

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2019.12.021

基于系统工程的民机复材部件适航符合性 验证测试技术及应用

孟祥敏

(中国航空工业集团公司济南特种结构研究所, 济南 250031)

摘要: 鉴于民机复合材料部件的适航性对于整机安全适航的重要意义,通过梳理民机复合材料部件的研制流程,将系统工程 V 模型验证技术引入民机复合材料部件的适航符合性验证过程,利用系统工程 V 模型反复验证的逻辑关系,罗列出复合材料部件在设计和制造中的适航要求和适航工作的开展方式。通过系统工程 V 模型说明复合材料部件设计符合性和制造符合性的相互验证关系。通过复合材料部件设计和制造全过程的适航符合性验证,确保民机复合材料部件的全面适航性。最后,通过应用案例,呈现该验证技术在型号研制项目中的成功应用。

关键词: 系统工程; 民机; 复合材料部件; 适航符合性; 验证

中图分类号: V37 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2019)12-0115-06

Airworthiness Compliance Verification Testing Technology of Civil Aircraft Composite Parts Based on System Engineering

Meng Xiangmin

(AVIC Research Institute for Special Structures of Aeronautical Composites, Jinan 250031, China)

Abstract : The airworthiness of civil aircraft composite parts is essentially important for safety airworthiness of civil aircraft. In view of this, V model verification technology was introduced into airworthiness compliance verification process of civil aircraft composite parts through analyzing the researching process of civil aircraft composite parts. Airworthiness requirements and how to conduct airworthiness job in the designing and manufacturing process of composite parts were revealed by using repeated verification logical relation of system engineering V model. The mutual verification relation between design compliance and manufacture compliance of composite parts was explained through V model. The airworthiness of civil aircraft composite parts was guaranteed through airworthiness compliance verification technology in the whole design and manufacture process of composite structure parts. Finally, how to apply this verification technology successfully in certain project was demonstrated through application case.

Keywords : system engineering ; civil aircraft ; composite part ; airworthiness compliance ; verification

复合材料具有轻质高强、耐热、耐腐蚀、耐疲劳、高比电阻和较低的介电常数及优异的可设计性^[1],近年来,民用飞机复合材料用量持续攀升,如 B787 飞机复合材料用量占飞机结构质量的 50%,采用全复合材料机身,其机翼、短舱及内装饰都大量采用复合材料,与之构成直接竞争的 A350XWB 的复合材料用量达到 52%,CR929-600 中俄远程宽体客机复合材料用量目标也将达到 52%。复合材料结

构的适航性对于整机的安全适航意义重大,只有将适航验证贯穿于复合材料部件研制的始终,才能保证其安全适航性^[2]。

近年来,民机复合材料行业工程技术人员、管理人员、适航审定相关人员都在进行适航符合性验证方面的研究,研究内容大致包括三类。

第一类分析民机复合材料结构适航符合性验证流程,从设计入手,围绕积木式试验方法和适航审定

通讯作者: 孟祥敏,硕士,主要从事民用飞机复合材料部件适航技术研究 E-mail : bessie0822@163.com

收稿日期: 2019-10-08

引用格式: 孟祥敏. 基于系统工程的民机复材部件适航符合性验证测试技术及应用 [J]. 工程塑料应用, 2019, 47(12) : 115-120.

Meng Xiangmin. Airworthiness compliance verification testing technology of civil aircraft composite parts based on system engineering[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(12) : 115-120.

基础,通过对适航条款的分解与试验验证,论证整机的适航符合性^[3-6]。

第二类以某个特定的复合材料部件为典型案例进行适航符合性验证分析,深入剖析这些部件对应的适航条款和验证方法,通过详细的试验规划验证该部件的适航符合性,供其它民机复合材料结构适航符合性验证作参考^[7-11]。

第三类围绕民机复合材料部件适航验证体系建设进行分析,通过对适航规章条款验证的闭环管理,针对型号合格审定过程中的适航活动和审查活动等,对参与适航过程的每一个角色进行流程设计,形成一套完善的适航管理体系,从而保证民用飞机的适航安全^[12]。

