

基于价值流分析的 X 产品生产流程优化*

周春柳^① 姚威^① 田艳^① 张洪亮^① 石四葵^②

(^①安徽工业大学管理科学与工程学院, 安徽 马鞍山 243032;

^②浙江大华技术股份有限公司, 浙江 杭州 310056)

摘要: 针对 ZD 公司 X 系列产品的生产过程, 文章在价值流分析的基础上, 绘制现状价值流图, 发现生产过程中的浪费。运用“5whys”法和鱼骨图分析原因, 根据 JIT 采购和 ECRS 原则提出改进方案, 绘制未来价值流图。通过一系列方法的应用, 提高了增值率, 为企业的精益管理提供了改进思路。

关键词: 精益改善; 价值流; 流程优化

中图分类号: FB491 **文献标识码:** B

DOI: 10.19287/j.mtmt.1005-2402.2024.09.027

Production process optimization of X product based on value stream analysis

ZHOU Chunliu^①, YAO Wei^①, TIAN Yan^①, ZHANG Hongliang^①, SHI Sikui^②

(^①School of Management Science and Engineering, Anhui University of Technology, Ma'anshan 243032, CHN;

^②Zhejiang Dahua Technology Co., Ltd., Hangzhou 310056, CHN)

Abstract: As for the X series products of ZD Company, this paper draws the current value flow map on the basis of value stream analysis to find the wastes in the production process. The "5whys" method and fishbone chart were used to analyze the reasons. The improvement plans were proposed according to JIT procurement and ECRS principles and the future value stream map was drawn. Through the application of a series of methods, the value-added ratio increased, and the improvement ideas were provided for the lean management of enterprises.

Keywords: lean improvement; value stream; process optimization

对于产品的制造过程, 生产流程是关键。精益思想的精髓在于消除生产过程中的浪费以实现降本增效。价值流的概念就来自精益思想, 其定义为从原材料到最终产品的所有创造价值的活动。价值流分析可以发现生产过程中错综复杂的浪费, 因此在制造业中有着广泛且重要的应用。价值流图是精益改善中的一种描述物料流和信息流的形象化工具^[1], 以生产现状为基础。张方哲等^[2]以生产管理现状为切入点, 绘制价值流图找出问题并改善。Rohani JM 等^[3]通过计算节拍时间去构建价值流图来识别和消除浪费, 通常也会结合鱼骨图等工具去分析原因。李梓墨^[4]利用价值流图和鱼骨图挖掘导致手机后盖生产线合格率低等问题的真正原因, 然后以精益思想为指导去解决实际问题。王秀红等^[5]利用价

值流图对工序重组, 解决了汽车底盘生产线不平衡的问题。熊宗慧等^[6]绘制价值流图识别农机生产线中不平衡等问题。梁圣明^[7]利用价值流图并结合精益改善方法快速实现产能提升。宋庭新等^[8]利用价值流现状图缩短了传动轴转配线的生产周期, 并绘制未来价值流图以对比改善效果。黄夏宝等^[9]利用对车载面板车间进行改善, 并依据改善设计方案绘制未来状态价值流图。Zhu JH^[10]利用价值流图提高真空泵生产线平衡率。作为有效分析方法, 价值流分析也广泛运用于其他领域。邵振华等^[11]以价值流为主线, 实现转向架维修流程的精益改善。刘德尧^[12]运用价值流图找出原因, 并结合 JIT 生产方式提高企业管理水平。郭洪飞等^[13]利用价值流分析方法, 提出“水蜘蛛”配送方式。Shaban A 等^[14]利用价值

* 安徽工业大学教育教学研究重点项目(2021jy09); 安徽省研究生教育教学改革研究项目(2022jyxggj244); 安徽省高等学校科学研究项目(2022AH050269)

流图，改善了埃及内科门诊诊所的患者流量。随着管理科学的发展，供应链不再仅仅被视为一个简单的物流过程，而是涵盖了产品运动过程中的增值链。因此，改善供应链流程也可以有效提升生产效率。Acero R 等^[15]使用价值流分析和改进供应链管理优化了军事后勤的交付能力。本文从 ZD 公司生产效率低的问题出发，使用产品数量（PQ）分析选出目标产品，以价值流分析为主线，结合生产流程现状绘制价值流图，找出生产流程过程中浪费、生产线不平衡等问题，然后利用“5whys”法和鱼骨图分析具体原因，以精益思想为指导，利用 JIT 采购去改善供应链流程以消除库存浪费，利用布局优化消除搬运浪费，利用 ECRS 原则改善生产线平衡率，实现该生产流程的精益改善。主要方法如图 1 所示。

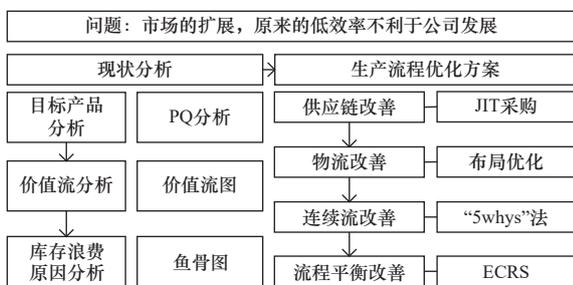


图 1 研究技术路线

1 ZD 公司现状分析

ZD 公司早期专注发展视频监控技术和视频监控产品，但随着社会和技术的发展，公司自身产品领域的拓展，原来低下的生产效率已经不利于公司的发展，因此公司急需对产品生产流程进行。

1.1 目标产品分析

PQ 分析是按照数量对生产的产品进行分类。在组装作业中，可以使用 PQ 分析零部件的通用性和消耗数量。通用性是判断不同的产品是否可以混流生产的评估标准，而消耗量则对判断如何组织零部件的供应很有帮助。PQ 分析能够找出表面看不见的市场需求，使得企业能够重组生产线，以满足客户的需求。因此利用 PQ 分析方法，将 ZD 公司产品进行分类，分析各类产品系列销售情况。车间

