

基于Plant Simulation的手工装配线研究

邹福莉

北京建筑大学机电与车辆工程学院, 北京

收稿日期: 2023年2月23日; 录用日期: 2023年4月11日; 发布日期: 2023年4月18日

摘要

本文主要介绍了Plant Simulation软件的基础单元和简单实用方法, 对该仿真软件在装配线的建模仿真应用给出了一套可行的使用方法。并根据工厂实际的生产情况, 结合传统IE理论对生产数据的计算方式及软件中的生产数据计算方法, 给出了相关参数的设置方法及解释。通过本文的相关介绍, 可以使用Plant Simulation软件对手工装配线进行建模仿真, 并得出接近实际生产运营过程中的生产数据。

关键词

Plant Simulation, 手工装配线, 流水线

Research on Manual Assembly Lines Based on Plant Simulation

Fuli Zou

School of Mechanical-Electronic and Vehicle Engineering, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing

Received: Feb. 23rd, 2023; accepted: Apr. 11th, 2023; published: Apr. 18th, 2023

Abstract

This paper mainly introduces the basic units and simple and practical methods of Plant Simulation software, and gives a set of feasible methods for the simulation software in the modeling and simulation application of assembly line. According to the actual production situation of the factory, combined with the traditional IE theory of the calculation method of production data and the calculation method of production data in software, the setting method and explanation of relevant parameters are given. With this article, manual assembly lines can be modeled and simulated using Plant Simulation software and production data that approximates the actual production operation process can be obtained.

Keywords

Plant Simulation, Manual Assembly Lines, Assembly Line

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

2015年初,国家提出全面实施“中国制造2025”,这给中国制造业提出了更高的要求,不能只停留在“能制作”的层面上,要向工业设计等方面侧重。作为第三次工业革命的领头羊德国,提出的“工业4.0”后,工业建模仿真软件 Plant Simulation 应运而生,本文重点研究了该软件在装配线仿真上的应用。

2. 装配线仿真的步骤

一般仿真步骤如下表 1:

Table 1. Simulation steps

表 1. 仿真步骤

序号	步骤	说明
1	收集仿真目标相关数据	首先确定该企业车间的初版布局及优化后布局为仿真目标,得出了车间可布布局面积、产品工艺路线、物流动线频次等数据[1][2]。
2	建立模型	依据该企业布局,从软件中拖取实体对象,按照布局方案汇总的作业单位坐标进行建模。
3	编辑加工对象流程	根据产品的工艺路线,设计产品在每一个加工单位之间的流转方式,规划物流流转运路径、频率。
4	编辑实体单位参数	调整每一个加工单位的各类参数,如三维尺寸、加工能力、故障停机等具体参数[3]。
5	调试运行模型	运行仿真模型,在软件内利用系统自带语言对参数、逻辑的合理性进行检查及完善,达到获得丰富的、科学的仿真模型输出资料的目的。
6	仿真结果分析评估	通过分析仿真运行出的目标数据,与优化前后方案进行对比。

3. Plant Simulation 对装配线的建模

3.1. 利用软件内的功能模块实现产品装配的建模

软件中的 Mus 模组中,有 Part 和 Container 两个模块可以用来进行装配作业的建模,其特性见表 2。

Table 2. Mus module features 1

表 2. Mus 模组特性 1

Part	Container
其中 Part 表示基本的物料单元,可作为工站中的加工对象,在选项中打开编辑 3D 属性,可对其进行建模,改成自己所需的零件形状。	Container 表示容器单位,其基本属性为容器,软件中初始形状为托拍,可用于装载 Part,同时可对其进行容量编辑,在装配作业中,可以将其视为被装配件。

