

机场给排水系统中再生水回用技术的集成应用与运行效能评估——以航站楼污水资源化处理为例

刘正华

四川省机场集团有限公司，四川 成都 610200

DOI:10.61369/WCEST.2025030003

摘 要： 机场作为现代经济发展与物流交通运输的重要枢纽，其建设运营与当下的社会经济以及社会环境之间紧密相连。在绿色化的发展背景下，作为水资源消耗大户，机场航站楼污水资源化将是实现节水降耗与绿色生态保护的一项重要路径。对此，本文将聚焦于航站楼污水特性，以其组成特征与回用需求分析为切入点，深入探讨航站楼污水再生水回用技术的集成应用，并有效构建其运行效能评估体系，以此为机场给排水系统的绿色化升级与运作提供相关技术参考与实践指导。

关 键 词： 机场给排水系统；再生水回用；航站楼污水；资源化处理；效能评估

Integrated Application and Operational Efficiency Evaluation of Reclaimed Water Reuse Technology in Airport Water Supply and Drainage Systems—A Case Study of Wastewater Resource Utilization in Terminal Buildings

Liu Zhenghua

Sichuan Airport Group Co., LTD., Chengdu, Sichuan 610200

Abstract： As an important hub for modern economic development and logistics transportation, the construction and operation of airports are closely linked to the current social economy and social environment. Under the background of green development, as a major consumer of water resources, the resource utilization of wastewater from airport terminals will be an important path to achieve water conservation, consumption reduction and green ecological protection. In this regard, this article will focus on the characteristics of terminal building wastewater, taking the analysis of its composition features and reuse demands as the entry point, to deeply explore the integrated application of terminal building wastewater reclaimed water reuse technology, and effectively construct its operation efficiency evaluation system, thereby providing relevant technical references and practical guidance for the green upgrade and operation of the airport's water supply and drainage system.

Keywords： airport water supply and drainage system; reuse of reclaimed water; terminal building sewage; resource utilization processing; performance evaluation

引言

伴随着如今全球航空业的快速发展，机场所承载的功能性涉及到方方面面，而因机场用水量的持续攀升，有关水资源短缺与污水排放压力问题却越发显现。在整个机场中，航站楼作为其核心区域，其中的污水排放量几乎占据机场总排放量的60%以上，而且水质的可生化性较强，加之污染浓度波动小，具备极高的资源化潜力。因此，有效将再生水回用技术集成应用在航站楼污水处理环节，不但可以减少新鲜水的过度消耗，还能在降低污染排放复合的同时，不断提升机场日常的水资源循环利用效率，这也十分契合当前“双碳”目标与绿色机场的建设需求。因此，深入探寻航站楼污水再生水回用技术的集成应用与运行效能评估方法，对于推动当下机场水资源的管理模式创新具有极为重要的现实意义。

一、航站楼污水再生水回用技术的集成应用

（一）预处理单元的适配与集成

聚焦于机场给排水系统中再生水回用技术的集成应用下，以及航站楼污水资源化处理为例，其预处理单元必须要针对污水中的高油脂、高悬浮物以及流量波动较大的特征展开针对性的规划设计。通过其多工艺间的有效协同，可全面实现污染物高效去除，由此也将为后续的处理单元提供较为稳定的进水条件。在具体处理工艺中，要将重点聚焦于首道屏障，即预处理中的格栅与沉砂系统，可选用机械格栅、保持5~10mm栅隙，拦截如塑料袋、纸巾等一些大颗粒杂物，之后再配套螺旋压榨机，将阻挡后的栅渣含水率降低到60%以下，以达成减容目标；关于沉砂池的设计，要以旋流式为主，利用其离心力快速分离粒径，一般为 $\geq 0.2\text{mm}$ 的沙粒，其水力的停留时间则要控制在30~60s，这样砂粒的去除率能够达到90%以上，有效避免砂粒大量沉积对于后续设备造成的磨损。

此外，对于餐饮废水占比高而引发的油脂问题，可选用选用斜板隔油器外加气浮这种组合工艺。在原理上，斜板隔油器将通过浅池沉淀这一原理逐渐分离浮油，此时表面水力的负荷应控制在 $0.8\sim 1.2\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ，这样才能够去除约80%以上的浮油；在后续的气浮单元中，将通过释放直径约20~50 μm 的微气泡，用于吸附乳化油，再向其中投放少许混凝剂，这样总油脂的去除率将大幅度提升并真正缓解油脂对于生物处理单元所造成的抑制作用。

