

# 大型商用飞机炭刹车盘材料的应用进展

季光明

(上海飞机设计研究院标准材料设计研究部,上海 200235)

Application and Development of Carbon Brake Disc Materials for Commercial Aircraft

Ji Guangming

(Standard & Materials Department of SADRI, Shanghai 200235, China)

**摘要:**炭刹车盘材料具有质量轻、摩擦特性好、使用寿命长、吸热能力高等一系列优良特性。从20世纪70年代问世以来,炭刹车盘复合材料的研制和应用总共经历了五代发展历程,已经成为商用飞机炭刹车副的首选材料,被广泛应用于空客和波音系列飞机。经过几十年的发展,国内炭刹车材料取得了长足的发展,已经作为PMA件应用于B757和A320机型,但仍需进一步提高国产炭刹车材料的密度均匀性、质量一致性、抗氧化涂层的可靠性及降低生产成本。

**关键词:**炭刹车盘材料;商用飞机;发展历程;技术规范

**[Abstract]** From the 70 years of the 20th century(1970s), the research and application of carbon brake disc composite has experienced five generations. C/C composite material has become the first choice of carbon brake disc for commercial aircraft and has been widely used in Airbus and Boeing because of its excellent features of light weight, good friction characteristics, long life and high heat-absorbing capacity. The domestic carbon brake material has made considerable development after several years of development, and has been used as PMA in B757 and A320. However, the further improvement of density uniformity, quality consistency of domestic carbon brake material, anti-oxidation coating reliability, and low cost technology is necessary.

**[Key words]** carbon brake disc material;commercial aircraft;course of development;technical specification

## 0 引言

为保证安全起降和有效制动,现代飞机采用了盘式制动装置,刹车盘是制动装置的主要部件,飞机刹车盘与发动机同为飞机A类关键零部件,飞机炭刹车盘通过动盘和静盘的摩擦行为,满足飞机地面减速控制,提供飞机的地面机动性,其具有停机刹车、差动刹车、自动刹车、正常刹车、应急刹车、起落架收上时主轮的止转刹车等功能。<sup>[1-2]</sup>

飞机炭刹车盘将飞机刹车时的动能转换为热能,既要求其具有较好的摩擦磨损特性及高的吸热能力,又要求其具有足够的强度,以满足结构设计的需求,因此,其材料要求是集结构、摩擦、吸热三种功能于一体的工程材料。炭刹车盘的性能直接关系到飞机在起飞和着陆过程中的安全性,对飞机的安全运营具有重要影响。<sup>[3-4]</sup>

早期的刹车盘是以粉末冶金材料为主体制造而成,习惯上称为“金属基”。金属基刹车盘存在刹车时热应力大、易开裂,变形磨损增大,摩擦性能不稳定以及刹车偶粘结等缺点。为适应刹车盘越来越高的要求,出现了以炭/炭复合材料为基体的刹车盘,习惯上称为“炭刹车”。

炭/炭复合材料具有质量轻、摩擦特性好、使用寿命长、吸热能力高等特点,与金属刹车盘比较,炭

刹车盘质量可减轻40%,寿命可延长3~5倍,具有高可靠性和可维护性。波音737飞机改用炭/炭刹车材料后,和金属基相比减重320kg,空客A330、A340使用炭/炭刹车材料后,减重约1000kg<sup>[4-5]</sup>。

此外,炭刹车还具有高温强度高、导热系数高、比热大、热膨胀系数小、每次飞行磨损少和使用温度高等一系列优点。如在1000℃时钢的抗拉强度仅为14MPa,炭/炭复合材料的抗拉强度达80~380MPa。由于炭/炭复合材料的导热系数比钢高,因此炭刹车比金属刹车散热快。室温时炭/炭复合材料的比热为钢的150%,当温度达到1000℃,炭/炭复合材料的比热比钢大一倍以上。室温至500℃时炭/炭复合材料的平均线膨胀系数仅为钢的1/4。炭刹车片每次飞行磨损为0.0015mm/面·次刹车,而钢刹车片则为0.0050mm/面·次刹车,钢刹车片每次飞行磨损比炭刹车片高3倍以上。钢的使用温度通常在900℃以下,而炭/炭复合材料可以在3000℃下使用。炭/炭复合材料的一个非常重要的特性是其力学性能与热物理性能随温度升高而提高,而金属材料,无论是钢、铁、钛等均随温度提高而其力学性能却明显下降,其另一个优点是抗热冲击性能好,据计算,炭/炭材料的抗热冲击系数为831,而钢约为100,石墨仅为21。

