



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 122205343 A

(43) 申请公布日 2026. 06. 12

(21) 申请号 202610277046.0

G01H 17/00 (2006.01)

(22) 申请日 2026.03.09

H04Q 9/00 (2006.01)

(71) 申请人 深圳市形意智能科技有限公司

地址 518000 广东省深圳市宝安区新安街
道兴东社区69区洪浪北二路30号信义
领御研发中心1栋905

(72) 发明人 吴文辉 梁勇

(74) 专利代理机构 深圳市道勤知酷知识产权代
理事务所(普通合伙) 44439

专利代理师 李兰兰

(51) Int. Cl.

H04R 29/00 (2006.01)

G01D 21/02 (2006.01)

G01R 19/00 (2006.01)

G01K 7/16 (2006.01)

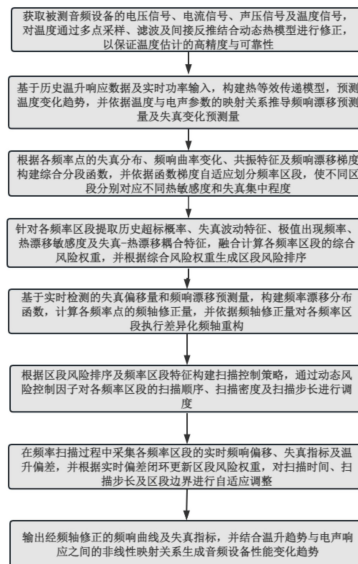
权利要求书5页 说明书22页 附图1页

(54) 发明名称

音频测试方法

(57) 摘要

本发明公开了音频测试方法,涉及音频测试技术领域,包括,S1、获取被测音频设备的电压信号、电流信号、声压信号及温度信号,对温度通过多点采样、滤波及间接反推结合动态热模型进行修正,以保证温度估计的高精度与可靠性。通过同步采集电压、电流、声压及温度信号,构建多维机电声学数据集,使测试系统同时反映设备的电气特性、声学输出及热状态;结合温度与频响数据关联分析,提取热漂移敏感度,并将各频率区段的历史数据与失真波动、温升趋势融合,生成综合风险权重,提高高风险区段识别能力及测试精度;同时对历史与实时数据进行融合分析,使性能评价兼顾历史规律与实时状态,增强测试结果稳定性。



1. 音频测试方法,其特征在于,该方法包括如下步骤:S1、获取被测音频设备的电压信号、电流信号、声压信号及温度信号,对温度通过多点采样、滤波及间接反推结合动态热模型进行修正,以保证温度估计的高精度与可靠性;

S2、基于历史温升响应数据及实时功率输入,构建热等效传递模型,预测温度变化趋势,并依据温度与电声参数的映射关系推导频响漂移预测量及失真变化预测量;

S3、根据各频率点的失真分布、频响曲率变化、共振特征及频响漂移梯度构建综合分段函数,并依据函数梯度自适应划分频率区段,使不同区段分别对应不同热敏感度和失真集中程度;

S4、针对各频率区段提取历史超标概率、失真波动特征、极值出现频率、热漂移敏感度及失真-热漂移耦合特征,融合计算各频率区段的综合风险权重,并根据综合风险权重生成区段风险排序;

S5、基于实时检测的失真偏移量和频响漂移预测量,构建频率漂移分布函数,计算各频率点的频轴修正量,并依据频轴修正量对各频率区段执行差异化频轴重构;

S6、根据区段风险排序及频率区段特征构建扫描控制策略,通过动态风险控制因子对各频率区段的扫描顺序、扫描密度及扫描步长进行调度;

S7、在频率扫描过程中采集各频率区段的实时频响偏移、失真指标及温升偏差,并根据实时偏差闭环更新区段风险权重,对扫描时间、扫描步长及区段边界进行自适应调整;

S8、输出经频轴修正的频响曲线及失真指标,并结合温升趋势与电声响应之间的非线性映射关系生成音频设备性能变化趋势。

2. 根据权利要求1所述的音频测试方法,其特征在于,所述S1包括如下分步骤:S11、在被测音频设备的输入、输出及关键电路节点布置电压和电流传感器采集电气信号,同时在音频输出端或测试环境布置声压传感器获取声学信号;

S12、在关键元件或设备环境中布置温度传感器获取直接温度数据,对无法直接测温的部位通过电阻变化结合材料特性映射反推温度,并采用标定查表、拟合函数或机器学习模型提高复杂材料或非线性条件下的温度估计精度;

S13、对同一元件布置多点采集实现冗余采样降低单点误差影响,将电压、电流、声压及温度信号统一采样保证时间同步,并根据设备频响范围和热响应速度选择采样率以满足测试精度和动态响应要求;

S14、对采集到的各类信号进行去噪、滤波及归一化处理以消除环境噪声和传感器误差,将间接反推温度与热等效传递模型结合进行动态修正以补偿快速温升或外界扰动带来的偏差,并采用闭环实时更新提高温度估计精度和稳定性;

S15、对反推温度与功率、声压数据进行一致性比对识别异常偏差,在异常情况下触发映射参数自适应调整或报警提示保证数据集有效性和可靠性;

S16、将电压、电流、声压及温度信号按时间顺序组合形成完整实时机电数据集用于后续热-声耦合分析、频响漂移预测和失真评估,同时为频率区段划分及风险评估提供基础数据。

3. 根据权利要求1所述的音频测试方法,其特征在于,所述S2包括如下分步骤:S21、基于实时机电数据集中按时间顺序记录的电压信号、电流信号、声压信号及温度信号,计算设备运行过程中的实时功率输入,并结合温度变化序列提取关键元件的温升响应数据,同时

调用历史温升响应数据作为参考样本,为后续热等效传递模型构建提供数据基础;

S22、根据参与温升响应的关键元件构建热等效传递模型,将关键元件定义为热节点,并依据元件结构布局及热耦合关系建立节点之间的热传递连接结构形成离散热网络,在各热节点设置热容量参数,在节点连接路径设置热阻参数,并将实时功率输入加载至对应热节点以表征设备内部热能传递路径及热量分布特征;

S23、基于所建立的离散热网络对各热节点执行离散热传递计算,获得关键元件及系统整体的温度变化趋势,并结合实时温度采集结果对热网络参数进行动态修正,使温度变化趋势能够反映设备运行过程中的实际温升状态;

S24、建立温度变化与电声参数之间的关联关系,将温度变化趋势与实时电声响应数据进行耦合分析,推导各频率点的频响变化趋势及失真变化趋势,用于表征温升过程对音频设备电声性能的影响;

S25、将温度变化趋势、频响变化趋势及失真变化趋势与实时机电数据集进行融合处理,形成用于频率区段划分、频轴修正及风险评估的预测数据基础,并为后续频率扫描控制及性能趋势分析提供输入数据。

4. 根据权利要求1所述的音频测试方法,其特征在于,所述S3包括如下分步骤:S31、基于实时机电数据集及温度变化趋势数据提取各频率点的电声响应特征,包括失真分布特征、频响变化特征及共振响应特征,并结合频响变化趋势计算各频率点的频响变化梯度,形成用于频率特征分析的基础数据集;

S32、将各频率点的失真分布特征、频响变化特征、共振响应特征及频响变化梯度进行融合处理,构建综合分段函数,用于描述频率响应变化规律,使函数能够反映不同频率位置的性能变化特征及异常集中程度;

S33、分析综合分段函数在频率轴上的变化情况,通过检测函数变化速率、变化趋势及局部极值分布识别频率响应特征明显变化的位置,并结合函数变化集中程度对候选边界进行融合判断确定区段边界;完成初始区段划分后,根据相邻区段响应差异及区段内部变化情况对边界进行自适应调整;

S34、依据区段边界对频率范围进行划分形成多个频率区段,在各频率区段内统计频响变化特征、失真分布特征及共振响应特征生成区段电声响应特征参数;随后对区段内部响应变化进行一致性检测,根据区段内部及相邻区段的响应差异自适应调整边界,通过频率区段细分或合并实现区段结构优化,使各频率区段分别对应不同的电声响应变化特征;

S35、对各频率区段进行特征标定,通过分析区段内温度变化趋势与频响变化趋势之间的关联提取热敏感度特征,同时统计失真指标的分布密度、变化幅度及极值分布提取失真集中程度特征,并结合温度变化、频响变化及失真变化之间的耦合关系形成区段综合特征参数,用于表征各频率区段的热-声响应特性。

5. 根据权利要求1所述的音频测试方法,其特征在于,所述S4包括如下分步骤:S41、根据已划分的频率区段及对应的区段电声响应特征参数,提取各区段的历史超标概率、失真波动、极值出现频率、热漂移敏感度及失真-热漂移耦合特征,为综合风险评估提供基础数据集;

S42、基于各区段电声响应特征及历史数据,融合计算综合风险权重,并结合区段间风险梯度生成区段风险排序;

S43、将实时响应与预测特征偏差反馈至风险权重模型,实现动态闭环更新,并根据更新后的风险权重自适应调控频率区段的扫描顺序、扫描密度及资源分配,实现风险驱动的精细化测试;

S44、采集各频率区段的实时电声响应和温度数据,将其与预测响应进行比对计算预测误差,将误差反馈至综合风险权重模型进行闭环修正,闭环更新过程中结合区段热敏感度、失真集中度及邻区段风险梯度自适应调整修正幅度;

S45、根据动态更新的风险权重,对各频率区段生成风险排序,并将排序结果用于指导扫描顺序、扫描密度及资源分配,再将实时响应与预测特征偏差反馈至风险权重模型进行闭环修正,结合区段热敏感度、失真集中度及邻区段风险梯度自适应调整修正幅度。

6. 根据权利要求1所述的音频测试方法,其特征在于,所述S5包括如下分步骤:S51、根据实时机电数据集及频响漂移预测量,提取各频率点的失真偏移和频响变化特征,通过多维融合构建用于频率漂移分析及风险评估的基础数据集,同时结合实时偏差反馈实现闭环校正,对高热敏感或高失真区段优先加权处理;

S52、将各频率点失真偏移与频响漂移预测量进行多维融合,构建反映频率漂移趋势及异常集中区段的频率漂移分布函数,并依据分布函数计算各频率点的频轴修正量,对高热敏感或高失真区段采用差异化修正步长;

S53、根据高风险区段划分结果及频率漂移修正量,对各频率区段执行差异化频轴重构,高风险区段采用更精细修正步长,并结合实时响应偏差和动态风险权重实现闭环调整,通过多维权重融合和增量更新优化扫描策略,实现频轴动态优化及关键区段高精度修正;

S54、根据动态更新的风险权重,对各频率区段生成风险排序,并将排序结果用于指导扫描顺序、扫描密度及资源分配,结合区段热敏感度、失真集中度及邻区段风险梯度自适应调整修正幅度,实现频轴优化与风险驱动扫描的协同闭环控制。

7. 根据权利要求1所述的音频测试方法,其特征在于,所述S6包括如下分步骤:S61、根据动态更新的区段风险权重及区段电声响应特征,构建动态风险控制因子,将区段风险、热敏感度及失真集中度融合形成加权因子,用于指导扫描策略和闭环控制;

S62、利用动态风险控制因子对各区段的频响指标和失真指标进行加权计算,高风险区段优先处理并采用更精细的频轴修正步长,低风险区段适度降低加权和扫描精度,实现差异化扫描控制;

S63、按动态风险控制因子对各区段的扫描顺序、扫描密度及资源分配进行统一调度,高风险区段优先扫描并分配更多资源,低风险区段延后或降低扫描密度,实现资源优化与效率提升;

S64、在扫描过程中实时采集各区段频响偏移、失真指标及温度偏差,将实时偏差反馈至动态风险控制因子模型,对控制因子及扫描策略进行闭环调整,使扫描顺序、密度及资源分配随实时偏差动态优化;

