

碳氢清洗工艺的特点

一、碳氢清洗剂的优势

碳氢清洗剂是馏程在 140-190℃左右的正构和异构烷烃。一般是石油经粗蒸馏、加氢、精馏、异构化制成。碳氢清洗剂与其他清洗剂相比有许多优势：

1. 清洗性能好。碳氢清洗剂与大多数的润滑油、防锈油、机加工油同为非极性的石油馏分，根据相似相容的原理，碳氢清洗剂清洗这些矿物油的的效果要好于卤代烃和水基清洗剂。

2. 无毒。经毒理试验，碳氢清洗剂的吸入毒性、经口毒性和皮肤接触毒性均为低毒，且不属于致癌物质，与卤代烃相比对清洗操作人员更安全。

3. 材料相容性好。碳氢清洗剂中不含水份和氯、硫等腐蚀物，对各种金属材料不会产生腐蚀和氧化。另外，由于其属于非极性溶剂，对大部分塑料和橡胶没有溶解、溶胀和脆化作用，因此应用范围极广。

4. 可彻底挥发无残迹。碳氢清洗剂是非常纯净的精制溶剂，在常温和加温状态下均可完全挥发，没有任何残留。

5. 不破坏环境。碳氢清洗剂可以自然降解，清洗废液可以放入燃煤或燃油锅炉中焚烧，焚烧的生成物主要为 CO₂ 和水，对空气没有污染。碳氢清洗剂中不含氯，对臭氧的破坏系数为零。

6. 价格便宜。普通碳氢清洗剂的价格相当于 F-113 价格的 50%以下，是某些 ODS 替代品价格的二十分之一。由于碳氢清洗剂的密度为 0.75 左右，大大低于卤代烃溶剂的密度，因此在同样容积的清洗槽中碳氢清洗剂的加入量仅为卤代烃清洗剂的一半。

7. 蒸发损失小。碳氢清洗剂沸点一般在 150℃以上，在使用保管过程中挥发损失要比沸点在 40~80℃的卤代烃小得多，对包装物和设备的密封要求很低。

尽管碳氢清洗剂有诸多优点，但与 ODS 清洗剂相比，其沸点高（150~190℃）而

闪点低（ $50\sim 70^{\circ}\text{C}$ ）。虽然较高的沸点可以减少清洗剂在储存、运输和使用过程中的挥发损耗，但也使清洗后工件的干燥速度大大降低，使清洗剂的蒸馏再生变得困难。较低的闪点则提高了清洗、干燥和蒸馏再生中的防火要求。（见附表 1：常用碳氢清洗剂与卤代烃清洗剂沸点和闪点比较）

为了使经济适用的碳氢清洗剂得到更好的利用，日本企业将真空技术应用到清洗设备中，开发出一种全新的清洗设备——真空清洗干燥机，彻底克服了碳氢清洗剂的弱点，使碳氢清洗在日本得到广泛的应用。

表 1 常用清洗溶剂沸点和闪点比较

名 称	二氯甲烷	三氯乙烯	四氯乙烯	四氯化碳	CFC-113	1,1,1-三氯乙烷	碳氢清洗剂
沸点（ $^{\circ}\text{C}$ ）	39.8	87	121	78	47.8	74	150~190
闪点（ $^{\circ}\text{C}$ ）	无	无	无	无	无	无	43~70

二、真空技术在清洗中的作用

真空清洗干燥机利用液体在真空状态下的物理变化，改变了碳氢清洗剂和被清洗物的某些特性，从而趋利避害，使碳氢清洗剂的优势得到更好的发挥。真空技术在清洗中的主要作用是：