笔者充分借鉴上述验证思路,并在此基础上将系统工程V模型引入民机复合材料结构适航符合性验证工作中,利用V模型梳理民机复合材料结构研制过程,并识别过程中的适航符合性验证要求和相关工作。通过系统工程V模型技术与适航管理的结合,辨识民机复合材料结构研制流程中的关键点和控制要素,保证民机复合材料结构研制过程中适航性工作的全面落实,从而提高民机复合材料结构的安全适航性。

1 复合材料部件的适航符合性验证

为保证航空器或航空器部件的适航性,发达国家政府建立了有关机构和主管部门来保证飞机安全性。在我国,20世纪70年代末,民航局成立了工程司,开始着手适航审定管理,1985年首次制定并发布CCAR-25部《运输类飞机适航标准》,用于指导运输类飞机及零部件的适航取证。1987年,成立适航司,开始参照美国模式建立适航审定系统,并逐步完善适航规章。

目前,国际民航市场中主力机型的复合材料部件主要包括,机头雷达罩、翼身整流罩、机翼、机翼固定前缘及盖板、机翼封严盖板、活动襟翼后缘、RTA舱门、前起舱门、主起舱门、APU舱门、垂尾前缘、平尾、背鳍壁板、垂尾前扭力盒盖板、固定机翼后缘、垂尾后缘盖板、尾翼壁板、升降舵及凹形壁板、燃油箱检查口盖、窗框、地板梁、长桁、后压力框、各类内装饰件等。在国内,民机复合材料部件适航符合性验证已开展大量工作,相关的适航规章、管理办法和管理规定已发布,大量的复合材料部件已开展或完成适航符合性验证工作,但还有多型国产民机复合材料部件仍在开展适航符合性验证工作,工作量大,且

验证工作反复,令主制造商和供应商措手不及,从经费和周期上造成巨大的压力。

近年来,系统工程这一概念逐渐进入航空领域,系统工程从需求分析和定义开始,通过一系列流程和模型,对航空器各个系统和子系统的研制过程进行分解。V模型是系统工程的精华,是系统工程最具代表性的图形表达方式。它最早起源于对系统架构的描述,后广泛用于系统工程的培训及系统工程相关定义和术语的描述,甚至在系统工程之外的领域也有应用^[13]。

适航符合性验证包括设计符合性和制造符合性两大部分内容,复合材料部件设计符合性和制造符合性主要执行CCAR-25-R4《运输类飞机适航标准》、CCAR-183-R1《民用航空器适航委任代表和委任工程代表的规定》、CCAR-21-R3《民用航空产品和零部件合格审定规定》、AP-21-AA-2011-03-R4《航空器型号合格审定程序》和AC20-107B《飞机复合材料结构》。

2 模型验证技术

V模型是来自系统工程学的一个验证和确认的方法,用于定义整个生命周期阶段的起始、停止和流程活动。它强调与利益攸关者持续确认需求、定义验证计划,并持续进行风险和变更的评估^[14]。对于民机复合材料部件的研制,必须将适航工作贯穿于研制过程的始终,并在研制过程中持续确认,因此,V模型是民机复合材料部件适航符合性验证的一个重要方法。

民用飞机研制阶段主要包括立项论证阶段、预发展阶段、工程发展阶段和批生产与产业化阶段。其中,预发展阶段可分为概念设计和初步设计,工程发展阶段可分为详细设计、全面试制和试飞阶段。复合材料部件研制工作包括项目策划、需求分析、方案设计、详细设计、供应商目录、生产线建设、转PC阶段、试验试飞、首件试制、工艺评审等,具体流程以V模型方式展示,如图1所示。

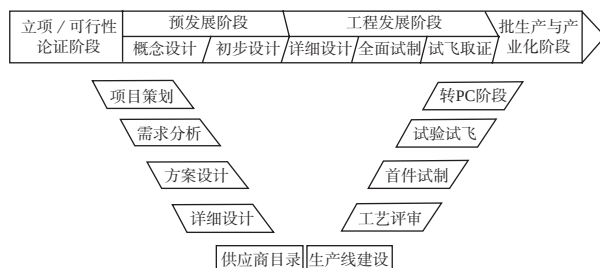


图1 民机复合材料部件研制流程V模型

V 模型左侧为需求定义与设计,右侧为产品试制与试验,定义与设计是否合理,将在试制和试验中进行验证和确认。此外,需求定义与设计过程中,为满足产品的适航符合性要求,需要完成的工作包括编制合格审定基础和合格审定支持计划(CSP),通过审定基础和合格审定支持计划确定该部件需要开展的适航符合性验证工作。V 模型右侧,为满足产品试制与试验过程的适航符合性,供应商应通过特种工艺鉴定,开展制造符合性检查,并完成适航验证试验。

