

[数字化转型]

H公司分布式光伏市场开拓及运营提升的数字化转型思考

文/邓映翠 陈嫣然 李军
中核汇能有限公司

以能源央企H公司推进分布式光伏电站管理平台实施为例，详述企业数字化历程中如何在分布式光伏这一细分领域，利用数字化手段提升分布式光伏业务开拓、有序保障工程建设、实现无人值守等目标，并且以试点省公司由点到面进行推广，为集团型能源企业在分布式光伏业务领域，提供业务标准化、数字化转型等经验。

近几年，在“双碳”政策背景下，国内的新能源央企纷纷进军分布式光伏领域。由于分布式光伏项目存在建设周期短、项目小、多且分散、项目类型复杂多样、建设转运营频次高、项目参与主体众多、绝大部分项目建成后采用无人值守的方式运行和缺乏高效的后期运维管理等特点，且这类能源企业自身便存在诸如公司组织层级复杂、业务参与主体众多、分布式类型多样和业务流程未标准化等问题，故而在市场开发、生产运营等环节，以上企业面临更大的挑战，亟需数字化手段作为业务变革的抓手，进一步提高分布式光伏业务市场开发、工程建设以及安全运营的质量和效率。

H公司作为近几年进军新能源开发领域的后起之秀，如何以投资方视角管控公司复杂层级下的分布式光伏资产，秉承集约化原则实现分布式战略发展下数字化转型工作，意义重大。当前各省级公司建设系统，标准不一，技术选型层次不齐，且后续面临整体运维效率低、集约运营效率低下的问题。立足H公司的集约化能力共享平台，提炼标准化服务，沉淀内部数据及生产运营能力提升模型，制定发布标准化多场景数采接入方案，构建内部集约平台服务体系，成为匹配当前公司分布式光伏战略发展的重要任务。

背景

H公司结合分布式光伏电站“小”“散”“乱”“杂”等特征，且目前国内各种厂家的系统往往只覆盖电站生命周期的某一段阶段，无法做到全生命周期覆盖。早前投资分布式电站的公司大多为纯投资建设公司，他们都自己做经销商（EPC），所以层级架构多为单EPC方，然而H公司更侧重于资产管理，既要管理EPC，还要实现自己层级架构下的资产管控；另一方面，一些国有企业重点侧重于监控管理，主要侧重于实现诸多分布式电站的集约运维管理，却缺少前一段投资、商机、建设和验收等管理。为确保电站在25年以上时间里的高效运行，H公司亟需构建一套覆盖从电站建设到后期运维全生命周期的先进业务数字化管理平台，涵盖分布式电站从场站信息收集、项目建设、项目验收，以及电站投产后的监控、运维全过程，且立足投资方视角的分布式光伏管控平台，采取5G+物联网技术，实现电站数据采集、设备监控、电量分析和运维管理等功能。

蓝图设计思路

1. 产品架构设计

如图1所示，H公司分布式光伏电站管理平台（下文简称分布式光伏电站管理平台）由资产溯源管理模

块和监控运营管理模块构成，模块间集成关系主要包含：电站的自动创建、物料信息同步和计算电费发电量信息同步等，平台整体支撑H公司组织架构下多层级独立业务开展。整体架构如图1所示。

