

基于特征的飞机结构件加工工艺知识编辑器研究^{*}

Research on Feature-Based Machining Process Knowledge Editor for Aircraft Structural Part

南京航空航天大学机电学院 李强 李迎光 刘长青
中航工业成都飞机工业(集团)有限责任公司数控加工厂 汤立民

[摘要] 针对飞机结构件零件尺寸大、加工特征类型数目多,零件结构复杂、包含大量自由曲面和相交特征,薄壁易变形及精度要求高等特点引起的加工工艺决策难点,提出了基于特征与MKE的飞机结构件工艺决策方法。首先对商业软件NX系统的MKE技术进行了调研分析,在此基础上构建了基于特征的飞机结构件加工工艺知识编辑器框架,基于CATIA V5开发了具有用户界面友好的加工工艺知识编辑器,在特征识别的基础上,通过调用工艺规则模板库、刀具库、用户自定义信息等完成工艺决策。应用表明,该方法能够有效提高工艺决策系统的灵活性以及飞机结构件数控编程效率。

关键词: 工艺决策 飞机结构件 特征 加工工艺知识编辑器

[ABSTRACT] Aiming at the process planning difficulties which is caused by the large dimensions, numerous machining features, complex structure, plenty of free form surface and geometrical interactions, thin wall and high accuracy of the aircraft structural parts, the feature-and-MKE-based process planning method is proposed. Based on the research of MKE technology of NX software, the feature-based framework of machining process knowledge editor is constructed and a machining knowledge editor with friendly user interface by CATIA platform is developed. According to the feature recognition, the method applies the process template library, the tool library and user-definition-information to achieve the process planning according to the feature information. The practice shows that the method can effectively improve the flexibility of the process planning system and the efficiency of the NC programming for the aircraft structural parts.

Keywords: Process planning Aircraft structural part Feature Machining process knowledge editor

飞机结构件是构成飞机机体骨架和气动外形的重要组成部分,主要包括框、梁、肋等多种类型^[1]。飞机结构件结构复杂,加工特征多,包含大量自由曲面、相交特

征和特殊加工区域,数控加工难度大^[2]。基于特征的数控编程技术以加工特征为信息载体,能有效集成加工知识和经验,是数控编程技术发展的重要趋势^[3]。

针对飞机结构件数控加工编程存在的问题,特征与MKE技术相结合是解决以上问题的一条有效途径。特征可以作为数控加工工艺知识和经验的载体;MKE(Machining Knowledge Editor)即加工知识编辑器,可以动态编辑、创建加工知识源(MKS, Machining Knowledge Source)。MKE作为加工工艺知识源的创建和编辑工具,在基于特征的数控编程中起到知识编辑以及集成的作用。飞机结构件具有种类繁多,形状功能各异,零件结构复杂,包含大量相交特征、自由曲面特征及特殊加工区域,零件尺寸及位置精度要求高,并且零件尺寸大,加工特征类型和数目多等特点^[4],这使得飞机结构件的工艺复杂,编程工作量很大,编程规范性差,不利于知识经验的继承。因此,研究基于特征与MKE的工艺决策技术对提高工艺规程编制规范、数控加工效率和缩短飞机研制周期都具有重大的意义。

1 工艺决策技术研究现状

总体来看,基于特征的工艺决策要解决3种类型的问题:(1)选择性问题,如装夹方案选择、加工方法选择、机床选择、刀具选择等;(2)规划性问题,如工序安排和排序、工步安排和排序等;(3)计算性问题,如工序尺寸的计算等^[1]。计算性问题可以通过建模和算法来解决,重点在于选择性和规划性问题,国内外学者也都对此进行了广泛而深入的研究。

