

冯建民

在大运研制中，航空工业强度所按照航空强度“积木式”验证体系，在前期完成数以万计的元件级试验、上百件组件级试验后，接下来需要在验证过程中逐步增大试验件尺寸和复杂程度，逐步增加试验规模，这就需要在大部件强度试验。

在大运研制中共规划了十余项大部件强度试验，包括：机翼刚度、后机身（2开门）强度和刚度、复合材料垂尾主盒段静力、翼身组合体传力特性、机翼承载能力及机身中段（5开门）综合试验、结构抗鸟撞、多轮多支柱起落架减震等。这些试验是对前期材料结构选型、设计方案、设计参数、分析模型、制造工艺等的综合验证。通过这些试验研究不仅可以获得大量宝贵的工程数据，化解研制的技术风险，为后续研制阶段奠定坚实的基础，同时也是对试验技术的全面验证。

机翼刚度试验

大运机翼刚度试验目的是测试机翼结构刚度特性，为应力分析、气动弹性和动力响应分析提供试验数据。

该试验是近30年来国内首次进行的大展弦比后掠机翼刚度试验，面临着进度紧、试验技术缺失等诸多困难。为了准确、有效地取得大展弦比后掠机翼刚度特性参数，试验团队提前规划，开展了技术攻关，先后攻克了大展弦比后掠机翼刚度试验支持、纯扭矩和纯弯矩施加、非接触式小位移跟踪测量等关键技术，满足了机翼刚度试验对机身支持模拟、载荷精确和测量精度的要求。

经过强度所等参试单位的共同努力，试验于2010年5月10日开始，仅用时1个月就完成了2种支持、30个工况的试验。通过试验精确地给出了机翼刚度特性参数，并直接被运用于飞机结构建模和分析中，形成的多项研究成果有力支撑了型号研制和强度技术进步。

后机身（2开门）强度和刚度试验（含复材垂尾）

作为大运结构静强度研究中一项重要的试验，后机身强度和刚度试验



后机身五开门试验

千锤百炼 保驾护航

——航空强度“积木式”验证体系介绍之三



机翼刚度试验

是为了探索后机身两门结构弯曲、扭转变形规律，研究后机身两门结构、垂尾结构的承载能力，验证后机身两门结构静强度计算方法的正确性，验证舱门的开启/关闭功能、锁闭安全性。

强度所面临着试验件体积大、载荷大、风险大及试验规模大、加载复杂、安全防护要求高等诸多技术难点和风险。而没有试验场地是当时遇到的最大困难，强度所不等不靠、主动作为，自筹资金紧急修建了121厂房和2100吨米的承力墙，顺利推进了大运研制进程。

从2010年6月23日开始到10月25日，强度所完成了后机身、复材垂尾17个工况试验，取得了宝贵的试验数据，对比了垂尾盒段左右不同复合材料壁板的结构强度特性，发现了

结构薄弱部位，为该型号的设计改进提供了重要依据，也为后续大部件试验积累了宝贵的经验，同时形成了“承力墙减载方法”等专利。

翼身组合体传力特性试验和机翼承载能力试验

翼身组合体传力特性试验是大运研制过程中最重要的一项研发试验。国外大飞机研制经验表明，机翼与机身连接处的载荷分布和传力路径复杂，仅靠分析是无法得到真实特性，因此翼身组合体试验是大飞机研制过程中的重要环节，是大运部件试验项目中最为复杂的一项试验，也是国内规模最大的部件静力试验。

翼身组合体传力特性试验和机翼承载能力试验目的是全面研究机翼、中机身结构以及翼身连接区在典型载荷情况下的强度性能、传力特性，全面检查和验证机翼、机身主承力结构强度分析的方法体系，同时达到对机翼外翼盒段承载能力的验证目的。

该试验规模远超过以往部件试验，而为了解决试验场地问题，强度所在进行后机身强度和刚度试验的同时，紧急启动了试验厂房的建设工作，同步配套建设了先进的测控、电气、广播、

监视及油路等试验子系统。

与以往试验相比，本次试验件为大尺寸、非对称结构，试验载荷施加复杂。为了解决大部件边界载荷模拟、试验支持及大变形加载等技术难点，强度所进行了大型运输机翼身组合体静力试验技术攻关，主要包括：

