

伊莱·惠特尼轧棉机的结构性能及影响

张玉琳¹,李强^{1,2},李斌^{1,*},李建强³

(1.武汉纺织大学 服装学院,湖北 武汉 430073;

2.《服饰导刊》编辑部,湖北 武汉 430073;

3.武汉纺织大学 纺织科学与工程学院,湖北 武汉 430073)

摘要:美国伊莱·惠特尼发明的轧棉机是一种将棉绒与棉籽分离的箱型装置,机械结构精巧且运作效率高,改变了美国的农业资本结构。为了系统全面地探究其发明背后的技术原理,通过文献研究和技术考察的方法,对伊莱·惠特尼轧棉机的机械原理和操作方法进行分析,并探究此机械发明带来的影响作用。研究认为:从技术层面看,惠特尼轧棉机的内部结构主要由工作箱、锯轴、防壁、毛刷辊、料斗和喂棉辊6个部分组成,每个部分相互联动、相互牵制从而带动机械运作,极大程度提高了棉花的脱籽效率,促进了棉纺织技术领域乃至当代社会技术的革新和进步;从社会层面看,惠特尼轧棉机的发明虽与美国南部的奴隶制度无直接联系,但却推动了美国南部种植园经济范围的扩张以及对廉价劳动力的大量需求,从某种意义上说是资本主义社会制度的进一步深化。因此要客观地看待技术进步带来的影响。

关键词:伊莱·惠特尼;轧棉机;技术原理;影响作用

中图分类号:TS 103.1

文献标志码:A

文章编号:1673-0356(2023)02-0019-04

19世纪以前,美国南方的主要作物是烟草和水稻,这种劳动密集型产业很快就耗尽了土地的肥力,因棉籽分离的技术难度大、生产效率低而感到困扰。直到1793年,伊莱·惠特尼(1765—1825年)发明的轧棉机突破了这项难题^[1],机械的主体部分为圆筒形的锯轴,在锯轴转动时强行将棉绒从棉籽上撕扯下来,并运用离心力把棉籽滤除从而将棉花纤维抛出^[2]。相较于手工剥离,惠特尼轧棉机的发明极大地提高了原棉产量,打破了当时美国植棉业生产发展的瓶颈^[3],为美国从农业社会向工业社会转变提供了重要的技术条件。当前绝大多数文献关于伊莱·惠特尼轧棉机的描述过于简单,且纺织技术史学界多以纺织技术图片资料来补充和完善历史学界关于纺织技术层面之失^[4],缺少机械结构原理的详细分析。因此,通过对伊莱·惠特尼轧棉机的结构与操作原理进行解读,探究机械内部的技术精妙,以补遗阙。此外,对于惠特尼轧棉机的历史作用,存在着误解,认为此轧棉机的发明只是推动了美国社会的进步,这显然这是一种有失偏颇且线性的认识。

1 伊莱·惠特尼轧棉机结构原理与操作方法

伊莱·惠特尼轧棉机的发明充分体现了机械零部件组合联动这一概念,使得轧棉机的技术设计既简单又极具实用性,为棉纺织机械领域提供了一种全新范式,极大程度提高了棉花的脱籽效率。

1.1 一种全新范式的结构原理

根据轧棉机的专利图(图1),可将机器的主要结构分为工作箱、锯轴、防壁、毛刷辊、料斗和喂棉辊6个部分(图2)。从棉株上采摘下来的棉花,必须通过初步加工,其任务就是将棉绒纤维与棉籽分离,这一过程称之为“轧棉”,而去籽后的棉纤维又被称作“皮棉”^[5],其机械发明的灵感来源于猫爪尖端的钩挂作用,惠特尼轧棉机的原型由此被设计和制作出来。

(1)工作箱。用来支撑整个机器的工作箱由干燥的木材制成,将每块木材打磨成相应的尺寸,再用钉子在接缝处固定,以确保其稳定性。打制完成的工作箱为长方体形构造,约0.16 cm×7.62 cm,其宽度与锯轴A的长度相等,高度和长度根据内置结构与容量的适应需求而成一定的比例,如需清理机械内部的杂质或是修整机械,都可在机械的上方或侧方进行开合。

