

文章编号: 1671-6612 (2024) 01-148-07

洁净室内 AMC 治理方法研究

王 雄 刘 菊

(信息产业电子第十一设计研究院科技工程股份有限公司 成都 610056)

【摘 要】 气态分子级污染物 (Airborne Molecular Continent, AMC) 是影响洁净室生产环境的主要因素之一, 因此控制洁净室内 AMC 浓度成了半导体行业发展的关键问题之一。分别从“防”与“治”两个方面阐述了有效控制室内 AMC 浓度的方法, 提供了室外新风的不同处理方式及应用场景, 提供了洁净室内装修材料选用的标准及依据, 研究了面板行业敏感度较高的 VOCs (Volatile Organic Compounds) 的相关处理方式及应用场景, 为后续相关洁净室设计提供了参考及工程实际意义。

【关键词】 洁净室设计; AMC; VOCs

中图分类号 X51 文献标志码 A

Research on the Methods of Airborne Molecular Continents in Clean Room

Wang Xiong Liu Ju

(EDRI, Chengdu, 610056)

【Abstract】 Airborne Molecular Continent (AMC) is one of the main factors affecting the production environment of cleanrooms, and therefore the control of indoor AMC concentration in clean rooms has become one of the key issues for the development of the semiconductor industry. This paper described the methods of effectively controlling indoor AMC concentration from the aspects of "prevention" and "treatment", provided different treatment methods and application scenarios of outdoor fresh air, provided the standards and basis for the selection of decoration materials in clean room, and researched the sensitivity of VOCs in the panel industry, which is highly sensitive. It also studies the treatment and application scenarios of VOCs (Volatile Organic Compound), which is highly sensitive in the panel industry, and provided references and practical significance for the subsequent design of related cleanrooms.

【Keywords】 Clean room; AMC; VOCs

0 引言

近年来, 半导体行业制程水平从 95nm、65~55nm、28nm, 发展至当下 14nm 及以下, 对洁净室生产环境的要求也随之进一步提高^[1]。

洁净室内 AMC (Airborne Molecular Continent, 气态分子级污染物) 不仅影响员工的健康, 长时间吸入 AMC 物质会对员工的肝、肾等器官产生损伤甚至诱发癌症, 而且影响产品的良品率^[2], 面板厂中, 当各类化学物质通过空气附着在玻璃表面, 会

在玻璃表面形成颗粒或薄膜, 会出现结晶效率降低, 蚀刻不均匀, 光学镜头出现不纯物质等问题。含硫气体和湿气能腐蚀电路板上暴露在外的镀铜, 生成的硫化铜会引起电路板蠕变, 并会造成临近的相隔功能部件短路, 还能在干燥情况下腐蚀银, 生成硫化银, 硫化银大量聚集后会产生机械压力, 从而破坏封装的完整性, 封装的完整性受到破坏后, 下层的银会暴露在外, 发生进一步的腐蚀, 部件中的所有银全都耗尽后导致设备断路^[3]。

作者简介: 王 雄 (1979.04), 男, 本科, 高工, E-mail: wangx@edri.cn

通讯作者: 刘 菊 (1987.10-), 女, 硕士, 高工, E-mail: 1481965377@qq.com

收稿日期: 2023-10-18

半导体行业对气态分子污染物的敏感区域较多，因而室内 AMC 治理水平是评价半导体行业洁净室性能的重要指标之一^[4]。

洁净室内 AMC 主要来自于以下几个方面^[5]：

(1) 室外大气

室外大气中含有各种化学分子污染物，包含有机（VOCs）及无机（酸、碱等）各种污染物。洁净室补充大量室外新风时，一部分化学物质会被引

入室内。

(2) 工艺制程中产生各类污染物散发至室内
面板厂中的薄膜晶体管液晶显示器（Thin film transistor liquid crystal display, TFT-LCD）制造流程和彩膜（color filter, CF）制作流程中都会产生 AMC 气体。

