

基于特征编码的飞机结构件工艺设计*

吕 斌,王细洋

(南昌航空大学航空制造工程学院, 南昌 330000)

[摘要] 为解决飞机结构件数控加工工艺决策效率低及自动化程度不高的问题,提出基于特征编码的飞机结构件工艺设计方法。首先,该方法借鉴成组技术,将飞机结构件加工元分类编码,形成特征编码表后,把通过特征识别得到的加工特征分解为加工元,与特征编码表匹配并排序得到加工方案。最后,在 CATIA V5 平台上开发了基于特征编码的飞机结构件工艺设计模块。

关键词: 飞机结构件; 特征编码; 成组技术; 特征识别; 加工元排序

Process Design Based on the Features Coding of Aircraft Structure Parts

LÜ Bin, WANG Xiyang

(School of Aeronautical Manufacturing Engineering, Nanchang Hangkong University, Nanchang 330000, China)

[ABSTRACT] To solve the low-efficiency and the low-level automation of process decision for NC manufacture of aircraft structure parts, process design of aircraft structure parts based on the features coding is proposed in this paper. Firstly, using the group technology, processing elements of aircraft structure parts are classified and then coded to form a table of features coding. Then, the processing features obtained by features recognition are decomposed into the processing elements, matching with the table of features coding and sorting to obtain the processing programs. Finally, process design module of aircraft structure parts based on the features coding is developed on CATIA V5.

Keywords: Aircraft structure part; Feature coding; Group technology; Feature recognition; Processing element sorting

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2017.03.081

飞机结构件是构成飞机机体骨架和气动外形的主要部分,加工特征类型多、外形复杂、精度高、难度大,尤其是整体结构件的使用使得加工难度大大增加。但不同种类的飞机结构件均包含槽、筋、孔、凸台等相同的特征^[1]。因此,特征成为飞机结构件加工信息的载体。袁青^[2]基于遗传算法,通过扩展加工元构建优先权系数矩阵,建立符合优先权系数矩阵的初始种群完成了加工特征的排序,开发了基于特征的飞机结构件工艺决策系统。廖友军^[3]以特征识别技术为基础,实现 AutoCAD 二维工程图加工特征提取并进行系统开发。杜朋^[4]在 UG 环境下提出零件的层次信息,设计基于特征表面层的制造特征提取的方法并进行系统开发,实现了零件模型重构。郝永涛等^[5]针对孔提出基于知识推理的加工工艺规划方法。Saleh 等^[6]把加工零件尺寸数据转换为 STEP AP224 XML 数据文件,实现加工特征智能规

划排序。WANG 等^[7]通过几何求交得到强化加工特征 (Enriched Machining Feature, EMF) 生成泛型加工特征顺序。

本文借鉴以上加工排序的经验,提出基于特征编码的飞机结构件工艺设计方法,该方法以特征编码为基础,结合特征识别,融入非几何信息指导工艺决策,将飞机结构件加工元进行加工排序,基于 CATIA 平台开发快速编程模块以完成飞机结构件数控加工。

1 飞机结构件特征分类及编码

1.1 飞机结构件特征分类

根据飞机结构件加工特征几何形状,加工特征分为槽特征、筋特征、孔特征、轮廓特征和辅助特征等 5 类,每一类又以加工方式不同分成多个子类,如图 1 所示。

1.2 飞机结构件特征编码

飞机结构件特征编码就是借鉴成组技术将飞机结

* 基金项目: 武器装备预研基金项目 (9140A18010312HK0501)。

构件中相同或相似的特征归类,并按照一定的规则用特定的字符进行标识形成特征族,针对特征族制定成组工艺。飞机结构件特征编码是由字母和数字组成8位码,前3码位表示特征类别,第4码位及以后为辅助码。飞机结构件特征编码结构如图2所示。

