文章编号：1000-5773(2012)04-0375-07

超高静水压装置的研制及钝酶效果试验*

易建勇[1,3]，孙传范[2]，王永涛[1]，董　鹏[1]，王换玉[4]，胡小松[1]

(1.中国农业大学食品科学与营养工程学院，北京　100083；
2.科学技术部中国农村技术开发中心，北京　100045；
3.中国农业科学院农产品加工研究所，北京　100193；
4.包头科发高压科技有限责任公司，内蒙古包头　014030)

摘要：设计开发了 UHHP-1600 型超高静水压装置，工作压力达到 1.6 GPa。阐述了该超高静水压装置的工作原理、结构特点和设计要点，分析并确定了超高静水压承压容器、密封系统和压力控制系统的结构和相关参数。试验表明，整机结构合理、操作方便、性能稳定、安全可靠。利用该装置在 1.6 GPa 下处理蘑菇多酚氧化酶 1 min，可以将其完全钝化。

关键词：高静水压；食品；压力倍减器；钝酶；多酚氧化酶
中图分类号：O521.9；TS203　　**文献标识码**：A

1　引　言

高静水压加工技术又称超高压加工技术，是一种新兴的非热力加工技术，具有处理时间短、能耗低的特点，可以最大限度地保持食品原有的风味、色泽和营养价值[1-2]，可应用于淀粉改性、海产品脱壳、传统食品改造等领域，具有广阔的发展前景[1,3]。目前，商业化高静水压装置的工作压力一般低于 0.7 GPa，在此压力范围内不能完全杀灭食品中的耐压微生物芽孢和耐压酶，从而导致食品在储藏期中腐败变质、品质下降以及安全性降低[4-5]。

目前，我国在压力超过 1.0 GPa 的超高静水压装置的研制方面仍有一些技术问题亟待解决。首先是承压容器的设计问题。整体锻造是目前厚壁容器中最常见的形式。然而这种单层厚壁容器在载压状态下产生的应力很大，并且内壁应力大于外壁应力，应力沿着器壁厚度方向分布不均匀[6]，如果长期在非弹性压力范围内工作，易发生疲劳破坏，在较高压力下甚至会发生屈服或者塑性流动。因此超高静水压(大于 1.0 GPa)装置的承压容器需要采用 3 层或 3 层以上的复合容器壁，才能保证装置的安全性。其次，密封系统是高静压设备制造过程中的核心技术，决定着载压下装置的保压性能和整体安全性[7]。常见的高压密封方法有强制密封、半自紧密封、自紧密封等。目前，我国 0.7 GPa 以下的高静水压密封系统普遍是由三角形垫圈、O 形圈、平垫等元件组合而成，这种密封磨损快，易脱落，在超过 1.0 GPa 压力下工作极易泄漏。最后，由于国外超过 1.0 GPa 的超高静水压传感器非常昂贵，而国产压力传感器的量程大多在 0.9 GPa 以下，若在较高压力下工作，则传感器中传压的金属膜片容易疲劳，随着使用次数增加，传感器精准度也将随之下降，因此需要解决超高静水压压力控制系统的研制问题。

总体来说，由于超高静水压条件对装置的整体性能要求较高，加上关键零部件的设计未能突破，使

* **收稿日期**：2011-01-30；**修回日期**：2011-05-16
基金项目：国家自然科学基金(30972067)；北京市科技计划项目(D10110504660000)
作者简介：易建勇(1983－)，男，博士研究生，主要从事农产品加工技术与装备研究. E-mail：yijianyong515@126.com
通讯作者：胡小松(1961－)，男，教授，博士生导师，主要从事农产品加工技术及装备、农业与食品产业发展战略研究. E-mail：huxiaos@263.net

我国在压力超过 1.0 GPa 的超高静水压装置的开发上仍为空白[6]，导致超高静水压条件下杀菌和钝酶的效果及机理等方面研究无法开展。针对这些问题，本研究通过设计超高静水压条件下的承压容器、密封系统和压力控制系统，开发了工作压力达到 1.6 GPa 的 UHHP-1600 型超高静水压装置。该装置可以广泛用于超高静水压条件下杀菌、钝酶、食品成分改性、新材料开发等方面的实验研究。

