国网英大集团
STATE GRID YINGDA GROUP
英大证券有限责任公司
YINGDA SECURITIES CO., LTD.

行业研究报告 内部资料，严禁外传

报告日期：2020年8月19日

工业互联网+5G+数字孪生视角下的电网自动化产业

行业指数走势（%）



相关报告

1. 《国网年中会调增投资，产业公司有望受益—电力能源行业周报（20/7/20-20/7/26）》
2. 《风电、光伏受市场追捧，储能、充电桩前景可期—电力能源行业周报（2020 年第 2 期）》
3.《国网履行社会责任受市场关注，光伏产业长期看好（2020 年第 3 期）》
4.《7 月份全国用电量维持增长，配电自动化产业或加速迭代（2020 年第 4 期）》

行业研究员：郑罡
执业证书编号：S0990511010001
Email：zhenggang@ydzq.sgcc.com.cn
联系电话：0755-83000291

行业逻辑：

- 电网自动化包括调度自动化、变电自动化和配电自动化。调度自动化市场基本由国电南瑞独占，变电自动化已相对成熟，配电自动化整体水平不高。
- 电网自动化系统是电网控制、运行的核心，要求供应商有多年研发经验和运行经验的积累，外部厂商进入壁垒高，市场基本由头部厂商占据。2019年许继电气、四方股份和国电南自3家头部厂商电网自动化类产品营收分别为57亿、28亿和22亿，与2013年相差不大。国电南瑞2017年收购母公司南瑞集团相关业务后，2019年电网自动化类营业收入235亿元，较2017年增长71亿元，市场新增份额不断向龙头厂商聚集，强者恒强。
- 行业需求集中度高。2014年以来国网公司电网投资占比超过全国的90%，是电网自动化产品的的最主要购买方，2013年国网施行低价中标策略，变电自动化产品价格下跌幅度超过50%。国网公司电网投资规模和定价策略是影响行业发展的关键因素。

市场展望：

- 变电自动化：二次设备使用年限远低于一次设备，存量设备集中退役，叠加新增变电容量持续放量。我们估计，2020年至2025年，输变电自动化系统市场规模稳中有升，增幅达到28%。
- 配电自动化：户用光伏和电动汽车加速发展，改变了配电系统的网络结构，对配网自动化水平的要求越来越高；国网大力推进集工业互联网技术先进性和5G网络经济性于一身的“数字新基建”，为配电自动化升级扫清了技术障碍。我们估计，配电自动化采集设备需求将达到464万台，配电自动化将成为行业新的增长点。
- 运维检修智慧化：数字孪生技术是工业互联网的重要应用，国网已经建立的输电线路状态监测系统是数字孪生电网的雏形，国网“数字新基建”建设完成后，基于数字孪生技术的电网智慧运维检修，将成为行业发展方向。我们估计，数据监测设备渗透率在110（66）千伏及以上变电站达到100%，山区输电线路达到30%，平原地区输电线路达到10%，预计共需部署数据监测设备131.9万套，智慧运维检修市场潜力巨大。

国网英大集团
STATE GRID YINGDA GROUP
英大证券有限责任公司
YINGDA SECURITIES CO., LTD.

目录

一、电网自动化伴随计算机技术的发展不断完善.....1

（一）统一调度分级管理，调度自动化集中度最高.....2

（二）从综合自动化到智能化，变电自动化已十分成熟.....3

（三）技术更迭快于设备部署，配电自动化还在路上.....4

二、行业需求集中，头部公司瓜分市场，龙头公司优势加速变现.....5

（一）产业链上游价格透明，对行业不具备议价能力.....6

（二）行业壁垒高，头部公司收入、毛利稳定.....6

（三）行业需求集中，国网公司投资规模是核心影响因素.....7

三、工业互联网+5G+数字孪生，为电网自动化产业升级奠定技术基础.....8

（一）我国工业互联网建设已经取得一定成果.....8

（二）泛在电力物联网和工业互联网在架构上基本一致.....9

（三）5G 大规模商用为电力工业互联网提供网络支撑.....10

（四）“数字新基建”将 5G 和工业互联网先进技术融为一体.....11

（五）数字孪生技术是工业互联网应用的重要方向.....12

四、近期看变电自动化，中期看配电自动化，远期看运行检修智慧化.....12

（一）“十四五”期间变电自动化市场略有增长.....12

（二）能源消费新业态加速配电自动化产业迭代.....13

（三）数字孪生技术或催生运维检修智慧化.....16

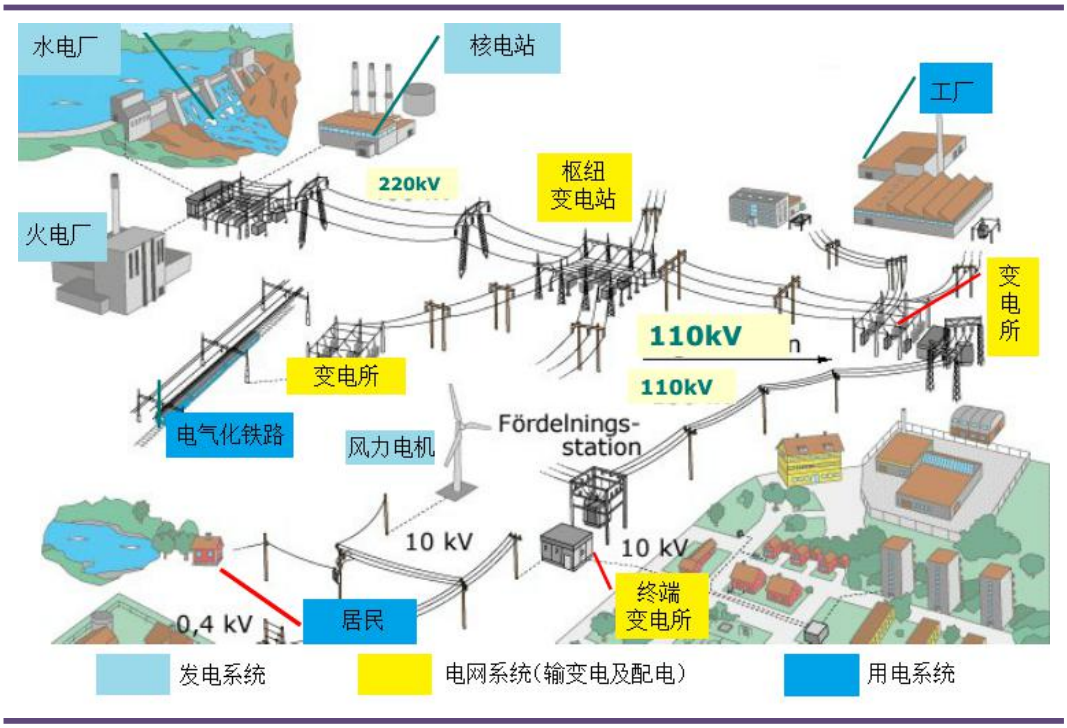
图表目录

图表 1：电力系统示意图 1
图表 2：电力系统分层控制示意图 2
图表 3：基于 SOA 架构的调度自动化系统基础平台层次结构图 3
图表 4：综合自动化变电站系统结构图 3
图表 5：智能化变电站系统结构图 4
图表 6：配电自动化系统结构图 5
图表 7：电网自动化产业链示意图 6
图表 8：电网自动化类产品营业收入（亿元） 7
图表 9：电网自动化类产品毛利率（%） 7
图表 10：国网公司投资占比较高 7
图表 11：工业互联网平台架构 8
图表 12：工业互联网相关政策 9
图表 13：泛在电力物联网是工业互联网在电力工业的具体应用 10
图表 14：5G 技术为高水平配电自动化提供通信支撑 10
图表 15：国网数字新基建 2020 年十大重点建设任务 11
图表 16：数字孪生概念模型 12
图表 17：变电容量电源装机比例基本恒定 13
图表 18：能源局配电网建设改造指导目标 14
图表 19：户用光伏并网系统构成图 15
图表 20：电动汽车充放电过程图 15
图表 21：配电自动化发展路径 16
图表 22：输电线路监测范围 16
图表 23：输电线路状态监测系统结构图 17

