

131769

高等学校

其大主編
教學參考書

燃气輪机裝置 原理設計与实用

上册 原理与分部設計

沈炳正著

高等教育出版社

高等学校教学参考书



燃 气 輪 机 裝 置

原理設計与实用

上册 原理与分部設計

沈 炳 正 著

高等教育出版社

本書系根據交通大學渦輪機專業“燃氣輪機”課程教學大綱編寫而成。編寫時曾參考了各國的有關專業書籍,各國的專業研究所、學會、高等學校、工廠等專刊和期刊上發表的論文,各國燃氣輪機專家的講學內容(作者筆記);並利用了作者在海外各研究所進行研究設計時和在各工廠實習時所得的收獲,以及在国内大學和研究機關教學和指導研究生、進修生時的心得等等。

本書共分上下兩冊,上冊闡述燃氣輪機裝置的原理與分部設計,下冊敘述燃氣輪機裝置的實用構造與設計。

本書目的以培養學生對燃氣輪機裝置的初步獨立設計能力為度,可供高等工業學校動力機械有關專業作教學參考書用,亦可供高等學校研究生和進修生作為參考。此外,本書並可作為科學研究工作、教師、工程師、設計師和高級技術員的參考書。

燃氣輪機裝置原理設計與實用

上 冊

原 理 與 分 部 設 計

沈炳正著

高等教育出版社出版 北京琉璃廠170號

(北京市書刊出版業營業許可證出字第051號)

上海中和印刷廠印刷 新華書店總經售

統一書號 15010·510 開本 850×1168 1/32 印張 13 9/16 插頁 7 字數 126,000 印數 1—1,200
1957年10月第1版 1957年10月上海第1次印刷 定價(10) 3.20

序

世界上較早实用的热机为蒸汽机。它采取外部燃燒的方式加热，使水發生蒸汽来推动活塞往复作功而产生动力。但因外燃式机器的效率不及内部燃燒的高，而且裝置龐大，所以后来进一步有內燃机的發展。但是仍由于往复活塞式发动机的結構复杂而功率受到限制。另一方面蒸汽轮机虽然是迴轉式热机，但是，仍采用外燃方式。燃气轮机則把內燃机的內燃和蒸汽轮机的迴轉这两种方式联合起来。它不仅消除了各自的原有缺点，并且同时表现了两种方式的优点。因此，燃气轮机成为产生原动力更进步的热机。

燃气轮机的理論虽很早就已成立，但在当初气体动力学和冶金学还未研究成熟的时期，不可能对燃气轮机的發展提供有利条件，因而这种發展受到了限制。直到二十世紀初叶，气体动力学和冶金学兩方面的問題开始获得解决后，才能够做出初步的实践，而在 1935 年前后开始試用。其后經過不断实验和逐步改进，这方面到了 1945 年后乃日新月异，突飞猛进，于是引起学术界重視，成为一种有系統的專門科学而还在繼續进展和迅速成長中。燃气轮机在各国虽尚未普遍应用，但前途的發展实有很大的希望。就目前它的成績和展望來說，主要的优点已有下列几方面：（1）可获得很高的效率，現已达 35—45%，將來可望达到 60%；（2）發出的功率可望达到十万至一百万瓩；（3）構造可以很小、很輕、很簡單；（4）可以采用低級燃料，如煤粉、渣油或天然煤气等；（5）可以利用原子能，如使用鈾等“原子能燃料”；（6）不需要大量的水。

燃气轮机在实际应用上目前正在代替內燃机成为航空主要动力裝置，如在噴气式飞机上即是。它又可作發电站、船舶、機車、汽車、蒸汽联用、內燃机联用及其他工業（如化工、冶金等工業）上应

用的动力装置。就是要大量利用原子能动力的时候，也少不了这种机器。因此，现代化工国家莫不对它重视，尤其是我国必须在这方面迎头赶上才行。在我们的第二、三个五年计划中就要大量发展，那末为了事前准备，目前正是刻不容缓。这首先要从培养专门人才着手，要在大学里设立这门专业，结合理论与实践，并以达到能初步独立设计为目标。同时还要在科学院领导下设立研究机构，以专门从事研究试验，并搜集资料和累积经验；在工业部门和工厂中添设技术设计实验工作，并训练高级技术人员和熟练工人；在学会中展开学术讨论，相互交流经验和心得，并编辑出版刊物。这样各方面群策群力，分工合作，才能建立燃气轮机工业的基础。

