

# 专题知识：啤酒工厂 CIP 清洗系统及理论知识

## 一、概述

### 1、原位清洗系统的定义：

原位清洗系统（cleaning in place, 简称 CIP），是采用一系列的清洗剂和消毒剂，对食品工业的生产设备、装置和管道，对装置在无须进行拆卸和安装下就能进行周期清洗和消毒的系统。CIP 系统配置包括清洗剂站、循环调节体系、执行装备和执行装备。清洗剂站是各种清洗、消毒剂的调配、过滤、加热、贮存体系；循环调节体系包括高压输送泵、输送管路和回流泵等；执行装备是指在设备和装置中预先安装好的清洗器，如喷嘴、洗球、回转式洗臂等；控制系统是通过微机电脑系统实现自动控制的装置，包括电脑、控制柜及监测仪表、气动阀等。

### 2、清洗的目的和作用：

无菌酿造技术是现代啤酒生产关键技术之一。为了保证成品啤酒的生物稳定性，应尽量避免和减少酿造过程中微生物的污染。实现啤酒的无菌化酿造，首先应保证啤酒生产设备的清洁卫生，因此及时有效地清洗啤酒生产设备，同时进行消毒和杀菌，是啤酒无菌酿造的保障。

CIP 清洗系统目的有两个：一是清洗设备，去除污物；二是去除和杀死污染的微生物，减少杂菌污染概率。

CIP 系统对啤酒酿造的卫生管理意义重大，主要原因有以下几点：

① 现代啤酒酿造周期较长，而且流程比较复杂，管路和设备众多，设备卫生管理任务重、难度大，CIP 系统是实现设备清洁无菌的唯一有效途径。

② 在啤酒生产过程，糖化醪、麦汁、发酵液和清酒等物料营养成分比较全面，容易成为污染微生物的营养源，而且这些物料有一定的粘度，容积粘附在设备内表面。

③ 流体与设备表面接触后，由于表面吸附、温度及化学作用的影响，将在设备表面结垢，成为污染菌生长繁殖的温床，是 CIP 清洗的重点。生产过程中，麦汁和啤酒中的蛋白质、脂肪颗粒、酵母细胞、酒花树脂、草酸钙及其他盐类容易附着并沉积在设备和管道内表面，设备内表面会变得更加粗糙，增加清洗难度。

④ 设备焊接处、连接处及管道的弯头、阀门等处容易藏污纳垢，而且粗糙的设备内表面也会增加污物的吸附力。污染微生物易在沉积污物里面和表面生存繁殖，因此对设备进行及时有效的清洗非常重要，同时再结合杀菌剂才能确保设备的无菌要求。

⑤ 现代 CIP 系统可以同时实现设备的清洗和杀菌，并可针对不同对象不同清洗要求选择不同的 CIP 工艺，为啤酒厂高效安全生产提供保障。

## 二、洗涤剂&消毒剂

### （1）洗涤剂

洗涤剂是影响洗涤效果的主要因素，洗涤剂具有以下特性：

① 浸润性和渗透性：对清洗物表面污垢，有疏松的能力，有良好的浸润性和渗透性，使洗涤剂能穿透到污垢中去，促使其崩解，发挥作用快而有效。

② 溶解性、悬浮性、乳化性：洗涤剂能溶解污物，使疏松的污垢成为细颗粒，并使之成悬浮状态，而不再沉积于清洁物体的表面，具有较强的污物携带能力；残留的洗涤剂与悬浮的污垢，能被迅速冲洗除去，不再重新污染。

③ 钙溶解力：在碱性溶液中具有溶解沉淀钙、镁盐的能力，使硬水中或清洗表面污垢带来的钙、镁盐，均能溶解在溶液中。

④ 杀菌能力：使污秽的洗涤剂溶液和被清洗的设备无菌。

⑤ 安全性好，对被清洗的设备，不应产生腐蚀作用或其他有害作用，应具有缓冲力和皂化能力，不腐蚀原材料。对使用者健康不造成危害，不对环境产生污染。易在水中溶解，低温下也有效，低泡易冲洗使用方便，费用低。

