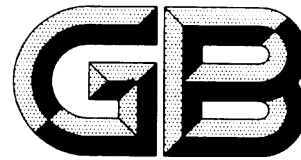


ICS 35.240.50  
J 07



# 中华人民共和国国家标准

GB/T ×××××—20××

## 机器人设计平台集成数据交换规范

Integrated data exchange specification 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
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语、定义和缩略语.....	1
3.1 术语和定义.....	1
4 机器人设计平台数据集成方式.....	1
4.1 基于分层结构的 CAD/CAE 集成框架.....	2
5 基于中间文件的 CAD 系统与静力学分析系统集成.....	3
5.1 基于中间文件的 CAD 系统与静力学分析系统集成流程.....	3
6 CAD 系统与动力学仿真分析系统集成.....	6
6.1 CAD 系统与动力学仿真系统集成流程.....	6
6.2 动力学分析系统集成数据模型.....	7
6.3 CAD 系统与动力学仿真系统求解器集成.....	8

## 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

# 机器人设计平台集成数据交换规范

## 1 范围

本标准对机器人设计开发平台涉及到CAD、CAE、动力学仿真分析等系统的数据集成内容及方式进行了界定，机器人设计平台数据集成方式、CAD系统与静力学分析系统、动力学仿真分析系统集成的流程和数据模型进行规范。

本标准对于机器人设计开发平台数据交换具有重要参考意义。

## 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、定义和缩略语

### 3.1 术语和定义

#### 3.1.1

**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

#### 3.1.2

**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。

#### 3.1.3

**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。

#### 3.1.4

**多领域统一建模语言 Modelica Language**

一种开放、面向对象的以方程为基础的语言，可以跨越不同领域，方便地实现复杂物理系统的建模，包括：机械、电子、电力、液压、热、控制及面向过程的子系统模型。

## 4 机器人设计平台数据集成方式

从实现机器人设计流程自动化以及高真实度建模仿真的角度来看，机器人数字化设计平台实现CAD软件与高端CAE软件的无缝集成是非常重要的，只有实现了CAD和CAE系统之间的数据通信，才能借助CAD系统三维建模功能实现三模型的参数化和快速更新，并借助CAE系统数值仿真分析功能获得给定机器人配置的性能预估，在此基础上，再将CAD-CAE建模分析模块嵌入到多目标优化软件的批处理任务中，实现真正的自动化设计流程。

