

超高压设备的轻量化和小型化

贾培起

天津市华泰森森生物工程技术有限公司

摘要

小型超高压设备的轻量化和小型化，不仅关系到设备的材料消耗和产品成本，而且关系到用户的方便性及其推广应用。本文阐述了小型超高压食品加工设备(10L以下)的结构设计、有限元分析、参数优化、材料处理等技术措施和相关专利技术，并且提出规模化生产和产业化的具体方案。

Weight reduction and miniaturization of ultra-high pressure unit

Peiqi-jia

Tianjin Huatai-senmiao Bioengineering Technology Co.,Ltd
Abstract

The small quantification and miniaturization of small-size ultra-high pressure unit is not only concerned with the expenditure of materials of the equipment and cost of the products but also with the convenience of the users and its diffusion and application. This paper deals with the technological measures and related patent technologies which involves the design of the structure, finite element analysis, optimization of the parameter, the treatment of the materials of the small-size ultra-high pressure unit (under 10 litres). At the same time, some concrete projects of its mass and large scale production and industrialization are also put forward.

关键词

超高压设备, 生物, 食品

ultra-high pressure unit, biological, food

全世界水产品产量高达1.4亿吨，是人类摄取动物蛋白质最重要的途径之一。水产品给人们带来无尽的饮食享受，但是也引起大量的食源性疾病。例如：1988年佛罗里达州曾因大规模爆发霍乱，政府曾经下令禁食牡蛎；同年上海因食用污染的毛蚶30万人染上甲肝，至今市场仍然不能公开出售毛蚶；2006年北京因发现160

人得管线虫病，卫生部门明令禁止食用福寿螺；同年日本300万人因为牡蛎、蛤蜊等爆发诺沃克病，2008年德国57000人感染同样的疾病；中国的流行病学调查，大约有1200万人患有肝吸虫病，皆因为生食鱼、虾、蟹所致。

生食水产品已经在相当多的人群中形成了不可更改的饮食习惯。加热能有效杀灭细菌和寄生虫，但会失去原有鲜嫩的口感、鲜美风味和营养成分。超高压技术能有效地解决这个问题，他既可以杀灭有害微生物，又可以保质水产品鲜美的风味和口感。2002年美国率先应用超高压技术对牡蛎进行冷灭菌，并规模化生产(图1)，产品已经在全国各地热销(图2)，使一大批水产资源得到释放，救活了不少养殖牡蛎的渔场主。目前水产品已经是超高压产业化最重要的领域，超高压加工的水产品占据了世界超高压食品的15%。



图1 牡蛎的超高压加工生产线



图2 美国上市的超高压牡蛎

众所周知，包装水产食品并不是引起疾病的主要渠道，大部分疾病是由于餐饮业和家庭烹饪的不当处理而引起的。因此，如何在餐桌上杜绝水产品的传染源，是防止有害微生物传播关键。2009年卫生部组织的超高压预防肝吸虫病的专家论证会上指出，“将超高压设备用于餐饮业食品预处理无疑可以对部分人群肝吸虫

病进行预防,企业应针对市场需求进一步研制适合我国小型化、价格平民化的设备。”资料显示,日本已经将餐饮和家庭用小型超高压设备作为企业的产品开发项目。

民用超高压设备与工业用的设备不同。民用设备一般要求体积小、重量轻、操作简单、故障少、价格低,因此超高压设备的轻量化和小型化,就显得格外重要。

另外,超高压设备将会成为院校、研究所和企业技术开发中心的必备设备,体积小、重量轻也是实验室的基本要求。为了实现超高压实验机“仪器化”和民用设备“家电化”,必须做到设备结构先进、设计优化、产品定型、规模生产,才能推动超高压技术的普及和应用。

