

## 电镀废气的抑制与净化

空气是最宝贵的自然资源之一，生活在地球上的人类，每一分钟都离不开空气。现代工业的发展，人类赖以生存的洁净空气受到污染，严重影响了生态平衡，威胁着人类的生存环境，危害人们的身心健康。

电镀生产的主要环节，都会产生废气。电镀废气按其性质可分为酸性废气、碱性废气和粉尘废气。具体来说就是：酸碱废气、氮氧化合物废气、铬酸废气、氯化氢废气和氰化废气以及抛光磨光的粉尘纤维废气等。这些废气都必须经过严格处理，达到规定的排放标准后才能排放，以免造成危害。

### 一、电镀废气的抑制

清洁生产是要把污染消除在生产过程中，多少年来，各国电镀工作者采取了不少措施以图减少电镀加工过程的废气，特别是 20 世纪 70 年代中期我国电镀界加大了对气雾抑制剂的研 究，取得了较好成效。

减少电镀加工过程废气的途径一方面是从工艺本身入手，改良生产工艺技术降低有害废气，采用先进的密闭式无污染设备防止废气外泄或用无粉尘加工技术替代高粉尘工艺和设备等；另一方面就是添加气雾抑制剂，将气雾控制在液面的泡沫层中，自然集聚后再回落到槽液中。

最初曾经采用空心塑料小球或密封小管作为镀铬槽液的复盖层来抑制铬雾，效果不错。但是，它容易被工件带入清洗槽而进一步发生管道堵塞等事端，因此有的工厂就停止使用了。

利用表面活性剂的发泡特性可以达到抑制酸碱废气溢出槽液表面的效果。当槽液中加入适量的表面活性剂时，槽液在工作中由于化学和电化学反应，就会产生或多或少的气体，当表面活性剂吸附于气-液界面时，就形成较牢固的液膜并使其表面张力下降，当溶液受到搅拌时就会产生许多泡沫，从而增加了气-液接触表面积，这种比较牢固的液膜在气体浮力作用下，气泡漂浮到槽液表面，形成一定厚度的泡沫层，对槽液蒸发及酸碱雾的逸出有一定的阻挡效果。

电镀溶液添加的气雾抑制剂要求发泡性能好，并且还要适应不同性质的溶液，分别具有耐酸、耐碱或抗氧化的能力，不参与电极反应，对槽液和镀层性能无不良影响，而且要易于洗脱。一般多采用非离子型表面活性剂作为电镀溶液的气雾抑制剂，在一些添加剂生产企业（如上海永生助剂厂等）也有生产供应。

#### （一）酸雾的抑制

钢铁件酸洗普遍采用盐酸和硫酸，铜件光亮酸洗多采用硝酸和硫酸混合酸。一般酸洗操作常用料筐浸入槽液，采用塑料球浮在液面的办法很容易大量带出槽外，增加操作麻烦。因此，在酸洗时应加入合适的酸雾抑制剂来抑制酸气挥发。但是，目前还没有泡沫比较持久的添加剂，能在工件酸洗结束出槽后表面泡沫仍然维持一定时间，防止酸液自然挥发酸气。

在常温的盐酸酸洗液中酸洗时反应不很强烈，即使加入酸雾抑制剂其泡沫层也很薄，不足以制止酸雾逸出；况且盐酸自然挥发性强，即使不工作时也会产生较多酸气，采用酸雾抑制剂的效果不理想。因此，建议采用 1：1 的盐酸水溶液酸洗是较好的，这个溶液的自然挥发较少，如果加入上海永生助剂厂生产的 YS-1 添加剂 100g / L，既可达到常温同时除油除锈，还能抑制酸雾。在常温下用盐酸退镀锌、镉等镀层时产生气泡较多，搅拌作用很强，加入十二烷基硫酸钠或 OP 乳化剂，也有较好的抑雾效果。

对于热硫酸酸洗液，由于黏度较大，如果添加酸雾抑制剂（如：十二烷基硫酸钠 0.01g / L~0.1g / L），在酸洗反应产生的氢气升腾搅拌下，能够在槽液表面产生较厚的泡沫，起到抑制酸雾的效果。为防止经常性的酸气挥发，防止设备和建筑物损坏，酸洗槽停产时应应对槽体加盖。

用混合酸酸洗铜件和退镀时,会产生大量氮氧化合物气体  $\text{NO}_x$ , 主要是  $\text{NO}$  和  $\text{NO}_2$  两种, 对环境危害较大。在酸洗溶液中加入一定量的尿素, 能有效抑制氮氧化合物的产生, 以减少其瞬时浓度。尿素的加入量视槽液用途而异。采用硝酸和硫酸混合酸洗溶液时, 尿素添加量为  $3\text{g/L} \sim 10\text{g/L}$ ; 当不用硝酸而采用  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  或  $\text{NaNO}_3$  提供  $\text{NO}_3^-$  作酸洗液时, 可加入  $30\text{g/L} \sim 40\text{g/L}$ 。尿素消耗较快, 应及时补充。

