

[自动化巡检]

基于人工智能的配电网自动化巡检系统设计

文/李涛 刘学成
济宁昌桥工贸有限责任公司

目前的配电网自动化巡检系统巡检时间过长，巡检定位准确率较低。为解决上述问题，基于人工智能设计一种新的配电网自动化巡检系统，对系统的硬件和软件进行设计。系统硬件由变频器、ST-200可编程序控制器（PLC）和传感器组成，ST-200 PLC通过中央处理器、存储器、I/O单元组成。通过数据采集、数据传输、数据处理与分析、预警判断与预测和巡检任务优化五步组成，实现软件流程。实验结果表明，基于人工智能的配电网自动化巡检系统能够有效缩短巡检时间，提高巡检定位准确率。

随着电力系统规模的不断扩大和复杂性增加，传统配电网巡检方式已难以满足现代化电网管理的需求。人工巡检方式存在人力成本高、效率低和数据采集不全面等问题，尤其在复杂环境和紧急故障情况下，传统巡检方法的局限性更加突出^[1]。因此，引入先进技术对配电网进行自动化巡检成为必然趋势。

人工智能技术的发展为配电网自动化巡检提供新的解决方案。通过将人工智能技术与传感器、控制器等硬件设备相结合，可以实现巡检任务的高效、精准和智能化处理，不仅能够提高电网运行的安全性和稳定性，还可以显著降低运维成本^[2]。本文围绕基于人工智能的配电网自动化巡检系统设计，详细探讨硬件设计与软件设计的关键环节，并通过实验研究验证系统的可行性与可靠性，以为配电网智能化发展提供技术参考。

基于人工智能的配电网自动化巡检系统硬件设计

1. 变频器设计

本文在硬件设计中引入变频器，变频器不仅能

够降低系统传输数据时的能耗，同时能够提高传输效率，确保稳定性。

变频器在巡检设备中的关键作用是调节电动机的运行速度和转矩。通过改变输入电压和频率，变频器可以控制巡检机器人或设备的移动速度，使其适应不同的工作场景。例如，在高准确度巡检区域，设备需要低速运行以提高检测效果；而在空旷区域或非巡检区域，变频器可以加快电动机转速，提高巡检效率。

配电网中存在电压波动和电磁干扰，传统电动机驱动方式容易受到影响，导致运行不稳甚至设备损坏。为此，本文设计的变频器集成输入电压滤波和稳压功能，通过主动抑制波动和干扰，确保系统在复杂环境中仍能平稳运行。同时，过载保护和短路保护等安全机制进一步提升设备的可靠性。

在运行过程中，变频器通过内置的动态优化模块实时监测电动机负载，调整输出功率以减少不必要的能耗。散热模块采用风冷与热管相结合的设计，确保设备在高温或持续运行状态下仍能稳定工作。

2. ST-200可编程序控制器

本文引用的ST-200可编程序控制器（PLC）由中

央处理器、存储器和I/O单元组成，结构如图1所示。

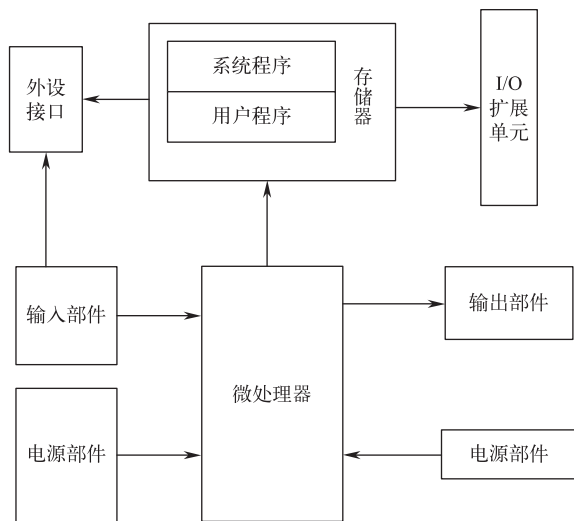


图1 ST-200可编程序控制器结构图

1) 中央处理器（CPU）是ST-200 PLC的核心部分，负责执行所有指令和控制逻辑操作。ST-200采用高效嵌入式处理器，能够快速处理巡检系统中传感器采集的大量数据，并实时运行人工智能算法。处理器内部集成浮点运算单元和优化的指令集，特别适用于复杂算法的执行，例如图像处理和路径规划。CPU具备低功耗设计，即使在高负载下也能保持高效运行，延长系统的续航时间。

