

大型光伏项目光伏监控系统介绍及系统架构优化

王丽

西门子电力自动化有限公司，江苏南京

摘要：本文介绍了吉瓦级大型光伏电站后台监控系统的整体架构、对下需要采集的光伏区各设备信息及通讯方式、对上与调度侧通讯的具体信号以及与其他PPC系统/清洗机器人/SVG/表计等系统间的数据通讯。在此基础上介绍了国网2023新能源标准化系统架构，并由此探讨大型光伏电站在逆变器和跟踪支架合计数百万级点数的通讯压力下，如何通过将三层两网的系统架构优化为大两层的系统架构，减少光伏区RTU及交换机的配置，通过减少数据转发，减少系统网络风暴，达到良好的通讯效果。

关键词：吉瓦级大型光伏电站；跟踪支架；大两层网络架构；光伏区RTU及交换机的配置

Introduction and Optimization of a Big PV Project PV SCADA Architecture

Li Wang

Siemens Power Automation Co., LTD., Nanjing, Jiangsu

Abstract: This paper introduces the GW PV SCADA overall architecture, PV field devices that need to communicate and communication protocol as well as path、signal list that communicated with dispatch and the related other communication systems, such as: PPC system/ automatic cleaning robot system/SVG/PQ meters. Introduce the FY2023 new energy system architecture standard of State Grid, then based on the huge number of I/O list, according to optimize the architecture from three-layer and two-network system architecture to a big two-layer one, then can reduce the number of PV RTU and access ethernet switches, avoid network storm, and make the communication faster and mor reliable.

Keywords: GW PV project; Solar tracker; Two-layer network architecture; Configuration of access ethernet switch & RTU

1 引言

在大型光伏电站，如何按照点表要求实现PV SCADA的数据采集及平稳通讯是一个巨大挑战。本文介绍了光伏后台监控系统的整体架构，并比较了国网2023新能源标准化系统架构和常规三层两网的PV SCADA架构[1]，以及优化后的大两层网络架构的组网方式。对比发现，大两层系统架构可减少PV就地层RTU的配置数量及整体交换机数量，且通过全站系统的配合可以减少网络成环及导致的广播风暴概率。

2 光伏后台监控系统整体结构介绍

光伏电站与变电站相比在变电站自动化后台监控系统（SAS系统）的基础上增加了光伏后台监控系统（PV SCADA系统）。PV SCADA需要采集光伏区的设备信息，经过RTU及服务器的处理，对接其他系统并上送调度，因PPC系统也需要采集光伏区设备信息，一般也会体现在PV SCADA系统架构内。

2.1 对下通讯

PV SCADA系统对下采集光伏区的设备信息，主要包括：逆变器、跟踪支架、箱变、UPS、指令控制单元、气象站、汇流箱（仅用于集中式逆变器）、清洗机器人、光伏逆变器等，上述光伏区设备信息通过光伏区光纤环网送至控制室监控系统。

光伏区各设备需要上传的点数，实际会根据每个项目颗粒度要求不同而不同，其中点数主要来自逆变器及跟踪支架，这两者的点数会占到光伏后台监控系统总点数的75%~85%。

2.2 本系统内后台设备配置

监控系统根据不同项目的点数要求配置相应数量的RTU装置、交换机及后台服务器。

2.3 对上及其他系统通讯

除了接入光伏后台监控工程师站及操作员站以外，光伏监控系统需要通讯或接入的系统及设备包括：

1) 调度：PV SCADA一般以IEC 60870-101/IEC

60870-104协议经通讯设备上送调度[2]。上送点表中包括遥测及遥信。

- 遥信状态量主要包括：PPC控制的远方/就地模式、频率控制模式、无功控制模式、电压控制模式及功率因数控制模式。

- 遥测量分为PPC、SVG、电站、气象站及光功率预测五部分的数据。

调度下发的指令主要是对PPC的控制指令。

2) PPC控制系统：4种在光伏电站常用的PPC控制方案分别为：

- 控制区域限制及主从PPC；

- 自动拓扑识别：主控制器在主母线为整个电站提供统一的潮流控制，可以根据基于深度优先搜索算法的自动拓扑计算功能识别因断路器及隔离开关位置分合而形成的新的系统拓扑，并向各从控制器发送P/Q调节命令，以便在全站保持在所需的P/Q水平，控制的参考反馈是各从控制器采集的主变低压侧U/I的总和。

