航空涡喷、涡扇发动机

结构设计准则

（研究报告）

第五册　燃烧室和加力燃烧室

中国航空工业总公司发动机系统工程局

需要全本请访问 www.ertongbook.com

航空涡喷、涡扇发动机

结构设计准则

（研究报告）

第五册　燃烧室和加力燃烧室

中国航空工业总公司发动机系统工程局

1997年

《航空涡喷、涡扇发动机结构设计准则(研究报告)》

审 定 委 员 会

名誉主任：吴大观

主　　任：李其汉

副 主 任：(按姓氏笔划为序)

尹泽勇　孙　慈　许　棠　江和甫

严成忠　张恩和　顾家柳　唐智明

董德耀

委　　员：(按姓氏笔划为序)

王旅生　宁宣熙　李文明　刘启州

朱明俊　任培正　邢德顺　杨治国

陈　光　陈士煊　张连祥　林继红

钱笃元　聂景旭　黄劲东　龚梦贤

温卫东　韩红志

《航空涡喷、涡扇发动机结构设计准则(研究报告)》

编 写 委 员 会

主　　任: 杨士杰

副 主 任: (按姓氏笔划为序)

吕文林　朱梓根　岳承熙　范引鹤

饶寿期　高德平

委　　员: (按姓氏笔划为序)

王延荣　支钟和　田忠贤　乐晓斌

李　勇　刘廷毅　刘湘生　陆　山

张　锦　陈　伟　陈俊粤　胡舜东

徐林耀　晏砺堂　徐鹤山　屠一鹤

龚良慈　熊昌炳

总　　编: 杨士杰(兼)

《航空涡喷、涡扇发动机结构设计准则(研究报告)》

第五册　燃烧室和加力燃烧室

主　　编: 范引鹤　高德平

副 主 编: 胡舜东

编　　写: (按姓氏笔划为序)

王乃绪　支钟和　乐晓斌　孙咏立

阮米庆　陈　伟　季鹤鸣　范引鹤

胡舜东　高德平　龚正真　曹茂国

主　　审: (按姓氏笔划为序)

任培正　张连祥

需要全本请访问 www.ertongbook.com

序　言

自从燃气涡轮发动机问世以来，各国在发动机研制初期，普遍存在着重性能、轻结构强度、耐久性和可靠性的倾向，直到外场出现故障、影响使用，给军事上和经济上造成重大损失后，才把结构强度放到与发动机性能同样重要地位来对待，美国F100发动机的惨痛教训是值得人们深思的一例。我国航空发动机历经仿制、使用、改进改型和自行研制约四十年，国外重性能、轻结构强度的错误观念也反映在我国航空发动机的自行研制的过程中，所幸的是在1987年颁布了《GJB241—87涡轮喷气、涡轮风扇发动机通用规范》。现在，新研制的发动机已按制定的型号规范要求进行研制，根据规范规定的研制阶段和程序、质量保证条例和定型试验要求安排研制工作，开始不单从性能方面，而且在结构强度、耐久性方面较全面地贯彻和实施有关内容。但是，由于重性能、轻结构强度的影响时间较长，即使在近十多年研制技术有所改进的情况下，也还没有彻底的扭转，结构强度工作还没有得到足够的重视。特别是从管理方面，如何结合我国国情和有限的研制、使用经验，逐步摸索并总结出符合国情的航空发动机研制程序和研制方法，避免重走国外“重性能、轻结构强度”的覆辙，是当前从事发动机研制工作的各级领导和广大科研人员极为关注的迫切需要解决的问题。

经过发动机行业同志们数十年的辛勤劳动，在型号研制工作中不停地探索，结合学习国外发动机研制中结构强度设计的经验教训，也摸索到不少自己的经验。从事发动机研制的人员，特别是结构强度工作人员，通过发动机结构完整性大纲的研究，以及从结构故障成为阻碍发动机研制进程的棘手问题的经验教训中，对结构强度工作在发动机研制过程中的重要性有了更深的认识。进一步认识到结构强度工作程序化、规范化的重要性，以及组织编写《发动机结构完整性指南》(简称《指南》)和《航空涡喷、涡扇发动机结构设计准则(研究报告)》(简称《准则(研究报告)》)的迫切性。

