



中国电机工程学会
CHINESE SOCIETY FOR ELECTRICAL ENGINEERING

2019-2020电力通信专业发展报告

CSEE电力通信专委会

2020年11月

电力行业的快速发展，带动了电力通信技术的不断演进。本报告根据电力通信网络的构成，从传输网、接入网、业务网、支撑网和网络安全五个技术方向对电力通信技术的发展状况进行了概述，并从技术层面、非技术层面和商业化程度等方面分析了五个技术方向的发展趋势，指出了存在的问题，给出了相关的建议。主要包括：

- 一、最新研究进展
- 二、发展趋势分析与展望
- 三、创新发展机制分析与建议
- 四、小结

1. 传输网技术

根据目前电力传输网络发展需求和实际应用情况，重点对网络传输介质方面的新型光纤技术、传送技术方面的超长距离传输技术、100G OTN技术、传输网控制技术、SDTN技术进行研究。

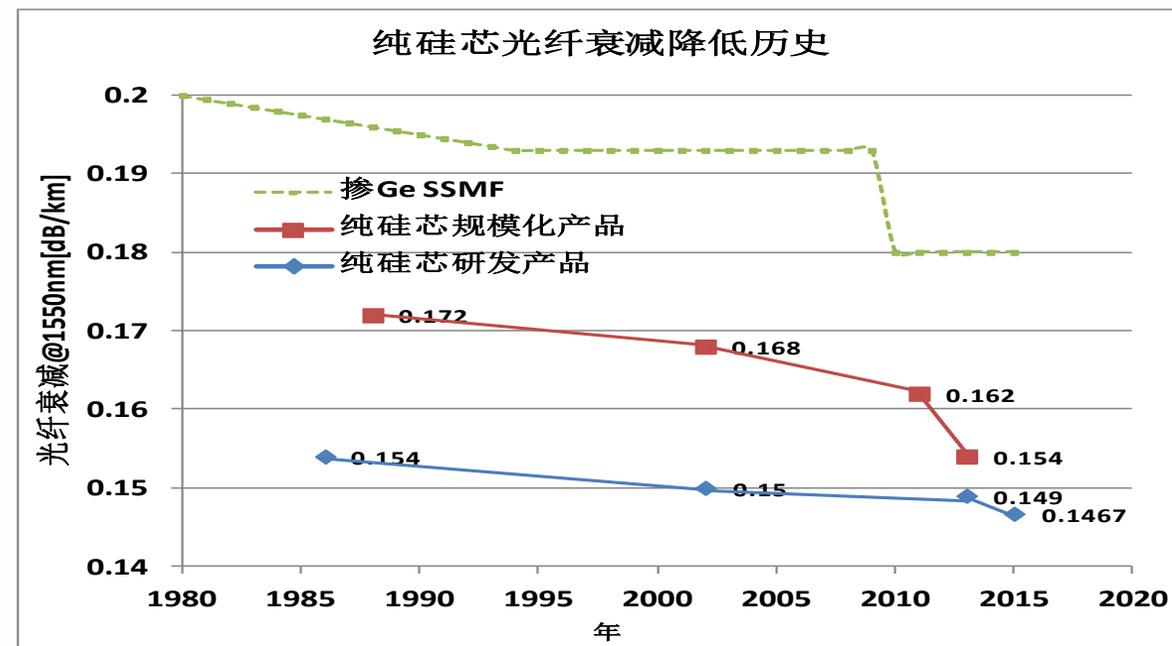
1.1 新型光纤技术

超低衰减光纤

传统光纤的衰减降低到0.18 dB/km后很难进一步降低。

为了继续降低光纤衰减，研究人员发明了纯硅光纤。纯硅芯单模光纤由于在芯层中没有掺杂，减小了由于瑞利散射导致的衰减，实现了光纤损耗的进一步降低。

国际上已研发出在1550nm处衰减达0.142dB/km、在1560nm达0.1419dB/km的极低衰减光纤。



大有效面积光纤

增大光纤有效面积能够有利于信号接收和恢复，有效解决由于入纤功率过大而引起的非线性效应。长飞于2017年推出了衰减典型值为0.158dB/km的商用超低衰减大有效面积光纤（有效面积为 $130\mu\text{m}^2$ ）。

