

基于物联网技术的空港区智慧能源管控平台的研究与设计

黄媛¹, 吴刚¹, 刘俊勇¹, 杨晨曦², 高梦嫔²

(1. 四川大学电气工程学院, 四川 成都 610065; 2. 四川省机场集团有限公司, 四川 成都 610061)

摘要: 面对电能替代、清洁能源的接入, 绿色机场建设迫切需要高效的能源保障信息系统。提出了一种基于物联网技术的空港区智慧能源管控平台的设计思路。该平台包含感知层、网络层、数据层和应用层, 采用物联网技术以及信息与能源的融合技术实现面向多种用户的应用场景。最后, 通过梳理某民用枢纽机场的能源信息设计一个能源管控平台框架, 为进一步挖掘能源的价值提供基础服务。

关键词: 物联网; 信息能源融合; 全面感知; 平台

中图分类号: TM73; TP18

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.2096-3750.2020.00194

Research and design of the intelligent energy management and control platform in the airport area based on the IoT technology

HUANG Yuan¹, WU Gang¹, LIU Junyong¹, YANG Chenxi², GAO Mengpin²

1. College of Electrical Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China

2. Sichuan Airport Group Co., Ltd., Chengdu 610061, China

Abstract: The construction of the green airport urgently needs an efficient energy security information system in face of the electric energy substitution and clean energy access. A design idea of the intelligent energy management and control platform in the airport area based on the Internet of things (IoT) technology was proposed. The platform included a perception layer, a network layer, a data layer and an application layer. The IoT technology and the fusion technology of the information and energy were adopted to realize the application scenarios for multiple users. Finally, an energy control platform framework was designed by combing the energy information of a civil hub airport to provide basic services for further exploration of the value of the energy.

Key words: IoT, information and energy fusion, widespread sensing, platform

1 引言

随着“平安机场、绿色机场、智慧机场、人文机场”建设的推进^[1], 飞机辅助动力装置 (APU, auxiliary power unit) 和机场地面特种车辆的“油改电”专项工程已取得显著效果^[2]。在推进智慧机场的建设过程中, 已经提出机场生产、生活绿色化、全面推行清洁能源替代、大力发展分布式能源、建设智能微电网等方案, 这些均对空港区的能源管控

平台提出了新的要求。

空港区能源管控对象复杂, 保障力度大、要求高, 智能设备及信息化水平参差不齐, 信息系统的数据库彼此孤立, 缺乏互联互通。现有的以云计算、大数据、物联网、人工智能等技术为基础的智能化管理在能源应用的各个领域已取得广泛的应用^[3-5], 将其充分应用于空港区的能源管控显得尤为必要。

本文提出基于物联网技术的空港区智慧能源管控平台的建设思路, 该平台利用物联网技术实现

收稿日期: 2020-04-08; 修回日期: 2020-09-06

通信作者: 刘俊勇, liujy@scu.edu.cn

基金项目: 成都市重大科技应用示范项目 (No.2019-YF09-0062-SN)

Foundation Item: The Chengdu Science and Technology Application Demonstration Project (No.2019-YF09-0062-SN)

供能侧和用能侧的设备与状态的深度感知，通过能源管控实现能源信息的互联互通，采用数据融合与处理技术、人机互动等技术实现面向对象的多层次服务，预计能够有力地推动空港区能源管控的科学决策，提高能源服务的保障水平。

2 智慧能源管控平台的架构

基于物联网技术的空港区智慧能源管控以物联网智能感知为基础，通过互联网平台实现能源信息的共享与高效流动，以高效的能源服务为目标，支撑空港区能源运营与管理的业务体系，实现计量系统设备、一次运行设备、用能设备的广泛互联互通^[6]，形成万物互联、人机交互、立体式的网络空间。因此，它具有以下 3 项特征。

1) 能源数据的共享化。通过各类异构数据的集成与融合，实现供/用能数据的横向共享和纵向高效流动与信息全感知。

2) 网络连接的泛在化。局域网、低功耗广域网、5G 为空港区能源管控底层供/用能设备的广泛连接

提供连接能力，通过完善网络基础设施，提升互联效率，满足能源管控平台的应用场景需要。

3) 系统服务的平台化。通用水平化和垂直专业化平台互相渗透，平台开放性不断提升，人工智能技术不断融合，平台的智能化服务水平持续提升。

本文将空港区能源管控分为感知层、网络层、数据层和应用层，智慧能源管控平台架构如图 1 所示。基于物联网技术的智能感知在空港区能源管控平台架构中处于中下层位置，是空港区能源的数据入口与控制出口，承担对接高维度、多节点、大规模复杂系统任务，在毫秒级、微秒级到数天不等的尺度范围内监测供/用能设备运行状态。

感知层通过传感器等智能终端采集装置实现对电、气、水等不同能源子系统运行状态、设备运行工况等信息进行采集。智慧能源管控平台应实现对系统运行与设备工况等信息的全状态采集与观测，最大限度降低系统的不可观测性，从而为应用层提供基础支撑。

