

基于 ISO 方法论下的 5G 电力行业标准化效益评估

吴彤浩¹ 周建勇¹ 丘国良¹ 龚立宽¹ 辛拓¹ 张旭杰^{2*} 赵龙² 杨海霞²

(1.深圳供电局有限公司; 2.深圳市标准技术研究院)

摘 要: 本文运用ISO方法论2.0, 评估5G技术与标准应用对电力行业所产生的影响。以深圳供电局为评价对象, 通过分析深圳供电局的价值链, 总结关键价值驱动因素, 选定价值链上的工程、输电管理、变电管理、配电管理和电力调度等环节作为评估范围, 分析评估范围内所使用到的标准, 整理出衡量标准影响的营运指标。评估结果显示, 5G标准与技术应用后, 在深圳供电局的电力管理中产生了显著的经济效益、社会效益和环境效益, 且对不同业务环节产生的效益也有所差异。

关键词: ISO方法论, 5G, 电力行业, 效益评估

DOI编码: 10.3969/j.issn.1674-5698.2024.10.016

5G Power Industry Standardization Benefit Evaluation Based on ISO Methodology

WU Tong-hao¹ ZHOU Jian-yong¹ QIU Guo-liang¹ GONG Li-kuan¹
XIN Tuo¹ ZHANG Xu-jie^{2*} ZHAO Long² YANG Hai-xia²

(1. Shenzhen Power Supply Bureau Co., Ltd.; 2. Shenzhen Institute of Standard and Technology)

Abstract: This paper uses the ISO Methodology 2.0 to assess the impact of 5G technology and standards on the power industry. Taking Shenzhen Power Supply Bureau as the evaluation object, this paper analyzes the value chain of Shenzhen Power Supply Bureau, summarizes the key value drivers, selects engineering, transmission management, substation management, distribution management and power dispatch along the value chain as the evaluation scope, analyzes the standards used in the evaluation scope, and collates the operating indicators to measure the impact of the standards. The evaluation results show that after the application of 5G standards and technologies, significant economic benefits, social benefits and environmental benefits have been generated in the power management of Shenzhen Power Supply Bureau, and the benefits generated for different business links are also different.

Keywords: ISO methodology, 5G, power industry, benefit evaluation

作者简介: 吴彤浩, 高级工程师, 硕士研究生, 研究方向为5G技术与电力通信融合应用。

周建勇, 高级工程师, 硕士研究生, 研究方向为电力通信。

丘国良, 高级工程师, 大学本科, 研究方向为电力通信。

龚立宽, 高级工程师, 大学本科, 研究方向为电力通信。

辛拓, 高级工程师, 硕士研究生, 研究方向为新型电力系统技术标准体系创新管理、大电网运行方式分析。

张旭杰, 通信作者, 标准化工程师, 硕士研究生, 研究方向为5G、物联网、人工智能、数字经济等战略新兴产业标准化研究, 长期开展标准化领域标准体系建设、标准研制与应用实施以及标准效益评估等工作。

赵龙, 本科, 研究方向为5G、物联网、人工智能等战略新兴产业。

杨海霞, 硕士研究生, 研究方向为5G、物联网、人工智能等战略新兴产业。

0 引言

电力通信网是电力系统的重要基础设施,是确保电网安全、稳定、经济运行的重要手段,保证了各类电力业务的安全性、实时性、准确性和可靠性要求。随着大规模新能源接入、用电负荷需求侧响应等业务快速发展,各类电力终端、用电客户的通信需求暴涨,海量设备需实时监测或控制,信息双向交互频繁,传统光纤通信专网难以满足海量的采集控制终端接入需求^[1]。因此,具有大带宽、低时延、高速率、广连接、低能耗特点的5G技术应用,能够以更低的建设成本、更快的建设周期,提供近似于光纤通信的通道性能和高可靠性,提供面向电力行业的经济灵活、安全可靠、全方位覆盖的定制化“行业专网”——5G电力虚拟专网服务^[2],可更好地满足电网业务差异化需求,进一步提升电网企业自身业务的自主可控能力和运营效率。

本文的总体目标是以效益提升为导向,围绕深圳5G电力行业主要应用场景,从深圳供电局5G应用场景中选取发挥效益价值较大的业务场景,对深圳供电局5G技术应用现状以及5G技术与标准应用创造的综合效益进行分析研究,从而帮助深圳供电局总结和输出5G应用先进经验及创新管理模式,推动业务工作高质量发展,提升生产管理水平。