小外径光纤

由于光纤需求的持续增长以及地下敷设光缆的管道资源稀缺，对单根光缆的光纤芯数需求越来越大。当缆结构的减小几乎接近极限时，缩小光纤外径尺寸就成了提高光纤密度的唯一办法。

要获得小外径光纤，其一是减小光纤玻璃体直径尺寸，其二是玻璃体直径不变而减小涂覆层厚度。前者因光纤截面积减小而降低光纤抗拉强度等原因尚还在研究中；后者是将光纤涂覆层直径从 $250\mu\text{m}$ 减小至 $\leq 200\mu\text{m}$ 。

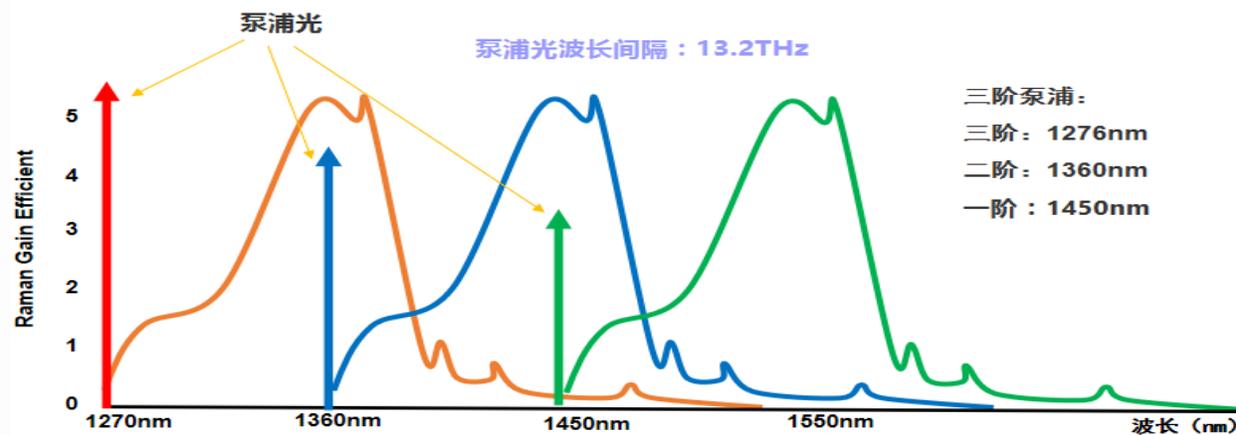


相干检测

在超400km的情况下，目前研究的重点主要集中在正交调制和相干检测两个方面。在100G系统中应用的正交调制及相干检测技术，由于其具有更高的接收灵敏度、更低的光信噪比（OSNR）要求，将进一步延长传输距离。

高阶泵浦技术

分布式拉曼放大器可以改善系统的OSNR，从而延长传输距离。目前系统中主要应用的为一阶拉曼，高阶拉曼放大器是基于光纤中的多次拉曼散射，位于高频的大功率泵浦光的能量能够经过数次频移，逐级泵浦低频光子，最终对信号进行放大。



三阶拉曼放大器结构。



偏振复用正交相移键控
技术

偏振复用—正交相移键控(PDM-QPSK)是100G标准调制方式。

相干接收技术

相干接收技术可得到PDM-QPSK信号的所有信息，为传输中各项劣化效应的分解和补偿提供了可能。

数字处理技术

在100G PDM-QPSK传输中，主要利用光数字信号处理技术减少和消除对光色散补偿器和低PMD光纤的依赖。

软判决FEC编码技术

软判决则采用多个比特位对信号进行量化，通过估计算法提高判决的准确率，大大提升了100G系统的传输能力。

雷击对电力OTN光传输系
统的影响

南网研究了雷击统计规律，雷击与OPGW中偏振态波动的关系，雷击与SOP对OTN的影响，OTN抗SOP能力测试等。结论：需提高OTN设备抵御SOP的能力，研发不受雷击影响的新型光缆，不受偏振态影响的调制技术等手段，从而有效克服雷击对电力OTN光传输系统影响。



