

建筑通风改造中两种空调系统节能对比

唐妹 杨美玲

西南石油大学, 四川 南充 637000

摘要: 随着全球能源危机的加剧和环境保护意识的提升, 建筑通风系统的能耗优化已成为提升室内环境品质和降低建筑运行成本的关键议题。本文以重庆某五层档案馆为研究对象, 深入探讨了双管制风机盘管系统与变风量 (VAV) 系统在建筑通风改造中的应用效果。通过斯维尔建筑通风 VENT 和能耗计算 BESI 软件进行数值模拟, 构建了不同回风量工况下的能耗分析模型, 对比分析了两种系统在部分负荷运行时的节能特性与运行规律。研究表明, 变风量系统在节能效率上显著优于传统双管制系统, 且提高回风量与变风量系统的协同运行模式展现出最优的节能潜力, 当回风量提升至 90% 时, 变风量系统节能率可达 86.58%。本研究为建筑通风系统的节能改造提供了科学的量化依据和技术实施路径, 对推动绿色建筑技术发展具有重要的工程实践价值。

关键词: 建筑通风; 回风优化; 变风量系统; 节能效果; 数值模拟

DOI:10.63887/jeti.2025.1.5.4

1 引言

在当今社会, 建筑能耗占全社会总能耗的比重日益增大, 其中空调系统的能耗尤为突出。随着建筑技术的不断进步和节能需求的日益迫切, 建筑通风系统的节能优化技术呈现出多元化发展态势。欧美国家在变风量 (VAV) 系统领域占据领先地位, 不仅实现了规模化商业应用, 还通过智能控制技术与建筑能源管理系统的深度融合, 进一步提升了系统的节能效率。日本则在精细化调控技术方面独具特色, 通过精确控制室内环境参数, 实现了能耗与舒适度的双重优化。

我国虽在 VAV 系统领域起步较晚, 但近年来在 VAV 控制算法创新和回风系统优化方面取得了突破性进展。随着绿色建筑理念的深入人心和节能政策的不

断推动, 我国建筑通风系统的节能改造工作正逐步深入。当前, 研究重点已转向回风与变风量系统的协同优化, 以期通过技术手段进一步提升节能效率, 降低建筑运行成本^[1]。

2 不同空调在建筑通风改造中的原理

2.1 双管制风机盘管系统

2.1.1 双管制风机盘管的工作原理

双管制风机盘管系统是传统建筑通风系统中常见的一种形式, 其工作原理如图 1 所示。该系统通过温控器实时检测房间温度, 并与设定温度进行比较, 根据比较结果控制电动阀的开合, 从而调节进入风机盘管的冷冻水或热水流量, 以保持室内温度恒定^[2]。

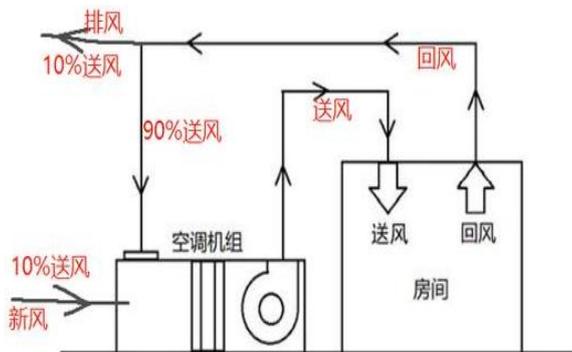


图 1 空调回风原理图

2.1.2 系统特性与应用局限

双管制风机盘管系统具有以下技术优势：

1. 结构：系统组成简洁，管路布置灵活，便于在既有建筑改造中实施；
2. 安装：风机盘管单元体积小，可暗藏于吊顶或窗台下方，不占用主要使用空间；
3. 维护：设备维护成本较低，末端装置可独立检修，不影响系统整体运行。

然而，该系统在节能性能上存在明显不足：

1. 定风量运行缺陷：系统风机通常采用定速运行方式，在部分负荷工况下（如过渡季、夜间），仍以设计风量运行，导致风机能耗浪费；
2. 水系统调节滞后：通过调节水流量来控制室温，响应速度较慢，容易出现温度过冲或滞后现象，导致

