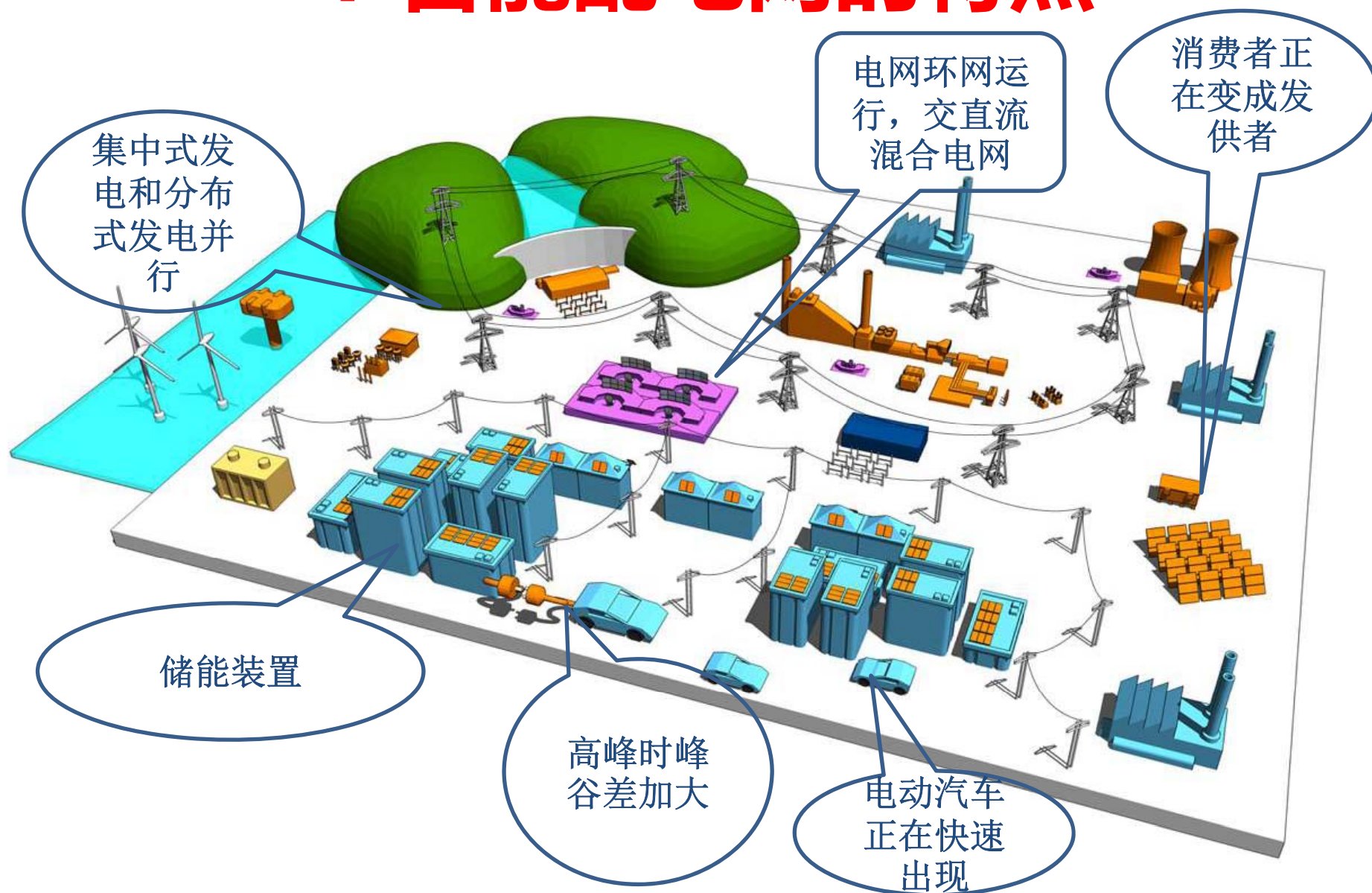


智能配电网，
主动配电网

内 容

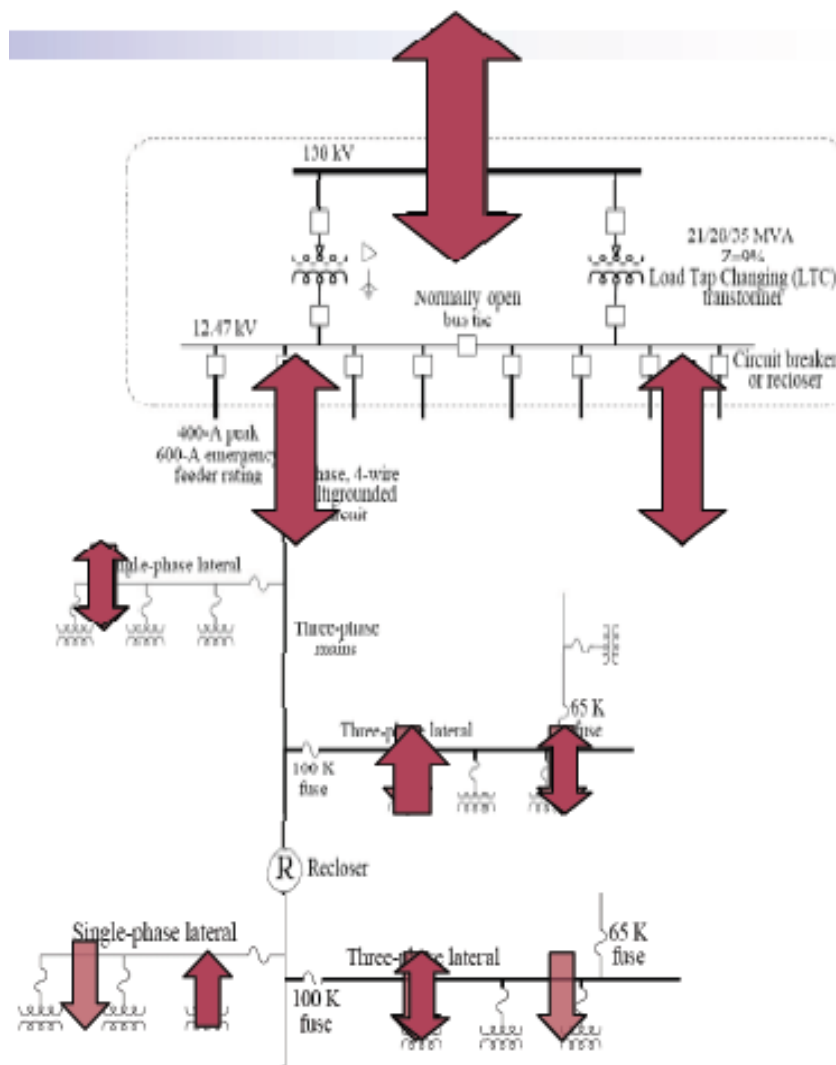
1. 智能配电网特点
2. 主动配电网的基本概念
3. 主动配电网的关键技术
4. 主动配电网的技术实现
5. 结论

1 智能配电网的特点



分布式发电在输电网中产生双向潮流

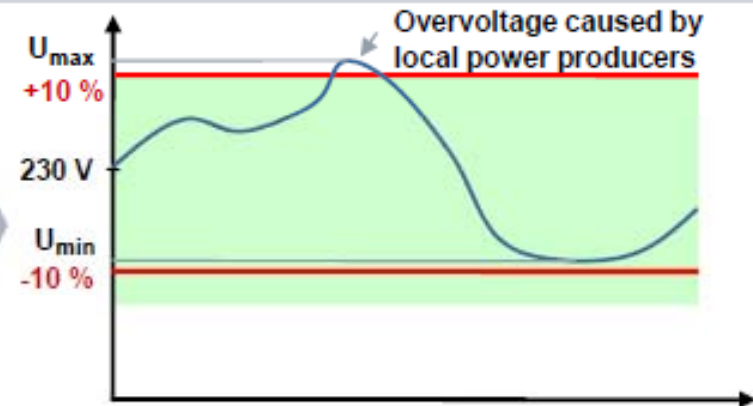
- 当分布式可再生能源发电达到一定比例时，不仅在低压侧会出现双向潮流，在中压侧，甚至在高压侧，也会出现双向潮流。



分布式发电在低压电网产生过电压问题



Voltage increase due to direct power infeed



Smart IED
SICAM 1703 emic

Smart IEDs are monitoring the voltage level and will control the **distribution transformer** accordingly
→ Keeping the voltage within the limits given by the norm

Dynamic parameters
Unsynchronized load
Decentralized infeed

Static parameters
Network impedance
EN50160

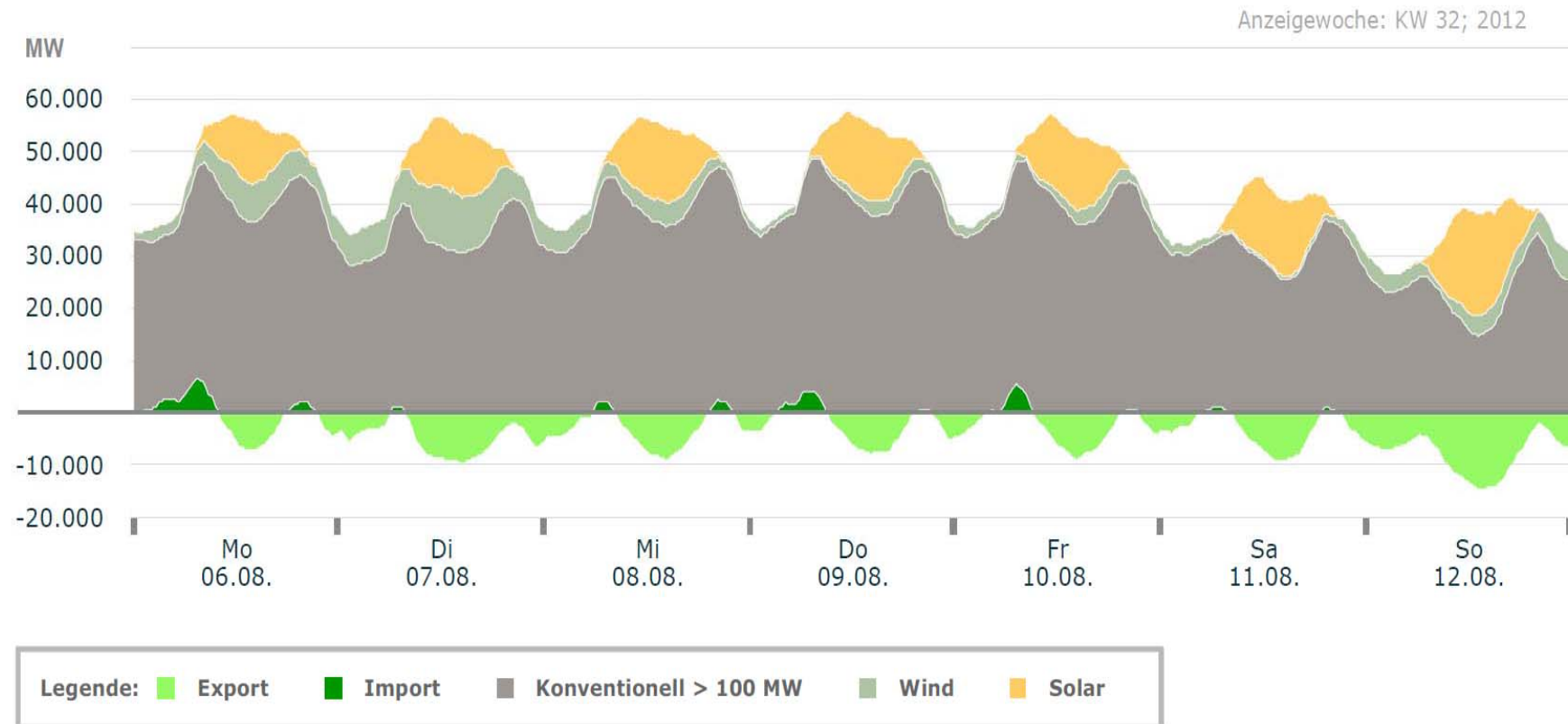
Power quality?!



