



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113552852 A

(43) 申请公布日 2021. 10. 26

(21) 申请号 202110669095.6

(22) 申请日 2021.06.16

(71) 申请人 南方电网科学研究院有限责任公司

地址 510000 广东省广州市萝岗区科学城

科翔路11号J1栋3、4、5楼及J3栋3楼

申请人 特变电工衡阳变压器有限公司

(72) 发明人 雷园园 李英 张曦 刘金波

王帅兵 宁瀚如

(74) 专利代理机构 广州三环专利商标代理有限公司

公司 44202

代理人 麦小婵 郝传鑫

(51) Int. Cl.

G05B 19/418 (2006.01)

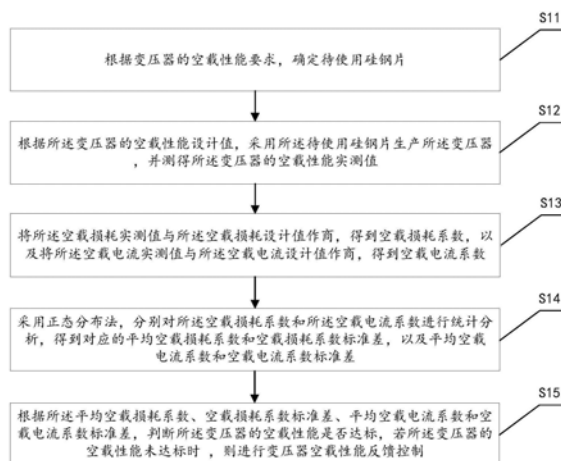
权利要求书3页 说明书14页 附图6页

(54) 发明名称

变压器空载性能控制方法、系统、计算机设备和存储介质

(57) 摘要

本发明提供了变压器空载性能控制方法、系统、计算机设备和存储介质,通过根据变压器的空载性能要求确定待使用硅钢片,根据变压器的空载损耗设计值和空载电流设计值生产变压器,测得空载损耗实测值和空载电流实测值,并对计算得到空载损耗系数和空载电流系数采用正态分布法进行统计分析,得到对应的平均空载损耗系数和空载损耗系数标准差,以及平均空载电流系数和空载电流系数标准差,并依此判断变压器的空载性能是否达标,且在未达标时,进行系统控制的方法,基于产前材料控制、产中工艺控制及产后追溯分析的原则,实现了对变压器空载性能的有效系统控制及对质量工艺的持续跟踪,进而有效提升变压器的生产质量,节约生产成本,减少资源浪费。



1. 一种变压器空载性能控制方法,其特征在于,所述方法包括以下步骤:

根据变压器的空载性能要求,确定待使用硅钢片;

根据所述变压器的空载性能设计值,采用所述待使用硅钢片生产所述变压器,并测得所述变压器的空载性能实测值;所述空载性能设计值包括空载损耗设计值和空载电流设计值;所述空载性能实测值包括空载损耗实测值和空载电流实测值;

将所述空载损耗实测值与所述空载损耗设计值作商,得到空载损耗系数,以及将所述空载电流实测值与所述空载电流设计值作商,得到空载电流系数;

采用正态分布法,分别对所述空载损耗系数和所述空载电流系数进行统计分析,得到对应的平均空载损耗系数和空载损耗系数标准差,以及平均空载电流系数和空载电流系数标准差;

根据所述平均空载损耗系数、空载损耗系数标准差、平均空载电流系数和空载电流系数标准差,判断所述变压器的空载性能是否达标,若所述变压器的空载性能未达标,则进行变压器空载性能反馈控制。

2. 如权利要求1所述的变压器空载性能控制方法,其特征在于,所述根据变压器的空载性能要求,确定待使用硅钢片的步骤包括:

预先根据所述变压器的空载性能要求,确定所述待使用硅钢片的类别;

抽样选取硅钢片样本,并获取所述硅钢片样本的基准B-H曲线和基准B-P曲线,并通过预设检测方法,测得所述硅钢片样本的样本B-H曲线和样本B-P曲线;

根据预设磁通密度监测范围,分别选取所述基准B-H曲线、基准B-P曲线、样本B-H曲线和样本B-P曲线对应的B-H基准样本点、B-P基准样本点、B-H待分析样本点和B-P待分析样本点;

根据所述B-H基准样本点和所述B-H待分析样本点,得到B-H样本点距离,以及根据所述B-P基准样本点和所述B-P待分析样本点,得到B-P样本点距离;

根据所述B-H样本点距离和B-P样本点距离,分析所述硅钢片样本的性能,并根据所述硅钢片样本的性能分析结果,判断所述硅钢片样本是否属于所述待使用硅钢片的类别;

若所述硅钢片样本属于所述待使用硅钢片的类别,则确定为所述待使用硅钢片。

3. 如权利要求2所述的变压器空载性能控制方法,其特征在于,所述根据所述B-H基准样本点和所述B-H待分析样本点,得到B-H样本点距离,以及根据所述B-P基准样本点和所述B-P待分析样本点,得到B-P样本点距离的步骤包括:

将所述B-H基准样本点和所述B-H待分析样本点分别进行归一化处理,得到归一化B-H基准样本点和归一化B-H待分析样本点,并根据所述归一化B-H基准样本点和归一化B-H待分析样本点,得到所述B-H样本点距离;

将所述B-P基准样本点和所述B-P待分析样本点分别进行归一化处理,得到归一化B-P基准样本点和归一化B-P待分析样本点,并根据所述归一化B-P基准样本点和归一化B-P待分析样本点,得到所述B-P样本点距离。

4. 如权利要求2所述的变压器空载性能控制方法,其特征在于,所述根据所述B-H样本点距离和B-P样本点距离,分析所述硅钢片样本的性能,并根据所述硅钢片样本的性能分析结果,判断所述硅钢片样本是否属于所述待使用硅钢片的类别的步骤包括:

判断所述B-P样本点距离是否大于第一预设控制值,若大于,则判定所述硅钢片样本为

第一类硅钢片,反之,则检查所述归一化B-P待分析样本点是否均位于所述归一化B-P基准样本点的左上方;

若所述归一化B-P待分析样本点不满足均位于所述归一化B-P基准样本点的左上方的要求,则判定所述硅钢片样本为第二类硅钢片,反之,则判断所述B-H样本点距离是否大于第二预设控制值;

若所述B-H样本点距离大于第二预设控制值,则判定所述硅钢片样本为第三类硅钢片,反之,则检查所述归一化B-H待分析样本点是否均位于所述归一化B-H基准样本点的左上方;

若所述归一化B-H待分析样本点不满足均位于所述归一化B-H基准样本点的左上方的要求,则判定所述硅钢片样本为第四类硅钢片,反之,则判定所述硅钢片样本为第五类硅钢片。

5.如权利要求1所述的变压器空载性能控制方法,其特征在于,所述采用正态分布法,分别对所述空载损耗系数和所述空载电流系数进行统计分析,得到对应的平均空载损耗系数和空载损耗系数标准差,以及平均空载电流系数和空载电流系数标准差的步骤包括:

采用正态分布法,分别得到所述空载损耗系数和所述空载电流系数对应的空载损耗系数正态分布曲线和空载电流系数正态分布曲线;

将所述平均空载损耗系数与特定倍数所述空载损耗系数标准差求和或求差,得到空载损耗系数有效数据区间,以及将所述平均空载电流系数与特定倍数所述空载电流系数标准差求和或求差,得到空载电流系数有效数据区间;

根据所述空载损耗系数正态分布曲线和所述空载损耗系数有效数据区间,识别异常空载损耗系数,以及根据所述空载电流系数正态分布曲线和所述空载电流系数有效数据区间,识别异常空载电流系数;

查找分别与所述异常空载损耗系数和所述异常空载电流系数对应的所述变压器,并检查所述变压器的硅钢片性能是否达标,以及空载测试系统是否准确;

若所述变压器的硅钢片性能不达标,且所述空载测试系统准确,则判定所述异常空载损耗系数和所述异常空载电流系数为有效数据,反之,则判定所述异常空载损耗系数和所述异常空载电流系数为无效数据,并将所述异常空载损耗系数和异常空载电流系数分别从所述空载损耗系数和所述空载电流系数中剔除后,重新采用正态分布法进行统计分析。

6.如权利要求1所述的变压器空载性能控制方法,其特征在于,所述根据所述平均空载损耗系数、空载损耗系数标准差、平均空载电流系数和空载电流系数标准差,判断所述变压器的空载性能是否达标的步骤包括:

判断所述平均空载损耗系数、空载损耗系数标准差、平均空载电流系数和空载电流系数标准差是否分别在对应的预设平均损耗范围、预设损耗标准差范围、预设平均电流范围和预设电流标准差范围内;

若所述平均空载损耗系数和空载损耗系数标准差均不在对应的所述预设平均损耗范围和预设损耗标准差范围内,或所述平均空载电流系数和空载电流系数标准差均不在对应的所述预设平均电流范围和预设电流标准差范围内,则判定所述变压器的空载性能未达标。

7.如权利要求5所述的变压器空载性能控制方法,其特征在于,所述若所述变压器的空

载性能未达标,则进行变压器空载性能反馈控制的步骤包括:

检测所述变压器的铁芯设计是否合理,若设计不合理,则基于铁芯结构、搭接结构、接缝步进级数及步长改进所述铁芯设计,反之,则检测所述变压器的硅钢片性能是否达标;

若所述变压器的硅钢片性能未达标,则加大对所述变压器的硅钢片性能的监测力度和筛选力度,反之,则检测所述硅钢片的生产工序是否达标;

若所述硅钢片的生产工序未达标,则加大对所述硅钢片的剪切质量、叠片填充率、以及铁芯装配夹紧情况的监控力度,反之,则检测所述空载测试系统是否准确;

若所述空载测试系统不准确,则调整所述空载测试系统的试验电压和接线方式。

8. 一种变压器空载性能控制系统,其特征在于,所述系统包括:

筛选模块,用于根据变压器的空载性能要求,确定待使用硅钢片;

