

# 5G 智能电网测试床

## 引言/导读

中移（上海）产业研究院（以下简称上海产业研究院）是中国移动（上海）通信集团有限公司全资子公司，是中国移动（上海）面向5G和人工智能，引领工业能源、交通和金融等领域数字化服务的专业研发机构。在工业互联网领域，上海产业研究院构建“1+N”工业云平台体系，围绕工业设计、生产和服务环节，利用5G、AI等新技术打造面向工业互联网的有竞争力的系列产品和解决方案。上海产业研究院立足于5G研发的技术优势，积极把握5G改变社会的时间窗口，在5G时代推出具有市场竞争力的行业产品和解决方案。

《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》对能源体系提出了更高的要求，其中包括推动煤矿、油气田、电厂等智能化升级，实现源网荷储互动、多能协同互补、用能需求智能调控，并构建基于5G的应用场景和产业生态，在智能交通、智慧能源、智慧医疗等重点领域开展试点示范。

## 关键词

智能电网、配网自动化、5G切片

## 测试床项目承接主体

### 发起公司和主要联系人联系方式

上海产业研究院

张翠柳:zhangcuiliu@cmsr.chinamobile.com, 15201614921

## 合作公司

南方电网

## 测试床项目目标

目前电网企业在35kV以上的骨干通信网已具备完善的全光骨干网络和可靠高效数据网络，光纤资源已实现35kV及以上厂站、自有物业办公场所/营业所全覆盖。在配电通信网侧，由于点多面广，海量设备需实时监测或控制，信息双向交互频繁，且现有光纤覆盖建设成本高、运维难度大。35kV以下的配电网点多面广，光纤建设维护成本高，覆盖率不足20%，传统2/3/4G无法满足安全隔离需求，迫切需要新一代通信技术解决智能电网末端海量数据接入的通信“卡脖子”问题。

本测试床主要验证5G网络与电网业务结合，5G电网智能化应用的可行性，从多方面提升电网的智能化水平，切实解决电网业务运行过程中低时延控制、高精度授时、大带宽承载、高频次采集、最后一公里光纤建设难度大等问题。

## 测试床方案架构

### 测试床应用场景

应用在电力行业发、输、配、变、用、综合等各个业务环节，涉及配网差动保护、高级计量、智能化巡检等5G电力应用场景。

### 测试床架构

本测试床总体架构如图1所示，依托5G网络优势，打造智慧电力端-管-云-用一体化行业解决方案，满足电力业务发、输、变、配、用各个环节的安全性、可靠性和灵活性需求，实现差异化服务保障，进一步提升电网企业对自身业务的自主可控能力，促进未来智能电网取得更大的技术突破。

