
基于工业互联网网络的太阳能光热解决方案

施耐德电气（中国）有限公司

网络行业应用篇/智能化生产

1. 概述

1.1 背景

随着国家大力推进光热产业的发展建设，首批光热发电示范项目的稳步推进，中国企业开始积极在世界舞台上与海外厂商角逐海外光热发电项目，并赢得了多个项目。虽然中国正迎头追赶光热发电的世界脚步，可中国的光热发展毕竟滞后于国外，存在一系列的困难和挑战。光热发电由于是利用太阳的辐射进行聚光吸热，为了形成产业化效益往往一个电厂会有成千上万套的定日镜、集热器，传热储热介质又都是高温或者超高温的导热油、熔盐，中国国内光热的建设地环境气象等环境相当恶劣又没有可供借鉴的海外经验，所以对于整个电厂的安全、高效、精准控制、稳定监控提出了严苛的挑战。

1.2 实施目标

基于工业互联网的高效互联互通，依托本公司在光热行业几十年的经验提出的光热发电全厂监控、校准、优化、模拟等全套解决方案。显著提升命令执行及状态参数刷新时间，为电厂的精准监控提供保障。通过优化控制，显著提升电厂的发电量。

1.3 适用范围

本解决方案适用于槽式、塔式、菲涅尔式光热发电厂。提供了从太阳岛镜场控制、储换热控制、发电岛控制、全厂运行优化控制、仿真模拟系统以及在塔式类型电厂里的校准控制等等。

1.4 在工业互联网网络体系架构中的位置

本解决方案在图 1 中处在 1, 3, 4, 5, 6 的位置。此解决方案囊括了单个镜子的控制；全镜场控制；储换热控制以及发电岛控制，以及全场的优化控制，厂务管理等等。所有的子控制系统均依托于工业互联网互联互通。

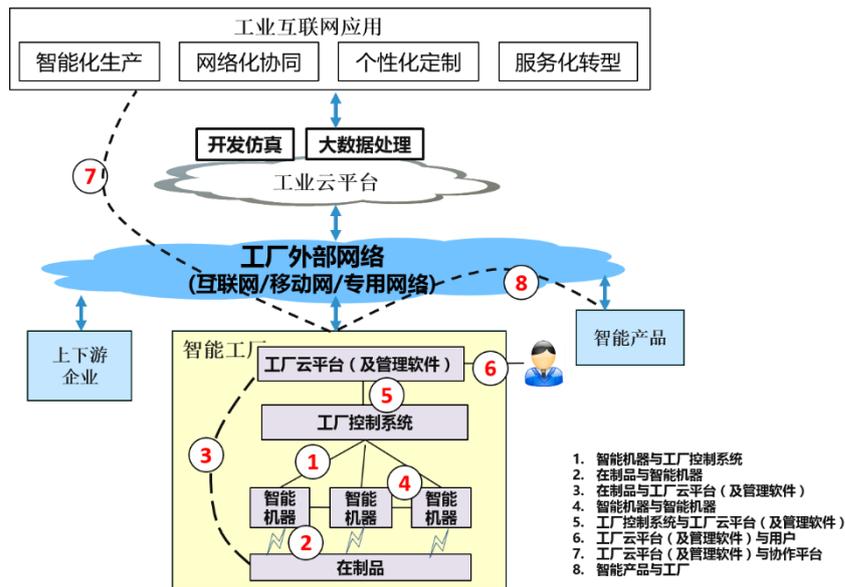


图 1 工业互联网互联示意图

2. 需求分析

目前国内光热尚无一个符合“安、稳、长、满、优”运行的商业化光热项目，技术复杂，引进吸收还需时日。而光热电厂需要对成千上万个“镜子”协同控制，系统的快速响应及高稳定，多模式的无扰切换，极端环境下的高可靠性，追日定日的高精度性，控制系统的开放性、高可扩展性、可复制性，极端情况下的