Reduction of side effects due to improved power quality

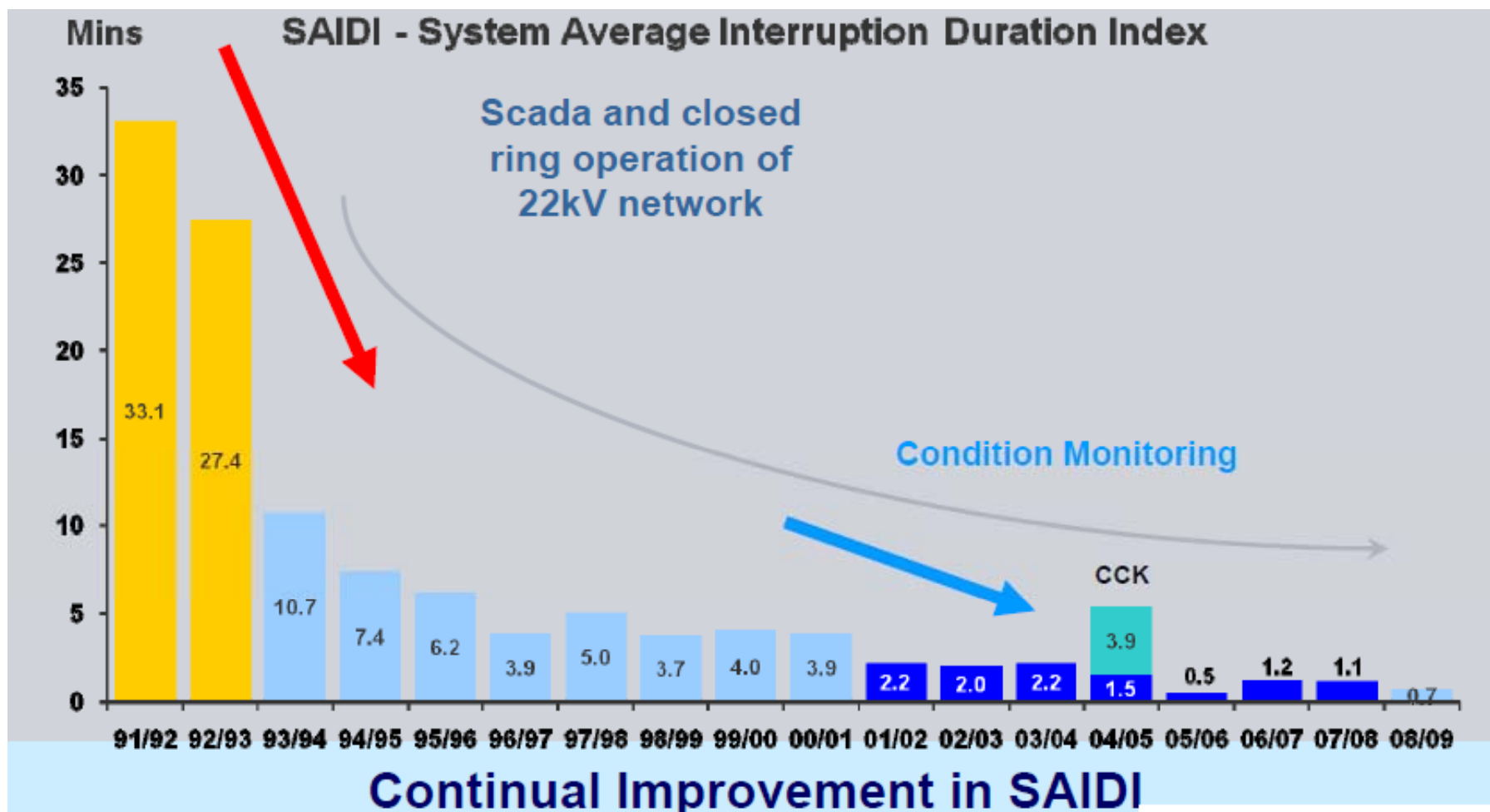
Improved power efficiency for decentralized infeed

