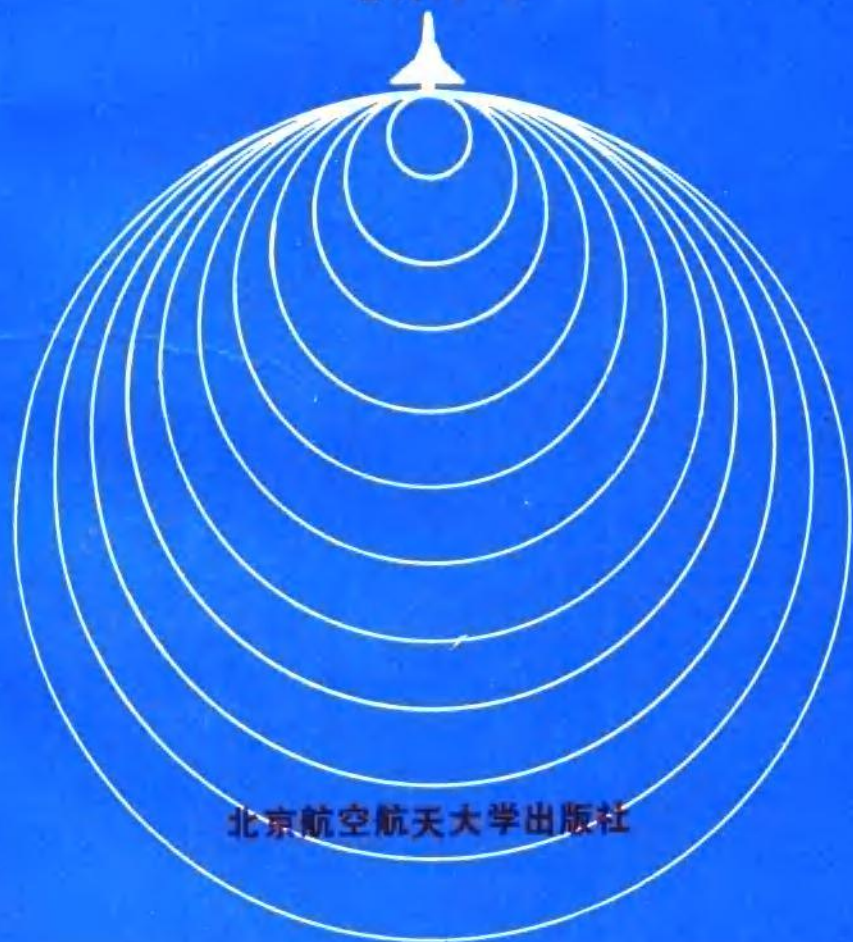


航空声学

〔俄〕 A·Γ·穆宁

曹传钧 译



北京航空航天大学出版社

3 1 6 2 4 9 0 3

V219
01

航空声学

[俄] A·Γ·穆宁

曹传钧 译

HK59/07



C0150785

北京航空航天大学出版社

(京)新登字166号

内 容 简 介

该书阐述：近代飞机和直升机的声性能的解析计算方法，声的要求对飞行器飞行技术性能和经济性指标的分析，以及降低飞行器产生的地面和舱内噪声的方法。作者们总结了大量的前苏联国内外有关上述问题的科研成果，并提出了有关气动噪声的形成、传播和降低方法等问题的当前研究状况。该书既有基本理论的推演，又有设计计算方法的叙述，还包括一些80年代的有关实用数据资料。故可作为有关专业的本科生、研究生的教材，以及飞机、直升机的研究、设计、制造、维修和民航有关工程技术人员的参考书。

航 空 声 学

HANGKONG SHENGXUE

[俄] A·Γ·穆宁

曹传钧 译

责任编辑 郭学廉 郑忠妹 刘登敏

北京航空航天大学出版社出版

新华书店总店科技发行所发行 全国各地书店经销

北京密云华都印刷厂印装

* * *

850×1168 1/32 印张：17.75 字数：477千字

1993年7月第一版 1993年7月第一次印刷 印数：1000册

ISBN 7-81012-327-0/V·028 定价：17.50元

译 者 的 话

降低近代飞机和直升机的噪声对于环境保护以及旅客和乘员的安全舒适的重要性随着航空运输的发展日益显著。因此，在研制飞机和发动机的开始，直至飞机的运行，都必须考虑声学问题，尽可能减小噪声的产生，并尽力降低对地面和机舱内传播噪声。

