节能降碳典型案例申报

——北京中医药大学

绿色多能智慧洗浴热水改造项目

北京市教育委员会

2023 年 **2** 月

一、 项目概述

北京中医药大学是一所以中医药学为主干学科的全国重点大学，直属教育部管理，由教育部、国家卫生健康委员会、国家中医药管理局和北京市共建。学校现有 3 个校区，分别为良乡校区、和平街校区和望京校区，总建筑面积 51.54 万 m^2，在校师生 1.5 万余人。

本项目实施改造前，各校区生活热水热源为天然气锅炉，浴室设施老旧，环境较差，原有浴室浴位已经不能满足学生洗浴需求。学校本着“管理技术一起抓”节能工作理念，节能工作有思想、有路径、有抓手，以管理做统领，敢为人先、勇于突破，节能减碳工作取得了良好成效。本次生活热水改造项目立足技术和管理并行优化的双重机制，采用绿色能源完全替代了原有天然气锅炉热源，借助智慧洗浴系统，洗浴热水采用梯级计费，同时引入了社会资金，采用 BOT 模式（即建设一经营一转让模式），解决了学校改造资金困难问题。

项目改造完成后，学校学生洗浴问题得到根本改善，获得了师生一致好评。目前已经平稳运行 2 年，节能节水减碳效果良好，成为学校节能减碳工作的重点工程和学校节能减碳工作宣传、教育、展示的重要组成部分，具有显著的经济和社会效益。绿色多能智慧洗浴热水改造项目可在高校、医院、宾馆等洗浴系统中大力推广实施，进一步推动北京市节能减碳工作落到实处。

二、 热水系统改造

（一） 改造需求

1. 项目现状及问题

改造前学生洗浴热水由校区内天然气锅炉提供，锅炉运行采用人工操作，自动化水平低，维保费用大，年消耗天然气量为 61 万 Nm^3，能源消耗

较高，水资源消耗较大。同时，学校浴室存在浴位少、设备老化、水温不能调节等问题，部分公寓楼没有淋浴室，公寓楼周边没有可用热源，学生需到校内其他集中浴室洗浴，现有浴室浴位又不能全部满足学生洗浴需求，而且浴室装修环境差，浴位无隔断，学生洗浴体验差，学生洗浴热水采用按时间刷卡计量，收费存在不合理情况。学校亟需解决学生洗浴难问题，但缺少改造资金。

2. 改造需求及理念

（1） 改造需求

1）末端浴室改造：为解决学生洗浴难、体验差的问题，对公共浴室实施改造，并在部分公寓楼新增浴室。

公共浴室改造：对和平街和良乡两个校区现有 4 个集中公共浴室全部进行改造，通过合理布局设计，室内精装改造，增加浴位隔断，更新设备设施，升级计量系统，达到改善浴室整体环境、提高学生洗浴体验舒适性；

公寓新增浴室：对部分没有浴室的公寓楼进行改造，结合公寓入住情况以及现场条件，对公寓楼原房间功能进行调整，改造建成新浴室，主要满足本楼学生洗浴需求。

2）洗浴热源建设：为减少传统化石能源消耗，同时解决部分公寓楼无可用热源难题，洗浴热水系统采用新能源及可再生能源替代现有天然气锅炉供热水。

（2） 改造理念

项目秉承“以人为本、便捷舒适、绿色安全、厉行节约”的理念。出发点为满足学生洗浴需求，提升学生洗浴品质，采用绿色能源替代，通过智能化控制及管理措施，减少能耗，节约用水。

（二） 改造方案

对和平街校区、良乡校区洗浴热水系统进行改造，洗浴热水热源采用太阳能+空气源热泵方式联合供热，替代原天然气锅炉热源，末端浴室淋浴系统进行智慧化改造，并对浴室进行翻修，改善浴室整体环境。系统主要设计目标如下：

（1）水量保证：供热水时间以不少于全天 16 小时考虑，保证晚上 3 个小时及其他时段用水高峰时段水量需求，保证日最低产热水量。

（2）水温保证：系统设有回水循环，确保每一个淋浴喷头流出低于使用温度水量少于 2L，储热水箱水温 45℃上下浮动 2℃供水，淋浴喷头设有混水阀，保证学生洗浴个性化需求；

