

挥发性有毒有害工业有机废气处理技术研究进展^{*}

吴玉丽 肖羽堂^{**} 王艳杰
(华南师范大学化学与环境学院, 广州 510006)

摘要:近年来我国大气污染和雾霾问题越来越严重。挥发性有机物(VOCs)是造成大气污染的主要原因之一,而工业有机废气是 VOCs 的主要来源。因此,采取必要的措施来减少有机废气的排放迫在眉睫。国内外处理有机废气的技术包括吸附、吸收、冷凝、膜处理、催化氧化、等离子体、生物等,本文总结了这些技术的特点、使用条件、应用案例和效果等。最后总结出目前上述技术所存在的弊端,并指出其今后的发展方向。

关键词:废气;挥发性有机物(VOCs);处理技术;研究进展

中图分类号:X701 文献标识码:A doi:10.16507/j.issn.1006-6055.2017.03.025

Research Progress on Treatment Technology of Industrial Volatile Toxic and Harmful Organic Waste Gas^{*}

WU Yuli XIAO Yutang^{**} WANG Yanjie

(Institute of Chemistry and Environment, South China Normal University, Guangzhou 510006, China)

Abstract: In recent years, the problem of air pollution and haze have become more and more serious. Volatile organic compounds (VOCs) is one of the main source of air pollution, while industrial organic waste gas is the main source of VOCs. Therefore, taking necessary measures to reduce emissions of organic waste gases is imminent. Technologies to deal with organic waste gas at home and abroad, including adsorption, absorption, condensation, membrane treatment, catalytic oxidation, plasma, biological treatment are introduced in the article. The technical characteristics, use conditions, application cases and treatment effect of these technologies are covered. Finally, the weakness of the above technologies are indicated, the direction of future research in these technologies for air pollution applications are also showed clearly in detail.

Key words: waste gas; volatile organic compounds (VOCs); processing technic; research progress

1 引言

近年来,随着我国不断出现雾霾严重的现象,挥发性有机物(Volatile Organic Compounds, VOCs)逐渐被人们重视,其在国家“十二五”计划中被归为防控重度污染物。在 VOCs 来源中,工业排放源所占比例较大,且有上升的趋势。工业排放源主要涉及石化、有机化工、制药、装备制造业、家具制造、包装印刷、表面涂装、电子制造、汽车制造、塑料制造以及人工造板制造等众多行业。因此,为了减少工业有机废气 VOCs 的排放,缓解雾霾现象,推动工业有机废气 VOCs 处理技术的研究开发势在必行,本文主要针对该类气体常用以及新型的处理技术在国内外的发展情况进行系统总结。

2 VOCs 处理技术

VOCs 气体处理技术主要分为两类:回收和消

除。表 1 选择具有代表性的多种处理技术在多种 VOCs 中的应用情况进行归纳。

2.1 回收技术

2.1.1 吸附技术

传统的吸附技术适用于处理绝大多数具有回收价值的 VOCs 气体,该类气体主要为苯系物、酮、卤代烃、醇、酯、烯烃。处理废气流量宜在 2000 ~ 4000 mg/m³, 浓度适宜在 20 ~ 2000 ppm, 当处理气体流量小于 2000 mg/m³ 时会使技术系统运行成本大幅度增高^[1]。

新型变压吸附(Pressure Swing Adsorption, PSA)技术在国外运行比较成熟,该工艺一般在气体压力为 0.1 ~ 2.5 MPa 之间运行,但有些含气源无需二次加压^[2]。李立清等^[3]采用 PSA 技术对单相气体污染物(甲烷、氯氟烃、苯)进行回收,其处理回收率能达到 99%,该研究成果可为 PSA 的工程运行提供参考。日本 Bell^[4]公司运用 PSA 技术分离乙醇-水体系,将分压为 44676 Pa 和 1679 Pa 的水与乙醇双组分与混合气输入活性炭吸附床,在加压/常温条件下进行吸附。经第一次减压进行脱附富水蒸气处

