面向变电站综合自动化系统无人值守提供多维度的解决方案

0引言

电力系统是现代社会的重要基础设施，其安全稳定运行对国计民生有重要影响。随着社会发展，电力负荷持续增长，电网规模不断扩大，电力系统结构和运行状况日趋复杂。

变电站作为电网的关键环节，其运行状态直接影响电网的安全稳定。目前，我国变电站设备日趋增多，参数复杂化。如何实现变电站的智能化、信息化、自动化，以更好地满足电力系统发展需求，是电力行业需要解决的问题。

1研究背景

人工智能在变电站综合自动化设备状态监测与诊断中的特性。随着电力系统互联互通和智能化水平的不断提高，变电站规模持续扩大，设备类型和数量呈指数增长。仅我国的500kV变电站就有数百台主变压器、数千个开关柜、上百台电容器组等关键设备。这些设备运行参数复杂多样，一个500kV变电站就有上万个模拟量和数万个开关量。如果还依赖传统的人工巡视方式进行设备状态监测，效率和准确率都难以满足需要。以一台主变压器为例，它具有包括温度、振动、油质、气体、潮湿度、绝缘强度等在内的上百个特征参数。人工定期测量记录这些参数以判断设备状态，不仅工作量巨大，也难以发现故障的早期微弱信号。目前常见的变电站设备故障，80%以上源于长期积累的缺陷或劣化过程，如果能实现对特征参数的持续监测并辅以智能分析，完全可以事前发现问题并防止故障发生。然而依靠人工很难持续不间断地完成如此大量的参数监测工作。此外，变电站内各类关键设备的工作环境与负载条件千差万别，对设备状态产生巨大影响，设备运行情况千变万化，靠人工经验或者简单预设阈值很难确定参数正常范围。

因此，基于人工智能的设备状态监测和诊断技术是非常必要和迫切的。目前比较先进的变电站已经开始引入一些智能化监测装置，但数量有限，采集的参数也较为单一，充分利用先进的传感器技术与大数据分析方法，建立自动化的设备特征参数持续采集系统并辅以智能分析，能够实现对设备状态更全面和准确的监测，找出不同类型设备的微弱故障特征，实现对故障的预测和预警，保障变电站设备的安全运行。所以，应用人工智能技术进行变电站综合自动化设备的状态监测与故障智能诊断，已成为电力系统实现更高水平智能化和更高可靠性运营的必然选择。

2人工智能在变电站综合自动化设备状态监测与诊断中的应用实践

2.1传感器网络及数据采集技术

传感器网络主要用于变电站内各类关键设备的特征参数采集，实现对设备运行状态的持续监测。相比人工定期检测，传感器网络的优势在于实现对设备状态的全天候不间断监测，能够收集各种正常运行和故障状态下的参数信息。目前常用的传感器包括温度传感器、电流传感器、振动传感器、摄像头等[3]。这些传感器通过现场总线、工业以太网等与数据采集终端相连接。以某500kV变电站为例，其正在建设包含2000多个传感器节点的变电站级工业互联网平台，采集变压器、开关柜、电容器等20多类关键设备的温度、湿度、气体含量、颤振等参数信息，每个传感器采集频率为1Hz。假设每种参数的采集数据均为16bit，则该系统每秒产生约32MB的数据。这些海量的数据会实时传输到数据中心，通过云计算平台存储和分析，实现对设备运行状态的实时监测。在数据中心，可以利用深度学习等技术建立各类关键设备运行状态的数字孪生模型，根据参数数据判断设备健康状态，并在异常情况下及时预警。