（3）智能管控：采用智能管控，节能运行，充分利用可再生能源；

（4）设备可靠：选用低温型空气源热泵，确保-25℃等极端气候仍稳定运行：

（5）强制通风：系统设计有强制送新风，同时设有排风，保持室内微正压，保证室内其他房间的潮湿空气，不进入浴室。

1. 绿色多能供热系统

为使系统运行稳定可靠，充分利用太阳能资源，本项目采用太阳能+空气源热泵的方式为浴室提供生活热水，正常情况下由太阳能系统提供生活热水，空气源热泵作为辅助热源，太阳能充足时，直接利用太阳能加热水，太阳能不足时，利用热泵加热水，通过合理的系统设计和运行控制使太阳能集热系统稳定、高效、安全运行。

采用的低温型空气源热泵机组，可在-30℃至 46℃环境温度下稳定运行。选用的 T160 太阳能集热系统一年四季都可以高效运行，太阳能集热器根据工程建筑实际结构情况进行设计布置，保证利于太阳能热水系统的运

行，太阳能设备与建筑有机结合，不影响建筑整体风格，现有屋面均为上人屋面，荷载满足集热器布置需求。与普通玻璃管集热器相比，T160 集热器安全耐用，不会出现玻璃管炸管现象，冬季也可正常使用，出水温度可达 60℃以上，产品使用寿命超过 25 年，运行安全可靠。

图 2　T160 集热器、空气源热泵现场图片

2. 智慧洗浴系统

智慧洗浴系统实现了网上预约、在线选位、支付、查询、充值等自助功能，让洗浴更加方便快捷。通过安装智慧洗浴系统，全校学生洗浴热水采用梯级计费方式，梯极计费原则惠及多数、倡导节水，即利用阶梯水价形成的价格杠杆来驱动学生充分合理地使用热水，一方面保证学生合理用热水，不造成水资源的浪费，另一方面限制了因单一水价造成学生过度使用带来的资源浪费。同时在浴室内进行了浴室分区处理，指引标识、紧急呼叫器、新风系统，提升了学生洗浴体验舒适度。

