

中国劳动保护科学技术学会
成立大会暨第一届学术会议 论文491号(大会交流)

活性炭素纤维回转轮对空气
中溶剂蒸气吸附浓缩的实验

活性炭纤维吸附迴转轮中试报告

一九八三年三月十二日

前 言

北京冰箱厂、北京市劳动保护研究所、北京经济学院、上海纺织研究院、浙江省造纸研究所等五单位协作，研制活性炭纤维吸附迴转轮，用以将大风量低浓度的废气（通过吸附与脱附）浓缩为高浓度，然后进行催化燃烧，并回收利用热能。此项工程将在冰箱厂实现。活性炭纤维作为新型吸附剂公诸于世已有五、六年，日本东洋纺织公司也发表过制作与应用的资料。但在我国用于废气净化，则还是第一次。为取得实际经验与工程参数，协作单位讨论决定在北京经济学院进行中间试验。现将中试运转测定结果报告于后。

二、碳纤维及吸附轮规格

1. 活性炭纤维 苯饱和吸附量（静活性）3.2~4.8%（重量），比表面积平均1500 m²/g，微孔分布最高峰值孔径15埃。原纤维为酚醛纤维。

2. 炭纸 苯饱和吸附量（静活性）4.7%（重量），比表面积360 m²/g，碳纤维含量75~80%，强度0.4 Kg/15×100。

3. 纸轮 外壳∅200×200 mm，如图1照片。轴套外径40 mm，轮壳内径196 mm，炭纸重量0.36 Kg，波状孔共59层，每层瓦楞纸与平纸各一，层厚2 mm，纸厚0.34 mm，波状孔高1.32 mm。

按此计算，迴转轮炭纸部分的截面积为0.0289 m²，炭纸

实体部分的截面积为 0.01229 m^2 ，波状眼部分的截面为 0.01663 m^2 ，空隙率 $\varepsilon = 0.575$ ，炭纸每平方米重 49.8 g 。

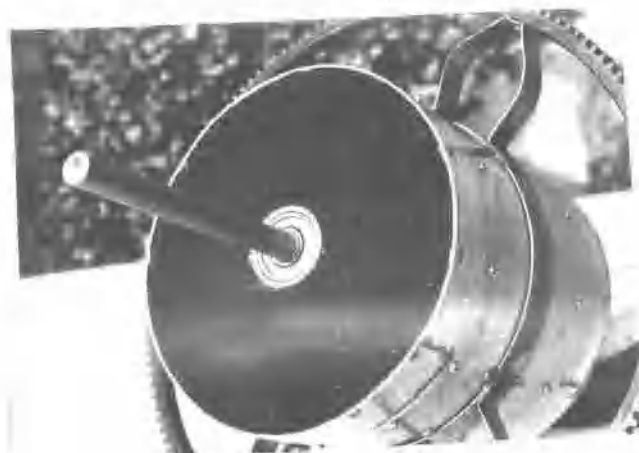


图1 吸附轮外形

三、中试设备

中试设备的示意图如图2，实物见图3照片。中试设备按工艺流程可分为吸附、脱附、催化净化三个系统。吸附系统，以离心式风机引入空气，另以压缩空气经鼓泡发生器将溶剂挥发定量配入空气，在 C_1 处取样测定浓度，通过吸附回转轮的 I_1/I_2 部分，吸附后又在 C_2 处取样测定浓度，然后排空。脱附系统，则是压缩空气经过滤、减压、升温，以小风量通过吸附回转轮的 I/I_2 部分，在 C_3 处取样测定浓度。大风量空气中所含低浓度的溶剂蒸气被回转轮吸附后，回转至脱附系统时即被热空气所脱附，从而浓缩成高浓度的小风量空气，适合催化燃烧和回收利用热量。催化净化系统，则是将高浓度的

