



武汉大学

WUHAN UNIVERSITY

# 新型配电系统关键

# 技术与展望

Key technologies and  
prospects of new  
distribution system

董旭柱 王波 武汉大学

📍 武汉光谷

📅 2024年6月



# 目录

CONTENT

一

目标和特征



二

关键技术

三

发展中的问题

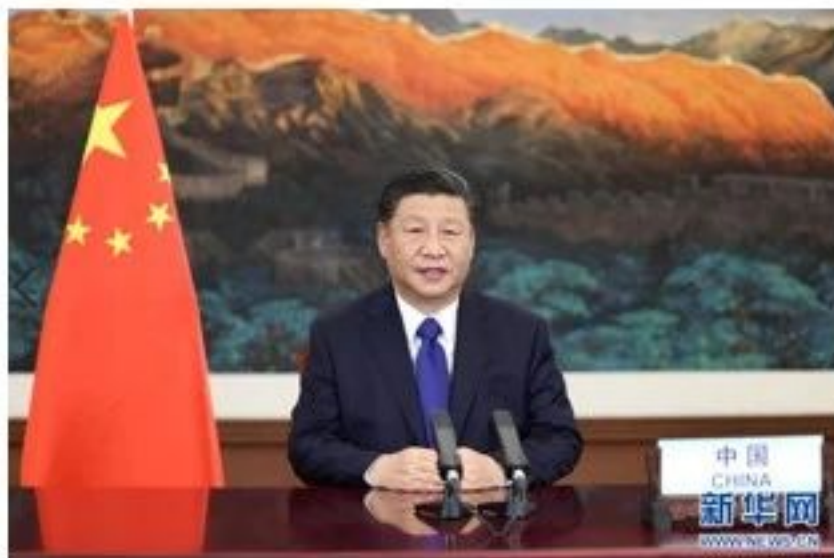
四

结语

# “碳达峰、碳中和”指明了新型配电系统发展的目标和方向



武汉大学  
WUHAN UNIVERSITY



“中国将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的政策和措施，二氧化碳排放力争在**2030**年前**达到峰值**，努力争取**2060**年前实现**碳中和**。”

——习主席在第75届联合国大会讲话

2020年9月22日

“要构建清洁低碳安全高效的能源体系，控制化石能源总量，着力提高利用效能，实施可再生能源替代行动，深化电力体制改革，**构建以新能源为主体的新型电力系统。**”

——2021年3月15日，中央财经委员会第九次会议

# 配电系统是构建新型电力系统的关键领域



武汉大学  
WUHAN UNIVERSITY

- 配电系统承上启下，是区域多能源互补的协同平台、交易平台、分布式能源接入和消纳平台
- 配电系统具备开放互动灵活特征，满足用户多样化的能源电力需求
- 新型配电系统可测、全观、灵活可控和自愈，保障安全可靠和经济运行的供电要求



集成规模化分布式能源、新型负荷和储能，融合先进传感和信息通信技术等的区域电力系统

## 高渗透分布式资源并网 存在瓶颈



分布式资源接入需求快速增长



配电网承载力不足



## 巨量分布式柔性负荷 接入要求高



柔性负荷主体突破千万量级



多时标、离散连续混合特征复杂



## 适应终端能源电力转型发展的配 套机制政策相对滞后



规划、管理模式亟需调整



市场化机制尚不完善



配电网由电能配送网络演化为分布式资源高渗透接入、柔性负荷参与互动的“新型局域电力系统”

关键指标		2021	2025	2030	2060
源	分布式电源装机 (35kV及以下)	1亿千万	2.5~3亿千瓦	3.9亿千瓦	10.95亿千瓦
	用户年均停电时间 (城市)	2.6小时	≤2小时	≤0.5小时	≤5分钟
网	用户年均停电时间 (农村)	13.8小时	≤10小时	≤5小时	≤1小时
	电动汽车	500万辆	2500万辆	8500万辆	5.3亿辆
荷	全国用电量	8.3万亿度	9.5万亿度	12万亿度	16万亿度
	最高负荷	10.4亿千瓦	15.7亿千瓦	17.7亿千瓦	24.3亿千瓦
	电能占终端能源消费比重	27%	34%	43%	70%

上述数据仅供参考，以官方数据为准

## 挑战1:

海量多元用户与电网的双向能源信息交互不足，用户侧灵活资源利用水平低，分布式能源消纳受限

### 用户用能用电方式单一

- 规模化互动技术支撑不足
- 辅助服务市场机制欠缺
- 柔性负荷利用不足，规模效益尚未体现

### 电动汽车储能潜力难以发挥

- 轨道交通冲击性负荷逐步恶化电网电能质量
- 大规模电动汽车充换电负荷加大局部电网峰谷差
- 电动汽车移动储能资源的聚合作用尚未发挥

### 工商业用户资源利用低效

- 能效管理服务能力不足
- 与电网深度融合的智慧管控和辅助决策水平亟待提升

### 新型农业产业负荷调节能力欠缺

- 新型农业产业负荷快速增长，调节能力未充分挖掘
- 县域分布式能源发展迅猛，乡镇源荷互动不足，用能成本高

## 挑战2:

**多能源微电网与智能配电网的优化协同技术欠缺，难以支撑碳中和目标下新形态电网构建**

### 配电系统整体数字化和智能化水平亟待提高

- 配电数字化和智能化水平亟待提高
- 配电自主化水平和供电可靠性急需提升
- 适应源荷不确定性的配电网灵活性不足

### 微电网群高度自治等技术还处于起步研究阶段

- 微电网群与配电网的互动群控技术不足
- 高比例分布式光伏、分散式风电存在可观可测可控、电能质量和安全问题
- 微电网群支撑极端环境供电水平欠缺

## 挑战3:

**综合能源互联的规划、运行和低成本互联转换技术仍然欠缺，综合能效和减碳水平亟待提升**

### 多能源系统互联组网技术欠缺

- 多能源系统资源禀赋和场景多变，互联组网规划难度大
- 多能源系统出力不确定性，协同控制运行难度大

### 电碳计量缺乏明确理论基础

- 电碳排放计量未考虑源网荷储特性

### 多能源运维管理难度倍增

- 生产-消费-市场各环节多能源闭环优化协调的信息交互难度大
- 行业分割的运营管理机制难以满足海量多能源大数据增值服务的需求

## 安全可靠

- 网架结构坚强、**柔性互联**
- 供电可靠性高、供电能力强、供电质量高
- 抵御自然灾害和应对突发事件的**弹性恢复能力强**

## 绿色高效

- **分布式电源和新型用能高占比**
- 运行控制可测、全观、可控和自愈能力强
- **资产管理水平高**：设备绿色节能高效、风险和成本量化可控、资源（人财物）优化配置能力强

