[监控系统]

新一代智慧变电站集中监控辅助决策系统设计与实现

文/张丽[1]　王守鲁[2]
1. 烟台磐能电气控制系统有限公司；2. 山东正泰工程项目管理有限公司

明确智慧变电站对集中监控系统的新需求，包括高效的数据处理、实时监控和高度的自动决策支持。论述系统设计的原则与框架，详细介绍核心技术和实现方法，包括数据采集系统的优化设计、实时监控平台的技术架构、辅助决策算法的实现及故障预警模型的构建方法。最后对系统进行测试和验证。

在现代电力系统管理中，智慧变电站的集中监控辅助决策系统设计显得尤为重要，其核心在于通过高度集成的技术手段优化电力传输和分配的效率与安全性。随着智能化技术的快速发展，传统变电站的功能和作用正在发生深刻变革，特别是在数据处理能力、实时性监控以及决策辅助方面的技术需求急剧增加，这对集中监控系统的设计提出了更高的标准。为此，研发一套能够适应这些新需求的集中监控辅助决策系统成为提升电网智能化管理水平的关键。系统的主要目的在于实现变电站操作的最大化自动化，优化故障响应时间，提高能源分配的效率与可靠性。

智慧变电站对集中监控系统的新需求

智慧变电站的快速发展对集中监控系统提出新的技术需求，主要体现在数据集成处理、实时监控能力和决策支持精确性的显著提升上。在当今电力系统的运行管理中，智慧变电站通过集成高级信息技术，推动操作自动化和信息处理的智能化，其中集中监控系统为核心组件，承担着采集、处理和分析运行数据的重要任务，这对系统的处理能力和数据分析准确度提出更高的要求。集中监控系统必须能够处理大规模数据流，并实时提供准确的状态反馈和故障预警，以便操作人员或自动控制系统可以及时做出反应。此外，智慧变电站强调对设备健康状态的全面监测，要求集中监控系统具备高级的数据分析功能，能够经机器学习或深度学习技术实现预测性维护，从而优化设备操作和降低故障率。系统的决策支持功能也必须得到加强，通过集成先进的算法模型，如支持向量机或神经网络，对潜在的电网问题进行分析和预测，提供科学的决策依据，确保电网运行的高效性和安全性[1]。

系统设计原则与框架

在智慧变电站集中监控辅助决策系统的设计与实现中，系统设计原则与框架的构建是确保系统功能全面、高效执行的基础，需采用分层模块化的设计原则，支持灵活的功能扩展和技术升级，同时应具备高度的可靠性和安全性以应对各种电网运行风险。设计框架以数据驱动和事件响应为核心，应用实时数据采集和分析模块，实现对变电站运行状态的全面监控。决策支持模块则结合预测性维护和风险评估技术，提供操作优化建议和故障应对策略。此外，系统架构应包括数据集成层，处理和存储来自各类传感器和监控设备的大量数据。应用服务层，则需支持各种业务逻辑处理和用户交互功能，

确保操作人员能够高效地管理和控制变电站设备。在保障系统的实时性和准确性方面，需要采用高效的数据处理算法和高可用的硬件平台，以保证监控数据的及时更新和系统指令的快速响应。系统的安全性设计则必须涵盖数据安全和网络安全两大方面，应用加密技术和访问控制策略防止数据泄露和未授权访问。

