

## 应用技术

# 脱臭工段多级真空喷射系统常见问题诊断 与性能检测方法

倪立华,周大同,陈瑶

(无锡中粮工程科技有限公司,江苏无锡214035)

**摘要:**以脱臭工段使用的德国科尔庭多级真空喷射系统为例,对其可能出现的故障和性能降低情况进行了介绍,分析了原因,并阐述了故障诊断顺序、诊断方法以及真空系统常用的性能检测方法,以期为生产实际提供参考。

**关键词:**脱臭工段;科尔庭真空喷射系统;故障诊断;性能检测

中图分类号:TS224.6;TQ643 文献标识码:B 文章编号:1003-7969(2018)11-0151-05

## Problem diagnosis and performance measurements for multi-stage vacuum ejector system used in deodorization

NI Lihua, ZHOU Datong, CHEN Yao

(Wuxi COFCO Engineering and Technology Co., Ltd., Wuxi 214035, Jiangsu, China)

**Abstract:** The possible problems and failures of the multi-stage vacuum ejector system (VES) of the German brand Körting during the normal production of deodorization were introduced. The possible reasons for those problems, the problems diagnosis order, the diagnosis method, and the common performance measurements were also described so as to provide reference for production.

**Key words:** deodorization section; Körting vacuum ejector system; problem diagnosis; performance measurement

在油脂精炼生产线中,脱臭工段的主要作用是脱去油脂中一些含有特殊气味的物质,而脱臭工艺的效果很大程度上取决于系统的真空度。四级真空喷射系统是脱臭工段最为常用的设备,而且行业内使用较多的进口产品是德国科尔庭(Körting)公司的四级真空喷射系统<sup>[1]</sup>。

在正常操作工况下,蒸汽喷射器极少出现故障或性能降低的情况,但是意外状况的发生也是难免的。以科尔庭的多级真空喷射系统为例,针对生产过程中可能出现的问题进行分析。原则上,这些诊断方法对正常操作一段时间后的慢性故障或者突发故障等情况也同样适用。为了尽快确定故障,根据所表现出来的“症状”,可通过以下顺序和方法进行排查<sup>[2]</sup>。

### 1 故障诊断的顺序

在经过一段时间的运行之后,多级真空喷射器可能发生渐进或者突发的性能降低。如果故障无法在短时间确诊,那么排查测试需要从喷射器最后一级开始。只有当这级能够提供预真空时,其他级才能按照设计的排放压力运行。

真空喷射器的各个级别按照大气压力的方向进行编号。因此,第一级直接连接到工艺车间,使其抽空到冷凝器。为了使故障诊断流程进一步合理化,将多级真空喷射系统分为两部分(见图1),后一部分可用单级或多级的蒸汽喷射器,用于冷凝器的排空,并且保持适合冷却水排放温度的真空,可称之为排空系统。前一部分,可使用一级或者多级蒸汽喷射进行升压,使蒸汽喷射器产生的真空度高于冷凝器的真空度。