2 主体结构与工作原理

2.1 主体结构

目前超高压装置主要有两种，即分体式和一体直压式[8]。分体式高静水压装置是指增压器与承压容器分离，通过高压管路连接，其优点在于装置的设计容积较大，适于商业化大型设备，但由于管路和接头过多，在超高静水压力下装置的稳定性大幅降低。一体直压式高静水压装置是指利用液压原理，通过柱塞杆直接向密闭的承压容器增压，增压速度快，装置结构简单，运行稳定。

本研究设计的 UHHP-1600 型超高静水压装置采用直压式结构。装置由高压承压容器和增压系统组成，包括容器底座、高压容器体、容器腔、柱塞杆、联动杆、油缸Ⅰ部、顶部支架、柱塞杆、油缸Ⅱ部、油缸进油口、承压框架、加热套、温控系统等，如图 1 所示。装置框架为 4 根高强钢柱，钢柱两端采用活动螺扣设计，用于调整装置水平，保证柱塞杆的定位和各钢柱承压的均一性。装置各元件间的机械动作通过红外定位，确保运行时的平稳和精确，避免错位而产生的机械碰撞。为了使装置的整体结构紧凑，主油泵、油箱、排气阀和换向阀等元件位于容器后方，组成增压系统。装置配备智能控制系统，可实现一键式全自动操作，即设备可自动完成柱塞杆定位、下移增压、保压计时、卸压等模块。通过软件编程，各个模块间的运行均有保护程序，一旦发现错误或者压力不正常就立即报警，自动终止设备运行，防止误操作造成损失，提高了装置的安全性。此外，当压力超过 0.6 GPa 时，随着压力升高，纯水介质在常温下将固化，形成Ⅳ型冰晶，此时选用癸二酸二辛酯作为传压介质。

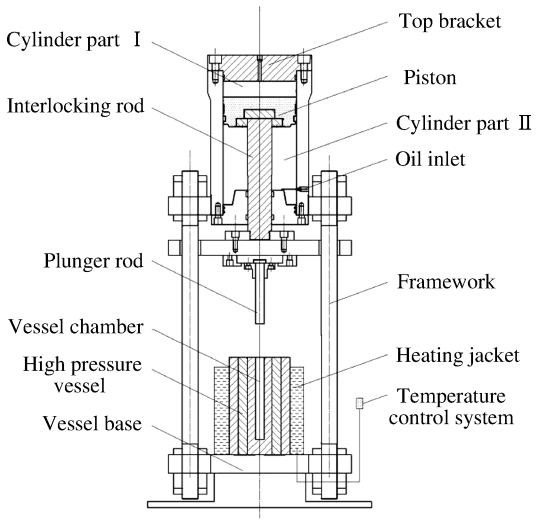


图 1 超高静水压装置结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the ultra high hydrostatic pressure equipment structure

2.2 工作原理和过程

装置依据液压原理，利用油泵增压，推动柱塞杆下移，直接将容器腔中的传压介质压缩。设计时，按压力与表面积成正比的原理，对油缸和柱塞杆直径进行计算。油缸Ⅰ部和Ⅱ部的直径为 240 mm，柱塞杆直径为 25 mm，两者的面积比为 91∶1，载压状态下油缸与柱塞杆的压力比为 1∶91。油缸压力可达 27 MPa，按照液压原理，可将容器腔中传压介质的压力提升至 2.457 GPa。综合考虑承压容器的密封效果和安全性，装置的工作压力设计为 1.6 GPa，超过该压力时，油泵将自动停止运行。

装置的工作过程为：当油缸Ⅰ部开始增压时，联动杆受挤压开始下移，并带动柱塞杆一起向下移动；柱塞杆进入容器腔口部后，在较低压力下会发生自动位移，调整后与容器腔口部精确对准；随着油缸压力不断增加，柱塞杆深入高压容器体内部，开始压缩容器腔中的传压介质；柱塞杆继续向下移动，当容器压力达到设定值时，油泵自动停止，加压随即停止；保压结束后，油缸Ⅱ部内油压升高，带动联动杆和柱塞杆上移，离开容器口部；最后，取出物料，一个循环完成。