FTF 制程及 CF 制程产生 VOC 工艺段如图 1 及图 2 所示。

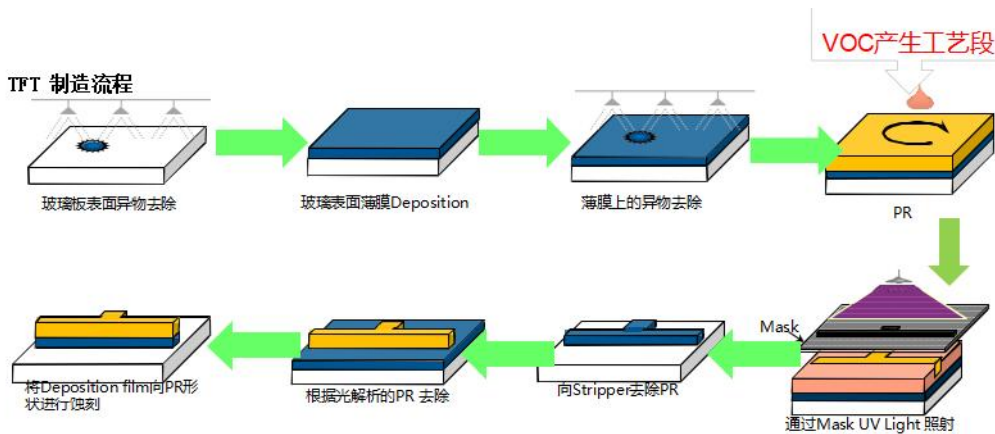


图 1 TFT 制作工艺流程图

Fig.1 TFT production process flow chart

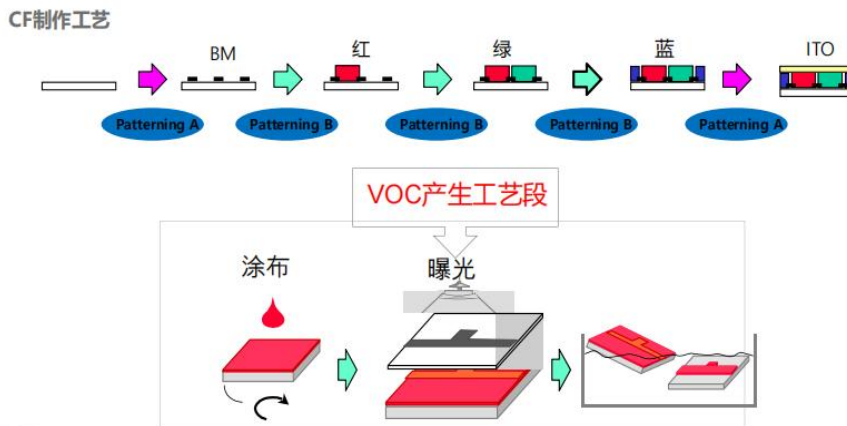


图 2 CF 制作工艺流程图

Fig.2 CF production process flow chart

(3) 室内建筑材料挥发

室内洁净装修材料，会散发各种化学物质至室内。

当下的研究均基于试验研究，并未有实际投入的工程实际应用背景和工程中出现的各种灵活背景的解决思路。本文分别从“防”与“治”两个方面阐述了有效控制室内 AMC 浓度的方法，提供了室外新风的处理方式及应用场景，并以工程中

实际运行的洁净室数据作为依据，阐述了不同的处理方式在运行中的处理效果及经济效应；针对局部区域 AMC 浓度较高的工艺制程从一开始就采用物理间隔断的方式并采用全直流空调系统处理室内空气的方式，一方面能有效排出高浓度 AMC 空气避免污染其他工艺区域，另一方面能将处理后的新风直接送入要求的工艺区域；对已经产生的 AMC，以工程应用经验为准，提供了当前洁净室

