公共建筑能耗影响因素与建筑节能技术应用分析

彭 敏

成都建工集团有限公司 四川 成都 61000

【摘 要】：公共建筑单位面积能耗通常高于居住建筑，运行时段长、用能环节多，一直是建筑节能改造的重点。节能技术能不能省下可验证的电量，前提是先找准这栋建筑能耗究竟由什么主导。本文从外部环境、建筑设计、围护结构、系统运行、管理行为五个层面拆解公共建筑能耗的形成机制，对应给出被动节能、系统高效化、智能化运行和可再生能源替代四类做法，再讨论多因素耦合下技术该怎么集成。基本判断是：公共建筑节能的价值，最终落在“识别因素—对症选技—计量验证—持续优化”这条闭环上，脱离因素分析去堆技术，很难有稳定成效。

【关键词】：公共建筑；建筑能耗；影响因素；建筑节能；技术集成

DOI:10.12417/2811-0528.26.21.037

引言

公共建筑涵盖办公、商业、教育、医疗、文化、交通枢纽等类型，单位面积能耗通常是居住建筑的数倍。这类建筑使用强度高、运行时段长，暖通空调和照明系统几乎全年运转，用能环节与建筑结构之间又彼此牵连，节能问题比住宅复杂得多。实践中常见的情形是：改造项目投入了不少围护保温、高效机组，最终核算的节能量却低于预期。原因往往不在技术本身，而在判断——这栋建筑的能耗到底由哪些因素主导，没先弄清楚。

既有公共建筑存量很大，节能正从单点示范走向规模化落地。单点示范可以靠某一项技术的理论效果，规模化落地却要回答一个实证问题：这项技术用在这栋楼里能不能见效、能省多少。要回答它，只能回到能耗成因。所以本文不打算把节能手段按清单罗列一遍，而是以影响因素识别为主线：先看能耗的构成，再逐层看各因素怎么起作用、作用多大，然后把技术对策逐一对应上去，最后讨论多因素耦合下的集成条件。真要动手改，得先把账算明白，才知道哪笔钱该花在哪。

1 公共建筑能耗的构成与基本格局

1.1 能耗强度与总量特征

公共建筑能耗强度高于住宅，根子在使用强度。人员密度大、照明和办公设备负载高，运行时间长——办公楼空调一开就是整个白天，医院、交通枢纽差不多全天候在用，像医院还得兼顾洁净和常年温湿度，能耗几乎没有多少下调空间。强度通常以单位建筑面积年综合能耗衡量，可对照民用建筑能耗标准里的指标。不同气候区差别很大：严寒和寒冷地区以冬季供热为主，夏热冬暖地区以夏季空调为主，能耗结构和节能方向完全是两回事。功能、规模也拉开差距，同一座城市里商业综合体和学校教学楼，单位面积能耗可能差出很多。节能策略只能跟着具体建筑走，泛泛套一套“公共建筑怎么做”的办法，落不了地。

1.2 能耗结构的构成拆解

从用能端看，公共建筑能耗集中在几大块：暖通空调（供暖、通风、空调）、照明、动力与设备（电梯、给排水、办公设备），加上生活热水，分项口径可参照民用建筑能耗分类标准。暖通空调几乎总占大头，在寒冷和夏热冬冷地区常接近总能耗的一半；照明和动力设备合计也不少，典型构成见图 1。现实里不少楼还共用一块总表，分项计量不到位，钱花在哪、哪里最费电都分不出来。

供暖和空调这两项负荷的性质并不一样。供暖负荷随室外气温走，集中在冬季，主要由围护传热和冷风渗透决定；空调负荷除了围护得热，还叠加人员和设备散热，直接跟着使用强度走。照明和动力相对稳定，按运行时间累积。所以分项占比随功能差别很大：医院、办公建筑暖通占大头；数据中心这类以设备负载为主的楼，动力设备可能反超暖通。分项能耗得逐栋拆，不能拿行业平均数糊弄，拆清楚才知道钱该优先投在哪。这一步做扎实，后面的因素识别和技术选型才不跑偏。