1 价值链分析

1.1 产业价值链

价值链是指一连串与产出某些输出、产品或服务相关的系列活动。产品或服务按照规定的顺序贯穿所有的活动,并在每个环节获得增值。在深圳市电力行业,电力从生产到消费的全过程价值链如图1所示。深圳供电局在电力行业价值链中

涉及“输电、变电、配电、用电”等环节,处于电力行业价值链核心地位。

1.2 公司价值链

根据迈克尔·波特提出的“价值链分析法”,结合深圳供电局的业务布局,可以得出其公司价值链如图2所示。

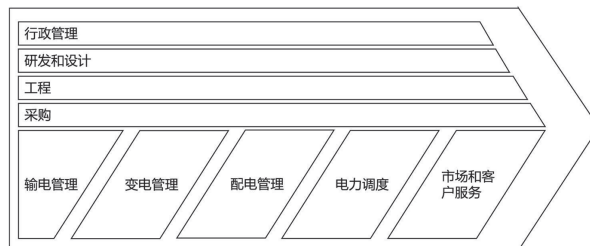


图2 公司价值链

深圳供电局在深圳市电力行业中处于核心位置,涵盖了行政管理、研发、工程、采购等支撑业务部门,以及输电、变电、配电、电力调度、市场和客户服务等主要业务部门。

深圳供电局内部价值链涵盖了行政管理、研发、工程、采购等支撑业务,以及输电、变电、配电、电力调度、市场和客户服务等主要业务。行政管理主要包括人力、财务、信息中心、资产管理、安全监督等基础支撑运营活动,确保企业各项业务的顺利开展和企业的稳定发展;研发和设计主要包括对电网规划和技术创新活动;工程主要包括电网线路改造建设、传输设备改造、5G无线专网建设、虚拟电厂建设等规划和实施活动;采购主要包括设备、软件、服务等采购活动;输电管理主要包括输电设备的维护、检修和更新改造,以及输电线路的巡视和故障处理等活动,确保电力传输的稳定性和效率;变电管理主要包括变电站的建设、运营和维护等活动,确保变电设施的安全和高效,支持电网可靠运行;配电管理主要包括监控和



图1 电力行业的价值链

维护配电系统,优化配电网络结构等活动,提升电力供应的可靠性和服务质量;电力调度主要包括对整个电网的运行控制和协调,合理调配电力资源等活动,确保电力供应的连续性和稳定性;市场和客户服务主要包括优化电力营商环境,高质量的建成现代供电服务体系,为客户提供供电优质服务。

2 关键价值驱动因素和评估范围

2.1 关键价值驱动因素

根据ISO方法论2.0中的定义,价值驱动因素是能够为深圳供电局带来竞争优势的关键组织能力,在本文中主要指能够为深圳供电局带来高效管理能力和服务的关键因素。通过对深圳供电局内部相关人员的访谈,总结出本文的关键价值驱动因素见表1。

表1 关键价值驱动因素

序号	价值驱动因素	描述
1	安全	通过5G标准应用,保障电力的安全性水平
2	可靠	通过5G标准应用,保障电力供应质量的稳定性水平
3	高效	通过5G标准应用,提高电力管理的效率和效益、降低电力管理运营成本
4	优质	通过5G标准应用,为用户提供更优质的电力服务
5	环保	通过5G标准应用,让电力运行更绿色环保

2.2 评估范围

评估范围仅限于使用标准能产生明显的效益的业务环节以及关键价值驱动因素密切相关的活动。根据调研结果显示,深圳供电局在“工程、输电管理、配电管理、变电管理和电力调度”等领域开展探索5G创新应用产生较明显的效益价值,因此本文选定的评估范围见表2。

3 标准在价值链中的应用

本文所界定的评估范围内,确定了深圳供电局待评价的关键业务环节。通过调研、访谈的形式,深入了解深圳供电局在关联业务活动中的标准应用情况,识别出评估范围内使用的标准,见表3。

