论坛与资讯

基于位置加权法的包装流水线平衡

周清华，杨萍，肖吉军，李希秀
（桂林电子科技大学，桂林 541004）

摘要：目的 研究某企业电动铅笔刨包装生产线工序优化与生产线平衡。**方法** 应用工业工程分析方法，对企业的原生产线及流程进行改造，根据电动铅笔刨包装生产线的生产工艺特点，运用生产流水线平衡的位置加权法合理调整生产工序，同时对作业内容、作业人员和设备及设施布置进行重新分配和调整。**结果** 与原生产线方案相比较，平衡后电动铅笔刨包装生产线流水线平衡率提高了31%，流水线作业人员减少4人，提高了订单交付水平，生产线布局保证了生产过程的流畅性，满足了计划产量生产要求。**结论** 采用位置加权法，结合工序优化、分解与合并，可以获得较好的生产流水线平衡效果。

关键词： 流水线平衡；位置加权法；生产管理；工业工程
中图分类号： TB488；TB497　　**文献标识码：** A　　**文章编号：** 1001-3563(2014)23-0153-06

Balancing Line of Packaging Business Based on Positional Weight Method

ZHOU Qing-hua, *YANG Ping*, *XIAO Ji-jun*, *LI Xi-xiu*
(Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

ABSTRACT: Objective To study the process optimization and production line balancing of the electric pencil sharpener packaging line in a company. **Methods** Industrial engineering analysis methods were applied to improve its old packaging lines and process. According to the characteristics of the electric pencil sharpener production process, the position weighting method of production line balancing was used to rebuild a reasonable production process. At the same time, job contents, equipments, facility layouts, and operators were reassigned and adjusted. **Results** Compared with the original solutions, the balancing rate of the new one showed an increase of 31%, and the staff number was reduced by 4, and the order delivery rates were improved. The new layout ensured the smooth operation of the production line and met the demands of the designed output. **Conclusion** Using the positional weight method, combined with process optimization, decomposition and combination, better results of the production line balancing were obtained.

KEY WORDS: balancing of production line; positional weight method; production management; industrial engineering

流水线生产组织方式的高效率，使其在大批量生产制造中获得了广泛运用。产品包装作为生产过程的后续环节，由于具有工序的可拆分性，在批量产品包装生产中，流水线包装方式也得到了普遍应用[1]。在流水线生产组织方式下，流水线平衡与否对生产效率、产品质量和生产成本具有重要影响[1]。A公司是一家集研发设计与制造于一体的，专注于电动铅笔刨、LED写字板等办公文具制作和加工生产的出口型生产企业，电动铅笔刨是其核心产品之一。由于产品总包装生产流水线效率低，导致不能按期交货、生产成本高等问题十分突出，因此，企业对现行包装流水线提出了改善要求。通过应用工业工程的方法技术，采用关键工序优化与流水线平衡设计的方式，对生产线生产流程进行优化，使整个包装流水

收稿日期： 2014-03-05
作者简介： 周清华(1969—)，男，湖南江华人，硕士，桂林电子科技大学副教授，主要研究方向为工业工程及机械设计与制造工程。

线面临的不利局面发生了根本性扭转，生产效率获得极大的提高。这里主要以A公司最具代表性的电动铅笔刨总包装生产线为例，分析其流水线平衡改善过程[2—4]。

1 生产流水线平衡方法

福特流水生产方式开启了现代工业流水生产的序幕，目前，流水线已经由早期单一品种流水线发展为多品种柔性流水线。流水线平衡(Line Balancing)就是通过对流水线上人员、设备和作业的合理分配，以及流水线布置的合理化，使流水生产线达到高效运行状态。为了实现这一目标，在流水线平衡设计与改善的实践过程中，研究人员开发出位置加权法、启发式方法、M-Y平衡法、列举消去法和分枝定界法等流水线线平衡方法。近年来，经过研究人员的不断努力，离散动态系统的建模、分析和优化方面的研究也取得了较大进展，许多新的建模技术进一步开发出来，如排队网络法、极大代数法、扰动分析法和Petri网法等，并取得了一定的应用成果[4—6]。

