

轨道交通环境控制智能体

(江苏必得科技股份有限公司)

一、背景与挑战

智能体是国家人工智能战略的重要组成部分，并且在场景培育与开放、推动大规模应用方面具有长足发展前景。2026 年 5 月 8 日，《智能体规范应用与创新发展实施意见》的出台进一步表明，国家正着力构建智能体健康有序发展的制度环境与产业生态。国家通过法规、标准、安全和统筹布局提供制度环境，社会通过广泛的应用需求和伦理约束拉动方向、塑造信任，行业通过技术突破、生态构建和模式创新实现价值闭环。在智能体技术加速深层次演化这一大背景下，国内地铁运营开始向智能化、精细化方向转变。地铁车站环境控制领域经历了从传统 BAS 系统到风水联动系统的演化历程。传统的风水联动系统虽已实现初步效果，但仍存在一定的局限性，具体情况如下：

(一) 智能化程度还需进一步加强

目前环控系统的运维通常采用“以人为主”的巡检模式，不仅高度依赖人工管理，而且受制于主机设备的技术水平，亟需向更高层次的智能化自主控制演进。运维人员需按固定周期对车站的风机、风阀、冷机等设备开展人工检查和记录。

这种模式不仅人力投入大、效率较低，而且在设备运行状态实时感知和早期故障预警方面，仍有较大提升空间。

（二）乘客体验为节能指标让步

传统风水联动以焓值为核心调控参数，忽视了环境热舒适性。焓值仅表征空气总热量，无法全面反映温度、湿度、风速对人体舒适感的综合影响，同样的焓值可能对应截然不同的体感体验。此外，该方法忽视了气流组织对舒适性的影响，在变风量调节过程中易导致乘客热不舒适和冷量浪费。同时，传统策略多为静态设定，难以应对客流量波动和室外



图 1 环境智能控制演进历程

（三）冷冻站控制系统信号传输与抗干扰能力不足

现有冷冻站及空调控制系统受制于传统架构，系统依赖大量实体线缆实现通信，导致机房内线缆密布、走向复杂，不仅占用空间，更使日常维护与故障排查极为不便。同时，其传输速率偏低，当负荷快速变化时，控制指令与反馈数据

间的延迟易导致调节滞后，影响供冷品质。更关键的是，长距离线缆抗干扰能力弱，信号在传递过程中衰减严重，致使末端温度、压力等关键参数采集失真。控制系统基于偏差数据运行，极易做出错误的加减速或启停判断，引发设备空转、能耗增加及不必要的保护动作。因此，现有控制方式已成为提升整体能效的瓶颈，亟需通过技术升级加以解决。

二、解决方案与创新点

本方案以发展地铁新质生产力为宗旨，研发出具备自然语言交互、意图识别、任务拆解、控制执行的智能体产品，让地铁环境从“机械服从”走向“共情服务”。

该系统基于物联网感知与 AI 决策，通过多源传感器采集车站环境数据，结合 PMV-PPD 热舒适性模型评估乘客体感，用 AI 算法调控通风空调，实现舒适与能效平衡；对接大语言模型提供智能数字助理，提升运维效率；具备自学习能力，可预测空调负荷并优化策略，配合移动端实现能源监测、故障报警及远程控制，最终构建自主控制运行体系。

