

[研究·设计]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2018.01.004

# 碗形海蜇皮自动切丝机结构设计

王德强, 陶学恒, 王明伟, 王学俊, 芦金石

(大连工业大学 机械工程与自动化学院, 辽宁 大连 116034)

**摘要:**针对碗形海蜇皮切丝加工中工人劳动强度大、切丝效率和成品率低等问题,提出了碗形海蜇皮自动切丝机。采用链传动结构带动盛料盘运动,完成自动进给上料。设计了螺旋切刀结构,切刀刀刃线为空间非等距螺旋线;设计与螺旋切刀相配合的脱料盘,实现了一次上下运动完成切丝与脱料作业。运用UG软件构建碗形海蜇皮自动切丝机的三维实体模型并进行运动仿真,结果表明并无干涉现象。碗形海蜇皮自动切丝机实验样机的试制及投产,表明该设计切丝效果良好,工作效率和成品率较高。

**关键词:**食品机械;碗形海蜇皮;切丝机;螺旋线;螺旋切刀;脱料作业

中图分类号:TS254.3 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2018)01-0013-06

## Structural Design of Automatic Cutting Machine for Bowl-Shaped Jellyfish

WANG Deqiang, TAO Xueheng, WANG Mingwei, WANG Xuejun, LU Jinshi

(School of Mechanical Engineering and Automation, Dalian Polytechnic University, Dalian, Liaoning 116034, China)

**Abstract:** Aiming at the current labor intensity, low cutting efficiency and yield and other production and processing status in the processing of bowl-shaped jellyfish, a bowl-shape jellyfish automatic cutting machine was put forward. The use of chain drive structure to drive feed dish movement completed the automatic feeding material. Based on the theory of differential geometry, a helical cutter structure was designed, and the cutter blade line was space non-equidistant helix. Completed with the spiral cutter with the structure of the stripping plate design, to achieve a complete movement of the upper and lower shredding and stripping operations. The three-dimensional solid model of bowl-shaped jellyfish automatic cutting machine was constructed by UG, and the motion simulation was carried out without interference. Completed the bowl of jellyfish automatic cutting machine experimental prototype trial production. The results show that the design of the bowl jellyfish automatic cutting machine can achieve bowl-shaped jellyfish automatic shredding, and the shredding effect is good, of high degree of automation, which can reduce the labor intensity of workers to improve the efficiency and yield, and to achieve the original design purpose.

**Keywords:** food machinery; bowl-shaped jellyfish; cutting machine; helix; spiral cutter; stripping operation

海蜇具有独特的营养价值,含有蛋白质、碳水化合物、钙、铁等人体所需的重要成分,并且具有行瘀化积、开胃润肠和治哮喘等功效,因此深受广大消费者喜爱<sup>[1]</sup>。因国内环境因素的影响,海蜇的产量及质量与之前相比有明显的下降,食品加工企业越来越多地使用南美海域出产后经脱水的半干碗形海蜇皮作为加工原料<sup>[2]</sup>。为了给消费者提供方便,碗形海蜇皮食用前

需要对其切割成条形,目前国内还没有一款针对碗形海蜇皮加工的专用设备,大多数加工企业仍然依靠工人使用修制弧形刃剪刀剪切成丝状的方法。人工作业,工人劳动强度大、切丝效率低、成品率低,造成了物料的极大浪费;同时安全隐患较大,据不完全统计,每年工人切手事件频繁发生,对人身造成极大伤害。我国每年因缺乏必要的食品加工装置使食品资源不能直

收稿日期:2017-07-14;修回日期:2017-10-25

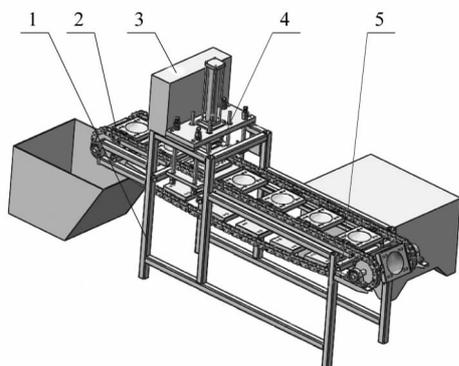
基金项目:国家海洋食品工程技术研究中心资助项目(2012FU125X03);海洋公益性行业科研专项经费资助(201505029)。

