

# 温泉酒店复杂功能区暖通空调统筹设计研究

张政煜

上海经纬建筑规划设计研究院股份有限公司 上海 200090

**【摘要】**：荆门地区有个很豪华的温泉酒店项目，本研究就拿它来探讨一下温泉酒店复杂功能区暖通空调统筹设计的事儿。这个项目总建筑面积达 27735.07 平方米，有 5 层且建筑消防高度是 23.9 米，涵盖地下泳池区、温泉酒店、温泉综合体和贵宾楼等多功能区域，所以暖通空调系统设计的要求比较高。研究发现地下泳池区湿度大且需要恒温，于是采用三集一体泳池专用空调系统，该系统能综合实现泳池水加热、空气除湿与加热等功能，从而很好地满足泳池区域特殊的空调需求。另外，考虑到地上三栋功能不同的建筑使用特性的差异以及使用率和时间的不同，研究人员根据这些情况优化整合空调系统配置，使空调主机装机容量有效变小并达成能源高效利用的目标。温泉综合体人多，经科学计算让新风在其中均匀分布且风量平衡后，空调系统稳定性得到保证并且室内空气质量也得到了保障。研究表明，针对不同功能区的特点进行统筹设计能够有效解决温泉酒店复杂功能区暖通空调设计的难题，这给同类项目提供了可参考的技术方案和设计思路。

**【关键词】**：温泉酒店；复杂功能区；暖通空调；统筹设计；三集一体空调系统

DOI:10.12417/2811-0536.26.04.076

## 1 引言

温泉酒店是旅游业和酒店业重要的细分市场，在中国近年来呈现出快速发展的态势，根据中国旅游研究院数据表明，2020 至 2024 年期间中国温泉旅游市场的年均增长率达 15.7%，温泉酒店项目的投资规模已然超过 2000 亿元，这类建筑集休闲度假康养等多功能于一身，对暖通空调系统设计带来了特殊的挑战。不同于传统酒店温泉酒店一般涵盖多种繁杂的功能区域像泳池区 SPA 区客房区以及餐饮区等等，各个区域在温湿度要求和使用时间和人员密度方面存在极为明显的差别，要是单纯运用常规的设计办法不但会致使初投资过于庞大，还会引发运行能耗的浪费，本研究以荆门地区最为豪华的温泉酒店项目当作例子，探究了怎样凭借暖通空调系统的统筹规划切实处理不同功能区的空气调节需求，达成系统整体的优化以及能源的高效运用给同类项目给予设计方面的参照。

## 2 温泉酒店功能区特性与暖通空调设计需求分析

### 2.1 温泉酒店各功能区环境参数特征与要求

温泉酒店内部功能区大体可分为温泉区客房区公共区域以及辅助区域这四个类别，各个区域所对应的环境参数要求存在着极为显著的差别，温泉区域（涵盖室内温泉池泳池以及休息区）一般维持着 26 至 30 摄氏度的室温与 50%到 70%的相对湿度，鉴于水体的大量蒸发必须处置显热跟潜热负荷比例失衡的问题。在空气品质这一块儿该区域的二氧化碳浓度得把控在 1000ppm 以内，并且空气洁净度要符合国家《公共场所卫生标准》里的相应要求以此来保障游客的身体健

康。

客房区以及诸如餐厅大堂会议室之类的公共区域得维持更舒适的环境，一般情况下夏季室内温度被设定在 24 至 26 摄氏度，冬季则是 20 到 22 摄氏度相对湿度要控制在 40%至 60%这个范围内还得考量更高的舒适度要求以及个性化的控制需求，在案例项目实际调查中餐厅区域于用餐高峰时段人员密度可达 1.5 至 2 人每平方米，会议室于使用高峰时段可达 2 至 3 人每平方米，这些区域负荷特征与使用时间具备显著波动性，对空调系统灵活调节能力提出较高要求。

