

ICS 35.240.50

J 07



中华人民共和国国家标准

GB/T ×××××—20××

机器人设计平台系统集成体系结构

System integration architecture for robot design platform

(征求意见稿)

20××-××-××发布

20××-××-××实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会

发布

目次

目次.....	I
前言.....	II
引言.....	III
机器人设计平台系统集成体系结构.....	1
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语与定义.....	1
4 机器人设计平台系统集成内容.....	2
4.1 机器人设计平台系统设计流程.....	2
4.2 机器人设计平台集成数据.....	3
5 机器人设计平台参考体系结构.....	4
5.1 机器人设计平台参考体系结构.....	4
5.2 机器人设计平台的体系结构设计方案.....	6

前言

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中国机械工业联合会提出。

本标准由全国自动化系统与集成标准化技术委员会（SAC/TC159）归口。

本标准负责起草单位：。

本标准主要起草人：。

本标准为首次发布。

引言

机器人设计平台系统集成体系结构

1 范围

本标准对工业机器人设计开发平台的系统集成体系结构的内涵及定义进行了界定，对机器人设计平台系统设计流程、机器人设计平台集成数据、机器人设计平台参考体系结构、机器人设计平台的体系结构设计方案等内容进行了规范。

本标准对于机器人设计开发平台系统集成体系结构具有重要参考和指导意义。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本部分的引用而成为本部分的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本部分，然而，鼓励根据本部分达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本部分。

GB/T 18725-2008 制造业信息化 技术术语

GB/T 16656.203-1997 工业自动化系统与集成产品数据的表达与交换第203部分：应用协议：配置控制设计

3 术语与定义

3.1

计算机辅助设计 Computer Aided Design

指利用计算机及其图形设备帮助设计人员进行设计工作。在设计中通常要用计算机对不同方案进行大量的计算、分析和比较，以决定最优方案

3.2

计算机辅助分析 Computer Aided Engineering

用计算机辅助求解复杂工程和产品结构强度、刚度、屈曲稳定性、动力响应、热传导、三维多体接触、弹塑性等力学性能的分析计算以及结构性能的优化设计等问题的一种近似数值分析方法。

3.3

多体动力学 Multibody System

多体动力学仿真则将机械系统建成由一系列的刚体和柔性体，通过铰接建立它们相互之间的约束关系而形成完整的动力学系统，其中铰接主要是约束各个刚体之间的相对运动关系。

3.4

数字化设计平台 Digital Design Platform;

数字化设计平台集成多种CAD/CAE软件和工具，并综合运用多种软件开发技术，覆盖机器人设计过程中的概念设计、结构设计、部件选型、综合性能预估、设计校核等重要环节，初步实现了设计流程和设计数据的集成化管理。

