



## 活性炭的应用（二）

### 废气处理行业



治理含二氧化硫废气

治理含氮氧化物废气

治理含硫化氢废气

治理含一氧化碳废气

治理含砷废气

治理含汞废气

治理含碳氮化合物废气

治理含“三苯”废气

治理含二噁英废气

治理恶臭

治理放射性气体和蒸汽

#### 1. 治理含二氧化硫废气

空气中的二氧化硫是污染空气的最大有害成分，是形成酸雨的主要因素。1997年我国工业系统排放二氧化硫有害废气高达1882万吨。燃烧燃料和工业生产排放的二氧化硫废气可分为两类：有色冶炼厂等排放的高浓度废气，都以接触氧化法回收硫酸；火电厂等锅炉烟气量大、浓度低，大都为0.1%~0.5%，如不予治理排放，严重污染空气。

烟气脱硫技术有两百多种，目前火电厂应用的仅约十种，最常用的有湿式石灰石-石膏工艺、喷雾干燥工艺、炉内喷钙扣炉后增湿工艺、循环流化床工艺等。应用活性炭治理工艺也在不断开发，已有较

成熟的工业应用。活性炭对烟气中的二氧化硫吸附，在低温（20~100℃）主要是物理吸附；在中温（100~160℃）主要是化学吸附，活性炭表面对二氧化硫和氧的反应具有催化作用，生成三氧化硫，从而与水生成硫酸；在高温（>250℃）几乎全是化学吸附。活性炭吸附二氧化硫而生成硫酸，回取、浓缩成70%硫酸，再可制磷肥。

国外烟气脱硫的吸附床型有多种：例如日立工艺用固定床，Westvco工艺用沸腾床，住友BF工艺用移动床，其中以移动床工艺较为成熟，这种方法在再生时产生大量稀硫酸，产出高浓度的二氧化硫，可通过现有的成熟工艺转变为硫黄或浓硫酸等化工产品，变害为利，是一种除尘和脱硫率高的不产生二次污染的技术；松木坪电厂采用活性炭吸附塔，入口二氧化硫浓度3200mL/m，效率>90%，100g活性炭吸附量>12.3g。脱除废气中的二氧化硫也可应用装填活性炭的滴流反应器。影响反应器性能的主要操作参数是气体空速、床层温度、操作周期、液体喷淋时间占整个周期的百分比以及喷淋液中的硫酸浓度。在较低的床层温度下，升高温度有利于二氧化硫的脱除，而在较高温度下由于气体溶解度的下降和床层过快失水，使温度的影响不显著。

活性炭浸渍含碘物作为催化剂，用于烟气脱硫的优点是：反应过程中的碘能将二氧化硫催化氧化为硫酸，碘还原为碘化氢，碘化氢在活性炭上氧化为碘，从而循环反应，大大提高了活性炭对二氧化硫的吸附量。炭表面形成了活性中心，从而促进催化氧化的进行。通过测定不同时间活性炭上三氧化硫的蓄积量的研究，发现整个过程可分为

两个不同反应机理的阶段，在三氧化硫蓄积量小的情况下，三氧化硫对二氧化硫和氧的吸附不产生影响；在三氧化硫蓄积量达到一定程度后，则成为一种阻抑物。

## 2. 治理含氮氧化物废气

氮氧化物（NO<sub>x</sub>）种类很多，最主要的是一氧化氮和二氧化氮，也是形成酸雨和光化学烟雾前体的污染物。污染源来自燃料的燃烧、机动车和硝酸氮肥等化工厂。大部分燃烧方式中排放物的主要成分为NO，占NO<sub>x</sub>总量的90%以上。

烟气中脱除氮氧化物，即烟气脱氮或烟气脱硝的方法很多，可分为催化还原法、液体吸收法和吸附法。吸附法中常用的吸附剂是活性炭，活性炭对低浓度氮氧化物具有较高的吸附NO<sub>2</sub>能力和使NO成为NO<sub>2</sub>的氧化能力；也有特殊的活性炭，有使NO<sub>x</sub>成为NO的还原能力。活性炭的吸附量比分子筛或硅胶的大。不过活性炭在300℃以上有自然的可能，值得注意。活性炭净化氮氧化化合物的工艺是：将NO<sub>x</sub>废气通入活性炭固定床被吸附，净化后尾气排空，活性炭用碱液处理再生，并从亚硝酸钠中回收硫酸钠，也有将硝酸吸收塔尾气以活性炭吸附，用水或稀硝酸喷淋，回收硝酸，有费用较省和体积较小的优点。