流水线平衡是在一定的工艺约束条件下，应用相应的平衡方法对流水线各个工序在工作站进行分配，实现流水线的平衡设计。在流水线平衡的工程实践中，许多方法应用比较复杂，并且均不能保证获得最优结果。这里选取实际应用相对简单，并能获得满意结果的位置加权法，作为A公司电动铅笔刨总包装生产流水线的平衡方法[1]。

流水线平衡与否通常采用流水线负荷率进行评价，一般认为流水线负荷率在75%以上即可认为满意。流水线负荷率由下式计算[4]。

$$E = \frac{W}{SC} = \frac{\sum_{i=1}^{s} \frac{t_i}{n_i}}{SC} \quad (1)$$

式中：C为流水线节拍；W为全部工序时间；t_i为i工位工序时间；n_i为i工位并行工作工人数；S为工位数。

2 包装生产线现状分析

A公司是主要专注于电动铅笔刨、LED写字板等办公文具制作和加工生产的企业，拥有4条自动流水线，包括3条产品生产线和1条包装生产线。包装生产线现有28位员工、22个工位。A公司是以订单驱动的生产方式来组织生产，在其产品系列中电动铅笔刨是公司核心产品，旺季订单达到85 000台，计划日产量2800台。由于总包装生产线的产能瓶颈，极大影响了公司的订单交付，同时存在生产效率低、周期长、成本高等问题。

2.1 包装生产线概况

A公司电动铅笔刨包装生产线属于典型的离散型生产流水线，其包装线采用直线型设施布置形式，设置有自动传送带、作业台、仪表架和控制台等设施，包装生产线工位布置见图1。由于电动铅笔刨产品结构简单，各部件生产已经在产品生产线上完成，因此，包装生产线前段1～11工位设置为简单装配工位，将简单装配融入包装过程，形成以包装为主体的包装与简单装配组合的流水线。工位包装工艺程序见图2[7—10]。

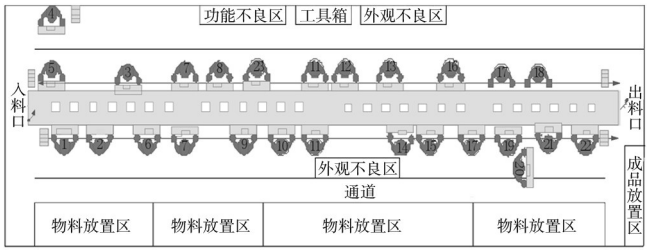

图1 电动铅笔刨包装生产线布局

Fig.1 Facility layout of packaging production lines for electric pencil sharpener

2.2 包装生产线平衡分析

应用秒表对22个工位各个操作工序进行测时，按测得的各工位作业时间，绘制出工位时间柱形图见图3。

由图3可知，包装生产线瓶颈工位的作业时间为15 s，也是现行生产线的节拍时间。应用式(1)可以计算出该包装生产线的平衡率为60.3%；损失平衡率=1-平衡率=39.7%。根据目前公司作业制度，日正常工作时间为8 h，为完成生产任务，日加班时间2 h，在大批量生产情况下，忽略准备时间，则最大实际日产量：Q=2400台，加班后平均日产量仍低于计划日产量。

