



中华人民共和国国家标准

GB/T 39334.2—2020

机械产品制造过程数字化仿真 第2部分：生产线规划和布局仿真要求

Digital simulation of mechanical products manufacturing process—
Part 2: Requirements of production line planning and layout simulation

2020-11-19 发布

2021-03-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 一般要求 1

5 基本流程 2

6 详细要求 3

 6.1 仿真方案制定 3

 6.2 仿真模型构建 4

 6.3 仿真运行分析 7

 6.4 结果优化与评价 8

附录 A（资料性附录） 生产线规划和布局仿真示例 11



前 言

GB/T 39334《机械产品制造过程数字化仿真》分为 5 个部分：

- 第 1 部分：通用要求；
- 第 2 部分：生产线规划和布局仿真要求；
- 第 3 部分：装配车间物流仿真要求；
- 第 4 部分：数控加工过程仿真要求；
- 第 5 部分：典型工艺仿真要求。

本部分为 GB/T 39334 的第 2 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本部分由全国技术产品文件标准化技术委员会(SAC/TC 146)提出并归口。

本部分起草单位：中车株洲电力机车有限公司、中机生产力促进中心、中车唐山机车车辆有限公司、徐工集团工程机械股份有限公司、上汽通用五菱汽车股份有限公司、湖南联诚轨道装备有限公司、陕西法士特齿轮有限责任公司、西安电子科技大学、重庆华数机器人有限公司、佛山智能装备技术研究院、北京自动化控制设备研究所、西安陕鼓动力股份有限公司、安徽艾可蓝环保股份有限公司、深圳市格林晟科技有限公司。

本部分主要起草人：刘翊、王云锋、陈杰、栾小东、凌立彬、王连坤、覃庆泽、宋汝章、严鉴铂、赵艳文、李申、王旭丽、高萌、张智普、陈海华、陈余平、王林英、刘屹、宋志良、成薛峰、汪洪敏。

机械产品制造过程数字化仿真

第2部分：生产线规划和布局仿真要求

1 范围

GB/T 39334 的本部分规定了机械产品制造过程中生产线规划和布局仿真的一般要求、基本流程，以及仿真方案制定、仿真模型构建、仿真运行分析、结果评价与优化的详细要求。

本部分适用于机械产品制造过程中生产线规划和布局仿真有关的应用、开发、服务和研究。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 24734.1—2009 技术产品文件 数字化产品定义数据通则 第1部分：术语与定义

GB/T 26099.1—2010 机械产品三维建模通用规则 第1部分：通用要求

GB/T 26099.2—2010 机械产品三维建模通用规则 第2部分：零件建模

GB/T 39334.1 机械产品制造过程数字化仿真 第1部分：通用要求

3 术语和定义

GB/T 24734.1—2009、GB/T 26099.1—2010、GB/T 26099.2—2010 和 GB/T 39334.1 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

生产线规划 **production line planning**

在生产线的设计或改造阶段，根据产品的工艺路线预先确定生产线中工位、设备、物料缓存、仓储等设施的种类、位置、数量或容量等的活动。

3.2

生产线布局 **production line layout**

在满足给定的空间或性能约束条件下，将工位、设备、物料缓存、仓储等各类设施合理、优化地安排在特定空间内的活动。

3.3

生产线规划和布局仿真 **production line planning and layout simulation**

建立系统模型对生产线进行抽象和描述，并借助计算机仿真技术模拟实际生产线的运行过程，进而在不同工作环境中，对生产线运行的方案和策略进行验证、分析和评价的活动。

4 一般要求

生产线规划和布局仿真应符合以下要求：

- a) 生产线规划和布局仿真应符合 GB/T 39334.1 的相关规定；
- b) 生产线规划和布局应将人、机、料、法、环、测等因素有机结合，满足先进性、经济性、可靠性、安全性、柔性等原则，实现生产线设备布局合理，物流运输高效、管理模式先进，满足未来的发展需求；
- c) 生产线规划和布局首先应布局生产线外景、厂房建筑物、参考标识物等对象，然后再布局生产线内部生产设备、生产物料、工艺装备等对象；
- d) 制定生产线规划和布局仿真方案时，应根据生产纲领和工艺规划方案，搜集相关资料，确定仿真目标、仿真内容、仿真平台、仿真方法等；
- e) 构建生产线规划和布局仿真模型时，应合理简化三维模型，分步实现建模任务，迭代优化仿真参数，验证模型位置、工艺规划、物流路径、生产节拍等的合理性，逐步调整达到合理的预期效果；
- f) 进行生产线规划和布局仿真分析时，应根据工艺流程和物料配送设想，从设备布局位置合理性、零(组)件的加工顺序、物料的配送路径/节拍分析、生产人员操作的姿态、工装/工具的可达性、操作空间的开敞性、视点的合理性等方面进行验证，并对不同的仿真数据进行定量和定性分析。

