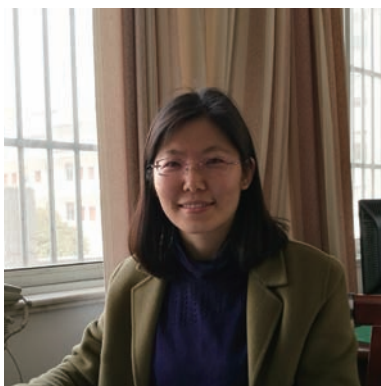


# 金属加工企业的清洁生产

■ 扬州市广陵区环境保护局 （江苏 225003） 杜小文

**摘要：**分别针对汽车金属配件和钢管加工企业的污染源进行分析，提出多种减排应对措施，列出清洁生产方案，并对方案的环境性和经济性进行评估。对金属加工企业在生产中开展清洁生产、管理有一定的参考意义。



我国清洁生产的形成和发展总体上经历了以下三个阶段：

第一阶段，为清洁生产引进阶段，从1989年到1992年。1989年，联合国环境规划署提出推行清洁生产的行动计划后，清洁生产的理念和方法开始引入我国，有关部门和单位开始研究如何在我国推行清洁生产。1992年联合国环境署在厦门举办了清洁生产培训班。

第二阶段，为清洁生产的立法阶段，从1993年到2002年。九届全国人大常委会第28次会议于2002年6月29日召开，会议审议通过了《中华人民共和国清洁生产促进法》，标志着我国清洁生产进入了法制化的轨道。

第三阶段，为清洁生产有

章可循和推广阶段，从2003年开始。国家发改委和环保部为落实《促进法》，出台了一系列规章制度，使得我国清洁生产工作的开展有章可循。同时，地方各级政府也以各种方式有效推动清洁生产工作在地方的开展。

## 1. 企业的污染源分析

从近几年对金属制品企业清洁生产的审核情况看，普遍存在危险废物（以下简称“危废”）处置不规范、废气无组织排放或有组织排放不达标、废水超标排放等问题。其中，危废主要为金属表面处理过程中产生的槽渣，水处理站压滤污泥，生产过程中冷却润滑用乳化液、切削液，设备维修过程中产生的废机油，模具清洗产生的清洗废水等；废气主要是热处理炉燃烧废气、蒸汽锅炉燃烧废气、表面处理工序挥发的酸雾以及钢管打磨、抛光过程中产生的粉尘；废水主要来自于金属表面处理清洗废水，其特点是多含重金属元素、氨氮浓度高、化学需氧量浓度高、阴离子表面活性剂浓度高、排放量大、处理工艺不稳定、处理难度高以

及稳定达标排放难度大，如控制处理不当，易造成严重的环境污染。

从以往的案例来看，主要存在以下几种危废违法处理方式：

①将危废直接排入下水道或随意倾倒。②将危废委托给无危险废物处置资质的单位进行处置。③将危废混入一般固体废物中，按一般固废的处理方式交环卫部门处理。

对于废水排放，主要存在如下问题：①废水未经处理直接超标排放进管网。②废水虽经处理设施处理，但仍未达到排放标准。③废水通过暗管、渗井、渗坑及灌装等方式排放进环境。④通过稀释的方式达标排放。

但是从2015年和2016年的审核情况看，状况有了较大的改变。下面以两类金属加工企业的审核来分析。

（1）汽车金属配件加工企业的污染源。汽车是高科技的产物，汽车及其配件设计本身综合应用了大量的高科技技术、环保技术，因此，看起来汽车金属配件加工对环境的影响不是特别

大，但事实上，金属配件的加工往往是在中小城市工业园区一些小企业中进行，由于这些小企业环保意识薄弱、环保资金不到位及环保设施不齐全，甚至不采取任何措施，直接将污染物乱排、偷排，对环境造成严重影响。近几年，各地政府加大了对环境污染的整治力度、宣传力度，相继出台了一系列环保鼓励政策，这些小企业在环保上有了很大的改善，大大减少了环境污染。

以调查的一家公司为例，该公司主要生产汽车座椅金属骨架和汽车金属托架，2004年投产以来规模不断扩大，产值逐年提高，截止2016年底，员工总数已达到280人左右，产值达到6 000多万元，产品全部外销世界10多个国家和地区。公司在“提倡绿色生活，实施清洁生产”环保理念的指导下，加大环保投入。在生产源头，引进国外先进工艺、先进设备，实现乳化液、表面处理酸液循环使用，大大减少了产污量；在末端，引进国内先进的废气、废水治理设施，在废水、废气排口加装在线监测设备，并