主导产品系列销售情况如图 2 所示，得出 ZD 公司主导产品中 X 产品系列是车间产销量最大的产品系列，其利润占比大。因此，优化最大产销量的 X 产品系列生产流程，会给企业带来更多利益。

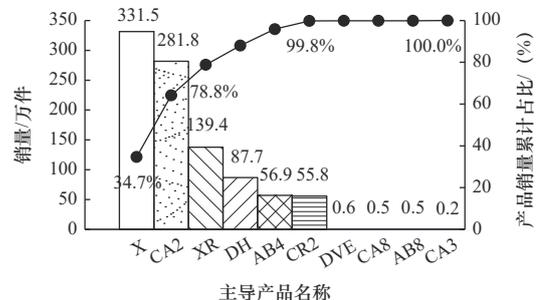


图 2 车间主导产品系列销售情况

在 X 产品系列中，包括 X-1、X-2、X-3 三种产品，分别对三种产品进行产品销售趋势分析，如图 3 所示，可以清晰地看出 X-2 的销售趋势相对于 X-1 和 X-3 更有上升的趋势，而且 X-2 的销售量明显比 X-3 多。因此，本文主要针对 X-1 和 X-2 的生产流程进行优化。

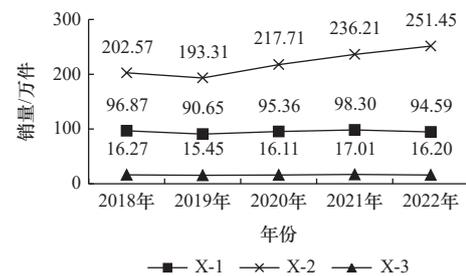


图 3 X 系列产品销售趋势图

1.2 价值流分析

价值流是指原料经过加工生产变为产品的全部活动，分为实体流与信息流，增值和非增值活动。价值流分析具有全局化、可视化、数据化等特征，被广泛应用于精益生产改善中的浪费识别与浪费消除效果的验证。首先介绍 X 系列产品的生产流程，如图 4 所示。焊接加工部加工后将完成测电阻的元件与直接采购的零部件一同进入仓库，之后再经过放触头、铆合、夹弓簧、触头螺丝等步骤后进行包装存入立体库中。

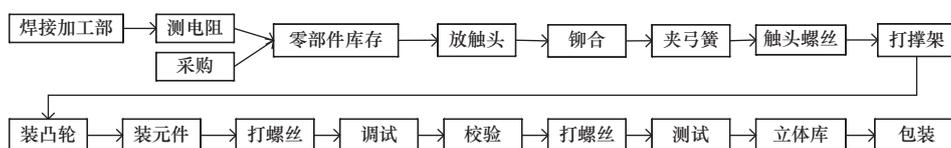


图 4 生产流程

然后通过调研，了解到客户的需求是每月 22.5 万单，依此可以得出市场需求的生产节拍为 5.1 s。接着绘制 X 系列产品的生产流程和价值流中的信息流部分，信息流主要为客户发送订单，生产计划员根据生产订单下达热元件周计划给焊接加工部，并且提前四天下达生产任务给零部件仓库，外协供应商每天通过供应商在线系统运送到采购部，经过生产流程后，将完成的产品每天发货给客户，在此期间生产计划员每天都下达生产计划给负责打螺丝和校验的工人。最后是计算整个生产总周期，整个生产过程中库存消耗了大部分的时间，因此生产总周期约为库存时间。库存时间主要集中在零部件仓库前、调试至测试以及包装后进入立体库阶段，总库存时间为 74 h。据此，绘制 X 产品的现状价值流图，如图 5 所示。

从价值流图可以看出以下几个问题：（1）库存浪费，零部件从测完电阻储存进零部件仓库存在库存浪费，调试、校验、打螺丝和测试四个工序之间也存在库存浪费；（2）搬运浪费，零部件经焊

接加工部焊接完成后去测电阻的过程中存在着搬运浪费，校验、打螺丝和测试三个工序之间存在搬运浪费；（3）产线不平衡，由价值流图中的生产节拍时间明显看出工序时间不平衡，另外生产周期过长，有效加工时间为 157.6 s，而生产周期却长达 74 h，生产流程增值比仅为 0.059%。然后对生产流程所存在的问题进行进一步分析，以便做出相应的改善。

（1）库存分析

针对库存浪费，对 X 系列产品的所使用的零部件进行库存金额分析，以选出库存金额占比大的零部件，并进行相应的改善。如图 6 所示，可以看出，双金属元件和热元件的库存金额占总库存金额的 81%，按照“80/20”原则分类，属于重点分析对象。

（2）供应链分析

针对上述重点研究对象双金属元件和热元件，进行供应链流程分析，如图 7 所示。先统计库存，制定周计划，按照需求下发采购计划来生产零部件，经过调热元件，焊接加工部送热元件搬运至测电阻的地方，再将测好电阻的热元件入库，最后进行生

