

计算气动声学

一. 简介

黄迅
特聘研究员 / 博导

力学与空天技术系
工学院
北京大学

www.coe.pku.edu.cn/faculty/huangxun

概要

- 1 气动噪声研究什么
- 2 气动噪声研究国外进展
- 3 机体气动噪声技术
- 4 为什么要做计算气动噪声
- 5 阅读文献

气动噪声关注问题



(a) 降低巡航噪声？



(b) 尤其是降低舱内噪声吗？

实际上国际上气动噪声领域目前的研究热点不在巡航段舱内噪声降低上，后者受各种因素影响，包括飞行器材料特性、客舱内部声环境、发动机噪声、机身湍流噪声、空调系统设计等。

一个极限例子



”I had the privilege to fly once in an Air France Concorde. The most noteworthy thing was that it was not really any different from any other aircraft. The cabin noise was quite normal.”

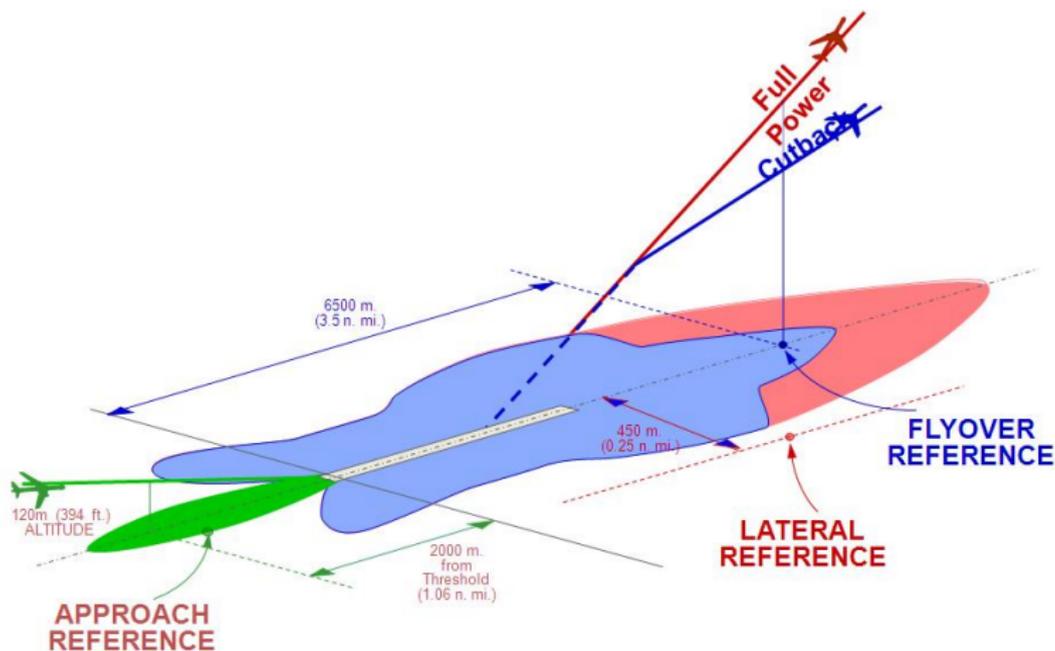
上面这段话告诉我们即使在超音速巡航的协和飞机上，客舱噪声仍然没有明显好于普通的亚音速客机。

起降噪声



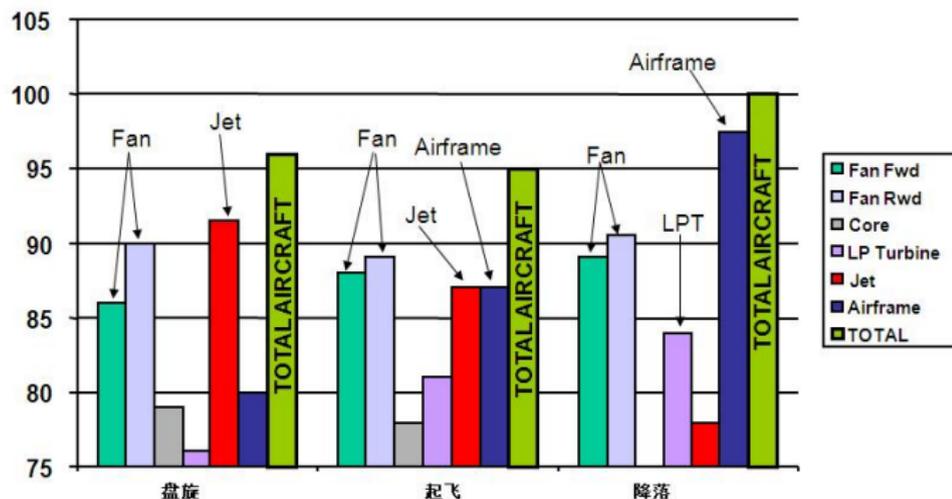
事实上，目前国际上普遍关注的是起降阶段的气动噪声设计问题，对航空公司来说起降噪声直接影响航班配额。