2016-10-13 收稿,2016-12-20 接受,2017-03-22 网络发表

^{*} 广东省科技计划项目(2013B020600006)资助

^{**} 通讯作者, E-mail: xiaoyt@nankai.edu.cn; Tel: 18620413117

表 1 几种 VOCs 不同典型物质的可用处理技术应用总结^[11]

VOCs 种类	典型物质	可用处理技术							
		吸收	冷凝	吸附	膜处理	催化氧化	热力氧化	等离子体	生物
苯系物	苯、甲苯、乙苯、二甲苯	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓
卤代烃	二氯甲烷、三氯甲烷、氯乙烯	✓	✓	✓		✓		✓	
醇	甲醇、乙醇、乙二醇、正丁醇、异丙醇、甲硫醇	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓
醛	甲醛、乙醛、丙烯醛	✓		✓		✓	✓	✓	✓
醚	乙醚、丁醚、二甲醚、二甲醚		✓	✓			✓	✓	✓
酮	丙酮、丁酮	✓	✓	✓			✓		✓
酚	苯酚	✓		✓			✓	✓	
酸	乙酸、丙烯酸		✓	✓					✓
酯	乙酸乙酯、乙酸丙酯	✓	✓	✓			✓	✓	✓
胺	二甲胺、一甲胺、三甲胺	✓		✓					
烷烃	丙烷、正丁烷、环己烷、己烷			✓	✓	✓	✓		
烯烃	丙烯、乙烯、苯乙烯			✓	✓	✓			✓

1)✓表示有机物可选用该技术进行处理。

理,再经第二次减压进行脱附高纯度乙醇蒸气处理,最终将第二次解吸气体冷却至 - 20℃,即可回收 98% 乙醇产品,将该技术运用至酒精发酵净化浓缩传统工艺中,可使能耗减少 50%。

深入研究及开发新型吸附剂是 PSA 技术的重点,图 1 为 PSA 工艺简易流程图。常见吸附材料的特性如表 2^[5]所示,其中新型材料(沸石分子筛吸附剂)因其高吸附性、无污染性而在国际上越来越受青睐。Wei L 等^[6]使用粉煤灰合成高效沸石分子筛。在投加 10 mol/L NaOH、结晶温度 140℃ 及结晶时间 8 h 条件下,所合成沸石分子筛的 Si/Al 比为 7.9,对苯气体的吸附率高达 66.51%。在沸石合成中,碱度、Si/Al 比、时间和温度的增加将影响苯气的吸附效果。Mukerjee 等^[7]将煤基活性炭吸附剂浸渍在 KI₃ 里,在全碘吸附容器 LX-100 中,探究正常和限制操作温度下甲基碘的去污因素。结果表明,吸附处理后碘残留量小于 0.5 μg · ml⁻¹,煤基活性炭去除稳定碘的去污因子大于 1000。

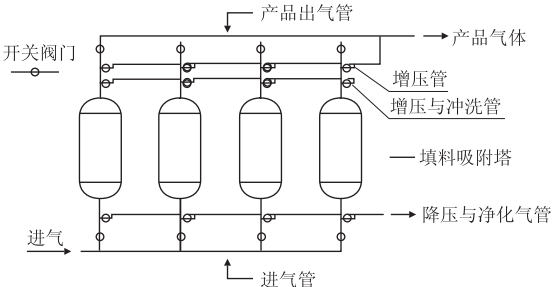


图 1 PSA 工艺简易流程图

表 2 常见吸附剂的特性参数^[5]

吸附剂	比表面积 /(m ² · g ⁻¹)	空隙体积 /(cm ³ · g ⁻¹)	堆积质量 /(kg · m ⁻³)
活性炭	1000 ~ 1500	0.5 ~ 0.8	300 ~ 400
活性炭炭	> 100	0.3 ~ 0.4	300 ~ 400
硅胶	600 ~ 800	0.3 ~ 0.45	700 ~ 800
分子筛	500 ~ 1000	0.25 ~ 0.4	600 ~ 900