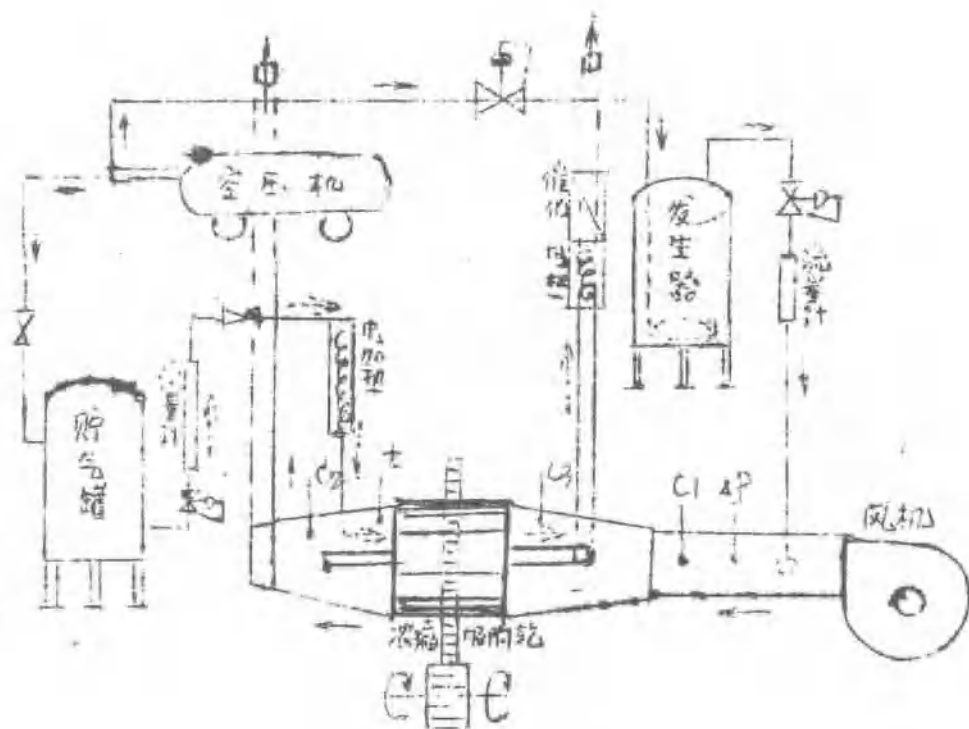


图2 中试设备示意图



图3 中试设备实物

小风量空气再加热至 $250 \sim 300^{\circ}\text{C}$ ，送往催化剂床层催化燃烧。

予以净化。本中试设备未设热量回收利用部分。

四、中试运转试验

运转条件。取吸附轮不同风速。吸附系统空气中溶剂不同浓度，以及不同浓缩比进行试验。温度，吸附为室温 17°C 左右。脱附用 120°C 热空气。运转轮转速，经试验（风速 $0.6\sim 1.48\text{m/s}$ ，浓度 $440\sim 2380\text{mg/m}^3$ ）以每小时 $2\sim 8$ 转为佳。本试验以每小时 2.9 转，即每转 20 分 30 秒，吸附周期为 18 分 10 秒。脱附周期 1 分 45 秒。为达到稳定流动和稳定吸附脱附条件。每次试验开车 3 转以上。本试验同时采样测定进气浓度、塔内气液相和脱附气浓度。即图 2 中 C_1 、 C_2 、 C_3 处的浓度。以求其净化效率与实际的浓缩比。所用溶剂为氯苯稀料。其组成 8% 以上为二甲苯，余为丁醇。测定时以二甲苯流变计数。测定仪使用 8505 型气相色谱。色谱条件：色谱柱—— $OV-17$ ， $6\text{F}-1$ ， $6\text{m}\times 0.5\text{mm}$ ，长 2m ，内径 4mm ；柱温 60°C ；氢火焰检测器；氮气 50ml/min ，空气 500ml/min ，氢气 40ml/min 。

1. 运转轮不同风速

取浓度为 500mg/m^3 左右，并使吸附与脱附的空塔常温风速相近（浓缩比 10 倍左右），以低、中、高三档吸附风速（ 0.54m/s ， 1.18m/s ， 1.6m/s ）进行试验。试验结果如表 1 ，表 2 与表 3 。

（接下页）

表1 低挡风速运转记录

吸附风速 0.54m/s 脱附风速 0.52m/s

测定时间	配气浓度 $C_1\text{mg/m}^3$	净化气浓度 $C_2\text{mg/m}^3$	净化效率 %	脱附气浓度 $C_3\text{mg/m}^3$	实际浓缩比 倍数	备注
第1转末	960	1100	开车时 脱附区 未预热	9200	9.6	配气浓度 较高, 影 响净化效 率
2	1110	590	64.9	10500	9.3	
3	1240	520	70.2	8050	6.5	
4	1000	280	72.0	10200	10.2	
5	1070	530	65.4	10000	9.4	
6	1200	240	80.0	9600	8.0	