网络层负责智慧能源管控平台的信息交换工

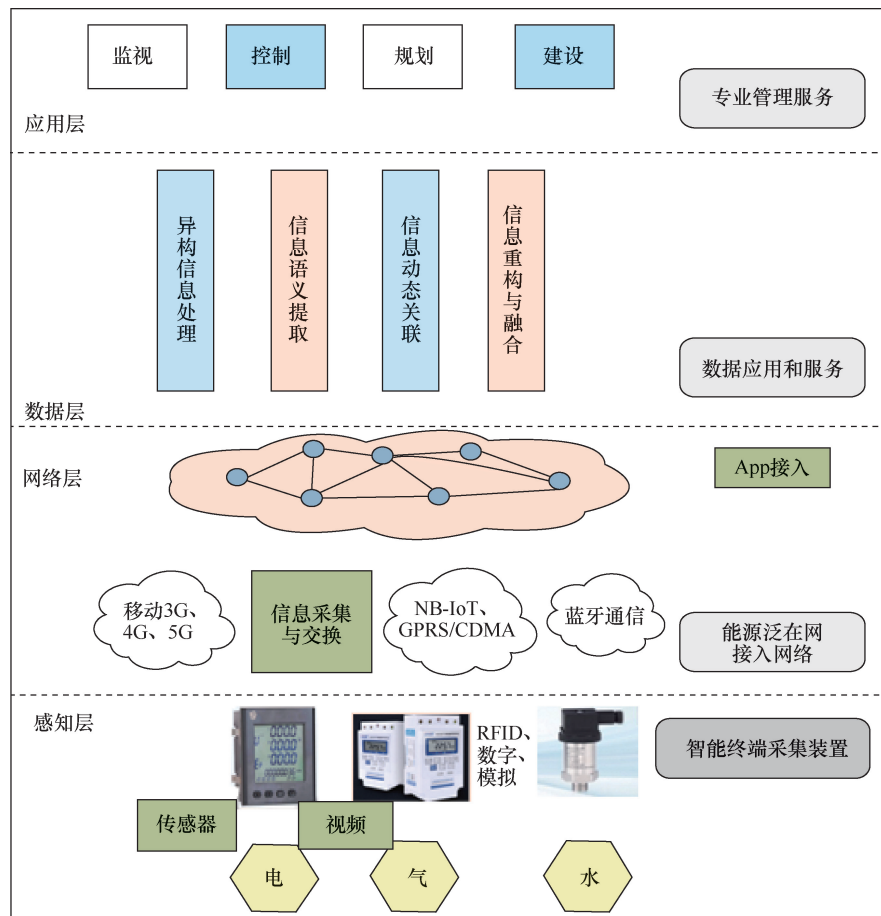


图 1 智慧能源管控平台架构

作，通过 5G、电力无线专网、蓝牙等通信方式对信息进行传递。空港区作为一个地区的转送枢纽，具有重要的政治、经济与文化地位。因此，空港区智慧能源管控平台网络应具有抗网络攻击特性。

数据层负责处理不同颗粒度及格式的数据，通过采用数据清洗、挖掘、钻取等技术对数据进行处理，并利用大数据等技术实现空港区能源监控、物联网数据汇聚、信息提取与关联、信息重构与融合，对数据进行处理与分析以适应不同应用功能的需求。

应用层针对终端单元众多、快速响应等需求，在应用层实现终端智能化管理、数据统一接入与存储处理等功能，为不同角色设备的状态监测、资产管理、设备运维、能耗管理、能源规划等工种提供面向物联网业务需求的服务。这些服务按数据的颗粒度、自包含和可组装的服务创建新业务逻辑、组合新应用和应用系统，可实现不同应用之间良好的互操作。

3 关键技术

3.1 物联网技术

物联网技术是感应通信技术、基于网络互连协议（IP, Internet protocol）技术的智能采集技术、容器技术、5G、窄带物联网等新一代信息技术的高度集成和综合运用^[7]。物联网技术的广泛使用为空港区的能源管控提供重要的信息感知能力。常见的感知设备有智能电表、电流互感器、电压互感器、燃

气表冷量表、蒸汽表、智能水表、智慧井盖监控器、排水泵监控器、智能开关、智能插座等。这些设备通常要求带宽为 100 kbit/s 以下，可以采用如远距离无线电（LoRa, long range radio）等独立组网的窄带物联网技术。另外，一些如轨道摄像机器人等设备可以利用 5G 等技术嵌入互联网。

本地感知接入网需要采用低功耗、近距离、快响应、高可靠和易实施的通信方式，目前随着 5G、消息队列遥测传输（MQTT, message queuing technology transport）、LoRa 等通信技术的不断成熟，互联效率得到巨大提升，能够满足新的智慧机场物联网应用场景。而宽带电力线通信（BPLC, broadband power line communication）、光纤复合低压电缆（OPLC, optical fiber composite low-voltage cable）等电力特有的集成度高、节省资源的通信方式，对施工与设备要求较低，既是发展低压智能办公小区、空港区综合能源系统、低压配网自动化运行的良好通信补充，又能满足设备与设备间、网关与设备间快速的数据交换需求。因此，需要多种通信方式支撑基于物联网的设备感知，常用物联网通信方式及特点如表 1 所示^[8-9]。此外，由于能源管控设备与设备、主站、终端之间通信协议繁多，在本地网络中，载波通信、光纤、微波等多种物理介质形成了难以异构交互的数据传输实体，同时，设备的快速更新换代需要考虑上下兼容性和版本适配性问题。建立基于统一物联网协议的转换技术实现多模混合组