就作者所知，目前苏联、英、美、德各国关于燃气轮机的书籍百余种（其中能达到初步独立设计要求者仅十种左右），而我国在这方面已出版者共只五种，且均在 1954 年前出版。作者追随先进意见，愿为后继，从 1952 年起即根据所得学识和经验，着手编写此书，愿以一得之愚，及时贡献，希望能有助于国家经济建设。

本书取材参考了：（1）各国有关专业书籍（详见附录“参考书目”）；（2）各国专业研究所、学会、高等学校及工厂的专刊和期刊上的论文；（3）燃气轮机专家 Prof. E. T. Vincent (Univ. of Michigan, 1950—1951), Dr. E. Glaister, Prof. O. A. Saunders (Imperial College of Science and Technology, 1951—1952), Prof. Dr. G. Flügel (Technische Hochschule Hannover, 1954) 的讲学内容（作者笔记）及作者在上述院校研究所进修、研究、设计的体会和收获；（4）作者在 Armstrong-Siddeley, Metro-Vickers, AEC, Borsig 等工厂实习时所得资料和经验；（5）作者 1954—1957 年在交通大学及清华大学担任教学、指导研究生和进修生的工作中的心得。除了经过研究和依照学者思路编写以外，并拟定了各章中的设计例题，绘制了部分图表曲线，推演了部分的公式。

本书编写提纲符合交通大学涡轮机专业“燃气轮机”课程教学

大綱。該大綱曾由哈爾濱工業大學渦輪機教研組的蘇聯專家 Н. Д. Грязнов 審閱指正。本書原稿曾于 1955 年起于交通大學、清華大學作為教材，并承交通大學動力機械製造系陳大燮教授、朱麟五教授、陳學俊教授審閱，又蒙交通大學熱工教研組主任袁軼群教授詳加審閱，更蒙中國科學院動力研究室主任、清華大學動力機械系吳仲華教授審閱指教。作者敬致深切的謝意。

方今國家科學規劃十二年內趕上國際水平，提倡百家爭鳴、百花齊放，一片蓬勃氣象。作者恭逢盛時，至感振奮。希望各位先進、各位同志提出批評和指正，不勝企盼之至！

著者志于清華園

1957 年 5 月

上册目录

序

第一章 概述1

§ 1. 热机与工质(1) § 2. 冲击力与反应力(1) § 3. 内燃机与简单燃气轮机装置(4) § 4. 蒸汽透平动力厂与封闭式燃气轮机装置(6) § 5. 航空燃气轮机的典型实例(7) § 6. 固定式燃气轮机的典型实例(8) § 7. 我国在历史上对燃气轮机与反应动力发展的贡献(9) § 8. 苏联在历史上对燃气轮机与反应动力发展的贡献(10) § 9. 其他燃气轮机与反应动力的历史记事(11) § 10. 燃气轮机发展中的主要困难问题(14) § 11. 燃气轮机与其他原动机经济性比较(15)

第二章 有关热力学复习19

§ 1. 气体定律(19) § 2. 内能与热力第一律(19) § 3. 比热与比热比(20) § 4. 可逆过程(21) § 5. 等容过程(22) § 6. 等压过程和热焓(22) § 7. 等温过程(24) § 8. 绝热过程(24) § 9. 熵(25) § 10. 热力第二律(26) § 11. 等熵过程(26) § 12. 多变过程(27) § 13. 压容功图与温熵图(28) § 14. 稳流机械与稳流连续方程式(29) § 15. 稳流能量方程式, 动热焓、动温与全热焓、全温(31) § 16. 低流速勃奴理方程式, 动压与全压(33) § 17. 理想的稳流压缩(35) § 18. 实际稳流绝热压缩与压缩效率(36) § 19. 稳流膨胀与膨胀效率(37) § 20. 等温效率(39) § 21. 多变效率(40)