将飞机结构件加工特征分类编码的主要用途是检索有关特征从设计、工艺到生产的各种信息。特征分类编码如表1所示,基于CATIA V5后置处理常用加工方式、刀具类型以及进/退刀方式编码如表2所示。以R(Rib)代表筋,C(Contour)代表轮廓,H(Hole)代表孔,TB(Technology Boss)代表工艺凸台,S(Slot)代表槽。

2 基于特征编码的飞机结构件工艺设计

2.1 特征识别

随着CAD/CAPP/CAM技术的快速发展,零件设计信息和工艺信息的集成是CIMS发展的必然要求,特征识别技术成为实现设计信息和工艺信息集成的桥梁。

基于图的特征识别是一种采用面边图来表示零件的边界模式,将零件面边图中的适当子图与预定义的特征子图进行匹配来识别特征的方法^[8-10]。面边图是以零件的面为结点,以面之间的邻接关系为弧的图。零件属性邻接图(AAG)是在面边图的基础上引入边的凹凸性,使得零件边界模式更加完整的图。本文用“1”表示凸边,“0”表示凹边。基于图的特征识别的策略是将AAG中所有凸边去掉得到全凹的邻接子图,在全凹的

邻接子图中去掉代表毛坯面的结点得到零件加工特征子图,再将加工特征子图与预定义的特征子图匹配,如图3所示,用数字1~16分别表示模型的18个面。

2.2 加工元排序

加工元是组成加工特征的基本单元^[11],几乎包含了飞机结构件中所有的加工特征。加工元均有其加工方向。定义最低且法向为Z向(加工方向)的面为基准面,以基准面法向矢量作为基准方向V,根据基准方向V将飞机结构件模型中的面划分为与基准方向近似垂直的水平面集 HP_i 和与基准方向近似平行的垂直面集 VP_i ,每一个 HP_i 与其所有凹邻接关系 VP_i 组成加工元,加工元用E表示,如图4所示。

用Pocket表示简单槽, E_1 、 E_2 、 E_3 分别表示简单槽的3个加工元,以槽外轮廓底面 HP_4 为基准面,以基准

表1 飞机结构件特征分类编码

加工特征	子类								
	加工元	简单槽特征					复杂槽特征		
特征编码		单槽	开口槽	凸台槽	阶梯槽	子槽	斜底槽	曲底槽	开闭口槽
槽	S11	S12	S13	S14	S15	S21	S22	S23	
筋	加工元	平顶筋	斜顶筋	曲顶筋	独立筋	—	—	—	—
	特征编码	R11	R12	R13	R14	—	—	—	—
孔	加工元	盲孔	螺孔	通孔	锥形孔	沉头孔	—	—	—
	特征编码	H11	H12	H13	H14	H15	—	—	—
轮廓	加工元	外轮廓	工艺凸台	加工元	槽内凸台	独立凸台	—	—	—
	特征编码	C11		TB11	TB12		—	—	—

表2 基于CATIA V5常用后置处理编码

加工方式	编码	加工方式	编码	刀具类型	编码	进/退刀方式	编码
Roughing	1	ZLevel	7	End Mill	1	Axia	1
Pocketing	2	Pencil	8	Face Mill	2	Ramping	2
Profile Contouring	3	Spiral Milling	9	Conical Mill	3	Horizontal horizontal axial	3
Sweeping	4	Prismatic Roughing	1A	Spot Drill	4	—	—
Drilling	5	Rough Turning	2A	Drill	5	—	—
Facing	6	—	—	T-Slotter	6	—	—