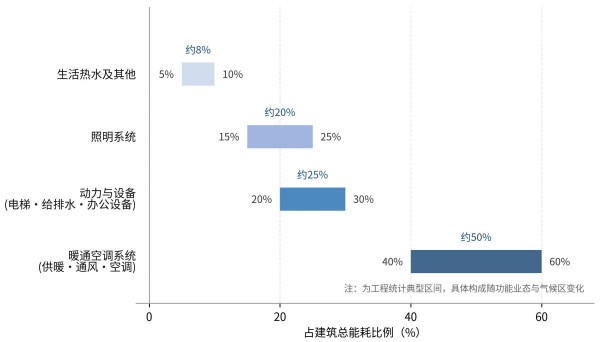


图 1 公共建筑能耗分项构成（典型范围示意）

2 能耗影响因素的逐层解析

公共建筑能耗是好几层因素叠出来的，大致归成外部环境、建筑设计、围护结构、系统运行、管理行为五类（图 2）。各层因素怎么起作用、能不能改，差别很大。识别的时候有个原则：对能耗贡献越大、又越容易改的，越要优先锁定。

2.1 外部因素：气候条件与功能业态

气候区划先把冷热负荷的底子定了：严寒、寒冷地区主打冬季供暖，夏热冬冷地区供暖空调并重，夏热冬暖地区主要靠空调除湿。气候不同，对围护结构热工和系统形式的要求完全是两套。气候区划还连带决定可再生能源好不好用，太阳能资源好的地方，光伏和太阳能热水才划算。功能业态定的是用能时间：医院、数据中心几乎全天候，学校、机关有明确作息，这直接关系到系统能不能做成间歇运行、分区控制。

2.2 设计因素：体形、朝向与平面布局

体形系数越大，单位体积摊到的外表面积越多，围护传热跟着涨，这一条在严寒、寒冷地区尤其明显。朝向和窗墙比管的是太阳得热和采光——朝向对、开窗合理，冬天能进热、夏天好遮阳，白天还能少开灯。进深、层高、功能区划决定暖通怎么分区、自然通风怎么组织，比如进深过大的房间，中间区域采光不足、只能靠人工照明，照明和空调负荷被同时抬高。设计阶段的取舍有“锁定”效应，一旦盖起来，后改的成本远高于当初优化，所以设计因素排在运行手段前面。

2.3 围护结构因素：热工性能与气密性

外墙、屋面、外窗的传热系数决定围护传热损失，外窗和整体气密性决定冷风渗透的附加负荷。北方供暖建筑，保温不足直接放大采暖负荷；夏热冬冷和夏热冬暖地区，外窗遮阳、太阳得热更关键。要注意外窗的传热系数管冬季保温、遮阳系数管夏季防热，两个参数按地区气候权衡，不是哪个越小越好。幕墙、天窗这类大面积透光部位是冷热得热的薄弱点，也最容易被忽略。围护结构因素一直在起作用，改完效果稳定，也好计量。

2.4 系统与运行因素：暖通形式、能效与匹配

暖通系统的形式（集中还是分散、定流量还是变流量）、冷热源能效，以及系统跟建筑搭不搭，决定整个用能系统转得怎么样。集中空调比分散式更考验分区和调节能力，冷热源的能效等级直接决定转换效率。现实里常撞上两类毛病：一是设备选型偏大，机组长期低负荷硬扛，效率很低；二是全年按设计工况跑，负荷变了也不调，水泵风机白耗电。输配能耗在暖通里占不小比例，怎么调是关键。系统这一层节能潜力最集中，能上的手段也最多。

2.5 管理与行为因素：制度、计量与使用者

运行制度（温度设定、开关机策略、维护保养）和分项计量，决定系统实际怎么跑；使用者的习惯（开窗、关灯、停设备）则通过负荷间接影响能耗。温度设定每抬一点或降一点、门窗该关没关，日积月累都是可观的电量。计量跟不上，能耗就是笔糊涂账，运行岗位连异常都看不出来，行为节能自然落不下去。这一层不用添什么大设备，投入小、见效快，可就怕制度坚持不住。



图 2 公共建筑能耗影响因素分层解析框架

3 面向各影响因素的技术对策体系

技术只有对症才值钱。对着主导因素选技术，才谈得上可验证的节能量。下面按前面的因素逐层给对策，对应关系见图 3。

3.1 针对围护结构的被动节能

供暖为主的气候区，外墙外保温、屋面保温隔热、提高外窗热工和气密，能压住传热和冷风渗透；南向、西向这些太阳得热敏感的立面，用固定或可调外遮阳挡夏季空调负荷。改造前先测围护热工和气密，找出漏风、结露点，比盲目加厚保温更对症；外窗换成断桥、Low-E 中空，气密和传热同时改善，是围护改造里见效较直接的单项。保温层厚度得照气候和回收期算，不是越厚越好，厚过头边际效益就掉了；外遮阳也要结合窗墙比、朝向区别对待，兼顾冬天进热。被动措施不依赖运行时间，节能量稳，适合当改造的地基。

