

[运维主站]

基于远程监控的变电站二次设备运维主站系统的开发探讨

文/马克飞¹ 姚辉昌²

1. 国网吉林省电力有限公司超高压公司; 2. 成都市登禄电力科技有限公司

随着电力系统的飞速发展，作为输电与配电的重要节点，变电站的安全可靠性问题日益突出。变电站二次设备是变电站运行的重要组成部分，担负着保护、计量、控制和通信等多种功能，是变电站运行的重要组成部分。为提高变电站二次设备的运行效率与可靠性，可应用以远程监测为基础的运维主站系统，利用远程监测技术，可对变电站二次设备进行实时监测，并对故障进行预警，以便及时采取有效的维修措施，保证电网安全稳定运行。

随着电网规模的不断扩大，作为输电、配电的重要枢纽，变电站的安全稳定运行对电网的稳定起着至关重要的作用。在变电站中，保护、计量和控制等辅助设备担负着对一次设备进行监控的任务，若二次设备发生故障或不正常运行，将严重影响电网的安全稳定运行，而传统的运行维护模式主要依赖于人工维护，不仅效率低，而且易受人为干扰，造成设备失效与安全隐患。因此，研究如何对变电站二次设备进行有效的运行管理有着重要意义。

运维主站系统的需求分析

1. 功能需求

系统必须具有实时监测的功能。采用远程监测技术，能够及时掌握变电站二次设备的运行状况及故障信息，为电力系统的安全运行提供有力的保障。如当保护设备发生异常时，能及时报警，并将故障信息记录下来，以便进行进一步的分析处理。其次，必须具有数据采集与存储的功能。电力系统二次设备运行时所产生的数据量非常大，因此需要对其进行有效的采集、传输和存储，并提供相应

的查询、分析等功能。另外，系统应该具有遥控功能。通过主站系统，操作人员可远程控制二次设备，如重新启动设备，切换运行方式等。且系统还应具备远程维修、故障诊断等功能，使维修人员能够快速找到并解决设备的故障。

2. 非功能需求

运维主站系统除了满足功能要求外，还需满足一系列非功能性要求，以保证系统的可靠和安全。系统的可靠性要求很高，变电站二次设备的维护对电网安全运行具有重要意义，其故障直接影响到电网的正常供电。因此，在系统设计与开发时，应充分考虑冗余设计与故障恢复等措施，以保证系统具有较高的可靠性。此外，系统应该具有较高的可用性。该系统需要24 h连续工作，并能在很短的时间内对故障进行修复。另外，系统还应该具有很好的扩展性。随着电网规模的不断扩大，变电站数目的不断增多，为适应未来电网发展的需要，系统必须能方便地扩充、升级。系统安全问题也是非常重要的，远程监控涉及的数据量很大，因此系统必须有完善的安全机制，包括数据加密、权限控制和日志记录等，以保证数据的安全完整性。

3. 其他需求

运行主站系统还有其他一些需要考虑的问题，如用户界面要简单、友好，便于操作人员操作，应支持多个用户和多个角色的管理，以满足不同用户的需要。系统兼容性好，能与现有变电站二次设备及其他系统进行无缝整合。以某变电站为例，运行维护主站系统需要与变电站的保护设备、测控设备以及调度中心的数据交互。因此，在开发系统时，应充分考虑各设备之间的兼容性，以保证系统的正常运行。