## 灵活互动

- 分布式电源/储能/微电网/EV/需求响应灵活接入，即插即用，即源网荷储高效协同
- **数字技术深度融合**
- 运行方式灵活可调，多业务无缝联动
- **市场机制运转高效**，利益相关者有效互动

# 现代智慧配电网-国家电网公司



武汉大学  
WUHAN UNIVERSITY





武汉大学  
WUHAN UNIVERSITY

# 目录

CONTENT

一

目标和特征

二

关键技术

三

发展中的问题

四

结语



技术	新能源消纳	可靠性	电能质量	能效	灵活性	安全
1-配电协同规划技术	√	√		√	√	√
2-配电自愈控制技术	√	√	√	√	√	√
3-配电资产管理技术	√	√		√		√
4-配电设备智能化及柔性配电技术	√	√	√	√	√	
5-分布式电源与微电网技术	√			√		√
6-配电防灾减灾抗灾技术		√				√
7-直流配电技术	√		√		√	
8-能源互联网技术	√		√	√		
9-储能/DR/EV/DER等灵活性资源市场交易技术	√	√	√		√	√
10-ICT的配电应用		√	√		√	√

# 1-配电系统协同规划技术



武汉大学  
WUHAN UNIVERSITY

## 协同规划

- 中低压
- 源网荷储
- 一二次
- 多能互补
- 智慧城市多领域



## 要求

- 经济
- 可靠
- 简洁
- 协同



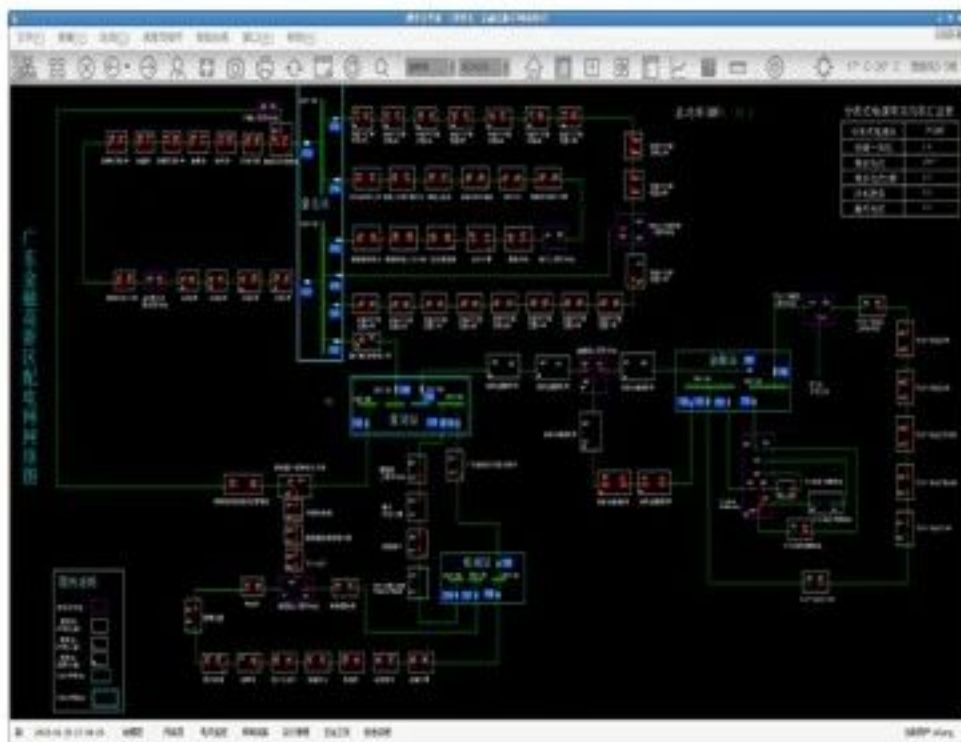
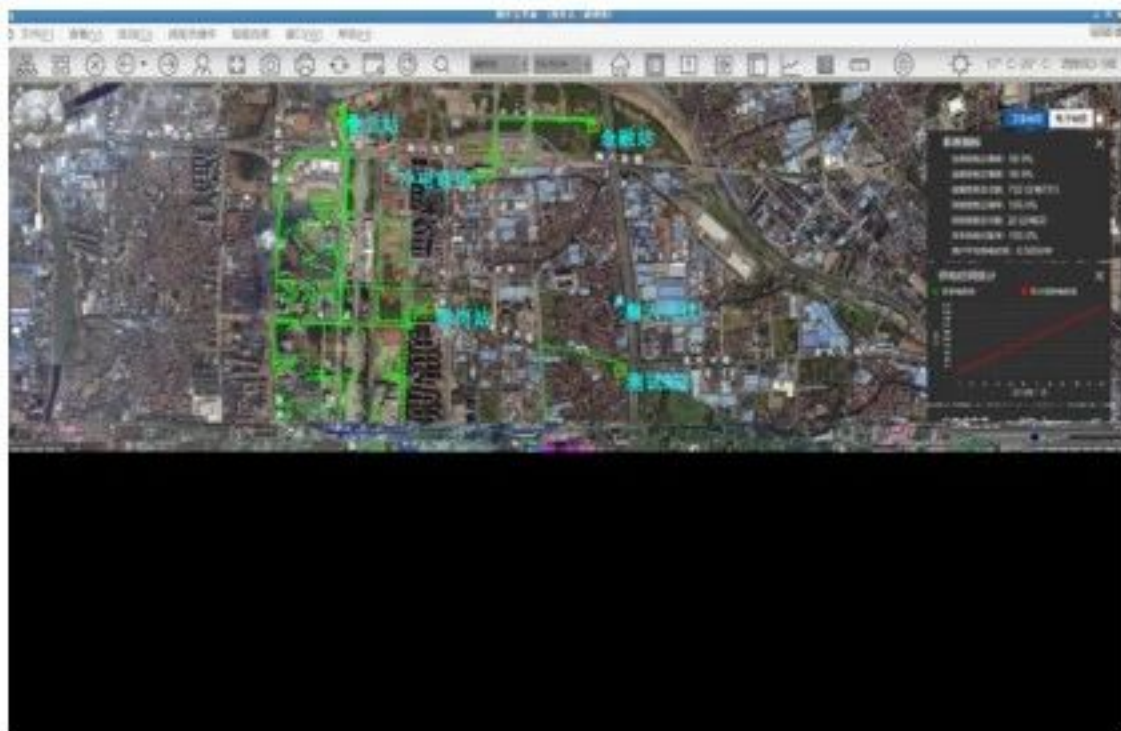
## 2-配电网自愈控制技术



