

需求波动情况下千斤顶装配线的设计及应用

吕文元, 余海杰, 刘勤明

(上海理工大学 管理学院, 上海 200093)

摘要: 制造业企业管理人员凭经验估算装配线产量, 对合理产量缺乏量化分析, 导致需求季节性波动情况下, 企业不知如何设计装配线和调配劳动力, 针对这类问题提出相应设计方案和合理化建议。首先, 分析千斤顶装配线的生产流程, 测定各工位的标准作业时间。在此基础上, 对装配线进行平衡, 计算出不同节拍装配线合理产量。最后, 针对装配线柔性生产的要求, 提出两种新方案, 并计算新方案的日产量和平均劳动力利用率。研究结果不仅帮助管理人员解决了产量计算的问题, 而且解决了需求季节性波动下装配线设计的难题。

关键词: 装配线; 节拍; 标准作业时间; 平均劳动力利用率

中图分类号: TB 491

文献标志码: A

Design and Application of an Oil Jack Assembly Line in the Context of Demand Fluctuation

LÜ Wenyuan, YU Haijie, LIU Qinming

(Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: In order to solve the problem of the production quantity calculation instead of the estimation by the management personnel, and solve the design problem of assembly lines under seasonal demand fluctuation, some design plans and advices were presented. The newly designed assembly line was balanced and labor force was allocated. First, the production process of an oil jack assembly line was analyzed, and the standard operation time of each station was measured. Next, the oil jack assembly line was balanced and the production quantity with different takt time was calculated. Then, two new design plans were put forward under the requirements of flexible production, and the daily production quantity and average labor utilization were given as well. The research not only helps managers to solve the problem of the production quantity calculation instead of the estimation by management experience, but also solve the problem of the design of assembly lines under seasonal demand fluctuations.

Keywords: assembly line; takt time; standard operation time; average labor utilization

收稿日期: 2017-09-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71471116); 上海市浦江人才计划资助项目(14PJC077); 上海市一流学科建设项目(S1201YLXX)

第一作者: 吕文元(1971-), 男, 教授。研究方向: 设备维修管理。E-mail: wy_lu@sina.com

尽管中小制造企业管理水平已有长足发展和提高, 但是目前这类企业普遍遇到发展过程中的管理瓶颈问题:

- a. 员工和管理人员都缺乏工作研究意识。一线员工操作不合理, 没有意识进行作业分析。管理人员也没有工作研究的意识, 不知道如何帮助工人改进操作方法, 降低劳动强度, 提高生产效率。
- b. 存在吃大锅饭现象, 员工积极性不高。由于对装配线工人考核采用集体考核办法, 导致技术水平高、操作速度快的工人其绩效无法体现, 直接影响了这部分高技能员工的积极性, 薪酬管理与奖励机制有待完善。
- c. 管理人员凭经验估计生产产量, 并不知道合理的产量是多少, 制定的生产计划有很大的盲目性。由于市场对千斤顶的需求有一定的季节性, 有些月份订单很多, 有时订单很少。对于需求波动情况下, 如何根据需求制定生产计划、设计装配线以及调配劳动力, 这些问题一直困扰管理人员。

本文重点研究第三个问题。目前, 国内外学者对生产线的平衡与设计工作展开了广泛研究: 陆瑶等^[1]运用 ECRS 原则和“一个流”的思想对生产线进行优化改善。高广章等^[2]利用动作分析法, 减少手工生产线的作业时间, 提高了整条生产线的平衡性。侯琳娜等^[3]综合运用 5W1H 提问技术及 ECRS 原则对生产线进行重新设计。卢海洋等^[4]运用基础工业工程方法平衡生产线, 大大提高了生产线的平衡率。江志彬等^[5]运用 ECRS 原则对点火器装配线的生产工艺、作业要素分配等提出改进方案, 实施后生产过程中的搬运距离缩短, 各种浪费大为减少, 装配线的改善效果显著。鲁建厦等^[6]运用方法研究, 分析某电能表装配线, 通过找出关键瓶颈工序, 提高装配线效率。岑昊等^[7]研究精益生产下的装配线平衡改善原则与方法, 取得了良好的效果。朱炜等^[8]运用系统布置 (SLP) 的方法, 对叉车充电器装配车间内相关要素进行分析, 合理划分作业单元。通过对比改善前后的车间物流距离变化, 验证了系统布置 (SLP) 改善方案的有效性。荆全忠和童华刚等^[9-10]应用价值流程图优化生产线, 还有的应用仿真技术进行生产线平衡与优化研究^[11], 以及应用软件来平衡优化生产线^[12]。

