

中国民用机场 碳排放管理能力提升案例

(2024)



中国民用机场协会
二〇二四年

序言



为贯彻落实《中共中央 国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》相关要求，引导机场行业绿色转型升级发展，中国民用机场协会（以下简称“机场协会”）自2022年起开展“双碳机场”评价工作。截至目前，已有32家民用运输机场获得星级评价结果。为推广机场行业碳排放管理能力提升的先进理念和经验，促进国内外同行间交流，机场协会于2024年3月启动《中国民用机场碳排放管理能力提升案例》征集工作。经过两轮专家评审，共评选出11个优秀案例和19个入选案例。本案例集涵盖航站楼暖通空调系统节能降碳改造、可再生能源利用、航空器运行效率提升、“近零碳航站楼”实践探索等多方面内容，展示了不同类型机场在碳排放管理方面的具体实践与成效，具有广泛的代表性和参考价值。

本案例集中的案例分为综合管理类和技术实践类。综合管理类案例旨在体现通过管理和技术两个维度同时提升碳排放能力，包括管理机制创新、能源系统运行方案优化等，展示了机场碳排放管理发展的新思维、新理念、新技术和新成果的综合优秀案例。技术实践类案例旨在体现通过新产品、新技术应用提升碳排放管理能力的案例，包括能源管理数智化、可再生能源利用等，切实提升机场碳排放管理能力，降低碳排放总量或强度，具有前瞻性和创新性的优秀案例。

本案例集中的所有案例均来自“双碳机场”评价获星机场，引用资料均经过严格审查和核实。

中国民用机场协会

2024年6月

目录

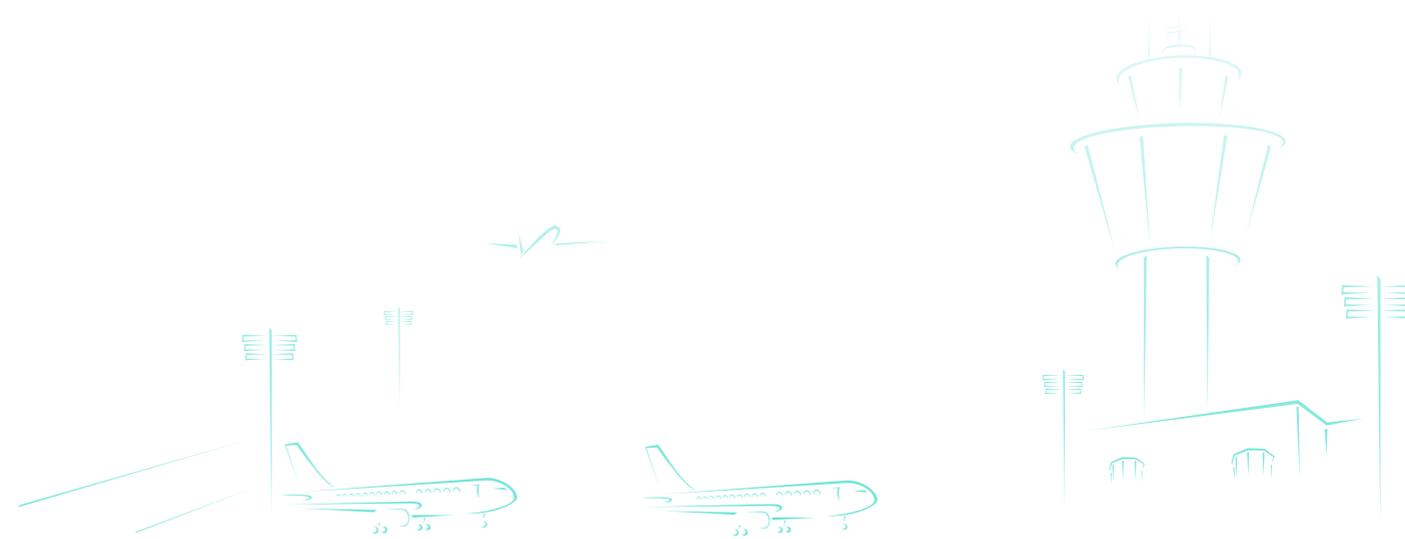


优秀案例	1
一、技术实践类	2
1. 两独立制冷站冷冻水互通改造案例 - 福州长乐国际机场	2
2. 机场双热源互为备用系统碳减排案例 - 哈尔滨太平国际机场	6
3. 航空器空调废气回收利用创新案例 - 西宁曹家堡机场	12
4. 行李分拣系统路径智能优化创效节能案例 - 西安咸阳国际机场	16
5. 基于太阳能光热保养及低氮燃烧改造的锅炉供热系统综合减排案例 - 上海虹桥国际机场	21
6. 大型机场多场景光伏发电设施建设案例 - 北京首都国际机场	26
二、综合管理类	32
1. 提高航空器地面运行效率案例 - 成都双流国际机场	32
2. 尖峰平谷空调节能运行方案案例 - 上海浦东国际机场	39
3. 基于夏热冬冷气候特征的多能互补绿色低碳机场建设案例 - 无锡硕放机场	45
4. 大型枢纽机场绿色低碳转型实践案例 - 深圳宝安国际机场	49
5. “近零碳航站楼”实践探索案例 - 井冈山机场	54
入选案例	61
一、技术实践类	62
1. 航站楼空调并入物联网实时调控节能系统案例 - 哈尔滨太平国际机场	62
2. 采暖空调管网系统整合案例 - 榆林榆阳机场	69
3. 供热制冷站溴化锂直燃机设备烟气余热回收案例 - 延安南泥湾机场	72
4. 污水处理厂中水回收利用设施案例 - 延安南泥湾机场	75

5. 旅客登机桥通道内空调智能联动与节能环保改造案例 - 西安咸阳国际机场	77
6. 水蓄冷系统节能优化与能效提升改造项目案例 - 西安咸阳国际机场	79
7. 航站楼中央空调系统分层分区及多模式节能调控实践案例 - 上海虹桥国际机场	84
8. 机场智慧能源管控平台建设应用案例 - 上海虹桥国际机场	93
9. 机场货站屋面安全高效光伏电站规划、建设与管理案例 - 郑州新郑国际机场	99
10. 场区供能管网可视化管理案例 - 银川河东国际机场	102
11. 航站区环境监测系统案例 - 银川河东国际机场	104
12. 地源热泵系统运行管理案例 - 石家庄正定国际机场	107
二、综合管理类	111
1. 搭建“三位一体”运行模式，促进绿色低碳机场管理案例 - 海口美兰国际机场	111
2. 中小机场推进绿色机场建设案例 - 丽江三义国际机场	115
3. 机场电价经济性模型建构案例 - 哈尔滨太平国际机场	119
4. 融入绿色理念，打造低碳空港案例 - 盐城南洋国际机场	126
5. 综合性能源管理系统助力绿色低碳发展案例 - 西安咸阳国际机场	131
6. 机场双碳综合管理融合提升案例 - 上海虹桥国际机场	136
7. 顶层设计助推机场碳排放精益管理案例 - 北京首都国际机场	142

PART 01

优秀案例



1. 两独立制冷站冷冻水互通改造案例 - 福州长乐国际机场

案例关键词：制冷站、冷冻水、阀门、集分水器

案例摘要：两独立制冷站冷冻水改造，工作原理是将两座制冷站冷冻水充分混合后再分配到末端制冷设备。案例的搭建，有效提升中央空调系统的安全性、经济性，同时再分配冷源可降低不同制冷站供冷的相邻区域间温差、降低冷量损耗，提升现场舒适度体验。

一、案例背景

福州机场 T1 航站楼 1、2 号制冷站自建成以来采用独立制冷 - 供冷模式。为实现航站楼中央空调系统节能降耗并提高系统安全裕度，福州机场对 1、2 号两个制冷站冷冻水系统增加连通管路进行连通，从而达到两个制冷站互为备份目的。实现过渡季节运行冷量需求降低或其中一个制冷站突发故障无法运行时，可进行阀门切换，通过一个制冷站提供冷源供应整个航站楼冷量的效果。

二、案例详情

元翔（福州）国际航空港有限公司协同设备代管方厦门兆翔物业服务有限公司对 1、2 号制冷站冷冻水系统管路进行分析比对，自主设计、计算、出图并完成两制冷站互为连通运

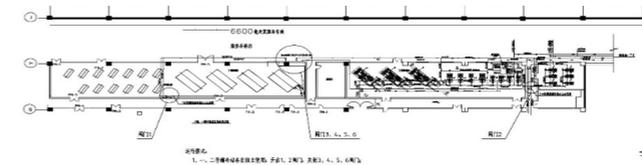
行改造。

（一）项目原理

1、2 号制冷站冷冻水互通改造项目原理是由集分水器，将 1、2 号制冷站一次泵冷冻水供水主管接入，按需求调节、分配，分别向 1、2 号制冷站二次泵冷冻水系统供水；通过系统二次泵加压后，向各自系统空调末端设备提供冷冻水。

（二）运行模式

1、2 号制冷站冷冻水互通系统配置 6 个阀门，集分水器上配置 4 个阀门，1、2 号阀门为 1、2 号制冷站冷冻水出水总管前端阀门，4、5 号阀门为集分水器进水阀门，3、6 号阀门为集分水器供水阀门。



一号、二号制冷站互为备用
或独立运行方案

在切换至连通运行模式下，值班运行人员需关闭现有冷水机组、冷冻水泵等运行设备。关闭 1、2 号制冷站供水主管阀门，阀门 1、阀门 2，开启集分水器 3、4、5、6 号阀门。随后开启 1、2 号制冷站各三台冷冻一次泵，再开启 1 号、2 号制冷站各一台冷冻二次泵，关注制冷站二次泵及 4 号、6 号阀门压力是否偏离标准值。如若压力偏差过大，则及时检查设备管路是否存在堵塞，待压力恢复正常，再加开设备。

设备名称	标准值参考
1 号站冷冻二次泵	进出水压力：0.18/0.54Mpa
2 号站冷冻二次泵	进出水压力：0.3/0.6Mpa
集分水器阀门 4	进水压力：≥ 0.18Mpa
集分水器阀门 6	出水压力：≥ 0.3Mpa

在切换至独立运行模式下，值班运行人员同样需关闭现有冷水机组、冷冻水泵等运行设

备。关闭集分水器上的 3、4、5、6 号阀门，开启 1 号制冷站供水主管阀门 1、开启 2 号制冷站供水主管阀门 2。关注 1 号制冷站膨胀水箱水位及 2 号制冷站定压补水罐压力，确保制冷站水位和压力正常后，开启 1、2 号制冷站冷冻水泵。（开启冷冻水泵过程中，需关注一二次泵进出水压力是否偏离标准值，确保冷冻水系统管路无堵塞）

设备名称	标准值参考
1 号制冷站膨胀水箱	水位：1.0~1.2
2 号制冷站定压补水罐	压力：260~300kpa
1 号制冷站一次泵	进出水压力：0.27/0.46Mpa
1 号制冷站二次泵	进出水压力：0.18/0.54Mpa
2 号制冷站一次泵	进出水压力：0.36/0.45Mpa
2 号制冷站二次泵	进出水压力：0.3/0.6Mpa

三、建设成果

在过渡季节运行过程中，航站楼冷量需求降低，1 号、2 号制冷站独立运行，产生冷量浪费问题。1、2 号制冷站互通改造能够通过阀门切换，使用单一制冷站独自提供冷源为航站楼供冷，避免因两个制冷站独立运行产生的水泵运行电量损耗。

同时，在其中一个制冷站因系统突发故障无法运行时，可切换由另一个制冷站提供临时冷源供应整个航站楼冷量，以缓解无冷源供应的楼内区域温度高的极端情况，提高中央空调系统的可靠性。

此外，通过 1 号、2 号制冷站冷冻水充分混合再分配可降低不同制冷站供冷的相邻区域间温差、降低冷量损耗，提升航站楼内现场的舒适性体验。



四、取得成效

经统计比对分析 2019、2021、2022、2023 年数据，在过渡季节启用单个制冷站供冷全楼情况下，因启用设备数量减少，可节约用电 200 ~ 500 度 / 小时，全年过渡季节节约用电约 21.3 万度电；在夏季高温天气情况下，因两制冷站冷冻水互通后对两制冷站冷量进行整合，往年 1 号制冷站需运行 3 ~ 4 台冷水机组、2 号制冷站需运行 2 ~ 3 台冷水机组，改造后 1 号制冷站运行 3 台冷水机组、2 号制冷站运行 3 台冷水机组即可满足现场保障需求，每日可节约一台冷水机组、一台冷冻一次泵（55kW）、一套冷却塔（33kW）。自 1、2 号制冷站冷冻水互通改造完成后，夏季供冷季节两制冷站（冷水机组、冷却塔、水泵）总用电量相比往年节约 226 万 kWh，节约电费约 146.9 万元。

报送单位：元翔（福州）国际航空港有限公司

联系人：张卓泉

邮箱：1037863837@qq.com

2. 机场双热源互为备用系统碳减排案例 - 哈尔滨太平国际机场

案例关键词：锅炉，碳减排，绿色机场

案例摘要：哈尔滨机场双热源互为备用系统碳减排案例展示了在严苛环保要求下，通过优化热源运行方式推进节能减排，投资少，效果显著，实现经济效益和社会效益的统一，对高纬度机场在节能减排、绿色发展等方面具有一定的学习价值和推广意义。

一、案例背景

哈尔滨机场现有两个大型燃气热源系统，即中心锅炉房和能源站。中心锅炉房一次网有两台 14MW 燃气热水锅炉。主要负责哈尔滨机场 93 栋单体建筑的供热保障工作，总建筑面积约 24.8 万平方米，总供热面积约 39.8 万平方米。能源站现有三台燃气热水锅炉，其中，两台 7MW 燃气热水锅炉，一台 14MW 燃气热水锅炉。主要负责哈尔滨机场 T1、T2 航站楼的一次热源保障工作，总建筑面积约 22.8 万平方米，总供热面积约 64.7 万平方米。哈尔滨供热季约 180 天，两个燃气热源系统每个供热季耗气量约 690 万立方米，碳排放约 2070 吨；两座热源站独立运行，无应急备用热源系统。当某一热源站发生较大故障时，所供区域处于停暖状态；供暖初期和末期，因室外温度相对较高，锅炉处于低负荷运行状态，同时运行两个热源系统浪费能源，碳排放增加；锅炉低负荷运行时，尾部烟道受热面低温腐蚀严重，影响锅炉使用寿命。综上所述，如何节省能源，降低排放是迫切需要解决的问题。

二、案例详情

(一) 基本信息

1. 双热源互为备用系统的设想

能源站负责为 T1、T2 航站楼直供一次热源，该热源为高温水热源，经 T1、T2 航站楼内板式换热机组换热后，输出至航站楼各区域使用。中心锅炉房二次网系统中包含了两台板式换热机组，一台负责为场区环路供热，另一台负责为三区环路供热，而两台换热机组均需要锅炉提供一次热源，经换热后，输送至场区和三区环路使用。鉴此，能否由能源站提供一次网热源，输送至中心锅炉房两台板式换热机组，经换热后，输出至场区环路和三区环路使用。与此同时，能源站现有三台燃气热水锅炉，总容量为 40 吨，T1、T2 航站楼、场区环路和三区环路的供热面积约 104.1 万平方米，以现有锅炉容量能否满足哈尔滨机场基本供热需求，也是一个亟待验证的问题。

2. 双热源互为备用系统的可行性评估

首先，中心锅炉房和能源站均输出 70℃ 以上的高温水热源，具备良好的参数统一性。图 1 为中心锅炉房热水锅炉铭牌，图 2 为能源站热水锅炉铭牌，表 1 为 20 吨热水锅炉参数对比表。



图 1 中心锅炉房热水锅炉铭牌



图 2 能源站热水锅炉铭牌

表 1 20 吨热水锅炉参数对比表

锅炉参数	中心锅炉房	能源站
规格型号	WNS14-1.25/115 (95) /70-Y.Q(LN)	WNS14-1.25-130/70-Y.Q
额定热功率	14MW	14MW

锅炉参数	中心锅炉房	能源站
额定压力	1.25MPa	1.25MPa
额定出水温度	115℃	130℃
额定回水温度	70℃	70℃
热效率	>96%	>98%
燃气消耗量	1500Nm ³ /h	1488Nm ³ /h
排烟温度	≤ 85℃	≤ 80℃
额定热功率	14MW	14MW

其次，对公寓和楼内进行测温，当供热初寒期、末寒期时，室外环境温度较高，可以满足供热需求，可有效降低燃气的使用量，减少碳排放。当供热严寒期时，室外环境温度较低，两个热源系统需要独立运行以满足供热需求。

再次，中心锅炉房和能源站地理位置较近，且能源站--航站楼的供热管线从中心锅炉房附近经过。图3为哈尔滨机场双热源互为备用系统示意图。

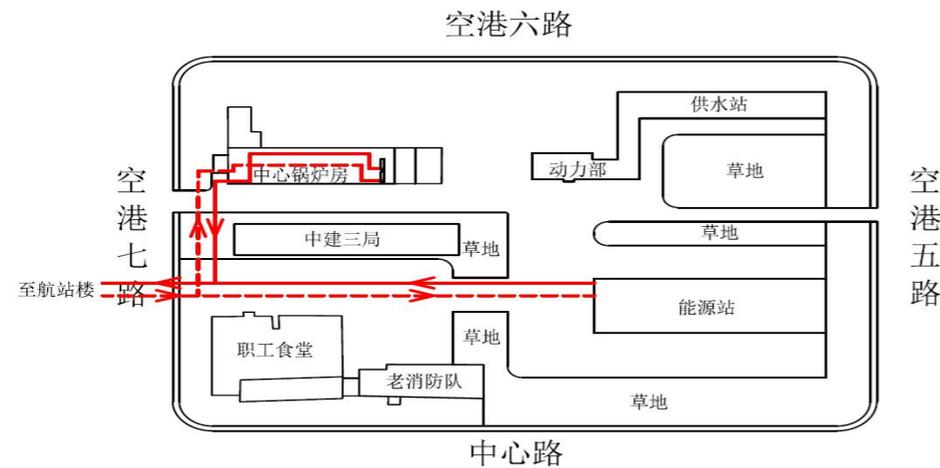


图3 哈尔滨机场双热源互为备用系统示意图

最后，建设成本低。双热源互为备用系统的投资预算仅为28.44万元。表2为双热源互为备用系统预算明细表。

表2 双热源互为备用系统预算明细表

序号	明细	单价(万元)	数量	预算费(万元)
1	DN300 直埋式预制保温管	0.03	215 米	6.4
2	室外路面土方开挖与恢复	0.01	600 立方米	8.01
3	砌筑井	0.4	1 座	0.39
4	金属支架制作、安装	2.64	0.208 吨	0.55
5	各类阀门、除污器的安装	-	-	5.79
6	措施费	-	-	0.24
7	规费	-	-	2.35
8	税金	-	-	2.59
9	其他(暂列金)	-	-	2.12
合计				28.44

(二) 相关奖项情况

1. 黑龙江省机场集团 2018 年五小创新小革新第一名
2. 首都机场 2019 年管理案例评审绿色机场类三等奖、最具人气奖

三、建设成果

一是该系统可以实现日常双向供热。能源站锅炉输出高温水热源，中心锅炉房锅炉设计输出的也是高温水热源，两座热源站输出参数基本一致，完全可以实现双向供热，保障机场基本供热需求；二是该系统运行期间，通过高效的热交换技术和智能控制系统，能够进一步提高能源利用效率，减少能源浪费。换热机组采用先进的板式热交换器，具有高效、紧凑、易维护等特点，能够快速、稳定地完成热能传递过程。同时，智能控制系统可以实时监测和调节系统的运行状态，确保系统始终运行在最优状态，从而最大程度地提高能源利用效率；三是该系统在应急抢修和设备更新改造的情况下，能够保障机场互为应急备用供热。能源站的设计理念是专供 T1、T2 航站楼，中心锅炉房的设计理念是专供场区环路和三区环路，两个供热系统独立运行的，均无应急备用热源，一旦两个系统之一出现重大故障，导致设备不

能正常运行，其所负责的供热区域将会处于停热状态，其造成影响及其严重。因此，通过将两个系统一次供热管网的接驳，可以实现互为应急备用的同时降低能耗，减少碳排放。

四、取得成效

该系统已于 2018-2019 供热季投入运行，由能源站负责提供哈尔滨机场全部热负荷。近五个供热季，该系统在节能降碳、应急备用、运行成本、室内温度、减缓低温腐蚀速率和投资回报率等方面均取得了显著的效果，可以大幅提升能源系统的综合能效，具有一定的推广价值。

1. 实现节能降碳

经统计近五个供热季，该系统供热初寒期、寒末期累计投用 368 天，累计节省燃气约 219 万立方米，减少碳排放约 4745 吨，节约运行成本约 656 万元。随着碳排放量的大幅度降低，为推进绿色机场建设，推动哈尔滨机场区域生态环境保护，助力省机场集团绿色机场建设贡献微薄之力。

2. 提高应急能力

互为备用系统的投用，改变了两个供热系统独立运行的模式，通过对其进行连接，实现了互为应急备用，提高了机场供热保障能力。

3. 提高室内温度

由图 8 可以看出，2018 年以前，机场 4 个公寓的室内平均温度约为 19℃，从 2019 年起，提高到 21℃，室温改善效果明显。

4. 减缓低温腐蚀速率

根据室外环境温度情况，启用单台 10 吨或 20 吨燃气热水锅炉，以确保热水锅炉处于全负荷运行状态，减少锅炉尾部烟道凝结水堆积情况，降低尾部烟道受热面低温腐蚀速率，延长锅炉使用寿命。

5. 投资回报率高

双热源互为备用系统投资金额为 28.44 万元，仅当年供热季，就节省运行成本约 210 万元，投资回报率超过 750%。

推动绿色发展，是践行习近平总书记生态文明思想的重要举措，是立足新发展阶段、贯

彻新发展理念、构建新发展格局的重要载体，是民航高质量发展躲不开、绕不过的重要关口与必然要求。哈尔滨机场在能源体系上的革新表明，虽然节能降碳改造需要一笔初始投资，但从更长的周期来看，节能降碳与经济效益可以双赢。

报送单位：黑龙江省机场管理集团有限公司哈尔滨太平国际机场

联系人：吴超、贾悦、陈俊宏

邮箱：wuchao7937@163.com

3. 航空器空调废气回收利用创新案例 - 西宁曹家堡机场

案例关键词：废气再利用、节能降耗

案例摘要：青海地处高海拔地区，冬季气温低容易造成航空器关键部位结冰，此设备利用航空器空调排放废气余热解决勤务清、污水口等关键部位的结冰问题，除冰效率高、安全性高，不需外接电源，节能减碳、降本增效，适用于无APU替代设施的高寒机场。

一、案例背景

西宁机场及各支线机场地处高寒地区，平均海拔在3000m以上。飞机在寒冷环境中可能会发生结冰，使得流线外形被彻底破坏，诱发流动分离，进而导致升力下降，阻力增加，严重的则造成机毁人亡。结冰造成的事故约占总事故的12%。

设法减少能源的消耗已经成为构建绿色低碳机场最基本的要求，是适应“双碳”战略的有效措施。青海多个机场全年有200多天最低气温低于0摄氏度，需进行除冰作业，冬季航空器的地面水勤务面板加注口、地面污水勤务面板排放口容易结冰；在维修工作中增加了机务人员的工作量，严重影响工作人员正常保障航空器，导致航班延误，造成工作被动。

二、案例详情

1. 基本信息

为解决飞机关键部位结冰问题，利用飞机空调组件排风口的暖风研制一种飞机废气传送

装置，包括支撑底座，所述支撑底座上设置有伸缩支架，在其侧面设置有扶手架，所述伸缩支架的顶端设置有废气收集箱体，在所述废气收集箱体的侧面联通有输送管道，所述伸缩支架的底端侧面通过液压缸控制其实现升降过程，从而带动废气收集箱体实现升降。

进一步地，所述支撑底座的侧面设置有踏板，所述踏板的内侧与液压缸连接，用于控制液压缸伸长，控制伸缩支架升高。

进一步地，所述扶手架的侧面顶端设置有控制手柄，所述控制手柄用于与液压缸连接，控制液压缸收起，从而实现伸缩支架降低。

实用新型与现有技术相比的优点在于：

采用废气收集箱体对飞机上空调等废气进行收集，然后利用输送管道将废气传输到对应的结冰位置，完成除冰过程。此项目通过上述结构能够解决现有技术中除冰需要外接电源存在的不便问题，整个装置的除冰效率以及安全性较高，上述结构除冰能够根据需要调节废气收集箱体的高度，灵活度较高，适应多机型航空器。

如在不启动航空器或替代设施应用时情况下航空器空调组建排风口风量较小且暖风温度达不到效果，此设备限用于无外部电源、无外部空调或无替代APU设施应用。

2. 相关荣誉、奖励、奖项等情况

此项目先后在集团创新方法大赛中获得三等奖，青海省创新方法区域赛中获得一等奖，全国创新方法大赛中获得优胜奖，集团绿色低碳创新大赛中获得一等奖，荣获集团绿色低碳创新大赛最具创新价值奖。





三、建设成果

1. 低风险：设计一个收集箱与航空器接触，安装防撞条避免对飞机表面造成损伤。
2. 易操作：设计法兰盘控制丝杠收缩，操作简单，省时省力。
3. 高效率：航空器空调出风口的高温废气通过管道直接到结冰部位，进行持续性除冰作业，提高工作效率。
4. 更便捷：设备底部安装滑轮，可以满足随时随地进行除冰。

将该设备放在空调组件排气口的正下方，锁定滑轮。脚踩液压升降机构升起废气收集箱，与排气口充分对接。最后将管道出口对准除冰部位，充分利用高温融化结冰。

四、取得成效

通过实际应用我们进行对比，用热风枪除冰，从开始准备除冰到除冰结束共耗时 40 分钟，应用发明的传送装置从开始准备除冰到结束仅用时 10 分钟，效率高达 4 倍，且安全性高。此设备的使用大大提高了航班正点率，可在高寒高海拔的支线机场广泛应用。

报送单位：西部机场集团青海机场公司西宁曹家堡机场

联系人：罗勇

邮 箱：zhangqx@westaport.com

4. 行李分拣系统路径智能优化创效节能案例 - 西安咸阳国际机场

案例关键词：行李系统、汇流模式、智能电表、行李输送路径、系统节能单一

案例摘要：本案例主要通过将西安机场行李系统中应急备份与节能管控相结合，优化行李输送管理机制、形成运行规范，实现降低设备使用数量、降低系统能耗及运维成本。

一、案例背景

随着民航“四型”机场建设纲要的提出，推进绿色机场建设已成为新时代民航强国建设、战略部署的重要任务。而行李系统作为各大机场不间断运行的重要核心系统，其涉及的子系统较多且各系统间环环相扣，从系统设计、安全运行、服务质量等方面综合考虑，行李系统实现能耗节约、低碳运行的方式较为传统单一，并且能耗管理难度较大。

西安机场 T3 航站楼于 2012 年 5 月投运，其行李系统作为航站楼内最重要、最复杂的系统之一，全长 8.9 公里，包含输送类设备 1800 余台套，日运行约 18 小时，高峰时期月度耗电量最高达 14.38 万度，用电量占航站楼总电量的 18%。

二、案例详情

(一) 基本信息

该案例主要讲述西安机场机电保障部在 T3 行李系统主要用能消耗方面，从资源节约、

低碳运行方面进行深度分析，开展设备运行能耗高、系统节能方式单一、能耗数据统计等相关分析和探索工作。最终通过对系统功能原理、行李输送路径进行一系列的验证和能耗使用测试，围绕运行管理、技术改造两个维度，实施多项措施，形成行李系统节能管理的创新实施方案。

(二) 相关荣誉、奖励、奖项等情况

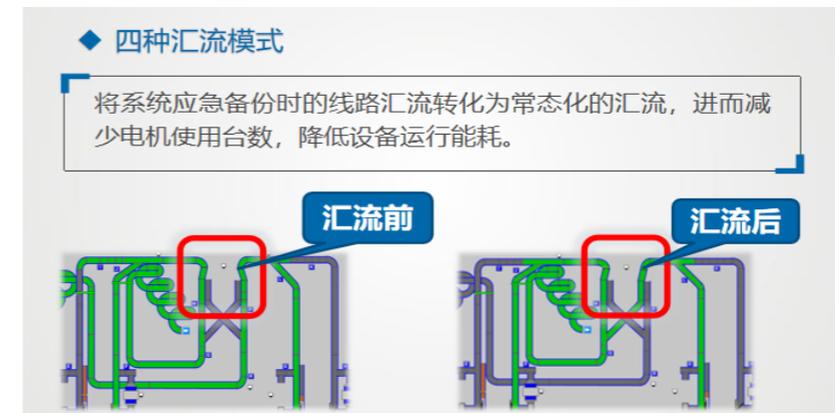
荣获 2023 年西部机场集团首届绿色低碳创新大赛三等奖。

三、建设成果

(一) 管理模式创新举措

围绕以减少设备使用数量和减少设备运行时长为主线的节能工作思路，开展实施三种运行管理机制。

制定四种运行模式。将系统应急备份时的线路汇流转化为常态化汇流，进而减少电机使用台数，降低设备运行能耗。（汇流前后图片）



离港行李输送主线有 4 条，两两互为备份，输送主线的自由组合，可形成四种运行模式。

- A 模式 4 条输送线均不汇流
- B 模式 1、4 号输送线汇流，5、8 号输送线汇流
- C 模式 1、4 号输送线汇流，5、8 号输送线不汇流
- D 模式 1、4 号输送线不汇流，5、8 号输送线汇流

制定节能模式的使用规范。根据航班高峰时段、值机柜台开放数量以及行李流量，我们制定详细的使用规则。

◆ 四种节能模式的使用规范

根据航班高峰时段、值机柜台开放数量以及行李流量，进行节能模式的切换及应用

节能模式使用规范

	A模式	B模式	C模式	D模式
04:00-08:00	√			
08:00-18:00			√	√
18:00-23:00		√		

制定了节能模式的统计台账。结合节能模式切换，及时进行记录，通过实施能耗监测和功率换算，进行能耗数据统计。

◆ 节能模式统计台账

结合节能模式的切换，及时进行记录，通过实施能耗监测和功率换算，进行能耗数据统计。

节能模式统计

能耗监测换算

(二) 技术改造举措

根据系统运行特点，深入分析系统设计原理和设备结构，通过对不同运行模式下运行设备的总功率进行测算以及加装智能电表实时监测，实现节能举措有效落实。

1、加装能耗监测设备。剖解系统供电结构，细化用能单元，对其中4条主线加装智能电表，实现能耗精准监测。

采用 B 模式可减少运行电机 93 台，功率 131kW，有效降低能耗 36.4%；采用 C 模式可减少运行电机 47 台，功率 73.2kW，有效降低能耗 20.4%；采用 D 模式可减少运行电机 46 台，功率 57.8kW，有效降低能耗 16.1%。

2、搭建能耗管理平台。通过能耗平台可查看能耗趋势图、能耗排名等数据应用，更加准确判断、指导运维人员开展系统汇流节能措施实施，支撑节能措施落实和考核。

四、取得成效

通过以上管理举措、技术改造的落实，行李系统节能工作取得显著成效。

1、投资小成效大。充分利用系统备份资源与新技术应用的相结合，将应急备份设备与节能管控相结合，投资 2000 余元，既实现了系统能耗监测也支撑节能模式的科学准确实施，放大节能工作成效。

2、系统能耗降低。通过节能措施的有效落实，目前行李系统月度用能约 10 万余度，较 2018 年同期降低能耗 28.5%，每月节省电费约 3.2 万元，节能效果显著。

3、降低维护成本。使用节能模式的同时，也减少了设备的使用数量，降低了设备磨损，降低了设备运维成本。

4、人员技能提升。使用节能模式的同时，人员对于系统备份机制的操作技能得到巩固提升，备份机制有效性也得到验证。

五、后续规划

后期我们将持续开展行李系统低碳运行、绿色发展探索，在分拣系统节能、系统效能技术改造、低耗设备的选型应用等领域进行研究探索，为绿色机场的建设贡献我们的智慧与力量。

1、分拣系统能耗统计。2024 年完成两台分拣机能耗监测设备的选型及应用，纳入到能耗管理系统中，实现分拣系统的能耗管理和节能举措的精准实施。

2、高效能低能耗设备的选型替换。结合国家环保相关依据，2025 年逐步实现行李系统 E1 级电机的替代更换，达到低碳排放、绿色环保要求。

3、设备技术改造。2024 年完成分拣系统应急备份设备技术改造，减少低峰时段分拣机使用时长，提高设备运行效能，助力分拣系统能耗管理举措的进一步实施。

报送单位：西安咸阳国际机场股份有限公司

联系人：郝婧羽

邮 箱：haojy1@westaport.com

5. 基于太阳能光热保养及低氮燃烧改造的锅炉供热系统综合减排案例 - 上海虹桥国际机场

案例关键词：太阳能系统在锅炉热保养中的应用、基于 FGR 的锅炉烟气氮氧化物的排放

案例摘要：本案例聚焦机场锅炉减污降碳潜力挖掘，创新性地采用太阳能光热系统为锅炉非供热季保养提供热量，避免了传统保养方式下的天然气燃烧，并采用 FGR+ 多火焰分级燃烧的低氮改造，显著降低烟气氮氧化物含量，具有较高的推广应用价值。

