

垃圾发电控制系统人机界面设计与优化研究

任鸿儒

(太原环晋再生能源有限公司, 山西 太原 030100)

摘要 垃圾发电作为融合环保治理与能源回收的绿色产业, 控制系统的运行效能直接关联生产安全、环保达标质量与能源利用效率。人机界面作为操作人员与控制系统交互的核心载体, 是保障垃圾焚烧、热能转换、烟气处理等复杂流程稳定可控的关键环节。本文针对现有垃圾发电人机界面存在的信息呈现杂乱、操作流程繁琐、故障预警滞后等问题, 结合垃圾发电生产工艺特性, 从信息层级优化、操作流程简化、交互反馈强化、故障预警可视化四个维度构建人机界面优化设计方案, 以期为垃圾发电行业的智慧化升级提供技术参考, 进而促进工业控制系统的人机界面优化。通过实际应用测试表明, 优化后的人机界面可显著降低操作人员劳动强度, 将故障响应时间缩短 30% 以上, 有效提升了系统运行稳定性与环保指标达标率。

关键词 垃圾发电; 控制系统; 人机界面; 设计优化; 智慧化运营

中图分类号: TM621

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.04.011

0 引言

垃圾发电已成为我国“双碳”目标下重要的环保能源产业, 既实现了生活垃圾的减量化、无害化处理, 又能回收热能转化为电能, 兼具生态与经济双重效益。控制系统作为垃圾发电站的“中枢神经”, 统筹协调焚烧炉运行、余热锅炉换热、烟气净化处理等多环节联动, 而人机界面则是操作人员实现流程监控、参数调节、故障处置的直接窗口。当前多数垃圾发电站的人机界面存在信息过载、关键指标不突出、操作逻辑复杂等问题, 导致操作人员易疲劳、误操作风险增加, 故障响应不及时, 制约了生产效率与环保治理效果。基于此, 本文立足垃圾发电生产工艺实际, 聚焦人机界面的设计与优化, 旨在通过科学的界面设计降低操作难度、提升交互效率, 为垃圾发电控制系统的高效运行提供保障。

1 垃圾发电控制系统人机界面的设计需求与核心要素

1.1 设计需求分析

垃圾发电生产流程涉及多环节协同, 从垃圾进料、焚烧控制、热能转换到烟气净化、发电并网, 每个环节均需实时监控关键参数, 操作人员需通过人机界面完成参数设定、状态调整、故障处理等一系列操作, 其设计需求集中体现在三个方面。一是实时性需求。在垃圾焚烧过程中, 炉膛温度、压力、氧气浓度这些

参数变化会直接带进焚烧效率与环保指标, 烟气里 SO_2 、 NO_x 、颗粒物等污染物浓度得实时监测并给出反馈, 人机界面要在 1 秒内同步刷新关键数据, 保证操作人员可以及时掌握系统运行情况, 避免因数据延迟导致参数调控不够及时^[1]。二是准确性需求。界面呈现的参数数据需精准无误, 操作指令的传达要做到零延迟, 避免因信息失真或者指令偏差带来焚烧不充分、污染物超标排放等问题。尤其在烟气处理模块, 环保指标数据的准确性直接关联到是否符合国家排放标准, 是界面设计必须坚持的核心底线。三是易用性需求。垃圾发电控制系统操作涉及多模块联动, 操作人员需在高强度工作环境下快速完成复杂操作, 界面设计需贴合操作人员的认知习惯与操作逻辑, 简化冗余流程, 降低学习与操作成本, 减少误操作概率, 让操作人员在紧张工作中能高效完成各项操作。

1.2 核心设计要素

基于上述需求, 垃圾发电人机界面的核心设计要素包括信息呈现、操作流程、交互反馈与安全防护四大类。信息呈现要素要覆盖生产运行参数、设备状态、环保指标、故障报警等核心内容, 根据重要程度划分层级, 保证关键信息优先展示, 避免信息堆砌造成视觉混乱; 操作流程要素要围绕垃圾发电的工艺逻辑, 设计简洁流畅的操作路径^[2]。实现参数调节、模式切换、设备启停等功能的便捷触发, 减少跨页面切换的烦躁

作者简介: 任鸿儒 (1985-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 电气工程及其自动化。

步骤；交互反馈要素要针对操作人员的每一项操作给出清晰回应，包括操作成功提示、参数变化动态显示、异常状态预警等，让操作人员实时知晓操作效果；安全防护要素需设置操作权限分级、关键操作两次确认、紧急停机快捷键等功能，防范误操作引发的生产安全风险，为系统稳定运行筑牢防线。