S65、结合邻区段风险梯度,对边界区段的扫描精度和步长进行自适应调整,高梯度边界区段增加扫描密度和修正精度,低梯度边界区段适度降低扫描密度,实现边界区段差异化闭环控制;

S66、将动态风险控制因子与频率区段风险排序、频轴优化及闭环扫描逻辑同步更新,实现频轴修正、风险排序和扫描策略的协同闭环控制,使关键频率区段的精度和可靠性得

到保障。

8. 根据权利要求1所述的音频测试方法,其特征在于,所述S7包括如下分步骤:S71、动态计算各频率区段风险权重,将单区段风险、邻区段风险梯度、热敏感度及失真集中度加权融合形成综合权重,用于各区段的扫描时间和步长分配;

S72、在扫描过程中实时采集各频率区段的频响偏移、失真指标及温升偏差,将实时偏差反馈至风险权重模型,闭环修正各区段风险权重;

S73、依据更新后的风险权重动态调整各区段扫描步长,高风险区段采用最小步长保证采样精度,低风险区段适度放大步长以提高整体扫描效率;

S74、根据更新后的风险权重和风险排序,自适应分配各区段扫描时间,高风险区段优先分配更多扫描时间及更高资源密度,低风险区段适度延后或共享多余扫描资源,实现资源优化;

S75、结合邻区段风险梯度自适应微调频率区段边界,通过边界调整系数增加高风险梯度区段扫描密度和频轴修正精度,降低低风险区段密度和步长,同时根据实时频响偏移、失真指标及温升偏差结合闭环风险权重动态调整边界参数,并通过软件控制扫描器步长和采样速率实现边界区段实时自适应调节;

S76、同步更新扫描时间、步长、资源分配及频轴修正,与动态风险控制因子、区段风险排序及频率漂移闭环优化协同,边界区段扫描微调与整体步长闭环更新,实现频轴优化与风险驱动的精细化扫描控制。

9. 根据权利要求1所述的音频测试方法,其特征在于,所述S8包括如下分步骤:S81、在各频率区段布置声压、电压/电流及温度传感器,实时采集频响偏移、失真及温升数据,对信号进行去噪、滤波和归一化处理,同时对间接温度通过电阻变化结合材料特性反推,并采用标定查表、拟合函数或机器学习模型优化温度精度;基于热等效传递模型结合历史温升响应及实时功率数据预测热漂移趋势,将实时频响偏移与失真指标进行多维融合生成初步频轴修正数据,用于各区段频轴优化;

S82、对各频率区段的性能变化趋势按区段风险权重进行加权处理,将历史超标概率、失真波动、热漂移敏感度及耦合特征融入权重计算,高风险区段赋予更高权重以优先反映频响曲线和失真指标的变化,低风险区段赋予较低权重,以实现性能趋势的差异化反映和风险驱动的精细化控制;

S83、结合温升趋势的非线性映射函数,将温度变化对电声响应的影响动态映射至性能变化趋势,通过离散或连续函数映射建立温度-性能关系模型,使温升对各区段性能的影响能够实时反馈到性能趋势中,实现温升对性能的动态调节和闭环补偿;

S84、在扫描过程中持续采集实时频响偏移、失真指标及温升偏差,将实际测得性能与预测性能进行比对,计算性能预测误差,并将误差反馈至频轴修正量和性能趋势权重模型,结合闭环算法和动态权重调整机制实现自适应修正,对高热敏感或高失真区段优先闭环更新;

S85、依据闭环更新后的频轴修正量和性能趋势权重,对各频率区段执行自适应调整,高风险或高热敏感区段采用更精细的频轴校正和性能趋势反映,低风险区段保持适度扫描步长以优化效率,同时通过动态调节扫描顺序、扫描密度和采样速率实现频轴优化与性能趋势动态调节的协同闭环控制,实现精细化扫描与性能预测的统一闭环优化。

10. 根据权利要求5所述的音频测试方法,其特征在于,所述S42中综合风险权重通过区段级风险特征参数融合计算获得,其包括如下分步骤:S421、从历史测试数据库中读取对应音频设备在各频率区段的测试记录,统计每一频率区段的测试总次数及指标超标次数,并根据超标次数与测试总次数的比例关系计算得到对应频率区段的历史超标概率;

S422、对当前测试过程中各频率区段采集得到的失真采样数据进行统计分析,分别计算失真均值及失真标准差,并根据失真标准差与失真均值的比值确定对应频率区段的失真波动系数;

S423、将频响幅值变化数据与温度变化数据按照时间序列进行同步对齐,在连续滑动时间窗口内对频响幅值变化量与温度变化量进行回归计算,得到频响幅值相对于温度变化的变化率,并将所述变化率确定为对应频率区段的热漂移敏感度;

S424、对失真数据序列与温度数据序列进行相关性分析,根据两组数据之间的协方差以及各自标准差计算两者之间的相关系数,并将所述相关系数作为对应频率区段的失真-热漂移耦合系数;

S425、将历史超标概率、失真波动系数、热漂移敏感度及失真-热漂移耦合系数进行归一化处理,并根据各参数在历史测试数据中的贡献度确定对应融合系数,对归一化后的各参数进行融合计算,得到各频率区段的综合风险权重,并根据综合风险权重大小确定对应频率区段的风险等级。

音频测试方法

技术领域

[0001] 本发明涉及音频测试技术领域,具体涉及音频测试方法。

背景技术

[0002] 音频设备在生产制造及质量检测过程中,通常需要通过专业测试系统对其声学性能及电气性能进行综合检测,以判断设备是否满足设计指标要求。常见的检测项目包括频率响应、总谐波失真、输出声压级以及功率特性等参数,通过对上述参数进行测试与分析,可评价音频设备在不同工作状态下的声学输出能力及性能稳定性。

[0003] 现有技术中,音频设备的性能测试通常通过音频信号源向被测设备输入标准测试信号,并通过麦克风采集设备输出的声压信号,同时采集电压、电流等电气参数,对设备的声学及电气性能指标进行分析,从而判断设备是否满足设计要求。然而,在实际测试过程中,当音频设备处于长时间运行或较高驱动功率状态时,其内部结构部件(如音圈、功放模块及相关电路元件)会产生一定程度的温升,温度变化会进一步影响设备的电气参数及声学输出特性,从而导致频响曲线漂移、失真指标变化等现象。若测试过程中未对温度变化因素进行有效分析,则可能导致测试结果与设备实际运行状态之间存在偏差。

[0004] 现有测试方法在进行性能评价时,通常主要基于短时间采集得到的声学或电气参数进行分析,对设备在持续运行过程中产生的温升变化及其对声学性能的影响缺乏系统分析机制。同时,现有测试流程中虽然可能记录温度数据,但通常仅用于辅助监测,未对温升变化与声学性能指标之间的关联关系进行深入分析,也未能利用历史测试数据对设备性能变化趋势进行综合评估。

[0005] 在多频段测试过程中,不同频率区段对设备结构特性及电气特性的敏感程度存在差异,部分频率区段在温度变化或驱动条件变化下更容易出现失真增加或频响波动等现象。然而,现有测试方法通常对各频率区段采用统一的评价方式,缺乏针对不同频率区段性能风险差异的分析机制,从而难以准确识别潜在性能风险较高的频率区段,影响测试结果的准确性及可靠性。

发明内容

[0006] 本发明的目的是提供音频测试方法,以解决现有技术中的上述不足之处。

[0007] 为了实现上述目的,本发明提供如下技术方案:音频测试方法,该方法包括如下步骤:S1、获取被测音频设备的电压信号、电流信号、声压信号及温度信号,对温度通过多点采样、滤波及间接反推结合动态热模型进行修正,以保证温度估计的高精度与可靠性;

S2、基于历史温升响应数据及实时功率输入,构建热等效传递模型,预测温度变化趋势,并依据温度与电声参数的映射关系推导频响漂移预测量及失真变化预测量;

S3、根据各频率点的失真分布、频响曲率变化、共振特征及频响漂移梯度构建综合分段函数,并依据函数梯度自适应划分频率区段,使不同区段分别对应不同热敏感度和失真集中程度;

S4、针对各频率区段提取历史超标概率、失真波动特征、极值出现频率、热漂移敏感度及失真-热漂移耦合特征,融合计算各频率区段的综合风险权重,并根据综合风险权重生成区段风险排序;

S5、基于实时检测的失真偏移量和频响漂移预测量,构建频率漂移分布函数,计算各频率点的频轴修正量,并依据频轴修正量对各频率区段执行差异化频轴重构;

S6、根据区段风险排序及频率区段特征构建扫描控制策略,通过动态风险控制因子对各频率区段的扫描顺序、扫描密度及扫描步长进行调度;

S7、在频率扫描过程中采集各频率区段的实时频响偏移、失真指标及温升偏差,并根据实时偏差闭环更新区段风险权重,对扫描时间、扫描步长及区段边界进行自适应调整;

S8、输出经频轴修正的频响曲线及失真指标,并结合温升趋势与电声响应之间的非线性映射关系生成音频设备性能变化趋势。

[0008] 作为上述的方案为进一步补充,其中,所述S1包括如下分步骤:S11、在被测音频设备的输入、输出及关键电路节点布置电压和电流传感器采集电气信号,同时在音频输出端或测试环境布置声压传感器获取声学信号;

S12、在关键元件或设备环境中布置温度传感器获取直接温度数据,对无法直接测温的部位通过电阻变化结合材料特性映射反推温度,并采用标定查表、拟合函数或机器学习模型提高复杂材料或非线性条件下的温度估计精度;

S13、对同一元件布置多点采集实现冗余采样降低单点误差影响,将电压、电流、声压及温度信号统一采样保证时间同步,并根据设备频响范围和热响应速度选择采样率以满足测试精度和动态响应要求;

S14、对采集到的各类信号进行去噪、滤波及归一化处理以消除环境噪声和传感器误差,将间接反推温度与热等效传递模型结合进行动态修正以补偿快速温升或外界扰动带来的偏差,并采用闭环实时更新提高温度估计精度和稳定性;

S15、对反推温度与功率、声压数据进行一致性比对识别异常偏差,在异常情况下触发映射参数自适应调整或报警提示保证数据集有效性和可靠性;

S16、将电压、电流、声压及温度信号按时间顺序组合形成完整实时机电数据集用于后续热-声耦合分析、频响漂移预测和失真评估,同时为频率区段划分及风险评估提供基础数据。

[0009] 作为上述的方案为进一步补充,其中,所述S2包括如下分步骤:S21、基于实时机电数据集中按时间顺序记录的电压信号、电流信号、声压信号及温度信号,计算设备运行过程中的实时功率输入,并结合温度变化序列提取关键元件的温升响应数据,同时调用历史温升响应数据作为参考样本,为后续热等效传递模型构建提供数据基础;

S22、根据参与温升响应的关键元件构建热等效传递模型,将关键元件定义为热节点,并依据元件结构布局及热耦合关系建立节点之间的热传递连接结构形成离散热网络,在各热节点设置热容量参数,在节点连接路径设置热阻参数,并将实时功率输入加载至对应热节点以表征设备内部热能传递路径及热量分布特征;

S23、基于所建立的离散热网络对各热节点执行离散热传递计算,获得关键元件及系统整体的温度变化趋势,并结合实时温度采集结果对热网络参数进行动态修正,使温度变化趋势能够反映设备运行过程中的实际温升状态;

S24、建立温度变化与电声参数之间的关联关系,将温度变化趋势与实时电声响应数据进行耦合分析,推导各频率点的频响变化趋势及失真变化趋势,用于表征温升过程对音频设备电声性能的影响;

