

切削液应用技术

第 8 讲：切削液的净化处理

刘镇昌 济南库伦特科技有限公司 济南 250101

摘要：介绍切削液工作液的净化方法，包括过滤分离、沉降分离、磁性分离及其组合。

关键词：切削液，净化方法，过滤分离，沉降分离，磁性分离

0 概述

切削液在使用过程中不可避免地要混入杂油、切屑、尘埃等固体颗粒污染物，这些污染物主要来自加工区，切削液的每一次循环都会从加工区带回一部分。切削液净化就是将污染物从切削液中及时分离出去，使其被重新送入加工区时尽量不含或少含污染物。

通常，切削液使用者习惯于从感官上判断切削液的清洁度，只要不发生明显变色、看不见切屑等明显的污物，就认为切削液是清洁的，往往忽略肉眼看不见的微小固体颗粒对加工效果的影响。切削液中的微小固体颗粒被带入切削区后，会在刀-屑、刀-工界面上产生极为不利的影 响：增大接触面间的摩擦，加重刀具的磨料磨损，导致刀具寿命降低，还会影响已加工表面质量。有报道指出，如果将切削液中的固体颗粒污染物的粒径范围从 $40\mu\text{m}$ 降至 $10\mu\text{m}$ ，可延长刀具寿命 1~3 倍^[1]。此外，切削液中的金属颗粒容易与其中的某些物质起化学反应，加速切削液的劣化变质；固体污染物与切削液的固-液界面还是微生物孳生的场所。除去污染物也就消除了微生物的生存环境。因此，无论从哪方面看，都应该重视切削液的净化。含有固体杂质的切削液属于非均相物系，是一种悬浮液。常用的分离方法有过滤分离法、沉降分离法、磁性分离法三大类。

1 过滤分离法

以某种多孔物质为介质，在外力作用下，使悬浮液中的液体通过介质的孔道，而使固体颗粒被截留在介质上，从而实现固、液分离的工艺操作称为过滤。过滤是分离非均相固-液物系最普遍和最有效的方法，可分离的固体颗粒范围非常广泛，从毫米级粗大颗粒的粗分离到微米级细小颗粒的精分离甚至超精分离，都可以用过滤法处理。特别是对于粒径微小、很难分离的悬浮液，其它方法均难以实现，唯有过滤分离法可以奏效。

工业上常用的过滤介质主要有滤网、多孔固体介质、粒状介质、金属棒、板等。切削液净化常用的过滤方法有以下几种。

1.1 链板式过滤法

链板式过滤法属于重力型过滤，它集过滤与排屑于一体，可将粗大的切屑与切削液分离。切削液与切屑落在可移动的链板上，切削液通过链板间的缝隙或孔眼渗透入切削液箱，实现粗

过滤。当启动传送机构时，链板移动，将其上的切屑直接送入集屑箱。不少数控车床、数控铣床和加工中心都采用这种方式分离和输送粗大的切屑。除链板式外，还有刮板式、螺旋式、带式等不同类型。

1.2 网式过滤

网式过滤可以是重力型，也可以是压差型。网式过滤法可以根据需要调整网眼的大小，获得不同粗细程度的过滤效果。一般说来，在切削加工中适用于平均粒径在 0.5mm 以上的固体颗粒的分离。网眼尺寸太小容易被堵塞，影响过滤速度。

1.3 带式过滤

带式过滤是利用过滤带本身的细小孔穴使切削液通过，而将切削液中的固体颗粒物分开的过滤方法。过滤带的材料种类颇多，可以是金属、塑料、织物、纸等。

图 1 是带式过滤原理示意图。绕在转轴上的过滤带的一端铺在传送带上，传送带支撑过滤带，当被过滤的切削液落在过滤带上时，切削液透过过滤带和传送带流回切削液箱中，而固体颗粒物被隔离在过滤带上。使用一段时间后，过滤带上的孔眼会逐渐被固体颗粒物堵塞，过滤效率降低。这时，启动电机，传送带顺时针转动，托着过滤带和固体颗粒一同落入污物箱内。过滤带的后续部分又开始发挥作用。另一种方案是让传送带以很低的速度 v 绕滚筒连续转动，使过滤带新旧交替、不断投入工作。塑料、织物、纸质过滤带一般不回收，一次性使用。金属棒组成的楔线式过滤器可以通过反冲洗等措施净化后重复使用。