收稿日期:2022-09-20;修回日期:2022-09-27

基金项目:国家社科基金艺术学项目(2020BG03720);教育部人文社会科学规划项目(21YJA760032)

第一作者:张玉琳(1998—),女,硕士研究生,研究方向为纺织机械史与纺织服饰文化。

*通信作者:李斌,特聘教授,研究方向为纺织服饰史、服饰艺术与文化, E-mail:libin790121@qq.com。

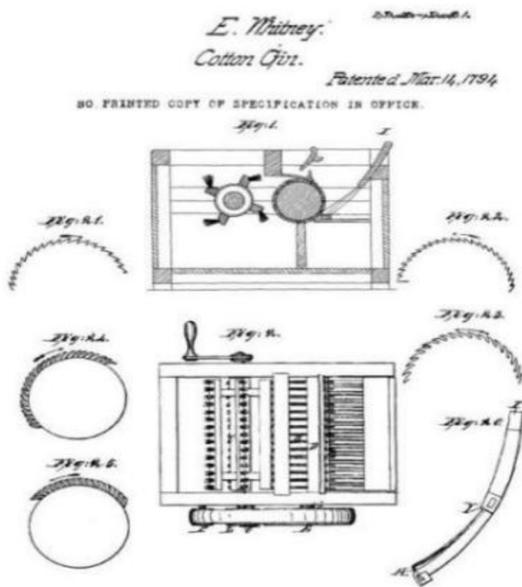


图1 伊莱·惠特尼轧棉机专利图

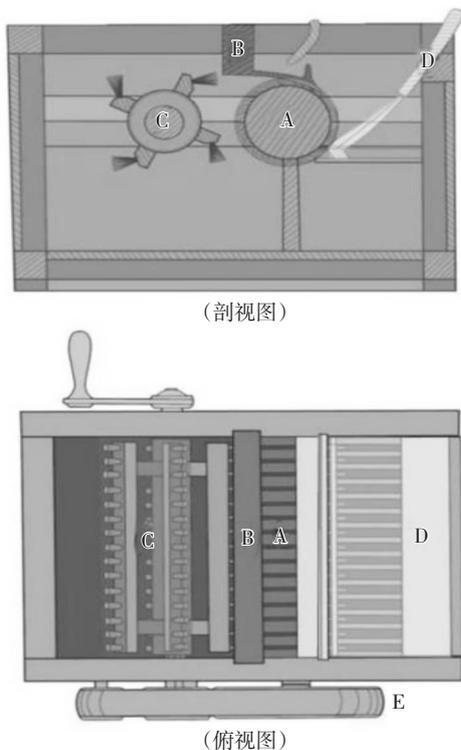


图2 伊莱·惠特尼轧棉机结构图

注:紫色部分为工作箱;A:锯轴;B:防壁;C:毛刷辊;D:料斗;E:喂棉辊。

(2)锯轴。锯轴起旋转作用,锯轴上的锯齿作为功能性部件,可借助复合杠杆与辅助工具来完成,将锯齿修剪为相等长度后再用钳子将锯齿的扁平端插入锯轴的凹槽中,使得锯齿与锯轴呈现大约 55°~60°的夹角,如果该夹角过大,锯齿无法充分钩住棉花;夹角过小,在棉花与种子分离后,从锯齿上脱离的难度会更大。

(3)防壁。防壁 B 固定在锯轴上方,其下端靠近锯齿的部分有横向凹槽和开口,起到阻塞种子的作用,棉花则由锯齿的转动和带动作用穿过凹槽,此时锯齿上粘住的棉花就会从凹槽中被迫与种子脱离,但要确保棉花与种子的完全分离,如未分离,锯齿上的部分棉花就会在凹槽处打结、阻碍和弯折锯齿。因此,防壁的下半部由铁或黄铜制成,更为坚硬、耐用,且与锯齿之间留有足够的空间,使得 2 个单独的部件相互配合、联动运转。