5 基本流程

生产线规划和布局仿真通常包括仿真方案制定、仿真模型构建、仿真运行分析、结果评价与优化 4 个阶段(见图 1)，具体如下：

- a) 仿真方案制定。根据生产纲领和工艺规划方案，完成生产线规划文件、现场实物数据、模型纹理贴图、设备控制逻辑信息等资料的搜集工作，编制合理的生产线规划和布局仿真方案。
- b) 仿真模型构建。根据生产线规划和布局仿真方案，完成厂房、生产设备、产品物料、工艺装备、辅助设施、生产人员等的三维建模工作，对三维模型轻量化和渲染，并引入初始化设置的仿真环境。
- c) 仿真运行分析。根据生产线工艺信息、节拍信息和物流信息等，输入仿真参数，对生产线布局、工艺路线、产能规划、物流路径等的合理性进行验证和分析。
- d) 结果评价优化。根据工位利用率、瓶颈工位、生产周期、空间利用率、设备间距、物流路径长度等评价指标，对生产线规划和布局做出定性和定量的评价，并根据仿真结果以动态、迭代方式对生产线布局、产能规划进行调整和优化。

生产线规划和布局仿真示例参见附录 A。

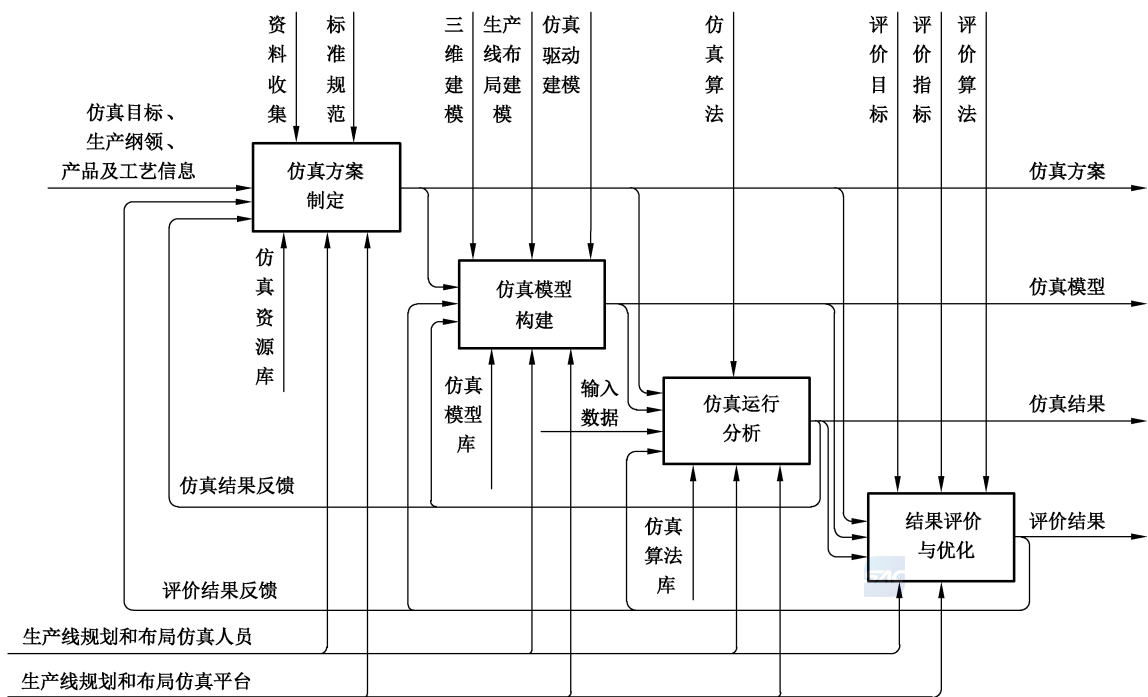


图 1 生产线规划和布局仿真基本流程

6 详细要求

6.1 仿真方案制定

6.1.1 仿真目标

开展生产线规划和布局仿真前，应确定仿真目标，具体内容应包括但不限于：

- a) 根据新建或改建的生产线规划和布局方案，建立厂房、厂房外景、加工设备、生产物料、工艺装备、辅助设施、生产人员等的三维数字化模型；
- b) 从产品、设备、工序、物流、人机工程等多个因素对生产线的各个环节进行可视化仿真模拟，动态分析和验证生产线的工艺路线、空间布局、生产节拍、物流路径等；
- c) 反复迭代和逐步优化生产线规划和布局，以达到合理的预期效果，并全面、真实展示优化后的生产线规划和布局仿真效果。

6.1.2 仿真平台

开展生产线规划和布局仿真前，应搭建好仿真平台，具体内容应包括但不限于：

- a) 三维模型构建软件；
- b) 三维模型渲染与处理软件；
- c) 布局与仿真运行分析软件；
- d) 数据管理软件；
- e) 软件集成接口。

6.1.3 仿真输入

开展生产线规划和布局仿真前，应明确仿真输入，具体包括：

- a) 生产线规划信息。具体内容应包括但不限于：
 - 生产纲领；
 - 工艺布局；
 - 工序路线；
 - 物流路径；
 - 其他工艺说明。
- b) 生产线模型信息。主要指外景、厂房、设备、产品、物料、工艺装备等生产线组成对象的模型信息，具体内容应包括但不限于：
 - 模型分类；
 - 模型名称；
 - 模型编号；