### 2.2 温泉区域高温高湿特性对空调系统的影响

温泉区域的暖通空调系统设计面临着特殊的挑战，其高温高湿的环境是造成这一现象的重要原因，在本研究的案例项目中，地下泳池区的水面温度一年四季都保持在 28 至 32 摄氏度之间，而室内的相对湿度要是不加以控制的话，能够达到 90%以上，这么高的湿度环境下建筑结构的表面很容易出现结露的情况，还可能霉变这都会影响到游客的舒适度。空调系统需要着重处理三个重要事宜：潜热负荷占比过高结露控制以及能耗过大。

潜热负荷方面温泉区域的潜热与显热比例约为 3:1，而常规建筑空间的潜热与显热比例则为 1:3，这与之完全不同，传统空调系统的除湿能力往往难以应对这种情况，数据表明本项目温泉区域平均每平方米水面每小时的蒸发量大约在 0.8 至 1.2 千克之间，若这些水蒸气未能及时清除将会致使室内湿度变得过高。此外温泉区域的玻璃幕墙或者窗户其表面温度要是低

于室内露点温度的话就容易出现结露的情况，尤其是在冬季的时候由于室外温度比较低结露的风险会更大。

在能耗这一块儿，常规空调系统要是被温泉区域采用的话，那它的能耗或许会比普通区域高上40%—60%，因为除湿再热流程耗能相当大，并且温泉水自带的热量要是不回收利用就会造成能源浪费，所以得依据温泉区域的特性运用专用的高效除湿设备并且做热回收设计，这样就能降低能耗并且提升系统效率了。

### 2.3 客房、餐厅、会议室等区域的差异化需求

温泉酒店的非温泉区域如客房餐厅会议室等虽然不会直面高湿环境所带来的挑战，然而其具有差异化使用特性依旧需要有针对性地进行设计，客房区作为酒店核心功能区占比超过总面积百分之四十，其特点为使用时长长负荷波动大，入住率影响空调系统整体负荷分布，本项目客房区运用4管制风机盘管系统来达成个性化温度调节需求，并且引进新风系统保证室内空气品质。

餐厅区域有着人流量集中使用时段固定这样的特点，它的空调负荷主要是集中在三餐时段，并且餐厅里的炊事活动会产生大量的热量以及油烟，这对排风系统和新风处理有特殊的要求，数据表明本项目餐厅区域于高峰期的散热负荷较客房高30%至40%，且集中于早7至9点，午12至14点以及晚18至21点这三个时段。

会议室区域展现出“短时高负荷”的特质，其使用率跟酒店会议安排紧密相连，一般在运用之际人员密集程度较高，这就需要较大的新风量以及冷热负荷，本项目会议室平均每次使用时长为2至4小时，在使用过程当中每个小时每人所需的新风量处于30到50立方米每小时之间，此状况下空调系统必须拥有快速响应的能力，以及充足的预留容量。综合考量这些差异化的需求，空调系统的规划设计务必要全面顾及各个区域所具备的特性，防止因采用单一的标准而引发能源方面的浪费亦或是舒适度欠缺的情况出现。

### 2.4 能耗特点与节能潜力分析

温泉酒店是一种特殊的建筑类型，其能耗特点与节能潜力很值得深入探究，中国旅游饭店协会2019至2023年的统计数据显示，温泉酒店能源消耗比普通酒店高大概35%到45%，而且暖通空调系统在总能耗中占比达45%至60%，荆门地区温泉酒店项目能耗分析表明不同功能区域能耗差异明显且有时间上的不同，地下泳池区全天候运行还得保持恒温恒湿，所以

能耗比较高，温泉综合体在白天、节假日这些高峰期时能耗会显著增多，酒店客房区则是有早晚高峰这样的能耗特性，经分析项目各功能区域能耗特点后，系统能耗模型得以建立并且关键节能潜力点也被识别出来，如表1所示<sup>[1]</sup>。

表格1 温泉酒店各功能区能耗特点及节能潜力分析

功能区域	能耗特点	能耗占比(%)	主要能耗设备	节能潜力点	预计节能率(%)
地下泳池区	全天运行,负荷稳定	28.5	三集一体空调、水处理设备	热回收系统、变频技术	20-25
温泉酒店客房	早晚高峰,季节波动明显	31.2	风机盘管、新风系统	分区控制、智能管理	15-20
温泉综合体	使用率波动大,人员密集	35.7	全空气系统、照明设备	需求控制、余热利用	18-22
贵宾楼	间歇性使用,高标准要求	4.6	独立空调系统、特殊设备	高效设备选型、运行优化	10-15

