

# 井工矿5G专网无线覆盖方案研究

## Research on Wireless Coverage Scheme of 5G Private Network in Underground Mine

杨志华,李娜,高天(中国移动通信集团河北有限公司,河北石家庄050021)  
Yang Zhihua, Li Na, Gao Tian (China Mobile Group Hebei Co., Ltd., Shijiazhuang 050021, China)

### 摘要:

5G技术的应用推动了矿山智能化快速发展,井工矿工作环境恶劣,无线传播环境复杂,5G无线覆盖难度较大。重点介绍了井工矿5G专网的架构以及无线网络覆盖方案。井工矿对无线设备的射频功率有限制,只能采用皮基站的方案进行覆盖,且井下设备需要进行防爆改造。非煤矿井没有射频功率限制,可以根据现场环境采用皮基站、微基站、泄露电缆或DAS系统的覆盖方案。

### 关键词:

井工矿;5G专网;无线覆盖;泄露电缆  
doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2023.09.003  
文章编号:1007-3043(2023)09-0010-05  
中图分类号:TN929.5  
文献标识码:A  
开放科学(资源服务)标识码(OSID):



### Abstract:

The application of 5G technology has promoted the rapid development of mine intelligence. The working environment of mine is harsh, the wireless communication environment is complex, and 5G wireless coverage is difficult. It mainly introduces the architecture of 5G private network and the wireless network coverage scheme. The radio frequency power of wireless equipment is limited in underground coal mine, so it can only be covered by the Pico station scheme, and the underground equipment needs explosion-proof transformation. There is no RF power limitation for non coal mines, and the coverage scheme of Pico station, Micro station, leaky cable or DAS system can be adopted according to the site environment.

### Keywords:

Underground mine; 5G private network; Wireless coverage; Leaky cable

引用格式:杨志华,李娜,高天.井工矿5G专网无线覆盖方案研究[J].邮电设计技术,2023(9):10-14.

## 1 概述

我国是一个矿产资源大国,矿产资源储量居世界前三,年经济产值达万亿元,根据中国矿业联合会的统计,我国井工矿占比达80%以上。井下空间狭小,环境复杂,生产条件恶劣,对井下通信系统及设备的性能要求非常高。5G具有高可靠、大带宽、低时延等特点,可用于井下融合通信、高清视频回传、矿用机械远控等场景,已经成为矿山智能化的有效助力<sup>[1-2]</sup>。

随着国家发改委等八部委联合印发《关于加快煤矿智能化发展的指导意见》的通知以及国家工信部等

十部委联合印发的《5G应用“扬帆”行动计划(2021-2023年)》等相关政策的下发,学术界和产业界对5G技术在矿山的应用展开了深入研究<sup>[3-6]</sup>,建设了一系列5G智慧矿山示范项目。

目前业界对于5G网络在井工矿的应用研究主要以煤矿为主,对非煤矿井探索较少。本文根据国家相关规范要求以及5G网络组网架构,对井下5G网络的皮基站、微基站、DAS系统、泄露电缆等覆盖方式进行了初步研究,为井下5G网络设计提供了多种选择。

## 2 井工矿5G专网架构

5G专网是为政企客户建设的5G专用网络,不承载大网用户,因此具备安全隔离、资源专享等特点<sup>[7]</sup>。

收稿日期:2023-05-16

如图1所示,井工矿的5G专网主要由无线接入网、传送网、核心网组成,5G垂直行业专网需求在无线网和传送网部分与5G公网需求基本一致,不需要单独配置,但是核心网部分涉及到切片管理,在数据配置、功能设计、运维模式等方面与公网差异较大,需要单独配置。

