

智慧控制，绿色管理，助推医院能效提升

青岛大学附属医院

为应对医院类建筑功能复杂、能耗高及发展快等一系列挑战，青大附院绿色医院建设项目合同能源管理改造以市南院区、西海岸院区为试点，通过调研分析医院用能基本情况，采取设备改造、能耗监控、自动控制等方法，着力提升采暖、空调、热水系统能效。同时广开源路，实现太阳能光伏、空气能等可再生能源的多维度高效利用。最后通过搭建能耗监控平台，把能耗计量、能源管理、节能监控三个大模块有机结合，将多个子系统集成在一个管理界面上。运行管理人员可在中控机房或远程网络，实现所有系统的远程监控，一键操作即可达到“看得清、管得细、控得精”，实现多能互补、能 - 碳双管双控的智慧化运营管理。

一、案例背景

（一）我院能源消耗情况及存在的问题简述

医院所使用的能源包括：电、水、蒸汽、天然气、市政高温水等。截至 2020 年末，医院 2020 年能源资源消耗总量折合标煤 17793.77 吨：年度电 75014897 度，折合标煤 9219.33 吨；水 1162963 吨，折合标煤 99.67 吨；天然气 1469293 立方，折合标煤 1954.16 吨；蒸汽 1469293GJ，折合标煤 4327.39 吨；集中供暖 64317.41GJ，折合标煤 2193.22 吨。

按照能源资源分类统计，电能消耗占比最高，高达 60.3%，其次是蒸汽消耗占比 18.08%，紧随其后的是天然气能耗占比 7.55%，集中供暖能耗占比 7.23%，水资源消耗占比 6.85%。电能



消耗中大型医疗设备耗电占比 35% 左右，中央空调、多联机空调耗电占比 32% 左右。为保证医疗安全，大型医疗设备的耗电节能空间相对有限，但空调的节能空间相对较大。

经过调研分析，医院能源消耗情况存在一些问题：（1）能源结构不是最优组合，如职工餐厅使用自有锅炉蒸汽做饭、洗碗等，效率较低；（2）建筑物建设年代久远，保温效果较差；（3）针对科室能耗计量不精确，无法进行科室考核，常常存在开空调开窗现象；（4）中央空调辐射面积较大，常常造成冷量或热量供给不平衡现象；（5）手术室中央空调机组常年开启，且和生活制冷空调混用，为保证手术室温湿度，机组出水温度太低，造成浪费；（6）新技术、新设备使用率不高；（7）清洁能源的利用率有待进一步提高；（8）水资源存在漏损现象。

（二）实施合同能源管理项目的作用和意义

1. 推动技术创新和绿色发展，能够运用市场手段促进节能公司的服务机制；
2. 节能服务公司在实施节能改造项目时具有专业节能技术服务、系统管理、资金筹措等多方面的综合优势；
3. 通过优化能源使用和提高能源效率，减少能源浪费和碳排放，是促进节能减排、减缓温室气体排放的有力措施，是培育战略性新兴产业的迫切要求，是建设资源节约型、环境友好型社会的客观需要。

（三）主要执行团队

为认真做好医院节能减排工作，成立后勤管理部节能减排工作小组，组成人员名单如下：

组 长：王爱军

副组长：胥朋

组 员：张明涛、齐在然、刘青、郭洪亮、李春波、吴林

职 责：负责按照医院相关政策制度进行监督指导，保证相关制度的执行和落实，协调相关科室配合，负责实施新技术、新手段对医院进行节能管理；负责对全院能源消耗进行计量监督、统计监督，汇总全院能源消耗报表并做好能耗分析，建立节能管理技术档案和统计台账；负责组织节能教育和技术培训，提高职工的节能意识和节能水平；组织检查和考核工作，并负责制定年度计划和具体措施，切实把节能减排工作落到实处，为医疗活动提供有力后勤保障。



