

大型枢纽机场航站楼环保管理数字化转型研究

冯晓栋¹ 吴双茜² 李笑言³

1 上海虹桥国际机场有限责任公司, 上海, 200335;

2 上海虹桥国际机场有限责任公司, 上海, 200335;

3 上海七宝德怀特高级中学, 上海, 201101;

摘要: 在“双碳”目标与绿色民航建设的背景下, 大型枢纽机场航站楼的环保管理面临管理主体多元、污染源分散、末端治理成本高的严峻挑战。传统以人工巡查和末端处理为主的模式, 难以实现精细化、高效化的污染控制。本文聚焦航站楼运营中产生的水(餐饮与生活废水)、气(餐饮油烟)、渣(生活垃圾与厨余垃圾)三类主要污染, 提出以行为与数据双轮驱动决策为核心, 构建集监测、分析、预警、调度于一体的数字化管理平台。

关键词: 绿色机场; 环境污染治理; 数字化转型; 源头管控; 末端治理; 数据驱动

DOI: 10.64216/3080-1508.26.03.047

引言

大型枢纽机场航站楼作为人员高度密集、商业活动频繁的公共建筑, 其日常运营持续产生着生活污水、餐饮废水、餐饮油烟以及大量生活垃圾。这些污染物若管理不当, 将对机场周边环境及市政处理系统构成压力。传统的航站楼环保管理多依赖于定期人工巡查、商户自觉遵守以及末端处理设施的被动运行, 存在监管覆盖面有限、响应滞后、溯源困难、运行成本高昂等问题。随着生态文明建设的深入推进, 以及《“十四五”民航绿色发展专项规划》对机场污染控制提出更高要求, 依靠数字化手段实现环保管理的转型升级已成为必然趋势。^[1]

数字化转型的本质, 在于通过物联网、大数据等技术, 将物理世界的环境要素与管理流程映射至数字空间, 实现精准感知、智能分析与协同控制。本研究旨在跳出传统的“节能降耗”视角, 专门针对航站楼内水、气、渣三类污染物的防治, 构建一个以数据为纽带、连接污染源头(商户)与排放末端(楼宇管网)的智慧管理体系。该体系的核心目标是变被动应对为主动防控, 变粗放管理为精细治理, 最终实现环境效益与经济效益的统一。^[2]

1 航站楼环保数字化管理的理论基础与行业借鉴

环保管理的数字化转型, 其理论基础源于环境系统工程与精益管理, 强调通过流程再造与技术创新, 实现污染减排和效率提升。尽管当前机场领域的数字化实践多集中于能源管理, 但其“数据感知-系统联动-量化评价”的核心方法论, 为污染治理的数字化提供了可迁移的宝贵经验。在市政环保领域, 尤其是以上海为代表的超大城市水环境治理中, 已形成了一套成熟、先进且可复制的数字化监管体系, 为航站楼这类“微型城市”的环保管理提供了极具价值的蓝图。

在污染源信息化与可视化管控方面, 上海市的“入河排污口一张图”管理系统是典范。为牵住水环境治理的“牛鼻子”, 上海结合城市数字化转型, 启动了全市入河排污口排查整治与信息化系统建设。在宝山区等试点区域, 管理系统将区域内近两万个排污口信息集成于“一张图”上, 通过不同颜色标识整治状态, 并能通过选取街镇、河道等范围精准抓取信息。当鼠标移至某个排污口时, 系统可立即显示其编号、所属河道、主管单位、监测记录等数十项详细信息, 双击后地图比例尺瞬时放大, 清晰展示排污口具体位置及关联的排污单位排放路径。这种“一图可见、一网可管”的模式, 实现了对海量、分散排污口的宏观把握与微观洞察, 为航站楼构建覆盖所有商户排污点的数字化“一张图”, 实现从总排口异常到具体商户的秒级溯源, 提供了完整的技术与管理范式。

在智慧平台与协同联动机制上, 上海的实践更为深入。长宁区打造的新泾港数字孪生探索平台, 通过在河道沿线布设智能摄像头、流量计、水位计等物联感知设备, 构建了河道的数字孪生底座, 实现了水情“一屏掌握”。该平台不仅能实时监测水质, 更能结合气象、水文数据, 对水质未来变化趋势进行预测预报, 并基于AI视频分析自动识别垃圾漂浮等异常情况, 实现从被动处置向主动发现的转变。更进一步, 浦东新区在重点排污企业、污水处理厂和监管部门之间, 建立了联防联控“一张网”机制: 在线监测触发超标报警后, 执法人员可立即现场取样, 监测报告同步送执法部门应用, 形成了“监测-执法-处置”的高效闭环, 有效杜绝了异常进水冲击。这种基于智慧平台的预测、预警、预案(“三预”)能力, 以及跨部门的协同联动机制, 正是航站楼环保平台实现从“事后应对”转向“事前预防、事中调度”所必需的核心功能。