当前，发动机研制工作正处于关键时期，研制观念也正开始从单一追求性能转向性能与可靠性、耐久性并重，对结构强度工作提出了更高的要求，因此，《指南》和《准则(研究报告)》正适应了我们发动机当前研制的急需，希望能起到“对症下药”的作用。另外，目前发动机行业正处于新老科技人员交替的关键时刻，通过《准则(研究报告)》的编写，既可通过老科技人员言传身教，向中、青年科技人员传授研制经验，又可将老科技人员宝贵的知识财富，融入《准则(研究报告)》内容之中，供青年科技人员学习应用。这也是编写《准则(研究报告)》主要目的之一。

《准则(研究报告)》是关系到航空发动机结构性能方面的推荐性和指导性的综合研究文件，它是衔接《指南》和设计分析、试验验证的中间环节，是提高发动机结构完整性的设计要求和工作的依据。

《准则(研究报告)》不同于一般的参考性工具手册，它是根据研制实践，总结了发动机的研制和预研经验，所提供的设计、验证方法及其评定标准，可供型号研制直接使用或结合型号特点研制要求进行剪裁、修改和补充后使用。

《准则(研究报告)》的使用对象，主要是发动机结构强度工程技术人员和技术管理人员。《准则(研究报告)》提供的不同设计阶段的计划网络、评审节点和内容以及风险评估等内容是发动机研制过程中结构强度工作的管理准则。《准则(研究报告)》又好比一面镜子，用它可照出发动机可能存在的故障隐患，并可找到解决该隐患的途径和方法，这也是编写《准则(研究报告)》的重要原因。

值得指出的是《准则(研究报告)》的编写体现了先进性、科学性和实用性相结合，也反映了发动机结构完整性研究和其他相关预研项目的研究成果，总结了我国发动机研制中结构强度工作的经验教训和吸取了国外有关先进技术经验，为研制具有较高的结构可靠性、耐久性的发动机提供技术比较先进的指导系统。《准则(研究报告)》中所提供的方法、数据、图表和其它资料取之有据，内容较为具体明确、可操作、可实施，可作为发动机研制的有效参考依据。

《准则(研究报告)》的核心内容是第5章结构设计准则。第11章计划网络是贯彻结构设计准则全过程的一条主线，介绍了在发动机研制进程中，按照以时间分阶段的原则，制订强度工作在探索研究、先期发展和工程研制三个重要阶段中的研究网络，应该将此纳入先进发动机的设计、研制和使用计划中去。这种方法将是我们发动机研制中的革新点。

《准则(研究报告)》的编制历经四年之久。是在中国航空工业总公司发动机局的直接领导和关怀下进行的，三所部内高等院校和三个发动机研究所的专家、教授和从事发动机结构强度工作多年的老、中、青科技人员付出了辛勤劳动，做出了卓越贡献，在此表示衷心地感谢。《准则(研究报告)》的出版，是我国发动机行业值得庆幸的喜事。希望《准则(研究报告)》出版后，经试用、剪裁、修改和补充，能成为指令性的《发动机型号结构设计准则》，使发动机研制中的结构强度工作早日走向制度化、规范化和标准化。这是发动机研制工作者企盼已久的心愿。

吴大观

1997.10.20

编 写 说 明

航空涡喷、涡扇发动机结构设计准则研究是涡喷、涡扇发动机结构完整性研究中的重点研究课题。《航空涡喷、涡扇发动机结构设计准则(研究报告)》是一份指导性和推荐性的综合研究报告，它较集中地反映了我国航空发动机行业多年来的研制、使用经验，体现了发动机结构完整性和其他相关预研项目的研究成果，并吸取了国外有关的先进经验。在本研究报告的基础上，经过一段时间的试用验证后，还将形成《航空涡喷、涡扇发动机结构设计准则》，供发动机设计研制单位参考。经型号研制单位剪裁、修改和补充后，可成为该型号研制中的指令性设计文件。