2) 存储器模块在ST-200 PLC中用于存储巡检任务的运行参数、数据缓存和程序代码。其内部配置高速随机存储器（RAM）和只读存储器（ROM）。RAM支持实时数据处理和缓存功能，保证巡检任务的顺畅执行；ROM用于存储系统固件和预设算法，提高系统的启动速度和安全性。同时，存储器模块支持扩展存储接口，可根据需求接入外部存储设备，用于长时间的巡检数据记录和后续分析。

3) I/O单元是ST-200 PLC与外部设备交互的关键桥梁。它支持多种类型的输入和输出信号，包括数字信号、模拟信号以及通信接口，如RS 485、CAN总线和以太网接口。这些接口的多样性确保控制器能够兼容多种传感器、执行机构和其他外部设备，实现硬件之间的无缝连接。通过数字输入接口，控制器能够实时接收传感器发送的开关量信号；通过模拟输出接口，可以精准控制执行机构的动作幅度。此外，ST-200 PLC的I/O单元还集成抗

干扰设计，能够有效应对复杂配电网环境中的电磁干扰，确保数据传输的稳定性和准确性。

3. 传感器

传感器分为高分辨率成像CCD传感器和宽动态成像CCD传感器，这两组传感器同时连接可见光成像镜头。这两组传感器能够感知巡查区域的数据，并将得到的数据清晰成像，更好地显示数据内容，方便工作人员查看。

传感器内部电路图如图2所示。

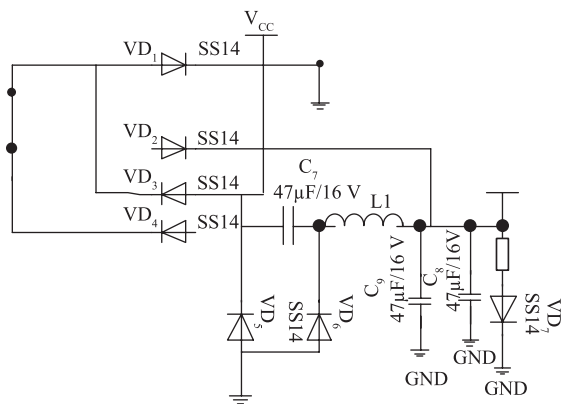


图2 传感器电路图

1) 高分辨率成像CCD传感器的主要作用是对巡检区域进行细节捕捉，生成高质量的图像数据。这类传感器具有高像素和高灵敏度的特点，能够清晰捕捉设备表面的裂纹、锈蚀等微小缺陷，为巡检系统提供精准的图像输入。在实际应用中，高分辨率传感器还支持变焦功能，可通过控制镜头焦距调整视野范围，实现对不同目标的精确成像。

2) 宽动态成像CCD传感器则针对复杂光照环境设计，在强光、阴影和反光等情况下实现图像采集问题。在配电网环境中，由于巡检设备需要在室外和室内交替运行，光照条件的快速变化可能导致图像过曝光或欠曝光。宽动态传感器通过高动态范围（HDR）技术，能够同时捕捉高亮和低光区域的细节，生成明暗对比均衡的图像数据。这一特性确保系统在恶劣环境中仍能稳定工作，大幅提升巡检数据的可靠性。

两种传感器通过可见光成像镜头集成到巡检设备中，镜头采用抗反射涂层和耐候性设计，能够在强风、雨雪等恶劣天气下保持良好的成像质量。此外，这些传感器与系统内的ST-200可编程序控制器实时联动，利用人工智能算法对图像数据进行实时

处理和分析。例如，传感器采集到的设备表面图像可直接传输至系统的缺陷识别模块，快速生成检测结果，提高巡检效率。

通过高分辨率成像和宽动态成像CCD传感器的结合，配电网自动化巡检系统能够覆盖多种巡检场景，采集高质量数据，确保巡检结果的全面性与精确性，为配电网的高效管理提供有力支持。