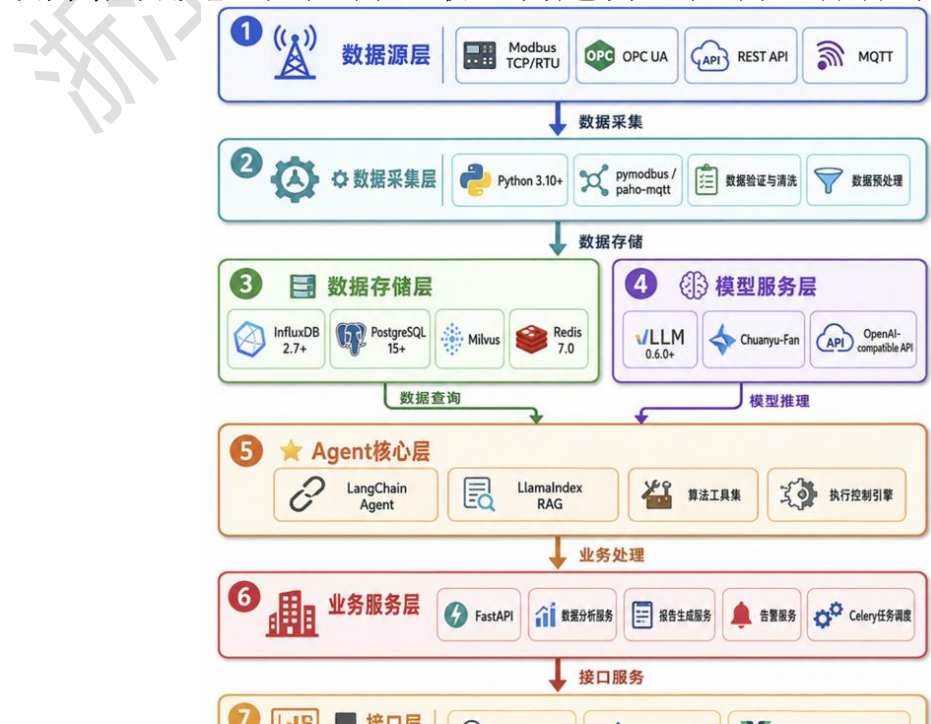


图 2 系统技术架构图

本系统采用全栈技术整合、模块化低耦合、数据驱动决策、Agent 智能交互等多项先进技术。

在全栈技术整合方面，融合工业物联网、大数据、AI 垂类大模型与 Agent 智能体技术，打造端到端的一体化智能解决方案，打通数据与应用的全链路。

在模块化低耦合方面，各层级职责边界清晰，实现低耦合、高内聚的架构特性，支持各模块独立开发、灵活部署与按需扩展，降低维护成本。

在数据驱动决策方面，以全链路数据采集、存储与分析为基础，让每一次运维判断与执行均基于真实设备数据，实现精准、科学的智能决策闭环。

在 Agent 智能交互方面，依托 Agent 核心层实现自然语言交互与复杂任务自主执行，大幅简化运维操作流程，提升设备管理的响应速度与效率。



图 3 系统组成

本系统包括环境 AI 感知系统、设备与管理用房通风空调 AI 控制系统、公共区通风 AI 控制系统、空调冷源及水系统 AI 控制系统四个子系统。

“环境 AI 感知系统”的作用是通过前端高精度工业传感器，采集地铁车站的环境数据以及通风空调系统设备的性能参数和运行状况，包括温湿度、黑球温度、风速、二氧化碳（CO₂）浓度、PM_{2.5}、PM₁₀ 等环境参数。

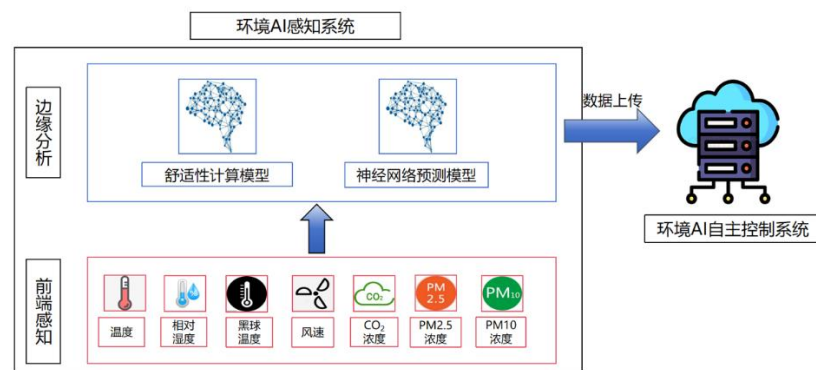


图 4 环境 AI 感知系统架构图

“设备与管理用房通风空调 AI 控制系统”主要针对车站设备间、管理用房的多联机空调及配套通风设备实施智能化管控。它依托工业通讯网络实现数据交互，可实时监测室内温湿度、设备运行状态与故障信息，具备故障报警、数据