- 基于SVG和逆变器的无功控制方案；

- 就地/远方切换功能：特别说明如果操作员从就地切换到远方，系统会保持已有设定值，除非从远方接收到新的设定值。如果重启PPC控制器，所有设定值可以保持不变，且当通信中断时，PPC设定值仍应保持不变。

3) SAS系统：PV SCADA系统与SAS系统之间没有特殊要求无需通讯，PPC控制系统会通过IEC 60870-104将对侧接入变电站PQ表计的遥测信息传给SAS，并显示在SAS后台监控系统。

4) 对侧站的PQ表计：通过对侧接入变电站的PQ表计采集的有功功率数据识别出系统振荡，作为PPC调节的依据。

5) MDA/PASS表计系统：MDA/PASS是指表计数据系统及计量系统。因表计系统都是数据库协议，因此需要经过OPC服务器以ODBC的数据库协议输出，主要上送气象数据及PQ表计的有功数据。

6) SVG系统：33kV每段母线会安装一套SVG设备用于无功功率控制。由于SVG反应时间非常快，一般对电站的无功控制会让SVG先工作，如果SVG调节

后与实际无功仍有差距，再由PPC控制器在逆变器侧进行无功功率控制。因此SVG主要是与PPC系统的通讯，建议以IEC 60870-104协议通讯。

7) 气象站系统：在整个光伏区内会根据分布设置数个气象监测点，各监测点通过Modbus RTU/Modbus TCP/IP经光伏区数据采集装置接入光伏区光纤环网。经RTU转发至各需要气象数据的系统、单独的气象工作站及调度主站。

8) 清洗机器人及CCTV系统：这两个系统在光伏区内多以无线方式经各自独立的网关后接入光伏区光纤环网。因PV SCADA系统无需这两个系统的数据，因此建议从光纤环网接入站内交换机后，从交换机直接引至各自独立的工作站，无需占用光伏区RTU的数据转发点数。

9) 光功率预测系统：光功率预测系统可以通过对当前功率、辐照、历史功率数据、历史光数据、天气预报数据及运行状态数据等参数经预测模型转换后，提供0-7*24小时的短期功率预测及0-4小时的超短期功率预测。

3 国网2023新能源标准化系统架构

图1所示为国网2023新能源标准化系统架构中的PV SCADA部分，图中光伏区的后台监控工作站只通讯各个子阵的数采装置，没有单独设置光伏区RTU层级且数采装置对下的采集对象没有支架。原因是国内光伏项目基本采用固定式支架，无角度等数据调节，无需通讯。

4 沙特某光伏电站初设系统架构

沙特项目的光伏区通讯设备，除了上图一中需要数采通讯的逆变器、汇流箱、箱变测控，还包括光伏区其他设备：跟踪支架、气象站、机器人系统、CCTV系统等。按照三层两网架构，所有光伏区设备需要通讯到光伏区RTU转发至过程层，再上送至控制层。光伏区RTU设备的数据转发需要涵盖从光伏区通讯过来的未经转发的Modbus TCP/IP数据以及经数采装置转发后的IEC 60870-104数据。所有数据经RTU转发后，统一以IEC104形式上送至服务器和工作站。