基于人工智能的配电网自动化巡检系统设计

配电网自动化巡检系统基于人工智能技术，通过硬件设备和软件系统的协同工作，实现对配电网设备的高效、智能化巡检。整个工作流程包括数据采集、数据传输、数据处理与分析、故障判断与预警以及巡检任务优化五个阶段。

1. 数据采集

数据采集是巡检系统的起点，通过传感器和摄像设备实时获取配电网设备的运行状态和环境信息。传感器包括高分辨率成像CCD和宽动态成像CCD，能够捕捉精细的图像数据和复杂光照条件下的目标特征。假设传感器采集的图像信号表示为 $I(x,y)$ ，其中 x 和 y 为像素位置，采集的图像用公式表示为

$$I(x,y) = L(x,y) \cdot R(x,y) \quad (1)$$

式中， $L(x,y)$ 为光照分布； $R(x,y)$ 为物体的反射特性。

通过宽动态成像传感器，系统可以平衡 $I(x,y)$ 的变化，确保图像细节的清晰度。

2. 数据传输

传感器采集到的数据通过无线通信模块或光纤传输至中央处理单元（CPU）或云端服务器。在数据传输阶段，系统采用动态传输速率调整算法，以适应不同网络环境。传输速率 R_t 用公式表示为

$$R_t = \frac{B}{T} \eta \quad (2)$$

式中， B 为数据包大小； T 为传输时延； η 为信道利用率。

通过调整 η ，系统能够在数据高峰时段提高带宽利用率，减少传输延迟。

3. 数据处理与分析

在数据处理阶段，中央处理单元或云端服务器

对接收到的图像和传感器数据进行处理，包括去噪、特征提取和模式识别。系统基于卷积神经网络（CNN）对图像进行特征提取，其核心计算公式为

$$f_k(x,y) = \sum_{m=-1}^1 \sum_{n=-1}^1 w_k(m,n) \cdot I(x+m,y+n) + b_k \quad (3)$$

式中， $f_k(x,y)$ 为第 k 个卷积核的输出； $w_k(m,n)$ 为卷积核权重； b_k 为偏置项； $I(x,y)$ 为输入图像像素值。

通过多个卷积层的叠加，系统能够提取设备表面缺陷特征，如裂纹、锈蚀等。

4. 故障判断与预警

数据处理后，系统利用人工智能算法对设备运行状态进行判断，识别潜在故障并发出预警。故障判断的核心是分类模型，其输出 y 的计算公式为

$$y = \text{softmax}(z) = \frac{\exp(z_i)}{\sum_{j=1}^n \exp(z_j)} \quad (4)$$

式中， z 为分类器的输出向量； n 为分类类别数。

通过阈值判断，系统将设备状态划分为正常、轻微异常和严重异常，确保快速响应。

此外，为提高预警准确率，系统引入模糊逻辑判断模型。假设传感器数据的模糊隶属度函数为 $\mu_A(x)$ ，模糊推理规则可表示为

$$\mu_C(z) = \max(\min(\mu_A(x), \mu_B(y))) \quad (5)$$

式中， $\mu_A(x)$ 和 $\mu_B(y)$ 分别为两个输入变量的隶属度函数； $\mu_C(z)$ 为输出隶属度函数。

通过模糊推理，系统能够综合判断多维数据，提高故障预警的准确性。

5. 巡检任务优化

故障判断完成后，系统根据巡检结果对巡检任务进行动态调整，优化资源分配。例如，对于高风险区域，系统优先安排巡检设备进行深入检查，而低风险区域则安排定期巡检，用于平衡时间和成本的权重。基于人工智能的路径规划算法，系统生成最优巡检路径，并实时更新任务计划。