在管理机制上, 在推动全社会绿色低碳转型的背景

下,一种基于“碳普惠”理念的公众参与机制正在中国多地兴起并取得显著成效。该机制的核心是构建一个数字化的“碳账户”系统,对个人、家庭及社区在绿色出行、资源回收、节能节水等日常场景中的减碳行为进行精准量化与记录,并生成相应的“碳积分”。这种社会化的碳积分管理机制,其成功的关键在于利用“互联网+大数据”技术,实现了减排行为的“可记录、可衡量、有收益、被认同”。它将抽象的环保责任转化为具象的个人收益与社会荣誉,极大地激发了公众参与的内生动力。对于航站楼环保管理而言,这种机制的启示在于:可以借鉴其“正向激励”与“生态共建”的思路。机场管理方可以构建一个面向所有驻楼商户乃至旅客的数字化环保积分平台,不仅监测能耗,更将商户的废水达标排放、垃圾分类质量、资源回收量等环保行为进行量化积分。积分可与机场内的商业合同考核进行挂钩,从而引导商户从被动遵守环保规定,转向主动追求绿色绩效,最终在航站楼内形成一个活跃的、数据驱动的绿色低碳生态圈。

综上,上海在水环境治理领域形成的“一张图”可视化管控、“网格化”监测预警、“数字孪生”智慧平台以及“空天地”协同巡查等一整套数字化解决方案,系统性地回答了如何对分散、复杂的污染源进行高效、精准、智能的管理。这套成熟的经验,为构建航站楼智慧环保管理体系提供了从技术架构到管理逻辑的全面、可操作的借鉴。

2 航站楼环保数字化管理平台总体架构

本研究所提出的数字化管理平台,其架构设计遵循“感知、传输、平台、应用”的四层逻辑,并贯穿“源头”与“末端”两条业务主线。

2.1 感知层:全面布设污染监测“神经末梢”

这是平台的数据源头。在源头(商户侧),于每家餐饮商户油烟净化器排放口安装微型浓度监测仪。在末端(楼宇侧),于航站楼生活污水总排口、餐饮污水集中处理设施(如集中式隔油池)出口、集中油烟排放口安装更精密的在线监测设备;在垃圾集中收运点配置具备称重与识别功能的智能垃圾桶或人工数据录入终端。

2.2 网络与平台层:构建统一数据中枢

通过有线(工业以太网)与无线(物联网专网)混合组网,将遍布航站楼的监测数据、人工巡检数据实时汇聚至统一的环保数据中台。中台对多源异构数据进行清洗、治理、存储与建模,形成覆盖所有商户、所有污染因子的环保专题数据库,为上层应用提供纯净、标准的数据格式。

2.3 应用层:实现业务智能闭环

面向机场管理部门、商户、运维单位等不同角色,

开发核心功能模块:(1)源头管控模块:实现商户环保台账电子化、排污监测实时化、行为评分自动化;(2)末端治理模块:实现楼宇排放总口监控、异常预警、大数据趋势分析;(3)综合考核与决策支持模块:自动生成多维度分析报告,支撑管理决策。平台设计需具备高集成能力,可对接机场现有商业租赁系统等,实现数据共享与业务协同。

3 源头管控模块:以数字化规范商户排污行为

源头管控是减轻末端处理压力、降低整体环境风险的根本。其核心是通过数字化手段,将管理要求嵌入商户日常运营,并建立可量化、可追溯的考核机制。

3.1 行为管理标准化与流程线上化

首先,将商户在排水、油烟、垃圾(含可降解塑料制品使用)方面的管理责任,转化为具体的、可核查的标准化动作清单。例如:每日清洁隔油池并拍照上传、每周清洗油烟净化器滤网并记录、垃圾分类投放自查、采购符合标准的可降解餐具并登记台账等。这些动作被设计成电子工单或打卡任务,嵌入商户专用的手机APP或终端,使日常环保工作可记录、可追溯、可考核。

3.2 排污状态实时监测与精准溯源

在行为管理基础上,增加技术监测的“硬约束”。通过在每家商户污染治理设施的最后端(即集中式隔油池前)安装在线监测设备,实现对商户排污口的直接监控。当某商户的隔油池出水水质或油烟排放浓度出现连续或瞬时超标时,平台能立即报警,并自动关联至该商户,实现从“发现问题”到“定位责任主体”的分钟级响应,彻底改变以往从总排口倒查、效率低下的局面。

3.3 构建数据驱动的量化评分与闭环考核体系

这是确保源头管控落地的关键。平台需建立一套科学的环保绩效评分模型,其输入数据包括:商户线上台账完成率、在线监测数据达标率、人工巡检问题记录等。模型规则可设定为:未按时完成电子台账,系统自动扣分;在线监测数据超标,按严重程度扣分;现场发现使用不可降解塑料制品,加重扣分等。

平台每月自动生成《商户环保绩效月度报告》,并在航站楼环保联席会议上进行通报与数据分析。这种基于数据的透明化考核,借鉴了“碳积分”排名榜与互动机制。对于长期评分靠后或出现重大违规的商户,平台可自动触发预警,通知监管部门加强现场检查与督导,并要求限期整改。对于年度表现优异的商户,则可给予公开表彰、租金优惠、合同续约优先等激励,甚至将环保评分正式纳入租赁合同的履约考核条款,形成“数据说话、奖优罚劣”的管理闭环。

