

**Flexible Ethernet灵活以太网技术在电力通信网中应用的关键技术**

**工作报告**

**国网江苏省电力有限公司信息通信分公司**

**北京邮电大学**

**二零二一年十二月**

**目录**

[1. 项目概述 3](#_Toc21353)

[1.1研究背景 3](#_Toc24605)

[1.2研究内容和研究目标 5](#_Toc3563)

[2. 项目组织管理与里程碑事件 6](#_Toc31216)

[2.1项目具体分工 6](#_Toc16897)

[2.2项目质量管理 7](#_Toc16418)

[2.2.1项目进度管理 7](#_Toc4788)

[2.2.2项目过程管理 7](#_Toc1098)

[2.2.3项目沟通管理 8](#_Toc17169)

[2.2.4项目成果管理 8](#_Toc7636)

[2.3项目风险管控 9](#_Toc4922)

[2.3.1项目队伍风险控制 9](#_Toc301)

[2.3.2项目实施风险控制 9](#_Toc28498)

[2.3.3前瞻技术研究风险控制 10](#_Toc21912)

[2.4项目里程碑事件 10](#_Toc18071)

[3. 项目研究主要工作思路 11](#_Toc9813)

[3.3.1内容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 11](#_Toc21595)

[3.3.2内容2：基于电力典型业务场景的灵活以太网组网技术研究 12](#_Toc29241)

[3.3.3内容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 14](#_Toc12737)

[4. 项目取得成果和创新点 16](#_Toc13556)

[4.1项目研究成果 16](#_Toc32359)

[4.1.1内容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 16](#_Toc8085)

[4.1.2内容2：基于电力典型业务场景的灵活以太网组网技术研究 17](#_Toc8041)

[4.1.3内容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 18](#_Toc8709)

[4.2任务书指标完成情况 19](#_Toc20313)

[4.2.1研究报告清单 19](#_Toc13718)

[4.2.2知识产权成果清单 19](#_Toc20259)

[5. 项目经费使用情况 21](#_Toc6365)

[6. 项目人员组成及分工 23](#_Toc18173)

[7. 后续研究展望 25](#_Toc28516)

# 项目概述

## 1.1研究背景

智能电网已成为电力行业发展的共同选择，各国纷纷制定规划、政策，加快推进智能电网技术和产业发展。智能电网是电网的智能化，其充分运用先进的 ICT 技术，构建可靠、高速、双向的通信管道，通过传感和测量技术、设备及控制方法，实现电网的安全、经济、高效、绿色运行。

随着智能电网和数字化变电站的建设，SCADA(Supervisory Control and Data Acquisition，监控与数据采集)和调度电话等业务逐步 IP 化， WAMS(Wide Area Measurement System，广域向量测量)和广域保护等新业务不断引入，分布式发电、储能、充电桩等新能源大规模接入，视频监控等大带宽业务持续增长，传统通信网络已难以满足智能电网的要求。智能电网需要智能的通信网络，智能 IP 网络能够解决传统通信网络的不足，为智能电网提供一个可靠、灵活、简捷的联接平台，已成为电力企业建设下一代电力通信网的主流选择。

传统业务主要包括继电保护业务、 SCADA、电能计量和调度电话等业务，带宽要求较小、可靠性实时性要求高，传统通信网络多采用基于电路交换的 SDH 技术建设。在电力公司建设 IP 网络替换原来的 SDH(Synchronous Digital Hierarchy，同步数字体系)网络时，需要智能 IP 网络能够可靠承载继电保护业务、 SCADA 等电力生产业务，确保电力生产业务能够平滑演进到 IP 网络。

5G 对承载网络的带宽、时延、切片、可靠性等方面提出了更高的要求。FlexE 技术重用现有 IEEE 802.3 以太网物理层标准，在MAC层与PCS层中新增FlexShim层，实现网络灵活性、多速率、刚性接口等特性。其捆绑、通道化、子速率等功能，可以与 IP/Ethernet 技术良好对接，大力助推 5G 承载网络的发展，为 5G技术的应用提供保障。随着 5G 产业的不断发展与完善，FlexE 技术将在5G切片网络上得到广泛的应用。