洗涤剂的成分和种类：

### 1. 碱性洗涤剂

① 氢氧化钠：为强碱，片状固体，易潮解，也有各种浓度的液态商品，在一定温度下能使脂肪皂化，腐蚀铝，伤皮肤。氢氧化钠能溶解蛋白质颗粒等有机污垢，但对无机盐类污垢的去处效果较差。是大多数洗涤剂的基础配料，一般添加浓度为 1.5~2%，具有很强的清洗效果，同时还能杀菌。氢氧化钠溶液中添加金属螯合剂、表面活性剂等物质能够大大提高清洗效果，而且可以实现常温清洗，容易被水冲净。

② 纯碱：纯碱的腐蚀性低于氢氧化钠，去污能力也差些，能用于手工洗涤操作。

③ 硅酸钠（偏硅酸钠、原硅酸钠）：具有较好的有机物溶解力与湿润性，以及分散与漂洗能力。

④ 磷酸盐：啤酒厂产用的洗涤剂中有磷酸三钠、焦磷酸四钠、三聚磷酸钠和六偏磷酸钠等。磷酸三钠具有良好的去垢能力、污垢悬浮能力和漂洗能力。焦磷酸四钠具有相似性质。三聚磷酸钠和六偏磷酸钠具有良好的整合力和分散力。三聚磷酸钠还具有良好的增效作用。磷酸盐是大多数碱性洗涤剂中的有效成分。

### 2. 酸性洗涤剂

酸性洗涤剂主要有硫酸、硝酸、磷酸和各种有机酸。酸性洗涤剂能溶解无机类沉淀物，如啤酒石和水垢。

① 硝酸：一种强酸，能溶解啤酒石、水垢等无机物，但酸性太强，强腐蚀性，操作应注意防护。

② 磷酸：某些场合可替代硝酸，因它含磷，因此需要考虑对环境的影响。

③ 有机酸：包括柠檬酸、醋酸、酒石酸等，有机酸腐蚀性低，缓冲性强。

酸性洗涤剂是在有机酸的基础上加上表面活性剂，主要是渗透剂、螯合剂和对有机酸有效的活性剂等一系列的表面活性剂而形成的。酸性洗涤剂腐蚀性低，

具有良好的缓冲性，能够在二氧化碳存在的情况下带压清洗，不仅减少了 CO<sub>2</sub> 的消耗，而且大大降低了碱的用量，属于环保型的洗涤剂。相比碱性洗涤剂，酸性洗涤剂综合费用大大降低，部分啤酒企业开始增加酸洗的频率，并逐步用酸性洗涤剂替代碱性洗涤剂。

### 3. 湿润剂

湿润剂一般称为合成洗涤剂，可分为三种类型：阳离子型、非离子型和阴离子型。洗涤剂中应用最普遍的是阴离子型，其中最重要的有硫酸化醇类和烷基芳基磺酸盐类。主要的非离子型湿润剂是聚环氧乙烯，它能与阴离子型或阳离子型湿润剂并用，缺点是产生过的泡沫过多阴离子型和阳离子型，都有良好的湿润和漂洗那个能力，但单度使用时去垢能力较差。阳离子型湿润剂主要是季铵化合物跟更多地作为灭菌剂使用。

### 4. 螯合剂

螯合剂能阻止水中钙镁离子的沉淀反应，有机螯合剂主要主要有：

- ① 羟基羧酸盐类：如葡萄糖酸、柠檬酸、葡庚糖酸等
- ② 氨基羧酸盐类：如乙二胺四醋酸、氨基三醋酸、二乙基三胺戊醋酸等。
- ③ 羟基氨基盐类：如羟基乙基乙二胺三醋酸，与氨基羧酸盐很相似，在高 pH 值范围内，对铁离子有较好的螯合作用。

## (2) 消毒剂的种类

为了达到无菌酿造的要求，与啤酒直接接触的设备、管路在清洗完成后或使用前必须进行杀菌、消毒。现应用的消毒剂种类很多，下面简要介绍如下：

① 过氧化氢（双氧水）：是一个活泼的氧化剂，经改性和添加有效的促进剂，使其易分解成水和活性氧，活性氧具有杀菌作用。过氧化氢基本无气味，无污染，是一种理想的消毒剂。因其使用量大，成本较高。

② 过氧乙酸：是具有高效、广谱消毒剂，适用温度、PH 值范围广，在所有氧化物中，过氧乙酸氧化性最强。过氧乙酸分解产物为过氧化氢和微量醋酸，对人体及环境无影响。其缺点为有强烈的刺激味，因分解物有醋酸，对铁敏感，不宜在碳钢条件下使用。