表2 中挡风速运转记录

吸附风速 1.18m/s 脱附风速 1.2m/s

测定时间	配气浓度 $C_1\text{mg/m}^3$	净化气浓度 $C_2\text{mg/m}^3$	净化效率 %	脱附气浓度 $C_3\text{mg/m}^3$	实际浓缩比 倍数	备注
第1转末	577	86	85.1	3809	6.6	
2	639	93	85.5	5160	8.1	
3	630	80	87.5	5040	7.9	
4	538	55	83.7	4790	(14.2)	配气波动
5	590	77	87.0	5897	10.0	

表3 高档风速运转记录

吸附风速 1.6 m/s

脱附风速 1.5 m/s

测定时间	配气浓度 $C_1 \text{ mg/m}^3$	净化气浓度 $C_2 \text{ mg/m}^3$	净化效率 %	脱附气浓度 $C_3 \text{ mg/m}^3$	实际浓缩比 倍数	备注
第1转末	555	90	83.8	5000	9.0	
2	405	90	77.8	4900	12.1	
3	600	100	83.3	3900	6.5	风量波动
4	605	60	90.1	4500	7.4	
5	555	65	88.3	4050	7.3	

从以上运转记录来看,这三挡风速都是可用的,可达到净化效率80%左右,实际浓缩比8~10倍。此处所指风速是折算为吸附迴转轮的空塔常温风速。

2. 配气的不同浓度

取中挡风速,以较高浓度试验的结果如表4。

表4 较高配气浓度的运转记录

吸附风速 1.17 m/s

脱附风速 1.04 m/s

测定时间	配气浓度 $C_1 \text{ mg/m}^3$	净化气浓度 $C_2 \text{ mg/m}^3$	净化效率 %	脱附气浓度 $C_3 \text{ mg/m}^3$	实际浓缩比 倍数	备注
第1转末	700	120	82.9	6250	8.9	
2	770	160	79.2	6800	8.8	
3	670	200	70.2	6700	8.7	
4	770	150	80.5	5850	7.6	
5	500	180	(64.0)	6600	(13.2)	风量波动

表4的运转记录与表2比较。说明废气中浓度高至 800 mg/m^3 时也是可用的，净化效率仍可达80%左右。

3. 不同浓缩比

为适应催化燃烧的热量回收利用最佳条件，脱附气浓度应在 $7\sim 11\text{ g/m}^3$ 。因此，对含二甲苯 500 mg/m^3 的废气，最好是把浓缩比提高到15~20倍。办法是减小脱附风速。对此所作试验的运转记录如表5、表6。

表5 提高浓缩比的运转记录之一

吸附风速 1.2 m/s				脱附风速 0.52 m/s		
测定 时间	配气浓度 $C_1\text{ mg/m}^3$	净化气 浓度 $C_2\text{ mg/m}^3$	净化效率 %	脱附气浓度 $C_3\text{ mg/m}^3$	实际浓缩比 倍数	备注
第1转末	515	95.5	81.5	5450	10.6	
2	435	105	75.9	4800	11.0	
3	405	105	74.1	4700	11.6	
4	400	105	73.8	4200	10.5	
5	420	200	52.4	5000	11.9	

表6 提高浓缩比的运转记录之二

吸附风速 $1.18m/s$

脱附风速 $0.52m/s$

测定 时间	配气浓度 C_1mg/m^3	净化气 浓度 C_2mg/m^3	净化效率 %	脱附气浓度 C_3mg/m^3	实际浓缩比 倍数	备 注
第1转末	606	129	78.7	6190	10.2	
2	671	116	82.7	7030	10.5	
3	632	110	82.6	8000	12.7	
4	548	110	79.9	5870	10.7	
5	510	84	83.5	5330	10.5	

按照物料衡算，达到稳定平衡时，即流量、风速和碳纤维中残留量都稳定，则有如下关系

吸附风速 $\times$ 吸附截面 $\times$ (配气浓度 - 净化气浓度)