总体来看，基于预处理单元的适配与集成技术应用下，为了能够进一步对机场客流高峰所引发的流量波动进行捕捉，系统还要设置带搅拌装置的均匀化调节池，其中的有效容积应按照最大小时流量的3~4倍展开设计^[1]。而通过液位传感器以及变频水泵之间的联动控制下，还能将进水水质波动系数持续稳定在 $\pm 10\%$ 之内，由此也会为核心处理单元中的稳定运行奠定良好基础。

（二）核心处理技术的组合与协同

核心处理单元作为实现航站楼污水有机污染物氮磷深度去除的一个关键环节，在具体设计与执行过程中，必须要深度结合污水的可生化性强的特点，有效构建出“生物处理+膜分离”这一全面协同的工艺体系，并将处理效率以及出水稳定性指标划分在其中。按照标准，生物处理单元需要选用膜生物反应器，该系统是由厌氧池、好氧池以及超滤膜组件共同构成。比如，在厌氧池内，通过水解细菌将一些复杂的有机物质逐渐分解成更易降解的小分子，目的在于提高污染水的可生化性；在好氧池内，其活性污泥浓度一般会维持在8~12g/L，主要通过溶解氧浓度的调控，有效时限硝化菌反硝化菌的协同作用，彼时的cod去除率将高达90%以上，氨氮的去除率 $\geq 95\%$ ，一般小于等于95%；而超滤膜将通过物理截留作用全面去除高达99%的悬浮物与微生物，促使水中的ss稳定在 $\leq 5\text{mg/L}$ 这一标准中。然而，为了可以持续性的，强化脱氮除磷效果，整个系统的协同设计需要以航站楼污水总磷偏高的问题作为切入点。例如，可在好氧池的末端增加30~50毫升的硫酸亚铁，由此便可基于化学沉淀和生物吸收这两者之间

的协同作用，将污水中的总磷去除率提升到85%以上。而关于冲厕用水等一些对总氮要求较为严格的公共场景，必须要增设缺氧池，可按照C/N=5:1的这一比例向其中投加甲醇作为碳源目的，在于要不断强化反硝化细菌中的代谢活动，这样其总磷的去除便可达到80%以上。

（三）深度处理技术的补充与集成

在深度处理单元方面，要依据航站楼再生水的不同场景，极具针对性的补充其处理工艺中的不足，由此才能保证出水水质能精准匹配到不同场景下的水质标准，全面提升水资源回用的安全性以及可靠性。针对冲厕用水及绿化灌溉等与人直接接触密切的场景，在进行消毒处理时，要选用紫外线联合“氯”这一工艺，其中的紫外线消毒模块将以20~30mJ/cm²的剂量照射水体，经过一阶段的照射能够灭活其中99.9%的细菌与病毒，有效避免化学消毒时所带来的副作用风险；紧接着要通过在线投加装置在其中加入次氯酸钠，目的是为了促使水余氯维持可维持在0.5~1.0mg/L，确保再生水能够在管网运输途中维持持续杀菌的效果，严防二次污染现象发生。

另外，聚焦于空调冷却补水等对于硬度相对敏感的场景中，系统的运行也要配套出与之对应的钠离子交换树脂进行软化处理，而树脂工作交换的容量标准控制在800~1000mol/m³，紧接着可通过定期再生的方式，将出水硬度降低至 $\leq 100\text{mg/L}$ 这一标准中，这将显著减少冷却系统发生结垢的风险^[2]。更为关键的是，当进水COD或者是色度产生异常波动情况时，系统还将自动启动臭氧氧化补充单元，其运行原理是通过在其中投加10~20mg/L的臭氧，再利用其生成的羟基自由基便可分解那些难降解的有机物。通过这一方式COD的去除率能够再提10%~15%，其出水透光率也将 $\geq 90\%$ ，全面达成再生水的感官与化学安全性目标。

二、再生水回用系统的运行效能评估

（一）处理效能评估

面对再生水回用系统的处理效能评估，必须要围绕着水质达标程度以及污染物的去除效率进行，通过其全流程指标监测，可直观反映出技术集成应用时的真正处理效果。在其评估核心指标中，一般涵盖各处理单元中的污染物去除率以及最终出水的水质达标率。关于预处理单元，必须要重点考核ss油脂去除效果，可依照标准核心处理单元，必须将重点集聚在COD、氨氮、总磷等指标的去除效率。而其深度处理单元则是要将消毒效果与特定的使用场景中的关键指标作为评估重点。

例如，在较为典型的机场航站楼系统中，预处理单元针对ss油脂的平均去除率分别要达到85%和92%以上，这样才能够保证后续MBR系统的稳定运行。而关于MBR系统单元中的COD、氨氮的去除效率需长期稳定在91%以及96%以上，确保出水COD $\leq 30\text{mg/L}$ 、氨氮 $\leq 2\text{mg/L}$ 。同时，在经过深度加工处理后，冲厕所用的水其总大肠菌群必须要控制在 ≤ 1 个/L，冷却补水浊度则为 $\leq 3\text{NTU}$ ，最终各回用场景下的水质达标率必须要维持在100%。系统中的对冲负荷应对能力也是处理效能的重要

