

哈尔滨工业大学能源资源节约示范案例

单位名称：哈尔滨工业大学

主 题：绿色化改造

方 向：水源热泵余热回收

摘 要：为贯彻落实国家碳达峰、碳中和决策部署和学校第十三次党代会精神，深入推进哈尔滨工业大学绿色低碳发展，优化用能结构，提升能源使用效率，建设节约型高校，哈尔滨工业大学以先进理念为引导探索应用余热回收技术，将学生浴池洗浴废水中热量回收回来生产洗浴热水，实现了能量的循环、梯级利用，节能降费效果良好。学校以该技术为依托在所有学生公寓内都建设了废水余热回收型学生浴池，实现了学生不出楼洗浴，成为我校“我为师生办实事”工作机制的新实效。

关键词：学校，水源热泵，废水余热回收，不出楼洗浴

一、 学校概况

哈尔滨工业大学隶属于工业和信息化部，始建于1920年，2000年与同根同源的哈尔滨建筑大学合并组建新的哈工大。学校2017年入选双一流建设A类高校名单，形成了较为完善的学科体系，正在成为享誉国内外的理工强校、航天名校。



图 1 校园照片

学校哈尔滨校区占地 399.31 公顷，公共建筑面积 160 万平方米，合计各类用能人数近 5 万人。校园地处哈尔滨市，属于严寒地区，具有四季分明、冬季漫长寒冷、夏季短暂炎热等气候特点。学校使用的主要能源资源为热力、电力、天然气、汽油、柴油、自来水等。学校坚持“创新、协调、绿色、开放、共享”发展理念，积极通过技术改造等措施，在建筑面积激增、教学科研任务不断增加的情况下取得了能源资源消耗不断下降的良好成效。近三年用能、用水情况如表 1 和图 2 所示。

表 1 哈工大 2018-2020 年主要能源资源消耗统计数据

数据种类	2018 年	2019 年	2020 年
电力/万 kWh	5456.77	5660.80	4962.13
热力/GJ	805428	762099	745641
天然气/万 m ³	151.33	123.18	80.07
自来水/万 m ³	175.75	171.07	140.96
总能耗/tce	36356.51	34762.10	32724.82

从能源资源消耗情况来看，我校目前存在着能源消费结构不合理、清洁能源占比过小，能源消耗巨大、利用效率有待提升等

问题。



图 2 哈工大 2018-2020 年能源资源消耗数据

二、 学生浴池废水余热回收系统

我校地处严寒地区，学生浴池洗浴热源一直以来都是耗能大户，学校原洗浴热水热源由天然气锅炉提供，存在着燃烧效率低，燃气耗量大，传输距离远输水热损失大等问题，不符合绿色校园、节约型校园建设要求。与此同时，学生洗浴后的废水温度可达 35°C ，蕴含大量的热量，直接排放造成了热能的浪费。

在主管校领导的大力支持下，2021 年学校全面推广应用学生浴池废水余热回收技术，完成了 5 个学生浴池的建设。项目建设主要依托我校建筑学院暖通空调专家团队力量，前期进行了充分的可行性研究、组织多轮方案评审论证。系统具体情况如下。