③ 甲醛：是人们熟悉的消毒剂，具有广谱活性、较强空间消毒能力，价格相对便宜，使用浓度为 2%。因其可能对人体有害，如刺激呼吸系统等，所以不推荐选用。

④ 二氧化氯：具有广谱活性、低温效力。对不锈钢有腐蚀作用，啤酒生产设备的杀菌应控制使用。

⑤ 硝酸溶液浓度达到 3‰时，也具有杀菌作用。

⑥ 季铵氯化物：具有广谱活性和残余抗微生物活性，但其硬水耐性低、低温敏感及在 CIP 中过度起泡。

⑦ 臭氧：是一种具有广谱活性的强氧化剂，它的缺点是安全问题及对环境有影响，并对温度、PH 值敏感。

⑧ 紫外光：主要用于水系统灭菌，因其渗透性差，所以对水的混浊度要求较高。

⑨ 热水：具有广谱活性，获取方便、无腐蚀，但冷水升温慢，而且对于大型容器进行杀菌，就显得不经济，能耗太大，并造成设备的热胀冷缩，产生热应力，一般只用于管路杀菌。

### 三、啤酒工厂 CIP 清洗

1. 啤酒工厂对物料接触设备和管路清洗的基本要求：

物理清洁度：指被清洗表面不存在感官能感受到的污垢、酒石结晶等。

细菌学清洁度：经过清洗、消毒后，被清洗表面或最后残余清洗水中，污染细菌浓度低于工艺控制标准值。如啤酒发酵罐、酵母扩培罐、清酒罐等，最后残余洗涤水中总细菌数 $<1$ 个/10ml。

化学洁净度：被清洗表面上，清除一切化学污染物，特别是不许残留清洗剂，pH 应为 6.8~7.2。

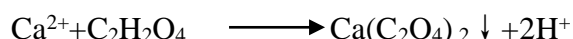
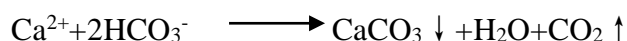
2. 发酵设备表面污垢的形成机理

#### 2.1 发酵设备表面污垢的组成

流体与设备表面接触后，由于表面吸附、温度及化学作用的影响，将在设备表面结垢，成为污染菌生长繁殖的温床，是 CIP 清洗的重点。设备表面污垢的最终组成取决于物料的化学组成，通常会有两种组分：

一是有机物组分：在高温及表面吸附的作用下，高分子蛋白质、多酚、酒花树脂等成分聚合并凝聚于设备表面成为啤酒厂常见污垢的一种形式。由于大多数高分子有机物可以被碱水解，所以碱洗工艺至今仍然占有很大的比例。

二是无机物组分：主要由水中的离子及外加的钙、镁离子等导致的。常见的化学反应包括：



可见，通常见到的无机污垢主要是碳酸钙及草酸钙。其中草酸钙组分在酿造过程中是不可避免发生的，而碳酸氢钙组分在啤酒生产过程中主要有三个来源：酿造水中较高的暂时硬度；生产用碱中会有碳酸氢钙成分；碱洗过程中发酵设备内残留二氧化碳。

因此，在生产过程中应对酿造水进行除垢，如在水管路上安装电子除垢仪，降低水的暂时硬度，减少结垢。

设备表面结垢的危害主要表现在以下几个方面：

- a 污垢大幅度降低器壁的传热系数，影响热消毒效果，增加能量消耗。
- b 污垢的生成使表面粗糙度增加，不利于清洗、灭菌及质量管理。
- c 表面受热结垢以后，如不及时清洗，会加速沉积物形成，表面粗糙度将进一步加大。

d 表面粗糙的污垢，为啤酒腐败菌如足球菌、乳酸菌等提供了容身之所，严重的结垢会使清洗、消毒操作失败，不利于微生物管理。

因此，人们需要投入大量的人力、物力、时间对设备表面的污垢进行彻底清洗、灭菌，在 CIP 工艺的制定时，认真考虑各种设备结垢的原因及污垢的种类，选用适当的酸洗或碱洗剂，适时清洗，达到去除污垢的目的。

