

目 录

前 言

第一章 概述	1
1 清洗作业的重要性	1
2 清洗作业三要素	3
3 清洗作业的分类与发展趋向	4
第二章 清洗液	7
1 清洗液的分类	7
1.1 单组份清洗液	8
1.2 双组份清洗液	9
1.3 三组份清洗液	9
1.4 四组份清洗液	10
2 清洗液的选择原则	10
3 EW型与BEW型清洗液的配制与应用	13
3.1 主要特性	13
3.2 清洗机理	14
3.3 组份与配制	19
3.3.1 非离子型表面活性剂的类型及其特性	19
3.3.2 国产常用金属清洗剂的性能特点	20
3.3.3 金属清洗剂的选择	25
3.3.4 常用助剂及其选择	27
3.3.5 常用水基清洗液的配方与工艺参数	29
4 BW型清洗液的配制及其应用	32

第六章 清洗作业的劳动

安全与环境保护

1 清洗作业安全的紧迫性与重要性

清洗作业过程容易造成作业场所及其周围环境的污染，危害操作人员的健康，甚至发生爆炸、火灾等事故，是久为人们所熟知的。特别是用汽油清洗工件引起的火灾事故更是举不胜举。汽油挥发性强，闪点低，空气中含有一定浓度就容易发生火灾，如由于静电作用，或发生火花都可能发生火灾事故。

汽油又是一种神经性毒物，毒害中枢神经。当汽油在空气中浓度超过 $300\text{mg}/\text{m}^3$ ，操作工人往往会发生头晕、乏力、失眠、记忆力减退为主的神经衰弱症候群，甚至进一步恶化为慢性汽油中毒。

柴油亦有毒害中枢神经的作用，惟比汽油轻，但对皮肤刺激大。有时会引起过敏性红斑，对皮肤的毒性比汽油大。

应用三氯乙烯清洗时，操作工人长期接触三氯乙烯蒸气，则有可能引起慢性中毒，发生精神不振、肌肉及神经作疼、食欲减少等症状。如长期接触皮肤，会引起皮炎，出现皮肤红肿和干裂。

用水基金属清洗剂配制的清洗液虽然属于低毒与微毒级的，类似洗衣粉，使用时亦应尽量减少皮肤接触，接触后应立即用清水冲洗。特别是水基清洗液排放及清洗后工件冲洗水排放均属于超过排放标准的废水，造成周围环境污染。

还有与清洗槽或清洗机配套的风机或水泵的噪声，以及清洗槽用蒸汽直接加热时的噪声，造成清洗作业场所的噪声污染。

基于以上清洗作业过程造成作业场所及其周围环境的污染，危害操作人员健康，甚至发生爆炸、火灾事故的实际情况，迫使人们高度重视，不得不积极地、系统地解决工厂清洗作业过程安全问题。

为推动和加强安全技术的发展，1982年8月，我国公布了《劳动安全卫生法草案》（第一稿），贯彻施行对于推动和加强清洗作业安全技术是具有极大促进作用的。《劳动安全卫生法草案》指出：

——厂（场）址的选择应符合国家有关劳动安全、卫生、防火、防爆规定的要求（第23条）；

——产生大量蒸汽、腐蚀性气体或粉尘的场所，应使用密闭型电气设备，有爆炸危险的工作场所应配置防爆型电气设备（第26条）；

——引进国外设备时，对国内不能配套的安全设备附件必须同时引进，引进的安全设备附件应符合我国的安全卫生要求（第43条）；

——新建、改建、扩建和革新、挖潜、改造的工程项目，应采用有利于劳动者的安全与健康的先进工艺和技术，必须做到劳动安全卫生设施与主体工程同时设计，同时施工，同时投产（第24条）；

——企业主管部门及有关部门在组织工程竣工验收时，应提出劳动安全卫生设施完成情况和质量评价报告。经同级劳动人事、卫生、公安、城乡建设、环境保护等部门和工会组织参加验收盖章后，方可投产。未经以上部门同意而强行投

产的，要追究责任。

为切实贯彻执行我国《劳动安全卫生法草案》，有效地着手解决清洗作业过程发生的事故、污染，提高劳动安全卫生水平，有赖于制订安全技术标准和采取可靠技术措施。劳动人事部于1981年开始下达《涂装安全规程系列》国家标准编制任务，其中《涂装前处理工艺安全规程》中有《除油清洗》一章，并且整理归纳了切实可行的安全技术措施。同时，劳动人事部筹划组建涂装安全技术标准化委员会，负责涂装安全规程系列和国家标准贯彻过程中各项技术咨询，组织安全技术的科研攻关，促使涂装安全技术不断发展。

2 清洗作业的安全技术要求

2.1 清洗作业场所的劳动安全要求

新建、改建、扩建的清洗作业应积极采用无毒、低噪声、不需防火防爆的工艺代替有毒、高噪声、易燃易爆的工艺，以安全可靠的工艺代替存在或潜伏不安全因素的工艺，逐步实现管道化、密闭化、半自动化、自动化以及采用隔离操作，或机器人操作。这样就可能消除或减少不利于劳动安全卫生的因素。对于不能完全消除的不安全和不卫生因素，还应采取行之有效的劳动安全卫生措施加以解决。

清洗作业场所在车间内的区划位置应在厂区夏季最小频率风向的上风侧。并应与生产过程相衔接的钣焊、机械加工等作业场所和金属材料库等封隔，不使清洗作业场所中清洗液蒸汽影响以上生产部门。

清洗作业场所在厂房或车间建筑物内的布置，应尽可能布置在单跨建筑物内；当不得不布置在多跨建筑物内时，应一侧近外墙，并与相邻生产部门封隔。

清洗作业场所的地面应平整光滑，易于清扫，并应配置供地面和墙壁的冲洗水设施。经常有酸碱液流散或积聚的地面，应采用耐腐蚀材料敷设，如用小块花岗石、辉绿岩等材料拼合敷设作为地面，具有不透水、耐腐蚀、使用寿命长等优点。为便于冲洗水排除，不使地面积水，地面应呈1~2%坡度，坡向车间排水系统或厂区排污系统。清洗作业场所的围护结构的内壁面宜勾缝喷白，保持清洁。

对于采用有机溶剂用作清洗液进行清洗作业的场所，属于乙类火灾危险区域，此种场所的建筑物应有泄压面积。其大小按照作业场所空间容积确定，每立方米空间应不小于0.05~0.10m²。与相邻生产部门的封隔墙应采用防火墙。作业场所的门窗应向外开。在作业场所内，主要出入口附近不应布置槽、罐、桶及其他容器等堆放场地，防止出入口堵塞，并要求作业场所的周围15m范围内，严禁堆积易燃、易爆物料和制品。

对于采用有机溶剂为主的清洗作业场所必须有良好通风，严禁引入火种和吸烟。电瓶车、汽车等机动车辆不得进入。所在车间的建筑物防爆，应考虑与相邻生产车间的建筑物防火间距，以及消防车道的设置，均应符合TJ16—47《建筑物设计防火规范》。

2.2 清洗作业场所的卫生技术要求

清洗作业场所的卫生技术要求，包括采光、照明、通风和噪声防护以及有害物质的最高容许浓度的控制等方面。

清洗作业场所的天然光照度的最低值要求为50 lx，采光系数最低值为1%；工件清洁度检验区域的室内天然光照度最低值为100 lx，采光系数最低值为2%。

清洗作业场所当采用混合照明时，最低照度要求为

150 lx。当采用一般照明时，最低照度应为60 lx。惟工件清洁度检验区域，无论采用混合照明还是一般照明，最低照度均有所提高，分别为500 lx和150 lx。

清洗作业场所的夏季空气温度，应符合TJ36—79《工业企业设计卫生标准》中第49条的规定；冬季，根据生产需要和机械排风状况，在密闭的手工操作区域相应局部补热风或局部辐射采暖，以保持清洗作业区域空气温度不低于12°C。

清洗作业场所的湿度一般较高，工件清洗后的贮存场所要求湿度低，以减缓工件清洗后锈蚀。对于贮存期为2天以上的工件贮存场所，其湿度宜加以控制，不使超过70%。

清洗作业场所应有良好的自然通风，同时，使用有机溶剂为清洗液的各种清洗设备应设置局部排风装置。通过自然通风与局部机械排风的联合作用，应保证清洗作业场所空气中有害物质最高容许浓度不超过TJ36—79《工业企业设计卫生标准》的规定。几种常见的清洗液蒸汽在空气中的最高容许浓度如下：

二甲苯	<100mg/m ³
甲 醇	<50mg/m ³
松节油	<300mg/m ³
丙 酮	<400mg/m ³
苛性碱（换算成NaOH）	<0.5mg/m ³
三氯乙烯	<30mg/m ³
三氯乙烷	<25mg/m ³
三氯三氟乙烷	<1000mg/m ³
二氯乙烷	<25mg/m ³

有机溶剂的存放量，严格限制在每日生产所需要量以

内。有机溶剂存放容器应贴有醒目标签。清洗作业结束，必须将废料集中移放于指定的安全地点。

清洗作业中为配制各种清洗液需要的化学药品，应有合格证和标签，每批送入均应检查标明。药品贮存所在宜靠近使用点，并有醒目标牌。

清洗作业中个人卫生及防护措施是积极有效的。主要措施如下：佩戴防护手套，如耐碱的橡皮手套和耐苯的防护手套。这些手套对皮肤无刺激性、无致敏性、作用时间长，易于清洗除去。还有，必须对操作工人进行安全卫生教育和个人防护用品合理使用的职业教育。

控制和治理清洗作业场所的噪声是一项卫生技术要求。噪声源主要来源于：清洗槽加热用蒸汽直通放入所形成的气体动力噪声；清洗设备的机械噪声和喷射清洗时的流体动力噪声；以及清洗作业位置局部机械排风所形成的空气动力噪声。这些噪声均应加以控制，使其对操作区的影响不超过85 dB(A)。当每个工作班内操作人员轮流换班，接触噪声时间减半，噪声级允许增高3 dB。

2.3 各种清洗作业方法的主要安全措施

采用有机溶剂进行手工除油清洗的部件或产品，必须先进行拆去蓄电池或其它电源装置。采用有机溶剂进行手工除油清洗的工位应设有醒目标牌，并宜配置火灾自动报警设备或自动灭火系统。同时，还应配置携带式可燃气体检测仪供定期进行监测。

采用机动工具除油清洗工位所配置的电机、电器、开关等一般应采用密闭型，防止清洗液到处飞溅污染。

大型浸渍清洗槽应配置起重设备，桥式或梁式起重机的驾驶室应避开清洗槽；向浸洗槽中吊装工件时应采用起重设

备的吊钩和专用工具，严禁操作人员直接用手搬运或使用钢丝绳吊装。还应注意，大型浸渍除油清洗槽的槽口宜高出地面1.2m，并配置活动网盖；当槽体全部埋入地面时，按GB 4053—83《固定式工业防护栏杆》在槽边四周设置防护栏杆；同时按GB 2894—82《安全标志》的规定，设置警告标志。

采用碱液或水剂清洗液的大型浸渍除油清洗槽的槽体内底部宜设置活动底盘或金属网架，便于清除污泥；同时宜设置配料槽。其上加盖封闭，盖上有开启门，其尺寸宜不大于600×600mm。

与高压喷射清洗配置的泵停止使用后必须清洗保养，重新使用前应检查各处密封质量，并重复作耐压试验。

三氯乙烯气相清洗用防护手套宜用聚乙烯醇或氯丁橡胶制品。操作后宜涂上含羊毛脂的油性脂膏。

当三氯乙烯溅入眼睛，立即用大量干净水冲洗约15分钟。极少小滴溅入眼睛时，在用水冲洗前，先掀开眼皮，用干净空气吹遍眼球；俟三氯乙烯初步蒸发，再用水冲洗，然后立即送急诊。

超声波除油清洗用的清洗槽长期受空化腐蚀，必须定期检查，防止槽底破裂事故。使用中为降低在工作状态下的噪声，其解决途径之一是提高超声波工作频带以外，是对清洗槽及槽底换能器采取隔声结构，使操作区噪声符合85dB(A)的规定。

3 清洗作业的通风净化

3.1 清洗作业场所的通风设计要求

清洗作业场所应具有良好的自然通风；对所采用清洗液属于有害物质的作用场所，必须同时设置局部排风。在一些

场合下,当设置局部排风后,尚不能保证将有害物质排除时,应辅以全面通风,以保证清洗作业场所的劳动安全卫生条件符合TJ36—79《工业企业卫生设计标准》中车间作业场所内有害物质最高允许浓度的规定。

对于大型工件除油清洗宜采用固定作业工位,以便采用局部排风,保证固定作业工位附近散逸的有害物质蒸气降低到允许的最高浓度以下。当大型工件除油清洗未能采用固定作业工位时,则应将其作业场所封隔,成为较小的作业场所的空间,以便采用全面机械通风,保证此封隔的作业场所的劳动安全卫生条件。当清洗作业工位不固定,无法采用局部排风时,应采用有组织的全面排风,使操作者不处于污染的气流中。

除油清洗液的配制间应与周围相邻部分封隔成小间,并宜设置全面机械通风。

采用有机溶剂除油清洗作业中,常用有机溶剂为:二甲苯、乙醇、丁醇、丙酮、三氯乙烯等等。当以上几种有害物质的蒸汽同时散发于空气中时,全面通风换气量应按各种有害物质分别稀释至最高允许浓度所需空气量的总和计算。在以上作业区布置的风管宜采用非燃烧材料制作,风管穿过屋顶或墙壁时,在风管穿过孔洞处应填塞难燃材料。通风管道的正压段不允许穿过楼层,如必须穿过,应在穿过处设置防火阀。在此作业区域内配置的风机及其驱动电机以及风管均应按《爆炸危险场所电气安全规程》的规定,并可靠接地。风管系统一般应明设,吸风口和排风口应设置电丝网,并通往室内无火花坠入的场所。

直径300mm以下的排风管,每隔3000mm左右敷设长度必须设置检查孔。惟大直径风管上检查孔之间的距离可加

大。检查孔宜设在管道拐弯处。

通风系统风管的设置必须严密，不得漏风，并应拆卸清理方便。风管支架应牢固可靠，支架必须能承受风管本身自重与风管动负荷。

在清洗作业场所的进风口位置应设置在排风口的上风侧，其高度低于排风口，距室外地坪宜不低于2m；当进风口与排风口位置在同一高度时，则前者应设置于上风侧，两者的水平间距不小于20m。当排风口在厂房屋面上时，高出屋顶（包括相毗邻的建筑的屋顶）不小于1.5m。

管壁温度高于80℃的排风管与输送易燃易爆气体、蒸汽的管道之间的水平距离应不小于1m。输送热气体的风管应铺设在输送较低温度的混合物的风管上面。输送80℃以上气体或易燃易爆气体的管道应采用不燃材料。

布置在除油清洗作业场所的通风管道的风速的经验数值如下：钢制干管取6~12m/s；钢制支管取4~8m/s。风管系统的漏风量根据管道长短及其气密程度，按系统风量的百分率计算，其经验数值为10%。系统的附加压力损失按其作用类别计算，对于一般排风系统宜附加10~15%。

3.2 清洗作业工位的局部排风

3.2.1 一般设计原则

清洗作业工位的局部排风是合理设置排风罩及其配套的风机和风管，将工位上散发出的清洗液蒸汽或其他废气排出，使工位上作业区的有害物质的浓度不超过《工业企业设计卫生标准》规定的最高容许浓度。局部排风因其靠近污染源，排出路程短，所需风量小，易于净化回收，与全面通风相比，经济性高。

局部排风的一般设计原则是按照设计程序，选择，计算

各个组成单元，并按照经验数据复核整个系统。其系统的组成包括：排风罩（或称吸气罩）、风管、风机和净化装置等。系统的建立一般应遵循以下程序：按照清洗作业装置的结构形式选择排风罩的类型和尺寸，并确定其控制风速；随后，在此条件下，根据清洗作业工位排出有害物质蒸汽的类别及其浓度变化范围选择或设计净化装置；然后，按照风管的布置和风管的经验风速的经验数值，确定风管的截面大小、材质及其安装。在完成以上程序基础上，计算局部排风系统的阻力损失，其中包括净化装置的阻力损失。据此对照风机的性能曲线选择适合的风机。

局部排风系统的排风罩的设置应符合以下要求：

（1）排风罩应设置在清洗工位上污染源排放口的最近位置；

（2）排风罩罩口吸风方向应使有害物质不经过操作者的呼吸带；

（3）排风罩的形式和大小应根据所排出有机气体和蒸汽的挥发性及清洗作业方法而定。

排风罩的控制风速是排风罩入口处的风速范围，确定控制风速后，即可由排风罩的罩口面积计算所需要的风量。

对于负荷率高的清洗作业工位，当机械排风设备停止运转时，仍能继续排出有害物质的蒸汽，还应设置旁通排风管装置，予以排空。

根据清洗作业工位的需要，局部排风系统往往需要与清洗设备连锁，清洗作业开始应先开风机。

3.2.2 清洗槽槽边局部排风工作原理

清洗槽槽边局部排风的工作原理可用平口式排风罩的作用来说明。图6-1表明，从清洗槽散发出有害的清洗液蒸汽在

几种局部排风条件下的散逸的路线，图中分别用a、b、c、d四种箭头表示。

a方向：表示无局部排风，清洗槽中有害的清洗液蒸汽垂直向上散逸；

b方向：表示排风罩的风量不足，由清洗槽散逸出来的有害的清洗液蒸汽仍可能排放到清洗作业场所；

c方向：表示局部排风的风量适度，由清洗槽散逸出来的有害的清洗液蒸汽基本被排风罩吸入罩内；

d方向：表示排风罩的风量增大，由清洗槽散逸出来的有害的清洗液蒸汽被压低后再吸入排风罩内。

由以上分析可知：排风罩控制风速越高，清洗槽内有害的清洗液蒸汽的上升高度就越小，对清洗槽边作业人员就越安全。因此，凡属清洗槽组份中含有有害物质的比重大的或清洗液加热温度高的清洗作业，就相应要求排风罩的控制风速略高。可以认为，清洗槽敞开面积的排风罩的控制风速是综合考虑了清洗液的组份、浓度、温度等因素确定的。

3.2.3 排风罩的选择

常用清洗作业装置有两种类型：清洗槽和清洗机。两种清洗作业装置适用的排风罩不同，其结构形式亦各有特点。

清洗槽的槽面的敞开面积较大，槽边排风罩的布置形式须按清洗槽宽度选择。

槽宽 $<800\text{mm}$ 时，用单侧槽边排风；

槽宽 $>800\text{mm}$ 时，用双侧槽边排风；

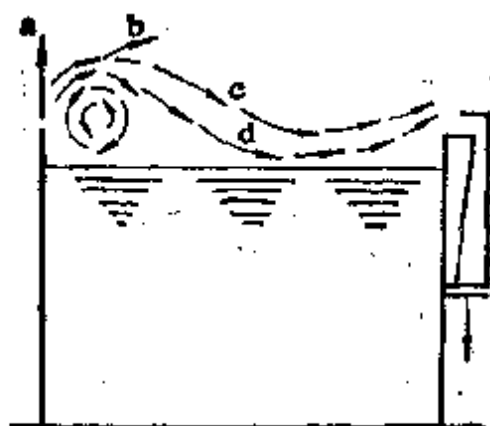


图6-1 清洗槽槽边局部排风工作原理

对于直径为500~1000mm的圆形槽，可用环形的槽边排风。

适用于清洗槽的排风罩按照其截面形状不同，分为三种类型，各有适用的条件和优缺点。

(1) 条缝式槽边排风罩

条缝式槽边排风罩缝口速度大，抽风量小，运行比较经济。这类排风罩有单侧、双侧、周边三种形式。

条缝断面有三种类型，如图6-2所示。断面尺寸有：200×200mm、250×200mm和250×250mm三种。为不减少槽子的有效面积，宜选用图中I型条缝。

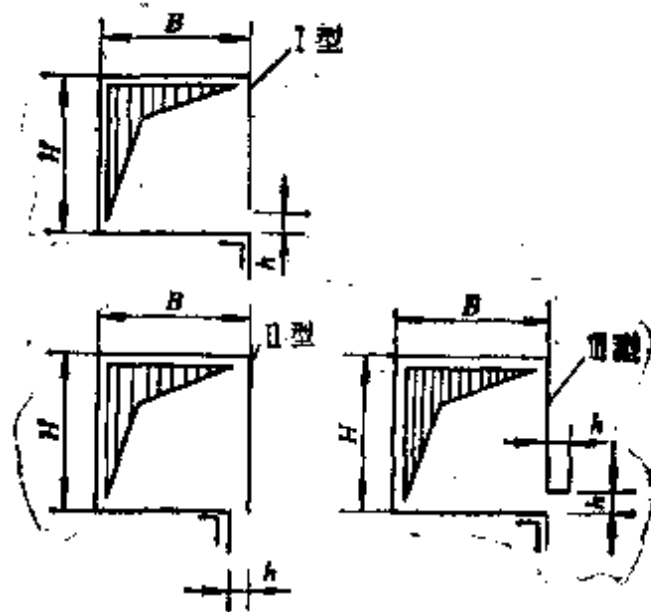


图6-2 条缝式槽边排风罩

B—排风罩断面宽度 H—排风罩断面高度 b—条缝高度

(2) 倒置式槽边排风罩

倒置式槽边排风罩适用于清洗槽液面至槽沿之间保持180~200mm时，才能发挥作用。此种排风罩所需风量少，

结构较复杂，并占有一部分清洗槽的有效面积。倒置式排风罩的结构如图6-3所示。

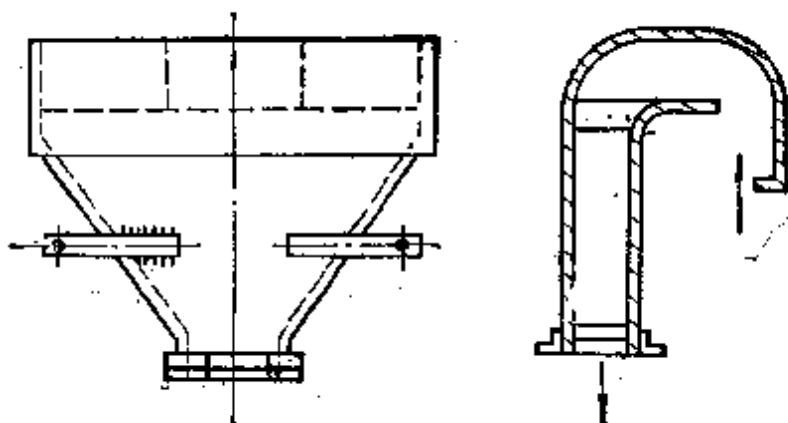


图6-3 倒置式槽边排风罩

(3) 平口槽槽边排风罩

这类槽边排风罩的结构简单，如图6-4所示，惟所需风量较大。

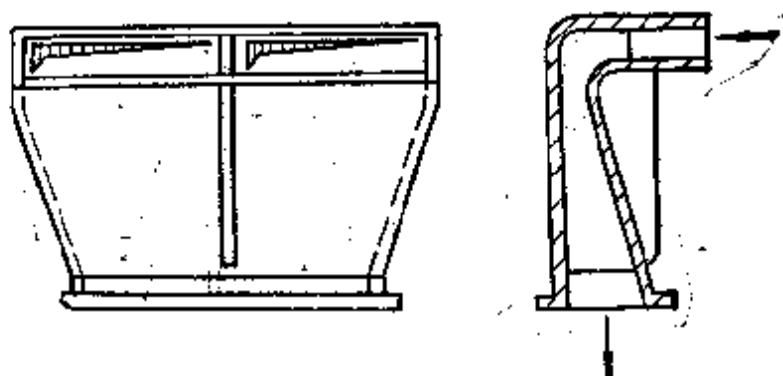


图6-4 平口式槽边排风罩

(4) 吹吸式槽边排风罩

槽宽在2000mm以上的清洗槽，当为单面操作时，则需要采用吹吸式排风罩，其作用示意图如图6-5所示，其吹风口和吸风口的结构示意图如图6-6所示。



图 6-5 吹吸式槽边排风罩作用示意图

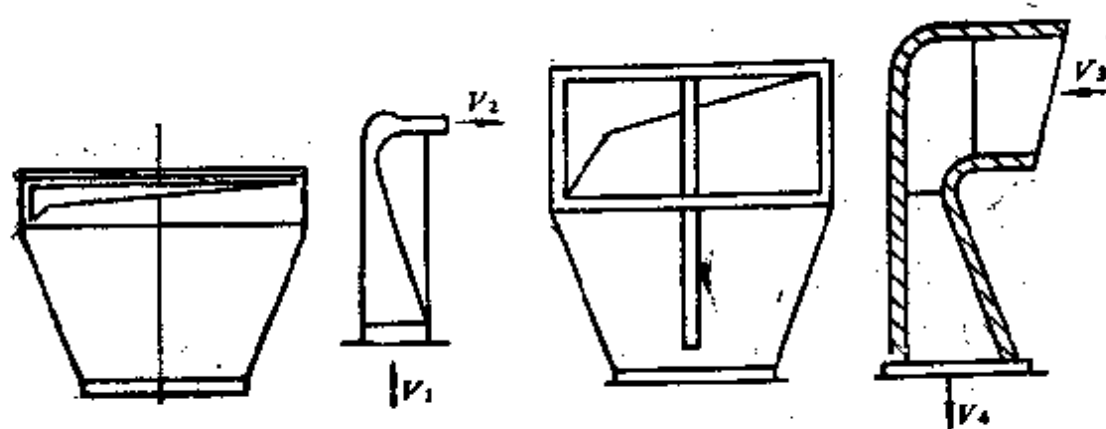


图 6-6 吹吸式槽边排风罩风罩结构示意图

由图 6-5 可以看出,吹风口吹出的风量要由吸风口完全容纳,才能得到理想的排风效果,如果不能全部容纳,槽液蒸汽将随过剩的吹风外逸,因此,吹出和吸入的风量要协调,而吹风口和吸风口的宽度必须相适应。经验数据表明,吹风口和吸风口的风速均可按槽宽尺寸选取。如图 6-6 中吹风口的风速 V_1 可按槽宽尺寸的 3.3~6.6 倍采用,即槽宽尺寸 B 的单位以“m”表示时,吹风口的风速 V_1 可按 $(3.3 \sim 6.6)B$ 采用,此时, V_1 的单位为 m/s。吹风口 V_1 的采用与清洗槽液温度有,槽液温度高选上限值或接近上限值,常温则用下限值。但 V_1 值不宜超过 12m/s。图 6-6 中吸风口风速 V_2 亦应随清洗槽液温度高低相应地按槽宽 B 的 1.25~2.5 倍选用,

当槽宽 B 以 “m” 表示时, V 值以 m/s 表示。

吹吸式槽边排风罩的适用条件是槽宽 $B \geq 2000\text{mm}$, 并且单面操作, 其应用范围是有局限的, 以下三种情况一般不适用: 所清洗的工件从清洗槽内取出和放进频繁; 槽面上存在扰乱吹出气流的阻碍物, 即工件或工件吊具露出槽液面的部分; 以及必须在清洗槽两侧操作。

3.2.4 风速的选择

清洗槽槽边局部排风一般用槽液面风速来确定风量大小, 而液面风速的选择与清洗液的组份、浓度、处理温度有关。对于碱液或表面活性剂配制的清洗液, 处理温度为 $70 \sim 98^\circ\text{C}$ 时, 当采用条缝式排风罩, 其液面风速宜选择为 0.35m/s ; 当在常温下进行清洗作业时, 宜选择为 0.30m/s 。对于采用有机溶剂除油清洗槽, 宜采用柜式密闭局部排风, 其排风罩长度应超过清洗槽长度, 超过的部分供清洗工件清洗后存放时挥发残存的溶剂蒸汽, 排风罩罩面的最小风速宜不低于 0.30m/s 。

对于喷射清洗作业应用上吸式的密闭型或半密闭型的排风罩。喷射清洗作业室内断面风速宜取 $0.5 \sim 1.0\text{m/s}$, 工件通过喷射清洗作业室的进出口门洞处风速宜为 $0.7 \sim 1.0\text{m/s}$ 。喷射清洗作业室的驱动泵应与局部机械排风系统设置联锁装置, 当局部机械排风系统发生故障, 喷射清洗作业即行停止; 当正常喷射清洗作业终止, 局部机械排风系统应能继续运行 $2 \sim 3\text{min}$, 将清洗液蒸汽排除。

排风管道是排风系统的组成部分, 是指与排风罩相联接的槽液蒸汽与空气的混合气的输送管道。将混合气排至室外的排风管道可以是单台清洗设备独立设置, 也可以几台清洗设备联合设置。

3.3 清洗作业场所的全面通风

单件或小批生产中，清洗作业工位往往不固定，无法采用局部排风，此时就不得不采用全面通风。

清洗作业场所的全面通风是用大量新鲜空气将业已封隔的清洗作业场所中有害气体冲淡到《工业企业设计卫生标准》规定的最高容许浓度以下。全面通风的效果取决于必要的通风换气量和适宜的气流组织。

3.3.1 全面通风换气量计算

必要的全面通风换气量能将清洗作业场所散发的有害物质蒸汽如二甲苯、乙醇、酯类、碱液蒸汽等分别稀释至最高容许浓度以下。

稀释一种有害物质蒸汽至《工业企业设计卫生标准》最高容许浓度所需要的全面通风换气量的计算公式如下：

$$Q = \frac{M}{S - S_0}$$

式中 Q ——所需全面通风换气量， m^3/h

M ——有害物质散发量， mg/h

S ——有害物质蒸汽最高容许浓度， mg/h 按照

《工业企业设计卫生标准》规定；

S_0 ——换入新鲜空气中保有此种物质蒸汽浓度， mg/h

当有数种规定的有机溶剂同时存在，必须同时分别稀释至《工业企业设计卫生标准》的最高容许浓度以下，此时所需全面通风换气量的计算方法可列举清洗作业中实例说明如下。

清洗作业中常有使用脱漆剂清除工件表面残存旧漆这种作业。脱漆剂一般含有数种有机溶剂。

设某厂清洗作业场所连续使用脱漆剂 4 kg，脱漆剂成分

为：苯50%，醋酸乙酯30%，乙醇10%，松节油10%，求全面通风换气量。

先计算各种有机溶剂的散发量

$$\text{苯} \quad M_1 = 4 \times 50\% = 2 \times 10^5 \text{ mg/h}$$

$$\text{醋酸乙酯} \quad M_2 = 4 \times 30\% = 1.2 \times 10^5 \text{ mg/h}$$

$$\text{乙醇} \quad M_3 = 4 \times 10\% = 0.4 \times 10^5 \text{ mg/h}$$

$$\text{松节油} \quad M_4 = 4 \times 10\% = 0.4 \times 10^5 \text{ mg/h}$$

按照《工业企业设计卫生标准》，其中乙醇的最高容许浓度未有规定，其余3种有机溶剂的最高容许浓度规定如下：

$$\text{苯} \quad S_1 = 40 \text{ mg/m}^3$$

$$\text{醋酸乙酯} \quad S_2 = 300 \text{ mg/m}^3$$

$$\text{松节油} \quad S_4 = 400 \text{ mg/m}^3$$

如果全面通风换气中换入的新鲜空气不含有这四种有机溶剂的蒸汽，即进入有害物质蒸汽浓度为零。则以上苯、醋酸乙酯和松节油三种有机溶剂被稀释至所规定的最高容许浓度以下，所需风量计算如下：

$$Q_1 = \frac{M_1}{S_1} = \frac{2 \times 10^5}{40} = 50000 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_2 = \frac{M_2}{S_2} = \frac{1.2 \times 10^5}{300} = 4000 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_4 = \frac{M_4}{S_4} = \frac{0.4 \times 10^5}{400} = 1340 \text{ m}^3/\text{h}$$

如此，可计算清洗作业场所所需全面通风换气量 Q ：

$$\begin{aligned} Q &= Q_1 + Q_2 + Q_4 = 50000 + 4000 + 1340 \\ &= 55340 \text{ m}^3/\text{h} \end{aligned}$$

3.3.2 全面通风的气流组织

清洗作业场所的全面通风的气流组织，是在清洗作业场所内，选择从哪里进风和从哪里排风的气流走向，以及尽量减少涡流以提高换气效率。

通常，全面通风的进风应当接近清洗作业工位，设置在有害物质蒸汽浓度较低的区域，而排风口应当接近有害气体发生源，设置在有害气体浓度较高的区域。这样，可使新鲜空气或污染较少的空气先流经清洗作业工位，然后再稀释污染较重的空气，以避免清洗作业人员接触浓度较高的有害物质蒸汽。合理的气流组织应避免通风换气的气流没流经污染区域，而出现“短路”现象，同时，又应避免将污染较重的气流流经清洗作业区或主要的清洗作业工位。为达到以上要求，送风口和排风口的位置设置，宜采用以下三种布置形式，即上送上排，上送下排和下送上排，分别如图 6-7 中 a、b、c 所示。

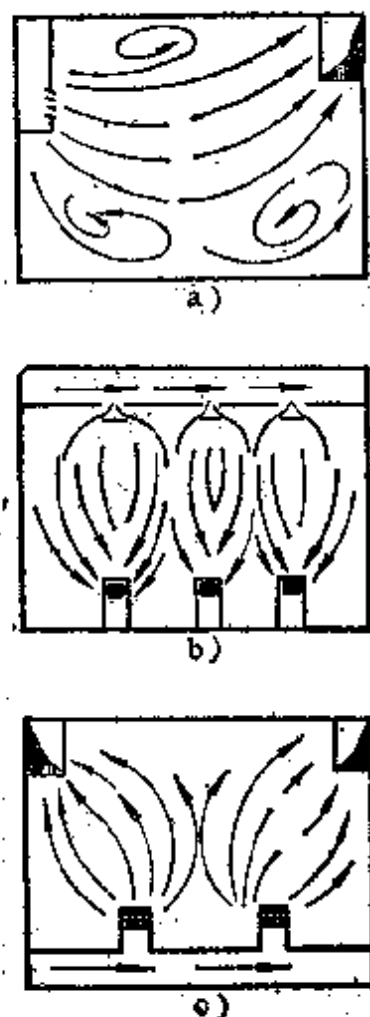


图 6-7 气流组织的三种布置形式

a) 上送上排 b) 上送下排
c) 下送上排

以上三种布置形式中，下送上排形式可使新鲜空气迅速

到达清洗作业工位，途中受污染机会最小，而且气流正好与清洗作业场所对流趋势一致，特别对于清洗液加热处理时的清洗液蒸汽流动方向接近一致。上送下排形式可使排风口接近清洗作业工位上有害物质蒸汽散发源，适用于清洗液常温处理情况，即无受热过程时气流组织较顺。上送上排形式最容易使新鲜空气或污染较少的空气从清洗作业场所上部到达清洗作业工位，但有可能使气流在中途受到污染，并常有涡流区出现。

有鉴于清洗作业场所的全面通风换气的主要目的是排除有害物质蒸汽造成的污染，所以气流组织应以排风为主，在清洗作业场所内形成负压。

3.4 碱性清洗液的碱雾净化

碱液和水基清洗液一般都要求加热使用，清洗作业过程中生成碱雾。碱雾是一种无机的、有腐蚀性的、有害的废气，容易为操作者皮肤吸收，应进行净化处理而后排放。成批生产和大型工件除油清洗中，排出大量含碱雾废气的净化，适宜采用气液换质吸收法治理。这种气液换质吸收法一般用水为吸收剂，用淋降筛板塔为气液换质净化设备，图 6-8 为其净化处理流程图。

图 6-8 中含碱雾废气由淋降筛板塔基部侧面进入，由下而上为风机抽走。用作吸收剂的水，经水泵压送置于淋降筛板塔顶部的布水装置，由上而下淋降，保证水与含碱废气通过淋降筛板塔进行充分气液换质，使废气中碱雾为水所吸收，而后，吸收碱雾的水，使其与酸性水中和后排放。

图 6-9 所示为一种无溢流装置的淋降筛板塔，运行时，气液两相在塔内进行逆流操作。主要结构由塔身、淋降筛板、除沫装置和气液进出接管组成。塔身直径 800mm，塔高

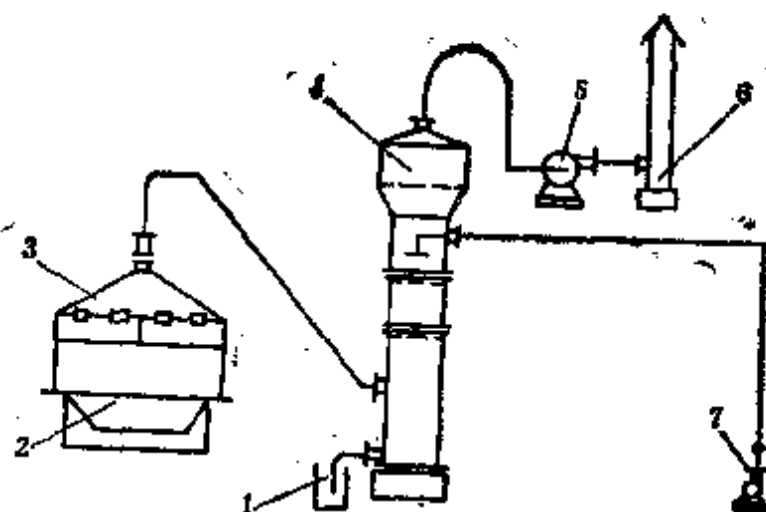


图 6-8 含碱雾废气净化处理装置

1—密封贮罐 2—清洗槽 3—清洗槽排风罩 4—淋降筛板塔
5—风机 6—排风管 7—泵

4600mm，用4~5mm厚钢板卷焊制备。除沫装置直径1400mm，由分块栅板和100mm厚的鲍尔环、垫料层组成。

淋降筛板塔的关键部件为淋降筛板。淋降筛板有分布均匀的孔，供气液充分交换。气液交换过程中，当气体空塔速度和液体分淋密度较小时，液体通过部分塔板筛孔留下，而气体则通过剩余筛孔上升，此时塔板上无液层形成。随着气体空塔速度和吸收液喷淋密度逐渐增加，塔板上逐渐出现液层与

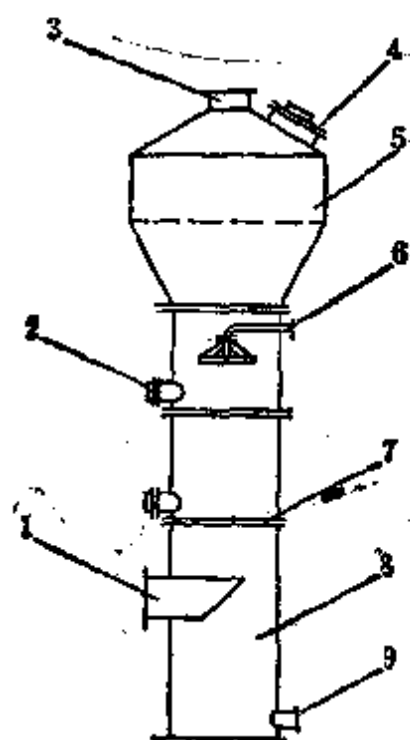


图 6-9 淋降筛板塔示意图

1—进气接管 2—手孔 3—排气接管 4—人孔 5—除沫装置
6—布液装置 7—淋降筛板
8—塔体 9—出液接管

泡沫层。在工作过程中，塔板上部分筛孔将会出现液体静压超过气体压差，则此部分筛孔仅有吸收的液体往下流，而含碱雾废气气体则停止上升。但当此部分筛孔的液体静压减少，则液体停止下流，含碱雾废气则上升。所以塔板上出现一些筛孔通气，而另一些筛孔通液，并且处于交替通过的变动状态。为保证正常工作条件，淋降塔板的工艺参数应仔细调整如下：空塔速度 3.9m/s ，喷淋密度为 43kg/m^2 ，气体通过的压力降为 1097.6Pa 左右。

为使气液两相充分换质和吸收作用加强，有赖于筛板塔本身结构保证，其具体要求是：增大气液接触面积；增强气液之间紊流接触，增加气体在塔体内滞留时间。为使气体与液体充分接触，使所吸收的含碱雾废气在气液两相间扩散，可以使气体在液体中分散，也可使液体在气体中分散。

清洗作业中含碱雾废气通过图6-8所示碱雾处理装置治理，作业场所内碱雾明显减少，通过处理装置后排出的空气中碱雾仅有微量。处理前含碱雾废气中氢氧化钠浓度为 120mg/m^3 ，处理后，废气中仅含微量，远低于 0.5mg/m^3 的要求，是其平均浓度评价。

4 清洗作业的废水治理

4.1 清洗作业的废水源及其特征

清洗作业的废水源主要是清洗作业中的冲洗水，即当用碱液或水基清洗液作为清洗液时，工件经清洗后就有冲洗水排放，此外，还有清洗液本身的定期排放。

至于选用有机溶剂为清洗液时，工件清洗后不需要冲洗，则不存在废水治理问题。

工件经清洗后冲洗所需要的水量可以用经验指标计算，

即清洗工件的单位表面积所需冲洗水量,其经验指标为 $15\sim 30\text{l/m}^2$ 。可根据清洗工件尺寸选择,中小型工件的单位面积所需冲洗水量比大型工件为多,宜取经验指标的上限或接近上限,大件则近下限。

关于冲洗水的污染程度,因所用清洗液的类别即碱液还是水基清洗液而有所不同。

当采用碱液为清洗液时,工件经碱液清洗后冲洗,冲洗水的成分主要是:机油、润滑油、悬浮物、氢氧化钠、碳酸钠、硅酸钠等,属于含油含碱废水,通常可用酸性气体中和或混凝—沉淀法治理,容易解决。

当采用水基清洗剂配制的清洗液,工件经清洗后冲洗,冲洗水的主要成分是:机油、润滑油、聚氧乙烯脂肪醇醚、聚氧乙烯辛烷基酚醚、十二烷基二乙醇酰胺等表面活性剂,以及少量机械杂质。经取水样实测,这类含油表面活性剂废水的污染程度比较严重。废水呈碱性, pH值常为 $8\sim 9$,含油微粒的平均直径 $1\mu\text{m}$ 以上,含油量常为 $100\sim 1000\text{mg/l}$,化学耗氧量(COD)较高,常为 $500\sim 10\,000\text{mg/l}$ 。与规定的排放标准相比, COD应在 100mg/l 以下,含油量在 10mg/l 以下,这类含油含表面活性剂废水是比较严重,必须经治理后达到排放标准才允许排放。

近年,国内积极推广应用水基清洗剂配制的清洗液,代替汽油清洗,节省能源,而水基清洗液的推广应用,就不得不解决清洗作业废水的治理,是受到各方面普遍重视的。

4.2 清洗作业废水的治理方法与装置

4.2.1 治理方法选择

清洗作业废水治理不仅要求去除水中的油粒、悬浮物,还要去除水中的表面活性剂,降低化学耗氧量。治理工艺通

常应遵循：破乳→油水分离→水质净化，降低化学耗氧量。因此所用的治理方法不是单一的，须要将几种方法结合进行才能奏效。

按照治理工艺程序，可供采用的方法如下：

破乳—盐析、凝聚、酸化。

油水分离—自然浮上、加压浮上、电解浮上、凝聚沉淀、粗粒化。

水质净化—过滤、活性炭吸附

此外，还有超滤法，可作为单一的物理方法，用于清洗作业废水治理。但使用结果表明，经超滤法治理后的清洗作业废水，水中化学耗氧量仍然较高，需要补充治理。

(1) 破乳方法

破乳主要用药剂进行盐析、凝聚，也有用酸使其破乳，达到油水分离。但目前应用药剂进行盐析、凝聚较多。

所谓破乳，即破坏乳化油珠的水化层，使油珠颗粒互相聚合，起到油水分离作用。由第二章所阐述的水基清洗液清洗除油机理已知，在除油过程中，将形成稳定的水包油（O/W）乳液，工件清洗后冲洗，就存在于清洗作业废水中。现在为治理废水，首先必将油珠与水分离，使油珠互相聚合。所以，首先要加药剂，用化学方法破乳。

药剂的作用在于破坏废水中乳化胶体溶液的稳定性，使其凝聚。常用的药剂有氯化钙、氯化钠、氯化镁等。

投放破乳盐析药剂后，为使油珠和其他悬浮物尽快地分离，并生成微小的凝聚，就需要加入第二种药物—混凝剂。常用的混凝剂和助凝剂有：硫酸铝、聚合氯化铝、硫酸亚铁、三氯化铁、活化硅酸、聚丙烯酰胺等。

(2) 油水分离方法

通过以上破乳、凝聚处理，油珠和杂质生成絮凝。此时需要通过物理方法使油水分层，油泥括出，达到油水分离的效果。

油水分离方法有：自然浮上、加压浮上、电解浮上、凝聚沉淀和粗粒化

自然浮上是基于油珠比水轻。破乳后 5 ~ 10 分钟可析出 80% 浮油。但上浮速度、分离效率与所需时间有关，欲达到 90% 除油效率约需 24 小时。

加压上浮，依靠水中通入大量微气泡，使微气泡粘附在油珠上和杂质上加速上浮。微细油珠上浮速度才 $1 \mu\text{m/s}$ ，而气泡上浮可达 1mm/s ，提高近千倍，从而将聚析出来的浮油、杂质从水中除去。

电解浮上，使乳化的废水破乳，再作电解处理。用铝块作阳极，不锈钢作阴极，两极之间的间隙为 1mm 。废水通过电极，使油水达到分离的目的。其作用包括：电凝聚、电气浮和电氧化。

粗粒化是依靠亲油疏水的高分子材料，作为油水分离的促进介质。破乳后的废水经介质时，细微油珠附着在上面，微粒碰撞，聚集成大滴，形成粗粒化，在浮力作用下，脱离介质上浮，分到油水分离目的。这些供用于粗粒化的亲油疏水高分子材料主要有：聚乙烯纤维、聚丙烯纤维和玻璃纤维等。