= 脱附风速 $\times$ 脱附截面 $\times$ 脱附气浓度

即 浓缩比 = $\frac{\text{脱附气浓度}}{\text{配气浓度}}$

= $\frac{\text{吸附风速}}{\text{脱附风速}} \times \frac{\text{吸附截面}}{\text{脱附截面}} \times \text{净化效率}$

中试设备的 $\frac{\text{吸附截面}}{\text{脱附截面}} = 1.1$ ，为提高浓缩比可以调节吸附风速与

脱附风速之比。但相对地减低脱附风速。即是减小脱附风量。虽然可使脱附气浓度提高。却会降低脱附的绝对量。从而会加大碳纤维中的残留量。降低净化效率。碳纤维中的残留量与降低净化效率的关系。可从表7的试验数据观察得到。

表7 碳纤维中吸附量与净化效率

吸附的碳纤维纸重330g。风量105 Nm³/h
空塔风速1.1m/s

试验 I 配气浓度 540mg/m ³			试验 II 配气浓度 440mg/m ³		
吸附时间 min	净化气浓度 mg/m ³	净化效率 %	吸附时间 min	净化气浓度 mg/m ³	净化效率 %
3	34	93.7	1	47	89.3
9	34	93.7	3	59	86.6
15	96	82.2	5	57	87.0
21	75	86.1	7	64	85.0
27	165	69.4	9	62	85.9
33	220	59.3	11	62	85.9
39	300	44.4	15	95	78.4
45	440	18.5	20	116	73.4
51	536	0.7			
54	552	0			

如果按净化效率80%估算,表5、表6运转的浓缩比应是

$$\frac{1.2}{0.52} \times 11 \times 0.8 = 20.3 \text{ 倍}$$

但此两表的运转记录却只有10.5~12.7倍。显然,运转后碳纤维中的溶剂残留量是逐渐加大了,因而净化效率也势必逐渐减小,直至平衡为止。这一点在表5、表6的记录中也可看到其趋势,却尚未达到平衡。

五、加湿试验

在中试设备的进风处加入水蒸汽,并以氯化锂露点测定仪插入风道测定湿度,如此进行运转的记录如表8与表9。

表8 加湿试验的运转记录之一

吸附风速1.18m/s

脱附风速1.2m/s

测定时间	相对湿度 %	配气浓度 C_1 mg/m ³	净化气浓度 C_2 mg/m ³	净化效率 %	脱附气浓度 C_3 mg/m ³	实际浓缩比 倍数	备注
第1转末	6.8	368	74	79.9	3390	9.2	
2	6.4	375	54	85.6	3750	10.0	
3	6.5	467	86	81.6	4300	9.2	
4	6.7	461	86	81.3	5620	7.9	
5	6.1	448	80	82.1	4180	9.3	

表9 加湿试验的运转记录之二

吸附风速 0.75 m/s

脱附风速 0.71 m/s

测定 时间	相对 湿度 %	配气浓度 $C_2 \text{ mg/m}^3$	净化气 浓 度 $C_1 \text{ mg/m}^3$	净化效率 %	脱附气浓度 $C_3 \text{ mg/m}^3$	实际浓缩比 倍 数	备注
第1 转末	79	725	135	81.4	2949	4.1	
2	86	663	147	77.8	5470	8.3	
3	87	644	101	84.3	2210	3.4	
4	87	531	111	79.1	2330	4.4	
5	84	531	98	81.5	2494	4.7	

以上记录与当时气流相对湿度为 22% 的表 2 记录比较。可以看出。相对湿度在 70% 左右时。对净化效率与实际浓缩比均无明显影响。相对湿度达 85% 左右时。对吸附速度无明显影响。但对脱附速度有明显影响。表 9 第三、四、五转的测定数值显示了影响脱附而降低了的浓缩比。影响所及。加大了碳纤维中的溶剂残留量。

六 耐用程度外形观察

中试运转共约 50 小时。碳纤维纸轮经受了含氧空气的穿流。温差为常温至 120°C 。空塔常温风速为 0.75 m/s 。实际在 120°C 时波状限内的风速为 $1.2 \sim 3.7 \text{ m/s}$ 。从外形观察。试验前后无膨胀、塌孔、破损等现象。初步认为在上述条件下是耐用的。试验前后纸轮的照片如图 12(a) 和 12(b)。

