



国家电网
STATE GRID

中国电力科学研究院有限公司
CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE



NESC

“后补贴时代” 光伏电站运维现状及智能运维技术

汇报人：张双庆

新能源研究中心

2019年8月16日

目 录



国家电网
STATE GRID

中国电力科学研究院有限公司
CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE



一

光伏电站运维现状



二

光伏智能传感器



三

基于智能传感器的光伏运维系统





国家电网
STATE GRID

中国电力科学研究院有限公司
CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE

一、光伏电站运维现状

后补贴时代国家光伏政策导向



控制
规模

提质
增效

竞价
上网

下调
补贴



目标

实现平价上网、推动产业健康有序发展！

问题



收益空间压缩、
生存压力巨大



运维！

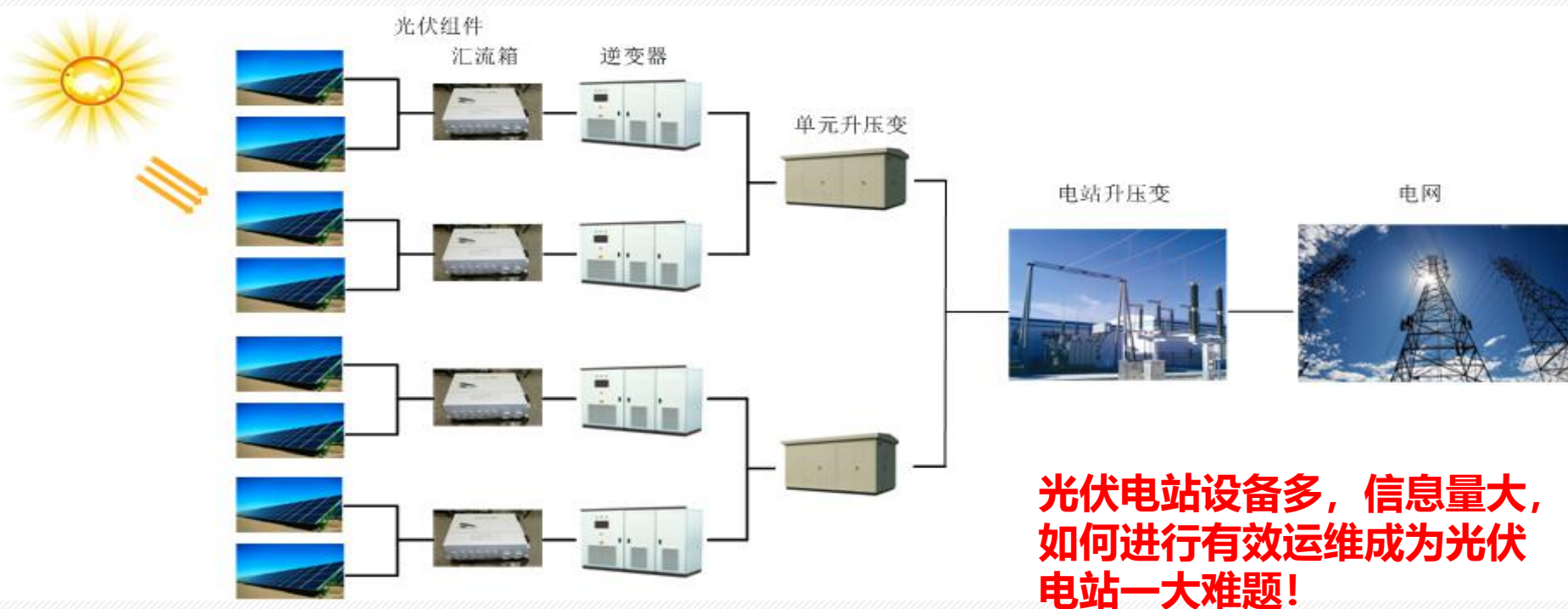


国家电网
STATE GRID

中国电力科学研究院有限公司
CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE

一、光伏电站运维现状

某60MW光伏电站设备统计





国家电网
STATE GRID

中国电力科学研究院有限公司
CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE

一、光伏电站运维现状

光伏电站在运行过程中，会因为各种故障导致发电量损失，迫切需要**故障诊断系统**，确保电站**收益最大化**。

光伏组件热斑

汇流箱熔丝烧毁

逆变器过热

光伏组件开路

汇流箱开路

逆变器过压

光伏组件短路

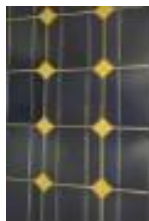
汇流箱短路

逆变器过流

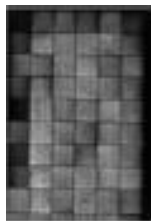
脱层、光衰



组件背板黄变



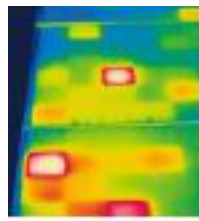
PID



蜗牛纹



安装隐裂、热斑



逆变器过流

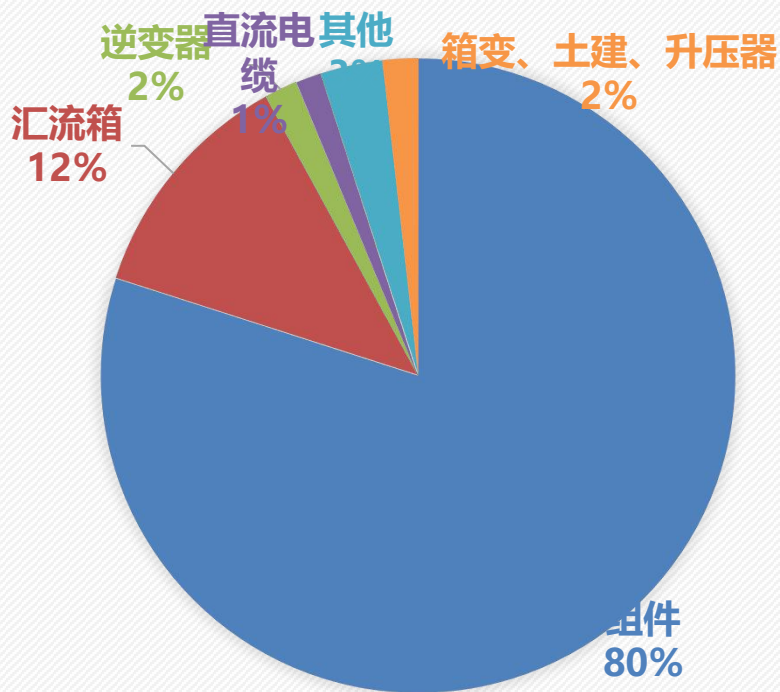


汇流箱短路

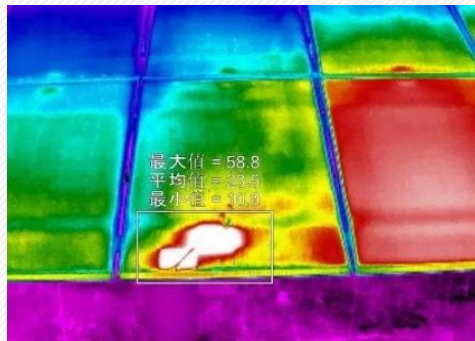


一、光伏电站运维现状

光伏电站**设备种类多**（变压器故障、逆变器故障、汇流箱故障、组件故障、线缆故障，）、**专业跨度大**（材料学、应用化学、电力电子、高压电器），**故障类型上千种**，识别难度大，**对系统的专业能力提出极大考验**。