图 1 所示的带式过滤法是利用切削液的自重进行过滤，称为重力型带式过滤，适用于单机供液系统。对于集中供液系统，为了提高过滤效率，往往在切削液下游一侧采用负压吸滤（压力约为 -0.05MPa ），可增大单位面积流量 2~4 倍。如果同时在切削液上游一侧加上 0.1MPa 左右的压力，其效率可达重力型带式过滤的 4~8 倍。但设备更为复杂。

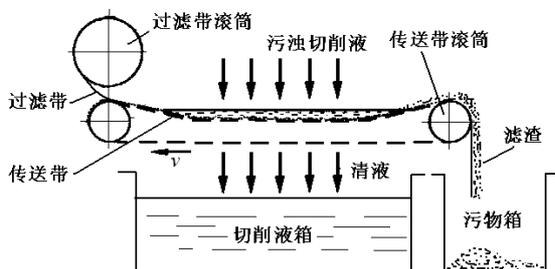


图 1 使用一次性滤材的带式过滤原理示意图

1.4 饼层过滤与深床过滤

饼层过滤的过滤介质一般装在筒型或箱型过滤器内，切削液在一定的压力下通过过滤介质，并把其中的固体颗粒留在过滤介质上，逐渐形成滤饼，后来的切削液要先通过滤饼然后才能穿过过滤介质。因此，真正发挥分离作用的是滤饼层，而不是过滤介质。滤饼的这种作用使饼层过滤法可达到很高的过滤精度 ($0.5\mu\text{m}$)。饼层过滤适于处理固体含量较高的悬浮液（通常指固体颗粒的体积占有率大于 1% 的情形）。

在饼层过滤器的滤网上面预先铺上碎石、砂、硅藻土之类的固体介质，构成过滤床层，就成为深床过滤。颗粒污染物的沉积发生在较厚的粒状过滤介质床层内部。适合于处理颗粒小、含量少的悬浮液（通常指固体颗粒的体积占有率在 0.1% 以下的情形）。切削液中的固体颗粒物浓度往往较高，故多用饼层过滤。

2 沉降分离法

沉降分离是指在某种力的作用下，固体颗粒相对于切削液产生定向运动而实现相互分离的

过程。其原理是利用固-液两相间密度的差异，受力时其运动速度不同从而发生相对运动。进行沉降操作的作用力可以是重力，也可以是离心力和重力的共同作用，前者称为重力沉降，后者称为离心沉降。沉降进行的快慢程度通常用沉降速度来表示。

2.1 重力沉降分离法

重力沉降分离是依靠重力实现固体颗粒与切削液分离的过程。

(1) 重力沉降原理 沉降分离法利用固体颗粒与切削液间的密度差产生下降运动，沉入切削液箱底部，形成淤渣，然后再将其去除。沉降处理过的较清洁的切削液由上部流出。

固体颗粒在切削液中作自由沉降时受到重力 F_g 、浮力 F_b 和下沉阻力 F_d 的作用（参见图 2）。若固体颗粒的比重大于切削液，就会在重力作用下沉降，其中阻力是由摩擦引起的，随颗粒相对于切削液的运动速度而变化。粗大的颗粒质量较大，下沉较快；细小的颗粒质量较轻、与切削液间的接触表面较大，故阻力随颗粒下沉速度的增加而快速增大，在短时间内便可与重力达到平衡，颗粒进入等速沉降阶段。这时，颗粒相对于切削液的运动速度称为沉降速度。液箱的容积需要根据这个沉降速度来估算，以确保经过沉降处理后从液箱中抽出来的切削液所含有的固体颗粒尺寸和数量符合工艺要求。

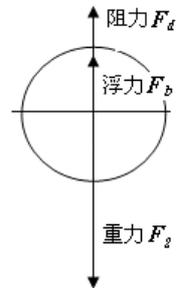


图 2 重力沉降原理

(2) 影响沉降速度的因素 对切削液供液系统而言，固体颗粒的沉降在切削液箱或者供液池中进行。这时的沉降一般处于滞流区。适合于滞流区的沉降速度 u_s 的计算公式为^[2]：

$$u_s = \frac{d^2(\rho_s / \rho_l - 1)g}{18\nu}$$

式中， ρ_s 、 ρ_l ——分别为固体颗粒、切削液的密度；
 d ——理想光滑球形固体颗粒平均粒径；

g ——重力加速度；
 ν ——切削液的运动黏度。

由上式可看出，沉降速度与颗粒直径的平方成正比，与切削液的运动黏度成反比。因此，降低切削液的黏度、提高操作温度对切削液的沉降分离过程是有利的；添加絮凝剂使细小颗粒凝聚成较大颗粒，可加速其沉降。

