

# The Flexibility of TSS Production Line Based on Work Sharing

Zongguang Wang, Lu Su\* and Shilong Liao

School of Economics and Management, Lanzhou University of Technology, Lanzhou, China

\*Corresponding author

**Keywords:** work sharing, TSS production line, the flexible ability

**Abstract.** What distinguishes work sharing production line from Taylor doctrine, social technology system thought and lean production thought is to use work sharing rules to balance the ability difference between different workers and the process imbalance, so that it shows good flexibility. Based on work sharing rules, TSS production line is divided into two types: fixed station and mobile station. Using EM plant simulation software, this paper makes a comparative study on whether the productivity of TSS production line is affected by worker efficiency and process differences. The results show that TSS production line has high flexibility.

## 基于工作分享的TSS生产线柔性能力

王宗光, 苏璐\*, 廖世龙

兰州理工大学经济管理学院, 兰州市, 中国

\*通讯作者

**关键词:** 工作分享; TSS生产线; 柔性能力

**摘要:** 工作分享生产线区别于泰勒主义、社会-技术系统思想、精益生产思想的是利用工作分享规则将不同员工间的能力差异和工序的不均衡进行平衡, 使其表现出良好的柔性能力。本文基于工作分享规则将 TSS 生产线分为固定工位和移动工位两种类型, 利用 Em-plant 仿真软件, 对 TSS 生产线的产能是否受员工效率和工序差异性影响进行了对比研究, 结果表明两种类型的 TSS 生产线都表现出较高的柔性能力。

### 1. 引言

减少空闲时间、提高员工利用率一直是提高生产线效率的关键, 在工位和工人数量确定的情况下, 工作分享是减少空闲时间的一种有效措施。工作分享生产线是一个简练但高效的生产组织方法, 这种方法通过对生产线上的工人进行交叉培训, 使得工作效率高的工人可提前到达交集区域工作, 帮助落后工人达到减少等待时间的目的。

传统的生产线虽然可以使员工的工作任务比较明确, 但也使生产线变得不具柔性。与传统的生产线不同的是, Toyota Sewn Products Management System (简称TSS) 是一条灵活且高效的自平衡生产线, 基于工作分享的TSS生产线由于工人间的互相帮助从而能够有效提高生产率。如Mcclain等(2000)提出TSS是一个基于工作分享的制造系统, 其研究了3工人-6工位的TSS生产线的重叠区域及存在缓冲的工作分享, 即把每个工人分别限制在一定工作区域内, 相邻两个工人之间存在重叠区域, 先到达重叠区域的工人先在此加工重叠任务以帮助落后的工人。

### 2. 基于工作分享的TSS生产过程中的规则

在工作分享生产思想下, 能力差异员工之间在生产过程中执行任务时可以相互帮助, 提

高生产线效率。工作分享机制可以用于固定工位生产线和移动工位生产线中，工人间交接时，如果机器正在加工中，工人可以选择等待或返回自己负责的区域进行新一轮的加工，换言之，即使工件正在加工，工人也可以交接。但在现实生产中由于工作中的交接会降低生产率且存在交接风险，因此不考虑工作中的交接。

### 2.1 移动工位的TSS生产规则

移动工位的TSS生产线通过员工在机器设备间的走动使生产线任务达到平衡，一个工作站一次最多只能加工一个工件，并且恰好需要一个工人来完成加工。这种行为可以通过按照生产线上的顺序（按产品流的方向）将工人从1到n编号来实现，并要求每个工人独立地遵循这一规则。

假设每个工人都带着一个工件顺流移动，直到该工件完成或另一个工作人员接管该工件。然后工人向上游移动，从另一个工人那里接管下一个工件。因此，工人在生产线的某一区域来回移动，但是没有严格的边界。

### 2.2 固定工位的TSS生产规则

固定工位的TSS中和移动工位的TSS生产线基本假设一致，工人数少于机器数，每台机器需要一个工人来操作，但不一定所有的机器时刻运行，每个工人在一个固定区域内工作。区别在于移动工位的TSS是固定了工人的工作区域，并设置了重叠区域和缓冲来实现工作分享，工人到达重叠机器后，若机器空闲，则先到达的工人在此完成加工并将加工完的工件放入缓冲，然后返回开始新一轮的加工。