适航测试



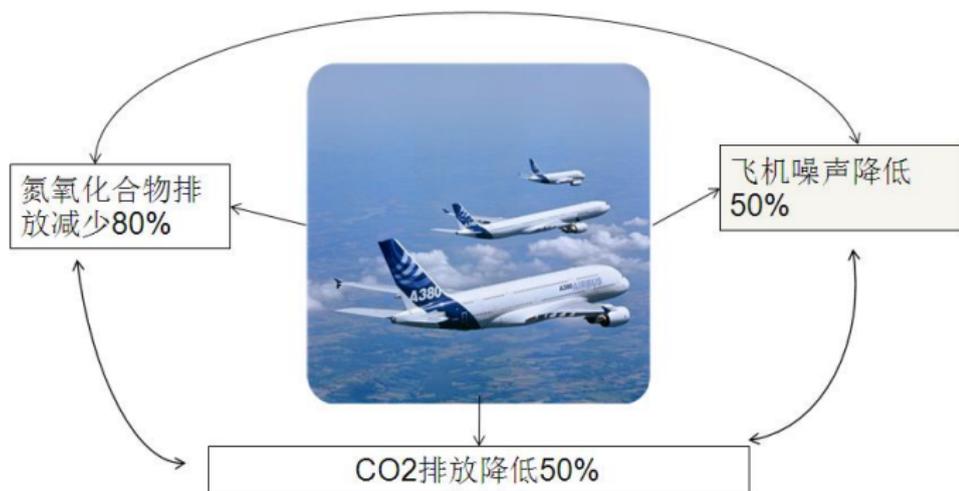
对飞机设计公司来说，则必需满足适航测试中起降阶段三个测试点处的噪声要求。

起降阶段气动噪声来源



针对某型150座飞机分析起降阶段噪声源，可以澄清又一个误解。即降落噪声大于起飞噪声，机身部件噪声大于发动机噪声。因此对国内气动设计单位来说应该重视气动噪声设计，而不是单纯依赖发动机降噪。为此本教程主要对象为机体气动噪声。

CARDC 2020 目标



国外从上世纪50年代起就持续研究气动噪声，已经制定了明确的下一步设计目标，和减排、环保、低碳等热门话题也有紧密联系。

国外新概念设计



目前国外提出的新概念设计主要包括：基于对转发动机的低噪声飞行器设计，和基于翼身融合遮蔽噪声的低噪声飞行器设计。世界级主要研究机构包括英国Southampton大学，Cambridge大学，和美国Virginia Tech，Penn State，MIT等。