表 1 常用物联网通信方式及特点

序号	通信技术	基站覆盖半径	频段	最大支持终端数	数据速率（最高）
1	低压电力线载波通信	500 m	10~500 kHz（窄带） 2~30 MHz（宽带）	16	200 Mbit/s
2	光纤通信	20~120 km	850 nm 1 310 nm 1 550 nm（波长）	128	1.25 Gbit/s
3	RS-485 通信	1 200 m	无	1 200	10 Mbit/s
4	通用分组无线业务	5~10 km	500~510 MHz	16	171.2 kbit/s
5	4G	1~3 km	1 880~1 900 MHz 2 320~2 370 MHz 2 575~2 635 MHz	1 200	100 Mbit/s
6	5G	100~300 m	450~6 000 MHz（FR1） 24 250~52 600 MHz	未知	1 Gbit/s
7	TD-LTE 电力无线专网	0.5~3 km 或 8~22 km	223~225 MHz	2 200	2.8 Mbit/s
8	LoRa	2~5 km 或 2~15 km	433 MHz、868 MHz、915 MHz	400	8 kbit/s
9	ZigBee	10~100 m	2.4 GHz（全球）	254	20 kbit/s
10	蓝牙	≤100 m	2.4~2.485 GHz	7	1 Mbit/s

网是解决这一问题的方案。

3.2 信息与能源的融合

空港区能源管控平台将实现传统气网、电网、热网等多种能源网的互联互通，实现供能与用能的优化利用，具有完整的能源资源利用和能量循环耦合结构。这种结构能够加强能源资源之间的有效互动，使能源在机场各区域之间实现高速传导和协同优化。此外，能源互联网秉承互联网思维，在信息层面上，将促进多种能源系统的信息共享，信息流与能量流通过信息物理系统（CPS, cyber-physical system）紧密耦合，信息流将贯穿于能源互联网的全生命周期。在物理层面上，机场能源系统支持对所有能源主体开放，分散式和集中式的能源模块都能自由接入，实现能量流的双向互通、协同互补。

空港区能源管控平台具有高度智能化特征，以能源信息的充分感知为物理依托，实现能源网络的自控制、自适应、自优化。同时，基于互联网技术的管控平台将具备多种能源系统供需互动、有序配置等职能，从而实现多能互联、协同调度，提升能源系统整体效率。机场能源系统的能源流和信息流框架如图 2 所示。

能源装置与信息采集设备的融合标准、能源网络与信息网络的协同设计是物理信息一体化的关键。此外，机场能源互联网接入不同层次和种类的网络，不同格式的信息海量涌入，需要有效运用云计算、大数据等技术对信息进行集中处理。

空港区能源系统是由电力、天然气、热力等不同能源子系统相互耦合而成的综合能源系统，其能

源系统的控制管理必须依赖于能源系统与信息系统的深度融合，从而在时间和空间不同维度实现不同形式能源的高度协同互补。空港区能源系统可以划分为供能层、传输层和用能层的 3 层结构，同时也可以根据系统结构和功能划分为“设备层—区域供/用能子系统层—系统层”的 3 层结构，因此，按照能源系统的结构，空港区信息物理系统的建立包括设备、区域子系统和系统 3 个层次的融合建模问题。各个层次的信息物理融合模型一般包括感知节点、执行节点和控制节点，其中设备层的信息物理融合模型可进一步具体为传感器节点、执行器节点与控制器节点^[10]。下面将以设备层的信息物理融合建模为例进行具体介绍，其他层次的信息物理融合建模类似。

设备层的信息物理融合模型通过传感器感知过程与执行器执行过程将连续时间系统与离散事件系统进行耦合关联，而设备的信息物理融合运行则依赖于控制器的指令，这一指令既可由设备控制器发出，也可由上级协调控制中心发出。信息物理融合时序如图 3 所示，展示了设备层的信息物理融合过程^[11-12]。

$$g = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \tag{1}$$

$$G = \{t, x, g\} \tag{2}$$

其中， x 表示传感器感知并发送的感知变量， g 为操作变量， f 表征操作变量 g 与感知变量 x 之间的关联函数， t 表征某一运行时刻， G 为 t 、 x 和 g 的总集合。