表2 评估范围

评价范围	活动描述
工程	通过5G应用,降低电力工程建设成本,节约相关资源
输电管理	通过5G摄像头与多功能智能杆、无人机等结合,对输电线路进行状态监测,实现安全高效的输电管理
变电管理	通过5G大带宽、低时延网络,实时回传智能摄像头高清数据,远程实时精准操控现场机器人,实现智能互联的变电管理
配电管理	通过基于5G技术的配网差动保护、配网自动化“三遥”、网荷互动等应用,实现灵活可靠的配电管理
用电管理	通过虚拟电厂的应用,促进节能减排,实现绿色低碳的服务

4 选择关键营运指标以确定标准的影响

通过对评估对象的详细调研,结合评估对象提供的相关数据,分析和整理出衡量标准影响的营运指标,见表4。

5 标准效益的定性定量评估

5.1 工程

5.1.1 节约投资成本

在使用5G标准后,深圳供电局一方面规范了配电自动化规划、设计以及配电设备选址优化、运行监测、能效、安全性、经济性评估评价等方面的技术要求,另一方面明确了配电开关、配电柜、母线装置、电缆线路、接地装置和二次回路接线等电气装置及系统化工程的施工、验收、工程质量检测等技术指标,从而可以利用5G无线通道承载配网自动化“三遥”业务,有效解决了城市环境光纤敷设困难的制约,避免配网光纤易受外力破坏的风险,提高了配网线路的运行安全水平。按每台交换机采购和部署0.2万元,非新建线路敷设光缆每公里6万元造价估算,2021年减少配置100台交换机,减少敷设光缆50公里,可节省交换机购置施工费20万元及光缆敷设费300万元,共计节省320万元;2022年新增1000个节点,距离500千米,共计可节省3200万元;2023年新增900个节点,距离450千米,共计可节省2880万元;3年共计节省6400万元。

表3 评估范围内应用到的标准

标准类别	所使用的标准	标准描述
国际标准	ISO 37184–2023《可持续流动性和交通–通过为5G通信提供无线网络网络构建的交通服务框架》	通过无线网络网络，构建的使用5G通信的交通服务框架，以及构建使用基础设施，车辆及智能手机的服务框架
	ISO/IEC 27001–2013《信息技术 安全技术 信息安全管理体系 要求》	规定了在组织环境下建立、实现、维护和持续改进信息安全管理体系的要求，以及根据组织需求所剪裁的信息安全风险评估和处置的要求
	3GPP TS 23.501《5G系统的系统架构》	5G组网的架构模型、接口、核心网络功能，以及各种场景的组网模式
	3GPP TS 23.401《5G通用无线接入技术规范》	5G无线接入网的通用架构和协议，包括5G NR、NG–RAN、5G核心网等内容
	3GPP TS 33.310《5G网络侧安全性》	5G网络侧的安全性机制和协议，包括身份认证、访问控制、数据保护、通信加密等
行业标准	YD/T 3627–2019《5G数字蜂窝移动通信网 增强移动宽带终端设备技术要求（第一阶段）》	6GHz以下频段5G增强移动宽带终端设备的传输能力、业务能力、及本协议功能、射频、功耗、接口、安全等方面的要求
	YD/T 4002–2021《5G数字蜂窝移动通信网 增强移动宽带终端设备测试方法（第一阶段）》	6GHz以下频段5G增强移动宽带终端设备的基本功能、射频性能、无线资源性能、协议一致性等方面的测试方法
地方标准	DB 4403/T 341–2023《虚拟电厂终端授信及安全加密技术规范》	虚拟电厂终端授信及安全加密的总体目标、网络安全（包括5G切片网络的数据传输要求）、安全加密方式、安全加密要求等方面的技术要求
	DB 4403/T 343–2023《分布式光伏接入虚拟电厂管理云平台技术规范》	分布式光伏接入虚拟电厂管理云平台的总体原则、数据交互架构、信息采集模型、验收测试等技术要求
企业标准	Q/CSG1204128–2022《南方电网5G技术应用标准》系列标准	南方电网5G整体架构和资源、接入设备、网络承载、业务管理及应用、支撑系统、安全防护、共建共享等应遵循的基本技术要求