系统保护，关键设备快速解列等等现实需求。

3. 解决方案

3.1 方案介绍

基于物联网的、开放的、具有交互性的系统化架构 EcoStruxure，从安全性、可靠性、高效性、可持续性和互联互通性方面为我们的客户提升价值。在“创新无处不在”的理念指导下，我们正在采用物联网、移动、传感、云、分析和网络安全领域中的先进技术，推动从互联互通的产品到边缘控制，再到应用、分析与服务各个层级的全面创新。全厂依托工业以太网的最新技术，实现安全性、稳定性、冗余性、快速性、精确性的互融并举，显著提升光热电厂的整体性能。

3.2 系统架构（全以太网）

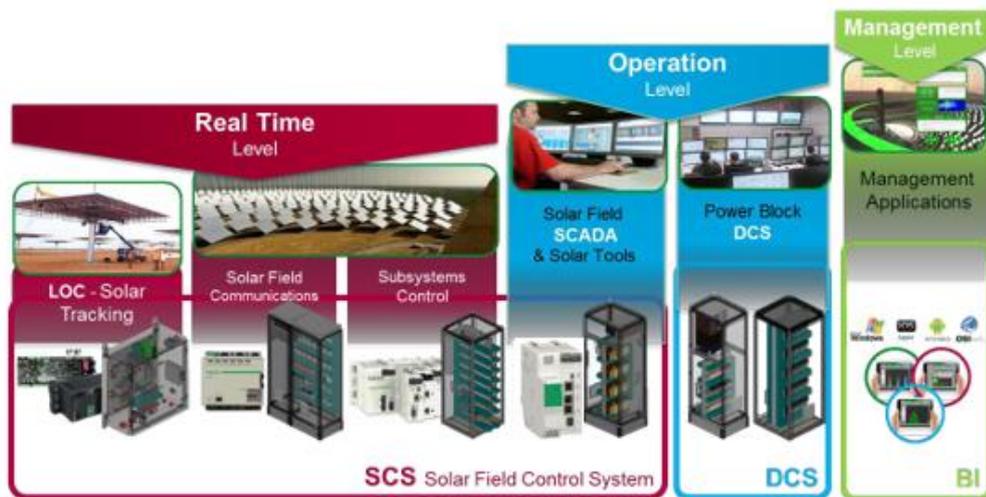


图 2 光热发电系统构架

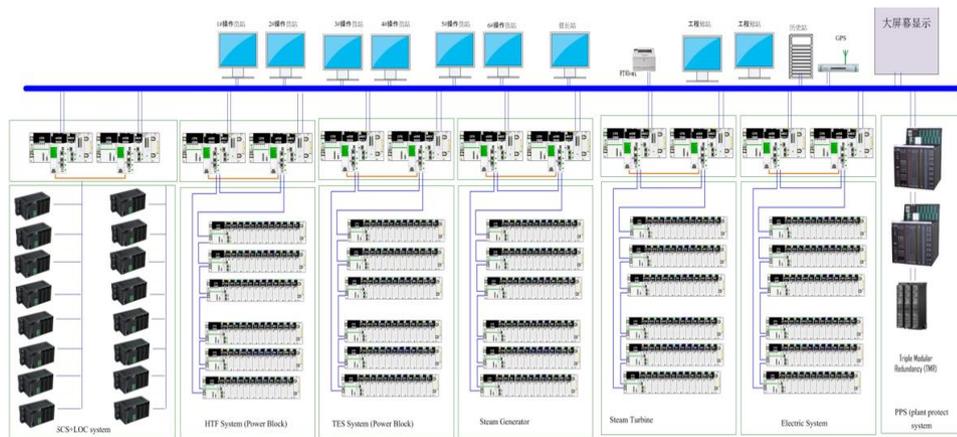


图 3 光热发电系统构架解决方案

光热发电系统构架采用全以太网设计（设备层，控制层，信息层均采用工业以太网构架），依托于 EcoStruxure 先进的技术，以满足光热电厂超大的即时信息采集处理及极高的安全可靠性能以及测控的高精度要求。