(4)毛刷辊。毛刷辊 C 是与锯轴平行且长度相等的装置,转动箱外的摇柄可使锯轴旋转从而带动皮带的传送间接实现毛刷辊的运作。毛刷辊结构的巧妙之处有二:一是毛刷辊与锯轴为相对方向运转,且毛刷辊的转速快于锯轴,才能使毛刷频繁与锯齿相交触碰,有效地粘住锯齿上的棉绒,使其掉落;二是毛刷辊转动的同时也使此处的空气按照毛刷辊转动的方向流动越快,再加上地吸引力的影响,可将棉花从毛刷上松开或甩下,使皮棉顺利落于工作箱内。

(5)料斗。料斗 D 是最先接收到棉花的装置,也是过滤棉籽的装置。料斗的阻挡可使棉花只位于箱内右上方,当锯齿粘住轻薄柔软的棉花绕过防壁带入箱内左侧时,由于防壁与锯齿的空隙较小,再加上锯齿只能勾住轻薄柔软的棉花,在挤压变形的状态下才可穿过狭窄的缝隙,而棉籽或一些杂质被阻拦后被迫落入到料斗下方的隔板中。随着放入棉花数量的减少,料斗可顺着锯轴手动向上滑动,以便推送剩余的棉花,可反复进行此项操作,从而更有效地将棉花与棉籽分离。

(6)喂棉辊。在 1948 年出版的《美国发明家》^[6]中有张关于惠特尼轧棉机的绘制图(图 3),看似是对整体轧棉机的还原,实则有两处错误:一是俯视图与剖面图有所出入;二是与轧棉机专利图有所出入,是无法进行正常运转的,究其原因在于喂棉辊处皮带的连接错误。对此结构进行重新绘制(图 4),此喂棉辊结构为 4 个厚实的圆形实木轮,用皮带 W-V 包裹。首先,当摇动摇柄使锯轴呈逆时针方向转动时,以大辊力量带动小辊的运转原理,同时借助皮带的输送作用,喂棉辊 E 即可带动其他 3 个小辊运转,最终使得喂棉辊 L 连接着的毛刷辊实现顺时针运作现象;其次,当锯轴与毛刷辊呈相对方向的运转时,根据手柄的操作原理和皮带的运送规律可进一步推断出喂棉辊 Q 和喂棉辊 P 的转动方向为逆时针。在喂棉辊的结构中,皮带是一种必不

可少的工具,被充当一种“假旋转”来实现机械的转动,从而实现持续运作,也可增大与喂棉辊之间的摩擦力,防止皮带与轮子之间产生相对位移。

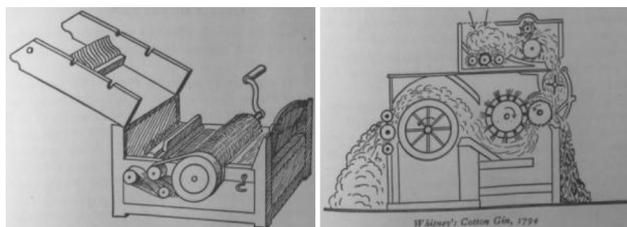


图3 《美国发明家》中的伊莱·惠特尼轧棉机绘制图

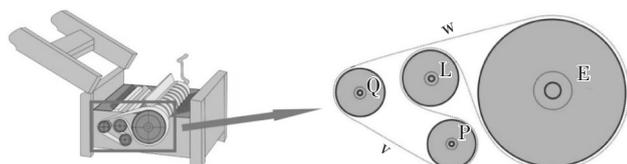


图4 喂棉辊剖面图

1.2 一种简单便捷的操作方法

轧棉机操作的目的是发挥其机械运转作用,使棉绒纤维和棉籽快速分离,亦可清除一部分杂质和短绒^[7]。在进行机械操作之前,要确保棉花纤维原有的品质和棉纤维的自然特征,如长度、强力、成熟度等,亦可决定其不同的纺纱价值,因此,品种、品级、长度不相同的籽棉,不能够进行混合加工,需要提前进行挑选,轧棉时要尽量减少纤维轧断、棉籽轧碎以及大量短绒轧入,特别是要防止索丝和棉结等疵点产生,以提高原棉的纺纱价值。

