

北京大学深圳医院基于多模态 BIM 平台智慧医院后勤节能减排综合应用研究

北京大学深圳医院

围绕公立医院在“双碳”背景下节能工作策略、用电系统节能、供热系统节能、空调节能技术应用、低成本节能改造、绿色医院建设等方面进行总结，强调理论与实践相结合，涵盖节能工作前期策划、筹资到后期运营管理。为推进公立医院高质量绿色发展提供有益支撑。

建立“后勤智能化综合节能云平台”从而实现一站式后勤智能管理，完成对能耗指标的量化、可视化以及效能可评估，并分析效能建立智能决策模型，进而实现对能耗的智能化、精细化管理以及对决策控制的优化。最终，通过智慧化手段——“数据治理”来实现“降低能耗、增效减排”的目标。

针对医院外科楼空调系统节能控制、外科楼地下室智慧照明节能控制、外科楼地下用水管线三大应用场景分别建立“智能决策系统”。该系统包含：布置传感器实时获取关键节点数据、对实时数据进行三维视觉建模并可视化、基于因子分析建立不可篡改的分布式数据库通过大数据挖掘算法来建立节能优化策略。最终，通过智慧化手段——“数据治理”来实现“降低能耗、增效减排”的目标。

一、案例背景

1. 研究背景及意义

虽然近年来全球碳排放量的增长速度有所放缓，但全球二氧化碳排放量仍未到达顶峰，意味着未来气候变化问题依旧严峻。气候变化对人类赖以生存的自然环境产生了破坏性的影响，包括极端天气事件的增多、海平面上升、农作物生长受影响等，因此控制碳排放以减缓全球气候变暖，



从而促进人类社会健康发展成了重要的全球议题。

2021年10月，中共中央、国务院发布《关于完整准确全面贯彻新发展理念，做好碳达峰碳中和工作的意见》，旨在完整、准确、全面贯彻新发展理念，做好碳达峰、碳中和工作。《意见》明确了绿色低碳循环发展、经济社会发展全面绿色转型等方面的具体目标，包括：到2025年单位GDP二氧化碳排放比2020年下降18%，到2030年森林覆盖率达到25%左右，到2060年非化石能源消耗比重达到80%以上等；并从推进经济社会发展全面绿色转型、深度调整产业结构、加快构建清洁低碳安全高效能源体系等方面提出35项具体工作内容。2021年10月，国务院关于印发《2030年碳达峰行动方案的通知》旨在扎实推进碳达峰行动。《行动方案》明确了“十四五”与“十五五”期间推进碳达峰行动的主要目标，明确重点实施能源绿色低碳转型行动、节能降碳增效行动、工业领域碳达峰行动、城乡建设碳达峰行动、交通运输绿色低碳行动、循环经济助力降碳行动、绿色低碳科技创新行动、碳汇能力巩固提升行动、绿色低碳全民行动、各地区梯次有序碳达峰行动等“碳达峰十大行动”。2021年12月《国务院关于印发“十四五”节能减碳综合工作方案的通知》，旨在加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系，推进经济社会发展全面绿色转型。《方案》提出到2025年全国单位国内生产总值能源消耗比2020年下降13.5%等目标，并从实施节能减碳重点工程等三方面提出实施城镇绿色节能改造工程、坚决遏制高耗能高排放项目盲目发展等21项工作任务。

随着中国经济的高速发展，医院建设也加快了发展速度。截至2021年11月底，中国医疗卫生机构数量104.4万个，其中医院3.6万个，基层医疗卫生机构99.0万个，专业公共卫生机构数1.4万个。而“十四五”规划开局后，“双碳”战略明显加速，大力推动节能减碳，加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系，推进经济社会发展全面绿色转型，助力实现碳达峰、碳中和目标。此外，在《“十四五”节能减碳综合工作方案》中明确，到2025年，全国单位国内生产总值能源消耗比2020年下降13.5%。因此，在节能降耗和“碳中和”的大环境影响下，为了推进医院建设向更加安全、高效、低碳、环保的方向高质量发展，医院建设与发展也要随之向绿色低碳转型。

医院因其结构庞大且科室繁多而复杂，医疗环境除了合理的医疗布局和高配置的医疗系统外，舒适的就医与治疗环境也是不可或缺的重要因素。因此，为了营造健康可靠的医疗环境，以及在节能降耗和“碳中和”的大环境影响下，其对于所运行的中央空调提出了很高的要求：稳定性、舒适性、节能环保缺一不可。能源管理作为现代医院管理的重点内容，也是医院建设中后勤管理



的核心部分。然而，由于能源管理技术、模式机制的局限性，国内医院普遍存在着较为严重的电能浪费问题。这一问题，严重影响着众多医院日常运营的经济效益。国家“十三五”规划明确提出“要充分利用现代化技术，做好节能减排工作，实现能耗综合治理”。目前，节能减排已上升成为国家性质的重要研究课题。因此，本研究团队进一步思考：如何在大型综合医院的快速发展过程中，在不影响医院的医疗质量与患者就医体验、满足医院日常工作需要的前提下，尽可能降低医疗机构的综合能耗，实现医院高质量发展。