本研究报告共分六册，第一册为总论，重点叙述了准则的研究方法，以及发动机研制进程中的结构强度工作内容和要求；第二册至第六册分别为轮盘、叶片、机匣、燃烧室与加力燃烧室和转子系统结构设计准则，均由载荷、结构、故障模式、准则、计算分析、材料与工艺、试验验证、评定标准、风险评定和计划网络等十一章组成。

本研究报告是在中国航空工业总公司发动机系统工程局领导下，组织结构强度行业专家编制的，由六〇六研究所任总编单位，第一册由六〇六研究所任主编单位；第二册由西北工业大学任主编单位；第三、第六册由北京航空航天大学任主编单位；第四、第五册由南京航空航天大学任主编单位，六〇六研究所还为各册的副主编单位。

参加本册编审工作的人员还有：李子志、刘建军、尚守堂、郑永成、赵国瑞、贾东兵、徐林耀、盛元生、常海萍、温卫东、董德耀、蒋福庆等同志，在此一并表示感谢。

由于编写经验及水平有限，文中不妥之处敬请阅者批评指正。

《航空涡喷、涡扇发动机结构设计准则(研究报告)》编委会

目　录

第1章　绪论……(1)
1.1　引言……(1)
1.2　编制目的……(1)
1.3　内容提要……(1)
参考文献……(3)
第2章　载荷及载荷谱……(4)
2.1　引言……(4)
2.2　载荷类型……(4)
2.2.1　气动载荷……(4)
2.2.2　温度载荷……(7)
2.2.3　质量惯性力……(9)
2.2.4　声激振载荷……(9)
2.3　循环载荷谱……(9)
2.3.1　火焰筒的循环载荷……(10)
2.3.2　加力燃烧室的循环载荷……(10)
2.4　典型燃烧室和加力燃烧室载荷实例……(11)
2.4.1　火焰筒的压力和轴向力……(11)
2.4.2　火焰筒和隔热屏的温度场……(12)
2.4.3　加力燃烧室机匣的剪力和弯矩……(13)
2.4.4　火焰稳定器的轴向力……(13)
2.4.5　加力燃烧室机匣的压力和轴向力……(14)
2.5　不同研制阶段载荷数据的来源、内容和要求……(14)
2.5.1　探索研究……(14)
2.5.2　先期发展……(14)
2.5.3　工程研制……(15)
参考文献……(16)
第3章　典型结构……(17)
3.1　引言……(17)
3.2　典型机种的燃烧室和加力燃烧室结构……(18)
3.2.1　典型燃烧室结构介绍……(18)
3.2.2　典型加力燃烧室结构介绍……(21)
3.3　燃烧室结构形式及评价……(27)
3.3.1　燃烧室的基本类型和结构形式……(27)
3.3.2　火焰筒壁面冷却结构形式……(28)
3.3.3　火焰筒主燃孔和掺混孔结构形式……(29)
3.3.4　火焰筒的固定方法……(29)
3.4　加力燃烧室结构形式及评价……(30)
3.4.1　扩散器外壁和内锥……(30)

