

**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。比如电力IP+光网络承载业务的智能路由优化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总体研究内容及研究路线如图2所示，以江苏省数据通信业务需求调研为起点，根据已有业务和网络特征与不足，业务流量难以精确识别、网络细粒度监控能力较弱等问题。研究面向电力业务的通信网络集中控制架构；在研究集中控制架构可靠性部署的同时，探索其演进方案；根据江苏电网现有的业务特性现状、改进趋势及电力数据通信网高可靠集中控制架构及演进技术研究总体技术目标，提出以下技术路线。



图2 课题一技术路线

首先调研江苏数据通信网的业务现状和网络现状，在分析电力通信网典型业务及其应用对电力通信网运维管控需求的基础上，得到电力骨干光网络向IP+光网络、自感知技术、集中控制架构的改进需求和必要性，并基于SDN技术研究设计面向电力通信网新型业务的软件定义网络集中控制总体架构；研究集中控制架构下的电力IP+光网络感知技术，从电力通信网故障建模和多因素生存性评估两方面对分层分域控制边界条件和制约因素进行分析，开展电力通信网络集中控制架构的高可靠性部署模式的研究；针对江苏电网业务发展趋势的数据通信网集中控制架构演进方案，在此基础上提出面向电力业务的通信网络集中控制架构的演进方案，并对针电力SDN 网络设备与传统网络设备进行兼容性设计，实现在现有网络基础上逐步演进到面向集中控制的IP与光融合网络。

## 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

内容二技术路线如图3 所示，研究了未来数据通信广域网关键技术，首先对电力数据通信网集中控制架构演进进行分析，面向电力数据网业务的集中控制架构评估模型的设计。之后，研究了SDN技术在广域数据通信网中的智能技术，提出了SDN环境下快速故障定位和恢复技术，SDN环境下智能业务调度策略，基于SDN流量监测的网络态势评估技术。进一步，研究了面向路由器和SDH 设备的“IP+光”基础模型。提出了电力数据通信网集中控制架构下的“IP+光”建模方法，并分别从网络视点和网元视点构建了面向路由器和SDH 设备的“IP+光”基础模型，同时结合调研的业务场景生成面向江苏电力数据通信网的模型实例。之后，研究了“IP+光”基础融合和控制协同模型，提出了面向SDH设备的“IP+光”分层模型，IP over SDH功能模型，IP over SDH应用模式，SDN技术在光传输网络和IP网络之间的协同控制。最后，分别研究了“IP+光”运维协同、“IP+光”保护协同、“IP+光”流量协同。首先，从面向连接的网络端到端监控技术、三种网络诊断定位技术、基于增强OpenFlow协议的电力通信业务快速开通技术三个方面对电力IP+光运维协同技术进行了研究。在保护协同上，面向不同的业务和场景，研究了基于不间断转发技术的IP层保护和光层保护机制，以及基于内容连通性的IP和光层联合保护机制。在流量协同上，研究了电力通信网IP层和光层的多层网络资源优化方法，提出了IP层流量的弹性调度策略和光层流量弹性疏导策略。

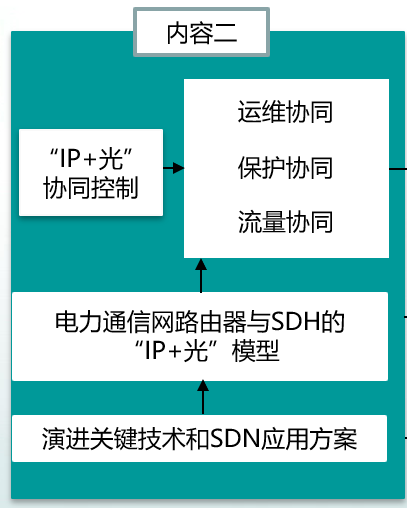


图2 课题二技术路线

## 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

内容三主要设计和开发新型网络业务与流量智能调度系统， 智能调度系统前端界面包括系统首页和四个功能模块，包括网络配置、网络拓扑、业务编排、流量调度和使用帮助。系统前端界面和功能总体设计如下图3所示。



图3系统前端界面总体设计

根据基于SDN的电力通信网管理的功能需求，该试验系统的主要功能包括以下几个方面：

* 智能化网络备配置，支持对基于SDN的IP网络和光网络两层物理网络的设备和链路查看、网络添加、网络删除、网络修改等功能；
* 业务编排功能，支持业务一览、业务查询、业务开通、业务查询等功能；
* 拓扑管理：支持对SDN网络的拓扑动态生成、管理功能；
* 自动化流量调度： 在业务详情界面中的可用带宽的输入框中，可以进行业务属性调整输入要修改该后的带宽，以及依据链路流量承载的变化，自动触发路径切换等功能。

