

doi:10.16018/j.cnki.cn32-1650/n.201803008

基于单件流的叶轮轮毂及柜体精益生产研究

葛常吉,马如宏,董晓慧,李爱华

(盐城工学院 机械工程学院,江苏 盐城 224002)

摘要:针对 JF 公司 2.5 MW 风电机组的叶轮轮毂及柜体生产中存在物料交接慢,备料过程串行,装配、检验、收尾 以及包装过程交叉驱动,生产过程节拍不统一,人员操作过程中存在瓶颈工序等问题,基于精益生产的思想,综合运用流程程序分析、价值流图析等工业工程相关方法和工具,通过重组班组作业、修改员工作业流程、细化员工工作任务、对产线员工进行人员培训等,使叶轮轮毂及柜体的作业步骤由原来的 16 个缩减到 8 个,作业周期由原来的 13 h 缩减到 8.5 h,加班时间由原来的 4 h 缩减为不加班或只加班 0.5 h,生产平衡率由 48.24% 提升至 64.04% ,解决了生产过程中价值流现状图存在的效率低下的问题。

关键词:精益生产;单件流;生产周期;价值流

中图分类号:TH186 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5322(2018)03-0040-08

精益生产是通过系统结构、人员组织、运行方式和市场供求等方面的变革,使生产系统快速适应用户需求的不断变化,让生产过程中一切无用、多余的东西都要被精简,最终使产品的生产过程和供销过程达到最优的一种生产经营管理方式。精益生产有利于企业改善经营状况、减少浪费、提高生产效率,其核心思想是消除一切浪费,并以最优品质、最低成本、最高效率对市场需求作出最迅速的响应。依据哈佛大学迈克尔·波特教授的“价值链理论”,企业所创造的价值并不是来自于企业价值活动中的每一个环节,而是来自企业价值链上某些特定的价值活动。不同企业之间的竞争是企业综合价值链之间的竞争,而不是某个环节的竞争。单件流是精益价值链的高效管理模式,是一种以市场为导向的精益生产系统,其本质是价值的连续流动^[1]。

本文以 JF 公司 2.5 MW 风电机组的叶轮轮毂及柜体制造过程为研究对象,引入单件流生产模式^[2],使用价值流图分析手段^[3],对从原材料备料向成品转移的一整套过程进行分析,找出整个生产过程中存在的信息流和物料流,以及生产过程中存在的非增值活动,综合运用精益生产、工

业工程的方法和工具,研究分析生产备料过程、产品生产节拍的控制、生产工序优化、员工标准化、作业员工内部培训等方面,对 JF 公司 2.5 MW 风电机组的叶轮轮毂及柜体的单件流生产进行改善并实施,以便提高企业生产效率与市场占有率,增强企业竞争力。

1 JF 公司叶轮轮毂及柜体生产现状分析

JF 公司 2.5 MW 风电机组加工过程的制造中心计划与控制的模型如图 1 所示。由图 1 可以看出,公司在信息流和实物流运行过程中存在如下几个问题:(1)公司组织分工较细,管理链层长,部门之间缺少有效的协作;(2)如果有需要跨部门合作的项目,推行起来会比较困难;(3)在实物流生产过程中一旦某个环节出现问题将会导致后续的环节交接不上,从而影响整个主计划的推行,甚至影响交货周期,造成企业信誉损失。

根据精益生产思想,通过绘制 JF 公司产品的整个生产控制图,对其整体的实物流进行详细的研究,有针对性地对指定的生产过程进行深层次的优化。

收稿日期:2018-07-10
作者简介:葛常吉(1996—),男,河南商丘人,主要研究方向为生产计划与控制、精益生产。
通讯作者:马如宏(1965—),男,江苏建湖人,教授,硕士,主要研究方向为机电一体化及人机工程。