(3) 水质净化

清洗作业废水经破乳、油水分离后，水中的油份、有机物、化学耗氧量都大大降低。但水中还存在着微量油和一些水溶性表面活性剂。通常需要经过滤、吸附才能除去，使水中化学耗氧量进一步降低。常用的过滤材料有：砂、聚丙烯纤维、丙烯腈等。常用的吸附材料有：活性炭、焦炭、磺化煤

等，其中用于除去油份和降低化学耗氧量，活性炭是最适用的材料。

4.2.2 治理装置

(1) 药剂破乳—电解气浮—活性炭治理装置

治理装置的流程图如图 6-10 所示。

药剂破乳在反应槽内进行。所用药剂为氯化钠。反应槽能适应连续加药，均匀搅拌，并放置撇油装置，既可连续作业，又可间歇作业。反应槽的容积和结构能满足处理清洗作业废水 $1\text{m}^3/\text{h}$ 。

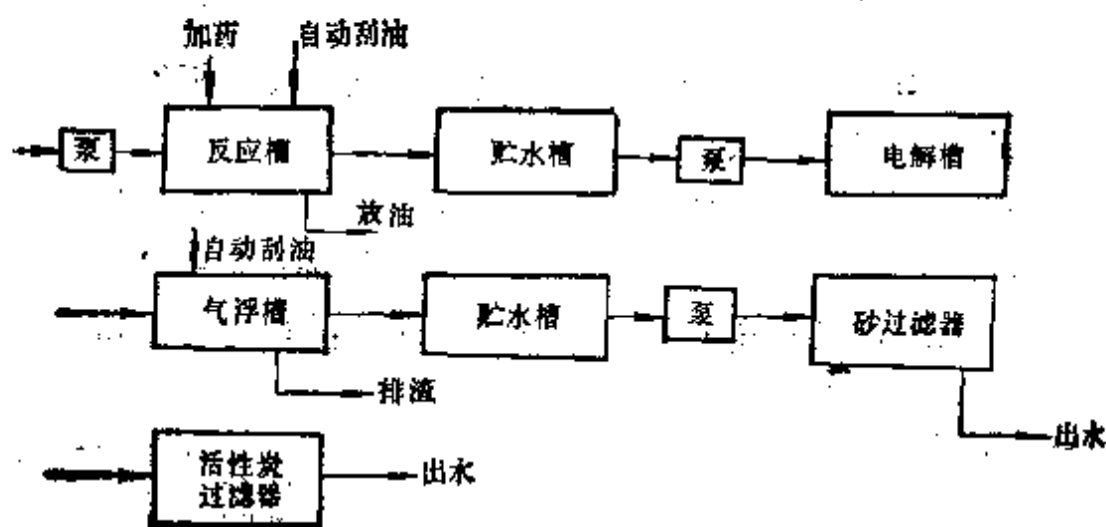


图 6-10 清洗作业废水治理装置流程图

电解槽的阳极为固定式铝棒，阴极为不锈钢材料制备。在阴极上镶有绝缘刮条 3 根，由蜗轮减速箱驱动，在阳极上作慢速回转，均匀地刮除其钝化膜，使阳极平坦地进行溶解。刮条凸出阴极表面的高度，即为导通废水的间隙。废水在此处电解，进行强烈破乳和氧化废水中有机物。废水经破乳和氧化后再流入气浮槽。

气浮槽是在微气泡作用下排出废渣。使净化后的水分离

溢出。有效地除去大部油份和悬浮物。

砂过滤器和活性炭过滤器是进一步截留悬浮物和油分，并继续降低化学耗氧量。

通过治理装置处理的清洗作业废水可达到较好的效果。含油量 $<10\text{ mg/l}$ ，化学耗氧量除去率达99%，可以降低到排放标准以下，惟其处理清洗作业水量限制在 $1\text{ m}^3/\text{h}$ ，处理水量较低。还有，电解槽阳极的钝化消耗带来更换阳极的缺点。

图6-10流程图所示的治理装置使用效果表明，含油量在 $\leq 1000\text{ ppm}$ 的清洗作业废水，仅经砂过滤器即可达到排放要求，而不需要活性炭过滤器。当含油量近 $10\ 000\text{ ppm}$ 时，经砂过滤器后，化学耗氧量略高于排放标准，就不得不采用活性炭过滤器。

国内对清洗作业废水的治理装置除图6-10所示流程图成套装置外，还有其他成套治理装置也已投产使用。这些治理装置有：药剂破乳—加压浮上—活性炭吸附成套治理装置；超滤法成套治理装置；以及废酸破乳—凝聚沉淀—石灰中和成套治理装置，各有其适用条件和优缺点。

6 清洗作业场所的噪声治理

6.1 清洗作业场所的主要噪声源与治理要求

清洗作业场所的主要噪声源有两类：其一，浸渍式清洗作业中，清洗槽内直通蒸汽加热清洗液生成的噪声。这种蒸汽加热方式虽然蒸汽管径较小，热损失也小，但由此引起蒸汽喷射的气体动力噪声却很大，按照蒸汽供热参数和安装情况不同，其噪声级可达 $86\sim 100\text{ dB(A)}$ 。噪声峰值大多为中高频。其二，清洗作业中通风装置的噪声。最常见为清洗槽

槽边局部机械排风装置的噪声，或清洗作业工位上的密闭式或半密闭式局部机械排风装置的噪声。常用低压离心式风机，风压在980.7Pa以下，风量一般在12000m³/h以下，风机和风管的噪声级多半为90~98dB(A)左右，其噪声峰值多半为中、低频段。此外，还有喷射清洗作业中，清洗液经泵压送经喷管、喷嘴清洗工件过程，泵及其管道振动生成的噪声。这类噪声比前两类为低，应将前两类噪声作为主要噪声源。

根据我国《工业企业噪声卫生标准（试行）》的规定，清洗作业场所作为工厂生产现场，其噪声容许标准为85dB(A)。当清洗作业过程每天接触噪声的时间不足八小时，噪声容许标准按表6-1可适当放宽。

表6-1 工业企业噪声卫生标准（试行草案）

每个工作日接触噪声时间, h	新建、扩建、改建企业的允许噪声级, dB(A)	现有企业暂时达不到标准时的允许噪声级, dB(A)
8	85	90
4	88	93
2	91	96
1	94	99

将清洗作业场所实测的噪声级与表6-1相比较，即可确知，凡属超过表6-1所规定者，其超过的噪声级即为需要治理的噪声量。如果需要确定各个频段范围需要治理的噪声级，则需要将清洗作业场所实际测量出来的噪声级与容许噪声级85dB(A)相当的噪声频谱特性N85相比较，即可确定各个频段需要降低的噪声级。

5.2 清洗槽加热蒸汽的气流噪声的治理

清洗槽蒸汽冲击噪声治理的主要措施是设计特制的蒸汽热水消声器，同时还应注意消声器位置的正确安装。

为正确设计蒸汽热水消声器，首先有赖于了解清洗槽蒸汽冲击噪声的生成机理。通过多次实验表明，蒸汽冲击噪声生成的原因是由于蒸汽和清洗液交替地迅速进出冲击液体振动，生成激烈的流体动力噪声。开始蒸汽冲击出管端与常温清洗液接触，温度迅速下降，汽泡体积立即缩小，在管端处形成瞬时低压，并低于管外清洗液压力，清洗液迅速进入蒸汽管内，直至压力平衡。随后，蒸汽压又大于清洗液压力，重复上述过程，如此生成流体动力噪声。据此可相应设计特制的专用消声器进行噪声治理。这种消声器的结构示意图如图6-11所示。

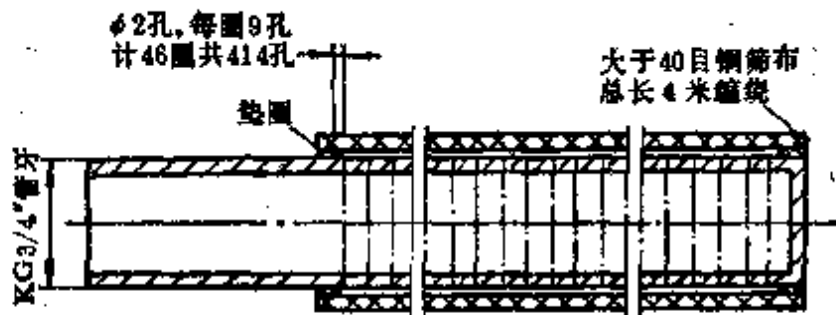


图 6-11 清洗液直通蒸汽加热消声器

图中所示特制消声器系利用3/4"水管加工配制。水管上钻 $\phi 2\text{mm}$ 小孔，每排9只，排距 10mm ，共46排。管壁上小孔总截面与管子截面之比宜为4:8。两头衬 10mm 垫圈，外用40目以上长4m铜筛布缠绕，两端用枪箍夹紧，中间用铜丝按一定间距缠绕，防止松开。

此种特制消声器在清洗槽内应注意正确安装。安装位置有三种：正装、 15° 斜装和并联组装，如图6-12所示。安装

时须注意消声器底端不可上翘，其最底端距清洗槽内底面应大于150mm，以便所加热的清洗液能尽快升温。蒸汽由消声器管壁小孔喷出，压力已减小，但能与管壁外层铜筛布之间清洗液接触传热，而不生成气流冲击噪声。

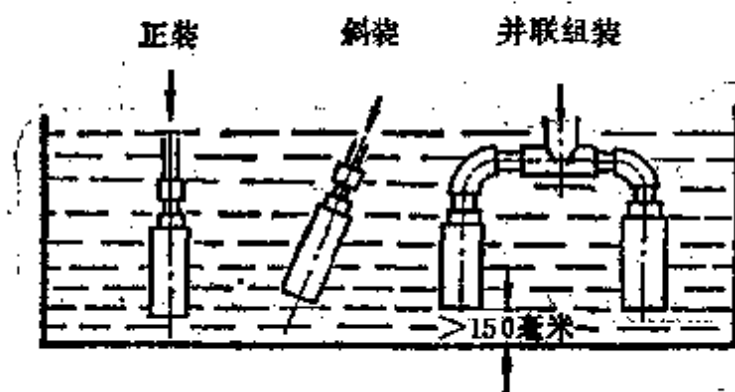


图 6-12 蒸汽直通加热消声器安装位置

消声器正确安装于清洗槽内实测，噪声测量仪器位置与噪声源间距 1 m，实测结果与配置消声器前比较，在 125、250、500和1000Hz处的噪声峰值，由原来分别为98、94、88和83dB(A) 降低了15~20dB(A)。

为配合各种尺寸清洗槽蒸汽直通加热，如图 6-11 所示特制消声器亦需要相应配套，制备系列品种。除用 $\phi 3/4$ "水管制作外，再增加 $\phi 1$ "、 $\phi 1\frac{1}{2}$ "和 $\phi 2$ "水管制作，系列品种消声器适用的蒸汽量、蒸汽压力和外形尺寸列表如下：

表6-2 蒸汽直通加热特制消声器主要规格

类型	消声器管径 (")	供热蒸汽量 kg/h	适用蒸汽压力 MPa	外形尺寸 mm
I	3/4	230	<0.49	$\phi 60 \times 920$
II	1	360	<0.49	$\phi 72 \times 460$
III	$1\frac{1}{2}$	860	<0.49	$\phi 110 \times 650$
IV	2	1410	<0.49	$\phi 140 \times 740$

5.3 清洗作业场所风机与风管噪声治理

5.3.1 风机噪声特性

清洗作业场所的全面通风和局部通风所用风机一般都属于中低压离心风机。风机噪声的生成主要由于风机叶轮在机壳内高速旋转,产生周期性气流噪声,或称气体动力噪声。所产生的噪声一方面从风机的进送风口辐射出来;另一方面又激励风机的机壳和通风管道产生振动,通过风机机壳和风管管壁辐射出噪声。还有,风机的底座与基础连接时如未考虑减振,由于风机运行中的振动,还会通过基础和地面作固体声传导。

通风机的噪声强度可由设备制造厂提供的声功率级进行换算。风机的声功率级在国外系按统一的测试方法测定,如美国就是按AMCA(空气运动及控制协会)制定的标准,统一测试方法,规定风机出厂前,先在试验中心的混响室内测定声功率级。我国制造的风机目前尚缺乏这方面的数据,只能用声级计进行现场实测。通常,风机的转速和风压越高,其噪声强度也越高。制造、安装、维护保养不当也可能引起风机的噪声级增高。

当不具备风机噪声实测条件,按照风机的风量和全压可依据以下经验公式计算风机的进排气噪声级 L_A [dB(A)],

$$L_A = 10 \lg Q + 20 \lg P + A - 20$$

式中 Q ——风机的风量, m^3/min

P ——风机的全压; Pa

A ——常数,与风机的结构特性及测量间距有关

中低压离心风机进排噪声的频带较宽,通常为中低频段。当叶片旋转噪声为生成噪声的主要成分时,其噪声峰值频率的基频随风机转速和叶片数的增加而提高。

风机噪声主要是进排气噪声，降低风机噪声源的主要途径是：降低转速；改进叶轮叶片弧度；增加叶片数和消除机壳和叶片间的涡流区。降低风机的噪声源是最为经济有效的措施。

5.3.2 风机噪声治理措施

由于风机噪声主要为进排气处气体动力噪声，其噪声治理最为有效措施是选择或设计高效消声器，其次则为采用隔声罩、声屏障等隔声措施，不仅能治理风机的气体动力噪声，同时也能治理风机的机械噪声。

(1) 风机消声器的选用与设计

根据风机进排风气流噪声的频带宽，而风压小的特点，所选择或设计的消声器的压力损失应严格限制，有效频率范围要求较宽；所以适用的消声器主要是阻性消声器或以阻性为主的阻抗复合式消声器。

为减少消声器的压力损失和再生噪声，消声器中的气流速度应控制在 30m/s 以下。消声器中吸声材料外面应饰以玻璃布和穿孔板。穿孔板的穿孔率不低于25%，以防止吸声材料被气流吹走。

消声器应结构简单，重量轻，装折方便。

美国用于离心式中低压风机的多种消声器中以采用阻性片式消声器较为典型。国产ZDL系列阻性片式消声器，其消声片有三种类型，能组成5种长度尺寸、130多种不同规格的消声器，能满足 $1000\sim 35000\text{m}^3/\text{h}$ 流量范围的风机使用。此种阻性片式消声器的主要性能指标如下：

- a. 消声性能好，消声量可达 $15\sim 20\text{dB(A)}/\text{m}$ 。
- b. 空气动力性能好，阻力损失小，当以阻力系数 ζ 表示时：

$$\zeta \leq 0.4 + 0.25 l$$

式中 l ——消声器的长度, mm

c. 气流再生噪声较低, 在25m/s流速下, 气流再生噪声近似为80dB(A)。

(2) 用隔声罩治理风机噪声

采用隔声罩将风机封隔, 可将噪声降低到容许标准以内。惟隔声罩尚未形成系列商品, 通常需要自行设计、制造。

隔声罩主要由罩壳、盖板、压紧件、消声器等构成。罩壳可用钢板、硬铝板、玻璃钢等板材制作, 并紧紧粘贴一层软橡胶或涂阻尼涂料。阻尼涂料厚度应大于板材厚度2~3倍, 以抑制板材的振动。

罩壳内壁应衬以30~50mm厚的吸声材料, 常用的吸声材料有超细玻璃棉、多孔泡沫塑料或矿渣棉。在吸声材料外面罩以玻璃布, 再以金属网或穿孔薄钢板为护面层, 防止吸声材料散落。穿孔薄钢板的孔经常取3mm, 穿孔率为20~30%。最后用金属压条或铁丝固定在罩壁上。

隔声罩要求严格密封。密封不严将使隔声效果明显降低。尤其须注意孔洞和隙缝处理, 防止漏声。当罩壁上有1/100罩壳面积大小的小孔, 隔声罩的隔声量将不会超过20dB(A)。宽2~3mm长1m的隙缝, 能透过10dB(A)。所以, 孔洞和隙缝必须用软橡胶填实, 罩壳与盖板关闭密合时必须用压紧件扣紧压实。管道通过罩壁时应采用隔声套包扎。观察窗、通风口和隔声套与罩壳间应紧密贴合, 不使影响隔声效果。

由于隔声罩将风机封闭隔离, 为此需要设置通风口供风机散热。为不使通风口透过噪声, 必须在通风口处设置消声

器。消声器的消声量应与隔声罩的隔声量近似。特别应该注意，通风口的位置确定，进风口应设置风机电动机所在的一端，使冷却用的进风进入隔声罩首先冷却风机的电动机，防止电动机过热。

风机底部与隔声罩罩壳间应避免刚性连接，而应采用弹性材料衬垫。

为便于检修，隔声罩宜由几个部件拼接而成，做成组合型可拆卸式的结构。

（3）用声屏障治理风机噪声

将声屏障置于风机与操作人员之间，声波受到声屏障的阻挡而在屏障边缘产生衍射，从而在声屏障背后形成一个声影区，在这个声影区内噪声有所降低。应用声屏障降低风机噪声，可以不需要用罩壳或其他围护结构将风机完全封隔。不存在隔声罩造成风机及其电动机散热困难的缺点。

声屏障宜制成单元式，其平面可为板形、L形或I形，断面形状宜为“遮檐式”，以提高衍射系数。其结构简单、装拆方便。当声屏障的尺寸、布置和结构合理时，可降低风机噪声8~12dB(A)，降低噪声效果不及隔声罩，但所需费用少，容易制备。

5.3.3 风管噪声的综合治理

高速气流在风管内流动造成薄壁风管振动，成为清洗作业场所的一种常见的噪声源，往往忽视治理。风管噪声适宜用综合治理措施，具体有效的措施扼要归纳如下：

（1）确定风管支承位置时，先经多处选择试装，选择风管噪声最小的支承位置再行固定安装。因为风管支承位置确定，风管固有频率也就相应确定，应防止风管的固有频率与风管内激振频率巧合或呈整倍数，防止风管发生共振。

(2) 在风管外壁涂复沥青—橡胶阻尼涂料, 涂复前须较好地除油除锈。涂复方式可用刷涂。阻尼涂料的厚度应为管壁厚度的两倍以上, 可用多次刷涂达到。试验结果表明, 降低风管噪声明显, 可降低噪声 $4 \sim 6 \text{ dB (A)}$ 。

(3) 在管道外壁配制隔声层。隔声层的做法如下, 先刷涂沥青阻尼浆, 再紧贴一层轻质多孔材料, 如玻璃棉、矿渣棉、膨胀珍珠岩等。随后包扎石棉绳, 然后, 刷涂水泥砂浆, 最后用铁丝网或薄钢皮作保护层。采用这种风管隔声层可降低噪声 $5 \sim 8 \text{ dB (A)}$ 。

(4) 适当增加风管壁厚。

参 考 文 献

- [1] Н.П.Ошерова И. К. капралова А.И.Захарова
Очистка Изделий в Машиностроении "Машиностроение"
1982
- [2] 间宫富士雄化学洗净の技術工学图书株式会社昭和54年
- [3] B. S. 3189 British standard for Pretreatment
of iron and steel 1973
- [4] GB3821—83中小功率内燃机清洁度测定方法及其编制说明 标准出版社 1984
- [5] 天津市汽车运输四场 三氯乙烯在清洗汽车零件上的应用
人民交通出版社 1980年
- [6] 郭宗泰编 高压水清洗技术 中国铁道出版社 1984年
- [7] 岑军健等编 非标准设备设计手册 (第四册) 国防工业出版社 1983年
- [8] (捷)巴尔特尔著 雅淳译 金属表面化学及电化学加工工艺学 国防工业出版社 1965年

- [9] 机械工程手册电机工程手册编辑委员会 《机械工程手册》
第50篇 机械工业出版社 1978年
- [10] 机械工程手册电机工程手册编辑委员会 《机械工程手册》
第63篇 机械工业出版社 1980年
- [11] 韩熙麟 姜英涛 编 轻工产品涂装技术 上海科学技术文献出版社 1984年
- [12] 有機溶剤洗浄の方法と設備について 《實務表面技術》
1976年 第6期
- [13] 张岱华 金属制件清洗技术 《腐蚀与防护》 1982年
第3期
- [14] 张岱华 水剂清洗液的应用 《工程机械》 1980年
第2期
- [15] 张岱华 精密零件的超声波清洗 《农业机械》
1981年 第9期
- [16] 张岱华 涂漆前表面处理技术 《上海涂料》 1982年
第3期
- [17] 张岱华 超声波清洗装置 《工程机械》 1979年
第9期
- [18] 张岱华 超声波清洗除油技术 《机械工厂设计》
1983年 第2期
- [19] 张岱华 油漆车间的设备噪声及综合治理 《机械工厂
设计》 1983年 第6期
- [20] 韩熙麟 张岱华 涂装安全技术 《化工物资》
1984年 第1期, (总第19期)
- [21] 成身俊等 金属清洗液的分类及乳化溶剂型清洗液的性能 《兵工学报》 1983年 第2期
- [22] 鲍永贞等 以水溶液代替汽油的清洗剂 《兵工学报》
1981年 第4期
- [23] 任崇荫等 高效清洗溶剂—稳定化1, 1, 1三氯乙烷

《材料保护》 1982年 第5期

- [24] 姚唐春 高压水除锈梳状漏喷现象的消除 《造船技术》 1978年 第5期
- [25] 张光文 碱雾处理装置 《上海工业大学学报》 1981年 第4期
- [26] 叶正中 介绍一种乳化废水处理办法 《机械工厂设计》 1984年 第1期

第五章 清洗质量检测

1 清洗质量的评价指标

1.1 产品清洁度

机械产品的清洗质量的主要评价指标之一是产品清洁度。由于产品是由部件和零件组成，为此部件和零件相应地有清洁度要求，分别称为部件清洁度和零件清洁度。

产品清洁度对于机械产品来说，主要是机械产品的全部运动部件及其润滑系统、冷却系统和安全机构系统等部分所属的部件和零件的清洁程度，并用规定的检测方法，从各部件和零件的指定部位采集到的污垢杂质的质量来衡量，其计量单位用mg表示。国外一些工业先进国家对各种机械产品及其主要部件和主要零件的清洁度都规定控制值，国内生产的机床、内燃机、工程机械、建筑机械、液压部件、轴承等的产品清洁度，及其主要部件和主要零件的清洁度的控制值正陆续作出规定，以便与国外同类先进产品相比较，充分反映产品的制造质量和工作寿命及其技术经济性。

产品清洁度与零部件的清洁度直接有关，制造过程必须对零部件的清洗质量采取控制措施，而且还与产品加工装配的作业场所的环境条件，工位器具的完备程度，以及企业管理水平等因素有关。可以认为，产品清洁度在一定程度上反映了企业生产管理水平和文明生产组织的效果。如国产的中小型内燃机的缸盖、机体、曲轴、活塞、连杆等零件的清

洁度，与国外工业先进国家的同类型产品相比，清洁度的控制值要比国外产品稍放宽些。

用产品清洁度作为清洗质量的主要评价指标，为便于对相同产品作比较，就有必要对部件和零件的检测部位作出统一的规定。如中小功率内燃机的主要零部件的清洁度检测的部件规定如下表 5-1 所示。

表5-1 内燃机主零部件清洁度的检测规定

主要零件名称	清洁度检测部位
气缸盖	所有内表面（水道除外），包括气道、油道和燃烧室
机体	所有内表面（水道除外）
曲轴	所有表面（法兰除外）
凸轮轴	所有表面和油道
摇臂轴	所有表面和油道
进气管	进气道

1.2 工件表面清洁度的等级

工件清洁度是产品清洁度的基础。工件清洁度必须达到规定控制值，才有可能使产品清洁度达到规定控制值。工件清洁度是用工件经清洗后在其表面残留的污垢的质量大小来衡量，其单位常用mg/cm²或g/m²表示。迄今国内对清洗后的工件清洁度即其表面残留的污垢质量的允许值尚没有统一的分级标准，仅有几种机械产品对工件清洁度作出规定，如中小功率内燃机的板翅式机油冷却器总成清洗度控制值规定如下：

$$W = a + K \cdot b$$

式中 W——板翅式机油冷却器总成清洗度控制值，mg

a ——经验常数，取 2mg ， mg

b ——板翅式机油冷却器的片数

K ——每个板翅片上残留污垢量， mg

当板翅片中心距为 130mm 时， $K = 0.5$

当板翅片中心距为 280mm 时， $K = 0.8$

由上式计算板翅式机油冷却器总成的清洁度控制值，在 $4 \sim 11.6\text{mg}$ 之间，再由已知的表面面积，即可计算得到其单位面积的残留污垢量，用 mg/cm^2 或 g/m^2 表示。这个控制值即是此工件清洁度允许的残留污垢量。如果按照工件表面允许的残留污垢量分成若干等级，则此若干等级即是工件清洁度的等级。

苏联拖拉机和农业机械修理工艺科学研究所（ГОСНИТИ）提出一种清洁度评价办法，即根据所清洗的金属工件表面的残留污垢量分级，分为10个等级，分别用 mg/cm^2 和 g/m^2 表示。同时按照既定的等级制备相应的十种标准样板，提供与清洗后的工件表面相对照，通过对照比较迅速而方便地评定清洗后工件的清洁度。

表5-2 工件清洁度等级

级 别	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
残留污垢量 mg/cm^2	≥ 5	2.5	1.6	1.25	1.0	0.75	0.56	0.4	0.25	0.1	0.01
残留污垢量 g/m^2	≥ 50	25	16	12.5	10	7.5	5.6	4	2.5	1	0.1

在机械工厂清洗作业中，表5-2所列各种工件表面经清洗后达到的工件清洁度具有实用价值，可供在各种清洗作业过程作为工件清洁度的要求，即是：

热处理前的工件清洗的清洁度要求为6~8级, 防锈前清洗要求为6~8级;

装配前清洗和装配作业过程中清洗, 其要求为7~9级;

涂漆和电镀前清洗要求为9~10级。

1.3 清洗液性能失效的检测

工件清洗除油有赖于清洗液的清洗去油作用, 如果清洗液性能失效, 则影响工件清洗除油质量。因此检测和判断清洗液性能是否失效是评价工件清洗质量的有效方法。

检测和判断清洗液性能是否失效的一项主要指标是复用性, 即一种清洗液清洗工件后, 分离除去飘浮在液面上的油污, 继续清洗工件, 重复使用, 直至清洗液性能失效, 这就是清洗液的复用性。显然, 重复使用清洗工件越多, 表明复用性越高, 但是清洗工件越多, 清洗液所能包溶的油污量也越多。通过多次试验表明, 一种清洗液所能包溶的油污量是有限制的。对于由金属清洗剂配制的水基清洗液, 通过试验证实: 每一种水基清洗液在各种条件下所能包溶的最大油污量与金属清洗剂的质量的比值近似地为一个固定值。这个比值称为水基清洗液的最高油剂比。

通过试验表明, 各种水基清洗液因其所含金属清洗剂的类别不同, 其最高油剂比有差别, 如已知的几种金属清洗剂的最高油剂比如下:

77-3 和DJ-03金属清洗剂: ~12.5

8112 和8310 金属清洗剂: ~8.8

由此可知, 根据水基清洗液内所含金属清洗剂的浓度, 即可按照清洗液质量计算出金属清洗剂质量; 随后, 再由最高油剂比, 即可计算出此种清洗液所能包溶的最大油污量。

在清洗作业过程中, 工件上所沾附油污量及其生产率是

已知的,那么,根据所选用的水基清洗液的复用性,就可以较为可靠地预测此种水基清洗液的工作周期,在保险期内用此种水基清洗液所清洗的工件可保证清洗质量是合格的。

衡量水基清洗液的性能失效的另一项指标是 pH 值。水基清洗液正常使用时, pH 值多数较高,一般为 $\text{pH} > 9$, 当其性能失效时, pH 值即行降低到 $7 \sim 8$ 。

判断水基清洗液性能失效除了用复用性、最高油剂比和 pH 值检测外,还可以用使用时间作出判断。经多次试验表明,水基清洗液在常温下使用时间长,而在加热状态下使用时,使用时间明显缩短。如用 77-3、DJ-03 等金属清洗剂配制的水基清洗液,在常温下使用一般为 520h 以上,而在加热 50°C 下使用,使用 260h 左右即行失效,仅为常温下使用时间的一半左右。

水基清洗液性能失效时往往在外观上有异样变化,稍有使用经验者很容易判断鉴别,及时处理。所谓异样变化,主要是生成或出现异种形态,或是有异常变味。现列举几种水基清洗液性能失效时的异样变化如下:

含 761 金属清洗剂的水基清洗液失效时,清洗液表层生成厚厚的胶质絮状物,底层出现坚硬的颗粒沉淀。

含 HK814 金属清洗剂的水基清洗液失效时,表面有薄薄的无色透明胶膜出现,底部则出现白色片状及颗粒状的沉淀物。

一般说来,多种水基清洗液失效时,常有白色颗粒状沉淀物出现,从而及早发现其失效。

2 工件清洗质量的检测

工件清洗质量的检测迄今国内尚未统一规定和标准化文

件。目前机械工厂生产中采用的工件清洗质量的几种检测方法，是参照国外有关的工件清洗质量检测标准，结合国内生产实际条件采用。现在采用的工件清洗质量检测方法可归纳为：挂水法，喷雾法，荧光法，硫酸铜法，专用试纸法，接触角法和重量法。

2.1 挂水法与喷雾法

挂水法又称清洁度润湿检测法，是一种常用的工件清洗质量的检测方法。

挂水法检测工件表面清洗质量是基于清洁干净的工件表面能被水润湿，而工件表面有油污则不能被水润湿的原理。水膜在工件的清洁表面上，在一定时间内保持连续性而不紧集成滴的能力。

在检测清洁度时，将工件于蒸馏水中浸一下。对于中小工件，将其主要清洗作业面与地面呈垂直放置，然后，在一定采光或照明条件下，观察膜的连续性的破坏程度，如在10s以内，此表面上未见水珠出现，即表明此工件业已基本清洗干净。

对于大型工件，工件上与地面呈垂直的表面，其清洗质量检测方法与上述中小工件相同。如果大型工件上的主要清洗作业面为水平面，则将工件倾斜，使此表面与地面呈 30° ，使表面上过剩水流淌掉，然后静置30s，如果表面上无水珠出现，即表示此工件业已基本清洗干净。

对于钣金件亦可于清洗晾干后，浸没在蒸馏水槽内，取出10s后，观察此钣金件表面水膜连续性，如水膜断续表示有污垢存在，如水膜连续则表示此表面清洗干净。

用喷雾法检测工件清洁质量，与挂水法是基于相同原理。

清洗后的工件或采取同一种清洗工艺制备的样板倾斜放置，其倾斜位置与垂直面呈 $5^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 。然后用喷雾器按150 ~ 300mm间距，向样板表面喷加染料的水。如苯胺黑的含量为50g/l的蒸馏水。喷雾后放置30s，用目测或用100格的透明评定板，测定工件上水膜覆盖的面积，以百分率表示。水膜在工件上（或样板上）覆盖的面积百分率越大，表明工件（或样板）的清洗质量越好，清洁程度越高。

2.2 荧光法与硫酸铜法

荧光法与硫酸铜法都是利用工件表面上存在油污而使其显示的原理，以检测工件的清洗质量。

用荧光法检测工件的清洗质量是利用机油、油脂等物质在紫外线的作用下能发光的原理。经清洗后的工件，用紫外线发射器照射，随后用光电管观察工件表面的发光量，由此检测工件表面的残留油污程度，从而判断工件的清洗质量。

硫酸铜法则是借助硫酸铜溶液检测工件表面存在的油污状况。硫酸铜溶液的配制如下：硫酸铜50g/l和硫酸20g/l。

经清洗后的工件仅需浸入硫酸铜溶液中1min，取出后立刻用水洗，随后观察硫酸铜溶液薄膜析出的斑纹、光亮花斑、起泡和剥离状况，以上状况出现越多，表明工件上残留的油污越多。

2.3 专用试纸法

用专用试纸检测工件清洗质量，是通过专用试纸上显示的图谱，以判断工件的清洗质量是否合格。

用专用试纸检测工件清洗质量的操作是比较简便的。将清洗后的工件再经流动水冲洗，然后放入显色液中浸泡1min。取出后，将工件上主要的清洗作业面使其与地面呈垂直位置，静置5s。随后放置于工作台上，将工件上主要清洗

作业面呈水平位置，此时立即用专用试纸紧贴其上。再用厚度约5mm的平板玻璃压上，静置1min。随后移去玻璃板，观察专用试纸上显色状况。如显色状况是连成一片，并占此主要的清洗作业面的面积2/3以上者，即为清洗质量合格，所显示的图谱称为合格图谱，如显色呈稀疏点状，或为不连续的块状，此种图谱即称为不合格图谱，则此所检测的清洗作业面为清洗质量不合格。

对于在非水基清洗液中清洗除油的工件（如用有机溶剂清洗除油的工件），经清洗完成后，再放入水基清洗液中浸渍5s，取出后用流动水洗涤。然后，再用上述操作方法，用专用试纸检测工件清洗质量。

应用专用试纸法检测工件清洗质量，必须将规定使用的特殊试纸放在洁净的玻璃瓶中或其他干净的容器中保存，并加盖压紧，不使沾上其他化学药品。

专用试纸须与显色液配套使用。

检测工件清洗质量前，用肥皂水将手洗净，先将受检测的工件用流动水或蒸馏水冲洗干净，再按上述方法进行检测。

专用试纸法检测工件清洗质量，主要适用于钢铁件清洗质量达到合格标准与否的检测，在一般条件下，也可用于铜铝工件清洗除油合格与否的检测。

用专用试纸检测工件的清洗质量，不仅适用于工件经碱液或有机溶剂或水基清洗液的清洗质量检测，也适用于经喷丸、抛丸等机械方法清理除油后的质量是否达到合格标准的质量检测。

2.4 接触角法

接触角法是将定量的水滴滴在受检的工件表面上，通过

接触角测定仪测量水滴与工件表面接触角的大小来评价此受检工件表面的清洁度。

图5-1为接触角测定仪的一种，主要由镜管、平台、照明光源和定量滴水器组成。

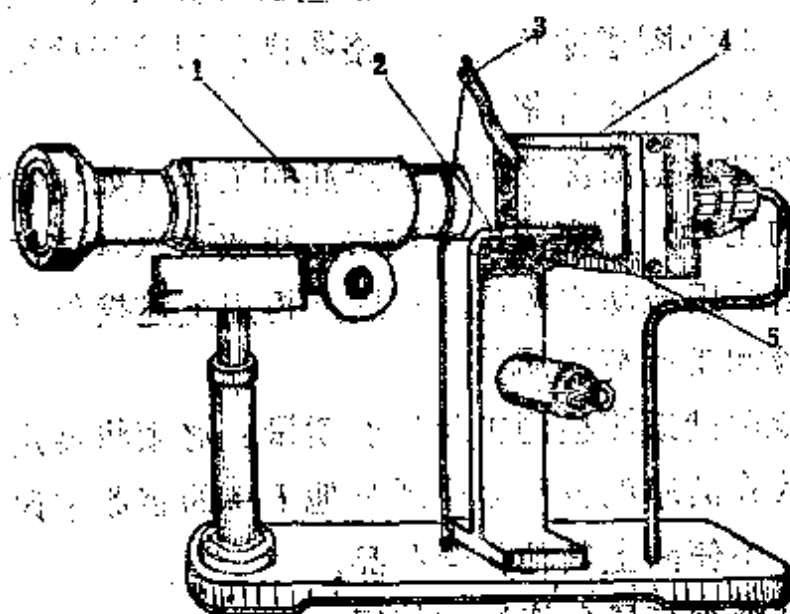


图5-1 接触角测定仪示意图

1—镜管，2—试片，3—滴水器，4—照明光源，5—平台

镜管是带十字分划板的读数放大器，可以直接读出水滴的宽度和高度，其最小刻度为 0.01mm 。测量时，镜管位置可以上下前后调节。平台供放置试件，可左右移动。操作时必须注意使试件受检表面与镜管光轴平行，以减少测量误差。滴水器的斜口须抛光，使滴下的水珠的直径为 2mm 左右的球面。

测量时，先将业已清洗干燥的试件平放在接触角测定仪的平台上，调整滴水器出口距试件表面的距离约 $3\sim 5\text{mm}$ ，调好读数器焦距。

以上调整准备工作完成后，从滴水器内滴出一滴水，滴

落在试件表面，随即调整镜管，使水滴进入读数器的视野，并在1~2 min内测出水滴的宽度。然后，在试件的不同部位测量3~5点，将其测试结果取平均值。

根据以上实测结果，按下式计算接触角 θ ：

$$\operatorname{tg} \frac{\theta}{2} = \frac{2h}{d}$$

式中 θ ——接触角

h ——水滴的高度

d ——水滴的宽度

通过实测接触角 θ 值可以说明如下：接触角 θ 越大，说明工件表面憎水性越强，油污越是严重；当油污完全清洗干净时，由于工件表面的亲水能力， θ 角趋近于零。

2.5 重量法

用重量法检测工件的清洗质量是实验室内常用的一种方法，也是车间内清洗作业过程中，快速检测工件清洗质量的几种方法中的一种复核方法。

重量法检测有两项工艺要点：其一，试件上所沾附的油污应为统一配制的人工油污，这样才具有可比性；其二，对试件清洗前后称量时，要求准确到0.1 mg。

常用的人工油污为30号机油，是容易配制的一种。

试件质量为 W_1 ，于 $25 \pm 5^\circ\text{C}$ 下浸入30号机油1 min，取出沥干2 h，再用滤纸吸去试件下端残油滴，然后经分析天平称量，记为 W_2 。此种试件经清洗后烘干，再称量，记取为 W_3 。

当用试件表面残留油污量评价清洗质量时，用下式表示：

$$G = \frac{W_2 - W_3}{S}$$

式中 G ——试件表面残留油污, mg

S ——试件表面面积, cm^2

当用试件清洗效率评价清洗质量时, 用下式表示:

$$K = \frac{W_1 - W_2}{W_1 - W_0} \times 100\%$$

3 水基清洗液的清洗能力检测

水基清洗液的清洗能力的检测是考核此种清洗液在一定温度条件下清除油污的能力。清洗液的清洗能力的检测与工件清洗质量的检测二者是有联系的。清洗液的清洗能力高, 则工件的清洗质量亦高, 反之亦如是。

在水基清洗液的清洗能力检测程序中, 当人工油污和试件清洗工艺确定以后, 随后仍然归结到对试件清洗质量的检测, 并且所用的检测方法即为上节所阐述的重量法。

3.1 人工油污的配制与涂复

为评价水基清洗液的清洗能力, 需要先行确定统一的人工配制的油污及在试件上的涂复方法, 然后, 再按照规定的试件清洗工艺, 在各种不同的水基清洗液内清洗, 最后, 通过对试件清洗质量检测, 这样才能评价各种不同的水基清洗液的清洗能力。

人工配制的油污首先应考虑尽可能模拟和接近生产过程中的实际油污, 对于机械制造生产过程中工件上的油污主要是工艺用油和磨料。工艺用油主要有, 以低粘度矿物油为基础组成的金属切削乳化液、合成油、动植物油等; 磨料主要有: 机油、硬脂酸、金刚砂组成的混合物和机械杂质等。由于机械制造生产过程中工件的清洗对象随着加工工序的不同而有差别, 如机械加工过程的清洗, 装配前的清洗, 热处理

理前后的清洗，涂漆前、电镀前、防锈前的清洗等，为与以上不同状况下清洗的实际油污接近，试件上所涂复的人工油污当然也有所不同。考虑以上情况，表5-3列出三种人工配制油污的组成，在作水基清洗液的清洗能力试验时，可采用与生产过程中实际油污最为接近的或能模拟的一种。

表5-3列举了三种不同的人工油污的组成及其配制方法，并同时说明这些人工油污在试件上的涂复方法。

表5-3 三种人工油污组成、配制方法及其涂复

配制和涂复方法		人工配制油污类别		
		I	II	III
组 成	羊毛脂镁皂	15%		
	石油磺酸钡	15%	1份	
	工业凡士林	30%	1份	10%
	20号机械油	25%	2份	87%
	三氧化二铝粉末	15%		
	硬脂酸			1%
	油酸			1%
	碳黑			1%
配 制 方 法		按配方配料。先将20号机械油加热，倒入羊毛脂镁皂和石油磺酸钡，搅拌均匀，至130°C。全部溶解后，加入工业凡士林和氧化铝粉末，搅拌均匀，冷却至室温即成。	将上述组份混合，于120°C加热溶解，再搅拌均匀。	碳黑先干磨，再加机油注磨均匀，作为A组份。然后，用机油将凡士林、硬脂酸加热溶化，作为B组份。随后，将余下机油加热，与A、B组份以及油酸进一步混合，搅拌均匀即成。

配制和涂复方法	I	II	III
人工油污在试件上 涂复方法	将擦试干净的试件平放在干净滤纸上, 用括刀蘸取人工油污涂复在试件表面, 涂复量控制在 $15 \sim 20 \text{ mg/cm}^2$	试件称重为 P_1 , 准确至 0.1 mg , 再将试件浸入加热的人工油污中 5 min , 取出后, 沥干 20 min , 并刮去试件底部聚集的油滴, 再称重, 为 P_2 , $(P_2 - P_1)$ 为油污涂复量	试件称重为 P_1 , 准确至 0.1 mg , 再将试件浸入 $40 \pm 2^\circ \text{C}$ 的人工油污中, 10 s 后取出, 置入 $40 \pm 2^\circ \text{C}$ 的干燥箱中沥干 30 min , 再称重为 P_2 , $(P_2 - P_1)$ 为油污涂复量

3.2 试件清洗工艺

为评价各种水基清洗液的清洗能力, 用于试件的清洗工艺有必要统一, 并与实际使用的工艺条件接近, 还有, 清洗后的干燥条件也应统一。为此, 当用表 5-3 中所列三种人工油污作为水基清洗液的清洗对象时, 供对水基清洗液的清洗能力进行检测, 有必要对试件的清洗工艺作相应的规定, 如表 5-4 所示。

表 5-4 中漂洗限定用摆洗。摆洗所用的摆洗器如图 5-2 所示。试件被安装在支持架上, 可上下移动进行摆洗。

在选定一种人工油污后, 由表 5-4 可知, 检查各种水基清洗液时, 所用清洗温度是统一的。但是, 从第二章水基清洗液的清洗机理可知, 由各种金属清洗剂配制成的水基清洗液, 其最佳清洗温度是不相同的。常见的几种金属清洗剂的最佳清洗温度如下:

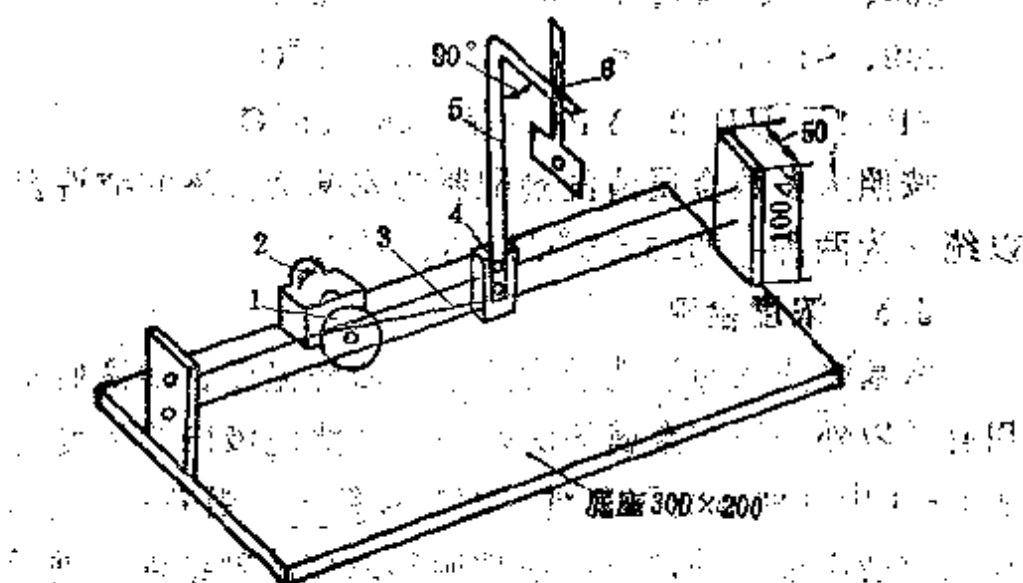


图5-2 摆洗器示意图

1—偏心轮 2—可逆电动机 3—连杆 4—往复移动机构 5—支持臂 6—支持架

表5-4 与三种人工油污相对应的清洗工艺

清洗能力检测时规定的 应用工艺		人工配制油污类别		
		I	II	III
清洗工艺	清洗工艺过程	浸洗→摆洗→漂洗 →漂洗→热风吹干	浸洗→摆洗→漂洗 →烘干	浸洗→摆洗→漂洗 →烘干
	浸洗工艺参数	温度 70℃ 时间 3min 浸洗方式 静置	65±2℃ 3min 静置	60~62℃ 3min 静置
	摆洗工艺参数	温度 70±2℃ 频率 40±2次/分 摆距 50mm 时间 3min	65±2℃ 3min	60~62℃ 60±2次/分 摆距50mm 3min
	漂洗工艺参数	温度 70±5℃ 方式 摆洗 次数 2次漂洗 每次5s	65±2℃ 摆洗 摆洗10次	60~62℃ 摆洗 摆洗10次
	干燥参数	立即用热风吹干	70±2℃ 30min	40℃ 30min

664、771、741、816等 65~75°C

209、SL-X等 85~95°C

SP-1、HD-2 YP121等 25~35°C

按照大多数金属清洗剂配制的水基清洗液的清洗温度可以统一为两种：即 $25 \pm 5^\circ\text{C}$ 和 $75 \pm 5^\circ\text{C}$ 。

