洁净手术部空调机组风机单位风量耗功率限值
——《医院洁净手术部建筑技术规范》修订组研讨系列课题之七

中国建筑科学研究院 孙 宁☆ 许钟麟

摘要 风系统设计、各级过滤器选型是影响风机功耗的关键因素，合理的系统设计和产品选型可以避免不必要的能源浪费。借用《公共建筑节能设计标准》中的风机设计单位风量耗功率限值的概念，提出了适用于洁净手术部的指标，以规范工程设计中空调机组风机压力的选择。

关键词 风机功率 手术室 空调 节能 洁净手术部

Upper limit to fan power per unit air volume of AHU for clean operating department: Part 7 of the series of research practice of the revision task group of the *Architectural technical code for hospital clean operating department*

By Sun Ning★ and Xu Zhonglin

Abstract The design of air system and the selection of filters are two key points impacting the power consumption of fans. The appropriate system design and device selection can reduce unnecessary energy consumption. Referring to the concept of the upper limit to fan power per unit air volume, puts forward a suitable index for clean operating department for regulating the selection of fan pressure of AHU in engineering design.

Keywords fan power, operating room, air conditioning, energy efficiency, clean operating department

★ China Academy of Building Research, Beijing, China

①

1 背景

为了实现对手术部洁净区域环境洁净度和微生物的控制，洁净手术部的空调系统中设置了空气过滤器。过滤器的阻力通常是按其额定风量下阻力的 2 倍确定的；而且系统都设多级过滤器，级数多产生的阻力大，所需要的风机功率也大。另外，设计人员在确定风机风压时还常常留较大的余量。表 1，2 给出了某洁净手术室空调系统及其新风系统的压降（过滤器为终阻力）。

表 1 新风系统压降（过滤器为终阻力） Pa

新风入口及粗效过滤器	中效过滤器	亚高效过滤器	风机	风道及部件
150	160	250		350

表 2 空调系统压降（过滤器为终阻力） Pa

新回风混合	风机	均流器	表冷器	加热器	加湿器	中效过滤器	风道及部件	高效过滤器
20		50	70	40		160	350	340

由于过滤器阻力随积尘量增加而上升，使得系统初阻力与设计工况相比差几百 Pa。为保证空调参数在设计工况附近，很多工程都为送风机配置了变频器。但是，在手术部空调工程竣工验收中，时常能遇到空调机组风机设计压力比系统实际阻力大得多的情况，造成房间送风量偏大。甚至个别项目中，送风机电动机的输入频率即使降低到 30 Hz，手术室的换气次数或截面送风速度仍超过上限值很多。对于某一系统而言，风机的功率与风量的 2～3 次幂成正比。如果风量偏大 20%，风机功率会上升 44% 以上；如果实际风机压头再富余

①☆ 孙宁，男，1971 年 1 月生，博士，副研究员
100013 北京市北三环东路 30 号
（010）84278377－815
E-mail：sunning@chinaibee.com
收稿日期：2013－03－04

20%，则风机功率会更大。

此外，Ⅰ～Ⅲ级手术室的室内空调冷负荷通常为 2～10 kW，而因风机耗功会额外增加 2～7 kW 的显热冷负荷，因此减小风机功率对减少空调冷负荷也有直接作用。

2 风机单位风量耗功率

风机功率可以用下式表示：

$$N = \frac{Qp}{3\,600\eta_t} \tag{1}$$

式中 N 为风机电动机的输入电功率，kW；Q 为风机风量，m^3/h；p 为风机全压，Pa；η_t 为风机全效率，包含风机效率、电动机效率和传动效率。

以表 2 数值为例，各级过滤器压降占系统全压的 48.5%。假设该机组风量为 10 000 m^3/h，按每年运行 200 d、每天运行 10 h 计算，则过滤器引起的风机电耗约为 5 000 kW·h。在一定的风量下，风机的功率取决于全压及电动机效率和传动效率。所以，为控制风机能耗，在工程设计阶段应确定合理的风机全压，并对风机的全效率提出要求。

GB 50189—2005《公共建筑节能设计标准》引入风机设计单位风量耗功率限值对空调风系统的风机能耗提出了要求。该标准对普通空调系统的限值提出了要求，并未对净化空调系统提出要求。尽管净化空调系统与普通空调系统不同，不能完全照搬该标准限值，但是可以使用同样的原则，对手术部洁净区新风机组和空调机组的风机设计单位风量耗功率予以限制。

