

中国民用飞机航空材料和材料标准体系研究探讨

Discussion of Aeronautical Material and Its Specification Used to China-Made Civil Aircraft

中航工业西安飞机工业(集团)有限责任公司 刘久战 蔡安 张晓静 李旺波

[摘要] 航空材料是航空产品的物质基础,纵观我国目前民用飞机的选材特点和现状可以发现,我国现有民机型号选材大部分都在选用国外材料和国外材料标准。国产民机不用国产材料的现象不能不引起我们的思考。从分析国内、外先进航空材料标准的特点入手,探寻出国内航空材料及材料标准体系不适合民用飞机发展的主要缺陷和障碍,并提出构建我国民用飞机航空材料及材料标准体系的新思路。

关键词: 民用飞机 航空材料 材料标准体系

[ABSTRACT] Aeronautical materials are a base of aircraft, from the status quo and feature of materials selection in China-made civil aircraft, we can see that no or few China materials and its specifications are used. This status quo has to be discussed by all of us. From analyzing and contrasting the feature of AMS and our current aeronautical material specifications, some shortage and barriers that restrict developing of our civil aircraft to our current aeronautical materials and specifications are moused out. At last, a new think to develop our aeronautical materials and specifications used to our civil aircraft is put forward.

Keywords: Civil aircraft Aeronautical material Specification

航空材料是航空产品的物质基础。航空材料标准是规定航空材料产品应达到的各项性能指标和质量要求的标准化文件。航空产品的特殊性意味着航空材料的特殊性,也意味着衡量其各项性能指标和质量要求的材料标准的特殊性。民用飞机高的可靠性、安全性、经济性、先进性和一些其他特殊要求,使得民用飞机对航空材料以及材料标准的要求更加苛刻。对飞机产品建立专门的航空材料以及材料标准并实行单独管理对于航空制造行业的健康可持续发展意义重大。当然,诸如有关材料方面的术语和定义标准、试验标准、计量标准、工艺标准、专用手册等,也是发展航空产品不可缺少的重要文件,所有这些适用于飞机产品的材料标准以及相关文件组成了一个有机的整体,也就是通常我们所说的航空材料和材料标准体系。这个体系是航空制造行业

生产的重要技术基础之一。如果我们民用航空行业没有一个健全、强大的航空材料和材料标准体系,我们的民机要想快速发展并走向世界无疑相当困难。

我国的航空产业经历了从修理、引进、仿制到改进、改型和自行设计研制的发展历程。用于制造航空产品的各种航空材料以及材料标准也经历了类似的发展历程。由于军用飞机和民用飞机是两套完全不同的理念设计,而我国现有的航空材料和材料标准基本是在满足军用飞机的研制和生产的过程中发展和建立起来的,因此我国目前的航空材料及材料标准体系还远不能适应新型民用飞机的研制和生产。随着我国综合国力的不断提高,民用飞机包括大型民用客机的研制摆到了我们面前,如何做好我国民用飞机已成为新一代航空人的历史使命。纵观目前我国民用飞机的选材特点和现状,我们不难看出,我国民用飞机型号几乎全部选用国外材料和材料标准。这些国外材料应用于大到主结构件,如机翼、蒙皮、长桁、梁,小到普通螺栓、销轴、涂料(油漆)、橡胶件、润滑脂,甚至包括普通工具、螺钉等几乎所有的飞机零部件及系统。国产民用飞机在选材时一边倒地“崇洋媚外”到底是什么原因?因此,必须尽快对我国现有航空材料和材料标准体系不能适用民机发展的不利因素开展深入研究,从而探寻一种有效的改进措施,使我国民用飞机上使用的航空材料和材料标准真正立足于国内。

1 美国航空材料和材料标准体系特点简介

美国在航空材料及材料标准体系方面的研究走在世界的前列。根据资料介绍,美国航空材料及材料标准体系的管理和建设部门主要是SAE(汽车工程师协会)下设的宇航材料分会。该部门主要负责起草和编制宇航材料规范(AMS)。当然,AMS不仅只有材料标准,还有相当数量的有关航空材料试验、测量以及工艺等方面的标准,有关这方面的大部分通用标准在美国还有一个被称作材料与试验协会(ASTM)的部门负责。从一定意义上来说,ASTM标准是AMS的基础,这两类标准相互补充,共同组成了美国的航空材料及材料标准体系。