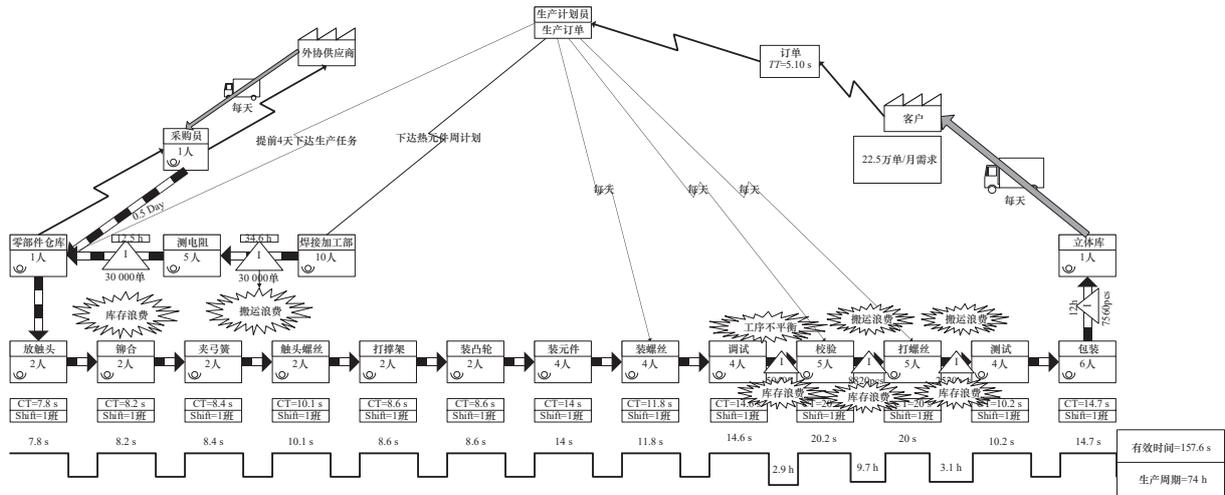


图 5 现状价值流图

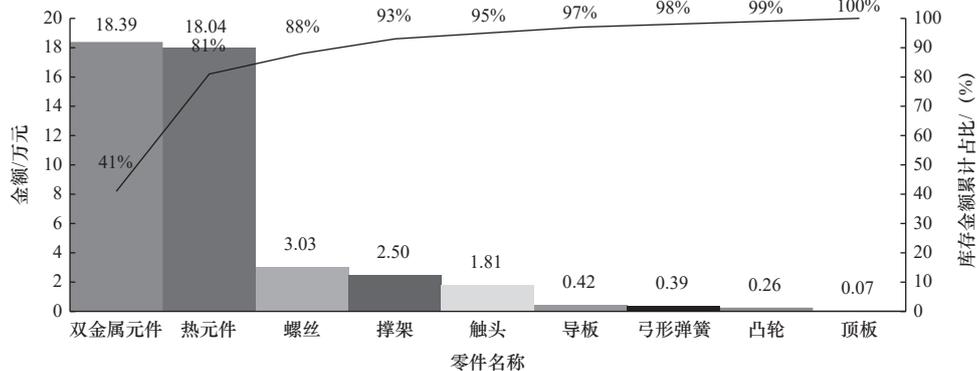


图 6 库存金额 PQ 分析图

产配料。分析可知，供应流程复杂繁琐，而且根据周计划下发采购计划，如果周计划不准确很可能会导致供需不平衡。

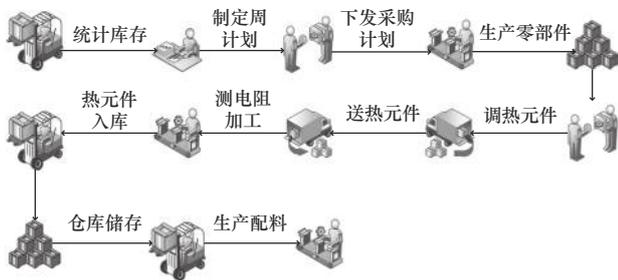


图7 供应链流程

(3) 物流分析

针对搬运浪费，对X系列产品零部件进行物流分析，如图8所示。一条物流是焊接加工部将热元件送往测电阻的地方后，将完成测电阻的元件放入仓库，之后再经过生产加工后进行校验、检测，合格后进行包装存入立体库中。另一条物流是X系列产品直接从生产线送去校验、检测，合格后送到存放区。经过现场调查，目前热元件物流距离长达280 m，物流路线存在浪费。

而且，生产流程搬运距离为53.7 m，如图9所示，X-1和X-2从装配区送往校验的路程中和送往拧螺丝、包装过程中，可以看出产品物流还存在路线交叉的问题。

(4) 程序分析

对X产品生产流程进行程序分析，见表1，加工次数12次，检查了3次，搬运了5次，储存了6次。相比之下，搬运和储存浪费较多。

(5) 工序平衡分析

在X系列产品加工作业中，对工序流程平衡进行分析，如图10所示。测定每个工序的作业时间和客户每天需求数量，生产节拍的计算公式为

$$TT = \frac{\text{每天实际生产时间}}{\text{客户每天需求数量}} \quad (1)$$

由式(1)得出生产节拍TT为5.10 s。工序平衡率的计算公式为

$$\text{工序平衡率} = \frac{\text{最长工序时间}}{\text{总工序时间}} \times 100\% \quad (2)$$

由式(2)得出X系列产品工序流程平衡率仅为58.4%。

该产品生产需要大量重复生产，这种不平衡的生产能力分配会导致生产效率低下，增加企业成本。因此，需要根据工序平衡率，进行生产能力调整，达到最优生产效率，降低生产成本。

