



国家电网
STATE GRID

新形势下 农村配电网 智能化发展方向

中国电机工程学会农村电气化
专业委员会自动化学组
南瑞配电分公司
2020年3月

南瑞集团有限公司
NARI GROUP CORPORATION



一

新形势下农村配电网面临的挑战

二

农村配电网智能化发展方向

三

总结和展望



01

新形势下农村配电网面临的挑战



2018

中发〔2018〕1号 《中共中央国务院关于实施乡村振兴战略的意见》：大力发展数字农业，实施智慧农业林业水利工程，**推进物联网试验示范和遥感技术应用。加快新一轮农村电网改造升级。**

2019

中发〔2019〕1号 《中共中央国务院关于坚持农业农村优先发展做好“三农”工作的若干意见》：**提出全面实施乡村电气化提升工程，加快完成新一轮农村电网改造，并要求推进田水林路电综合配套，夯实农业基础。**

2020

中发〔2020〕1号 《中共中央国务院关于抓好“三农”领域重点工作确保如期实现全面小康的意见》：**加大农村公共基础设施建设力度，完成“三区三州”和抵边村寨电网升级改造攻坚计划。**



➤ 新时代电力市场化改革



建设能源互联网，实现绿色低碳发展



国家电网公司发布《关于服务乡村振兴战略大力推动乡村电气化的意见》，要求**服务乡村振兴战略大力推动乡村电气化**。2020年，毛伟明董事长提出**全面深化改革奋力攻坚克难突破，加快建设世界一流能源互联网企业的长远发展的战略目标**。

国家电网有限公司文件

国家电网办〔2019〕45号

国家电网有限公司关于服务乡村振兴战略大力推动乡村电气化的意见

总部各部门、各分部，公司各单位：

为深入贯彻习近平新时代中国特色社会主义思想 and 党的十九大精神，认真落实《中共中央 国务院关于实施乡村振兴战略的意见》和国家《乡村振兴战略规划（2018年-2022年）》，充分发挥电网基础作用和央企表率作用，大力推动乡村电气化，促进乡村能源生产和消费升级，为服务乡村振兴提供坚强电力保障，现提出如下意见。

一、总体思路和目标

（一）总体思路

以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，认真落实党

国家电网有限公司文件

国家电网办〔2020〕1号

国家电网有限公司关于全面深化改革奋力攻坚克难突破的意见

总部各部门、各分部，公司各单位：

2020年是全面建成小康社会和“十三五”规划的收官之年，也是公司三年战略突破期的关键一年。在经济下行压力加大、外部环境深刻变化的复杂形势下，全面深化改革具有特殊重要性和现实紧迫性，是破解公司各领域发展难题的金钥匙。公司必须紧紧抓住改革窗口期，奋力推进改革攻坚，实现全面突破，在持续推进供给侧结构性改革、实现“稳增长、调结构、惠民生”、支持经济高质量发展等方面作出更大贡献。

一、深入推进改革攻坚的总体思路和主要目标

（一）总体思路





农村电网的发展趋势

传统电网向能源互联网演进：

配电网是能源互联网的重要基础，是影响供电服务水平的关键环节。随着电动汽车、分布式能源、微电网、储能装置等设施大量接入，以及电力市场开放和各种用电需求的出现，对低压配电网的安全性、经济性、适应性提出更高要求。

传统配电网



能源互联网



以分布式光伏发电装机容量为例：

2016，1032万千瓦
2017，2966万千瓦，增长达
187.4%。
2020，6000万千瓦，比17年翻倍

来源：国家能源局发布《能源发展“十三五”规划》



农村电网现状及挑战

农村配电网作为供电服务的“最后一公里”，直接面对客户，具有**管理需求变化快，管理设备规模大，服务要求高**三大特点。



需求变化快

低压配电网直接面对客户，管理需求变化快，涉及专业部门多，由于缺乏顶层设计，存在重复建设、频繁改造、原则不统一的问题，各系统、设备间接口标准、通信规约存在差异，互联互通性较差，无法形成整体优势，造成大量经济资源、数据资源浪费。



管理设备规模大

随着管理要求的不断提升，配电台区的功能呈现多样化和智能化的趋势，接入的信息和设备也成倍增加，涉及配变状态监测、无功补偿、漏保开关、电能表、分布式电源、电动汽车充电桩等10余种类型，若按照传统方式进行集中监测管控，将对人员运维、通信传输、主站系统信息处理等方面带来较大压力。



服务要求高

按照以客户为中心的服务理念，低压配电网作为供电服务的“最后一公里”，自动化、信息化、智能化水平不高，现有资源配置能力无法满足快速变化的业务服务需求，尤其是“电能替代”、分布式电源、电动汽车等外部环境变化，对电能质量、供电可靠性提出了更高要求