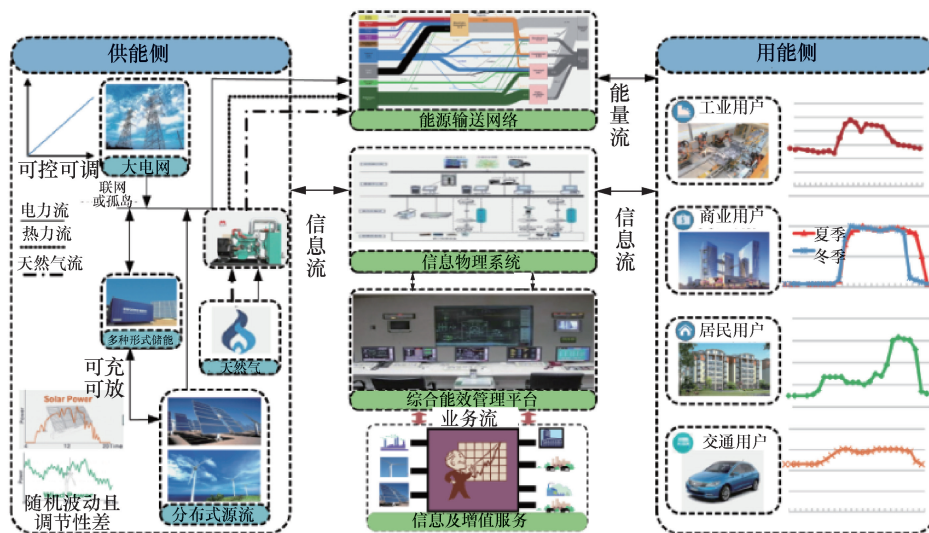


图 2 机场能源系统的能源流和信息流框架

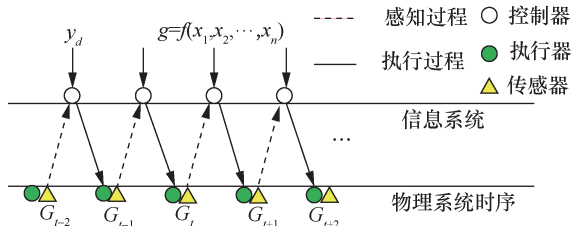


图 3 信息物理融合时序

以简化的电储能装置（不考虑储能装置的无功）为例，传感器的感知变量包括上一时刻的充放电状态 I_{t-1} 、充放电功率 P_{t-1} 、储能装置荷电状态 SOC_{t-1} 、运行温度 T_{t-1} 、累计充放电状态转换次数 N_{t-1} 以及后续时刻的可能净负荷波动量 (L_t, L_{t+1}, \dots) 、单位充放电收益 (R_t, R_{t+1}, \dots) 、成本 (C_t, C_{t+1}, \dots) 等。通过将上述采集的信息传输至信息系统，信息系统将其传递给控制器，控制器可根据相关优化目标函数和约束条件求解得出当前的操作变量，主要为储能装置的充放电状态 I_t 及功率 P_t 。代入式(1)~式(2)，可得到如下表示形式

$$g_s = f(I_{t-1}, P_{t-1}, SOC_{t-1}, T_{t-1}, N_{t-1}, L_t, \dots, C_t) \quad (3)$$

$$g_s = \{I_t, P_t\} \quad (4)$$

$$G_s = \{I_{t-1}, P_{t-1}, SOC_{t-1}, T_{t-1}, N_{t-1}, L_t, \dots, C_t, I_t, P_t\} \quad (5)$$

其中， g_s 为储能的操作变量集合，集合元素为充放电状态 I_t 与充放电功率 P_t ， f_s 表征操作变量集合 g_s 与感知变量之间的关联函数， t 表征某一运行时刻， G_s 为运行时间、感知变量和操作变量的总集合。

3.3 面向多层用户的智能分析决策

基于物联网技术的能源信息系统采集大量的设备及供/用能状态信息，这些信息数据规模巨大、数据异构特性明显、数据颗粒度大小不均，因此必须将这些数据集合起来，并传输至存储系统以进行计算或策略判决，目前已有基于云的存储平台等对数据进行处理^[13]。空港区能源管控平台采集的数据包括图 1 所示的能源数据，这些可以是相对独立的数据，按水、电、气类型分类处理。但是，空港区能源管控平台还要实现智能化的控制与决策，这就需要对数据进行精细化处理。按用户需求整合数据，对数据进行挖掘和共享，满足业务需求。基于数据的空港区能源管控智能决策的支撑关系如图 4 所示。

在日常能源监控中会观察到许多物理事件，如电气开关失灵、供水管道故障等。以空港区电力系统为例，电力事件可包括开关误跳、电压失稳、设

备停运等，电力事件的发生具有随机性，且事件会处于急速变换的状态，容易引起连锁反应。因此，为有效应对突发事件带来的影响，保证能源系统的安全稳定运行，首先需要对可能发生的事件进行分类^[14]，并建立事件库（或事件集合）与相应的响应预案。典型事件集合可由式(6)表示，其中 A、B、C、D 可代表不同能源子系统或不同区域的事件。

$$E = (A1, A2, B1, B2, C1, C2, D1, D2) \quad (6)$$

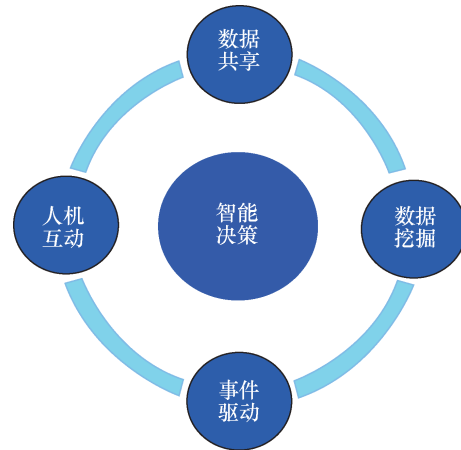


图 4 基于数据的空港区能源管控智能决策的支撑关系

在数字化世界中，这些事件通常会以某种数字的形式在软件系统中表示。在事件驱动架构体系中，代表某物理事件的消息通过消息总线可以从一个应用送到另一个应用，促使事件的产生、发现、使用、响应。通过构建的事件驱动架构处理发生在复杂系统中不同层次的事件，找出事件的时间/空间关联关系，分析其可能的影响，并根据规则触发后续行动，通知其他系统及人员对一些看似孤立的事件进行关联分析。在完成事件的分析、确定事件的类型及特征后，便可采用相应的响应预案，即应用服务^[15]。空港区能源管控平台事件驱动业务主要包括事件检测与记录、事件规则与执行、应用功能服务，基于事件驱动的能源管控应用业务执行过程如图 5 所示。

