

[智能控制系统]

基于数据挖掘技术在电气自动化智能控制系统设计

文/侯冰雪
润电能源科学技术有限公司

电气自动化智能控制系统在现代工业中根据精确控制和实时监控来优化设备运行。数据挖掘技术能够从海量的历史和实时数据中提取有价值的信息，从而提升系统的智能化水平。以数据挖掘技术为基础，深入探讨电气自动化智能控制系统的总体架构、系统数据挖掘单元设计和系统控制单元设计，尤其阐明电磁阀和电动调节阀的具体控制应用。又结合统计分析与聚类算法，详细描述系统的数据挖掘过程。最后通过对比实验，验证基于数据挖掘技术的系统在响应时间、电压波动和温度控制等方面的优越性。

数据挖掘技术在电气自动化智能控制系统中的应用基于多维度数据集成与复杂信号处理，对海量数据进行高效的特征提取和模式识别后，可以实现对电气设备运行状态的精准分析。其核心原理包括数据预处理、特征选择、分类与回归分析，以及基于关联规则的决策树构建。数据预处理阶段由信号滤波和归一化方法提升数据质量；特征选择则由主成分分析（PCA）算法减少冗余特征，增强模型鲁棒性。分类与回归分析中，支持向量机（SVM）和神经网络（ANN）被广泛用于复杂故障诊断与预测。

电气自动化智能控制系统总体架构

电气自动化智能控制系统的总体架构如图1所示。系统架构中数据挖掘技术被深度融合至各功能模块中，以实现海量实时数据的高效处理与智能决策。中央控制单元作为系统的核心大脑，由数据挖掘算法对来自现场控制单元和传感器的大量运行数据进行分析与挖掘，提取关键特征和异常模式^[1]。主控制器与中央控制单元协同工作，利用挖

掘结果优化控制策略，确保系统在各种复杂环境下的稳定运行。现场控制单元由现场总线与传感器相连，实时采集环境参数与设备状态数据，并将其传输至主控制器。主控制器依据预设的控制算法与规则，对数据进行实时分析与处理，并由现场总线反馈控制指令，调节电气设备的运行状态^[2]。服务器作为数据存储与处理的中心节点，在经高速局域网与中央控制单元和远程工作站互联，可以实现对系统运行数据的存储、分析和可视化。网关用于系统的网络安全管理，确保数据在局域网和互联网之间的安全传输。远程工作站借互联网与系统相连，支持远程监控与操作，为管理人员提供实时的系统运行状态信息与控制接口。

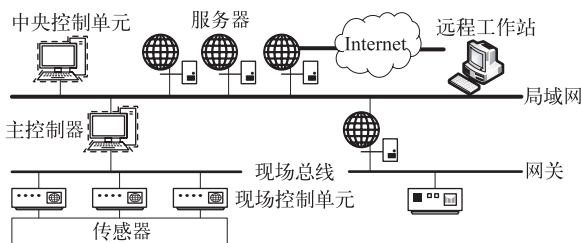


图1 电气自动化智能控制系统总体架构

系统数据挖掘单元设计

1. 数据挖掘过程

图2为数据挖掘过程。系统从大量的实时运行数据中筛选出与电气设备运行状态相关的目标数据，经过滤器去除噪声数据和冗余信息确保数据的准确性。预处理阶段对目标数据进行标准化、归一化和缺失值填补处理，生成已预处理数据，以便后续步骤的顺利进行^[3]。在数据转换阶段，已预处理数据经特征工程转化为适合挖掘算法处理的转换后数据。特征选择和降维技术经过主成分分析（PCA）方法减少数据维度，提升数据处理效率，并保留对电气系统性能影响较大的关键特征。接下来，系统进入数据挖掘阶段，利用聚类分析、关联规则挖掘等算法从转换后的数据中提取出潜在的模式和规律。最终，生成的模式由解释与评价环节进行可视化分析和模型优化，确保模式的准确性和适用性，并将其应用于智能控制策略的调整和优化。