V 模型左侧与右侧密切相关,左侧合格审定基础和合格审定支持计划(CSP)中确定的适航验证项目,必须在右侧适航验证试验中一一验证;左侧设计/质量保证大纲的建立,支撑右侧制造符合性检查过程的顺利实现;左侧材料规范和工艺规范验证合格,才能保证特种工艺鉴定的通过,确保材料的符合性和工艺的一致性。关联关系如图 2 所示。

通过 V 模型左侧需求定义与设计工作的开展,确立了产品研制的基线,而 V 模型右侧是对这一基线的验证,或者基线变更后的再确认。基线的确立、验证与变更确认如图 2 所示。

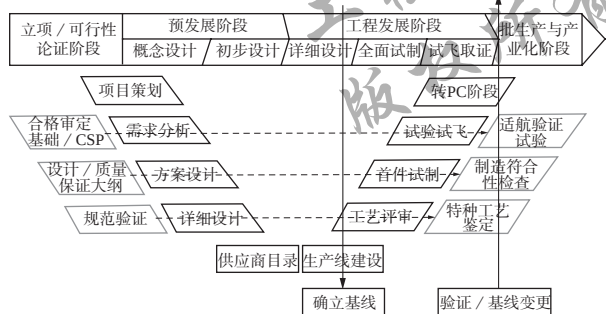


图 2 基线的确立、验证与变更确认

如果右侧验证失败或是更改,需要回到左侧重新设计,批准并建立基线后,需再次确认。V 模型有助于这个反复确认过程的顺利推进。

2.1 设计符合性验证

(1) 合格审定基础。

目前,国内在研的民用飞机设计主要符合 CCAR-25 部《运输类飞机适航标准》,部分飞机采用 CCAR-23 部《正常类、实用类、特技类和通勤类飞机》,民用飞机零部件设计制造商依据适用的民航规章编制复合材料部件的适航审定基础。以 CCAR-25 部《运输类飞机适航标准》为例,识别复合材料部件适用的适航条款,并确定其符合性验证方法,如 25.301 载荷、25.303 安全系数、25.305(a)

(b) 强度和变形等。验证方法对应 MC0 至 MC9 共十种,可根据部件的实际情况进行符合性方法的选择,并对识别出的适航条款进行说明。其中,MC0 至 MC9 分别表示:MC0—简述,MC1—设计说明,MC2—分析和计算,MC3—安全性评估,MC4—试验室试验,MC5—飞机地面试验,MC6—飞行试验,MC7—检查,MC8—模拟器试验,MC9—设备鉴定。

(2) 设计保证体系的建立。

设计保证是指型号合格证申请人为了充分表明其具有以下能力所必需的所有计划性和系统性的措施:

- 按适用的适航要求设计产品;
- 表明并证实对适航要求的符合性;
- 向适航部门演示验证这种符合性。

设计保证体系是指组织保证设计体系正常运作所必须的组织机构、职责、程序和资源。

供应商编制《设计保证大纲》,阐述供应商为某项目提供复合材料部件所具备的设计保证系统的组织架构、程序文件和资源(包括具有足够数量和经验的人员,并赋予其恰当职责并且有充足的设施、设备和器材等工作条件),以落实该项目设计保证系统在供应商处延伸的相关要求,并保证供应商建立的相应设计保证系统正常运行。