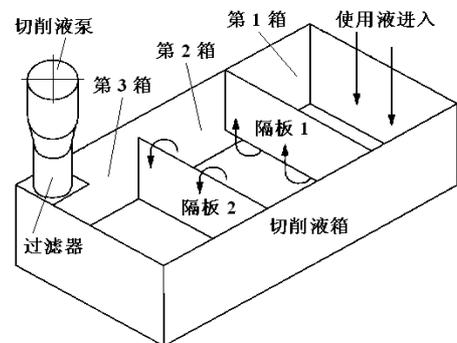


图 3 具有重力沉降功能的单机供液切削液箱

(3) 重力沉降设备举例 图 3 是具有重力沉降功能的单机供液切削液箱的典型结构。该液箱被隔板分为相互连通的 3 个箱。脏的工作液进入第 1 箱，经过第 1 次沉淀后从隔板下面进入第 2 箱，进行第 2 次沉淀，第 2 箱上部的液体从上部漫入第 3 箱，经过再次沉淀的切削液被泵抽出后供入加工区。在供液泵的前端通常还设有过滤环节。

2.2 离心沉降分离法

依靠离心力和重力的共同作用而进行的沉降过程称为离心沉降。

(1) 离心沉降原理 当固-液两相密度差别不大，或者固体颗粒粒度较细时，重力沉降法很难进行固液分离，有时甚至完全不能分离。改用离心沉降法能大大提高沉降速度，并可缩小分离设备的体积。

固体颗粒和切削液在分离设备内一起作旋转运动，受到离心力 F 和向心力 F_c 的作用，由于颗粒密度大于切削液密度，离心力大于向心力，颗粒有沿径向向外移动的趋势，这时它会受到切削液的阻力 F_d (参见图 4)。当这 3 个力达到平衡状态时，颗粒以速度 u_r 向容器壁运动，接触容器壁后在重力作用下沉降，从而实现固液分离。

(2) 影响离心沉降的因素 通常情况下，当切削液中的固体颗粒直径很小时才采用离心沉降法进行分离，沉降过程一般在滞流区进行，其沉降速度 u_s 可表示为^[2]：

$$u_r = \frac{d^2(\rho_s/\rho_l - 1)}{18\nu} \frac{u_t^2}{R}$$

式中， u_r 、 u_t ——固体颗粒的径向速度、切向速度；
 ρ_s 、 ρ_l ——分别为固体颗粒、切削液的密度；
 d ——理想光滑球形固体颗粒平均粒径；
 R ——固体颗粒至旋转中心的距离；
 ν ——切削液的运动黏度。

由上式可看出，与重力沉降相仿，沉降速度与颗粒直径的平方成正比，与切削液的运动黏度成反比。但在离心沉降过程中，沉降速度 u_r 不是常量，而是变量，它随 u_t 和 R 的不同而变化。提高切削液的旋转速度，即增加切向速度 u_t ，则 u_r 将大大增加。故离心沉降的沉降速度可以调节，其分离效果也好于重力沉降。

(3) 离心沉降设备举例 图 5 是旋液分离器原理示意图。它的上部呈圆筒形，下部呈圆锥形。夹带固体颗粒的切削液在一定的压力下（通常约为 0.25MPa）从分离器上部切向进入圆筒，并绕分离器轴线自上而下作螺旋运动。固体颗粒在离心力作用下相对于切削液向筒壁运动，使切削液的密度发生变化：越靠近壁面、越接近下部出口处固体颗粒越多，因此切削液的密度越大。这一股切削液成为外旋流；在轴心线附近的切削液密度较小，形成一股内旋流。内旋流与外旋流旋向相同，但流向相反：内旋流向上，并最终成为较为清洁的溢流；外旋流向下，并最终成为含大量颗粒的底流；这样就将切削液中的固体颗粒分离开来。底流中通常含有部分液体，溢流中也往往夹带部分颗粒。如果进入旋液分离器的总液量为 100%，一般情况下，底流约占 2~5%。能够分离出来的固体颗粒平均直径依颗粒材料的密度和形状不同而有所差别。对于钢铁材料，大约为 20~50 μ m。