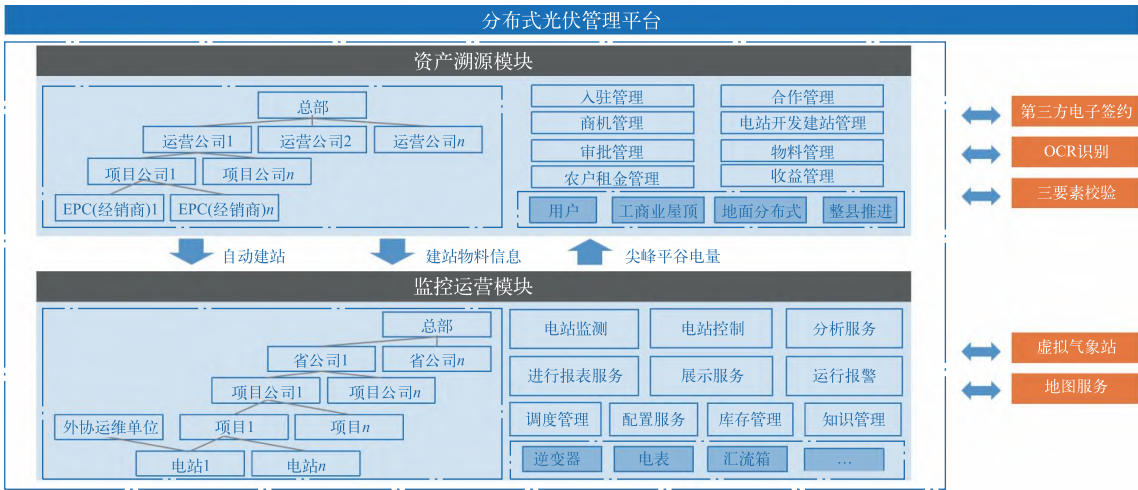


图1 H公司分布式光伏电站管理平台架构设计图

2. 架构部署及网安规划

系统部署如图2所示，整体采用高可用设计，可自动屏蔽故障节点，具备故障自愈能力，同时具备高可扩展性，服务去中心化设计，横向弹性扩展能力，能应对突发情况。其中网络安全整体架构如图2所示，主要通过以下三点实现网络安全基本保障。

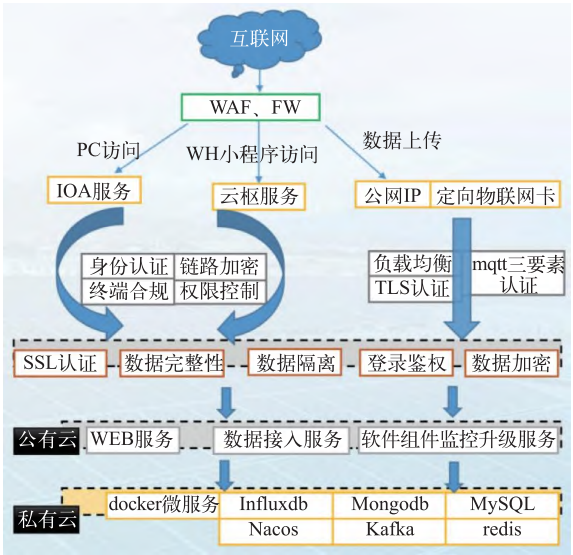


图2 H公司分布式光伏电站管理平台部署图

- 1) 部署在混合云，通过WAF、FW，叠加IOA、云枢安全防护以及身份认证和合规校验，保障边界安全。
 2) 通过SSL、数据隔离、登录鉴权和链路加密等措施保障数据安全性，并且通过云枢的链路加密

及物联网卡的IP绑定，保障IOT平台的设备数据定向传输至指定平台。

3) 最底层的防护：依托混合云，数据相关服务部署在私有云，对外服务部署在公有云，实现主机隔离。

3. 资产溯源模块设计思路

资产溯源模块涉及基础模块（客户管理、用户组织权限和审核管理等）、基础的产品配置和合同管理、商机管理和项目开发建设管理（包含用户场景、工商业场景等）、进销存物料池管理、财务账单管理、以及对接三方的服务。依托客户管理、组织权限管理和审核管理等基础能力，覆盖商机管理、项目管理、合同管理和资产管理等，同时与外部系统集成，提升项目管理效率，目前集成外部有OCR、电子签章和身份验证，模块架构设计如图3所示。

客户管理模块主要针对分布式光伏项目全生命周期涉及的公司内外部组织架构管理维护，功能涵盖运营公司（省公司管理）、项目公司管理、EPC管理、EPC自助入驻和项目公司-EPC签约管理；商机管理模块主要用于收集记录分布式项目前期线索，为开展投资建设提供参考依据。功能涵盖运营公司商机录入、EPC商机录入、运营公司商机审核、运营公司商机跟进、运营公司商机关闭、运营公司商机分配、运营公司商机转项目、运营公司分配商机和商机关联项目；电站开发管理模块对不同