(3) 规范的建立与验证。

材料规范和工艺规范是民机复合材料部件研制必须要建立和遵守的两大技术标准。按照第 25.603 条材料的要求,由于复合材料部件的性能和质量很大程度上取决于制造工艺,对成型工艺敏感^[15],因此,对复合材料部件的结构设计和制造工艺提出了更高的要求,必须编制专门的材料规范,且经局方批准。同时,按照第 25.605 条制造方法的要求,对于需要严格控制才能稳定一致地制造飞机结构的制造工艺,必须建立工艺规范,并按照工艺规范进行制造;如果需要采用新的制造方法,必须通过试验验证新方法能够稳定一致地制造飞机结构。

材料规范由主制造商联合材料供应商编制,通过积木式试验,确定合格供方目录,并提交局方批准,供全机使用。工艺规范由主制造商联合机体供应商,通过工艺试验,制定工艺规范,并提交局方批准,供全机使用,工艺规范主要包括适用范围、制造工艺及控制要求、所用材料、设备和人员的控制要求,以及质量控制标准与记录,储存要求或其它保护性措施。

2.2 制造符合性验证

制造符合性是指民用航空产品和零部件的制造、试验、安装等符合经批准的设计要求。制造符合性检查就是检查制造过程、试验过程和安装是否符合设计要求,是否做到文文相符和文实相符。文文相符是指工艺文件与设计要求的符合性。文实相符是指实际操作与工艺文件的符合性。

(1) 特种工艺鉴定。

特种工艺是指直观不易发现、不易测量或不能经济测量的产品内在质量特性的形成过程。复合材料制造工艺是一项重要的特种工艺,必须通过工艺鉴定的方式,来证实复合材料部件能够满足规定的要求。供应商按照特种工艺鉴定目录确定特种工艺项目,向主制造商提交工艺鉴定申请并完成相关准备工作后,由特种工艺鉴定审查组进行现场鉴定审查,审查通过后,发放批准书,后续按一定周期审查,维持批准书的持续有效。

(2) 制造符合性检查。

产品制造符合性检查按照《民用航空产品和零部件合格审定规定》(CCAR-21部)执行,包括装机产品、部件级试验件和元件级试验件。检查过程由工程委任代表、制造委任代表、主制造商和供应商共同完成,完成形式主要包括制造符合性检查请求单、制造符合性检查项目清单、制造符合性检查工序清单、制造符合性检查表、制造符合性声明和适航批准标签^[16]。

对于制造符合性检查管理过程,主制造商通常会发出制造符合性检查管理规定相关文件,供应商按照文件执行。对于制造符合性检查委任代表,供应商可向主制造商推荐有类似经验的技术或质量管理人员,由主制造商培训授权后,按照局方代表的委托,完成相关的制造符合性检查工作。

(3) 适航验证试验。

供应商编制复合材料部件合格审定支持计划(CSP),明确复合材料部件需开展的适航验证试验项目。

合格审定计划确定后,由供应商组织,主制造商提交局方工程代表和制造代表,完成试验的制造符合性检查,完成形式包括试验件构型文件、试验大纲、试验件制造符合性检查表和试验报告^[17]。

3 模型验证技术的应用

民用飞机机头雷达罩是飞机上重要的功能性复合材料部件,按照V模型验证思路,制定某型机头雷达罩适航符合性验证V模型。在V模型左侧,制定机头雷达罩需求分析和设计定义相关的文件,包括,雷达罩适航符合性、设计保证体系、质量保证大纲、成型和无损检测等工艺规范验证相关文件。在V模型的右侧,列出对雷达罩设计和制造的验证,包括雷达罩成型、喷漆和无损检测特种工艺鉴定、制造符合性检查项目清单和检查工序、雷达罩静强度适航验证试验、闪电防护适航验证试验等。某型机头雷达罩适航符合性验证V模型如图3所示。