2.2基于机器学习的故障诊断与预测

基于机器学习的故障诊断与预测，需要大量的设备运行数据，进行模型训练。以开关柜状况监测为例，每台开关柜配置温度传感器、湿度传感器等，采样频率为10Hz。假设一座220kV变电站有30台开关柜，每天产生30×24×3600×10=25920000个传感器数据。这些多源异构的数据采集后，需要进行清洗、标注、特征提取等预处理，然后输入到机器学习模型开始训练。这里可以使用随机森林算法建立温度预测模型。训练集可以取开关柜两年的历史运行数据，包含各个部位的温度参数，以及与气温、负载、工况相关的特征。随机森林包含多棵决策树，能够捕获数据的非线性特征，建立正常温度区间。设定预测目标，如某关键部位温度是否会在未来24h内超过阈值，通过遍历调参，调整模型的参数，使损失函数最小化，从而得到了最优的模型。训练完成后，用新采集的实时温度数据作为输入，预测其未来趋势。如果模型判断某关键部位温度将超限，即判定为故障预警，需要进行检查维护。类似方法可以建立变压器振动预测模型、断路器故障模型等，实现对重要设备的智能化监测与故障预测。

2.3基于人工智能的决策支持系统

基于人工智能的决策支持系统是实现变电站智能化、无人值守运维的关键技术之一。该系统充分利用机器学习、深度学习等算法的优势，模拟人类专家进行故障分析和处理决策。具体来说，决策持系统包含知识库、推理机制和人机交互接口等模块。知识库存储大量历史故障案例及对应处理方案，可以来自实际记录或专家编纂。例如，某台主变压器曾出现过多次气体绝缘监测系统报警，其最大振动位移达到220μm，振动速度达到12mm/s，而气体检测显示C2H2浓度达到20μl/L，H2浓度达到200μl/L。经检查分析以及运维处理，判断故障原因是变压器绝缘材料的衰老导致接触不良所致。将此类案例以结构化JSON格式存入知识库。在运维过程中，当新故障发生时，系统先利用NLP技术解析运算员的问题描述，提取关键信息，例如相关设备型号参数(容量1000MVA，额定电压500kV等)、故障特征(气体含量超标，C2H4达100μl/L，报警代码19#)。然后，通过编辑距离等相似度算法，在知识库中查找最匹配的历史故障案例，再基于规则推理机制，给出处理建议。决策支持系统充分利用了人工智能技术与人类专家经验的综合优势。它既能处理海量数据、快速给出推荐方案，也会持续吸收人类专家知识，提供更智能化的运维支持，推动变电站向无人值守的方向发展。

3安科瑞Acrel-1000变电站综合自动化系统

3.1方案综述

Acrel-1000变电站综合自动化监控系统在逻辑功能上由站控层、间隔层二层设备组成，并用分层、开放式网络系统实现连接。站控层设备包括监控主机，提供站内运行的人机联系界面，实现管理控制间隔层设备等功能，形成全站监控，并与远方监控、调度通信；间隔层由若干个二次子系统组成，在站控层及站控层网络失效的情况下，仍能独立完成间隔层设备的就地监控功能。

针对工程具体情况，设计方案具有高可靠性，易于扩充和友好的人机界面，性能价格比优越，监控系统由站控层和间隔层两部分组成，采用分层分布式网络结构，站控层网络采用TCP/IP协议的以太网。站控层网络采用单网双机热备配置。

3.2应用场所

适用于公共建筑、工业建筑、居住建筑等各行业35kV以下电压等级的用户端配、用电系统运行监视和控制管理。

3.3系统结构

3.4、系统功能

3.4.1 实时监测

Acrel-1000变电站综合自动化系统，以配电一次图的形式直观显示配电线路的运行状态，实时监测各回路电压、电流、功率、功率因数等电参数信息，动态监视各配电回路断路器、隔离开关、地刀等合、分闸状态及有关故障、告警等信号。

3.4.2 报警处理

监控系统具有事故报警功能。事故报警包括非正常操作引起的断路器跳闸和保护装置动作信号；预告报警包括一般设备变位、状态异常信息、模拟量或温度量越限等。

1） 事故报警。事故状态方式时，事故报警立即发出音响报警（报警音量任意调节），操作员工作站的显示画面上用颜色改变并闪烁表示该设备变位，同时弹窗显示红色报警条文，报警分为实时报警和历史报警，历史报警条文具备选择查询并打印的功能。