实验研究

为验证本文设计的基于人工智能的配电网自动化巡检系统实际应用效果，设定对比实验。比较巡检时间和巡检准确率，得到的实验结果如图3所示。

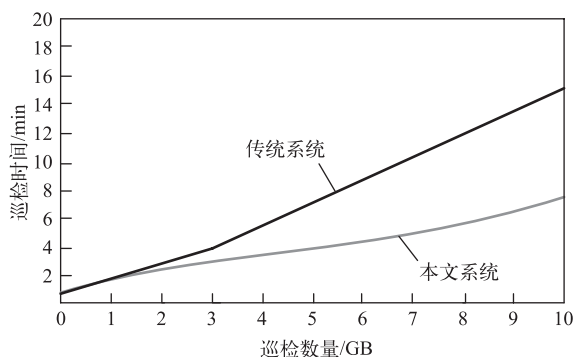


图3 巡检时间实验结果

通过工作人员对试验数据的整理，得出本文设计的巡检系统比传统的巡检系统的数据准确度高，并且完成时间快。人工巡检通常受限于人员的工作效率和现场环境的复杂性，巡检过程中可能出现遗漏或延误。相比之下，自动化巡检系统能够通过高速的数据采集与处理，缩短巡检周期。尤其是在大型配电网中，自动化系统的巡检效率比人工方法高出约50%~70%。这表明，人工智能技术能够显著提高配电网巡检的工作效率，减少因人工巡检导致的时间浪费。

定时准确率实验结果如图4所示。

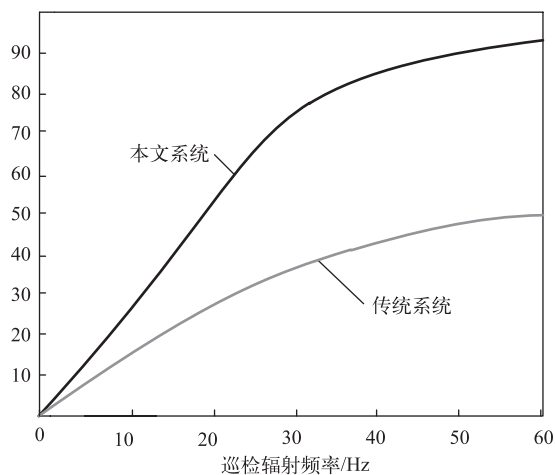


图4 定时准确率实验结果

在巡检准确率方面，自动化巡检系统也表现出明显优势。通过深度学习和图像识别算法，自动化系统能够高效地检测到配电网设备上的各种故障和潜在风险，如设备老化、锈蚀和断裂等。实验数据显示，自动化巡检系统的故障识别准确率可达95%以上，而传统人工巡检方法的准确率通常在80%以下，尤其是在恶劣天气和光照不良的情况下，人工

巡检的准确性会进一步下降。此外，自动化系统的实时数据分析和预警功能也能够提前识别潜在风险，减少事故的发生。

实验结果表明，基于人工智能的配电网自动化巡检系统在巡检效率和准确性方面都显著优于传统人工巡检方法。其高效的数据采集、实时的故障识别与预警功能以及持续稳定的工作能力，使得配电网的维护和管理更加智能化和高效化。随着人工智能技术的不断发展，未来该系统将在更广泛的应用场景中发挥更大的作用，为配电网的智能化管理提供有力支持。

结束语

基于人工智能的配电网自动化巡检系统，作为电力行业智能化发展的重要方向，具有广泛的应用前景。本文通过传感器、变频器、可编程控制器以及人工智能算法，展示如何通过技术创新提高配电网的巡检效率与准确性。系统通过实时数据采集、智能分析和故障预警等环节，极大地减少人工巡检的工作负担，提升配电网运行的安全性和稳定性。

随着配电网自动化巡检系统的不断发展和完善，未来将进一步推动智能电网的发展，提供更为精准的故障诊断与预测，促进电力设备的预防性维护，减少突发性故障发生的概率。人工智能技术，特别是图像识别、机器学习与数据处理算法的深度应用，将进一步提升系统的智能化水平，实现自动化巡检、远程监控与智能决策的无缝对接。

尽管现有系统在理论与实践均表现出较好效果，仍需在实际应用过程中进行持续优化。例如，如何提高系统在复杂环境中的适应性，如何进一步降低系统硬件成本，如何优化巡检路径与任务调度等问题，仍然是未来研究和开发的重点。EA

（收稿日期：2024-10-12）

参考文献

- [1] 彭明智, 许尧, 胡永波, 等. 基于人工智能技术的变电站二次设备智能巡检技术[J]. 高电压技术, 2023, 49(S1): 90-96.
- [2] 王耀. 基于5G工业互联网的井工煤矿信息化技术研究[J]. 工矿自动化, 2023, 49(S1): 29-31.