## 2.2 设备粗糙度 Ra 值与污物的附着

生产过程与物料接触的金属表面沉积的污垢，受静电力等的作用，与金属表面具有一定的吸附能量，该能量的大小与金属表面粗糙度有关。国际统一的方法，以 Ra 来表示。其物理意义是在取样长度 L 内，断面轮廓偏距 Y 的绝对值的算术平均值，其近似值为：

$$Ra=1/n\sum |Y_i|$$

从上式得知，Ra 值越大，表示金属表面越粗糙，污垢与金属表面间吸附力越强，清洗越困难。

由于颗粒的附着力远远大于其重力作用，微生物菌体和颗粒被牢固地吸附在物体表面。要求生产设备的表面粗糙度 Ra 必须小于微生物菌团和污物颗粒的直径，否则污物容易隐藏在裂缝中难以清洗去除。未加工金属表面，Ra=4.5 μm，如热轧钢板成形后，表面不经处理，污垢就很难清洗掉。冷冲压或爆炸成形的金属表面 Ra=1.6 μm，其表面必须进行抛光处理，才能达到食品生产的要求。

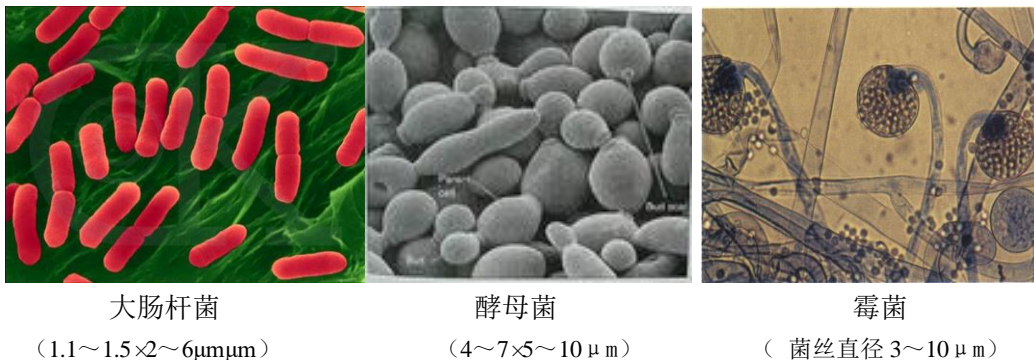


图1 微生物细胞形态与大小

对于无菌酿造设备，要求设备的表面应具有较高的洁净度，其裂缝直径应小于细菌、酵母和霉菌的大小。用于食品生产的设备，其表面粗糙度要求 Ra<1 μm，医药工业的设备要求 Ra<0.5 μm。现代化啤酒企业对设备表面粗糙度的要求已达到医药标准，即 Ra<0.5 μm，这是实现无菌酿造的基础，是达到纯生化管理的前提条件。

## 3. 影响 CIP 清洗效果的主要因素

影响 CIP 清洗效果的主要因素包括污物的性质、设备表面的粗糙程度、机械作用力、清洗剂和消毒剂的种类和浓度、清洗温度等。上述因素是制定清洗作业时间的依据。如：对于那些不宜使用化学清洗剂的场合，就要增加冲刷强度和提高清洗剂的温度来补偿；对于比较大的发酵罐体，高温清洗，罐壁热胀冷缩，易

造成罐壁冷媒的泄漏及影响大罐的使用寿命，所以，清洗时只有增加冲刷强度和  
提高清洗剂浓度来达到预定的清洗效果。一般情况冲刷强度越大、洗涤剂浓度越  
高、温度越高清洗效果越好，所需的清洗时间越短。当然，同时也会增加清洗剂  
的消耗、蒸汽能耗和电能消耗的增加。

综合后提出影响 CIP 清洗效果的四大因素：

① 清洗剂组分的化学作用力。提高清洗剂浓度，化学能增加。

② 清洗温度。提高清洗剂温度，其热力作用力增加，将促进污染物与污染  
表面的物理结合力下降；降低清洗剂的年度，提高雷诺数；提高污染物与清洗剂的  
化学反应速度；提高清洗剂对污染物的溶解度。

③ 冲刷强度。又称机械作用力，由两方面组成：一是清洗剂喷射力对污染  
物的机械撞击力；二是由清洗剂流量、流速、清洗表面积、粘度等因素构成的雷  
诺数决定。

④ 清洗时间。清洗效果随时间延长而增大，清洗时间与冲刷强度、清洗剂的  
组分及浓度和温度相关。一般来说，冲刷强度大，清洗剂的浓度高，所需的清  
洗时间短。温度提高，清洗剂的化学反应速度加快，如在 65℃前温度每升高 10℃  
化学反应提高 1.5~2 倍，可减少 1/2 的清洗时间。

