

# 基于模特法的卧式钢卷包装生产线平衡改善

刘海江, 李晓倩

(同济大学, 上海 201804)

**摘要:** **目的** 对 A 公司卧式钢卷包装其中一条生产线的瓶颈工序进行了改善, 解决了钢卷包装生产线平衡率低的问题。 **方法** 运用预定时间标准法中的模特法 (MODAPTS), 把取消、合并、重排、简化 (ECRS) 和动作经济作为指导原则, 并借助生产线平衡理论来改善生产线的平衡率。 **结果** 改善后的方案提高了生产线的平衡率, 降低了生产节拍, 提高了包装效率。 **结论** 运用模特法改善后, 该生产线的平衡率由原来的 52.98% 提高到 67.40%。

**关键词:** 模特法; 生产线平衡; 钢卷包装

**中图分类号:** TB486      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1001-3563(2014)01-0096-05

## Improvement of Horizontal Coil Packaging Line Balance Based on MOD Method

LIU Hai-jiang, LI Xiao-qian

(Tongji University, Shanghai 201804, China)

**ABSTRACT: Objective** To improve the bottleneck process of a horizontal coil packaging line in a company, and to solve the situation that the balancing rate of the steel coil packaging production line is too low. **Methods** The MOD method of Predetermined Time Standard was used, with ECRS and the economics of motion as guide the principle, and with the help of a production line balance theory. **Results** The improved scheme increased the balancing rate of the production line, reduced the production tempo, and improved the efficiency of the packaging. **Conclusion** Using the MOD method, the production line balance rate was increased from 52.98% to 67.40%.

**KEY WORDS:** MOD method; production line balancing; horizontal coil packaging

近年来, 由于我国钢铁行业持续发展, 钢铁包装作为钢铁生产的最后一环也越来越受到钢铁企业的关注。卧式钢卷作为钢铁的一种, 其包装可以分为手工包装、半自动包装和全自动包装等方式。手工包装虽然设备投资低, 但钢卷外包装材料在作业场地上铺开占地面积较大(单工位包装), 吊车占用时间较长(多工位流水作业)<sup>[1-2]</sup>, 存在包装效率低、包装质量差和工人劳动强度大等缺陷<sup>[3]</sup>, 由此现在手工包装生产线越来越少。全自动包装的所有工序都是由机械

还没有钢铁全自动包装设备<sup>[4]</sup>。由此可见, 我国目前钢铁包装生产线大多数是半自动包装, 半自动包装机组避免了行车、叉车和包装人员的立体交叉作业, 具有中间仓库和包装场地占用面积小、物流顺畅、便于管理等优点<sup>[5]</sup>。现在钢卷半自动包装生产线上的人工操作还存在操作方法不准确、浪费工时等问题, 导致生产线平衡率降低。

生产线平衡是对生产的全部工序进行平均化, 调整作业负荷, 使各作业时间尽可能相近的技术手段与方法, 目的是消除作业间不平衡的效率损失以及生产过剩<sup>[6-7]</sup>。生产线平衡的研究方法主要有程序分析

收稿日期: 2013-05-31

作者简介: 刘海江(1967—), 男, 江苏人, 同济大学教授、博士生导师, 主要研究方向为数字化制造技术及其应用、知识工程应用的教学与研究。

法、操作分析法和动作分析法等。当程序分析法和操作分析法无效时,动作分析法是改善生产线平衡的一种秘密武器。动作分析是在程序决定后,研究减少甚至消除人体各种动作的浪费,以寻求省力、省时、安全和最经济的动作,其实质是研究分析人在进行各种操作时的细微动作,消除无效动作,使操作简便,有效提高工作效率<sup>[8-9]</sup>。文中主要采用模特法的动作分析,以 ECRS 和动作经济为指导原则,来解决卧式钢卷包装生产线不平衡的问题,提高生产线平衡率。

### 1 模特法理论

模特法是澳大利亚学者哈依(G. C. Heyde)于 1966 年创造的。模特法无需经过现场测试,只要根据工作物蓝图、工作地布置图 and 操作方法,就能预先计算出完成一项工作所需的正常时间<sup>[10]</sup>。它的原理是基于人机工程学的实验,根据操作时人体动作的部位、动作距离和工作物的质量等参数,通过分析计算,确定标准的操作方法,并预测完成标准动作所需要的时间。模特法具有易懂、易学、易记,基本动作只有 21 种,动作符号与时间值融为一体,可以调整 MOD 值等优点,深受各国企业界重视<sup>[11-12]</sup>。