尿素也不能完全消除氮氧化合物, 经尿素抑制后, 黄烟会大量减少, 经过废气净化设备喷淋清洗吸收后, 容易达到国家排放标准。

上海永生助剂厂生产的 N-1 铜件酸洗光亮剂, 可以在不用硝酸而采用  $\text{NaNO}_3$  提供  $\text{NO}_3^-$  作酸洗液时获得满意的效果, 看不到黄烟; 该厂生产的 AP-1 铝件无黄烟化学抛光剂, 取消了硝酸, 减轻了空气污染。

## (二) 镀铬酸雾的抑制

铬酸镀铬溶液的电流效率较低, 电镀过程中产生大量  $\text{H}_2$  和  $\text{O}_2$  气泡, 升腾时带有较大能量, 当这些气泡冲破液面时, 会将液膜崩裂为极细碎的铬雾飞溅到周围空气中, 给环境造成污染。

添加直径  $5\text{mm} \sim 20\text{mm}$  的聚乙烯或聚氯乙烯空心塑料球, 大小相间地铺盖镀铬槽液表面的办法是最简单有效的。而且在镀槽停产时也不会有大量铬雾逸散到车间空气中, 具有长期的防护效果。对于镀硬铬时采用这个方法较为有效, 可以防止镀件上方因电流较大和气泡集中而破坏复盖层, 造成铬雾外逸。由于硬铬电镀时间较长, 工件一般外形较装饰铬简单, 出槽时带出空心塑料球的数量要少得多, 只要用网罩保护好清洗水槽的排水口, 及时捞回补充到镀槽内, 不会给操作工人带来太大麻烦。

对于装饰性镀铬的铬酸雾的抑制, 国外曾研究采用高泡型耐氧化的氟-碳型表面活性剂, 但耐温只到  $60^\circ\text{C}$ , 寿命也不够长。20 世纪 70 年代初中国科学院上海有机化学研究所制成了 F-53 氟碳表面活性剂, 其产品  $70^\circ\text{C}$  时时效达到  $2600\text{A} \cdot \text{h/g}$ ; 在  $60^\circ\text{C}$  时时效达到  $8189\text{A} \cdot \text{h/g}$ 。

按不同使用温度, F-53 有三种型号, 其使用温度分别为:

F-53A:  $50^\circ\text{C} \sim 65^\circ\text{C}$ ; F-53B:  $40^\circ\text{C} \sim 60^\circ\text{C}$ ; F-53C:  $65^\circ\text{C} \sim 70^\circ\text{C}$ 。

F-53 的添加量依镀铬工艺不同而有些差异。对装饰性镀铬可添加  $0.03\text{g/L} \sim 0.04\text{g/L}$ ; 镀硬铬和乳白铬时添加量高一些, 一般在  $0.05\text{g/L} \sim 0.06\text{g/L}$  范围内。F-53 的添加量越高, 泡沫层越厚, 能防范氢气和氧气泡冲破泡沫层带着铬雾四散, 但含量不宜超过  $0.068\text{h/L}$ , 这会造成镀层硬度提高。

一些工厂使用证明, 镀铬溶液中添加 F-53 氟碳表面活性剂对槽液的分散能力、阴极电流效率、镀层光亮度、镀层组织结构和与金属基体的结合强度无影响。也有的单位发现添加 F-53 氟碳表面活性剂在镀乳白铬时会产生孔隙。

据测定, 镀铬槽液中加入 F-53 氟碳表面活性剂后, 当泡沫层完全复盖镀槽液面时其抑雾效果显著。在液面上部  $150\text{mm}$  处和镀槽周围环境取样化验, 空气中铬酸浓度仅为  $0\text{mg/m}^3 \sim 0.015\text{mg/m}^3$ , 远低于车间空气的铬酸允许含量国家标准。

## (三) 碱雾的抑制

电镀生产中产生碱雾的工序主要是化学除油、电解除油、强碱性电镀(如碱性镀锡、碱性镀锌等)和氰化物电镀等。

化学除油反应过程本身产生的气泡很少, 表面活性剂不能形成足够厚度的泡沫层, 而且, 其刺激性气味主要是加热到接近沸腾状态时碱液挥发造成的。因此, 为减轻化学除油槽的气雾, 建议采用中、低温化学除油工艺。国内许多电镀原辅材料厂家都可提供不同用途的中、低温化学除油药剂, 选择范围相当广泛。

电解除油的电流密度较大, 阴阳极产生的氢气和氧气量较多, 造成较强碱雾。添加高泡

型表面活性剂能在槽液表面形成足够厚度的泡沫层,起到较好的抑雾作用。目前采用较多的抑雾剂为十二烷基硫酸钠 0.01g / L 和 OP 乳化剂 0.01g / L。添加不宜过高,清洗不净会影响镀层结合力。

碱性镀槽和氰化镀槽同电解除油槽一样,产生强烈的刺鼻碱雾。对电镀槽液的碱雾抑制剂选用要持谨慎态度。应当进行比较全面的试验,确认对镀层质量无不良影响时才能添加投产。

必须注意,不论采用何种抑雾方法,对产生有害气体的镀槽或设备,都不能取消局部通风设施,设计人员必须根据各个添加气雾抑制剂的镀槽的气雾抑制程度,确定液面风速和设计通风量以及采用的废气净化设施,保持清洁的生产环境。