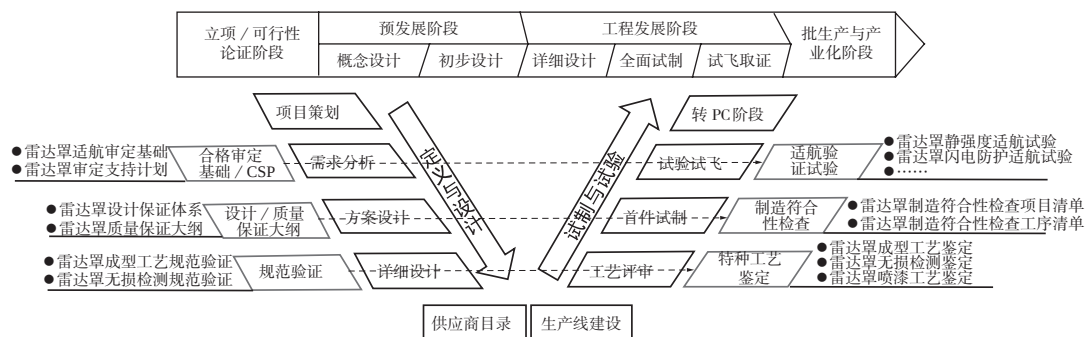


图3 某型机头雷达罩适航符合性验证V模型

通过适航符合性验证V模型的建立,可以对某型机头雷达罩适航验证工作进行全面、详细地分解,有效保证了整个适航符合性验证过程的全面可靠,成功保障了该型机头雷达罩的顺利研制。