高渗透率可再生能源发电要求系统具备比较高的灵活性



2012年，德国的光伏发电量占年总发电量的%5，但是光伏发电功率与负荷之比有时却高达50%。

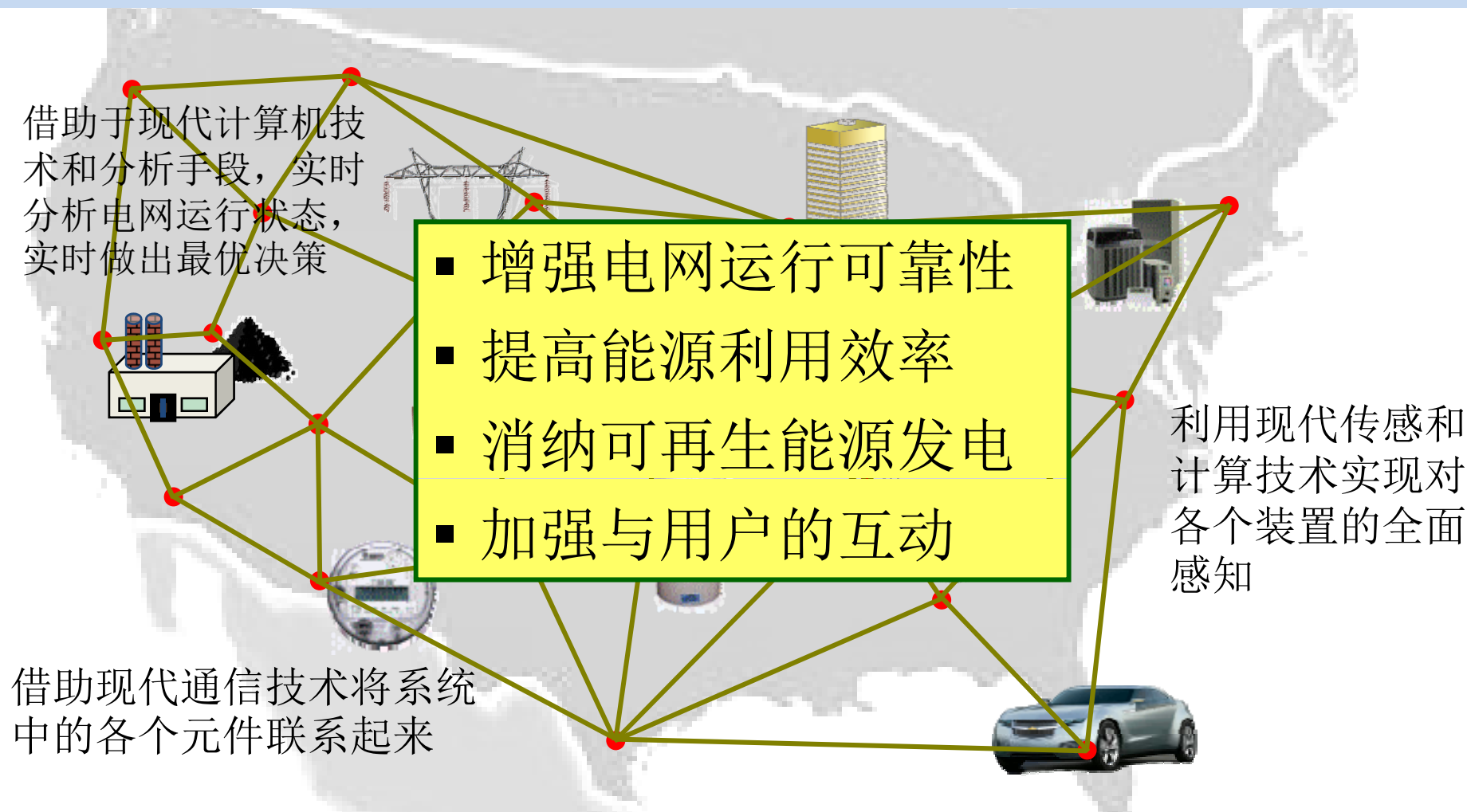
人们对高可靠性供电的要求越来越高



借助于SCADA和合环运行，新加坡电网的运行可靠性已经高达99.9999%

现代配电网的建设目标

为了应对配电网物理结构的变化，充分利用配电网的特点，必须建设现代配电网。现代配电网就是所谓的智能电网，尽管定义千差万别，但目标只有一个：

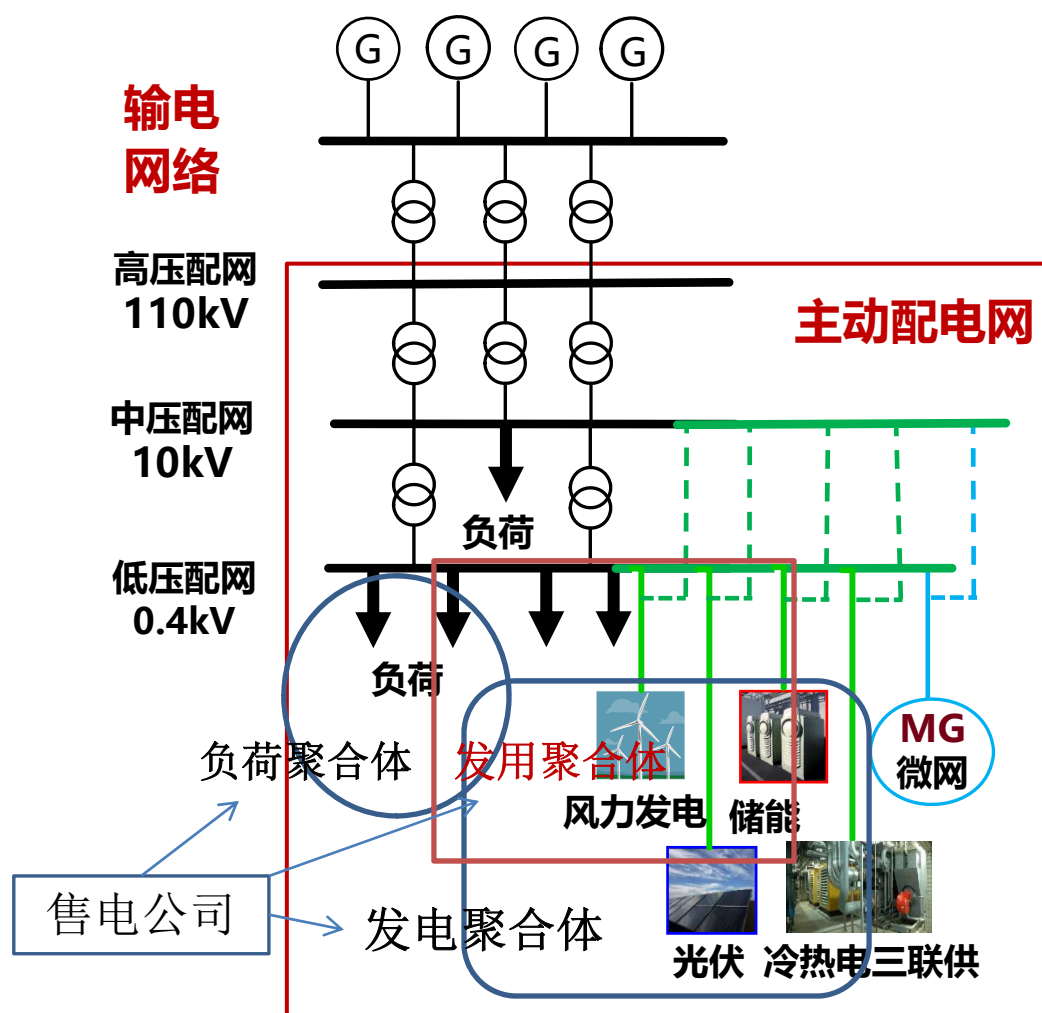


2. 主动配电网的基本概念

主动配电网定义

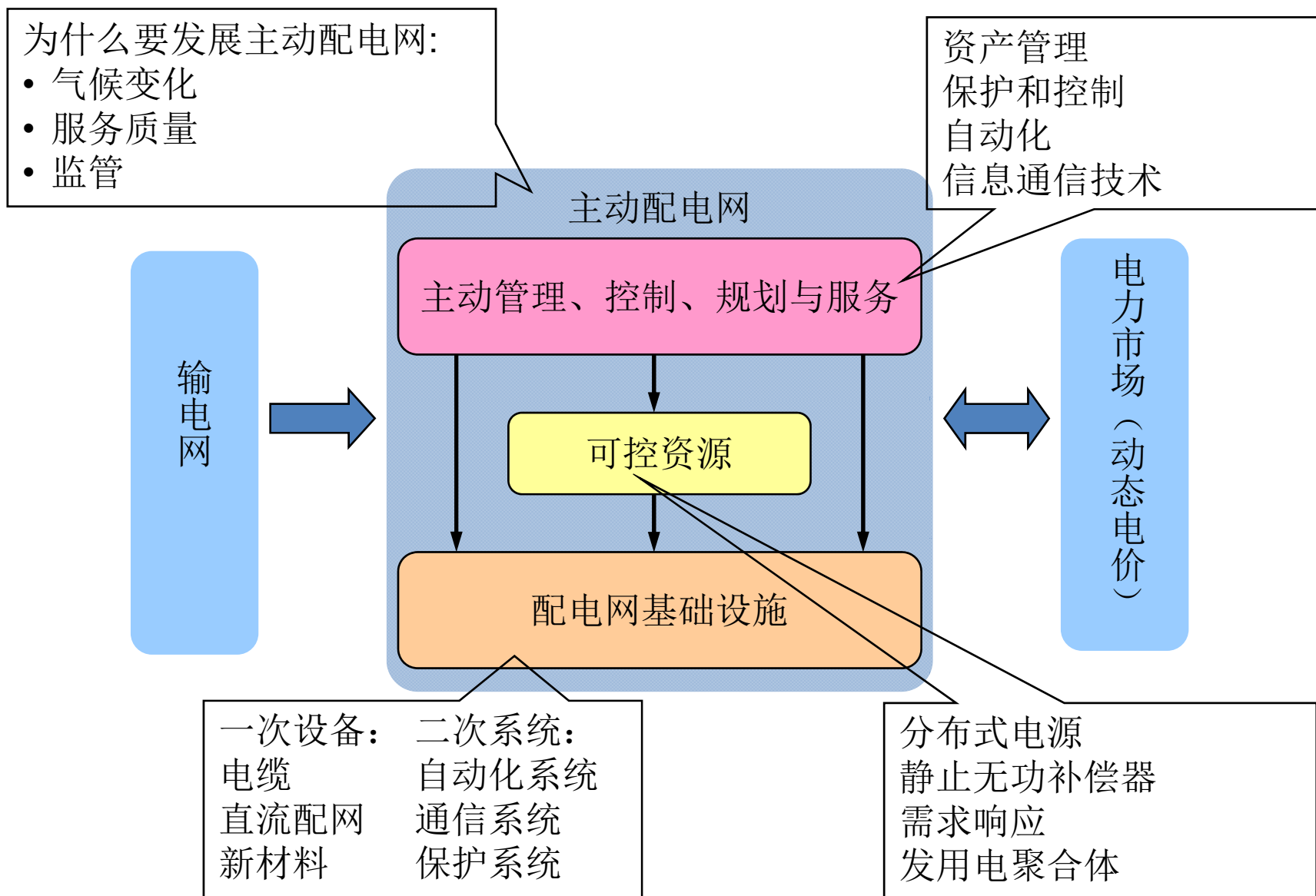
- 国际大电网会议（CIGRE）对主动配电网的定义：
主动配电网是将包括发电机、负载和储能装置在内的分布式资源进行组合控制的系统；配电运行人员能够应用灵活的网络拓扑调整潮流的分布；分布式资源可以根据适当的监管政策以及用户接入协议，向系统提供一定程度的辅助服务支撑。
- CIGRE对于主动配电网的上述定义可以简单理解为：
主动配电网是一个内部具有分布式能源，具有主动控制和运行能力的配电网。

主动配电网的愿景



- 随着分布式发电的发展和电力市场的建立，将出现一批售电公司，分为：负荷、发电、发用聚合体，组织起来参与电力市场；
- 配电网还将肩负使得用户可以方便参与电力市场买卖电能、协调控制分布式发电的重任，即使**市场的经营者**；
- 主动配电网的目标是在确保电网运行可靠性和电能质量的前提下，增加对现有配电网对可再生能源发电的容纳能力。

主动配电网的三大要素与相互关系



主动配电网的基础设施

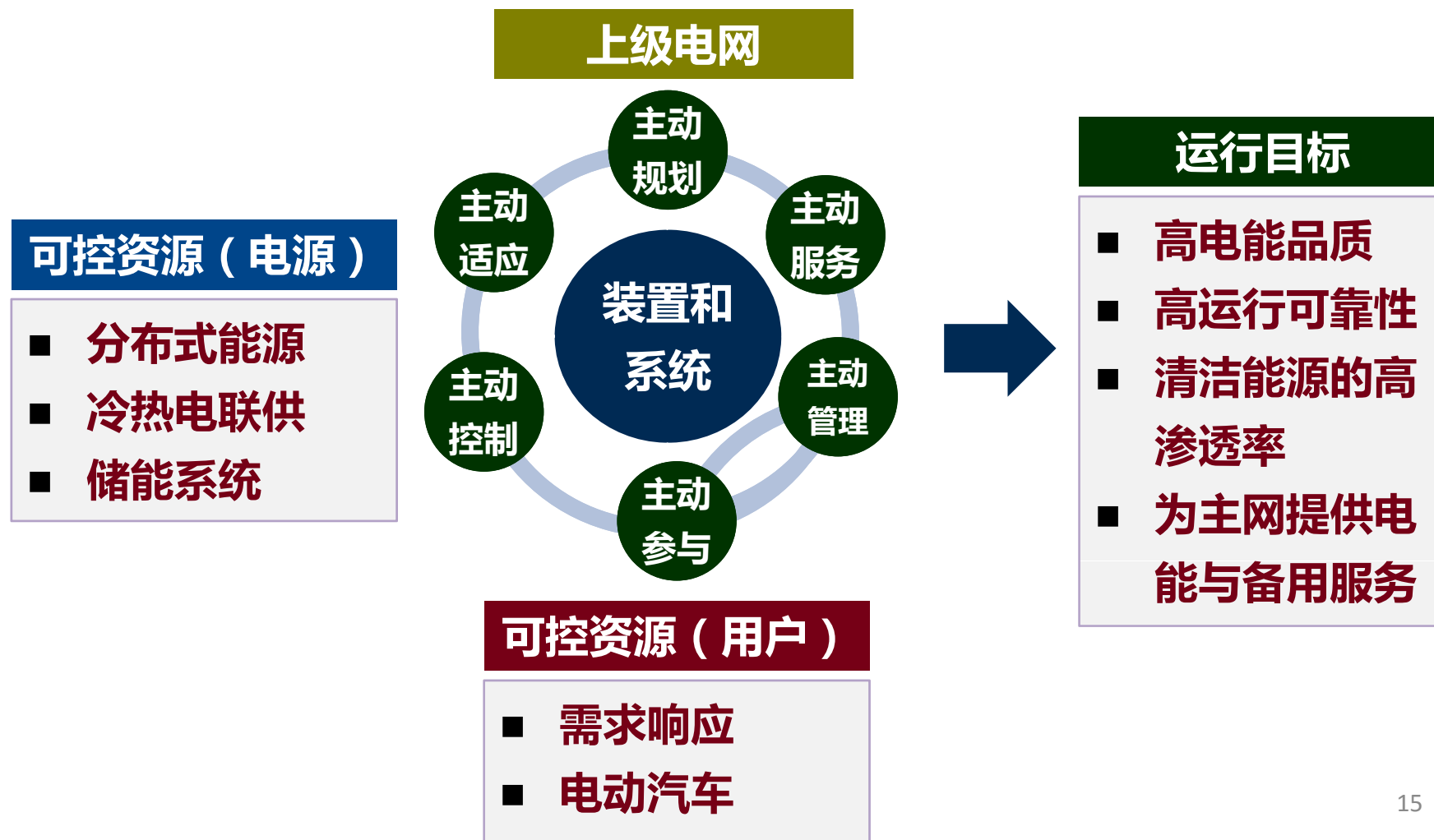
- 坚强可靠的一次网络
 - 变电站、馈线和变压器是配电网的基础装备
 - 提高一次设备可靠性的手段：
 - 以电缆代替架空线
 - 配电线路建在路边，远离树林
 - 以补偿接地代替隔离接地
 - 把10KV电压等级提高到20KV
 - 简化主变和高压电网的拓扑结构
 - 增加调压器和有载调压变压器
 - 低压直流配网、电力电子设备
- 灵活有效的二次系统
 - 重合闸和断路器
 - 快速切换开关
 - 中压馈线、二次变电站和低压电网的监测：
 - 除了传统的电压、电流监测，还要增加温度传感器，门位置传感器和各种类型的可视化传感器以增强资产管理能力
 - 电能质量监测仪，故障记录仪，配网PMU和局部放电监测设备等
 - 各种通信技术
 - 光纤、无线网络、电力线载波和卫星
 - 以太网

主动配电网中可控资源

- 光伏发电、风电
 - 有功一般不能调节，特殊情况下，可向下调节
 - 无功功率可调，可参与电压控制
- 生物质发电、地热、三联供机组
 - 有功、无功均可控
- 储能（电动汽车）
 - 有功可控
- 电容、电抗、调压变压器、静止无功控制器
 - 无功电压控制
- 需求侧响应
 - 大用户
 - 小用户集群控制
- 负荷控制
 - 直接负荷控制
 - 电压敏感负荷

主动配电网的核心理念

充分利用主动配电网的**可控资源**，研究可以实现电网侧的**主动规划**、**管理、控制与服务**、负荷侧的**主动响应**和发电侧的**主动参与**的核心技术（装置与系统），变**被动接受**为**主动利用**，实现主动配电网的运行目标。