近年来，国家电网公司积极建设坚强智能电网，提升电网本质安全水平，通过实施“互联网+”战略，全面提升电网信息化、智能化水平，充分利用现代信息通信技术、控制技术实现电网安全、清洁、协调和智能发展，为经济社会发展提供可靠电力保障。随着用电信息采集、配电自动化、分布式能源接入、电动汽车服务、用户双向互动等业务快速发展，各类电网设备、电力终端、用电客户的通信需求爆发式增长，迫切需要适用于电力行业应用特点的实时、稳定、可靠、高效的新兴通信技术及系统支撑，实现智能设备状态监测和信息收集，激发电力运行新型的作业方式和用电服务模式。

在现有电力通信网络中，大量使用了2G、3G、4G运营商公网和4G无线专网技术，但是，在业务专线、安全隔离、网络时延、大带宽扩展等方面尚无法满足电力典型应用业务场景的需求。

另一方面，随着5G技术的快速发展，5G网络丰富的垂直行业应用将给移动网络带来更加多样化的需求，超高带宽、超低时延以及超大规模连接将改变垂直行业核心业务的运营方式和作业模式，全面提升传统垂直行业的运营效率和决策智能化水平等。网络切片正是在这种背景下产生的。以敏捷和可定制的能力，为不同的应用打造一个“专属”网络，随着在5G网络技术的快速发展，使用5G电力切片支撑电力通信业务，正成为5G行业应用最为重要的场景，但是，即使使用5G切片，由于承载网和核心网通信过程中的存储、转发、队列化等操作均需消耗较长等待时间，因此，普通5G切片网络，在跨越多个小区和较远传输距离后，其通信时延、抖动性能、安全隔离性能等指标，仍然无法满足电力典型业务场景的极高要求。

通过使用FlexE技术，5G切片网络可以实现以下目标：

端到端协同，切片自动化，低时延切片单跳时延us级

FlexE硬隔离，FlexE信道化硬隔离，实现硬切片保障业务

低时延切片建立VIP转发通道，单跳时延 <15us, 低时延业务端到端时延1ms

FlexE切片隔离技术，可以精准匹配电力业务需求，实现零丢包、极低时延、极低抖动、物理隔离；同时，FlexE技术将真正把5G从电信网络带入到工业生产系统。FlexE技术的研究和推广，将提升电力系统5G网络的研究和部署进展，并将显著改善电力典型业务场景的性能。

## 1.2研究内容和研究目标

项目的预期目标是实现“适用于电力业务的灵活以太网（FlexE）技术研究”，并针对课题总目标，完成以下子研究任务：切片网络框架研究、组网技术及控制策略研究、控制及运行技术研究。

为实现上述总体目标，项目具体划分为三个研究点，各研究点的预期目标和内容分别为：

内容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

分析智能电网当前问题和未来的业务需求，设计满足电力业务未来演进需求的基于灵活以太网技术的切片网络框架；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哪些关键技术，构建基于灵活以太网技术的承载架构，并制定优化与应用方案；基于灵活以太网技术在公网的典型应用，展开灵活以太网技术在电网使用的典型应用场景的研究，包括保护业务专线、无线专网回传网、5G切片网络、wifi6回传网等。。

内容2：基于电力典型业务场景的灵活以太网组网技术研究

研究基于灵活以太网的运营商公网或专网切片网络如何满足电网业务安全隔离的要求，如何确保小颗粒度下切片的安全性；研究基于灵活以太网的切片网络如何能够满足电力保护业务确定性时延、高可靠的要求；研究基于灵活以太网的切片网络如何实现无线专网回传网络统一承载生产控制业务和管理业务的需求。

内容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

研究满足电网业务和网络资源灵活调度的网络切片控制平面架构，支持电力业务适配性弹性调度；研究电网典型应用场景的网络切片管理方案，构建网络切片的管理模型，为研发管控系统奠定技术基础；研究满足电力业务的网络切片自动化、智能化全生命周期管理方法。