1、结构设计 Structural Design

超高压设备的设计是一个系统工程,结构设计是最重要的一个环节,动力系统和控制系统都是围绕主机结构展开的。对于小型超高压设备(600 MPa、10 L 以下,)采用一体化直压式的结构显示出诸多优势(发明专利 ZL 03 1 30566.0)^[3],从图 3 可以看出,传统的分体式间接加压的设备,有 3 个超高压容器,4 处超高压密封,5 个超高压阀、9 条超高压管路和 17 处超高压接头;而一体化直压式设备只有 1 个超高压容器,1 处超高压动密封其它都是常规液压系统。其制造成本、工作可靠,故障率低。图 9 是各种一体化小型超高压设备的实例。

表 1 两种结构形式的对比^[6]

Comparison of two structural

项目	一体化直接加压	分体式间接加压
结构特点	超高压动力源与超高压加压室结合成一体,结构简单,整体性好	超高压动力源、超高压加压室是分为两个分离的部件,结构复杂
超高压部件	只有一个超高压部件	3 个超高压部件
超高压附件	无须超高压阀和超高压管路连接	需要 4-5 个超高压阀和多条超高压管路连接
超高压密封件	只有 1 处	4 处
维护性能	更换密封简单,不用工具,操作人员可自行更换	更换密封麻烦,有时需专业维修工配合
安全性	只有 1 处超高压部件,安全性好	除 2 个超高压部件外,还有中间连接的超高压管路和阀,可靠性较差

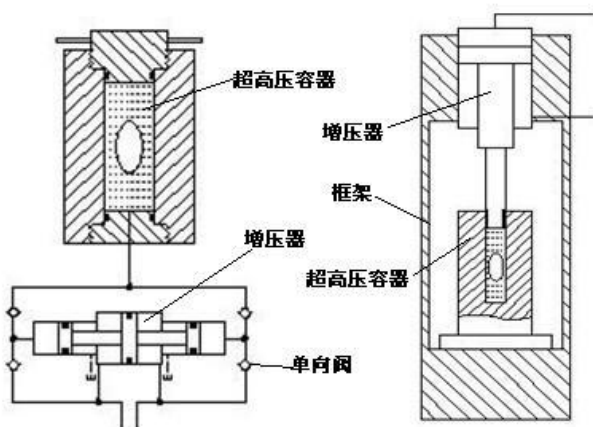


图 3 超高压食品加工设备两种结构形式的对比

Comparison of two structural

为了进出物料,普通超高压设备的框架与容器之间的相对移动有 2 种形式:(1) 框架固定,超高压容器移动;(2) 超高压容器固定,框架移动。对于一体化直压式设备,为了进出物料,需要加大增压缸的行程,这样就增加了增压缸的行程,不得不提高整个框架的高度,使得整机庞大笨重。采用移动式柱塞(图 4),既能方便进出物料,又能大幅度降低设备高度和重量(实用新型 ZL2007 2 0099603.7)^[4]。



图 4 径向移动式柱塞

Moving piston

2、系统压力对体积、重量、成本有重大影响 Effect of the hydraulic system pressure on the size, weight and cost

提高液压驱动系统的工作压力,可以缩小液压缸的尺寸,易于超高压设备的布局。液压系统的压力选择对设备重量、液压系统流量、设备制造成本、设备运行成

本等各项指标有明显的影 响 (图 5) [2]。因为提高工作压力, 能缩小液压缸的尺寸和体积, 从而可以缩小框架的尺寸, 降低了整体设备的重量和材料消耗 (图 5 a); 由于提高了工作压力, 在保持同样推力的情况下, 液压缸的活塞直径可以减小, 所以降低液压泵的流量 (图 5 b), 液压缸能保持同样的运动速度, 同时油箱可以适当缩小; 设备体积缩小、重量减轻后不仅能减少材料消耗、同时也降低了机加工、热处理、运输等费用, 因而能够降低设备的制造成本 (图 5 c); 设备紧凑, 减小设备占用空间, 同时能降低维修配件、油料消耗和潜在的运行费用 (图 5 d) [1]。

