

高等学校教学用书



航空涡轮发动机构造与 零件强度计算

上册

北京航空学院发动机构造教研室编



国防工业出版社

高等学校教学用书

航空涡轮发动机构造与
零件强度计算

上册

北京航空学院发动机构造教研室编



国防工业出版社

1960

內容簡介

本書系北京航空學院發動機構造教研室教師在遵行黨的教育方針，貫徹理論聯繫實際，運用辯證唯物主義觀點的思想指導下集體編寫而成。

全書包括有：航空燃氣渦輪發動機構造，主要零件振動計算，主要零件強度計算等篇，分上、下冊出版。

本上冊介紹了發動機總體方案設計，各部件基本設計原則及計算方法，以及部件、零件的工作條件與特點；借所選用的升余台現代渦輪噴氣發動機的構造進行了說明與分析，同時還介紹了現代航空發動機技術上的新成就。

本書供航空學院發動機設計專業教學之用，亦可作有關方面技術人員參考。

北京航空學院發動機構造教研室編

國防工業出版社出版

北京市書刊出版業營業許可證出字第 074 號

機械工業出版社印刷廠印刷

新華書店科技發行所發行

各地新華書店經售

787×1092 1/16 印張 23 559 千字

1960 年 12 月第一版

1960 年 12 月第一次印刷

印數：0,001—3,000 冊 定價：(10-5)2.60 元

NO. 3376

前 言

在研究发动机的构造时，常用两种方法：一种是一台一台的来研究；另一种是按照部件、零件的类型来研究。前一种方法是针对某些具体发动机，按照具体设计条件进行分析研究。这种方法可以使读者对该发动机的设计观点、当时具体条件下的设计中心思想以及设计方案的优缺点、困难问题与处理方法等等都有比较清晰具体的概念；此外对整台发动机的设计布局，各方面的考虑也有统一的了解。但是，这种研究方法在内容上却容易形成重复，一些虽用得不多但实际上也很有价值的结构反而不能介绍；对于一些组件、零件的现有类型及设计方法也了解不多；同类组件、零件的比较分析也很困难；尤其是所学的发动机很容易「老去」。

按部件、零件的类型来研究则可以避免以上缺点，但也有其不利之处。这一方法的主要缺点是：读者对整台发动机的设计缺乏统一的概念；对构件、零件设计的分析不便结合具体发动机、具体设计条件来进行，但这些缺陷可以借助于讲课、课外作业与生产实习等来弥补。本书主要是按照第二种研究方法，以航空发动机构造教学讲义为基础改编写成。

编者在搜集资料与研究资料工作中曾得到苏联专家们热情的帮助，在此谨向曾经帮助我们的苏联同志们表示衷心的感谢。

编写中得到兄弟院校的支援，有力地加快了编写工作，谨此表示谢意。

本书初稿脱稿之际，正值各高等院校轰轰烈烈地开展伟大的教学革命运动。我们在运动中曾组织师生以毛泽东思想及总路线精神对初稿进行了审查：着重对内容的先进、精简方面，重点的选择方面，理论联系实际方面进行了分析讨论，并对本书在贯彻政治挂帅、阶级观点及辩证唯物主义观点等方面提出了意见——重新进行了改编。

限于时间的短促及编者的水平，本书无论在思想性、技术内容以及文字方面都可能存在不少缺点，我们诚恳欢迎并感谢读者们对本书提出的宝贵意见。

目 录

前言	3
第一章 緒 論	9
第一节 航空燃气渦輪发动机发展簡史	9
第二节 航空燃气渦輪发动机的类型	10
第三节 航空燃气渦輪发动机的发展現况与趋势	19
1. 航空燃气渦輪发动机現有的水平	19
2. 航空燃气渦輪发动机的发展趋势	21
第四节 設計航空燃气渦輪发动机的基本原則	22
第二章 航空燃气渦輪发动机的总体方案	24
第一节 概述	24
第二节 在燃气渦輪发动机上作用的力与力矩	24
1. 在发动机各主要組合件上作用的力与力矩	24
2. 气体力	26
3. 慣性力	32
第三节 部件安排与机匣結構	34
1. 减速器的安排	34
2. 附件的安排	38
3. 机匣結構方案	38
第四节 轉子的数目与支承方案	41
1. 轉子的数目	41
2. 轉子支承方案	43
3. 发动机在飞机上的安置	46
第五节 燃气渦輪发动机的傳力方案	47
1. 內傳力方案	47
2. 外傳力方案	49
3. 內、外混合傳力方案	49
4. 內外壳体并行傳力方案	50
第三章 离心式压气机	51
第一节 概述	51
1. 离心式压气机的分类	51
2. 离心式压气机的組成部分	52
第二节 单面离心式压气机	52
1. 轉子	52
1) 叶輪	53
2) 导風輪	54
3) 叶輪、导風輪与軸的联接	54
2. 靜子机匣	55
第三节 双面离心式压气机	56
1. 概述	56
2. 构造	57
第四节 混合式压气机	59
第五节 双級离心式压气机	63

第六节 离心式压气机转子的联接强度计算	64
第七节 零件的材料	64
第四章 轴流式压气机	65
第一节 概述	66
1. 轴流式压气机的优点及其应用	66
2. 通道形式与构造基本参数的选择	66
3. 轴流式压气机的分类	68
4. 轴流式压气机的各组成部分	69
第二节 工作叶片	69
1. 对工作叶片的要求	70
2. 叶身型线的設計	70
3. 叶片榫头的构造	72
第三节 转子	78
1. 盘-轴混合式转子	79
2. 盘-鼓混合式转子	82
第四节 静子机匣	87
1. 压气机机匣	87
2. 静子叶片	90
3. 静子叶片与机匣之联接	91
第五节 扩压器	91
1. 支柱传力的扩压器	91
2. 用末级静子叶片传力的扩压器	97
第六节 压气机进口部分与防冰装置	98
1. 发动机的防冰装置	99
2. 前轴承机匣	101
3. 固定式的进口导流叶片	101
第七节 防喘振装置	102
1. 放气机构	102
2. 可转动的进口导流叶片	104
3. 可转动的静子叶片	107
4. 可变截面积的进气道	107
第八节 双转子压气机	109
第九节 封气装置	111
第十节 压气机转子的联接强度计算	111
第十一节 轴流式压气机零件所使用之材料	113
第五章 燃气涡轮	122
第一节 概述	122
1. 涡轮的分类	122
2. 涡轮主要尺寸及级数的确定	123
3. 涡轮的组成部分	125
第二节 转子	125
1. 工作叶片	125
2. 单级涡轮的转子	130
3. 多级涡轮的转子	134
第三节 静子	137
1. 导向器	137
2. 涡轮外环及涡轮机匣	141

第四节 涡轮支承及传力的构造	147
1. 涡轮前支承及其传力的构造	147
2. 涡轮后支承及其传力的构造	151
3. 涡轮受热后零件定中心问题	152
第五节 联轴器	153
1. 联轴器的功用及分类	154
2. 联轴器的构造	154
第六节 涡轮零件的温度分布	161
1. 工作叶片的温度分布	162
2. 涡轮盘及联接榫头的温度分布	162
第七节 涡轮部件的冷却	164
1. 涡轮盘的冷却	165
2. 涡轮叶片的冷却及其构造	166
3. 涡轮部件的冷却系统	172
第八节 涡轮轴的强度计算	174
第九节 涡轮零件所使用的材料	177
1. 工作叶片	177
2. 导向叶片	178
3. 涡轮盘和涡轮轴	178
4. 导向器内外环和涡轮外环	178
第六章 燃烧室	181
第一节 概述	181
1. 燃烧室的功用及其重要性	181
2. 燃烧室的工作条件	181
3. 对燃烧室的要求	182
第二节 燃烧室主要尺寸的计算	184
1. 分管式燃烧室的计算	184
2. 联管式燃烧室的计算	185
3. 环形燃烧室及混合式燃烧室的计算	187
第三节 燃烧室的构造	192
1. 分管式燃烧室	192
2. 联管式燃烧室	193
3. 环形燃烧室	200
4. 混合式燃烧室	206
5. 燃烧室型别的选择	208
第四节 燃烧室的故障	203
第五节 燃烧室的材料	211
第六节 采用高能燃料的燃烧室	214
第七章 加力燃烧室	216
第一节 概述	216
1. 加力燃烧室的功用及其工作概况	216
2. 加力燃烧室的主要工作特点和构造要求	216
第二节 加力燃烧室的主要元件	217
1. 环形扩压器	217
2. 燃油喷射及起动系统	219
3. 火焰稳定器	222
4. 加力燃烧室壳体	224