2. 主要执行团队

课题组成员共计 16 人，其中高级职称 8 人、中级职称 3 人、初级职称 2 人，博士后 1 人、博士生 3 人，硕士生 6 人，硕士生 6 人，参加单位 4 个，成员分工分别包括：项目总策划、组织协调与信息安排、规划实施与项目落地、智慧相关技术方法应用、方法学提供、监督与调配、总务资源管理与统管、成效评价与报告发布、总务细化项目管理、联络与周转、督办 BIM 项目执行、赞助与技术支持、相关新技术应用、联络与周转。

二、实践举措

（一）实施路径

1. 课题的实施过程

(1) 课题准备阶段（2022 年 12 月 31 日—2023 年 2 月 28 日）：课题立项，撰写课题研究计划项目准备阶段，同时兼含有本研究综合能耗管理数据收集（后勤智能化综合节能云平台干预前的三大实验场景数据收集），并在这一时期，完成针对本研究项目评价指标体系两轮专家咨询（DELPHI 法）。

(2) 课题启动阶段（2023 年 3 月 1 日—2023 年 4 月 1 日）：成立课题组，编写开题报告项目准备阶段，在该阶段，已联系课题相关成员成立了课题组，开展了开题报告的编写工作。

(3) 课题实施阶段（2023 年 4 月 1 日—2023 年 11 月 30 日）：开展课题研究，编写中期报告项目建设完成后数据收集与分析阶段，该阶段完成后后勤智能化综合节能云平台干预后运行的三大实验场景各评价指标下的数据收集，并采用基于环境因素的多元回归校正模型对干预的其他混杂因素进行校正，从而得到科学结果。

(4) 课题总结阶段（2023 年 12 月 1 日—2024 年 2 月 1 日）：总结课题研究过程，撰写结题报告，



申请结题项目评价与总结阶段在前两阶段的基础上，对评价结果进行专家论证，并听取专家对本课题研究的总体评价，总结课题经验与项目问题，为国内医院后勤智慧管理与绿色医院建设提供完整的实证参考。

2. 研究目标和内容

本研究拟通过针对北京大学深圳医院外科楼的智慧后勤目标三大场景（外科楼空调系统节能控制、外科楼地下室智慧照明节能控制、外科楼地下用水管网）的建设示范研究，从而解决三个层面的医院后勤关键性问题：

（1）管理层：人工手动操作空调、照明、IDC 以及办公系统的运行，无节能自动控制系统，导致管理不够精细、对能耗造成奢侈浪费等问题。

（2）运维层：无法量化及可视化后勤设备能耗数据而导致的设备损坏后故障排查、修复困难的问题。

（3）研究层：如何通过合理的研究设计，获取相关数据，探索影响外科楼三大场景的能耗影响因素，并科学证实其干预有效性的问题。

本研究的目的是通过建立“后勤智能化综合节能云平台”从而实现一站式后勤智能管理，完成对能耗指标的量化、可视化以及效能可评估，并分析效能建立智能决策模型，进而实现对能耗的智能化、精细化管理以及对决策控制的优化。最终，通过智慧化手段—“数据治理”来实现“降低能耗、增效减排”的目标。

本研究将以北京大学深圳医院智慧后勤建设工作为主体内容，围绕公立医院在“双碳”背景下节能工作策略，对外科楼空调系统、照明系统、地下管网三大应用场景进行深入研究，同时强调理论与实践相结合，涵盖节能工作前期策划、筹资到后期运营管理等方面。总结智慧医院与后勤管理等相关技术经验，建设“绿色医院”智慧后勤典范，为推进公立医院高质量绿色发展提供有益支撑。

（二）具体举措

1. 研究思路

北京大学深圳医院秉承“数据治理、节能增效”的思想，基于物联网、数字孪生、区块链、大数据、人工智能以及“云”平台等技术，针对医院外科楼空调系统节能控制、外科楼地下室智慧照明节能控制、外科楼地下用水管线三大应用场景分别建立“智能决策系统”，该系统包含：布置传感



器实时获取关键节点数据、对实时数据进行三维视觉建模并可视化、基于因子分析建立不可篡改的分布式数据库、通过大数据挖掘算法来建立节能优化策略。并且构建“后勤智能化综合节能云平台”（云平台），该平台可根据获取的空调、照明、水路管网优化策略来控制各自的系统（图1），并可对过程进行可视化以及实时效果评估。