与环保局联网，对排污实施监测；在生产过程，企业加强管理，通过了ISO 14001环境管理体系认证。该企业2015年和2016年1~7月能源同期单耗指标比较如表1所示。

虽然生产源头污染源客观存在，主要是表面处理车间酸洗磷化工艺排放污水：工业废水排放（处理量）一年约为2.1万t，2013年和2014年部分月份排放超标，但是自2015年开展清洁生产以来，排放达标，并有很大的好转。该汽车配件公司年达标后废水排放情况如表2所示。

根据电泳涂装的质量要求，构成其表面处理工序的主要有5个：脱脂除锈→水洗→表调→磷化→水洗。脱脂除锈是表面处理工艺中最为重要的一道工序，不仅是因为该工序的处理成本是整个表面处理工艺中最大的工序，而且对整个涂装成本的影响可谓举足轻重。据有关计算，脱脂除锈工序的处理成本约占整个表面处理成本的1/3~1/2，占涂装总成本的1/6~1/4。同时，如果脱脂除锈工序的处理质量得到了保

证，后面几道工序的处理质量就比较容易获得保证。

根据产品质量的要求，表面处理工艺主要包含5个工序，分别为脱脂（去油除锈）、清洗、酸洗、清洗、磷化、清洗。其中，脱脂在整个处理工艺中有着重要的地位，是后续表调、磷化的基础，直接决定着后续工序的处理效果。

酸洗除锈对产品表面质量影响很大，是关键工序。选择什么样的酸、浓度多大、温度多高，这些因素对工件表面状态的影响很大，如果选择不当，不仅处理质量得不到保证，而且处理成本高、环境污染大；对酸洗后道水洗工序要求也很严格，酸洗常用的酸是硫酸或盐酸，酸洗后如清洗不干净，硫酸、盐酸的残酸均有很强的腐蚀性，对工件留下隐患，而且会影响后面的磷化工序。

（2）金属制品加工企业的污染源。钢管加工也是在污染源上容易被忽视的行业。传统的钢管加工企业存在如下问题：①热处理工艺采用煤作为加热原料，而且尾气排放过程中没有任何过滤、除尘装置，排放的尾气严重不达标，含有大量的粉尘、二氧化硫等有害物质，严重污染环境。②表面处理工艺产生的废液直接排放，没有循环利用，也没有考虑进行预处理从而实现从源头降低污染源，而是靠末端处理来实现达标排放。在钢管加工过程中用过的废的乳化液直接排放、或交给没有处理资质的企业处理，对环境造成很大污染。

现代先进的钢管加工企业已

表1 2015年和2016年1~7月能源同期单耗指标比较

| 月份        | 煤 (t/万元) | 电 (kW·h/万元) | 生产用水 (t/万元) |
|-----------|----------|-------------|-------------|
| 2015年1~7月 | 0.022    | 97.95       | 6.58        |
| 2016年1~7月 | 0.019    | 81.94       | 4.74        |
| 同比下降 (%)  | 13.64    | 16.35       | 27.96       |

表2 某汽车配件公司年达标后废水排放情况

| 污染物种类      | 浓度    |       | 浓度排放标准 | 排放状态 | 毒性 |
|------------|-------|-------|--------|------|----|
|            | 2015年 | 2016年 |        |      |    |
| pH         | 9.3   | 8.29  | 6~9    | 正常   | 微  |
| COD (mg/l) | 98    | 84    | 100    | 正常   | 微  |
| SS (mg/l)  | 75    | 48    | 70     | 正常   | 微  |
| P (mg/l)   | 4.6   | 1.72  | 4.86   | 正常   | 微  |
| 石油类 (mg/l) | 6     | 1.3   | 10     | 正常   | 微  |

经完全改变了以往传统的做法，实现从源头降低污染源。图1所示为某企业的钢管加工流程，该企业热处理工艺采用清洁能源天然气作为加热原料，而且在尾气排放管中装设过滤、除尘装置，排放的尾气完全可以达标。

表面处理工艺产生废水主要来自以下几方面：①酸洗废酸。酸洗工序使用稀硫酸溶液来去除钢管表面的氧化皮，硫酸溶液在使用一段时间后，里面会产生许多杂质（多为铁的氧化物），需要定期更换。②脱脂水洗废水。在去油水洗过程中产生水洗废水。③酸洗水洗废水。在酸洗水洗过程中产生水洗废水。④磷化水洗废水。在磷化水洗过程中产生水洗废水。⑤中和水洗废水。在中和水洗过程中产生水洗废水。⑥废的皂化液。钢管皂化工