3.4.2 混合器……(30)
3.4.3 喷油系统……(30)
3.4.4 火焰稳定器……(30)
3.4.5 支板……(31)
3.4.6 快卸环……(31)
3.4.7 隔热屏及其支承销……(31)
3.4.8 安装和支承……(32)
3.5 典型的局部结构……(32)
3.5.1 燃烧室结构细节分析……(32)
3.5.2 加力燃烧室结构细节分析……(32)
参考文献……(35)
第4章 典型故障模式和影响分析……(36)
4.1 引言……(36)
4.2 故障模式与常见故障……(36)
4.2.1 故障模式……(36)
4.2.2 燃烧室故障……(36)
4.2.3 加力燃烧室故障……(38)
4.3 故障模式影响分析(FMEA)表……(39)
4.3.1 燃烧室 FMEA 表……(39)
4.3.2 加力燃烧室 FMEA 表……(41)
参考文献……(46)
第5章 设计准则……(47)
5.1 引言……(47)
5.2 设计准则……(47)
5.2.1 防止高循环疲劳……(47)
5.2.2 足够的低循环疲劳寿命……(52)
5.2.3 足够的低循环疲劳和蠕变交互作用的寿命……(55)
5.2.4 防止蠕变屈曲……(57)
5.2.5 防止局部屈曲……(58)
参考文献……(61)
第6章 设计分析方法……(62)
6.1 引言……(62)
6.2 设计分析项目……(62)
6.3 分析方法……(63)
6.3.1 解析和经验分析方法……(63)
6.3.2 有限元分析方法……(93)
6.3.3 寿命计算方法……(102)
6.3.4 可靠性分析方法……(112)
6.3.5 寿命误差带分析……(118)
参考文献……(120)

第7章 材料与工艺 …… (121)
7.1 引言 …… (121)
7.2 选材原则 …… (121)
7.2.1 工作条件 …… (121)
7.2.2 选材原则 …… (121)
7.2.3 燃烧室选材原则 …… (122)
7.2.4 加力燃烧室选材原则 …… (122)
7.3 典型机种燃烧室和加力燃烧室的主要材料及其性能分析 …… (122)
7.3.1 燃烧室主要材料及其性能分析 …… (122)
7.3.2 加力燃烧室主要材料及其性能分析 …… (124)
7.4 发展中的燃烧室和加力燃烧室材料及其性能 …… (125)
7.4.1 复合材料 …… (125)
7.4.2 金属间化合物 …… (125)
7.4.3 高温陶瓷材料 …… (126)
7.4.4 多孔层板 …… (126)
7.4.5 隔热涂层 …… (126)
7.5 结构分析中所需原材料性能数据及其来源和可靠度要求 …… (126)
7.5.1 所需材料性能 …… (126)
7.5.2 材料性能数据的来源及可靠度 …… (127)
7.6 燃烧部件的典型工艺对材料性能和结构影响的分析 …… (127)
7.6.1 冲压成型 …… (127)
7.6.2 焊接工艺 …… (127)
7.6.3 板焊件改为机加工焊接件 …… (127)
7.6.4 表面强化处理 …… (128)
7.6.5 表面喷涂工艺 …… (128)
参考文献 …… (128)
第8章 试验验证 …… (129)
8.1 引言 …… (129)
8.2 燃烧室和加力燃烧室结构验证试验项目 …… (130)
8.3 材料和工艺特性试验 …… (130)
8.3.1 试验目的 …… (130)
8.3.2 试样 …… (130)
8.3.3 试验设备 …… (131)
8.3.4 试验方法 …… (131)
8.3.5 特别说明 …… (140)
8.4 典型结构的模型试验 …… (140)
8.4.1 试验目的 …… (140)
8.4.2 试样 …… (140)
8.4.3 试验设备 …… (141)
8.4.4 试验方法 …… (141)

需要全本请访问 www.ertongbook.com

8.4.5 特别说明 …… (145)
8.5 燃烧室水流模拟试验 …… (145)
8.5.1 试验目的 …… (145)
8.5.2 试样 …… (145)
8.5.3 试验设备 …… (145)
8.5.4 试验方法 …… (146)
8.5.5 特别说明 …… (146)
8.6 燃烧室传热试验 …… (146)
8.6.1 试验目的 …… (146)
8.6.2 试样 …… (147)
8.6.3 试验设备 …… (147)
8.6.4 试验方法 …… (147)
8.6.5 特别说明 …… (150)
8.7 燃烧室火焰筒振动试验 …… (150)
8.7.1 试验目的 …… (150)
8.7.2 试样 …… (150)
8.7.3 试验设备 …… (150)
8.7.4 试验方法 …… (150)
8.7.5 特别说明 …… (150)
8.8 缩型或全尺寸的试验器试验 …… (150)
8.8.1 试验目的 …… (150)
8.8.2 试样 …… (152)
8.8.3 试验设备 …… (152)
8.8.4 试验方法 …… (152)
8.8.5 特别说明 …… (155)
8.9 燃烧室热循环疲劳试验 …… (155)
8.9.1 试验目的 …… (155)
8.9.2 试样 …… (155)
8.9.3 试验设备 …… (155)
8.9.4 试验方法 …… (155)
8.9.5 特别说明 …… (156)
8.10 燃烧室和加力燃烧室的台架试验 …… (157)
8.10.1 试验目的 …… (157)
8.10.2 试样 …… (157)
8.10.3 试验设备 …… (157)
8.10.4 试验方法 …… (159)
8.10.5 特别说明 …… (160)
参考文献 …… (161)
第9章 评定标准 …… (162)
9.1 引言 …… (162)

