

排风热回收系统在实验室空调系统的应用

朱卫华

上海天华建筑设计有限公司 上海 200093

摘要: 实验室因其工艺要求特殊性,大多对室内气流组织有着较高的要求,需进行全新风运行,换气次数及空调系统能耗较高,空调系统设计时需同时兼顾工艺环境要求及通风空调系统的能耗控制。本文分析了实验室需求的特殊性以及实验室空调系统设计的难点,探讨了实验室通风系统设计方案,并分析了其能耗以及可靠的节能方案。案例分析结果表明,采用排风显热回收是非常值得推荐的实验室节能措施。

关键词: 实验室;空调系统;节能;热回收

引言:随着经济和科研能力的快速发展,对科研性实验室,以及教学性实验室的需求都大幅上升,同时对实验室安全性以及环境控制的要求也显著提高。科学实验室的专业度及数量是科技先进性的很好体现,实验室的专业度不仅体现在其内部仪器设备精度,同时也需要高稳定性、高控制精度的实验室环境作为基础保障。尤其是在生物化学类实验过程中,多会存在大量的挥发性气体药剂,有一定的危害性,故而对气流组织及通风换气量的要求远高于常规空调系统。实验室通风空调系统是实验建筑内规模最大、影响最深、最需要精细设计的建筑设备系统之一。研究表明,化学实验室安全事故最大的风险分别为火宅、爆炸、中毒和窒息风险,这三项风险均与通风排烟系统息息相关。通风空调系统是否布置合理,直接对实验室的环境以及实验人员的身体健康、实验仪器设备的运行维护等方面产生重要影响。

实验室的通风空调系统设计和布置方式与普通的民用建筑有相同点,但在设计细节和具体布置方式上有其独特之处,尤其体现在对污染物的收集方式和处理方式的考虑上。化学实验和分析的主要设备是通风柜和实验室化验台,在实验过程中会产生对人体有害的气体,为了避免有害气体在室内扩散,必须迅速直接排放到室外。一般情况下,排气装置应安装在实验柜和化验台上。无论是门窗渗透还是补充新风,都需要将新风处理到室内状态等焓点,所以新风负荷非常可观,新风系统的处理方式也是影响实验室整体能耗水平的重要指标之一。

不同等级要求的实验室对室内温湿度控制要求有很大差异,潮湿地区或温湿度要求较高的实验室,新风系统进行冷热处理的时候,不仅需要考虑人员舒适度,还需要根据实验环境控制要求对新风送风含湿量加以控制,维持室内温湿度相对稳定,避免局部结露的情况出现。针对这样的场景,新风系统的冷热处理要求要远高于

于普通舒适性空调,不仅需要配置冷热处理段,还需要补充再热功能及夏季热源等,新风系统的运行能耗也随之显著提高。夏季湿热地区的实验室,特别是进行生物化学类实验的实验室,空调能耗为一般公建的5~10倍^[1]。如何降低实验室新风系统运行能耗,节约运行费用也就成为了实验室空调系统设计需要考虑的重点。

1 实验室通风空调系统现状

根据我国实验室设计相关规范^[2]要求,可以讲实验室分为通用实验室和专用实验室两大类。通用实验室指的是经常性学科研究和实验工作的实验室,其夏季空调是室内计算参数为温度26~28℃,相对湿度不超过65%,专用实验室指的是有特定环境要求或以精密、大型、特殊实验装置为主的实验室,其室内设计参数以工艺要求为准,通常情况下后者对环境要求更高,会有大量的全新风工况以及再热需求,新风负荷占比显著增加^[3]。如何在保障实验室环境要求的前提下,优化新风系统设计,尽量降低冷热抵消比例是提高实验室空调系统能源利用率的重要环节。

实验室空调系统需要承担的功能主要有两种,其一是维持室内的微负压环境,通常来说实验室会配置许多通风柜等大风量排风设备,新风补风量约为排风的80%-90%。为保证室内温湿度控制要求,在送入房间之前新风需进行一定的热湿处理以满足室内环境控制要求。其二是处理实验室内热湿负荷,带走多余的热量/冷量,包括围护结构、人员、设备等。