内常用经济的 AMC 处理方式，并以工程实例为背景重点研究了面板行业敏感度较高的 VOCs (Volatile Organic Compounds) 的相关处理方式及应用场景，为后续相关半导体及面板行业的洁净室设计提供了参考及工程实际意义

1 AMC 和 VOCs 定义

气态分子级污染物 (Airborne Molecular Continent, AMC) 是空气中传播的非粉尘化学污染物，严重影响了生产线中产品的良品率，主要分为无机物及有机物形式，包括酸性物质、碱性物质、高分子添加物、可凝结有机污染物和金属掺杂物^[6,7]。

普通意义上的 VOCs (Volatile Organic Compounds) 是带有挥发性的，在大气中以气体状态存在的有机化学物总称。

美国标准仪器、系统和自动化协会 (ISA) 给出保证电子设备最佳性能及安全运行所需的空气质量规范^[8]，将各种电子和电气系统所处的环境腐蚀程度分为四个级别：G1、G2、G3 和 GX，为评估潜在环境腐蚀程度提供了依据。G1 表示最低；GX 表示最严重的且没有上限。

2 洁净室内 AMC 治理方式

控制洁净室内 AMC 浓度主要从“防”与“治”两个方面着手。一方面从源头上减少 AMC 对室内洁净环境的影响，另一方面对已经产生的 AMC 采取相应的手段进行处理以保证室内洁净环境。

2.1 室内 AMC 的“防”

从源头上防止室内 AMC 的产生通常有以下几

种方式：(1) 室外新风经处理后再引入洁净室内；(2) 物理分隔工艺制程中 AMC 浓度较高的工序，单独处理此工序中产生的 AMC；(3) 选用严格符合法规及相应技术要求的室内建筑材料从源头上减少室内建筑材料挥发产生的 AMC；(4) 提高工艺生产设备的性能减少工艺制程中产生的 AMC。

暖通专业主要涉及的 AMC 治理环节主要为以下两个方面：(1) 室外新风经处理后再引入洁净室内；(2) 物理分隔工艺制程中 AMC 浓度较高的工序，单独处理此工序中产生的 AMC 以保证洁净室内空气环境。本节主要分析以上两种处理方式对室内空气环境中 AMC 的治理效果，以达到提供良好的洁净室环境的需求。

2.1.1 室外新风处理方式

将处理后的新风引入室内能有效减少大气 AMC 对洁净室环境的影响，半导体行业中新风处理方式主要包括高效水洗喷雾方式、水洗+湿膜处理方式、水洗+PP 除雾网处理方式和水洗+SUS 滤网处理方式。以某洁净厂房作为实例，处理新风量为 120000m³/h 时，传统水洗方式、水洗+湿膜、及喷淋+SUS 除雾网处理方式的压力损失、风机耗电增加、水泵耗电、耗水量以及所需耗材及运行费用如表 1 所示，由表 1 可知传统水洗方式的压损最大，水泵功耗最大，能耗和运行费用是最大的，采用直流水的湿膜处理方式可以去除新风中的无机物但去除效率不稳定，采用循环水的湿膜处理方式耗材最大，喷淋+SUS 除雾网能耗较小，但压损及风机能耗最大。

表 1 不同新风处理方式对比

Table 1 Comparison of different fresh air treatment methods

处理方式	压损 /Pa	风机耗电 增加/kW	水泵扬程/m	水泵耗电 /kW	耗水量/ (t/h)	水费/ 年	电费/ 年	耗材/ 年	运行费用 /年	备注
水洗	75	4.3	35	25.3	0.23	16259	181661	1800	199720	能耗大
湿膜(直流水)	70	4.0	5	0.3	1.86	130349	26378	5750	162477	去除无机物效率不稳定
湿膜(循环水)	95	5.4	35	6.8	0.23	16259	74723	7115	98096	200+200mm 厚, 纸质湿膜, 波高 7mm
喷淋+SUS 除雾网	120	6.9	35	6.8	0.23	16259	83483	1200	100941	无耗材

