

基于 NB-IoT 的机场用电采集与智能运维提升研究

刘 洋¹, 王 剑²

(1. 中国民用航空飞行学院 航空电子电气学院, 四川 广汉 618307; 2. 清华四川能源互联网研究院, 成都 610213)

摘要:机场用电能耗管理主要聚焦宏观调能,对于精细化节能减排策略所需的底层技术极少关注。基于窄带物联网(NB-IoT)技术,对机场现有的用电信息采集架构进行改进,通过优化采集通信链路和对停电事件分析,总结出 7 种故障的智能运维分析策略。系统运行结果表明,提出的采集架构能提高数据采集频率至 288 次/d,智能运维方法可在 5 min 内快速定位故障。改进的用能采集体系可提供更细粒度的能耗原子数据和更低的故障率,有助于辅助制定相关节能策略和能耗管理措施,提升机场能耗管理成效。

关键词:窄带物联网(NB-IoT);机场;用电信息采集;智能运维;能耗管理

中图分类号:TM93 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2022)06-0271-06

针对能源枯竭和环境污染危机问题,节能减排一直是新时代可持续发展的重要研究课题。随着民航业大力发展,大量城市投入新机场建设中。民航业作为传统能耗大户,包含机场供电、供暖、供冷等一系列能源消耗场景^[1]。《中国民用航空发展第十三个五年规划》提出在满足机场本身的运营管理需求下,应考虑节能减排带来的经济效益^[2]。掌握机场用能设施的能源使用状况,降低机场运行成本,是一项重要工作。

随着能耗管理等高级应用功能逐步深化,对采集数据的完整性、有效性以及可靠性提出了更高的要求,如何提高采集运维效率,提升数据采集成功率以及完整性,是当前能耗采集系统建设工作中需要解决的问题。目前的机场用能研究中,大多关注能耗数据应用决策、能耗预测分析、总建筑物能效降低和评估等,对于能耗采集的基础架构和综合故障运维技术提升并未见相关报道。

以目前机场电能采集管理为例,目前机场电能计量终端中 90% 以上采用电力载波技术(PLC)进行本地通信,PLC 已接近饱和,难以负担更多的通信任务。远程信道采用以 GPRS 为主的无线公网,由于信号覆盖、集中器故障等原因引起的采集失败问题同样突出。同时,随着智能电表数量不断增加,采集的用电数据量呈几何级数增长态势,也对数据的采集、提取、查询、分析带来新的挑战,用电能耗采集管理系统存

在以下几方面的问题亟待解决:

1) 能耗采集低速、低效。目前,部分机场各区域现有的用电能耗统计数据是通过人工记录,无法对能耗的微观部分进行统计,造成机场用能各环节数据的缺失,不利于机场发现能耗点;同时人工统计也具有一定的滞后性,机场监管信息不能动态、准确、实时地采集。

2) 能耗信息采集故障频发。用电信息系统常见故障主要分为电能计量故障、信息采集故障和基础档案错误三大类。其中,电能计量故障包括电表内部故障和外接接线故障,信息采集故障包括远程通信故障和集中器故障,基础档案错误包括跨台区故障和串户故障。从用电信息系统运营数据的统计来看,在常见故障中电能计量故障约占常见故障的 5%,信息采集故障约占常见故障的 80%,基础档案错误约占常见故障的 15%^[3]。

3) 能耗信息系统缺乏故障报警与定位技术。机场各用电单元设备多、类型复杂,其统计数量大,覆盖范围广,运维强度高。一旦电源停电需要立即进行有效处置。运行实践中发现,不论机场哪一条线路停电,常常是用电部门发现早,而运维人员发现晚,使运维工作陷入了被动。从发现到查明情况再到采取处置措施,还需一段时间,给生产造成一定的损失^[4]。

