

# 药厂暖通系统节能改造案例分析

陈清立 奚秋晨 刘得龙

江苏利泰尔药业有限公司

**摘要：**据调查，在制药企业中，能源消耗成本中电力所占比例最高，而暖通系统在电力消耗中的比重超过了 60%。这一现象的主要原因在于需要维持洁净区的温度、湿度和空气净化标准，以保障药品的质量与安全。本文以江苏利泰尔药业有限公司（以下简称江苏利泰尔药业）的暖通系统改造项目为例，分析了系统当前存在的问题，并提出了相应的改造方案以提高二次能源供应的效率。同时，以江苏利泰尔药业的 D 级固体高活车间的改造为例，展示了在确保符合规范的前提下，通过优化 BMS 系统的分区规划以及调整洁净区的温度、湿度、换气次数等参数，实现了高效能源利用。

**关键词：**制药；能源；高效机房；BMS；HVAC；节能

制药企业的能源消耗主要集中在水、电、蒸汽这三个方面。根据调研，商业化生产的制药企业每年的能源成本大约在 1000 万～3000 万之间，其中电力消耗占据了最大比例。这主要是为了维持洁净区的温度、湿度、空气净化的状况，以确保药品的质量和安全。

以江苏利泰尔药业 2024 年 9 月份的用电量为例，通过智能化数据采集系统对冷水机组扩容改造后的用电情况进行分析，如表 1 所示。结果显示：在制药行业中，暖通系统的电力消耗占据最大份额，其占比超过了 60%，如图 1 所示。

在暖通系统中，冷冻机房（包括冷水机组、冷却泵、冷冻泵、冷却塔）消耗了暖通电能的 79%，其中冷水机组的能耗占比最高，约为 53%；而暖通空调（HVAC）的能耗约占 21%，如图 2 所示。因此，能源的高效供给和使用，对企业的节能降耗具有至关重要的作用。

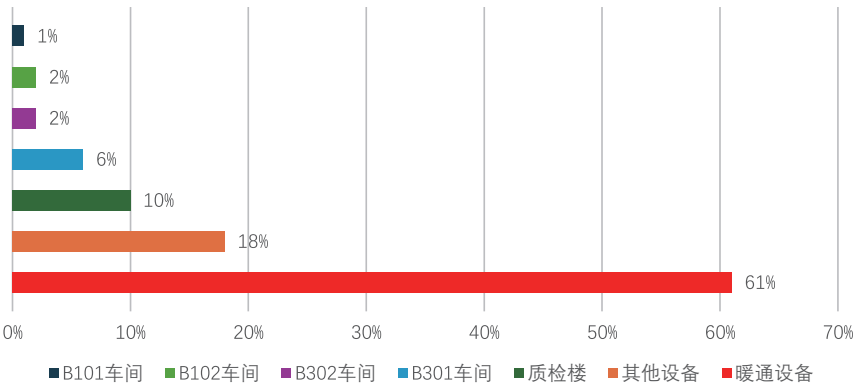


图 1 各区域用电占比

## 1 当前暖通系统面临的问题

### 1.1 改造前冷冻机房能效低下

改造前冷冻机房的能效表现不佳，主要问题包括设备老化、运行效率低下等，这些因素共同导致了能源的大量浪费。具体问题如下：

- 设备老化导致机组效率低下，主要依靠手动操作，故障率高，系统稳定性差；
- 前期未进行水力平衡设计，导致

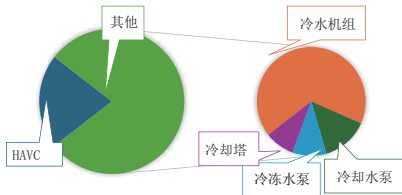


图 2 暖通各设备用电占比

主机、泵、塔等配置不合理，系统阻力大，能源浪费严重；

- 冷水机组、水泵、冷却塔长期以定频运行，导致成本浪费。

### 1.2 HVAC 使用浪费

随着全球对能源消耗的关注日益增加，暖通系统在能效方面正面临严峻挑战。许多现有的暖通系统设计和运行方式效率低下，导致了大量的能

表 1 各区域用电情况

| 各区域用电情况 (kWh) |            |            |            |       |          |          |        |
|---------------|------------|------------|------------|-------|----------|----------|--------|
| B101<br>车间    | B102<br>车间 | B301<br>车间 | B302<br>车间 | 质检楼   | 其他<br>设备 | 暖通<br>设备 | 总计     |
| 5823          | 8502       | 29094      | 7969       | 43436 | 82003    | 272713   | 449540 |