### 技术要求

- 态势感知
- 灵活性资源与配电网协调的自愈控制
- 适应多业务主体参与市场交易下的分布式控制
- 电压无功优化技术

- 高比例分布式电源
- 高比例电力电子化
- 高度融合的数字化



回答配电系统曾经发生了什么？正在发生什么？将要发生什么？



可观性

目标：实现配电系统、环境和设备当前状态和趋势的全观，适时协同地辨识风险，保障系统经济可靠运行

## 配电状态

- 环境信息（气象、突发事件、分布式电源出力、灵活性资源预测等）
- 运行信息（系统模型、实测信息）
- 状态信息（系统、设备、负荷、客户、EV、分布式电源、储能、系统备用、检修运维等）
- 交易信息
- 供电可靠性和供电质量
- 配电物联系统状态等

## 发展趋势

- KPI
- 状态变化趋势 和关联关系（风险辨识）
- 潜在风险显性化（诊断结果）
- 状态预测及对策（可靠性评估等）

## 态势感知应用

- 运行控制
- 灾防应急
- 市场交易
- 计划安排
- 检修运维
- 客户服务
- 事故分析

# 3-现代配电资产管理技术



## 多利益相关者的资产管理

- 多样化配电设备的资产全生命周期管理：标准、品控、运维、事故分析、退役 - 量化评估

## 配电设备运维新模式

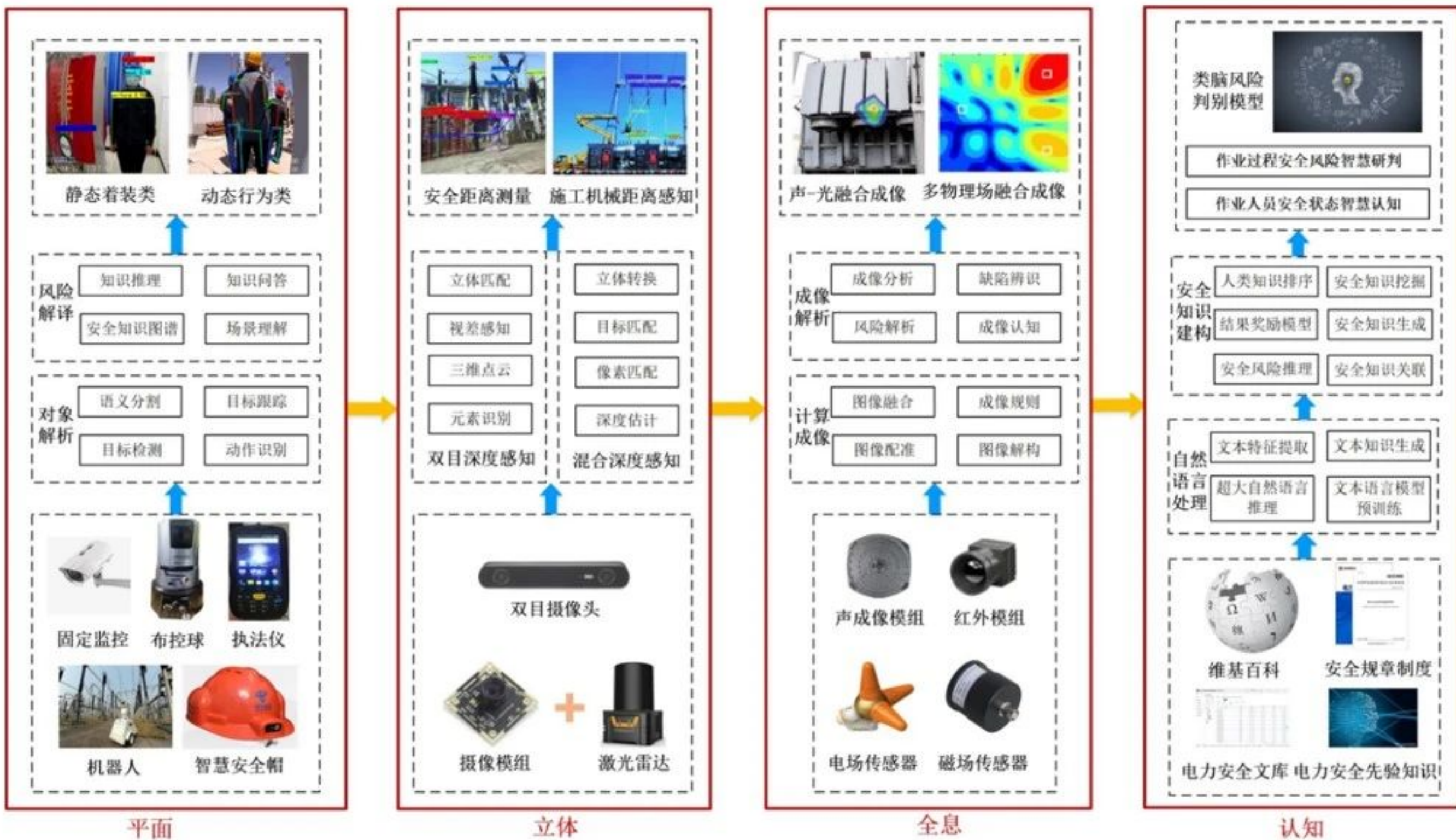
- 预防性维修 — 状态检修 — 自检运维

## 新技术新材料应用

- 配电不停电作业技术等
- 环保气体、绝缘材料、功能材料



构建平面-立体-全息的体系化安全风险防护技术架



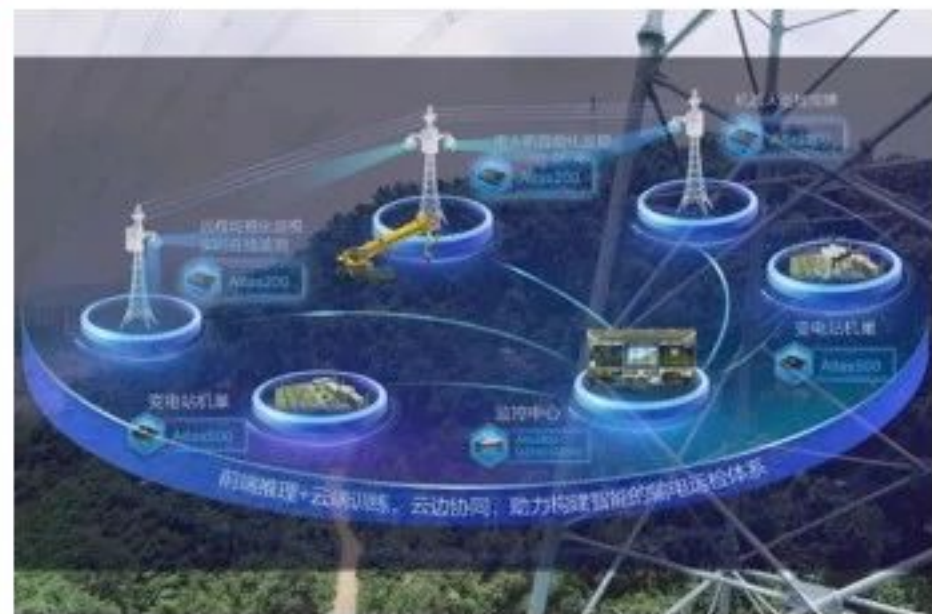