3.5

数字化样机 Digital Mock-Up

数字样机是对机械产品整机或具有独立功能的子系统的数字化描述，这种描述不仅反映了产品对象的几何属性，还至少在某一领域反映了产品对象的功能和性能。

3.6

虚拟产品开发 Virtual Product Development

是指在不实际生产产品实物的情况下，利用计算机技术在虚拟状态下构思、设计、制造、测试和分析产品，以有效解决那些反映在时间、成本、质量等诸存在的问题。

4 机器人设计平台系统集成内容

4.1 机器人设计平台系统设计流程

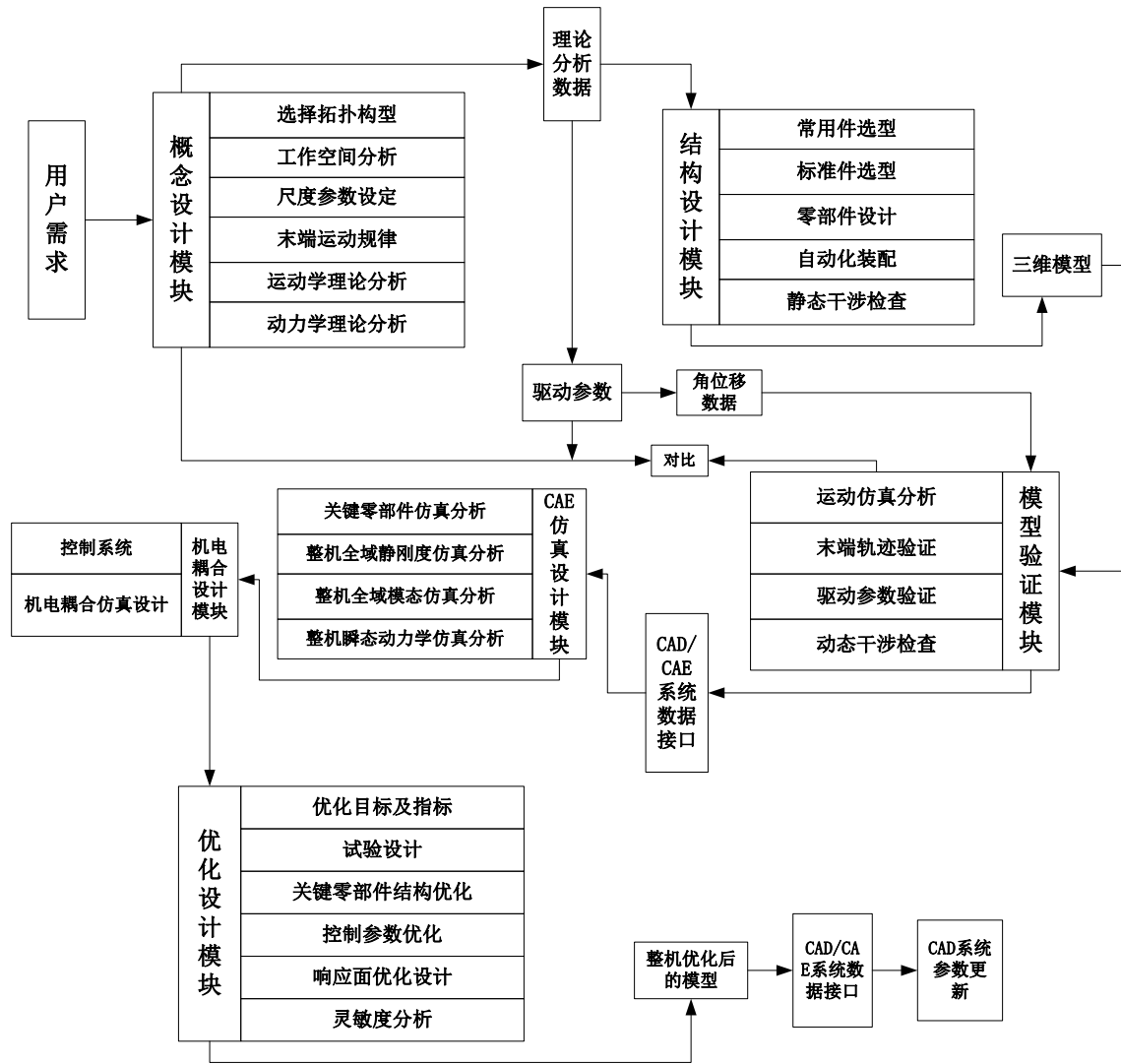


图 1 机器人设计平台的设计流程

机器人设计平台的设计流程如图 1 所示，主要包括概念设计/初步设计、结构设计和刚体动力学仿真设计、CAE 仿真设计、多领域耦合仿真设计等环节。

a) 用户需求

分析用户的需求，设定机器人的基本性能要求，如工作空间大小，运动规律要求，负载能力，动态性能，精度要求，灵活性等，将这些性能参数作为已知条件，完成后续设计。

b) 概念设计

在概念设计阶段，主要对该机构进行理论建模、轨迹规划及运动规律设定，针对用户需求，

进行初步尺度参数规划,最后实现该机构的逆运动学和逆动力学求解,得到该机器人的驱动参数,初步进行电机选型和减速器选型。

c) 三维零部件设计与装配

首先,根据需求对部件轻量化和可靠性的要求,设计静平台、主动臂、从动臂、可预紧球铰链、动平台等构件的详细结构。然后,将这些构件装配成整机,进行干涉检查。最后,为方便后续建立有限元模型,将整机模型进行简化。