清洗剂浓度、清洗温度、清洗时间及机械作用力四因素对清洗效果的影响，  
在清洗剂的组分相同的条件下，其综合评价如图 2 所示。

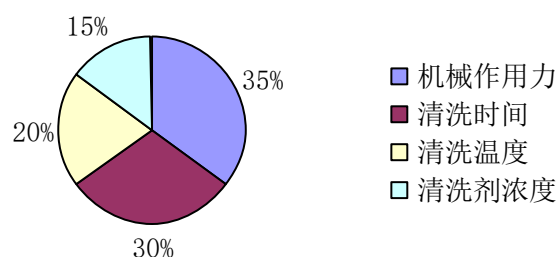


图 2 CIP 清洗效果的影响因

#### 4. 不同 CIP 喷淋方式的比较

由图 2 可知，机械作用力对清洗效果影响最大。提高清洗剂的机械撞击力和  
流体的雷诺系数可以提高机械作用力。

清洗剂喷射力对污物的机械冲击力首先决定于清洗剂的喷射压力。一般在0.15MPa~0.6MPa，随着喷射压力的提高，洗净效果增强，但如果继续提高，液体会形成雾状，洗涤效果反而下降。

其次，机械冲击力与喷淋装置有密切关系。下图是不同洗罐方式的对比：

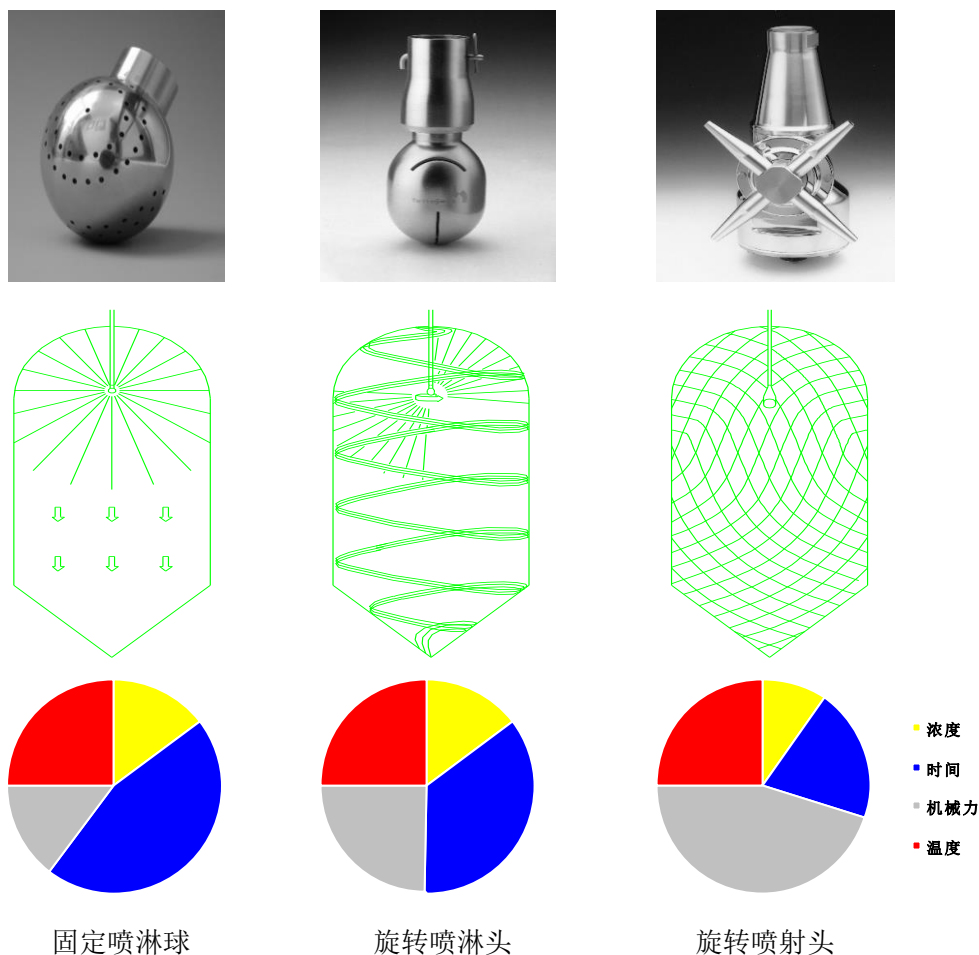


图3 不同洗罐方式的比较

从上图可以看出，机械冲击力从大到小依次为：旋转喷射头>旋转喷淋头>固定喷淋球。显然旋转喷射头的机械清洗效果最显著，清洗效率最高。达到相同洗涤效果时，旋转喷淋头洗涤时间为固定喷淋球的70~75%，旋转喷射头洗涤时间为固定喷淋球的40~50%；在相同的温度下，旋转喷射头可以采用更低浓度的清洗剂。