一、电网自动化伴随计算机技术的发展不断完善

电力系统由发电—输电—变电—配电—用电五个环节组成，是电力生产和消费系统的总称。电力系统的功能是将自然界一次能源通过发电动力装置转化成电能，再经输电、变电和配电将电能供应到用户。电力线路、电缆、变压器、断路器等构成电力流传输的设备统称一次设备。

图表 1：电力系统示意图



数据来源：WIND，英大证券研究所

电力系统在运行中，各种电气设备可能出现故障或不正常的运行状态，若不能及时处理，可能引发事故。电力系统事故发生时，不但影响正常供电，还可能造成电气设备损坏及人身伤亡。为了避免事故发生，产生了继电保护。继电保护装置就是能反映电力系统中电气元件发生故障或不正常运行状态，并动作于断路器跳闸或发出信号的一种自动装置。继电保护装置的发展经历了机电型保护阶段、整流型保护阶段、晶体管型保护阶段、集成电路型保护阶段和微机型保护阶段。

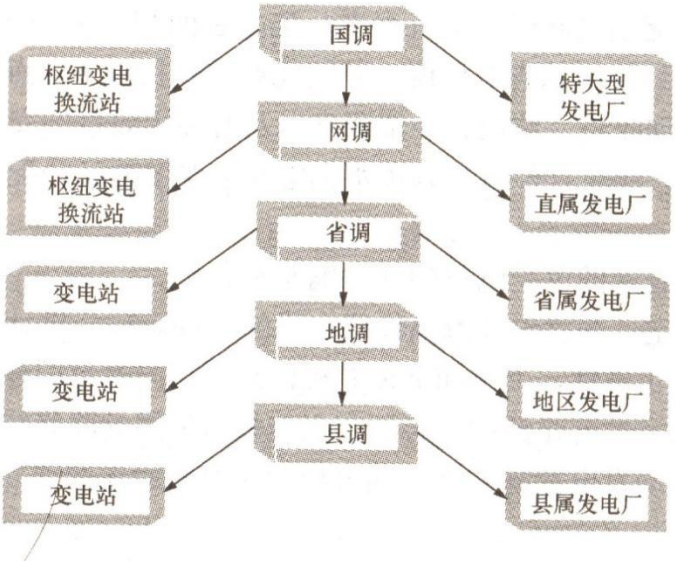
电力系统是一个在地域上分布辽阔，而在电气上连成一体的大系统。由于电能生产和消费同时发生且能源中心和负荷中心一般相距甚远，必须有一个统一的调度机构收集信息，实现生产过程的监视与控制，因而产生了远动系统。远动设备的发展经历了继电器和电子管为主要部件阶段、以半导体和计算机技术相结合的阶段和微型计算机阶段。

对电能的生产过程进行测量、调节、控制、保护、通信和调度等构成信息流传输的设备统称二次设备。电网自动化行业的产品是二次设备及其软件系统，包括调度自动化、变电自动化和配电自动化三部分。

（一）统一调度分级管理，调度自动化集中度最高

为了合理监视、控制和协调日益扩大的电力系统的运行状态，使发电、供电等环节随时跟踪用电负荷变化，保证对用户的供电质量，同时提高电力系统运行的安全性和经济性，电力系统除配备必要的自动装置外，还设有各级调度中心，由他们监视控制发电、输电和配电的运行状况。我国电力调度机构共5个级别，分别是国调、网调、省调、地调和县调等。各级调度建实现分层控制，信息逐级传送，即把整个电力系统的监视和控制功能分配给不同级别的电力调度控制中心去完成，各级调度中心将有关信息报送上一级，接受上一级的管理。

图表 2：电力系统分层控制示意图

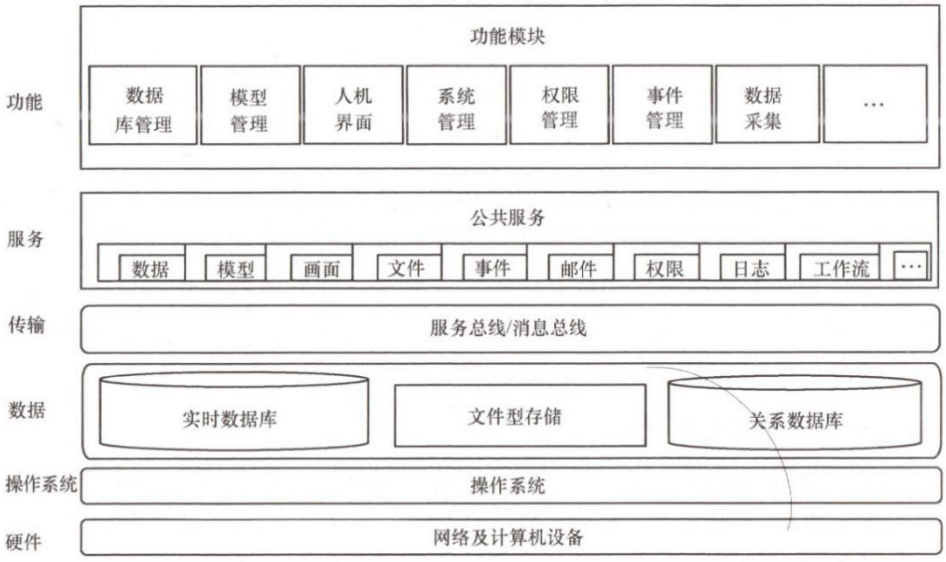


数据来源：《电力系统远动与调度自动化》，英大证券研究所

电网调度自动化的概念的提出是在20世纪50年代中期，早期调度系统调度系统依靠调度值班人员打电话的方式了解系统中各变电站的运行情况，对系统的控制能力很弱。1978年第一套由我国自行开发的、以计算机为主的电网调度自动化系统在京津唐电网投入运行。我国电网调度自动化系统发展经历了20世纪70年代的SCADA系统，20世纪80年代的EMS系统和20世纪90年代的分布式EMS/SCADA系统。目前国内应用最广泛的D5000系统是由国电南瑞开发的，具有自主知识产权、国际领先水平的一体化智能电网调度控制系统。D5000系统开发了基于SOA架构的调度自动化系统平台，平台具有良好的开放性，能够满足系统集成和系统应用不断发展的需要，调度技术支持系统的实时监控与预警、调度计划、安全