留存等基础功能。

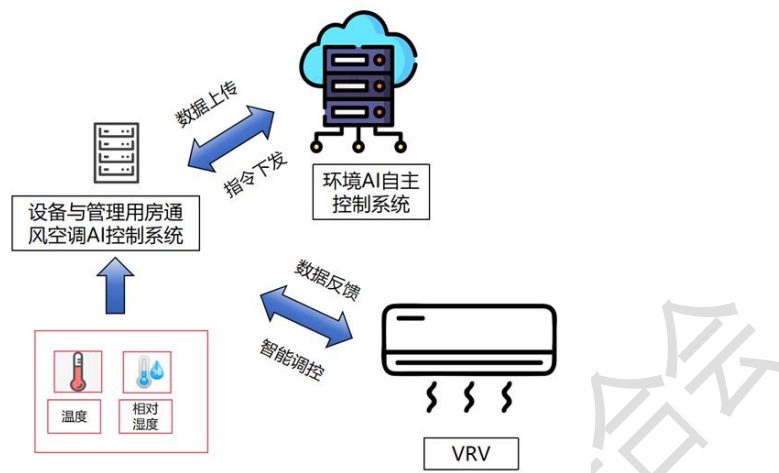


图 5 设备与管理用房通风空调 AI 控制系统

“公共区通风 AI 控制系统”通过专用传感器采集风机两侧的压差、风速、温湿度、二氧化碳等数据，对地铁车站公共区（站厅、站台）的通风空调设备进行监测和智能管控。主要监控对象包括送风机、回/排风机、动态冷量调节阀、电动组合风阀（新风阀、回风阀等）以及表冷器相关设备。

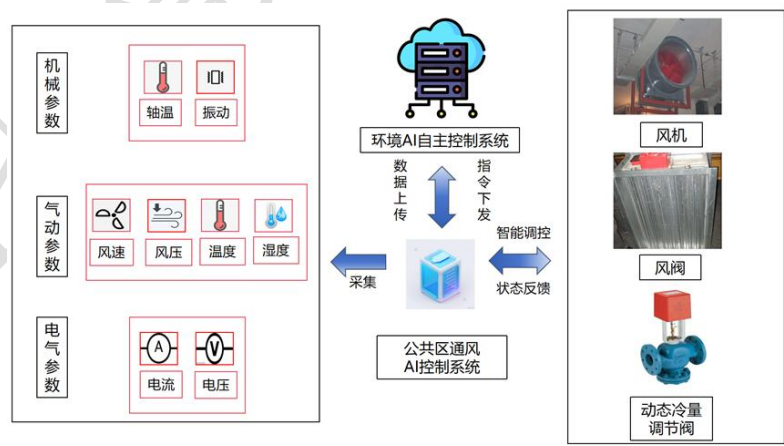


图 6 公共区通风 AI 控制系统

空调冷源及水系统 AI 控制系统，其核心功能可概括为“精准预测、全局寻优、自动运维”，旨在解决传统控制系统反应滞后、调节粗放、依赖人工经验等问题。

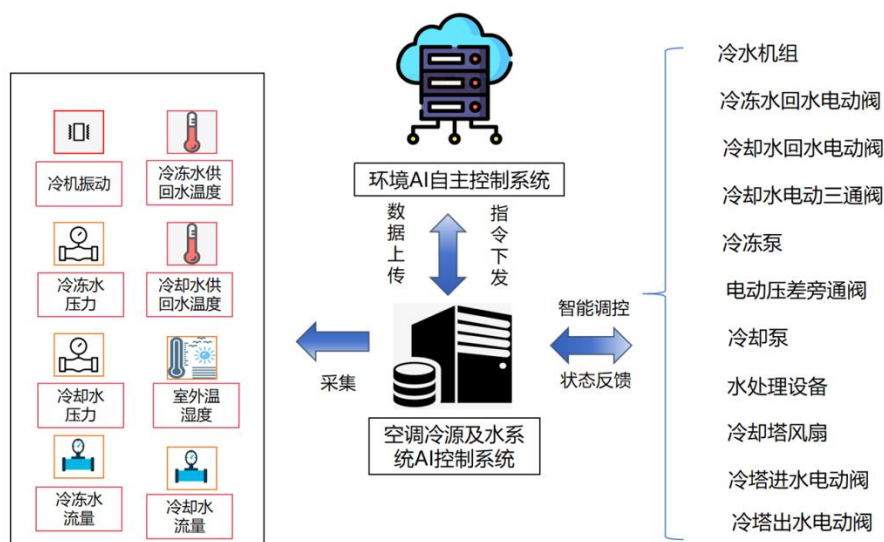


图 7 空调冷源及水系统 AI 控制系统

同时，针对风水联动系统自身存在的局限，以及从“运输工具”到“城市客厅”、让地铁环境从“机械服从”走向“共情服务”的社会需求升级，轨道交通环境控制智能体做出了五大基础功能的创新：



