



---

# 灌装输送线数字化设计平台研究与开发

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF DIGITAL DESIGN PLATFORM FOR FILLING CONVEYOR LINE

---

陶 熠 著



西南财经大学出版社  
Southwestern University of Finance & Economics Press

中国·成都

本专著受重庆市本科高校“三特行动计划”物流管理特色专业项目资助

---

# 灌装输送线数字化设计平台研究与开发

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF DIGITAL DESIGN PLATFORM FOR FILLING CONVEYOR LINE

---

陶 熠 著



西南财经大学出版社  
Southwestern University of Finance & Economics Press

中国·成都

## 图书在版编目(CIP)数据

灌装输送线数字化设计平台研究与开发/陶熠著. —成都:西南财经大学出版社, 2017. 11  
ISBN 978 - 7 - 5504 - 3312 - 0

I. ①灌… II. ①陶… III. ①数字技术—应用—灌装—设计  
IV. ①TB485.9 - 39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 298097 号

## 灌装输送线数字化设计平台研究与开发

陶熠 著

责任编辑:林伶

封面设计:张姗姗 杨红鹰

责任印制:朱曼丽

出版发行	西南财经大学出版社(四川省成都市光华村街55号)
网 址	<a href="http://www.bookej.com">http://www.bookej.com</a>
电子邮件	bookej@foxmail.com
邮政编码	610074
电 话	028 - 87353785 87352368
照 排	四川胜翔数码印务设计有限公司
印 刷	郫县犀浦印刷厂
成品尺寸	148mm × 210mm
印 张	3.875
字 数	120千字
版 次	2018年2月第1版
印 次	2018年2月第1次印刷
书 号	ISBN 978 - 7 - 5504 - 3312 - 0
定 价	36.00元

1. 版权所有,翻印必究。
2. 如有印刷、装订等差错,可向本社营销部调换。

---

# 序言

## Preface

在饮料灌装输送线中，由于单元设备如灌装机、贴标机等大多由专业厂商提供，因此如何快速设计出满足饮料生产线要求的灌装输送线，已成为当前饮料机械制造企业重点关注的问题。同时由于受生产线场地的限制，而且还受生产线的产能目标、单元设备产能等约束，涉及布局、结构、运行等内容，灌装输送线设计是典型的多约束条件下的设计优化问题，是当前饮料机械制造企业的难点。应用信息化的手段，构建灌装输送线数字化设计与制造平台，实现对灌装输送线全生命周期的支持，是促进饮料机械制造企业快速响应客户需求、降低新产品开发设计成本、提高企业市场竞争能力的重要途径。本书对灌装输送线数字化设计平台进行了需求分析，在分析灌装输送线数字化设计的过程与主要内容后，研究了灌装输送线数字化设计平台的功能体系，对平台的功能模型进行了设计，平台集成了零部件库、设备库和输送单元库等基础库的功能。本书提出了灌装输送线产品集成化建模的方法与技术，支持布局的灌装输送线部件变型设计的方法与技术，基于布局的灌装输送线零部件协同变型的方法与技术。

本书的研究成果主要体现在以下几方面：一是设计和开发了建模工具，主要包括灌装输送线零件建模工具、部件建模工具和零部件系列化设计工具。利用基于事物特性表（SML）的方法实现零件参数化建模，利用配置技术对输送线部件建模，根据相似性原理，对输送线零部件进行系列化设计。二是设计

和开发了灌装输送线部件变型设计工具，在平台基础库（零件库、部件库、输送线单元库、设备库）的基础上，实现了灌装输送线部件的变型设计。三是设计和开发了灌装输送线的零部件协同变型设计功能，实现了灌装输送线布局设计与零部件设计的协同变型设计。

本书的出版受到重庆市高校青年骨干教师资助计划项目（670101110）、重庆工商大学青年博士基金（1352022）、重庆工商大学科研启动基金（2013-56-02）、重庆工商大学专项科研项目（1659030）的资助。