（一）系统原理

学生浴池废水余热回收系统把原来直接排放的洗浴废水中的低位热能进行回收利用，辅以少量电能作为驱动加热洗浴热水，实现了能量的循环、梯级利用。系统核心设备是水源热泵，

利用热泵技术回收污水中的低温低位热能资源，将无价值的污水废热变成有价值的高品位热能，是高效、环保、节能的可再生能源利用技术。其运行原理见图 3。

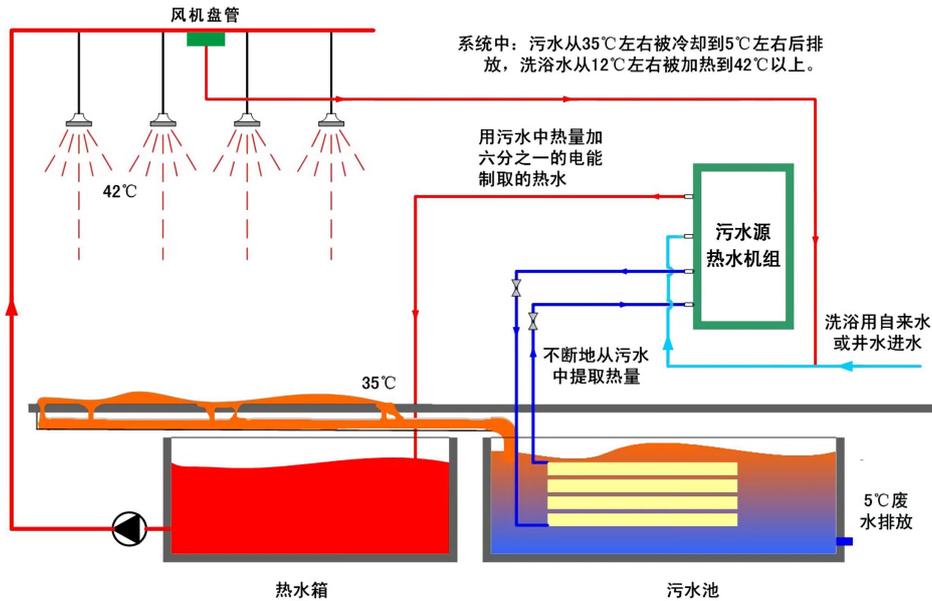


图 3 学生浴池废水余热回收系统原理

学生洗浴下来的污水一般温度在 25~35°C 左右，其中含有大量的热能，这些污水排放后，不仅白白把这些热能带走，同时超过 30°C 的热水排放到地下，会造成热污染。通过污水废热回收技术，可以高效的将污水中的热量提取，并将这些热量直接加入到新的洗浴用水中，形成热量循环利用。污水被取热后，温度降低至 5°C 左右排放，避免了污水的热污染。

（二）系统组成

学生浴池废水余热回收系统由废水余热回收、浴室蒸汽热量回收、热保障、监控系统 4 个子系统构成。

1. 废水余热回收系统

余热回收子系统由水源热泵机组、废热提取换热器、蓄热污水水箱、洗浴热水箱等设备组成。载冷剂通过换热器与污水箱内洗浴废水进行热交换后进入污水源热泵，污水源热泵从载冷剂中提取热量生产洗浴热水，制备的热水被输送至洗浴热水箱存储。



图 4 热泵机组、洗浴热水箱、蓄热污水箱

2. 浴室蒸汽热量回收系统

该系统回收浴室水蒸气中的潜热做为补充能源，热回收设备为安装在浴区内的风机盘管，风机盘管吸收学生洗澡时产生的湿热蒸汽的热量给自来水预热，经预热的自来水进入热泵机组继续加热为洗浴热水。此设计不仅回收了浴区大量湿热蒸汽的热量，保证了热水系统的热平衡，同时也降低了浴区空气的湿度，减少浴区排风量与新风量，避免了冬季浴室内换气时“冷气套热气，越排越有雾”的问题，是一项一举多得的良好措施。



图5 浴室内安装的风机盘管照片

3. 热保障系统

为了应对冬季及过度季节可能出现的废水热损失大等极端情况造成系统缺热的问题，系统设置了电加热器补热系统。



图6 电加热器补热系统

4. 监控系统

依托信息化技术，我校建立了浴池余热回收系统监控平台。平台可以监测分析实时运行情况(包括室内外温度、供回水温度、

日供水量、热量、耗电量、能效比等)、设置运行参数、故障报警、运行历史数据统计分析、及各类报表服务等功能。详见图7。

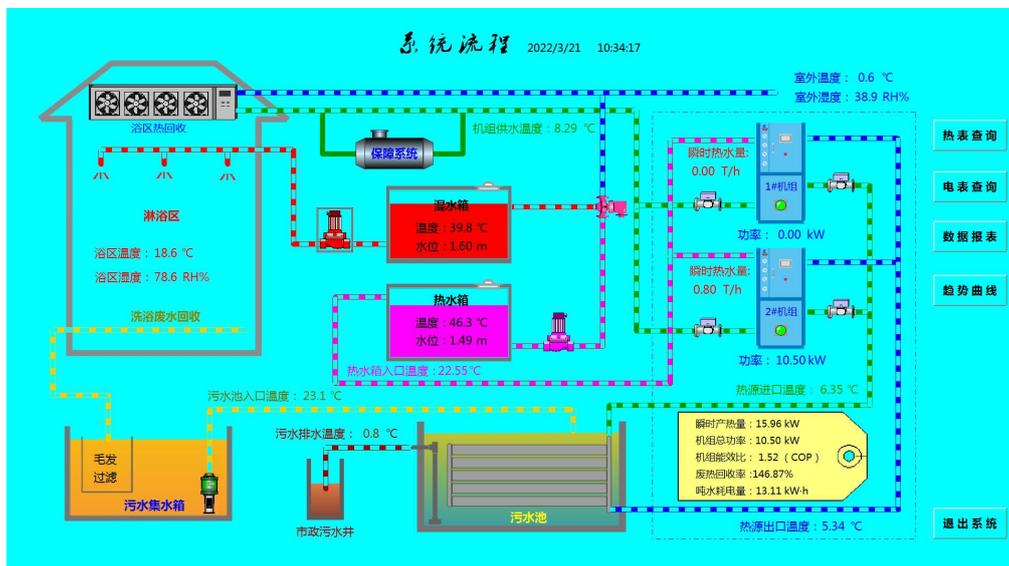


图7 监控系统运行界面

(三) 建设情况

我校自2016年起开展浴池废水余热回收系统试点建设，2021年开始在全校大范围推广应用，累计完成了9个废水余热回收型浴池的建设，其中2021年建设完成5个。实现了所有公寓学生不出楼洗浴，使用效果良好，安全、节能、稳定、环保，成为我校“我为师生办实事”工作机制的新实效。2022年将继续完成既有A05、A17公寓浴池的废水余热回收节能改造。