模特法将作业动作分解为 21 种人体基本动作,每一种动作均有对应的标准时间。模特法的基本体系和记号以及模数值见图 1。

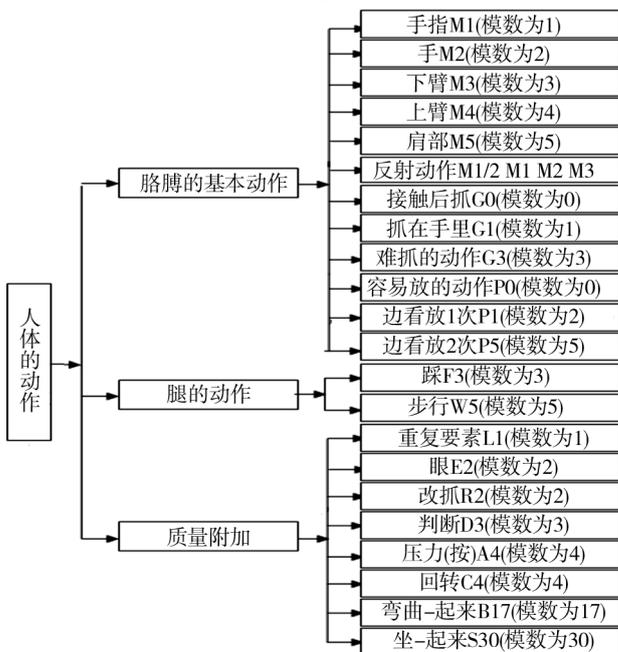


图 1 模特法的基本体系和记号

Fig. 1 The basic system and mark of MOD

模特法根据人的动作次级,选择以一个正常人的级次最低、速度最快、能量消耗最少的一次手指动作的时间消耗值,作为它的时间单位,即 1 MOD=0.129 s<sup>[13-14]</sup>。模特法的 21 种动作都以手指动一次(移动约 2.5 cm)的时间消耗值为基准进行试验、比较,来确定各动作的时间值<sup>[15]</sup>。企业也可根据操作工人的熟练程度来调整 MOD 值,疲劳时 1MOD 应增加 10%,即疲劳时 1 MOD = 0.143 s,文中取 1 MOD = 0.143 s 作为基本动作时间。

### 2 卧式钢卷包装生产线的分析与改善

#### 2.1 卧式钢卷包装生产线现状分析

A 公司卧式钢卷包装生产线是半自动化的,有一部分工序是由人工操作。有些工人的操作方法只是凭借经验完成,没有统一的标准化动作,从而造成工时的增加,各工序作业时间不均匀等现象,以致生产线不平衡。

目前 A 公司其中一条生产线的各工序时间见表 1。

表 1 各工序时间

Tab. 1 Schedule in each process

工序号	作业名称	时间/s	人员/位
1	钢卷上料	50.05	1
2	来料确认	40.47	1
3	放置内芯防锈纸	38.61	2
4	包外周防锈纸	74.65	2
5	套塑料套	55.77	2
6	包纸护角	28.89	2
7	包周面平板纸	35.32	2
8	包外周包板	53.20	2
9	安装内周护板	35.60	2
10	安装圆护平板纸	19.31	2
11	安装圆护铁板	18.02	2
12	安装铁内护角	17.16	2
13	安装铁外护角	13.59	2
14	周向打捆	53.20	2
15	径向打捆	50.34	2
16	发送钢卷,指吊入库	48.62	1

由表 1 可以看出,工序 4 的作业时间最长,是此包装生产线的瓶颈工序,限制了包装效率。另外各工序之间的作业时间相差较大,影响了该包装生产线的平衡性,生产线平衡率计算方法见式(1)<sup>[16]</sup>。

$$\text{生产线平衡率} = \frac{\text{各工序时间总和}}{\text{生产线节拍} \times \text{工序数}} \times 100\% \quad (1)$$