## 4.1 基于分层结构的 CAD/CAE 集成框架

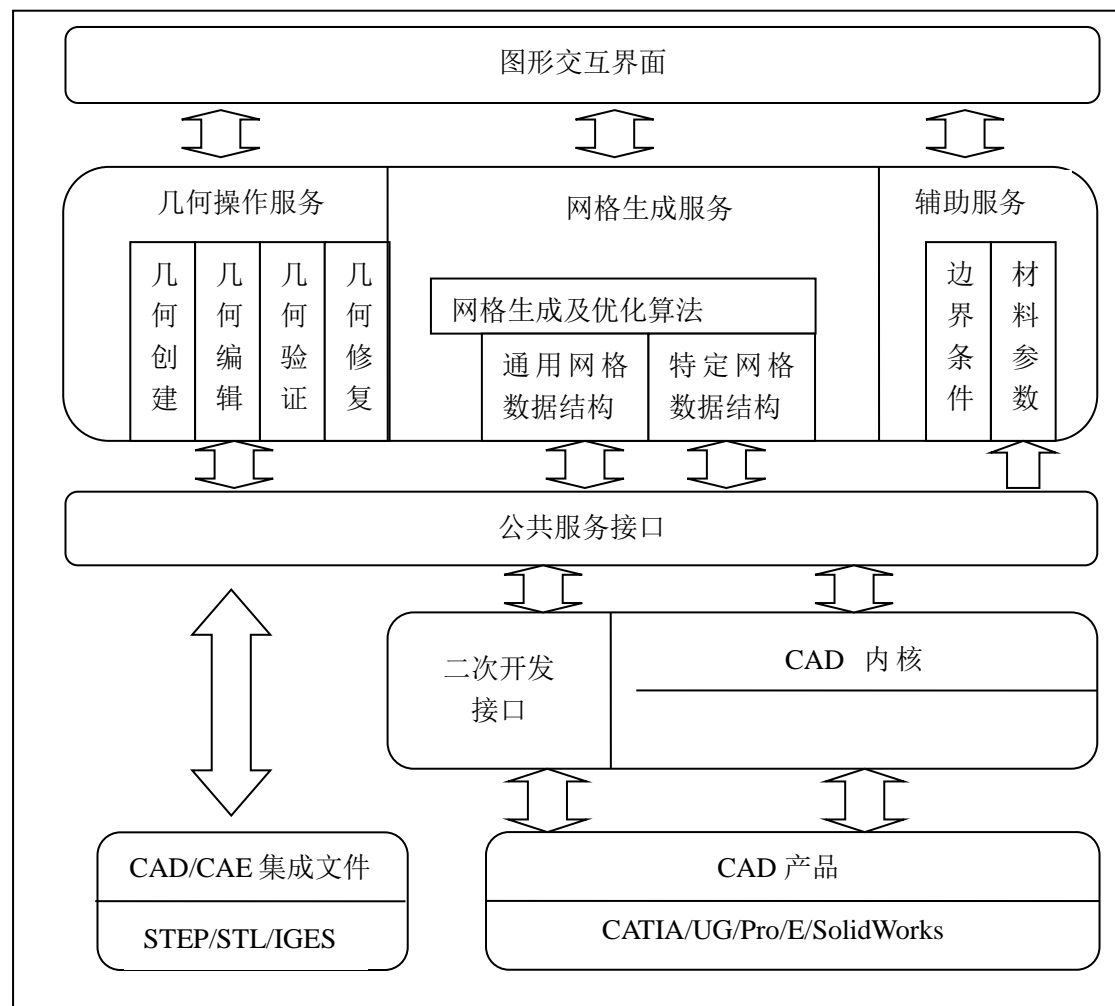


图 1 基于分层架构的 cad/cae 系统集成方法框图

基于分层架构的 cad/cae 系统集成方法通过提供一个标准化的 cad/cae 系统集成框架，在 cad 系统与 cae、系统之间添加一个公共几何服务接口层，完成 cae 系统和 cad 系统的无缝集成，对底层屏蔽不同中性文件，cad 内核和二次开发接口的多样性。对上层提供统一的几何接口服务。

CAD 系统与 CAE 系统集成过程主要包括以下几个步骤：通过从 CAD 系统读取或在 CAE 系统中构建获得几何模型数据；对模型进行网格生成操作；设置适当的参数，对模型的相关性能（如力学、热学、电磁或流动等）进行求解计算。

如图 3 所示，基于分层架构的 CAD/CAE 系统集成方法在 CAD 系统与 CAE 系统之间提供一个公共几何服务接口，对 CAD 层，屏蔽不同中性文件，CAD 内核和二次开发接口的多样性；对 CAE 层提供统一的几何接口服务。该集成方式主要包括以下五个模块：

## a) CAD 数据读取模块

CAD 数据读取即将几何数据原样的从 CAD 系统中传递到 CAE 系统中，这个过程并不改变几何数据本身，而且不考虑几何数据是否符合分析系统的需要和要求，在传输过程中的主要工作是对各种几何数据格式接收问题。

CAE 系统可通过公共几何接口提供的三种途径读取 CAD 系统构建的模型数据。包括中性文件读取接口、CAD 内核提供的几何模型文件读取接口、CAD 系统的二次开发接口提供的几何模

型文件读取接口。

#### b) CAD 数据存储模块

公共服务接口中的 CAD 数据结构在拓扑结构和几何定义上与 CAE 系统保持一致，在具体实现上可以是 CAE 系统中 CAD 数据结构的简化。

#### c) CAD 数据转换模块

由 CAD 系统所构建的模型充满不良的几何数据问题，若直接用于网格生成操作，必然影响得到的网格质量，造成求解计算过程耗时长并且计算结果不精确，给工程分析造成较坏影响。在执行步骤 1、2 后需要检测得到的数据，若数据不满足 CAE 系统的需求，不利于网格生成操作，则需要对几何数据进行数据转换操作。公共服务接口提供 CAD 数据转换功能，用于修改 CAD 数据使其有利于网格生成，适用于工程分析。