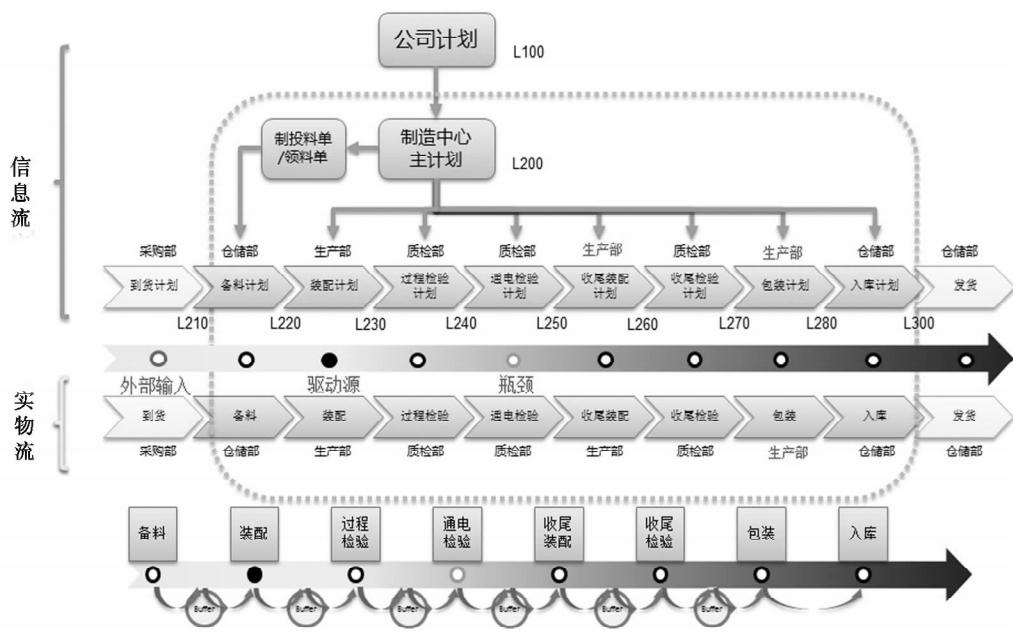


图 1 制造中心计划与控制的模型图

Fig. 1 Model diagram of manufacturing center planning and control

1.1 产品生产工序分析

JF 公司 2.5 MW 风电机组的叶轮轮毂和柜体的装配生产过程共配有 9 名员工,其中轴承班组 6 人,柜体班组 3 人,交叉作业。这两大装配工作又细分为一级操作单元和二级操作单元,表 1 为各个工序具体操作时间和人力安排。由表 1 可知,这种工序安排明显不够紧密,其交叉作业会使员工的工作出现空挡,作业节拍较低,无法形成员工的协同作业,在整个生产过程中存在较多的等待时间,不符合精益生产的要求,需要改善。

表 1 轮毂及柜体工序时间及人员安排表
Table 1 Table of process time and personnel arrangement of wheel hub and cabinet

模块	一级模块 单元	测时	二级模块 单元	测时	人员 数量
轮毂	准备工作	-	台车清理	55'10	2
			螺栓准备	29'30	3
	轴承安装	-	轮毂固定	60'	1
柜体	柜体安装准备	-	轴承准备	24'7	2
			轴承附件安装	38'55	1
	变桨柜支架	-	轴承安装	71'48	2
			轴承力矩	67'21	3
	变桨柜安装	-	清理变桨柜	96'01	2
			连接螺套, 长短板	20'14	2
	传感器桥架	-	安装	40'1	2
			柜体桥架	99'07	2

通过对叶轮轮毂和柜体的工序分析,需要进一步计算各工位的平衡损失率,并通过比较平衡损失率衡量这个生产工序的优劣^[4]。

生产平衡率的计算公式如下:

生产线平衡率 = $\frac{\text{各工序的有效工作时间总和}}{\text{工位数} \times C_T} \times 100\%$

其中: C_T 为瓶颈工序时间, h。

生产线的平衡损失率计算公式如下:

生产线平衡损失率 = $\frac{\text{各工序损失的时间总和}}{\text{工位数} \times C_T} \times 100\% =$

$1 - \text{生产线平衡率}$

现以 JF 公司 2.5 MW 风电机组的叶轮轮毂轴承的安装工段为例。根据对现场各工位的观察研究,再与公司的标准工时对比,得出如图 2 所示的轮毂轴承安装工序工程图。

从图 2 可以看出,整个轮毂轴承安装过程中,轴承力矩和轴承防腐这两道工序是耗时最多的,也是最有可能出现瓶颈工序的地方。轮毂轴承安装的有效工作时间总和为 37.63 h (这里以标准工时代替),瓶颈工序时间为 3 h,总的工位数为 26,从而得出该工段的平衡率及平衡损失率。