同一反应器内同时脱硝、脱硫的技术，目前国内外尚处于开发阶段。1976~1984年日本住友重机械株式会社研究成功活性炭脱硫、硫硝技术，1985年有人用活性炭对氮氧化物和硫氧化物进行同时脱除，脱硫效率较高，脱氮效率却很低。迄今，国内外未有在常温下能同时脱除这两种气体的理想吸附剂。对活性炭来说，最重要的问题，

是要研究出脱硫、硫氮性能高、耐磨强度大、着火点高、成本低的专用活性炭。由活性炭、氢氧化钙、硫酸钙、含水氢氧化钾和无机黏结剂组成的蜂窝状结构的吸附剂，适用于脱除烟囱中排出的氮氧化物和硫氧化物。

### 3. 治理含硫化氢废气

污染空气的硫化氢主要来自天然气净化、石油精炼、煤气和炼焦工厂和化工厂以及含硫废物的微生物分解。治理方法有：氧化铁法、乙醇胺法、对苯二酚法、氨水吸收苦味酸催化法和活性炭催化氧化法等，其中活性炭催化氧化法操作简便，为普遍所采用。

有用有机溶剂萃取或用蒸气蒸馏办法回收元素硫，也有用硫化铵水溶液提取。硫化氢氧化物生成元素硫，但也可能发生副反应，生成二氧化硫，因此，有必要选择反应条件和采用促进剂避免或减少这些副反应。当含硫化氢的气体混合物中，氧含量从 1: 1 提高到 1: 6 时，硫化氢的氧化率从 25% 提高到 30%。当活性炭量增大，硫化氢的氧化率会提高到 90% 以上。当温度在 120℃ 时，氧化速度很快，并随温度升高而增加速度。活性炭床温度应少于 60℃ 为妥。因反应热效应大，不宜用本法处理硫化氢浓度大于 900g / m<sup>3</sup> 的废气。一般活性炭含有相当多的化学吸附氧，将活性炭进行除气处理后排去吸附氧，从而使活性部位化学吸附硫。当活性炭的活性部位由于吸附氧、硫而被堵塞时氧化效率大为降低，明显说明：活性炭的活性部位与催化活性有关。活性炭的表面积与催化活性无关。因为脱气处理的活性炭，虽然与未脱气处理的活性炭有大致相同的表面积，却是更有效的催化

剂，活性炭通过酸洗处理，会去掉一些能促进硫化氢氧化铁或钠等杂质，从而降低了活性炭的催化活性。添加促进剂会提高活性部位的效率，并减少生成硫酸的副反应。

#### 4. 治理含一氧化碳废气

一般来说，活性炭有很好的吸附能力，但对一氧化碳的净化效果很差。研究发现，通过浸渍铜盐和氯化锡能够有效地提高活性炭吸附一氧化碳的性能。

近年发现光催化技术可用于难处理污染物的治理。国内外研究成果显示，活性炭与纳米二氧化钛结合可增强催化净化性能。将二氧化钛通过浸渍的方法负载于活性炭表面，在紫外光的照射下，能够增强其光催化作用，增强净化性能。由于被吸附的污染物被光催化氧化降解后活性炭并未吸附等量的污染物，通过不断原位再生而获得更多的吸附容量，从而增强活性炭吸附净化性能。

#### 5. 治理含砷废气

炼铜厂煅烧含硫的黄铜矿或辉铜矿时，逸出大量二氧化硫，以此制造硫酸；同时铜矿还含有砷。经煅烧生成三氧化二砷，会引起制硫酸的催化剂五氧化二钒的中毒，而且砷进入大气造成污染。

针对炼铜时的砷害和硫害，曾经用过湿法脱砷，此法既易使砷进入水中，造成二次污染，又易使硫酸冲淡。近年使用活性炭法，先用活性炭吸附脱砷，继以活性炭脱硫或以接触法制造硫酸。活性炭吸附的砷用热空气解吸回收，然后再生活性炭，反复使用，尾气脱砷后延长制酸的催化剂寿命，提高硫酸的得率。