第八章 尾噴管及反推力裝置	227
第一节 尾噴管	227
1. 概述	227
2. 噴口不可調節的尾噴管	228
3. 噴口可調節的尾噴管	235
第二节 反推力裝置	244
1. 概述	244
2. 反推力裝置的構造	246
第三节 消音裝置	250
1. 概述	250
2. 消音裝置的構造	251
第四节 尾噴管及反推力裝置所用的材料	252
第九章 渦輪螺旋槳發動機的減速器	254
第一节 概述	254
1. 減速器的作用和設計的特點	254
2. 減速器的設計	255
第二节 減速器的型別及傳動方案	256
1. 減速器的型別	256
2. 減速器的傳動方案	256
第三节 齒數的選擇	262
1. 減速比	262
2. 齒輪的同軸綫條件	262
3. 游星齒輪或中間齒輪的接鄰條件	262
4. 減速器的裝配條件	263
第四节 減速器構造	264
1. 單螺旋槳減速器	265
2. 雙螺旋槳減速器	277
3. 材料	279
第五节 強度計算	280
1. 輪齒的強度計算	280
2. 螺旋槳軸的強度計算	290
第十章 附件傳動	294
第一节 概述	294
第二节 附件在發動機上的安置和傳動	295
1. 在帶軸流式壓氣機的渦輪噴氣發動機上	295
2. 在渦輪螺旋槳發動機上	296
3. 在具有單面或雙面進氣離心式壓氣機的渦輪噴氣發動機上	301
第三节 雙速傳動機構	301
第四节 液壓離合器的構造和應用	305
第五节 強度計算	307
1. 摩擦片離合器	307
2. 滾棒離合器	308
第六节 材料的選擇	310
第十一章 發動機的軸承及供油	311
第一节 概述	311
1. 航空燃氣渦輪發動機所用的軸承	311

2. 对轴承工作的要求	313
第二节 轴承的构造	315
1. 轴承的組成部分	315
2. 轴承的保持架	315
3. 轴承零件間的尺寸关系	317
第三节 轴承的冷却与潤滑	318
1. 轴承的冷却与潤滑方法	318
2. 供油方式	318
3. 供油参数对轴承温度的影响	321
第四节 轴承座的构造	322
1. 轴承与軸及机匣的联接与配合	322
2. 防止轴承过負荷的轴承座的构造	323
3. 止推轴承的組合	325
4. 滑油的封严装置	327
5. 发动机于湿机匣的选择	331
第五节 高温轴承与高速轴承	332
1. 高温轴承	332
2. 高速轴承的故障	334
第十二章 組合动力装置	336
第一节 概述	336
第二节 几种动力装置的性能比較	336
1. 渦輪噴气发动机	336
2. 冲压式发动机	337
3. 液体燃料火箭发动机	337
第三节 几种不同的組合动力装置方案	338
1. 渦輪-冲压式噴气发动机組合	338
2. 火箭发动机-冲压发动机	344
3. 渦輪噴气发动机-液体火箭发动机	345
第四节 組合动力装置发展中存在的問題	347
附图:	349
1. 带有双面离心式压气机的渦輪噴气发动机 PД-45	349
2. 带有軸流式压气机的渦輪噴气发动机	350
3. 带有双轉子压气机的渦輪噴气发动机	351
4. 单軸的渦輪螺旋桨发动机	352
参考书目	353

第一章 緒 論

燃气渦輪发动机被采用作飞机的动力在航空上应用，只是第二次世界大战末期的事。但是，經過战后短短十几年的时间，却获得了空前的发展，达到了很高的水平并广泛地使用在各种类型的飞机上。除了在歼击机、轰炸机等軍用机种上普遍采用該型发动机外，在民用航空方面，在中型或巨型旅客机或运输机上，燃气渦輪发动机也已取代了活塞式航空发动机的地位，例如苏联图-104型客机所采用的动力是渦輪噴气发动机，伊尔-18、安-10及图-114等客机所采用的动力是渦輪螺旋桨发动机。从此，活塞式发动机在航空上的使用范围便大大地缩小了。

第一节 航空燃气渦輪发动机发展簡史

燃气渦輪发动机原始雛型的出現是很古老的事情，但它的理論研究、构造設計、应用与发展却是最近一个世紀以来才大量进行的。通过各国劳动人民、科学家等的不断努力，才使燃气渦輪发动机达到了現有的水平。

我国早在800~1200年以前，即南宋或唐代在民間就有走馬灯（图1-1）流行。走馬灯实际上就是現代燃气渦輪发动机的最原始的雛型，因为現代燃气渦輪发动机的工作原理基本上是与走馬灯一样。在欧洲，类似走馬灯的一种燃气輪机的雛型比走馬灯要晚400~800年即在公元1550年左右才出現。

俄国的学者及工程技术人员对于燃气渦輪发动机和噴气技术的理論研究以及創制工作都有过很重要的貢獻。如H. E. 儒柯夫斯基、K. Э. 齐奥尔柯夫斯基等著名学者，在奠定噴气技术的理論基础上作了巨大的貢獻。П. И. 庫茲明斯基、B. B. 卡拉伏金、H. 格拉西莫夫、A. 葛洛赫夫等人先后进行了各种燃气輪机的設計与制造，为后来的发展提供了一定的条件。

偉大的十月社会主义革命以后，苏联的航空工业得到飞速的发展。苏联的学者和工程师以及广大从事航空工业的工作人员开始积极进行航空燃气渦輪发动机的研究与設計。

例如，1923年設計师B. П. 巴札洛夫提出了航空燃气渦輪发动机的图形（图1-2）。它与現有的渦輪螺旋桨发动机非常相似。1937年斯大林奖金两次获得者、著名的設計家刘里加設計了装有軸流式压气机和环形燃燒室的内外函噴气发动机，就是現代内外函式发动机的雛形。

此外，很多苏联学者在航空燃气渦輪发动机的理論研究方面也作了巨大的貢獻。例如斯大林奖金获得者B. C. 斯杰契金院士在1929年发表的「空气噴气发动机理論」一文，对空气噴气发动机的推力作了理論分析和計算，从而为現代噴气发动机的理論建立一定的基础。