基于远程监控的变电站二次设备运维主站系统开发有效策略

1. 系统架构设计

在设计变电站二次设备运维主站系统时，系统结构设计是一个非常重要的环节，该系统包括前端数据采集层、通信与传输层、主站数据处理层以及用户交互层。前端数据采集层主要负责对变电站二次设备的运行数据进行采集，该层包括电流、电压、温度等多种传感器及数据采集装置，这些传感器可以对设备的工作状态进行实时监控，并将数据传送给数据采集装置，数据采集装置一般由数据采集终端（DTU）及远端终端（RTU）两部分组成。如一个电压传感器的标准参数可以是0~1 000 V，测量准确度 $\pm 0.5\%$ ，采样频率为1 kV，然后经由通信传输层向主站系统发送这些数据。通信传输层负责向主站系统可靠地发送前端采集到的数据，此层包含有线及无线通信技术，如光纤通信、以太网路和4G/5G通信等。为保证数据传输的可靠性与实时性，选择合适的通信协议显得尤为重要。通用的通信协议有 Modbus、DNP3和IEC 61850等^[3]。例如IEC 61850标准就是专门针对电力系统而设计的，它支持高速、实时的数据传输，非常适合变电站自动化系统。它的标准参数是100 Mbit/s的传输速率和小于10 ms的延时。为提高系统的可靠性，设计通信传输层。如双环网结构可以保证当一条链路发生故障时，数据仍然可以在备份链路上进行传输。主站数据处理层负责数据的存储、分析和处理等功能，数据存储可以通过 Hadoop或者Elasticsearch这样的分布式数据库来满足海量数据的存储需求。可采用大数据分析、机器学习等方法，对数据进行

分析与处理，实现故障预测与状态评估。如数据存储的标准参数是100 TB的存储容量和不超过1 s的数据读取时间。在数据处理上，可采用以长时程记忆网络（LSTM）为代表的神经网络预测模型，对设备失效概率进行预测。另外，为保障数据安全，还将对数据进行加密、访问控制等措施，保证数据在存储、传输过程中的安全性。人机交互层为运维人员提供人机交互接口，实现对系统的实时监控与管理。人机交互界面既可以在网页上使用。也可以在手机上使用，如在网页端，可以使用HTML5、CSS3和JavaScript等技术来设计一个图形化的界面，可以实时显示设备的工作状态、报警信息和历史数据等。移动端的应用程序可以使用iOS或者安卓系统，并且支持远程监控，可包括不到2 s的接口响应时间，支持100个用户同时访问。另外该系统还可集成视频监控功能，实现对设备现场的实时监控，提高运维效率，系统架构设计要点见表1。

表1 系统架构设计要点数据采集模块

要点	描述
分层架构	采用分层架构，包括数据采集层、传输层、处理层和展示层
模块化设计	各功能模块独立开发，易于维护和升级
高可用性	支持负载均衡和故障转移，确保系统高可用性
安全性	数据加密传输，严格的访问控制机制
可扩展性	支持系统扩展，满足未来功能需求

数据采集模块作为整个系统的基础，需要对变电站二次设备进行实时监控，可实现对电流、电压、频率和温度等参数的采集。为保证数据的准确和稳定，采集设备必须具有较高的准确度、可靠性和抗干扰性。在数据采集模块中，电流、电压的采集是其中的关键。为达到此目的，通常采用电流互感器（CT）与电压互感器（PT）实现信号的动态转换。电流变压器能把大电流转换成小电流，以供随后的电子器件处理。例如，可用1 000 A额定电流变压器就能把它转化成5 A的次级电流。电压互感器能把高压转换成低压，便于后续的采集装置测量。标准参数如电流互感器的准确度等级通常是0.2，也就是在额定电流范围内误差小于0.2%；电压互感器的准确度通常是0.5级。频率的变化反映了电网的运行状况及负荷状况。频率测量一般都是用测频计或数字测频计来测量。为了能够及时地捕捉频率的变化，采集设备必须具有较高的准确度和

较快的响应能力。如频率计必须达到 0.01 Hz ，而频率测量范围应为 $45\sim 55\text{ Hz}$ ^[4]。温度的获取也是不容忽视的，变电站内的设备在运行时会产生大量的热量，高温容易造成设备失效，甚至损坏。采用温度传感器对设备的温度进行实时监测，并将数据传送给主站。常用的温度传感器有热电偶、热敏电阻器等。热电偶测温范围大，适合在各种环境中进行温度监控。以K型热电偶为例，其测温范围从 $-200\sim +1\ 250\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，误差一般在 $\pm 1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。为保证数据采集的准确性与可靠性，必须考虑抗干扰能力，变电站内环境复杂、电磁干扰严重，对采集设备的抗干扰能力提出更高的要求。如采取屏蔽电缆和滤波电路等技术措施，可有效地减少外部干扰对信号的干扰。另外，设备接地设计也很重要，好的接地能进一步增强系统的抗干扰能力。