测试模块,用于根据所述变压器的空载性能设计值,采用所述待使用硅钢片生产所述变压器,并测得所述变压器的空载性能实测值;所述空载性能设计值包括空载损耗设计值和空载电流设计值;所述空载性能实测值包括空载损耗实测值和空载电流实测值;

计算模块,将所述空载损耗实测值与所述空载损耗设计值作商,得到空载损耗系数,以及将所述空载电流实测值与所述空载电流设计值作商,得到空载电流系数;

统计模块,用于采用正态分布法,分别对所述空载损耗系数和所述空载电流系数进行统计分析,得到对应的平均空载损耗系数和空载损耗系数标准差,以及平均空载电流系数和空载电流系数标准差;

控制模块,用于根据所述平均空载损耗系数、空载损耗系数标准差、平均空载电流系数和空载电流系数标准差,判断所述变压器的空载性能是否达标,若所述变压器的空载性能未达标,则进行变压器空载性能反馈控制。

9. 一种计算机设备,包括存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序,其特征在于,所述处理器执行所述计算机程序时实现权利要求1至7中任一所述方法的步骤。

10. 一种计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,其特征在于,所述计算机程序被处理器执行时实现权利要求1至7中任一所述方法的步骤。

变压器空载性能控制方法、系统、计算机设备和存储介质

技术领域

[0001] 本发明涉及变压器技术领域,特别是涉及一种变压器空载性能控制方法、系统、计算机设备和存储介质。

背景技术

[0002] 随着电力行业的不断发展和规范,电力变压器的用电工钢方面的要求也越来越细致,已有多项国际、国家、电力行业标准规范了对应的特性参数定义、技术要求、测量方法和选用原则,且对其几何特性及偏差、工艺及表面质量,标志包装和运输储存等也设定了比较严格的要求,但是对变压器所用材料的分散性以及对产品性能的影响关注甚少,且未成形系统的分析方法。众所周知,变压器的损耗是变压器的重要性能参数,且通过对变压器的空载损耗和空载电流进行测试,不仅可以了解变压器运行过程中的效率,而且可以检查出变压器铁芯是否存在缺陷问题,进而验证了变压器铁芯的设计计算和工艺制造等是否满足技术条件和标准要求,即变压器的空载性能可以体现产品生产过程中的工艺制造、质量控制的技术水平。

[0003] 目前,变压器空载性能的研究多在变压器生产厂家得到开展,但现有研究多集中在各种铁芯的截面、夹紧结构设计、以及工作磁密选择等方面,却忽略了硅钢片材料性能和制造工艺问题带来的变压器空载性能分散性的影响,而不能很好地做到对变压器产品生产质量的事前控制,造成了不必要的成本开销和资源浪费。

[0004] 因此,亟需提供一种基于硅钢片材料性能和变压器空载性能分散性分析,实现对变压器产品生产质量进行有效系统控制的方法。

发明内容

[0005] 本发明的目的是提供一种基于硅钢片性能和变压器空载性能分散性统计分析的产前材料控制、产中工艺控制及产后追溯分析的相结合的变压器空载性能控制方法,以实现对变压器空载性能的有效系统控制及对产品质量工艺的持续跟踪,进而有效提升变压器产品的生产质量,节约生产成本,减少资源浪费。

[0006] 为了实现上述目的,有必要针对上述技术问题,提供了一种变压器空载性能控制方法、系统、计算机设备和存储介质。

[0007] 第一方面,本发明实施例提供了一种变压器空载性能控制方法,所述方法包括以下步骤:

[0008] 根据变压器的空载性能要求,确定待使用硅钢片;

[0009] 根据所述变压器的空载性能设计值,采用所述待使用硅钢片生产所述变压器,并测得所述变压器的空载性能实测值;所述空载性能设计值包括空载损耗设计值和空载电流设计值;所述空载性能实测值包括空载损耗实测值和空载电流实测值;

[0010] 将所述空载损耗实测值与所述空载损耗设计值作商,得到空载损耗系数,以及将所述空载电流实测值与所述空载电流设计值作商,得到空载电流系数;

[0011] 采用正态分布法,分别对所述空载损耗系数和所述空载电流系数进行统计分析,得到对应的平均空载损耗系数和空载损耗系数标准差,以及平均空载电流系数和空载电流系数标准差;

[0012] 根据所述平均空载损耗系数、空载损耗系数标准差、平均空载电流系数和空载电流系数标准差,判断所述变压器的空载性能是否达标,若所述变压器的空载性能未达标,则进行变压器空载性能反馈控制。

[0013] 进一步地,所述根据变压器的空载性能要求,确定待使用硅钢片的步骤包括:

[0014] 预先根据所述变压器的空载性能要求,确定所述待使用硅钢片的类别;

[0015] 抽样选取硅钢片样本,并获取所述硅钢片样本的基准B-H曲线和基准B-P曲线,并通过预设检测方法,测得所述硅钢片样本的样本B-H曲线和样本B-P曲线;

[0016] 根据预设磁通密度监测范围,分别选取所述基准B-H曲线、基准B-P曲线、样本B-H曲线和样本B-P曲线对应的B-H基准样本点、B-P基准样本点、B-H待分析样本点和B-P待分析样本点;

[0017] 根据所述B-H基准样本点和所述B-H待分析样本点,得到B-H样本点距离,以及根据所述B-P基准样本点和所述B-P待分析样本点,得到B-P样本点距离;

[0018] 根据所述B-H样本点距离和B-P样本点距离,分析所述硅钢片样本的性能,并根据所述硅钢片样本的性能分析结果,判断所述硅钢片样本是否属于所述待使用硅钢片的类别;

[0019] 若所述硅钢片样本属于所述待使用硅钢片的类别,则确定为所述待使用硅钢片。

[0020] 进一步地,所述根据所述B-H基准样本点和所述B-H待分析样本点,得到B-H样本点距离,以及根据所述B-P基准样本点和所述B-P待分析样本点,得到B-P样本点距离的步骤包括:

[0021] 将所述B-H基准样本点和所述B-H待分析样本点分别进行归一化处理,得到归一化B-H基准样本点和归一化B-H待分析样本点,并根据所述归一化B-H基准样本点和归一化B-H待分析样本点,得到所述B-H样本点距离;

[0022] 将所述B-P基准样本点和所述B-P待分析样本点分别进行归一化处理,得到归一化B-P基准样本点和归一化B-P待分析样本点,并根据所述归一化B-P基准样本点和归一化B-P待分析样本点,得到所述B-P样本点距离。

[0023] 进一步地,所述根据所述B-H样本点距离和B-P样本点距离,分析所述硅钢片样本的性能,并根据所述硅钢片样本的性能分析结果,判断所述硅钢片样本是否属于所述待使用硅钢片的类别的步骤包括:

[0024] 判断所述B-P样本点距离是否大于第一预设控制值,若大于,则判定所述硅钢片样本为第一类硅钢片,反之,则检查所述归一化B-P待分析样本点是否均位于所述归一化B-P基准样本点的左上方;

[0025] 若所述归一化B-P待分析样本点不满足均位于所述归一化B-P基准样本点的左上方的要求,则判定所述硅钢片样本为第二类硅钢片,反之,则判断所述B-H样本点距离是否大于第二预设控制值;

[0026] 若所述B-H样本点距离大于第二预设控制值,则判定所述硅钢片样本为第三类硅钢片,反之,则检查所述归一化B-H待分析样本点是否均位于所述归一化B-H基准样本点的

左上方；

[0027] 若所述归一化B-H待分析样本点不满足均位于所述归一化B-H基准样本点的左上方的要求，则判定所述硅钢片样本为第四类硅钢片，反之，则判定所述硅钢片样本为第五类硅钢片。

[0028] 进一步地，所述采用正态分布法，分别对所述空载损耗系数和所述空载电流系数进行统计分析，得到对应的平均空载损耗系数和空载损耗系数标准差，以及平均空载电流系数和空载电流系数标准差的步骤包括：

[0029] 采用正态分布法，分别得到所述空载损耗系数和所述空载电流系数对应的空载损耗系数正态分布曲线和空载电流系数正态分布曲线；

[0030] 将所述平均空载损耗系数与特定倍数所述空载损耗系数标准差求和或求差，得到空载损耗系数有效数据区间，以及将所述平均空载电流系数与特定倍数所述空载电流系数标准差求和或求差，得到空载电流系数有效数据区间；

[0031] 根据所述空载损耗系数正态分布曲线和所述空载损耗系数有效数据区间，识别异常空载损耗系数，以及根据所述空载电流系数正态分布曲线和所述空载电流系数有效数据区间，识别异常空载电流系数；

[0032] 查找分别与所述异常空载损耗系数和所述异常空载电流系数对应的所述变压器，并检查所述变压器的硅钢片性能是否达标，以及空载测试系统是否准确；

[0033] 若所述变压器的硅钢片性能不达标，且所述空载测试系统准确，则判定所述异常空载损耗系数和所述异常空载电流系数为有效数据，反之，则判定所述异常空载损耗系数和所述异常空载电流系数为无效数据，并将所述异常空载损耗系数和异常空载电流系数分别从所述空载损耗系数和所述空载电流系数中剔除后，重新采用正态分布法进行统计分析。

[0034] 进一步地，所述根据所述平均空载损耗系数、空载损耗系数标准差、平均空载电流系数和空载电流系数标准差，判断所述变压器的空载性能是否达标的步骤包括：

[0035] 判断所述平均空载损耗系数、空载损耗系数标准差、平均空载电流系数和空载电流系数标准差是否分别在对应的预设平均损耗范围、预设损耗标准差范围、预设平均电流范围和预设电流标准差范围内；

[0036] 若所述平均空载损耗系数和空载损耗系数标准差均不在对应的所述预设平均损耗范围和预设损耗标准差范围内，或所述平均空载电流系数和空载电流系数标准差均不在对应的所述预设平均电流范围和预设电流标准差范围内，则判定所述变压器的空载性能未达标。

[0037] 进一步地，所述若所述变压器的空载性能未达标，则进行变压器空载性能反馈控制的步骤包括：

[0038] 检测所述变压器的铁芯设计是否合理，若设计不合理，则基于铁芯结构、搭接结构、接缝步进级数及步长改进所述铁芯设计，反之，则检测所述变压器的硅钢片性能是否达标；