3 主要部件设计

3.1 超高静水压承压容器

3.1.1 承压容器材料选择

承压容器和柱塞杆等关键承压部件选择低合金高强钢($PCrNi_3MoVA$)为原料,经调质和电渣重熔精练处理,提高了钢的晶粒细化和合金化效果,同时也提高了钢的纯净度,大幅降低了钢中氢、氧、氮等气体杂质和磷、硫等有害元素(见表 1),改善了高强钢的综合机械性能。实践证明,精练后材料的冲击韧性 α_k 为 58.8～68.6 J/cm^2,断裂韧性 K_{IC} 在 111.6 MN/mm$^{3/2}$ 以上,可以承受 2.0 GPa 压力。

表 1 钢材中各元素的质量分数

Table 1 Mass fractions of the elements in the steel (%)

C	Cr	Ni	Mo	V	Mn	Si	S	P
0.30～0.40	1.20～1.50	3.0～3.5	0.35～0.45	0.10～0.20	0.20～0.80	0.10～0.35	≤0.015	≤0.015

3.1.2 承压容器主要技术参数

设计容器体内径 $d=25$ mm,外径 $D=350$ mm,长度为 320 mm,壁厚比 $K=14$。装置的工作压力 $p_w=1.6$ GPa,设计压力 $p_d=1.15p_w=1.84$ GPa,设计最高工作温度为 70 ℃,自增强压力 $p_a=1.25p_w=2.0$ GPa;材料的极限屈服应力 σ_s 为 1.2 GPa,抗拉强度极限 σ_b 为 1.6 GPa。

3.1.3 承压容器强度和疲劳寿命分析

内壁初始屈服压力 p_s 及其安全系数 n_s 为

$$p_s=\frac{\sigma_s}{\sqrt{3}}\frac{K^2-1}{K^2}=689\ \text{MPa} \tag{1}$$

$$n_s=p_s/p_d=0.37 \tag{2}$$

全屈服压力 p_p 及其安全系数 n_p 为

$$p_p=2\sigma_s\ln K/\sqrt{3}=3.658\ \text{GPa} \tag{3}$$

$$n_p=p_p/p_d=1.99 \tag{4}$$

按照 Faupel 公式,爆破压力 p_b 及其安全系数 n_b 为

$$p_b=\frac{2}{\sqrt{3}}\sigma_s\ln K\left(2-\frac{\sigma_s}{\sigma_b}\right)=4.572\ \text{GPa} \tag{5}$$

$$n_b=p_b/p_d=2.45 \tag{6}$$

采用缺乏疲劳数据的疲劳设计方法(Langer 低循环疲劳推定式),可计算装置的疲劳寿命 N,即

$$N=\left[\frac{E}{4(\sigma_{alt}-\sigma_e)}\ln\frac{100}{100-\psi}\right]^2 \tag{7}$$

式中:E 为弹性模量,$E=270$ GPa;ψ 为断面收缩率,取 $\psi=56.5\%$;σ_{alt} 为内壁当量应力幅值,$\sigma_{alt}=582$ MPa;σ_e 取持久极限,$\sigma_e=0.5\sigma_b$。由(7)式可计算得出容器体的疲劳寿命 N 大于 10 000(次)。

安全系数是压力容器设计的一项基本参数。目前美国、日本等国家都采用以爆破压力为基准的安全系数,取值在 1.5～2.5 之间,我国劳动人事部规定的取值范围为 1.5～3.0。若不考虑其它因素,(6)式计算得到的爆破安全系数为 2.45,说明设计的超高静水压力容器的安全性很好。

3.1.4 承压容器强度和疲劳寿命分析

超高静水压承压容器体采用 3 层热套,即由 3 个同心圆筒体相互缩套而成。具体制作过程为:首先在加热炉内加热外筒到 400 ℃左右,紧接着将内层筒套入膨胀后的外筒,最后通过自然冷却,外筒收缩,内外筒紧密结合。由于外筒对内筒有一定的预应力,加压时可以抵消部分压力,因此实现了筒体壁中应力的均匀分布。容器套缩前,必须对套合面进行精确的机械加工,控制套合工艺,确保套合应力的形成。在保证承压能力的前提下,使多层热套超高静水压容器厚度小于整体铸造容器厚度,降低了设备成本。

