

[新设备·新材料·新方法]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2014.03.017

汽车空调活塞生产线的节拍研究

黄冲,倪益华,倪忠进,吴骏

(浙江农林大学 工程学院,浙江 杭州 311300)

摘要:为了简化工作难度,汽车空调活塞生产线基本上都分工作业,各工序间容易出现工作不平衡现象,文中研究了某活塞生产线生产节拍的平衡问题。针对某活塞生产线生产现状进行分析,测定工序作业时间,应用 Witness 软件进行仿真建模,发现瓶颈环节与利用率不足等不平衡现象,按照精益生产方法和平衡工序节拍的原则调整工序作业内容,对工艺流程进行重组规划。通过重组前与重组后的相关参数分析,重组后的生产线取得了明显的改善,提高了生产效率。

关键词:汽车空调;活塞;生产线;工序;节拍

中图分类号:U463.851

文献标志码:A

文章编号:1005-2895(2014)03-0066-05

Optimal Design of Automotive Air Conditioning Piston Production Line Rhythm

HUANG Chong, NI Yihua, NI Zhongjin, WU Jun

(School of Engineering, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, China)

Abstract: In order to simplify the working difficulty, the production line of automobile and air conditioner piston are basically divided, which easily lead to the imbalance of the process of working. The equilibrium problem of a piston production line production was studied. By analyzing the present situation of a piston production line production, the process time was measured and the application of Witness simulation software was used for modeling, and some unbalanced phenomenons of bottlenecks and the insufficient utilization rate were discovered. So according to the way of lean production and the principles of equilibrium processes rhythm, the content of processes was adjusted and the plan was restructured. By analyzing the relevant data before and after reorganization, there was a remarkable improvement in production line of reorganization and production efficiency enhancing.

Key words: automotive air conditioning; piston; production line; process; rhythm

目前的汽车零部件制造仍属劳动密集型产业,面对具有多品种、大批量特征的汽车空调活塞产品,老式的机群式作业模式有着许多弊端^[1],具体表现为:①在制半成品数量过多。在机群式的生产模式下,各个加工单元间存在数量巨大的在制品,工序间流转速度很慢。②生产效率过低。由于机群之间的各生产工序之间节拍的不协调,节拍短的加工单元往往会出现大量等工的现象,大大降低了有效工作时间。③产品不合格率高。在机群式的生产模式下,瓶颈加工工序往往会出现赶工现象,更容易产生不合格产品,以至大批量产品返工甚至报废。④劳动密集、一人一机或者多

人一机,人力成本过高。近年来,我国出现的“用工荒”现象对机群式生产模式更是雪上加霜。传统的刚性自动化生产线因其“专用性”已经无法满足市场对多品种、大批量产品的需求。

近年来国内外相关高校和研究所对实施生产线的工艺问题有了很多的研究成果^[2],结合精益生产理论的发展,以价值流程的分析作为依据对生产模式进行改善。杨召凯^[3]提出基于仿真辅助和分析的人工平衡法解决生产线的平衡问题。贾秋红,肖燕^[4]等运用了生产节拍平衡方法和物流优化的主要原则改进生产线并提高了生产效率。相关研究表明,活塞数控生产

收稿日期:2013-11-11;修回日期:2013-12-26

基金项目:浙江农林大学科研发展基金:双螺杆泵的型线优化及仿真系统开发(2034020047)

作者简介:黄冲(1990),男,浙江平阳人,硕士研究生,主要从事自动化控制研究。E-mail:huangchong90@foxmail.com

线的改造必须着重解决以下3个问题:①研究空调压缩机活塞加工工序的优化排布、各加工工序间的合理调度、加工节拍的确定、加工余量的控制等。②研究生产线的布局及流程协同设计,对活塞生产线而言,需要解决CNC机床和上下料机构的连接配合、工位的合理排布、工序间的有效衔接,以最大限度保证加工的高效性。③为了提高生产线中CNC机床的利用率,需要合理规划生产线上CNC机床的数量、上下料机构的上下料时间、夹具的装夹时间等,从而保证每道工序的加工时间一致。

