

国际科技合作课题 论文集

SELECTED PAPERS IN SCIENTIFIC AND TECHNICAL
INTERNATIONAL COOPERATION PROGRAM



中国航空航天研究院

CHINESE AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS ESTABLISHMENT

30907205

V1-53

01

V2

HK5614

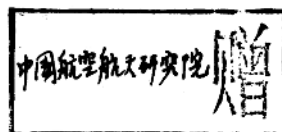
国际科技合作课题 论文集

SELECTED PAPERS IN SCIENTIFIC AND TECHNICAL
INTERNATIONAL COOPERATION PROGRAM

(2)

中国航空航天研究院

CHINESE AERONAUTICS AND
ASTRONAUTICS ESTABLISHMENT



航空工业出版社

AVIATION INDUSTRY PRESS

1990



C0065044

309072-5

V1-53

01

V2

国际科技合作课题论文集

(2)

《国际科技合作课题论文集》编辑部编

航空工业出版社出版发行

(北京市和平里小关东里14号)

航空工业出版社印刷厂印刷

1990年9月第1版

1990年9月第1次印刷

850×1168毫米 1/16

印 张: 20.25

印数: 1—2000

字 数: 613千字

ISBN 7-80046-233-1/V·047

祝中德航空科技合作
进一步向前发展

CAE与DLR合作十周年纪念

何文治 1990.

May the SINO / GERMAN Cooperation in
Aeronautical Science and Technology Step
forward in Progress!

On the 10th anniversary of CAE / DLR
cooperation

He Wenzhi

1990

庆祝中德航空科技合作十周年

友谊与合作并茂

徐昌裕

一九九〇年三月

Congratulations on the 10th anniversary of the
SINO / GERMAN cooperation in aeronautical
science and technology

Friendship Develops With Cooperation

Xu Changyu
Mar., 1990

DLR 执委会主席克勒尔教授、博士的

贺 电

科学技术研究是现代社会的的重要组成部分,它的重要性今后还将与日俱增。科学和技术本身没有界限,它们属于全人类,而不是某个人或某个民族的私产。中德两国在民用航空研究领域的合作,具体而生动地体现了这两个方面。

飞机——我们共同研究的主题,是现代和未来交通运输的手段,未来的十年或十二年,全世界对飞机的需求将增加一倍。为了迎接这一挑战,这方面的研究工作现在就·必须开展。

科学研究不承认极限,它超越常规的认识和国家的边界。科学技术的这种全球性也反映在飞机上。飞机,俨然同思想和理论一样,可以毫无阻拦地飞越传统的国界,飞越坦途和樊篱,真是天高任鸟飞。飞机使我们联想到另一个事实:航空研究和发展需要复杂和昂贵的设备,为了分担费用和使效益倍增,这个领域的研究应该合作进行。

这正是中德两国在民用航空研究方面进行合作的宗旨。十年前开始的·合作是一个明智的、富有远见的决策。我要感谢政界和科技界所有参与这项决策并努力付诸实施的人,我也要感谢为这项决策的实现创造条件的人。愿这些条件在我们今后的合作中得到更大的发扬。

Message of Greetings

by

Prof. Dr. Walter Kroell, Chairman of the Executive Board
of the German Aerospace Research Establishment (DLR)

Scientific and technological research is a key element in our modern world and its importance will continue to increase in the future. Science and technology have no immanent limits. They are universal and they are not the private property of persons or nations. The Chinese-German cooperation in the field of civil aeronautical research covers both aspects in a specific and dynamic way:

An aeroplane—central object of all our common research—symbolizes the means of modern and future communication and transportation. Its worldwide demand will double within the next ten or twelve years. To meet these challenges, research in this field has to be done now.

Research does not accept formal limits, it crosses borders of conventional knowledge and nations. This global character of science and technology is represented by the aeroplane, too. Free as a bird, it crosses traditional borders, exactly like thoughts and theories, notwithstanding paved ways or fences. And the aeroplane reminds us of another fact: Aeronautical research and development need sophisticated and expensive instruments. To share the cost and to double the outcome, research in this field should be done in cooperation.