生产线平衡率 = $\frac{37.63}{26 \times 3} \times 100\% = 48.24\%$

平衡损失率 = $1 - \text{平衡率} = 51.76\%$

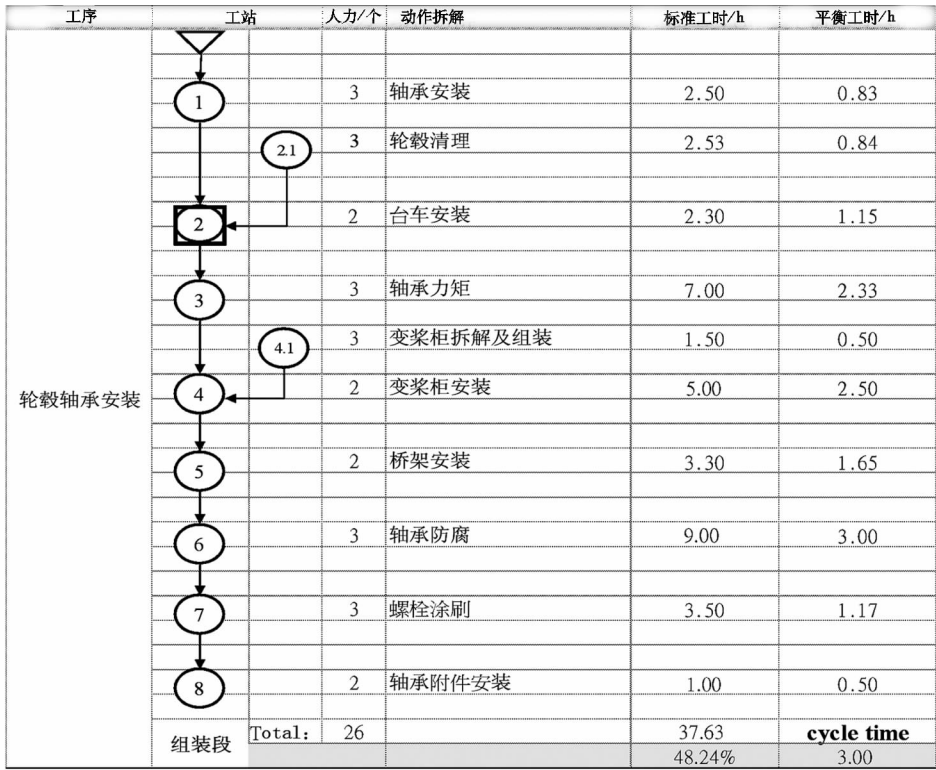


图 2 轮毂轴承安装工序工程图
Fig. 2 Wheel bearing installation process drawing

1.2 生产作业流程分析

图 3 为 JF 公司叶轮及轮毂生产工艺流程图。由图 3 可知,整个工艺装配过程分为 6 个部门,38 个步骤,涉及 3 个二级部门,分别是仓储部门、装配部门和质检部门,具体的步骤包括轮毂安装、变桨轴承安装、变桨柜安装、变桨驱动总成实验、电气接线和电气实验。在这一系列的安装过程中存在大量的串行,延长了生产周期,导致在制品积压,影响整个生产线的单件流移动,增加库存压力,从而与精益生产中所一直追求的零库存相违背。

1.3 整体价值流图分析

在整个装配过程中,依据精益生产的四大原则可以知道企业内部产生的价值流有两种表现形式:第一种为物流,指的是产品在装配流程中的流动方向;第二种为信息流,主要包括生产厂家与客户的订单信息、生产厂家与供应商的采购信息、企业内部的装配计划信息等。

通常企业价值流有两种传递方式:分别是电子形式如电子邮件,纸质形式如打印成纸质的订单、采购单、生产计划表等。根据前面对 JF 公司 2.5 MW 风电机组叶轮轮毂及柜体的生产工序分析、作业班组分析、装配工艺流程图和程序分析,

绘制了该公司叶轮轮毂及柜体的现状价值流程图,如图 4 所示。

图 4 中,JF 公司(大丰)的物流是从左至右流动,公司与客户、供应商间的信息流主要采用电子邮件的方式传递,而内部的生产计划信息则采用电子邮件与纸质的计划表相结合的方式传递。

由图 4 可以看出,在整个叶轮轮毂及柜体的生产制造过程中主要存在以下几个问题:

- (1)产品生产周期长。从公司下发制造主计划到备料、再到成品配送的整个过程为串行式结构,增长了产品的生产周期。
- (2)在装配过程中,存在瓶颈工序,使物料交接缓慢、在制品的等待时间延长。
- (3)装配过程采用固定工站、内部物流推式系统,方式落后、影响生产效率。

2 叶轮轮毂及柜体的解决方案设计与评价

根据对 JF 公司 2.5 MW 风电机组的现场问题描述及问题分析,提出几个方面的改进建议:

- (1)实行单件流式生产,降低生产周期,使生产周期达到 3.8 台/h。
- (2)优化员工班组作业,达到一个作业周期 5 个班组。

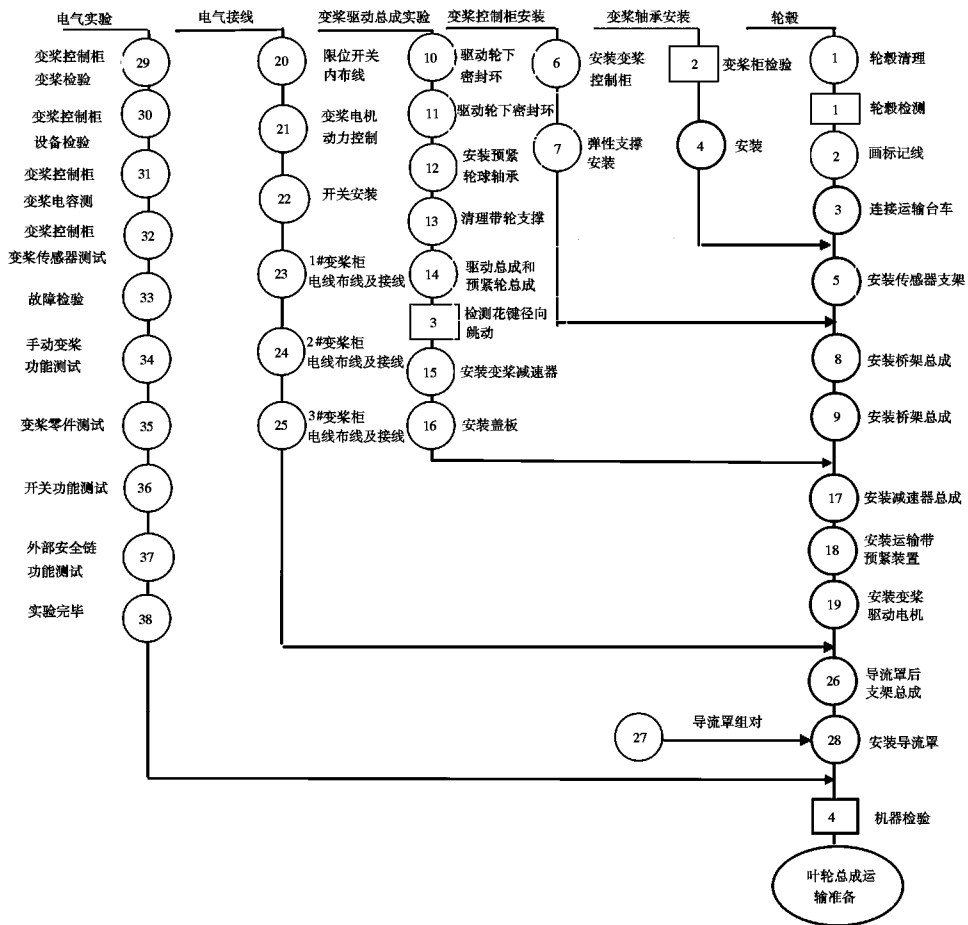


图 3 叶轮及轮毂生产工艺流程图
Fig.3 Process flow chart of impeller and hub

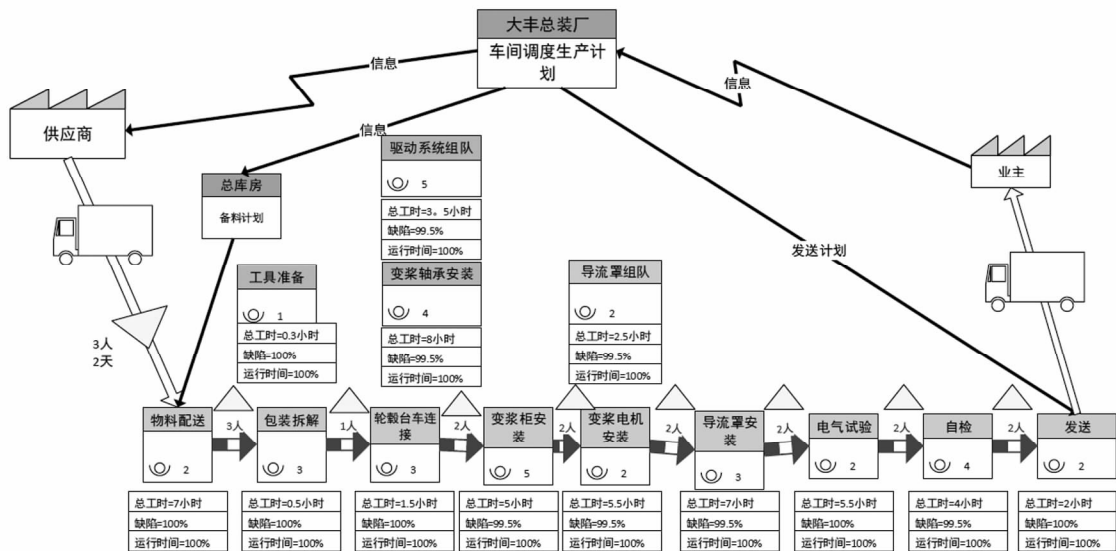


图 4 JF 公司叶轮轮毂及柜体生产现状价值流分析
Fig.4 Value stream analysis of the production status of impeller hub and cabinet production in JF company

(3) 将内部物流推动式生产改为内部物流拉动式生产^[5],控制投料批量使生产节拍变为 4 h/台。

(4) 对员工进行内部培训,提升员工参与改善的积极性,使员工在公司推行改善方案时起到决策或辅助决策的作用,而不是机械地执行上级命令。

根据前面的几点建议,制定能够实现这些建

议的方案。

2.1 生产组织方式的改善

叶轮的整个制作过程包括轮毂的装配与柜体的装配两部分,其中轮毂的装配包含变桨轴承安装、轴承预紧、轴承力矩、轴承清理、轴承防松防腐 5 道工序,柜体的装配包含变桨柜拆卸、变桨柜安装、变桨柜力矩防腐 3 道工序。在叶轮的整个制作过程中,通常采用轮毂和柜体串行装配,即在变桨轴承组完成轮毂的装配后再交付给柜体组进行相关的装配工作。改善前的作业安排如图 5 所示。

为了改善这种效率不高的叶轮生产方式,采用 ECRS 方法对生产线上的班组任务分工进行了调整,使人员的分配更加均衡合理。调整后的新方案维持原有的班组员工 9 人不变,而将变桨轴

承组与柜体组业务进行合并重排,将以前的串行工序改为并行工序^[6]。调整后的班组分工如图 6 所示。

2.2 生产组织方式的优化效果

从图 5 各班组的任务分工可以看出,改善前的装配过程为单一的串行生产结构,只有在上一工组生产完成后,才进入下一道工序,造成了人员使用上的浪费。改善后,将原来分开进行的变桨轴承组和柜体组的作业合并(图 6),优化了班组人员的作业安排,使得轴承预紧人员在完成当天的轴承预紧工作后可以将第二天的预紧工作提前进行,让第二天的轴承力矩作业人员可以直接工作,从而减少了作业等待时间,缩短了产品的生产周期,同时还消除了人工使用上的浪费,提升了生产效率。

