

# 航空机载液压零件工艺、工装一体化设计系统研发

刘梦玲<sup>1</sup>, 周来水<sup>1</sup>, 黄斌达<sup>2</sup>

(1. 南京航空航天大学 机电学院, 江苏 南京 210016; 2. 航空工业金城南京机电液压工程研究中心, 江苏 南京 211106)

**摘 要:**为提高航空机载液压零件的研制效率、缩短其工艺、工装设计周期,通过分析航空机载液压零件工艺、工装的设计特点,构建工艺、工装一体化设计系统的总体框架和运行流程;对基于制造特征的工艺路线生成、基于加工元体的工序模型生成、工序模型驱动的工装变型设计等关键技术进行研究,开发了航空机载液压零件工艺、工装一体化设计系统。以某安装座零件为例,验证了所开发系统的有效性和可行性。

**关键词:**航空机载液压零件;工艺、工装;设计系统;研发

**中图分类号:**TH122 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2023)04-0076-04

## Research and Development of Integrated Design System for Process and Tooling of Airborne Hydraulic Parts

LIU Mengling<sup>1</sup>, ZHOU Laishui<sup>1</sup>, HUANG Binda<sup>2</sup>

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China; 2. AVIC Jincheng Nanjing Engineering Institute of Aircraft System, Nanjing 211106, China)

**Abstract:** In order to improve the development efficiency of airborne hydraulic parts and shorten the design cycle of process and tooling, an integrated process and tooling design system was developed. By analyzing the design characteristics of process and tooling for airborne hydraulic parts, the overall framework and operation process of the integrated design system of process and tooling were constructed. The key technologies, including the generation of process route based on manufacturing characteristics, the generation of process model based on machining elements and the variant design of tooling driven by process model, were studied. The integrated design system for process and tooling of airborne hydraulic parts was developed. A case study of seat parts installation was undertaken to have verified the effectiveness and feasibility of the developed system.

**Keywords:** airborne hydraulic parts; process; tooling; design system; research and development

## 0 引言

航空机载液压产品是航空机电系统的主要组成部分,其产品性能的优劣直接影响飞机整体的操纵性能,是完成飞机各项飞行任务和发挥综合作战效能的核心保障<sup>[1]</sup>。航空机载液压系统零部件具有种类繁多、形状复杂、加工精度高等特点,其工艺设计和工装设计均较为复杂。因此,如何提高工艺、工装的设计效率和质量稳定性,降低设计成本,对于提高航空机载液压零件的研制能力至关重要,而采用工艺、工装融合的一体化设计模式成为目前航空企业中关注的热点。

目前在大部分航空机载液压零件研制企业中,工艺设计系统和工装设计系统相对分离。工艺设计人员通常在工艺设计系统中完成工艺规程的设计<sup>[2]</sup>,工装设计人员在对工艺规程中的工装设计需求进行分析后,再运用工装设计系统完成工装图样的绘制。在这种分离式设计系统环境下,工艺、工装设计无法有效协同,也无法支撑一体化设计的业务。

针对上述问题,本文研究并开发了工艺、工装一体化设计系统,通过对该系统的相关关键技术,即基于制造特

征的工艺路线生成技术、基于加工元体的工序模型生成技术和工序模型驱动的工装变型设计技术进行研究,使工艺设计人员在统一的环境下快速完成工艺路线、工序模型生成以及工装设计,实现了工艺、工装的一体化设计,提高了航空机载液压零件的研发效率和质量。

## 1 系统总体框架与运行流程

### 1.1 系统总体框架

航空机载液压零件工艺、工装一体化设计系统基于 NX 平台开发,从结构上可划分为用户界面层、功能模块层、数据资源层及系统支撑层,系统总体框架结构如图 1 所示。

1) 用户界面层:即系统最上层,工艺设计人员通过交互界面对所开发系统的各个功能模块进行操作。

2) 功能模块层:工艺、工装一体化设计系统中关键的组成部分,为工艺设计人员提供了不同的系统功能,包括制造特征识别模块、工艺设计模块以及夹具变型设计模块。

3) 数据资源层:为工艺、工装一体化设计系统提供数据以及资源的支持,主要包括制造特征库、特征工艺路线库、工艺资源库以及夹具变型设计主模型库。

4) 系统支撑层:是工艺工装一体化设计系统运行的基础,包含了本文系统开发的软件平台、数据库支持以及相关技术的支撑:UG NX8.5、Access、NX OPEN C++以及 UFUN。

