



从 C919 看中国航空工业的进步与差距

Log Creative

摘要

本文从航电系统、静力试验、飞控系统、发动机和材料等多个方面出发，阐述 C919 的创新与不足，并借此反映和探讨中国航空工业的进步与差距。

关键词

C919, 航空工业, 进步, 差距

首飞成功

2017 年 5 月 5 日 14 时，上海浦东机场，一架蓝绿涂装、尾翼上标有“C919”字样的大飞机在人们的注视下轻盈一跃，昂首飞上蓝天。顿时，现场沸腾了，掌声、欢呼声响彻云霄……

这是国产大型客机 C919 的首次试飞。这一天，中华民族期待了很久、很久。

通过安装在驾驶舱内的摄像机，全世界观众都可以看到驾驶舱内的实时画面。在整个飞行过程中，驾驶舱内一切正常，没有发生一起故障报警，飞机的状态很好。

15 时 19 分，按照事先制定的飞行计划，C919 分毫不差地降落在跑道上。它 79 分钟的处女航惊艳了世界。



图 1 首飞成功 (陈伟宁、欧阳亮、周森浩, 2018)



“绝对是中国制造”

C919 总设计师吴光辉表示：“从气动外形和机体结构方面来讲，C919 的每一条线、每一个面、每一个元素，都是我们自己的，每一个‘DNA’都是我们自己的。我们拥有完全自主知识产权。”

在气动布局方面，C919 采用了最新的气动布局。如采用最新一代超临界机翼，采用流线曲面风挡，驾驶舱采用 4 块风挡玻璃，比主流机型减少 2 块，扩大了飞行员视野，提高了飞机的安全性、舒适性和美观度。

在机体结构方面，C919 大量使用了国际领先的第三代铝锂合金，并创新使用了部分复合材料，较好地贯彻了减阻减重的设计目标。

在动力装置方面，C919 采用 CFM 国际公司的 LEAP-IC 发动机，在燃放、减排上都比当时的国际主流机型高出了一大截。

在机载系统方面，C919 在干线窄体飞机中首次采用三轴电传操纵系统，搭准了民机操纵系统发展的脉搏。同时采用最新综合航电系统等一系列先进的机载系统，比如视景增强系统，可以有效增强飞行员在低能见度下的可视距离；夜视传感器，能够让 C919 在夜间同样保持“明亮的双眼”。



图 2 位于上海浦东祝桥的 C919 大型客机总装厂房 (陈伟宁、欧阳亮、周森浩, 2018)

自主的航电系统

第一架机在 2017 年 5 月 5 日首飞，飞行时间 79 分钟。第二架机 2017 年 12 月 17 日首飞，飞行时间 2 小时。在两架飞机的首飞中，航电系统没有发生一起故障，飞机驾驶舱没有发生一次相关的告警。

2008 年中国商飞公司刚成立，航电项目团队刚开始组建。十载寒暑，十年成长，十载收获。为了全面提升我国民机航电系统的总体设计能力和综合集成能力，建立起我国民航机电系统的研发体系和流程，周桂荣的团队攻坚克难，真抓实干，终于填补了我国航电系统的空白。(陈伟宁、欧阳亮、周森浩, 2018)



极限静力试验

作为飞机研发过程中设计、制造、试验、试飞 4 大环节中不可或缺的第 3 棒，全机静力试验即对一架典型飞机在试验室通过主动施加外载荷的方式测试飞机在实际使用过程中可能受到的各种极限载荷及相应的安全系数。

在 C919 飞机全机静力试验中，存在四个方面主要技术难点：试验系统的综合性和可靠性、试验准备及实施的快速性、边界条件模拟及约束系统设计和机身准确加载及扣重系统设计。

通过集成创新形成了试验综合加载平台设计技术，优化了试验子系统的统一协调问题，使得试验现场整洁有序、安全便捷。通过应用创新形成了约束点误差转移控制技术，提高了重点考核区的试验精度。通过原始创新形成了机身双层地板双向加载及扣重技术，一次解决了所有试验工况在机身处的加载和扣重问题，并改善了局部框载的加载精度。（王彬文、郑建军、唐吉运, 2019）

使用创新的试验方法，2016 年 11 月，C919 飞机一次性通过了全机 2.5g 极限载荷静力试验，这说明在结构强度的安全性、经济性上实现了预期的目标。（陈伟宁、欧阳亮、周森浩, 2018）

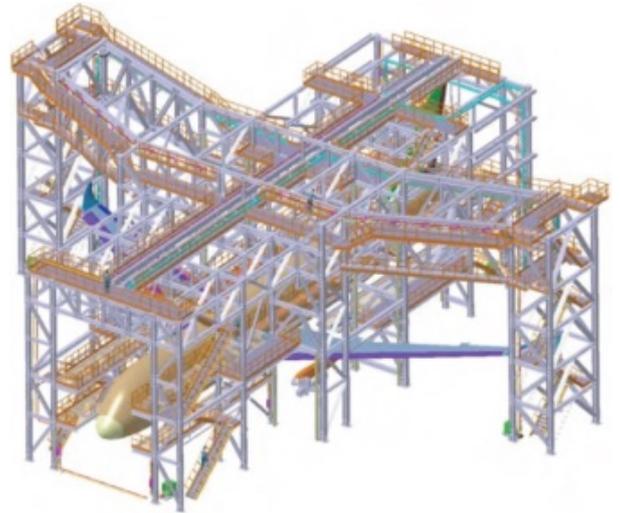


图 3 试验综合加载平台设计效果图（王彬文、郑建军、唐吉运, 2019）

难度最大的飞控系统

C919 的飞控系统比较先进，采用了先进的连杆作动系统，总线控制的灵巧作动器，把远程控制电子跟作动器装在一起，通过一个总线，就控制了作动器。这是一种分布式的控制系统，相对以前的飞机设计来说，可以减少很多线缆。