艺过程使用的皂化液在使用一段时间后，里面会产生许多杂质，需要定期更换。⑦废气。酸洗和皂化工序都会产生废气。⑧乳化液。钢管加工过程需要大量乳化液进行冷却和润滑，因此会有大量废乳化液排放。

## 2. 减排应对措施

（1）化学除锈改为物理除锈。物理除锈即机械除锈，是指用机械的方法清除工件表面的锈蚀或其他杂质。实践证明，物理除锈可以满足食品、装饰、机械设备制造及建筑等行业对表面处理质量的基本要求，可以获得可接受的表面粗糙度，但对于表面处理要求较高的应用领域还不能满足要求。

抛丸机的应用技术发展，为物理除锈开拓了新的方向。抛丸机是通过一种或多种砂料来处理

金属表面，消除金属表面的一些附着物，如铁锈，但有时也通过抛丸碰击来获得一个特定的表面层。抛丸介质可以是各种规格的砂、碳化硅颗粒和小钢球等。随着抛丸技术的不断发展、成熟，应用范围也越来越广，从铸锻件的表面清理延伸到金属结构件的表面加工、强化和抛喷丸等不同的领域。

（2）引进先进的硫酸循环利用设备。钢管加工企业钢管表面处理工艺流程为：脱脂（NaOH）→脱脂漂洗→酸洗→酸洗水洗→磷化→磷化水洗→中和→皂化→皂化烘干。排放的污染物及具体处理措施如下。①酸洗废酸：表面处理工序中酸洗槽内硫酸，在使用一段时间后铁离子浓度增加，硫酸溶液失去活性，需要全部更换新硫酸溶液，此时势必会产生大量废酸。企业为此引进先进的硫酸循环利用装置硫化站，通过冷凝装置将酸洗线上产生的废酸经过几次冷却结晶，并经高速旋转甩干桶甩干，将硫酸亚铁晶体与硫酸溶液分离开来，处理后的硫酸溶液重新供生产线循环利用，硫酸亚铁晶体作为危废处置。②脱脂水洗废水、酸洗水洗废水、磷化水洗废水及中和水洗废水通到污水处理站处理后达标排放。③废弃的皂化液：废弃的皂化液先在预处理装置中处理后，进入污水处理池处理。④皂化池中产生的蒸汽以及挥发雾：通过抽风系统高空排出。⑤酸洗过程中产生的酸雾：在酸洗槽四周设置真空吸风槽（见图2a），将酸雾抽到酸碱中和塔中处理后高空排放。其中，