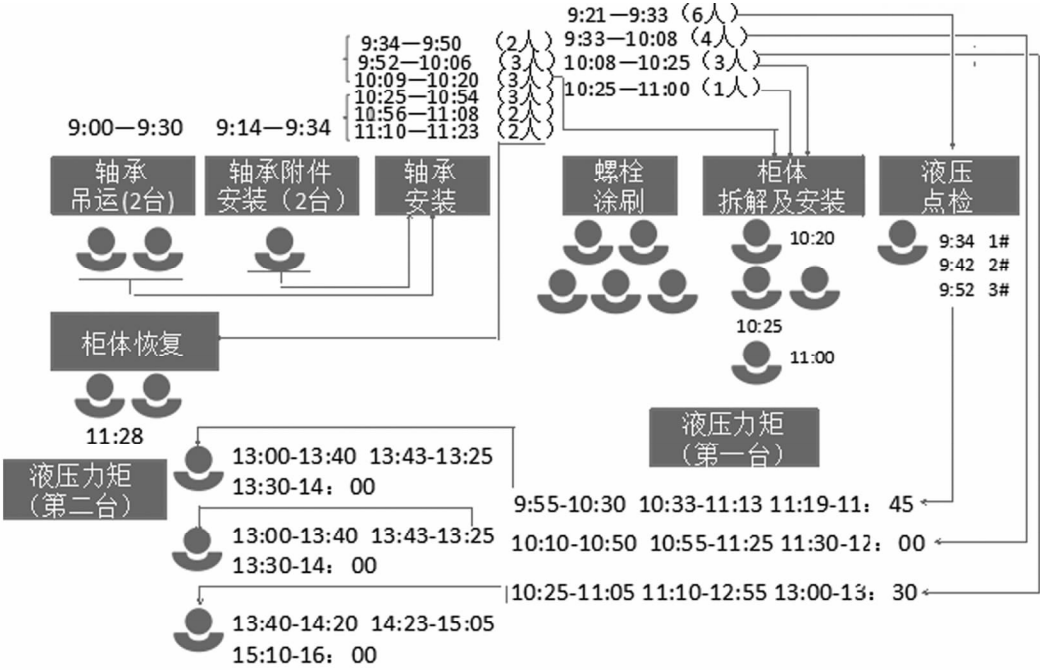


图 5 作业安排详细图

Fig. 5 Detailed chart of the operation arrangement

实例证明,经过改善后的轴承预紧工作时间减少了 55.10 s,具有很明显的改善效果。

2.3 作业流程的优化效果

改善前后的叶轮生产流程对比如图 7 所示,轮毂生产平衡率改善效果见图 8。由图 7 可知,改善后的生产流程更加简洁,作业步骤由原来的 16 个缩减到 8 个,消除了库存的浪费,缩短了等待时间,减少了搬运距离,与期望实现的单件流生产目标相一致。

由图 7 还可以看出:通过重组班组作业、修改

员工作业流程、细化员工工作任务、对产线员工进行人员培训等,叶轮轮毂及柜体的作业周期有了明显的缩短,作业周期由原来的 13 h 缩减到 8.8 h,降低了 32.3%;加班时间由原来的 4 h 缩减为不加班或只加班 0.5 h,至少缩减 3.5 h。由图 8 可知,改善后轮毂生产平衡率也得到了提升,生产平衡率由 48.24% 提升至 64.04% (图 8 中,改善后轮毂生产标准工时总和为 21.90 h,瓶颈工序时间为 1.8 h,总工位数 19),说明该改善方案是可行且有效的,能够解决生产过程中价值流

