

Flexsim 物流仿真与 系统优化

■ 尹 静 马常松 周向阳 著

Flexsim WULIU FANGZHEN YU
XITONG YOUHUA



冶金工业出版社
www.cnmp.com.cn

Flexsim 物流仿真与系统优化

尹 静 马常松 周向阳 著

冶金工业出版社

2018

内 容 提 要

本书以实际企业案例为背景,引导读者直接切入问题情境,探讨范围包括制造车间系统、仓储系统、配送中心与分拣系统、物料管理、产线仿真与优化等。本书案例取材于不同物流功能过程,数据资料来源于实际企业项目,通过将系统优化方法与仿真系统相结合,在 Flexsim 系统仿真平台上建立研究对象的系统三维模型,然后对模型进行各种系统分析和工程验证,最终获得规划设计和优化改造方案,提升物流系统的运作效率。

本书研究成果丰富了物流工程与管理的仿真研究,可以作为物流工程、工业工程、管理工程等领域研究生和本科生的教材或课外参考书,也可以作为咨询企业工程技术人员掌握仿真技术与优化方法的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

Flexsim 物流仿真与系统优化/尹静,马常松,周向阳著. —北京:冶金工业出版社,2018.1

ISBN 978-7-5024-7483-6

I. ①F… II. ①尹… ②马… ③周… III. ①物流—系统建模—应用软件 ②物流—系统仿真—应用软件 IV. ①F252-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 081673 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcbcs@cnmp.com.cn

责任编辑 郭冬艳 美术编辑 吕欣童 版式设计 孙跃红

责任校对 郑 娟 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-7483-6

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;三河市双峰印刷装订有限公司印刷

2018 年 1 月第 1 版,2018 年 1 月第 1 次印刷

169mm×239mm;14.25 印张;276 千字;217 页

39.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

前言

本书聚焦于现代物流系统的仿真优化方法及实践应用，以 Flexsim 为平台，融合系统优化方法的专项知识，在介绍物流节点功能模块的基础上，在仿真工具中集成优化算法，探讨物流仿真与系统优化方法的融合，在理论上推动系统优化方法的进展；在企业管理实践上力求提升物流过程的运作效率。本书的主要内容为：

(1) 生产车间系统。以工艺布局、单元布局和混合布局三种原则进行布局设计与评价，并对可能面临的不确定因素进行方案改进，完成系统仿真与优化过程。其中，工艺布局有利于同组设备的负荷平衡，可处理多种工艺要求；单元布局省去了工艺布局的物料问题，效率较高；混合布局则是将二者的优点融合，以精益生产和柔性制造为原则，并尝试体现布局中的鲁棒性，将以上几点结合，以达到柔性服务型制造。

(2) 仓储系统。首先结合国内某公司商品基本数据及仓库建设的要求，对仓库进行总体布局设计和作业流程分析并完成仓库的内部设计，通过仿真验证方案是否满足需求；针对某起重设备制造企业，通过分析业务情况和整理生产数据，对露天仓储部分构建布局模型，结合 Autocad、Sketchup 完成实体模型制作、导入、库区建模、厂区建模、路线规划、参数设置等内容，在 Flexsim 平台上完成性能分析。

(3) 配送中心。围绕某医药企业多功能配送中心的布局规划问题，对作业流程、功能及其功能区域划分进行分析设计，结合 SLP 法确定布局规划方案，完成建模仿真与数据统计，验证方案可行性。

(4) 分拣系统。首先以国内某配送中心运营数据为背景，对现有基本拣选策略进行仿真与比较研究，掌握其性能特性及适用范围。在此基础上引入某电商企业的配送分拣策略的优化问题，分析并确定订

单分批策略,运用仿真分析方法,对三种不同的策略分别建立仿真模型,最后通过数据比较,验证设计分拣方案的性能。

(5) 物料管理。主要研究产线物料供应与料箱存取等问题。首先对某汽车零部件生产企业的生产配送方式进行仿真分析,掌握生产配送系统中配送方式设计与优化的过程及方法,包括针对“推式”和“拉式”两种典型的生产配送方式进行比较分析,两种方式的作业流程分析和仿真分析,之后在此基础上设计了一种生产配送优化方法,包括作业方式和作业流程,进行仿真分析验证,从在制品库存、最小库存、缺货时间以及配送小车几方面进行数据统计分析与性能评价。其次对原料箱存取系统进行需求分析,通过建立仿真模型,统计设备利用率、库容率等各项指标,验证并优化 AGV 设备的数量以及库容货位等运营工作状况。

