

基于 CompactRIO 的分布式太阳能发电站现场监测系统

作者：覃剑欢，上海聚星仪器有限公司



CompactRIO 运行在高海拔地区

【客户需求】

客户希望构建一套太阳能发电站现场监测系统，监测对象包括 1MW 太阳能发电站中数十个光伏发电组件汇流箱的电流、电压，蓄电池电流电压、逆变器直控柜电流电压，发电站现场总辐照度、直射辐照度、温湿度、风向、风速等气象参数。监测系统一方面对太阳能发电站中各光伏组件、汇流箱、直控柜进行工作状态监测和故障诊断，另一方面可积累长期的太阳能发电站系统数据，为后续太阳能电站的选址、建模、优化等提供重要的数据依据。

【技术挑战】

太阳能发电站通常建造在日照充足的高原地区，如我国青海、西藏等地，最高海拔可达 5000m 以上，最低气压仅为 0.5 标准大气压，且温差较大（现场温度-30 度至 60 度），对测试设备的耐高海拔、低气压、宽温等性能提出了较高要求。此外，大型太阳能发电站由多个光伏型发电组件（光伏板）和汇流箱组成，汇流箱把相邻几个发电组件的直流电流汇总后输入逆变器，汇流箱之间距离较远，为 30m 至数百米，因此需为每个汇流箱配备一台测试设备，多台设备组成局域网，构建分布式测试系统，由中央监控室的 PC 上位机统一读取数据和发布指令。此外，测试设备一旦部署发电站现场，由于发电站现场气候和海拔等原因，测试设备一般不会留专人维护，而采用远程数据监控和管理，因而对测试设备长时间无故障连续工作的性能提出了较高要求。发电站现场大功率逆变器（几 kW 至几 MW）会产生较强的电磁辐射，测试设备需要具备很好的抗电磁干扰能力。

综合上述描述，太阳能发电站现场测试设备需要具备以下特点：

1. 适应高海拔、低气压、大温差的工作环境；
2. 具备长时间 7/24 不间断工作无故障性能；
3. 可基于网络组网，构建分布式测试系统，并且可根据需求灵活增减测试站点；
4. 网络传输稳定，具备断网重连，数据缓存重发机制，确保数据的完整性；
4. 具备较高的抗电磁辐射能力；

【硬件平台】

根据客户需求，为客户选择了 NI CompactRIO 平台。



图 1. NI CompactRIO 的硬件架构

NI CompactRIO 是一款工业级嵌入式测控平台，如图 1 所示，外形小巧而坚固，满足苛刻的工业级指标，具有宽温（-40°C-70°C）和抗冲击（50g）等特性，特别适用于复杂工业现场环境中对可靠性有严格要求的应用等。

CompactRIO 系统由控制器、机箱（内嵌 FPGA 芯片）和采集模块三部分组成。CompactRIO 内嵌 PowerPC 微处理器和 FPGA 芯片，支持上百种可热插拔的 I/O 模块，模块中内置信号调理功能和数模转换电路，可直接连接电压、电流、电荷、ICP 接口、电桥以及 TEDS 传感器。用户可根据传感器需要选择相应的采集模块实现数据采集和记录功能。此外 CompactRIO 实时控制器中配置了千兆以太网接口，可多台 CompactRIO 组网拓展同步测试通道数，或构建分布式测试系统。

【硬件选型】

NI cRIO-9073: 集成了主频 266M 实时控制器和 Xilinx 2M 门 FPGA 的一体化平台，支持 8 块 C 系列 I/O 模块，属于经济型控制平台，性价比高，用于完成分布式子系统的数据采集、存储、TCP 发送和断网重连重发等功能；

NI 9205: 支持 32 单端/16 差分±10V 电压输入，I/O 集成度高，并且可灵活配置单端和差分输入端子的数量，用于测量太阳能电站中各汇流箱和直控柜中的电流电压；

NI 9217: 支持 4 通道 RTD 温度采集，24-bit ADC，精度高，用于测量太阳能电站中各蓄电池组温度和现场环境温度；

性能评估：

应客户要求，为客户提供了 CompactRIO 原型验证，实现了数据采集、TCP 发送、在线存储、断网重连重传等功能。客户把 CompactRIO 原型机与其他品牌设备至于某太阳能发电站现场测试了 2 个月，CompactRIO 以长时间工作无故障、数据不丢失、断网可重连重传、抗干扰能力强等优势胜出，而其他品牌设备则出现长时间运行死机、数据丢失或不更新、网络传输中断等瑕疵。最终客户认可并选择了 CompactRIO 平台，我们为客户设计 CompactRIO 分布式测试系统的硬件架构和软件设计。