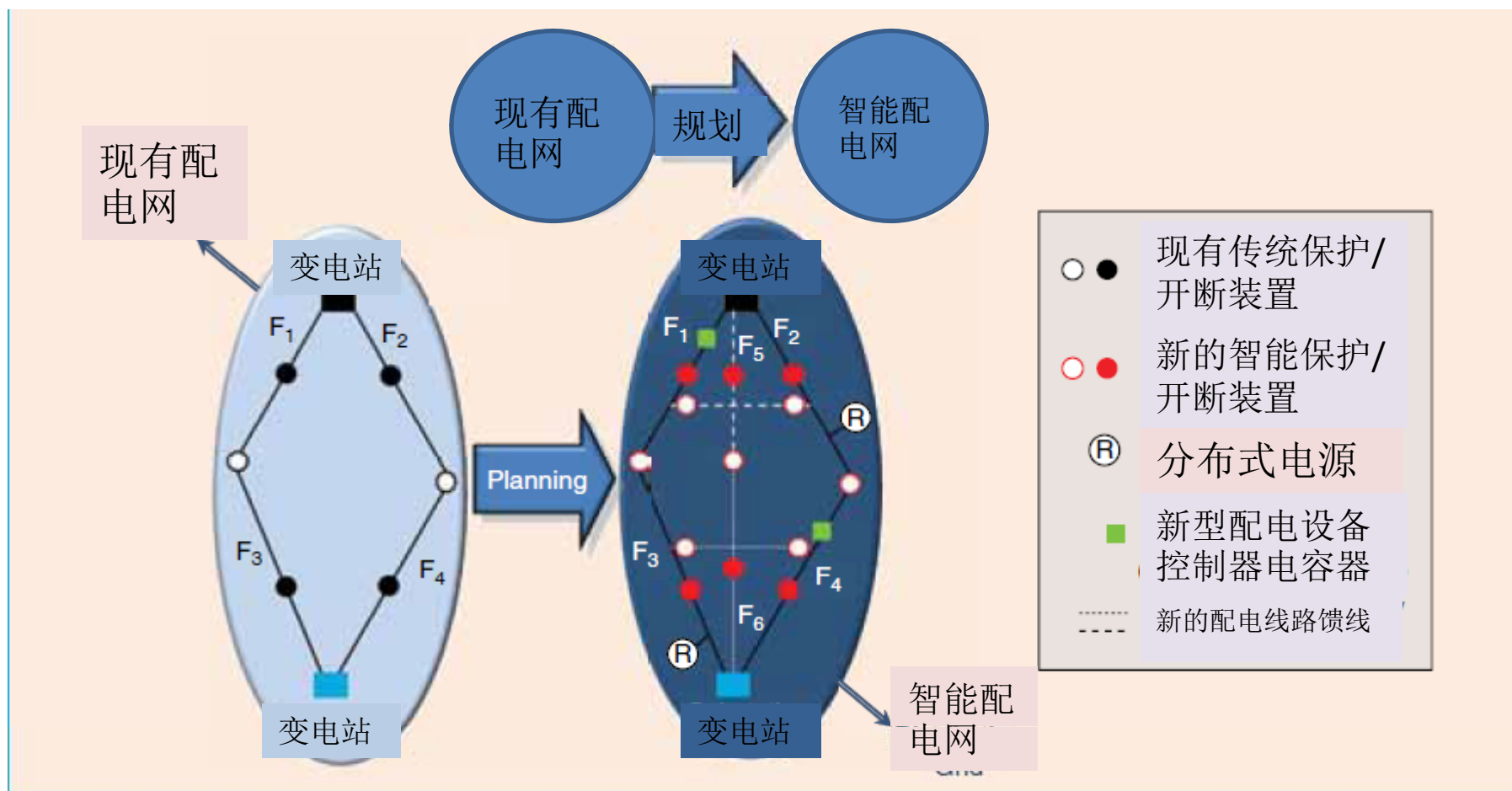
3. 主动配电网的 六个“主动”核心理念

一、配电网主动规划

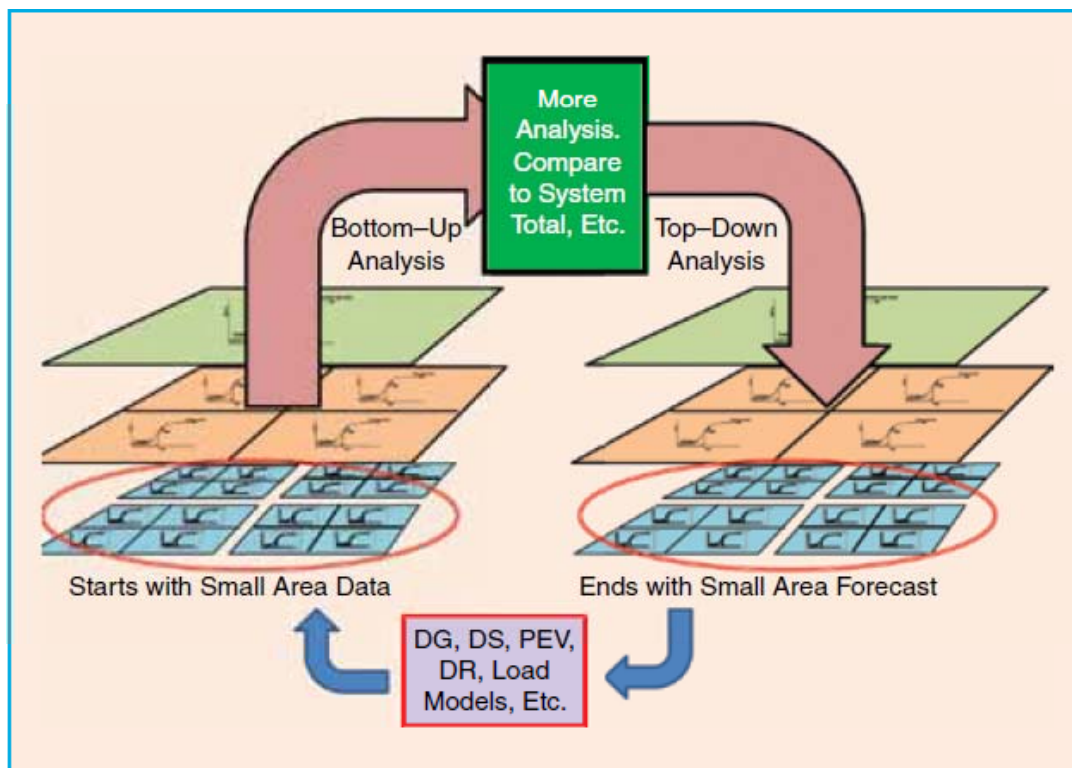
- 传统规划，侧重一次电网架构的确定与变压器容量的选择，很少考虑配电自动化系统、通信系统和配电网管理系统对电网运行可靠性的影响。
- 主动规划强调建设坚强可靠的一次电网架构、深度协调的二次自动化系统与功能强大的智能决策支持系统
- 主动规划的第二层涵义体现在对分布式可再生能源发电的态度上
- 主动规划强调由配电网规划设计单位主动对区域内的分布式可再生能源发电能力进行主动评估，掌握区域内可再生能源发电的资源分布，主动规划接入点，评估消纳能力，并在必要时，对电网进行前瞻性改造

主动配电网规划的要素

高品质主动配电网规划必须综合考虑传统的一次网络设备、新型智能保护开断设备、分布式能源（发电和储能）、新型配电设备（电容/电抗器）和用于构成环网的新增配电线路/馈线的综合影响。



基于多重信息的空间负荷预报技术



智能配电网中的空间负荷预报必须考虑分布式电源、电动汽车、需求侧响应对空间负荷的影响，识别出负荷和分布式发电的模式。空间负荷预报需要充分利用智能电表数据和精确气象预报数据；还需要考虑现有和新增负荷的终端模型，对每一类负荷建立对应不同日期类型的负荷曲线。

空间负荷预报技术是高品质配电网规划的基础。与只关注系统负荷数量增长的传统负荷预报相比，空间负荷预报除了关注负荷数量的增长，更加关注负荷在何时何处增长。空间负荷预报在长达20年的时间跨度内，对住宅小区、馈线及系统的年度峰值负荷进行预报。这些预报结果可用于确定新增配电设施（变电站、馈线、变压器等）的最佳位置。空间负荷预报基于小区人口数据、历史负荷和气象数据、土地使用情况和地理信息。

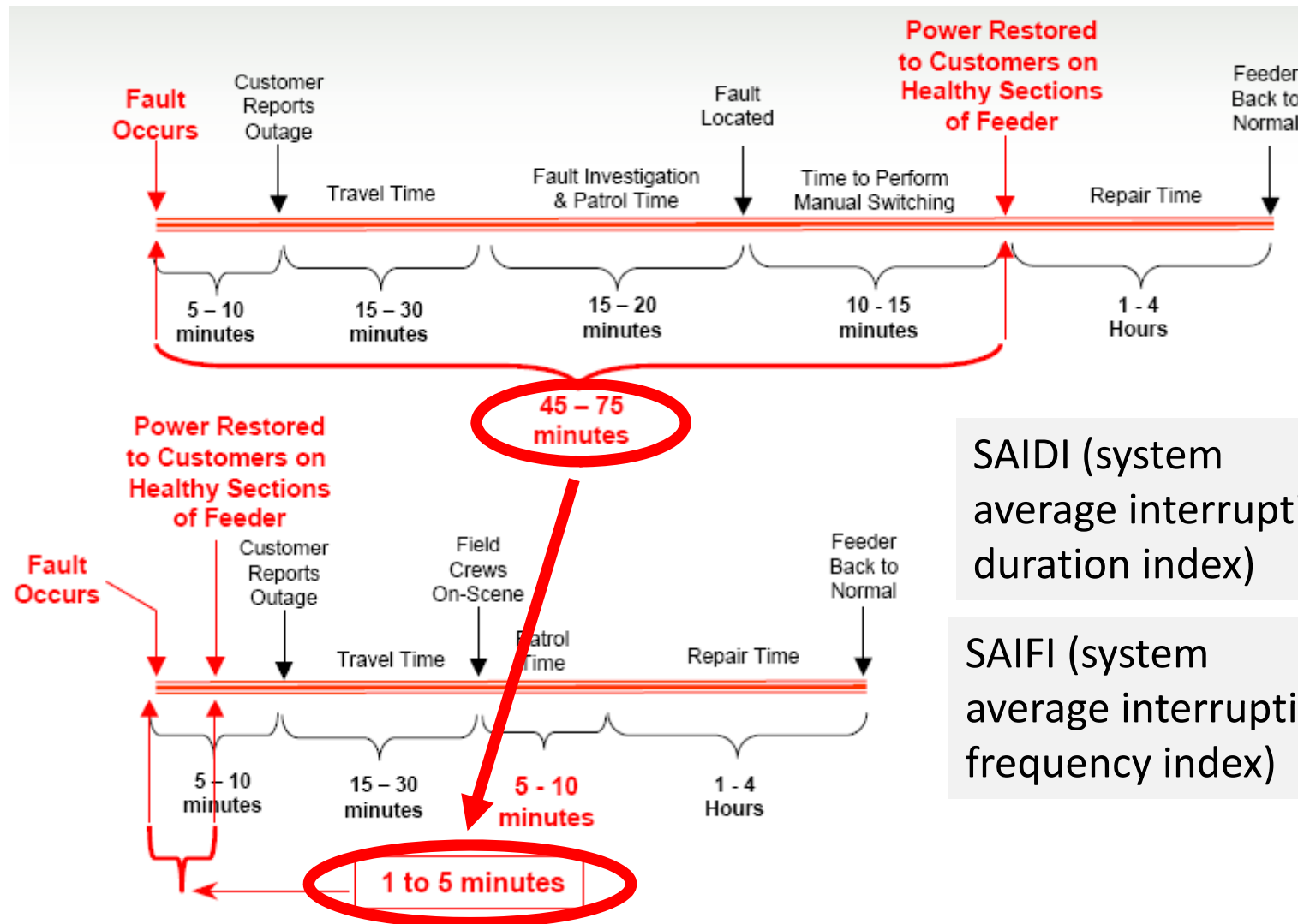
主动配电网的规划运行一体化系统



二、配电网的主动管理

- 资产管理
 - 充分利用目前配电网中配置的多源量测
 - 综合利用物联网、传感和大数据分析技术
- 故障管理
 - 对高可靠性用户，推广自愈技术
 - 抢修管理系统与调度自动化、用户管理系统的集成
 - 分岛运行：充分利用利用分布式电源
- 继电保护管理
 - 继电保护定值的在线整定
 - 适应于主动配电网的新型保护系统
- 供电质量管理

故障管理缩短故障停电时间



Source: [2] "Equipment for Feeder Automation - Recent Trends in Feeder Automation Seminar"
IEEE PES Miami Chapter Miami, Florida June 2, 2005, John McDonald, KEMA, Inc.