(6) 产线仿真与优化。在掌握基本流水线设计与优化的基础上选取 F 公司运营数据作为综合案例,通过介绍生产线中各元素(工装、设备、工件、人员)的工作特性,工艺流程,分析生产线管理模式与潜在问题,在此基础上设计仿真模型,找到生产线中需要进一步精益优化的环节,进一步从四个方面对生产线进行精益优化。第一方面主要以 ESCRI 的优化方法对生产线的设备和人员进行合理的规划,消除人员和设备产生的明显浪费。第二方面对生产线进行布局优化。第三方面消除生产线的生产瓶颈,实现提高生产线效率和平衡性的优化。第四方面在掌握排序规则仿真的基础上,针对 CANNING 生产线,将系统仿真与 NEH 算法相结合解决动态调度问题。

本书得到北京建筑大学研究生教材出版基金资助,特此感谢!

因作者水平所限,写作时间仓促,书中不妥之处,欢迎广大读者批评指正。

著 者

2017 年 1 月

目 录

1 制造车间系统	1
1.1 相关知识	1
1.1.1 生产系统布局	2
1.1.2 物流路径设计	6
1.1.3 物料搬运系统设计	8
1.2 案例描述	10
1.3 平面布局设计	12
1.3.1 工艺布局	12
1.3.2 单元布局	18
1.3.3 混合布局	18
1.4 评价优化	23
1.4.1 生产设备故障	24
1.4.2 新增生产任务	27
1.5 小结	32
2 仓储系统	33
2.1 相关知识	33
2.1.1 主要业务	33
2.1.2 基本方法	37
2.1.3 设备选择	39
2.2 案例 1: 仓库建设	42
2.2.1 问题描述	42
2.2.2 整体布局设计	43
2.2.3 内部设计	44
2.2.4 系统仿真	46
2.3 性能评价与优化	53

2.3.1	性能评价	53
2.3.2	系统改进	53
2.4	案例 2: 露天仓储	55
2.4.1	问题描述	55
2.4.2	实体 3D 模型	56
2.4.3	实体导入	58
2.4.4	动态仿真	60
2.4.5	性能数据采集	67
2.5	案例 3: 仓库优化	68
2.5.1	问题描述	68
2.5.2	入库分析	68
2.5.3	设备利用率	68
2.5.4	模型布局	68
2.5.5	参数设置	69
2.5.6	关键步骤	69
2.6	性能评价与优化	71
2.6.1	结果分析	71
2.6.2	优化方案	72
2.7	小结	73
3	配送中心	74
3.1	相关知识	74
3.1.1	基本定位	74
3.1.2	类型和功能	75
3.2	案例 1: 医药配送中心	78
3.2.1	业务流程分析	78
3.2.2	功能区域设计	79
3.2.3	平面布局规划	82
3.2.4	动态仿真	89
3.3	案例 2: 零售配送中心	95
3.3.1	基本数据	96
3.3.2	设计仿真	96

3.4 小结	107
4 分拣系统	108
4.1 案例 1: 基本策略	108
4.1.1 拣选策略	108
4.1.2 业务数据	109
4.1.3 布局设计	110
4.1.4 模型与仿真	111
4.1.5 数据分析	121
4.2 案例 2: 电商分拣	124
4.2.1 分拣策略设计	125
4.2.2 模型与仿真	129
4.3 小结	135
5 产线物流协同	136
5.1 案例 1: 物料供应	136
5.1.1 问题描述	136
5.1.2 典型配送方式	138
5.1.3 配送方式优化	142
5.1.4 数据分析	148
5.2 案例 2: 料箱存取	150
5.2.1 问题描述	150
5.2.2 仿真过程	152
5.2.3 仿真结果分析	160
5.3 小结	164
6 生产线仿真	165
6.1 案例描述	165
6.1.1 产品特点	165
6.1.2 设备分析	166
6.1.3 工装要求	167
6.1.4 工艺特点及流程研究	168