2 垃圾发电人机界面的应用现状与突出问题

2.1 信息呈现杂乱，关键指标辨识度低

现在多数垃圾发电人机界面缺少科学的信息层级划分，将生产参数、设备状态、环保数据、故障信息等全部堆砌在同一界面，未形成明确的视觉重点。例如：部分界面将炉膛温度、蒸汽压力等关键运行参数与设备运行时长、历史数据统计等次要信息混排，而且采用统一的字体与颜色呈现，导致操作人员要花很多时间查找核心数据，无法快速捕捉关键信息。在烟气处理模块， SO_2 、 NO_x 、颗粒物等环保指标与其他辅助参数并列显示，无明显视觉区分，操作人员难以快速判断污染物排放是否达标，增加了环保管控的难度，甚至可能因未能及时发现超标趋势导致违规排放。

2.2 操作流程烦琐，多模块协同效率低

垃圾发电的部分关键操作需要跨多个模块完成，现有界面的操作流程设计缺乏连贯性，操作人员要在不同页面间反复切换，导致操作步骤冗长、协同效率低下。以焚烧炉启停操作为例，部分界面要求操作人员依次在“焚烧控制”“燃料供给”“通风调节”三个独立页面完成多项操作，而且没有流程指引，不仅增加了操作难度，还容易出现步骤遗漏或顺序错误。另外，部分界面的操作逻辑与操作人员的认知习惯不符，比如将常用的参数调节功能藏在次级菜单里，常用操作要多次点击才能触发，影响了操作便捷性，降低了整体工作效率。

2.3 故障预警滞后，预警信息不明确

故障预警是人机界面保障生产安全的重要功能，但现有界面普遍存在预警滞后与信息模糊的问题，部分界面在设备出现异常时，要等待3~5秒才能发出预警提示，错过最佳处置时机，可能导致小故障扩大为生产事故。预警信息多以文字形式简单呈现，没有明确故障位置、影响范围及处置建议，例如仅提示“烟气处理异常”，没有说明是脱硫塔故障还是脱硝系统异常，操作人员要逐一排查才能定位问题，延长了故障处置时间。此外，多个故障同时发生时，预警信息叠加显示，无优先级区分，导致操作人员无法快速判断核心故障，陷入处置混乱。

3 垃圾发电控制系统人机界面的优化设计策略

3.1 信息呈现优化：层级化分类与可视化展示

依照垃圾发电工艺的特质与信息的重要程度，构建“核心指标—关键参数—辅助信息”三个层级的信息展示结构，让界面信息的排列更有条理^[3]，符合操作人员的认知习惯。将炉膛温度、蒸汽压力、烟气污染物浓度这些核心指标放在界面顶部一整行，用大号加粗的字体、对比度高的颜色（像红色表示超标数据、绿色表示正常数据、黄色表示临界数据）来突出显示，保证操作人员一眼就能看到关键信息，无需在海量数据中筛选。将设备运行状态、燃料供给量、发电量这些关键参数按照“焚烧系统”“热能转换系统”“烟气处理系统”“发电并网系统”进行分类摆放，采用卡片式的布局方式，每个模块都设置独立的视觉区域，配上不同的底色加以区分，让各个系统的状态能够一目了然。将历史数据统计、设备维护记录这类辅助信息隐藏到次级菜单里，通过点击模块图标来调取，避免主界面信息过多，保持界面整洁有序。

借助多样化的可视化图表来提升数据的可读性，让抽象的数据变得更直观易懂。例如：用折线图动态展示炉膛温度、蒸汽压力的变化走向，清晰呈现参数的波动规律；用柱状图对比不同时间段的污染物排放浓度，方便分析环保指标的变化情况；用环形图展示能源回收效率的占比，直观反映能源利用的效果。在烟气处理模块，设计污染物浓度实时监控仪表盘，仪表盘以国家排放标准为基准线，当数据接近超标阈值时，指针颜色从绿色渐变至黄色，超标时直接变为红色，同时仪表盘边缘闪烁提示，让操作人员快速判断环保指标状态，及时采取调控措施。为进一步强化关键信息的辨识度，对不同类型的参数采用有差异的视觉编码。例如：温度类参数配上温度计图标，压力类参数配上压力表图标，环保指标参数配上环保标识图标，通过图标与数据的结合，降低信息识别的成本。同时，设置信息刷新频率的分级，核心指标每一秒刷新一回，关键参数每两秒刷新一回，辅助信息每五秒刷新一回，在保证信息实时性的同时，减少界面闪烁对操作人员视觉的干扰。

3.2 操作流程优化：简化路径与协同联动

围绕垃圾发电的核心操作场景，梳理关键流程并进行简化重构^[4]，让操作路径更贴合工艺逻辑与操作人员的操作习惯。针对焚烧炉启停、烟气处理模式切换等复杂操作，设计“流程向导”功能，在界面顶部显示操作步骤与进度条，操作人员按向导提示依次完

成操作，步骤完成后自动跳转至下一页，无需手动切换，避免操作遗漏。每个步骤配备简短的操作说明与注意事项，悬浮显示在页面右侧，帮助操作人员准确完成操作，降低学习成本。将常用的参数调节、设备状态查询、故障记录查看等功能设置为快捷图标，置于界面右侧固定工具栏，支持操作人员自定义添加常用功能，实现“一键触发”，减少多级菜单点击。例如：将“紧急停机”“环保指标快速查看”“参数重置”等高频操作设置为快捷键，操作人员无需进入深层菜单即可快速调用，提升操作效率。