1.3 库存浪费原因分析

由现状价值流图可以发现，在生产流程所有问题中，库存浪费占大部分，因此着重分析生产流程中库存浪费的原因。

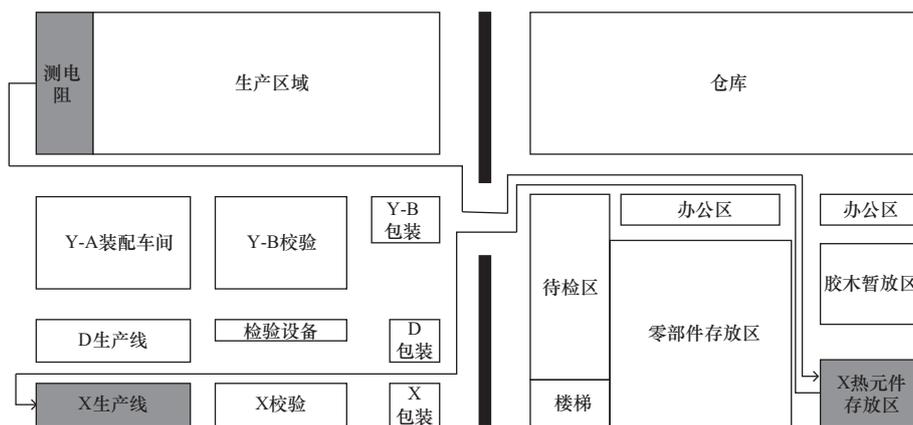


图8 X产品生产物流布局

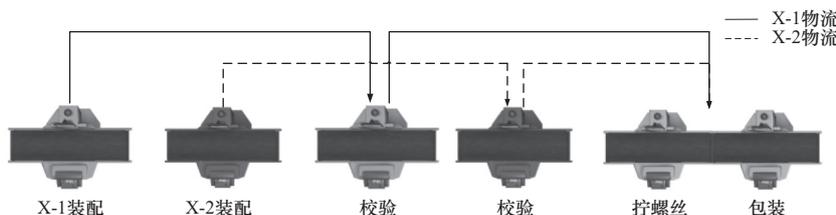


图9 产品物流路线

表 1 流程序序表

		统计				
工作名称	X-2流程	项别	次数/次	时间/s	距离/m	
宽放率	8%	加工	12	126.8		
小时产能		检查	3	32.9		
研究者	日期 2023.9.11	搬运	5	3 660	311	
审阅者	日期 2023.9.11	等待	0	0		
		储存	6	225 212		

工作说明	时间/s	人数/人	距离/m	工序系列				
				加工	检查	搬运	等待	储存
测电阻	2.5	5		○	■	→	D	▽
储存	45 000			○	□	→	D	▽
搬运	1 800	2	135	○	□	→	D	▽
储存	124 800			○	□	→	D	▽
搬运	600	1	146	○	□	→	D	▽
放触头	7.8	2		●	□	→	D	▽
铆壳体	8.2	2		●	□	→	D	▽
夹弓簧	8.4	2		●	□	→	D	▽
打辅助螺丝	10.1	2		●	□	→	D	▽
装撑架	8.6	2		●	□	→	D	▽
装凸轮	8.6	2		●	□	→	D	▽
装元件	14	4		●	□	→	D	▽
放螺丝	5.8	2		●	□	→	D	▽
打螺丝	6	2		●	□	→	D	▽
调试	14.6	4		●	□	→	D	▽
储存	10 485			○	□	→	D	▽
搬运	60		5	○	□	→	D	▽
校检	20.2	4		○	■	→	D	▽
储存	10 483			○	□	→	D	▽
搬运	600		15	○	□	→	D	▽
储存	23 961			○	□	→	D	▽
打接线螺丝	20	5		●	□	→	D	▽
储存	10 483			○	□	→	D	▽
搬运	600		10	○	□	→	D	▽
测试	10.2	4		○	■	→	D	▽
包装	14.7	6		●	□	→	D	▽

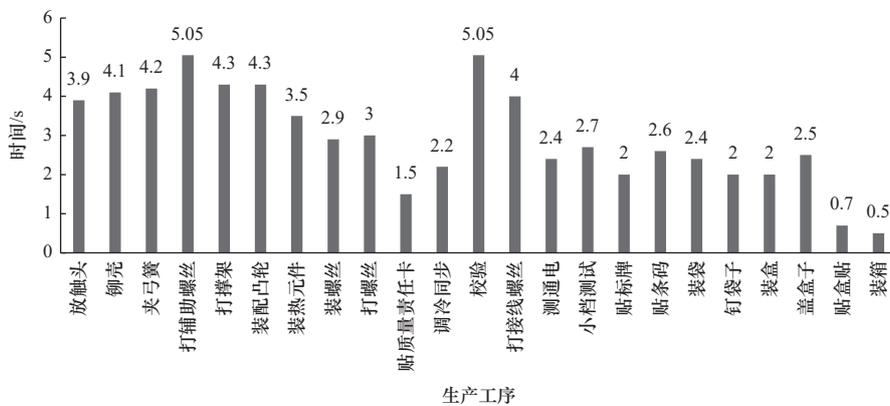


图 10 产品工序平衡图

本文运用鱼骨图和 5M1E 确认生产过程中影响较大的原因，如图 11 所示，并对每个原因进行分

析，确认其需要改善的内容、改善所使用的方法以及改善后的标准，由此确认最主要的原因。

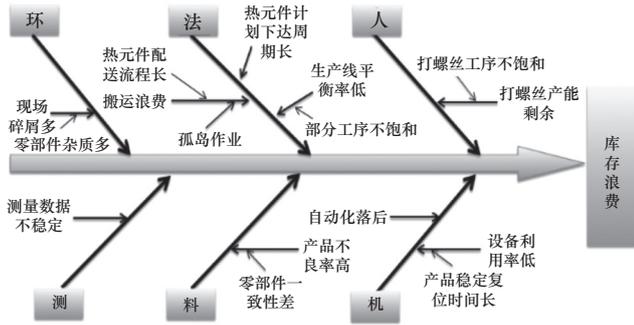


图 11 鱼骨图

环境方面，根据确认标准合格零部件，经过检验零部件，确认零部件质量时，发现现场碎屑多、零部件杂质多，导致工人生产效率低，也造成了库存浪费。

工艺方法方面，调查现有的计划流程时间，根据流程图，发现热元件供应流程长，而且在绘制现有的布局图时，孤岛作业多，导致了搬运浪费。在调查现有配送流程图时，发现热元件计划下达周期长。在工序平衡图中，发现工序并没有均匀分布，导致部分工序不饱和，由于部分工序不饱和也导致了生产线平衡率低。

人为因素方面，通过标准生产方案，对比包装校验小时产能、确认人员数量时发现，打螺丝岗位人员配置不合理，从而打螺丝工序不饱和，这也导致打螺丝产量剩余。

测量方面，在统计测量数据时，发现统计表格中测量数据不稳定，造成生产需求不及时、不准确，这也导致生产的产品存放在仓库里长时间得不到销售，造成库存浪费，需要为存储、管理和保险等付出额外的费用。