第三章 有关高速气体动力学与理想管道气流43

§ 1. 高速勃奴理方程式(43) § 2. 流体中的音速(44) § 3. 雷诺数、层流与紊流(45) § 4. 马赫数、亚音速与超音速(46) § 5. 高速气流滞止时的全温与全压(48) § 6. 激波与马赫波(50) § 7. 加速流与减速流(53) § 8. 正激波的压缩特性(53) § 9. 正激波的跨音速特性(56) § 10. 正激波的特性曲线(58) § 11. 斜激波(59) § 12. 上坡的超音速流(60) § 13. 下坡的超音速流(62) § 14. 可逆加热等截面管道气流(65) § 15. 变截面管道等熵气流(71) § 16. 背压对渐缩渐扩喷管气流的影响(76) § 17. 有损耗的等截面管道绝热气流(78) § 18. 喷管膨胀与喷管效率(83) § 19. 扩压过程与扩压效率(84) § 20. 边界层与脱离现象(85)

第四章 理论循环、实际循环与循环设计87

§ 1. 循环(87) § 2. 循环比输出与循环效率(87) § 3. 加温循环(88) § 4. 等

温等容循环(89) § 5. 回热等温等容循环(90) § 6. 等压等温循环(91)
 § 7. 回热等压等温循环(92) § 8. 等熵等容循环(鄂图循环)(92) § 9. 等熵
 等容等压循环(等容燃气轮机循环)(93) § 10. 等熵等压等容循环(狄赛尔循
 环)(95) § 11. 双燃循环(96) § 12. 等压燃气轮机简单循环(等熵等压循环)
 (97) § 13. 等温等压循环、等容等熵等压循环与等熵等压循环的比较(100)
 § 14. 回热燃气轮机循环(101) § 15. 中间冷却循环(103) § 16. 再热循环
 (106) § 17. 间冷回热联用循环(110) § 18. 再热回热联用循环(111) § 19.
 间冷与再热联用循环(113) § 20. 间冷与再热的复联循环(114) § 21. 间冷
 再热回热合用循环(114) § 22. 多段间冷再热回热合用循环(116) § 23. 各式
 等压燃气轮机循环性能的比较(116) § 24. 燃气轮机喷气发动机循环(117)
 § 25. 实际燃气轮机循环(119) § 26. 比热的变化(120) § 27. 实际简单喷气
 发动机循环(121) § 28. 实际简单循环的比输出与效率(126) § 29. 透平效
 率和压气机效率对热机效率的影响(131) § 30. 实际的间冷循环及其压缩比
 的分配(132) § 31. 实际的再热循环及其膨胀比的分配(133) § 32. 实际的
 回热循环(135) § 33. 实际回热器与回热有效度(136) § 34. 实际回热循环
 的比输出与效率(137) § 35. 实际回热合用循环(140) § 36. 实际回热间冷
 再热合用循环的比输出与效率(141) § 37. 实际循环的性能比较(143)
 § 38. 如何增加燃气轮机效率及比输出(144) § 39. 燃气轮机循环设计程序
 及数据(146) § 40. 简单燃气轮机动力站循环计算例题(149) § 41. 航空螺
 桨喷气发动机静止试验循环计算例题(151) § 42. 航空螺旋桨喷气发动机航行
 工况计算例题(154) § 43. 复式循环计算例题(156)

第五章 辐流式压气机原理及设计.....160

§ 1. 概说(160) § 2. 辐流式压气机主要结构(161) § 3. 辐流式压气机的工作
 情况(165) § 4. 压气级的功与功率(165) § 5. 无限多翼叶的等熵辐流式
 压气机(169) § 6. 相对涡流(次流现象)(169) § 7. 相对涡流系数、减功系
 数及滑差因子(172) § 8. 流动系数(流量系数)(174) § 9. 压增系数、压力
 系数与输入因子(174) § 10. 反应度(176) § 11. 实际辐流式压气机的损耗
 (176) § 12. 各部的流动损耗(177) § 13. 轮毂损耗(179) § 14. 气封漏气
 (180) § 15. 流动效率、容积效率、轮毂摩擦效率、级内效率、机内效率与轴
 节效率(182) § 16. 回热系数(186) § 17. 压气机的性能参数(187) § 18.
 压气机的性能曲线(188) § 19. 因次分析与 II -定理的应用(189) § 20. 辐流
 式压气机的因次分析(191) § 21. 辐流式压气机的无因次性能曲线(196)
 § 22. 燃气轮机所用的无因次参数(200) § 23. 比转速(快速系数)(201)
 § 24. 起喘现象(202) § 25. 辐流式压气机入口(205) § 26. 桨叶入口的周缘
 数(206) § 27. 桨叶入口扭角(207) § 28. 预旋(208) § 29. 桨轮型式(212)
 § 30. 桨轮径比与出口(214) § 31. 桨轮流道(215) § 32. 无叶扩压部分(216)
 § 33. 扩压叶片(219) § 34. 特殊形式的扩压器(221) § 35. 螺旋(222)
 § 36. 辐流式压气机的优缺点与所受限制(224) § 37. 辐流式压气机设计程序
 及数据(225) § 38. 辐流式压气机设计例题(229)