能耗波动；

3. 回风利用不足：传统设计中回风量固定，未根据室内负荷动态调整，尤其在低负荷时段，过量新风引入会增加冷热源能耗。

2.2 变风量系统

2.2.1 变风量系统的工作原理

变风量系统（VAV）是一种更为先进的建筑通风技术，其工作原理如图 2 所示。该系统在保持送风状态不变的情况下，通过改变送入室内的送风量来实现对室内温度的调节。VAV 系统由空气处理机组、送风系统、末端装置及自控装置等组成，其中末端装置及自控装置是 VAV 系统的关键设备。它们可以接受室温调节器的指令，根据室温的高低自动调节送风量，以满足室内负荷的需求^[3]。

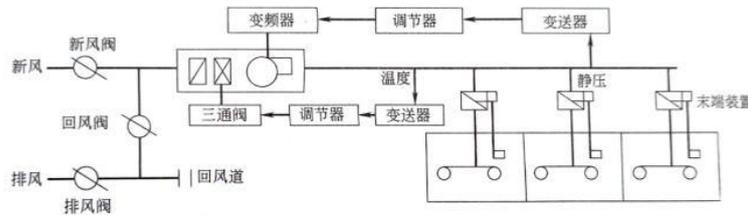


图 2 单通道变风量系统示意图

2.2.2 技术优势与实施挑战

变风量系统的显著优势体现在：

1. 高效节能特性：通过变风量调节和风机变频控制，在部分负荷工况下可大幅降低风机能耗。研究表明，当负荷率降至 50% 时，VAV 系统风机能耗仅为定风量系统的 30%-40%；
2. 精准环境控制：末端装置响应速度快（通常 < 30 秒），可实现室温 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 的控制精度，显著提升室内舒适度；
3. 灵活适应能力：系统可根据建筑功能变化（如房间分隔调整）灵活改变风量分配，无需大规模改造管路系统。

但该系统在实际应用中也面临以下挑战：

1. 初期投资较高：VAV 末端装置、自控系统及传感器的成本较传统系统增加 20%-30%，对中小项目的经济性构成压力；
2. 设计施工要求高：系统风量平衡、风压控制需要精确计算，施工过程中对风管加工精度、设备安装

位置有严格要求，否则易出现噪音、风量不均等问题；

3. 运维技术门槛高：复杂的自控系统需要专业技术人员维护，部分项目因运维不当导致节能效果无法充分发挥^[4]。

3 研究方法和手段

为深入研究双管制风机盘管系统与变风量系统在建筑通风改造中的节能效果，本研究选择了重庆某五层档案馆作为研究对象，利用斯维尔建筑通风 VENT2022 软件和能耗计算 BES12020 软件进行数值模拟。

3.1 建筑通风 VENT2022 软件

涵盖了室外通风、室内自然通风和室内机械通风模块，可进行气流组织分析、多区域网络法换气次数计算、通风开口面积计算、室外儿童娱乐区和休息区风速达标计算、建筑表面风压相关计算，并分别提供对标的报告书^[5]。

3.2 能耗计算 BES12020 软件

该软件支持的是《绿色建筑评价标准》GB/T50378-2019 局部修订条文（2024版），可进行围护结构节能率、建筑能耗节能率、供暖空调节能率及可再生能源利用率计算。在功能优化上，系统设置界面升级，悬浮窗口便于图面操作；冷源机房新增水泵参数自动计算功能；时间表支持参数批量修改，有效

提升操作效率。

4 研究和分析过程

4.1 基本数据

利用软件进行建筑数据提取，提取到的计算建筑面积为 6182.594 m²，计算体积为 28428.51m³，地上高度为 23m，地上层数为 5 层，外表面积为 6205.572 m²，体型系数为 0.22。

