

基于故障树与规则推理的短波发射机故障诊断专家系统设计

何 一

内蒙古自治区广播电视传输发射中心 839 台 内蒙古 呼和浩特 010000

摘要: 本文聚焦基于故障树与规则推理的短波发射机故障诊断专家系统设计。首先阐述短波发射机的工作原理、结构及常见故障类型,随后介绍故障树分析方法与规则推理技术的核心内容。在此基础上,完成故障诊断专家系统的总体架构及各功能模块设计,最后说明系统的实现路径与验证过程,包括开发工具选型、功能展示及案例验证,旨在为短波发射机故障诊断提供高效且准确的技术方案。

关键词: 短波发射机;故障诊断;故障树分析;规则推理;专家系统设计

引言

短波发射机作为无线电通信领域的核心设备,其运行稳定性直接关系通信链路的畅通性,而复杂的内部结构与多变的运行环境导致设备故障频发且定位困难。传统故障诊断方法依赖人工经验,存在效率低、准确率差等弊端,已难以满足现代化通信系统的运维需求。故障树分析与规则推理技术的融合,为设备故障诊断提供了系统化、智能化的新思路。本文以此为切入点,设计短波发射机故障诊断专家系统,通过整合两种技术的优势,实现故障的快速定位与精准诊断,为相关设备的运维保障提供技术支撑。

1 短波发射机常见故障及分析

1.1 短波发射机工作原理与结构

短波发射机用于发射3-30MHz短波波段无线电信号,广泛应用于广播、电报、低速数据通信、核潜艇通信及卫星遥测信号传输等领域。其核心组件包括激励器、线性功率放大器、自动调谐系统和冷却装置,各组件协同实现信号的调制、放大、调谐及散热功能。激励器作为单边带信号生成核心,先对基带信号进行调制形成单边带/独立边带信号,再通过变频将信号搬移至发射频率并提升功率以驱动线性功率放大器。线性功率放大器负责将激励信号线性放大至额定输出功率,其中中小功率机型多采用固态放大器,大功率机型仍以电子管调谐放大器为主。自动调谐系统基于FLEX10K现场可编程门阵列构建,通过步进电机驱动电感线圈与真空可变电容完成频率粗调与细调,同时将元件位置信息存储于EEPROM,以适配短波通信中需根据电波传播特性频繁更换频率的需求。冷却装置依据功率等级采用自然冷却、强制风冷或65%乙二醇水溶液液冷的组合方案,解决线性功率放大器工作时产生的大量热量问题^[1]。

1.2 常见故障类型

一是电击故障:因发射机工作时需匹配高电压,当输

出阻抗不匹配导致反射功率增大时,内部元件易承受过高电压引发电击。通常500V左右的电击会导致发射机工作状态紊乱、电源匹配失效,甚至损坏核心部件。二是激励器故障:平衡调制器性能衰减、边带滤波器损坏等问题,会导致单边带信号形成异常,表现为发射信号失真、频谱偏移等现象,直接影响信号调制质量。三是线性功率放大器故障:受负载阻抗失配、器件老化等影响,易出现输出功率不足、互调失真超标等问题,其中电子管或固态器件损坏会直接导致放大器失效。四是自动调谐系统故障:步进电机卡滞、电感/电容机械故障或EEPROM数据丢失,会造成频率调谐失败,无法满足通信频率切换需求。五是冷却系统故障:自然冷却受环境温度限制,强制风冷风机损坏或液冷系统循环泵故障、管路堵塞等,会导致散热失效,引发设备内部温度过高,缩短组件寿命。

2 故障树分析方法

2.1 故障树基本概念

故障树是以顶事件为起点,通过“与门”“或门”等逻辑符号连接中间事件与基本事件的倒置树状模型,用于直观展现系统故障的因果逻辑关系。其核心价值在于将复杂系统的失效机制拆解为可追溯的故障链条,便于分析各故障模式的关联性及其影响程度。

2.2 故障树构建步骤

步骤一、系统界定:明确分析对象为短波发射机系统,梳理各组件的功能逻辑及输入输出关系,建立系统功能模型。步骤二、结构分解:按“系统-子系统-组件-零部件”层级构建结构树,将发射机拆解为激励器、功率放大器等子系统及下属单元。步骤三、顶事件确定:选取“发射机无法正常发射信号”作为顶事件,明确故障分析的核心目标。步骤四、因果拆解:从顶事件逐层向下追溯直接原因,区分硬件故障、软件缺陷、人为操作及环境干扰等因素,通过逻辑门定义事件关联。例如“激励器故障”