2. 通信传输模块

在远程监控的基础上，通信传输模块是变电站二次设备运维主站系统设计的核心部分。为保证数据的安全可靠传输，通信传输模块需要综合考虑多种因素，如传输媒体的选择、协议的制定和数据的加密与认证等。在传输媒介的选择方面，主要有光纤通信、无线通信等，光纤通信以其高速率、高抗干扰性和远距离传输等优势，适合高带宽、高可靠的应用场合^[5]。如在变电所内，各装置可通过光纤通信向中央控制室传送数据，可保证数据的稳定、低延时。同时，光纤通信还具有适应复杂电磁环境、降低干扰等优点。无线通信非常适合在不方便配线的场合，例如远距离分布的装置，或是临时装设的监测装置。无线通信方式主要包括4G/5G等蜂窝网络、WiFi和LoRa等。具体采用何种无线通信方式，应根据现场环境及实际需要而定。如4G/5G网络具有覆盖范围大、带宽高和适于大数据传输等特点，可优先考虑4G/5G网络。在偏远地区或对低功耗要求较高的应用场合，LoRa通信具有功耗低、覆盖广等特点，但传输率低，适用于少量监测数据的传输。为保证数据在传输过程中的安全，必须使用加密技术及身份认证机制。常用的数据加密算法有AES、RSA等。AES加密算法具有加密强度高，计算速度快的特点，适合于各种场合。在传输过程中，采用AES算法对监测数据进行加密处理，有效地防止了数据被窃取和篡改。假设要传送的监

测数据包尺寸是1 KB，使用AES-256算法加密，传输速率1 Mbit/s。那么加密传输期间的延迟可以控制在毫秒量级，对实时监测的要求基本没有影响。在认证机制上，可采用数字证书、双因子认证等方法。数字证书是一种有效的身份认证手段，能够有效地防止第三方攻击。如变电站设备与主站系统在建立通信连接前，可相互验证彼此的数字证书，以保证通信双方的合法性。而双因子认证则是一种额外的安全保护措施，如当用户登录主站系统时，除了要输入密码外，还必须使用短信验证码或者动态密码双重验证，从而进一步增强了系统的安全性。

3. 数据处理与存储模块

数据处理模块的设计思路主要包括数据采集，预处理、分析和显示等，监控终端对变电站运行状态进行了实时采集，包括电压、电流、温度和湿度等参数，如电压数据可达每秒几百次，记录准确度可达 0.1 V ，从而保证数据的准确与及时。采集的数据经通信网络传送至主站，进行预处理。在数据预处理阶段，需要对数据进行净化、格式转换和初筛三个步骤。如对当前数据进行处理时，需剔除噪声、干扰等引起的异常值，并统一转换成JSON格式，以供后续分析处理。预处理完成后，将数据存入暂存数据库，以备后续分析^[6]。在数据处理模块中，数据分析是一个重要的环节，为充分挖掘数据中潜在的价值，利用大数据分析与机器学习等方法对其进行深入研究。如将历史数据与实时数据相结合，建立设备运行状态模型，对可能出现的失效点及运行风险进行预测。具体来说，就是利用时间序列分析的方法来预测电压数据的变化趋势，并识别可能出现的过负荷现象。此外，对设备进行聚类分析，可发现设备运行中出现的异常现象。如某一时段内温度的异常上升，可提示设备内部存在故障。在资料分析时，通常使用的标准参数有资料收集频率、资料处理时延及预测准确度等。如数据采集频率可达到 100次/s ，数据处理延时控制在毫秒级，预测准确度大于95%。通过对标准参数的严格控制，保证了数据分析的可靠性与实用性。其中，数据存储模块的设计也是一个非常重要的问题，它关系到数据的高效存储、快速地检索以及安全管理。要选择合适的数据库系统，如分布式数据库，以满足海量数据的存储需求。目前最常见的数据库系统是