核心技术与实现方法

1. 数据采集系统的优化设计

数据采集系统是智慧变电站集中监控辅助决策系统的核心组件，其优化设计对提升系统整体性能和精确性起着决定性作用。优化设计的关键在于实现高效率和高可靠性的数据实时采集，确保从变电站的各类传感器、监测装置及控制系统中收集到的数据是全面且准确的，从而为后续的数据处理与决策支持提供坚实基础。在设计过程中，采用先进的通信技术，如工业以太网或无线传感网络，确保数据传输速度和稳定性。同时，对采集节点进行智能化设计，使其能够对信号进行初步处理和筛选，有效减少数据传输量，提高数据处理效率。此外，采集系统需要具备良好的扩展性和兼容性，能够适应不同类型和新型传感器的接入，支持未来技术的更新换代。为保证数据采集的准确性与时效性，系统还应包括时间同步机制，确保来自分布式传感器的数据能够在时间上进行精确对齐，避免数据时序错误对分析结果的影响。安全性设计也是数据采集系统优化不可忽视的一环，必须通过加密技术和安全认证机制保护数据在传输过程中的安全，防止数据被篡改或非法访问[2]。

2. 实时监控平台的技术架构

实时监控平台的技术架构是智慧变电站集中监控辅助决策系统的关键组成部分，其设计必须能够处理来自变电站多种传感设备的大量数据流，并实现对这些数据的即时分析和反馈。该平台架构通常采用多层次的设计理念，包括数据采集层、数据处理层、决策支持层和用户交互层。数据采集层主要负责从变电站内部的各种传感器和监测设备收集实时数据，包括电压、电流、温度和振动等参数；数据处理层则使用先进的数据处理算法，如流数据处理和复杂事件处理技术，确保数据能够被快速并准确地分析处理，支持上层的决策制定；决策支持层利用机器学习、人工智能等技术对数据进行深入分析，生成操作建议或自动控制指令，优化变电站的运行效率和安全性；最后，用户交互层提供直观的图形用户界面，使操作人员能够轻松地监控变电站状态、查看警报并执行控制命令。为了具体阐释实时监控平台的数据处理能力和效率，详细的数据见表1。

表1　变电站数据收集数据

数据类型	每日数据点数/百万	平均处理延迟/ms	数据处理吞吐量（每秒数据点数）	系统响应时间/s
电压	24	10	500 000	0.5
电流	24	12	500 000	0.6
温度	12	20	200 000	1.0
振动	8	25	150 000	1.2
负载监测	30	15	300 000	0.7

表1说明了实时监控平台在高数据密度环境下保持高效和稳定性的能力，确保变电站可以在各种工作条件下安全可靠地运行，而高效的数据处理则支持从数据采集到用户决策的整个过程，充分展现智慧变电站集中监控系统的高级技术架构和实施效果。

3. 辅助决策算法的实现

在智慧变电站集中监控辅助决策系统中，辅助决策算法的实现是提升系统效率和精确性的关键技术之一。本研究引入基于时间序列预测的算法，采用长短期记忆网络（LSTM）模型，该模型特别适用于处理和预测与时间相关的数据序列问题。LSTM能够有效处理变电站监控数据中的非线性特征，并实现更准确的预测和决策[3]。

定义变电站关键参数的时间序列为X_t，其中t表示时间步，X_t可以是电流、电压或负载等参数。模型的目标是预测下一时间步的参数值$\hat{X}_{t+1}$，基于此预测值，系统能够提前做出调整或警报，以优化运行状态或预防潜在故障。

LSTM单元中的运算为

$$f_t=\sigma(W_f\cdot[h_{t-1},x_t]+b_f) \tag{1}$$

$$i_t=\sigma(W_i\cdot[h_{t-1},x_t]+b_i) \tag{2}$$

$$\tilde{C}_t=\tanh(W_C\cdot[h_{t-1},x_t]+b_C) \tag{3}$$

$$C_t=f_t\times C_{t-1}+i_t\times\tilde{C}t \tag{4}$$

$$o_t=\sigma(W_o[h_{t-1},x_t]+b_o) \tag{5}$$

$$h_t = o_t \times \tanh(C_t) \tag{6}$$

式中，σ是sig$moid$函数，负责控制门结构的开关；W和b分别是权重和偏置参数；f_t、i_t和o_t分别是遗忘门、输入门和输出门；C_t和h_t分别是单元状态和输出。

