

大型超高压设备型式和参数的分析

贾培起

天津市华泰森淼生物工程技术有限公司

Analysis on Type and Parameter of Large-scale High Pressure Unit

Peiqi-jia

Tianjin Huatai-senmiao Bioengineering
Technology Co.,Ltd

摘要:

超高压生产设备价格昂贵,设计者、制造者和应用者都必须对设备的结构特点和技术参数有充分的了解,科学地、合理地选择结构形式和技术参数。本文介绍了开启式、封闭式和翻转式超高压设备选型及参数选择对生产效率的影响,并且阐述了钢丝缠绕的特点和不锈钢材料选择的注意事项。

Abstract

Large-scale high pressure unit is expensive, designers, manufacturers and users must understand fully the structural characteristics and technical parameters of the unit In order to properly select them.This article describes the open, closed and flip-type high pressure unit, also describes the characteristic of wire winding and Selected conditions of stainless steel material.

关键词:

超高压, 大型设备, 生物, 食品

超高压技术产业化应用不过 20 多年,设备的设计和制造技术还处于初级阶段,尚有极大的改善和进步空间,设计理论和技术规范有待完善,结构的科学分析、型式的多样化、新材料的研发和应用、参数及强度的优化设计、加工制造工艺技术的创新、与传统机械工程技术的嫁接、基础件的配套研发等,都有很长的路要走。如何不断提高设备性能和生产效率,降低造价,实现规模化生产,任重而道远。

大家一致认为超高压生产设备价格昂贵是超高压

技术产业化的瓶颈,虽然随着工业技术的发展、超高压技术的扩大应用和市场的不断成熟,设备价格也在不断下降,但是超高压生产设备仍然是食品加工最昂贵的设备之一。因此,无论是设计者、制造者还是使用者,必须全面了解超高压设备的特性,科学地、合理地选择生产设备的形式和参数,以期获得超高压设备较高的性价比。

本文将对三种不同形式的大型超高压生产设备的特点、性能和参数进行分析对比。

1、 开启式超高压设备

固体和包装物料的超高压加工需用开启式超高压设备,以便超高压加工时装填物料。开启式超高压设备主要有立式(图 1)和卧式(图 2)两种不同的结构。



图 1 中国华泰森淼公司生产的立式超高压设备



图 2 西班牙 NC 公司生产的卧式超高压设备

卧式结构的优点是：设备高度低，适合于高度较低的厂房，操作高度适宜，便于与生产线的其他设备连接。由于卧式的超高压容器长度可以加长，相对可以减小容器直径，因此可以大幅度降低框架的轴向力，并降低制造成本。缺点是占地较大，设备内腔有导轨，占用了一些空间，加上筐篮上部空隙较大，空间有效利用率较低（图3），操作时每次开启端盖都需要将介质排出，下一个工作循环再将介质注入，辅助时间较长，影响生产效率。



图3 卧式筐篮及导轨

立式超高压设备容积利用率高，由于无需反复进液排液，缩短了辅助时间，如果加上机械手装填物料（图4），生产效率更高。立式设备占地面积小，但是设备和操作高度都较高，需要搭建操作台。为了降低设备高度，立式设备的超高压容器内径一般设计较大，虽然会增加设备制造成本，但是它能提高容器的有效利用率和生产效率。



图4 日本越後制菓公司立式超高压设备装填物料的机械手

1.1 立式结构和卧式结构空间利用率的对比

立式结构和卧式结构空间利用率相差较大，这里以

600MPa、200 升的超高压设备为例，进行超高压容器空间有效利用率的对比。假设卧式结构装料筐篮进出的导论直径为 40mm，筐篮与容器的间隙为 20mm，筐篮装料时一般上部会留有 30mm 的空隙；立式结构筐篮与容器的间隙为 15mm，装料时筐篮上部留有 30mm 的空隙。结果表明，在容积和直径相同的条件下，立式超高压设备的装料处理量和空间利用率明显大于卧式超高压设备。如表 1 和图 5 所示，随着直径的减小，这种差别越来越大。如果 200 升超高压容器的内径为 250mm，立式结构的空间利用率为 76.9%（约 154 升），卧式结构的利用率为 55.4%（111 升）。