1 活塞生产工艺

在汽车空调压缩机当中,活塞相当于压缩机的“心脏”,是压缩机中工作条件最为恶劣的零部件之一,是影响压缩机平均使用寿命和性能指标的薄弱的零件,同时也是最为关键的零部件之一。其结构如图1所示。

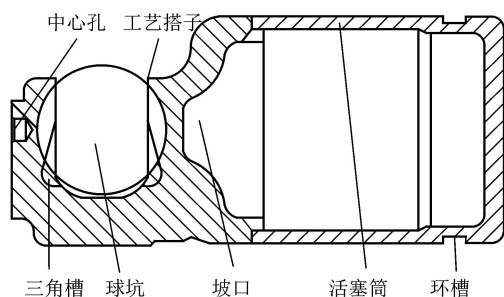


图1 活塞结构图

Figure 1 Structure diagram of piston

本文主要通过对活塞生产工序中的粗、精加工过程的车削、铣削和磨削工艺分析,研究空调压缩机活塞加工工序的优化调整、各加工工序间的合理调度、加工节拍的确定等问题,以实现柔性自动化加工。活塞目前生产的加工工序如图2所示。

2 活塞生产工艺参数计算

2.1 切削用量的选择

活塞外圆的车削加工,确定粗加工时的切削用量:

1) 确定切削深度 a_p 。总余量 $h_1 = 1.8 \text{ mm}$, 留 $h_2 = 0.5 \text{ mm}$ 作为精车余量,在留有精加工余量后,应尽可能一次走刀切除全部粗加工余量,取粗车切削深度为 $a_p = h_1 - h_2 = 1.3 \text{ mm}$ 。

2) 辅助参数确定。根据活塞外圆工件直径 $d = 32.5 \text{ mm}$,车刀行程长度 $l = 45 \text{ mm}$,加工材料为铝合金,加工刀具为硬质合金,加工性质为外圆粗磨切削,由《机械加工工艺手册》^[5]可查得进给量 $f = 0.8 \sim 1.2 \text{ mm/r}$,初步选定 $f = 1.0 \text{ mm/r}$;可查得切削速度 $v =$

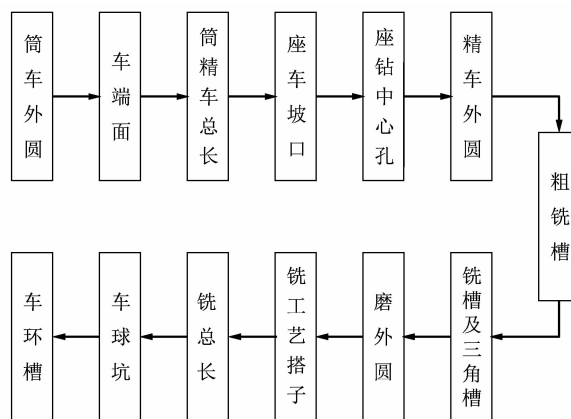


图2 生产流程图

Figure 2 Flowsheet of process

1.667 ~ 4.667 m/s, 取 $v = 2.0 \text{ m/s}$; 可查得主切削力条件系数 C_{FC} , 指数 x_{FC}, y_{FC}, n_{FC} , 修正系数 K_{FC} 等相关参数。

3) 确定主轴转速 n 。由公式 $v = \pi dn / 60000$, 得 $n = 1176.0 \text{ r/min}$, 取 $n = 1200.0 \text{ r/min}$, 此时切削速度为 $v = 2.04 \text{ m/s}$ 。