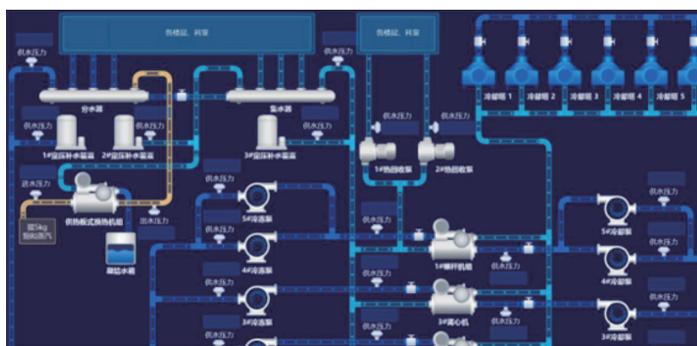


图1 智慧后勤 BIM 可视化监控系统—以中央空调监测为例

三大场景（医院外科楼空调系统、外科楼照明系统、外科楼用水管线）通用技术路线示意图如图：

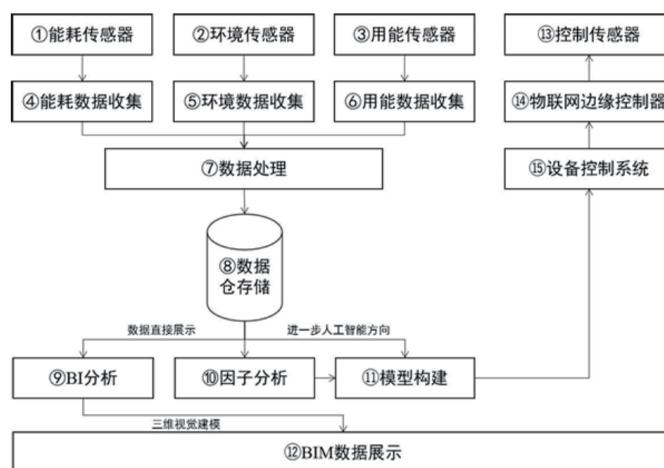


图2. 三大场景通用技术路线示意图

图2 三大场景通用技术路线示意图

2. 研究方法（技术路线）

本研究主体参考类实验研究思路，将北京大学深圳医院后勤智能化综合节能云平台的建设与应用作为技术干预，通过 BIM 平台数据收集干预实施前与干预实施后的各项指标数据（该指标通过两轮 DELPHI 法进行确定）。继而通过分析讨论影响节能减排的相关因素，采用基于环境因素的多元回归校正模型对影响指标的相关外界环境因素进行混杂调整，从而最终得到较为可靠的结论。最后还将采用敏感性分析对不同科室及应用场景进行分析，总结相关有益经验。



本研究总体技术路线图如下：

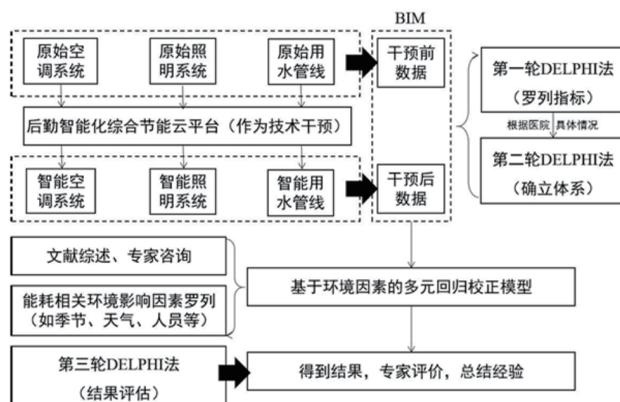


图 3 本研究总体技术路线图

（三）资源配置

经费来源及保障，本研究项目课题经费来源有二：

1. 北京大学深圳医院智慧医院研究院项目基金（简称“智研基金”），该基金为北京大学深圳医院关于全院智慧化项目建设专门设立的科研基金，其成分包含：北京大学深圳医院科研经费、广东省高水平医院项目经费以及社会捐赠等。目前总经费初步估算约在 2000 万以上，可以为课题提供强大的经济保障。

2. 联合申报企业赞助，本研究课题联合申报的三家企业均为医院管理与建设的资深企业，且在行业内具有较高的信誉度，愿意为本研究提供一定的资金，帮助课题顺利完成。

（四）难点风险

1. 课题研究存在的问题或局限性

（1）时间问题：本研究开展限定仅一年时间，一方面干预前数据由于传感器安装工程早于节能减排措施仅一个月，因此干预前留存相对较少（仅有 2023 年 6 月的数据作为干预前数据），可能导致结果存在少量偏倚；另一方面为克服环境混杂的影响，采用多元线性回归模型分析，虽然对其数据处理及统计分析的技术含量较高，但依然具有一定的局限性（若项目能多些时间，采用第二年或多几年同期能耗数据进行干预前后的比较，其研究结果会更有说服力）。此外，由于时间关系，地下管网工程进度未达到预期，水量数据采集还在进行中。

（2）评估问题：本研究具有较多亮点技术（如“窗磁联动”、地下管网节能）有待进行卫生技术评估，需要更多的运行时间数据收集检验后，方能得到更为完善的结果。

（3）转化问题：项目具有较多的创新及亮点，如：如何将创新及应用推动产业联动，值得思



考。在医院与企业联合实施过程当中，其实施路径、方法创新、专利及标准共享等问题。

2. 节能减排课题风险识别及应对

序号	风险描述	类型	应对策略
1	项目周期为1年，项目阶段分为干预前、干预中和干预后三个阶段，分别时间1.5个月、2个月、4个月	加装风险	前期的涉及到的三大系统进行加装改造，需要后勤总务（钟科）的支持与配合
2	能耗管理与控制涉及的三大系统的监测与管理，对于最终的目标界定比较模糊	目标风险	这个项目是关注于科研项目，还是要真正的落地；如果要出真正的效果，那么必须加装对空调、照明及管网的控制组件，成本非常高；如果只是科研的效果，通过实证研究，可以考虑只做一层的数据，具体方案： ① 照明，做一层，其他层来对比； ② 管网做地下，趋势对比； ③ 空调作为用能大户，侧重于主机控制（窗磁联动与控制——末端节能，做几层，用其他层做对比分析）； 如要改动主机、冷却塔、水和风，则成本太高
3	业务人员和技术人员的知识背景不同，容易产生需求理解和表达的偏差	过程风险	通过沟通管理机制保障
4	项目紧、任务重，对于数据的信度、效度等产出数据的质量如何还是存疑	过程风险	加快人员投入、对于数据的质量需要专人专盯