刘丽英等^[8]利用质量、气体和能量平衡方程,模拟沸石分子筛对 CO₂ 的变压吸附分离系统,并利用具有沸石 A 和沸石 A + X 的模型进行发电厂烟气 CO₂ 吸收分离实验验证,数据表明,CO₂/N₂ 的分离在 0℃ 条件下进行分离提纯可达到 95%。范春辉等^[9]使用由飞灰合成的沸石在不同初始 pH 值和反应时间下去除亚甲基蓝(MB)和 Cr(III),在初始 pH 值为 6 和 5 时,MB 和 Cr(III)的最大吸附容量分别为 8.14 mg/g 和 6.46 mg/g,在 10 分钟时分别达到 80% 和 55% 的总吸附容量(总反应时长为 60 分钟),由此推断出分布在沸石表面和内部的 MB 分子形成的复杂絮凝化合物有利于离子交换和络合化学效应,并能提高 MB 和 Cr(III)的去除效率。

2.1.2 吸收技术

在国内外,常用吸收技术处理苯系物的工业投入不高。该技术主要用于回收有价值的有机废气,处理对象为流量是 3000 ~ 15000 m³/h、浓度小于 500 mg/m³ 的低浓度有机污染气体,污染气体去除率可达到 95 ~ 98%,但当气体体积过小时,系统运行性成本将会增高^[1]。吸收技术常用的设备有可进行多次重复洗气的喷雾塔、文式洗涤塔、填料塔和板状塔^[10]。

李湘凌等^[11]用水、无苯柴油、添加 MOA 乳化剂的邻苯二甲酸二丁酯和 DH27 多肽组成复合吸收液。该复合吸收液可循环使用,循环周期为 90 d,在系统吸收液用量为 7.5 m³/h 时,去除低浓度苯类有机气体的效率可超过 85%。李甲亮等^[12]通过模拟吸收实验比较了不同吸收剂组合对甲苯废气的吸收效果,通过实验对比,得出 4% BDO 吸收液吸收效果最佳。在甲苯进气流量为 0.2 L/min、吸收时间为

30 min、与水基 BDO 的适宜配比为 1:99 的实验条件下,该吸收液对甲苯废气的吸收浓度最大可达 43.87 mg/L。

2.1.3 冷凝技术

常用冷凝技术主要用于处理浓度高且具有回收价值的有机废气,处理效率在 50% ~ 85% 之间^[1,13]。废气的浓度应大于 10000 mg/m³,流量不宜大于 55 Nm³/min,否则气体将因流量过大而对热交换面积要求增高,致使系统运行成本增加。

冷凝器按照传热面的结构可分为:管壳式、板面式冷凝器、螺旋螺旋管换热器、卫生级双管板换热器,此外还有螺旋板式、浮头式、板壳式等结构形式,其中以螺旋螺旋管换热器性价比最高^[14]。

一般条件下,有机废气的冷凝温度大多低于冷却水温度,所以选用凝固点在 -33℃、沸点 106℃ 的乙二醇为最佳冷媒^[15,16]。黄维秋等^[17]提出了油气“冷凝+吸附”回收集成技术,并利用 Aspen 模拟软件及实验对该技术进行了研究。使用该技术回收总油气的回收率可高达 99.2%,除此之外,所排放气体尾气浓度可控制在 11.2 g/m³。该技术可作为关键共性技术用于各种油气排放的工艺当中。针对冷凝技术,马天琦等^[18]运用软件对甲苯负荷及制冷流程进行模拟,分析得出,经预冷处理后的甲苯混合气体从 5℃ 冷却至 -35℃,甲苯气体冷凝回收率可达到 90%。

2.1.4 膜处理技术

膜处理技术应用的范围相对比较小时,一般适用于处理气体流量小于 3000 m³/h、浓度大于 10000 mg/m³ 的高浓度 VOCs 气体。膜处理技术根据半透性膜的孔径大小分为 MF、NF、UF、RO 膜,分离过程中可采用错流过滤方式^[19]。