事故报警通过手动，每次确认一次报警。报警一旦确认，声音、闪光即停止。

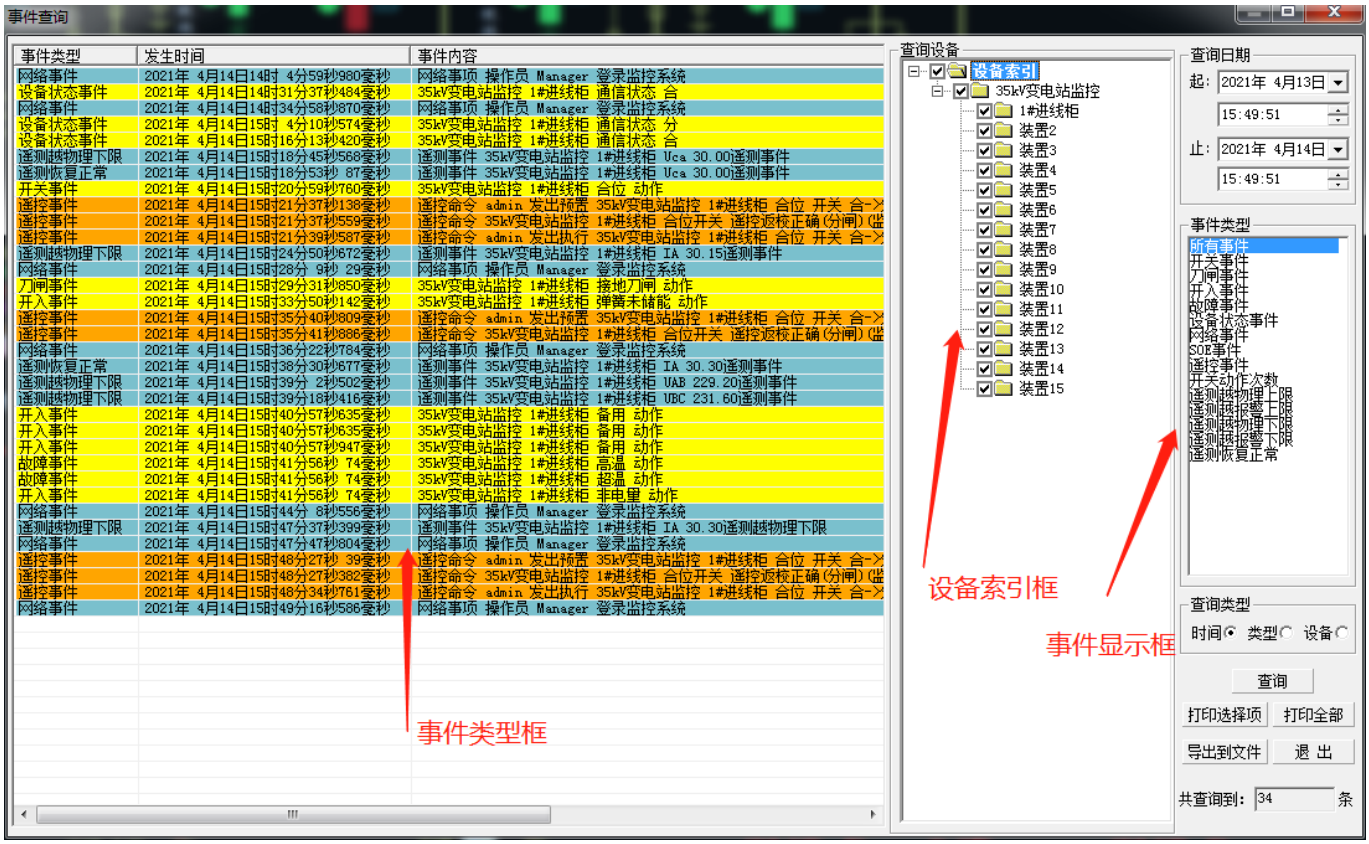
次事故报警发生阶段，允许下一个报警信号进入，即次报警不覆盖上一次的报警内容。报警处理具备在主计算机上予以定义或退出的功能。