软件定义网络

将软件定义网络（SDN）集中控制、数据平面与转发平面分离、统一的标准接口等理念与光网络的特点相结合，提出了SDTN的理念，即软件定义的传送网。

机器学习

目前人工智能在光网络中的典型应用案例包括物理层故障检测、设备异常检测、光网络流量疏导、路由选择、以及光网络传输性能预测等。

自主可控

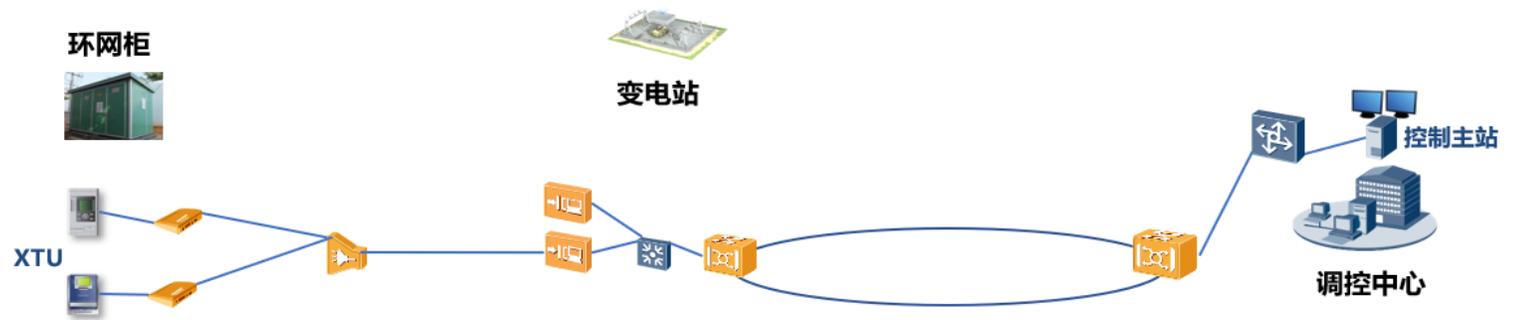
- 当前紧张的国际环境下，推进半导体芯片的全产业链国产化刻不容缓。
- 自主控制的光网络可满足应用、控制和传送平面间的“反馈-交互”认知智能性要求，具备完善的自学习、自适应、自管理等自主化能力，在自动控制的基础上实现更加智能化的网络管理和控制。

根据目前电力接入网发展需求，重点对高速无源光网络、电力线载波、电力无线专网、近程通信技术、公众无线通信技术和5G等技术进行研究。

2.1 高速无源光网络

无源光网络（PON）技术是光纤接入网的一种实现方式，是局端设备（OLT）与多个用户端设备（ONU/ONT）之间通过无源的光缆、光分/合路器等组成的光分配网（ODN）进行连接的网络。