组成部分^[3]。例如，可通过模拟机场航站楼客流高峰时段的工况试验，如果其中的 COD 去除率波动幅度维持现在 $\leq 5\%$ 并伴随着水质出水满足回用标准时，即可判定系统具备较为优良的抗冲击性能。

（二）运行经济性评估

考虑到机场给排水系统的特殊性，尤其是面向航站楼而言，在对其污水资源化处理过程中，其运行经济性评估十分关键。按照常规，再生水回用系统的运行经济性需要综合性的考虑到建设成本以及长期的运维成本，可通过成本收益分析方式，判断其技术应用时的经济可行性。具体而言，在建设成本方面，系统单位造价通常设定在 1500~2000 元 /m³（根据不同机场情况按处理规模计算），其中的核心设备占比较高，像是 MBR 膜组件就占到总建设成本的 30%~40% 左右，但其使用寿命也将达到 5~8 年，将其分摊至年均成本后也具有着显著的经济性。关于预处理设备，如格栅、隔油器等，其与深度处理设备中的消毒装置、软化系统等分别占据建设成本的 15%~20% 以及 25%~30% 时。运维成本中则主要涵盖着电费药剂费以及设备维护费，综合计算后的运维成本大约在 1.2~1.8 元 /m³ 再生水。若从整体收益角度上来看，经处理后的再生水资源可以替代 4 元 /m³ 的新鲜水，若是以每年客流量 2000 万人次的航站楼为例时，其年回用量约在 150 万 m³，每年的节约水费就高达 600 万元，再扣除运维成本后，每年的净收益就达到了 330~420 万元，投资回收期处于 5~7 年，表现出了较为卓越的经济可持续性^[4]。

（三）系统稳定性与适应性评估

从目前来看，再生水回用系统的稳定性与适应性评估是综合衡量其长期可靠运行的关键指标。因此，在针对系统稳定性与适应性展开评估时，必须要以长期参数监测和工况模拟为核心，侧

重于考察整个系统在不同条件下的运行表现情况。在这之中，稳定性的评估主要的关注的点在于核心参数的长期波动情况。例如，MBR 膜通量一般需要稳定在 15~20L/(m² · h)，其跨膜压差年增长处于；各处理单元的出水，水质也要参考每月波动幅度情况，一般标准需 $\leq 5\text{kPa}$ ，而且全年因设备故障所导致的停水事件应控制为零次。

此外，关于适应性评估，则需要深度模拟出不同季节雨客流变化对于该系统运行所带来的影响。例如，在冬季，水温标准为 0~15℃，如果生物处理效率降低，便可通过延长好氧池停留时间来恢复其原有的设计水平，其目的就在于要表明系统具有温度适应性特点；而在夏季暑期时节，因机场客流高峰每日增长，系统受阻，若可以通过调节池计划与水泵变频控制维持稳定运行状态，还伴随着出水水质无明显波动的情况就表明其对流量变化具有较为优良的适应性^[5]。而通过如上指标的监测与系统验证下，将全面评估该系统在长期运行中所呈现的稳定性与功放适应性。

三、结束语

综上所述，在现代化的发展下，航站楼污水再生水回用技术的集成应用，是当前机场实现水资源高效循环的一项关键突破点。在具体规划实施过程中，只有通过预处理、核心处理以及深度处理技术之间的协同设计，才能够满足不同场景中的水质需求。而在其未来的发展过程中，也要持续优化有关膜组件、抗污染性能以及系统智能化控制水平提升，尽可能地推动技术朝向低能耗与高可靠性的方向前行，这样才能够为绿色机场的建设运营提供更加切实可行的技术支持。

参考文献

- [1] 明金阳, 曾现磊, 张静园. 硅基六英寸半导体厂房给排水及消防水系统设计实例 [J]. 给水排水, 2022(S2): 354~358.
- [2] 黄梦阳. 关于绿色建筑给排水设计的节水措施探究 [J]. 安家, 2024(12): 0268~0270.
- [3] 李欣格, 洪永远, 周雪飞. 灰水处理与资源化技术应用综合分析 [J]. 净水技术, 2024, 43(6): 29~43.
- [4] 邱敏, 魏豪, 兰永龙. 再生水回用于火电厂循环水系统工程改造技术的研究与应用 [J]. 节能与环保, 2023(9): 72~75.
- [5] 薛喜东, 邵天宝, 李露, 冯涛. 某化工企业再生水回用工程设计及运行研析 [J]. 净水技术, 2022(z1): 177~182.