第一作者简介:王德强(1991),男,辽宁沈阳人,硕士研究生,主要研究方向为先进制造工艺技术与装备。E-mail:993553816@qq.com

接加工,从而造成了较大资源浪费。碗形海蜇皮自动切丝机的研发对食品机械加工行业具有重要的现实意义<sup>[3]</sup>。因此,课题组提出碗形海蜇皮自动切丝机,进行上料机构装置和切割机构装置的结构设计;应用UG软件构建碗形海蜇皮自动切丝机的3D实体模型,并进行整机的运动仿真;最后,完成碗形海蜇皮自动切丝机的实验样机的制造与调试;为碗型海蜇皮自动切丝机进一步研发提供技术支持。

## 1 海蜇皮切丝机的基本结构和工作原理

碗形海蜇皮切丝机结构示意图如图1所示,主要由5部分组成:机架机构装置、链传动进给上料装置、电气控制装置、切割机构装置和张紧装置。机架机构是实现了对切丝机整体结构的支撑以及对切割过程冲切作用的承载;链传动进给上料装置实现对碗形海蜇皮物料的自动进给;电气控制部分主要采用PLC,控制整台设备的开始、停止和紧急停止,主要包括控制切割刀头自动和手动的上升和下降,同时也控制盛料盘的自动上料;切割装置是用来完成碗形海蜇皮切成丝状的工作,通过液压泵提供液压油到液压缸后,活塞杆带动整个刀体向下运动与下模脱料盘重合时完成冲切运动;张紧装置主要作用是防止链条松动脱链而出现上料定位不准确,起到张紧作用。



1—机架机构装置;2—链传动进给上料装置;3—电气控制装置;4—切割机构装置;5—自动张紧装置。

图1 碗形海蜇皮自动切丝机结构组成图

Figure 1 Bowl-shaped jellyfish automatic cutting machine structure diagram

碗形海蜇皮自动切丝机的工作原理图见图2,其工作流程如下:

1) 启动设备后,由工厂的工人把事先准备好的碗形海蜇皮原料放在指定的盛料盘2位置。

2) 由电控箱7中PLC控制步进电机4提供动力带动减速器5转动,然后减速器带动链轮旋转从而驱动链条1带动盛料盘2完成自动进给上料,并由限位

开关3控制停止位置,使待加工的碗形海蜇皮原料被送到螺旋切刀11的正下方。

3) 再由电控箱7中的PLC控制液压站12中的液压泵给液压缸13提供动力,从而驱动金属刀架向下运动,当螺旋切刀11向下冲切时,限位开关9感应到金属刀架上的金属片时金属刀架停止运动,完成了冲切运动即完成了对碗形海蜇皮的切丝作业;然后由电控箱7中的PLC控制液压站12中的液压泵再给液压缸13提供动力,带动螺旋切刀11向上运动,同时脱料盘8在弹簧作用下发生回弹,防止海蜇皮粘刀,完成脱料作业,当限位开关10感应到金属刀架上的金属片时金属刀架停止运动,即螺旋切刀11又回到了初始位置,等待下一次切割作业。