#### d) CAE 系统几何服务模块

该模块主要提供的功能包括：

经过数据转换的 CAD 数据用于 CAE 系统中的后续操作；

对几何模型进行几何操作:如删除、复制、旋转等。公共服务接口为 CAE 系统中的几何操作模块提供几何数据存取接口；

在几何模型上生成网格:公共服务接口为网格生成模块提供几何/网格数据映射接口以及共性的几何算法，如用于分块结构网格生成的分块算法，用于曲面网格生成曲线、曲面离散算法等；

在辅助模块对几何模型上添加求解计算参数:公共服务接口为辅助模块提供在几何上加载边界条件等接口；

经过以上操作后的结果可用于 CAE 系统的求解计算。

#### e) CAE 数据写出模块

大部分 CAE 系统同时也提供内部建模功能。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。

## 5 基于中间文件的 CAD 系统与静力学分析系统集成

### 5.1 基于中间文件的 CAD 系统与静力学分析系统集成流程

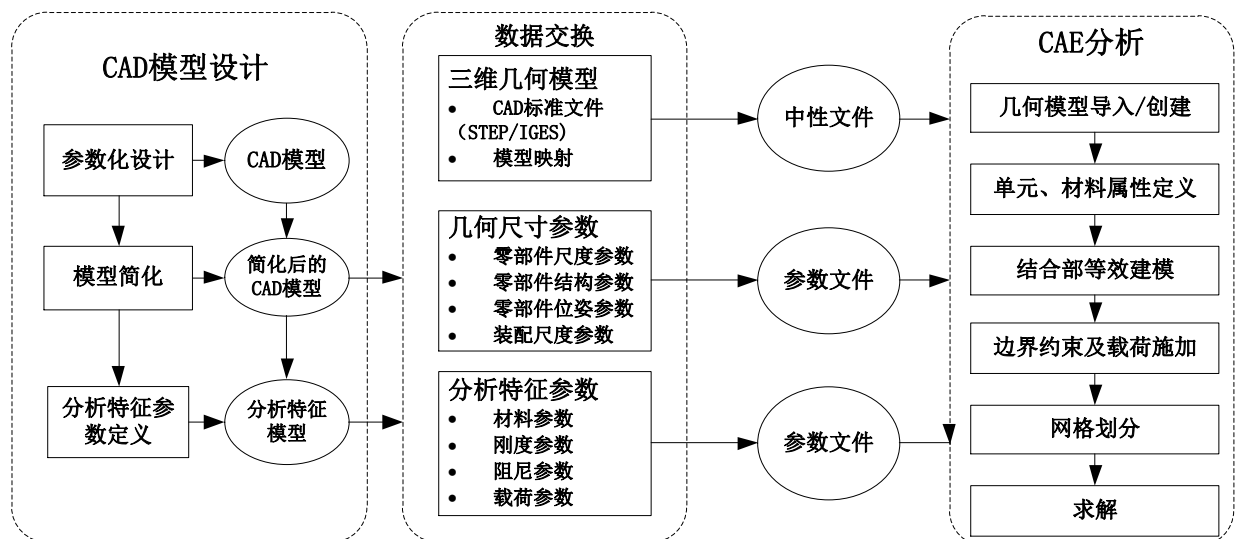


图 2 基于中间文件的 CAD 系统与静力学分析系统集成流程

如图2所示,基于中间文件的CAD系统与静力学分析系统集成流程主要包括CAD模型设计、数据交换和静力学分析三个环节。CAD模型设计主要包括包括CAD模型参数化设计和分析特征参数设定。CAD参数化模型设计是指设计人员在CAD系统中完成三维模型参数化设计。分析特征参数是指在进行静力学分析时需要添加的特征参数,例如材料参数、刚度参数、阻尼参数、负载参数等。