3.3 浓度检测

水基清洗液的清洗能力除了与清洗温度、清洗时机械作用有关以外，还与金属清洗剂在水基清洗液内的浓度有关。

表5-4中试件清洗工艺对浓度未作统一。当各种水基清洗液进行清洗能力检测时，应按照其最佳浓度条件下进行。

常用的几种金属清洗剂在水基清洗液中的最佳浓度，通过试验和实践积累整理，如表5-5所示。

表5-5 金属清洗剂在水基清洗液中最佳浓度 %

金属清洗剂	在水基清洗液中最佳浓度	金属清洗剂	在水基清洗液中最佳浓度
TX-10	0.5~1.0	816	2.0~2.5
664	1.5~2.0	105	3~4
771	2~3	7102	3~4
741	2~3	SP-1	3~4
		HD-2	4~5

通过试验和使用表明，有些金属清洗剂的浓度增大，清洗能力相反降低。如664的最佳浓度为1.5~2.0%，当浓度低于1.5%，或高于2.0%，清洗能力均有所降低；又如816的最佳浓度宜为2.0~2.5%，当浓度低于2.0%，或高于2.5%时，其清洗能力亦有所降低，所以，在检测金属清洗剂配制的水基清洗液的清洗能力时，应在最佳浓度条件下进行。因此水基清洗液的浓度检测是评价其清洗能力时的一项重要指标。

水基清洗液的浓度检测可用化学分析方法,但太费时间。快速测量方法则是应用光学仪器直接检测,如WTY-1型手持糖量折光仪就是常用的一种。

使用糖量折光仪检测水基清洗液内金属清洗剂的浓度,方法简便。先用重量法测定几种受检测的水基清洗液的浓度,然后用糖量折光仪对几种受检测的水基清洗液的各种浓度逐一测定、比较、画出浓度换算线图。以后,在检测这几种水基清洗液的浓度时,只需要用滴管将清洗液滴在糖量折光仪的检测棱镜上,通过目镜读数,就可以根据已经测量好的线图上的对应点,就可以查找出所检测的此种水基清洗液的实际浓度。

糖量折光仪的外观、目镜视图和浓度换算线图如图5-3所示。

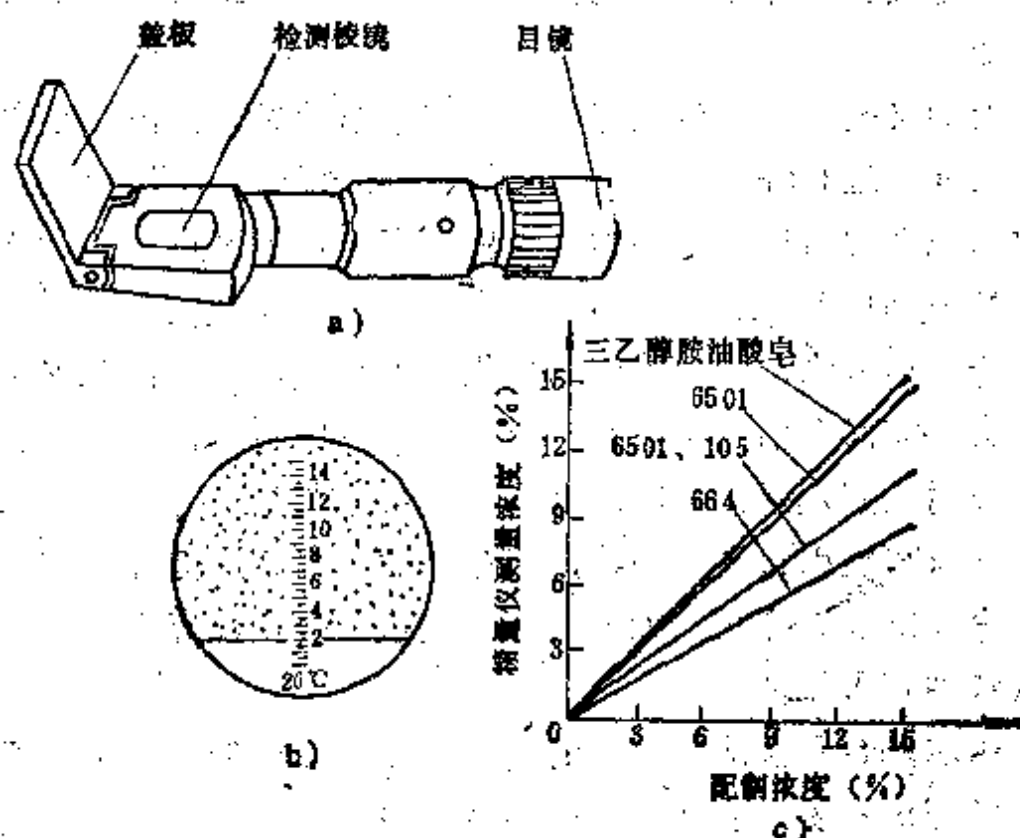


图5-3 糖量折光仪的外观、目镜视图和浓度换算线图

a) 外观图 b) 目镜视图 c) 浓度换算线图

第四章 清洗设备的设计与应用

1 清洗槽设计

1.1 清洗槽的类型、组成与材料

机械制造清洗作业过程中，清洗槽是最为常用的设备。按照作业中用途区分有：冷水清洗槽、热水清洗槽、碱性清洗槽和酸性清洗槽。但是，按照生产过程特点区分对于清洗槽的结构设计影响更大，可分为间歇式清洗槽和通过式清洗槽。按其要求还可分为带加热装置的和不带加热装置的。

图4-1为带配套管路的间歇式清洗槽，图4-2为通过式清洗槽示意图。由此二图可以看出组成完善的清洗槽，除槽体以外，还有其他组成部分，可有：溢流槽或溢流口；清洗液加热装置；清洗液过滤装置；通风装置；清洗液液面和温度控制装置和配套管路；以及清洗工件传送装置。但是，对于中小型清洗槽，或是工件的清洗要求不高，或是单件、小批生产，清洗槽的组成就可以简化，上述各项组成的部分或大部分可以省略。最简化的清洗槽仅仅剩下槽体。

为提高清洗作业的劳动生产率，应采用带有传送装置的通过式清洗槽，如图4-2所示的组成形式，传送装置是采用悬挂式输送机，根据工件的重量大小选择适宜的传送装置，如地面式传送小车或履带式传送机等等。对于大型工件清洗，由于批量小，一般多为间歇式生产，宜采用如图4-1所

示组成。工件的起重运输依靠车间的起重运输设备（如桥式或梁式起重机）来解决。

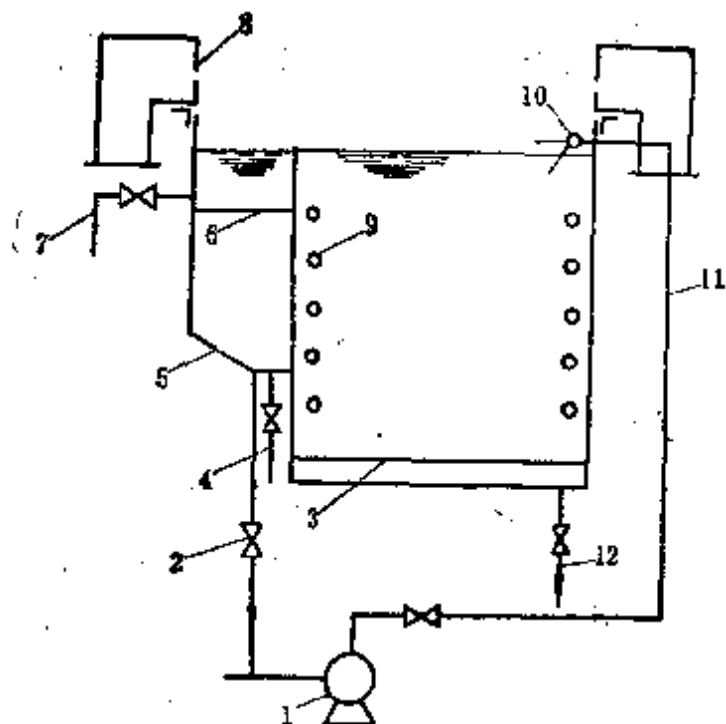


图4-1 间歇式清洗槽示意图

- 1—泵 2—截止阀 3—主槽 4—溢流槽排水管 5—溢流槽 6—过滤网
7—溢流槽排污管 8—通风装置 9—加热装置 10—带喷射清洗的进液管
11—配套管路 12—排放管

对于大型清洗槽为使清洗液组份易于控制，需要配置配料装置将清洗液配制后，先经沉淀槽沉淀，再进入清洗槽内。如果对清洗液组份控制的要求不高，或小型清洗槽可直接在槽体内配制，则配料装置和沉淀槽均可省略。

为保持清洗液洁净，稳定使用，清洗槽一般均应配置过滤装置（或过滤网）。

碱液和水基清洗液由于需要加热使用，则其清洗槽需要有加热装置；同时，为防止加热使用中槽液蒸气散发在作业场所，需要相应地设置通风装置。如果能改进清洗液组份，将原加热清洗改为常温下清洗，则通风装置即可省略。

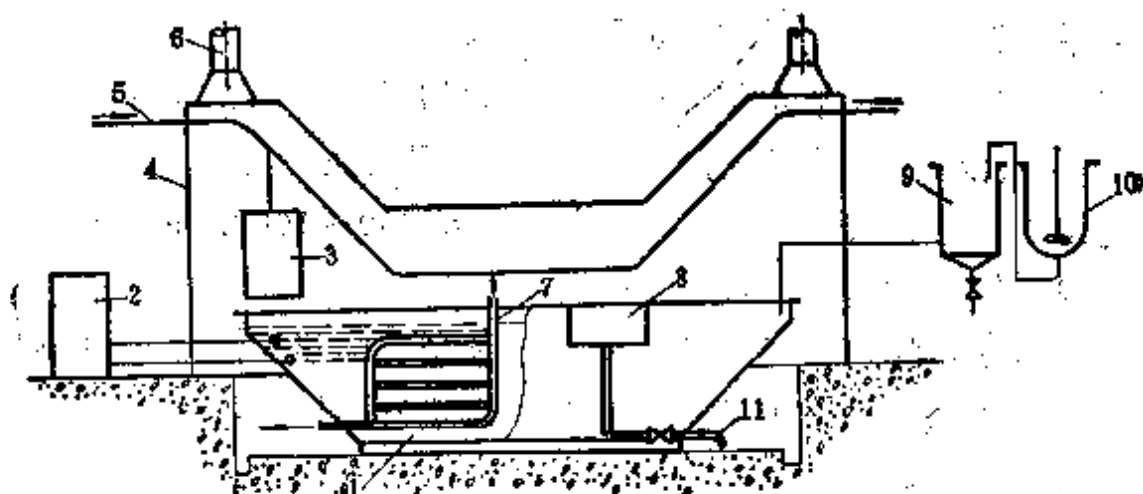


图4-2 通过式清洗槽示意图

1—主槽 2—仪表控制柜 3—工件 4—槽罩 5—悬挂式输送机 6—通风装置 7—加热装置 8—溢流槽 9—沉淀槽 10—配料装置 11—排放管

当采用有机溶剂为清洗液时，如用汽油、二甲苯等，加热装置虽不需要，但必须设置通风装置。至于采用三氯乙烯为清洗液，加热装置和通风装置都是必不可少的组成部分。

槽罩是为清洗槽不使用时保护清洗液洁净不受外来污染。

在成批生产的大型清洗槽中，为将清洗液液面和温度控制仪表、线路和传送装置控制元件合装在一处，而设置仪表控制柜。对于小型的、清洗要求不高的清洗槽亦可以省略。

清洗槽槽体材料主要是钢板，大型槽体需要配制加强筋。根据清洗液选用槽体内衬，可用塑料板或玻璃钢。小型槽可用全塑料结构，尺寸较大的槽体常用钢柜架式结构，即钢柜架内套衬硬聚氯乙烯塑料槽。

1.2 清洗槽的设计要点

(1) 清洗槽用钢板制备时，槽体钢厚度宜为4~8

mm, 用塑料板制备时, 宜为 8~14mm。为使槽体具有较好的刚度, 需要在外壁设置水平的或垂直的加强肋。加强肋多用型钢、角钢或槽钢。加强肋的尺寸和间距视槽体的长度和高度确定。长形槽依靠垂直加强肋增强, 短槽和长度小于 4m 的槽依靠水平加强肋增强。垂直加强肋往往与底边支承肋组成□形框架。垂直加强肋间距宜 $\leq 800 \sim 1000$ mm, 水平加强肋间距宜 $\leq 700 \sim 800$ mm。

(2) 加热使用的清洗槽槽体须设置隔热层。隔热材料可选用矿渣棉、玻璃棉、膨胀珍珠岩或硅酸铝纤维等。槽体设置隔热层后的壁面温度宜 $\leq 38^{\circ}\text{C}$ 。

(3) 为使清洗槽液面上浮动的油脂和污物排出槽外, 宜设置溢流槽, 槽的底面应有排水坡度。对于清洁度要求高的工件, 清洗槽应配有过滤装置, 保持槽液洁净。

(4) 钢板制备的清洗槽槽体焊接拼装时, 焊缝除注明外, 应均用连续角焊缝, 焊脚高度等于互焊件最薄厚度。焊缝应避免十字交叉, 宜采用 X 型对焊焊缝。如图 4-3a 所示, 当两侧板和两加强肋焊接时, 焊缝宜如图 4-3b 所示, 当侧壁与底板、加强肋连接时, 其焊缝宜如图 4-3c 所示。

焊接后应去除毛刺、残渣、焊瘤等, 棱角必须加工成圆弧形, 用煤油试验焊缝严密性, 焊接成形后盛水试验密封性, 均不得有渗漏现象。

(5) 当钢板槽内需要内衬硬聚氯乙烯板时, 除里面须加以清理干净, 棱角并加工成圆弧形外, 在衬里之前, 槽子底板四角和距槽壁 30mm 处, 还须各钻直径 4mm 小孔, 作为衬里试漏用。

(6) 当用几块硬聚氯乙烯板拼合时, 应避免焊缝十字交叉, 可采用单面对接焊缝, 如图 4-4a 所示。焊缝位置不宜在

槽子 90° 的棱角处，而应弯曲卷边，其圆角半径取 $6\sim 10\text{mm}$ 。外包在槽边角钢上的塑料板，焊前应先加热成型，而后套在角钢上，与内衬塑料焊接，如图4-4b所示。然后按照施工规定，在槽内注满 80°C 热水，以增强衬里与槽体贴合，随后，再作焊缝渗漏试验。

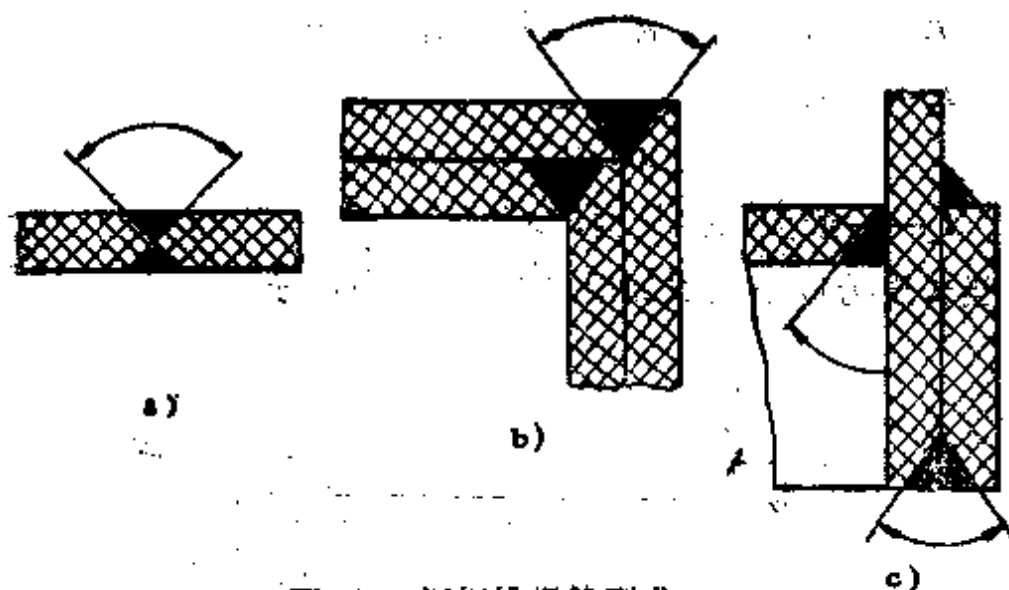


图4-3 钢板槽焊缝型式

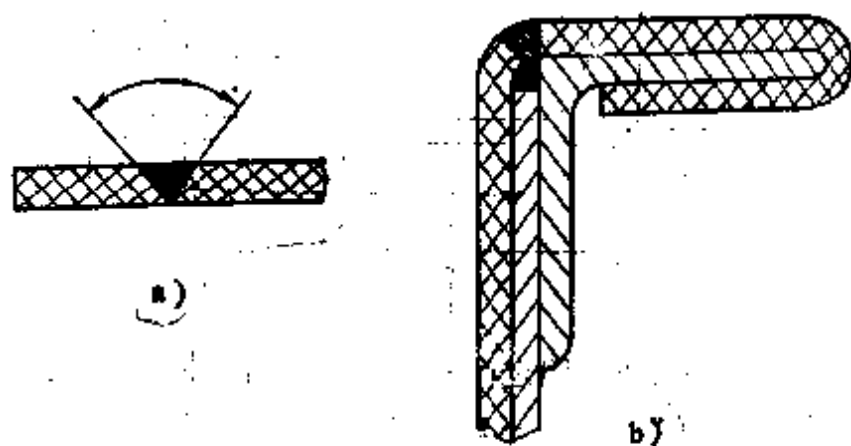


图4-4 硬聚氯乙烯板焊缝型式

1.3 清洗槽槽体尺寸计算

对于固定间歇式清洗槽，其长度、宽度和高度可用以下

经验公式计算（如图4-5所示）：

$$L = 2(l_1 + l_2 + D + l_3) + l_4$$

式中 L ——槽体长度，mm

l_1 ——槽壁衬里距加强肋外沿的距离，mm

l_2 ——槽内加热器距衬里最小距离，

一般取 $l_2 = 80 \sim 150$ ，mm

D ——加热器直径（以外径计），mm

l_3 ——工件距加热器的最小距离，

一般取 $l_3 \geq 300$ ，mm

l_4 ——最大工件长度，mm

当长度方向不设置加热器时， l_2 和 D 为零。

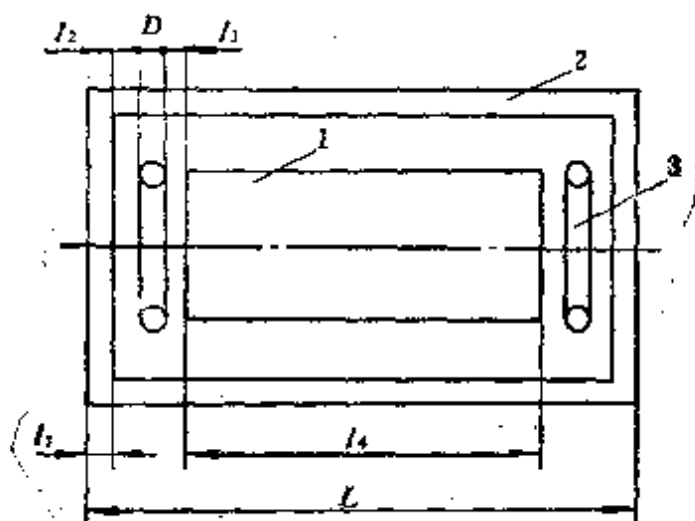


图4-5 固定间歇式清洗槽槽体长度计算图

1—工件 2—槽壁 3—加热器

槽体宽度 B 的经验计算公式如下（如图4-6所示）：

$$B = 2(b_1 + b_2 + D + b_3) + b_4$$

式中 B ——槽体宽度，mm

b_1 ——槽壁衬里距加强筋外沿的距离, mm

b_2 ——加热器距衬里的最小距离,

常取 $b_2 = 80 \sim 150$, mm

D ——加热器直径 (以外径计), mm

b_3 ——工件距加热器的最小距离, mm

b_4 ——最大工件宽度, mm

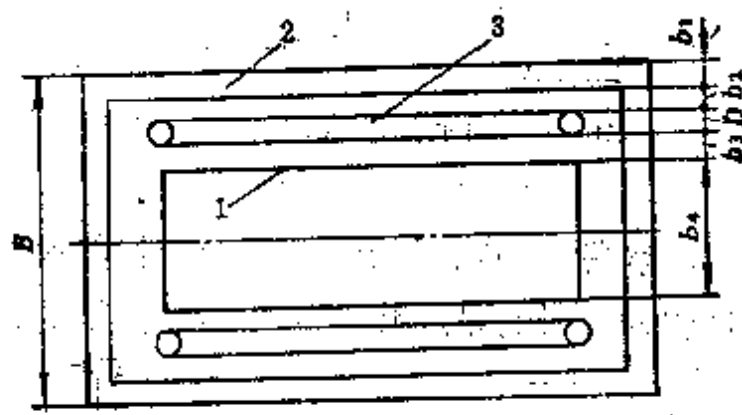


图4-6 固定间歇式清洗槽槽体宽度计算图

1—工件 2—槽壁 3—加热器

清洗槽槽体高度 H 的经验计算公式如下 (如图 4-7 所示):

$$H = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5$$

式中 H ——槽体高度, mm

h_1 ——槽体底座高度, mm

h_2 ——工件距槽底最小距离,

一般取 $h_2 = 200 \sim 400$ mm

h_3 ——最大工件高度, mm

h_4 ——最大工件浸没在清洗液中的浸没高度,

一般取 $h_1 = 100 \sim 200 \text{ mm}$

h_5 ——槽沿距液面的距离，

一般取 $h_5 = 150 \sim 200, \text{ mm}$

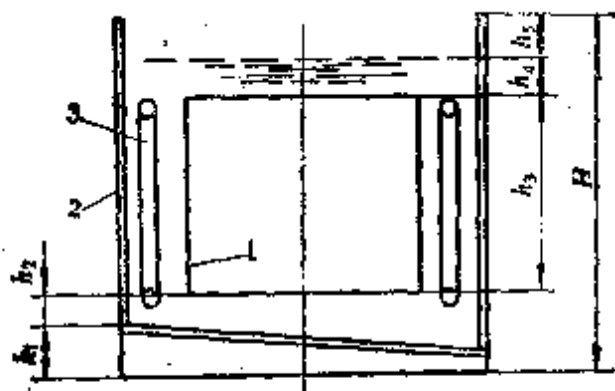


图4-7 固定间歇式清洗槽槽体高度计算图

1—工件 2—槽壁 3—加热器

1.4 常用带加热器的清洗槽的结构与尺寸

图4-8为常用的带加热器的碱性清洗槽的结构示意图。图

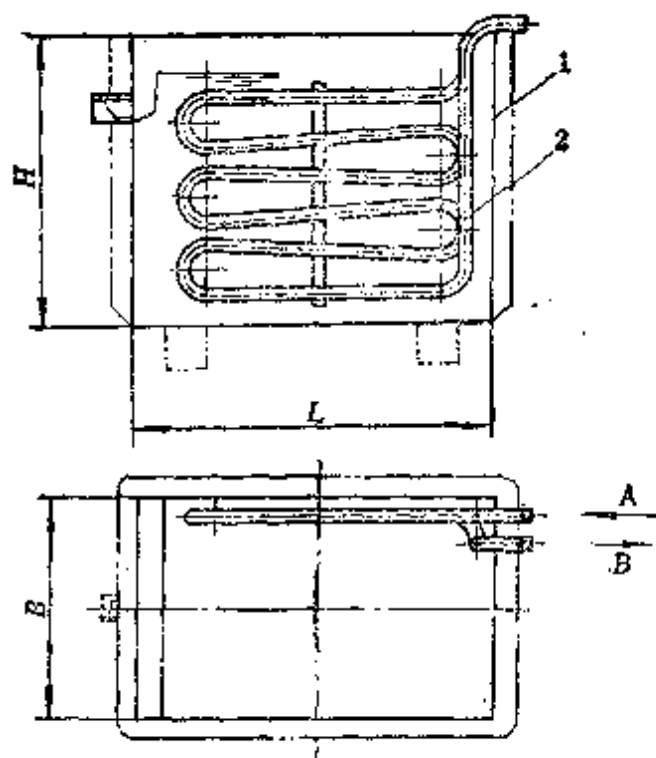


图4-8 常用碱液清洗槽结构示意图

1—槽体 2—加热器 A—蒸汽入口 B—冷凝水出口

中所用加热器为蛇形管结构, 热源为蒸汽。清洗槽的尺寸、工作容积及加热用蒸汽消耗量列于表4-1。

表4-1 常用碱液清洗槽的尺寸、工作容积与蒸汽消耗量

序号	清洗槽内部尺寸 L×B×H, mm	工作容积 l	加热时间 h	蒸汽消耗量, kg/h	
				加热时	工作时
1	1200×600×800	504	1	62.5	17.5
2	1000×600×1000	540	1	67.0	18.6
3	1000×800×800	560	1	68.5	19.1
4	1200×800×800	670	1.5	62	23.1
5	1000×800×1000	720	1.5	67.5	24.8
6	1200×800×1000	870	1.5	74	29.7
7	1200×800×1200	1050	2	72	36.3

2 清洗槽液加热装置

2.1 热源选择

机械制造中清洗槽液加热温度在100℃以下, 所用热源主要为两种: 蒸汽和电。在特定条件下, 亦有用煤气加热。

蒸汽加热在清洗槽液加热中应用最为普遍, 因具有以下优点:

1. 利用0.2~0.5MPa 气压的饱和蒸汽加热槽液, 调节蒸汽压力能方便地调节槽液温度;
2. 尽管工厂的锅炉房距离清洗作业场所较远, 仍可用蒸汽管道作长距离输送;
3. 给热系数高, 蒸汽冷凝时温度不变, 加热较均匀;
4. 与电加热相比, 经济性高。

利用蒸汽加热清洗槽液有两种方式：直接蒸汽加热和间接蒸汽加热。

直接蒸汽加热是将蒸汽直接接入被加热的槽液中，生成的冷凝水直接与槽液相混合，并有搅拌清洗槽液的作用。这种加热方法存在蒸汽通入槽液鼓泡发生噪声的缺点。另外，清洗槽液的各组份的浓度有严格要求时，不允许被稀释，则这种加热方式就不适用。

间接蒸汽加热是不使蒸汽与槽液直接接触，而是通过加热器使槽液经蒸汽加热以提高温度。间接加热应避免蒸汽不完全冷凝，从而力求减少蒸汽消耗量，节约能源。

电加热清洗槽液是利用管状电加热器固定安装在清洗槽内。管状电加热器具有良好绝缘，可全部浸没于清洗液内，其内部为电阻元件，电流通过电阻元件发热，以加热清洗液。电加热清洗液的主要优点：

1. 通过调节电压或增减管状电加热器数量即可较为精确地控制输入清洗液的热量；
2. 无须象蒸汽加热那样，往往用蒸汽管道长距离输送热量，清洗作业场所内各处均有电源，安装方便。
3. 管状电加热器国内已有系列产品，可向市场直接选用。

2.2 加热装置计算

2.2.1 直接蒸汽加热所需蒸汽消耗量

直接蒸汽加热所需蒸汽消耗量的计算公式如下：

$$G = \frac{G_1 C (t_2 - t_1) + T_q V}{H_0 - C t_2}$$

式中 G ——蒸汽消耗量，kg

G_1 ——清洗液重量，kg

C ——清洗液的比热, $J/kg \cdot ^\circ C$

t_1 ——清洗液的最初温度, $^\circ C$

t_2 ——清洗液的工作温度, $^\circ C$

H_0 ——蒸汽的焓热量, J/kg

V ——清洗槽工作容积, l

T ——加热时间, h

q ——清洗液通过槽壁散热及液面散热, $J/(l \cdot h)$

q 值视清洗槽四周有无隔热层而有所不同, 有隔热层

时, 其值取零; 无隔热层时, 可按槽液平均温度 $t_{\text{平均}} = \frac{t_1 + t_2}{2}$

由图4-9查取。

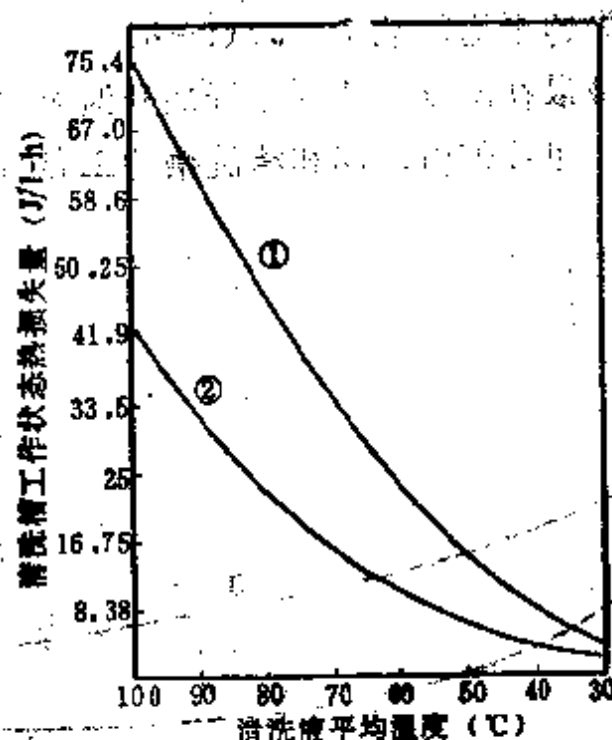


图4-9 清洗槽在工作时热耗量曲线

① <3000 升用 ② >3000 升用

2.2.2 间接蒸汽加热所需蒸汽消耗量

清洗槽间接蒸汽加热所需热量共有 Q_1 、 Q_2 和 Q_3 三部分，分别计算如下：

$$Q_1 = \frac{V\gamma C(t_2 - t_1)}{T_1} + Vq_1$$

式中 Q_1 ——清洗槽加热至工作温度所需热量，J/h

V ——清洗槽工作容积，l

γ ——清洗液重度，kg/l

C ——清洗液比热，J/kg·k

t_1 ——清洗液最初温度，°C

t_2 ——清洗液工作温度，°C

T_1 ——升温时间，h

q_1 ——升温过程中由槽壁散热及液面蒸发散热损失的平均热耗量，J/(l·h)

上式中清洗液最初温度，从室温开始升温应取室温；若空班停汽后升温，可按停汽时间和清洗槽的工作温度按图4-10查取。

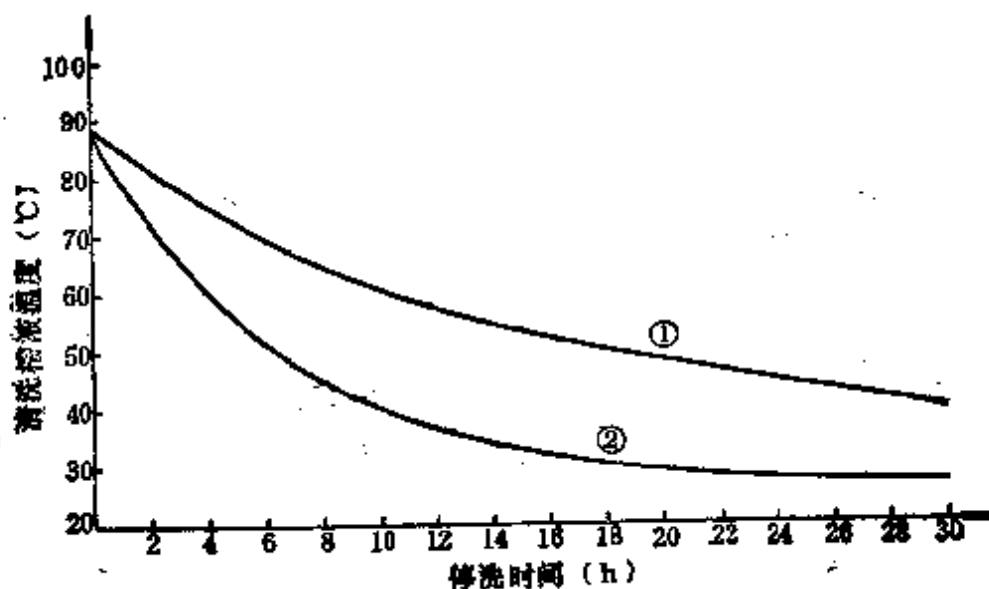


图4-10 清洗槽停汽时温度下降计算曲线

①清洗槽>3000 l时 ②清洗槽<3000 l时

$$Q_2 = V \rho c (t_1 - t_2)$$

$$Q_3 = \frac{V \rho c (t_1 - t_2)}{T_1} + V \rho c$$

式中 Q_1 ——非流动清洗槽工作时保持温度的热耗量, J/h

Q_2 ——流动清洗槽更换水时保持工作温度的热耗量, J/h

T_1 ——更换全槽水的时间, 可参照表4-2选取, h

表4-2 更换全槽水时间参考值

V, L	<300	301~1000	1001~2500	2501~5000	5001~8000	8001~10000	10001~30000	30001~50000	>50000
T_1, h	1	2	3	4	5	6	8	12	16

在计算得到 Q_1 、 Q_2 和 Q_3 后, 即可计算蒸汽消耗量如下:

$$G = \frac{K_0 (Q_1 + Q_2 + Q_3)}{H_0 - H'}$$

式中 G ——间接蒸汽加热所需蒸汽消耗量, kg/h

K_0 ——热损失补偿系数, 取1.2~1.3

H_0 ——饱和蒸汽的焓热量, J/kg

H' ——冷凝水的焓热量, J/kg

清洗槽液蒸汽加热, 常用蒸汽的绝对压力为0.2~0.6 MPa, 其焓热量可由表4-3查得。

2.2.3 蒸汽加热器传热面积与尺寸

按照最大热功率计算蒸汽加热器的传热面积 A , 其计算公式如下:

$$A = \frac{ku(Q_1 + Q_2 + Q_3)}{K\Delta t}$$

式中 A ——蒸汽加热器传热面积, m^2

K ——传热系数, 对于单层钢管可取 $K = 814$,
 $\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot\text{K}$

Δt ——蒸汽与清洗液的温差, $^{\circ}\text{C}$

$$\text{对于 } Q_1, \Delta t = t - \frac{t_2 + t_1}{2}$$

$$\text{对于 } Q_2, Q_3, \Delta t = t - t_1$$

k_s ——热损失校正系数, 取 1.2~1.3

表4-3 饱和蒸汽与冷凝水的焓热量与汽化热

压力 MPa	饱和温度 $t, ^{\circ}\text{C}$	蒸汽比容 v , m^3/kg	蒸汽密度 kg/m^3	焓热量, $\text{kJ}/\text{kg} (\text{kcal}/\text{kg})$		汽化热 kJ/kg
				冷凝水 H_2O	蒸汽 H_2O	
0.1765	114.33	0.9954	1.0016	488.18 (116.60)	2700.905 (646.1)	2212.72
0.1961	118.62	0.9018	1.109	501.997 (119.94)	2705.93 (646.3)	2203.93
0.2994	132.88	0.6169	1.62	558.519 (133.4)	2724.35 (650.7)	2165.83
0.3923	142.12	0.4709	2.124	601.643 (143.7)	2724.35 (653.9)	2136.11
0.4903	151.11	0.3817	2.620	636.812 (152.1)	2747.797 (658.3)	2110.98
0.592	158.08	0.3314	3.111	656.957 (159.3)	2756.17 (658.3)	2088.79

当蒸汽加热器用蛇管结构时, 蛇管直径与长度的计算如

下:

$$d = \sqrt{\frac{GV_s}{900\pi v}}$$

$$L = \frac{A}{\pi d}$$

式中 ρ_s ——加热用蒸汽的比容，查表4-3， m^3/kg

v ——管中蒸汽流速， m/s

d ——蛇管内径， m

L ——蛇管长度， m

在以上计算中，应注意管长与管径之比，其比值不应大于表4-4，还有，加热器入口处通过的热量或蒸汽速度不大于表4-5所列数值。

表4-4 加热管长度与直径之比

蒸汽压力, MPa	0.04	0.08	0.12	0.18	0.2	0.3	0.4	0.5
管子长度/管径(最大比值)	100	125	150	175	200	225	250	275

表4-5 加热管入口蒸汽速度与热量对照

管 径	1"	1 $\frac{1}{4}$ "	1 $\frac{1}{2}$ "	2"	2 $\frac{1}{2}$ "
允许入口蒸汽最大速度, m/s	22	25	30	36	40
通过热量的最大值 J/h	117000	251000	377000	963000	1650000

通过以上计算得到加热管的长度、直径和通过的热量，可与表4-6核对，亦可由表4-6直接选用或换算。

2.2.4 电加热及其管状加热器计算

电加热功率计算须考虑安全系数，计算公式如下：

$$N = \frac{k_s Q}{860}$$

式中 N ——电加热功率， kW

Q ——槽所需热量， J/h

k_s ——安全系数，考虑使用场所电压下降或其它损失，

对连续式生产， k_s 取1.2~1.3，对间歇式生产，

表4-6 1小时内将清洗液由室温加热至100℃的蛇管尺寸

管子直径		蒸 汽 压 力 (表压)						
		0.5	1.0	2.0	3.0	5.0	7.0	10.0
in	mm	1升清洗液所需蛇管长度, m						
$\frac{1}{2}$	12.7	0.035	0.029	0.024	0.0185	0.0183	0.0137	0.0111
$\frac{3}{4}$	19.0	0.029	0.021	0.0185	0.0137	0.0120	0.0105	0.0080
1	25.4	0.023	0.016	0.0145	0.0105	0.0092	0.0080	0.0064
$1\frac{1}{4}$	31.7	0.017	0.012	0.0113	0.0080	0.0070	0.0060	0.0049
$1\frac{1}{2}$	38.1	0.014	0.0098	0.0090	0.0070	0.0062	0.0052	0.0042
2	50.8	0.012	0.0073	0.0070	0.0055	0.0043	0.0041	0.0033
$2\frac{1}{2}$	63.5	0.0095	0.0065	0.0060	0.0046	0.0040	0.0034	0.0027

取1.4~1.5。

然后根据电加热功率计算电加热器数量 n ，或确定管状电加热器所需数量，再计算每根管状电加热器的功率 N_i 。

$$N_i = \frac{N}{n}$$

当电加热功率较大时，宜使用三相电源， n 应取为3的整倍数，以便接线控制。

管状电加热器为市场可供现货的系列产品，加热效率高，使用寿命长，购置容易，安装方便。通常外表管材为碳钢管，要求耐腐蚀时可采用不锈钢（1Cr18Ni9Ti），或用石英玻璃管。管子中心为电阻丝，其绝缘材料是结晶氧化镁或

石英砂，在管壁与电阻丝之间填实。

选用管状电加热器的主要依据为其表面负荷和在清洗槽内可能安装的尺寸。管状电加热器的表面负荷如表4-7所示。

表4-7 管状电加热器管壁的表面负荷

工作介质	介质最高工作温度, °C	管子材料	填料品种	推荐表面负荷 W/cm ²	极限表面负荷 W/cm ²
碱液	≤150	碳钢	结晶氧化镁 或石英砂	3.5~4.5	6
水	~100	不锈钢或 铜管	结晶氧化镁 或石英砂	5~8	7
静止空气	≤400	碳钢或不 锈钢	结晶氧化镁	2.5~3	6

2.2.5 清洗槽加热升温时间确定

清洗槽加热升温时间 T_1 的选择至关重要，如果延长升温时间 T_1 ，则可明显地降低蒸汽加热锅炉的安装容量（或电加热安装容量）。尤其对于大型清洗槽加热，升温时间 T_1 宜选取较大值，使热能利用趋向均衡。升温时间 T_1 可参考表4-8确定。

表4-8 清洗槽升温时间 T_1 参考值

清洗槽容积, l	<300	300~1000	1001~2000	2001~5000	>5000
升温时间 T_1 , h	1	2	4	4	6~8

3 喷射清洗装置设计与应用

喷射清洗装置是常用清洗设备。它通过泵将清洗液喷射到工件表面，借助清洗液的机械冲刷作用，加速清洗液原有的化学清洗作用，以提高工件表面的清洁度。

喷射清洗装置有单室式和多室式两种。

图 4-11 为多室式多步喷射清洗装置示意图。组成包括：装置壳体、槽体、喷射系统、清洗液加热装置和通风装置等。现将以上各个主要组成部分的结构特点和设计要点逐项扼要阐述。

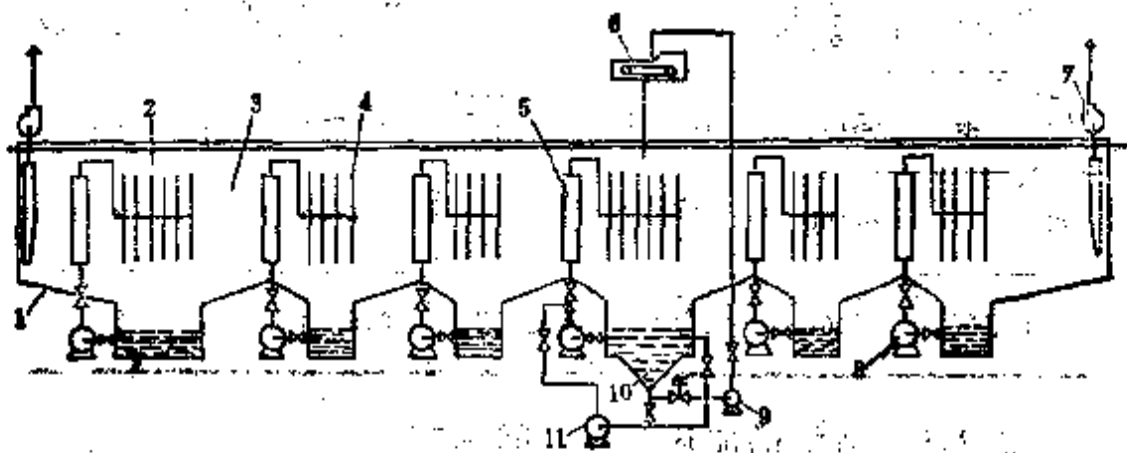


图 4-11 多槽式多步喷射清洗装置示意图

- 1—装置壳体 2—各个喷洗段的喷射区 3—各个喷洗段之间的过渡段
4—各喷洗段的喷管 5—各个喷洗段的加热器 6—过滤器 7—风机
8—各喷洗段用泵 9—过滤用泵 10—各段槽体 11—循环用泵

3.1 装置壳体与槽体

装置壳体是联接各个主要组成部分的主体，其作用是使工件在封闭的通道内完成各道工序的喷射清洗。

装置壳体是一个封闭式整体结构，由型钢和钢板焊接拼装而成。大型者用角钢和槽钢组成骨架，用 1.5~2 mm 厚钢板焊接在骨架内侧。小型者直接用 3~4 mm 厚钢板焊接而成。用于连续式生产中，工件用悬挂式输送链传送时，输送链在喷射清洗装置上就是用此骨架作支承。壳体两端留有门洞供工件出入。壳体须用地脚螺钉与基础固定。壳体底部须预留排水沟。壳体内部常用挡水板隔成作用不同的三大部分。

喷射处理段、工序间过渡洩水段和工件出入段。

喷射处理段是用来封闭喷射的槽液和减小设备的热量损失。洩水过渡段是装置壳体内两相邻喷射段之间的间隔，其长度应保证能防止前后槽液飞溅和工件带出的槽液。槽液飞溅量与清洗时喷射压力和喷嘴安装位置有关。工件带出槽液量受工件外形和传送速度的影响。过渡段的一般结构如图4-12所示，其两端装有挡水板。

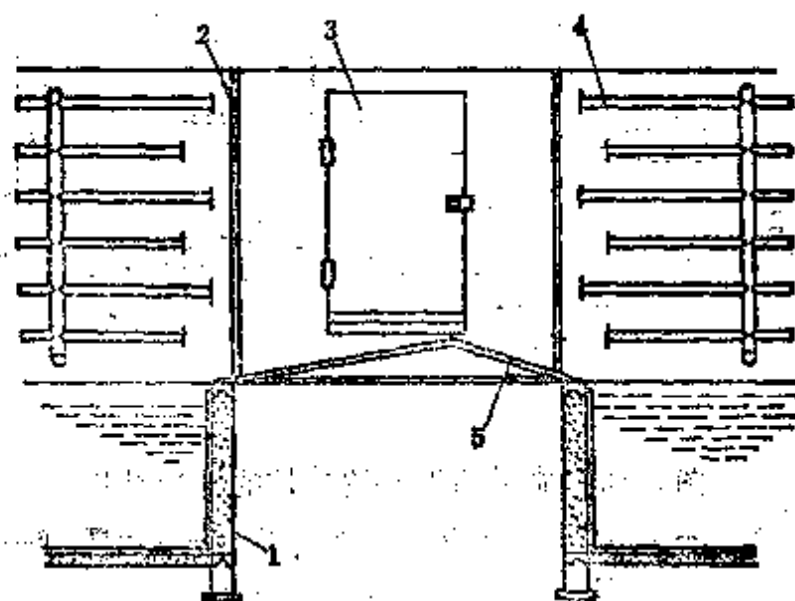


图4-12 喷射清洗装置过渡段的一般结构

1—槽体 2—挡水板 3—出入口 4—喷嘴 5—底板

泵的流量是根据喷嘴数量及其布置确定。槽体的有效容积一般不小于水泵的每分钟流量的4.5~7.0倍，供清洗液有较多的沉淀时间，并使沉淀物易于排除，如槽底作成锥形，在长度方向呈坡度。

槽体中设置溢流槽的作用，除供控制槽的高度以外，还有将漂浮液面的油污，使从溢流槽排放。溢流槽的容积不宜大，能适应溢流排污即可。为了减少漂浮的油污和沉淀物吸入水泵，可在槽体内设置挡渣板或过滤网，将槽体分隔成两