4) 能耗信息无法互通共享。机场各区域独立能耗单位的计量信息容易形成“孤岛”,如飞行区、

收稿日期:2021-11-30

基金项目:中国民用航空飞行学院青年基金(XJ2020004401)。

作者简介:刘洋(1993—),女,黑龙江黑河人,中国民用航空飞行学院航空电子电气学院,讲师,硕士,研究方向为电力系统数据挖掘、物联网技术及相关工程应用。

航站楼、货运区、航管楼、机务维修区等数据难以共享,能耗统计数据频繁出错。

窄带物联网(narrow band internet of things, NB-IoT)具有强连接、宽覆盖、低功耗、高安全的特点,将有助于克服影响现有系统采集成功率的因素,提高通信故障排查时效性,提升运维效率^[5]。因此,基于 NB-IoT 物联网技术改进机场现有用能采集体系架构和终端,从降低能耗采集系统故障率、提高能耗数据采集频次和能耗数据实时性、打通用能信息互通渠道等方面进一步优化能耗信息系统,符合“智慧机场”的发展趋势^[6-7]。

为进一步提高机场用能采集信息系统的信息采集频率,降低采集故障率,并提升运维效率,本文基于 NB-IoT 技术,研制了基于 NB-IoT 物联网技术的智能电表本地通信模块,实现了智能电表与主站的直接交互,将传统用采系统的三层架构缩减为二层,并且基于拓扑联动的停电事件分析方法,建立了停电事件分级分析模型,可靠、高效地服务于机场用能信息采集。从而提供更细粒度的能耗原子数据和更精细化的用能分析,可供主管部门在制定机场节能管理和宏观调能时,能正确、有效地评估机场设备的运行状况,制定出及时有效的节能策略和能耗管理措施。

1 NB-IoT 用电采集架构设计

目前的机场用电信息采集系统主要分为 3 个部分,分别为智能电表、集中器和用采主站^[8-9],如图 1 所示。用采系统架构层级多,通信链路长,终端智能电表的数据需经过集中器的汇集才能上传到主站系统。此外,主站系统对智能电表的主动召采也需经过集中器转发实现指令下发。集中器作为用采主站和终端用户的桥梁,承担着上传下达,双向交互的核心作用。

集中器与电能表之间主要采用电力线载波(PLC,HPLC)和微功率无线通信方式(小无线技术,LoRa 技术,Zigbee 技术等)。集中器与主站之间的远程信道一般由光纤专网、GPRS/CDMA 无线公网、230M 无线专网、中压电力线载波(中压 PLC)等方式实现。在用电信息采集系统实际运维工作中,由于设备层级和上、下行通信链路环节众多,受制于采集系统信道及其工作条件的复杂性等客观原因,采集成功率提升缓慢,采集效率低下^[10-14]。

由于用电信息采集系统的数据采集业务已下沉至集中器,集中器对智能电表数据集抄的频次受限于其管理的电表数量和本地通信的信道容量。

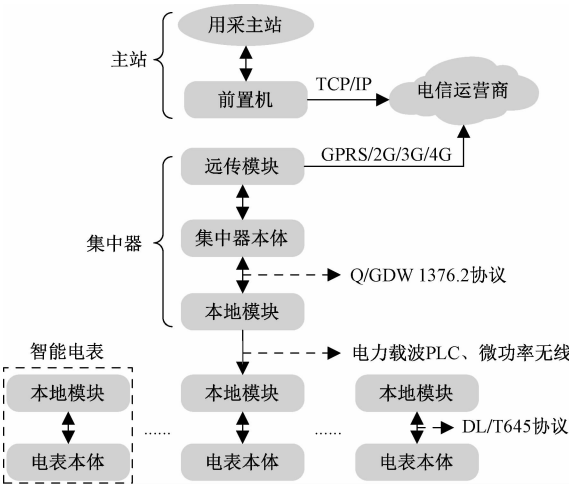


图 1 传统用电信息采集系统架构

为提高用电信息采集频次,需要提高信道容量或优化采集架构,减轻集中器采集压力。

为此,设计了一种扁平化的用电信息系统架构,通过 NB-IoT 物联网技术,省去集中器汇聚层,如图 2 所示。NB-IoT 本地模块接收来自用采主站的时标信息,保证读取的数据具有高度的同步性。根据下发的采集策略主动读取智能电表的用电信息,利用 NB-IoT 网络将智能电表数据传至机场用采系统主站。对用采系统的架构进行扁平化设计之后,用采系统由原来的三层架构变为两层,仅包含终端智能电表和用采主站两个环节。