Maropoulos等^[5]提出一个智能工具选择系统(ITS~KBS),该系统具有关于圆柱体工件的车削与镗削知识模块;Edalew等^[6]开发了一个基于动态编程的系统,采用数学模块和启发数据确定与计算切削参数和零件成本;Pande等^[7]报道了一个针对零件的计算机辅助工艺规划系统(PC-CAPP),纳入各种模块,如零件特征表示、工艺设备自动选择、工艺参数的确定等。

但是,现阶段的工艺决策系统对于工艺知识的利用不是特别灵活,没有一种面向用户的机制,而MKE正是面向用户的,用户可以根据工艺模板自行创建和修改工艺知识,很好地弥补了工艺决策系统灵活性不强的缺

^{*} 国家科技重大专项(2010ZX04015-011)资助。

陷。

针对以上问题,本文首先对商业软件 NX 系统中的 MKE 进行了调研分析,然后提出了基于特征与 MKE 的飞机结构件工艺决策方法,并开发了便于用户操作的加工工艺知识编辑界面,提高了工艺决策的质量与效率。

2 基于 MKE 的自动工艺决策

通过对 NX 系统的 MKE 功能模块的调研、分析,得出基于 MKE 的工艺决策流程以及原理。在此之上,提出了基于特征与 MKE 相结合的自动工艺决策方法。

2.1 基于 MKE 的工艺决策流程

NX 系统 MKE 总体框架和运行流程如图 1 所示。使用者可以使用 MKE 来管理特征识别库和加工知识库。NX CAM 在特征识别的时候会调用特征识别库,得到加工特征后创建工艺的时候,再调用加工知识库、刀具数据库和模板数据库进行自动工艺决策,最后形成操作。

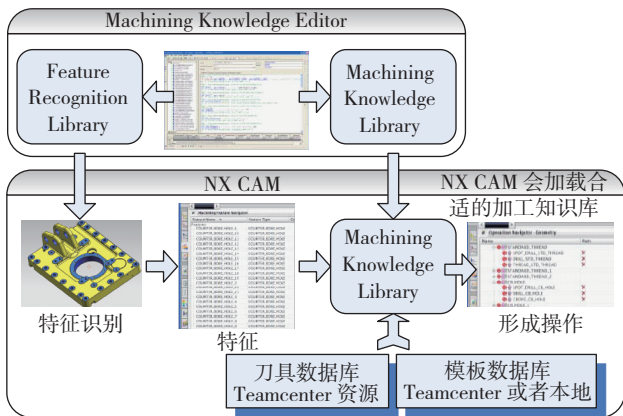


图1 NX MKE总体框架
Fig.1 Framework of NX MKE

2.2 基于 MKE 的工艺决策方法

工艺决策的过程中需要综合考虑加工精度、设备情况、工艺情况以及成本因素等,最后得到最佳的加工路线。在 MKE 中,这个过程被定义为:已知输出特征和输入特征,求解工序中特征(In-process Feature)以及相关操作的过程。这是一个逆向推理的过程,形成了 MKE 功能模块自动工艺决策的主要方法。

以某通孔特征(STEPHOLE)加工工艺生成的全过程为例。STEPHOLE 特征如图 2 所示,尺寸为 $\phi 12H7$ 。

(1)在 MKE 中加载加工知识文件,打开铣削、钻削规则库,选中所有规则。已知输出特征为 STEPHOLE ($\phi 12H7$),所以打开输出过滤器得到如图 2 所示的候选规则列表。列表中经过过滤的操作最后都会得到

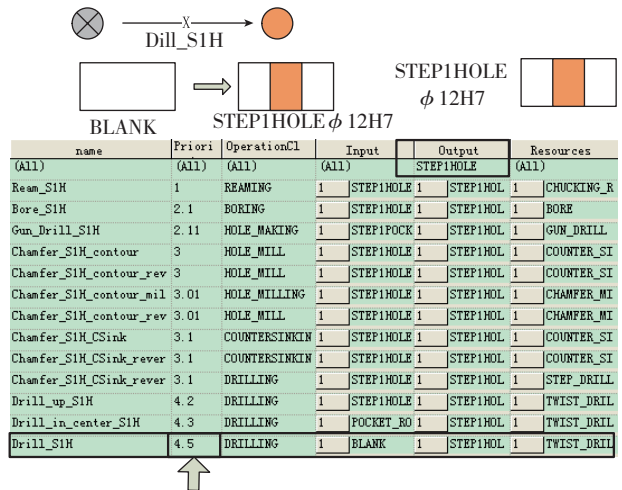


图2 工艺决策步骤(1)