本测试床符合AII工业互联网总体架构2.0，本测试床架构验证了AII总体架构中的功能架构，包括网络体系架构中的网络互连、数据互通，平台体系架构中

的边缘层、PaaS 层和应用层功能组成，安全体系架构中的隐私数据保护等。



图1.测试床总体架构



图2.工业互联网体系架构2.0

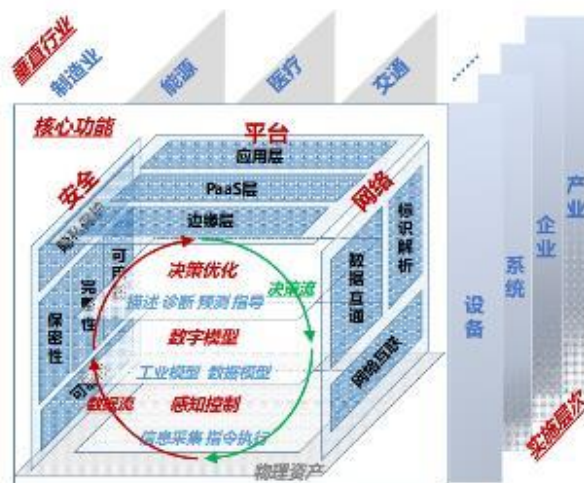


图3.工业互联网功能原理

## 测试床方案

### 1. 网络方案

面向电力客户提供电力行业切片专网服务，生产控制大区提供电力专用切片，管理控制大区提供电力通用切片。

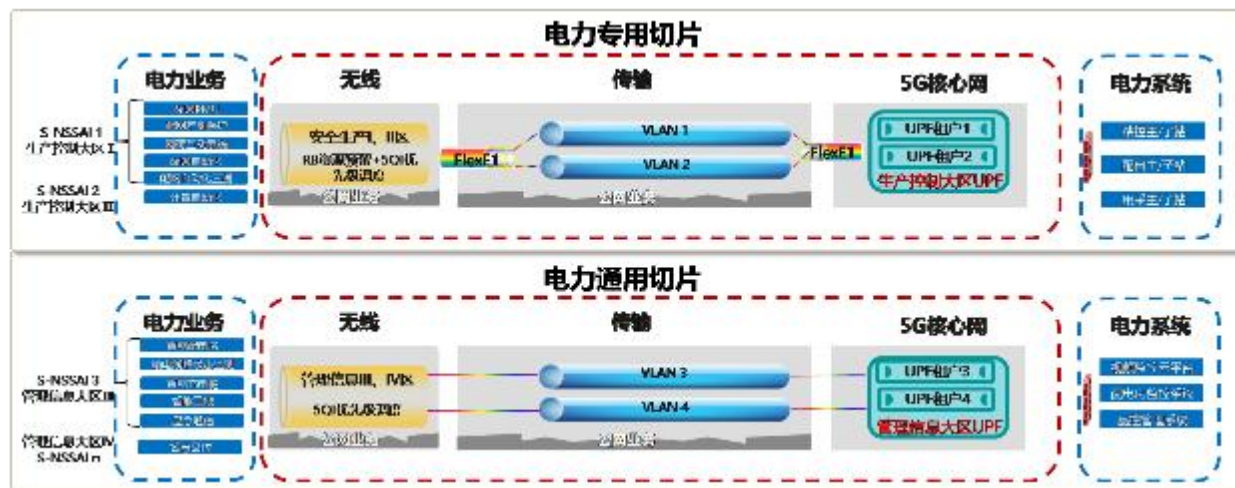


图4.电力行业切片专网方案

在所管辖的区域内（主要指省/市）划分4张电力切片，分别对应安全区I、II、III、IV。1个切片可对应多个业务，每个业务分配一个DNN，根据 S-NSSAI+DNN 选择切片和UPF。

在生产控制大区，无线网侧采用RB资源预留实现硬隔离，不同5QI优先级调度实现安全区I和II之间逻辑隔离；承载网侧采用FlexE进行硬隔离，并划分不同的VLAN实现安全区I和II之间的逻辑隔离；核心网侧每个省/市部署物理独立的UPF，并划分两个逻辑独立的UPF租户

在管理信息大区，无线网侧采用不同5QI优先级调度实现安全区III和IV间逻辑隔离；承载网侧采用VLAN实现逻辑隔离；核心网侧共用运营商ToB专用UPF，与ToB其他业务逻辑隔离，需额外开通N6接口专线至电力企业。

### 2. 平台方案

本测试床依托OnePower-智慧电力子平台，主要包括卡、连接、终端、切片管理、统计分析、系统管理、告警管理等关键能力。有别于以往的移动通信网络发展模式，依托5G网络能力开放和切片技术，未来该平台将为电网企业提供更丰富的、更多元化、更灵活的网络切片服务管理能力，同时平台自身也以更开放的架构，向电力内部业务提供支撑服务。

### 3. 终端方案

测试床终端采用电力定制化CPE和电力计量终端5G通信模块。

电力定制化CPE终端支持基于3GPP R16协议的5G通信、有线数据传输、高精度网络授时（偏差小于10us）、协议转换和安全加密（内置电网制定加密芯片）功能，借助5G网络超高带宽、低时延、超大规模连接的优势以及可承载垂直行业多样化的业务需求，尤其是网络切片、能力开放两大创新功能的应用，可为电力行业用户打造定制化的“行业专网”服务，更好的满足电网业务的安全性、可靠性和灵活性需求，实现差异化服务保障，进一步提升电网企业对自身业务的自主可控能力。

电力计量终端5G通信模块适用于三项电表和I型集中器，符合通信规约标准，支持灵活拔插，可直接替换现网中使用的2/3/4G模块，从而实现5G模块承载高级计量通信业务。