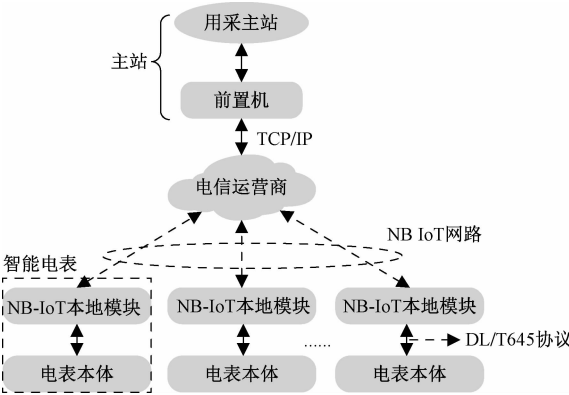


图 2 基于 NB-IoT 物联网的用电信息系统架构

2 智能运维提升技术

2.1 网络通信全过程管理

NB-IoT 用采系统需要管控通信链路,主要包括分为 4 个通信节点,如图 3 所示。其中,通信节点 1 监测电表本体至 NB-IoT 通信模块的通信状态;通信节点 2 监测 NB-IoT 通信模块至电信运营商网络的通信状态;通信节点 3 监测电信运营端网

络至采集主站前置机的通信状态;通信节点 4 监测采集主站前置机至采集主站的通信状态。

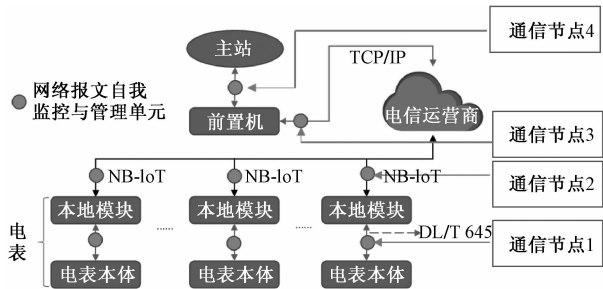


图 3 基于 NB-IoT 的用采系统关键通信节点

构建的通信全链路统一监测模型如图 4 所示。通信各节点的监测信息包括本地通信模块的上/下行的通信链路监测信息、电信运营商平台的上/下行监测信息以及采集主站前置机的上/下行监测信息。通信成功与否的统计信息则包括本次通信成功与失败、实时信号质量、最近一次通信成功的时间、历史通信成功率等。

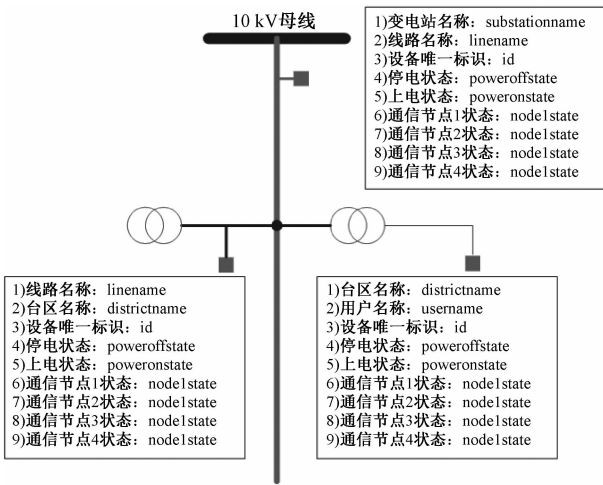


图 4 通信链路统一监测模型

2.2 用电信息系统故障分析与定位

针对图 2 所示用采系统各个环节可能存在的故障,通过总结故障现象,梳理故障特征,研究故障的分析与定位方法。图 5 为用电信息系统故障分析与定位流程,针对用采系统抄读失败的情况,实施“链路滚动问询”,链路问询由用采主站负责执行,在主站与前置机之间增加双向确认机制,在前置机与电表本地模块之间的通信过程中增加双向确认机制,包括接收命令确认、接收数据确认。流程主要包括 4 个步骤:①主站与前置机链路问询;②主站与电信运营商链路问询;③主站与电表本地模块链路问询;④主站与电表本体链路问询。