二、实践举措

(一) 实施路径

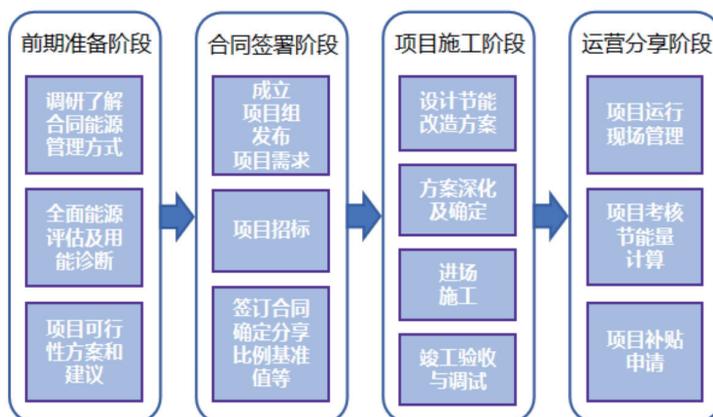


图1 合同能源项目实施路径

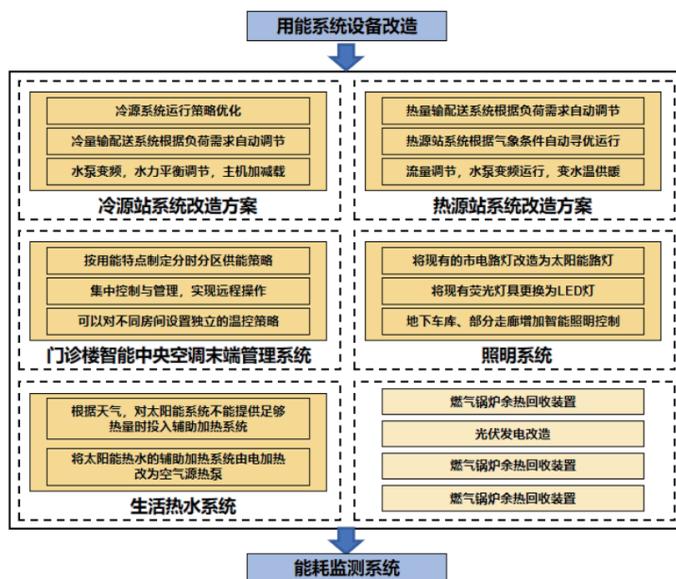


图2 青大附院用能设备改造方案

(二) 具体举措

1. 管理节能

为牢固树立创新、协调、绿色、开放、共享的发展理念，医院印发了《青岛大学附属医院节能降耗管理工作方案》《青岛大学附属医院运营成本绩效管理规定》，成立节能降耗工作领导小组，



办公室设在医院后勤管理部，对医院进行网格划分和网格管理。

近五年，医院实施了绿色照明、安装再生水利用设施、绿色清洁能源利用、绿色办公行动、绿色食堂行动、锅炉节能环保综合提升工程、节能计量统计等，既有建筑物改造，也有节能新技术投入，既有医院全额投资，也有引入第三方的合同能源管理，既有技术节能，也有管理节能，同时深入开展了节能宣传周等活动，提高节能意识，普及节能知识。

2. 技术节能

2.1 制冷系统节能改造

(1) 冷却塔统一控制。塔出入水电动阀统一 / 独立控制。

(2) 冷却塔填料清洗、清理水槽和损坏部分填料更换。

(3) 增加制冷机房节能操作平台。机房安全自控启动，自动追踪系统最佳运行状态；实时监控运行，精确掌握实时工况，做出最符合现场的能效控制决策，实现全面的自动化智能控制运行；自动采集系统运行信息，分析系统能耗情况，及时发现和了解系统的整体用能水平。

(4) 增加冷机胶球清洗装置。冷凝器胶球自动在线清洗装置是专门针对冷凝器内管壁结垢而影响换热效果从而导致整个机组的效益整体降低的解决办法，可实现机组不用拆卸就可以自动清洗内壁，减少人工的同时有效保护了冷凝器的使用效果以及寿命。借助水流的作用，将湿态直径稍大于冷凝管内径的胶球通过冷凝管对冷凝管持续不断的擦洗，来清除冷凝管的污垢，始终保持冷凝管的清洁。发球机将胶球发入冷凝器中，胶球依靠水压差擦洗掉换热管内壁的污垢，在冷却水出口端通过捕球器回收胶球至发球机形成一个清洗循环，通过微电脑控制程序设置清洗频率和次数，达到自动在线清洗功能。始终保持冷凝器内壁洁净，热效率最高，冷水机组制冷效率最高，降低能耗，节省能源。

(5) 针对厨房和门诊楼分支管配置电动调节控制阀门，用于进行两套系统的分时分区控制。

2.2 采暖系统节能改造

(1) 化学药剂清洗。对管道、阀门及换热器采用化学药剂的方式进行清洗。

(2) 增加水泵变频器。本次改造为对水泵变频控制改造。换热站在设计时考虑长期运行过程中可能发生各种问题，使裕量过大，实际上大多数换热站的供热并非一开始就达到设计的最大容量；另一方面，设计过程中很难准确地计算出供热容量，通常总把系统的最大供热容量作为循