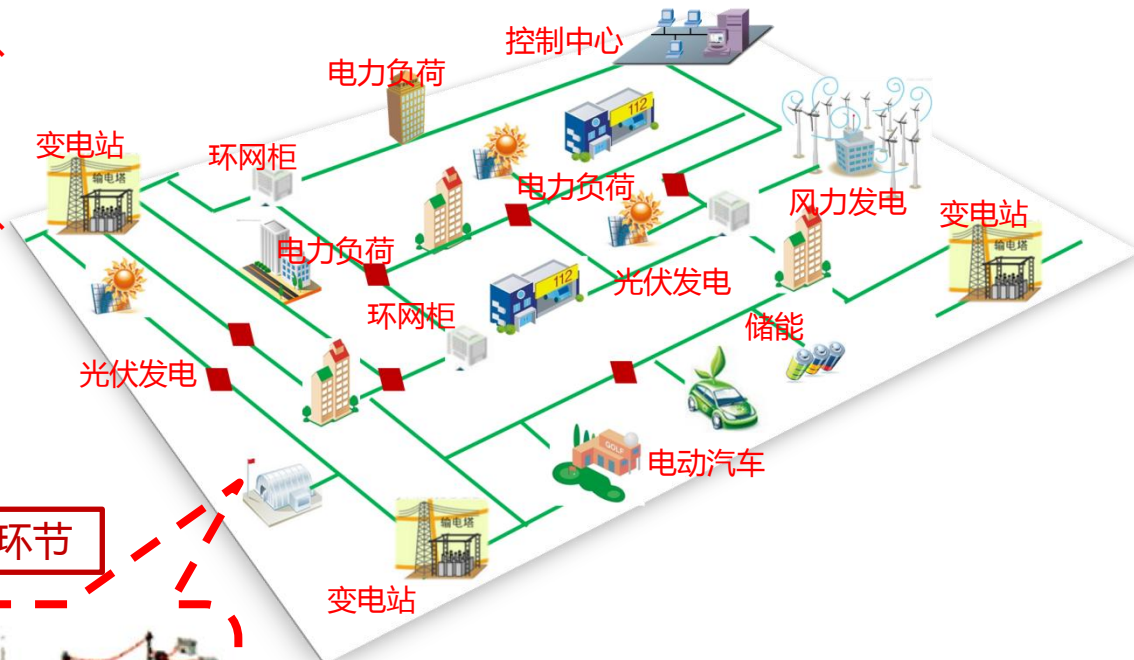
02

农村配电网智能化发展方向

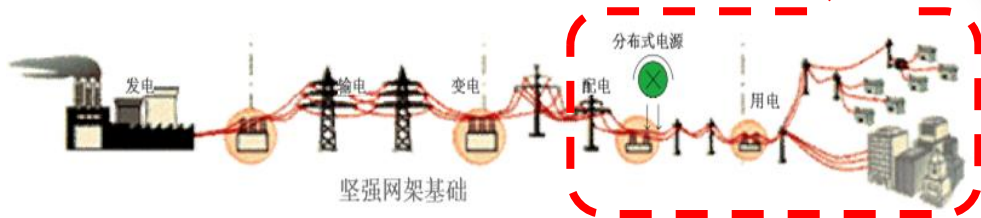


配电网智能化的内涵

配电网智能化是针对面临的现状及挑战，通过全面深化智能感知、大数据平台的数据融合和运维管控的自动化、信息化、互动化的高度集成，实现配电网的主动优化控制、灵活高效运维与科学管理决策，适应多元化负荷快速发展，满足客户服务多样化需求。



配电环节



坚强网架基础





配电物联网云化主站

数据驱动-决策层



开放式物联网云平台-平台层



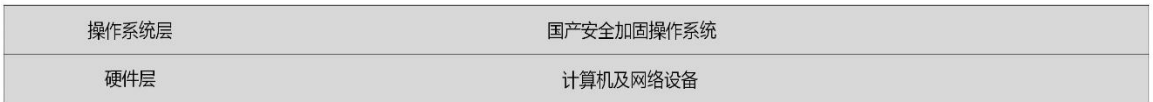
感知与自治-边缘层





▶ 新一代配电自动化主站

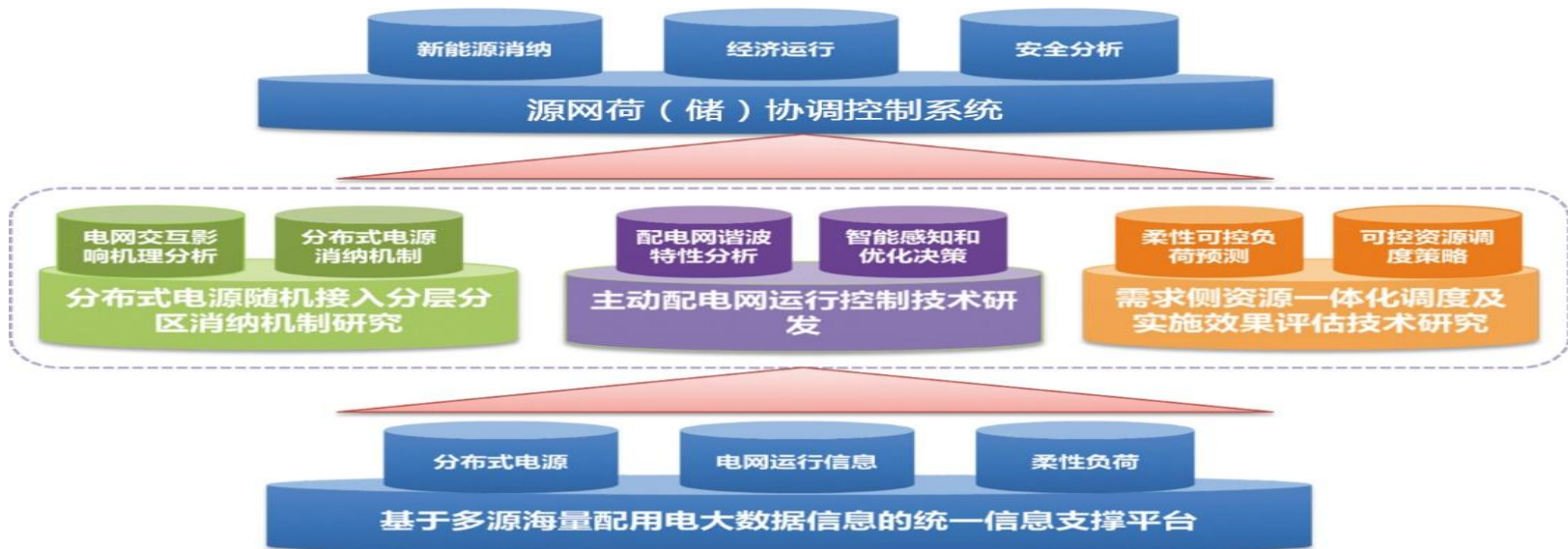
面向调度运行与维护检修**双重业务需求**，以配电网智能感知与控制管理的核心枢纽为系统定位，提升系统服务电网安全运行、调度控制、网架规划、设备改造、状态检修、故障抢修等业务的能力。





► 网源荷（储）协调控制系统

依托规模化分布式电源最大化消纳、主动配电网协调控制、需求侧资源优化运行、源网荷优化系统统一信息支撑等领域关键技术，解决分布式电源大规模接入不确定性对电网安全运行所带来的问题，提高电网对清洁能源的消纳能力，提高电网的供电可靠性，改善电网的电压控制水平，引导和优化用户用电方式，降低高峰负荷。





配网智能化运维管控

打造具备“可靠、灵活、互动、高效”特点的智能化运维管控体系，实现配网信息“全网、全程、（准）实时”的精益化高效运维管理。配电网能实时掌控关键设备的运行状态，在尽量少的人工干预下，及时发现、快速诊断和消除故障隐患，快速隔离故障、实现自我恢复，使电网具有自适应和自愈能力、提高设备的可靠性和利用率。

具备大数据特征

- 设备种类多：智能配电变压器、DTU、FTU、故障开关、架空线路、电缆……
- 数据类型多：带电/离线试验、在线监测、缺陷/故障数据、电网数据、气象、台账……
- 来源多：生产管理系统、能源管理系统、调度管理系统、智能巡检系统……
- 时间尺度多：当前、历史……
- 数据量大：TB、PB……
- 增长速度快：30T/年（省级电网公司）
- 有时限要求：数据可及时处理