图 8 系统创新点

（一）颠覆传统系统架构

控制层分为三个自主控制子系统：全要素环境感知子系统、水系统自主控制子系统、风系统自主控制子系统。采用

边缘式环境感知架构，从源头解决数据失真问题，摆脱对后期管理的依赖。

（二）舒适节能双目标驱动动态平衡控制算法组（PPEC-7）

基于 20 年地铁车站环境调控研究与数据积累，集成了热环境指标计算、室内冷热负荷计算、运行参数监测仿真分析、风水系统能耗分析、LSTM 神经网络预测控制、风水联动控制及系统运行模式等七大算法，形成多目标协同优化能力。

（三）场域感知环境空间分布

实现全要素感知车站环境，通过“由点推域”的场域感知智能算法，结合 PMV-PPD 传感器与 AI 边缘计算箱，不仅为环境调控服务，还为服务质量评估和行车组织优化提供数据支撑。

（四）边缘智能式空调水系统控制

构建 AI 冷冻站，推动控制系统去中心化，将具备智能计算功能的控制硬件前移至设备端。这一设计大幅降低了施工难度和维护成本，实现了“易施工、便维护”。

（五）数字化风系统

开发风机全要素监测箱，实现对机械振动、电气参数、气动参数的三位一体监测，支持风机全寿命周期管理，将传统风机从单一执行设备升级为可感知、可诊断、可预测的数

字化节点。

三、成果与效益

“轨道交通环境控制智能体”项目已在北京地铁 7 号线、北京地铁复八线和北京地铁 13 号线成功应用。



图 9 系统业绩证明

本系统能够有效提升地铁运营安全能力，同时具备良好的经济效益和社会效益，具体如下：

（一）推动环境友好型出行，最大化节约能耗

在空调季，通过通风空调的自主协同控制，系统综合节能率达 23%；其中风系统节能 28.2%，水系统节能 22.1%。非空调季，通过精准风量调控，风机能耗亦可降低 30% 左右。逼近理论节能极限，实现全系统整体节能 40%以上。

（二）保质保量，节能与舒适度双提升

以满足人民日益增长的美好生活需要为出发点和落脚点，根据环境的热舒适性打造良好乘车环境。系统实时将

PMV 值维持在目标区间，使乘客热感觉保持在“舒适”或“微暖”状态，同时利用人工智能技术对舒适度进行分钟级精准预测，提前干预，避免环境波动，乘客舒适度显著改善，满意度提高 15%，投诉率降低 20%。

（三）开展设备健康诊断，延长设备使用寿命

风机等多参数融合诊断使隐患漏报减少 25%，备品备件库存减少 15%，减少突发停机，设备使用寿命延长 10%以上。对风机、电机等关键设备的在线监测与智能诊断，实现故障的早期发现与预警、消除巡检盲区、减少故障与安全事故，隐患识别率与误报漏报率得到有效控制，保障了系统安全稳定运行，进而良好规避因设备故障导致的运营中断。

（四）人机互通，释放人力，提升人效

由人工常态化巡检到高效智能感知分析，节省巡检维护工作量 30%以上。以远程运维替代人工重复性巡检，节省员工巡检维护工作量 30% 以上。从人工经验调度变为算法管控，数据一键分析，报表自动编制，为一线专职文员一天节省 3 小时，极大地释放了管理人员的人力，使员工得以将精力转向高价值的管理决策与技术优化工作。

四、可复制性与展望

轨道交通环境控制智能体已完成产品定型，可以车站为单位开展“复制、粘贴”式推广。同时，在产品设计之初即采用模块化架构，各子系统可独立部署、协同运行。此种“积

木式”组合方式使得产品能够灵活适配不同应用场景，无需大面积更换既有设备，具备较强的系统融合性和可复制性。

基于产品既有技术体系、技术方案，可将电扶梯、站台门、给排水、动力照明等机电其他专业系统无缝接入同一协同控制平台，实现全车站机电设备的一体化监控与数据融合，扩展当前以通风空调为主的管控边界，形成比传统 BAS 系统更智能的“感知-分析-决策-执行”闭环。后续的产品将沿着强化学习自进化、多智能体协同、全专业设备融合的方向演进，最终升级为新一代 BAS 系统。

五、项目团队

江苏必得科技股份有限公司：

刘正 李慧 张烘瑞 赵香 王康康 张文俊