校核、调度管理四大类应用均建立在基础平台之上，平台为各类应用提供统一的模型、数据、CASE、网络通信、人机界面系统管理等服务。

图表 3：基于 SOA 架构的调度自动化系统基础平台层次结构图

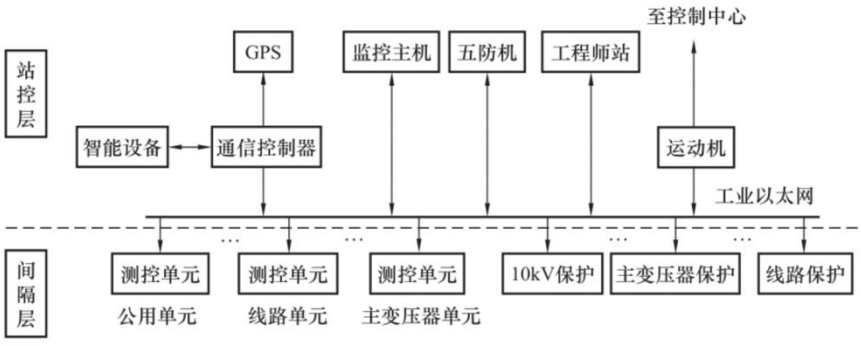


数据来源：《智能电网技术》，英大证券研究所

（二）从综合自动化到智能化，变电自动化已十分成熟

20世纪80年代，我国开始研究变电站综合自动化技术，利用大规模集成电路组成的自动化系统，代替常规测量和监视仪表、常规控制屏、中央信号系统和远动屏，用微机保护代替常规继电保护屏，实现继电保护装置与外界通信。通过综合自动化系统，变电站内各设备间实现了相互交换信息，数据共享，完成了对变电站运行监视和控制任务。变电站综合自动化替代了传统变电站常规二次设备，简化了变电站二次接线，降低了运行维护成本。但综合自动化变电站仍存在不足：一是功能重复以致设备投资重复，保护、监控、计量分别适用各自的变送器，容易造成数据不一致且增加运行维护难度；二是系统内使用通信规约不统一，不同设备厂商使用不同的通信规约，在系统联调时需要进行不同程度的规约转换，加大了调试复杂性，同样也增加运行维护的难度。

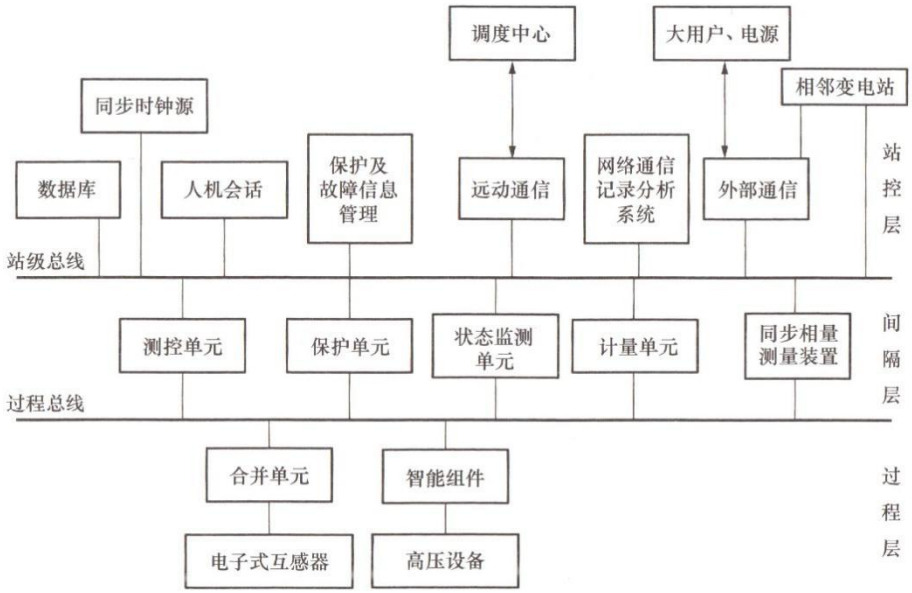
图表 4：综合自动化变电站系统结构图



数据来源：《变电站综合自动化系统运行技术》，英大证券研究所

2009年国网公司启动了智能化变电站试点工作，2011年开始智能变电站开始推广建设。智能化变电站是由智能化一次设备和网络化二次设备分层构建，建立在IEC61850标准和通信规范基础上，能够实现站内智能电气设备间信息共享和互操作的现代化变电站。与传统的变电站自动化系统相比，智能化变电站不管是在各自的构成原件上还是在系统结构上都有很多差异。在元件方面，智能化变电站模糊了一、二次设备界限，实现了一、二次设备一体化、智能化整合和集成；在结构方面，智能化变电站可分为过程层、间隔层和站控层三层，每层之间通过以太网进行数据通信。与综合自动化变电站相比智能化变电站的优点如下：一是智能化变电站采用电子式互感器，信息传输全部采用光缆，彻底解决了电缆老化和电流互感器特性恶化的问题；二次回路设计简化，减少了运行维护人员的误操作，提高了变电站运行可靠性。二是电流互感器和电压互感器使用光纤替代控制电缆传递信号，不但节约电缆投资，还从根本上解决了抗干扰问题，提高了信号传输的可靠性。三是一、二次设备和通信网络都具备完善可靠的自检功能，可根据设备的健康情况实现设备状态检修，提高了设备管理水平。

图表 5：智能化变电站系统结构图



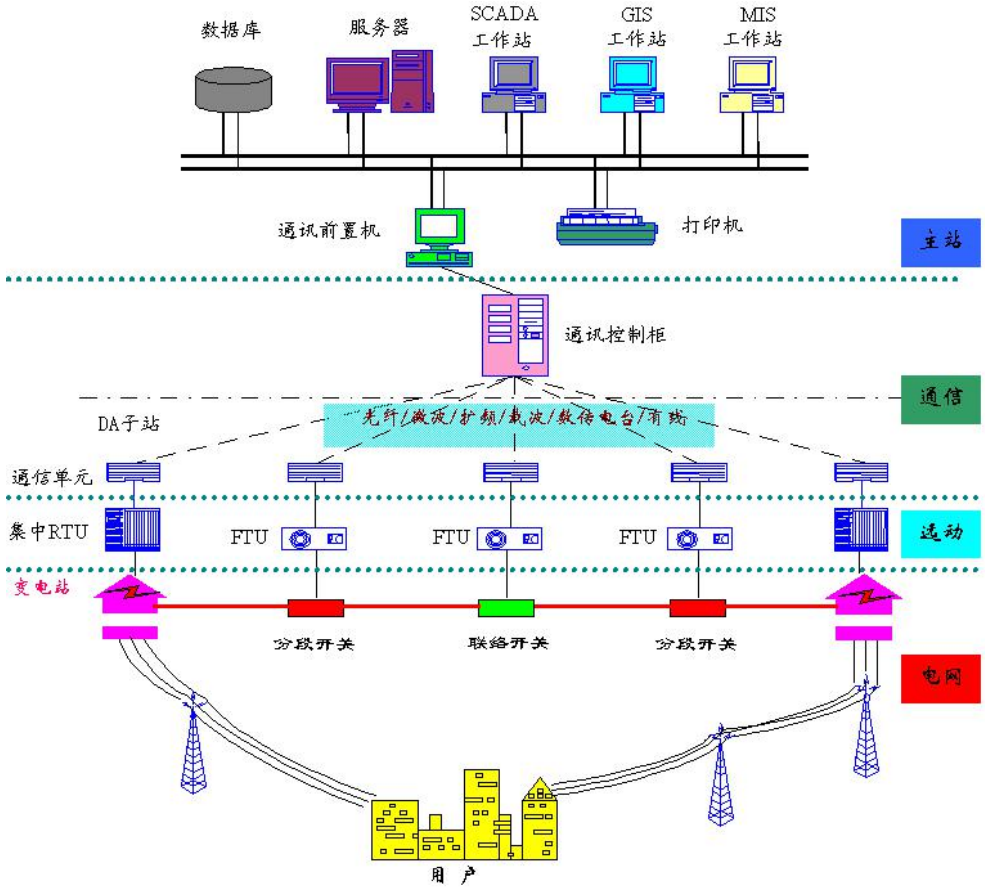
数据来源：《智能电网技术》，英大证券研究所

（三）技术更迭快于设备部署，配电自动化还在路上

配电自动化是使用计算机、电子和通信技术对配电网、配电设备和用电设备实现远方实时监控、协调、控制的集成自动化系统。配电自动化系统可以大大提高配电网运行的可靠性和效率，改善电能质量，降低线损，减少运行费用，优化配电网的运行和管理。配电自动化的发展走过了三个阶段。第一阶段是基于自动化开关设备相互配合的配电自动化阶段，主要设备为重合器和分段器等，其主要功能是在故障时通过自动化开关设备相互配合实现故障隔离和健全区域恢复供电。因为不需要建设通信网络和计算机系统，自动化程度