C919 是放宽了纵向稳定度的飞机。飞机的静稳定度靠飞控系统控制保证，这样可以有效减轻飞机重量，改善飞机性能。但是这会对飞控系统提出更高的要求。



图 4 C919 驾驶舱（陈伟宁、欧阳亮、周森浩, 2018）



飞控系统难就难在它跟这么多的全机交联，你要定义大量设计数据和参数，而定义这些数据又依赖于飞机的总体、气动和结构等，这种复杂的相互关系导致难度大大增加。而飞控系统经过团队的好几次迭代以及验证之后，投入试验。

在地面上通过铁鸟实验台和工程模拟器进行综合试验。C919 采用了全动模拟器，同时还附带了一个比较完备的综合试验控制台，大大提高了在模拟器上做试验的范围、速度和有效性等。



图 5 C919 大型客机铁鸟试验台外景 (刘斌, 2017)

路漫漫的发动机产业

C919 宣布采用 LEAP 发动机之后，空客 A320neo 和波音 737MAX 也相继采用 LEAP 发动机作为动力装置。这一方面体现了 C919 的“眼光”，作为一款全新的机型，C919 没有选当时已经很成熟的 CFM56 发动机，而“冒险”选了全新的 LEAP 发动机。根据 CFM 提供的数据，与上一代发动机相比，LEAP-1C 发动机燃油消耗可减少 16%，二氧化碳排放量可减少 16%，氮氧化物排放量不到其 60%，且更为安静。



图 6 C919 发动机点火试验 (陈伟宁、欧阳亮、周森浩, 2018)

“飞机研制，动力先行”。C919 在这一方面的核心竞争力体现在系统集成能力。但是，中国发动机研制能力的欠缺一直被称为国产大飞机的心病。没有掌握核心的技术，在这方面将会有无数的谈判。

1996 年底，波音宣布并购麦道，中国与麦道的合作被迫中止。差不多同一时间，中国与空客合作的 AE100 项目也无疾而终。上海航空工业在那几年里，不仅相关的人才培养没有继续下去，而且已经成熟的人才都大量流失了。现在 C919 燃油设计系统的副总设计师唐宏刚管理的团队，大部分都是“80 后”，这些人学历高，素质好，但是缺乏经验。“要是‘运 10’没被搁置，我们不会面临人才断层这样的问题。”唐宏刚说。而 C919 为国产发动机提供了一个很好的平台，希望中国能在发动机产业的研制征途上走下去。



新材料

很多专家都提出，C919 复合材料的用量标志着这架飞机在结构、材料上的先进性。最终，后机身、平尾、垂尾以及副翼和襟翼等用复合材料，总占比为 11.5%。

而这些复合材料中，具体来说有三种材料：T800 级的碳纤维复合材料、T300 级的碳纤维复合材料和玻璃纤维复合材料。中国航空工业界在 C919 上首先使用了 T800 级碳纤维复合材料。



图 7 C919 正在组装 (陈伟宁、欧阳亮、周森浩, 2018)

除了复合材料，C919 还增加了第三代铝锂合金。其最主要特性是减重。C919 蒙皮使用铝锂合金能减重 2%，型材使用铝锂合金能减重 5%，再加上铝锂合金性能上的优势，其结构的实际减重大概在 7%。

材料副总设计师章骏认为，通过 C919 的研制，从技术上来说，掌握了材料标准规范的建立方法，不但保证了 C919 飞机材料体系的完整可靠，更重要的是帮助整个中国的航空工业建立了一套材料标准的管理体系。有了这套体系之后，不仅对国际供应商的管理顺畅了，而且对认证和帮助发展国产的材料和标准件也意义重大。

结论与展望

虽然 C919 首飞成功了，但中国民用航空制造工业仍是幼稚工业，离真正成功路还很远。因为研制一款国际标准的商用飞机，投资大、周期长、风险大，不可能一蹴而就。(陈新, 2019)但是从 C919 的研制来看，从航电、静力、飞控、材料等方面中国有了自己的突破，这对中国的航空产业确实是一个鼓舞。

多年来的不懈努力，中国大飞机翱翔蓝天；无数人的攻坚克难，C919 以骄傲姿态面向世界。仍有差距，不是汗水流的不够多，而是流的时间不够长。航空工业需要从上到下的一致努力，需要人才的流入与培养，需要信念的不断坚定。而中华民族自古以来就是一个勤劳的民族，只要我們想做，就一定能够做好；只要我們想做，就没有人能够阻挡。因此，我们有理由相信，未来将有更多的中国大飞机在世界各地飞行，将会有更多的人坐上中国制造的大飞机。



参考文献

- [1] 陈伟宁、欧阳亮、周森浩. 2018. 大国之翼[M]. 上海：上海科学技术出版社, 2018. ISBN 978-7-5478-3877-8.
- [2] 陈新. 2019. C919,飞向蓝天[J]. 北京文学（精彩阅读）. 2019年, 卷 3, 页 4-41.
- [3] 刘斌. 2017. 逐梦蓝天 C919 大型客机纪事[M]. 郑州：河南文艺出版社, 2017. ISBN 978-7-5559-0594-3.
- [4] 王彬文、郑建军、唐吉运. 2019. C919 飞机全机静力试验技术[J]. 航空学报. 1, 2019年, 卷 40, 522364.