在膜处理工艺中常见的有:蒸汽渗膜、气体膜处理和膜基吸收技术。膜处理技术还可用于回收加油站挥发的气体。Ohlrogge 等^[20]采用 GKSS 膜-平板膜来回收加油站加油过程中挥发出来的有机废气。基于泵特性,平板膜的压力比和阶段切割随着压力损失的增加而增强,但这种效应随着进料流量的增加而减弱。在 20 毫巴的平均压力损失和体积为 20% 烃进料下,经膜处理后,烃滞留物 HC 浓度体积低至 0.2% ~ 0.25%,回收率可达到 99.67% ~ 99.77%。

在天然气中,Niu 等^[21]通过添加具有 8.2% ~

20% 摩尔分数的 CO₂ 新原料而改良胺吸收过程的膜单元,达到去除酸组分的目的。改良后的一级膜(OSMAHRD)和 TMAHRD 两级膜(TMAHRD)处理具有不同摩尔分数(分别为 0.15 和 0.35)的 CO₂/NG 进料,结果表明,一级膜的每单位进料最低分离成本(SCPUF)低于两级膜。

2.2 消除技术

2.2.1 催化氧化技术

常用催化氧化技术处理的气体流量为 1000 ~ 50000 m³/h,适宜浓度在 2000 ~ 10000 mg/m³ 之间。催化氧化技术包括三种技术:常用热氧化技术,其又分为热力燃烧技术、间壁式、蓄热式,这三者的区别在于对热量回收的方式不同^[22];常用催化氧化技术,催化技术的主要问题是催化剂的选择,在实际操作中可以选择适当的助催化剂,以增加催化剂的催化性能;新型光催化氧化技术,其光源多采用波长为 254 nm 的紫外杀菌灯(UV-C)和 λ 介于 2100 ~ 3700 nm 间的荧光黑光灯^[23,24]。

目前,新型光催化氧化技术尚未大规模投入生产使用。赵文霞^[25]利用 TiO₂/ACFs 复合光催化对流动态甲苯气体进行光催化降解,在紫外线条件下,对甲苯的最高降解率可达到 70.4%。俞家玲等^[26]在实验室模拟受 VOCs 气体污染的大气环境,在经过纳米光催化空气净化器处理之后,苯和甲醛的解离率分别可达到 91%、78.8%。

陈江耀等^[27]运用催化与生物联用工艺进行油漆生产、加工过程中现场有机废气的处理,中试结果表明甲苯、乙苯、间/对二甲苯和邻二甲苯的初始浓度在 27 ~ 52 mg/m³ 之间,经过光催化和生物滴滤床的组合工艺处理之后,其浓度可达到 0 ~ 0.91 mg/m³,对 VOCs 的处理效率达到 97.8% ~ 100%。Fujimoto T 等^[28]通过还原技术将 Pd 附着在 TiO₂ 上,在通入浓度为 100 ~ 120 ppmv 辛烷、异辛烷、正己烷和环己烷的环形涂覆壁反应器中进行光催化试验。与纯 TiO₂ 膜相比,用 1 wt% 钯浸渍的 TiO₂ 改善了光催化活性,在停留时间约 27 秒时,转化率超过 90%。

2.2.2 等离子体技术

新型等离子体技术在国内外的投产率不高,目前仍然处于实验研究阶段。等离子体技术适用于处理流量范围在 1000 ~ 50000 m³/h、浓度小于 500 mg/m³ 范围的 VOCs 气体。

季银炼等^[29]使用负载纳米 TiO_2 及 Cu/Pd 金属离子的材料,同时通过浸渍技术对活性炭纤维 (ACF) 功能材料改性。研究结果表明,ACF 的改性有利于甲醛净化,而负载 TiO_2 的 ACF 和负载 $\text{TiO}_2/\text{Cu/Pd}$ 的 ACF 在 20 min 净化时间内,平均净化效率分别为 70.24% 和 61.26%。在电压 50 V、净化时间 20 min 时,低温等离子协同 TiO_2/ACF 净化效果最好,其效率高达 94%,然而 Cu/Pd 盐类物质不利于净化甲醛。Peng T W 等^[30]的实验研究表明,通过增强表面等离子体共振和界面的电子转移, Au-Ag-AgI 耦合贵金属双金属纳米粒子的感光性和耐光性变得非常强。