3.2 针对暖通系统的高效化

水泵风机上变频，随负荷调流量，省掉恒定流量下的空转；排风、冷凝的热量能回收就回收；冷热源换高效机组，或者干脆上地源、空气源热泵；末端用辐射供冷供暖、变流量，让系统更贴负荷。热回收要挑时候——冬季新风量大、排风热量值钱时用最划算，过渡季用得少就别硬装。变频不能单独上——得跟变流量、压差控制配着来，光变频不动输送策略，省不了多少。系统效率的账要算整体，单台设备标称效率再高，冷热源—输配—末端跑不顺畅也白搭。

3.3 针对运行管理的智能化

分项计量加能耗监测平台，把按系统、按时段、按楼层的能耗数落下来，运行优化才有依据；据此调开关机和温度设定，做间歇运行、分区控制；再靠能源管理制度把责任压到运行岗位。分项得细到系统级——冷热源、输配、末端分开计，跟管理目标挂钩，数据才真能用来诊断、考核。借历史数据做能耗预测和运行优化，也是这一层常见的做法。系统级的分项数据最好跟电费账单、运行记录对得上，否则平台再漂亮也是空架子。平台建起来容易，难在长期维护和数据质量，指标设得太粗，诊断就流于形式。智能化的意义，是把“看不见的能耗”摆到台面上，让人能查、能问责、能改。

3.4 针对能源结构的可再生能源替代

负荷和场地允许，就上光伏、太阳能热水、地源或空气源热泵，用可再生能源顶掉一部分常规能源，供给侧少烧化石燃料。光伏装机别贪大，要照屋顶立面资源、当地日照、负荷时段分布来算，装多了发电利用率反而掉。北方城镇供热条件下，热泵适用与否要算清冷热负荷和地下、空气源条件，不是所有楼都合适。可再生能源上不上、上多少，看资源、负荷和经济性，得跟被动、主动节能一起盘。

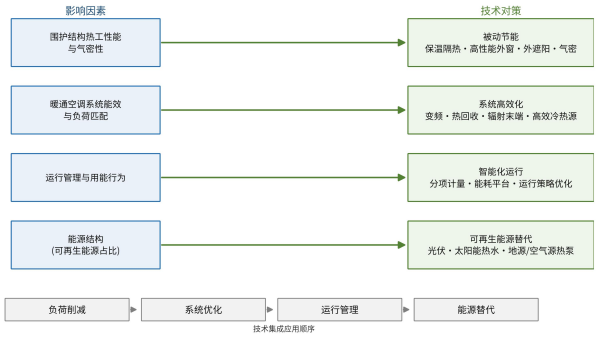


图 3 公共建筑能耗影响因素与技术对策对应关系

在工程落地中，节能技术的实际成效受制于建筑本体条件、运维能力与项目投资，不存在通用最优方案。围护结构被动节能手段常应用于新建建筑，或是既有建筑屋面、外立面专项改造，在寒冷地区能够有效降低采暖负荷。但存量公共建筑大面积实施时，会受到结构安全、外立面审批、不能中断室内运营等条件约束，落地难度偏大；外遮阳、自然采光优化这类轻量化被动措施施工影响小、投入可控，在办公与商业建筑中应用更普遍。

暖通系统提效是公共建筑节能改造的重点方向，磁悬浮冷水机组、空气源/地源热泵、新风热回收、泵与风机变频等已有较多工程案例。实测发现，只有同步做好水力平衡与负荷匹配，冷热源及输配系统能效才能明显提升；如果只更换主机，不对管路、控制逻辑同步调整，通常达不到设备样本标注的节能水平。