很低，目前仍大量应用。第二阶段的配电自动化系统是基于通信网络、馈线终端单元和后台计算机网络的配电自动化系统，在配电网正常运行时也能起到监视配电网运行状况和遥控改变运行方式的作用，故障时能及时察觉。并由调度员通过遥控隔离故障区域和恢复健全区域供电。随着计算机技术的发展和通信手段的进步，产生了第三阶段的配电自动化系统。它在第二阶段的配电自动化系统的基础上增加了自动控制功能。形成了集配电网SCADA系统、配电地理信息系统、需方管理(DSM)、调度员仿真调度、故障呼叫服务系统和工作管理等一体化的综合自动化系统，形成了集变电所自动化、馈线分段开关测控、电容器组调节控制、用户负荷控制和远方抄表等系统于一体的配电网管理系统(DMS) ，现阶段的配电自动化以此为目标建设和完善。

图表 6：配电自动化系统结构图



数据来源：公开资料，英大证券研究所

二、行业需求集中，头部公司瓜分市场，龙头公司优势加速变现

电网自动化由调度自动化系统、变电自动化系统和配电自动化系统三部分组成，电网自动化系统属于工业控制系统的一种，是电力工业专属的控制系统。

图表 7：电网自动化产业链示意图



数据来源：公开资料，英大证券研究所

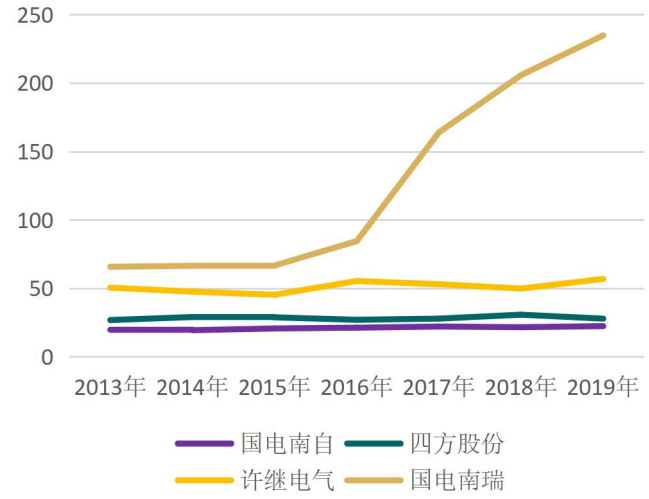
（一）产业链上游价格透明，对行业不具备议价能力

电网自动化上游行业相对简单，由电子元器件构成的数据采集终端在国内市场可以轻松获得。通信设备行业中，华为和中兴已经成为世界顶级厂商，竞争充分、价格透明。目前电网公司已经基本建成了光纤通信专网，调度控制系统和变电自动化系统利用自有通信网络传输信息。受建设成本限制，10 千伏以下低压配网未实现光纤全覆盖，部分配电自动化信息通过公用无线网络传输，运营商价格透明、选择余地大。上游行业对电网自动化行业影响不大。

（二）行业壁垒高，头部公司收入、毛利稳定

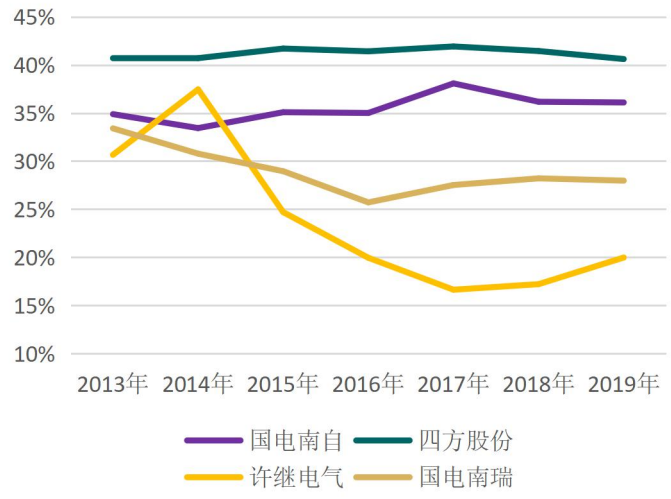
电网行业专业性强，对系统可靠性要求很高，电网自动化系统是电网控制、运行的核心，不但要求相关产品必须通过国家或行业权威机构的检验检测和技术鉴定，还要求供应商有多年研发经验和运行经验的积累，以及大量有经验的技术人才作为保障，外部厂商进入壁垒高。国电南瑞、许继电气、四方股份和国电南自是电网自动化行业内市场占有率最大的 4 家公司。电网自动化类产品营业收入，除国电南瑞外，其余三家公司均与 2013 年规模相仿，2017 年国电南瑞收购了母公司南瑞集团相关业务，电网自动化类营业收入增至 164 亿。2019 年，国电南瑞电网自动化类营业收入增长至 235 亿元，较 2017 年增长 71 亿元，市场新增份额不断向龙头厂商聚集。对比四家头部企业的毛利率，四方股份毛利率始终维持在 40%以上，国电南自毛利率也高于 35%，国电南瑞随着营业收入的增长，毛利率逐年下降至 30%以下。

图表 8：电网自动化类产品营业收入（亿元）



数据来源：公司公告，英大证券研究所

图表 9：电网自动化类产品毛利率（%）



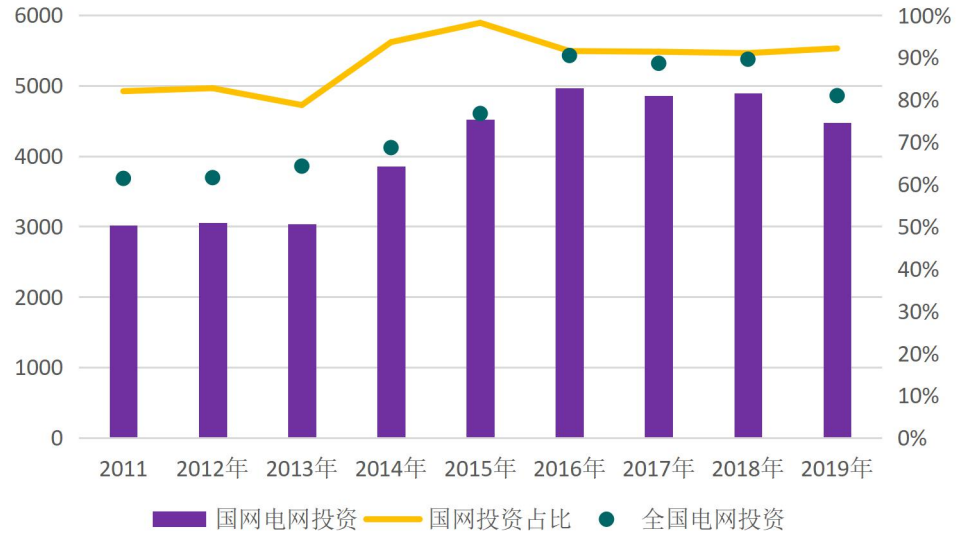
数据来源：公司公告，英大证券研究所

头部企业选择了不同的经营策略，国电南自、四方股份维持较高毛利率但营业收入增长缓慢，国电南瑞营业收入增长较快但毛利率逐步下滑，设备单价虽然大幅降低，但头部企业的营业收入和毛利率变化不大，行业竞争格局基本维持稳定。