图4 风险识别及应对

三、建设成效

（一）课题研究成果与收获

1. 课题成果的呈现形式及描述

①成果一：论文发表基于本研究，已撰写中文文章两篇，其中发表一篇综述型文章，研究型文章在投一篇。发表文章题为“BIM在医院后勤管理中的应用综述”，发表于《中国医院建筑与装备》杂志（详见学术成果1）。下图为录用证明：

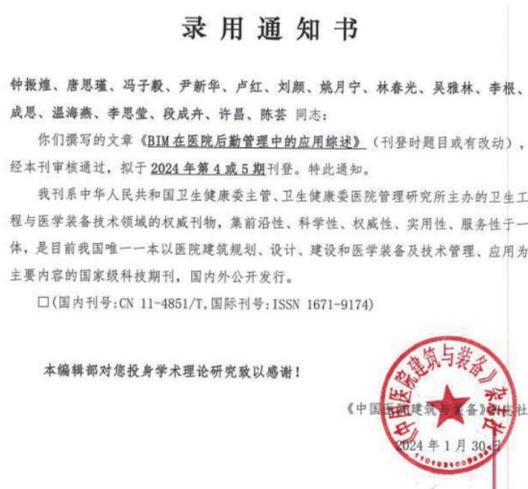


图4. 《中国医院建筑与装备》杂志文章录用证明

图5 《中国医院建筑及装备》杂志文章录用证明

②成果二：实施路径报告根据本研究，已形成围绕绿色医院“双碳”实施路径报告一份（含适用性分析报告）。

2. 定性和定量指标的检验方法

①定性研究及方法：基于 Delphi 法对外科楼三大能耗场景影响内外部影响因素指标的探究本研究将结合文献材料与专家意见共同汇总来确定三大场景下的能耗影响因素，将进行两轮 Delphi 法，且每次 Delphi 法的小组讨论后，还要再单独一对一进行函询复核，以保证课题质量。第一轮 Delphi 法在腾讯会议小组讨论后，向 20 位专家进行函询，发出咨询表 20 份，回收 20 份，有效回收 20 份，回收率与有效回收率均为 100%，且 20 份的结果与小组会议意见一致。第二轮在小组会议结束后，发出咨询表 20 份，回收 18 份，有效回收 17 份，回收率为 90%，有效回收率为 85%。一般认为 50% 的积极系数是用来做所有分析研究的门槛比例，而若专家积极系数超过 70% 则认为是较好的结果。

表 1 专家咨询小组关于三大场景影响因素函询回收情况表

轮次	专家总数	回收数	有效回收数	回收率	有效回收率
第一轮	20	20	20	100%	100%
第二轮	20	18	17	90%	85%

根据文献收集与专家初始意见汇总，列举基于空调、照明、地下管网三大场景的所有可能性因素作为基础讨论范围。最终，通过两轮专家咨询，形成如下成果意见：一方面，考虑各因素数据的重要性与可获取性，从初始指标当中筛选出了关键性因素（专家纳入率不低于 60%），另一方面，对因素进行了进一步的分类，明确了本研究三大场景各自的内部影响因素（可控）与外部影响因素（不可控，但可获取资料），汇总情况如下：

需要说明的是，本研究由于受到研究周期限制，计划实施一项分不同时间段的干预性研究，其对比为干预前后时间内（以日为最小评价颗粒度单位），在校正混杂因素之后，各场景的能耗情况。因此，筛选的因素将根据本次专项研究的综合需求制定。我们初步将内部影响因素作为本次研究干预实施的参考或补充意见，以此为基础，联合技术方制定综合干预计划，并对其进行回归模型校正后再评估。而外部影响因素则认为是影响本研究的混杂因素，将作为回归模型的校正因素，作为协变量带入回归模型，从而保证干预措施（作为主变量）评价的准确性。