物料方面，零部件在检验过程中发现合格零件率比较低，零部件一致性差和产品不良率较高。一旦发现这些问题，一般应直接暂停生产，避免不良品的增多。然而这同时也会导致工序不饱和，造成零部件积压在仓库里。

机械方面，通过现场调查发现，产品稳定复位时间长、设备利用率低以及工厂自动化落后，直接导致成本增加。为了弥补生产成本的增加，企业可能会调高产品或服务的价格，可能会使企业失去市场竞争力。这也可能间接造成库存积压，导致库存浪费。

经过鱼骨图分析，接下来找出产生问题的主要原因，并对每个原因进行分析，确认其需要改善的内容、改善所使用的方法以及改善后的标准，由此确认最终最主要的原因见表 2。

表 2 要因确认

序号	确认项目	确认内容	确认方法	确认标准	确认结果
1	打螺丝岗位人员配置不合理	人员数量	对比包装校验小时产能	标准生产方案	—
2	部分工序不饱和	工序平衡率	平衡图	工序均匀分布	要因
3	校验恒温要求	工艺要求	查看工艺卡片	工艺卡片	—
4	热元件计划下达周期长	配送流程	调查现有配送流程	流程图	—
5	热元件供应流程长	计划下达流程	调查现有计划流程	流程图	要因
6	孤岛作业多	生产布局	绘制现有布局图	布局图	要因
7	零部件一致性差	零部件	检验员检验	合格零件	—
8	产品稳定复位时间长	复位时间	查看工艺卡片并测算时间	工艺卡片	—
9	测量数据不稳定	测量数据	统计测量数据	统计表格	—
10	零部件杂质多	零部件质量	检验零部件	合格零部件	—

2 ZD 公司 X 系列产品生产流程优化方案

2.1 优化原则

生产流程优化是企业提高核心竞争力的重要手段，根据前文对 X 系列产品生产流程现状的分析以及发现的问题，现亟需对生产流程进行合理化、科学化的改善。结合 ZD 公司整体状况以及公司 X 系列产品生产流程现状，生产流程优化设计应该遵循以下原则。首先遵循短流水线原则，根据车间的实际情况使流水线尽量短；其次，避免孤岛作业，否则肯定会存在库存、搬运浪费，要以整体为目标，方案要是全局最优；最后，流程不要逆行，避免回流、路线交叉。

2.2 优化内容

(1) 供应链改善

JIT 采购又称为准时化采购，基本思想为将合适的产品以合适的数量和价格，在合适的时间里送到合适的地点。针对要因分析中热元件供应流程长的问题，与零部件制造部开展合作，以 JIT 采购的模式，降低零部件的库存，取消重复入库等浪费环节。改善后采购流程如图 12 所示。

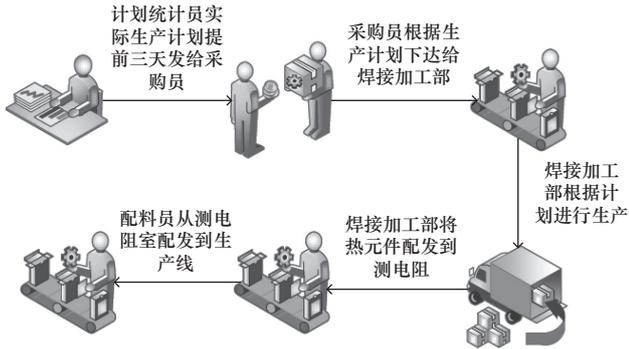


图 12 改善后供应链流程

(2) 物流改善

经过 JIT 采购改善后，供应链取消重复入库的环节，因此在物流路线上也有相应的改善，大大减少了搬运距离。改善后热元件配送距离由 280 m 减少至 30 m，消除了搬运回流，降低了搬运浪费。改善后的物流路线如图 13 所示。通过物流改善的实施，X 系列产品零部件库存金额改善效果显著，改善后 PQ 分析如图 14 所示，改善前后对比见表 3。

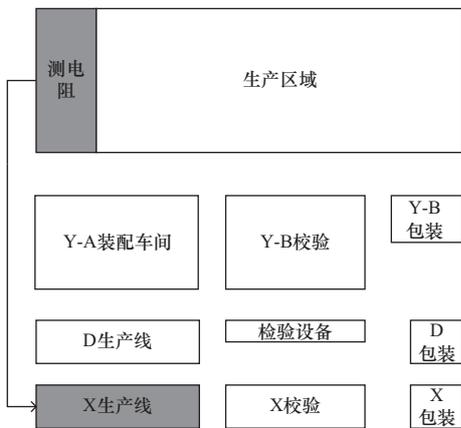


图 13 改善后物流路线

(3) 连续流改善

在精益改善中，“连续流”是指按照工艺流程，将不同设备排列在一起，使得产品生产过程中没有

等待。针对要因确认中的孤岛作业问题，有装配-校验-打螺丝-包装。本文以“5whys”的方式展开提问，以确定可行方案。

表 3 改善前后 PQ 分析结果对比

万元

部件名称	改善前金额	改善后金额
双金属	18.39	3.21
热元件	18.04	3.03
螺丝	3.03	2.08
触头	2.50	1.49
撑架	1.81	0.86
导板	0.42	0.42
弓形弹簧	0.39	0.39
凸轮	0.26	0.24
顶板	0.07	0.07

①装配-校验。是否可以取消孤岛？暂不能取消。why1：为什么不能取消校验的孤岛式作业？why2：为什么不能缩短校验、装配之间的 CT 差？why3：为什么不能增加设备数量？为什么不能缩短装配、校验之间物流距离？可行方向：缩短装配、校验之间的物流距离。

②校验-拧螺丝。是否可以取消孤岛？暂不能取消。why1：为什么不能取消孤岛作业？why2：能否取消校验后工序的等待和暂存？why3：为什么不能减少检验批量？为什么不能缩短校验、拧螺丝的距离？可行方向：缩短校验、拧螺丝之间的距离。

