

某P2+生物实验室改造工程经验总结

康懿

上海申建工程设计院有限公司

摘要：生物实验室各房间负压值及压力梯度关系到实验室的安全性，如何做到各房间压力的稳定可控，关系到实验室能否正常运行及工作人员的健康安全，本文介绍某生物实验室改造期间所遇到的一些问题及处理办法。

关键词：实验室改造工程；压力梯度；送回风量控制；循环气流；定风量阀

某医疗机构现有P2+生物实验室一间，实验室包括以下房间，各房间要求压力值如下表：

房间名称	洁净度级别	室内压力 (Pa) 相对室外大气	与由内向外方向上相邻相通房间的压差 (Pa)
换鞋	8~9	0	5
更衣室		-5	10
缓冲室		-15	10
菌种库		-15	10
结核菌实验室		-25	15
读片室		-5	35
涂片室		-15	25
核心实验室		7~8	-40

由换鞋室（常压）→更衣室（微负压）→缓冲室（过渡负压）→一般实验室、涂片室（负压）→核心实验室（负压），负压值由低到高。保证气流有序流动，经安全处理后高空排放。

一、改造前实验室状况

本实验室建成后投入运行发现实验室压力及梯度控制很不理想，实验室压力震荡不定，核心实验室尤其严重，各相邻房间压力差值毫无规律可言。

实验室的密闭性和气压的调节是生物实验室设计及建造成功与否关键所在，以上现状导致实验室长久不能正常运行。

业主决定对此实验室进行改造。

经现场踏勘及查阅原有设计图纸，原设计空调系统采用全空气空调系统。

空调送风系统

经空调机组初效、中效过滤送入实验室各房间高效过滤器接管，送风总管上设置变风量风阀，空调机组送风机采用变频风机。

空调回风、排风系统：

P2+实验室各生物安全柜排风管上各设具有开关功能的定风量风阀、涂片室各通风柜的排风管上各设具有开关功能的定风量风阀，以上风阀均与生物安全柜、通风柜、屋面排风机联动，空调风机、屋面排风机采用变频控制，根据各定风量风阀的开关状态控制屋面排风机风量，屋面排风机未采用备用风机。

实验室各房间密封性良好，不存在因露风原因引起压力震荡。

现有系统在组合式空调器中效过滤段前后，实验室内高效过滤器前后无压差监测装置，无法判断过滤器阻力。

二、原设计要求

本项目P2+实验室内设有5台BSL-2生物安全柜，每台生物安全柜工作状态前窗进气量设定值为742m³/h，进气气流速度设定值不小于0.53m/s，当前窗进气流速度小于0.4m/s时，生物安全柜声光报警启动；70%（1289m³/h）沉降气流通过生物安全柜高效过滤器再循环至工作区，沉降气流速度设定值不小于

0.35m/s，当气流波动超过标称值的20%时，生物安全柜声光报警启动，通过生物安全柜外接排风管上的双位风阀的设置，生物安全柜工作时，30%（742m³/h）气体通过排气口过滤排出，不工作时，通过生物区安全柜排风量为150m³/h，用以保证生物安全柜门内负压，防止柜内气体溢出。

涂片室设有1台通风柜，通风柜采用有如下功能产品：通风柜风速传感器持续监测通风柜实际工作状态的面风速。在外部因素变化情况下，控制器不断地调整通风柜风阀的通风量，以保证通风柜面风速的恒定，当实验人员工作在通风柜前时，面风速控制在约0.5m/s，当通风柜门开启至最大或最小时，面风速始终保证在0.5m/s左右，而风阀的风量将随之调整到最大或最小；同时人员的活动等因素也干扰面风速值，控制器都将对风量做相应的调整。当通风系统存在其他故障，如风机非正常工作，通风管道堵塞等，以致控制器无法调整面风速到安全设定值时（如小于0.3m/s或大于0.5m/s），控制器将声光报警。

三、故障分析

原设计生物实验室设置5台BSL-2生物安全柜，每台生物安全柜接排风主管的排风口上设具有开、关功能的定风量阀，定风量阀与生物安全柜联动，并且与空调送风系统、排风风机连锁，空调送风风机、排风风机均采用变频风机，根据生物安全柜及通风柜工作状态变频调节排风风机风量及压头，送、排风系统工作原理如图1所示：