二、铬酸废气的净化

电镀车间镀铬槽排出的含铬废气用网格式铬酸废气净化回收器使铬酸净化后排放,同时回收铬酸。净化效率在 98%以上,净化效率好。回收器体积小、阻力小、结构简单、维护管理方便。

(一)网格式铬酸废气净化回收器的形式和结构

网格式铬酸废气净化回收器分 L 型(立式)和 w 型(卧式)两种。L 型的气流为下进上出,w 型的气流为右进左出。其结构见图 13—4—9~图 13—4—12 所示,外形尺寸如表 13—4—23 及表 13—4—24 所列。

过滤器是净化器的关键部分,由 8 层~12 层有菱形网孔的硬聚氯乙烯塑料板网纵横交错地平铺迭成,每层板网厚 0.5mm,若无塑料板网,也可用普通的塑料窗纱代替。

目前已有不少厂家生产铬酸废气净化回收器,使用时可根据不同风量选用相应的回收器。表 13—4—25 列出了净化回收器的处理风量,供使用时参考。通过回收器过滤网格的迎面风速一般取 2m / s~3m / s(使用范围),表中额定风量采用的风速为 2.5m / s。

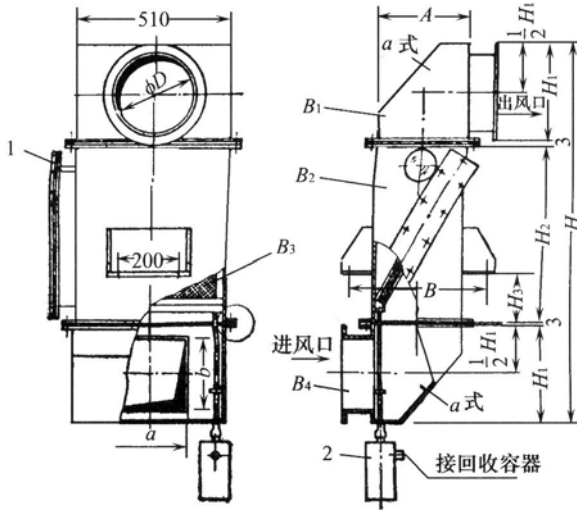


图 13—4—9 铬酸废气净化回收器 L2、L3 型总图

表 13—4—23 L2、L3、L4、L6 型网格式铬酸废气净化回收器外形尺寸(mm)

型 号	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>H</i> <sub>1</sub>	<i>H</i> <sub>2</sub>	<i>H</i> <sub>3</sub>	<i>a</i>	<i>b</i>
L <sub>2</sub>	300	460	250	1246	320	600	160	260	240
L <sub>3</sub>	510	670	320	1466	360	740	200	330	280
L <sub>4</sub>	510	670	390	1706	480	740	200	350	
L <sub>6</sub>	710	870	450	1976	540	950	300	500	

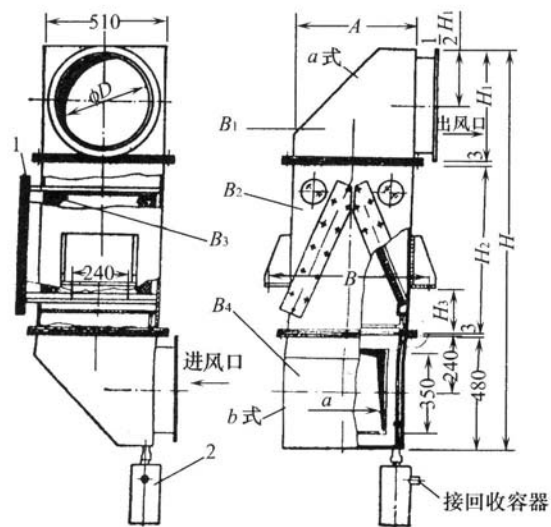


图 13—4—10 铬酸废气净化回收器 L4、L6 型总图图 13—4—9，图 13—4—10 说明：

上下箱体分成 a、b 两种，a 式的进、出风口方向是在箱体的两侧面；b 式的在箱体的正面和背面，可根据设计情况任选一种。B1 — 上箱体(a、b 式)；B2 — 主体；B3 — 过滤网络；B4 — 下箱体(a、b 式)；1 — 盖板；2 — 液封。