表 1 200 升超高压设备容器内径尺寸对两种结构空间有效利用率的影响

编号	容器内径 mm	卧式 %	立式 %
1	150	0.317	0.638
2	200	0.459	0.719
3	250	0.554	0.769
4	300	0.621	0.801
5	350	0.671	0.824
6	400	0.71	0.84
7	450	0.74	0.85

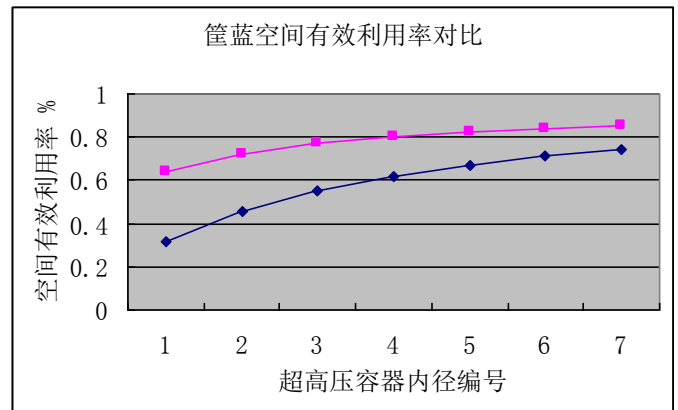


图5 容器直径对空间利用率的影响

■：立式超高压设备；◆：卧式超高压设备

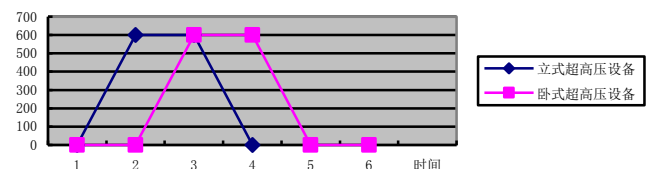


图6 立式和卧式设备超高压处理工序节拍示意图

注：纵坐标为压力，横坐标为时间。超高压处理时，立式设备有 3 个工步，即：升压—保压—泄压；卧式设备由 5 个工步，即：充液—升压—保压—泄压—排液。

1.2 立式结构和卧式结构有效处理时间的对比

立式结构超高压设备加压介质不必排出，可以反复使用。卧式超高压设备如图 6 所示，每次加工工序都

需要充液—排液过程,增加了两个工步,延长了辅助时间,影响生产效率。假设充液—排液占整体高压加工工序所用时间的15%,如果与空间利用率的差别叠加起来,则生产效率出现明显的落差。

1.3 容器内径对超高压设备框架受力的影响

由表1和图5可知,在容积相同的情况下,容器内径越大,空间的有效利用率就越高,但是直径越大,相对容器的重量就越重,框架受到的轴向力就越大,其影响不是线性的而是呈指数曲线,因此会大幅度影响设备的材料消耗、加工难度和设备成本。以600MPa、200升超高压设备为例,直径对框架受力的影响如图7所示,当内径为150mm时,框架轴向力为1060吨,300mm时为4241吨,450mm时为9452吨。可以看出,增加超高压容器内径,有利于提高空间利用率,但它是大幅度提高框架强度、材料消耗和制造成本为代价的。因此,在确定内径尺寸时要综合考虑各种因素的影响。

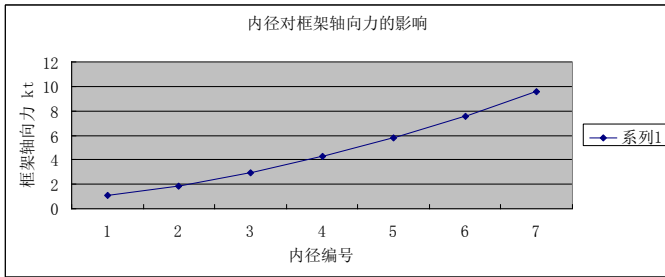


图7 内径对框架轴向力的影响

注:横坐标为内径编号,数字分别代表:

- 1、150mm; 2、200mm; 3、250mm; 4、300mm; 5、350mm;
- 6、400mm; 7、450mm

2、 封闭式超高压设备

对于果汁、牛奶、酒等流体材料的超高压灭菌,有两种不同的工艺。一种是包装后灭菌,另一种是灭菌后无菌包装。前者的优点是没有二次污染,但是要求超高压设备必须是开启式。后者超高压处理后容易二次污染,必须采用无菌灌装。但是,后者可以采用封闭式的超高压设备。

封闭式结构可以利用物料本身作为介质进行超高压灭菌处理,同时能实现半连续或准连续式加工。封闭式超高压设备无需端盖开启,可以省去框架,结构简单,成本低,便于与其它生产设备对接。

封闭式超高压设备的物料通过管道充满超高压容器内腔,没有包装物及其之间的空隙,空间利用率较高。另外,随着压力的升高,容器内的物料被压缩,因此每100MPa可以增加约3%的液体,例如达到600MPa时,实际处理的液体物料可以达到容器内腔的118%,因而生产效率比较高。

浮动活塞往复加压封闭式超高压设备加工效率更高(图8)。该结构的超高压容器中设置一个浮动活塞,一

端进液的同时,另一端完成排液,即将充液和强制排液合并成一道工步完成,缩短辅助时间,提高了生产效率。

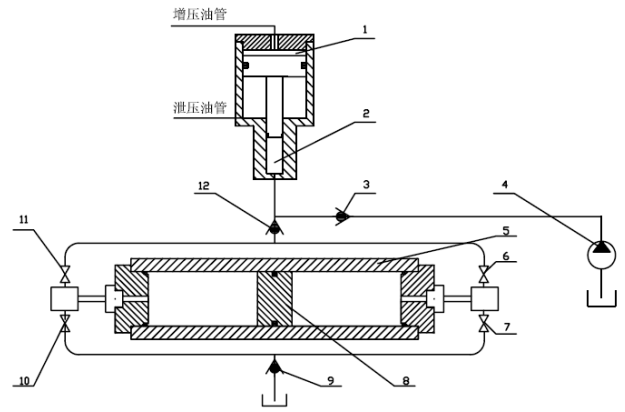


图8 浮动活塞往复加压封闭式超高压设备示意图

3、 翻转式超高压设备

封闭式超高压设备只能加工处理纯液体物料,液体不得含有固体颗粒,因为颗粒容易将超高压阀阀芯卡死或卡在阀口处,使得增压系统无法正常工作。对于固液混合的物料,例如:中药提取、食材入味、细胞破壁等处理加工,既不适于开启式超高压设备,也不适于封闭式超高压设备。

对于非灭菌为目的的固液混合物料的超高压处理,可以采用倾倒式结构。将需要处理的混合物料装满超高压容器,经过超高压处理后,打开端盖,有一套机械传动机构,驱动超高压容器发生翻转倾斜,将处理好的物料,倾倒在预先准备好的容器中,然后复位进入下一个工序。它操作简便,生产效率高,是解决混合物料超高压处理的理想设备。

翻转式结构如图9所示,在超高压容器的中部设置一对转轴7、8,转轴支撑在支架上,当端盖开启后,设在超高压容器底部的油缸驱动,使超高压容器绕转轴7、8翻转,直至将处理完毕的物料,倾倒在预先准备好的容器中。