## 6. 治理含汞废气

汞污染已经引起人们的重视。汞的污染源有：含汞矿物开采冶炼，氯化汞、甘汞、雷汞等化合物的生产厂，水银法氯碱厂，水银温度计厂，汞灯厂。对于含汞废气除了高锰酸钾溶液、次氯酸钠溶液、热浓硫酸、软锰矿硫酸悬浮液、碘化钾溶液等进行吸收的方法外，还有活性炭吸附法。该法是将活性炭吸附易与汞反应的氯气，当含汞废气通过这预处理的活性炭时，汞与活性炭上的氯反应生成氯化汞附着在活性炭表面，从而将废气中的汞去除。

经过化学处理的活性炭，可净化空气或载气中的汞蒸气，例如：

①饱和吸附氯气的活性炭可催化汞蒸气和氯气成为氯化汞。

②浸渍碘化钾和硫酸铜混合溶液的活性炭所产生的碘化铜和汞蒸气形成碘化汞铜沉淀。

③载有硫黄的活性炭可与汞蒸气生成硫化汞沉淀。

有从模拟的和实际的烟道气中去除汞的研究，认为活性炭能去除元素汞和一氯化汞，其吸附效力取决于：汞的类型、烟道气的组成、吸附温度。

## 7. 治理含碳氮化合物废气

碳氮化合物的污染源有：石油化工的生产过程；使用有机溶剂的工厂；汽车、轮船、飞机油类的燃烧等，不仅对人体有害，有的还有致癌和致突变作用，而且在日光下，会和氮氧化物造成二次污染的光化学烟雾。含碳氧化物的废气，常用净化方法有窑、炉直接燃烧，有火炬燃烧、催化燃烧以及活性炭吸附。用颗粒活性炭净化废气，大都

联合固定床吸附器。

用活性炭可从一种烃类或石油类中分离出聚合烃类，对空气中七种有机物甲苯、丙酮、乙醇、乙醚、乙酸乙酯、氯乙烯、乙酸，以不同原料如椰子、橄榄和枣子制成的活性炭分别做吸附测试，均有较好的吸附力，而以橄榄为原料的活性炭为最佳，分子筛有筛选一定大小分子的作用，原由 Saran 脂制成；现在也可从煤，经适当方法处理，再经均匀活化而得到活性炭，两个平行的平面层间距约为 50nm，可筛选性地吸附 50nm 以下的分子。

碳氟化合物蒸气中如含有全氟异丁烯也可用活性炭去除。

## 8. 治理含“三苯”废气

“三苯”是指苯、甲苯和二甲苯三种有毒、易燃、与空气混合能爆炸的芳香烃。其废气常出现在制鞋、油漆、印刷等行业，例如福建福清市鞋用胶水中“三苯”溶剂年用量曾在 1000t 以上。

活性炭用于“三苯”废气吸附净化，有三种工艺：

一是活性炭吸附脱附回收。活性炭吸附一定量污染物后，用水蒸气进行脱附，并进行冷凝分离，回收溶剂。该工艺适合处理单一组分废气，但投资较大，不适于小厂使用。

二是活性炭吸附催化燃烧。活性炭吸附污染物后，用热风解吸，解吸下来的污染物采取催化燃烧。该工艺适合处理大风量有机废气，无二次污染，自动控制能力高。但由于活性炭层厚，容易因为热量堆积引发自燃，安全性差。

三是活性炭分散吸附、集中再生。适用于废气排放点多、面广、

规模小、资金少的厂家。吸附器结构设计是关键，该设备外形是环形，占地面积小，主要是考虑到颗粒活性炭层厚度、气流分布、阻力处理能力、活性炭的装卸更换。再生全过程是在活化炉内预热、脱附、煅烧活化和炉内废气燃烧及冷却出料。这种活性炭净化废气装置已有许多小型厂投入使用。

活性炭吸附法工艺过程包括：活性炭吸附废气中的“三苯”溶剂；吸附饱和后的活性炭脱附和溶剂回收；活性炭活化再生。用活性炭回收苯类溶剂，一般在常温下吸附，以蒸汽在 110℃ 以下解吸，冷凝分离回收。例如，天津石油化纤厂回收对二甲苯，西安石棉制品厂回收汽油和苯。合成纤维厂的废气中有对苯二甲酸二甲酯装置的氧化尾气主要含对二甲苯，采用活性炭立式吸附器。将氧化尾气通过后经冷却分离，回收对二甲苯。活性炭饱和后用热空气再生。脱附的有机物送入焚烧炉焚燃，效果好，成本高。