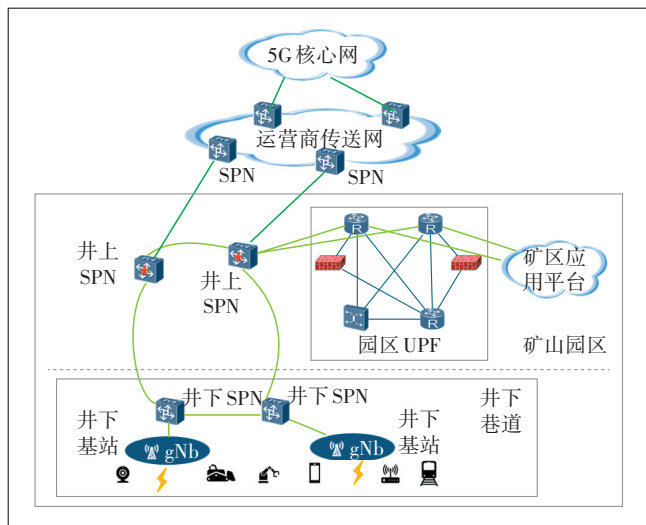


图1 井工矿5G专网架构

5G网络的无线接入网主要由基带单元(BBU)和射频单元(RRU)组成,按照射频单元发射功率的大小,可以分为宏基站、微基站、皮基站和飞基站4种,主流设备厂家2.6 GHz频段设备的参数如表1所示。

表1 2.6 GHz频段设备参数

设备名称	射频发射功率	覆盖距离(地面经验值)	尺寸(高×宽×深)/mm	重量/kg
宏基站	240 W/320 W	300 m以上	475×870×170	40
微基站	4×10 W/4×20 W	100~300 m	278×354×106	10
皮基站	4×250 mW/4×500 mW	20~100 m	Φ230×40	1.5
飞基站	小于100 mW	20 m以内	-	-

由于井下巷道空间有限,无法采用宏基站覆盖,一般采用微基站或皮基站进行覆盖。

5G传送网采用切片分组网(Slicing Packet Network, SPN)设备,引入了FlexE交叉硬切片和高精度时间同步等新技术,能够满足5G业务的安全隔离、稳定低时延要求<sup>[8]</sup>。井下的SPN设备具备10GE/50GE的接口,除传输5G网络数据外,还可以为井下定位系统、监测系统等提供数据传输通道。相比工业交换机,SPN具有传输带宽大、可提供数据隔离等优点,当前也有很多矿企采用SPN组成万兆环网来代替原有工业交换机组成的千兆环网传输系统。

5G的核心网分为控制面网元和用户面网元2部分,控制面网元如AMF、SMF、UDM等主要提供接入和移动性管理、会话管理以及用户签约数据存储管理等功能;用户面网元UPF主要提供用户数据的转发功能。由于矿山企业有数据不出园区以及超低时延的需求,因此UPF一般部署在园区内,控制信令接入大网的TOB核心网资源池。

图2所示为5G专网和公网的结构示意。

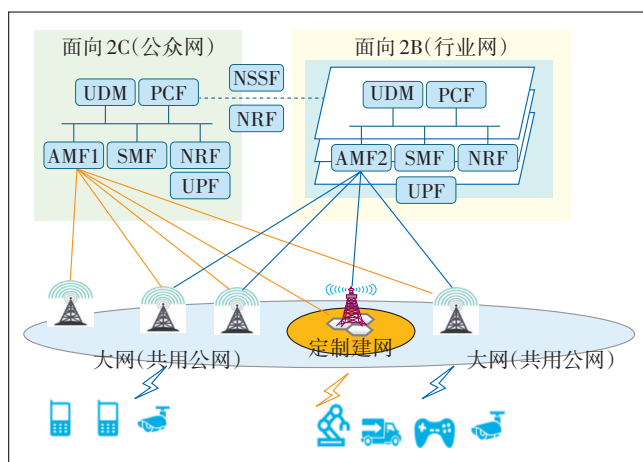


图2 5G专网和公网的结构

### 3 井工煤矿5G网络覆盖方案

煤矿5G网络覆盖的主要难点是无线接入网的设计,根据GB 3836.1—2010《爆炸性环境第1部分:设备通用要求》规定,煤矿井下无线发射设备的射频输出功率(无线发射设备的有效输出功率与天线增益的乘积)不得大于6 W。从表1可知,宏基站和微基站的发射功率超出了规定范围,而飞基站覆盖范围较小,因此煤矿井下5G覆盖采用皮基站设备。图3为井工煤矿5G覆盖示意。

根据国家煤矿安全监察局《煤矿矿用产品安全标志管理暂行办法》(煤安监政法字[2001]108号)的要求,煤矿井下通信设备必须通过MA认证,传统5G设备不能满足防爆要求,因此需要进行防爆改造,皮基站需要加装防爆壳,天线外置(见图4)。