前苏联穆宁博士等合著的《航空声学》一书叙述了近代飞机和直升机的噪声对于周围环境和人类的影响。阐明飞行器上主要声源的噪声形成的物理图画，以及降低飞行器噪声的各种方法。还提出了：考虑到飞机的动态停站和运行强度的机场区声环境的预测方法。该书对于航空声学的两大理论分支——气动声学和结构声学——的基本原理要点作了扼要阐述。对于气动噪声的形成、传播和降低方法等问题的当前（到80年代中期）研究状况提出了清楚的概念，从这些基本理论出发推展出可用在飞行器不同研制阶段的声性能解析计算方法，声的要求对飞行器飞行技术性能和经济性指标的影响的分析方法，以及降低对地面和舱内噪声的方法。事实上，该书总结了国际上80年代前本领域内的大量科研成果，当然，较多的是作者们和前苏联学者们的成果。总之，这是一本内容相当丰富，对这一专业领域的理论学习和工程设计都很有用的著作。

正因为有这样的认识，译者愿抽出时间翻译这本书。但因种种原因，拖了时间，估计到出版之日已在原书的五年之后。

最后，愿在此感谢出版和编辑的同志们，他们为本书的出版，花费了不少的劳动。

曹传钧

1991年12月

前 言

航空技术的急速发展，新一代旅客和运输飞机的研制，要求解决一系列复杂的空气动力学、结构强度、发动机、仪表、材料和工艺领域内的科学技术问题。飞机和直升机的动力的加大导致航空噪声的急剧增强，因此在上列问题之外，又增添了新的——降低所研制的飞机和直升机发出噪声级的问题。而且只有在飞行器的设计过程中，在研制的最早阶段，采取降噪的措施才是最有效的。

在我国(指前苏联)和国外进行过大量的理论的和试验的研究工作，建立了专门的试验设备和相应的仪器。终于得到了明显的成果：成功地大大降低了飞机和直升机的噪声，而保持其气动品质和经济性不变。

降低飞机和直升机的噪声是环境保护的总任务中的一个特殊问题，在航空中具有重要意义。正为此，旅客飞机和直升机的声性能已成为决定其生存能力的指标之一。为了限制航空噪声的增长，在许多国家，包括前苏联，制订了许多标准，规定符合这些要求是旅客飞机和直升机成功运行的必要条件。

1973年穆宁主编过《航空声学》^[1]一书，是总结了航空声学领域的研究工作并建立飞机声学计算方法的第一个尝试。但该书主要阐述，估算装有涡轮喷气发动机的飞机声性能的方法，而近年来已经广泛使用的高涵道比风扇发动机的声问题在该书中还未涉及，并且也缺乏有关直升机方面的数据。

提给读者面前的这本书阐述：飞机和直升机在不同的研制阶段声性能的解析算法；声的要求对飞行器飞行技术性能和经济

性指标的影响分析；以及降低地区的和舱内的噪声的方法。作者们总结了自己所进行的有关上述问题的大量科研成果，也包括国内外学者的工作。本书提出了有关气动噪声的形成、传播和降低方法问题的当前研究状况的清晰概念。

