

文章编号: 1671-6612 (2021) 04-602-05

某烟草实验室恒温恒湿空调系统的设计要点分析

高孟军 刘 霄 丁晓捷

(云南省设计院集团有限公司 昆明 650228)

【摘要】 根据恒温恒湿实验室的工艺要求并结合昆明地区气候特点, 系统的讨论烟草恒温恒湿实验室在设计过程中的设计要点。通过对空调冷热源的选择, 组合式空调机组的选择, 气流组织, 围护结构的保温, 消声降噪, 日常维护等方面进行设计要点分析。

【关键词】 冷热源; 气流组织; 空调加湿

中图分类号 TB663 文献标识码 B

Analysis of the Key Points in the Design of a Constant Temperature and Humidity Air-conditioning System in a Tobacco Laboratory

Gao Mengjun Liu Xiao Ding Xiaojie

(Yunnan Design Institute Group Co., Ltd, Kunming, 650228)

【Abstract】 According to the technological requirements of the constant temperature and humidity laboratory and the climatic characteristics of Kunming, the design points of the constant temperature and humidity laboratory in the design process of the tobacco constant temperature and humidity laboratory are systematically discussed. Through the selection of air conditioning cold and heat sources, the selection of modular air conditioning units, airflow organization, maintenance structure insulation, noise reduction and noise reduction, daily maintenance and other aspects of the design key analysis.

【Keywords】 Source of cold and heat; Air organization; Air conditioning and humidification

作者(通讯作者)简介: 高孟军(1992.5-), 男, 本科, 助理工程师, E-mail: 1343125590@qq.com

收稿日期: 2021-06-21

0 项目背景

本建筑为一类高层, 地上二十层, 地下两层, 功能属性为办公楼。现把一层办公室改造为恒温恒湿实验室, 一层原始改造面积452m², 原始层高为5.1m, 现拟建设成331.5m²的烟叶样品观摩室和31.1m²烟叶样品制备室, 中央控制室、空调机房。

烟草实验室对室内温度和湿度的要求高, 且室内环境温湿度对烟草实验室检测设备及烟叶评析检测结果的科学性会产生一定的影响, 卷烟的吸阻、硬度、通风率、以及主流烟气等项目进行检测时须在温湿度满足测试试验的大气条件下进行, 故确保

恒温恒湿实验室的温、湿度要求及精度和温、湿度的波动要求对试验的准确性有很大的影响。其中在温和地区满足工艺要求的前提下, 如何运行节能、控制投资、合理化配置等方面进行综合分析。

1 实验室的控制参数及气候条件

(1) 室内温湿度及精度

在《烟草实验室大气环境检定规程》JJG(烟草)21-2010中对烟草恒温恒湿实验室有温湿度及精度规定, 结合规范要求和本实验室的要求确定本项目的设计参数如表1所示。

表1 烟草恒温恒湿实验室设计参数

Table 1 Tobacco constant temperature and humidity laboratory design parameters

技术指标	样品观摩室	样品制备室	备注
工作范围	干球温度: 20.0~25.0°C 相对湿度: 50.0~80.0%	干球温度: 20.0~25.0°C 相对湿度: 50.0~80.0%	
波动度	温度: (22.0±2.0) °C 相对湿度: (60.0±5.0) %	温度: (22.0±2.0) °C 相对湿度: (60.0±5.0) %	
同一点稳定性	短时波动度 温度: ≤2.0°C 相对湿度: ≤5.0%	温度: ≤2.0°C 相对湿度: ≤5.0%	
	长时波动度 温度: ≤1.0°C 相对湿度: ≤2.5%	温度: ≤1.0°C 相对湿度: ≤2.5%	
均匀性	温度: ≤2.0°C 相对湿度: ≤5.0%	温度: ≤2.0°C 相对湿度: ≤5.0%	
实验室内空气流动性 人均新鲜空气补充量	室内空气全部循环≥25 次/h, 工作区域的空气流速: 0.25~0.5m/s。 ≥3.0m ³ /min·人 (按人均使用面积 5m ² 设计)		
室内噪音	≤55dB		

说明: 在《烟草实验室大气环境检定规程》JJG (烟草) 21-2010中对人均新风量要求为≥2.0m³/min, 室内空气全部循环为≥12次/h。因为在烟叶评析过程中参与人员多, 产生的烟气量大, 所以加大人均新风量至3.0m³/min, 室内空气全部循环为≥25次/h (满足工艺需求)。