4) 以此类推,重复2)和3)的步骤,可完成所有碗形海蜇皮原料的切丝作业。

5) 最后,被切割好的碗形海蜇皮丝随着链传动机构上的盛料盘2继续向前进给,自动滑落到接料桶14中,由工人切割成成品规格长度。

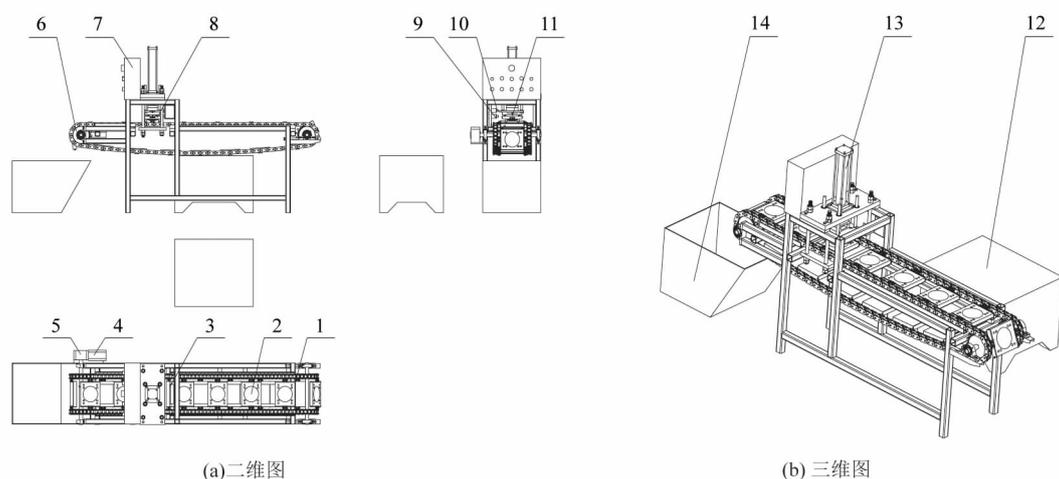
## 2 海蜇皮切丝机主要部件的结构设计

### 2.1 进给上料装置的结构设计

进给上料装置如图3所示,由减速器1,步进电机2,盛料盘3、链轮4、张紧装置5和链条6等组成。海蜇皮切割启动频繁且定位要求不高,因步进电机价格远低于伺服电机,且易于用PLC控制,所以选择步进电机作为驱动电机,型号为110HS20。减速器可降低速度增大转矩,因此步进电机和NMRV减速器配合使用,减速器中心距为35mm,传动比为1:30。链传动具有传递功率大,无弹性滑动,适合在低速、重载恶劣环境工作。脱水后的海蜇皮含大量盐分具有腐蚀性且工厂加工环境较差,因此物料输送采用链条传动自动进给上料。链条型号为滚子链24A,链轮齿数17,分度圆直径为207mm,链轮中心距2913.51mm<sup>[4]</sup>。因聚氨酯具有良好的硬度和弹性且经济实用,因此盛料盘材质选聚氨酯橡胶<sup>[5]</sup>。盛料盘总数设计为17个,盛料盘心距为381mm,因出料部分不需要过多的时间间隔,因此加工位前设计2个盛料盘,而考虑到加工位后需人员摆放物料,所以加工位后设计5个盛料盘,既满足了加工需要又节省了上料装置的占用空间。链条经过长期运转会被拉长,进而出现悬垂脱链,传动物料定位不准确,为此设计了张紧装置5以满足运动要求。

### 2.2 切割装置的结构设计

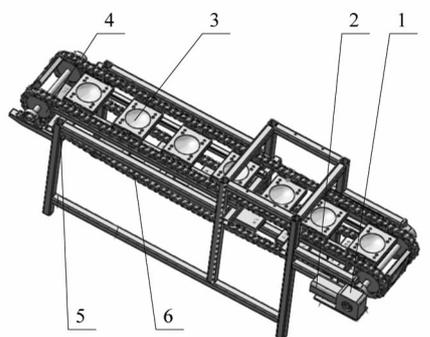
切割装置结构由大导向销1、液压缸2、支撑大螺栓3、液压缸垫板4、液压活塞杆定位块下板5、螺旋切



1—链条;2—下模托料盘;3—限位开关;4—步进电机;5—减速器;6—链轮;7—电控箱;8—脱料盘;9—限位开关;10—限位开关;11—螺旋切刀;12—液压站;13—液压缸;14—接料桶。