一、案例背景

我国氮氧化物排放主要来源于锅炉烟气排放，占据氮氧化物排放总量的 70% 以上，因此降低锅炉氮氧化物的排放对氮氧化物减排显得尤为重要。

2020 年，民航局《四型机场建设行动纲要》即提出建设绿色机场、实现可持续发展的工作任务。2022 年 1 月，民航局、国家发改委、交通运输部联合印发《“十四五”民用航空发展规划》，将碳达峰、碳中和纳入民航发展整体布局，并首次设置了绿色发展专篇，大力推进绿色机场建设是落实新时代民航强国战略部署的重要举措之一。上海市积极响应国家及民航发展战略，在《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》、《上海市城市总体规划（2017-2035 年）》等文件中，要求长三角打造世界级机场群，上海机场强化亚太地区航空门户地位、提升航空枢纽能级、完善机场服务体系的同时，更加注重绿色低碳发展，成为引领国际超大城市绿色、低碳、可持续发展的标杆。

二、案例详情

(一) 基本信息

虹桥机场遵循民航局《四型机场建设行动纲要》、《“十四五”民用航空发展规划》政策要求，响应上海市政府“机场更加注重绿色低碳发展”的号召，以实施蓝天保卫战三年行动计划为契机，积极践行“绿水青山就是金山银山”的理念，打造虹桥机场节能共同体，进一步对机场用能、成本控制及企业资源进行有效的管理，着力推进机场从资源粗放型向精细化、智慧化转型，从而实现绿色、低碳、可持续的亚太地区门户枢纽机场的目标。

上海虹桥国际机场西区、东交能源中心是集供冷、供热为一体的集中式能源供应主站，西区能源中心供热系统主要由3台热功率为11.2MW和一台5.6MW的热水锅炉组成，主要为虹桥机场T2号航站楼服务，服务对象的建筑面积共计47.3万m²。东交能源中心供热系统主要由3台热功率为11.2MW热水锅炉组成，负责为虹桥综合交通枢纽东交通中心服务，服务对象的建筑面积约17万m²。在每年4月至11月的非供热季需对锅炉系统进行升温维护保养工作，减小锅炉的腐蚀。以保证次年供热系统运行的安全、平稳和高效。根据锅炉维保要求，维护保养期间炉内水温不低于70℃，由此以往需要在非供热季启动锅炉升温，每月耗气量3000m³，每年将产生的大量的能源消耗，且不会给用户侧带来用效用。

为响应国家节能减排、低碳降耗的号召，减少不可再生能源的使用，应用清洁能源，上海虹桥国际机场有限责任公司召集了各专业技术人员，研究了锅炉非供热季热保养的绿色低碳方案。开创性的提出在锅炉房楼顶铺设太阳能集热系统，利用锅炉房楼顶520m²太阳能集热系统为锅炉非供热季热保养提供热量，且在严寒冬季太阳能热水系统还能为能源中心提供生活所需热水。通过分析不同热源方式，我们采用太阳能热水系统为锅炉非供热季保养提供热量的方案更加经济、绿色，环保。并为新增的太阳能热水系统实现自动控制功能，接入现有热力监控系统，使整个系统更加安全可靠，完全避免了锅炉非供热季期间天然气的消耗和杜绝了锅炉非供热季期间的烟气污染物排放。

此外，虹桥机场公司在上海市低氮减排标准实施前，积极组建了专业技术人员成立了低氮环保JJ小组，于2018年开展了锅炉低氮改造技术研究，研究了国内外众多先进低氮改造技术及国内低氮改造案例，分析各种技术及方案的优缺点。经多方论证最后选择了选择分层燃烧FGR+的混合改造方案，采购新型低氮燃烧器并低氮实施改造。

(二) 相关荣誉、奖励、奖项等情况

生态环境部“2021年绿色低碳典型案例”，上海市节能减排案例

三、建设成果

(一) 太阳能系统在锅炉热保养中的应用

本案例采用了太阳能为锅炉提供非供热季热保养，完全取消了锅炉非运行期间的天然气消耗，碳排放降低明显。本案例为上海市首次将太阳能用于锅炉热保养中，获得锅炉同行的高度认可，也取得了较好的节能效果和经济效果。

系统改造原理图

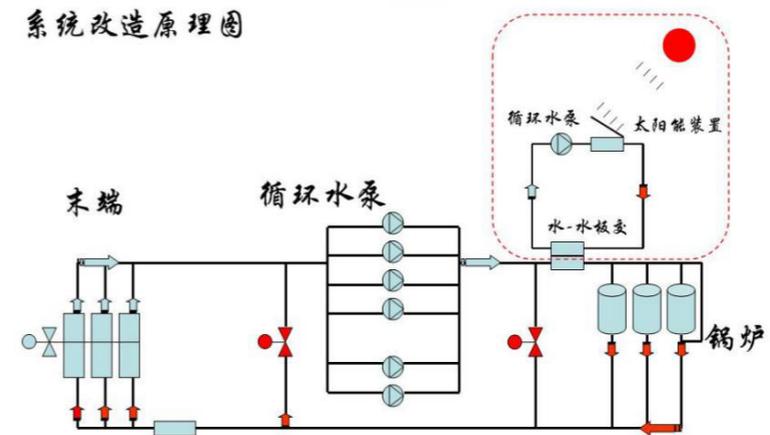


图1 系统改造原理图

加装太阳能热水系统前，西区能源中心四台热水锅炉非供热季热保养平均每月天然气耗费11400元，整个非供热季内耗费约为11万元。自2012年加装太阳能热水系统后，每个月可节约11万元。

(二) 基于FGR的锅炉烟气氮氧化物的排放

FGR+多火焰分级燃烧技术路线及改造方案，可以通过多火焰分级燃烧降低整体火焰温度；FGR外循环进一步控制进风含氧量并缩短炉内燃烧的停滞时间，可以达到烟气提标（低氮）改造要求。是目前市场上现有的最成熟、最常用、最优的技术方案，且该方案有成功实施的案例。通过采购新型低氮燃烧器和耐高温风机；在尾部烟道开孔，加装烟气外循环管，将尾部烟气引入风机混合箱中进行混合，并在氧气循环管中加装电动调节阀；利用分层燃烧技术及烟气外循环技术，将尾部烟气引入燃烧器与空气混合燃烧，并根据烟气中氮氧化物含量实施控制烟气外循环中的阀门，从而控制烟气外循环量，达到精准控制烟气中氮氧化物的排放，从而降低烟气中氮氧化物的排放。低氮改造后所有锅炉氮氧化物排放均值为40mg/m³

远低于上海市锅炉大气污染物排放标准地方标准《DB31/387—2018》，具体效果如下。

表 1 改造前后锅炉氮氧化物排放值

单位 mg/m ³	西区 1# 锅炉	西区 2# 锅炉	西区 3# 锅炉	西区 4# 锅炉	东交 1# 锅炉	东交 2# 锅炉
改造前	95	96	94	95	97	96
改造后	41	39	35	38	42	40

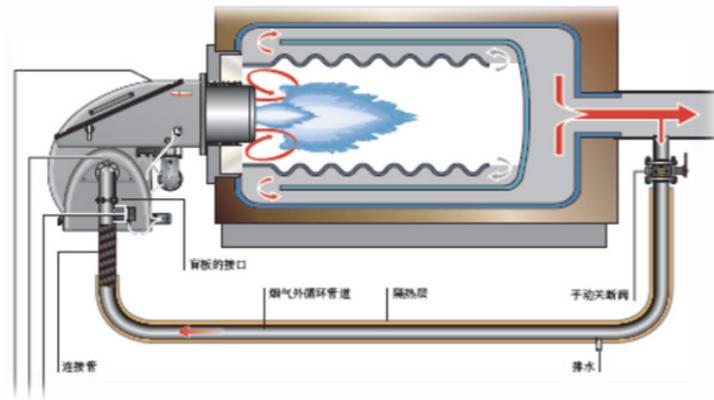


图 2 FGR 模式图

锅炉提标改造后，锅炉烟气中 NO_x 排放由现在的平均值 96mg/m³ 降低为 40mg/m³，根据每年西区能源中心耗气量 117 万 m³，东交能源中心耗气量 102 万 m³ 计算。通过此次改造虹桥机场一年可降低氮氧化物排放总量 1451.1kg。以一辆小轿车的氮氧化物排放标准 6.7g/km，每年行驶 1.5 万公里计算，一年产生 100.5kg 氮氧化物计算，也就是相当于我们小汽车行驶 14.6 年排放的氮氧化物的总和。此次改造为行业内锅炉低氮改造提供了良好的借鉴经验，也为加快改善环境空气质量、打赢蓝天保卫战贡献了一份力量。

四、取得成效

太阳能系统在锅炉热保养中的应用，每年节约燃气费用约 11 万元。更可在系统 15 年寿命内节约能量 1.18×10⁷MJ 热量，可减少二氧化碳排放量共计约 1259.6 吨。虽然对太阳能集

热器系统来说不是一个新事物，但是通过实际运行的验证及理论计算的辅助可以发现，它的存在对锅炉行业具有重大意义，其经济、节能效果突出。也得到了锅炉行业专家的高度认可，为锅炉行业提供了一个良好的示范作用。

虹桥机场全面落实 13 台锅炉基于 FGR 的锅炉技术改造后，大幅降低烟气氮氧化物的排放。低氮改造后，所有锅炉氮氧化物排放均值为 40mg/m³，远低于上海市锅炉大气污染物不高于 50mg/m³ 的排放标准。氮氧化物排放降低了 58%，虹桥机场一年可降低氮氧化物排放总量 1451.1kg。

报送单位：上海虹桥国际机场有限责任公司

联系人：茆贇

邮箱：maoyun@shairport.com

6. 大型机场多场景光伏发电设施建设案例 - 北京首都国际机场

案例关键词：光伏

案例摘要：为落实国家“双碳”战略，首都机场自 2014 年第一个光伏项目的谋划，到蓝天保卫战多场景光伏技术的研究和应用实践，再到技术成果和工程经验的逐步推广，有条不紊地扩大光伏建设版图，成为名副其实的“双碳”机场。

一、案例背景

我国向国际社会承诺，2030 年实现碳达峰，2060 年实现碳中和。随着我国经济提升，民航事业高速发展，机场对于能源的需求也越来越大。首都机场位于北方地区，电力主要来源于周边省份化石能转化的火电。化石能源不但存在使用枯竭的问题，在转化为电能时还会产生空气污染。另外，以化石储存的碳大量释放后会影响到气候，可能危及地球生态环境。

首都机场是大型国际枢纽，年耗电量巨大，存在着局部供电难以满足需求的情况。为了响应国家“双碳”战略，贯彻《中国民航四型机场建设行动纲要》的要求，落实蓝天保卫战重点任务，补充首都机场电能缺口，首都机场股份公司决定大力发展绿色能源建设。

二、案例详情

（一）第一个项目，谋定而后动

2014 年，首都机场股份公司开始推进光伏建设。虽然当时全国年光伏建设投产规模已达

上万兆瓦，但对于机场来说，这种新能源的发展才刚刚起步，期间伴随着各种质疑之声。质疑不是坏事。首都机场一直秉承“安全第一”的运行理念，质疑是给项目提出的警示。充分的安全性论证，才能使工作顺利开展。

项目团队首先倾听了各方质疑，把它们记录整理下来：

1. 首都机场对供电质量的要求高，光伏发电受天气影响大，是否能够提供稳定的电能，和市电无缝衔接？
2. 光伏组件反光是否会对飞机起降造成不良影响？
3. 夜间负荷不能使用光伏电能，非持续运转负荷也不能稳定消纳光伏电能，是否会造成弃光？如果上传电网，是否会影响电网供电品质？

对于这些问题，项目团队做了充分的调研，给出了如下的解答：

1. 根据对设计院、光伏产品制造商、在用的光伏系统的咨询、调研，得出结论：光伏和市电切换基本可以做到无缝衔接，在用的光伏系统均未发生因衔接问题导致负荷断电情况，而且光伏系统从直流电逆变到交流电由逆变器完成，逆变器本身就具有改善供电质量的能力。
2. 项目团队通过华北空管局向各航空公司征集意见，确定光伏组件不会对飞机起降造成不良影响。光伏组件本身吸收光能，对太阳光的反射大大低于同样位置的建筑物玻璃建材、水面等。
3. 对于光伏消纳问题，项目团队决定先从确保本地自发自用的光伏系统做起。后续如果本地无法在白天时段消纳光伏电能，也可采用储能或余电上网形式消纳。光伏发电的电能品质不会影响电网供电质量。

一旦打消顾虑，项目推进就顺利了。在民航局提供资金的支持下，项目团队引入业内有实力的企业，于 2016 年 9 月完成了装机容量 450 千瓦的 GTC（首都机场 T3 的地面交通中心）采光带一期光伏系统建设，持续每年为 GTC 提供超过 60 万度的优质电能。



（二）蓝天保卫战，多种技术的研究与实践

第一个项目采用了最为成熟的光伏板组件，系统良好运行三年后，项目团队决定尝试小规模的建设水面光伏、储能装置、薄膜光伏，为充分利用首都机场资源，全面推进绿色能源建设积累技术储备和工程经验。于是，西湖水面光储应用一体化项目和 GTC 穹顶光伏膜发电项目成为了蓝天保卫战重点项目。新的项目带来了新的课题，例如：

- 1.GTC 穹顶玻璃幕墙表面温度可达 80 摄氏度，在上面铺设吸收能量的薄膜光伏组件是否会导致玻璃幕墙受热不均匀而爆裂？
- 2.GTC 穹顶玻璃幕墙上敷设线缆，存在高温、雨水、小动物的影响，如何确保线缆安全？
3. 西湖首要功能是防汛，水位变化可达数米，水面阵风可超过十级，水面光伏如何确保安全？
4. 储能装置如何平衡安全性和经济性？

为了解决这些问题，项目组和北京建筑设计研究院成立了首都国际机场 GTC 屋面新增光伏膜科研项目课题组，和首都机场节能公司成立了大型机场光伏应用关键技术研发与示范项目课题组，分别攻坚克难。

1. 项目团队不但聘请了光伏和幕墙的技术专家研究论证了薄膜光伏对玻璃幕墙温度和性能的影响，还在 GTC 穹顶旁和亦庄的实验室采用同样材质的玻璃搭建了测试环境，分别实测发电效果和玻璃局部温升。理论和实践结合，确定薄膜光伏组件不会造成玻璃幕墙性能变化，且组件对太阳光的吸收会对下方起到降温作用。

2. 项目团队和设计院专门设计了一种带有排水和隔热结构的线槽，应用在薄膜光伏布线中效果良好，有效保护了线缆，并获得了专利。

3. 西湖水面敷设光伏采用沉锚固定浮体，其上安装双面双玻光伏组件。浮体本身紧密相连，又有一定的漂浮空间，可以从容应对水位变化和强风。双面双玻光伏组件可以充分利用水面反射的阳光，提升发电效率。

4. 西湖水面光伏采用光储一体化设计。储能装置借鉴电动汽车的电池储能经济性计算方法，良好地平衡峰谷电价，实现经济效益最大化。在安全性上，每一块电池均采用无线传输的数据采集和控制板卡，可以实时掌握电池的各项状态，出现异常自动隔离。项目团队在光储系统获得了两项专利。



伴随着技术难题一一被攻克，配套项目也按时落地投产，圆满完成了公司蓝天保卫战任务。

（三）发布规划，全面展开

经过各种新技术的尝试，经过各部门的合作，2022 年首都机场被授予三星级双碳机场。2023 年，发布了《首都机场分布式光伏建设规划》，进入了成果推广阶段，项目规模逐步扩大，且遍布公共区、飞行区等各个区域。

2022-2023 年，首都机场股份公司推进了 6 个光伏项目，总规模超过 4 兆瓦，年发电约 450 万度。其中 GTC 采光带二期项目因下方是类似水面的采光带玻璃，选用了双面双玻光伏组件；垃圾焚烧站厂房承重能力不足，采用了类似薄膜光伏安装方式的轻质光伏组件；西湖二期水面光伏项目则沿用改良了一期的安装方式。



充分论证,从试验到实践,从小规模试点到大规模推广,首都机场的新能源蓝图已然绘就,近几年光伏装机容量将达到数十兆瓦的规模。

(四) 相关荣誉、奖励和奖项等

首都机场在开展光伏项目规划和建设期间,完成了一个集团科研项目,申报获得3项专利,发表多篇论文,通过省部级技术成果评审,获得首都机场集团公司科技创新三等奖,获得首都机场集团公司蓝天保卫战先进个人一次。



三、建设成果

首都机场股份公司已投产的光伏发电项目如下:

GTC 采光带一期光伏项目,装机容量 450 千瓦;

GTC 采光带二期光伏项目,装机容量 264 千瓦;

西湖一期水面光伏项目,装机容量 82 千瓦;

西湖二期水面光伏项目,装机容量 400 千瓦;

GTC 穹顶薄膜光伏项目,装机容量 114 千瓦;

垃圾焚烧站屋顶光伏项目,装机容量 437 千瓦;

LOCC 屋面光伏项目,装机容量 45 千瓦。

总装机容量约 1.8 兆瓦。

四、取得成效

2016 年 9 月,首都机场股份公司的第一个光伏项目——GTC 采光带一期光伏发电项目正式竣工投产,此后各项目逐步建成投产。截至 2023 年底,各光伏项目已累计发电 571.042 万度。随着 2023 年底三个光伏项目同时投产,目前已建成的光伏项目年发电量预估 215 万度,按光伏组件设计寿命 25 年计算,这些光伏项目全生命周期发电 5375 万度,为首都机场节约电费超过 4500 万元,相当于节约标准煤 21500 吨,减少排放碳 14620 吨,减少排放二氧化碳 42194 吨。

大型机场在规划建设过程中有机场耗能大方便电能消纳,构筑物多利于安装组件等便利条件;也有供电品质要求高,航空安全要求严,各区域用能不平衡等制约因素。在日后的光伏发展中,需要充分利用之前项目的研究成果和成功经验,开拓思路,因地制宜地灵活运用新科技、新材料、新工艺,结合智能微网技术,建设安全、美观、高效的光伏系统,为首都机场绿色机场发展添砖加瓦。

报送单位:北京首都国际机场股份有限公司

联系人:毛畅

邮箱:maoch@bcia.com.cn

1. 提高航空器地面运行效率案例 - 成都双流国际机场

案例关键词：节能降碳 提升运行效率 缩短滑行距离

案例摘要：本案例通过机场、航司、空管协同联动，优化地面管制运行线路，缩短航空器地面滑行距离，缩短航空器地面滑入和滑出总时间，从而减少航空器地面油耗，实现节能降碳成效，对其他机场有较强借鉴推广意义。

一、案例背景

我公司领导层高度重视节能减排工作的发展，“十三五”期间，累计投入上亿元提升机场绿色基础设施保障能力，完成包括“油改电”、桥载设备替代APU、全球首家试点并推广光储充系统、节能照明改造、污水处理提标改造、再生水回用厂等多项行业内重点项目，实现年减排能力14.92万吨，减少标煤消耗6.23万吨，节约能耗费用2.11亿元。我公司设置节能减排工作实施部门及相应专职人员，主要工作内容开展绿色机场专项规划管理、能耗统计分析、指标制定、清洁能源研究应用、双碳管理等，并且下辖公司也同步设置节能减排管理部门及专职人员。

为提升成都双流国际机场（以下简称“双流机场”）地面运行效率，减少航空器地面等待时间，降低航空燃油消耗，我公司通过优化航空器地面运行模式，提高本场航空器地面运行效率。

本节能实践方案主要优化地面管制运行线路，缩短航空器地面滑行距离，缩短航空器地面滑入和滑出总时间，从而减少航空器地面油耗，推动航空器地面运行节能降碳。

二、案例详情

（一）基本信息

（1）实践方案

①双流机场减少进港航空器滑入时间实践方案

双流机场滑行通道主要分为短通道、长通道、“U”型通道，我公司优化机坪内长通道、“U”型通道管制运行线路。

结合现场实地勘察，同时运用3D仿真模型模拟（见图1）和系统优化，实现长通道隔3个停机位可以同时推出开车；“U”型通道进行“分区运行”，将整个“U”型通道分别划设“1区”、“2区”和“3区”，允许1区推到位后，3区可逆时针进位，3区推到位后，1区可顺时针进位。



图1 仿真模拟与实地勘察图

a. 长通道推开增效方案。在机坪管制移交前，一条长通道只有一家航班推出，优化后，

实现在 T1、T2、T3、T5 滑行道上，允许间隔 3 个停机位同时推出开车，推出方向保持一致，两架航空器推到位后满足 50 米以上的安全间隔。以位于 T5 滑行道的 166、170、174 机位为例，以上 3 个机位航空器可在同一时间推出和进位，不用做过多等待。

本节能实践方案实施以来，进港航空器机位等待时长从 2.31 分钟减少到 0.72 分钟，减少进港航空器机位等待时间 1.59 分钟，从而滑入时间减少 1.59 分钟。

b.U 型槽滑行通道优化方案。在机坪管制移交前，一个 U 型槽内一次只能运行一架航空器。现将 U 型通道进行“分区运行”，将整个“U 型”滑行通道分别划设“1 区”、“2 区”和“3 区”。允许 1 区和 3 区分别有一架航空器推出开车或在 3 区航空器推开后，停放同一个 U 型槽内部分机位的进港航班反向进位。以 T6、T7 滑行通道为例，涉及 151 至 161 共 11 个廊桥机位，允许位于 1 区的 151 机位与 3 区的 161 机位航空器可以推出开车或在 161 机位航空器推开后进港停放 152 机位航空器反向进位。

本节能实践方案实施后，进港航空器机位等待时长从 2.38 分钟缩短为 0.65 分钟，进港航空器减少机位等待时间 1.73 分钟，从而滑入时间减少 1.73 分钟。

②双流机场减少出港航空器滑出时间实践方案

双流机场缩短航空器滑出时间实践方案，由四川省机场集团有限公司主导，西南空管局配合实施，开展了以缩短航空器地面滑行距离为主，以缩短航空器地面等待时间为辅的优化工作，运行模式调整如下：

一是划分管制边界责任（见图 2），以改变航空器在西跑道南端滑行道的运行方式。以 365 机位航班出港为例，按平均滑行速度 25 公里每小时计算，可减少滑行时间约 1.9 分钟。

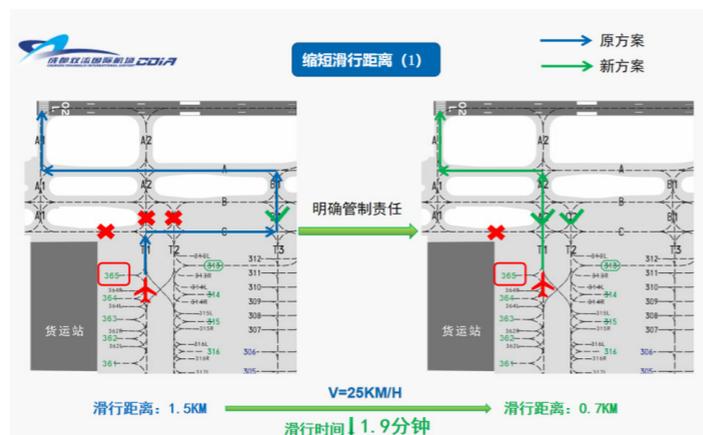


图 2 责任划分优化案例

二是完善滑行道的地面等待位置线与位置识别灯牌，增加使用东跑道起飞航班的路线选择（见图 3）。以 422 机位航班出港为例，可减少滑行时间约 4.8 分钟。

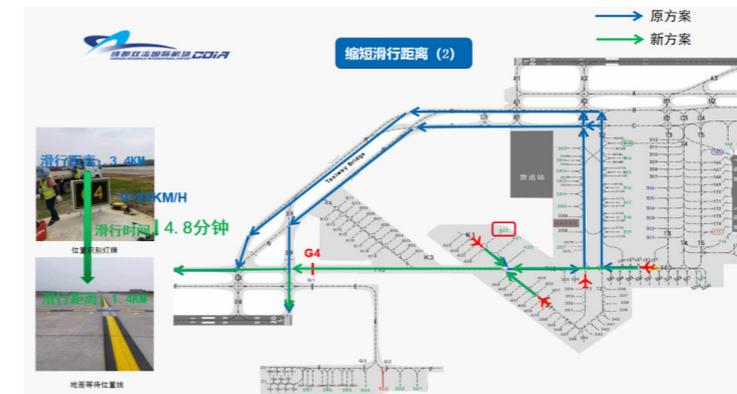


图 3 增加使用东跑道起飞的航班的路线选择案例

三是增加双跑道起飞运行方式。部分距离东跑道较近的航班使用东跑道向南起飞，其他航班使用西跑道向北起飞（见图 4）。以 5 号机坪出港航班为例，可减少滑行时间约 4.3 分钟。



图 4 增加双跑道起飞运行方式案例

(2) 检查方面

2022 年实施后，我公司对 2022 年 1 月 -12 月机坪内航空器推出开车过程中的挂好拖车、推出、开车、滑出等时刻等进行统计分析：平均滑入时间 9.2 分钟，较 2021 年实施前减少了 1.64 分钟；平均滑出时间 11.61，较 2021 年实施前减少了 2.98 分钟。（时间对比数据见附件 1《民航局关于 2021 年航班正常情况的通报》《民航局关于 2022 年航班正常情况的通报》）

2022年双流机场航空器地面平均滑行时间为20.81分钟，同比2021年同期平均减少了4.62分钟，平均缩短了18.17%（见表1）。

表1 航空器地面滑行时间统计表

项目	滑行时间（分钟）
2021年案例实施前平均值	25.43
2022年1月-12月案例实施后平均值	20.81
较平均值减少	-4.62
较平均值减少比率	18.17%

（二）获奖情况

在中国民用航空西南地区安全监督管理局大力指导下，本节能实践案例获得中国民用航空四川安全监督管理局、民航成都地区运行管理协调委员会成员单位等业内专家同仁的高度认可，具有较强的实用性，提升双流机场机坪运行效率，实现节能减排的目的。同时，本节能实践方案先后获得2021CAPES第五届服务之星提名奖、中国民用机场协会“2022年度中国民用机场服务优秀案例”、2023年度CAPES民航“双碳”实践案例等奖项。（奖项见附件2所示）

三、建设成果

（一）节能降碳效益

自形成《关于成都双流国际机场地面运行效率提升相关事宜协调会的会议纪要》后，从2022年起，双流机场航空器地面平均滑行时间为20.81分钟，同比2021年同期平均减少了4.62分钟，平均缩短了18.17%。

节能情况计算如下：①按照日平均437架次计算，全年共节约 $437 \times 365 \times 4.62 = 736913$ 分钟；②按照常规A320机型1分钟油耗11.5kg计算（油耗参数参照附件3《中国国际航空运行手册》），2022年减少地面燃油消耗： $11.5 \times 736913 \approx 8474$ 吨；③年节能量： $8474 \times 1.4714 \approx 12469$ tce，年二氧化碳减排量： $8474 \times 3.15 \approx 26693$ tCO₂。（参数参照附件4：GB/T 2589-2020《综合能耗计算通则》《中国民用航空企业温室气体排放核算方法与报告指南》）

表2 2022年节能降碳效益统计表

减少滑行时间	减少地面燃油消耗	年节能量	年二氧化碳减排量
736913分钟	8474吨	12469tce	26693tCO ₂

预测2023年-2025年，日均架次约为600架次，全年共节约 $600 \times 365 \times 4.62 = 1011780$ 分钟，年减少地面燃油消耗： $11.5 \times 1011780 \approx 11635$ 吨，年节能量： $11635 \times 1.4714 \approx 17120$ tce，年二氧化碳减排量： $11635 \times 3.15 \approx 36650$ tCO₂。从2022年到2025年底累计节能量约63829tce，累计二氧化碳减排量约136643tCO₂。（计算所用参数同上）

本技术节能降碳测算的数据与结果，经独立第三方机构中国质量认证中心成都分中心审核与评估确认，能够客观反应节能降碳效益。报告见附件6所示。

（二）经济效益

按照日平均437架次计算，全年共节约 $437 \times 365 \times 4.62 = 736913$ 分钟，2022年全年减少地面燃油消耗： $11.5 \times 736913 \approx 8474$ 吨，减少燃油费用 $8474 \times 8000 \approx 6779$ 万元。（按每吨燃油按照8000元计算，其余计算参数同上）

四、取得成效

（一）社会效益

双流机场机坪塔台是全国少有的千万级吞吐量机场机坪管制整体移交的标杆工程，率先打破原有的运行模式，提出优化地面运行线路方案。

自2022年1月方案实施以来，截止2022年12月，服务约16万架次进离港航班，每个航班平均减少滑行时间4.62分钟/架次，较同级别千万级机场，双流机场该案例的成效高于行业平均水平。

（二）实践创新性

成都双流国际机场缩短离港航空器地面滑行时间方案，在提升机坪运行效率、节能减耗等方面取得了较好的成果。

针对双流机场停机位繁多，滑行道复杂的特点，合理调整离港航空器移交点，减少离港航空器地面滑行时间，提升了机坪运行效率；针对双流机场跑道排队时间长的问题，我公司

根据跑道动态通行能力控制离港航空器开车数量，合理安排推开时机，减少了跑道排队时间长的情况，缩短了离港航空器地面滑行等待时间，进一步提升了机坪运行效率，从而减少了能源消耗。

（三）实践可复制性

同级别拥有机坪塔台的机场均拥有上述条件，可复制方案。比如，天府机场。天府机场前期处于过度阶段，注重安全运行，现在，借鉴我公司方案，整理出适用于天府机场提高运行效率的方法。

桂林机场已借鉴我公司方案，桂林机场根据自身运行特点，已于2023年4月实施“U型槽”相关方案。相关证明文件见附件5所示。

该节能实践方案适用于绝大多数拥有机坪塔台的机场，具有可复制性。

报送单位：成都双流国际机场股份有限公司

联系人：冯蕾洁

邮箱：798801698@qq.com

2. 尖峰平谷空调节能运行方案案例 - 上海浦东国际机场

关键词：大型机场；空调运行；节能减排

案例摘要：本案例综合考虑航站楼空调设备特性、历史运行情况和峰谷电价机制等，将全年天气细分为8种工况，每日分4个时间段，并以图表形式实现运行方案可视化、标准化，可为同类机场的空调整节能运行策略提供有益借鉴和参考。

一、浦东机场尖峰平谷空调节能运行方案研究背景

2019年起浦东机场能源保障部根据四型机场建设要求，着手能源智慧化转型，建设智慧能源管理系统，通过运行模式集控转型实现人员精简。2021年至2023年完成BA运行集控，将原分散在各航站楼办公的BA运行人员集中于运控大厅统一管理，更有利于运行策略的统一执行落地。

2023年1月新冠疫情“乙类乙管”，民航业逐渐恢复常态化运行，航站楼内取消风险区域划分，与此同时，上海市发改委进一步完善分时电价机制，新增尖峰时刻，拉高峰谷电价价差。针对当前航空业发展趋势以及浦东机场的实际情况，浦东机场采取了积极应对策略，对各航站楼空调系统运行方案进行深入研究，旨在降低机场运营成本，提升经济效益，同时响应政府节能减排的政策导向，并顺应航空业绿色发展的趋势。

二、浦东机场尖峰平谷空调节能运行方案案例详情

基于疫情防控政策、峰谷电价机制、BA 运控模式等背景变化，亟需建立一套适用于当前航班高位运行状态的空调节能运行方案，新版运行方案创新之处主要有以下四方面。

(一) 制定可执行的供冷 / 供暖启停条件。

以供冷标准为例，改进前的供冷标准是航站楼室内温度超过 26℃ 且呈上升趋势时即可供冷，标准内对于室内温度的定义不明确且实时性要求高，运行人员在实际操作中存在困难，因此往往依赖上级指令进行换季操作。而新版运行方案则将供冷分为区域供、大面积供及正式供三个阶段，每个阶段均对室内、室外温度作出明确规定，连续 5 天大面积供冷即由过渡季转为正式供冷季，供冷转换为一个连续的时间段而非单独某天，供暖季切换亦是同理。案例研究小组成员结合历史运行情况，不断摸索边界温度，形成贴合运行实际的执行标准，增强换季可操作性。