第六章 軸流式压气机原理及設計.....238

- § 1. 概說(238) § 2. 軸流式压气机主要部件及構造(239) § 3. 軸流式压气机基元級速度三角形(244) § 4. 軸流式压气机基元級的功与功率(245)
- § 5. 軸流式压气机基元級理論增压与溫增(247) § 6. 軸流式压气机性能曲綫(249) § 7. 級效率(全級等熵效率)(252) § 8. 流动系数(252) § 9. 压增系数(253) § 10. 减功系数、作功系数和溫增系数(253) § 11. 反应度与各种不同反应度下的压气机基元級(255) § 12. 叶型几何参数(257) § 13. 軸流式压气机基元級性能曲綫(259) § 14. 風洞翼型試驗(260) § 15. 單翼(机翼)原理(260) § 16. 單翼学說和無損耗压气机(263) § 17. 有損耗情况的單翼原理(264) § 18. 减功系数的选定(266) § 19. 損耗功率与叶型效率(267) § 20. 最佳的流动系数与反应度(269) § 21. 叶栅試驗(271) § 22. 翼剖面基形(272) § 23. 弯曲的翼剖面(273) § 24. 叶栅(275) § 25. 叶栅性能曲綫(276) § 26. 叶栅阻力与升力系数(279) § 27. 压气机中的阻力系数(283) § 28. 叶列效率(284) § 29. 雷诺数对性能的影响(285) § 30. 馬赫数对性能的影响(287) § 31. 高速气流校正曲綫(288) § 32. 其他損耗及效率(289) § 33. 流型(290) § 34. 軸向平衡(291) § 35. 自由旋流流型(292) § 36. 等單位面积流量流型(293) § 37. 等全头等反应軸向平衡流型(294) § 38. 等軸速等反应軸向平衡流型(296) § 39. 等軸速等全头等反应流型(298) § 40. 自由旋流与等反应流型的比較(298) § 41. 扭叶片流型图解法的建議(300) § 42. 軸流式压气机的運轉范围(302) § 43. 軸流式压气机設計程序与数据(304) § 44. 軸流式压气机基元級設計例題(308) § 45. 軸流式压气机設計例題(314)

第七章 燃气透平原理及設計.....319

- § 1 概說(319) § 2. 冲動級(324) § 3. 复速級(326) § 4. 反应度与反应級(327) § 5. 噴管中的实际过程(329) § 6. 噴管速度系数与噴管效率(331) § 7. 斜噴管(334) § 8. 变工况下的噴管(336) § 9. 噴管高度的决定、节径比、口节比与部分进气率的选择(338) § 10. 軸流式透平动叶上的功(340) § 11. 軸流式透平动叶間的各种損耗(343) § 12. 軸流式透平动叶速度系数、能量損耗系数与动叶效率(344) § 13. 軸流式透平叶片高度与角度(246) § 14. 余速損耗(347) § 15. 輪周效率(348) § 16. 复速級的速度系数和輪周效率(349) § 17. 速比对冲動式透平輪周效率的影响(350) § 18. 速比对复速級輪周效率的影响(352) § 19. 任意反应度下速比和輪周效率的关系(354) § 20. 半反应式透平級中速比对輪周效率的影响(356) § 21. 叶型損耗系数、攻角系数与越列系数(357) § 22. 等熵速比与速比比(358) § 23. 輪緣摩擦与鼓風損耗(362) § 24. 内部漏气損耗(363) § 25. 級内效率(相对級内效率)(364) § 26. 多級軸流式透平与回热系数(366) § 27. 級数和級熱降的分配(369) § 28. 机内效率(370) § 29. 机械損耗、机械效率与透平有效效率(371) § 30. 外部漏气損耗(372) § 31. 軸流式透平損耗与效率的总结、

