



中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX—XXXX

智能工厂 面向柔性制造的自动化系统 通用要求

Smart factory - Automation system for flexible manufacturing - General requirement

点击此处添加与国际标准一致性程度的标识

(征求意见稿)

(本稿完成日期：2021-12)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 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

1	范围	1
2	规范性引用文件	1
3	术语和定义	2
4	缩略词	2
5	总则	2
6	设备信息模型	3
6.1	概述	3
6.2	基本属性	4
6.2.1	设备能力及参数	4
6.2.2	设备的层次组合关系	4
6.3	控制模型	4
6.3.1	设备状态模型	4
6.3.2	控制模型接口	5
6.4	仿真模型	5
6.4.1	几何模型	5
6.4.2	运动学模型	5
6.4.3	业务流程模型	5
6.5	调度模型	5
6.5.1	生产需求	5
6.5.2	生产工艺	6
6.5.3	设备配置	6
7	快速开发要求	6
7.1	概述	6
7.2	逻辑接口配置方法	7
7.2.1	逻辑变量配置方法	7
7.2.2	控制参数配置方法	7
7.3	物理接口配置方法	7
8	虚拟调试要求	7
8.1	概述	7
8.2	设备验证规范	8
8.2.1	静态数值区间	8
8.2.2	动态状态空间	8
8.3	静态属性验证	8
8.3.1	空间干涉验证	8
8.3.2	接口兼容验证	8

8.4 动态行为验证	8
8.4.1 运动干涉验证	9
8.4.2 工艺流程验证	9
8.4.3 控制逻辑验证	9
9 柔性运行要求	9
9.1 概述	9
9.2 设备接入策略	10
9.2.1 停机评估	10
9.2.2 同步	10
9.2.3 直接上线	10
9.3 任务重调度	10
9.4 设备柔性运行	10
9.4.1 上线注册声明	10
9.4.2 运行初始化	10
9.4.3 生产执行	10

前 言

本文件按照GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

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。

本文件由中国机械工业联合会提出。

本文件由全国工业过程测量控制和自动化标准化技术委员会（SAC/TC124）归口。

本文件起草单位：XXXXX

本文件主要起草人：XXXX

智能工厂 面向柔性制造的自动化系统 通用要求

1 范围

本文件规定了面向柔性制造自动化系统的设备信息模型、快速开发要求、虚拟调试要求、柔性运行要求等。

本文件适用于面向柔性制造的自动化系统,也适用于对传统控制系统进行个性化定制生产的升级改造。

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,仅所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 20720.1-2019 企业控制系统集成 第1部分:模型和术语

GB/T 28174.1-2011 统一建模语言(UML) 第1部分:基础结构

GB/T 38177-2019 数控加工生产线 柔性制造系统

3 术语与定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

柔性制造 flexible manufacturing

能够针对产品、工艺或设备的动态变化,进行快速灵活配置的生产方式。

3.2

柔性制造系统 flexible manufacturing system

一组数控机床和其他自动化的加工设备,由计算机信息控制系统和物料自动储运系统有机结合的整体。它可按任意顺序加工一组由不同工序与加工节拍的工件,能适时地自由调度管理,因而这种系统可以在设备地技术规范的范围自动地适应加工工件和生产批量的变化。

[来源:GB/T 6477-2008, 2.1.33]

3.3

柔性制造线 flexible manufacturing line

柔性制造线是将多台支持即插即生产的设备联结起来,配以自动运输装置组成的制造线,是柔性制造系统的硬件组成部分,也是执行生产物理过程的主要承担者。

3.4

即插即生产 Plug & Produce

一种设备柔性集成方式，当柔性制造线增加或修改设备时，支持该模式的自动化系统能够自动识别新接入或需要修改的设备，为其准确配置设备控制逻辑，并将其集成到正在运行的生产过程中，而无需对其设备进行人工操作和更改。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件

UML: 统一建模语言 (Unified Modeling Language)

KPI: 关键绩效指标 (Key Performance Indicator)

5 总则

柔性制造要求自动化系统能够自动识别接入设备，准确配置设备控制逻辑，并将其集成到正在运行的生产过程中，而无需对其设备进行人工操作和更改。上述过程被称为即插即生产 (Plug & Produce)，而适用于即插即生产的设备，需要基于标准化的设备模型库，通过工程开发、调试验证和上线运行等开发过程，实现必要的技术要求。对柔性制造的定义，应符合GB/T 38177-2019中对柔性制造系统的要求。具体的技术要求如**错误!未找到引用源。**所示。