纵向深化技术：基于营配调贯通成果的**大数据分析**技术；“运行管控、问题分析、过程督办、绩效评估”的全过程闭环流程管理方法；

横向协同技术：业务流程梳理与关键节点监控技术研究、跨专业业务的信息融合共享与横向协同技术。



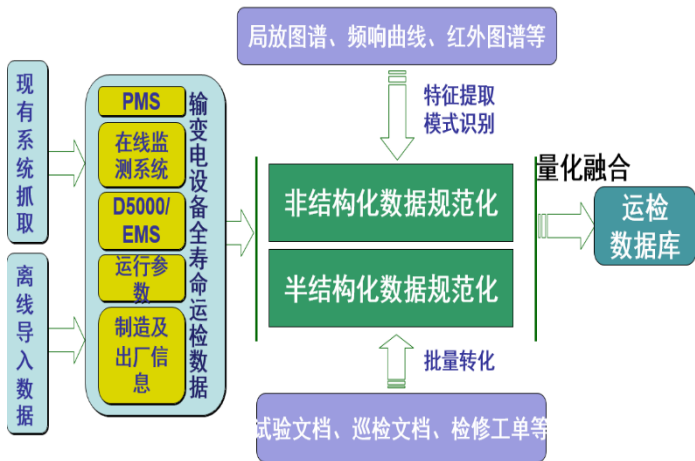
基于大数据的配网智能化运维管控

◆ 数据治理

- ❑ 设备运检数据的规范化建模、跨平台获取
- ❑ 异构数据的转换及量化融合
- ❑ 数据校验及无效数据智能剔除

◆ 评估指标体系

- ❑ 特征参量与状态间的表征规律
- ❑ 特征参量的优选
- ❑ 指标体系的建立

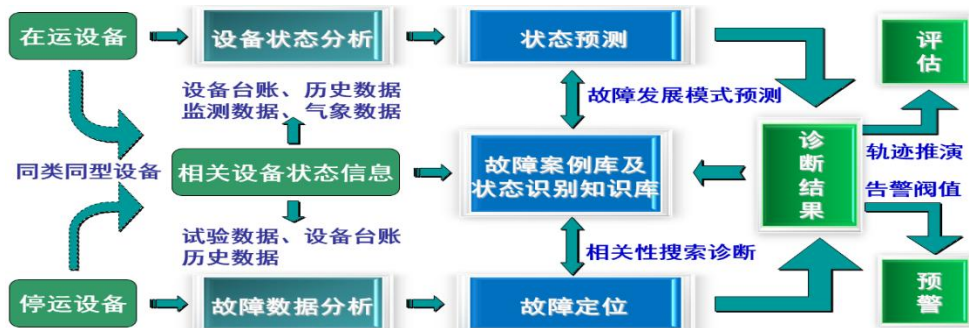




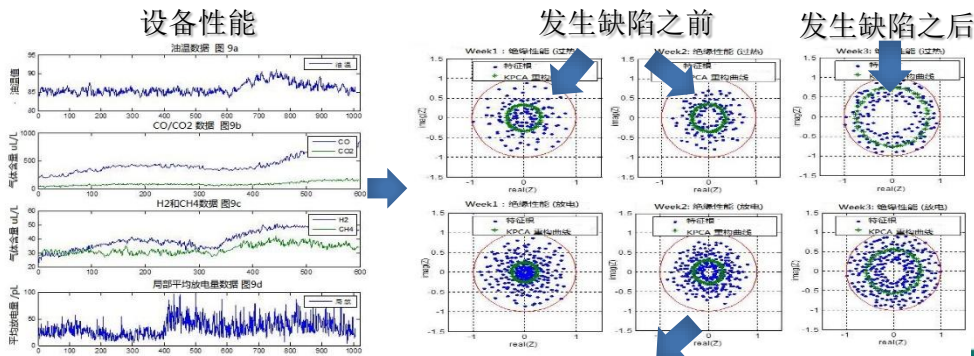
配电网智能化技术发展方向1

基于大数据的配网智能化运维管控

- ◆ 故障诊断和预测
- 故障诊断
- 特征参量预测
- 故障预测

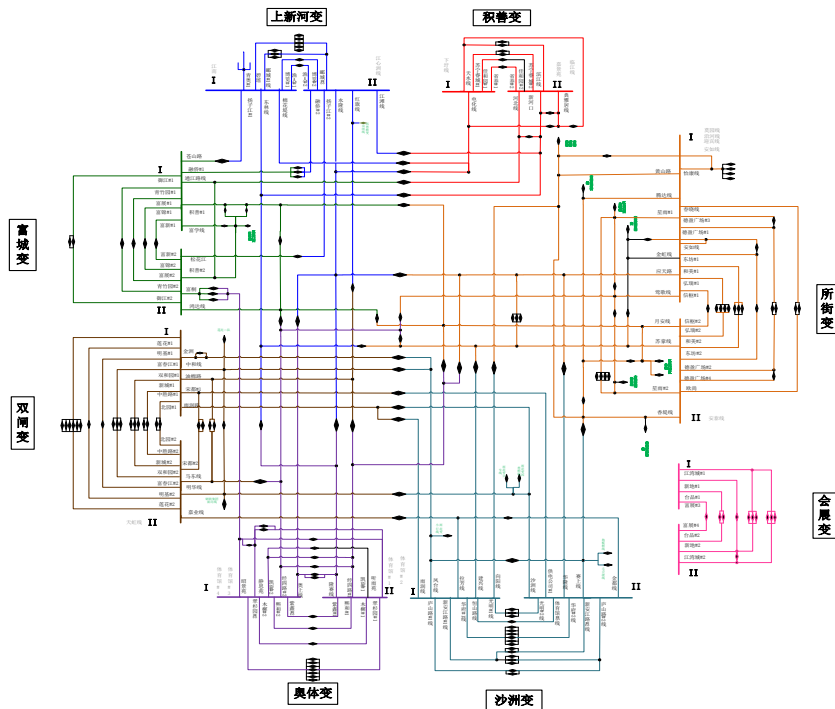


- ◆ 状态差异化评价
- 故障模式因果关系
- 差异化评价
- 故障概率计算



进行状态检修

配电网运行方式优化技术



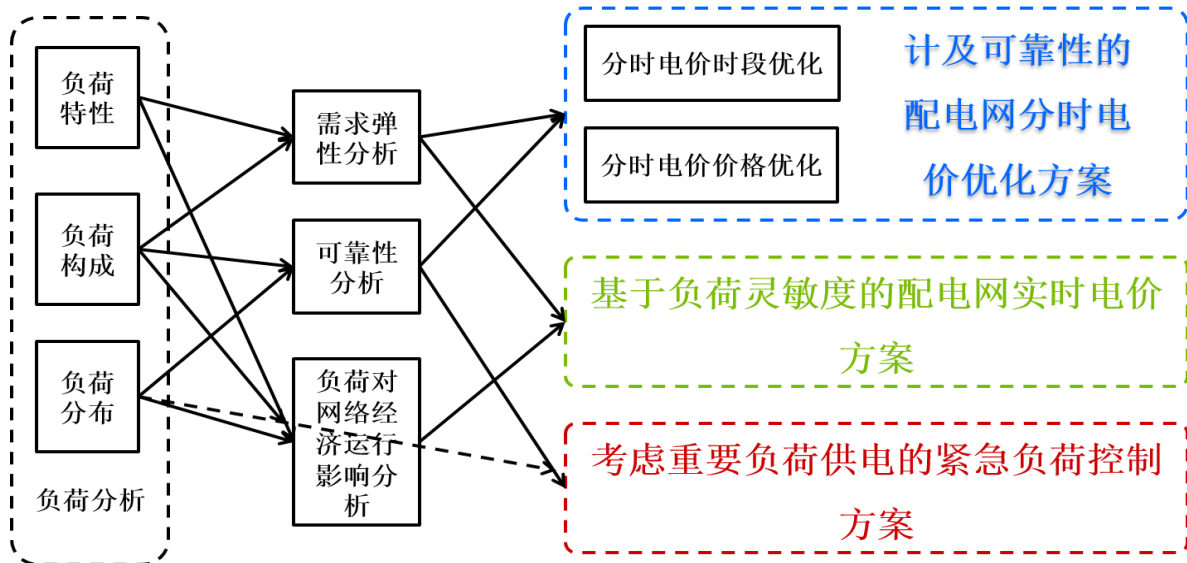
- 长期：基于供电能力分析确定负荷正常增长情况下的网络改造和新建方案及负荷转供方案，主要考虑**负荷均衡、降低损耗**
- 中长期：基于节假日、工作日负荷不同特性，给出变常态运行方式，主要考虑**降低损耗、提供供电质量**
- 短期：以日线损电量最低、电压偏移量最小、开关动作次数最少，提供提供多时段网络运行优化方案，**优先考虑供电质量，同时降低损耗**；
- 超短期：优先考虑**重要负荷供电**，并保证**电压质量**；
- 实时：考虑在出现故障情况下，快速隔离故障，**提高可靠性**



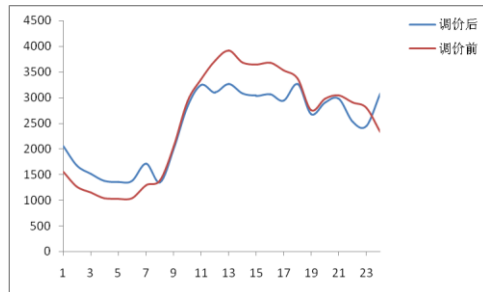
配电网智能化技术发展方向1

负荷优化调度技术

负荷资源化： 负荷构成具有多样性，调度空间大；基于分时电价优化对负荷资源可调性进行分析，通过负荷调度可削减高峰负荷、改善负荷分布特性，减少电网建设投资。



采用基于负荷用电弹性的智能配电网分时电价时段优化和价格优化方法和考虑能效及重要负荷供电的紧急负荷控制方法





配电网智能化技术发展方向1

输配协同分析

输配协同分析技术包含地区电网运行风险感知，电网故障综合研判、快速恢复供电以及一体化平台支撑，实现电网和配网运行方式高效可靠。