Hadoop、HBase等，支持高并发性读写操作以及海量数据存储，以保证数据的持久可靠。在数据的存储过程中，需要建立索引并对其进行分类管理。如按设备类型、电压等级和日期等维度建立多层次索引，便于运维人员快速查找相关信息。利用倒排索引技术，将查询时间由线性降为对数，提高检索效率。如将某变电站某一具体日期的当前数据进行检索，将其检索时间由数秒缩短至毫秒级，数据处理与存储模块设计要点见表2。

表2 数据处理与存储模块设计要点

关键点	描述
数据采集	实时获取远程变电站二次设备的运行数据
数据预处理	数据去噪、归一化处理，提高数据质量
数据存储	采用高效数据库系统，确保数据的安全与高效
数据分析	利用大数据分析技术，挖掘数据潜在价值
数据备份与恢复	定期备份数据，提供快速恢复机制，防止数据丢失

4. 告警与事件管理模块

告警信息应包括事件发生的时间、地点等细节信息，以便于运维人员及时处理。报警及事件管理模块的设计要充分考虑各种报警事件的优先级及处理流程，以保证在突发事件发生时能快速有效地采取措施。报警和事件管理模块的实现首先要建立一个完整的报警规则库，它包含了所有可能发生的异常情况，并且为每种情况设置相应的报警等级。如一个“高优先级”警报可以在系统检测到电压超过正常范围时产生，并且“中优先级”警报是在发现传感器数据丢失时产生的，应对报警规则库中的触发条件、报警水平及处理建议进行详细的定义。在报警信息的产生上，系统需要具备对多源信息进行自动收集和集成的能力。当某变电站发生电流异常时，该系统将自动采集该变电站当前的电流、历史数据以及有关设备的状态信息，并产生一条详细的报警信息。该报警信息应包括事件标识、报警等级、事件描述、发生时间、出现地点、所涉及的设备、目前的状态、历史数据对比和建议的处理步骤。报警信息产生后，将通过各种通信方式通知有关人员，如值班工程师可通过短信通知，运维主管可通过邮件通知，运维主站系统告警面板上新的报警信息等。同时，该系统还可以利用语音合成技术，通过电话通知重要人物，保证突发事件中信息

的及时、准确传递。为保证报警信息的有效管理，系统还必须具有报警分级处理的功能，对于不同等级的报警，有不同的反应时间，不同的处理流程。如，优先级较高的报警需要10 min的响应时间，中等优先级的报警需要30 min的响应时间，较低的报警需要1 h的响应时间。对于每一次报警，系统都应该自动指派相应的处理人员，并提供详细的处理步骤及记录，以便于后续的追踪与分析。另外，事件管理模块还应该具有事件的存档、分析等功能，报警事件处理完成后，系统会自动生成报警报告，并对报警的频率、分布及处理结果进行分析。

结束语

综上所述，开发基于远程监控的变电站二次设备运维主站系统，既能有效地提高变电站运行的效率与可靠性，又能有效地减少人力成本与安全风险。通过对电网运行过程中数据的实时监测与智能分析，可及时发现隐患，及时采取预防性维修措施，保证电网安全稳定运行。未来，随着物联网、人工智能等技术的发展，变电站运维主站系统将进一步实现智能化、自动化，促进电力工业向数字化、智能化方向发展，为电网安全高效运行提供技术保证。EA

(收稿日期：2024-06-27)

参考文献

- [1] 李璠. 变电站智能化运维管理平台构建与实践[J]. 今日制造与升级, 2023(12): 117-119.
- [2] 李崇, 陈海. 输变电设备远程运维标准研究与验证平台建设[J]. 信息技术与标准化, 2023(12): 79-84.
- [3] 王熹瞳. 探讨电力设备运维管理及安全运行[J]. 中国设备工程, 2023(24): 58-60.
- [4] 潘吉, 顾海峰. 变电运维管理中危险点及预控措施分析[J]. 电工技术, 2023(S1): 47-49.
- [5] 高翔, 李进贵. 变电运维工作中存在的安全隐患及其对策研究[J]. 电工技术, 2023(S1): 96-98.
- [6] 杨睿堃, 周学琴. 电力系统变电运维安全管理与设备维护[J]. 电工技术, 2023(S1): 105-107.