本书将会激发对于航空声学的进一步钻研；会给航空工业和民航的工作者在解决降低飞机和直升机发出的噪声这一实际问题以很大的帮助。

Г·П·斯米谢夫 院士

目 录

前 言

绪 论.....	(1)
----------	-------

第 一 部 分

第一章 旅客飞机和直升机的噪声规范.....	(9)
------------------------	-------

§ 1-1 航空噪声对人影响的估价指标	(9)
---------------------------	-------

§ 1-2 对旅客飞机和直升机地区噪声的要求	(22)
------------------------------	-------

§ 1-3 发动机噪声级的检查	(31)
-----------------------	-------

§ 1-4 居民建筑区域航空噪声级的检查及其限制	(32)
--------------------------------	-------

§ 1-5 对飞行器地区噪声要求更加严格化的可能性估计	(35)
-----------------------------------	-------

第二章 气动声学基本方程.....	(38)
-------------------	-------

第三章 喷气发动机的噪声.....	(56)
-------------------	-------

§ 3-1 喷气流	(60)
-----------------	-------

§ 3-2 风扇和压气机	(85)
--------------------	-------

§ 3-3 内部声源	(112)
------------------	--------

第四章 螺旋桨噪声.....	(118)
----------------	--------

§ 4-1 飞机螺旋桨	(118)
-------------------	--------

§ 4-2 直升机的螺旋桨	(143)
---------------------	--------

第五章 机体与附属动力装置的噪声.....	(158)
-----------------------	--------

§ 5-1 飞机机体	(158)
------------------	--------

§ 5-2 辅助动力装置	(161)
--------------------	--------

第六章	飞机和直升机在地区的噪声级计算	(166)
§ 6-1	噪声级的计算方案	(166)
§ 6-2	发动机布局的考虑	(170)
§ 6-3	飞行器运动速度的影响	(173)
§ 6-4	在大气中和接近地表面声音传播的特点.....	(174)
§ 6-5	需要的消声器声效率的估算.....	(182)
第七章	噪声级的限制对飞机参数选择的影响	(184)
§ 7-1	飞机设计中声的限制.....	(184)
§ 7-2	飞机参数对其声性能的影响.....	(188)
第八章	降低飞机在地区的噪声级的运行方法	(196)
§ 8-1	用来降低飞机在地区噪声的驾驶方法.....	(196)
§ 8-2	选择噪声级最小的飞行航迹的设计方法.....	(201)
§ 8-3	按地区噪声级最小指标的飞机起飞状态的 优化.....	(204)
§ 8-4	进场降落飞机噪声级的降低.....	(213)
第九章	机场区声环境的预测	(217)
§ 9-1	原始信息及一般的声环境预测方法.....	(217)
§ 9-2	噪声对接近机场居民预期的影响的评价方法...	(222)
§ 9-3	确定机场附近声环境的方法.....	(226)
§ 9-4	依靠机场收费制度来控制航空噪声问题.....	(235)
第十章	研究航空噪声的试验设备	(239)
§ 10-1	气动声学模拟准则.....	(239)
§ 10-2	试验设备.....	(242)
附 录		(250)
参考文献		(261)

第 二 部 分

第一章	旅客飞机座舱中噪声规范	(267)
------------	--------------------------	-------

§ 1-1	飞机座舱中噪声的主要来源·····	(267)
§ 1-2	座舱噪声的评价准则及要求·····	(270)
第二章	飞机表面上的声载荷 ·····	(274)
§ 2-1	随机场的统计特性·····	(274)
§ 2-2	附面层的附壁压力脉动·····	(278)
§ 2-3	喷气流的近声场·····	(296)
§ 2-4	风扇和压气机产生的声载荷·····	(305)
§ 2-5	螺旋桨的近声场·····	(316)
第三章	飞机结构中声的传播 ·····	(330)
§ 3-1	固体的弹性波·····	(330)
§ 3-2	弹性系统的固有振动·····	(335)
§ 3-3	弹性系统的随机振动·····	(342)
§ 3-4	板的声发射·····	(348)
§ 3-5	筒形壳体的声场·····	(370)
第四章	飞机舱内降低噪声的方法 ·····	(388)
§ 4-1	隔声·····	(389)
§ 4-2	吸声·····	(424)
§ 4-3	降低机舱内噪声的典型结构·····	(438)
§ 4-4	吸振作用·····	(467)
§ 4-5	隔振作用·····	(484)
§ 4-6	通风及空调系统的噪声·····	(486)
§ 4-7	飞机布局设计时对座舱噪声要求的考虑·····	(505)
第五章	飞机舱内噪声的计算 ·····	(512)
§ 5-1	工程经验方法·····	(512)
§ 5-2	统计能量法·····	(519)
§ 5-3	方法的发展前景·····	(543)
参考文献	·····	(551)

绪 论

航空声学——关于飞行器声学的物理学分支，它分气动声学与结构声学。气动声学——气动力学与声学接合产生的方向，它研究气动发声的过程、运动介质的声学、声与流动的相互作用。结构声学——处于声学弹性系统动力学交叉的方向，它研究声沿飞行器结构传播的机理、这些结构声的发射和飞行器舱内声场的形成。