[0039] 若所述变压器的硅钢片性能未达标，则加大所述变压器的硅钢片性能的监测力度和筛选力度和筛选力度，反之，则检测所述硅钢片的生产工序是否达标；

[0040] 若所述硅钢片的生产工序未达标，则加大所述硅钢片的剪切质量、叠片填充率、以

及铁芯装配夹紧情况的监控力度,反之,则检测所述空载测试系统是否准确;

[0041] 若所述空载测试系统不准确,则调整所述空载测试系统的试验电压和接线方式。

[0042] 第二方面,本发明实施例提供了一种变压器空载性能控制系统,所述系统包括:

[0043] 筛选模块,用于根据变压器的空载性能要求,确定待使用硅钢片;

[0044] 测试模块,用于根据所述变压器的空载性能设计值,采用所述待使用硅钢片生产所述变压器,并测得所述变压器的空载性能实测值;所述空载性能设计值包括空载损耗设计值和空载电流设计值;所述空载性能实测值包括空载损耗实测值和空载电流实测值;

[0045] 计算模块,将所述空载损耗实测值与所述空载损耗设计值作商,得到空载损耗系数,以及将所述空载电流实测值与所述空载电流设计值作商,得到空载电流系数;

[0046] 统计模块,用于采用正态分布法,分别对所述空载损耗系数和所述空载电流系数进行统计分析,得到对应的平均空载损耗系数和空载损耗系数标准差,以及平均空载电流系数和空载电流系数标准差;

[0047] 控制模块,用于根据所述平均空载损耗系数、空载损耗系数标准差、平均空载电流系数和空载电流系数标准差,判断所述变压器的空载性能是否达标,若所述变压器的空载性能未达标,则进行变压器空载性能反馈控制。

[0048] 第三方面,本发明实施例还提供了一种计算机设备,包括存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序,所述处理器执行所述计算机程序时实现上述方法的步骤。

[0049] 第四方面,本发明实施例还提供一种计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,所述计算机程序被处理器执行时实现上述方法的步骤。

[0050] 上述本申请提供了一种变压器空载性能控制方法、系统、计算机设备及存储介质,通过所述方法,实现了根据变压器的空载性能要求确定待使用硅钢片的分类,以及将硅钢片样本的空载损耗曲线和空载电流曲线分别与基准空载损耗曲线和空载电流曲线作对比分析,确定硅钢片样本的所属分类,在根据硅钢片样本的分类确定待使用硅钢片后,根据变压器的空载损耗设计值和空载电流设计值,使用确定的待使用硅钢片生产变压器,测得变压器的空载损耗实测值和空载电流实测值,并对计算得到空载损耗系数和空载电流系数采用正态分布法进行统计分析,得到对应的平均空载损耗系数和空载损耗系数标准差,以及平均空载电流系数和空载电流系数标准差,并依此判断变压器的空载性能是否达标,且在未达标时,进行系统控制的方法的技术方案。与现有技术相比,该基于产前材料控制、产中工艺控制及产后追溯分析的原则的变压器空载性能控制方法,实现了对变压器空载性能的有效系统控制及对产品质量工艺的持续跟踪,进而有效提升变压器的生产质量,节约生产成本,减少资源浪费。

附图说明

[0051] 图1是本发明实施例中变压器空载性能控制方法的应用场景示意图;

[0052] 图2是本发明实施例变压器空载性能控制方法的流程示意图;

[0053] 图3是图2中步骤S11确定待使用硅钢片的流程示意图;

[0054] 图4是图3中步骤S114得到B-H样本点距离和B-P样本点距离的流程示意图;

[0055] 图5是图3中步骤S115判断硅钢片样本是否属于待使用硅钢片类别的流程示意图;

- [0056] 图6是图2中步骤S14采用正态分布法进行统计分析的流程示意图；
- [0057] 图7是本发明实施例中空载损耗系数分布曲线示意图；
- [0058] 图8是本发明实施例中空载电流系数分布曲线示意图；
- [0059] 图9是本发明实施例中变压器空载性能控制系统的结构示意图；
- [0060] 图10是本发明实施例中计算机设备的内部结构图。

具体实施方式

[0061] 为了使本申请的目的、技术方案和有益效果更加清楚明白，下面结合附图及实施例，对本发明作进一步详细说明，显然，以下所描述的实施例是本发明实施例的一部分，仅用于说明本发明，但不用来限制本发明的范围。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本发明保护的范围。

[0062] 本发明提供的变压器空载性能控制方法主要基于产前材料控制、产中工艺控制及产后追溯分析的原则，从对生产变压器所用硅钢片材料性能的筛选，到按照变压器的空载性能设计进行生产，再对生产得到的变压器产品性能进行检测分析，回溯查找产品性能异常原因并进行反馈控制以指导后续生产的系统控制方法来保证变压器的空载性能达标，具体应用场景如图1所示。

[0063] 在一个实施例中，如图2所示，提供了一种变压器空载性能控制方法，包括以下步骤：

[0064] S11、根据变压器的空载性能要求，确定待使用硅钢片；

[0065] 其中，变压器的空载性能要求可以遵循实际的行业标准制定，不同的变压器空载性能要求对所使用的硅钢片材料性能要求也不同，为了保证各种空载性能要求的变压器产品质量均达标的同时，尽量做到对硅钢片材料的合理分配使用，减少资源浪费，就需要在变压器生产之前根据对应的要求从供应商提供的各批次各型号的硅钢片材料中选择符合性能要求的硅钢片，作为后续生产变压器的待使用硅钢片。如图3所示，所述根据变压器的空载性能要求，确定待使用硅钢片的步骤S11包括：

[0066] S111、预先根据所述变压器的空载性能要求，确定所述待使用硅钢片的类别；

[0067] 其中，待使用硅钢片的类别可根据实际情况事先确定，比如根据产品生产要求将所有硅钢片统一按照性能差、性能较差、性能一般、性能较好和性能优等五个性能等级对应分为第一类硅钢片、第二类硅钢片、第三类硅钢片、第四类硅钢片和第五类硅钢片，若变压器要求使用的硅钢片性能为性能优等级，则待使用硅钢片的分类就只能确定为第五类硅钢片，若变压器要求使用的硅钢片性能为性能较好等级，则待使用硅钢片的分类可以为第四类硅钢片或第五类硅钢片，此时只是使用第五类硅钢片可能会存在一定的资源浪费情况，其他使用场景的待使用硅钢片分类的确定方法依此类推，此处不再赘述。

[0068] S112、抽样选取硅钢片样本，并获取所述硅钢片样本的基准B-H曲线和基准B-P曲线，并通过预设检测方法，测得所述硅钢片样本的样本B-H曲线和样本B-P曲线；

[0069] 其中，B-H曲线为磁通密度-磁场强度曲线；所述B-P曲线为磁通密度-损耗曲线。硅钢片样本是指基于统计学抽样检测原理从供应商提供的不同批次不同商品型号的硅钢片材料中随机抽取得到，并将同批次同商品型号的硅钢片样本作为待测样本用于评估该批次该型号的硅钢片的性能是否达标，并依此对该批次该型号的硅钢片进行分类，为后续分配

使用提供指导。由于每个供应商的不同商品型号的硅钢片的性能指标基准都不相同,因此,在对硅钢片样本性能分析前,要先根据抽取到的硅钢片样本确定硅钢片样本的供应商和商品型号,再根据供应商和商品型号获取对应型号的基准B-H曲线和基准B-P曲线,作为后续对硅钢片样本性能评估分析的依据。此外,还需要通过根据实际应用需求从现有技术中选择的符合国家相应检测标准的预设检测方法,对硅钢片样本的性能进行检测,得到准确的磁通密度-磁场强度曲线和磁通密度-损耗曲线,作为硅钢片样本的样本B-H曲线和样本B-P曲线,用于后续与对应的基准B-H曲线和基准B-P曲线进行比对分析。

[0070] S113、根据预设磁通密度监测范围,分别选取所述基准B-H曲线、基准B-P曲线、样本B-H曲线和样本B-P曲线对应的B-H基准样本点、B-P基准样本点、B-H待分析样本点和B-P待分析样本点;

[0071] 其中,预设磁通密度监测范围的选取原则上可以根据实际应用需求进行选择,如根据各类变压器产品的工作磁密、空载性能指标的考核试验以及过励磁运行条件和各类电力系统仿真软件对材料特性的需求等,确定需要监测的磁密度范围,如公司使用该硅钢片生产各类变压器,且各类变压器的磁密工作点基本都在1.65-1.8T范围内,变压器的空载性能试验和指标也都是在这个额定工作点上进行试验考核,虽然每条曲线B-H、B-P都包括低磁密段,但是工作点范围是特别需要控制的质量点,直接关系到变压器成台产品的性能指标,此时,考虑到各种运行条件及软件仿真等需求就可以选定预设监测范围为1.65-1.9T,并基于该预设磁通密度监测范围,在通过上述步骤得到的基准B-H曲线、基准B-P曲线、样本B-H曲线和样本B-P曲线上采用随机取样或等间距取样的方法,分别选取特定数目的B-H基准样本点、B-P基准样本点、B-H待分析样本点和B-P待分析样本点进行后续的性能指标分析,即B-H基准样本点和B-H待分析样本点均在预设磁通密度监测范围内且数目相同,同理,B-P基准样本点和B-P待分析样本点也均在预设磁通密度监测范围内且数目相同。需要说明的是,样本点的特定数目可根据实际应用需求确定,原则上为了保证统计分析的有效性,应在预设磁通密度监测范围内选择尽可能多的样本点进行分析使用。此外,曲线样本点的选取方法在各个曲线上应用是需要保持一致,如B-H基准样本点、B-P基准样本点、B-H待分析样本点和B-P待分析样本点的选取均采用随机取样方法获得,或均采用等间距取样方法获得,才能有效保证样本点的可比性,进而保证后续性能分析方法的可靠有效。

[0072] S114、根据所述B-H基准样本点和所述B-H待分析样本点,得到B-H样本点距离,以及根据所述B-P基准样本点和所述B-P待分析样本点,得到B-P样本点距离;