# 项目组织管理与里程碑事件

## 2.1项目具体分工

国网江苏电力有限公司信息通信分公司作为委托方，对项目进展进行总体管控，提出研究思路和技术方案，并作为应用单位负责项目的示范应用。北京邮电大学作为项目的受托方，在甲方指导下开展关键技术的研究工作，输出对应的论文、发明专利、技术报告等研究成果。为了保障项目实施质量，受托方成立了技术研究小组，双方联合成立了质量保证小组。

## 2.2项目质量管理

为确保项目研究工作顺利进行，在项目进行过程中，明确了项目的质量管控措施，包括项目进度管理、过程管理、沟通管理和成果管理等，要求如下：

### 2.2.1项目进度管理

项目按照季度进行工作汇报和整理，委托方不定期向甲方汇报研究进度和研究成果，并按时报送工作进度和工作计划。针对研究过程中遇到的问题，通过会议和现场交流的方式推动解决。

### 2.2.2项目过程管理

本项目最终输出成果包括研究报告、专利、论文等，为减少报告编写内容与最终要求偏差，降低重大修改风险,有效管控软件开发进度，确保专利、论文保质保量完成，要求受托方工作开展遵循项目过程管理流程。

在工作开展过程中，涉及到系统内外情况调研的，研究小组先提出研计划，编制调研大纲。

科技项目所产生的论文成果由委托方按照任务书规定的计划论文发表的时间节点倒排工期，明确论文投稿、录用的时间节点，并由项目总体管控组负责监督。专利成果由项目总体管控组按照计划获得专利受理的时间节点倒排工期，明确提交技术材料、完成专利初稿、提交知识产权局的时间节点，各工作小组按照时间节点提交技术材料，并由甲方负责监督。

### 2.2.3项目沟通管理

因团队组成成员较多，为确保项目工作交流、任务传递、问题商讨等工作的顺利开展，设立以下会议类型及会议要求。

项目整体季度推进会，整个团队成员在每季度至少集中一次，对研究进度、预算执行进度以及研究关键内容、成果产出进行总结评估，相关工作组专题汇报，协调解决调研、成果要求等问题，制定下一步措施。

针对需要重点解决和讨论的问题，例如关键技术难点，采用周会议的方式来推进，对一周的推进工作进行总结，并布置下一周工作，形成工作周报，汇报至甲方管理人员。

### 2.2.4项目成果管理

项目成立成果管理和评审小组，充分发挥集体智慧的作用，对项目研究成果进行评审和监督，以保障项目提交成果的质量，为后续的项目开展提供决策依据。

项目研究过程中形成的研究报告、专利、论文等都属于本项目的成果，都属于国网江苏公司和北京邮电大学共有。相关知识的移交和归档由乙方具体整理后交给甲方。

项目研究人员对项目研究成果，研究过程中或完成后均不得向任何第三方公开或披露，若发现私自泄密行为，应对所在单位进行通报，根据情节轻重对责任人进行处理，直至退出本项目研究工作。

## 2.3项目风险管控

项目执行过程中，在项目队伍风险控制、项目实施风险控制和基础前瞻研究风险控制方面，采取了相应的对策以避免上述风险的发生。

### 2.3.1项目队伍风险控制

项目团队在执行过程中可能出现人员离职或调整等风险，尤其是骨干成员的流动和调整等情况将不利于项目的实施。为避免该风险的发生，本项目加强了对参与研究人员的管理，加强项目执行过程中的管理和协调，加强远程或现场检查与督导，定期完成项目进展汇报，每季度至少举行一次深入的交流和研讨，及时发现和规避队伍调整带来的风险。

### 2.3.2项目实施风险控制

为充分发挥项目组内各团队的技术和工程实施优势进行技术攻关和应用示范，项目组建立了团队沟通协调机制，明确项目进度管理机制、项目过程管理机制、项目会议管理机制、项目成果评审管理机制、以及项目成果管理机制，加强组织实施部门、课题承担单位、工程实施单位等相关单位之间的组织协调，严控项目实施中可能出现的风险。