表4 本次评估所应用的营运指标

序号	关联业务环节	营运指标	指标描述	所使用的标准
1	工程	节约投资成本	应用5G承载的配电自动化三遥、虚拟电厂的建设，相较于铺设光纤通信、建设实体电厂的投资成本节约	ISO 37184–2023《可持续流动性和交通–通过为5G通信提供无线网络网络构建的交通服务框架》 ISO/IEC 27001–2013《信息技术 安全技术 信息安全管理体系 要求》 3GPP TS 23.501《5G系统的系统架构》 YD/T 3627–2019《5G数字蜂窝移动通信网 增强移动宽带终端设备技术要求（第一阶段）》 DB4403/T 343–2023《分布式光伏接入虚拟电厂管理云平台技术规范》 DB4403/T 341–2023《虚拟电厂终端授信及安全加密技术规范》 Q/CSG1204128–2022《南方电网5G技术应用标准》系列标准
2		节约土地资源	应用虚拟电厂的建设，节约的土地资源	ISO/IEC 27001–2013《信息技术 安全技术 信息安全管理体系 要求》 3GPP TS 23.501《5G系统的系统架构》 YD/T 3627–2019《5G数字蜂窝移动通信网 增强移动宽带终端设备技术要求（第一阶段）》 DB4403/T 343–2023《分布式光伏接入虚拟电厂管理云平台技术规范》 DB4403/T 341–2023《虚拟电厂终端授信及安全加密技术规范》 Q/CSG1204128–2022《南方电网5G技术应用标准》系列标准
3	输电管理	输电线路监控效率	应用5G后，相较于人工方式的监控效率	ISO/IEC 27001–2013《信息技术 安全技术 信息安全管理体系 要求》 3GPP TS 23.501《5G系统的系统架构》 YD/T 3627–2019《5G数字蜂窝移动通信网 增强移动宽带终端设备技术要求（第一阶段）》 Q/CSG1204128–2022《南方电网5G技术应用标准》系列标准
4		输电线路温度异常检测	应用5G后，相较于4G更加便捷准确检测输电线路的温度异常情况	3GPP TS 23.501《5G系统的系统架构》 ISO/IEC 27001–2013《信息技术 安全技术 信息安全管理体系 要求》 YD/T 3627–2019《5G数字蜂窝移动通信网 增强移动宽带终端设备技术要求（第一阶段）》 Q/CSG1204128.9–2022《南方电网5G技术应用标准第9部分：业务应用》