把表1中的数据带入式(1)可得此包装生产线的平衡率为52.54%,这说明此生产线的平衡率还有很大的提升空间。影响此平衡率的主要因素是工序4的作业时间太长,其他工序相对于工序4,存在能力过剩现象,如果能降低工序4的作业时间,使各工序的时间比较均衡,就会提高生产线的平衡率和生产效率。由此需要改善工序4的作业方法和作业时间。

## 2.2 运用MOD法对瓶颈工序进行分析

包装外周防锈纸可以分为3个步骤:步骤1,拉防锈纸,使防锈纸缠在钢卷周围;步骤2,用胶带把防锈纸侧面粘好;步骤3,把防锈纸折成百叶状。

对于步骤1,工人停留位置离钢卷较远,需走4步才到,有几个动作都是由左手和右手一起完成的,浪费了人的操作能力,需要改善。步骤1 MOD分析式见表2。

对于步骤2,胶带和小刀不在操作工人的触及范

围内,需要走4步才到,并且需要弯腰才能拿到,这个动作需要改善。同时胶带和小刀不在一个工具箱里,不能左右手同时工作,也需要改善。改善前MOD分析式见表3。

对于步骤3,改善的内容和步骤2的改善内容基本一致,但当工人折钢卷上半部分防锈纸时,连续做大臂尽量伸直动作会引起工人疲劳,并浪费工时,因而需要改进。改善前MOD分析式见表4。

## 2.3 瓶颈工序改善方案设计

以取消、合并、重排、简化(ECRS)和动作经济等为指导原则,并借助生产线平衡理论,对卧式钢卷包装其中一条生产线的瓶颈工序进行改善,提高了卧式钢卷包装生产线的平衡率。

### 2.3.1 步骤1的改善方案

工人的站立位置和钢卷之间的距离,在保证安全的情况下应尽量小,在左手单独操作的同时,右手可以做其他的操作,从而减少了工时。改善后的MOD分析式见表5。

表2 防锈纸缠绕钢卷MOD分析

Tab.2 MOD analysis of Rust-proof paper winding coil

左手动作		时间	右手动作	
动作叙述	分析式	MOD值	分析式	动作叙述
走向钢卷	W5×4	20	BD	等待
弯腰双手拉防锈纸	B17M2G1	20	B17M2G1	同左手
手持防锈纸向右移动	W5×2	10	W5×2	同左手
手持防锈纸缠绕钢卷侧面	M5	5	M5	同左手
手持防锈纸缠绕钢卷上部	W5×2	10	W5×2	同左手
手持防锈纸起端	G1	10	M5×2	整理防锈纸末端
合计		75		

表3 胶带粘防锈纸MOD分析

Tab.3 MOD analysis of Rust-proof paper taped

左手动作		时间	右手动作	
动作叙述	分析式	MOD值	分析式	动作叙述
到小刀、胶带存放处	W5×4	20	BD	等待
等待	BD	20	B17M2G1	拿胶带
拿小刀	M4G1	5	BD	等待
返回到钢卷	W5×4	20	H	手持胶带
摁过胶带粘过的地方	M2A4	21	W5E2×3	手持胶带粘防锈纸连接处
矫正小刀位置	R2	2	H	手持胶带
用小刀切断胶带	M2A4	6	H	手持胶带
合计		94		

表 4 把防锈纸折成百叶状 MOD 分析

Tab.4 MOD analysis of the rust-proof paper folded into hundred leafy

左手动作		时间	右手动作	
动作叙述	分析式	MOD 值	分析式	动作叙述
从钢卷另一端到小刀、胶带存放处	W5×6	30	H	手持胶带
放回小刀	B17M2G0	19	H	手持胶带
等待	BD	7	M3G0M3G1	放胶带同时拿订机
返回到钢卷端部	W5×4	20	BD	等待
弯腰折下半部分防锈纸	B17M2G1M1	25	B17M2G1M1M3M1	辅助左手折防锈纸并订成百叶状
重复折百叶状	M3G1M1×12	108	M3G1M1M3M1×12	重复折防锈纸并订成百叶状
折防锈纸上半部分为百叶状	M5G1M1×12	144	M5G1M1M4M1×12	折防锈纸上半部分为百叶状
合计		353		

