] 神经网络模型的验证方法为：将测集中数据输入神经网络模型中进行训练，每次训练结束，输出预测值，计算预测值与实际值的均方误差，当均方误差小于预设值时，结束模型训练；将验证集中数据输入经过训练的模型，输出预测值，计算预测值与实际值的均方误差，若大于预设值，则修改神经网络结构或修改训练参数进行重复训练，直到达到脱硝设备烟道阻力要求的均方误差值为止；若均方误差小于预设值，则模型通过验证，输出经过训练的模型。在本实施例中，均方误差设定为0.002，当均方误差大于0.002时，模型需要重新进行训练。

[0037] S3将实时采集的脱硝设备烟道参数输入脱硝设备烟道阻力神经网络模型，输出预测的脱硝设备烟道阻力值。

[0038] S4根据数据运算综合，判断预测的脱硝设备烟道阻力值是否正常，并结合脱硝设备烟道阻力专家知识库判断是否需要预警，若是，则发送报警信号，并推送相应的解决措施。

[0039] 数据综合运算为脱硝设备烟道阻力神经网络模型获得的预测的脱硝设备烟道阻力值，与实测的脱硝设备烟道阻力值进行比较，判断其是否超出异常工况边界值 ε 。

[0040] 异常工况边界值 ε 的计算公式为：

$$[0041] \quad \varepsilon = \frac{\Delta P_{\text{实测}} - \Delta P_{\text{预测}}}{\Delta P_{\text{预测}}}$$

[0042] 其中， $\Delta P_{\text{实测}}$ 为实测的脱硝设备烟道阻力值， $\Delta P_{\text{预测}}$ 为脱硝设备烟道阻力神经网络模型获得的预测的脱硝设备烟道阻力值。

[0043] 脱硝装置A侧烟道阻力异常报警准确率计算公式如下：

$$[0044] \quad accuracy = \frac{N_{accuracy}}{N_{test}} \times 100\%$$

[0045] 其中，accuracy为模型预测准确率， $N_{accuracy}$ 为模型预测正确的样本个数， N_{test} 为验证数据集的样本总量。

[0046] 脱硝设备烟道阻力专家知识库是根据对多种类型火电机组的脱硝装置烟道阻力发生过的阻塞，及其原因进行总结而形成的。其包括故障库，参数库和方案库；

[0047] 故障库，用于总结收集脱硝装置烟道阻力发生故障案例，故障库为脱硝设备烟道阻力神经网络模型建立提供依据；

[0048] 参数库，用于在分析脱硝装置烟道阻力故障案例时，提供相关度最高参数集合；方案库，参数库中参数包括但不限于：总风量、未校正总煤量、SCR（选择性催化还原系统）A侧出口烟气含氧量、SCR A侧出口烟气温度，SCR A侧入口烟气压力、SCR A侧出口烟气压力和SCR A侧烟气阻力。参数库为脱硝装置烟道阻力数据采集及处理提供依据。

[0049] 方案库，用于根据故障库中的不同故障提供相应的解决方案和最佳处理措施。预警的条件是：连续若干次判断预测的脱硝设备烟道阻力值异常。方案库为脱硝设备烟道阻力异常预警推送提供依据。

[0050] 如图2所示，为预警条件的流程图，通过分析当前脱硝装置烟道阻力相关的运行参数，结合脱硝装置烟道阻力专家知识库，确定最终的报警条件；即连续若干次判断预测的烟道阻力值异常，就发送报警信号，并推送解决方案，推送的解决方案为设备维护人员提供参考。当满足报警条件时，将脱硝装置烟道阻力报警进行推送，同时给相关人员推送脱硝装置

烟道阻力异常的解决措施。该解决措施例如可以为：提示运行人员SCR烟道阻力异常，请加强吹灰并重点监视。

[0051] 图3是本实施例的脱硝装置A侧烟道阻力预测效果图，选取2020年11月23日至2020年11月24日变工况数据进行预测并绘图；根据脱硝装置烟道阻力专家知识库，异常工况边界值 ϵ 选择0.3。其中，脱硝装置A侧样本总量 $N_{\text{test}}=30000$ ；预测数据不超过异常工况边界值 $\epsilon=0.3$ 的样本数 $N_{\text{accuracy}}=30000$ ，脱硝装置A侧烟道阻力深层神经网络模型测试准确率可达100%，图3中灰色曲线表示脱硝装置A侧烟道阻力实测值，黑色曲线表示模型预测值。