数据交换主要是通过中间文件的方式提取CAD系统中的数据流信息,然后传送给静力学分析系统,并驱动其更新。数据信息包括三维几何模型信息、几何参数信息和分析特征参数信息。几何模型信息是设计人员在CAD系统完成的三维几何模型,其中一部分对工程分析影响不大的零部件通过标准格式导入到静力学分析系统,另一部分关键零部件通过几何模型映射自动在静力学分析系统中完成建模。几何参数信息包括零部件的尺度参数、结构参数、位姿参数和装配参数。

静力学分析主要是根据CAD系统产生的几何模型数据,在CAE系统中自动创建适合工程分析的几何模型,然后进行有限元分析前处理操作,设置分析类型、单元属性、材料属性、边界条件、载荷、网格划分等。通过中间层接口自动提取更新的数据流信息,并传送给静力学分析系统,使其自动更新静力学分析模型。

基于其集成流程介绍如下:

- (1) 在CAD系统中完成机器人三维模型参数化设计,创建CAD模型;
- (2) 对CAD模型进行细节简化,生成CAD简化模型,并将其转换为能够导入静力学分析系统的中性文件格式;
- (3) 分析特征参数,生成分析特征模型;
- (4) 从简化模型中提取CAD模型当前状态的几何参数,写入数据文件;
- (5) 从分析模型中提取分析特征,并自动将其映射为脚本文件;
- (6) 将几何模型导入静力学分析系统中,并创建关键几何模型,加载几何参数文件和分析特征文件,完成有限元建模。

#### 5.1.1 几何模型文件集成

在STEP标准中,CAD与静力学分析系统以中性文件格式集成需要遵循AP203和AP209协议,AP203和AP209分别描述一个产品模型的不同属性和范围。AP203与AP209在描述零部件的几何信息的差别在于其侧重点不同,在AP203中,主要是对产品的开发过程和管理方面的规范性描述,着重于对实体的几何外形的描述,就是单一的外观表达,AP209中的几何信息是经过处理的,其重要特征是在设计与分析的产品定义范畴间共享信息,还包括了在外形表达的基础上对复合材料的外形进行表达。