类型的分布式光伏项目工程建设、验收进行全过程、多节点管理，功能涵盖户用电站开发管理、工商业电站开发管理、地面电站开发管理、EPC录入电站开发信息和运营公司审核；能源合同管理模块对于分布式光伏项目涉及的租赁合同、电价合同进行管理，功能涵盖能源客户管理、客户租金/电费

合同管理和电价模板管理；财务管理模块功能涵盖包括业主租金账单、业主租金账单结算、工商业电费账单、工商业电费账单结算和工商业电费账单调整；进销存管理模块针对电站建设所需的物料信息进行维护管理，功能涵盖物料类型管理、采购物料明细。



图3 资产溯源模块架构设计图

如图4所示，资产溯源板块支持4种公司层级视角进行管理，包含总部视角（可以看到所有数据）、省公司视角（可以看到归属于该省公司的数据，同时对本省公司开展的业务进行基础信息配置和业务审核等行使管理职责）、项目公司视角（可以看到与该项目公司签约的所有EPC的业务数据，

承担本项目公司内的业务审核职责等）和EPC视角（只能看到归属该EPC的数据，业务资料录入，电站开发建站等）。总体而言，总部对应到省公司，省公司下辖多个项目公司，项目公司也有管理权限，可以实现数据隔离，项目公司间数据不穿透，权限可以进行上提下放，灵活操作。