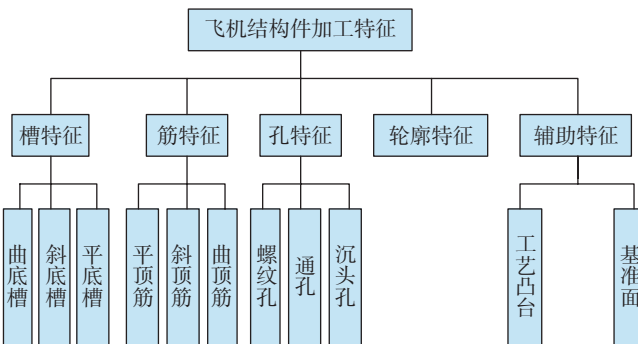


图1 飞机结构件特征分类

Fig.1 Features classification of aircraft structure parts

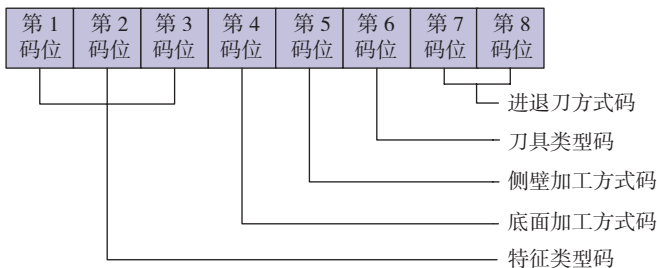
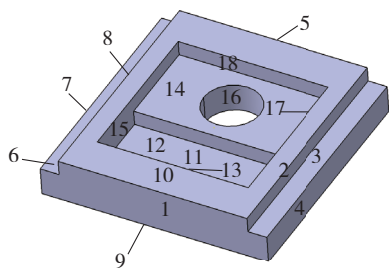
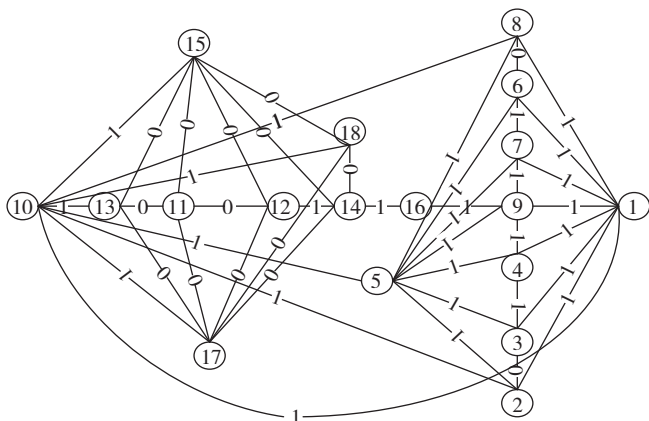