S25、将温度变化趋势、频响变化趋势及失真变化趋势与实时机电数据集进行融合处理,形成用于频率区段划分、频轴修正及风险评估的预测数据基础,并为后续频率扫描控制及性能趋势分析提供输入数据。

[0010] 作为上述的方案为进一步补充,其中,所述S3包括如下分步骤:S31、基于实时机电数据集及温度变化趋势数据提取各频率点的电声响应特征,包括失真分布特征、频响变化特征及共振响应特征,并结合频响变化趋势计算各频率点的频响变化梯度,形成用于频率特征分析的基础数据集;

S32、将各频率点的失真分布特征、频响变化特征、共振响应特征及频响变化梯度进行融合处理,构建综合分段函数,用于描述频率响应变化规律,使函数能够反映不同频率位置的性能变化特征及异常集中程度;

S33、分析综合分段函数在频率轴上的变化情况,通过检测函数变化速率、变化趋势及局部极值分布识别频率响应特征明显变化的位置,并结合函数变化集中程度对候选边界进行融合判断确定区段边界;完成初始区段划分后,根据相邻区段响应差异及区段内部变化情况对边界进行自适应调整;

S34、依据区段边界对频率范围进行划分形成多个频率区段,在各频率区段内统计频响变化特征、失真分布特征及共振响应特征生成区段电声响应特征参数;随后对区段内部响应变化进行一致性检测,根据区段内部及相邻区段的响应差异自适应调整边界,通过频率区段细分或合并实现区段结构优化,使各频率区段分别对应不同的电声响应变化特征;

S35、对各频率区段进行特征标定,通过分析区段内温度变化趋势与频响变化趋势之间的关联提取热敏感度特征,同时统计失真指标的分布密度、变化幅度及极值分布提取失真集中程度特征,并结合温度变化、频响变化及失真变化之间的耦合关系形成区段综合特征参数,用于表征各频率区段的热-声响应特性。

[0011] 作为上述的方案为进一步补充,其中,所述S4包括如下分步骤:S41、根据已划分的频率区段及对应的区段电声响应特征参数,提取各区段的历史超标概率、失真波动、极值出现频率、热漂移敏感度及失真-热漂移耦合特征,为综合风险评估提供基础数据集;

S42、基于各区段电声响应特征及历史数据,融合计算综合风险权重,并结合区段间风险梯度生成区段风险排序;

S43、将实时响应与预测特征偏差反馈至风险权重模型,实现动态闭环更新,并根据更新后的风险权重自适应调控频率区段的扫描顺序、扫描密度及资源分配,实现风险驱动的精细化测试;

S44、采集各频率区段的实时电声响应和温度数据,将其与预测响应进行比对计算预测误差,将误差反馈至综合风险权重模型进行闭环修正,闭环更新过程中结合区段热敏感度、失真集中度及邻区段风险梯度自适应调整修正幅度;

S45、根据动态更新的风险权重,对各频率区段生成风险排序,并将排序结果用于指导扫描顺序、扫描密度及资源分配,再将实时响应与预测特征偏差反馈至风险权重模型

进行闭环修正,结合区段热敏感度、失真集中度及邻区段风险梯度自适应调整修正幅度。

[0012] 作为上述的方案为进一步补充,其中,所述S5包括如下分步骤:S51、根据实时机电数据集及频响漂移预测量,提取各频率点的失真偏移和频响变化特征,通过多维融合构建用于频率漂移分析及风险评估的基础数据集,同时结合实时偏差反馈实现闭环校正,对高热敏感或高失真区段优先加权处理;

S52、将各频率点失真偏移与频响漂移预测量进行多维融合,构建反映频率漂移趋势及异常集中区段的频率漂移分布函数,并依据分布函数计算各频率点的频轴修正量,对高热敏感或高失真区段采用差异化修正步长;

S53、根据高风险区段划分结果及频率漂移修正量,对各频率区段执行差异化频轴重构,高风险区段采用更精细修正步长,并结合实时响应偏差和动态风险权重实现闭环调整,通过多维权重融合和增量更新优化扫描策略,实现频轴动态优化及关键区段高精度修正;

S54、根据动态更新的风险权重,对各频率区段生成风险排序,并将排序结果用于指导扫描顺序、扫描密度及资源分配,结合区段热敏感度、失真集中度及邻区段风险梯度自适应调整修正幅度,实现频轴优化与风险驱动扫描的协同闭环控制。

[0013] 作为上述的方案为进一步补充,其中,所述S6包括如下分步骤:S61、根据动态更新的区段风险权重及区段电声响应特征,构建动态风险控制因子,将区段风险、热敏感度及失真集中度融合形成加权因子,用于指导扫描策略和闭环控制;

S62、利用动态风险控制因子对各区段的频响指标和失真指标进行加权计算,高风险区段优先处理并采用更精细的频轴修正步长,低风险区段适度降低加权和扫描精度,实现差异化扫描控制;

S63、按动态风险控制因子对各区段的扫描顺序、扫描密度及资源分配进行统一调度,高风险区段优先扫描并分配更多资源,低风险区段延后或降低扫描密度,实现资源优化与效率提升;

S64、在扫描过程中实时采集各区段频响偏移、失真指标及温度偏差,将实时偏差反馈至动态风险控制因子模型,对控制因子及扫描策略进行闭环调整,使扫描顺序、密度及资源分配随实时偏差动态优化;

S65、结合邻区段风险梯度,对边界区段的扫描精度和步长进行自适应调整,高梯度边界区段增加扫描密度和修正精度,低梯度边界区段适度降低扫描密度,实现边界区段差异化闭环控制;

S66、将动态风险控制因子与频率区段风险排序、频轴优化及闭环扫描逻辑同步更新,实现频轴修正、风险排序和扫描策略的协同闭环控制,使关键频率区段的精度和可靠性得到保障。

[0014] 作为上述的方案为进一步补充,其中,所述S7包括如下分步骤:S71、动态计算各频率区段风险权重,将单区段风险、邻区段风险梯度、热敏感度及失真集中度加权融合形成综合权重,用于各区段的扫描时间和步长分配;

S72、在扫描过程中实时采集各频率区段的频响偏移、失真指标及温升偏差,将实时偏差反馈至风险权重模型,闭环修正各区段风险权重;

S73、依据更新后的风险权重动态调整各区段扫描步长,高风险区段采用最小步长

保证采样精度,低风险区段适度放大步长以提高整体扫描效率;

S74、根据更新后的风险权重和风险排序,自适应分配各区段扫描时间,高风险区段优先分配更多扫描时间及更高资源密度,低风险区段适度延后或共享多余扫描资源,实现资源优化;

S75、结合邻区段风险梯度自适应微调频率区段边界,通过边界调整系数增加高风险梯度区段扫描密度和频轴修正精度,降低低风险区段密度和步长,同时根据实时频响偏移、失真指标及温升偏差结合闭环风险权重动态调整边界参数,并通过软件控制扫描器步长和采样速率实现边界区段实时自适应调节;

S76、同步更新扫描时间、步长、资源分配及频轴修正,与动态风险控制因子、区段风险排序及频率漂移闭环优化协同,边界区段扫描微调与整体步长闭环更新,实现频轴优化与风险驱动的精细化扫描控制。

[0015] 作为上述的方案为进一步补充,其中,所述S8包括如下分步骤:S81、在各频率区段布置声压、电压/电流及温度传感器,实时采集频响偏移、失真及温升数据,对信号进行去噪、滤波和归一化处理,同时对间接温度通过电阻变化结合材料特性反推,并采用标定查表、拟合函数或机器学习模型优化温度精度;基于热等效传递模型结合历史温升响应及实时功率数据预测热漂移趋势,将实时频响偏移与失真指标进行多维融合生成初步频轴修正数据,用于各区段频轴优化;

S82、对各频率区段的性能变化趋势按区段风险权重进行加权处理,将历史超标概率、失真波动、热漂移敏感度及耦合特征融入权重计算,高风险区段赋予更高权重以优先反映频响曲线和失真指标的变化,低风险区段赋予较低权重,以实现性能趋势的差异化反映和风险驱动的精细化控制;

S83、结合温升趋势的非线性映射函数,将温度变化对电声响应的影响动态映射至性能变化趋势,通过离散或连续函数映射建立温度-性能关系模型,使温升对各区段性能的影响能够实时反馈到性能趋势中,实现温升对性能的动态调节和闭环补偿;

S84、在扫描过程中持续采集实时频响偏移、失真指标及温升偏差,将实际测得性能与预测性能进行比对,计算性能预测误差,并将误差反馈至频轴修正量和性能趋势权重模型,结合闭环算法和动态权重调整机制实现自适应修正,对高热敏感或高失真区段优先闭环更新;

S85、依据闭环更新后的频轴修正量和性能趋势权重,对各频率区段执行自适应调整,高风险或高热敏感区段采用更精细的频轴校正和性能趋势反映,低风险区段保持适度扫描步长以优化效率,同时通过动态调节扫描顺序、扫描密度和采样速率实现频轴优化与性能趋势动态调节的协同闭环控制,实现精细化扫描与性能预测的统一闭环优化。

[0016] 作为上述的方案为进一步补充,其中,所述S42中综合风险权重通过区段级风险特征参数融合计算获得,其包括如下分步骤:S421、从历史测试数据库中读取对应音频设备在各频率区段的测试记录,统计每一频率区段的测试总次数及指标超标次数,并根据超标次数与测试总次数的比例关系计算得到对应频率区段的历史超标概率;

S422、对当前测试过程中各频率区段采集得到的失真采样数据进行统计分析,分别计算失真均值及失真标准差,并根据失真标准差与失真均值的比值确定对应频率区段的失真波动系数;

S423、将频响幅值变化数据与温度变化数据按照时间序列进行同步对齐,在连续滑动时间窗口内对频响幅值变化量与温度变化量进行回归计算,得到频响幅值相对于温度变化的变化率,并将所述变化率确定为对应频率区段的热漂移敏感度;

S424、对失真数据序列与温度数据序列进行相关性分析,根据两组数据之间的协方差以及各自标准差计算两者之间的相关系数,并将所述相关系数作为对应频率区段的失真-热漂移耦合系数;

S425、将历史超标概率、失真波动系数、热漂移敏感度及失真-热漂移耦合系数进行归一化处理,并根据各参数在历史测试数据中的贡献度确定对应融合系数,对归一化后的各参数进行融合计算,得到各频率区段的综合风险权重,并根据综合风险权重大小确定对应频率区段的风险等级。

[0017] 有益效果

在上述技术方案中,本发明提供的音频测试方法,通过同步采集电压、电流、声压及温度信号,构建多维机电声学数据集,使测试系统同时反映设备的电气特性、声学输出及热状态;结合温度与频响数据关联分析,提取热漂移敏感度,并将各频率区段的历史数据与失真波动、温升趋势融合,生成综合风险权重,提高高风险区段识别能力及测试精度;同时对历史与实时数据进行融合分析,使性能评价兼顾历史规律与实时状态,增强测试结果稳定性,并对潜在性能风险进行识别,为设备质量检测与性能优化提供可靠支撑,同时提升测试智能化水平。

[0018] 应当理解,前面的一般描述和以下详细描述都仅是示例性和说明性的,而不是用于限制本公开。

本申请文件提供本公开中描述的技术的各种实现或示例的概述,并不是所公开技术的全部范围或所有特征的全面公开。

附图说明

[0019] 为了更清楚地说明本申请实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明中记载的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0020] 图1为本发明实施例提供的音频测试方法的流程示意图。

具体实施方式

[0021] 为使得本公开实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本公开实施例的附图,对本公开实施例的技术方案进行清楚、完整地描述。显然,所描述的实施例是本公开的一部分实施例,而不是全部的实施例。基于所描述的本公开的实施例,本领域普通技术人员在无需创造性劳动的前提下所获得的所有其他实施例,都属于本公开保护的范围。