阿热依古丽等^[31]研究表明低温等离子体技术能够很好地氧化去除部分重金属如 HgO 废气,其中介质阻挡放电对污染物的去除效率高于常态电晕放电。Malik 等^[32]和 Merbahi 等^[33]的研究表明在低氧浓度和较低的输入能量情况下,沿面放电等离子体反应器具有较低的能耗和较高的能量常数 KE,除此之外,沿面电晕和线筒式电晕阴极部分较容易放电电离。

2.2.3 生物技术

常用生物技术主要用于处理流量大于 $17000 \text{ m}^3/\text{h}$ 、浓度为 $500 \sim 2000 \text{ mg}/\text{m}^3$ 的低浓度大流量有机废气,在 $20^\circ\text{C} \sim 40^\circ\text{C}$ 运行温度下,净化率可超 90%。

常用生物技术主要有三种形式:生物过滤、生物滴塔和生物曝气池。生物技术中,泡沫陶瓷填料比传统的陶粒填料的处理效果好;同时丝网结构载体在高负荷运行设备中的处理效果甚好。

微生物对邻苯二甲酸酯类物质 (PAEs)、苯类物质等有机污染物的降解速度很慢,主要是由于污染物中的聚合物和复合物分子能够抵抗生物降解,致使微生物所必需的酶不能靠近并破坏化合物分子内部敏感的反应键,限制了生物技术在处理这些气相污染物方面的应用。陈东之等^[34]应用生物滴滤塔,在常温挂膜运行 35 d 后,对二氯甲烷和 1,2-二氯乙烷混合气体的去除率可分别维持在 80% 和 75% 以上。采用环境友好型焦炭填料进行研究,在进气浓度为 $50 \sim 114 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 时,VOCs 去除率最高可达到 90%,处理废气后的填料还可作为燃料。

Hort 等^[35]使用绿色废弃物堆肥的生物过滤反应器与填充有活化材料 (AC) 的吸附塔进行组合研

究,该系统处理微污染的流出物 (浓度在 $17 \sim 52 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 之间),检测出接近 $733 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 的浓度峰。高去除效率证明了混合系统的有效性,虽然生物过滤器的效率大大降低,但是吸附塔在整个过程维持高效率 (去除效率接近 100%)。Frutos 等^[36]的研究表明,在由固定床反应器 (FBR) 与填充床吸收塔连接组合成的新型反硝化生物净化器中, N_2O 减排性能主要受限于 FBR 中的低脱氮活性和再循环液体的 N_2O 承载能力,但由于 N_2O 不易溶于水,因此净化效果将受其限制。使用组合净化器净化合成废水 (SW) 和 $(100 \pm 1) \text{ ppm}$ N_2O ,稳态 N_2O 去除效率为 $(36 \pm 3)\%$,SW 总有机碳去除率为 $(91 \pm 1)\%$ 。同时,净化器在 40 min 时对 N_2O 单相气体的去除率高达 92%。

3 总结与展望

3.1 总结

用吸附技术处理单一气相污染物时去除率高,但当气相污染物成分复杂时,其去除效率会降低。而吸收技术中脱附后的废物可经氧化技术、冷凝技术处理,或者通过提纯后回收利用,但脱附设备易受到腐蚀,因此对设备的要求相对较高。在冷凝技术中,管壳式冷凝器是目前使用最广泛的一种换热器,在同状态和流速下,板面式冷凝器的换热系数比管壳式的大,但是换热阻力也较大。当使用膜处理技术时,需要考虑气压对膜形成的影响。催化氧化技术常用来处理无回收价值的废气,氧化处理后的气体需冷却处理,但排热不当时又会引起热污染,这是催化氧化技术不得不面对的技术处理难题。生物技术反应速率慢,过滤时需要接触面积大的设备,pH 难以控制,而生物技术后续的洗涤处理以及曝气技术则易产生恶臭,但操作简单、成本低。等离子体技术的设施占地面积小、运行的成本低、使用寿命长、可通过添加催化剂来提高其反应的效率。