That is exactly what the Chinese-German cooperation in the field of civil aeronautical research is aiming at. It was a wise and clear-sighted decision to start this cooperation ten years ago. I think to thank all those in politics and science who made that decision and all those who worked hard to fill it with life. I wish to express my gratitude to those who created the conditions which made that decision possible. May such conditions prevail in our future cooperation.

约尔丹教授、博士的

祝 辞

我梦想一个充满和平的世界：各国互相尊重对方的利益和国情；人民之间努力相互理解；各个团体友好合作；个人在友谊中工作和生活。当我醒来时，我意识到它离我们还很远。

当我们两国政府在本世纪 70 年代末签署科学技术合作协议的时候，两国人民之间加强相互理解的一扇门打开了。我至今记忆犹新，1979 年 3 月应 CAE 的邀请，我们 DLR 代表团访问 CAE 各研究所时，我们是何等地欣喜。我感到我们跨过这个大门迈出了第一步。

1980 年 4 月 15 日徐昌裕院长和我签署了在民用航空研究领域开展合作的专门协议，这是我们两个机构迈出的第二步。我们成了合作的伙伴。

自那时以来，在合作的路途上我们又迈出了几百步。相互尊重和理解已成为现实。共同工作使我们成为伙伴和朋友。当看到这一切日益成为现实的时候，我深深地感谢那些为之而奋斗的人们。

Greeting Address

by

Prof. Dr. Hermann L. Jordan

My dream of a peaceful world is about nations respecting each other's interests and positions, people striving for mutual understanding, organizations cooperating in mutual partnership, and individuals working and living together in friendship. When awake, I realize that there is still a long way to go.

When the governments of our two nations signed the treaty for scientific and technological cooperation in the late seventies of this century, they opened the door for a better mutual understanding between our two people. I still remember how I was delighted when a delegation of DLR was invited to visit CAE-institutes in China in March 1979. I felt, that this was the first step through the door.

President Xu Changyu and I signing the special agreement for cooperation in the field of civil aeronautical research on April, 15th, 1980, our two organizations made the second step. They became partners.

Since then hundreds of further steps have been made through that door. Mutual respect and understanding became reality. Working together brought individuals together as partners and friends. To see all this as a growing reality now, fill me with deep gratitude towards those who make my dream come true.



上 中华人民共和国副主席王震于1980年4月在北京以原副总理身份接见参加CAE/DLR第一次联委会的部分中德代表

Mr. Wang Zhen, Vice Chairman of P.R. China, was receiving the participants of the 1st Meeting of CAE/DLR Joint Committee in Beijing in April, 1980. He was then the Vice Premier of the State Council

右 原CAE院长徐昌裕先生、原DLR院长约尔丹教授正式签署双方在民用航空领域内合作的专门议定书

Mr. Xu Changyu, Former President of CAE, and Prof. H. L. Jordan, Former President of DLR, were signing the Special Protocol on Civil Aeronautical Research Cooperation between CAE and DLR





原航空部吕东部长会见参加第一次联委会的全体CAE/DLR代表

Mr. Lu Dong, Former Minister of the Ministry of Aviation Industry, was meeting the participants of the 1st Meeting of CAE DLR Joint Committee



1981年联邦德国科技部航空航天司司长施特鲁博访问CAE

Dr. - Ing. Strub, MinDirig of the Federal Ministry of Research and Technology visiting CAE in 1981



参加第十次联委会的CAE/DLR全体成员

Participants of the 10th Meeting of CAE/DLR Joint Committee



何文治院长、克罗尔院长于1989年6月签署第十次联委会纪要

Prof. He Wenzhi, President of CAE, and Prof. W. Kröll, Chairman of the Executive Board of DLR, signing the Minutes of the 10th Meeting of CAE/DLR Joint Committee