图 1 优化后换季执行标准

(二) 根据温度细分执行工况

改进前运行方案中供冷、供暖执行标准仅以室内环境温度为准，对室外温度不做区分运行，无论是 30℃ 以下供冷量需求较低的天气还是 35℃ 以上高温天气，空调机组均是全部开启，

导致不必要的能源浪费。因此，案例研究小组结合历史运行情况对天气进行细分，将不同温度段的天气分为 8 种不同工况纳入实际运行管理中，其中供冷季 4 种、供暖季 3 种，过渡季 1 种，BA 运行人员每日按实际工况执行对应策略即可。

表 1 供冷季工况分类表

工况分类	分类标准	分类原则
工况 0	最高温度 ≤ 26℃	针对春末秋初的供冷初期及末期
工况 1	晴好天气，27℃ ≤ 最高温度 < 32℃； 阴雨天气，湿度 ≥ 80%，且现场实际温度 ≥ 23℃	针对初夏及梅雨季闷湿天气
工况 2	32℃ ≤ 最高温度 ≤ 35℃	针对夏季常规天气
工况 3	天气预报最高温度 ≥ 36℃	针对夏季高温天气

以供冷季为例，根据每日最高温度分为 4 种工况，分别对应春末秋初天气、初夏梅雨天气、夏季常规天气、高温天气。案例研究小组按照工况分类对历史天气进行了归类验证，通过此种分类方式可快速判断供冷季整体温度情况，如 2020 年高温天较少，但供冷季整体偏长，具备节能空间；2022 年高温天数则明显较多，为炎夏。

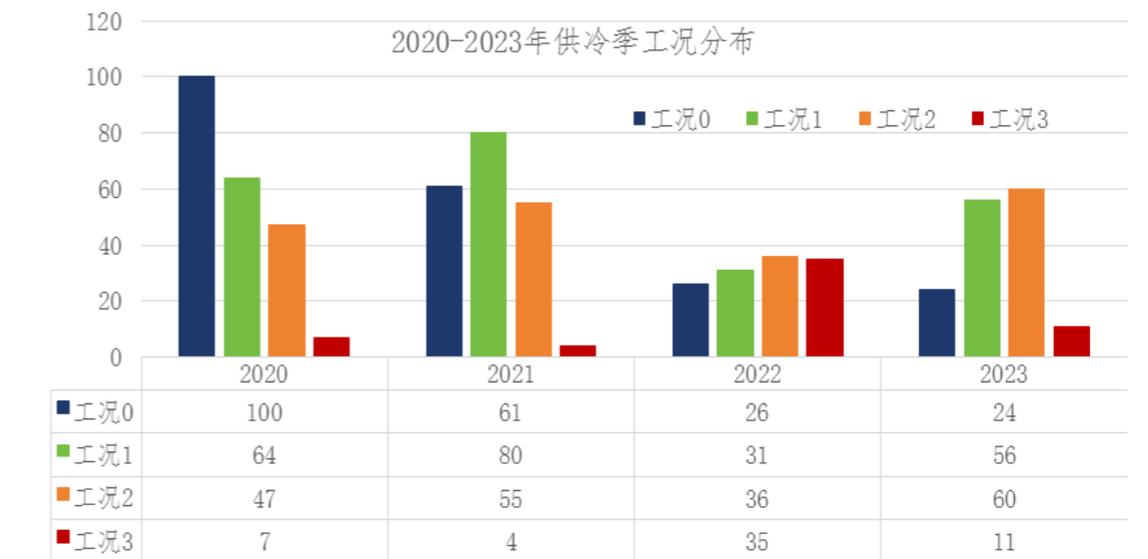


图 2 2020—2023 年供冷季工况分布图

（三）根据峰谷电价制定开关规则

除了按气温进行分天控制，每天运行中更是根据电价分时段考虑。由于空调运行仍以服务为主，无法在高峰或尖峰时刻停止服务，尤其夏季白天几乎全部为高价时段，因此在调峰策略设置上重点关注电价最高的尖峰时段（12—14时）及供冷需求降低的晚间时段（19至次日谷时结束前），调峰重点也为7月、8月、12月、1月有尖峰时段的典型天气，夏季即为工况2及工况3。经统计，供冷季调峰策略工况2总计关闭5615kW，工况3总计关闭9212kW。

表2 供冷季各工况运行原则

工况分类	运行原则
工况0	仅供重点区域或内区，开启少部分板交，22点至5点板交及机组关闭。
工况1	1. 正常供冷时，机组开启半数左右。 2. 夜间（22—次日6）按需关闭部分机组及板交，2点至4点板交及机组关闭。
工况2	1. 根据首末航班设置板交及机组开关；夜间28℃以上板交按需通宵。 2. 尖峰时段（12:00-14:00）及晚间（19:00—次日6:00）关闭部分机组。
工况3	1. 板交通宵。 2. 尖峰时段（12:00-14:00）及晚间（19:00—次日4:00）关闭部分机组。

（四）利用图表实现标准化可视化

修订前运行方案仅对空调运行方式进行分区指导，运行人员可操作空间较大，不同人员因运行经验、能力水平、责任心等差异，运行节能成效不一。为规避此类问题，在制定方案时将运行颗粒度细化至每台空调机组。结合上述工况、时段等要求，创新性地以图表形式绘制可视化运行方案。

图中是T2航站楼工况1的一个示例，由一表一图构成，表内为航站楼内分区、分时的控制策略，图内则将空调机组的开启方案进行可视化，并用不同颜色对不同时间段需操作的机组进行区分，如灰色是此工况常关机组，绿色是常开机组，红色是尖峰时段关闭机组，橙色是晚间时段关闭机组。每个航站楼的每个工况均有以上运行策略表及平面示意图，整体运行方案即为24组图表。

工况1：天气晴朗晴好天气，21℃<最高温度<32℃；天气晴朗阴雨天，当日天气温度>=30%，且最高实际温度>=23℃

运行原则：室内温度保持舒适，按需开启空调系统，机组开启数量根据天气、当日天气温度、且最高实际温度>=23℃

1. 白天时段（08:00-18:00）：室内温度高于26℃时按需开启空调系统，室内温度低于26℃时按需关闭空调系统，重点关注航站楼核心区。

2. 尖峰时段（12-14）：机组按需调整运行策略，按需关闭部分机组。

3. 晚间时段（19-22）：机组按需调整运行策略，按需关闭部分机组。

4. 宵夜时段（22-次日6）：按需关闭部分机组及板交，2点至4点板交及机组关闭。

区域	空调系统	机组	控制策略
0m	主航站楼	空调系统	按需开启/关闭
	登机桥	空调系统	按需开启/关闭
4.7m	行李分拣系统	空调系统	按需开启/关闭
	安检系统	空调系统	按需开启/关闭
6m	行李分拣系统	空调系统	按需开启/关闭
	安检系统	空调系统	按需开启/关闭
0.4m	行李分拣系统	空调系统	按需开启/关闭
	安检系统	空调系统	按需开启/关闭
13.6m	行李分拣系统	空调系统	按需开启/关闭
	安检系统	空调系统	按需开启/关闭
18.4m	行李分拣系统	空调系统	按需开启/关闭
	安检系统	空调系统	按需开启/关闭

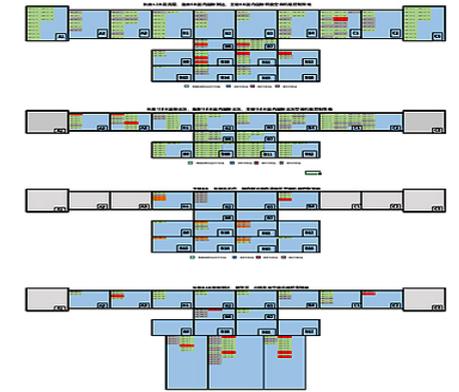


图3 T2航站楼供冷季工况1示例

三、案例分析与效果评估

由于运行时长受限，2023年度仅针对供冷季进行了运行成效验证。在航站楼实际运行案例中，浦东机场卫星厅航站楼建筑面积62万平方米，于2019年9月正式投用，是浦东机场最大的单体建筑，具备成熟的分项计量条件，其在疫情三年期间因客流量影响，卫星厅国际区域于2023年3月才正式启用。故以卫星厅为例，选取2021年作为参照年，在天气影响忽略不计、运营面积翻倍的前提下，卫星厅航站楼的空调分项较2021年同期减少104.5万度电，下降12.53%，在客流量、运营面积均增长的情况下，新版运行方案仍实现了能耗大幅下降，节能成效显著。

经统计，通过季节切换边界条件改进，2023年供冷季时长较2019-2021年均值减少35天，总计节约用电150.5万kWh，节支119万元。通过航站楼内空调运行方案精细化管理，较以往常规供冷季模式开启，实现节电量527万kWh，节支326万元。整个供冷季期间，尖峰平谷运行方案实现总节电量677.5万kWh，总节支445万元。

四、结论与展望

本案例针对浦东机场空调系统，结合尖峰平谷时段特性，提出了一套创新有效的精益化节能运行方案，同时可为同类大型机场的空调节能运行策略提供借鉴和参考。通过现状分析和策略探讨，实现了显著的节能效果，验证了方案的可行性和有效性。展望未来，将进一步深化能耗机理研究，结合智慧能源管理系统，加强供需端协同优化，进一步挖掘降本增效潜力。同时，期待各机场之间的数据共享机制进一步升级，扩大交流范围，共享经验成果。

相信未来浦东机场的空调节能工作将取得更大突破，为可持续发展贡献力量，向构建更加绿色、高效的航空枢纽不断迈进。

报送单位：上海国际机场股份有限公司浦东国际机场

联系人：汪风波

邮箱：wfb_best@163.com

3. 基于夏热冬冷气候特征的多能互补绿色低碳机场建设案例 - 无锡硕放机场

案例关键词：顶层设计；制度体系；节能改造；能管中心；可再生能源利用

案例摘要：基于夏热冬冷地区气候及中小型机场用能特征，积极探索“太阳能光伏+地源热泵”的清洁能源转型模式，深入挖掘航站楼用能系统潜力，构建智能高效能管平台，全力推进绿色低碳机场建设。在构建管理体制、健全工作机制、共享优势资源、联合应急演练四个方面实现军民融合深度发展，构建了军为民用、民为军备、协调顺畅、优势互补的联合保障体系，已成长为国内中型干线机场、全国军民融合深度发展的示范机场。

一、案例背景

（一）国家级行业背景

面对“碳达峰、碳中和”的国家战略背景，各行业相继开展“双碳”布局及路径探索。民航业作为我国重要的战略产业，也在加速绿色低碳转型。民航局发布绿色发展规划，提出民航运输机场绿色发展中远期目标。2022年1月，民航局印发《“十四五”民航绿色发展专项规划》。作为我国民航史上第一部以“绿色发展”命名的规划，明确到2035年，中国民航绿色低碳循环发展体系趋于完善，运输航空实现碳中性增长，机场二氧化碳排放逐步进入峰值平台期，我国成为全球民航可持续发展重要引领者。

民航业被纳入全国碳排放权市场重点排放行业，民航业或纳入碳市场，机场降碳更具挑战。2016年，国家发改委办公厅发布的《关于切实做好全国碳排放权交易市场启动重点工作的通知》中，航空业已被纳入全国碳排放权市场第一阶段的重点排放行业。《碳排放权交易管理暂行条例》将于2024年5月1日起实施，未来民航业将被纳入重点排放行业，机场降碳发展为未来行业发展的必然趋势。

（二）机场概况

无锡硕放机场于2004年2月18日正式开通民用航班，是省内最大的军民合用机场。2023年无锡硕放机场勇担使命、真抓实干，客运吞吐量879万人次，创历史新高。航班恢复率在国内中小型机场名列第一；全域型货运枢纽逐步凸显，国际货运航线连接美国纳什维尔、德国莱比锡、韩国首尔、日本大阪等城市，口岸功能丰富完善，国际快件量位居全省第一；顺利实现机场连续第二十个安全年。机场改扩建项目稳步推进，为机场扩容升级打下了坚实的基础。完成进近管制航管工程验收与进近管制室独立运行建设，开启“塔进分离”新篇章；完善RFID行李全流程跟踪系统进港节点，实现机场行李全流程管理；上线旅客遗失物品系统，引进“笑脸盒子”管理系统；蝉联第九届CAPSE航空服务奖“年度最佳机场奖”。开航二十年来，无锡硕放机场已成长为国内中型干线机场、全国军民融合深度发展的示范机场，成为苏南经济社会发展的一个重要门户和中小机场服务地方经济的典范。

无锡硕放机场由无锡机场集团负责运行管理，做好机场的“双碳”工作既是行业的要求，也体现了国企的担当。近年来，无锡硕放机场积极响应国家和省市高质量发展和民航“平安、绿色、智慧、人文”四型机场建设的号召，从顶层规划设计、制度体系建设、节能降碳措施、可再生能源利用等方面主动作为、积极探索，大力推进绿色机场建设，始终向着打造更加可持续的航空运输环境迈进。

二、案例详情

集团层持续发力，强化顶层设计，完善能碳制度体系。从机场集团层面统筹碳排放管理工作，强化顶层设计与深化制度体系建设，制定发布各项规划方案，建立碳排放与能源管理制度，将能源管理、节能降碳项目实施纳入年度工作考核中，通过绿色机场建设专项工作计划及绩效考核机制推动机场能源管理及节能降碳各项工作落地落实。

一是持续优化能源结构，积极探索机场全域多能互补应用模式。不断推动机场能源清洁化发展，聚焦可再生能源利用，不断探索可再生能源在机场区域的科学应用，建设机场光伏发电系统与地源热泵系统，大大提升机场可再生能源占比，加快提高机场能源利用效率，不断降低能源消耗。

二是深入挖掘节能降碳潜力，持续推进绿色低碳项目落地实施。组织开展用能设备能效提升节能改造及新能源应用项目，实施充电桩及云平台建设、APU替代设施配备、机坪高杆灯改造、中央空调节能改造、喷雾推进通风冷却塔进等项目，取得了显著的节能成效。

三是优化融合平台资源，打通数据壁垒，建设高效能管中心。积极响应绿色机场建设号召，推动能源管理信息化平台建设，建成高效能源管理中心，实现冷热源系统电力监控统计、主机运行监控及运行优化控制、航站楼新风空调设备及末端运行监控、航站区行李输送系统、照明控制系统、各区域用水量监测与分析等功能。

三、建设成果与取得成效

（一）顶层设计与制度体系方面

《无锡机场集团“十四五”发展规划》提出从规划、运行、环境治理等方面建设绿色机场，实现全要素绿色发展。在顶层设计方面，2023年年初，集团层面研究制定了《无锡机场集团碳达峰碳中和行动方案（2023-2025）》，深入讨论并组织专家开展论证，明确了无锡硕放机场2025年万元产值（营业收入）综合能耗（可比价）比2020年下降20%的总目标，建立了单位旅客吞吐量能耗、单位旅客吞吐量二氧化碳排放、场内新能源车占比、可再生能源占比等核心指标，并从14个方面开展建设。方案为“双碳机场”建设指明了方向。2023年7月份，集团层面成立“双碳机场”建设工作领导小组，由集团主要领导挂帅，制定了2023年按照二星级申报、三星级建设的目标统筹推进相关工作，2024年1月，获评“二星级双碳机场”荣誉称号。在制度建设方面，无锡硕放机场制定有《碳排放管理制度》、《能源管理制度》，指导机场碳排放及能源管理方面的实践工作。2023年8月委托第三方开展了能源审计，完成能源审计报告和碳排放管理报告，认真审视无锡硕放机场在双碳管理各方面的现状及存在的不足，列入改进计划，并持续推进落实。在集团顶层设计和制度体系的引领下，犹如装上了强有力的引擎，推动无锡硕放机场“双碳机场”建设进入“快车道”，驶上“高速路”。

（二）能源结构优化与可再生能源应用方面

无锡硕放机场目前可再生能源利用为太阳能光伏和地源热泵，可再生能源占比为6.05%。硕放机场货站屋顶建设光伏发电系统，装机容量为1.2MW，发电量全部自用，2022年光总伏发电5.3万kWh，年节标煤量为6.5t。建立机场地源热泵系统，为航站楼政务及商务贵宾休息区供冷暖，2022年热泵机组较常规系统节约标煤69t。为持续推进可再生能源利用，提升机场能源清洁化水平，目前正在开展集团范围内光伏分区建设规划，对光伏建设过程中可能涉及的消纳问题、眩光、电磁等安全性问题开展专项研究。规划落地后，预计可新增集团内光伏能源8MW以上，无锡硕放机场新能源占比在2025年有望超过10%。

（三）绿色低碳项目建设方面

无锡硕放机场积极响应民航“蓝天保卫战”号召，在机场范围内全面推行“油改电”项目，场内新增车辆全部电动化，制定机场 2023-2025 三年购置新能源车计划，至 2025 年末，场内新能源车占比将提升至 47.9%，场内车桩比达到 1:1；机场目前已在所有廊桥客机位和 10 个远机位安装 APU 替代设施，并与航司签订使用协议，确保设施使用率 100%，此项每年减少碳排放 2 万吨；为提高用能效率，通过持续监测重点用能设备能耗，实施 LED 节能照明改造、中央空调节能改造、喷雾推进通风冷却塔等项目，取得了显著的节能成效。

（四）平台融合高效能管中心投用方面

无锡硕放机场于 2020 年创新性开展中央空调系统能源托管服务项目建设，形成了集设计、建设、运营于一体的能源托管管理体系。机场高效能管中心升级了冷热源系统、输配系统、配备新型综合能源管理平台，可以实时监控高压供电设备系统、航站楼供暖供冷系统、行李输送系统、楼宇自控系统以及登机桥和电梯等设备。能管中心投用后，每年可节约电能约 230 万度，减少二氧化碳排放 2300 吨，助力机场“双碳”目标按期实现。

无锡硕放机场不仅立足当下，更注重着眼未来。目前，正着力推动产学研用一体化发展，借助高校、科研院所平台能力，合作开展生态环境调研、噪声治理、污水资源化利用等项目，积极参与民航绿色标准制定和试点应用、推进新技术新材料在机场的首次试用，深入参与行业绿色低碳标准制定及课题研究；未来，无锡硕放机场将继续以习近平生态文明思想为指导，积极探索机场双碳实施路径，稳步推进“双碳机场”建设，促进机场双碳管理工作更加规范化、标准化、系统化，让高质量发展的绿色底色更加鲜明！

报送单位：无锡苏南国际机场集团有限公司

联系人：冯爱华

邮箱：aiwa1031@163.com

4. 大型枢纽机场绿色低碳转型实践案例 - 深圳宝安国际机场

案例关键词：双碳方案、节能降碳、低碳共识、可复制

案例摘要：案例以新发展理念为引领，以科学咨询为支撑，以技术创新为驱动，以质量管理为基础，以重点项目为抓手，以人才队伍建设为引擎，以共建共治共享为导向，“碳”索出了“深圳机场双碳方案”，可被广泛复制和应用。

一、案例背景

近年来，我国经济已由高速增长阶段转向高质量发展阶段，碳排放“双控”和环境保护形势日益严峻，业务发展和资源环境刚性矛盾愈加突出。面对新形势新使命新要求，加大“双碳机场”建设力度对深圳机场提升管理效能、减少资源消耗、降低运营成本、塑造低碳品牌、实现绿色发展至关重要。深圳机场通过“碳”索绿色低碳转型实践，书写“深圳机场双碳方案”，擦亮了高质量发展的绿色底色。

二、案例详情

（一）基本信息

深圳机场紧扣“双碳”目标，以新发展理念为引领，以科学咨询为支撑，以技术创新为

驱动，以高质量管理为基础，以重点生态文明建设项目为抓手，以人才队伍建设为引擎，“碳”索出了“深圳机场双碳方案”。

一是践行低碳理念，增强内生动力。深圳机场积极贯彻习近平生态文明思想，建立由生态文明建设工作领导小组、职能部门和基层生产单位组成的三级生态文明建设管理体系，董事长任领导小组组长。将双碳工作摆在生态文明建设的突出位置，主动开展《碳达峰碳中和专项研究》，谋划碳达峰碳中和实施路径，统筹发展与双碳的关系；加强碳排放双控，稳妥有序优化能源消费结构，深挖需求侧节能降碳潜力；设立“碳秘之旅”知识分享板块，普及碳达峰碳中和知识，积极开展绿色低碳宣传，树立生态文明宣传新风尚。

二是依托专业团队，发挥智囊作用。深圳机场多次聘请专业团队，通过实地踏勘、深入了解，量身定制《“十三五”节能规划》《“十四五”生态文明建设规划》，全面系统谋划“十四五”期间生态文明建设总体布局和实施路径。针对重要用能区域，提出节能降碳、资源循环利用的规划目标。同时，深圳机场还编制了“十四五”生态文明建设规划重点项目滚动实施计划，有计划有步骤将节能降碳项目纳入到年度生态文明建设工作方案中，确保项目的合理布局、整体把握、统筹推进、全面高效。

三是运用新型模式，降低改造风险。机场施工时间受多重因素影响，节能改造一般会耗费较大的时间成本和人力成本。深圳机场积极引入新型市场化节能机制——合同能源管理模式，实施照明和空调改造等项目，以达到快速节约能源费用、减少管理成本、降低改造风险的目的。结合国内机场合同能源管理项目实施情况，深圳机场还对合同能源管理的商业模式、影响因素、风险进行分析，构建机场合同能源管理模式选型模型，为机场节能降碳项目的实施方式选择提供充分指导。

四是数据智慧赋能，优化决策依据。深圳机场不断完善数据收集计划，从能耗数据收集扩展到碳数据、设备运行数据等；持续加强数据收集和分析，为降本增效工作提供可靠依据；研究影响能耗关键因子，优化主要能耗系统和设备的节能操作手册；加强水、电、供冷等能耗指标的监测与评估，不断优化能源管理平台，提升T3航站楼、卫星厅和GTC的运营管理效能。针对航站楼的水冷电制定长久的专项激励措施，推动节能工作持久长效。

五是发展清洁能源，改善能耗结构。深圳机场积极推动能源清洁化发展，大力建设机场分布式光伏发电系统，在光伏一期二期装机容量达14.5MW的基础上，整合资源，分阶段实现屋顶、水面、露天停车场等区域，实施新一期32MW光伏发电项目建设。深圳机场以光伏发电为切入点，不断提高绿色能源使用占比，促进机场能源结构转型，进一步提升深圳空港的绿色低碳发展水平，打造绿色机场标杆。

六是落实内外检查，走稳双碳之路。深圳机场定期开展双碳自查和委托第三方进行能源

审计，检查自身落实节能降碳法律法规和标准落实情况；计算分析航站楼的能效指标，检测航站楼的经济运行情况，对标最优秀的能效评价指标；挖掘航站楼的节能潜力，给出航站楼的节能降碳方案，保证碳排放水平处于前列，能耗费用得到合理控制；定期排查其他区域在能耗方面存在的问题和薄弱环节，力争实现资源的合理配置和高效利用。

七是深化技管融合，打造人才高地。深圳机场不断加强技术与管理的融合，组建专业团队——能源管理中心，让管理人员更深入地理解节能技术，同时也让技术人员更多地参与管理决策，形成一个既懂技术又懂管理的高效团队。注重吸引和留住优秀的能源管理人才，提供良好的工作环境和激励措施。

八是共建共治共享，凝聚低碳共识。深圳机场联合生态环境主管部门、行业主管单位以及航空公司成立深圳空港生态文明建设委员会，协同推进减污降碳，持续优化绿色治理体系，加快落实民航高质量发展重要举措，推动形成共建共治共享的“绿色空港”新格局，为民航绿色低碳发展贡献深圳机场方案。

（二）相关荣誉、奖励、奖项等情况

深圳机场积极响应国家生态文明建设、民航局四型机场建设等政策要求，不断探索绿色低碳发展路径，打造典范工程。

序号	年份	奖项
1	2016	深圳市生态文明建设考核优秀单位
2	2017	生态广东建设优秀单位
3		深圳市生态文明建设考核优秀单位
4		深圳机场航油质量中心项目 绿色建筑设计深圳市铜级
5	2018	国际机场碳排放认证（ACA 一级）
6		ISO 50001 能源管理体系认证
7		深圳市生态文明建设考核优秀单位

序号	年份	奖项
8	2019	全球能源管理领导奖
9		国际机场碳排放认证 (ACA 二级)
10		民航打赢蓝天保卫战首批示范单位
11		全国优秀能源管理案例
12		深圳市清洁生产企业
13	2020	国际机场碳排放认证 (ACA 三级)
14		民航打赢蓝天保卫战先进单位
15		卫星厅国家三星绿色建筑设计认证
16		深圳市公共建筑能效提升示范项目 (深圳机场航站楼照明系统节能改造项目)
17		深圳市生态文明建设考核优秀单位
18	2021	深圳市“绿色低碳十佳企业”
19		深圳市生态文明考核优秀单位
20		深圳可持续发展大奖
21	2022	深圳市生态文明考核优秀单位
22		深圳可持续发展示范企业
23	2023	民航五星级“双碳机场”
24		深圳市生态文明建设考核优秀单位
25		深圳碳市场绿色低碳先锋企业
26		绿色交通实践创新基地

三、建设成果

在绿色低碳转型中，深圳机场抓住影响 T3 航站楼冷吨使用量的关键因子，制定航站楼绿色运营手册，降低了 T3 航站楼能耗成本；大力推动车辆“油改电”，改善能耗结构，飞行区内新能源车辆比例超 42.91%，充分利用夜间低谷时段降低新能源车辆使用成本；成功实施公共区照明节能改造、负一层行李分拣区照明提升、办公区照明节能改造等节能降碳项目，三个项目的年节能量达 1809.09 吨标准煤，年碳减排量达 8394.82 吨；已建成 14.5MW 屋面光伏项目，计划分阶段实现屋顶、水面、露天停车场等区域的光伏建设全覆盖，全部项目建成后预计总装机容量 270MW，年发电量超 2 亿度，年碳减排 25 万吨左右。

四、取得成效

深圳机场绿色低碳转型实践还带来了以下成效：

(1) 助力资源效率大幅提升。该实践激发了全员节能降碳潜力，使得深圳机场能耗费用得到有效控制，资源配置更加合理高效，对机场所在区域资源效率提升和实现双碳目标有着积极影响。

(2) 推动民航行业绿色发展。该案例贯穿疫情前后，证明了机场航空运输行业在多种情况下都可以实现绿色低碳运营，为其他机场提供了可借鉴可复制的成功案例。

(3) 助力大型建筑绿色运营。航站楼是较为复杂的大型公共建筑，航站楼的绿色低碳运营模式具有高度的通用性，可以被广泛的应用于各种建筑环境，如商业大楼、学校、图书馆等。

(4) 推动节能服务产业发展。深圳机场充分发挥国有企业率先垂范作用，通过大力建设合同能源管理示范项目，营造推行合同能源管理的有利氛围，助力解决社会就业和推动节能服务产业持续健康发展。

报送单位：深圳市机场股份有限公司

联系人：谢颖

邮箱：xichao@szairport.com

5. “近零碳航站楼”实践探索案例 - 井冈山机场

案例关键词：双碳，近零碳航站楼，光伏建设，技术革新

案例摘要：从机场航站楼能耗分析着手，在能源链条上，由需求转向供给；以光伏建设、节能改造等举措为抓手，实现节能降碳质的转变。机场规模、用能需求均具有相当代表性，为中小机场探索“近零碳航站楼”建设提供可行道路。

一、案例背景

2019年9月，井冈山机场新航站楼启用，面积1.36万平方米。新楼启用后，机场航站楼能耗大幅上升。为建设绿色机场，机场对近年能耗、碳排放数据进行分析，力求找出“近零碳航站楼”建设思路。

（一）现状分析。

井冈山机场2016年-2020年能耗数据、碳排放、航站楼电力消耗及碳排放情况显示，机场新航站楼启用后，能耗大幅上升，特别是航站楼内燃油供暖系统的启用，冬天消耗了大量的燃油以保证航站楼供暖服务质量；2020年碳排放约为1166吨，较2019年新航站楼投运前有大幅增加。航站楼单位建筑面积耗电量为163.13kWh/m²，根据MHT 5112-2016《民用机场航站楼能耗评价指南》要求，井冈山机场属于乙II类机场，这一类机场航站楼的能效指标要求为约束值120kWh/m²，目前机场单位建筑面积耗电量比标准约束值要高。

综上，降低航站楼能耗，建设“近零碳航站楼”显得意义重大。因此，井冈山机场着力推进在航站楼设施节能化改造、光伏建设等，降低碳排放。

（二）总体思路。

机场航站楼目前碳排放主要是耗电（暖通、照明）和耗油。因此建设“近零碳航站楼”总体思路是针对此这些源头采取“靠己-管理提升少排碳、靠地-技术革新降排碳、靠天-光伏建设再减碳”等措施，充分利用“天”与“地”的资源禀赋，实现“绿色发展不排碳”。

二、案例详情

场景一：“靠己”——管理提升少排碳。

“靠己”，就是依靠自身不断完善能耗管理，尽可能提升航站楼暖通空调系统、照明系统等管理能效，降低航站楼及其为其供能的冷热源设施的能耗。

一是完善能耗计量管理。每月对航站楼用能设备能耗数据进行记录分析、横向比较，发现节能管理存在的异常、漏洞，提出节能意见或改造方案。每年对各建筑楼制定年度用能指标并签订责任状，责任落实到部门、到人，每月对数据统计更新、通报等，在年终考核中进行奖惩兑现。

二是实施目标量化考核管理。每年对各建筑楼制定年度用能指标并签订责任状，责任落实到部门，每月定期对数据统计更新、通报等。

三是开展航站楼照明系统集中封闭管理。建立航站楼的照明系统采用分区控制、分时控制、集中控制的管理机制。

四是强化节能宣教培训。利用月度用电检查、节能宣传周等多种形式，开展节能降耗宣传，增强员工降耗减排意识，动员全体共同努力实现节能降耗。

五是积极对标“双碳机场”评价。按照《民航局关于同意机场协会组织开展中国民用运输机场“双碳机场”评价工作的意见》，井冈山机场启动了2022年度“双碳机场”评价工作，组织编制能源管理体系和碳排放管理体系文件、年度能源分析和审计报告、第三方碳核查及碳核查报告和现场评审。

场景二：“靠地”——技术革新降排碳。

“靠地”，就是通过技术革新改造，增设14台低环境温度空气源热泵机组，替代现有的燃油锅炉房，辅以调控系统，解决航站楼的供热和制冷需求。项目投运后能够做到设计温

度条件下航站楼热负荷的全替代，燃油锅炉转入备用。每年减少柴油使用量至少 12 万升，减碳 313 吨。而空气源热泵机组的电力也来自于“靠天”的光伏系统发电，达到降低碳排放效果。

一是中央空调空气处理机组控制系统完成革新。为实现智慧调控，在航站楼内安装空气监测装置，在动力中心安装气温监测仪，实行实时感知、智能控制从而保障航站楼制冷、供暖。其次，原先采取的手动式的分区、定时控制，由于时控开关无法准确跟随航班控制时间，致使风机运行时间过长，用电浪费。现采用手机端远程控制技术，配合智慧调控，以便随时根据航班时间进行调整，降低电能过度消耗。

二是更换 LED 照明设备。由于航站楼、高杆灯高度较高，灯具不易更换。因此航站楼照明灯和高杆灯采用使用寿命较长的 LED 灯具以减少更换次数，降低维护阶段的人力物力消耗。已更换 126 具 LED 型节能灯，同时高杆灯另加装远程控制系统。

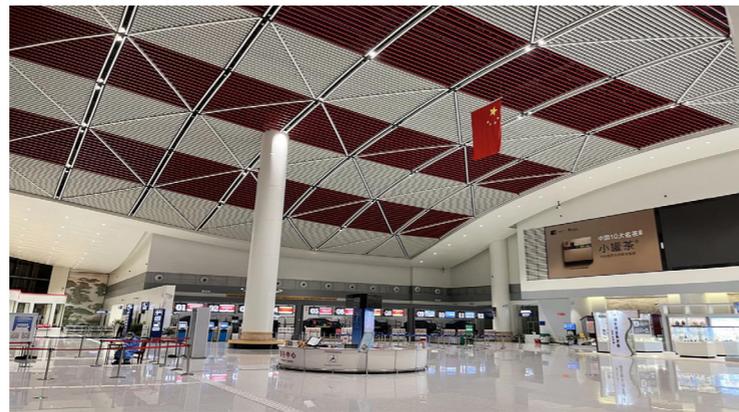


图 1 井冈山机场航站楼改造后的 LED 节能灯

三是完成节能路灯改造。为了降低夜间，机场对光强、能见度等要求不高的区域路灯电能消耗，现采用太阳能发电（白天储能，夜间自动开启），年减碳量约为 18 吨。

场景三：“靠天”-光伏建设再减碳。

“靠天”，就是充分利用机场区域光照资源和场内的空地，建设光伏发电系统，辅以直流驱动和蓄能系统，确保航站楼及附属能源设备设施的白天和夜间的耗电需求，从而实现使用清洁能源达到零排放。