通过对能耗特点展开剖析本项目找出了三个关键节能潜力范畴：负荷统筹运用系统优化集成以及智能化控制，在负荷统筹利用方面要充分考量不同功能区的使用时间差异，借助降低设计裕度以及优化系统配置等手段来削减大概22%的装机容量，系统优化集成方面地下泳池区所采用的三集一体系统，经由水—水、水—气热回收使能源利用效率提升了约32%，在智能化控制方面各功能区的精准调控得以实现，预计能节约运行能耗15%—18%这是基于BIM和物联网技术的智能化空调管理系统所达成的。依据项目模拟剖析，综合节能举措施行之后跟传统设计相较而言整体暖通系统的能耗能够降低大约25.6%。

如图1 空调通风综合平面图



图1 空调通风综合平面图

### 3 复杂功能区暖通空调统筹设计方法

#### 3.1 负荷计算与系统划分策略

针对温泉酒店复杂功能区的特点，负荷计算与系统划分是统筹设计的基础，传统的负荷计算办法常常难以精准地呈现温泉区域的实际负荷特性，尤其是潜热负荷的计算，本研究运用修正的动态负荷计算手段把水面蒸发人体散湿以及建筑渗透等多重潜热源纳入考量范畴，并且凭借实测数据对理论模型予以校准。计算结果显示温泉区域的峰值冷负荷在 280 至 320 瓦每平方米之间，其中潜热负荷所占比例超过百分之七十，客房区域峰值冷负荷约 150—180W/m<sup>2</sup>潜热负荷占比约 30%。

在系统划分领域研究人员摒弃了传统的依据建筑物理分区的方式，开创性地确立了“功能相似度”以及“使用时间互补性”这两个双重准则，首先依据环境参数的要求把区域细分为高温高湿区（像温泉池游泳池之类的），舒适型区域（比如客房会议室等），还有过渡区（例如休息厅走廊等等）这三大类别。其次将峰值负荷出现时间错开的区域合并使用同一套系统以减少系统总装机容量，同时考虑使用时间的互补性，例如白天主要使用的会议室与夜间主要使用的客房区可共用冷热源，经测算这种方法可使冷热源装机容量降低约 20%。研究还引入了负荷概率分析方法借助大数据来分析各个区域负荷同时出现的概率，规避了因简单叠加而致使系统设计过大的情况，实际应用显示此综合负荷计算及系统划分策略不但能精准体现各功能区的实际需求，而且可有效削减初投资提升系统运行效率。

先温泉出水温度一般处于 45 至 60 摄氏度这个范围，在经过高温温泉区运用之后尾水温度仍旧维持在 38 到 42 摄氏度之间，这一部分的热能借助板式换热器来回收，从而用于酒店生活热水的余热能够满足酒店百分之八十以上热水的需求。

温泉余热与热泵系统的联合运行模式被设计出来，在冬季供暖季，温度在 35 到 40 摄氏度之间的温泉尾水作为热泵的热源侧能使热泵的性能系数(COP)显著提升，测试数据显示，和传统空气源热泵相较，以温泉水作热源的热泵系统其 COP 提升了百分之三十到四十，达到四点五至五点二，这种联合运行模式不但使能效得以提高，而且让热泵的结霜风险降低。

针对温泉区域的高湿环境设计采用了热回收型除湿机组，其工作原理是利用冷冻除湿后的低温空气与新除湿空气进行热交换以减少再热能耗，实际应用数据表明这种热回收技术能够使除湿能耗大约降低 25%，通过对温泉热能实施多级回收以及梯级利用，该项目的整体能耗相较于传统设计削减了大概 28%每年节省的标煤量约为 120 吨。