3.2 超高静水压容器密封系统

通过对密封系统的结构和布局进行改进，开发了一种新型超高静水压容器密封系统，如图 2 所示。密封系统主要由合金三角形垫圈、调整垫Ⅰ、调整垫Ⅱ、Y 型密封圈、密封压盖等元件合理排列而成。其中：合金三角形垫圈主要在压力较大时发挥密封作用；调整垫Ⅰ选取高韧度钢，其作用是将压力均匀地传递给合金三角形垫圈；调整垫Ⅱ采用聚四氟乙烯材料，主要作用是调整 Y 型密封圈的位置；Y 型密封圈是一种低压密封元件，在压力较低时发挥密封作用；密封压盖为不锈钢，用于将各密封元件固定在柱塞杆的末端。

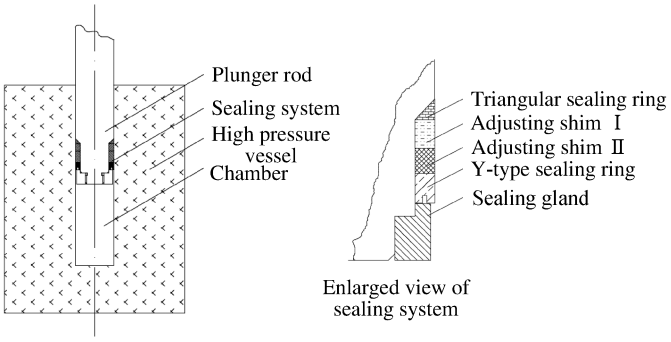


图 2 超高静水压容器密封系统示意图

Fig. 2 Schematic drawing of the sealing system of ultra high pressure vessel

密封系统的工作过程为：在 0.1 GPa 压力下，Y 型密封圈是主要的密封元件，柱塞杆在外力作用下逐渐进入筒体内部，Y 型密封圈在承受压力后其孔部胀大，紧贴容器体，实现容器密封；由于柱塞杆末端有一截为斜面，该斜面与密封套装的合金三角垫圈吻合，堵头的斜面和柱面具有一定的平面度和表面粗糙度，保证与合金三角垫圈贴合，因此当压力继续加大时，合金三角垫圈发生形变，与柱塞杆和容器体紧闭；随着压力升高，紧闭程度越来越高，从而实现 1.0 GPa 以上超高静水压力条件下容器的密封。金属合金三角垫圈、调整垫Ⅰ、调整垫Ⅱ因密封时外压的作用相互靠紧，所以其结合面间无需非常牢固的连接。在加压初期，外力只起到预紧作用，与最终的密封效果无关。经电脑记录，装置运行 200 次后，密封核心元件仍然无明显形变或磨损，表明其稳定性较高，满足使用需要。

3.3 压力控制系统

超高静水压的压力控制系统由压力倍减器和压力传感器(量程为 0.7 GPa)组成。压力倍减器可以使超高静水压力(小于 2.0 GPa)成倍降低到普通压力传感器的有效量程范围内(小于 0.7 GPa)，实现对容器中压力的实时监控。本研究设计的压力倍减器(见图 3)主要由高压端接口、缸体、柱塞杆、低压端接口、压力传感器、数字显示器、低压油缸、高压油缸和连接装置组成。高压油缸的直径为 16 mm，低压油缸的直径为 60 mm，两者的承压面积比为 1∶14，载压状态下低压油缸和高压油缸的压力比为 1∶14。通过柱塞杆的运动，系统将高压端油缸的压力按固定倍数降低后，传至低压端油缸。压力传感器直接测量低压端接口的压力，与其连接的数字显示器将信号按比例还原并显示。为了验证压力倍减器的精确度，在低压端接口的三通阀处，直接连接一个量程为 1.6 GPa 的机械压力表。记录增压过程中压力测量