1. 脱出清洗剂中的空气，减少超声波的衰减。为提高清洗效果，清洗机中一般都采用超声波技术，利用超声波振子每秒钟几万次频率的振动，发出超过人耳可听见的 10 万倍以上的声压。在清洗的情况下超声波在液体中呈放射状，使清洗液体流动而产生大量的真空气泡，这种现象就是空穴作用。由这种空穴作用而产生的液体流动和数以万计的高压真空气泡瞬间爆破时产生的能量，不断地冲击被清洗物表面，使表面及缝隙中的污垢迅速剥落。但在常压状态下，清洗剂中溶解的空气粒子遇到超声波时产生气泡，超声波的空穴作用会被大幅度衰减，清洗效果被减弱。在真空状态下，清洗剂中的气体会

被脱出，从而避免了超声波的衰减。

2. 排除工件表面和孔隙中的空气，提高清洗效果。在传统清洗中，清洗效果不理想常常是因为盲孔、粗糙表面和细小缝隙中的空气不能排出，影响清洗剂的浸润，产生清洗盲区。应用真空技术后，可使部件表面、缝隙和盲孔内的空气全部排出，使清洗剂完全浸入工件的每个部位，使工件的各个部位都达到最好的清洗效果。对于构造复杂、盲孔较深的工件，通过两次以上的抽真空和排气过程，也可以将空气全部排出。所以在真空状态下，清洗效果要比常压下更好。

3. 降低沸点，使碳氢清洗剂也可以实现气相清洗。使用卤代烃清洗剂的超声波清洗机，利用卤代烃清洗剂沸点低的特点，在清洗的最后一步，将清洗剂加热使之产生纯净的清洗剂蒸汽，用溶液蒸汽对工件进行气相清洗，使溶解在清洗溶液中的油污不会残留在工件表面。由于碳氢清洗剂的沸点高于闪点，在常压状态下不可能对工件进行蒸汽清洗。真空清洗干燥机利用液体在真空状态下沸点降低的原理，通过对密封的清洗槽抽真空，使碳氢溶剂的沸点大大降低，只需将碳氢清洗剂加热到 80℃ 左右，就可使其沸腾，实现气相清洗。

4. 利用真空突沸效应，提高干燥速度。由于碳氢清洗剂的沸点都在 140℃ 以上，在常温常压下彻底挥发一般需要一小时左右。这样的干燥速度肯定不能满足工艺清洗的节拍要求。而用加热烘干的方法又容易产生火险，这也是碳氢清洗剂在中国未得到广泛应用的主要原因之一。真空清洗干燥机一般是将蒸汽清洗与真空干燥在一个槽中进行，在对工件进行蒸汽清洗的同时使工件温度升高，然后使干燥槽迅速进入更高的真空状态，工件表面的清洗液会突然沸腾（真空突沸效应）而迅速挥发干净。这样可以将工件的干燥时间降低到 1 分钟以内。

5. 真空蒸馏，使碳氢清洗剂再生重复使用。清洗剂的蒸馏再生，就是利用清洗剂与污垢之间的沸点差，将溶有油污的清洗剂加热到清洗剂的沸点以上而控制在油污的沸点以下，使清洗剂汽化，然后通过冷凝装置使之重新凝结成纯净的清洗剂，而沸点较高的油污和机械杂质则留在蒸馏罐的底部。卤代烃清洗剂由于沸点低且不可燃，蒸馏再生相对容易，所以，许多卤代烃清洗剂都附带有蒸馏再生装置。而碳氢清洗剂由于沸点高而

闪点较低，在常压下蒸馏再生是不可能的。真空清洗干燥机的蒸馏再生装置在高真空下使碳氢清洗剂的沸点降低到 80℃，使清洗槽中溶解了油污的清洗溶液不断地抽入蒸馏装置，在真空中加热蒸发，再经过冷凝成为清洁溶剂回到清洗槽中，使清洗液始终保持清洁状态。油污则留在蒸馏装置底部，定期排出。