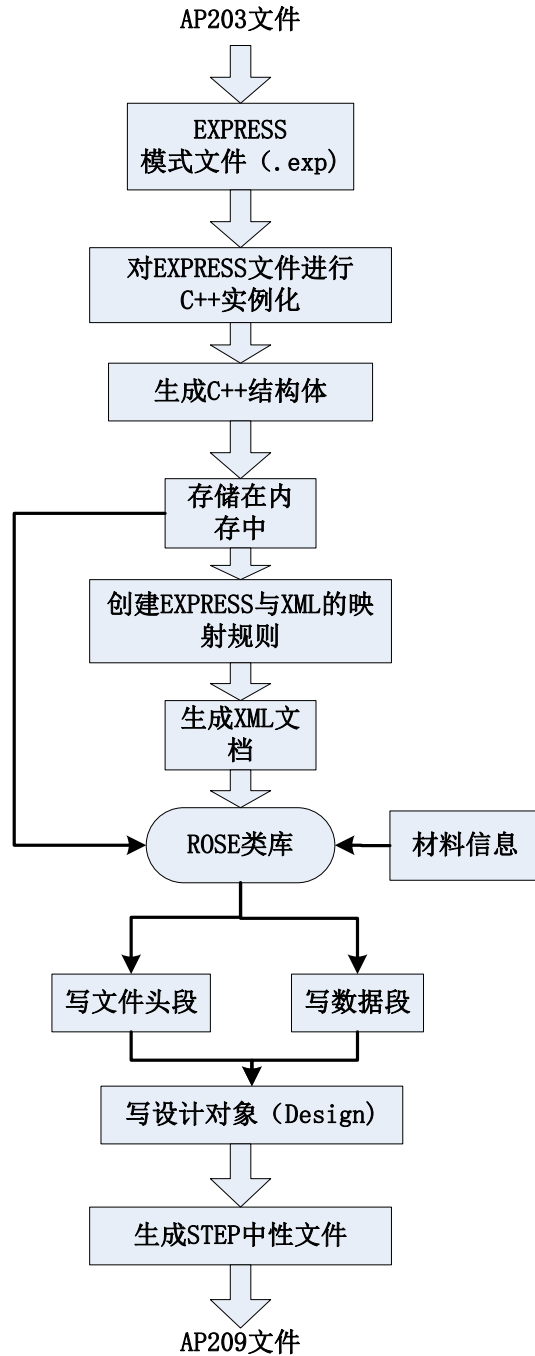


图 3 AP203 和 AP209 的转换流程

如图 3 所示，基于 STEP 标准作为中性文件，完成 CAD 到 CAE 系统的集成，需要通过几何模型的映射和转换进行实现，主要包括对 AP203 文件的几何信息提取模块、几何信息处理模块和获取 AP209 文件模块。主要流程为：根据 AP203 文件的数据模型，对 STEP 标准下的实体模型进行实例化处理，把 AP203 文件的实体数据结构树中的几何信息提取出来；然后，对提取出的几何模型通过一定的映射规则，把 EXPRESS 表示的数据模型转换成 XML 数据模型；最后，利用 STEP 的开发工具把设计分析所需要的网格、几何和材料等数据模型，利用 ROSE 函数库，通过固定的函数转换成 AP209 格式的文件。