总之, 从平均劳动力利用率角度开展生产线设计的研究工作较少。根据订单大小, 调整装配

线产量和生产人员安排, 开展这方面的装配线设计研究, 对于有效解决市场需求波动与产能平衡的难题, 提高企业生产率具有理论意义和应用价值。

1 装配线生产流程的分析

A 公司是一家生产千斤顶的企业, 该公司由家庭小作坊发展成为年产值过亿, 有 5 个生产车间的现代化工厂, 说明企业近十年的发展非常成功。千斤顶装配线, 从底座总装到检验结束, 共有 14 个工序, 这些工序包括: 底座总装、泵体总装、油缸总装、活塞杆总装、连杆总装、外套总装、顶帽总装、回油阀杆总装、加油、油塞装配、检验。其中加工作业有 25 道, 检验作业 2 道, 如图 1 所示。

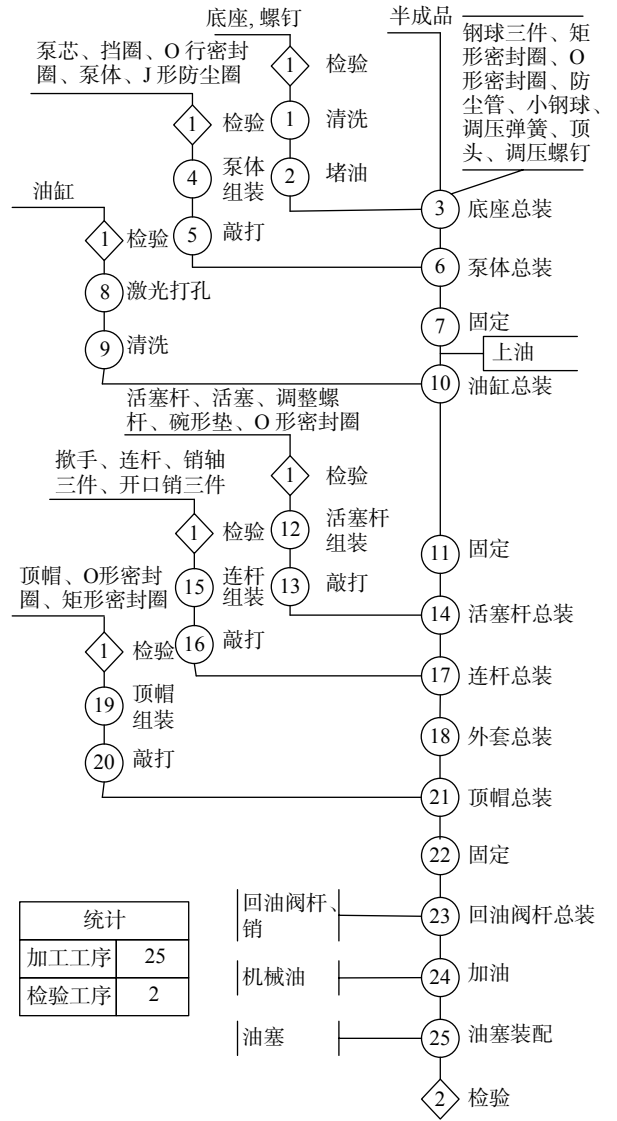


图 1 千斤顶装配的生产流程

Fig.1 Production process of the jack assembly

上述工序在 7 个工位完成，每个工位完成的 工序内容、作业名称、工序时间如表 1 所示。

表 1 各工位的作业内容及工序时间

Tab.1 Work content and working procedure time of each station

工位	工序	人员数量	作业名称	工序时间/s	工序时间小计/s
工位 1	底座总装	2	取排放底座、2 个钢球、2 个固定钢球、1 个油堵、敲打油堵、放铁圈、2 个密封圈、转移底座	25	25
	泵体总装		取泵芯、初安装、敲打、双手同时操作	4	
工位 2	泵体固定	1	左手移动泵体、定位、按电源、右手移动泵体	3	12
	油缸总装		取油缸，双手同时操作两个	5	
工位 3	油缸固定	1	取油缸、定位、按电源	6	12
	活塞杆总装		取活塞杆、安装、移动	6	
工位 4	连杆总装	2	取部件、取零件等 6 个操作，拧紧、移动部件	6	8
	外套总装		取外套、装外套、移动	2	
工位 5	顶帽总装	1	移动、取顶帽、安装、定位	6	11
	顶帽固定		按电源、移动	5	
工位 6	回油阀杆总装	1	移动、取回油阀杆和销、安装、移动	5	12
	加油		移动和倒、取加油工具、按电源、加油	4	
工位 7	油塞装配	2	加油塞、扶起和移动	3	20
	检验		移动、检验、敲打、移动	20	

2 产能计算

2.1 最低产量计算

根据表 1，绘制出各工位的作业时间，见图 2。从图 2 可看出，工位 1 为装配线的瓶颈。因此，当加工节拍 $r=25$ s/件时，即为装配线的最低产量。

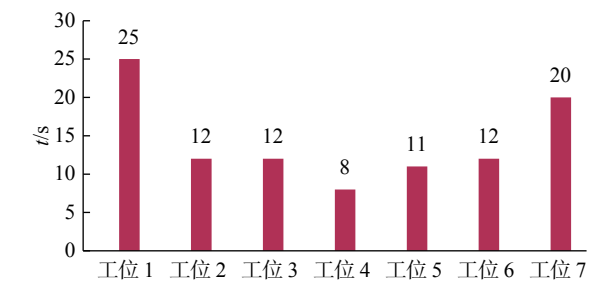