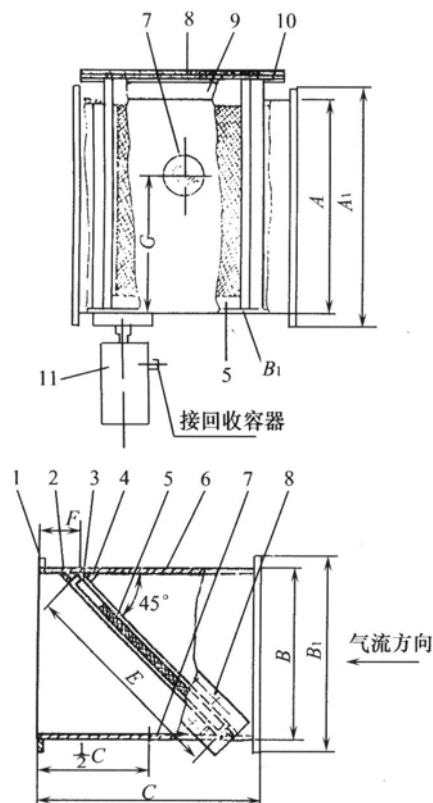


图 13—4—11 铬酸废气净化回收器 W2、W3、W8 型总图

1—方法兰；2—斜撑；3—导槽；4—斜撑；5—下横条；6—外壳；7—观察窗；8—盖板；9—上横条；10—小法兰；11—液封；B1—过滤网格。

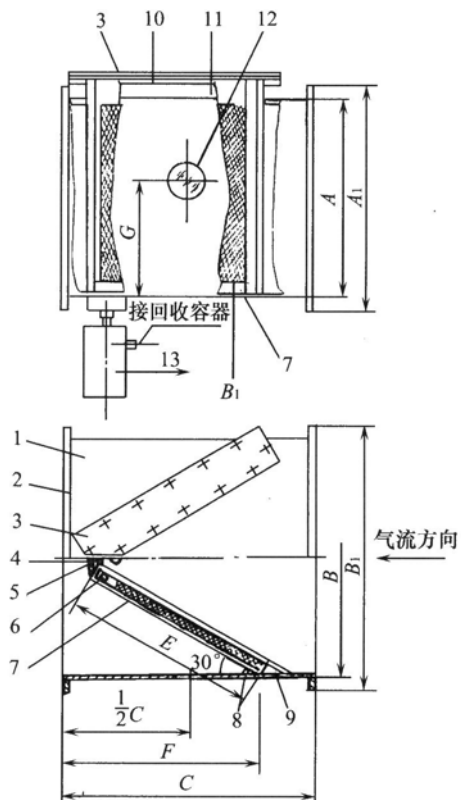


图 13—4—12 铬酸废气净化回收器 W4、W6、W12、W16 型总图

1—外壳；2—方法兰；3—盖板；4—封板；5—封板；6—导槽；7—下横条；8—小斜撑；9—大斜撑；10—小法兰；11—上横条；12—观察窗；13—液封；B1—过滤网络。

表 13-4-24 W<sub>2</sub>、W<sub>3</sub>、W<sub>4</sub>、W<sub>6</sub>、W<sub>8</sub>、W<sub>12</sub>、W<sub>16</sub> 型网格式铬酸废气净化回收器外形尺寸(mm)

型 号	A	A <sub>1</sub>	B	B <sub>1</sub>	C	E	F	G
W <sub>2</sub>	515	595	404	484	550	522	100	310
W <sub>3</sub>	765	845	404	484	550	522	100	460
W <sub>4</sub>	515	595	620	700	620	522	500	310
W <sub>6</sub>	765	845	620	700	620	522	500	460
W <sub>8</sub>	1040	1130	802	892	950	1050	130	620
W <sub>12</sub>	1040	1130	940	1030	850	795	740	620
W <sub>16</sub>	1040	1130	1200	1290	1130	1050	965	620

表 13—4—25 网格式铬酸废气净化回收器

型 号	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	L <sub>4</sub>	L <sub>6</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>
额定风量 /m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup>	2000	3000	4000	6000	2000	3000
使用风量 /m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup>	1600 ~ 2400	2400 ~ 3600	3200 ~ 4800	4800 ~ 7200	1600 ~ 2400	2400 ~ 3600

型 号	W <sub>4</sub>	W <sub>6</sub>	W <sub>8</sub>	W <sub>12</sub>	W <sub>16</sub>
额定风量 /m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup>	4000	6000	8000	12000	16000
使用风量 /m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup>	3200 ~ 4800	4800 ~ 7200	6400 ~ 9600	9600 ~ 14400	12800 ~ 19600

## (二)工作过程和原理

铬酸具有比重较大且易于凝聚的特点，不同粒径的铬酸雾滴悬浮在流动的空气中时，互相碰撞而凝聚成较大的颗粒，当含有铬酸颗粒的空气进入净化器的下箱体和主箱体时，由于空气速度的降低，已凝聚的较大铬酸颗粒便在重力的作用下从空气中分离出来。当铬酸废气经过滤器的网格时，由于通过曲折狭窄的通道，从而提高了互相碰撞的机会使之更容易凝聚，由于重力作用和吸附作用，细小的铬酸雾滴便附着在网格的表面上，不断附着的结果使细小的铬酸颗粒凝结成较大的液滴而沿网格降落下来。从空气中分离出来的铬酸最后沿排液管流入集液箱，净化了的空气从上箱体排出。回收下来的铬酸液可直接用于生产。