SAE 成立于 20 世纪中期,经过半个多世纪的发展,SAE 编发的各种 AMS 材料标准已发展成为世界航空器制造企业公认且普遍采用的材料标准。欧洲、日本、巴西等国家的民用飞机上都大量使用满足 AMS 的材料。我国新型民用飞机上也已大量采用按 AMS 生产的材料,其先进性、通用性、可执行性等诸多优点得到了飞机设计部门、材料制造厂、飞机用户和适航部门的普遍认可。美国早期的部分联邦标准(如 QQ 标准)、军用标准(MIL 标准)如今也在标准标识前增加了“AMS”标记,这些现象足以说明 AMS 的影响力和先进地位。总结各类 AMS 可以大致看出其具有以下几方面的优势。

1.1 标准体系涉及材料种类齐全,涵盖面广

AMS 的数量在各国航空材料标准中最多,其所涵盖的材料种类相对齐全,包括航空器上使用的各类金属材料、非金属材料、通用复合材料等几乎所有类别。不仅如此,AMS 中还包括大量相关的工艺标准、试验标准、公差和质量控制标准、成品件标准等。例如在特种工艺标准中,涵盖了热处理、焊接、表面处理、表面强化、腐蚀防护等;在成品件标准中,包含了弹簧、紧固件、标准件在内的几十余种零件标准。此外,AMS 标准还包括航空维修用的一些特殊材料的标准以及相关试验方法标准等,如晶粒度、压力实验、微量元素控制、取样等都囊括在内。近年来,AMS 注重了特种工艺标准的发展,尤其是热处理、表面处理、焊接等专业的标准制定速度加快,以热处理标准为例,涉及钢、高温合金、铝合金、钛合金、铜合金等的 AMS 标准也达到了相当数量。

1.2 标准的通用化程度较高

AMS 具体标准是基于材料本身的自然属性和特点、性能和使用条件制定的标准,虽然其通常称为宇航材料规范,但编制内容并不限于材料在航空飞机、发动机或机载设备上具体应用部位或产品的型号类别,这不仅有利于材料在各个行业的推广应用,甚至在不同的国家也可以实现通用。此外,AMS 和 ASTM 组织协作创建的 UNS 材料统一编号体系(每个合金的编号由 1 个字母和 5 个数字组成),提供了一种方便其他协会、贸易组织、用户和生产者使用的材料牌号对应手段,为材料选用、快速检索、电子化和横向对比金属和合金的数据提供了可能。AMS 标准通用性好是其被广泛接受和采用的重要原因之一。

1.3 标准制定、修订率较高,维护及时

AMS 标准每年发布 2 次标准索引有效目录(分别在年度的 1 月和 7 月)。根据对 2002 年度 AMS 标准有效目录的统计情况分析,AMS 在该年度的标准平均制修订率(标准制定和修订的数量占标准总数的百分比率)已达到 10% 左右,标准制修订数量接近 250 项。但

具体到各专业是不平衡的,其中金属材料及特种工艺标准制修订率较高,而非金属材料标准的制修订率则较低。但总的来说,AMS 标准的制修订率较高,维护及时,这是世界上其他材料标准所不能做到的。

1.4 标准的有效性管理科学

根据近年来的 AMS 标准目录可以看出,AMS 标准的状态大致可以分为 3 类:有效标准、非现行标准、作废标准。其中有效标准大多数修订周期不超过 5 年,有少数标准甚至 1 年就换一次版;非现行标准属于限期标准之列,这类标准会及时地从体系中清理出并加以标识,以防止该类标准在新机设计选材时采用;作废标准由于标准涉及相关的产品已停止生产和使用,或已被同类标准(AMS 标准或其他协会相关标准)所代替,这类标准的编号和名称会及时从宇航材料规范的有效目录中去除,并不再进行 AMS 专业委员会的年度复审。这个特点比较适合航空产品的不断更新,对型号的可持续发展提供了有效的保障。另外,标准版次采用字母识别,非常利于产品的可持续性发展。只需注明标准编号,使用中通常采用最新版次,很少存在因标准版次更新而引起频繁更改图样的情况。

1.5 标准体系管理科学

AMS 标准是由专业协会制定的文件,由一个专门的管理团队负责。团队下设专门机构和人员负责开发、编制和修订相关标准。这个团队是保证所有 AMS 标准技术先进以及能够长期有效运行的首要前提。