[0073] 其中,B-H样本点距离与B-P样本点距离的计算方法保持一致,此处基准样本点与待分析样本点的距离采用欧式距离公式得到,并将所有样本点距离累加得到对应的样本点距离,以实现性能曲线预设监测范围内的多个样本点进行分析,以保证对硅钢片性能监控更全面合理,使得硅钢片性能分类更好满足各类产品和各种应用需求。由于实际的磁场强度值H与磁通密度值B,以及损耗P与磁通密度值B并不在同一个数量级,如在磁通密度-磁场强度曲线B-H中磁场强度H在数值上往往比磁通密度B大得多,B的数值一般在(-2,2)T之间,而H可达几千A/m,因此H对B-H样本点距离d的贡献要远大于B,直接使用上述的B-H基准样本点和B-H待分析样本点计算B-H样本点距离d就会出现计算不便或者因为不同参数贡献度差异过大导致计算结果失真不利于后续控制分析。如图4所示,所述根据所述B-H基准样本点和所述B-H待分析样本点,得到B-H样本点距离,以及根据所述B-P基准样本点和所述B-

P待分析样本点,得到B-P样本点距离的步骤S114包括:

[0074] S1141、将所述B-H基准样本点和所述B-H待分析样本点分别进行归一化处理,得到归一化B-H基准样本点和归一化B-H待分析样本点,并根据所述归一化B-H基准样本点和归一化B-H待分析样本点,得到所述B-H样本点距离;

[0075] 其中,B-H样本点距离的计算步骤如下:根据所述B-H基准样本点和所述B-H待分析样本点,确定磁通密度样本点最大值和磁场强度样本点最大值,并根据所述磁通密度样本点最大值和磁场强度样本点最大值,对所述B-H基准样本点和所述B-H待分析样本点分别进行归一化处理,得到的归一化B-H基准样本点和归一化B-H待分析样本点:

$$[0076] \quad (h_0^m = \frac{H_0^m}{H_{\max}}, b_0^m = \frac{B_0^m}{B_{\max}}), m = 1, \dots, N$$

$$[0077] \quad (h^m = \frac{H^m}{H_{\max}}, b^m = \frac{B^m}{B_{\max}}), m = 1, \dots, N$$

[0078] 式中,m、N分别为第i个样本点和样本点总数; H_0^m 、 B_0^m 分别为第m个B-H基准样本点的横坐标和纵坐标; H^m 、 B^m 分别为第m个B-H待分析样本点的横坐标和纵坐标; $H_{\max}$ 、 $B_{\max}$ 分别为磁场强度样本点最大值和磁通密度样本点最大值; h_0^m 、 b_0^m 分别为第m个归一化B-H基准样本点的横坐标和纵坐标; h^m 、 b^m 分别为第m个归一化B-H待分析样本点的横坐标和纵坐标;

[0079] 根据所述归一化B-H基准样本点和归一化B-H待分析样本点,得到所述B-H样本点距离:

$$[0080] \quad d = \sum_{m=1}^N \sqrt{(h^m - h_0^m)^2 + (b^m - b_0^m)^2}.$$

[0081] S1142、将所述B-P基准样本点和所述B-P待分析样本点分别进行归一化处理,得到归一化B-P基准样本点和归一化B-P待分析样本点,并根据所述归一化B-P基准样本点和归一化B-P待分析样本点,得到所述B-P样本点距离。

[0082] 其中,B-P样本点距离的计算步骤如下:根据所述B-P基准样本点和所述B-P待分析样本点,确定磁通密度样本点最大值和损耗样本点最大值,并根据所述磁通密度样本点最大值和损耗样本点最大值,对所述B-P基准样本点和所述B-P待分析样本点分别进行归一化处理,得到归一化B-P基准样本点和归一化B-P待分析样本点:

$$[0083] \quad (p_0^m = \frac{P_0^m}{P_{\max}}, b_{10}^m = \frac{B_{10}^m}{B_{1\max}}), m = 1, \dots, N$$

$$[0084] \quad (p^m = \frac{P^m}{P_{\max}}, b_1^m = \frac{B_1^m}{B_{1\max}}), m = 1, \dots, N$$

[0085] 式中,m、N分别为第i个样本点和样本点总数; P_0^m 、 B_{10}^m 分别为第m个B-P基准样本点的横坐标和纵坐标; P^m 、 B_1^m 分别为第m个B-P待分析样本点的横坐标和纵坐标; $P_{\max}$ 、 $B_{1\max}$ 分别为损耗样本点最大值和磁通密度样本点最大值; p_0^m 、 b_{10}^m 分别为第m个归一化B-P基准样本点的横坐标和纵坐标; p^m 、 b_1^m 分别为第m个归一化B-P待分析样本点的横坐标和纵坐标;

标；

[0086] 根据所述归一化B-P基准样本点和归一化B-P待分析样本点，得到所述B-P样本点距离：

$$[0087] \quad d_p = \sum_{m=1}^N \sqrt{(p^m - h_0^m)^2 + (b_1^m - b_{10}^m)^2}。$$

[0088] 本实施例中采用归一化处理B-H基准样本点、B-P基准样本点、B-H待分析样本点和B-P待分析样本点，再采用欧式距离公式计算得到对应B-H样本点距离与B-P样本点距离的方法，有效保证了待分析样本点与基准样本点距离计算的合理性和有效性，进而为后续基于该样本点距离对硅钢片性能分析的准确性提供了可靠保证。

[0089] S115、根据所述B-H样本点距离和B-P样本点距离，分析所述硅钢片样本的性能，并根据所述硅钢片样本的性能分析结果，判断所述硅钢片样本是否属于所述待使用硅钢片的类别；

[0090] 其中，B-P样本点距离与B-H样本点距离是评估硅钢片样本的性能的关键指标，分别设置了对应的第一预设控制值和第二预设控制值进行检测分析，并结合预设磁通密度监测范围内基准曲线与样本曲线上样本点的位置关系，采用按照上述硅钢片性能等级对应分类的方法，对硅钢片样本基于性能指标确定硅钢片样本是否属于前述待使用硅钢片的类别，如图5所示，所述根据所述B-H样本点距离和B-P样本点距离，分析所述硅钢片样本的性能，并根据所述硅钢片样本的性能分析结果，判断所述硅钢片样本是否属于所述待使用硅钢片的类别的步骤S115包括：

[0091] S1151、判断所述B-P样本点距离是否大于第一预设控制值，若大于，则判定所述硅钢片样本为第一类硅钢片，反之，则检查所述归一化B-P待分析样本点是否均位于所述归一化B-P基准样本点的左上方；

[0092] 其中，第一预设控制值用于对硅钢片损耗性能指标进行控制，根据实际检测经验，硅钢片损耗性能指标不达标现象比较普遍，本实施例将其作为判断硅钢片性能是否为差等级的条件，其具体的取值根据实际应用需求进行选取，如根据实际变压器在工作磁密1.65-1.9T范围内硅钢片的性能要求，将第一预设控制值为基准值的2-3%范围内的任一数值，若B-P样本点距离 d_p 大于第一预设控制值时，则认为该硅钢片样本的性能属于性能差等级，但B-P样本点距离 d_p 不大于第一预设控制值时，不能直接判定为该硅钢片的性能好或优，还需要结合B-P待分析样本点与B-P基准样本点的位置关系进一步判断。需要说明的是，上述第一预设控制值的选取仅为示例性说明，并不对具体实施应用做限制。

[0093] S1152、若所述归一化B-P待分析样本点不满足均位于所述归一化B-P基准样本点的左上方的要求，则判定所述硅钢片样本为第二类硅钢片，反之，则判断所述B-H样本点距离是否大于第二预设控制值；

[0094] 其中，B-P待分析样本点均位于B-P基准样本点的左上方的要求，是为了保证样本B-P曲线位于基准B-P曲线的左上区域，即对于同样的B值，损耗P应小于基准曲线上的损耗值，若不满足时，就可以直接将硅钢片样本判定为性能较差，反之，若该条件仍满足，则需要进一步判断B-H样本点距离d是否符合预设标准要求，即是否第二预设控制值。其中，第二预设控制值用于对硅钢片励磁性能指标的控制，由实际检测经验可知，B-H对应的空载电流指标不达标现象较少，因此将其作为辅助检测条件，同样第二预设控制值具体的取值根据

实际应用需求进行选取,如根据实际变压器在工作磁密1.65-1.9T范围内硅钢片的性能要求,将第二预设控制值为基准值的10%。需要说明的是,上述第二预设控制值的选取仅为示例性说明,并不对具体实施应用做限制。

[0095] S1153、若所述B-H样本点距离大于第二预设控制值,则判定所述硅钢片样本为第三类硅钢片,反之,则检查所述归一化B-H待分析样本点是否均位于所述归一化B-H基准样本点的左上方;

[0096] 其中,B-H样本点距离大于第二预设控制值时,将硅钢片样本直接判定为性能一般,反之,则需要进一步结合B-H待分析样本点与B-H基准样本点的位置关系进一步判断。

[0097] S1154、若所述归一化B-H待分析样本点不满足均位于所述归一化B-H基准样本点的左上方的要求,则判定所述硅钢片样本为第四类硅钢片,反之,则判定所述硅钢片样本为第五类硅钢片。

[0098] 其中,B-H待分析样本点均位于B-H基准样本点的左上方的要求,是为了保证样本B-H曲线位于基准B-H曲线的左上区域,即对于同样的B值,磁场强度H应小于基准曲线上的磁场强度值,若不满足时,就可以直接将硅钢片样本判定为性能较好,即可应用于对硅钢片性能要求稍高的产品生产,反之,则认为该硅钢片的性能为性能优等级,属于第五类硅钢片,即可以应用于对硅钢片性能要求很高的产品生产。

[0099] 需要说明的是,上述将硅钢片基于不同的性能等级分为第一类硅钢片、第二类硅钢片、第三类硅钢片、第四类硅钢片和第五类硅钢片仅属于示例性的分类,实际应用中可以根据具体的需求设定比本发明较多或相对较少的分类,不影响本发明基于性能分析的分类方法的实施。