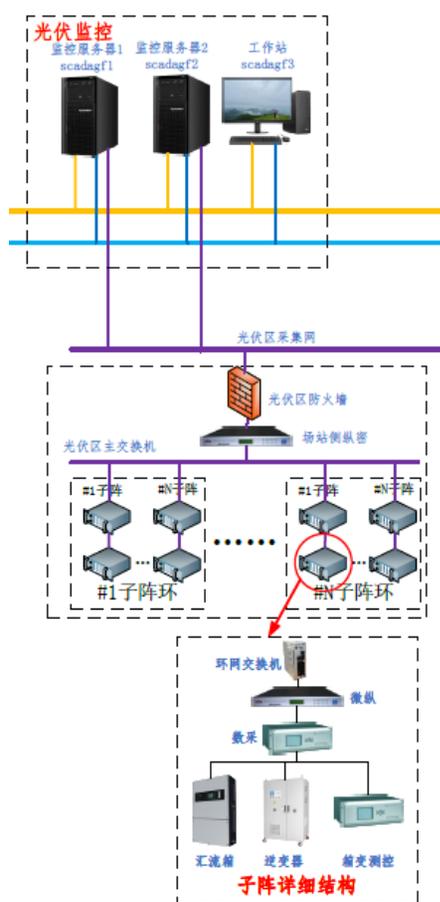


图1. 国网2023新能源标准化PV SCADA系统架构

一个大型光伏项目往往包含多个集电线路，每一条集电线路对应单独的光伏区域。三层架构要求光伏RTU需要按照光伏场区内整体点表考虑，同时交换机分为间隔层环网交换机、过程层分区交换机、站控层核心接入交换机以及两层站控层接入交换机。交换机及光伏RTU的数量多、接线层级多，不易于检修及事故分析。

5 优化后的大两层系统架构

从国网标准架构图中可以看出，光伏区支持IEC 60870-104的设备建议直通至后台系统，无需再经过光伏RTU的转换。在此启发下，我们将国网标准架构和三层两网架构结合，光伏区的IEC 60870-104数据直通后台系统，Modbus TCP/IP数据（主要是跟踪支架）单独经过光伏RTU转发。同时将交换机分为两个层级：间隔层+过程层接入交换机和站控层交换机。如下图2：

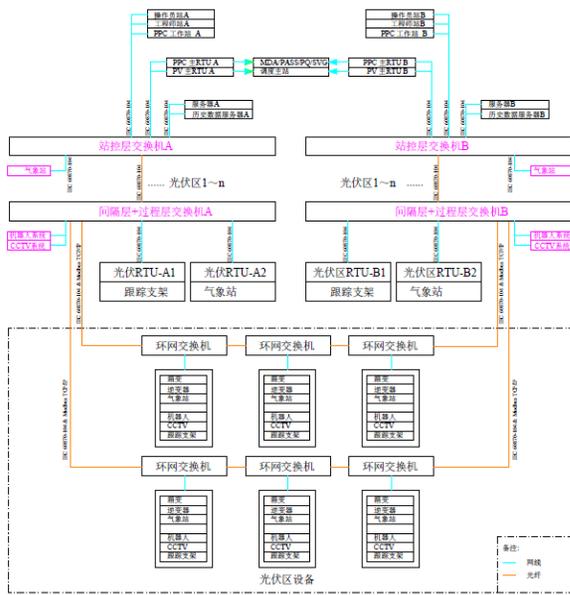


图2.大两层网络架构

要实现三层两网到大两层的系统优化，需要全站设备的整体性能的配合，主要包括以下三点：

5.1 光伏区数采装置的合理化设置

对于光伏变电站的点表来说，遥信数据因变动不频繁，不会额外增加上传报文，而遥测数据因光伏区天气变动频繁，导致遥测数据实时变动，主要是有功功率和无功功率，报文随即实时更新上送，增加了后台服务器的处理负担。因此建议数采装置上送的数据需做如下处理：

- 1) 增加遥测数据上传阈值。
- 2) 数据上传精度的统一。一般调度端设置的数据精度为小数点后2位，因此对于设备侧建议保持小数点后一位到后两位，过于频繁且变动细微的上送的报文对于监控没有实质意义。
- 3) 根据实际点表需要挑选上送点表。如果按照默认出厂模式，所有遥测、遥信数据均同步上传，同样会降低通讯效率。
- 4) 延长数采装置对下的轮询时间。所有数采装置的对下均是通过Modbus TCP/IP通讯，可以通过将MODBUS TCP/IP对下轮询时间调整为10ms左右。