基于以上两种模块的基本属性，我们可以对装配作业进行简单建模。例如：假设手机共由四个部件组成，分别是手机下壳、主板、电池和显示屏。装配顺序如图 1。

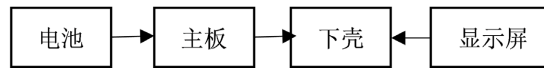


Figure 1. Assembly sequence
图 1. 装配顺序

其中主板和下壳为被装配对象，可用 Container 表示，电池和显示屏为装配对象，可用 Part 表示。

3.2. Part 和 Container 的扩展信息

- Part 零件是没有负载能力的移动物流对象，它在物流对象上进行移动。零件表示正在生产和运输的各种零件，但不运输其他工件。
- Container 容器是用于运输其他 MU 的移动物流对象。可以使用它对托盘、箱子、箱子等进行建模。
- 定义装载空间的容量，仅指 MU 的数量，而不是它们的物理大小。
- 在模拟运行期间，工厂模拟沿连接器将容器从一个物流对象移动到另一个物流对象[4]。

3.3. 对多人工多配件的装配线进行建模

在确定了主配件的建模方法后，还需要对加工中心进行建模，在软件中需要用到 Station 和 DismantleStation 两个模块，其特性见表 3。

Table 3. Mus module features 2
表 3. Mus 模组特性 2

Station	DismantleStation
Station 表示该工位只有一个工位用于处理零件。该站从其前身接收零件，对其进行处理并将其移至后继设备。	DismantleStation 表示装配站将安装部件添加到主要部件上，例如车身的车门和挡泥板。它会根据装配表中输入的值将安装部件移动到主 MU，或者删除它们。其 3D 属性也可根据需求进行更改[5]。

3.4. 模型建立

本文研究对象为装配流水线，涉及到加工和装配两种作业。因此需要用到 Station 和 DismantleStation 两个模块。零件需要用到 Part 和 Container 两个模块。分别对工位和传送带建模如图 2 和图 3，并根据企业实际情况，将工作台及传送带按需组合，得到流水线如图 4。

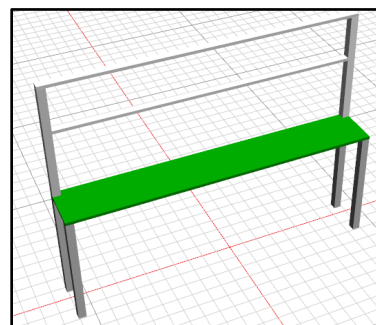


Figure 2. Station modeling diagram
图 2. 工位建模图

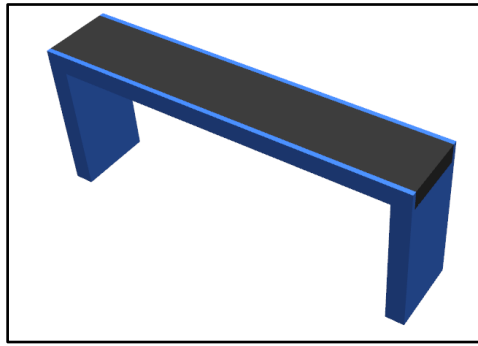


Figure 3. Conveyor belt modeling diagram

图 3. 传送带建模图

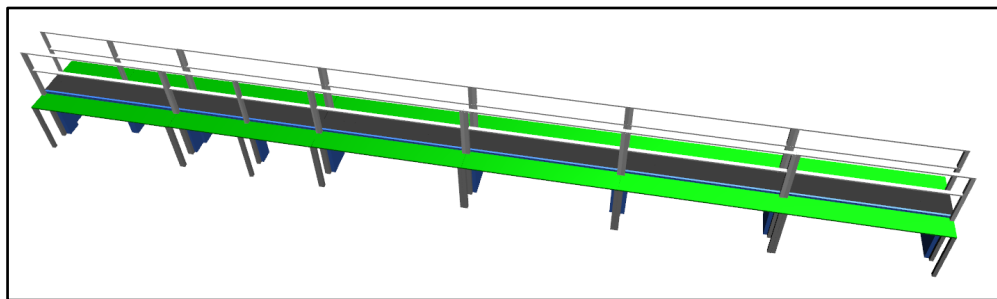


Figure 4. Assembly line

图 4. 流水线

在对 Station 模块进行建模或模型更改时需注意,尺寸和形状的改变不能改变该 Station 中工作面的位置,如图 5 所示。零件的位置不会自动在工作台上,有可能在平面上,有可能在模型外,因此,在对 Station 进行形状更改时,需要对其内置参数进行变更,从而调整加工零件的相对位置。