供电质量管理

防治结合

预 “防”

基于同步
信息量测
进行网络
等效的主
动配电网
安全合环
技术

基于高可
靠性电源
主动寻找
的重点用
户运行风
险预防管
理技术

针对电压
暂降和短
时中断的
有源快速
切换管理
技术

“治” 理

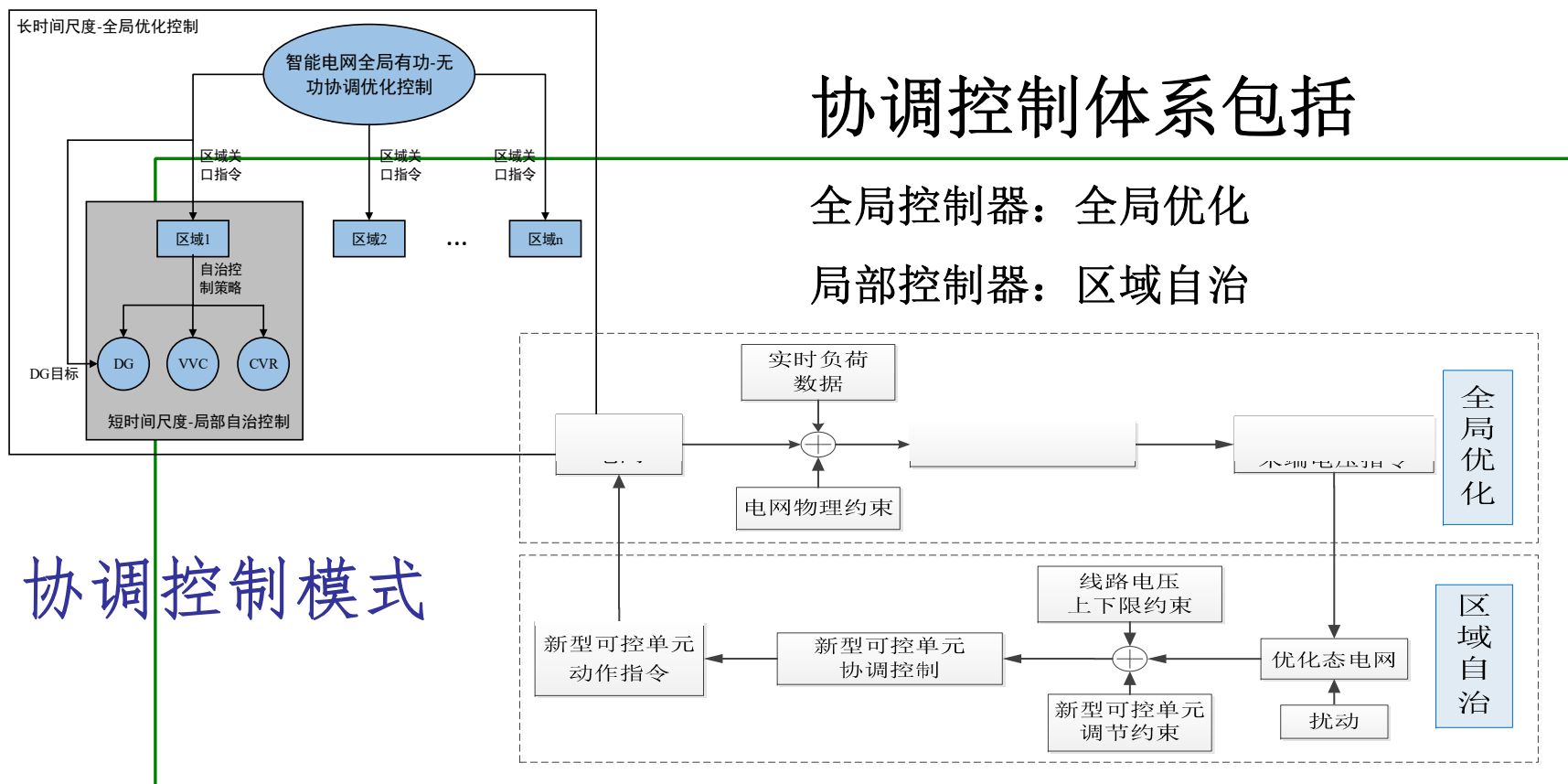
基于双端同
步信息量测
的单相接地
故障快速电
网自愈技术

三、有功功率和无功电压主动控制

- 作为区域能源管理中心对区域内的所有发电资源进行主动控制。
- 充分利用主动配电网中的“冷热电”三联供、分布式储能、电压调节负荷、需求响应负荷生物质发电平滑光伏发电的随机性、波动性，通过与电网态势的密切互动，实现可再生能源的消纳。
- 在主动配电网中，由于分布式电源的引入，传统的从主变到负荷，电压依次降低的格局将被打破，电压波动加剧
- 无功电压控制在主动配电网中尤为重要
- 需要充分利用各种电网无功控制设备和分布式发电的无功控制能力，进行协调控制

有功无功功率协调控制机制

- ✓ 基于电压主动调节的负荷柔性控制-协调控制架构



有功无功协调的全局优化控制

全局-局部协调控制

全局优化控制

建立全局有功-无功协调优化的数学模型，并通过对该模型的优化计算确定智能电网中所有的控制变量取值，从而实现网损最小或经济效益最高等优化目标。

关口有功功率
关口功率因数
馈线末端电压幅值

负荷变化情况
可控单元状态量

区域自治控制

在长时间尺度优化协调控制的间隔周期内，通过充分调动本区域内各种新型可控单元参与调节，修正实际运行工况与理想优化工况的偏差，以保证各区域能在全局优化所得的最优状态附近运行。

有功无功协调的区域自治控制

短时间尺度 局部控制器

手段

有功功率

DG(柴油发电机、光伏、风电、蓄电池等)

无功功率

DG、电容器等无功调节设备

柔性负荷

电压敏感性负荷

目标

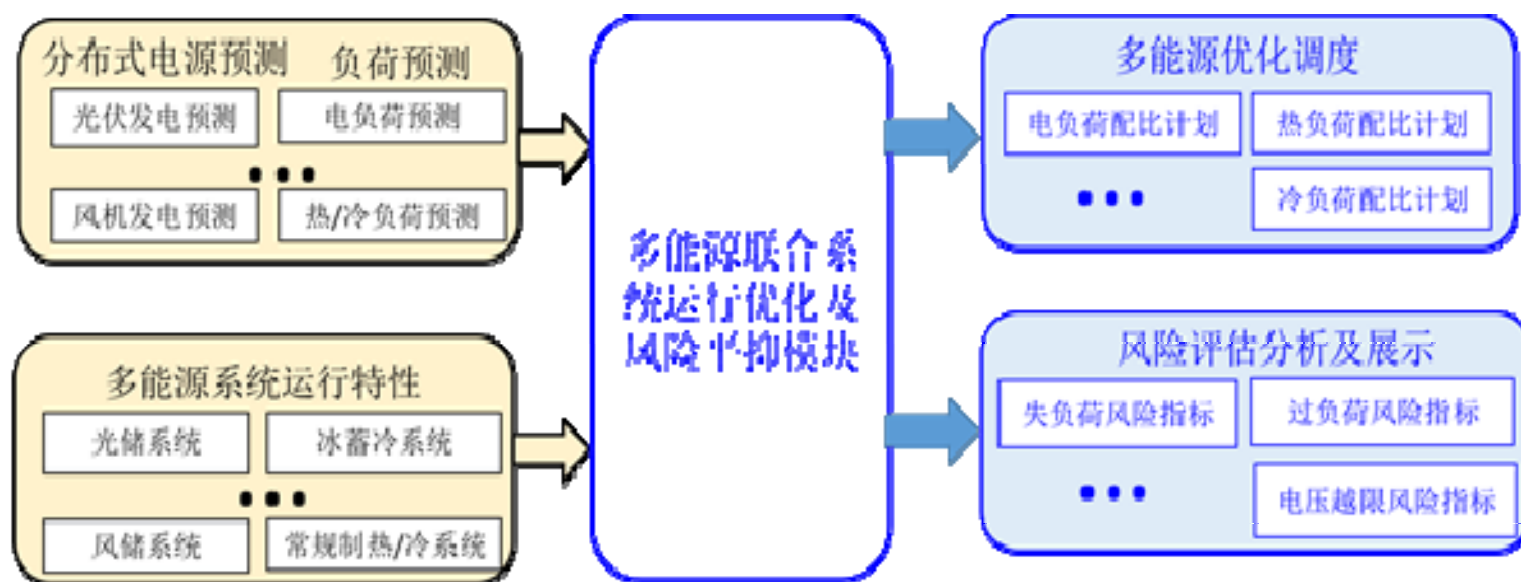
消除区域内扰动，跟踪全局优化目标

策略

接收由全局控制器发来的关口有功、功率因数、馈线末节点电压等指令，通过对控制区域内有功、无功与柔性负荷的调节，修正区域内运行工况与下发指令的偏差

多能源系统联合运行优化控制

针对主动配电网中多种能源时空特性的互补特征，对分布式发电、冷热电三联共机组、电压敏感负荷、需求侧响应（激励响应负荷）、电力储能（含电动汽车）、蓄热和蓄冷设备进行协调优化, 实现多能源系统的联合优化运行与风险平抑。