d) 运动学/刚体动力学设计

将三维模型导入到运动学仿真模块中,结合概念设计中轨迹规划和运动规律,进行运动学和刚体动力学仿真。将所得到的驱动参数结果与概念设计中的结果对比,以验证模型的正确性。

e) 弹性动力学设计

将简化的 CAD 模型导入到 CAE 仿真分析软件中,建立有限元模型,分别进行全域静刚度、全域模态、瞬态动力学仿真分析,预估机器人的静动态特性,为后续优化设计提供支撑。

f) 优化设计

在优化设计中主要考虑尺度参数优化和关键件结构参数优化两方面。

尺度参数优化,主要针对驱动杆、从动杆长度以及偏心距进行优化。以工作空间/机构体积比,链内和链间力传递特性等作为约束条件,以末端全域单位最大速度和加速度所需驱动力矩最小为优化目标,揭示尺度参数对各分目标和运动学约束的影响规律,并采用多目标优化算法,确定最优尺度参数。

结构参数优化,主要针对驱动杆以及从动杆的壁厚进行优化。以主导模态频率/机构质量比最大,或在主导模态频率约束下的机构质量最小为优化目标,揭示不同目标函数和约束条件对设计结果的影响规律。通过与动力学设计循环迭代,确定可同时保证运动学、刚体和弹性动力学性能的尺度与结构参数满意解。

4.2 机器人设计平台集成数据

如表 1 所示,机器人设计平台集成的数据主要包括几何模型数据、CAE 模型数据、参数化数据、MBS 模型数据、设计需求模型数据、 workflow 数据、数据流数据、仿真结果数据等。

表 1 机器人设计平台集成数据

集成数据类型	说明	物理形式
几何模型数据	承载零件/装配体几何信息的 CAD 数据,机器人设计平台应当提供数据转换功能支持 CATIA、Creo、NX、SolidWorks、Solid edge 等主流 CAD 软件,提供 DWG/DXF、IGES、JAMA、STEP、STL、X_T 等标准格式的读入。	中性文件
CAE 模型数据	大部分 CAE 系统供内部建模功能。对于在 CAE 系统中构建的模型,利用公共几何服务接口提供的 CAD 数据写出功能,将模型几何数据写出为能够被 CAD 系统读取的文件格式。	
参数化数据	驱动 CAD/CAE 模型和数学模型更新的参数数据,在参数化建模体系中,设计者通过使用各个元素的几何约束和尺寸数据来建立一个工业机器人模型,通过修改几何约束、尺寸数据或尺寸关系来修改一	脚本文件

	个工业机器人模型。	
MBS 模型数据	多体动力学分析模型数据。以多领域统一建模语言 Modelica 为例， Modelica 语言集合了面向对象建模、非因果建模、连续离散混合系统建模等建模思想，采用面向对象方式实现不同领域子模型之间的无缝集成。同时它的符号化建模功能可以用来封装键合图、线性图、虚功原理等特殊建模方法。 Modelica 标准库中的 MultiBody 多体模型库包含部件、运动副、传感器等子库，其中部件子库提供各种形状的部件模型，而运动副子库提供转动副、移动副、球铰、虎克铰等运动副。	
设计需求模型数据	设计流程中设计指标与产品模型和企业资源等的关联以及各指标之间的关联数据	
workflow 数据	描述分析任务以及相关辅助组件的特定执行顺序的数据	
数据流数据	描述分析任务之间数据交换的顺序关系的数据	
仿真结果数据	CAX 软件分析后的结果信息	
工具库、知识库		数据库