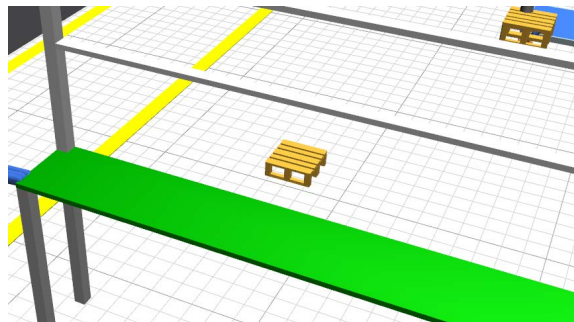


Figure 5. Schematic diagram of part position

图 5. 零件位置示意图

在人员方面,需要用到 Resources 模组中的 WorkerPool、Broker 和 ShiftCalendar。其中 WorkerPool 控制着工人的发生和回收, Broker 控制工人池、日程表和 Station 的连接关系。这里以 WorkerPool 为例,展示三者之间的相互关系,如图 6 所示。在 WorkerPool 一层界面属性栏中,可以看到工人、协调器和班次日程表三个可定义选项,其中工人中的创建表指的是需要定义该工人池中,工人的名称、数量及对应的工作等信息,如图 7 所示。协调器则控制着 Station 和工人池之间的工人交互关系,如想通过工人池向 Station 发送工人,则需要在一个协调器的控制下,班次日程表同理。

	工人	数量	班次	速度	效率	附加服务
1	*.Resources.Worker	1		10		程序烧写10
2	*.Resources.Worker	1		10		减噪盒与风机装...
3	*.Resources.Worker	1		10		减噪盒与风机装...
4	*.Resources.Worker	1		10		主机上壳安装...
5	*.Resources.Worker	1		10		安装导轨及回弹...
6	*.Resources.Worker	1		10		安装风机脚垫及...
7	*.Resources.Worker	1		10		安装主机脚垫120
8	*.Resources.Worker	1		10		上车老化140
9	*.Resources.Worker	1		10		主板连线20
10	*.Resources.Worker	1		10		主板调试301
11	*.Resources.Worker	1		10		主板调试302
12	*.Resources.Worker	1		10		主机上壳组装60
13	*.Resources.Worker	1		10		清理及镜片安装...
14	*.Resources.Worker	1		10		安装接口支架100
15	*.Resources.Worker	1		10		整机测试130

Figure 6. Diagram 1

图 6. 关系图 1

名称: WorkerPool

标签: 已计划

属性 | 统计信息 | 控件 | 用户定义

工人: 创建表

仅从该池中获取作业单

工人可以远程工作

出行方式: 在区域内自由移动

协调器: Broker

班次日程表: ShiftCalendar

零件缓冲区:

Figure 7. Diagram 2

图 7. 关系图 2

4. Plant Simulation 对装配线的仿真

4.1. 装配线的节拍

在装配线上，一般将此装配线上工时最长的工位定义为瓶颈工位，而瓶颈工位的工时即为该条装配线的节拍。通过节拍，可以计算出该条装配线的小时产能、日产能和线平衡率等数据。

4.2. 传统节拍的使用方法和仿真模型中的节拍

在传统节拍的使用方法中，一条装配线的产能即等于该条产线可投入生产使用的时间除以节拍，无

论瓶颈工位在该条装配线的哪个位置，计算公式都如上述一样，但这样计算存在一定的误差，即：假设该条装配线共有 20 个工位，在产线清空且没有在制品的情况下，瓶颈工位在该条产线的第一个工位，若瓶颈工位一天的产能为 20 个产品，瓶颈工位的产能即为该条产线的产能，那么存在一个问题，在可用时间耗尽时，第一个工位即瓶颈工位可以恰好产出 20 个产品，但是其后续的第二个工位可用时间耗尽，无法继续制作第一个工位即瓶颈工位所制造的第 20 件产品，同理，剩余的 18 个工位也没有可用时间用来制造剩余产品。所以，在实际生产过程中，装配线的实际产能应该是低于利用瓶颈工位计算出来的理论产能。如果要正确的使用产线产能等于可用时间除以瓶颈时间这个公式，那么就需要加一个必要条件，即：在生产活动开始时，每一个工位都需要有至少一件在制品，才能保证瓶颈工位的产能是该条产线的产能。