[0052] 实施例二

[0053] 基于相同的发明构思，本实施例还公开了一种基于深度神经网络的脱硝设备锅炉烟道阻力预警系统，如图4所示，包括：

[0054] 数据采集处理模块，用于将脱硝装置烟道阻力运行正常时和异常时的参数分为训练集和验证集；

[0055] 模型训练模块，用于通过训练集的参数对深度神经网络模型进行训练，获得以机组正常运行工况的脱硝设备烟道阻力值为输出的脱硝设备烟道阻力深层神经网络模型；

[0056] 模型测试模块，用于将实时采集的脱硝设备烟道参数输入脱硝设备烟道阻力深层神经网络模型，输出预测的脱硝设备烟道阻力值；

[0057] 输出预警模块，用于根据数据运算综合，判断预测的脱硝设备烟道阻力值是否正常，并结合脱硝设备烟道阻力专家知识库判断是否需要预警，若是，则发送报警信号，并推送相应的解决措施。

[0058] 本领域内的技术人员应明白，本申请的实施例可提供为方法、系统、或计算机程序产品。因此，本申请可采用完全硬件实施例、完全软件实施例、或结合软件和硬件方面的实施例的形式。而且，本申请可采用在一个或多个其中包含有计算机可用程序代码的计算机可用存储介质（包括但不限于磁盘存储器、CD-ROM、光学存储器等）上实施的计算机程序产品的形式。

[0059] 本申请是参照根据本申请实施例的方法、设备（系统）、和计算机程序产品的流程图和/或方框图来描述的。应理解可由计算机程序指令实现流程图和/或方框图中的每一流程和/或方框、以及流程图和/或方框图中的流程和/或方框的结合。可提供这些计算机程序指令到通用计算机、专用计算机、嵌入式处理机或其他可编程数据处理设备的处理器以产生一个机器，使得通过计算机或其他可编程数据处理设备的处理器执行的指令产生用于实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的装置。

[0060] 这些计算机程序指令也可存储在能引导计算机或其他可编程数据处理设备以特定方式工作的计算机可读存储器中，使得存储在该计算机可读存储器中的指令产生包括指令装置的制造品，该指令装置实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能。

[0061] 这些计算机程序指令也可装载到计算机或其他可编程数据处理设备上，使得在计算机或其他可编程设备上执行一系列操作步骤以产生计算机实现的处理，从而在计算机或其他可编程设备上执行的指令提供用于实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的步骤。

[0062] 最后应当说明的是：以上实施例仅用以说明本发明的技术方案而非对其限制，尽

管参照上述实施例对本发明进行了详细的说明,所属领域的普通技术人员应当理解:依然可以对本发明的具体实施方式进行修改或者等同替换,而未脱离本发明精神和范围的任何修改或者等同替换,其均应涵盖在本发明的权利要求保护范围之内。上述内容仅为本申请的具体实施方式,但本申请的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本申请揭露的技术范围内,可轻易想到变化或替换,都应涵盖在本申请的保护范围之内。因此,本申请的保护范围应以权利要求的保护范围为准。

