

文章编号 :1003-0344(2016)06-079-4

## 某放射化学实验楼通排风系统调试

禹志臻 曹玉祥 卞晓锴 凌佳业  
中国科学院上海应用物理研究所

**摘要** 本文介绍了该项目通排风系统的风量平衡、通风柜面风速调试、区域负压调试的具体方法。分析了负压调试遇到的问题及原因,并对类似工程的开展提出了建议。

**关键词** 实验室 调试 风量平衡 通风柜 负压

### Commissioning of ventilating systems used in a radiochemical laboratory building

YU Zhi-zhen, CAO Yu-xiang, BIAN Xiao-kai, LING Jia-ye  
Shanghai Institute of Applied Physics, Chinese Academy of Sciences

**Abstract:** This article presents the air volume balance, face velocity of fume hoods and negative pressure commissioning of the ventilating systems in the project in the perspective of method. The problems and cause in negative pressure commissioning were analyzed, and the suggestions for similar project were given in this paper.

**Keywords:** laboratory, commissioning, air volume balance, fume hood, negative pressure

## 0 引言

放射化学实验楼是研究放射性元素及其衰变产物化学性质的实验场所,由于实验需要操作放射性元素,过程中会产生含有放射性的有毒有害气体。如对这些废气的管理和处置不善,极易造成交叉影响甚至危害到实验人员及周边环境。故放射化学实验楼需要设计相应的通排风系统,以保证各实验区域的负压及通风。本文主要针对上海某研究机构放射化学实验楼通排风系统的调试进行介绍和分析,总结经验及需关注的事项,希望将来有助于类似工作的开展。

## 1 工程概况

本工程为改建工程,坐落于上海市科技卫星城嘉定区。

实验楼始建于 20 世纪 60 年代,总建筑面积约 6200 m<sup>2</sup> 地上共四层,实验区域为一层至三层。由于相关实验及配套设施陈旧老化,为满足新的研究工艺需求,对相关设备进行了改造。根据整个实验楼所开展实验的放射性水平,实验区域从低到高被分成了绿区、橙区、红区(处于部分设备箱体内部,其通排风及负压由设备自身提供)。绿区、橙区通排风及负压要求主要由全面排风系统、送风系统来实现。各实验室内设通风柜,放射化学研究实验在柜内进行,由局部排风系统保证柜内的排风及面风速,同时通风柜的这部分风量由与其一一对应并联锁的管道式空调机向所在实验室内补入,系统内涉及到的主要风机设备见表 1。本项目通排风系统的调试工作主要针对全排、送风、局排系统风量平衡、实验区域的负压调试来开展。

收稿日期:2015-3-16

作者简介:禹志臻(1987~),男,本科,助理工程师;上海市嘉定区嘉罗公路 2019 号(201800) 021-39194623 E-mail: yuzhizhen@sinap.ac.cn  
基金项目:中国科学院战略性先导科技专项资助(No.XDA02000000)

表 1 通排风系统风机设备表

设备名称	规格型号	技术参数	数量/台
送风系统离心风机	BDB-630C-CV270	风量28000m³/h 压头1400Pa	2
全排系统一楼离心风机	4-72-11N05A	风量10200m³/h 压头1019Pa	4 (一楼橙区绿区各2台, 一用一备)
全排系统二楼、三楼离心风机	4-72-11N08D	风量18244m³/h 压头2095Pa	4 (二楼三楼每层各2台, 一用一备)
局排系统离心风机	4-73-11N012D	风量4567m³/h 压头2044Pa	2 (一用一备)

## 2 调试过程

### 2.1 测量仪器

调试采用比托管与数字式微压计测量总管及支管风量,用手持叶轮式风速仪测量风口风量,并用热球式风速仪对比风口测量数据,以保证数据的可靠性。

### 2.2 总风量测试

调试首先应测量系统总风量,一来可以验证风机能力,二来可以对比设计风量,更好地在下一步风量平衡时使风量按比例送入各支管及风口。以送风主管为例,总风量测试选取风机出口的主管直管稳定段作为测量断面并打孔,利用比托管与数字式微压计在断面上测量动压。测点分布应均匀,具体可将风管断面划分为若干矩形<sup>[1]</sup>,并尽可能接近正方形,且各面积不得大于0.05 m²,如图1。在各测点处分别测得动压值 $P_{di}(1 \leq i \leq n)$ 按均方根求得其平均值 $P_{db}$ 。然后根据下式求得平均风速 $v$ ：