[0022] 参照图1,本发明提供的音频测试方法,该方法包括如下步骤:S1、获取被测音频设备的电压信号、电流信号、声压信号及温度信号,对温度通过多点采样、滤波及间接反推结合动态热模型进行修正,以保证温度估计的高精度与可靠性;

S1包括如下分步骤:S11、在被测音频设备的输入、输出及关键电路节点布置电压和电流传感器采集电气信号,同时在音频输出端或测试环境布置声压传感器获取声学信

号;

S12、在关键元件或设备环境中布置温度传感器获取直接温度数据,对无法直接测温的部位通过电阻变化结合材料特性映射反推温度,并采用标定查表、拟合函数或机器学习模型提高复杂材料或非线性条件下的温度估计精度;

S13、对同一元件布置多点采集实现冗余采样降低单点误差影响,将电压、电流、声压及温度信号统一采样保证时间同步,并根据设备频响范围和热响应速度选择采样率以满足测试精度和动态响应要求;

S14、对采集到的各类信号进行去噪、滤波及归一化处理以消除环境噪声和传感器误差,将间接反推温度与热等效传递模型结合进行动态修正以补偿快速温升或外界扰动带来的偏差,并采用闭环实时更新提高温度估计精度和稳定性;

S15、对反推温度与功率、声压数据进行一致性比对识别异常偏差,在异常情况下触发映射参数自适应调整或报警提示保证数据集有效性和可靠性;

S16、将电压、电流、声压及温度信号按时间顺序组合形成完整实时机电数据集用于后续热-声耦合分析、频响漂移预测和失真评估,同时为频率区段划分及风险评估提供基础数据。

[0023] 具体的,在本发明实施过程中,步骤S1用于获取被测音频设备在运行状态下的电气、声学及温度信息,并通过动态热模型对温度进行高精度估计,以保证后续频响漂移预测和失真评估的可靠性。为实现该目标,本发明对S1各子步骤的技术实现包括如下:

在S11中,为实现对被测音频设备电气、声学及温度特性的全面采集,采用在关键节点布置高精度电压、电流、声压及温度传感器,并通过统一接口(如SPI、I2C、CAN总线或高速ADC采集模块)进行信号采集,同时保证各传感器采样时钟同步,以实现多源数据时间严格对齐。每个采样点均赋予统一时间戳,通过硬件定时器或采集卡自带时钟进行标记,并采用环形缓冲区或FIFO缓存保证高采样率下数据连续写入不丢失。将各通道数据按照时间戳对齐,组合为矩阵式数据结构,其中行表示时间点,列表示各测量参数,对于不同采样率的信号,通过插值或重采样方法实现统一时间序列,从而形成完整的实时机电数据集。

[0024] 对整合后的数据进行去噪、滤波及归一化处理,以消除传感器噪声和环境干扰,并使电气量、声学量和温度量在同一量级范围内,便于后续热-声耦合分析、频响漂移预测和失真评估。在实时数据存储方面,将处理后的多维数据存储于高速存储器或数据库中,支持快速访问和实时计算,并通过数据接口提供给后续分析模块。具体实施中,可采用硬件方案如高速16位ADC模块每通道采样率50kHz,利用FPGA实现多通道同步采样与时间戳打标,并通过PCIe总线传输至上位机进行整合;软件方案则通过在上位机上按时间戳生成数据矩阵,每秒生成包含50,000个时间点的多维数据集,经过预处理后供热-声耦合分析算法实时计算。通过该技术手段,实现了电压、电流、声压及温度信号的同步采集、多通道对齐、时间戳标记、预处理和矩阵化存储,为后续分析提供了可靠、可复现的实时机电数据基础;

在S12中,为保证多通道机电数据在时间上的精确对齐,本发明采用硬件时间戳标记方案。在数据采集模块中,每个采样点在采集瞬间均由硬件定时器或采集卡自带高精度时钟生成唯一时间戳,直接与采集信号绑定。时间戳采用统一格式记录,可精确到微秒级或纳秒级,确保在高采样率下各通道数据在时间上严格对齐,从而便于后续的热-声耦合分析和频响漂移计算。

[0025] 同时,为保证在高采样率或大数据量条件下数据的连续性,本发明采用环形缓冲区(Ring Buffer)或先进先出缓存(FIFO)机制存储采集数据。采集模块将各通道的采样值和对应时间戳写入缓冲区,由缓冲区按顺序缓存数据,避免在高速采样过程中出现数据丢失。缓冲区可配置容量,支持在短时数据处理或传输延迟情况下临时存储采样点,实现采集与处理解耦。此外,缓冲区管理采用读写指针机制,当数据处理速度低于采样速度时,可通过环形覆盖策略或报警机制保证数据完整性。

[0026] 具体实施中,可采用FPGA或高速微控制器生成硬件时间戳,并在采集卡内实现多通道FIFO缓存,每个通道单独管理数据队列,并通过DMA(直接内存访问)传输至上位机进行矩阵化存储。软件层面通过对缓冲区读取指针与写入指针进行监控,实现实时数据读取和后续处理,确保高采样率下的数据连续性和时间一致性,同时为多通道数据融合、热-声耦合计算及实时风险分析提供可靠基础。

[0027] 在S13中,为实现多通道机电数据的时间对齐,本发明将各传感器采集的电压、电流、声压及温度信号按统一时间戳进行匹配和组合。具体地,每个采样点在采集时均由采集模块生成硬件时间戳,以确保不同通道数据在时间上严格对齐。随后,采集的数据按时间戳排列组合成矩阵式数据结构,其中矩阵的行表示各时间点,列表示各通道的测量参数,通过这种结构可以在同一时间点上直接获取设备的电气、声学及温度状态,实现多维信号同步分析。

[0028] 对于不同采样率的信号,本发明采用插值或重采样方法实现时间序列统一。低采样率通道的数据通过线性插值、样条插值或基于滤波的重采样方法,将其值映射到高采样率通道的时间点上;对于高采样率通道,可通过取样或平均方法调整至统一时间序列,从而保证所有通道在相同时间节点上均有对应数据。通过该方法,多通道数据能够形成统一、连续的时间序列矩阵,便于后续热-声耦合分析、频响漂移预测及失真评估。

[0029] 具体实施中,可采用软件算法在上位机端处理各通道数据,首先对时间戳进行排序,再对不同采样率通道执行插值或重采样操作,最终生成统一时间序列的多维矩阵数据。硬件上,可结合FPGA或多通道采集卡进行初步时间戳标记和数据缓存,保证数据传输的连续性和实时性。此技术手段能够有效解决不同采样率、多通道信号对齐问题,确保后续分析所用数据的完整性和同步性,为音频设备的动态性能评估提供可靠基础。

[0030] 在S14中,为提高信号分析的精度和稳定性,本发明对采集到的电压、电流、声压及温度信号首先进行去噪、滤波及归一化处理。去噪方法可采用低通滤波器、带通滤波器或小波变换等多种信号处理算法,去除环境噪声、工频干扰及传感器自噪声;滤波处理针对高频抖动和采样噪声,通过数字滤波器实现平滑信号输出;归一化处理则将不同量纲和幅值范围的信号映射到统一的数值范围,保证电气量、声学量及温度量在后续分析中的可比性和融合性。

[0031] 针对无法直接测量或存在偏差的温度数据,本发明结合热等效传递模型进行动态修正。具体地,通过建立关键元件及热节点间的热传递网络,将间接反推的温度与设备内部功率分布、材料热特性及环境边界条件耦合计算,并实时更新模型参数,以补偿快速温升或外界扰动造成的温度偏差。动态修正采用闭环算法实现:实时采集的温度与模型预测值进行比对,通过反馈调节模型热阻、热容量或传递系数,实现温度预测的自适应校正,从而显著提高温度估计精度和稳定性。

[0032] 具体实施中,可将采集信号先通过FPGA或高速微控制器完成实时滤波与归一化,再将处理后的温度数据输入热等效模型进行动态仿真计算,模型输出与实际采集值比较,利用PID控制算法或卡尔曼滤波方法闭环修正模型参数,实现温度数据的高精度、实时修正。该技术手段能够保证在设备快速运行或外部扰动条件下,温度估计的可靠性和稳定性,为后续频响漂移预测、失真评估及风险分析提供准确数据基础。

[0033] 在S15中,为保证实时机电数据集的有效性与可靠性,本发明对反推温度数据与对应的功率及声压信号进行一致性比对。具体地,将反推温度序列与功率输入、声压输出在同一时间点进行匹配,计算其偏差值、变化趋势及统计特征。通过设置动态偏差阈值或基于历史数据的预测区间,可识别异常偏离行为,例如温度突变、功率异常波动或声压输出异常。

[0034] 在发现异常情况下,本发明提供两种处理机制:一是触发映射参数的自适应调整,即根据偏差特征动态更新温度反推模型或校正系数,实时修正温度估计值,使其回归与功率和声压信号的一致性;二是触发报警提示,将异常事件记录至系统日志或通过界面提示操作者,以便进一步分析和处理异常情况。

[0035] 具体实施中,可利用软件算法在上位机端对各通道数据执行实时比对,计算均方误差、最大偏差及时间序列相关性指标,并将异常判断结果输入闭环控制模块,结合模型自适应调整或报警输出,实现高精度、可靠的数据一致性维护。同时,该方法可在高采样率、多通道数据环境下运行,保证整个实时机电数据集在动态条件下的有效性,为后续热-声耦合分析、频响漂移预测及失真评估提供可靠数据基础。

[0036] 在S16中,为形成完整的实时机电数据集,本发明对各采集通道的电压、电流、声压及温度信号进行时间对齐和统一组合。具体地,每个采样点在采集时由采集模块或硬件时钟生成时间戳,用于标识信号的采集时刻。所有通道数据根据时间戳进行排序和匹配,将不同通道的采样值对应到相同时间点,形成矩阵式或多维数组式的数据结构,其中行表示采样时间,列表示各通道参数。通过该方式,能够保证每一时间点的电气量、声学量和温度量完整对应,为后续分析提供精确的多维数据基础。

[0037] 在多采样率或高频率信号环境下,本发明采用插值或重采样技术实现统一时间序列。对于采样率较低的通道,可通过线性插值、样条插值或数字滤波方法,将其值映射到高采样率通道对应的时间点;对于高采样率通道,可通过降采样或平均方法调整至统一时间序列,从而保证各通道数据在同一时间点上的可比性和完整性。

[0038] 具体实施中,可利用高速采集卡或FPGA对各通道数据进行实时采集与缓冲,并在上位机端执行时间戳对齐和插值处理,将生成的实时机电数据集作为热-声耦合分析、频响漂移预测及失真评估的基础。同时,该数据集可直接作为频率区段划分和风险评估的输入,为后续动态风险控制、频轴优化及精细化扫描提供可靠的、多维度、可复现的数据支撑。

[0039] 本发明提供的优选实施例中,S2、基于历史温升响应数据及实时功率输入,构建热等效传递模型,预测温度变化趋势,并依据温度与电声参数的映射关系推导频响漂移预测量及失真变化预测量。

[0040] 其中,S2包括如下分步骤:S21、基于实时机电数据集中按时间顺序记录的电压信号、电流信号、声压信号及温度信号,计算设备运行过程中的实时功率输入,并结合温度变化序列提取关键元件的温升响应数据,同时调用历史温升响应数据作为参考样本,为后续热等效传递模型构建提供数据基础;

S22、根据参与温升响应的关键元件构建热等效传递模型,将关键元件定义为热节点,并依据元件结构布局及热耦合关系建立节点之间的热传递连接结构形成离散热网络,在各热节点设置热容量参数,在节点连接路径设置热阻参数,并将实时功率输入加载至对应热节点以表征设备内部热能传递路径及热量分布特征;