- 1) 在超大的即时信息处理方面：由于采用了工业以太网技术，在数采数控的速率方面就达到了最低百兆。倚靠 EcoStruxure 先进的技术在数据建模及网内、网际等通讯机制上采用优化宏等等模式，完美实现数据、命令的真、准、快。
- 2) 在安全可靠方面：由于光热电厂自身熔盐、导热油的高温特性，熔盐冷却后不可逆的设备损伤，必须更换特性，相关过热回路设备的多杂特性，高安全、高可靠是整个光热电厂的重中之重。国外吸热器融堆后镜场损伤过半的案例，热罐受热不均破损漏盐等等案例历历在目，需要中国引起重视。本方案依托工业互联网的性能优势，为电厂的安全测控，事故预防，事故追忆，应急机制，事故及时处

理提供了全面保障。

3) 测控高精度方面：聚光（散焦）准确性、快速性对于整个发电厂的发电效能（安全保护）是极其重要的。由于采用全以太网方案，设备级一次测量及控制在每帧速率上完全不存在总线通讯的速率，布局等瓶颈，并且抗干扰能力非常强。

4) 在电厂以后扩容方面：全以太网方案，可以方便的“以搭积木”方式快速实施。

在镜场每个 LOC 的控制网络采用超五类线，在镜场区域控制节点采用多模/单模光纤与上层 Level2 级网络链接。在 Level2 与 Level3 层级及以上层级均采用光纤链接的方式。如此方式的系统构架比传统的网络构架可以节省大约 1/4 的网络布线，及其相应的辅材附件以及大量的人工时。

镜场由于系统构架分区与实际物理分区存在高度的关联，并且发电岛与太阳岛以储换热做为系统的分界，依托工业以太网的构架，可以快速的扩容，并且在更换维护上实现即插即用的便利性。

3.3 网络拓扑设计(全以太网冗余构架，控制层百兆环网，信息层千兆环网，RSTP 环网构架)

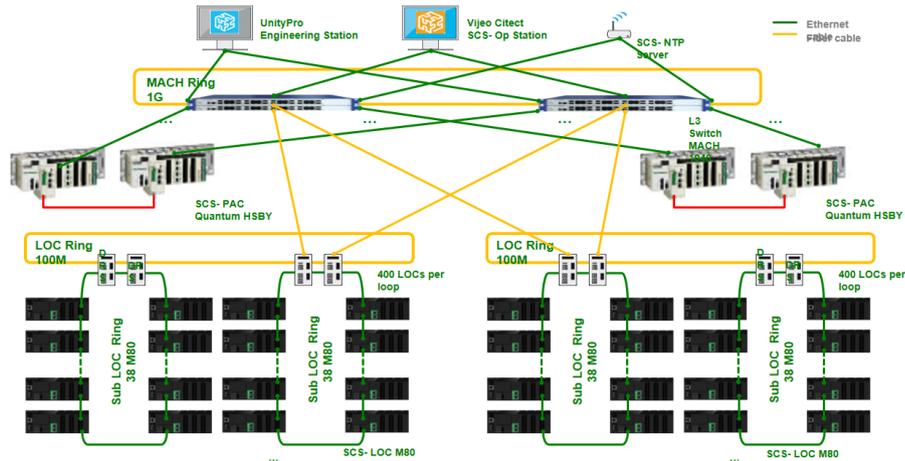


图 4 全方位网络拓扑解决方案

光热解决方案的网络拓扑结构：

- 1) 在设备 LOC 层采用 RSTP 机制的工业互联网环网构架。避免局域网中的网络环回，解决成环以太网网络的“广播风暴”问题，可以消除由于失误或者意外带来的“死循环”连接（环路网络中的增生和无限循环）。也提供了为网络提供备份连接的可能，可与 SDH 保护配合构成以太环网的双重保护以及极快的收敛速度。
- 2) 在 SCS 层采用 VRRP 边缘网络控制技术，支持特定情况下 IP 数据流量失败转移不会引起混乱，允许主机使用单路由器，以及及时在实际第一跳路由器使用失败的情形下仍能够维护路由器间的连通性，解决了局域网中配置静态网关出现单点失效现象。VRRP 还提供了优先级抢占策略，照 IP 地址大小顺序选举，高优先级的备份路由器便会剥夺当前低优先级的主控路由器而成为新的主控路由器。在安全方面，提供了两种安全认证措施：明文认证和