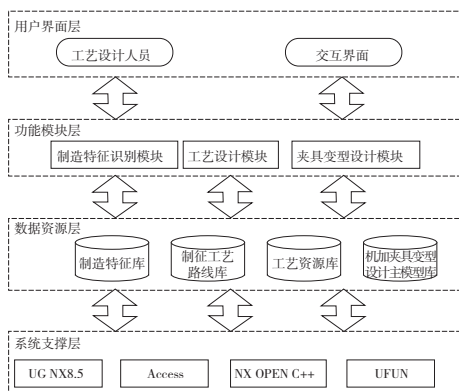


图1 系统总体框架结构

## 1.2 系统运行流程

工艺、工装一体化设计是由工艺设计人员通过人机交互界面,操作各种功能模块而实现的,其运行流程如图2所示。

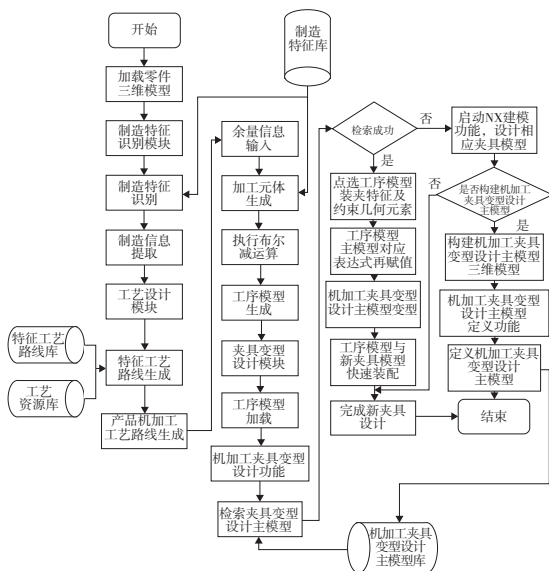


图2 系统运行流程

1) 加载零件模型并根据开发的制造特征识别模块,结合制造特征库对该零件模型上制造特征进行识别和制造信息提取。

2) 结合制造特征库与特征工艺路线库,对于已识别的零件特征生成特征工艺路线,再经过加工元分组排序,生成产品零件的机加工工艺路线。对零件机加工工艺路线中的加工元进行余量信息输入,结合制造特征库生成相应加工元体,将当前工序加工元体集合和前道工序模型执行布尔减运算自动生成各道工序的工序模型。

3) 进入夹具变型设计模块,加载需要设计夹具的工序模型,根据机加工夹具变型设计功能,和机加工夹具变型设计主模型库进行检索并匹配相应的机加工夹具变型设计主模型。如果检索不成功,则进行相应夹具建模。依

据是否要构建该工序模型的机加工夹具变型设计主模型,若不是,则完成了新夹具的设计;若是则先构建好机加工夹具变型设计主模型的三维模型,根据机加工夹具变型设计主模型定义功能定义,并将其保存到机加工夹具变型设计主模型库。如果检索成功,则点选会话中工序模型的装夹信息,驱动机加工夹具变型设计主模型变型,并将生成的新机加工夹具与该工序模型进行自动装配,实现新的机加工夹具的快速设计。

## 2 系统实现的关键技术

### 2.1 基于制造特征的工艺路线生成

制造特征是指最终零件上包含的制造信息,具有工程语义的几何形状的区域,是一系列工艺方法下形成的结果<sup>[3]</sup>。制造特征识别则是自动识别零件三维模型上具有一定制造意义的几何构形,并提取出已识别特征的制造信息,为工艺设计环节即后续的工艺路线生成和工序模型生成做准备。

在产品零件实际生产过程中,模型上的每一个制造特征都需要经过多次加工活动才能达到所要求的加工精度。根据制造特征的信息(如类型、加工精度和表面粗糙度),为零件模型上的制造特征明确特征工艺路线,而特征工艺路线中每一个加工活动即是一个加工元<sup>[4]</sup>。