遗忘门f_t控制着保留多少之前的单元状态，输入门i_t和候选层$\tilde{C}_t$共同决定当前输入的重要性，输出门o_t控制输出多少单元状态到下一层网络或到输出层。

4. 故障预警模型的构建方法

构建故障预警模型是智慧变电站集中监控辅助决策系统中一个至关重要的部分，这一模型基于机器学习算法，尤其是支持向量机（SVM），来预测并预警可能的系统故障。支持向量机是一种有效的分类器，特别适用于分类和回归问题中的模式识别，它通过在高维空间中构建一个最优超平面，实现数据类别的最大间隔分割。

设定变电站系统的故障和非故障状态为训练数据中的两个类别，其输入特征包括电压、电流和温度等传感器读数。支持向量机的目标是找到一个超平面，可以最大的间隔将故障状态和非故障状态分开。超平面的方程表示为

$$\vec{w} \cdot \vec{x} - b = 0 \tag{7}$$

式中，$\vec{w}$是超平面的法向量；$\vec{x}$是输入特征向量；b是偏移量。

为了找到这样的超平面，需要最小化以下目标函数，这涉及优化问题，其目标函数为

$$\min \frac{1}{2} \| \vec{w} \|^2 \tag{8}$$

约束条件为

$$y_i (w \cdot \vec{x}_i - b) \geqslant 1, \forall i \tag{9}$$

式中，y_i是类别标签，取值为+1或−1；$\vec{x}_i$是第i个数据点的特征向量。

引入拉格朗日乘子α_i，该优化问题转化为对偶问题，可以更高效地计算，对偶形式的目标函数和约束条件变为

$$\max \sum_{i=1}^{n} \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^{n} y_i y_j \alpha_i \alpha_j (\vec{x}_i \cdot x_j) \tag{10}$$

$$\sum_{i=1}^{n} \alpha_i y_i = 0, 0 \leqslant \alpha_i \leqslant C \tag{11}$$

式中，C是一个正则化参数，用于控制误分类的惩罚程度。

该SVM模型通过核技术可以有效处理非线性问题，常用的核函数如径向基函数（RBF），可以使模型有更好的泛化能力。核函数的应用改变了特征空间，增强了模型处理复杂故障模式的能力

$$K(\vec{x}_i, \vec{x}_j) = exp(-\gamma \| \vec{x}_i - \vec{x}_j \|^2) \tag{12}$$

式中，γ是核函数的参数，控制了映射到高维空间中的分布范围[4]。

系统测试

在本次实验中，所使用的数据集是从实验室内模拟的变电站环境中实测获取的，由安装在模拟变电站设备上的多个传感器收集，涵盖了电流、电压和温度等关键参数。实验目的在于验证智慧变电站集中监控辅助决策系统中支持向量机（SVM）模型的故障预警功能，因此，所有的数据均为实时采集。数据集的使用主要用于系统功能的测试，包括对故障预警模型的性能评估。整个测试周期为一周，每天的数据都用于测试SVM模型的实时监控和故障预测能力，以此来评估模型的关键指标，每种类型的传感器每天生成约24万个数据点，累计一周约为168万个数据点，测试期间每天收集的数据均用于单独的日常测试，没有进行分组处理。测试中关注的主要指标包括准确率、召回率、精确度、F1得分和响应时间。准确率表示模型正确预测（故障和非故障）的总体比例，召回率衡量模型识别实际故障情况的能力，精确度反映了预测为故障的案例中实际发生故障的比例，F1得分是召回率和精确度的调和平均值，提供了这两者的平衡视图，而响应时间则是系统从接收数据到做出反应所需的时间。测试数据见表2。

