

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2015.04.012

基于TOC与OEE的生产电子看板系统

周天宇¹, 鲍敏^{1,2*}, 章近达²

(1. 浙江理工大学 机械与自动控制学院, 浙江 杭州 310018;

2. 杭州名北拓科技有限公司, 浙江 杭州 310018)

摘要: 针对工厂生产管理中的产能约束与瓶颈问题,对生产瓶颈监测和生产流程改善等方面进行了研究,对TOC理论、OEE指标和电子看板三者结合开发生产电子看板系统的思路进行了归纳,提出了一种基于工业以太网现场采集及输出节点模块WAGO750-881的生产瓶颈挖掘和OEE损失分析的电子看板系统。利用新的瓶颈挖掘和生产流程改进方法在钻头生产企业中的生产线中的应用进行了效果测试。实验结果表明,钻头生产线的瓶颈工序为铣凹槽,在39.8%的OEE损失中由凹槽机待料所引起的占19.2%,所设计的电子看板系统可以提高企业的工作效率和流程改进效果。

关键词: TOC; OEE; 生产瓶颈; 电子看板

中图分类号: TH165.2 **文献标志码:** A

文章编号: 1001-4551(2015)04-0497-05

Electronic display board system based on the TOC theory and OEE

ZHOU Tian-yu¹, BAO Min^{1,2}, ZHANG Jin-da²

(1. Faculty of Mechanical Engineering & Automation, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China;

2. Hangzhou Minbeituo Technology Co., Ltd, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Aiming at the capacity constraint and bottleneck of factory production management, many issues were studied include monitoring of production bottlenecks and the improvement of production process. The idea of electronic display board system, based on TOC theory, OEE index and electronic display board, was summarized. The electronic display board system of mining production bottlenecks and the analysis of OEE loss was proposed based on two cores: field data collection with industrial Ethernet and output node module WAGO750-881. Feasibility of the theory was verified in actual factory experiment, it was found that the bottleneck procedure of drill production line was milling groove. The results indicate that among the 40% loss of OEE, the loss caused by groove machine's waiting for material occupied 19.2%, the design of electronic display board system can increase the efficiency of enterprises and the effect of process improvement.

Key words: theory of constrain(TOC); overall equipment effectiveness(OEE); production bottlenecks; electronic billboards

0 引 言

随着社会需求的个性化和多样化,生产计划与调度环节是离散制造型企业生产管理的核心,是整个企业管理最烦琐和最难管理的环节。现如今我国国内

生产加工企业的生产线管理存在着许许多多的问题(如机械设备产能不足),这些问题往往导致了生产过程中的诸多瓶颈,生产时间的浪费以及加工材料的不合理调度,压制了工厂企业的产能。

本研究以TOC理论与OEE为基础,以电子看板^[1]的形式为手段来实现生产瓶颈分析与改进,对生产管

收稿日期: 2014-11-14

作者简介: 周天宇(1990-),男,浙江金华人,主要从事OEE电子看板方面的研究. E-mail: 253585662@qq.com

通信联系人: 鲍敏,男,副教授,硕士生导师. E-mail: mbao@zstu.edu.cn

理中的瓶颈进行理论研究,探讨发掘与改进产能瓶颈的方法。TOC理论也称为约束理论,TOC的管理思想就是首先抓瓶颈,使最严重的制约因素凸现出来,找到制约整个系统绩效的瓶颈因素^[2]。OEE是一个衡量设备综合效率的指标,它用来表现实际的生产能力相对于理论产能的比率。电子看板以图形化的方式展示关键的生产信息,帮助企业管理人员及时作出调整和改进的措施。看板系统可使生产线的生产情况透明化,极大地降低了沟通的成本,用户可以实时地看到生产管理过程中的各项详细数据。

本研究结合 TOC 理论、OEE 以及电子看板得到一种系统化、定量化和实时性的方法,对生产瓶颈进行分析和改进。

1 生产瓶颈分析

1.1 TOC 理论

TOC 理论是以色列物理学家 Goldratt^[3]提出的。该理论认为,对于任何一个由多阶段构成的系统来讲,如果其中一个阶段的产生取决于前面一个或几个阶段产出的话,那么产出率最低的环节决定着整个的产出水平^[4-5]。也就是说一个链条的强度由它最薄弱的环节来决定。