由图3进一步分析可知，5号、6号和17号工位作

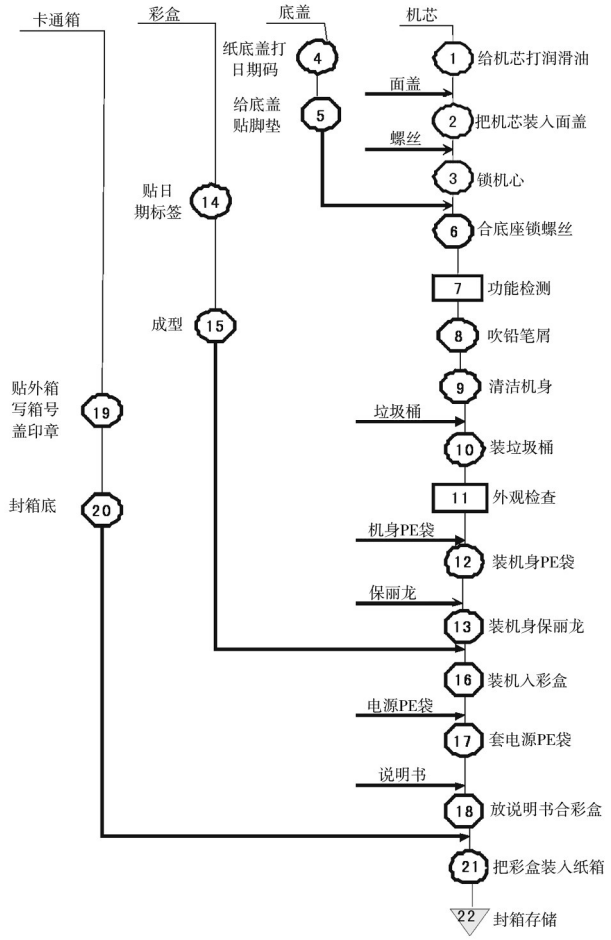

图2　电动铅笔刨包装工艺程序

Fig.2 Packaging process program of electric pencil sharpener

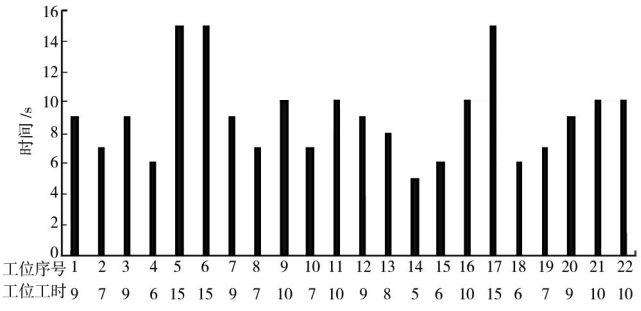

图3　电动铅笔刨包装线工位工时柱形图

Fig.3 Bar graph of packaging station working hours of packaging production lines

业时间均长达15 s,形成了流水生产线的瓶颈。另外,从包装生产线工位布置可以看出,4号工位独立于流水之外,5号工位存在物流回流,影响了生产的流畅性。鉴于流水线的诸多弊端,需要对总包装生产线的生产运作流程进行重新优化设计。

3　生产平衡方案设计

根据电动铅笔刨包装生产过程可拆分和合并的工艺特点,在流水线平衡过程中首先将22个工位细分为40个操作工序,工序作业内容见表1。然后对5号、6号和17号瓶颈工位工序进行作业优化。经过优化和分解瓶颈工位工序,进一步应用位置加权法重排工位生产工序,调整各工位作业人员,进行流水线再平衡及布置设计,具体过程如下。

1)对电动铅笔刨瓶颈工序的生产工艺应用工业工程方法进行分析改善和作业标准化后,重新采用秒表进行测时,确定工序时间(含放宽时间),作为流水线平衡设计的依据。测量数据见表1。

2)根据表1作出电动铅笔刨包装先后次序图,见图4。

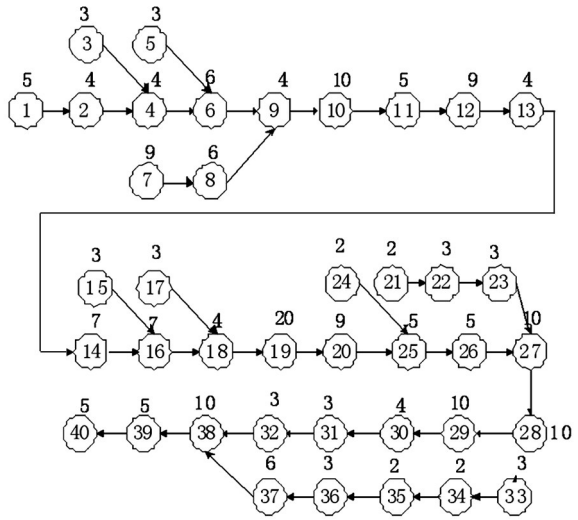

图4　电动铅笔刨产品包装先后次序

Fig.4 Packaging sequence of electric pencil sharpener

3)确定包装流水线生产节拍和最少工作站数。A公司按照订单生产的方式进行生产,作业正常工作时间为8 h/d,改善后要求不再加班,以旺季月份平均订单量为基准,包装生产线需完成85 000台/月的包装任务,节假日轮休,生产线连续生产,因此平均产量为2800台/d。则生产节拍C为:

