## 4.1项目研究成果

### 4.1.1适用于电力业务的基于灵活以太网技术的切片网络框架研究成果

1. 设计了一种支持灵活以太网技术的切片网络总体架构，能够满足当前电力典型业务以及未来的演进需求。该架构结合SDN和FlexE技术，突破了基于网络的安全控制类业务时延保障要求，满足电力业务的确定性及可靠性需求；
2. 针对于上述的总体架构，研究出具有集中式管理控制能力的集中管控平台，能够通过下发端口绑定和时隙交叉规则，以满足电力业务的时延、可靠性和资源等要求。
3. 通过分析满足智能电网各种业务的差异化需求（确定性时延、大带宽、安全隔离等），梳理基于灵活以太网技术的切片网络需要支持的关键技术，构建出了一种基于灵活以太网技术的承载架构，保证各类电力业务的安全性、实时性、准确性和可靠性需求，并能够满足全业务、全网络和全区域覆盖场景的要求；
4. 针对于上述的承载架构，进行了一系列的关键技术分析，包括基于FlexE技术的分片隔离、大带宽技术、低时延技术、网络分片技术、小颗粒承载技术和超高精度时间同步技术。
5. 基于灵活以太网技术在公网的典型应用，研究了灵活以太网技术在电网使用的典型应用场景，包括主网继电保护业务场景、配网继电保护业务场景、配电自动化业务场景、精准负荷控制业务场景和面向新型电力系统的业务场景。

### 4.1.2基于电力典型业务场景的灵活以太网组网技术研究成果

1. 通过对不同属性的电网业务安全需求进行分析研究，设计出了包括无线接入网（RAN）隔离、承载网（TN）隔离和核心网隔离三类业务端到端隔离方案，确保小颗粒度下切片的安全性，以提供网络切片隔离，为不同业务提供差异化的安全服务，能够满足安全地支持各种差异化的电网业务安全隔离要求；
2. 针对上述业务端到端隔离方案，做出面向典型电网业务场景的安全隔离及控制策略分析，基于FlexE时隙划分技术，研究出一种多业务电力回传网业务隔离策略。策略能够对处于不同分区的业务采取有效的隔离措施，使得生产控制大区与管理信息大区业务间形成物理隔离，大区内不同业务之间形成逻辑隔离。
3. 从网络结构调整、FlexE快速1.5层转发、FlexE硬隔离以及FlexE时间同步机制等四个关键技术方面做出研究，保证电力保护业务确定性时延的要求。研究分析电力保护业务场景下的业务特征属性，设计出一种基于OAM的FlexE保护方案，能够保证电力保护业务高可靠的要求；
4. 结合灵活以太网网络切片技术，分析生产控制业务和管理业务技术特点，从基于差异化业务需求的业务承载资源分配和基于不同传输模式的业务承载资源业务资源分配两个层面，做出了无线专网回传网络统一承载生产控制业务和管理业务的研究；

### 4.1.3基于电力典型业务场景的灵活以太网控制及运行技术研究成果

1. 设计出一种支持电力业务适配性弹性调度的结合SDN的FlexE网络切片控制平面架构，将Flex-E与支持网络切片的覆盖网络集成在一起，能够满足电网业务需求和网络资源灵活调度；
2. 针对上述控制平面架构，研究制定出一种面向电网典型应用场景的网络切片管理方案，对切片规划管理、切片模板管理、切片开通、切片更新、切片查询、切片性能管理、切片告警管理、切片终止、通道管理、设备管理等功能进行了具体的流程描述，能够使切片业务更加易于维护和管理。并对切片管理关键对象进行建模，构建FlexE网络切片的管理信息模型，刻画了切片管理系统和相关的资源，为切片管控的决策和切片管控系统的开发提供信息基础；
3. 研究出一种自动化智能化的网络切片生命周期管理框架，具备切片准备、切片部署、切片运维和切片退服等功能要求，能够支持基于SLA保障的网络切片快速开通和差异化服务能力；
4. 针对上述生命周期管理框架，做出切片管理关键技术的研究，研究包括网络切片流量预测技术以及基于混合粒度的切片资源分配。其中，网络切片流量预测技术可以查看客户数据速率的较长历史以预测未来时间段的数据速率，预测客户所需的带宽。在基于混合粒度的切片资源分配研究方面，设计了一种支持多种粒度的FlexE calendar slot编排算法，能够根据待传输业务的带宽需求，选择不同或相同粒度的日历时隙进行组合，得到所需的物理通道，相较传统FlexE时隙编排机制而言，在相同的流量负载下，该算法具有更大承载量、更高带宽利用率及更好的时隙资源利用率，能够实现电力通信网络切片资源最优化分配。