系统工作原理：

目前，基于 CompactRIO 的太阳能发电站分布式测试系统已经应用到浙江、青海、西藏等太阳能电站中。



图 2. 平板式光伏型发电组件



图 3. 聚光式光伏型发电组件

在客户需要实时监测的 1M 太阳能发电站中，包含 40 个 25kW 的发电组串（每个组串有 10 个光伏发电组件），每个组串配置一个汇流箱，用于汇总每个组件中各个光伏发电器件的电流，输出至中央监控室的直流控制柜（直控柜），直控柜把各个汇流箱输入的电流再次汇总，给蓄电池充电，或直接输入逆变器的直流电源端。

在系统实施中，监测对象选取了其中的 20 个太阳能发电组串的汇流箱（室外），1 个直控柜（室内），日照总辐照度、日照直射辐射度、温度、湿度、风速、风向各一个。



图 4. 聚光式光伏型发电组件及其控制、汇流、测试设备



图 5. 光伏型发电组件汇流箱



图 6. 与汇流箱对应的 CompactRIO 数据采集监控系统



图 7. 中心监控室直控柜、逆变器和监控系统

【硬件构架】

为 20 个室外汇流箱各配置一套以 CompactRIO 为采集核心的监测设备，相互距离间隔为 60m；气象参数采集配置一套 CompactRIO；距离 100 多米的室内直控柜电流电压采集配置一套

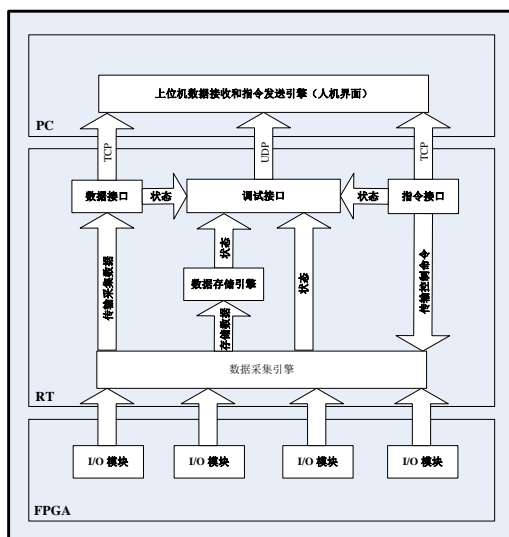


图 9. CompactRIO 数据采集软件结构

太阳能电站监测的 CompactRIO 软件设计采用了 CompactRIO 开发者套件中的标准框架和模块，实现了 32 通道电压的分项数据采集和低通滤波、TCP 发送、断网数据缓存和重连重发等功能。

2. PC 人机界面

聚星 CompactRIO 开发者套件定义了 TCP 数据包格式和指令格式，上位机只需按照预定义的数据格式解析和封装即可实现与 CompactRIO 的数据交互。此外，CompactRIO 开发者套件还提供了除 LabVIEW 外，C#、Java、Delphi 等开发语言的上位机 TCP 数据通讯例程，便于用户根据编程语言习惯进行非 LabVIEW 的上位机设计，实现与 CompactRIO 的数据交互。

该项目中 PC 人机界面采用聚星的聚星分布式数据采集及分析系统软件，上位机通过 TCP/IP 向各采集终端 CompactRIO 发送控制指令，并接收各采集终端 CompactRIO 的数据，实现了以下功能：

- ◆ 显示各 CompactRIO 主机 CPU 占用率及硬盘空间
- ◆ 设定数据存储模式，控制数据采集开始或停止，显示数据采集进度
- ◆ 概览功能页面监测各采集终端所有通道信号（包括物理通道和虚拟通道）的瞬时值、最大值、最小值、平均值及 RMS 值等统计值
- ◆ 实时监测功能页面对指定通道进行数据实时时域显示和频域分析，有单波形窗口视图、上下双波形窗口视图及上下左右四波形窗口视图等选择
- ◆ 数据存储及回放，离线分析

3. SQL 数据库

基于 LabVIEW 数据库工具包，与微软 SQL 数据库进行交互，将采集数据分析汇总后逐项写入 SQL 数据库对应表中，各离线分析软件从 SQL 数据表中取数进行模型分析和验证。

【总结】

基于 CompactRIO 的分布式太阳能发电站测试设备，可实时监测各个组件的工作状态，进行故障报警，便于太阳能电站的维护；同时，通过对长期电站参数的分析和建模，可为太阳能电站的选址、设计和评估提供强有力的数据基础和数学模型。