1.6 标准的认可程度高,可执行性强

目前世界上已知的众多型号的民用飞机以及航空零部件或多或少都在采用 AMS 标准。波音 747、A320、CRJ、ATR42、ARJ、C919、MA60 等不胜枚举。许多世界著名的材料制造厂常常以能生产符合 AMS 材料标准的材料来提高其知名度和生产实力。AMS 标准也得到了 FAA 等适航部门的广泛认可,这一点对民用飞机产品来说可能至关重要。另外,AMS 标准的编号的科学性以及维护的合理性也为不同飞机制造公司、不同型号的设计及改进改型、适航审批、运营以及维护提供了有力的便利条件。这些都是我国大部分材料标准所不具备的。

1.7 材料性能数据齐全

美国 MMPDS-03 手册(前期版本为 MIL-HDBK-5)中列出了飞机上用到的几乎大部分金属材料的设计数据,并且所涉及的材料标准 98% 以上都是 AMS 标准。通过查阅具体 AMS 材料标准,这些数据有一部分是来自 AMS 标准,但还有相当一部分并不包含在具体的 AMS 材料标准中,但可以肯定,AMS 标准的管理机构一定是提供并管理这些数据的重要部门之一。

以上分析表明,AMS 标准体系优点非常多。AMS

标准即被航空材料制造厂普遍采纳,也被波音、空客等大多数飞机设计、制造公司认可,同时也被材料生产厂/供应商、航空公司、军方、适航当局、质量审查部门等普遍认同,在航空行业内甚至被称为“用户规范”。

2 国内航空材料和材料标准体系现状

我国经过几十年的发展,初步建立了可以满足我国各种军用飞机研制和生产的一部分材料及材料标准。国内航空材料方面的专家通过大量的研究和积累,总结出了很多宝贵的知识财富,如编制了大量的航空标准(HB)、大量的国家军用标准(GJB)以及分布在诸如冶金、化工等行业标准中的大量材料标准,还有诸如《航空材料手册》、《飞机设计手册》等很多有关航空材料使用方面的资料。这些标准和资料为我国军用飞机的设计、材料生产和采购起到了非常巨大的作用。

然而,从我国各类飞机上所有使用的材料标准来看,我们几乎很难看出我们国家民用航空材料体系的影子。各种材料的材料标准的编号分属各自的行业,如金属材料材料标准主要分布在国家标准(GB)、国家军用标准(GJB)、冶金标准(YB)、有色标准(YS)中,而非金属材料材料标准更趋复杂,主要分布在化工标准(HG)、石油标准(SY)、轻工业标准(QB)、纺织工业标准(FZ)等各行各业的标准中,还有相当一部分材料为各种材料生产厂的企业标准以及不同飞机设计单位自行编制的企业标准(如XMS、YMS、CMS)。我国航空行业的标准(HB)中有关材料的标准少之又少,很难满足飞机对材料和材料标准的大量需求。从一定意义上来说,民用飞机设计人员只是从我国各行各业的标准中搜寻适用于自己需要的材料及材料标准,专用于飞机产品的航空材料及其材料标准体系基本还没有建立。

我国目前应用于航空产品上的材料以及材料标准主要有以下特点:

(1) 材料牌号多、乱且重复。

我国的材料体系是建立在仿制的基础上的。我们先后从原苏联、英国、美国等引进过航空产品,每引进一个航空产品均要仿制一大批相关国家的材料与标准,致使多国材料云集我国,造成了“四多四少”的严重局面。即:低水平材料多,高水平材料少;仿制国外材料多,国内新研材料少;用途单一材料多,一材多用材料少;研制材料成果多,工程化应用材料少。据不完全统计,我国现有各类航空材料的牌号约2000余个,居世界之首。如研制和生产的高温合金牌号有近100个,几乎是世界航空用高温合金牌号之总和。仅涡轮盘用高温合金先后共研制13个牌号,其中仿苏4个,仿美、英、法6个,自行研制3个。处在同一性能水平有7个,真正