## 3. 工作分享的TSS生产线柔性能力分析

串行生产中，每道工序所需的标准工时是不同的，工序之间具有差异性。装配线中采用生产线平衡率来衡量加工工序的离散程度，平衡率直接影响装配线的产能，理想的生产线平衡率是100%，即每个工作站的负荷都是相等的，以实现生产过程的同期化。以往的研究中，通过员工之间的帮助行为实现了员工任务的平衡，并没有考虑生产线工序平衡率与产能之间的关系问题。如果工序的离散程度不影响生产线产能，说明生产线具有很强的柔性能力。本研究采用离散仿真系统对工作分享下的两种TSS生产线产能进行仿真，同时为了对比生产平衡的有效性，引入装配线进行对比研究。通过对基于工作分享的TSS生产线进行仿真对比，研究员工差异性和工序差异性对TSS生产线产能的影响。

### 3.1 仿真模型介绍

根据两种类型工作分享TSS生产线的特点和运行规则，通过生产仿真软件 Plant Simulation 建立生产线仿真模型。生产线上员工的基本信息如表1：

表1 员工基本信息表

员工		W1	W2	W3
员工效率系数	等效率员工 (A1)	1.1	1.1	1.1
	员工效率从高到低 (A2)	1.0	1.1	1.2
	员工效率从低到高 (A3)	1.2	1.1	1.0

### 3.2 工作分享的TSS生产线对异质性员工的柔性能力分析

根据仿真数据，对两种工作分享的TSS生产线的产能仿真数据进行单因素方差分析，表2是利用SPSS 23.0软件分析的结果：

表2 单因素方差分析表

		ANOVA				
		平方和	df	均方	F	显著性
移动工位的TSS (A1与A2、A3)	组间	22.149	1	22.149	0.594	0.238
	组内	3057.518	82	37.287		
	总数	3079.667	83			
移动工位的TSS (A2与A3)	组间	48.286	1	48.286	2.133	0.150
	组内	1222.571	54	22.640		
	总数	1270.857	55			
固定工位的TSS (A1与A2、A3)	组间	91.524	1	91.524	3.981	0.049
	组内	1885.286	82	22.991		
	总数	1976.810	83			
固定工位的TSS (A2与A3)	组间	85.018	1	85.018	2.300	0.443
	组内	1995.821	54	36.960		
	总数	2080.839	55			

上表显示，在移动工位的TSS生产线中，统计P值=0.150>0.05，不能拒绝原假设，表明员工效率差异对移动工位的TSS生产线的产能影响不显著。等效率员工与效率差异员工对比P值=0.238>0.05，不能拒绝原假设，即等效率员工与效率有差异员工的产能没有显著性差异。由图1可以看出等效率员工产能与效率差异员工产能基本一致，即相比效率差异性员工，等效率员工可以有效减少工件交接的等待时间，说明员工进入生产线顺序对于产能没有差异。

在固定工位的TSS生产线中，P值=0.443>0.05，不能拒绝原假设，说明员工效率差异对于产能没有显著影响。等效率员工与效率差异员工对比P值=0.049<0.05，拒绝原假设，说明等效率员工与效率差异员工的产能有显著性差异。图1和图2也可直观看出，工作分享下的两条TSS生产线的最高产能均是在员工等效率的情况下产生的，在平衡率70%到90%时，按照员工效率从高到低排序的情况下产能趋势图呈凹型，且趋势平缓；按照员工效率从低到高排序的情况下产能趋势图呈凸型，且产能较高；在等效率员工的情况下，产能呈明显上升趋势。