左 在DLR材料研究所工作的CAE专家
CAE scientists working in the
Institute of Material Research,
DLR

右 在CAE沈阳空气动力研究所工作的
DLR专家

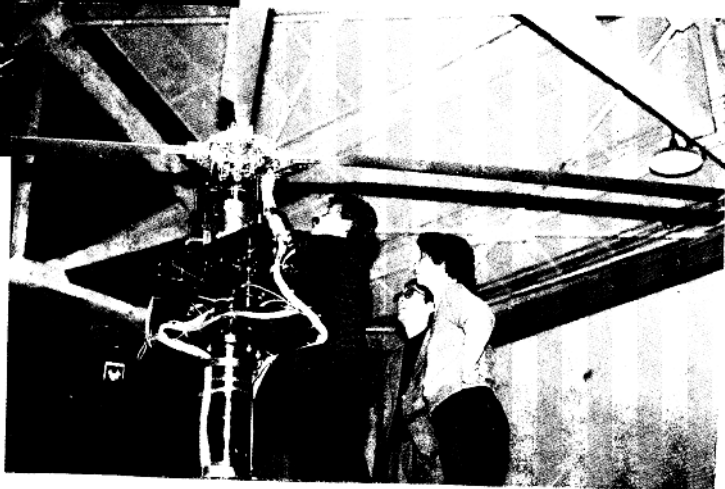
DLR scientists working in Shen-
yang Aerodynamic Research Ins-
titute, CAE



左 在CAE哈尔滨空气动力研究所工作的
DLR专家
DLR scientists working in Har-
bin Aerodynamic Research Ins-
titute, CAE

右 中德专家在中国直升机设计研究所旋
翼台上共同工作

Chinese and German scientists
working together on the Rotest
at the Chinese Helicopter Design
Research Institute



目 录

CONTENTS

新型天地往返运输系统面临的问题	(1)
Challenges for New Space Transportation Systems	(18)
碳 / 环氧复合材料层板的疲劳力学损伤模型和寿命预测	(26)
Fatigue of Graphite / Epoxy Laminates Mechanistic	
Damage Model and Life Prediction	(44)
静态与疲劳载荷下复合材料损伤过程的研究	(55)
Damage Development in Composite Materials under	
Static Loading	(60)
真空吸铸工艺制造 CVD SiC 纤维增强铝	(65)
Vacuum Suction Casting Process for CVD SiC Filament	
Reinforced Aluminium	(69)
碳纤维增强树脂基复合材料的热循环试验	(72)
Thermal Cycling of Carbonfiberreinforced Resin Systems	(78)
碳纤维 / 环氧复合材料分层扩展的层间 II 型能量释放率	(83)
Interlaminar Mode II Energy Release Rate for Delamination	
Growth of Graphite / Epoxy Composites	(102)
循环载荷下复合材料的损伤过程	(117)
Damage Development under Cyclic Loading	(134)
热熔法制备预浸料树脂基体的研究	(142)
The Development of Resin Matrix for Hot-Melt Prepreg	
Preparation	(147)
碳 / 碳复合材料的抗氧化复合涂层	(152)
A Multilayered Coating Designed for Protection	
Carbon-Carbon Composites from Oxidation	(157)
一种韧性和工艺性能良好的新型双马来酰亚胺树脂	(161)
A New Bismaleimide Resin with Good Toughness	