皮基站的射频单元pRRU为4T4R设备,通过外接2个双极化天线向相对的2个方向进行覆盖,根据煤矿井下实际测试数据,2.6 GHz频段设备在巷道内单边天线的覆盖距离在150 m左右,2个pRRU的间距在300 m左右。

煤矿井下的主要生产区域为综采工作面、掘进工

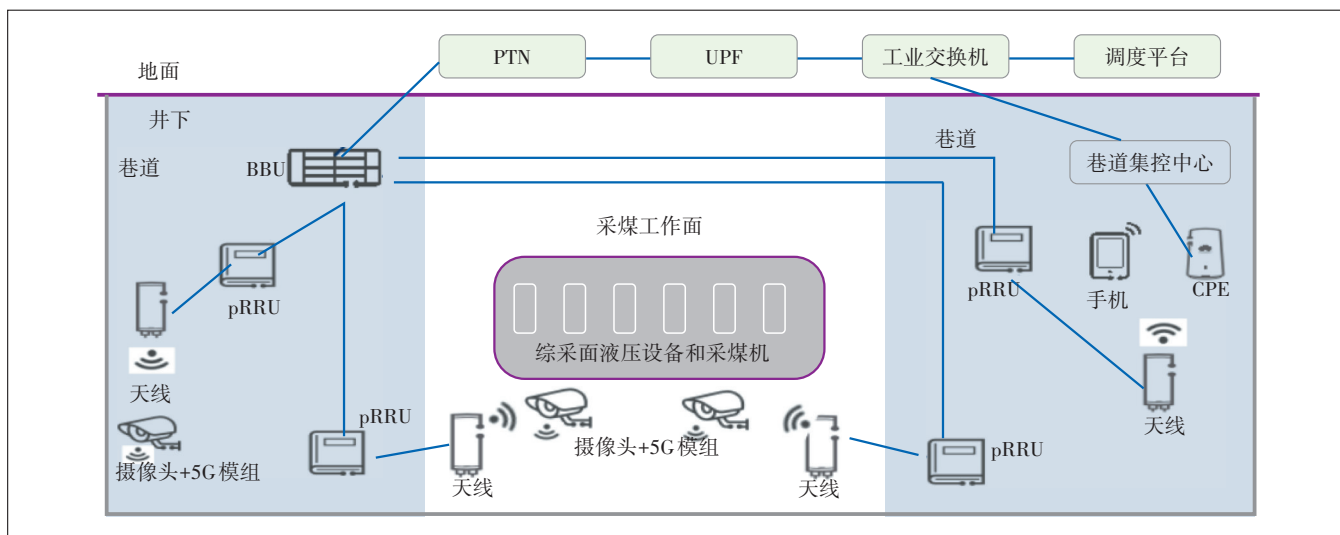


图3 井工矿5G覆盖示意

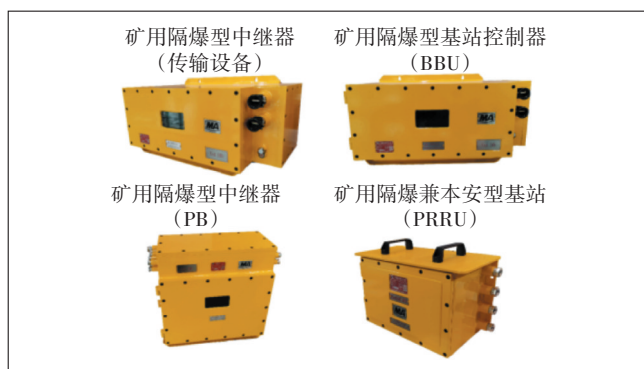


图4 防爆改造后的5G设备

作面、机电硐室和运输巷道4个部分,各区域的业务需求和网络规划要点如表2所示。通常井下应用都是以上行带宽为主,因此5G网络的上下行时隙配比可按照3:1配置,增强网络上行容量。