## 4-配电设备智能化及柔性配电技术



武汉大学  
WUHAN UNIVERSITY

智能化配电设备 → 一二次融合 → 高度融合的数字配电设备

- 数字化处理+自我检测诊断+自适应控制+物联网
- 信息融合：电气量+噪音+温度+振动+气象... ..
- 新材料+新功能+新技术 ... ..



柔性配电技术 – 电力电子化装备

- 电能质量相关配电技术，如：SVC, D-STATCOM, DVR等
- 柔性潮流控制设备，如D-UPFC、磁控变压器、变流器、能源路由器、电力电子变压器、软开关、限流器、柔性双向并网设备等
- 直流设备，如直流断路器、直流变压器等
- 超高功率密度多端口能量路由技术和设备



# 4-配电设备智能化及柔性配电技术



武汉大学  
WUHAN UNIVERSITY

## 电力+电子融合设备



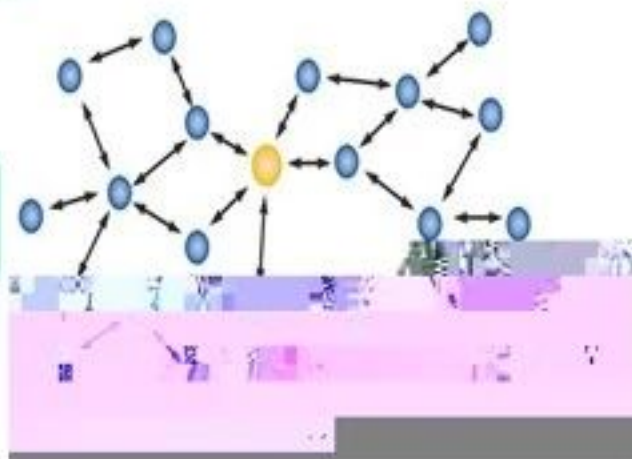
- 小型化
- 微型化
- 模块化
- 功能集成
- 无线取能
- 免维护
- 热插拔



一台风机400多个传感器



- 可靠
- 经济
- 安全
- 易实现



集成芯片化配电终端的环网柜



- DTU
- Protection
- Cond monitoring
- IoT port

SoC based DTU (IP67)



# 5-分布式电源与微电网技术

- 多层次多场景微电网群群观群控和群体智能运行优化技术
- 软件定义微电网群
- 基于分布式能源构网聚合和源荷储集群主配协同的系统惯性响应支撑技术

风电控制终端 光伏控制终端 储能控制终端



微电网中央控制器  
(MGC201)



