

实验室空调通风工程节能设计方法探讨

华东建筑设计研究院有限公司 左 鑫[☆]

摘要 实验室空调通风能耗取决于实验室的设计标准、通风系统设计和控制方法。分析了实验室空调负荷的组成。探讨了一些实验室空调通风工程节能设计方法,包括采用适当的设计标准,根据实验室建筑规模、使用功能、使用时间和建筑物的性质配置不同的冷热源方案,实验室排风柜排风和新风补风采用变风量设计,采用排风柜自循环过滤系统。

关键词 设计标准 换气次数 空调冷热源 排风柜 实验室 变风量系统

Discussion on energy efficiency design method for laboratory air conditioning and ventilation projects

By Zuo Xin[★]

Abstract Energy consumption of the air conditioning and ventilation system of laboratories is determined by the design standard, ventilation system design and control strategy. Analyses the composition of air conditioning load of laboratories. Discusses some energy efficiency design methods for laboratory air conditioning and ventilation projects, including selecting proper design standards, equipping different cold and heat source schemes based on building dimensions, functions, using period and building characteristics, adopting variable air volume design for exhaust air and compensating fresh air of laboratory fume hoods and using fume hood self-circulating filter system.

Keywords design standard, air changes, cold and heat source, fume hood, laboratory, variable air volume system

★ East China Architectural Design & Research Institute Co., Ltd., Shanghai, China

①

0 引言

近年来随着市场需求及科研的发展,实验室性质的建筑或包含实验室的科研建筑越来越多。有资料表明,一个完全满足实验室规范及人员舒适性要求的实验室,其单位面积的空调负荷明显大于一般的办公室,有些实验室的空调(制冷)负荷实际需求甚至超过 300 W/m^2 ,远大于甲级办公楼的负荷值。实验室空调能耗或空调运行费用,也被越来越多的业主、用户及科研人员所关注。因此,如何在工程设计上有效降低实验室空调能耗,为用户带来运行费用的节省,有其探讨价值。

1 实验室空调负荷

实验室空调负荷主要由以下两部分组成:

1) 常规负荷。包括围护结构负荷、实验室人员负荷和实验照明负荷。

2) 特殊负荷。包括实验设备负荷和实验室通风(含新风)负荷。

常规负荷的计算方法与普通空调负荷计算相

同,根据现有项目的统计,常规负荷一般与普通办公建筑负荷基本接近甚至更低,主要是因为实验室的人员密度一般比办公建筑更低。

特殊负荷中,实验设备负荷变化幅度较大,根据实验室功能的不同,其设备的散热量及散湿量也不尽相同。根据工程实际案例,此部分的负荷所占比例不高,只是在实验大楼的局部个别房间会有较大的空调负荷需求,例如局部设置的高低温冷藏间/冰箱间/仪器间,对于这些局部的大密度负荷需求可以采取单独处理的方法。根据工程设计案例,实验室通风(含新风)负荷所占的比例较高,根据实验室排风柜使用数量及分布情况,通风系统引起的空调新风负荷占实验室总空调负荷的比例从 40% 至 90% 不等,是实验室空调负荷的最大组成部分。

①☆ 左鑫,男,1969 年 11 月生,大学,主任工程师
200002 上海市江西中路 246 号 10 楼
(021) 33134530 - 6032
E-mail:zx0509@ecadi.com
收稿日期:2013-03-11

图 1 给出了上海某科研机构内一个标准化学实验室和一个标准通用实验室的夏季空调负荷组成。

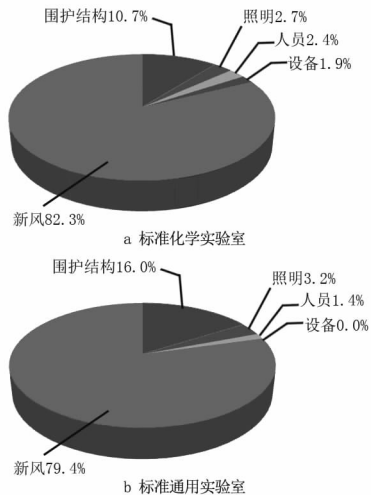


图 1 上海某科研机构实验室夏季空调负荷组成

在现行的节能设计规范约束下,常规负荷的降低幅度已不大,或者需付出较高的建造代价才可能实现,节能潜力较低。实验设备负荷属于工艺使用范畴,一般不受设计阶段的控制。因此,把节能重点落在实验室通风负荷的设计研究上,具有较实用的价值,同时节能潜力也较突出。