冲动式与反应式比較(372) § 32. 透平叶型和叶基型(375) § 33. 透平叶槽(384) § 34. 透平叶槽性能曲线(386) § 35. 雷诺数、马赫数与透平叶槽性能(388) § 36. 流型与轴向平衡(389) § 37. 等全头等轴速(自由旋流)流型(390) § 38. 等全头等喷嘴流出角轴向平衡流型(392) § 39. 比較等轴速(自由旋流)与等喷嘴流出角二流型(393) § 40. 轴流式透平無因次参数与性能曲线(394) § 41. 变动工况下轴流式透平各级压比的分配(395) § 42. 透平叶片的温度(399) § 43. 透平的冷却(400) § 44. 轴流式透平的形式(406) § 45. 轴流式燃气透平的优缺点(408) § 46. 轴流式燃气透平的速度三角形(409) § 47. 轴流式透平葉輪流道中的压力与流速分布和相对渦流 (411) § 48. 葉輪叶片的数目(414) § 49. 轴流式透平中的損耗与效率 (414) § 50. 不同工况下轴流式透平的性能(418) § 51. 多級轴流式燃气透平設計程序与数据(422) § 52. 轴流式燃气透平級的設計程序与数据(425) § 53. 單級轴流式冲動燃气透平設計例題(430) § 54. 多級轴流式反应燃气透平設計例題(436)

第八章 燃料、燃燒与燃燒室443

§ 1. 概說(443) § 2. 燃燒室要求(443) § 3. 燃料与性質(444) § 4. 混气燃燒(446) § 5. 掺和冷却(447) § 6. 燃燒热强度(447) § 7. 燃燒效率(447) § 8. 燃燒室压力損耗(448) § 9. 旋渦(449) § 10. 順流噴油与逆流噴油(450) § 11. 鼓型燃燒室(451) § 12. 环型燃燒室(453) § 13. 重型燃燒室(454) § 14. 蒸發式燃燒室(455) § 15. 旋風式燃燒室(456) § 16. 焰管(燃燒室襯套)(457) § 17. 火焰速度与火焰的維持(459) § 18. 火焰过度冷却現象(460) § 19. 燃燒室气流脉动現象(460) § 20. 部件过热与热震現象(461) § 21. 积炭現象(462) § 22. 灰份杂質的积垢和侵蝕(463) § 23. 除灰垢方法(465) § 24. 簡單的噴油咀(466) § 25. 活塞調節噴油咀(468) § 26. 分級噴油咀(469) § 27. 回油噴油咀(469) § 28. 压缩空气噴油咀(471) § 29. 燃料油系統(472) § 30. 典型航空燃气輪机燃料油控制系統实例(473) § 31. 固体燃料(476) § 32. 煤塊的燃燒(477) § 33. 粉煤的燃燒(477) § 34. 粉煤細度和勻度(478) § 35. 直流式粉煤燃燒室(479) § 36. 渦旋式粉煤燃燒室(480) § 37. 旋風式煤粒燃燒室(481) § 38. 除灰器(482) § 39. 在透平后燃煤裝置(483) § 40. 粉煤燃气輪机裝置(484) § 41. 粉煤的制备(485) § 42. 粉煤系(486) § 43. 增压煤閘(488) § 44. 煤漿雾化法(488) § 45. 泥煤的应用(489) § 46. 煤气的应用(490) § 47. 其他气体燃料(491) § 48. 燃燒室設計程序与数据(492) § 49. 燃燒室設計例題(494)

第九章 热交换器原理与設計497

§ 1. 概說(497) § 2. 傳導式与再生式回热器(497) § 3. 順流、逆流及交叉流的傳热(498) § 4. 热交换器有效度(501) § 5. 平均温差(501) § 6. 热的傳遞(504) § 7. 傳热系数(505) § 8. 局部傳热系数(506) § 9. 管外渦流相当直徑与流通面积(508) § 10. 回热器压力損耗对比輸出的影响(510) § 11.