and Processability	(165)
CVD 碳化硅纤维涂层对 CVD SiC / Al 复合板材拉伸性能的影响	(169)
Effect of the Coating of CVD SiC Fiber on the Mechanical	
Properties of the CVD SiC / Al Composites	(176)
碳纤维 / 环氧复合材料的温、湿度效应	(181)
Effects of Temperature and Moisture on Carbon Fiber / Epoxy	
Composites	(187)
复合材料机翼的数值优化结构剪裁	(192)
The Structural Tailoring of Composite Wing by Numerical	
Optimization	(202)
工程小裂纹扩展规律的试验研究	(211)
An Experimental Study for Engineering Small Crack Growth	
Behavior	(216)
碳纤维 / 环氧复合材料典型铺层的热膨胀系数及其复合计算	(220)
Thermal Expansion Coefficient of Carbon Fiber / Epoxy Composites	
with Typical Layups and Their Compound Calculation	(229)
玻璃纤维复合材料冲击特性研究	(236)
The Behavior of Laminated Glass Fiber Composites by Weight	
Dropping Testing Method	(243)
低压铸造纤维增强金属基复合材料浸渗过程研究	(247)
A Study of Infiltration for Low Pressure Casting PRM	(258)
碳纤维四官能团环氧-二氨基二苯砒 / 复合材料共固化工艺的研究	(265)
Investigation on Cocuring Technology of Carbon	
Fiber / TGDDM-DDS Composites	(272)
含 La 铝硅共晶强制性稳态生长间过渡过程的研究	(278)
Transition Process between Two Steady States of Growth of La-	
Containing Al-Si Eutectic under Constrained Condition	(286)
低压铸造纤维增强金属的制造与浸渗分析	(292)
Infiltration Analysis and Fabrication of Fibre-Reinforced	
Metals by Low Pressure Casting	(301)
编后语	(308)
Postscript	(308)

新型天地往返运输系统面临的问题

DLR 结构力学研究所 H.W.Bergmann

一、引言

新型天地往返运输系统是一种起飞时不再依靠一次性使用垂直发射火箭(像暴风雪、赫尔姆斯航天飞机那样)的天地往返运输系统。它是一种能重复使用,水平起飞、着陆,并可在地球任何地方以最短的时间来回飞行的飞行器。

发展这类飞行器的主要目的是期望降低目前昂贵的发展费用,由每公斤有效载荷送入飞行轨道的10000美元降到2000美元。全世界对此都深感兴趣,美国、西欧、日本、印度以及苏联均已开始进行这方面的研究。

本文对美国国家航天飞机(NASP)、英国的HOTOL空天飞机和联邦德国的桑格尔(SAENDER)空天飞机等项目的特点进行综述,并论述有关材料与结构问题。

二、NASP、HOTOL及SAENDER空天飞机综述

1. NASP

NASP(图1)是一种大胆构想的单级入轨飞行器,它准备采用超音速燃烧冲压发动机(SCRAMJET)将飞行器推进到 $M=25$ 。超音速燃烧冲压发动机是一种新的推进概念,对于NASP,要达到自己最高的理论极限值,需要花很高的代价和冒很大的风险。NASP能否单独靠超音速燃烧冲压发动机进入轨道的问题尚未解决。

除发动机发展问题复杂外,机身本身的设计也有许多难题,主要由于飞机上升与再入产生极高的气动热,导致在驻点时的温度要超过 2500°C ,在选材上相应地提出了很高的要求。

西欧的观念是在一些方面要降低要求,一方面由于财力不如美国,另一方面技术基础也稍差。HOTOL和SAENDER空天飞机计划则是先靠涡轮加冲压发动机将飞行器推进到 $M=5\sim 7$,随后采用火箭发动机入轨。

2. HOTOL

英国的HOTOL计划(图2)是一种预计有效载荷为7吨的单级入轨飞行器,是以将卫星放入低地轨道为首要任务的不载人空天飞机。HOTOL采用比较独特的发动机,它由冲压发动机接通火箭发动机推进并能返回地面。这种发动机的远景发展目标是超轻型化,以便将四或六台一组集装在机身内。

在机身前部装有液氢贮箱,机身的横截面近似圆筒形,采用翼身融合结构和专用发动机舱,以减轻再入时温升,液氧箱是机翼结构分隔成的独立容器。水平起飞借助于火箭推进轨道车系统。