环泵选型的依据，但循环泵的系列是有限的，往往选不到合适的循环泵型号就往上靠，使裕量更进一步的增大。同时，在供热实际操作时，常用阀门进行流量调节，增加了系统的阻力，耗能较大。

循环泵变频调速后，所有的阀门开度最大，系统的阻力最小。根据用二次进水与回水的温差和热用户所处的高度要求的最低扬程来控制循环泵变频器的转速，可大大地减少循环泵的流量，降低电耗。

(3) 无人值守换热站自控系统。换热站控制实现按需供热，根据室外温度对供热系统的供水温度、循环流量的集中运行调节，换热站通过采取自控设备及技术达到设计的要求。基于PLC、变频器、网络技术的无人值守换热站智能控制系统概括起来可达到4个目的：及时检测热力网运行参数，了解系统运行工况；合理匹配工况，保证按需供热；及时诊断系统故障，确保安全运行；健全运行档案，实现量化管理。

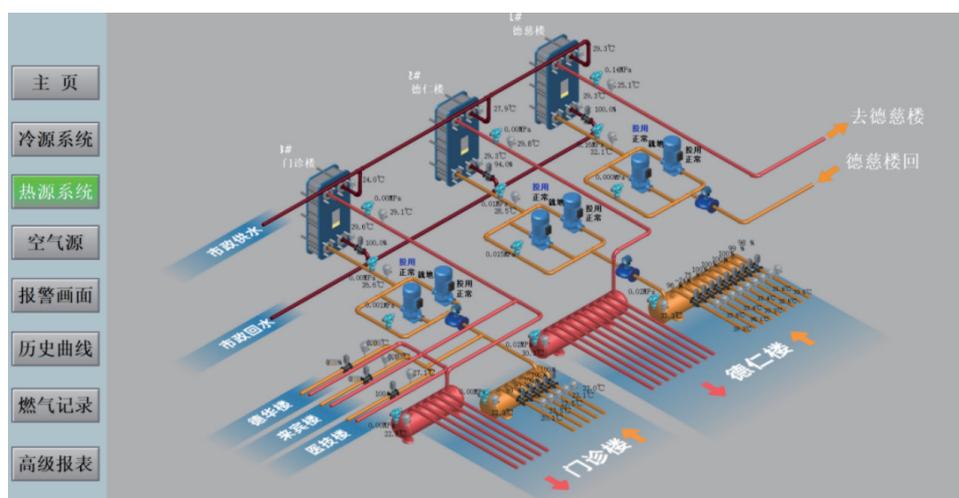


图3 换热站自控系统

2.3 蒸汽与余热系统节能改造

(1) 中心供应室凝结水利用。中心供应室的凝结水未回收利用，可将该部分未回收凝结水接至原有负二层凝结水箱内加以利用。

(2) 凝结水循环利用。凝结水箱内的凝结水，非冬季用于加热电空气源热泵热水机组自来水补水，冬季用于加热采暖回水及热水回水。

(3) 项目疏水阀门排查及改造。对于效果较差的疏水阀进行更换，对于蒸汽换热器无疏水阀的位置进行添加。



2.4 照明系统节能改造

目前使用的传统 T8 荧光灯,存在以下缺点:能耗大、效率低、显色性差、工频频闪、开关性能差、使用寿命短、故障率高、不环保(含汞等有害物)等。而 LED 灯具作为一种成熟的绿色灯具,其高效节能寿命长的特点是其它灯具无法替代的。根据《绿色照明示范城市室内照明推广采购产品名录》及现场调查,结合改造投资回收期等综合因素。计划照明改造将有针对性的进行,经过统计,将有的市电路灯改造为市电互补太阳能路灯;传统的 T8 荧光灯更换为节能高效环保的 LED 灯;停车场区域更换为智能型 LED 灯。

(1) 将现有的市电路灯改造为太阳能路灯。外照明部分灯包括庭院灯,草坪灯及道路灯等,其中庭院灯,草坪灯为落地安装;道路灯为距地 3.0m 安装防水壁灯,共 18 盏,功率为 45W,所以只考虑该 18 盏道路灯进行更换。