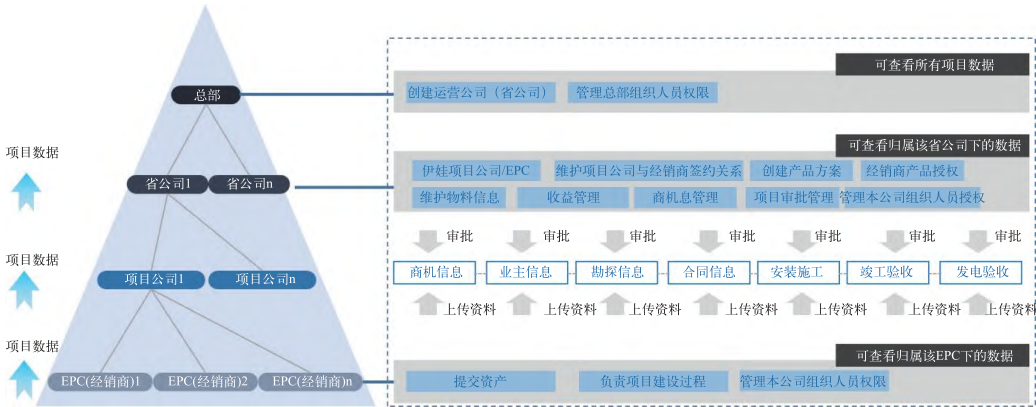


图4 资产溯源模块权限矩阵设计图

4. 监控运营模块设计思路

监控运营模块如图5所示，主要由设备、设备接入中心、账号管理中心、监控运维前台、运营管理

后台及展现层组成，涉及5+1管理结构、多位监控体系、运行日报服务、智能分析服务、知识管理、库存管理、监控运维闭环和精准警报服务。

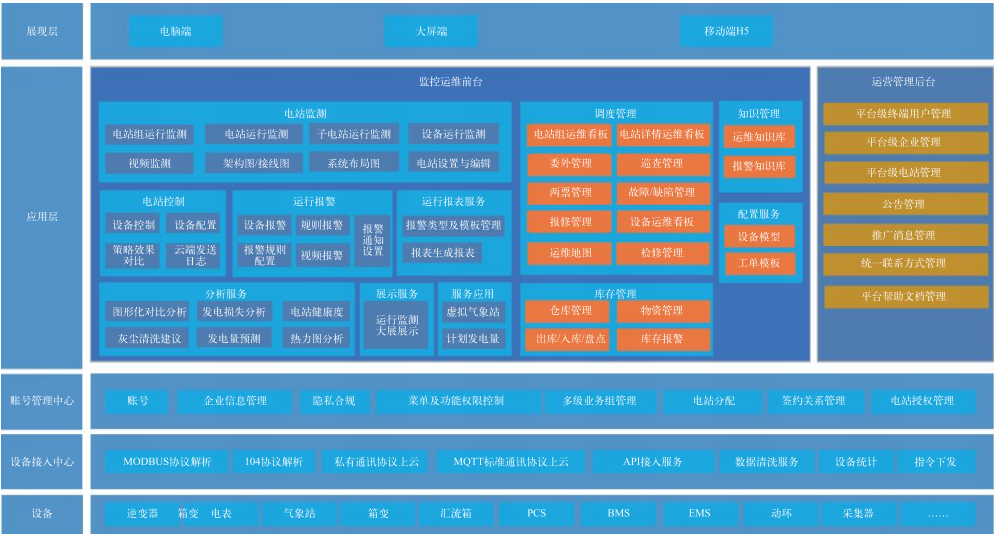


图5 监控运营模块架构设计图

“5+1”管理结构即为“总部-省公司-项目公司-项目-电站”5个业务层级+通过签约管理进行电站运维授权的外部运维单位，这一整体架构如图6所示。功能涵盖企业内部员工管理、企业信息编辑、菜单及功能权限控制、多级业务组管理电站分配和签约关系管理电站授权管理；多位监控体系功能支持对接入逆变器、电表、汇流箱、气象站和视频监控摄像头等设备数据进行全景实时监控，功能涵盖电站组运行监测、电站运行监测、子电站运行监测、设备运行监测和控制、整县推进项目视角；运行日报展示基础信息、发电信息、设备情况和报警明细等多种数据，并支持不同层级查看视角定制化报表，涵盖电站运行日报、项目运行日报、省公司运行日报和总部运行日报；智能分析服务在平台获取到的分布式项目数据基础上，基于先进模型算法

提供多维度电站运营优化建议，功能涵盖图形化对比分析、发电损失分析、电站健康度、灰尘清洗建议、虚拟气象服务和热力图分析；知识管理旨在沉淀电站运营运维过程中产生的经验总结，为用户提供运维知识学习渠道。功能涵盖运维知识库、报警知识库；库存管理涵盖仓库管理、物资管理、出入库/盘点和库存预警；监控运维闭环管理起于监控，设置规则报警，判断后发起外委工单，通过签约派工流转至外协人员，消缺完毕后修改报警状态，实现闭环。功能涵盖故障/缺陷管理、检修管理、巡检管理、委外管理、运维地图和两票管理；精准报警服务支持设置报警规则，报警范围覆盖多场景多维度事件，过滤重复设备报警，可进行逆变器组串级别精准检索。功能涵盖设备报警、规则报警、报警规则配置、视频报警和报警通知设置。