航空声学分出成为一门独立的学科是由于需要将飞行器的噪声降低到能够保障人的正常生活活动以及设备系统和飞行器构造可靠工作的水平。

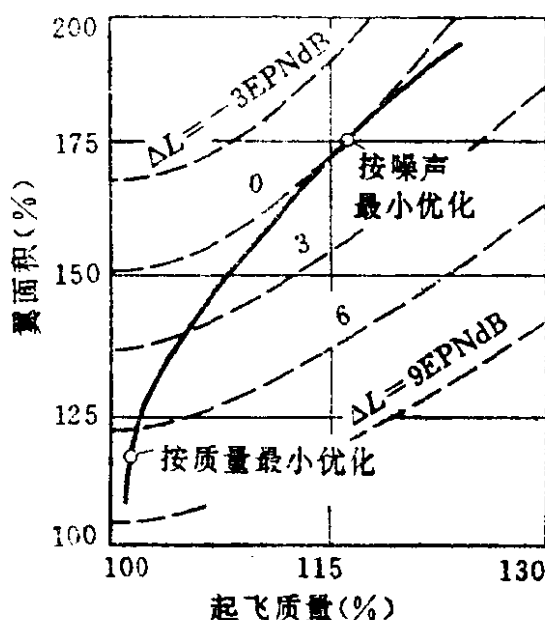
飞行器载重量和运输量的增大，导致动力装置推力的增大以及其运行密度的增加。结果是机场所处地区的噪声级增大，很多居民易受到不良的影响。在飞行器舱内的噪声使旅客极不舒适，增加他们的疲劳，降低了乘务员的工作精力。飞行器的强烈声载荷还可能导致结构元件出现疲劳损害以及设备系统损坏。

保护人免于受到航空噪声的有害影响是十分复杂的任务，应该采用考虑到技术上的可能性和降低噪声所需费用的综合措施来解决。主要的注意力应放在降低声源的噪声上，也就是制造低噪的发动机和机体；选择在声学上合理的飞机或直升机布局；动力装置上采用消声器以及在机舱上采用特殊的结构和降噪的材料。在降低机场地区噪声上起很大作用的是合理地组织空中运行；选用飞机和直升机起飞降落的低噪航迹。当声源的噪声不可能降低时，降低航空噪声对人的有害影响的根本办法似乎是将机场远离居民点。但这个办法不大可能在实际上广泛采取，因为机场服务

人员应该住在附近，也就要承受噪声的影响，而且机场远离城市给旅客造成不便，要在运送旅客从城市到机场方面需很大花费。

这样，显然主要注意力应放在低噪飞行器上。也就是在声性能观点上，具有最佳动力装置参数的飞行器[46]。

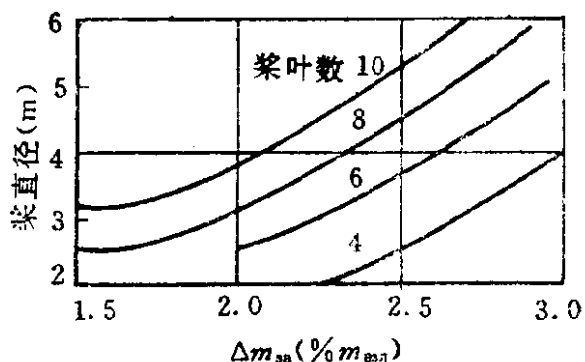
在图B-1上作为例子，表明在一定航程和有效载荷下，喷气式飞机的飞行技术与地区噪声级的相互关系。显然起飞质量最小的飞机有高的噪声级（约在 7EPNdB ），这就大大减小了它的竞争力以及它的赢利性。



图B-1 喷气飞机参数（发动机推力，有效载荷与航程为常数）与其产生噪声的关系

在图B-2上表示当舱内噪声级等于近代喷气式飞机时的螺旋桨式旅客机参数之间的关系。

显然，为保持这个水平，第一应增加螺旋桨飞机机舱隔音壁质量约达 $1.5\% \sim 3\%$ 起飞质量；第二应正确选定桨的叶片数及其直径。在桨直径不变时，增加桨叶数一倍，可使补充的隔声质量下降 30% ，这就使飞机的经济性由于有效载荷的增大而急剧提高。