3.2 展望

新型 PSA 技术的反应理论模型、吸附-脱附过程的传质以及传热规律等基础理论仍需完善,同时还可向开发高效便利分离技术、研发新型吸附剂等方向发展^[37,38],其中深入研究开发新型吸附剂是该技术的重点。吸收技术可从避免脱附产生的二次污染、研发高效且使用范围广的吸收液、解决吸收液对设备的腐蚀等几个角度进行更深层次的探究。冷凝

技术可以从设计一个适用性广、低价低耗能、换热系数大、不易阻塞以及易清洗等性价比更高的冷凝器着手来拓展该技术的前景。膜处理技术的主要问题是运行费用比较高、难清洗、易堵塞,而且膜处理技术对于水溶性较差的物质的去除率偏低,这些都是限制膜处理技术在废气中应用的原因。因此,如何解决这些问题是膜处理技术发展的研究方向。

光催化氧化技术可以从完善其反应数学模型、制备更耐冲击力、更大比表面积的催化剂载体、提高催化剂的性能等方面来进行更深层次的研究。等离子体技术的耗能相对较大,因此如何设计一个更节能的反应器是该技术的发展方向。而生物技术则需从减少甚至消除恶臭、减少反应器的占地面积、增加其相对处理效率等方面发展。

参考文献

- [1] 席劲琰,武俊良,胡洪营,等. 工业 VOCs 气体处理技术应用状况调查分析[J]. 中国环境科学,2012,32(11):1955-1960.
- [2] 李昂,杨文攀,于文静. 变压吸附技术应用研究进展初探[J]. 化工管理,2014(2):65-65.
- [3] 李立清,曾光明,唐新村,等. 变压吸附技术净化分离有机蒸气的研究进展[J]. 现代化工,2014,24(3):20-27.
- [4] DO D D, DO H D. Surface Diffusion of Hydrocarbons in Activated Carbon: Comparison Between Constant Molar Flow, Differential Permeation and Differential Adsorption Bed Methods[J]. Adsorption, 2001,7(3):187-209.
- [5] 王溪睿. 处理挥发性有机废气的几种典型吸附技术[J]. 环境保护与循环经济,2014,34(8):42-44.
- [6] WEI L, CHEN Y L, ZHANG B P, et al. Synthesis of highly selective zeolite topology molecular sieve for adsorption of benzene gas[J]. Solid State Sciences, 2013,16(1):39-44.
- [7] MUKERJEE R, HUDA S. Adsorption of iodine from COIL waste gas on soaked coal-based activated carbon[J]. Laser Physics, 2014,24(4):1211-1214.
- [8] LIU LY, TAO D, XIN F, et al. Research on the Separation Process Model of Pressure Swing Adsorption for CO₂/N₂ with Zeolite Molecular Sieve, 2014[C]. 26th Chinese Control and Decision Conference (CCDC), Changsha: [S. n.], 2014:4038-4041.
- [9] 范春辉,张颖超,马宏瑞. 粉煤灰基沸石对亚甲基蓝和 Cr(Ⅲ)的共吸附行为—Ⅱ. 竞争吸附机制[J]. 环境工程学报,2014,8(3):1025-1028.
- [10] 黎焕珍. 浅谈喷漆行业废气处理方案[J]. 江西化工,2013(2):52-55.
- [11] 李湘凌,林岗,周元祥,等. 复方液吸收法处理低浓度苯类废气[J]. 合肥工业大学学报,2002,25(5):794-796.
- [12] 李甲亮,张会,张媛媛. 水基 BDO-薄荷精油法对甲苯废气的吸收处理[J]. 环境科学与技术,2015,38(6P):223-227.
- [13] 王溪春. 处理挥发性有机废气的几种典型吸附技术[A]. 环境保护与循环经济. 2014(8):42-44.
- [14] 宋有星. 从新版 GMP 角度谈制药工业换热设备的选择[J]. 现代制造,2011,2(17):31-34.
- [15] 李红霞. 冷凝法治理化工厂有机废气工艺研究[J]. 广东化工,2015,42(7):23-24.
- [16] 常嘉林. 乙二醇水溶液作为冷、热媒在工业上的应用[J]. 工厂动力,2013,13(5):15-24.
- [17] 黄维秋,彭群,刘君. 加油站油气排放治理技术[J]. 环境工程学报,2009,3(2):327-330.
- [18] 马天琦,李红旗,孙乐. 冷凝法甲苯回收系统设计优化[J]. 制冷和空调,2014,14(10):47-51.
- [19] 何毅,周飞,狄育慧. 印刷厂有机废气处理工艺[J]. 洁净与空调技术,2015(1):97-100.