表 2 基于 Delphi 法的三大场景内外部影响因素指标一览表

类别/场景	空调	照明	地下管网
内部因素 (可控, 作为综合干预技术点)	室内设计温度 (纳入率: 100%)	节能灯具应用 (纳入率: 100%)	供水进水点 (纳入率: 95%)
	新风量 (纳入率: 100%)	开关时间 (纳入率: 100%)	主管道压力 (纳入率: 90%)
	冷水供回水温差 (纳入率: 95%)	感应开关 (纳入率: 95%)	支路数量 (纳入率: 90%)
	冷源效率 (纳入率: 90%)	照明亮度设计 (纳入率: 95%)	管路过滤网杂质清洗 (纳入率: 80%)
	外墙传热系数 (纳入率: 85%)	应急照明设计 (纳入率: 85%)	异常用水监测 (纳入率: 80%)
	水泵效率 (纳入率: 80%)	照明回路设计 (纳入率: 80%)	主—支平衡 (纳入率: 75%)
	外窗遮阳系数 (纳入率: 80%)	照明功率密度 (纳入率: 80%)	暗埋管道定位 (纳入率: 75%)
	风机效率 (纳入率: 75%)		
	外窗传热系数 (纳入率: 70%)		
	照明密度 (纳入率: 65%)		
外部因素 (不可控, 但可获取数据资料, 作为校正因素)	当日平均气温 (纳入率: 100%)	当日自然光照时间 (纳入率: 100%)	当日实际住院量 (纳入率: 95%)
	当日平均湿度 (纳入率: 95%)	当日自然光照平均强度 (纳入率: 100%)	当日门急诊量 (纳入率: 90%)
	当日为工作日或周末 (纳入率: 95%)	当日实际住院量 (纳入率: 90%)	当日手术人数 (纳入率: 90%)
	当日实际住院量 (纳入率: 95%)	当日门急诊量 (纳入率: 90%)	规范大型设备使用率 (纳入率: 90%)
	当日门急诊量 (纳入率: 95%)	当日手术人数 (纳入率: 90%)	当日为工作日或周末 (纳入率: 85%)
	当日手术人数 (纳入率: 95%)	是否施工日 (纳入率: 90%)	当日平均气温 (纳入率: 75%)
	规范大型设备使用率 (纳入率: 90%)	当日平均气温 (纳入率: 80%)	当日平均湿度 (纳入率: 70%)
	是否施工日 (纳入率: 90%)	当日平均湿度 (纳入率: 70%)	是否施工日 (纳入率: 70%)
		当日为工作日或周末 (纳入率: 70%)	

②定量研究及方法：基于多元线性回归模型的外科楼能耗场景节能减排应用干预效果分析。

需说明：本研究照明与空调两大用电能耗场景的节能减排工程于 2023 年 6 月 27 日左右完成，并随即投入应用。由于传感器 5 月底完工，为方便后续研究对比，本研究数据自 6 月 1 日开始，至 2024 年 1 月 31 日。因此，将 2023 年 6 月 1 日—2023 年 6 月 30 日作为干预前，2023 年 7 月—2024 年 1 月作为干预后，以天为最小研究样本单位，进行相关数据收集与整理（干预前 30 天；干预后 215 天；合计 245 天），其分析内容如下：



(注：连续型变量结果保留两位小数，但实际描述人数或台数的情况除外，统计量与显著性结果保留三位小数；同时，所有检验标准均采用双尾检验标准，且在 $P < 0.05$ 的水准上认为其有显著性差异。)

表 3 外科楼照明耗电量及相关因素描述性分析与单因素检验表

变量 / 统计量	最大值	最小值	均值	标准差	t/U 值	P 值
外科楼当日住院人数 (人)	1041	302	877.26	125.02	12.592	<0.001**
外科楼当日手术量 (台)	163	14	86.10	49.07	64.293	<0.001**
全院当日门急诊例数 (人次)	10191	2460	7739.11	1659.71	62.271	<0.001**
当日为工作日/周末/节假日 [△]	-	-	-	-	70.114	<0.001**
外科楼开机大型设备台数 (台)	19	10	16.68	2.85	69.120	<0.001**
当日最高温度 (°C)	12	39	28.50	4.80	68.421	<0.001**
是否为干预期 [△]	-	-	-	-	70.078	<0.001**
当日外科楼照明耗电量 (Kwh) #	595.21	4844.42	1095.43	244.43	-	-

*: $P < 0.05$, **: $P < 0.01$

#: 因变量 (其他变量为自变量)

△: 分类自变量 (因此无最大值、最小值、均值及标准差)

表 4 外科楼空调耗电量及相关因素描述性分析与单因素检验表

变量 / 统计量	最大值	最小值	均值	标准差	t/U 值	P 值
外科楼当日住院人数 (人)	1041	302	877.26	125.02	32.633	<0.001**
外科楼当日手术量 (台)	163	14	86.10	49.07	34.642	<0.001**
全院当日门急诊例数 (人次)	10191	2460	7739.11	1659.71	14.113	<0.001**
当日为工作日/周末/节假日 [△]	-	-	-	-	34.849	<0.001**
外科楼开机大型设备台数 (台)	19	10	16.68	2.85	34.816	<0.001**
当日最高温度 (°C)	12	39	28.50	4.80	34.791	<0.001**
是否为干预期 [△]	-	-	-	-	34.844	<0.001**
外科楼当日空调耗电量 (Kwh) #	3182.48	27354.46	13487.74	6058.84	-	-

*: $P < 0.05$, **: $P < 0.01$

#: 因变量 (其他变量为自变量)

△: 分类自变量 (因此无最大值、最小值、均值及标准差)

表 3 及表 4 分别为外科楼照明与外科楼空调耗电量及相关因素描述性分析与单因素检验表。在检验过程中，我们严格按照统计方法标准对数据进行处理：连续型正态数据采用 t 检验，非正态数据采用 U 检验，分类数据变量采用卡方检验。通过表 3 和表 4，我们可以看到以上七个自变



量数据（外科楼当日住院人数、外科楼当日手术量、全院当日门急诊例数、当日为工作日 / 周末 / 节假日、外科楼开机大型设备台数、当日最高温度、是否为干预期）在单因素检验当中均与两个因变量数据（外科楼当日照明耗电量、外科楼当日空调耗电量）之间存在显著差异，说明七个因素均有可能为两大能耗场景下的影响因素。