能耗监测与楼宇自控正在逐步推广，分项计量平台、分区温控、感光联动照明等手段，可以挖掘运行侧节能潜力。但不少项目存在偏重硬件安装、忽视后续数据运维的问题，监测数据失真，缺少常态化能耗诊断，最终导致智能设备闲置。分布式光伏、太阳能热水更适合屋顶条件较好、日间用电负荷大的公共建筑，依靠自发自用减少外购电量。这类能源输出受季节、天气影响波动明显，发电量需要和建筑负荷时序匹配，仅依靠可再生能源无法大幅降低建筑总能耗。

从工程实践来看，单项节能技术的贡献有限。技术选型应当依托前期能源审计结果，优先改造能耗占比高、投入产出效益好的环节，综合考量施工可行性、现场扰动、投资回收期与长期运维成本，保证节能效果能够实测核验

4 因素的组合作用与技术集成应用

4.1 因素间的耦合与相互制约

因素之间不是各管各的。窗墙比跟遮阳、围护保温跟空调容量、运行制度跟设备选型，都互相咬合：保温上去了，冷热负荷峰值下来，空调系统就能配小一号、配高效一点；反过来，只改围护不动系统，设备过配，省下来的能量又让低效运行吃回去。同样的技术在不同气候区、不同业态里表现也不一样，照搬别家方案常常水土不服。诊断得站整体看，不能就技术论技术。改造前先明确能耗基线和计量边界，是判断节能量真伪的前提。集成顺序应该是负荷削减—系统优化—运行管理—能源替代，不是把技术数量往上摞。

4.2 技术集成应与建筑实际相匹配

技术集成的边界是现实约束：既有结构能不能改、使用能不能中断、回收期多长、场地够不够。新建楼可以在设计阶段整体做；既有楼改造就走“先诊断、后改造、再验证”——先用分项计量和能源审计把主导因素锁住，再挑投入产出比最好的组合，改完拿计量数据核账。改造可以分期，先做负荷占比最大、投入产出比最高的环节，以点带面，避免一次铺开。跳过诊断直接上技术，容易落到“技术上对、经济上不划算”或者“改完运行不当、节能不节费”。

4.3 集成实践的要点

做过一些项目，效果好的公共建筑节能基本都占三条：以能耗诊断打底，把主导因素认清楚；冲着系统整体效率去，不盯单点达标；留一套持续的计量和反馈，让节能从“一次性改造”变成“常年改进”。这些做法说起来平常，难在持续做，不少项目败就败在验收完就没人管。说到底，就是把技术选择

立在因素识别上，把节能效果立在可验证的数据上。

5 结论

公共建筑能耗由外部环境、建筑设计、围护结构、系统运行、管理行为等多层因素共同决定，各因素的贡献和可控程度都不一样。节能技术的有效性，取决于对这栋楼主导因素抓得准不准，脱离因素分析的技术堆砌，换不来可验证的节能量。本文按“因素—技术”对应关系，梳理了被动节能、系统高效化、智能化运行、可再生能源替代四类对策，并强调应用要按“负荷削减—系统优化—运行管理—能源替代”的顺序集成，跟建筑实际约束匹配。公共建筑节能说到底是个闭环：识别因素、对症选技、计量验证、持续优化，这也是既有建筑改造和新建建筑设计都该守的方法。

参考文献：

[1] 陈睿国,蔡济众.被动式建筑节能技术的应用与效果分析[J].四川水泥,2026,(6):80-81+84.

[2] 曹雪楠,薛富源.建筑施工绿色节能技术应用分析[C]//重庆市大数据和人工智能产业协会,重庆建筑编辑部,重庆市建筑协会.智慧建筑与智能经济建设学术研讨会论文集(三).2025:13-15.

[3] 那威,王明明,赵馨怡,等.公共建筑年能耗强度影响因素交互作用[J].煤气与热力,2022,42(4):17-20+26.

[4] 王明明.公共建筑能耗影响因素及交互作用分析[D].北京建筑大学,2021.

[5] 公共建筑节能设计标准:GB 50189—2015[S].北京:中国建筑工业出版社,2015.

[6] 国家机关办公建筑和大型公共建筑能耗监测系统分项能耗数据采集技术导则[S].住房和城乡建设部,2008.

[7] 肖冉,魏子清,翟晓强.基于支持向量机的办公建筑逐时能耗预测[J].上海交通大学学报,2021,55(3):331-336.

[8] 刘晓华,张涛,刘效辰,等.面向双碳目标的建筑能源系统再认识[J].力学学报,2023,55(3):699-709.