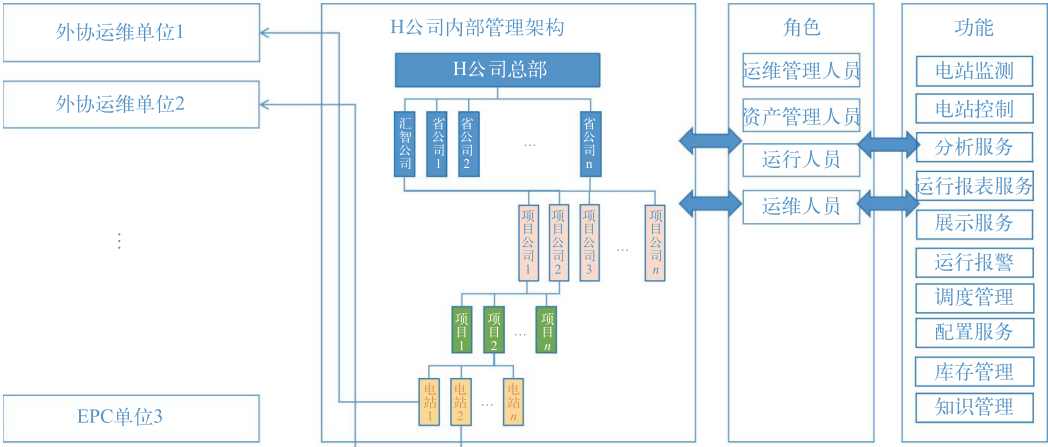


图6 监控运营模块权限矩阵设计图

电站接入实施标准化

结合各省公司场站的实际建设情况和数据采集诉求，笔者参与制定了H公司不同场景下分布式光伏电站接入方案及标准，初步搭建验证可行且适用的服务体系，沉淀内部机构数据采集、接入及数据分析能力。通过为H公司内部不同省公司下辖电站接入平台提供标准化服务，提升分布式数据采集的整体效率及经济性。

1. 户用电站接入

若电站现场环境为农户屋顶，主要生产设备为光伏板、逆变器，并网电压等级一般为380 V，推荐使用如下方式进行接入。如图7所示，此方案主要采用采集棒进行数据采集，可通过逆变器自带采集棒，升级适配平台协议后上传数据至平台。也可更换逆变器采集棒，使用由H公司定制的采集棒，数据直传至平台。

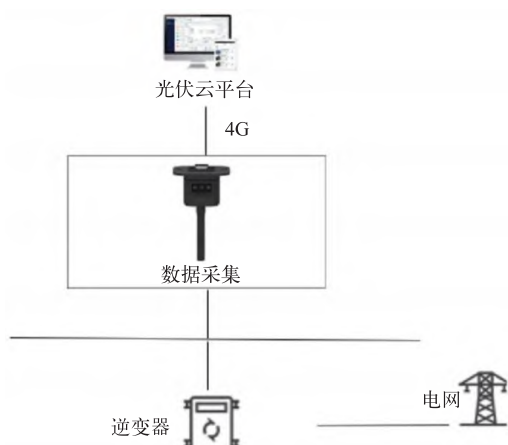


图7 户用电站接入平台方案

2. 小型工商业电站接入

针对并网电压等级10 kV及以下，未接入电网调度且无本地电力监控系统，生产相关设备相对集中，工程阶段已将各设备通信接口汇集的小型工商业电站，建议采用此种接入方案，如图8所示。本方案主要使用采集终端设备，通过通信汇聚点直接采集数据。

3. 分散式工商业电站接入

如接入场景为电站并网电压等级在380 V~10 kV，未接入电网调度且无本地电力监控系统，生产相关设备相对分散无法集中采集，每个生产设备均需配置单独的采集器，建议采用图9所示方案接入。主要采用采集棒+导轨采集器+红外终端等设备，通过采集器

单独采集各设备数据，上送平台，接口含串口、网卡，规约主要为IEC104、MODBUS。



图8 小型工商业电站接入平台方案

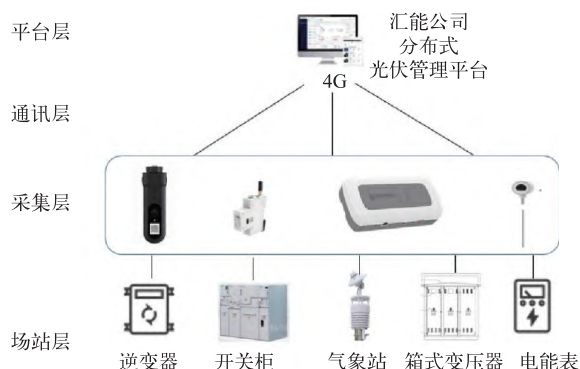


图9 分散式工商业电站接入平台方案

4. 中大型工商业或地面电站接入

针对并网电压等级10 kV及以下，接入电网调度，有本地电力监控系统且系统已接入生产设备，网络安全防护需满足二次安防要求的电站，建议使用如图10所示方案接入平台。此方案主要使用采集终端+网闸+传输终端作为采集设备，通过本地电力监控系统转发数据，采集接口主要为网口。