某洁净厂房项目实测新风经过传统水洗方式处理后化学物质含量如表 2 所示，由表 2 可知，新风经水洗处理后 NO₃、NO₂、SO₄²⁻及 NH₃ 浓度均大幅度下降，新风经处理后送入洁净室内对维护洁净室内环境十分有利。

表 2 新风经水洗方式处理前后化学物质含量变化

Table 2 Changes in chemical substance content in fresh air before and after treatment by washing

样品名称	NO ₃ /ppbv	NO ₂ /ppbv	SO ₄ ²⁻ /ppbv	NH ₃ /ppbv
新风水洗前	0.90	<0.1	0.38	1.7
新风水洗后	0.36	0.46	0.57	0.87
定量下限	0.05	0.1	0.05	0.6

2.1.2 AMC 浓度较高的局部区域空气处理方式

AMC 浓度产生较高的工艺制程区域单独分隔隔间设置，并采用直流式空调系统。



玻璃基板再生 (CF Rework) 等高污染工序区域，采用单独隔间与其他工艺生产区域分隔，气流不与周边房间交叉，将工艺制程中 AMC 浓度较高的空气经处理后直接排放至室外，为保持室内空气量平衡，房间采用全直流空调系统将处理后的新鲜空气直接送入洁净室内，不采用循环空气，避免房间酸、碱等化学物质浓度越来越高。此种处理方式一方面直接从源头上将 AMC 浓度高的空气直接排出室外，避免污染洁净室内其他区域环境，另一方面送入室内的洁净空气直接送入相关区域，对营造此区域的洁净环境提供了良好的保证。

2.2 AMC 的“治”

对已经产生的 AMC 采取相应的手段进行处理以保证室内洁净环境。本章主要阐述了当下洁净室内常用的 AMC 处理方式，提供了半导体及面板行业中主要选用的过滤器的主要成分及针对的 AMC

表 3 主要过滤物质组成成分及目标气体

Table 3 Main filter substance composition and target gas

产品型号	主要成分	目标气体
1	 活性炭+专有配方	氯气、VOC、碳氢化合物
2	 活性炭、活性氧化铝、氢氧化钾和专有配方	氯气、氯化氢、硫化氢、氟化氢、二氧化硫、氟化硼

种类，并重点阐述对面板行业中敏感度较高的 AMC 中的 VOCs 的处理方式。

2.2.1 局部和全室联合采用 FFU+化学过滤器处理方式

洁净室内常用的方式为局部区域 FFU 设置化学过滤器^[9,10]，但当局部区域 AMC 对产品良品率有较大影响，局部排气就地浓缩处理方式改善能力有限时，需要对该区域所有循环空气按一定比例通过 FFU 上所带化学过滤器进行过滤，整体降低该区域化学污染物浓度。处理原理图如图 3 所示。

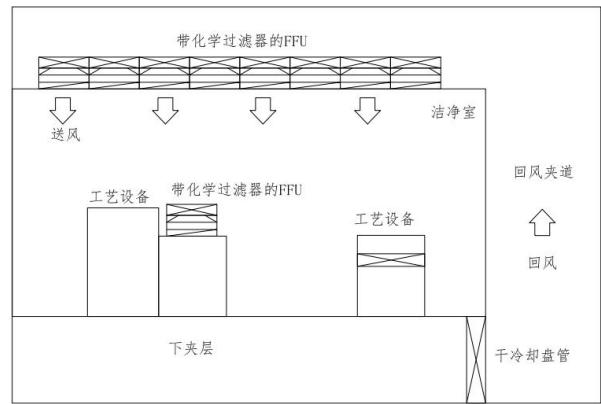


图 3 局部区域 FFU 设置化学过滤器处理方式原理图

Fig.3 Schematic diagram of local area FFU set chemical filter treatment method

根据不同的工艺制造过程中产生的不同种类的 AMC，上述循环空气处理方式中的化学过滤器可对应选择，不仅能够局部设置针对 VOCs、酸、碱的单一化学过滤器，还可组合设置 VOC+酸、VOC+酸碱室外过滤器，以达到工艺需求生产环境。

