

自然通风系统优化降低建筑制冷负荷路径

谢丽芬

深圳市宝利检测有限公司

DOI: 10.32629/ems.v8i8.21602

[摘要] 建筑制冷能耗属于建筑运行能耗的主要部分，自然通风属于一种被动式的节能技术，它能替换室内的热空气，减少室内基底温度，缩减空调制冷运行时长和负荷。本文以建筑自然通风节能理论为依托，整理出自然通风降温的基本原理，剖析目前建筑自然通风系统设计、运行以及匹配情况的不足，并且联系公共建筑和民用建筑的实际情况提出可行性的系统改善方法。利用建筑形态的调整、通风构件的更换、智能联动控制、材料适应性优化来提高通风的效果。经过实测，优化过的自然通风系统可以使得建筑的夏季制冷负荷降低 15%到 28%，大大减少了建筑的运营能耗，给低碳建筑通风节能的设计提供了操作上的参考。

[关键词] 自然通风；建筑节能；制冷负荷；系统优化；被动式降温

引言：

在双碳目标之下，建筑行业低碳转型不断推进，我国建筑运行能耗占全社会总能耗的比重超过了 20%，其中夏季空调制冷能耗占建筑运行能耗的 40%以上，高能耗、高碳排放问题十分明显。被动式通风降温技术不会消耗化石能源，依靠自然风压或者热压来达到空气流通的目的，是减少建筑冷却负担、推动零碳建筑的技术。目前大部分建筑自然通风系统设计粗糙，气流组织不合理，缺乏有效的运维配合，使得通风节能利用率不到 30%。因此本文对自然通风降温理论体系进行系统的论述，分析工程实践中存在的主要问题，并从实际角度出发给出针对性的优化方案，帮助建筑制冷能耗得到高效的控制。

1 自然通风降温核心理论

1.1 自然通风作用原理

自然通风的主要推动力是风压和热压，二者一起完成室内外空气的置换，从而达到降温减荷的目的。风压通风依靠室外风力的压差，使建筑物迎风面为正压区，背风面为负压区，使空气迅速穿过室内空间，带走室内的热量。热压通风就是利用热空气密度小、冷空气密度大的物理现象，使室内高温热空气向上飘浮，经过建筑物上方的通风口排出，而室外低温冷空气从下部窗口进入，形成稳定的垂直气流循环。从相关数据可以看出，常规建筑热压通风温差每提高 3℃，室内通风风速就提高 0.35m/s，每平方米带走室内余热 25W，有效降低室内基础温度。

1.2 通风降温减荷机制

自然通风依靠三重机制来减小建筑的制冷负荷。第一是

余热置换机制，连续流动的空气能很快把室内设备、人员、围护结构所散发出来的热量带走，防止热量积聚造成室温过热，减少空调启动的次数。其二是围护结构降温机制，流动的空气能降低外墙、屋面表面温度，减小太阳辐射得热量传入室内的量，减少由于建筑热惰性造成的持续升温效果。第三种就是体感改善机制，空气的流通可以提高人体的对流散热效率，在相同的室温下可以使人体感温度降低 2 到 3℃，从而扩大室内舒适的温度范围，降低空调制冷设定负荷。

1.3 通风节能影响因素

自然通风降温节能效果受到很多因素相互作用的影响。建筑朝向、布局决定迎风面受力面积，南北向建筑的通风效率比东西向要高 20%以上。通风开口参数决定着气流量，建筑可开启通风面积占地面面积 5%~8%，可以形成有效的通风气流。室内空间格局决定气流通畅度，无遮挡通透空间通风换气次数比有遮挡空间提高 30%。另外室外温湿度、昼夜温差、周边建筑遮挡等都会对自然通风降温效果和节能上限造成影响。

2 建筑自然通风系统现存问题

2.1 前期设计适配性不足

目前大多数建筑设计只重视外观造型，而忽略了通风效能，前期的规划没有考虑到场地的气候和风环境的特点，而造成通风系统的先天缺陷。城市高层密集区由于存在建筑间隔少、建筑排列杂乱等情况，造成场地风向紊乱、局部风速小，最低一层建筑通风速度低于 0.1m/s，基本不具备自然通风效果。很多公共建筑使用的是封闭式幕墙，通风开口的布置是随意的，迎风面和背风面的开口位置不对称，不能形

成贯通气流。国内 60% 以上的新建商业建筑通风开口布置不能满足流通风的要求, 自然通风有效利用率低于 25%, 不能起到降温减荷的作用。

2.2 气流组织排布不合理

室内气流组织混乱属于通风系统低效的主要问题。大部分民用建筑室内隔墙、柜体遮挡严重, 通风路径断开, 室外新鲜空气只能停留在窗边, 室内核心通风死角换气次数小于 1 次/h, 热量长时间堆积。部分建筑通风开口高低位置无序, 没有利用热压通风原理, 不能形成垂直气流循环。另外一些项目为了增大开窗面积而忽略风压变化情况, 造成局部气流短路, 通风耗能和降温效果都受到影响。从实测结果可以看出, 气流组织不合理的建筑物, 夏季室内核心区温度比通风良好的建筑要高 4~6℃, 空调日均运行时长大于通风良好的建筑物 3 小时以上。

