

整体式超高压生物处理实验机结构设计和优化

贾培起^① 吕洪波^② 于洋^②

^①天津市华泰森淼生物工程技术有限公司 300100

^②智能技术与系统国家重点实验室（清华大学） 100084

摘要

超高压生物处理实验机是进行超高压生物科学与技术研究的最关键设备,其结构的选择和参数的优化直接关系到它的使用性能和操作成本。本文提出新的设计思想、旨在通过选择合理的结构形式、系统方案和优化设计,达到设备成本最底、使用性能最好的目的。本着这个原则,我们研制了新型的 HPB1000/0.4 型整体式超高压生物处理实验机。经大量实验验证,它的性能优异,操作简便,工作可靠,且制造成本低。本项目已列入科技部 863 计划,并且该技术已经获得国家专利。

关键词 超高压 生物处理 高压加工 灭菌 食品设备

为了更方便地开展超高压生物处理的工艺研究,和开发新的产品,我公司最新研制了小容量,超高压力的实验机。超高压实验机设备由主机、泵站、控制柜、调温系统 4 个部分组成。图 1 所示为实验机的主机。



图 1 HPB.A2 1000/0.4 型超高压实验机主机

一、整体结构与分离结构的比较

超高压生物处理实验机是用于对生物材料进行低温、常温超高压加工处理的设备。所谓

生物材料是指蛋白质、淀粉、动植物组织、食品等。它不仅仅是为了灭菌，在很多情况下是通过超高压加工，达到生物材料变性、改变质构、加速某些反应的目的。为了准确地表述该设备的应用范围，我们没有称其为“超高压灭菌实验机”，而称为“超高压生物处理实验机”。

超高压实验机主要的目的是为了进行研究实验。它要求压力、温度等工艺参数有较大的调整范围；有较强的自动控制能力、精确的数据采集、记录和处理能力；但对容积要求不大。因此我们研制的实验机参数定为 1000Mpa, 400ml, -20—60℃。

目前我国各研究单位和院校所采用的超高压实验机的结构，多为分体式的。经过结构分析和成本核算我们认为对于实验机来说，采用整体式结构更为合理。下面是两种结构的性能对比。图 2 是整体式实验机结构示意图，图 3 是分体式生产设备结构示意图，分体式实验机的型式相类似，只是容积小小些。

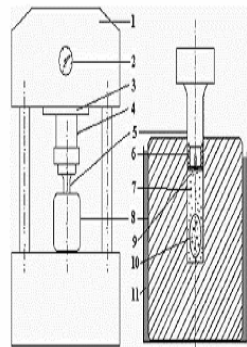


图 2 整体式实验机结构示意图

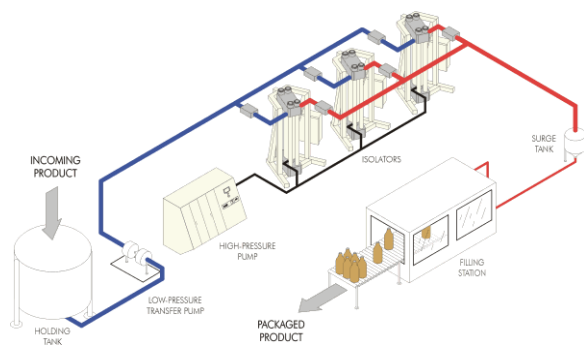


图 3 分体式生产设备示意图

实验机结构的类比

表 1

项 目	整体式	分体式
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	2-3 个超高压部件
超高压附件	无须超高压伐和超高压管路连接	需要超高压伐和超高压管路连接
超高压密封件	只有一处	3-4 处
开启形式	自动开启，操作维修都方便	封闭式，开盖麻烦，必须手工松开若干连接螺栓，打开缸盖，开盖时容易损坏固定密封，操作维修都复杂
安装	立式，整体性好，容易安装	多为卧式，较为分散，安装较麻烦
操作性能	操作简单，做一次实验的辅助时间只要几分钟	操作复杂，辅助时间几十分钟到几小时
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	只有一处超高压部件，并有安全门防护	除两个超高压部件外，还有中间连接的超高压管路和伐。不好防护，有时需隔离操作
动态特性	动态性能较好	动态性能稍差
自动控制	自配 PLC 和计算机，容易自动实现交变载荷实验，能自动采集、分析、	外配