[0100] S116、若所述硅钢片样本属于所述待使用硅钢片的类别,则确定为所述待使用硅钢片。

[0101] 本实施例中采用当B-H样本点距离和B-P样本点距离分别达到对应的控制值要求后,结合归一化待分析样本点与归一化基准样本点的位置关系进一步辅助判定给出对应的硅钢片分类结果,进而为变压器产品生产筛选出合适的硅钢片材料,不仅有效保证了变压器产品的生产质量,还为变压器产品的用料选择提供了便利。

[0102] S12、根据所述变压器的空载性能设计值,采用所述待使用硅钢片生产所述变压器,并测得所述变压器的空载性能实测值;所述空载性能设计值包括空载损耗设计值和空载电流设计值;所述空载性能实测值包括空载损耗实测值和空载电流实测值;

[0103] 其中,空载性能设计值在实际生产应用中为变压器设计时使用标准的计算公式得到,且用于指导生产产线的生产工作的设计指标,可以根据后期变压器成品的实际性能指标根据需要进行调整,以保证后续产品生产的质量。空载性能实测值可以采用现有的变压器空载性能的测试方法和测试系统得到,用于后续与空载性能设计值对比分析产品的离散性,此处不再赘述。

[0104] S13、将所述空载损耗实测值与所述空载损耗设计值作商,得到空载损耗系数,以及将所述空载电流实测值与所述空载电流设计值作商,得到空载电流系数;

[0105] 其中,空载损耗系数和空载电流系数均相当于一个实测值与基准值的比值,可以直接体现某个变压器产品的实测空载性能和预设性能的偏差,以空载损耗系数和空载电流系数为空载性能分析指标对不同生产产线不同型号变压器进行统计分析,可有效评估产品

质量的离散性,对产品生产质量跟踪具有很好的指导意义。

[0106] S14、采用正态分布法,分别对所述空载损耗系数和所述空载电流系数进行统计分析,得到对应的平均空载损耗系数和空载损耗系数标准差,以及平均空载电流系数和空载电流系数标准差;

[0107] 其中,正态分布法,也称威布尔函数法,本实施例中对载损耗系数和空载电流系数分别基于正态分布统计分析的方法保持一致,其中还包括对无效数据的清洗,如图6所示,所述采用正态分布法,分别对所述空载损耗系数和所述空载电流系数进行统计分析,得到对应的平均空载损耗系数和空载损耗系数标准差,以及平均空载电流系数和空载电流系数标准差的步骤S14包括:

[0108] S141、采用正态分布法,分别得到所述空载损耗系数和所述空载电流系数对应的空载损耗系数正态分布曲线和空载电流系数正态分布曲线;

[0109] S142、将所述平均空载损耗系数与特定倍数所述空载损耗系数标准差求和或求差,得到空载损耗系数有效数据区间,以及将所述平均空载电流系数与特定倍数所述空载电流系数标准差求和或求差,得到空载电流系数有效数据区间;

[0110] 其中,空载损耗系数有效数据区间和空载电流系数有效数据区间均可根据实际应用需求确定。平均空载损耗系数 k_{av} 可以表征空载损耗设计值与空载损耗实测值的整体误差情况,反映各生产线产品空载损耗相对于空载损耗设计值的平均误差,用空载损耗系数标准差 σ 表征某个变压器产品的空载损耗系数相对于平均空载损耗系数 k_{av} 的分散性,即结构设计、材料使用、生产制造的不确定性影响。

[0111] S143、根据所述空载损耗系数正态分布曲线和所述空载损耗系数有效数据区间,识别异常空载损耗系数,以及根据所述空载电流系数正态分布曲线和所述空载电流系数有效数据区间,识别异常空载电流系数;

[0112] 其中,异常空载损耗系数和异常空载电流系数的具体识别方法保持一致,此处仅以异常空载损耗系数的识别为例进行详细说明,如图7所示的空载损耗系数分布曲线与上述得到的空载损耗系数标准差 σ 能够用来建立空载损耗设计值准确性和空载损耗超标概率之间的重要关系。如,在平均空载损耗系数 k_{av} 两侧各取若干个标准偏差 σ ,那么空载损耗系数分布曲线与横轴上 $[k_{av}-\sigma, k_{av}+\sigma]$ 区间所包围的面积将占全部试验数值的76%,相应的 $[k_{av}-3\sigma, k_{av}+3\sigma]$ 区间所包围的面积将占全部试验点的99.6%,因此,如果选取 $[k_{av}-3\sigma, k_{av}+3\sigma]$ 为空载损耗系数有效数据区间,则超出这个范围的空载损耗系数认为是异常空载损耗系数,同理,可得异常空载电流系数。

[0113] S144、查找分别与所述异常空载损耗系数和所述异常空载电流系数对应的所述变压器,并检查所述变压器的硅钢片性能是否达标,以及空载测试系统是否准确;

[0114] 其中,异常空载损耗系数和异常空载电流系数确定后,就应当分别分析对应的异常空载损耗系数和异常空载电流系数是否有效,是否存在其他导致异常的原因,如所用的硅钢片材料性能是否达标和空载测试系统是否准确,在采用系数步骤分析清楚数据异常原因,确认异常空载损耗系数和异常空载电流系数确实有效后,可列入统计数据内参与正态分布统计分析,否则,则将对应的异常数据清除后再作统计分析。

[0115] S145、若所述变压器的硅钢片性能不达标,且所述空载测试系统准确,则判定所述异常空载损耗系数和所述异常空载电流系数为有效数据,反之,则判定所述异常空载损耗

系数和所述异常空载电流系数为无效数据,并将所述异常空载损耗系数和异常空载电流系数分别从所述空载损耗系数和所述空载电流系数中剔除后,重新采用正态分布法进行统计分析。

[0116] 其中,异常空载损耗系数和异常空载电流系数的有效性确定分别基于对应硅钢片的B-P曲线分析和硅钢片的B-H曲线分析得到,具体对硅钢片的B-P曲线分析和硅钢片的B-H曲线分析的方法可采用前述确定待使用硅钢片所用的性能分析方法,也可以采用其他现有技术,此处不作具体限制。

[0117] S15、根据所述平均空载损耗系数、空载损耗系数标准差、平均空载电流系数和空载电流系数标准差,判断所述变压器的空载性能是否达标,若所述变压器的空载性能未达标,则进行变压器空载性能反馈控制。

[0118] 其中,变压器的空载性能是否达标是基于正态分布统计分析得到的平均空载损耗系数、空载损耗系数标准差、平均空载电流系数和空载电流系数标准差是否满足预设要求进行判定分析的,具体的步骤包括:判断所述平均空载损耗系数、空载损耗系数标准差、平均空载电流系数和空载电流系数标准差是否分别在对应的预设平均损耗范围、预设损耗标准差范围、预设平均电流范围和预设电流标准差范围内;若所述平均空载损耗系数和空载损耗系数标准差均不在对应的所述预设平均损耗范围和预设损耗标准差范围内,或所述平均空载电流系数和空载电流系数标准差均不在对应的所述预设平均电流范围和预设电流标准差范围内,则判定所述变压器的空载性能未达标。其中,预设平均损耗范围、预设损耗标准差范围、预设平均电流范围和预设电流标准差范围都可以根据实际应用需求进行设定,下面分别举例说明:

[0119] (1)以图7所示的空载损耗系数分布曲线对应表1中某工厂两条生产线的变压器空载损耗系数对比数据为例对预设平均损耗范围和预设损耗标准差范围进行说明,从空载损耗系数分布曲线上看,平均空载损耗系数大于并接近于1时,产品的经济性较好,大于1.1时,经济性略差,空载损耗裕度过大,性能冗余,且空载损耗系数分布曲线小于1的部分说明不合格产品概率增加,产品空载损耗有超标风险,此时就可以将预设平均损耗范围定为 $k_{av} \in (1, 1.15)$,标准差达到0.1时就认为空载损耗的分散性较大,说明工艺水平不稳定,因此,预设损耗标准差范围可以定为 $[0, 0.1)$,此时,单从空载损耗系数分析可知满足 $k_{av} \in (1, 1.1)$, $\sigma \in [0, 0.1)$ 时,产品的经济性好且生产制造的分散性小。如表1所示在生产线二生产的220kV180MVA产品8台中空载损耗系数较大,标准差较大,判定性能未达标。

[0120] 表1某工厂两条生产线的变压器空载损耗系数对比

	生产线一	空载损耗	标准差	生产线二	空载损耗	标准差
	统计台数	系数		统计台数	系数	
[0121] 110kV40MVA I类产品	6	1.06	0.07	11	1.14	0.05
220kV180MVAII 类产品				8	1.25	0.14

[0122] (2)图8所示的空载损耗系数分布曲线对应表2中某工厂两条生产线的变压器空载电流系数对比数据为例对预设平均电流范围和预设电流标准差范围进行说明,从空载电流系数分布曲线上看,平均空载电流系数大于并接近于1时,产品的经济性较好,大于1.3时,经济性略差,空载电流裕度过大,性能冗余,且空载电流系数分布曲线小于1的部分说明不合格产品概率增加,产品空载电流有不达标风险,此时就可以将预设平均电流范围定为(1,1.3),标准差达到0.2时就认为空载电流的分散性较大,因此,预设电流标准差范围可以定为[0,0.2),此时,单从空载电流系数分析可知满足平均空载电流系数在(1,1.3)内,空载电流系数标准差在[0,0.2)范围内时,产品的经济性好且生产制造的分散性小。如表2所示:在生产线一110kV40MVA产品7台变压器中空载电流系数1.32,标准差0.26;生产线二10台变压器中空载电流系数为0.96,标准差0.07;经对比,生产线二实测值与设计值接近,生产线一的实测值大于设计值较多,判定性能未达标。

[0123] 表2某工厂两条生产线的变压器空载电流系数对比

[0124]

	生产线一 统计台数	空载电流 系数	标准 差	生产线二 统计台数	空载电流 系数	标准差
110kV40MVA I类产品	7	1.32	0.26	10	0.96	0.07