9.2 应力限制要求 …… (163)
9.3 高循环疲劳寿命要求 …… (163)
9.4 屈曲条件要求 …… (164)
9.5 蠕变限制要求 …… (165)
9.6 低循环疲劳寿命要求 …… (166)
参考文献 …… (167)
第10章 风险评定 …… (168)
10.1 引言 …… (168)
10.2 风险定义及评定目的 …… (168)
10.2.1 风险定义 …… (168)
10.2.2 风险评定目的 …… (169)
10.3 风险评定的要点 …… (169)
10.3.1 技术问题说明 …… (169)
10.3.2 技术展望 …… (170)
10.3.3 发展项目计划 …… (170)
10.3.4 活动网络 …… (170)
10.3.5 专家调查方法 …… (171)
10.3.6 网络模拟分析 …… (174)
参考文献 …… (177)
第11章 计划网络 …… (178)
11.1 引言 …… (178)
11.2 探索研究 …… (178)
11.2.1 任务 …… (178)
11.2.2 初步分析 …… (180)
11.2.3 详细设计 …… (180)
11.2.4 可行性试验和分析 …… (180)
11.3 先期发展 …… (181)
11.3.1 任务 …… (181)
11.3.2 初步评定 …… (182)
11.3.3 部件设计和证实 …… (183)
11.3.4 试验验证 …… (185)
11.4 工程研制 …… (185)
11.4.1 任务 …… (185)
11.4.2 确定要求 …… (186)
11.4.3 发动机初步结构设计 …… (187)
11.4.4 气动和结构的试验器试验 …… (187)
11.4.5 发动机结构环境验证 …… (187)
11.4.6 发动机工作寿命验证 …… (190)
参考文献 …… (191)

第1章 绪 论

1.1 引言

衡量燃气涡轮发动机水平的主要指标之一是发动机的推重比。发动机推重比的提高，主要依靠提高压气机增压比，提高涡轮前温度，减轻结构重量等措施来实现。然而，这些措施的采用，往往恶化了发动机的工作条件，提高了发动机构件的应力水平，从而增加了现代燃气涡轮发动机发生故障的可能性。这就要求在新一代发动机结构设计中，更应重视其关键部位的设计细节，严格遵循结构设计的各个设计环节，以提高设计质量，确保发动机的可靠性和耐久性。

1.2 编制目的

本准则提出了航空发动机新机研制和在役机种改进、改型过程中，结构设计必须遵循的基本原则和要求，以确保结构的可靠性和耐久性。在涡喷、涡扇发动机燃烧室和加力燃烧室结构设计中，本准则可作为推荐性、指导性及参考性的文件。

燃烧室和加力燃烧室是航空发动机的高温部件，它们是在复杂的气动和热力环境中工作。燃烧室和加力燃烧室结构设计的质量，直接关系到发动机的寿命、可靠性和推重比。因此，合理地制定燃烧室和加力燃烧室的结构设计准则，是发动机燃烧室和加力燃烧室设计的重要依据，也是提高发动机结构设计质量的可靠保证。

