

论现代飞机强度专业之时代内涵与发展使命

王彬文

飞机强度专业始终是人类航空 115 年腾挪跌宕发展历史的重要见证者，也始终以自己日新月异的蓬勃发展为人类飞行做出了卓越贡献，为科学发展和技术创新做出了重要支撑。党的十九大报告为我们明确了建设社会主义现代化强国的奋斗目标，提出了培育世界一流企业和实施创新驱动发展战略的要求，航空工业与时俱进地明确了基于“三大使命”和“两步走”的航空强国战略，提出了“八个坚持”的行动纲领和“五个坚决”的战略任务。在这个大背景下，我国现代飞机强度专业的时代内涵与发展使命是什么？这是一个值得也必须深入思考的问题。

强度专业属于哪一领域？这是必须思考的首要问题。在人类科学发展的早期，科学家和工程师是无法分开的，比如牛顿不仅是物理学家，还是一位结构工程师。随着人类发展进入 19 世纪，科学在资本主义时代得到了迅速发展，科学家和工程师“分手”了，两者之间交流与合作愈来愈少。进入 20 世纪，人类在实践中逐步认识到对科学的认识

演进为广义的自然力，从这个意义讲，现代飞机强度专业应属于广义力学领域和航空技术领域。

在研究领域发生变化的同时，飞机强度专业研究的重点也在发生变化，从人类实现飞行梦想到上世纪末，飞机强度专业研究的重点在技术科学范畴，而且其研究成果有力地推动了自然科学的发展，引领了航空工程技术的进步。21 世纪以来，飞机强度专业理论体系日益完善，专业研究的重点则逐步转向工程技术范畴。随着航空科技的发展，飞机已由传统机械系统演变为现代飞控系统使能的半自动化系统，目前正向人-机交互系统发展，未来将向智能系统方向演进，飞机强度专业将面临诸多挑战，在克服这些挑战的同时也将被赋予更多新的内涵。

强度专业的内涵是什么？这是必须思考的第二个问题。在现代科学和工程技术领域，强度是一个传统、古老而基础的专业名词，然而自始至终强度缺少一个清晰、明确而科学的内涵。百度百科解释如下：材料在外力作用下抵抗破坏（变形和断裂）的能力称为强度。显然这是一个通俗易懂但无法让强度专