协调控制器

分布式电源接入终端



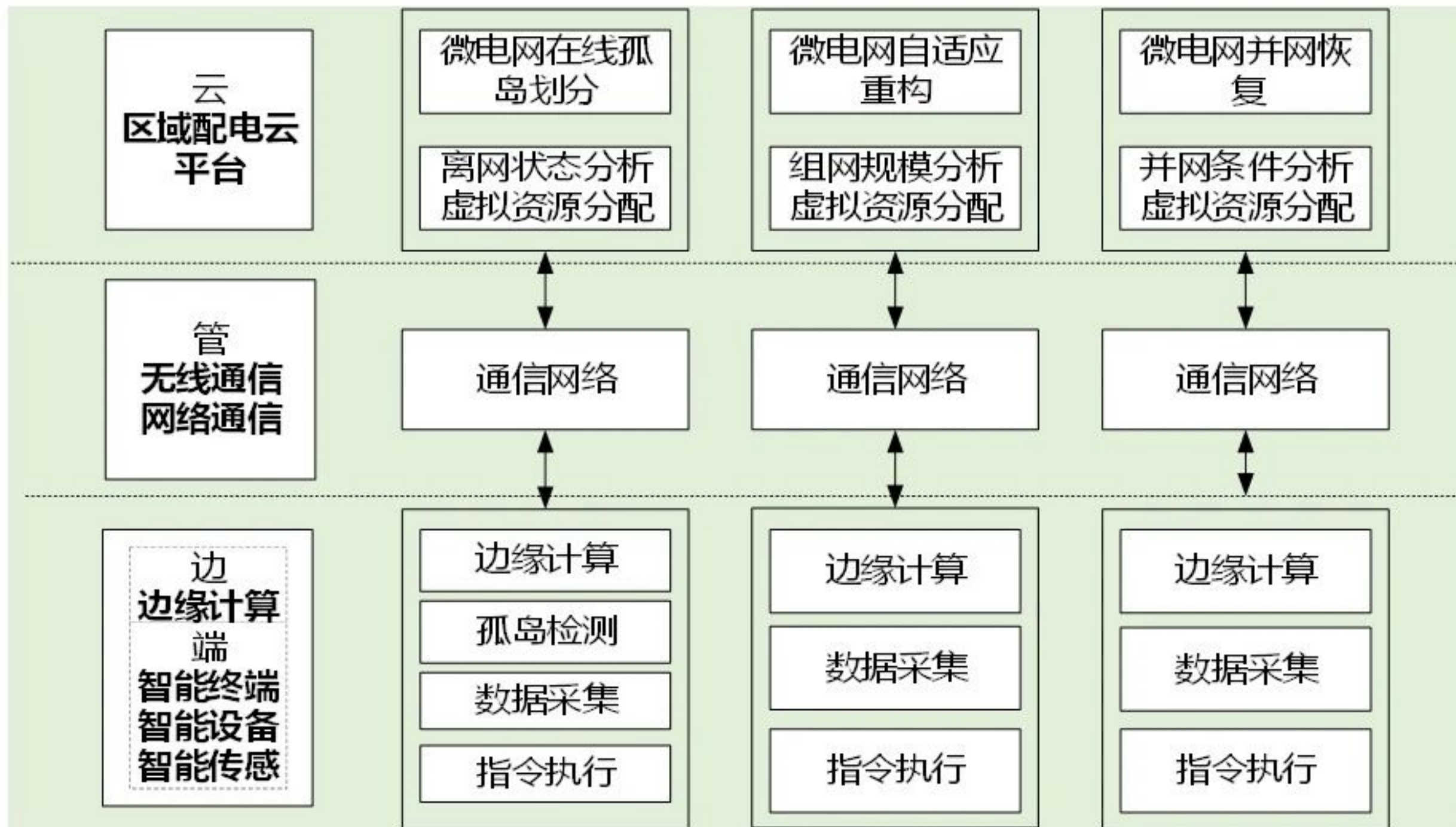
冷热电联供控制终端

小水电控制终端

# 5-分布式电源与微电网技术：软件定义微电网群

## 软件定义微电网群

- 网架灵活可调
- 设备即插即用
- 系统主动柔性
- 网群互联互通

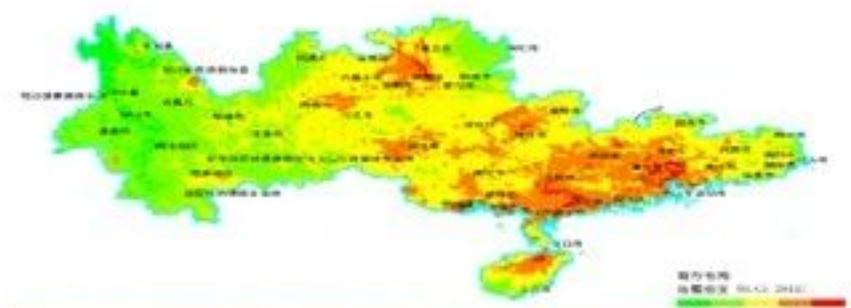


# 6-配电防灾减灾抗灾技术

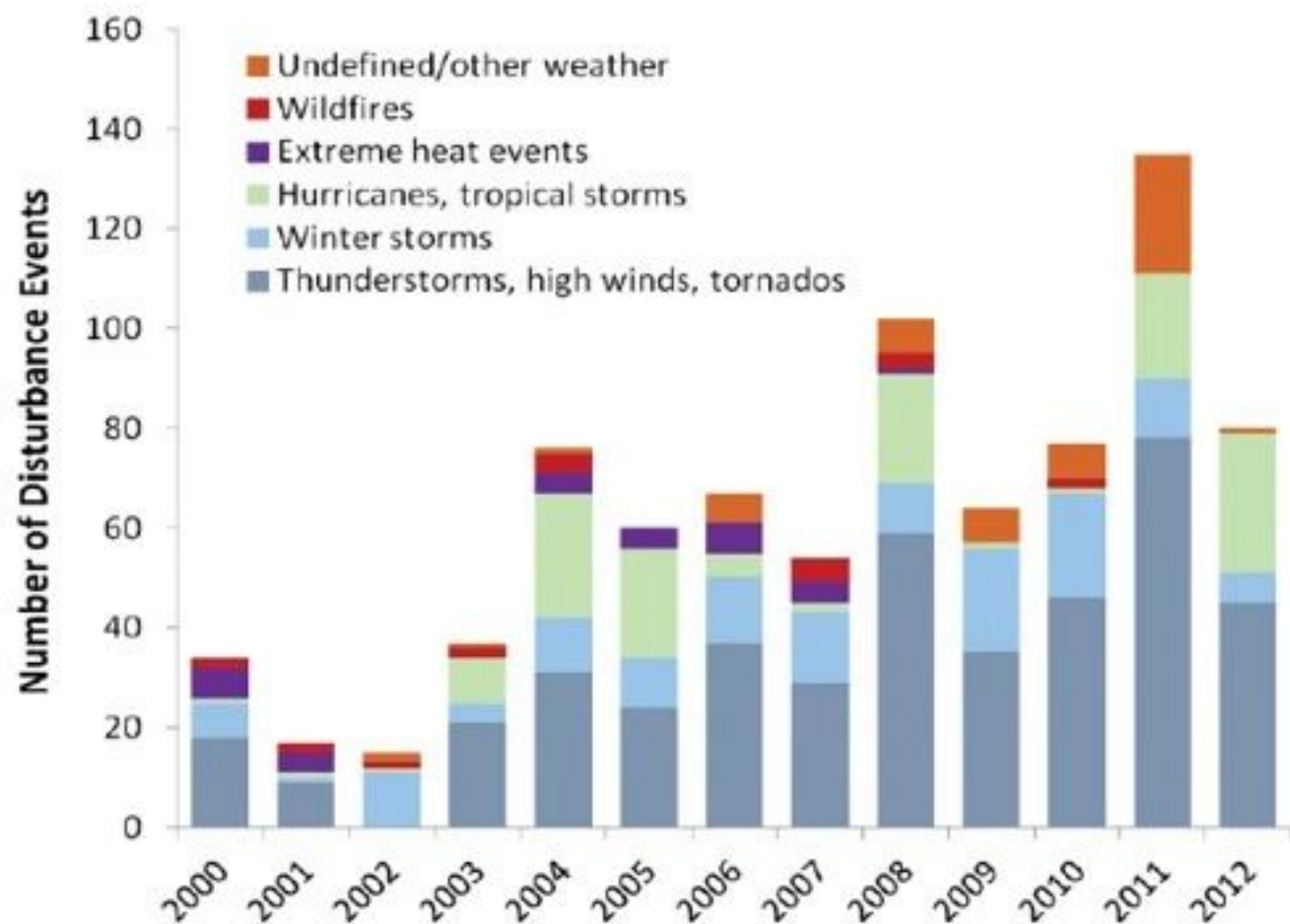


## Resilience:

- 灾害预警技术 (自然灾害、树木、人为破坏、突发事故等)
- 灾害评估技术 (网络评估、可靠性评估、资源评估等)
- 抗灾能力提升技术 (灵活性提升、网架增强、多能互补、应急保障能力提升等)
- 抗灾资源配置优化技术