井冈山机场建设光伏的装机容量为 1520kW，年发电总量 144 万度，设计使用年限 25 年。主要在机场三处安装太阳能板：一是机场综合楼屋顶，可利用面积约 1000 余平方米；二是

机场综合楼停车场，可用面积约 540 平方米；三是本场机坪正北向土质区，可用面积 9000 平方米。



图 2 井冈山机场飞行区机坪正北向土质区光伏

2022 年 3 月 15 日，井冈山机场光伏项目正式开工。2022 年 6 月 15 日，项目顺利通过地方电力部门验收，于 6 月 18 日实现并网发电。项目采取“就近接入、自发自用、余电上网”方式，共设 6 个 0.4kV 并网点，分别并网至动力中心配电房及航站楼配电房相应低压开关柜，预计可减少二氧化碳排放量约 792 吨 / 年。

三、成果与效应

（一）光伏项目累计预期收益超 280 万。

项目全部建设完成发电后，首年发电 144 万度，第 25 年发电 134 万度，25 年累计发电 3648 万度，节约电费预估 286 万。2022 年 6 月 19 日开始并网发电。2023 年，合计发电 195.6 万度，机场使用 127.8 万度，上网 67.8 万度，为机场节约电费 18 万元。

与相同发电量的火电相比，相当于每年可节约标煤约 5000t(以平均标准煤煤耗为 305g/kWh 计)，相应每年可减少多种大气污染物的排放，其中减少二氧化碳约 1623t，二氧化硫排放量约 48.9t，氮氧化物约 24.45t。减少了有害物质排放量，减轻环境污染，同时不需要消耗水资源，也没有污水排放。

该项目是江西地区支线机场第一个兆瓦级光伏项目，也是继大兴机场后民航第二个跑道边侧的光伏项目，该项目的投用标志着江西地区民航机场光伏项目进入兆瓦级时代，也标志着井冈山机场碳达峰、碳中和工作迈入新阶段。

(二) LED 照明设备年节电 2.2 万度电。

LED 照明比普通日光灯所消耗的能源要减少二分之一，使用寿命长、发光效率高，具有较好的节能减排作用。更换 LED 灯具的同时加装远程控制系统，形成具有机场特点的场景联动，年节电量约 2.2 万度电，节能率大于 50%。

(三) 中央空调空气处理机组控制系统年节电 2.4 万度电

采用远程控制技术，可以根据航班登机口进行分区、分时控制空调，避免多余的风机运转耗能。2022 年 6 月，井冈山机场已完成风机改造，经初步统计测算，每台风机一天可减少运行 1 小时，全年可节省约 2.4 万度电。

(四) 精细化管理助力年节电 1.2 万度电。

通过能耗计量管理和目标量化考核管理，营造了良好节能氛围，节能降耗意识显著提升；航站楼照明系统集中封闭管理，实现了航站楼的照明系统分区控制、分时控制、集中控制，有效提升了能耗精细化管理水平，全年可节省约 1.2 万度电。

(五) 获评 2022 年度二星级“双碳机场”。

通过管理提升、技术革新、光伏项目建设等系列节能降碳措施，积极对标“双碳机场”评价标准完善节能降碳举措，不断完善能源管理，2022 年 8 月 1 日申报“双碳机场”评价二星级，通过民航局机场协会初审；2023 年 2 月井冈山机场获评 2022 年度二星级“双碳机场”。2024 年 3 月 18-19 日，完成“双碳机场”评价工作符合性审查现场审核工作。



图 3 井冈山机场荣获 2022 年度二星级“双碳机场”

四、经验启示

(一) 理念层面。

一是因势制宜。国家、民航局大力倡导双碳建设，建设近零碳航站楼，打造一个规划建设科学有序、环境友好绿色低碳，符合新时代民航高质量发展要求，满足人民群众美好出行需求的现代化绿色机场是大势所趋。

二是因地制宜。井冈山机场有得天独厚的气候条件，光照资源丰富，机场地区年平均利用小时数约在 1100h 左右。要结合本场人员、设备、场地等实际情况开展技术改造、项目引进，充分评估项目对机场运行、净空、电磁环境保护等的影响，重视总体规划、综合平衡，确保项目与本场运行相符合并取得实效。

三是因人制宜。井冈山机场有理想的建设场地和融洽的军民融合关系，机场停机坪北侧空地面积适宜，且获得驻场部队支持认可；有合适的光伏建设伙伴，达成友好合作协议，由对方出资、施工，共同获益、实现双赢。

(二) 方法层面。

一是风险管理。大型项目的建设实施对保障运行可能存在各种不确定风险，在施工前需组织各单位开展全面风险评估，准确全面识别可能存在施工风险、制定管控措施；在施工过程中，重点强化对人员进出机坪通报引导、施工物料现场管控等，确保不影响运行安全；施工后期做好场地复原、收尾、验收、运营等工作。

二是突出问题和结果导向分别施策。立足于节能增效、减排降碳共性问题的解决和目标的完成，针对不同需求和问题采取不同措施，制定针对性解决方案，确保务实有效。

三是自上而下与自下而上相结合持续推进。机场自上而下的引导、组织与业务部门自下而上参与推动相结合，充分发挥各用能单位的主体作用，通过对外引进光伏等项目和内部技术创新改造等措施，切实解决好节能增效、减排降碳等项目技术选择难、落地难、融资难等问题，增强绿色发展内生动力。

五、思考

1. 目前，国内中小机场已完全实现近零碳航站楼建设的机场较少，缺少可以借鉴应用于近零碳航站楼建设的案例，且民航局目前尚未出台行业标准。为了更好地指导民航业在规划建设时落实“双碳”要求，如何制定相关指引标准？

2. 为了落实国家“双碳”政策，2020年民航局发布了《中国民航四型机场建设行动纲要（2020-2035年）》的通知、《四型机场建设导则》等，为绿色机场建设指明了方向、明确了路径，各类机场通过绿色项目建设、引进新能源设备、开展节能改造等多种举措推进绿色机场建设。作为民航业的其他主体，如民航生产制造单位、设计单位、航空公司等为绿色民航建设可以开展哪些工作？能否与机场形成联动？

报送单位：江西省机场集团有限公司吉安机场分公司

联系人：钟尚

邮箱：jajcglb@cahs.com.cn

PART 02

入选案例



1. 航站楼空调并入物联网实时调控节能系统 案例 - 哈尔滨太平国际机场

案例关键词：空调；智能化技术；节能减排；绿色机场

案例摘要：随着哈尔滨机场航站楼的不断扩建，哈尔滨机场的空调系统碳排放量不断攀升，本案例即深度还原了哈尔滨机场动力能源保障部自主研发的“智慧空调”改造工程——利用新型通讯芯片和云服务器，结合物联网最前沿的网络传输协议，创造出空调智慧控制系统的全过程。该系统于2020年度供冷季投入使用，经验证，该系统降低能耗效果显著，平均每日可减少空调系统0.212吨标煤排放。



图1 哈尔滨机场2014年至2019年每平方米耗能统计

为了找到空调系统的节能空间，我在夏季供冷季对航站楼内的空调开关时间及所控区域的温度进行了为期15天的统计分析，我把每一天内所有区域低于24℃所持续时间的总和的平均值称为浪费能源时间，把每一天内所有区域高于24℃低于27℃所持续时间的总和的平均值称为正常工作时间，每日所测数据如图4所示。

由此可见，空调系统每日的浪费能源时间超过正常工作时间的一半，这便意味着对空调系统的精准调控能够大幅降低无效的电力损耗！

一、案例背景

随着哈尔滨机场航站楼的不断扩建，哈尔滨机场的空调系统能耗不断攀升，从T2航站楼转场前的年耗能298.647吨标煤(20台空调机组)至转场后的943.872吨标煤(62台空调机组)，空调系统能耗整整翻了3倍！2024年2月，哈尔滨机场T2航站楼有62台空调机组，合计功率969.8kW，每日保持常开的空调机约58台，空调机组每日从出港开始（约凌晨4点）至进港结束（约夜间2点）需工作22小时。保障区域为T1/T2航站楼，保障面积约为13.52万平方米。图3为哈尔滨机场2014年至2019年每平方米耗能统计，由图3可以看出，2014年至2019年期间，哈尔滨机场航站楼单位面积供热所需的能耗越来越高，2019年单位面积耗是2014年的2.3倍！2019年全年碳排放量高达2000吨，相当于间接释放二氧化碳5000吨，如不进行强有效地控制，2025年二氧化碳排放量预计达到7000吨！

二、案例详情

（一）基本信息

为了解决空调系统的耗能问题，我们组成小队，我们立即开始行动，重新梳理整个项目的需求与关键因素，在AHP层次分析法的基础上，结合全面质量管理理论，从三因素分析法着手，对多种选择进行深层次，多角度的剖析，查找哪些因素是空调智慧控制系统需要考虑的关键性因素，对其制定行之有效的解决方案，以确保最终方案的可行。

最终我们舍弃了性能过盛，价格昂贵的4G模块，采用2G模块作为新的物联网模组，新的方案表如下：

物联网空调项目	硬件	物联网温度计模块	SHT35 传感器
			STM32F103 单片机
			4.3 寸液晶屏
			2G 模块
	空调物联网控制模块	2G 模块	
	软件	Mqtt 云服务器	EMQX
ECS 云服务器		ecs.n4.small	
前端展示网页		Homeassistant	

表 1 二次选型表

产品安全性：1、影响产品安全性的首个因素便是材质，为了不让本产品发生高温自燃而导致火灾，本次产品壳体，在采用 solidworks 自主建模设计的基础上，采用耐高温树脂的材料，以 3D 打印的形式产出；2、硬件电路和开关电源也是影响产品安全性的一大因素，本次项目选用目前最主流的 5V1A 开关电源设计方案，电路设计采用数万人使用过的设计方案，在中国最大的 PCB 打样平台嘉立创进行打样。

产品稳定性：开发板打样到货后，经过多次超负荷测试，未曾发生高温、火花、短路等危险现象，在 5V1A 的供电情况下，持续稳定运行，无宕机等现象。程序方面，编写约 2 万字代码，多人反复测试代码逻辑性，经 3 个月的修改，代码健壮性极佳。电源方面，由于 220V 转 5V 的电源方案极多，任何一个手机厂商都能提供稳定的电源转换器，故我们直接采购国内知名的充电器厂商绿联的 220V 转 5V1A 的转换头，使用时无发热现象，极其稳定。

产品易用性：说完产品的安全与稳定，下一个最重要的便是产品的易用性。在软件的前端展示界面上，我们经过多次改良，最终决定使用世界知名的物联网开源软件 homeassistant，将其部署在自己的云服务器上，保证安全的同时，最大的发挥其性能。同时，即可通过手机端访问，也可通过电脑端访问，保证产品的方便、快捷、易用。手机端制作过程中的使用界面如图 2 所示。



图 2 用户手机端使用界面（部分）

芯片方面分析：首先，芯片是任何电子项目中必不可少的一环，我们对芯片的选型有着以下要求：经济、耐用、稳定。故在 4G 与 2G 之间选择时，我们选择了价格低廉的紫光展锐（中国最大的综合性集成电路企业）的 2G 芯片，根据我们的分析，2G 芯片的性能已经完全可以满足物联网温度计和远程控制产品的使用，因为空调系统对实时性的要求并不高，1s 甚至 3s 左右的延迟完全可以接受。在单片机方面，我们选择了 STM32F103C8T6 作为读取温度数据的主控芯片，F103 系列是 STM32 中的低性能系列，但完全可以实现物联网温度计的所有功能。

云服务器方面分析：服务器采取租用云端服务器模式，免去自行购买维护服务器的麻烦。租用的服务器规格如表 2 所示：

属性	规格
CPU	1 核
内存	2GB
实例类型	I/O 优化
操作系统	Windows Server 2008 R2 企业版
带宽	1Mbps
弹性网卡	eni-bp19axymtpqj853avb5p

属性	规格
网路类型	VPC
地域	华东 1 (杭州)
实例规格	ecs.n4.small
实例规格族	共享计算型

表 2 云服务器具体参数

温湿度传感器方面分析：当我们在对温湿度传感器进行选择时，发现数字温湿度传感器产品极多，我们尝试了 DHT11、DHT22、DS18B20、SHT10 等等传感器，最终我们发现小米公司生产的 2 代蓝牙温度计所采用的 SHT30 温度传感器具有价格低，稳定性高等特性。我们进一步对其研究发现该传感器产自瑞士的 Sensirion，并且 SHT 系列包括低成本版本 SHT30、标准版本 SHT31，以及高端版本 SHT35，小米温度计使用的是低成本的 SHT30，后续对 Sensirion 的 SHT 系列传感器进行温湿度精度对比后（精度表如图 12 所示），最终决定选择精度最高的 SHT35 作为本次项目的温湿度传感器。

建设成本方面分析：最后，建设成本低。空调智慧控制系统的投资预算仅为 1.793 万元。表 3 为空调智慧控制系统预算明细表。

序号	明细	单价 (元)	数量	预算费 (元)
1	主控板	50	30	1500
2	2G 模块	50	70 个	3500
3	移动物联卡	30/ 年	70 个	900
4	杜邦线等接线材料	150	1	150
5	4.3 寸 LED 液晶屏	68	20 个	1360
6	3D 打印外壳	68	20 个	1360
7	SHT35	98	20 个	1960
8	云服务器	450/ 月	12 月	5400
9	数据库	100/ 月	12 月	1200
10	220V 转 5V 模块 + 电源线	20	30 个	600
合计		17930		

表 3 空调智慧控制系统预算明细表

(二) 相关荣誉、奖励、奖项等情况

本案例在 2020 年首都机场管理集团管理案例评审比赛中获得绿色机场类一等奖。

三、建设成果

2020 年 7 月 1 日，该系统已投入运行，由空调站负责提供哈尔滨机场航站楼的全部供冷供热保障。经过 7-8 月供冷季的运行使用，哈尔滨机场空调智慧控制系统在节能减排、运行成本、节约人力、室内温度、稳定性和投资回报率等方面均取得了显著的效果。

运行成本低、节约人力

该产品为 5V/2A 的供电方式，消耗电能可忽略不计。并且每日减少巡视测温工作的时间约 4.5 小时，节约了大量人力资源，以尽可能少的资源消耗，现了工作目标。

室内温度波动小

智控系统使用前，室内温度无剧烈变化，并且温度都在保障范围内，未接到因温度不适而造成的投诉。

稳定性良好

为期两个月的使用，仅一日因机场移动基站损坏，设备无法取得 2g 信号而受到影响，其他时间无掉线、失效等情况。

四、取得成效

投资回报率高

双热源互为备用系统投资金额为 1.793 万元，仅两个月时间，就节省运行成本约 128 万元，投资回报率超过 713%。

实现节能减排

如图 4 所示，使用该系统前后一个月中，7 月份每日约使用 22 小时，耗费 660 度电（所测试的空调机组功率为 30kW）。安装空调智慧控制系统后，每日仅工作 13 小时，节约约 270 电。而哈尔滨机场 T2 航站楼新风机组和空调机组共计 60 台，总功率约 936.9kW，以往供冷季每日约消耗 20611.8 度电，应用项目后供冷季每日约消耗 18886.2 度电，相当于每日减

少了 0.212 吨标煤排放。

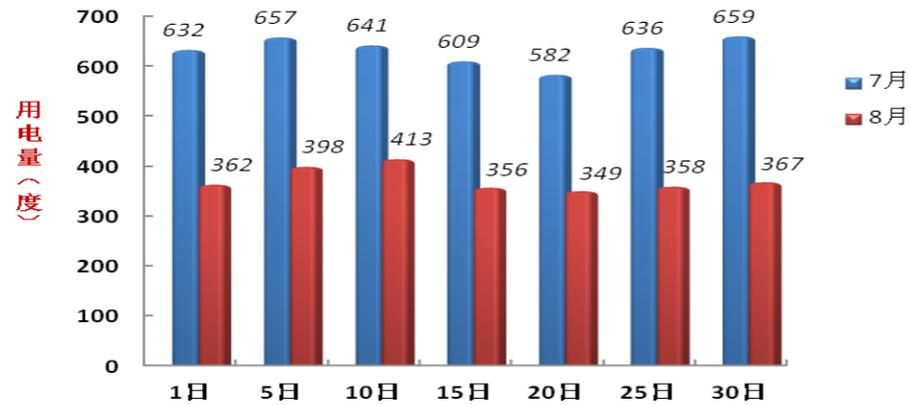


图 4 空调智慧控制系统使用前耗后耗对比

2. 采暖空调管网系统整合案例 - 榆林榆阳机场

案例关键词：燃气锅炉 采暖空调 管网整合

案例摘要：榆林机场于 2008 年完成一期建设，2020 年进行了二期扩建，扩建后分别由一期二期锅炉房分散供应场区热量冷量，考虑到两处锅炉房分别供热的散热损失、排烟损失、管道热损等热损失翻倍，且一期锅炉房经过多年运行设备效能降低。通过对场区供热系统整合的方式，将场区供热系统全部集中到二期新建锅炉房，场区供冷系统全部集中到二期新建制冷站，通过该方式全年减少燃气消耗 30 万立方米，节约人力成本 10 万元，全年减少碳排放 660 吨。

报送单位：黑龙江省机场管理集团有限公司哈尔滨太平国际机场

联系人：蒋大伟

邮箱：a1450003181@163.com

一、案例背景

随着民航业的快速发展，机场设施的运行效率和能源利用效率备受关注。其中，采暖与空调系统的高效运行对保障机场舒适环境、降低运营成本具有重要意义。

榆林机场一期采暖空调系统采用独立设计和运行模式，存在设备老化、能耗偏高、维护困难等问题。为解决这些问题，榆林机场启动了采暖空调管网整合优化项目，旨在通过系统改造提质增效，实现绿色、节能、高效的运行目标。

榆林机场一期 T1 航站楼建成于 2008 年，一期锅炉房是燃煤链条炉，为机场供热，2015 年榆林市要求开展燃煤锅炉改造，将燃煤锅炉改造为燃气蒸汽锅炉，锅炉型号为 SZL4-1.25-QY，天然气消耗量为 280m³/h，用于冬季供热夏季制冷，其中供热采用管壳式换热器换热，

制冷采用吸收式溴化锂制冷机进行制冷，供热负荷 3.8MW，制冷负荷 1.8MW。

榆林机场二期 T2 航站楼于 2020 年 9 月 30 日完成转场，含 T2 航站楼、综合业务用房、员工公寓等新建单体及二期锅炉房，全场区总供热负荷达到 11.62MW，制冷负荷达到 10.51MW（含一期场区冷热负荷），转场后一二期锅炉房同时运行，全年计划燃气用量 260 万 m³，预计全年碳排放 5720 吨，燃气费约 500 万元，同时考虑到二期锅炉房已将一期热负荷全部核算在内，若两处锅炉房同时运行，会造成排烟损失、锅炉炉体损失、管道热损、换热器效率低，部分单体建筑的热负荷会超出设计负荷，考虑到能源成本增加、人力成本增加、碳排放增加，有必要整合一二期供热空调管网。

二、案例详情

榆林机场采暖空调管网系统整合项目核心在于如何合理调配热量以及如何解决管路敷设过程中的应力问题，确保一二期供热系统运行均衡平稳。为达到该目的，经过对接设计院，核算供热供冷负荷，确定水流量、热量、管径等三方面的数据，同时针对沿程阻力情况，热量损失情况进行适当调整，最终选定供热系统最优碰口位置以及空调系统最优碰口位置。

实施碰口时为确保一期采暖空调系统不影响二期采暖空调系统，在管路碰口位置进行阀门布置、该阀门同时具备截流和流量调节两项功能，在管路敷设过程中，考虑到后期巡查的便利性，管路运行的稳定性，采用地沟敷设，将管路布置于地沟管路支架，解决新旧管路碰口位置的膨胀补偿问题，将管路全局沿程应力进行核算，确定碰口位置的应力及补偿量，并选定合适补偿器进行管路膨胀补偿。

为解决管路热量损失问题，管路采用聚氨酯保温外部加聚乙烯保护壳的方式进行管道保温，经实测每公里温度降低仅 1℃。完全符合管路沿程热量损失范围。

经过场区实地勘察，一二期管网距离最远端为 150 米，最近端距离为 65 米，通过管道将一二期管网联通，并安装阀门予以流量控制，减少一期对二期系统的影响，同时将一期锅炉房作为备用。

经过该整合项目，实现了机场一二期供热系统的全面整合，一期锅炉房基本处于停运状态，大大降低了机场的碳排放，同时减少热量浪费，节约能源。

三、取得成效

榆林机场通过采暖空调管网系统整合项目，每天燃气用量减少 2000m³，每年节约燃气约 30 万 m³，节约能源费 58.8 万元，同时每年减少人员成本 10 万元，显著降低环境氮氧化物、二氧化碳排放，全年可减少碳排放 660 吨。

四、典型经验及思考

榆林机场通过管网改造，合理分配二期热网热量，减少一二期热量不均衡问题，在小幅度增加二期用气量的情况下，停用一期供热系统，使二期热量得到充分利用，该方法适用于热源分散且每处热源浪费较大的供热系统。

报送单位：西部机场集团榆林机场有限公司

联系人：雷慧云

邮箱：leihy1@westairport.com

3. 供热制冷站溴化锂直燃机设备烟气余热回收案例 - 延安南泥湾机场

案例关键词：烟气余热回收

案例摘要：在直燃机组烟气排气管道处安装烟气余热回收装置，有效利用烟气排气和卫生热水补水（回水）之间的温度差，实现“气水换热”，不仅降低排气温度，减少烟气中粉尘等有害物对空气的污染，而且可提高卫生热水补水的温度，降低天然气使用量，从而达到降低运行费用，实现节能减排目的。

一、案例背景

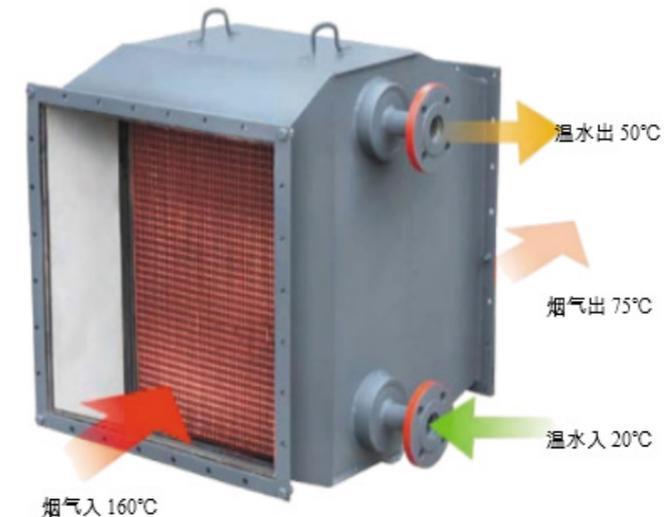
延安南泥湾机场场区全年需使用直燃机提供生活热水，且冬季采暖、夏季制冷均需使用直燃机组，直燃机燃烧后烟气排气温度较高，而卫生热水补水（回水）温度较低。

二、案例详情

本项目在两台直燃机组烟气排气管道上安装烟气余热回收装置，有效的利用烟气排气和卫生热水补水（回水）之间的温度差，实现了“气水换热”，不仅降低了排气温度，减少了烟气中粉尘等有害物对空气的污染，而且利用烟气余热提高了卫生热水补水的温度，降低了天然气使用量，从而达到降低运行费用以及实现节能减排的目的。

三、建设成果

延安南泥湾机场目前安装两台烟气余热回收装置，总造价约 15 万元。



因延安南泥湾机场有需热水及采暖的需求，该设备用于热水、采暖水系统，放置在直燃机内，该设备具有以下独特优势：省钱多—余热回收，变废为宝；效益好—回收 8-10% 燃料总热量，2 年内回收投资；效率高—导热好，换热面积大；安装易—体积小，重量轻；维护简—不结垢；寿命长—特殊防腐材料，整体钎焊，无运动部件消白烟—冷凝排烟水蒸汽，冬季消除烟气白雾。烟气余热回收利用切实对于直燃机原材料的使用率具有大幅度的提升，并且在经济方面还可以达到减少浪费、节约开支和材料投入的目的，帮助企业实现利益最大化，在环保方面，也避免了烟气直接排放的空气中所造成的污染，保障了空气的质量，因此，烟气余热回收技术对我们的日常生产和生活极具研究意义，大力开展对烟气余热回收技术的研讨将有助于我们的综合发展。

四、取得成效

在实际运行中数据显示，目前延安南泥湾机场卫生热水年用水量约为 2500 立方米，且常年卫生热水补水（自来水）温度低于 15°C，通过烟气余热回收装置，可将补水温度提高约 25°C，这样全年预计可节约燃气约 7.3 万立方米，按照延安市目前燃气单价 2.876 元 / 立方米计算，全年可节省费用约 20.1 万元。同时根据实际使用情况，冬季采暖约 5 个月、夏季制冷约 1.5 个月，共计 6.5 个月直燃机为全天开启状态，在此期间，余热回收装置基本可以实现

全部利用；这样，核算全年余热回收装置投入运行时间约为全年的 50%，实际年节约费用约为 10.05 万元，预计 1.5 年可回收投入。

报送单位：西部机场集团延安机场有限公司

联系人：李朵

邮箱：liduo@westaport.com

4. 污水处理厂中水回收利用设施案例 - 延安南泥湾机场

案例关键词：节水与水资源利用

案例摘要：建设中水回收利用设施，既可以有效节约有限、宝贵的水资源，又可以减少自来水供水系统的投入，同时也有利于保护环境和地下水资源，具有明显的节能降碳效益、社会效益和经济效益。

一、案例背景

延安南泥湾机场场区距离市政排水管网较远，同时场区除生活生产用水外，还需进行绿化灌溉、道路冲洗、车辆清洗等。自建中水回收利用设施，积极响应国家、行业节能减排要求。目前使用非传统水源用于绿化灌溉、道路浇洒和车辆清洗等，有效减少了市政自来水的用量，同时减少污、废水的排放。

二、案例详情

场区建有一座设计日处理量为 100 立方米的 BFBR 立体生态污水处理厂，同时配套有一座容量为 120 立方米的调节池及两座容量为 1500 立方米的中水池。

三、建设成果

本项目设置中水回收利用系统，利用回收处理后的中水进行绿化灌溉、道路冲洗、洗车用水，有效减少了市政自来水的用量。本项目设计与标准建筑相比，自建中水回收利用设施成本大概增加 80 万元，如果使用市政自来水代替非传统水源则每年大约需花费 7.12 万元，因此项目非传统水源利用系统的投资回收年限为 11 年左右，而随着延安市水价的提高，该投资年限将会缩短。此外考虑到延安市为缺水城市，使用非传统水源有利于城市节水，从投资成本回收以及响应国家节水、节能要求方面来看，本项目具备一定的综合效益。建设中水回收利用设施，既可以有效节约有限、宝贵的水资源，又可以减少污、废水排放量，减少水环境的污染，还可以缓解城市下水道的超负荷现象，具有明显的节能降碳效益、社会效益和经济效益。

四、取得成效

现结合延安南泥湾机场实际运行数据显示，场区年污水处理量为 1.5 万立方米，处理后中水全部进行回用，主要用于场区约 3.7 万平方米的绿化灌溉，如果使用自来水进行灌溉，大约需要 1.11 万吨水，按照目前场区自来水单价 7.37 元 / 吨计算，全年大约节约费用为 8.2 万元，此用水量和费用还不含冲洗车辆以及道路冲洗量以及市政污水并网费用及排污费等，目前切实显示使用中水回收利用设施切实有效减少了市政自来水的用量，同时减少污、废水的排放，减少了能耗费用，具有明显的环境效益、社会效益和经济效益。

报送单位：西部机场集团延安机场有限公司

联系人：李朵

邮箱：liduo@westaport.com

5. 旅客登机桥通道内空调智能联动与节能环保改造案例 - 西安咸阳国际机场

案例关键词：登机桥通道空调节能、联动机制、绿色低碳发展

案例摘要：西安机场通过电气元件逻辑性控制，创新性地实现了登机桥通道空调自动开关的效果，在满足旅客舒适性的同时达到节能减排的成效。项目展示了智慧机场的绿色实践，不仅大幅降低了能耗，还提供了宝贵的案例学习价值。

一、案例背景

登机桥是飞机与航站楼之间连接的可移动通道，便于旅客、工作人员进出机舱。目前西安机场共有 60 部登机桥，每部登机桥通道内前、后两端各配备一部空调。在设备改造前，通道空调需要人员手动控制，尤其在夏、冬两季，空调使用频次较高，人员需反复开、关空调，若空调未及时关闭，会造成不必要的能源浪费，也加速了设备老化现象。为提升能源利用率，降低运营成本，西安咸阳国际机场机电保障部通过研究元器件控制逻辑，实现登机桥启停与通道空调联动功能，预估每年可节省用电量 46.8 万度。

二、案例详情

（一）基本信息

本项目旨在实现登机桥与通道空调的联动机制，在无人看守时通道空调自动关闭，既为

旅客登机期间提供适宜的温度，又达到节能减排效果。

（二）思路及原理

1、应用思路：

为降低人员不规范操作带来的能源浪费，通过研究登机桥与通道空调联动功能，用以解决冬夏两季高峰期间，因人员未及时关闭登机桥通道空调，导致空调长期空闲使用的问题。

2. 应用原理：

通过在登机桥通道空调内部加装联动控制装置，当登机桥启动时，PLC 模块向空调机组进行供电，空调自动开启，反之登机桥关闭后，空调随之关闭。此外，如遇通道内温度适宜，人员可通过登机桥可视化界面执行手动启停功能，从“人”“机”两方面进行协同管理，大幅度降低能源损耗。

3. 创新成果：

此项技改实现了系统内部联动功能和可视化界面手动功能的同步应用，合理调配通道空调的启停工作，不仅满足旅客的服务需求，并且为企业节能减排、绿色低碳的发展理念做出重要贡献。

三、建设成果：

经数据统计，改造后的空调每月可节省电量 3.9 万度，减少碳排放量 30 吨，每年可节省电量 46.8 万度。预估每月可节省用电成本 2.847 万元，每年可节省用电成本 34.16 万元。此项工作不仅为机场节约了大量运营成本，也切实降低了机场的碳排放，为环境保护作出了积极贡献。

四、取得成效：

登机桥通道空调节能改造项目的成功实施，不仅为机场的节能减排工作树立了榜样，也为其他行业的节能改造提供有益借鉴。这种以用户体验为核心的节能方式，将成为机场和其他公共交通设施未来发展的重要方向，推动绿色低碳发展迈上新的台阶。

报送单位：西安咸阳国际机场股份有限公司

联系人：郝婧羽

邮箱：haojy1@westaport.com

6. 水蓄冷系统节能优化与能效提升改造项目 案例 - 西安咸阳国际机场

案例关键词：水蓄冷、模式切换、控制策略、节能、效率

案例摘要：西安机场针对水蓄冷系统运行模式单一、集成度不足等问题，深入探究，增设了电动调节阀、持压阀及在线清洗装置共计 8 台套，实现了制冷系统运行模式多样化，服务质量显著提升，并助力系统向绿色高效运行的目标迈进。

一、案例背景

1# 制冷站保障用户面积为 6.7 万平方米，负责 1 号航站楼、机场办公楼、海关办公楼等用户供冷保障任务。

此前，依赖于天然气锅炉生产的蒸汽驱动溴化锂吸收式冷水机组，但高昂的蒸汽成本（每吨约 220 元）使制冷总成本居高不下。2019 年，1# 制冷站在蒸汽缩停背景下，拆除了原有的 3 台 590RT 蒸汽型溴化锂机组，更换为 2 台 450RT 电制冷离心式冷水机组并配套 4 台蓄水箱，构建起高效的水蓄冷系统。这一革新举措使 1# 制冷站的冷负荷能力跃升至 4160kW，改造后制冷能源成本为 34.59 万元，改造年均制冷能源成本约为 160 万元，制冷能源成本降幅为改造前年均成本的 80%；制冷能效大幅提升。

1# 制冷站水蓄冷系统主要设备有制冷机组、空调水泵、冷冻泵、冷却泵、冷却塔各 2 台，蓄水箱 4 台。运行模式有蓄冷供冷、冷机供冷、冷机蓄冷、冷机蓄冷+冷机供冷、冷机供冷