伊莱·惠特尼轧棉机的操作方法具有简单且高效的特点,首先以顺时针方向持续匀速摇动摇柄,此时轧棉机内部的毛刷辊C与锯轴A呈现相对逆向旋转,摇动摇柄的同时,将棉花通过料斗D上方的滑道落入轧棉机内,锯轴上的锯齿勾住棉绒穿过防壁B到达锯轴左侧,再由毛刷辊将其刷向底部,最终使棉绒落入箱内左侧,而棉花在准备穿过防壁时,由于防壁下方的缝隙仅能使棉绒通过,从而阻挡棉籽,使其脱落掉入料斗下方的隔板中,也就实现了棉花与棉籽的快速分离(图5,扫二维码观看操作动画)。

因此,该轧棉机的发明,是借助气流的吸力,利用锯齿尖的钩挂、毛刷打击、分离隔断等作用轧出皮棉,经过前期的准备和后期的操作,所得到的皮棉含杂质少、纤维长度整齐度较好、皮棉之间的质量差距也较小,极大地提高了机械的运作效率,从而得到更多的棉纤维用于大规模的生产之中。



图5 伊莱·惠特尼轧棉机的动画二维码

2 伊莱·惠特尼轧棉机技术发明带来的影响

伊莱·惠特尼轧棉机的发明使棉花成为美国南部地区的作物之王^[8],每一部关于美国的历史著作中都会提及惠特尼轧棉机对美国社会 and 经济发展产生的巨大作用^[9],轧棉机的发明显然推动了技术领域的进步,摆脱了人工脱棉的低效模式,取而代之的是机器运作的高效操作,这成为美国南方经济复苏的关键所在,而技术革新的背后对廉价劳动力的需求量大幅增加,从而导致资本主义社会的进一步强化,因此要客观看待一项技术发明所带来的影响,以及对整个社会的变革性意义。

2.1 推动技术领域进步

从技术层面看,惠特尼轧棉机的发明和使用,使得棉花脱籽效率提高从而获得了更多的原棉产量,是棉纺织技术领域乃至当代社会技术的革新与进步。

由于美国南方的气候环境只适宜“高地棉”生长,其棉花纤维较短,脱籽困难,直到惠特尼轧棉机的发明,使得棉花的脱籽速度高达旧工艺的50倍^[10],为棉花的大量出产奠定了技术基础,在一定程度上还避免了机器与原棉之间的问题,既保护了棉绒原有的品质,减少纤维轧断、棉籽轧碎的现象,又可清除棉纤维中的部分杂质,增加纤维的强力与延伸力。由此说明惠特尼轧棉机的发明实现了从手工低效模式向动力高效机器模式转型,推进了现代技术的逐步演进,对于美国工业乃至其他国家的社会发展作出了重要贡献。我国南部、东南部和西北边疆是世界上植棉较早的地区,大规模的棉花种植对于技术的要求随之显现,原始低效的徒手分离方式逐渐被搅车轧棉取代,美国的锯齿轧棉机技术是在半殖民地半封建社会的旧中国时期被引入中国^[11],使得轧棉技术从动力源上得到解决和提升,对我国棉花产业的自动化与现代化发展也产生了一定的影响。

伊莱·惠特尼轧棉机的技术发明解决了轧棉技术上的难题,极大程度上提高了棉花的脱籽效率,不仅加快了美国的工业化进程,也为当代社会技术领域的进步作出了贡献。

2.2 技术革新并未完全推动社会发展

从社会层面看,伊莱·惠特尼轧棉机的技术革新并未完全推动社会发展。一方面,惠特尼轧棉机的发明使得棉花成为一种“商品作物”大量生产,改变了美国南方的社会经济模式,但由于植棉业中廉价劳动力的大量存在,一定程度上延缓了机械化进程与发展;另一方面,惠特尼轧棉机的发明可以说是建立在奴隶经济基础之上,形成以奴隶制为基础的棉花种植体系,在促进美洲殖民地种植园经济发展的同时,也推动了资本主义社会存在形式的进一步深化。