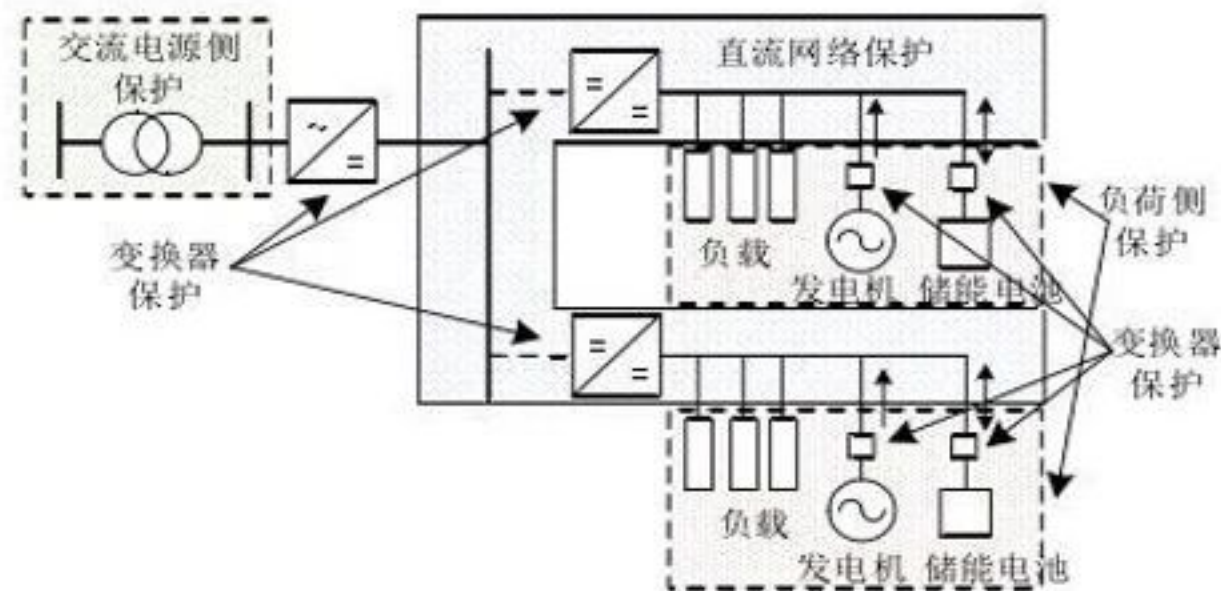
•来源: US DOE/Quadrennial Technology Review, 2015



Trends show steadily increasing weather-related grid disruptions, with major disruptions every few years.

## 关键技术

- 灵活高效、经济可靠的直流变换
- 交直流混合配电系统多模式优化控制
- 控制保护技术等



## 用户侧直流配用电系统适宜场景

- 高比例分布式可再生能源区域
- 数据中心
- 工业园区
- 城中村改造
- 低压直流系统等

## 问题

- 成本
- 可靠性
- 网损
- 文化和管理模式

## 关键技术

- 电碳溯源、计量与交易
- 多维协同规划、风险评估、运行优化方法
- 满足分布式可再生能源清洁制气需求的电-气-热高效转换和存储技术及装备
- 基于区块链的多元用户能源交易技术
- 减碳需求响应技术

## 目标

- 多能源互联、多元信息共享、交直流供电模式共存、能源交易灵活



## 开放性和市场化

01-需求响应/虚拟电厂(工业/商业)

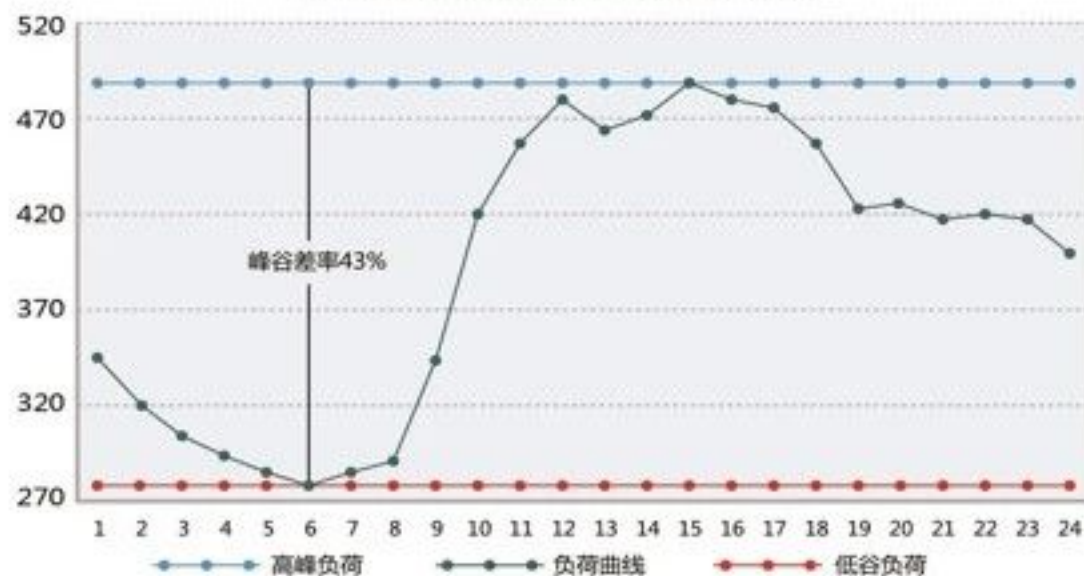
02-分布式电源

03-分布式储能、移动充电宝

04-电动汽车有序充电和车网互动预测、控制、协同、交易



2017年城市电网负荷峰谷差 (万kW)