### 5.1.2 特征参数集成模型

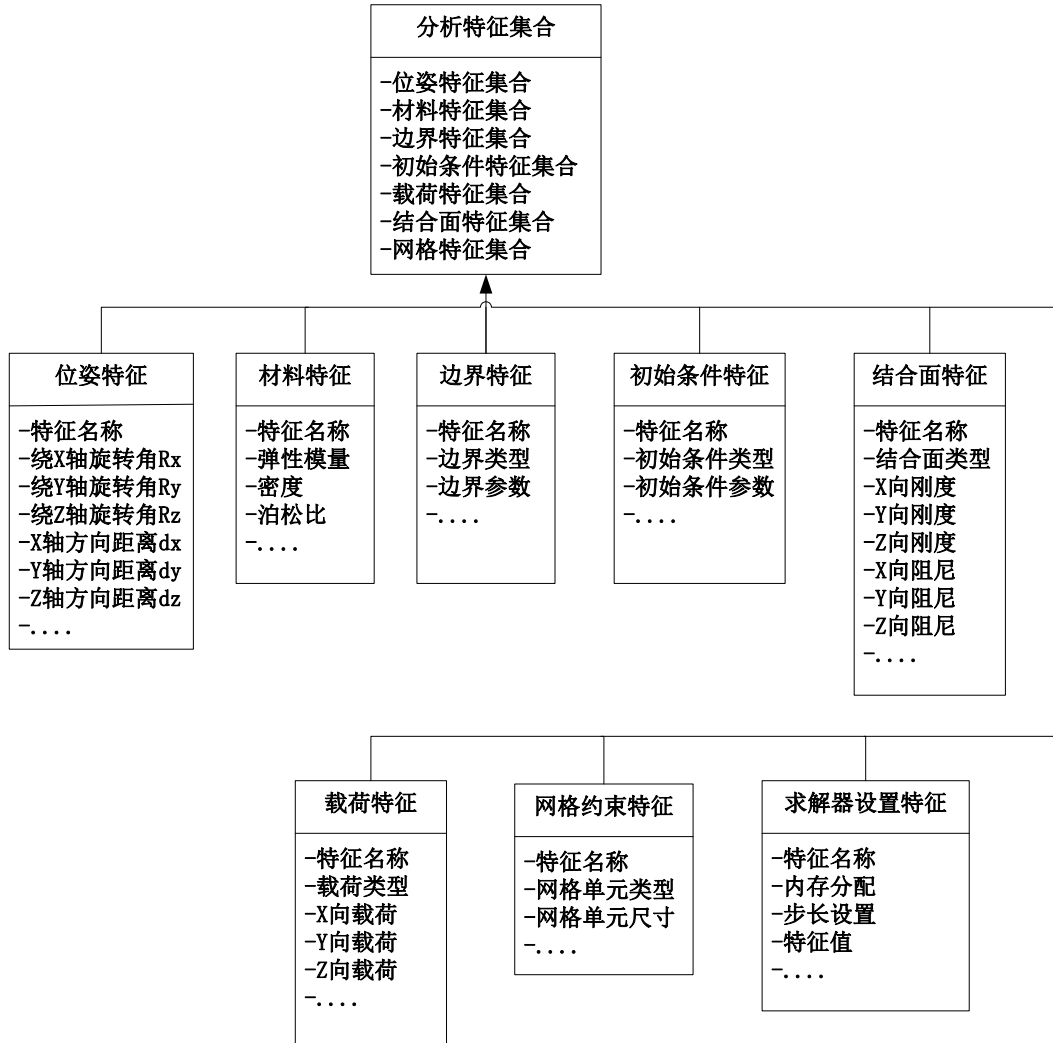


图 4 参数模型

如图 4 所示，分析特征参数信息主要包括位姿特征、材料特征、边界特征、初始条件特征、载荷特征、结合面特征、网格约束特征、求解器设置特征等 9 个部分。材料特征主要包括材料类型(各向同性或各向异性)、弹性模量、泊松比、密度、热传导率。结合部特征主要包含静结合部特征和动结合部特征两大部分。结合部特征包括静态结合部和动态结合部，静态结合部如螺栓连接等，一般可以采用弹簧阻尼单元来模拟动态结合部主要包括导轨滑块结合部、丝杠螺母结合部、轴承结合部、齿轮结合部等各种动态结合部。载荷特征主要用于定义模型的运动环境和受力环境。主要包括位移、速度、加速度、力、力矩、温度等载荷等。

## 6 CAD 系统与动力学仿真分析系统集成

### 6.1 CAD 系统与动力学仿真系统集成流程

CAD 系统与动力学仿真分析系统的集成主要包括两方面内容：模型的集成和求解器的集成。

通过将 CAD 参数映射到动力学模型文本中实现 CAD 系统与动力学仿真系统模型集成。首先需要建立机器人 CAD 装配体模型及其对应的动力学模型。对于所有含铰链连接的零部件，均在 CAD 零件文件中添加参考坐标系，并保证这些参考坐标系与动力学仿真分析系统模型中的相应标架名称和轴向保持一致。在机器人 CAD 模型修改之后，可以直接将 CAD 中定义的参考坐标系位