（三）行业需求集中，国网公司投资规模是核心影响因素

电网自动化系统的购买方主要有国家电网公司、南方电网公司、内蒙古电力集团和地方电力企业，2014年以来国网公司电网投资占比超过全国的90%，是电网自动化产品的的最主要购买方，具有很强的议价能力。2013年国网施行低价中标策略，变电自动化产品价格下跌幅度超过50%。国网公司电网投资规模和定价策略是影响行业发展的关键因素。

图表 10：国网公司投资占比较高



数据来源：国网公司，中电联，英大证券研究所

三、工业互联网+5G+数字孪生，为电网自动化产业升级奠定技术基础

（一）我国工业互联网建设已经取得一定成果

工业互联网技术是全球范围内正在进行的人与机器、机器与机器连接的新一轮技术革命。工业互联网是互联网+工业的组合，利用物联网、信息通信、云计算、大数据、人工智能技术等互联网技术，推动工业生产中人员、设备、产品之间实现互联、共享、协同，从而提高工业能力，进而实现制造模式和产业生态的升级。

图表 11：工业互联网平台架构



数据来源：公开资料，英大证券研究所

工业互联网源于美国，2012 年由 GE 率先提出，2014 年 GE 联合思科、IBM 英特尔和 AT&T 发起成立工业互联网联盟（IIC）。IIC 致力于构建涵盖工业界、信息与通信技术界和其他相关方的产业生态，推动传感连接、大数据分析等在工业领域的深度应用。2013 年在汉诺威工业博览会上，德国提出“工业 4.0”计划，弗劳恩霍夫协会和西门子公司率先将这一概念应用在其生产开发领域。德国“工业 4.0”平台的产业发展模式重点以西门子、博世、SAP 等领先企业的关键部件产品与工业软件系统为抓手，在全球大量输出“工业 4.0”核心产品与整体解决方案。

2015 年国务院发布《中国制造 2025》，是中国政府提出的第一个十年行动计划。《中国制造 2025》强调，促进工业互联网、云计算、大数据在企业研发设计、生产制造、经营管理、销售服务等全流程和全产业链的综合集成应用。工业互联网是实现智能制造变革的关键。

图表 12：工业互联网相关政策

发布部门	时间	政策文件
工信部等	2015 年 5 月	《中国制造 2025》
工信部、国家标准化管理委员会	2015 年 12 月	《国家智能制造标准体系建设指南》
国务院	2016 年 5 月	《深化制造业与互联网融合发展的指导意见》
工信部	2016 年 11 月	《信息化和工业化融合发展指导规划（2016-2020 年）》
国务院	2017 年 1 月	《关于深化"互联网+先进制造业"发展工业互联网的指导意见》
工信部	2017 年 12 月	《工业控制系统信息安全行动计划（2018-2020 年）》
工信部	2018 年 6 月	《工业互联网发展行动计划（2018-2020 年）》和《工业互联网专项工作组 2018 年工作计划》
工信部	2018 年 7 月	《工业互联网平台建设及推广指南》
工信部	2018 年 12 月	《工业互联网网络建设及推广指南》
工信部、国家标准化管理委员会	2019 年 3 月	《工业互联网综合标准化体系建设指南》
工信部办公厅	2019 年 6 月	《工业互联网专项工作组 2019 年工作计划》
工信部等	2019 年 8 月	《加强工业互联网安全工作的指导意见》
工信部办公厅	2019 年 11 月	《“5G+工业互联网”512 工程推进方案》
工信部办公厅	2020 年 3 月	《关于推动工业互联网加快发展的通知》

数据来源：工信部，英大证券研究所

（二）泛在电力物联网和工业互联网在架构上基本一致

2019 年初，国网推进泛在电力物联网建设。泛在电力物联网是围绕电力系统各环节，充分应用移动互联、人工智能等现代信息技术、先进通信技术，实现电力系统各个环节万物互联、人机交互，具有状态全面感知、信息高效处理、应用便捷灵活特征的智慧服务系统。从架构上看，泛在电力物联网包含感知层、网络层、平台层和应用层四层结构，感知层主要负责数据采集，网络层主要负责数据传输，平台层负责数据管理，应用层负责数据价值创造。泛在电力物联网和工业互联网在架构上基本一致，属于工业互联网在电力工业的具体应用。

图表 13：泛在电力物联网是工业互联网在电力工业的具体应用



数据来源：国网公司，英大证券研究所

（三）5G大规模商用为电力工业互联网提供网络支撑

5G 的特点是大带宽、低时延、高可靠和广覆盖，5G 为电力物联网的发展提供了高性能、高可靠的新型无线通信网络。与 4G 相比，5G 峰值速率是 4G 的 20 倍，达到 20Gbps，可以实现海量数据的实时传输。5G 设备的连接密度是 4G 的 10 倍，达到每平方公里百万级，可以满足大量数据采集终端接入。5G 时延达到毫秒级，是 4G 的 10%，可以实现配电网在无线网络下精准负控。因此，5G 可以带来大带宽、低时延、高可靠、广覆盖的通信能力，使得设备的泛在互联和海量数据的传输成为可能。

图表 14：5G 技术为高水平配电自动化提供通信支撑

关键性能指标	4G	5G
用户体验速率	10Mbps	0.1-1Gbps
连接数密度	10 万/km^2	100 万/km^2
端到端时延	10ms	1ms
移动性	350km/h	500+km/h
流量密度	0.1Tbps//km^2	10+Tbps//km^2
用户峰值速率	1Gbps	数十 Gbps

数据来源：公开资料，英大证券研究所

（四）“数字新基建”将5G和工业互联网先进技术融为一体

2020 年 6 月，国网召开“数字新基建”重点建设任务发布会暨云签约仪式。国网公司与华为、阿里、腾讯、百度 4 家公司签署战略合作协议，国网所属 17 家省电力公司及 5 家直属单位与属地政府、相关企业及科研院所共 37 家单位签署合作协议，共同致力于建设能源领域新型数字基础设施，构建互利共赢能源互联网生态圈。新闻发布会上，国网面向社会各界发布 “数字新基建”十大重点建设任务。从建设任务的内容上看，“数字新基建”按照电力工业互联网的路径推进，完美融入了 5G 技术，集工业互联网技术先进性和 5G 网络经济性于一身。2020 年“数字新基建”还处于网络层、平台层等工业互联网的基础平台建设阶段，数字新基建的建设给配电自动化升级扫清了障碍。