S23、基于所建立的离散热网络对各热节点执行离散热传递计算,获得关键元件及系统整体的温度变化趋势,并结合实时温度采集结果对热网络参数进行动态修正,使温度变化趋势能够反映设备运行过程中的实际温升状态;

S24、建立温度变化与电声参数之间的关联关系,将温度变化趋势与实时电声响应数据进行耦合分析,推导各频率点的频响变化趋势及失真变化趋势,用于表征温升过程对音频设备电声性能的影响;

S25、将温度变化趋势、频响变化趋势及失真变化趋势与实时机电数据集进行融合处理,形成用于频率区段划分、频轴修正及风险评估的预测数据基础,并为后续频率扫描控制及性能趋势分析提供输入数据。

[0041] 具体的,在本发明优选实施例中,步骤S2用于基于历史温升响应数据及实时功率输入,构建热等效传递模型,预测温度变化趋势,并依据温度与电声参数的映射关系推导频响漂移预测量及失真变化预测量,以实现对音频设备运行状态下电声性能变化的准确预测。具体实现如下:

在S21中,本发明从步骤S1获得的实时机电数据集中按时间顺序记录的电压信号、电流信号、声压信号及温度信号出发,首先计算设备运行过程中的实时功率输入。实时功率输入的计算可采用公式 $P(t) = V(t) \cdot I(t)$ 或结合交流信号相位修正计算有效功率,以反映设备在各时间点的瞬时能量输入。随后,结合温度变化序列提取关键元件的温升响应数据,包括核心发热元件及热敏感结构件的温度随功率输入的动态响应。同时调用历史温升响应数据作为参考样本,形成温升响应数据集,为后续热等效传递模型的构建提供可靠数据基础。具体实施中,可将历史温升数据与实时温度数据进行标准化处理,以便在动态计算中进行统一对比和模型训练。

[0042] 在S22中,本发明根据参与温升响应的关键元件构建热等效传递模型,将每个关键元件定义为热节点,并依据元件结构布局及热耦合关系建立节点之间的热传递连接,形成离散热网络。对于每个热节点,设置热容量参数以表征其吸收热量的能力;在节点连接路径上设置热阻参数以表征热能传递的阻碍特性。实时功率输入被加载至对应热节点,用于模拟设备内部热能分布及热量传递路径,从而能够反映关键元件及整体系统的热动力学特性。具体实施中,可利用有限元简化法或分布式电路类比法将热节点与热阻、热容量参数映射成计算模型,以便在有限计算资源下实现实时仿真。

[0043] 在S23中,基于所建立的离散热网络,对各热节点执行离散热传递计算,得到关键元件及系统整体的温度变化趋势。计算过程中,可采用欧拉法、隐式差分法或改进的Runge-Kutta法进行时间步迭代,以保证计算精度与稳定性。同时,结合实时温度采集结果对热网络参数进行动态修正,包括热阻、热容量及功率映射系数的实时调整,从而使预测的温度变化趋势能够精确反映设备实际运行中的温升状态。具体实施中,可通过软件算法在上位机端实现温度预测与实时采集数据的闭环校正,以提高预测可靠性和动态响应精度。

[0044] 在S24中,本发明建立温度变化与电声参数之间的关联关系。通过将预测的温度变

化趋势与实时电声响应数据进行耦合分析,可推导各频率点的频响变化趋势及失真变化趋势,形成对温升过程中电声性能变化的动态预测。该分析可采用回归模型、神经网络或基于物理映射函数的方法,将温度对频响幅度、相位及失真系数的影响映射为可计算的预测量,为后续频响漂移分析提供基础数据。

[0045] 在S25中,本发明将预测得到的温度变化趋势、频响变化趋势及失真变化趋势与实时机电数据集进行融合处理,形成用于频率区段划分、频轴修正及风险评估的预测数据基础。同时,该融合数据可作为频率扫描控制、动态性能趋势分析及设备热-声耦合优化的输入,实现实时性能管理与优化。具体实施中,可利用多维矩阵运算或数据融合算法,将各类预测数据映射至统一时间序列和频率序列,保证后续控制模块可直接调用,实现预测与控制的闭环。

[0046] 本发明提供优选实施例中,S3、根据各频率点的失真分布、频响曲率变化、共振特征及频响漂移梯度构建综合分段函数,并依据函数梯度自适应划分频率区段,使不同区段分别对应不同热敏感度和失真集中程度。

[0047] 其中,S3包括如下分步骤:S31、基于实时机电数据集及温度变化趋势数据提取各频率点的电声响应特征,包括失真分布特征、频响变化特征及共振响应特征,并结合频响变化趋势计算各频率点的频响变化梯度,形成用于频率特征分析的基础数据集;

S32、将各频率点的失真分布特征、频响变化特征、共振响应特征及频响变化梯度进行融合处理,构建综合分段函数,用于描述频率响应变化规律,使函数能够反映不同频率位置的性能变化特征及异常集中程度;

S33、分析综合分段函数在频率轴上的变化情况,通过检测函数变化速率、变化趋势及局部极值分布识别频率响应特征明显变化的位置,并结合函数变化集中程度对候选边界进行融合判断确定区段边界;完成初始区段划分后,根据相邻区段响应差异及区段内部变化情况对边界进行自适应调整;

S34、依据区段边界对频率范围进行划分形成多个频率区段,在各频率区段内统计频响变化特征、失真分布特征及共振响应特征生成区段电声响应特征参数;随后对区段内部响应变化进行一致性检测,根据区段内部及相邻区段的响应差异自适应调整边界,通过频率区段细分或合并实现区段结构优化,使各频率区段分别对应不同的电声响应变化特征;

S35、对各频率区段进行特征标定,通过分析区段内温度变化趋势与频响变化趋势之间的关联提取热敏感度特征,同时统计失真指标的分布密度、变化幅度及极值分布提取失真集中程度特征,并结合温度变化、频响变化及失真变化之间的耦合关系形成区段综合特征参数,用于表征各频率区段的热-声响应特性。

[0048] 具体的,步骤S3用于根据各频率点的失真分布、频响曲率变化、共振特征及频响漂移梯度构建综合分段函数,并依据函数梯度自适应划分频率区段,使不同区段分别对应不同热敏感度和失真集中程度,从而实现对音频设备在温升条件下电声响应特征的精细化刻画和动态分段管理。

[0049] 在S31中,本发明首先基于步骤S1获得的实时机电数据集及步骤S2预测的温度变化趋势数据,提取各频率点的电声响应特征。具体地,对每个频率点分析失真分布特征,包括二次谐波、三次谐波及互调失真等参数的幅值和变化趋势;分析频响变化特征,包括幅值

变化、相位变化及频响曲率变化；分析共振响应特征，包括局部共振峰值、半功率带宽及峰值频率漂移。随后，结合频响变化趋势计算各频率点的频响变化梯度，以量化频率响应随温升和功率输入变化的敏感程度，从而形成用于频率特征分析的基础数据集。具体实施中，可通过快速傅里叶变换(FFT)获取各频率点幅值与相位数据，并结合温度变化序列和实时失真测量构建频率-温度-失真多维矩阵，为后续分段计算提供数据支撑。

[0050] 在S32中，本发明将各频率点的失真分布特征、频响变化特征、共振响应特征及频响变化梯度进行融合处理，构建综合分段函数。该函数用于描述频率响应变化规律，使其能够反映不同频率位置的性能变化特征及异常集中程度。融合处理可采用加权求和、主成分分析(PCA)、多维归一化或自适应融合算法，将各类特征统一映射到函数值空间中，从而在函数曲线上体现频率点的变化强度和异常分布密度。该综合分段函数不仅能够刻画幅值变化，还可结合频响曲率、共振峰漂移及失真集中度形成多指标综合表征，为区段边界确定提供定量依据。

[0051] 在S33中，本发明分析综合分段函数在频率轴上的变化情况，通过检测函数的变化速率、变化趋势及局部极值分布识别频率响应特征明显变化的位置，并结合函数变化集中程度对候选边界进行融合判断以确定区段边界。初始区段划分完成后，根据相邻区段之间的响应差异及区段内部的变化情况对边界进行自适应调整。具体实施中，可采用梯度阈值检测算法或局部极值检测算法获取候选边界，再结合区段内平均响应变化和标准差指标进行边界优化，使划分出的频率区段既能反映局部异常特征，又能保持区段整体的响应一致性。

[0052] 在S34中，本发明依据优化后的区段边界对频率范围进行划分，形成多个频率区段。在每个频率区段内，统计频响变化特征、失真分布特征及共振响应特征，并生成区段电声响应特征参数。同时，对区段内部的响应变化进行一致性检测，通过比较区段内部及相邻区段的响应差异，自适应调整区段边界，实现频率区段结构优化。区段优化可包括细分高梯度区段、合并低变化区段或对边界进行平滑移动，从而保证各频率区段分别对应不同的电声响应变化特征，并为后续热-声耦合分析提供精细化基础。

[0053] 在S35中，本发明对各频率区段进行特征标定。通过分析区段内温度变化趋势与频响变化趋势之间的关联关系，提取区段的热敏感度特征；同时统计失真指标的分布密度、变化幅度及极值分布，提取失真集中程度特征。结合温度变化、频响变化及失真变化之间的耦合关系，形成区段综合特征参数，用于表征各频率区段的热-声响应特性。具体实施中，可利用多维矩阵运算、回归分析或机器学习方法，将区段内多指标融合为统一特征值，使每个区段具备可量化、可比较的热敏感度和失真集中度，为频率区段的动态优化、风险评估及频率扫描控制提供可靠数据支持。

[0054] 本发明提供的优选实施例中，S4、针对各频率区段提取历史超标概率、失真波动特征、极值出现频率、热漂移敏感度及失真-热漂移耦合特征，融合计算各频率区段的综合风险权重，并根据综合风险权重生成区段风险排序。

[0055] 其中，S4包括如下分步骤：S41、根据已划分的频率区段及对应的区段电声响应特征参数，提取各区段的历史超标概率、失真波动、极值出现频率、热漂移敏感度及失真-热漂移耦合特征，为综合风险评估提供基础数据集；

S42、基于各区段电声响应特征及历史数据，融合计算综合风险权重，并结合区段

间风险梯度生成区段风险排序；

S42中综合风险权重通过区段级风险特征参数融合计算获得,其包括如下分步骤:
S421、从历史测试数据库中读取对应音频设备在各频率区段的测试记录,统计每一频率区段的测试总次数及指标超标次数,并根据超标次数与测试总次数的比例关系计算得到对应频率区段的历史超标概率;

S422、对当前测试过程中各频率区段采集得到的失真采样数据进行统计分析,分别计算失真均值及失真标准差,并根据失真标准差与失真均值的比值确定对应频率区段的失真波动系数;

S423、将频响幅值变化数据与温度变化数据按照时间序列进行同步对齐,在连续滑动时间窗口内对频响幅值变化量与温度变化量进行回归计算,得到频响幅值相对于温度变化的变化率,并将变化率确定为对应频率区段的热漂移敏感度;

S424、对失真数据序列与温度数据序列进行相关性分析,根据两组数据之间的协方差以及各自标准差计算两者之间的相关系数,并将相关系数作为对应频率区段的失真-热漂移耦合系数;

S425、将历史超标概率、失真波动系数、热漂移敏感度及失真-热漂移耦合系数进行归一化处理,并根据各参数在历史测试数据中的贡献度确定对应融合系数,对归一化后的各参数进行融合计算,得到各频率区段的综合风险权重,并根据综合风险权重大小确定对应频率区段的风险等级。