## (三)注意事项

(1) 为便于安装和维修，净化器底部应高出地面 30era 以上。底部必须保持水平，气流方向不能颠倒，以保证回收的铬酸沿外壳底部的孔洞顺利排出。

(2) 铬酸的腐蚀性强，回收器前的风道系统应全部用硬聚氯乙烯塑料板制作。过滤器与主箱体之间的密封垫料，必须用聚氯乙烯泡沫塑料，否则会受腐蚀，影响使用。

(3) 排除净化器内凝聚下来的铬酸流必须畅通。集液箱内必须保持一定的液体，以便插入排液管造成液封。

(4) 过滤网格应根据污染程度定期清洗，防止阻塞。一般可一个月左右清洗一次。

(5) 需净化气体的温度不宜高于 40℃。

(6) 为防止硬聚氯乙烯塑料板老化，回收器不宜安置在烈日暴晒的地方。三、含酸废气

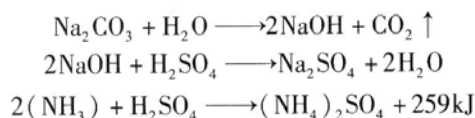
的净化

### (一)酸雾的净化处理

用硝酸、硫酸、盐酸及其混合酸、氢氟酸等在镀前对金属制品进行表面处理(化学浸蚀)时所产生的二氧化硫、氯化氢、二氧化氮、氟化氢等有害气体危害很大,需进行净化处理。处理方法多用酸碱中和的方法。

#### 1. 硫酸雾气的中和处理

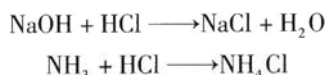
硫酸雾气一般可用浓度为 10% 的苏打( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )的碱性溶液( $\text{NaOH}$ )或氨( $\text{NH}_3$ )溶液进行中和处理。其化学反应为:



碱性溶液经中和酸气后,应设沉淀箱使渣滓沉淀下来,净液通过溢流循环使用。一般碱液的 pH 值达到 8~9 时,即需更换新的碱液。

#### 2. 盐酸雾气的中和处理

酚酞露旨可用碱滴( $\text{NaOH}$ )或氨( $\text{NH}_3$ )等低浓度溶液进行中和处理。其化学反应为:



由于盐酸的溶解热很大,在室温情况下为 56010(35% $\text{HCl}$ )。因此要较完全地脱除盐酸,必须用冷却吸收器,或者在溶液再循环使用时,经过冷却器后再回入净化设备。

对于浓度大的气体,由于惰性气体含量很少,盐酸很容易扩散,吸收也快,因此可在简单的设备中进行处理。对于浓度较稀的气体,吸收速度有所降低,可采用陶瓷填料塔。

#### 3. 硝酸雾气的处理

硝酸酸洗等使用含硝酸溶液加工的工序都产生氮氧化物废气,它是电镀生产的废气中危害较大也较难治理的酸性废气。氮与氧能形成多种氧化物,如: $\text{N}_2\text{O}$ 、 $\text{NO}$ 、 $\text{N}_2\text{O}_3$ 、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{N}_2\text{O}_4$ 和 $\text{N}_2\text{O}_5$ 等,氮氧化物是这些氧化物的总称,常以 $\text{NO}_x$ 来表示。常温下能单独存在的氮氧化物主要是 $\text{NO}_2$ 和与之形成平衡的 $\text{N}_2\text{O}_4$ 以及 $\text{NO}$ 气体,这三种气体对人体的危害也较大。

二氧化氮是一种棕红色气体,带有窒息性和强烈刺激性;四氧化二氮则是无色的。在常温下,二氧化氮能与四氧化二氮形成平衡,大体上 $\text{NO}_2$ 占 30%, $\text{N}_2\text{O}_4$ 占 70%。 $\text{NO}_2$ 和 $\text{N}_2\text{O}_4$ 的毒性相似。一氧化氮是一种无色无臭的气体,在水中的溶解度很小,不与水发生化学反应。一氧化氮通过人体呼吸系统进血液,侵入红血球与血红蛋白作用,使之变成高铁血红蛋白而引起血液中毒;同时也对中枢神经系统产生麻痹作用,吸入高浓度的一氧化氮能致动物于死命。

二氧化氮和四氧化二氮的毒性比一氧化氮要大 3 倍~4 倍,一氧化氮在空气中也能被氧化成为二氧化氮。二氧化氮主要伤害人体粘膜、呼吸系统和神经系统。其浓度为 $0.5 \times 10^{-6}$ 时就有特臭的感觉,在 $2.5 \times 10^{-6}$ 的低浓度下长期工作,三五年会产生慢性支气管炎;较高的浓度会使人咳嗽、咳血,进而引发肺炎、肺积水甚至窒息而死;此外,它对神经系统也能造成损伤。

氮氧化物是强腐蚀性气体,对厂区设备和金属构件,周围环境的某些家庭设施以及农作物等都可能造成破坏。

为了防范氮氧化物产生的不良后果,车间必须有较强的排风系统,还应有可靠的净化处理系统。电镀车间产生的氮氧化物废气,其特点是浓度不均衡性、断续性和潮湿性。因此,处理这种废气的方法也必须考虑它的这些特性,才能收到好的净化效果。

目前处理电镀车间氮氧化物的方法主要是吸附剂吸附法(干法)和液体吸收法(湿法)两种。

活性炭是处理电镀车间氮氧化物最常用的固体吸附剂。用活性炭吸附氮氧化物的吸附容量比用分子筛和硅胶都高，对低浓度氮氧化物吸附能力很强。它是一种比表面积很大的形态稳定的固体物质，有些品种的活性炭不仅对氮氧化物气体具有物理吸附作用，而且还具有化学还原作用，能使 NO 气体和 NO<sub>2</sub> 气体与碳反应变为氮气和二氧化碳气体。