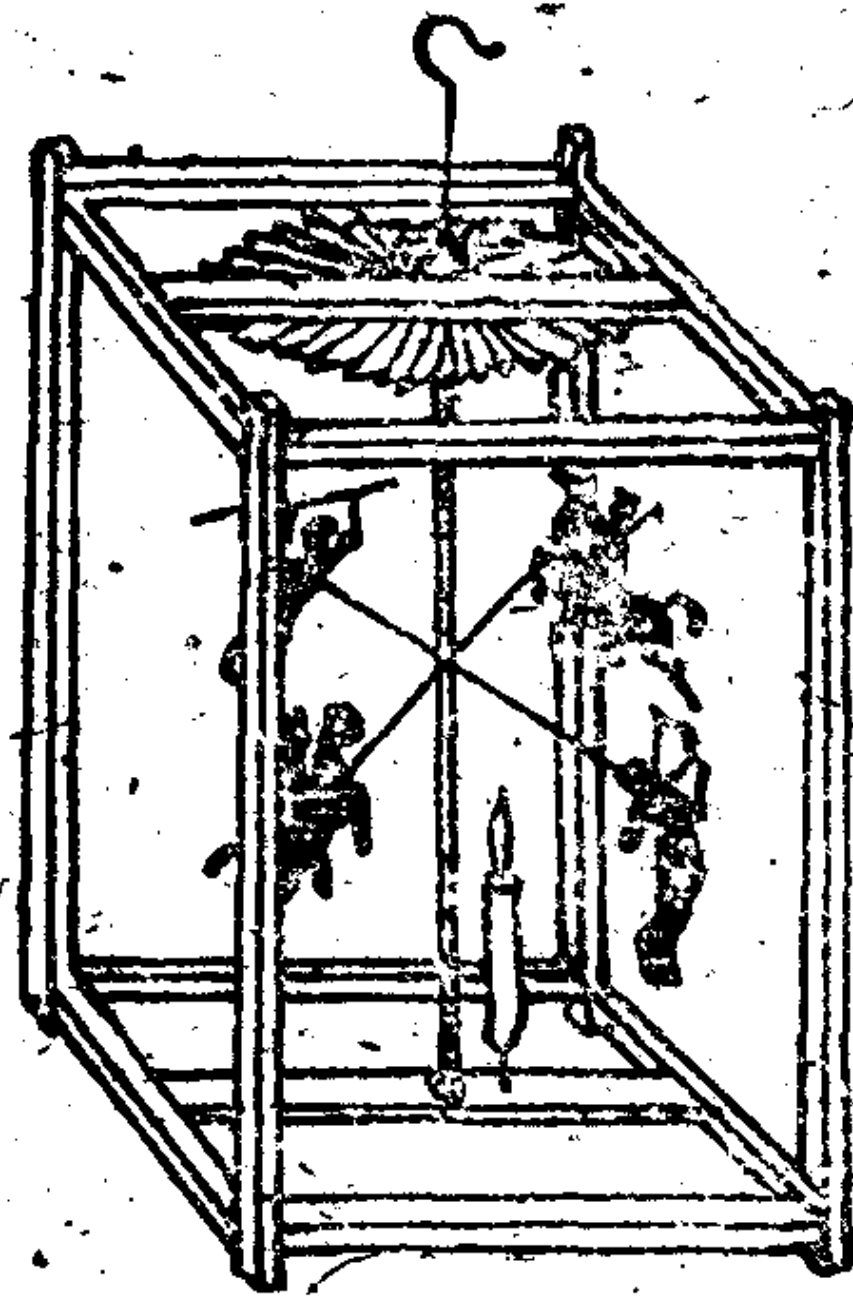


图1-1 燃气輪发动机的雛型——走馬灯（公元750~1150年）。

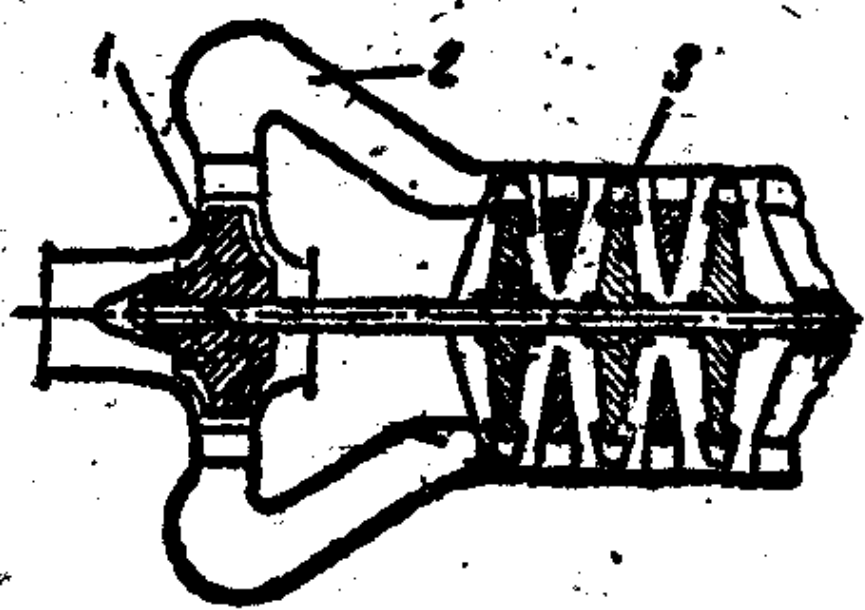


图1-2 巴札洛夫的渦輪螺旋桨发动机方案（1923年）：
1—压气机；2—燃燒室；3—渦輪。

第二次世界大战以后，各国都大力发展喷气式飞机，苏联在这方面作出了卓越的成绩，在国际上居领先地位。在军用飞机方面，苏联除了设计并制造了闻名于世的米格式飞机外，还创制了其它型号的超音速、高超音速的歼击机、拦截机和轰炸机。在这些飞机上都装置着性能优良的涡轮喷气式发动机。民用机方面，巨型客机图-104于1956年出现在苏联国内与国际航线上，使帝国主义国家大为震惊。这种飞机上所装置的涡轮喷气发动机，不仅在当时世界上没有一种发动机可与伦比，就是在三、四年后的今天，它仍是世界上性能最好的发动机之一。继图-104之后，又出现了巨型客机图-114。图-114的发动机是目前世界上最大的涡轮螺旋桨发动机。其它如安-10、伊尔-18、图-124、安-24等型旅客机上，也都采用了性能优良的燃气涡轮发动机。

虽然航空燃气涡轮发动机的理论与方案设计，早在上世纪就已经出现，并且不断地得到了发展，但它真正的实现，却迟在二次大战的末期，这主要是由下列原因所造成的。首先，制造发动机的技术水平过去不够高，不能制出高质量的压气机与涡轮。我们知道，当涡轮与压气机的效率比较低时，发动机就不可能发出推进功率来。因此，当制造不出高效率的涡轮和压气机时，燃气涡轮发动机就不能出现。其次，冶金工业在这以前还不能供应涡轮与燃烧室所需要的高强度的耐热材料，这也阻碍了制造该类发动机的可能性。由目前情况看，如果冶金工业不能继续提供更好的耐热材料，发动机的继续发展仍可能受到一定的限制。另外，飞机制造业在过去还不很发达，高速飞行也不可能，所以因提高飞行速度而对发动机提出的要求还不是迫切的问题，当时活塞式发动机已足够满足需要。直到飞机的设计、制造、科学研究的水平提高了，又由于国防的需要而提出高速飞行的要求时，对燃气涡轮发动机的需要就成为尖锐的问题了。

根据以上所述，航空燃气涡轮发动机是一种精密的现代机器，它的发展是由于适应社会生产的需要；同时也应看到，必需依靠千万人的劳动，以及高度水平的各种科学技术，燃气涡轮发动机的创制才有可能实现。

我们祖国虽然是燃气涡轮发动机诞生的地方，但在解放以前，内受封建统治，外受帝国主义压迫，科学技术得不到发展，因此我国航空工业在解放前是处于一穷二白的境地；只是在新中国成立以后，它才得到了大的发展。在短短的几年中，我国不仅建立了航空工业基地，还相应地建立了航空高等院校与科学研究机关，广泛地开展了发动机的生产、设计、研究工作。我国的航空工业虽然是由无到有，白手起家，但是由于党与政府的关怀与重视，苏联的无私援助以及广大从事航空事业职工的忘我劳动，它也正在飞跃地发展着。我国的航空工厂早已由制造活塞式发动机发展到制造涡轮喷气式发动机。装有我国自己制造的喷气发动机的歼击机，在几年以前就已经承担起保卫祖国神圣领空的任务。现在我国航空燃气涡轮发动机的研究、设计工作正在大力进行，可以预料，我国将对航空燃气涡轮发动机的发展作出巨大的贡献。

第二节 航空燃气涡轮发动机的类型

目前航空燃气涡轮发动机有四种基本的类型：涡轮喷气发动机，涡轮螺旋桨发动机，内外涵发动机和特种涡轮气体发生器。

涡轮喷气发动机是现代飞机广泛采用的一种发动机，它的全部推力都是来自发动机喷出的燃气所产生的反作用力。它由四个主要部分组成，即：压气机K，燃烧室KC，涡轮T及尾喷筒C。见图1-3。