 - 尺寸信息；
 - 外观图片；
 - 纹理图片；
 - 材料信息；
 - 重量信息；
 - 其他模型信息。

6.1.4 仿真运行控制

开展生产线规划和布局仿真前，应明确仿真控制，具体内容应包括但不限于：

- a) 仿真输入参数；
- b) 仿真运行步骤；
- c) 仿真运动控制方式；
- d) 仿真异常处理机制；
- e) 仿真结果评价方法；
- f) 优化与调整方法；
- g) 仿真输出管理。

6.2 仿真模型构建

6.2.1 三维建模

6.2.1.1 建模对象

生产线规划和布局仿真三维建模的对象通常包括但不限于：

- a) 生产设备，如加工设备、物流转运设备、检测设备；
- b) 生产物料，如成品、半成品、零部件、辅料等；
- c) 工艺装备，如刀具、夹具、模具、量具、检具、辅具、钳工工具、工位器具、装配工装及吊具吊带等；
- d) 厂房外景，如道路、绿化树木、景观带等；
- e) 厂房建筑物，如厂房结构框架、支柱、地板、墙壁、玻璃等；
- f) 辅助设施，如动力管线、标识线、物流通道、消防通道、工位看板、电子屏等；
- g) 生产人员，主要是指机械产品制造过程中的作业人员。

6.2.1.2 建模要求

三维建模时应综合考虑数据采集、模型特征、模型简化、模型轻量化、模型效果、纹理贴图等方面的

要求,具体要求如下:

- a) 数据采集要求。具体内容应包括但不限于:
 - 重点测量采集对象的长、宽、高和局部关键尺寸以及重量特征;
 - 拍摄采集对象的 2 个~5 个正视图与一个轴测图作为实物纹理贴图;
 - 重点突出的局部、标识、商标等应单独取材。
- b) 模型特征要求。具体内容应包括但不限于:
 - 三维模型的主要特征尺寸应与实物相符;
 - 装配体三维模型的层次结构、运动副关系应满足运动仿真的要求。
- c) 模型简化要求。具体内容应包括但不限于:
 - 在保证模型特征要求基础上,可适当删除或简化三维模型的不可见结构、工艺倒角、复杂曲面等表达,以提高建模的效率;
 - 三维模型的简化不应影响后续仿真项目开展。
- d) 模型轻量化要求。具体内容应包括但不限于:
 - 在满足模型外观要求基础上,轻量化模型的面片数越少越好;
 - 三维模型的轻量化不应影响后续仿真项目开展。
- e) 模型效果要求。三维模型表达精细度、外观渲染效果、多边形数据量、纹理数据量等应满足仿真逼真度和仿真实时性要求。
- f) 纹理贴图要求。具体内容应包括但不限于:
 - 纹理贴图的像素大小应合理,保证显示清晰,像素应为 2 的自然数次方;
 - 产品的重要特征、产品标识等,应单独贴图。