工作原理:白天在智能控制器的控制下,太阳能电池板吸收太阳光并转换为电能,向蓄电池组充电,晚上蓄电池组对 LED 灯具供电,实现照明功能。其中,太阳能路灯的控制采用光控和时控相结合的方式。

改造方式:将现有的单臂路灯杆顶部原灯具及支架去除,只保留直杆部分;在直杆上安装太阳能电池板和 LED 光源灯具及相应的支架;在灯杆基础座旁边挖坑,将蓄电池埋入地下。

(2) 将现有荧光灯具更换为 LED 灯。对于院区现有的未更换的荧光灯完全更换为 LED 灯。

(3) 增加智能照明控制系统。主要包括地下停车场与建筑内公共区域的智能照明控制。地下停车场配置智能照明控制系统,并全部更换为 LED 感应灯具。

工作原理:通过检测光环境状态与感应人体的红外热辐射对 LED 灯具的开启和亮度调节进行控制,实现按需照明。当有车辆和人进出时,微亮省电模式的 LED 感应灯被唤醒点亮,功率为 15W,亮度达到 36W 普通日光灯的亮度,方便车主正常停车;车或人在感应区域内活动时,LED 感应灯一直保持常亮;当车或人离开感应区域 30 秒后,LED 感应灯自动重新进入微亮的省电模式,功率为 3W。

建筑内公共区域配置智能照明控制系统。用声光控延时开关代替医院走廊内的开关,选择在适当照度情况下自动点灯与熄灯。如可设置在自然采光照度高于 200lx 时,传感器无效,走过人员通过自然采光照明,当公共区域照度低于 200lx 时,传感器生效实现人来灯亮、人走灯灭的自



动控制。楼梯间直接采用声光控灯具代替原有灯具及开关。

2.5 维护结构节能改造

维护结构封堵。对维护结构漏洞及未封堵处进行封堵，减少供热量、供冷量，降低供暖、供冷能耗。

2.6 热水系统改造

空气源热泵热水机组替代蒸汽提供生活热水。



图 4 太阳能热水系统



图 5 空气源热泵辅助太阳能加热

2.7 门诊楼智能中央空调末端管理系统

由于病房楼为全天供冷供暖，病房区域病房内个人的体感温度不同，且常须开窗通风，因此很难对病房区域的空调末端进行有效合理控制；而门诊楼除急诊外开诊时间为 8:00~12:00，13:00~17:00，门诊楼室内设备的使用时间有一定的周期规律，在非开诊时间如果能主动关闭室内附属的能耗设备，可防止不必要的能源浪费，达到环保效果的同时，降低运营费用，所以本方案只考虑对门诊楼部分进行空调末端改造。但门诊楼内所含 1448 组风机盘管，处于室内及公共区域内，如果想通过传统的管理方式并结合现有设备进行节能管理，实施难度较大，且需要投入一定的人力。

综上，我们定制化搭建了一套中央空调末端管理中心，针对整个院区的门诊楼暖通空调能耗进行统一管理，对供应端、末端进行有效的能源分配策略控制。对比运行数据和理论数据制定暖通系统改进优化方案，实现在可靠的暖通供应质量的前提下，减少不必要的能源浪费，降低运行费用；针对门诊楼，改进楼内的终端操作设备，使终端设备以信息化的方式接入到系统内，并根据节能策略实现终端的能源管理；分时分区调控策略，根据管理要求，在规定时段（可规划策略）对规定区域（可规划策略）下发主动的设备控制指令，若现场依然有用户需要使用设备，则由用



户手动对设备进行需要的操作; 远程下发目标动作, 管理人员可在管理中心针对某一指定 (或集群) 的设备进行设备远程操作, 根据实际需求远程操作目标的运行参数以及开启 / 关闭操作。