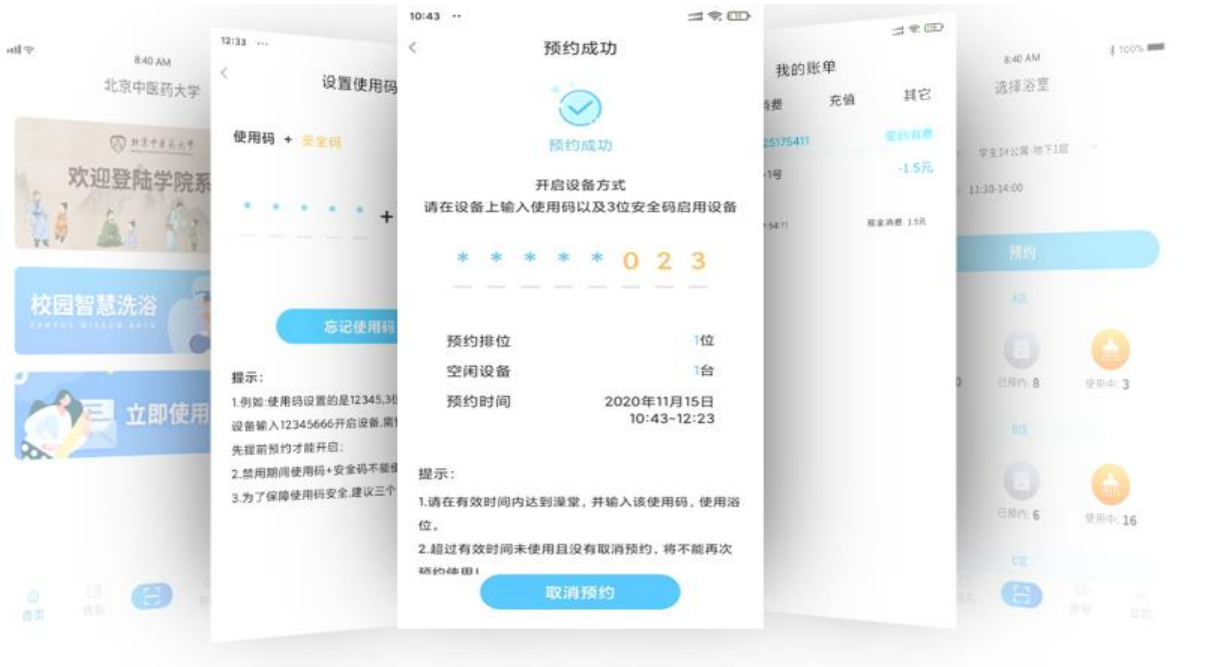

图 3 智慧洗浴移动端使用界面

图 4 改造后浴室现场图片

（三） 商务模式

通过系统分析学校热水供应需求和 BOT 模式可行性，本项目采用 BOT 模式，对学校两个校区热水系统进行改造，项目投运 2 年多运行良好。BOT 模式借助社会资金完成了热源替代改造升级，也改善了学生洗浴环境。热水系统建成后的运维，由承建公司派专人负责运行管理、维护、保养。学

校降低自身风险同时，切实解决了资金困难及后续热水系统运维问题，省力又省心。

三、 改造效果分析

（一） 节水效果

智慧洗浴系统投运前男生人均每次用水量约为 67.7 升、女生约为 78.3 升，改造完成投运半年后，男生人均每次用水量约为 37 升、女生约为 45 升，男女生单次洗浴用水下降明显，下降率分别达到 45%、43%，节水效果显著。

（二） 节能减碳效果

改造前学校两个校区均采用天然气锅炉提供洗浴热水，年消耗天然气量约为 610348Nm³，折标煤 741.15 tce，CO_2 排放量 1319.69t。改造后采用太阳能+空气源热泵方式联合供热，年耗电量为 153.55 万 kWh，折标煤 326.56tce, CO_2 排放量 927.44t。与改造前基准能耗对比，改造后年节约标煤 414.59tce，年减排 CO_2 量 392.24t，节能率为 44%，减碳率为 30%。

改造后男生、女生单次洗浴比改造前节约标煤 0.24kgce、0.42kgce，节能率分别达到 69%、68%；减排 CO_2 量分别为 0.38kg、0.42kg，CO_2 排放下降率分别为 62%、60%。

（注：电折标煤系数取等价值 2.7tce/万 kWh，天然气折标煤系数 12.143tce/万 Nm³；电力 CO_2 减排因子 6.04t/万 kWh，天然气 CO_2 减排因子 21.6219t/万 Nm³。）

由此可见，改造后洗浴热水以新能源作为热源、实行梯级计费方式，节能减碳效果显著，具有明显的社会环境效益，对推进学校能源低碳转型，加快形成绿色生产生活方式具有强大的推动作用。

（三） 实际运行效果

从绿色多能智慧洗浴热水系统实际运行情况来看，学生普遍反映良好，认为既方便又经济，能就近洗到热水澡，而人均每次洗澡支出低于 2 元，未给学生造成过高经济负担，与原天然气热水系统相比，节能减碳节水效果明显，系统自动化程度较高，操作简单、管理高效、维护便捷，节约了大量的人力物力。

四、 结语

通过 BOT 模式实施改造，利用太阳能、空气源热泵等方式作为热源，仅靠消耗电力完全替代天然气锅炉，同时对浴室用水进行水计量改造，实行梯级计费，实现了完全采用电力清洁能源，减少了碳排放，节约了用水，同时解决了学校资金困难的问题，也改善了学生洗浴环境，倡导了节约理念。

北京市高校洗浴生活热水日消耗量约为 2 万吨，目前多采用天然气热水锅炉提供，部分采用市政热力及地热水。利用相关政策对学校加强约束、加大鼓励力度，规范 BOT 项目建设及运营，保障学校及各方利益，在高校大力推广 BOT 模式进行绿色清洁热源改造以及智慧洗浴改造，将带来显著的节能节水减碳及社会效益，进一步推进北京市绿色低碳发展，积极践行和落实 “双碳”行动。