6.2.1.3 模型检查

构建完的三维模型应进行模型检查,检查的内容通常包括但不限于:

- a) 模型层次结构与运动副合理性;
- b) 模型主要尺寸的准确性;
- c) 模型颜色、纹理与实物的一致性;
- d) 模型多边形数据量大小适宜;
- e) 整体外观效果佳。

6.2.1.4 模型管理

三维模型的管理应符合以下要求:

- a) 三维模型检查合格后,厂房、设备、产品、物料、工装等三维模型应分类管理;
- b) 三维模型应严格按照一定规则进行编号,并保证三维模型与编号一一对应;
- c) 应制定三维数模清单,三维数模清单要包含模型分类、模型名称、模型编号、所属生产线、运动参数、保存位置、多边形数据量、纹理数据量、文件大小、完成人、完成时间等信息;
- d) 三维建模数据应存储至仿真资源库进行集中管理。



6.2.2 生产线布局建模

6.2.2.1 仿真环境搭建

仿真环境搭建应符合以下要求:

- a) 按生产线规划和布局仿真环境要求,确定环境搭建的顺序;
- b) 依次设置仿真环境的坐标系、单位、参考物、光源、背景、比例等要素。

6.2.2.2 厂房外部布局

厂房外部布局通常应遵循以下步骤：

- a) 按照规划图的位置摆放马路、标志性建筑群等大的模型，作为厂房外的组成架构；
- b) 以厂房架构作为参照，布局整个外景，如花、草、树木等绿化景观，辅助楼房、大门，远处的楼房等；
- c) 清点和整理所布局的模型，检查内容包括：外景是否美观、方位是否正确、模型是否遗漏。

6.2.2.3 厂房内部布局

厂房内部布局通常应遵循以下步骤：

- a) 完成厂房内部架构布局，应包括厂房结构框架、柱子，地板、墙壁等；
- b) 完成生产线主要通道布局，应包括人行通道、物流通道、参观通道等；
- c) 完成产品与设备布局，应包括生产设备、工艺装备、物流设施、产品物料等；
- d) 完成辅助设施布局，应包括动力管线、标识线、工位看板、电子屏等；
- e) 需要生产人员操作的工位和设备，应增加人物模型；
- f) 清点和整理所布局的模型，检查应包括模型是否遗漏、模型信息是否完整、模型位置是否正确、模型是否按照规定组合。

6.2.2.4 数据组织与管理

生产线布局的数据组织和管理应符合以下要求：

- a) 采用层次化、结构化的方式组织和管理生产线相关数据（见图 2）；
- b) 生产线布局相关的数据应来源于仿真资源库，完成布局后的数据应存储至仿真资源库进行集中管理。

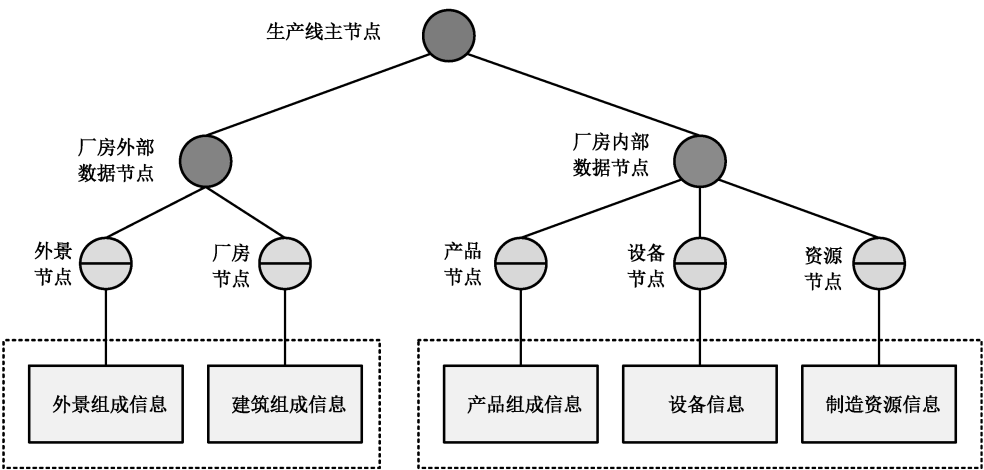


图 2 生产线布局的数据组织方式

6.2.3 仿真驱动建模

仿真驱动模型通常包括以下内容：

- a) 仿真时间控制，用于确定仿真运行的时钟推进、分配规则；
- b) 工艺过程控制，用于确定零部件的加工顺序、加工方法、物流运转节拍；
- c) 设备运动控制，用于确定加工设备的运动参数和工作时间；