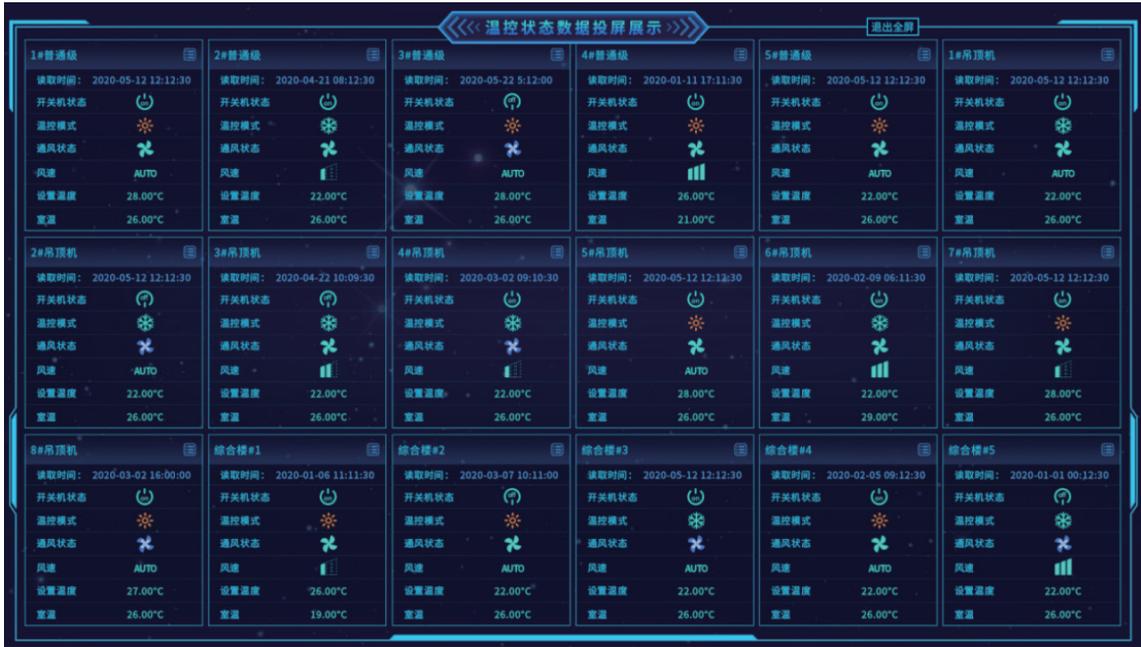


图 6 中央空调末端管理系统

2.8 能源、资源消耗监测平台

按照能源的分类对水、电、蒸汽等计量数据实时远程采集; 其中水和蒸汽的计量达到二级的计量标准, 除了总表, 还针对每一座用水或用蒸汽建筑进行计量; 电的计量达到三级计量标准, 对建筑的楼层也要进行单独的电计量, 对于一些特定的重要用电单元, 追加单独的计量模块。

能源、资源消耗监测系统实现建筑能耗的分项、分区、分时计量和实时监测, 设备系统能耗统计和分析、建筑分项能耗统计和分析及设备系统智能诊断、定额管理、能耗异常报警、能源审计、能效公示等功能, 通过对各分类、分项能耗数据的合理采集, 准确地掌握不同医疗功能的建筑、分户能耗及重点用能区域的能耗, 有效指导医院能源管理。





图 7 能耗监测平台

2.9 光伏发电改造

项目建设位于西海岸院区门诊楼楼顶，可用面积约 1.2 万平方米，装机容量约 0.5MW。自 2015 年 6 月开始实施至今，节能金额约 8 万元 / 年。



图 8 光伏发电系统

2.10 废水回收改造

- (1) 内镜中心纯水机废水回收至门诊楼冲厕，15 吨 / 天，减支约 3 万元 / 年。
- (2) 血透室纯水机废水回收至小西湖，绿化浇水，32 吨 / 天，减支约 6 万元 / 年。
- (3) 供应室蒸汽发生器冷凝水回收。每天回收高温蒸汽冷凝水 4 吨，回补锅炉用水，节约燃

气和补充水，减支约 2 万元 / 年。

废水回收共减少支出约 11 万元 / 年。

（三）资源配置

1. 人力资源

为合理利用能源，提高能源利用效率，降低能源消耗，创建节约型医院，根据《公共机构节能条例》《山东省公共机构节能管理办法》等文件，结合我院实际，成立节能减排工作领导小组，统筹医院的各项节能工作，召开节能工作例会，对医院节能工作进行安排、部署；领导小组下设办公室，办公室设在后勤管理部，负责医院节能工作日常事务。具体工作由后勤管理部组织实施，对医院进行网格划分和网格管理，各科室成立节能管理员，对能源资源消费安排专人统计分析。

2. 资金投入

项目采用合同能源管理模式，节能服务合同年限 6 年，即节能效益分享年限 6 年。节能服务合同期内，本项目所有的改造提升投入由乙方负责，节省下来的能源费用，在达到投标承诺最低节能率前提下，按照乙方：甲方 =80%:20% 比例分成。