4.2 各功能模块设计

知识库模块；采用“规则+框架”混合表示法，框架用于描述设备组件属性，规则用于定义故障逻辑。例如以框架记录“线性功率放大器”的额定参数，以规则关联“输出功率异常”与“器件老化”的因果关系。同时设计知识库管理接口，支持专家在线编辑、审核规则。推理引擎模块；采用混合推理策略，正向推理从实测数据出发匹配规则，反向推理针对疑似故障验证证据。设计冲突消解机制，依据规则置信度排序激活优先级，例如“功率放大器电流异常”规则置信度高于“温度异常”，优先触发诊断。数据库模块；基于Oracle构建关系型数据库，设计设备参数表、故障案例表、规则表等，通过SQL语句实现数据的快速查询与更新，支持历史故障数据的统计分析。用户界面模块；采用B/S架构，设计图形化操作界面，集成数据录入、故障诊断、结果展示功能。支持语音输入故障现象，通过自然语言处理技术解析用户意图，提升操作便捷性。知识获取模块；提供案例学习与专家录入两种方式，案例学习通过数据挖掘从历史故障中提取新规则，专家录入通过可视化工具生成标准化规则，自动完成知识库更新^[4]。

5 系统实现与验证

5.1 开发工具与环境

在构建基于故障树与规则推理的短波发射机故障诊断专家系统时，开发工具与环境的选择至关重要。服务器方面，选用Windows Server 2019操作系统，它具备强大的稳定性与安全性，能保障系统长时间稳定运行。搭配Microsoft IIS WEB服务器，可高效处理网络请求，实现系统与客户端的快速交互。数据库选用Oracle 12c，其具有卓越的数据存储与管理能力，能安全存储短波发射机的运行数据、故障历史数据等海量信息。开发工具上，采用J2EE框架实现后端逻辑，它提供了丰富的组件和API，可简化开发流程，提高开发效率。UML用于系统建模，能以直观的图形化方式呈现系统架构与功能模块，便于开发人员理解和维护。客户端支持IE、Chrome等主流浏览器，实现跨终端访问，用户无论使用何种设备，都能便捷地访问系统，输入发射机运行数据并查看诊断结果，极大提升了系统的实用性与易用性。

5.2 系统功能实现展示

系统功能实现丰富实用。数据输入功能强大，支持手动录入与传感器数据自动导入。手动录入灵活便捷，可按

需输入信息；传感器自动导入能实时精准获取发射机运行参数，可采集输出功率、频率等20余项，全面反映工作状态。故障诊断操作简便，用户点击“诊断”按钮即可触发推理流程，系统10秒内完成分析并给出结果，节省排查时间。结果展示模块设计直观，以文字详细说明故障原因与解决方案，让用户清晰知晓问题及处理办法。另外，还通过折线图对比实测参数与标准值，直观呈现异常点，助用户快速定位故障参数，为维修调试提供有力依据，提高了故障处理效率与准确性。

5.3 案例验证与效果分析

为验证系统的性能，选取某电台12台短波发射机的15例实际故障案例进行测试，这些案例涵盖了激励器故障、功率放大器失效等典型类型，具有较强的代表性。经过严格测试，结果显示系统诊断准确率达93.3%，平均响应时间8.2秒，其中14例故障的诊断结果与实际原因完全一致，充分证明了系统具有较高的可靠性和准确性。不过，也出现1例因知识库未收录新型器件故障导致判定偏差的情况。针对这一问题，及时补充相关规则，对知识库进行更新和完善。经过优化后，系统性能进一步提升，能够更好地适应各种复杂的故障情况。此次案例验证不仅检验了系统的有效性，也为系统的持续改进提供了方向，使其能更精准地为短波发射机的故障诊断提供服务。

结束语

本文设计的短波发射机故障诊断专家系统，通过融合故障树的逻辑建模能力与规则推理的高效决策优势，实现了故障的快速定位与诊断。案例验证表明系统具备较高的实用性与可靠性。后续将进一步扩充知识库覆盖范围，优化推理算法效率，并探索与机器学习技术结合，提升系统的自学习能力，为短波发射机稳定运行提供更全面的技术保障。

参考文献

- [1]段安民,徐皓,孙卫华,等.基于贝叶斯网络的短波发射机故障诊断研究[J].舰船科学技术,2022,44(9):142-145.
- [2]次旺卓玛.短波广播发射机的故障诊断与维护检测分析[J].电视技术,2024,48(12):125-127.
- [3]次仁卓拉.广电短波发射机故障分析与维护优化[J].中国科技纵横,2025(10):91-93.
- [4]余建忠.大功率短波广播发射机调谐电容故障分析与处理[J].电脑爱好者(普及版)(电子刊),2021(8):3817-3818.