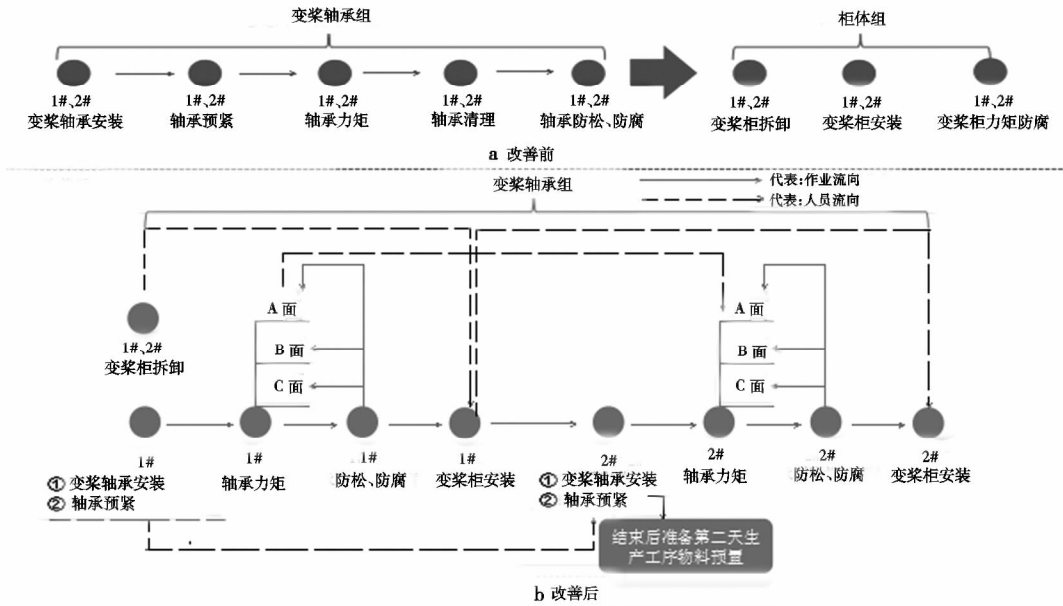


图 6 班组分工改善图

Fig.6 Improvement chart of team division

主 题	叶轮单件流作业优化	效 果	操作○	检验□	等待D	搬运→	储存▽	工程总数	人数	工时/h	距离/m	工具
		现行方法	9	0	3	1	3	16	20	13	9	0
		改善方法	7	0	0	1	0	8	17	8.8	4.5	0
地 点		节 省	2	0	3	0	3	8	3	4.2	4.5	0
现 行 方 法												
步骤	操 作 ○	检 验 □	等 待 D	搬 运 →	储 存 ▽	工作说明		人数	工 时	距 离	工具	
1	●							2	0.1			
2				●		轴承搬运		1	0.1	4.5		
3	●					轴承附件安装		1	0.3			
4	●					轴承安装		2	2			
5	●					螺栓预紧		2	1			
6	●					螺栓力矩		1	3			
7	●					螺栓清理		1	0.5			
8		●				螺栓防腐		1	1.5			
9				●		螺栓防松		1	1			
10	●					变桨柜拆解		1	1			
11				●		变桨柜清理		1	0.2			
12		●				变桨柜搬运		1	0.1	4.5		
13	●					变桨柜安装		2	1			
14		●				变桨柜防腐		1	0.5			
15			●			变桨柜防松		1	0.2			
16	●					变桨柜恢复		1	0.5			
改 善 方 法												
步骤	操 作 ○	检 验 □	等 待 D	搬 运 →	储 存 ▽	工作说明		人数	工 时	距 离	工具	
1					●			2	0.2	4.5		
2	●					附件安装、变桨柜拆解		1	1			
3	●					A、B、C面轴承安装、螺栓预紧		2	0.6			
4	●					A、B、C面轴承力矩		3	2			
5	●					变桨柜安装		2	1			
6	●					变桨柜恢复、力矩		1	2			