6.2 生产线分析	171
6.2.1 生产模式分析	171
6.2.2 质量管理分析	171
6.2.3 物料流分析	172
6.2.4 布局分析	172
6.3 系统建模	173
6.4 系统仿真	175
6.5 性能分析	180
6.6 小结	183
7 产线优化	184
7.1 产线 ESCRI 优化	184
7.1.1 ESCRI 方法	184
7.1.2 ESCRI 优化	184
7.1.3 结果分析	186
7.2 产线布局优化	187
7.2.1 REGP 生产线	187
7.2.2 布局设计	188
7.3 产线产能优化	191
7.3.1 产能现状	191
7.3.2 瓶颈分析与优化	194
7.3.3 结果分析	195
7.4 产线调度优化	196
7.4.1 案例 1: 单台设备作业排序	197
7.4.2 案例 2: 双台设备流水排序	200
7.4.3 案例 3: NEH 调度优化	204
7.5 小结	212
参考文献	213

1 制造车间系统

1.1 相关知识

生产车间是制造系统的基本组成单元，直接承担着企业的加工、装配任务，是将原材料转化为产品的部门，机器设备是企业进行生产的基本单元，合理的设备设计布局对均衡设备能力，保持物流平衡、降低生产成本起着至关重要的作用。规划设计时要对物料的形状特征、移动路线、移动方式、移动量等因素加以分析，避免物与物、物与人、物与设备之间的干涉碰撞；同时生产系统需要给工作人员提供一个安全、可靠、健康、舒适的环境，最大限度地发挥工作人员的主导作用。

生产系统设计是在满足必要约束的前提下，将指定设备合理地摆放在指定布局空间中，从而达到某种最优指标的设计活动，其目标是以工作效率为导向，主要是为了高效率地完成生产任务，它包括：

- (1) 使物料的运输成本最小，它要求运输路线尽可能短、尽量增大生产的连续性，减少装卸，防止物料被堵塞、延误。
- (2) 使空间、设备、人员等资源的利用率提高，有助于降低成本、增加利润。
- (3) 使系统具有尽可能大的应变能力，表现在扩展余地、高柔性等方面。

生产系统设计是一个庞大的离散事件系统，一般将生产系统设计分为布局问题、物流最优化设计与搬运系统规划。

(1) 布局问题是生产系统设计首先要解决的问题，布局一般按照工艺原则、产品原则或者成组原则进行布置，这主要由车间所生产的产品的种类、数量、特性等决定。

(2) 当车间布局确定后，设备的位置基本固定，物料便按照工艺流程一步步在设备之间进行传递。物流最优化原则是车间的总体物流量最小，尽量避免交叉回流现象的产生。如果物流的最优化不能满足，或者交叉回流的现象经常发生，物流系统并不能使整个生产过程顺利完成，那么就必需反过来对车间的布局进行修改，直至物流顺畅为止，因此会涉及基于物流路径的设计。

(3) 搬运系统是车间物流的具体实现，物流系统的设计必须要符合搬运可

行、方便、经济等原则。如采用叉车进行物料搬运时,叉车的最小转角必须要大于 75° 。因此,在设计物流路线时,必须要考虑搬运工具的实际性能。搬运路线尽可能直线设置,避免交叉、往返、混杂;搬运设备实现机械化、自动化、标准化,采用集装箱、托盘托运方式来提高工作效率;减少等待和空载时间,提高搬运设备的利用率。物料搬运装卸过程要可靠,尽可能减少搬运环节,简化作业流程,在满足生产工艺的前提下选择合适的搬运设备和容器。

上述三者之间存在密切的联系,往往对单个系统研究之后获得的最佳方案在对这三个问题进行集成时,会导致所得的结果与现实差距很大。随着制造系统变得日益复杂,这样的问题就会变得更加突出。因此必须对车间布局、物流以及搬运系统之间的关系进行综合分析。