图表 15：国网数字新基建 2020 年十大重点建设任务

所属层级	建设内容	2020 年建设成效	详细情况
平台层	电网数字化平台	初步建成两级平台	建设以云平台、企业中台、物联平台、分布式数据中心等为核心的基础平台，提升数字化连接感知和计算处理能力。构筑电网生产运行、经营管理、客户服务数字化应用，打造能源互联网数字化创新服务支撑体系。
平台层	能源大数据中心	建成 7 个省级能源大数据中心	建设以电力数据为核心的能源大数据中心，加强政企联动和产业链合作，接入能源行业相关数据，服务政府政策制订、社会治理、民生保障，服务能源生产、传输、消费上下游企业和客户，以智慧能源支撑智慧城市建设。
应用层	电力大数据应用	完成 12 类大数据应用建设	建设电力大数据应用体系，培育高价值大数据产品，对外重点开展电力看经济、复工复产分析、污染防治监测、企业信用评价等，服务国家治理现代化；对内重点开展电网智能规划、设备精益运维、客户体验及营商环境分析等，助力公司智慧运营。
平台层	电力物联网	建成统一物联网平台，打造输电、变电、配电、综合能源、供应链等 5 类智慧物联示范应用	建设覆盖电力系统各环节的电力物联网，推动电网感知测控边界向电源侧、客户侧和供应链延伸，提升电网、设备、客户泛在互联和全息感知能力，打造精准感知、边缘智能、共建共享、开放合作的智慧物联体系和应用生态。
平台层	能源工业云网	实现交易规模 800 亿元	建设技术领先、安全可靠、开放共享的能源工业云网平台，推动智能制造、智慧交易、智能运维、智能监造、智慧物流五大核心功能全场景应用，助力电工装备产业链数字化转型，服务实体经济高质量发展。
平台层	智慧能源综合服务	完成“绿色国网”和 15 家省级平台上线，实现 5 家省公司全部高压大工业客户和 2.9 万户年用电量 100 万千瓦时以上楼宇客户接入	建设“绿色国网”和省级智慧能源服务平台，广泛聚合资源，为能效服务各类市场主体引流赋能，为客户提供能效管理、智能运维、需求响应等能效服务，支撑商业楼宇、工业企业、园区等典型场景应用，降低能耗，提升全社会综合能效。
网络层	能源互联网 5G 应用	打造一批“5G+能源互联网”典型应用	利用 5G 大速率、高可靠、低时延、广连接等技术优势，聚焦输变电智能运维、电网精准负控和能源互联网创新业务应用，推进与电信运营商、服务商深入合作，加强 5G 关键技术应用、行业定制化产品研制、电力 5G 标准体系制定，拓展智慧城市等领域 5G 应用。
应用层	电力人工智能应用	建成人工智能样本库、模型库和训练平台，探索 13 类典型精品应用	建设人工智能能力开放平台，面向电网安全生产、经营管理和客户服务等场景，研发电力专用模型和算法，打造设备运维、电网调度、智能客服等领域精品应用，提高电网安全生产效率、客户优质服务和企业精益管理水平。
平台层	能源区块链应用	建成“一主两侧”国网链，探索 12 类试点应用	建设能源区块链公共服务平台，提升能源电力上下游各市场主体互信能力，支撑跨行业多层级数据协同，推动线上产业链金融等典型应用，面向政府、金融机构和产业链上下游，形成能源区块链产业新格局。

网络层	电力北斗应用	建成电力北斗地基增强网，推进电力运检、营销、基建、调控等 4 大领域典型应用	建设电力北斗地基增强系统和精准时空服务网，构建“通信、导航、遥感”一体化运营体系，在电力设备运检、营销服务、基建施工、调度控制等领域推广北斗应用，向交通、物流等行业延伸提供精准授时、定位导航、地理信息等服务，助力国家北斗产业发展。

数据来源：国网公司，英大证券研究所

（五）数字孪生技术是工业互联网应用的重要方向

数字孪生是一种实现物理系统向信息空间数字化模型映射的关键技术，它通过充分利用布置在系统各部分的传感器，对物理实体进行数据分析与建模，形成多学科、多物理量、多时间尺度、多概率的仿真过程，将物理系统在不同真实场景中的全生命周期过程反映出来。借助于各种高性能传感器和高速通信，数字孪生可以通过集成多维物理实体的数据，辅以数据分析和仿真模拟，近乎实时地呈现物理实体的实际情况，并通过虚实交互接口对物理实体进行控制。

图表 16：数字孪生概念模型



数据来源：《数字孪生与平行系统: 发展现状、对比及展望》，英大证券研究所

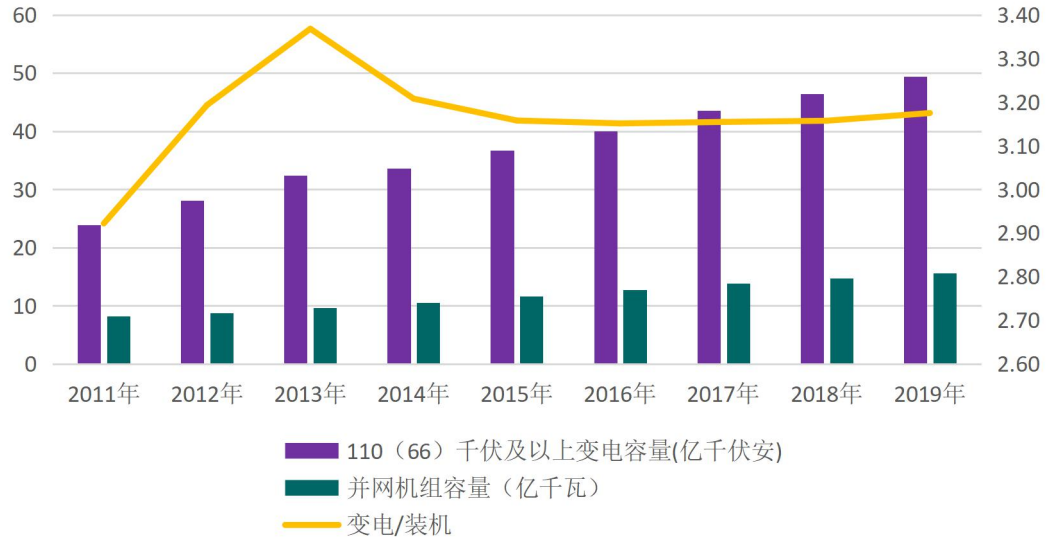
数字孪生诞生之初的应用就是飞机的故障预测，通过高保真、实时更新的虚拟模型进行产品的全生命周期管理也是数字孪生的重要研究方向。基于数字孪生进行故障预测和设备维护，能够基于动态实时数据快速捕捉故障，准确定位故障原因，同时评估设备状态，进行预测维修。

四、近期看变电自动化，中期看配电自动化，远期看运行检修智慧化

（一）“十四五”期间变电自动化市场略有增长

电能是由发电厂生产，由厂内升压变电站升压，经输电网传输至枢纽变电站，在枢纽变电站降压后，经配电网传输至配电变电站，在配电变电站降压，经配电线路分配给用户使用。电网需配置几倍于电源装机容量的变电容量，才能完成电能的输送过程。2011 年以来，国网公司变电容量由 23.9 亿千伏安增长至 49.4 亿千伏安，并网机组容量由 8.18 亿千瓦增至 15.56 亿千瓦，变电容量基本是并网机组容量的 3 倍。

图表 17：变电容量电源装机比例基本恒定



数据来源：国网公司，英大证券研究所

变电自动化系统部署在变电站，需求随着变电规模的增加而增长，我们通过测算变电容量规模来推算变电自动化市场容量。

刘振亚，在《建设我国能源互联网，推进绿色低碳转型》一文中预计，2025年我国煤电+清洁能源装机达到27.8亿千瓦，《中国核能发展报告（2020）》预计2025年核电装机达到7000万千瓦，燃气装机按照2019年规模9000万千瓦计算，预计2025年全国电源装机达到29.4亿千瓦，我们假设2025年国网区域并网装机比例维持2019年水平，预计2025年国网公司并网装机22.76亿千瓦。变电装机比分别按照2019年水平估计，预计国网2025年变电容量达到72.26亿千伏安，新增变电容量22.86亿千伏安。