6. 隔绝氧气，使碳氢清洗剂失去燃烧的条件。绝大多数碳氢清洗剂闪点都在 50℃ 左右，在我国《常用危险化学品的分类及标志》（GB13690-92）中属于高闪点易燃液体。虽然闪点较高，但在高温或有助燃物（如纸和棉絮）的情况下仍有燃烧危险。因此控制火险成为其推广使用必须解决的问题。燃烧需要有可燃物、温度和氧气三个必要条件，只要缺少一项，燃烧就不可能发生。在真空状态下氧气含量极低，在清洗、干燥和蒸馏再生的过程中，即使碳氢清洗剂的温度达到闪点以上，由于没有氧气，失去了燃烧的一个必要条件，碳氢清洗剂也不会燃烧，从而保证了使用安全。

真空清洗干燥机用一套真空泵同时解决了清洗中的诸多问题，可以说是设备创新和典范。

三、真空清洗干燥机的种类和构造

帕尔弗碳氢真空清洗干燥机有自己的定型产品。也可以根据用户的工件形状、尺寸、材质，油污种类和污染程度，清洗后的洁净度要求，清洗车间的场地条件等为客户设计和生产专用机。

真空清洗干燥机按照工件搬运的自动化程度可分为全自动、半自动和手动；按照清洗槽的数量可分为单槽机、双槽机、多槽机等；按照清洗工件体积可分为大型机、中型机和小型机；按照蒸馏装置与清洗装置的结合方式可分为一体式和分离式，按照清洗对象还有 电镀、热处理、卷材清洗专用机。根据真空清洗干燥机各部分的作用，可分为清洗系统、干燥系统、蒸馏再生系统、输送系统、控制系统、安全辅助装置几部分。

生产厂家经过多年的研究开发，使真空清洗干燥机的技术水平逐步提高，功能不断完善，洗净力大幅度提高、成本进一步下降、可以满足更多客户的清洗要求，从而使碳氢清洗技术日臻成熟，被越来越多的客户所认同，在替代 ODS 和有害清洗溶剂中发挥了巨大作用。真空清洗干燥机中运用的技术有：

1. 多种技术协力，提高洗净力。

超声波震荡。与其他清洗设备一样，真空清洗干燥机中也采用超声波震荡提高洗净力。在真空清洗干燥机中由于清洗剂中的空气粒子被抽出，超声波的冲击力较普通清洗机大大提高。一些生产厂家还在真空清洗干燥机中运用了双周波和三周波超声技术，利用不同功率和波长的超声波使溶液产生高频震荡，以提高洗净能力。

摇动和滚动清洗。利用摇动机构使清洗篮做上下左右摇动和旋转滚动，以利于污垢尽快脱离工件表面。

喷淋清洗和蒸汽清洗。根据清洗对象的形状和清洗工艺要求，有些真空清洗干燥机中还运用了加压喷淋和蒸汽清洗技术，以提高清洗力和清洁度。

水基清洗和碳氢清洗协同作用。碳氢清洗剂对矿物油的溶解力较强，而对水溶性污垢清洗效果较差。有些真空清洗干燥机针对工件上的特殊污垢先用水基清洗机洗掉水溶性污垢，再用碳氢清洗剂将水基清洗剂置换掉并进一步溶解矿物油污垢，不仅使成份复杂的污垢也可以清洗干净，还避免了水基清洗造成的金属锈蚀。

清洗液的连续循环更新。随着清洗工作的进行，清洗液不停的从末端的净洗槽逐级溢流到前端的初洗槽，而初洗槽中的清洗液则不停的被抽入真空蒸馏再生装置经蒸馏和冷凝变成纯净的清洗液流回末端的净洗槽，从而保证清洗机中的清洗液始终处于清洁状态。

2. 点滴入手，降低清洗剂消耗。

清洗剂在清洗过程中的损耗发生在以下环节：使用和储存过程中的自然挥发损失、通风和干燥过程中的排放损失以及蒸馏再生后排放废液的带出损失。

由于碳氢清洗剂的沸点都超过 150℃，在储运和使用过程中的挥发损失较沸点为 40℃~70℃的卤代烃清洗剂要小得多。而真空清洗干燥机中全封闭的清洗槽和真空系统设计，使清洗剂的挥发损失减少到最低。