+蓄冷供冷。在用户不同的负荷需求下,我们根据经济运行方案,采用最优运行模式提供冷源。

此次改造聚焦于单台冷机供冷模式和冷机蓄冷+冷机供冷模式切换切换、系统回水压力波动、冬夏模式自动切换等难点问题,通过对既有阀门进行改造并增设持压装置,成功实现水蓄冷系统模式自由切换和参数精准调节,提高制冷能效。

二、案例详情

(一) 基本信息

1. 案例具体问题分析

1) 冷机蓄冷+冷机供冷模式下流量分配问题

在冷机蓄冷+冷机供冷和冷机供冷模式下,蓄水箱无冷冻水进入,空调泵将冷冻水引至用户侧循环,用户侧有多余流量现象。本项目增加用户侧进出口电动调节阀和蓄冷模式的进口电动调节阀,通过上位机进行调节,使各种运行模式下均能自由切换,系统流量满足要求。

2) 单工况主机蓄冷模式流量不足问题

单台冷机蓄冷模式下,一台冷冻水泵运行流量不能满足工况需求,为确保流量正常必须现场手动关闭另一台冷机冷冻水阀门和用户侧进出水手动阀门,制冷季期间每日切换模式较频繁,增加值班人员工作量,长时间操作不利于设备正常使用。本项目在冷机前端增加两台电动阀,通过上位机进行控制,电动阀与制冷机组运行状态实现互锁,避免冷冻水分流。

3) 冬夏模式手动操作切换不便问题

在冬夏季模式切换情况下,需要值班人员现场手动开关阀门(阀门位置在地面标高6米处),增加值班人员工作量。在供热板换二次侧出口处加装电动开关阀,通过上位机便于值班人员操作。

4) 系统开式状态时压力偏小

在蓄冷供冷模式下系统处于开式状态,回水压力偏低不能满足用户需求,在系统回水管道处加装持压阀,并设定压力值,满足用户需求。

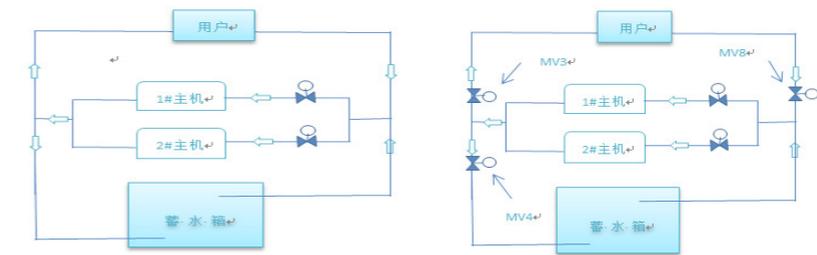
5) 制冷机组冷凝器管束换热效率降低

制冷机组作为水蓄冷系统的核心供能设备,因长期不间断运行使得冷凝器内部铜管易出现结垢或阻塞现象,导致机组运行效率降低、能耗增加,运行一定周期后需停机清洗冷凝器后才能恢复机组原有的运行工况与性能,不但清洗费用较大,而且还会造成机组在清洗时停

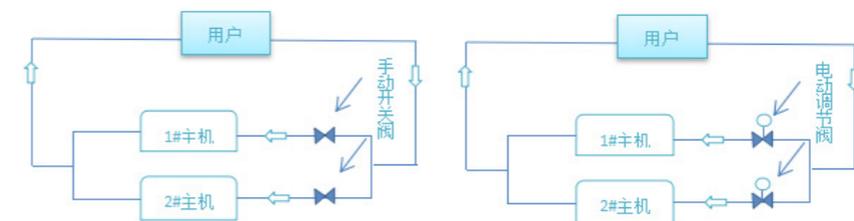
止运行。通过在制冷机组冷凝器管路侧加装全自动毛刷在线清洗装置,实现全自动在线清洗,提升机组运行能效,达到低碳高效运行效果。

2. 案例实施方案

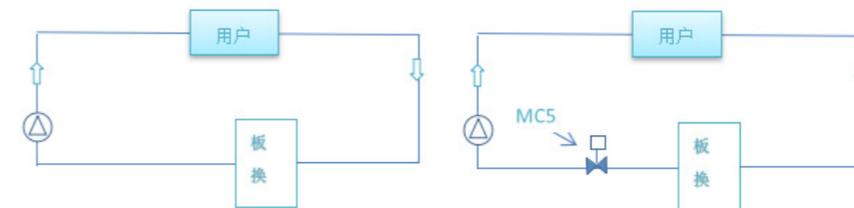
1) 在用户侧进口端加装流量调节阀 MV3、蓄冷工况进口端加装电动调节阀 MV4 和系统回水侧电动调开关阀 MV8,实现冷机供冷和冷机蓄冷+冷机供冷模式的自由切换,并可以调节控制用户侧流量及供水温度。示意图如下:



2) 在两台主机冷冻水前端加装 MV5 和 MV6 电动阀,将信号引至上位机进行调节。当其中一台制冷机组供冷或蓄冷模式运行时,电动阀与制冷机组运行状态实现互锁。示意图如下:

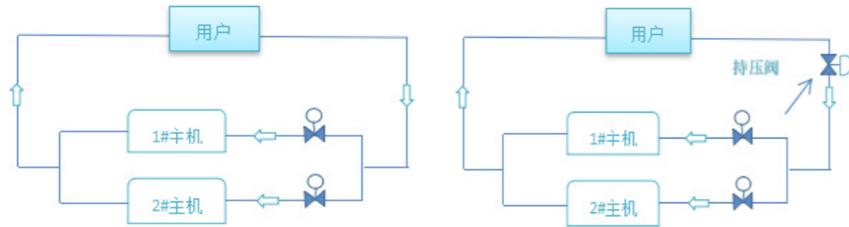


3) 在热板换二次侧出口管道加装 MC5 电动阀,能够实现供冷与供暖模式自动切换,便于值班人员远程操作。示意图如下:

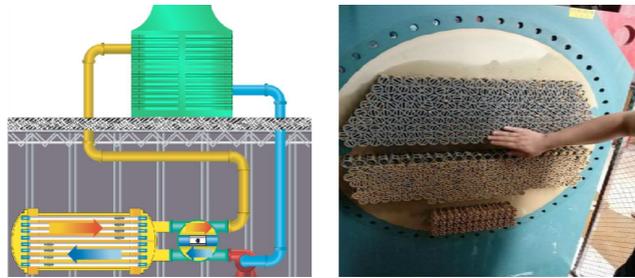


4) 在空调水系统回水加装持压阀,确保开式系统运行时,系统能够为用户提供稳定的

回水压力，满足压力平衡。示意图如下：



5) 在冷凝器管路侧加装全自动毛刷在线清洗装置，在冷水机组不停机的情况下进行清洗，通过改变冷凝器进出水方向，从而推动毛刷往复运动清洗管壁，任何坚韧的污垢都还在柔软的状态时被及时清除，使冷凝器换热铜管内壁处于洁净状态，机组高效节能工作。



(二) 相关荣誉、奖励、奖项等情况

1. 荣获 2023 年陕西省“三新三小”创新竞赛优胜奖；
2. 荣获 2023 年西部机场集团绿色低碳大赛优秀奖；
3. 经第三方专业评估机构认定：该项目具备绿色低碳节能示范效应及较好的经济效益，在大型暖通空调设计与应用中具有重要指导意义。

三、建设成果

1. 制冷系统蓄冷供冷、冷机供冷、冷机蓄冷、冷机蓄冷+冷机供冷、冷机供冷+蓄冷供冷模式自由切换；
2. 调整冷机运行流量，使机组在标准流量下运行，提高机组运行效率；
3. 便于值班人员远程操作，减少调节操作时长；

4. 根据用户需求实现自动控制调节用户侧流量及供水温度；
5. 准确控制蓄水箱流量，提高系统稳定性；
6. 提高谷值时段利用率，降低供冷能源成本。

四、取得成效

1. 节能减碳效果显著：在 2021 年系统改造后的第一年室外温度较上年度升高 1.05℃ 情况下，耗电量较上一年度减少 14.85 万 kWh；2022 年通过持续优化调整，耗电量较 2021 年减少 1.71 万 kWh，系统改造后碳排放量显著降低，2021 年较 2020 年减少 49000kg，2022 年较 2021 年减少 5600kg。

2. 供冷系统效率提升：加装自动清洗装置后机组冷凝器小温差基本维持在 1.7℃ 左右，达到设计工况标准值（小温差小于 2℃）。减少化学清洗频次及铜管腐蚀，延长铜管使用寿命，降低制冷运行成本、提高安全可靠。

3. 供冷成本降低：系统改造后 2021 年制冷季的能源成本较 2020 年节约了 8.14 万元，2022 年较 2021 年能源成本降低 3.17 万元，系统改造有较好的应用效果。

报送单位：西安咸阳国际机场股份有限公司

联系人：郝婧羽

邮箱：haojy1@westairport.com

7. 航站楼中央空调系统分层分区及多模式节能调控实践案例 - 上海虹桥国际机场

案例关键词：绿色低碳，虹桥机场，中央空调系统，空调多模式管理，分层分区控制，人流联动，节能实践

案例摘要：本案例聚焦机场航站楼能耗占比较大的空调系统，采用智能楼宇控制系统，通过精细化划分控制区，实现了定时功能、人工远程控制、航班联动功能、环境联动功能、相结合的节能控制策略。经测算，在保障舒适度的前提下可减少 20% 的空调开启时间，具有较高的推广应用价值。

一、案例背景：

为响应民航总局有关绿色机场建设指示，以实现碳达峰、碳中和为引领，从技术、运行、市场机制等方面统筹推进行业绿色发展，加快形成民航绿色发展体系，不断拓展行业发展空间，提升碳排放管理水平。对此，探索空调机组多模式运行及分层分区控制技术，在航班联动技术的支持下根据各区域的客流量实时调整送风量和温度。同时，除此实践管理优化外，进一步探索在排除人为控制机组因素的情况下，量化分析航站楼中央空调系统能耗与室外温度之间的关系，并积极研究新技术“人流联动控制末端设备”试点实践。

二、案例详情：

为了更好地实现对 T2 航站楼中央空调系统节能控制，提高设备管控能力，提高绿色机

场管理水平，不断优化运行策略。已实行不同环境温度下空调多模式运行及分层分区的空调机组模块化管理，并完成能耗与室外温度关联分析。具体情况如下：

（一）空调多模式调控

通过查阅国内外公共空间中央空调运行标准及总结以往实际管理经验，当室外温度带到空调运行标准时中央空调系统往往采用同样的运行管理模式。但室外气温并非一成不变，固定模式运行易造成不必要的能耗损失，室外温度的变化对提高旅客服务体验，加强楼内空调运行管理，都提出了更高的要求。为了进一步实现节能潜力挖掘，深入探索空调系统的多模式应用场景，通过不断实践和反复验证，以达到绿色高效节能的目的。

根据以往运行经验，空调系统按照供冷季、供热季、过渡季运行，在此基础上进一步细化，探索空调多模式运行。将以上三个时期的单一控制模式调整为“八模式”，供冷季运行模式细化为“弱冷、中冷、强冷”，供热季运行模式细化为“高热、中热、低热”，过渡季运行模式细化为“春夏过渡、秋冬过渡”。

下面以航站楼北三角区供冷季为例，介绍空调多模式运行探索及实施过程。首先根据相关资料对室外温度舒适程度进行区分，然后对不同温度进行负荷计算，得出不同室外温度下的空调负荷，并由此为依据进行北三角空调系统多模式划分，最后在不同室外温度下进行舒适度试验，摸索出不同室外温度下，空调系统运行模式的最佳开启模式。

1.1 室外气温划分

查询资料并结合过去运行经验，将室外气温划分为 5 个区间。当夏季室外温度在 20~24℃ 时，人体感温度为凉爽，我们把这个温度区间定义为凉爽温度，同理，定义 24~28℃ 时为舒适温度，28~32℃ 时为微热温度，32~35℃ 时闷热温度，35℃ 以上时为炎热温度。

1.2 不同温度下空调负荷的计算方法

查阅《实用供热空调设计手册》等相关资料知，空调冷负荷主要由围护结构冷负荷、人员散热负荷、新风负荷组成。经计算，我们统计三角区不同室外温度下室内负荷，并通过公式 $(c) = (a) / (b)$ 计算得出不同室外温度下，北三角区域空调箱的建议台数，数据如下表 1。

表 1 不同室外温度区间空调配置数量

序号	室外温度	计算冷负荷 (a)	单台制冷量 (b)	建议空调箱配置 (c)
1	24~28℃	1630kW	155kW	11 台
2	28~32℃	2575kW		17 台
3	32~35℃	3817kW		26 台
4	> 35℃	4200kW		28 台

1.3 空调系统多模式划分

北三角的空调系统可以分成三个部分，分别是①餐饮外侧区，②VIP 贵宾区，③公共区域，现场共计设备 28 台。分别按照弱冷、中冷、强冷模式划分不同区域空调机组，具体划分情况如下表。

表 2 北三角区供冷季多模式运行空调机组分组情况

序号	名称	室外温度	空调箱台数	分组情况说明
1	弱冷模式	24~28℃	11 台	贵宾区 3 台 + 餐饮区 3 台 + 公共区域 5 台
2	中冷模式	28~32℃	17 台	贵宾区 3 台 + 餐饮区 8 台 + 公共及幕墙侧区域 6 台
3	强冷模式	32~35℃	26 台	贵宾区 5 台 + 餐饮区 11 台 + 公共及幕墙侧区域 10 台
4	全开模式	> 35℃	28 台	贵宾区 5 台 + 餐饮区 11 台 + 公共及幕墙侧区域 12 台

1.4 多模式运行效果验证

完成空调系统多模式划分后，为了对其效果进行了验证，根据采集数据建模进行 CFD

模拟，得到温度计风速模拟效果图如下。

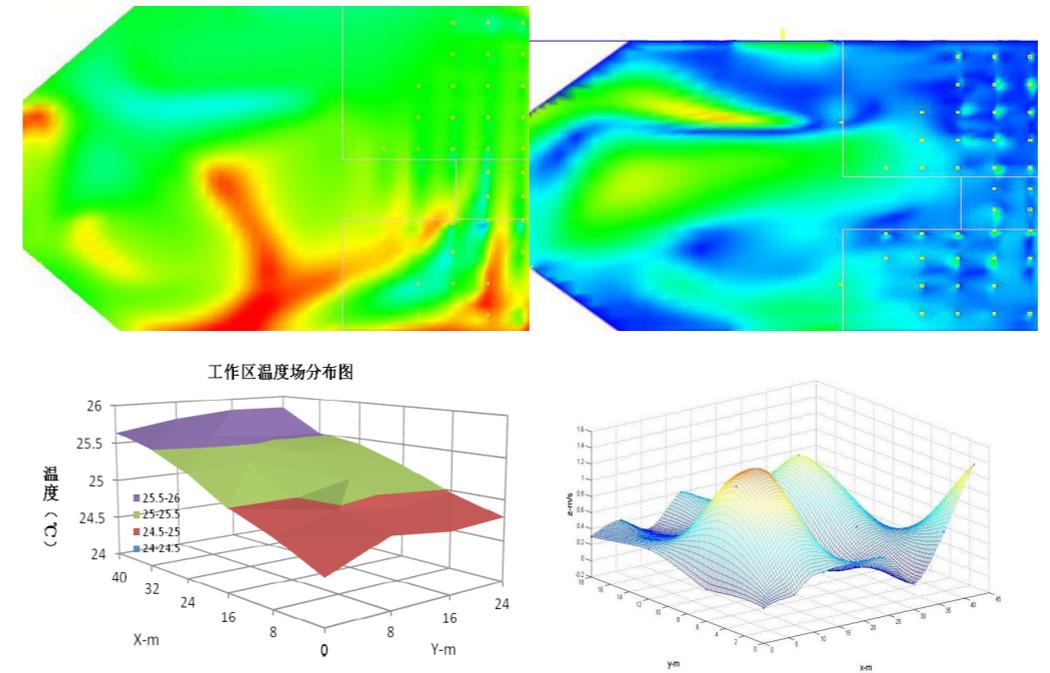


图 1 温度场模拟效果图

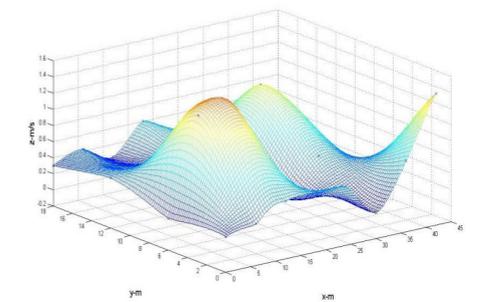


图 2 风速场模拟效果图

同时对现场进行测温，温度详情如下表，室内温度维持在 24.5~25.8 之间，现场人员体感适宜，多模式应用场景得到较好的验证。

表 3 2021 年供冷季北三角区温度

日期	温度		湿度	北三角	开机时间	关机时间	运行时间	台数	适宜
	温度	湿度							
6月2日	22	25.3	57.4	北三角	6:30	21:00	14.50	4	适宜
	25	25.3	59.1		6:30	21:00	14.50	11	
6月3日	27	25.6	59.4		6:30	21:00	14.50	17	适宜
	30	24.6	55.6		6:30	21:00	14.50	26	
8月1日	31	25.1	57.6		6:30	21:00	14.50	28	适宜
	35	57.6							

备注：现场体感分为：闷热、微热、较适宜、适宜、凉爽、冷共六个等级，按照现场实际情况填写

(二) 空调分层分区控制

虹桥机场 T2 航站楼中央空调系统体量庞大结构复杂，目前常用的空调机组共有 484 台，

不仅要提供舒适的室内环境，还需应对不同区域人流密度差异，确保每个区域都能维持适宜的温度和空气质量。如果不经过合理的分级运用，采用统一开关的控制方式，容易出现能源浪费，甚至冷热过度等现象，因此特探索航站楼分层分区节能运行模式。

从建筑物本身出发，根据航站楼不同区域空间的功能特点，进行区域划分。计算不同工况下空调冷负荷，得出空调机组理论风量，与航站楼现有空调机组进行匹配。将楼内现有空调机组分为必开设备、辅助设备、不常用设备，应用分层分区理念合理设置空调机组节能包，制定中央空调运行策略。

2.1 供冷季运行策略

表 4 出发 8.5m 层节能包机组

包1	A0~A2	C0~C2	A4~A6	C4~C6	A3~C3	12.15米大厅	VIP机组
包2							
楼层	所属节能包	机组编号	单机功率 (kW)	冷量 (kW)	热量 (kW)	备注	注
4	出发8.5米/2节能包1	ABU-1A0-3	6.5	80.8	36.29	包1	
5	出发8.5米/2节能包1	ABU-1A0-5	6.5	80.8	36.29	包1	
6	出发8.5米/2节能包1	ABU-1A0-9	15	158.39	84.31	包1	
7	出发8.5米/2节能包1	ABU-1A1-4	11	118.8	71.5	包1	
8	出发8.5米/2节能包1	ABU-2A1-2	11	118.8	71.5	包1	
9	出发8.5米/2节能包1	ABU-2A2-3	11	126.72	75.89	包1	
10	出发8.5米/2节能包1	ABU-2A2-5	11	126.72	75.89	包1	
11	出发8.5米/2节能包1	ABU-2A2-7	11	118.8	71.5	包1	
12	出发8.5米/2节能包1	ABU-2A2-9	11	118.8	71.5	包1	
13	出发8.5米/2节能包1	ABU-1C0-1	11	118.8	71.5	包1	
14	出发8.5米/2节能包1	ABU-1C0-5	6.5	80.8	36.29	包1	
15	出发8.5米/2节能包1	ABU-1C0-9	15	158.39	84.31	包1	
16	出发8.5米/2节能包1	ABU-2C1-2	11	118.8	71.5	包1	
17	出发8.5米/2节能包1	ABU-2C1-4	11	118.8	71.5	包1	
18	出发8.5米/2节能包1	ABU-2C2-3	11	126.72	75.89	包1	
19	出发8.5米/2节能包1	ABU-2C2-5	11	126.72	75.89	包1	
20	出发8.5米/2节能包1	ABU-2C2-9	11	118.8	71.5	包1	
21	出发8.5米/2节能包1	ABU-1A4-1	18.5	458.09	192.43	包1	
22	出发8.5米/2节能包1	ABU-1A4-4	15	156.63	86.45	包1	
23	出发8.5米/2节能包1	ABU-1A4-5	15	193.38	81.17	包1	
24	出发8.5米/2节能包1	ABU-1A4-7	15	193.38	81.17	包1	
25	出发8.5米/2节能包1	ABU-1A4-15	15	169.4	71.38	包1	
26	出发8.5米/2节能包1	ABU-1A5-3	15	193.38	81.17	包1	
27	出发8.5米/2节能包1	ABU-1A5-5	15	193.38	81.17	包1	
28	出发8.5米/2节能包1	ABU-1A5-7	15	156.63	86.45	包1	
29	出发8.5米/2节能包1	ABU-1A5-9	7.5	112.64	47.18	包1	
30	出发8.5米/2节能包1	ABU-1A6-7	6.5	80.8	36.29	包1	
31	出发8.5米/2节能包1	ABU-2A4-3	15	193.38	81.17	包1	
32	出发8.5米/2节能包1	ABU-1C4-2	18.5	386.09	230.99	包1	
33	出发8.5米/2节能包1	ABU-1C4-3	15	156.63	117.36	包1	
34	出发8.5米/2节能包1	ABU-1C4-5	15	193.38	116.04	包1	
35	出发8.5米/2节能包1	ABU-1C4-6	15	193.38	116.04	包1	
36	出发8.5米/2节能包1	ABU-1C4-7	15	193.38	116.04	包1	
37	出发8.5米/2节能包1	ABU-1C5-3	15	193.38	116.04	包1	
38	出发8.5米/2节能包1	ABU-1C5-7	15	156.63	117.36	包1	
39	出发8.5米/2节能包1	ABU-1C5-8	15	171.32	132.99	包1	
40	出发8.5米/2节能包1	ABU-1C5-1	15	221.32	132.77	包1	
41	出发8.5米/2节能包1	ABU-1C5-2	15	205.36	152.99	包1	
42	出发8.5米/2节能包1	ABU-1C5-5	7.5	112.64	87.54	包1	
43	出发8.5米/2节能包1	ABU-1C5-8	15	184.79	110	包1	
44	出发8.5米/2节能包1	ABU-1C5-11	15	218.89	164.34	包1	
45	出发8.5米/2节能包1	ABU-1C5-13	15	221.32	132.77	包1	
46	出发8.5米/2节能包1	ABU-1A3-7	15	207.9	148.49	包1	
47	出发8.5米/2节能包1	ABU-1A3-9	15	207.9	148.49	包1	
48	出发8.5米/2节能包1	ABU-2A3-1	15	144.53	88.3	包1	
49	出发8.5米/2节能包1	ABU-2A3-11	7.5	118.8	45.09	包1	
50	出发8.5米/2节能包1	ABU-2A3-12	11	118.8	71.5	包1	
51	出发8.5米/2节能包1	ABU-2A3-14	11	87.99	52.8	包1	
52	出发8.5米/2节能包1	ABU-2A3-2	15	132	79.2	包1	

在供冷季开始初期以及结束末期，室外温度常处于缓步攀升或者下降的动态变化状态，若在此阶段仍保持机组全开状态，易造成不必要的能源损耗。室外温度 > 35℃ 时，为保证旅客舒适度，开启航站楼内所有所有空调箱。当楼内温度达到控温标准后，且当室外温度 < 35℃ 以下时则可对机组进行节能控制调整，对楼内不同区域空调机组进行划分，分别设置三

个节能模块：1/4 节能包（共包含空调机组 114 台），1/3 节能包（共包含空调机组 129 台），1/2 节能包（共包含空调机组 196 台）。部分区域具体划分情况如下表。

分层分区节能运行具体策略如下：

(1) 供冷开始时当室外温度 ≤ 30℃ 时，开启自控区 1/4 节能包，温度持续上升时转为 1/3 节能包运行，重要区域（安检办票大厅）根据现场测温情况转为 1/2 节能包运行；

(2) 供冷开始时当室外温度 > 30℃，≤ 35℃ 时，开启 1/2 节能包运行，温度持续上升时增开空调箱；

(3) 供冷开始时室外温度 > 35℃ 时，开启所有空调箱，楼内温度达到控温标准后，且当室外温度 < 35℃ 以下时，开始转为 1/2 节能包运行，当室外温度进一步下降到 ≤ 30℃ 时，转为 1/4 节能包运行。

2.2 供冷初、末期分层分区关机流程

楼内出发温度维持在 26℃ 左右，但室外温度高于 26℃，不具备新风模式运行条件下，每日根据航班信息，按照分层分区运行策略关闭相应区域的空调箱。下表 4 为出发和到达区域分层分区划分模块式管理区域。

表 5 区域划分

出发区域				
A0~A2 区	A3 商业区	A4~A6 区	8.55 米 B 区	办票安检大厅
到达区域				
A0~A2 区	A3 区	A4~A6 区	4.2 米 B 区	0 米 B 区

根据上表所示，新风模式运行时，当楼内每个分区有三分之一温度点低于 24.5℃ 时，按照上表区域分层分区关闭机组。

(三) 航站楼能耗数据与室外气温关联研究

前两章主要描述了航站楼中央空调系统节能控制技术探索，楼内空调节能运行成效往往最终反映在能耗数据上。结合以往能耗数据分析经验，可知影响能耗数据因素众多、仅能数据的角度粗略分析能耗无法与运行策略进行很好的关联。为提高能耗分析的准确度、精度以及从数据角度反推运行策略是否合理的决策度，开展能耗数据与室外天气的关联研究。

以供热季能耗数据为数学模型拟合样本，根据 2020、2021、2023 年非疫情工况的供热季日能耗数据，以及日最高温度、日最低温度、日进出港人次数等，采用多元线性回归方法，建立日供热量和日空调系统风机能耗模型。

- (1) 根据拟合模型日最低温度的系数值，计算在不同日最低温度下日供热量变化率；
- (2) 针对同一日最低温度下的日能耗变化率样本数据，分别计算 90% 分位数和 10% 分位数，作为最低温度下的日能耗变化率上下限。
- (3) 分别对不同日最低温度下的 90% 分位数和 10% 分位数拟合模型，确定以日最低温度为自变量的日能耗变化率上下限值模型。拟合结果如下图：

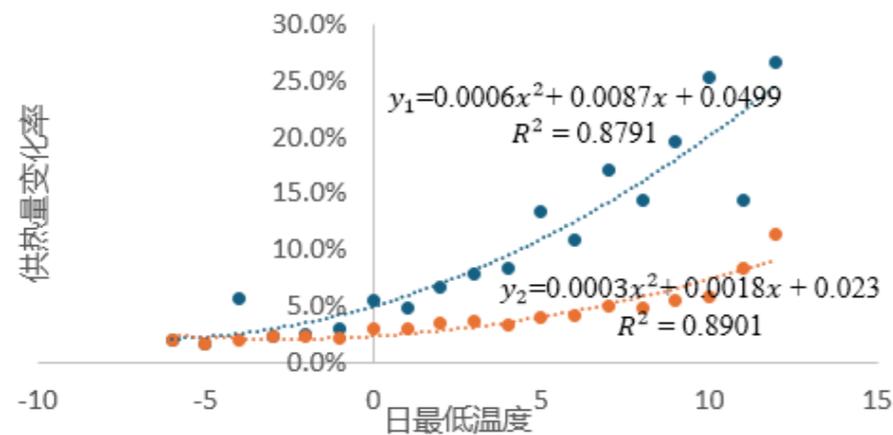


图 3 供热量变化率曲线

当日最低温度下，气温每下降 1℃，日供热量合理变化率区间如下表，若变化率超出此表区间范围，则需调整调整当日运行策略。

日最低温度 (°C)	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
90% 分位数	2.1%	2.5%	2.9%	3.5%	4.2%	5.0%	5.9%	7.0%	8.1%	9.4%	10.8%
10% 分位数	2.2%	2.1%	2.0%	2.1%	2.2%	2.3%	2.5%	2.8%	3.1%	3.5%	4.0%

表 6 最低温度区间供热能耗变化率

根据历史供热能耗数据，拟合预测能耗模型，确定与最低气温相关的能耗数据变化率规律，由此可以推测在除去最大不可控因素最低气温影响下，能耗正常波动范围，从而判断每日运行策略是否合理。

(四) 人流联动控制末端设备试点实践

2023 年开展航站楼基于 AI 视频识别技术与照明节能联动技术研究，在确定理论可行后，于 T2 航站楼 AB 岛 5F 公共区域进行现场试点论证。将照明灯具升级智能灯具，加装视频识别系统设备，采用物联网技术，实现 AI 视频传感器与照明终端之间协同，实现末端照明设备与摄像机识别系统联动节能控制。



图 4 人流联动控制末端设备示意图

(五) 节能成果展示

在排除疫情等因素影响下，以 2019 年及 2023 年供冷季空调耗电量数据为例，在多模式及分层分区控制下，空调系统平均运行时长及用电量均有所下降。今年供冷季结算周期内航站楼电量 1278.84 万千瓦时，较 2019 年同期 1329.07 万千瓦时节省 50.23 万千瓦时，减幅 3.8%。

表 7 不同时期供冷季空调系统运行时长及耗电量

序号	年份	总台时数 (小时)	用电量 (万千瓦时)	减量
1	2019 年	11546.8	1329.07	节约 50.23 万千瓦时， 减幅 3.8%
2	2023 年	9706.17	1278.84	

2023 年开展民航领域基于 AI 视频识别技术与照明节能联动技术研究项目，并在上海虹

桥机场 T2 航站楼 AB 岛 5F 公共区域进行试点。



图 5 人流联动研究成果试点实践的能耗数据

2023 年 8 月 5 日至 8 月 20 日未使用策略，平均日能耗为 6.001kWh。2023 年 8 月 30 日至 9 月 20 日启动策略，平均日能耗为 1.287kWh。平均每日节能为 4.714kWh，从数据分析得出：节能率为 78.55%。

(六) 总结

为积极推动“十四五”民航规划落实落地，T2 航站楼为上海市重要的交通枢纽建筑，承载着“更加高效”和“更加节能”的重大使命。中央空调系统不断探索节能控制措施，采取有效的节能降耗措施，持续加大开展绿色低碳发展工作力度，推进资源总量管理、科学配置、全面节约、循环利用，协同推进经济高质量发展和生态环境高水平保护。

实践证明，中央空调多模式运行及分层分区管理是常见且有效的空调系统管理办法，积极研究新技术“人流联动控制末端设备”也是未来绿色低碳发展的趋势。在近年来的绿色低碳实践中，我们从建筑本身出发，分析 T2 航站楼负荷的来源及变化，另通过总结 T2 航站楼航班信息及来往客流的一般规律，跨前一步，在不降低旅客舒适感的条件下，不断完成了全年用电量节约的工作目标。

报送单位：上海虹桥国际机场有限责任公司

联系人：茆贇

邮箱：maoyun@shairport.com

8. 机场智慧能源管控平台建设应用案例 - 上海虹桥国际机场

案例关键词：能源管理平台、智慧能源、低碳管理

案例摘要：本案例聚焦机场能源管理效能提升需求，打造超大型枢纽机场智慧能源管控平台，实现设备、设施、系统、用户多层级的能耗、能效及碳排放数据的监测、统计、分析、可视化及预警报告功能，显著提升机场能碳管理效能，具有较高的推广应用价值。

一、案例背景

机场能源具有品类众多和能源结构多样复杂的特点。随着机场和临空经济的发展，机场区域将形成以航空客货流为中心的多样化、发散式发展趋势，机场能源品类和结构进一步衍生，逐步变得多样和复杂。机场能源供应已不再是单一的为民航主业服务，非航业务能源供应比重日益增大。目前的情况是我国各大机场一般都存在好几套独立的专业能源系统，如供水系统、高压电力监控系统、制冷控制系统、低压监控系统和楼宇 BA 系统等，各专业系统间关联少，存在信息孤岛。此外，机场能源管理主体多。作为能源管理大户，机场管理机构承担的民航地面服务能源供应的主要职责，如何发挥平台效应，实施更为有效的能源管理，成为机场高质量发展的关键环节。

作为能源管理大户，机场承担的民航地面服务能源供应的主要职责，如何发挥平台效应，实施更为全面、有效的能源管理，成为机场高质量发展的关键环节。虹桥机场以制度化与标准化为抓手构建能源管理新机制，实施能源系统运行改造。