1.1.1 生产系统布局

生产系统布局是指在一定的生产环境下,设计人员根据生产目标确定制造系统中各设备布局的形式和位置。生产系统布局设计要解决各生产工部、工段、服务辅助部门、储存设施等作业单位及工作地、设备、通道、管线之间的相互位置。合理的生产系统布局可以使生产系统的资源进行有效的组合,实现资源配置的最优化,对提高生产系统的运作效率具有重要意义。

1.1.1.1 基本类型

车间设备布局设计是将加工设备、物料输送设备、工作单元和通道走廊等布局实体合理地放置在一个有限的生产车间内的过程。按照不同的分类标准,存在不同的布局形式,常见的布局类型见图 1-1。

1.1.1.2 位置关系布局

基于设备位置之间的关系,布局类型可分为产品布局、工艺布局、固定布局和成组单元布局,见图 1-2,各种布局之间的对比关系如表 1-1 所示:

(1) 产品布局,又称为生产线布局,是指在固定制造某种部件或产品的封闭车间,设施按加工或装配的工艺顺序放置形成生产线。

(2) 工艺布局,又称为功能布局,是将所有相同类型的资源放置于同一区域的一种布局形式。工艺布局根据资源的功能特征对其进行分组,当产品品种多而生产批量小时,工艺布局将能提供最大的制造柔性。

(3) 固定位置布局适用于大型产品(如轮船、飞机、宇宙舱等)的建造和装配,工人和制造设施沿着产品移动。

(4) 和工艺布局相对应的是成组单元布局,是将车间内的设施划分成若干个制造单元,以单元为基本单位组织生产。在单元布局中,一组设施完成相似零件的加工,单元是专门针对一组特定的零件族设计的,柔性较差。

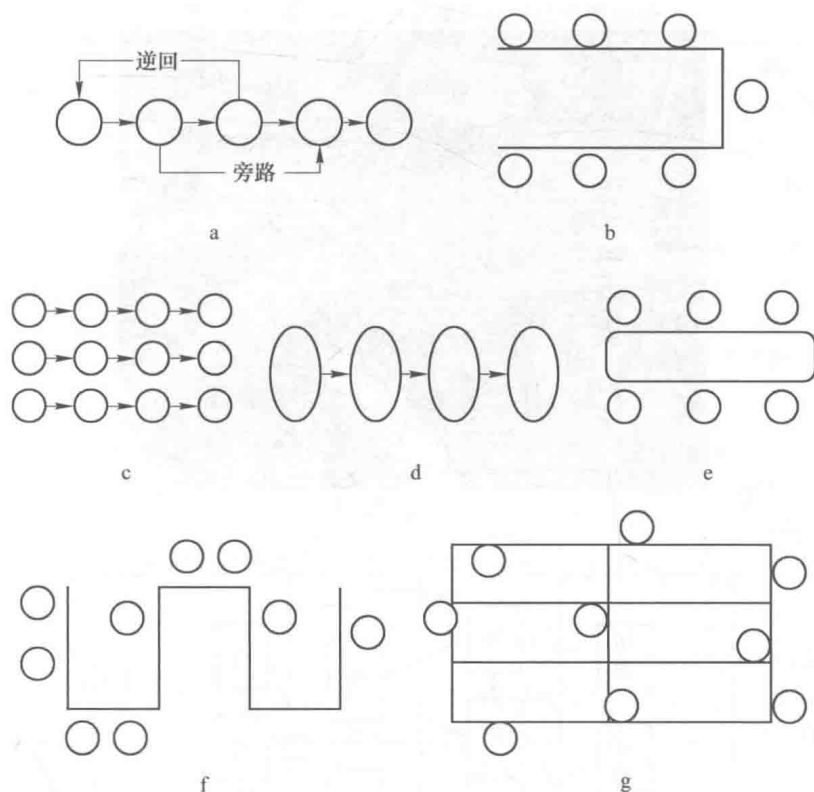
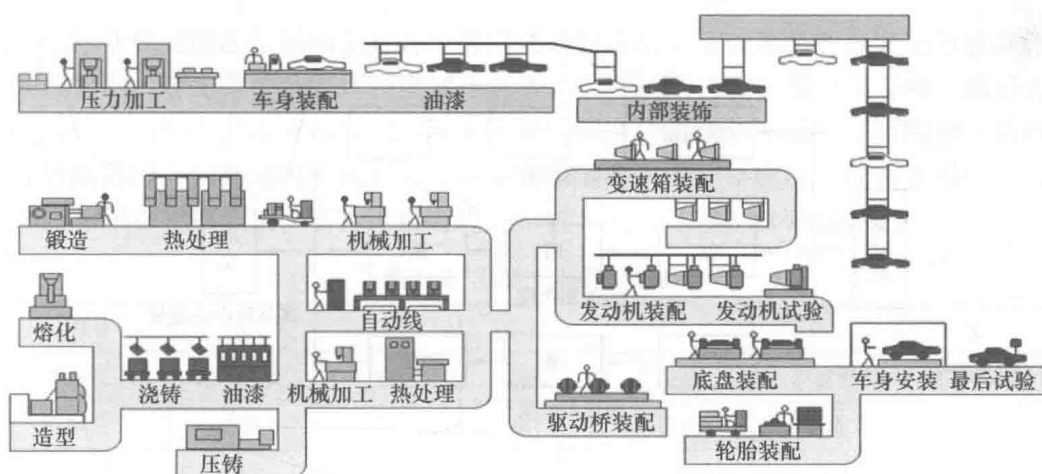