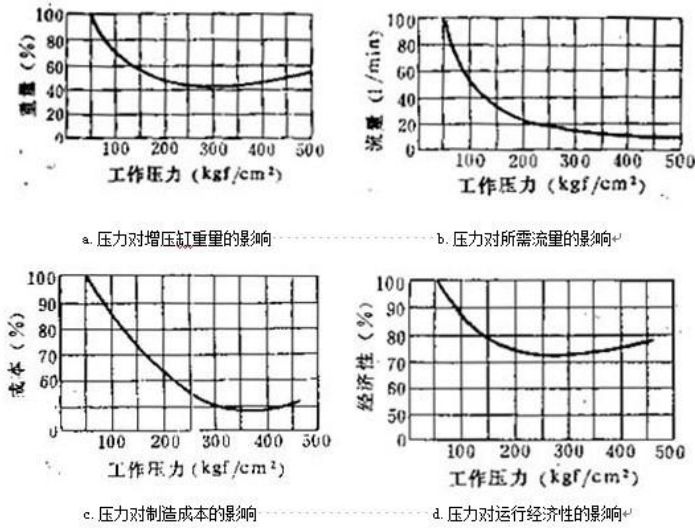


图 5 系统压力对各项指标的影响 [2]

Effect of the hydraulic system pressure on the size, weight and cost

3、选择高强度材料 Select high-strength materials

选用高强度材料能有效减小关键部件的尺寸。例如, 超高压容器的内缸筒如果选用 316 不锈钢, 屈服强度只有 310 MPa, 而 SUS630 屈服强度可以达到 1180 MPa, 因此可以大幅度减小容器的壁厚, 缩小部件尺寸, 减轻设备重量。

4、把握关键技术参数的选择 Control the key technical parameters

双缸筒热套合是预应力超高压容器应用最普遍的结构之一, 关键参数如过盈量、中径的选择对容器强度有很大影响。

如图 6 所示, 在超高压容器外径不变的情况下, 中径不变, 过盈量越大, 外缸筒的应力就变大, 内缸筒的应力变小; 反之, 过盈量变小, 内缸筒的应力就变大, 外缸筒的应力就变小。图 4 是 600 MPa、0.6 L 的超高压容器, 过盈量对超高压容器外筒内壁和内筒内壁合成应力的影响。

如图 7 所示, 当过盈量不变时, 调整中径的位置, 也能影响超高压容器内外缸的强度。中径尺寸增加, 则内缸筒的强度提高, 外缸筒的强度降低。

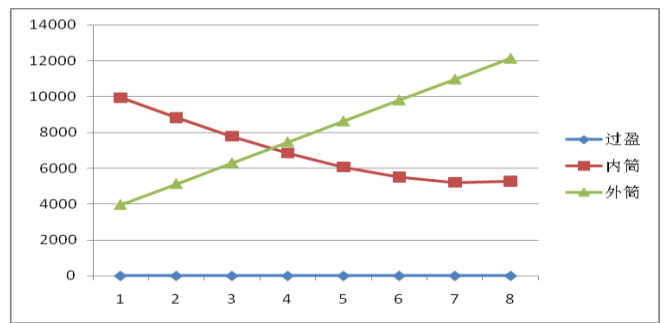


图 6 过盈对内外缸筒合成应力的影响

Effect of interference fit on synthetic stress of the inside and outside the cylinder

纵坐标: 合成应力 (kgf/cm²);

横坐标: 过盈量 (cm) 1、0.005; 2、0.01; 3、0.015; 4、0.02; 5、0.025; 6、0.03; 7、0.035; 8、0.04

合理的设计方案要求兼顾两个缸筒的合成应力, 通过调整中径和过盈量, 使内外缸筒的安全系数基本相当, 实现等应力设计, 充分发挥两者的材料的强度潜力, 延长超高压容器的使用寿命。