某光伏电站故障统计





国家电网
STATE GRID

中国电力科学研究院有限公司
CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE

一、光伏电站运维现状

光伏组件是光伏电站的**最小**发电单元，每块组件的功率为250W-400W。光伏电站独特的**串并联结构**使一块250W的组件出现故障，可能导致超过88000W的功率损失，足足放大了**352倍**。**所以故障诊断应精确定位到组件级。**

250W

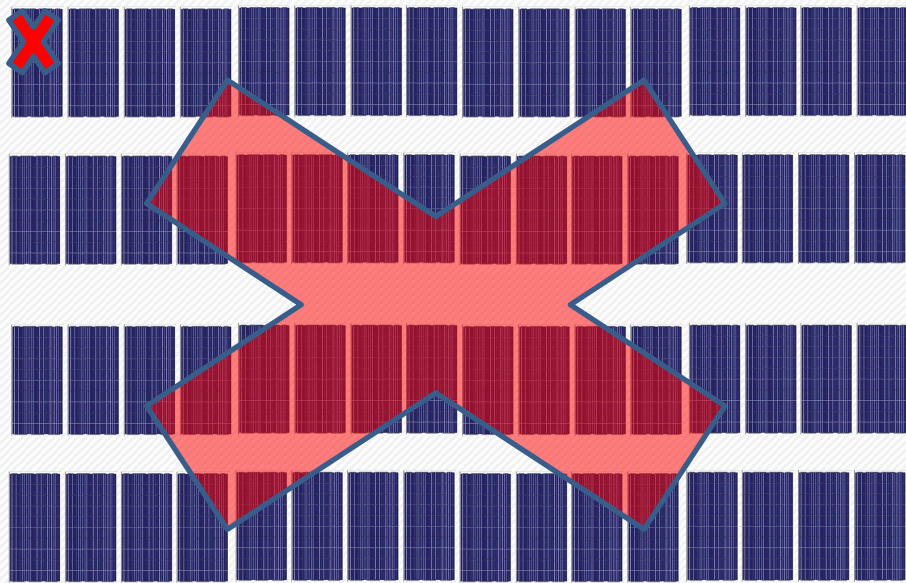
$250 \times 352 = 88000W$

100MW

40万块

18.4平方公里

2580个足球场





一、光伏电站运维现状

目前现状

- **组串级**设**普通传感器**，只采集数据，**无分析功能**，多级汇总后**数据质量较差**
- 逆变器仅使用自身运行数据，**数据维度较少**，上传汇总后数据质量变差
- **离线式**智能运维，**没有故障定位**和识别，需要**人工分析**数据判别和定位故障



增加边缘计算能力，减少冗余数据，提高数据实时性和质量，实现离线到在线、半智能到全智能运维

未来方向

- **组件级**设**智能传感器**，采集数据并且**边缘计算**，汇总**有效数据**和**报警信息**
- 逆变器增加**协同计算**功能，可接入其他边缘计算数据进行**综合分析**
- **在线式**智能运维，通过边缘计算和数据挖掘，**自动判别**和定位故障

目 录



国家电网
STATE GRID

中国电力科学研究院有限公司
CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE



光伏电站运维现状



光伏智能传感器



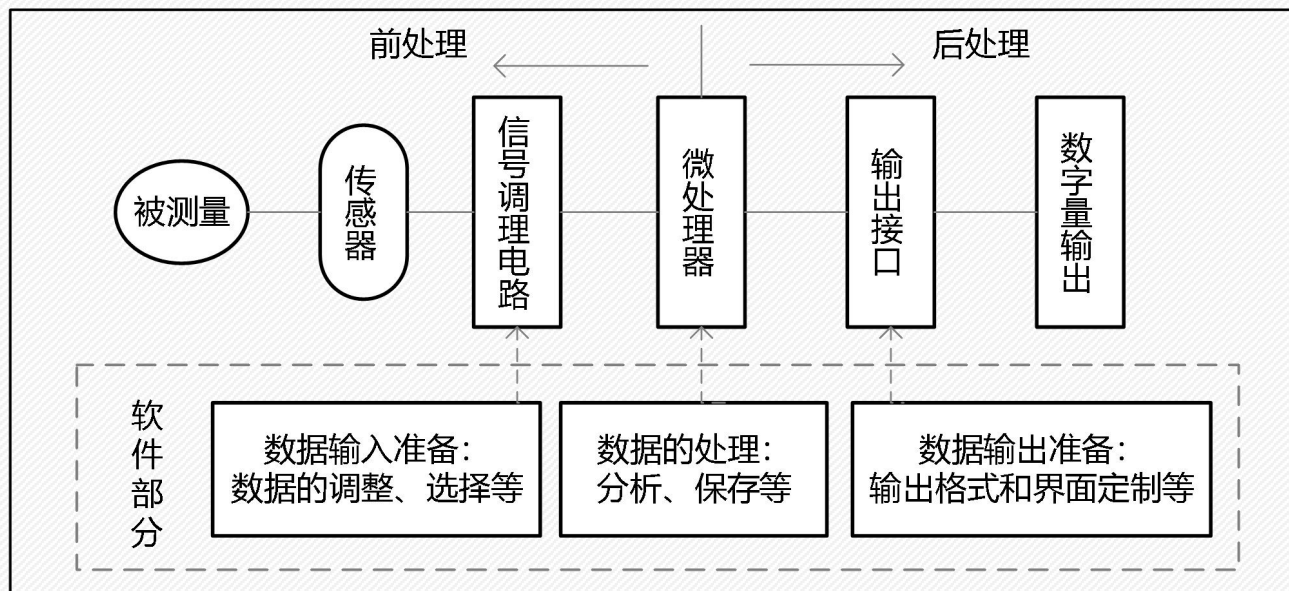
基于智能传感器的光伏运维系统





二、光伏智能传感器

光伏组件智能传感器：1) 主要由**传感器**、**微处理器**（或微计算机）、**相关电路及软件部分**组成，属于混合式智能传感器。



相比传统传感器在功能上有极大提高，几乎包括**仪器仪表的全部功能**，主要表现在：

- (1) 逻辑判断、统计处理功能
- (2) 自检、自诊断和自校准功能
- (3) 软件组态功能
- (4) 双向通信和标准化数字输出的功能
- (5) 人机对话功能
- (6) 信息存储与记忆功能