首次采用大尺寸部件边界载荷模拟技术，解决了大剪力、大弯矩等集中大载荷施加及载荷边界模拟问题。

首次采用翼身组合体试验支持设计技术，解决了无起落架、大吨位的非对称结构试验件静定支持、姿态控制及起吊的要求，满足了大吨位拉向载荷下释放侧向约束、载荷传递的要求，保证了试验安全、顺利进行。

首次大变形加载技术和双层龙门架设计方案，分区解决了机翼加载点行程不足、加载空间有限和干涉等大变形加载技术难题，满足了翼尖变形近4米情况下载荷加载精度的要求。

这些技术在试验中得到了应用和验证，取得了良好效果，保证了试验的顺利进行，并为后续型号试验中同类问题提供了技术积累。

机身中段（5开门）综合试验

该试验是针对后机身五门结构形式进行的研究性试验，其中后货舱门液压控制系统设计原理在前期两门结



翼身组合体传力特性试验

构试验验证的基础上进行了新增和调整，性能参数进行了优化，其试验目的是摸索机身中段五门结构弯曲、扭转变形规律，检查后货舱门开启和关闭功能、气密性和锁闭安全性及液压控制系统总体、结构和货运系统功能和使用性能等是否可靠。

该试验同样面临着载荷大、货舱装载载荷及尾翼载荷等施加困难，尤其是充压容积大、压力高，试验风险和难度很高。为了保证试验顺利进行，强度所在前期2开门试验基础上，进一步研发了大容积充气技术、货舱地板加载技术、尾翼加载技术。试验于2012年2月17日至7月20日完成了9个工况试验，通过试验发现了后货舱门气密设计缺陷，以及收放功能机构与结构刚度设计不匹配、液压系统不稳定等缺陷。

结构抗鸟撞试验

鸟撞是飞机服役过程中的重大安全威胁之一，大运研制过程中，强度所完成了系列关键结构的鸟撞试验，通过试验观测和试验数据，验证了结构的抗鸟撞能力和抗鸟撞设计方法。

强度所突破了高精度鸟撞试验速度控制技术和撞击位置控制技术，实现了鸟撞试验的速度误差率不大于2%，撞击点位置误差率不大于25mm；突破了大型复杂结构空间位置调节工装设计技术，设计了机头鸟撞试验专用试验夹具，夹具可旋转、升降、平动，通过一套夹具，实现了多撞击点位置的准确调节；建立了基于数字图像相关技术的结构动态变形非接触技术，可得到结构标记位置的三维变形、运动速度、运动加速度信息，解决了鸟撞试验中结构动态变形测量难题。

多轮多支柱起落架减震试验

为了有效地分散和缓和飞机着陆滑跑时的冲击载荷，大运采用了多支柱起落架布局，落震试验是验证起落架动力学设计的关键试验。通过大运项目研制，突破了大刚度承载框架设计、高可靠性提升/投放系统设计/可调整重量模拟系统等关键技术。

强度所提出并实施了随动态态下的多轮多支柱起落架落震试验技术，可自适应起落架的下沉角，真实模拟飞机起落架着陆过程，更真实地获得了多轮多支柱起落架触台过程的动态响应，为多轮多支柱起落架缓冲性能优化和结构设计改进提供依据。突破了大量高精度地面载荷测量技术，研制了各机轮独立的三向测力装置，开发了各机轮测力平台校准系统，提出了三向测力平台校准方法，为多轮起落架着陆载荷测试提供了可靠数据。建立了多机轮同速转动技术，实现了六轮同速控制协调，机轮转速相对误差控制在3%以内。

大运研制战线长、困难多，强度所谋实事、出实招、求实效，将雷厉风行和久久为功有机结合，以钉钉子精神，依据“积木式”验证体系开展的大运强度大部件试验获得了宝贵的大尺寸、大载荷、大变形试验的设计和实践经验，对大运主要传力结构的设计和强度分析提供了试验数据，并暴露了机体结构强度、刚度及功能等方面的设计不足，为后续优化设计提供了依据，化解了型号研制技术风险，更为全机强度试验的开展奠定了技术基础。