加工中产生的连续切屑应先行去除，以防切屑相互缠绕堵塞出口。此外，离心分离法易产生泡沫，须采取适当对策。旋液分离器中的固体颗粒沿壁面高速运动，容易引起磨损，一般须采用耐磨材料制造。单个旋液分离器处理能力不够时可并联多个旋液分离器以提高处理能力。

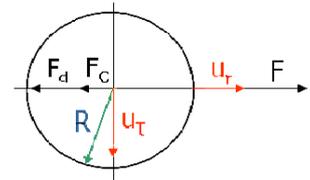


图 4 离心沉降受力分析

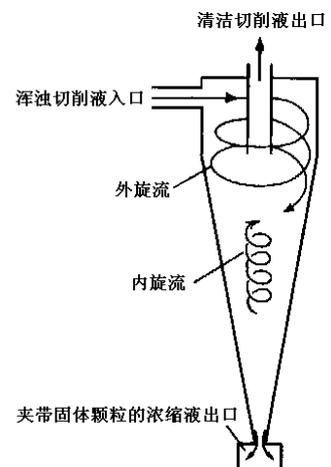


图 5 旋液分离器原理示意图

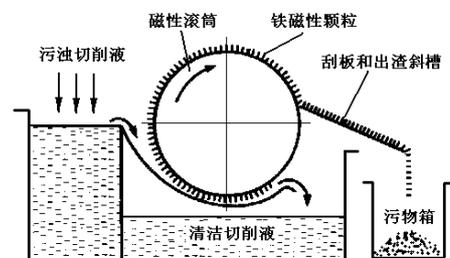


图 6 磁性分离器工作原理

3 磁性分离法

图6是磁性分离器工作原理。分离器的磁性滚筒浸没在切削液中缓慢地连续转动，切削液通过滚筒与挡板间的缝隙时，其中的铁屑和含铁合金颗粒被滚筒吸住，同时还可以吸附部分磨粒、结合剂粉末、石墨粉末、淬火钢脱碳层粉末等固体杂质。然后通过刮板将这些杂物通通刮下，并沿出渣斜槽排除，使之与切削液分离，从而达到净化切削液的目的。磁性分离器适合于分离细小的导磁性固体颗粒，无滤材消耗。

4 飘浮物的去除

切削液中的飘浮物主要是工作液面上的浮渣、浮油、泡沫以及皂类物质与细屑的夹杂物。它们覆盖在工作液面上，阻碍氧气进入切削液，助长厌氧性细菌的繁殖。循环时会污染加工区，还可能引起切削液不稳定。需要及时除去。可以用离心分离法和吸附法去除。

4.1 旋液分离法

旋液分离法是利用水力旋流器实现油水分离的方法。其原理与前述的离心沉降法类似。主要由圆筒、分离锥、进液口、底流口和溢流口等部分组成。含油污水在一定压力下从进液口沿切线方向进入旋流器后高速旋转，混合液中密度大的组分在旋转流场的作用下沿径向外移、沿轴向下移，在分离锥部分，因锥管截面积逐渐变小，使液流增速并形成螺旋流，到达锥体段沿器壁向下运动，并由底流口排出；这股液流称为外旋流；密度小的浮油组分向中心轴线运动，并在轴线中心区聚结成油芯，成为向上移动的内旋流，然后由溢流口排出，实现油水分离。

水力旋流器的特点是体积小、重量轻、易操作、易控制、几乎不用维修、一次性投资少。分离效率可达95%~94.9%。需要大流量时可以多个分离器同时并用。

水力旋流器的技术标准为HJ/T249—2006。

4.2 吸附法

图7是钢带吸油机原理图^[3]。由于油的密度小于水，它浮在液面上，被隔板围在一个较小的面积内。水却可以从隔板下方流走。钢带表面有疏水、亲油涂层，当钢带浸入液面时，会吸附液面上部的浮油，并随着磁性转轮的转动带入上部的集油箱，在转动的过程中，钢带上吸附的油层被橡胶刮板刮下，利用重力流入储油箱内。这样就将切削液与浮油分离。