4 结语

(1) 民机复合材料结构的适航性是全过程的适航,设计适航性和制造适航性作为两大重要过程,通

过编制合格审定基础、建立设计保证体系和验证两大规范,完成设计符合性验证的过程,通过特种工艺鉴定、制造符合性检查和适航验证试验,完成制造符合性验证的过程。

(2) V模型验证技术是一项重要的验证和确认的工具,将V模型引入民机复合材料部件的适航符合性验证过程,能够充分辨识民机复合材料部件研

制全过程的适航要求和适航工作内容,两者结合意义重大,能够帮助全面识别和规划民机复合材料部件的适航符合性验证过程,保证民机复合材料部件的安全适航性。

(3) 通过某型机头雷达罩研制过程的案例分析,表明适航符合性验证 V 模型能够有效保证民机复合材料部件适航符合性验证工作的全面可靠。

参考文献

- [1] 杨文锋, 颜影, 唐庆如, 等. 民机复合材料应用及维修的适航验证与审定研究进展 [J]. 材料导报, 2013, 27(4): 106–109.
Yang Wenfeng, Yan Ying, Tang Qingru, et al. Research progress on airworthiness substantiation and appraisal of application and repair of composite structure in civil aircraft[J]. Materials Review, 2013, 27(4): 106–109.
- [2] 段敏鸽, 刘存喜. 飞机复合材料结构适航符合性验证思路研究 [J]. 航空科学技术, 2015, 26(3): 54–58.
Duan Mingge, Liu Cunxi. The study on airworthiness verification of composite aircraft structure[J]. Aeronautical Science & Technology, 2015, 26(3): 54–58.
- [3] 武戎戎. 民用飞机适航符合性验证要求研究 [J]. 科技展望, 2016, 26(16): 261.
Wu Rongrong. The study on civil aircraft airworthiness verification requirements[J]. Science and Technology, 2016, 26(16): 261.
- [4] 晏祥斌, 蒋建军, 王俊彪, 等. 民机适航条款及验证技术的解析与重组 [J]. 中国民航大学学报, 2015, 33(3): 17–22.
Yan Xiangbin, Jiang Jianjun, Wang Junbiao, et al. Resolving and recombination of civil aircraft airworthiness regulations and certification techniques[J]. Journal of Civil Aviation University of China, 2015, 33(3): 17–22.
- [5] 刘勋, 彭震. 民用飞机设计和适航审定中的仿真系统规划研究 [J]. 航空计算技术, 2015, 45(5): 78–81.
Liu Xun, Peng Zhen. Research on simulation system planning in civil aircraft design and airworthiness certification[J]. Aeronautical Computing Technique, 2015, 45(5): 78–81.
- [6] 郑晓玲. 复合材料结构的适航符合性分析研究 [J]. 民用飞机设计与研究, 2017, 124(1). doi:10.19416/j.cnki.1674-9804.2017.01.001.
Zheng Xiaoling. Analysis and research on the airworthiness compliance of composite structure[J]. Civil Aircraft Design & Research, 2017, 124(1). doi:10.19416/j.cnki.1674-9804.2017.01.001.
- [7] 王爱军. 民用飞机复合材料主结构适航符合性研究 [J]. 民用飞机设计与研究, 2011(4): 24–27.
Wang Aijun. Study on certification methodology for primary composite structure of commercial aircraft[J]. Civil Aircraft Design & Research, 2011(4): 24–27.
- [8] 樊则文, 陈挺, 张绪, 等. 民用飞机复合材料后机身结构适航验证方法 [J]. 高科技纤维与应用, 2018(2): 36–44.
Fan Zewen, Chen Ting, Zhang Xu, et al. The means of airworthiness certification for the composite rear-fuselage structure of civil aircraft[J]. Journal of Civil Aviation University of China, 2018(2): 36–44.
- [9] 赵爱莹. 运输机体结构闪电防护适航条款及符合性验证程序分析 [J]. 江苏科技信息, 2016(12): 72–73.
Zhao Aiyong. Analysis on structural lightning protection airworthiness requirements and certification process for transport airplane[J]. Jiangsu Science & Technology Information, 2016(12): 72–73.
- [10] 何思, 刘存喜. 运输类飞机风挡抗鸟撞适航符合性验证方法 [J]. 航空工程进展, 2016, 7(2). doi:10.16615/j.cnki.1674-8190.2016.02.008.
He Si, Liu Cunxi. A verification method of bird-strike resistance airworthiness for transport category airplane's wind shield[J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2016, 7(2). doi:10.16615/j.cnki.1674-8190.2016.02.008.
- [11] 孔叔飏, 黄铎佳, 向荫, 等. 飞机 HIRF 防护设计与验证技术综述 [J]. 电子产品可靠性与环境试验, 2018, 36(2): 70–77.
Kong Shufang, Huang Duoia, Xiang Yin, et al. A review of design and verification technology of HIRF protection for aircraft[J]. Electronic Product Reliability and Environment Testing, 2018, 36(2): 70–77.
- [12] 何静, 耿延升, 何永为, 等. 民用飞机协同研制模式下的适航管理体系建设研究 [J]. 航空工程进展, 2018, 9(2): 288–296.
He Jing, Geng Yansheng, He Yongwei, et al. Research on the establishment of airworthiness management system based on civil aircraft collaborative development mode[J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2018, 9(2): 288–296.
- [13] Scheithauer D, Forsberg K. V-model views[C]//INCOSE international symposium. Hoboken, New Jersey, USA: Wiley Online Library, 2014: 502–516.
- [14] 国际系统工程协会. 系统工程手册: 系统生命周期流程和活动指南 [M]. 张新国, 译. 4 版. 北京: 机械工业出版社, 2017.
INCOSE. Systems engineering handbook: A guide for system life cycle process and activities[M]. Translated by Zhang Xinguo. 4th ed. Beijing: China Machine Press, 2017.
- [15] 郭增宏. 浅析复合材料结构件在制造符合性检查中的适航要求 [J]. 航空维修与工程, 2017(11): 31–33.

- Guo Zenghong. Analysis on the airworthiness requirements of composite structural parts in manufacturing compliance inspection[J]. Aviation Maintenance & Engineering, 2017(11):31-33.
- [16] 刘文成. 民用运输类飞机驾驶舱门适航要求及验证[J]. 民用飞机设计与研究, 2018(1):6-9.
- Liu Wencheng. Airworthiness requirement and verification of flightdeck door for transport category airplanes[J]. Civil Aircraft Design & Research, 2018(1):6-9.
- [17] 张柱国,郝一鸣. 运输类飞机鸟撞及符合性验证综述[J]. 航空科学技术, 2013(6):1-4.
- Zhang Zhuguo, Hao Yiming. Review about bird strike and substantiation for transport category airplane[J]. Aeronautical Science & Technology, 2013(6):1-4.