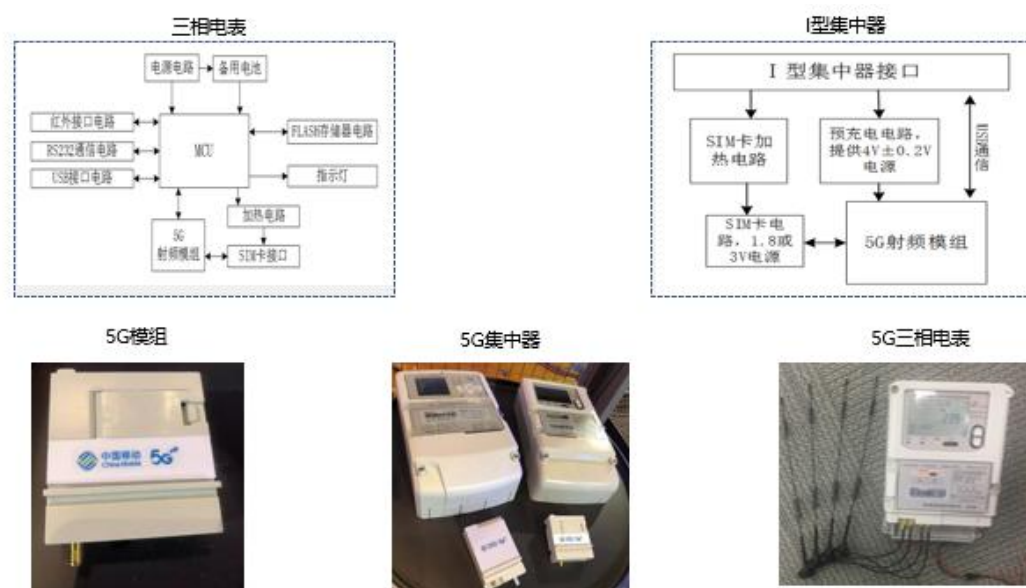


图5. 电力计量终端5G通信模块

#### 4. 应用方案

##### 1) 配网差动保护

传统配电网故障依靠过流保护或者距离保护的定位、隔离，从启动故障隔离和供电恢复，整个过程持续几分钟至几十分钟，严重影响用户正常用电。配网差动保护场景能够实现故障区段的快速定位与隔离，提高配电网的供电可靠性，业务上要求保护装置间实现实时快速通信及时钟同步，光纤可满足场景要求，但存在铺设困难、成本高昂的问题。5G信技术具有高带宽、低时延、网络高精度授时及安全可靠的特点，为差动保护提供了新的无线通信方式。



该场景属于配电环节，配电自动化终端(DTU)利用5G低时延及高精度网络授时特性，比较两端或多端同时刻电流值（矢量），当电流差值超过门限值时判定为故障发生，断开其中的断路器或开关，执行差动保护动作，实现配电网故障的精确定位和隔离，并快速切换备用线路，停电时间由小时级缩短至秒级。

### 2) 高级计量

目前所采用集中抄表方式多以配变台区为基本单元进行集中抄表，集中器下挂几十或上百台电表或计量终端，一般以天、小时为频次采集上报基本电力数据至集中器，再由集中器通过运营商无线公网回传至电力计量主站系统，采集频次低，采集内容单一，无法有效支撑用户行为分析。5G的大连接能力为电力计量业务提供了全新的无线解决方案。

通过电力计量终端5G通信模块实现电表与计量主站的连接，利用5G广覆盖、大连接特性，可深入采集各类电器设备的用电信息，满足智能用电和客户个性化服务需求。

### 3) 智能化巡检

人工巡检需配备专业巡检人员，巡检效率低，范围有限，易因操作不当引发各类安全事故隐患。同时，当前智能化巡检设备多依托WiFi组网接入，WiFi网络使用公网频段，无法满足电力行业安全性要求且WiFi网络不稳定，覆盖范围小。5G网络安全性高、覆盖范围广，可满足智能化巡检业务需求。

利用5G高速率、低时延、海量连接、快速移动特性实现巡检终端遥控及数据采集，实现巡检高清视频实时回传及远程控制作业。同时结合无人机和机器人应用，扩大巡检范围，提升巡检效率。

## 方案重点技术

### 1. 5G切片技术

本测试床面向电力客户提供电力行业切片专网服务，无线网支持QoS优先级调度、支持RB资源预留；承载网支持Flex E和VPN子通道隔离、支持切片隔离、支持切片管理和发放；核心网支持切片NSSF、支持切片移动性管理；切片选择、接入控制、支持选择策略定义、支持切片子网模板、生命周期管理及性能和告警监控、支持切片自动化、支持根据切片标识选择AMF。