表2 煤矿井下5G网络规划要点

项目	综采工作面	掘进工作面	机电硐室	运输巷道
现场环境	金属遮挡,水汽、煤尘多	空间狭长,空间有变化	空间较规则	狭长隧道,有转弯和分岔
主要业务	高清视频、远程控制	高清视频、远程控制	设备数采、环境监控	状态监测、视频AI
规划要点	综合考虑摄像头数量、以及金属支架遮挡情况	综合考虑掘进机移动情况、摄像头总带宽需求	综合考虑网络覆盖连续性、边缘覆盖及边缘速率	综合考虑网络覆盖连续性、边缘覆盖及边缘速率
网络需求	单摄像头上行带宽大于5 Mbit/s,网络时延小于50 ms	单摄像头上行带宽大于5 Mbit/s,网络时延小于50 ms	单摄像头上行带宽大于20 Mbit/s,网络时延小于200 ms	单摄像头上行带宽大于5 Mbit/s,网络时延小于200 ms
设备间距	小于100 m	200 m	300 m	300 m

同时,皮基站的安装应遵循以下原则。

- 基站安装于地面或巷道壁上,天线安装在距离地面2 m以上,顶板0.5 m以下。
- 基站选择安装于无淋水、岩壁坚固、无遮挡物的位置。
- 每台基站至少预留5 m光缆,便于熔接及维护。
- 拐弯的巷道,基站应部署在转角处,天线朝向两边巷道。
- 在综采面部署时,基站应悬挂在液压支撑架的下部。

图5所示为煤矿井下皮基站安装示意。



图5 煤矿井下皮基站安装示意

#### 4 非煤矿井5G网络覆盖方案

非煤矿井如铁矿、金矿等,不存在瓦斯等爆炸性气体,因此对井下设备的发射功率没有限制,无线接入网可以使用宏基站、微基站、皮基站等设备,根据国家安全生产监督管理局《关于金属与非金属矿山实施矿用产品安全标志管理的通知》(安监总规划字

[2005]83号)的要求,非煤矿井的通信设备必须经过KA认证。

皮基站的井下覆盖方式与煤矿一致,不再赘述,下文重点阐述非煤矿井的微基站、泄露电缆、同轴电缆覆盖方案。

#### 4.1 微基站覆盖

微基站的射频发射功率为4×10 W或4×20 W,相

比皮基站有很大提升,在井下覆盖距离较远。如图6所示,在2.6 GHz频段,上下行时隙配比为3:1的情况下,微站的井下实测上行覆盖距离达到了500 m以上,下行覆盖距离也超过了400 m。微站设备为4T4R,可以外接2副双极化天线向两边对打,因此单个微基站的覆盖距离达到800 m以上,相比皮基站节省了一半以上的设备数量。