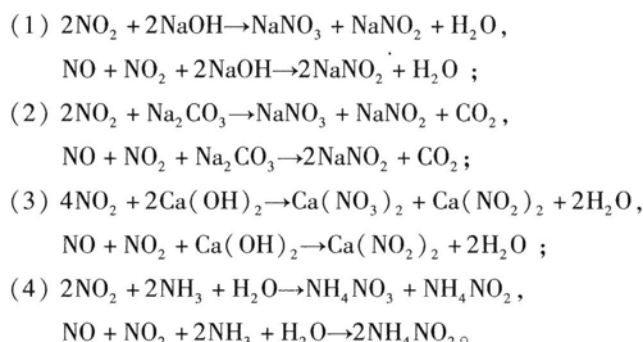
作为氮氧化物的吸附剂，选用的活性炭孔径应大于 NO<sub>x</sub> 的分子直径才合适。考虑到氮氧化物产生的断续性，处理设备应有较大的缓冲空间，为减低活性炭层的空气阻力和便于再生时装卸，活性炭层厚度不宜超过 10cm，可设置多层多级接触吸附，每层间保持一定缓冲空间，以增加吸附时效。。

采用吸附法处理氮氧化物废气，其净化效率可达 80%~90%。这种方法管理简单，运行费用低，净化效率高，只要及时再生就不会自然脱附。在我国北方寒冷地区，特别适宜采用这类干法处理设备，冬季不易产生结冰而影响设备的正常运转。其不足之处就是设备阻力较大，选用风机的压力较高。

活性炭吸附饱和后，应从吸附设备中取出进行再生。先经 20% 的氢氧化钠溶液浸泡，用水清洗后再用 20% 的稀硫酸溶液浸泡，水洗后再用热水煮沸，让其彻底脱附。一般活性炭在高温高湿条件下，水分子能取代已吸附的氮氧化物分子，为简化操作，仅用热水煮沸一定时间，也能洗脱大部氮氧化物分子，烘干后即可重新使用。

液体吸收法是用水或多种水溶液来吸收废气中的氮氧化物的方法。

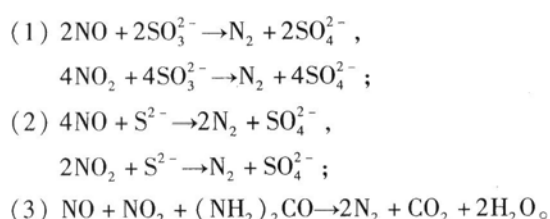
采用碱液吸收法可以吸收浓度比较稳定的氮氧化物废气。将氢氧化钠、氢氧化钙、氢氧化铵或碳酸钠等碱溶液送入喷淋吸收塔，这些液替与氮氧化物废气接触，就会反应生成硝酸盐和亚硝酸盐，其反应式为：



从各组反应式的第二式可看出，氮氧化物废气中的一氧化氮含量如果超过 50%，则过多的一氧化氮不会被吸收。也就是说，碱液吸收法只有在二氧化氮浓度与一氧化氮浓度相当或较高时，吸收才比较完全。如果一氧化氮含量较高，则应以采用氧化吸收法为佳。电镀生产中的氮氧化物废气流量和浓度都难以控制，因此，建议采用氧化吸收法来处理。氧化吸收法就是采在碱性吸收液吸收之前，采用氧化剂送入吸收塔的进气管内，将部分 NO 氧化成为 NO<sub>2</sub> 后继而在碱性吸收液中吸收。吸收后的废气往往再进入第二吸收塔用水吸收，以利用残余的氧化剂将亚硝酸盐氧化为硝酸盐。氧化剂可以是氯系氧化剂、臭氧或双氧水等。

在设计中还可以采用还原吸收法来处理氮氧化物废气，这种方法的净化效率较高。

还原吸收法是采用亚硫酸盐、硫化物或尿素等还原剂水溶液作为吸收液，将氮氧化物废气吸收到溶液中并还原为氮气。其反应式分别为：





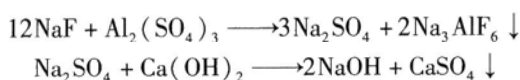
在氮氧化物废气处理设备中，也有在碱液中加入硫化物或尿素进行吸收的。如采用 8% 的氢氧化钠与 10% 的硫化钠混合水溶液作为吸收液，或者用氢氧化钠溶液多级喷淋吸收后再加一级硫化钠水溶液喷淋吸收，效果更好，其吸收率可达到 90% 以上。

#### 4. 氢氟酸雾气的中和处理

氢氟酸(HF)可用 5% 苏打( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )的碱溶液(NaOH)进行中和处理，其化学反应为：



通过净化后的氟化钠(NaF)溶液，加入适量的石灰溶液 $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ 和明矾 $[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3]$ 后，即可沉淀析出冰晶石( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ )和石膏( $\text{CaSO}_4$ )，而氢氧化钠又能得到再生使用。