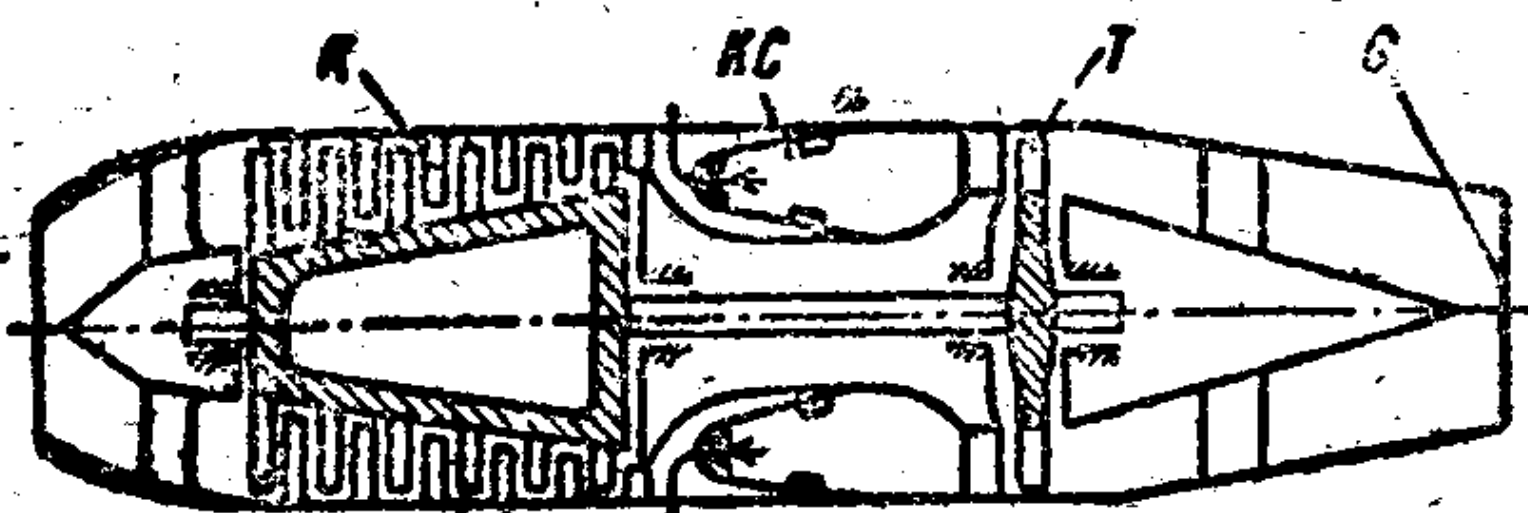


图1-3 具有轴流式压气机的涡轮喷气发动机简图。

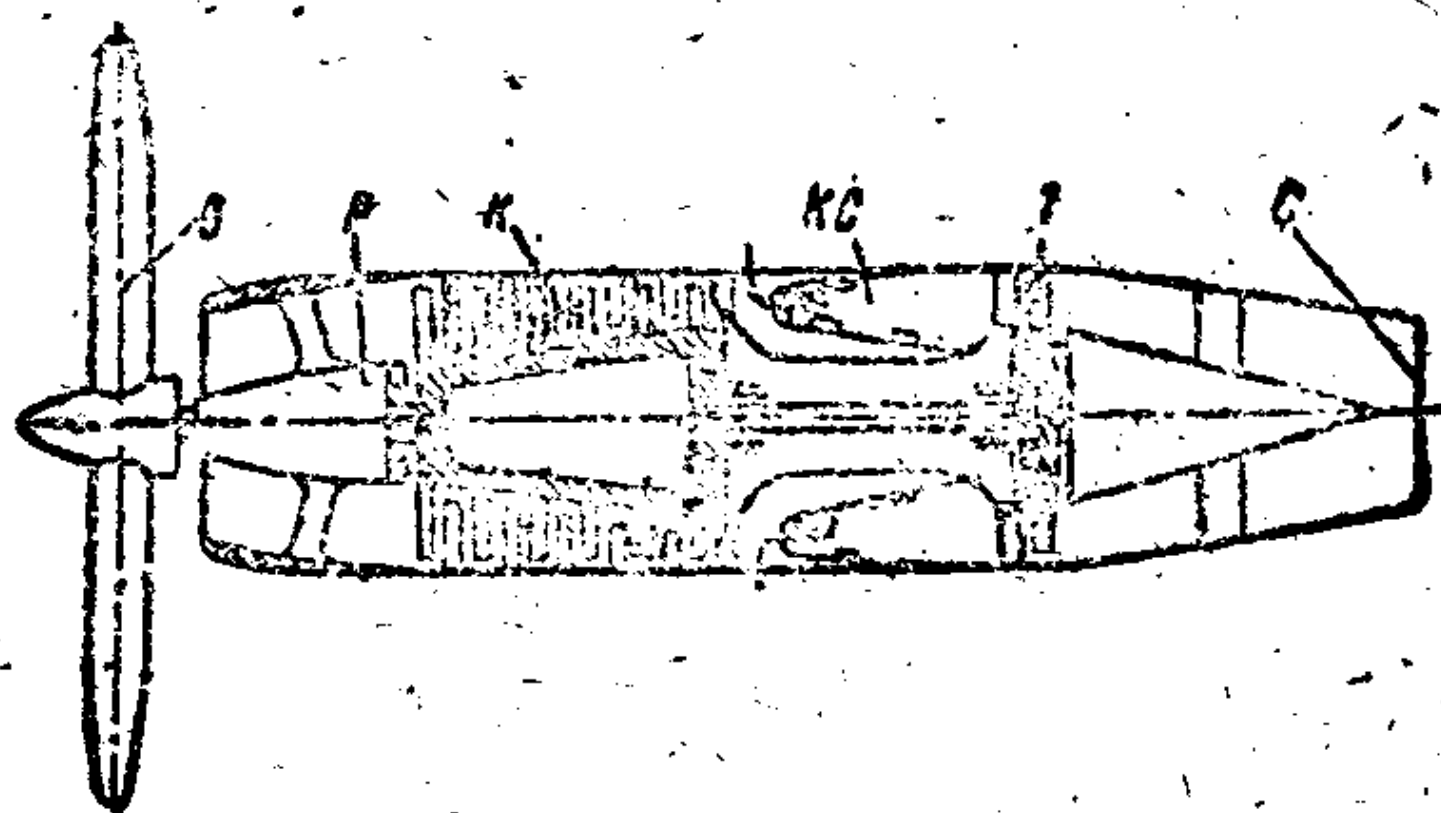


图1-4 具有轴流式压气机的涡轮螺旋桨发动机。

空气经压气机压缩后，流入燃烧室与喷入之燃料混合，经燃烧获得热能。燃气首先在涡轮中膨胀，产生带动压气机及附件所必需的功率；然后在尾喷筒中膨胀，膨胀后，燃气以很大速度喷出，即产生推力。

在涡轮螺旋桨发动机（图1-4）中，推力的主要部分（约90%）是由一个或二个旋转方向相反的同轴螺旋桨B所产生。螺旋桨由涡轮T通过减速器P带动。燃气由发动机尾喷筒C喷出，产生附加推力（约占推力的10%）。燃气的膨胀过程绝大部分是在涡轮中进行，其膨胀功用以带动压气机K及螺旋桨B。

涡轮螺旋桨发动机有较复杂的减速器，其调节亦比较困难，因而它不像涡轮喷气发动机那样，一开始就得到广泛的采用；只是在近几年来，它才在少数国家中，特别是在苏联，得到显著的发展，达到了较高的水平。

内外涵式发动机（图1-5）目前只在少数的民用运输机上试用，它是一种性能介于涡轮喷气发动机与涡轮螺旋桨发动机之间的发动机。它由两个同心圆筒的〔内涵〕与〔外涵〕所组成。在内涵中装有普通涡轮喷气发动机的部件——压气机、燃烧室及涡轮；在外涵中，装有风扇 B_1 ，它由内涵的转子所带动。一部分空气受到它的鼓风作用而流过外涵。为增加发动机的推力，在外涵气流中可以加入燃料进行燃烧。内外涵发动机的推力是由尾喷筒C喷出的燃气与外涵中喷出的气流所产生反作用力的总和。

燃气涡轮发动机有时不直接作为飞行器的推进装置而只作为一种产生气体的热力机械，这时它就是所谓的涡轮气体发生器。

气体发生器一般是用在直升机上，由它产生的气体——压缩气体、燃气或是两者的混合气流——通过特别的管道送到旋翼翼尖的喷口中，喷口喷出的气流的反作用力推动旋翼旋转。

在涡轮气体发生器中，压缩气流或燃气的产生基本上有三种方式。第一种是从燃气涡轮发动机气流通道内直接将气流引出，例如由压气机后面引出压缩空气，或由涡轮后引出燃气。图1-6中所示即属于这种类型。