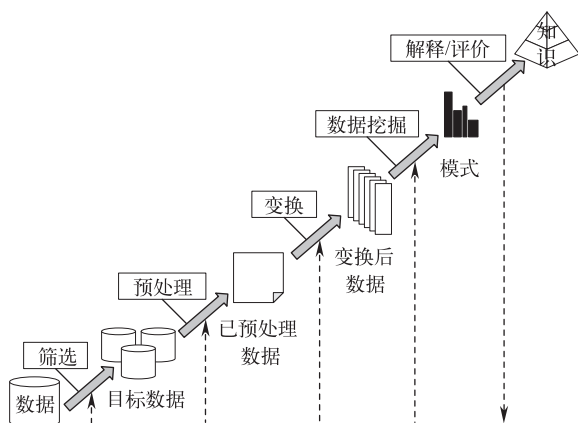


图2 数据挖掘过程

2. 数据挖掘算法

2.1 统计分析

本研究为解决电气系统数据复杂性和实时性问题，设计基于数据挖掘技术的统计分析算法，以提升设备运行状态的诊断与故障预测精度。算法核心在于对系统中的数据进行描述性统计、推断性统计及回归分析，进而实现对设备运行状态的精准诊断与故障预测。

首先，描述性统计分析经过计算均值（ μ ）、方差（ σ^2 ）及标准差（ σ ）等基本统计量，评估电气设备运行的稳定性与波动性。均值 μ 计算式为

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (1)$$

式中， N 为数据点的总数； x_i 为第 i 个数据点。

均值用于反映设备在一定时间段内的平均运行状态。

其次，推断性统计分析基于假设检验与置信区间计算，评估某一特定电气设备在不同工况下的表现差异。假设检验计算 t 值来判断两个样本均值是否存在显著差异，其公式为

$$t = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}} \quad (2)$$

式中， μ_1 和 μ_2 分别为两个样本的均值； σ_1^2 和 σ_2^2 为两个样本的方差； n_1 和 n_2 为两个样本的样本量。

t 值的大小可以判断在不同条件下电气设备的运行状态是否存在显著性差异，从而指导系统的控制策略调整。

2.2 聚类算法

本研究为解决电气设备状态分类与监控的复杂性问题，设计了基于K-means的聚类优化算法，旨在优化设备状态分类的精确度和实时性。该算法旨在将大量运行数据根据其特征进行分组，从而实现电气设备状态的分类与监控。如图3所示，K-means算法流程包括聚类中心初始化、数据对象分配、迭代优化以及结果输出四个主要步骤。

初始化阶段选择聚类数 K 和最大迭代次数 MaxIter ，随机初始化 K 个聚类中心 $C_1, C_2, \dots, C_K$ 。在数据对象分配阶段，每个数据对象 x_i 根据欧氏距离公式分配到最近的聚类中心，其数学表达式为

$$d(x_i, C_j) = \sqrt{\sum_{m=1}^n (x_{im} - C_{jm})^2} \quad (3)$$

式中， $d(x_i, C_j)$ 数据对象 x_i 与聚类中心 C_j 之间的欧氏距离； x_{im} 和 C_{jm} 分别为数据对象和聚类中心在第 m 个维度上的值； n 为数据的维度。