### 2.3.3前瞻技术研究风险控制

本项目的研究内容涉及多学科、多专业交叉，部分研究任务难度大，技术路线需要探索，在技术上有一定的风险。

本项目总体来说，允许探索不同的技术路线，为规避在前瞻性研究方面的风险，对重点技术路线进行了反复论证和验证。比如基于OAM的FlexE保护方案设计是一个新的研究内容，项目组对此研究点进行了多次内部讨论，并邀请中兴通信的技术专家进行研讨交流，在现有良好基础的共性关键技术上加大攻关力度，加强技术风险的控制。

## 2.4项目里程碑事件

在本项目开展期间，依据项目质量管理要求，项目牵头单位及各承担单位通过召开项目交流会议、阶段检查会议等，汇总整理各研究成果，及时掌握项目的研究进度和存在问题。

截止到2021年12月，项目组组织的阶段性工作及技术交流里程碑事件如表格1 所示：

表格1项目里程碑事件

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 时间 | 里程碑事件 | 主要内容 |
|  | 2020年12月 | 项目前期准备工作讨论 | 对Flexible Ethernet灵活以太网技术在电力通信网中应用的关键研究的总体工作目标进行了明确，并提出了项目启动前期准备工作具体要求 |
|  | 2021年1月 | 项目启动讨论会 | 对项目任务书进行了说明及工作部署，并提出了项目管理相关要求 |
|  | 2021年2月 | 项目推进会 | 项目进展汇报，包括研究内容、技术路线、研究成果，“安全隔离型”研究方向和深度展开讨论。 |
|  | 2021年5月 | 项目推进会 | 项目进展汇报，包括研究内容、技术路线、研究成果。 |
|  | 2021年6月 | 阶段成果审核会 | 汇报论文、专利等成果，就组网关键技术以及在电网中的应用展开讨论 |
|  | 2021年9月 | 项目推进会 | 项目进展汇报，包括研究内容、技术路线、研究成果。 |
|  | 2021年10月 | 关键技术研讨会 | 课题组邀请中兴通讯专家就FlexE组网、时隙交换、小颗粒、切片配置和管理等关键技术开展技术交流和讨论。 |
|  | 2021年12月 | 自验收检查会 | 开展项目验收准备工作，对国网江苏公司2022年验收要求进行说明，对验收材料进行分工，开展验收材料编制工作 |

# 项目研究主要工作思路

## 3.3.1内容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

内容1研究内容及路线如图1所示。首先，以国家电网业务需求调研为起点，根据当前业务和网络存在的不足，研究并设计基于灵活以太网技术的切片网络框架；其次，新型大电网安全稳定控制的实施需要以更为灵活、可靠、高速的信息通信体系为基础的安全稳定分析及控制系统作保障，因此需要对分区业务从确定性时延、大带宽、安全隔离等方面进行差异化需求分析，并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，以构建基于灵活以太网技术的承载架构；最后，为了使灵活以太网技术在一些典型应用场景中更好的发挥作用，针对公网中的基于灵活以太网技术的典型应用，研究灵活以太网技术在电网使用的典型应用场景，包括保护业务专线、无线专网回传网、5G切片网络、wifi6回传网等。