适应并具有不同性能水平档次的只有4个牌号。根据《航空材料选用目录》所载,在我国各类航空产品上所用的结构钢共有131个牌号,不锈钢有81个牌号。编入《航空材料手册》的结构钢只有47个牌号、不锈钢36个牌号。纳入国军标的结构钢与不锈钢分别仅有38个和32个。大部分钢号是在近10多年引进国外航空产品过程中仿制的,有的仅在1~2个产品上制作1~2个零件,用途单一,用量极少,目前大部分是按企业标准或型号标准进行试生产。在所仿制的国外材料中,存在严重的重复仿制现象。如主要用做齿轮的渗碳钢,重复仿制了7个钢号;主要用作压气机叶片与盘的马氏体不锈钢,重复仿制了6个。典型的例子有:仿英国的16Ni4CrMoA和仿法国的16Ni3CrMoA 2个渗碳钢;仿美国的0Cr15Ni5Cu4Nb和仿俄国的0Cr15Ni5Cu2Ti 2个沉淀硬化不锈钢;仿英国的1Cr12Ni3MoV和仿法国的1Cr12Ni3Mo2V 2个马氏体型不锈钢等。上述钢种二者之间的成分和性能几乎完全相同,只是由于引进的机种来自不同的国家,国内各厂所之间缺少必要的沟通和分析研究,花费了大量的财力与人力。

(2) 材料标准编制单位众多,并且主要是材料生产企业,标准可执行性较差。

如前文所述,目前国内飞机上所采用材料的材料标准主要分布在国家标准(GB)、国家军用标准(GJB)、航空标准(HB)、冶金标准(YB或YS)、化工标准(HG)、石油标准(SY)、轻工业标准(QB)、纺织工业标准(FZ)等各行各业的标准中。这些材料标准基本都是由某些材料生产企业负责起草和编制,编制标准的目的很难说清,编制的标准往往以自己企业的技术水平为依据,很难代表整个行业的技术水平。当然,还有相当一部分材料为各种材料生产厂的企业标准以及不同飞机设计单位自行编制的企业标准(如XMS、YMS、CMS),但这些企业标准却因各种原因很难实现有效执行,有些企业标准甚至连编制单位也不执行的现象也很常见。我们常常引以为自豪的国内航空标准(HB)中有关材料的材料标准少之又少,并且几乎没有几个厂家愿意执行。正是这些原因给飞机设计的材料管理、设计选材以及材料生产、采购造成了巨大困难,使本来因航空产品批量小而造成对材料需求量少的矛盾更加突出。

(3) 材料性能数据以及资料“少、缺、散”现象严重。

大多数材料只有表征其性质与特征的基本性能数据,少数仿制材料甚至只有技术标准中规定的部分力学性能数据。随着损伤容限设计思想的发展,对零件所用材料的性能数据提出了更高的要求。我国的材料普遍缺少按损伤容限设计的性能数据和按可靠性概率设计所需的统计性能数据,如A基值和B基值等。零部件

材料在使用环境温度、介质、疲劳及应力综合作用下的有效性能数据更是缺少。此外,在航空材料质控、鉴定、验收、定寿、延寿等实际应用中,缺乏统一管理的航空材料数据手册或者数据库,材料性能数据处于分散状态,无法做到资源的共享,造成不同厂所之间很多重复工作以及人力、财力等方面的巨大浪费。

(4) 材料的实物质量低。

当前国内生产的航空材料,从材料标准规定的质量指标来看,基本上达到或接近国际水平,但材料的实物质量却普遍低于国际水平。主要表现在不同炉批的材料,其成分与性能虽然符合材料标准规定,但波动范围大,材质的一致性、均匀性和稳定性较差。由于受国内不同材料生产厂相关工艺技术水平、设备能力以及材料生产批量等的限制,材料冶金质量的稳定性、均匀性及一致性较差,导致材料性能数据分散,离散系数大。

(5) 材料标准缺乏必要的系统管理和维护。

材料标准编制机构众多以及机构频繁变更等原因使得相当多的同类材料标准编号众多、编制风格迥异、编制质量参差不齐,难以在生产和使用单位内部实现统一管理,给材料及材料标准选用带来了相当大的困难。另外,由于缺乏必要的系统管理和维护,标准陈旧、无法执行的情况在国内任何一类标准中比比皆是。我们有很多航空标准(HB)至今仍是手写版本,很多标准已经找不到部门管理,有些已查不出替代关系和有效性。