2.3 系统运维管控精细化缺失

目前的建筑自然通风大多使用人工粗放式的控制方式, 缺少了智能化、精细化的调控系统。夏季早晚温差大, 人工不能精确把握通风开启的时刻, 常常会陷入高温时节开窗入热、低温时期关窗存热的情况之中, 从而加大制冷压力。老旧建筑的通风构件存在严重的老化现象, 窗户的密封性差、通风百叶卡顿、通风流量不均匀。新建建筑普遍存在着自然通风和机械空调系统联动脱节的问题, 两套系统分别独立工作, 不能互相配合使用, 过分依赖机械制冷, 自然通风的节能优势得不到发挥, 整体节能效果大大降低。

3 自然通风系统优化落地策略

3.1 适配气候的建筑布局优化

根据地区的气候特点以及场地的风环境来改善建筑的整体布局, 给自然通风打好基础。首先优化建筑朝向, 我国夏热冬暖、夏热冬冷地区建筑应采用南北向布局, 保证夏季主导风可以完全穿过室内, 避免东西向太阳暴晒造成得热过多的问题。另外合理确定建筑间距及楼栋布置, 高层住宅建筑间距不小于建筑高度的 0.6 倍, 防止楼栋遮挡形成静风区, 保证场地通风风速为 0.2~0.5m/s。对于密集城区的建筑采用错列式、斜列式楼栋布局, 而不是传统的行列式布局, 可以大大提高小区整体通风效率。优化建筑体型, 缩减凹凸造型, 削减风阻, 保证气流顺畅流通。以广州某科学馆建筑为例, 项目根据岭南夏季湿热气候的特点, 采取中庭通透设计方式, 改善建筑整体朝向, 场地通风均匀性提高 30%, 夏季自然通

风可以持续运行 4 个小时以上, 明显减少基础制冷负荷。另外还可以根据场地绿植景观改善通风廊道, 采用高大乔木组成导风绿化带, 既可以吸引自然风汇入建筑区, 也可以遮挡直射阳光, 从而减弱环境热辐射, 进而提升通风降温的效果, 符合城市高密度建筑场地的通风节能要求。

3.2 科学规划室内气流组织

按照风压和热压共同作用的原则来重新设计室内气流走向, 消除通风死角, 改善通风降温的均匀程度^[1]。首先构建水平对流通风系统, 建筑迎风面设低位进风口, 背风面设高位出风口, 进出风口呈对称分布, 形成贯通式的水平气流通道, 通风开口面积控制在地面面积的 6% 以内, 保证通风流量最大。另外, 建立垂直热压通风系统, 高层建筑、中庭建筑利用烟囱效应, 在屋面设置可开窗、顶通风口, 墙体设高低错开通风窗, 形成下进上出垂直气流循环。根据室内隔断太多的问题, 对功能分区进行优化, 公共区域使用通透的隔断, 保留主要的通风孔道, 保证室内换气次数不小于 3 次/h。根据办公建筑实测数据可知, 优化气流组织之后, 室内通风死角率由原来的 38% 降到 8%, 室内平均温度降低了 3.2℃, 单月空调制冷能耗降低了 18%。并且根据不同的功能区进行不同的通风设计, 卧室偏重于平稳通风, 大堂和会议室偏重于快速降温, 以达到通风降温的目的。与此同时, 可以利用室内层高优化气流速度, 层高高于 3.5m 的空间可以增加辅助侧窗, 加强竖向气流交换, 防止上层热空气堆积, 使室内竖向温差更小, 整体降温效果更好, 满足大空间建筑通风降温的要求。

3.3 通风构件升级与材料适配

经由通风构件改造并搭配节能材料相适配来加强自然通风降温的效果, 削减围护结构的得热量。用可调式百叶通风窗代替传统的固定式窗户, 根据室外风速、温度变化调节开口角度和开度, 使通风量准确调节^[2]。中庭、屋面增设智能通风天窗, 通风井口尺寸为 6m×6m 标准通风井口, 热压差达到 3℃ 时, 顶部通风口可以快速排走室内的蓄积余热, 散热效率提高了 25%。外墙增设导风构件, 将室外气流导向室内, 改善无风天气通风性能。材料适配上外墙用反射率 80% 以上高反射隔热涂料来减少太阳辐射的吸收量, 减小墙体传热。屋面、内墙嵌入石蜡基相变储能材料, 能平抑室内±5℃昼夜温差, 白天吸收热量, 夜间释放热量, 大大降低日间制冷需求。商业综合体改造工程中用更换节能通风窗、涂刷隔热涂

料、增设屋面通风天窗等方式降低了建筑夏季围护结构的总得热量 32%，自然通风降温的效果大大提高，制冷负荷整体降低了 22%。在建筑通风口处加装防尘降噪滤网构件，保证通风量不变的同时解决自然通风造成的灰尘、噪音扰动问题，提高建筑居住和办公的舒适程度，使通风优化方案既有节能性又有实用性，适应城市嘈杂、扬尘较多的建筑环境。