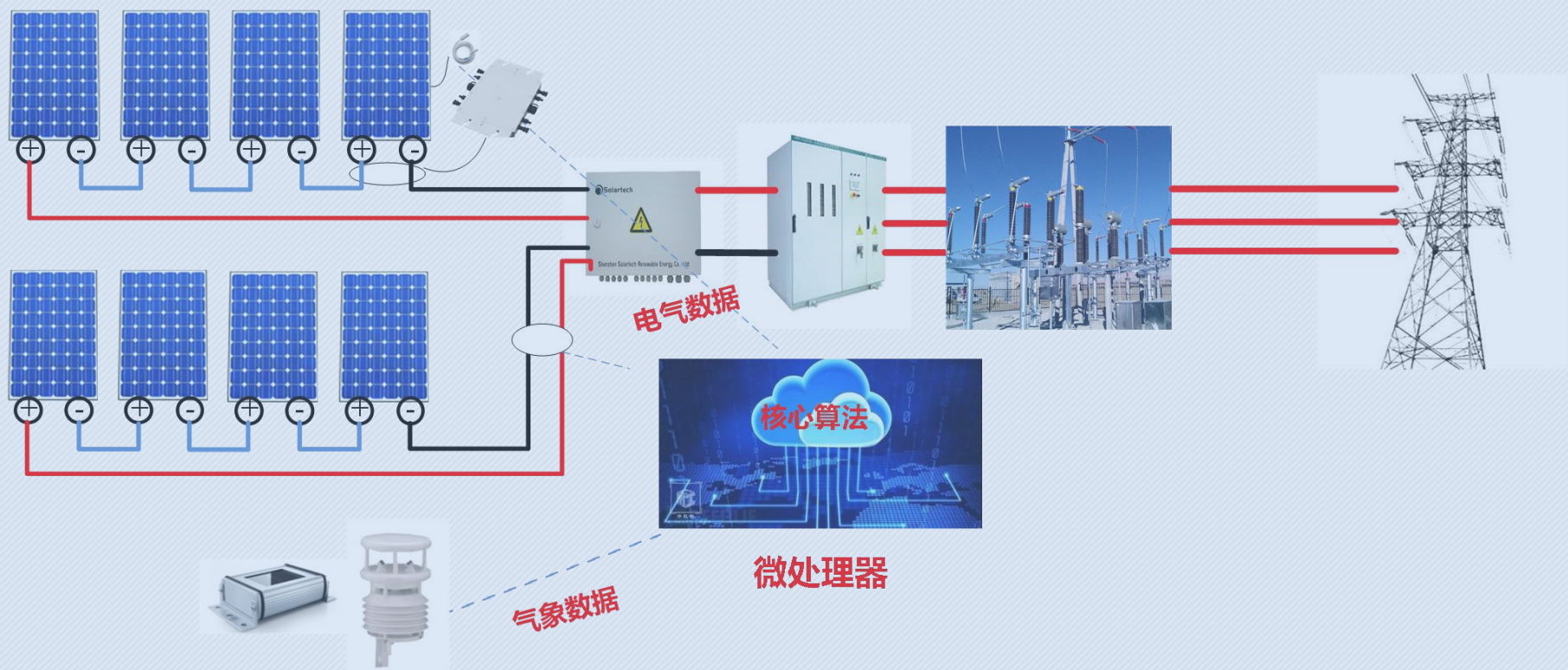
二、光伏智能传感器



国家电网
STATE GRID

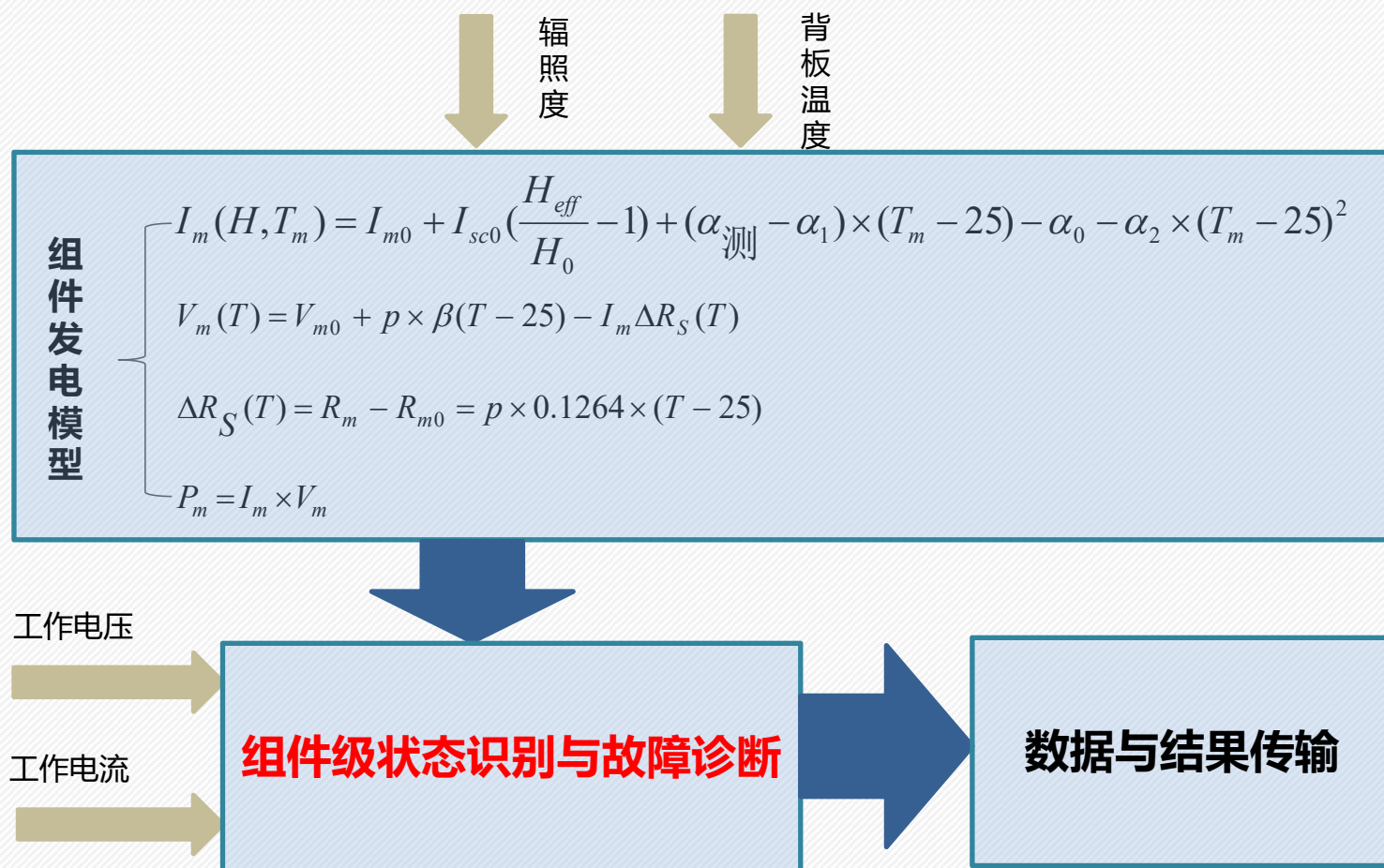
中国电力科学研究院有限公司
CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE

光伏组件智能传感器： 2) 由传感模块采集辐照度、环境温度、组件背板温度、组件工作电压和电流，微处理器模块可外挂或集成到光伏组件接线盒内。



二、光伏智能传感器

光伏组件智能传感器： 3) 通过内置算法模型判断组件实时工作状态是否异常。



二、光伏智能传感器



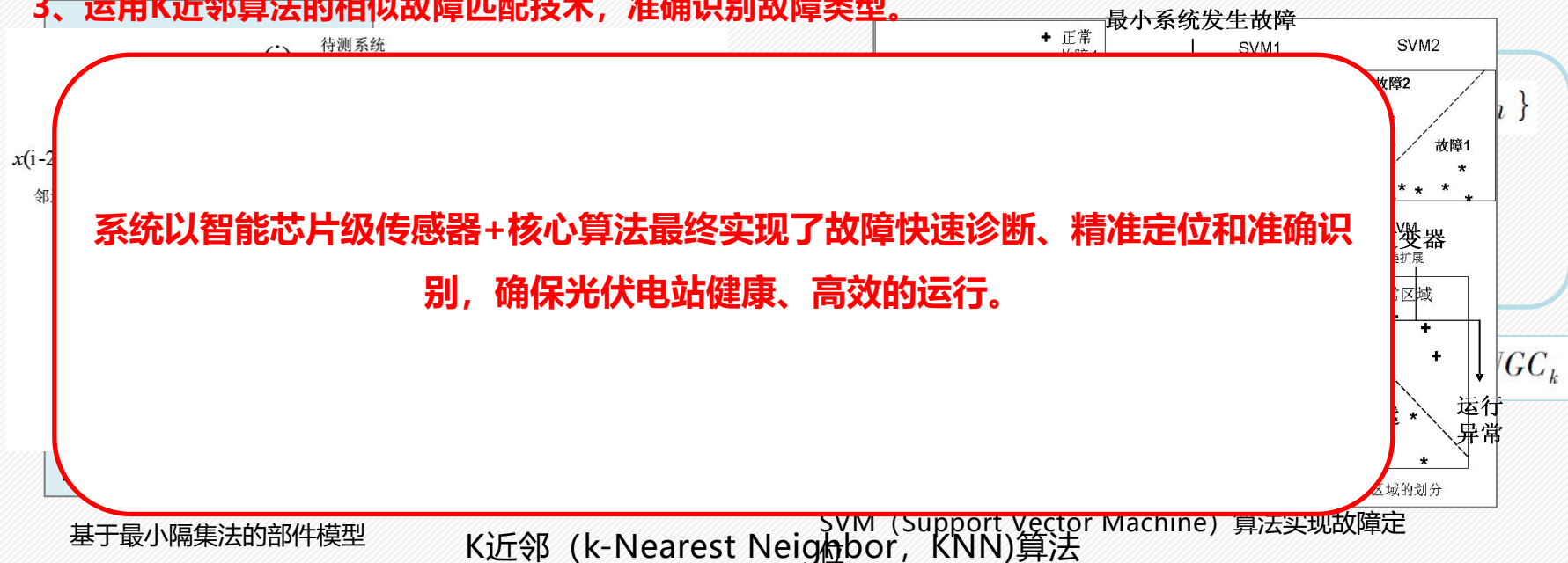
国家电网
STATE GRID

中国电力科学研究院有限公司
CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE

光伏组件智能传感器： 3) 利用核心算法针对异常情况进行故障诊断。

核心算法，解决三大难题：

- 1、基于一种改进型DBSCAN聚类算法实现故障分钟级快速确诊，准确率超过96%；
- 2、构建支持向量机算法，持续迭代故障区，实现单块组件级的故障精准定位；
- 3、运用K近邻算法的相似故障匹配技术，准确识别故障类型。



二、光伏智能传感器

光伏汇流箱智能传感器：采集组串工作电压及电流，结合组件智能传感器的监测数据，利用**间接传感技术**实现汇流箱工作状态和故障分析，以及内部**组件串联失配**和**组串并联失配**的深入分析。

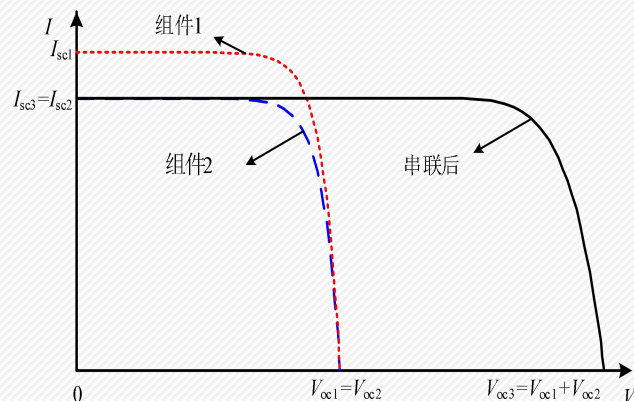
间接传感是指利用一些容易测得的过程参数或物理参数，通过寻找这些过程参量或物理参数与难以直接检测的目标被测变量的关系，建立测量模型，采用各种计算方法，**用软件实现待测变量的测量**。

智能传感器间接传感核心在于**建立传感模型**。目前建立模型的方法：

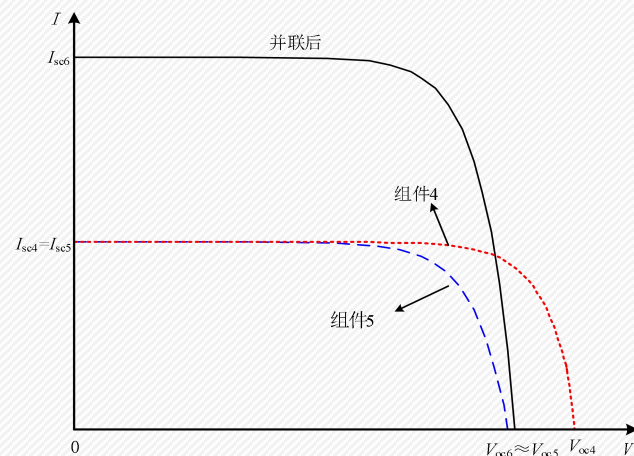
- (1) 基于工艺机理的建模方法
- (2) 基于数据驱动的建模方法**
- (3) 混合建模方法