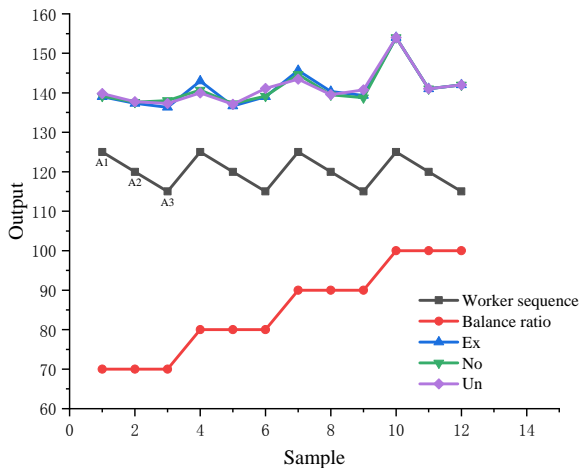


图1 移动工位的TSS

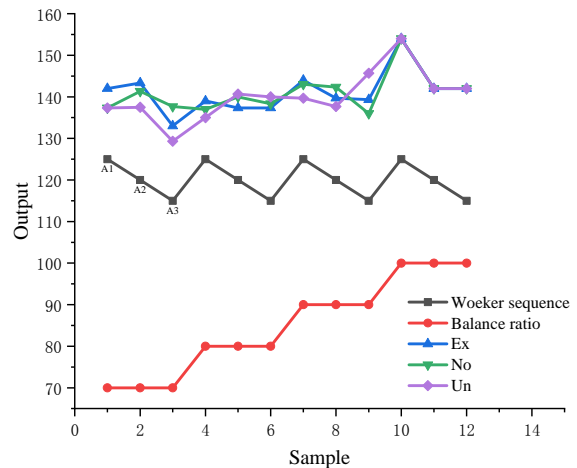


图2 固定工位的TSS

### 3.3 工作分享的TSS生产线对工序平衡的柔性能力分析

根据仿真数据，对传统装配线、固定工位 TSS 生产线、移动工位 TSS 生产线的产能仿真数据进行单因素方差分析，表 3 是利用 SPSS 23.0 软件分析的结果：

表3 单因素方差分析结果

		ANOVA				
		平方和	自由度	均方	F	P
传统装配线 等效率员工	组间	11294.750	3	3764.917	2738.121	0.000
	组内	44.000	32	1.375		
	总计	11338.750	35			
固定工位 TSS 等效率员工	组间	1570.528	3	523.509	25.995	0.000
	组内	644.444	32	20.139		
	总计	2214.972	35			
移动工位 TSS 等效率员工	组间	1227.889	3	409.296	34.367	0.000
	组内	381.111	32	11.910		
	总计	1609.000	35			
传统装配线 效率差异员工	组间	5412.083	2	1804.028	927.786	0.000
	组内	62.222	24	1.944		
	总计	5474.306	26			
固定工位 TSS 效率差异员工	组间	36.083	2	12.028	0.531	0.664
	组内	724.889	24	22.653		
	总计	760.972	26			
移动工位 TSS 效率差异员工	组间	128.083	2	42.694	2.297	0.096
	组内	594.667	24	18.583		
	总计	722.750	26			

由ANOVA结果可以看出在效率差异员工情况下，固定工位的TSS生产线P值=0.664>0.05，移动工位的TSS生产线P值=0.096>0.05，不能拒绝原假设，说明生产线平衡率的变化对于两种TSS生产线的产能均没有影响。对于等效率员工而言，固定工位的TSS生产线P值<0.05，移动工位的TSS生产线P值<0.05，拒绝原假设，说明生产线平衡率的变化对于两种TSS生产线的产能均有显著影响。两种情况下，传统装配线的P值<0.05，说明平衡率对传统装配线有显著影响。从仿真数据来看，TSS生产线的平衡率从70%提升至90%过程中，不同的平衡率条件下各工序加工时间离散情况不同，对于等效率员工而言，员工在生产线内平衡移动，因而会对产能产生影响；对于效率差异员工而言，不会对产能产生显著影响。