2 实验室设计参数

适当的设计标准有助于在源头上减少实验室空调能耗,避免空调设备选型过大造成运行浪费。

相应的国家规范推荐实验室基本的室内设计参数为:供暖地区通用实验室的冬季供暖室内计算温度应为 18~20℃;通用实验室的夏季空气调节室内计算温度为 26~28℃,相对湿度小于 65%。一、二级生物安全实验室的空气调节室内计算温度为 18~28℃,相对湿度小于 75%;三、四级生物安全实验室的空气调节室内计算温度为 18~25℃,相对湿度为 30%~60%。

实验室通风系统新风换气次数直接影响空调负荷的大小。根据笔者对一些实验室项目的统计,目前实验室新风换气次数多为 6~20 h⁻¹。实际项目中,建议根据实验室的使用功能及通风需求予以区分,通过计算确定新风量,不宜简单地套用新风换气次数来确定新风量。

一般情况下,通用实验室考虑新风换气的主要目的是防止室内实验物质产生的气味、挥发物质及有害物质对实验人员的影响。借鉴国内外的实验

操作规程及实验人员的自我保护要求,此类实验目前都考虑放置在可封闭的排风柜中进行,采用机械排风的方式捕集排放,仅会有少量的污染物溢出到室内环境,并不会对实验人员有大的影响。基于此角度考虑,实验室全室新风换气(除排风柜排风外)次数建议最低可降到 2 h⁻¹左右,一般不宜超过 6 h⁻¹,但须校核人员密集时能否满足人员新风需求。

相关规范规定,一、二级生物安全实验室对新风换气次数没有定量要求,因此也推荐在空调系统运行阶段最低 2 h⁻¹左右即可,但设计时应考虑设有足够数量的、方便开启的外窗,以充分进行自然通风换气;三、四级生物安全实验室最小新风换气次数为 12~15 h⁻¹,且应设置全新风空调系统。对于三、四级生物安全实验室,某些实际工程中设计人员及承包商为提高净化洁净度的安全系数,将新风换气次数提高到超过 20 h⁻¹,显而易见会造成较高的新风能耗及风机运行能耗。不推荐这种做法。

实验室排风柜的排风量会直接影响新风负荷的确定。根据笔者对一些实验室项目的统计数据可知,目前实际使用中,排风柜口的面风速大都在 0.5~1 m/s 之间,偏高且缺少风速调节手段,风速值决定了实际排风柜排风量的大小,对补风能耗有直接影响。工程中建议按照相应规范推荐值确定,见表 1、2。

表 1 通用实验室排风柜口面风速		
实验室内空气中有害物的最高容许质量浓度/(mg/m ³)	柜口面风速/(m/s)	
	平均值	最低值
>15	0.35	0.25
0.2~15	0.50	0.40
≤0.1	0.75	0.65

表 2 生物安全柜排风柜口面风速			m/s
生物安全柜级别	柜口面风速		
	平均值	最低值	
I 级	0.38		
II 级 A1	0.5	0.38	
II 级 A2	0.5		
II 级 B1	0.5		
II 级 B2	0.5		
III 级			