机体气动噪声设计

设计流程

- 确定气动噪声设计目标；
- 分析/辨识主要气动噪声源；
- 有针对性的改变/优化气动设计；
- 检查气动和气动噪声特性；
- 迭代以上步骤。

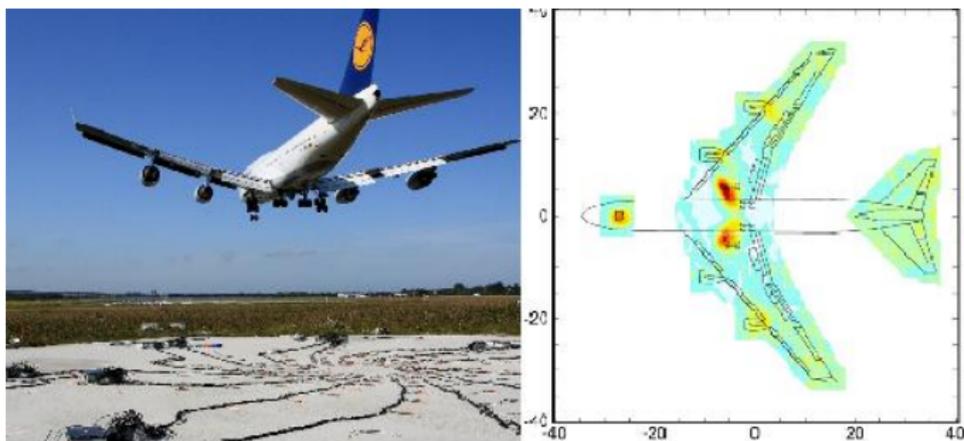
设计方法

理论、实验和计算。

气动噪声理论发展概要

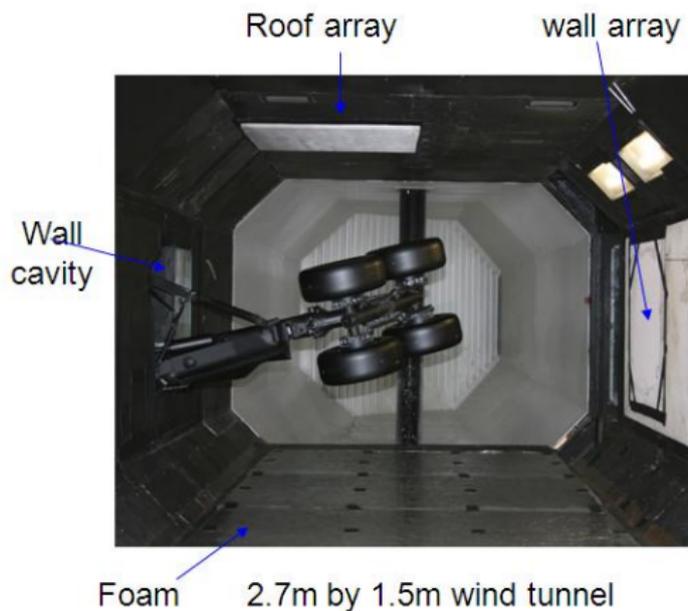
- 1952年Lighthill针对飞机发动机射流噪声建立声学模拟理论；
- 60年代以来Curle、Ffowcs Williams、Howe、Lilley等人进一步发展该理论；
- Farassat等推广到直升机旋翼噪声预测，Ann Dowling等还研究了水下物体噪声预测；
- 气动噪声理论针对理想问题建立了一系列理论解，除了揭示了气动噪声中的若干本质物理问题，对于校验实验和计算结果有重要意义，更多细节将在后续讲座中提供；
- 对于复杂外型设计，不可能依赖理论解，因此在工业设计中大量采用经验公式、实验和计算。

气动噪声实验技术—现场实验



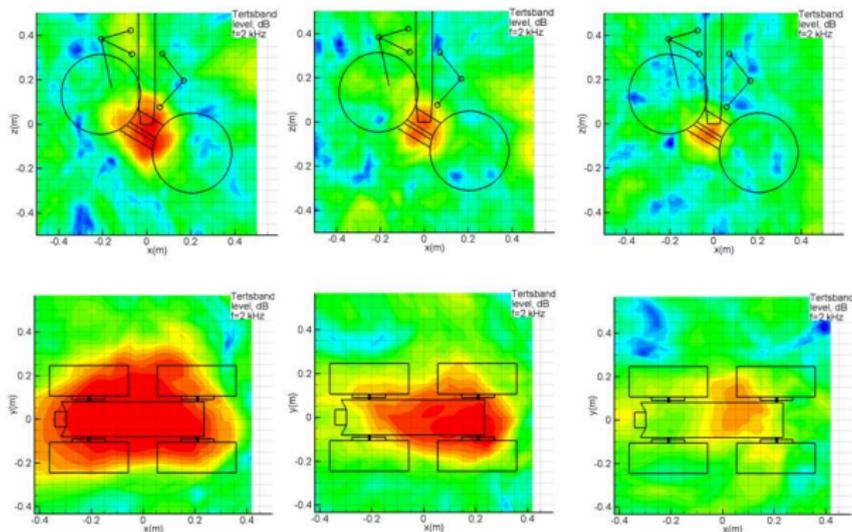
现场实验可以提供最终校验，但是存在测试复杂昂贵、不可能获得对应流动结构揭示流噪声机理等问题。