续表4

序号	关联业务环节	营运指标	指标描述	所使用的标准
5	变电管理	巡检效率	应用5G后，相较于人工方式的巡检效率	ISO/IEC 27001-2013《信息技术 安全技术 信息安全管理体系 要求》 3GPP TS 23.501《5G系统的系统架构》 YD/T 3627-2019《5G数字蜂窝移动通信网 增强移动宽带终端设备技术要求（第一阶段）》 Q/CSG1204128-2022《南方电网5G技术应用标准》系列标准
6	配电管理	故障检测	应用5G后，配电故障检测能力	ISO/IEC 27001-2013《信息技术 安全技术 信息安全管理体系 要求》 3GPP TS 23.501《5G系统的系统架构》 YD/T 3627-2019《5G数字蜂窝移动通信网 增强移动宽带终端设备技术要求（第一阶段）》 Q/CSG1204128-2022《南方电网5G技术应用标准》系列标准
7		故障隔离	应用5G后，配电故障隔离能力	ISO/IEC 27001-2013《信息技术 安全技术 信息安全管理体系 要求》 3GPP TS 23.501《5G系统的系统架构》 YD/T 3627-2019《5G数字蜂窝移动通信网 增强移动宽带终端设备技术要求（第一阶段）》 Q/CSG1204128-2022《南方电网5G技术应用标准》系列标准
8		节约人力成本	应用5G后，减少调度员及巡线人员的用时成本	3GPP TS 23.501《5G系统的系统架构》 YD/T 3627-2019《5G数字蜂窝移动通信网 增强移动宽带终端设备技术要求（第一阶段）》 Q/CSG1204128-2022《南方电网5G技术应用标准》系列标准
9		节约配电成本	应用5G后优化调整电网运行方式，节约配电成本	ISO/IEC 27001-2013《信息技术 安全技术 信息安全管理体系 要求》 3GPP TS 23.501《5G系统的系统架构》 YD/T 3627-2019《5G数字蜂窝移动通信网 增强移动宽带终端设备技术要求（第一阶段）》 Q/CSG1204128-2022《南方电网5G技术应用标准》系列标准
10		应急安全	应用5G后，保障紧急情况电网安全稳定水平	ISO 37184-2023《可持续流动性和交通-通过为5G通信提供无线网络网络构建的交通服务框架》 ISO/IEC 27001-2013《信息技术 安全技术 信息安全管理体系 要求》 3GPP TS 23.501《5G系统的系统架构》 YD/T 3627-2019《5G数字蜂窝移动通信网 增强移动宽带终端设备技术要求（第一阶段）》 Q/CSG1204128-2022《南方电网5G技术应用标准》系列标准
11	电力调度	精准负荷控制	应用5G后的电网精准负荷控制能力	ISO/IEC 27001-2013《信息技术 安全技术 信息安全管理体系 要求》 3GPP TS 23.501《5G系统的系统架构》 YD/T 3627-2019《5G数字蜂窝移动通信网 增强移动宽带终端设备技术要求（第一阶段）》 Q/CSG1204128-2022《南方电网5G技术应用标准》系列标准
12		降低停电损失	应用基于5G的虚拟电厂后，降低错峰限电给企业带来的停电损失	3GPP TS 23.501《5G系统的系统架构》 YD/T 3627-2019《5G数字蜂窝移动通信网 增强移动宽带终端设备技术要求（第一阶段）》 DB 4403/T 343-2023《分布式光伏接入虚拟电厂管理云平台技术规范》 DB 4403/T 341-2023《虚拟电厂终端授信及安全加密技术规范》 Q/CSG1204128-2022《南方电网5G技术应用标准》系列标准
13		节能减排	应用基于5G的虚拟电厂，有效促进节能减排，绿色环保	ISO/IEC 27001-2013《信息技术 安全技术 信息安全管理体系 要求》 3GPP TS 23.501《5G系统的系统架构》 YD/T 3627-2019《5G数字蜂窝移动通信网 增强移动宽带终端设备技术要求（第一阶段）》 DB 4403/T 343-2023《分布式光伏接入虚拟电厂管理云平台技术规范》 DB 4403/T 341-2023《虚拟电厂终端授信及安全加密技术规范》 Q/CSG1204128-2022《南方电网5G技术应用标准》系列标准

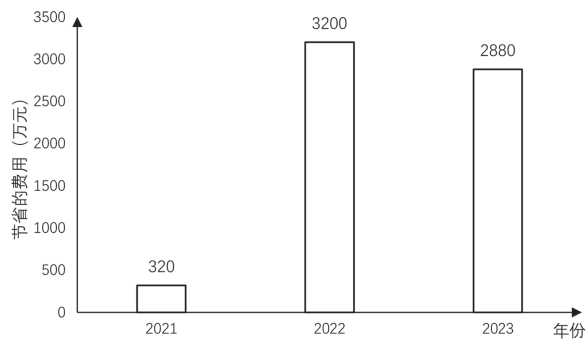


图3 利用配电自动化“三遥”业务节约的投资成本

在使用5G标准后,深圳供电局增强了虚拟电厂对通信网络广连接、端到端数据传输、多协议转换、负荷端海量接入等技术要求,实现了通过虚拟电厂来聚合分布式发电站和用户侧资源参与电网削峰填谷,不需要新建发电机组及配套输变电设备,节约了发电容量投资成本。以某200MW虚拟电厂应用试点为例,硬件投资成本约1700~3500万元,建设虚拟电厂平台的开发费用约1000万元,运行成本按总投资成本的5%考虑,约为135~225万元,综合计算该虚拟电厂的成本约为2700~4500万元,单位投资成本约200元/kW。根据计算,相比于传统能源发电,建设200MW虚拟电厂预计可节约发电容量投资4.6~12.9亿元^[3],见表5。

表5 不同能源利用形势下的发电容量投资成本对比

(200MW)		
类别	单位投资/(元/kW)	总投资/亿元
气电	2500	5.0
煤电	3200	6.4
储蓄	3900	7.8
储能	6667	13.3
虚拟电厂	200	0.4

