# 汽车工厂制冷站能效智控平台系统设计与应用

张路　杨欢

上汽通用五菱汽车股份有限公司

**摘要：**通过人工智能（AI）建模和参数寻优等技术，对制冷站进行孪生建模，设计和构建了一个全新的汽车工厂制冷站能效智控平台系统，根据末端冷量需求实现设备投用精准预测，优化站内 PLC 控制系统，实现一键顺序自动控制，通过参数寻优算法，将最佳控制参数下发至控制器，协同整个制冷系统最优节能运行，最终达到降本增效、提升系统和人工运维效率的目标，节能效果显著。

**关键词：**人工智能（AI）建模；参数寻优；降本增效

## 0　引言

在汽车工厂里，制冷站是能源消耗大户，每年电耗占比达到 5%，夏季高峰电耗占比达到 10% 左右。其中制冷机用电量占制冷站总用电量的 76%，冷水泵用电量占 24%，都属于大功率耗能设备。由于季节、昼夜的温湿度及用户负荷的变化，制冷机负载会伴随负荷不断变化，但冷水系统缺少与制冷机协同运行的能力，无法根据制冷机的负荷实时调节，冷冻水长期处于供大于求的情况，综合能效偏低。

随着人工智能和自动化控制技术的进步，为改善我公司站房能耗大、设备操作人为因素影响高、系统管控分散和数据利用率低等现状，我们利用数字创新技术设计搭建了制冷站能效智控平台系统，不仅自动化程度大大提高，节能效果也非常显著。

## 1　系统结构与工作原理

### 1.1　系统结构

制冷站原有冷却水泵和冷却塔为独立手自动控制，制冷机、冷冻泵和水阀为手动控制，具备上位机远程监控功能。该项目是在原有架构的基础上，将全部制冷设备均纳入 PLC 控制系统，实现一键顺序启停控制，并采用 AI 技术，通过对设备以及系统进行建模，在保证系统稳定可靠运行的前提下，不断寻找系统综合最优运行参数以及设备运行组合。

能效智控平台系统结构如图 1 所示。软件部分主要是制冷系统建模、平台界面制作，采集冷冻水需求端和供应端设备的启停状态、阀门开度、传感器和能源数据等至平台云端，大数据存储分析和展示，系统智能群控、参数寻优等功能的实现。硬件部分除制冷设备外，在制冷站水管上安装冷量计、温度压力传感器和流量计，手动阀改装成电动阀，冷水泵新增变频器和强冷风扇，改造原有 PLC 控制系统，制冷机加通讯模块读取内部参数等。

### 1.2　工作原理

（1）制冷模式优化模块

传统的制冷站运行模式切换策略常常是基于一些运行经验对切换点进行设置，往往限制了节能潜力。本模块则是基于运行数据，尽可能地挖掘模式切换的节能潜力。例如，通过历史运行数据可以得出在满足末端供应的前提下，纯板换模式的最高室外湿球温度切换点，尽可能将开启纯板换模式的时间延长，以获得更多的节能量。

（2）开机组合优化模块

本模块会利用各项历史数据对制冷机、冷水泵和冷却塔进行模型的建立，主要利用的参数包括冷冻水和冷却水的进出水温度、水流量、供回水压力、水泵运行频率以及冷机运行功率。通过模型的建立以及不断地运行