风机设计单位风量耗功率计算式如下：

$$W_s = \frac{p}{3\,600\eta_t} \tag{2}$$

式中 W_s 为风机设计单位风量耗功率，$kW/(m^3/h)$。

3 确定风机单位风量耗功率限值

从式(2)可见，当风机效率一定时，风机设计单位风量耗功率取决于系统压降。为分析系统各部分的压降特点，本文将空调风系统划分为空调机组与其余风道系统 2 个部分。

3.1 风道系统阻力

新风系统风道的阻力部件包括：新风进风口、粗效过滤器(网)、阀门、风道及弯头、三通等。

根据室内洁净度要求，系统的末级空气过滤器可选 A 类高效过滤器或亚高效过滤器。根据 GB/T 13554—2008《高效空气过滤器》，额定风量下 A 类高效过滤器的初阻力不大于 190 Pa，本文按 70%额定风量选取，则初阻力不大于 140 Pa，终阻力为 280 Pa。Ⅰ级手术室送风采用平铺高效过滤器或静压箱内过滤器采用 W 形侧送布置时，初阻力在 100 Pa 左右。

本文中，空调机组机外余压取 650 Pa，可以满足工程需要；新风机组机外余压取 500 Pa，可以满足新风口、粗效过滤网、阀门及风道阻力损失。

3.2 空气过滤器阻力

GB/T 14295—2008《空气过滤器》给出了各级过滤器(粗效到亚高效过滤器)的阻力要求，如表 3 所示。

表 3 空气过滤器功能段阻力

	迎面风速/(m/s)	初阻力/Pa	终阻力/Pa
亚高效过滤器段	1.0	120	240
高中效过滤器段	1.5	100	200
中效过滤器段	2.0	80	160
粗效过滤器段	2.5	50	100

机组内的过滤器应尽量采用折叠方式、袋式布置，以减小过滤器迎面风速，降低阻力，并延长过滤器的寿命[1]。亚高效过滤器在额定风量下、迎面风速为 1.0 m/s 时，初阻力不大于 120 Pa，如果按 70%额定风量选用，初阻力应不大于 90 Pa。如果把过滤器实际风量降低到 50%～70%，还可继续降低机组内部压降。

下面针对不同的过滤器组合形式和空气处理过程分析新风机组和空调机组内部的阻力情况，最后综合机外余压确定风机单位风量耗功率限值。其中，新风机组和空调机组内迎面风速为 2 m/s，过滤器的设计风量按额定风量的 90%选取，其阻力按表 3 终阻力的 90%计算。

3.3 新风机组内部阻力

对于单独设置的新风机组，按 3 种室外环境空气质量情况，其过滤器设置分为 3 种组合类型，如表 4 所示。

新风机组按表 4 过滤器组合类型分为 3 种方式，风机全压计算结果如表 5 所示。

3.4 空调机组内部阻力

对于利用部分回风的净化空调机组，可分为如表 6 所示的 2 种类型。

第 1 种类型，空调机组的新风由新风机组处理，且新风机组配置风机。

表 4　新风过滤器组合

过滤器组合类型	颗粒物浓度	新风过滤第一道	新风过滤第二道	新风过滤第三道
1	可吸入颗粒物(PM10)或总悬浮颗粒物(TSP)年均值达到一级空气质量标准(上限值分别为≤0.04 mg/m³ 或≤0.08 mg/m³)	对≥0.5 μm 微粒的计数效率≥50%的过滤器		
2	可吸入颗粒物(PM10)或总悬浮颗粒物(TSP)年均值达到二级空气质量标准(限值范围分别为>0.04～0.07 mg/m³ 或>0.08～0.20 mg/m³)	人工尘计重效率≥30%的过滤器	对≥0.5 μm 微粒的计数效率≥70%的过滤器	
3	可吸入颗粒物(PM10)或总悬浮颗粒物(TSP)年均值超过二级空气质量标准(下限值分别为>0.07 mg/m³ 或>0.20 mg/m³)	人工尘计重效率≥30%的过滤器(网)	对≥0.5 μm 微粒的计数效率≥50%的过滤器	对≥0.5 μm 微粒的计数效率≥80%的过滤器

表 5　新风机组组合方式(机外余压 500 Pa)