部分,使清洗液必须经过滤后才能被水泵抽入。上述槽体常见的一般结构如图4-13所示。

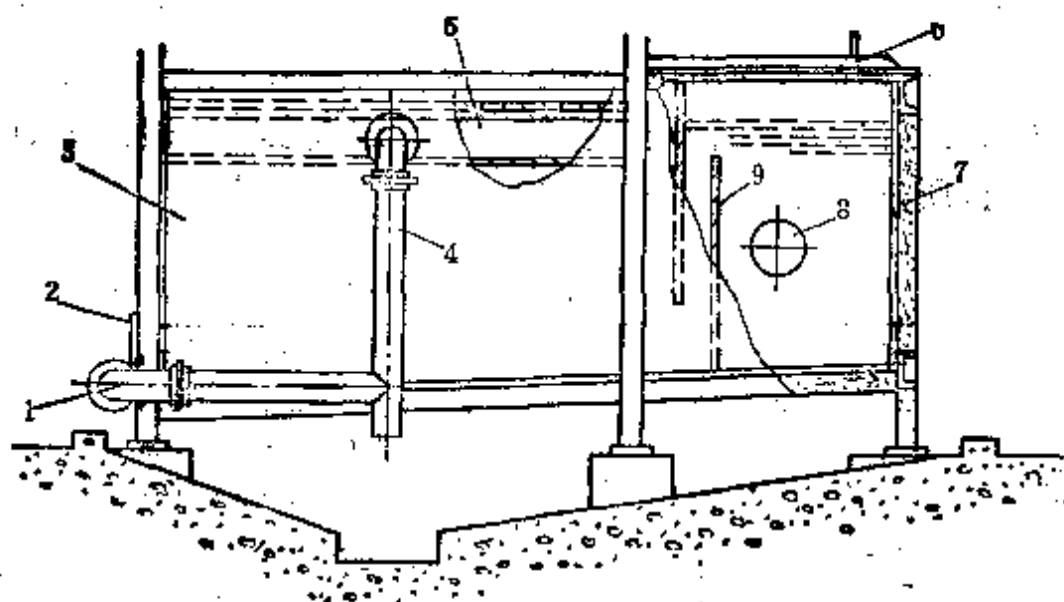


图4-13 喷射清洗装置槽体的一般结构

1—放水管 2—排渣口 3—槽体 4—溢流管 5—溢流槽 6—盖 7—保温层 8—水泵吸口 9—挡渣板

3.2 喷射系统

喷射系统包括喷管、喷嘴、泵等。喷管按工件外形组成环形管道,并排列若干喷嘴将工件包围,供工件传送主喷射区时进行喷洗。喷管装置有横排和竖排两种,其中横排喷管又有整体式和可分式两种组合形式。横排喷管和竖排喷管的结构如图4-14和图4-15所示。

喷嘴与喷嘴之间距离须考虑喷射在工件上的清洗液柱连续均匀。对于横排结构,喷管之间取200~300mm,喷嘴之间取250~300mm。对于竖排结构,喷管之间取250~300mm,喷嘴之间取200~300mm。工件与喷嘴的距离宜为250mm。

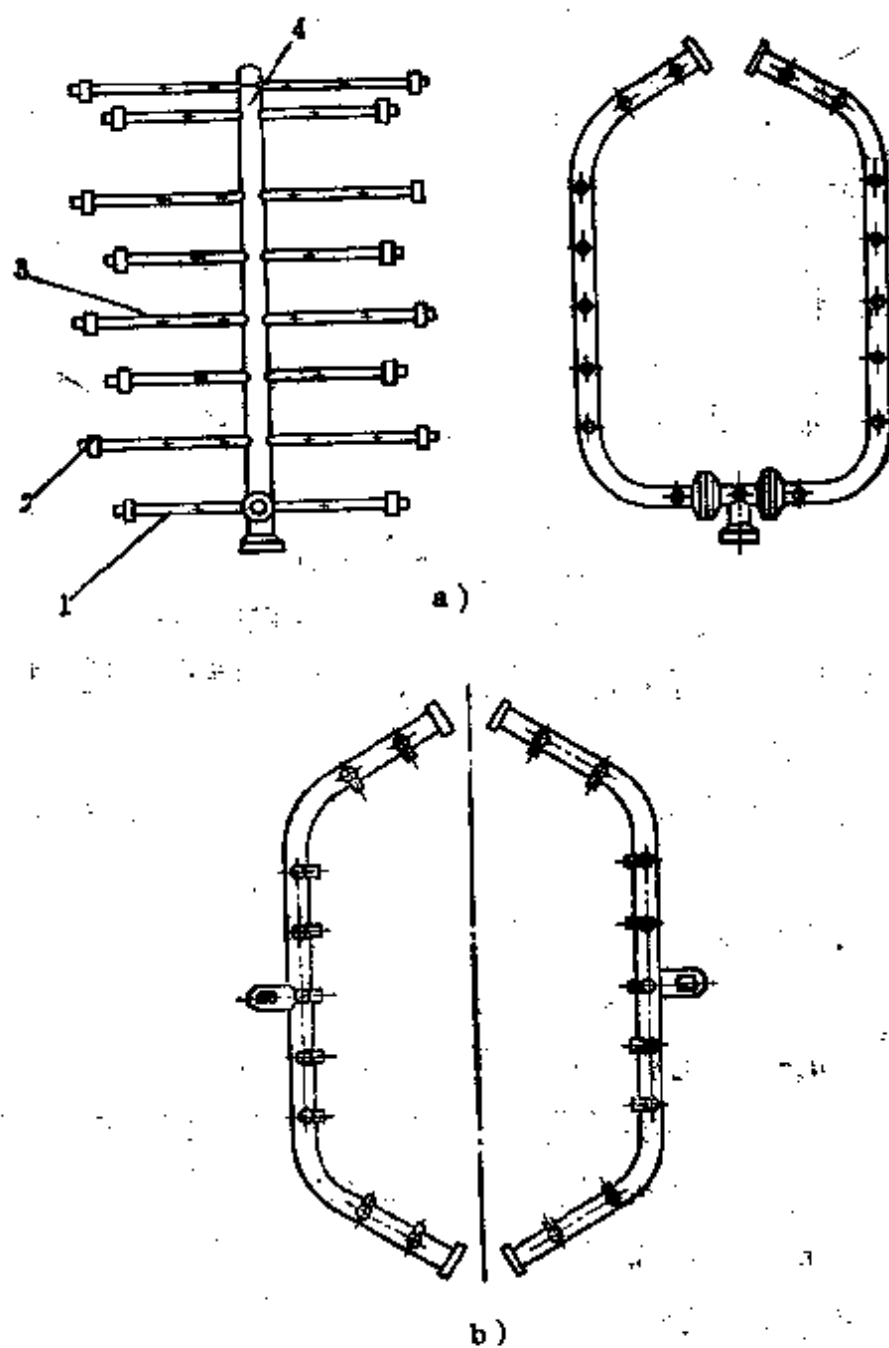


图4-14 横排喷管结构

a) 整体式 b) 可分式

1—支管 2—管塞 3—喷嘴 4—主管

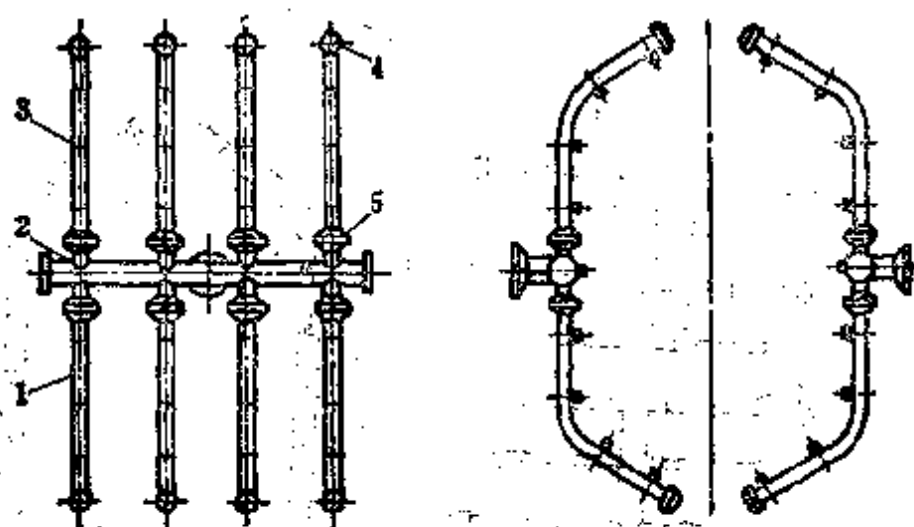


图4-15 竖排喷管结构

1—支管 2—主管 3—喷嘴 4—管塞 5—法兰

常用喷嘴有多种。其名称、材料、特点和适用性如表4-9所示。

表4-9中6种喷嘴的结构及其主要尺寸如图4-16所示。

喷射清洗装置的喷水量 Q 的计算

$$Q = nq_n$$

式中 q_n ——每种喷嘴的喷水量, m^3/h

由实验得到。如Y-1型雾化喷嘴在喷嘴直径3 mm时,水压0.3 MPa下,喷水量为0.36 m^3/h

n ——喷嘴数

在未有实验数据时,喷嘴的喷水量可计算如下:

$$q_n = 0.318 \mu F \sqrt{2gH}$$

或为:

$$q_n = 0.1259 \mu d^2 \sqrt{P}$$

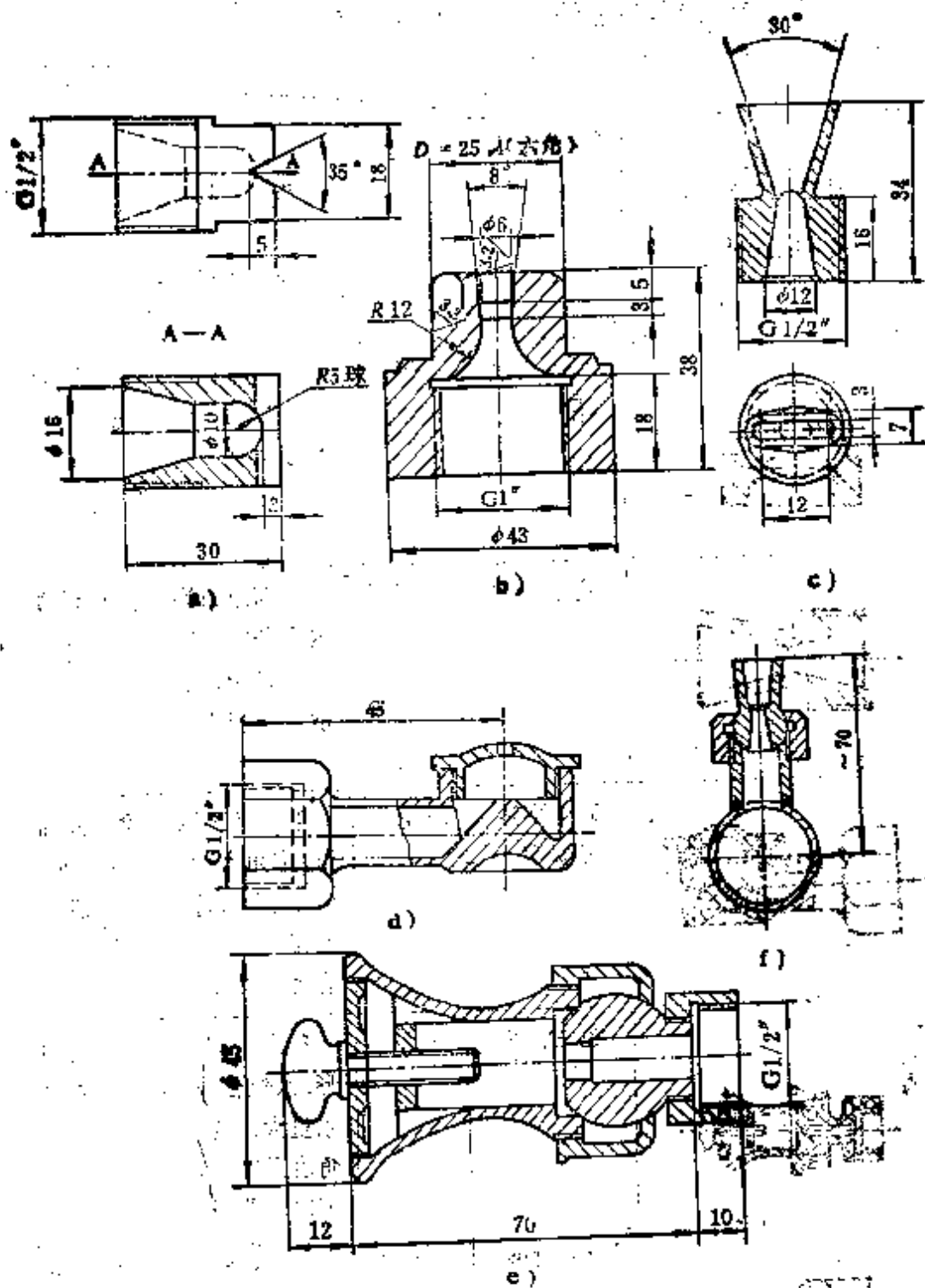
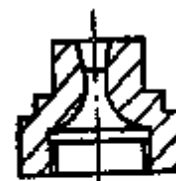
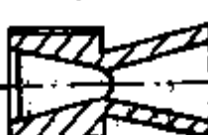
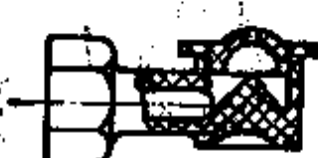
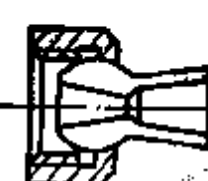


图4-16 常用喷嘴的结构与主要尺寸

- a) V型喷嘴 b) 强射流喷嘴 c) 扁平喷嘴
 d) Y-1型雾化喷嘴 e) 莲蓬头喷头 f) 扁平可调喷嘴

表4-9 常用喷嘴的名称、材料、特点和适用性

图 形	名 称	材 料	特 点	适 用 性
	V型喷嘴	尼龙	喷出口为V型条缝, 射流呈带状冲击力较强, 不易阻塞	常温下粗洗
	强射流喷嘴	铸铁	射流呈圆锥形, 锥角较小, 冲刷力强	常温下粗洗
	扁平喷嘴	铸锡青铜	喷嘴出口为扇形条缝, 射流呈带状, 扩散角度较大	外形相似的工作件
	Y-1型雾化喷嘴	尼龙	射流呈圆锥形, 锥角大, 水粒细密均匀, 雾化好, 容易清理	清洗液加热下使用, 应用较广泛
	莲蓬头	尼龙	射流呈圆锥形, 水粒粗, 喷水量大, 安装角度及喷水量可以调节	清洗液加热下使用
	扁平可调喷嘴	铸锡青铜	安装角度可以调节, 其它同扁平喷嘴	比扁平喷嘴应用广泛

式中 μ ——喷嘴出口处流量系数

F ——喷嘴出口截面积, m^2

g ——重力加速度, m/s^2

H ——喷嘴出口中心压力, Pa

d ——喷嘴出口截面的直径, mm

P ——喷嘴前压力, MPa

喷射系统的流量确定后,再行计算从喷射系统中泵的安装位置到支管处的管内压力损失,包括摩擦阻力和局部压力损失,即可选择喷射系统的泵机组。常用的2"和3"管径的管内压力损失列于表4-10。表4-10中系接管路中有5个弯头计算。

表4-10 喷射系统常用管内压力损失 kPa

流 量 l/s	2"管径时压力损失			3"管径时压力损失		
	管子长度, m			管子长度, m		
	3	5	10	3	5	10
2.1	3.92	4.90	6.86	0.98	0.98	0.98
3.0	8.82	9.80	13.7	1.96	1.96	1.96
4.0	14.7	17.6	24.5	2.94	2.94	3.92
6.0	33.3	39.2	54.9	5.88	6.86	7.84
8.0	59.8	70.6	86.2	10.8	11.8	14.7
11.0	—	—	—	19.6	21.6	27.4
15.0	—	—	—	36.3	41.2	51.9
20.0	—	—	—	64.7	72.5	91.1

喷射系统中泵宜用倒灌式安装,要求水泵的叶轮中心低于喷射清洗装置槽体内清洗液的液面,以方便水泵启动。在泵吸口与清洗装置的槽体之间安装闸阀,使泵紧急检修时,清洗液无须从槽体内排放。

3.3 喷射清洗装置的传送链保护措施

喷射清洗装置多见用于连续式生产，与其配套的传送装置中，以悬挂式传送链应用最多，其次则是网式传送带或传送滚道。其中悬挂式传送链位于喷射清洗装置的喷射区的上方，连续受到清洗液及其蒸汽的冲洗和溅渍，使传送链上吊具和链条之间的润滑油被冲洗掉，传送链在运行中得不到良好的润滑。为此，对于与喷射清洗装置配套的悬挂式传送链必须采取保护措施，必须在喷射清洗装置的结构上设置相应的保护装置。

简易的保护装置是沿悬挂式传送链设置防护罩，将传送链封隔在防护罩内，仅留缝隙供吊装工件的吊具和吊钩通过，防护罩的结构很简易，如图4-17所示。

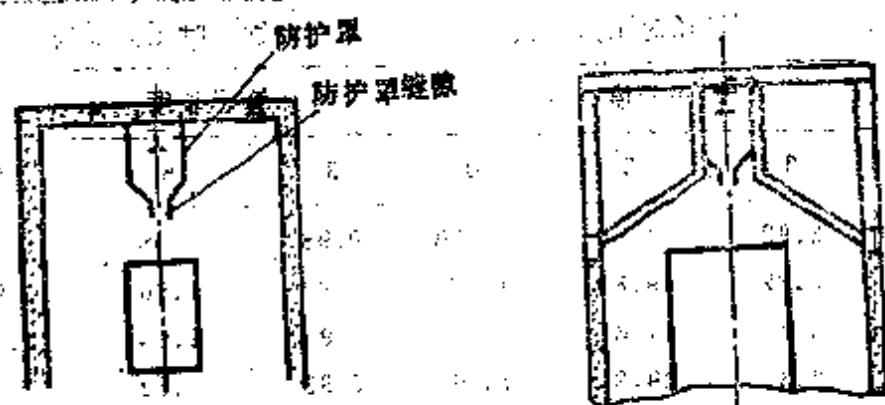


图4-17 防护罩式保护装置

迷宫式气封保护装置比防护罩式保护装置的防护效果好。其结构特点是将悬挂式传送链轨道沿长度方向安装在迷宫形壳体内，用按迷宫形状制作的专用吊钩把带有工件的吊具吊挂在悬挂式传送链的吊具上。这样，就使得悬挂式传送链与喷射清洗装置的喷射区分隔开来。这种迷宫式气封保护装置如图4-18所示。

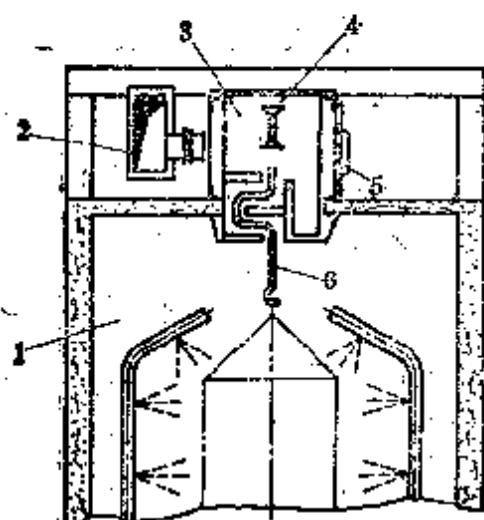


图4-18 迷宫式气封保护装置

1—喷洗区 2—输入空气管道 3—迷宫壳体 4—轨道 5—侧门 6—吊钩

3.4 常用喷射清洗装置

3.4.1 固定式喷管喷射清洗装置

如图4-19所示,这是十分常用的喷射清洗装置,清洗作业方式既适用于通过式,又适用于间歇式,适用范围广。

图中喷射清洗装置的喷管的外廓形状应与工件的轮廓形状相符合。从喷嘴至工件的距离宜为150~250mm,可按喷嘴特性具体确定。图中喷嘴相邻间距宜为200~300mm。喷管相邻间距宜为250~300mm。工件进出端的开口尺寸依据工件外廓尺寸加必要间距确定,间距尺寸在宽度方向宜取150mm,在高度方向宜为100mm。

图中喷管轮廓一经安装固定,所能清洗的最大工件尺寸即受限制。一般多适用于中小工件,特别适用于布置在楼上。此时槽体有效容积宜按泵的每小时流量的1/12~1/10选取,以减轻楼层荷重。

3.4.2 旋转式喷管喷射清洗装置

如图4-20所示,图中清洗工件是静止的,而喷管系统能围绕工件旋转。旋转喷管能从工件四周连续喷射出清洗液冲

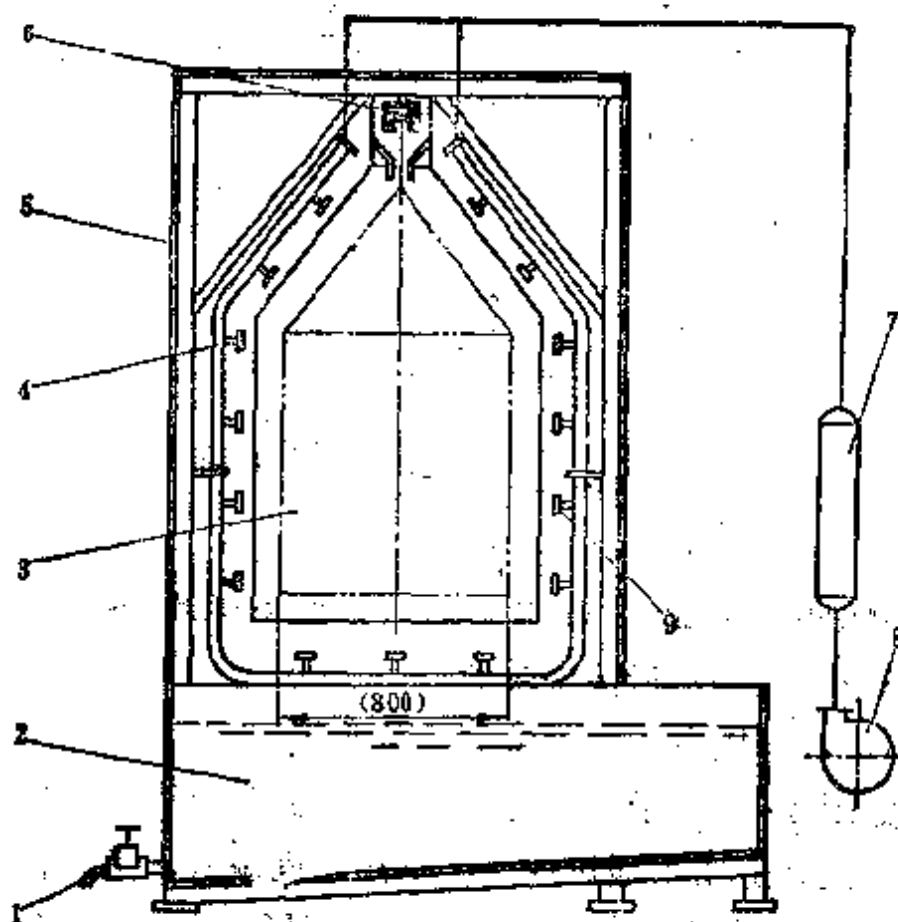


图4-19 固定式喷管喷射清洗装置

1—放水管 2—槽体 3—工件 4—喷管 5—壳体 6—传送装置 7—过滤器 8—泵 9—喷嘴

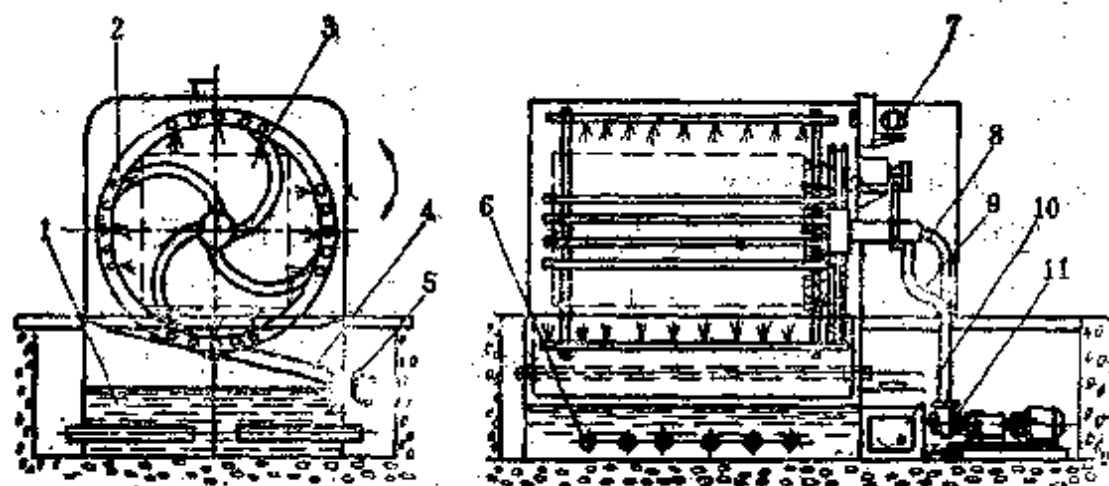


图4-20 旋转式喷管喷射清洗装置

1—清洗液槽 2—喷管框架 3—清洗工件 4—滴水板 5—清水槽 6—加热器 7—风机 8—回水管 9—进水管 10—过滤器 11—泵机组

刷工件表面，而能得到较高的清洗质量。工件清洗作业方式为间歇单向式，工件由小车传送至喷射清洗装置的一端，被推入清洗装置的清洗区内，经清洗作业完成，再行单向送出。

图4-20喷射清洗装置中除设置清洗液槽外还设置有清水槽，工件经清洗液喷射清洗后再用清水喷射清洗。

图中表明，清洗装置下部设有清洗液槽1和清水槽5，两者分隔，但共用一个淌水板4，淌水板可以翻转分别流向清洗液槽或清水槽。两槽内各自设有加热器。泵机组11经滤清器10向清洗液槽或清水槽汲出，经进水管9送入喷管框架2。喷管框架靠回转机构(图中未示出)按一定方向旋转。清洗作业时，先用清洗液清洗，然后翻转淌水板，再用加热的清水清洗。此种喷射清洗装置由于工件固定，喷管旋转，所以尤为适用大件清洗，如机体、床身、基座等工件的清洗，使工件得到较高的清洗质量。

3.4.3 工件旋转式喷射清洗装置

如图4-21所示，为工件旋转式喷射清洗装置的一种，此种喷射清洗装置，除工件上料和下料为手工操作外，全部清洗过程均为自动，适用于大批量生产中连续清洗作业，属于一种半自动喷射清洗装置。

工件旋转式喷射清洗装置由于工件旋转，清洗作业中尽管喷嘴固定，仍可以将工件各处包括其内部进行清洗，而得到较好的清洗质量。图4-21所示的喷射清洗装置既适用中小件清洗，也适用于大中型清洗，如箱形件，机体、箱体等。用于大中件清洗时，工件旋转速度低，每分钟几转至十几转。所配用的清洗液一般要求加热后进行喷射清洗。清洗作业过程中的特点，按照其作业程序，主要有：需清洗的工件半自动上料和固定；清洗区密封门启闭动作与清洗作业联锁；

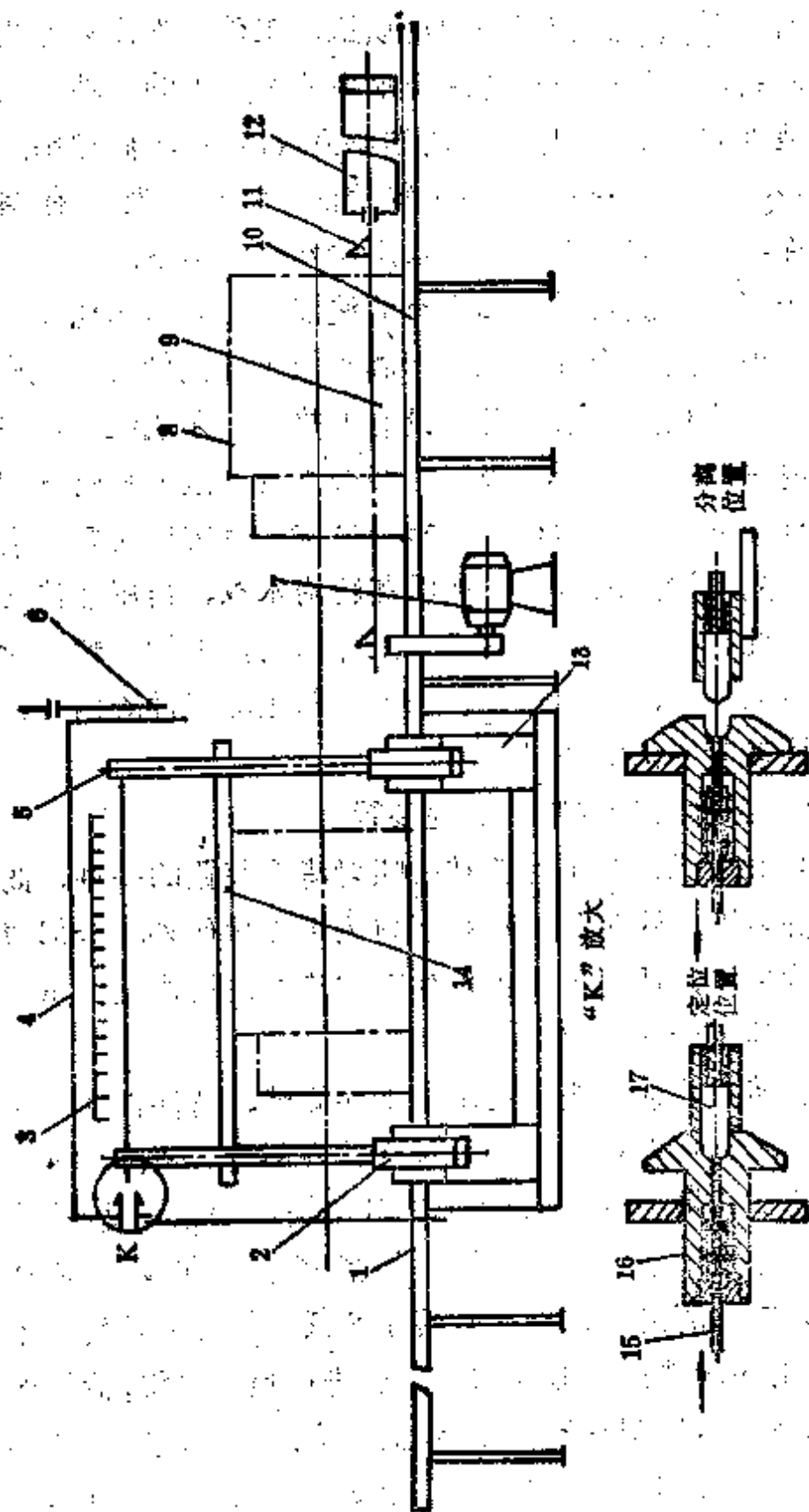


图4-21 工件旋转式喷射清洗装置

- 1—出口滚道 2—滚轮 3—喷嘴和喷嘴 4—机体 5—滚道 6—门 7—电动机 8—工件 9—送料杆
10—进口滚道 11—单向节流阀 12—溢流阀 13—支架 14—角块 15—信号杆 16—伞形座 17—定位销

清洗液与工件表面充分接触，以及清洗作业完成自动出料。

清洗作业开始时，先将工件吊运在清洗装置的进口滚道10上，通过接触器使电磁铁吸合，送料气缸12带动送料杆9，驱动单向推块11将工件推入滚筒5，同时将业已清洗好的上一个工件推出，停留在出口滚道1上准备吊离。以上作业过程均可实现自动。

滚筒5的内腔有四个角铁14，供工件定位，并防止工件随滚筒转动时发生撞击。滚筒5两侧的前后滚动2的旋转，系由电动机经减速传动机构驱动，转速常为 $3 \sim 8 \text{ r/min}$ 。

当工件进入清洗装置规定位置时，通过限位开关发出信号，切断控制气缸动作的电磁铁的电流，同时接通继电器，启动控制清洗区的前后密封门的电动机，使前后门下落。门在下落时，撞击限位开关，一面使控制前后门动作的电动机停转，一面接通控制定位销17动作的继电器线圈，通过电磁铁操纵气缸，使装在机体4壁上的伞形座16退出，与滚筒5上的定位销17分离，于是滚筒处于待运转状态。定位销一经分离，即发出信号启动滚筒回转的电动机，使滚筒连同工件缓慢回转。

当驱动工件回转时，即发出联锁信号启动水泵，压送清洗液经喷管与喷嘴对工件自动喷射清洗。此时由于工件在缓慢回转，从而与清洗液充分接触。喷射清洗时间通过时间继电器控制。

工件按规定时间清洗后，时间继电器的延时触头开始动作，通过电磁铁操纵气缸，使伞形座伸入。当滚筒上的定位销与伸入的伞形座相碰时，定位销沿伞形座的斜面内缩，直至两者吻合定位。定位销伸入伞形座孔后，推动信号杆15发出信号，使驱动工件回转的电动机停止，紧接通过联锁信号

使水泵停止，并控制清洗区的前后门的电动机反转，使前后门上升，送料杆将工件推送至出口滚道位置上，准备下一个工件进入。

4 气相清洗装置设计与应用

4.1 气相清洗槽设计

气相清洗槽由液相区、工作区和自由区三部分组成。如图4-22所示。槽体的长度和宽度依据所清洗的最大工件的覆盖面积确定，即气相清洗槽的敞开面积至少应为最大工件覆盖面积的1.5~2.0倍，同时工件与槽壁间距应保持100~200 mm。但须注意开口面积不宜过大，避免清洗液挥发量增大，当选用三氯乙烯为清洗液时，气相清洗槽的每平方米敞开面积的挥发量宜小于0.32~0.64 kg/h。

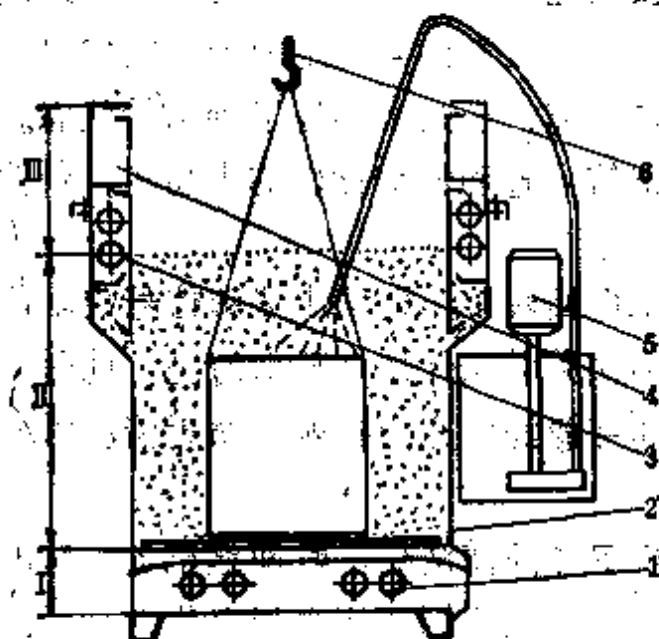


图4-22 气相清洗槽组成示意图

I—液相区 II—工作区 III—自由区 1—加热器 2—清洗槽槽体
3—冷凝器 4—通风装置 5—喷射清洗装置 6—工件传送装置吊钩

由于液相区、工作区和自由区的作用不同，三者在槽体内所占高度须分别确定。液相区的高度是由加热器的截面高度加上浸没加热器的清洗液的高度（一般需要100mm左右）确定。自由区是清洗液水平面至槽口的距离，其作用使工件带出的清洗液能充分挥发，并随后被冷凝，此高度一般为工件高度的1.5~2.0倍。工作区的高度通常为工件高度的1.2~1.5倍。将液相区、工作区和自由区三者的高度叠加即为气相清洗槽的高度。

工件在气相清洗槽内的位置，其最大尺寸应在垂直方向，也就是工件在气相清洗槽内的正确位置应是高度尺寸大于长度和宽度，相应地气相清洗槽的高度宜大于长度和宽度。这是气相清洗槽设计中应遵循的一项原则。

气相清洗槽中自由区是必要的组成部分，其目的是形成一个稳定的区域，防止外界气流影响工作区，同时也防止工件进出时将清洗液蒸汽带走或挤走。自由区的高度按照经验数据宜大于槽宽的60%。如果自由区的高度得到保证，可使与槽体配置的抽风罩（吸汽罩）中的浮动气流不至于冲击到工作区，又可以使工件吊出工作区时，附着工件上的清洗液或蒸汽能充分挥发和冷凝下来，从而减少清洗液的消耗。但应注意，自由度过高徒然增大清洗槽的总高度，使清洗作业中操作不方便。

气相清洗槽中冷凝器布置的位置直接影响工作区的高度，而其安装位置一般应与工件高度相适应，即其最低安装位置相当于工件在清洗槽内的顶面高度，而工作区高度的顶面往往相当于冷凝器底部第2圈的位置。冷凝器的总高度宜尽量压缩，为此冷凝器的各个螺旋管的间距宜为10~20mm。为调节工作区高度，就需要设置2~3组冷凝器。

气相清洗槽的槽体材料常用3~4mm不锈钢板,选用普通钢板需采取防腐蚀措施,主要为非金属材料衬里,如用陶瓷、酚醛玻璃钢、呋喃玻璃钢、石棉酚甲醛塑料等,或槽内壁涂覆无机富锌漆。

冷凝器供有效地控制工作区内清洗液蒸汽层的高度,并不使散逸主槽外。冷凝器常用材料为不锈钢管或铜管。

加热器常用管状电加热器,国内已属系列化的商品。如选用蒸汽或其他热源亦可,但不及前者方便。

气相清洗槽的液相区和工作区的侧壁和底垫层应设置隔热层,其厚度常为60~80mm。

应用以上各个组成部分:槽体、冷凝器、加热器和工件传送装置即可组成两种类型的气相清洗装置,连续式和间歇式,前者适用于成批生产,后者适用于单件小批生产。

用于间歇式生产的气相清洗槽必须设置槽盖,不进行清洗作业时,减少清洗液的挥发损失。槽盖结构要求:盖覆严密,启闭方便,其常用结构型式有3种如图4-23所示, a)

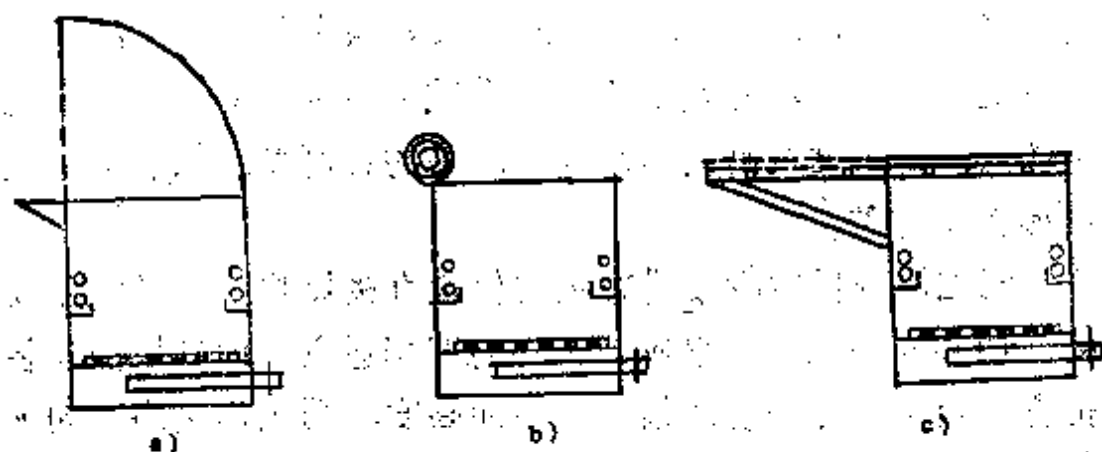


图4-23 气相清洗槽槽盖结构型式

a) 铰链式盖 b) 卷筒式盖 c) 推拉式盖

铰链式盖、b) 卷筒式盖和c) 推拉式盖。

铰链式盖适用于启闭次数较少的气相清洗槽。槽盖开启和关闭时易将清洗液蒸气吸出，要求缓慢启闭，操作用人力。

卷筒式槽盖的启闭动作类似钢卷尺，借助于弹簧力作用，盖子自动关闭。

推拉式槽盖犹如一扇拉门，其开启按照槽盖下面的滑轮在轨道上的运动实现，灵活方便。

4.2 气相-组合清洗装置的设计与应用

4.2.1 组成及其材料选择

气相清洗与浸渍清洗和喷射清洗组合使用称为气相-组合清洗。气相-组合清洗装置的组成除气相清洗槽以外，其液相区兼作浸渍清洗之用，此外还有：喷管、喷嘴、泵、过滤器等组成部分。其中泵应选用耐腐蚀的液下泵。液下泵宜安装在气相清洗槽的最低处，泵体位置应低于槽底，以便清洗装置进行清理时，能将清洗液全部抽出。

过滤器的作用是防止清洗液中的机械杂质混入。简单的过滤器可选用60~80目的铜丝过滤网或过滤罩。

喷管可以为金属管或软管。间歇式生产中为便于操作，一半用金属管，另一半用软管。连续式生产中，应按工件形状布置喷管，多为金属管。制备金属管的材料可为：不锈钢管、铜管、镀锌管等，软管材料可采用聚四氟乙烯软管或尼龙软管。

与气相清洗配套的喷射清洗用的喷嘴，要求喷出清洗液呈水滴状，对工件表面污垢具有机械冲刷作用，又不致使清洗液气相层受到冲击，仍可保持原有的气相清洗作用。

喷射清洗的位置应在气相清洗层的下面，喷嘴前的压力

较低,一般宜为 $0.049\sim 0.093\text{MPa}$ 。如果喷射清洗压力提高,则喷射区应封闭,否则气相清洗将难控制。为能控制喷嘴前压力,必须在喷嘴前管路上安装调压阀和压力表指示。喷嘴的材料可用尼龙、聚甲醛、聚四氟乙烯、黄铜、不锈钢等制备。

4.2.2 液水分离器主要尺寸的确定

气相清洗和气相-组合清洗的过程中,由工件和空气中带入清洗液的水分对清洗质量影响很大。如清洗液为三氯乙烯将促使其分解,使用稳定性降低,对清洗装置加速腐蚀,并且使清洗液的消耗量增加。因此,气相清洗过程中从冷凝器表面冷凝下来的清洗液滴落在积液槽内后,应先引入液水分离器除去水份,再流入液相区或浸渍清洗槽。如三氯乙烯等清洗液用污后经再生,更需要先经液水分离器除去混入的水份再使用。

液水分离器是利用三氯乙烯液体和水比重不同又不互相溶解的特性,以达到液水分离的目的。依据这个工作原理,液水分离器的各处高度尺寸应有一定的比例,如图4-24所示。

三氯乙烯和水的混合液体从 D_2 管进入液水分离器。水的比重远比三氯乙烯小而漂浮在混合液的顶面,水在顶面积存增多,便从 D_3 管排出。三氯乙烯比重大,沉淀在液水分离器底部,其积液层具有一定高度。由于水层和三氯乙烯层的压力,促使与水分离后的三氯乙烯从 D_1 管出口处流出。为达到上述液水分离,液水分离器上各处进出口高度比值应控制在下述范围内。

$$h_{12}:h_{13}=1.1\sim 1.2$$

$$h_{15}:h_{12}=0.29\sim 0.53$$

$$h_{16}:h_{12}=0.71\sim 0.47$$

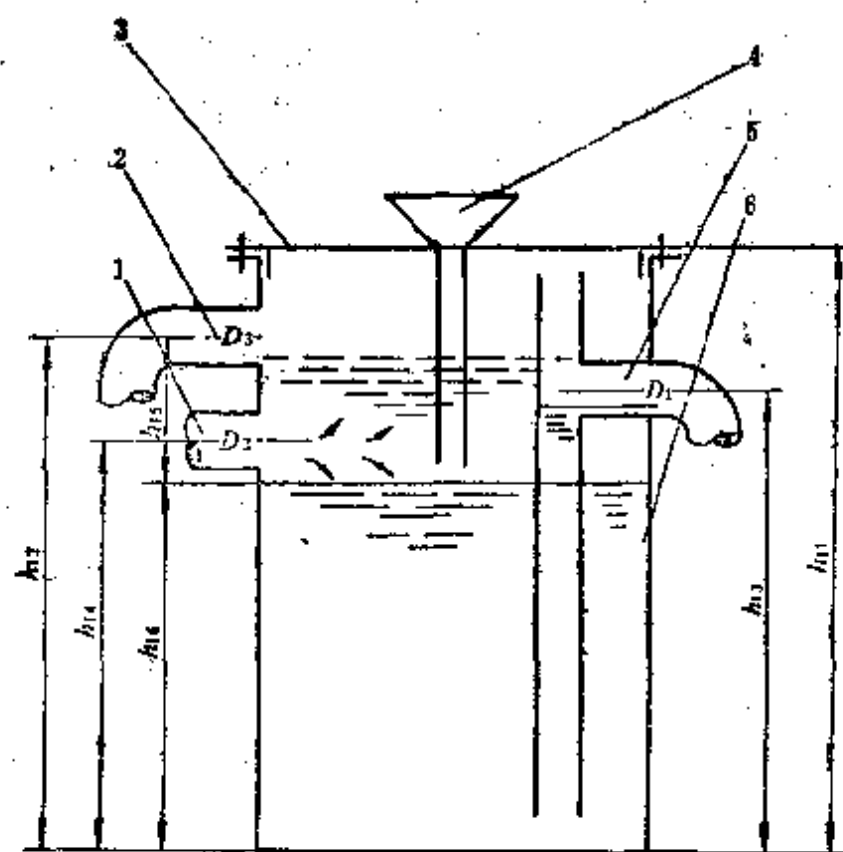


图4-24 液水分离器典型结构

1—清洗液和水混合液的进口 2—水分离后出口 3—盖 4—漏斗
5—清洗液出口 6—分离器壁 h_{12} —出水管高度 h_{13} —(三氯乙
烯)出液管高度 h_{14} —水和液混合的进口高度 h_{15} —水层高度
 h_{16} —(三氯乙烯)液层高度