因此从系统设置上,通常分为以下两个大类:一类是采用一套送风设备同时承担以上两项功能。常见的空调系统形式为变风量全空气系统,在此类型里,又可根据实验室是否允许回风复用,分为直流式系统和回风式系统。另一类系统则设置两套系统来分别满足通风和空调需求。其中一套系统为直流式变风量新风系统,承担

通风、补风以及湿度控制需求,另一套则承担室内冷、热负荷的部分需求,根据气象条件、实验室负荷特性等实际需求配置,通常为散热器、风机盘管等多种形式。

2 新风热回收系统工作原理

当选用集中式空调系统时,若实验室内产生有害物质不允许室内空气再循环使用,则需要配置新风直流系统。通常来讲,为配合实验室通风需求,新风换气次数远高于舒适性空调系统,新风制冷要求也显著提高;另一方面,当冷负荷下降,实验室新风系统运行时仍需保证风量及除湿能力,则需增加新风系统辅助再热模块。空调系统需对应增加夏季再热热源。同时配置制冷除湿和再热两套系统,会带来大量的冷热抵消;两种因素都很大程度的提高了实验室空调系统运行能耗。

采用新风热回收系统,在新风和排风之间设置热回收装置,将排风系统的冷量/热量充分利用,可有效的降低新风系统能耗,一定程度的缓解了实验室新风系统能耗偏高的问题。通常来讲为保障实验室空气质量及环境安全,避免二次交叉污染,排风系统与新风系统间不得有直接接触。常规热回收方式中,转轮式全热回收,板翅式全热回收等方式由于在新排风之间存在质交换,不适用于实验室。而板式显热回收装置,虽然新排风分别在翅片的两侧流动,不存在气体直接接触,但是依然存在翅片破损的风险,不推荐使用。热回收系统采用热管热回收形式,热管换热利用余热加热热管的一端,吸液芯中工质吸收外界的热量而汽化,由于不断产生蒸汽而压力增加,在压差的驱使下蒸汽就沿着中间通道流向热管的另一端,并冷凝成液体向外界放热,液体依靠毛细力(或重力)的作用返回加热端,继续受热汽化进行下一轮循环。夏季时,室外新风温度高于室内排风温度,让室外新风加热热管的蒸发段,用排风吸收新风所带的部分热量;冬季时,室内排风温度高于室外新风温度,让室内排风加热热管的蒸发段,用排风预热室外新风;过渡季节时,利用该装置的旁通通道将室外新风直接引入室内而不经热管换热器,以降低风机能耗^[4]。这样在避免直接接触的同时,将排风冷量/热量回收,作为新风系统的预冷、预热段,可有效回收20~60%的新风能耗。根据罗清海等人的研究^[5],在分离式热管换热器空调机组中,当新风比为30%时,节能率可达7%,随着排风与新风温差的增大和新风比的增大,节能效果更加显著,其实验还表明冷、热气流温差只要超过3℃即可回收能量。

为探究热回收新风系统在实验室空调系统设计的节能效果,本文将以昆山某生物化学实验室项目为例介绍实验室空调系统设计原则以及热回收新风系统在实验室

中的应用。

3 设计案例分析

3.1 项目概况

本文介绍的案例为高校生物化学实验室,兼具科研教学用途。项目位于江苏苏州,园区内共x栋建筑,包含教学楼、学院楼、宿舍、图书馆等功能区,本项目采用集中式中央冷热源形式,集中冷热源机房位于地下室,采用离心式冷水机组、地源热泵等多种制冷形式,热源采用超低氮真空燃气热水炉。

3.2 空调系统设计

实验楼各间实验室独立设置空调系统,其室内环境要求为夏季22.8℃,湿度60%;冬季21℃,湿度≥30%。考虑到有毒有害气体的快速排放,实验室设置有排放柜及万向排气罩,空调系统不允许采用循环风形式。实验室采用独立全空气变风量系统(VAV)+独立排风的组合形式,空调机房就近布置;排风柜、外向排气罩风量可根据需求调节,排风柜排风经过处理后由设置于屋面的冲高风机向高空排放。补风采用全新风直流式系统,室内负压环境通过排风量调节控制。实验室的新风系统采用板式初效过滤器(G4)+袋式中效过滤器(F7)+高效过滤器(H12)三级过滤的组合,新风送风段设置预冷/热及制冷/制热两套盘管,预冷/预热盘管为热管换热系统。处理后的空气经由送风立管送至各区域实验室的变风量末端装置,实验室所有VAV送风末端装置均带有热水加热盘管。实验室内所有排风柜等排风系统均配置了VAV变风量末端,用于调节排风量以配合不同工况条件使用并控制实验室负压环境。