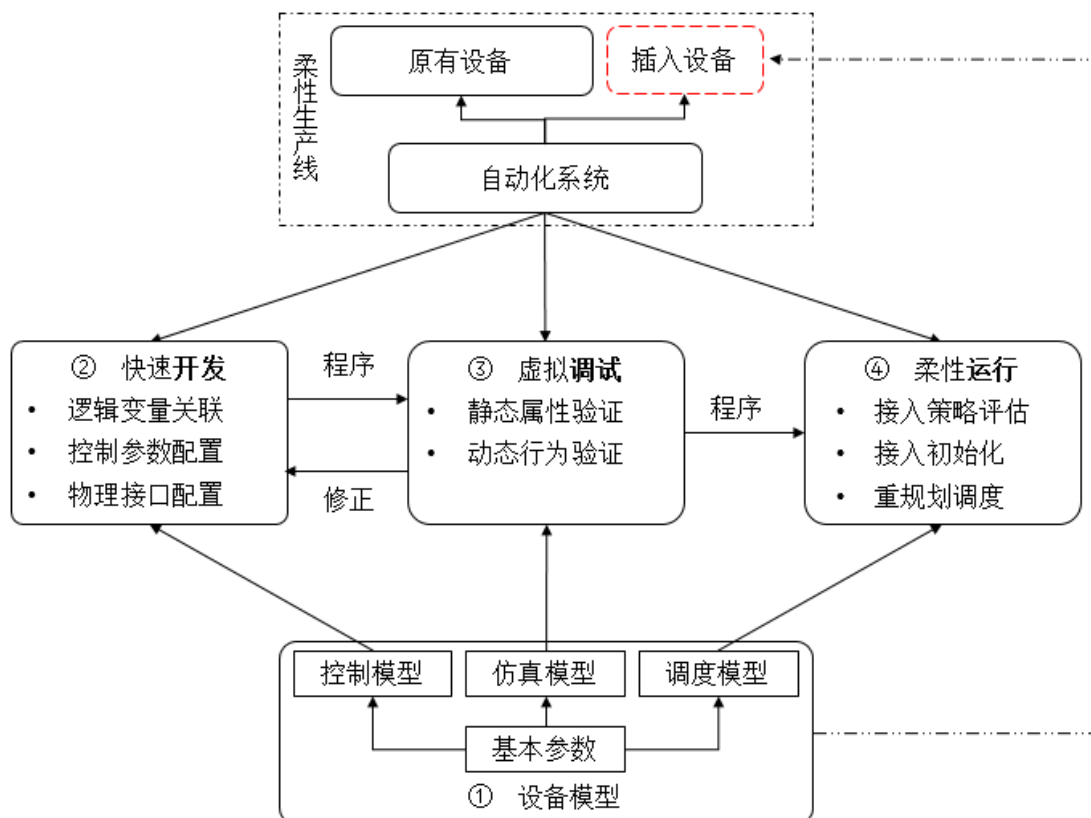


图1 面向柔性制造的自动化系统开发过程

面向柔性制造的自动化系统开发过程包括设备模型定义、快速开发、虚拟调试和柔性运行四个步骤，从而实现即插即生产：

——设备模型库是开展自动化系统开发的基础，标准化设备模型应对工程开发、调试验证和上线运行相关的设备基本参数、控制模型、仿真模型和调度模型等进行结构化描述，并针对常用的设备类型构建标准化设备模型库，相关技术和方法应符合第6章要求。

——快速开发应基于设备控制模型开展，通过对控制模型逻辑变量、控制参数、物理接口等参数自动配置，实现设备控制程序快速开发，相关技术和方法应符合第7章要求；

——虚拟调试应基于仿真模型开展，采用虚拟仿真或形式化验证等非物理手段，对设备静态结构属性和动态行为逻辑进行验证和迭代修正，相关技术和方法应符合第8章要求；

——柔性运行应基于调度模型开展，在设备动态接入和初始化基础上，根据设备能力和状态为其调度分配生产任务，相关技术和方法应符合第9章要求。

6 设备信息模型

6.1 概述

为支持柔性制造的自动化流程，应定义柔性制造系统的设备信息模型，为快速开发、虚拟调试、柔性运行提供信息描述基础。设备信息模型应对设备资源进行全面描述：一方面，应定义设备的参数、能力和层级等信息，支持设备基本属性的精确描述，并据此定义柔性制造线内模块化设备组合结构关系；另一方面，应定义与设备相关的控制模型、仿真模型和调度模型，支持快速开发、虚拟调试和柔性运行等工程流程。如**错误!未找到引用源。**所示，具体要求如下：