若①返回是,则认定主站与前置机链路故障;若②返回是,则认定前置机与电信运营商链路故障;若③返回是,则认定电信运营商与电表本地模块链路故障;若④返回是,则认定电表本地故障。

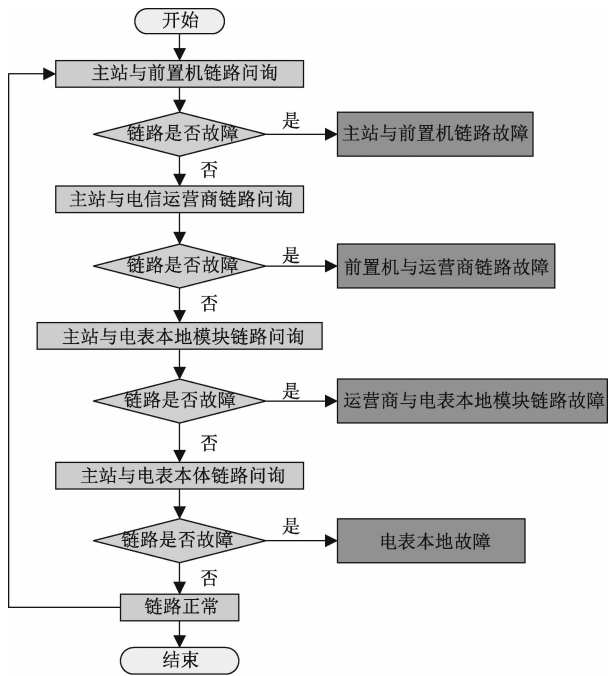


图 5 用电信息系统故障分析与定位流程

2.3 停电事件告警上报与分析

在电表断电时通过超级电容为 NB-IoT 通信模块提供续航能力,及时上报停电事件信息。当智能电能表出现停电事件时,NB-IoT 通信模块通过硬件接口检测电能表与通信模块间的供电电压为 0,NB-IoT 通信模块利用超级电容存储的电量维持工作,生成该电能表的停电事件,并将事件通过 NB-IoT 网络传递至采集主站。

停电事件的上报与分析包括 3 个部分:①以某一停电事件作为触发源,根据供电台区拓扑结构,集中采抄触发源所在机场供电区域范围内的电表数据,如电压值和电流值;②从重复、异常等方面筛选过滤有效条件,梳理停电事件分析策略;③建立能耗主站系统停电事件甄别逻辑,主站系统通过采集系统主站软件,结合系统其他采集数据及基础档案等信息,执行停电事件分析。

图 6 所示为某机场机务维修区 10 kV 单回线配网结构的电气拓扑示意图,图中包括 1 条 10 kV 母线,1 条 10 kV 馈线和 4 个供电台区,其中,A1~An、B1~Bn、C1~Cn 分别是每个供电台区 A、B、C 相的挂接用户,而台区 T1~Tn 均是 10 kV 馈线上的用户。从停电范围视角分析 7 种情况下的停电事