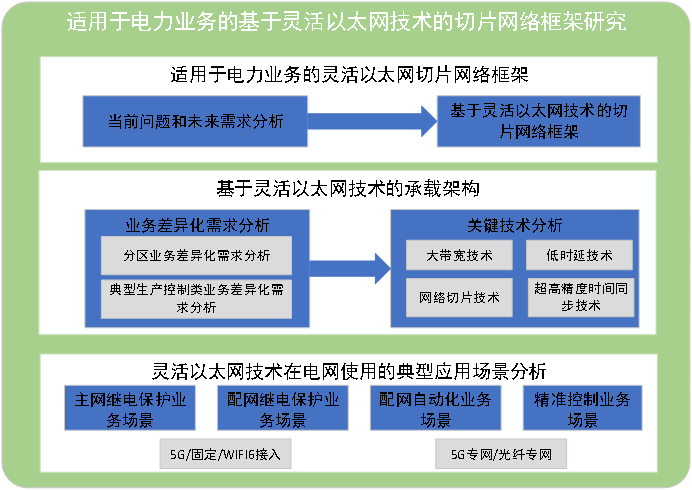


图1 课题一研究内容及思路

## 3.3.2内容2：基于电力典型业务场景的灵活以太网组网技术研究

内容2研究内容及路线如图2所示。为了适应5G对承载网络的带宽、时延、切片、可靠性等方面的要求，满足更加多样化的通信需求，需要研究基于电力典型业务场景的灵活以太网组网技术。首先，在电力典型业务场景中，不同属性的业务对网络特性的需求差异较大，传统的独立建网的方式导致网络的重复建设,且后期需要多重的管理和维护,给电力公司对整个通信网络的调度造成困难,降低了通信网络的整体性。因此，需要研究基于灵活以太网的运营商公网或专网切片网络如何满足电网业务安全隔离的要求，如何确保小颗粒度下切片的安全性,分析业务安全隔离需求并完成业务端到端的隔离方案，设计FlexE业务安全控制机制。其次，为了维护电力设施的正常运行，避免因为电力中断带来的损失，需要研究基于灵活以太网的切片网络如何能够满足电力保护业务确定性时延、高可靠的要求。最后，对于电网各个典型应用场景，由于不同业务之间的特性差异，在隔离度、带宽、可靠性、时延、连接数等方面都会有不同的要求。因此，需要研究基于灵活以太网的切片网络如何实现无线专网回传网络统一承载生产控制业务和管理业务的需求。

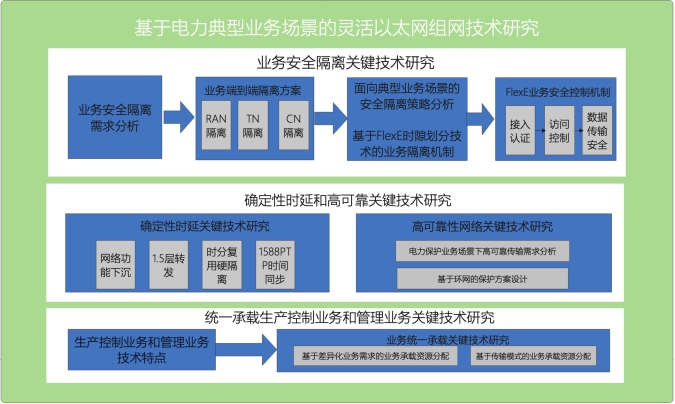


图2 课题二研究内容及思路

## 3.3.3内容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

内容3研究内容及路线如图3所示。为了提升电力系统5G网络的研究和部署进展，并将显著改善电力典型业务场景的性能，需要研究基于电力典型业务场景的灵活以太网控制及运行技术。首先，在电力典型业务场景中，每类切片可按需构建多个网络切片实例，电网企业可根据切片运行的状态及业务需求，为所属各单位提供差异化的电力业务网络切片服务。但是基于FlexE的网络与支持网络切片的网络并未集成在一起，难以灵活调度和使用网络资源，因此需要研究满足电网业务和网络资源灵活调度的网络切片控制平面架构，支持电力业务适配性弹性调度。其次，为了使切片业务更加易于维护和管理，需要研究电网典型应用场景的网络切片管理方案，构建网络切片的管理模型，为研发管控系统奠定技术基础。融合型FlexE设备需要支持基于SLA保障的网络切片快速和差异化服务能力，满足分种级业务的快速开通和灵活的全生命周期管理要求，需要研究满足电力业务的网络切片自动化、智能化全生命周期管理方法。