二、案例详情

(一) 基本信息

机场智慧能源管理系统以实现“四型机场”为研究目标，建立行业领先的智慧能源管控平台，具体表现为：

“平安”方面，通过实时监控设备运行参数、自动诊断能源系统状况，降低不安全事件发生的可能性，提高机场能源系统安全运行水平。

“绿色”方面，提高机场能源系统节能水平，以满足需求为主的多能优化匹配，降低能源系统整体耗能水平。

“智慧”方面，建设高度数据化、信息化、智能化的能源管控平台，形成高效的协同系统，提高机场能源智慧管理与控制水平。

“人文”方面，以人为本，实时感应用能环境参数变化，智能调配，提高能源应用品质，创造出舒适的出行环境。

智慧能源管控平台以人工智能和大数据为引擎，融合数字与能源技术，集智能监控、多能源管理、用供能一体化于一体，通过设备远程监控、数据实时采集、运营智能优化，智能调配电、气、冷、热等各类能源，将航班、旅客、天气等信息流集合优化后联动能源流，实现能源供需精准匹配、精细对接，显著提高了旅客用能舒适度，提升了整体能效及能源服务水平。

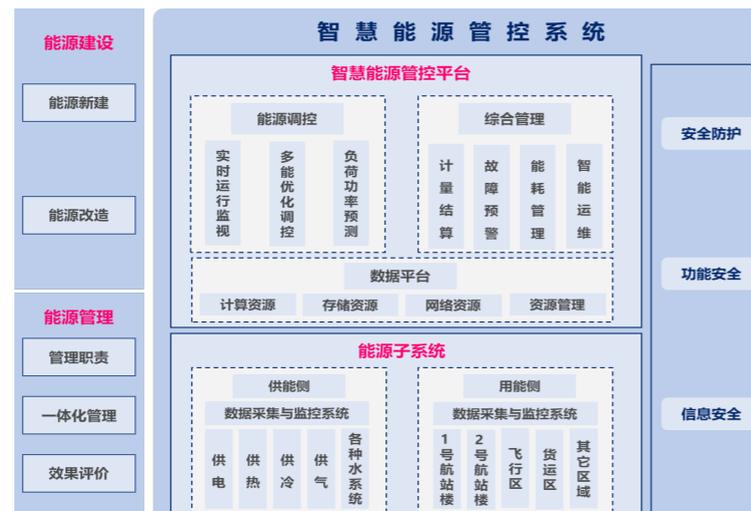


图1 智慧能源管控系统

(二) 相关荣誉、奖励、奖项等情况

“虹桥机场能源数据治理实践案例”入选了《智慧民航数据治理典型实践案例》集。

三、建设成果

能源管理平台采集能源实时数据，实现“采集、查询、预警、处理、维护”一体化；通过“能耗、能效”双控提高运营效率，降低管理成本；建设碳排监测平台，精细化碳管理体系；汇总数据，智能化提供优化策略。为绿色机场建设提供层层制度保障，促进管理不断精细化。

(一) “采集、查询、预警、处理、维护”一体化

通过对机械式水电表进行自动无线远传升级改造，布局了多能源分区精准计量，通过物联技术实现水、电、气、热、冷数据的智能采集，展现能源实时数据，实现对能源成本精准把握和智慧能源实施效果进行准确评估，并通过后台服务提供对能耗数据的有效验证。对于机场设施、设备等用能对象，都具有各自的供能源，通过供能源的数据可以计算出此建筑或设备的耗能情况。

(二) “能耗、能效”双控提高运营效率

作为机场能源系统可视化工具，对机场能源的源-网-荷各个部分进行有效的集中监控，展示机场能源概况，消除数据孤岛，提高运营效率，降低能源管理成本。

1 能耗可视化

通过对设施、用户的能耗、环境、设备与系统各种数据自动进行能耗分类统计与分析，监测机场能耗设施、能耗用户、能耗系统和能耗设备的能耗变化，能够按照不同时间频次（逐年、逐月、逐日、逐时）要求对能源形态、能耗数据、综合能耗及各分类能耗消耗趋势等进行各种可视化展示。



图2 能耗大屏

2 能耗统计

能耗统计的用户、设施、建筑、区域、单位、部门统计功能可以以地理边界和组织边界的方式进行归类处理。



图 3 虹桥用户能耗

3 能耗分析

能耗分析包括对基线的分析、KPI 分析、运营分析及气候分析。

在能耗分析中，涉及到的气候关联分析，需要环境数据的支持。因此，同时对基础实时的微气候环境数据进行可视化展示，包含对可进行趋势可视化的参数，除逐时趋势外，进行逐日的最高与最低气温趋势可视；通过时间选择，进行历史同期数据叠加；从开放的气象数据资源获取未来的气象预测数据等内容。

4 能效可视

以系统和设备为对象，建立效率计算模型，根据采集到的数据对系统和设备输入能量与产出能量对比计算出能效指标，并通过简易的、可视化的图表，提供给机场管理者清楚的了解系统和设备的能效情况，并可生成相应的能效指标报告。

5 能效分析

通过监测系统和设备输入能量与产出能量对比，分析得出系统和设备的实际能耗效率，并根据所分析系统的原理、运行状况、能量传递转换方式以及系统所含设备的效率等方面，综合分析评定系统效率的等级。包括：系统效率分析、设备效率分析、能效标杆统计分析、能效基准统计分析等。

6 能耗、能效、环境指标管理

指标管理是针对能耗指标、能效指标以及环境指标的管理功能。能耗可视与能效可视的指标管理中，除可视化外，还具备指标的目标值、最优值管理及报警预警功能。

(三) 碳排监测平台

虹桥机场根据行业、政府、以及横向比较需要，梳理核算边界内的温室气体排放源，主要包括下表所示。对其活动数据进行监控，并按照温室气体核算办法进行排放量的统计。

表 3.5.1-1 碳排放统计内容

排放类型	排放示例
直接排放	锅炉等设备燃烧天然气、柴油等化石燃料产生的排放；机场热电联产系统燃烧天然气等化石燃料产生的排放；场内运输车辆或装卸设备燃烧柴油、汽油、液化天然气等化石燃料产生的排放
间接排放	使用外购的电力

此外，虹桥机场构建了清晰完善的碳排放层级管理体系和精细化能碳管理体系；创新探索科学量化的减排目标，建立了一套反映航站楼旅客吞吐量与气温波动影响的碳排放考核机制；坚持做好月度、季度、年度对标分析、管理评审和第三方能源审计，通过动态跟踪节能减排成效，持续实施碳排放核查，进一步提升能源和碳排放管理的精细化水平，确保年度碳排放目标实现。

(四) 节能分析, 智能化提供优化策略

- 基于现有数据出具节能分析报告，并提出优化策略，以便于后期的智能联动。节能分析报告与策略包含并不限于以下内容：
- 暖通系统优化运行策略。
- 提供照明优化运行策略报告，并结合航站楼智能照明系统与航班能耗分析照明系统能耗优化策略。
- 基于用户、泵站、消火栓等相关数据对供水管线漏损进行分析。
- 对现有运行提出预警信息，评价现有运行态势，并作出相应报告。

四、取得成效

近年来，虹桥机场通过积极探索全面能源管理新模式，坚持以绿色转型推动机场高质量发展，在经营效益、社会效益等方面均得到显著提升。2023年保障部持续推进虹桥机场能源管理系统建设，内容聚焦在数据层和智慧层的应用完善，分别为数据分析、数据应用及系统对接，完成负荷预测、航班联动、华腾计量系统迁移、水电远抄迁移等功能，并完善数据报表服务，同时为配合“双碳”机场建设，增加了能碳管理模块的工作内容，将进一步强化能碳管理模块的开发，增加碳检测和碳核算模块、完善碳排放管理报表、开发碳排信息自动抽取与分析功能。

未来，虹桥机场将继续围绕“实现单位旅客碳排强度达到世界一流机场水平”“通过四星级‘双碳机场’评价”两大目标，基于虹桥国际机场能源管理系统顶层设计，致力于实现虹桥机场能耗数据全贯通，自上而下逐步建立以虹桥机场智慧节能为核心的大数据能源管理系统。并积极探索新的节能应用，针对各用户需求提供定制化数据应用，提升虹桥机场的能源管理水平，提升用户服务，推动虹桥机场绿色低碳发展迈向更高水平。

报送单位：上海虹桥国际机场有限责任公司

联系人：茆贇

邮箱：maoyun@shairport.com

9. 机场货站屋面安全高效光伏电站规划、建设与管理案例 - 郑州新郑国际机场

案例关键词：可再生能源利用、光伏发电、绿色机场、节能减排、自动清洗系统

案例摘要：该案例中光伏电站与机场货站同步规划建设投用，通过前瞻性的规划设计、高效和可持续性的技术应用，以及全面性的安全管控措施，充分利用新建货站屋面成功建设 11MW 光伏项目，投运时是国内机场单次建设规模最大的分布式光伏电站。

一、案例背景

近年来，随着全球对可再生能源利用的重视和“双碳”目标的提出，河南机场集团积极响应国家绿色发展战略，大力推进“绿色机场”建设，通过实施光伏发电项目，实现绿色能源的供应，助力郑州机场可持续发展。

二、案例详情

（一）基本信息

郑州机场三期扩建北货运站光伏发电项目是具有前瞻性和可持续性的战略工程，项目采用合同能源管理模式，充分调动社会资本参与郑州机场节能工作，携手新能源企业共建北货运区 11MW 分布式光伏电站，项目投资规模约 4400 万元，投用时是国内机场单次建设规模

最大的分布式光伏电站，对郑州机场绿色低碳发展具有里程碑式意义。

1. 规划设计阶段

飞行安全评估。鉴于机场飞行安全的特殊性和重要性，该项目立项阶段特别委托广州中航机场工程设计有限公司针对反光率、电磁辐射及净空影响等领域进行专项评估。为确保评估的精准性和可靠性，该公司运用了FAA机场分析软件模拟仿真分析，并组织空管、航司等单位及民航领域专家对报告结论进行安全论证。这一系列举措确保了光伏建设的安全性和合规性，有效防范了民航飞行安全风险。

前瞻性规划设计。光伏发电项目作为三期扩建北货运区的配套工程项目，为确保项目的顺利实施与长期稳定运行，郑州机场在北货运站设计阶段与中元设计院、中建三局进行了深入对接和研讨，针对各项技术细节进行了全面的考虑和预留。结构方面，充分考虑光伏安装荷载需求，进行相应的预留设计，严格评估了屋面的承重能力，在确保光伏系统不会对建筑结构造成不良影响的前提下，全面利用了北货运站和空侧作业棚的10.7万平方米广阔的屋面资源。设备布局及管线路由方面，光伏项目建设团队充分结合项目所在场所货运部门的业务操作流程及路线，优化光伏设施布局及管线路径，并预先设置了管位与路由，避免对货运业务的正常运作造成影响。在电力接入空间方面，进行了前瞻性的布局设计，在变电站内预先规划了高压并柜空间，为光伏接入及未来光伏扩容提供了电力接入空间。

2. 建设阶段

工程建设管理。郑州机场光伏项目建设与北货运区整体工程、投运统筹管理，通过精细化调度，成功保障了光伏电站与北货运站同步建成、同步投运，有效避免了因工期不同步而对货运业务操作造成的不利影响。

3. 运营阶段

高水平技术应用。郑州机场光伏项目融入了高效、安全、智能等三大技术优势。项目采用单晶硅双玻光伏组件，在转换效率高达20.9%的同时具备较高的防火等级，实现了发电效率与安全性能的有效结合。同时，项目引入合作公司自主研发的iclean自动清洗系统，在屋面布置水管及旋转喷头，该系统能够通过手机端、云平台智能互联实时操控，全流程自动化对光伏组件进行清洗，年理论发电量可再提升达8%以上。值得一提的是，为确保光伏项目的安全性，运营期间将iclean自动清洗系统水管最外层的铝箔材质升级为铝皮材质，有效防止了外层材料因腐蚀、老化而产生FOD等潜在风险。此外，该项目配备了智能化的电力监控系统，实时采集电压、电流等重要数据，实现对发电过程的实时监控和管理，为光伏发电系统的长期稳定运行提供了可靠保障。

郑州机场北货运站光伏发电项目以其前瞻性的设计、可持续的技术应用以及严格的安全管理，为郑州机场的绿色低碳发展注入了新的活力，同时也为国内外机场的光伏发电建设提供了有益的参考和借鉴。

(二) 相关荣誉

1. 以北货运区光伏电站为重要内容的郑州机场绿色低碳发展案例入选新华网2023绿水青山就是金山银山实践案例。

2. 郑州机场北货运区11MW分布式光伏电站投用时是国内机场单次建设规模最大的分布式光伏电站。

三、建设成果

自2022年9月5日并网发电以来，通过“自发自用，余电上网”的运行模式，截至2024年2月底，已累计发电超1300万度，减排二氧化碳7000余吨，为郑州机场带来经济效益超300万元，所发电量可通过机场供电系统直供T2航站楼、GTC、动力中心等场区的其他建筑，不仅有助于减少碳排放和环境污染，而且降低了运营成本，提高了能源利用效率。

四、取得成效

郑州机场光伏发电项目的成功实施，不仅为机场提供了稳定的绿色能源供应，降低了运营成本，还提升了机场的环保形象和社会责任感。此外，郑州机场光伏发电项目通过引入高效的光伏组件、自动清洗系统和智能化的电力监控系统等技术手段，项目实现了光伏电站的高效、稳定运行，为未来的光伏发电技术发展提供了有益的探索经验。

目前郑州机场正在携手清华大学编制《郑州绿色低碳机场建设规划》，将继续深化绿色机场建设，统筹规划设计全场光伏建设方案，逐步增加光伏等绿色能源在机场能源供应中的占比。郑州机场也将以北货运光伏发电项目为契机，继续践行绿色低碳理念，为我国实现碳中和目标贡献更大的力量。

报送单位：河南省机场集团有限公司

联系人：王子元

邮箱：379992045@qq.com

10. 场区供能管网可视化管理案例 - 银川河东国际机场

案例关键词：供能管网，UG 三维模型，管网数据库

案例摘要：为进一步加强银川机场场区供能管网精细化管理，银川机场公共区管理部采用 UG 三维建模方式，对水暖管网数据进行统一纳管，并基于地理信息的时空展示能力，实现管网数据的空间可视化、数字化，无论是在日后的管理决策场景或巡查维护场景，均可以对管线的分布、埋深以及空间关系更直观的掌握。并为远期多专业地下管网综合性管理提供技术基础。

一、案例背景

随着机场现代化进程不断加快，由于缺乏有效的监管手段，导致地下管网的管理水平严重滞后，因管网引起的安全事故频发。因此，亟需借助信息化和可视化技术构建以管理服务为中心，以快速提供真实准确的综合管线及设备设施信息，实现快速查询统计、事故处理、辅助分析决策等功能，为地下管网综合设计、建设，及建成后的日常管理、管网维护、分析统计、规划决策提供可靠依据，形成全面的集中管理和分布式应用的管线信息系统。

二、案例详情

（一）基本信息

目前银川机场供能管网存在的管理难度大、协同作业难、管理监督不透明、维护管理缺

手段等痛难点问题，为进一步加强银川机场场区供能管网精细化管理，银川机场公共区管理部采用 UG 三维建模方式，对水暖管网数据进行统一纳管，并基于地理信息的时空展示能力，实现管网数据的空间可视化、数字化，无论是在日后的管理决策场景或巡查维护场景，均可以对管线的分布、埋深以及空间关系更直观的掌握。并为远期多专业地下管网综合性管理提供技术基础。

（二）相关荣誉、奖励、奖项等情况

荣获西部机场集团开发者大赛二等奖、最佳创新创意奖。

三、建设成果

通过建立管网相关数据库，对现有水暖管网最终图纸成果管网相关数据数据整理、整合和校验工作，将管网的探测数据整理为标准的管网点线表数据，进入空间数据库，作为系统的基础数据，并通过电子地图 1:1 二维展示可视化输出。包括存放完整的各类管网数据、各类基础地理数据和业务数据，其中业务数据范围较广，包括管网相关的设计、规划、施工、监控、维护等数据。管网管理系统软件实现管网数据和业务执行的管控，对内实现构建管网基础数据与业务数据的关联关系，同时对外提供丰富的应用服务。各管网相关部门通过对系统软件的应用，实现对管网数据的交互、应用和管网管理的协同工作。

四、取得成效

预期成果是通过完整的二维水暖管网模型即准确、完整的二维电子地图，展现管道的布局、直径、连接方式等细节。一是可交互式的管网图，在大屏上展示的交互式管网图，用户可以通过点击节点来查看详细信息。二是实时数据更新系统，一个能够实时更新管网状态的系统，确保数据的及时性。三是提高管理效率，管网管理团队能够更快速地定位和解决问题，提高日常工作的效率。四是预防性维护计划，基于模型和实时数据，制定出更有效的预防性维护计划。

报送单位：西部机场集团宁夏机场有限公司

联系人：马荟杰

邮箱：1412980887@qq.com

11. 航站区环境监测系统案例

- 银川河东国际机场

案例关键词：温度，湿度，照度，二氧化碳，监测，碳排放

案例摘要：银川机场航站楼管理部通过物联网传感器+WIFI的形式，建立航站区环境监测系统，实时反映采集到的环境数据，并且通过动态曲线趋势图辅助工作人员对航站楼内大空间照明、通风系统、空调设备等进行及时调节，合理减少碳排放总量。

一、案例背景

2022年以前，楼宇巡视人员每天巡视12万平米的航站楼，需要2个小时左右，存在巡视点位不全，回传数据信息滞后、无法适时调节温度、照度的问题。为进一步加强节能降耗，银川机场航站楼管理部开展实地专项调研，明确一是航站楼通风和空调负荷占整个能源消耗的26%以上，二是航站楼大空间照明负荷占整个能源消耗的12%以上。提出概念方案：在航站楼内不同点位部署CO₂浓度、温度、湿度、光照度传感，通过传输网络来采集传输相应数据，建立一套系统，将采集到的环境数据实时反映在工作人员面前，并且能够通过动态曲线趋势图辅助工作人员对航站楼内大空间照明、通风系统、空调设备等进行及时调节。

二、案例详情

(一) 基本信息

银川机场航站楼管理部运用IFR方法，开展系统功能分析，将概念拆解为超系统组件、

系统组件、子组件，绘制流程图、分析优缺点等工作，通过传输网络来采集传输相应数据，部署实时监测航站区不同区域环境数据的系统，来解放人力，同时指导节能降耗工作。该系统将采集到的环境数据实时反映在工作人员面前，并且能够通过动态曲线趋势图辅助工作人员对航站楼内大空间照明、通风系统、空调等设备进行及时调节。

2022年，银川机场T3航站楼搭建航站区环境监测系统成功启用，该系统主要是对航站区内温度、湿度、照度、二氧化碳浓度进行感知监测。通过楼内各区域45个前端探测器点位实时监测环境情况，随后将收集到的数据反馈到监测大厅屏幕，如有区域光照、温度低于标准值，则屏幕上该点位显示由绿色变成红色，提醒监控人员及时关注并做出调节。该系统数据每30秒更新进行一次，既节约了人力资源又能做好旅客服务及能耗管控。

(二) 相关荣誉、奖励、奖项等情况

荣获西部机场集团第一届绿色低碳创新竞赛优秀奖。

三、建设成果

这套系统在楼宇运行期间能合理、科学、标准的对各项公共资源进行合理调整，快速、及时的为旅客做好服务保障，主要体现在以下三个方面：一是结合各登机口航班分布情况，根据照度数据动态调整航站区及换乘中心照明，对旅客候机区域照明根据采光度施行动态调控，动态减少碳排放量；对无航班运行的区域采取最低照明标准，减少碳排放量；GTC相应关停区域内的灯光照明全部关闭，减少碳排放量；候机区未安排航班区域及时关闭卫生间照明等设施，减少碳排放量。二是春夏、秋冬换季期间，早晚温差较大，根据平台温度数据，结合现场情况，调整开关排烟窗及供冷、热风时间，最大程度上利用室外温度对航站楼内温度进行调解，为旅客提供舒适的体感，同步利用航班间隙和楼内温度变化情况，及时调整空调等设备启用和关闭，从而减少碳排放量。三是在遇到特殊天气、阴天的时候，利用该系统查看楼内四度运行情况，并第一时间通知各驻楼单位做好防范措施，实现楼宇信息协同联动，提醒相关单位做好服务保障工作的同时减少碳排放量。

四、取得成效

通过系统运行可灵活掌握航站楼内CO₂浓度、温度、湿度、光照度情况，根据现场环境变化，实时调节照明、冷、热温度，最大程度节约用电消耗，实现航站区低碳运行。据统计，

2022年航站楼用电量991.47万度，较2021年用电量1218.84万度减少227.37万度，同比下降18.65%。



12. 地源热泵系统运行管理案例 - 石家庄正定国际机场

报送单位：西部机场集团宁夏机场有限公司

联系人：周瑞璞

邮箱：276296612@qq.com

案例关键词：地源热泵；可再生能源利用；节能降碳

案例摘要：围绕石家庄正定国际机场可再生能源应用的典型——地源热泵系统与能源双蓄项目。地源热泵系统利用地热能实现冬季供暖、夏季供冷，不产生任何污染即可实现能源的高效利用。而能源双蓄项目核心机理是利用峰谷电价差结合水能进行供冷暖，直接体现在电费的节约。

一、案例背景

近年来，民航业作为高能耗和高碳排放行业，实现绿色、低碳、循环、可持续发展是实现双碳目标的必然要求，能源作为经济发展的基础和动力之一，无疑是民航业的关键要素，各大机场和航空公司纷纷致力于探索民航绿色发展模式，加大技术与能源相融合的探索力度，以期实现运行效率的节能水平的提升。

石家庄机场地源热泵系统作为行业中较出色的节能项目，本文针对该系统的运行原理及节能效益进行分析，以期为民航绿色发展项目的推进贡献一份案例参考。

二、案例详情

（一）地源热泵概念

地源热泵是实现由低品位热能向高品位热能转移的装置。通常地源热泵消耗 1kWh 的能

量，用户可以得到 4kWh 以上的热量或冷量。

地源热泵是以岩土体、地层土壤、地下水或地表水为低温热源，由水地源热泵机组、地热能交换系统、建筑物内系统组成的供热中央空调系统。根据地热能交换系统形式的不同，地源热泵系统分为地埋管地源热泵系统、地下水地源热泵系统和地表水地源热泵系统。

(2) 地源热泵原理

在自然界中，水总是由高处流向低处，热量也总是从高温传向低温。人们可以用水泵把水从低处抽到高处，实现水由低处向高处流动，热泵同样可以把热量从低温传递到高温。所以热泵实质上是一种热量提升装置，工作时它本身消耗很少一部分电能，却能从环境介质（水、空气、土壤等）中提取 4-7 倍于电能的装置，提升温度进行利用，这也是热泵节能的原因。

地源热泵是热泵的一种，是以大地或水为冷热源对建筑物进行冬暖夏凉的空调技术，地源热泵只是在大地和室内之间转移能量。利用极小的电力来维持室内所需要的温度。

在冬天，1 千瓦的电力，将土壤或水源中 4-5 千瓦的热量送入室内。在夏天，过程相反，室内的热量被热泵转移到土壤或水中，使室内得到凉爽的空气。而地下获得的能量将在冬季得到利用。如此周而复始，将建筑空间和大自然联成一体。以最小的低价获取了最舒适的生活环境。

(3) 工作原理

石家庄正定国际机场的地源热泵机组装置主要有：压缩机、冷凝器、蒸发器和膨胀阀四部分，通过让液态工质（制冷剂或冷媒）不断进行：蒸发（吸取环境中的热量）→压缩→冷凝（放出热量）→节流→再蒸发的热力循环过程，从而将环境里的热量转移到水中。

压缩机：起着压缩和输送循环工质从低温低压处到高温高压处的作用，是热泵（制冷）系统的核心。

蒸发器：是输出冷量的设备，它的作用是使经节流阀流入的制冷剂液体蒸发，以吸收被冷却物体的热量，达到制冷的目的。

冷凝器：是输出热量的设备，从蒸发器中吸收的热量连同压缩机消耗功所转化的热量在冷凝器中被冷却介质带走，达到制热的目的。

膨胀阀：对循环工质起到节流降压作用，并调节进入蒸发器的循环工质流量。

根据热力学第二定律，压缩机所消耗的功（电能）起到补偿作用，使循环工质不断地从低温环境中吸热，并向高温环境放热，周而往复地进行循环。

(4) 操作过程

地源热泵系统由 2 台 CLIMAVENETA 水冷地源热泵机组、3 台空调循环泵、5 台地源水循环泵辅以补水泵、水处理设施等组成。系统主要设备的铭牌参数如下表所示。地源热泵系统的自控系统功能较为简单，能够监视机组的运行状态，但不能控制机组及其附属设备的运行状态，机组及其水泵的启停均由运行人员就地控制。

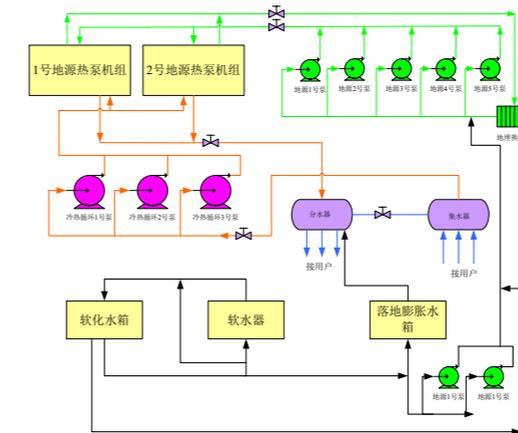


图 1 石家庄正定机场地源热泵工艺流程图

表 1 石家庄正定机场地源热泵站设备清单

设备	类型	台数	型号	制冷量 (kW)	制热量 (kW)	制冷输入功率 (kW)	制热输入功率 (kW)	备注
热泵机组	地源热泵	2	FOCS-WATER-H0951	2173	2140	408	605	工频
	类型	台数	型号	流量 (m³/h)	扬程 (m)	功率 (kW)		备注
水泵	地源泵	3	ITT(南京)有限公司 G150200X150-315	495	28	55		工频
	地源泵	2	ITT(南京)有限公司 SHE100L2-1314	36-78	9--19	3		工频
	空调循环泵	3	ITT(南京)有限公司 G150200X150-315	398	33	55		工频
	地源补水泵	2	ITT(南京)有限公司 HM7112-614	20-70	7--18	1		
	补水泵	2	Y2-112-2	11.7	44	4		工频

三、建设成果

石家庄机场地源热泵系统主要针对航空食品分公司，老办公楼、出勤楼等区域进行供采暖，极大程度的节省了天然气和电力的消耗，并且属于清洁能源，兼顾了节能减排和低碳降耗。除此之外，石家庄机场地源热泵还具备如下优点：

能源储量巨大：地源热泵技术属可再生能源利用技术。由于地源热泵是利用了地球表面浅层地热资源作为冷热源，进行能量转换的供暖空调系统。地表浅层地热资源可以称之为地能，是指地表土壤、地下水或河流、湖泊中吸收太阳能、地热能而蕴藏的低温位热能。地表浅层是一个巨大的太阳能集热器，收集了47%的太阳能量。它不受地域、资源等限制，真正是量大面广、无处不在。这种储存于地表浅层近乎无限的可再生能源，使得地能也成为清洁的可再生能源一种形式。

环保效益显著：地源热泵环境效益显著。其装置的运行没有任何污染，可以建造在居民区内，没有燃烧，没有排烟，也没有废弃物，不需要堆放燃料废物的场地，且不用远距离输送热量。

应用层面极广：地源热泵一机多用，应用范围广。地源热泵系统可供暖、空调，还可供生活热水，一机多用，一套系统可以替换原来的锅炉加空调的装置。

维保费用低廉：地源热泵空调系统维护费用低。地源热泵的机械运动部件非常少，所有的部件不是埋在地下便是安装在室内，从而避免了室外的恶劣气候，机组紧凑、节省空间；自动控制程度高，可无人值守。

四、取得成效

石家庄正定国际机场获得2022年度中国民用机场协会“双碳机场”三星级评价荣誉。后续，石家庄机场仍将积极稳妥推进双碳目标，践行绿色发展理念，积极推进节能技改项目，探索环境友好节约型绿色低碳实践应用。

报送单位：河北机场管理集团

联系人：张明轩 娄硕畅

邮箱：zmxqct@sina.com

1. 搭建“三位一体”运行模式，促进绿色低碳机场管理案例 - 海口美兰国际机场

案例关键词：智慧能源管控 体系建设运行 节能技术改造

案例摘要：海口美兰国际机场作为东南亚航空枢纽，始终致力于实现绿色低碳发展。通过双体系运行驱动、搭建智慧能源管控平台和推行技术节能改造与管控等多种途径，提升了机场能源管理效率同时降低了碳排放。打造节能降碳新标杆，推动绿色低碳航空枢纽的建设。

一、案例背景

海口美兰国际机场于1999年5月25日正式通航，作为面向东南亚的航空枢纽，是我国重要的国内干线机场之一。可满足年旅客吞吐量3,500万人次、年货邮吞吐量40万吨的运行需求。随着2021年12月21日T2航站楼投运，已跨入了“双航站楼，双跑道”的全新发展时代。美兰机场积极响应海南省“十四五”综合交通运输规划，落实国家碳达峰、碳中和工作目标，充分运用海南区位优势 and 自贸港建设的制度优势，勇于担当，争做海南自贸港及国家生态文明试验区的绿色先锋。

二、案例详情

(一) 双体系框架驱动，引领降碳前行方向

早在2016年，美兰机场就成立碳排放工作小组，建立碳排放监测制度，并制定碳排放

管理工作计划，梳理碳排放管理部门，通过下发并定期修订《节能减排管理规定》《碳排放管理规定》《能源管理手册》等多项能源计量、监测及节能减排制度，明确工作职责。

同时美兰机场搭建三级能源管理体制，实行分级管理，对口负责。明确各部门相关能源管理人员具体负责职责范围内的工作，形成专事专项专人负责，多部门联动协调推进，机场全面统筹规划的能源管理模式，全面提升各机场节能管理能力，压实能耗管理责任。美兰机场聘请第三方审核机构完成温室气体排放核查报告、碳核查报告及节能改造项目审核报告等，经过一系列规范项执行，美兰机场先后于2022年12月顺利通过ISO 50001能源管理体系认证；2023年11月顺利通过ISO 14001环境管理体系认证。机场在双体系运行驱动下，进一步推进碳排放管理体系建设，建立健全能耗考核机制，助力美兰机场能源管理与碳达峰、碳中和工作迈向新高度。

（二）以绿色智慧赋能，夯实能源管控基础

美兰机场能源管理团队积极探究智慧能源新模式，搭建美兰机场智慧能源管控平台，系统通过对接多个第三方能源子系统的数据，接入近三千块计量装置及四万余个数据点位，实现能耗模型树的多维度梳理，将全场能源统一管理，完成对供水、配电、空调、环境等系统的实时监控展示，实现对供能、用能侧的设备、机房、环境安全实时监控，通过提前预警，减少事故发生，提高机场的安全保障水平的同时发掘潜在节能点，实现能耗数据实时掌控，进一步将能源管理从粗放式向精细化管理转变，提高能源利用效率，从而实现能源管理数字化、精细化、智能化。

在平台数据的支撑基础上，美兰机场一是围绕“三大三区三细”，针对区域化用能的不同特点，开展节能工作，在设备端对中央空调、高杆灯、分体空调能耗大的三类设备制定专项节能方案；在区域端对公共区、办公区、宿舍区三区制定了差异化节能管控措施；在分析端通过对能源设备运行管理、能源计量统计和能耗分析三种精细化管理措施，打造多维立体的多方位节能方案；二是积极发挥美兰机场运行控制中心(AOCC)统一协调作用，充分发挥“双塔联动、空地协同”运行优势，深入研究、系统评估、创新推动了10/28号跑道非全跑道起飞程序，程序实施后，较全跑道起飞模式可节约地面滑行时间近3-4分钟，减少跑道占用时间约30秒，为灵活调整和优化跑道头航班放行顺序创造条件，在进一步提升机场地面滑行效率和航班放行正常率同时，单架次节约航空燃油近100千克，减少碳排放318千克；三是优化供水、照明运行控制策略与空调运行模式，通过制定针对航班、天气的分时、分区精细化控制策略，与各区域化部门实行联动调控，规划灯具开启时间、确认水泵启停状态、运行时间及工作功率并提高中央空调能效比切实降低设备运行维护成本，减少电力损耗。

（三）技术与管控齐行，打造节能降碳标杆

2023年，在“三大三区三细”的节能方案的指导下，美兰机场针对其中节能潜力较大的各项能耗系统开展全方位的节能技术改造，并积极引入各项新能源降碳技术，多措并举，并驾齐驱，通过技术改造与引进，将节能降碳真切落实，助力美兰机场打造节能降碳新标杆。

一是持续推进LED照明技术、空调通风变频节能技术、扶梯变频节能技术、中水回用技术等多项节能措施。并于技术改造的基础上采用“技改+管控”模式，在LED灯具全面覆盖的同时通过“照度+时控”的方式，针对航班、天气的分时、分区以及匹配照度仪数据调整照明照度实现对照明设备的精细化控制，有效提高能源的利用效率；同时在一号航站楼西指廊中央空调进行风柜节能改造的基础上，基于可视化平台综合调控，通过实时温度匹配变频送风；在水资源利用方面，本场采用CASS工艺，在保证高品质水质基础上对污水雨水循环利用，同步改造拓宽功能区中水管网，进一步提升中水利用率。