3 空调冷热源方式及空调通风系统

3.1 空调冷热源方式

根据实验室建筑规模、使用功能、使用时间和建筑物的性质,应配以不同的基本冷热源方案,以达到能源消耗基本与实验室运行使用匹配的目的,见表 3。

表 3 不同实验室建议采用的冷热源方式

	使用特点	建议的冷热源方式	节能有利方面
学校教学实验室	以教学模拟为目的,实验室相对集中度高,白天教学时段频繁使用,使用要求不高;夜间及节假日几乎不使用	集中冷热源,统一管理。例如高效的冷水机组、锅炉、区域性的冷热源等。须配以完善的自控调节	可获得较高的系统能效比,提高能源利用率
科研单位实验室	以科研为目的,实验室集中度高或中等,常与研究人员的办公室混合布置,成单元式的建筑平面布局,以便于各个课题组单独使用及实施成本核算。使用时段不固定,夜间及节假日加班及连续工作的可能性大。对于实验室的使用要求及环境要求跨度较大	小型冷热水机组或单元式的独立机组,与每个实验室单元组合对应。如有集中的冷热源则可以利用,如不能 24 h 提供或全年提供,宜配套单元式的独立机组辅助。对于要求高的实验室,应设置独立的单元机组。例如小型风冷机组、水冷机组、直接蒸发机组等	根据用户使用情况灵活运行单元式系统,避免集中冷热源系统大马拉小车的低效率。能够应对不同时段小负荷的使用要求,从运行管理上降低能耗
工厂实验室	以生产配套检测及研发为目的,规模较小,使用时间不固定,对于实验室的使用要求及环境要求较高	单元式的独立机组,确保不受其他因素影响	

冷热源的选择还应按照当地的能源政策及政府节能导向为准则,灵活处理。目前,越来越多的科学实验室对冷热的特殊性需求也在上升。有些实验房间常年需供冷,而有些实验房间对于温湿度有严格的控制要求,供冷的同时还需提供再热。带有冷凝热回收的小型风冷冷热水机组、空气源单元式机组、水源热泵机组均可以同时供冷供热,可大大降低运行能耗。

工程举例:位于上海的中科院某研究所实验大楼,总建筑面积 62 000 m²,属于实验室、实验辅助间、配套办公室混合布置的大楼,地处市中心,场地极其紧张,其空调冷热源由以下几部分组成:1) 大容量水冷离心式冷水机组,用于夏季整个大楼白天上班期间的制冷需求;2) 中小容量的空气源热泵机组,用于夏季及过渡季整个大楼夜间及节假日加班的低负荷制冷、供热需求,以及整个冬季的供热需求;3) 热泵机组中有一台带有特殊设计的冷热回收功能,在制冷(热)时还可以提供一定容量的制热(冷)量,用于实验室大楼内局部洁净实验室的再热需求及低温冷藏实验室冬季的制冷需求,由机组热回收环路或冷回收回路提供的热(冷)量是免费的,使用中优先开启该台机组,能较大幅度地降低空调能耗;4) 独立的空气源直接蒸发式单元式机组,用于小房间洁净细胞培养间的辅助空调,以便于在集中冷热源无法满足要求时独立控制及运行。

3.2 空调通风系统

实验室排风柜排风变风量及相应新风补风变风量设计有助于降低新风能耗。

目前国内仍有相当多的实验室排风柜采用简易的定风量排风系统,排风柜操作门处于低位或最低位置时,为避免柜口敞开区进风速度超标,采用了上部设置旁通进风口的形式来解决。此种做

法无疑使得对新风补风的需求始终是恒定的,因而无法降低新风能耗。根据笔者对实验室排风柜使用习惯和状态的统计,至少有 50% 的排风柜可以在低位或者关闭情况下进行实验操作和观察,真正需要在最大开口位置操作的不多。借鉴一些发达国家的实验室操作情况,配备人员离开状态自动关小操作门的系统,不仅可以降低实验室新风系统的能耗,也可以降低排风柜实验操作时发生危险物外溢的可能性。

实验室排风柜排风变风量主要是指两方面的功能:1) 随着排风柜操作门的位置变化能改变排风量的大小,始终保持柜口敞开区最低安全面风速;2) 根据不同的实验性质可改变面风速设定值。上述功能一般需要配备独立的数字控制模块、门位传感器、高精度的实验室变风量阀等,鉴于目前其工程造价仍然偏高,国内较多的实验大楼还未能作为标准配置,实际工程中可采用一些替代的方案来有效减少新风能耗需求。