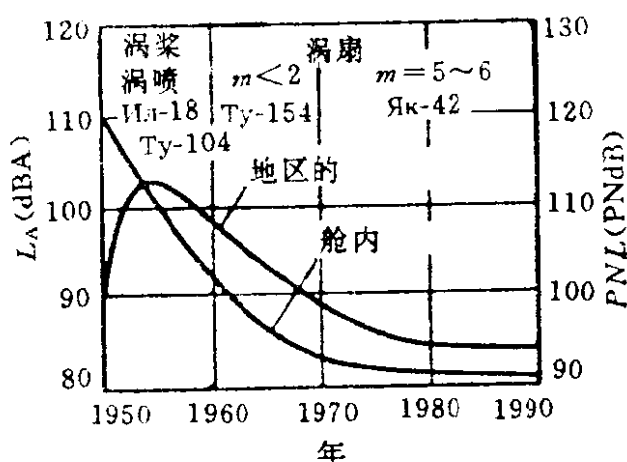


图B-2 与喷气式飞机相比较螺旋桨式的机舱隔声质量的增大（发动机推力，有效载荷与航程为常数）

因此，现在看到一个新的定性的航空设计途径——需要考虑声特性来选定飞机和发动机参数。合理研制的旅客机——是技术上的可能性与经济上的适当性的折衷[35]。

飞行器产生在地面上的主要噪声源是动力装置和带有各机构元件的机体；而产生在机舱内的是动力装置和在飞行器表面上的紊流附面层。根据飞行器及其动力装置的类型决定保证所需声特性的工作方向。在发展

旅客航空的开始阶段，曾用过Ил-18型的涡轮螺桨飞机，这一类飞机舱内的噪声非常高，远远超过舒适上的要求（见图B-3），因此声学上的主要任务是降低舱内的噪声。在旅客机上使用喷气式发动机后，舱内噪声降低了，但地

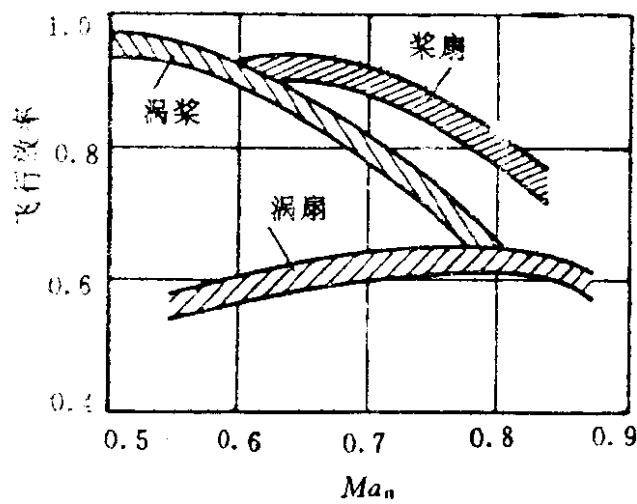


图B-3 降低飞机在地面（跑道侧）
及舱内噪声的趋势

面噪声增大。第一代的喷气式旅客机像Ty-104、B-707、DC-8、VC-10使用单涵喷气发动机或低涵道比的双涵喷气发动机。以后又出现了Ty-154、Ил-62型飞机使用双涵喷气发动机，其涵道比 $m = 1.5 \sim 2.5$ 。最后又有B-747、A-300、Як-42型飞机，涵道比较大（ $m = 5 \sim 6$ ），这些飞机在地面上的噪声显著地下降。但依靠增大发动机的涵道比来进一步降低飞机的噪声，就有较大困难，在很多情况下，会使飞机的经济性下降[41]。

近年来，燃料价格的上涨决定了必须认真提高航空发动机的经济性。这个问题由于采用改善的螺桨发动机可能得到解决。采用被称为桨扇的多叶螺桨的发动机，其高亚音速飞行时（ $Ma_{\Pi} = 0.8$ ）效率高，这种桨扇的动力装置比双涵喷气机更经济（见图