对于这个系统,首先要检查主冷凝器及其冷却水的温度。如果这部分有一级或者多级的蒸汽喷射

收稿日期:2018-08-20;修回日期:2018-08-28

作者简介:倪立华(1966),女,高级工程师,主要从事与油脂有关的国内和国际工程工作(E-mail)lihua\_ni@126.com。

预冷凝器,则必须检测它们的排放压力,例如主冷凝器的压力。如果冷凝器的压力正常,则问题一定是在升压部分(第一级或者第二级)。

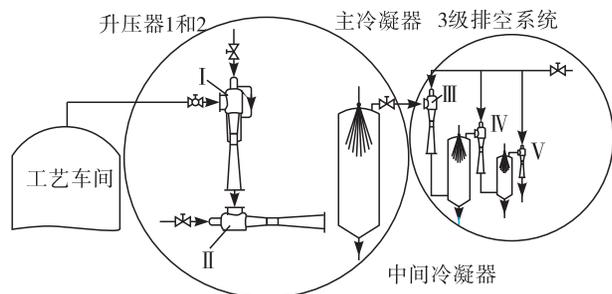


图1 多级真空喷射系统结构示意图

## 2 故障诊断方法

### 2.1 水力测试(泄漏检测)

泄漏需要通过水力试验进行排查。像气压元件-排气尾管,特别是针对较老型号的,在所有的排查中都需要包含。小管径的可以通过木塞进行封堵,而大管径的需要用法兰夹紧进行密封。当进行加注时,则需要最高点出现溢流,来确保填充充分完成。在最高点打开一个法兰连接口,然后进行水压测定,表压应当在 50 ~ 100 kPa。

绝对不要使用蒸汽进行加压! 如果工艺中要求不可使用水,可以考虑用压缩空气替代,然后通过皂液进行泄漏检测。

### 2.2 性能检测

进行喷射器的性能检测,需要和工艺生产线路分开。如果真空截止阀不能正常工作,则第一级的喷射器,可根据法兰中孔洞的数量调整至纵轴方向。吸入口法兰处配备盲板法兰,配上 1.27 cm (1/2") 的螺纹口用于连接测试管口。

在之后的盲板法兰处则需要使用真空表进行连接,以测定内部压力。在喷射器单独的每一级处使用套管连接中间冷凝器。测量值需要和操作工况下的数据进行比较,以用于将来的比对。

### 2.3 空载测试(停机)

用于快速简便的中间测试:定期检查截止阀性能是非常必要和有效的。当工艺车间停车并且无气的状态下,则认为是“0 压”即空载状态,蒸汽喷射器应达到一半的吸入压力。如果可以达到,则可认定为无重要缺陷。

## 3 真空系统的常见故障

### 3.1 真空突降

首先,在保证测试仪器正常工作的前题下,比较实际测量结果,在任何情况下排放温度都不会超过要求值,否则超出部分的排放压力将会从喷射器中

泄出。

如果所得的测试数据都是符合要求的,那么继续跟踪缺陷。如果排空部分可以通过截止阀或者盲板法兰和冷凝器断开,那么此处可以采用上述空载测试方法进行测试。如果没有办法达到一半的冷凝器要求压力的话,那么故障要么就是在排空部分中,要么就是在冷凝器中或者之前。然后再从如下几个方面分析造成故障的可能原因。

#### 3.1.1 冷却水

冷却水温度过高或者供给量不足。

(1)手动检查冷凝器的所有出入口管道,将检测温度和设计参数进行比对。如果冷凝器上没有发现直接差异,但是其他部件都非常烫时,那么很有可能是冷凝器中上喷射器喷嘴局部或者全部堵塞了。可以拆除喷嘴,进行清洗,并且调整喷射角度。

(2)如果冷却水经过最后一级喷射器(常压),则中间冷凝器将全部被水灌满。检查热井上的尾管出口是否通畅。在气压表的安装中,检查气压表的高度。由于大气压力条件的原因,可能会有轻微差异。如果水已经高度充气,则会改变其密度。检查尾管是否有生锈和渗漏。热井中过多的气泡表明可能有过量的气体或空气来自工艺车间。

(3)表面冷凝器的尾管必须保持通畅。如果存在虹吸,导致在冷凝器之间产生不同压力的冷凝水。则应当手动检查是否有局部堵塞。如果表面冷凝器被泵抽空,则必须检查冷凝器以及填料盒。