一方面,伊莱·惠特尼轧棉机的大量使用促使美国南部“棉花王国”的形成^[12],高地棉在成为“商品作物”之后,满足了植棉者的利益需求,但造成了廉价劳动力的需求大于机械化生产的局面,从而延缓了机械化进程与发展;另一方面,惠特尼轧棉机的发明虽出现于奴隶制之后,但在促进美洲殖民地种植园经济发展的同时,也进一步推动资本主义存在形式的深化。早期研究南部史的学者 U. 菲利普斯和刘易斯·M. 哈克^[13]的研究中就明确指出“种植资本主义”下资本存在的两种形式即土地和奴隶,由于早期美洲控制劳动力的原因,使得劳动力变得昂贵,反而对廉价劳动力的需求量愈发增加,以此使植棉市场有利可图。随着美国领土的不断扩张,在美国联邦宪法的支持下^[14],奴隶制度具有了合法性,惠特尼轧棉机的使用则更进一步提升了棉花种植的经济效益和目标达成。因此,轧棉机的出现是建立在奴隶经济的基础之上,促使棉花成为大宗商品作物的原因之一,奴隶制度虽然是在 17 世纪中叶伴随烟草种植的发展而形成,但实质是在惠特尼轧棉机发明之后的种植园经济推波助澜下逐步演变成一种典型的商品奴隶制,成为助力美国“棉花王国”兴起的重要影响因素。

伊莱·惠特尼轧棉机的应用不仅为美国棉纺织工业奠定了基础,也为世界的棉花产业做出了贡献,其机械技术与产业政策给现代社会相关领域的发展带来了成功经验和教训,但从某种意义上说,这种技术的发明改变了既有社会利益的格局,促进经济发展的同时加速了资本主义社会制度的深化,因此要客观地看待技

术进步带来的影响。

3 结束语

美国伊莱·惠特尼轧棉机的发明使得短纤维棉花的脱籽效率得到极大提升,其操作方法极其简单,仅通过手动操作即可完成工作箱内部的锯轴、防壁、毛刷辊、料斗、喂棉辊等多个部件的运转。简易精巧的设备和高效的运作规律促进了棉纺织技术领域的进步,为美国农业社会向工业社会的转变奠定了技术基础,但惠特尼轧棉机的普及在促成技术进步的同时也揭露了资本主义社会的本质属性,并未完全推动社会的发展,因此,此发明既是技术革新的标志,又是促进资本主义社会制度进一步深化的产物。

参考文献:

- [1] MIRSKY J, NEVINS A. The world of Eli Whitney[M]. New York: The Macmillan Company, 1960.
- [2] 赵翰生, 邢声远, 田方. 大众纺织技术史[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 2015.
- [3] BECKERT S. Empire of cotton: A global history[M]. New York: Vintage Books, 2014.
- [4] 何顺果. 美国“棉花王国”史[M]. 北京: 中国社会科学出版社, 1995.
- [5] 薛少林. 纺纱学[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2002.
- [6] HYLANDER C J. American Inventors[M]. New York: The Macmillan Company, 1948.
- [7] 孙卫国. 纺纱技术[M]. 北京: 中国纺织出版社, 2005.
- [8] MORRIS R B. Encyclopedia of American history[M]. New York, 1976.
- [9] 王寅. 伊莱·惠特尼与他的发明[J]. 历史教学, 2005(11): 62-67.
- [10] HAMMOND M B. Correspondence of Eli Whitney relative to the invention of the cotton gin[J]. The American Historical Review, 1897, 3(1): 90-127.
- [11] 于峻极. 棉花加工工业发展历史[J]. 中国棉花加工, 2014(6): 38-43.
- [12] EATON C. The growth of southern civilization, 1790-1860[M]. New York, 1961.
- [13] L. 哈克. 美国资本主义之胜利[M]. 陈瘦石, 译. 北京: 商务印书馆, 1946.
- [14] KNUPFER P B. The union as it is: Constitutional unionism and sectional compromise, 1787-1861 [M]. Chapel Hill: University of North Carolina Press, 1991.