过滤器组合类型	机组功能段组合方式	机组内部阻力/Pa	风机全压/Pa
表 4 第 1 种类型	进风段(20)、中效过滤器 Z2(144)、检修段(20)、风机段(50)	234	734
表 4 第 2 种类型	进风段(20)、粗效过滤器 C4 和高中效过滤器 GZ(270)、检修段(20)、风机段(50)	360	860
表 4 第 3 种类型	进风段(20)、粗效过滤器 C4 和中效过滤器 Z2(234)、高中效过滤器 GZ 或亚高效过滤器 YG(216)、检修段(20)、风机段(50)	540	1 040

注:括号内数据为设计静压损失,风机段(出风段)的数据为出风动压损失,数据单位为 Pa。

表 6　空调机组组合方式(机外余压 650 Pa)

机组方式	机组功能段组合方式	机组内部阻力/Pa	风机全压/Pa
第 1 种	新风回风混合段(20)、风机段、均流段(50)、袋式中效过滤器段 Z1(144)、表冷器(70)、再热器(40)、检修段(20)、加湿段、出风段(50)	394	1 044
第 2 种	新风进风段(20)、新风中效过滤器 Z2(144)、新风回风混合段(20)、风机段、均流段(50)、袋式中效过滤器段 Z1(144)、表冷器(70)、再热器(40)、检修段(20)、加湿段、出风段(50)	558	1 208

第 2 种类型,空调机组处理新风,即在第 1 种类型空调机组的基础上增设了符合表 4 类型 1 的中效过滤器,增加的压降按 200 Pa 考虑。

全新风空调机组按表 4 的过滤器组合方式分为如表 7 所示的 3 种类型。

3.5　耗功率限值确定

表 7　全新风空调机组组合方式(机外余压 650 Pa)

过滤器组合类型	功能段组合方式	机组内部阻力/Pa	风机全压/Pa
表 4 第 1 种类型	进风段(20)、中效过滤器 Z2(144)、检修段(20)、表冷器(70)、再热器(40)、加湿段、风机段(50)、均流段(50)	394	1 044
表 4 第 2 种类型	进风段(20)、粗效过滤器 C4 和高中效过滤器 GZ(270)、检修段(20)、表冷器(70)、再热器(40)、加湿段、风机段(50)、均流段(50)	520	1 170
表 4 第 3 种类型	进风段(20)、粗效过滤器 C4 和中效过滤器 Z2(234)、高中效过滤器 GZ 或亚高效过滤器段 YG(216)、检修段(20)、表冷器(70)、再热器(40)、加湿段、风机段(50)、均流段(50)	700	1 350

综合上述分析,按照风机全效率为 57%计算,并附加 15%的冗余度,则风机单位风量耗功率限值如表 8 所示。如果需在机组内增设其他部件,如新风预热器和新风表冷器等,可按上述原则和式(2)计算附加值。

表 8　风机设计单位风量耗功率限值

机组类型和型式	风机单位风量耗功率限值/(W/(m³/h))
空调机组(新风单独处理)	0.59
空调机组(新风过滤器符合表 4 类型 1)	0.68
全新风空调机组(过滤器符合表 4 类型 1)	0.59
全新风空调机组(过滤器符合表 4 类型 2)	0.66
全新风空调机组(过滤器符合表 4 类型 3)	0.76
新风空调机组(过滤器符合表 4 类型 1)	0.41
新风空调机组(过滤器符合表 4 类型 2)	0.48
新风空调机组(过滤器符合表 4 类型 3)	0.58

4　结语

本文仅以手术部净化空调风机能耗问题为着力点,借鉴 GB 50189—2005《公共建筑节能设计标准》,在洁净手术部空调系统设计中引入了风机设计单位风量耗功率限值来评价风机选型的节能性,希望以此规范设计阶段和采购阶段的设备选型。

需要指出,净化空调系统的各级过滤器并不是同时达到终阻力,确定过滤器的压降时应根据实际的迎面风速计算,不能简单取额定风量下的压降数值。机外余压也应按照水力计算结果确定。过滤器阻力占系统总阻力的比例较大,由此产生的风机能耗很大。设计人员不应以"偏安全"为由而过分加大空调机组余压。在满足过滤效率的前提下,应优先选用低阻力的过滤器或过滤装置。设备制造商更不能为了降低造价,使机组内部压降增加超过设计要求。

参考文献:

[1]　许钟麟.空气洁净技术原理[M].3 版.北京:科学出版社,2003:140