7	●					轴承、变桨柜螺栓清理		3	0.5			
8	●					螺栓防腐、防松		3	1.5			
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												

图 7 叶轮轮毂及柜体生产作业流程改善前后对比表

Fig.7 Comparison table of impeller wheel hub and cabinet production operation process before and after improvement

现状图存在的问题。

改善后叶轮轮毂及柜体的整体价值流如图 9 所示^[7]。

3 总结

以 JF 公司 2.5 MW 风电机组的叶轮轮毂及柜体生产为研究对象,利用价值流图分析技术对

工站	人力	动作拆解	标准工时	平衡工时
1	3	变桨轴承安装(附件安装)	2.50	0.83
2	1	轮毂清理	1.00	1.00
2	2	台车安装	2.30	1.15
3	3	轴承力矩	5.40	1.80
4	1	变桨柜附件拆解、安装	1.20	1.20
4	2	变桨柜安装	1.50	0.75
5	1	变桨柜恢复、力矩	1.50	1.50
6	3	轴承、螺栓清理	1.50	0.50
7	3	螺栓防松、防腐	5.00	1.67
组装段	Total: 19		21.90	cycle time
	平衡率		64.04%	1.80

图 8 轮毂工序生产平衡率改善效果

Fig.8 Production efficiency improvement effect of the hub process

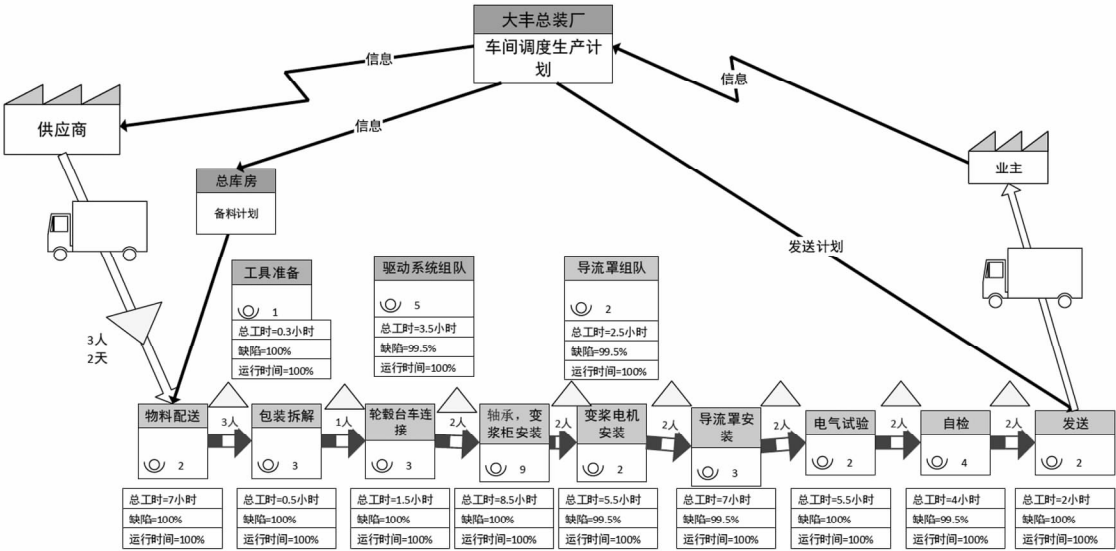


图 9 叶轮轮毂及柜体生产整体价值流未来图

Fig.9 Future map of overall value stream of impeller hub and cabinet production

其加工过程进行了详细的分析,识别出生产过程中主要存在物料交接慢,备料过程串行,装配、检验、收尾以及包装过程交叉驱动,生产过程节拍不统一,人员操作过程中存在瓶颈工序等问题。