接下来进入迭代优化阶段，计算每个聚类的质心并更新聚类中心。质心 C_j 计算公式为

$$C_j = \frac{1}{|S_j|} \sum_{x_i \in S_j} x_i \quad (5)$$

式中， S_j 为属于第 j 个聚类的所有数据对象的集合； $|S_j|$ 为该聚类中数据对象的数量； x_i 为属于 S_j 的数据对象。

经多次迭代更新，直至收敛条件满足或达到最大迭代次数，最终输出稳定的聚类结果。

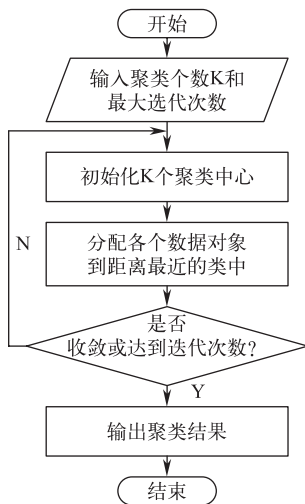


图3 K-means算法流程图

系统控制单元设计

1. 中央控制单元设计

中央控制单元由高速以太网接口与各现场控制单元相连,实时采集来自传感器的数据^[4]。这些传感器包括电压传感器、温度传感器和压力传感器等,分别采集电气设备的工作电压、环境温度及系统压力等关键参数。在变压器监控场景中,电压传感器测量的工作电压为220 V,而温度传感器记录的环境温度为35℃。所有采集到的数据被传输至中央控制单元进行进一步处理。在信号处理环节,中央控制单元利用嵌入式DSP(数字信号处理)芯片对采集的数据进行滤波、归一化和特征提取,消除信号中的噪声和干扰,并将处理后的数据输入到预先训练的算法模型中进行分析。以变压器温度数据为例,中央控制单元对35℃的温度数据进行归一化处理,以适应后续分析模型的输入要求。

2. 现场控制单元设计

2.1 电磁阀

图4为电磁阀结构图。现场控制单元选用西门子SIMATIC S7-1500 PLC,由PROFIBUS现场总线与上位机实现高速数据通信。信号调理模块采用隔离型驱动电路,确保控制信号的稳定性和抗干扰能力^[5]。在实际应用中选用ASCO品牌的型号为EF8320G174的直动式电磁阀,额定电压DC24 V,响应时间小于50 ms,适用于介质压力范围0~10 bar,能够满足高频率启停和精确流量控制的需求。压力传感器安装在管路关键节点实时监测介质压

力,将4~20 mA的模拟信号反馈至PLC,实现闭环控制。当中央控制单元下达开启指令时,PLC的输出模块发送控制信号至电磁阀驱动电路,驱动电磁阀迅速开启,介质开始流动。压力传感器持续监测管路压力,将实时数据反馈至PLC;若检测到压力超过设定值,PLC立即发送关闭指令,电磁阀迅速关闭,防止过压情况发生。

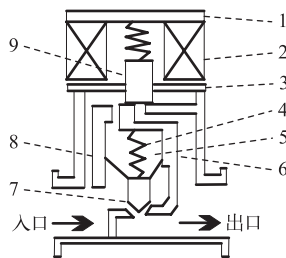


图4 电磁阀结构图

1—固定铁心 2—线圈 3—阀盖 4—复位弹簧 5—上腔
6—排出孔 7—主阀塞 8—平衡孔 9—活动铁心

2.2 电动调节阀

图5为电动调节阀结构图。该调节阀的主要功能是由调节阀芯的位置来控制流体的流量,实现对系统工艺参数的精确控制^[6]。选用艾默生公司的Fisher品牌电动调节阀,型号为GX。这款阀门配备了电动执行机构,工作电压为AC 220 V,阀门口径为DN50,适用于0.2~10 bar的介质压力范围,能够实现0%~100%之间的精确流量调节。当系统要求调节流体流量时,中央控制单元首先由数据挖掘算法分析当前工况,计算出目标流量值。然后PLC的模拟输出模块发送4~20 mA的控制信号至电动执行机构,执行机构根据信号调整阀杆的位移,驱动阀芯在阀座内上下移动,从而改变流体通道的开度。在温度控制系统中的蒸汽加热系统,当温度传感器检测到蒸汽温度过高时,中央控制单元会下达调节指令,利用PLC减少电动调节阀的开度,从而降低蒸汽的流量,达到降低温度的目的。