基于制造特征的工艺路线生成主要是通过基于子图同构的制造特征识别算法<sup>[5]</sup>,结合制造特征库识别航空机载液压零件模型的制造特征,输出已识别的特征及其制造信息。然后,将输出的制造特征及其特征制造信息转换为对应的加工精度与表面粗糙度,结合特征工艺路线库匹配特征工艺路线,再依据获得的特征加工元,根据加工元和刀具、机床的关联,选取对应的刀具、机床信息。接着,根据加工元信息与加工元间规则(工序集中、相同机床、相同刀具、先面后孔、先粗后精等规则)的对应关系,将提取到的具体加工元信息和加工元间规则进行关联,对加工元集合施加加工元间规则并确定约束关系,基于此对加工元进行分组排序,实现零件机加工工艺路线的生成。

### 2.2 基于加工元体的工序模型生成

工序模型包含中间加工状态模型的信息,能够对该道工序的现场生产加工作直接的技术指导<sup>[6]</sup>,面向生产加工的工序模型快速构建是数字化工艺设计过程中最为关键的一步,也是后续工装设计的前提条件。

工序模型是从毛坯模型逐一减工序中的加工元体集合所生成的中间过程模型。根据基于制造特征的工艺路线生成方法得到航空机载液压零件的机加工工艺路线,接着,工艺设计人员按照已经生成的工艺路线的正向工序(每道工序是由加工元所组成的序列),结合制造特征库中的制造特征体,通过人工输入加工元的余量参数值,参数化驱动制造特征体生成该道工序所包含的加工元体集合,然后,基于布尔减规则将生成的加工元体集合与前道工序模型(包括毛坯模型)进行运算,快速生成各道工序的工序模型。

### 2.3 工序模型驱动的工装变型设计

装夹特征是指工序模型在工装夹具上定位、夹紧时,

用于装夹的几何元素(点、线、面等),其表述了机加工夹具的装夹需求,分为定位、夹紧和支承等3种特征。

对同类型的航空机载液压零件工序模型的装夹特征研究分析,明确工序模型的装夹特征和对应机加工夹具装夹结构的尺寸参数关联关系,引入主模型思想<sup>[7]</sup>和变型设计技术<sup>[8]</sup>,构建了以装夹特征为输入的机加工夹具变型设计主模型。机加工夹具变型设计主模型即是对同种类夹具模型的关键特征进行描述的三维模型,由工序模型主模型和机加工夹具主模型两个模型组成,且这两个模型已经装配完毕。

在机加工夹具变型设计主模型构建的基础上,需要对其进行存储并能够实现统一的管理。因此,基于不同类型的机加工夹具变型设计主模型,构建了航空机载液压零件机加工夹具变型设计主模型库。

为新生成的工序模型设计机加工夹具时,首先通过航空机载液压零件工序模型和机加工夹具变型设计主模型库进行检索和调用,接着由该工序模型的装夹特征驱动航空机载液压零件机加工夹具变型设计主模型变型,实现新的机加工夹具的快速生成。

机加工夹具变型设计的作用机理如图3所示。基于机加工夹具变型设计主模型,通过匹配工序模型及其主模型中的装夹特征,提取工序模型中装夹特征转换为设计主参数,接着将其传递给工序模型主模型中的变型主参数,进行参数变量的重新赋值,驱动工序模型主模型参数变型,然后根据装夹特征与装夹结构对应的参数关联约束,驱动机加工夹具主模型进行变型;最后完成符合装夹需求的机加工夹具模型的生成。