Fig.2 Procedure of process planning(1)

STEP1- HOLE 特征,工艺规则会按照赋值由低到高排列,赋值越高说明规则成本越低、加工越方便,同时加工精度就越低。

系统会依照赋值从高到低进行选择合适规则。列表中赋值最高的是规则 Drill_S1H,但它首先被系统所拒绝。原因是刀具麻花钻 (Twist Drill) 的精度无法达到要求的 H7。其中 ⊗ 标志代表该规则被拒绝。

(2)赋值次高的规则是 Drill_in_center_S1H,由于加工精度无法满足要求也被系统拒绝,如图 3 所示。

(3)经过多轮的判定,由于 Ream_S1H 规则中的所有条件都为真,系统选择了 Ream_S1H 规则。所以它会被应用到 STEPHOLE ($\phi 12H7$) 的加工中作为最后一道工序,表示该规则被选定,如图 4 所示。

(4)Ream_S1H 的输入特征为 STEPHOLE,会被作为工序中特征,即下一步的输出特征。之前相似的推理过程再次被执行:候选列表中的规则按照赋值由高到低

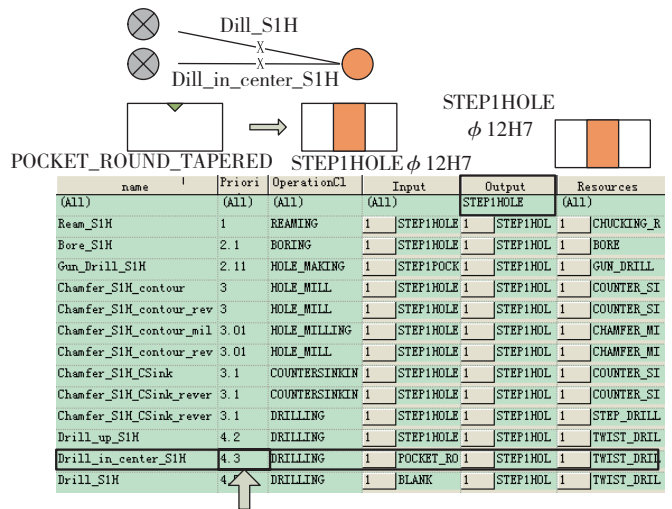


图3 工艺决策步骤(2)

Fig.3 Procedure of process planning(2)

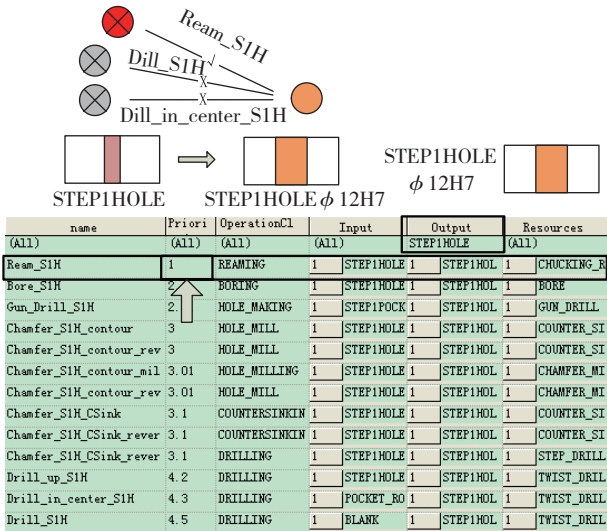


图4 工艺决策步骤(3)