件特征,停电故障示意图如图 7 所示。

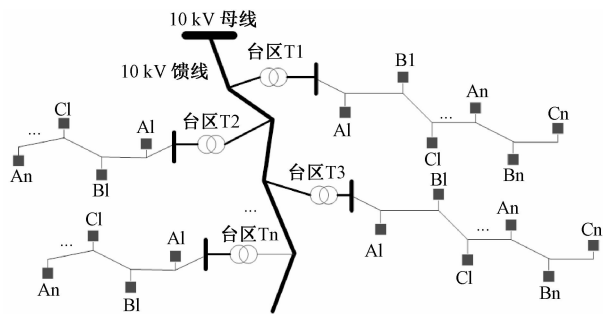


图 6 某机务维修区 10 kV 单回线配网示意图

由图 7(a)可知,在停电事件分析周期内某线路下的台区用户全部上报停电事件时,供电线路下的所有台区均故障。图 7(b)为多台区故障,即线路的末端部分用户出现故障,可通过识别线路末端多台区用户全部上报停电事件时进行判定。图 7(c)为台区的所有用户均出现故障,当识别到某台区所有用户全部上报停电事件时,满足当前情况。图 7(d)为当某台区的末端用户部分出现故障时,识别为单台区多相部分故障。图 7(e)所示为单台区单相全体故障,即某个台区的某一相的全部用户出现故