## 2. 5G切片端到端运营管理

本测试平台主要包括连接管理、设备管理、切片管理、统计分析、高级应用等功能模块，帮助电网用户实时掌控通信网络质量、降低网络运营费用，提升企业竞争力。

## 3. 5G高精度网络授时技术

电力系统继电保护等应用需要获得统一的时间基准来确保线路故障测距、相量和功角动态监测、机组和电网参数校验的准确性，通过时间同步系统进行时钟同步，分为无线授时系统和有线授时系统。其中，无线授时系统存在价格昂贵、施工不便、容易受到干扰和接收系统复杂等问题；有线授时系统信号稳定，但在城区内敷设专线成本较高。随着5G网络发展，通过具备授时功能的电力定制化CPE，即可广泛、快速、准确地传递高精度时间信号。电力定制化CPE可实现5G通信的同时，输出基准网络时钟同步信号，传输给受控终端进行时间同步。

## 方案自主研发性、创新性及先进性

### 1. 自主研发性

本测试床网络及平台方案由上海产业研究院自主研发完成，终端部分由上海产业研究院与合作伙伴合作研发完成。

### 2. 创新性

1) 在产、学、研、用方面打造多项行业突破：中国移动联合南网基于发改委项目自2018年起在深圳开展5G+智能电网试点，共同发布行业首个《5G智能电网白皮书》、首个差动保护线路外场测试，首个SA网络切片端到端运营管理，对5G承载承载电力业务的可行性进行了充分验证。

2) 定制化网络方案：根据电力行业业务分区及安全隔离特性需求，打造电力行业切片专网方案，制定无线侧、传输侧、核心网侧网络方案，满足生产控制大区和信息管理大区业务的安全性、可靠性、隔离性要求。

3) 首创电力定制化CPE：差动保护等应用需获取精准时钟信息，传统方案需要单独授时系统进行时钟同步，无线授时系统存在价格昂贵、施工不便、容易受到干扰等问题；有线授时系统信号稳定，但在城区内敷设专线成本较高。本项目研发电力定制化CPE，除具备基础5G通信功能外，还具备高精度网络授时功能，

实现5G通信与授时功能的完美结合；并在国际首次提出5G空口高精度授时技术，纳入3GPP R16标准。

4) 实现切片端到端管理：基于OnePower-智慧电力子平台，底层对接各省5G专网运营平台，上层对接电网主站系统，实现切片模板定制、切片下单、切片实时查询等端到端管理功能。

### 3. 先进性

1) 提升智能化水平：可验证5G网络对电网控制类业务承载的可行性，可迅速提升配电自动化水平、数字化水平，以此打造电网5G生态圈，培养、扶持电网智能电网产业发展。

2) 满足隔离需求：在不同生产、管理大区的电力业务有不同的安全隔离要求，5G网络切片技术，可为电网不同分区业务提供差异化的安全隔离服务，突破以往的无线通信技术安全隔离能力，满足电网安全隔离要求。

3) 实现智能电网可观、可管、可控：5G网络具备能力开放及更高效灵活的运营管理能力。电力企业可进行网络切片定制设计、规划部署来实现线上的快速业务开通（分钟级）；利用切片运行监控能力实现运营商网络资源运行的监控及故障定位；通过通信终端或模组采集的各类数据实现对终端的在线管理等，最终实现智能电网的可观、可管、可控。

## 方案安全风险控制

本测试床从终端安全、网络安全、全网态势感知三个方面提供安全风险控制。

### 1. 终端安全防护

提供定制化安全芯片，并内置安全探针，保障海量终端接入安全，同时在3GPP标准的3层认证中，增加电力侧的通信安全准入认证流程，避免非法终端对电力业务主站发起网络攻击。

### 2. 网络安全防护

通过独享SMF物理隔离、RB资源预留、逻辑切片等多种隔离技术满足电网不同业务的网络需求。

### 3. 全网态势感知

通过安全数据采集，数据挖掘、机器学习等技术，实现态势感知监测预警，



做到全网安全情况的可观、可测、可控。

## 测试床实施部署

### 测试床实施规划

- 2020年12月-2021年2月：需求调研，架构设计；
- 2021年3月-2021年5月：搭建智能电力网络环境；
- 2021年6月-2021年10月：项目平台、终端等系统接入；
- 2021年11月-2021年12月：应用效果评估。

### 测试床实施的技术支撑及保障措施

测试床由中移上海产业研究院提供技术支撑，并联合行业客户进行应用场景落地及验证。

### 测试床实施的自主可控性

本测试床网络及平台方案由上海产业研究院自主研发完成，终端部分由上海产业研究院与国产终端合作伙伴合作研发完成，具有自主可控性。

## 测试床预期成果

### 测试床的预期可量化实施结果

本测试床预期在项目结束时验证5G网络承载电力业务的可行性，平台实现连接管理、设备管理、5G切片管理、统计分析、高级应用等功能，实现配网差动保护、高级计量、智能化巡检等多项应用。