## 电动汽车有序充电和车网互动

- 电动化交通兆瓦级大电流供需互动能源系统技术及装备
- 大规模电动汽车充/换放电行为特征提取、充/换电需求预测和放电能力评估
- 市场机制下电动汽车移动储能虚拟组网、充放电聚合响应能力及与电网互动技术
- 面向大规模电动汽车换电基础设施的动力电池快速计量、与灵活交易技术



- 集成传感、通信、控制、安全功能的配电融合芯片
- 边缘计算、深度学习、机器学习、知识计算、区块链等技术应用
- 配电网络安全
- 配电数据资产应用



# 10-ICT应用技术：数字孪生配电系统



武汉大学  
WUHAN UNIVERSITY

## 传统配电监控中心



## 现场



## 监控中心+虚拟现场



5G+ 配电物联网



## 现场+虚拟监控中心



# 10-ICT应用技术：数字孪生配电系统



## 架构：物理层、数据层、机理层、表现层和交互层

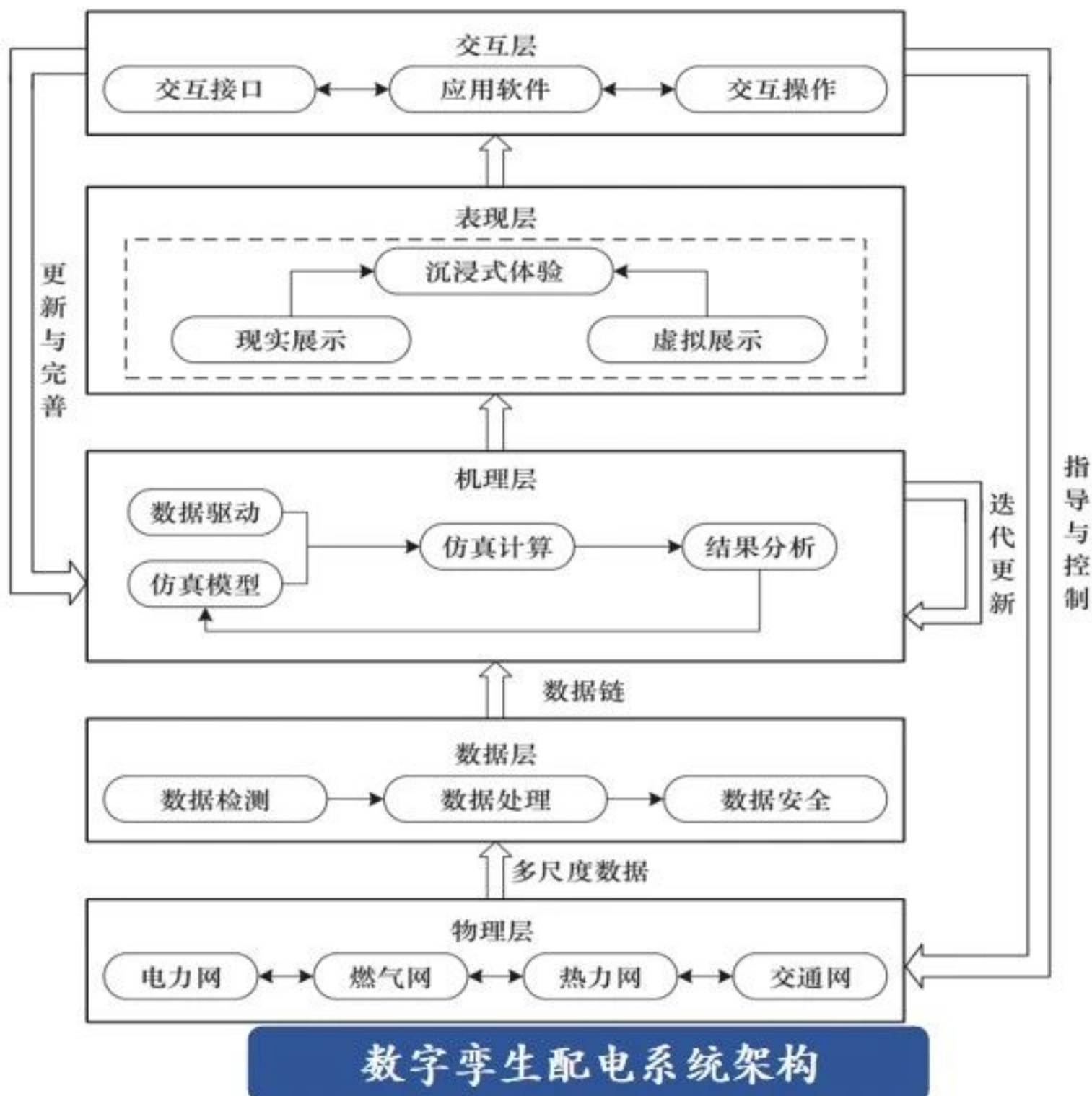
➤ 物理层基于配电物联网平台，在各智能设备中应用先进传感器技术收集系统运行的多模异构数据，集成了物理感知数据、模型生成数据、虚实融合数据等海量数据