调配一体的检修计划

调配一体的合环校核

调配一体的培训仿真

调配一体的小电流接地区间定位

调配一体的停电范围分析

调配一体的潮流计算

调配一体的供电路径分析

调配一体的状态估计

【合环风险分析】

输配协同的在线合环风险分析方法，实现了全网一张图环路拓扑搜索及等值阻抗计算功能；建立了实用的合环冲击电流和转移潮流计算模型；实现了合环运行方式下主网环路设备N-1情况下配网馈线的潮流越限校核；实现了基于动态拓扑的环路可视化视图的直观展示。

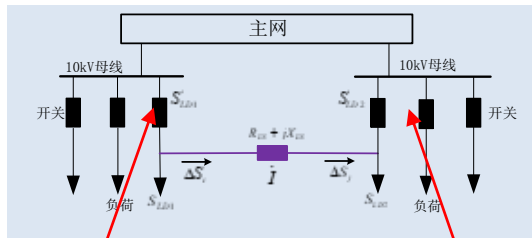
基于稀疏阻抗矩阵法计算端口阻抗

$$\begin{aligned}
 & Z_{NN} = 1/D_{NN} \\
 & \text{loop } i = N-1, \dots, 1 \\
 & \quad \text{loop } j = N, \dots, i+1 \\
 & \quad \quad Z_{ij} = - \sum_{k>i, U_{ik} \neq 0} U_{ik} Z_{kj} \\
 & \quad \text{end loop} \\
 & Z_{ij} = 1/D_{ij} - \sum_{k>i, U_{ik} \neq 0} U_{ik} Z_{jk} \\
 & \text{end loop}
 \end{aligned}$$

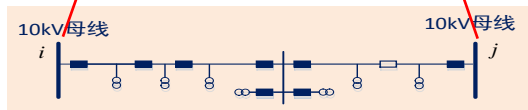
基于等值发电机理论计算冲击电流

$$i = \frac{U_m}{|Z|} \sin(\omega t + \varphi_u - \delta) - \frac{U_m}{|Z|} \sin(\varphi_u - \delta) e^{-\frac{R}{L}t}$$

合环潮流
等值模型



配网10kV
馈线模型





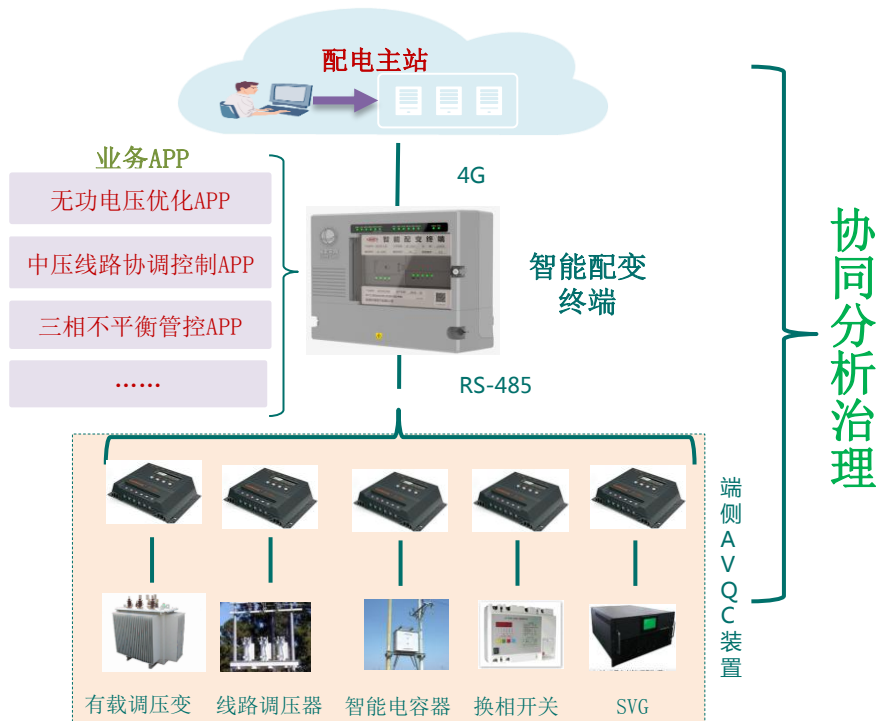
配电网智能化技术发展方向1

多级无功优化

配电网可调节设备通过RS485/232串口线接入智能配变终端，由智能配变终端就地智能控制并将数据经无线4G上传至主站软件。

主站软件负责全局分析监测，并提供运行监控、效果分析、报表查询等功能，同时基于PMS2.0系统和用采系统的大数据基础，支持对无载调压变、分布式电源升压变、配网电能质量（低电压、高电压、三相不平衡）等进行综合分析，定期给出问题原因分析和设备优化定值，极大的提高整体效果。