但是，在工厂实际的生产活动中，行业法规一般要求任务单切换时或交接班时，产线要清空，无法保证每一个工位都有至少一件在制品，所以上述的产能计算公式无法得到准确的理论产能数据。如果要得到更为准确的理论产能数据，那么就需要在可用时间里减去产品首尾件的时间。

如果要将节拍数据和可用时间数据导入仿真模型中，那么在设置每个工位的可用时间时，就不能减去首尾件的时间。因为在 Plant Simulation 软件中，产品在产线的流转时间，已经被运算过了，如果再减去首尾件的时间，那么会导致数据不准确，而我们得出的仿真结果，也会不准确。

4.3. 产品实际在传送带上的位置和仿真模型中的位置偏差

在工厂的实际生产过程中，如果流水线选用的是倍速链，那么产品在倍速链上的相对位置是固定的，我们可以通过倍速链的速度和长度，以及每个工位的工时即可算出产品在产线上的周期时间。如果流水线选用的是普通传送带，且传送带速度相对较慢，而且员工需要将产品从传送带上取下作业，那么会出现一种情况，即：员工从传送带上取放产品时的位置是不确定的。所以如果通过传送带的速度、长度和工位的工时，无法计算出准确的理论产品周期时间，因为员工的取放产品位置，会导致传送带的长度变长或变短。

因此在仿真模型中，如果不对产品取放位置对传送带长度的影响进行补偿，那么每个工位的产品取放位置，应尽可能设置在工位的正中间，以减少实际生产过程中员工取放产品位置不确定的影响。

4.4. 装配线仿真

通过上述方法对某工厂的手工装配线和配料进行建模仿真，得到仿真效果图如图 8 和图 9。从 3D 模型中可以看到物料的实时流转和产品的加工过程，便于生产管理者掌握工厂整体情况。