目前电力通信系统中，PON主要应用在10kV及以下接入网中，主要承载配网自动化业务，主要技术体制以EPON为主，GPON及其他新技术应用正在推进中。



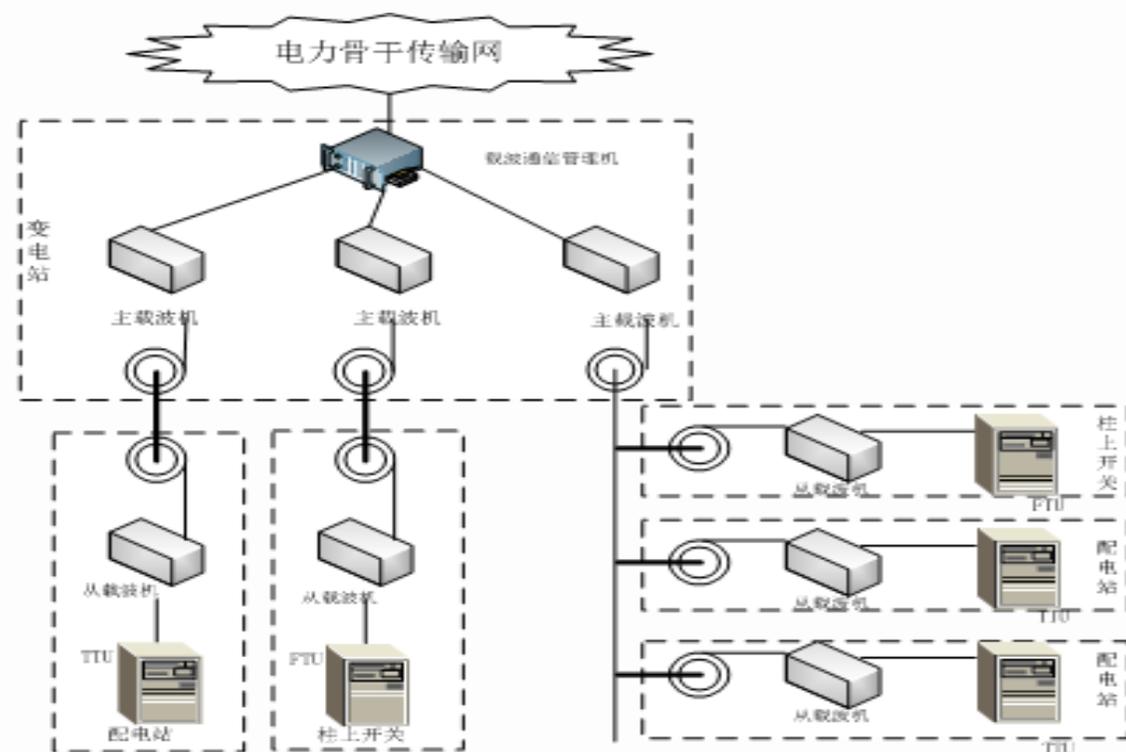
典型组网结构



电力线通信 (PLC) 技术是指将电力线路作为传输通道进行数据传输的一种通信技术。国内已开发出速率从几十 bit/s 至几百 Mbit/s 的窄带、宽带系列化 PLC 产品。

目前，在配电网应用的载波通信技术主要为中压电力线载波通信技术，低压电力线载波通信技术主要用于抄表业务。

新一代 PLC 技术具有跨频带 (150kHz ~ 10MHz) 感知，可实现频率的自适应选择、高速可靠的双向实时通信、通信终端的互联互通，服务于智能电网应用。



中压电力线载波典型组网结构

LTE (Long Term Evolution) 改进并增强了3G的空中接入技术，采用OFDM (正交频分复用)、MIMO (多入多出) 等通信关键技术，能够提供下行传输100Mbps~1Gbps的峰值传输速率，大大改善了小区边缘用户的性能。

目前，我国行业无线专网通信技术呈现宽带化发展趋势。



1.8GHz电力无线专网

先后在国网江苏电力、国网冀北电力，南方电网珠海电力、广州电力等地区部署。



230MHz电力无线专网

国家电网公司：目前已覆盖面积1.12万平方公里，建设基站811座，预计接入业务终端15.9万个。



LoRa

LoRa，采用扩频技术，在同样的功耗条件下传播的距离更远，实现了低功耗和远距离的统一，传输距离长达15-20km。

NB-IoT

直接部署在移动网络上，伴随5G建设的不断推进，NB-IoT得到了较快发展，国内用户数已经突破6000万。非常适合应用于无线抄表、传感跟踪等领域。

微功率无线通信

工作在免费公共计量频道470~510MHz，GFSK调制，自组网，可以实现低压电力用户用电信息汇聚、传输、交互，其网络覆盖范围小，子节点位置固定，通信链路相对稳定。