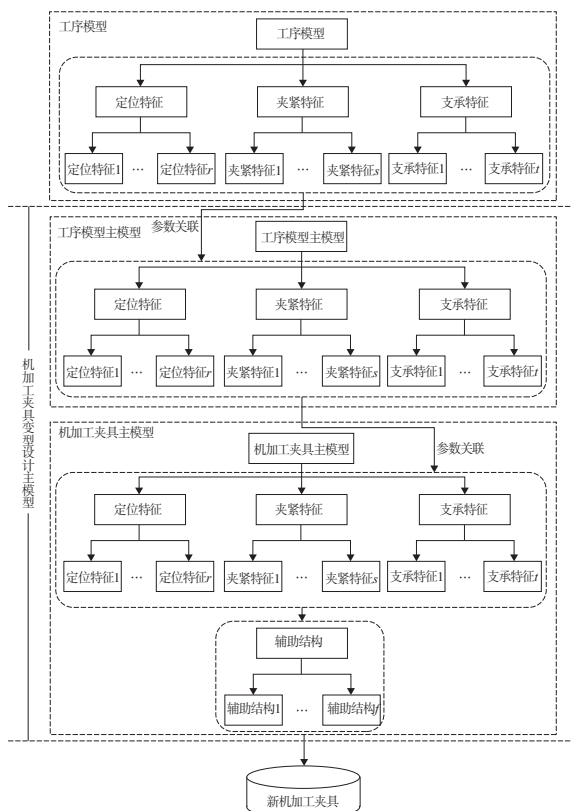


图3 机加工夹具变型设计原理

基于航空机载液压零件机加工夹具变型设计的实现原理,其机加工夹具变型设计的流程如图4所示。工艺设计人员根据前面生成的工序模型可直接检索符合要求即装夹需求的机加工夹具变型设计主模型,通过拾取模型上装夹特征,提取其设计主参数进而实现机加工夹具变型设计主模型的驱动变型,生成新夹具,实现了工艺、工装的一体化设计。

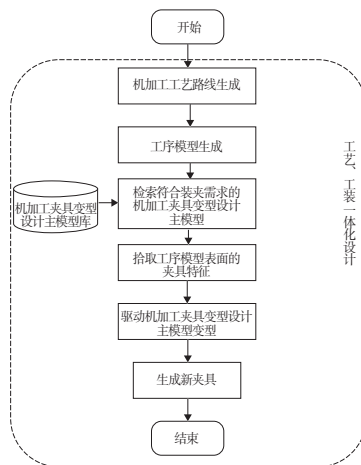


图4 机加工夹具变型设计流程

### 3 系统实现

根据上述分析,本文使用C/C++在UG NX8.5软件上对工艺、工装一体化设计系统进行开发。系统分为3个功能模块:制造特征识别模块、工艺设计模块以及夹具变型设计模块。以航空机载液压零件的某安装座零件为例,对所开发的系统进行验证。

#### 3.1 制造特征识别模块

在对零件进行工艺、工装设计之前,需要对其进行制造特征识别,方便工艺设计人员提取零件三维模型的特征信息,进行后续工艺设计。因此,开发制造特征识别模块,自动识别零件三维模型的制造特征及其特征信息。如图5所示。



图5 制造特征识别模块

#### 3.2 工艺设计模块

##### 1) 特征工艺路线生成功能

根据已识别的制造特征及其特征信息自动输出其特征工艺路线,如图6所示。



图6 特征工艺路线生成

2) 产品机加工工艺路线生成和工序模型生成功能  
以特征工艺路线为输入,进行分组排序得到产品零件的机加工工艺路线。对相应加工元的余量信息进行参数设置,按照当前的加工元序列集合,快速生成各道工序的工序模型,如图7所示。