图2 碗形海蜇皮自动切丝机工作原理图

Figure 2 Bowl jellyfish automatic cutting machine working principle diagram



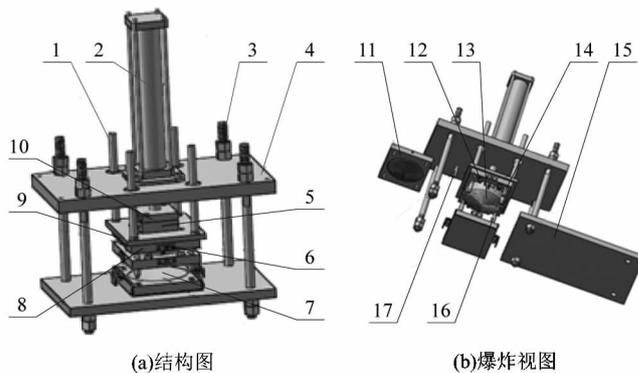
1—减速器;2—步进电机;3—盛料盘;4—链轮;  
5—张紧装置;6—链条。

图3 进给上料装置结构图

Figure 3 Feeding device structure

刀固定销6、盛料盘7、螺旋切刀上板8、螺旋切刀上盖板9、液压活塞杆定位块上板10、脱料盘11、弹簧12、螺旋切刀13、螺旋切刀导向销14、下支撑板15、定位销16、小导向销17组成,切丝部件结构图与爆炸视图如图4所示。因液压传动具有传递平稳、结构简单、可过载保护与电子控制技术相结合组成机电液一体化复合系统的特点,因此切割装置采用液压传动<sup>[6]</sup>。选择单作用活塞液压缸,缸径为 $\varnothing 140$ ,杆径 $\varnothing 40$ ,行程为300,竖直放置在切割装置上部,既能满足切割性能要求,又节省了大量的空间资源。为了避免切割过程中的失稳现象发生,切割装置设计了大导向销1和小导向销17,保证了切割过程中的稳定性。因螺旋切刀、螺旋切刀上板和脱料盘需要经常作为整体拆下清洗,考虑到清洗装拆方便等因素,螺旋切刀上板8和螺旋

切刀上盖板9作为分离的2个部件,用螺钉固定。链条只起到上料作用,本身不能承受竖向载荷,为此设计了下支撑板15,通过支撑大螺柱3固定来保证切割时整体的稳定,提高了装置的可靠性。



1—大导向销;2—液压缸;3—支撑大螺柱;4—液压缸垫板;5—液压柱塞定位块下板;6—螺旋切刀固定销;7—盛料盘;8—螺旋切刀上板;9—螺旋切刀上盖板;10—液压柱塞定位块上板;11—脱料盘;12—弹簧;13—螺旋切刀;14—螺旋切刀导向销;15—下支撑板;16—定位销;17—小导向销。

图4 切丝部件结构图与爆炸视图

Figure 4 Shredded parts structure and explosion view

### 2.2.1 螺旋切刀的结构设计

螺旋切刀如图5所示,头部呈几何形状,与被加工对象碗形海蜇皮相似。切割刀具的几何形状和材料对切割性能、切丝效率和切割过程中的稳定性有重要影响。为了保证切丝的高效性、等宽丝的成品规格以及避免物料浪费,选择空间非等距螺旋线作为螺旋切刀

刀刃线。螺旋切口刀刃线的平面投影为等距螺旋线,这样可保证切出等宽碗形海蜇皮丝。碗形海蜇皮是经脱水后的半干品,含有大量盐分具有腐蚀性,而不锈钢 316 具有良好的塑性、韧性和强耐腐蚀性能,因此螺旋切刀刀具材料选用不锈钢 316。螺旋切刀厚度为 1 mm。为了实现螺旋切刀与螺旋切刀上板 8 良好的固定,设计 4 根销轴穿过销轴孔来固定螺旋切刀,既保证了固定可靠又方便检修时的拆卸。因螺旋切刀刀刃过长,易于出现悬垂和切割过程中发生扭转的现象,设计了 4 根导向销穿过导向销孔与脱料盘固定以达到导向目的,结构设计巧妙。

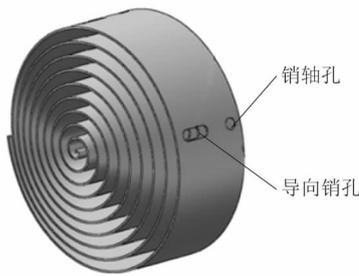


图 5 螺旋切刀

Figure 5 Spiral cutter

### 2.2.2 脱料盘的结构设计

脱料盘如图 6 所示,设计底部几何形状与盛料盘相同。碗形海蜇皮比较粘刀且切割过程容易产生滑移,为此课题组设计了脱料盘结构,既避免了切割过程中碗形海蜇皮粘刀又完成了自动脱料,同时在切割过程中也可起挤压作用,有利于保证切割过程的稳定,避免打滑。为了保证脱料盘顺利退回托料,设计了 4 个弹簧通过弹簧固定孔固定,切割完成后抬刀时,弹簧将脱料盘弹回。脱料盘中间设计与螺旋切刀平面投影形状相同的等距螺旋槽,使螺旋刀顺利通过往复切割,螺旋槽的宽度大于螺旋切刀平面投影的等距螺旋线 0.5 mm 左右,可保证切割后的碗形海蜇皮丝与螺旋切刀脱离,也避免了夹刀和切好的丝被反带回螺旋槽发生堵塞而影响切丝工作。脱料盘中心的螺旋槽部分类似于蚊香状且间距窄,易于悬垂变形,通过导向销穿过导向销孔固定抵抗其变形。