### 5. CIP 清洗过程的流体力学

液体介质在管道中的流动形式可分成层流和湍流两种不同的类型。

在较低的流动速度下，存在层流形式，即介质的全部质粒沿着同一方向流动，形成临界层，这种流动形式被称作层流。随着流动速度的提高，达到某一极限时，流动情况发生改变，流动变成湍流，即质粒不仅在流动方向上运动，在垂直方向上也存在分量。在流动方向上介质的速度分布近似于常数，同时，在管道表面上也形成不存在物质传递的临界层（不包括扩散运动）。质粒在垂直于流动方向上

的运动分量一方面使滞流层明显变薄，另一方面在整个截面上达到浓度平衡。这种流动形式被称作湍流，此时的刷洗效果明显优于层流。可以从下述参数来促进从层流到湍流的转变：较高的流动速度；较大的管路直径，需增加流量配合。当流量一定时，管径增加，流量降低，雷诺数降低；较低的运动粘度；较高的温度（间接影响，可以降低运动粘度）。

从这些参数中可以得出无量纲的相似特性参数（雷诺数  $Re$ ），借助参数可以评价流动状况。

对于管路，可以用下列公式确定雷诺数  $Re$ ：

$$Re = du\rho/v$$

$u$ ：平均流速

$d$ ：管路的直径

$\rho$ ：流体密度

$v$ ：在应用温度下介质的运动粘度

流体在圆形直管内的流动， $Re < 2000$  时属于层流； $Re > 4000$  时则一般为湍流。 $Re$  在 2000 至 4000 之间时，流体处于一种过渡状态，可能是层流也可能是湍流，或是二者交替出现，为外界条件所左右：在管入口处，流道弯曲或直径改变，管壁粗糙，或有外来的轻微震动，都会出现湍流。必须注意，至少  $Re > 4000$  时才能保证出现湍流。为了达到更好的清洗效果，应使  $Re > 30000$ ，因为这样的液流，具有更大的能量，其对管道的擦洗作用将增强洗液的各项有关性能。

对于薄层形式流动的介质，例如在清洗立式罐时，可用下述公式计算雷诺数：

$$Re = mF/\eta$$

$mF$ ：每米宽介质薄层的流量（容器一周）

$\eta$ ：运动粘度

层流和湍流的过渡范围介于  $300 < Re < 600$ ，适用于不变的流量。若流量随时间变化（例如，间歇动作洗球、旋转清洗器），在较小流量下就可以达到湍流状态。只有这样，才能达到理想的清洗效果。

## 6. CIP 清洗工艺的确定

在进行 CIP 工艺设计时，人们希望用最短的时间、最低的物质、能源消耗完成清洗任务。首先应了解设备表面污垢的分布及组成，然后要求技术人员运用基本清洗理论，对发酵系统各台设备及管路的清洗要求进行分析，选择适用的洗涤剂、消毒剂，作为 CIP 工艺制定的基础。

### ① 洗涤剂的选择

如何保证设备清洗的洁净度及无菌要求，并减少在清洗过程中对设备的影响，保证 CIP 工艺的合理运行，洗涤剂、消毒剂的选择就显得尤为重要。如何从种类繁多的洗涤剂、消毒剂中选择适合的产品，一是应考虑污染物的性质和污染特点；二是应考虑清洗剂自身的特性，能否达到啤酒生产需要的清洗、灭菌的卫



生标准；三是应考虑该产品对现有设备的危害性；四是应考虑该产品的经济性及是否有稳定的供应渠道；当前更应该注意清洗剂使用后是否对人身安全及环境产生重大影响等，如图 4 所示。