图 1-1 常见布局类型

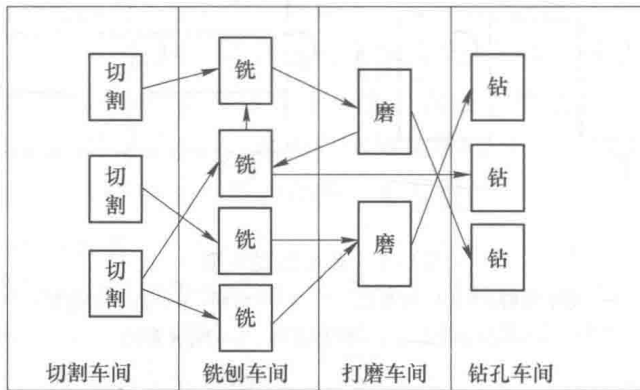
a—线性布局；b—U 型布局；c—多行布局；d—直线型布局；
e—环型布局；f—蛇型布局；g—网状布局



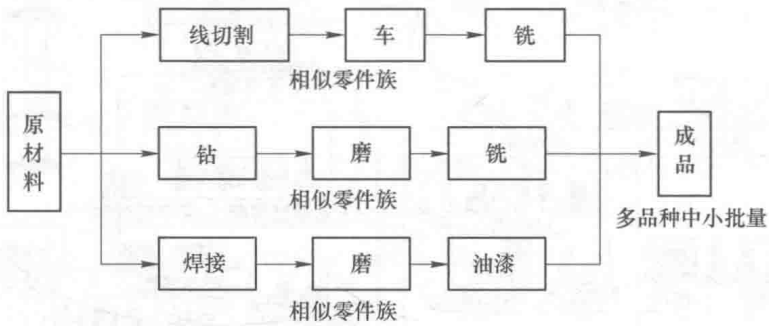
a



b



c



d

图 1-2 常见布局类型

a—产品布局；b—固定布局；c—工艺布局；d—成组单元布局

表 1-1 基于设备位置关系的布局类型比较

布局形式	适用范围	优点	缺点
产品布局	大批量、少品种的生产	结构简单，物流控制容易，物料处理柔性高	一般只考虑设备布局的定量要求，没有考虑定性方面的因素
工艺布局	同类产品多，产量低；产量中等的批量生产；中小批量生产车间	物料运输成本低；有利于同组设备的负荷平衡，更具有柔性；可处理多种工艺要求；使用普通设备，成本低且易维护	物料流动时间长、工序间相互冲突，浪费大量制造成本；设备利用率较低；物料传输慢、效率低，成本高
固定布局	大型、产量较小的产品（如飞机）的生产	产品不动，制造设备与人员作为假定的物流移动，费用较低	缺乏存货空间；控制系统复杂；管理负担高
混合布局	对上述布局形式的扬长避短	系统柔性高，效率高，单位产品成本低	系统复杂
成组单元	成组技术；加工相似产品；产量中等的单元化制造	省去了工艺布局带来的很多物料处理问题，效率较高	柔性较差：要求产品需求已知、稳定、周期长；一旦需求波动，性能优势就无法显示