4 应用场景

本文对一个 4F 级民用枢纽机场的能源管控平台架构进行了设计，建立了机场集团公司、机场子公司与供/用能子系统 3 个层次，机场智慧能源管控平台架构如图 6 所示，通过 3 级架构可以很好地解决现有机场能源管理架构复杂、信息不对称严重、管理盲区大等问题。

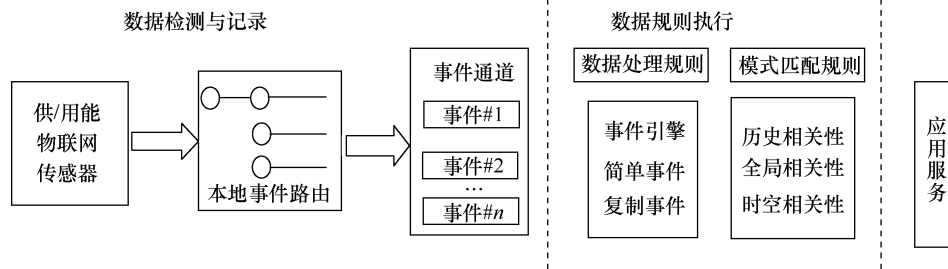


图 5 基于事件驱动的能源管控应用业务执行过程

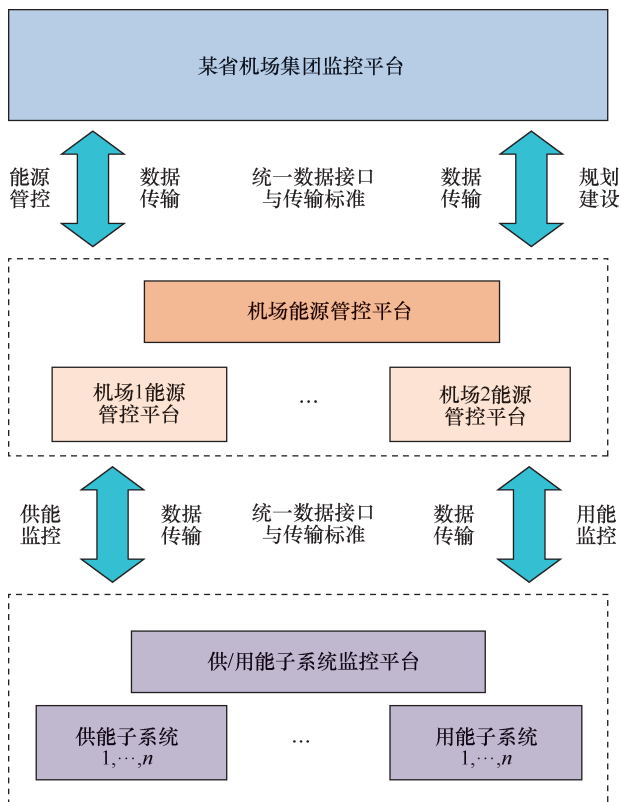


图 6 机场智慧能源管控平台架构

4.1 机场能源管控平台架构

机场智慧能源管控平台的功能设计如图 7 所示。集团公司包含能源监管与规划设计模块，主要为规划部门提供数据支撑。机场子公司包含能源调控、能源管理、能源系统评估和规划建设，以及若干个能源与信息传输子系统，其管控平台需要实现供能侧、用能侧各个能源子系统的监控、能源计量、能耗计算/分析、能源设备故障预警、不同能源间的协调优化、运维检修计划制定、能源系统评估等多个功能。能源调控主要包括实时运行监控、多能源优化调控和负荷功率预测；能源管理主要包括计量结算、故障管理、能耗管理和智能运维；能源系统

评估包括可靠性评估、经济性评估、能源利用效率评估、环保效益评估等。数据支撑平台包括计算资源、存储资源、网络资源、资源管理、数据管理、分布式存储等。供能子系统主要分为供电、供热、供冷、供气、供水等多个子系统，用能子系统包括航站楼、飞行区、货运区等多个用能子系统。

4.2 机场能源管控平台主要模块及功能

4.2.1 集团公司

1) 能源监管模块

能源监管模块包括管理职责、能耗分析、节能减排分析、经济性分析、安全性分析等部分。主要利用机场传输的各自能耗运行数据对机场整体的能耗、节能减排、经济性等进行分析，并可实现对机场整体能源运行状况的实时监控。

2) 规划建设模块

规划建设模块包括规划设计、分步实施、能源系统改造、能源系统新建、信息系统建设等部分，从整体角度对未来机场能源系统和信息系统的改造与新建提出指导意见。

4.2.2 机场子公司

1) 能源调控模块

能源调控模块包括能源系统实时运行监控、多能源优化调控与负荷功率预测 3 个部分。能源系统实时运行监控可实现电、气、热等各个系统关键设备、传输线路、节点的实时监控；多能源优化调控可以实现电、气、热等各个能源系统内运行计划以及相互间协同优化调度计划的制定，包括年、月、日前、日内等多时间尺度的调控计划制定；负荷功率预测可以实现机场冷、热、电负荷需求的预测，包括年、月、日前、日内等多时间尺度的负荷功率预测，负荷功率预测能实现根据机场航班调度计划、人流等动态变化的自适