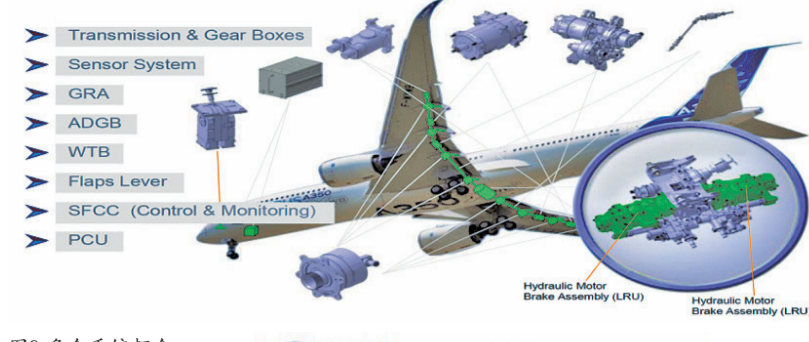


图3 多个系统耦合。

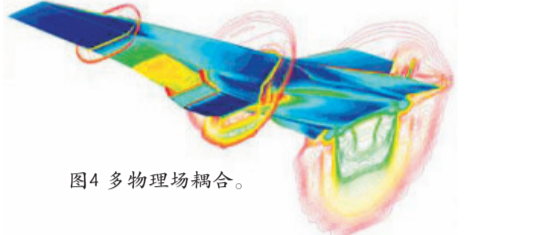


图4 多物理场耦合。

阐释专业内涵的前提和基础。

那么强度专业的发展趋势是什么呢？我们不妨从研究对象、研究方向和研究手段三个维度分析一下。首先是研究对象，过去我们讲强度，必然讲结构强度，往往强度成为结构强度的代名词，似乎结构是强度研究的唯一对象，但随着航空技术的发展，飞机强度的研究对象已经从过去较为单一的结构，演进为涵盖材料、结构、智能结构、设备、系统、全状态飞机的大范畴，我们称之为大强度，如气动弹性专业和气候适应性专业的研究对象就是全状态飞机；其次是研究方向，过去我们讲强度，更多是研究其安全性，飞机强度研究的方向已经从过去较为单一的安全性，演进为安全性、稳定性、可靠性、舒适性、适应性、生存性等相互交融，我们称之为新强度，如航空声学专业和高升力综合验证专业；最后是研究手段，航空发展百余年来，强度研究手段从最初的解析法发展到工程法，再到数值法，进入 21 世纪之后，其研究手段已经全面演进为基于模型的数字化阶段，我们称之为数字强度。综上所述，现代飞机强度专业发展总体上在研究对象、研究方向和研究手段三个方面，呈现出大强度、新强度和数字强度的发展趋势。显而易见，现代强度内涵中的外力应该是一个广义的外力，抵抗破坏更应该是一种广义的破坏。强度的广义内涵应该这样阐述：研究对象在设计状态下保持其目标品质的能力。

强度专业的发展现状如何？这是我们当前需要清醒认识的问题。在航空发展的 110 多年历史中，强度专业的发展一直伴随着飞机（结构）设计准则的变迁。静强度设计、安全寿命设计、破损安全设计、损伤容限设计、广布疲劳损伤设计，这些设计准则的一路演进正是基于强度专业的发展，这种态势与大强度、新强度、数字强度的发展趋势共同前进，伺机稳定性、结构适应性、系统可靠性、乘员舒适性、气候适应性、战伤生存性等必以其特有的形式进入飞机设计准则，成为飞机设计不可或缺的重要元素。无疑这些元素会呈现出融合和交叉的特点，在矛盾交织的态势中，多学科综合优化将显得尤为重要。

从 20 世纪末到如今近 20 年时间，无疑是飞机型号研制和专业技术发展的黄金时段。在型号研制方面，国家相继成功研制歼 10、歼 15、歼 20、运 20 和 C919 等一大批新型军民飞机，攻克了一大批强度关键技术，构建了完备的积木式验证体系，形成了

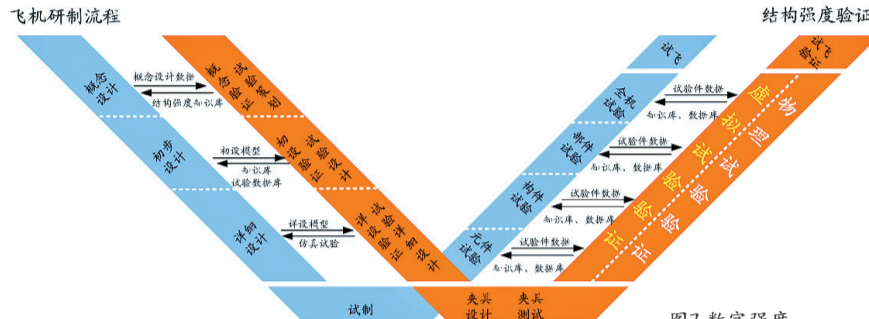


图7 数字强度。

系统的强度专业能力。在专业体系方面，通过一大批政府和军方预先研究项目的完成，强度专业研究深度得到进一步加强，研究广度得到进一步拓展，专业体系得到进一步完善，突破了振动疲劳、空腔噪声、虚拟试验等一批基础理论瓶颈，攻克了多物理场耦合、飞发一体化、振动主动控制等一批交叉学科研究难关，填补了气候适应性、结构冲击、结构/机构可靠性等一批新兴专业的建设空白。

与此同时，调研结果表明，这么一个大的时代背景给飞机强度专业人员的学习和培养带来了较大的变化。一是人才类型的变化，过去航空工业需要大量具有坚实力学基础的结构或强度工程师从事强度设计、分析和试验等工作，现在这些工作仅需要部分工程师使用 CAE 软件进行强度分析计算即可完成。二是知识结构的演变，过去结构或强度工程师需要掌握坚实的理论力学、材料力学、结构力学等知识，而现在工程师仅需要不多的力学知识，更多的是需要有限元知识和软件使用能力。透过现象看本质，以上变化仅仅是种种肤浅之表象，面对需要独立探索和自主研制的新一代飞机，强度工程师既需要宽广深厚的知识结构，更需要对材料、制造、控制、隐身等技术的深刻理解，特别需要优秀的建模能力。第五代战斗机和高超声速飞行器研制所面临的强度关键技术挑战便是最好的证明。

强度专业的使命是什么？这一直是航空工业强度所长期以来思考的问题。“十三五”初期，强度所明确提出强度专业的使命：强度理论的探索者，强度技术的创造者，强度工具的提供者，强度设计的验证者。这不仅仅是强度所的使命，更应该是强度人的使命，请大家注意此处的“强度人”是个广义的概念。为深入践行使命与担当，强度专业未来尚需做好以下四个层面的工作。一是做好基础理论的探索与研究，这包括传统学科和新兴学科两个方面的探索，如耐久性与损伤容限、振动/冲击