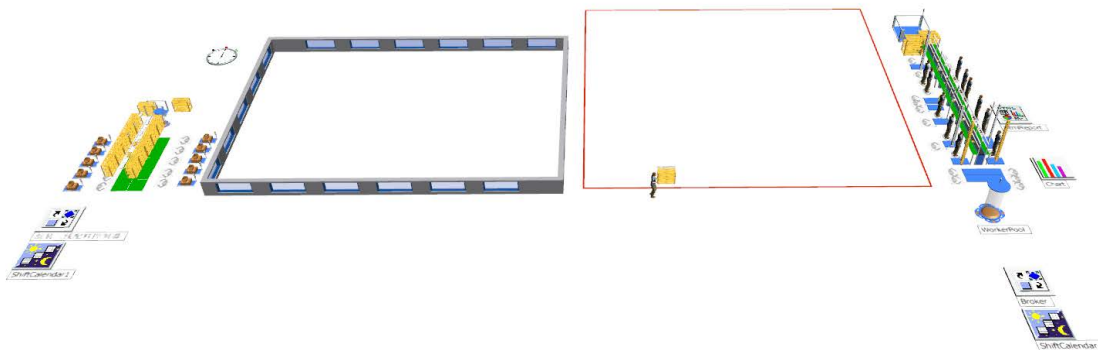


Figure 8. Factory model diagram 1

图 8. 工厂模型图 1

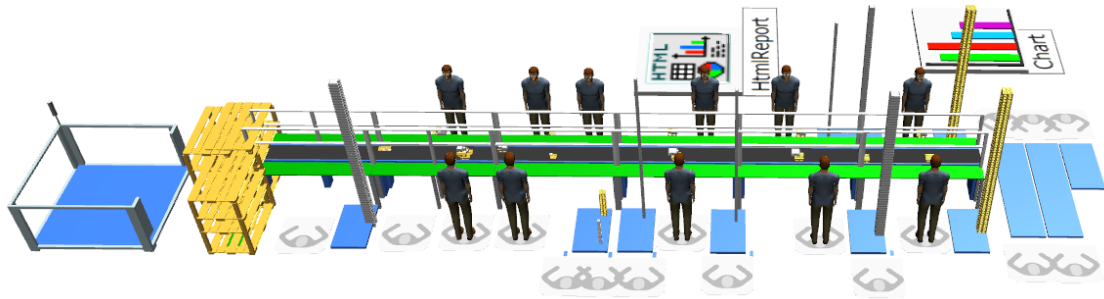


Figure 9. Factory model diagram 2
图 9. 工厂模型图 2

得到仿真数据如图 10、图 11 和图 12 所示。

对象	工作中	设置	等待中	已阻塞	上电/掉电	失败	已停止	已暂停	未计划	部分
上壳01	73.73%	0.00%	2.66%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	15.28%	8.33%	
上壳02	65.12%	0.00%	8.00%	3.27%	0.00%	0.00%	0.00%	15.28%	8.33%	
上壳01	75.85%	0.00%	0.54%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	15.28%	8.33%	
下壳02	55.58%	0.00%	20.80%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	15.28%	8.33%	
总装01	51.97%	0.00%	2.64%	21.78%	0.00%	0.00%	0.00%	15.28%	8.33%	
总装02	62.43%	0.00%	2.61%	11.34%	0.00%	0.00%	0.00%	15.28%	8.33%	
总装03	72.58%	0.00%	3.81%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	15.28%	8.33%	
总装04	62.01%	0.00%	10.74%	3.64%	0.00%	0.00%	0.00%	15.28%	8.33%	
总装05	75.76%	0.00%	0.63%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	15.28%	8.33%	
总装06	75.66%	0.00%	0.73%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	15.28%	8.33%	
总装07	47.06%	0.00%	29.33%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	15.28%	8.33%	
风机01	58.33%	0.00%	6.32%	11.73%	0.00%	0.00%	0.00%	15.28%	8.33%	
风机02	65.45%	0.00%	4.83%	6.10%	0.00%	0.00%	0.00%	15.28%	8.33%	
风机03	52.02%	0.00%	6.96%	17.41%	0.00%	0.00%	0.00%	15.28%	8.33%	