$$v = \sqrt{\frac{2P_{db}}{\rho}} \tag{1}$$

式中 $\rho$ 为空气密度。

由式(2)可计算总风量 $Q$ ：

$$Q = 3600Fv \tag{2}$$

式中 $F$ 为测量断面面积。

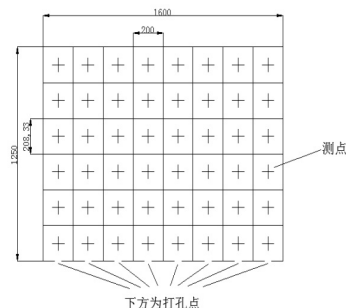


图 1 方形风管静压测点分布

### 2.3 各风口风量调整

以送风系统为例,分为1、2、3楼三个支管,每层支管上连接着通往各个实验室房间的风口散流器。如图2示意,运用基准风口调整法<sup>[2]</sup>,先调整3楼各风口。记录各风口设计风量 $Q_d$ ,选取系统最远端,假设为1号风口,作为基准风口。同时使用两套叶轮式风速仪,分别测量1号、2号风口风量 $Q_i$ ,然后调节2号风口前的调节阀,使得：

$$\frac{Q_{i1}}{Q_{d1}} \approx \frac{Q_{i2}}{Q_{d2}} \tag{3}$$

经过调节,1号风口的风量有所增加,2号风口风量有所下降,且两者的实测值与设计值比例大致相等,我们可以认为它们的风口阻力已经达到平衡,根据风量平衡原理,只要不变动已调节过的调节阀位置,无论前段风管风量如何变化,1、2号风口风量总是按比例进行分配。

此时,再同时测量1、3号风口风量,调节3号风口前的调节阀,使得：

$$\frac{Q_{i1}}{Q_{d1}} \approx \frac{Q_{i3}}{Q_{d3}} \tag{4}$$

如此,则1、3号风口阻力也达到平衡,而且由于1、2号风口前的调节阀位置没有变动,所以3个风口均都已调整平衡。按此思路调整下去,将3楼支管上所有风口都调平衡,则有：

$$\frac{Q_{i1}}{Q_{d1}} \approx \frac{Q_{i2}}{Q_{d2}} \approx \frac{Q_{i3}}{Q_{d3}} \approx \dots \approx \frac{Q_{in}}{Q_{dn}} \tag{5}$$

1、2楼支管上的风口按同样方法调整。

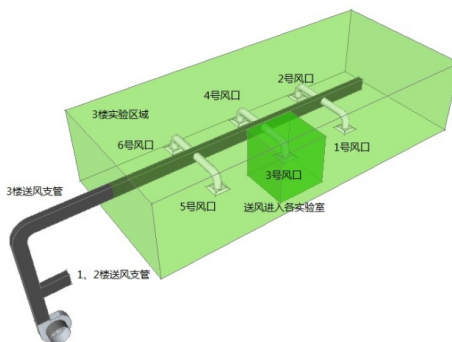


图 2 三楼送风支管示意

### 2.4 总风量调整

各支管上的风口均调整平衡后,按上述方法调整各支管风量并使其平衡。根据风量平衡原理,系统内所有风口都已平衡,但可能并未达到设计值。此时再调整总风量,使其达到设计值即可,则各支管及风口风量也会按比例自动达到设计值。

## 2.5 通风柜面风速调试

局排系统由变频风机进行排风,系统内共接有 45 台通风柜,按设计确定的同时使用系数 0.34 考虑,最多共可同时使用 15 台通风柜,要求使用时面风速达到 1 m/s。在实际运行情况下,可能出现在这 45 台中同时使用 1~15 台的情况,其排列组合形式极多。调试时针对这种多工况情形做了简化处理,针对同时使用 1~15 台这 15 种工况分别进行调试。

首先调试同时使用 15 台的工况,选取系统内最远端的 15 台,暂将其编为第 1~15 号,同时打开,因为面风速调试实际等同于通风柜的风量平衡,故各通风柜出口调节阀的调节可按照上文所述的方法进行,可得:

$$\frac{Q_{r1}}{Q_{d1}} \approx \frac{Q_{r2}}{Q_{d2}} \approx \dots \approx \frac{Q_{r15}}{Q_{d15}} \quad (6)$$