eMTC

基于蜂窝网络进行部署，其用户设备通过支持1.4MHz的射频和基带带宽，可直接接入现有的LTE网络。

WiFi

目前已在部分变电站场所部署WiFi接入终端，引入无线接入技术，用于变电站移动巡检、无线环境监测、无线视频监控、移动终端办公等。

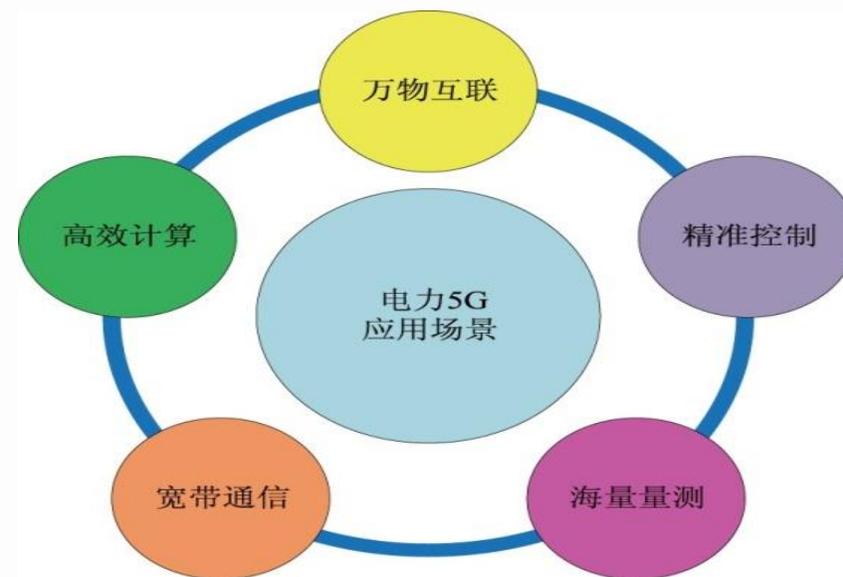


2.5 公众无线通信技术

4G移动通信系统的优势主要体现在网络高度智能化、信号覆盖面积广、业务能力强以及能够实现无缝漫游等四个方面，既可以解决老旧站点的通信问题，也可以提供更多的通信增值服务。

2.6 5G

5G应用场景主要有高可靠低时延、广覆盖大连接、大容量高带宽三个特点。对电力系统来说，5G在万物互联、精准控制、海量量测、宽带通信、高效计算等方面都具有广泛的应用。



电力通信业务网是指服务于终端用户的调度交换网、行政交换网、视频会议系统、应急通信系统，以及用于保障业务高效、可靠运行的调度数据网、综合数据网等承载网络。

3.1 语音通信技术

语音通信技术由传统的程控交换向以IP化为特征的软交换、IMS发展。南方电网公司采用全网软交换技术体制，采用业务应用统一的部署、软交换核心两级架构。国家电网公司也确定了采用两级架构、IMS技术体制建设统一通信系统。

3.2 视频会议技术

视频会议技术向4K超高清、融合AI技术、多系统可视化融合通信、视频云化等方向发展。

3.3 应急通信技术

建设应急指挥车—应急指挥中心地面站的“前方+后方”点对点传送模式，辅以卫星电话、数字集群、3G/4G/5G无线视频等应急通信手段。



3.4 网络控制技术



SDN技术

倡导转发与控制分离、控制集中、开放可编程的核心理念，对于拓扑复杂的IP网络，SDN的流量调优有明显应用价值。



分段路由SR技术

去掉了传统复杂的MPLS控制面协议，简化了网络的设计、部署和维护，实现了任意拓扑100%保护倒换全覆盖，降低了可靠性保障技术的部署难度。

3.5 网络承载技术



切片分组网络SPN

以切片以太网为内核，采用SDN管控架构，融合了L0到L3的多层技术，具备低时延、大带宽、超高精度同步、灵活管控、网络切片等技术优势。



IPRAN

基于IP/MPLS分组交换的无线接入网技术，主流运营商均采用IP RAN建设其移动承载网，在电力配电通信骨干网、地区数据网络也具有应用的可能性。





网络管理技术

随着特高压骨干电网和跨区电网建设进程的加快，电力通信网变得非常庞大复杂，以自我感知、自我配置、自我优化、自我修复（自愈）和自我保护为特征的自主管理通信网络受到越来越多的关注。此外，针对边缘网络的管理和基于大数据的网络管理也是目前网络管理研究的主要方向。