(2) 室外计算气象参数

纬度: 北纬25° 01', 经度: 东经102° 41'。

工程所在位置: 云南昆明, 海拔: 1892.4米。

表2 室内气象参数

Table 2 Indoor meteorological parameters

	大气压力 hPa	空调计算干球温度°C	空调计算湿球温度°C	相对湿度%	通风计算干球温度°C	风速 m/s
夏季	808.2	26.2	20	/	23	1.8
冬季	811.9	0.9	/	68	8.1°C	2.2

(3) 样品观摩室和样品制备室送风量及负荷的确定

①样品观摩室

表3 K-1空调系统风量及冷、热量

Table 3 K-1 air-conditioning system air volume and cold and heat

送风量 m ³ /h	回风量 m ³ /h	新风量 m ³ /h	新风比	冷量 kW	热量 kW	加湿量 kg/h	再热量 kW
32000	19000	13000	40.63%	66.7	109.0	121.6	4.4

W: 室外状态点
N: 室内状态点
C: 混合状态点
D: 加热点
O: 送风状态点

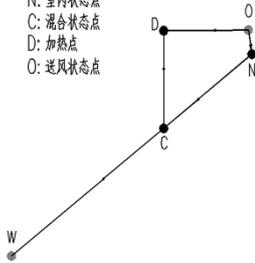


图1 冬季处理过程

Fig.1 Winter treatment process

W: 室外状态点
N: 室内状态点
C: 混合状态点
L: 机械露点
O: 送风状态点

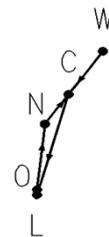


图2 夏季处理过程

Fig.2 Summer treatment process

②样品制备室

表4 K-2空调系统风量及冷、热量

Table 4 K-2 air-conditioning system air volume and cold and heat

送风量 m ³ /h	回风量 m ³ /h	新风量 m ³ /h	新风比	冷量 kW	热量 kW	加湿量 kg/h	再热量 kW
3000	1900	1100	36.67%	6.3	8.6	11.4	0.4

W: 室外状态点
N: 室内状态点
C: 混合状态点
D: 加热点
O: 送风状态点

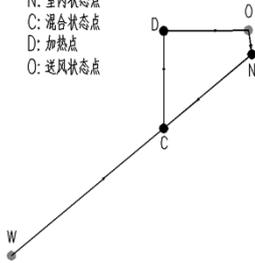


图3 冬季处理过程

Fig.3 Winter treatment process

W: 室外状态点
N: 室内状态点
C: 混合状态点
L: 机械露点
O: 送风状态点



图4 夏季处理过程

Fig.4 Summer treatment process

2 空调系统设计要点及设备选型

2.1 空调冷热源要点分析

目前恒温恒湿空调主机有风冷模块恒温恒湿

表5 风冷模块恒温恒湿空调机组、直膨式恒温恒湿空调机组空调系统比较

Table 5 Comparison of air-conditioning systems of air-cooled module constant temperature and humidity air conditioning units and direct expansion constant temperature and humidity air conditioning units

空调类型	系统特性	优点	缺点
风冷模块恒温恒湿空调机组	制冷时，可回收冷凝热作为恒温恒湿机组再热热源；组合式空调机组需要增设加热盘管装置和电动热水调节阀和热水循环泵	节能性好，能效比 COP 值平均为 3.4	风冷式冷热水机组带热回收模块，初投资较大；四管制系统复杂；设备控制复杂
直膨式恒温恒湿空调机组	制冷时，冷凝热不能回收；组合式空调机组制冷除湿后需要电加热段再热。无需增设加热盘管装置和电动热水调节阀	风冷式冷热水机组初投资低；水系统仅需一套冷热水循环泵，控制系统简单，维护方便	再热加热要靠电直接加热，能效比 COP 值为 1，耗功大
	工作时制冷剂可快速直接跟空气完成冷热交换	换热效率高，精度高，控制方便，安装简单	初投资高

(1) 鉴于四管制机组投资高于两管制机组，根据昆明的气候特点和实验室湿度控制范围(相对湿度: 50.0~80.0%)为高湿环境，除湿再热量小，最终确定为两管制风冷式冷热水机组。(2) 由于烟叶样品制备室面积小(仅为31.1m²)，样品观摩室面积大(331.5m²)；且两房间的使用频率不同，