2） 对每一测量值（包括计算量值），由用户序列设置四种规定的运行限值（物理下限、告警下限、告警上限、物理上限），分别定义作为预告报警和事故报警。

3） 开关事故跳闸到该次数或开关拉闸到该次数，推出报警信息，提示用户检修。

3）报警方式。

报警方式具有多种表现形式，包括弹窗、画面闪烁、声光报警器、语音、短信、电话等但不限于以上几种方式，用户根据自己的需要添加或修改报警信息。



3.4.3 调节与控制

操作员对需要控制的电气设备进行控制操作。监控系统具有操作监护功能，允许监护人员在操作员工作站上实施监护，避免误操作。

操作控制分为四级：

第控制，设备就地检修控制。具有优先级的控制权。当操作人员将就地设备的远方/就地切换开关放在就地位置时，将闭锁所有其他控制功能，只进行现场操作。

级控制，间隔层后备控制。其与第三级控制的切换在间隔层完成。

第三级控制，站控层控制。该级控制在操作员工作站上完成，具有远方/站控层的切换。

第四级控制，远方控制，优先级。

原则上间隔层控制和设备就地控制作为后备操作或检修操作手段。为防止误操作，在任何控制方式下都需采用分步操作，即选择、返校、执行，并在站级层设置操作员、监护员口令及线路代码，以确保操作的安全性和正确性。对任何操作方式，保证只有在上一次操作步骤完成后，才进行下一步操作。同一时间只允许一种控制方式。

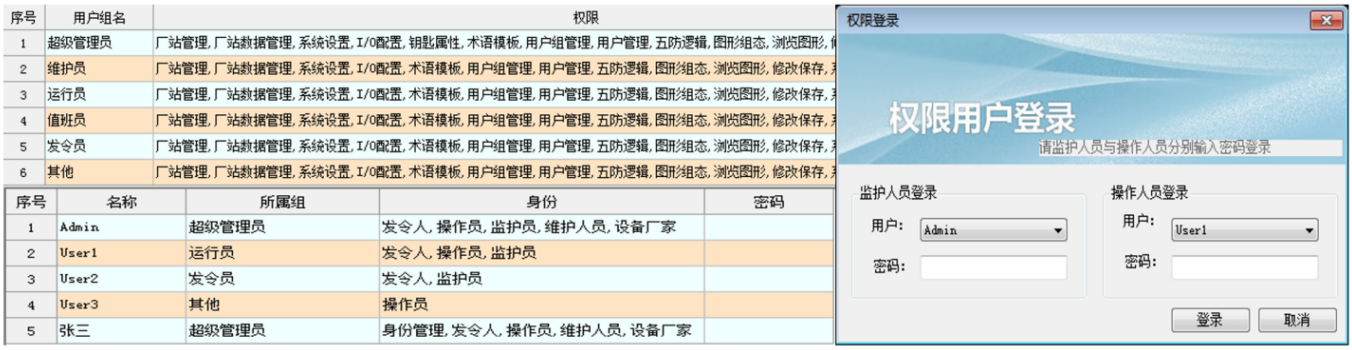
纳入控制的设备有：35kV及以下断路器；35kV及以下隔离开关及带电动机构的接地开关；站用电380V断路器；主变压器分接头；继电保护装置的远方复归及远方投退连接片。