相关性分析（Pearson 检验）结果：表 5 为外科楼当日照明 / 空调耗电量及其因素相关性检验矩阵。由表可知，与外科楼当日照明耗电量相关的因素有：是否为干预期（Pearson 系数: -0.201, P 值: 0.002）；与外科楼当日空调耗电量相关的因素有：外科楼开机大型设备台数（Pearson 系数: 0.721, P 值: < 0.001）、当日最高温度（Pearson 系数: 0.723, P 值: < 0.001）、是否为干预期（Pearson 系数: -0.321, P 值: < 0.001）。

表 5 外科楼当日照明 / 空调耗电量及其因素相关性检验矩阵

变量/统计量/变量		外科楼当日住院人数	外科楼当日手术量	全院当日门急诊例数	当日为工作日、周末或节假日	外科楼开机大型设备台数	当日最高温度	是否为干预期	外科楼当日照明耗电量	外科楼当日空调耗电量
外科楼当日住院人数	Pearson 系数	-	0.661**	0.732**	-0.803**	0.037	-0.031	-0.014	0.029	0.092
	P 值	-	<0.001	<0.001	<0.001	0.568	0.633	0.830	0.654	0.149
外科楼当日手术量	Pearson 系数	0.661**	-	0.895**	-0.903**	-0.005	0.009	-0.001	0.074	0.071
	P 值	<0.001	-	<0.001	<0.001	0.940	0.886	0.988	0.248	0.267
全院当日门急诊例数	Pearson 系数	0.732**	0.895**	-	-0.907**	-0.132*	-0.091	0.040	0.031	-0.060
	P 值	<0.001	<0.001	-	<0.001	0.040	0.155	0.529	0.627	0.352
当日为工作日、周末或节假日	Pearson 系数	-0.803**	-0.903**	-0.907**	-	0.011	0.056	-0.021	-0.079	-0.056
	P 值	<0.001	<0.001	<0.001	-	0.860	0.381	0.747	0.219	0.386
外科楼开机大型设备台数	Pearson 系数	0.037	-0.005	-0.132*	0.011	-	0.821**	-0.304**	0.060	0.721**
	P 值	0.568	0.940	0.040	0.860	-	<0.001	<0.001	0.348	<0.001
当日最高温度	Pearson 系数	-0.031	0.009	-0.091	0.056	0.821**	-	-0.239**	0.087	0.723**
	P 值	0.633	0.886	0.155	0.381	<0.001	-	<0.001	0.177	<0.001
是否为干预期	Pearson 系数	-0.014	-0.001	0.040	-0.021	-0.304**	-0.239**	-	-0.201**	-0.321**
	P 值	0.830	0.988	0.529	0.747	<0.001	<0.001	-	0.002	<0.001
外科楼当日照明耗电量	Pearson 系数	0.029	0.074	0.031	-0.079	0.060	0.087	-0.201**	-	0.058
	P 值	0.654	0.248	0.627	0.219	0.348	0.177	0.002	-	0.362
外科楼当日空调耗电量	Pearson 系数	0.092	0.071	-0.060	-0.056	0.721**	0.723**	-0.321**	0.058	-
	P 值	0.149	0.267	0.352	0.386	<0.001	<0.001	<0.001	0.362	-

*: P<0.05, **: P<0.01

表 6 为外科楼当日照明耗电量线性回归模型结果。通过该表，我们看到，能够影响外科楼当日照明耗电量的独立影响因素为：全院当日门急诊例数（系数: 0.056, P 值: 0.049）、当日为周末（系数: -297.343, P 值: 0.034）、当日为节假日（系数: -378.601, P 值: 0.034）、是否为干预期（系数 -150.734, P 值: 0.003）。回归结果充分表明在排除了其他混杂因素后，节能减排干预对外科楼照明能耗产生了十分显著的节约效果，从而证明了节能减排干预的有效性。



表 6 外科楼当日照明耗电量多元线性回归模型

变量 / 统计量	系数	标准误	t 值	P 值	95%置信区间
外科楼当日住院人数	0.015	0.269	0.061	0.956	-0.514 ~ 0.544
外科楼当日手术量	-0.809	1.177	-0.693	0.493	-3.128 ~ 1.510
全院当日门急诊例数	0.056	0.028	1.983	0.049*	0.002 ~ 0.112
当日为工作日、周末或节假日					
对照组: 工作日				(对照组)	
哑变量组 1: 周末	-297.343	139.340	-2.132	0.034*	-571.858 ~ -22
哑变量组 2: 节假日	-378.601	177.521	-2.132	0.034*	-728.330 ~ -28.874
外科楼开机大型设备台数	-15.858	10.407	-1.521	0.129	-36.360 ~ 4.645
当日最高温度	8.587	5.868	1.462	0.145	-2.975 ~ 20.148
是否为干预期	-150.734	49.353	-3.052	0.003**	-247.963 ~ -53.505

*: P<0.05, **: P<0.01

表 7 为外科楼当日空调耗电量线性回归模型结果。通过该表，我们看到，能够影响外科楼当日照明耗电量的独立影响因素为：全院当日门急诊例数（系数：1.334，P 值：0.014）、外科楼开机大型设备台数（系数：524.468，P 值：0.002）、当日最高温度（系数：597.929，P 值：< 0.001）、是否为干预期（系数 -2281.487，P 值：0.004）。回归结果充分表明在排除了其他混杂因素后，节能减排干预对外科楼空调能耗产生了十分显著的节约效果，证明了节能减排干预的有效性。