图2 特征编码结构

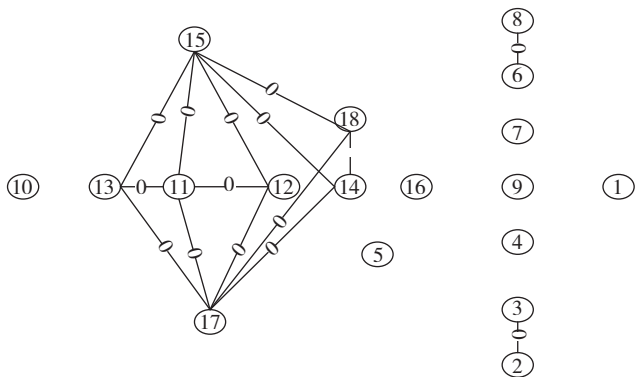
Fig.2 Coding structure of features



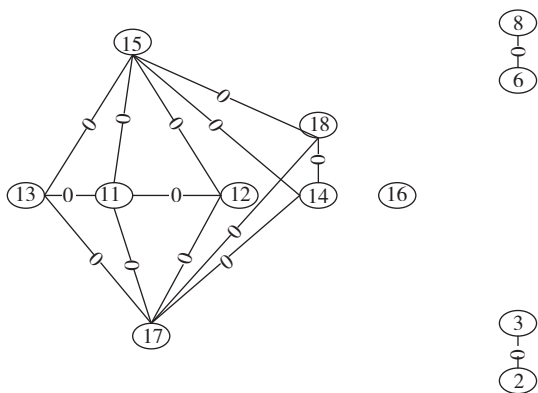
(a) 简单零件的 CAD 模型



(b) 零件的属性邻接图



(c) 零件全凹属性子图



(d) 加工特征子图

图3 简单零件模型及特征子图

Fig.3 Simple part models and feature subplot

面法向矢量作为基准方向 V 。则简单槽可表示为：

$$E_1 = HP_1 \cup VP_1$$

$$E_2 = HP_2 \cup (VP_2 \cup VP_3 \cup VP_6 \cup VP_5)$$

$$E_3 = HP_3 \cup (VP_3 \cup VP_3 \cup VP_3)$$

$$Pocket = E_1 \cup E_2 \cup E_3$$

加工排序^[12]是 CAPP 系统工艺决策的主要依据,加工元排序策略:选定基准面,按基准方向 V 把飞机结构件加工特征分层得到加工元,将第 i 层上的加工元与特征编码表匹配,检索对应成组工艺,以减少换刀次数和空刀行程为优化目标将加工元进行排序。

设飞机结构件加工特征共有 n 层,第 i 层有 k 个加工元,则飞机结构件表示为 $Part = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k M_{ij}$,其中 M_{ij}

表示第 i 层上第 j 个加工元。每个加工元选用的刀具用刀具号来表示。以结构件外轮廓底面为基准面,以基准面法向矢量作为基准方向,从第一加工层依次往下,先在加工元内排序,再排序其他使用相同刀具的加工元。加工元工步排序方法如下:设 $i=1, j=1$ 。

Step1: 检索第一层加工元 M_{11}, M_{12} 刀具信息,如果 M_{12} 和 M_{11} 刀具相同,则 M_{12} 排在 M_{11} 之后。

Step2: 检索 M_{13}, \dots, M_{1j} 所用的刀具信息,如表 3 所示。如果 $M_{1(j+1)}$ 所用的刀具和 M_{1j} 相同,则 $M_{1(j+1)}$ 排在 M_{1j} 之后。一直检索直到最后一个加工元或加工元选用刀具与前一加工元不同,则转跳至下一加工元或下一层级。

Step3: 检索第一层未匹配成功的加工元,按 Step1、Step2 的方式排序,直到第一层所有加工元排序完毕。

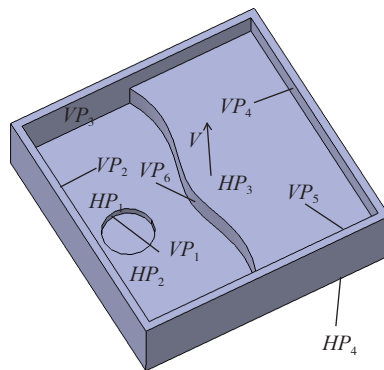


图4 简单槽的加工元

Fig.4 Processing element of simple slot

表3 加工元刀具信息

M_{ij}	选用刀具								
	$j=1$	2	3	4	5	6	7	...	k
$i=1$	T_1	T_2	T_1	T_3	T_2	T_4	T_3	...	T_4
$i=2$	T_1	T_3	T_2	T_1	T_2	T_4	T_4	...	T_3
...

工步排序如表 4 所示。

Step4: 执行 $i=i+1$, 继续检索第 i 层的加工刀具信息, 按 Step1、Step2 和 Step3 的方式排序。一直检索, 直到 $i=n, j=k$, 结束排序。

2.3 基于特征编码的飞机结构件工艺设计

飞机结构件加工工序多, 精度要求高, 使得飞机制造业越来越趋势于自动化和数字化制造^[13]。基于特征编码的飞机结构件工艺设计通过对结构件特征识别与分类得到特征族, 将特征分解得到加工元后与特征编码表匹配, 检索特征族对应的成组工艺, 最后对加工元排序的一种工艺设计方法。基于特征编码的飞机结构件工艺设计方法流程如图 5 所示。