- d) 路径过程控制,用于确定物料、生产人员和物流设备模型的运动路径;
- e) 干涉检查控制,用于确定干涉检查的范围、对象和时间;
- f) 异常处理控制,用于确定仿真异常的处理方法。

6.3 仿真运行分析

6.3.1 产能规划仿真

生产线产能规划仿真的一般流程见图 3。生产线产能规划仿真应符合以下要求:

- a) 应根据生产纲领确定产品品种,通过与产品品种对应的工艺路线确定生产线中的工位种类,并通过确定初始工位数量,得到生产线的产能配置。
- b) 应将生产纲领中产品数量、产品品种,以及产能配置输入生产线仿真模型,通过生产线仿真运行和优化排程,在仿真结果中得到所有产品的完工时间。
- c) 应将生产纲领中对每种产品的完工时间要求与仿真获得的每种产品的完工时间进行比较。如果生产纲领中要求完工时间大于仿真完工时间,则初始产能配置即为最终的产能配置;否则,应对仿真结果进行瓶颈分析,识别生产线中的瓶颈工位,通过调整瓶颈工位的数量更新产能配置。并按照“仿真→评价→调整→仿真”的反复迭代,直到所有产品均能按照生产纲领的要求在给定时间内完工为止。

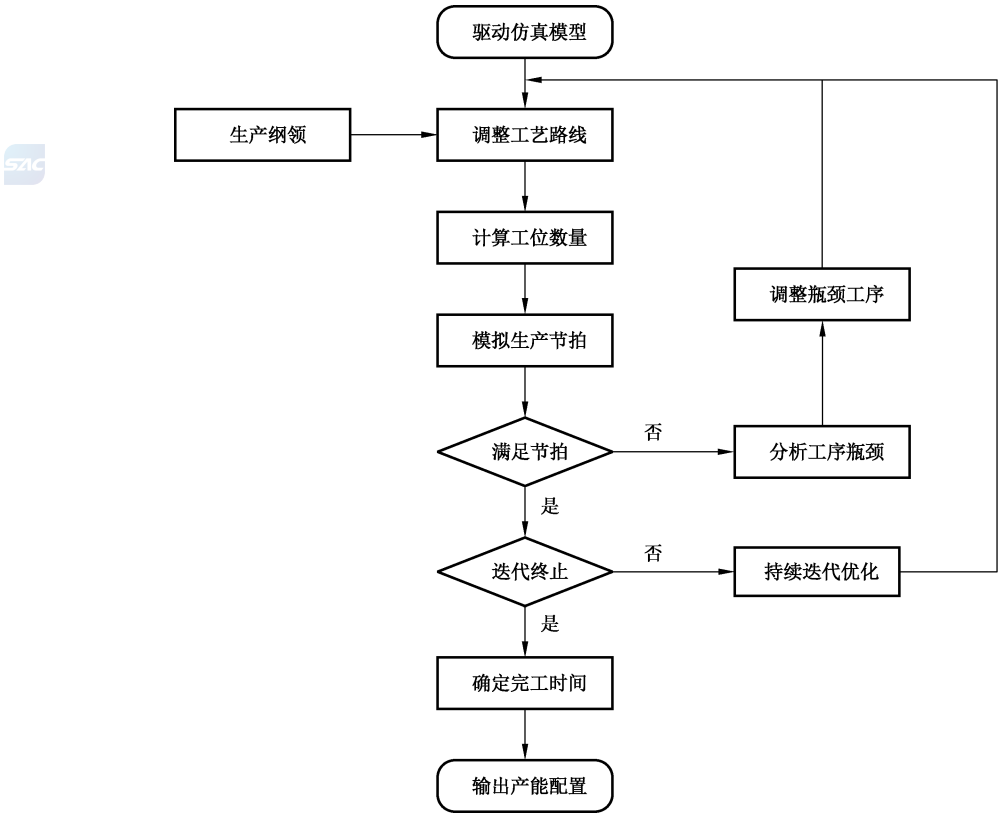


图 3 生产线产能规划仿真的一般流程

6.3.2 生产线布局仿真

生产线布局仿真的一般流程见图 4,生产线布局仿真应符合以下要求:

- a) 根据产能配置给出的各个设施的种类及数量,完成初步的生产线设施布局;
- b) 构建设施的外形包围盒,并将其作为布局对象干涉检查对象;

- c) 分析布局对象之间是否存在干涉,迭代优化生产线设施的布局位置;
- d) 测量设施之间的距离是否满足安全、最小、最大距离阈值,迭代优化设施的布局位置;
- e) 按照产品的工艺路线,进行生产线仿真,得到相邻工序之间的物流路径;
- f) 判断是否符合迭代终止条件,如果满足则得到最终设施布局。否则更新布局序列,以综合成本最低为优化目标进行反复迭代。

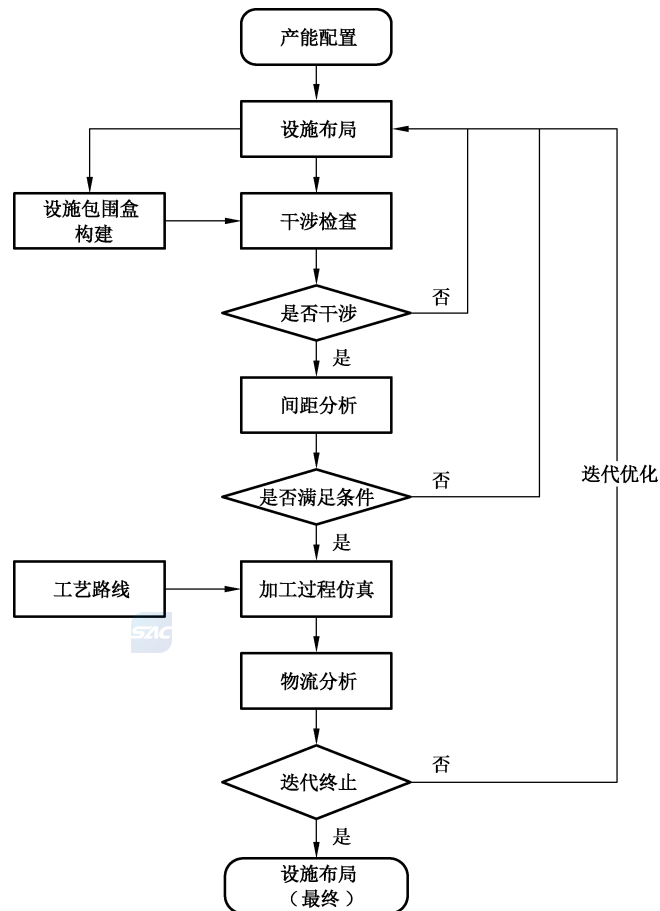


图4 生产线布局仿真的一般流程

6.3.3 仿真结果输出

生产线规划和布局仿真结果的输出形式通常包括表格、图形、文本文档、语音、视频、3D 模型、3D PDF、仿真动画与文件等。

输出的仿真结果数据应存储至仿真资源库进行集中管理。

6.4 结果优化与评价

6.4.1 评价指标

生产线规划和布局仿真的评价指标通常包括但不限于:

- a) 工位利用率;
- b) 瓶颈工位;
- c) 生产周期;
- d) 空间利用率;

- e) 设备间距;
- f) 物流路径长度;
- g) 物流成本。

6.4.2 评价算法

6.4.2.1 工位利用率 η_t ,按式(1)计算:

$$\eta_t = \frac{h_r}{h_s} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

- η_t ——工位利用率, %;
- h_r ——每班次(天)实际工作时数,单位为小时(h);
- h_s ——每班次(天)应工作时数,单位为小时(h)。

6.4.2.2 瓶颈工位,通常应把工位利用率最高的工位看作生产线中的瓶颈工位。

6.4.2.3 生产周期,通常分为单件产品生产周期和全部产品生产周期,具体计算方法如下:

a) 单件产品生产周期 T_p ,按式(2)计算:

$$T_p = T_{pf} - T_{ps} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

- T_p ——单件产品生产周期,单位为小时(h);
- T_{pf} ——该产品完工时间;
- T_{ps} ——该产品投产时间。

b) 全部产品生产周期 T_a ,按式(3)计算:

$$T_a = T_{af} - T_{as} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

- T_a ——全部产品生产周期,单位为小时(h);
- T_{af} ——最后一件产品完工时间;
- T_{as} ——第一件产品投产时间。

6.4.2.4 空间利用率 η_s ,按式(4)计算:

$$\eta_s = \frac{S_d}{S_w} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

- η_s ——空间利用率, %;
- S_d ——设施占用面积,单位为平方米(m^2);
- S_w ——生产线面积,单位为平方米(m^2)。

6.4.2.5 设备间距,主要包括产品摆放的距离、设备与设备之间的距离、设备与墙壁间的距离等。

6.4.2.6 物流路径长度,即所有工序间物流路径距离的综合。

6.4.2.7 物流成本 C_L ,可以通过对所有产品的所有工序进行遍历求得,按式(5)计算:

$$C_L = \sum_{i=1,2,\dots,m} \sum_{j=1,2,\dots,n} w_i d_{j-1,j} c_{i,j} \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

- C_L ——物流成本,单元为元(¥);
- w_i ——第 i 个产品重量,单元为千克(kg);
- $d_{j-1,j}$ ——第 j 工序与相邻 $j-1$ 工序间的物流路径长度,单位为米(m);
- $c_{i,j}$ ——单位物流成本,单元为元(¥)。

6.4.3 迭代与优化

应从以下方面对布局仿真作出迭代与优化：

- a) 对设施布局仿真中出现的干涉、碰撞、间隙过小、空间利用率低等情况进行分析,并调整设备布局位置;
- b) 对加工过程仿真出现的产能不足、生产节拍不合理、工序瓶颈等情况进行分析,并调整工艺路线和生产节拍;
- c) 对物流配送仿真出现的物流配送成本过高、物流路径不合理等情况进行分析,并调整物流配送方案、配送设备和存放区域。



附 录 A
(资料性附录)
生产线规划和布局仿真示例

A.1 仿真方案制定

根据仿真目标,按 6.1 的要求制定仿真方案。

A.2 仿真模型构建

A.2.1 三维建模

按 6.2.1 的要求完成三维建模并进行模型简化,模型简化效果见图 A.1。

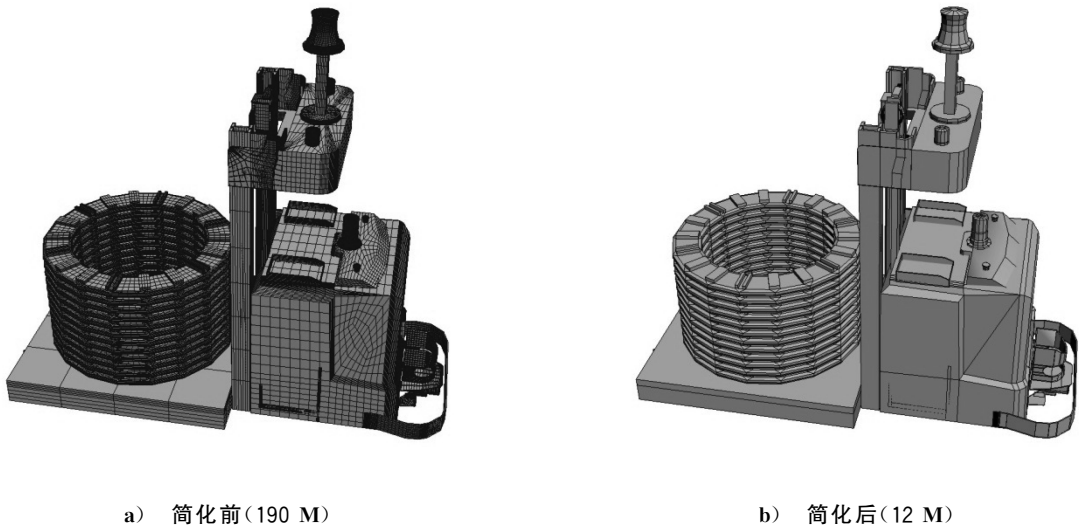


图 A.1 三维建模及模型简化

A.2.2 生产线布局建模

按 6.2.2 完成生产线布局建模,效果见图 A.2。



图 A.2 生产线布局建模

A.3 仿真运行分析

按 6.3 完成仿真运行分析,动态分析效果(如生产线间距测量)见图 A.3。



图 A.3 生产线间距测量的动态分析

A.4 结果评价优化

根据仿真评价指标,按 6.4 的要求输出生产线规划和布局的定性和定量评价,并完成调整和优化。