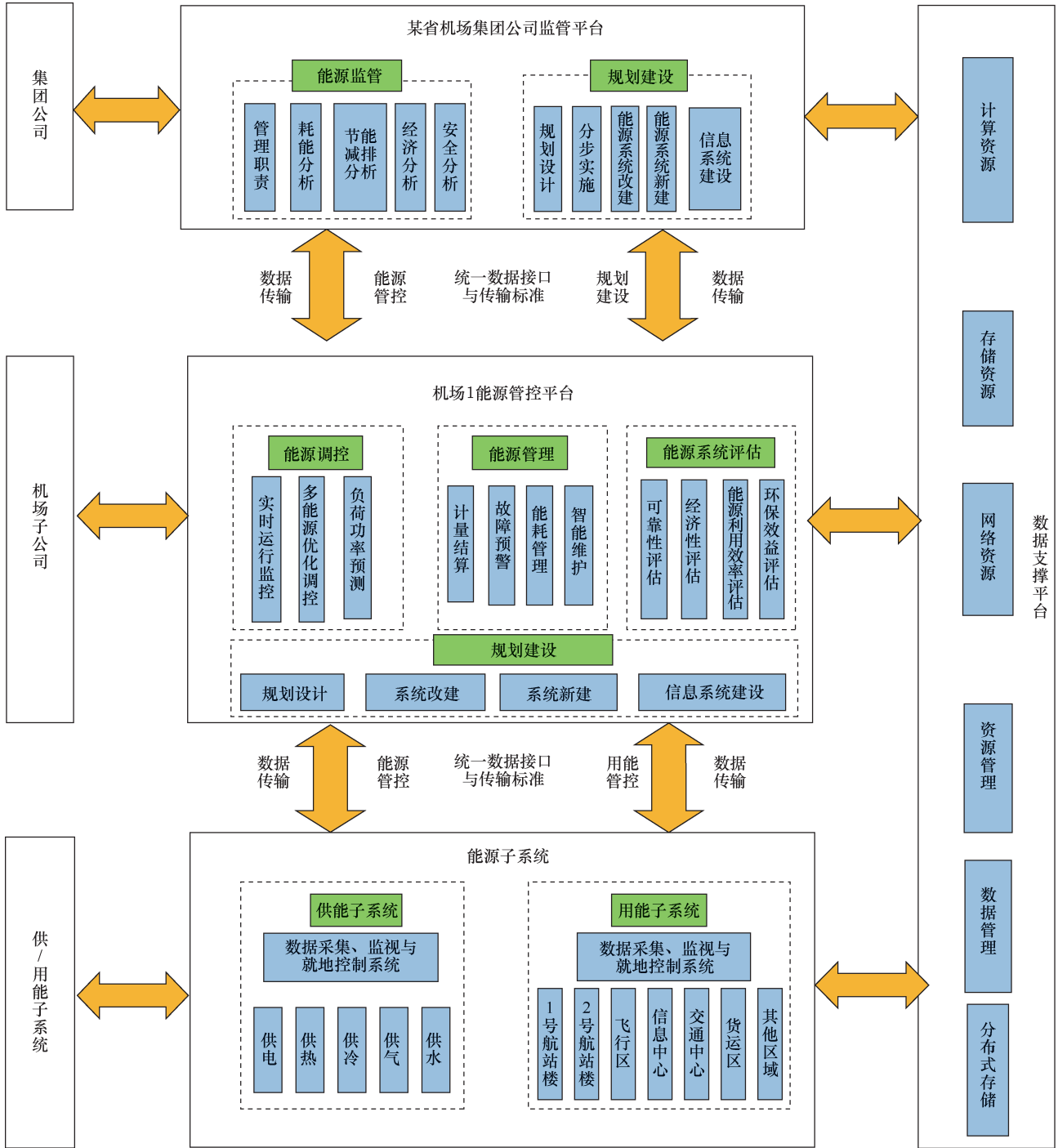


图 7 机场智慧能源管控平台的功能设计

应调整。

2) 能源管理模块

能源管理模块包括计量结算、故障预警、能耗管理与智能维护 4 个部分。计量结算可以根据远端表计测量的电、气、水等能源消耗量实现与供电、供水、供气公司的结算，并将相应记录存于数据库；故障预警可以实现机场不同区域、不同能源子系统

的故障精确定位，包括故障类型、故障位置等，方便运维人员及时处理故障；能耗管理可以实现机场不同区域的能耗分析，区域包括航站楼、飞行区、货运中心、办公区等，通过能耗分析可以为机场节能降耗提供一定的支撑；智能维护可以根据能源系统线路、设备投入年限、运行状态等实现智能检修维护，并在紧急状况（发生故障）下，发送指令给