$$C = \frac{F_e}{N} = 10.2\ (\text{s/台}) \qquad (2)$$

式中:C为流水线节拍;F_e为计划期有效工作时间;N为计划期产量。

表1 改善后电动铅笔刨包装工艺程序

Tab.1 Packaging process program of electric pencil sharpener after improvement

作业编号	作业内容	动作时间/s	紧前任务	作业编号	作业内容	动作时间/s	紧前任务
1	拣机芯	5	无	21	撕日期贴纸	2	无
2	给机芯齿轮打润滑油	4	2	22	贴日期贴纸	3	21
3	摘面盖膜	3	无	23	彩盒成型	3	22
4	装机芯入面盖	4	2,3	24	拆保丽龙	2	无
5	给螺丝套垫片	3	无	25	装下拖	5	24,20
6	打螺丝(2颗)	6	4,5	26	套上拖	5	25
7	给底盖装脚垫	9	无	27	装机入彩盒	10	23,26
8	底盖打日期码	6	7	28	套电源线PE袋	10	27
9	把底座和机芯组装	4	8,6	29	扎电源线	10	28
10	锁螺丝(3颗)	10	9	30	放电源线入彩盒	4	29
11	插线	5	10	31	放说明书	3	30
12	高压检测	9	11	32	合彩盒盖	3	31
13	拆线	4	12	33	贴外箱贴纸	3	无
14	吹铅笔屑	7	13	34	给外箱盖印章	2	33
15	清洁布蘸取洗面水	3	无	35	写箱号	2	34
16	清洁机身	7	15,14	36	外箱成型	3	35
17	拆垃圾桶膜	3	无	37	封箱底	6	36
18	装垃圾桶	4	16,17	38	装彩盒入纸箱	10	37,32
19	外观检测	20	18	39	封外箱口	5	38
20	装机身PE袋	9	19	40	存储	5	39
合计						221	

流水线最小工位(工作地)数$S_{\min}$为:

$$S_{\min}=\frac{W}{C}=\frac{\sum_{i=1}^{s}\frac{t_i}{n_i}}{C}\approx 22 \tag{3}$$

在生产线平衡的限制下,考虑工艺顺序约束,在工艺与技术的制约下,根据流水线的节拍要求,应用位置加权法重新为每个工作地分配作业任务,使工作负荷尽可能均衡,生产能够正常持续运作。

4)根据作业元素先后次序图,作出位置加权值矩阵表。电动铅笔刨作业元素(工序)位置加权见表2(因表格过大,位置权值矩阵表为部分截取)。作业元素位置加权数P就是该项作业元素时间,为直接后续

表2 电动铅笔刨权值矩阵

Tab.2 Weight matrix table of electric pencil sharpener

作业元素	工时	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	…	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	P
1	5		1		+		+			+	+	…	+	+	+						+	+	+	158
2	4	−			1		+			+	+	…	+	+	+						+	+	+	158
3	3				1		+			+	+	…	+	+	+						+	+	+	152
4	4		−	−			1			+	+	…	+	+	+						+	+	+	156
5	3						1			+	+	…	+	+	+						+	+	+	148
…	…	…	…	…	…		…			…	…	…	…	…	…		…	…	…	…	…	…	…	…
35	2											…					−		1		+	+	+	33
36	3											…						−		1	+	+	+	31
37	6											…			−				−		1	+	+	29
38	10											…								−		1	+	29
39	5											…									−		1	20
40	5											…										−		10

注:“1”表示直接后续元素,“+”表示间接后续元素,“–”表示直接前续作业。

元素与后续作业元素时间的总计。例如:P_1= 5+4+4+6+4+10+5+9+4+7+7+4+10+9+5+5+10+10+10+4+3+3+10+5+5=158。其他作业元素位置加权值类推。