4.2.3 局部通风装置

气相清洗时，局部通风装置是装置中必不可少的组成部分。最为常用应是柜形排风罩，除留操作口外尽量封闭。排风罩应大于清洗槽的一倍，使工件上留存的清洗液在排风罩内挥发。排风罩一端开口为工件进出口，亦是进风口，另一端与风机连接即为排风口。当风机开动时，在吸风口处产生负压，排风罩内即形成一股气流，在进风口处形成一定风速。这股具有一定风速的气流使罩内含清洗液蒸汽的

气流按指定方向进入风机排出，清洗液气体不会从排风罩各开口处扩散至清洗作业场所。为保证良好局部通风效果，排风罩进风口的控制风速必须合理选择，宜为 $0.7 \sim 1.0 \text{ m/s}$ 。

排风罩的排风口位置应考虑气相清洗必须有加热器，因此排风口位置应使局部通风形成对流，一般宜设置在上部或旁侧为好。还应注意，为保证通风效果和减少必要的排风量，应尽可能使气相清洗和气-浸清洗以及气-喷清洗等组合清洗时的敞开面积减小。

气相清洗和气相组合清洗的局部通风装置除采用柜形排风罩外，也有采用槽边排风罩，根据槽宽尺寸确定风管布置及其风速选择，于第6章扼要阐述。

4.2.4 监测控制措施

气相清洗中清洗液液相使用温度控制是一项重要工艺参数。以三氯乙烯用作清洗液为例，在清洗除油过程中，含油量增加，清洗液的沸点相应升高，当含油量达到34%时，清洗液的沸点由 87°C 升高至 100°C 。如再行使用就容易分解，必须更换新鲜清洗液。一般应控制使用温度为 95°C 为宜。清洗液温度的监测仪表的分度值宜为 0.5°C 。

清洗液使用温度提高，其中含油量增加，则可燃性增加，亦是必须加以控制的。

气相清洗中工件表面不再有清洗液蒸汽冷凝，即表明工件已达到清洗液的使用温度，气相清洗作用已告完毕，工件表面仍存在不洁之处需要清洗，只能依靠气-喷或气-浸等气相组合清洗方法。

当气相清洗完毕，从气相区取出工件时应缓慢取出，工件取出速度应 $< 3.6 \text{ m/min}$ ，并在自由区内停留十几秒钟；形状复杂的工件还应在柜形排风罩内停留几分钟，使工件表

面残存清洗液充分挥发。

气相清洗中液相区的液面控制也是不容忽视的。液面过低，将容易造成清洗液过热，尤其不应使清洗液的液相区液面低于加热器顶面，一般应设置液面监测仪表，保持液面高度，当液面过高立即发出声响信号。

冷凝水的水源中断监测亦是一项重要工艺参数。水源中断监测主要依靠流量继电器，监测单位时间内冷凝水的流量，以保证清洗液能够充分冷凝，而不使饱和蒸气上升，超过冷凝水管高度而进入自由区。监测控制措施有几种，简便的两种措施是：浮球安全液位装置或水银导电温度计。浮球安全液位装置是在液相区内由浮球发出液位讯号，而在气相清洗装置外安装液位指示器。采用水银导电温度计是在自由区的下部或中部安装，一旦冷凝水中断，清洗液蒸汽不断上升，当接触到水银导电温度计时，就将报警器的电路接通了，并同时切断加热器电源。

4.3 气相清洗与气相组合清洗装置

4.3.1 大批量生产用气相清洗装置

图4-25所示为石油桶大批量生产中，涂漆前清洗除油采用三氯乙烯气相清洗的装置。

图中带有电加热器的气相清洗槽4配有通风机组1和冷凝器6组成成套气相清洗装置。为适应大批量生产的需要增加了工件（石油桶）的传送装置，即传送带7和旋转架2。工件被传送带以强制节奏连续传送，至气相清洗槽前由旋转架逐个将工件分隔，依次传送至气相清洗槽内进行气相清洗。平均每10s即可清洗一个石油桶，生产率高，生产节奏均衡，得到较高的清洗除油质量。

4.3.2 气相清洗与气-浸组合清洗装置

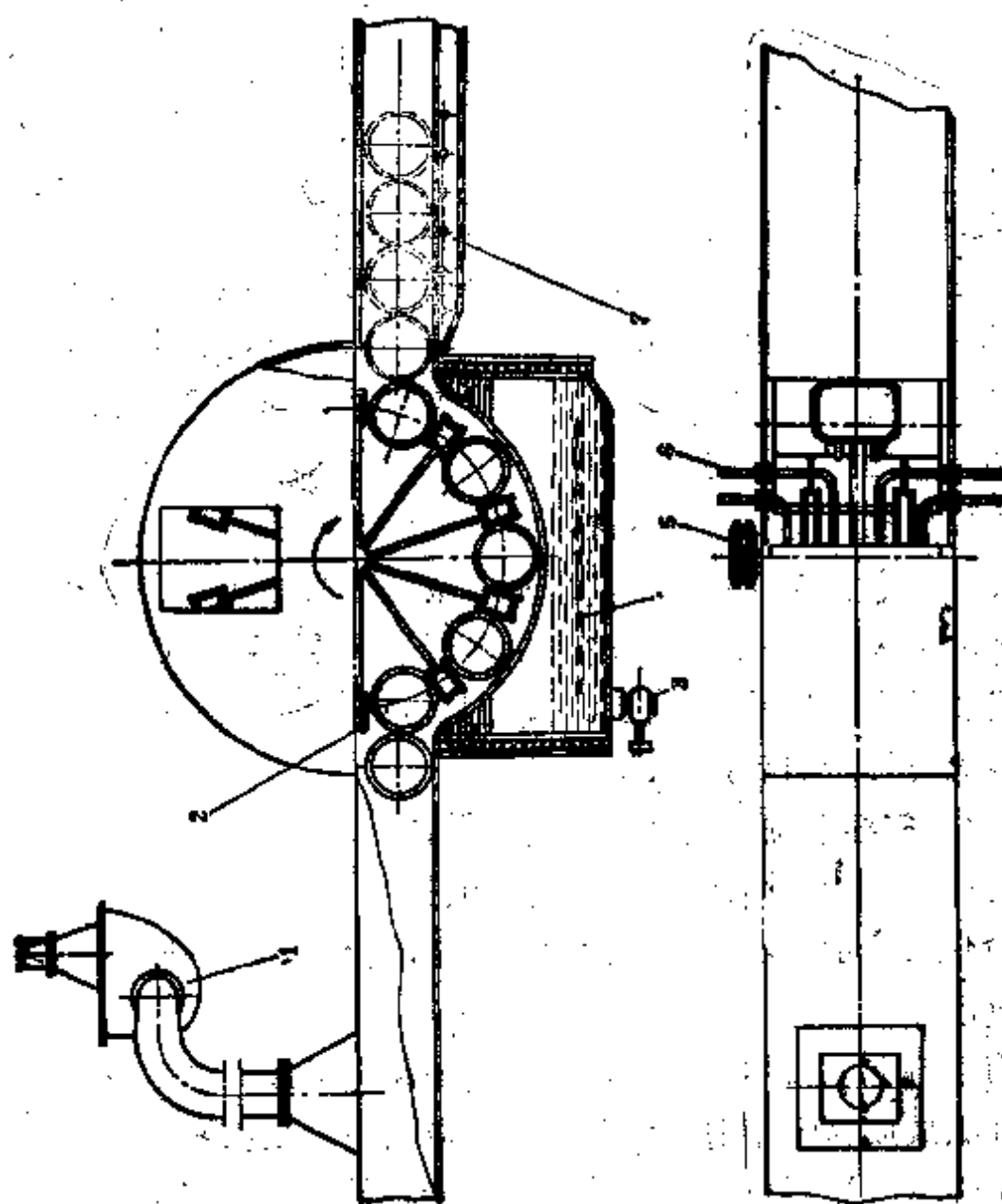


图4-25 大批量生产用气相清洗装置

1—通风机组 2—流转架 3—排污阀 4—带电加热器的气相清洗槽 5—皮带轮 6—联轴器 7—带送带

图4-26为大型客车、载重汽车的大型零件和部件进行清洗的气相-浸渍组合清洗装置。整个清洗装置用柜形清洗罩3与外界封隔。

图中所示气-浸组合清洗装置的外形尺寸为：2950×

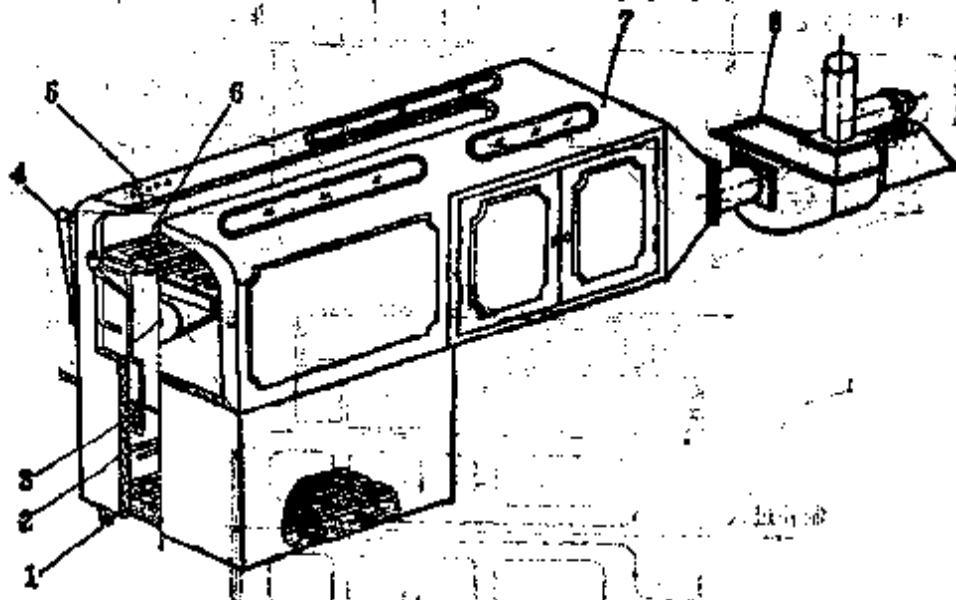


图4-26 气相清洗与气-浸组合清洗装置

1—排污口 2—气相清洗槽 3—隔热层 4—槽盖手动开关 5—控制按钮
6—液相清洗槽 7—排风罩 8—排风机组

1900×2120mm，其中气相清洗槽的有效容积为：1530×900×1230mm，生产能力按所能清洗工件的重量计算，可达1.7t/h。每次所加清洗液，以三氯乙烯为例为300kg。所配套的电加热器为管状电加热器6支，每支5kW，共30kW。

经长期使用实践表明，图4-26所示气-浸组合清洗装置可以适应高负荷率连续使用。平均15~20天连续使用后，就需要更换清洗液，将清洗装置内外清理。清洗过程中配备了清洗液使用温度监测措施和冷凝水供给监测讯号等条件。

4.3.3 气相清洗与气-喷组合清洗装置

图4-27为气相清洗与气-喷组合清洗装置，用于大型工件清洗，属于大型清洗装置。

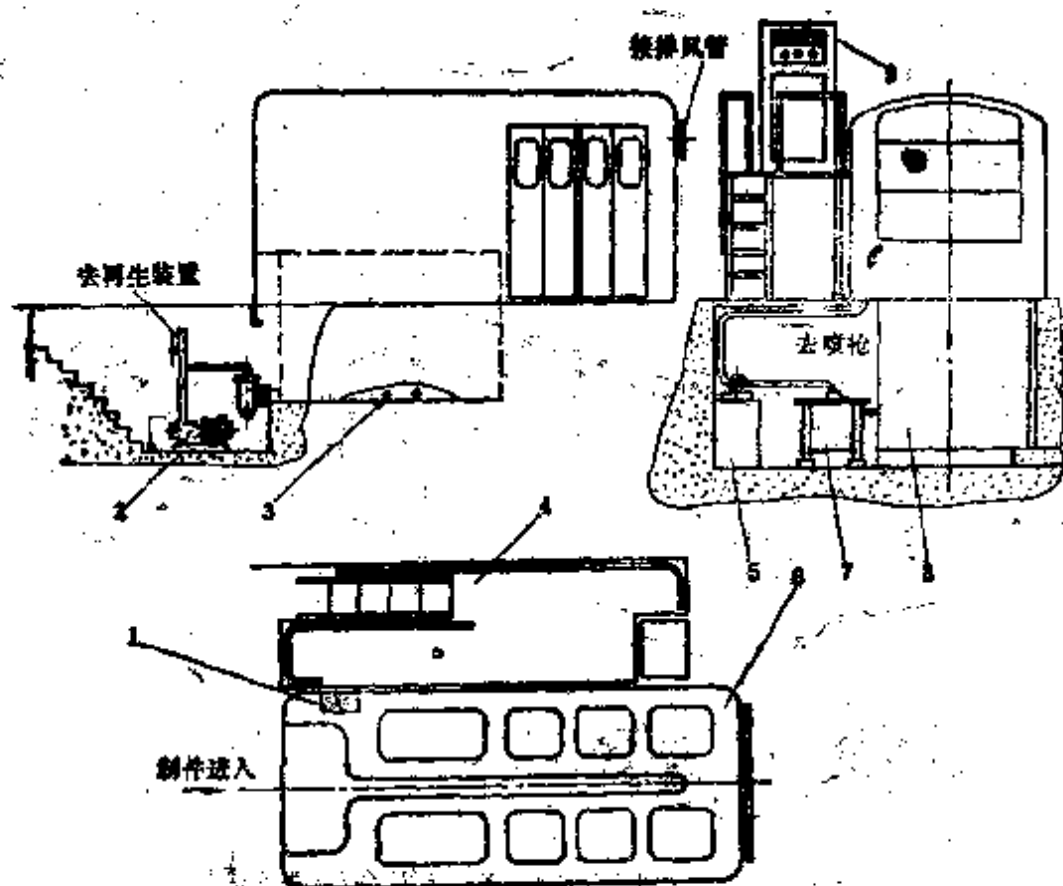


图4-27 气相清洗与气-喷组合清洗装置

1—电器控制板 2—清洗液排出泵 3—加热器 4—操作台 5—喷洗用泵
6—柜形排风管 7—贮液箱 8—气相清洗槽 9—配电箱

气相清洗时需要采用起重运输设备。气相清洗完成后紧接手工操作喷洗。清洗液采用三氯乙烯时,每次加入为1.7~2.0t。此种大型气-喷组合清洗装置的开口面积大,清洗液蒸汽不易控制。由于液相区容积大,采用蒸汽加热,清洗液使用温度控制亦颇为不易的。

5 超声波清洗装置的设计与选用

5.1 超声波清洗槽设计

超声波发生器、换能器和超声波清洗槽是超声波清洗装

置的三大组成部分。国内超声波清洗装置已有系列产品，按照其功率分类已有：500W、1000W、2kW和4kW4种。由于工件形状和生产率要求的多种多样，加上工件清洗时所用吊具的灵活多变，超声波清洗装置系列产品中超声波清洗槽往往不能满足生产需要，而不得不在使用时根据工件具体要求进行设计，或对已有类似清洗槽进行改进。

超声波清洗槽类似一个容器，内盛清洗液及悬挂于其中的工件。常用清洗槽是在槽的底部直接安置换能器，将槽底作为超声振动辐射板。无论在清洗槽底所安置的换能器为压电式或磁致伸缩式，其安置与组合的形式是相似的。如图4-28和图4-29所示。

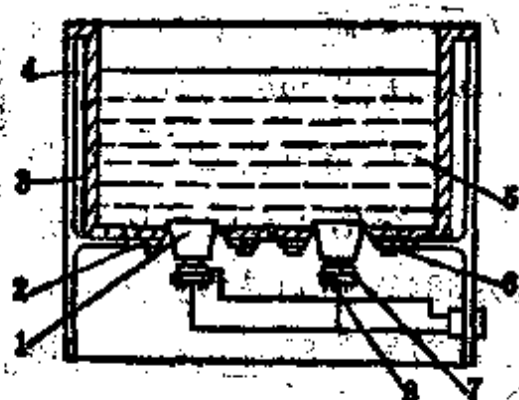


图4-28 压电式换能器及清洗槽示意图

1—耦合块 2、6—紧固装置
3—清洗槽 4—机架 5—清洗液
7—反射块 8—压电陶瓷

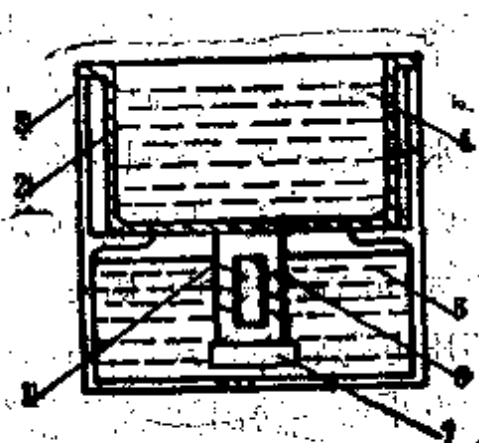


图4-29 磁致伸缩换能器及清洗槽示意图

1—感应线圈 2—清洗槽 3—机架
4—清洗液 5—冷却液
6—磁致伸缩换能器 7—吸收块

对于大型超声波清洗槽则需要槽底设置匹配板，而换能器连接在匹配板上。以匹配板作为超声振动辐射板改善清洗槽内超声场分布，力求各处均匀。超声波清洗槽内各处声

场均匀是其性能的主要评价指标之一。

确定超声波清洗槽的有效面积有以下四项因素：工件尺寸，同时清洗工件数，工件在清洗槽内放置方式和工件所用吊具或盛具的形状、尺寸等。当工件及其吊具或盛具在清洗槽内布置确定以后，即可按照在清洗槽内的覆盖面积的2倍大小，作为超声波清洗槽的有效面积。

超声波清洗槽的有效深度根据其清洗液面确定，而其液面必须保持工件全部被淹没。但必须注意，工件任何时候不应当紧压在清洗槽底面，而应与槽底内面保持较小间距。通常超声波清洗槽内的清洗液面高度应为清洗槽有效深度的 $1/2 \sim 2/3$ 。

清洗槽内的声场性能主要依靠超声波功率保证。为取得较好的清洗效果，实际取用的超声波功率应为计算值的2倍左右。例如已知超声波清洗槽的有效面积为 $320 \times 200 \text{ mm}$ ，采用水基清洗液，按照经验数据，应选取超声波的声波强度为 0.3 W/cm^2 。据此，则清洗液产生空化所需最小功率计算值为 192 W 。由此可确定采用值为 384 W 。如果考虑压电式（即压电陶瓷夹心式）换能器的电声效率为80%左右，则超声波发生器的输出功率应不低于 500 W 。

清洗槽的设计除合理确定有效尺寸以外，还须考虑槽内声场均匀和透声性好，以及槽体特别是槽体底部应具有耐空化性和耐腐蚀性。槽内声场均匀主要取决换能器性能同一、分布均匀和匹配板设计合理。

为使超声波清洗槽具有耐腐蚀性，其制作材料多选用不锈钢，为使透声性好，传递损失减小，槽壁宜用薄板，对于中小型工件用的小槽一般取 $1 \sim 2 \text{ mm}$ ，大槽宜取 $2 \sim 4 \text{ mm}$ ，槽底要求光滑平整。超声波清洗槽槽体常用 $1\text{Cr}18\text{Ni}9\text{Ti}$ 不锈

钢薄板制备,外壳用冷轧钢板制作,机架则由钢管弯制而成。

超声波清洗槽上清洗液进出管接头须与清洗槽壁连接紧固,不使因超声波振动产生再生噪声。

5.2 换能器与超声波发生器的选用

换能器在超声波清洗装置中是将电气振荡转换为弹性机械振动(即超声波振动)的部件。按照工作原理区分,换能器有压电式和磁致伸缩式两种,连接在清洗槽底部,其结构示意图如图4-28和4-29所示。超声波清洗槽的有效面积确定后,即可根据清洗槽所需功率和换能器单位面积输入功率计算换能器数量。所选用的全部换能器在清洗槽的底部(有时需要在底部和侧壁)均匀分布。

图4-30为压电陶瓷夹心式换能器的一种结构,图中铝块3和铁块5符合电声换能设计要求,其尺寸与换能效果有

关。铝钛酸铅压电晶体4共2块,是决定换能器性能的主要构件。两个压电晶体具有极性,必须按规定方向叠合,并用多个螺钉6紧固。在两个压电晶体之间有镍箔制成的电极2,焊片1为换能器的另一个电极。换能器选用后,在安装和使用过程中不宜拆开,拆开后将难装配修复为原有性能,即使螺钉的拧紧程度,也即是所用拧

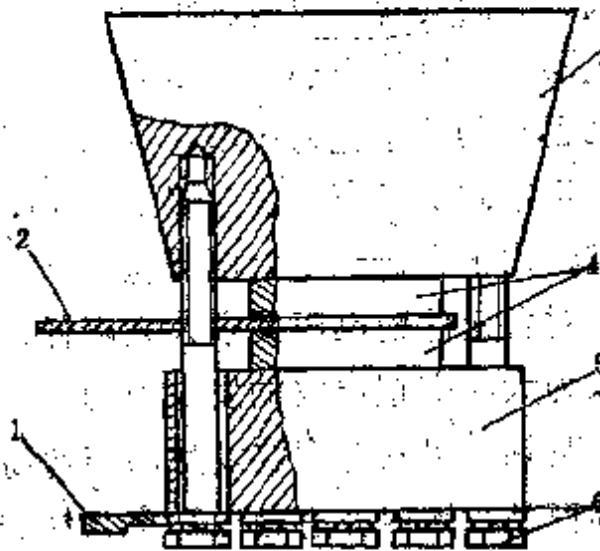


图4-30 压电陶瓷夹心式换能器结构

- 1—焊片 2—镍制电极 3—铝块
4—铝钛酸铅压电晶体 5—铁块
6—螺栓

紧力大小也直接影响换能器的性能,或造成与所选用的其余

换能器的不均衡。

压电陶瓷夹心式和磁致伸缩式两种换能器国内都有系列产品供应。在检修、调换换能器时，应注意各个换能器的固有频率一致，固有频率相差在 $\pm 0.1\%$ 范围内，使在同一频率下有较高的转换效率；同时阻抗值大小亦应接近，使各个换能器负荷均匀。

换能器的主要技术经济指标是，可靠性、功率容量、耦合系数、工作温度和可焊性。

超声波发生器是换能器的功率源，有电子管式、晶体管式、硅可控管式和高频发电机式4种。前3种超声波发生器的功率多数在2 kW以下，国内已有多种系列产品。

电子管式超声波发生器为电子管振荡放大的混合式电路，国内有多种定型产品，日益为晶体管式超声波发生器所取代。国内的超声波清洗机的主要功率源为晶体管式超声波发生器，具有体积小、重量轻、性能稳定等优点，国内仅限于几百瓦到几千瓦的小型超声功率源。

可控硅式超声波发生器主要由整流、逆变、触发等部分组成，由于在低电压大电流状态下运行，可不用电源变压器，对各元件耐电压要求大大降低，适用于低频大功率应用，为大功率超声波的发展方向。

高频电机式超声波发生器结构简单操作方便，国外已有系列商品。国内亦有输出功率为30 kW的产品，尚处于试用阶段。

超声波清洗装置的大型化是其主要发展方向，但并非以大功率超声波发生器为唯一条件，因其可以将多台中小功率超声波发生器组合使用，代替大功率超声波发生器，例如，利用3台2 kW的超声波发生器组合起来向狭长型的大型超声

波清洗槽提供功率源, 实现磨床花键轴的超声波清洗; 又如将 2 台 5 kW 超声波发生器组合起来作为小型柴油机机体的超声波清洗装置的超声功率源, 经生产实践表明是行之有效的。

国内市场供应的超声波清洗装置系列产品, 其超声波频率均为 17~21 kHz。仍处于可听阈附近, 噪声影响明显。部分超声波清洗装置在生产现场实测表明, 其噪声级为 88~96 dB (A), 超过《工业企业噪声卫生标准 (暂行)》的规定。为此, 在清洗作业场所必须对超声波清洗装置采取噪声治理措施, 如采用隔声罩、声屏障或建筑物隔间封闭等。但降低超声波清洗装置的噪声的主要途径在于提高超声波频率, 如近年国内生产的 CQ-50 和 CQ-250 两种超声波清洗装置, 其超声波频率为 33 kHz, 经实测噪声级仅 75 dB (A)。此种超声波清洗装置系将超声波发生器与超声波清洗槽合为一体安装, 其电功率为 250 W, 安装功率为 340 W, 清洗槽内部尺寸为 375×175×120 mm。

国外超声波清洗发展趋向是将多个超声波清洗槽组合, 实现多步清洗, 工件经多步超声波清洗后可达到很高的清洁度, 而工件在各个超声波清洗槽的升降及其工序间传送, 由电脑控制, 并与工件传送装置配套, 形成超声波多步清洗生产线, 并可组合成为单元化的成套装置供应。

5.3 超声波清洗装置

5.3.1 微型工件半自动超声波清洗机

图 4-31 为微型工件半自动超声波清洗机, 供电子器件、钟表零件、光学零件进行高清洁度清洗, 并实现半自动化, 生产率高, 占地面积少。清洗作业过程中, 除上下料手工操作外, 进液、清洗、放液和烘干均为自动。

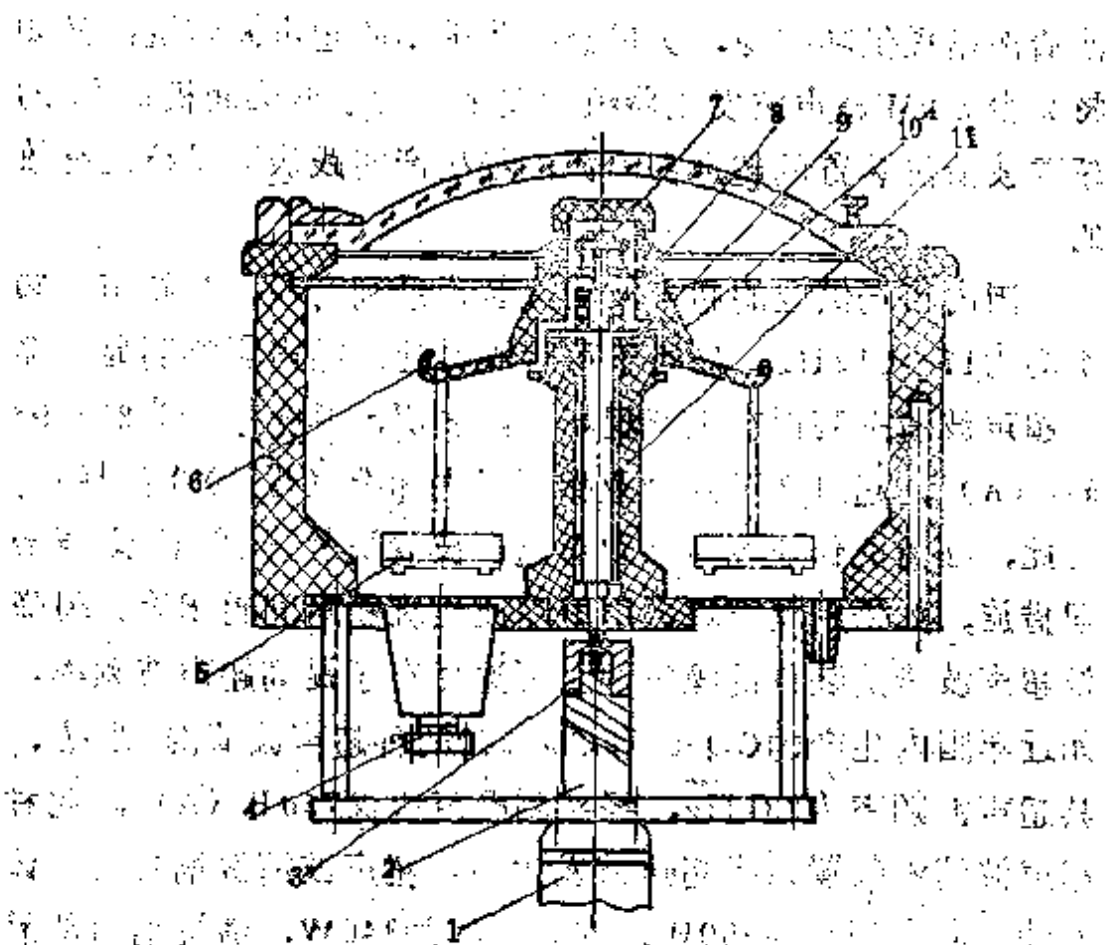


图4-31 微型工件半自动超声波清洗机

1—单相电容电机 2—联接轴 3—联轴节 4—换能器 5—吊篮 6—转架
7—调节螺钉 8—弹簧 9—摩擦片 10—套环 11—转轴

半自动清洗机的吊篮5供放置微型工件，一次可盛放多个微型工件。吊篮挂在离心转架6上，当清洗液进入超声波清洗槽后即可开始清洗。微型工件置于吊篮内经超声波清洗完成后，放掉清洗液，随后进行离心甩干。由单相电容电机1通过联接轴2和联轴节3带动转轴11转动，使吊篮旋转，工件在吊篮内甩干。图中摩擦片9的作用是使转架6起动和停止时保持渐变过程，防止离心甩干时受冲击，避免微形工件受损伤。

5.3.2 多步超声波清洗生产线

多步清洗生产线设计一般须注意解决以下三个方面的问题，并配置相应的机构或辅助部分以保证实施。

(1) 工件与清洗液充分接触 为使工件与清洗液充分接触，主要是工件在传送过程中与清洗液接触时，能同时兼有缓慢旋转、摆动、翻转等运动。如利用凸轮机构使工件的吊具、盛具在直线传送时兼有上下翻转、摆动的动作，不断改变工件位置，以增强与清洗液的接触。

(2) 清洗液须配置过滤装置，循环使用

多步清洗生产线系应用于连续式生产，从工件表面清洗下来的油脂量多，必须分离、过滤，不使以后工件污染，影响工件的清洁度。要求在多步清洗生产线上设置分离器、过滤器和清洗液循环系统。

常用油水分离器是利用油水重力分离而排油，或是利用撇油器集油。配置的过滤器有网式过滤器、线隙式过滤器等。滤芯材料有矿物滤布、陶瓷材料、金属环隔板等。为使清洗液内较细颗粒杂质固体份过滤清除，可配置微孔套管过滤器。

为及时更换清洗生产线上连续使用的清洗液，过滤器须配置发讯器，即当清洗液内油污杂质严重时，过滤器阻力增加，发讯器动作，以示过滤器滤芯材料和清洗液需更换。

清洗液循环的动力源常用水泵或油泵，选用时需仔细核算过滤器和管道的阻力损失，并保证喷嘴出口有较长的密实段，然后确定压头和流量，使清洗液的输送、循环稳定。

(3) 合理采用顺序控制

多步清洗生产线中工件传送装置的基本动作为前进、后

退、上升和下降，其动作顺序是固定的。因此所采用的顺序控制要求简易可靠。用作指令信号的撞块，其位置要求可调的，行程开关要求采用微型结构，如干簧继电器即是一种。其接点的通断速度比一般电磁继电器快，而且体积小，重量轻，一般可在同一个信号点安装两个并联干簧管，以保证控制系统的可靠性。

多步清洗生产线的结构型式有直进式和回转式两种，都是供连续式生产中使用，组成强制节奏的连续式生产。直线式多步清洗生产线所配置的自动传送装置，常用的有悬挂链式、履带式、板式、液压步进式等。回转式多步清洗生产线常用自动传送装置主要是回转台式传送器。

图4-32是柴油机油泵油嘴多步清洗生产线，主要采用超声波清洗，清洗后可达到很高清洁度，进入装配。

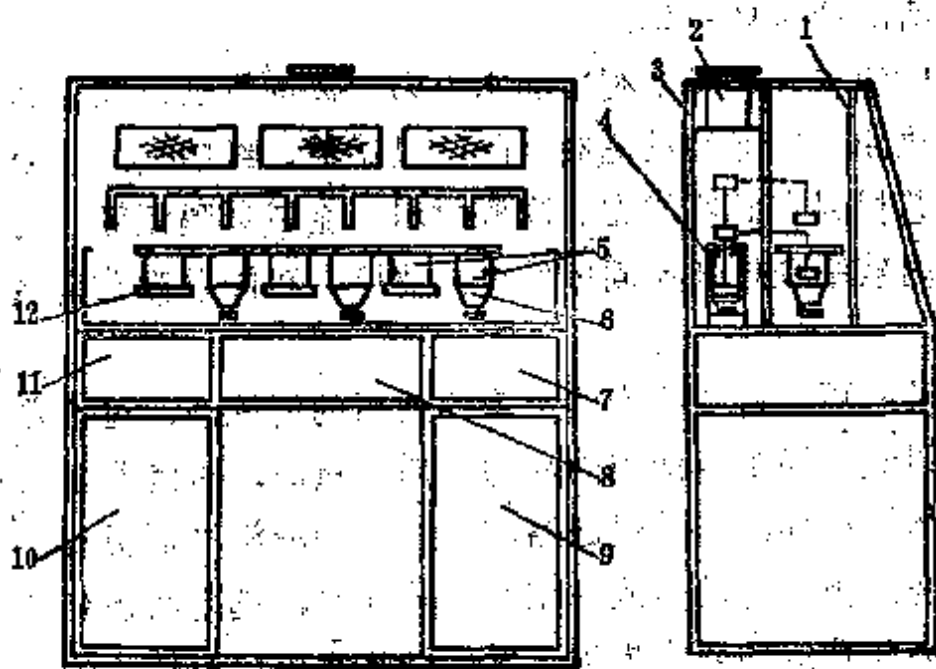


图4-32 直进式多步清洗生产线示意图

- 1—密封柜 2—非风管 3—机架 4—液压步进系统 5—清洗槽 6—换能器 7—下料架 8—操作板 9—超声波发生器 10—电器控制箱
11—上料架 12—加热器

图4-33是机床花键轴等工件的多步清洗生产线，主要采用超声波清洗。工件经多步清洗后达到高清洁度，保证装配质量。

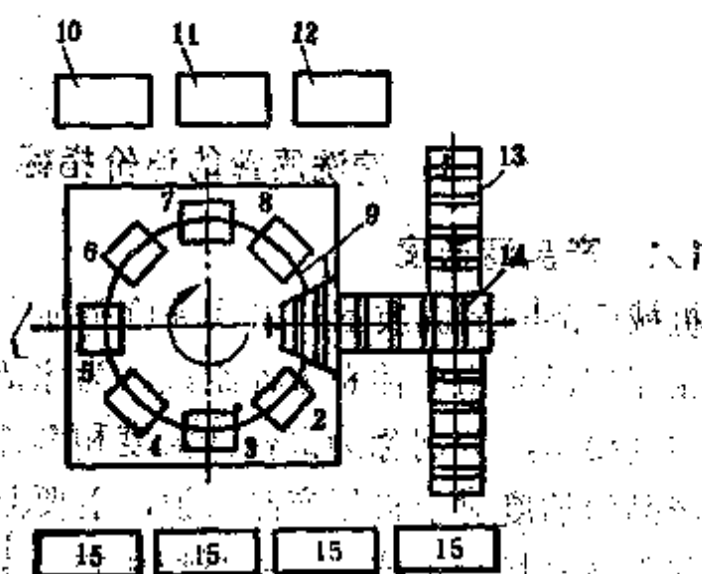


图4-33 回转式多步清洗生产线示意图

1—上下料工位 2~8—各种清洗槽 9—回转式传送器 10—料盘架提升箱 11—配液箱 12—输送轨道油箱 13—提升轨道 14—输送轨道 15—超声波发生器

第三章 清洗方法及其应用

1 清洗方法的选择

清洗方法是清洗技术的三要素之一,应与清洗液相协调、配套。方法一经选定,设备的类型和主要结构的要求亦相应确定。

工件表面上的油脂、污垢和粘附的机械杂质种类繁多,其物理、化学特性及其与工件表面的附着程度有所不同,为了加速去除,在清洗液确定以后,清洗方法是有选择性和适用性的。

清洗方法的选择与以下各项因素有关:

(1) 与清洗方法协调、配套的清洗液的使用要求有关,如氟代烃类溶剂用作清洗液要求采用气相清洗方法,其清洗力最高;又如多泡沫的水基清洗液不适宜采用喷洗等;

(2) 与工件的尺寸大小、重量与材料有关。大型箱体、机座不适宜用浸洗和超声波清洗;

(3) 工件的批量大小;

(4) 清洗作业场所的劳动安全要求等。

机械工厂常用清洗方法有:擦洗;常压喷洗;高压喷洗清洗;电解清洗;气相清洗;超声波清洗和多步清洗。现将以上各种清洗方法宜配用的清洗液、清洗作业的主要特点、适用性和提高清洗生产率的途径等列述于表3.1。

表3-1 常用清洗方法应用特点

清洗方法	配用清洗液	主要特点	适用性	提高生产率的途径
擦 洗	煤油、柴油、汽油、二甲苯、酒精、丙酮、常温水基清洗液	手工操作简易，设备简单 配置合适的清洗设备亦可实现高效率清洗	(1) 小批生产中的中小工件 (2) 大型工件的局部清洗 (3) 严重污垢工件的头道清洗	配置多轴刷轮，和传送装置可对轴承套圈实现半自动擦洗
浸 洗	常见的各种清洗液	设备简易 清洗作用主要依靠清洗液，清洗时间较长	(1) 轻度油脂污垢的工件 (2) 批量大，形状复杂的工件	配置传送装置，一边传送，一边清洗，传送中兼有摇晃，可提高清洗效果
电 解 清 洗	碱液 水基清洗液	清洗质量优于浸洗 清洗液要有一定导电度，须配置电源装置	(1) 大批、中批生产小型工件 (2) 清洗质量要求较高的工件	同浸洗
喷 洗	除多泡沫的水基清洗液外，其余常用的清洗液	工件与喷嘴应有相对运动，设备较复杂 生产率高 须配置传送和起重装置	(1) 大批、中批生产形状不复杂的工件 (2) 半固态污垢与一般的固态污垢均能清除	配置上下料装置很易实现自动清洗
气 相 清 洗	三氯乙烯 三氯乙烷 三氯三氟乙烷等	清洗效果好，工件表面清洁度高，设备复杂，须配置加热、冷凝装置 劳动安全和管理要求严格	(1) 清洁度要求高的工件 (2) 成批生产中的中小工件	须配置热工监测和控制系统，防止清洗液的蒸气散逸 保证劳动安全，稳定生产，就能提高劳动生产率

(续)

清洗方法	配用清洗液	主要特点	适用性	提高生产率的途径
高压喷射清洗	清水, 碱液, 水基清洗液	能去除严重油污, 包括固态污垢 工作压力一般 7MPa 以上, 可达 20~30MPa 手工操作或机械作业	(1) 油污严重的大型工件 (2) 中小型生产的中型工件, 油污较严重者	配置多头喷嘴或多喷嘴或可动喷嘴, 可提高生产率 提高喷嘴耐磨性, 减少喷嘴更换时间, 可提高生产率
超声波清洗	常用的多种清洗液均可配用	工件清洗效果好, 工件表面清洁度高, 设备复杂, 维护管理要求高 工件一般须先经清洗, 再用超声波清洗	(1) 清洁度要求高的中小工件 (2) 成批生产中清洁度要求高的微型工件	配置上下料装置, 容易实现自动清洗, 提高生产率
多步清洗	各步清洗所配清洗液, 根据工艺需要和清洗方法配置	一般将浸洗、喷洗、气相清洗和超声波清洗互相组合, 以得到清洗质量高、生产率高的工件	(1) 中批和大批生产的中小工件 (2) 清洁度要求高的成批生产的中小型和微型工件	多步清洗本身已属于清洗生产线型式, 改进控制系统, 自动化程度提高, 可进一步提高生产率

2 高压喷射清洗

2.1 高压喷射清洗的适用性与工作原理

高压喷射清洗是一种高效率的清洗方法。适宜供大型容器、机座、箱体、换热器等形状复杂的工件的内外表面的清洗, 可清洗工件表面的液态油脂和固态污垢。一般多用间歇式生产中, 也可应用于连续式生产。

高压喷射清洗所配用的清洗液有：清水、热水和水基清洗液。

高压喷射清洗成套装置的组成有：高压柱塞泵、高压管路系统、喷嘴、过滤器、高压调整器和加热器等。根据所清洗的工件的尺寸、重量和成批性，高压喷射清洗成套装置可作成固定式或移动式两种类型。

高压喷射清洗的工作原理是通过高压柱塞泵将清洗液压送至喷嘴，在出口处形成射流，产生很高速度；利用高速射流喷射于工件表面形成冲击、冲蚀、疲劳和气蚀等多种作用，清除在表面的油脂、污垢、旧漆、薄锈等，使达到所要求的清洁度。

清洗液从喷嘴出口形成的射流由三部分组成，即初始段基本段和离散段，如图 3-1 所示。

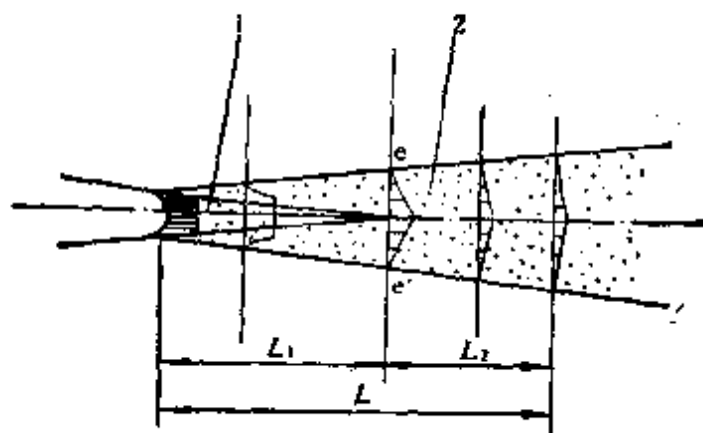


图3-1 射流结构示意图

L_1 —初始段 L_2 —基本段与离散段 1—等速核心 2—边界层

射流一出喷嘴，其表面即被破坏成大块水片，并开始与空气混杂。射流不变成为圆柱段，仅由等速核心 1 和外部边界层 2 组成。随着射流向前移动，由于粘性作用，使射流直径逐渐增大。由于周围液流的滞流作用，等速核心向前流动时不断变细，直至过渡断面 $e-e'$ 后完全消失，初始段结

束。过渡断面 $e-e'$ 后即为基础段和离散段。由于作用在射流上的重力、空气阻力和射流的波动性质以及紊流性等等影响，射流发生了分散，所以离散段是由分散的水滴所组成。

在高压喷射清洗中，随压力增加，射流扩散程度增加，初始段随之缩短。当压力大于 $12\sim 15\text{MPa}$ ($120\sim 150\text{kgf/cm}^2$) 后，射流的几何形状实际不变。

当喷射射流呈倾斜位置时，初始段水柱的末端将描绘出一条 $ABCD$ 的轨迹，离散部分的终端将近似地描绘出轨迹 $A'B'C'$ 。以 $ABCD$ 曲线为限的区域，为射流的初始段区域，曲线 $ABCD$ 与 $A'B'C'$ 之间的区域为射流的基础段和离散段的区域，如图 3-2 所示。

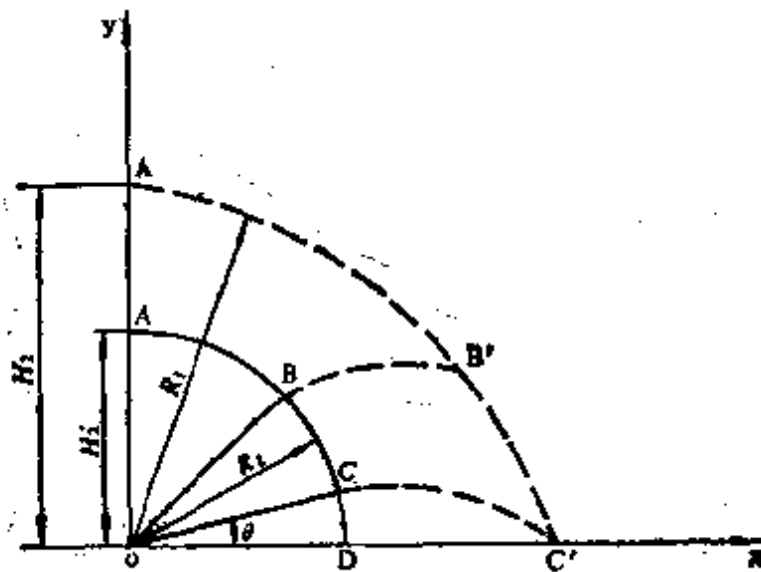


图3-2 倾斜射流的流程图

在不同倾斜角 θ 下的射程为：

$$R_1 = f_1 H_2$$

$$R_2 = f H'_1$$

式中 R_1 ——射流离散段的射程，m

R_2 ——射流初始段的射程, m

H_2 ——射流离散段实际垂直高度, m

H'_2 ——射流初始段实际垂直高度, m

f ——与射流倾斜角有关的系数, 见表 3-2

表3-2 系数 f 值

与射流的倾斜角	0	15	30	45	60	75	90
f	1.4	1.3	1.2	1.12	1.07	1.03	1.0

高压喷射清洗时, 喷嘴与工件的间距应在射流初始段射程的50%以内。使用中常取300~600mm。

2.2 高压喷射清洗的工艺参数选择

高压喷射清洗的两个最主要工艺参数是压力和流量。所需功率即由此两项工艺参数确定, 计算公式如下:

$$N = P Q$$

式中 N ——高压喷射清洗所需功率, W

P ——清洗系统的工作压力, Pa

Q ——流量, m^3/s

由上述可知, 适当提高工作压力, 能够获得轻巧和紧凑的结构, 因此, 高压喷射清洗的发展趋向是提高工作压力。但是, 随着工作压力提高, 喷嘴、管体的性能也相当提高, 密封件的质量要求提高, 成本相应增加。还有, 工作压力提高, 射流到工件表面有可能反弹回去, 对高压喷射清洗产生干扰, 甚至使清洗液雾化, 降低清洗效果。常用工作压力宜取5~10MPa。大型工件的高效率清洗, 其工作压力宜为21.6~44.1MPa, 国外高压喷射清洗的工作压力已有提高到68.6MPa的, 如用于机车车辆外表面清洗等。