姿数据映射到预先建立的动力学模型中,并且更新相应的动力学参数,最终生成新的动力学模型。  
CAD系统与动力学模型参数映射流程如图5所示。

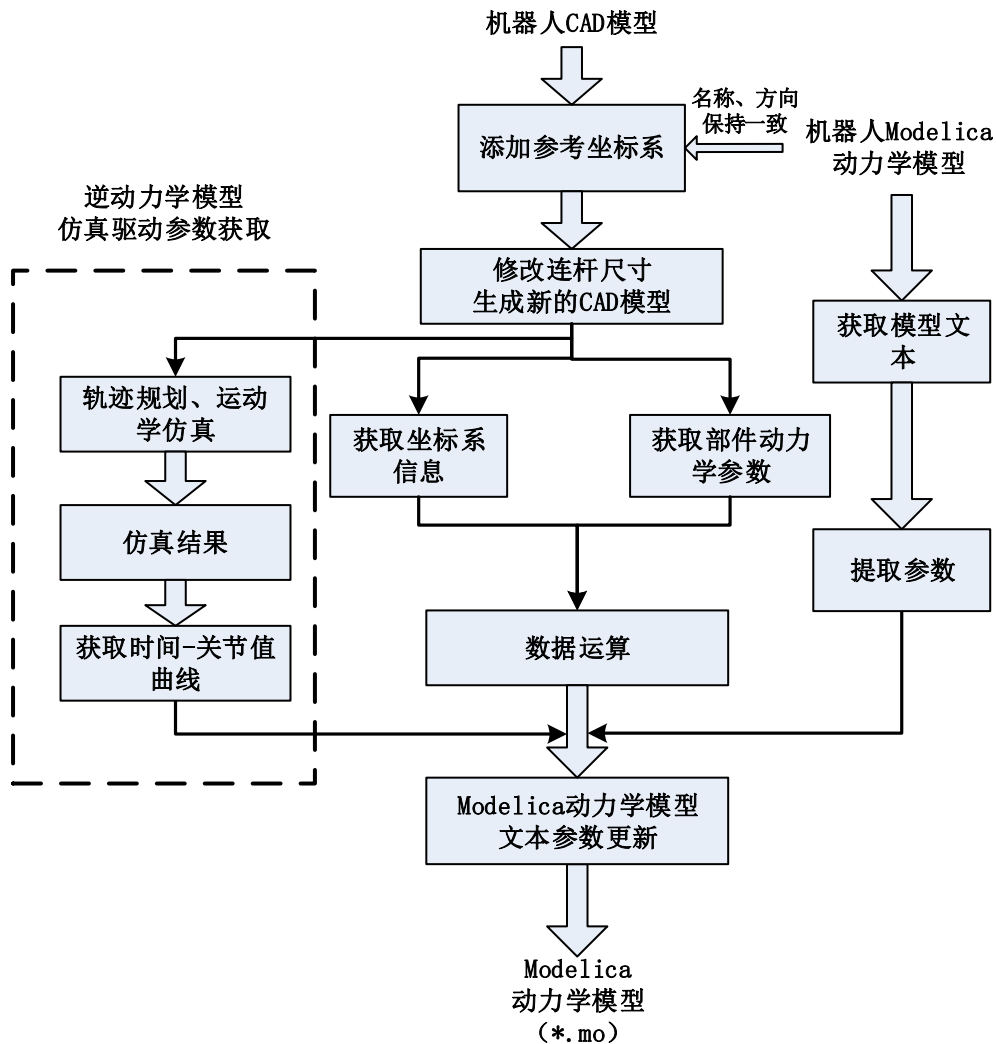


图5 CAD系统与动力学模型参数映射流程

获取坐标系信息过程主要是获取部件两端的两个坐标系,即标架 frame\_a 和 frame\_b 的信息。

提取部件动力学参数过程,提取的参数主要包括:部件重心的坐标信息、部件的质量、部件的惯性张量信息,其中,惯性张量的坐标系采用以部件重心为原点且平行于标架 frame\_a 的坐标系。

数据运算过程主要计算每个部件的两个标架的相对位置关系,即标架 frame\_b 相对于标架 frame\_a 的位移矢量,重心相对于标架 frame\_a 的位移矢量等。