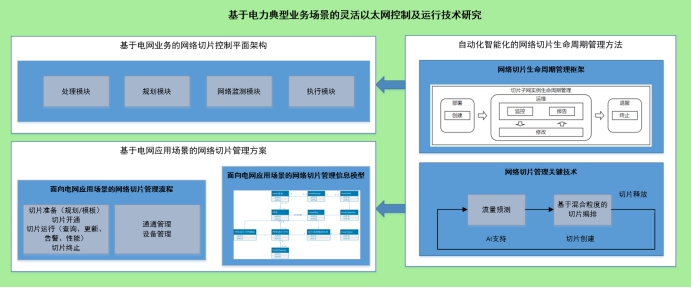


图3课题三研究内容及思路

# 项目取得成果和创新点

## 4.1项目研究成果

### 4.1.1内容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

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内容2：基于电力典型业务场景的灵活以太网组网技术研究

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内容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

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。

## 4.2任务书指标完成情况

项目组全部完成任务书指标要求，共计完成研究报告3篇、授权发明专利2项、受理发明专利1项、发表论文3篇。

表格2任务书总体指标完成对照表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 预期成果 | 实际完成情况 |
| 研究内容1 | 1. 研究报告1篇； 2. 核心期刊或三大检索论文1篇； 3. 发明专利1项。 | 1. 研究报告1篇； 2. 核心期刊或三大检索论文1篇 3. 授权发明专利1项。 |
| 研究内容2 | 1. 研究报告1篇； 2. 核心期刊或三大检索论文1篇； 3. 发明专利1项。 | 1. 研究报告1篇； 2. 核心期刊或三大检索论文1篇； 3. 授权发明专利1项。 |
| 研究内容3 | 1. 研究报告1篇； 2. 核心期刊或三大检索论文1篇； 3. 发明专利1项。 | 1. 研究报告1篇； 2. 核心期刊或三大检索论文1篇； 3. 发明专利1项。 |

### 4.2.1研究报告清单

表格3研究报告清单

|  |  |
| --- | --- |
| 序号 | 研究报告名称 |
| 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报告》 |
| 2 | 《基于电力典型业务场景的灵活以太网组网技术研究报告》 |
| 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报告》 |

### 4.2.2知识产权成果清单

表格4发明专利清单

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 专利名称 | 专利号 | 对应研究内容 |
| 1 | 虚拟网络切片的重构方法和装置 | ZL.202110669084.8 | 1 |
| 2 | 资源分配方法、装置、存储介质以及电子设备 | ZL.202110911137.2 | 2 |
| 3 | 电力通信资源分配方法、装置、存储介质以及电子设备 | 2021114646226 | 3 |

表格5发表论文清单

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 论文名称 | 刊物名称 | 期刊级别 | 对应课题 |
| 1 | Slice Network Framework and Use Cases Based on FlexE Technology for Power Services | IWCMC 2021 | EI会议 | 1 |
| 2 | A Resource Allocation Method for Power Backhaul Network Based on Flexible Ethernet | ICSINC 2021 | EI会议 | 2 |
| 3 | A Flexible Ethernet Calendar Allocation Based on Client Traffic | ISAIC 2021 | EI会议 | 3 |

4创新点

**创新点1：基于差异化需求电网业务端到端隔离方案**

基于FlexE时隙划分技术的业务隔离机制、电力业务的差异化安全隔离需求和不同的使用场景，进行了面向典型业务场景的安全隔离策略分析，提出无线接入网隔离、承载网隔离、核心网隔离三种业务端到端隔离方案，满足了不同业务之间的差异化隔离需求。

**创新点2： 基于FlexE PHY技术的端到端电力网络切片**

针对电网业务的差异化需求，本报告利用FlexE可以聚合不同的PHY模块以支持更高的MAC数据速率的优点，以及允许具有不同数据流的多个MAC客户端能够通过单个或多个PHY链路传输数据的机制，对不同需求的客户业务进行有效的资源分配，实现端到端定制化电力网络切片。