表 5 改善后防锈纸缠绕钢卷 MOD 分析

Tab.5 MOD analysis of Rust-proof paper winding coil after improvement

左手动作		时间	右手动作	
动作叙述	分析式	MOD 值	分析式	动作叙述
走向钢卷	W5×2	10	BD	等待
弯腰双手拉防锈纸	B17M2G1	20	B17M2G1	同左手
手持防锈纸向右移动	W5×2	10	W5×2	同左手
手持防锈纸缠绕钢卷侧面	M5	5	M5	同左手
手持防锈纸缠绕钢卷上部	W5×2	10	M5×2	整理防锈纸末端
合计		55		

2.3.2 步骤 2 的改善方案

把放小刀和胶带的工具箱放在靠近工人操作的位置,可以节约走路时间。把小刀和胶带放在同一个工具箱内,且工具箱的高度在工人的腰部以上,工人既不需要弯腰,又可以双手同时操作,从而节约了弯腰、等待所消耗的工时。改善后的 MOD 分析式见表 6。

2.3.3 步骤 3 的改善方案

放置小刀和胶带的工具箱的改善方案与步骤 2 的改善方案一致,另外把钢卷的位置稍稍调低,工人就不需要尽量伸直大臂折钢卷上半部分的防锈纸,从而降低工人的疲劳程度。改善后的模特分析式见表 7。

表 6 改善后胶带粘防锈纸 MOD 分析

Tab.6 MOD analysis of Rust-proof paper taped after improvement

左手动作		时间	右手动作	
动作叙述	分析式	MOD 值	分析式	动作叙述
到小刀、胶带存放处	W5×2	10	BD	等待
拿小刀	M4G1	5	M4G1	拿胶带
返回到	W5×2	10	H	手持胶带
摁过胶带粘过的地方	M2A4	21	W5E2×3	手持胶带粘防锈纸连接处
矫正小刀位置	R2	2	H	手持胶带
用小刀切断胶带	M2A4	6	H	手持胶带
合计		54		

表 7 改善后把防锈纸折成百叶状 MOD 分析

Tab.7 MOD analysis of the rust-proof paper folded into hundred leafy after improvement

左手动作		时间	右手动作	
动作叙述	分析式	MOD 值	分析式	动作叙述
从钢卷另一端到小刀、胶带存放处	W5×4	20	H	胶带
放回小刀	M3G0	7	M3G0M3G1	放回胶带同时拿订机
返回到钢卷端部	W5×2	10	BD	等待
弯腰折下半部分防锈纸	B17M2G1M1	25	B17M2G1M1M3G1	辅助左手折防锈纸并订成百叶状
重复折百叶状	M3G1M1×12	108	M3G1M1M3M1×12	重复折防锈纸并订成百叶状
折防锈纸上半部分为百叶状	M4G1M1×12	120	M4G1M1M3M1×12	重复折防锈纸并订成百叶状
合计		290		

改善后的标准作业时间  $ST = \sum MOD \times 0.143 = 57.05 \text{ s}$

### 3 改善效果分析与评价

经过改善,生产线的工位没有改变,各工序的操作人员人数也没有改变,但是瓶颈工序的工时以及平衡率都有了明显的变化,瓶颈工序的工时降低了 17.60 s,平衡率增加了 15.46%。改善前后该生产线的性能指标见表 8。

表 8 改善前后生产线的性能指标

Tab. 8 Production line performance before and after improvement

项目	瓶颈工序工时	平衡率/%	人员/位
改善前	74.65 s	52.98	29
改善后	57.05 s	67.40	29
变化量	17.60 s	14.42	0
变化率/%	-23.57	+27.22	0

### 4 结语

对 A 公司卧式钢卷包装的其中一条生产线进行了分析,用预定时间标准法中的模特法,结合 ECRS 和动作经济原则对其瓶颈工序进行了改善,使其瓶颈工序的工时降低了 17.60 s,生产线的平衡率由原来的 52.98% 提高到了 67.40%。模特法相比于其他传统的改善方法,投资低,更能有效地提高企业的市场竞争力。