本书在写作过程中得到了导师王正肖副教授、潘晓弘教授的悉心指导，在此表示衷心的感谢！感谢重庆市特色农产品加工储运工程技术研究中心和重庆市本科高校“三特行动计划”物流管理特色专业项目的大力支持！感谢重庆市特色农产品加工储运工程技术研究中心之农产品冷链物流团队的帮助！同时感谢西南财经大学出版社林伶老师的认真负责，使本书得以顺利出版，在此深表谢意！

由于作者的水平有限，书中疏漏或不当之处，恳请广大读者及同行专家赐教指正。

陶熠

2017年9月

# 摘要

《灌装输送线数字化设计平台研究与开发》结合浙江省制造业信息化优先主题重点项目“食品饮料机械产品数字化设计与制造集成平台的开发与应用”，在参阅国内外相关文献的基础上，对灌装输送线数字化设计平台进行了研究，提出了灌装输送线产品集成化建模方法与技术，支持布局的灌装输送线部件变型设计方法与技术；基于布局的灌装输送线零部件协同变型方法与技术，设计了灌装输送线数字化设计平台体系结构和功能模型，开发了支持灌装输送线数字化设计的平台原型系统。

第一章介绍了数字化设计制造技术的发展历程和发展趋势，以及国内外研究现状，引出了本书的研究内容，即对于灌装输送线产品的数字化设计，如何利用有效的工具和方法来提高设计效率及设计质量的关键技术。

第二章对灌装输送线数字化设计过程进行了分析，针对灌装输送线数字化设计需求，设计了灌装输送线数字化设计平台体系结构。设计平台集成了零部件库、设备库和输送单元库等基础库的功能。阐述了集成平台关键技术，包括灌装输送线产品族模型建模技术，输送线零部件协同变型技术和零部件系列化技术。

第三章对灌装输送线产品集成化建模方法和技术进行了研究，利用基于事物特性表（SML）的方法实现零件参数化建模；利用配置技术对输送线部件建模；根据相似性原理，对输

送线零部件进行系列化设计。分析了灌装输送线零件建模、部件建模、产品系列化的流程，通过过程优化对零件建模工具、部件建模工具、产品系列化工具进行了设计和开发。

第四章阐述了基于平台的灌装输送线数字化设计，利用布局模型库提供的模型资源进行灌装输送线的布局设计，利用仿真软件对布局模型进行分析，根据布局设计和仿真分析的结果对灌装输送线零部件及输送单元进行结构设计。实现了部件变型设计，利用零部件协同变型技术实现了输送线组成单元的协同变型。

第五章对本书研究内容进行了总结和展望。

**关键词：**灌装输送线；数字化设计；产品建模；变型设计

---

# Abstract

Combined with the priority themes key project in IT Implementation in Manufacturing Industries of Zhejiang Province “Development and Application of Digital Product Design and Manufacture Integration Platform for Food and Beverage Industries” (No. 2008C11005), In reading the literature home and abroad, digital design platform of filling conveyor line has been studied. Proposed filling transmission line products integrated modeling methods and techniques, components variant design methods and techniques to support the layout of filling transmission lines, parts and components together variant methods and techniques based on the layout of filling transmission lines. We designed the architecture and functional model of digital design platform for filling conveyor line, developed of digital design platform prototype system to support bottling conveyor line designing.

Chapter 1 introduced the development process and development trend of digital design and manufacturing technology, and the research situation home and abroad, took out the content of the thesis, that is, for the filling conveyor line design, how to use efficient tools and methods to improve design quality and effectiveness.

Chapter 2 analyzed the design process of filling conveyor line designing, based the requirement of filling conveyor line design, design the architectures of the design platform for filling conveyor

line designing. The platform integrated basis library such as parts library, transport cell library, equipment library, etc. This paper introduced the key technologies of the platform, including modeling of the product family model of filling transmission line, conveyor line components collaborative change and parts technologies serialization techniques.

Chapter 3 studied the integrated modeling methods and techniques of the filling conveyor line products. SML technology and configuration technology were been used to realize the parts modeling. According to the similarity principle, designed the components series of transmission line. This chapter analyzed the process of parts modeling, transmission cell modeling and series technology. According to that this paper designed the tools for parts modeling and series design.