对于逆动力学仿真驱动参数,时间-关节角度值(位移)通过运动学仿真结果中获得。

## 6.2 动力学分析系统集成数据模型

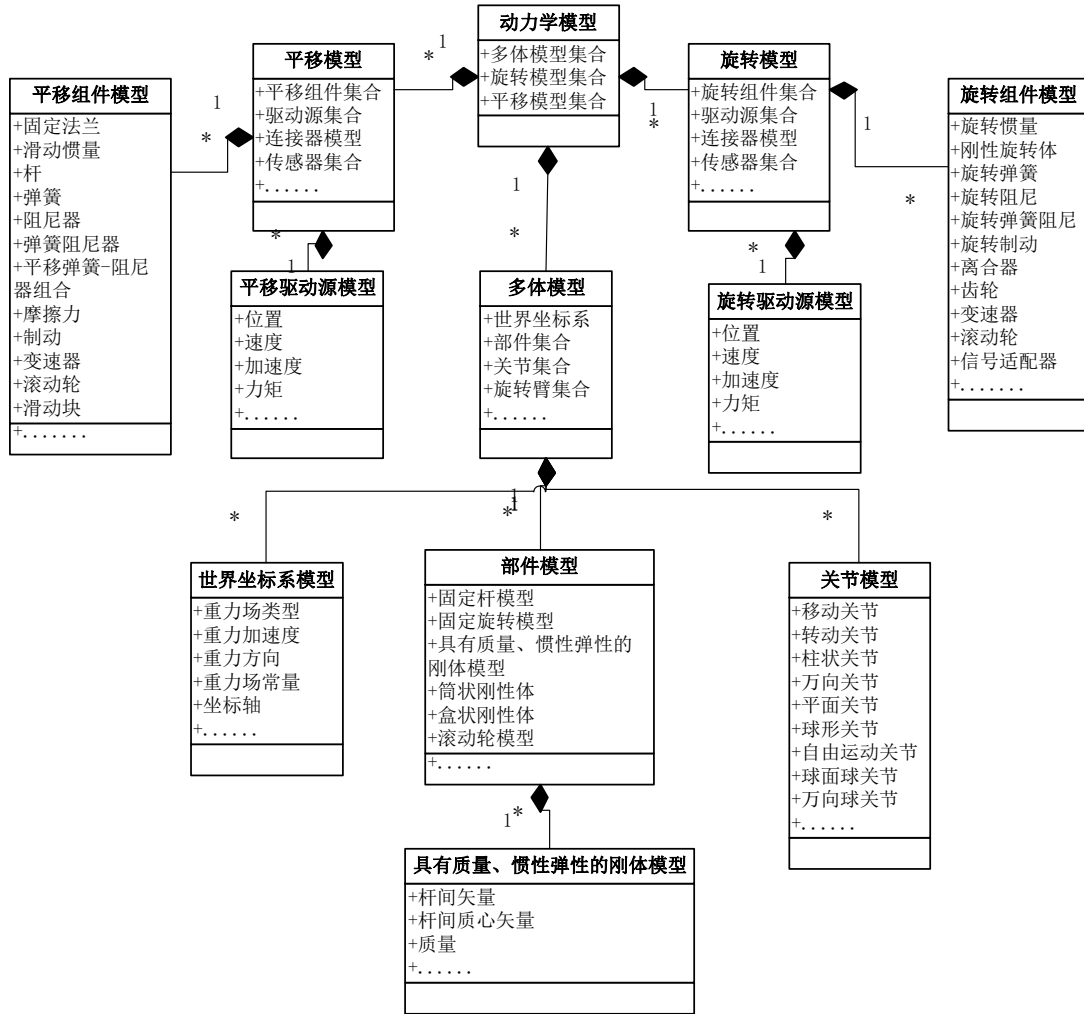


图 6 动力学仿真集成数据模型

如图 7 所示，动力学模型主要包括多体模型、平移模型和旋转模型等主要模型。多体模型主要包含部件、运动副、传感器等子库，其中部件模型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。

### 6.3 CAD 系统与动力学仿真系统求解器集成

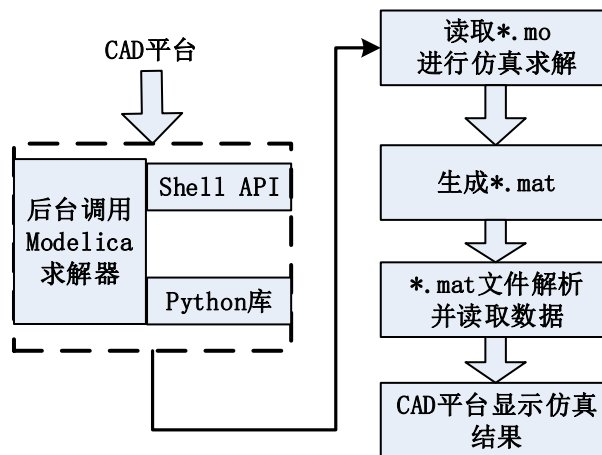


图 7 CAD 系统与动力学仿真系统求解器集成流程

CAD 系统与动力学仿真系统的求解器集成流程如图 6 所示，在生成新的动力学模型之后，通

过后台调用动力学仿真系统求解器实现对模型的仿真求解。调用过程主要有两种方法，一种是通过 shell API 进行调用，另一种方法是通过 Python 库进行求解器的调用。动力学仿真系统求解器对动力学模型求解之后会生成\*.mat 格式文件，通过 mat 文件解析器实现数据的读取，并在 CAD 软件中显示，并且可以利用读取的数据对机器人进行诸如电机选型等下一步设计开发工作。