二是坚决贯彻“打赢蓝天保卫战”相关要求，积极推行APU替代装置使用、车辆“油改电”、分布式光伏电站等项目的建设及使用，通过严格审批管控，确保2023年新入场车辆100%为新能源车辆，新能源车辆增加至195台，占比达到30.23%。空侧、陆侧充电桩数量已有371台，同时扎实推进配套142台充电桩项目建设，空侧车桩比达到1.97:1，完成柴油车辆报废、改造22台，尾气排放达标率100%；积极推广78台APU和地面空调替代设施应用工作，近机位APU替代设施配备率为100%，在“应用尽用”原则下APU替代措施使用率持续保持100%，于航空旅游城屋面采用合同能源管理模式建设分布式光伏电站，装机容量1MW，同时，积极推进国内货站3MW分布式光伏电站项目。

通过在设备端的技术改造与新能源技术的引用，分别在能耗应用与能源供给两方面进行节能降碳的“开源节流”，即通过清洁能源的利用进行能源利用的“开源”；通过技改管控进行能源使用的“节流”，通过双向发力，全力驱动绿色机场建设，推进碳中和目标达成。

三、建设成果

美兰机场深入践行绿色低碳发展理念，落实国家碳达峰、碳中和工作目标，以实际行动推动公司的节能减排工作，在“党建+绿色先锋”引领下，聚焦绿色低碳，打造“绿色节能，美兰先行”党建宣传品牌，通过节能宣传周现场活动、节能宣贯会、视频号、微信推送等线上线下相结合的方式开展节能低碳宣传工作，2023年完成线上线下节能宣传工作共计10余次。同步全面推行能源考核机制，制定符合实际状况的各单位节能制度并设立兼职能源管理员，动力能源部能源管理室牵头组建能源管理检查小组，以季度为周期开展以人均耗电量、水耗量等指标值的能源绩效考核，落实节能减排责任，定期通报考核结果；引导广大干部职工深刻认识，厉行节约，将绿色低碳理念入脑入心。

四、取得成效

2023 年度，凭借优秀的能源管理成果，美兰机场当选中国民用机场协会绿色机场专业委员会副主任单位，先后获得 SKYTRAX 授予的“五星机场认证”、国际机场协会碳排放 (ACA) 1 级认证、获得中国机场协会“双碳机场”二星级评价等荣誉、连续两年获得海南省节能减排示范企业、海南省节能减排突出单位，美兰机场能源管理团队荣获海南省节能降碳团队卓越奖。

报送单位：海南美兰国际空港股份有限公司

联系人：高俊

邮箱：gao-jun@hnaport.com

2. 中小机场推进绿色机场建设案例 - 丽江三义国际机场

案例关键词：绿色机场、单位旅客能耗、行业领先

案例摘要：为深入贯彻《中共中央国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》《“十四五”民用航空发展规划》以及《“十四五”民航绿色发展专项规划》，落实习总书记碳达峰、碳中和工作目标。按照民航局绿色发展工作任务和云南省“生态立省、环境优先”战略及新能源产业发展、节能减排相关政策有关要求，云南机场集团有限责任公司丽江机场主动作为，2023 年度丽江机场单位旅客二氧化碳排放量仅为 1.70kgCO₂/旅客，低于全国平均水平。在 2017 年至 2023 年间（除 2021 与 2022 年受疫情影响外）单位旅客能耗长期保持在 0.18 千克标煤/旅客以下，2023 年丽江机场单位旅客能耗 0.14 千克标煤/旅客，同比 2022 年降低 54%，保持行业领先。

一、案例背景

近年来，绿色机场建设是包括各大中小机场在内的民航机场面临的新课题，也是机场高质量发展的必然趋势。然而中小机场由于地理位置特殊、经济条件有限，且机场在安全保障、设备设施维护等方面的固定成本占比越来越多，维持正常业务运营的可变成本（直接成本、维修费用、水电暖和其他运行成本）增加，使得中小机场在绿色发展专项工作中的投入有限。创建绿色机场，实现资源综合利用最大化、环境负面影响最小化，是全面提升机场资源开发

利用水平、实现机场与生态环境和谐发展的必然要求,是为机场节约使用资源、实现高效运行打下基础。目前,丽江机场绿色机场建设已积累了一定的经验,在今后的发展中,将为全国中小机场起到积极的示范作用。

二、案例详情

1. 基本情况

丽江三义国际机场位于丽江市七河镇三义村,距丽江市中心 28km。机场现有两座航站楼共计 3.83 万平方米,分别为国内、国际及港澳台,飞行区指标为 4D,设计年旅客吞吐量为 450 万人次。

丽江机场自 1992 年开工建设,1995 年 7 月 13 日正式通航并投入商业营运。随着发展,丽江机场已经完成两期改扩建工作,由最初的 2 个机位增加到现有的 28 个机位,旅客吞吐量也突破了 760 万人次。目前丽江机场正在开展第三期改扩建,改扩建完成后飞行区指标将升级到 4E。机位增加到 60 个,候机楼总面积达到 13.1 万平方米,满足年旅客吞吐量 1100 万人次。

2. 相关荣誉、奖励、奖项等情况

近年来,丽江机场荣获“全国文明单位”、“云南省五一劳动奖”、“双碳机场二星级”等多项荣誉。

三、建设成果

近年来,在云南航空产业投资集团(机场集团)的统筹下,丽江机场积极落实国家和民航局的双碳战略,紧跟绿色低碳发展趋势。

健全组织机制,做好节能谋划:自国家提出“双碳”战略目标以来,丽江机场积极响应号召,研究成立“双碳”领导小组,健全能源管理、计量器具管理办法,制定碳排放报告相关制度,完成能源审计工作。将节能减排专项工作纳入机场管理目标,切实降低生产运营过程中的水、电、燃油等能源消耗,实现机场单位旅客能耗较上年有较大幅度减少。

推行能源智慧化管理,助力实现双碳目标:丽江机场通过能源审计和碳核查,识别出主要排放源,围绕能源消费结构、能源利用效率、能源和碳排放管理等方面,科学研判机场碳排放情况,深挖节能潜力,提高主动节能水平;根据天气变化与航站楼的温度情况及时调整

运行策略,强化分时供暖、照明等,优化航站楼用能管理,实现能源精细化管理;同时依托集团大数据中心,通过能源管理平台和电力管理平台建设,不断夯实计量基础保障能力,提升能耗的预测及预警能力,驱动机场能源管理、低碳减排等全维度智慧化、精细化绿色管理能力的提升,助力机场实现双碳目标。

利用自然优势,创建绿色航站区:丽江的光照条件非常优越,具有年日照时数达到 2400—2600 小时的特点。丽江的气候条件表现为四季分明,气候温和,雨量适中。丽江的历史全年平均温度大约在 8℃ 到 20℃ 之间。机场国内航站楼的设计,在充分融入地方自然特色的基础上,在穹顶、外立面区域多采用玻璃材质,最大限度保证楼内自然采光照明,同时还设置了通风换气窗,充分利用机场附近风压较大的优势进行室内换气,同时减少昼间候机楼灯具及空调等设备的使用。

大胆合作创新,引入合同能源管理:丽江机场大胆创新,敢于实践。引入场区 LED 灯具改造、场区充电桩安装等合同能源管理项目,不但避免了机场承担节能实施的资金、技术及风险,并且可以更快的降低能源成本,获得实施节能后带来的收益。

统筹绿色布局,实现中水回用:丽江机场积极统筹利用市政水、雨水、中水等水资源,强化水耗定额、分项计量管理,严格控制用水总量,大幅提高水资源利用效率;同时开展节水型设备改造,全面推广高标准用水器具,提升节水能力。已投入使用的丽江机场三期改扩建工程污水处理厂日处理能力达 3000m³,供水水质达标。该项目运行后,标志着丽江污水处理的能力和标准达到更高层级,大力推进了丽江机场水资源全面节约和循环利用。在单位旅客水耗方面,丽江机场人均 2023 年单位旅客水耗为 31.84L,远低于集团公司单位旅客综合水耗五年均值力争控制在 60L 以内的指标。

完善基础设施,巩固开拓蓝天保卫战:丽江机场始终坚持方向不变、力度不减,以更高标准、更高要求不断巩固拓展蓝天保卫战成果,建立新能源、充电桩及桥载设备运行管理常态化机制。一是按照局方及集团公司要求对达到报废标准车辆“应废尽废”,继续加大对新能源车的引进,丽江机场 2023 年,新能源车的引进占比达 100%。二是目前丽江机场 10 个近机位已全部安装 APU 替代设施,签约率 100%,使用率 100%。

实施能源技改,提高能源利用率:丽江机场积极探索绿色新技术应用,全力提升运行设备能效,加强了低高效能设备应用,积极采购电气、暖通、照明、供水等新设备,推动老旧设备升级更新;加强智能化管控技术应用,如分区、分时、感应、与航班信息联动的智能化节能调控。2022 年底完成机坪 19 个机位高杆灯光源及 28 块机位牌节能改造项目,同时完成场区宿舍及公共区域 300 余盏 LED 照明改造,在提升亮度的同时节省了近一半的用电量。配置分区域智能照明控制系统,广泛运用在停车场、机坪矗立的高杆灯上,可远程精准操控,做到及时开关灯光,不浪费一秒电能。

推动光伏项目，优化能源结构：2023年12月29日，丽江光伏项目开工，机场光伏项目是深入践行“生态优先、绿色发展”新理念，是打造绿色机场、低碳机场的重要举措，同时也必将助力机场早日实现双碳目标。项目总装机1.64万千瓦，总投资约820万元，项目建成后，每年可提供清洁电能约200万度，节约标准煤250吨、减少二氧化碳排放1141吨。丽江机场光伏项目建成后，必将大幅提高可再生能源使用占比，实现经济效益与生态效益的双丰收。同时，机场还安装了太阳能驱鸟设备、场区太阳能路灯，充分利用再生能源以减少能耗消耗。

大自然美景与人文历史的完美结合：丽江机场将贯彻绿色、自然、生态理念，结合机场定位和规模，以及机场所在地区的气候、资源、生态环境、地域文化特色、社会发展水平以及机场净空环境等，与城市规划、土地规划相衔接、相协调，满足机场可持续发展需要，建设绿美机场。目前机场绿化覆盖率达到58%，不断引入丽江特有的高原特色乡土植被和自然人文景观，营造丽江机场人与自然和谐共生的和美氛围，充分体现地域植物风情、彰显不同景观特色，优化机场环境布局，提升相关设施的人文内涵，实现功能性、便捷性的有机统一。

利用窗口优势，宣传节能减排：机场为营造节能降碳浓厚氛围，大力倡导绿色低碳生产生活方式，充分利用机场的窗口优势，开展节能降碳宣传教育，促进机场向绿色转型，进行丽江机场节能故事工作方案的编制行动。通过广泛收集机场用电、用水、污染治理实际案例，汇编丽江机场节能故事。结合国家节能宣传周及机场自行组织绿色低碳节能活动，通过航站楼大屏幕滚动播放、微信公众号、宣传视频、张贴海报及标识等多种宣传渠道进行节能宣传。

四、取得成效

2023年丽江三义国际机场单位旅客二氧化碳排放量仅为1.70kgCO₂/旅客，单位旅客能耗0.14千克标煤/旅客，同比降低54%，保持行业领先（国内行业能耗强度平均为0.55千克标煤/旅客，民航十四五绿色规划指标值为0.853千克标煤/旅客）。丽江机场人均2023年单位旅客水耗为31.84L，远低于集团公司单位旅客综合水耗五年均值力争控制在60L以内的指标。

报送单位：云南机场集团有限责任公司丽江机场

联系人：代晓东

邮箱：794391891@qq.com

3. 机场电价经济性模型建构案例 - 哈尔滨太平国际机场

案例关键词：电价；单一制；两部制

案例摘要：建构电价经济性模型案例利用数学模型对影响电价的关键因素进行可视化处理，用电企业可根据自身用电参数对照模型选择出最经济的电价方案，有效降低运营成本，提高经济效益。这一设计值得向行业内及其他用电企业推广。

一、案例背景：

哈尔滨机场用电合同容量为75000千伏安，电压等级110（66）千伏，年耗电量达5000万度以上，支出电费4000万余元。

2023年6月，黑龙江省发改委发布《关于第三监管周期黑龙江电网输配电价有关事项的通知》（黑发改价格〔2023〕314号）。文件要求“执行工商业用电价格的用户，315千伏安及以上的，执行两部制电价，现执行单一制电价的用户可选择执行单一制或两部制电价，选择执行需量电价计费方式的两部制用户，每月每千伏安用电量达到260千瓦时及以上的，当月需量电价按本通知核定标准90%执行”。按照文件精神哈尔滨机场需通过评估选择单一制电价和两部制电价中最适合的电价进行执行。

二、案例详情

(一) 总体思路

在权衡单一制电价和两部制电价时，我们会发现，要判断哪种电价更经济，需要全面考虑多种因素。用户的实际分时段用电量、最大负荷以及电价策略等都会影响到最终的结果。所以，在选择执行电价时，无法依据统一标准来衡量，而是需要根据实际情况进行具体分析。不过，基于企业正常用电的情况下，还是存在一些规律可循。其核心在于“输配电费差价”和“需（容）量电费”两个关键因素。其他部分的费用都是一致的。当输配电费差价大于需（容）量电费时，两部制电价更优惠；反之，单一制电价更优惠。

为了能够做出最经济化的电价选择，我们通过全面的分析和市场调研，反复对相关参数进行计算，采用消除等式中相同项的方式寻找变量，提取关键因素，探索变量之间的共性，利用数学模型对关键因素进行可视化处理，从而建构出电价经济性模型，可以更加科学、合理地选择最适合本企业的电价，从而实现降本增效目标。



图 1

(二) 具体方案

1. 名词解析

单一制电价：按客户的实际用电量乘以单一电价的电费计算方法。



图 2 单一制电费构成

两部制电价：由两部分构成，一部分为电度电费，它是按实际用电量乘以电度电价；另一部分为容（需）电费，它是接受电变压器容量或大需量乘以相应电价，与用电量无关。

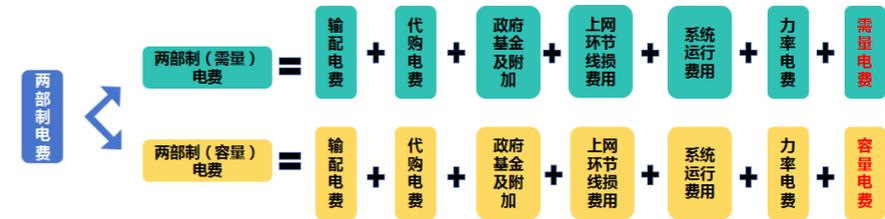


图 3 两部制电费构成

现以 2024 年 2 月机场购电情况为例，详细展示单一制电费与二部制容（需）电费的区别，具体如下：

时段	电量 (度)	输配电费 (元)				代购电费 (元)				政府基金及附加 (元)	上网环节线损费用	系统运行费	力率电费 (元)	合计 (元)	
		尖峰单价 (元/度)	峰单价 (元/度)	平单价 (元/度)	谷单价 (元/度)	尖峰单价 (元/度)	峰单价 (元/度)	平单价 (元/度)	谷单价 (元/度)						
尖峰	0														
峰	2038608		0.3615				0.606643			0.024825					
平	2202156			0.241			0.404428							0.93	
谷	1378872				0.1205				0.161771						
合计	5619636	0	736956.792	530719.596	166154.076	0	1236707.273	890613.5468	223061.5023	139507.4637	157153.76	191702.64	-33340.45	4239236.2	

图 4 2024 年 2 月机场单一制电价电费

时段	电量 (度)	输配电费 (元)				代购电费 (元)				政府基金及附加 (元)	上网环节线损费用	系统运行费	力率电费 (元)	需量电费 (元)		合计 (元)	
		尖峰单价 (元/度)	峰单价 (元/度)	平单价 (元/度)	谷单价 (元/度)	尖峰单价 (元/度)	峰单价 (元/度)	平单价 (元/度)	谷单价 (元/度)					功率因数	最大需量 (元/千伏安·月)		单价 (元/千伏安·月)
尖峰	0																
峰	2038608		0.1524				0.606643			0.024825					6245	35.2	
平	2202156			0.1016			0.404428										
谷	1378872				0.04064				0.161771								
合计	5619636	0	310683.8592	223739.0496	56037.35808	0	1236707.273	890613.5468	223061.5023	139507.4637	157153.76	191702.64	-33340.45	219824			3615690.003

图 5 2024 年 2 月机场两部制（需量）电价电费

时段	电量 (度)	输配电费 (元)				代购电费 (元)				政府基金及附加 (元)	上网环节线损费用	系统运行费	力率电费 (元)	容量电费 (元)	合计 (元)
		尖峰单价 (元/度)	峰单价 (元/度)	平单价 (元/度)	谷单价 (元/度)	尖峰单价 (元/度)	峰单价 (元/度)	平单价 (元/度)	谷单价 (元/度)						
尖峰	0														
峰	2038608		0.1524				0.606643			0.024825					
平	2202156			0.1016			0.404428								22
谷	1378872				0.04064				0.161771						
合计	5619636	0	310683.8592	223739.0496	56037.35808	0	1236707.273	890613.5468	223061.5023	139507.4637	157153.76	191702.64	-33340.45	1650000	5045866

图 6 2024 年 2 月机场两部制（容量）电价电费

2. 建构经济性模型图

目前从发改委文件中我们可以得到以下主要信息：

同电压等级下，单一制输配电价高于两部制输配电价。

同电压等级下，需量电价是容量电价的 1.6 倍。

不同电压等级的电量电价价差均不相同。

每月每千伏安用电量达到 260 千瓦时及以上的，当月需量电价按核定标准 90% 执行。

用电分类	电量电价 (元/千瓦时)				容(需)量电价												
	不满 1 千伏	1-10(20) 千伏	35 千伏	110(66) 千伏	需量电价 (元/千瓦·月)				容量电价 (元/千伏安·月)								
					220 千伏及以上	1-10(20) 千伏	35 千伏	110(66) 千伏	220 千伏及以上	1-10(20) 千伏	35 千伏	110(66) 千伏	220 千伏及以上				
工商业用电	单一制	0.2828	0.2726	0.2615	0.2410												
	两部制		0.1358	0.1144	0.1016	0.0753	36.8	36.8	35.2	35.2	23.0	23.0	22.0	22.0			

注：1.表中各电价含增值税、区域电网容量电费、对居民和农业用户的基期交叉补贴，不含政府性基金及附加、上网环节线损费用、抽水蓄能容量电费。
2.原包含在输配电价内的上网环节线损费用在输配电价外单列，上网环节综合线损率为 6.67%。
3.原包含在输配电价内的抽水蓄能容量电费在输配电价外单列，第三监管周期各年度容量电费分别为 5.81 亿元、7.16 亿元和 7.86 亿元（含税）。
4.工商业用户执行上述输配电价表，居民生活、农业生产用电继续执行现行目录销售电价政策。
5.500 千伏“网对网”外送电省外购电用户承担的送出省输电价格为不超过每千瓦时 0.03 元（含税、含线损）。

图 7 黑龙江输配电价表

(1) 对两部制电价中的需量电价和容量电价进行分析对比，假设两部制（需量）电费等于两部制（容量）电费，可得：

$$\text{输配电费} + \text{代购电费} + \text{政府基金及附加} + \text{上网环节线损费} + \text{系统运行费} + \text{力率电费} + \text{最大需量} \times \text{需量电价} = \text{输配电费} + \text{代购电费} + \text{政府基金及附加} + \text{上网环节线损费} + \text{系统运行费} + \text{力率电费} + \text{合同容量} \times \text{容量电价}$$

将等式两端相同项消除可以得到：

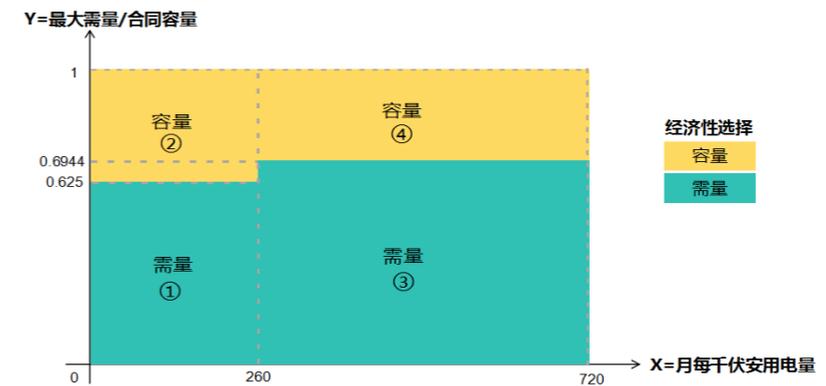
$$\text{最大需量} \times \text{需量电价} = \text{合同容量} \times \text{容量电价}$$

$$\text{即最大需量} / \text{合同容量} = \text{容量电价} / \text{需量电价} = 1/1.6 \text{ (月千伏安用电量小于 260 千瓦时)}$$

$$\text{最大需量} / \text{合同容量} = \text{容量电价} / \text{需量电价} = 1/1.44 \text{ (月千伏安用电量大于等于 260 千}$$

瓦时)

两部制（容）需电价经济性模型如下：



也就是说，当月每千伏安用电量小于 260 千瓦时，如最大需量低于合同容量的 62.5%，采用两部制（需量）电价最经济（区域①）；反之，采用两部制（容量）电价最经济（区域②）。

当月每千伏安用电量大于等于 260 千瓦时，如最大需量低于合同容量的 69.44%，采用两部制（需量）电价最经济（区域③）；反之，采用两部制（容量）电价最经济（区域④）。

(2) 对单一制和两部制容(需)电价进行分析对比，因哈尔滨机场的电压等级为 110(66) 千伏，且全国各省份电价也不同，故本案例仅建构黑龙江省 110(66) 千伏电价经济型模型，详情如下：

假设单一制电费等于两部制容(需)量电费，可得：

$$\text{输配电费(单一制)} + \text{代购电费} + \text{政府基金及附加} + \text{上网环节线损费} + \text{系统运行费} + \text{力率电费} + \text{最大需量} \times \text{需量电价} = \text{输配电费(两部制)} + \text{代购电费} + \text{政府基金及附加} + \text{上网环节线损费} + \text{系统运行费} + \text{力率电费} + \text{合同容量} \times \text{容量电价}$$

$$\text{输配电费(单一制)} + \text{代购电费} + \text{政府基金及附加} + \text{上网环节线损费} + \text{系统运行费} + \text{力率电费} + \text{最大需量} \times \text{需量电价} = \text{输配电费(两部制)} + \text{代购电费} + \text{政府基金及附加} + \text{上网环节线损费} + \text{系统运行费} + \text{力率电费} + \text{最大需量} \times \text{需量电价}$$

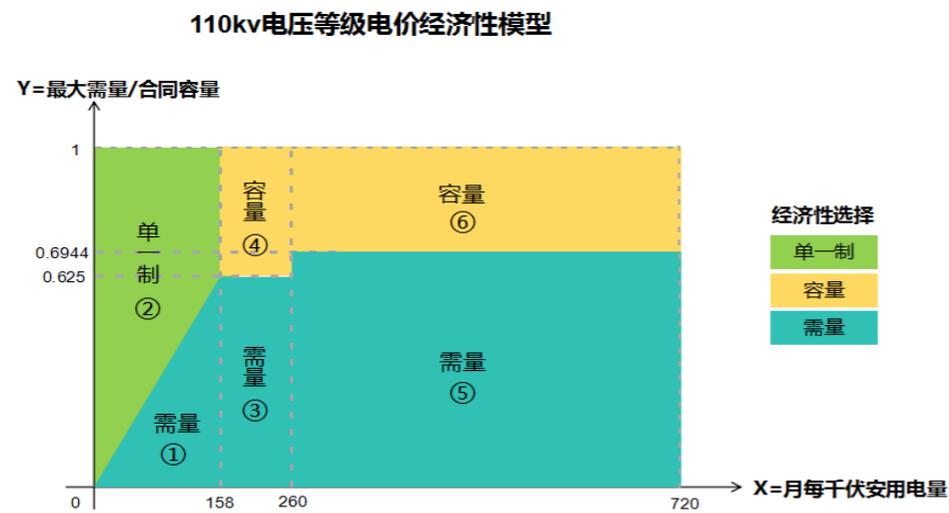
将等式两端相同项消除并整理后可以得到：

$$\text{输配电价差} \times \text{月每千伏安用电量} = \text{容量电价}, \text{即月每千伏安用电量} = 22/0.1394 = 158$$

千瓦时。

输配电价差*月每千伏安用电量*合同容量=最大需量*需量电价,若带入以上等式结果,即最大需量/合同容量=0.1394*158/35.2=0.625。

通过计算可知,坐标(158,0.625)为临界点,即当月每千伏安用电量为158千瓦时、最大需量/合同容量为0.625时,单一制电价和两部制(容)需电价所产生电费相同。结合两部制(容)需电价经济性模型可以建构110kv电压等级综合性电价经济性模型:



也就是说,当月每千伏安用电量小于158千瓦时时,如最大需量/合同容量与月每千伏安用电量的比值小于 $0.625/158=0.0039557$,采用两部制(需量)电价最经济(区域①);如比值大于 $0.625/158=0.0039557$,采用单一制电价最经济(区域②)。

当月每千伏安用电量在158和260千瓦时之间,如最大需量低于合同容量的62.5%,采用两部制(需量)电价最经济(区域③);反之,采用两部制(容量)电价最经济(区域④)。

当月每千伏安用电量大于等于260千瓦时时,如最大需量低于合同容量的69.44%,采用两部制(需量)电价最经济(区域⑤);反之,采用两部制(容量)电价最经济(区域⑥)。

3. 获奖情况

黑龙江省机场管理集团“五小”创新竞赛小建议第一名。

三、取得成效

目前哈尔滨机场每月最大需量为合同容量的8%左右,月千伏安用电量60千瓦左右,最大需量/合同容量与月每千伏安用电量的比值为0.00133左右,按照目前用电负荷及发展趋势,预计三至五年内哈尔滨机场用电情况仍处于电价经济性模型中区域①范围,即两部制(需量)电价为最经济的电价。且从长远来看,两部制电价能够引导企业采取节能措施,降低系统峰值负荷,引导企业使用新能源和清洁能源,降低污染和碳排放,为未来的能源结构调整做出贡献。

2023年9月,哈尔滨机场协调相关单位办理电价变更手续,正式执行两部制(需量)电价。据统计,自实施两部制(需量)电价以来(2023年9月-2024年2月),哈尔滨机场已节约360万元电费支出,平均电价也降至0.67元/度。这种电价制度预计每年将为哈尔滨机场节约电费600-700万元。

全国各省份的电价不尽相同,各企业的受电电压等级也有所区别,按照本方案的设计理论能够为各地区定制出相应的电价经济性模型。这种针对性强的解决方案,无疑能够帮助全国的用电企业更加科学、合理地选择出适合本企业的电价,从而有效地降低运营成本,提高经济效益。这一创新设计理论适合向同行业及其他用电企业推广。

报送单位:黑龙江省机场管理集团有限公司哈尔滨太平国际机场

联系人:岳悦

邮箱:15146607528@163.com

4. 融入绿色理念，打造低碳空港案例 - 盐城南洋国际机场

案例关键词：节能系统、管理体系、绿建三星、节能减排

案例摘要：盐城机场将绿色理念融入机场规划、建设、运营全过程，依托城市生态特色，持续推进绿色节能技术应用，通过智能化手段促进节能降耗、开展清洁能源利用，推动生态和谐机场建设，提高机场绿色低碳效。

一、案例背景

盐城机场严格按照绿色机场建设规范要求，将绿色理念融入机场规划建设、运营管理全过程，依托盐城城市生态特色，持续推进多项绿色节能技术应用，彰显绿色价值追求。盐城机场始终坚持绿色三星设计运行标准、引入智能化手段促进节能降耗、开展清洁能源利用、推动生态和谐等绿色机场建设工作，进一步升级盐城机场绿色机场建设成效。



二、案例详情

(一) 基本信息

盐城南洋国际机场始建于1958年，军民合用机场，国家一类口岸。2018年9月，根据省委、省政府整合全省民航资源的决策部署，盐城南洋国际机场有限责任公司作为成员机场加入东部机场集团。现有T1、T2两座航站楼总面积4.32万㎡，其中T1国际航站楼1.3万㎡、T2航站楼3.02万㎡。飞行区等级4C，跑道2800米，停机位20个，能满足年吞吐量300万人次、年飞行起降3万架次、典型高峰小时起降架次15架次需求。

(二) 相关荣誉、奖励、奖项

盐城机场一直坚持绿色低碳理念，持续推动绿色机场建设，最大限度地实现资源集约节约、低碳高效运行。T2航站楼是盐城机场打造标杆项目、亮点工程，2017年，获住建部科技发展促进中心颁发的“三星级绿色建筑设计标识”证书；2020年，被江苏省住建厅评定三星级绿色建筑运行标识。还荣获2019年度江苏省优质工程奖“扬子杯”、2020-2021年度国家优质工程奖、2022年度江苏绿色建筑创新示范工程一等奖（全省仅2个）、2023年度江苏省绿色建筑创新项目二等奖。T1航站楼改造工程于2023年7月份竣工投运，9月份荣获江苏省住建厅“三星级建筑绿色改造设计标识证书”；同时被列入江苏省2023年度江苏省级城乡建设发展专项资金（绿色建筑）项目中的既有建筑能效提升项目，项目于2023年10月23日通过江苏省绿色建筑发展专项资金绩效考核工作小组组织的专家论证，申请专项资金已拨付完成。盐城机场于10月12日至13日及11月28日至29日参加民航协会组织的两次评审，并在2024年1月23日由中国民用机场协会宣布荣获2023年度“双碳机场”评价二星级机场称号。

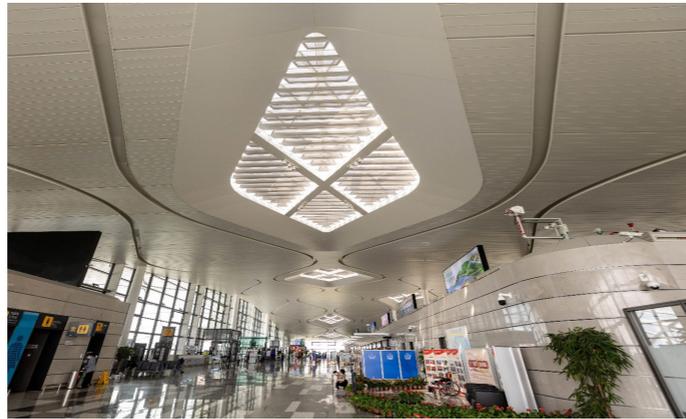
三、建设成果

(一) 加强组织领导，成立项目建设专班

盐城机场公司领导亲自挂帅，邀请市内交通系统建设专家，抽调机场各部门专业人员，成立项目建设专班，统筹航站楼改扩建工程建设。项目建设专班在合作单位选择上，通过公开招标的方式，确定华东设计院、同济设计院、中建八局等建筑业领先单位为中标单位。项目建设前期，项目建设专班从规划层面，对标国内“绿色机场”建设标杆，根据自身实际能力和特点，规划地源热泵等部分绿色建筑系统设计到项目之中。在项目建设过程中，多次组织项目建设专班人员参观禄口机场等交通枢纽，了解枢纽工程在绿色机场建设过程中的重点难点工作，以便指导工程顺利进行。在遇到绿色建筑系统建设需重大会议时，及时邀请江浙沪地区专家进行论证。在项目验收过程中，严格按照设计院图纸、施工图及绿色设计专篇要

求进行验收，确保实际工程满足绿色建筑要求。

(二) 对标业内一流，积极采用先进技术



盐城机场 T2 航站楼创新采用国内领先的“智能可变遮阳系统”，天窗下遮阳可根据室外环境和室内照度自动调整角度，最大化利用自然光照，避免产生眩光。航站楼大挑檐屋面为室外人行活动区和立面幕墙提供了有效遮阳，有效改善室内外热环境，因此建筑幕墙无需额外设置遮阳。玻璃幕墙采用热工性能优良的中空夹胶双银 low-E 玻璃，既优化室内采光效果，又能增强围护结构的保温性能；玻璃幕墙设有可开启扇，保证过渡季节的自然通风和夜间通风；幕墙智能排烟窗还申请了国家专利，窗户尺寸达到 5m×3m，采用加固边框的方法利用双气缸同步运行，开闭速度快，满足消防联动要求，排风窗可开角度 70°，排烟效果好，节能高效环保。