瓶颈链条示意图如图 1 所示。

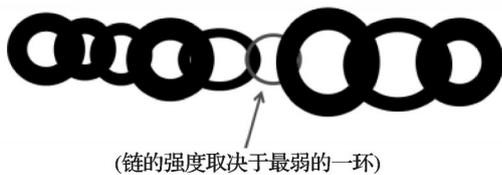


图 1 瓶颈链条示意图

在企业的整个经营业务流程中,任何一个阻碍企业去更大程度增加有效产出或减少库存和运行费的环节,就是一个“约束”,通常也称作“瓶颈”。TOC 的管理思想就是首先抓瓶颈,短期的效果是“抓大放小”,长期的效果是大问题、小问题都没忽略,从而使企业整体生产水平和管理水平日益提高。

1.2 OEE 及设备效率损失

OEE 是一个衡量设备综合效率的指标,它用来表现实际的生产能力相对于理论产能的比率。计算 OEE 的目的,并不仅是为了数值本身的高低,更多地是关注背后的真正含义^[6],旨在降低过程损失和成本,提高效率促进企业创造效益。国际上对 OEE 的定义为:OEE 是 overall equipment effectiveness (全局设备效率)的缩写,它由可用率(AE),表现性(PE)以及质量指数(RQ)3个关键要素组成^[7]。即:

$$OEE = AE \times PE \times RQ \tag{1}$$

其中:

$$AE = \frac{\text{开动时间}}{\text{负荷时间}} \tag{2}$$

展开可得:

$$AE = \frac{\text{负荷时间} - \text{故障停机时间} - \text{调整时间}}{\text{日历工作时间} - \text{计划停机时间}} \tag{3}$$

$$PE = \text{生产效率 (OE)} \times \text{速度效率 (RE)} \tag{4}$$

$$OE = \frac{\text{加工数量} \times \text{实际加工周期}}{\text{开动时间}} \tag{5}$$

$$RE = \frac{\text{理论加工周期}}{\text{实际加工周期}} \tag{6}$$

$$RQ = \frac{\text{合格品数量}}{\text{总加工数量}} \tag{7}$$

通过利用 OEE 数据统计,可以对设备的主要效率损失进行分析,很快就能找到找出影响设备效率的因素,然后从这些因素下手,有针对性地去解决问题,从而达到提高设备效率的目的。

OEE 根据它的 3 大关键要素将主要的设备效率损失分为 6 大类,分别为:设备故障、设备调整、设备闲置、速度下降、过程缺陷和良品率降低^[8],然后对生产过程中的损失进行详细的划分和统计,为生产瓶颈的识别和改进提供数据支持。

1.3 基于 TOC、OEE 的改善流程

本研究利用 TOC 理论来寻找生产系统中的瓶颈,再利用 OEE 来分析产生瓶颈原因,两者相结合从而提高系统的总体效率。同时,TOC 理论为 OEE 提供了全局化的观点,弥补了 OEE 只针对一台设备的不足,使 OEE 成为面向流程的绩效指标^[9];OEE 提供的定量化的分析方法,也增强了 TOC 理论分析改善能力。基于这两种方法的结合,取长补短,最终满足了生产系统改善的系统化和定量化的要求,得到的改善步骤如图 2 所示。