时钟同步技术

同步网包括频率同步和时间同步。频率同步是指通信网中的设备时钟按几乎相同的频率工作，以控制受控滑动的发生。时间同步是指通信网中的设备时钟按几乎相同的时间工作以保障网络的性能指标。时频融合是将上述频率同步网和时间同步网合二为一，包括节点融合、信号统一传送、统一监控管理三大基本概念。



随着信息通信技术的发展，电力生产控制和企业经营管理对信息通信网络与信息系统的依赖程度越来越高，电力基础设施遭受安全攻击的风险越来越大。

5.1 结构安全技术

电力监控系统结构安全按照“安全分区、网络专用、横向隔离、纵向认证”的安全防护基本原则，综合采用防火墙、入侵检测、主机加固、病毒防护、日志审计、统一管理等多种手段。

5.2 本体安全技术

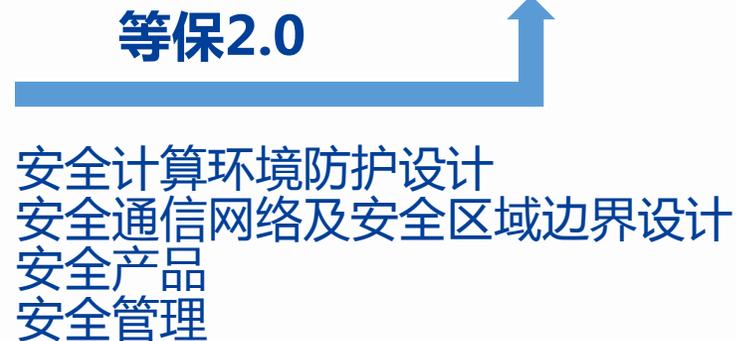
本体安全技术是有效保障电力系统设备及软件自身安全、可控所采取的安全防护及重要手段，包括可信计算技术、操作系统安全和密码技术等。



5.3 安全管理技术

等保制度是网络安全领域的基本制度、基本国策。等保2.0更加注重全方位主动防御、动态防御、整体防控和精准防护；在安全通用要求的基础上，增加了对云计算、移动互联、物联网、工业控制等对象扩展要求的全覆盖。

等保2.0重点体现“一个中心，三重防护”的思想。



5.4 态势感知技术

对能够引起网络安全状态发生变化的安全要素进行获取、理解以及预测未来的趋势，为实时全面掌握电力全网网络安全状态，为网络提供安全风险评估、实时监测预警及处置决策提供了可追溯的依据。