半导体及面板行业中主要选用的过滤器的主要成分及主要针对目标气体如表 3 所示。

续表 3 主要过滤物质组成成分及目标气体

Table 3 Main filter substance composition and target gas

产品型号	主要成分	目标气体
3 	沸石+专有配方	氨气和胺类气体等
4 	活性氧化铝、硫代硫酸钠及专有配方	氯气、二氧化氯、盐酸
5 	以活性氧化铝为基材，浸渍高锰酸钾或高锰酸钠	二氧化硫、砷化氢、硫化氢、氮氧化物、低分子量的有机气体
6 	按不同比例混合的滤料，以优化去除目标气体的能力，如 CCP810、CCP830 等	

2.2.2 就地浓缩后集中处理

面板厂中，各工序主要对 VOCs 敏感度较高，对曝光等制程中产生的 VOCs 不能在工艺设备密闭腔体中直接被排走，会直接散发至洁净室环境中，如果不能有效及时处理，会致使环境中化学物质浓度越来

越高。针对此种情形采用就地浓缩处理机组，对散发区域，就近设置奇士筒吸气口，就地通过浓缩处理机组将 VOCs 浓缩后排入中央处理系统。经吸附完 VOCs 的干净空气就地释放至环境，不致排放大量室内空气致能源浪费。处理原理如图 4 所示。

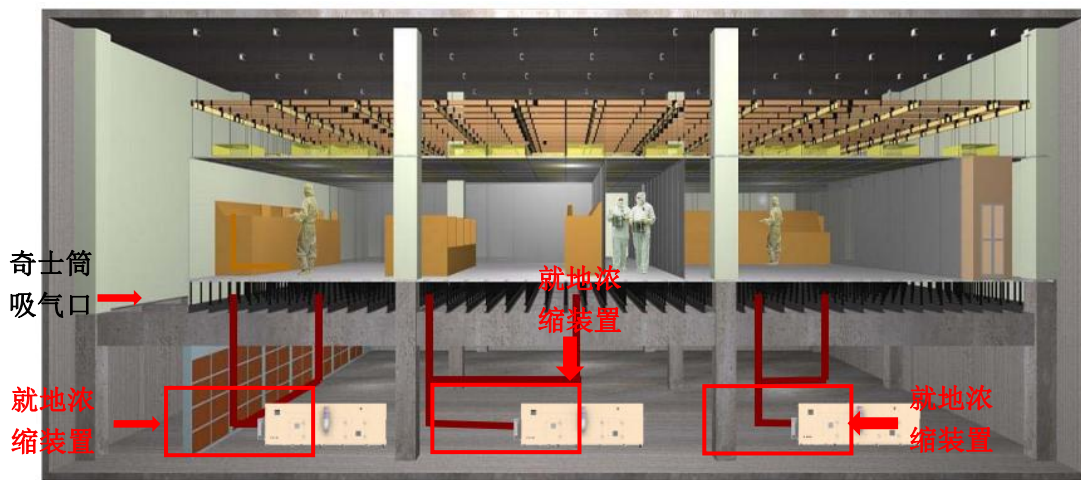


图 4 就地浓缩处理示意图

Fig.4 Schematic diagram of in-situ concentration treatment method

面板行业中，就地浓缩后的 VOCs 的中央处理系统的处理方式主要包括直接燃烧法、吸附法、催化剂氧化法、生物性处理法、凝缩法、化学结晶法

及浓缩法^[1]，以上处理方式的原理、使用范围及特点如表 4 所示。

表 4 VOCs 主要处理方式原理、使用范围及特点

Table 4 Principles, scope of application and characteristics of major VOC treatment methods