Step1 将飞机结构件特征分类编码, 构建结构件特征编码表, 制定特征族成组工艺。

Step2 对飞机结构件进行工件预处理, 选择装夹方案。

Step3 以飞机结构件 MBD 模型为唯一依据, 标注飞机结构件加工特征并进行特征识别。

Step4 判断特征是否属于轮廓。

Step5 加工特征分解得到加工元。

Step6 将加工元与特征编码表匹配, 提取对应的刀具信息, 将加工元排序, 传递给 CAPP 系统进行工艺决

策。

Step7 根据 CAPP 系统提供的工艺决策结果, 进行仿真加工, 检测是否出现干涉、撞刀等现象, 若出现, 则反馈给 CAPP 系统修改, 直到仿真合格后选择机床, 对刀轨后处理, 生成 NC 代码。

3 应用实例

以槽腔结构件为例分析基于特征编码的飞机结构件工艺设计方法, 基于 CATIA V5 平台开发特征识别系统和工艺设计模块, 飞机结构件的特征标注如图 6 所示。

Step1 对槽腔结构件进行特征识别, 与特征编码表匹配, 提取成组工艺信息。

Step2 加工元排序。为便于排列表达, 将加工元编号(见图 7)排序如下: $C11_1 \rightarrow S12_1 \rightarrow S15_1 \rightarrow S11_1 \rightarrow S11_2 \rightarrow S13_1 \rightarrow TB11_1 \rightarrow S14_1 \rightarrow S14_2 \rightarrow S14_3 \rightarrow R12_1 \rightarrow R13_1 \rightarrow H13_2 \rightarrow H13_1 \rightarrow H13_3$ 。

按上述方法, 通过在 CATIA V5 中进行仿真加工, 修改不合理的刀轨, 以避免干涉、撞刀等现象, 生成并导出 NC 代码, 使用代木在铣床上完成零件的加工。

表4 加工元工步排序

工步	刀具信息	加工元				
工步 1	T_1	M_{11}	M_{13}	M_{21}	M_{24}	...
工步 2	T_2	M_{12}	M_{15}	M_{23}	M_{25}	...
工步 3	T_3	M_{14}	M_{17}	M_{22}	M_{2k}	...
工步 4	T_4	M_{16}	M_{1k}	M_{26}	M_{27}	...

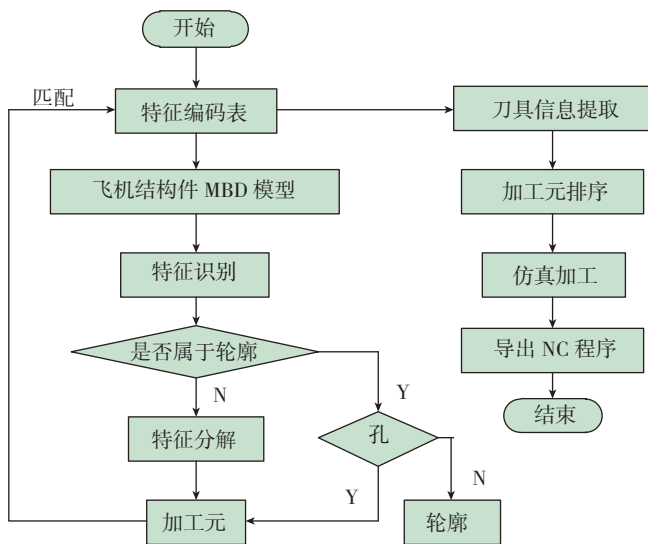


图5 基于特征编码的飞机结构件工艺设计流程图
Fig.5 Processing flow chart of aircraft structure parts based on the features coding