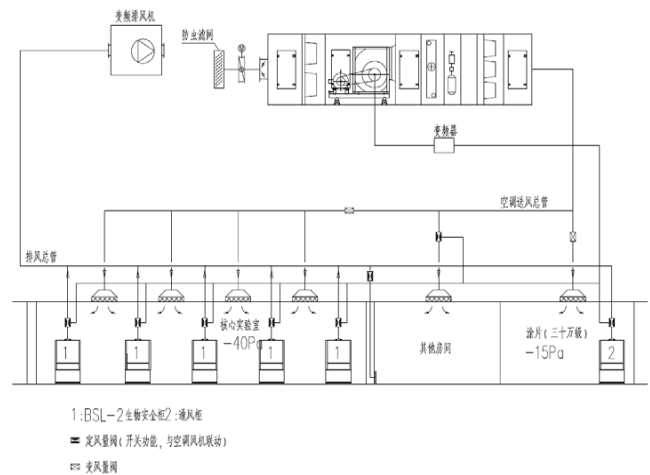


图1

从以上图中可以看出，P2+生物实验室内5台生物安全柜上设有风量控制阀门，控制实验室送、排风量；涂片室通风柜设有风量控制阀门，控制涂片室室送、排风量。

实验室内共有5台生物安全柜，1台通风柜，每台柜子有两种工作状态，如此一来，共有104种工作状态，使用过程中生物安全柜及通风柜工作状态变换频繁，并且用于风量控制的文丘里阀响应时间有不小于1S延迟，风机变频响应时间及精度都不甚理想，导致工作状态转换时，送、排风量难以及时适应，试验室内压力大幅度波动，送、排风机均无备用风机，系统可靠性也无从保证，并且原实验室通风风量与安全柜、通风柜风量均通过柜体。

四、解决方案

初步构想实验室各房间用于保持压力梯度及换气次数的排风管道与柜体排风系统分开设置；各柜体单独设置排风管道，排

风管上设风阀,但发现实验室吊顶内管线密集,预留排风井道也仅有一处,难以实现,只能在送、排风管道合用的情况下设法解决。

首先空调机组改为双风机、排风风机增设备用风机,保证系统可靠性。空调风机、排风风机由变频风机改为定频风机。

P2+实验室有风量变化的(实验室、读片室、涂片室)各房间风量均按工作时最大风量确定房间送排风量,各房间的送排风总管上设定风量风阀,生物安全柜、通风柜排风支管上设与生物安全柜、通风柜连锁的双风量电动风阀,生物安全柜、通风柜不工作时,电动风阀开至低位,用以保证生物安全柜门内负压,生物安全柜、通风柜工作时,电动风阀开至高位,保证安全柜进气气流速度不小于要求数值。

安全柜排风口与吊顶内排风管道不直接连接,从吊顶内接向生物安全柜的排风管与生物安全柜排风支管采用大管套小管方式,实验室总排风量依靠排风总管上定风量阀保持恒定,安全柜不工作时排风量与工作状态风量差值用大、小排风管之间的环状空隙补足。

空调机组中效过滤器前后、实验室内高效滤器前后设置压差监测装置,用以监控滤网阻力值,当压差监测装置达到一定数值时,及时更换滤网。

在实验室入口处增设集成式压力显示屏幕,工作人员在进入实验室之前便可清楚看到实验室内压力状态。

按上述原则初步改造后,经调试运行,各房间压力数值及梯度初步满足业主所提要求,但存在以下问题:

1. 生物安全柜在不工作时,通过生物安全柜所排风量与要求风量(150m³/h)不符,尤其在有生物安全柜工作状态转换时,风量忽大忽小。
2. 生物安全柜工作时,经安全柜排风量大于总风量30%(742m³/h),不足以形成沉降循环气流,影响安全柜正常使用。

3. 大、小排风管所形成的环状空隙处,有较大的啸叫噪音。

针对以上情况分析,分析如下:

因现场实际情况导致大、小排风管道管径相差不大,大小管之间环状空隙过小,此处风速过高,产生诱导气流,导致噪音产生。

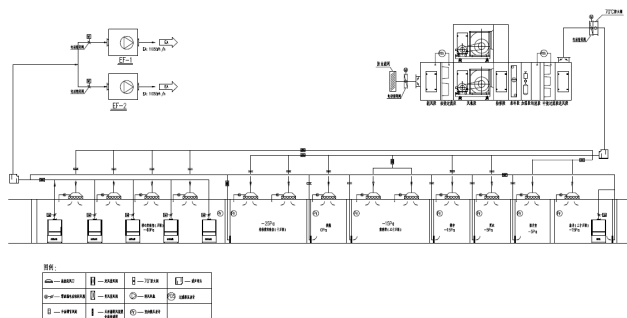
排风机压头偏高,生物安全柜工作状态转换时,排风量之间相互干扰,生物安全柜工作时,风量控制阀门开至高风量,因排风风机压头偏高,排风量大于所需风量,难以形成柜内循环气流。

针对以上情况,对送、排风系统进行适当调整:

1. 将生物安全柜与排风系统采用直接连接,取消空隙环;生物安全柜排风管上设与柜体联动的电动风阀。
2. 屋面排风机调整皮带轮松紧度,用以调整风机压头。
3. 实验室内增加一接吊顶内排风横管的排风立管,排风口设在靠近地面设置(以下简称适应性排风口)。
4. 换鞋室、更衣室因为空间小,送、排风量均较小,采用手动风量调节阀,一次调节到位,运行期间风量不发生改变。

经过以上调整,无论核心实验室内几台生物安全柜运行,实验室内总排风量用定风量阀保持恒定,用新增的排风立管匹配因生物安全柜工作状态变化引起的风量变化;实验室空调送风管上风阀保证送入房间风量保持恒定,这样,各房间送、排风量及差值均保持恒定,各房间负压值及房间之间压力梯度也一直保持恒定。

调整后系统示意如下:



五、系统改造后状况

系统经以上改造后重新调试运行,各房间压力及梯度、生物安全柜各种工作状态下的面风速及柜内循环气流均达到设计要求,实验室交付业主使用,获得业主好评。

但实验室投入使用数月后,业主反映,实验室外集成式压力显示器显示各房间负压值偏离要求数值,负压值增大,并且各房间之间压力梯度有失衡趋势,尤其是生物安全柜所在房间负压值过大,工作人员在实验室内有明显胸闷感觉。

经现场检查,过滤器滤网前后压力差值过大,超出允许数值,分析为因滤网堵塞,导致房间内送风量不足,而屋面排风机排风量恒定,造成负压超压,过滤器滤网拆下后,积尘严重,更换滤网后,各房间压力值及房间之间压力梯度恢复到设计值。

六、结论

1. 洁净空调过滤器前后压差监测装置设置非常有必要,可以直观判断出滤网是否需要更换,当过滤器积尘达到一定程度时,或者系统使用一定时间后,要及时更换过滤器滤网。
2. 对于生物实验室等危险性较大的场所所用的空调、通风设备,应该设备用机组,以免因设备故障导致实验室不能正常使用或造成安全隐患。
3. 对于要求高可靠性及安全性的场所,不能从一般舒适性空调系统的角度出发,过度追求变频。
4. 对于设备数量及工作状态多变的实验室,定风量阀及装置系统因设备自身响应速度等原因,不能很好适应实验室工作状态变化,往往在设备工作状态转变时造成实验室压力及梯度失衡。
5. 对这类型实验室,尤其是实验室内生物危险性大及设备运行状态多变的房间,因为房间体积本身较小,变风量所带来的节能效果微乎其微,但是会引起系统的不可靠性,建议此类实验室可按定风量设置,通过增设适应性排风口,通过定风量阀控制设备排风量及适应性排风量之和,使得房间送、排量不变,保证房间内压力恒定。

本项目在实施过程中,得到同济大学沈晋明老师大力支持和耐心指导,在此表示感谢。

参考文献

- [1] 李江龙. 三级生物安全实验室气流组织方式对比研究[J]. 洁净空调与技术, 2008-1.
- [2] 黄征. 影响三级生物安全实验室性能的相关问题研究[J]. 洁净空调与技术, 2008-2.
- [3] 陈江浩. 生物安全实验室工程施工中应注意的问题[J]. 洁净空调与技术, 2008-3.
- [4] 龚霞明. BSL-3实验室生物安全柜排风管连接处理[J]. 洁净空调与技术, 2008-3.
- [5] 吴挺. 三级生物安全实验室暖通空调系统施工关键点分析[J]. 洁净空调与技术, 2008-4.