$N \times L \times M$ 结构光伏阵列的失配损失模型：

$$RPL_{Array} = \frac{C+2}{2} \left\{ \left(\frac{\sigma_{I_m}}{I_m} \right)^2 \left(1 - \frac{1}{L \cdot M \cdot N} \right) - \left[\left(\frac{\sigma_{I_m}}{I_m} \right)^2 - \left(\frac{\sigma_{V_m}}{V_m} \right)^2 \right] \frac{1}{L \cdot M} (M-1) \right\}$$



串联失配



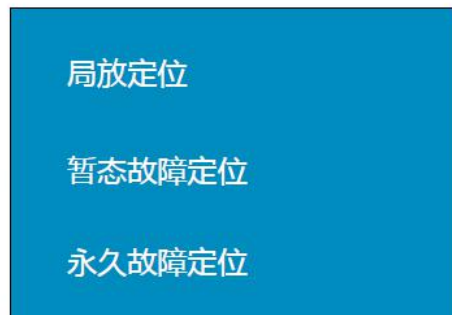
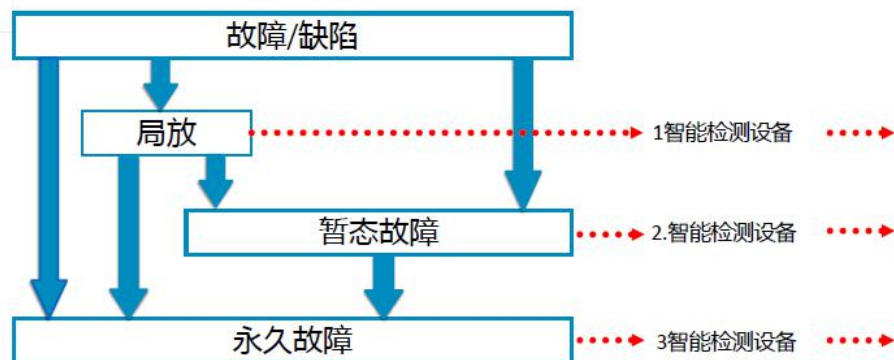
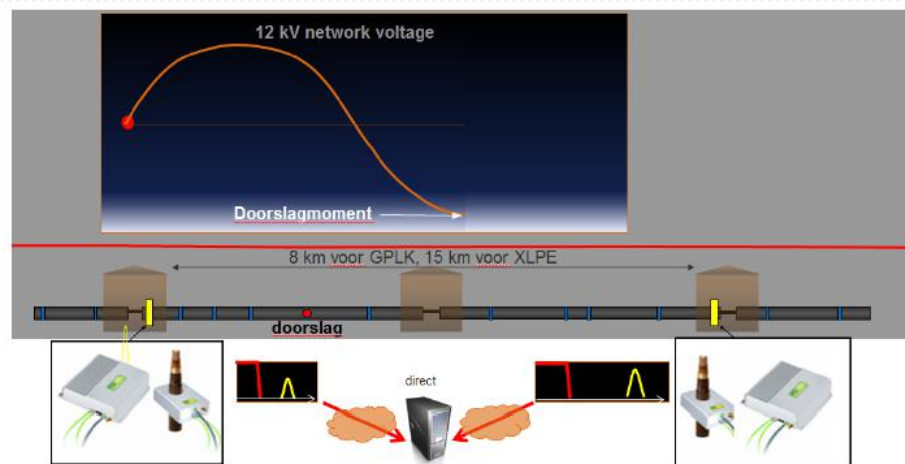
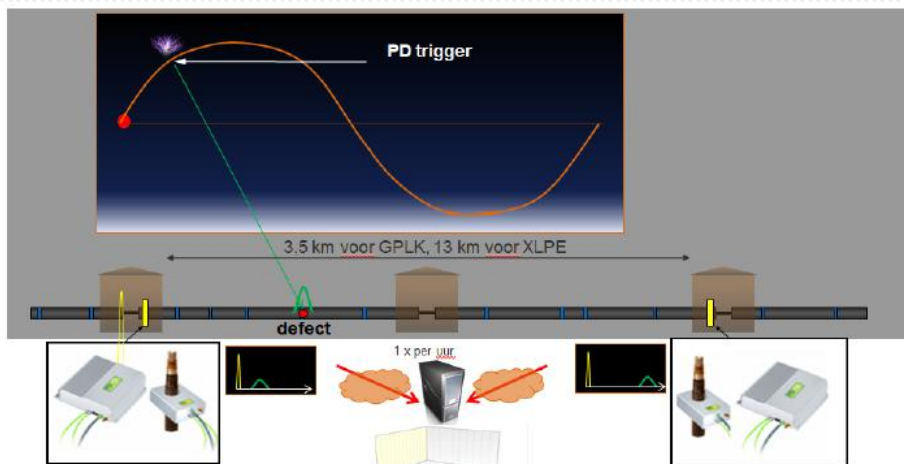
并联失配

二、光伏智能传感器

光伏中压电缆智能传感器： 在线局放定位；在线暂态 / 永久故障定位

现状： 中压电缆故障次数非常大； 电缆故障所引起的损失巨大； 电缆检测手段缺乏；
电缆主动维护欠缺。

目标： 减少电缆故障次数； 降低电缆故障引起的损失



目 录



国家电网
STATE GRID

中国电力科学研究院有限公司
CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE



光伏电站运维现状



光伏智能传感器



基于智能传感器的光伏运维系统



三、基于智能传感器的光伏运维系统

1、智能传感器数据采集层

实现组件级的光伏电站运行数据实时在线监测；

2、故障诊断核心算法层

采用三大核心算法实现光伏电站异常与故障的快速确诊、精确定位、智能识别故障类型；

3、软件交互层

可对系统及传感器的功能参数进行自定义设置，并实时展示诊断结果，给出运维建议；

4、通讯传输层

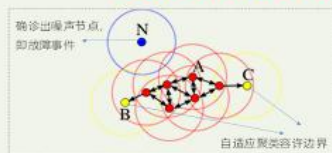
利用电站现有网络联通整个系统，只报告故障信息或预警信息，不控制设备运行动作，无生产运行安全风险。