### (二)酸雾净化设备

酸雾净化设备必须满足以下要求：

- (1) 气液之间要有较大的接触面和一定的接触时间；
- (2) 气液之间扰动强烈，吸收阻力低，吸收效率高；
- (3) 采用气液逆流操作，增大吸收推动力；
- (4) 气体通过阻力小；
- (5) 设备耐磨、耐腐蚀、运行可靠；
- (6) 构造简单，便于制作和检修。

常用的处理设备有：

#### 1. 喷淋塔

喷淋塔的结构如图 13—4—13。气体从下部进入，吸收剂从上向下分几层喷淋。喷淋塔上部设有液滴分离器。喷淋的液滴应大小适中，液滴直径过小，容易被气流带走；液滴直径过大，气液的接触面积小，接触的时间短，吸收效率低。

气体在喷淋塔横断面上的平均流速(空塔速度)一般为  $0.5\text{m/s} \sim 1.5\text{m/s}$ 。

喷淋塔的优点是阻力小、结构简单、塔内无运动部件。它的吸收效率不高，仅适用于有害气体浓度低、处理气体量不大的情况。

#### 2. 填料塔

填料塔的结构如图 13—4—14。在喷淋塔内填充适当的填料就成为填料塔，放入填料后，可以增大气液接触面积。吸收剂自塔顶向下喷淋，沿填料表面下降加湿填料，气体沿填料的间隙上升，在填料表面气液接触，进行吸收。

填料分为实体填料和网体填料，常用的实体填料有瓷质小环、鞍形和波纹填料等。一般，除了支承板上前几层用整砌法外，均用乱堆法安放填料。

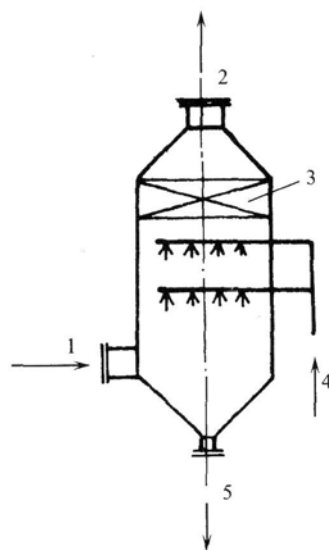


图 13—4—13 喷淋塔

1—有害气体入口；2—净化气体出口；3—液滴分离器；4—吸收剂入口；5—吸收剂出口。

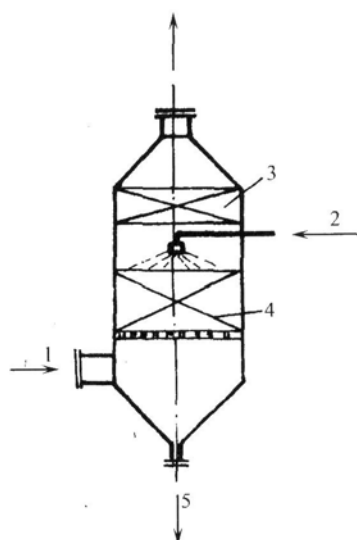


图 13—4—14 填料塔

1—有害气体入口；2—吸收剂入口；3—液滴分离器；4—填料；5—吸收剂出口。

填料塔的空塔速度一般为  $0.5\text{m/s} \sim 1.5\text{m/s}$ ，每米填料层的阻力一般为  $400\text{Pa} \sim 600\text{Pa}$ 。填料塔的结构简单、阻力小，是目前应用较多的一种气体净化设备。

### 3. 湍球塔

湍球塔的结构见图 13—4—15。湍球塔的塔内设有开孔率较大的筛板，筛板上放置一定数量的轻质小球。气流通过筛板时，小球在其中湍动旋转，相互碰撞，吸收剂自上向下喷淋，加湿小球表面，进行吸收。由于气、液、固三相接触，小球表面的液膜能不断更新，增大吸收推动力，提高吸收效率。小球通常用聚乙烯和聚丙烯制作，直径可采用  $\phi 25$ 、 $\phi 30$ 、 $\phi 38$  等。

湍球塔的空塔速度一般为  $2\text{m/s} \sim 6\text{m/s}$ ，每段塔的阻力约为  $400\text{Pa} \sim 1600\text{Pa}$ 。

湍球塔的特点是风速高、处理能力大、体积小、吸收效率高。缺点是，随小球的运动，有一定程度的返混，段数多时阻力较高。

4. 筛板塔

筛板塔的结构如图 13—4—16。塔内设有几层筛板，气体从下而上经筛孔进入筛板上的液层，通过气体的鼓泡进行吸收。气液在筛板上交叉流动，为了使筛板上的液层厚度保持均匀，提高吸收效率，筛板上设有溢流堰，筛板上液层厚度一般为 30mm 左右。筛板塔的空塔速度一般取  $1.0\text{m/s} \sim 3.5\text{m/s}$ 。随气流速度的不同，筛板上的液层呈现不同的气液混合状态，筛板上形成泡沫层时，气液两相的接触面积大大增加，这时的筛板塔称为泡沫塔。为了达到较理想的泡沫状态，筛板的开孔率一般为  $10\% \sim 18\%$ ，此时，空塔速度  $1.0\text{m/s}$  时的阻力约为  $200\text{Pa}$ ，空塔速度  $3.5\text{m/s}$  时的阻力约为  $1000\text{Pa}$ 。