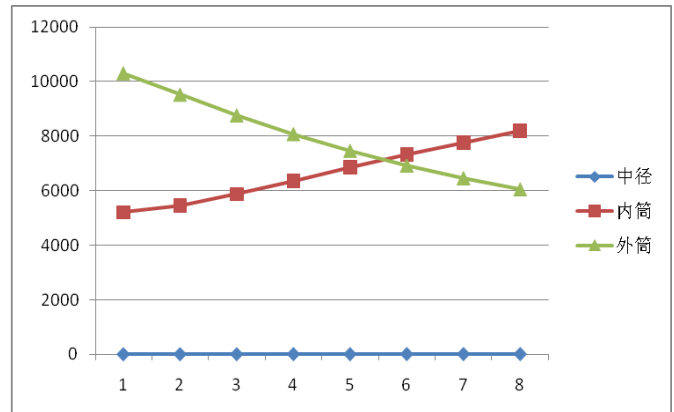


图 7 中径对内外缸筒合成应力的影响

Effect of Middle diameter on synthetic stress of the inside and outside the cylinder

纵坐标: 合成应力 (kgf/cm²);

横坐标: 中径 (cm) 1、8; 2、9; 3、10; 4、11; 5、12; 6、13; 7、14; 8、15

5、有限元分析优化设计 finite element analysis and optimization design

框架是一体化直压式超高压设备的关键部件, 它的尺寸和重量对主机有直接的影响, 因此对框架的优化设计尤为重要。在有限元分析中选用 ansys 的 45 号任意六面体三维固体单元。共划分了 82 211 个单元, 112 209 个节点, 336 672 个自由度, 模拟分析主机受力情况 (图 8), 了解各个部位的应力分布, 通过优化设计, 弱化了强度裕量较高的部分, 加强了薄弱环节, 合理进行布局, 使其达到应力分布均匀、降低材料消耗的目的。根据分析, 图中深色的部分, 强度较高, 浅色的部分强

度较低，特别是底座中间部分， σ_x 达到 515MPa， σ_z 最大值达到 596MP。改进后底座中间加强了筋板，最大应力 σ_x 变成 357MPa， σ_z 变成 387MPa，使得框架整体应力趋于均匀并提高了承载力。

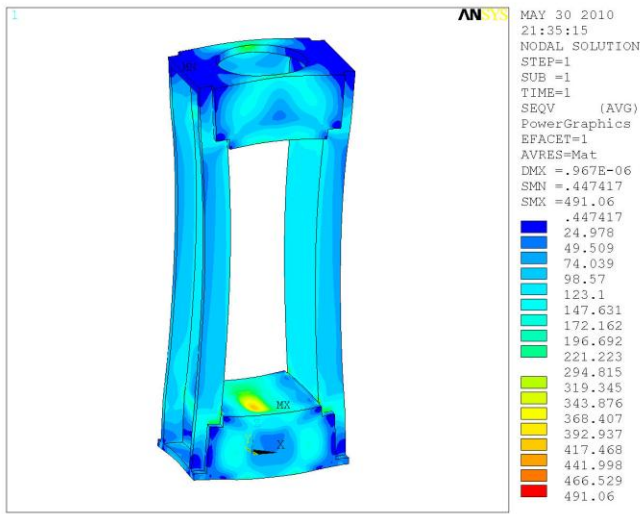


图 8 框架的有限元分析

6、应用实例 Examples

按照以上设计方法，不断改进设计、调整参数，研制了适应各种不同用途的小型超高压设备（图 7）。



图 9 适合各种不同用途和要求的小型超高压设备

7、标准化、系列化、通用化和规模化生产 Standardization, serialization, universal, and large-scale production

超高压设备的标准化、系列化、通用化是规模化生产的必要条件，实现“三化”不仅提高生产效率、降低生产成本，保证产品质量，而且能更好地为客户进行售后服务。标准化，就是将小型超高压设备形成标准系列，按照标准数系确定主要参数，其中包括容积、液压缸的内径、活塞外径、超高压容器内径等，减少了元件、部件、密封件、工装、刀具的种类；超高压设备按照容积参数形成了 0.6、1、2、5、10 升的系列，基本满足