(4)检查热井是否有足够的缓冲容量(特别是在开始加注尾管时),并检查是否有污泥等,如有则需要清洗。

(5)检查冷凝器的水压是否恒定。供水方面是否有被做出任何改动,在此回路中是否有涉及到其他的车间,检查冷却水泵内是否有空气夹带,检查是否有孔板的存在,是否清洗。

(6)不得超过规定的冷却水温度,检查实际温度是否超标。

#### 3.1.2 蒸汽

可能原因动力蒸汽问题,例如压力过低、不够、太湿或者喷嘴堵塞。

(1)为检查蒸汽质量,应打开动力蒸汽管路的所有排气点。湿蒸汽会以白色羽状排放到大气中。让其排放,直到羽状消失,直至蒸汽流量恒定。

(2)检查喷嘴的动力蒸汽压力。当使用普通蒸汽压力表时,应注意,当蒸汽关闭时,残余真空依旧会作用于压力表,并将指针下移至 - 100 kPa。因此,实际压力可能比指示的要低 100 kPa。

(3) 触摸中间冷凝器以及喷射器本身,如果中间冷凝器的温度低于设计温度,且蒸汽入口和冷却水出口温度检测达不到温度温暖区间,则表明前一个喷射器的喷嘴堵塞了。在吸入流为空气或非过热蒸汽的情况下,喷射器的不同区域会获得与其压力相对应的工作温度。通常情况下,吸入连接和混合区必须比扩散区出口要冷。在绝对压力 0.6 kPa 以下,非加热的扩散区入口也会从外面结冰,被覆盖一层白霜。

(4) 检查堵塞的动力蒸汽喷嘴,应注意不要脱落。小心取出异物,不要损坏喷嘴喉口,并确定其来源,避免重复堵塞。如果检测到喷嘴堵塞,应当吹穿。

### 3.1.3 泄漏

喷射器的吸入性能是根据生产中可预计的最大泄露气流设计的。在长时间的工作后,额外的漏气会导致真空度降低或突然下降。可能原因:

(1) 垫圈破裂。

(2) 阀门和凝结水泵的填料箱,其填料已变得干燥和易渗漏。凝结水泵的密封水应当始终为新鲜水。

(3) 残液泵腐蚀。

(4) 湿动力蒸汽对喷射器后弯部的腐蚀。

(5) 如果使用带螺纹的喷嘴,如果螺纹被腐蚀,则会导致蒸汽旁路。

(6) 冷凝器在冷却水(喷水嘴喷射雾锥)和蒸汽(只有当喷射器水平安装时)的冲击区域的腐蚀。

以上问题可通过水力测试(泄漏检测)进行检测。

### 3.2 真空缓降

真空突降主要是由单一故障引起的,而真空缓降则意味着脱气组开始磨损,特别是在最后阶段。

(1) 运行一段时间后,最后一级(通大气)可能被腐蚀,或者排放管线的外壳可能被污染。因此,在前一个中间冷凝器的测量插座上测量中间真空,并与设计参数进行比较。

(2) 拆卸和清洗排放管。彻底吹扫最后一级并再次测量中间真空。如果仍然不符合要求,则对该喷射器进行内部检查,并对动力喷嘴和扩散器直径进行检查。如果腐蚀了,清洗干净。如果磨损了,更换喷嘴。仔细检查垫圈,在需要的情况下,只能根据要求重新钻孔。

(3) 在表面冷凝器作为中间冷凝器的情况下,冷却管不仅在内部,而且在外部都有可能被污染甚至腐蚀,不再能达到所需要的中间真空,因此需要检查和清洗。

(4) 检查填料箱并进行水力试验(见 2.1)。

(5) 如果外部检查和触摸设备没有发现任何缺陷,那么在每个阶段都安装测量仪器,以便将中间真空与设计数据进行比较。

(6) 将蒸汽喷射器与系统隔断,进行性能检测。

### 3.3 真空不稳定

这种情况所涉及到的内部和外部原因可能会有很多。

(1) 如果达到了所需的真空,但是最后一级(到大气)发生了旋离和脉冲,这说明缺乏吸力流。这种不稳定性可以通过在吸入管道中加入蒸汽解决。

(2) 这种真空波动也表明中间冷凝器可能被充满了。

(3) 检查喷射器内的水垢沉积。检查冷却水压力和尾水管。

(4) 如果多级蒸汽喷射器,例如,1 kPa 的蒸汽喷射器的吸入流量过大,通常没有加热装置的蒸汽喷射压缩机在低负荷条件下,可以达到冰点 0.5 kPa 或以下,然后它会在结冰和融化之间交替。