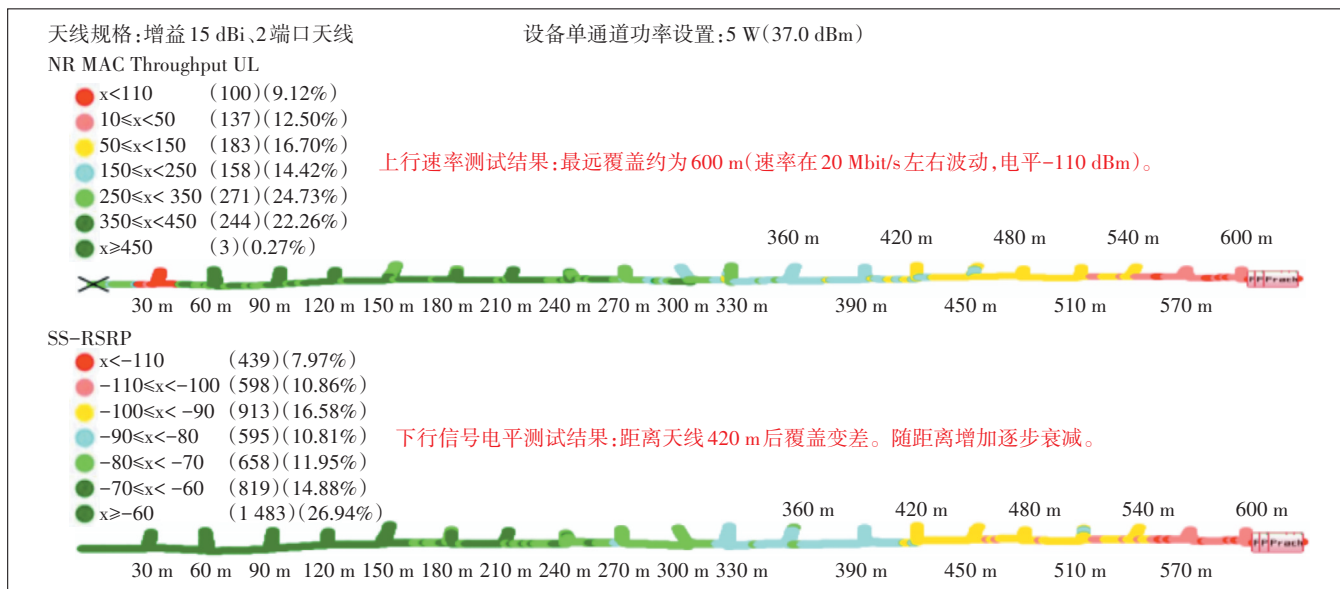


图6 微基站井下覆盖测试数据

#### 4.2 泄露电缆覆盖

泄露电缆集信号传输、发射与接收等功能于一体,同时具有同轴电缆和天线的双重作用<sup>[9]</sup>,特别适用于覆盖公路、铁路隧道、城市地铁等无线信号传播受限的区域,同样适用于井工矿的巷道覆盖。

泄露电缆的信号衰耗有耦合损耗和传输损耗2种,耦合损耗与信号频段相关,传输损耗与传输距离成正比。某型号泄露电缆在2.6 GHz频段功率预算如表3所示,射频RRU输出功率为100 W,通过二功分向2个方向做覆盖,经计算,单边覆盖距离可达250 m以上,设备的间距大于500 m。

铁矿的地下开采通常采用无底柱崩落法回采出矿<sup>[10]</sup>,爆破过程中会产生冲击波,如果采用微基站或皮基站覆盖,冲击波会对设备造成损害。泄露电缆迎风截面积小,不受冲击波影响,在开采区域可减少维护成本。同时泄露电缆可支持宽频传输,在POI接入4G、广播等设备即可实现信号覆盖,可节省建设成本。

井下隧道通常使用双路泄露电缆增加5G上下行速率,为增加网络可靠性,可将RRU 2路射频输出端

表3 5G NR 2.6 GHz频段泄露电缆功率预算

损耗指标	取值
设备功率(单通道)/W	100
单载波发射功率/dBm	14.85
接头损耗/dB	0.5
功分器及连接电缆损耗/dB	5.5
泄露电缆入口功率/dBm	8.9
泄露电缆传输损耗/(dB/100 m)	9.6
泄露电缆2 m处耦合损耗/dB	68
6 m处衰减因子/dB	3
车体阻挡+人体阻挡/dB	10
工程余量/dB	3
覆盖边缘场强(RSRP)/dBm	-100
最大允许漏缆衰耗/dB	24.9
单边最远覆盖距离/m	259

分别接入2个井下隧道交叉覆盖(见图7)。当其中一台设备故障时,还可以保证2个隧道都有信号,不影响5G业务。

#### 4.3 DAS覆盖

分布式天线系统(Distributed Antenna System,

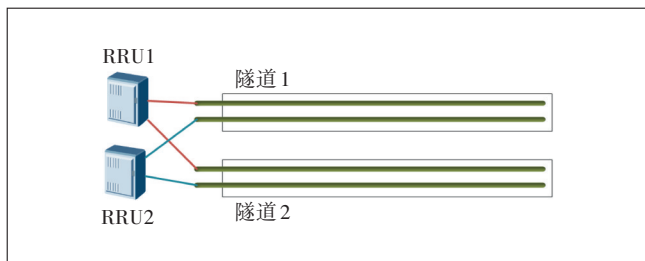


图7 泄露电缆交叉覆盖示意

DAS)是采用多天线、小功率的手段,将5G信号均匀分布到空间中<sup>[11]</sup>。铁矿、金矿开采的地下支路较多且比较分散,如果采用微基站、皮基站、泄露电缆等覆盖方式会使用大量的设备,造成投资浪费。采用DAS系统可以将1台RRU的信号通过同轴电缆分布到多个支路,减少井下建设成本。

如图8所示,某矿井交叉支路比较多,5G信号需要向不同的方向辐射,如果采用其他方案,需要部署2台以上设备。采用DAS覆盖,1台RRU外接的多个对数周期天线可以朝向不同的方向,满足电机车无人驾驶的网络需求。