通过仿真，研究平衡率对各种生产线（装配线、移动工位TSS、固定工位TSS）产能的影响。由图3、图4可直观看出，装配线产能受平衡率影响最明显，在生产平衡率70%的情况下，装配线产能是最低的，平衡率100%时，装配线产能最高。传统装配线产能下降是因为在平衡率100%的条件下，每个工位的加工时间完全一样，效率最低的员工成为瓶颈工序影响产能，导致产能下降。比较发现，三种生产线在不同平衡率情况下，无论是等效率员工还是效率差异员工的情况下，移动工位的TSS生产线的产能相对稳定，固定工位的TSS生产线产能有较小波动，但总体趋于稳定。总体而言工作共享下TSS生产线的产能受平衡率影响不显著。

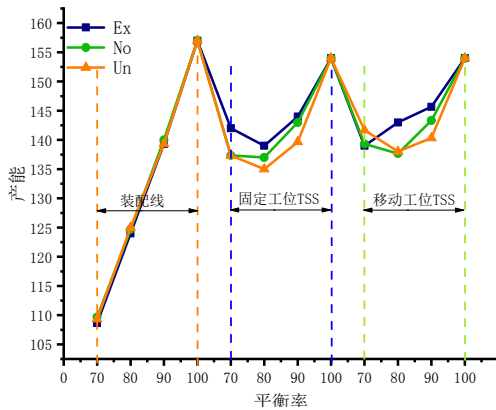


图3 等效率员工产能比较

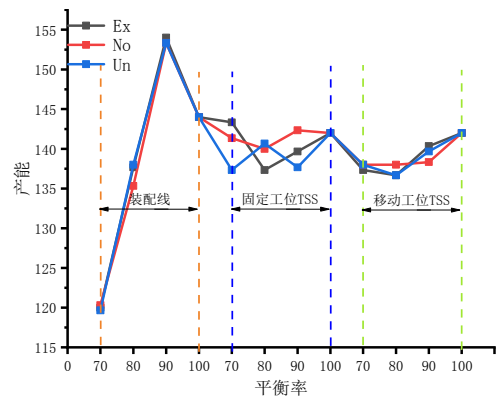


图4 效率差异员工产能比较

#### 4. 结论

员工效率差异和工序工时差异一直是影响生产线效能的两个重要变量，生产线的柔性体现在对这两个变量的敏感程度，实验结论表明基于工作分享的TSS生产线具有良好的柔性能力。员工差异性方面，固定工位的TSS生产线表现出了对员工效率差异的较大柔性，由于固定工位中缓冲的存在，将员工之间效率差异导致的相互干扰行为通过缓冲弱化，使差异员工的能力得到充分释放；工序工时差异性方面，采用了生产线平衡率作为衡量指标，研究发现移动工位的TSS生产线能够较好地兼容工序差异性，员工通过移动的工作分享工位将工序差异导致的时间浪费减小。

本文分析了两种基于工作分享的TSS生产线，发现基于工作分享的TSS生产线具有很强的稳定性。在企业实践中，制造型企业可以结合培训成本、费用、培训时长、员工特性、被加工产品特点等综合考虑基于工作分享的TSS生产线。

#### 致谢

感谢研究工作分享系统和TSS生产线的同仁，学术路上还望携手同行。

#### References

- [1] Bartholdi J J, Eisenstein D D. A Production Line That Balances Itself[J]. *Operations Research*. 44(1996) 21-34.
- [2] Zavadlav E, McClain J O and Thomas L J. Self-Buffering, Self-Balancing, Self-Flushing Production Line[J]. *Management Science*. 42(1996)1151-1164.
- [3] McClain J O. Management of Work sharing Systems[J]. *Manufacturing &Service Operations Management*.2(2000) 49-67.
- [4] Zavadlav E, McClain J O, Thomas L J. Self-buffering, self-balancing, self-flushing production lines[J]. *Management Science*. 42(1996) 1151-1164.
- [5] Liao S L, Yi S P, Gao Q X. Modeling and simulation analysis of heterogeneous employee walking production line based on transcendence mechanism [J]. *Computer integrated manufacturing system*.18(2012)540-549.
- [6] Chen Q, Liao S L, Wu Z Z, et al. Comparative analysis of the performance of a novel U-shaped “chasing-overtaking” production line[J]. *International Journal of Production Research*.54(2016)3677-3690.