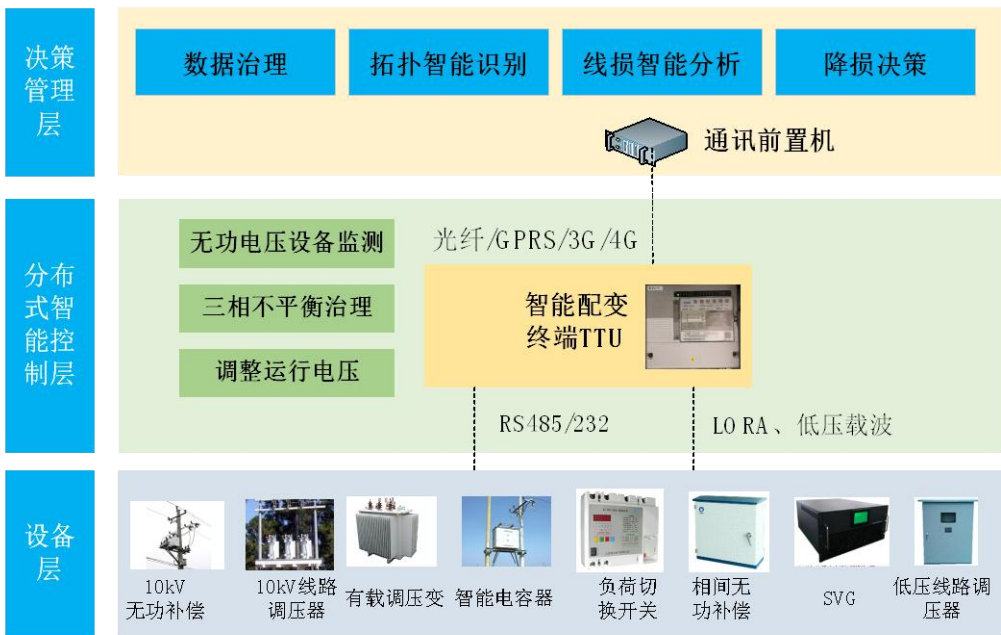
智能配变终端中嵌入电压治理功能APP，通过装置内部策略或接收主站软件下发的优化指令给所有设备进行就地调控，实现配网无功和三相不平衡的分析与控制。



中低压线损分析

10kV母线电压、中压馈线、配变、低压四级无功电压优化功能依托线损降损分析的数据，采用配电网电压无功最优潮流和专家规则混合优化等多种算法，得出“一台区一目标”、“一线一策”的最优控制方案，通过GPRS/4G下发给智能配变终端进行调整执行。

线损分析APP嵌中低压线损分析在智能配变终端内统计分析中低压损耗情况，利用计算机辅助手段，比对同期线损和理论线损数值，并分析管理线损具体是哪些原因造成的，提高日线损达标率；在计算模型校验无误的基础上，根据理论线损计算结果快速定位高损线路、高损线段、高损元件等，明确高损原因，并提出针对性技术降损方案。

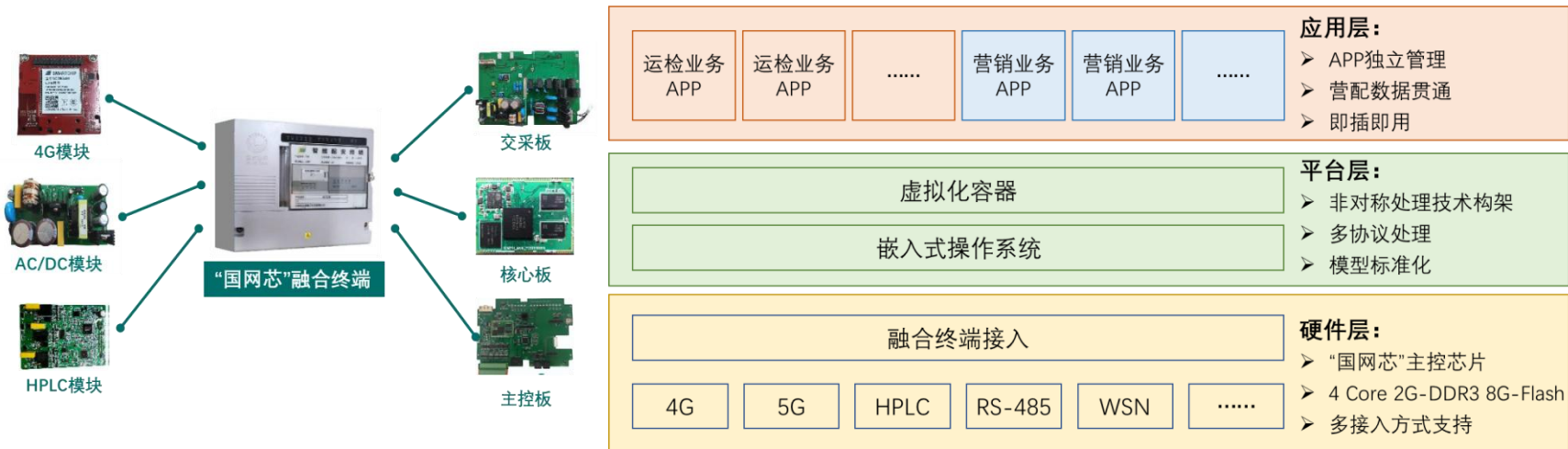




基于融合终端的全景感知

“国网芯”融合终端：已完成融合终端多轮产品级EMC、环境、功能、一致性和稳定测试，产品性能稳定，符合技术规范要求，部分指标超出规范要求。

基于“国网芯”主控芯片进行边缘物联研发。采用Docker容器技术及K8S编排技术实现软硬件解耦和软件APP化。通过编排技术实现边缘物联代理的APP远程集群部署、产品迭代、软件定义终端等功能。





APP应用

设备侧APP

配电安全代理：保证接入及通信安全

终端运维管理：提升本地运维效率

终端数据中心：各 APP 间数据交互

电力规约：电力数据业务传输管理

数据采集：采集配变电气量信息

电能质量：电能质量监测及分析

环境监测：采集配变环境量信息

数据库：数据库管理

低压拓扑识别：自动识别低压拓扑

就地馈线自动化：实现当前台区馈线自动化就地处理

.....