- [20] OHLROGGE K, WIND J, BEHLING R D. Off-gas Purification by Means of Membrane Vapor Separation Systems[J]. Separation Science and Technology, 1995,30(7):1625-1638.
- [21] NIU M, RANGAIAH G. Retrofitting amine absorption process for natural gas sweetening via hybridization with membrane separation[J]. International Journal of Greenhouse Gas Control, 2014,29:221-230.
- [22] 王浩民,孙建微. 关于 VOC 废气处理技术的相关思考[J]. 能源与节能,2014,104(5):97-99.
- [23] FLORENCE B M, UWE W, SIMON V, et al. VOC photodegradation at the gas-solid interface of a TiO₂ photocatalyst-Part 1: 1-butylamine[J]. Journal of Photochemistry and Photobiology A-Chemistry, 2000,132(3):225-232.
- [24] OBE T N, HAY S O. Effects of moisture and temperature on the photooxidation of ethylene on titania. Environ[J]. Environmental Science and Technology. 1997,31(7):2034-2038.
- [25] 赵文霞. ACFs 负载 TiO₂ 及其 CdS 改性复合材料的制备及光催化性能的研究[D]. 天津:南开大学,2010.
- [26] 俞家玲,朱中平,梅利华. 纳米光催化空气净化器讲解效率的研究[J]. 安徽预防医学杂志,2006,75(2):1628-1641.
- [27] 陈江耀,张德林,李建军,等. 光催化与生物技术联用工艺处理油漆废气中试研究[J]. 环境工程学报,2010,4(6):1389-1393.
- [28] FUJIMOTO T, PONCZEK M, ROCHETTO U, et al. Photocatalytic oxidation of selected gas-phase VOCs using UV light, TiO₂, and TiO₂/Pd[J/OL]. Environmental Science and Pollution Research, 2016, http://download.springer.com/static/pdf/615/art%253A10.1007%252Fs11356-016-6494-7.pdf?originUrl=http%3A%2F%2Flink.springer.com%2Farticle%2F10.1007%2Fs11356-016-6494-7&token2=exp=1481037438~acl=%2Fstatic%2Fpdf%2F615%2Fart%25253A10.1007%25252Fs11356-016-6494-7.pdf%3ForiginUrl=3Dhttp%253A%252F%252Flink.springer.com%252Farticle%252F10.1007%252Fs11356-016-6494-7*~hmac=4de72d5595125a0162bfa5ec22dd24be0e46edd919eeed9db44ff3f431a7f94.
- [29] 季银炼,顾中铸. 低温等离子体协同活性 ACF 净化甲醛的实验研究[J]. 环境工程学报,2009,3(8):1478-1482.
- [30] PENG T W, HU C, HU X X, et al. Enhanced Photodegradation of Toxic Pollutants on Plasmonic Au-Ag-AgI/Al₂O₃ Under Visible Irradiation[J]. Enhanced Photodegradation of Toxic Pollutants, 2012,142(5):646-654.
- [31] 阿热依古丽,陈杨. 低温等离子体技术处理含汞废气原理及工艺[C]. 中国环境科学学会学术年会,成都:中国环境科学学会,2014:5373-5377.

[32]MALIK M,KOLB JF,SUN Y ,et al. Comparative study of NO removal in surfaceplasma and volume-plasma reactors based on pulsed corona discharges [J]. Journal of Hazardous Materials, 2011, 197 (24) :220-228.