5)根据作业元素加权位置权值矩阵表,分配包装线各工位作业内容,结果见表3。

经过重新分配的包装线各个工位的工作均衡,且小于生产节拍,工序时间柱状图见图5。

表3　平衡后包装线各个工位内容分配

Tab.3 Station job assignment table of packaging production lines after balancing

工作站序号	工位分配工序	作业时间/s	岗位名称	人员配置/人
N1	7	9	给底盖装脚垫	1
N 2	1,2	9	拣机芯打油	1
N 3	3,4,5	10	装面盖,陶垫片	1
N 4	8	9	底盖打日期码	1
N 5	6,9	10	打螺丝装底座(2颗)	1
N 6	10	10	打螺丝(3颗)	1
N 7	11~13	9	高压测试	2
N 8	14	7	吹铅笔屑	1
N 9	15,16	10	清洁机身	1
N 10	17,18	7	装垃圾桶	1
N 11	19	10	外观检测	2
N 12	20	9	装机身PE袋	1
N 13	21~24	10	折彩盒粘贴日期贴纸	1
N 14	25,26	10	装机身保丽龙	1
N 15	27	10	装机入彩盒	1
N 16	28	10	套电源线PE袋	1
N 17	29	10	扎电源线	1
N 18	30~32	10	放电源带、说明书	1
N 19	33~36	10	外箱加工	1
N 20	37	6	封箱底	1
N 21	38	10	装彩盒入纸箱	1
N 22	39,40	10	封箱摆栈板存储	1

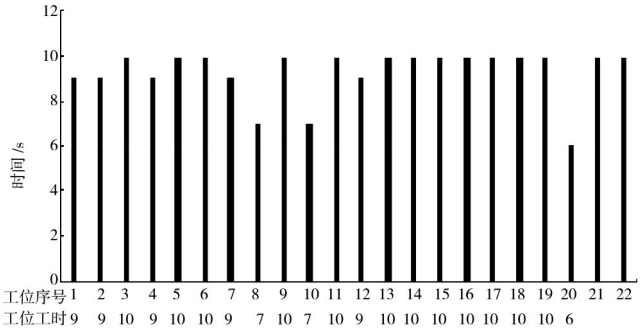

图5　重新平衡后各工序时间柱状图

Fig.5 Bar graph of packaging station working hours of packaging production lines after balancing

根据式(1)可计算经过重新平衡后的平衡率为91.35%。 损失平衡率=1−平衡率=8.65%;

平衡后最大实际日产量Q=2823 台。

改善后包装生产线的平面布置见图6(第23工位为适应产品型号换线预留工位)。

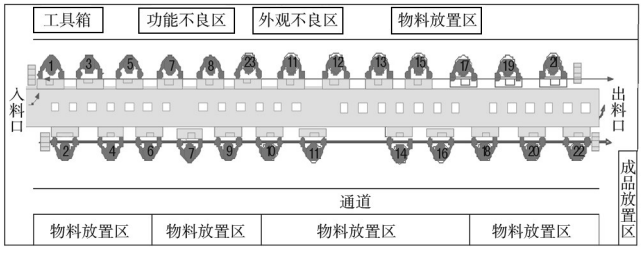

图6　改善后包装生产线布局

Fig.6 Facility layout of packaging production lines for electric pencil sharpener after improvement

通过对电动铅笔刨装配工序重新进行作业排序,同时对人员安排、工序的作业内容优化和进行流水线布置,整个包装生产线实现了均衡,生产效率提高约31%,改善后实际人员配置24人,流水线作业人员减

少4人，提高了订单交付水平，并且重新进行的生产线布局保证了生产过程的流畅性，满足了产量要求[11—15]。

4 结语

企业根据自身产品结构、工艺和产量等方面特点，合理选择、优化生产流程对提高生产效率具有重要作用。对于A公司生产流程优化，通过选择简单装配与包装合并的流水线方式，实现了预期产能目标。在生产流水线平衡设计过程中，采用了常用的位置加权法，同时对部分临近工序进行分解与合并和人员调配，达到了减员增效的目的。产品包装作为产品生产的组成部分，与产品制造和包装可以有机结合。该包装流水线平衡研究，可以为其他企业成品包装生产组织提供借鉴。

参考文献：

[1] 周清华，肖吉军，杨萍基. 基于流水线平衡的装配生产流程重组[J]. 桂林电子科技大学学报，2009(8)：21—25.
ZHOU Qing-hua, XIAO Ji-jun, YANG Ping-ji. Assembly Business Process Reengineering Based on Balancing Production Lines[J]. Journal of Guilin University of Electronic Technology, 2009(8): 21—25.