[0056] S43、将实时响应与预测特征偏差反馈至风险权重模型,实现动态闭环更新,并根据更新后的风险权重自适应调控频率区段的扫描顺序、扫描密度及资源分配,实现风险驱动的精细化测试。

[0057] S44、采集各频率区段的实时电声响应和温度数据,将其与预测响应进行比对计算预测误差,将误差反馈至综合风险权重模型进行闭环修正,闭环更新过程中结合区段热敏感度、失真集中度及邻区段风险梯度自适应调整修正幅度。

[0058] S45、根据动态更新的风险权重,对各频率区段生成风险排序,并将排序结果用于指导扫描顺序、扫描密度及资源分配,再将实时响应与预测特征偏差反馈至风险权重模型进行闭环修正,结合区段热敏感度、失真集中度及邻区段风险梯度自适应调整修正幅度。

[0059] 具体的,步骤S4用于针对各频率区段提取历史超标概率、失真波动特征、极值出现频率、热漂移敏感度及失真-热漂移耦合特征,融合计算各频率区段的综合风险权重,并根据综合风险权重生成区段风险排序,实现对高风险区段的动态闭环控制与精细化测试。

[0060] 在S41中,本发明根据已划分的频率区段及对应的区段电声响应特征参数,提取各区段的历史超标概率、失真波动特征、极值出现频率、热漂移敏感度及失真-热漂移耦合特征,为综合风险评估提供基础数据集合。具体地,从历史测试数据库中读取对应音频设备在各频率区段的测试记录,统计每一频率区段的测试总次数及指标超标次数,根据超标次数与总次数的比例计算历史超标概率;同时对当前测试过程中各频率区段采集得到的失真数据进行统计分析,计算失真均值及标准差,并由标准差与均值比值确定失真波动系数;此外,将频响幅值变化数据与温度变化数据按照时间序列进行同步对齐,在连续滑动窗口内进行回归计算,得到频响幅值相对于温度变化的变化率,作为对应频率区段的热漂移敏感度;对失真序列与温度序列进行相关性分析,通过协方差及标准差计算两者相关系数,并作

为失真-热漂移耦合系数。通过上述方式,可为每个频率区段构建多维风险特征集合,反映其在历史和实时运行条件下的风险水平。

[0061] 在S42中,本发明基于各区段电声响应特征及历史数据,融合计算各频率区段的综合风险权重,并结合区段间风险梯度生成区段风险排序。具体实施中,将历史超标概率、失真波动系数、热漂移敏感度及失真-热漂移耦合系数进行归一化处理,并依据各参数在历史测试数据中的贡献度分配融合系数,对归一化参数进行加权融合,生成各频率区段的综合风险权重;随后根据综合风险权重及相邻区段风险梯度,生成区段风险排序,用于指导测试资源分配和扫描优先级。硬件实现可通过上位机软件结合数据库读取模块完成历史统计与多维加权融合计算;软件可通过矩阵运算或多线程处理,实现实时风险权重计算及排序输出。

[0062] 其中,在S421中,从历史测试数据库中读取对应音频设备在各频率区段的历史测试记录,并对每一频率区段的测试数据进行统计分析。具体地,通过数据库查询模块检索对应设备型号或测试类型的历史测试数据,统计每一频率区段的测试总次数以及指标超标次数,其中指标超标可以包括频响幅值偏差超限、总谐波失真超限或其他电声性能指标超限。随后根据超标次数与测试总次数之间的比例关系计算得到该频率区段的历史超标概率。该计算过程可通过数据库统计函数或数据分析软件实现,从而形成能够反映长期运行质量稳定性的区段级历史风险指标。

[0063] 在S422中,对当前测试过程中各频率区段采集得到的失真采样数据进行统计分析,以提取区段级失真波动特征。具体实施时,测试系统在频率扫描过程中实时采集各频率点的失真数据,并根据已划分的频率区段对数据进行归类,在每一频率区段内分别计算失真均值以及失真标准差。随后通过计算失真标准差与失真均值之间的比值获得失真波动系数,该系数用于表征失真响应在区段内的稳定程度。当失真波动系数较大时,说明该频率区段的失真响应具有较强的不稳定性,存在潜在性能风险。上述统计计算可通过数字信号处理算法或数据分析模块完成。

[0064] 在S423中,为了表征温度变化对电声响应的影响程度,将频响幅值变化数据与温度变化数据按照时间序列进行同步对齐处理。具体地,通过统一时间戳或插值方法对两类数据进行同步,使其在同一时间尺度下进行分析,然后在连续滑动时间窗口内对频响幅值变化量与温度变化量进行回归计算,得到频响幅值相对于温度变化的变化率。该变化率反映温升对频响幅值的影响敏感程度,并被确定为对应频率区段的热漂移敏感度。技术实现上可采用线性回归算法、最小二乘法或其他参数估计方法完成变化率计算。

[0065] 在S424中,对失真数据序列与温度数据序列进行相关性分析,以评估温升对失真变化的耦合影响。具体地,通过对两组数据计算协方差以及各自的标准差,得到两者之间的相关系数,并将该相关系数作为对应频率区段的失真-热漂移耦合系数。当该系数较高时,说明温度变化对失真变化具有较强影响,表明该区段存在较高的热-声耦合风险。上述相关性计算可通过统计分析算法或信号处理软件实现,例如皮尔逊相关系数计算方法。

[0066] 在S425中,将历史超标概率、失真波动系数、热漂移敏感度以及失真-热漂移耦合系数进行统一处理,以获得可用于综合评估的区段风险权重。具体实施时,首先对各风险特征参数进行归一化处理,使不同量纲的参数能够在统一尺度下进行比较;随后根据各参数在历史测试数据中的贡献度确定对应融合系数,融合系数可通过统计分析或训练模型获

得;在完成归一化及融合系数确定后,对各风险特征参数进行加权融合计算,从而得到各频率区段的综合风险权重。最后根据综合风险权重的大小对各频率区段进行风险等级划分,例如划分为高风险区段、中风险区段及低风险区段。计算过程可通过上位机数据处理程序实现,也可通过嵌入式处理模块或测试软件中的数据分析算法实现。

[0067] 在S43中,本发明将实时响应与预测特征偏差反馈至风险权重模型,实现动态闭环更新。具体地,在每次采样或扫描周期内,将实时电声响应与步骤S2-S3预测特征进行比较,计算偏差矩阵,并将偏差结果输入风险权重模型,自动修正综合风险权重;同时依据更新后的风险权重,自适应调控频率区段的扫描顺序、扫描密度及资源分配,实现风险驱动的精细化测试。实施中,可通过上位机实时计算偏差矩阵,并调用资源调度模块按区段优先级调整扫描计划和采集速率。

[0068] 在S44中,本发明进一步采集各频率区段的实时电声响应和温度数据,将其与预测响应进行比对计算预测误差,并将误差反馈至综合风险权重模型进行闭环修正。在闭环更新过程中,结合区段热敏感度、失真集中度及邻区段风险梯度自适应调整修正幅度,实现频率区段风险权重的动态优化。具体实施中,可采用滑动窗口分析对预测误差进行滤波,并通过PID或自适应增益算法调节闭环修正幅度,保证高风险区段的快速响应与低风险区段的资源节约。

[0069] 在S45中,本发明根据动态更新的风险权重,对各频率区段生成最新风险排序,并将排序结果用于指导扫描顺序、扫描密度及资源分配。实时响应与预测特征偏差持续反馈至风险权重模型,结合区段热敏感度、失真集中度及邻区段风险梯度自适应调整修正幅度,实现频率区段的闭环控制。具体技术实现可通过上位机软件模块与采集硬件协同工作:上位机完成风险权重计算、排序及扫描策略调整,采集模块根据策略执行精细化扫描及数据采集,并将结果返回上位机完成下一轮闭环更新。

[0070] 步骤S4实现了各频率区段的历史与实时风险特征提取、多维风险参数融合、闭环更新及资源分配优化。该方法能够动态识别高热敏感或高失真区段,优先分配扫描资源,保证测试的精度与效率,同时为后续步骤的频轴重构、频率扫描优化及性能趋势分析提供可靠、可复现的多维风险基础数据。

[0071] 本发明提供的优选实施例中,S5、基于实时检测的失真偏移量和频响漂移预测量,构建频率漂移分布函数,计算各频率点的频轴修正量,并依据频轴修正量对各频率区段执行差异化频轴重构。

[0072] 其中,S5包括如下分步骤:S51、根据实时机电数据集及频响漂移预测量,提取各频率点的失真偏移和频响变化特征,通过多维融合构建用于频率漂移分析及风险评估的基础数据集,同时结合实时偏差反馈实现闭环校正,对高热敏感或高失真区段优先加权处理;

S52、将各频率点失真偏移与频响漂移预测量进行多维融合,构建反映频率漂移趋势及异常集中区段的频率漂移分布函数,并依据分布函数计算各频率点的频轴修正量,对高热敏感或高失真区段采用差异化修正步长;

S53、根据高风险区段划分结果及频率漂移修正量,对各频率区段执行差异化频轴重构,高风险区段采用更精细修正步长,并结合实时响应偏差和动态风险权重实现闭环调整,通过多维权重融合和增量更新优化扫描策略,实现频轴动态优化及关键区段高精度修正;

S54、根据动态更新的风险权重,对各频率区段生成风险排序,并将排序结果用于指导扫描顺序、扫描密度及资源分配,结合区段热敏感度、失真集中度及邻区段风险梯度自适应调整修正幅度,实现频轴优化与风险驱动扫描的协同闭环控制。

[0073] 具体的,步骤S5用于基于实时检测的失真偏移量和频响漂移预测量,构建频率漂移分布函数,计算各频率点的频轴修正量,并依据频轴修正量对各频率区段执行差异化频轴重构,实现高热敏感或高失真区段的精细频轴优化和动态风险驱动扫描。

[0074] 在S51中,本发明根据步骤S1获取的实时机电数据集及步骤S2预测的频响漂移量,提取各频率点的失真偏移和频响变化特征。具体地,通过计算每个频率点的实际失真值与预测值之间的偏差,结合频响漂移梯度、区段温度变化及历史响应数据形成多维特征向量。对于高热敏感或高失真区段,采用加权处理方法增强其在频率漂移分析中的影响力。同时,将实时偏差反馈至闭环校正模块,对实时测量偏差进行动态修正,保证频轴优化在设备运行状态下能够自适应调整。实施中,可通过上位机软件将实时信号矩阵与预测频响矩阵进行逐点比对,计算偏差矩阵并输出多维权重特征集合,为后续频率漂移分析和风险评估提供基础数据。

[0075] 在S52中,本发明将各频率点的失真偏移与频响漂移预测量进行多维融合,构建反映频率漂移趋势及异常集中区段的频率漂移分布函数。具体实现中,可通过加权平均、线性叠加或基于概率分布建模的方法,将不同来源的偏移量和漂移预测值融合为统一函数形式,描述各频率点在当前温升条件下的漂移幅度及异常集中概率。依据该分布函数,可计算每个频率点的频轴修正量,高热敏感或高失真区段采用较小修正步长以保证精度,低风险区段可采用较大步长以提高扫描效率。硬件实施可利用FPGA或微控制器对各区段漂移值进行实时计算,软件实现可通过矩阵运算或GPU加速完成分布函数构建和频轴修正量生成。

[0076] 在S53中,本发明根据步骤S4生成的高风险区段划分结果及步骤S52计算的频率漂移修正量,对各频率区段执行差异化频轴重构。具体地,高风险区段采用更精细的修正步长,并结合实时响应偏差、动态风险权重和区段热敏感度进行闭环调整,实现局部频轴优化;低风险区段则采用较粗步长以降低计算资源消耗。通过多维权重融合和增量更新算法,系统可实时调整扫描策略,实现对关键区段的高精度频轴修正,同时保证整体扫描效率。实施中可在上位机端通过矩阵化运算和增量更新策略对每个区段的频轴进行实时重构,并通过采集板或高速DAC模块将修正量反馈至测试设备,实现物理频率扫描同步调整。