喷嘴出口处的横断面积应尽可能保证射流在喷嘴通道内稳定流动, 喷嘴直径按下式计算:

$$d > \frac{Re\nu}{V}$$

式中 d ——喷嘴出口处直径, m

Re ——雷诺数

ν ——清洗液的运动粘度, 按清水的运动粘度取为

$$\nu = 10^{-10}, \text{ m}^2/\text{s}$$

V ——流速, m/s

用于一般工件清洗时, 喷嘴出口处直径常取 1 ~ 4 mm, 当清洗液循环使用时, 宜选取较大数值。

喷嘴出口处流速是根据高压喷射清洗系统中工作压力计算:

$$V = \Psi \sqrt{2gP_e/\gamma}$$

式中 Ψ ——流速系数

γ ——清洗液重度, N/m³

g ——重力加速度, 取 9.81, m/s²

P_e ——喷嘴出口处压力, Pa

$$P_e = P_s - \Delta P$$

ΔP ——高压喷射清洗系统中压力损失 (bar)

关于各个喷嘴的流量复核, 可按下式校对:

$$Q = n\mu F\sqrt{2gP_e/\gamma}$$

式中 n ——喷嘴数

μ ——流量系数

F ——喷嘴出口处横断面积, m²

喷嘴数量决定于所清洗工件的外形尺寸和复杂程度, 以

及喷嘴的布置及工件往复移动的范围。当所清洗工件能够往复移动的, 喷嘴数可较少, 如采用10~20个; 当工件固定不能移动时, 喷嘴数增多, 可增至15~30个。对于手持式高压喷射清洗机, 其喷嘴数常为1个。

2.3 喷嘴的类型及选择

高压喷射清洗中的喷嘴是将高压而流速较低的液流转化为低压而流速很高的射流。喷嘴性能直接影响射流水力性能和工件的清洗质量。为射流出口尽可能减少紊流和横向水流, 喷嘴应有合适的内腔锥角, 并保证进口光滑过渡。喷嘴的材质应耐磨、耐用。

高压喷射清洗中常用喷嘴有三种类型: 收敛圆锥形喷嘴、流线形喷嘴和流线圆锥形喷嘴。

收敛圆锥形喷嘴能形成较长的射流密实段和具有最大的冲击力, 同时有改善出口流速分布和减少射流紊流。

这种类型喷嘴的结构如图3-3所示。主要的结构参数是: 喷嘴直径 d , 圆柱形短管 l 和内腔锥角。

内腔锥角宜取 $13^\circ \sim 14^\circ$ 。内腔锥角适宜能使射流的密实段

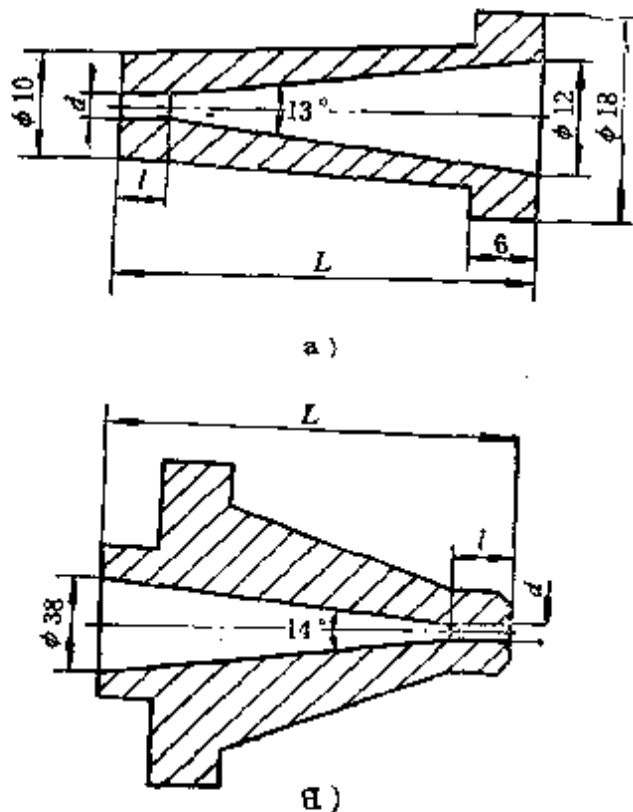


图3-3 收敛圆锥形喷嘴结构

a) $d = 1 \sim 4 \text{ mm}$ b) $d = 5 \sim 8 \text{ mm}$

较长,从而使喷嘴获得较大射程和冲击力。

喷嘴直径一般常取 $1 \sim 4 \text{ mm}$ 。

圆柱形短管的长度增加虽然水力损失增加,但可减少紊流。圆柱形短管的长度随喷嘴直径而异,并相应确定喷嘴的总长度,三者的参考尺寸见表 3-3 和表 3-4。

表3-3 小直径喷嘴的主要结构尺寸

喷嘴出口直径 d , mm	圆柱形短管长度 l , mm	喷嘴总长度 L , mm
1.0	2.5	50.8
1.5	2.75	49.85
2.0	5	48.9
2.7	6.75	47.55
4.0	10	45.12

表3-4 大直径喷嘴的主要结构尺寸

喷嘴出口直径 d , mm	圆柱形短管长度 l , mm	喷嘴总长度 L , mm
5	20	154.5
6	24	154.08
7	28	154
8	32	153.95

流线形喷嘴的结构特点是为了使水流平顺以减少水流冲击损失。

流线圆锥形喷嘴是综合上述两种喷嘴的优点,以减小喷嘴的能量损失,流量系数大,因此射流具有最大的动能。

制造喷嘴的材料常用优质钢或合金钢。对于使用不频繁的喷嘴亦可用铜制造,取其易于加工,较易达到表面粗糙度要求。

喷嘴内腔的表面粗糙度要求达到 R_a 值为 $0.2 \mu\text{m}$, R_z 、 R_v ,

值为 $1.6\mu\text{m}$ ，才有助于达到较长的密实射流。喷嘴内腔的表面粗糙度在使用过程中应妥加保护，一旦内腔出现划痕，射流条件将变坏。

2.4 防止形成和消除梳状漏喷

无论高压喷射清洗装置是往复式还是旋转式，都有可能出现梳状漏喷现象，出现如图3-4所示的那样局部未清洗干净的死区。此种梳状漏喷的形成是由于高压喷射清洗装置的往复运动速度与距离受到限制的缘故。

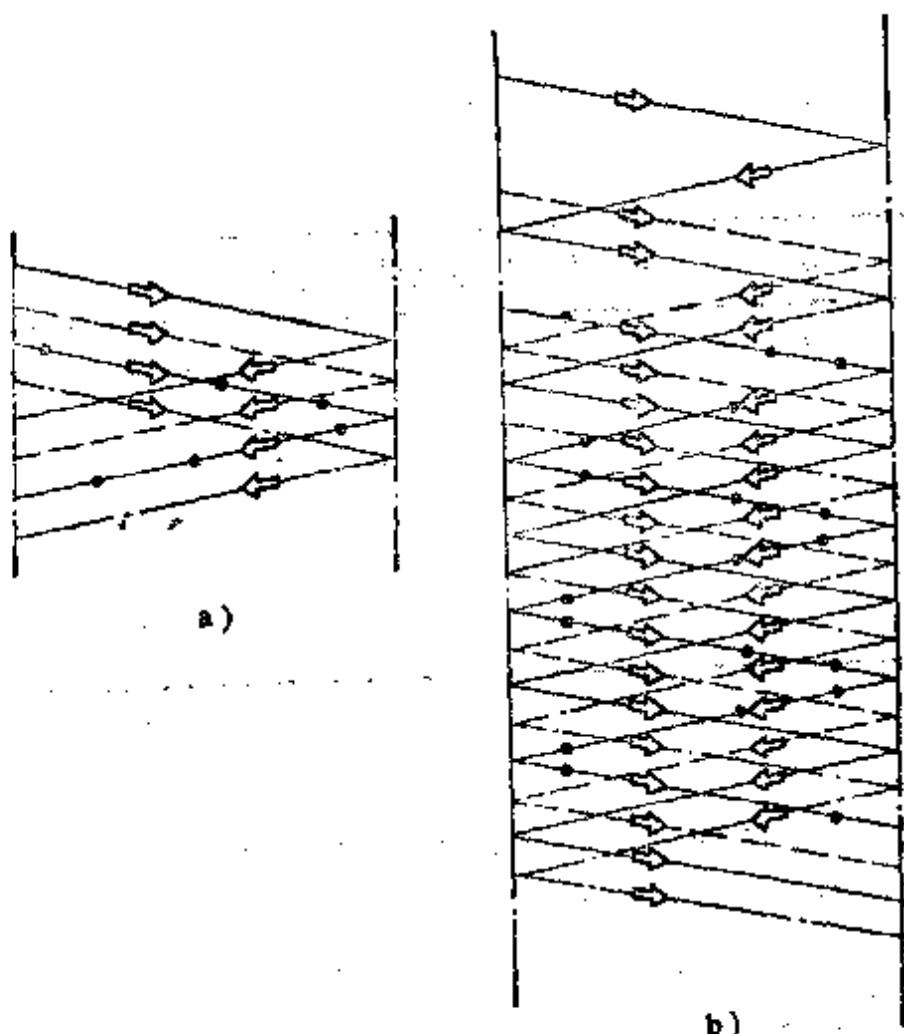


图3-4 往复式高压喷射清洗装置的梳状漏喷现象

a) $S > d$ 时 b) $S < d$ 时

高压喷射清洗装置往复一次上升或下降的距离 D 与喷嘴个数 n 和喷嘴出口射流密实段的直径 d 之间的关系式应为:

$$D = n d \text{ (mm)}$$

同时, 升降速度与往复速度之间的关系应满足下式:

$$\frac{D}{V_z} = \frac{D_H}{V_H}$$

式中 V_z ——高压喷射清洗装置的升降速度, mm/s

V_H ——高压喷射清洗装置的往复速度, m/s

D_H ——高压喷射清洗装置的往复距离, m

如果喷嘴在高压喷射清洗装置的安装距离 s 等于喷嘴出口喷射密实段直径 d , 则清洗装置往返一次上升或下降距离满足 $D = nd$ 式; 而清洗装置的升降速度与往复速度之间关系

式满足 $\frac{D}{V_z} = \frac{D_H}{V_H}$ 。因此当 $s = (n-1)d$ 时, 即仅开头一段

距离内出现少量局部未除去油脂污垢的死区。

同样, 对于旋转式高压喷射清洗装置, 其旋转一周上升或下降的距离, 同样取决于喷嘴数和喷嘴出口射流密实段直径大小, 如图3.5所示。其间的关系式同样应满足 $D = nd$, 而

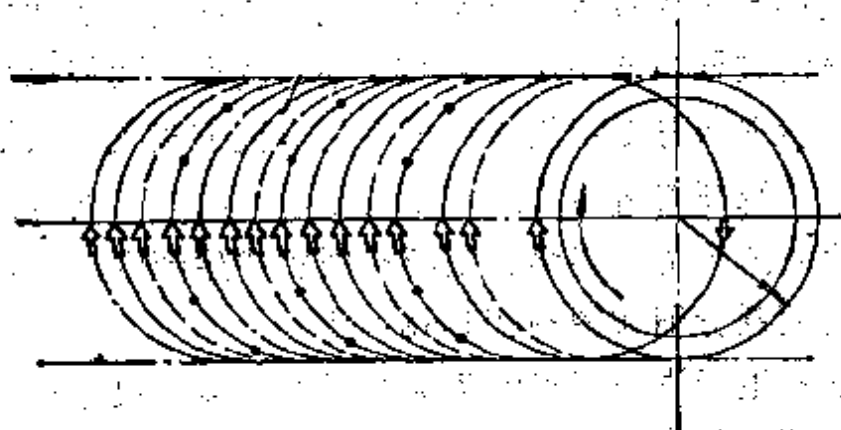


图3-5 旋转式高压喷射清洗装置的梳状漏喷现象

清洗装置升降速度与旋转速度的关系式应满足下式:

$$\frac{D}{V_z} = \frac{C}{V_c}$$

式中 $C = 2\pi R$ ——清洗装置旋转一圈的周长, m

V_c ——清洗装置旋转线速度, m/s

R ——喷嘴距离旋转中心的平均距离, m

3 气相清洗及其组合清洗

3.1 气相清洗及其组合清洗的特点

以三氯乙烯为代表的氯代烃类溶剂用作清洗液时, 主要是气相清洗, 或以气相清洗为主的喷、浸组合清洗。按照工件批量大小, 可分别组织连续式生产或间歇式生产。

3.1.1 气相清洗

以三氯乙烯为清洗液时, 经加热变为蒸汽形成气相区, 工件在此区内, 粘附在其表面的油脂被蒸气溶解、冲洗、当蒸气被冷凝时, 连同油脂、污垢落回槽体内变为清洗液。随后再经加热又气化为蒸气与工件接触, 如此循环作业。所以气相清洗中与工件接触的清洗液蒸气是干净的, 因此能克服浸洗和喷洗过程中清洗液不断被污染的缺点, 而能保持与工件接触的清洗液总是经气化后干净的清洗液蒸气, 从而使工件表面获得较高的清洁度。这是气相清洗的突出优点。

气相清洗应用于连续式生产和间歇式生产中, 所常用的气相清洗装置分别如图3-6和图3-7所示。

间歇式生产清洗装置中清洗的工件类型、尺寸和质量比较复杂, 不能象连续式生产中清洗的工件比较固定。在间歇式生产中常有工件的高度尺寸超过气相清洗装置的冷凝管位

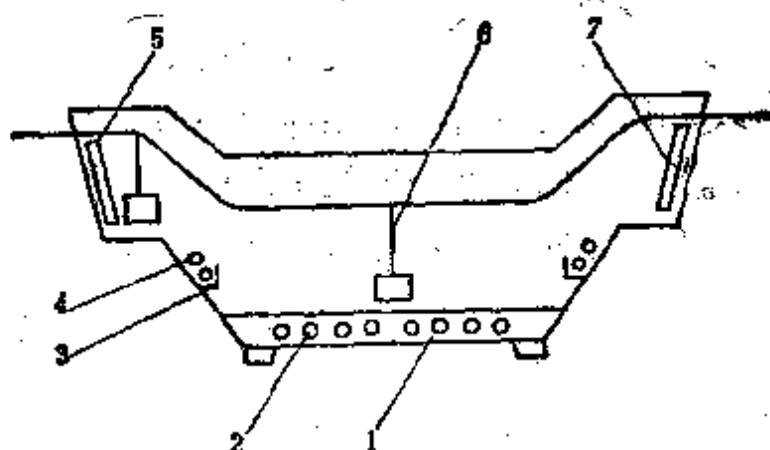


图3-6 连续式气相清洗装置示意图

1—槽体 2—加热器 3—储液槽 4—冷凝管 5—传送装置
6—工件 7—排风口

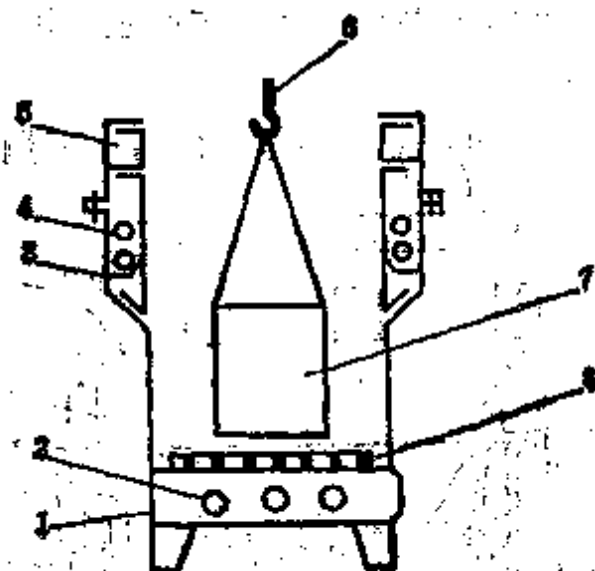


图3-7 间歇式气相清洗装置示意图

1—槽体 2—加热器 3—储液槽 4—冷凝管 5—排风管
6—起重设备吊钩 7—工件 8—密封盖

置，须注意在此种情况下，一般仍能够进行正常的气相清洗。主要措施是暂时关闭冷凝管的冷却水的进口阀门，待清洗液蒸气界面升高到工件的高度以上，再给冷却水，这样就

可以将较高大的工件置于气相区域内，进行气相清洗。

以三氯乙烯为代表的氯代烃类溶剂用作清洗液，溶脂力强，一般油类和脂类均可清洗，粘附力小的油垢也能清洗干净。适用于形状简单的大件和成批生产的中小件。工件经气相清洗后，表面残存的三氯乙烯很快挥发，不必要有工件烘干工序。

3.1.2 气-浸组合清洗

凡属形状复杂的工件，如带有深孔、凹面等部位，并且粘附陈旧性油垢，此类工件仅用气相清洗达不到清洗质量要求，而不得不采用气相组合清洗，如气-浸组合清洗，即工件先经浸洗而后再经气相清洗。图3-8所示即为连续式气-浸组合清洗装置，大型工件或间歇式生产宜用图3-9所示的气-浸组合清洗装置。

为提高气-浸组合清洗中浸洗的清洗质量，清洗液宜加热使用。

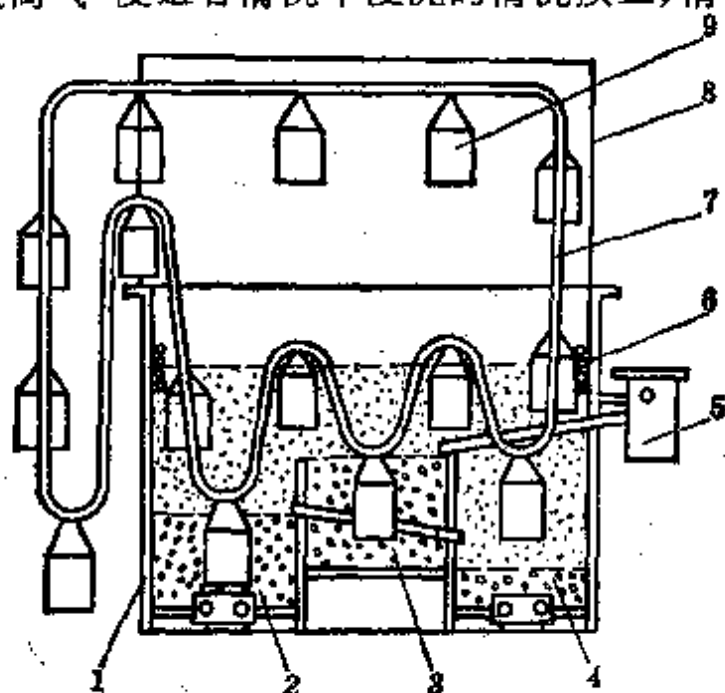


图3-8 连续式气-浸组合清洗装置示意图

- 1—槽体 2—加热浸洗槽 3—浸洗槽 4—气相清洗槽 5—水分分离器 6—冷凝管 7—传递链 8—外罩 9—工件

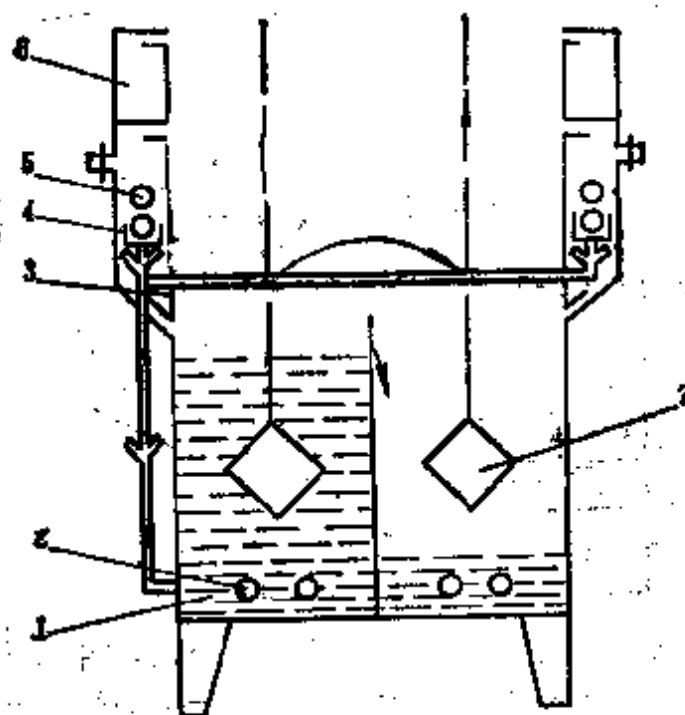


图3-9 间歇式气-浸组合清洗装置示意图

1—槽体 2—加热盘 3—护栅 4—积液罐 5—冷凝管
6—通风管 7—工件

3.1.3 气-喷组合清洗

图3-10是间歇式气-喷组合清洗装置示意图，一般工件均适宜采用，形状较复杂和粘附陈旧性油垢的工件，通过喷洗和再经气相清洗可达到较好的清洗质量。喷洗时通常以手工操作，喷洗压力宜为 $0.12 \sim 0.2 \text{ MPa}$ 。喷嘴位置宜低于气相清洗区。

图3-11为用于连续式成批生产中的气相清洗装置示意图。

气-喷组合清洗装置的组成比较复杂，日常使用维护管理要求高。

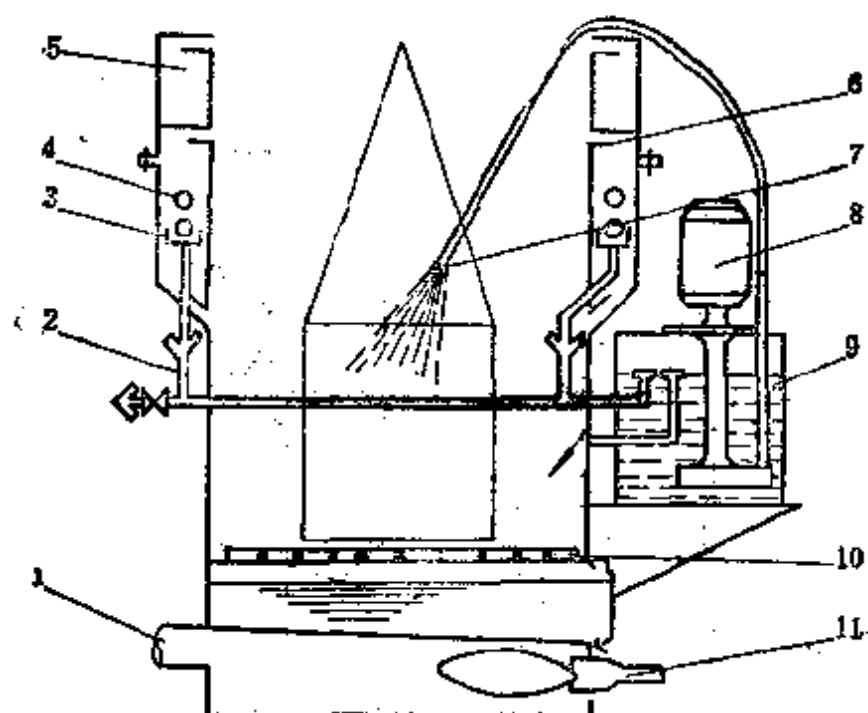


图3-10 间歇式气-喷组合清洗装置示意图

1—热源排烟道 2—导流管 3—积液槽 4—冷凝管 5—通风管
6—喷淋管 7—喷嘴 8—泵 9—泵箱 10—滤网 11—煤气加热热源

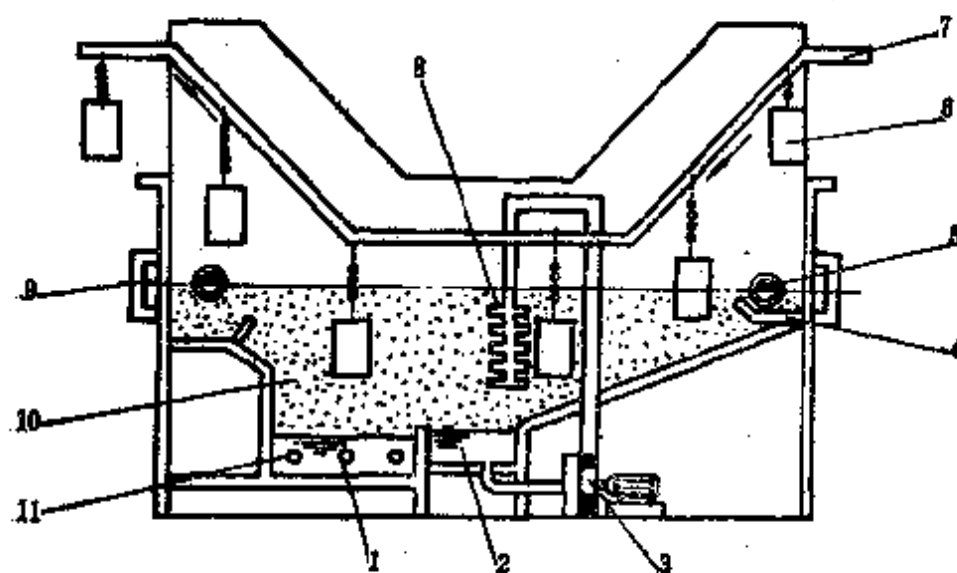


图3-11 连续式气-喷组合清洗装置示意图

1—气相清洗液槽 2—喷淋清洗液槽 3—泵 4—积液槽
5—冷凝管 6—工件 7—传送链 8—喷淋管 9—冷凝管
10—气相清洗区 11—电热元件

3.1.4 气-浸-喷组合清洗

气相清洗为主同时吸取浸洗、喷洗特点的清洗方法，保证工件达到高清洁度的要求。此种清洗方法适应性强，适用于形状复杂、表面油污严重而又属于成批生产的工件。

清洗的顺序通常是先浸洗，再喷洗，而后气相清洗。图3-12是连续式气-浸-喷组合清洗装置示意图，成批生产的小型工件用工具筐盛放，由悬挂式传送链强制传送，在规定时间内完成全部清洗。

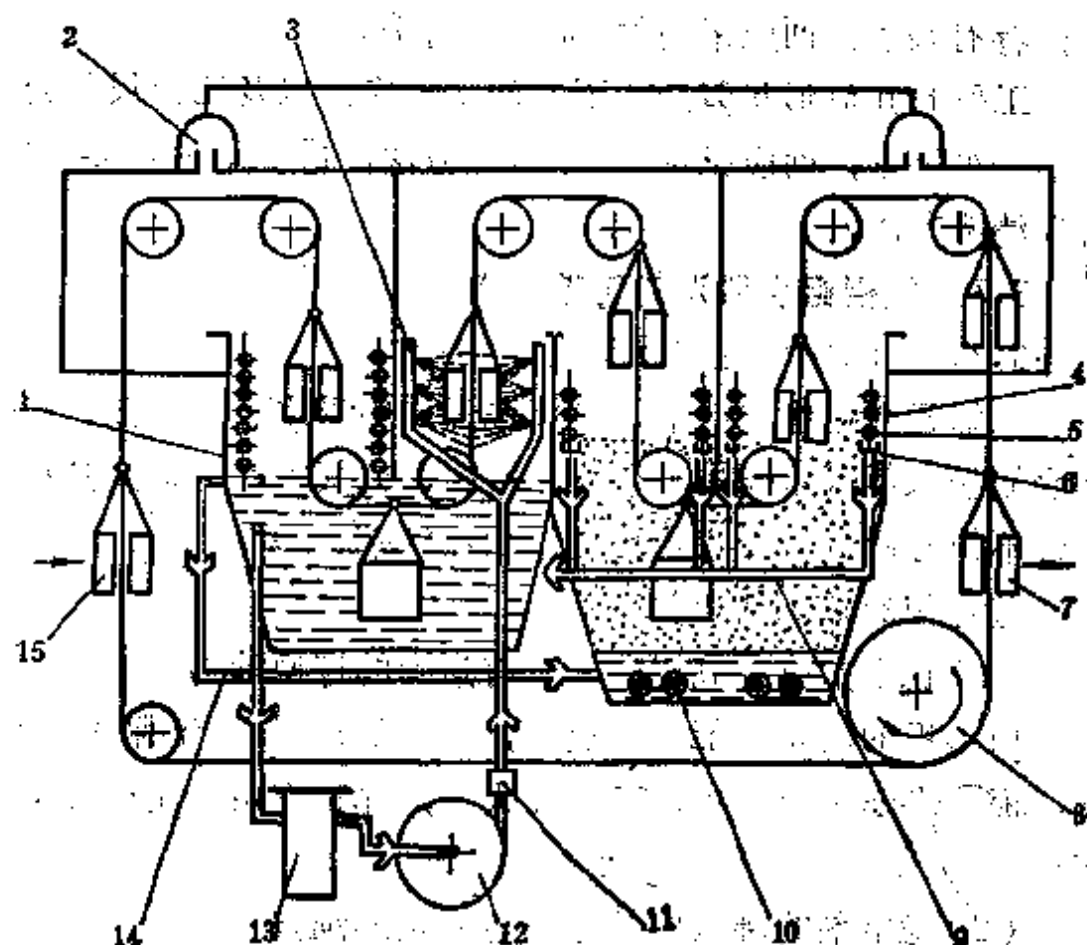


图3-12 气-浸-喷组合式清洗装置示意图

- 1—清洗液槽 2—吹风装置 3—喷管和喷嘴 4—气相清洗槽 5—冲液管
6—积液槽 7—工件下料位置 8—传送链 9—导流主清洗液槽 10—加热器
11—过滤器 12—泵 13—过滤器 14—导流至气相清洗槽
15—工件上料位置

3.2 组合清洗方法的选择

工件表面粘附固态或半固态的脂类污垢，如凡士林、石蜡、部分润滑脂等，仅采用氯代烃类溶剂为清洗液进行气相清洗时，清洗时间长，为此，宜用气-浸组合清洗。有时还必须采用气-浸组合清洗或气-喷组合清洗。以缩短清洗时间并清洗干净。

工件表面粘附光膏等污物，其中除油脂外，还有灰分和纤维质，仅用气相清洗方法一般不能完全清洗干净，在工件表面存有残渣。而应采用气-喷组合清洗。

工件的几何形状复杂，不易清洗干净，以及工件尺寸大小不一等因素，而应采用气-喷清洗方法，最好用气-浸-喷三项清洗方法。

3.3 气相组合清洗的工艺要点

3.3.1 添加稳定剂及其选择

三氯乙烯用作清洗液，在清洗过程中受水、光、热、氧和金属粉末等因素作用，分解出盐酸、光气等，为提高其稳定性不使分解，有效的措施是添加稳定剂。

稳定剂的选择要求如下：

(1) 稳定剂应与氧反应，具有适当的还原能力

所选用的稳定剂能与氧反应，对三氯乙烯即有保护作用，但反应速度要适中，若反应太慢，保护作用将削弱或消失。

(2) 稳定剂的沸点应接近三氯乙烯的沸点

组合清洗中气相清洗为主要清洗方法，最后必须经气相清洗，工件表面才能得到高清洁度，所以稳定剂的沸点应接近三氯乙烯的沸点，两者同时蒸发，以便继续在三氯乙烯蒸气状态中起稳定作用。

(3) 稳定剂应能与盐酸和光气作用

三氯乙烯生成盐酸时，稳定剂能使氢、氯离子不呈游离状态，防止工件被腐蚀。生成光气时，稳定剂应能与光气反应，消除光气危险。

(4) 稳定剂不能对三氯乙烯起破坏作用

稳定剂选择适宜与否，直接影响清洗质量，为应用工艺中值得重视的一项技术措施。

氯化烃类溶剂用作清洗液对钢铁工件进行清洗时，适用的稳定剂主要为烷氧基醛胺和缩水甘油的化合物。可供三氯乙烯用作清洗液的稳定剂有二乙胺、三乙胺、吡啶等。

常用的化学稳定剂的配方如表 3-5。

表3-5 化学稳定剂配方

配方 1		配方 2	
名 称	含 量, %	名 称	含 量, %
三乙胺	0.05	吡 啶	0.01
环氧氯丙烷	0.5	异 丁 醇	0.1
四氢呋喃	0.5	醋酸乙酯	0.02
		四氢呋喃	0.2

表中含量系以三氯乙烯清洗液总量为100%。

化学稳定剂价格贵，成本高。通过多次工艺试验，选用中药赤芍和栀子为三氯乙烯稳定剂。经生产实践表明，用3%赤芍为稳定剂清洗钢铁件和铝件，pH值在5~8范围内变动，清洗作业稳定时间可达一个半月以上。直至三氯乙烯清洗液中的含油量已较高。

中药赤芍和栀子价格便宜，来源易觅。惟需要注意，选用的赤芍的截面呈棕色的一种，微香，味苦涩，质硬而脆，

本质纤维多，而不应选择色白、味甜、木质纤维少的一种。选择合用的赤芍后，先置于35°C下烘干24小时，或在太阳光下曝晒两天，然后按添加重量法，加入三氯乙烯中使用。

3.3.2 清洗液槽体防腐蚀措施

三氯乙烯用作清洗液时，因其具有良好溶解能力，对常用钢材如碳钢有腐蚀作用。在潮湿空气中，三氯乙烯对碳钢的腐蚀速度可达 $3\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ ，因此三氯乙烯清洗槽内壁应涂复防腐蚀材料，简易而有效的措施是在内壁涂覆富锌漆。

富锌漆有多种配方，其必备组份是锌粉和水玻璃。性能较好的两种富锌漆的配方见表3-6和表3-7。

表3-6 富锌漆配方之一

组份名称	单位	用量
饱和碳酸氢钠水溶液 (NaHCO_3)	ml	1.2
饱和硼酸钠水溶液 (NaBO_2)	ml	0.9
锌 粉	g	60.6
水玻璃 (波美度为40)	g	18.4
水 (自来水或蒸馏水)	ml	5

表3-7 富锌漆配方之二

组份名称	单位	用量
锌 粉	g	450
水玻璃 (波美度为40)	g	100
铬 酸 钾	g	0.4
OP乳化剂	g	1
三聚氰胺	g	0.3
乙二醇乙醚	g	1
水 (自来水或蒸馏水)	ml	50

按上述配方用量，先将水玻璃用水调匀，稀释后加入锌粉调匀，随后依次加入饱和的碳酸氢钠水溶液和饱和的硼酸钠水溶液，徐徐滴加，搅拌调匀即可使用。

按表 3-7 所示配方的配制方法如下：

先将 0.4 g 铬酸钾置入 25 ml 水加热溶解后，加入 1 g OP 乳化剂。另外，将按组份称好的锌粉、水玻璃混合搅拌，再加入 25 ml 水搅拌均匀。接着，依次滴入 0.3 g 三聚氰胺和 1 g 乙二醇乙醚，均匀混合后即可使用。

在钢材制备的槽体上涂复富锌漆的施工工艺正确与否将明显影响防腐蚀效果，必须掌握施工工艺要点，认真操作。

富锌漆的涂复工艺要点如下：

(1) 钢材槽体表面必须严格除锈，宜用喷丸处理，达到粗糙度均匀。除锈除油干净后立即涂刷。

(2) 富锌漆应采用涂刷方法，涂层应均匀无流挂，其厚度宜为 50~60 μm 。

(3) 富锌漆成膜 1~2 日后，用 4% 磷酸酒精溶液在漆膜表面涂刷。俟酒精挥发，涂刷二道富锌漆。然后按此要求再涂刷第三道富锌漆。

(4) 第三道富锌漆涂刷后，再用酒精抹拭，俟 2~3 天完全固化即可使用。

富锌漆有很好耐腐蚀性，与三氯乙烯蒸气长期接触无损坏。与富锌漆配套的面漆材料有：氯化聚醚涂料或聚三氯乙烯涂料。

凡属与三氯乙烯接触的换热器和电加热元件的表面为提高耐腐蚀性，均宜涂覆富锌漆。

与三氯乙烯接触的换热器、喷射软管、泵轴填料等均须考虑防腐蚀。垫圈宜选用聚四氟乙烯板或尼龙等制作，喷射软

管可用聚氟乙烯塑料软管；填料宜用石墨粉。

3.3.3 使用中的安全性

三氯乙烯为代表的氯化烃类溶剂用作清洗液进行气相组合清洗时，使用中的安全性，亦可以三氯乙烯气相清洗为代表进行评价。

在氯化烃类溶剂中，三氯乙烯的毒性最大。使用中的安全要求主要是防毒要求，不需要考虑防火、防爆。

三氯乙烯为低毒溶剂。短时间吸入三氯乙烯蒸气对人体有麻醉作用，但在人体中不积存，能通过肺部排出，一般不发生意外。我国TJ36—79《工业企业设计卫生标准》规定，车间内三氯乙烯蒸气允许最高浓度为 $30\text{mg}/\text{m}^3$ 。远比西欧、美、日等国的规定严格。清洗作业场所必须设置良好的局部通风和全室通风的装置，以保证车间内符合规定。

三氯乙烯使用中必须防止发生分解，必须保持稳定性。故设置仪表监测系统及报警信号，一旦出现分解迹象或清洗装置的工作不正常，即应通过仪表监测系统切断动力源，停止清洗作业。

三氯乙烯清洗装置长期运行使用，残留油泥增多，需要清除。但清除时，必须在清洗装置内残留蒸气浓度很小时才允许进入清理。操作人员应配戴供气头盔、防护服和防护手套。同时，必须两人配合操作，一人进入清洗装置内清除油泥污垢，另一人在清洗装置外监护，防止发生意外中毒事故。

4 电 解 清 洗

4.1 电解清洗的作用机理与适用性

电解清洗配用的清洗液是碱液和水基清洗液。其作用机

理除清洗液的清洗作用以外,还有从电极上逸出气泡的作用,依靠气泡的机械作用能剥离金属工件表面所粘附的污垢。为充分利用电极上逸出气流的机械作用,必须具有一定的电流密度,而清洗液应具有一定的导电度。清洗液的导电度确定后就决定了需要的电压及电能消耗。通常在需要的电流密度为 $10\sim 30\text{A/dm}^2$ 时,必须使清洗液的导电度大于 $1800\times 10^{-4}\text{S/cm}$ 。当清洗液的温度升高时,其导电度相应增大,由室温升高至近 100°C ,导电度近似增大 $1\sim 2$ 倍。电解清洗时间一般不超过 3min 。

电解清洗适宜于用作粗洗(或称粗荒清洗),可清洗多种油脂、磨光膏、抛光膏等,即便污垢层厚度达几毫米,电解清洗一般均能清除。电解清洗也可用作精洗,如供电镀前最后一次清洗,可清除与金属工件表面粘附较牢的一层残存的污垢。但应注意,用作粗荒清洗除油的清洗液组份与供作电镀前精清洗的清洗液组份,两者工艺参数是不相同的。比较适用于有色金属工件的清洗除油。配套使用时,粗洗与精洗的碱液组份见表3-8。

表3-8 与电解清洗配用的碱液的组份

用作粗洗时		用作精洗时	
组份	含量, g	组份	含量, g
NaOH	30~60	NaOH	10~20
$\text{Na}_2\text{SiO}_3\cdot 9\text{H}_2\text{O}$	30~60	$\text{Na}_3\text{PO}_4\cdot 12\text{H}_2\text{O}$	40~65
$\text{Na}_3\text{PO}_4\cdot 12\text{H}_2\text{O}$	5~20	Na_2CO_3 (焙烧的)	30~60
水	1000	水	1000

4.2 电解清洗的工艺参数

电解清洗的工艺参数的变化对金属工件的清洗质量的影响

响十分敏感。在各项工艺参数中清洗时间是首要的。电解清洗时间一般控制在3 min以内，电解清洗时间增大很易使工件发生氢脆。电流密度是很重要的工艺参数，决定了电极上逸出的气泡数量，直接影响电解清洗过程中机械作用的强弱，电流密度不够大往往是造成工件表面清洗疵病的原因。为使电解清洗技术经济合理，并使电流密度满足工艺需要，还应控制主要相关因素，主要是清洗液的组份、导电度和温度，相互关系可用图3-13表述。

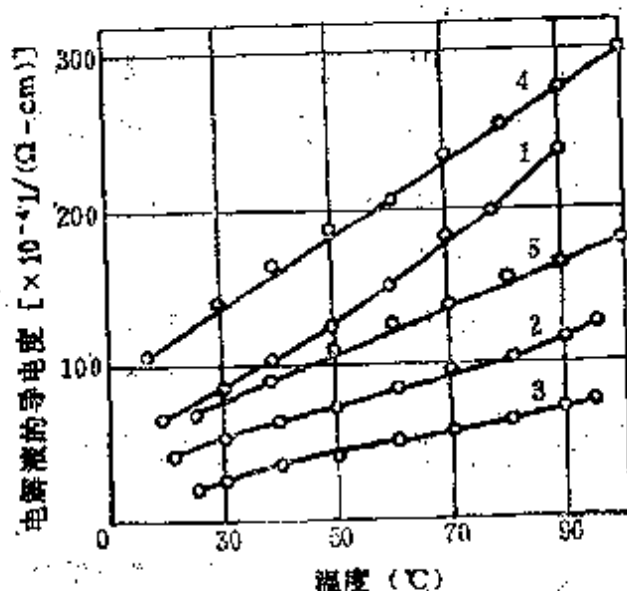


图3-13 清洗液的浓度和导电度与清洗温度的相关特性

1—精洗用的清洗液 2—精洗用的清洗液用水1:1稀释 3—精洗用的清洗液用水1:2稀释 4—粗洗用的清洗液 5—粗洗用的清洗液用水1:1稀释

由图3-13可以看出，清洗液的温度升高时对于导电度增大是十分敏感的。

粗洗和精洗所用的两种清洗液在各种温度下，电流密度与端电压的相关特性分别如图3-14和图3-15所示。

由图3-15可以看出，为使电流密度达到 $12\text{A}/\text{dm}^2$ ，精洗用清洗液在电解清洗时，于清洗作业温度 30°C 下，须施

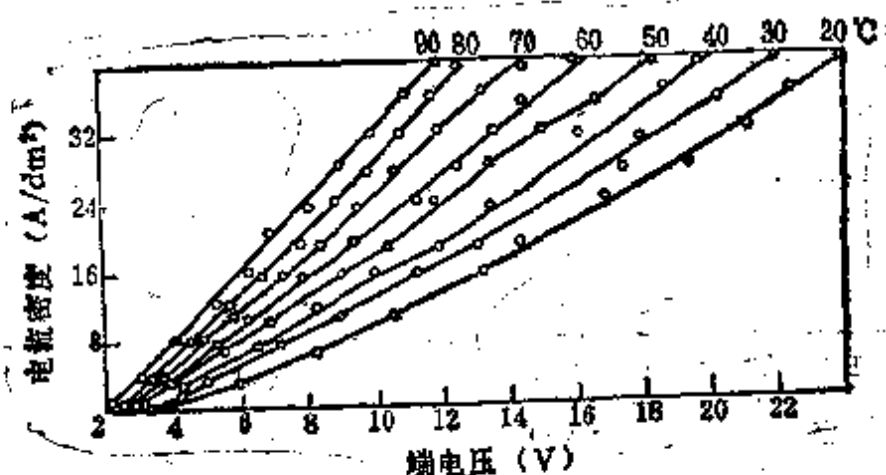


图3-14 粗洗用清洗液在各种温度下电流密度与端电压的相关特性

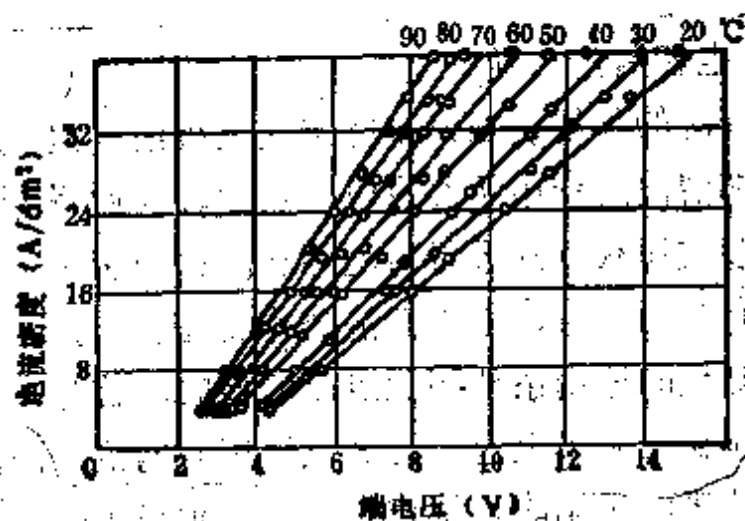


图3-15 精洗用清洗液在各种温度下电流密度与端电压的相关特性

加电压 9 V 以上；当清洗作业温度升高至 80°C 时，施加两端的电压仅须 5 V。可知，电解清洗时，提高清洗作业温度，不仅使导电度增大，同时使工件表面的油脂粘度减小而易

于清除。

通过工件表面粘附的矿物油、凡士林等油污用电解清洗的生产实践，以及参照图 3-14 和图 3-15 所示的相关特性，可以将粗洗时和精洗时的电解清洗工艺参数归纳于表 3-9。适用于钢铁工件、铜制工件和镀铜的钢铁工件进行电解清洗。

表3-9 电解清洗的工艺参数

工艺参数	单位	用于粗洗时	用于精洗时
电流密度	A/dm ²	20~30	5~20
清洗作业温度	°C	>80	60~80
清洗作业时间	min	1.5~3	1.5~3
其中：			
接成阴极	min	1~2.5	1~2.5
接成阳极	min	0.5	0.5