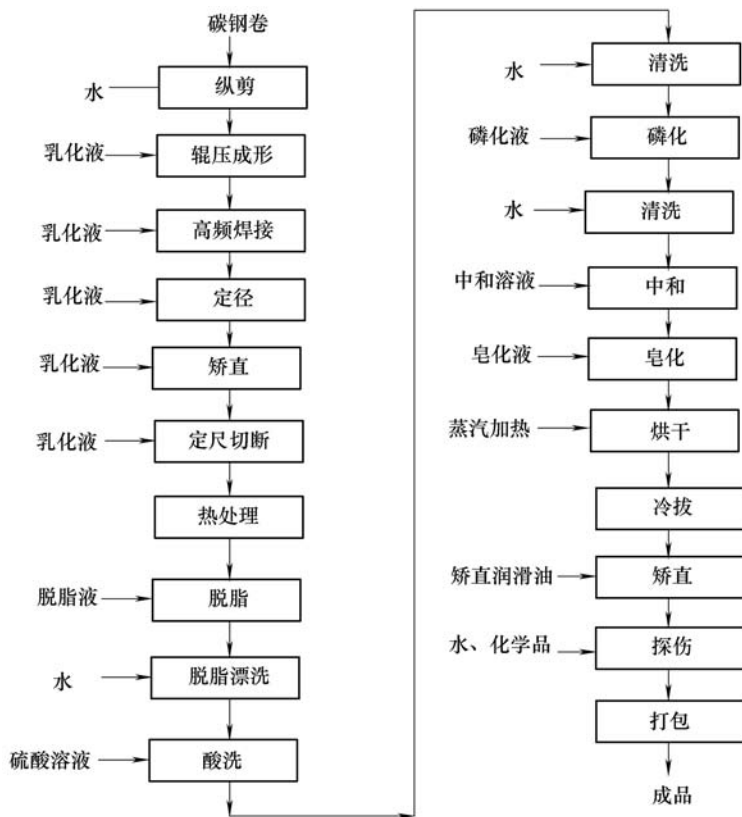


图1 某企业的钢管加工流程

硫酸过滤残渣、水处理污泥压缩成泥饼交有资质的企业处理。⑥生产线上挥发的酸雾：碱液淋洗塔中和处理（见图2b）。

（3）引进先进的乳化液循环利用装置。企业在生产过程中需使用乳化液作为冷却、润滑和冲洗的介质，乳化液的主要成分为95%的水和5%的单酸。乳化液在使用一段时间后，杂质含量增加，活性降低，需全部更换，这将产生大量的废乳化液，如果作为危废来处置，不仅企业成本会大幅增加，也造成了资源浪费和环境污染。某钢管加工企业经



(a) 酸洗槽四周设置抽风槽



(b) 碱液淋洗塔

图2 挥发的酸雾处理系统

过多方考察，从意大利引进一套WMT乳化液循环利用装置，将乳化液中的杂质进行过滤，过滤后的乳化液继续循环使用，过滤残渣压缩成泥饼交有资质的企业处理。

表3为企业主要污染源达标排放后的统计表。从表中可以看出，虽然该企业的污染源不少，但循环利用设备直接减少了污染源的数量，废气、废水处理装置减少了污染物的排放量，实现了污染物达标排放。

这些企业投入的设备和技术，看起来增加了前期投资，延长了投产时间，但是，从污染源头抓起的建设理念，为企业的发展后劲提供了有力的保证。

表4所示是该企业清洁生产高费方案中的一部分。可以看出，该企业在污水处理站之前，投入了许多前期处理设备，极大地减轻了污水处理站的压力。其中废水处理站系统中还包括企业自己的化学分析实验室，在污水总排放口安装COD环保在线监测仪、总磷环保在线监测仪、总锌环保在线监测仪、pH环保在线监测仪、超声波明渠流量计和数据采集仪，能够和环保局直接联网，实时监测污染物的排放情况。而且废酸等的循环利用也大大节约

了硫酸的用量，节约了成本。

（4）膜分离技术应用于清洗废水的再生。膜分离技术是一种新型高效的精密分离技术，是材料科学与介质分离技术交叉结合形成的一门技术，具有高效分离、设备简单、节能、常温操作、零排放及运行成本低等优势，广泛应用于工业领域众多行业。据统计，全球膜销售额每年以14%~30%的速度增长。膜分离技术目前已普遍用于化工、电子、轻工、纺织、冶金、食品和石油化工等领域，但其首先开发研究和应用的都是水处理领域，其应用涉及面广且量大，同时具有常规处理方式所不能比拟的优点，所以膜法水处理技术在水工业中已受到特别的青睐，将会成为主要的先进废水处理技术，具有广阔的发展前景。

由于分离膜具有选择透过特性，所以它可使混合物质的通过、有的留下。但不同的膜分离过程使物质留下、通过的原理有的类似，有的完全不一样。总的说来，分离膜之所以能使混在一起的物质分开，不外乎两种手段。①用过筛的办法分离：根据混合物物理性质的不同，主要是质量、体积大小和几何形态

表3 某钢管加工企业污染源排放统计

| 类别 | 污染物名称   | 考核量/ (t/a) | 削减量            | 最终排放量/ (t/a) |
|----|---------|------------|----------------|--------------|
| 废水 | COD     | 7.71       | 循环利用           | 3.30         |
|    | TP      | 0.07       |                | 0.06         |
|    | 石油类     | 0.19       |                | 0.17         |
|    | 氨氮      | 0.81       |                | 0.55         |
|    | 总锌      | 0.04       |                | 0.04         |
| 废气 | 有组织 硫酸雾 | 0.87       | 碱液淋洗塔中和处理后高空排放 | 0.87         |
|    | 颗粒物（粉尘） | —          | 室内处理系统         | —            |

表4 某钢管加工企业清洁生产高费方案

| 方案编号 | 方案名称        |
|------|-------------|
| F17  | 碱液淋洗塔中和处理   |
| F18  | 建立硫化站       |
| F22  | 乳化液过滤塔      |
| F24  | 挥发酸雾抽风系统    |
| F25  | 粉尘室内处理系统    |
| F26  | 废水处理站系统     |
| F27  | 清洁能源天然气替代标煤 |