5.1.2 节约土地资源

在使用5G标准后,深圳供电局在不占用土地资源、不进行变电站扩容、不新建变电站、不需新建输电通道的前提下,基于虚拟电厂就可满足现阶段部分电力用户的负荷要求,从而降低电力基础设施投资成本,提升电力资本运营效率。如建设200MW燃气电厂需占地3.63万平方米,按每平米3万元的工业用地价格计算,建设燃气电厂的土地资源总价值在9~10亿元,若采用虚拟电厂则可节约

相应价值的土地资源。

5.2 输电管理环节

5.2.1 输电线路监控效率

在使用5G标准后,深圳供电局解决了5G基站、5G终端设备与输电杆塔共站址的场景中的电磁兼容、电磁干扰等技术难题,从而基于5G通信远程控制5G摄像头、5G无人机,实现输电线路巡检场景远端图像回传、线路监测和巡检。在线监测视频采集终端(摄像头、无人机)内置了5G模组,通过就近的5G基站,将产生的高清数据流(图片、视频)回传至深圳供电局电力专用核心网(管理区),再通过公司内部传输网专线送达视频监控主站。无人机在每个巡视点拍摄约10张照片,利用5G相比于4G更大的带宽和更低的时延特性,可传输更清晰的数据流,系统分析准确率将大大提升。而相较于人工巡检,效率更是大幅增长。

据统计,巡视一回500千伏输电线路,传统人工巡视需要2个人巡视10天。现在通过5G输电智能巡检系统,只需要1个人两个小时完成巡视,使得工作人员有更充裕时间对巡检照片进行细致分析。综合看,智能巡视效率较人工作业提升了11倍,见表6。

表6 500千伏输电线路巡视效率对比

巡视方式	巡视人员数量	巡视时间
人工巡视	2人	10天
智能巡视	1人	2小时

5.2.2 输电线路温度异常检测

在电力系统中,输电线路设备温度是影响电力系统的可靠性的关键因素之一。当设备温度异常时,不仅可能导致设备的使用寿命缩短,更可能引发设备损坏,进而造成线路跳闸等严重后果。因此,在使用5G标准后,深圳供电局规范了在输电线路及终端厂塔部署5G终端设备的相关要求,包括硬件部署建设、软件部署等操作要求以及支撑系统功能、数据接口、数据采集的相关技术要求,实现了基于红外测温技术对输电设备进行潜在故障的检测,确保电力系统的稳定运行。

深圳供电局在输电线路及终端厂塔中装备了集成红外热像仪的5G摄像头,该设备拥有最高可

达2560×1440的分辨率,能够实时输出清晰图像,使得对变压器等关键设备本体及重要部位的红外测温更为精准。尤其是,相较于4G,利用5G提升了数据传输速率、热成像图像或视频的清晰度和测温准确率,为设备的安全稳定运行提供了强有力的技术支撑。

5.3 变电管理环节

在使用5G标准后,深圳供电局不仅明确了变电站部署5G终端时的电磁兼容、电磁干扰等性能指标要求规定,而且规范了5G终端接入网络时涉及的安全相关要求,如:终端接入身份鉴权、终端接入权限、接入协议、终端反向鉴权网络等技术规范。由此,深圳供电局通过在变电站内的监测终端加装5G CPE,实现5G信号转换,利用就近的5G基站,将产生的数据流通过5G移动通信网回传至公司电力专用核心网(管理区),再通过公司内部传输网专线送达变电站智能运行支持平台。变电站的终端设备有5G摄像头、5G巡检机器人等,实现远端图像回传、站内监测和巡检。

据统计,500kV变电站,约有15,000个巡检点,人工巡检需2人×4小时×4天,巡视结束后,人员还需2小时填写巡检报告;而通过摄像头以及机器人巡检只需1~2个小时即可完成90%的巡检范围,巡检后通过5G上传数据到指挥中心,自动生成巡检报告。2023年深圳供电局已开展远程巡视任务826次,比传统人工巡视减少到站352次,节省约2336小时,实现站内巡视综合效率提升2.7倍。