3）定时控制。操作员对需要控制的电气设备进行定时控制操作，设定启动和关闭时间，完成定时控制。

4）
监控系统的控制输出。控制输出的接点为无源接点，接点的容量对直流为110V（220V）、5A，对交流为220V、5A。

3.4.4 用户权限管理

系统设置了用户权限管理功能，通过用户权限管理能够防止未经授权的操作系统可以定义不同操作权限的权限组（如管理员、维护员、值班员组等），在每个权限组里添加用户名和密码，为系统运行、维护、管理提供可靠的安全保障。



序号	用户组名	权限
1	超级管理员	厂站管理, 厂站数据管理, 系统设置, I/O配置, 钥匙属性, 术语模板, 用户组管理, 用户管理, 五防逻辑, 图形组态, 浏览图形,
2	维护员	厂站管理, 厂站数据管理, 系统设置, I/O配置, 术语模板, 用户组管理, 用户管理, 五防逻辑, 图形组态, 浏览图形, 修改保存,
3	运行员	厂站管理, 厂站数据管理, 系统设置, I/O配置, 术语模板, 用户组管理, 用户管理, 五防逻辑, 图形组态, 浏览图形, 修改保存,
4	值班员	厂站管理, 厂站数据管理, 系统设置, I/O配置, 术语模板, 用户组管理, 用户管理, 五防逻辑, 图形组态, 浏览图形, 修改保存,
5	发令员	厂站管理, 厂站数据管理, 系统设置, I/O配置, 术语模板, 用户组管理, 用户管理, 五防逻辑, 图形组态, 浏览图形, 修改保存,
6	其他	厂站管理, 厂站数据管理, 系统设置, I/O配置, 术语模板, 用户组管理, 用户管理, 五防逻辑, 图形组态, 浏览图形, 修改保存,

序号	名称	所属组	身份	密码
1	Admin	超级管理员	发令人, 操作员, 监护员, 维护人员, 设备厂家	
2	User1	运行员	发令人, 操作员, 监护员	
3	User2	发令员	发令人, 监护员	
4	User3	其他	操作员	
5	张三	超级管理员	身份管理, 发令人, 操作员, 维护人员, 设备厂家	

3.5系统硬件配置

应用场合	型号	图 片	保护功能

系统	1000		实现无人值班模式；根据顺序事件记录、历史曲线、故障录波，协助运维人员实现快速故障分析、定位和排除问题，尽量缩短停电时间；实时采集各回路、设备的电流、电压、功率、电能以及谐波、电压波动等参数，对配电系统和用电设备进行用能分析和能效管理
35kV变电站综合自动化	Acrel-		可显示变电站主接线图，模拟配电网络运行，

	2E8S1		持ModbusRtu、ModbusTCP、DL/T645-1997、DL/T645-2007、CJT188-2004、OPC UA等协议的数据接入，ModbusTCP（主、从）、104（主、从）、建筑能耗、SNMP、MQTT 等协议上传，支持断点续传、XML、JSON进行数据传输、支持标准8GB SD卡（32GB）、支持不同协议向多平台转发数据；每个设备的多个报警设

			置。输入电源：AC/DC 220V，导轨式安装。	
35kV/10kV/6kV 弧光保护	ARB6-A6		8路RS485，动作时间，光耦隔离4kV，2路以太网接口	35kV两段母线
	ARB6-A12			配置1台主机。
	ARB6-A18		弧光单判据≤3.8ms	
	ARB6-A24			
	ARB6-A30		弧光电流双判据≤7.8ms	

	选配	2、3路以太网接口		

	ARB-S0		全绝缘、不含金属成分（没有电气安全隐患）无源型广角宽光谱探头（不含电池、免维护）配套双股阻燃光纤（20 自带滤光功能	配置1个弧光探头。高压柜：母线室配置1个弧光探头，手车室和电缆室可按需各配置1个弧光探头。低压柜：正对主母排处