建立多模块协同联动机制，优化跨模块操作流程，打破不同系统间的操作壁垒。例如：在调整焚烧炉进料量的时候，界面自动关联显示炉膛温度、氧气浓度的实时变化曲线，操作人员可以在同一个页面完成参数调整与效果观察，不需要在“焚烧控制”与“参数监测”页面之间来回切换，当环保指标快要超标时，界面自动弹出“参数优化建议”窗口，提示操作人员调整脱硫脱硝系统运行参数的具体范围，同时给出“一键优化”选项，操作人员可以直接触发优化指令，不需要手动切换到烟气处理模块逐项调节，提升协同操作的效率。优化操作逻辑的设计，让操作流程更贴近操作人员的认知习惯。例如：将设备启停、模式切换这些关键操作集中布置在界面左侧，参数调节控件靠近对应的数据显示区域，实现“所见即所得”的操作体验，对于关联性强的操作，采用组合式控件设计，比如将烟气处理系统的脱硫、脱硝参数调节控件整合在同一面板，减少操作页面切换的次数，让多参数协同调节更便捷。

3.3 交互反馈优化：即时响应与精准提示

加强人机界面交互反馈的运作机制，保证操作人员每一项操作都能获得及时、明确的反馈，提升操作的确定性^[5]。操作指令发出以后，界面在 0.5 秒内展示“操作执行中”动态标识（比如转动的加载图标），操作顺利完成后弹出绿色勾选确认提示，持续 2 秒后自己消失；操作不成功则显示红色错误信息，并且详细解释失败原因（如“参数超出设定范围，允许调节区间为 800 ~ 1 200 °C”“设备处于锁定状态，请解锁后操作”），帮助操作人员迅速找到问题。对于参数调节这一动作，采用滑块式调节控件搭配数值输入框，支持两种调节方式自由切换，拖动滑块时马上显示当前数值与调整幅度，松开后自动保存并刷新数据，直接呈现调节效果；对于需要精确设定的参数，可以直接在输入框中填入数值，系统自动检查数值有效性，无效数值会被标红提示，防止输入出错。参数调

整过后，相关关联参数的变化趋势借助动态曲线实时展示，让操作人员直接了解参数调整带来的连锁影响。

优化故障预警功能，提升预警的及时性与精准度，为故障处置提供有力支持。建立故障分级预警机制，将故障分为紧急故障（如炉膛熄火、环保指标超标）、重要故障（如设备异常运行）、一般故障（如辅助系统轻微异常），分别采用红色闪烁弹窗、黄色固定提示条、蓝色文字提示三种方式呈现。紧急故障预警自动置顶显示，遮挡部分非核心操作区域，优先提醒操作人员处置；重要故障提示条固定在界面顶部，持续显示至故障解除；一般故障以文字形式在界面右下角滚动显示，不影响主要操作。每个预警信息附带故障位置示意图、影响范围说明及标准化处置流程，让操作人员快速掌握故障关键信息。例如：“脱硫塔循环泵故障”预警弹出时，界面右侧显示循环泵在系统中的位置图标，标注“可能导致 SO₂ 浓度升高，影响环保达标”，并列出了“1. 启动备用泵；2. 检查故障泵运行状态；3. 联系维修人员检修”的标准化处置步骤，步骤前设置勾选框，操作人员完成一项勾选一项，避免处置遗漏。同时，预警信息关联相关操作入口，点击“启动备用泵”即可直接触发操作指令，无需手动查找对应功能模块，缩短故障响应时间。

4 结束语

人机界面作为垃圾发电控制系统的核心交互载体，其设计合理性直接影响生产安全、环保治理与能源利用效率。本文针对现有垃圾发电人机界面存在的信息杂乱、流程烦琐、预警滞后、适配性不足等问题，提出优化设计策略，优化后的界面通过科学的信息排布、流畅的操作流程、精准的交互反馈与灵活的场景适配，有效降低了操作人员的劳动强度，提升了操作效率与准确性，缩短了故障响应时间，促进了生产安全与环保达标。

参考文献：

- [1] 吕晓娟,李玉娜,梁东义.垃圾焚烧发电自动控制系统的研究与实现[J].内江科技,2022,43(03):69-70,42.
- [2] 郑远强.垃圾分类智能投、收及利用系统:CN201410739048.4[P].2015-03-25.
- [3] 吕奕,张开利,关宏强,等.基于无人机的垃圾捡拾装置设计[J].漫科学(科学教育),2024(04):248-250.
- [4] 王傲寒.垃圾焚烧炉控制系统的设计与实现[D].西安:西安建筑科技大学,2019.
- [5] 胡鼎雄.垃圾焚烧炉控制系统纳入DCS一体化的应用[J].中国仪器仪表,2025(05):66-68.