Chapter 4 introduced the design of filling conveyor line based on the platform. First the libraries on the platform were been used to support the layout design. After the analyzing the layout model and simulation the model, The results were used to support component architecture design. Finally variant parts designing and collaborative variants realized on the platform.

The content of this paper was summarized and prospects in Chapter 5

**Key Words: Filling Conveyor line; Digital Design; Product Modeling; Variant Design**

---

# 目录

## Contents

### 第一章 绪论 /1

#### 1.1 研究背景和目的 /1

##### 1.1.1 研究背景 /2

##### 1.1.2 研究目的 /3

#### 1.2 研究现状 /4

##### 1.2.1 数字化设计现状 /4

##### 1.2.2 产品建模的研究现状 /6

##### 1.2.3 变型设计研究现状 /6

##### 1.2.4 灌装输送线数字化设计的研究现状 /7

#### 1.3 本书的研究内容及体系框架 /9

#### 1.4 本章小结 /10

### 第二章 灌装输送线数字化设计平台的研究 /11

#### 2.1 灌装输送线数字化设计平台需求分析 /11

##### 2.1.1 灌装输送线简介 /11

##### 2.1.2 灌装输送线设计过程分析 /13

##### 2.1.3 灌装输送线数字化设计的需求 /15

#### 2.2 灌装输送线数字化设计平台总体方案 /16

##### 2.2.1 平台体系结构 /17

##### 2.2.2 平台功能模型 /19

- 2.2.2.1 设计项目管理 /21
- 2.2.2.2 输送单元设计 /21
- 2.2.2.3 输送线总装设计 /22
- 2.2.2.4 系统接口 /23
- 2.2.3 平台基础库和支持工具 /23
  - 2.2.3.1 平台基础库 /23
  - 2.2.3.2 灌装输送线设计的支持工具 /29
- 2.3 灌装输送线数字化设计平台关键技术 /30
  - 2.3.1 灌装输送线产品族模型建模技术 /30
  - 2.3.2 面向灌装输送线产品设计过程的零部件协同变型技术 /31
  - 2.3.3 灌装输送线零部件设计系列化技术 /32
- 2.4 本章小结 /32

### 第三章 灌装输送线产品集成化建模工具 /33

- 3.1 灌装输送线零部件模型与系列化概述 /33
  - 3.1.1 灌装输送线零部件模型、输送单元模型及设备模型 /34
  - 3.1.2 输送线零部件主模型与信息模型 /36
  - 3.1.3 面向灌装输送线零部件设计的系列化 /36
- 3.2 灌装输送线零件建模工具 /38
  - 3.2.1 基于事物特性表的产品建模原理和过程分析 /38
    - 3.2.1.1 建模原理 /38
    - 3.2.1.2 建模过程分析 /39
  - 3.2.2 零件建模工具的设计 /40
    - 3.2.2.1 灌装输送线零件建模总体流程 /40
    - 3.2.2.2 灌装输送线零件建模功能模型及其分解 /41
  - 3.2.3 零件建模工具的开发 /48
  - 3.2.4 零件建模原型系统界面 /51

- 3.3 灌装输送线部件建模工具 /57
  - 3.3.1 基于配置的部件建模原理 /57
    - 3.3.1.1 灌装输送线部件的信息描述 /57
    - 3.3.1.2 灌装输送线部件模型配置技术 /58
  - 3.3.2 部件建模工具的设计 /60
    - 3.3.2.1 灌装输送线零件建模总体流程 /60
    - 3.3.2.2 灌装输送线零件建模功能模型及其分解 /62
  - 3.3.3 部件建模工具的开发 /64
    - 3.3.3.1 灌装输送线部件组成模型 /64
    - 3.3.3.2 组成模型获取系统开发过程 /66
  - 3.3.4 部件建模原型系统界面 /66
- 3.4 输送线零部件系列化工具 /69
  - 3.4.1 系列化原理 /69
  - 3.4.2 零件系列化设计与开发 /70
  - 3.4.3 部件系列化设计与开发 /72
  - 3.4.4 产品系列化原型系统界面 /74
- 3.5 本章小结 /75