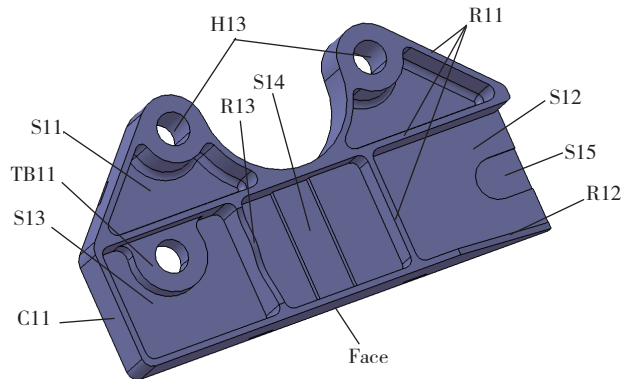


图6 飞机槽腔结构件
Fig.6 Pocket of aircraft structure parts

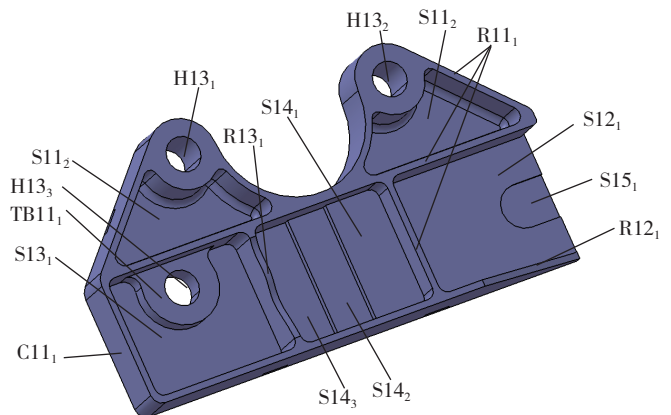


图7 编码特征
Fig.7 Serial number of features coding

4 结论

加工结果验证了基于特征编码的飞机结构件工艺设计方法的可行性。以特征编码为基础,提取特征族非几何信息指导工艺决策,以减少换刀次数为优化目标对加工元进行排序,缩短了飞机结构件加工工艺决策周期,提高了加工工艺决策效率和自动化程度。

参考文献

- [1] 王细洋. 飞机结构件的高速切削工艺[J]. 航空制造技术, 2013(14):64-69.
- WANG Xiyang. High-speed cutting processing of aircraft structure parts[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2013(14):64-69.
- [2] 袁青. 基于特征的飞机结构件工艺决策技术[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2010.
- YUAN Qing. Decision process technology of aircraft structural parts based on features[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2010.
- [3] 廖友军. 基于二维工程图特征识别的数控车床自动编程系统[D]. 长沙: 中南大学, 2007.
- LIAO Youjun. CNC automatic programming system based on two-dimensional engineering drawings feature recognition[D]. Changsha: Central South University, 2007.
- [4] 杜朋. 面向三维 CAPP 的制造特征提取与工艺过程设计的研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2011.
- DU Peng. Research on manufacturing feature extraction for 3D CAPP and processing design[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2011.
- [5] 郝永涛, 马晶颖. 基于知识的孔加工自动工艺规划方法[J]. 计算机工业, 2006,57:297-304.
- HAO Yongtao, MA Jingying. A knowledge-based auto-reasoning methodology in hole-machining process planning[J]. Computer in Industry, 2006,57:297-304.
- [6] SALEH M, AMAITIK S, KILIC E. An intelligent process planning system for prismatic parts using STEP features[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2007, 31(9): 978-993.
- [7] WANG L, CAI N, FENG H Y. Enriched machining feature-based reasoning for generic machining process sequencing[J]. International Journal of Production Research, 2006, 44(8): 1479-1501.
- [8] 周炜. 基于图的边界模型的加工特征识别技术[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2006.
- ZHOU Wei. Processing feature recognition technology of the model boundary based on diagram[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2006.
- [9] 刘晓平, 吴敏, 金灿. 采用图分解的特征识别算法研究[J]. 工程图学学报, 2010(1):67-71.
- LIU Xiaoping, WU Min, JIN Can. Research on feature recognition algorithm using exploded[J]. Journal of Engineering Graphics, 2010(1):67-71.
- [10] 王永, 徐创文. 基于属性邻接图的加工特征识别研究[J]. 机械, 2010(2):49-52.
- WANG Yong, XU Chuangwen. Research on machining feature recognition based AAG[J]. Machinery, 2010(2):49-52.
- [11] 挥志东, 李海标. 基于特征加工技术在自动数控编程中的应用[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2011(1):91-93.
- YUN Zhidong, LI Haibiao. Processing technology application in