表 7 外科楼当日空调耗电量多元线性回归模型

变量 / 统计量	系数	标准误	t 值	P 值	95%置信区间
外科楼当日住院人数	3.554	4.311	0.822	0.411	-4.940 ~ 12.048
外科楼当日手术量	24.182	18.876	1.281	0.201	-13.006 ~ 61.369
全院当日门急诊例数	1.334	0.456	2.927	0.014*	0.435 ~ 2.232
当日为工作日、周末或节假日					
对照组: 工作日				(对照组)	
哑变量组 1: 周末	-1450.386	2234.458	-0.652	0.517	-5852.416 ~ 2951.645
哑变量组 2: 节假日	-4495.573	2846.737	-1.584	0.116	-10103.840 ~ 1112.694
外科楼开机大型设备台数	524.468	166.891	3.140	0.002**	-195.681 ~ 853.256
当日最高温度	597.929	94.107	6.352	<0.001**	412.531 ~ 783.326
是否为干预期	-2281.487	791.431	-2.883	0.004**	-3840.659 ~ -722.315

*: P<0.05, **: P<0.01



（二）学术成果

1. 《中国医院建筑与装备》杂志已发表文章。

附录一：已发表文章 — 《中国医院建筑与装备》杂志

BIM 在医院后勤管理中的应用综述

钟振煌¹ 唐思瑾² 冯子毅¹ 尹新华¹ 卢红³ 刘颜³ 姚月宁¹ 林春光¹ 吴雅林³
李根⁴ 成思³ 温海燕³ 李思莹³ 段成卉⁵ 许昌³ 陈芸³

【摘要】BIM（建筑信息模型）作为一种先进的数字化技术，在医院建设和后勤管理方面具有广泛的应用前景。文章介绍了国内外 BIM 技术在医院后勤管理领域的发展情况，包括相关政策法规的出台、典型案例的引入和推广应用的成果。详细阐述 BIM 技术在医院后勤管理中的技术功能和运维策略，总结 BIM 技术在医院后勤管理中的重要作用，并提出未来发展的趋势。研究结果表明，BIM 技术可以有效提升医院后勤管理的效率和质量，为医院的顺利运营和健康发展提供了可行的解决方案。

【关键词】 医院管理，医院建设，BIM+，智慧后勤

图 6 《中国医院建筑及装备》杂志文章

2. 获国家卫健委医院管理研究所立项课题：

《公立医院“双碳背景下”绿色医院建设的方向》（全国 276 家医院参报，13 家医院立项，通过率不足 5%）：北京大学深圳医院最终荣获优秀结题（全国五家）。



图 7 课题结题证书及优秀论文评选一等奖

3. 获《中国医院院长》杂志举办的公立医院后勤建设与管理大会

《基于 BIM 技术的智慧医院后勤管理实践——以北京大学深圳医院为例》荣获大会优秀论文评选一等奖。

4. 标准制定：《全国卫生产业企业管理协会》

医院智慧后勤建设指南——规划中

序号	标准名称	组织协会	担任角色	状态
1	智慧医院医疗材料精细化管理应用标准	全国卫生产业企业管理协会	主编单位	已发布
2	智慧医院管理型大数据应用标准	全国卫生产业企业管理协会	主编单位	已立项
3	智慧医院数字化应用标准	全国卫生产业企业管理协会	副主编单位	已发布
4	互联网医院电子处方流转及配送标准	全国卫生产业企业管理协会	副主编单位	已发布
5	电子病历与临床路径建设标准	全国卫生产业企业管理协会	主编单位	已立项
6	面向人工智能辅助诊断的临床应用与验证技术规范	深圳市人工智能行业协会	主编单位	已发布
7	智慧医院临床实验室建设与管理指南	全国卫生产业企业管理协会	参编单位	已发布
8	区域医学中心建设指南	全国卫生产业企业管理协会	主编单位	待开标
9	医院智慧后勤建设指南	全国卫生产业企业管理协会	主编单位	编制中
10	医疗机构医养结合服务的管理规范	国家卫生健康委员会医院管理研究所	起草单位	已发布
11	国家卫生健康委员会智慧管理与服务规范	国家卫生健康委员会医院管理研究所	起草单位	已发布
12	养老机构医养结合服务的品质规范	国家卫生健康委员会医院管理研究所	起草单位	已发布
13	社区嵌入式医养结合服务的品质规范	国家卫生健康委员会医院管理研究所	起草单位	已发布
14	医疗机构医养结合服务的品质规范	国家卫生健康委员会医院管理研究所	起草单位	已发布

图8 《医院智慧后勤建设指南》——规划中

5. 荣获深圳市卫生健康委评审的“2023年度深圳市绿色医院评审达标表彰单位”，并向市绿色生活创建行动指导委员会办公室推荐为2023年度深圳市绿色医院创建示范单位。

深圳市卫生健康委员会

市卫生健康委关于2023年度深圳市绿色医院评审结果的通报

各区卫生健康委、市属各相关医院：
为贯彻落实《深圳市“十四五”时期“无废城市”建设实施方案》《2023年深圳市“无废城市”建设指标体系和任务清单》《关于印发〈深圳市2023年度生态文明建设考核实施方案〉的通知》（深生考〔2023〕1号）要求，按照市绿色生活创建行动指导委员会的统一部署，我委印发《市卫生健康委关于组织开展2023年深圳市绿色医院评审工作的通知》，并组织完成了2023年度深圳市绿色医院评审工作。现将评审结果和有关情况通报如下：