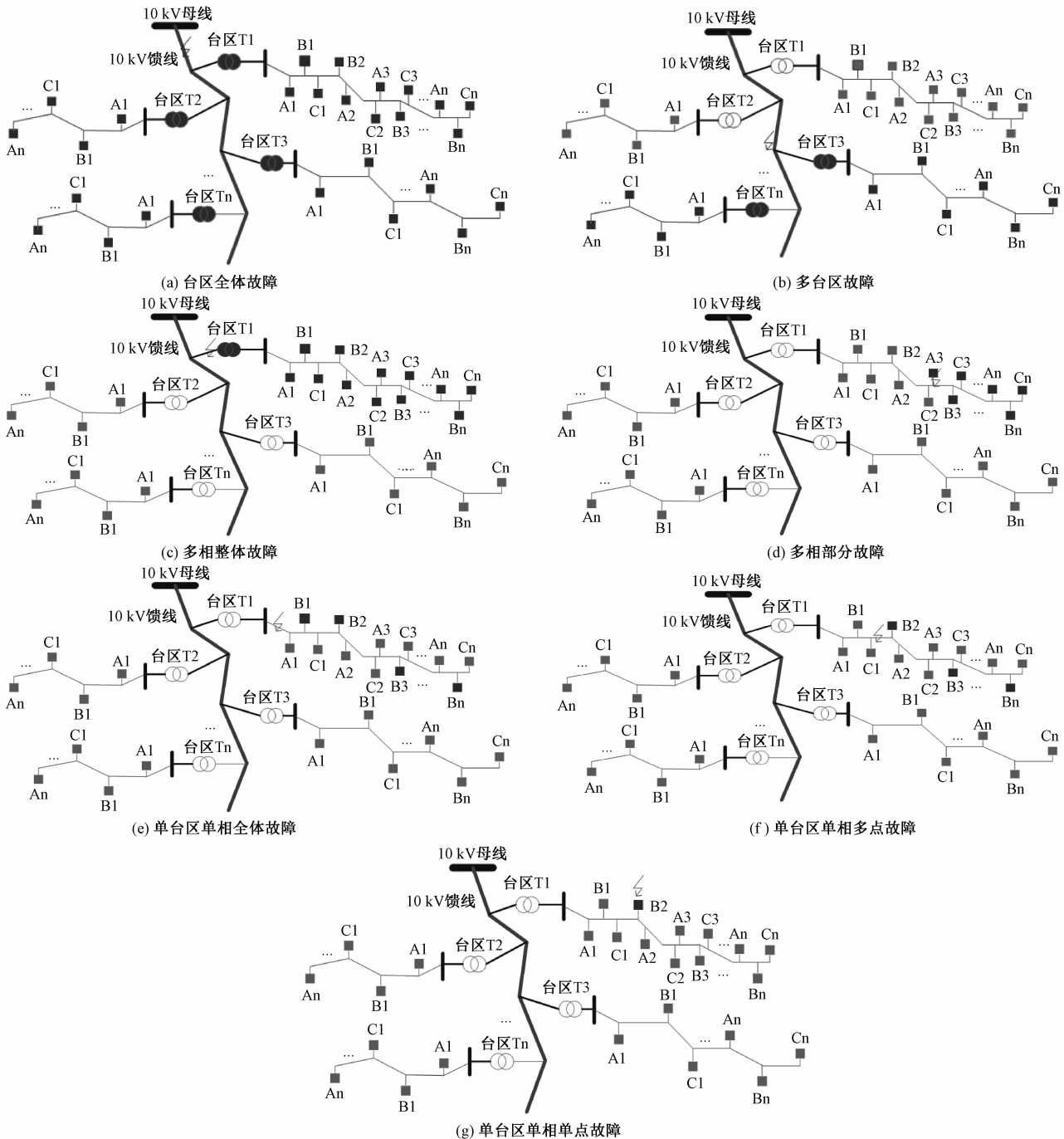


图 7 7 种停电故障示意图

障,在停电事件分析周期内某台区同相用户全部上报停电事件时,可判断为此种情况。图 7(f)为某个台区的某一相末端部分用户出现故障,此时同相末端用户将上报停电事件。图 7(g)为单台区单相单点故障,若在停电事件分析周期内台区管辖范围内只有一个用户出现停电事件时,可识别为当前情况。

3 系统测试

3.1 测试概况

四川广汉某机场由飞行区、货运区、航管楼、机务维修区、教学实验区与试飞区等组成,由于部分区域为 I 类供电环境,供电可靠性较高,停电和故障概率较小,因此在机务维修区和教学实验区开展系统测试。其中,NB-IoT 电表本地模块自行研制,模块参数见表 1。分别在用户终端、台区和 10 kV 线路计量表处安装,共 278 个测量点。

表 1 NB-IoT 电表本地模块参数

项目	参数
通信模组	M5310A
采集项目	电压、有功功率
采集频率/min	5
超级电容续航时长/s	60

NB-IoT 电表本地模块安装示意图如图 8 所示。该模块安装在电表内仓,通过电表的 Pin2x6 接口按照《多功能电能表通信规约》(DLT645—2007)读取电表数据,将电表数据处理压缩后,通过 NB-IoT 模组将数据发送到远端平台。为保证停电

事件的可靠上报,同时为了避免电压瞬时跌落引起停电事件的误报,针对停电事件强化了数据上报的发送与确认机制。一旦识别停电事件,NB-IoT 模组每隔 10 s 发送一次,直至收到主站确认信息。



图 8 NB-IoT 电表本地模块安装示意图

系统测试运行时长为 2 个月,主要测试了通信联络分析技术、高速采集、停电事件上报、停电事件分析等功能。运行统计表明,通信数据链路故障诊断事件上报 3 件(2 起电表故障,1 起通信模块故障),所有部署的采集节点用电数据采集成功率达到 100%,停电事件上报 12 件,停电故障分析识别准确度达到 100%,故障定位时间平均小于 5 min。同时,在数据层面实现了多群体用电设备、多场景和广域用电数据的共享管理,如图 9 所示,提供的统



图 9 系统运行截图

一、标准访问接口,在能耗管理主站实现了机场各用电客体能耗趋势和明细。

3.2 运行经济性

假设以往故障排查平均时间为 T_0 ,利用本研究的故障定位技术的故障排查时间为 T_1 ,假设停电范围内的负荷总量为 P_0 ,当前平均电价为 M_0 ,那么本研究智能运维提升带来的负荷直接经济价值可估算为

$$\Delta V = (T_0 - T_1)P_0M_0 \quad (1)$$

因此,当 T_1 与 T_0 的差距增大时,智能运维的经济价值越明显。本文应用的智能运维提升技术中,故障定位分析报告能在 1 min 左右导出,相比于以往通过停电反馈和人工分析的方式,故障排查效率得到大幅度提升,故障定位时间可以忽略不计。按照以往故障排查平均时间为 30 min、负荷总量为 2 000 kW 和平均电价 0.6 元/(kW·h)来算,部署 NB-IoT 用电采集与智能运维提升技术带来的直接经济价值可估算为 600 元。这只是运维单个故障带来的直接经济效益,间接经济效益则更大。采用 NB-IoT 用电采集与智能运维技术具有显著的运行经济型。