提高材料强度或降低工作应力裕度，都可提高构件允许的工作应力。工作应力的提高使构件对设计误差、材质缺陷、使用条件和工艺过程等因素更为敏感。因此，要求发动机的结构设计更加完善，设计技术更加先进，试验工作更加完备，从而消除潜在的故障因素。此外，由于通过高温、高压、高转速的工作条件，以提高发动机的性能，使现代发动机的构件比以往发动机的构件受到更多的强度和寿命方面的限制。因此，现代发动机设计比以往发动机设计更加注意其结构设计的细节和验证试验。未来发动机的性能和应力水平还会向更高的水平方向发展。因此，应该认真总结我国近年来航空发动机结构设计方面的经验和吸取国外经验，制定一套比较先进、比较完善的发动机结构设计系统及其相应的结构设计准则，在我国航空发动机自行设计的道路上，迈出坚实的一步。

1.3 内容提要

本册为“航空涡喷、涡扇发动机结构设计准则”研究报告的第五册燃烧室和加力燃烧室部分。本册中，燃烧室主要是指火焰筒，而燃烧室机匣列在第四册机匣中，加力燃烧室包括加力燃烧室机匣、隔热屏、喷油环、火焰稳定器和有关支承连接件等。

虽然燃烧室的喷油咀、扰流器也是燃烧室的组成部分，但本准则不对它们进行讨论，上述内容，可参考有关书籍或文献。

本册共分 11 章，主要内容为：

- 载荷及载荷谱
- 典型结构

· 典型故障模式和影响分析
· 设计准则
· 设计分析方法
· 材料与工艺
· 试验验证
· 评定标准
· 风险评定
· 计划网络

本册内容的核心是第5章，发动机燃烧室和加力燃烧室的结构设计准则。根据航空发动机的工作条件、航空发动机发展对结构可靠性和耐久性的要求以及发动机燃烧室和加力燃烧室曾经出现的主要故障情况，提出了5项燃烧室和加力燃烧室结构设计准则，即：

· 防止高循环疲劳
· 足够的低循环疲劳寿命
· 足够的低循环疲劳和蠕变交互作用的寿命
· 防止蠕变屈曲
· 防止局部屈曲

本册其他章节都是围绕设计准则的基本内容和要求以及为实施准则的基本内容和要求而提出的补充和说明。

燃烧室和加力燃烧室的结构设计是一项涉及面广、技术要求高的综合性系统工程。应从载荷分析、结构设计、材料选择、工艺方法、计算分析和试验验证等诸方面进行详细地分析和研究。只有这样，设计准则的要求才能得到落实和实施。

本册的第2章对燃烧室和加力燃烧室所承受的载荷及载荷谱进行了分析，这是确定燃烧室和加力燃烧室强度储备和寿命的基础，也是燃烧室和加力燃烧室结构设计的依据和前提。

第3章和第4章介绍了燃烧室和加力燃烧室的典型结构及其设计特点，分析了燃烧室和加力燃烧室常见的典型故障，为燃烧室和加力燃烧室结构选型、设计提供了有价值的经验。

第6章简要地介绍了燃烧室和加力燃烧室设计中为满足准则要求进行必要的计算分析的方法，其中包括理论或经验的估算方法和有限元方法。分析内容包括应力、应变、屈曲、蠕变、振动和寿命预测等。在设计中可根据需要进一步查阅“航空发动机设计手册”的有关部分。在手册中对各种计算方法作了更为详细的介绍。

第7章材料与工艺是先进结构设计的基础，本章介绍燃烧室和加力燃烧室的选材原则，确定对燃烧室和加力燃烧室结构分析时所需的各种材料的物理和机械性能参数。由于燃烧室和加力燃烧室的制造工艺与材料性能有密切关系，本章介绍了几种典型工艺对燃烧室和加力燃烧室常用材料所造成的影响，并介绍了发展中的燃烧室和加力燃烧室的新材料及其性能。