Fig.4 Procedure of process planning(3)

的顺序被执行,直至有规则执行通过为止。推理需要注意的是,工序中特征没有精度要求。

规则的定义是全面性,不单单包含有加工的精度,还会有工艺的考虑、刀具的因素和输出特征的属性等等。例如,在此步推理中 Drill_S1H 没有被执行,因为 Drill_S1H 规则要求在毛坯状态下加工成形。

最后此步推理中, Drill_in_center_S1H 成功被选定,成为继 Ream_S1H 之后第二条工艺规则,如图 5 所示。

(5) 以此类推, Drill_in_center_S1H 的输入特征为 POCKET_ROUND_TAPERED,系统将其列为输出特征在规则列表中进行匹配,最后得到 Spot_Drill 规则, Spot_Drill 的输入特征为 Blank,即毛坯,因此推理过程结束。

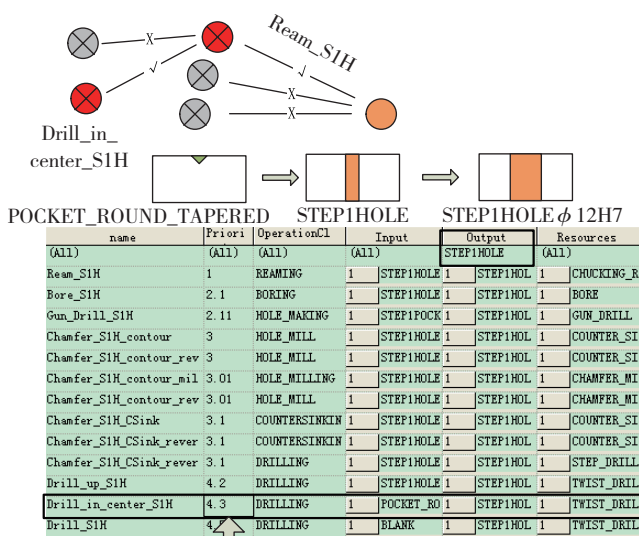


图5 工艺决策步骤(4)

Fig.5 Procedure of process planning(4)

(6) 通过以上推理过程,系统得到了合适的工艺链,如图 6 所示。系统会依据工艺链在 NX 操作导航器中依次添加操作: Spot_Drill->Drill->Ream。

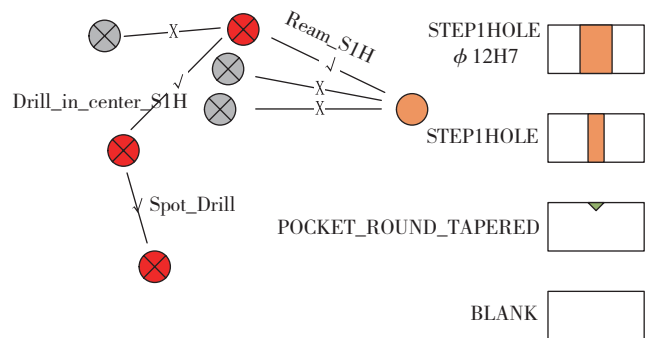


图6 工艺决策步骤(5)

Fig.6 Procedure of process planning(5)

以上就是 NX 系统 MKE 模块的工艺决策的方法:由输出特征向输入特征进行逆向推理,得出工序中的特征以及相关操作。

2.3 基于特征的工艺决策与加工工艺知识编辑器

基于特征与 MKE 的工艺决策相比于传统的基于特征的工艺决策系统优势在于灵活、知识继承性好、面向用户。决策系统的结构以及流程图如图 7 所示。基于特征与 MKE 的工艺决策主要分为 3 个方面:加工方法决策;刀具决策;加工余量决策。