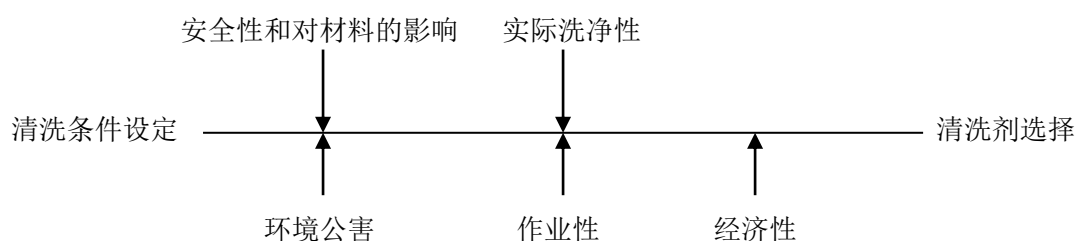


图 4 现代清洗剂选择原则

关于洗涤剂和消毒剂对设备的危害问题，首先应考虑含氯离子的洗涤剂和消毒剂对不锈钢设备的影响。现新建啤酒企业，一般选用不锈钢设备及管路，不锈钢的抗腐蚀性能有一定局限性，一般奥氏体不锈钢对有机酸和部分无机酸，如硝酸和磷酸具有良好的抗蚀性，但对盐酸和硫酸与普通碳钢一样不耐腐，甚至对由含氯离子的化学物质引起的应力腐蚀，还不及碳钢。因此，不锈钢最忌含氯离子的洗涤剂和消毒剂，一旦氯离子和不锈钢接触，将于钝化膜中的氧化铬反应，生成可溶性的氯化铬。膜的钝化态成为活化态，主体金属铬、铁暴露在腐蚀介质中，从而产生了腐蚀有些洗涤剂商品。不锈钢的腐蚀形态主要有孔腐蚀、晶间腐蚀和应力腐蚀等。如薄板换热器穿孔，糖化锅、发酵罐等设备焊缝附近穿洞等现象时有发生，这也是染菌的根源。

有些洗涤剂为了增强清洗效果，加入了少量氯化物，而消毒剂也以氯化物居多。常用的奥氏体不锈钢，如 304 它对氯离子浓度安全使用界限应低于 25PPm；316 含钼不锈钢，应低于 100PPm，含碳量更低的 316L，耐氯离子的能力比上述两种不锈钢更强。因此，选择洗涤剂或消毒剂，以及其他与不锈钢表面接触的介质时，一定要考虑氯离子浓度，并尽可能不再选用含有氯离子的洗涤剂、消毒剂，以避免其对设备的影响。

## ② 洗罐器的选择

**固定洗球：**在直径 5 米以内的发酵罐、清酒罐应用较多，清洗剂经过洗球被送到顶部罐壁上，然后以层流形式顺罐壁流下。罐顶部位的清洗效果一是取决于喷洗的机械力，二是取决于清洗剂的浓度及作用时间等。罐壁的清洗效果主要取决于清洗剂的化学作用，还受到温度和时间的影响。具有工作压力要求低、固定投资少、维修费用低、操作方便等优点。

**多向旋转洗罐器：**一般应用于直径大于 5 米的发酵罐、清酒罐等，喷洗压力要求略高于固定洗球。使用旋转式洗罐器，可以增强机械作用效果。重要的是，射流是否能够覆盖容器的全部表面。多向旋转洗罐器在使用过程中需经常检查，防止旋转系统损坏，降低清洗效果。

**万向式自动洗罐器：**这是一种新型洗罐器，应用一种尼龙材料制成，无机械传动部件，无磨损，工作时是以喷出的洗涤液产生反作用力推动洗罐器自动运转

的，在罐内呈万向喷洗状态无死角，一般在直径大于 5 米的发酵罐、清酒罐使用效果较好。

表 1 不同种类洗罐器主要技术参数

洗罐器种类	喷射直径 (m)	工作压力 (MPa)	工作流量 (m <sup>3</sup> /hr)	生产厂家、 型号
固定洗球	1~8	0.1~0.3	4.7~41	GEA 公司 G2 系列
多向旋转洗罐器	4~13	0.3~1.2	17~32	Alfa Laval 公司 TZ—74 型
万向式自动洗罐器	5~20	0.3~0.8	8~50	河北沧州创新技术机器厂