针对盐城地区海拔高度低、水网分布密集等特点，T1、T2 航站楼采用冷热交换效率较高的地源热泵系统进行航站楼的冷暖供应，减少用电幅度和空调对室外热环境的影响，既节能环保，又提升旅客的舒适度。采用分区空调，设计合理的气流组织，全空气系统采用 CO₂ 监控系统，新风系统采用中高效过滤器，确保室内空气洁净度。设置二级节水器具及雨水回收系统，雨水经过处理后，专门用于绿植浇灌，提高水资源利用率，促进资源节约。室内照明严格控制照明功率密度，选用高效灯具，建设完成灯光智能照明系统。T2 航站楼地下车库创造性地建设成为半敞开式下沉庭院，可将阳光和风引入地下，在保证地下车库光照和空气循环的基础上，充分利用自然通风照明，尽最大可能节约能源消耗。

盐城机场还与技术单位开展合作共同打造“智慧机坪”项目，应用视频分析技术实现航班保障节点自动化采集，借助智慧手段将绿色运行理念推广到机场飞行区范围内。目前，盐城机场已实现近机位的全覆盖，识别准确率高达 99% 以上，识别节点数据全民航视频识别

类达到 28 项。“智慧机坪”的应用不仅填补了飞行区航班节点保障信息化、智能化的空白，还大大促进了管理流程优化，降低了管理成本，推进人均能耗逐年下降，促进机场低碳减排。



(三) 健全管理体系，筑牢绿色运行之基

盐城机场高度重视节能低碳、绿色发展工作，围绕“绿色机场”建设主题做好顶层设计，在机场公司“十四五”规划中，明确绿色低碳机场建设发展思路，提出将绿色低碳理念融入航站区和飞行区建设，并出台《盐城南洋国际机场节能降碳工作专项规划》，科学有序推进绿色减排。强化组织领导，成立节能降碳领导小组和节能降耗工作领导小组，明确各部门职责，号召全员“向绿而行”。完善管理体系建设，制定出台《盐城南洋国际机场有限责任公司节能降碳管理办法》《盐城机场碳排放源识别清单》《盐城南洋国际机场有限责任公司计量器具管理办法（暂行）》等制度，把绿色低碳发展贯穿于日常运营管理全过程，践行绿色发展理念，倡导低碳生产生活方式。

(四) 倡导节能减排，推动绿色转型发展

盐城机场围绕“管理提升少排碳、技术革新降排碳、设备引进再减碳”的总体工作思路，建立了碳排放量监测、核算和报告等相关制度，按照要求在相应点位、管理界面配备和安装有效的计量器具，有序推进能源绿色低碳转型。一是地面车辆“油改电”项目。目前场内新购各类电动车辆 15 台，并在飞行区和航站区配套安装充电桩共计 54 个。二是推广使用桥载设备。T1、T2 航站楼 9 个近机位廊桥全部安装地面电源和空调设备，实现桥载设备全覆盖。与全部在飞航空公司签署桥载设备服务协议，确保桥载设备应用尽用，2022 年航空公司桥载电源使用率为 84.2%。三是落实节能减排措施。对航站楼、飞行区和办公区等区域进行 LED 节能照明和感应用水装置改造，严格做到“人来灯亮，人走灯灭”，每个单体建筑单独设置水电表，加大用水设施跑冒滴漏情况的巡视检查，做到从源头上控制能耗。

四、取得成效

航站楼自投运以来，各个节能项目运行良好。盐城机场邀请专业第三方机构对近三年机场运行进行碳核查和能源审计。

经过系统计算，T2航站楼地源热泵系统和智能遮阳系统平均每年节约35万度电，智能照明系统平均每年节约8万度电；经过审计核查，整个机场综合能耗由2021年1529.8tce降低到2022年的1448.8tce，用电量由2021年11069.6MWh降低到2022年的10417.3MWh。盐城机场将始终按照“节能低碳、绿色建设”的可持续发展理念，常态化推进“绿色机场”和“双碳机场”建设。

报送单位：盐城南洋国际机场有限责任公司

联系人：吴必根

邮箱：842989225@qq.com

5. 综合性能能源管理系统助力绿色低碳发展 案例 - 西安咸阳国际机场

案例关键词：能源管理、ARIMI 算法、异常信息识别、功率因数、水蓄冷系统、热交换、精细化管理、节能降碳

案例摘要：西安机场通过多措并举推进能源管理效能提升，在能源管理、电力供应、冷暖供应和污水处理方面，通过建立模型、改造设备、设计系统、提升管理模式等方式方法，综合提高节能降碳水平，助力机场绿色低碳发展。

一、案例背景

根据国家十四五规划和2035年远景目标，必将加快企业能源方面绿色低碳化发展，以减碳目标整体驱动企业发展，为机场能源的绿色化转型指明了方向。

西安咸阳国际机场是我国区域性枢纽机场之一，能源作为西安机场运营的主要生产成本之一，每年水电气冷暖用能成本约1.2亿元，实施精细化的能源管理不仅可以直接降低能源成本，也能有力推动机场绿色低碳发展，减少碳排放，引导技术、管理的绿色低碳创新，实现系统综合效益最大化。

（一）用能数据监控方面

目前，西安机场能源管理平台每年自动采集约4000万条计量数据，未进行管理提升前，

平台年均产生表具异常与表具能耗异常信息 2598 条，有效信息仅 83 条，依赖员工判断能源数据异常告警有效性，缺乏有效算法，误报漏报率高，导致异常能耗不能及时发现，无法快速处置，造成能源浪费甚至产生安全隐患的问题。

（二）电能供给方面

西安机场年耗电量逾 1.3 亿度，购电成本约 8 千万元，机场供电系统传统管理模式费时耗力，缺少满足本单位实际工作需要的电能计算分析工具，运行人员对每日用电能耗情况难以精确掌握，由于线路无功和用户设备无功损耗对系统出力产生巨大影响，各层级电量计算存在误差，人工分析导致的数值错误即会引起无功过补偿等问题，难以根据实际及时调整电气设备投切策略，降低电能的使用效率，增大电量损耗，增加碳排放，且设备历史数据无法持久保存，不能有效地从历史数据中得到运行经验、设备状态等蕴藏的深度信息来指导运行，提高机场供电系统稳定性、节能性及绿色能效。

（三）冷暖供给方面

西安机场自 2019 年蒸汽缩停改造后，将 1# 制冷站制冷系统由溴化锂吸收制冷改为电制冷加水蓄冷系统，有效提高制冷系统稳定性，通过削峰平谷减少高峰电力负荷，同时减少传统制冷方式产生的碳排放。通过运行实践，发现系统仍存在冷机远程启动功能不完善，用户侧流量压力不满足，冷机运行效率低、系统运行模式单一等问题，增加了系统能耗，不利于能效提高。

机场热水的生产主要通过空气源热泵和板式换热器热交换来加热低温水两种方式。以往在生产中未全面考虑两种方式加热效率在不同环境温度时的效率及管道热损失的问题，造成无效热量损失，产生能源浪费。

（四）污水处理方面

西安机场污水处理方式为微生物生化处理，易受多种因素影响，容易导致出水水质波动；在污水处理控制系统中，在线监测的出水水质通常需要一段时间才能检测获得，有一定的滞后性，影响污水处理效率，增加污水处理设备的用能损耗。

为解决以上生产难题，实现节能降碳，综合借助技术和管理诸多手段来助力西安机场绿色低碳发展。

二、案例详情

（一）基本信息

西安机场能源管理系统分析处理西安机场地区 1200 多个用能点，每年采集约 4000 多万

条能源数据。平台主要功能包括计量器具的管理、制冷系统和供热系统的实时监控、能源报表、转供账单、异常能耗管理及其他基础数据等。依托能源平台，基于大数据，分析用能业务场景，刻画能耗特性、总结用能规律，利用基于时间序列的 ARIMA 算法，选用日周期时间序列，引入客流、季节、天气、温度等关联因素，将 3 年历史数据进行训练，得出最优阈值，将算法嵌入平台，使异常信息报警阈值动态调整，有效识别异常情况。

在电能供给方面，通过对电能使用情况、电网运行规律及用户端负载性质等方面进行全面分析，在主要 110kV、10kV 进线处安装电量采集器，将各关键点位电能数据上送至电力自动化监控系统，利用报表管理模块存储的历史电能数据通过网络安全隔离装置单点转发，实现多设备数据源融合，打破设备壁垒。基于 Python 和 MySQL 设计开发安全区隔离的电能能效分析系统，系统获取上传数据后，对其进行加工和处理，根据运行需求分模块分类的进行数据分析和展示，实现电量的采集转发、分析、预测、可视化和公开发布，及时发现表具故障，提高用户抄回率。系统还可以通过分析各线路用能情况，计算实时电能效率，通过功率因数计算模型，对站内实时功率因数进行监控。根据功率因数预警线动态调整电抗器投切，确保功率因数考核达标，年约可获上级供电部门奖励调整电费 260 余万元。通过减少生产运行过程中的非必要电能损耗，助力四型机场建设，实现电力能源低碳化转型，生产运行计算分析由传统借由人为、经验模式转换为数字化程序化运行，项目实施后释放定期电能分析计算工作人力资源 1 人/天，实现供电系统电能使用、电能质量情况跟踪精细化、信息共享化，发挥数据价值。

在冷暖供给方面，对水蓄冷系统进行节能改造。针对冷机远程启动功能不完善，在两台主机冷冻水前端加装电动调节装置；针对用户侧流量压力不满足，在空调水系统用户侧回水加装持压调节装置，为用户提供稳定的回水压力，提高系统运行稳定性；针对冷机运行效率低，在冷机冷凝器侧加装自动清洗装置，实现机组低能耗高效率运行、延长铜管使用寿命，并且有效减少人工物理清洗频次；针对系统运行模式单一，在用户侧进口端、蓄冷工况进口端和系统回水侧加装电动调节装置，实现动态调节用户侧流量及供水温度和供冷模式的自由切换功能。通过上述手段，提高了水蓄冷系统制冷效能，节省了因制冷能力弱而额外消耗的电能，从而降低碳排放。

通过对生活热水供应系统全面分析，优化机场热水生产方式，设计了分割保温、冬夏季设定不同温度、定期清理灰尘和水垢、根据环境温度自动切换、定期板换清理的方法。将综合治理方法应用后，经测算每年可减小系统散热约 5%；同时，采用“可拆卸式保温技术”应用于各种换热站的换热板换及大型阀门上，有效减少车间工作环境 8℃ 左右。

在污水处理方面，通过数据挖掘和分析构建神经网络算法模型，录入出水水质历史数据进行自适应学习，提前预测出水水质数据，以此为参考指导污水处理工作，建立污水预测模型后，系统上线后共准确报警 15 次，及时提醒人员进行设备工艺流程调整，将管理由被动式补救变为主动式预防，减少因污水处理效率低引起的资源浪费。

(二) 相关荣誉、奖励、奖项等情况

荣获 2023 年西部机场集团绿色低碳创新大赛二等奖、集团绿色低碳成效奖。

荣获 2023 年西部机场集团创新方法大赛一等奖。

荣获 2023 年陕西省创新方法大赛三等奖。

荣获 2022 年西部机场集团数据分析与应用大赛二等奖。

三、建设成果

在用能数据监控方面，建立一套能耗异常数据监测模型，并嵌入能源管理系统，解决误报漏报率高的问题，使管理人员及时发现管网漏损、用能设备故障、用能参数设备设置不合理等现象。预测准确度高，极大解决了因为误报警和未报警引起的人员无效巡视和能源浪费。

在电力供给方面，通过对老旧设备的自主改造，实现电量自动采集无线上传。开发出易推广、可升级、实用性强的电能电效分析系统，围绕该系统形成一套能效动态调节管理模式。深度使用运行数据，通过对数据的收集和分析，挖掘数据价值，提升机场供电系统的精细化管理能力，提高机场能源供给方面的节能降碳能力。

在冷暖供给方面，优化后的水蓄冷系统可实现多种运行模式自由切换，精准控制蓄水箱流量，实时调控用户侧压力及供水温度，显著提升机组换热效率。

生活热水系统和管理优化后，可在夏季降低供水温度 5℃，冬季提高供水温度 2℃，降低热泵系统用电量约 2%，在板换、阀门上应用可拆卸式保温技术可降低设备附近温度 8℃。

四、取得成效

通过对西安机场用能异常识别、电力系统、冷暖系统、污水处理系统采取不同节能降耗措施，实现西安机场能源绿色低碳发展。

在用能数据监控方面，通过模型的应用，及时发现异常能耗，将平台报警有效率从 3% 提升至 70%，将管理效能提升了 23 倍，预计节省人力成本 1 人力 / 天。降低能源使用成本，提高能源系统的运行安全。

在电力供给方面，解放人力成本约 10 万 / 年，提高工作效率。减少层级误差 0.3%，及时发现表具故障，降低用能成本流失，每年节约电量 30 万度，每年减少电费 20 万元。建立

电能电效分析系统，保证功率因数达标，通过运行策略调整，避免功率因数过低增加年电能消耗 200 万度电，共减少碳排放约 3124.3 吨，节约燃煤消耗约 1592 吨，并获得供电局电费奖励 260 万元。

在冷暖供应方面节能减碳效果显著。加装自动清洗装置后机组冷凝器小温差基本维持在 2.0℃ 左右，降低制冷运行成本、提高安全可靠。在水蓄冷系统改造后的第一年室外温度较上年度升高 1.05℃ 情况下，耗电量较上一年度减少 14.85 万度。通过持续优化调整修，2023 年耗电量较 2022 年减少 1.93 万度；碳排放量也显著降低，2023 年较 2022 年减少 3.2 万吨。

优化机场生活热水供应后，每年可减小系统散热约 5%，节约热量约 51 吉焦，减少二氧化碳排放 14124 千克。系统改造后 2022 年较 2021 年能源成本降低 3.17 万元，2023 年较 2022 年能源成本降低 2.4 万元，系统改造有较好的应用效果。

在污水处理方面，采用预警系统后，及时调整工艺，出水水质较同期对比 COD 下降 20.1%，氨氮下降 38.5%，总氮下降 8.2%，总磷下降 29.3%，为我国绿色低碳发展贡献应有力量。

报送单位：西安咸阳国际机场股份有限公司

联系人：郝婧羽

联系电话：15389089478

6. 机场双碳综合管理融合提升案例 - 上海虹桥国际机场

案例关键词：双碳机场、顶层设计、制度完善、项目实践、融合提升

案例摘要：本案例围绕机场双碳工作管理创新，通过建立工作机制，持续跟踪解读政府及行业绿色低碳相关政策要求，结合自身发展现状及愿景，动态调整公司内部能碳管理思路，并通过顶层设计、制度完善和项目实践，及时响应机场绿色低碳转型发展的内外部需求，对机场能碳管理具有借鉴意义。

一、相关背景

为贯彻落实国家双碳政策，国家民航局发布了一系列绿色、低碳规划发展文件《“十四五”民用航空发展规划》、《“十四五”民航绿色发展专项规划》、《2022 中国民航绿色发展政策与行动》等，引导行业绿色、低碳、循环发展，为民航机场发展指明了方向。

2022 年，经民航局批准，中国民用机场协会启动运输机场“双碳机场”评价，从制度、行动、绩效三个维度建立指标体系，引导民用运输机场行业低碳发展转型升级，助力实现“双碳”目标，对机场能源与碳排放管理精细化水平提升具有实际指导意义。

二、案例详情

(一) 顶层设计

2022 年，虹桥机场开展“上海虹桥国际机场低碳发展“十四五”规划和“3060”中远期目标”

研究。结合虹桥机场运输业务增长预期，采用基于碳排放历史数据的强度指标法和基于各类设备设施运营和新增情况的自下而上法，开展虹桥机场碳排放预测；并根据多种节能降碳技术措施组合，开展多情景分析，制定虹桥机场 2025、2030 乃至 2060 年的分阶段碳排放控制目标，确保碳达峰碳中和目标实现。

同时，为增强双碳规划的落地性，研究同步明确了虹桥机场能碳管控的六大任务板块及 15 项具体工作内容。包括完善能碳管理体系、优化机场能源结构、提升建筑低碳性能、推进能源节能技改、开展节水专项行动、辅助经济手段降碳。

通过双碳规划文件的制定和下发，明确了虹桥机场未来双碳工作的基本技术路径和任务清单，为机场相关部门后续开展具体工作划定了边界，指明了方向。

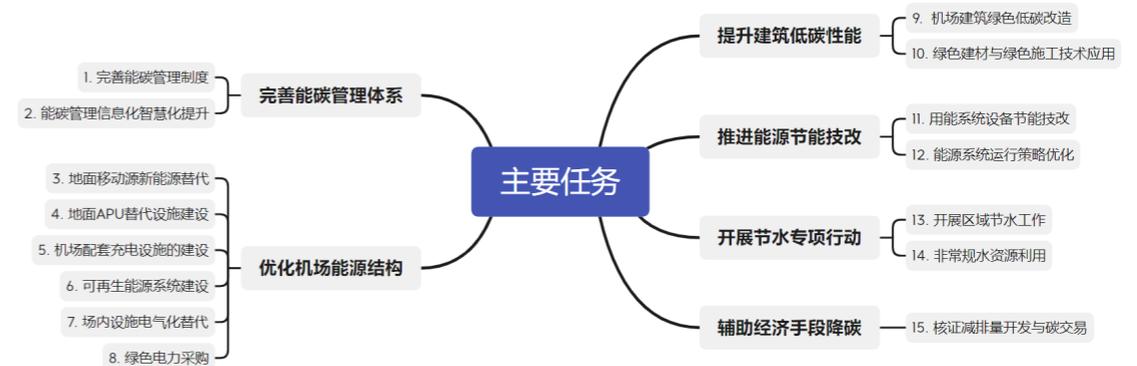


图 1 虹桥机场双碳规划主要任务清单

(二) 体系制度

建立健全机场能碳管理制度，是落实机场双碳目标的基础。为此，虹桥机场制定并发布了《碳排放和能源管理制度》，规定各部门、各单位的职能分配和关键岗位人员的任命及授权，明确相关部门及人员的职责权限，以保持并持续改进能源和碳排放管理工作。根据上海市下发的碳配额、集团下发的年度节能减排目标，公司每年与各部门签订能源绩效合约，内部机制完善，碳排放层级管理清晰。

公司内部遵循体系化管理理念，依据 ISO 50001: 2018 能源管理体系要求，通过制定《上海虹桥国际机场有限责任公司能源管理手册》、《公司能源和计量管理规定》、《能源保障部能源计量管理办法》等文件，建立起一套系统完整的能源管理体系并贯彻落实到相关部门的管理工作当中。针对虹桥机场航站楼及能源中心等主要用能设施，研究制定了一套可以反映旅客吞吐量和室外气温波动影响的能源及碳排放考核指标体系，科学合理动态地对相关部

门的管理绩效提出量化要求。

2023年，虹桥机场为规范重点用能设备的新增和更新行为，加强节能管理，编制并发布了《重点用能设备能效限额要求管理办法》。根据设备的预期使用年限和能效限额标准发布时间，细化制定了不同情景下的设备采购能效等级，从源头上杜绝了低能效设备的流入。

(三) 项目探索

虹桥机场多年来持续探索新技术、新产品应用以及新思维、新模式创新。一方面通过开展“航班联动”、“EC变频风机改造”、“智慧能碳管理平台”等为代表的一系列项目，实现自身主动式节能降碳；另一方面通过全国首家蓄车场内充电站服务运营模式、蓝天保卫战桥载设备使用协同工作机制、驻场单位及楼内租户绿色租约等管理创新，积极推进机场相关方的范围三碳排放。

1、自身节能降碳

航站楼节能技改方面，虹桥机场不断探索航站楼暖通空调、照明系统的航班联动控制模式。通过结合建筑结构、气候及日照变化、旅客的行动特征、路线流向、驻留时间以及驻场单位的工作情况等因素，建立了细化至456个控制分区，可实现差异化启停条件的航班联动控制系统。典型区域通过联动控制可减少40%的空调投用时间，显著减少了能源浪费。

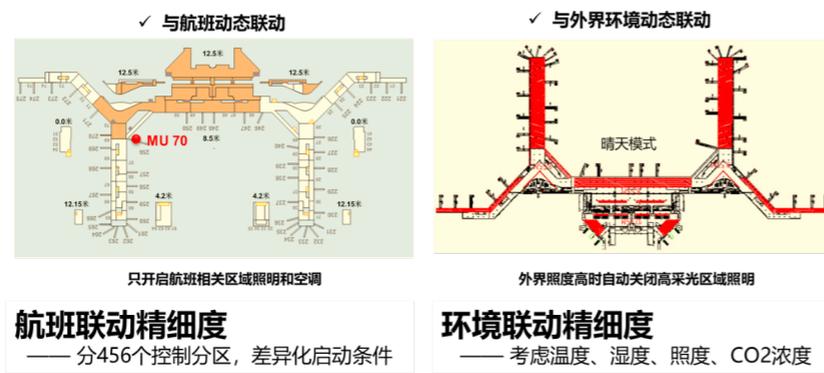


图2 虹桥机场航站楼航班联动控制

此外，虹桥机场将新型EC风机替换传统电机+离心式风机的改造方案试点应用于T2航站楼。试点选取了2台空调机组进行试点改造，通过改造前后实测数据对比，评估其技术可行性与运行节能性。经测算，EC风机替代传统离心式风机运用于空调机组综合节能率在20~30%左右，节能效果显著，未来计划规模化在航站楼空调系统推广。

机场能碳智慧平台建设方面，虹桥机场一期建设能源管理系统，能源管理平台对上海虹桥机场两个能源中心以及两个航站楼及交通中心的能耗数据进行采集，改善能碳管理和运营水平。实现了对机场设施内的变配电、照明、电梯、空调、供热、给排水等能源使用状况实行集中在线监测和动态分析，加强精细化管理，降低碳排和运营成本。



图3 虹桥机场能源管理系统界面

2、利益相关方协同降碳

机场充电设施建设方面，虹桥机场完成全国首家出租车蓄车场充电站示范项目，并通过运行方案优化，探索形成了“充电+蓄车+服务”创新运营管理模式。目前建设四期共124个新能源汽车充电桩。为广大新能源出租车驾驶员进入虹桥机场区域充电、休息和营运提供了便利条件的同时，运行至今节碳5105.8吨。



图4 全国首家蓄车场内充电站

为打赢蓝天保卫战，促进 APU 替代设施利用，虹桥机场 AOC 组织运行指挥例会，通报 APU 替代设施使用情况并协调解决存在问题。与航司运行、机务部门通力协作，用联建、走访方式加强沟通协调，共同提高 APU 替代设施使用率；组建内部各部门团队（技术、业务、调度、运行等），不断提高 APU 替代设施运行保障品质；并推出计件制，激发操作人员主观能动性。

为敦促驻场单位及航站楼内租户合理用能，虹桥机场在对驻场单位和租户 100% 独立装表计量的基础上，正逐步探索采用绿色租约的方式，加强对转供能源用量管控，促进相关方节能，构建虹桥机场实现双碳目标共同体。

三、案例成效

虹桥机场通过顶层设计、体系制度和项目实践三个层次的管理升级与新技术应用组合拳，实现了机场能碳管理效能的显著提升。

（一）数据绩效

排除疫情影响，虹桥机场单位客货碳排放强度较十三五整体呈现下降趋势，2023 年单位旅客（含货邮折算）碳排放强度为 1.26 kgCO₂/人次，较 2019 年下降 12.5%。

可再生能源利用方面，虹桥机场先后在西货运楼屋顶和南合建泵站屋顶安装了共 3.69MW 的光伏发电项目，采用微机监控装置、可以实现遥控、遥测、遥信，年均发电量约为 254~290 万 kWh，可再生能源占比达到 3% 左右。

（二）认证获奖

2021 年，获国家生态环境部绿色低碳典型案例；2022 年，获中国民用机场协会双碳机场三星级评价及第三方机构能源管理体系认证；2023 年，获民航局计划司智慧民航数据治理典型实践案例。

四、结语

未来虹桥机场将持续以“双碳机场”评价工作为抓手，不断完善相关制度，落实节能降碳举措，挖掘机场降碳潜力，提高自身能碳管理绩效水平，并积极推进机场范围三降碳。虹桥机场上下将继续戮力同心，砥砺前行，努力打造国内领先、国际先进的双碳机场，为增强

上海航空枢纽综合竞争力，推动行业加速绿色低碳转型，作出应有的贡献和表率。

报送单位：上海虹桥国际机场有限责任公司

联系人：茆贇

邮箱：maoyun@shairport.com

7. 顶层设计助推机场碳排放精益管理案例 - 北京首都国际机场

案例关键词：绿色机场 “双碳目标” 顶层设计 精益管理

案例摘要：实现国家层面的“碳达峰、碳中和”目标是一项重要议题，需要各方果断采取行动。首都机场将绿色低碳理念落实到机场运营、管理的顶层设计中，通过在碳排放管理的“精益求精”，逐步打造“双碳机场”建设的典范和楷模。

一、案例背景

2020 年国家主席习近平庄严承诺，中国力争二氧化碳排放 2030 年前达到峰值、2060 年前实现碳中和，并在 2021 年把“碳达峰”、“碳中和”纳入生态文明建设整体布局。随之民航局出台《“十四五”民航绿色发展专项规划》提出“以实现碳达峰、碳中和为引领，着力提升民航运行低碳化，建立健全民航绿色低碳发展体系”。

“碳达峰、碳中和”目标的提出对于机场未来发展具有及其重要的价值和意义。这不仅是一次全面低碳转型，更是一次理念与生产方式的革命。但另一方面我国民航运输市场需求潜力巨大，能源消费和二氧化碳排放将持续刚性增长，实现民航机场绿色转型、全面脱碳时间紧、任务重、难度大。面对这样的矛盾，迫切需要民航机场行业果断采取行动，并以长期规划和有效行动作为支撑。

二、案例详情

长期以来，首都机场坚持绿色发展理念，勇于担当、砥砺前行，努力打造绿色机场标杆，作为绿色机场的“碳”路先锋首都机场在不断实践中形成了完善节能减排顶层建设、全面深化精益管理模式、能源结构深度优化的三大绿色成果。在绿色机场建设之路上为“双碳机场”赢得良好开端。



图 1 首都机场外景图

（一）节能减排顶层建设不断完善

首都机场始终以能源管理体系建设作为节能减排的基础和核心，遵循“策划 - 实施 - 检查 - 持续改进”的系统化管理模式，围绕目标规划、经济运行、节能技改、数据分析等方面建立了一整套多部门协作的科学、先进、富有活力的能源管理体系，为实现节能目标提供了行之有效的管理工具。于 2014 年成为国内首家通过能源管理体系认证的机场企业。

新时期，在国家及民航局提出实现“双碳目标”的要求下，首都机场率先垂范于 2021 年底正式发布《首都机场碳达峰、碳中和实施路径研究专项规划》，指明了在新阶段、新形势下的发展方向，即通过“一减一增一中和”的核心思路应对更为复杂的低碳未来。具体包括近期依靠节能技改减少自身能源需求，中期开展“分布式光伏”建设及推广热泵技术应用提升可再生能源占比，远期提升“碳资产”管理能力，融入“碳市场”交易抵消“减无可减”的剩余二氧化碳排放，实现净零排放的目标。

（二）精益管理模式全面深化

本着“运行高效、以人为本”的原则，首都机场在确保航空安全，持续提升服务质量的前提下，以提高能效为核心，以科学创新为支撑，全力打造资源节约、环境友好的大型国际枢纽。依托管理体系结合民航特色，首都机场优先采购国家认证的节能设备或产品，对标淘

汰名录定期排查各区域用能设备，共淘汰高耗能空调电机 210 台；在航站楼、飞行区、停车楼、公共道路分批次更换 LED 节能灯具，累计更换 16.6 万盏，并逐步开展第三方节能量审核，年均节电量超过 3500 万千瓦时；结合照明与自然光线变化、旅客动线以及行李数据特点，针对照明、电梯、行李输送、旅客捷运等主要用能系统制定经济运行方案，将精益管理渗透到节能工作的每一个“细胞”；新冠疫情爆发后，为应对疫情常态化工作并实现航站楼用能系统设备节能高效运行，2021 年提出《常态化疫情防控期间 3 号航站楼国际区域精细化运行方案》，对暖通空调等基础保障系统进行运行深度优化。通过运行策略优化，能源成本同比下降 10%，实现首都机场经济效益与节能低碳的“双丰收”。通过精益管理，首都机场“十三五”末期综合能耗消耗量同比下降 35%。

随着“双碳”目标的提出，对企业碳排放管理水平也提出了更高要求。首都机场持续开展系统融合，不断丰富现有 AMES 系统功能，提升机场能源系统运行的安全水平、控制水平和管理水平；助力机场从经验向标准，从人工向智能的转变，满足“碳达峰、碳中和”背景下的绿色低碳管理要求。

（三）机场能源结构深度优化

首都机场始终认真贯彻落实国务院、民航局打赢蓝天保卫战的决策部署，积极提升企业应对气候变化风险管理能力，降低运营过程中产生的碳排放和环境影响，履行社会责任。根据《北京首都国际机场“油改电”总体规划》及电力需求评估结果，大力推广 APU 替代设施建设和应用，实现全场近机位覆盖率 100%，远机位覆盖率超过 80%，帮助航空公司缓解“碳减排”压力；不断推进首都机场新能源车辆充电基础设施建设，积极引进新能源车辆，截止 2023 年底，场内新能源车超过 1500 辆，电动化率达到 42%；加速推进“空侧”、“陆侧”充电设施建设工作，建成充电点位 500 个，“车桩比”达到 2.8:1。有效改善区域环境质量，能源结构中的化石能源消耗占比已稳定在 1% 以下。



图 2 首都机场充电桩建设情况

面对能耗结构中电耗占比不断增加的客观情况，首都机场“量体裁衣”提前谋划，2023 年 6 月完成并发布《首都机场地区分布式光伏发电建设规划》，“十四五”时期以来在绿色能源开源方面，已先后完成西湖“水面光伏”一期、二期项目，GTC 采光带光伏二期项目，“穹顶光伏膜”项目，焚烧站“屋顶光伏”项目，LOCC“屋面光伏”项目建设，累计新增装机容量 1.34MWP，年均发电量超过 220 万千瓦时，北京市碳核查口径下光伏减碳量占比超过 1%。在拓展光伏发电项目建设的广度和深度方面，未来按照“因地制宜，安全可靠；自用为主，并网为辅”的原则，至 2030 年底总计规划光伏发电项目总装机容量 53MWP，同步开发“智能光伏”管理平台，实现全数字运维及管控，预计项目全部建成后，年均发电量超过 6200 万千瓦时，年度减少二氧化碳排放量 3.8 万吨，折合“碳资产”价值 285 万元。



图 3 首都机场水面光伏建设情况

在充分巩固绿色机场建设成果的基础上，首都机场还系统推进“热泵+蓄能”技术应用，已于 2023 年完成《首都机场地区应用热泵系统及蓄能技术整体规划研究》，积极探索地源热泵、安全蓄能、绿色电力等多种能源协同互济的综合能源利用项目，不断推动机场各领域能源消费方式变革，持续提升“脱碳化”进程。

（四）相关荣誉奖项

2019 年获得中国能效经济委员会组织评审的“气候领袖企业”称号，成为民航业内首家取得该荣誉的机场；

2021 年获得中国民航局授予的“民航打赢蓝天保卫战先进单位”荣誉称号；

2022 年获得国际机场理事会（ACI）组织评选的 ACI 亚太区“绿色机场表彰”银奖；

2023 荣获中国民用机场协会组织评选的三星级“双碳机场”称号，成为中国民航首批通过“双碳机场”三星级认证的机场之一。

■ 三、案例成效

（一）体系制度建设为先，开启“双碳”机场新篇章

作为一个航空运输的平台，机场承担着安全管理、协同运行、旅客服务、综合交通等多项繁杂职能，随着“双碳”目标的发布，机场面临的节能减排压力不断加大，因此首都机场首先构建了一个科学完善的能源管理体系制度，让节能减排理念渗透到首都机场的每一个角落，同时为实现民航业的“双碳”目标奠定坚实基础。

（二）精益管理为主，正确处理发展与低碳关系

节能低碳和企业发展是对立统一的两个主题，以资源节约为目的的措施不仅会提升企业经济效益也会带来诸多环境收益。首都机场在绿色实践中，采用精益管理模式，不仅提高了机场的服务质量，降低了运营成本，同时产生了巨大的节能减排收益，充分的考虑经济性，将助力首都机场平稳实现“双碳”目标。

报送单位：北京首都国际机场股份有限公司

联系人：于东波、吴凡

邮 箱：wufan@cahs.com.cn



双碳机场
AIRPORTS CARBON EVALUATION