B-4)。但是螺旋桨发动机的使用会引起飞机舱内的噪声的增大，

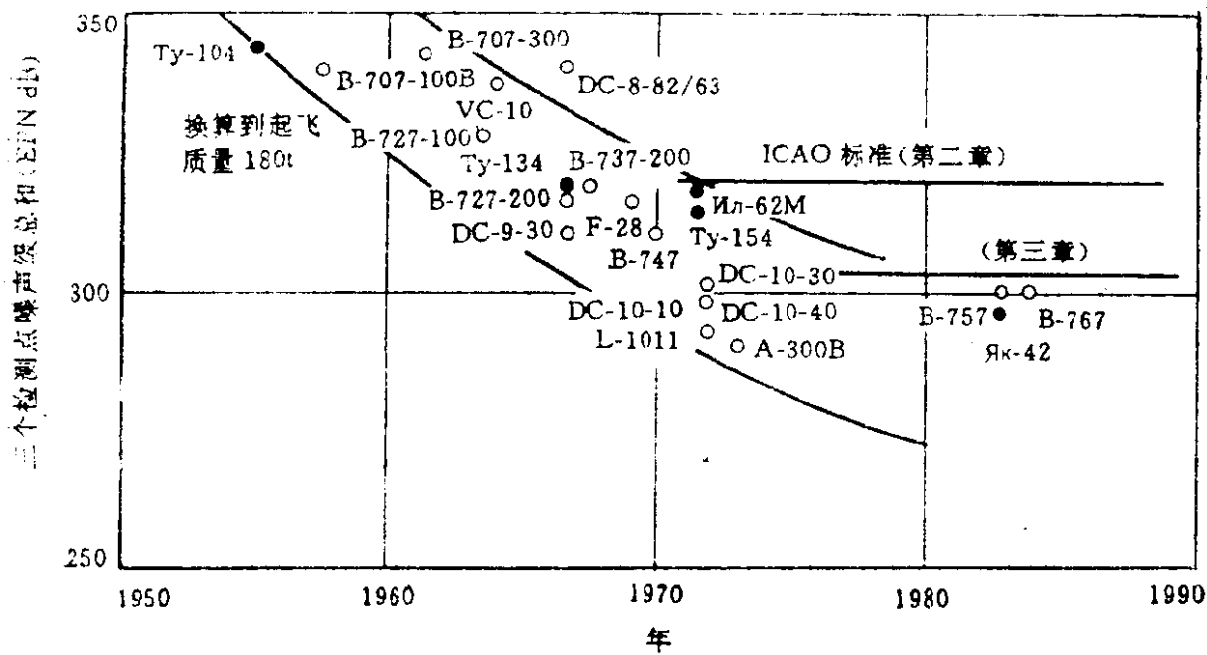


图B-4 装备不同动力装置的飞机飞行效率与飞行 Ma_n 数的关系

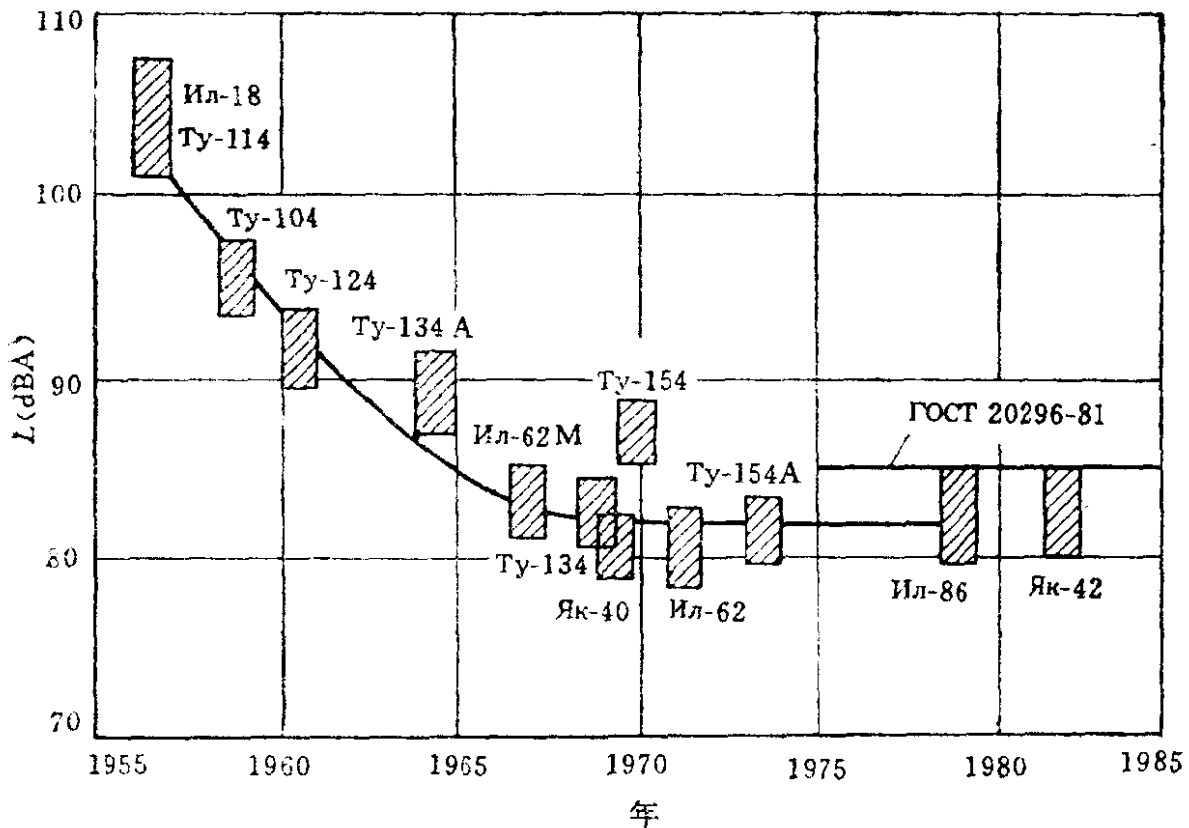
为了降低它，必需增加舱壁隔声的质量，这当然与风扇发动机的飞机相比，经济效果降低些[3]。

飞机和直升机在地面的噪声受到国家（前苏联）标准和国际民航组织(ICAO)的标准所限制[10]，舱内噪声受国家标准限制。分析这些

标准表明，噪声的要求不断严格化，新飞机的噪声级趋向于降低(见图B-5和图B-6)[52]。



图B-5 亚音速喷气式飞机在地面噪声级的变化（曲线根据实际飞机的噪声级换算到假想质量为180t）



图B-6 旅客飞机舱内噪声的变化

虽然在降低航空噪声上已取得不少成就，但这个问题还没有完全解决。

只有在飞行器的设计、研制及试飞的全过程中都考虑声的要求，才有可能研制出低噪声的飞行器。这就引起急需在工程实践中发展和贯彻可靠的计算飞行器声特性的方法，用来在整个研制阶段估算预期的噪声级，包括，在早期飞行器主要参数的选择时。