**创新点3：基于 SDN 的网络切片控制平面架构**

提出了一种结合SDN的FlexE网络切片控制平面架构，并设计控制平面中的主要模块功能，采用流程图的方式对网络切片管理流程进行呈现与描述，使切片业务更加易于维护和管理。提出切片管理信息模型，对切片管理关键对象进行建模，为切片管控的决策和切片管控系统的开发提供信息基础。

**创新点4：基于FlexE混合粒度的切片资源分配放法**

通过FlexE基于硬件的时隙复用实现各个切片之间的业务在转发层面上互相隔离的功能，提出了基于混合粒度的切片资源分配方法，根据电网业务特点设计多种粒度组合方式，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，有效利用了网络资源，并提升了切片管理效率。

**创新点5：基于带宽估计的时隙分配方案**

提出了几种估算每个客户端所需带宽的方法。每个客户端在进入FlexE填充程序之前都通过其自己的以太网链路传输数据。 因此，在进入FlexE垫片之前分别估算每个客户端的所需带宽，将FlexE日历分配方案基于客户端的实际带宽利用率信息。这种灵活的分配降低了FlexE链路带宽要求，并适应了数据流的波动。

# 项目经费使用情况

本项目总经费113万元，具体支付计划如下所示。

表格7项目经费支出计划

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目支付计划 | | | | |
| 年度 | 甲方提供经费（万元） | 乙方自筹经费（万元） | 受款单位 | 付款条件 |
| 2020年 | 40.8 | 0.00 | 北京邮电大学 | 1.2020年完成制定项目实施方案。  2、完成对应课题研究报告中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；付款50%，40.8万元。 |
| 2021年 | 40.8 | 0.00 | 北京邮电大学 | 1.完成考核当年度考核指标付款40%，32.64万元  2.通过省公司科技项目验收后付款10%，8.16万元。 |

本项目总经费81.6万元，共计支出81.6万元，符合国网公司科技项目验收要求。各单位具体经费使用情况如表7。

表格7项目经费支出明细

（单位：万元）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **科目名称** | **预算金额** | **使用金额** | **备注** |
| **（一）直接费** | 70.8 |  |  |
| **1、人工费** | 65 |  |  |
| （1）专职研究人员人工费 | 62 |  |  |
| （2）劳务外包人员人工费 |  |  |  |
| （3）临时性研究人员人工费 | 3 |  |  |
| **2、设备使用费** | 0 |  |  |
| （1）仪器设备使用费 |  |  |  |
| （2）软件使用费 |  |  |  |
| **3、业务费** | 5.8 |  |  |
| （1）材料费 |  |  |  |
| （2）资料、印刷及知识产权费 | 2.8 |  |  |
| （3）会议、差旅及国际合作交流费 | 3 |  |  |
| **4、场地使用费** |  |  |  |
| （1）场地物业费 |  |  |  |
| （2）场地使用租金 |  |  |  |
| **5、专家咨询费** | 0 |  |  |
| **（二）间接费** | 8.2 |  |  |
| **（三）外委支出费** | 0 |  |  |
| 1、外委研究支出费 | 0 |  |  |
| 2、仪器设备租赁费 |  |  |  |
| 3、外协测试试验与加工费 |  |  |  |
| **（四）税金** | 2.6 |  |  |
| **合计** | 81.6 |  |  |