欢迎订阅 2020 年《工程塑料应用》、《化学分析计量》杂志

邮发代号 24-42, 24-138 全国各地邮局均可订阅

欢迎广大读者到当地邮政局(所)订阅 2020 年《工程塑料应用》、《化学分析计量》杂志, 订阅杂志及合订本光盘及过期刊物的读者可直接向杂志社办理订阅。《工程塑料应用》为月刊, 大 16 开本, 每月 10 日出版, 2020 年定价 20 元/期, 全年 240 元。《化学分析计量》为双月刊, 大 16 开本, 单月 20 日出版, 2020 年定价 20 元/期, 全年 120 元。

电话: (0531)85878223 85878057 传真: (0531)85947355

(上接第 100 页)

- Xu Wenqing, Xiao Guohua, Wang Zheneng, et al. Multi-plate mould design of camera pedestal with special demoulding mechanism in inner and outer walls[J]. Engineering Plastics Applications, 2019, 47(2):70-75.
- [13] 卞平, 肖国华. 基于 CAE 分析的转盘斜齿轮自润滑脱模机构模具结构设计[J]. 中国塑料, 2019, 33(2):103-109.
- Bian Ping, Xiao Guohua. Mold structure design of self-lubricating demoulding mechanism of rotary wheel bevel gear based on CAE analysis[J]. China Plastics, 2019, 33(2):103-109.
- [14] 黄雁清. 热水器面壳产品结构简化及其模具设计[J]. 机械工程师, 2015(3):210-212.
- Huang Yanqing. Structure simplification of water heater shell product and its mould design[J]. Mechanical Engineer, 2015(3):210-212.
- [15] 唐海茂. 内侧双向倒扣塑件注射模具抽芯机构设计[J]. 装备维修技术, 2010(2):62-64.
- Tang Haimao. Design of core-pulling mechanism of injection mould for plastic parts with inner two-direction undercut[J]. Equipment Maintenance & Technology, 2010(2):62-64.
- [16] 陈兵. 全螺纹倒扣塑件的内缩热流道模具设计[J]. 模具制造, 2017(9):49-52.
- Chen Bing. Design of retraction hot runner mold for the full reverse button parts[J]. Die & Mould Manufacture, 2017(9):49-52.

(上接第 109 页)

- [6] 张姣, 陈桂宏, 李建辉, 等. 车用改性聚丙烯材料耐刮擦性能研究进展[J]. 化学与生物工程, 2017, 34(12):1-3.
- Zhang Jiao, Chen Guihong, Li Jianhui, et al. Research progress in scratch-resistant property of automotive modified polypropylene materials[J]. Chemistry & Bioengineering, 2017, 34(12):1-3.
- [7] 陈兴江, 罗筑, 刘一春, 等. 马来酸酐接枝聚丙烯与成核剂提高聚丙烯/滑石粉复合材料性能的研究[J]. 塑料工业, 2010, 38(8):59-62.
- Chen Xingjiang, Luo Zhu, Liu Yichun, et al. Study on improvement of mechanical properties of PP/talc composite by PP-g-MAH and nucleating agent[J]. China Plastics Industry, 2010, 38(8):59-62.
- [8] Duan J, Dou Q. Investigation on β -polypropylene/PP-g-MAH/surface treated talc composites[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2013, 130(1):206-221.
- [9] 黄晓明, 孟成铭, 范潇潇, 等. 耐刮擦聚丙烯共混物的制备和性能研究[J]. 塑料工业, 2011, 39(11):101-103.
- Huang Xiaoming, Meng Chengming, Fan Xiaoxiao, et al. Preparation and performance research on scratch resistant PP blend[J]. China Plastics Industry, 2011, 39(11):101-103.
- [10] 傅轶, 唐昌伟, 彭志宏, 等. 耐刮擦、软触感聚丙烯的制备与表征[J]. 合成材料老化与应用, 2015, 44(4):22-25, 38.
- Fu Yi, Tang Changwei, Peng Zhihong, et al. Preparation and characterization of scratch resistant, soft tactile polypropylene[J]. Synthetic Materials Aging and Application, 2015, 44(4):22-25, 38.
- [11] Fink J. Lubricants for polyethylene[M]//Handbook of industrial polyethylene and technology. [S.l.]:The American Ceramics Society, 2017:877-888.
- [12] 胡宝山, 金滢, 丁树岩, 等. 聚丙烯耐划伤性的研究进展[J]. 合成树脂及塑料, 2006, 23(1):63-65.
- Hu Baoshan, Jin Yan, Ding Shuyan, et al. Progress in studies on scratch resistance of PP[J]. China Synthetic Resin and Plastics, 2006, 23(1):63-65.