图 2 工位-时间关系表
Fig.2 Relationship table of station and time

假设 $r=25$ s/件(瓶颈工位 1)，每天工作 9 h，工作效率为 90%，则每天最低的产量为

$$\text{产量} = \frac{9 \times 3\,600 \times 90\%}{25} = 1\,166 \text{ 件}$$

(1)

2.2 正常产量的计算

对装配线进行平衡，即对瓶颈工位增加 2 个工人，工位 7 增加辅助工人 1 名，使工位 1 和工位 7 的工序时间均减少到 12 s。装配线平衡后，节拍 $r=12$ s/件，每天的产量为

$$\text{产量} = \frac{9 \times 3\,600 \times 90\%}{12} = 2\,430 \text{ 件}$$

(2)

目前管理人员估算的产量为 1 600 件。可见只要根据各工位的标准时间，合理分配劳动力，通过装配线的平衡，即可取得良好的效果。

通过装配线平衡，节拍 25 s/件改进为 12 s/件后，则产量提高比率为

$$\frac{2\,430 - 1\,166}{1\,166} \times 100\% = 108\%$$

(3)

假设每件产品利润为 10 元，每个工人每天的工资为 200 元，则每天增加的产量为

$$2\,430 - 1\,166 = 1\,264 \text{ 件}$$

扣除增加的人力成本之后，每天增加的利润为

$$10 \times 1\,264 - 200 \times 3 = 12\,040 \text{ 元}$$

(4)

2.3 最大产量的计算

进一步分析装配线，发现工位 2、工位 3、工位 5 是机器装配(泵体固定 3 s、油缸固定 6 s、顶帽固定 5 s)，除了这 3 个工序无法增加人员之外，其他工序都可增加工人。

因此装配线最大流程能力为^[13]

$$\text{最大流程能力} = \max\{3\text{ s}, 6\text{ s}, 5\text{ s}\} = 6\text{ s}$$

(5)

当 $r=6$ s/件，工位数发生了变化，各工位作业也重新分配，相应各工位的作业时间、人员数也都发生了变化，如表 2 所示。这时工位数为 16 个，所需要的人员数为 26 人。

表 2 不同节拍装配线各工位分配的作业以及工序时间
Tab.2 Work and working process time of each station in different beat assembly lines