营销侧APP

用采安全代理：保证接入及通信安全

上行698规约管理：业务数据传输

下行1376.2规约管理：电表数据采集

台区线损分析：台区日线损率等计算

台区户变关系及相位识别：对电能表跨台区及所在相位进行研判

电能表停上电事件研判及上报：对停电事件进行筛选并通过综合研判生成最终停电记录

.....



三相不平衡治理

按照“源头预防、常态监测、科学施策、动态治理”的原则，以智能配变终端为核心部署三相不平衡治理装置，实现低压台区的全相计算、指标监控、优化方案输出、治理效果评价等功能，解决由于三相不平衡带来的变压器过载运行等问题，延长变压器寿命。



静止无功补偿装置（SVG）



SVG+电容混合无功补偿装置

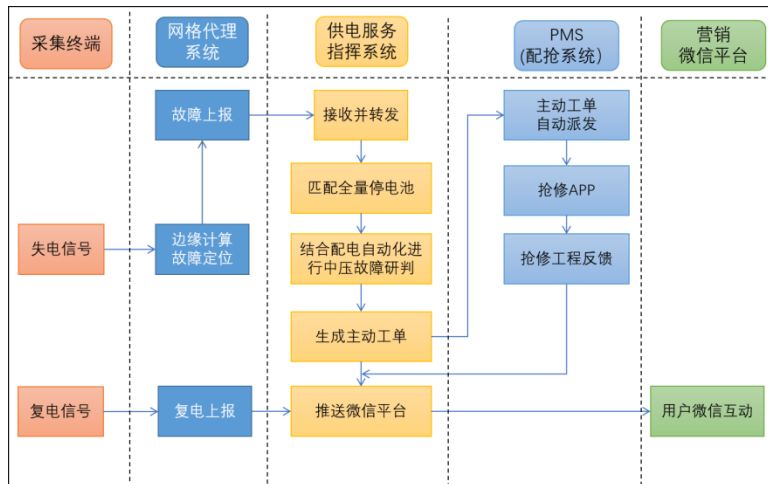
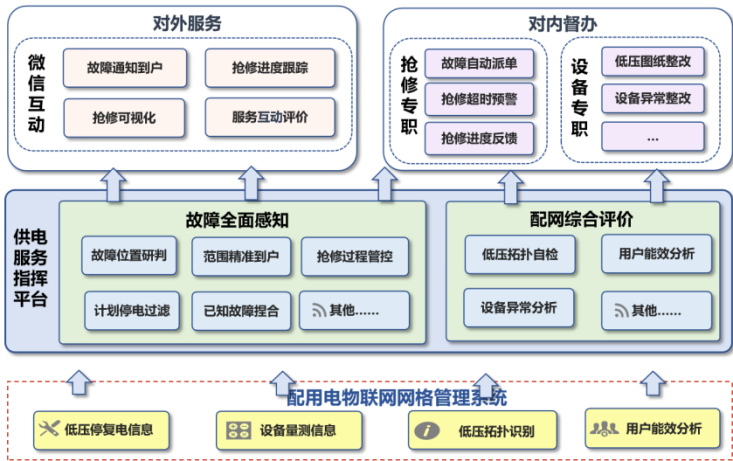
台区主要通过智能配变终端采集的电压、电流信号结合台区变压器容量计算变压器台区负载率、电压偏差、频率偏差、三相不平衡度、谐波等电能质量数据，结合设定定值产生对应告警信息。

通过SVG与换相开关结合、SVG与电容结合的三相不平衡治理解决方案，智能配变终端控制SVG、电容器或换相开关进行无功补偿。



配电网智能化技术发展方向2

配网主动抢修全覆盖

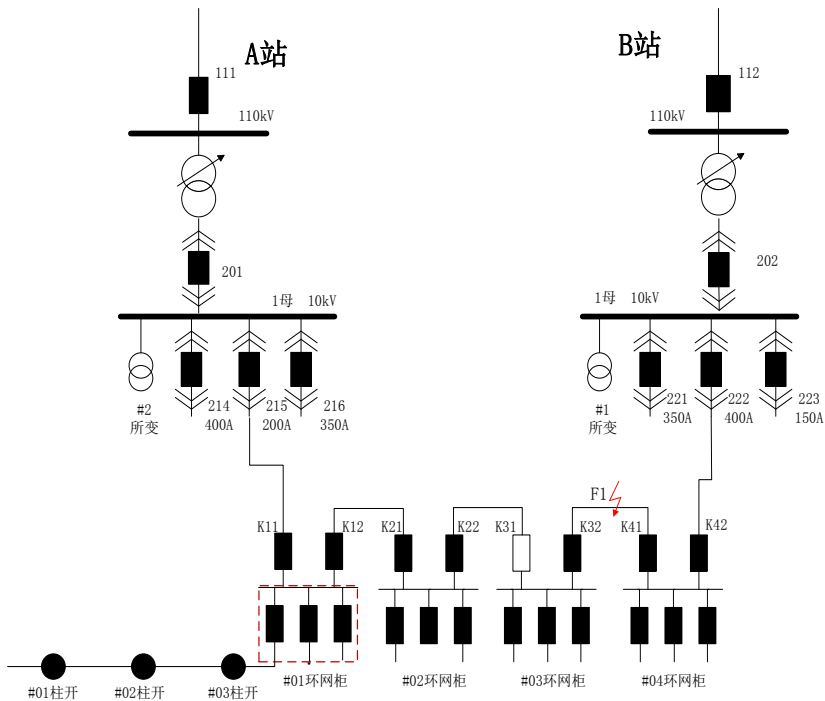


借助TTU及低压故障指示器（三相、单相）对低压台区的全面覆盖，融合配电自动化系统汇集的信息，以供电服务指挥系统为分析决策核心，以PMS配抢系统、配网移动作业为手段，构建配电网智能感知及主动抢修系统。