[0125] 通过上述步骤判定某生产产线某型号变压器的空载性能未达标后,就需要应查找原因,根据产品技术协议要求,结合生产实际情况进行系统控制,如某生产线的空载损耗设计值为1,而生产的变压器产品的空载损耗实测值均为1.01-1.05之间的数字,该生产线就可以按照正态分布统计分析得到的kav来控制调整空载损耗设计值,如一生产线产品的要求是105瓦,而该生产线的平均空载损耗系数在1.02,那么在空载损耗设计值在100时,那么产品在生产出来之后大概率分布在102附近,能够满足小于105这个要求值,表明该一生产线生产很精准,相反,二生产线的平均空载损耗系数为1.1,若把空载损耗设计值给到100,则该生产线产品大概率分布在110瓦附近,明显不满足105瓦的要求,须加大材料用量,后续根据分析结果把空载损耗设计值调整为95瓦,该生产线就可以保证生产出来的产品满足105的要求,即达到了产品空载性能控制的效果。上述根据空载损耗系数的正态分布统计结果调整空载损耗设计值仅为实际应用中的一个实例,实际变压器产品生产过程中,会存在很多影响成品空载性能的因素,应从多方面查找原因,降低空载损耗系数,减小标准差,提升产品生产的经济性,提高质量控制水平,具体步骤如下:

[0126] 检测所述变压器的铁芯设计是否合理,若设计不合理,则基于铁芯结构、搭接结构、接缝步进级数及步长改进所述铁芯设计,反之,则检测所述变压器的硅钢片性能是否达标;

[0127] 若所述变压器的硅钢片性能未达标,则加大所述变压器的硅钢片性能的监测力度和筛选力度,反之,则检测所述硅钢片的生产工序是否达标;

[0128] 若所述硅钢片的生产工序未达标,则加大所述硅钢片的剪切质量、叠片填充率、以及铁芯装配夹紧情况的监控力度,反之,则检测所述空载测试系统是否准确;

[0129] 若所述空载测试系统不准确,则调整所述空载测试系统的试验电压和接线方式。

[0130] 本实施例中预先根据变压器的空载性能要求筛选出待使用硅钢片材料,并对按照空载性能设计值生产的变压器采用正态分布统计原理进行空载损耗性能分析,从空载损耗和空载电流两个方面评估变压器的空载性能是否达标,以及对生产的经济性和空载性能设计值准确性进行分析,并根据性能未达标的变压器查找原因,有针对性的进行系统控制,实现了对产品质量工艺的持续跟踪,进而有效提升变压器的生产质量,节约生产成本,减少资源浪费。

[0131] 需要说明的是,虽然上述流程图中的各个步骤按照箭头的指示依次显示,但是这些步骤并不是必然按照箭头指示的顺序依次执行。除非本文中有明确的说明,这些步骤的执行并没有严格的顺序限制,这些步骤可以以其它的顺序执行。

[0132] 在一个实施例中,如图9所示,提供了一种变压器空载性能控制系统,所述系统包括:

[0133] 筛选模块1,用于根据变压器的空载性能要求,确定待使用硅钢片;

[0134] 测试模块2,用于根据所述变压器的空载性能设计值,采用所述待使用硅钢片生产所述变压器,并测得所述变压器的空载性能实测值;所述空载性能设计值包括空载损耗设计值和空载电流设计值;所述空载性能实测值包括空载损耗实测值和空载电流实测值;

[0135] 计算模块3,将所述空载损耗实测值与所述空载损耗设计值作商,得到空载损耗系数,以及将所述空载电流实测值与所述空载电流设计值作商,得到空载电流系数;

[0136] 统计模块4,用于采用正态分布法,分别对所述空载损耗系数和所述空载电流系数进行统计分析,得到对应的平均空载损耗系数和空载损耗系数标准差,以及平均空载电流系数和空载电流系数标准差;

[0137] 控制模块5,用于根据所述平均空载损耗系数、空载损耗系数标准差、平均空载电流系数和空载电流系数标准差,判断所述变压器的空载性能是否达标,若所述变压器的空载性能未达标,则进行变压器空载性能反馈控制。

[0138] 关于一种变压器空载性能控制系统的具体限定可以参见上文中对于一种变压器空载性能控制方法的限定,在此不再赘述。上述一种变压器空载性能控制系统中的各个模块可全部或部分通过软件、硬件及其组合来实现。上述各模块可以硬件形式内嵌于或独立于计算机设备中的处理器中,也可以以软件形式存储于计算机设备中的存储器中,以便于处理器调用执行以上各个模块对应的操作。

[0139] 图10示出一个实施例中计算机设备的内部结构图,该计算机设备具体可以是终端或服务器。如图10所示,该计算机设备包括通过系统总线连接的处理器、存储器、网络接口、显示器和输入装置。其中,该计算机设备的处理器用于提供计算和控制能力。该计算机设备的存储器包括非易失性存储介质、内存储器。该非易失性存储介质存储有操作系统和计算机程序。该内存储器为非易失性存储介质中的操作系统和计算机程序的运行提供环境。该计算机设备的网络接口用于与外部的终端通过网络连接通信。该计算机程序被处理器执行时以实现一种基于硅钢片性能的分类方法。该计算机设备的显示屏可以是液晶显示屏或者电子墨水显示屏,该计算机设备的输入装置可以是显示屏上覆盖的触摸层,也可以是计算机设备外壳上设置的按键、轨迹球或触控板,还可以是外接的键盘、触控板或鼠标等。

[0140] 本领域普通技术人员可以理解,图10中示出的结构,仅仅是与本申请方案相关的部分结构的框图,并不构成对本申请方案所应用于其上的计算机设备的限定,具体的计算

设备可以包括比图中所示更多或更少的部件,或者组合某些部件,或者具有同的部件布置。

[0141] 在一个实施例中,提供了一种计算机设备,包括存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序,处理器执行计算机程序时实现上述方法的步骤。

[0142] 在一个实施例中,提供了一种计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,计算机程序被处理器执行时实现上述方法的步骤。

[0143] 综上,本发明实施例提供的一种变压器空载性能控制方法、系统、计算机设备及存储介质,其变压器空载性能控制方法根据变压器的空载性能要求确定待使用硅钢片的分类,以及将硅钢片样本的空载损耗曲线和空载电流曲线分别与基准空载损耗曲线和空载电流曲线作对比分析,确定硅钢片样本的所属分类,在根据硅钢片样本的分类确定待使用硅钢片后,根据变压器的空载损耗设计值和空载电流设计值,使用确定的待使用硅钢片生产变压器,测得变压器的空载损耗实测值和空载电流实测值,并对计算得到空载损耗系数和空载电流系数采用正态分布法进行统计分析,得到对应的平均空载损耗系数和空载损耗系数标准差,以及平均空载电流系数和空载电流系数标准差,并依此判断变压器的空载性能是否达标,且在未达标时,进行系统控制的方法的技术方案。与现有技术相比,该基于产前材料控制、产中工艺控制及产后追溯分析的原则的变压器空载性能控制方法,实现了对变压器空载性能的有效系统控制及对产品质量工艺的持续跟踪,进而有效提升变压器的生产质量,节约生产成本,减少资源浪费。

[0144] 本说明书中的各个实施例均采用递进的方式描述,各个实施例直接相同或相似的部分互相参见即可,每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处。尤其,对于系统实施例而言,由于其基本相似于方法实施例,所以描述的比较简单,相关之处参见方法实施例的部分说明即可。需要说明的是,上述实施例的各技术特征可以进行任意的组合,为使描述简洁,未对上述实施例中的各个技术特征所有可能的组合都进行描述,然而,只要这些技术特征的组合不存在矛盾,都应当认为是本说明书记载的范围。

[0145] 以上所述实施例仅表达了本申请的几种优选实施方式,其描述较为具体和详细,但并不能因此而理解为对发明专利范围的限制。应当指出的是,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明技术原理的前提下,还可以做出若干改进和替换,这些改进和替换也应视为本申请的保护范围。因此,本申请专利的保护范围应以所述权利要求的保护范围为准。