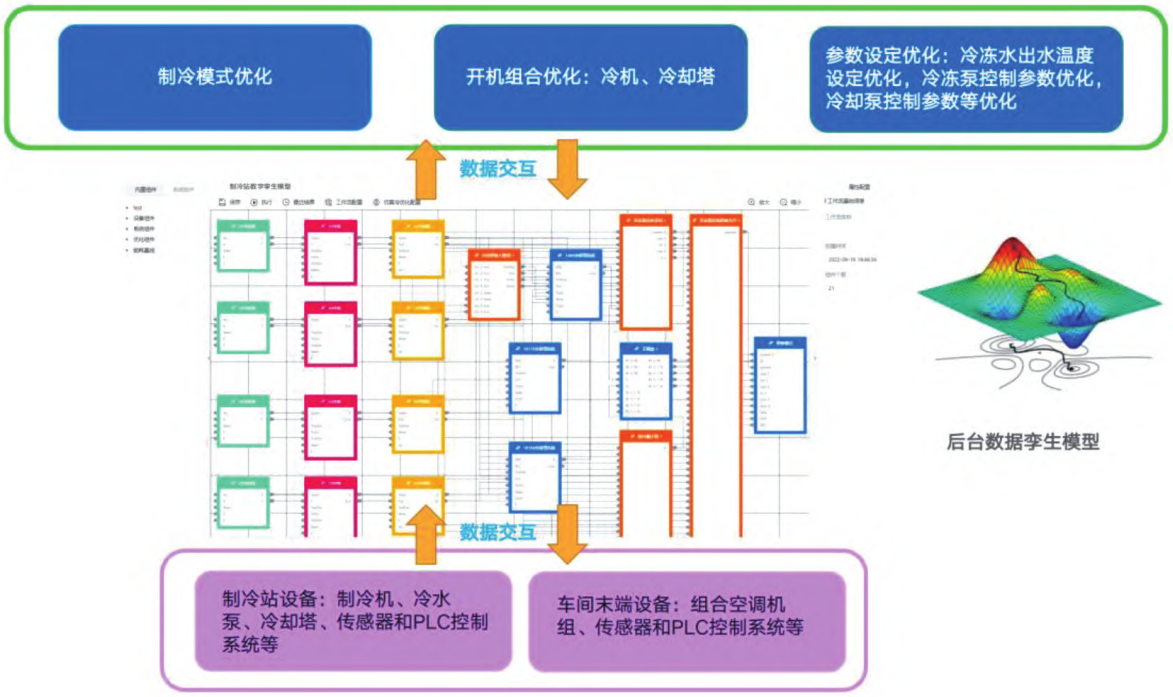


图 1　能效智控平台系统结构

数据，模块可以持续地进行训练，以建立一个时刻更新并保持与设备现有状态相一致的模型。模块也会根据设备性能、设备运行时间以及实际负荷情况，综合考量推荐各设备的开机组合、开起台数。

（3）参数设定优化模块

由于优化的策略是基于冷站整体能效的优化，故系统整体优化模块是有机地将各个设备的优化模块串联起来，通过 AI 算法反复迭代寻优计算后，找到整体冷站系统的最佳运行效率，将最优控制参数下发至各 PLC 控制系统。

## 2　技术应用

### 2.1　硬件优化

（1）阀门优化

为实现制冷系统的自动联锁控制，原管道上的多个手动蝶阀需要改成电动阀，如图 2 所示，但我们没有采用把整个阀体换掉的方案，只是根据原阀体的口径、压力和扭矩等参数，选择加装了适宜的阀门执行机构，替换掉原阀体的手柄等旋转机构，改造期间无需停产和排水等大动作窗口，即可实现手动阀转换成电动阀。

（2）水泵优化

为实现冷却泵的变频节能控制，需要给冷却泵增加变频器，同时还需要把原有大功率普通电机换成变频电机。

图 2　手动阀与电动阀前后对照

我们翻查了大量技术资料和应用案例，决定采用不更换电机只对其风扇进行改造的低成本方案，如图 3 所示，用独立运行的强冷风扇替换掉原电机尾部的一体化风扇，单独接线与泵实现连锁启停控制，先于泵启动，后于泵停止，最终达到给水泵散热和变频稳定运行的目的。