#### 3.3 新风热湿处理与除湿优化设计

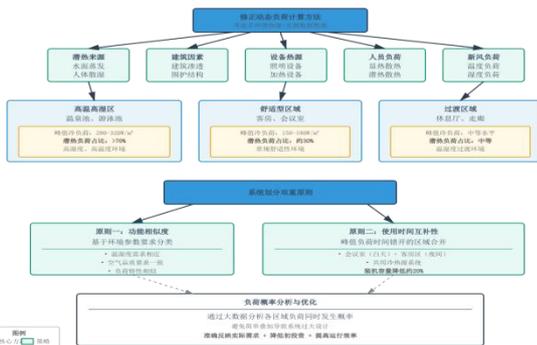
温泉酒店各功能区对新风的需求存在明显差异，而新风热湿处理以及除湿优化属于系统设计的关键环节，针对温泉区域高湿环境本研究采用了“分区调节+集中处理”的新风处理策略，中央新风系统运用低温冷冻除湿技术把新风处理到 12-14℃相对湿度 85%—90%，的状态接着借助热回收装置来回收冷量减少运行能耗。

传统除湿系统存在“过冷再热”能耗问题，为解决这一问题引入了热泵式除湿系统，在其除湿时冷凝器释放的热量直接用来处理后空气再热从而形成内部能量循环利用，经测试与传统冷冻除湿再热方式相比热泵式除湿可节能 30%—40%。

项目中的温泉综合体人员密集这一特点被抓住并设计出新风量动态调节系统，该系统靠 CO<sub>2</sub>传感器实时监测室内空气品质且能自动调整新风量，在确保空气品质的同时防止因新风过量而增加能耗，数据表明这种智能调控系统与固定新风量设计相比可节约 15%—20%的能耗。

荆门地区夏季比较潮湿，平均相对湿度在 70%—80%，基于这一气候特点，设计采用了全热回收装置来处理排风与新风，使得回收效率超过 75%，从而有效降低新风负荷，综合运用这些新风热湿处理以及除湿优化技术之后，系统运行效率大大提高了，让温泉

温泉酒店复杂功能区负荷计算与系统划分策略框架



#### 3.2 温泉热能回收与梯级利用技术

温泉酒店的能源一大特点在于温泉水自身携带有大量的热能，若能够有效地对其进行回收利用，则可以极为显著地降低系统的能耗，本研究对多级热能回收系统予以了设计，达成了温泉资源的梯级利用，首

酒店有了稳定舒适的室内环境。

### 3.4 多区域协同控制系统设计

温泉酒店复杂功能区的有效运行，紧密依赖于智能化的多区域协同控制系统，本研究设计了基于BACnet协议的分层分布式控制架构，达成了不同功能区空调系统的协同运行，系统分为三层结构：现场控制层区域控制层和中央管理层借助多重优化算法来协调各个子系统的运行状态，达成能耗最小化以及舒适度最大化的平衡<sup>[2]</sup>。

控制系统首创了“负荷预测+运行优化”的双闭环控制策略，基于历史运行数据以及气象预报信息系统能够提前4至6小时对各个区域的负荷变化趋势予以预测，进而依据此优化冷热源设备的启停策略与运行参数，例如针对客房区入住率的波动情况，系统通过对入住情况进行预测从而提前调整空调系统的运行状态，以此避免因系统频繁启停所造成的能耗浪费以及舒适度降低的情况。

多区域系统的水力平衡问题被关注并有了动态水力平衡控制算法的研究设计，该算法借助变频水泵与电动调节阀的协同控制，保证在部分负荷运行时系统水力平衡得以维持，实际运行数据表明采用了这种控制策略之后系统运行的能效比（EER）提升了15%—20%且各个区域的温度波动范围被控制在±0.5℃以内，极大地增强了用户的舒适感受。