5.4 配电管理环节

5.4.1 故障检测

在使用5G标准后,深圳供电局根据配电网线路5G通信的技术要求、接口要求(包括授时接口、故障检测接口等)、功能要求(包括通信规约、对时方式等)、性能要求(包括对时精度、保护动作时限等)等技术指标,实现5G和配网自动化自愈技术融合应用,使得平均故障处理时间缩短了28分钟,停电影响范围从线路级缩小至节点级,减少因停电造成较大舆情影响,兼顾了供电可靠性与公共安全风险。按照深圳供电局用户年平均停电次数0.27次、单位小时停电损失80元/kW计算。在5G应用示范区,2021年负载负荷至16MW,减少用户损失16.13万元;2022年负载负荷至100MW,减少用户损失100.8万元;2023年负载负荷至150MW,减少用户损失151.2万元;3年共计减少损失268.13万元,见表7。

表7 2021-2023年5G应用示范区减少损失

年份	负载负荷 (MW)	减少损失 (万元)
2021	16	16.13
2022	100	100.8
2023	150	151.2
合计		268.13

计算公式如下:

减少的用户停电损失=负荷(kW)×平均停电次数(次)×缩短的平均故障处理时间(小时)×单位小时停电损失(元/kW)。

变电站巡检效率

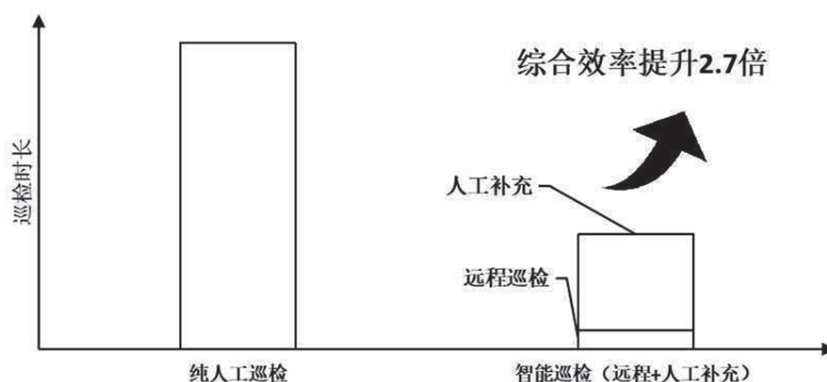


图4 变电站人工巡检和智能巡检效率

5.4.2 故障隔离

在使用5G标准后,深圳供电局规范了智能配电网性能监测、故障修复等操作要求,实现5G无线通道承载配网自动化“三遥”业务,在遥信系统发生故障时能够迅速感知并传输故障信息,实现故障隔离。据统计,2023年发生3122次配网故障,综合选线准确率(含选线与轮切)超96%,每次减少负荷损失约0.8万元,2023年减少约2497万元。

5.4.3 节约人力成本

在使用5G标准后,深圳供电局基于5G网络电力通信,实现了配电线路接地故障处理人力成本降低。深圳供电局按2023年1025次线路接地故障来估算,每次减少调度员及巡线人员共15小时,则2023年全年减少劳动量约 $1025 \times 15 = 15,375$ 小时/人次。

5.4.4 节约配电成本

在使用5G标准后,深圳供电局明确了5G网络通道承载电力业务的业务定义、通信需求、地址分配、承载协议等用电行为技术指标要求,实现了通过网荷智能互动控制系统挖掘柔性负荷的用电行为特征,合理安排可平移、可转移、多类柔性负荷参与输-配-用的多时间尺度协同调度,优化调整电网运行方式1000余项,有效降低负荷用电成本和系统运行成本,实现负荷曲线峰谷差、安全裕度的有益调整。以深圳2021年夏大方式(夏季为满足电力需求,电力系统全接线、全开机的运行方式)为例,减少发电成本约1.32亿元,减少社会用电成本约2.45亿元。

5.4.5 应急安全

在使用5G标准后,深圳供电局增强电力5G应急网络的速率、时延等确定性保障以及安全和空口物理隔离等技术指标要求,实现了网荷智能互动控制系统的在线预警分析和辅助决策功能,提高输电断面供电能力,显著提升了紧急情况电网安全稳定水平。2021年“查帕卡”台风袭击期间,借助辅助决策信息10分钟内快速化解了500kV鹏城片网单回220kV线路串供4座220kV变电站运行风险,为有效支撑调度处置突发故障和风险控制提供技术保障,提升了深圳调度运行控制水平。