3. 制度支持

为牢固树立创新、协调、绿色、开放、共享的发展理念，医院印发了《青岛大学附属医院节能降耗管理工作方案》《青岛大学附属医院运营成本管理绩效管理规定》。

（四）难点风险

1. 院方与节能服务公司在节能量计算和节能效益分享款方面容易出现分歧

院方与节能服务公司的某些节能量计算方式不同，节能效益分享款金额也会随之产生差异。如果发生节能量纠纷后，合同双方不能协商解决，可依据相关法律走司法途径，委托第三方核查机构进行鉴定，第三方核查机构可以有效保障用能企业提供数据的真实性，这一机构对合同能源管理的有序发展发挥了有效作用。

2. 节能服务公司在后续工作中可能出现不作为行为

节能服务公司在对院方设备改造完成后，未安排工作人员定期进行节能设备现场管理、保养维护及节能数据统计分析，只关注使用何种计算方式实现节能效益分享款最大化，会出现持续不作为的情况。

3. 节能服务公司实施的某些改造方案没有节能效果



节能服务公司提供的节能改造设备未出现理想效果或节能改造方案存在瑕疵，致使节能设备不能稳定运行。依据相关法律规定，院方可要求节能服务公司修理更换，并赔偿相应损失。

三、建设成效

（一）绿色医院建设项目目标达成情况

从经济效益看。中国建筑科学研究院有限公司与清华大学进行了第三方测评，出具了节能报告。结果显示节能改造前后电力及蒸汽节能量大，经济效益巨大。能源费用减少 402.17 万元/年，电力节能 497.1 万 kWh，蒸汽节能量 0.94 万 GJ，预计减少 5051.25tCO₂。

从生态效益看。在门诊量增幅 10% 的前提下，青大附院改造后仍旧实现了 22% 的节能量，人均碳排放减少 4kgCO₂，人均碳排放减少 27%。综合节能率为 24.04%。年减少碳排放 6463.49 吨，相当于种 129.3 万棵树，建设 64 座青岛植物园。

从社会效益看。改造后折合等效用电量为 2668.04 万 kwh，节约等效用电量为 820.84 万 kwh。推动了医院用能电气化改造进程，为智慧控制、精确管理耗能设备奠定了坚实基础。

（二）绿色医院建设相关学术成果

2024 年 4 月，青大附院后勤管理部张明涛、刘雅婷论文《智慧控制，精细管理，助推医院能效提升》获得全国医院节能技术优秀论文二等奖。

（三）绿色医院建设获得的相关表彰及荣誉

2024 年 4 月，青岛大学附属医院通过专家评审，被国家机关事务管理局、国家发展和改革委员会授予“绿色低碳公共机构（2024-2026 年度）”荣誉称号；

2024 年 4 月，在交健健康杯全国医院节能领跑系列评选活动中，荣获全国医院节能领跑示范单位；

2023 年 10 月，青大附院荣获中国人文医疗建筑奖系列“人文医疗营造奖”，评比包括人文建设服务与绿色节能运行两方面；

2022 年 5 月，青大附院代表中国申报的“青岛大学附属医院低碳医院改造”项目获得智慧建筑类别银奖，是全国智慧建筑类别唯一获奖者；

除此之外，中国建筑节能协会绿色医院专业委员会于 2016 年 7 月，授予我院“绿色医院常务会员单位”称号。2021 年 7 月，授予我院“医院节能领跑示范单位”的称号，充分肯定了我院



在节能降耗方面做出的各项工作。



图9 青大附院绿色医院建设获得的表彰及荣誉（部分）

四、经验总结

1. 建立绿色管理目标责任制，严格落实各项节能措施。结合用能单位实际情况，围绕总体目标，突出主要矛盾与重点，制定针对性方案，切实将节能降碳措施落到实处。

2. 加强能源计量，规范科室行为。能源计量工作是节能降碳的基础性工作，对于掌握能源消耗分布、查找薄弱环节具有重要意义。应重点整改、管理能耗大户，同时加强宣传倡议，提高全院职工节能减耗意识。

3. 治旧控新，加快与现代化技术融合。进一步推动技术改造，提升相关设备运维管理水平、运行调节和优化节能的技术水平，实现节能管理体系落地的专业化、信息化、系统化、精细化。

案例撰稿人：

王爱军（后勤管理部主任）

张明涛（后勤管理部主任科员）

刘雅婷（后勤管理部职员）

胥朋（西海岸院区安保后勤处主任）

都萍（后勤管理部职员）