automatic numerical control programming based on features[J]. Combined Machine Tool and Automatic Machining Technology, 2011(1):91-93.

[12] 王伟, 楚王伟, 李迎光, 等. 面向加工过程的飞机结构件加工特征排序方法[J]. 机械科学与技术, 2010, 29(12):1638-1645.

WANG Wei, CHU Wangwei, LI Yingguang, et al. A sequence process of machining characteristics of aircraft structures based on machining[J]. Mechanical Science and Technology, 2010, 29(12):1638-1645

[13] 范玉青, 梅中义, 陶剑. 大型飞机数字化制造工程[M]. 北京: 航空工业出版社, 2011.

FAN Yuqing, MEI Zhongyi, TAO Jian. Digital manufacturing engineering of large aircraft[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2011.

通讯作者: 吕斌, 工程师, 研究方向为数控加工技术, Email: 690346211@qq.com. (责编 古京)

(上接第80页)

manual section 14:aircraft landing system design[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2002.

[3] CURREY N S. Aircraft landing gear design: principles and practices[M]. Washington, D.C.: AIAA, 1988.

[4] 牛春匀. 实用飞机结构工程设计[M]. 北京: 航空工业出版社, 2008:541.

NIU Chunyun. Airframe structural design[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2008: 541.

[5] The Boeing Company. Airplane main landing gear assembly: United States, 4328939[P]. 1982-5-11.

[6] 袁理, 蒋炳炎. 飞机起落架收放空间机构的分析与仿真[J]. 机械设计与制造, 2014(4):143-149.

YUAN Li, JIANG Bingyan. Landing gear spatial retractable mechanism analysis and simulation[J]. Machinery Design & Manufacture, 2014(4): 143-149.

[7] RCTA SC-135. DO-160E, Environmental conditions and test procedures for airborne equipment, Section 7 operational shocks and crash Safety[M]. Washington: RTCA, 2004.

[8] 袁理, 贺一雄, 吴林, 等. 飞机起落架收放机构的分类与分析[J]. 机械工程师, 2014(9):23-26.

YUAN Li, HE Yixiong, WU Lin, et al. Classification and analysis of aircraft landing gear deployable mechanism[J]. Mechanical Engineer, 2014(9): 23-26.

[9] 中国航空材料手册编辑委员会. 中国航空材料手册第1卷 结构钢 不锈钢[M]. 北京: 中国标准出版社, 1988: 759-763.

Committee of China Aviation Materials Handbook. China aviation materials handbook Part 1 structural steel and stainless steel[M]. Beijing: Standards Press of China, 1988: 759-763.

[10] 航空航天工业部. 碳素、合金钢丝制圆柱螺旋压缩、拉伸弹簧的设计与制造: HB/Z 18-1990[S]. 1990.

Ministry of Aerospace Industry. Design and manufacture of compressible and tensible cylinder spiral springs made of carbon or alloy steel wire: HB/Z 18-1990[S]. 1990.

[11] 机械设计手册编委会. 机械设计手册第2卷[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004: 7-9.

Committee of Mechanical Design Manual. Mechanical design manual Part 2[M]. Beijing: China Machine Press, 2004: 7-9.

通讯作者: 袁理, 硕士, 工程师, 研究方向为起落架设计和制造, Email: ylforall@hotmail.com. (责编 古京)