IP 头认证。

- 3) 在太阳岛层级采用 MRP 技术。在环网型拓扑构架中可设置多个主站，实现了通讯链路的冗余与通讯设备冗余的结合。其兼容节点可以是兼容交换机也可以是终端结点。每个兼容点都可以监测或恢复交换机内部的链路故障，也能够检测或恢复相邻节点的故障，实现了快速的网络恢复。
- 4) 在设计网络构架的时候，为了保证控制的速度及精度。需要充分考虑到上下行数据量、命令组、各种工况以及网络负荷量，需要分散设置服务器以及定义各个冗余服务器、控制器的主要功能以及次要功能。充分模拟级计算网络最大负荷以及各种极端情况。
- 5) 由于光热电厂的工艺类型很多，规模及场地也不尽相同，所以更迫切需要在工程实施前的充分论证及实验。本公司在上海张江研发中心搭建了一套光热测试平台，不但服务于国内外的商业化项目论证也充当各种新型工艺构架及特殊需求的实验论证。

3.4 功能设计

整个光热电厂按照功能或者按照储换热系统为界分为两个区域：太阳岛及发电岛。储换热系统一般归为发电岛部分。

镜场部分按照区域划分若干个片区，每个片区里分控各个定日镜/集热器。以以太网环形链路的方式接入核心交换机。每个

定日镜/集热器的控制策略/模式均受 SCS 控制系统（镜场控制系统）统一调度管理比如大风模式、紧急散焦模式、校准（塔式）模式等等。气象站等子系统挂接在 SCS 系统上。

发电岛以及储换热系统均由 DCS 系统控制，其中储换热系统使用三重冗余控制系统。

发电岛，储换热系统与镜场控制集联至中控室形成统一控制平台。

运行人员通过键盘、鼠标等手段发出的任何操作指令均在 1 秒或更短的时间内被执行。从运行人员发出操作指令到被执行完毕的确认信息在 LCD 上反映出来的时间在 2 秒内。

在数据流设计方面，由于 LOC 的数量很多，在考虑高速度的同时又要兼顾安全性。所以 LOC 与 SCS 以及 SCS 站内各个平行系统的数据交互需要精确设计，遵循数据负荷的分散，冗余原则。

在网络构架方面，尽量减少层级，扁平化。

3.5 安全及可靠性

本解决方案已经经过很多商业化电站的验证，在业内口碑很多。同时使用了本公司先进成熟可靠的一系列产品，在产品及网络设计的时候充分考虑了冗余性，及纠错性。所有控制器，网络，电源以及服务器等等全部采用冗余设计方案。在储换热系统使用三重冗余控制系统。

采用优化型 RSTP 环网技术；VRRP 边缘网络控制技术；MRP 技术，在满足安全可靠的同时，带来检、测、控速度的飞跃！

在信息安全方面通过了国际上及国内的权威认证。通过 Achilles 网络安全认证 (Level2)；符合 IEC62443 / ISA99；通过中国电力科学研究院关于信息安全的测试。