③拧螺丝-包装。是否可以取消孤岛？可以取消。可行方向：取消孤岛，形成连续流。

根据以上“5whys”分析法确定的项目改善方向如下：

①缩短装配、校验的运输距离，减少孤岛作业产生的库存积压。对 X-1 和 X-2 产品的装配与校验作业布局进行调整改善后布局如图 15 所示。

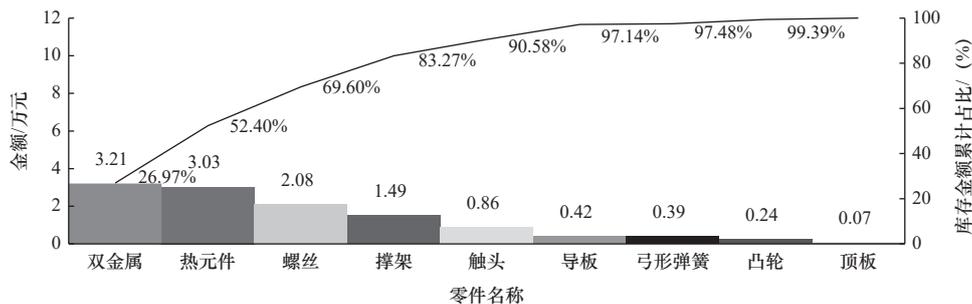


图 14 改善后 PQ 分析

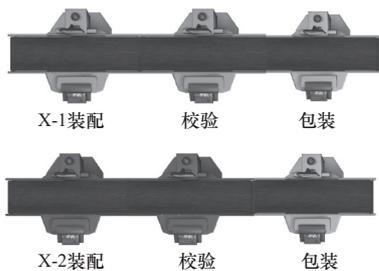


图 15 改善后布局

②缩短校验、拧螺丝之间的运输距离，减少库存积压。对 X-1 和 X-2 拧螺丝、包装作业分组，改善后布局如图 15 所示。

③取消拧螺丝、包装之间的孤岛作业。首先为了提高作业效率，精简人力，引入自动拧组合螺丝设备。自动化生产可以对现场生产状况实时监控、数据目视管理，自动检测并剔除不良品，并且传送带连接上下道工序，形成连续流。接下来根据市场节拍时间对 X-1 和 X-2 产品包装作业重组。X-1 产品市场 $TT=10.6\text{ s}$ ，重组流程如图 16 所示；X-2 产品市场 $TT=5.1\text{ s}$ ，重组流程如图 17 所示。

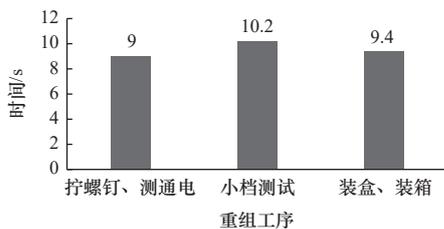


图 16 X-1 重组流程

(4) 流程平衡改善

生产线平衡中的“平衡”，主要是通过应用工序分析研究出生产线平衡率，通过对生产线的现状情况进行梳理，达到各个工序的加工时间一致，消除等待浪费，减少因中间过程丢失所带来的经济损失，从而达到生产线各个工序作业顺畅的目的。ECRS 原则，即取消 (eliminate)、合并 (combine)、

调整顺序 (rearrange)、简化 (simplify)，主要对生产工序进行优化，减少不必要的时间浪费，提高生产线平衡率和生产效率。针对要因分析中部分工序不饱和的问题，在 X-2 产品的流程平衡，以市场需求 $TT=5.1\text{ s}$ 进行工序重组，提高生产线的平衡率。重组的工序如图 18 所示。

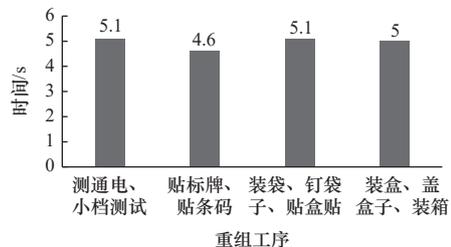


图 17 X-2 重组流程

(1) 取消。引入了自动打螺丝组合设备，取消人工打螺丝，提高效率。

(2) 合并。将调试中的贴质量责任卡与调冷同步两个步骤分开，分别合并到装热元件和装螺丝。

(3) 调整顺序。将最后的包装的八个步骤，重新调整顺序，并合并成两道工序。

再根据如下公式：

$$\text{平衡率} = \frac{\text{工序时间总和}}{\text{工位数} \times \text{瓶颈工序时间}} \times 100\% \quad (3)$$

得出改善后的平衡率由改善前的 58.4% 提高到 84.5%。

2.3 优化效果

经过一系列的优化后，通过 JIT 采购改善消除了装配前的库存浪费，通过连续流改善一定程度上的减少了装配—校验工段以及校验至打螺丝工段之间的库存浪费和搬运浪费，通过流程平衡改善，提高了生产线平衡率，在此，经过再一次的价值流分析，包括改善后的生产流程和信息流，由于 JIT 采购的改善，减少了零部件仓库，然后各工序的平衡率增加，如图 19 所示，有效时间从原来的 157 s 缩短到 127 s，工作周期从原来的 74 h 缩短到 24.5 h，