第二种涡轮气体发生器是由一个燃气涡轮发动机与一个辅助压气机联合组成（图1-7）。辅

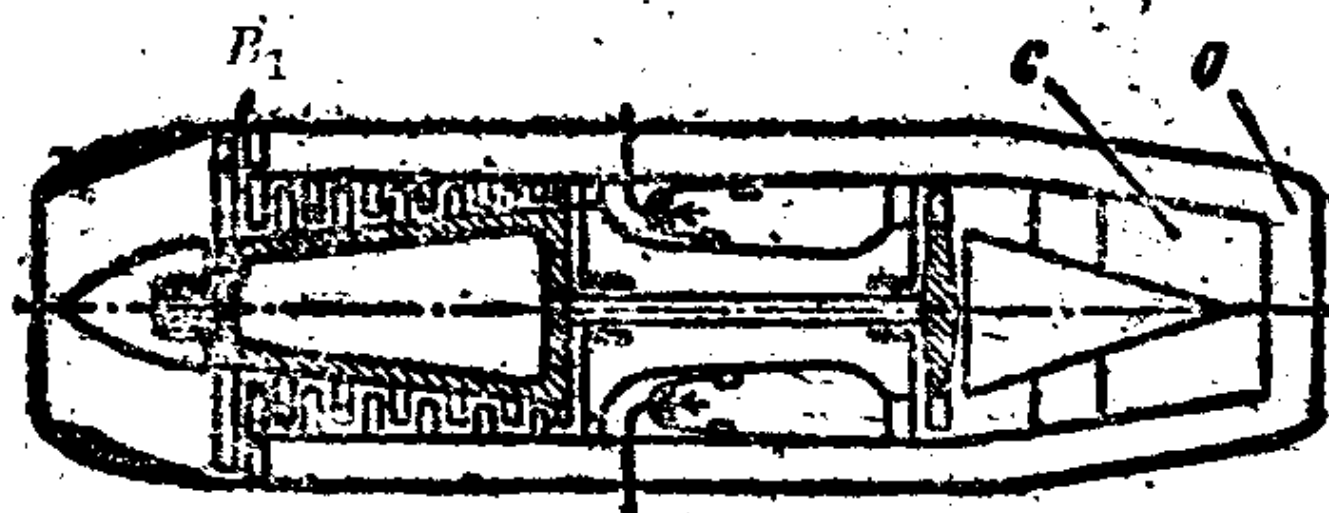


图1-5 内外涵发动机简图。

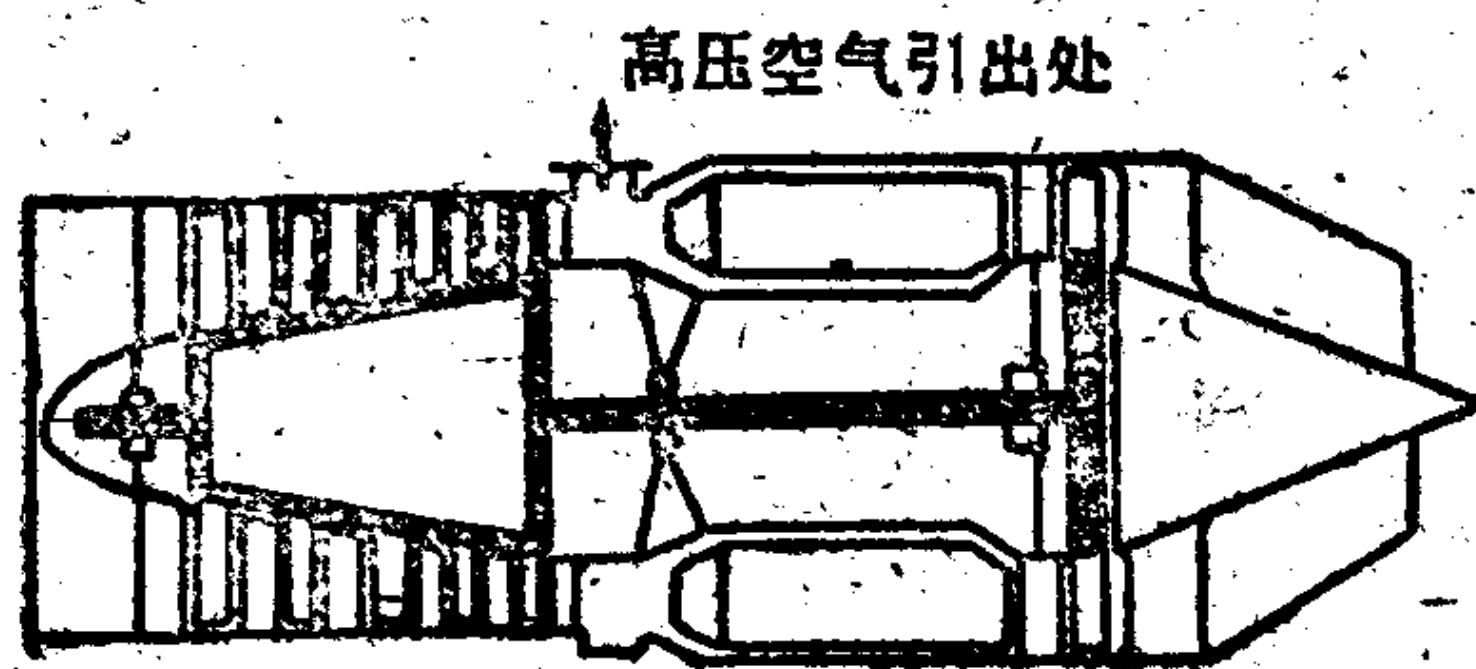


图1-6 由压气机处引出气流的涡轮气体发生器。

助压气机由燃气涡轮发动机通过液压离合器5带动。在辅助压气机7中，将引出的气流压缩到所需要的压力。

第三种涡轮气体发生器是上述两者的组合，其引出气流的来源，一部分是由燃气涡轮发动机本身的气流通道中引出，另一部分是由辅助压气机中引出。图1-8系这种发动机的简图。

按照燃气涡轮发动机的各个部件——压气机、燃烧室、涡轮、尾喷筒以及减速器等构造特点，也可作为发动机分类的依据。

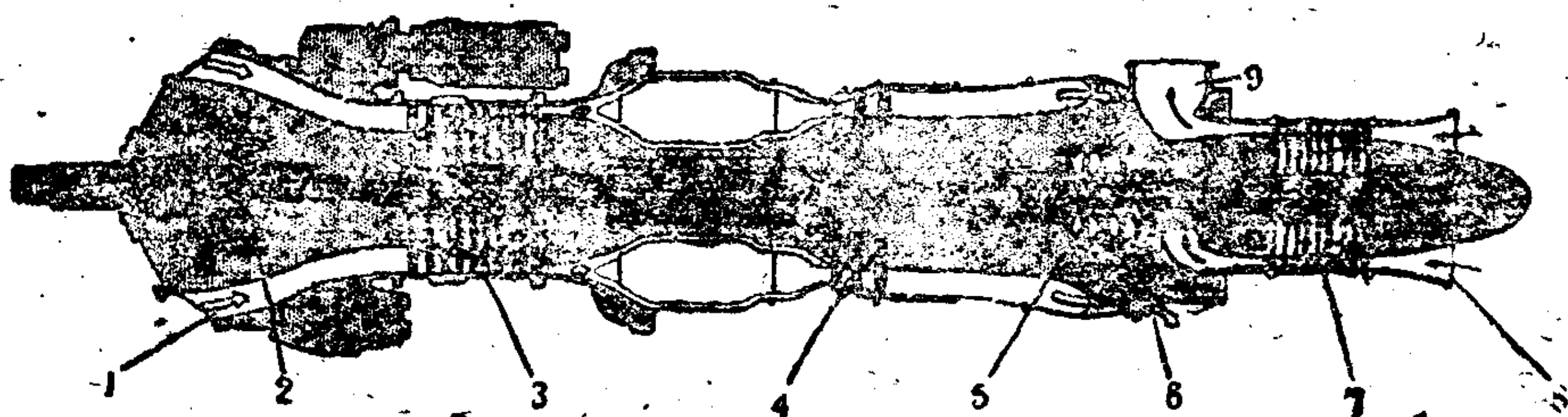


图1-7 带有辅助压气机的涡轮气体发生器。

1—进气道；2—减速器；3—压气机；4—涡轮；5—液压离合器；6—排气道；
7—辅助压气机；8—辅助压气机的进气道；9—压缩空气输出端。

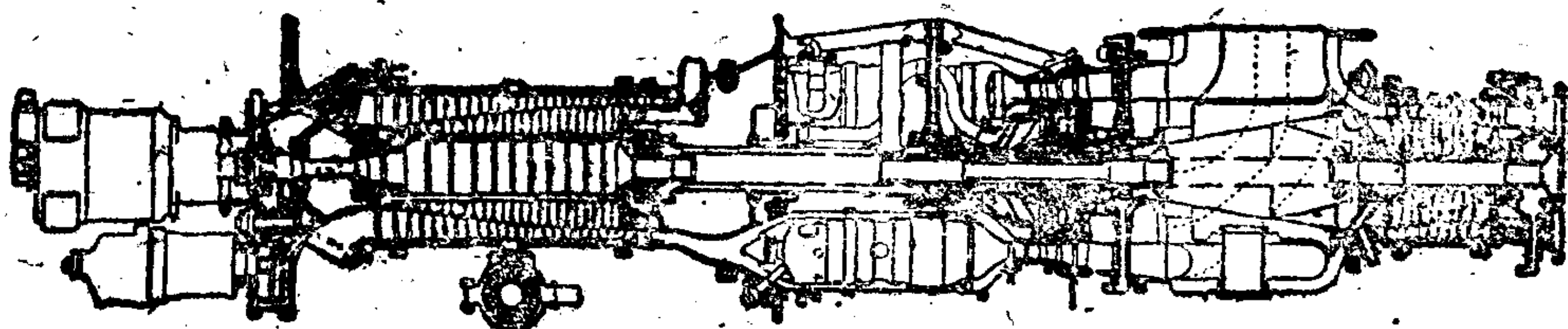


图1-8 混合式涡轮气体发生器。

根据压气机的构造型式，燃气涡轮发动机可以分为：离心式压气机的（图1-9）、轴流式压气机的（图1-10）和混合式压气机的（图1-11）三种。

离心式压气机在早期曾广泛用于航空燃气涡轮发动机上。由于它的原理及构造与活塞式航空发动机上的增压器相似，便于继承增压器叶轮的一些生产经验。此外它的构造也较轴流式的简单，因而在航空燃气涡轮发动机发展的初期获得了广泛的应用。当增压比增大时，