4 末端治理模块：以智能分析优化楼宇排放与应急响应

末端治理模块是检验源头管控效果、确保最终排放达标、应对突发情况的“总闸门”和“安全网”。

4.1 总排口智慧监测与排放规律建模

在航站楼各类污水总排口、集中油烟排放口安装高可靠性的在线监测仪表，进行24小时连续监测。平台利用历史监测数据，结合航班量、客流量、季节、天气等外部数据，通过机器学习算法，构建不同场景下的污染物排放基线模型。这有助于区分正常波动与异常排放，为精准预警奠定基础。

4.2 异常数据预警与跨系统应急联动

当末端监测数据出现异常波动或超标时，平台立即发出多级报警。更重要的是，平台应能与机场航班信息等联动。例如，当系统预测或获悉将出现大面积航班延误、导致大量旅客滞留时，可提前预警垃圾产生量（尤其是厨余垃圾）将激增，并自动生成工单，提示保洁及各管理部门增加清运频次、调配分拣人力，实现从“被动响应”到“主动预测与调度”的转变。

4.3 处理设施效能监控与预测性维护

通过对末端公共隔油池、油烟净化集中处理设施运行参数（如处理效率、设备压差、能耗）的持续监测与分析，平台可以建立关键环保设备的健康度模型。当数据趋势预示设备性能可能衰退时，平台可自动生成预防性维护工单，通知运维单位提前介入，避免因设备突发故障导致污染物直排的风险，提升设施运行的可靠性与经济性。

4.4 固废管理全流程数据化与资源化评估

通过智能称重、图像识别或人工录入，记录每日各类垃圾的产出重量、清运量、资源化处置量及去向。这些数据不仅用于考核垃圾分类效果，更能为机场层面的“无废机场”建设提供决策支持。例如，通过分析厨余垃圾的数据，可以评估其转化为生物柴油等资源的潜力与经济效益；通过追踪可回收物数据，可以优化回收合作商的合同与流程。

5 实施路径与综合效益分析

为确保该数字化体系的顺利落地与有效运行，建议采取“统筹规划、分步实施、试点先行、迭代优化”的策略。一期可聚焦于餐饮商户集中区域，部署源头监测，推行电子台账；二期完善末端监测网络，深化数据分析模型，正式推行考核机制；三期实现与机场其他管理系统的深度集成，拓展应用范围。

该数字化管理模式将带来显著的综合效益：

环境效益：实现对水、气、渣三类污染物的全过程、

可溯源管控，显著降低超标排放风险，提升航站楼整体环境绩效。

管理效益：构建了数据驱动的透明、公平管理生态，将机场管理方、商户、运维单位责任联动，大幅提升管理效率与精细化水平。

经济效益：通过源头减量和预防性维护，降低末端处理设施的负荷与能耗，减少超标罚款与应急处理成本，实现长期的降本增效。

社会效益：塑造机场负责任的绿色品牌形象，响应国家绿色发展政策，为行业提供可复制、可推广的污染治理数字化样板。

6 结论与展望

面对大型枢纽机场航站楼复杂的环境污染治理挑战，数字化转型是提升治理能力现代化水平的必然选择^{[1][4]}。本文构建的以“源头管控+末端治理”为核心、以“行为引导+数据监测”为手段的智慧环保管理平台，通过将管理规则数字化、业务流程线上化、考核评价数据化，能够系统性地解决传统模式中监管难、溯源难、成本高、响应慢等核心痛点。

该体系的价值在于，它不仅仅是一套技术工具，更是一种管理范式的革新。它使环保管理从模糊走向精确，从分散走向协同，从滞后走向实时。未来，随着物联网、人工智能、数字孪生技术的进一步发展，航站楼环保管理将迈向更高阶的智慧化阶段。例如，通过构建环保数字孪生体，实现对污染物迁移扩散的实时模拟与推演；利用AI算法更精准地预测特殊场景下的环境承载压力，并自动生成最优调度方案。本研究提出的框架，旨在为民航业在“双碳”目标下，实现精准、科学、依法治污，建设真正的“环境友好型”绿色机场，提供一个切实可行的数字化解决方案。

参考文献

- [1] 杨峰, 赵重阳, 曹正龙, 等. 民用航空绿色低碳转型政策解析与对策建议[J]. 科技和产业, 2025, 25(23): 290-298.
- [2] 董华佳, 孙晓晨, 李凌萍. 民用机场碳中和实施路径的探索[J]. 绿色科技, 2023, 25(05): 270-274.
- [3] 程芳. 论数字化管理在首都机场运行控制中的应用[D]. 北京邮电大学, 2009.
- [4] 钱一斌, 陆健航. 数字视频监控系统在浦东机场T2航站楼中的应用——与门禁系统联动功能的介绍[J]. 智能建筑与城市信息, 2008, (08): 97-99.

作者简介：冯晓栋（1987.02-），男，汉族，浙江，本科，工程师。

吴双茜（1990.07-），女，汉族，上海，本科，经济师。