	处理数据, 减少实验员工作量	
温度控制	具有加热、制冷装置, 自动控制实验温度	
工作介质	水	油、流体聚合物
能耗	设有停泵保压系统, 减少能耗	
占地面积	小	较大
制造成本	较低	较高
运行费用	较低	较高

二、超高压加压容器的设计

超高压实验机的加压室要承受 200 - 1000MPa 的压力, 属于超高压容器。对于这种容器的强度设计, 目前还缺乏科学合理的指导性资料和规范。传统的超高压容器计算方法和设计规范多是针对装有 (或产生) 气体或气液混合物, 内部发生反应, 而且是在温度较高的条件下制定的。火炮的受力条件又有所不同, 它是瞬间承受强烈的超高压力和高温, 处于频繁变换载荷的动压状态。它们的设计方法、实验数据都很难直接指导属于常温静水压的超高压生物处理机的设计。因此通过大量实验验证来确定设计方法以及所选择的安全系数, 是非常必要的。

超高压生物处理设备对压力、体积两个参数非常敏感, 稍有提高就会大大影响设备的重量, 从而大幅提高设备的材料成本和加工成本。一般情况下, 生产用设备应该根据被加工材料所需要的实际压力, 进行针对性设计, 不应留有太大的冗余, 否则会大大增加设备的造价。实验设备应尽量控制它的有效容积, 特别是加压活塞的直径, 这样有利于降低实验机的制造成本。

若能科学合理地选择材料和安全系数, 可以降低材料消耗和材料成本。例如在压力较低时 (如 200MPa), 若采用价格昂贵的炮钢做超高压加压器, 成本较高; 若采用强度较高的普通结构钢, 则可以大大降低成本。

本公司研制的超高压生物处理实验机, 精心选择了超高压加压器的结构和材料, 采用内外材料不同的双层套筒结构, 并用等 K 值的优化方法, 对它的参数进行优化计算。内套筒采用不锈钢材料, 外套筒采用高强度结构钢, 装配后通过自紧处理, 大幅提高了它的强度。图 4 是对该缸套自紧后进行强度实验的曲线。1 是自增强应力应变曲线, 2 是自增强后的应力应变曲线。可以看出, 自增强后材料的强度得到很大改善。由于采用不锈钢内套, 故能直接使用水作为介质或直接处理流体食品。不仅操作方便, 而且降低了实验成本。

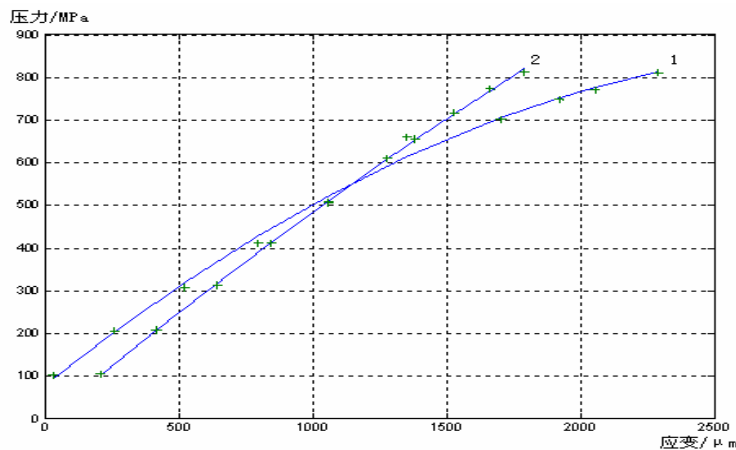


图 4 自增强双层套筒强度实验曲线

三、液压系统的设计

为了提高设备的自动化水平，液压系统采用了电液比例溢流阀 8，以便使用计算机对系统压力进行自动控制（图 5 液压系统图）。特别是交变载荷的情况下，计算机能按照预定的程序自动加载、调整、改变、控制超高压的压力和工作频率，实现加载的闭环控制。