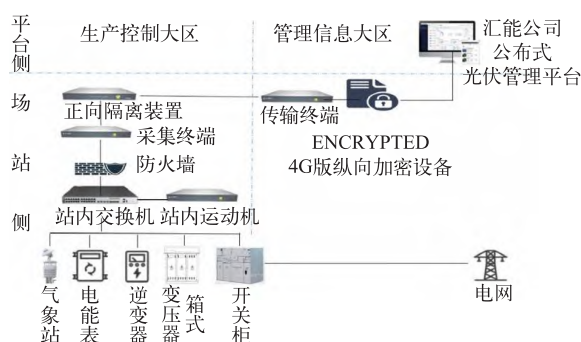


图10 中大型工商业或地面电站接入平台方案

实践创新点

H公司从技术、产品、模式和应用等几方面，提出了数字化转型赋能的关键创新点，依托分布式光伏电站管理平台解决了H公司在分布式光伏电站开发建设运营等过程的业务管理痛点。

1. 产品创新

分布式光伏电站管理平台集项目信息、设计单位信息、设计方案、EPC施工记录、现场设备信息、项目验收、光伏资源分析、数据监控、电站运维和报表管理等功能于一体，填补了目前市场上缺乏资方视角下分布式电站资产从场站信息收集、项目建设、项目验收，到电站投产后的监控、运维全过程的数字化管控平台空缺。平台通过流程节点设置，保证公司内外多种角色充分参与分布式项目投资开发、工程建设，保障重要过程数据及时流转及线上留存，通过信息化手段提升分布式光伏项目开发管控力度；平台能够实时监控各种能源设备的运行情况，通过监控发电设备以及光伏发电情况预测，可以实时发现设备异常、评估电站发电效率和投资回报率，促进企业管理水平提高及运营成本降低。

分布式光伏电站管理平台产品架构支持千万级设备同时接入，可满足海量数据的深入分析与挖掘；工业数据零转换，高压缩比，实时数据时序严格一致；基于历史数据、环境数据、生产经营数据和负荷预测模型，优化用电能效；为电站提供监控、结算、运维、托管和增值服务等营维服务。

2. 技术创新

1) 分布式光伏电站管理平台通过链接框架安全快速地对分布式电站各类电力设备进行数据采集、清洗和分析，与云端交互，以及执行各种本地或云端优化控制策略。

2) 平台提供基于AI的数据分析算法，构建应发电量、损发电量、负荷分析、设备性能、成本效益和节能评估等一体化数学模型，处于国际先进水平。

3) 通过RPC框架技术研究和选型，应用于平台分层框架，对平台组件进行改造逐步实现服务化，在业务应用组件中进行业务逻辑服务化，实现与界面展现分离，满足系统横向扩展要求。

4) 平台具备边缘计算能力，通过本地进行数

据清洗，保证本地计算实时性。采用云边协同计算可以脱机运行，保证在恶劣工作环境下稳定可靠工作，保证数据通信安全。

5) 支持灵活的数据切分与路由规则，通过分库分表、读写分离等功能，提供高可靠性、高可用性和高负载并发能力的分布式存储平台；面向新能源领域的创新服务平台具有高并发处理能力，能提供上百万设备同时在线，可随时弹性扩容，满足用户需求。

3. 模式创新

1) 通过“智能、高效、安全、可靠”的分布式光伏电站管理平台，在不增加客户投资的情况下，运用智能分析模块提升系统发电量、运营效率以及维护效率，增强系统安全性。平台创新引入SAAS服务如虚拟气象站，即便没有安装实体气象站也可获取当地辐照量，并通过模型算法计算理论发电量。虚拟气象站支持1个站点绑定多个电站，适用于整县推进项目，能够大大降低电站建设运维投入成本。通过光资源评估、发电量指标测算、健康度打分以及发电量损失分析模块，可协助资方发现电站在设计建设阶段遗留下的组件布置不合理，遮挡，低效设备等问题，并根据清洗建议进行处理，有限提升电站的发电量及运行效率。