案例 1,采用补风型的排风柜。此方案的重点是排风柜所需的补风直接由未经空调冷热处理的室外空气承担,通过自然吸入或机械加压送入的方式直接进入排风柜,在排风柜内形成良好的气流组织直接被排走。一般情况下为保证排风柜内的负压,补风量最高不超过排风量的 70%,其余的补风仍然需要在柜外处理好后进入。图 2 为两种带补风送风设计的排风柜构造示意图。

此方案虽然可以较大幅度地减少新风能耗需求,但须解决好几个问题:1) 排风柜内形成良好的气流组织,气流均匀且有较高的通风效率,既要避免送风气流从排风柜内溢出,又要防止送风气流在柜内短路形成无效排风;2) 补风气流不应实验产生明显的气流、温度干扰;3) 当实验要求不适合采用

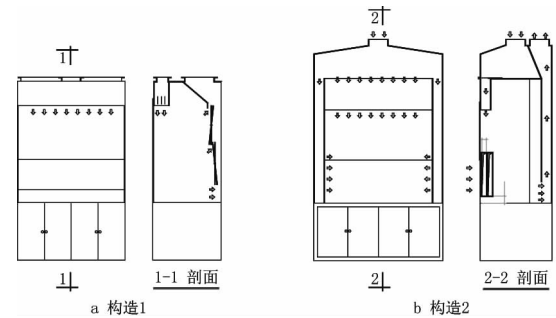


图2 排风柜构造示意图

这种补风形式时,应能方便地切换成外补风模式。

案例2,排风采用多级控制的方法,一般分2~3级。在排风柜的操作门上设置2~3个位置开关,分别代表低、中、高三档风量需求,对应排风柜变风量排风阀三档风量阀位。

此方案在控制方面仅需要简单的 on/off 控制模块及电动定风量阀配合即可,大多数国产的产品均可满足使用要求。缺点是:1) 在级差之间没有连续过渡,易形成操作门面风速偏高或偏低,需要在设计阶段反复核对计算实际可能出现的面风速范围,保证实验不受影响;2) 调节不灵活,当需要改变低、中、高三档相对位置或重新设定面风速时,须进行人工重新核算和调整工作,一般实验人员不易上手。

为保证整个实验室与排风柜排风的平衡,处理过的新风补充应与排风量的变化匹配。一般来说

可以通过与排风柜的排风变风量阀——对应的送风变风量阀来跟踪实时排风量,调整新风送入量,并且连锁控制开关。建议将针对排风柜的补风与针对实验室全室人员新风需求的送风分成两个支路分别控制,以便于保证实验室环境基本新风量的供应,又可比较容易地限制新风量过大的现象。另外,也可以采取比较简易的方案,根据实验室内负压的情况来调整新风量,简化送风控制,此方案要求负压测量比较准确且迅速,否则易产生送风滞后现象。

一般实验室宜按排风柜或小实验间为单位单独设置排风系统,以便于实验室的灵活操作,按需求使用,减少实验室整体通风空调能耗。但此种方案易造成数量较多的排风系统聚集于屋面,一般只用于多层建筑的实验楼。

近年来落成的实验大楼,单层建筑面积及楼层数相对于以往的建筑有增大增多的趋势,有的实验大楼因为各个楼层的使用功能和用户的不同,每个楼层还无法做出统一的通风系统标准层平面;有的实验大楼楼层数较多,超过10层。这样的建筑形式如按传统的通风系统形式来设计,众多的独立排风立管系统将使接近大楼上部楼层的平面无法合理布置,且屋面也可能无法容纳众多的通风设备及管道。图3为一个传统的5层实验大楼标准平面及屋面通风设备平面图,图4为一个14层实验大楼单层