4 结论

本文从精细化节能减排策略所需的底层技术需求出发,提出了基于 NB-IoT 技术的机场用电采集系统,通过优化通信链路,减少信息交互环节,降低了通信链路故障率,提高故障分析的效率和准确性。新的架构使得用电信息采集频率得到大幅提升,可以进一步指导精细化负荷管理和能耗监控,服务于“智慧机场”建设。

参考文献

- [1] 傅海军. 践行绿色理念建设绿色机场[N/OL]. [2018-11-21] http://www.caacnews.com.cn/1/5/201811/t20181121_1261215.html.
- [2] 中国民用航空局. 中国民用航空发展第十三个五年规划[EB/OL]. [2017-02-16] http://www.gov.cn/xinwen/2017-02/16/content_5168506.htm.
- [3] 汪晓华,唐明,宋玮琼,等. 满足国家电网公司标准体系的 LoRa 用能采集专网技术研究及应用[J]. 电测与仪表, 2020,57(8):8-12.
- [4] 迟海鹰,李培成. 停电-来电报警装置在机场供电系统中的应用[J]. 大众用电,2009(9):23-24.
- [5] 张海龙,刘宣,任毅,等. 用电信息采集系统窄带物联网可行性研究[J]. 电测与仪表,2019,56(6):82-86.
- [6] 张红,郑炜陵,尹椿荣,等. 窄带物联网技术在机场智慧场区建设中的应用[J]. 物联网技术,2020,10(10):95-98.
- [7] 庞年华. 智慧机场信息系统建设方案探究[J]. 智能建筑, 2019(9):12-14.
- [8] 戚佳楠. 基于物联网技术的能源管理应用探讨:以杭州萧山机场为例[J]. 物联网技术,2020,10(8):88-90,93.
- [9] 李蕴. 基于 LoRa 和边缘计算的电力用采信道虚拟拓宽技术[J]. 电气自动化,2019,41(6):96-99.
- [10] 李小兵,李宇飞,郑天,等. 用电信息采集系统全事件采集运行效果分析[J]. 电测与仪表 2018,55(7):66-70,82.
- [11] 熊德智,江滔泓,陈向群,等. 用电信息采集故障智能排查装置的研制[J]. 电测与仪表,2019,56(20):120-123,144.
- [12] 蔡军,谢航,谢涛,等. 基于改进 K-Means+十分时电量聚类与行业用电行为分析[J]. 科学技术与工程,2021,21(27):11624-11631.
- [13] 闵家新,郎小毅,李洋,等. 基于泛在物联网的继电保护设备智能运维技术[J]. 科学技术与工程,2021,21(3):1024-1029.
- [14] 石凯,沈卫康,欧阳孟可. 低压用户侧泛在电力物联网的关键技术与组网方案[J]. 科技和产业,2021,21(3):263-268.

Research on Airport Power Information Acquisition System and Intelligent Operation and Maintenance Improvement Based on NB-IoT

LIU Yang¹, WANG Jian²

(1. Institute of Electronic and Electrical Engineering, Civil Aviation Flight University of China, Guanghan Sichuan 618307, China;

2. Sichuan Energy Internet Research Institute of Tsinghua University, Chengdu 610213, China)

Abstract: At present, some power consumption management system of airport mainly focuses on overall energy increase, and focuses less on the underlying technologies required for refined energy conservation and emission reduction strategies. Based on the narrowband internet of things (NB-IoT) technology, the existing power consumption information acquisition architecture of the airport is improved. By optimizing the acquisition communication link and analyzing the power outage events, seven intelligent operation and maintenance analysis strategies for faults are summarized. The system operation results show that the proposed acquisition architecture can improve the data acquisition frequency to 288 point eachday, and the intelligent operation and maintenance method can quickly locate the fault in 5 minutes. The improved energy collection system can provide more fine-grained atomic energy consumption data and lower failure rate, help to formulate relevant energy-saving strategies and energy consumption management measures, and improve the effectiveness of airport energy consumption management.

Keywords: narrowband internet of things(NB-IoT); airport; power consumption information acquisition system; intelligent operation and maintenance; energy consumption management