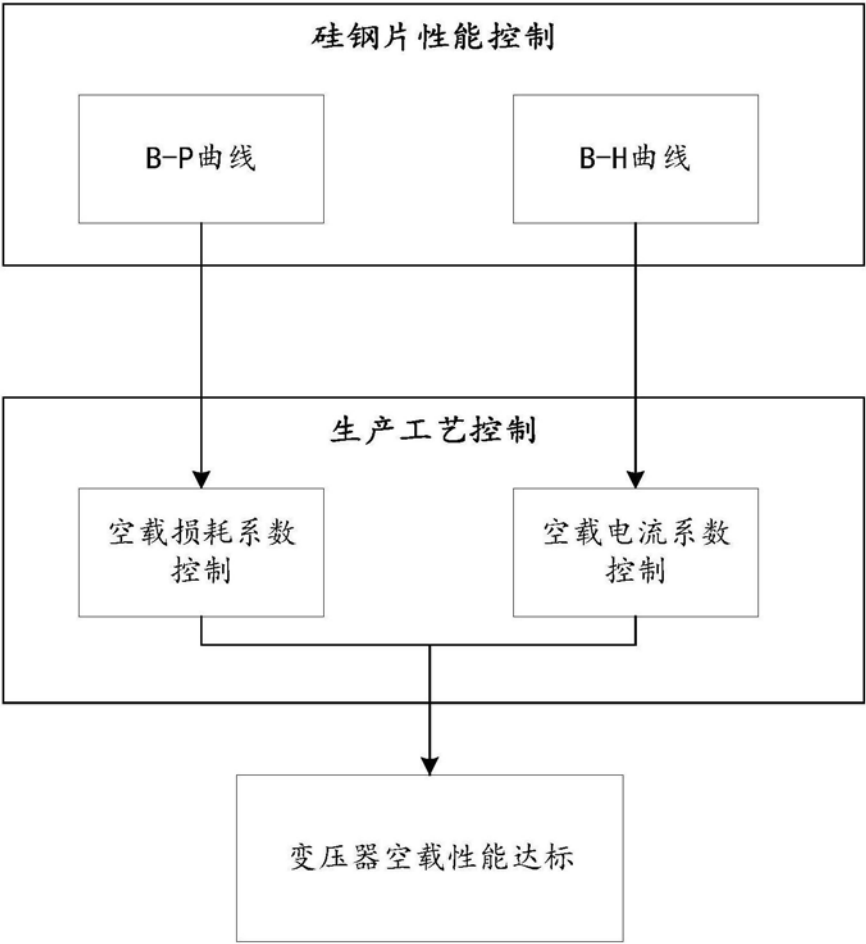


图1

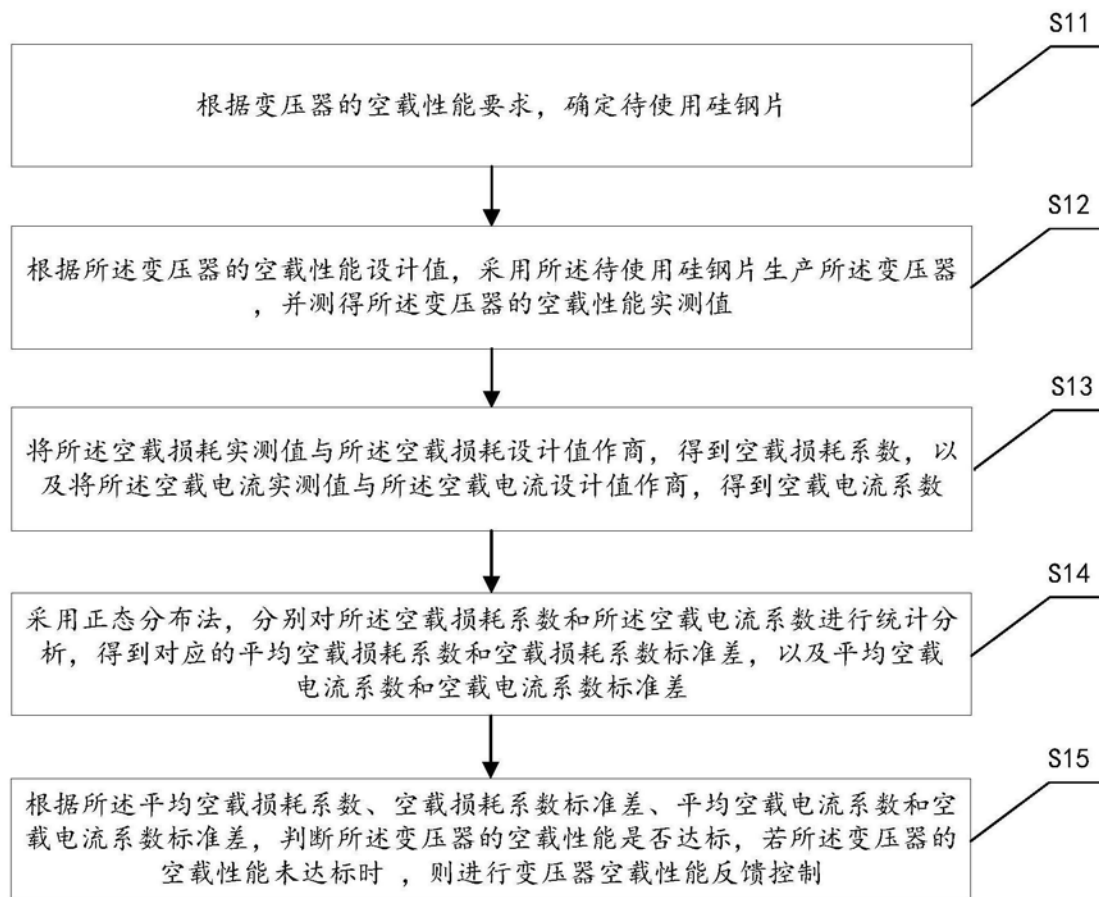


图2

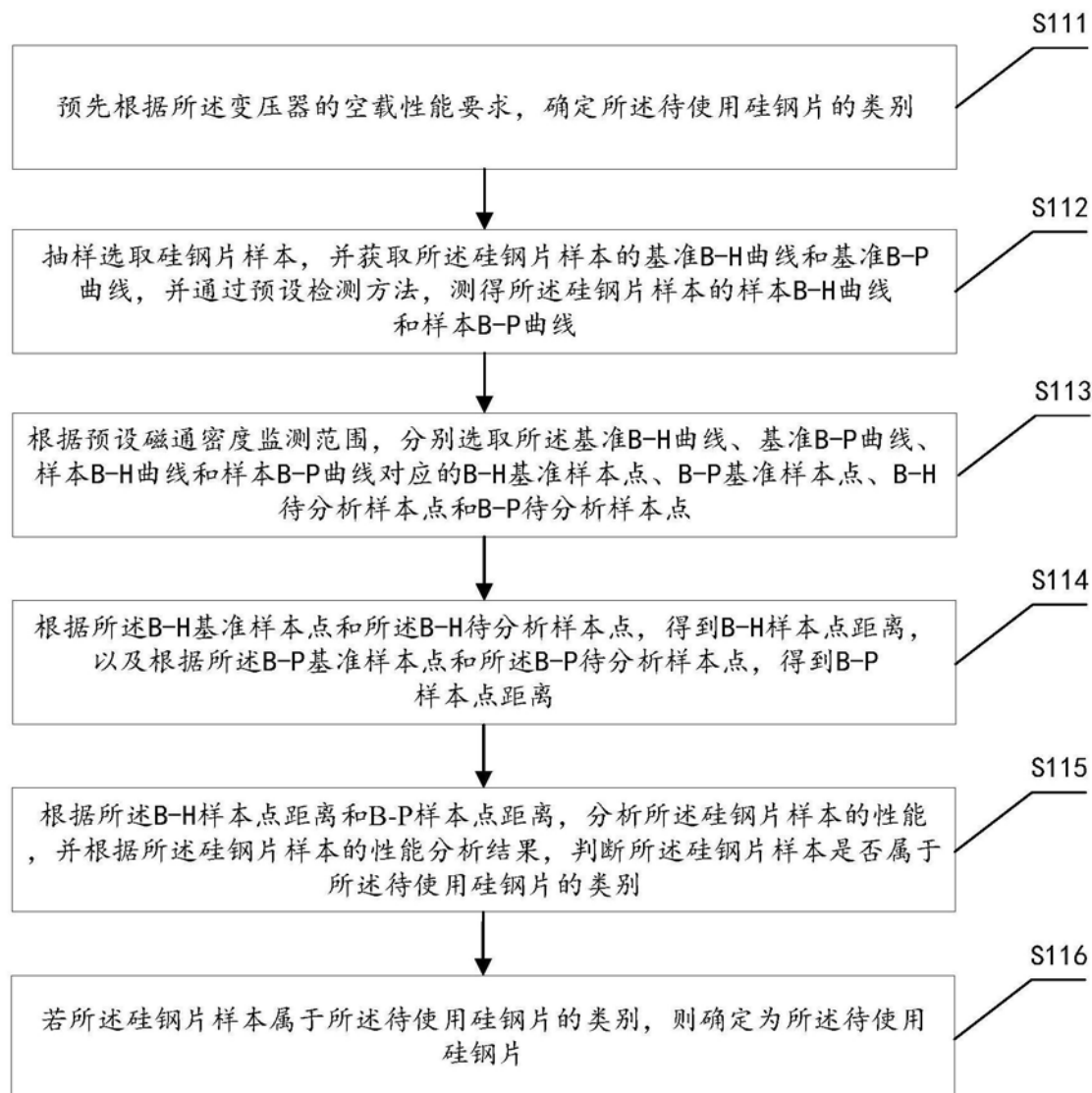


图3

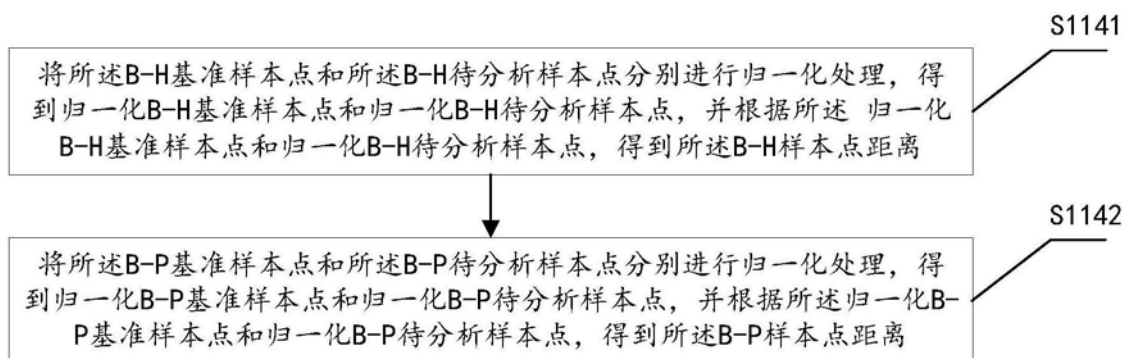


图4

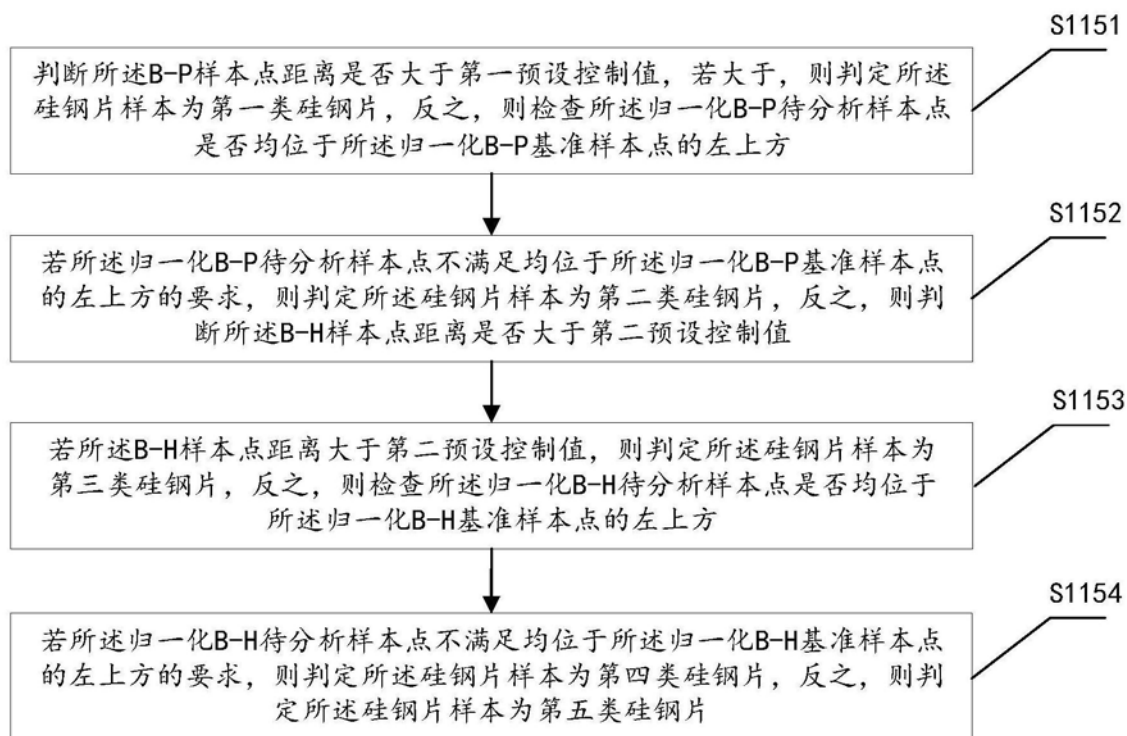


图5