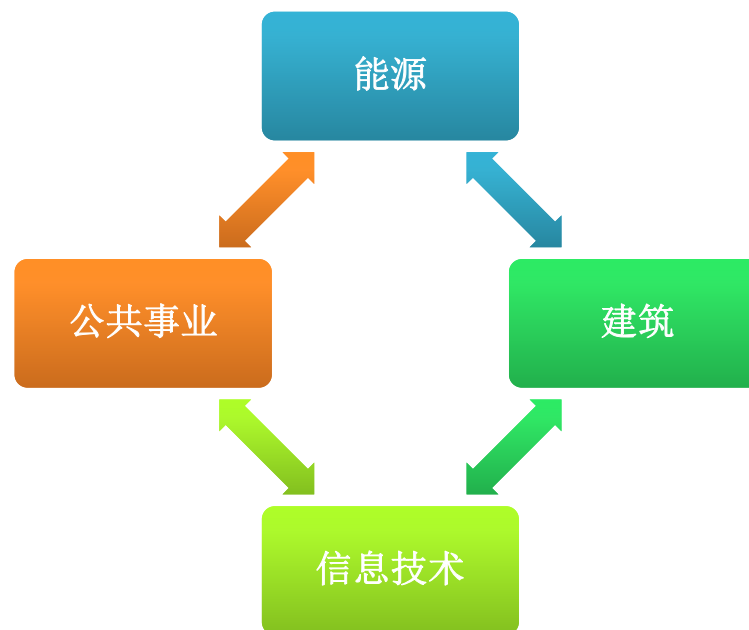
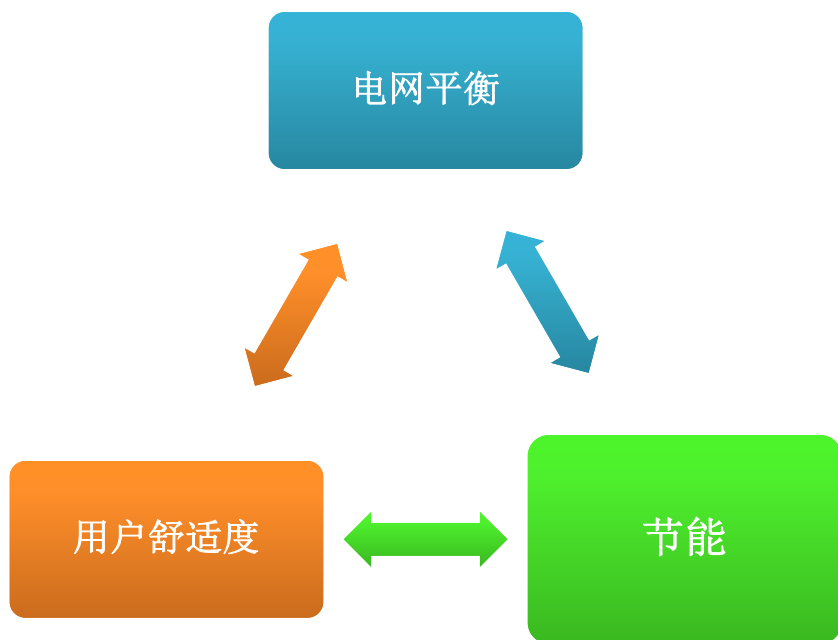
四：主动配电网的主动服务



五：用户的主动响应

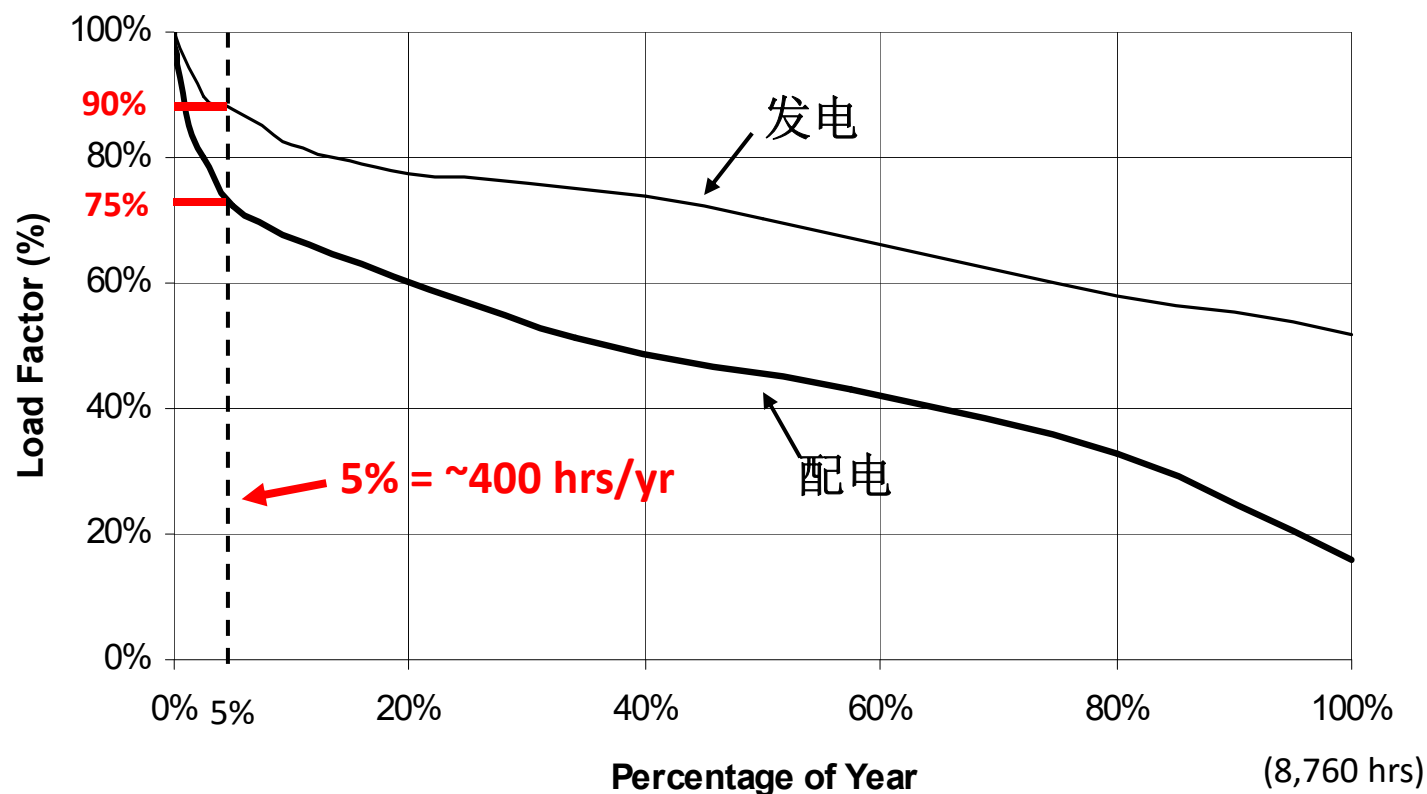
需求侧响应不仅仅是电网发电负荷平衡的手段

仅仅依靠电力工业不可能完全解决能源问题，必须鼓励用户主动参与



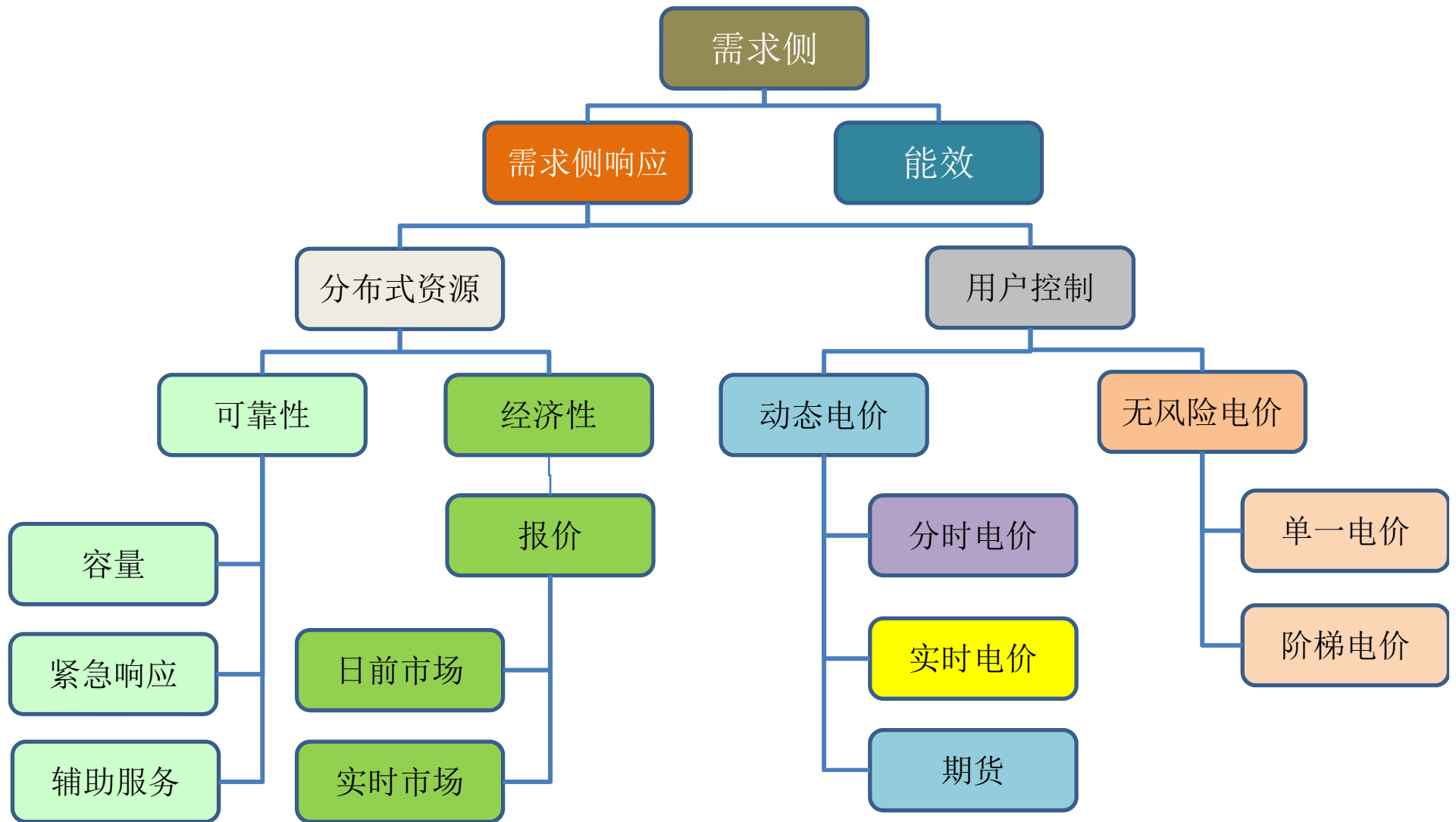
舒适性负荷使配电网的资产利用率降低

小时负荷作为峰荷的分数, 从高到低排序



25% 的配电和 10% 的发电资产 (输电相似), 价值上万亿的资产, 年利用小时数小于400!