表2 哈工大废水余热回收浴池建设情况

序号	余热回收浴池地点	建设时间
1.	A08 公寓浴池	2021 年
2.	A10 公寓浴池	2021 年

3.	A18 公寓浴池	2021 年
4.	B02 公寓浴池	2021 年
5.	B05 公寓浴池	2021 年
6.	A11 公寓浴池	2018 年
7.	A15 公寓浴池	2018 年
8.	B06 公寓浴池	2016 年
9.	A02 公寓浴池	2016 年

(四) 运行情况

我校系统在实际运行过程中，污水从平均 30℃ 左右被降温至 5℃ 左右。另一方面用于洗浴的自来水，从 12℃ 左右被热水机组加热到 42℃ 以上，流量越小，温度越高。热水出水可根据需要进行设定调节，出水水温最高可达到 55℃ 以上。

从 1 吨污水中提取的热量约为 $(35-5) \times 1000=30000$ (大卡)，而加热 1 吨适合温度的洗浴用水所需热量为 $(42-12) \times 1000=30000$ (大卡)，可见，尽可能地提取污水中的热量，就可以满足洗浴用水所需热量。

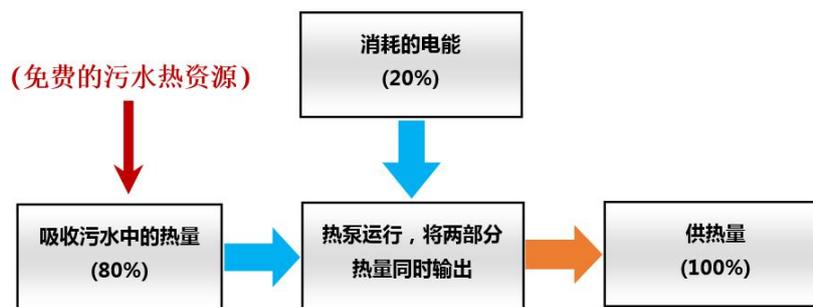


图 8 余热回收系统图

如图 8 所示，热水热量的 80% 左右从污水中提取，其余热量来自于热泵运行输入的电全部转化成的热量，这部分热量约占

20%，系统 COP 约为 5 左右，节能效果显著。因此，该项热水技术是寒冷地区非常实用的节能环保替代方案。经第三方测定，系统节能率达 77.7%。

三、 技术特点

该技术对优化学校能源结构、推动学校绿色发展，提升资源使用效率，建设节约型高校发挥了十分重要的作用，具有显著的环保效益、经济效益和社会效益，具体表现在：

1. 属可再生能源利用技术

废水余热回收系统将污水中蕴含的热能作为热源，将这些原本被直接排掉的热能回收利用，实现了真正的能源循环利用。系统属于清洁可再生资源，其推广应用符合国家绿色发展战略，有利于助力国家 3060 双碳目标的实现。

2. 运行安全可靠

该技术避免了燃气、燃煤锅炉运行存在的安全隐患。污水的温度常年相对稳定，不受天气及环境温度变化的影响，几乎没有波动，是很好的稳定热源。水体温度较恒定的特性，使得热泵机组运行更可靠、稳定，保证了系统的高效性和经济性。

3. 运行经济

输入 1kWh 电能可从污水里提取 4-5kWh 的热能，运行费用为电加热方式的五分之一到六分之一，是空气能热水器的三分之一到二分之一，是燃气锅炉的三分之一到四分之一，经济效益显著。系统自动化运行，节省了大量运行值守人员，降低用工成本。

4. 节省空间

机组占地面积小，省去了锅炉、锅炉房、堆煤堆渣的场地。方便根据各楼宇情况灵活部署，实现学生不出楼洗浴。

5. 环境效益显著

运行时没有任何污染，没有燃烧，没有排烟，也没有废弃物，同时避免热污水排放造成的热污染，具有显著的环境效益。

四、 经验总结

通过浴池废水余热回收系统的建设得到以下几个方面启示：

1.充足的经费支持是校园绿色节能改造实施的必要条件。

2.学校主管领导对绿色校园建设工作的高度重视和大力支持为项目建设提供了思想和精神引领，全校师生对绿色校园建设的认识统一和协调一致是项目成功实施的充分条件。

3.学校相关专业学科的专家团队为项目实施提供了科学的理论支撑和强有力的技术指导。

4.科学严谨的方案可行性评估和论证评审、公开透明的工程招标、周密细致的施工组织、严肃认真的竣工验收是项目建设的科学路径和可靠保障。

5. 我校浴池废水余热回收技术的成功推广应用，包括建设过程采用对浴区湿蒸汽潜能热进行再回收、噪声和异味消除等实用化设计，为在严寒地区采用类似技术进行节能改造积累了先进经验。