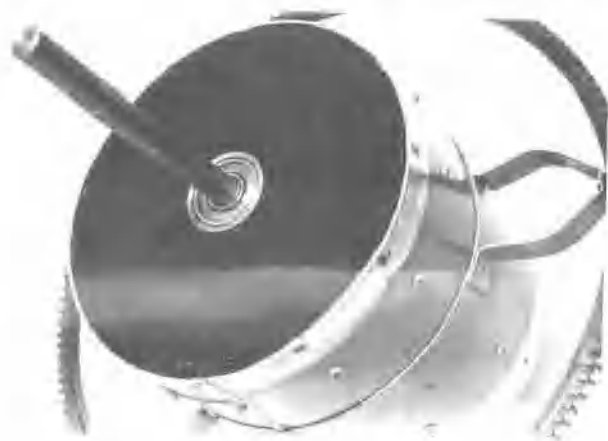


图4 碳纤维纸轮运转后的照片

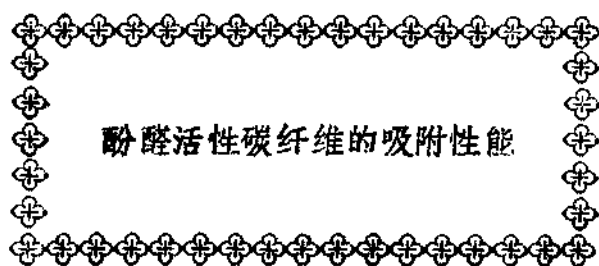
七 讨 论

1. 活性炭纤维吸附迴转轮，用于废气净化有三大优越性：一是吸附、脱附速度快；二是阻力小，在空塔风速为 1.2 m/s 时，阻力为 $16 \text{ mmH}_2\text{O}$ ；三是可以用 $120 \sim 150^\circ\text{C}$ 空气脱附。这正是通常颗粒活性炭所不能做到的。由此而导生的优点还有设备可做到小而紧凑，因而投资少，占地面积小。特别适用于解决大风量低浓度有机废气净化这个难题。而且由于浓缩后的浓度低于 $25\% \text{ LEL}$ （爆炸下限浓度），溶剂在碳纤维上停留时间较短，有利于防火防爆，较为安全。但目前活性炭纤维的价格较高，~~碳纤维纸轮~~，制吸附轮的费用还较大。

2. 按中试设备的吸附迴转轮 $\phi 200 \times 200$ 规格，可适用于吸附风速 $0.5 \sim 1.5 \text{ m/s}$ ，废气浓度 $300 \sim 800 \text{ mg/m}^3$ ，浓缩比 10 倍左右，净化效率 80% 左右。冰箱厂此项工程原设计的吸附轮规格为 $\phi 1000 \times 400$ ，由于吸附（脱附）的路程（轴向厚度）加长，将使动态吸附的活性加大，使脱附更为有效，因而将会

较多地提高净化效率，并增加浓缩比的调节幅度。加湿、耐用方面的初步试验结果也是良好的。

3. 活性炭纤维用于废气净化是大有发展前途的，特别是由于使用活性炭纤维的设备有可能作到整机、小型、轻便化，适合于许多行业不同排气量的有机废气净化。同时也还有许多课题值得继续研究，除了碳纤维制作和成纸工艺的研究以外，对碳纤维的静态性能与动态性能，也还有许多需要进一步研究的地方。例如原料纤维与孔径分布，微孔结构，静态平衡活性，吸附机理，动态吸附脱附，传热传质与吸附脱附速度，以及不同溶剂对吸附的影响，等等。



上海市纺织科学研究院

一九八三年五月

酚醛活性碳纤维的吸附性能

一、引言

酚醛纤维是聚酚醛交联结构化合物。纤维在 2500 °C 火焰温度下，既不熔化，又不燃烧，仅呈现碳化，并保持纤维原有形态。同时具有良好的绝热、耐腐蚀性能。

酚醛碳纤维系将酚醛纤维经碳化后，再进一步活化而成。它是 70 年代初由美国 Carborundum 公司首先研制而成功的。由于它和颗粒活性碳比较具有微孔结构均匀，大范围吸附比表面积，吸、脱附效率高等优点。因此，在美国，曾被评为 1971 年全美 100 只最有意义的工业研究产品之一。