差异，用过筛的办法将其分离。

②通过分离膜的速度不同分离：根据混合物的不同化学性质，物质通过分离膜的速度取决于以下两个步骤的速度，首先是从膜表面接触的混合物中进入膜内的速度（称溶解速度），其次是进入膜内后从膜的表面扩散到膜的另一表面的速度。二者之和为总速度。总速度愈大，透过膜所需的时间愈短；总速度愈小，透过时间愈久。

膜分离技术分为反渗透（RO）、纳滤（NF）、超滤（UF）和微孔过滤（MF）。RO截留性能最好，能去除水中绝大部分的离子，透过的几乎是溶剂，即纯水，但RO运行压力高。NF是一种荷电膜，其特点具有离子选择性，一价离子可大量透过膜，但对多价离子如钙、镁等，具有很高的截留率。微滤和超滤可有效地去除水中微生物（如隐孢子虫、贾第虫、细菌和病毒），分离溶液中的大分子、胶体、蛋白质及颗粒等。同时，由于更多更好的超滤、微滤膜组件的开发运用，不同于反渗透和纳滤需要昂贵的去除颗粒物的预处理，可以直接处理高悬浮固体浓度的原水，因此，可用UF和MF膜技术替代传统处理工艺，更广泛地用于饮用水的处理中。

### 3. 清洁生产方案

（1）碱液淋洗塔中和处理方案。方案的技术评估：用酸洗线挥发酸雾，酸碱中和塔处理，15m以上高空排放。排放塔的底部为2 470mm，顶部为1 700mm。四个塔分别对应4台

引风机，风量都是80 000m<sup>3</sup>/h。去除酸雾效率可以达到99%，从而实现酸雾处理自动化。方案的环境评估：及时地降低酸浓度，降低污染，基本实现对于车间、大气的零排放。结论：减少了酸雾，带来了明显的环保效益，并延长厂房及设备的使用寿命。

（2）建立硫化站方案。方案的技术评估：过滤硫酸溶液，将硫酸溶液中的杂质过滤除去，并将杂质压缩成固体定期处理。硫酸溶液处理自动化达到国内先进水平。方案的环境评估：基本实现硫酸废液零排放。方案的经济评估：能减少排污费，具有良好的生态环境保护效益，有助于树立良好的企业形象，促进企业发展。

（3）反渗透方案。该技术的主要特点为膜过滤。膜过滤装置的进水管路与反渗透装置的浓水排出管路连接，制出优于自来水水质的淡水回用。整套技术具有先进和可靠性。该方案同时解决达标排放、完成回用水比例，建成后运行成本低、占地面积小，可长期稳定运行，有助于达成清洁生产，并迈向实质零排放。方案的环境评估：反渗透膜孔径小至纳米级，在一定的压力下，H<sub>2</sub>O分子可以通过反渗透膜，而废水中的金属离子、无机盐、胶体、重有机物、病毒和细菌等杂质无法通过反渗透膜，从而使可以透过的纯水和无法透过的物质严格区分开来。整个过程采用物理方法，不添加任何化学物质，所以不会发生化学反应，没有二次污染和交叉污染，且处理后的水可以重复利用。方案实施后能

够减少企业新鲜用水量、废水排放量，提高水资源利用率。方案的经济评估：利用原反渗透装置的动力，设备动力利用效率高，使高浓度废水经过膜过滤装置进一步处理，可以使原反渗透装置排放浓水的50%~60%重新利用。该装置投资33.4万元，处理1t水花费1.50元，而自来水目前约3.00元/t，即节约费用1.50元/t，节水11.9万t，节约自来水费用35.7万元/年，全年节约排污费3.6万元，运行费用约18万元，投资回收期约为3年。反渗透装置浓水回用设备可以给企业带来经济效益。

### 参考文献：

- [1] 朱海星，华常春. 高校教师参与清洁生产审核特点评述[J]. 环境科学与管理，2010，35（5）：183-186.
- [2] 蒋晓东，迟春娟. 机械加工行业清洁生产典型问题和对策[J]. 节能与环保，2010（2）：22-24.
- [3] [荷兰]Piet Lens，L.H.Pol，[德国]Peter Wilderer，[美国]T.Asano. 工业水循环与资源回收[M]. 成徐州，吴迪，蹇兴超，译. 北京：中国建筑工业出版社，2008：315-355.
- [4] 华常春. 工业企业清洁生产技术与应用[M]. 南京：江苏科学技术出版社，2010：24-26.
- [5] 杨永杰. 环境保护与清洁生产[M]. 北京：化学工业出版社，2008：202-206.
- [6] 国家环境保护总局科技标准司. 清洁生产审核培训教材[M]. 北京：中国环境科学出版社，2001.

MW（收稿日期：20170526）