民用和科研用的小型超高压设备的需要；将泵站和控制柜分成“高配”（电动控制、数字仪表、PLC、PC）、“低配”（指针仪表、手动控制）两种不同的配置，并且通用化，与主机随意组合。这样各个部件可以形成批量生产，然后根据用户需要进行不同组合。

小型超高压实验机像巴氏灭菌设备一样成为教学和研究工作必备的仪器；小型超高压设备像冰箱一样成为普遍使用的厨房设备，则规模化生产势在必行，建小型超高压设备的生产线水到渠成。

结论 Conclusion

超高压设备的轻量化和小型化大幅度降低了材料消耗和产品成本，一台 500t 轴向压力的设备，普通液压机的重量是 45t，采用优化设计后，同样吨位的超高压设备（600MPa、5L）的重量只有 4.5t^[7]；手动开启式超高压设备（600MPa、0.6L）只有 250kg（图 7 左下）^[6]；最初设计的自动开启的 600MPa、0.6L 超高压实验机主机为 2.2t，改进设计后 700MPa、0.6L 降低到 1.5t，600MPa、2L 降低到 1.8t（图 7 右上），480MPa、2L 降低到 1.2t（图 7 右下）^[5]。

超高压设备的轻量化和小型化，不仅为院所科学研究、企业技术开发和民用领域创造了良好的条件，而且为大型生产设备的设计制造提供了很好的经验和借鉴，为降低生产设备的造价，推动超高压技术的广泛应用，提供质优价廉的超高压设备创造了有利条件。

参考文献 References

- [1]贾培起 《液压传动》 天津科学技术出版社 1982
- [2]贾培起 《液压缸》 北京科学技术出版社 1987
- [3]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
- [4]罗利军，吕洪波，张福长，贾培起 《等静压设备上可移动的加压柱塞》实用新型 ZL 2007 2 0099603.7
- [5]贾培起，张福长，罗利军 《民用小型超高压食品加工设备》实用新型 ZL 2010 2 0187525.8
- [6]贾培起，吕洪波，陈于，罗利军 《手动开启式小型超高压生物处理设备》实用新型 ZL 2006 2 0027211.5
- [7]贾培起，吕洪波，罗利军，陈于 《板框式超高压生物处理设备》实用新型 ZL 2006 2 0027212X
- [8]贾培起 超高压实验机及生产设备的选型 《食品研究与科发》 2005.4 151
- [9]邵国华 《超高压容器》 化学工业出版社 2002
- [10]高家驹 国内外超高压容器的研究动向 《压力

容器》 1991.6 475

[11]高令怡 日本超高压设备技术标准现状综述
《石油工程建设》 1994.3 7

[12]彭超英, 曾庆孝, 陈柏暖, 高孔荣 食品超高压处理容器的发展 《中国机械工程》 1996.4 54

[13]陈寿鹏 食品高压装置 《食品科学》 1996.11 55

[14]郑津洋, 侯灿明 压力容器在食品加工中的应用
《化工装备技术》 1996.4 37

[15]郭万峻, 徐洋 超高压食品加工容器装置设计分析 《压力容器》 第 14 卷, 第 2 期 53

[16]刘红、林锋 超高压食品加工装置综述 《食品工业科技》 1998.6 78

[17]杨薇, 张绍荣 超高压装置在食品工业中的应用 《云南工业大学学报》 1999.1 19

[18]赵立川, 唐玉德, 祁振强 超高压食品加工及其装置 《河北工业科技》 2002.2 21

[19]励建荣, 夏道宗 食品工业中的高压装置 《包装与食品机械》 2002 .3 . 1

[20]付长安, 张显余 超高压液压技术的探讨 《液压气动与密封》 2010 .11 4

[21]焦建平 超高压液压技术的应用 《液压与气动》 2010.8 76

[22]徐鹏 工业化生产级超高压食品加工装备若干问题探讨 《包装与食品机械》 2010..6 54

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