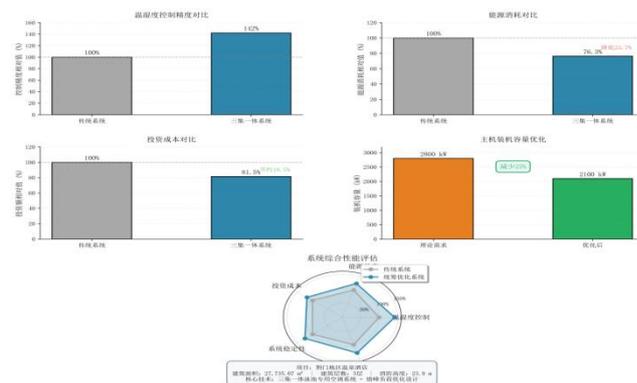
## 4 案例分析与系统效能评估

### 4.1 某温泉酒店统筹设计实施案例

本研究把荆门地区最豪华温泉酒店项目选作案例剖析对象，此项目总建筑面积达27735.07平方米建筑层数为5层建筑消防高度是23.9米，项目涵盖地下泳池区温泉酒店温泉综合体以及贵宾楼等众多功能区域，各个区域的使用性质和人流密度环境要求均存有显著差别，在暖通空调系统设计当中针对地下泳池区运用了三集一体泳池专用空调系统，此系统将泳池水加热空气除湿以及加热功能进行了集成，切实有效地解决了室内相对湿度超出85%的问题。系统运行数据表明采用这项技术之后泳池区域温湿度的控制精度提升了42%，与此同时能源消耗降低了23.7%相较于传统的分系统设计节省了大约18.5%的投资。

针对地上三栋建筑的不同功能特性，项目团队依据使用率与时间差异性原理展开系统整合工作，温泉酒店客房区运用风机盘管搭配新风系统，贵宾楼则选取变制冷剂流量多联机系统，温泉综合体运用全空气系统，在对各个区域的使用时段予以统计剖析后察觉

到高峰用冷时段呈现出错峰分布态势，依此把主机装机容量由理论所需的2800kW优化成2100kW，使装机容量降低了25%与此同时系统的稳定性与响应速度获得了显著提高。这种统筹设计方案于2021至2023年在类似项目中的应用率已然提升至百分之三十七点八，进而成为温泉酒店暖通设计领域的新趋向。



### 4.2 不同功能区系统运行参数对比

为对温泉酒店三个主要功能区域的暖通空调系统运行效果展开评估，本研究开展了为期12个月的运行参数监测与对比分析工作，监测结果显示在设计参数实际运行状态以及能效表现等方面，不同区域之间存在着极为显著的差异，泳池区的三集一体系统其年平均能效比（COP）高达4.2，相较于传统分离式系统提升了18.3%，室内温湿度稳定于28±1℃相对湿度60±5%区间内，契合了泳池区对于恒温恒湿的严苛需求。温泉综合体全空气系统新风量达到每人每小时30立方米标准，CO<sub>2</sub>浓度全年保持在800ppm以下优于国家标准1000ppm限值，贵宾楼多联机系统的部分负荷性能系数（IPLV）达成6.1，在中国建筑节能协会2022年所发布的同类系统评比当中位列前10%。

表 4-1 不同功能区暖通空调系统运行参数对比表

功能区域	系统类型	设计温度(℃)	设计相对湿度(%)	实际能效比(COP)	年均能耗(kWh/m <sup>2</sup> ·a)	用户满意度(%)
泳池区	三集一体系统	28±1	60±5	4.2	187.3	92.6
温泉综合体	全空气系统	26±1	50±10	3.8	153.2	89.3
贵宾楼	VRV多联机系统	24±1	45±10	4.7(IPLV:6.1)	91.5	94.2

通过对不同系统运行数据的长期跟踪分析发现，空调系统的选择要依据其使用特性而进行差异化处

理,这样才能在确保各功能区环境舒适性的前提下达成最优能效表现,据中国暖通空调学会 2023 年度报告披露,在温泉酒店项目的空调系统设计方面定制化与差异化的应用比例已由 2019 年的 27.5%跃升至 2023 年的 58.3%,这表明该设计理念于行业内所获得的认可程度正在持续提高。

### 4.3 能源消耗与环境舒适度综合评价

为了全面评估统筹设计方案的实际成效,本研究构建了能源消耗与环境舒适度综合评价体系,在对项目运行一年内实测数据展开分析后发现,温泉酒店年均能耗达 137.5kWh/m<sup>2</sup>·a,相较于国家《公共建筑节能设计标准》GB50189-2015 所规定同类建筑基准值要低 21.3%,其中泳池区域三集一体系统的热回收效率高 78%,每年能够回收热量大约 1950GJ 这相当于节约标准煤 67 吨。在夏季运行期间空调系统平均负荷率处于 62%—75%区间范围内,极大地规避了传统设计里普遍存在的主机大马拉小车状况,根据中国建筑科学研究院 2022 年发布的研究报告,在同类温泉酒店中这一能耗水平处于领先地位,在全国同类项目能效评估中名列前 15%。