方案 I: r=25 s/件				方案 II-1: r=12 s/件				方案 III: r=6 s/件			
工位	工序	人员数量	工序时间/s	工位	工序	人员数量	工序时间/s	工位	工序	人员数量	工序时间/s
1	底座总装	2	25	1	底座总装	4	12	1	底座总装	4	6
	泵体总装		4		泵体总装			2	底座总装	4	6
2	泵体固定	1	3	2	泵体固定	1	12	3	泵体总装	1	4
	油缸总装		5		油缸总装			4	泵体固定	1	3
3	油缸固定	1	6	3	油缸固定	1	12	5	油缸总装	1	5
	活塞杆总装		6		活塞杆总装			6	油缸固定	1	6
4	连杆总装	2	6	4	连杆总装	2	8	7	活塞杆总装	1	6
	外套总装		2		外套总装			8	连杆总装	1	6
5	顶帽总装	1	6	5	顶帽总装	1	11	9	外套总装	1	2
	顶帽固定		5		顶帽固定			10	顶帽总装	1	6
6	回油阀杆总装	1	5	6	回油阀杆总装	1	12	11	顶帽固定	1	5
	加油		4		加油			12	回油阀杆总装	1	5
7	油塞装配	2	3	7	油塞装配	3	12	13	加油	1	4
	检验		20		检验			14	油塞装配	1	3
合计		10	100	合计		13	79	合计		26	79

r=6 s/件时, 每天的最高产量为

$$\text{产量} = \frac{9 \times 3\,600 \times 90\%}{6} = 4\,860 \text{ 件} \quad (6)$$

与原方案相比(r=25 s/件), 每天增加的产量为: 4 860-1 166=3 694 件;

扣除增加的人力成本后, 每天增加的利润为

$$10 \times 3\,694 - 200 \times 16 = 33\,740 \text{ 元} \quad (7)$$

计算结果最低日产量为 1 166 件, 正常日产量为 2 430 件, 最高日产量为 4 860 件。而管理人员估计每天的产量约为 1 600 件。可见, 管理人员估计的产量偏保守; 另一方面也证实“吃大锅饭, 员工积极性不高而导致产量低”这一问题比较突出。利用这些数据, 管理人员不仅可以设定合理的产量目标, 而且也为生产计划制定提供科学依据。

3 需求量波动下产能调整方案的设计

根据销售部统计的订单情况, 订单有些月份多, 有些月份少, 订单多的时候每天需求量为 4 800 件, 少的时候大概为 2 400 件。该企业目前正考虑是否再建一条装配线, 针对这一问题, 本文对比分析了 4 种方案, 如图 3 所示(见下页)。

方案 I(原方案): 原来的装配线 7 个工位, 节拍 r=25 s/件, 共 10 人, 见图 3(a)。

方案 II-1: 仍然 7 个工位, 但是, 通过工作研究, 缩短有些工位的作业时间, 并增加 3 名工人, 节拍 r=12 s/件, 该装配线共有 13 人, 见图 3(b)。

方案 II-2: 复制一条方案 II-1 的装配线, 即 2 条 7 工位, 13 人, r=12 s/件的装配线, 见图 3(c)。

方案 III: 将原来 7 个工位拆分为 16 个, 节拍 r=6 s/件, 另增加 16 名工人, 共 26 人的装配线, 见图 3(d)。

为了满足不同节拍时间的要求, 表 2 进一步重新分配了方案 II-1 和方案 III 的各工位作业以及工序时间, 以便对比各个方案的实施效果。诸如: 方案 I(原方案)的第一个工位为底座总装, 人数为 2 人, 工序时间为 25 s; 方案 II-1 的第一个工位同样是底座总装, 而人数为 4 人, 工序时间减少为 12 s。

根据表 2, 计算各种方案的闲置时间、各工位的利用率、平均劳动力利用率^[11], 如表 3 所示(见下页), 具体计算见式(9)和式(10)。

$$\text{闲置时间} = \text{节拍} - \text{工序时间} \quad (8)$$
$$\text{利用率} = \frac{\text{工序时间}}{\text{节拍}} \quad (9)$$