处理方式	原理	适用范围	特点
直接燃烧法	700~900°C时高温处理	大部分燃烧性气体	投资费用和运营费用高, 装置耐用性低
吸附法	利用活性炭或沸石进行吸附	大部分恶臭与异味	预处理(酮, 醛, 酯)并需要再生装置, 投资少, 压力损失少
催化剂氧化法	利用催化剂在 200~400°C时燃烧	大部分燃烧性气体	去除效率高, 运营费用低, 需要更换催化剂, 催化剂毒(As, P, Pb, Si)
生物性处理方法	生物性分解	大部分恶臭与异味	需要防冻设施, 大容量处理困难, 约束条件多, 需求空间大
凝缩法	冷却与凝缩	高沸点物质	有点除却高浓度物质
化学结晶法	酸碱中和	酸/碱性	需要酸/碱性排水装置
浓缩法	VOC 浓缩(5~30 倍)以有机气排出	大部分燃烧性气体	风量减少, 运营费用少

不同实测洁净室项目中, 以室内环境 AMC 浓度含量和 AMC 处理浓度作为处理目标, 采用不同 AMC 处理方式处理空气, 室内环境 AMC 浓度含量和 AMC 处理浓度随入口浓度的增加的变化曲线图如图 5 所示, 由图 5 可知, 随着入口浓度的增加, AMC 去除效率大幅度增加, 均能达到要求的室内 AMC 浓度环境。由此可知, 就地浓缩含有 AMC 的空气, 增加中央处理设备入口处的 AMC 浓度可有效提高中央设备的处理效率, 有利于提高项目的经济性能。

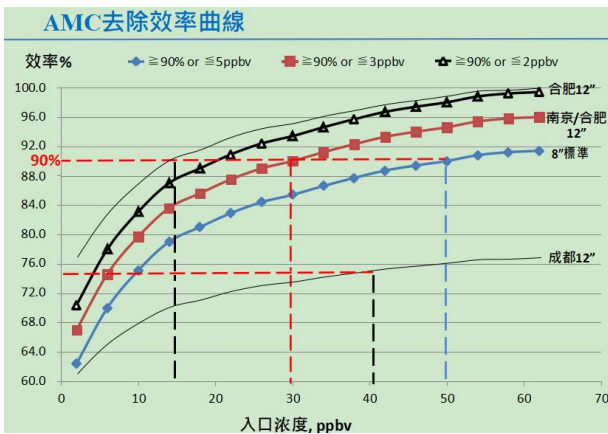


图 5 AMC 去除效率随入口浓度变化规律图

Fig.5 AMC removal efficiency with inlet concentration change rule graph

3 结论

随着半导体及面板行业的发展, 对洁净室内化学物质含量要求也越来越严苛, 良好的洁净室环境既能保障人员健康安全, 又能满足工艺生产需求,

所以室内 AMC 的治理是一个需要长期重视并逐步提高的过程。

本文从“防”和“治”两个方面阐述了不同的处理方式对室内空气 AMC 的处理效果。从“防”的方面, 首先阐述了现有半导体及面板行业中新风处理的主要方式及处理效果, 研究结果表明, 新风经处理后各种化学物质浓度得到明显控制, 对维护洁净室内空气环境提供较好的前提条件; 针对局部工艺制程 AMC 浓度较大的工况, 首先采用物理隔间隔开此工序, 并采用全直流空调系统的处理方式处理室内空气, 一方面直接从源头上将 AMC 浓度高的空气直接排出室外, 避免污染洁净室内其他区域环境, 另一方面送入室内的洁净空气直接送入相关区域, 对营造此区域的洁净环境提供了良好的保证。