由于炭刹车装置的优异性能,使其在飞机中得

到广泛应用。以民用飞机为例,使用炭刹车装置的飞机有空中客车系列 A300、A310、A318/A319/A320、A321、A330、A340,波音系列的 B747、B757、B767、B777,麦道系列 MD90、MD82 及福克尔 F100、BAE146 等机型。因此炭刹车盘的问世被认为是刹车材料发展史上的一次重大突破,炭刹车的采用已成为衡量航空机轮水平的重要标志。

### 1 商用飞机炭刹车盘材料应用现状

炭/炭复合材料作为摩擦材料,其中大部分用于制造飞机刹车装置。国外在这一方面的研究和应用起步较早,大多在上世纪六、七十年代就开始进行飞机炭/炭刹车装置的研制、开发工作。如美国的 ABS 公司 1966 年进行了首套炭/炭刹车装置的实验室试验,1970 年签订了第一份炭/炭刹车装置生产合同。英国邓禄普公司 1968 年进行了第一套炭/炭刹车装置的室内试验,1973 年为“协和”飞机提交了第一架份炭/炭刹车装置。法国米歇尔-布加迪公司和法国 SEP 公司合作,1968 年进行了首套炭/炭刹车装置室内试验,1979 年开始为幻影 2000 配套炭/炭刹车装置。美国的古德里奇、ALS 公司及俄罗斯的尼古拉菲特公司在七十年代都具备了炭/炭复合刹车

材料的生产配套能力。进入八十年代后还有一些公司加入了竞争,如美国的 HITCO 公司、法国的 Le Corbone Lorraine 公司、德国的 SIGRA GmbH、日本的 Sumitomo 和 Kobe 等,还有一些较小的公司。但是到目前为止,飞机炭刹车盘的国际市场仍然由英、美、法三国的四大公司米歇尔-布加迪公司、古德里奇公司、霍尼韦尔公司、MEGGITT 公司垄断。

米歇尔-布加迪公司作为最早涉足飞机炭刹车盘材料研究的国家之一,占有较大的市场份额,生产的炭刹车盘不仅用于空客系列 A300、A310、A318、A319、A320 飞机,还用于 B767-300、B777-300ER、B777-200LR、B787、B737NG 系列飞机。其炭刹车盘先后经过五次技术更新,使用寿命逐步提高,单次着陆成本逐渐降低,其低重量、高性能优势明显,总体处于国际领先水平,是国外炭/炭刹车盘生产、发展的主要代表。其各代产品更新的特点详见表 1。经过 20 多年的发展,米歇尔-布加迪公司飞机炭刹车盘技术已较成熟,截至 2006 年 1 月,已有 134 家运营商和 1 314 架飞机装了 sepcarb 8131853R 炭刹车系列产品,炭刹车盘的装机套数达到 2 200 套,累计刹车着陆次数已达到 3 600 万次。

表 1 法国 Messier-Bugatti 公司飞机炭刹车盘的发展历程

代次	开始应用时间	预制体	致密工艺及高温处理	垫片厚度	钢夹	应用机型	起落次数
第一代	1985	预氧丝 2D 织物	SA3D 均热法 CVI 致密工艺 >2 000℃ 高温处理	15mm	全包炭键齿钢夹	A300 A310 A320	1 000
第二代	1996	针刺预氧丝 3DNovoltex 织物	sepcarb 8131853R 均热法 CVI 致密工艺 >2 000℃ 高温处理	15mm	全包炭键齿钢夹	A319 A320	1 600
第三代	1999	针刺预氧丝 3DNovoltex 织物	sepcarb 8131853R 均热法 CVI 致密工艺 >2 000℃ 高温处理	25mm	全包炭键齿钢夹	A318 A319 A320	2 200
第四代	2002	针刺碳纤维 Naxeco 织物	sepcarb 8131853R 均热法 CVI 致密工艺 ≤2 000℃ 高温处理	25mm	全包炭键齿钢夹	A318 A319 A320	2 355
第五代	2007	针刺碳纤维 Naxeco 织物	sepcarb 8131853R 均热法 CVI 致密工艺 ≤2 000℃ 高温处理	25mm	H 型钢夹	A318 A319 A320	/