软件交互层：系统设置、诊断结果展示

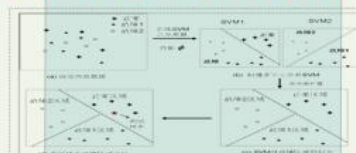


通讯传输层：
电站现有通道

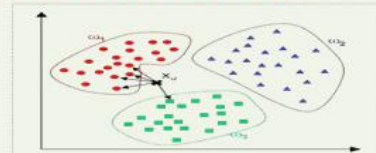
故障诊断核心算法层：快速确诊、精准定位、智能识别故障类型



改进型DBSCAN聚类算法

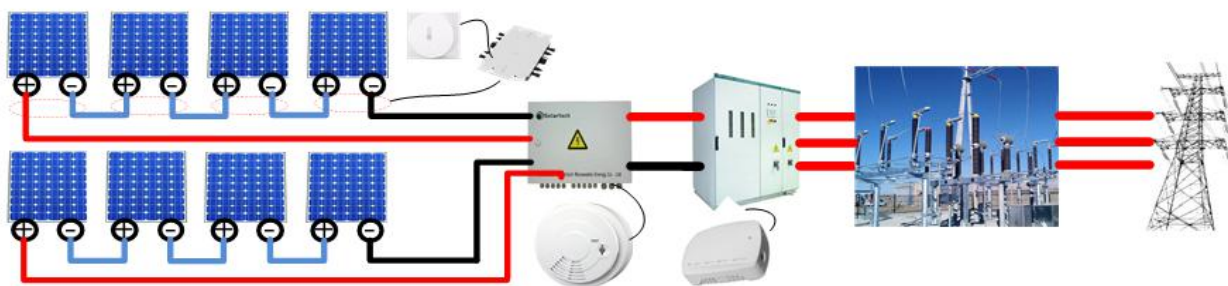


支持向量机算法



k近邻算法

智能传感数据采集层：光伏关键部件运行数据监测与采集、边缘计算





国家电网
STATE GRID

中国电力科学研究院有限公司
CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE

三、基于智能传感器的光伏运维系统

系统服务对象广泛、应用性强：

随着系统的持续推广应用，基于海量智能传感器可搭建**区域光伏发电物联网**，通过大数据分析为政府部门、电站业主、设备厂商、电站投资商、电网企业提供决策支撑。



服务对象广泛：



能源局、调度等监管部门

真实掌握光伏装机及出力情况，
精准调配发电资源，提高调峰
调压效率，减少“弃风弃光”



电站业主

提升发电量，延长电站
发电寿命



电站运营商

有效提升电站运维水平，大幅
降低运维成本



光伏投资商

光伏电站投资交易有了
更可靠的技术参考



国家电网
STATE GRID

中国电力科学研究院有限公司
CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE

三、基于智能传感器的光伏运维系统

系统经济效益显著：



使用本系统后
年均发电量提升5%

以一个100MW光伏电站为例：

- ① 系统效率80%；
- ② 年均利用小时数1115h；
- ③ 脱硫标杆上网电价0.42元/度。

每年多发446万度电，
创造经济价值约187万元/年。
4个月即可收回投资成本。





国家电网
STATE GRID

中国电力科学研究院有限公司
CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE

三、基于智能传感器的光伏运维系统

系统可推广性强，社会效益良好：

系统已应用于**大同、芮城等15个国家光伏“领跑者”基地**，确保了光伏先进技术长期领跑；应用于**青海清洁能源大数据中心**，支撑了青海省内光伏电站的高效运行。





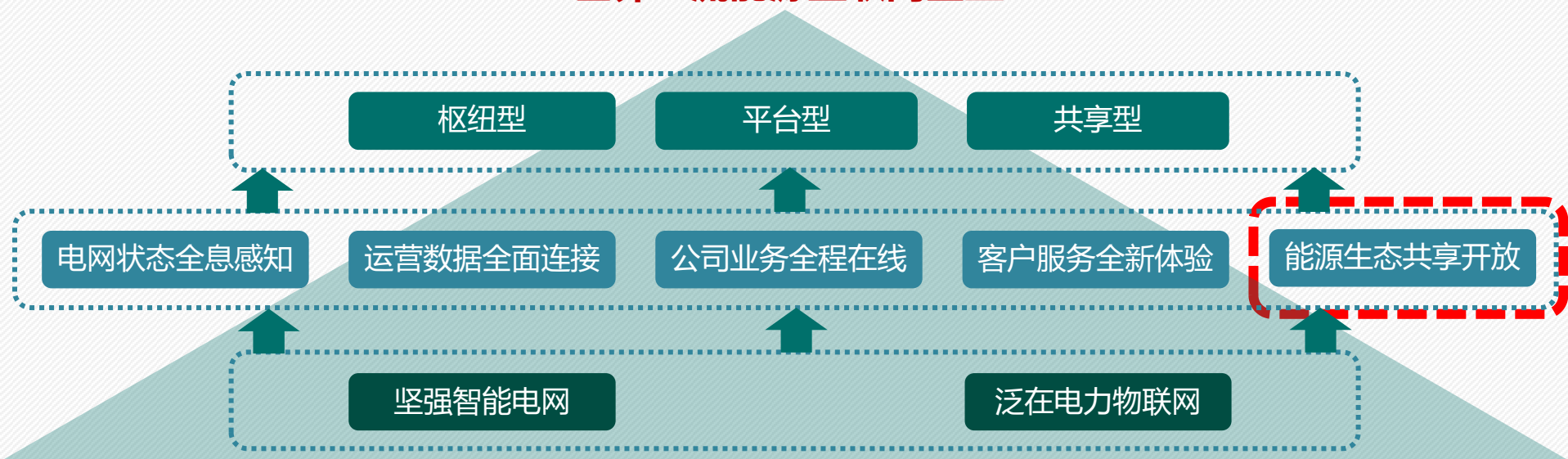
国家电网
STATE GRID

中国电力科学研究院有限公司
CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE

三、基于智能传感器的光伏运维系统

光伏运维业务契合公司“能源生态共享开放”的建设目标：

世界一流能源互联网企业



系统支撑公司“三型两网”发展战略，构造能源生态体系，为光伏发电企业提供电站健康管理、能效诊断等新兴业务。



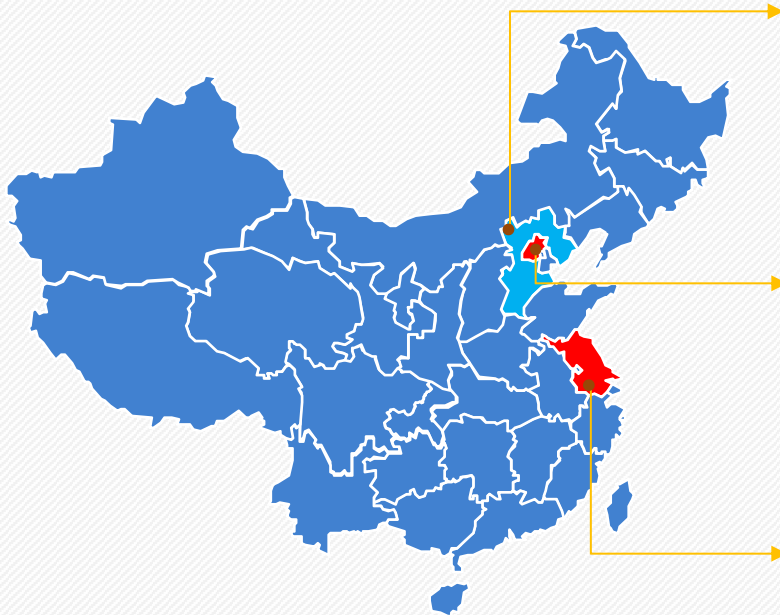
国家电网
STATE GRID

中国电力科学研究院有限公司
CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE

中国电科院新能源研究中心简介

中国电力科学研究院，成立于1951年，是国家电网公司直属科研单位，是电力行业多学科、综合性的科研机构。主要从事大电网安全分析与运行控制、超/特高压交直流输变电、新能源发电及接入、配用电、信息与通信、能效评测及节能等电网关键领域的技术研究，范围涵盖电力科学及其相关领域的各个方面。