需求侧响应的类型



六：可再生能源发电的主动参与

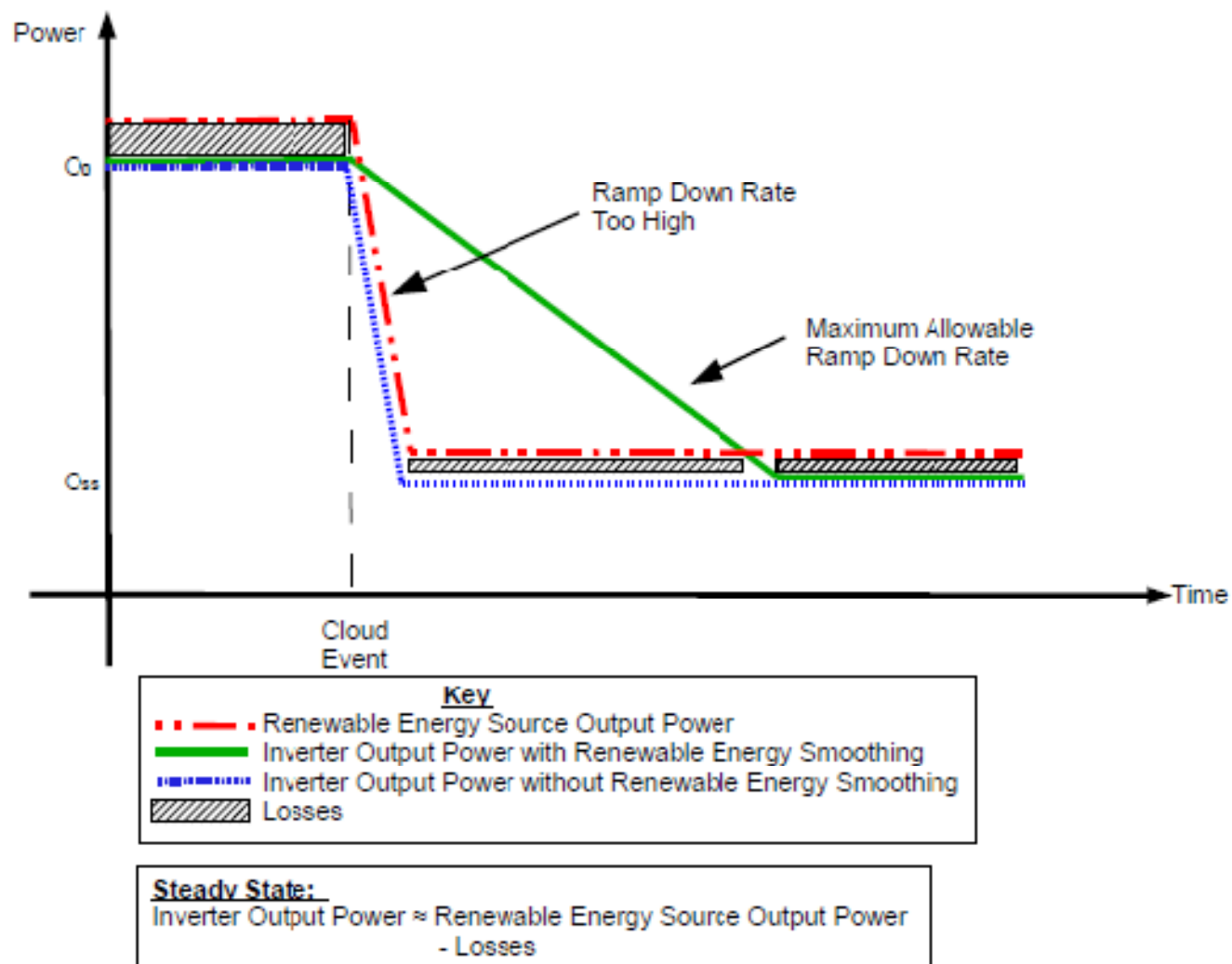
- 可再生能源消纳不仅仅是电网公司的责任
- 为了消纳可再生能源发电，全民和电网公司都做出了牺牲
 - 售电收入的损失：用零售电价收购可再生能源发电
 - 旋转备用：天气不能永远阳光普照，在阴天下雨时，电网必须供电
- 可再生能源发电需要主动适应
- 现代电力电子技术的快速发展，使得光伏发电可以具备一定的无功电压支撑能力
- 光伏发电机组通过配备的小型储能，可以对其输出功率进行平滑，可以减少对电网的冲击
- 改进逆变器的设计可以动态改变其阻抗，减少谐波振荡

安装储能设备和参与调度

- 安装电网和当地储能装置对光伏发电进行调节以防止电网发生稳定问题
- 允许电网控制中心在必要时主动削减光伏发电的发电功率，以保证电网的安全运行



输出功率平滑技术



红线是可再生能源的输出功率；
蓝线是没有配备平滑控制装置情况下的逆变器输出功率；当发生诸如乌云等天气状况时，功率向下跳跃的数率太大，远远超过了电网的允许范围。绿线是配备了平滑控制装置后逆变器的输出功率，可以满足电网对功率波动允许范围的要求。

- 4. 主动配电网的技术实现

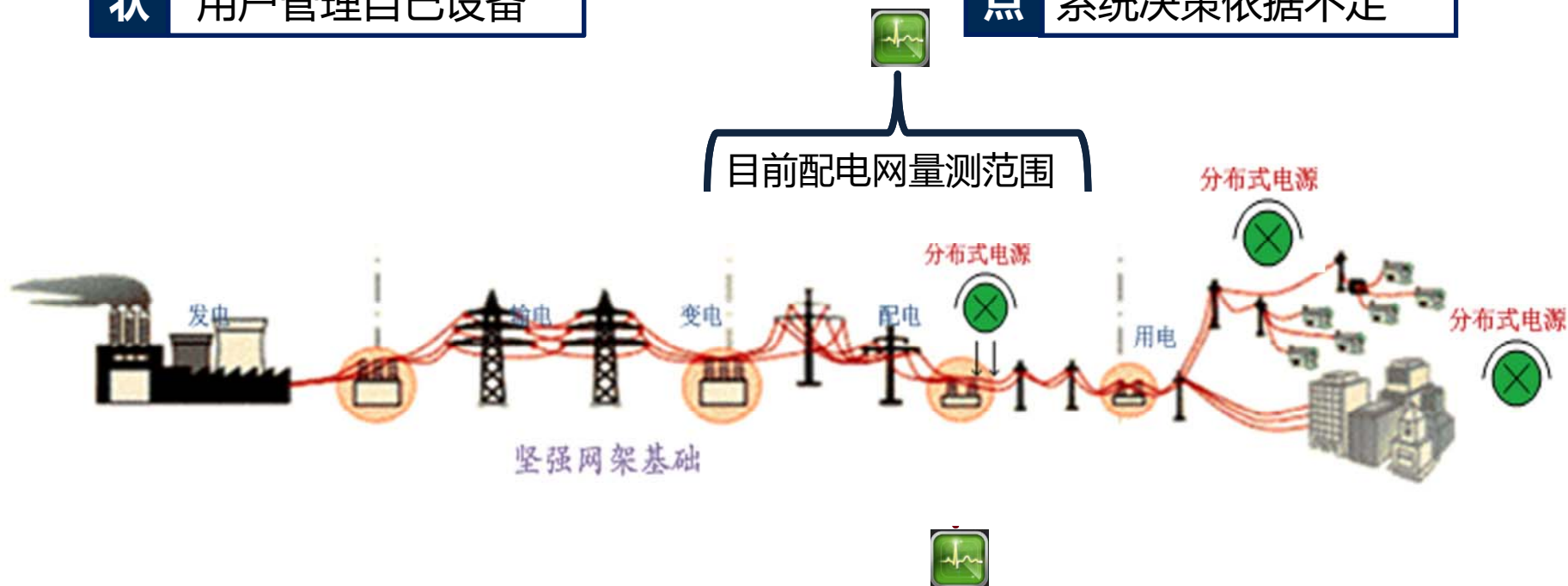
主动配电网的基础：全面量测

现状

电网监控自己设备
用户管理自己设备

缺点

信息不完整
系统决策依据不足



措施

主动拓宽量测范围
兼容用户侧信息

配电终端监测设备 (IDU)