我国对炭/炭复合材料的研究也始于上世纪 70 年代,至今已近 40 年历史。先后从事该领域研究与开发的单位主要有 7 家,分别为:西安超码科技有限

公司、湖南博云新材料股份有限公司、华兴航空机轮公司、陕西蓝太航空设备有限责任公司、北京百慕航材高科技股份有限公司、北京北摩高科摩擦材料有

限公司和烟台冶金新材料研究所。表2为国内主要研究单位在大型飞机用炭刹车副方面的生产和研发现状。

表2 国内主要研究单位在大型飞机用炭刹车副方面的研究现状

单位名称	机型
西安超码科技有限公司	B757-200 已取证、应用 A320 已取证、应用
湖南博云新材料股份有限公司	B757-200 已取证、应用 A320 已取证、应用
华兴航空机轮公司	A320 已取证
北京百慕航材高科技股份有限公司	麦道90 已取证、应用 A320 研制、取证阶段
陕西蓝太航空设备有限责任公司	B757 研制、取证阶段
北京北摩高科摩擦材料有限责任公司	A320 研制、取证阶段
烟台冶金新材料研究所	A320 研制、取证阶段

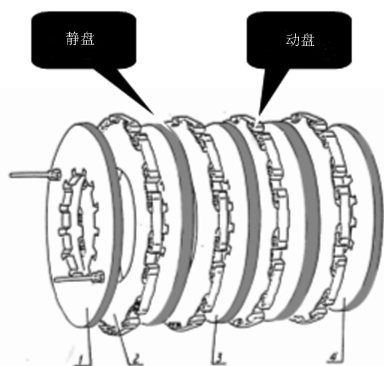


图1 炭刹车副示意图

## 2 技术标准

国外成熟的刹车副制造商均有针对炭刹车材料的测试标准和炭刹车副的台架试验技术规范,对于具体机型如波音 B757、A320 等,都有主起落架机轮和炭刹车的地面动力试验台模拟试验验证技术规范。但各公司均将其作为技术秘密,没有公开发表。由于国外在本行业实行技术封锁,目前我国没有统一、成熟的商用飞机用炭刹车材料性能测试规范、炭刹车副产品台架模拟试验验证技术规范 and 炭刹车副产品使用寿命评估试验技术规范。

飞机炭刹车盘是飞机刹车系统中重要的易耗件。到目前为止,国际市场飞机炭刹车盘全部由美、

英、法三国四家公司所垄断,国内只有 A320、波音 B757 等机型采用部分国产 PMA 件。目前,我国企业在进行 PMA 件适航符合性验证时,都根据中国民航局适航司发布的“运输类飞机炭刹车盘替换件合格审定符合性方法”(AC-25-AA-2008-02)形成了各单位的试验大纲,但国内还没有形成统一的、完整的大型商用飞机炭刹车副符合性验证方法。

## 3 国内炭刹车材料发展建议

根据国外炭刹车材料技术的发展和国内企业的生产实践,要保持和提升我国在该领域的国际竞争力,国内企业仍需在以下四方面进一步发展和提高。

1) 由于炭刹车材料表层和中心存在较大的密度梯度,表层密度较高,耐磨性好,中心密度较低,耐磨性较差,导致炭刹车材料在使用前期磨损较小,使用后期磨损偏大,因而影响了炭刹车材料的使用寿命,需进一步提高炭刹车材料密度的均匀性。

2) 由于同炉产品装炉位置、同一产品纤维铺设均匀性和内外径沉积顺序等原因,产品质量和性能存在较大波动、不一致,需进一步提高产品质量的一致性。

3) 抗氧化涂层性能是影响炭刹车材料可靠性和使用寿命的一个重要因素,国外在原有抗氧化涂层配方技术的基础上,已发展了新一代抗氧化涂层配方技术,具有更理想的对炭刹车材料附着性和高低温抗氧化效果。而国内目前所采用的抗氧化涂层,其氧化失重率偏高,抗氧化效果影响到产品使用后期的可靠性和耐磨损性,需开发新一代的抗氧化涂层技术。

4) 进一步提高化学气相渗透的速度,缩短生产周期,降低生产成本,使我国炭刹车材料具有更好的经济性。

### 参考文献:

- [1] 苏君明,肖志超,孟凡才,等. C/C 复合材料飞机刹车盘的结构与性能[J]. 新型炭材料,2006,21(1):81-89.
- [2] 肖志超,孟凡才,张键. C/C 复合材料抗氧化涂层[P]. 中国专利:ZL200310115 119.5,2006.
- [3] 郭领军,李贺文,薛时. 短切碳纤维增强沥青基 C/C 符合材料的力学性能[J]. 新型炭材料,2006,21(1):36-42.
- [4] Schmidt D L, Davidson K E, Theibes L S. Unique application of carbon/carbon composite material [J]. SAMPE, 199,35(3):27-39.
- [5] 邹志强,汤中华,熊杰. 用热梯度式 CVD 增密技术制造 C/C 复合刹车盘[J]. 新型炭材料 2000. 15(2):22-27.