沿管道流动的压力损耗与损耗系数(511) § 13. 垂直流过管束的压力损耗与损耗系数(513) § 13. 热交换器中的其他压力差(514) § 14. 热交换器的大小与经济性(514) § 15. 主热面式热交换器(516) § 16. 附导热面式热交换器(521) § 17. 再生式回热器(522) § 18. 间冷器和冷油器(525) § 19. 热交换器设计程序及数据(527) § 20. 回热器设计例题 (528)

第十章 平衡运行与部分负荷.....533

§ 1. 概說(533) § 2. 部分负荷的温度调节与流量调节(534) § 3. 压气机与透平工况变动时的近似规律(535) § 4. 压气机与燃烧室的结合特性曲线(536) § 5. 透平的特性曲线(537) § 6. 排气系统的特性曲线(537) § 7. 负荷特性曲线(539) § 8. 压气机与透平平衡运行条件(539) § 9. 等温比运行线(540) § 10. 简单喷气发动机平衡运行(541) § 11. 可调节尾喷管喷气发动机的平衡运行(543) § 12. 推力特性曲线(544) § 13. 喷气发动机比耗油量曲线(545) § 14. 透平带动压气机及负荷的平衡运行(546) § 15. 透平压气机及交流发电机同轴(550) § 16. 串联与并联双轴透平(550) § 17. 部分负荷时高、低压透平压比的变化(552) § 18. 压气机透平的选择(553) § 19. 低压负荷透平的平衡运行(553) § 20. 低压透平供应负荷时的特性(555) § 21. 实用的透平无因次曲线(557) § 22. 实用法求喷气发动机平衡运行线(558) § 23. 实用法求透平供压气机及负荷平衡运行线(559) § 24. 部分负荷所遇的主要问题(560) § 25. 回热对部分负荷性能的影响(551) § 26. 再热对部分负荷性能的影响(562) § 27. 间冷对部分负荷性能的影响(563) § 28. 平行双轴与交叉双轴(563) § 29. 平行双轴负荷位置的选择(564) § 30. 三轴式各种排列及特性(565) § 31. 排列的选择(568) § 32. 油动式调节系统典型实例(568) § 33. 电油联动式调节系统典型(569)

附录 1

1. 参考书目..... 1
2. 符号表..... 8
3. 因次符号表..... 11

第一章 概 述

§ 1. 热机与工質

原动机是用来轉变各种不同性質的能量,如电能、位能、动能、压能、热能或化学能等,成为机械功能的机械。其中把热能轉变为机械功能的原动机,称为热机。

在热机中常用流体作为媒介以傳遞能量,这种媒介質称为工質。由于空气与水最易得到,因此,多数热机就采用空气或水作为工質。

对热机工質加热的过程言,可有兩種不同的方式,即直接加燃料于工質空气内而燃燒生热者;称为內燃式,如在內燃机中。如果燃燒在工質外發生,燃燒所生热量間接地傳导入工質者,称为外燃式,如在蒸汽机中。外燃式热机,由于燃料不在工質中燃燒,可以繼續周复使用原来的工質,成为封閉式热机。

对热机运行的方式言,又可分为往复式(或称活塞式)和迴轉式(或称續流式)热机。迴轉式机械有其一定的优越性,由于沒有往复部件的慣性,而可以高速均匀运行,因此,可有較大的功率。