## 9. 治理含二噁英废气

二噁英是一类化合物，包括多氯代二丙苯二噁英和多氯代二丙苯二呋喃。现又将多氯联苯并入，共有两百多种，都是毒性很大的物质。

应用活性炭净化是个好办法，将含有二噁英的燃烧尾气通过活性炭柱吸附，可达排放标准，用过的废炭经高温再生再用，吸附的二噁英高温分解为二氧化碳和水分，少量氯或氯化物以水喷淋。有一种去除二噁英的设备，为活性炭加料器、圆筒接触器和旋风分离器所组成。成本低、效率高。新近有个方法，将温度 400~500℃ 的烧炉排出气体，直接送到有催化剂的反应塔，塔内装有一定功率的紫外线灯管，

排出气体通过催化反应，会迅速分解二噁英。二噁英不仅存在于废气中，还存在于填埋场滤液中，都可应用活性炭来吸附。

## 10. 治理恶臭

恶臭是空气中的异味物质刺激嗅觉器官而引起不愉快和损害生活环境的污染物，污染源来自含硫等烃类化合物，常出现在饲料厂、皮革厂、纸浆厂、化工厂、垃圾污水处理厂、水产加工厂、农场等。通常把正常勉强能感觉到的臭味浓度称为嗅觉的阈值，臭味灵敏度因人而异，与臭味阈值的资料常不相同。一股臭味强度以嗅觉阈值分为六级。

我国在《恶臭污染物排放标准》（GB 14554-1993）中对八种恶臭污染物规定了一项最大排放限值：氨、二甲胺、硫化氢、甲硫醇、甲硫醚、二甲二硫、二硫化碳、苯乙烯。

恶臭的治理方法因臭气性质而异，有用水、酸或碱的吸收法，有直接燃烧脱臭法或催化燃烧脱臭法，有活性炭脱臭法。对低浓度的恶臭气体的处理，通常采用活性炭脱臭法，效果良好。活性炭品种型号的选择，应经实验室试验其吸附能力、吸附速度、机械强度、再生难易、价格高低而定。针对恶臭的性质，可以对活性炭进行定向处理，提高其使用效果；吸附温度控制在 40℃ 以下为宜，以利提高吸附效果。

将活性炭和活性氢化铝、二氧化硅、沸石和（或）重金属，再加黏结剂组成的制品，可有效地除去空气中臭味、细菌和真菌孢子，适用于冰箱、冷冻器等。将 0.1%~20% 铁、铬、镍、钴、锰、锌、铜、

镁的氧化物和（或）钙载在 100 份的活性炭上，经水蒸气的气氛下加热处理，再以有机黏结剂成型。这种蜂窝状活性炭具有高的催化氧化活性和低的压力损耗，适用于作冰箱、厕所和空气净化器中的防臭剂，可迅速去除低浓度的甲硫醇或三甲胺等臭味物质。蜂窝状活性炭也可用于处理空气中臭气的过滤器，通过颗粒活性炭和酚醛树脂黏结剂制成的吸附剂在多层床中的过滤作用，密闭室内或厕所里的臭味可有效地脱除。将活性炭层夹入两片透气片中成为三明治式结构的除臭片。透气片之一以阳离子去臭剂浸渍，透气片之二以阴离子去臭剂浸渍，除臭效率更大。以旋转混合装置将有臭气的空气与活性炭、吸附剂接触，再以微波辐射装置处理用过的废炭，会有臭氧的催化分解装置处理被吸附杂质。

## 11. 治理放射性气体和蒸汽

随着我国核能工业的发展，排放的放射性气体对环境污染引起人们的重视，放射性污染治理成为研究的热点之一。

（1）碘化物 在原子反应堆的放射性蜕变过程中，主要排出两种碘的同位素： $I$ （半衰期 8.04d）和  $I$ （半衰期 21h），含碘的气体经燃料电池薄膜中的裂缝逸出，并首先污染热载体的第一回路。当状态失调时，这些放射性的碘化物可落入反应堆的锅炉中，但这些碘化物不应该落入室外空气中。因此，原子能发电站应安装为清除这些杂质所需的相应过滤系统，除单质碘外，在防悬浮微粒过滤器上还可收集部分杂质，可分离出甲基碘。如果在细孔活性炭上，甚至可从湿空气中很容易地清除单质碘蒸气，而甲基碘却恰恰相反，它具有较高的蒸气