(6) 材料和材料标准以及相关资料得不到国外用户、适航部门的认可。

我国各类材料和各级材料标准在国外飞机上的使用可以说寥寥无几,相反地,我们在大量采用国外航空材料和材料标准,甚至包括我们所不熟知的日本 JIS 材料标准。我们国家发布的各类标准几乎很少考虑在飞机产品上的应用,因而国内适航部门几乎没有介入,因而,可以说根本谈不上被适航部门认可和批准。

(7) 缺乏必要的认可/批准等管理程序和机构,材料以及材料标准难以在民机上开展实质应用。

一方面,国内研究的新材料难以在民用飞机上开展应用,这主要是由于我国新材料的研制和开发成果一般都是针对某一个型号在开展。这些研究成果一般只适用于具体型号(主要是军用型号),目前几乎没有一个部门可以站出来说这种新材料可以用在民用飞机上。这给我们民机选材带来了巨大困难,很多情况下我们只能望“国材”兴叹。另一方面,随着国际化的发展,国外的先进材料信息也随之而来,但由于没有相应的部门来鉴定和认可,我们企业内部的鉴定程序仅仅进行一些验收试验,不代表对该材料的鉴定,国外很多成熟材料的应用在某些时候也陷入困境。

3 我国航空材料和材料标准与国外相关技术的差距根源

总结以上国内外航空材料和材料标准体系的特点,不难看出我国航空材料和材料标准与国外航空材料和材料标准体系之间存在着巨大差距。通过分析这些差距,我们认为造成这些差距的主要根源可以概括为以下几点:

(1) 行业内建立我国民用飞机设计用航空材料以及航空材料标准体系的意识不强。

(2) 追求眼前利益,忽视基础技术研究和积累的重要性。

(3) 缺乏系统研究国外航空材料和材料标准体系运作的模式、结构、过程等的专业团队。

(4) 现有人力和资源过于分散,难以形成集合力量来持续研究和发​​展适合于我国民用飞机发展的航空材料和材料标准体系。

4 研究方法和内容探讨

结合美国 AMS 体系的特点,我们认为中国民用飞机航空材料和材料标准体系的研究和建立可以从以下几方面着手开展:

(1) 从行业顶层乃至国家层面上树立重视材料基础技术研究的科学理念。

技术基础强大是一个国家永远强大的基石,强大的技术基础是对手永远攻不破的坚强堡垒。

(2) 组建一支专门研究和管理中国航空材料和材料标准的组织机构和团队。

组织机构和团队是一切系统工程的基础,没有基础或者基础不牢固就可能半途而废,也可能使已有的成果化为乌有。借鉴国外基于行业协会编制、管理航空材料及材料标准的方案和运行模式,制定由行业协会编制和管理材料标准,可能更能适合我们目前整个航空行业对材料发展的需要。

(3) 逐步编制民用飞机所适用的航空材料和材料标准体系方面的专业标准、数据手册、数据库等资料和文件,跟踪前沿技术,积极维护和更新已有的资料 and 文件。

除了航空材料标准,大量航空材料方面的基础标准、工艺标准、试验/检测标准、质量标准、手册、指南等也是飞机设计、制造、维护的依据和准则。

(4) 研究航空材料的准入/鉴定制度。

在统一航空材料标准的前提下,由标准的管理和制定组织或者组织指定的专业机构对材料进行符合性鉴

(下转第 76 页)

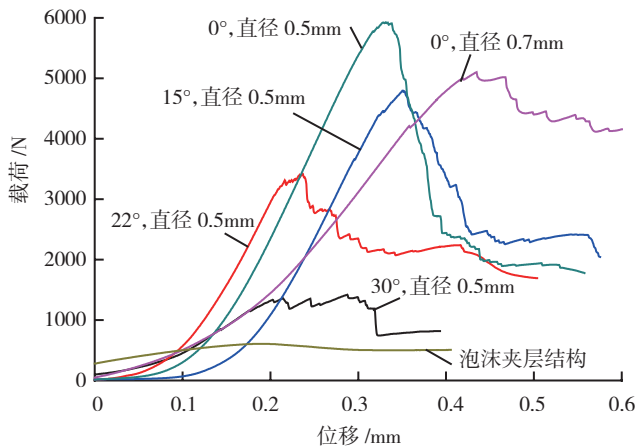


图9 X-cor夹层结构的压缩载荷-位移曲线图

Fig.9 Typical compression load-displacement curve of X-cor sandwich structure

单元,很好的解决了多轴联合运动的精度,以及运动动作联动协调性等问题。以 WinXP 作为系统控制的核心平台,在 BCB 环境下编写了 X-cor 自动植入机应用软件系统,确保了数控加工关键任务的实时效率。实现了 X-cor 自动植入机的基本功能,并初步研究了 Pin 直径、Pin 植入角以及 Pin 分布密度等参数对 X-cor 夹层结构压缩性能的影响。结果表明,Pin 可以大幅度提高 X-cor 夹层结构的压缩性能,同时提高断裂韧性。