5 机器人设计平台参考体系结构

5.1 机器人设计平台参考体系结构

机器人是一类相对特殊的复杂机电产品，其作业功能多，同时性能指标也具有多样性，按照传统的设计开发模式，一般需要经过概念设计—尺度设计—结构设计—样机制造—控制系统开发—实验测试—设计修改等流程。若试制产品性能达不到用户要求，则需要进行设计修改，再重复进行制造样机和实验测试等流程。如此反复，直到性能符合要求。这一模式存在开发周期长、研发数据分散、实验成本高等缺点。

随着数字化样机（DMU）技术和虚拟产品开发（VPD）技术的发展，以虚拟样机建模仿真为核心的现代数字化样机设计模式开始被产品设计人员重视。这一模式强调利用建模和仿真进行产品性能预估，一般借助CAX软件完成自动分析功能，同时强调设计流程和过程数据的管理，以进一步提高整个流程的效率。采用该模式通常需要经过初步设计—数字化样机建模—数字化样机仿真—分析评估—设计优化—样机制作—实验测试—修改设计等流程。典通过型传统设计模式与现代数字化样机设计模式之间的比较，可以看到数字化样机设计模式能够加速预测产品性能，大幅度减少重复循环设计次数、节约实验成本、缩短产品研发周期。

机器人数字化设计平台将工业机器人现代设计方法、专家知识、专业模型库/知识库以及CAX软件进行充分融合，形成真正意义上的数字化设计及流程管理，充分体现数字化样机设计模式的优势。机器人设计流程中主要包括概念设计/初步设计、结构设计和刚体动力学仿真设计、CAE仿真设计、多领域耦合仿真设计等环节。

机器人数字化设计开发平台涉及到CAD系统、CAE系统、动力学仿真分析系统等系统集成体系，如图1所示，机器人设计平台参考体系主要分为设计仿真导航（设计流程）、设计仿真集成和数字化设计支撑数据/模型库三个层次。