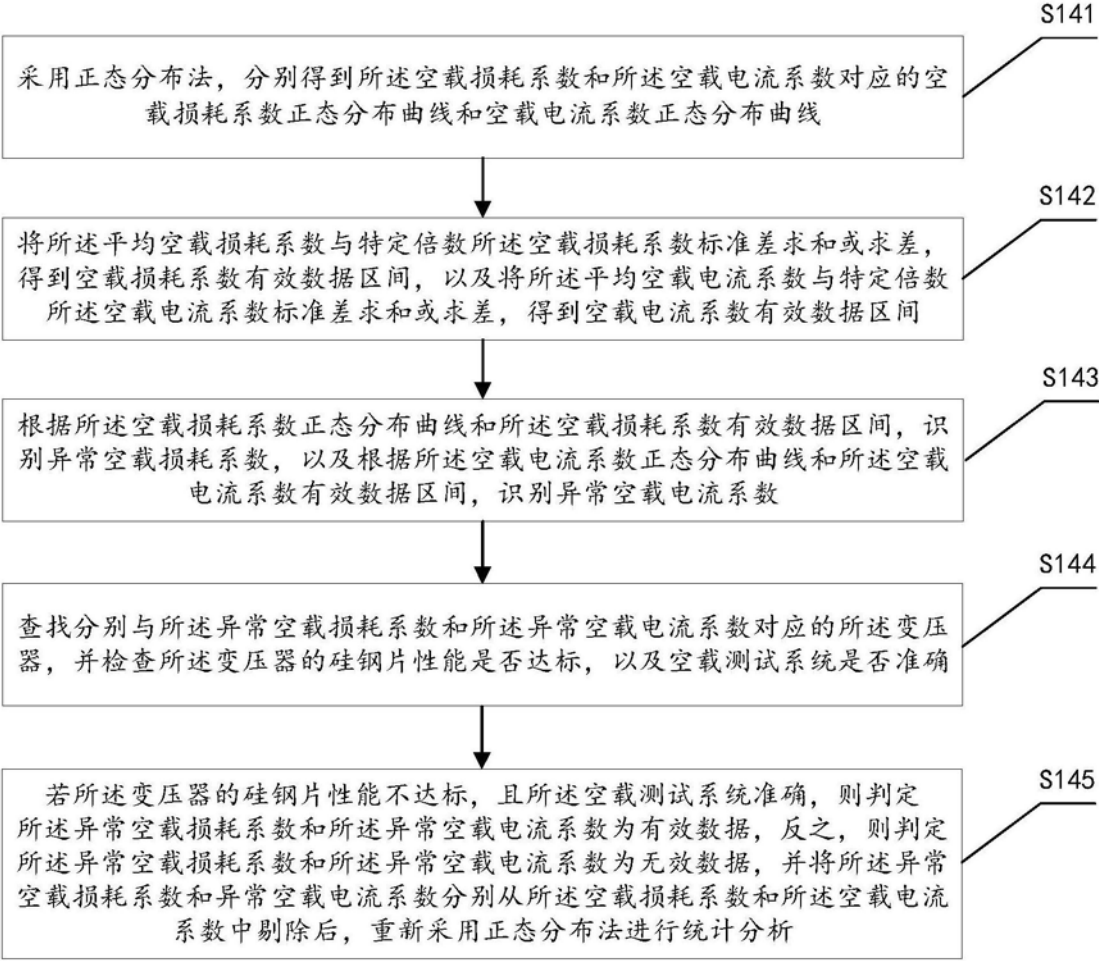


图6

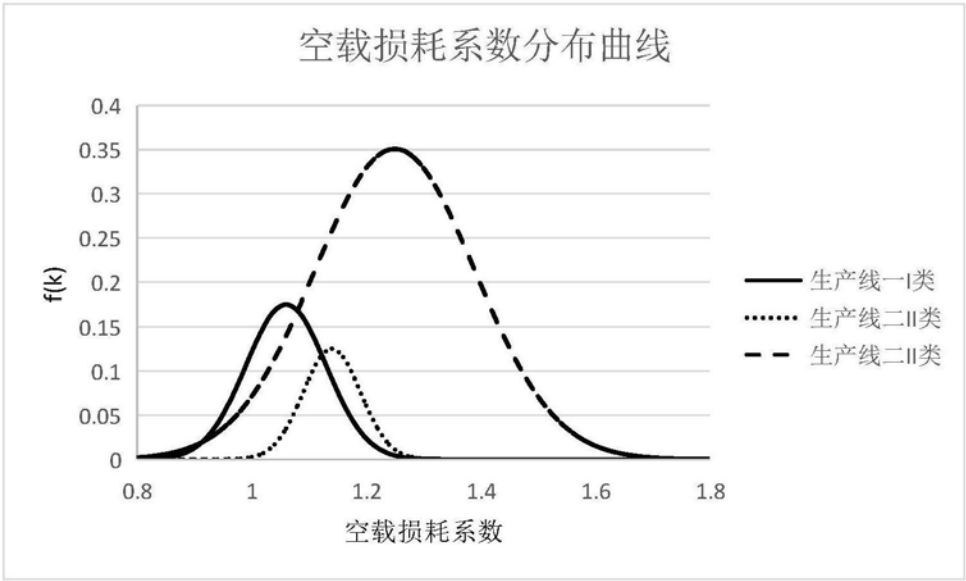


图7

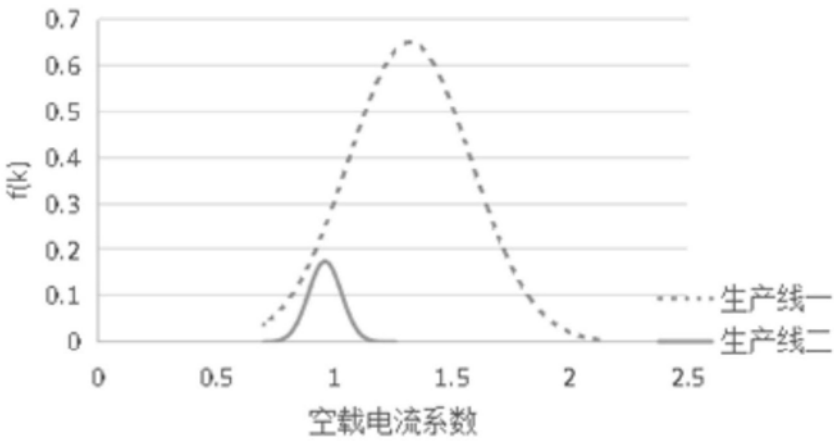


图8

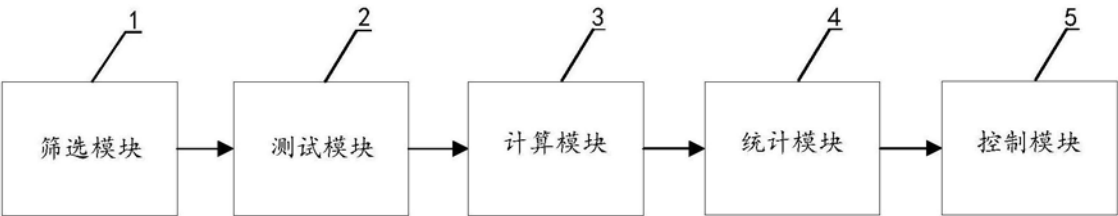


图9

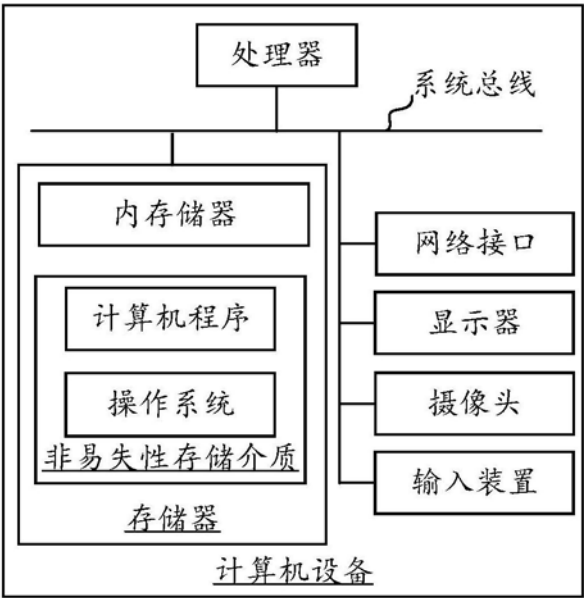


图10