源浪费。具体表现在：

- 系统无法在生产、消毒、值班等多种模式下自动切换，这导致了高风险和低效率；
- 现有的BMS能力弱，为保障车间环境工艺参数不超标，控制参数始终在中间值保守运行，导致能源浪费严重；
- 净化车间洁净度和压差控制不佳，异常较多，为保障合规生产，需增加送风量，导致能源浪费严重；
- 空调系统设计分区不合理，无法根据阶段性生产安排，启停非工作区域空调系统，造成能源浪费。

2 节能改进方向

2.1 冷冻机房改造策略——建设高效机房

建设高效机房是一个全面的过程，涵盖了冷水机组及相关设备的精心挑选、设计优化、稳定的系统控制、专业的安装施工以及智能化的调试和运维等环节。

一个高效的机房其SCOP值应≥5.0（见式1），而目前国内多数由人工操作控制的冷水机房平均SCOP低于3.0，能效提升空间显著。

$$\text{机房能效 (SCOP)} = \frac{Q(\text{总冷量})}{W(\text{主机}) + W(\text{冷冻水泵}) + W(\text{冷却水泵}) + W(\text{冷却塔})}$$
  
(1)

2.1.1 提高能源转化率、提供高效二次能源

通过技术改进，提高单机COP值（选用高效冷水机组、冷冻塔、水泵），提高机房综合能效比，高效提供二次能源。

例如，江苏利泰尔药业在改造升级前的系统配置包括2台螺杆机、2台工频冷冻泵、2台工频冷却泵和工频冷却塔，所有操作完全依赖于人工手动进行。经过验证，SCOP为2.92，具体数据如表2所示。针对此情况，公司采取了改造措施，对主机进行扩容，选用高效冷水机组、冷冻塔和水泵，

旨在提高单机的COP,详细信息见表3。

优化管道设计以降低管路阻力，根据实际负荷情况通过AI自动寻优系统，做好水力平衡，通过调节机组、水泵、冷却塔工作状态，使系统以最小化的电力消耗来满足末端设备对温湿度需求（变流量控制），从而提高机房效能。

群控系统全面监控机组的运行状况，借助内置的主动优化机制，持续收集并分析数据，以实现自我调整。预期在一年内完成SCOP的优化工作，达成节能降耗的目标。

根据使用末端的需求和外界环境条件，在确保末端使用正常的前提下，通过调整机组出水温度（即变温控制）来提高系统的整体能效比（SCOP）。数据显示（见图3），当主机运行在变温模式（绿色）时，相比于定温模式（红色），系统能耗降低约17%，主机能耗降低了8%。

2.1.2 高效机房群控，实现变流量控制与节能统计

在2024年10月中旬，我们对机

房完成了改造升级。随后的测试验证数据显示，在相同的末端用冷条件下（见图4），机房的整体能耗降低了约65%，SCOP值提升了约50%，初步实现了高效机房的目标。预计后续的全年运行中，机房系统的SCOP值将稳定维持在5.0以上。按照每日运行8h，年运行300天计算，全年可节省费用约18万元。

2.2 优化能源使用——提高HVAC系统效率

车间净化环境的建立依赖于冷冻机房提供的能源，通过净化空调系统转化为满足生产要求的空气洁净度（压差）、温度、湿度等关键指标。随着行业对规范理解的加深以及相关技术的进步（例如，净化车间建造材料的升级、工艺设备的密闭化水平提高、高效过滤器的容尘量和过滤效率提升，以及全球“碳达峰”“碳中和”战略等因素的共同推动），现行2010版GMP规范已与国际标准接轨。净化车间的换气次数、温度、湿度等指标已取消了规定数值，为企业的暖通系统节能工作