和变压器、断路器等一次设备相比，自动化类设备使用寿命更短。在国家发展改革委印发的《输配电定价成本监审办法》中规定，自动化类设备的折旧年限是8年，这与实际运行情况基本一致。2012年至2017年，国网新增变电容量19.6亿千伏安，其对应的存量自动化设备需在2020年至2025年间改造完毕；叠加新增变电容量，预计2020年至2025年间新建、改造自动化设备对应变电容量将达到42.46亿千伏安。

国网公司2014年至2019年新增变电容量19万千伏安，2006年至2011年新增变电容量14.07万千伏安， 2014年至2019年新建、改造自动化设备对应变电容量33.07万千伏安。

我们估计，2020年至2025年，输变电自动化系统市场规模稳中有升，增幅达到28%。

（二）能源消费新业态加速配电自动化产业迭代

1．已建成的配电自动化系统整体水平较低

2015 年，国家能源局印发了《配电网建设改造行动计划（2015—2020 年）》（以下简称《计划》），要求 2020 年配电自动化覆盖率达到 90%，配电通信网覆盖率达到 95%。在设备配置标准上，《计划》要求：中心城市（区）及城镇地区推广集中式馈线自动化方式，在网络关键性节点采用“三遥”终端，在分支线和一般性节点采用“二遥”终端，合理选用光纤、无线通信方式，提高电网运行控制水平；乡村地区推广以故障指示器为主的简易配电自动化，合理选用无线、载波通信方式，提高故障定位能力。这里说的“二遥”是指遥信和遥测，“三遥”在“二遥”基础上增加了遥控。

图表 18：能源局配电网建设改造指导目标

指标	单位	2014 年	2017 年	2020 年
1.供电可靠率	%	99.35	99.69	99.82
其中：中心城市（区）	%	99.95	99.97	99.99
城镇	%	99.80	99.85	99.88
乡村	%	99.16	99.45	99.72
2. 用户年均停电时间	小时	57.0	27.0	15.7
其中：中心城市（区）	小时	4.4	2.6	1.0
城镇	小时	17.5	13.2	10.0
乡村	小时	73.6	48.0	24.0
3.综合电压合格率	%	95.88	97.53	98.65
其中：中心城市（区）	%	99.94	99.96	99.97
城镇	%	96.92	97.95	98.79
乡村	%	90.77	94.69	97.00
4.110 千伏及以下线损率	%	6.2	6.1	6.0
5.高压配电网容载比		2.01	1.8-2.2	
6.乡村户均配变容量	千伏安	1.55	1.8	2.0
7.配电自动化覆盖率	%	20	50	90
8.配电通信网覆盖率	%	40	60	95
9.智能电表覆盖率	%	60	80	90

数据来源：国家能源局，英大证券研究所

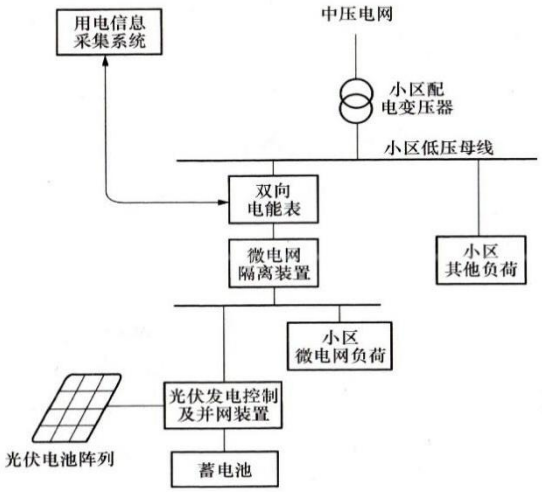
《计划》对通信网建设得要求是：中心城市（区）加强 10 千伏通信接入网的光纤建设，有效支撑配电自动化遥控可靠动作和用电信息采集业务；城镇及乡村地区加强 35 千伏电网的配套光纤建设，10 千伏通信接入网主要采用无线、载波通信方式。

“三遥”中的遥控功能，对延时和通信可靠性要求很高，4G 网络和载波通信方式不能实现遥控功能。配网自动化率虽然达到 90%，但在中压配网层级，除中心城区少部分高可靠性区域，部署光纤的线路可以实现“三遥”功能外，大部分城市区域和城镇中压配网仅配置了简单的“二遥”设备，而广大乡村地区还是以配置故障指示器为主，已建成的中压配网自动化还是低水平的自动化。

2．户用光伏和电动汽车加速发展，对配电自动化系统的要求越来越高

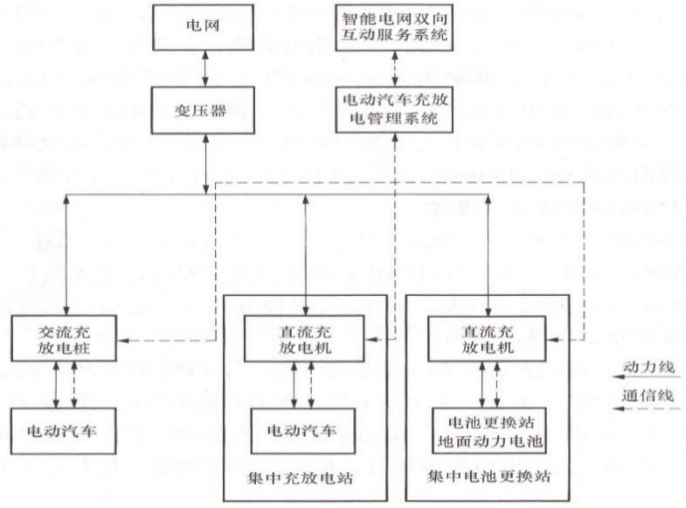
2020 年我国新增户用光伏规模超 6GW，较 2019 年增长 71.4%。目前光伏上网电价已接近平价，随着光伏价格的持续走低，户用光伏将呈现爆发式增长。2019 年我国新能源汽车销量达 124 万辆，预计 2025 年销量将突破 500 万辆。未来电动汽车的车载电池可能成为电网的移动储能单元，在电网高峰时段向电网释放电能，在电网低谷时段吸收电能，有效降低电网峰谷差。

图表 19：户用光伏并网系统构成图



数据来源：《智能电网技术》，英大证券研究所

图表 20：电动汽车充放电过程图



数据来源：《智能电网技术》，英大证券研究所

户用光伏和电动汽车的广泛接入，改变了配电系统的网络结构，配电网从原来的单电源网络变为多电源网络，在配电系统中形成大量微电网结构，电流呈现出双向流动、实时动态变化，配网侧的潮流方式更加复杂，现阶段配网自动化水平已不能满足能源消费新业态的需求。

3．数字新基建下的配电自动化，前景广阔

为适应户用光伏和电动汽车大量应用给配电网运行带来的挑战，采用云计算+边缘计算的部署方案，将成为未来配网自动化发展的方向和趋势之一。其特点在于将原来主站的计算能力分布式下沉到智能配电化终端，边缘端将处理后的有效数据传输至云端，云计算+AI 实现智能判断、分析、故障定位，将控制指令发送给边缘端，完成故障隔离以及非故障区域供电恢复等操作，从而实现故障处理过程的全自动进行，最大可能地减少故障停电时间和范围，使配网故障处理时间从分钟级提高到毫秒级。