4.3 过滤法

图8是一种机床浮油过滤器^[4]。由滤料过滤器和滤芯过滤器串联组成。滤料过滤器过滤绝大部分油污和杂质，滤芯过滤器过滤剩余很少的油污。滤料和滤芯中含有一种分子聚合物混合物，油污一旦与其接触，就被分解并与它们粘合在一起，再也不会被分开、乳化或释放到水里，从而保证高的过滤精度。用于单机供液的单套流量可达0.5~2m³/h；用于集

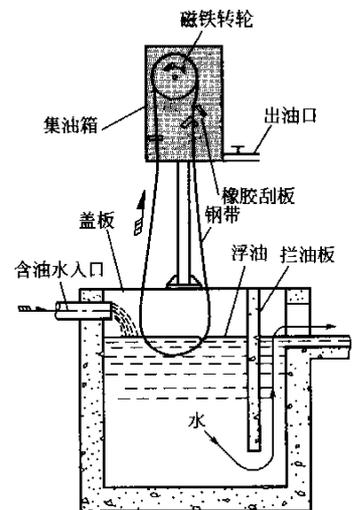


图7 钢带吸油机原理图



图8 浮油过滤器

中供液的单套流量可达 $100\text{m}^3/\text{h}$ ，饱和的滤料或滤芯可以更换，废弃的滤料和滤芯可作燃料。

5 切削液的综合净化工艺

5.1 各种净化方法的组合应用^[5]

以上介绍的每一种过滤方法都有其特点和适用范围。为了获得理想的净化效果，往往需要将单一的过滤方法组合应用。单机供液系统可采用链板式过滤+粗网过滤+磁性分离+沉降分离+旋液分离+吸入滤网的组合方案。

链板式过滤器分离 10mm 级的粗大切屑，粗网过滤器分离 1mm 级的固体颗粒，磁性分离器除掉绝大部分磁性颗粒物，沉降分离液箱分离 0.1mm 级的固体颗粒，旋液分离器分离 0.05mm 级的固体颗粒，分离出的干净切削液进入清洁液箱后被泵入切削区，吸入滤网起安全保护作用，将意外出现的大于 0.1mm 的颗粒物挡在供液系统外面。

5.2 设计切削液净化系统的注意事项^[5]

(1) 液箱容量 液箱容量必须保证连续供液的需要，不允许出现断流。其容量大小主要取决于加工中所需的流量大小，还需要考虑回流时间和切削液的温升问题。一般说来，液箱最小容量可以按照每分钟供液量的 3~5 倍估算。对于单个切削液泵工作的场合取下限；多个切削液泵同时工作或者高压大流量供液的场合取上限。最可靠的办法是根据同类机械的使用实际来确定液箱容量。

(2) 液箱的分离和分隔 切削液净化系统最好分为互不连通的脏液箱和清液箱。脏液箱至少应分隔成互相连通的 1、2、3 三部分。分隔板可采用图 3 所示的设计。如果场地允许，按照上下交错的流动方案设置 4~5 个分液箱更好，可使切削液中的固体颗粒充分沉淀。

(3) 粗大切屑的过滤与分离 要考虑切屑种类和形状。非铁合金切屑不适合于磁性分离机构；铸铁切屑不适合于螺旋分离机构，使用带式分离也不理想，采用刮板式分离较好；螺旋分离机构适合于输送短小的钢切屑，带式分离机构适合于分离螺旋卷状、和长切屑。

(4) 磁性分离器的设置 磁性分离器应设置在脏液箱的前端，在粗大切屑被分离后先将切削液中的磁性颗粒物尽量分离干净。

(5) 旋液分离器设置 可以设置在粗大切屑分离后、磁性分离器和脏液箱之间作为粗过滤设备，也可以设置在清液箱之前作为精过滤设备。

(6) 各种过滤器可以根据需要穿插在粗大切屑分离后的切削液净化流程中。

参考文献

- 1 叶伟昌，梁萍，叶毅. 切削液净化处理方法及其装置. 机械工艺师, 2001
- 2 高智. 化工原理讲义. <http://hgxy.imut.edu.cn/course/unitOperation/index.htm>
- 3 明君机械. JF 带式刮油机. 明君机械网站 <http://www.mingchun.com.cn>
- 4 无锡欧贝克环保科技有限公司技术资料. 公司网站 epacwuxi.hbzhan.com
- 5 刘镇昌. 金属切削液——选择、配制与使用. 北京：化学工业出版社. 2007. 9