现场运维人员及时处理故障, 保证能源系统的可靠运行。

3) 能源系统评估模块

能源系统评估模块包括可靠性评估、经济性评估、能源利用效率评估与环保效益评估 4 个部分。可靠性评估可以根据设备运行状态与负荷需求情况, 实现当前及未来不同运行状态下的能源系统运行可靠性评估, 可为优化调控计划的制定提供一定的支撑; 经济性评估用于计算机场能源系统不同运行方式下的经济性, 可以为年、月、日等多时间尺度的运行进行经济性评估, 用于指导机场能源系统运行计划制定, 同时经济性评估也可扩展为机场能源系统扩展规划评估, 用于指导制定机场扩展规划方案; 能源利用效率评估用于评估机场整体能源系统的运行效率; 环保效益评估用于评估机场能源系统运行产生的污染排放水平, 以及评估采用相关电能替代、清洁替代技术后的环保效益水平。

4) 规划建设模块

规划建设模块用于指导机场各个供/用能子系统及其相应的信息采集、传输系统的改造和新建。主要包括规划设计、系统新建与改建、信息系统建设等部分。

4.2.3 供/用能子系统

1) 供能子系统

供能子系统设置一套独立的监控系统, 并接入机场智慧能源管控平台进行统一集中管控。就地控制系统实现机场动力公司供冷、供电、供水、航站楼暖通等现场设备的就地实时控制, 并可实现相应设备的运行数据采集并传回能源管控平台。

2) 用能子系统

用能子系统设置一套独立的监控系统, 可以实现对各个用能设备(如照明系统、充电桩等)运行状态的监控, 并可将相应设备的用能数据传回能源管控平台。此外, 用能子系统还可实现对现场用能设备的就地实时控制。

5 结束语

随着空港区能源管控平台的建设, 在掌握能源使用实时数据的基础上, 整合各能源业务流程, 建立高效灵活的管理体系, 将数据转化为价值, 为绿色机场提供决策依据, 提高能源保障的水平。在通过多能协调控制与优化调度技术实现

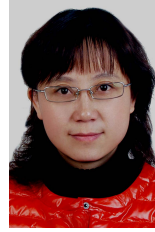
能源系统智慧运行的同时, 通过碳排放监测交易、节能诊断、能效分析等综合能源服务分析技术实现能源系统的智慧管理, 从而促进机场的节能减排。

参考文献:

- [1] 王子东, 刘一. 绿色机场定义、特征及标准初探[J]. 民航管理, 2019(11): 44-46.
WANG Z D, LIU Y. Preliminary study on the definition, characteristics and standards of green airport[J]. Civil Aviation Management, 2019(11): 44-46.
- [2] 张海涛. 降低航空污染实现民航低碳[J]. 上海节能, 2017(12): 736-738.
ZHANG H T. Reducing aviation pollution and realizing civil aviation low carbon[J]. Shanghai Energy Conservation, 2017(12): 736-738.
- [3] ROSSETTI M D, CHEN Y H. A cloud computing architecture for supply chain network simulation[C]//Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference. IEEE, 2012.
- [4] 中国电机工程学会电力信息化专业委员会. 中国电力大数据发展白皮书-2013[M]. 北京: 中国电力出版社, 2013.
Chinese Society for Electrical Engineering Information Committee. Chinese electric power big data development white paper-2013[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2013.
- [5] 薛禹胜, 赖业宁. 大能源思维与大数据思维的融合(一): 大数据与电力大数据[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(1): 1-8.
XUE Y S, LAI Y N. Integration of macro energy thinking and big data think: part one big data and power big data[J]. Automation of Electric Power Systems, 2016, 40(1): 1-8.
- [6] 牛文生. 基于天地一体化信息网络的智能航空客运系统[J]. 航空学报, 2019, 40(1): 231-244.
NIU W S. Intelligent air passenger transportation system utilizing integrated space-ground information network[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2019, 40(1): 231-244.
- [7] 杨挺, 翟峰, 赵英杰, 等. 泛在电力物联网释义与研究展望[J]. 电力系统自动化, 2019, 43(13): 9-20.
YANG T, ZHAI F, ZHAO Y J, et al. Explanation and prospect of ubiquitous electric power Internet of Things[J]. Automation of Electric Power Systems, 2019, 43(13): 9-20.
- [8] 郭贺铨. 物联网技术与应用的新进展[J]. 物联网学报, 2017, 1(1): 1-6.
WU H Q. New progress of Internet of things technology and application[J]. Chinese Journal on Internet of Things, 2017, 1(1): 1-6.
- [9] 王继业, 郭经红, 曹军威, 等. 能源互联网信息通信关键技术综述[J]. 智能电网, 2015, 3(6): 473-485.
WANG J Y, GUO J H, CAO J W, et al. Review on information and communication key technologies of energy Internet [J]. Smart Grid, 2015, 3(6): 473-485.
- [10] 陆晓刚. 民用航空空地通信应用和发展[J]. 中国新通信. 2016(5): 22-23.
LU X G. Application and development of civil aviation airground communication[J]. China New Telecommunications, 2016(5): 22-23.
- [11] 李晔, 王映辉, 于振华. 信息物理融合系统的面向对象 Petri 网建模[J]. 西安电子科技大学学报(自然科学版), 2014, 41(2): 165-171.