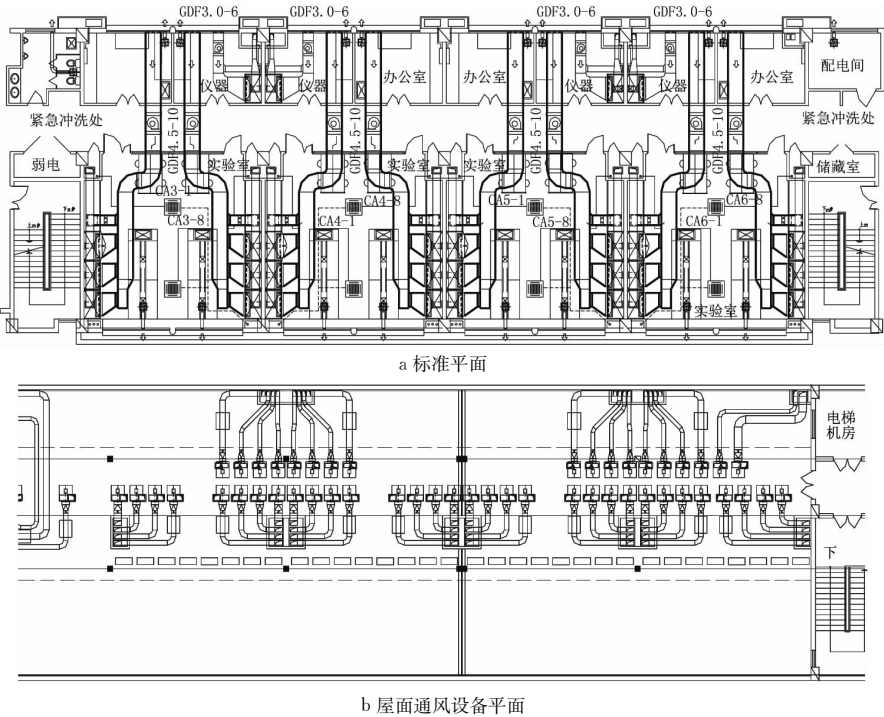


图3 传统的5层实验大楼标准平面及屋面通风设备平面图

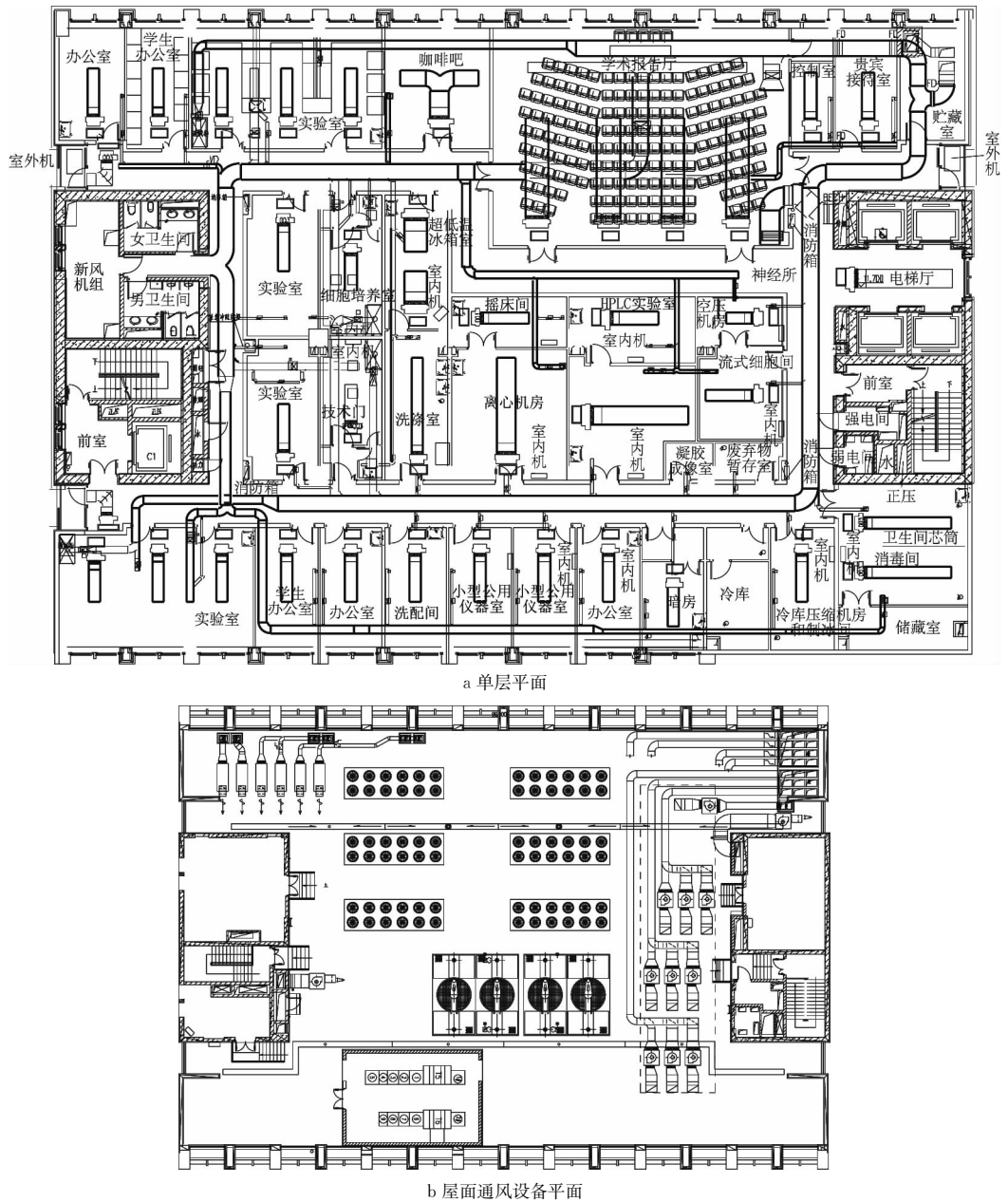


图 4 14 层实验大楼单层平面和屋面通风设备布置图

平面和屋面通风设备布置图,通过比较可以看出,如果按照传统的通风设计来考虑,14 层实验大楼的屋面可能无法容纳太多的通风设备和管道。

为适应这种较大建筑形式的实验楼的通风需求,近年来设计人员采用以单个楼层或多个楼层为单位设置中、大型通风系统的方式来集中满足各个房间的排风柜、全室排风及局部实验排风的需求。

图 3 中采用一个大的排风系统,将各实验室的排风柜及其他排风均接入。与之匹配设计了一个

集中新风系统,满足各个实验室、办公室等的基本人员新风需求及排风柜排风的补风需求。这样的设计对于平面内实验功能的安排和建筑平面的布置均提供了较高的灵活性,上下各个楼层平面可以不同,不会影响上下楼层的布置,且对于实验室的后期调改也提供了便利。但对实验室通风空调节能运行来说却是不利的。如前所述,理想的模式是采用单元式的空调通风形式来满足不同的实际使用需求,但建筑形式无法满足这样的条件时,设计考虑采用实验室变风量系统来应对。

(上接第 27 页)