(1) 加工方法决策。加工方法的决策依赖于零件材料和加工特征的类型、尺寸和精度等,如表 1 所示孔特征的加工方案。以钻孔操作为例,工艺决策规则定义为:

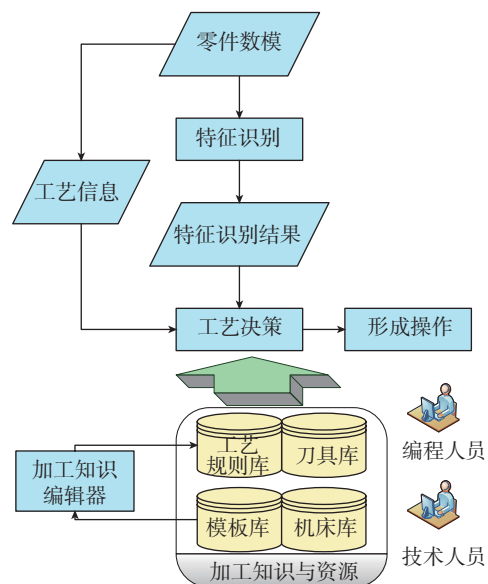


图7 基于特征的加工工艺知识编辑器系统

Fig.7 Feature-based machining process knowledge editor system

```
Use_Spot_Drill_Yes_No = 0;
// 该钻孔操作是否需要预钻中心孔:1 需要,0 不需要
hole.DIAMETER <= Pre_Drill_Limit;
// 判断孔径是否过大以致于无法进行钻削操作
IT (hole.DIAMETER, hole.DIAMETER_UPPER, hole.DIAMETER_LOWER) >= DRILL_Achievable_IT;
// 根据孔径上下偏差计算精度等级,精度应低于钻削所能达到的精度
Roughness(hole.SIDE_ROUGHNESS) >= DRILL_Achievable_Roughness;
// 钻削时能否达到孔壁所要求的粗糙度
当以上规则都为真时,就会调用钻削操作。
```

表1 孔特征加工方案

序号	加工情况	加工经济精度(IT)	表面粗糙度 $R_a / \mu m$
1	钻孔(ϕ 15 以下)	11~13	12.5~80
2	钻孔(ϕ 15 以上)	10~12	20~80
3	扩孔	9~10	3.2~6.3
4	铰孔	6~8	0.2~3.2
5	磨孔	5~6	0.2~0.8
6	拉孔	7~9	0.8~1.6
7	镗孔	6~7	0.8~6.3

(2) 刀具决策。刀具决策与加工方法密切相关,一般来说某一工步的加工方法确定以后,加工用的刀具类型也就基本确定,剩下的就是要确定刀具的型号、尺寸参数等。假设深度为 40mm ($pocket.DEPH = 40$), 最大允许刀具直径为 50mm,底角半径为 3mm ($pocket.BOTTOMRADIUS = 3$)的槽侧壁在选定加工方法“等高轮廓铣”的情况下选择刀具,工艺规则定义为:

```
pocket.MACHINING_RULE = "ZLEVEL_PROFILE_POCKET";
// 定义该规则的名称
tool.type = "立铣刀";
tool.Diameter = 20;
// 槽侧壁的加工属于槽的精加工范畴,在飞机结构件加工工艺层面上,粗加工会使用 32mm 的刀具。
// 在精加工时会选择 20mm 的刀具
tool.FluteLength >= pocket.DEPTH;
// 刀具的长度要大于等于槽深
tool.CorRadMill = pocket.BOTTOMRADIUS;
// 刀具底角半径应该等于槽腹板面底角半径
当以上规则都为真时,就会调用相应尺寸的立铣刀。
```