压力，以致用吸附方法都不可能获得较为满意的净化效果。表 1 所示的为甲基碘蒸气压力随温度变化的关系。

表 1 甲基碘蒸气压力随温度变化的关系

温度 / C	-45.8	-24.2	-7.0	25.2	42.4
甲基碘蒸气压力 / kPa	1.3	5.3	13.3	53.3	100

为了净化空气进行了大量研究，其中以活性炭为过滤吸附材料的研究应用也较广。活性炭容易清除单质碘蒸气，而甲基碘因具有较高蒸气压力，难以吸附。因此利用浸渍活性炭在同位素交换或化学结合过程予以净化是当前较为清意的解决办法。

同位素交换利用的是没有放射性和不挥发的无机碘化物浸渍的活性炭，在放射性甲基碘于炭料层中短暂的停留时间内，在吸附剂上发生碘同位素的交换，因此由于无放射性碘的大量过剩，所以可达到良好的交换效率。

过滤装置是在相对湿度为 99%~100%条件下，能保证净化程度大于 99%的、炭层长度不小于 20cm 矩形截面的、特殊结构的过滤器。为了预先防止放射性炭尘埃的放出，悬浮微粒过滤器可设置在用活性炭制成的过滤器之后，在原子能发电站中空气不断的经过活性炭过滤器而循环。因为在这种情况下，浸渍活性炭的吸附能力由于吸收了过滤器操作期间内必须严格控制的有机蒸气而有所降低。

化学结合是在利用叔胺浸渍的活性炭时，甲基碘可与其化合而生成季按盐，它与其他胺相比具有较小的挥发性和较强的碱性而显得特

别有效。然而易挥发，并降低活性炭的燃点温度，因此，像这样的浸渍组成在许多国家均不使用。

上海活性炭厂经筛选以 2%TEDA（三亚乙基二胺）和 2%KI 浸渍的油家制成专用活性炭，与复旦大学和上海原子核研究所合作研究应用，结果该浸渍活性炭可用作核电站中除碘过滤器的吸附材料。

（2）放射性稀有气体 水反应堆废气中含有极少量的长衰期的同位素影体是不可能的。然而，如果在裂，在限附剂上长时间以大的停留时间与用的半衰期相比较是相当长的话，那么在活性炭上可积聚着由这些稀有气体短衰期的同位素所生成的固体产物。为了保证相当长的停留时间，可以用几个吸附器构成的系统。废空气应当利用干燥剂或者冷凝法进一步进行精细的干燥，为的是消除水分对吸附能力较差的稀有气体在吸附过程产生的不良影响，在这一系统中运行，主要是采用成型的细孔活性炭。

长衰期同位素氙，在废空气中仅有极少量，平常的净化装置是不可能回收的。为此目的，研究了一种特殊的过程，在该过程中是利用活性炭作吸附剂，为实现净化所加的空气流在并联设备中的一个设备先净化直到放空；而在第二个设备中，大量的放射性稀有气体可利用空气流动方向同向被抽空，并在抽气时从吸附层中析出的少量含氮气体被送至第二个吸附器。大量的放射性稀有气体可利用抽空和以少量水蒸气置换而从炭层中除去。水冷凝之后，氙可以很高的浓度而析出。抽空过的反应堆加入空气，重新调至正压。由于  $^{235}\text{U}$ 、 $^{135}\text{Xe}$  物的积聚会降低反应堆效率，废气必须处理，可收集起来储藏越过衰

变期，也可用厚层活性炭过滤，在炭层中衰变，使气体中污染物明显减少，然后排入大气。



### 三、气体吸收的原理

分离物系

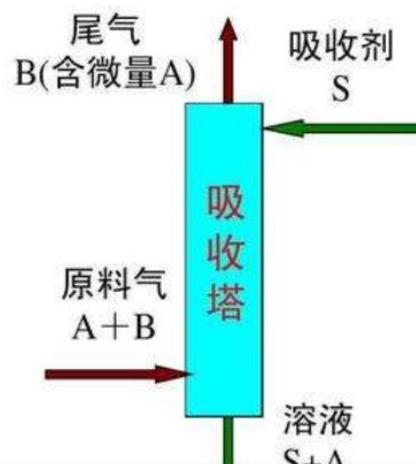
气体混合物

形成两相体系的方法

引入一液相（吸收剂）

传质原理

各组分在吸收剂中溶解度不同



群聊：新华活性炭知识交流群



有兴趣和学习意向的同学，可以扫右边二维码进知识交流群，方便沟通。