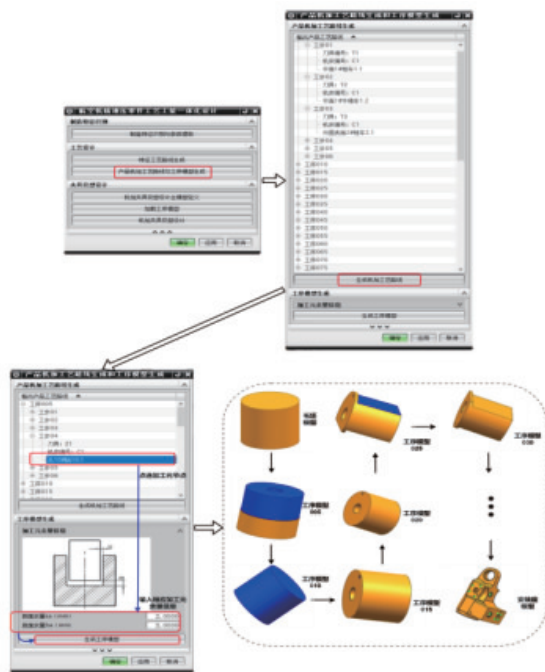


图7 产品机加工工艺路线和工序模型生成

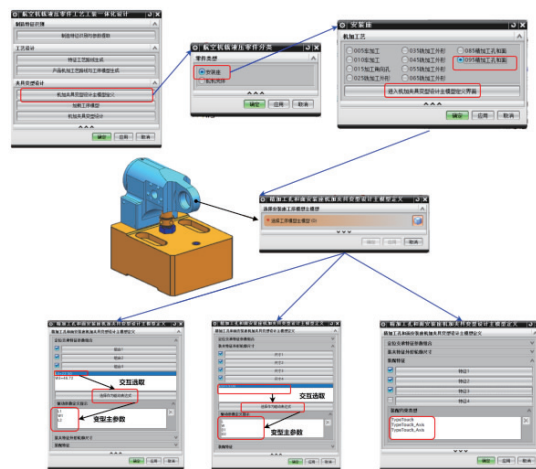


图8 机加工夹具变型设计主模型定义

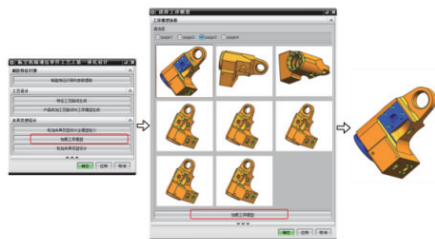


图9 加载工序模型

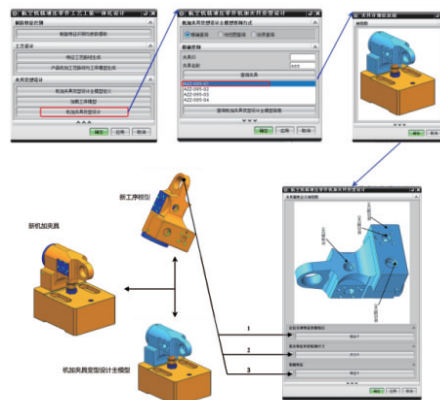


图10 机加工夹具变型设计

### 3.3 夹具变型设计模块

#### 1) 机加工夹具变型设计主模型定义功能

如图8所示,提取变型主参数和装配约束信息,进行主模型的定义并将其存至航空机载液压零件机加工夹具变型设计主模型库。

#### 2) 加载工序模型功能

工艺设计人员在工序模型生成后,加载需要进行夹具设计的工序模型,如图9所示。

#### 3) 机加工夹具变型设计功能

如图10所示,加载工序模型后,工艺设计人员通过对相应机加工夹具变型设计主模型的查询以及对工序模型的装夹信息进行提取,驱动生成新的机加工夹具模型。

## 4 结语

工艺、工装一体化设计是目前制造业所关注的热点,本文针对航空机载液压零件工艺、工装的设计特点,研究并开发了航空机载液压零件工艺、工装一体化设计系统。应用该系统,工艺设计人员能够直接调用之前生成的工序模型,驱动航空机载液压零件机加工夹具变型设计主模型变型,完成新的机加工夹具的快速设计,破除了工艺设计、工装设计环节间的坚固壁垒,实现了航空机载液压零件工艺、工装的一体化设计,提高了工艺、工装的设计效率和设计质量,缩短了整个工艺、工装的设计周期。

(下转第92页)

由于箱体试验件尺寸较大,故选择其局部区域进行制孔实验。这里选取蒙皮上、下两排孔带进行制孔,制孔区域孔位分布如图4所示,其中A、B、C、D为该制孔区域的边角基准孔,待制孔呈线性均匀分布。

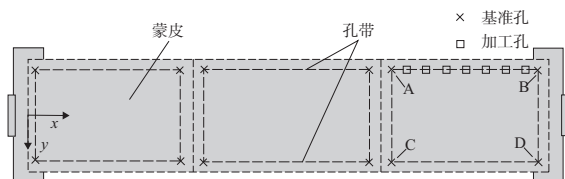


图4 试验件孔位分布图

按照孔特征实例化流程进行加工信息的封装。并将封装的理论坐标和法矢提取出来作为制孔的依据。试验件制孔区域基准孔理论坐标如表1所示。

表1 边角基准孔理论坐标 单位:mm

| 基准孔 | (x,y,z)                   |
|-----|---------------------------|
| A   | (573.872,765.862,940.543) |
| B   | (893.871,766.248,940.623) |
| C   | (573.015,805.835,946.743) |
| D   | (893.015,806.220,946.823) |