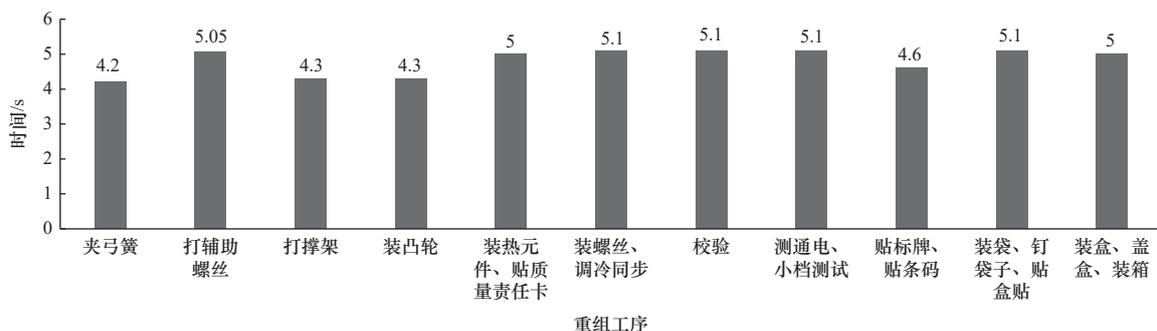


图 18 工序重组图

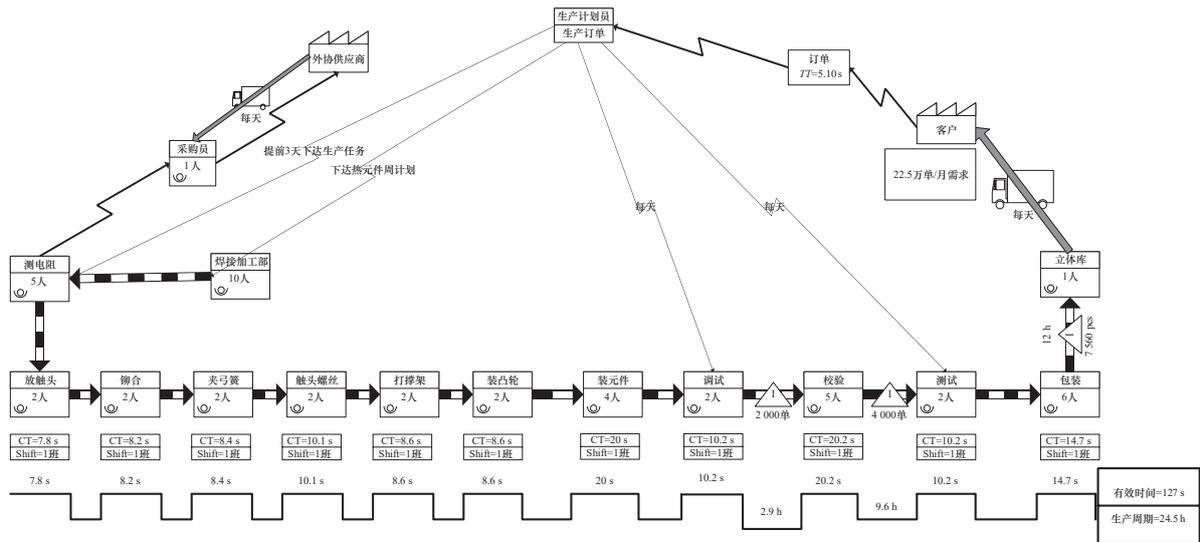


图 19 未来价值流图

根据如下公式：

$$\text{增值比} = \frac{\text{有效加工时间}}{\text{生产周期}} \times 100\% \quad (4)$$

得出其增值比提升了 2.3 倍，也达到了改善目标。改善效果见表 4。改善后人员数量从原来的 61 人变成 55 人，精简了 6 人；场地面积从原来的 671 m² 减少到 611 m²；产线平衡率从 58.4% 提高到 84.5%；热元件库存磨面机从原来的 36.3 m² 减少 88.9%；热

表 4 改善效果

改善指标	现值	目标值	备注
抽样合格率 / (%)	94.97	95.50	提高 0.56%
产线平衡 / (%)	58.4	84.5	提高 26.1%
热元件库存金额 / 万元	60	15	减少 75%
人均时产能 (UPPH)	170	300	提高 76.5%
人员数量	61	55	减少 9.8%
库存场地 / m ²	35.3	4	减少 89%

元件库存金额也从 402 733.8 元减少到 367 000 元；搬运距离从 333.7 m 减小到 60 m。

2.4 优化保障

一次改善并不是结束，优化改善工作应该持续化、经常化，以达到更高的效益，创造更多的价值，标准化也是为了以后的改善工作做好准备。标准作业表和工序能力表分别见表 5 和表 6。

3 结语

本文针对 ZD 公司 X 系列产品，以价值流为主线，绘制现状价值流图识别出生产流程中的浪费，根据精益管理和工业工程的方法工具提出优化方案，最后绘制出未来价值流图，运用标准化的方式来保障优化方案的实施，最终将 X 系列产品生产流程的有效时间从原来的 157 s 缩短到 127 s，工作周期从原来的 74 h 缩短到 24.5 h，增值比提升了 2.3 倍，抽样合格率提高 0.56%，产线平衡率提高了 26.1%，

表 5 标准作业表

审核	标准作业表	料号	X	作业内容	起始	上下辅助装配	部门	制作人	
		品名	X-2		终结	包装		生产	陶玉
		制程	总装						
		品质检查	◇	安全标志	+	标准手持	●	标准手持数	80
		C/T	—	TT	5 s				

表6 工序能力表(作业要素层级)