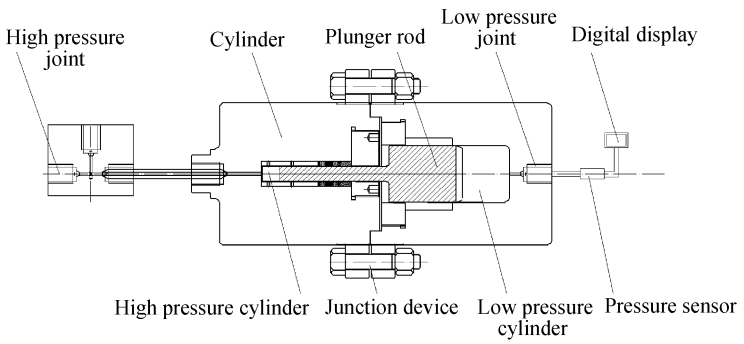


图 3 超高静水压压力倍减器示意图

Fig. 3 Schematic drawing of the ultra high pressure reduction system

系统和机械压力表显示的压力值,分析两者的差别。对比结果表明,两者显示的读数相差在 2%以内,说明压力倍减系统能较为真实地显示容器中的工作压力。

4　超高静水压装置性能试验

超高静水压装置的性能参数列于表 2。由表 2 可知,装置的升压速率达到 15～20 MPa/s,升压至 1.6 GPa 时只需 80～105 s,卸压耗时 20～25 s。

表 2　超高静水压装置的性能参数

Table 2　Performance parameters of the ultra high hydrostatic pressure equipment

Operating pressure/(GPa)		Pressurization rate/(MPa/s)		Depressurization rate/(MPa/s)		Total power/(kW)	
Designed	Tested	Designed	Tested	Designed	Tested	Designed	Tested
1.6	1.6	15	15～20	60	60～80	5.5	5.5

图 4 为电脑实时记录的典型压力曲线。由图 4 可知:装置升压到 1.6 GPa 时,用时 80 s,与表 2 结果一致;在 1.6 GPa 压力下保持 10 min 后,压力下降 30 MPa,说明装置的保压效果良好;保压初期压力下降较快,稳定后压力下降速度减慢,这是由于首次载压时,容器体受压后产生一定膨胀,容器腔增大,导致压力略微降低,随后的压力下降则是由于微量泄漏和柱塞杆压力降低所致。若长时间保压,当压力降低 50 MPa 时,装置增压系统会自动启动,将压力补充到设定压力。试验验证结果表明,该装置结构设计合理,结构参数选择正确,性能稳定,安全可靠,各项指标达到了设计要求。

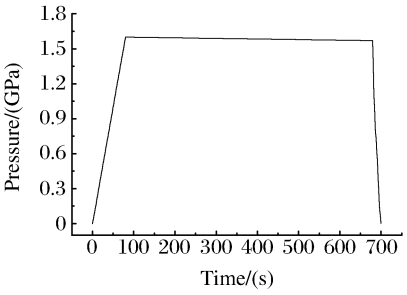


图 4　超高压装置压力曲线

Fig. 4　Pressure curve of the ultra high pressure equipment

5　超高静水压装置钝酶效果试验

5.1　材料与仪器

蘑菇多酚氧化酶(T3824)购于美国 Sigma 公司;磷酸氢二钠、磷酸二氢钠和邻苯二酚由北京化学试剂公司生产。试验所用的化学试剂均为分析纯。

采用日本岛津公司的 UV-1800 分光光度仪和美国奥立龙公司的 868 型 pH 计对样品进行检测。

5.2　试验方法和数据处理

将 1 mL、浓度为 0.5 g/L 的蘑菇多酚氧化酶液注入聚乙烯袋中,真空封口后,置于压力容器中。酶液分别在 0.8、1.0、1.2、1.4、1.6 GPa 压力下处理 10 s,处理后立即卸压,取出酶液,在 4 ℃下存放,4 h 内测定酶活。

采用紫外可见分光光度计,在 30 ℃恒温循环水浴条件下对多酚氧化酶的活性进行测定。反应液为 0.1 mol/L 的磷酸氢二钠-磷酸二氢钠缓冲溶液(pH 值为 6.5),其中含 0.1 mol/L 的邻苯二酚底物。将 0.05 mL 多酚氧化酶液加入 2.95 mL 反应液中,迅速混匀后,在 420 nm 波长下测量吸光度。空白样为 0.05 mL 磷酸缓冲溶液(pH 值为 6.5)与 2.95 mL 反应液。酶活性分析取反应开始的线性部分。将 1 min 内 1 mL 酶液反应体系吸光度变化(ΔE_{420})的 0.001 作为一个酶活单位,即 1 U。多酚氧化酶活残存率用相对酶活表示,即