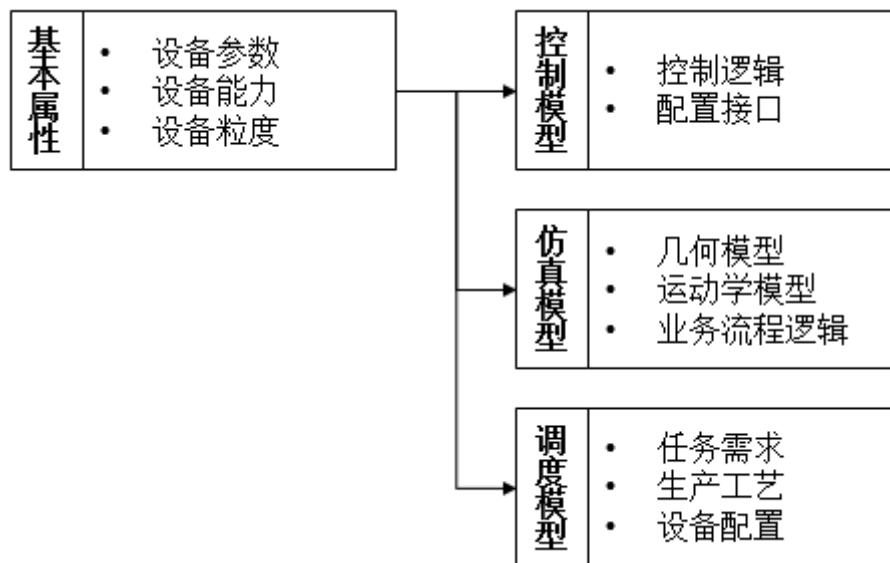


图2 设备信息模型要求示意图

——基本属性，应对模块化设备的能力及参数等基本属性信息进行定义，并依据能力的分类和组合建立柔性制造线内设备之间的层次组合关系。

——控制模型，应采用设备控制逻辑对设备功能进行抽象，对外提供控制模型的配置接口，支持通过控制模型自动配置方式快速开发设备控制程序。

——仿真模型，应包括设备几何、运动、业务流程逻辑等模型信息，支持通过仿真模型计算等虚拟验证手段，判断设备是否满足工艺逻辑要求。

——调度模型，应包括生产调度任务需求、生产工艺和设备配置等模型信息，使得设备上线后自动发布配置参数、能力和状态，支持设备自动接入运行。

6.2 基本属性

6.2.1 设备能力及参数

6.2.1.1 能力参数

能力参数应描述能力的特征，例如“移动”能力的特征是“速度”和“加速度”参数。

6.2.1.2 能力分类

能力分类主要包括：

——加工能力，对产品进行增、减材操作，如增材制造、机械加工等

——装配能力，对多个产品进行连接操作，如焊接、螺接、铆接等。

——物流能力，对产品进行运输操作，如上料、转运、入库等。物流能力不改变产品的形态，仅改变产品的位置或姿态。

——检测能力，对产品特征进行判断否满足工艺要求，如表面形貌、粗糙度检查等。

6.2.1.3 能力层级

设备能力层级分为基本能力和组合能力，多个基本能力应能够组合形成相应的组合能力。根据这种能力的层级组合关系，应能够描述相应设备的模块化组合关系。

——基本能力，应描述设备最小层级的能力，能够定义设备最基本的工艺过程，如移动、抓取、钻孔等。

——组合能力，可以完全由基本能力构成，也可以由组合能力和基本能力混合构成，如机器人设备的产品上料能力应由夹爪和机械臂的抓取、移动、释放等基本能力，按照先后次序组合而成。