#### 第四章 基于平台的灌装输送线数字化设计 /76

- 4.1 灌装输送线数字化设计核心内容及其支撑 /76
  - 4.1.1 灌装输送线数字化设计平台运行环境及支撑要素 /76
  - 4.1.2 灌装输送线数字化设计核心内容 /77
  - 4.1.3 灌装输送线不同设计内容所需支持软件 /78
- 4.2 基于平台的灌装输送线设计技术 /79
  - 4.2.1 基于设计知识库的灌装输送线布局设计 /79
  - 4.2.2 基于目标优化的灌装输送线布局分析 /82
  - 4.2.3 快速响应布局需求的结构设计 /83

- 4.3 支持布局设计的输送线部件变型设计 /84
  - 4.3.1 基于事物特性表 (SML) 的变型设计原理 /85
  - 4.3.2 支持布局的部件变型设计过程建模 /86
  - 4.3.3 部件变型设计软件功能的实现 /92
- 4.4 基于灌装输送线布局的零部件协同变型设计 /94
  - 4.4.1 零部件协同变型设计技术 /94
  - 4.4.2 基于布局的零部件协同变型 /96
    - 4.4.2.1 零件的变型 /96
    - 4.4.2.2 改变部件装配体组成零件的几何形状 /98
    - 4.4.2.3 通过组成零件的改变驱动零部件协同变型 /99
  - 4.4.3 零部件协同变型设计实现 /101
- 4.5 本章小结 /103

## 第五章 总结与展望 /104

- 5.1 总结 /104
- 5.2 展望 /105

## 参考文献 /106

---

# 第一章

## 绪 论

---

**【摘要】**本章主要介绍 CAD、CAE、CAM 等数字化设计制造技术的发展历程和发展趋势。本章分析了灌装输送线数字化设计的背景，说明了本书的研究目的，详细叙述了数字化设计、产品建模、变型设计、灌装输送线数字化设计的研究现状；通过广泛阅读相关文献资料，明确了本书的研究目标，说明了本书研究的意义，进而提出了本书的研究内容和总体研究思路。

### 1.1 研究背景和目的

随着市场竞争的不断加剧，产品的生命周期越来越短，在买方市场下，快速设计制造出满足客户要求的产品，将成为企业的第一竞争要素。此外，随着经济的发展以及社会的进步，市场对于产品的需求越来越多样化和个性化。当前的企业生产经营现状已满足不了人们逐步增长的物质需求，企业只有不断创新，不断研究开发新的产品，即时向市场推出创新性产品，赶超同行，引领行业的发展，才能在外部的竞争及市场需求的争夺上走在前列，立于不败之地。在当前金融危机对实体经济的

强烈冲击下，国外消费市场疲软，企业如何挖掘国内潜在消费市场，如何针对市场已有的需求以及即将形成的消费市场做文章，如何在短时间内开发出新产品，缩短开发周期，降低开发成本，增强市场竞争力，是摆在国内广大企业面前的问题。

### 1.1.1 研究背景

本书所研究的×××食品饮料生产企业即面临这样的问题。一方面外部竞争环境要求企业不断推出新产品，以差异化竞争的战略优势来赢得市场争夺的战争；另一方面国内软饮料市场的现状已满足不了人们对于饮料产品的多元化需求。因此企业制定了差异化竞争的战略，这就对企业快速开发制造新产品提出了要求。这其中包括饮料产品的多元化和饮料包装的个性化和多样性。饮料产品和饮料包装的多元化则对饮料灌装输送线的设计制造提出了要求。

国内学术界对于灌装输送线的主要研究有：高原等<sup>[1]</sup>对于输送线上输送物体前后不匹配的问题进行了研究；王书亭等<sup>[2]</sup>利用面向对象的方法采用仿真的技术手段对灌装生产线进行设计；李占辉<sup>[3]</sup>对液化石油气灌装工艺进行了研究；崔荣会等<sup>[4]</sup>对某企业灌装输送线设计制造的系统进行了描述。而对于灌装输送线数字化设计的研究，国内相关研究目前略显不足。