(3) 加工余量决策。在基于特征与 MKE 的工艺决策中使用了加工模板,所以这一项决策任务是通过模板

完成的,当然用户也可以通过 MKE 界面自行设置余量。

3 系统搭建与加工实例

基于以上研究,使用 CATIA 二次开发工具开发了一套基于特征与 MKE 的工艺决策系统,系统界面友好、简单易用,如图 8、图 9 所示。

进入工艺决策模块,可以根据需要选择需要添加操作的特征,同时可以设置当前的粗精加工,实现粗精加工的分隔。打开加工知识编辑器,最下面有一个规则显示框,对于高级用户,可以直接在规则显示框内进行规则的建立和修改,一般用户也可以使用加工知识编辑器

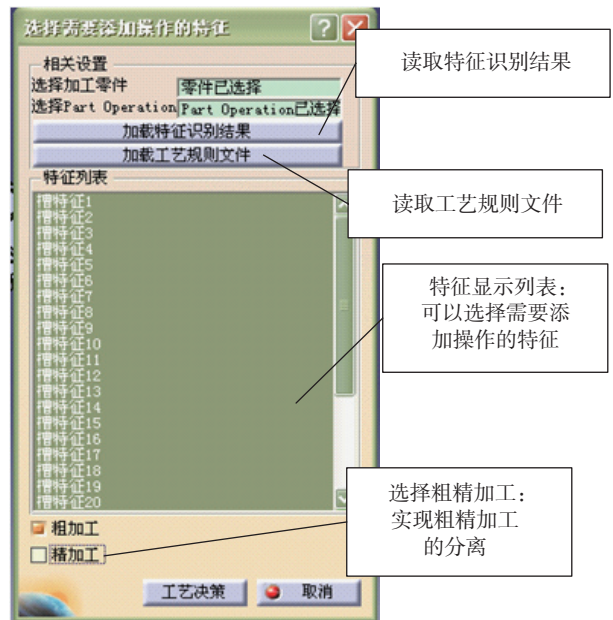


图8 工艺决策界面

Fig.8 Interface of process planning

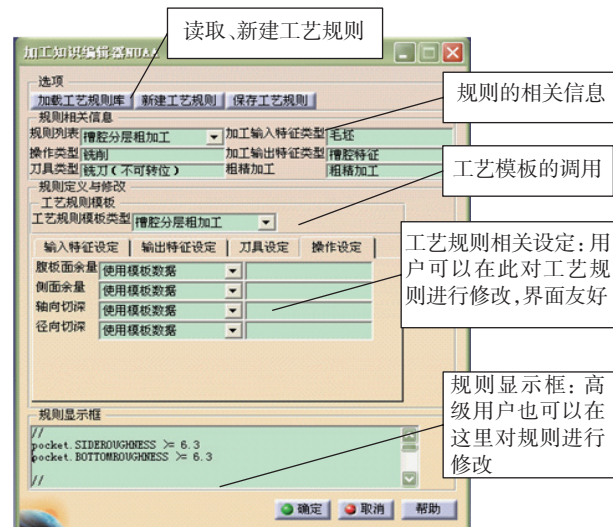


图9 加工知识编辑器界面

Fig.9 Interface of processing knowledge editor

规则显示框上面的各种设定选项框来完成规则的建立和修改。

下面是使用该系统进行飞机结构件工艺决策的一般过程:

(1) 输入零件数模,对零件进行特征识别,构造零件的特征模型,得到零件加工特征,并保存相关特征结果;

(2) 启动加工知识编辑器,建立相关规则,或者直接使用模板规则;

(3) 启动自动工艺决策模块,加载零件特征,选择需要添加操作的特征,选择粗精加工之后,进行自动工艺决策;