供电主动抢修功能基于配用电物联网网格管理系统上报数据，对配网中低压故障的实时分析，自动派发抢修工单，并实现抢修超时预警，抢修进度跟踪。



配电终端保护一体化



技术方案

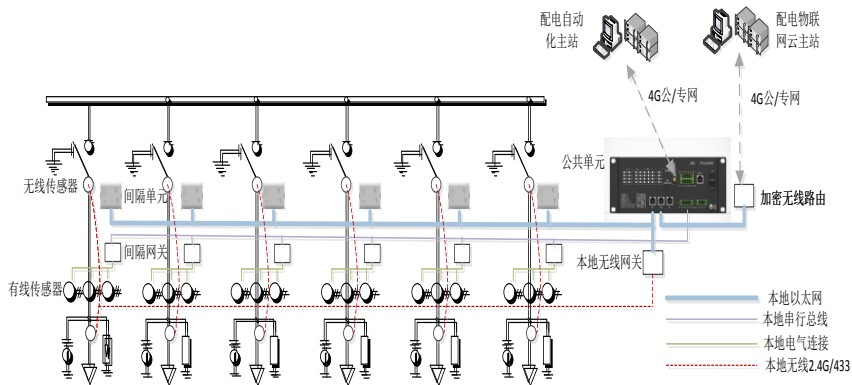
配电测控保护一体化终端安装于10kV线路分段、联络及分界点，其将保护及测控功能一体化设计，除具有传统的线路测控功能，具有相不对称单相接地保护、集中型及就地型馈线保护、光纤纵差保护、分布式馈线保护、开关本体状态监测等功能，通过将后台维护软件移植成手持终端的形式来进一步提升现场实际维护的便捷性和持久性。

实施成效

配电终端保护一体化解决方案可有效降低漏判误判，实现精准定位故障并安排人员开展抢修工作，大幅提升了接地抢修效率和供电可靠性。同时向供电服务指挥系统主动发送检修信息，告知故障区段地理位置信息，提升运维体验，有效提升运维水平。2019年，该项目在江苏省电力公司试点建设。



一二次融合环网柜



技术方案

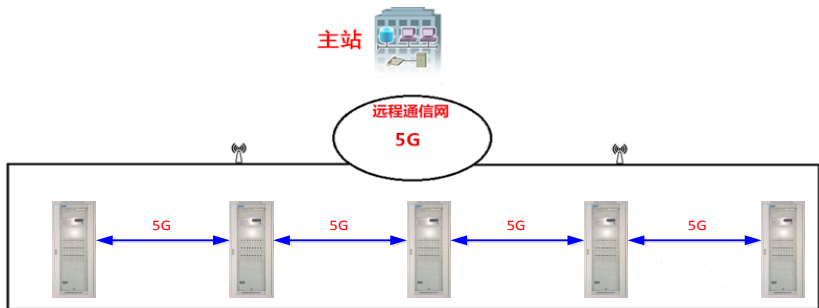
以公共单元为中压环网柜的数据汇聚中心和边缘计算核心节点，以DTU间隔单元为环网柜间隔柜的边缘计算分布节点，共同实现环网柜及配套设备的电气监测、状态监测、供电质量监视、区域自治等功能。

实施成效

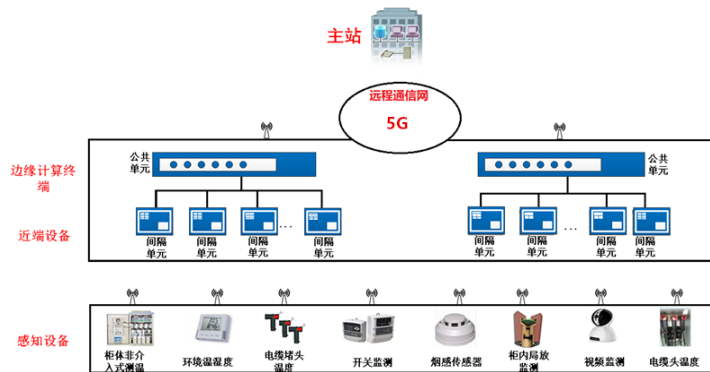
2019年，配电一二次融合环网柜成套设备技术方案在江苏省南京供电公司、苏州供电公司分别试点建设改造多条线路。率先开展配电物联网建设体系的应用实践。大幅提升了设备数字化信息，实现设备的数字化全寿命管理。

配电网智能化技术发展方向2

基于5G的智能分布式馈线自动化



集中式DTU



分布式DTU

技术方案

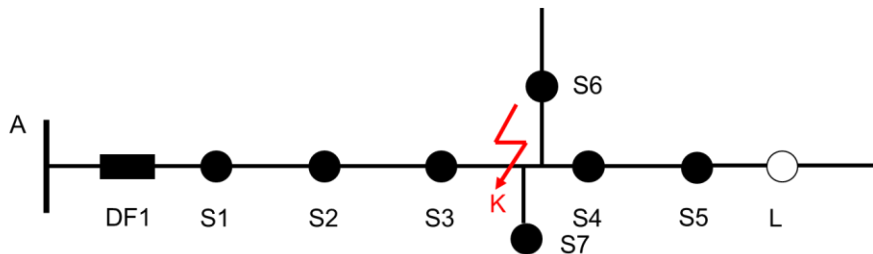
依托完备的智能控制策略和5G通信手段，分别采用集中式DTU与分布式DTU进行智能分布式馈线自动化建设，就地实现线路故障的快速定位与隔离，控制联络开关恢复非故障区域供电。

实施成效

基于5G的智能分布式馈线自动化不仅可以就地自主地完成故障区段快速定位、隔离与恢复非故障区域供电，同时基于5G的智能分布式馈线自动化，不仅适应了5G技术快速应用的趋势，避免不必要的光纤建设，具备良好的经济性和实用性。



基于光纤差动的智能分布式馈线自动化



正常运行下: $\vec{\Sigma}i = \vec{i}_3 + \vec{i}_4 + \vec{i}_6 + \vec{i}_7 \approx 0$

1. S3、S4、S6、S7检测到差流且大于定值，S3、S4、S6、S7启动“差动保护”动作跳闸；
2. 联络开关L检测到单侧失压无流且接收到所有终端动作完成指令后，进行合闸动作，完成线路非故障区域供电。

技术方案

针对一个区域设置保护定值。理论上，任何环境下的区域保护定值都是0。实际的保护定值应该是大于0的某一个值。这个和区域无关，只和中各个分量采样和计算误差有关。当一个区域对应的时，即可判断为该区域内发生故障，包围这个区域的配电开关应该立即跳闸。

实施成效

基于光纤差动的智能分布式馈线自动化无需级差配合，实现了故障的就地快速处理，无需变电站出口断路器跳闸，缩小了停电范围，减少了停电时间。同时，基于光纤差动的智能分布式馈线自动化保护设置更准确，解决了常规型FA中保护定值调整困难的问题。