6.2.2 设备的层次组合关系

6.2.2.1 基本设备

基本设备是不可拆分组合的最小层级的生产设备，可独立执行相对完整的生产任务。基本设备应与基本能力对应。

6.2.2.3 生产工位

生产工位应由多个独立设备构成，其构成设备在工位内部相互协作，共同完成特定生产工艺环节，如执行冲压工艺环节的生产工位，由机器人和冲压设备构成，相互协作完成工件的上下料和冲压操作。生产工位应与组合能力对应。

6.2.2.4 柔性制造线

柔性制造线应由多个生产工位构成，通过物流设备完成生产工位之间的物料转运连接，能够按照产品工艺要求，执行完整的产品生产任务。

6.3 控制模型

6.3.1 设备状态模型

6.3.1.1 设备状态

设备状态主要包括：

- 启动，设备接入柔性制造线并完成内部初始化。
- 运行，设备的制造能力被参数化配置并调用，将对产品执行加工工艺序列
- 暂停，设备进入运行状态后，由于受到 workflow 编排或人为干预因素而暂停正在执行的加工任务
- 挂起，设备进入启动状态后，如果当前由于未被指派加工任务或相关加工任务已完成，正在等待下一个任务分配。
- 故障，设备未能正确执行被指派加工任务。

6.3.1.2 状态转换

状态转换应定义各个状态之间可能的转换关系，以及状态之间转换的触发条件。

6.3.2 控制模型接口

6.3.2.1 物理接口

控制模型物理接口应支持设备传感器信号的读取和执行机构驱动指令的下达。因此，应在物理接口声明与设备传感器数据相关的模型感知变量，以及驱动设备执行机构的模型指令变量，支持通过感知变量和指令变量的快速配置实现设备传感器和执行机构的集成。

6.3.2.2 逻辑接口

控制模型逻辑接口应支持控制系统模型对设备控制能力的调用。因此，应在设备逻辑接口中声明启动、暂停设备控制功能的逻辑变量，以及影响设备控制过程特性的相关控制参数，支持通过逻辑变量和控制参数的自动配置实现设备控制程序快速开发。

6.4 仿真模型

6.4.1 几何模型

几何模型应对设备本身的几何特征进行数字化描述。

6.4.2 运动学模型

对于含有运动部件的设备，应通过运动学模型描述其运动学特性。

6.4.3 业务流程模型

应采用操作/动作序列的方式，对设备业务流程序列进行描述。

6.5 调度模型

6.5.1 生产需求

6.5.1.1 订单

订单是用户对产品的期望描述，应包含被加工产品的种类和数量，且能被转换成产品被加工时所需的工艺信息。

6.5.1.2 物料信息

物料信息应能够描述柔性制造线物料的批次和种类，用于支持物料的库存管理。

6.5.2 生产工艺

6.5.2.1 调度计划

调度计划应能够对被加工产品的所需工艺与设备资源形成指派关系,其作为调度的结果应能够将计划执行表与设备进行关联映射,并在生产过程中维护一个计划执行表与设备的映射关系。计划执行表应能够描述被加工产品所需工艺的若干计划执行步骤及其计划执行的索引。计划执行步骤应能够描述设备参数配置以及下一步计划执行步骤所需要的指定设备。对于有多种可能的计划执行步骤,还应包含备选的设备参数配置。

6.5.3 设备配置

6.5.3.1 配置需求

配置需求应能够描述完成某种特定工艺所需要的设备能力。配置需求和能力配置应匹配一致。

6.5.3.2 能力配置

能力配置是描述设备能力的参数配置,可根据工艺性能进行计算后对设备能力参数进行优化赋值。

6.2.5.4 性能指标

性能指标应包含于能力配置中,用于判断设备性能是否满足加工任务的需求。

7 快速开发要求

7.1 概述

为实现控制程序快速开发,应在设备控制模型逻辑接口与控制系统相关联的变量/参数之间,以及设备控制模型物理接口与设备传感器/执行器相关联的物理地址之间,定义关联映射规则集合;给定的设备模型、控制系统模型和传感器/执行器,应基于上述规则集合进行推理,支持相关变量之间的自动映射匹配,实现物理接口和逻辑接口的自动配置。

自动配置方法如**错误!未找到引用源。**所示,根据具体配置内容不同,相应技术要求如下所述:

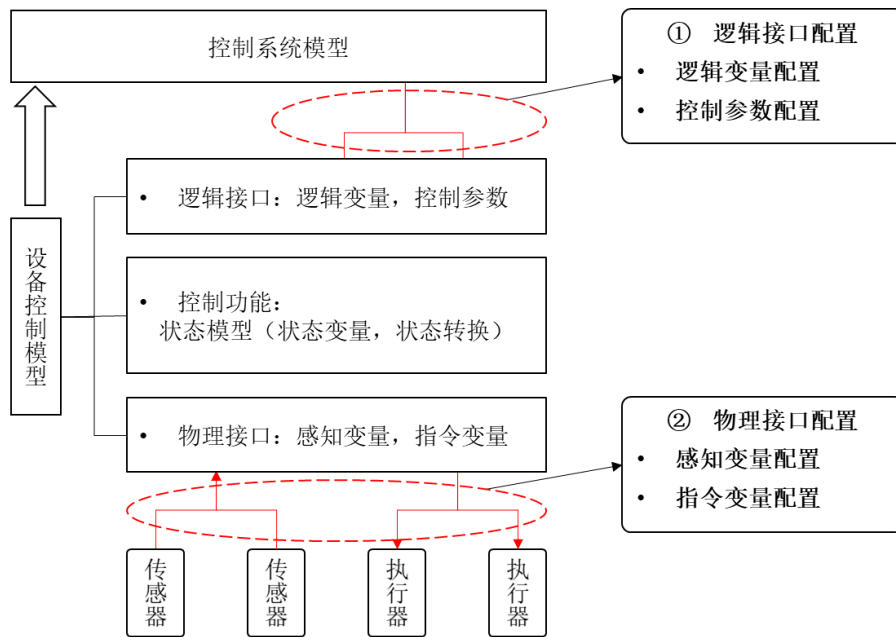


图3 快速开发要求示意图

7.2 逻辑接口配置方法

7.2.1 逻辑变量配置方法

通过定义控制系统模型和设备模型逻辑接口相关变量之间的映射匹配规则，实现对给定的控制系统变量和设备控制模型逻辑接口变量之间的自动关联配置，支持设备控制模型接口的逻辑变量自动配置。

7.2.2 控制参数配置方法

通过定义设备控制模型参数与产品设计参数和生产工艺参数之间的映射匹配规则，实现根据给定的产品设计和生产工艺参数，对设备控制模型逻辑接口的控制参数的自动配置。

7.3 物理接口配置方法

通过定义设备控制模型物理接口相关变量与设备传感器/执行机构之间建立映射匹配规则，实现根据给定的设备传感器和执行机构物理地址，与物理接口中的感知变量和指令变量进行自动匹配。

8 虚拟调试要求

8.1 概述

针对已经开发的设备控制程序，虚拟调试采用虚拟仿真或模型方法对其是否满足柔性制造系统要求进行验证。

虚拟调试应围绕设备静态属性和动态行为开展验证。其中，静态属性验证是检验设备的静态结构、功能属性等是否满足设备验证规范中的属性边界条件约束。通常，需要判定具体设备属性实例是否位于验证规范定义的合理区间内。动态行为验证应检验设备操作流程和控制行为等动态过程是否满足设备验证规范的要求。通常，应采用状态模型或者定理证明等方法，验证动态行为过程中是否存在设备验证规范中不允许出现的状态。