表 1 风机单位面积能耗

能耗分类	能耗子类	设计建筑 (kWh/m ²)
空调风机电耗(Ef)	新排风	2.31
	风机盘管	0.00
	全空气系统	0.00
	风机合计	2.31

4.2 采用双管制风机盘管

为探讨双管制风机盘管系统在不同回风量下的节能效果，本研究分别设置了回风量为 20%、50%和 90% 三种工况进行模拟分析。

在模拟过程中，严格控制以下变量：

- 室内负荷：按档案馆标准设置人员密度（0.05 人/m²）、设备功率（20W/m²）、照明功率（15W/m²）；
- 新风量：根据《公共建筑节能设计标准》（GB50189-2015），按 30m³/(人·h) 标准设置，确保室内空气质量；

3.送风参数：双管制系统送风温度夏季 18℃，冬季 40℃；变风量系统送风温度恒定为 16℃（夏季）和 35℃（冬季），通过风量调节满足负荷需求；

4.控制策略：双管制系统采用定风量运行，风机定速；变风量系统采用静压控制（主风管静压设定值 50Pa），风机变频调节。

模拟结果显示，随着回风量的增加，系统能耗逐渐降低。

4.2.1 回风量为 20%

当排风量 80%时，即回风量 20%时，利用软件输出结果见表 2。

表 2 空调风机电耗

能耗分类	能耗子类	设计建筑 (kWh/m ²)
空调风机电耗(Ef)	新排风	1.60
	风机盘管	0.13
	全空气系统	0.00
	风机合计	1.73

根据表 1 的风机单位面积能耗，计算通风总能耗为：

$$E = 6182.594 \times 2.31 = 14281.79\text{kWh} \quad (1)$$

根据表 2 的风机单位面积能耗，计算出采用中央空调-双管制风机盘管，回风量为 20%的通风总能耗为：

$$E_2 = 6182.594 \times 1.73 = 10695.89\text{kWh} \quad (2)$$

节能量为：

$$E_2' = 14281.79 - 10695.89 = 3585.94\text{kWh} \quad (3)$$

节能率为：

$$n_2 = \frac{3585.94}{14281.79} \times 100\% = 25.11\% \quad (4)$$

4.2.2 回风量为 50%

当排风量 50%时，即回风量 50%时，利用软件输出结果见表 3。

表 3 空调风机能耗

能耗分类	能耗子类	设计建筑 (kWh/m ²)
空调风机电耗(Ef)	独立新排风	1.33
	风机盘管	0.13
	全空气系统	0.00
	风机合计	1.46

根据表 3 的风机单位面积能耗，计算出采用中央
空调-双管制风机盘管，回风量为 50%的通风总能耗为：

$$E_3 = 6182.594 \times 1.46 = 9026.59\text{kWh} \quad (5)$$

节能量为：

$$E'_3 = 14281.79 - 9026.59 = 5255.20\text{kWh} \quad (6)$$

节能率为：

$$n_3 = \frac{5255.20}{14281.79} \times 100\% = 36.80\% \quad (7)$$

4.2.3 回风量为 90%

当排风量 10%时，即回风量 90%时，利用软件输出结果见表 4。

表 4 空调风机能耗

能耗分类	能耗子类	设计建筑 (kWh/m ²)
空调风机电耗(Ef)	新排风	0.98
	风机盘管	0.13
	全空气系统	0.00
	风机合计	1.11

根据表 4 的风机单位面积能耗，计算出采用中央
空调-双管制风机盘管，回风量为 50%的通风总能耗为：

$$E_4 = 6182.594 \times 1.11 = 6862.68\text{kWh} \quad (8)$$

节能量为：

$$E'_4 = 14281.79 - 6862.68 = 7419.11\text{kWh} \quad (9)$$

节能率为：

$$n_4 = \frac{7419.11}{14281.79} \times 100\% = 51.95\% \quad (10)$$

为进一步探讨变风量系统在建筑通风改造中的节能效果，本研究同样设置了回风量为 20%、50%和 90%三种工况进行模拟分析。模拟结果显示，变风量系统在不同回风量下的节能效果均优于双管制风机盘管系统。具体数据如下：