为减少抽真空和干燥过程中的排放损失，真空清洗干燥机中设计了排气冷凝回收装置，可以将真空系统排气和真空干燥过程中带出的清洗剂中的绝大部分冷凝回收。真空蒸馏再生过程排放的脏污废液中必然会夹带一部分清洗剂。真空清洗干燥机中一般采用多段蒸馏再生和废液浓缩排放，将废液中的清洗剂“榨干”后再排放。

以上一系列的节省措施，可以使碳氢清洗剂的使用成本降低到三氯乙烷、三氯乙烯、二氯甲烷等方法的五分之一到十分之一。

3. 精心设计，节省能源。

在清洗过程中不仅要考虑清洗剂的消耗，各种能源的消耗也是清洗成本的重要组成部分。碳氢清洗因为增加了真空系统和加热干燥，较卤代烃清洗增加了一些电力消耗。但其他部分的精心设计，使得真空清洗干燥机的能源总消耗与卤代烃清洗机接近。

在卤代烃清洗机中为使沸点较低的清洗剂减少挥发损失并有效冷凝回收，必须在清洗槽上部设置冷凝区，并配置冷冻机组制冷。由于碳氢清洗剂沸点较高，在真空清洗干燥机中只需采用 25℃以下的冷却水就能保证冷却效果，从而省去了制冷机组的能源消耗。

所有真空清洗干燥机均将气相清洗与真空干燥设置在一个槽中，利用气相清洗过程中蒸汽的热量给工件加热，使工件在真空干燥过程中利用自身的温度加速干燥。

为了实现能源的再利用，真空清洗干燥机将各工作步骤排出的热风重新回到需要加

热的部分循环利用，不仅节约了加热中的能源消耗，而且减轻了环境压力。 在一些真空清洗干燥机的各个真空部分之间，抽真空和恢复常压的过程也被精心设计，使高真空部分在恢复常压之前先与即将进入真空的部分进行压力平衡，使“真空能”得到最大限度的利用。

4. 防患未然，保证安全。

使用碳氢清洗剂替代卤代烃清洗剂，人们最担心的是碳氢清洗剂闪点较低易燃的问题。真空清洗机除了用真空技术使碳氢清洗剂在清洗机中失去燃烧条件外，还通过使用防爆电机、防爆开关、防火闸门、导热油间接加热、温度自动控制、可燃气体浓度报警、机门自动封闭、电源自动切断及自动灭火等装置确保使用安全。

四、碳氢清洗在中国的应用

近年来，中国逐步向世界加工中心的方向发展，大批国外和港、澳、台企业在中国建立工厂，生产机械、电子零部件，清洗剂和清洗机的需要量迅速增长。这些企业在中国设厂的原因除了廉价的劳动力外，环保方面管理的相对宽松也是重要因素。近两年随着中国淘汰 ODS 进程的加快，以及政府对环境保护和劳动者人身健康的重视，企业目前仍大量使用的 ODS 和其他卤代烃清洗剂面临淘汰的巨大压力，许多企业急于寻找适合的替代方法。

虽然大部分中国企业对碳氢清洗还知之甚少，但日本生产的真空清洗干燥机和碳氢清洗剂已经在中国使用多年。这些企业都是日本独资企业，他们在日本的本部就使用碳氢清洗工艺，在中国建厂时也将这一工艺带入中国。据统计，目前在中国使用的真空清洗干燥机有四十余台，均由日本进口，主要分布在珠江三角洲、长江三角洲和大连地区；使用的碳氢清洗剂也都是进口品牌，如日矿石油、TOSOH、EXXON 等。因为中国企业与日