[0077] 在S54中,本发明基于动态更新的风险权重,对各频率区段生成风险排序,并将排序结果用于指导扫描顺序、扫描密度及资源分配。具体实现时,将区段风险权重、热敏感度、失真集中度及邻区段风险梯度综合计算,生成闭环修正幅度,用于自适应调整频轴修正策略和扫描优先级,实现频轴优化与风险驱动扫描的协同闭环控制。通过该机制,高风险区段获得更多扫描资源和精细频轴修正,而低风险区段获得适度资源分配,实现资源利用最优化。具体实施中,可通过上位机软件结合硬件采集模块进行动态监控和闭环控制,确保在设备运行过程中的实时性和稳定性。

[0078] 步骤S5实现了实时失真偏移与频响漂移的多维融合分析、频率漂移分布函数构建、差异化频轴重构及风险驱动闭环优化,为高热敏感、高失真区段提供精细化频轴调整,同时兼顾低风险区段的扫描效率,为后续动态频率扫描、性能趋势分析及风险管理提供可靠、可复现的多维数据基础和控制策略。

[0079] 本发明提供的优选实施例中,S6、根据区段风险排序及频率区段特征构建扫描控制策略,通过动态风险控制因子对各频率区段的扫描顺序、扫描密度及扫描步长进行调度。

[0080] 其中,S6包括如下分步骤:S61、根据动态更新的区段风险权重及区段电声响应特征,构建动态风险控制因子,将区段风险、热敏感度及失真集中度融合形成加权因子,用于指导扫描策略和闭环控制;

S62、利用动态风险控制因子对各区段的频响指标和失真指标进行加权计算,高风险区段优先处理并采用更精细的频轴修正步长,低风险区段适度降低加权和扫描精度,实现差异化扫描控制;

S63、按动态风险控制因子对各区段的扫描顺序、扫描密度及资源分配进行统一调度,高风险区段优先扫描并分配更多资源,低风险区段延后或降低扫描密度,实现资源优化与效率提升;

S64、在扫描过程中实时采集各区段频响偏移、失真指标及温度偏差,将实时偏差反馈至动态风险控制因子模型,对控制因子及扫描策略进行闭环调整,使扫描顺序、密度及资源分配随实时偏差动态优化;

S65、结合邻区段风险梯度,对边界区段的扫描精度和步长进行自适应调整,高梯度边界区段增加扫描密度和修正精度,低梯度边界区段适度降低扫描密度,实现边界区段差异化闭环控制;

S66、将动态风险控制因子与频率区段风险排序、频轴优化及闭环扫描逻辑同步更新,实现频轴修正、风险排序和扫描策略的协同闭环控制,使关键频率区段的精度和可靠性得到保障。

[0081] 在本实施方式中,具体的,步骤S6用于在完成频率区段风险排序后,对整个频率扫描过程进行动态调度控制,使扫描资源优先集中于可能存在异常或失真的关键频率区域,从而在保证测试精度的同时提高整体扫描效率。为实现上述目的,本发明通过构建动态风险控制因子,并基于该因子对频率区段的扫描顺序、扫描密度及扫描步长进行自适应调度。

[0082] 具体实现时,在步骤S61中,根据动态更新的区段风险权重及区段电声响应特征构建动态风险控制因子。系统通过音频信号发生器向被测音频设备输出扫频激励信号,并通过电声测试平台中的麦克风阵列、信号采集卡以及温度采集模块获取各频率区段对应的电声响应数据,包括频响偏移量、谐波失真指标、瞬态响应波动幅度以及温度变化率等参数。随后,数据处理单元利用数字信号处理器或嵌入式控制器对采集到的多维数据进行预处理,包括滤波、归一化及异常点剔除,并按照各指标在历史测试数据中的贡献度进行加权融合,从而生成能够综合反映区段异常概率及热敏感特性的动态风险控制因子。该动态风险控制因子由控制处理模块实时更新,并作为扫描控制策略调度的核心依据。

[0083] 在步骤S62中,系统利用动态风险控制因子对各频率区段的频响指标及失真指标进行加权评估,并据此实现差异化扫描控制。具体实现时,扫描控制模块根据动态风险控制因子的大小对扫频信号发生器的频率步进参数进行动态调整。当某一频率区段的动态风险控制因子较高时,说明该区段存在较高的失真或频响偏移风险,此时控制模块通过缩小扫频信号的频率步长并提高采样速率,使该区段获得更高的扫描分辨率;当动态风险控制因子较低时,则适当增大频率步长并降低采样密度,从而减少扫描时间并提升整体检测效率。

[0084] 在步骤S63中,系统根据各频率区段的动态风险控制因子生成区段优先级序列,并

由扫描调度模块对频率扫描顺序进行统一调度。具体实现方式为：控制处理单元根据动态风险控制因子对各频率区段进行排序，并生成对应的扫描任务队列，然后通过控制信号接口向信号发生器及数据采集装置下发扫描控制指令，使高风险区段优先进行频率扫描，同时分配更多采样次数及计算资源，而风险较低的区段则延后扫描或降低采样频率，从而实现检测资源的优化配置。

[0085] 在步骤S64中，在扫描过程中系统实时采集各频率区段的频响偏移量、谐波失真指标及温度变化数据，并将采集数据输入动态风险控制因子计算模块。控制处理单元通过在线数据处理算法计算当前频率区段的实时偏差，并将实时偏差与历史预测值进行对比，根据偏差大小对区段风险权重进行修正，进而更新动态风险控制因子。更新后的控制因子实时反馈至扫描控制模块，从而对扫描顺序、扫描密度及频轴步长进行动态调整，形成实时闭环控制机制，使扫描策略能够随设备电声状态变化进行持续优化。

[0086] 在步骤S65中，为避免在频率响应变化剧烈区域出现扫描精度不足的问题，系统进一步根据相邻频率区段之间的风险权重计算区段风险梯度，并据此对边界区段的扫描策略进行自适应调节。具体实现时，数据处理单元首先计算相邻两个频率区段的风险权重差值，并将该差值与预设风险梯度阈值进行比较；当风险梯度超过阈值时，判定该频率区域存在潜在响应突变或失真集中现象。随后，扫描控制模块通过控制信号接口向扫频信号发生器发送频率修正指令，在该边界区段范围内自动减小频率步长，并提高数据采样密度，同时通过增加该区段的重复采样次数来提高测量稳定性；当风险梯度低于阈值时，则恢复默认扫描步长或适度降低扫描密度，从而实现边界区段扫描精度的自适应调节。

[0087] 在步骤S66中，在完成一轮频率扫描后，系统通过数据处理单元对全部频率区段的动态风险控制因子重新计算，并同步更新区段风险排序结果、扫描顺序及频轴扫描参数。更新后的控制参数通过扫描控制模块反馈至信号发生器与数据采集装置，用于指导下一轮频率扫描过程，使频轴修正、风险排序及扫描策略在多轮扫描过程中持续协同优化，从而形成完整的频率扫描闭环控制机制，以保证关键频率区段检测精度并提升电声测试结果的稳定性与可靠性。

[0088] 本发明提供的优选实施例中，S7、在频率扫描过程中采集各频率区段的实时频响偏移、失真指标及温升偏差，并根据实时偏差闭环更新区段风险权重，对扫描时间、扫描步长及区段边界进行自适应调整。

[0089] 其中，S7包括如下分步骤：S71、动态计算各频率区段风险权重，将单区段风险、邻区段风险梯度、热敏感度及失真集中度加权融合形成综合权重，用于各区段的扫描时间和步长分配；

S72、在扫描过程中实时采集各频率区段的频响偏移、失真指标及温升偏差，将实时偏差反馈至风险权重模型，闭环修正各区段风险权重；

S73、依据更新后的风险权重动态调整各区段扫描步长，高风险区段采用最小步长保证采样精度，低风险区段适度放大步长以提高整体扫描效率；

S74、根据更新后的风险权重和风险排序，自适应分配各区段扫描时间，高风险区段优先分配更多扫描时间及更高资源密度，低风险区段适度延后或共享多余扫描资源，实现资源优化；

S75、结合邻区段风险梯度自适应微调频率区段边界，通过边界调整系数增加高风

险梯度区段扫描密度和频轴修正精度,降低低风险区段密度和步长,同时根据实时频响偏移、失真指标及温升偏差结合闭环风险权重动态调整边界参数,并通过软件控制扫描器步长和采样速率实现边界区段实时自适应调节;

S76、同步更新扫描时间、步长、资源分配及频轴修正,与动态风险控制因子、区段风险排序及频率漂移闭环优化协同,边界区段扫描微调与整体步长闭环更新,实现频轴优化与风险驱动的精细化扫描控制。

[0090] 在本实施方式中,步骤S7用于在频率扫描执行过程中对扫描参数进行实时自适应调节,通过采集各频率区段的实时频响偏移、失真指标及温升偏差,并结合动态风险权重对扫描时间、扫描步长及区段边界进行闭环更新,使扫描策略能够根据被测音频设备的电声状态变化进行动态优化,从而提高关键频率区段的检测精度并提升整体扫描效率。

[0091] 具体地,在步骤S71中,首先动态计算各频率区段的风险权重。实现时,通过电声测试平台中的信号采集模块获取各频率区段的频响数据、谐波失真数据以及温度变化数据,并由数据处理单元对采集数据进行滤波、归一化及异常点剔除处理。随后,计算单区段风险值,并结合相邻频率区段之间的风险梯度、区段热漂移敏感度以及失真集中度进行多维加权融合,形成综合风险权重。该综合权重由控制处理模块实时更新,并作为扫描时间分配及频率步长调节的重要控制依据。

[0092] 在步骤S72中,在频率扫描执行过程中实时采集各频率区段的频响偏移量、谐波失真指标以及温度变化偏差。具体实现方式为:由扫频信号发生器向被测音频设备输出连续扫频信号,通过测试麦克风阵列及数据采集卡获取对应的声压信号并计算频率响应曲线,同时由温度传感器采集设备运行过程中的温升变化。数据处理单元对采集数据进行实时分析,计算当前频率区段的频响偏移量、总谐波失真指标以及温升偏差,并将上述实时偏差输入风险权重更新模块,通过在线更新算法对各区段的风险权重进行闭环修正。

[0093] 在步骤S73中,根据更新后的风险权重动态调整各频率区段的扫描步长。具体实现时,扫描控制模块根据风险权重大小对扫频信号发生器的频率步进参数进行控制。当某一频率区段风险权重较高时,说明该区段存在较大的频响偏移或失真风险,此时控制模块将该区段的频率步长减小,并提高采样频率,以获得更高的频率分辨率;当区段风险权重较低时,则适当增大频率步长并降低采样密度,从而在保证检测可靠性的前提下减少扫描时间,提高整体测试效率。

[0094] 在步骤S74中,系统依据更新后的风险权重及风险排序结果,对各频率区段的扫描时间进行自适应分配。具体实现方式为:控制处理单元根据风险权重生成区段优先级序列,并将该序列输入扫描调度模块。扫描调度模块通过控制信号接口调节信号发生器的扫描停留时间以及数据采集模块的采样次数,使高风险区段获得更长的扫描时间及更高的采样密度,而低风险区段则减少停留时间或共享剩余扫描资源,从而实现扫描资源的动态优化配置。