### ③ 供液泵扬程和流量的确定

供液泵的扬程和流量首先必须满足需清洗容器使用的洗罐器要求，同时，选择扬程时要考虑流体流动过程中管路的阻力和至罐顶的位差阻力的损失。

#### ● 供液泵流量的确定

选择流量时需考虑两个方面：一是需清洗容器的周长，二是需清洗设备的内表面积。

根据经验，即清洗大罐每米周长每小时喷洗量需要 1.5~3.5m<sup>3</sup>/m.h。罐直径越大，周边越长，需要的喷洗量也越大。根据罐（锅）体直径 2~10m 大小，选择喷洗量。一般小罐清洗时取下限，大罐取上限。直径为 5 米的发酵罐周长约为 15.7 米，流量可取中间值 2.5 m<sup>3</sup>/m.h，则每小时的喷洗量为 39.25 m<sup>3</sup>。

或根据经验，按容器内表面积来选择。即每平方米内表面积每小时喷洗 0.2m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.h。其考虑的原则是单位容积麦汁发酵产生的代谢物为常量。罐大，内表面积大，附着物量大，所以清洗量必需要大。如直径 5 米的发酵罐内表面积约为 200 m<sup>2</sup>，取 0.2m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.h，则每小时的喷洗量为 40 m<sup>3</sup>。

以发酵罐清洗为例，直径 5 米的发酵罐周长约为 15.7 米，洗液泵流量为 40 吨/小时，则  $mF=40/15.7=2.55$ ，20℃ 水的粘度为 1.005 cP=0.001005Ns/m<sup>2</sup>，则：

$$Re=mF/\eta=628/0.001005=2535 \gg 600$$

发酵罐清洗过程的雷诺数完全达到湍流的要求，能够达到较好的清洗效果。

#### ● 供液泵的扬程的确定

供液泵的选择是根据流量 Q 和扬程 H 两个参数进行的。扬程 H 的计算：

$$H=H_1+H_2+H_3+H_4$$

式中：

H<sub>1</sub>-----几何扬程，从吸水池最低水位至输水终点的净几何高差。

H<sub>2</sub>-----阻力扬程，为克服全部吸水、压水、输水管道和配件之总阻力所耗的水头。

H<sub>3</sub>-----设备扬程，即输水终点必需的流出水头。

H<sub>4</sub>-----扬程余量(一般采用 2-3m)。

若发酵罐灌顶离地面高度 18m，洗罐器的工作压力要求 0.2~0.25MPa，则 H<sub>1</sub>=18m，H<sub>3</sub>=25m。现计算阻力扬程 H<sub>2</sub>：

清洗剂在直管内流动的阻力损失，以 20℃的水流经直径为 80mm 的钢管为例计算。 $H_2=h_1+h_2$ ， $h_1$  为沿程直管水头损失， $h_2$  为局部水头损失，是由阀门、三通、弯头、法兰等管件引起的水头损失。

$$h_1=i \times L=L \times 0.00107 \times v^2/(1.2 \times D),$$

其中： $i$ —单位管长的水头损失 mm/m， $L$ —直管的长度 m， $v$ —管内流体流速 m/s， $D$ —管子内径 m，现设定 CIP 站距最远端发酵罐直管长度为 200m，管子直径  $D=80\text{mm}$ ，则计算流体流速

$$v = \text{流量} / (\text{管截面积} \times 3600) = 40 / (3.14 \times 0.04^2 \times 3600) = 2.2\text{m/s}$$

$$h_1 = L \times 0.00107 \times v^2 / (1.2 \times D) = 200 \times 0.00107 \times 2.2^2 / (1.2 \times 0.08) = 10.8\text{m}$$

按照经验数据计算：一个弯头产生的阻力损失相当于 10 米直管路产生的阻力损失，现统计发现最远端发酵罐清洗管路中弯头等管件数量最多可达 25 个，产生的压头损失相当于 250 米直管产生的压头损失，则管路中管件产生的局部水头损失  $h_2 = 10.8 \times 250 / 200 = 13.5\text{m}$ ，计算供液泵的扬程：

$$H = H_1 + H_2 + H_3 + H_4 = 18 + 10.8 + 13.5 + 25 + 3 = 70.3\text{m}$$

因此供液泵的扬程应大于 70.3m (0.7 Mpa) 才能保证发酵罐、清酒罐的清洗效果。但由于不同发酵罐、清酒罐离 CIP 站的距离不同，管路长度不同，造成压力损失不同，为了保证罐顶压力达到 0.2~0.25MPa，可通过设置供液泵的出口压力，变频控制，以保证清洗压力要求。