			（不含电池、免维护）		
			自带滤光功能		
			ST标准接口		
			（国网应用）		

			配套双股阻燃光纤（20 米）	
	ARB-S1		无源型广角紫外光探头	

			压暂降、电压瞬态、电压中断、1024点波形采样、触发及定时录波，波形实时显示及故障波形查看，PQDIF格式文件存储，内存32G，16D0＋22D1，通讯2RS485＋1RS232＋1GPS，3以太网接口（＋1维护网口）＋1USB接口支持U盘读取数据，支持61850协议。

间隔智能操控、节点测温			能指示、高压带电显示及闭锁、验电、核相、3路温温度控制及显示、远方/就地、分合闸、储能旋钮预分预合闪光指示、分合闸完好指示、分合闸回路电压测量、人体感应、柜内照明控制、1路以太网、2路RS485、1路USB接口、GPS对时、高压柜内电气接点无线测温、全电参量测温、脉冲输出、4～20mA输出；

35kV/10kV/6kV 间隔电参量测量	APM830		三相（1、U、kW、kvar、kWh、kvarh、Hz、cosΦ），零序电流In，四象限电能，实时及需量，本月和上月值，电流、电压不平衡度，66种报警类型及外部事件（SOE）各16条事件记录，支持SD卡扩展记录，2-63次谐波，2D1＋2D0，RS485/Modbus，LCD显示；

温度检测			电器输出；	
变压器绕组测温，低压进出线柜接头测温	ARTM-8 ARTM-Pn-E		8路温度采集，可接PT100，无线测温传感器，2路继 、I、P、Q等全电参量测量；2路告警输出；1路RS485通讯；	
	ATE400		合金片固定，CT感应取电，启动电流大于5A，测温范围-50-125C，测量精度±1°C；无线传输距离空旷150米；	

应用场合	型号	图 片	保护功能	其他功能

			器失灵保护；	2路4-20mA变送输出、故障录波、GPS对时、

35kV/10kV/6kV馈线	AM6-L	三段式过流保护（带方向、低压闭锁）、过负荷保护、PT断线告警、逆功率保护、三相一次重合闸、低频减载、检同期、合环保护、断路器失灵保护；	全电量测量 直流量测量

35kV主变	AM6-D2/	两圈变/三圈变差动速
		断保护、比例制动差动
（2000kVA以上）	AM-3	保护；

			保护、PT断线告警、遥 调升档、遥调降档、遥 调急停；	
	AM6-TB		变压器后备保护测控、 三段式过流保护（带方 向、复合电压闭锁）、 非电量保护、启动通风	

			障告警、PT断线告警、 非电量保护；	
35kV/10kV/ （2000kW以上）	AM6-MD		差动速断保护 动保护 零序过流 （告警/跳闸）、控故	

异步电机			负序过流保护、过负荷保护（告警/跳闸）、低电压保护、PT断线告警、堵转保护、启动超时、热过载保护、电压不平衡；
10kV/6kV	AM6-M		两段式过流/零序过流/

PT监测			；	
35kV/10kV/6kV 电容器	AM6-UB		两段式过流/零序过流保护、过负荷保护（告警/跳闸）、PT断线告警、过电压/欠电压跳闸、不平衡电压/电流保护；	

35kV/10kV/ 6kV母联	AM6-B		两进线备投/母联备投/自适应备投、联切备投、三段式过流保护（带方向、复合电压闭锁）、PT断线告警、过负荷联切/告警、检同期、合环保护；	

4结语

人工智能技术为此提供了可能的解决方案。本文阐述了人工智能在变电站中的关键应用，包括设备状态监测、故障预

测、智能决策等。未来，还需要持续加强算法研究，以适应变电站的实际需求;构建高质量的数据集，为模型训练提供支持;深入开展示范工程，验证技术成果。随着5G、大数据、云计算等新技术的发展，人工智能必将支持变电站实现更高水平的自动化、智能化、精细化管理，保障电网高效稳定运行。推进变电站智能化，建设智慧电网，需要多方共同努力与不懈探索。

原文地址：http://www.china-nengyuan.com/news/229488.html