审核	工序能力表(作业要素层级)				产品	X		规定工作时间	600		部门	制作者人				
					品名	X-2		每班需求数量	8000只/班		生产运营					
工序 顺序	工序 名称	单元 顺序	作业 要素	机器 编号	基本时间			外来动作时间				加工能力 (4040)	备注			
					手工		自动		完成		更换 个数			动作时间		单个时间
					分	秒	分	秒	分	秒				分	秒	
1	放触头	1	取基座		2			2				5195	人机独立 作业			
		2	装上辅助触头		2			2								
		3	装下辅助触头		2			2								
		4	放入传输带, 设备作业		0.3			0.3								
2	铆合	1	基座翻转90°		0.5			0.5				4143				
		2	接线座装入基座		2.3			2.3								
		3	基座翻转9CT		0.3			0.3								
		4	放入螺丝		1.8			1.8								
		5	拧紧接线座螺丝		2.8			2.8								
		6	移动至下工序		0.2			0.2								
3	夹弓簧	1	基座翻转180°		0.7			0.7				4040				
		2	接线座装入基座		2.3			2.3								
		3	基座翻转9CT		0.3			0.3								
		4	放入螺丝		1.8			1.8								
		5	拧紧接线座螺丝		2.8			2.8								
		6	移动至下工序		0.2			0.2								
4	打撑架	1	拿取产品		1.2			1.2				5643				
		2	衔铁、片簧装配		4			4								
		3	反力弹簧装配		0.8			0.8								
		4	产品翻转18CT		0.4			0.4								
		5	移动至下工序		0.4			0.4								
5	装凸轮	1	拿取产品		0.2			0.2				5643				
		2	接触桥装配		2.8			2.8								
		3	弹簧座装配		2.5			2.5								
		4	移动至下工序		0.3			0.3								
6	装元件	1	拿取产品		0.2			0.2				5742	人机独立 作业			
		2	弹簧装配		2.5			2.5								
		3	触头支持盖装配		2			2								
		4	放入传送带, 设备作业		1			1								

热元件库存金额减少了75%，UPPH提高了76.5%，人员数量减少了9.8%，库存产地减少了89%，实现了精益改善。利用价值流分析找出企业的浪费，

对相关制造类企业实施精益生产提供了思路。未来将价值流分析与仿真^[16]以及数学模型结合进行量化研究。

参 考 文 献

- [1] 王玺, 梅清晨, 贾禄冰. 价值流分析在连接器装配中的精益改善应用[J]. 制造技术与机床, 2022(4): 154-158.
- [2] 张方哲, 贾纯洁. 基于价值流的飞机蒙皮族零件生产精益改善[J]. 工业工程, 2019, 22(6): 110-117.
- [3] Rohani J M, Zahraee S M. Production line analysis via value stream mapping: a lean manufacturing process of color industry[J]. Procedia Manufacturing, 2015, 2: 6-10.
- [4] 李梓默. 基于精益价值流图的K公司手机后壳生产线优化研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2020.
- [5] 王秀红, 王梦飞, 索晶, 等. 汽车底盘生产线价值流图分析及改善方案[J]. 工业工程, 2018, 21(1): 67-72.
- [6] 熊宗慧, 胡平平, 曹东升, 等. 基于价值流图的农机生产流程优化[J]. 中国工程机械学报, 2023, 21(5): 482-486, 502.
- [7] 梁圣明. 基于价值流图分析的G公司生产线产能提升研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2022.
- [8] 宋庭新, 童一鸣, 李西兴. 基于价值流图技术的传动轴装配流程优化[J]. 计算机集成制造系统, 2020, 26(9): 2463-2473.
- [9] 黄夏宝, 龚丽云, 杨立熙. 基于价值流图的车载面板车间优化[J]. 现代制造工程, 2021, 44(2): 8-15.
- [10] Zhu J H. Research on improvement of vacuum pump production system based on value stream analysis[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2022, 2256(4): 12-39.
- [11] 邵振华, 叶珊, 周春柳, 等. 基于价值流的转向架维修流程精益改善[J]. 现代制造工程, 2022, 45(9): 113-122, 153.
- [12] 刘德尧. 基于精益生产思想的M公司生产管理改进研究[D]. 吉林: 吉林大学, 2022.
- [13] 郭洪飞, 陈敏诗, 张瑜, 等. 基于价值流图及仿真技术的驾驶室焊装生产线改善[J]. 计算机集成制造系统, 2020, 26(4): 920-929.
- [14] Shaban A, Ayad G, Ahmed S G N. Integration of simulation modelling and lean management to improve patient flow at outpatient clinics[J]. International Journal of Productivity and Quality Management, 2022, 36(3): 439-458.
- [15] Acero R, Torralba M, Pérez-Moya R, et al. Order processing improvement in military logistics by Value Stream Analysis lean methodology[J]. Procedia Manufacturing, 2019, 5(41): 74-81.
- [16] 常艳茹, 徐志刚, 董舒豪, 等. 基于价值流图析技术的减法器装配流程优化[J]. 制造技术与机床, 2019(6): 164-169.

第一作者: 周春柳, 女, 1989年生, 博士, 讲师, 主要研究方向为生产计划与控制、精益生产等, 已发表论文十余篇。E-mail: clzhou@ahut.edu.cn

通信作者: 姚威, 男, 2001年生, 硕士研究生, 主要研究方向为生产计划与控制、精益改善等。E-mail: 15249891021@163.com

(编辑 曲书瑶)

(收修改稿日期: 2024-01-22)

文章编号: 20240930

如果您想发表对本文的看法, 请将文章编号填入读者意见调查表中的相应位置。

论文推荐

王君, 杨博, 任前程, 等. FDM-3D打印熔体挤出速度关键因素分析[J]. 制造技术与机床, 2022(6): 25-30.



扫码获取全文

FDM-3D打印熔体挤出速度关键因素分析

王君 杨博 任前程 姜荣俊

湖北工业大学机械工程学院

摘要 针对FDM成型过程中熔体挤出速度与喷头扫描速度不成配比而引起的喷嘴堵料、模型拉丝现象, 采用正交试验方法并结合ANSYS Fluent软件, 对喷头内的流道结构参数及不同打印参数条件下进行仿真计算, 并对正交试验结果进行极差分析与单因素试验结果分析。结果表明: 影响熔体挤出速度最大因素是送丝速度, 其次是喷嘴内径, 最小是收敛角、出口段长度和打印温度, 并提出了送丝速度60 mm/s, 喷嘴内径0.4 mm, 打印温度210℃, 出料段长度L=1.5 mm, 收敛角150°为最优工艺方案。最后建立了熔体挤出速度与影响因素之间的指数预测模型并验证了模型准确性。

关键词 熔体挤出速度; 正交试验; Fluent仿真; 指数预测模型