4.3.1 回风量为 20%

初始状态为排风量 80%时，即回风量 20%时，利用软件输出结果见表 5。

4.3 采用变风量系统

表 5 空调风机能耗

能耗分类	能耗子类	设计建筑 (kWh/m ²)
空调风机电耗(Ef)	新排风	0.00
	风机盘管	0.00
	全空气系统	0.49
	风机合计	0.49

根据表 5 的风机单位面积能耗，计算出采用中央
空调-双管制风机盘管，回风量为 50%的通风总能耗为：

$$E_5 = 6182.594 \times 0.49 = 3029.47\text{kWh} \quad (11)$$

节能量为：

$$E'_5 = 14281.79 - 3029.47 = 11252.32\text{kWh} \quad (12)$$

节能率为：

$$n_5 = \frac{11252.32}{14281.79} \times 100\% = 78.79\% \quad (13)$$

4.3.2 回风量为 50%

初始状态为排风量 50%时，即回风量 50%时，利用 软件输出结果见表 6。

表 6 全年能耗

能耗分类	能耗子类	设计建筑 (kWh/m ²)
空调风机电耗(Ef)	新排风	0.00
	风机盘管	0.00
	全空气系统	0.40
	风机合计	0.40

根据表 6 的风机单位面积能耗，计算出采用中央 节能率为：

空调-双管制风机盘管，回风量为 50%的通风总能耗为：

$$E_6 = 6182.594 \times 0.40 = 2473.04\text{kWh} \quad (14)$$

节能量为：

$$E'_6 = 14281.79 - 2473.04 = 11808.75\text{kWh} \quad (15)$$

$$n_6 = \frac{11808.75}{14281.79} \times 100\% = 82.68\% \quad (16)$$

4.3.3 回风量为 90%

初始状态为排风量 10%时，即回风量 90%时，利用软件输出结果见表 7。

表 7 全年能耗

能耗分类	能耗子类	设计建筑 (kWh/m ²)
空调风机电耗(Ef)	新排风	0.00
	风机盘管	0.00
	全空气系统	0.31
	风机合计	0.31

根据表 7 的风机单位面积能耗，计算出采用中央

空调-双管制风机盘管，回风量为 50%的通风总能耗为：

$$E_7 = 6182.594 \times 0.31 = 1916.60\text{kWh} \quad (17)$$

节能量为：

$$E'_7 = 14281.79 - 1916.60 = 12365.19\text{kWh} \quad (18)$$

节能率为：

$$n_7 = \frac{12365.19}{14281.79} \times 100\% = 86.58\% \quad (19)$$

5 结果及分析

经过上述模拟分析，本研究绘制了方案对比图，

如图 3 所示，方案对比表，如表 8 所示。

从图表中可以看出，变风量系统在不同回风量下的节能效果均优于双管制风机盘管系统。特别是在高回风量工况下，变风量系统的节能率高达 86.58%，远高于双管制风机盘管系统的节能率。

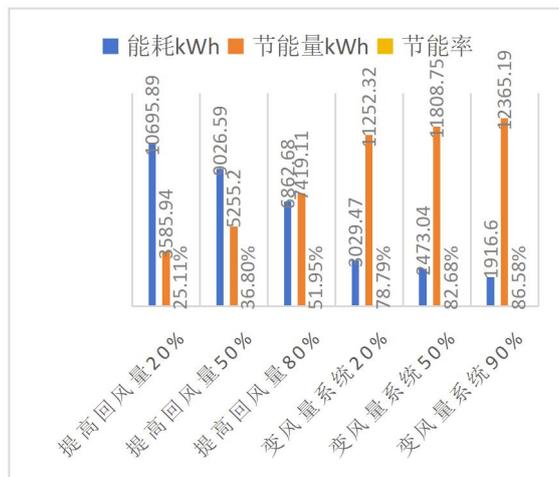


图 3 方案对比

表 8 方案对比

方案	能耗 kWh	节能量 kWh	节能率
原方案	14281.79		
提高回风量 (20%)	10695.89	3585.94	25.11%
提高回风量 (50%)	9026.59	5255.20	36.80%
提高回风量 (90%)	6862.68	7419.11	51.95%
变风量系 (20%)	3029.47	11252.32	78.79%
变风量系 (50%)	2473.04	11808.75	82.68%
变风量系统 (90%)	1916.60	12365.19	86.58%