筛孔直径一般为  $3\text{mm} \sim 8\text{mm}$ ，筛孔直径过小，不便于加工，容易造成堵塞。筛板安装时应保持水平。

筛板塔的优点是构造简单、吸收效率高。它的缺点是筛孔容易堵塞，操作不易稳定，只适用于气液负荷波动不大的场合。如处理的气体流量较大时，采用筛板塔较为经济。

常用吸收器的操作参数和优缺点见表 13—4—26。

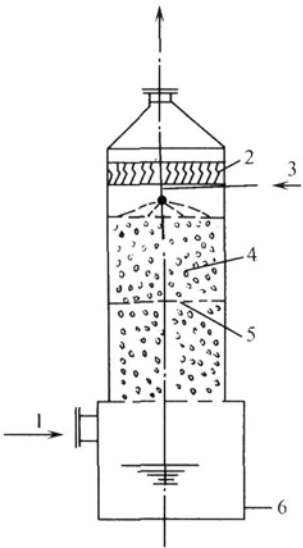


图 13—4—15 湍球塔

1—有害气体入口；2—液滴分离器；3—吸收剂入口；4—轻质小球；5—筛板；6—吸收剂出口。

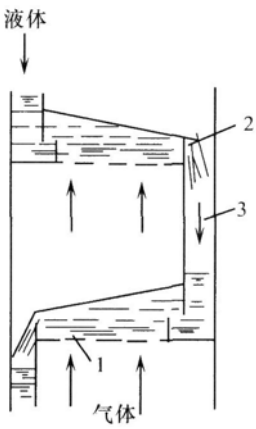


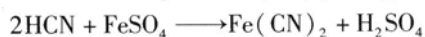
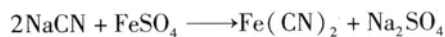
图 13—4—16 筛板塔 1—筛板；2—溢流堰；3—降流管。

表 13—4—26 常用吸收器的操作参数和优缺点

名称	操作参数	优点	缺点
喷淋塔	空塔速度 0.5m/s ~ 1.5m/s 液气比 0.6L/m <sup>3</sup> ~ 1.0L/m <sup>3</sup> 压力损失 100Pa ~ 200Pa	结构简单、造价低,操作容易; 可同时除尘、降温、吸收,压力损失小	气液接触时间短,混合不易均匀,吸收效率低; 液体经喷嘴喷入,动力消耗大,喷嘴易堵塞; 产生雾滴,需设除雾器
填料塔	空塔速度 0.5m/s ~ 1.5m/s 液气比 1L/m <sup>3</sup> ~ 10L/m <sup>3</sup> 喷淋密度 6m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ·h ~ 8m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ·h 压力损失 400Pa/m ~ 600Pa/m 填料	结构简单,制造容易; 填料可用耐酸陶瓷,较易解决防腐问题; 流体阻力较小,能量消耗低; 操作弹性较大,运行可靠	气速过大会形成液泛,处理能力较低; 填料多,重量大,检修时劳动量大; 直径大时,气液分布不均匀,传质效率下降
湍球塔	空塔速度为 2m/s ~ 6m/s 喷淋密度 20m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ·h ~ 110m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ·h 压力损失 400Pa ~ 1600Pa/段塔	气液接触良好,相接触面不断更新,传质系数较大; 空塔气速大; 球体湍动,互相碰撞,不易结垢与堵塞	气液接触时间短,不适宜吸收难溶气体; 须使小球浮起湍动,气速小时不能运转; 小球易损坏渗液,影响正常操作
筛板塔	空塔速度 1m/s ~ 3.5m/s 小孔气速 16m/s ~ 22m/s 液层厚度 30mm 左右 喷淋密度 12m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ·h ~ 15m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ·h 空塔速度 1.0m/s 时的阻力为 200Pa 空塔速度 3.5m/s 时的阻力为 1000Pa	结构较简单,空塔速度高,处理气量大; 能够处理含尘气体,可以同时除尘、降温、吸收; 大直径塔检修时方便	安装要求严格,塔板要求水平; 操作弹性较小,易形成偏流和漏液,使吸收效率下降

#### 四、氰化物废气的净化

氰化物废气可以用 1.5%NaOH+1.5%NaClO 溶液、硫酸亚铁吸收,其化学反应如下:



吸收后的废液应进行处理,达到排放标准后才能排放。

处理设备可用填料塔。填料可采用塑料窗纱和泡沫海绵等网体填料,有利于气体和液体的充分接触。

采用硫酸亚铁溶液作吸收液时,将质量百分数为 0.1%~0.7%的硫酸亚铁水溶液送入喷淋塔吸收 3s~4s,净化效率可以达到 98%;采用次氯酸钠水溶液作吸收液时,应用氢氧化钠将吸收液调节 pH 值保持在弱碱性状态,用一般喷淋塔吸收,净化效率可达到 90%以上。处理后生成产物为氨、二氧化碳和水,毋须进一步消毒处理。