对双功能发动机的细节所知尚少,据报道,RB545发动机(图3)是一种比协和号飞机的奥林波斯发动机的功率更大的型号,但质量要轻1000kg,然而,它可能又要被一种更新的SATAN发动机所取代。

应当说明,HOTOL计划已获得英国宇航公司和罗·罗公司的大量投资,但直到1988年,政府只给予不定期的少量资助。

HOTOL 计划有其自身的优点,但主要缺点是可达到的有效载荷量有限,提高载荷的潜力很小,而通过改变设计和制造技术又可能带来严重危害。

3. SAENGER

联邦德国的桑格尔计划(图4)是一种双级入轨系统,该计划可追溯到40年代,1985年DLR提出采用尤金·桑格尔的思想。

在技术上,桑格尔飞机要进入低轨道没有大的问题。由一组涡轮-冲压发动机将载机推进到 $M=6.8$,在该处轨道飞行器与载机分离。飞机的大部分表面的最高温度为 600°C ,局部热点温度可达 1100°C 。从材料角度,在钛合金表面涂上有有机硅类涂层便能适应这样的温度。除分离段外,其气动负荷与超音速运输机差不多。

分离后,第二级依靠火箭发动机推动上升并进入倾斜位置。上升时的机动飞行可能会受到级间的气动干扰,这是研究的主要范围。在与高级部分分离后,载人的低级部分将返回地面,可在民机跑道着陆。

高级部分载人飞机的有效载荷可能是7吨,而载货型飞机的有效载荷可能是10吨,它与赫尔姆斯及其他再入飞行器有许多相似之处,因此,可从已有技术中吸取经验。

德国人看到桑格尔计划有两方面优点:①两级飞行器都在理想和熟悉的环境条件下工作;②低级部分很容易改变成超音速运输机。当然,对后一个问题还要证实,是否真正存在超音速运输机的商业市场。如果有,在桑格尔飞机问世时,市场是否已经为美国或日本的产品抢先占领。

毋庸置疑,没有一个单独的欧洲国家能单独接受发展新型空天飞机的财务负担,这自然要求由几个欧洲国家来联合筹办,并在欧洲航天局(ESA)领导下工作,更理想的是由美国和西欧制订联合研究计划。

不过这样一种联合组织,每个独立成员单位的作用,仍决定于它的技术力量。尤其是联邦德国,希望改变过去那种表面上轰轰烈烈,而实际上对空天飞机计划投资有限的局面,要真正成为一个更有影响和能起主导作用的国家。

在这样的背景下联邦德国对桑格尔计划的承诺便容易理解。当前研究工作包括了DLR所做的贡献,在空气动力学、材料研究和结构领域的贡献尤为显著。这些研究工作基本上都有通用性,即适用于桑格尔计划,又可用于其他新型天地往返运输系统。带普遍性的问题之一是为在超高温条件下工作的结构件开发新型材料和新的设计概念。

三、材 料

广言之,材料可分为:各向同性和均质材料及各向异性和非均质材料两大类,金属是前一类材料的代表,而复合材料则是后一类材料的最好代表。由于科学、技术和经济的发展,所有这些材料都在不断改进之中。

1. 先进金属材料

现代金属材料所显示的性能,不超过其理论数值的30%,而现代碳纤维材料已达到将近理论值的70%的水平。因此,金属材料仍有很大的发展潜力^[1]。下列几类材料的发展尤为重要:

——高强度的铝锂合金已导致在降低密度的同时又提高了材料的硬度。在克服初期的加工困难后,正利用快速凝固技术来生产锂含量高的新合金,为进一步降低密度而努力。

——虽然对粉末冶金的前景仍有争议,但已经完成的合金成分的研究,其前景十分诱人,特别在改善腐蚀和提高温度性能方面,铸造冶金不能与之相比。

——改进难熔金属是发展的一个目标,因为它们的熔点很高,尽管挥发氧化物和脆性问题还待得