4) 校核机床功率。机床电机功率 $P_e = 7.5 \text{ kW}$, 机床传动效率 $\eta = 0.8$ 。因为背向力 F_p 没有位移, 不消耗功率, 切削功率为切削力 F_c 和进给力 F_f 所消耗功率之和, 一般情况下 F_c 所消耗的功率远远大于 F_f 所消耗功率, 则切削力消耗功率 P_{FC} 近似于切削功率 P_m 。根据公式 $P_{FC} = C_{FC} a_p^{x_{FC}} f^{y_{FC}} v^{n_{FC}} K_{FC} v$, 得 $P_m \approx P_{FC} = 3.98 \text{ kW} \leq 7.5 \times 0.8 = 6 \text{ kW}$, 所以机床功率足够, 最后选定粗车的切削用量

$a_p = 1.3 \text{ mm}; f = 1.0 \text{ mm/r}; v = 2.04 \text{ m/s}; n = 1200 \text{ r/min}$

同理可算得其它表面加工的切削用量。

2.2 基本工艺工序时间的计算

单件时间为单个零件在机床上所消耗的加工总时间, 其计算方法如公式(1)所示

$$t_w = t_m + t_c + t_0 \quad (1)$$

t_m ——基本工艺时间, 直接加工零件形状、尺寸和表面质量所需的时间。切削加工工艺时间, 即切去切削层的所用时间;

t_c ——辅助时间, 在该加工工序中为使基本工艺工作完成所做的辅助动作所消耗的时间, 其中包括试切、测量工作、装卸刀具、装卸零件和操作机床等辅助动作的所需时间;

t_0 ——其他时间, 其中包括整顿工具、清理切屑、工人休息和生理需要等所消耗的时间。

根据实际情况,其中: $t_c = (0.2 \sim 0.25) t_m$; $t_0 = 60l/nf$,可得 $t_w \approx 3$ s。
 $(0.15 \sim 0.2) t_m$, $t_w \approx 1.4 t_m$

根据粗车外圆基本工艺时间计算公式 $t_m =$ 如表 1 所示。

表 1 工序时间

Table 1 Process time

工序名称	工步名称	工步时间/s	工序时间/s	工序名称	工步名称	工步时间/s	工序时间/s
筒车外圆	粗车外圆	3	17	粗铣槽	粗铣槽	12	17
	车搭子	9					
车端面	粗车左端面	6	24	铣槽及三角槽	精铣槽	10	25
	粗车右端面	11			铣三角槽	8	
筒精车总长	精车总长	10	31	磨外圆	粗磨外圆	13	34
	车内孔	6			精磨外圆	19	
	车倒角	6					
座车坡口	粗车坡口	8	33	铣工艺搭子	粗铣工艺搭子	10	34
	精车坡口	15			精铣工艺搭子	14	
座钻中心孔	车工艺搭子	10	58	铣总长	铣左端面	10	35
	精车左端面	7			铣右端面	15	
	精车右端面	11		车球坑	粗车球坑	9	34
	粗车颈部	6			精车球坑	15	
	钻中心孔	7					
精车外圆	端面倒角	4	27	车环槽	粗车环槽	9	33
	精车外圆	10			精车环槽	14	
	精车颈部	13					

3 仿真测试

Witness 软件是英国 Lanner 集团开发的生产系统规划与运营仿真平台,广泛应用于生产和物流系统运营管理与优化、流程改进、工厂物流模拟与规划、供应链建模与优化等。使用 Witness 软件对工艺生产线进行仿真,生产系统建模并不能完全反映出全部的现实系统,所以在需要的情况下可以对生产模型进行适当的简化^[7]。根据前面的计算的工序时间对各个工作站的 Cycle time 进行设置,并且根据生产线物料的实际供应情况,将 Part 部分的 Type 设置为 Active, Inter Arrival Time 设置为 30.0,系统默认单位为秒,并在原料与工作站之间放置一个缓冲器,并将其 Input Option 设置为 Rear,设置模拟运行时间为 500 000.00 s^[5]。软件仿真布局如图 3 所示。