5.5 通信安全新技术



1. 传输网技术

未来的电力骨干通信网发展将向更高速率，更大带宽、更长传输距离、更加智能化的趋势发展。



新型光纤技术

小外径光纤
更低的衰减、更大的有效面积
分布式光纤在线检测技术



超长距离光传输技术

正交调制与相干检测
高阶泵浦放大技术
塔内光中继技术



超100G传输技术

超100G线路侧标准选择
OTN演进与超100Gbit/s高度融合
超100G性能评估参数及方法
雷击对电力OTN光传输系统的影响



传输网控制技术

SDTN技术
机器学习





高速无源光网络

TWDM-PON

WDM-PON

下一代PON技术：单通道50G PON



近程通信技术

近程通信技术LPWAN与5G、AI等技术结合



5G

万物互联

生活云端化

智能交互



电力线载波

新一代PLC技术：跨频带（150kHz~10MHz）

感知，可实现频率的自适应选择；

PLC与无线融合技术研究；

PLC与业务的深度融合发展



公众无线通信技术

开发用户识别技术

完善干扰抑制技术

提高信号接收技术

发展可重构性自愈网络技术



3. 业务网技术



视频会议技术

超高视频分辨率与编解码协议

AI人工智能

多系统可视化融合通信



应急通信技术

自主可控宽带卫星通信技术

自主可控卫星电话及多模融合终端

二代/三代北斗导航定位技术

天地一体的应急通信综合解决方案

4. 支撑网技术



网络控制技术

基于SDN的网络流量优化、网络安全控制技术

基于SR的流量工程、路径规划技术



网络承载技术

网络切片技术

网络设备主动运维技术



网络管理技术

基于大数据和AI的网络管理技术

边缘网络管理技术

网络功能虚拟化管理技术



时钟同步技术

高精度时钟同步技术

复杂网络环境下的时钟同步信号可靠传送





网络安全防护装备研制

网络安全防护装置“芯片级”硬件自主可控技术
软件定义互联网边界安全技术
电力物联网安全接入技术
移动通信网络安全技术



本体安全防护

具备自主可控特性的电力工控嵌入式安全操作系统
可信计算安全防护技术
主机安全监测技术



安全监测与智能化分析处置

安全态势感知技术
网络安全领域知识图谱技术
安全联动与处置技术
适应电力多层次级通信网络架构安全防御技术



网络安全管理和体系支撑

落实安全测评与密评要求
加强人才队伍建设
加强技术创新应用
促进产业提升



5G 安全防护

加强开放合作互信
加快推进5G安全国际标准
建立5G安全国际评测认证体系



1. 发展驱动力分析

社会驱动力

席卷全球的新冠肺炎疫情推动了5G、视频会议、应急通信技术的快速发展。
国际形势复杂多变，大国间贸易摩擦升级，电力通信技术长期成为贸易摩擦的焦点。

政策驱动力

全国两会将“新基建”写入政府工作报告。
物联网计划是许多国家重大战略性文件。
国家政策法规是网络安全发展的重要推动力。

行业驱动力

传统电网向智能电网转型是必然趋势。
智能电网建设，新能源、新业务的大规模介入，给电力通信带来了严峻挑战。

技术驱动力

电力物联网对配用电通信技术提出更高要求。
SDN将成为网络主动运维的关注点。
未来网络承载技术需满足低时延、大带宽、广连接的需求。
同步开展“新型网络的管理”和“新型的网络管理”两方面研究。
电力物联网、5G将驱动网络安全技术的发展与进步。





传输网领域

电力发展格局

云计算、大数据、物联网等业务应用的不断涌现

大电网安全、二次系统的准确动作



业务网领域

云网融合发展

应急通信尚未形成一个有效的行业协会

SDN技术的产业化与应用推广相对滞后

SPN设备的芯片制造能力



网络安全领域

国家战略和相关政策积极促进；关键基础设施的安全防护需要持续升级；云计算、大数据等新信息技术不断涌现；网络安全产业链仍不够完善；专业技术人才和管理人才较缺乏。



接入网领域

网络覆盖密度大、终端众多

网络终端靠近用户，受到多种环境和人为因素影响
多种业务综合承载

网络建设工期长、投资大



支撑网领域

存在大量不能按照要求提供网络管理接口的通信网络

超高精度时频基准源、异地全同步运行的实现技术研究还处于空白阶段





加快设备自主化



建立关键技术体系



加强人才队伍建设



推进标准化工作



加强安全保障研究



传输网

新型光纤技术、光路子系统技术、控制平面技术和超100G传输技术成为电力通信骨干传输网下一步可应用的潜在技术。

业务网

语音通话、统一通信、视频会议融合已成为趋势。网络技术的发展使数据网络复杂度不断上升，网络运维成本大幅增加。SDN技术成为解决上述问题最有前景的技术之一。

网络安全

重点推进网络安全防护装备自主可控、提升自身本体安全的防护能力、提高安全监测和智能化分析水平、完善全过程网络安全管理和支撑体系。

接入网

下一代网络的建设重点已经从主干网转移到接入网。接入网具有技术体制多、应用场景多的特点，技术体制选择需综合考虑业务需求、技术先进性和经济成本。

支撑网

采用集约化的方式改造现有网络管理系统，逐步实现省地通信网运行集中监视，提升监视效率。建立集中和统一的电力系统时钟同步系统。



衷心感谢参与报告编写的各位专家！