具体技术要求如错误!未找到引用源。所示：

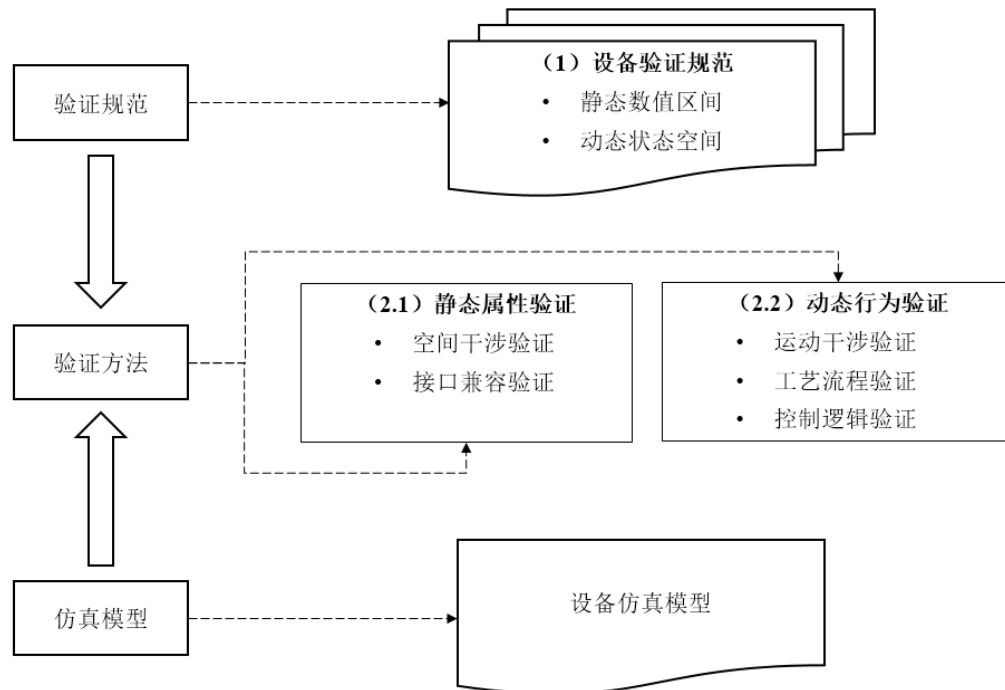


图4 虚拟调试要求示意图

8.2 设备验证规范

8.2.1 静态数值区间

静态数值区间限定了设备的功能、属性、结构等静态对象的合理数值区间，并支持静态属性验证。为此，应从和控制系统角度，规定设备应具备的功能、属性和结构数值边界，设备工作空间范围，以及设备机械和电气接口等技术参数范围。

8.2.2 动态状态空间

动态状态空间限定了设备运行过程中各类状态允许的动态空间范围，并支持设备动态行为验证。为此，应从柔性制造系统角度，规定设备动态运行过程中的各项指标参数，包括：运动部件允许的工作空间范围，设备处理工件应满足的工艺步骤逻辑次序和工艺参数，以及控制逻辑状态变量的合理值域和相应的时间约束条件。

8.3 静态属性验证

8.3.1 空间干涉验证

应对接入设备的静态结构是否与柔性制造系统发生干涉进行验证。

8.3.2 接口兼容验证

应对接入设备的机械接口的尺寸和类型，电气接口的电压和方向，以及网络通信接口的协议是否能够与柔性制造系统兼容进行验证。

8.4 动态行为验证

8.4.1 运动干涉验证

针对带有运动部件的设备,运动干涉验证应判定其运动过程可达的各个状态位置是否在设备验证规范限定的空间范围内。

8.4.2 工艺流程验证

工艺流程验证应判定设备的工艺流程是否满足设备验证规范要求,如判定设备操纵工件的状态、参数和逻辑次序等是否满足设备验证规范要求。

8.4.3 控制逻辑验证

8.4.3.1 逻辑正确性验证

逻辑正确性验证是对设备控制逻辑变量的状态是否满足动态状态空间范围进行判定,如判定所有状态是否可达、是否出现不确定性中间状态等。

8.4.3.2 时间特性验证

时间特性验证是对设备逻辑控制相应状态达到某个状态的时间特性是否满足要求进行验证。

9 柔性运行要求

9.1 概述

自动化系统的柔性运行应支持产品驱动的生产模式,要求产品进入柔性制造系统后,能够主动地、动态地获取加工需求和设备状态并生成预调度方案,完成加工过程。同时,新设备上线后应能够发布自身能力、参数、结构和行为信息,控制系统根据接口和组合关系完成配置,生成重调度方案,并根据设备参数配置对设备施加控制。

如**错误!未找到引用源。**所示,具体要求如下:

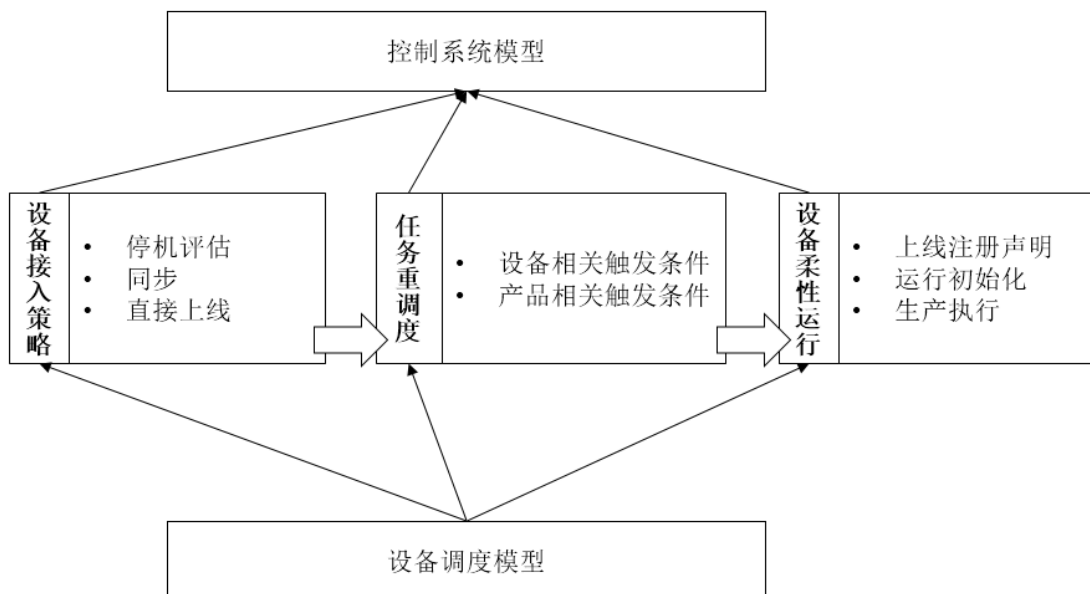


图5 柔性运行要求示意图

柔性运行的技术要求包括：

设备接入策略：能够对设备接入行为进行预测，判断最优的设备接入时刻。

任务重调度：能够在新产品或新设备进入生产线的状态进行判断，并决定重调度触发的时刻。

设备柔性运行：能够进行设备上线注册声明，新设备初始化，并按设备参数配置执行。

9.2 设备接入策略

9.2.1 停机评估

自动化系统应能够在新设备接入柔性制造系统时，判断当前是否具备停机条件。生产应根据新设备的能力配置，对当前柔性制造系统的生产能力进行补充描述。若新接入设备能力配置与当前被加工产品工艺需求匹配且加入生产后可提升柔性制造系统性能，则柔性制造系统可停机并计算可接受的总停机时间。

9.2.2 同步

自动化系统应能够在总停机时间内完成新设备的虚拟调试，同时应确保柔性制造系统的生产逻辑和生产性能。

9.2.3 直接上线

自动化系统应能够在验证新设备接入的可行性后，在总停机时间内对柔性制造系统进行试运行，试运行无误后直接上线进行生产。

9.3 任务重调度

任务重调度的核心是明确触发条件，触发条件包括设备相关触发条件和产品相关触发条件。

设备相关触发条件：自动化系统应能够在设备发生故障时，查看故障设备是否有同类设备空闲。若有同类设备空闲，则应能够将故障设备上的后续计划执行步骤移到同类设备上；若无同类设备空闲，则应尝试重调度将未加工完成的产品工艺需求与现有设备的能力配置进行重新匹配，若无法完成匹配，则应通过接入新设备对已出现故障的生产状态进行修复。

产品相关触发条件：自动化系统应能够在新产品到达时，查看当前柔性制造系统的生产能力是否能满足新产品的工艺需求。若能满足，则进行重调度；若无法满足，则柔性制造系统应通过接入具备相应能力配置的新设备增加柔性制造系统的生产能力，以重调度完成产品加工。

9.4 设备柔性运行

9.4.1 上线注册声明

当新设备接入自动化系统时，设备应能自动注册结构和能力配置信息至服务目录上，并自动发布自描述信息，完成设备上线注册声明。

9.4.2 运行初始化

新设备的内部初始化过程，应包括设备自描述信息的建立与运行，并完成动态接入、握手、注册、通讯等操作的运行环境配置，为设备组件信息空间和物理空间的相互融合提供技术基础。

9.4.3 生产执行

当自动化系统的服务目录监视到有新设备接入时，应能够根据设备自描述信息自动创建访问客户端，建立与新设备组件的通信连接，并将重调度的调度计划下发至新设备并按照设备参数配置执行。