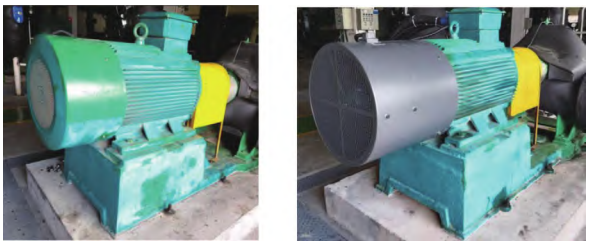

图 3　普通水泵改装强冷风扇的前后对照

（3）控制设备优化

在制冷站水管上安装冷量计、温度压力传感器和流量计，扩展原有 PLC 控制系统，新增通信模块读取制冷机内部参数等，将制冷站上的冷却泵、冷冻泵、制冷

机、冷却塔、阀门和探测元器件均接入 PLC 控制系统中，形成一整套闭环控制系统。

### 2.2 软件优化

（1）控制逻辑优化

制冷站 PLC 控制系统实现一键顺序启停控制，启动打开制冷机冷冻侧水阀、冷却侧水阀，阀开到位，启动对应的冷冻泵和冷却泵，泵按控制策略变频运行，冷却塔根据温度设定启动，一切就绪才启动制冷机。该系统通过传感器和执行器等硬件设备实现对制冷站运行参数和车间末端冷源需求设备的相关参数的采集和调控，实时监测各项运行参数，如图 4 所示。冷却水泵系统、冷冻水泵系统、冷却塔系统、阀门和制冷机组均具备远程手自动控制功能，均配有最适合自己的控制逻辑，智控平台通过参数寻优算法将最佳控制参数适时下发至 PLC 控制系统，并推荐加减机策略，协同整个制冷系统最优节能运行。

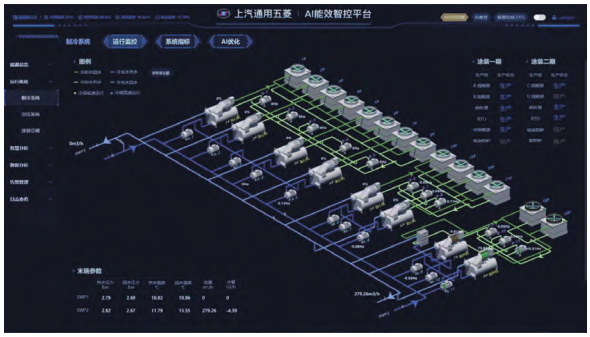


图 4 能效智控平台制冷设备操控界面之一

（2）智慧能效分析

制冷站设备运行相关能源数据进行实时存储和显示，用户通过自定义筛选规则进行检索，按照选取的分析维度、图表类型对目标数据进行分析，快速实现可视化的图表展示分析，且可以导出关键指标的内置报表。综合考虑外界因素（例如天气情况、冷量需求、使用模式等）对系统能效的影响，基于时序历史数值，建立历史同工况的能效模型作为对比基线，评估各系统能效是否异常，进一步分析能效异常原因。可选择多种模型为基线进行能效对标，科学地分析优化后的节能效果。系统界面如图 5 所示。

（3）节能效果

通过能效智控平台对比引入人工智能数字技术前后

图 5 能效智控平台数据监视界面之一

制冷站运行状态和能源数据的变化情况，分析系统效率的提升效果以及对节能减排的贡献，制冷站每年可提高效率 25%，预计年节省电量百万千瓦时、电费百余万元，减少碳排放 700 多 t，随着数据量的积累，平台数字孪生模型也将不断优化迭代，还将进一步提升 5% ~ 10% 系统能效。

## 3 结语

引进人工智能技术，搭建制冷站能效智控平台，把各自为政的制冷设备连接成一个自动控制闭环，通过数字孪生技术，以数字化方式创建仿真平台，借助历史数据、实时数据以及算法模型等模拟、验证、预测和自动化控制，大幅提升冷站能效，提高人工运维效率，解决设备管控分散、数据无法有效利用等问题，以实现工厂的可视化能源管理，达到节能增效目的，助力企业精细化运营管理。

**参考文献**

[1] 李阳，王阳，刘超．工业制冷站能效智控系统的研究[J]. 清洁生产杂志，2022, 356, 131961.

[2] 张华，李翔，王磊，等．基于人工智能的数据中心制冷系统优化以提高能效[J]. 应用能源杂志，2021, 294, 117046.

[3] 王杰，吴军，张阳，等．基于机器学习算法的制冷站智能监控与控制系统[J]. 自动化建筑杂志，2020, 31(2): 431-445.

[4] 孙亮，刘洋，张超．基于数据挖掘和机器学习的制冷站智能控制系统的开发[J]. 能源与建筑杂志，2018, 163: 264-276.