[0095] 在步骤S75中,为提高频率响应变化剧烈区域的检测精度,系统进一步结合邻区段风险梯度对频率区段边界进行自适应微调。具体实现时,数据处理单元首先计算相邻两个频率区段之间的风险权重差值,并根据差值大小生成边界调整系数。当某一区段与邻区段之间的风险梯度较大时,说明该区域可能存在频响突变或失真集中现象,此时扫描控制模块通过软件控制方式对扫频信号发生器的频率步长和采样速率进行调整,使该边界区域的

扫描密度增加并提高频轴修正精度;当风险梯度较小时,则适度降低边界区域的扫描密度并扩大步长。同时,在扫描过程中持续采集实时频响偏移、失真指标及温升偏差,并将上述数据输入边界调节模块,对边界调整系数进行动态修正,从而实现边界区段扫描策略的实时自适应调节。

[0096] 在步骤S76中,在完成一轮扫描后,系统通过数据处理单元对扫描过程中采集的全部实时数据进行综合分析,并同步更新各频率区段的扫描时间、扫描步长、资源分配以及频轴修正参数。更新后的控制参数与动态风险控制因子模型、区段风险排序结果以及频率漂移优化模型进行协同计算,并将计算结果反馈至扫描控制模块,用于指导下一轮频率扫描过程。通过这种方式,使边界区段扫描微调与整体频率步长调节形成统一的闭环控制机制,从而实现频轴优化与风险驱动扫描策略的协同运行,提高关键频率区段检测精度并增强电声测试结果的稳定性与可靠性。

[0097] 本发明提供的优选实施例中,S8、输出经频轴修正的频响曲线及失真指标,并结合温升趋势与电声响应之间的非线性映射关系生成音频设备性能变化趋势。

[0098] S8包括如下分步骤:S81、在各频率区段布置声压、电压/电流及温度传感器,实时采集频响偏移、失真及温升数据,对信号进行去噪、滤波和归一化处理,同时对间接温度通过电阻变化结合材料特性反推,并采用标定查表、拟合函数或机器学习模型优化温度精度;基于热等效传递模型结合历史温升响应及实时功率数据预测热漂移趋势,将实时频响偏移与失真指标进行多维融合生成初步频轴修正数据,用于各区段频轴优化;

S82、对各频率区段的性能变化趋势按区段风险权重进行加权处理,将历史超标概率、失真波动、热漂移敏感度及耦合特征融入权重计算,高风险区段赋予更高权重以优先反映频响曲线和失真指标的变化,低风险区段赋予较低权重,以实现性能趋势的差异化反映和风险驱动的精细化控制;

S83、结合温升趋势的非线性映射函数,将温度变化对电声响应的影响动态映射至性能变化趋势,通过离散或连续函数映射建立温度-性能关系模型,使温升对各区段性能的影响能够实时反馈到性能趋势中,实现温升对性能的动态调节和闭环补偿;

S84、在扫描过程中持续采集实时频响偏移、失真指标及温升偏差,将实际测得性能与预测性能进行比对,计算性能预测误差,并将误差反馈至频轴修正量和性能趋势权重模型,结合闭环算法和动态权重调整机制实现自适应修正,对高热敏感或高失真区段优先闭环更新;

S85、依据闭环更新后的频轴修正量和性能趋势权重,对各频率区段执行自适应调整,高风险或高热敏感区段采用更精细的频轴校正和性能趋势反映,低风险区段保持适度扫描步长以优化效率,同时通过动态调节扫描顺序、扫描密度和采样速率实现频轴优化与性能趋势动态调节的协同闭环控制,实现精细化扫描与性能预测的统一闭环优化。

[0099] 在本实施方式中,步骤S8用于在完成频率扫描及频轴优化后,对经修正后的电声响应结果进行综合输出,并结合温升趋势与电声响应之间的非线性映射关系生成音频设备性能变化趋势,从而使测试结果不仅能够反映当前频响特性,还能够反映设备在热负载条件下的性能演化状态,提高测试结果的工程参考价值。

[0100] 具体地,在步骤S81中,在各频率区段布置声压传感器、电压/电流采集单元以及温度传感器,用于实时采集被测音频设备在扫频过程中的声压信号、电压信号、电流信号以及

温度变化数据。采集到的信号首先通过数据采集卡输入至数据处理模块,在数据处理模块中依次执行去噪处理、数字滤波及归一化处理,以消除环境噪声及设备随机扰动对数据的影响。对于无法直接测得的内部温度参数,可通过检测音圈电阻或关键电路元件电阻的变化量,并结合材料电阻温度系数反推温度变化值;同时通过标定查表方法、温度拟合函数或基于历史数据训练的机器学习模型对温度计算结果进行校正,从而提高温度估算精度。在获得实时机电数据后,通过建立热等效传递模型,将设备功率消耗、温度变化及历史温升响应特性进行关联分析,并结合实时功率数据对设备的热漂移趋势进行预测。随后,将实时频响偏移量与失真指标进行多维融合分析,生成初步频轴修正数据,并将该修正数据用于各频率区段的频轴优化处理。

[0101] 在步骤S82中,对各频率区段的性能变化趋势进行风险加权处理。实现时,数据处理模块根据前述步骤中获得的区段风险权重,对各频率区段的频响变化和失真变化进行加权融合。在权重计算过程中,将历史测试数据库中的历史超标概率、当前测试过程中的失真波动情况、区段热漂移敏感度以及失真与热漂移之间的耦合特征共同纳入权重计算模型。对于风险权重较高的频率区段,在性能趋势计算过程中赋予更高的权重,使其变化在整体性能趋势中得到优先体现;而对于风险权重较低的区段,则降低其权重比例,从而实现性能变化趋势的差异化表达,并提高关键区段性能变化反映的灵敏度。

[0102] 在步骤S83中,结合温升趋势建立温度变化与电声性能之间的非线性映射关系。具体实现时,首先根据历史测试数据建立温度变化与频响幅值变化、谐波失真变化之间的对应关系,并通过函数拟合或数据建模方式构建温度-性能映射函数。该映射函数可以采用分段多项式函数、指数函数或通过机器学习方法训练得到的非线性模型。在实际运行过程中,系统将实时温度变化数据输入映射函数,并将计算得到的性能变化量叠加至当前频率区段的电声响应数据中,从而实现温升对频响及失真指标影响的动态映射,使温度变化能够实时反映到性能变化趋势中,实现温升影响的动态调节与补偿。

[0103] 在步骤S84中,在扫描过程中持续采集各频率区段的实时频响偏移量、失真指标以及温升偏差,并将实际测得的性能结果与系统预测的性能趋势进行比对分析。数据处理模块根据两者之间的差值计算性能预测误差,并将该误差反馈至频轴修正量计算模块以及性能趋势权重模型中。通过闭环更新算法对频轴修正量和性能趋势权重进行动态修正,使模型能够逐步适应当前设备的实际运行状态。对于热敏感度较高或失真变化较为集中的频率区段,系统优先执行闭环更新,使关键区段的性能预测更加准确。

[0104] 在步骤S85中,根据闭环更新后的频轴修正量和性能趋势权重,对各频率区段的扫描及性能趋势计算策略进行自适应调整。具体实现方式为:当某一频率区段被判定为高风险区段或具有较高热敏感度时,扫描控制模块将该区段的频轴修正步长进一步细化,并提高性能趋势计算的更新频率,以保证关键区段频响变化及失真变化能够被精确反映;而对于风险较低的区段,则保持较大的扫描步长并适度降低采样频率,从而在保证检测可靠性的同时提高整体测试效率。同时,通过控制信号发生器的扫描顺序、扫描密度及数据采样速率,使频轴优化过程与性能趋势更新过程形成统一的协同闭环控制机制。

[0105] 以上只通过说明的方式描述了本发明的某些示范性实施例,毋庸置疑,对于本领域的普通技术人员,在不偏离本发明的精神和范围的情况下,可以用各种不同的方式对所描述的实施例进行修正。因此,上述附图和描述在本质上是说明性的,不应理解为对本发明

权利要求保护范围的限制。

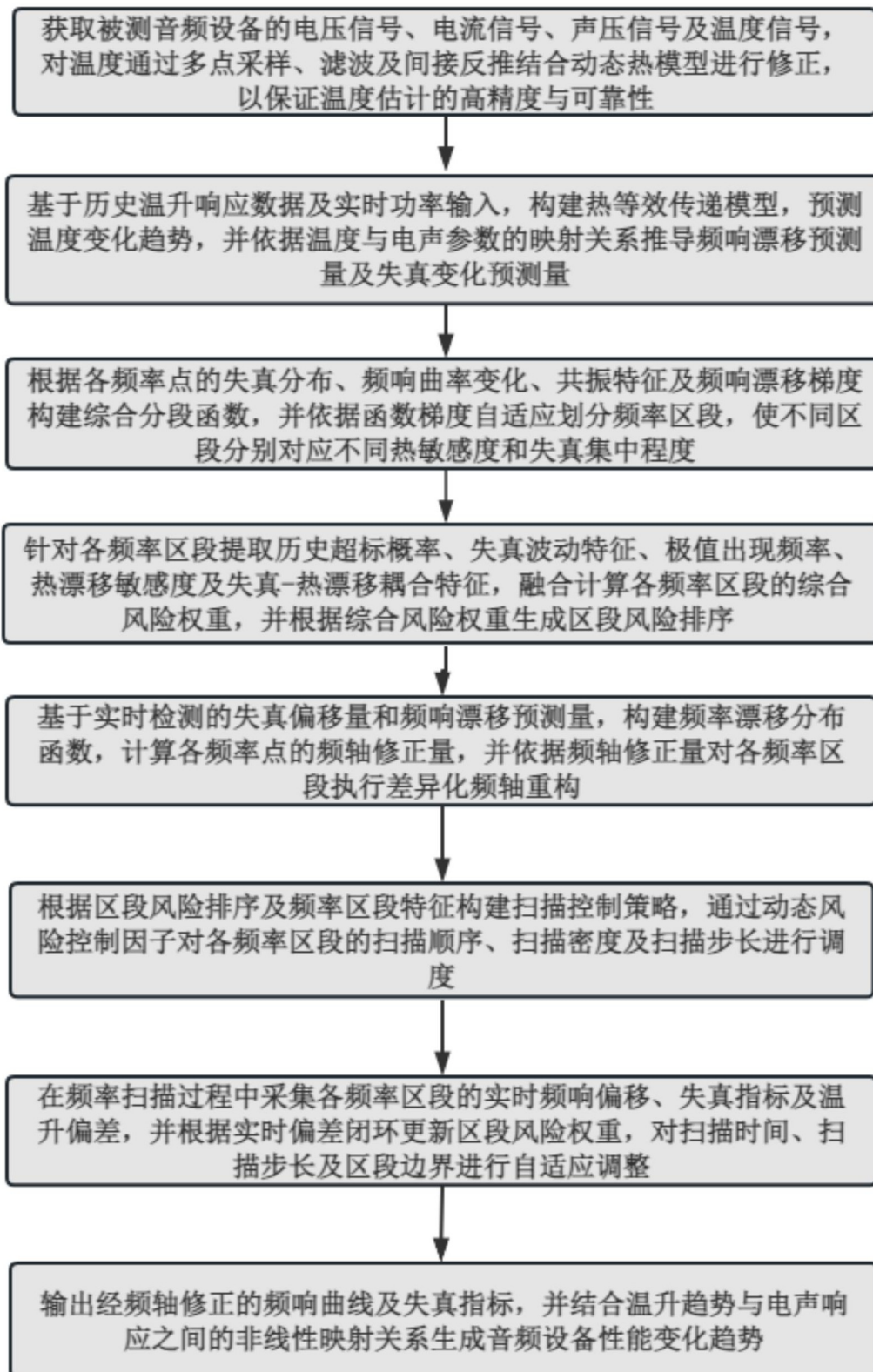


图1