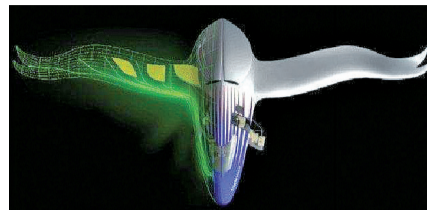


图5 大强度（智能）。

Test Number	Test Location	Number Of Shots
1,2	Wing Root	6
3	Full Wing Shot	1
4	All Side of Body	1
4A-C	All Side of Body	1
4A-C	Forward Fuselage (Lower)	18
4B	Around Bay	18
4C	Forward Fuselage (Upper)	18
4D	Around Bay	18
4E	Wing Leading Edge	4
4F	Main Wheel Well	4
4G	Wing Attachment Bay	2
7	F/F Fuel Tank	13
11	Aluminum Bay	13

图6 新强度（易损）。

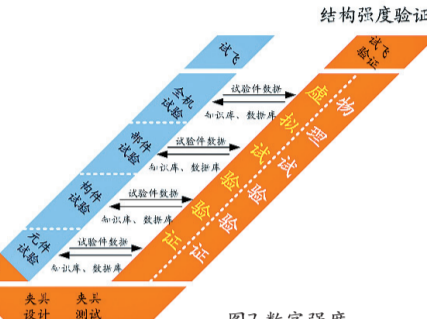


图8 全机落震。

疲劳和智能结构强度等方向基础理论探索与研究；二是做好交叉学科与新兴学科的新技术创造工作，如多场耦合分析与实验技术、气候适应性设计与评估技术、智能结构设计、高升力系统可靠性分析与实验技术等；三是做好工具的研制或编著工作，如通用设计/分析/实验软件、专用设计/分析/实验软件、数据库、手册、指南等；四是做好强度设计的实验工作，如型号研制和强度研究中的实验技术与体系的创新、研究性/研制性/验证性试验等。

在做好以上工作之外，还有一项极其重要，却又容易被大家忽视的关键性工作——强度专业体系的规划梳理和知识传承。这项工作关系到专业的体系规划、宏观布局和微观协调，能够系统总结强度专业技术新发展，全面促进知识传承和知识共享，有力支撑强



图9 虚拟试验。

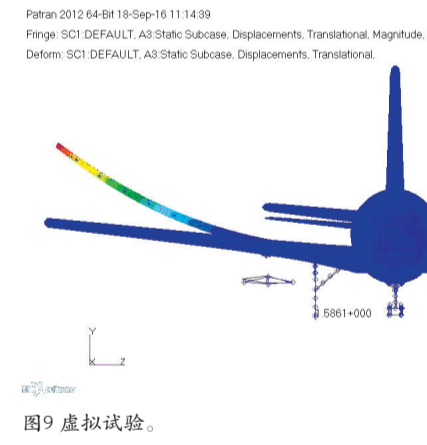


图9 虚拟试验。

度技术人员快速成长，为我国的飞机研制和强度专业的发展提供有力的技术和知识支持。做好这项工作需要启动强度专著“三个一工程”，即再版一批有影响力的强度技术专著，翻译一批国外强度技术经典著作，编著一批高水平的强度技术新著作，在“十三五”期间分批出版发行。出版这套丛书，一是要从宏观上理清现代飞机强度专业所属的领域，揭示专业的本质内涵，剖析专业的发展趋势，基本清晰描绘新时期飞机强度专业的脉络和体系；二是要通过系统总结近年来飞机强度专业研究和型号研制的新成果与新经验，以及修订再版和翻译经典权威著作，解决飞机强度专著出版现状与专业发展和型号研制水平不协调的问题，实现飞机强度专业研究和型号研制的成果共享和知识传承；三是要通过“三个一工程”来应对未来飞机强度专业发展和型号研制所面临的技术挑战和人才挑战，既要让专业技术人员知晓历史和现状，又要让其明晰机遇和挑战，要通过这批专著使技术人员兼具“上手快”和“有后劲”的优点；四是要通过“三个一工程”初步构建起飞机强度专业知识体系，并通过后来者的不懈努力使之日益科学化、系统化、创新性、完善化。