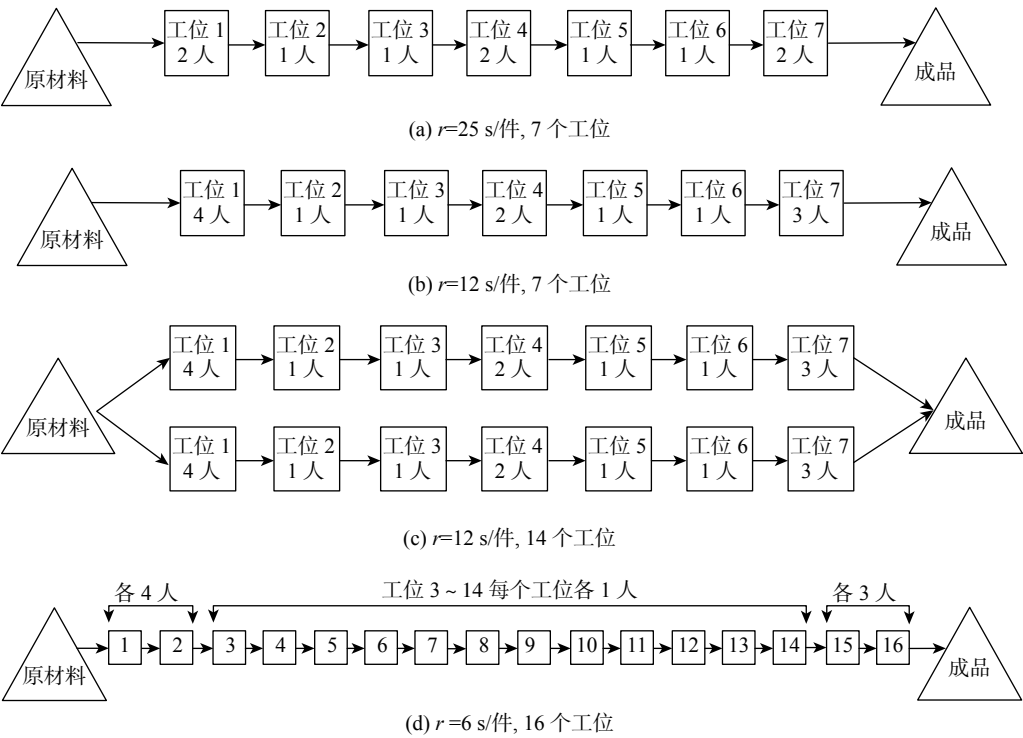


图 3 4 种不同方案的装配线

Fig.3 Assembly lines of four different schemes

表 3 不同节拍装配线平均利用率

Tab.3 Average utilization rate of different beat assembly lines

方案 I: $r=25$ s/件				方案 II-1: $r=12$ s/件				方案 III: $r=6$ s/件			
工位	工序时间/s	闲置时间/s	利用率/%	工位	工序时间/s	闲置时间/s	利用率/%	工位	工序时间/s	闲置时间/s	利用率/%
1	25	0	100	1	12	0	100	1	6	0	100
2	12	13	48	2	12	0	100	2	6	0	100
3	12	13	48	3	12	0	100	3	4	2	67
4	8	17	32	4	8	4	67	4	3	3	50
5	11	14	44	5	11	1	92	5	5	1	83
6	12	13	48	6	12	0	100	6	6	0	100
7	20	5	80	7	12	0	100	7	6	0	100
								8	6	0	100
								9	2	4	33
								10	6	0	100
								11	5	1	83
								12	5	1	83
								13	4	2	67
								14	3	3	50
								15	6	0	100
								16	6	0	100
平均劳动力利用率			57	平均劳动力利用率			94	平均劳动力利用率			82

平均劳动力利用率 =
$$\frac{1}{n}(\text{利用率1} + \text{利用率2} + \cdots + \text{利用率n}) \quad (10)$$

例如, 方案 I: $r=25$ s/件, 工位 2 的工序时间
为 12 s, 得工位 2 的闲置时间为 $25-12=13$ s。

$$\text{利用率} = \frac{\text{工序时间}}{\text{节拍}} = \frac{12}{25} = 48\%$$

$$\text{平均劳动力利用率} = \frac{1}{7}(100\% + 48\% + 48\% + 32\% + 44\% + 48\% + 80\%) = 57\%$$

计算结果如表 4 所示。

表 4 4 种方案对比

Tab.4 Comparison of four schemes

方案	节拍/(s · 件 ⁻¹)	装配线条数	日产量/件	人数	平均劳动力利用率/%
I	25	1	1 166	10	57
II-1	12	1	2 430	13	94
II-2	12	2	4 860	26	94
III	6	1	4 860	26	82

由表 4 可知, 当需求量增大时, 有两种方案可供选择: 一种方案是将 $r=12$ s/件的装配线再建一条, 其最高产量为每天 4 860 件, 平均劳动力利用率为 94%; 另一种方案是将作业进行进一步的细分, $r=6$ s/件, 同时增加工人数, 虽然产量也能达到每天 4 860 件, 但平均劳动力利用率仅为 82%。