➤ 数据层对数据预处理并传输

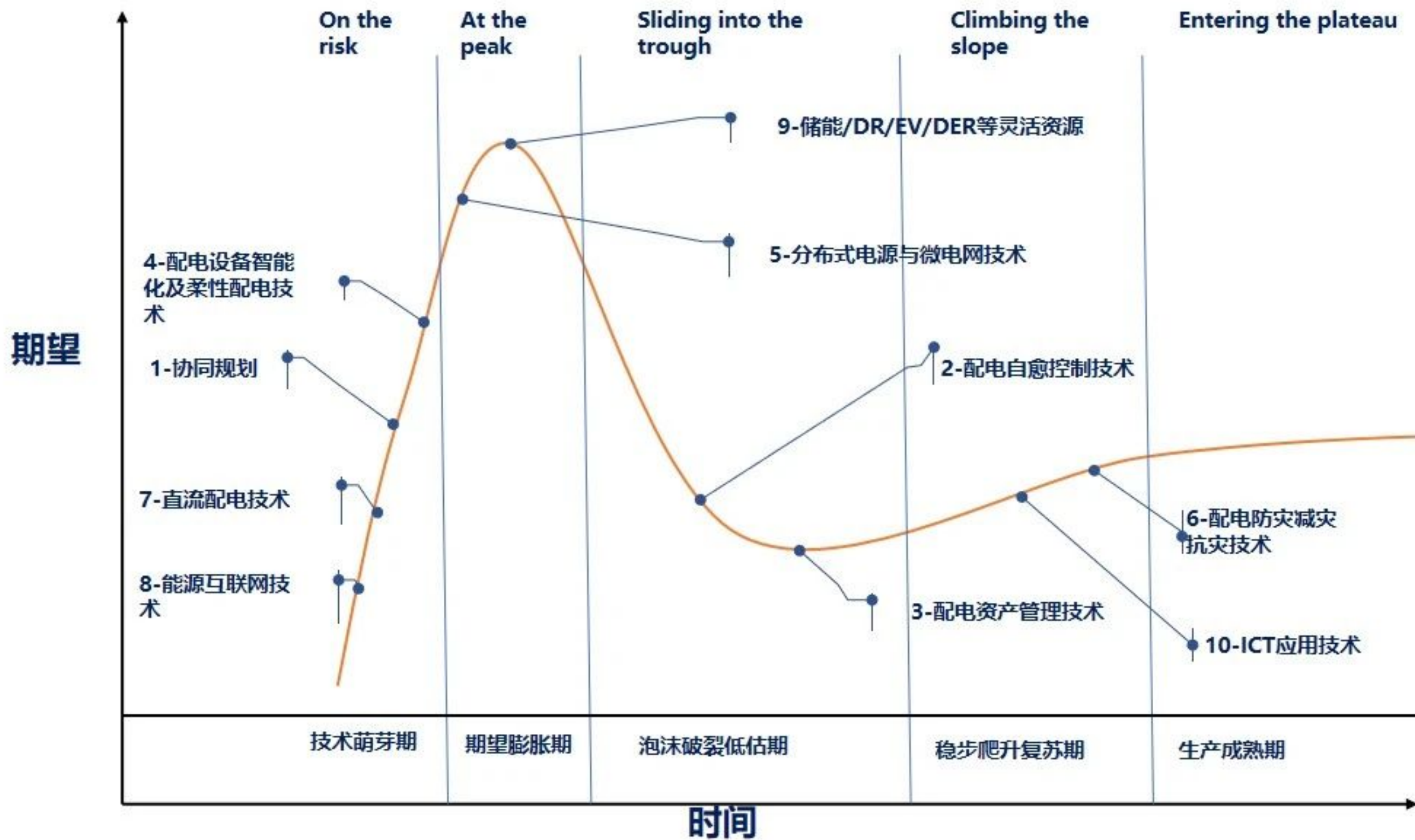
➤ 机理层接收多尺度数据通过“数据链”输入仿真模型后进行数据整合和模拟运算

➤ 表现层以“沉浸式”方式展现给用户

➤ 交互层可以实现精准的人机交互，交互指令可以反馈至物理层对物理设备进行控制，也可以作用于机理层实现仿真模型的更新和迭代生长。



# 新型配电系统关键技术成熟度- Hype cycle





武汉大学  
WUHAN UNIVERSITY

# 目录

CONTENT

一

目标和特征

二

关键技术

三

发展中的问题

四

结语



构建以新能源为主体的新型配电系统，现阶段面临的一些问题：

## 投资主体变化

- 接入投资大，投资范围转移，投资收益主体改变

## 系统运行问题

- 电能质量：电压越限，电压波动、谐波、配变逆过载
- 运行管理：运控、营销、调度、交易主体协同
- 运维管理：资产所有者变化

## 标准化和即插即用

- 模型统一、实证平台、示范工程、典设

## 文化理念转变

- 管控型的配电网—区域电力系统和交易平台

## 新型配电系统的研发和产业带动作用：

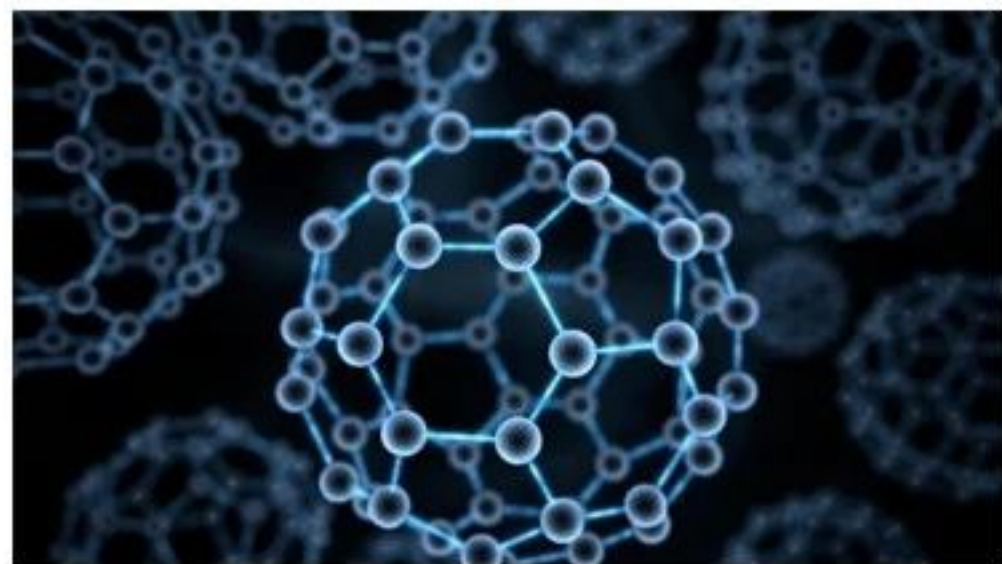
### 信息通信技术

- 工业芯片
- 云计算/人工智能
- 物联网/大数据
- 信息通信/信息安全
- 传感技术

### 电力电子技术

- 电能转换设备
- 电池储能装备
- 电动汽车充放电
- 新能源发电
- 柔性直流配电技术
- 微电网

### 新材料



**相关联产业：智慧城市、城镇化、智能家居、市场金融等**



武汉大学  
WUHAN UNIVERSITY

# 目录

CONTENT

一

目标和特征

二

关键技术

三

发展中的问题

四

结语



## ➤ 配电网—区域电力系统

### ➤ 新型配电系统

- 基石：坚强柔性的配电网架和可靠灵活的设备资产
- 构建原则：经济、可靠、简洁
- 发展重点：分布式能源、灵活资源、数字化装备、和市场交易

➤ **新型配电系统=技术+管理+文化，需依托多领域的技术和管理创新与集成，开放共赢，以满足规模化分布式能源消纳和新型负荷的增长和互动。**