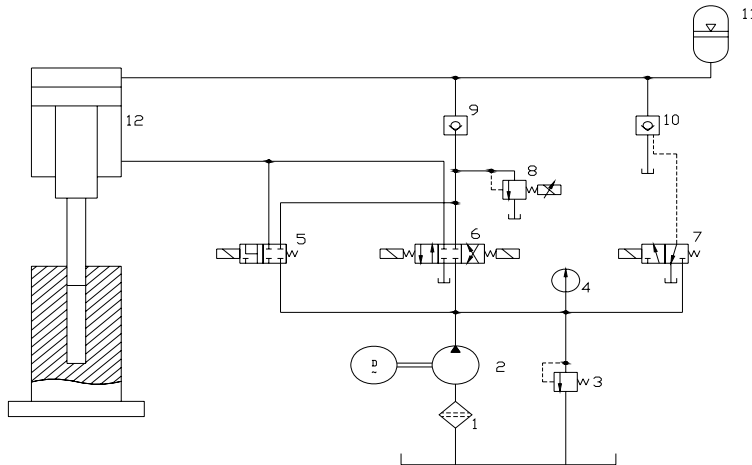


图 5 液压系统图

超高压实验中经常需要长时间保持压力，有时会达到几十分钟到一个小时。为了减少能源消耗，液压系统设有蓄能器 11，可以实现停泵保压，这样还能减少泵的磨损和液压油的发热和老化，延长使用寿命。



图 6 a 计算机操作控制界面

四、实验机的数据控制、采集、记录和处理

超高压实验机的自动控制、记录和数据处理能大大提高实验的工作效率，减少差错。该系统由计算机控制 PLC 完成各种机械动作和参数的控制。超高压压力传感器直接测量被加压的介质，避免了间接测量存在的误差。实验的压力、温度、时间均可预先设定。实验过程各种参数均可记录下来，并打印成曲线。另外，还可以查阅历史资料，或将历史记录中的同类的实验数据进行汇总整理，利用数学计算的方法，将若干实验结果拟合成曲线。