从“治”的方面, 对于已经产生的不同种类的 AMC, 提供了不同的处理方式。首先提出了局部和全室联合采用 FFU+化学过滤器处理的经济工程思路, 这种处理方式能够在节省初投资及运行费用的背景下将室内空气处理到要求的工艺条件下; 其次提出了就地浓缩后集中处理的方式, 并以几个项目实测数据作为依据, 以室内环境 AMC 浓度含量和 AMC 处理浓度作为处理目标, 采用不同 AMC 处理方式处理空气, 随着入口浓度的增加, AMC 去除效率大幅度增加, 由此可见就地浓缩后处理的方式不仅能够节约输送管道的成本和管道空间的需求, 对中央处理系统的处理效率也十分有益, 有利于整个废气系统的安装和运行。

作为所有从业者来说, 将室内 AMC 治理作为

研究重点,需要跟着科技进步的步伐,不断提升治理水平,为行业发展提供更加绿色环保的洁净室环境,为我国半导体行业发展奠定基础。

参考文献:

- [1] 马良. 半导体加工工艺和半导体制程设备[J]. 科技风, 2016, (16): 228.
- [2] 职远, 张丁超, 刘俊杰等. 半导体晶圆厂洁净室气态化学污染物测试及污染源分析[J]. 暖通空调, 2021, 51(3): 46-50.
- [3] 刘珂. 石油化工中心化验室通风空调系统设计[J]. 暖通空调, 2020, (9): 91-96.
- [4] 曾丽玲, 陈清良, 鍾美瑛. 无尘室内部发生之气态分子污染 (amc) 异常处理措施[J]. Dubai Medical Journal, 2007, (44): 64-70.
- [5] 职远, 张丁超, 刘俊杰, 等. 半导体晶圆厂洁净室气态化学污染物测试及污染源分析[J]. 暖通空调, 2021, 51(3): 46-50.
- [6] 杨勇, 吴宁徽. 半导体厂房气态分子污染物控制探讨[J]. 暖通空调, 2023, 53(9): 133-140.
- [7] 裴晶晶, 薛人玮, 刘俊杰. 气态分子污染及控制技术[M]. 天津: 天津大学出版社, 2020.
- [8] ISA. 过程测量和控制装置的环境条件: 腐蚀性气体[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- [9] 黄秀琴, 李亚东. 洁净室化学过滤器的选型及使用效果研究[J]. 科学技术创新, 2020, (14): 51-52.
- [10] 周金锋. 半导体洁净室内分子级污染物的控制方法[J]. 半导体技术, 2008, 33(6), 3.
- [11] 张艳群, 李铭忠, 周广健. 环境工程中有机废气处理技术实践探析[J]. 清洗世界, 2023, 39(8): 13-15.

(上接第 133 页)

- [13] 张青. 中央空调系统节能运行控制方法研究[D]. 南京: 东南大学, 2016: 70.
- [14] 贾晶, 严新娟. 对变频离心式冷水机组全年节电的探讨[J]. 暖通空调, 2009, 39(1): 66-69.
- [15] 付祥钊, 肖益民. 流体输配管网 (第 3 版) [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010: 186-187.
- [16] 李彬, 肖勇全, 李德英, 等. 变流量空调水系统的节能探讨[J]. 暖通空调, 2006, (1): 132-136.
- [17] 晋欣桥, 李晓锋, 惠广海, 等. 中央空调水系统控制的优化分析[J]. 系统仿真学报, 2003, (8): 1113-1115.
- [18] 刘金平, 周登锦. 空调系统变冷水温度调节的节能分析[J]. 暖通空调, 2004, (5): 90-91, 96.
- [19] 封小梅, 简弃非, 左政. 冷却水系统变流量的全年工况节能分析[J]. 建筑科学, 2010, 26(4): 80-84.
- [20] 张红. 北京某高校锅炉房节能控制系统的应用[J]. 环境工程, 2016, 34(S1): 900-904.
- [21] 那恺. 浅谈空气处理机组风机变频控制的相关问题[J]. 制冷与空调, 2011, 11(4): 29-31.