## 2.2 实际制孔分析

为了验证孔特征实例化方法的有效性,以箱体试验件为实验对象搭建自动化钻铆平台。自动钻铆平台包括复合加工机床、钻铆末端执行器、旋转工装和试验件等。提取实例化方法所输出的加工孔装配信息驱动机床进行自动钻孔实验,每个桁条共制9个孔位,共计18个孔。制孔完成后的试验件如图5所示,A、B、C、D为基准孔,自动制孔的顺序为“a1—a2”。

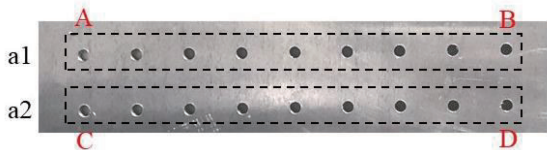


图5 制孔完成后的试验件

对制孔完成后的试验件进行分析:按照孔特征实例化方法封装的装配信息可以顺利驱动机床进行制孔加工作业,验证了模型封装信息的完整性。利用激光跟踪仪及其附属的测绘软件完成制孔位置精度的评估,制孔点在桁条a1、a2上呈线性分布,且孔间距在 $(40.00 \pm 0.60)$  mm,孔排距在 $(40.00 \pm 0.50)$  mm。由此可以看出根据实例化方法导出的数据可以实现机床的规律制孔但加工孔位置精度较低。这是由于没有进行孔位修正导致理论加工孔和实际加工孔之间存在误差造成的,为确保孔位精度满足加工要求,后续应构建孔位修正模型进行孔位修正。

## 3 结语

1) 针对自动钻铆过程中对孔特征工艺信息的需求,利用孔特征模板匹配获取孔特征实例信息,并传递到装配信息数据库解决钻铆装配工艺数据来源问题。

2) 以某航空大部件箱体试验件为实验对象搭建自动化钻铆平台。实验结果表明:依据孔特征实例化方法建立的产品数模,包含进行装配作业的全部加工信息,可以有效驱动机床进行制孔加工作业。

### 参考文献:

- [1] 葛晨,乔立红. 制造特征信息建模及其实例化方法[J]. 计算机集成制造系统,2010,16(12):2570-2576.
- [2] QIAO L, LV S P, GE C. Process planning and supply chain integration; Implications for design process[C]//Global Product Development, Nantes; 2011:9-17.
- [3] 陈亚丽,田威,廖文和,等. 基于MBD的飞机自动化装配孔工艺特征快速添加技术[J]. 航空制造技术,2016,59(增刊2):82-86.
- [4] 于芳芳,郑国磊,任文杰,等. 基于设计特征模型的加工特征映射技术[J]. 北京航空航天大学学报,2007,33(7):842-845.
- [5] 孙新月,田威,胡俊山,等. 基于遗传算法的插值Coons曲面孔位修正方法[J]. 北京航空航天大学学报,2021,47(9):1814-1822.

收稿日期:2022-02-18

(上接第79页)

### 参考文献:

- [1] 郭生荣. 航空机电系统综合技术发展[J]. 航空精密制造技术,2016,52(1):1-6.
- [2] 刘晓军,刘金锋,倪中华,等. 基于三维模型的机加工工艺设计关键技术[J]. 机械制造与自动化,2019,48(6):1-6.
- [3] 谢飞,郭宇,张红蕾,等. 基于图和子图同构算法的制造特征识别方法[J]. 南京航空航天大学学报,2018,50(3):390-396.
- [4] 齐吉燕. 基于工艺路径规划的加工工序模型构建研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2019.
- [5] 尚佳策. 飞机舵机壳体数控加工快速编程系统研究与开发[D]. 南京:南京航空航天大学,2020.

- [6] ALEMANNI M, DESTEFANIS F, VEZZETTI E. Model-based definition design in the product lifecycle management scenario[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2011,52(1/2/3/4):1-14.
- [7] SANDBERG M, TYAPIN I, KOKKOLARAS M, et al. A knowledge-based master model approach exemplified with jet engine structural design[J]. Computers in Industry, 2017,85:31-38.
- [8] 余莹. 模型驱动的航空环控散热器总装焊接夹具变型设计[D]. 南京:南京航空航天大学,2020.

收稿日期:2022-02-28