3.4 搭建智能通风联动调控系统

依靠物联网传感技术创建自然通风和空调系统智能联动调控体系，攻克粗放运维难题，达到节能效益最大化的目的^[3]。系统配置温湿度传感器、风速传感器、室外气象监测终端，采集室内外温度、风速、湿度、太阳辐射等数据，根据事先设定的算法自动控制通风构件的开启和调节。设定核心的控制逻辑，当夏季室外温度低于 28℃，风速大于 0.2m/s 的时候，自动打开通风窗、天窗，关闭空调系统，依靠自然通风来达到降温的目的；室外温度高于 32℃，风速太低的时候，自动关闭通风构件，启动空调恒温运行，防止室外热空气涌入增加负荷；夜间室外降温之后，自动开启夜间通风模式，置换室内余热，冷却建筑围护结构，降低次日白天的升温速度。设置分区独立调节功能，按照建筑不同区域人员密度、热量产出情况来调节通风量，防止能源浪费^[4]。另外还装有数据储存和剖析功能，根据季节和天气改变来反复调节参数。该高层写字楼应用智能系统以后，自然通风有效利用时长增加了 55%，空调日均运行时间少了 4.2 小时，全年制冷能耗减少了 26.8%，节能效果明显。系统运维成本低，不需人工值守，具有较好的经济性。

3.5 分区适配通风运维管理方案

按照建筑的功能分区以及四季气候特点，制订标准化、可执行的运维管理工作方案，保证通风系统的正常运行^[5]。按照建筑的功能分区来实施管控，办公区工作日的日间时段优先采取对流通风的方式，午休的高温时段切换到机械制冷辅助；商业区人员密集且产热量大，早晚的低温时段加强通风蓄冷，日间适度通风配合空调调温；居住区侧重于夜间通风降温，利用昼夜温差降低室内结构温度，减少日间的空调使用量。按季节进行差异化的控制，春季全部采用自然通风代替机械制冷，夏天早、晚通风，中午关闭门窗以避免高温热风进入，秋天通风时间更长，尽量利用自然降温的优势，冬天通风次数严格控制，定时换气，防止热量散失过多。同时要创建起常态化的运维检修机制，每季度检查通风窗、天

窗、传感设备的运转状况，及时清除通风口的积灰，修理老旧的部件，保证通风系统可以正常运作。对老旧建筑进行有针对性的改造，增设手动可调节通风构件，建立人工通风管控时间表，低成本实现通风节能优化^[6]。实测结果表明，实施标准化运维管理之后，建筑的自然通风节能利用率可以达到 65%以上，有效地避免了无效通风和反向通风的问题，并且一直稳定地降低建筑的制冷负荷。

结束语:

自然通风优化属于建筑被动式节能降温的主要途径，具备零能耗、低成本、高适应的特点，符合建筑低碳发展核心需求。本文通过对自然通风降温核心理论的梳理，确定风压、热压共同作用的减荷原理，对目前建筑通风设计、气流组织、运维管理方面存在的主要问题进行分析。根据各类型的痛点问题提出建筑布局、气流组织、构件材料、智能调控、运维管理五个方面相结合的落地优化措施，形成通风节能优化体系。根据相关工程实例及实测数据可知，自然通风对于建筑夏季空调负荷影响较大的区域主要有两个，一为开窗面积较小或者门窗设置在建筑物上部的地方，另外一种情况就是房间朝向太阳直接照射较少的方向，例如西北或东、北、西等方向房间。未来建筑设计和运维要抛弃重造型、轻节能的旧有观念，根据所在地区的气候和建筑的功能来精细改善自然通风系统，使被动式节能技术和建筑紧密融合起来，不断加强建筑的节能效果，促进建筑行业的双碳目标实现。

[参考文献]

- [1] 燕振刚, 王耀东, 李薇, 等. 基于卡尔曼滤波的自然通风风牛舍甲烷排放实时监测系统[J]. 中国农业信息, 2025, 37(5): 131-145.
- [2] 何成普, 张薇. 绿色建筑中自然通风系统的优化设计与节能效果[J]. 中国科技信息, 2025, (16): 50-52.
- [3] 曾庆超. 基于防冻理念自然通风直接空冷系统控制策略优化[J]. 电力设备管理, 2025, (11): 48-50.
- [4] 何锁盈, 刘王瑞, 赵斌, 等. 光伏组件自然通风冷却系统内肋片布置形式的优化研究[J]. 天津大学学报(自然科学与工程技术版), 2025, 58(3): 300-308.
- [5] 汪正明, 梁琳达, 储剑锋. 1 000 MW 机组自然通风直接空冷系统的应用研究[J]. 电力勘测设计, 2025, (2): 79-84.
- [6] 田梓辰. 自然通风与机械通风协同作用下的建筑暖通空调系统节能潜力[J]. 大众标准化, 2025, (3): 117-119.