1.1.1.3 现有方法

现有的生产系统布局方法主要分为两种。

A 作业相关图法

作业相关图法是根据企业各个部门之间的活动关系以及密切程度来布置其相互位置的。首先将关系密切程度划分为 A、E、I、O、U、X 等六个等级，然后列出导致不同程度关系的原因，利用关系密切程度分类表和关系密切原因表，将待布置的部门一一确定出其相互关系，根据相互关系的重要程度，按重要等级高的部门相邻布置的原则，安排出最合理的布置方案，见表 1-2 和图1-3。

表 1-2 相互关系等级划分

符号	A	E	I	O	U	X
意义	绝对重要	特别重要	重要	一般	不重要	不要靠近
颜色	红色	橘黄	绿色	蓝色	无色	棕色
量化值	4	3	2	1	0	-1
线条数	4 条	3 条	2 条	1 条	无	1 条折线
比例/%	2~5	3~10	5~15	10~25	45~80	根据需要

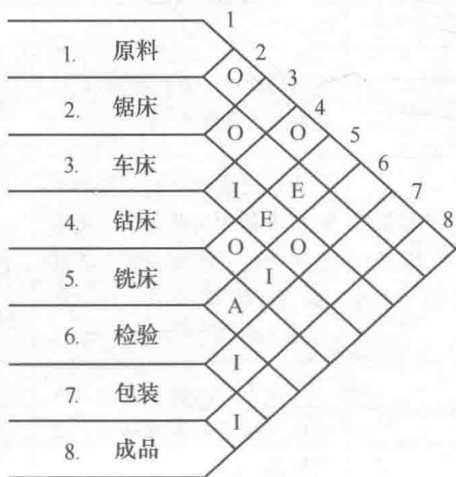


图 1-3 物流相关图

B 从至表法

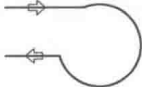
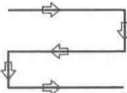
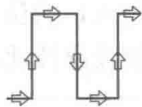
从至表法是指物料从一工作地到另一工作地移动次数的汇总表，表中的列为起始工序，行为终止工序，表中的对角线上方表示前进方向的移动次数，对角线下方表示后退方向的移动次数。从至表法就是以从至表为基础，在确定设备位置的前提下，以表中的对角线元素为基准计算物料在工作地之间的移动距离，从而找出物料总运量最小的布置方案。使用从至表法的基本步骤为：

- 第一步：编制零件综合工艺路线图。
- 第二步：按照工艺路线图编制零件从至表。
- 第三步：调整从至表，使移动次数多的靠近对角线。
- 第四步：绘制改进后的从至表。
- 第五步：计算改进后的零件移动距离以验证方案。

1.1.2 物流路径设计

无论是工厂的总平面布局、车间布局，还是制造单元布局，都要考虑物流、信息流和人员流的流动形式。出入口位置是制造系统选择物料流动形式时所考虑的重要因素。因建筑物结构的缘故，出入口通常固定在现有或特定的位置上，使得车间内物料的流动顺应这些限制从而规划其流动形式。此外，物料流动形式还受工艺流程、生产线长度、通道的设置、物料传输方式与设备、储存要求及发展需要等因素的影响。物料的基本流动形式有 6 种：直线形、L 形、U 形、环形、S 形和 W 形，如表 1-3 所示。