[33]MERBAHI N,YOUSFI M,GARDOU J P. Electric and Spectroscopic Analysis of Surface Corona Discharges in Ambient Air and Comparison With Volume Corona Discharges [J]. Plasma Science IEEE Transactions on,2012,40(4) :1167-1176.

[34]陈东之,廖孝平,欧阳杜娟,等. 生物滴滤塔净化氯化烃混合分离废气的研究[J]. 环境科学,2015,36(9) :3168-3174.

[35] HORT C, PLATEL V, SOCHARD S, et al. A hybrid biological

process of indoor air treatment for toluene removal[J]. Journal of the Air and Waste Management Association,2014,64(12) :1403-1409.

[36]FRUTOS O D,QUIJANO G,PEREZ R,et al. Simultaneous biological nitrous oxide abatement and wastewater treatment in a denitrifying off-gas bioscrubber[J]. Chemical Engineering Journal,2016, 288;28-37.

[37]李守信,宋剑飞,李立清,等. 挥发性有机化合物处理技术的研究进展[J]. 化工环保,2008,28(1) :1-7.

[38]KEARNS D T,WEBLEY P A. Modelling and evaluation of dual-reflux pressure swing adsorption cycles. Part I :Mathematical models [J]. Chemical Engineering Science,2006,61(22) :7223-7233.



美国高校技术转移现状分析与措施建议

2017 年 4 月 26 日,Milken Institute 发布美国最佳技术转移高校排名,评估了超过 200 家美国大学的技术转移和商业化现状,总结了排名前列的大学采取的措施,探寻高校技术转移最佳实践,并提出具体政策建议,以期提高美国高校的技术转移和商业化效率。

该排名的指标体系采用 2012 ~ 2015 年数据的平均值,通过 4 个关键指标衡量大学的技术转移:专利授权、许可发放、许可收入和初创企业建立。该指标旨在评估美国大学的研究质量、市场适用性及其技术转移办公室(TTO)的表现。

在最终评估结果中居前三位的依次是犹他大学、哥伦比亚大学和佛罗里达大学。其中,犹他大学拥有较强的创业文化和激励机制;其技术和创业商业化办公室(Technology and Venture Commercialization office)是美国境内最好的提供风险评估和风险最小化服务的商业化机构之一;该大学由各领域外部专家组成的商业化引擎委员会积极为研究人员、学生、创业人士提供咨询,使得商业化流程更高效。哥伦比亚大学在许可收入方面的表现尤其出色,其医学研究商业化的成功众所周知,特别是从癌症药物 Erbitux 获得的收入来看;哥伦比亚科技创业(Columbia Technology Ventures,CTV)是该大学知识产权商业化的渠道。排名第三的佛罗里达大学近年来的技术转移表现得益于优异的科学家和最好的技术转移队伍。

在总结排名前列的大学技术转移措施的基础上,报告提出以下建议:

保持基础科学研究经费。允许大学进行可以提供长期经济收益的基础研究。虽然基础性研究快速商业化的可能性很低,但有机会从创造新兴产业中获得高回报。

成立新的联邦商业化基金以鼓励技术转移。为了促进现有成果的技术转移,联邦政府应该新增一个用于创新渠道监测的商业化研究基金。在商业化上取得巨大成功的大学可在这个计划中获得更多的资助。

设立联邦配套资助以提高技术转移能力。联邦政府应该与地方政府一起实施配套资助计划,以增加TTO的员工和资源。这会促使更多的研究进入市场并产生经济影响。更高的学术创业率有利于提高初创公司的数量和生产力。

推广应用最佳实践经验以提高技术转移效率。重点在州一级推动公立大学商业化最佳实践的应用。榜单外的大学可通过学习最佳实践缩减效率方面的差距,使得更多资金用于额外的研究和学术项目,并为私营部门创造就业机会。

朱敏(中国科学院大学)编译,许轶(中国科学院成都文献情报中心)校译自
<http://www.milkeninstitute.org/publications/view/856>
原文标题:The Best Universities for Technology Transfer