×××企业集团主营业务之一是食品饮料生产，在食品饮料生产所需的饮料灌装输送线设计与制造过程中，迫切需要解决的问题有：①灌装输送线布局优化设计：由于布局考虑的因素很多，设计人员缺乏相应的信息化工具支持，只能对以前布局方案的适应性进行修改，并通过设计经验来判断是否能够达到设计要求，从而必然会由于考虑不周全而导致灌装输送线在现场安装时很难一步到位，需要对布局进行局部调整，从而导致整个输送线的设计与制造周期加长。②灌装输送线零部件的合

理化问题：根据灌装输送线的设计流程，在输送线总体布局确定后，需要确定各种零部件的数量和规格。灌装输送线的个性化定制确定了不同输送线所需的零部件的数量和规格各不相同，从而导致了灌装输送线零部件的种类和数量都很多。如何通过数字化设计与制造技术减少灌装输送线零部件的数量和种类，是该企业缩短灌装输送线设计与制造周期、降低生产成本、提高管理水平的关键问题。

### 1.1.2 研究目的

食品饮料企业在实施产品制造战略时，根据产品的不同、产能的不同、工厂环境的不同、设备的不同等相关的约束条件，为了实现快速开发制造多样化的新产品包装，需要对饮料灌装过程中使用到的灌装输送线进行定制化开发。如何在较短的时间内设计出满足要求的饮料灌装输送线是本书的研究目的。在饮料灌装输送线数字化设计过程中，通过数字化设计的手段，减少零部件种类和数量，支持输送线总体布局、布局运行仿真、输送线零部件的结构设计、输送单元设计等，减少现场安装时的错误，以缩短饮料输送线设计的周期和降低成本为目的。对于食品饮料灌装输送线而言，因为场地和产能的要求，每一条生产线都是独立的，无法通过复制的方法进行重复设计。通过数字化设计的方法可以提高灌装输送线的设计效率，减少设计周期，降低设计成本，提升设计质量。本书的具体研究目的为：

(1) 建立基于事物特性表（SML）的灌装输送线零部件族建模方法

要实现灌装输送线数字化设计，对灌装输送线零部件进行建模是基础。基于事物特性表的建模方法是通过定义事物特性表参数，建立几何模型与事物特性表的关系，通过事物特性表来描述几何模型的形状特征。

## (2) 支持灌装输送线数字化设计的变型设计

变型设计是在不改变原有产品基本结构和功能性能的情况下,在原有模型或实例的基础上,通过改变产品的几何模型参数来实现的。用参数驱动的变型方法可以快速实现产品的几何造型,从而实现灌装输送线的快速设计。

## (3) 开发面向灌装输送线数字化设计的应用系统

在基于事物特性表的建模技术、变型设计技术的基础上,研究应用系统的设计和流程,开发支持灌装输送线数字化设计的原型系统。

# 1.2 研究现状

## 1.2.1 数字化设计现状

数字化、精密化、智能化、微型化、生命化和生态化是21世纪的机械制造工程的六大发展方向。在构成制造系统的三大要素物质、能量和信息中,信息正成为制约现代制造系统的主导因素,数字化被列为机械制造工程六大发展趋势之首。

数字化是指以数字计算机为工具,科学地处理机械制造信息的一种行业应用状态。数字化技术是指以计算机硬件、计算机软件、信息存储、通信协议、周边设备和互联网等为技术手段,以信息科学理论为基础,包括信息的数字表达、收集、处理、存贮、传递、传感、仿真、控制、物化、集成和联网等领域的科学技术集合。

产品数字化设计与制造主要包括用于企业的计算机辅助设计(CAD)、制造(CAM)、工艺设计(CAPP)、工程分析(CAE)、产品数据管理(PDM)等内容。其数字化设计的内涵是支持企业的产品开发全过程、支持产品相关数据管理、支