由于各通风柜设计排风量相等,故达到平衡后第 1~15 号通风柜实际排风量也基本相等,如此再调整排风机频率,各通风柜排风量即按同比例变化,最终调整到设计值。此时标记各通风柜排风出口调节阀的开度及排风机频率,然后关闭这 15 台通风柜中的 1 号通风柜,同时打开剩余 30 台中的 1 台,暂将其编为第 16 号,对其进行风量平衡(其余 14 台通风柜出口调节阀不再调整),则可得:

$$\frac{Q_{r2}}{Q_{d2}} \approx \frac{Q_{r3}}{Q_{d3}} \approx \dots \approx \frac{Q_{r16}}{Q_{d16}} \quad (7)$$

此次平衡过程与上次平衡过程相比,由于进行了阀门调节操作,系统总阻力理论上发生了变化,但由于只涉及 1 号及 16 号两个通风柜调节阀的操作,且一开一关对总阻力变化有相互抵消的效果,实际测量中可近似认为系统总阻力不变,即系统总风量和分配到各通风柜的排风量不变。如此也就不再调整排风机的频率,然后标记 16 号通风柜出口调节阀开度。依此类推,完成同时使用 15 台这一工况的调试,同时也完成所有通风柜排风出口调节阀的标定及这一工况下排风机频率的标定。

按此方法进行同时使用 1~14 台这 14 种工况的调试(上一步调试已完成所有通风柜出口阀流量的配比,故只需保持各出口阀开度标定值,不再调整),仅需要调整排风机的频率即可,最终得到这 15 种工况对应的排风机频率,完成通风柜面风速的调试。

## 3 负压调试

由于本项目运行后将进行放射化学实验,相关实

验区域必须保持负压以避免交叉污染。其中绿区设计负压为 -30~-50 Pa,橙区设计负压为 -100~-150 Pa。然而在全排全送系统风量平衡之后,负压监控读数为绿区 -30 Pa 左右,橙区 -30 Pa 左右,橙区未达到设计负压值,两区之间亦未形成明显的压力梯度,如此极易造成气流的紊乱及交叉污染。根据流体力学理论,两个区域之间的相对压差就是以一定漏风量通过它们之间缝隙时的阻力<sup>[9]</sup>:

$$Q_l = 3600eS\sqrt{2\Delta p/\rho} \quad (8)$$

式中: $Q_l$ 为漏风量; $e$ 为流量系数,通常取 0.3~0.5; $S$ 为缝隙截面积; $\Delta p$ 为与相邻区域的相对压差; $\rho$ 为空气密度。

调试中可认为漏风量等于设计排风量与设计送风量之差,若在门窗缝等结构上可预见的漏点之外还存在额外孔洞,导致  $S$  很大,由式(8)可见  $\Delta p$  将小于设计值。因此出现这一状况后首要任务便是排查结构漏点,经过仔细的现场查勘,发现在风管穿墙处存在明显漏风点。其中较大的漏点如图 3 所示。

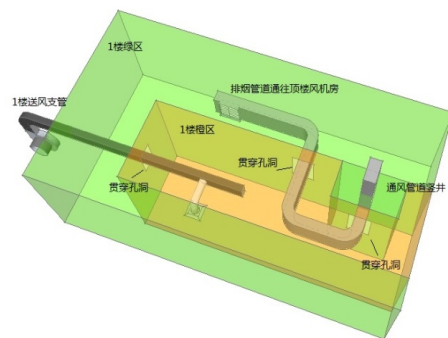


图 3 绿区、橙区之间漏点示意

这些穿孔孔洞是土建施工时预留的,风管安装完后并未封堵完全。整改后发现橙区负压值明显改善。考虑到本项目是改造工程,旧楼结构上难免存在可能的漏点,在业主、调试、设计三方认可的情况下,在设计的基础上略微加大了橙区的排风量,从而达到设计指标。

## 4 讨论与建议

本项目调试时,所有风量数据均为手动测量。建议以后遇到类似项目时,在设计阶段考虑于合适点位加装风量传感器。如此,一来可在调试阶段提供一组数据与手动测量数据互为检验、验证,加快调试速度;二来在运行阶段如转换实验工况,可通过传感器反馈的测量数据迅速确认工况是否转换到位。另外在对橙

(下转 9 页)