(下转第 33 页)

- [4] SUROWIEC I, SZOSTEK B, TROJANOWICZ M. HPLC-MS of anthraquinoids, flavonoids, and their degradation products in analysis of natural dyes in archeological objects[J]. *Journal of Separation Science*, 2007, 30(13): 2070-2079.
- [5] 王雪梅, 崔萍, 艾宏玲, 等. 天然染料洋葱应用于棉纤维染色的研究[J]. *染整技术*, 2012, 34(5): 8-10.
- [6] 朱莉娜, 吕晓娟. 苦楝皮色素的提取及稳定性研究[J]. *印染助剂*, 2018, 35(5): 27-32.
- [7] 陈美云, 袁德宏, 张玉萍. 碱性条件提取艾草天然染料及其真丝绸染色[J]. *丝绸*, 2011, 48(8): 1-5.
- [8] 邹蒙, 朱丽娜. 印度小叶紫檀色素的提取及其对棉织物的染色性能[J]. *印染助剂*, 2020, 37(12): 48-52.
- [9] 朱莉娜, 吕晓娟. 紫胡萝卜色素的提取及对真丝绸的染色性能[J]. *印染*, 2018, 44(22): 7-12.
- [10] 焦林, 刘书华. 亚麻织物的决明子提取液染色[J]. *印染*, 2016, 42(10): 29-32.

Extraction of Wormwood Pigment and its Dyeing Property to Hemp

CHEN Yanqin, ZHANG Weihong, ZHU Lina*

(Textile and Garment College, Dezhou University, Dezhou 253023, China)

Abstract: The effects of material-liquid ratio, time and temperature on extraction of pigment from wormwood were studied, and the effects of dyeing time, bath ratio, temperature and pH value on K/S value of hemp fiber were compared. The results showed that the best extraction process of wormwood was as follows: material-liquid ratio 1 : 30, extraction temperature 90 °C, extraction time 120 min. The optimum dyeing process was as follows: dyeing time 65 min, bath ratio 1 : 60, dyeing temperature 75 °C, the pH value 6.5. The K/S value of mordant dyed hemp fiber was higher than that of direct dyed hemp fiber, and the effect of post mordant dyed hemp fiber was the best. Its color fastness to soaping, rubbing, perspiration and sun can meet the requirements of taking and has good antibacterial properties.

Key words: vegetable dyes; wormwood; hemp fiber; dyeing

(上接第 22 页)

Structural Properties and Effects of Eli Whitney's Cotton Gin

ZHANG Yulin¹, LI Qiang^{1,2}, LI Bin^{1,*}, LI Jianqiang³

(1. School of Fashion, Wuhan Textile University, Wuhan 430073, China;

2. Editorial Office of Fashion Guide, Wuhan 430073, China;

3. School of Textile Science and Engineering, Wuhan Textile University, Wuhan 430073, China)

Abstract: The cotton gin invented by Eli Whitney in the United States is a box-shaped device that separates cotton lint and cottonseed. It has a sophisticated mechanical structure and high operating efficiency, which has changed the agricultural capital structure in the United States. In order to systematically and comprehensively explore the background of its invention, through the method of literature research and technical inspection, the mechanical principle and operation method of Eli Whitney's cotton gin were analyzed. The influence of this mechanical invention was explored. The study concluded that: From a technical point of view, the internal structure of the Whitney cotton gin was mainly composed of six parts: work box, saw shaft, wall, brush roller, hopper and cotton feeding roller, and each part was linked and restrained by each other. This drove the operation of machinery, greatly improved the deseed efficiency of cotton, and promoted the innovation and progress of cotton textile technology and even contemporary social technology; From a social perspective, although the invention of the Whitney cotton gin was not directly related to the slave system of the United States, but it has promoted the expansion of the plantation economy in the southern United States and the large demand for cheap labor. In a sense, it was the further deepening of the capitalist social system.

Key words: Eli Whitney; cotton gin; technical principle; influence