2) 本平台是H公司内部首次采取物联网+5G技术的成功试验，为分布式电站接入平台多场景提供解决方案，为数据采集、传输摸索了一种经济、安全的建设方案，实现H公司分布式光伏电站设备数据自主可控。公司快速发展过程中，针对生产设备的实时采集、上传、数据解析和数据分析应用的场景会逐步扩展，此项目为公司内部扩大工业互联网建设和应用提供了良好实践。

3) 在兼顾H公司内部多层次组织架构及H公司外部运维公司平台使用需求的前提下，创新建立“5+1”管理结构，充分实现多角色多层次分布式资产管控。如图11所示，“5”即集团内部5层架构管理，包括总部-省公司-项目公司-项目4个业务层级，再通过电站分配功能将电站分配到具体的项目，实现全集团电站数据权限的准确区分，及自上而下的电站资产穿透管理，每个层级均可实现数据监控；“1”即外协运维单位，通过签约管理与外部运维单位建立签约关系，可将集团电站有选择地

授权给外部运维单位，同时通过签约方案管理可有效控制外部运维单位对集团内电站的操作权限和服务有效期，形成协同效应。

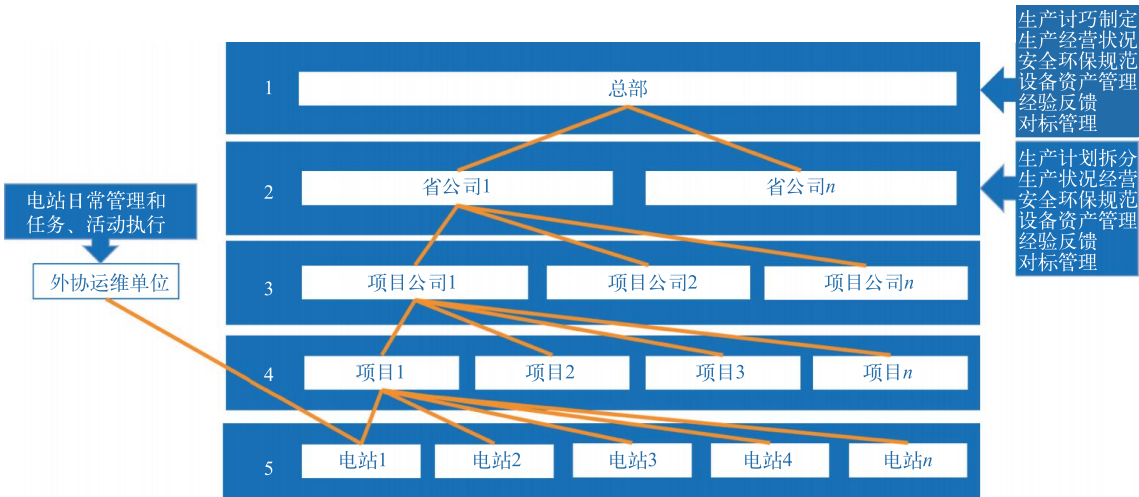


图11 “5+1” 管理结构创新

4) 平台通过建设整县推进项目视角，将整县推进类项目多维度层面上创新性进行数据化零为整，为宏观查看整县分布式项目情况提供入口，降低管理成本。整县推进类项目一般由大量分散的户用屋顶、工商业屋顶和党政机关屋顶等组成，如果每个屋顶光伏单独管理将使管理成本大大增加。针对这个场景，支持设置项目业务组视角，支持设置项目业务组的基础、卓越计划发电量，可对整县所有逆变器性能进行横向比较，快速排查问题逆变器，也可查看单个屋顶光伏电站的运行情况或导航到屋顶光伏所在地，监控运维两不误；同时能够导出整县项目日报，整体查看项目日发电情况及汇总设备、报警等信息。

5) 平台首创支持按电站、设备等多个对象设置规则报警，与当前市面上普遍的设备协议报警相比，规则报警可覆盖电站不发电、设备离线、逆变器离散率偏高、逆变器组串掉和逆变器组串电流偏低等多个场景，且支持按照设备报警持续时长、设备发电量和设备状态等多维度确认哪些设备报警值得被关注，减少90%以上的误报警现象。此外，规则报警能够实现逆变器组串级精确检索，大幅降低运维检修寻因成本。