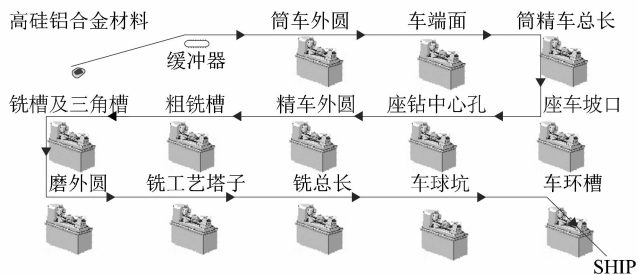


图 3 Witness 仿真布局

Figure 3 Layout of Witness simulation

Witness 软件对生产线进行仿真分析,其结果如表 2 所示。分析各个工序的工作效率,从中可以看出座钻中心孔为瓶颈工序,而前期的工序停顿率太高,后期工序的空闲率太高,制约了生产线的效率。

表 2 仿真结果

Table 2 Simulation results

名称	空闲率/%	工作率/%	堵塞率/%	操作数/个
筒车外圆	0.01	29.32	70.67	8 623
车端面	0.01	41.39	58.61	8 622
筒精车总长	0.01	53.45	46.54	8 621
座车坡口	0.01	56.89	43.09	8 620
座钻中心孔	0.02	99.98	0.00	8 618
精车外圆	34.50	65.50	0.00	8 618
粗铣槽	70.70	29.30	0.00	8 617
铣槽及三角槽	56.91	43.09	0.00	8 617
磨外圆	41.41	58.59	0.00	8 616
铣工艺搭子	41.41	58.59	0.00	8 616
铣总长	36.69	60.31	0.00	8 615
车球坑	41.42	58.58	0.00	8 615
车环槽	43.15	56.85	0.00	8 614

生产线平衡率 BR (Balancing Rate)^[8] 是反映生产线平衡情况的一个重要指标,其公式如公式(2)所示。

$$B_r = \frac{\sum_{i=1}^k T_i}{T_{\max} \times k} \times 100\% \quad (2)$$

其中: k 为工位的总数; T 为工序时间, $T_{\max}$ 为瓶颈

工序时间。通过计算得出 $B_r = 54.77\%$ 。通常情况下,生产线平衡率在 $70\% \sim 85\%$ 之间时,生产加工基本是在科学管理原则下进行的,对生产线的节拍控制是合理的。而企业若要想提高社会竞争力,达到精益生产的标准,生产线平衡率通常要超过 85% ,因此有必要对该生产线的节拍进行分析与优化。

4 活塞生产线工艺规划重组设计

在保证生产安全 and 产品合格率的前提下,生产线平衡率直接影响到生产成本的大小,提高生产线的平衡率,应使各个工序时间平均化,充分利用各个生产环节的能力,同时按照工序先后顺序,将每一道工序合理地分配到各个工作节点,尽量使各个工作节点能靠近平均节拍,使生产线时间损失率降低,这样才能使生产线流畅运行。为达到上述目的,可以将生产线的规划重组分为以下几个步骤。

1) 确定标准工序时间量^[6]。用工序总时间去除总工作站点数,将得到的时间量设为预估生产节拍,作为每个工作站工序时间的参考标准。它的值可以通过公式(3)计算得到

$$T = \frac{P}{N} \quad (3)$$

P 为产品生产时间, N 为工作站点数。

该装配线实际工作站点数 N 为 13, 通过公式(3) 计算出 T 的值为

$$T = 413/13 = 31.77 \text{ s}$$

取整为 32 s。对原有工序重新规划,使每个工作站时间尽量和标准时间量 32 s 接近。

2) 如果有的工序耗时大幅超出标准时间量,可以同时使用两个或者两个以上的工作站对同一工序进行加工。座钻中心孔工序是整个生产线的瓶颈工序,加工时间最长,其余工序的工作率服从 $0.3 \sim 0.6$ 的均匀分布。因此可以考虑在此工序上增加一台数控机床,两台机床形成对同一工序加工的并联结构,座钻中心孔工序的单位工序时间减为 29 s。