- LI Y, WANG Y H, YU Z H. Formal modeling of cyber-physical systems using object-oriented Petri nets[J]. Journal of Xidian University, 2014, 41(2): 165-171.
- [12] 温景容, 武穆清, 宿景芳. 信息物理融合系统[J]. 自动化学报, 2012, 38(4): 507-517.
- WEN J R, WU M Q, SU J F. Cyber-physical system[J]. Acta Automatica Sinica, 2012, 38(4): 507-517.
- [13] 王雅倩, 任娜, 徐宗磊, 等. 电/热/气多能转换的可逆固体氧化物燃料电池信息物理融合建模与仿真[J]. 电网技术, 2018, 42(11): 3535-3542.
- WANG Y Q, REN N, XU Z L, et al. Cyber-physical system modeling and simulation of power-heat-gas multi-energy conversion for reversible solid oxide fuel cell[J]. Power System Technology, 2018, 42(11): 3535-3542.
- [14] 陈海明, 石海龙, 李勤. 物联网服务中间件: 挑战与研究进展[J]. 计算机学报, 2017(8): 1725-1749.
- CHEN H M, SHI H L, LI M. Service middleware for Internet of things: challenges and approaches[J]. Chinese Journal of Computers, 2017(8): 1725-1749.
- [15] 何浪, 史维峰, 董建刚. 基于事件驱动的面向服务计算模型[J]. 计算机工程, 2010, 36(18): 57-66.
- HE L, SHI W F, DONG J G. Service-oriented computing model based on event driven[J]. Computer Engineering, 2010, 36(18): 57-66.

[作者简介]



黄媛(1974-), 女, 博士, 四川大学副教授, 主要研究方向为智能电网、新能源接入对电网的影响分析和电力系统稳定与控制等。

吴刚(1995-), 男, 四川大学电气工程学院硕士生, 主要研究方向为综合能源系统优化。

刘俊勇(1963-), 男, 四川大学教授、博士生导师, 主要研究方向为电力系统分析及电力市场等。

杨晨曦(1980-), 男, 四川省机场集团有限公司工商管理经济师, 主要研究方向为机场规划建设及项目投资等。

高梦嫔(1989-), 女, 四川省机场集团有限公司建筑工程师, 主要研究方向为绿色机场规划建设。

高级顾问

国际电信联盟秘书长

赵厚麟

中国科学院院士

李 未 姚建铨 朱中梁 陈国良 吴培亨 何积丰 吴一戎
徐宗本 梅 宏 王 巍 吕 建 郝 跃 陆建华 房建成
黄 如 毛军发 王金龙

中国工程院院士

倪光南 孙 玉 薛禹胜 邬贺铨 贲 德 邬江兴 柴天佑
刘韵洁 戴 浩 于 全 吴曼青 段宝岩 王广基 何 友
费爱国 桂卫华 余少华 姜会林 钱 锋 樊邦奎 张 平

第二届编辑委员会

主任委员：尹 浩

常务副主任委员：朱洪波

副主任委员：

刘海涛 马华东 杨 旻 刘明亮 宋 彤 刘华鲁

委 员：（按姓氏笔画排序）

丁大志 丁进良 丁恩杰 于季弘 马建国 王文博 王永建
王汝言 王红刚 王承祥 王新兵 仇洪冰 卢光跃 田 野
冯 伟 兰巨龙 吕卫锋 朱 艳 朱 琦 乔 辉 任保全
全 智 刘 飞 刘 云 刘元安 孙 怡 孙玲玲 阳春华
李 剑 李建东 李宣东 李德识 杨 健 杨龙祥 吴 怡
吴启晖 冷甦鹏 汪一鸣 沙学军 沈连丰 宋令阳 迟 楠
张 杰 张 彦 张云勇 张文生 张在琛 张治中 张钦宇
张海君 张海霞 张朝阳 张登银 陈 岚 陈 钟 陈山枝
陈仪香 陈后金 陈前斌 范九伦 范平志 林金朝 易东山
金 石 金 海 於志文 赵小强 赵军辉 胡清阳 胡瑞敏
钟章队 施 毅 姜 斌 钱 毅 徐煜华 郭 庆 郭贵生
高 跃 高飞飞 陶小峰 陶梅霞 曹 汛 盛 敏 崔曙光
隆克平 葛俊祥 葛晓虎 程崇虎 詹 杰 潘 炜

致谢

学术指导:

中国电子学会
中国通信学会

Thanks to Chinese Institute of Electronics and China Institute of Communications for the academic guidance to *Chinese Journal on Internet of Things*.

收录声明

本刊对发表的文稿拥有出版电子版、网络版版权，并拥有和其他网站交换信息的权利。本刊支付的稿酬中已经包含上述费用。

Chinese Journal on Internet of Things has the copyright to publish electronic edition, online edition of the published articles, and has the right to exchange information with other sites. The expenses have been included in the fee paid by editorial department.

道德声明

本刊发表的论文是作者独立取得的原创性研究成果，无一稿多投；文稿内容不涉及国家机密；未曾以任何形式用任何文种在国内外公开发表过；文稿内容不侵犯他人著作权和其他权利。若发生一稿多投、侵权、泄密等问题，文稿作者将承担全部责任。

The authors of *Chinese Journal on Internet of Things* guarantee that their submitted articles are original and contain nothing confidential. The said article is only submitted to *Chinese Journal on Internet of Things*. The said article has not been published before and has not been submitted elsewhere for print or electronic publication consideration. The said article is no way whatever a violation or an infringement of any existing copyright or license from the third party. Otherwise, the authors of the said article shall take the blame for the violation or infringement of the related copyright and the leakage of secrets.

物联网学报

Chinese Journal on Internet of Things



2021年6月30日出版 定价：60.00元

ISSN 2096-3750



9 772096 375218