气动噪声实验技术—风洞实验



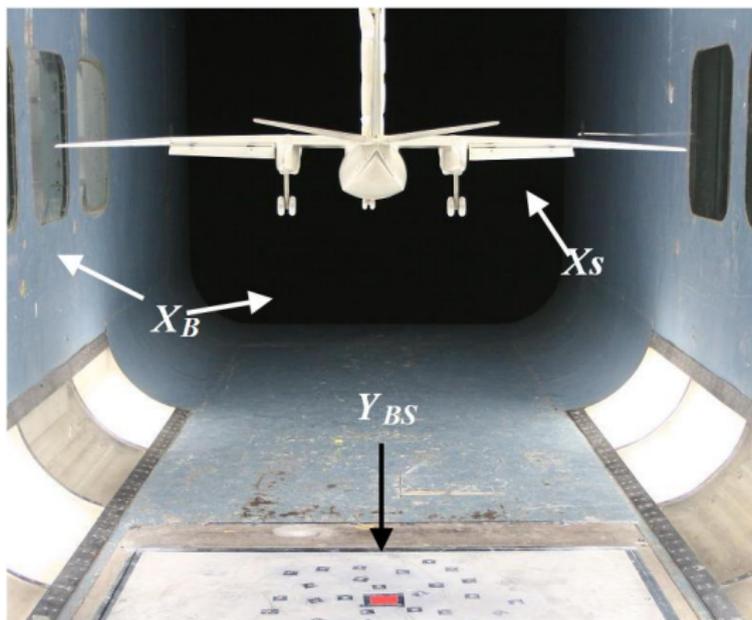
Southampton大学风洞中起落架气动和气动噪声联合实验。

气动噪声实验技术—风洞实验结果



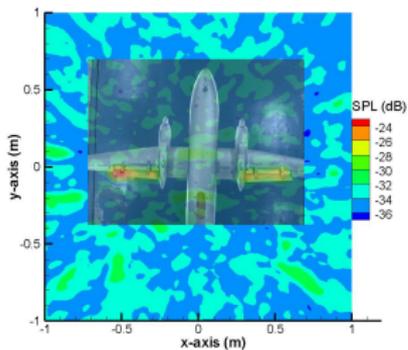
可以清楚的看出不同气动设计对应的气动噪声降低效果，但是由于起落架结构过于复杂，无法通过流动显示完全揭示内部气动噪声流动机理。

气动噪声实验技术—风洞实验

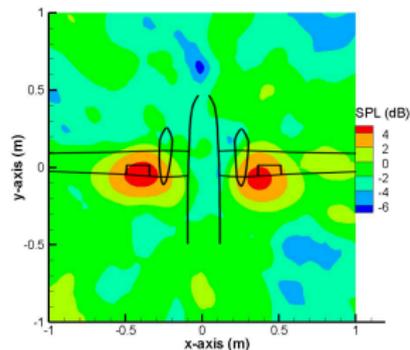
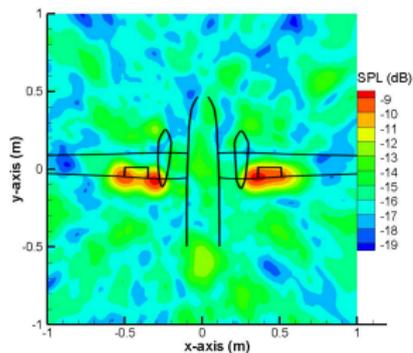


北京大学本研究团队协助国内试验单位从事的初步试验。

我们的初步结果



(c) Sound image.

(d) $f = 2$ kHz.(e) $f = 4$ kHz.

发展计算气动噪声技术的必要性

通过以上分析可以看出：

- 气动计算具有同时揭示流动物理和预测流噪声能力，能够和实验相互校验、相互补充，能够帮助设计单位最终形成设计准则和经验公式，因此十分有必要发展相关技术。
- 但是既然所谓气动噪声计算，其相关技术必然建立在对气动噪声机理的认识上，同时兼顾声学特征，因此气动噪声技术应该有别于传统的计算流体技术和计算声学技术，而有其独特性。
- 在接下去的章节我们将首先分别介绍气动噪声理论和声学理论基础，帮助建立上述认识。

补充阅读

- 综述文章: D. Casalino, "Aeroacoustics research in Europe: The CEAS-ASC report on 2009 highlights", Journal of Sound and Vibration, 329(2010) pp. 4810–4828.
- 机体气动噪声: D. P. Lockard, G. M. Lilley, "The airframe noise reduction challenge", NASA/TM–2004–213013.
- 现场阵列实验: H. Siller, M. Drescher, G. Saueressig, R. Lange, "Fly-over source localisation on a Boeing 747-400", Berlin Beamforming Conference, 2010.
- 风洞阵列实验: X. Huang*, "Real-time algorithm for acoustic imaging with a microphone array", Journal of Acoustical Society of America Express Letters, Vol 125, No 5, 2009. pp. EL190-EL195.