(5) 如果有加热装置,检测加热器。

(6) 喷射器的特性要求两级喷射器第一级的流量压力曲线与第二级的吸力压力曲线充分重合。如果由于负载条件的变化没有出现这种情况,可能会导致真空不稳定。检查过程中的蒸汽和气体流动,检查喷射压缩机。它们应该与工艺设备隔开,并根据在不同负载下对喷射器压缩机进行性能检测。

## 4 真空系统常用的性能检测方法

真空泵的性能检测是为了验证其工作性能如吸入压力、吸入流量、开机时间,以及消耗指标如蒸汽和冷却水。

### 4.1 吸入压力/真空测量

#### 4.1.1 测量点/连接

(1) 吸入压力直接在吸入接口或喷射器头部测量。

(2) 连接管线(最小直径 10 mm,由铜、厚壁橡胶或透明塑料制成)应尽可能短,不应下垂。

(3) 测量管线必须定期排气,以避免形成冷凝物堵塞,并一直保持清洁状态。

#### 4.1.2 测量仪表(用于真空测量)

要选用合适的绝压测量仪表来测量吸入压力。测量时,需要注意以下几点:

(1) 每个测量周期前,压力表必须校准。如果校准设备不可用,则应进行真实性检查(两个不同的测量设备显示完全相同的值)。

(2) 必须注意测量仪表的分类代码。所示的测

量误差即测量范围导致的数值误差,应小于等于1%。

(3)使用的仪表量程必须按待测压力调整。即测得的压力不应小于最大量程的10%。

(4)测量仪表可能不耐受高温,这一点必须注意,特别是当压力测量点在高温时。没有完全温度补偿的仪表在高温下会给出错误的测量值。

(5)测量仪表必须没有异物。测量膜片上任何固体颗粒液滴都会使测量结果失真。

#### 4.2 吸入流量测定

由于抽吸气流可以由各种气体和蒸汽组成的混合物,因此为了证明真空泵正常运行,通常需要用等效的大气空气流进行测试,而不考虑可冷凝蒸汽部分。原则上,可以通过这种方式把多级真空泵作为一个完整的单元来测试。也可以单独测试每一级,但必须证明每级的吸入和排出侧的压力条件。

#### 4.2.1 测量方法

可以使用多种方法来确定气体介质的连续吸入流量,例如节流点(孔板或喷嘴)的压差测量或根据位移和浮子原理的直接测量。就蒸汽喷射真空泵而言,有一种方法被证明是特别直接和足够精确的,即测量相应尺寸喷嘴在过临界流量时的吸入流量。通过一个或多个这样的喷嘴将大气空气或水蒸气引入蒸汽喷射真空泵的吸入侧真空室中,由此吸入的气流仅由喷嘴前的状态和最窄的喷嘴孔确定。为了实现过度压降,例如大气在喷嘴之前,在蒸汽喷射真空泵正前方的吸入室中需要50 kPa的压力。如果除空气和水蒸气外,还要抽空其他气体或蒸汽,则必须将这些抽吸流量转换为空气或水蒸气的当量(kg/h),并适当考虑实际温度。具体可根据图2曲线进行转换。