（作者系航空工业强度所副总工程师）

南京长江大桥开通50周年庆 金城携手《现代快报》举行骑行活动

杜奎 计方胜

封闭修缮两年多的南京长江大桥公路桥，于12月底即将恢复通车。为了迎接大桥的回归，庆祝改革开放40周年，12月20日，航空工业金城集团有限公司携手《现代快报》庆祝南京长江大桥开通50周年，一起骑行大桥，见证南京的发展变化。

南京长江大桥位于南京市鼓楼区下关和浦口区桥北之间，是长江上第一座由中国自行设计和建造的双层式铁路、公路两用桥梁，是20世纪60年代中国经济建设的重要成就、中国桥梁建设的重要里程碑，具有极大的经济意义、政治意义和战略意义，有“争气桥”之称。1968年9月铁路通车，12月公路通车，到今年整整50周年的历史。2016年10月28日22时整全封闭维修，历时27个月。

当天活动开始前，举行了简短而热烈的仪式。航空工业金城总经理田爱军出席活动，并接受了《现代快报》专访。上午10时许，在金城10辆摩托车组成的领骑车队带领下，来自金城、南京市交通运输局、市城建集团、市公交集团等单位代表和市民代表等共计500人骑上南京公共自行车，自南而北，从大桥回龙桥至北桥头堡往返5公里，一路打卡，畅行大桥。

此次骑行活动，对于航空工业金城来



说非同寻常。作为落户于南京的企业，金城以航空起步，先后从事飞机发动机修理、航空附件制造。1979年走上军民融合、寓军于民的发展之路，首辆金城牌摩托车诞生。7年后，金城研制的第二代摩托车CJ70A宣告诞生，在向南京市政府报喜后，金城人自豪地骑上这型摩托车在南京市区巡游，并行驶上了著名的南京长江大桥。金城既是改革开放的参与者，也是改革开放的见证者。之后，摩托产业快速发展，成为中国航空工业旗下民品产业的一面旗帜。32年后的今天，金城车手驾驶金城摩托再次驶上修葺一新的南京长江大桥，向大桥的50岁生日献礼，重温大桥梦，再抒豪迈情。

为了此次活动，航空工业金城派出13辆摩托车组成的阵容，其中10辆作为领骑车队，2辆作为工作用车，1辆作为压阵的车辆，30位由劳模、无党派人士、党员代表、青年代表、与南京长江大桥同龄的职工代表和离退休老员工等组成骑行方

队。摩托车队中，金城JC200T-A提拉米苏和JC200T-7草蜢两款车均为最新畅销车型，两车配置金城A200电喷水冷发动机，性能在国内同排量车型中首屈一指，超过很多250排量车型，载200毫升双顶置凸轮轴四气门电喷发动机，功率为14.1千瓦，扭矩16.5牛·米，意大利马瑞利电喷系统，同级别发动机中压缩比最高升功率最大的发动机，满足国四排放标准，车速分别最高可达125千米/时和120千米/时；引导车的头车和压阵的尾车是来自意大利ADIVA倒三轮摩托车，

航空工业金城作为中国独家总代理。该车排量400毫升，是唯一国际专利“可折叠半包围式顶篷”摩托车。驾驶员可根据天气情况和驾驶乐趣自主调整包围式顶篷。

活动现场，金城员工意气风发，打出“航空工业金城见证南京长江大桥新生”“热烈庆祝南京长江大桥开通50周年”等横幅、“大桥，你好”等旗帜，传达航空工业金城人对大桥回归的无比喜悦与真诚祝福。

骑行活动同样引发了媒体和社会的广泛关注。前期，《现代快报》通过寻找一张老照片上当年的“机车少年”，对金城车手、金城摩托的历史和航空工业金城产业发展现状进行了连续的跟踪报道，产生了很大的反响。《快报》记者寻找并采访了老照片的摄影顾家荫、第二代试车手吴卫民等金城老员工，共同回忆热血青春，致敬伟大时代。ZAKER、人民网、新华网、一点资讯、微博等平台对活动盛况进行了现场直播或报道。活动期间，牛摩网、摩托车信息、摩托财智、爱摩托等媒体也同步进行了集中报道。

（熊特新 摄）