## 测试床的商业价值、经济效益

本测试床通过5G网络承载电网业务，是5G网络与电力行业的融合创新，通过新一代信息技术的发展，切实解决配电网等低时延控制、高精度授时、大带宽承载、高频次采集、光纤建设难度大等问题，提升电力行业智能化水平。如配网差动保护等可以实现配电网故障的精确定位和隔离，并快速切换备用线路，降低停电时间，由小时级降低到分钟级。智能化巡检等应用可以大幅减少企业人员投入、降低人力资源成本，巡检效率提升3倍。

## 测试床的社会价值

本测试床积极响应国家智能电网发展要求，推动电网企业智能化升级，实现用能需求智能调控、提升电能质量，并构建基于5G的应用场景和产业生态，在电网领域开展试点示范。5G网络作为支撑智能电网发展的重要基础设施，承担着各类电力业务的安全性、实时性、准确性和可靠性的要求，助力电力行业打造安全、高效、绿色的智能电网系统。

## 测试床初步推广应用案例

中国移动将联合南方电网将在广州南沙103平方公里范围内，开展5G智能电网全业务应用场景示范项目建设，预计落地涵盖发、输、变、配、用各环节50+5G智能电网应用场景。

推广计划主要为以南沙全业务场景示范项目为标杆，面向南方电网五省进行规模复制和推广；针对国家电网5G需求迫切省份，如山东、福建、浙江、宁夏、安徽等开展项目复制推广。

# 测试床成果验证

## 测试床成果验证计划

本测试床对5G网络、平台以及应用进行测试验证。

## 测试床成果验证方案

### 1. 网络验证内容

序号	验证内容	验证标准
1	配网差动保护	带宽>2M, 时延≤15ms, 网络授时精度<10 μs
2	高级计量	带宽>2M, 时延≤3s, 通信可靠性达到99.99%
3	智能化巡检	带宽要求20-100M, 时延≤100ms, 通信可靠性达到99.999%

### 2. 平台验证方案

验证平台主要包括连接管理、设备管理、切片管理、统计分析、高级应用等模块功能。

### 3. 应用验证方案

编号	应用场景	验证标准
1	配网差动保护	基于电力定制化CPE实现对配网差动保护终端的网络授时功能, 实现保护装置之间实时快速通信, 精确定位配电网故障并隔离, 快速切换备用线路
2	高级计量	实现电力计量终端5G通信模块实现电表与计量主站的连接, 可深入采集各类电器设备的用电信息
3	智能化巡检	能够实现巡检终端遥控及数据采集, 巡检高清视频实时回传及远程控制作业

## 与已存在 AII 测试床的关系

本测试床与之前已经审批的测试床无任何关联。

## 测试床成果交付

### 测试床成果交付件

测试床的交付件包括：

- 1) 平台软件一套；
- 2) 应用场景测试报告；
- 3) 专利若干。

### 测试床可复制性

测试床可在电力行业进行推广复制，可应用在配网差动保护、高级计量、智能化巡检等应用场景。

### 测试床开放性

本测试床符合电力行业方案相关要求，应用落地过程涉及多家相关企业参与。

## 其他信息

### 测试床使用者

非发起方的测试床参与者可以使用本测试床的所有操作功能，但仅限于功能的操作使用，禁止泄露给同行业的第三方。

## 测试床知识产权说明

中国移动上海产业研究院拥有本测试床的建设、运营以及使用权。

## 测试床运营及访问使用

平台部署在客户侧，由中国移动提供运营服务。

## 测试床资金

测试床资金为自有资金，稳定充足，同时也会争取专项资金支持。

## 测试床时间轴

本测试床为短期项目，测试床验证的时间进度安排如下：

2020年12月-2021年2月：需求调研，架构设计；

2021年3月-2021年5月：搭建智能电力网络环境；

2021年6月-2021年10月：项目平台、终端等系统接入；

2021年11月-2021年12月：应用效果评估。

## 附加信息

测试床具备良好的可复制性，可在电力行业特别是配电网相关场景中应用。切实解决配电网等各地低时延控制、高精度授时、大带宽承载、高频次采集、最后一公里光纤建设难度大等问题。