3) 按照工作先后顺序,将一道工序放入一个工作站,根据参考工序时间标准,计算剩余时间^[7],记作 $T_0 = T - T_1$ (T_1 表示放置该工序后此工作站的作业时间)。如果 $T_0 \leq 0$,则将下一道工序设置在第 2 个工作站,开始第 2 个循环;如果 $T_0 > 0$ (合理范围内可以允许少量超出标准工序时间),则继续将下一道工序放入到该工作站,如仍未超出标准时间量,计算剩余时间并更新 T_0 ,依此类推。

①外圆、车端面这两道工序采用同一种数控机床,

且都是夹内孔,定位芯棒顶内孔底,因此两工序可以合并,如此就增加了两次工进,减少了一次装夹,时间由 41 s 缩短为 32 s,提高了生产效率,同时也接近生产节拍,使生产线趋于平衡。

②粗铣槽、铣槽及三角槽两个工序的加工时间都比较短,偏离了生产节拍。由于两工序的定位方式及夹紧方式一致,且都使用 L660 铣床,因此可以将两工序合并。合并后整个作业环节减少了一次装夹,时间由 42 s 缩短为 31 s,符合工艺节拍。

4) 如果有的工序通过增加机床数或合并工作站都不能使该工序的工作节拍符合标准工序时间量,则可使该工序与相邻的其它工序一起安排在两个甚至两个以上工作站进行工作。

①结合座钻中心孔与精车外圆的加工特征和夹紧方式,可将精车外圆工序中的端面倒角这一工步移到座钻中心孔工序当中,这样座钻中心孔工序的加工时间为 32 s,而精车外圆工序的加工时间为 33 s,符合加工节拍。

②车球坑、车环槽工序采用相同的定位、夹紧方式,车球坑使用的是 CK6140ZX 数控车床,刀具实现了在加工平面二维空间内任意运动的功能,为这两工序的合并提供了功能保障。两工序的加工时间之和为 67 s,合并后能减少一次装卸,增加一次工进,工序时间缩短为 60 s,且两工序合并并不影响其他工序的正常工作,因此可以合并。为了与生产节拍相平衡,采用两台数控机床同时加工来加快生产节奏,单位工序时间为 30 s。

5 生产线重组后的分析

对上述工序进行调整、组合,重组后的活塞生产线设备数量确定为数控车床 8 台,数控铣床 2 台,数控磨床 1 台,普通车床 1 台,工序由原来的 13 个减少为 10 个,减少了生产设备的投入。

重组前与重组后的工序时间如图 4 所示。从图 4 可以看出,重组后的工序时间起伏较小,趋向一条平滑的曲线,使各工序接近于统一节拍。单位工作节拍从 413 s 下降到 325 s,大大缩短了生产周期。通过公式(2)计算可以得出生产平衡率 $B_r = 92.8\%$,达到了精益生产 $B_r \geq 85\%$ 的标准。

通过 Witness 软件的仿真可以得到仿真结果如表 3 所示。重组后的生产线各工作站的工作率都在 85% 以上,大大提高了生产平衡率。在 500 000 s 的仿真运行中,产品生产个数从 8 614 个提高到了 14 277 个,大幅度提高了企业的生产效益。

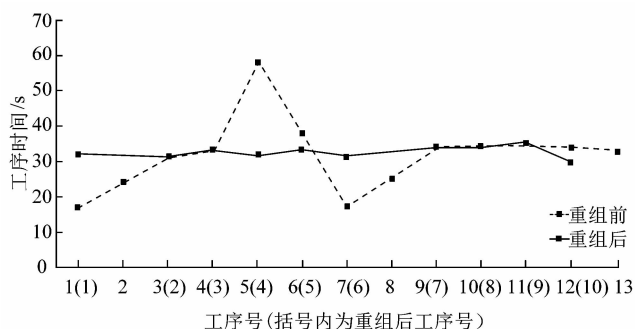


图4 工序时间图

Figure 4 Time diagram of process

表3 重组仿真结果

Table 3 Simulation results of recombinant

名称	空闲率/%	工作率/%	堵塞率/%	操作数/个
筒车外圆及车端面	0.00	91.43	8.57	14 286
筒精车总长	0.01	88.57	11.42	14 285
座车坡口	0.01	94.28	5.71	14 284
座钻中心孔	0.02	91.41	8.57	14 283
精车外圆	0.03	94.26	5.71	14 282
铣槽及三角槽	0.03	88.54	11.42	14 281
磨外圆	0.04	97.11	2.86	14 280
铣工艺搭子	0.05	97.10	2.86	14 279
铣总长	0.05	99.95	0.00	14 278
车球坑、车环槽	14.34	85.66	0.00	14 277