综合能源协调控制

综合能源服务解决方案





园区能源协调控制

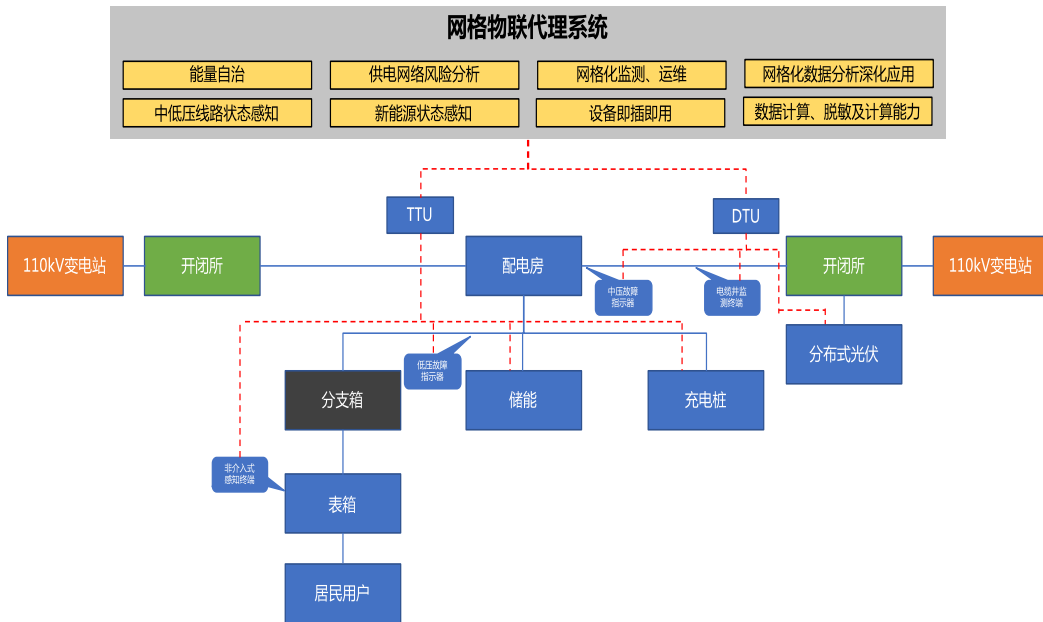
依托规模化分布式电源最大化消纳、主动配电网协调控制、需求侧资源优化运行、源网荷优化系统统一信息支撑等领域关键技术，解决分布式电源大规模接入不确定性对电网安全运行所带来的问题，提高电网对清洁能源的消纳能力，提高电网的供电可靠性，改善电网的电压控制水平，引导和优化用户用电方式，降低高峰负荷。





网络能源协调自治

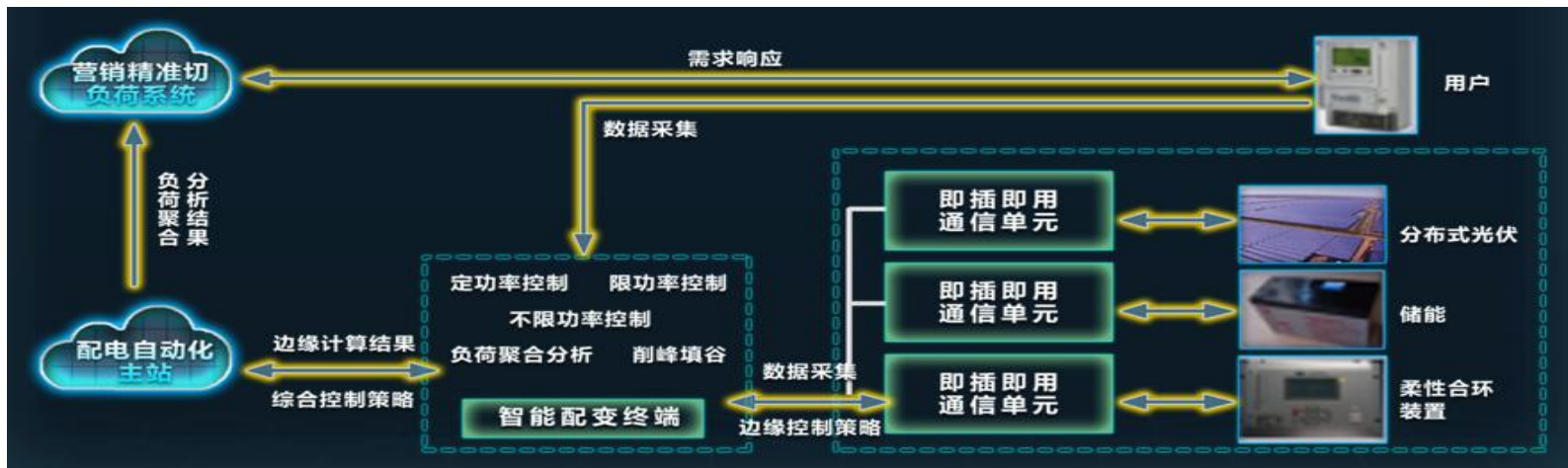
运用网格物联代理作为配电网的基本运维管理单元，汇集来自DTU/FTU/TTU采集的配电网全景信息，运用源网荷储协调控制等技术实现可靠运行、新能源消纳、有序充电等配电网的能量自治功能，运用移动巡检、拓扑识别、综合能源服务等技术实现设备状态检修、故障准确定位、运维信息及时推送等配电网的运维自治功能。





台区能源协调自治

以配电台区为控制范畴，将辖区内的分布式电源、电动汽车、储能、负荷、蓄冷及蓄热装置构建成为一个能量管理单元，通过智能配变终端，对台区内分布式能源、储能等装置的采集感知，由智能配变终端分析能源均衡情况，作出能量潮流控制决策，实现台区能源自治（削峰填谷、功率控制、负荷聚合）和对区域电网需求响应业务的支撑。





03

总结和展望



总结：

国家电网公司层面提出**全面深化改革奋力攻坚克难突破，加快建设世界一流能源互联网企业的长远发展的战略目标。**

本文探讨了在新形势下农村配电网现状以及面临的挑战。随着农网改造，在不同层次、不同规模上对配电自动化进行了建设，配电自动化系统在智能配电设备、智能化功能等方面日益实用化和规范化。但还是存在管理需求变化快，管理设备规模大以及服务要求高等存在问题。

针对上述挑战详细分析了农村电网智能化发展趋势。结合目前的工作重点就**配网智能化支撑智能运检体系建设，先进装备支撑配网全景智能感知以及全面解决方案服务综合能源业务开展**这三个方向开展了详细的汇报。

展望：

我国人口数量庞大，农业生产关系国计民生，农村电网的建设与发展关系到农业、农村、农民，农村电网是乡村振兴的基础。长远看，**农村电力需求是增长的趋势，清洁能源接入的比例也是增长的趋势**，农村电网智能化建设与改造的任务仍然较重。最重要的一点是须综合考虑各地的实际情况，**因地制宜地制定符合当地经济发展状况的农村电网长期发展战略。**



国家电网
STATE GRID

谢谢聆听！

南瑞集团有限公司
NARI GROUP CORPORATION