方案 III 随着工位数增多, 平均劳动力利用率反而下降, 其原因可以反过来推理, 如果一个工人完成生产流程中的所有任务, 相应的劳动力利用率达到 100%。这给我们的启示是作业分得过细不利于装配线的平衡工作, 因此, 方案 II-2 是比较好的方案。

如何解决企业订单随客户不同需求而波动的问题, 上述计算结果表明: 当订单少时, 即需求量每天小于 2 430 件时, 只开一条线; 当订单增多时, 企业可考虑新建另一条 7 个工位, $r=12$ s/件的装配线, 也可考虑方案 III, 即通过增加劳动人数来增加产量。这两种方案装配线的产量都是每天 4 860 件。但是, 笔者建议采用新建另一条 7 个工位, $r=12$ s/件的装配线方案。理由有两个: 一是前者的平均劳动力利用率为 94%, 远大于后者方案的 82%; 二是新建一条线的投资成本并不高。

4 结 论

通过分析千斤顶装配线的生产流程, 测定各工位的标准作业时间, 开展了装配线平衡与优化设计工作, 得出以下结论:

- a. 改善前装配线节拍为 25 s/件, 产量为每天 1 166 件, 改善后的装配线, 节拍提高到 12 s/件, 相应的产量提高到每天 2 430 件, 该值远大于管理人员凭经验估算的产量 1 600 件。
- b. 每天产量小于 2 430 件时, 只开一条装配线, 7 个工位, $r=12$ s/件, 工人数 13 人, 平均劳动利用率为 94%。当订单多时, 即需求量每天大于 2 430 件时, 建议再开一条相同的装配线, 最高

产量可达到每天 4 860 件。

上述的研究结果不仅能够帮助管理人员解决产能计算的难题, 而且为需求季节性波动情况下生产线设计与生产安排提出了合理化建议。研究结果对装配线平衡及响应需求波动的研究具有借鉴意义, 同时还有较好的应用价值, 已得到了企业的认可。

参考文献:

[1] 陆瑶, 徐克林, 高阳, 等. T 企业生产线平衡改善分析研究[J]. 制造业自动化, 2009, 31(2): 111-114.

[2] 高广章, 孙建华. 动作分析法在生产线平衡中的应用[J]. 机械设计与制造, 2007(7): 204-206.

[3] 侯琳娜, 王海燕, 贾伟伟. 液晶显示器外壳生产线平衡分析与改善[J]. 工业工程, 2011, 14(4): 124-128, 144.

[4] 卢海洋, 栗继祖. 工业工程在 F 公司生产线平衡中的应用[J]. 物流技术, 2014, 33(3): 295-299.

[5] 江志彬, 周炳海. 基于流程程序分析的点火器装配线改善[J]. 精密制造与自动化, 2017(1): 40-44.

[6] 鲁建厦, 兰秀菊, 陈勇, 等. 工作研究在生产装配线优化设计的应用[J]. 工业工程与管理, 2004, 9(1): 83-85.

[7] 岑昊, 蔡三发. 装配生产线平衡的改善[J]. 上海管理科学, 2005, 27(5): 16-17.

[8] 朱炜, 周炳海. 基于 SLP 方法的叉车充电器装配车间布局改善[J]. 精密制造与自动化, 2016(2): 40-43.

[9] 荆全忠, 杨晶. 基于价值流图的抽油杆生产线平衡优化研究[J]. 工业工程与管理, 2014, 19(5): 18-23.

[10] 童华刚, 张洪亮, 吴玉国. 基于价值流及仿真分析对于回转支承生产线的改善[J]. 工业工程, 2016, 19(6): 105-110.

[11] 朱琼, 陈雪芳, 田世勇, 等. 基于仿真技术的生产线平衡优化研究与应用[J]. 工业工程与管理, 2008, 13(4): 110-113.

[12] 高广章. 达宝易软件在生产线平衡中的应用[J]. 工业工程与管理, 2009, 14(3): 123-126.

[13] CACHON G, TERWIESCH C. 运营管理[M]. 任建标, 译. 北京: 中国人民大学出版社, 2013: 61-82.