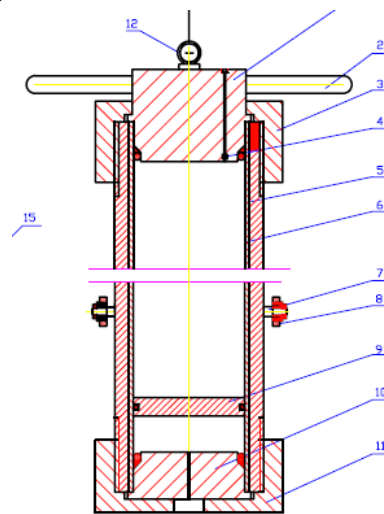


图9 翻转式超高压设备示意图

4、 钢丝缠绕结构的优势

钢丝缠绕框架和钢丝缠绕超高压容器是大型超高压设备最具优势的结构。钢丝缠绕的优点：①承载能力高。由于框架为剖分结构，不存在整体结构的应力集中，同时钢丝受力均匀，安全系数可以取得小些，使得框架大幅度缩小体积、降低重量，减少材料消耗和加工成本；②疲劳强度高。钢丝缠绕预应力结构的载荷波动小，在加压时，无论是框架还是超高压容器，结构件从受拉力变成了受压力，材料的抗压强度一般都是抗拉强度的几倍，充分发挥了材料的强度潜力，疲劳极限提高一倍以上；③安全性高。这对于超高压容器来说是最重要的优点。钢丝缠绕本身就是安全的保护层，如果一旦超高压缸筒开裂，只会产生泄漏，不会发生恶性事故。因为若干层钢丝不可能在同一瞬间，在同一断面断裂，未断的钢丝层，仍有保护作用。即便是内层多处钢丝同时断裂，只要外层钢丝保持完好，依靠钢丝间的摩擦力，断裂也不会扩展，因此非常安全。

5、 关于超高压缸筒材料

生物食品用超高压设备一般都采用水作为加压介质，因此要求超高压容器等部件必须采用不锈钢材料，这不仅是被加工材料和食品机械的基本要求，也是超高压设备本身的强度需要。

如果不采用不锈钢材料，一旦超高压容器内壁产生锈蚀，将会引起应力集中，在加压、泄压的超高压反复作用下，容易产生疲劳裂纹，并迅速扩张，造成超高压容器开裂。



图 10 华泰森森公司生产的钢丝缠绕超高压设备

一般来说应该采用高强度不锈钢作为超高压内缸筒的材料，304、316L 等材料的防腐性能虽然较好，但

是强度较低。例如 316L (00Cr17Ni14Mo2) 的抗拉强度 490MPa，屈服强度只有 180MPa，且材料硬度低。工作时，如果压力超过 200MPa，则材料在屈服状态下工作，就有破坏的危险。图 11 就是 316L 不锈钢缸筒在 420MPa 工作时，因为泄漏形成流束（相当于水刀）被破坏的情况，在密封处形成一道深深的沟槽，设备无法继续工作。因此采用普通不锈钢作为超高压容器的内筒或内衬，具有很大的潜在危险。

高强度不锈钢，例如 SUS630 (0Cr17Ni4Cu4Nb) 沉淀硬化不锈钢的抗拉强度 1400MPa，屈服强度高达 1200MPa，表面硬度高，能避免图 11 的情况发生。



图 11 316L 材料被高压流束刻出沟痕

结论

超高压设备是食品机械中最昂贵的设备之一，产品的设计、制造和应用都必须对设备有充分的了解，结构形式和参数选择得好能降低设备成本，提高生产效率；选择不好，不仅为项目和日后的生产留下遗憾，而且具有较大的隐患。

参考文献：

- 贾培起 《液压传动》 天津科学技术出版社 1982
- 贾培起 《液压缸》 北京科学技术出版社 1987
- 邵国华 《超高压容器》 化学工业出版社 2002
- 贾培起, 王家中 《一体化超高压生物处理设备》发明专利 ZL03 1 30566.0
- 贾培起 《双向加压并双向输送流体的超高压设备》实用新型 ZL 2009 2 0250969.9
- 贾培起, 张福长, 罗利军 《处理固-液混合物料的倾倒式超高压设备》实用新型 ZL 2009 2 0250970.1

作者简介：

贾培起，男，1943 年生，正高级工程师，总经理，国家 863 项目 2003AA421050 子课题及 2005AA420020 课题负责人，研究方向：超高压生物及食品加工技术和设备，E-mail: tjsm112@163.com