表2 升级改造前的系统状况

| 主机    | 冷冻水泵  | 冷却水泵  | 冷却塔       | SCOP |
|-------|-------|-------|-----------|------|
| 2台螺杆机 | 2台工频泵 | 2台工频泵 | 400 m³ 工频 | 2.92 |

表3 升级改造后的系统状况

| 主机          | 冷冻水泵            | 冷却水泵            | 冷却塔                 | SCOP |
|-------------|-----------------|-----------------|---------------------|------|
| 2台螺杆机+1台磁悬浮 | 2台变频泵+1台工频泵（备用） | 2台变频泵+1台工频泵（备用） | 400 m³ 工频+600 m³ 变频 | 5.83 |

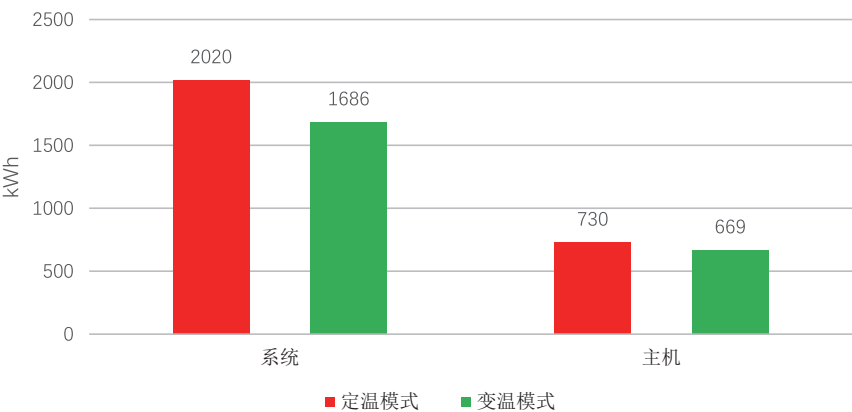


图3 定水温与变水温的能耗对比



收集了 14 天的数据。

在变湿度实验中，依照国标《GB/T 26759-2011 中央空调水系统节能控制装置技术规范》的原则<sup>[1]</sup>，计划开展为期 22 天的交替实验。实验中，第 1 天、

第 3 天第 21 天的奇数天，湿度控制在 65%（蓝色标记），温度为 25℃；第 2 天、第 4 天至第 22 天的偶数天，湿度控制在 50%（红色标记），温度为 25℃。具体能耗统计如图 9 所示。

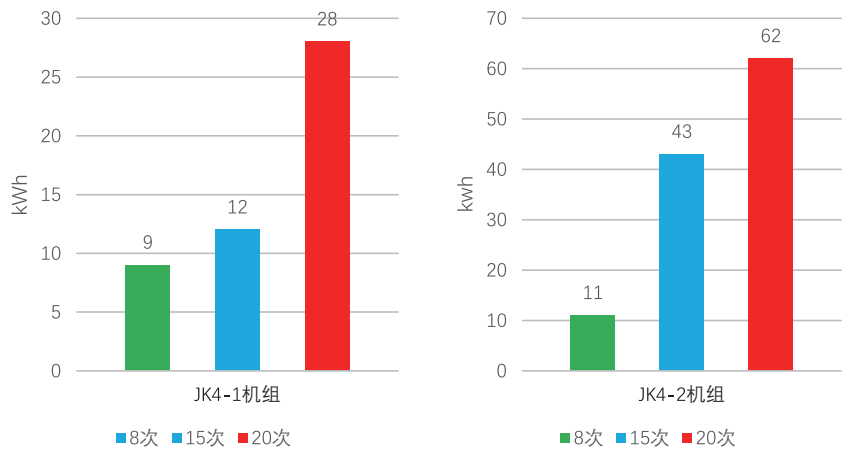


图 7 改变换气次数电能对比

表 4 测试结果

|       |                                      |
|-------|--------------------------------------|
| JK4-1 | 相较于 15 次换气次数，8 次换气次数的能耗平均降低了 31.5%。  |
|       | 相较于 20 次换气次数，15 次换气次数的能耗平均降低了 55.4%。 |
| JK4-2 | 相较于 15 次换气次数，8 次换气次数的能耗平均降低了 74.4%。  |
|       | 相较于 20 次换气次数，15 次换气次数的能耗平均降低了 30.6%。 |