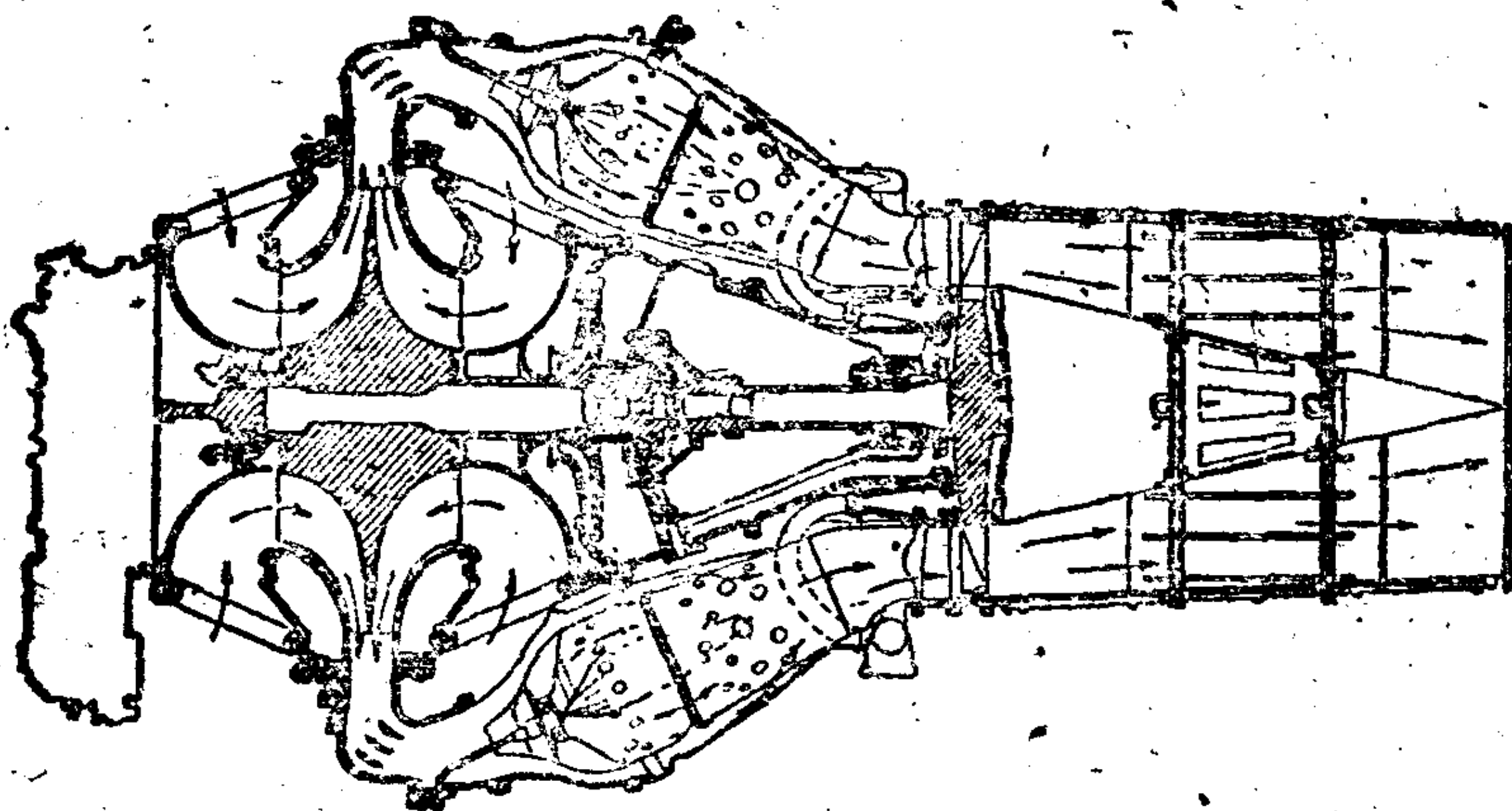


图1-9 具有离心式压气机的涡轮喷气发动机简图。

单级离心式压气机不能满足发动机要求，而需要采用双级离心式压气机。图1-12所示是一种具有双级离心式压气机的涡轮螺旋桨发动机。由于离心式压气机在流量、增压比及效率上不能适应于现代大推力、大功率发动机的要求，所以在现代各种大型的燃气涡轮发动机上已很少采用。