在工程设计之初就考虑到网络安全的设计，做到边界防护，安全域服务器，集中管理，监控预警，故障恢复，日志追溯，安全更新等等。

3.6 塔式光热电厂 Aiming 策略优化

最大限度地提高总的热输出和摄入潜力，实现均匀的吸热器温度，降低热应力并延长吸热器寿命。最大限度地加快吸热器预热时间，使电厂更快的启动。



图 5 三个不同的季节和时间

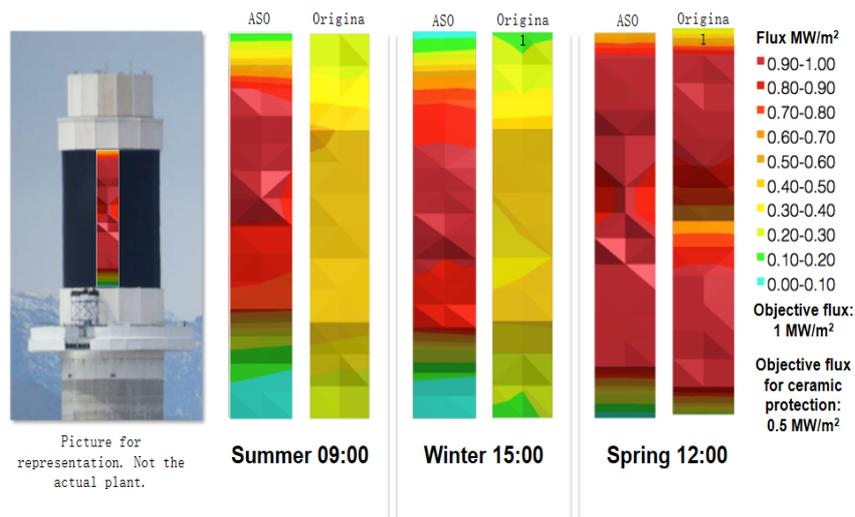


图 6 使用优化策略与常规控制的比较

4. 成功案例

作为全球光热发电控制系统的领导者，已积累大量槽式、塔式商业化项目的成功案例，如摩洛哥的 NOOR II&NOOR III，西班牙的 Gemasolar 等等。

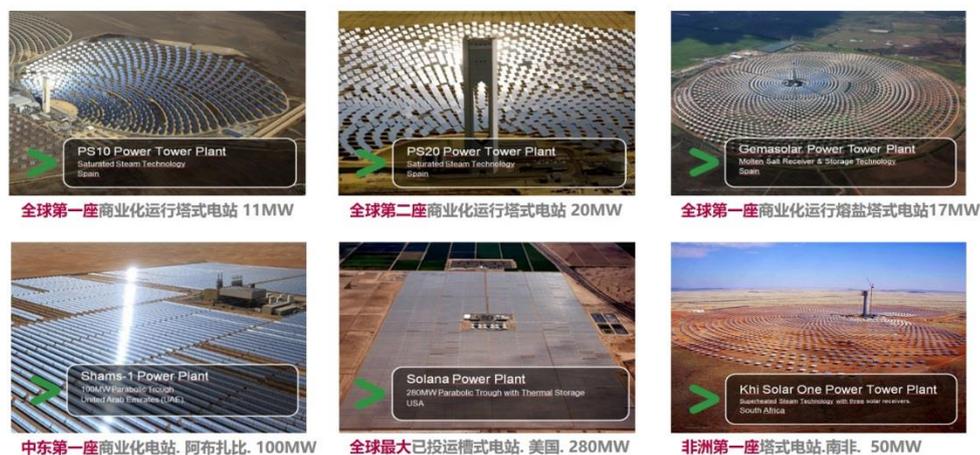


图 7 标杆性成功案例

1) 摩洛哥 NOORo II 光热工程

- 槽式导热油 200 MW (1700 集热器): 太阳岛 1700 套 MC80 + 6 套 M580 HSBY+ Citect Scada
- 发电岛及储换热系统: 8,900 IO, PES (5 套 M580)

HSBY) + 207 IO, Triconex

2) 摩洛哥 NOORo III 光热工程

- 塔式熔盐 150 MW (7400 定日镜): 太阳岛 7400 套
MC80 + 35 套 M580 HSBY + Citect Scada
- 发电岛及储换热系统:7,800 IO, PES (4 套 M580
HSBY) + 492 IO, Triconex

3) 西班牙 Gemasolar 塔式项目

- 世界上第一个采用塔式接收器和熔盐储热技术的商业
规模工厂, 技术具有开创性及独特性, 开辟了新的太
阳能发电技术的方式。
- 额定功率:19.9MW; 年发电量:80 GWh/year; 太阳
岛:2,650 个定日镜。