6) 分布式光伏电站管理平台通过建立报警-工单-消缺标准化流程处理，将省公司运行人员、外部运维单位运维人员等多种角色联动起来，充分保障

报警处理的流程合理性与及时性，在H公司分布式光伏业务层面首次实现运维管理闭环。当监控中的规则报警被精确触发后，省公司运行人员可以确认为缺陷/故障，发出委外工单给外协运维单位，外协运维单位运行人员派发给合适的运维人员进行现场维修，运维人员接收工单并处理缺陷/故障，完成检修后上传运维报告，验证通过消除缺陷或故障，最终关闭报警。

7) 平台支持导入电站和设备的历史数据，如第三方平台具备开发能力，则可通过MQTT协议导入历史数据，系统借助重跑功能完成历史数据的导入；如果没有第三方平台或第三方平台不具备开发能力，则能通过人工导入的方式，一次性导入某个电站长达多年的历史发电量。以上模式可满足所有场景下电站及设备历史数据导入，在H公司分布式光伏业务层面首次实现存量电站与新建电站均可落入H公司分布式电站资产池进行统一管控查看。

未来展望

随着人工智能和大数据分析技术的快速发展，未来的数字化系统将能够更加智能化和自动化，H公司计划将智能算法和机器学习模型引入平台。同时考虑到未来数字化监控系统将在云和边缘之间实现智能的任务分配和数据传输，公司已联合国内设备厂家共同推进具有边缘计算功能的接入设备研发

以推出更匹配H公司业务特点的采集设备，支持断点续传等功能。

根据当前发展态势可以预见后续全国新能源装机量的增加及全国电力现货交易市场的逐渐建立，未来平台将新增储能、用能等模块，同时基于公司装机量的增加，依靠平台接入的电站数据适时开发电力现货交易模块。另一方面，随着平台的部署完成及广泛推广，可以协助各方获取更多商机，平台将纳入用户辐射更多的物业持有方、EPC方，进一步协助公司拓展分布式光伏业务的开展。

目前分布式光伏电站管理平台的应用主要侧重于H公司内部服务，现已形成一定规模。后续可基于已经形成的标准及技术创新，为外部单位赋能，可实现多方共赢模式。

结束语

本文以笔者亲自参与的能源央企H公司项目为例，立足资方视角下“投建运”分布式光伏项目的全生命周期中痛点，依据数据化手段提高管理效率。本文就平台产品架构、架构部署及网安规划、资产溯源设计思路和监控运营设计思路等方面详细介绍了介绍，从产品、技术和模式等角度列举平台创新点，并从集团型能源企业宏观角度出发提出平台提升设想。该案例解决了企业当前分布式业务管控

痛点，实现分布式业务标准化能力提升，为新能源企业探索数字化转型提供参考经验。**EA**

(收稿日期：2024-04-25)

参考文献

- [1] 王文静，王斯成．我国分布式光伏发电的现状与展望[J]．中国科学院院刊，2016，31(2)：165-172．
- [2] 戚聿东，杜博，温馨．国有企业数字化战略变革：使命嵌入与模式选择——基于3家中央企业数字化典型实践的案例研究[J]．管理世界，2021，37(11)：137-158+10．
- [3] 舒继武．小型水电站自动化无人值守运行的应用分析[J]．中国新技术新产品，2019，(20)：7-8．DOI：10.13612/j.cnki.cntp.2019.20.005．
- [4] 荆奇．低碳经济背景下的新能源开发和利用[J]．中国石油和化工标准与质量，2022，42(24)：116-118．
- [5] 魏永升，苏晓晖．世界新能源开发利用现状及发展趋势[J]．农业发展与金融，2009，(11)：29-30．
- [6] 陈伟林．浅谈分布式光伏电站EPC模式下的项目管理[J]．上海节能，2023(6)：846-849．