4.3 电解清洗作业的电极选择

电解清洗的作用机理是依靠电极上析出气泡的机械作用，即电解清洗过程中始终有气泡逸出。因此将金属工件接成阴极或接成阳极都能进行清洗除油。接成阴极或接成阳极各有优缺点及适用性，应根据清洗作业需要选择。

接成阴极的适用条件和优点是明显的。首先，从阴极逸出的氢气体积是阳极上逸出的氧气体积的两倍，因而可以得到清除工件表面污垢的机械作用相应为阳极上的两倍，也就是说，工件表面接成阴极易于清洗干净；还有，接成阴极，阴极空间的碱度局部增大，对于清洗钢铁制工件的清洗力增强。

主要缺点是必须严格控制清洗时间，防止工件表面发生氢脆。为此通常要求电流密度大，清洗时间短。此外，阳极

空间局部碱度增大，对有色金属工件电解清洗易产生腐蚀。

接成阳极，可以避免接成阴极的缺点。但是阳极上有氧化作用，金属工件上某些油脂如亚麻子油等易发生氧化以致难以消除。还有，锌制工件和部分铜制工件接成阳极可能遭受极微量溶解，则不能采用这个方法。

综合上述接成阴极或接成阳极各有优缺点，在电镀前清洗工艺中往往采用转换接法，即第一槽接成阴极电解清洗，清洗很短时间后随即进入第二槽，接成阳极电解清洗。这种转换接法尤为适用有色金属工件的电解清洗。

在现有电解清洗生产应用中，多数接成阴极清洗方法，接成阳极清洗仅为极少数，只有氢脆现象很难控制的情况下才接成阳极清洗。电解清洗接成阴极在生产应用中是占多数的。

5 超声波清洗

超声波清洗是一种高效清洗和高生产率的清洗方法，可以配制多种清洗液，用于金属工件清洗，其表面可以得到高清洁度。但由于受超声波清洗装置的限制，通常仅限于中小件和微型工件的清洗，如果能使大型超声波清洗装置提高技术经济性，亦可用大中型工件的清洗。

超声波清洗不适宜用作粗荒清洗，而必须用作精清洗，即在清洗前另用其他清洗方法作为粗清洗。

对于几何形状复杂或清洗质量要求严格的中小型精密工件，尤其工件上带有深孔、小孔、弯孔、盲孔、凹槽等加工部位时，当采用其他清洗方法不能奏效时，改用超声波清洗往往能取得较好效果。特别适用的工件有：光学器件、电子器件、钟表零件、轴承、阀座、柱塞、套筒、齿轮等传动部

件、液压部件等。

需要配用适宜的清洗液并掌握其清洗工艺参数和工艺要点才能使经清洗后的工件表面得到高清洁度。

超声波清洗既适用于间歇式生产，也适用于连续式生产。间歇式生产中多用于小型和微型工件用盛筐多件一次清洗，工件上下料和清洗作业都是手工操作。连续式生产中工件通常用悬挂式传送链借助吊具悬挂，一边传送一边浸没超声波清洗槽进行清洗，其清洗装置示意图如图3-16所示。

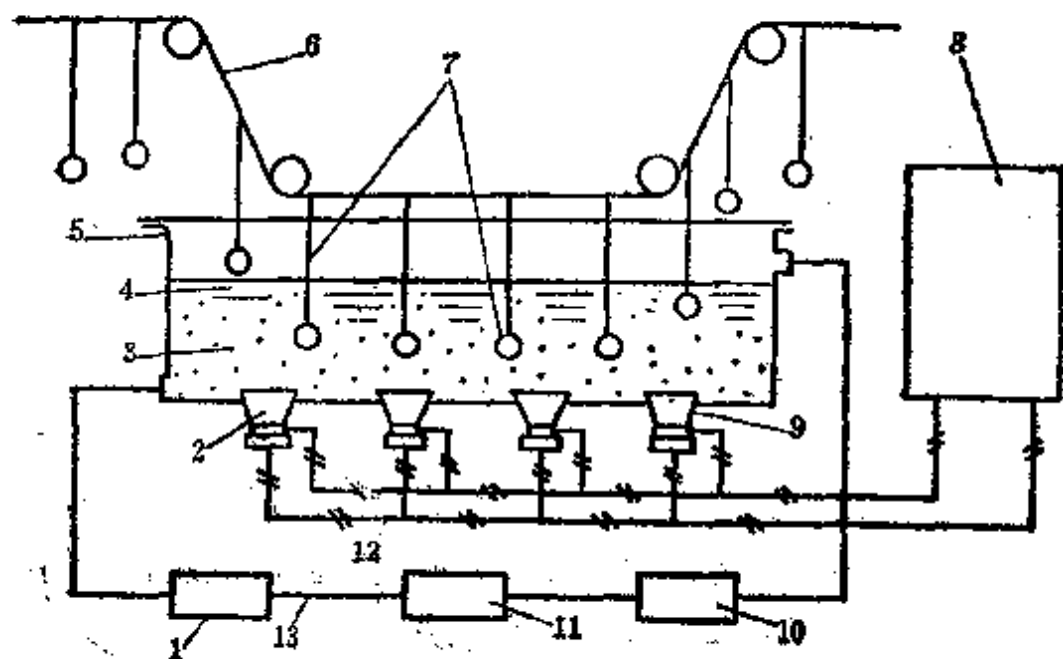


图3-16 连续式生产中超声波清洗装置示意图

- 1—加热器 2、9—换能器 3—空化泡 4—清洗液 5—超声波清洗槽
6—传送装置 7—吊具和工件 8—超声波发生器 10—泵 11—过滤器
12—电线管 13—清洗液管道

5.1 超声波清洗机理

超声波清洗的机理是基于在清洗液中引入超声振动，向清洗液辐射声波，产生超声空化效应。利用这种超声空化效

应清洗工件表面上的各种污垢。所谓超声空化效应是：在超声场作用下，达到一定声强和频率时，清洗液中产生大量气泡。这些气泡将随超声波振动反复地作生成和闭合运动，即于超声负压时生成，随之在超声正压时闭合。当空化气泡处于完全闭合状态时会产生自中心向外的微激波。我国在这方面的科研工作表明，这种微激波的压强可以达到几百个MPa到几十个MPa的程度。这种冲击力能剥离工件表面的污垢，或使污垢裂缝出现空隙。以后，另一些空化气泡群钻入这些空隙，继续不断冲击，于是随着空化气泡的反复地生成和闭合运动，冲击力不断作用，最终都促使污垢剥落，使工件表面达到高清洁度。

清洗液中除有空化效应外，由于超声振动的引入，加速了清洗液的乳化作用和增溶作用，使污垢微细地扩散于清洗液中，加速清洗过程。所以，清洗液的正确选择有助于产生高效的超声空化效应、乳化作用和增溶作用。

6.2 清洗液选择

与超声波清洗方法协调配用的清洗液可有多种，其选择原则如下：

(1) 有利于空化，充分利用超声波的空化效应，为此，适用的清洗液应具有：粘度小、蒸气压小和相对超声波的衰减小。

(2) 能针对性地清除工件表面油垢、污物。

(3) 符合工件本身材料的要求。

(4) 符合工件清洗后缓蚀的要求。

适宜配用的清洗液有：水基清洗液，氯化烃类溶剂，如三氯乙烯、三氯乙烷等；石油溶剂如煤油、汽油等；其他有机溶剂如酒精、丙酮等；碱液和清水等，其中尤以水基清洗

液的配置应用更为普遍。在工件要求高清洁度的清洗生产线上，用作精洗的清洗方法多半为超声波清洗，而与之配套的清洗液多半为三氯乙烯或酒精等。

5.3 超声波清洗工艺

超声波清洗的基本方式是槽内清洗，即工件浸入盛有清洗液的超声波清洗槽内，超声波发生器通过换能器产生的超声振动由清洗槽底部或清洗槽侧壁（或底部和侧壁兼有）辐射至清洗液内，进行超声波清洗。

超声波清洗工艺的主要内容包括正确选择工艺参数和掌握清洗工艺要点。工艺参数主要为：工作频率、必要功率清洗液温度和清洗时间。

5.3.1 超声波清洗的工作频率和功率

基于超声波清洗是充分利用超声空化效应的机理，清洗液产生空化所需声强度与工作频率的关系就十分重要，其特性如图3-17所示。由图中可以看出，工作频率在 10kHz 以下所需声强度基本恒定，图中显示声强度近似为一水平段。当工作频率超过 10kHz ，空化所需声强度就急速增大，所以在同样声强度下，工作频率低，空化效应好，工作频率低些，压缩波与稀疏波之间周期较长，空化泡体积较大，而空化泡的大小又直接比例于微激波的冲击力，所以采用较低工作频率可以得到较高的清洗力。

当采用水基清洗液、三氯乙烯等清洗轴承、精密偶件、精密小型传动件时，超声波清洗的工作频率宜选择为 $15\sim 20\text{kHz}$ 。对于钟表零件，半导体元件等微型工件宜选择较高工作频率，利用高频的聚焦性好的特点，可集中能量作用于工件上预定的很小部位进行有效清洗，其工作频率往往可以选取在 $300\sim 800\text{kHz}$ 之间。但应注意高频的超声振动在清洗液中

衰减大，作用距离短，而且由于高频的方向性产生的“阴影”区，有可能使工件局部清洗不利。

所配用的清洗液对超声波的衰减作用是明显的，由图3-17中可以比较，在相同的工作频率下，曲线1含气的清水与曲线2去气的清水相比较，为产生超声空化效应所需声强度要大很多，因为含气的清水比起去气的清水对于超声波的衰减作用大很多。

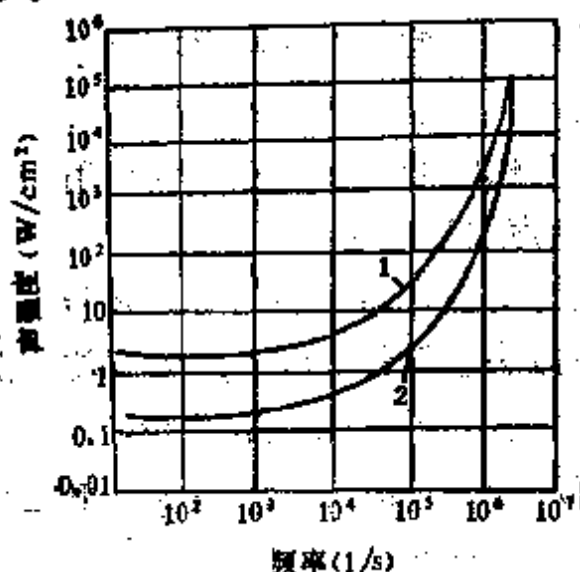


图3-17 清洗液产生超声空化效应与工作频率和声强度的关系

1—含气的清水 2—去气的清水

由图3-17可粗略计算超声波清洗的声强度，即在20kHz工作频率下，清洗液各处声强度应大于0.3W/cm²。声强度增大，空化效应好，但达到一定值时即趋饱和。声强度过大，工件表面因强烈超声空化效应而易产生空化腐蚀。对于污垢严重的或是带有深孔、盲孔的工件，要求清洗槽的深度较大，相应选用粘度较大的清洗液，此时须采用较大声强度，当精密工件用三氯乙烯或酒精作最后清洗时，声强度则宜采用较小值。

声强度粗略计算后，根据清洗槽的有效面积和换能器的

效率，即可相应确定超声波清洗所需功率。

5.3.2 清洗液温度

与超声波清洗配用的清洗液的温度升高有利于空化，但清洗液温度升高，蒸气压也相应增高，而使超声空化效应减弱，因此清洗液各有适宜的加热温度，以求产生充分的空化效应。几种常用的清洗液为使产生充分的空化效应，其加热温度如下：

水基清洗液 宜为 $35\sim 45^{\circ}\text{C}$

三氯乙烯 宜为 70°C

易蒸发和易燃的清洗液应在常温使用

5.3.3 超声波清洗时间

清洗效果与清洗时间有关。对于油脂严重的工件，除应先用其他清洗方法进行粗洗以外，超声波清洗时间一般需要 $3\sim 6\text{ min}$ ，工件表面平整而油脂少，则需 $2\sim 4\text{ min}$ ；当超声波清洗应用于多步清洗生产线上，单道超声波清洗时间可缩短至 $0.5\sim 2.0\text{ min}$ 。

5.3.4 超声波清洗工艺要点

工件在清洗槽内须正确放置。换能器一般布置在槽底，槽底面即为超声振动的辐射面，应避免将工件直接压放在槽底，而应采用吊具悬挂于清洗槽内，并注意将工件上重点清洗部位对准辐射面。

为有效地清洗工件上的盲孔，应注意在盲孔内灌满清洗液，然后将盲孔对准辐射面。同时，应注意清洗过程中保持清洗液充满。

许多微型件和小件常装入盛筐一次清洗，须注意不得使用遍布小直径网眼的盛筐，此种小直径网眼引起超声波衰减十分明显，而应改用薄板栅条作为盛具。

清洗过程中应调节超声波发生器的频率与换能器的频率一致,此时超声波振动最大,理论上的空化效应最为充分,在透明的清洗液中可见许多白色聚流,以手伸入清洗液试探,有如针刺感觉。

清洗液采取循环使用方式时,进液速度不可太快,太快则含气增多,减弱超声空化效应。循环使用的清洗液应设置过滤器,保持清洗液洁净。

经超声波清洗的工件表面一般应色泽均匀,如发现明显白点往往由于工艺不得当所致,可能的原因有:清洗时间过长,或一次清洗工件过多,或清洗液使用太久,污染已较严重,或供给超声波发生器的电压波动太大,须及时检查,清除故障。

6 多步清洗

多步清洗是综合应用各种清洗方法,组成连续清洗作业的多步清洗生产线。各步清洗分担工件局部的清洗或用作粗洗或用作精洗,各步清洗按一定生产节拍依次进行,生产节拍通常为 $0.5 \sim 2.0 \text{ min}$,生产率高。所以,多步清洗十分适用于大批量生产中清洗质量要求高的工件。由于应用多步清洗,形状复杂或污垢严重的工件能逐分解在各个工步进行,就能清洗洁净,达到高清洁度的要求。

多步清洗生产线中各步清洗工序的安排应遵循的基本原则如下:

初步清洗主要为清洗严重的油脂污垢,以减轻以后各步清洗的污染,通常称为粗洗。粗洗的清洗方法常用浸洗。紧接在初步粗洗以后,继续用浸洗,对经粗洗后的工件表面进行浸渍漂洗或喷洗以清洗去除工件表面残留污物。中间清洗工步一般多为针对工件不易清洗干净的部位如盲孔、凹槽、

起伏不平的表面进行局部清洗或重复清洗。清洗方法常用有：超声波清洗或气相组合清洗或喷洗。最后一二步清洗则为达到规定的清洁度和缓蚀要求，超声波清洗或气相组合清洗亦是主要的清洗方法。

多步清洗必须配置工件的自动传送装置，如悬挂式传送链、履带式传送带、回转式传送机等，以及保证工件按一定生产节拍在各个工步依次进行清洗作业的控制系统。多步清洗生产线中工件的上下料往往还是手动操作。

国内有代表性的多步清洗生产线多为生产批量大的中小工件如轴承、齿轮、液压件、柴油机配件、阀门配件、仪表元件、光学元件等，如液压件四步式清洗生产线、柴油机油泵油嘴五步式清洗生产线和光学元件八步式清洗线，现将工件的清洗要求、传送方式和多步清洗的各个工步组成扼要阐述如下：

6.1 液压件四步式清洗生产线

液压件经切削加工后粘附有油脂和研磨残留物，要求严格清洗，使工件表面达到装配前的清洁度。

工件的传送是借助篮筐盛放，多件同时一次清洗。传送装置可用回转式或直进式。

多步清洗生产线上各工步清洗的组成见表3-10。

表3-10 液压件四步式清洗生产线

清洗步序	第1步	第2步	第3步	第4步
清洗方法	浸洗	浸洗	超声波清洗	气相清洗
清洗液	三氯乙烯	三氯乙烯	三氯乙烯	三氯乙烯
清洗液温度	60°C	常温	常温	>87°C
清洗时间	1.5min	1.5min	1.5min	1.5min

6.2 柴油机油泵油嘴五步式清洗生产线

柴油机油泵油嘴为精加工件，工件表面粗糙度达到0.1以上。经切削加工后，工件上粘附的液态和固态油污及研磨材料残留物必须严格清洗，然后装配。由于装配过程配合精度高，配合间隙小，因此工件的清洁度要求高，采用五步式清洗生产线进行严格清洗。

工件用篮筐盛放，多件一次清洗。篮筐用吊具悬挂在轻型悬挂式传送链上在各步清洗工位间传送。工件在多步清洗生产线上的上料和下料为手动操作。

五步式清洗生产线上各工步清洗的组成见表3-11。表中各步清洗所用水基清洗液的组份各不相同。

表3-11 柴油机油泵油嘴五步式清洗生产线

清洗步序	第1步	第2步	第3步	第4步	第5步
清洗方法	超声波清洗	超声波清洗	超声波清洗	浸洗	超声波清洗
清洗液	水基清洗液	水基清洗液	水基清洗液	水基清洗液	水基清洗液
清洗液温度	$60 \pm 5^{\circ}\text{C}$	$60 \pm 5^{\circ}\text{C}$	$60 \pm 5^{\circ}\text{C}$	常温	$40 \pm 5^{\circ}\text{C}$
清洗时间	2min	2min	2min	2min	2min

6.3 光学元件八步式清洗生产线

光学元件经加工后表面残留油脂污垢应于装配前清洗干净。由于装配的配合精度要求高，因此装配前的清洗要求严格。为使此种微型和小型的凹面、小孔均能获得较高清洁度，而采用了八步式清洗生产线。针对工件表面残留的油脂污垢，选用了碱液、水基清洗液、清水、酒精和三氯乙烯作为清洗液，进行重复清洗。

工件用专用篮筐盛放，清洗生产线的型式可为回转式，也可用直进式。

第二章 清洗液

1 清洗液的分类

机械制造过程中金属工件常用清洗液的分类方法繁多。为使清洗液的分类充分体现清洗液的组份与性能之间的联系，近年倾向于按照清洗液中的四种基本组份的类别分类，即分为单组份、双组份、三组份和四组份四大类，并分别用四种基本组份的英文名词的字头表示。

清洗液中的四种基本组份是：

助剂，Builder，取其字头B；

含表面活性剂的乳化剂，Emulsion，取其字头E；

溶剂，Solvent，取其字头S；

水，Water，取其字头W。

此种按照清洗液中四种基本组份存在与否的分类法又称BESW分类法。由此可确定清洗液分类如下：

单组份清洗液有：W型和S型，共二种；

双组份清洗液有：BW型、EW型、BS型和ES型，共四种；

三组份清洗液有：BES型、BEW型和ESW型，共三种；

四组份清洗液有：BESW型，仅一种。

以上四种类别的清洗液，合计有十种类型，现将其应用特点扼要阐述如下。

1.1 单组份清洗液

单组份清洗液仅有：水和溶剂，即W型和S型。助剂和含表面活性剂的乳化剂不能单独作清洗液，因此不存在B或E单组份清洗液。

(1) W型清洗液

水是很重要的清洗液。水具有强溶解力和分散力，特别是对电解质、无机盐或有机盐有最高的溶解力，这是其他溶剂所不能比的。

用水作清洗液，不添加任何化学物质，仅仅依靠物理方法就可以明显提高清洗能力，常用的物理方法有：加压喷射，加热提高水温，即用热水清洗；超声波清洗；高频电场中极化水和磁化水的去垢作用等。

但是，用水作清洗液时，必须注意水质有一定要求，否则直接影响工件的清洗质量和清洗液的使用稳定性。其控制指标主要为：总可溶性固体物含量、氯离子含量和矿物质含量不得超过规定，否则应经处理，才能作为清洗液使用。

(2) S型清洗液

S型清洗液即传统沿用清洗用溶剂，汽油、柴油、煤油、航空汽油、三氯乙烯、三氯三氟乙烷、三氯乙烷、二甲苯、丙酮、甲醇、乙醇等，其中汽油和二甲苯仍然是普遍应用的清洗液。在部分机械制造行业中，汽油甚至是主要的清洗液。S型清洗液使用中不安全，防火和防爆要求高，加上清洗液蒸气的毒性，影响作业场所和周围环境的安全，劳动保护和环境保护要求高。因此这类清洗液的应用是受限制的，正日益为水基清洗液所取代，但由于外购到厂就可直接使用，一般不需要配制，使用很方便，清洗力强，是其较为突出的优点，在近期内还会有相当广泛的应用面。

1.2 双组份清洗液

BS型和ES型清洗液是在溶剂中加入少量助剂或表面活性剂。主要用于提高清洗液的清洗能力及稳定性和扩大使用范围，或为减少溶剂的不安全性。因此，有多种配制方法，达到所要求的主要性能。

BW型清洗液的典型代表是碱性清洗液，系由氢氧化钠、碳酸钠、硅酸钠、磷酸钠等加入水中组成。这类清洗液容易配制，而又成本低廉，为传统沿用的清洗液。使用时必须加热，不符合节能要求，使用受限制。另外在间歇式大中型工件生产中，清洗后工件很容易生锈，须注意在BW型清洗液中加入缓蚀剂。

EW型清洗液和加入助剂后形成的BEW型清洗液，总称为水基清洗液，这是应用日益广泛发展活跃的清洗液，是需要重点阐述的。

EW型清洗液中所需要的表面活性剂，主要为非离子型表面活性剂，少数为阴离子型表面活性剂。

1.3 三组份清洗液

BEW型的组成多种多样，具有多种功能。多功能的水基清洗液基本属于这个类型，应用日益广泛，最有发展前景。这类清洗液的组成与配制将着重阐述。

ESW型清洗液品种较少，它与BEW型清洗液的区别在于：表面活性剂不是作为去污剂添加到水中，而是作为溶剂的乳化剂，组成水包溶剂O/W型乳状液，往往具有既定的特性。国内曾有一种聚氧乙烯脂肪醇醚-三氯乙烯-水乳液。这种清洗液经实践表明，具有以下特性：

其一，当溶剂以直径 $< 2\ \mu\text{m}$ 的乳化液滴稳定地分散在水溶液中，此时水溶液的清洗性能与该溶剂性能相近；当溶

剂的浓度达到10%时，可达到纯溶剂的去污效果。

其二，随着乳化溶剂的浓度增加，所要求的清洗温度可以下降，当溶剂浓度达到3~5%时，清洗液就可保持在常温下清洗而具有较好的清洗效果，显然，这是一种优越的性能。

BES型清洗液较少用，国产的LC3型商品清洗剂就是属于这个类型。如果再加水使用，即配制成5%浓度的BESW型清洗液。这种LC3型清洗剂是在LC1型清洗剂基础上配制。LC1型清洗剂属于ES型双组份清洗剂，再加入几种助剂，如三聚磷酸钠、碳酸钠或亚硝酸钠等。

1.4 四组份清洗液

BESW型清洗液除由BES型清洗剂加水配制而成以外，就是在ESW型清洗液的基础上，加入所需要的助剂B配制而成的。按照加入的助剂不同，可以提高ESW型清洗液的去污力、分散力、消泡力、缓蚀力以及絮凝能力等。显然，经合理配制，BESW型清洗液可具有很好的综合性能，称为多功能清洗液。

2 清洗液的选择原则

清洗液选择的几项主要因素：

- (1) 清洗液的性能评价指标应符合工程的清洗质量要求；
- (2) 所用清洗液应与清洗作业的上道工序和下道工序相适应；
- (3) 与清洗方法和清洗设备要有配套性；
- (4) 与清洗作业场所的工艺条件和动力配置条件必须相适应；

(5) 符合清洗作业场所的劳动安全条件和环境保护要求,清洗过程中造成的废水、废气能够治理,达到规定的排放标准。

(6) 清洗液的各个组份来源充沛,成本低廉,配制方便。

总之,清洗液的具体选择和确定,是需要考虑以上六项因素的,但为便于分析阐述展开比较,不得不按照单项评价指标逐项进行。

首先,能够在常温下使用,并具有很好的清洗除油力,以此作为主要评价指标。有机溶剂为主的清洗液,如S型单组份清洗液、BS型和ES型双组份清洗液,以及BES三组份清洗液等,具有优越性,是以水为溶剂组成的各种清洗液所不及的。如三氯乙烯、三氯三氟乙烷、汽油、二甲苯、乙醇、丙酮等为主要组份或单组份的清洗液都具有良好的清洗力。以提高清洗力为主要目的配制的BEW型三组份清洗液也可以达到很好的清洗力,但作为清洗除油力来考核,仍赶不上以有机溶剂为主的清洗液。

以清洗作业的安全性要求考核,上述以有机溶剂为主要组份的清洗液受到很大限制,安全性远不及BEW型和EW型水基清洗液,因而最终选择确定时,即经过清洗力和安全性两项评价指标综合考核后,水基清洗液有很大优势,正在越来越多的场合代替以有机溶剂为主的清洗液。

清洗液与清洗方法的配套性是清洗液选择的又一项重要评价指标,现要阐述如下:

与喷洗配用时,有机溶剂配制的各种清洗液受到严格限制,一般不适宜选用,因其在高速激流冲击下,往往由于静电作用产生火花,而致发生火灾或爆燃事故。对于水基清洗

液则其适应性好得多，但也受限制，凡属多泡沫的表面活性剂和助剂都不适用于喷洗。因此，在EW型和BEW型水基清洗液中亦有一部分是不适用于喷洗的。

与气相清洗配用的清洗液必须沸点低、比重大、蒸发潜热小和稳定性好，不易分解。另外，还要求清洗液蒸汽的毒性小。适用于气相清洗配套的清洗液主要是：三氯乙烯、三氯乙烷和三氯三氟甲烷等。

与高压喷射清洗配套的清洗液，除了比常压喷射清洗更为严格以外，还要求清洗液中组份极少有沉淀，几乎仅限于水基清洗液才能配套适用。

与超声波清洗配用的清洗液应当有利于超声波的空化效应，这是有区别于其他清洗方法的一个突出要求。为使清洗液有利于超声波空化效应产生，应具有以下一些特性：粘度小、蒸汽压小、以及对超声波衰减小。

由以上清洗液的选择应当与清洗方法相适应的要求可知：清洗液选用不是孤立地进行，而应联系所用的清洗方法和清洗设备综合考虑。这是清洗液选用的一项重要因素。

清洗液的选择要求与上一道作业工序和下一道作业工序相适应，主要有两个方面的考虑：其一，清洗作业时间是否受限制，如在清洗生产线上，每道清洗作业时间是同步的，清洗液的选用应满足既定的清洗作业时间的要求；其二，清洗后的工件有无缓蚀要求，通常，如果下一道作业工序仍然是清洗作业，则不必要有缓蚀要求；反之，如有缓蚀要求，则是清洗液的一项重要选择原则。以有机溶剂为主要组份的清洗液一般说来缓蚀性较差。又如清洗后是否有条件设置烘干工序，亦是清洗液选用的重要因素，因为以有机溶剂为主要组份的清洗液无需烘干，而水基清洗液清洗后往往必须设

置烘干工序，使工件干燥。

清洗作业场所的动力能源条件对清洗液选用限制更为明显，往往成为清洗液选用的决定因素，如国家能源政策要求限制或减少汽油作为清洗液；又如工厂受动力能源条件限制，不能提供清洗液加热使用的能源，这就不得不限制清洗液在常温下使用，而水基清洗液中的极大多数均要求加热使用，往往不能满足在常温下使用的要求。

由以上分析阐述可知，清洗液的选择需要围绕它的主要性能指标：清洗力、工艺性、稳定性、缓蚀性和安全性等综合考虑。

3 EW型与BEW型清洗液的配制与应用

3.1 主要特性

EW型和BEW型清洗液都是含有金属清洗剂的水基清洗液。主要是一种或几种非离子型表面活性剂，或由表面活性剂与助剂复方配制而成。金属清洗剂在水基清洗液中所占质量比，通常不超过5%，其余95%以上为水。

推广应用水基清洗液基于以下几种主要原因：首先，清洗工艺性好和节约能源；其次，清洗作业安全和环境污染少；还有适用于机械化自动化清洗，技术经济效果好。

清洗工艺性好。水基清洗液除能清洗工件表面油污以外，还能清除工件表面残留的冷却液、研磨膏、残盐余液和手汗等。如能合理配制，还能清除积炭，经清洗后工件能有短时间缓蚀作用，具有工序间防锈效果。以上这些综合功能为有机溶剂（如汽油、柴油等）所不及。

节约能源。由于机械工厂的清洗作业是生产过程中多次反复进行的重要工序，工业发达国家已经将汽油清洗淘汰，

控制在极小范围使用。国内汽油清洗迄今仍属普遍现象。商业部燃料供应主管部门对民用清洗汽油是控制使用的，要求逐年递减，并确定用水基清洗液代替汽油，以节约能耗。

清洗作业安全性好和环境污染少。用汽油清洗引起火灾事故，举不胜举。汽油挥发性强，闪点低，空气中达到一定浓度，由于操作中发生静电作用，或工件跌落与设备剧烈摩擦，或操作人员用打火机点火等等原因，很容易发生火灾。同时，汽油又是一种神经性毒物，毒害中枢神经，当其浓度超过 $300\text{mg}/\text{m}^3$ 时，操作者会发生头晕、无力、失眠、记忆力减退为主的神经衰弱症。

水基清洗液因无汽油等有机溶剂等易燃易爆的限制，能承受激烈冲击。方便地应用在机械化自动化清洗作业线上，提高劳动生产率。而其成本约为汽油的 $1/3$ 左右，技术经济效果是明显的。

3.2 清洗机理

水基清洗液的清洗机理基于清洗液与工件表面间的界面活性作用，机械力或液力的作用，以及界面电二重层作用，三者的综合影响。

界面活性作用是依据表面活性剂的物理化学性质。表面活性剂分子的结构是由亲水憎油的极性集团和亲油憎水的非极性集团组合而成。表面活性剂分子在低浓度水溶液中，首先集中分布在液体的表面，形成单分子的定向吸附膜。极性集团指向水本体，而非极性集团指向空气，故表面的分子不再是水分子，所以表面张力不是水的表面张力，而是非极性集团的表面张力。

在清洗液中，也即是表面活性剂水溶液中加入电解质，一般都可使表面张力显著下降。图2.1中有A、B、C三条曲

线；曲线A是水的表面张力随表面活性剂浓度增加而近于直线上升；曲线B是表面张力随表面活性剂浓度增加而下降；曲线C是表面张力在表面活性剂浓度很低时急剧下降，下降至一定浓度后，表面张力变化缓慢，此一定浓度相当于图2.1曲线C中的P点。此时，表明清洗液中表面活性剂分子已形成单分子吸附膜，而大多数分子分布在清洗液中，呈非极性集团相互靠拢，极性集团朝外形成胶束，指向水本体，同时表面张力降至最低。

在清洗液中形成胶束的浓度，称为临界胶束浓度，常用CMC符号表示。

清洗液中表面活性剂的浓度当在胶束临界浓度以上，它的电导率、渗透力、当量电导、冰点、沸点都发生突变，如图2-2所示。表面活性剂的去污、乳化、增溶等特性与临界胶束浓度有关。当在清洗液中添加强电解质，能使临界胶束浓度明显下降，如加入磷酸、硅酸、硫酸的碱金属盐。这些常称为助剂，能进一步降低表面张力和CMC，从而提高清洗力。

清洗液的清洗作用首先应能破坏污垢与工件表面之间的粘附性，降低其间的结合力。由于吸附在工件表面上的污垢多半属于非极性的油污，所以表面活性剂分子中的亲油端容易吸附到油污的表面，而其亲水极性的一端不容易吸附在工件表面。利用表面活性剂分子的润湿性，便能够渗透到工件

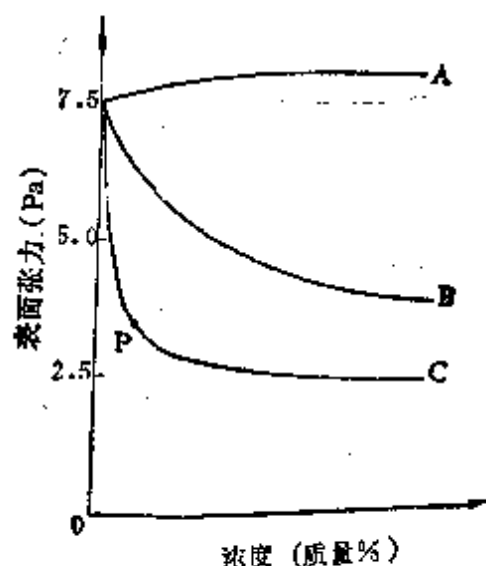


图2-1 清洗液的表面张力与表面活性剂浓度的特性

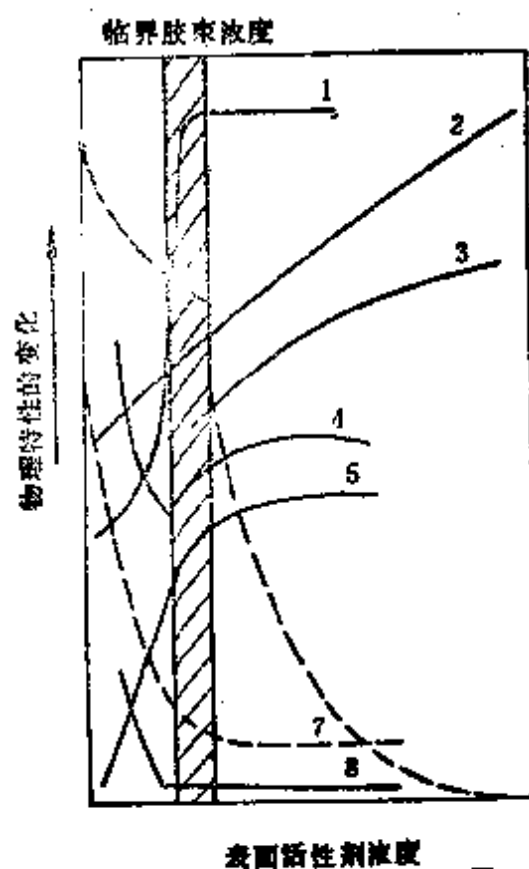


图2-2 胶团临界浓度与水基清洗液多种特性的关系

- 1—清洗作用 临界胶束浓度前，浓度增加，清洗作用增强
- 2—比重 浓度增加，比重相应增大
- 3—比黏度 浓度增加，比黏度相应稍有增加
- 4—表面张力 临界胶束浓度前，浓度增加，表面张力降低
- 5—渗透压 临界胶束浓度前，浓度增加，渗透压增大
- 6—电导率 临界胶束浓度前，浓度增加，电导率降低
- 7—冰点 临界胶束浓度前，浓度增加，冰点降低
- 8—界面张力 临界胶束浓度前，浓度增加，界面张力降低

与污垢之间，使其松弛、分离。图2-3表示工件表面污物清洗的阶段过程。图中状态Ⅰ为污物P紧密附着在工件S表面上，随着清洗时间增加，清洗液L浸入污物的附着界面，形成状态Ⅱ，在清洗作用下，污物P从工件S表面上被拉开一

定距离的状态Ⅲ。

工件表面污物如油滴经清洗作用从工件表面跌落前，存在被上推成球形的过程，令其上推力为 R ，则存在以下平衡关系：

$$R = \gamma_{ow} \cos \theta + \gamma_{..}$$

$$- \gamma_{sw}$$

式中 R ——上推力

$\gamma_{..}$ ——工件与油污
界面张力

γ_{sw} ——工件与水基
清洗液的界
面张力

γ_{ow} ——油与水基清
洗液的界面张力

θ ——接触角，为 γ_{ow} 与工件表面的夹角，表示油污为水基清洗液的润湿程度

当 $R > 0$ 时，油滴被上推，逐渐呈球形，如图2.4c所示。

图2-4a所示为 $\theta < 90^\circ$ 时情况。此时 $\cos \theta > 0$ ，故 $(\gamma_{..} + \gamma_{ow} \cos \theta) > \gamma_{sw}$ ，即 $R > 0$ 。工件表面上油被上推，有可能逐渐趋向球形。

当油继续被上推时，至 $\theta > 90^\circ$ 时，如图2-4b所示。此时 $\theta > 90^\circ$ ， $\cos \theta < 0$ ，所以，除了要求： $\gamma_{..} > \gamma_{sw}$ 外，尚需 $(\gamma_{..} - \gamma_{sw}) > \gamma_{ow} \cos \theta$ ，才可使 $R > 0$ 。在此条件下，工件表面油滴才可能继续往上推，逐渐形成球形，直至从工件表面脱落，如图2-4c。为此，必须正确选择水基清洗液，对工件表面油污具有良好的润湿、分散、乳化、增溶等作

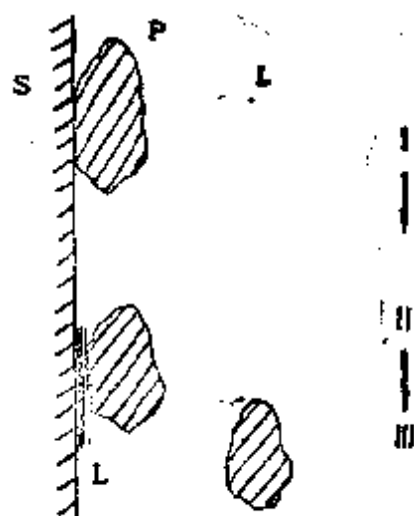


图2.3 工件表面污物清洗阶段示意图

S——工件表面

P——工件表面的污物 L——清洗液

用,使得 R 始终大于 0。如果 R 不能大于 0,或虽然 $R > 0$,但其值很小,则清洗过程缓慢,就需要外加能量,如机械力或液力,也即是需要借助合理的清洗方法,并由清洗设备保证外加能量不断输入清洗过程,这样才能加速工件表面的清洗。

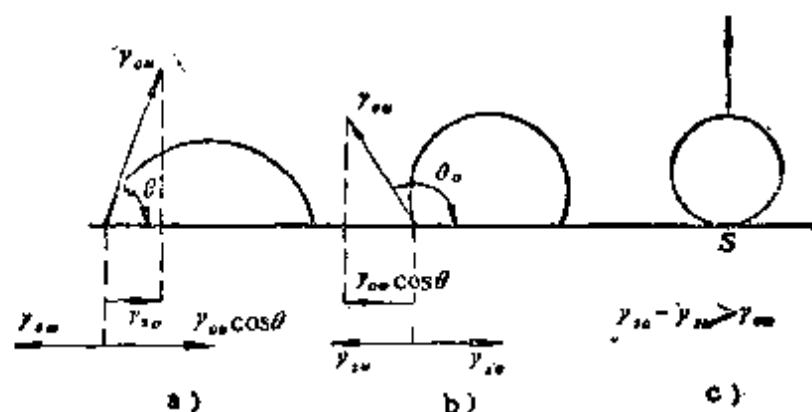


图2-4 水基清洗液的界面活性作用表征图

选择或调整清洗液中的表面活性剂,可使 γ_{sw} 和 γ_{ow} 值降低,但从以上分析可知,在调时应尽量减小 γ_{ow} 值,而不宜过多地降低 γ_{sw} 值。

清洗液去除工件表面油污的第一过程,即降低油污与工件表面的粘附性的作用,完成以后,还有卷离作用。当清洗液受热增强流动,或借助机械搅拌而形成的流动,使油污加速脱离工件表面而卷离到清洗液中去。这种作用与表面活性剂具有的增溶作用有关。

所谓增溶作用,即水中加入表面活性剂,当其浓度达到临界胶束浓度以上时,表面活性剂具有把矿物油等物质溶解在自己内部疏水集团(即非极性集团)之中的作用。这种因胶束存在而使物质在水中的溶解度增大的现象即称为增溶作用。非离子型表面活性剂的增溶作用一般都比较显著。

水基清洗液去除工件表面油污还借助表面活性剂的乳化、分散作用，能将从工件表面去除下来的油垢，包括液态的和固态的，稳定地分散在清洗液中，并能不再使沉积到工件表面。因为表面活性剂分子润湿了固体颗粒表面，从而改变了固体表面的性质，使之亲水分散在水中，其外层有部分亲水性的表面活性剂分子所吸附，而且带有同性电荷，不易再沉积凝集于工件表面。

3.3 组份与配制

EW型和BEW型清洗液的主要组份都是表面活性剂。表面活性剂可分为非离子型、阴离子型、阳离子型和两性离子型四种。但用于EW型和BEW型清洗液表面活性剂主要为非离子型表面活性剂，少数为阴离子型表面活性剂。

3.3.1 非离子型表面活性剂的类型及其特性

非离子型表面活性剂在酸、碱、盐溶液中比较稳定，具有低泡、无毒、生物降解性等特点。特别由于它的临界胶束浓度较小，所以在低浓度下仍有良好的性能，具有良好的润湿、乳化、增溶、去污作用。其缺点是浊点低，价格略高于阴离子型表面活性剂。如果选择合适的阴离子型表面活性剂与其组合使用，可提高乳化、增溶作用，并降低成本。

在EW型和BEW型清洗液中常用非离子型表面活性剂，供作金属工件清洗的有以下几种主要类型：

(1) 聚氧乙烯型

这类品种繁多，其中用作金属清洗剂的有平平加类和OP类。

平平加类即聚氧乙烯脂肪醇醚。

OP类即烷基酚聚氧乙烯醚。

(2) 脂肪醇酰胺

这类品种在金属清洗剂常用的有：月桂酸、二乙醇酰胺和油酸三乙醇酰胺。

6502清洗剂即为椰子油酸与二乙醇胺 1:2 的反应产物；而 6501 清洗剂即为椰子油酸乙酸与二乙醇胺 1:2 的反应产物；664 清洗剂中的油酸三乙醇胺皂属于酰胺结构。酰胺类表面活性剂是清洗剂中的原料，既有良好的去污净洗能力，又是泡沫的稳定剂，在中性介质时，对黑色金属有良好缓蚀作用。

（3）磷酸酯类

酰胺类进一步经磷酸反应可生成磷酸酯类。6503 清洗剂即是椰子油酸烷基酰胺磷酸酯，在硬水及盐类水溶液中有优异的去污、乳化、发泡等性能，对黑色金属有缓蚀作用。

（4）聚醚

聚醚是环氧丙烷为起始剂，以各种不同分子量的聚氧乙烯-聚氧丙烯共聚而成的一系列产品的总称。在 SP-1 清洗剂中就选用了三种聚醚。

聚醚类的新油、亲水基都可以按需要调节，为此可满足乳化、增溶、分散等要求，但润湿性较差。聚醚类最大特点是起泡低、消泡快。为水基清洗液的适用组份。

3.3.2 国产常用金属清洗剂的性能特点

由非离子型表面活性剂和少数阴离子型表面活性剂加工配制的金属清洗剂，为 EW 型和 DEW 型水基清洗液的主要组份。这些国产的金属清洗剂研制、生产于六十年代。近二十年来，市场上出现的金属清洗剂的牌号近 130 种，考虑其中重复或近似的因素以外，技术经济效果良好的金属清洗剂有四五十种。现将其中常用的金属清洗剂的性能特点扼要阐述如下：

(1) 105清洗剂

所配制的清洗液微呈碱性。必须加热使用，宜加热至 90°C 以上，除油垢力强，适用浸洗方法， $5\sim 10\text{min}$ 浸洗，可得到较好清洁度。惟缓蚀性差，宜与缓蚀剂配合使用。

泡沫多，不适用喷洗。多用于钢铁制工件，不宜用于有色金属制工件。

来源充沛，价格低廉，农机维修清洗中广泛应用。

(2) 664清洗剂

要求加热至 70°C 以上使用，对工件上清除机油、抛光膏和石蜡有较好效果。具有较好缓蚀性，适用于工序间清洗。

工件的油脂污垢严重，所配制的清洗液的浓度增高，但一般在 $4\sim 5\%$ 以下，同时加热温度提高。

(3) 6503清洗剂

对工件表面油污有较强清洗力，特别适用于盐浴淬火热处理后的工件清洗。有很好缓蚀性。

(4) 6501清洗剂

适宜与其他清洗剂配合使用，对矿物油和植物油有很好除油清洗力，有较好的缓蚀性。适用于钢铁制工件和铝合金工件，但不宜用于铜制工件清洗，避免发生腐蚀。

(5) TX-10清洗剂

适用于有色金属制工件和钢铁制工件的清洗。对抛光膏、研磨膏等固体油污有明显清洗效果。在酸性清洗中和电镀前清洗应用较多。

(6) 三乙醇胺油酸皂

适用于钢铁制工件和铝合金制工件的清洗。

(7) SP-1清洗剂

适用钢铁制工件和铝合金制工件。有较好清洗力。泡沫少，可用喷洗或超声波清洗。清洗温度不宜超过70°C。

(8) 77-3 清洗剂

具有较强的除去油污能力，常温下可清除积炭、胶膜。不含有害物。

缓蚀性差，工件经清洗后不能防锈。不适用有色金属制工件和不抗硬水。

(9) 8112清洗剂

常温下清洗工件表面，多种油污均能除去。价格低廉。呈粉状包装，运输方便。

除去积炭、胶膜的能力差。抗硬水性差。

供钢铁制工件清洗，不宜用于铝合金制工件。

与8112清洗剂相似的有8114清洗剂，除去油污能力更强，但含有害物质多，对手有浸蚀毒害。

(10) DJ-03清洗剂

清除多种油脂污垢的能力很好，常温下能清除积炭、胶质。不含有害物，使用中沉淀物很少。清洗温度不宜超过70°C。

使用的最低浓度高，消耗量较大。

(11) 8310清洗剂

除去油污能力较好，缓蚀性亦好。常温下能清除积炭，部分去除胶膜。对手有浸蚀毒害。

(12) 820清洗剂

适用于有色金属和钢铁制精密工件。清洗力好，对清洗积炭、手汗和热处理后残留浴盐均有较好效果。有抗硬水性。宜加热使用，且使用浓度较高。

(13) 741清洗剂

清洗温度宜为 75°C 以上,清除油脂污垢能力甚好,并有一定缓蚀性。

(14) 761清洗剂

对清洗积炭效果很好。宜加热使用,有较好的清洗力和缓蚀性。

(15) 781清洗剂

适用于清洗粘附严重油污的工件,加热浸洗能取得很好清洗效果,并能清洗积炭。适用拖拉机发动机维修拆卸后的清洗。

(16) 805清洗剂

要求加热使用,清洗温度宜为 $70\sim 80^{\circ}\text{C}$ 。有较好的除油清洗力。低泡,适用于喷洗和超声波清洗。

(17) 816清洗剂

适用于钢铁工件和铝合金工件,除油清洗力与缓蚀性均好。

(18) 803清洗剂

有突出的优点是:清洗温度要求在 $40\sim 50^{\circ}\text{C}$,使用时节省加热能源。在此清洗温度内除油清洗力最好。但无缓蚀性,使用时须另加缓蚀剂。