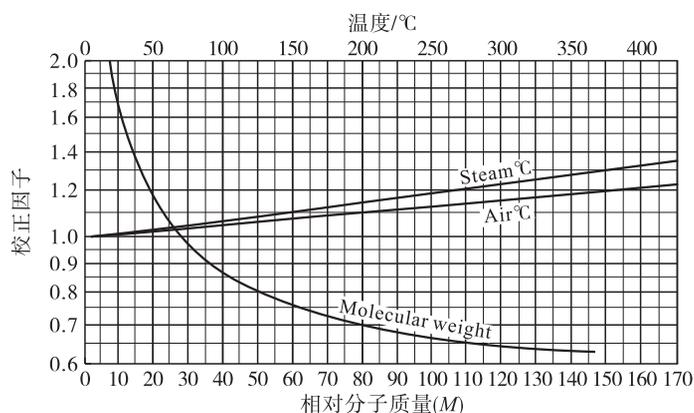


图2 吸入流量与相对分子质量和温度相关的校正因子

例如:5 kg 气体( $M = 80$ )、 $20^{\circ}\text{C}$ , 相当于  $5 \times 0.7 = 3.5$  kg 气体( $M = 29$ )、 $20^{\circ}\text{C}$ ; 20 kg 水蒸气( $M = 18$ )、 $20^{\circ}\text{C}$ , 相当于  $20 \times 1.21 = 24.2$  kg 气体( $M = 29$ )、 $20^{\circ}\text{C}$ ; 100 kg 水蒸气( $M = 18$ )、 $150^{\circ}\text{C}$ , 相当于  $100 \times 1.1 = 110$  kg 水蒸气( $M = 18$ )、 $20^{\circ}\text{C}$ , 相当于  $110 \times 1.21 = 133$  kg 气体( $M = 29$ )、 $20^{\circ}\text{C}$ 。

在具有足够精度的情况下,用大气空气测量时,可以忽略不同气压位置、湿度和温度的影响,这样一般就可以将特定的气流分配给特定的喷嘴孔。但是,在水蒸气的情况下,必须考虑压力、温度和可能的湿度。

#### 4.2.2 应用

当真正的吸入流量用于性能检测时,可以将整个真空设备作为一个单元进行测试。但如果只有一个等效的吸入流量,那么只能将直接串联的喷射器作为一个单元进行测试,基于水力值进行转换。

#### 4.2.3 测量点和测量连接

可以通过几个喷嘴引入所需的(等效的)抽吸

流量。在这种情况下,最好不要将喷嘴直接连接到喷射头,而是连接到具有稳定流动区域的互连管道(见图3和图4)。在该管道部分中,抽吸流可以在整个截面上扩散,以在喷射器头中产生所需的稳定流动。

#### 4.2.4 测量仪表

在使用大气空气喷嘴时,不需要进一步测量仪器。为了减少测量误差,可以用精确的气压计测定气压,从而校正喷嘴的质量流量。如果喷嘴前在非大气条件下与其他气体和蒸汽一起工作,那么必须在那一点测量温度和压力。

#### 4.2.5 测量接口

对于性能测量,应用符合美国热交换协会(Heat exchange institute)标准的喷嘴(见图5)。由于其规定的轮廓和表面质量,可以清楚地确定和再现喷嘴损耗系数。如果制作精良,这些喷嘴则无需校准就可以使用。