$$A = \frac{A_t}{A_0} \times 100\% \tag{8}$$

式中:A 为高静水压处理 t 时间后多酚氧化酶活残存率,A_t 为高静水压处理 t 时间后多酚氧化酶的活

性，A_0 为高静水压处理前多酚氧化酶的活性。

所有试验均重复 3 次。采用方差分析(Analysis of Variance，ANOVA)对试验数据进行分析，显著性水平取 0.05。

5.3 试验结果与讨论

多酚氧化酶属于含铜金属酶类，是一种影响果蔬风味、颜色和营养的内源酶，也是导致果蔬褐变的主要原因，室温下非常耐压[9]。目前，国际上使用的高静水压研究装置或商业生产装置的工作压力一般低于 1.0 GPa，如不结合热处理，该压力条件下最多将 20%的多酚氧化酶钝化[10-11]。Castellari 等人[12]的研究表明：900 MPa 处理 10 min 后，葡萄多酚氧化酶残留活性约为 16%，这是目前钝化多酚氧化酶用到的最高压力。利用 UHHP-1600 型超高静水压装置，对蘑菇多酚氧化酶进行钝化，结果如图 5 所示。可见：在 0.8 GPa 和 1.0 GPa 条件下，高静水压对多酚氧化酶的钝化效果不明显，这与前人的研究结果类似[9,12]；压力超过 1.0 GPa 后，高静水压钝化多酚氧化酶的效果随着压力上升逐渐增强；在 1.6 GPa 压力下处理蘑菇多酚氧化酶 10 s 后，多酚氧化酶活性残存率仅为 1%，说明超过 99%的多酚氧化酶已经失活。此外，研究还发现在 1.6 GPa 压力下处理 1 min 后，多酚氧化酶活性已无法检测到，表明该条件可将蘑菇多酚氧化酶完全灭活。

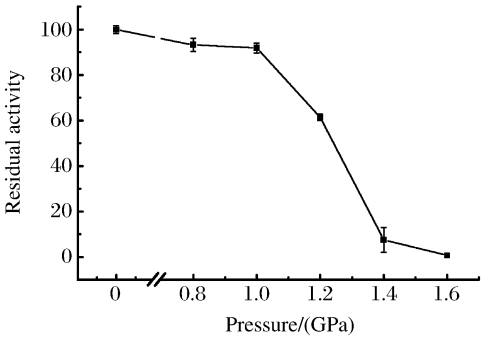


图 5 超高静水压处理 10 s 后多酚氧化酶的钝化效果

Fig. 5 Inactivation effects of polyphenol oxidase treated by ultra high hydrostatic pressure for 10 s

6 结 论

(1) 设计了 UHHP-1600 型超高静水压装置，工作压力达到 1.6 GPa。装置采用直压式结构，升压速度快，零部件较少，结构简单。经试验验证，整机结构合理，参数选择正确，操作方便，性能稳定，安全可靠，各项指标达到了设计要求。

(2) 设计了超高静水压装置的承压容器、密封系统和压力控制系统。承压容器体采用 3 层热套结构，通过容器自身应力使载压状态下容器均匀受力，提高了装置的稳定性和安全性，降低了生产成本。密封系统由合金三角垫和 Y 型密封圈等元件组成，密封效果良好，抗磨耐用。压力控制系统由压力倍减器和压力传感器组成，通过压力倍减器使超高静水压力降低到普通压力传感器的量程范围内，实现了对超高静水压容器中压力的实时监控。

(3) 利用 UHHP-1600 型超高静水压装备，研究了超高压对蘑菇多酚氧化酶的钝化效果，结果表明：当压力超过 1.0 GPa 时，高静水压钝化蘑菇多酚氧化酶的效果随着压力上升逐渐增强；在 1.6 GPa 压力条件下处理 10 s 时，蘑菇多酚氧化酶几乎完全灭活。

References:

[1] Chen F S. High Hydrostatic Pressure Food Processing [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005: 1-26. (in Chinese)
陈复生. 食品超高压加工技术 [M]. 北京：化学工业出版社，2005：1-26.