## 3 海蜇皮切丝机的运动仿真与样机制造

### 3.1 三维模型建立与装配

运用 UG 软件的 Modeling 模块通过拉伸、旋转等绘图命令完成所有实体零件的建模,再应用 UG 的 Assembly 模块进行装配,然后转换至运动仿真界面,将没有相对运动的零件视为一个连杆,因碗形海蜇皮自

动切丝机各个工位都相同,文中仅装配了 2 个工位的盛料盘进行运动仿真,总装配图如图 7 所示。

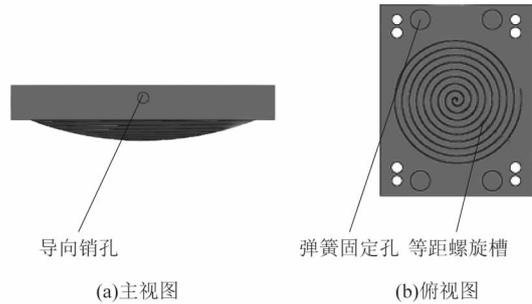


图 6 脱料盘图

Figure 6 Out of disk

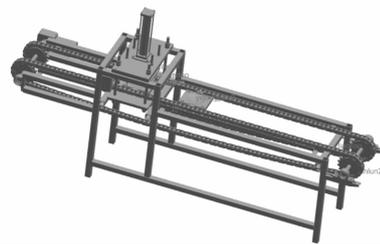


图 7 总装配体图

Figure 7 General assembly diagram

### 3.2 创建运动副与驱动<sup>[7-8]</sup>

运动副具有允许所需运动和限制不需要运动的功能。根据实际运动状况将机架子装配体(连杆 1)与地面施加固定副;链轮 1(连杆 2)施加旋转副;螺旋切刀子装配体(连杆 3)施加移动副;脱料盘子装配体(连杆 4)施加移动副;链传动接触较多,因此建立运动轨迹线来代替链条;施加耦合副将主动链轮 1 和主动链轮 2 连接起来;盛料盘与轨迹线设置点线副。编写链轮 1(连杆 2)、螺旋切刀子子装配体(连杆 3)和脱料盘子配体(连杆 4)等的驱动函数,选用 STEP 函数。

### 3.3 机构的运动仿真<sup>[9-10]</sup>

设置运动时间 100 s 与步数 1 200,选择仿真类型:运动学,点击确定按钮后再点击仿真图标,即仿真碗形海蜇皮自动切丝机的运动过程。切割机构装置竖直运动截图如图 8 所示,可看出整个装置能实现预期运动,并无干涉现象。

仿真结束后即可输出螺旋切刀和脱料盘随时间变化的参数曲线(2 个工位循环),如图 9~10 中的(a)、(b)、(c)所示。从图 9~10 中可以得出,螺旋切刀和脱料盘的速度、加速度和位移变化规律与实际状况相符合,验证了结构设计的合理性。

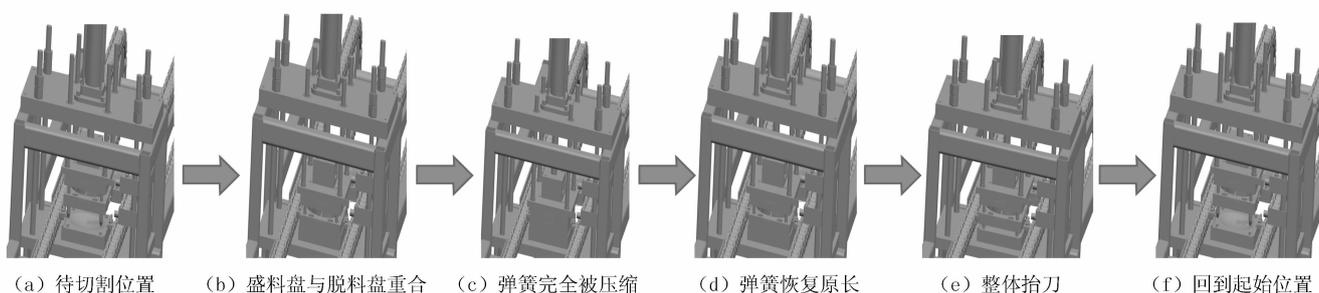
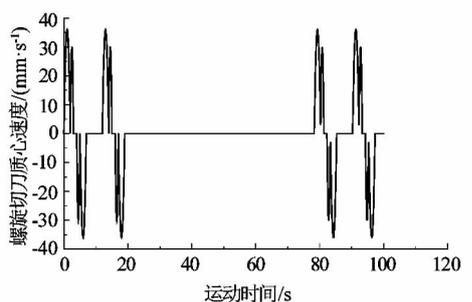
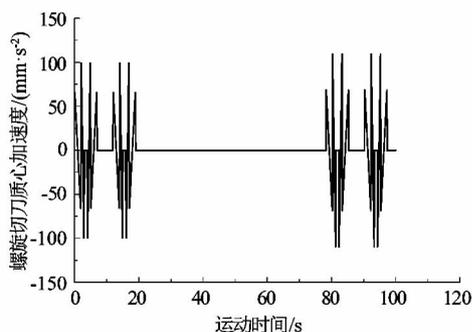