1 500 m³/h 的外排式排风柜所产生的空调成本每年大约为 17 000~40 000 元(根据使用频度的不同);某些排风柜数量密集的实验室,实施全新风空调(例如换气次数 20 h⁻¹)年运行成本可能高达 4 000 元/m²。因此,实验室排风柜自循环过滤系统的研究及推广具有较高的应用价值。

同样的技术还可以用于净化实验室的全室空气,消除室内化学物品产生的气味,防止空气中化学用品超标损害人员健康。这样实验室全室通风的新风量可以大幅降低,在满足人员新风需求的前提下,尽可能地减少新风换气次数。

随着 JG/T 385—2012《无风管自净型排风柜》的出台,越来越多的实验室将可以依据标准来选用此类型的排风柜,从而大幅度地降低空调运行能

耗,同时也为实验室系统的设计人员提供了一个新的解决方案。

4 结语

通风系统引起的空调补风能耗在实验室空调能耗中占较大比例,是实验室最具节能潜力的部分。按照我国现实国情,从各地项目的经济条件出发,选用合理的实验室空调通风设计标准,采取灵活适用的空调冷热源方案,研究实验室变风量通风系统的设计方案,是较大幅度地减少实验室新风能耗的一些方法,目的是从总体上降低实验室空调能耗。同时,排风柜自循环过滤系统的应用,相比传统的排风柜形式,其在新风能耗方面的节能潜力优势明显,值得进一步研究及推广。