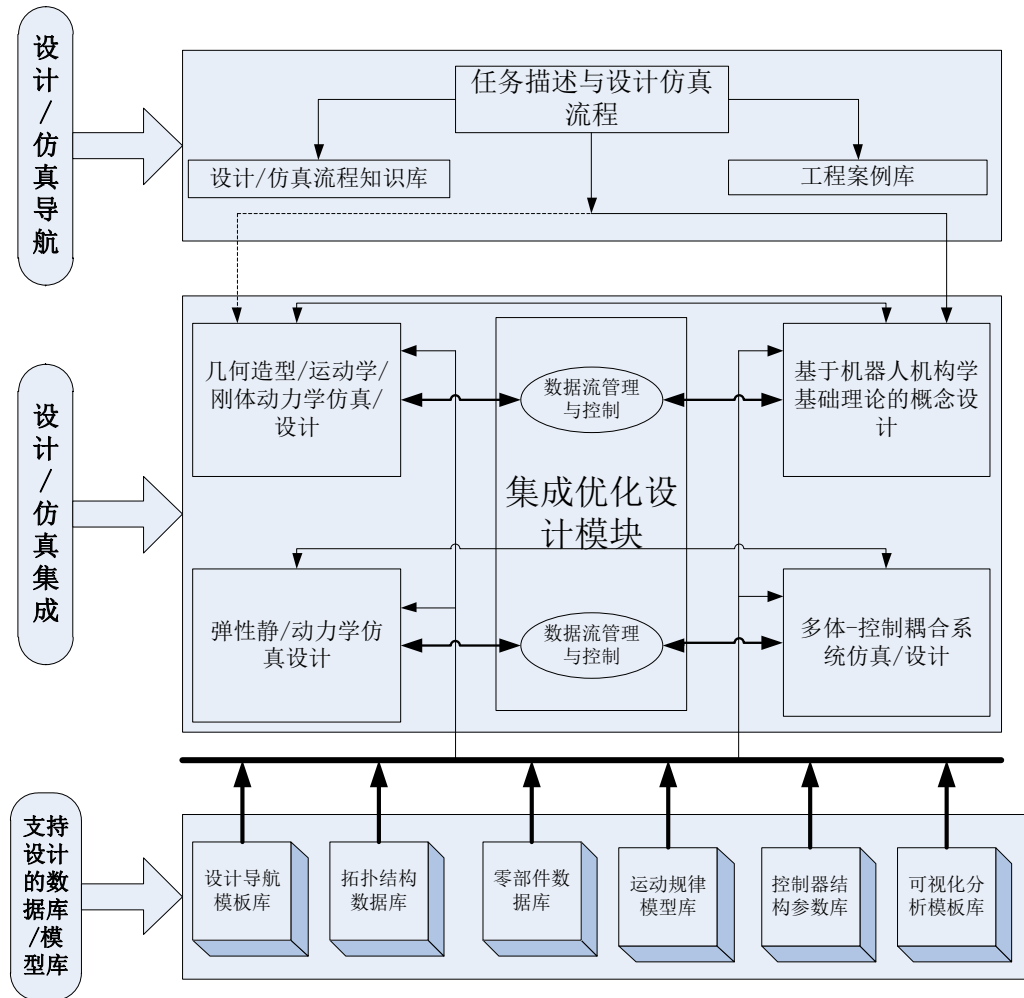


图2 机器人设计平台参考体系结构

5.1.1 机器人数字化设计/仿真导航层

设计/仿真导航层主要包括在设计/仿真流程知识库和工程案例库。该模块在机器人设计平台中为设计/仿真流程提供指导，根据已有的流程知识库的内容，可以减少在新的设计和仿真过程中的重复作业，提高机器人的设计和仿真效率。工程案例库具有大量的各种机器人实际的设计和仿真过程，可以让设计人员更多的了解和熟悉机器人设计和仿真的精髓。

5.1.2 机器人数字化设计/仿真集成层

机器人数字化设计/仿真集成层是整个机器人数字化设计平台的核心层，主要的功能模块包括：概念设计/初步设计模块、结构设计和刚体动力学仿真设计模块、CAE仿真设计模块、多领域耦合仿真设计模块优化设计模块等。设计优化模块是整个平台的核心部分，其他的模块都是为它服务的。

a) 概念设计/初步设计模块

该模块主要是利用机构学基础理论，实现拓扑选型、基于性能指标的尺度综合、正/逆运动学/简化刚体动力学建模求解、轨迹规划及运动规律设定等功能。

b) 结构设计和刚体动力学仿真设计模块

该模块主要利用CAD软件功能和基本动力学理论，实现零部件实体造型、标准件及驱动器等选型、部件与整机装配、运动学仿真与干涉检查、刚体动力学仿真等功能。

c) CAE仿真设计模块

该模块主要是利用商业化CAE建模仿真功能，建立机器人本体有限元模型，进行整机和关键部件的静/动态特性分析等功能。

d) 多领域耦合仿真设计模块

该模块主要利用具有多领域分析能力的CAE软件或并行仿真技术，完成控制系统建模、多体系统-控制系统耦合仿真等功能。

e) 优化设计模块

该模块主要基于多目标优化理论和多准则决策理论，使用多目标优化方法、实验设计法、响应面法等进行尺度参数优化、结构参数优化，并提供多学科分析优化流程管理等功能。

5.1.3 机器人设计平台集成体系结构的支持设计的数据库/模型库层

主要基于数据库技术和模型表达理论，将可重用的数学模型和设计知识归类并建立数据库，该层主要包括设计导航模板库、拓扑结构数据库、零部件数据库、运动规律模型库、控制器结构参数库和可视化分析模板库。

以串联工业机器人零部件库为例对零部件数据库的构成进行描述，串联工业机器人零部件库主要包括：机械系统、控制系统、驱动系统、感知系统、人机交互系统和机器人环境交互系统、减速传动系统等。