根据表 8 的结果来看采用变风量系统是节能率最好的一个方案；在满足新风量的情况下提高回风量，也有一个较为显著的节能率；并且两种节能方式可以一同使用提高节能效率。

这一发现为建筑通风系统的节能改造提供了新的思路和方法。

6 讨论与建议

本研究通过数值模拟方法深入探讨了双管制风机盘管系统与变风量系统在建筑通风改造中的节能效果。

结果表明，变风量系统在建筑通风改造中具有显著的节能优势，尤其是在高回风量工况下。然而，在实际应用中，还需要考虑系统的投资成本、运行维护成本以及室内环境舒适度等因素。

因此，本研究提出以下建议：

1. 在实际工程中优先考虑 VAV 系统：鉴于 VAV 系统在建筑通风改造中的显著节能效果，建议在实际工程中优先考虑采用 VAV 系统进行通风改造。

2. 加强回风优化策略的应用：在满足新风量需求的前提下，适当提高回风量可以进一步降低系统能耗。因此，建议在实际工程中加强回风优化策略的应用，以提高系统的节能效率。

3. 推动智能化控制技术的发展：智能化控制技术是实现 VAV 系统高效运行和节能优化的关键。因此，建议加强智能化控制技术的研发和应用，推动建筑通风系统的智能化升级。

4. 加强政策引导和支持：政府应出台相关政策，鼓励和引导建筑业主和开发商采用先进的通风技术和节能措施。同时，还可以通过财政补贴、税收优惠等方式降低节能改造的成本，提高节能改造的积极性。

7 结论

本研究通过数值模拟方法深入探讨了双管制风机盘管系统与变风量系统在建筑通风改造中的节能效果。

结果表明，变风量系统在建筑通风改造中具有显著的节能优势，尤其是在高回风量工况下。同时，本研究还发现，在满足新风量需求的前提下，适当提高回风量可以进一步降低系统能耗，提高节能效率。

因此，建议在实际工程中优先考虑采用 VAV 系统进行通风改造，并加强回风优化策略和智能化控制技术的应用，以实现更高的综合节能效率。

这一研究结果为建筑通风系统的节能改造提供了科学依据和技术路径，对推动绿色建筑和可持续发展具有重要意义。

参考文献

- [1] 晋欣桥,任海刚,李晓峰. 变风量空调系统新风量的实时预测[J]. 上海交通大学学报,2002,(11):1640-1643.
- [2] 孙涛,姚国樑. 二管制风机盘管加新风系统兼用于空调内外区的理论分析和实践[C]//中国建筑学会暖通空调专业委员会,中国制冷学会第五专业委员会. 全国暖通空调制冷 2002 年学术年会论文集. 浙江省建筑设计研究院; 浙江省建筑设计研究院; ,2002:579-582.

[3]曹振华.变风量空调系统的特点和发展前景[J].洁净与空调技术,2011,(02):74-75+78.

[4]钱玉龙.VAV变风量空调系统施工技术[J].广东土木与建筑,2024,31(06):106-107+111.

[5]北京绿建软件有限公司,绿建斯维尔建筑通风软件[Z].鉴定日期:2017-01-06

作者简介

唐姝(1977-7)女,汉,四川南充人,硕士研究生,副教授,研究方向:全过程造价控制,建筑节能

杨美玲(2004-3)女,汉,四川资阳人,本科在读,研究方向:建筑环境与能源应用工程

基金项目:本文系西南石油大学第23期(2024-2025年度)课外开放实验重点项目“绿色建筑下的节能分析”

成果,项目编号:2023KSZ08027