(4) 计算刀轨,并进行刀轨模拟,确认刀轨正确性。

使用该系统加工如图 10 所示的零件槽特征,生成某槽腔的腹板精加工刀轨如图 11 所示。

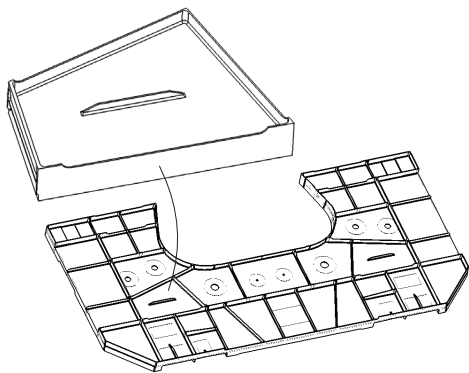


图10 加工零件的槽腔特征
Fig.10 Pocket feature of part

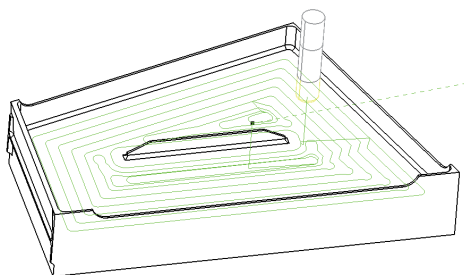


图11 腹板精加工刀轨
Fig.11 Finishing tool path of bottom

4 结束语

本文在分析 NX 系统 MKE 的基础上,针对飞机结构件现阶段工艺决策知识集成、继承和灵活性差等特点,提出了基于特征的飞机结构件加工工艺决策方法与加工工艺知识编辑器构建方法。该方法具有以下优势:

(1) 解决了飞机结构件工艺决策灵活性差、工艺知识继承性差、用户无法集成知识等问题;

(2) 提供了一个具有用户友好界面的加工工艺知识编辑工具;

(3) 有效提高了飞机结构件工艺决策的质量与效率。

参考文献

- [1] 张振明,许建新,贾晓亮,等.现代 CAPP 技术与应用.西安:西北工业大学出版社,2003.
- [2] Li Y G, Ding Y F, Mou W P, et al.Feature recognition technology for aircraft structural parts based on a holistic attribute adjacency graph. Journal of Engineering Manufacture, 2010(224): 271-278.
- [3] 韩雄,汤立民.大型航空结构件数控加工装备与先进加工技术.航空制造技术,2009(1): 44-47.
- [4] 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.机械科学与技术,2011,29(12): 1638-1645.
- [5] Maropoulos P G, Hinduja S. Intelligent tool selection for rough turning.International Journal of Production Research, 1991,29(6):1185-1024.
- [6] Edalew K O, Abdalla H S, Nash R J. A computer-based intelligent system for automatic toolselection. Materials and Design, 2001(22):337-351.
- [7] Pande S S, Wallvekar M G. A computer-assisted process planning system for prismatic components. Computer-Aided Engineering Journal, 1989(8):133-138.

(责编 亦非)

(上接第 68 页)

电间接效应的 125mA 要求。

3 总结

对于进入燃油箱的固有安全线路的设计需要严格限制瞬态电能能量,所以对燃油箱固有安全线路的保护采取非相似性的设计,即在线路敷设、屏蔽、隔离方面进行保护,同时在线路上设置具有瞬态抑制功能的设备。而瞬态电能是在带负载的条件下产生的,仅仅采用试验的方法是无法验证其是否符合瞬态电能要求的,所以本文在试验的基础上,采用等效建模的分析方法来计算分析固有安全线路是否满足要求。

参考文献

- [1] CFR Parts25, 26, 121 et al. Reduction of Fuel Tank Flammability in Transport Category Airplanes. Final Rule Federal Aviation Administration, 2008-09-19.
- [2] United States. Federal Aviation Administration. Advisory Circular 25.981-1C: Fuel Tank Ignition Source Prevention Guidelines, 2008-09-19.
- [3] 中国民航局. CCAR25: 运输类飞机适航标准,2001-05-14.
- [4] Final Rule: Transport Airplane Fuel Tank System Design Review, Flammability Reduction, and Maintenance and Inspection Requirements. 66 FR 23085, 2001-06-06.
- [5] Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment. RTCA/DO-160D, 1997-07-29. Prepared by SC-135.

(责编 亿霖)