我院自 1979 年 8 月起，在开展湿法纺制酚醛纤维工艺研究的同时，对酚醛纤维进行了产品应用研究。其中包括纤维的碳化与活化工艺研究。1982 年开始着重进行酚醛活性碳纤维吸（脱）附性能测试。并与有关单位一起进行酚醛活性碳纤维的产品应用研究。

本文拟对酚醛活性碳纤维与颗粒活性碳的吸脱附性能作一比较，最后预期它的应用前景。

二、实验部分

1. 酚醛活性碳纤维的碘吸附能力

将已知重量的 ACF、GAC 浸渍在一定浓度的碘液里，以测定活性碳纤维及颗粒活性碳的吸附能力。从浸渍前后的碘浓度的变化计算被吸附的碘量。吸附能力用每克活性碳吸附的毫克数来表示。

表1 不同的碘液浓度对吸附容量的影响

浓度 I_2 \ 样品	颗粒活性炭的吸附容量 mg/g	活性炭纤维的吸附容量 mg/g
0.1	413.5	1228.16
0.05	199.3	1113.9
0.02	70.65	1041.3
0.01	35.18	965.9

注：颗粒活性炭及活性炭纤维比表面积为 $1000 \text{ 米}^2/\text{克}$

浸渍温度： 30°C

浸渍时间： 20分钟

2. 酚醛活性炭纤维与颗粒的吸碘等温线

称取不同重量的ACF、GAC 分别加入若干烧杯中。各瓶都盛有相同体积的拟研究的碘溶液。在相同温度下进行搅拌，直到达到吸附平衡。经过滤把碳从系统中分离出来。并测定留在滤液中浓度。用单位碳重的吸附量对溶液的最终浓度作图得出等温线。

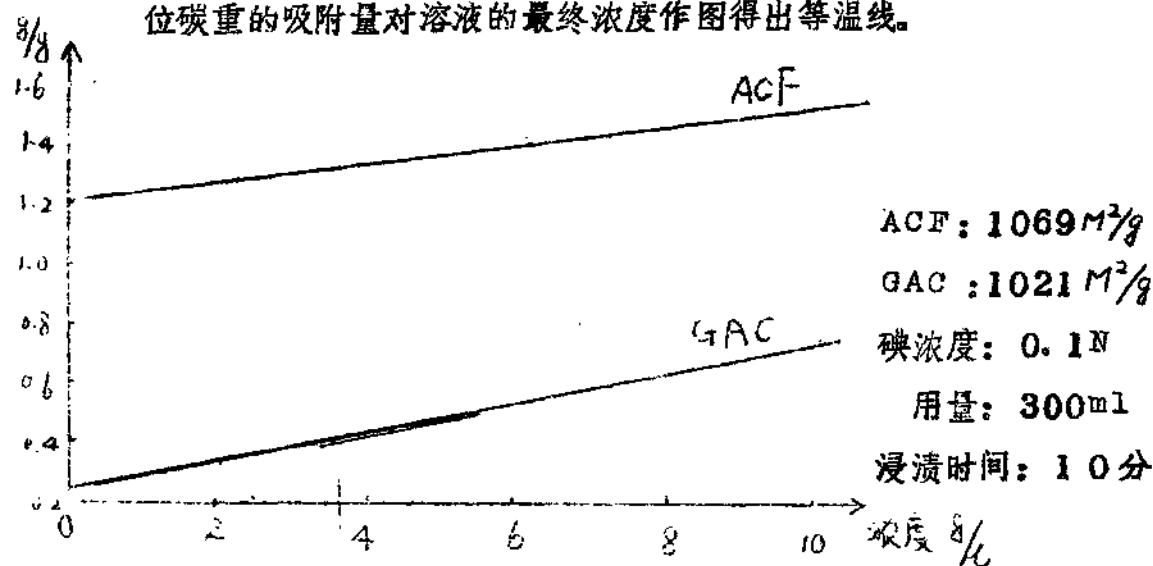


图1 ACF GAC 吸碘等温线