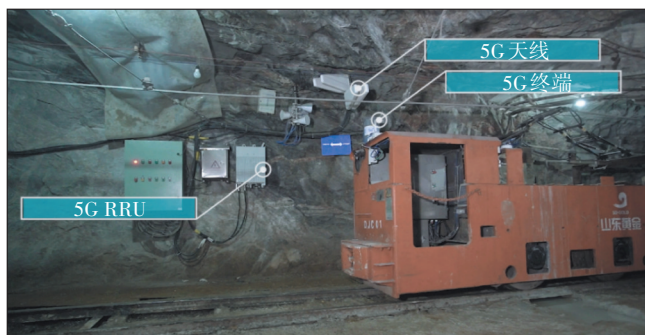


图8 某金矿井下5G DAS系统

#### 4.4 几种覆盖方式对比

根据主流5G设备厂家的组网方案,同一台BBU下可以下挂微站RRU、室分RRU以及皮站的pRRU,因此不同的覆盖方案可以共基站部署。表4给出了不同覆盖方案的优缺点和适用场景,在非煤矿井部署5G网络时可根据现场环境以及项目预算选择合适的覆盖方案。

### 5 结束语

5G网络为矿山智能化应用提供了高速网络通道,根据目前量产的5G无线网络设备特性,可以为井工矿提供多种网络覆盖方案。目前5G设备的参数还是以满足公网为主,并没有专用的矿用设备型号,并不

表4 几种覆盖方式差异

覆盖方式	优点	缺点	单公里设备数/台	单公里造价/万元	适用场景
皮基站	体积小、布放灵活	功率小、覆盖距离有限	4	7.2	机电硐室、巷道
微基站	发射功率大,覆盖距离远	弯道覆盖差,安装空间受限	2	6.1	空间较大的运输主巷道
泄露电缆	信号覆盖均匀,弯道覆盖效果好	施工难度大,成本高	2	8.8	岔岔少的巷道、开采工作面
DAS覆盖	成本低、组网灵活	边缘覆盖能力不足	1	3.4	支路较多且距离不长的巷道

能很好地适配矿井的覆盖需求。部分设备厂家正在研发矿用5G本安型设备以及高增益矿用天线等新型5G设备,在矿山5G网络建设过程中应及时关注5G新技术、新应用的发展方向,选择经济合理的覆盖方案满足矿山5G网络的需求。

#### 参考文献:

- [1] 王国法,赵国瑞,胡亚辉. 5G技术在煤矿智能化中的应用展望[J]. 煤炭学报,2020,45(1):16-23.
- [2] 范京道,闫振国,李川. 基于5G技术的煤矿智能化开采关键技术探索[J]. 煤炭科学技术,2020,48(7):92-97.
- [3] 孙继平. 煤矿智能化与矿用5G[J]. 工矿自动化,2020,46(8):1-7.
- [4] 孙继平,陈晖升. 智慧矿山与5G和Wi-Fi6[J]. 工矿自动化,2019,45(10):1-4.
- [5] 孙继平,张高敏. 矿用5G频段选择及天线优化设置研究[J]. 工矿自动化,2020,46(5):1-7.
- [6] 刘昕,付元,李晨鑫. 5G特性在智慧矿山中的应用研究[J]. 工矿自动化,2022,48(10):136-141.
- [7] 方琰崑,李立平,陈亚权. 5G 2B专网解决方案和关键技术[J]. 移动通信. 2020,44(8):1-6.
- [8] 曾振林,李晋. 基于SPN的5G承载网的网络切片规划方案[J]. 电信工程技术与标准化,2021,34(5):87-92.
- [9] 范成泽. 地铁漏泄电缆敷设方案[J]. 铁道通信信号,2021,57(1):81-84.
- [10] 唐学军,寇新建,曹文贵. 无底柱崩落法采场结构的受力特征分析[J]. 矿业研究与开发,2001,21(4):16-19.
- [11] 高光辉,李勇,卫钰,等. DAS系统在5G室分建设中的融合与发展[J]. 电信工程技术与标准化,2019,32(10):10-15.

#### 作者简介:

杨志华,毕业于电子科技大学,高级工程师,硕士,主要从事5G专网在垂直行业的应用研究工作;李娜,毕业于天津大学,硕士,主要从事移动通信、5G设备动力电源相关研究工作;高天,教授级高级工程师,主要从事5G专网、工业能源行业项目研究拓展工作。