[2] 薛伟，蒋祖华. 工业工程概论[M]. 北京：机械工业出版社，2009.
XUE Wei, JIANG Zu-hua. Introduction to Industrial Engineering[M]. Beijing: China Machine Press, 2009.

[3] 董鹏，丁文捷，庞晓琛，等. 精益生产在生产线改善中的应用研究[J]. 湛江师范学院学报，2013(3)：142—150.
DONG Peng, DING Wen-jie, PANG Xiao-chen, et al. Study on the Application of Line Production in the Production Line Improvement[J]. Journal of Zhanjiang Normal University, 2013(3): 142—150.

[4] 俞智维. 重型汽车混合装配流水线平衡研究[D]. 上海：上海交通大学，2011.
YU Zhi-wei. Research on Heavyduty Car Mixed-model Assembly Line Balancing[D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2011.

[5] 朱华炳，王龙，涂学明，等. 基于ECRS原则与工序重组的电机装配线产线平衡改善[J]. 机械设计与制造，2013 (1)：224—229.
ZHU Hua-bing, WANG Long, TU Xue-ming, et al. Balance Improvement of Motor Assembly Line Base on ECRS Principle and Process Reorganization[J]. Machinery Design & Manufacture, 2013 (1): 224—229.

[6] 杨如意. N公司装配生产线布局研究[D]. 广东：华南理工大学，2013.
YANG Ru-yi. N Company Assembly Line Layout Research [D]. Guangdong: South China University of Technology, 2013.

[7] 郭伏，张国民，温婕. 工作研究在轿车包装流水线能力平整中的应用[J]. 工业工程与管理，2006(2)：119—126.
GUO Fu, ZHANG Guo-min, WEN Jie. Application of Work Study to the Throughput Balance of Car Assembly Line[J]. Industrial Engineering and Management, 2006(4): 119—126

[8] 沈晓来. 应用IE技术优化手机包装盒生产线的研究[J]. 包装工程，2013，34(1)：95—100.
SHEN Xiao-lai. On Optimization of Mobile Phone Packaging Box Production Line with IE[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(1): 95—100.

[9] SHAN Hong-ying, HU Lu-lu, GUAN Qing-zhu. Study on Production Line Balancing Based on Heuristic Balancing Algorithm[C]// Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering, 2013(3): 485—488.

[10] MA Li-xin, XIE Hai-hong, ZHANG Jian-bo. Assembly Process Reengineering Applied to Production Line Balancing [C]// Electronic Commerce and Business Intelligence, 2009: 95—98.

[11] WU Hong-mai, LIU Zhuo, YANG Shou-gong, et al. Research in Application Methods of Production Line Balancing at Automobile Paint Shops[C]// Industrial Engineering and Engineering Management (IE & EM), 2010: 90—94.

[12] MA Li-xin, LI Dan-ting, DONG Shi-cheng, et al. Analysis of the Balance of the Production Line Based on the Gearbox Assembly Process[C]// Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA), 2010: 559—562.

[13] 杨萍. 液体制剂灌装设备更新与改造项目经济分析[J]. 包装工程，2006，27(4)：200—203.
YANG Ping. Economy Analysis of the Replacement and Modification Item of Liquid Medicine Inpouring Facility[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(4): 200—203.

[14] 杨萍. 基于动作研究的药品包装作业过程分析与优化[J]. 包装工程，2010，31(13)：66—70.
YANG Ping. Pharmaceutical Packaging Process Analysis and Optimization Based on Action Research[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(13): 66—70.

[15] 冷树林，谭志强. 军工产品塑料包装质量控制探析[J]. 包装工程，2013，34(5)：119—122.
LENG Shu-lin, TAN Zhi-qiang. Analysis on Quality Control of Plastic Packaging for Military Products[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(5): 119— 122.