#### 参考文献:

- [1] 刘明利,于革刚,孙瑞涛. 钢卷包装工艺技术研究[J]. 冶金设备,2005(3):38—41.  
LIU Ming-li, YU Ge-gang, SUN Rui-tao. Research for Process of the Coil Packaging[J]. Metallurgical Equipment, 2005(3):38—41.
- [2] 王浩宇,石焱,饶洪宇. 我国冷轧钢卷包装工艺现状分析[J]. 甘肃冶金,2007,29(3):11—13.  
WANG Hao-yu, SHI Yan, RAO Hong-yu. Analysis for Present State of Coil Packaging Process[J]. Gansu Metallurgy, 2007,29(3):11—13.
- [3] 于革刚,刘明利,孙瑞涛. 钢卷包装技术现状与发展趋势浅析[J]. 冶金设备,2005(2):48—50.  
YU Ge-gang, LIU Ming-li, SUN Rui-tao. Analysis for Technology Actuality & Development Trend of the Coil

- Packaging[J]. Metallurgical Equipment, 2005(2):48—50.
- [4] 丁黎光,李伯胜,丁伟. 包装生产线机械设备的自动化[J]. 包装工程,2001,22(4):33—36.  
DING Li-guang, LI Bo-sheng, DING Wei. The Automation of Mechanical Equipment on Packing Product Line[J]. Packaging Engineering, 2001,22(4):33—36.
- [5] 彭仕军. 冷轧半自动包装生产线工艺特点[J]. 柳钢科技,2010(1):62.  
PENG Shi-jun. Cold Rolled Semi Automatic Packaging Production Line Process Characteristics[J]. Liuzhou Iron and Steel Technology, 2010(1):62.
- [6] 吴晓艳. 装配生产线平衡的研究[D]. 上海:上海交通大学,2007.  
WU Xiao-yan. Research on the Assembly Production Line Balance[D]. Shanghai:Shanghai Jiaotong University, 2007.
- [7] CARNAHAN B J, NORMAN B A, REDFERN M S. Incorporating Physical Demand into Assembly Line Balancing[J]. IEE Transaction, 2001,33:875—887.
- [8] 尹竹. 生产线的平衡及优化方法研究[D]. 长春:吉林大学,2003.  
YIN Zhu. Research on Methods in Streamline Balancing and Optimization[D]. Changchun:Jilin University, 2003.
- [9] 孙建华,高广章,蒋志强. 生产线平衡的手段与方法研究[J]. 成组技术与生产现代化,2004,21(4):34—36.  
SUN Jian-hua, GAO Guang-zhang, JIANG Zhi-qiang. Research on the Methods of Streamline Balance[J]. Group Technology & Production Modernization, 2004,21(4):34—36.
- [10] 高广章. 基于工效学原理 MOD 法在生产线平衡中的应用[J]. 人类工效学,2006,6(15):14—17.  
GAO Guang-zhang. The Application of MOD Method Based on Ergonomics in Stream Line Balance[J]. Human Ergonomics, 2006,6(15):14—17.
- [11] 郭伏,李森,戴春风. 工效学原理在生产能力平整中的应用[J]. 人类工效学,2001,7(4):61—63.  
GUO Fu, LI Sen, DAI Chun-feng. The Application of Ergonomics in Stream Line Balance[J]. Human Ergonomics, 2001,7(4):61—63.
- [12] 于晓宏,张振明,田锡天,等. 基于模特法的机械加工工序辅助时间计算方法[J]. 机械与电子,2009(4):68—70.  
YU Xiao-hong, ZHANG Zhen-ming, TIAN Xi-tian, et al. Method of Calculating Assistant Mechanical Time Based on MOD[J]. Machinery and Electronics, 2009(4):68—70.
- [13] 侯东亮. 基于模特法的摩托车包装生产线平衡[J]. 包装工程,2012,33(21):137—141.