一、基本情况

（一）参评医院。
2023年度，全市共有16家医院申报绿色医院评审，其中三级综合医院11家、三级专科医院1家、三级中医院4家。
（二）评审标准。
本次评审以深圳市《绿色医院评价规范》（DB4403/T374-2023，以下简称“地标”）为标准。评审标准包含基本要求、环境与设施设备、绿色管理、绿色绩效等四个方面的内容。其中基本要求实行一票否决，其余三项分别根据条款设置和各指标重要程度赋

予不同分值。

（三）评审程序。

我委组织相关领域专家组成绿色医院评审专家组，采取材料审核和现场核查相结合的方式，对参评医院进行评审。各参评医院报送的数据材料经专家质控和现场核查，汇总分析后进行统一评分。

二、绿色医院评审结果

申报参评的16家医院平均分84.1分，其中得分最高的医院为中国医学科学院阜外医院深圳医院（92.19分），得分最低的医院评分73.61分，各参评医院评审结果见附件。

依据《绿色医院评价规范》（DB4403/T374-2023）“评价分值达到85分及以上的，视为达到深圳市绿色医院评价标准”规定，中国医学科学院阜外医院深圳医院、深圳大学附属华南医院、北京中医药大学深圳医院（龙岗）、深圳市萨米医疗中心、**北京大学深圳医院**、**深圳市前海蛇口自贸区医院**、深圳市龙岗中心医院、深圳市中西医结合医院共8家评分在85分以上的医院评为2023年度深圳市绿色医院评审达标单位。

三、绿色医院评审结果分析

整体上看，各参评医院均建立了绿色医院基本组织架构和管理制度，整体环境卫生整洁，舒适度良好，患者就医流程有序、便捷；节能、环保和环保设备及措施在参评医院中得到普遍应用；环境知识在医院得到广泛普及；消防安保设施普遍完善；医院在利用可再生能源方面取得积极进展；医疗废物分类收集处置、医疗污水处理能够严格执行有关规定；参评医院均能提供日间手术。

附件

2023年度深圳市绿色医院评审结果

表1 2023年度深圳市绿色医院评审85分以上单位

序号	医院名称	奖牌
1	中国医学科学院阜外医院深圳医院	表彰
2	深圳大学附属华南医院	表彰
3	北京中医药大学深圳医院（龙岗）	表彰
4	深圳市萨米医疗中心	表彰
5	北京大学深圳医院	表彰
6	深圳市前海蛇口自贸区医院	表彰
7	深圳市龙岗中心医院	表彰
8	深圳市中西医结合医院	表彰

表2 2023年度深圳市绿色医院评审通报表彰单位（排名不分先后）

序号	医院名称	奖牌
1	深圳市罗湖区中医院	表扬
2	深圳市人民医院	表扬
3	深圳市第三人民医院	表扬
4	深圳大学总医院	表扬
5	深圳市宝安区人民医院	表扬
6	深圳市宝安区中心医院	表扬
7	深圳市宝安区福永人民医院	表扬
8	深圳市宝安区石岩人民医院	表扬

图9 获评2023年度深圳市绿色医院评审达标表彰单位

四、经验总结

（一）后续研究：本研究涉及后勤管理的诸多方面，项目亦可进行二次开发及研究（如联合医院 HIS、LIS、PACS 等多系统数据进行开发，继续探索相关能耗影响因素；如窗磁联动与地下管网节水项目的卫生技术评估），因此，后续研究前景广阔。

（二）范式推广：本研究基于北京大学深圳医院的智慧后勤建设实践，充分展示了医院后勤管理智慧化成效。并联合本院信息中心、智慧医院研究院等多个职能与科研部门进行研究，展现



了良好的团队协作精神。同时，其研究范式与管理架构及成果亦值得在全国医院进行推广。

（三）标准确立：本研究完成后，团队成员提出应基于研究成果，联合权威机构及相关单位，尽早启动关于医院智慧后勤管理方面相关标准的编纂工作。因此，我院希望能够在今后有机会能够主导或主要参与到该类型的标准建设工作中来，为完善国家“双碳”目标而努力。

总结：基于本研究的顺利开展，北京大学深圳医院实现了对应的三大研究目标，即：在管理决策方面，基于改造后的量化数据治理结果，为顶层设计提供节能减排的高效方案；在运营维保方面，基于可视化能耗数据，可以精准定位设备损坏与故障，进行快速排查修复；在科学研究方面，本研究基于科学的统计学模型设计，探索了能耗的影响因素，同时在排除了混杂因素干扰下，证实了干预的有效性。在完成课题之余，构建了一整套高水平、高效能、高质量的智慧医院节能减排系统，能够实时、快捷、智能、精准把握相关智慧医院后勤的数据信息并进行科学管理决策。通过该项目，北京大学深圳医院不仅在深圳率先建立起了优质的智慧医院后勤节能减排样板，也为国家绿色医院“双碳”计划的实施路径提供了有益借鉴与实证参考。

案例撰稿人：

黄培峰（后勤保卫部科员）