# 项目人员组成及分工

表格8项目主要参与人员情况表

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 姓 名 | | 单 位 | 性 别 | 出生年月 | 职称 | 专 业 | 承担的主要工作 | 投入月数 |
| 负  责  人 | 丁正阳 | 国网江苏省电力有限公司信息通信分公司 | 男 | 1973.06 | 高级工程师 | 电力通信 | 项目负责人 | 10 |
| 王颖 | 北京邮电大学 | 女 | 1976.01 | 副教授 | 计算机应用技术 | 项目管理 | 12 |
| 主  要  工  作  人  员 | 李伟 | 国网江苏省电力有限公司信息通信分公司 | 男 | 1975.11 | 高级工程师 | 电力通信 | 需求分析及总体设计 | 14 |
| 缪巍巍 | 国网江苏省电力有限公司信息通信分公司 | 男 | 1968.01 | 高级工程师 | 电力通信 | 需求分析及总体设计 | 14 |
| 戴勇 | 国网江苏省电力有限公司信息通信分公司 | 男 | 1980.08 | 高级工程师 | 电力通信 | 项目技术指导 | 10 |
| 李维 | 国网南京供电公司 | 男 | 1981.03 | 高级工程师 | 电力通信 | 项目技术指导 | 10 |
| 汪大洋 | 国网江苏省电力有限公司信息通信分公司 | 男 | 1987.01 | 高级工程师 | 电力通信 | 课题研究 | 14 |
| 蔡昊 | 国网江苏省电力有限公司信息通信分公司 | 男 | 1979.09 | 工程师 | 电力通信 | 课题研究 | 14 |
| 江凇 | 国网江苏省电力有限公司信息通信分公司 | 男 | 1983.11 | 高级工程师 | 电力通信 | 课题研究 | 14 |
| 韩际晖 | 国网江苏省电力有限公司信息通信分公司 | 男 | 1971.11 | 高级工程师 | 电力通信 | 课题研究 | 14 |
| 柳旭 | 国网江苏省电力有限公司信息通信分公司 | 男 | 1992.06 | 工程师 | 电力通信 | 课题研究 | 14 |
| 徐勇 | 国网江苏省电力有限公司信息通信分公司 | 男 | 1977.09 | 工程师 | 电力通信 | 课题研究 | 14 |
| 吴细老 | 国网江苏省电力有限公司信息通信分公司 | 男 | 1992.11 | 工程师 | 电力通信 | 课题研究 | 14 |
| 郭少勇 | 北京邮电大学 | 男 | 1985.10 | 副教授 | 计算机科学与技术 | 技术研究 | 14 |
| 李文璟 | 北京邮电大学 | 女 | 1973.07 | 教授 | 通信与信息工程 | 技术研究 | 14 |
|  | 芮兰兰 | 北京邮电大学 | 女 | 1979.07 | 副教授 | 计算机科学与技术 | 技术研究 | 14 |
|  | 王智立 | 北京邮电大学 | 男 | 1975.05 | 副教授 | 通信与信息工程 | 技术研究 | 14 |
|  | 丰雷 | 北京邮电大学 | 男 | 1987.03 | 副教授 | 通信与信息工程 | 技术研究 | 14 |
|  | 喻鹏 | 北京邮电大学 | 男 | 1986．06 | 副教授 | 通信与信息工程 | 技术研究 | 14 |
|  | 邵苏杰 | 北京邮电大学 | 男 | 1985.07 | 讲师 | 计算机科学与技术 | 技术研究 | 14 |

# 后续研究展望

随着智能电网和数字化变电站的建设，分布式发电、储能、充电桩等新能源大规模接入，视频监控等大带宽业务持续增长，智能电网需要智能的通信网络，智能 IP 网络能够解决传统通信网络的不足，为智能电网提供一个可靠、灵活、简捷的联接平台，已成为电力企业建设下一代电力通信网的主流选择。本项目在国网公司电力通信网存在业务专线、安全隔离、网络时延、大带宽扩展等方面尚无法满足电力典型应用业务场景的需求，普通5G切片网络，在跨越多个小区和较远传输距离后，其通信时延、抖动性能、安全隔离性能等指标，仍然无法满足电力典型业务场景的极高要求的背景下，结合FlexE切片隔离技术，精准匹配电力业务需求，已电力业务场景为核心，提出适用于电力业务的网络切片技术架构与网络切片控制平面架构，并对其中的关键技术进行了深入研究。下一步计划在现有基于FlexE的网络切片架构基础上，面向新型电力业务的业务特性和未来发展需求，进一步研究电网切片实用化应用方案，提升业务质量和管控能力。同时，还需要解决满足不同颗粒度、不同性能要求电网业务通过FlexE承载的帧结构设计、时隙交叉、安全隔离及切片调度的问题，从而实现FlexE技术对电力通信网的深度融合适配和业务应用。