空调机组、直膨式恒温恒湿空调机组，对两种空调系统比较如表5所示。

房间负荷差距大，如果共用一套系统会造成使用不合理，故样品制备室采用一套直膨式恒温恒湿空调机组。

2.2 组合式空调机组加湿方式要点分析

恒温恒湿组合式空调机组段体有进风混合段，制冷段(制热段)、再热段、加湿段、风机段。常

用加湿方式有电极式, 干蒸汽, 高压喷雾, 湿膜气化。根据项目特点, 人员密度大, 换气次数较高, 由于新风量大故加湿量较大, 而且加湿的精度在土

5.0%且波动范围 $\leq 2.5\%$, 选择一个合适的加湿方式对方案设计有较大影响对几种加湿方式比较如表6所示。

表6 几种加湿方式比较

Table 6 Comparison of several humidification methods

加湿类型	优点	缺点
电极式	加湿迅速、均匀、稳定、控制方便, 无噪音, 可满足相对湿度波动范围 $\leq 3\%$ 的要求	运行费用高, 不使用软化水时内部易结垢, 清洗困难
干蒸汽	加湿迅速、均匀、稳定, 节省电能, 运行费低, 可满足相对湿度波动范围 $\leq 3\%$ 的要求	必须有蒸汽源, 并伴有输气管道, 设备结构比较复杂, 初投资高
高压喷雾	加湿量大, 雾粒细, 效率高, 运行可靠	喷嘴易堵塞 (对水未进行有效的过滤时), 加湿后尚需升温
湿膜气化	加湿段短, 饱和效率高, 节电省水, 初投资低	加湿量小, 加湿精度低, 加湿后尚需升温

鉴于本实验室的加湿精度要求较高, 考虑到本项目没有蒸汽源, 综合考虑后使用电极加湿 (配套软化水装置) 可满足加湿精度的要求, 且控制简单方便。

考虑到该实验室为改造项目, 为保证气流组织的均匀性, 送风形式为上送风, 下侧回风的形式。其中上送风的方式有散流器送风和孔板送风。对两种送风形式比较如表7所示。

2.3 气流组织的要点分析

表7 散流器送风和孔板送风比较

Table 7 Comparison of diffuser air supply and orifice plate air supply

送风形式	特点	优点	缺点
孔板送风	通过吊项上部围合空间形成送风静压箱; 在工作区上部吊项采用送风孔板, 开孔率不小于 50%, 形成均匀送风	在工作区形成层流, 气流较均匀	吊项上部区域 (梁板) 均需要保温; 送风静压箱内有大量排水管、喷淋管电线电缆及吊杆、吊架, 金属件保温困难, 容易形成冷桥, 产生冷凝水; 送风静压箱有一定的正压 (30Pa 左右) 需加强吊项的抗压性, 增加投资; 送风静压箱内卫生情况难以保证
散流器送风	通过吊项上部设置方形或圆形散流器, 采用扩散方式形成均匀气流	送风形式简单, 安装方便, 节省投资	在工作区形成扩散流, 气流均匀性较孔板送风差

鉴于本项目为改造项目, 二层下来的排水管及其他管线较多, 吊项空间围合形成送风静压箱后, 大量裸露的金属件需要保温, 施工安装困难且投资较高。同时送风孔板需要直接设置在人员工作区正上方, 与吊项上部的灯具布置有一定的冲突; 综上所述使用传统的散流器送风方式。

求。

2.4 围护结构的要点分析

根据《工业建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB 50019-2015的要求, 工艺性空气调节区围护结构最大传热系数 $K[W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$ 限值需满足表8要

表8 工艺性空气调节区围护结构最大传热系数

Table 8 The maximum heat transfer coefficient of the envelope structure of the process air conditioning zone

围护结构名称	室温允许波动范围 ($^\circ C$)		
	$\pm (0.1 \sim 0.2)$	± 0.5	± 1.0
屋顶	—	—	0.8
顶棚	0.5	0.8	0.9
外墙	—	0.8	1.0

内墙和楼板 0.7 0.9 1.2

墙体材料为200mm 厚蒸压加气混凝土砌块墙+75mm厚岩棉保温, 热工计算如图5所示。传热系数 $K=0.371$ ($W/m^2 \cdot K$), 热惰性 $D=4.812$ 。