(19) 625清洗剂

有突出的优点是:清洗温度为 $40\sim 60^{\circ}\text{C}$ 。有良好的除油清洗能力,并且有较好的缓蚀性、消泡性和抗硬水性。

(20) 32-1清洗剂

一般要求加热使用,亦可用于常温清洗。除油清洗力和缓蚀性均好。低泡,适用于喷洗和超声波清洗。惟使用中有一种异常气味,清洗槽宜采用局部排风装置。

(21) LCX-52清洗剂

突出优点是能在常温下清洗除油，适用于有色金属和钢铁工件。并有抗硬水性。

(22) S S - 1 清洗剂

适用于金属工件。随工件表面粘附油污严重程度相应增高清洗温度。低泡，适用于喷洗和超声波清洗。

(23) S S - 2 清洗剂

性能优于 S S - 1 清洗剂。突出优点是能清洗轴承内粘附的黄油。适用于清洗镀锌工件和镁合金工件。

(24) X - II 清洗剂

突出优点是于常温下能清洗积炭。主要用于粘附严重油污的钢铁工件。惟使用中须防止清洗液分层。

(25) L F - 1 和 L F - 2 清洗剂

此两种清洗剂均适用于有色金属工件和钢铁工件的除油清洗。

L F - 2 清洗剂兼有清洗积炭的能力。

(26) 天鹅 - 4 清洗剂

能清洗金属工件表面粘附的机油、凡士林、黄油、石蜡、油墨和研磨膏残留物等，为其突出优点。

清洗温度宜为 $70 \sim 80^{\circ}\text{C}$ 。

(27) 离心 - 1、离心 - 2 和离心 - 3 清洗剂

离心 - 1 清洗剂有良好除油清洗力和缓蚀性。

离心 - 2 清洗剂的缓蚀性更为优异，适用于工序间清洗。

离心 - 3 清洗剂适用于清洗积炭。

(28) H D - 2 清洗剂

具有常温下清洗工件表面油脂污垢的突出优点，并能有缓蚀性，使用时低泡、适用于喷洗和超声波清洗，多应用轴

承、齿轮等精加工位清洗，也可用于船舶油槽、油箱内部的清洗。

3.3.3 金属清洗剂的选择

工件的材料不同和工件表面粘附油脂污垢的性质不同，几十种金属清洗剂的应用结果各有长短，需要正确选用，综合配置，才能既提高清洗质量又能缩短清洗时间。

通用的选择原则是：具有针对性的清除油脂污垢的能力，清洗过程对工件无腐蚀和其他不良影响，性能稳定，价格低廉，以及逐步向常温清洗、高效低泡和清洗机械化等方向发展。

具体的选择则需要依据清洗作业的具体技术要求进行。一般可扼要归纳阐述如下：

(1) 对铜铝合金制工件或镀锌工件宜选用平平加或TX-10清洗剂。

(2) 工件粘附较严重的液态和半固态污垢，或带有残存的研磨膏、抛光膏等，宜选用664、105、TX-10、平平加、761、77-3、8112、32-1等清洗剂。

(3) 需要清洗工件上粘附的热处理熔盐，所选用的清洗剂，应考虑在盐类电解水溶液中有良好的清洗力。如6503 816等清洗剂。

(4) 工件经清洗后有缓蚀要求宜采用6503、664、SP-1、32-1、8310、803等清洗剂。

(5) 当清洗作业需要采用喷洗方法或超声波清洗方法，应选用低泡清洗剂，如SP-1、32-1、625、805、SS-1、SS-2等。

(6) 当清洗作业受加热能源限制，清洗液加热使用温度要求尽量低，则应选用浊点低的清洗剂。现有国产清洗液

中，最佳的加热使用温度在 $40\sim 50^{\circ}\text{C}$ 和 $40\sim 60^{\circ}\text{C}$ 的清洗剂，主要有：803、816、625、SS-2、SP-1等。

如果受加热能源限制或其他条件限制，必须要求水基清洗液在常温下使用，则不得不选用在常温下具有很好除油清洗力的清洗剂。这些清洗剂的品种少，主要有：HX812、HX813、HX-814、SP-1、77-3、8112、8310、DJ-03、LC-3、LC-11、X-II、LCX-52等。

概括说来，清洗剂的选择主要考虑两个方面：清洗剂本身性能所具备的四要素和反映应用性能的几项指标，即常温下清洗或低温加热使用的节省加热能源；低泡或消泡性能以便适用喷洗或超声波清洗；具有缓蚀性，经清洗后的工件有防锈能力；以及成本低廉。

上述清洗剂本身性能的四要素是：溶解力、表面活性力、化学反应力和物理力。

水基清洗液的配制是在选定清洗剂后，应在清洗剂初定的临界浓度以上优选最佳浓度；然后依次优选添加的助剂。优选的一般原则主要是：尽量增加碱性化合物，以降低清洗剂的临界浓度；增加化学反应力以提高除油清洗力，控制pH值不使超过工件遭受腐蚀的界限。但是，为增加除油清洗力而增大pH值与防止工件遭受腐蚀两者是矛盾的，需要根据工件表面状况和清洁度要求权衡得失两者兼顾。

总之，经合理配制的EW型和BEW型清洗液，可以获得很好的除油清洗力，并能具有清除积炭、缓蚀防锈、消泡稳定和节省能源等多功能，称为多功能高效水基清洗液。但是，应当看到，除少数几种清洗剂以外，极大部分清洗剂对润滑脂、黄油的清除效果较差，而且，几乎全部清洗剂对清除水垢一般无效。但无论怎样，多功能高效水基清洗液具有

发展前景，将在越来越多的场合代替有机溶剂用作机械工厂的清洗液已是必然的发展趋势。

3.3.4 常用助剂及其选择

在BEW型清洗液中，添加助剂的目的，在于充分发挥表面活性剂的作用，改善清洗液的性能，以及使清洗液附加一些性能。如增强缓蚀性，使工件清洗后的几天内具有防锈能力；改善清洗液的稳定性；减少清洗液泡沫；调节清洗液的pH值；增强抗硬水性等。

常用助剂分为无机盐类和有机盐类两种，前一种应用较为广泛，后一种亦有相当发展前景。

(1) 无机盐类助剂及其选择

无机盐类助剂在EW型清洗液中能降低界面张力和临界胶束浓度，有利于增强清洗液中表面活性剂的润湿、乳化、增溶等作用。常用的无机盐助剂有：三聚磷酸钠、硅酸钠（水玻璃）、碳酸钠等。

三聚磷酸钠有很强的分散能力。如果将少量的三聚磷酸钠加到很硬的一块粘土中，粘土就会变成浆糊一样的流体，就是因为三聚磷酸钠溶于水后，成为带多电荷的胶团，这类胶团就能吸附在固体或油脂的表面上，起着分散作用。同样硅酸钠水解后也会产生带多电荷的胶团。带有多电荷的胶团对固态、液态的污垢具有良好的分散能力。

三聚磷酸盐在常温下水解缓慢，但当清洗液的pH值降低、浓度降低、温度升高和处理时间增加时，水解速度大大加快。水解的结果是生成臭磷酸钠和磷酸二氢钠等。所以水基清洗液中加入三聚磷酸盐的清洗效果一般要比臭磷酸盐、磷酸氢盐为好。

选用磷酸盐作助剂时，应注意清洗液排放前的治理，不

使污染环境。因为含磷酸盐的清洗液易引起水生藻类丛生而淤浅和影响鱼虾生存。

硅酸钠即水玻璃，又称泡化碱。它是没有一定组成的碱性硅酸盐，分子式为 $m\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ ，其中 $\frac{n}{m}$ 的比值称为模数。模数愈大则碱性愈低。清洗液中选用硅酸钠时，其模数宜为2.5~3.5，浓度为90°Be的工业品。

还应当指出，三聚磷酸盐、硅酸盐又都是水溶液中良好的缓蚀剂，对钢铁、铝合金等都有缓蚀效果。

硅酸钠的皂化、乳化润湿力大，pH值高，即使单一的水溶液也有较好的清洗能力。

碳酸钠有浸润油脂调节pH值的作用，几乎没有皂化性。

氢氧化钠在同一浓度条件下，为pH值最大的最稳定的碱，皂化作用大，对于铝合金件清洗有腐蚀作用。

对于铜合金件，为使清洗液具有缓蚀作用，可添加苯骈三氮唑钠盐。对于镁合金工件宜添加硼氟酸钠盐等。

(2) 有机盐类助剂及其选择

常用的有机盐助剂有羧甲基纤维素(CMC)，水解后生成带有多个羧基的胶体，为此也能吸附污垢的质点，并使这些分散的质点带上了同种电荷，使污垢能稳定地分散在清洗液中，当与表面活性剂分子共同存在时，能提高吸附能力。

氮三乙酸(NTA)和乙二胺四乙酸(EDTA)的钠也是一种有机盐助剂，其作用是软化水。但由于其络合能力太强，不仅能络合钙、镁离子，而且还能络合重金属离子和一些有机物质，因此往往使清洗液在排放前治理造成困难。

还有，在清洗液中添加脂肪酸和脂肪胺对增溶油脂污垢

亦是很有助益的。

有机盐类助剂一般都有消除或减少清洗液泡沫的作用。泡沫多不适用于喷洗，而且在搅拌和循环流动时溢出清洗槽外，对清洗槽管理带来困难。为使泡沫稳定可添加有机盐类助剂如脂肪酸醇酰胺和羧甲基纤维素等。如果为使泡沫减少又不明显影响去污能力，则宜添加泡沫抑止剂。常用泡沫抑止剂有：脂肪酸、脂肪酸酯、聚醚、有机硅等，以及亲油性的非离子型表面活性剂，其中特别是水溶性硅油有良好消泡作用。

3.3.5 常用水基清洗液的配方与工艺参数

由于近年国产金属清洗剂的类型、品种增多，相应地水基清洗液的配方有多种多样。现将生产实践中应用效果较好的配方加以比较、筛选，整理归纳为几十种配方推荐如下：为使用便利，按照清洗温度分为三档：即60~90℃为一档；35~50℃为一档；常温下清洗为一档，列表说明水基清洗液的配方、工艺参数和适用性，分别见表2-1、表2-2和表2-3。

表2-1 常用EW型和BEW型水基清洗液的配方、工艺参数和适用性（清洗温度60~90℃）

组 份		主要工艺参数	适 用 性
名 称	含量, %		
105清洗剂	0.2	清洗温度90℃ 浸洗 30min 再取出擦拭	拖拉机发动机 维修拆卸后的活 塞等部件所粘附 的严重油污、积 炭均能清除
苛性钠	2		
磷酸三钠	1		
硅酸钠	4.5		
水	余量		

(续)

组 份		主要工艺参数	适 用 性
名 称	含量, %		
105清洗剂 6503清洗剂 TX-10清洗剂 水	0.25 0.13 0.13 余量	清洗温度90°C 喷洗4~6min 喷洗压力0.34 ~0.39MPa	铁铝合金和铜铁工件, 用于清洗轴承润滑油积炭等
664 清洗剂 105 清洗剂 6503 清洗剂 水	1 1 1.5 余量	清洗温度80~90°C 浸洗2min 浸洗时上下窜动	清洗钢铁工件油脂污垢
664 清洗剂 105 清洗剂 羧甲基纤维素 水	2 1 0.05 余量	清洗温度85~90°C 浸洗2~3min 浸洗时上下窜动	精密加工的钢铁工件, 清洗油脂和抛光膏效果良好
平平加清洗剂 水	1.0~1.5 余量	清洗温度60~80°C 浸洗5min 浸洗时上下窜动	铝铜及其合金, 用于清洗轴承润滑油积炭
664 清洗剂 水	2~3 余量	清洗温度75°C 浸洗3~4min 浸洗时上下窜动	钢铁工件, 清洗硬脂酸、石蜡、凡士林等 不适于清洗铜、锌、有色金属工件
105 清洗剂 碳酸钠 磷酸三钠 水	1.5 2.3 1.8 余量	清洗温度90°C 浸洗5~10min 浸洗后取出擦拭	油脂污垢严重的钢铁工件清洗后可达到较好清洁度。此种水基清洗液成本低廉
664 清洗剂 6503 清洗剂 平平加 水	1.0~1.5 1.0~1.5 1 % 余量	清洗温度90°C 浸洗10~15min	清洗淬火后的钢铁工件, 其表面粘附的浴盐残留物能清除干净
105清洗剂 TX-10清洗剂 水	0.3 0.2 余量	清洗温度60~90°C 喷洗4~6min 喷洗压力0.39 ~0.49MPa	清洗钢铁工件和铝合金工件粘附的油脂污垢
664 清洗剂 平平加清洗剂 三乙醇胺 泊酸 聚乙二醇 水	0.5 0.3 1.0 0.5 0.2 余量	清洗温度75~80°C 浸洗1min 浸洗时上下窜动	精密加工的钢铁工件清洗油脂能力强

表2-2常用EW型和BEW型水基清洗液的配方、工艺
参数和适用性 (清洗温度35~50°C)

组 份		主要工艺参数	适 用 性
名 称	含量, %		
6503 清洗剂	0.5	清洗温度35~45°C 超声波清洗 工作频率17~21kHz 清洗时间4min	用于粘附油脂的精密加工的工件, 并能清洗半固态污物和精研、抛光后的油泥
TX-10 清洗剂	0.3		
聚乙二醇	0.2		
邻苯二甲酸二丁酯	0.2		
磷酸三钠	1.5~2.5		
水	余量		
664 清洗剂	0.8	清洗温度35~45°C 浸洗 浸洗时上下窜动	用于钢铁工件表面粘附的油脂、钙皂、铜皂有良好效果, 并有良好的中间防锈作用
平平加清洗剂	0.6		
油酸	1.6		
三乙醇胺	0.8		
亚硝酸钠	0.6		
水	余量		
6501清洗剂	0.2	清洗温度35~45°C 超声波清洗 工作频率17~21KHz 清洗时间4~5min	精密加工的钢铁工件清洗矿物油和含氧化铬等物的研磨膏残留物
6503清洗剂	0.2		
三乙醇胺油酸皂	0.2		
水	余量		
664 清洗剂	0.3~0.5	清洗温度~50°C 浸洗 浸洗时上下窜动 清洗时间1~2min	有色金属工件和钢铁工件, 尤其适用于精密工件, 清洗后具有中间防锈作用
平平加清洗剂	0.3		
三乙醇胺	0.3		
乳化油	0.01		
水	余量		
6503清洗剂	0.4	清洗温度35~45°C 超声波清洗 工作频率17~21KHz 清洗时间4min	钢铁工件, 清除工件表面粘附的铁屑或机械杂质、氧化膜等
亚硝酸钠	0.4		
灯用煤油	2~3		
石油磺酸钡	0.1~0.2		
水	余量		

表2-3 常用EW型和BEW型水基清洗液的配方、工艺参数和适用性(清洗温度为常温)

组 份		主要工艺参数	适 用 性
名 称	含量, %		
SP-1 清洗剂	1	常温 浸洗 清洗时间: 3~4min	铝、铜、锌及其合金 工件, 钢铁工件亦适 用清洗油脂灰尘等
105清洗剂	1		
硅酸钠	0.2		
三聚磷酸钠	0.2		
硅酸钠	0.1		
水	余量		
105清洗剂	0.08	常温 超声波清洗 喷洗 浸洗 清洗时间6~10min	钢铁工件
NA乳化剂	0.1		
氢氧化钠	0.2		
碳酸钠	1.2		
磷酸钠	0.2		
煤油	0.15		
水	余量		
816 清洗剂	2	常洗 超声波清洗 清洗时间 6~10min	钢铁工件
多聚磷酸钠	0.5		
硅酸钠	0.5		
磷酸三钠	0.5		
水	余量		

4 BW型清洗液的配制及其应用

BW型清洗液即传统的碱液。主要供清除金属工件表面的油脂和油垢, 粘附在工件表面的浮渣、尘粒、炭渣和混在油脂中的研磨料等也能清除。

碱液清洗的机理是利用碱液与油膜表面的润湿作用, 降

低表面张力，减小油膜厚度和破坏油膜，使清洗液与金属工件表面直接接触，依靠清洗液的润湿、乳化、分散作用，将油脂污垢清除。

BW型清洗液的配制要求，主要有：

- (1) 具有溶解力高和合适的碱度；
- (2) 对液态油污有乳化性；
- (3) 对固态油污有弥散性；
- (4) 清洗后工件易于漂洗干净；
- (5) 具有较好的润湿能力，表面张力低；
- (6) 稳定性好；
- (7) 进行电解清洗时有良好的导电性；
- (8) 有效浓度宜低，减少材料消耗；
- (9) 减少排放或漂洗的水对环境的污染。

BW型清洗液的配制常为多种组份，才能具有预期的综合性能。主要控制适宜的碱度。有碱存在能中和游离的脂肪酸，还能部分地皂化植物油或动物油。当pH值低于10.2时，肥皂发生水解，pH值低于8.5时，肥皂甚至不能生成，pH值大于10时，轻金属工件可能发生腐蚀；pH值大于12.5时，有色金属将发生腐蚀。为此须考虑加入硅酸盐，因为硅酸盐在清洗液中将与工件表面形成保护膜。并有利于控制碱度。

在一般条件下，清洗液的碱度随金属工件的材料和表面粘附油污严重程度确定，推荐碱度控制如下：

对于钢铁件粗荒清洗	pH值为12~14
一般油污的粗荒清洗	pH值为11~12
有色金属工件	pH值为10~11

常用的BW型清洗液的配方及其适用性见表2-4。

表2-4 BW型清洗液配方及其适用性

组 份		工艺参数	pH值	适 用 性
名 称	含量, g/l			
NaOH	50~100	清洗温度 80~90°C 浸洗 12~15min		钢铁件
Na ₃ PO ₄	10~35			
Na ₂ CO ₃	10~40			
Na ₃ SiO ₄	10~30			
Na ₂ CO ₃	8	清洗温度 80°C 喷洗 1.5min	12~13.5	钢铁件
NaOH	4			
Na ₃ PO ₄	3			
Na ₂ CO ₃	40~60	清洗温度 70~90°C 浸洗	≥8~8.5	铝及铝合金 工件, (须要加 硅酸盐类控制 pH值)
Na ₃ PO ₄	40~50			
水玻璃	2~5			
海鸥润湿剂	0.004~0.005			
Na ₂ CO ₃	50~50	清洗温度 70~80°C 浸洗	10.5~11.5	黄铜、锌等工件
Na ₃ PO ₄	20~40			
皂粉	1~2			

5 ESW型清洗液的配制及其应用

ESW型清洗液即乳化溶剂型清洗液。这是由有机溶剂和乳化剂作组合以提高除油清洗能力。这类清洗液适用于金属工件的粗荒除油, 而且清洗除油速度快, 特别适用于单用有机溶剂或碱液不能清除的污物。

乳化溶剂型清洗液的清洗机理主要依靠大量乳化剂参与

清洗过程，使油脂乳化的作用增大，油脂被有机溶剂稀释而粘度减小；同时乳化时加强了润湿金属工件表面。总之，清洗液中溶剂主要是溶解油脂和润湿金属工件表面，而水润湿非有机污物并使其弥散，同时金属工件表面依靠乳化作用消除有机污物。

可供在常温下清洗除油的 ESW 型清洗液的配方如下：

石碳酸油（含25%苯酚）	100ml
三氯乙烯	250ml
煤油碳酸盐	20~40ml
三甲酚	20~40ml
绿色肥皂	90~100g
水玻璃	0.5~1ml
水	10~25ml

按以上配方配制的 ESW 型清洗液，在常温下清洗多种金属工件的一般油污仅需 0.5~1min；对于清除工件表面厚层污物约需 10min，即可清洗干净。但此种清洗液的成本高。为降低成本，改变组份，但要求加热至 80℃。可达到相同清洗效果。而所配制的清洗液的成本仅为原用配方的 25~30%。改变组份后的配方如下：

石碳酸油（含25%苯酚）	100ml
煤油碳酸盐	5~10ml
绿色肥皂	50~60g
水玻璃	0.3~0.8ml
混脂酸	0.5~1.0ml
水	10~15ml

按上述配方配制的清洗液适用于钢铁工件和有色金属工件。清洗时须配置局部排风装置。

6 S型及其复配清洗液的选择与应用

6.1 S型清洗液的选择原则

S型清洗液有三类：一是氯化烃类溶剂，或称氯代碳氢化合物；二是石油系列溶剂；三是高清洗能力的有机溶剂，其中常用的有：甲醇、乙醇、丙酮、二甲苯等。选择S型清洗液的一般原则如下：

- (1) 具有溶解各种油脂的能力；
- (2) 稳定性好，在光、热或化学药品作用下不易发生分解，在贮运中性能不发生变化；
- (3) 容易再生。这项要求在很大程度上决定清洗作业的经济性；
- (4) 不易燃；
- (5) 无毒。

可供作清洗液的石油溶剂系列有：汽油、柴油、煤油、航空汽油，以及含有2~5%的置换防锈油的汽油，或是适量油溶性缓蚀剂的汽油，还有作为航空汽油的代用品的组合溶剂，即苯占62%，醋酸丁酯占18%，丙酮占20%。

汽油能溶解多数油脂，稳定，使用方便。但易着火而强烈燃烧。必须采用妥善安全卫生防护措施才能使用。一般只允许用少量汽油，用手工操作方式擦洗或浸洗。钢铁工件和有色金属工件均适用。对于温度大的清洗作业场所，工件表面易凝露，需添加缓蚀剂。

煤油、柴油的挥发性比汽油小，比汽油稍安全，清洗能力不及汽油。与汽油性质相似，亦是属于有限制使用的清洗液。

航空汽油的除油清洗能力甚好，目前仍为国防军工生产

中的清洗作业所必需。但从其应用的安全卫生要求考虑,亦应由安全性好的清洗液所取代。

含置换性防锈油的汽油清洗金属工件时,能将工件表面的水膜和汗液置换为油膜,形成薄而紧的保护层。

油溶性缓蚀剂有多种,可供石油溶剂清洗液配制时选用。

氯化烃类溶剂中有多种溶剂适宜用作金属工件的清洗液,其中有代表性的有三种:即三氯乙烯、稳定化1:1:1三氯乙烯和三氯乙烷。

6.2 三氯乙烯

三氯乙烯适宜用作清洗液,因其具备以下优异的性能:

(1) 三氯乙烯具有极强的溶脂能力。贝壳松脂丁醇值为1300。溶脂能力在常温下为汽油的4倍,在50℃时为汽油的7倍。

(2) 在常温下无可燃性和无可爆性,使用安全。

(3) 蒸气密度大,在沸点下为4.45g/l。使用过程中,蒸气可保持一层水平的界面,便于掌握和控制。气相状态下,蒸气一般不随意扩散。

(4) 蒸气潜热低,为239.5J/g。在使用过程中,蒸气在金属工件表面大量冷凝,起到良好清洗作用;相应地,除油清洗及溶剂回收所需要的热量及冷凝时所需冷量都较低。

(5) 沸点低,为86.9℃。热源容易选择,同时容易从混有杂质的溶剂中再生。

(6) 表面张力低,容易渗透到清洗的金属工件的各部分,即便缝隙、孔眼、凹槽等部位都能清洗到。

(7) 在120℃下,三氯乙烯对一般金属工件的腐蚀作用极小。如添加适宜缓蚀剂,对铝、镁等轻金属均无腐蚀。

特别由于其比电阻大，适用于电气设备等的清洗。

从三氯乙烯的物理性质和化学性质分析，亦是适宜用作金属清洗液。三氯乙烯的物理常数见表2-5。

表2-5 三氯乙烯的物理常数

物理常数	说 明	数 值
分子式		C_2HCl_3
分子量		131.4
比重	在20/4°C	1.464
沸点		86.9°C
凝固点		-86.4°C
闪点		无
蒸发速度	以乙醚为100	28
蒸气密度	沸点, 101.325KPa	4.45g/l
蒸气潜热	在20°C下	239.5J/g
蒸气压	在20°C下	7705.9Pa
比 热	在20°C下液态	0.95J/g·K
表面张力	20°C时液态	2.9Pa
	30°C时气态	0.9Pa
介电常数	16°C时液态	3.42
膨胀系数	0~40°C平均值	1.17×10^{-3}
溶解度	25°C时 三氯乙烯/水	0.11/100
	25°C时 水/三氯乙烯	0.032/100
空气中扩散度	25°C时	0.073cm ² /s
传热系数	20°C时液态	0.454W/m ² K
	气态在沸点时	0.027W/m ² K
溶脂能力	25°C时	为汽油4倍
	50°C时	为汽油7倍
贝壳松酯丁醇值		150
蒸汽蒸馏时	液剂与水的共沸点	73
又, 当蒸汽蒸馏时	溶剂与水之质量比	13.1

三氯乙烯用作清洗液的主要清洗方法是气相清洗，其机理由本身的物理特性所决定。三氯乙烯的沸点低，易于气化

及冷凝，蒸气密度大，且不易扩散。当三氯乙烯蒸气与工件表面接触后，在工件表面冷凝成液体，将工件表面所粘附的油脂污垢溶解和冲洗掉；同时工件受三氯乙烯蒸气传来热量，温度逐渐上升，当上升至与三氯乙烯温度相近时，冷凝作用即行逐渐终止，此时除油作用亦随之结束。如此不断循环，与工件接触的总是保持清洁的三氯乙烯蒸气。

三氯乙烯用作清洗液，除了主要为气相清洗外，还可以浸洗、喷洗，或三者组合清洗。亦可与超声波清洗配合使用。

三氯乙烯在清洗作业过程中，受水、光、热、氧、金属粉末等因素的作用，分解出盐酸和光气等，是必须加以解决的。为防止三氯乙烯在清洗作业过程分解，必须添加适宜的稳定剂，才能使清洗过程稳定，详见下一章气相清洗一节。

6.3 稳定化1:1:1三氯乙烷

稳定化1:1:1三氯乙烷所以用作清洗液因其有溶解油脂的性能，即有良好的除油清洗力；同时在氯化烃类溶剂中为低毒性，即具有较可靠的安全性。

1:1:1三氯乙烷的物理常数如下：

分子式	CH_2CCl_2
分子量	133.41
凝固点	-38°C
沸点范围：(5~95%)	$71\sim 81^\circ\text{C}$
密度：液体	$1.33\text{g}/\text{cm}^3$
蒸气	$4.55\text{g}/\text{l}$
表面张力 (25°C)	2.53Pa
蒸发潜热	$239.5\text{J}/\text{g}$
溶剂在水中的溶解度 (25°C)	800ppm

水在溶剂中的溶解度 (25°C)	350ppm
介电常数 (20°C)	9.3

1:1:1 三氯乙烷的含水量应小于400ppm, 否则, 其稳定性不能符合要求。

1:1:1 三氯乙烷的除油清洗能力与汽油作比较, 比汽油优异。与之配合的清洗方法主要为浸洗和气相清洗, 而以浸洗最为方便和安全, 亦可以喷洗、超声波清洗和擦洗。使用中防止与皮肤反复接触, 因其脱脂力强, 对皮肤有刺激性。在水分、光、热等影响下, 可能发生分解反应, 生成光气、氯气、氯化氢等。

1:1:1 三氯乙烷用作清洗液主要清除钢铁工件表面残存的研磨膏。对于已半干涸的研磨膏亦具有优异的清洗能力, 但对铝合金工件清洗时, 稳定性较差。

6.4 三氟三氯乙烷

三氟三氯乙烷简称氟里昂113, 是多氟卤代的乙烷, 为卤代烯烃族溶剂中清洗力高而又安全的一种清洗液。

三氟三氯乙烷的主要物理常数如下:

分子式	$\text{CCl}_2\text{F} \cdot \text{CF}_2\text{Cl}$
分子量	187.4
沸点	47.6°C
凝固点	-35°C
密度: 液体 (25°C)	1.564g/cm ³
气体 (47.6°C)	7.399g/l

当用作清洗液时有突出优点, 首先是不燃、低毒、使用安全, 在空气中的允许最高浓度比三氯乙烯放宽10倍以上。因其沸点低, 仅47.6°C, 对极大多数工件不敏感。沸点低, 则气相清洗后蒸发速率快, 清洗时间短, 很快可进入下一步

工序。还有，三氟三氯乙烷的表面张力小，粘度小，能润湿多种材料，如一般有机溶剂不能润湿的塑料（如四氟乙烯等），而三氟三氯乙烷能很好润湿，渗透力强。对形状复杂的精巧的工件能渗透到内部而不必要拆开清洗，可缩短清洗作业周期，提高生产率。特别是其稳定性好，与各种材料接触不起化学反应。尤为适宜清洁度要求高的工件和电器元件、仪器部件等。此外，三氟三氯乙烷易于回收精制，实现重复使用。

适宜与这种清洗液配合的清洗方法有：浸洗、气相清洗、超声波清洗和喷洗，其中以气相清洗为主。主要清洗清洁度要求高的精密工件和部件，如精密轴承、精密仪器、电器控制部件等。

这种清洗液所需成本高。气相清洗设备较为复杂，管理维护技术性强。推广应用难度较大。

由于是一种性能优异的清洗液，国外发展为一种复配清洗液，即以三氟三氯乙烷为基础加入其他有机溶剂，用不同类别的有机溶剂及其不同比例混合配制，得到一系列复配清洗液，有的为共沸物，有的为非共沸物，但各有特异的清洗性能和适用性。现将其中清洗性能明显优异及其适用性广泛的几种复配清洗液的配制、性能特点和主要的适用性简要介绍如下：

（1）F113与乙醇复配清洗液

F113占65%，乙醇占35%配制而成。20℃时密度 1.17 g/cm³，凝固点-78℃，一般不燃，稳定。适用于清洗带极性的油泥，尤其适用于清洗电工仪表、电子仪表的印刷电路、继电器等部件上焊渣。

（2）F113与甲醇复配清洗液

F113占93.5%，甲醇占6.5%配制而成，为共沸物，沸点 39.6°C 。 20°C 时密度为 $1.48\text{g}/\text{cm}^3$ ，凝固点 -38°C 。溶解力很强。适用于清洗离子性污垢和焊渣。

(3) F113与丙酮复配清洗液

F113占86.8%，丙酮占13.2%配制而成。

为共沸物，共沸点为 44°C ，凝固点 -101°C ， 26°C 时密度 $1.40\text{g}/\text{cm}^3$ 。与轻金属长期接触会离解。主要供清洗塑料和弹性体部件上熔融的脱模剂，以及用于电子组件清洗。

(4) F113与异丙醇复配清洗液

F113占65%，异丙醇占35%配制而成。

20°C 时密度 $1.16\text{g}/\text{cm}^3$ ，凝固点 -70°C 。

为F113系列溶剂中溶解力最强的一种。主要供清洗有机和极性污垢，能清洗焊渣和工件表面上的痕量水迹。

第一章 概 述

1 清洗作业的重要性

产品清洁度是机电产品的一项主要质量指标。产品清洁度下降往往造成机电产品的性能下降,如轴承“抱轴”、气缸“拉毛”、导轨“咬合”,一些配合副、磨擦副出现过度磨损,产品的精度丧失等。因此产品清洁度通常成为反映机械工厂的清洗技术水平、组织文明生产和工厂技术管理水平的一个综合性评价指标。

工业发达国家生产的机电产品,出厂时对产品清洁度都有严格规定,如日本生产的100马力以下的柴油机,对主要零部件的清洁度分别有规定,如气缸体的残留油污量规定不超过70mg,曲轴为17.6mg,连杆为12mg等等。美国生产同类产品的清洁度要求也很高,检查工件清洗质量时规定用5 μ m滤纸,凡属5 μ m以上的污垢和油污均作为残留油污量计算。对于电子器件和精密零件生产,清洗作业属于生产中的关键工艺,清洁度不合格即造成产品质量降级,甚至产品报废。

产品清洁度主要由工件的清洗质量来保证,要提高产品清洁度就必须从工件清洗质量做起,而清洗是多种工艺过程中反复进行的一项工序,为此要求在生产过程的各个环节做好清洗作业,其中比较重要的环节如下:

机械加工生产线的开始和终结以及重要加工工序前后,如精密磨削加工前后,都需要设置清洗工位,对工件进行清洗。这种清洗作业一般称为工序间清洗。

热处理工序前后要求工件进行一般性清洗。由于热处理后工件表面往往有残留浴盐，污垢程度比较严重。

装配前和装配过程中要求严格清洗，其清洗质量直接影响产品的清洁度，清洗的质量要求高。装配过程中有零件和部件的清洗。

防锈封存前的工件必须进行必要的清洗，以便在其表面涂覆防锈或防锈膏。封存时间要求长，相应地清洗要求严格。否则，直接影响工件或产品的防锈封存有效期。

电镀前的工件必须清洗除油干净。否则，镀层与工件基体不能结合牢固，因此清洗质量要求高。

涂装前的工件必须清洗除油干净。否则，涂层（常称底漆）与工件基体不能结合牢固，因此清洗质量要求高。有的涂装工艺要求在底漆前，先作磷化处理，同样要求工件清洗洁净，否则磷化膜与工件基体不能结合牢固，反而脱落。

防锈前、电镀前和涂装前的除油清洗工序是一项基础工作！除油清洗质量差，将导致除油清洗后的所有作业都归于无用，以至不得不重新进行除油清洗，重复以上作业。

关于各种工艺过程中的清洗质量要求，国内尚未有分级规定的标准，国外有按分级规定清洗质量的技术要求，系按工件的单位表面积允许的残留油污量计算，其参考数值如下：

热处理后清洗	$1.25 \sim 0.75 \text{mg/cm}^2$
机械加工过程中清洗	$1.0 \sim 0.55 \text{mg/cm}^2$
防锈前清洗	$0.55 \sim 0.1 \text{mg/cm}^2$
电镀前和涂装前清洗	$0.1 \sim 0.01 \text{mg/cm}^2$
装配前和装配过程中一般工件清洗	$0.15 \sim 0.05 \text{mg/cm}^2$

此外，电子器件、精密零件，光学元件等清洁度要求高

的工件或部件，则应按其专业标准规定的控制值进行质量检查。

2 清洗作业三要素

清洗是借助清洗设备（或工具）将清洗液作用于工件表面，用一定的清洗方法除去工件表面粘附的油脂污垢，并使工件表面达到一定的清洁度。在有些情况下，要求清洗后的工件具有一定的缓蚀性。

清洗作业有三要素：清洗液、清洗方法和清洗设备（或工具）三者缺一不可。惟有三者互相配合协调，才能使清洗作业取得良好的技术经济效果。

清洗是从工件表面除去所粘附的油脂和污垢。为此，有必要了解、分析这类油脂和污垢的组成及其性质。这类油脂和污垢从其化学性质区分，包括有机物和无机物两类，从其物理状态区分，包括液态、半固态和固态三类。

属于有机物的有：多种矿物油、动物油、植物油、蜡、旧漆、脂肪酸混合物等。属于无机物的有：灰尘、抛光膏和研磨膏的残留物等。

油脂和污垢按照物理状态区分，作为液态存在的有多种油类，作为半固态存在的有各种脂类、蜡、粘附的肥皂等，作为固态存在的有旧漆、灰尘、泥巴、抛光膏和研磨膏中的颗粒物及混合污垢等。

通过清洗除去上述各类和各种状态的油脂和污垢，主要依靠清洗液和清洗方法两者作用于工件表面的各种能力，主要是属于清洗液本身性能所具备的有：溶解能力、表面活性力和化学反应产生中和或分解。

属于清洗所产生和施加于工件表面的能力有：冲击力、

搅拌力、电解（或振动）。

清洗设备则是清洗液和清洗方法产生上述各种能力，并且是充分发挥作用的必要条件。

因此，清洗液、清洗方法和清洗设备三者是互相依存、互相促进的三要素。为了提高清洗水平，必须提高清洗液的各项性能和清洗方法的效率，以及提高清洗设备的技术经济效益。

3 清洗作业的分类与发展趋向

关于清洗作业的分类，国内迄今未有统一方法，以至分类叫法比较混乱。近年国家劳动人事部下达《涂装前处理工艺安全规程》国家标准编制任务。此项国家标准审定稿中将清洗作用清洗方法进行分类，具体分为：手工清洗、机动工具清洗、浸渍清洗、喷淋清洗、高压喷射清洗、电解清洗、超声波清洗和多步清洗。

过去习惯于沿用清洗液分类，分为：汽油清洗、柴油清洗、煤油清洗、水剂清洗、三氯乙烯清洗和碱液清洗等。但当采用超声波清洗方法用于清洗作业时，就称作超声波清洗，因为超声波清洗可以配用汽油、煤油、三氯乙烯、水基清洗液等清洗液，采用清洗液分类则无法体现超声波清洗这一特征。同样，当采用气相清洗、高压喷射清洗等也有这样的矛盾，当配用多种清洗液时，就不得不采用清洗方法来分类。由此可以比较，采用清洗方法分类比用清洗液分类更为准确地反映清洗作业的特征。按照清洗方法分类能及时反映清洗技术的进展，将新发展起来的清洗方法在分类中得到反映。近四五十年來，清洗技术发展表明，清洗液是比较稳定的，目前沿用的清洗液，其中大多数，在国外，四十年代就

已经使用。至于清洗方法的发展较为活跃，高压喷射清洗是近二三十年发展起来的。高压喷射清洗的压力从原来4.9 ~ 5.8MPa提高到19.6MPa左右，近来则提高到98.1MPa左右。至于多步清洗，每步清洗工序可以采用上下清洗工序，也可采用不相同的清洗液，组织清洗生产线，更属近二三十年发展起来的。

清洗设备相对于清洗液和清洗方法而言，发展较为缓慢。目前清洗设备仅有两三种类型和少数几种技术规格进行小批生产，大多数的清洗设备仍然处于非标准设备状态，距离通用化、系列化、商业化尚远，更没有形成一个行业。清洗技术的科研中心亦未形成，清洗技术的科研规划分散在几个行业进行。

当前清洗技术的发展趋向主要有以下几个方面：

(1) 从坚持向国际标准过渡和靠拢的要求出发，首先抓紧制订钢铁工件清洗质量的国家标准，将清洗质量检查分级、统一，并有成套的检查方法、检查仪器和检查试剂。使工件清洗质量的检查具有重现性。

(2) 从节省能源推广“以水代油”的政策出发，积极推广水基清洗液代替有机溶剂。

按照全国部分地区粗略统计，业已实现用水基清洗液代替石油系列溶剂用作清洗液的工厂，按照消耗量计算约占15%左右。可知水基清洗液的推广应用很有可为，任务很重。

近年国内市场上出现的金属清洗剂牌号很多，有一百三十种之多，极大多数生产厂为集体所有制的县、乡、村办工厂。其中大部分金属清洗剂的组份，性能相似或相近，经同类型归并后，主要类型约有三四十种，其中可供常温下使用的

类型品种很少，极大部分需要加热使用。

为推广水基清洗液代替石油系列溶剂用作工厂的清洗液，要求相应地解决以下三项配套技术：

其一为筛选高效多功能水基清洗液，将其主要组份实现粉体化、商品化，方便用户，从市场购回直接加水使用，改变目前由工厂用户自行设计制造、调配清洗液配方的状况。

其二与水基清洗液配套的带加热器的清洗槽、过滤器、局部排风装置配套供应，定点生产，实现通用化、系列化、商品化。

其三由于应用水基清洗液，为防止工件清洗后的冲洗水（或漂洗水）连续排放造成环境污染，将其废水治理装置定点生产，配套供应。

（3）常温下使用的水基清洗液，节省工件清洗的加热能源。

（4）发展和提高多步清洗，组织清洗生产线，使清洗作业实现高清洁度和高生产率。

（5）加强清洗技术研究，形成清洗技术研究中心，制订清洗技术长远发展规划，将清洗设备纳入通用化、系列化轨道，逐步形成清洗设备制造行业，加强专业化，推动清洗技术不断发展前进。

5	ESW型清洗液的配制及其应用	34
6	S型及其复配清洗液的选择与应用	36
6.1	S型清洗液的选择原则	36
6.2	三氯乙烯	37
6.3	稳定化 1 : 1 : 1 三氯乙烷	39
6.4	三氟三氯乙烷	40
第三章	清洗方法及其应用	43
1	清洗方法的选择	43
2	高压喷射清洗	45
2.1	高压喷射清洗的适用性与工 作原理	45
2.2	高压喷射清洗的工艺参数选择	48
2.3	喷嘴的类型及选择	50
2.4	防止形成和消除梳状漏喷	52
3	气相清洗及其组合清洗	54
3.1	气相清洗及其组合清洗的特点	54
3.1.1	气相清洗	54
3.1.2	气-浸组合清洗	56
3.1.3	气-喷组合清洗	57
3.1.4	气-浸-喷组合清洗	59
3.2	组合清洗方法的选择	60
3.3	气相组合清洗的工艺要点	60
3.3.1	添加稳定剂及其选择	60
3.3.2	清洗液槽体防腐蚀措施	62
3.3.3	使用中的安全性	64
4	电解清洗	64
4.1	电解清洗的作用机理与适用性	64
4.2	电解清洗的工艺参数	65
4.3	电解清洗作业的电极选择	68

5	超声波清洗	69
5.1	超声波清洗机理	70
5.2	清洗液选择	71
5.3	超声波清洗工艺	72
5.3.1	超声波清洗的工作频率和功率	72
5.3.2	清洗液温度	74
5.3.3	超声波清洗时间	74
5.3.4	超声波清洗工艺要点	74
6	多步清洗	75
6.1	液压件四步式清洗生产线	76
6.2	柴油机油泵油嘴五步式清洗生产线	77
6.3	光学元件八步式清洗生产线	77
第四章 清洗设备的设计与应用		79
1	清洗槽设计	79
1.1	清洗槽的类型、组成与材料	79
1.2	清洗槽的设计要点	81
1.3	清洗槽槽体尺寸计算	83
1.4	常用带加热器的清洗槽的结构与尺寸	86
2	清洗槽液加热装置	87
2.1	热源选择	87
2.2	加热装置计算	88
2.2.1	直接蒸汽加热所需蒸汽消耗量	88
2.2.2	间接蒸汽加热所需蒸汽消耗量	89
2.2.3	蒸汽加热器传热面积与尺寸	91
2.2.4	电加热及其管状加热器计算	93
2.2.5	清洗槽加热升温时间确定	95
3	喷射清洗装置设计与应用	95
3.1	装置壳体与槽体	96
3.2	喷射系统	98

3.3	喷射清洗装置的传送链保护措施	104
3.4	常用喷射清洗装置	105
3.4.1	固定式喷管喷射清洗装置	105
3.4.2	旋转式喷管喷射清洗装置	105
3.4.3	工件旋转式喷射清洗装置	107
4	气相清洗装置设计与应用	110
4.1	气相清洗槽设计	110
4.2	气相-组合清洗装置的设计与应用	113
4.2.1	组成及其材料选择	113
4.2.2	液水分离器主要尺寸的确定	114
4.2.3	局部通风装置	115
4.2.4	监测控制措施	116
4.3	气相清洗与气相组合清洗装置	117
4.3.1	大批量生产用气相清洗装置	117
4.3.2	气相清洗与气-浸组合清洗装置	117
4.3.3	气相清洗与气-喷组合清洗装置	119
5	超声波清洗装置的设计与选用	120
5.1	超声波清洗槽设计	120
5.2	换能器与超声波发生器的选用	123
5.3	超声波清洗装置	125
5.3.1	微型工件半自动超声波清洗机	125
5.3.2	多步超声波清洗生产线	127
第五章	清洗质量检测	130
1	清洗质量的评价指标	130
1.1	产品清洁度	130
1.2	工件表面清洁度的等级	131
1.3	清洗液性能失效的检测	133
2	工件清洗质量的检测	134
2.1	挂水法与喷雾法	135

2.2	荧光法与硫酸铜法	136
2.3	专用试纸法	136
2.4	接触角法	137
2.5	重量法	139
3	水基清洗液的清洗能力检测	140
3.1	人工油污的配制与涂复	140
3.2	试件清洗工艺	142
3.3	浓度检测	144
第六章 清洗作业的劳动安全与环境保护		146
1	清洗作业安全的紧迫性与重要性	146
2	清洗作业的安全技术要求	148
2.1	清洗作业场所的劳动安全要求	148
2.2	清洗作业场所的卫生技术要求	149
2.3	各种清洗作业方法的主要安全措施	151
3	清洗作业的通风净化	152
3.1	清洗作业场所的通风设计要求	152
3.2	清洗作业工位的局部排风	154
3.2.1	一般设计原则	154
3.2.2	清洗槽槽边局部排风工作原理	155
3.2.3	排风罩的选择	156
3.2.4	风速的选择	160
3.3	清洗作业场所的全面通风	161
3.3.1	全面通风换气量计算	161
3.3.2	全面通风的气流组织	163
3.4	碱性清洗液的碱雾净化	164
4	清洗作业的废水治理	166
4.1	清洗作业的废水源及其特征	166
4.2	清洗作业废水的治理方法与装置	167
4.2.1	治理方法选择	167

4.2.2 治理装置.....	174
5 清洗作业场所的噪声治理.....	171
5.1 清洗作业场所的主要噪声源与治理要求.....	171
5.2 清洗槽加热蒸汽的气流噪声的治理.....	173
5.3 清洗作业场所风机与风管噪声治理.....	175
5.3.1 风机噪声特性.....	175
5.3.2 风机噪声治理措施.....	176
5.3.3 风管噪声的综合治理.....	178
参考文献	179