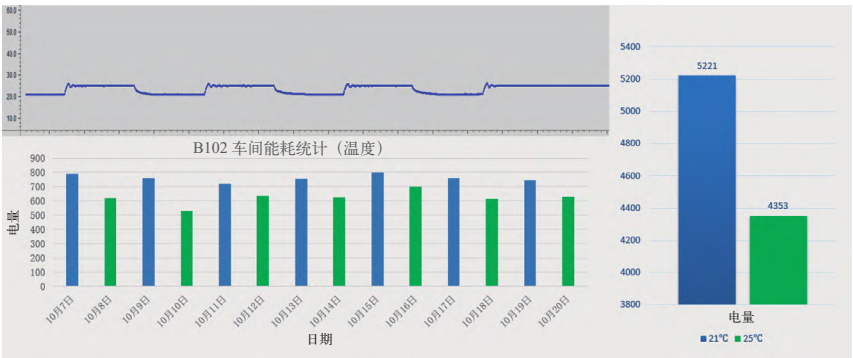


图 8 调整控制温度前后的电能消耗统计对比

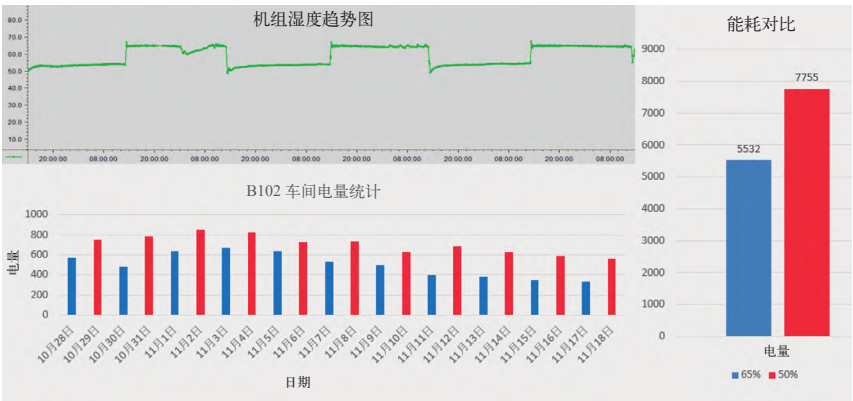


图 9 改变控制湿度前后的电能消耗统计对比

通过湿度交替实验，我们保持了相似的控制温度和车间生产环境（静态），实验表明，控制湿度在 65% 时，相较于 50% 的湿度，能耗降低了约 28%（不包含蒸汽节能费用）。

### 2.2.4 根据阶段性生产安排，规划空调系统的区域化运行策略

在本次生产车间改造中，我们规划了两条相对独立的生产线：一条为 HME 生产线，另一条用于干法/湿法生产。依据不同阶段的生产需求，空调系统可以分区独立运行。当仅需使用其中一条生产线时，可以选择性地关闭 1 台机组（如 JK4-2），从而有效减少不必要的能源消耗。为了防止不同生产阶段空调系统分区运行对洁净环境的影响，我们采用了全量余度平衡控制系统，确保工况变化前后洁净环境的合规性。仅此一项措施，每月就能节省 7000 元的 HVAC 使用电费。

## 3 总结

通过对机房和生产车间的高效改造，以及实施 HVAC 系统的温度与湿度控制调整和换气频率的优化计算，我们预计每年在暖通系统上的电费支出可节省约 27 万元。此外，我们计划开展第二阶段的节能措施，包括冷水机组水温调整和蒸汽使用的进一步节减。

暖通系统的节能涉及电力、蒸汽、自来水等多个方面的节能。关键在于高效能源转换与末端利用，通过 HVAC+BMS 系统减少浪费。净化车间的控制参数需要根据制造需求和季节变化进行调整，并非全年恒温恒湿。暖通系统的节能需在实践中结合实际情况采取行动，持续改善可降低成本和节约资源，使用节约才是最大的节约。

### 参考文献：

[1] GB/T 26759-2011，中央空调水系统节能控制装置技术规范[S].