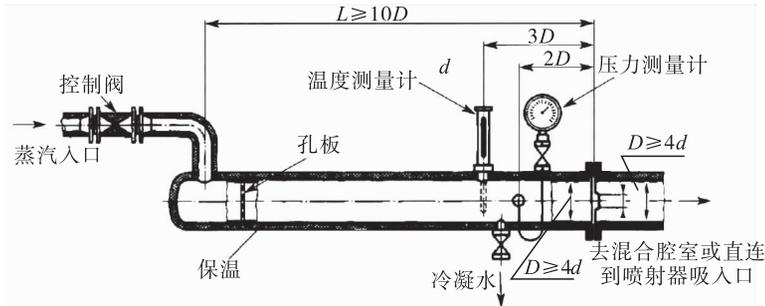


图3 用于测量超临界压力比下的水蒸气流量的装置

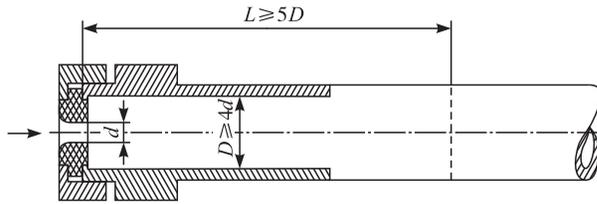


图4 使用 HEI 喷嘴以超临界压力比测量气流的装置

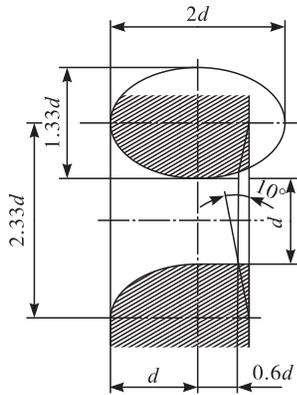


图5 HEI 喷嘴的尺寸比

#### 4.3 排气时间测定

排气时间是指真空装置压缩从大气压中排出的气体的体积,直到符合性能数据的最终真空所需要的时间。在排气过程中,先前计算的排气时间适用于没有泄露气流的容器体积。

#### 4.4 动力蒸汽消耗测定

动力蒸汽是指通过喷射器动力喷嘴的蒸汽气

流。必须是干燥的、饱和的或稍微过热的。动力蒸汽的测量方法与吸入蒸汽的测量方法相同。

现有的动力喷嘴在这里被用作测量喷嘴。它的形式不同于 HEI 喷嘴,可使喷嘴损失系数变小,因此动力喷嘴气流的计算结果也比 HEI 的要小。压力和温度要在动力喷嘴前直接测量。动力喷嘴直径既可以直接测量,也可以从操作仪器中取值。

#### 4.5 冷却水消耗测定

冷却水水流是指进入冷凝器的大量水流。要测量温升,即冷却水进水口和出水口的温度。测量应该直接在进口和出口喷嘴处进行,这样可以将大气影响降到最低。温度计可以直接安装或使用浸入式外壳。可以使用水银温度计或电子温度传感器(如 PT100)。在冷凝器中测量的温度差只能是 3℃。如果已知进入冷凝器的蒸汽气流,在冷却水流的升温跨度也已知的情况下,可以从热平衡中计算出实际的冷却水流量。如果水泵的增压已知,也可以通过冷却水泵的特性曲线来估算冷却水水流。

#### 参考文献:

- [1] 杜宣丽,杨帆. 油脂精炼脱臭真空系统新工艺[C]//中国粮油学会油脂分会论文选集. 北京:中国粮油学会, 2012: 116-120.
- [2] 科尔庭——汉诺威股份有限公司. 蒸汽喷射真空系统——食用油行业[Z].

(上接第 150 页)

应改进为液压或机械自动开启和关闭。常温液压榨饼中含油 13.7%。若采用低温螺旋二次压榨工艺,饼中含油 7.3%,出油率达到 11%。

铁核桃适应环境能力强,生长势强,在条件适宜的山区都有分布。农民采收铁核桃,卖给核桃油加工厂,也是贫困山区山民的一个创收渠道。野生铁核桃也是泡核桃嫁接繁殖的最好砧木;铁核桃树干质地细腻、光滑,是上等的家具材料;野生铁核桃作为一种生物物种,为了保持生物多样性,应加以保

护。野生铁核桃制油大大提高了野生铁核桃的经济效益,同时保护了环境,具有很好的社会效益、经济效益和生态效益。

#### 参考文献:

- [1] 陆斌. 云南核桃的特性与品质[J]. 经济林研究, 2009, 27(2): 137-140.
- [2] 李焕云. 野生铁核桃的价值与保护[J]. 绿色科技, 2014 (4): 142-143.
- [3] 杨瑾,聂绪恒,文韵漫,等. 油用铁核桃的分级标准[J]. 现代食品, 2017(8): 78-80.