《航空声学》分两册出版(指俄文原版)，第一部分的作者有：序言——A.Г. 穆宁，E.M. 日姆林；第一章——A.Г. 穆宁，E.M. 日姆林，B.H. 梅尼柯夫，P.Д. 菲利波娃，P.A. 西波夫；第二章——E.A. 连切夫，A.Г. 穆宁；第三章——A.Г. 穆宁，E.B. 伏拉索夫，B.M. 库兹涅佐夫，З.Н. 纳乌缅柯，P.A. 西波夫；第四章——A.Г. 穆宁，B.И. 葛纳博夫，B.Ф. 萨莫欣；第五章——E.B. 伏拉索夫，B.Ф. 萨莫欣，P.A. 西波夫；第六

章——B.Φ.萨莫欣, A.Γ.穆宁, P.Д.菲利波娃; 第七章——B.Φ.萨莫欣, B.Γ.德米特列夫; 第八章——B.Φ.萨莫欣, B.Н.梅尼柯夫; 第九章——B.Н.梅尼柯夫; 第十章——A.Γ.穆宁, A.А.安德列夫。

第二部分的作者有: 第一章——B.М.叶菲姆错夫, A.Γ.穆宁; 第二章——B.М.叶菲姆错夫, A.Γ.穆宁; 第三章——B.М.叶菲姆错夫; 第四章——Л.Я.库基索娃, Н.Н.莫罗错娃, B.А.潘克夫; 第五章——B.М.叶菲姆错夫, Л.Я.库基索娃, A.А.特卡切夫。

航空声学

第一部分

亚音速旅客飞机和直升机
在地面的噪声