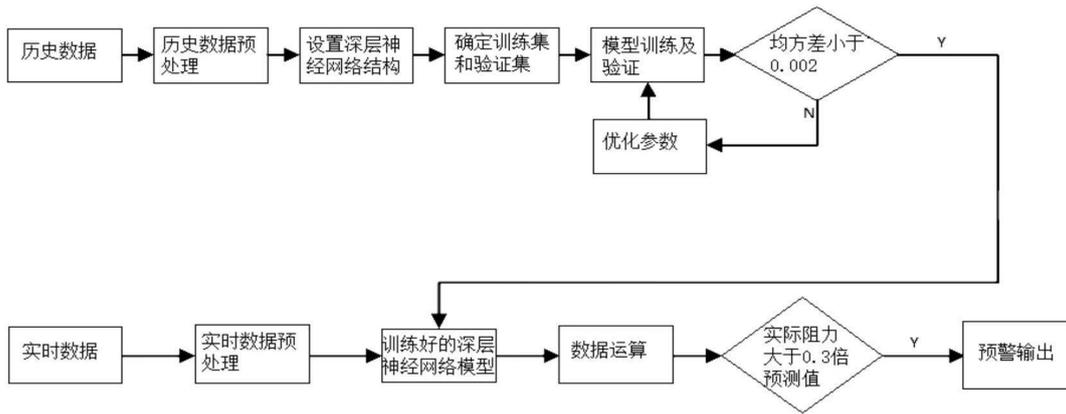


图1

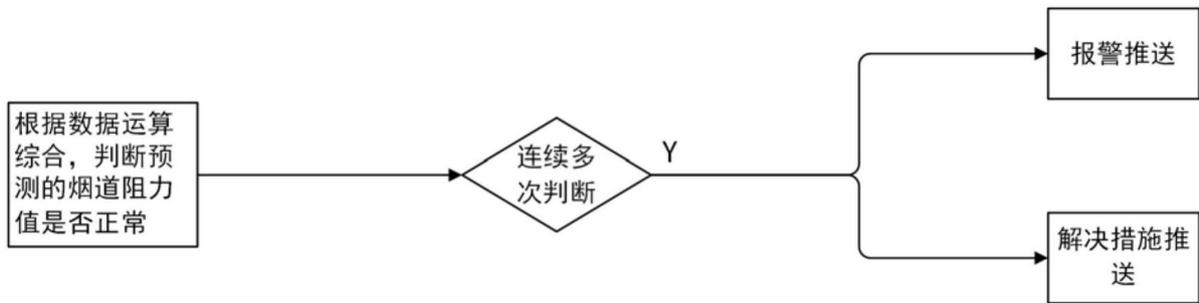


图2

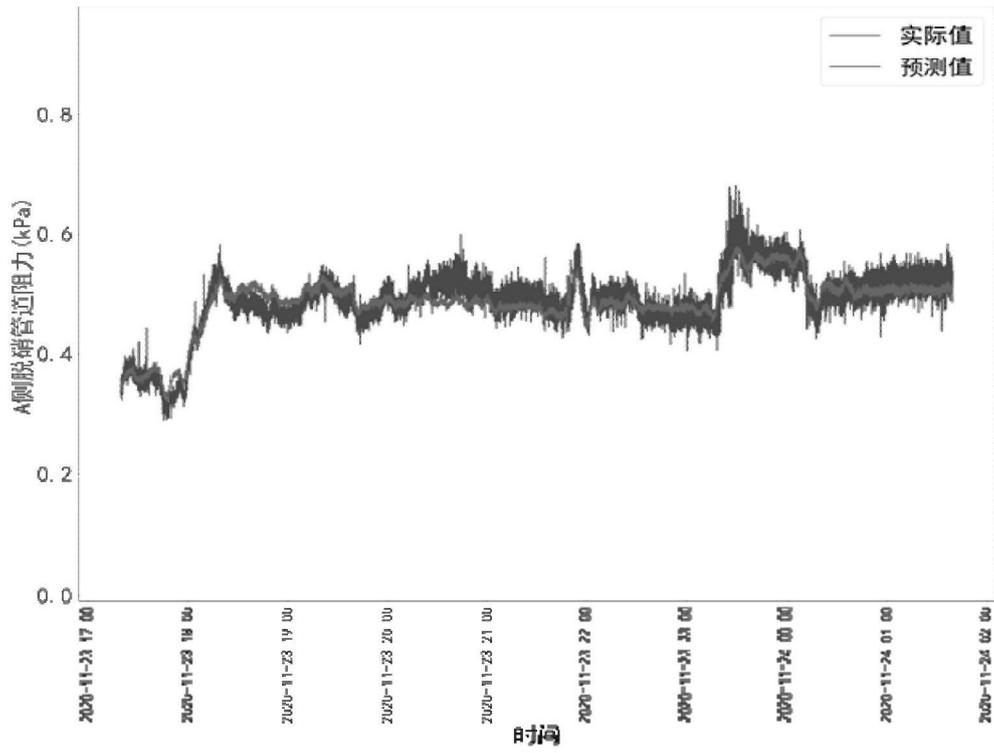


图3

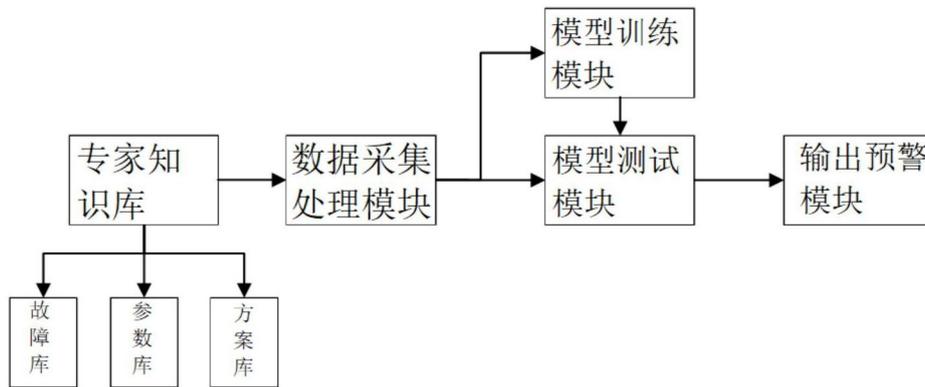


图4