图8 切割机构装置竖直切割过程截图

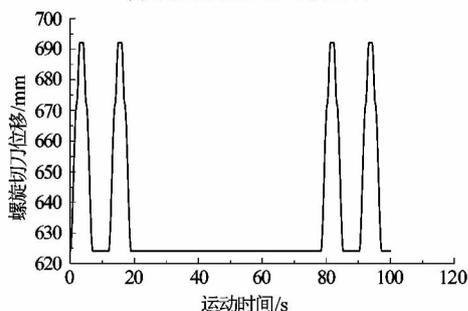
Figure 8 Vertical cutting process of cutting mechanism



(a)螺旋切刀质心速度曲线



(b)螺旋切刀质心加速度曲线



(c)螺旋切刀质心位移曲线

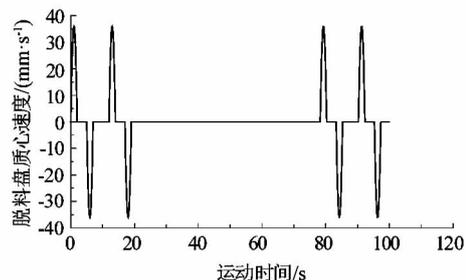
图9 螺旋切刀质心参数变化曲线

Figure 9 Curve of mass parameter of spiral cutter

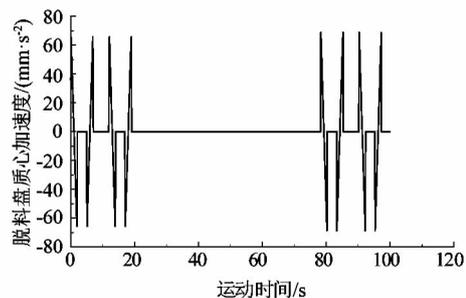
### 3.4 实验样机制造与调试

经过设计阶段模拟装配与运动仿真后,由大连某食品机械有限公司配合制造的碗形海蜇皮自动切丝机样机如图 11 所示。

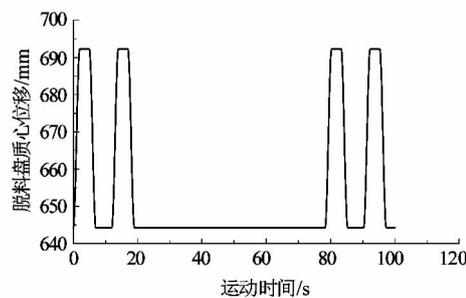
调试碗形海蜇皮切丝过程:首先由工人将待切割



(a)脱料盘质心速度曲线



(b)脱料盘质心加速度曲线



(c)脱料盘质心位移曲线

图10 脱料盘质心参数变化曲线

Figure 10 Curve of mass center parameter of stripping plate

的碗形海蜇皮(如图 12 所示)物料整齐摆放在盛料盘凹槽内,手动启动水平物料进给控制按钮,由步进电机提供动力驱动链传动结构带动盛料盘向前进给,把碗形海蜇皮物料送到待加工位置,再手动启动液压缸控制按钮,液压缸活塞杆带动螺旋切刀上下往复运动切



图11 碗形海蜇皮自动切丝机样机

Figure 11 Bowl-shaped jellyfish automatic cutting machine prototype

割,切割后的碗形海蜇皮丝(如图13所示),由工人把切割后的碗形海蜇皮丝展开,最后工人按国内外销售规格割取需要的长度进行打包、装箱销售。手动调试切丝过程完成后,进行整机自动切丝调试,由工人启动水平物料进给和竖直运动控制按钮进行调试。