新能源研究中心，前身是中国电科院新能源研究所，是原**中国电科院新能源研究所**和原**国网电科院清洁能源发电研究所**于2012年根据国家电网公司科研产业重组整合而设立，2016年由国家电网公司正式批复更名为**新能源研究中心**。



张北基地



北京院区

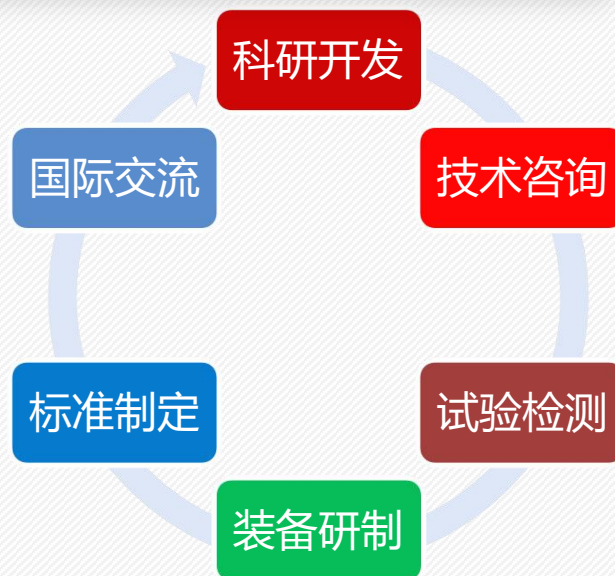
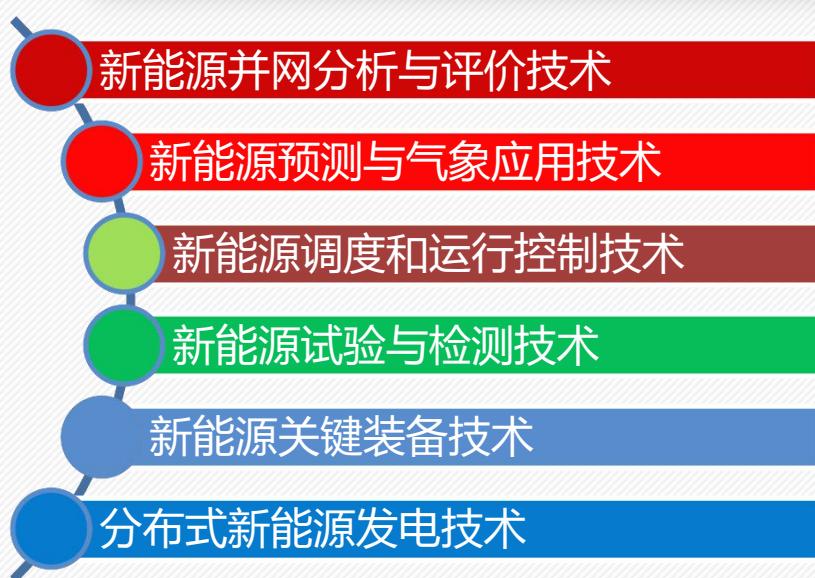


南京院区



中国电科院新能源研究中心简介

新能源研究中心是国家电网公司新能源发电**规划管理及并网运行**的技术支撑单位，是国内最早从事新能源发电**研究与咨询工作**的机构之一。



新能源中心是IEC“可再生能源接入电网技术委员会”和中国电机工程学会新能源并网与运行专委会的**秘书处挂靠单位**，是国际风电试验组织（MEASNET）的正式成员单位，是亚洲首家获得IEC RE认可的测试机构。



国家电网
STATE GRID

中国电力科学研究院有限公司
CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE

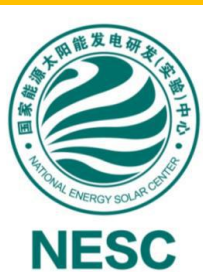
中国电科院新能源研究中心简介



新能源与储能运行控制国家重点实验室



国家能源大型风电
并网系统研发
(实验) 中心



国家能源太阳能
发电研发
(实验) 中心

江苏省储能变流及应用
工程技术研究中心

数值天气
预报中心

风力发电
及并网
实验平台

光伏发电
及并网
实验平台

分布式新能
源及微电网
实验平台

新能源
直流并网
实验平台

储能变流研
发实验平台



国家电网
STATE GRID

中国电力科学研究院有限公司
CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE

太阳能中心简介

● 国家能源太阳能发电研发（实验）中心介绍

国家能源太阳能发电研发（实验）中心于2009年9月由国家能源局批复设立，2010年7月正式建成运营。中心由国家能源局会同有关部门管理，依托国家电网公司，并由国网电力科学研究院负责具体建设和日常管理。2012年3月，按照国家电网公司科研产业重组整合精神，中心相关资质及人员整体划入中国电力科学研究院。同时，中心还是**国家能源光伏发电装备评定中心**的参与单位和**新能源与储能运行控制国家重点实验室**的重要组成部分。



国家能源光伏发电设备
评定中心

国家能源局

国家能源太阳能发电
研发(实验)中心

国家能源局

SKL

2016DQ

新能源与储能运行控制
国家重点实验室

State Key Laboratory of New Energy and
Energy Storage Operation Control

中华人民共和国科学技术部
The Ministry of Science and Technology of the People's Republic of China



NESC

国家能源太阳能发电研发(实验)中心
NATIONAL ENERGY SOLAR CENTER

按照国家能源局的批复，中心业务领域涵盖**“不同类型的光伏发电应用领域、光伏电池组件、逆变器及储能元件等”**。目前，中心已建成国内外检测容量最大的光伏发电产品并网检测平台、世界首套光伏电站现场并网检测平台、覆盖全寿命周期的光伏电站发电性能评估平台和光伏发电仿真试验平台，已具备的CNAS和CMA检测资质覆盖新能源领域的50余项标准，1000余个子项，可开展光伏、储能等领域关键装备和系统的并网全性能检测业务。截至2018年底，中心累计完成各类型光伏逆变器型式试验**500余台次**，市场覆盖率超过97%；在青海、西藏、甘肃、宁夏、山西、河南、陕西、湖北、江苏等省区开展光伏电站检测**200余座**，累计容量超过**10GW**。