[2] Patterson M F. A review—Microbiology of pressure-treated foods [J]. J Appl Microb, 2005, 98: 1400-1409.

[3] Liu P L, Zhang F S, Bai Y F, et al. Effect of high hydrostatic pressure on starch structure and gelatinization [J]. Chinese Journal of High Pressure Physics, 2010, 24(6): 472-480. (in Chinese)
刘培玲，张甫生，白云飞，等. 高静压对淀粉结构及糊化性质的影响 [J]. 高压物理学报，2010，24(6)：472-480.

[4] Pan J, Zhang W C, Chen C G. Equipment design and technology of food sterilization by superhigh pressure [J].

Food and Machinery,1999,(5):32-33. (in Chinese)
潘　见,张文成,陈从贵. 超高压食品杀菌工艺及设备的设计 [J]. 食品与机械,1999,(5):32-33.
[5] Hendrickx M,Ludikhuyze L,Van den Broeck I,et al. Effects of high pressure on enzymes related to food quality [J]. Trends Food Sci Tech,1998,9(5):197-203.
[6] Guo W J,Xu Y. The analyse on the design for ultra-high pressure vessels of food processing [J]. Pressure Vessel Technology,1997,(2):53-55. (in Chinese)
郭万峻,徐　扬. 超高压食品加工容器装置设计分析 [J]. 压力容器,1997,(2):53-55.
[7] Liu H,Lin F. Review of equipment used in super high pressure food manufacture [J]. Science and Technology of Food Industry,1998,(6):78-80. (in Chinese)
刘　红,林　锋. 超高压食品加工装置综述 [J]. 食品工业科技,1998,(6):78-80.
[8] Jia P Q. Equipment selection of experimental and commercial high hydrostatic pressure equipment [J]. Food Research and Development,2005,26(2):151-155. (in Chinese)
贾培起. 超高压实验机及生产设备的选型 [J]. 食品研究与开发,2005,26(2):151-155.
[9] Anese M,Nicoli M C,Dallaglio G,et al. Effect of high pressure treatments on peroxidase and polyphenoloxidase activities [J]. J Food Biochem,1994,18(4):285-293.
[10] Terefe N S,Yang Y H,Knoerzer K,et al. High pressure and thermal inactivation kinetics of polyphenol oxidase and peroxidase in strawberry puree [J]. Innovat Food Sci Emerg Tech,2010,11(1):52-60.
[11] Zeng Q M,Pan J,Xie H M,et al. Effect of high pressure (HP) treatments on polyphenoloxidase (PPO) activity in pear juices [J]. Chinese Journal of High Pressure Physics,2004,18(2):144-148. (in Chinese)
曾庆梅,潘　见,谢慧明,等. 超高压处理对多酚氧化酶活性的影响 [J]. 高压物理学报,2004,18(2):144-148.
[12] Castellari M,Matricardi L,Arfelli G,et al. Effects of high pressure processing on polyphenoloxidase enzyme activity of grape musts [J]. Food Chem,1997,60(4):647-649.

Design of Ultra High Hydrostatic Pressure Equipment and Experimental Research on Enzyme Inactivation

YI Jian-Yong[1,3], SUN Chuan-Fan[2], WANG Yong-Tao[1],
DONG Peng[1], WANG Huan-Yu[4], HU Xiao-Song[1]

(1. *College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing* 100083, *China*;
2. *China Rural Technology Development Center, Ministry of Education, Beijing* 100045, *China*;
3. *Institute of Agro-Products Processing Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing* 100193, *China*;
4. *Baotou KeFa High Pressure Technology Limited Company, Baotou* 014030, *China*)

Abstract: An ultra high hydrostatic pressure device with operating pressure of up to 1.6 GPa is designed and developed, and its design principle, structural characteristics and major technical difficulties are introduced. The structures and optimum parameters of high pressure processing chamber, sealing system and pressure sensor system are also studied and determined. The performance test results prove that it has the advantages of reasonable structure, easy operation, steady performance and reliable security. Furthermore, the pressure-resistant mushroom polyphenol oxidase is completely inactivated after treated at 1.6 GPa for 1 min by using this equipment.

Key words: high hydrostatic pressure; food; pressure reduction system; enzyme inactivation; polyphenol oxidase