图 6b 计算机主要实验参数设定界面

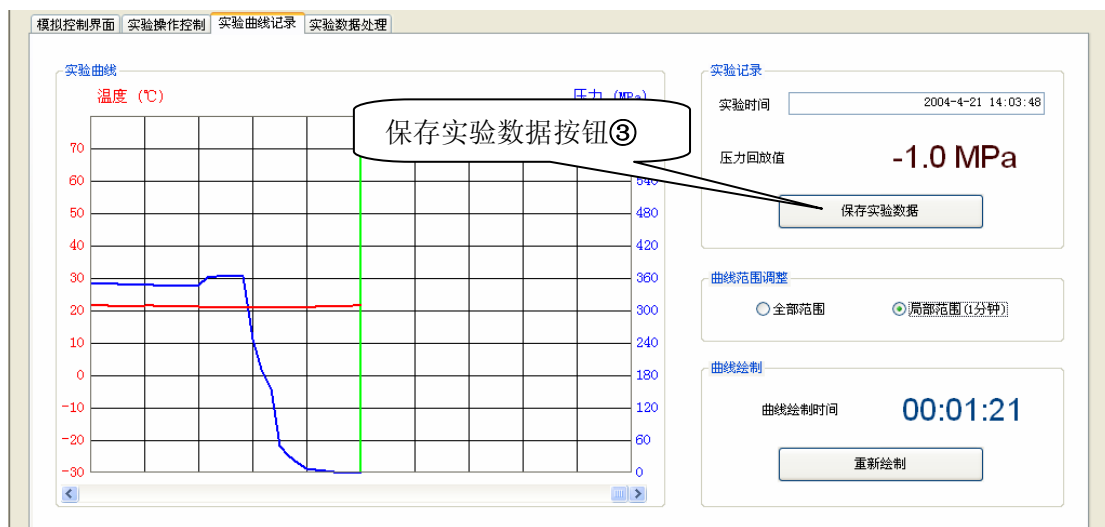


图 6c 计算机记录的实验曲线

五、实验机的工作温度控制

超高压生物处理加工时，温度有时是非常重要的参数。超高压和高温适度配合能产生更好的工艺方案。例如超高压加工橙汁时，如果将温度适当调整升高到 40-50℃时，可以降低 100-200Mpa；或采用同样的压力，适当调高温度，可以延长保质期。再如，芽孢是对压力、温度耐受性都很强的微生物，较难灭活。若两者结合起来就较容易使芽孢致死。另外，超高压冷冻解冻时，温度控制是必须的。因此，超高压实验机应该具有温度控制调节功能。本机

采用了加热 - 制冷的循环系统 (图 7)。当要求工作温度高于环境温度时, 启动加热系统 2, 介质被加热到高于工作温度, 通过泵 1 的强制循环, 不断流向超高压加压室的外壁, 补充热量并保持设定的温度; 当要求工作温度低于环境温度时, 启动制冷系统 5, 介质被冷却到低于环境温度, 通过强制循环不断降低超高压加压器的温度, 使之维持设定值。

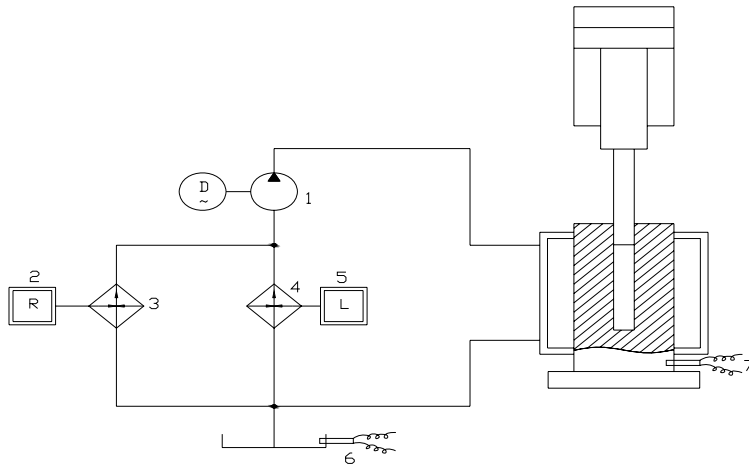


图 7 温度调节控制系统示意图

六、安全问题

超高压实验机的安全是每一个使用者特别关心的问题。500 - 1000Mpa 超高压压力相当于 5000-10000 个大气压。不了解情况的人一定会认为是非常危险的。实际上危险是有的, 但并不像想象的那样大。危险的大小, 并不仅仅取决于它工作压力, 而且与它的体积、工作温度、介质种类有很大关系。实验机的工作容积很小, 介质是水, 常温工作, 因此危险性较小。特别是该结构只有一处超高压配合, 加压速度缓慢, 即便密封处泄漏, 也不会伤及操作人员。为了更安全、操作起来更踏实, 设备还装有防弹玻璃的双层不锈钢门, 透过玻璃窗可以观测实验情况。

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
- 吕洪波、于洋 HPB.A2-600/0.4 型超高压生物处理设备使用说明 2003
- U. S. FDA

作者简介

贾培起, 高级工程师, 天津华泰森森公司总工程师。长期从事液压传动和机械的研究, 著有《液压传动》、《液压缸》, 发表论文等共 100 多万字; 主持、参加过“电液比例控制三维加载实验机”、“高参数机械密封实验台”、“梁板炉 20 点电液比例加载系统”等 40 多台液压设备的研制和设计; 获 10 余项国家专利。其中有些项目达到国际先进水平, 并在国际学术会议上发表论文。现为“整体式超高压生物处理实验机”专利的第一发明人, 是 863 计划项目“超高压低温灭菌”项目的课题负责人。