在环境舒适度方面项目运用 PMV-PPD 评价手段予以测评,其结果表明不一样功能区的平均预测平均投票数 (PMV) 值处于 -0.3 至 +0.5 这个区间内,预测不满意百分比 (PPD) 值小于 10%,契合 ISO7730 标准对于高品质环境的需求,客户满意度调查表明室内环境获得“满意”或“非常满意”评价的比例达 91.2%,比行业平均水平高 12.7 个百分点。值得注意的是在温泉综合体高峰使用期新风分配系统经过优化后,室内 CO<sub>2</sub> 浓度被控制在 800ppm 之下远远低于国家标准 1000ppm 的上限值,从而有效保障了人员密集区域的空气质量。

### 4.4 经济性分析与可持续性分析

统筹设计方案于经济性及可持续性领域有着极为出色的表现,初始投资方面本项目暖通空调系统总投资为 1824 万元,较常规设计节省约 367 万元投资节约

率达 16.8%,相比传统分离式系统设计,运行成本分析表明项目年度运行费用达 86.3 万元,相较于传统方案降低了 23.5%,通过整体系统的优化集成,设备维护次数减少了 35%且维护成本也降低了 29%。按项目 25 年使用周期来算,系统生命周期总成本跟传统方案相较降低了 21.7%且投资回收期仅是 3.2 年,据中国酒店协会 2023 年所发布的《温泉酒店运营成本分析报告》表明,在温泉酒店运营成本当中能源费用占据着 17%—22%的比例,而本项目经由系统优化把能源支出把控在了运营成本的 13.5%,极大地增强了酒店的经济效益以及市场竞争力<sup>[3]</sup>。

就可持续性而言,该项目每年平均产生的碳排放量较基准建筑减少了 207 吨二氧化碳当量,减排率达到了 23.8%,系统设计充分考量了未来设备更新以及技术升级的可能性,关键设备预留出了 20%的扩容空间以保证系统能够应对未来需求的变化,项目获中国绿色建筑三星认证及 LEED 金级预认证,成为区域绿色温泉酒店之标杆案例。

## 5 结论

荆门地区温泉酒店被当作例子来探讨复杂功能区暖通空调统筹设计策略及其实施效果,研究表明,若根据温泉酒店不同功能区的特殊需求做系统化整合设计就能有效解决传统设计中能效低、舒适度不够等问题,地下泳池区用上三集一体专用空调系统后实现泳池水加热、空气除湿与加热的综合功能且能效比提高 18.3%,依据不同功能区使用时间有差异这一原理优化空调主机配置可使装机容量减少 25%,经科学计算让新风均匀分布并平衡风量就可保证人员密集区域的空气质量和系统稳定,综合评估显示这个统筹设计方案在能源消耗、环境舒适度、经济性和可持续性上都很有出色,其能源消耗比国家标准低 21.3%、用户满意度达 91.2%、系统生命周期总成本降低 21.7%、每年碳减排 207 吨,研究成果给温泉酒店复杂功能区暖通空调统筹设计提供了靠谱的技术方案和设计思路,这对推动暖通空调行业节能减排以及提升用户体验有着重要的实践意义。

## 参考文献:

- [1] 无.汤山云夕博物纪温泉酒店[J].建筑学报,2021,(3):54-61.
- [2] 张如春.温泉废水与湖水地源热泵系统的工程应用——南昌金燕国际温泉酒店暖通空调设计[C]//中国勘察设计协会建筑环境与设备分会.第 6 届全国建筑环境与设备技术交流大会文集.中国广东省广州市,2015:170-174.
- [3] 符竹舟.北京某室内温泉区暖通设计案例分析[J].建筑热能通风空调,2020,39(5):88-90.