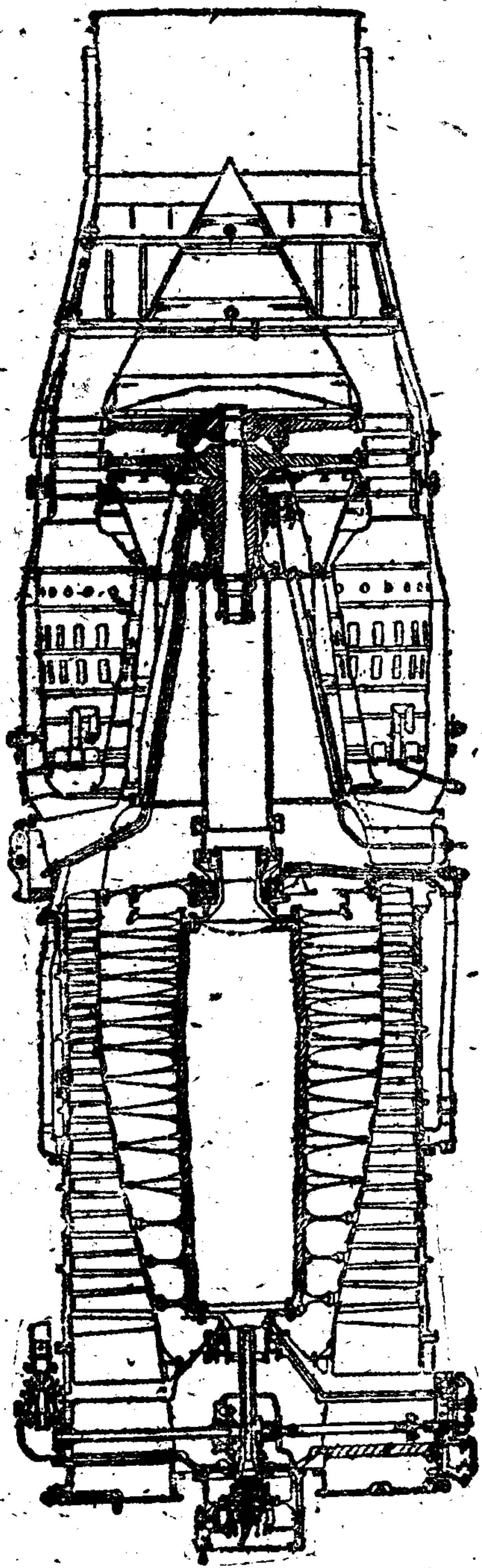


图1-10 具有轴流式压气机的涡轮燃气发动机简图。

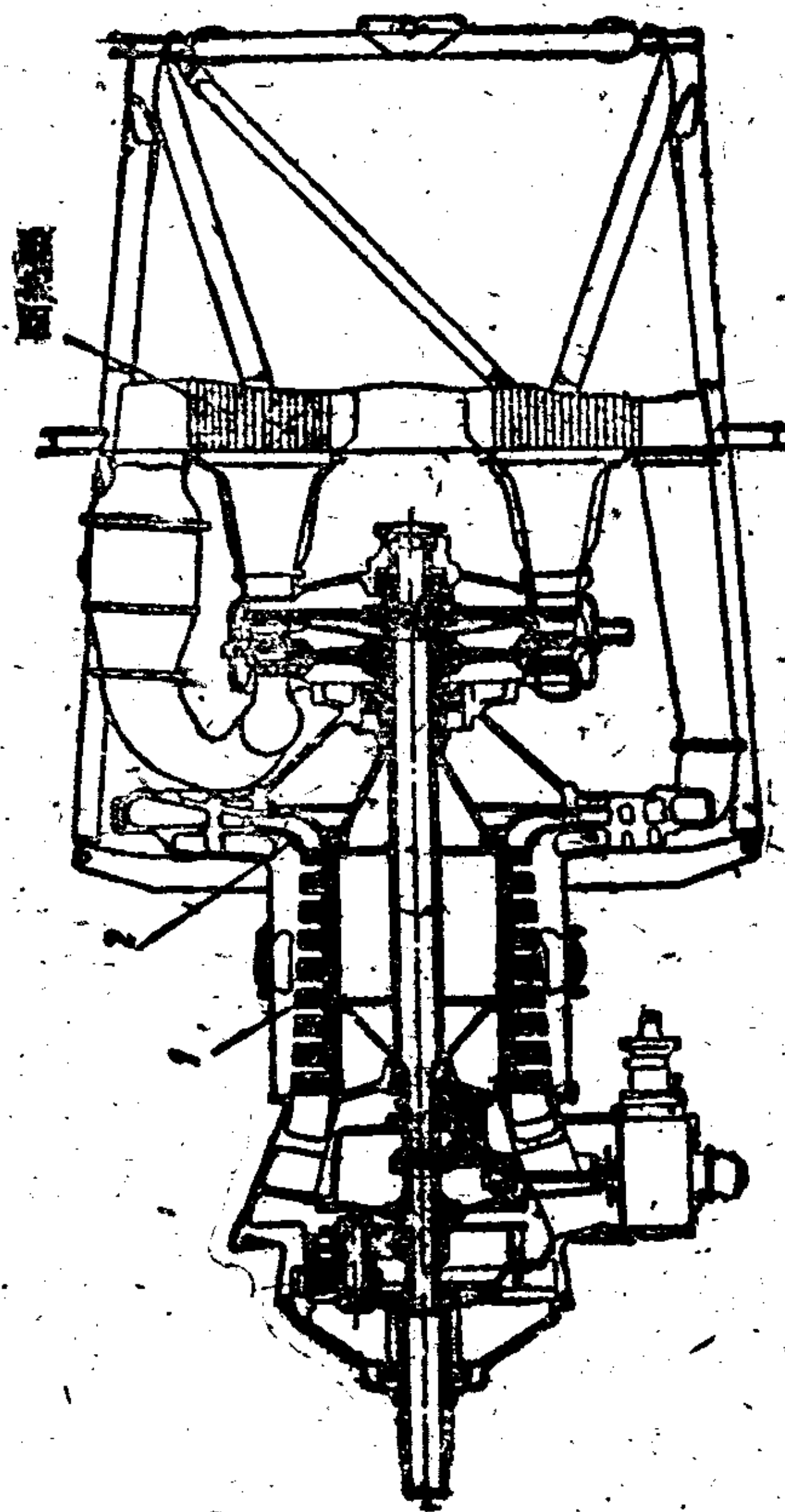


图1-11 具有混合式压气机的涡轮螺旋桨式发动机简图：

1—轴流式压气机；2—离心式压气机。

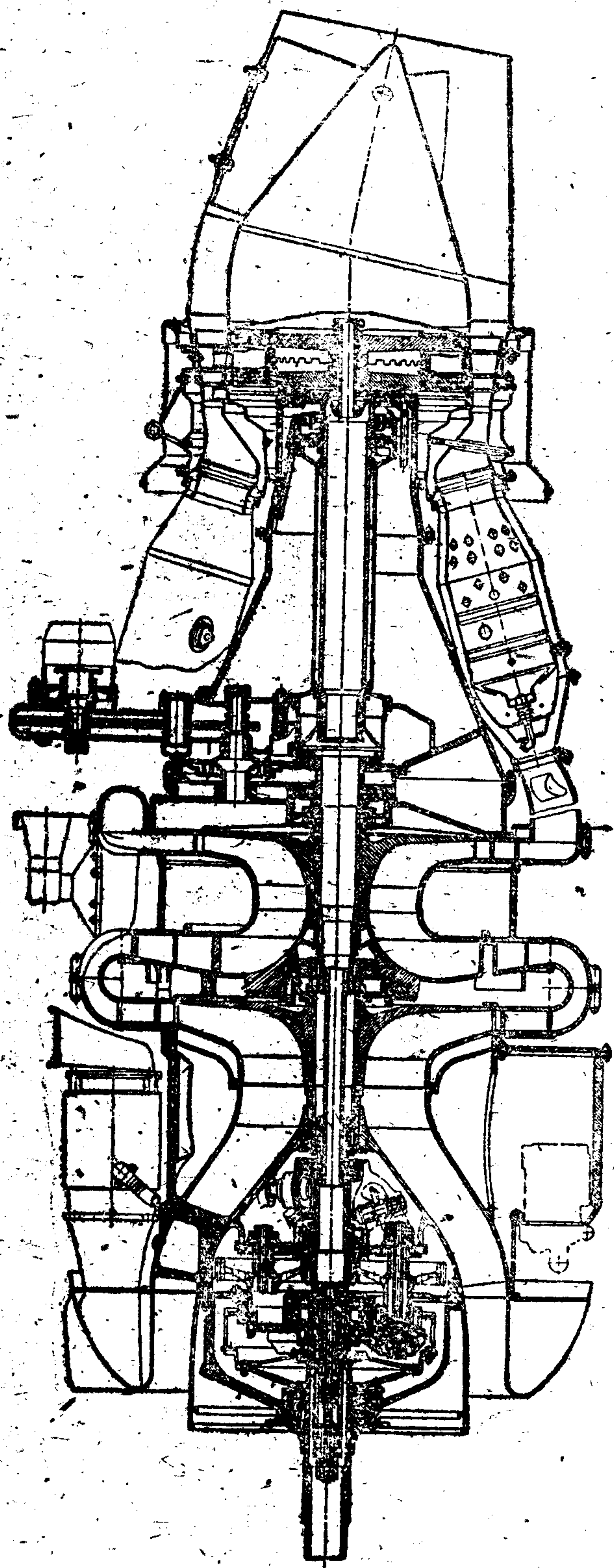


图1-12 具有双级离心式压气机的涡轮螺旋桨发动机。



图1-13 双转子压气机的燃气涡轮发动机简图:

1—涡轮喷气发动机; 2—涡轮螺旋桨发动机。

1—低压转子; 2—高压转子。

广泛的应用在现代大推力（大功率）发动机上的是轴流式压气机，它的压缩效率比离心式的高，增压比及空气流量比离心式的大，而迎风截面却较离心式的小。这种压气机的轴向尺寸较长，零件数目较多，所以加工及装配所需的劳动量也较大。

混合式压气机是轴流式与离心式压气机组合起来的一种压气机。它曾为某些小型涡轮喷气发动机及涡轮螺旋桨发动机所采用，但现在并未获得进一步推广。

根据压气机转子的数目，燃气涡轮发动机可以分为单转子压气机的与双转子压气机的两种。图1-13所示为双转子压气机燃气涡轮发动机简图。在这种发动机上，有两个转速不同的（低压和高压）转子。采用双转子的目的是要使压气机在增压比很大时，仍保持较平滑的特性曲线。