材料名称 (由外到内)	编号	厚度 (mm)	导热系数 ($W/m \cdot K$)	蓄热系数 ($W/(m^2 \cdot K)$)	修正 系数	密度 (kg/m^3)	比热容 ($J/kg \cdot K$)	蒸汽渗透系数 ($g/(m \cdot h \cdot Pa)$)
水泥砂浆	1	20	0.930	11.370	1.00	1800.0	1050.0	0.0210
蒸压加气混凝土砌块 (525) 27	27	200	0.160	2.750	1.25	550.0	1050.0	0.1050
▶ 岩棉、岩棉、玻璃棉板 (ρ)	29	75	0.050	0.590	1.00	80.0	1220.0	0.0000
水泥砂浆	1	20	0.930	11.370	1.00	1800.0	1050.0	0.0210

总厚度: 315mm 计算值: 导热阻 $R=2.543$, 热阻 $R=0.693$, 传热系数 $K=0.371$, 热惰性 $D=4.812$
 延迟时间 $\tau=11.47h$, 衰减系数 $\beta=0.12$, 面密度 $=188.00kg/m^2$

图5 热工计算图

Fig.5 Thermal calculation diagram

顶棚材料为40mm酚醛保温板, 热工计算如图6所示。传热系数 $K=0.712$ ($W/m^2 \cdot K$); 热惰性 $D=2.252$ 。

材料名称 (由上到下)	编号	厚度 (mm)	导热系数 ($W/m \cdot K$)	蓄热系数 ($W/(m^2 \cdot K)$)	修正 系数	密度 (kg/m^3)	比热容 ($J/kg \cdot K$)	蒸汽渗透系数 ($g/(m \cdot h \cdot Pa)$)
水泥砂浆	1	20	0.930	11.370	1.00	1800.0	1050.0	0.0210
钢筋混凝土	4	120	1.740	17.200	1.00	2500.0	920.0	0.0158
水泥砂浆	1	20	0.930	11.370	1.00	1800.0	1050.0	0.0210
▶ 硬质酚醛 (PP)	22	40	0.035	0.605	1.00	100.0	1000.0	0.0000

总厚度: 200mm 计算值: 导热阻 $R=1.255$, 热阻 $R=1.405$, 传热系数 $K=0.712$, 热惰性 $D=2.252$
 延迟时间 $\tau=4.62h$, 衰减系数 $\beta=0.31$, 面密度 $=376.00kg/m^2$

图6 热工计算图

Fig.6 Thermal calculation diagram

通过对墙体和顶棚增加保温材料后, 使围护结构的传热系数满足规范要求, 在后期使用中对温度的调控增加了保障。

2.5 消声减震的要点分析

该实验室的空调主机、组合式空调机组(落地安装)、水泵等会产生震动的设备均增加混凝土基础和减震器, 吊顶的空调机组增加弹簧减震器, 风机采用噪音小的电机。空调机房墙壁敷设吸音棉, 防止噪音传入室内。风管出机房位置增加消声器

(减少5~8分贝噪音)。

2.6 日常维护与管理的要点分析

该恒温恒湿实验室使用频率成周期性波动, 新风入口处安装电控调节阀, 避免冬季机组未使用时冷空气进入机组冻坏设备。吊顶式空调机组预留空调检修口, 方便平时维护检修。吊顶式空调机组制冷盘管段下方设置不锈钢集水盘, 避免设备漏水对实验室设备造成破坏。

3 结束语

综上所述, 在恒温恒湿实验室设计时, 首先需明确室内温湿度要求及波动范围, 其次选择合适的空调主机、空气加湿方式和气流组织方式, 还需考虑实验室围护结构的传热系数及设备和风管的消声减震处理方式, 以后日常维护检修的空间。在设计时综合考虑各个方面的因素, 选择一个合理经济的方案, 使设计结果更加合理全面。

参考文献:

- [1] 刘晓艳, 刘湘桂, 卢荣中. 恒温恒湿实验室温度、湿度检测方法的探讨[J]. 工业计量, 2012, (5): 43-45.
- [2] 赵秉南. 精密实验室用恒温恒湿空调系统的优化设计[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2016.
- [3] GB/T 16447-2004, 烟草及烟草制品调节和测试的大气环境[S]. 北京: 中国标准质检出版社, 2005.
- [4] 张永江, 冯银龙. 烟草检测用恒温恒湿实验室的设计[J]. 现代商贸工业, 2017, (15): 187-188.
- [5] 余丽华, 汪洪军. 恒温恒湿科学实验室的空调系统设计[J]. 制冷与空调, 2018, (5): 511-514.
- [6] 陆耀庆. 实用供热空调设计手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.