5.2 光伏区服务器的软硬件配置

不管是光伏区数采装置IEC 60870-104直通至

服务器还是经RTU转发，服务器需要处理的数据点数不变。对于大型光伏项目，服务器的软硬件参数均需根据预估点表做合理化配置：

1) 选择可支持的合适的软件型号。根据项目经验，常规使用且性价比高的服务器软件可支持的最大数据点数在10万点左右。

2) 服务器硬件合理配置。一般来说硬件的配置要基于软件要求及推荐，需要注意目前很多项目为了提高处理速度，要求配置固态硬盘。但固态硬盘除了速度快、功耗低等优势外，存在数据恢复困难和容量相对较小的限制。

5.3 光伏区接入交换机的合理配置

因光伏区环网光纤接入到控制室的接入交换机是RSTP环网架构，不管是三层两网还是大两层架构，光伏区的环网架构不变，接入环网交换机会遇到的配置问题也一样[3-6]。

当光伏区环网较多，需要采用多个交换机的情况下。如果设置不对，可能会导致多个环以及环套环的情况。下图中红色圈表示相临近的两条链路之间，形成的环。蓝色圈和黄色圈表示，跨多链路形成的环，实际整个链路中是有很多个环的，没有一一标示出来。简图如下：

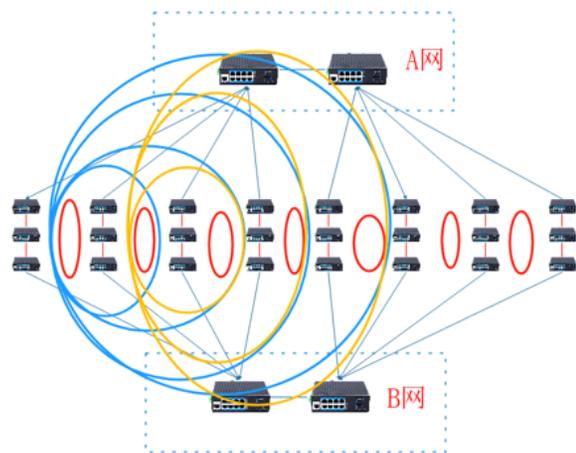


图3.光伏区多链路成环图

为解决上图中多个环造成的网络风暴，建议分别做如下设置：

1) 在A&B网的汇聚交换机处，连接上端的端口开启端口隔离。此操作可以隔离本交换机上开启的

端口，但依旧可以与级联的交换机上开启端口隔离的端口通讯。A网单独连接，网络没有问题，当B网接入后，由于没有指定的STP根桥，就会自动选举，谁的MAC地址小，谁就是根桥。STP会以根桥距离最远的环交换机上阻塞一个端口，防止广播风暴，阻塞之后，拓扑会发生变化，有的交换机收不到根的报文，就会再选举一个根。这时两个根互相抢，阻塞端就会不停切换，出现网络丢包。

2) 只开汇聚交换机的生成树，将A网的汇聚设置为根桥，则B网汇聚就会阻塞端口，以避免广播风暴。

3) 将B网连接到服务器的链路也汇聚到A网交换机，B交换机启用生成树。

6 案例分享及前景展望

在项目实际运行中按照大两层的系统架构，同时通过合理设置光伏区数采装置、优化服务器软硬件配置、调整交换机端口设置从而实现全站光伏区数据的顺畅通讯。按此系统架构及相关设置，可以

明显节省光伏区RTU数量，节省交换机配置，降低运维成本，减少广播风暴。

希望能为后续大型光伏项目系统架构设计提供参考。

参考文献

- [1] 国家电网有限公司. 新能源场站监控系统标准化设计规范(2023版)[Z]. 北京, 2023.
- [2] 国家能源局. 光伏电站监控系统技术要求(NB/T 32035-2016)[S]. 北京: 中国电力出版社, 2016.
- [3] IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks—Bridges and Bridged Networks. IEEE Std. 802.1Q-2022.
- [4] 华为技术有限公司. S系列交换机生成树协议(STP)配置指南[EB/OL]. <https://support.huawei.com>, 2023.
- [5] 王建军, 李志刚. 大型光伏电站数据采集系统优化设计[J]. 电力系统自动化, 2021, 45(12): 178-185.
- [6] Cisco Systems. Spanning Tree Protocol Best Practices for PVST+/Rapid PVST+ Deployment[EB/OL]. <https://www.cisco.com>, 2022.