针对以上问题,基于精益生产的思想,通过重组班组作业、修改员工作业流程、细化员工工作任

务、对产线员工进行人员培训等,使叶轮轮毂及柜体的作业步骤由原来的 16 个缩减到 8 个,作业周期由原来的 13 h 缩减到 8.8 h,加班时间由原来的 4 h 缩减为不加班或只加班 0.5 h,生产平衡率由 48.24% 提升至 64.04%,圆满地解决了生产过程中价值流现状图存在的效率低下的问题。

参考文献:

[1] 缪周,徐克林,李振飞. 基于价值流图的生产线再设计:案例研究[J]. 工业工程,2009,12(5):115-119.
[2] 薛良昌. 飞机总装脉动生产线及其信息管理系统的应用与研究[J]. 航空制造技术,2014(18):89-91.
[3] 田九雷,李云霞,李俨宏. 某车间价值流图析技术应用研究[J]. 科技创新与应用,2016(10):51-52.
[4] 吴雪冰,温艳. 企业生产线平衡分析研究[J]. 物流科技,2017(12):31-35.
[5] 杨国强. 机车电机及变压器拉动式生产研究[J]. 中国管理信息化,2016(2):67.
[6] 袁清和,聂鹏辉,贾顺,等. 基于均衡生产的煤矿主煤流运输系统关键工序效率优化[J]. 工业工程,2018,21(2):47-54.
[7] 周越,余建波. 基于价值流图的复杂电子产品生产线精益化研究[J]. 机械制造,2017,55(1):101-104.

Research on Lean Production of Impeller Hub and Cabinet Based on Single Piece Flow

GE Changji, MA Ruhong, DONG Xiaohui, LI Aihua

(School of Mechanical Engineering, Yancheng Institute of technology, Yancheng Jiangsu 224002, China)

Abstract:Comprehensive use of lean production ideas, this paper studies and analyzes the single – piece flow production of the impeller hub and cabinet of JF 2.5 MW wind turbine through the process program analysis, value flow diagram analysis and other industrial engineering related methods and tools. Reasonable improvement schemes are put forward for the control of production rhythm, optimization of production process, standardized operation and staff training. The research results show that this method can improve the production efficiency of enterprises and shorten the production cycle.

Keywords:Lean production; one piece flow; production cycle; Value stream (责任编辑:李华云)

(上接第 29 页)

[6] 王斌,陈辛波. 混合润滑状态下渐开线直齿轮啮合效率分析[J]. 同济大学学报(自然科学版),2014,42(12):1094-1911.
[7] 刘颖,彭雪鹏. 单级直齿圆柱齿轮减速器的可靠性优化设计[J]. 机械设计与制造,2006(4):11-13.
[8] WANG B, LU Z J, CHEN X B, et al. Modeling and Analysis of the Dynamic Efficiency of Manual Transmission/Reducer [J]. International Journal of Automotive Technology. 2015,16(3):417-426.
[9] JIANG T, LI L J, ZHOU R L, et al. The Discussion of Spur Gear Library System Based on UG/Open[C]//International Conference on Digital Manufacturing & Automation. IEEE Computer Society, 2011:1266-1269.

Optimization System Design of Single Stage Spur Gear Reducer

LING Jianhui¹, NING Bin^{2,3}, ZHANG Bingbing²

(1. Laboratory & Equipment Management Department, Yancheng Institute of Technology, Yancheng Jiangsu 224051, China;
2. School of Mechanical UG, Yancheng Institute of Technology, Yancheng Jiangsu 224051, China;
3. School of Mechanical Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang Jiangsu 212013, China)

Abstract:In order to improve the design quality and efficiency of reducer products, an optimization system based on single stage gear reducer is designed. Based on the theory of single stage gear reducer design, artificial intelligence and database technology, the system adopts the method of structural analysis, design and object oriented. The analysis and design of software system is carried out to ensure the development quality, reliability and practicability of the system. In order to prove the feasibility of the system, the spur gear reducer designed by this system is used as an example. The results show that the system is feasible.

Keywords:spur gear reducer; artificial intelligence; database (责任编辑:李华云)