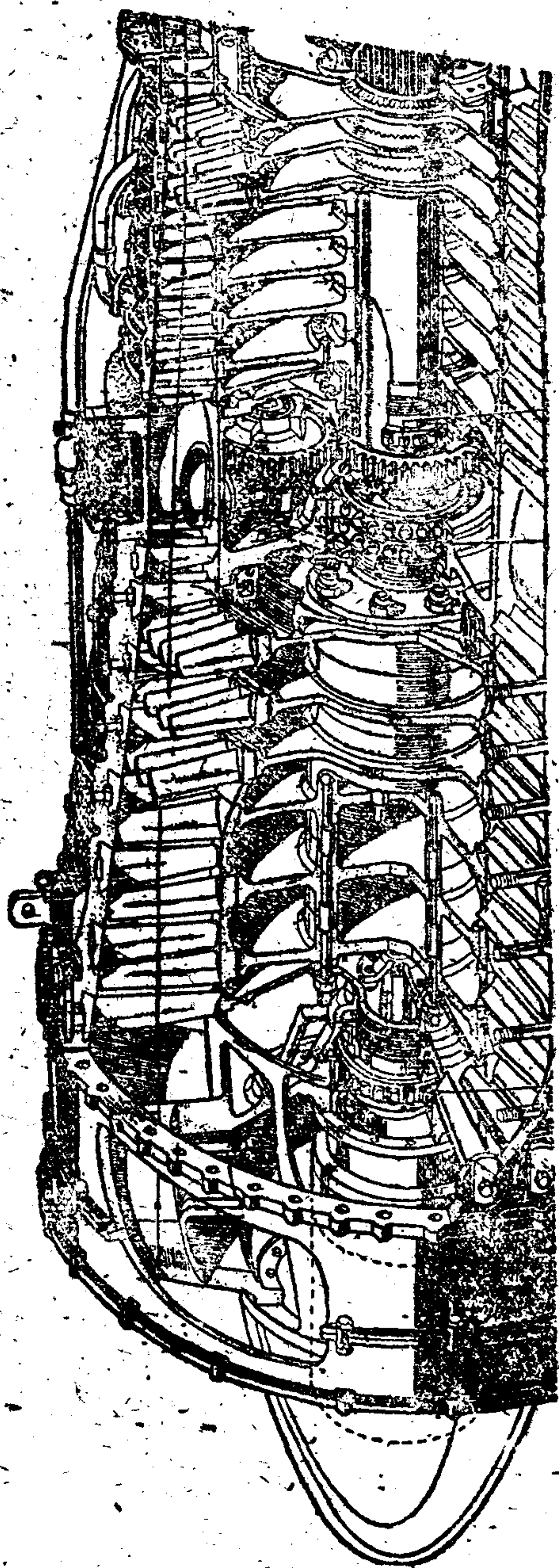


图1-14 双转子压气机的涡轮喷气发动机立体剖面图：

1—低压转子；2—高压转子。

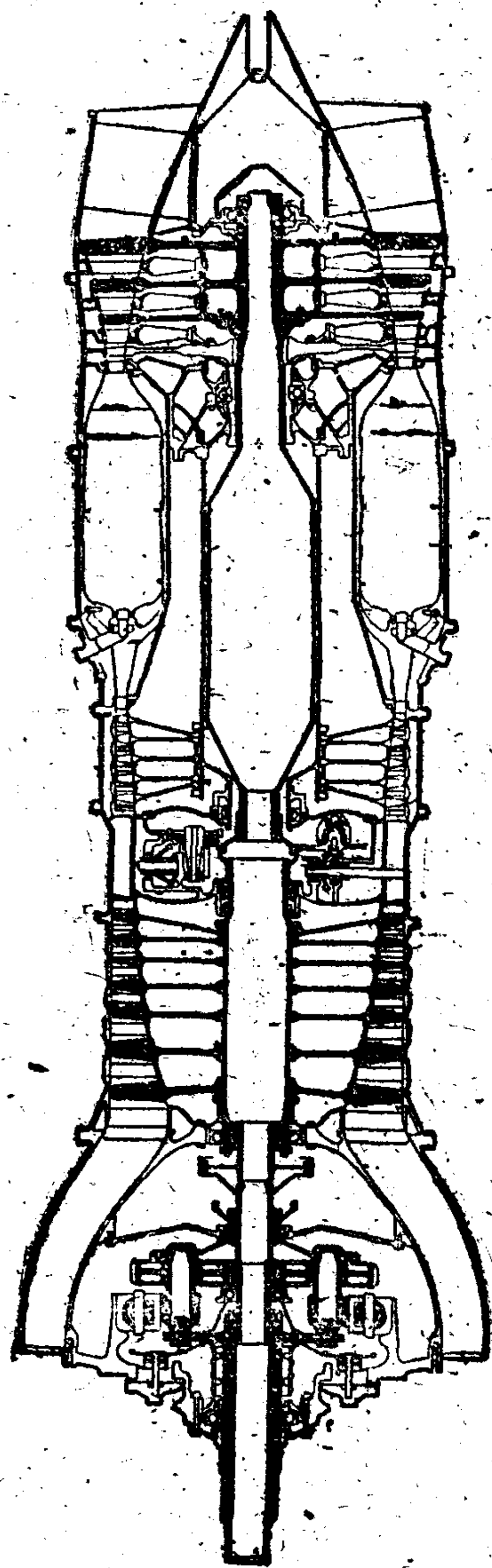


图1-15 双转子压气机的涡轮螺旋桨发动机简图。

图 1-14 所示为某型双转子涡轮喷气发动机的立体剖面图；图 1-15 所示为另一型双转子涡轮螺旋桨发动机的简图。

根据燃烧室的型式，燃气涡轮发动机可以分为：分管燃烧室的、环形燃烧室的、联管燃烧室的及混合燃烧室的四种。

根据涡轮级数的多少，发动机又可分为单级涡轮、双级涡轮与多级涡轮的燃气涡轮发动机。一般情况当气流焓降较小时（约低于 70 大卡/公斤），采用单级涡轮（图 1-9）；当焓降较大时，为了不使涡轮效率降低，可采用双级、三级以至更多级涡轮。在涡轮螺旋桨发动机中，高温气流的膨胀大部分在涡轮中完成。因此，大多数的涡轮螺旋桨发动机都采用三级以上的多级涡轮。

根据尾喷口的型式，发动机可以分为：可调节尾喷口与不可调节尾喷口的燃气涡轮喷气发动机。对于带加力燃烧室的尾喷口，喷口面积都作成可调节式的。

根据气流通过整个发动机时的流动方向，发动机有直流式的与回流式的两种。回流式的发动机可以使轴向长度缩短，但气流损失却大大增加，因此它只在早期采用过。图 1-16、1-17 中所示系回流式发动机简图。

涡轮螺旋桨发动机，除按以上方式分类外，还可以根据它的用途及某些部件的特殊构造来分类。

根据涡轮螺旋桨发动机的用途，可以分为一般飞机用的及直升机用的两种。用在直升机上的涡轮螺旋桨发动机，由于旋翼直径大，转速要很低，因而减速器的减速比要比用在一般飞机上的为小。

根据减速器与发动机的相对关系，发动机可以分为：减速器与发动机联成一体、具有机外减速器的及双发动机共用减速器的涡轮螺旋桨发动机。有些飞机为了使发动机的重量分布在

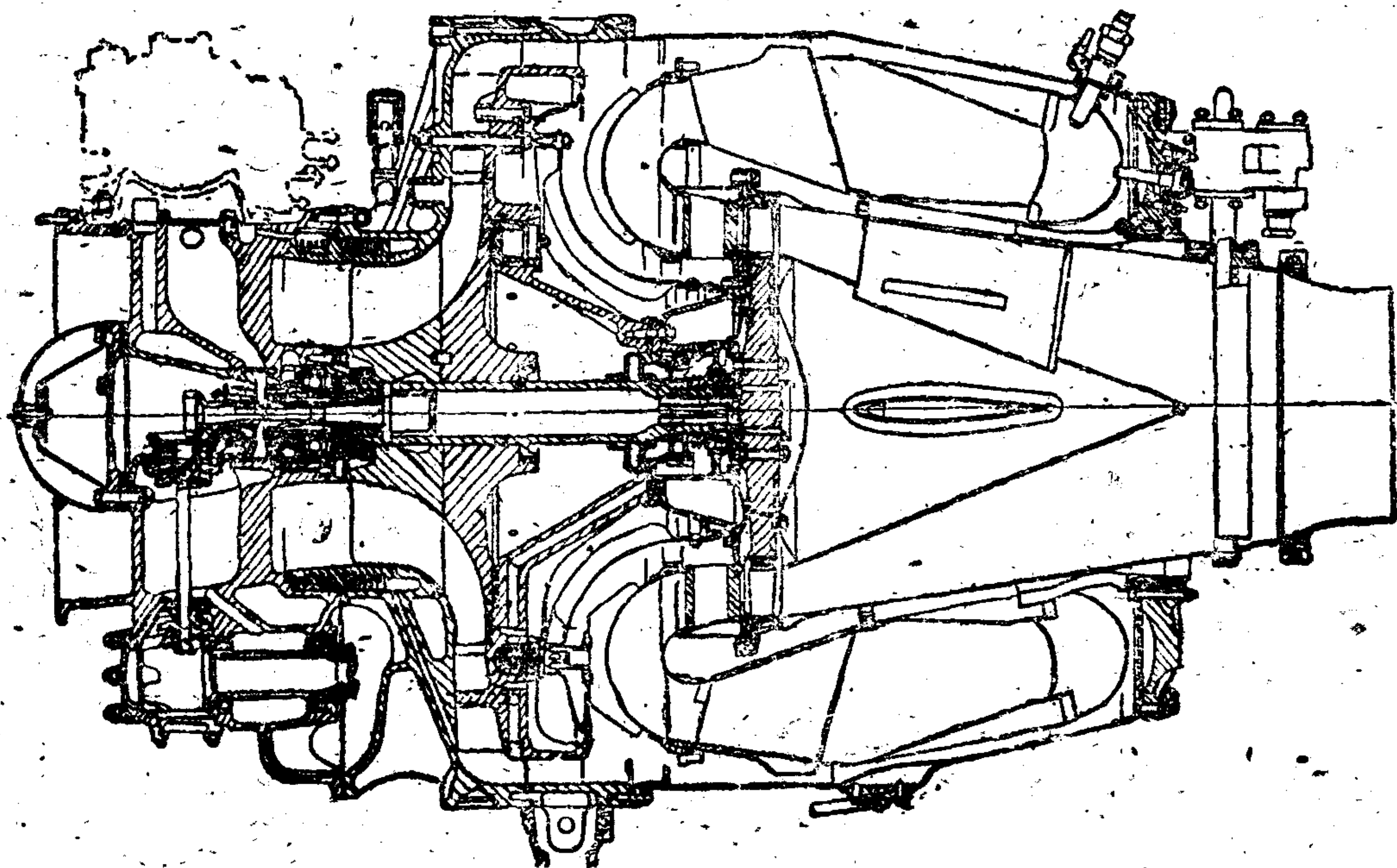


图 1-16 回流式涡轮喷气发动机之一。