强度是最符合东方哲学中庸之道、和谐统一的专业，强而有度，张弛有道，从狭义的机械力到广义的自然力，强度专业的发展始终充满着生命力。《礼记·中庸》中讲“中立而不倚，强哉矫！”《道德经》中讲“知人者智，自知者明。胜人者有力，自胜者强。”这些都给予我们专业发展无尽的智慧。科学是一门艺术，既要让专业技术人员从哲学意义上讲是万物之灵魂，对强度而言，度是永恒之追求，过之一分显拙，欠之一分则险！从艺术与灵魂、韵与恒的角度诠释强度，是专业的最高境界，“强之韵，度之恒”是强度人永恒的追求，祝愿飞机强度专业薪火相传、继往开来、日新月异、蓬勃发展，为航空强国战略目标实现贡献卓越力量。

（本文作者系航空工业强度所所长、结构冲击动力学航空科技重点实验室主任）



图1 狭义的机械力。

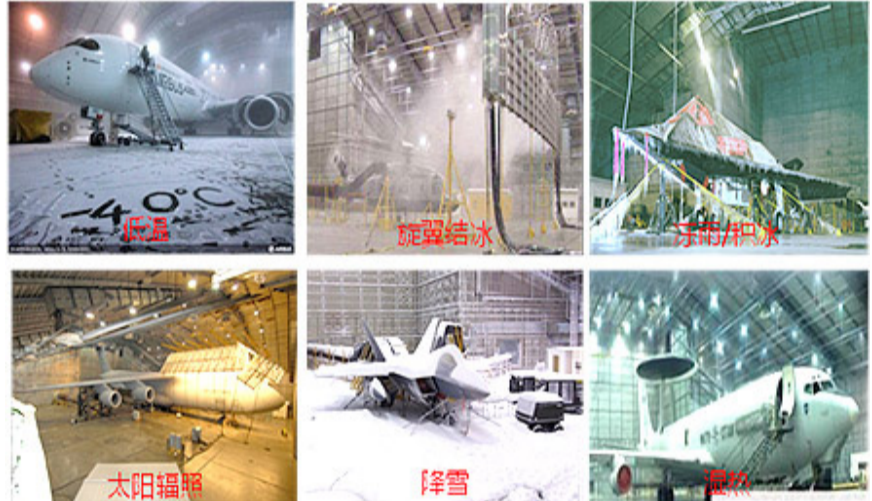


图2 广义的自然力。

和应用不可能从自然科学直接跨越到工程技术，而必须历经技术科学这一中间阶段，以顺应人类科技发展从工程推动科学发展向科学引领工程前进的重大转变。发展至此，人类形成了自然科学、技术科学和工程技术三大范畴相辅相成的科学技术体系认识。

强度专业从力学衍生而来，深耕于工程技术，得到了快速发展，以技术科学诞生为界，之前其属于力学领域（自然科学范畴）和工程技术领域，之后则属于工程力学领域（技术科学范畴）和工程技术领域，飞机强度专业自然属于工程力学领域和航空技术领域。但这是基于传统理念的分析界定，已不再符合现代飞机强度专业的研究内容，因为飞机强度专业的输入已经从狭义的机械力

业研究人员满意的阐述。马克思将力学称之为“大工业时代的真正科学的基础”，恩格斯则将力学称作“最基本的自然科学”，而源于力学的强度专业具有很强的基础性和广泛的应用性，随着科学技术的发展，强度的内涵理应与时俱进，能够精准涵盖专业面临的新问题和新挑战。例如，随着飞行速度越来越高，使用环境和操控形式越来越复杂，人们开始密切关注结构、控制、环境之间的耦合作用，由高超声速飞行器发展引出的静、热、振、噪多场耦合问题，以及随着飞机全空域飞行、跨地域部署带来的气候环境适应性等问题等。这些强度新问题的解决必将带来专业的新发展，促使强度专业的内涵得到深耕广拓。综上所述，理清专业发展趋势应是准确

航空航天材料市场规模 2022年将达到258亿美元

近期，航空航天防务新闻网发布了名为《2022年前航空航天材料市场的全球预测》市场研究报告。报告显示：全球航空航天材料市场规模预计到 2022 年将达到 258 亿美元，2017 年至 2022 年的年复合增长率为 6.9%。

随着航空航天技术的进步，发展新一代轻量化、更节能、更环保的商用飞机将成为未来的趋势。全球航空商旅业务正在经历持续的增长，航空客运、货运等领域在未来几年持续的高需求，将促进航空制造业发展。