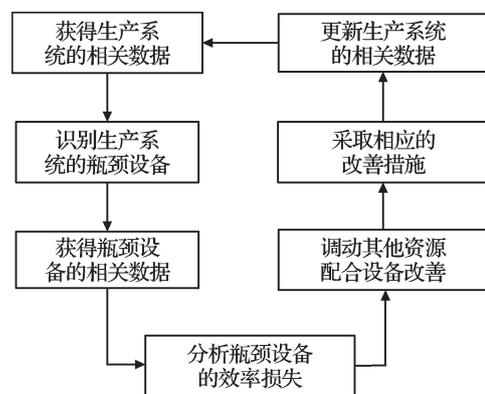


图 2 改善步骤示意图

本研究根据以上步骤进行持续改善,同时以精确的生产数据作为支持,从而不断地挖掘生产瓶颈并采

取合理的措施将其消除和改进。值得一提的是这样的数据采集和分析需要花费大量的时间和精力,如果能以电子化的方式做到数据的自动化采集和分析将会大大提高系统效率。

2 理论可行性验证与分析

2.1 工厂车间简介

该次可行性验证工厂主要的产品为电动工具,包括电动工具装配车间、钻头生产车间和锯片生产车间。该次数据收集主要以钻头生产车间为主。钻头生产流程如图3所示。

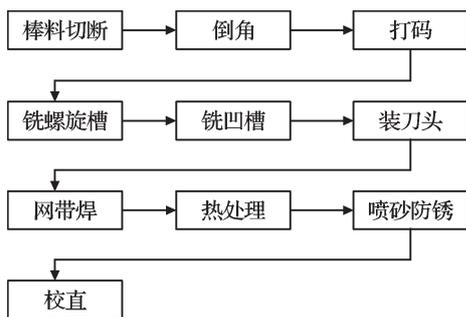


图3 钻头生产流程图

为了简化流程和统计的数据量,本次的数据采集只选取SS6一个型号的钻头进行数据采集。在车间中每个工作日分为早、中、晚3个班次,每个班次为8h。切断倒角为下料工位,打码、铣螺旋槽、铣凹槽、装刀头为机加工工位,网带焊、热处理以及喷砂防锈校直均属于后道工序,下料工位和后道的工序的CT均为1s~2s,而机加工工位中的工序平均CT均在20s以上,所以笔者把机加工工位视为关键工序,对其他工序暂不做统计分析。在车间的机加工工位中,一共分为6个单元,每个单元由一台自动打码机、两台自动铣螺旋槽机、一台自动铣凹槽机、一台自动装刀头机组成。

2.2 瓶颈工序人工统计分析

根据TOC理论,要分析瓶颈工序,首先要进行精确的数据统计。SS6型号钻头在第五单元加工,首先应找到上一周第五单元中各道工序的产量统计表,其中打码机总产量为12 030支,铣螺旋槽机共有两台,产量分别为5 634、5 706支,铣凹槽机为10 830支,装刀头机为11 595支,计算出每个工序每个班次的平均产量,如表1所示。

表1 产量统计

工位	打码	铣螺旋槽	铣凹槽	装刀头
产量	802	756	722	773

由表1可以看出,在机加工工位中铣凹槽机的产量较少,影响了总体的产量,属于瓶颈工序。

2.3 瓶颈设备OEE损失分析

本研究通过对多长时间的人工记录分析,根据OEE的六大损失并结合铣凹槽机在实际生产过程中常出现的问题,对铣凹槽机的损失进行编号分类,其结果如表2所示。

表2 铣凹槽机OEE损失及编号

分类	编号
换线损失	11 大换线
	12 小换线
组织损失	21 凹槽待料
	22 无人加料
	23 等待换线
	24 等待调机
	25 刀具领用
故障调机	31 抬料机构气缸故障
	32 调抬料板
	33 同时上两根或多根料
	34 上料机构空转或不运行
	35 调压料气缸或压块
	41 导向管内卡料
	42 调凹槽定位装置
	43 更换凹槽定位块
	44 调接料盒机构
	45 超时报警
MFT 维修	51 等待维修
	52 等待备件
	53 MFT 维修

然后本研究制作信息记录表格发放到生产线,由操作工填写,内容包含日期、产品型号、班次、故障编号及时间、报废品数量。根据一周的数据统计,得到的饼状图如图4所示。

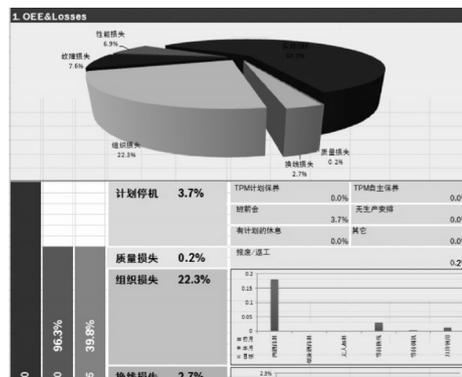


图4 OEE损失统计

通过饼图的分析可以得出设备实际OEE为60.2%,性能损失6.3%,故障损失7.6%,组织损失22.3%,换线损失2.7%,质量损失0.2%,其中最大的损失是组织损失。在组织损失中的凹槽待料损失占据

了总 OEE 的 19.2%。

2.4 效果分析

本研究通过 TOC 理论分析,找到了生产过程中的瓶颈工序,再通过 OEE 统计分析,找到了 OEE 损失的最大因素。结果证明 TOC 理论与 OEE 结合,可以有效地分析生产瓶颈。但是这样的方法需要大量的人力、时间来对数据进行采集和分析。为了减少数据分析工作量和提高生产信息的实时性,结合电子看板将是一个很好的选择。