在地下水补给或排泄期进行,由于渗流作用加强了埋管换热,所测得的岩土导热性能将较地下水稳定时期偏高,岩土热响应实验如在夏季进行,由于夏季较高的补给水温不利于埋管释热,所测得的岩土导热性能将较冬季偏低。在参考岩土热响应实验结果进行地源热泵系统设计时,如能结合当地水文地质资料,掌握测试时的地下水渗流状况,则可以通过拟合计算较为准确地推断出岩土实际的传热特性,从而提高系统设计的可靠程度。

#### 4 结论

本文通过建立可控渗流的土壤耦合埋管实验平台,进行了埋管在不同渗流速度、渗流温度下以 8 h 释热、16 h 停机为周期的运行实验,研究了渗流参数对土壤传热能力、土壤温度场自恢复能力及埋管换热功率的影响,主要结论如下:

1)地下水渗流温度的降低会增大土壤蓄热区由中心到远端的温度梯度,从而提高运行期间埋管的释热功率,同时降低停机后土壤自恢复的最终温度。

2)地下水渗流流速的增大会增强土壤孔隙中水的对流传热强度,从而提高埋管的换热功率和埋管对土壤蓄热区的利用率,同时增大渗流上下游之间的温差。

3)地下水全年补给水源温度及渗流流速存在季节性变化,在渗流流速较高的地下水补给期及排泄期

进行岩土热响应实验将测得偏高的土壤导热性能参数,在渗流水温较高的夏季进行岩土热响应实验将测得偏低的土壤导热性能参数,因此应参考当地水文地质特征拟合计算一年中不同时期地下岩土的真实传热特性。

#### 参考文献

- [1] Lund John, B Sanner. Geothermal(ground-source)heat pumps a world overview [J]. GHC Bulletin, 2004, 25(3): 1-10.
- [2] Chiasson, Andrew D, Simon J Rees, et al. A preliminary assessment of the effects of groundwater flow on closed-loop ground source heat pump systems [R]. Stillwater(US): Oklahoma State University, 2000.
- [3] Fujii, Hikari, Ryuichiltoi, et al. Optimizing the design of large-scale ground-coupled heat pump systems using groundwater and heat transport modeling [J]. Geothermics, 2005, 34(3): 347-364.
- [4] 蔡晶晶, 陈汝东, 王健. 地下水渗流对埋管传热影响的理论分析[J]. 流体机械, 2009, 37(12): 62-67.
- [5] 张文科, 杨洪兴, 孙亮亮, 等. 地下水渗流条件下埋管换热器的传热模型[J]. 暖通空调, 2012, 42(7): 129-134.
- [6] Diao Nairen, Qinyun Li, Zhaohong Fang. Heat transfer in ground heat exchangers with groundwater advection [J]. International Journal of Thermal Sciences, 2004, 43(12): 1203-1211.
- [7] 林俊, 胡映宁, 刘涛, 等. 渗流对富水土壤传热特性影响的实验模拟研究[J]. 暖通空调, 2007, 37(7): 7-10.
- [8] 赵军. 竖埋管型地源热泵地下传热及热力性能的研究[D]. 天津: 天津大学, 2002.
- [9] 彭柏兴. 长沙地区水文地质特征与抗浮设防水位的确定[J]. 城市勘测, 2013, (1): 161-166.

(上接 81 页)

区进行查漏封堵时,由于风管孔洞均在吊顶上方,且吊顶上方已布满风管、电缆桥架、消防管道,人员可活动的空间极为狭小,给封堵工作造成了极大的不便,导致了工期的拖延。建议对于有负压要求的区域,在土建阶段就要对所有预留孔洞进行统计,在安装阶段跟踪督促封堵情况,对于电缆桥架,重点关注穿墙处的防火、密封是否做好,确保在调试阶段时结构已具备密闭性。

#### 5 结语

综上所述,本项目的通排风系统调试最终使各系

统末端风量按设计达到平衡,并使各区域负压指标达标。通过现场调试,验证了上文所述的调试方法,并总结出在设计、施工阶段需要注意的问题,对今后开展类似工程有一定借鉴意义。

#### 参考文献

- [1] 河海兵. 中央空调系统的调试[J]. 浙江海洋学院学报, 2001, 20(3): 262-265
- [2] 郑平. 集中送风的恒温恒湿空调系统风量平衡方法探讨[J]. 机电技术, 2012, (4): 63-66
- [3] 刘俊杰, 赵歆治, 王斌. 生物洁净室的负压控制[J]. 暖通空调, 2007, 37(10): 85-88