本企业的交流较少，所以距这些日资企业很近的中国企业却使用完全不同的清洗工艺。

专门用于真空清洗干燥机的碳氢清洗剂也已经由国内企业开发成功，进入市场，对进口产品形成竞争压力，如瀚孚斯的 HFS 系列等。国产的碳氢清洗剂的成功开发，降低了原料成本、运输成本和采购成本，免除了关税，使其价格只相当于同类进口产品的一半。进口碳氢清洗剂在国内产品的竞争压力下也在悄悄降价。

今后，碳氢清洗必然以其高效、无毒、经济、环保的诸多优势成为中国清洗行业的主流，科威信公司生产的碳氢真空清洗干燥机会得到迅速推广，占领广大市场。

五、碳氢清洗的替代方式和经济效益分析

由于碳氢清洗剂必须借助于真空清洗干燥机才能彻底发挥其优势，而真空清洗干燥机较其他的清洗设备结构复杂，目前又都是日本进口，因此用碳氢清洗剂替代 ODS 的最大障碍就是初期的设备投资较大。在日本生产的真空清洗干燥机，因清洗槽数量、被清洗物尺寸、自动化程度、选配装置的不同，折合人民币价格在 50 万至 200 万元，日本企业在中国生产后可降低到 40 万至 160 万元。这样的设备投资对于外资企业容易接受，而对国内企业，特别是中小企业和劳动密集型企业仍显得昂贵。因此可以根据企业条件采用不同的替代方案，尽量利用原有设备，降低一次性投资。但不论采用何种方案，用碳氢清洗代替 ODS 和其他卤代烃清洗剂都会给企业带来长久的经济利益。

根据中国企业产品类型、工艺要求、原有设备状况和资金实力，用碳氢清洗替代原来的清洗工艺可以采用三种方法：

1. 全面更换设备。对于清洗工作量大、原有设备比较陈旧、不能满足清洗要求而资金条件允许的企业，可以淘汰原有设备，按企业工艺要求设计制造真空清洗干燥机，虽然设备投资较大，但日常清洗剂的消耗量仅为卤代烃清洗剂的 1/5 甚至更少，投入的

设备资金约在 3 年多收回。

2. 局部更换设备。对于清洗工作量大、原有设备较完好的企业，可以将原有设备的气相清洗、干燥和蒸馏再生部分更换为真空蒸馏再生装置内置的真空干燥机。设备投资较小，而日常清洗剂的消耗量约为卤代烃清洗剂的 40%，投入的设备资金约在 1 年多收回。

3. 局部改造设备。对于资金条件较差、原有清洗设备尚可使用的企业，可以将原有设备自然干燥部分改装成带循环水冷凝的热风干燥装置，再另配一台真空蒸馏再生机，这样设备投资较少，日常清洗剂的消耗量约为卤代烃清洗剂的 1/2，投入的设备资金约在 10 个月收回。

现以广东某厂为例：该厂为多家电子企业配套生产各种金属冲压件，产品在电镀和出厂前都要进行清洗。现有的清洗设备是国内制造的四槽全自动超声波清洗机，使用三氯乙烯清洗剂，每月消耗约 20 桶。由于当地政府环境保护和劳动保护部门的限制，企业决定使用碳氢清洗剂替代现在使用的三氯乙烯清洗剂。现根据日本企业改造设备和使用碳氢清洗剂的经验数据列表说明用以上三种方法进行替代的投资、成本和效益情况：

	原方案	方案一	方案二	方案三
每月消耗量（桶）	20	4	8	10
清洗剂单价（元/桶）	3200	4000	4000	4000
清洗剂成本（元/月）	64000	16000	32000	40000
节约成本（元/月）	0	48000	32000	24000
设备投资（元）	0	1800000	450000	250000
投资回收期（月）		37.5	14.1	10.4
使用 10 年节约成本（元）		3960000	3390000	2630000

由此不难看出，用碳氢清洗替代 ODS 和其他卤代烃清洗剂不仅对社会有巨大的环境效益、健康效益，对企业也有巨大的经济效益。