3 电子看板系统设计

电子看板的数据采集主要包含物料和设备两个方面。物料的信息包括进料信息、产出信息以及报废品信息,设备信息主要是设备运行状态,如关机、调机、正常运行、设备故障等。本研究根据这些数据作为分析的基础,例如报废品数据可以用来分析质量损失,对关机、调机时间和原因的记录可以用来分析组织损失,记录设备故障的时间并进行分类可以用来分析故障比例。

3.1 硬件设计

电子看板的硬件设计包括了看板显示终端、看板数据采集终端。看板显示终端选择 LED 显示屏,平板电视等,看板数据采集终端主要用于收集现场数据,包括设备运行状态以及相关的生产信息^[10]。

该设计以 WAGO 的工业以太网现场采集及输出节点模块 WAGO750-881 为核心,结合可根据现场变化的需要灵活方便使用的组态模块。要想完成上位 PC 机直接对各节点中模块的操作,就需要建立一种 PC 机 WAGO750-881 节点和模块之间的通讯方法,来实现 PC 机与各模块之间的通讯,从而实现信号采集和控制输出的目的。PC 机和 WAGO750 之间通过 10 Mbps 以太网连接,它们之间的通讯协议为 Modbus/TCP: Modbus/TCP 是一种改进的 Modbus 协议,能够在工业过程控制中提供稳定可靠的数据流传输。可以通过 BootP 协议方式 WAGO750 配置 IP 地址,PC 机通过固定端口号 502 与其进行数据通讯和命令控制。

3.2 软件设计

如前所述:PC 机和 WAGO750-881 节点之间以 Modbus/TCP 进行数据通讯的,首先需要在 PC 机和 WAGO750-881 节点之间要建立 TCP 连接。MBT 组态

为开发环境。系统调用组态中的数据驱动程序实现数据传输,然后经过分析在组态中展示。

TOC 理论追求物流的平衡,而不是生产能力的平衡,追求物流的平衡是为了使企业的生产能力得到充分利用。所谓物流平衡就是使各个工序都与瓶颈机床同步,在 TOC 的五步法则中首先就是要找出系统中存在哪些制约,于是在该方案的数据显示部分中,当系统接收到相应数据之后,对各个工序的生产信息进行统计与分析并在软件界面中展示,有助于快速找到瓶颈工序。

软件界面示意图如图 5 所示。

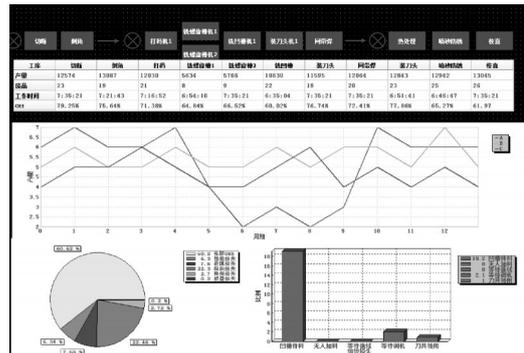


图 5 软件界面示意图

在界面最上方为生产流程,包含了产品加工的所有工序,第二部分的表格中统计每个工序的实时产量、废品数量、工作时间以及设备 OEE 等信息,在流水线的生产方式中,这样的显示方式能很直观地找到生产最薄弱的环节,也就是瓶颈。但由于瓶颈环节会随着系统的变化产生转移,本研究只统计各个工序的累计产量,并不能检测到瓶颈的动态转移,无法做到实时监控瓶颈工序。所以,接下来系统再增加一个曲线图,统计最近一个周期内各个工序的产量,周期可以根据产品每个工序的 CT 和产量来确定。以 5 min 为例,本研究统计 5 min 内各个工序的产量并作记录,如果连续记录 12 个周期,以连续的折线图显示。可以看到最下方的曲线就是当前的瓶颈,以及最近 1 h 中瓶颈的转移情况。

图 5 下方为当前瓶颈工序设备的 OEE 损失饼状图,显示出设备效率损失划分,最后系统以柱状图来显示设备效率损失的具体因素在总的 OEE 损失中所占的比例,最终以全局化和量化相结合的展示方式实时挖掘瓶颈工序,并根据 OEE 损失进行相对应的改

(下转第 505 页)

本文引用格式:

周天宇,鲍敏,章近达. 基于 TOC 与 OEE 的生产电子看板系统[J]. 机电工程,2015,32(4):497-500,505.

ZHOU Tian-yu, BAO Min, ZHANG Jin-da. Electronic display board system based on the TOC theory and OEE[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2015, 32(4): 497-500, 505.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>