Figure 10. Simulation data diagram 1
图 10. 仿真数据图 1

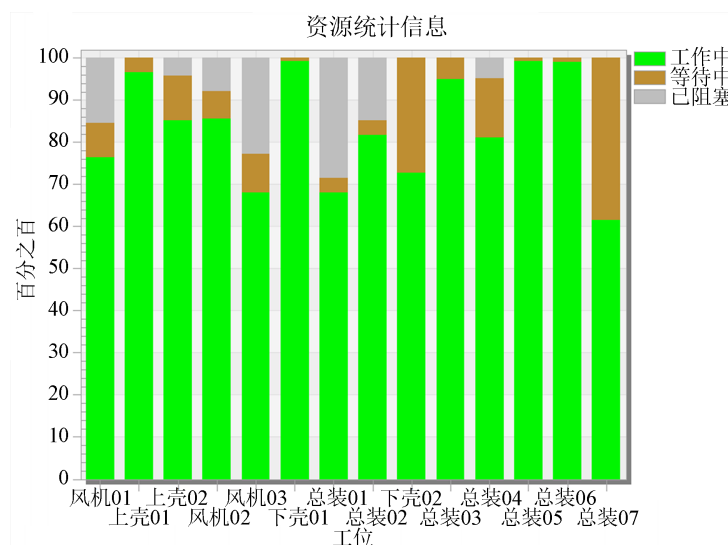


Figure 11. Simulation data diagram 2
图 11. 仿真数据图 2

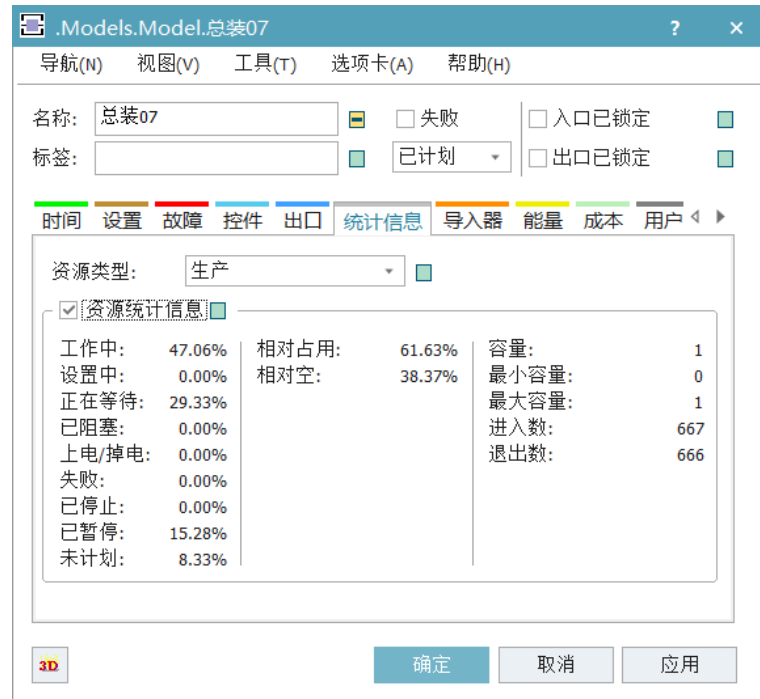


Figure 12. Simulation data diagram 3
图 12. 仿真数据图 3

通过软件我们可以得到该条装配线的产能、节拍和线平衡率等数据。同时可以得出每个工位的等待时间占比和阻塞时间占比。并且通过图表可以快速看到产线的各类损失时间，如计划损失，异常损失等，方便我们计算产线的效率，分析原因。此外还可以快速地找到影响整体产能的问题工位或问题点，方便未来开展针对性工作并作出改善。

5. 仿真结果同传统 IE 理论的对比分析

将仿真结果汇总并与理论计算结果进行对比，整理成对照表见图 13。

产品标准工时表						仿真数据	
产品型号	XXX	可用时间 (H)	10	每日最大产量(PCS)	668	666	
产品名称	XXX	最长周期时间(S)	97.91	每时最大产量(PCS)	74	74	
生产过程	组装			流水线平衡	88.2%	88.2%	
生产单元	2线			使用人数总计	15	15	
工序代码	工序名称	标准工时 (S)	分配使用人数	每小时总产量(PCS)	每日总产量(PCS)	工作负荷	仿真每日总产量
1	A	43.51	1.0	83	751	88%	744
2	B	36.33	1.0	99	900	73%	729
3	C	41.01	1.0	88	797	83%	714
4	D	44.24	1.0	81	739	89%	705
5	E	47.71	1.0	75	685	96%	690
6	F	44.30	1.0	81	738	89%	689
7	G	42.17	1.0	85	775	85%	709
8	H	74.92	2.0	96	873	76%	708
9	I	42.55	1.0	85	768	86%	686
10	J	47.87	1.0	75	683	97%	685
11	K	43.52	1.0	83	751	88%	684
12	L	97.91	2.0	74	668	99%	667
13	M	41.48	1.0	87	788	84%	666

Figure 13. Comparison of simulation results
图 13. 仿真结果对比

从图中可以看出计算出的理论每日产能为 668 个, 仿真出的每日产能为 666 个, 在实际生产过程中, 应该以装配线最后一个工位的产出作为该条线的产出, 即每日产能为 666 个。

6. 结论

本文通过分析 Plant Simulation 软件在多工位手工装配线的应用方法, 并对一案例进行仿真建模, 验证了方案的可行性。同时, 将传统 IE 对生产理论计算数据与仿真数据进行对比, 分析其差异原因, 并优化了仿真参数的输入方法。通过实际案例, 将理论方法运用于实践, 验证了技术路线的可行性, 证明了文中所述方法的实践性。

参考文献

- [1] 郑晓军. 生产车间设施布局优化方法研究[D]: [博士学位论文]. 大连: 大连理工大学, 2010.
- [2] 刘洋. 多品种小批量的关节产品车间布局优化与评价[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京建筑大学, 2022.
- [3] 彭旺明, 张晓川. Em-plant 在生产线作业仿真中的应用研究[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2004(4): 597-599.
- [4] 黄冬梅. 车间设备布局建模分析及基于 eM-Plant 的仿真优化[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 华中科技大学, 2012.
- [5] 黄国安. 基于 Plant Simulation 的汽车混流装配线仿真研究与优化[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东大学, 2012.