表 1-3 物料基本流动形式

类型	描 述	形 状
直线形	直线形是最简单的物料流动形式，入口与出口位置相对，适合工艺流程短且比较简单，或者只有少量零部件和少数生产设备的情况	
L 形	L 形适用于现有设施或建筑物不允许直线型物料流动的情形，设施布局与直线型相似，入口与出口分别位于建筑物的两个相邻侧面	
U 形	U 形适用于入口和出口在建筑物的同一侧，生产线比实际可安排的距离长，其长度基本等于建筑物长度的两倍外形近似于长方形	
环形	环形适用于要求物料返回到起点的情况出入口紧邻或在同一位置	
S 形	这两种物料流动形式适用于生产线比实际可安排的距离长，在较小面积内可安排较长生产线的情况	
W 形		

依据物流路径形式，设施布局主要有单行布局、多行布局 and 环形布局三种，如图 1-4 至图 1-6 所示。

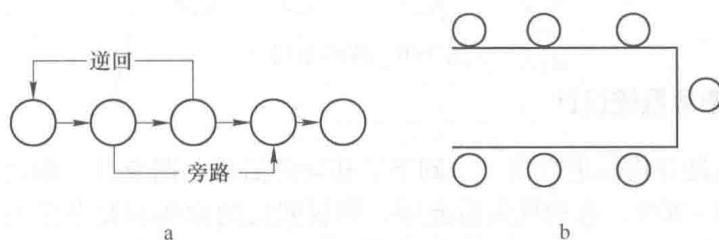


图 1-4 单行布局

a—线性布局；b—U 形布局

单行布局又可以分为线形单行、U 形单行和半圆形单行三种。为了获得较低的物质传输费用、较短的物质传输时间、生产线中一般不存在物流逆回、生产中断较少、加工过程控制简单及能够应用传输小车等优点，单行布局要求设施按照工艺流程的顺序紧密布置。然而，当单行布局中各类零件的加工顺序并不总是单

向时，上述优点将会有所减弱，单行布局就会受到限制。因此，当多种零件的加工顺序不同，且零件不是沿单一方向传输时，单行布局的效率将大大降低。单行布局多用于柔性制造系统。柔性制造系统中多采用自动引导小车传输物料，由于单行布局能充分发挥自动引导小车的功能，使其高效工作，因此带有自动引导小车的柔性制造系统通常选用单行布局。

多行布局通常是线性的（见图 1-5），不同行的设施之间存在物料传输，允许物料传输路径的交叉。多行布局可视为车间布局的一种，多适用于柔性制造系统。当布局中的行数为 2 且行之间不存在物料传输时，此类布局形式不属于多行布局，而是两个单行布局，由于某种原因，如共享物料传输设备等，相邻布置而成，可按单行布局分别进行研究。

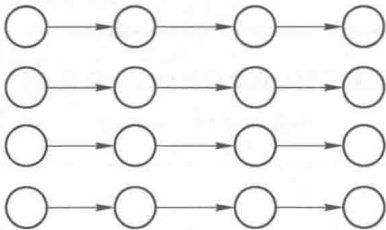


图 1-5 多行布局

当出入口的位置在一处时通常采用环形布局，环形布局比较适合通用设备比较多，物流路线比较复杂的生产布局，物料传输的柔性比较大，如图 1-6 所示。

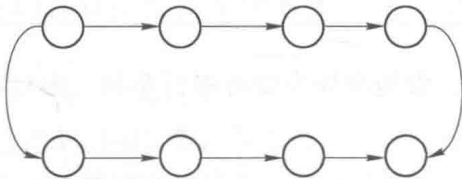


图 1-6 环形布局

1.1.3 物料搬运系统设计

物料搬运是对物料进行搬上、卸下、移动的活动。据统计，搬运费用占总生产费用的 30%~40%。在现代制造业中，物料搬运的影响和复杂性与日俱增。物料搬运所涉及的系统、方法和技术，都是在生产系统设计中研究的重要问题。从现代意义上看，物料搬运更适合于将其视作设施内部物流的组成部分。作为物流的重要组成部分，物料搬运是“用正确的方法，以正确的成本，按正确的顺序，在正确的时间，将正确的物料的正确数量，运送到正确的地点”。这里指的物料不仅包括生产所需的物料，也包括辅助装备和工具（例如刀具、模具、夹具等）。物料搬运系统是指将一系列的相关设备或装置，用在一个过程或系统中，协调、合理地将物料进行移动、存储、保护和控制，具体内容包括：