下面以其中一间实验室为例,对实验室具体设计参数进行计算,讨论热回收新风系统在实验室空调系统应用中的节能效果。该实验室的房间面积为500平方,经计算,夏季空调室内冷负荷120kw(显热),室内湿负荷11.8kg/h。送风量的计算通常需要满足多种条件,维持室内微负压环境,带走房间内产生的冷负荷和湿负荷,计算公式如下所示,新风系统送风量需取下述三类计算的最大值,同时复核满足室内空气卫生要求。

$$L_1 = 0.9L_p$$

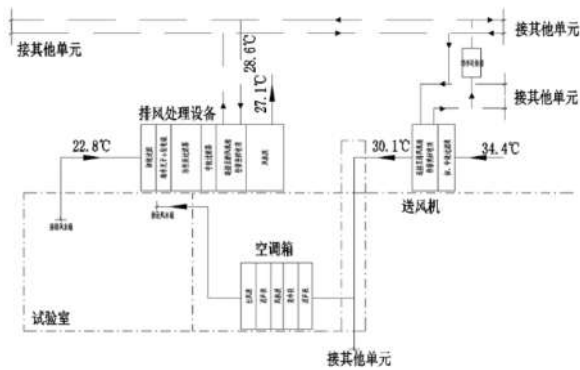
$$L_2 = \frac{Q}{C_p \Delta T}$$

$$L_3 = \frac{D}{\rho \Delta d}$$

$$L = \max(L_1, L_2, L_3)$$

本项目实验室中,满足排风需求的新风量40000CMH,满足冷负荷的最小送风量41500CMH,满足

湿负荷的最小送风量10100CMH，冬季满足热负荷所需风量6800CMH，因此夏季设计送风量41500；冬季设计送风量40000CMH。空调总冷负荷665kw，其中新风负荷551kw，再热负荷0kw；冬季空调总热负荷455kw，新风热负荷430kw。空调系统换气次数超过30次/h，远大于舒适性空调系统配置换气次数。



本项目新风系统充分利用排风中能量对新风进行预冷/预热处理，在屋顶设置分体式热管热回收装置，保证新风与排风无接触，杜绝污染。夏季回收58.5kw，冬季回收149kw，节约新风能耗35%。热管热回收系统有别于水系统，利用相变换热，比热容很高，管路输送阻力很小，夏季利用重力作为系统循环动力，几乎不增加额外输送能量损失，最大程度降低系统运行能耗。与此同时，为降低空调系统能耗，本项目实验室设置变风量系统，根据排风柜使用情况、室内热负荷、室内湿负荷动

态调节，送风机变频控制，降低空调系统能耗。系统风量随着局部排风设备的开启情况、室内设备的运行状况等影响，风量变化很大，热管热回收系统可以灵活适应风量的改变，很适用于该系统。

4 结论

实验室空调系统与舒适性空调系统设计有显著不同，设计时需针对实验室的具体功能及特点进行有针对性的系统设计，同时兼顾实验室通风功能及安全运行需求与节能要求。相较于一般舒适性空调，高换气次数及全新风需求是实验室空调系统设计的显著特点，相应的也带来的显著的能耗增加。为一定程度上降低实验室新风系统运行能耗，可采用新风热回收及变频系统，可以适当回收部分能量，保障实验室的空气质量及使用环境要求。

参考文献

- [1]任松保, 喻文娟, 化学实验室通风节能改造案例分析[J]. 洁净与空调技术, 2018(2):98-101.
- [2]《科学实验室建筑设计规范》(JGJ91-2019)
- [3]刘海龙, 何璐红, 赵扬, 等. 智能化学化工实验室的研究与设计[J]. 山东化工, 2017, 46(21):149-153.
- [4]周谨. 一种新型热回收装置在实验室空调系统中的应用[J]. 暖通空调, 2021.
- [5]罗清海, 汤广发, 龚光彩, 黄文胜. 热管技术在通风空调节能中的应用[J]. 煤气与热力, 2005(02):72-76.