机械系统主要包括基座、立柱、腰部、大臂、小臂、手腕、末端执行器等零部件；

控制系统主要包括控制器、电机（直流电动机、交流电动机、步进电机）、减速器传动，PWM脉宽调速器等零部件；

驱动系统主要包括电力驱动、液压驱动、气压驱动等零部件；

感知系统主要包括内部传感器模块和外部传感器模块等零部件；

人机交互系统和机器人环境交互系统主要包括工控机、示教盒（指令给定装置和信息显示装置）等零部件；

重要的减速传动机构主要包括齿轮齿条、连杆机构、多级齿轮减速传动、摆线针轮减速传动、滚珠丝杠减速传动、谐波减速器、RV 减速器等零部件。

5.2 机器人设计平台的体系结构设计方案

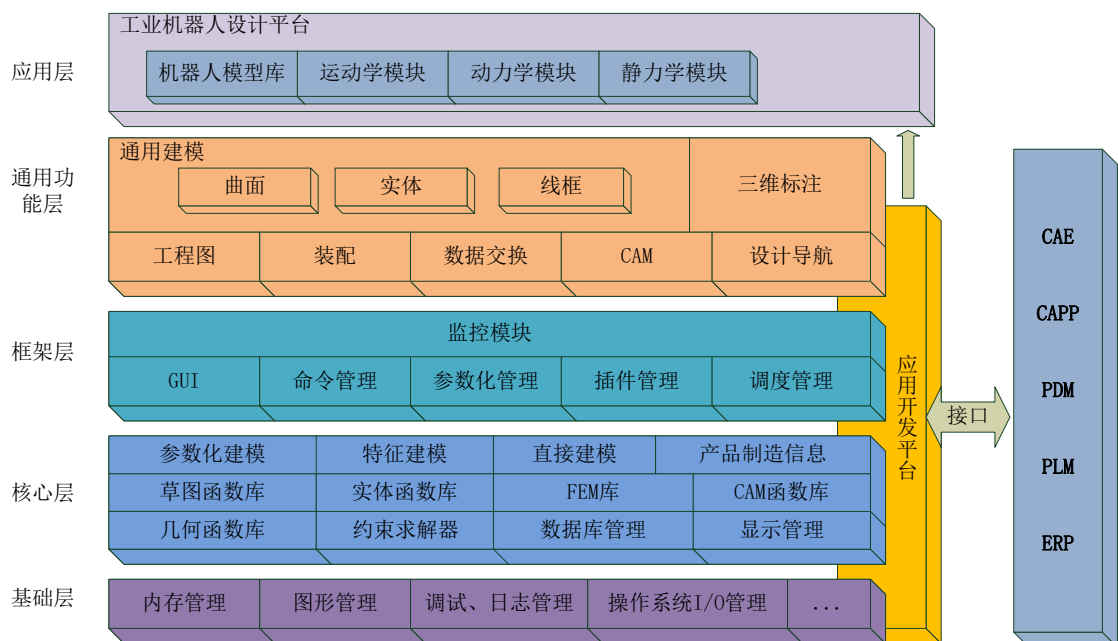


图3 机器人设计平台的体系结构设计方案

如图3所示，机器人设计平台的体系系统由下至上主要包括基础层、核心层、框架层、通用功能层和行业应用层五部分。

a) 基础层

基础层主要对 CAD 平台起到支撑作用，管理相应的内存使用、图形显示、与操作系统的交互和系统日志等。

b) 核心层

核心层主要包括各种模型、工程图、加工、分析等函数库，以及与各类函数库相关的显示、数据库管理和开发等，它是上层功能实现的基础，也是 CAD 平台的核心部分；框架层通过 GUI、命令管理、参数化管理、插件管理、调度管理和监控等模块对 CAD 平台进行开发、管理和优化。

c) 通用功能层

通用功能层提供了通用建模、工程图、装配建模、设计导航、数据交换等通用功能，涵盖企业进行设计和制造的基础功能模块。

d) 应用层

应用层则是在 CAD 一体化平台和支持自定制的应用开发平台的基础上，逐渐形成面向工业机器人领域的专业化 CAD/CAM 系统，建立典型产品或零部件的设计系统，可提供专业功能以及典型产品和零部件的设计向导，它是在 CAD 平台的应用发展过程中所形成的特色功能。随着 CAD 系统的应用，它的功能将不断扩充和完善。