(上接第65页)

菌压力和保压时间这三项进行了相关实验,并未考虑其他条件对杀菌的影响,存在一定局限性。本试验研究了超高压杀菌对新鲜鱿鱼的杀菌效果,未研究超高压杀菌对新鲜鱿鱼中营养成分的影响,仍需做进一步研究。

参考文献:

- [1] 马先红. 液态鸡蛋超高压杀菌工艺的研究[J]. 吉林化工学院学报, 2010, 27(4): 32-35.
- [2] 张德善, 项建胜, 邵淮淮. 试论食品杀菌工艺与新装备[J]. 包装与食品机械, 2010, 28(3): 40-45.
- [3] 夏文水, 钟秋平. 食品冷杀菌技术研究进展[J]. 中国食品卫生杂志, 2003, 15(6): 539-544.
- [4] 黄琴, 贺雅非, 龚霄, 等. 超高压灭菌技术及其在食品工业中的应

6 结语

通过对汽车空调压缩机活塞的各加工工序时间的计算,并运用 Witness 软件对生产线进行仿真,分析了生产线中存在的不足,通过生产节拍平衡方法使工序进行重组优化,消除了瓶颈环节,使装配生产线节拍平衡优化,生产平衡率从 54.77% 上升到了 92.8%,单位时间内的生产效率提升了 65.74%,提高了生产线的生产能力。

参考文献:

- [1] 刘树华, 鲁建厦, 王家尧. 精益生产[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009: 2-15.
- [2] 顾啸峰. 精益生产工具和测量指标在万向节生产线的应用[D]. 上海: 复旦大学, 2009.
- [3] 杨召凯, 刘德忠, 李志强. 发动机装配生产线平衡问题研究[J]. 沈阳: 机械设计与制造, 2008(1): 215-217.
- [4] 贾秋红, 肖燕, 龚玉洁, 等. 基于 Witness 的飞轮生产线生产节拍平衡研究[J]. 沈阳: 机械设计与制造, 2011(11): 122-124.
- [5] 孟少农. 机械加工手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003: 35-44.
- [6] 潘家绍, 曹德弼. 现代生产管理学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003: 120.
- [7] 姚海凤, 冯勋省, 郭丁俊. 基于 eM-plant 的汽车零部件生产线平衡技术的仿真研究[J]. 物流技术, 2010, 29(6): 114-120.

用[J]. 四川食品与发酵, 2008(3): 46-50.

- [5] 薛靖, 张子德, 孙兰芳. 超高压技术及其在食品加工工业中的应用[J]. 保鲜与加工, 2008, 44(4): 10-13.
- [6] 李英梅, 杜颜. 高压脉冲电场杀菌技术在紫菜食品加工中的应用[J]. 包装与食品机械, 2010, 28(5): 60-63.
- [7] 刘延奇, 吴史博. 超高压对食品品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2008, 44(3): 137-141.
- [8] 夏远景, 薄纯智, 张胜勇, 等. 超高压食品处理技术[J]. 食品与药品, 2006, 8(2): 62-67.
- [9] 郝秦锋, 许洪高, 高彦祥. 超高压灭菌及其对食品品质的影响[J]. 食品科学, 2009, 30(23): 498-503.
- [10] 章海燕, 王立, 张晖. 高压杀菌技术的研究进展[J]. 粮油与食品工业, 2010, 17(3): 23-29.
- [11] 赵玉生, 赵俊芳. 食品工业中超高压灭菌技术[J]. 粮油与油脂, 2006(3): 25-26.