- Effect on Color Halftone [J]. *Imag Sci Tech*, 1998 (42) : 335.
- [10] CLAPPER F R, YULE J A C. The Effect of Multiple Internal Reflections on the Densities of Halftone Prints on Paper [J]. *Opt Soc Am*, 1953, 43 (7) : 600.
- [11] GOODALL C. Environmental Awareness and Compliance in Attractive and Functional Packaging [R]. Berlin: Environmental Packaging International committee, 2005: 1—9.
- [12] KHANGALDY P, SCHUENEMAN H H. Design Parameters for De-formable Cushion Systems [R]. San Jose: Westpak, inc, 2000: 1—17.
- [13] CHEN Shou-yu, GAO Yu, WANG Da-gang. Use of Engineering Fuzzy Sets, BP Neural Network and Genetic Algorithm for Intelligent Decision Making [J]. *Proceedings of the World Congress on Intelligent Control and Automation*, 2006 (1) : 3052—3056.
- [14] 白春燕, 张逸新, 秦承红, 等. Murray-Davies 网点面积率预测模型 [J]. *包装工程*, 2008, 29 (8) : 39—42.
- BAI Chun-yan, ZHANG Yi-xin, QIN Cheng-hong, et al. Murray-Davies Model for Predicting Dot Area [J]. *Packaging Engineering*, 2008, 29 (8) : 39—42.
- [15] 赵晨飞, 韩卿, 邹晨, 等. 尤尔-尼尔森光谱组介堡模型中修正指数的研究 [J]. *包装工程*, 2013, 34 (3) : 113—115.
- ZHAO Chen-fei, HAN Qing, ZOU Chen, et al. Research on Correction Factor of Yule - Nielsen Spectral Neugebauer Model [J]. *Packaging Engineering*, 2013, 34 (3) : 113—115.

(上接第 95 页)

- CHEN Jin, LYU Shi-jie, LI Yao-ming. Fault Diagnosis of Combine Harvester Based on PLC [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery*, 2011 (s1) : 118—122.
- [11] 吕玉明, 孔令来, 张平飞. 基于 ATmega128 的智能控制器设计及其在包装机中的应用 [J]. *包装工程*, 2009, 30 (11) : 64—68.
- LYU Yu-ming, KONG Ling-lai, ZHANG Ping-fei. Design and Application of Atmega128-based Intelligent Controller in Packaging Machine [J]. *Packaging Engineering*, 2009, 30 (11) : 64—68.
- [12] FREUND P R, SHARAR S R. Hyperthermia Alert Caused by Unrecognized Temperature Monitor Malfunction [J]. *Journal of Clinical Monitoring*, 1990, 6 (3) : 257—257.
- [13] 高淑敏, 费玉华. 基于 PLC 的动态系统故障诊断与带故障运行方法 [J]. *北京航空航天大学学报*, 2004 (9) : 68—71.
- GAO Shu-ming, FEI Yu-hua. Research on Fault Diagnosis and Running with Fault Method in Dynamic System Based on PLC [J]. *Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics*, 2004 (9) : 68—71.
- [14] JARI H, ANTTI A. Fault Tree Analysis for Maintenance Needs [J]. *Journal of Physics: Conference Series*, 2012, 364 (1) : 012102—012113.
- [15] MARKO Ć, BORUT M. A Dynamic Fault Tree [J]. *Reliability Engineering and System Safety*, 2002. (余不详)
- [16] 徐章遂等. 故障信息诊断原理及应用 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2000.
- XU Zhang-sui. Diagnosis Principle and Application for the Fault Information [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2000.
- [17] PAU L F. 故障诊断与性能监测 [M]. 王胜, 译. 广州: 华南理工大学出版社, 1988.
- PAU L F. Fault Diagnosis and Performance Monitoring [M]. WANG Sheng, Translate. Guangzhou: South China University of Technology Press, 1988.

(上接第 100 页)

- HOU Dong-liang. Motorcycle Packaging Line Balancing Based on MOD [J]. *Packaging Engineering*, 2012, 33 (21) : 137—141.
- [14] 杨萍. 基于动作研究的药品包装作业过程分析与优化 [J]. *包装工程*, 2010, 31 (13) : 66—70.
- YANG Ping. Pharmaceutical Packaging Process Analysis and Optimization Based on Action Research [J]. *Packaging Engineering*, 2010, 31 (13) : 66—70.
- [15] 庞新福, 杜茂华. 基于工业工程中模特法的动作研究 [J]. *机电产品开发与创新*, 2007, 20 (3) : 28—30.
- PANG Xin-fu, DU Mao-hua. Movement Research in MOD Based on Industrial Engineering [J]. *Development & Innovation of Machinery & Electrical Products*, 2007, 20 (3) : 28—30.
- [16] 张志勇. 基于产品工序分析的系统组装生产线平衡分析与改善 [D]. 上海: 上海交通大学, 2011.
- ZHANG Zhi-yong. The Methods for Solving the Problem of Balancing An Assembly Line [D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2011.