图12 碗形海蜇皮

Figure 12 Bowl of jellyfish skin

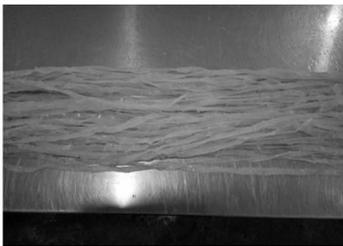


图13 切割完成后的碗形海蜇皮丝

Figure 13 After cutting bowl of jellyfish

在调试的过程中,分别在一个工位放置1张、2张和3张碗形海蜇皮进行切割。实验结果表明:切割1张和切割2张海蜇皮时,样机的切割性能好,能达到切割指标要求,切丝整齐、宽度均一,为8 mm;但是当切割3张海蜇皮时,由于海蜇软且黏性大,层与层之间在切割时出现打滑和粘刀现象,出现了脱料不流畅和部分切割好的物料被挤压到了托料盘的螺旋槽内的现象;经过反复多次调试,综合考虑各种因素,最终定一个工位放2张海蜇皮作为该设备的指标,这样能很好

地保证切削效果和效率;同时进行了切割效率的试切割实验,每天加工时间为8 h,切丝成品量约为62.5 kg/h。目前,碗形海蜇皮切丝机已经在大连某食品加工企业投入生产使用。

#### 4 结论

1) 本课题组设计的碗形海蜇皮自动切丝机,在螺旋切刀向上运动时通过脱料盘和弹簧回弹作用,将切割好的碗形海蜇皮丝自动托料至盛料盘内;刀架体上加装螺旋线形螺旋切刀和蚊香状脱料盘机构,一次冲切即可完成整片碗形海蜇皮切丝—退料作业,与传统用修制圆弧刀剪刀剪切成丝的方法相比效率和成品率提高显著,并且切出的丝整齐、宽度均匀,也降低了工人的劳动强度。该套装置占用空间3.5 m×1.2 m,自动化程度高,只需配套一台小型液压站和控制箱,既节约空间,又降低制造成本。

2) 采用UG软件完成了结构设计并进行了运动仿真,大大缩短了设计周期,并且能随时发现设计中存在的问题,为机械设计提供了便捷。

3) 完成了实验样机的制造与调试,切丝工况良好,装置稳定可靠,它针对碗形海蜇皮的条形切割有着明显的优势:很大程度上提高了劳动生产率;其加工与手工剪刀剪切相比,切出来的丝更加规则、均匀和整齐;加工的废料显著减少,提高了成品率。本套设备适合在海产品加工领域广泛推广使用。

#### 参考文献:

- [1] 天齐. 来自海洋的养生食物:海蜇和海蟹[J]. 海洋世界,1994(7):9-10.
- [2] 李文全,田由甲,张忠军. 海蜇资源近几年锐减原因浅析[J]. 河北渔业,2013(11):21.
- [3] 战晓林,陶学恒,李玉光. 食品机械中自动切割装置的研发[J]. 包装与食品机械,2011,29(2):47-50.
- [4] 杨国先,洪美琴. 浅述机电一体化链条输送设备设计[J]. 国内外机电一体化技术,2007(1):14-15.
- [5] 张继平,庞利军,毛慧英,等. 聚氨酯橡胶在冲裁模中的应用[J]. 新技术新工艺,2013(9):97-99.
- [6] 扈凯,张文毅,余山山,等. 插秧机升降液压缸位置控制系统设计与仿真[J]. 农机化研究,2017,39(3):165-169.
- [7] 韩凤霞,胡登高,范迅. 液压支架四连杆机构的三维建模和运动仿真[J]. 煤矿机械,2006,27(9):67-68.
- [8] 史双喜. 基于UG的双锥辊轧机结构与运动仿真[J]. 锻压装备与制造技术,2010,45(1):112-114.
- [9] 刘增满,周燕飞. 活塞压缩机平衡计算和运动仿真[J]. 机械设计与制造,2013(8):25-27.
- [10] 槐剑锋,钟礼东. UG NX 10.0 中文版机械设计案例实战从入门到精通[M]. 北京:清华大学出版社,2015.