国家电网
STATE GRID

中国电力科学研究院有限公司
CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE

太阳能中心简介

● 光伏发电产品并网检测平台

中心在南京市浦口区和江宁区拥有两个光伏发电产品检测实验室，可对光伏发电关键设备，如**光伏逆变器、储能双向变流器、无功补偿装置、汇流箱、光伏并网接口装置**等提供完整的测试服务，测试标准涵盖国际标准、国家标准、行业标准及国家电网公司企业标准，功率覆盖1.25MW以下全功率段。



浦口光伏产品检测实验室

浦口实验室位于南京浦口高新技术开发区，于2010年7月建成投运，拥有1.25MW光伏逆变器检测平台。核心装备包括1.25MW光伏模拟电源、2MVA电网扰动发生装置、1.2MW孤岛检测装置和自主研发的阻抗分压式低电压穿越检测装置等，可开展有功/无功功率控制、电网适应性、低电压穿越、防孤岛、电能质量等全系列并网测试业务。实验室还建成小功率光伏逆变器并网检测平台，可开展100kW以下功率等级的光伏逆变器并网测试业务；建成微逆变器检测平台，可开展2kW及以下功率等级的微型逆变器并网测试业务。



国家电网
STATE GRID

中国电力科学研究院有限公司
CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE

太阳能中心简介

● 光伏电站现场并网检测平台

中心自主研发了**世界首套分布式光伏发电系统移动检测平台**、**世界首套MW级光伏电站移动检测平台**和**世界首套高海拔光伏电站移动检测平台**，可依据国家标准、行业标准及国家电网公司企业标准，对5000米及以下海拔的各类型光伏电站开展全系列并网性能现场测试。



分布式光伏发电系统移动检测平台

- 能够实现对380V、200kWp及以下容量的分布式光伏发电系统开展并网性能一体化测试。
- 该平台于2010年3月在河南财专屋顶光伏发电系统完成国内首次“金太阳示范工程”并网性能测试。



MW级光伏电站移动检测平台

- 能够实现对电压等级为10kV/20kV/35kV、1MWp及以下容量的光伏发电单元开展并网性能测试。
- 该平台于2011年10月在青海乌兰黄河公司50MW光伏电站完成世界首次光伏电站现场并网性能测试。



高海拔光伏电站移动式并网性能检测平台

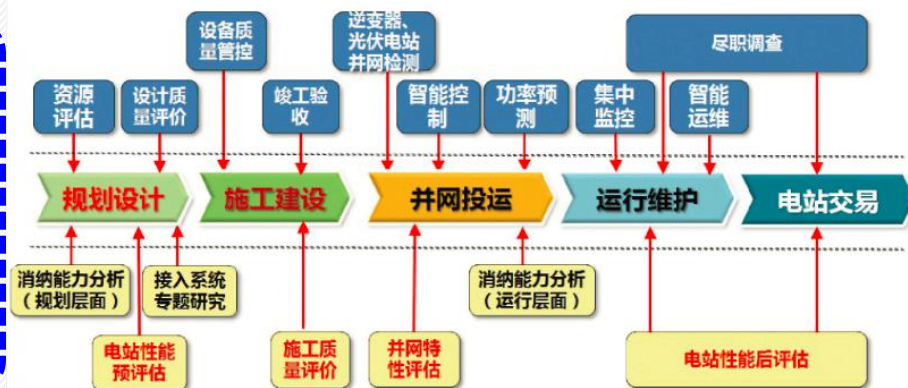
- 能够实现对海拔5000米、10kV/35kV电压兼容以及匹配接入不同电网阻抗（0~10欧姆）的光伏电站开展并网性能测试。
- 该平台于2015年9月在海拔4300米西藏羊八井国电龙源10MWp光伏电站完成首次投运。



太阳能中心简介

● 光伏电站发电性能评估平台

中心自主研发了国内首套光伏电站工程质量验收平台、国内首套光伏电站组件现场检测平台与光伏电站综合性能评估检测平台，能够依据国内外相关标准要求，在电站设计、采购、建设、运营和交易等电站全寿命周期，为电站业主、投资方、银行、保险、融资租赁等提供全方位的咨询、检测、监督、评估以及电站评级等技术服务。



业务范围	电站设计阶段	电站选址分析、光照资源分析、电站设计方案评估、电站设计方案优化
	设备采购阶段	设备选型咨询、设备供应商评审、设备驻厂监造、设备到货验收
	电站建设阶段	现场质量管理咨询、现场安全管理咨询、现场验收与培训
	电站运营阶段	电站效率测试、电站质量检查、电站智能运维解决方案、电站发电量提升咨询
	电站交易阶段	电站尽职调查、电站资产有效性评估、电站发电量精细化评估、电站交易风险评估



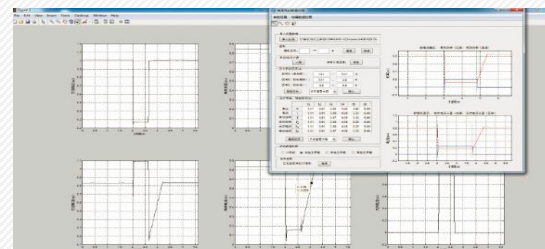
太阳能中心简介

● 光伏发电并网仿真试验平台

中心自主研发了光伏发电并网全数字仿真平台、半实物仿真平台和新能源电力电子并网接口特性的动模仿真平台，自主开发的参数辨识及模型验证软件，可依据国内外相关标准，开展光伏发电模型参数测试和并网性能评估业务。

◆ 全数字仿真平台

基于PSD-BPA、PASASP、DIgSILENT/PowerFactory等全数字仿真平台，自主开发了光伏参数辨识及模型验证工具，可依据国内外标准开展光伏电站/光伏逆变器的模型参数辨识及模型验证业务。2016年2月，中心结合浙江湖州中利腾晖100MWp光伏电站在国内首次开展光伏电站/光伏逆变器模型参数测试工作。



◆ 半实物仿真平台

基于RT-LAB建立了半实物仿真平台，自主开发了适用于光伏电站AGC/AVC和SVG控制系统的硬件在环仿真模型，创建了面向于光伏电站场站级控制系统和大容量电力电子装备的实验室测试环境，可开展半实物仿真测试业务。2016年3月，中心在国内首次基于半实物仿真开展了用于光伏电站的15Mvar SVG测试工作。



◆ 新能源电力电子并网接口特性的动模仿真平台

基于模块化双向直流源和线路阻抗模拟装置，自主开发了直流侧出力和电网端口特性可灵活定制的新能源动模仿真平台，具备新能源电力电子并网接口设备多机并联、多源互补协调控制、分布式电源及微网控制系统的动模仿真测试能力，可开展新能源无功/电压主动控制、虚拟同步控制及新能源储能联合发电控制能力的测试业务。





—努力超越 追求卓越—

汇报结束