参考文献

- [1] 黄涛. 缝纫泡沫夹层复合材料力学性能研究 [D]. 西安: 西北工业大学, 2004.
- [2] 杜龙. X-cor 夹层复合材料力学性能研究 [D]. 西安: 西北工业大学, 2007.
- [3] Carstensen T, Cournoyer D, Kunkel E, Magee C. X-Cor advanced sandwich core material[R]. //Proceedings of the 33rd international SAMPE technical conference, Seattle, WA, November 2001.
- [4] O'Brien K T, Paris I L. Exploratory investigation of failure mechanisms in transition regions between solid laminates and X-Core truss sandwich. Compos Struct 2002, 57: 189-204.
- [5] Vaidya U K, Kamath M V, Hosur M V, et al. Low velocity and compression-after-impact response of pin-reinforced sandwich composites. Am Soc Mech Engrs, Mater Div (Publ) MD 1999, 86:1-10.
- [6] Cartie' D D, Fleck N A. The effect of pin reinforcement upon the through-thickness compressive strength of foam-cored sandwich panels. Composites Science and Technology, 63 (2003): 2401-2409.
- [7] Marasco A I, Cartie D D R, Partridge I K, et al. Mechanical properties balance in novel Z-pinned sandwich panels: Out-of-plane properties. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, Volume 37, Issue 2, February 2006: 295-302.
- [8] Kalidindi S R, Abusafieh A, El-Danaf E. Accurate characterisation of machine compliance for simple compression testing. Exp Mech 1997, 5-210.

(责编 可岚)

(上接第 71 页)

定。这样不仅可以避免目前大量的重复工作和浪费,而且对于材料的快速应用意义巨大。

(5)加强与国外航空材料及材料标准管理部门、国内外适航管理部门等机构的交流和密切合作,及时调整相关政策和方向。

一成不变的不具有定期更新的航空材料和材料标准以及相关资料是非常不利于航空行业发展的。不断开展与国内外适航管理部门、国外 AMS 机构以及其他类似机构的交流和合作,促进中国民用飞机航空材料和材料标准体系进入国际市场,这些都是保证建立的航空材料和材料标准体系健康、良性可持续发展的关键。

(6)研究我国航空材料和材料标准被国外材料制造厂和飞机制造企业认可的方案。

只注重眼前利益对企业乃至国家来说是一种浪费。航空材料和材料标准被国外材料制造厂和飞机制造企业认可是我们必须达到的目标,也是我们国家航空材料和飞机产品走向世界的基础保证。

5 预期研究成果

开展中国民用飞机航空材料和材料标准体系研究将产生如下预期研究成果:

(1)为我国民用航空产品有关材料基础技术的可持续发展构建一个良性发展的组织机构和工作团队。

(2)编制出适合我国民用飞机设计、制造、维护等方面可以使用的航空材料各类标准、手册和指南,基本解决中国民用飞机目前存在的航空材料和标准方面面临的大部分问题和困难。

(3)基本解决目前我国民机发展中有国内材料和材料标准使用所面临的不利局面。

6 展望

仿制、国产化的路子我们已走了几十年,这种模式使得我们的产品基本不具有竞争力,并且严重制约了我们自主创新的思维,使我们忽视了基础技术的积累以及健康可持续发展。我们再不能把研究重点只放在制造出一个型号的飞机上来,我们必须清醒地看到我国的民用飞机为什么不大量采用我国的航空材料和材料标准? 我们的航空材料和材料标准为什么不被自己和别人接受? 必须花大力气来重点来研究我们自己的材料基础技术,只有真正解决并处理好了这些问题,才有可能扭转我国制造的民用飞机全面采用国外材料和材料标准的尴尬局面,才有可能真正实现我国民用飞机的跨越式发展,带动我国航空材料制造企业乃至整个材料行业做大做强理念。

(责编 夏宛)