表2　测试数据

测试日	准确率（%）	召回率（%）	精确度（%）	F1得分（%）	响应时间 /s
Day 1	96.34	95.67	94.89	95.27	0.52
Day 2	96.21	95.82	95.04	95.43	0.49
Day 3	95.87	95.36	95.22	95.29	0.47
Day 4	96.05	95.97	95.31	95.64	0.50
Day 5	96.12	96.03	94.78	95.40	0.51
Day 6	96.29	95.78	95.09	95.43	0.45
Day 7	96.18	95.89	95.00	95.44	0.48

结果显示，SVM模型在整个测试周期中展现了

（下转第86页）

从对比结果来看，远程控制技术的应用大幅提升了故障处理速度和整个电网的负荷管理效率。故障响应时间的显著缩短减少了因故障而导致的停电损失，而更高的负荷管理效率则意味着电网能够更有效地应对高峰负荷，避免过载发生。总的来说，柱上开关的远程控制技术不仅提高电网的运行效率，也增强其对各种突发事件的应对能力。

结束语

智能电网背景下，柱上开关远程控制技术在提高电网运行效率和可靠性方面扮演着不可或缺的角色。通过先进的通信技术实现高速且稳定的数据传输，为远程监控和实时控制提供技术支持。同时精确的控制策略与算法进一步优化负荷管理和故障响应流程，减少电网运行中的风险和不确定性。系统集成的高效实施则确保各项技术的协同工作，提升整个电网系统的智能化水平。EA

（收稿日期：2024-12-16）

参考文献

[1] 牛博，刘健，申巍，等．配网柱上开关容性关合过程中电磁辐射干扰测试与仿真[J]．高压电器，2020，56(8)：11-16．
[2] 吴鹏，李前敏，何洪流，等．一二次融合柱上开关状态监测与运维技术研究[J]．电子器件，2023，46(1)：179-184．
[3] 王东芳，陶飞达，黄智鹏，等．一二次融合柱上开关控制可靠性模型与优化设计[J]．高压电器，2023，59(3)：86-92．
[4] 肖阳，曾景原，许月惟．柱上开关控制器的技术发展及功能应用[J]．大众用电，2023，38(9)：35-36．
[5] 韩笑，王凡，蒋剑涛，等．基于暂态分量特性的柱上开关保护[J]．信息技术，2022(8)：21-26．

（上接第 82 页）

高准确率和稳定的性能，准确率始终保持在95%以上，表明模型能够可靠地识别和预测变电站的故障状态。召回率和精确度的高值同样证实了模型在实时识别故障方面的有效性，确保了关键故障不被遗漏且误报率低。F1得分为一个综合指标，也显示了模型在精确度和召回率之间保持了良好的平衡。响应时间在0.45～0.52 s之间，显示了系统对故障的快速响应能力，这对于变电站的安全运营至关重要[5]。

结束语

综上所述，新一代智慧变电站集中监控辅助决策系统的设计与实现不仅仅是技术上的革新，更是电力系统管理模式的重大进步。该系统的成功实施，将大幅提升电力系统的运行效率和可靠性，减少人为操作错误，降低运维成本，同时也为电力系统的可持续发展和环境保护提供支持。通过这种技术的推广应用，可以显著增强电网的智能化管理能力，促进整个社会能源消耗的优化，为经济的持续健康发展提供强有力的技术支撑。EA

(收稿日期：2024-12-16)

参考文献

[1] 彭政，尹自力，陈紫琦．基于BIM+AR技术的智慧变电运行辅助巡检系统优化方法研究[J]．电工材料，2023(2)：4-6．
[2] 优特科技助力桥洞变电站实现二次系统顺控操作[J]．石油化工自动化，2021，57(3)：97．
[3] 严亚兵，黎刚，李辉，等．智慧变电站监控系统智能联动技术浅析[J]．湖南电力，2020，40(3)：77-81．
[4] 韩小虎．输油气管道电气智能化站场集中监控诊断系统关键技术标准研究[J]．电力系统装备，2022(11)：25-28．
[5] 赖莹．某高速公路变电站智慧运维云平台设计方案[J]．现代建筑电气，2023，14(4)：43-48．