生产更多的飞机也预示着制造业对航空航天材料的需求不断提升。由于全球的航空航天零部件制造商对材料的高需求，亚太、欧洲和北美地区航空航天材料市场正在持续走高。

复合材料是继铝合金材料后，使用最广泛的航空航天材料。复合材料是由两种或多种不同的材料结合在一起，融合每种组分材料优异性能而形成的。其中一种组分是基体材料，通常为树脂或陶瓷，另一种组分是增强材料，通常为纤维。航空航天领域中广泛使用的复合材料与传统材料相比具有多项优势，如重量轻、生产效率高、挥发性有机化合物排放量较低、耐腐蚀性更好，等等。随着新一代航空航天飞行器，特别是如波音 787、空客 A350 等民用客机的需求日益增多，以及环保问题的日

益突出，复合材料成为解决上述问题较好的解决方案，这不仅带动了材料市场的发展，也为航空航天制造业提供了巨大的发展机遇。

公务和通用航空领域预计会在 2017 年至 2022 年间引领航空航天材料市场的增长。这一领域主要涉及高资产净值个人使用的私人飞机或商旅过程中使用的包机，它也是继军民用航空领域之后的第二大航空航天材料消费领域。该领域呈现增长的主要原因是新兴地区高资产净值个人数量的增加，以及亚太和中东地区公务机的需求增长。根据霍尼韦尔公司和庞巴迪公司的市场预测，到 2024 年，全球范围内预计将会增加约 9300 架公务机，总价值近 2700 亿美元。因此，飞机交付数量的增加也将进一步推动航空航天材料这一细分市场的增长。

按照总价值计算，亚太地区预计将是航空航天材料市场增长最快的区域。预计在未来几年内，其增速将引领全球航空航天材料市场。中国、日

本和印度等位于亚太地区的国家，将会在航空航天领域持续布局，航空航天材料市场也将随之显著增长。这一增长可归因于在该地区不断发展的航空航天工业，增加了整个亚太地区对航空航天材料的需求。日本和印度正分别以原材料获取的便利性和低廉的劳动力成本，大力吸引投资者建设生产设施。此外，随着空运量的增加，以及廉价航空公司数量的增长，未来几年，亚太地区对新飞机的需求也将不断增长，很多航空航天材料供应商都将积极采用各种策略来提供更好的服务，如新产品研发、企业并购、企业合资和战略合作等，以增加其市场份额。

研究报告最后还指出，在未来几年，全球范围内各国国防开支的下降，以及针对先进材料维护、修理和大修的高昂成本，将成为航空航天材料市场增长趋势的主要限制因素。

（陈济舟）

瑞安收购劳达航空 欧洲航空业持续整合

欧洲低成本航空巨头瑞安航空近日宣布，以少于 5000 万欧元（6170 万美元）的价格收购 Niki Lauda 旗下的劳达（Lauda Motion）的控股权，而劳达在今年 1 月份从宣布破产的柏林航空手中购得 Niki 航空，由此瑞安航空间接实现对 Niki 航空的控股。瑞安航空将首期收购劳达 25% 的股份，并计划随后将增持到 75%。实现控股仍需得到欧盟监管部门的批准。

Niki 航空曾是柏林航空的子公司。今年 1 月，英国航空的母公司国际航空集团（IAG）曾想以 2000 万欧元的价格收购 Niki 航空，但未能实现。瑞安航空去年也有意收购已宣布破产的柏林航空，但后者随后被汉莎航空收购。多家欧洲航企都在加码投资奥地利作为其欧洲航空枢纽，IAG 目前计划将维也纳打造成其旗下西班牙低成本航空公司 Vueling Airlines SA 的战略枢纽，而瑞安航空的另一个竞争对手 Wizz Air 也打算增加对维也纳的投资。

瑞安航空表示，Niki 航空的客机将增加到 30 架以上，预计将在接管的第 3 年实现盈利。此次收购有助于瑞安航空增强在德国、奥地利的市场影响力与份额。未来若能拥有 Niki 航空 75% 的股份，瑞安航空与劳达航空合作将进一步深化，实现资源（如机组资源）共享，有助于瑞安航空实现持续扩张。（方欣）

瑞安航空表示，Niki 航空的客机将增加到 30 架以上，预计将在接管的第 3 年实现盈利。此次收购有助于瑞安航空增强在德国、奥地利的市场影响力与份额。未来若能拥有 Niki 航空 75% 的股份，瑞安航空与劳达航空合作将进一步深化，实现资源（如机组资源）共享，有助于瑞安航空实现持续扩张。（方欣）