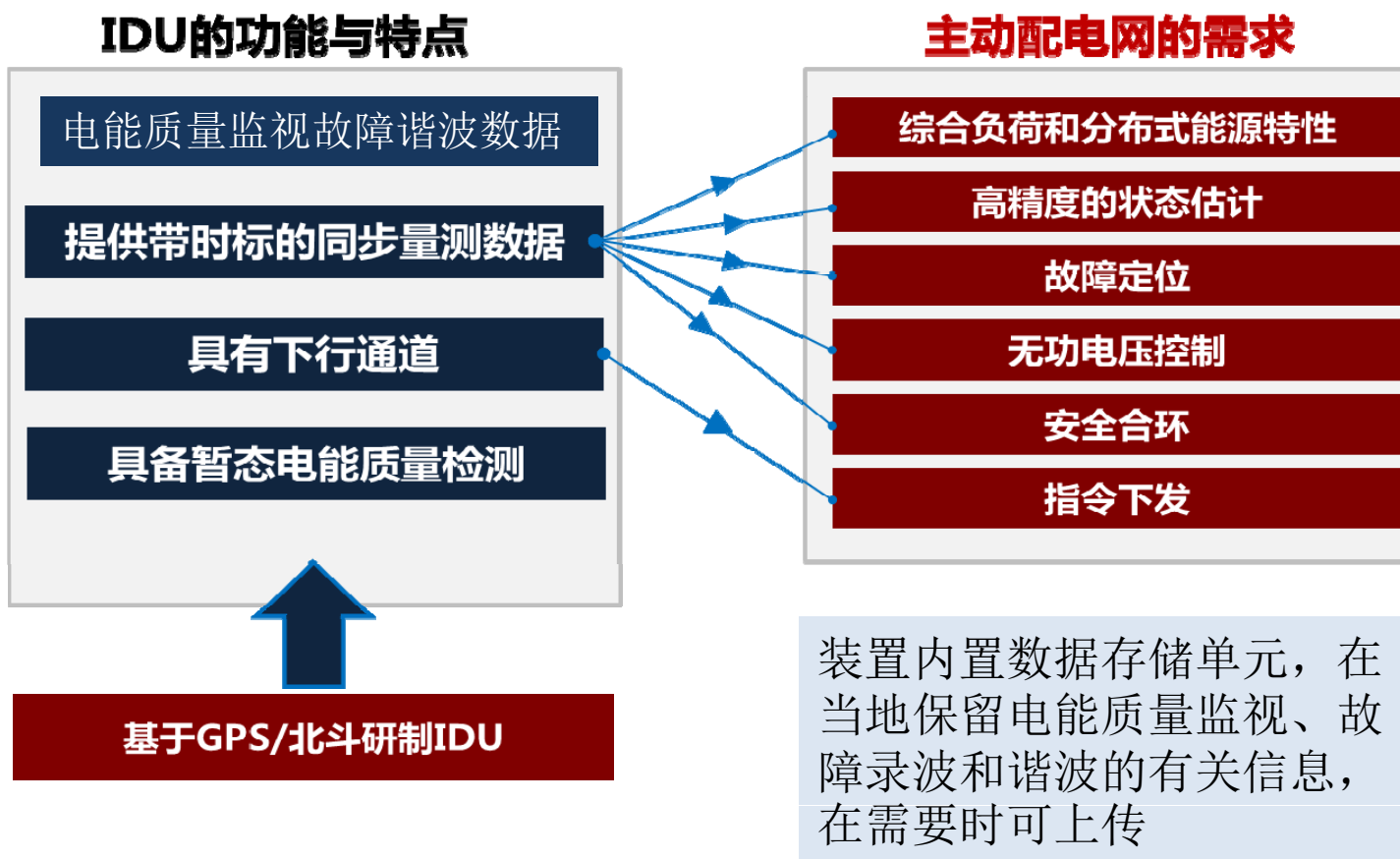
用户信息

- ✓ 分界室的用户端信息
- ✓ 同步信息
- ✓ 智能电表的信息
- ✓ 分布式发电的信息
- ✓ 用户配电设备信息

完整的信息 系统决策的依据

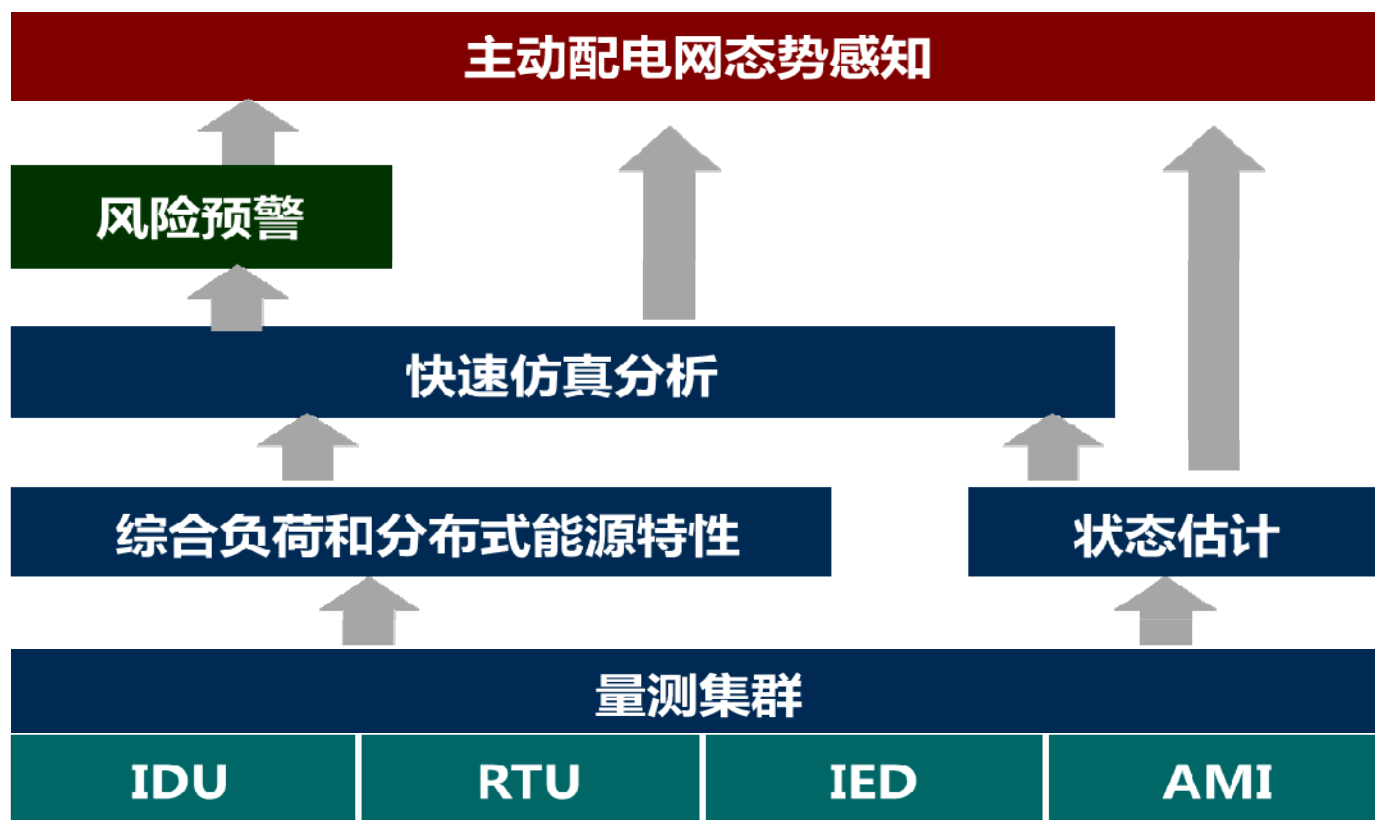
综合配电单元IDU

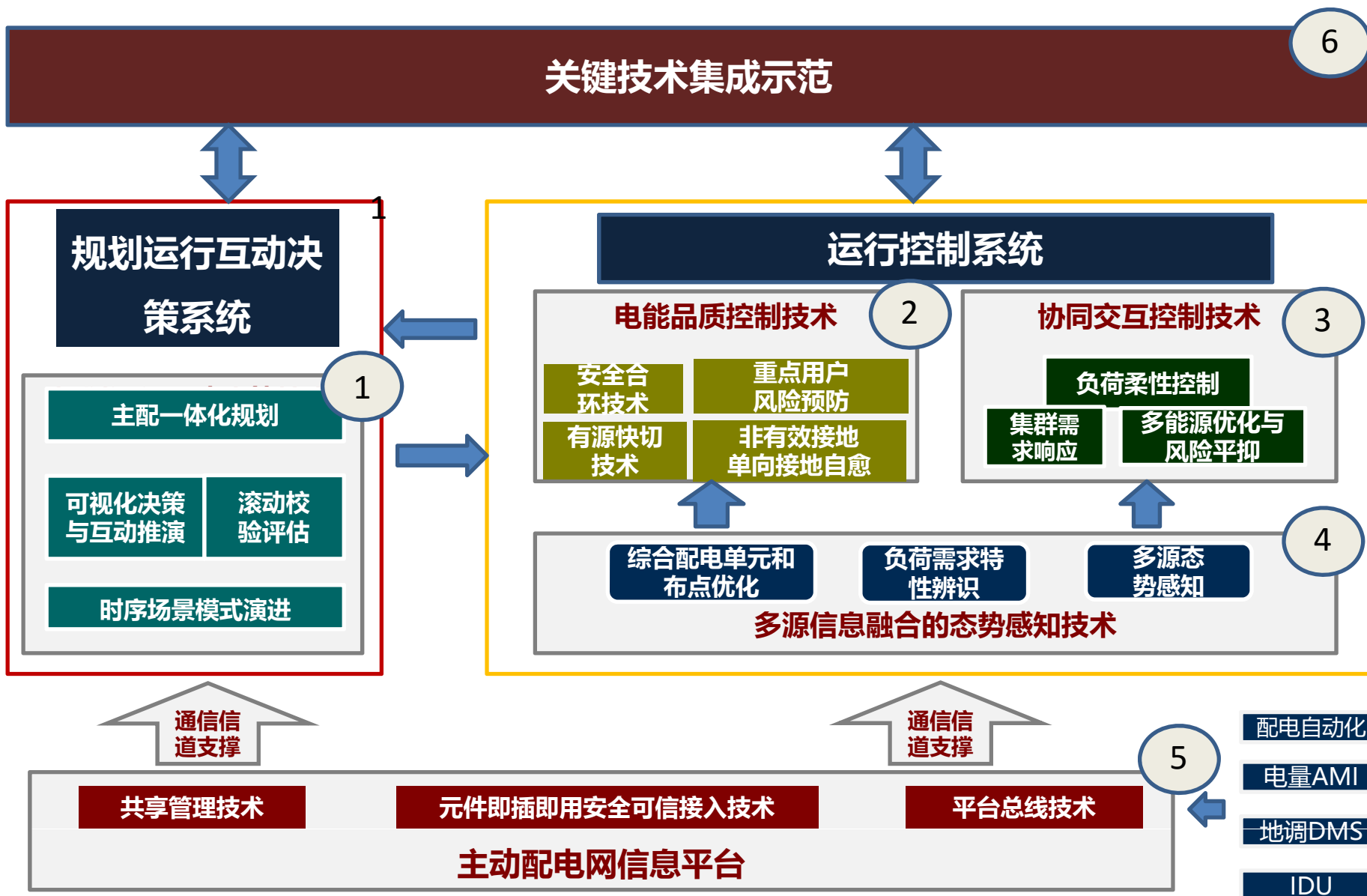
■ 适用于主动配电网的综合配电单元



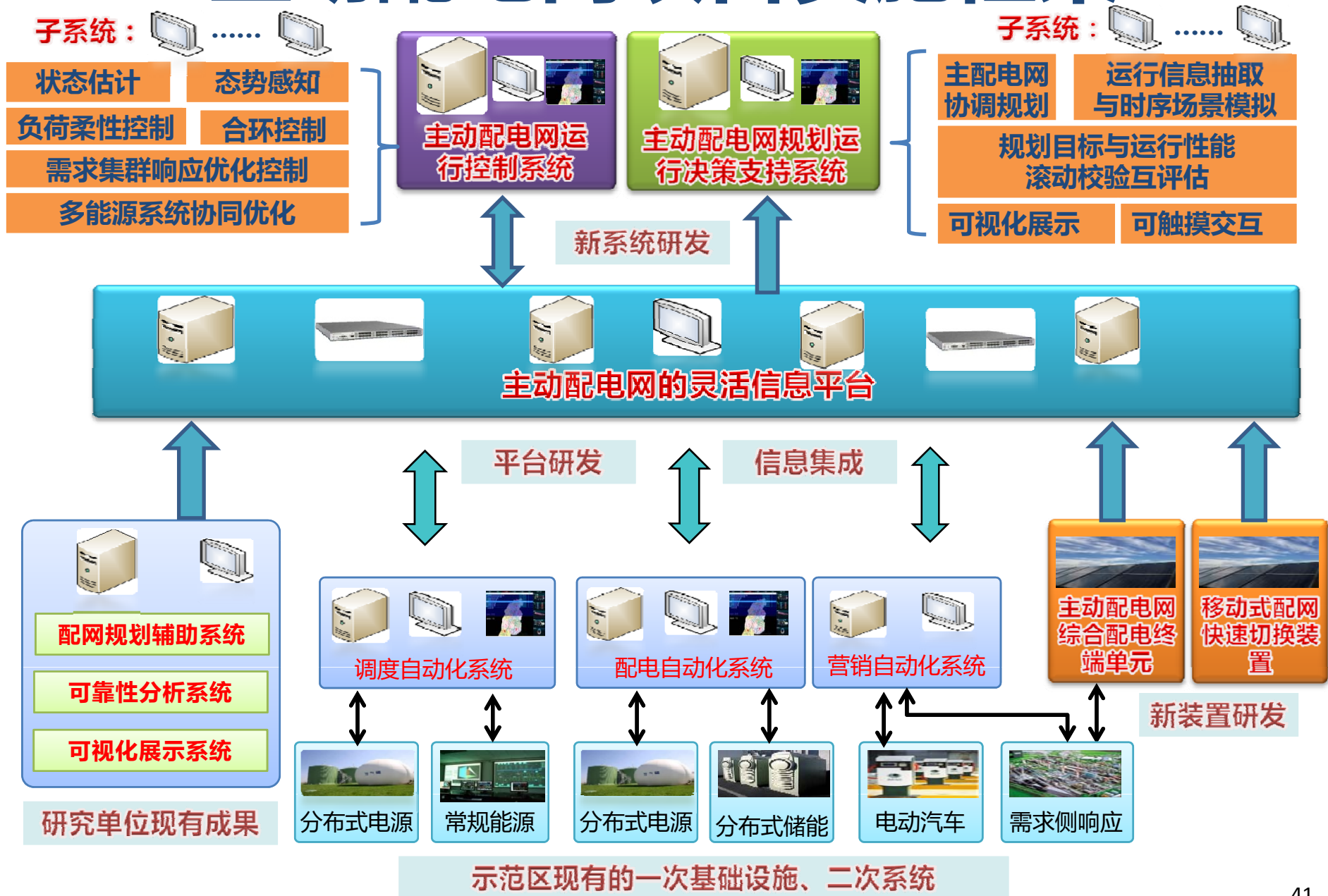
主动配电网态势感知技术

- 基于状态估计、快速仿真分析和风险预警的多信息源主动配电网态势感知预警技术





主动配电网项目实施框架



5. 结论

- 分布式电源、电动汽车和高品质供电需求的出现改变了传统配电网的形态，产生了一系列新的问题需要解决
- 信息通信技术的快速发展与现代配电网的密切结合，产生了主动配电网
- 主动配电网的核心理念是配电网侧的主动规划、主动管理、主动控制与主动服务，用户侧的主动响应和发电侧的主动参与
- 以信息集成为基础，结合主动配电网理念和大数据的配电网规划运行控制技术是智能电网的重要研究方向

谢谢！