基于上述功能完成了系统研发和第三方测试，申请软件著作权1项，并进行了试点验证。

# 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）面向电力通信数据通信网的SDN集中控制架构设计。结合电力数据通信网的网络结构和节点配置现状与规划趋势，提出电力数据通信网的改进需求以及必要性。基于软件定义网络（SDN）的思想，提出了电力数据通信网的集中控制网络架构。通过研究广域电网不同层次区域的控制层配置模式，以实现多域电力数据通信网业务流的灵活切换调配，提高了电力数据通信网的稳定可靠运行能力。

2）本章研究电网广域大规模通信网络的分层分域控制边界条件，针对电网大规模业务的通信网络制约因素，从基于群故障的电力通信网故障建模和电力通信网络多因素生存性评估两方面对制约因素和限制条件进行分析。开展电力通信网络集中控制架构的高可靠性部署模式的研究。

3）本章面向江苏电力数据网的架构，研究了集中式控制架构的研究方案，首先完成了基于SDN的集中控制架构设计，之后进行了演进模式和兼容式设计，构建了IP和光控制架构的演进技术。

### 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）针对“IP+光”统一建模需求，提出面向对象的多技术、多层次、多视点、多阶段的IP+光建模方法和基础模型，模型具有通用性和可扩展性，为项目的协同感知与协同控制提供模型基础。

2）依据元数据的特征，提出基于KTLAD的异常监测，基于SVDD的异常监测和基于熵值SVM算法的异常监测等三种基于元数据采集的异常监测方法，可适用于无样本、单样本和多样本等数据类型，为协同运维和流量协同提供支持。

3）针对“IP+光”运维协同需求，提出基于资源关联和可视化模型的面向连接的电力“IP+光”网络端到端监控方案；依据数据源特征依次提出基于主动故障告警的故障定位、基于影响分析的故障定位及基于主动业务性能观测和证据理论的层网络故障定位算法；提出基于增强OpenFlow协议的电力通信业务跨层快速开通技术。加速了跨层电力通信业务的开通速度，提高了电力通信网“IP+光“协同运维的灵活性。

4）针对电力数据通信网业务的可靠性保障和“IP+光”保护协同需求，面向不同的业务，分别提出基于链路等级和负载均衡的IP层路由保护机制、基于风险均衡的光传输层路由保护机制、基于内容联通度的IP层和光传输的联合保护机制，提高了网络灵活性，增强了网络故障容忍能力，并保证电力业务的持续传输。

5）针对“IP+光”流量协同需求，提出基于视频联合碎片、安全性、节点重要性和频谱可用性感知的IP层和光层的多层网络资源优化机制，提出IP层流量调度和光层流量弹性疏导策略，提出面向电力业务的弹性QoS策略，提高了网络资源利用率。

### 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）新型网络业务与流量智能调度系统采用典型的浏览器/服务器（B/S）架构进行设计和开发实现。其中，系统的前端采用Web前端/JS技术进行设计和实现，以浏览器作为系统前端的载体。后台主要基于SSM三层框架，在数据库之上分别实现数据访问层、业务层和控制层的功能；从功能模块的角度划分，主要分为智能化设备配置模块、网络拓扑模块、业务编排模块、流量智能调度模块和设备访问控制接口模块。智能调度系统的后端通过设备访问控制接口来和SDN控制器进行交互，SDN控制器再通过底层的控制协议来完成对SDN交换机的控制功能。

2）基于研发的系统，在数据通信广域网中搭建不少于 4 台 SDN 控制器的试点应用场景。新型网络业务与流量智能调度系统支持自动化流量调度、智能化设备配置、可视化业务开通等 功能。开发的调度系统符合软件工程的各项开发规范，以 web 方式应用，支持视频监控、信息化业务的有效传输。

## 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：智能协同的电力数据通信广域网阶段式演进架构**

.基于 SDN 智能控制技术，在现有网络基础上提出阶段演进的面向集中控制的 IP 与光融合网络的电力数据通信广域体系架构。该架构通过统一控制及两层协议信 令的互通，不但可以使 IP 层路由可根据物理资源进行计算，还可以实现光层根据 IP 层不同业务需求动态建立光路，提供不同的 QoS。同时，光层可根据需求对业务 流进行一定程度的汇聚，以达到提高网络资源利用率的目的。

**创新点2： 融合“IP 和光网络”的协同模型与控制方法**

为了实现全业务、全覆盖、全线速、低时延的电力数据通信网的集中式控制， 基于演进架构提出 IP 层和光网络层的协同控制方法，在 IP 层和光层逐步引入可配置的网络设备，并将 IP 层和光层可配置的设备通过南向协议接口与管控设备灵活 互联，利用“IP 和光”协同管控器实现电网业务的高效配置与管理，从而实现全面的 运维协同、保护协同和流量协同。

**创新点3：基于 SDN 的广域数据通信网智能运维技术**

结合电力数据通信网的运维需求，将开展 SDN 在广域数据通信网中的智能运 维应用研究，重点关注 SDN 环境下快速故障恢复技术、SDN 环境下智能业务调度策略、IP+光网络的智能业务路由技术。利用深度可编程数据通信网智能运维技术，实现电力数据通信网络能力的集中控制和网络链路的敏捷调度。

# 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XX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。