图表 21：配电自动化发展路径



数据来源：国网公司，英大证券研究所

5G 商业化运营后，解决了无线通信方式长延时和低可靠性的问题，其部署成本远低于光纤通信，配电自动化全面升级得以实现。在城市区域，按照 5G+云+边+AI 的部署方案升级现有自动化系统，不断提升供电可靠性；在广大农村区域，提升自动化水平，使自动化设备全部具有“三遥”，甚至“五遥”功能，不断减少停电时间。《计划》估计，2020 年我国中压公用配变容量达到 11.5 亿千伏安、线路长度达到 404 万公里，以单台配变平均容量 300 千伏安、单条线路 15 公里 3 分段估计，配电自动化采集设备需求将达到 464 万台。数字新基建给已有的配电自动化运行模式带来颠覆性的改变，配电自动化产业前景十分广阔。

（三）数字孪生技术或催生运维检修智慧化

1．国网已经部署的输电线路状态监测系统是数字孪生电网的雏形

输电线路作为电力输送的物理通道，地域分布广泛、运行条件复杂、易受自然环境影响和外力破坏、巡检工作量很大。国网初步建立了输电线路状态监测系统，部署了监测线路的微风振动、导线温度、风偏、覆冰、舞动、杆塔倾斜、绝缘子污秽度、微气象等装置。受成本和监测效果的限制，输电线路状态监测系统尚未全面部署。

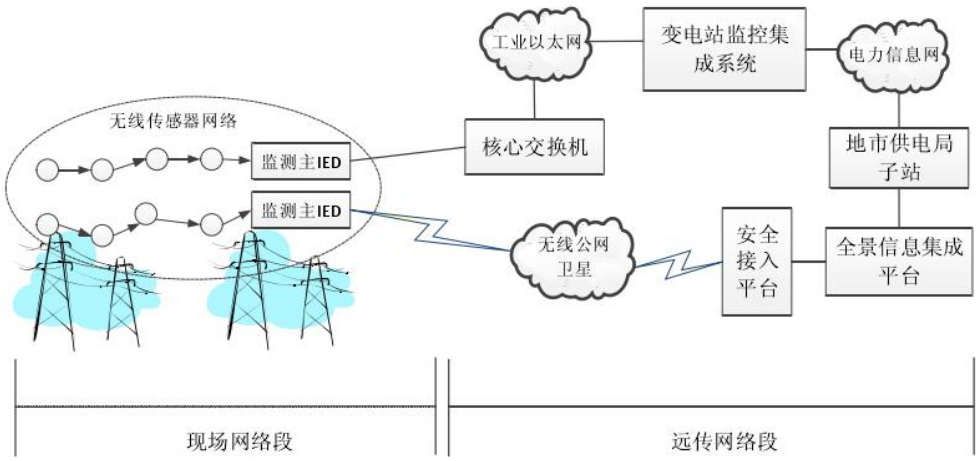
图表 22：输电线路监测范围

监测对象	配置范围	监测参数配置
导线类	重要跨越段，安全距离不足导致频发故障的线路区段，重冰区部分区段线路和易覆冰特殊地理环境区。	拉力、微风振动、舞动、图像/视频、覆冰、导线温度、风偏等。
杆塔类	采空区、沉降区和不良地质区段。	外力破坏(杆塔倾角、图像/视频)、振动、防盗(红外、超声波、视频)、雷击、杆塔入地电流(雷电流)。
绝缘子类	现有的污区等级点，曾经发生过污闪事故或现有爬距不满足要求的区域。	泄漏电流、盐密、污秽、风偏。
环境类	大跨越、易覆冰区和强风区等特殊区段，因气象因素导致故障频发区段，无气象监测台站区段。	微气象(温度、湿度、气压、日照、风速、风向、雨量)。

数据来源：《输电线路状态监测中的无线传感器网络时延研究》，英大证券研究所

输电线路监测系统的通信组网，通常是无线传感器将采集数据汇集到监测主 IED，监测主 IED 通过电力光纤网络将数据传输至变电站。目前监测系统的缺点一是无线带宽限制，采集的信息只能作为现场巡检的参考，故障判断还需现场作业才能发现，监测效率不高；二是使用有线网络传输高清视频信号，需建设独立光纤通信网络，成本高昂，缺乏经济性。

图表 23：输电线路状态监测系统结构图



数据来源：《输电线路状态监测中的无线传感器网络时延研究》，英大证券研究所

2. 数字孪生电网智慧运维检修展望

在 5G 网络完成大规模部署，“数字新基建”边缘层、平台层建设成熟后，采集和电网设备运行相关的拉力、振动、视频、覆冰、设备温度、雷电流、泄漏电流、盐密、污秽、环境温度、湿度、气压、日照、风速、风向、雨量等数据信息，传输至数据中台。应用数字孪生技术，建立电网设备的物理模型，梳理典型高发的故障模式，建立设备典型的故障模式及原因分类库，再综合考虑设备的多物理特性，建立系统级的多物理多应力下的仿真模型，并根据各类试验结果，对设备的关键特征参数、应力及机理模型进行修正，最终形成数字孪生基准模型。在使用过程中，通过传感器不断进行虚实数据交换，并基于数据修正虚拟模型，最终实现对物理设备的精准描述。同时，通过对物理实体使用数据、故障数据、维修数据的更新，计算其损耗，预测设备的剩余寿命，并指导维修决策。

我国地形复杂，山区面积占全国面积的 2/3，建设在山区的送电线路巡检难度大。国网每年的运行维护、技术改造费用约占电网投资的 10%，基于数字孪生进行设备的故障预测和维护，基本上可以节省常规巡检工作量，提高检修效率，大幅延长设备使用寿命，降低技术改造投入。2019 年底，国网在运 110（66）千伏及以上送电线路 109.34 万千米，铁塔档距按照 200 米测算，估计铁塔总数达 547 万基；110（66）千伏及以上变电容量 49.4 亿千伏安，单站变电容量按照 10 万千伏安测算，估计变电站达 4.9 万座，数字孪生电网系统在每个变电站布置 1 套监测设备，山区 30%铁塔，平原地区 10%铁塔，每基铁塔部署 1 套监测设备测算，预计共需部署数据监测设备 131.9 万套，数字孪生电网智慧运维市场潜力巨大。

风险提示及免责条款

股市有风险，投资需谨慎。本报告不构成个人投资建议，也没有考虑到个别客户特殊的投资目标、财务状况或需要。客户应考虑本报告中的任何意见、观点或结论是否符合其特定状况。据此投资，责任自负。

本报告中所依据的信息、资料及数据均来源于公开可获得渠道，英大证券研究所力求其准确可靠，但对其准确性及完整性不做任何保证。客户应保持谨慎的态度在核实后使用，并独立作出投资决策。

本报告为英大证券有限责任公司所有。未经本公司授权或同意，任何机构、个人不得以任何形式将本报告全部或部分刊载、转载、转发，或向其他人分发。如因此产生问题，由转发者承担相应责任。本公司保留相关责任追究的权利。

请客户注意甄别、慎重使用媒体上刊载的本公司的证券研究报告，在充分咨询本公司有关证券分析师、投资顾问或其他服务人员意见后，正确使用公司的研究报告。

根据中国证监会下发的《关于核准英大证券有限责任公司资产管理和证券投资咨询业务资格的批复》（证监许可[2009]1189号），英大证券有限责任公司具有证券投资咨询业务资格。