5.4.6 精准负荷控制

在使用5G标准后,深圳供电局明确了覆盖增强、低时延高可靠等通信技术指标要求,实现了通过网荷智能互动控制系统来达到广覆盖、低时延、高可靠的精准负荷控制,该系统使负荷控制对象由原来的1座变电站缩小到用户分支负荷,控制精度达0.01MW,响应速度小于100ms,可灵活避开重要用户、民生负荷,缩小停电范围,确保电网严重故障时冲击社会正常运转。利用装置运行状态统一描述方法实现了输-配-用紧急控制系统运行状态实时监视、快速统计与可视化展示,显著提高了紧急控制系统运行可靠性,降低系统日常运维费用,为高密度负荷城市电网抵御严重故障提供技术保障。

5.5 电力调度环节

5.5.1 降低停电损失

在使用5G标准后,深圳供电局利用“5G+虚拟电厂”,实现分布式负荷资源可观、可测、可控,精准动态处置调度。在负荷高峰时期,传统的错峰限电在应对尖峰负荷压力的同时,将影响工业企业的生产进度和产品质量,给企业造成一定的经济损失。虚拟电厂通过优化用电方式,避免错峰限电造成的损失。以深圳供电局某200MW虚拟电厂应用试点所在地和用电量测算的度电经济损失成本约为28.57元/kW,预计该虚拟电厂可避免错峰限电尖峰电量约为331.2MWh,总计可避免经济损失约956.3万元^[3]。

5.5.2 节能减排

在使用5G标准后,深圳供电局通过“5G+虚拟电厂”发挥灵活调节作用,调动储能、电动汽车、蓄冰/蓄冷空调负荷等资源在负荷低谷时段消纳清洁能源,降低高峰负荷需求、减少火电出力。火电发电量减少一方面节约了燃煤,另一方面降低了二氧化碳和二氧化硫排放,有利于促进节能减排。采用200MW虚拟电厂每年的节能减排效益见表8。

表8 节能减排效益

环保类别	节约量 (万吨)	单价 (元/吨)	效益 (万元)
标煤	4.07	770	3133
二氧化碳	10.8	35.53	383
二氧化硫	0.3261	6552.77	2136

6 结 论

本文采用ISO方法论,基于标准对各营运指标影响的量化计算得出,深圳供电局在探索5G+智慧电网的试点中,标准对工程、输电、变电、配电和电力调度等业务环节的经济、社会和环境方面均有不同的贡献。

在工程环节,深圳供电局通过使用5G相关标准,减少交换机的采购和部署、光缆敷设等,减少配电线路自动化改造投资成本,降低故障检测和故障隔离损失。同时,在不占用土地资源、不进行变电站扩容、不新建变电站、不需新建输电通道的前提下,实现“5G+虚拟电厂”替代燃气电厂,节省了土地资源投资成本。

在输电管理环节,深圳供电局通过使用5G相关标准实现了基于5G摄像头、5G无人机等设备提升输电线路的监控效率、热成像图像或视频的清晰度和测温准确率,保障设备的安全稳定运行。

在变电管理环节,深圳供电局通过使用5G相关标准实现了变电站内5G摄像头、巡检机器人等应用全覆盖,极大提升了站内巡视综合效率。

在配电管理环节,深圳供电局通过使用5G相关标准缩短了平均故障处理时间,并使停电影响范围从线路级缩小至节点级,减少因停电造成较大舆情影响,兼顾了供电可靠性与公共安全风险,提升电网安全稳定水平。另一方面,也实现了配电网故障隔离,降低配电线路接地故障处理人力成本。

在电力调度环节,深圳供电局通过使用5G相关标准,实现了利用“5G+虚拟电厂”来优化用电方式,减少在负荷高峰时期因错峰限电给企业带来的停电经济损失。此外,还通过“5G+虚拟电厂”来调动储能、电动汽车、建筑楼宇等负荷资源,消纳清洁能源,减小火电出力,降低二氧化碳、二氧化硫等温室气体排放,有效促进节能减排。

参考文献

- [1] 周万鹏,李春来,杨立滨,等. 5G赋能电力构建智慧能源[J]. 青海科技, 2022(6):52-54.
- [2] 黄海悦,缪欣. 基于5G通信的分布自治式故障恢复系统[J]. 自动化应用, 2022(6):118-128.
- [3] 毛田,黄宁馨,程韧俐,等. 虚拟电厂效益评价指标体系构建及其范例分析[J]. 南方电网技术, 2022(6):124-131.