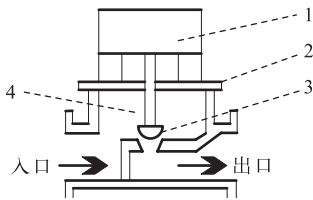


图5 电动调节阀结构图

1—电动直行程执行机构 2—阀盖 3—阀芯 4—阀杆

系统测试与结果分析

1. 测试环境

为验证基于数据挖掘技术的电气自动化智能控制系统的性能表现，本次实验在模拟输电网通信网络的环境中进行。测试环境包括西门子SIMATIC S7-1500 PLC、艾默生Fisher GX系列电动调节阀、ASCO EF8320G174直动式电磁阀，以及电压传感器、温度传感器和压力传感器。系统的网络通信部分使用PROFIBUS现场总线，数据传输速率设定为12 Mbit/s。测试场景设定为典型的输电网调节任务，包括对变压器、输电线路及配电设备的实时监控和调节。

2. 测试步骤

(1) 传统系统测试阶段

启动传统电气自动化智能控制系统，设置初始工况，启动电压传感器、温度传感器和压力传感器进行数据采集；对变压器进行加载实验，逐步提高负载电流，记录系统响应时间、电压波动范围及温度变化情况；在加载至额定电流的70%时，记录设备温升、调节阀的响应时间以及整体控制精度。

(2) 基于数据挖掘技术的系统测试阶段

启动基于数据挖掘技术的智能控制系统，由数据挖掘算法对历史数据进行预处理，生成初步控制策略；按照与传统系统相同的实验步骤，对变压器进行加载实验，并使用相同的参数设置进行测试；记录数据挖掘技术系统在不同负载条件下的响应时间、电压波动范围和温度变化情况，同时记录算法优化后的调节效果。

3. 测试结果分析

对比实验数据，分析基于数据挖掘技术的电气自动化智能控制系统在实际应用中的优势。实验数据汇总见表1。

表1 实验数据汇总

负载 电流 /A	响应时间/ms		电压波动范围/V		温度变化范围/℃	
	传统 系统	数据挖掘 技术系统	传统 系统	数据挖掘 技术系统	传统 系统	数据挖掘 技术系统
20	320.45	290.23	3.12	2.85	5.78	4.95
35	340.78	310.56	3.45	3.10	6.12	5.32
55	365.23	330.12	4.02	3.60	7.45	6.05
65	380.67	350.34	4.56	3.95	8.23	6.85
75	410.89	370.67	5.12	4.35	9.34	7.45

从测试结果可以看出，基于数据挖掘技术的电气自动化智能控制系统在响应时间上明显优于传统系统，尤其在高负载条件下，系统的响应速度提升显著。同时，该系统的电压波动范围和温度变化范围均优于传统系统，表明其在精确控制和能效管理方面具有明显优势。

结束语

综上所述，本文通过对基于数据挖掘技术的电气自动化智能控制系统进行全面分析和实验验证，证实数据挖掘技术在提升系统智能化水平和优化控制准确度方面的显著优势。中央控制单元与现场控制单元的协同设计，使系统能够实时监控和调节复杂的电气设备运行状态。实验结果表明，基于数据挖掘技术的系统在响应速度、电压波动控制和温度管理等关键性能指标上明显优于传统系统。EA

(收稿日期：2024-08-29)

参考文献

- [1] 杜骛，温煜. 智能化技术在自动化控制系统中的应用[J]. 集成电路应用，2024，41(6)：252-253.
- [2] 吴昊天. 电力自动化技术的应用与创新分析[J]. 集成电路应用，2024，41(5)：290-291.
- [3] 丛溢柯. 人工智能时代数据挖掘的限制与例外[J]. 科技创业月刊，2024，37(8)：39-45.
- [4] 李传龙. 电气自动化系统中的智能化技术应用[J]. 集成电路应用，2024，41(4)：168-169.
- [5] 王开诚. 智能技术在工程自动化系统中应用[J]. 集成电路应用，2024，41(2)：310-311.
- [6] 刘海. 电气自动化控制领域中人工智能技术的应用探究[J]. 大众标准化，2024，(1)：146-148.