第8章介绍了燃烧室和加力燃烧室设计过程中，为满足设计准则要求必须进行的试验工作。在不同的阶段上，按试验要求进行验证，以确保设计准则的实施。

第9章是根据设计准则内容和要求，提出了判断是否满足设计准则的标准，并尽可能地进行了量化。评定标准与各国的设计经验、设计分析手段和方法、材料和工艺水平等有密切的关系。由于我国航空发动机自行设计还刚刚开始，经验不多，研究工作也开展得较少，所提供的数据仅仅作为参考。

第10章介绍了构件的风险评定方法。用统计方法对研制过程中所有的分析和试验结果进

行误差带分析和风险评定。这项工作对提高燃烧室和加力燃烧室的可靠性，减少燃烧室和加力燃烧室结构设计的风险具有重要意义。

第11章介绍了燃烧室和加力燃烧室设计的计划网络。计划网络将燃烧室和加力燃烧室设计的全部活动分为探索研究、先期发展、工程研制等三个阶段。计划网络对于研究工作的计划管理和保证设计质量具有十分重要的意义。

参 考 文 献

[1] 燃气涡轮发动机结构设计准则的研究.

[2] 斯贝 MK202 发动机应力标准(EGD－3). 国际航空编辑部，1979.

[3] 航空涡轮喷气和涡轮风扇发动机通用规范(GJB241－87). 国防科学技术工业委员会军标出版社，1988.

[4] 美国军用标准，发动机结构完整性大纲(MIL－STD－1783).

第2章　载荷及载荷谱

2.1　引言

燃烧室和加力燃烧室处于发动机的热端，工作在复杂的气动和热力环境中。它们的耐久性是很关键的。如果火焰筒发生故障，将导致涡轮进口温度及压力场畸变，造成涡轮结构破坏。加力燃烧室发生故障，能引起飞机结构破坏和发动机推力急剧下降。

为了保证燃烧室和加力燃烧室具有足够的使用寿命，首先要充分了解火焰筒、加力燃烧室机匣、隔热屏、火焰稳定器和燃油总管等各部件的受力情况，以便进行相应的应力和寿命分析。以下将对各部件的载荷类型、循环载荷谱、载荷实例及不同研制阶段对载荷数据来源、内容和要求等方面予以说明。

2.2　载荷类型

发动机工作过程中，燃烧室和加力燃烧室承受如下载荷：

1）气体载荷，包括由气体静压和动压形成的轴向力和径向力；

2）温度载荷；

3）飞机机动飞行时的质量惯性力；

4）声激振载荷。

2.2.1　气动载荷

一般是由性能设计给出燃烧室和加力燃烧室的气体压力、速度、密度、流量等参数，然后计算出气体轴向力。

下面对火焰筒、加力燃烧室机匣、隔热屏、火焰稳定器等构件受到的气动载荷情况分别给予说明。

2.2.1.1　火焰筒的气动载荷

燃烧室的火焰筒，无论哪种形式，都有冷却空气由外向里流动。这样，火焰筒外部的压力总是大于内部的压力，故它受到压差载荷的作用。

环形燃烧室是由外壁和内壁组成，外壁和内壁通过火焰筒头部连接起来。由图2-1和图2-2可见，外壁受外余压作用，内壁受内余压作用。外壁在外余压作用下可能会产生屈曲，故必须进行屈曲分析。同时应对外壁和内壁进行应力分析。

环形燃烧室的固定方式大致有两种。一种是头部固定，如图2-1所示，头部沿周向用球头销固定到机匣上，销子焊接在火焰筒头部。应当注意，在轴向力作用下，销子根部区域会出现应力集中，所以焊接销子的位置应尽量避免与焊缝重合，并应尽可能增大连接处的面积，减轻应力集中。另一种固定方式是在内壁后端面加安装边用螺栓与内轴承座连接，这种方式受力比较均匀，如图2-2所示。但会使内壁受到较大的轴向力，需考虑内壁的屈曲问题。

在计算轴向力时，除静压外，还应考虑动压的作用。

2.2.1.2　加力燃烧室机匣的气动载荷

一般说来，加力燃烧室机匣由扩散器机匣、加力燃烧室机匣和喷口机匣三部分组成。这些

需要全本请访问 www.ertongbook.com