續流式迴轉机械,按其工質在机內的流动方向,可分为兩类:如工質大体上沿着轉軸的方向流动者,称为軸流式机械;如工質大体上沿着輻射方向流动者,称为輻流式机械。

§ 2. 冲击力与反动力

以冲击力使物体运动的例子是非常多的,如風吹在船帆上,使船航行便是。如以救火皮帶噴管噴出的水柱冲在一叶輪的叶面上,也可使叶輪迴轉,如圖 1-1。

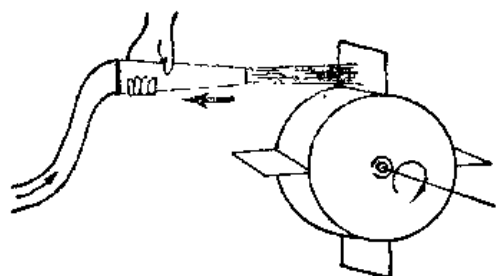


圖 1-1. 水流冲勁叶輪迴轉

如果改进了叶輪的式样,并且把水柱斜冲上去,也能使叶輪轉动,这就是冲動式透平了,如圖 1-2。

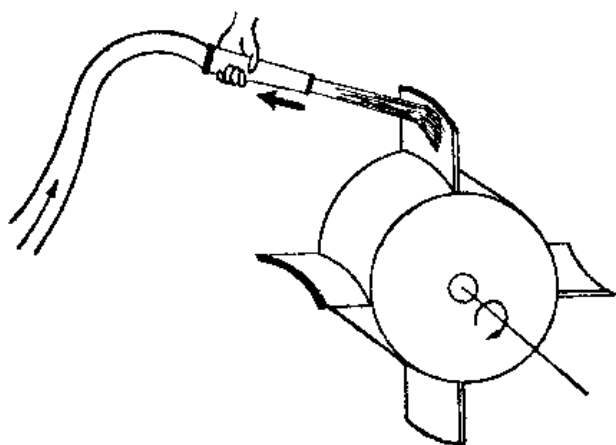


圖 1-2. 示意的冲動式透平

水柱原以一定速度和方向运动,即以一定动量冲向叶片,被叶片迫使轉变了方向,即改变了动量。根据动量定律,可知叶片必然对水流作力,而水流也必定对叶片作力,这就是冲击力。此力乘以作力的半径,即为作用力矩,使叶輪轉动。

但我們注意到,救火皮帶噴管需要有人把握住,通常要兩三人方能把定,不然救火皮帶噴管会向后很快地窜去。这个使噴管向后或推人手向后的力,称为反应力。

噴管出口的水流速度比在皮帶内的速度大得多,而流量是一样的,可見每秒鐘内水流的动量是增加了。根据动量定律可知,此

动量的增加,必须是受到了外力才有可能,这个外力就是人手把握喷嘴的支持力,其反作用是喷嘴推入手的力,即为反应力。

再设想一个封闭的容器内盛可燃混气,如以火花塞点火燃烧而使容器内压力增高,但因内压力对称地作用在容器内的四壁上互相平衡抵消,结果容器不动,如图 1-3a。

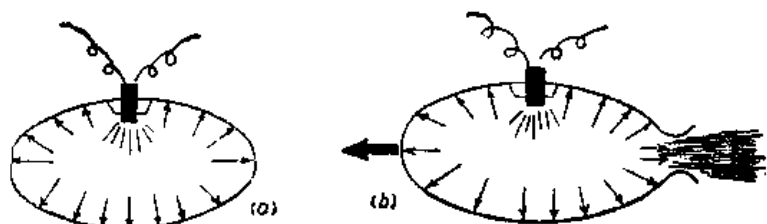


圖 1-3. 反应动力

但如该容器的一壁上有一孔口时,则情况不同,点燃时气体自孔喷出,气体的内压力在有孔口处不能作用在容器壁上,因而作用在对壁上的压力不能平衡抵消。结果容器受了不平衡力而向有孔的反方向运动,这不平衡的力,就是反应力,如图 1-3b。可见此容器的运动是因内在压力的不平衡,和容器外大气的是否存在是没有什么大关系的,因它并不是外界大气对喷射流的“反作用”所推动的。

因此,上述的容器如在真空中也是能移动,并且由于“真空”中阻力极小,而运动得最快。

这就是纯反应式的运动物体,如爆竹、火箭的运动原理,也是人类作太空旅行的方法。

同时,因气体压力对器壁作用了不平衡力,当然容器壁必对气体作用相等相反的力,这就是使气流自孔喷出时动量增加的力源。即原来的气体没有速度,因此也没有动量,喷出后所增加的速度和动量,必须受了容器的力才有可能。其反作用力就是气体推容器的力,为反应力。

当然,原来气体不一定必须静止的,也可以有初速度,当经过了喷嘴增加了速度时,也有反应力的存在。应用这个原理即:使气

体在叶轮流道内加速的反应力转动叶轮，就是反应式透平的原理。

§ 3. 内燃机与简单燃气轮机装置

以内燃机作为往复式机械的典型来看，主要的另件是气缸、活塞、连杆、曲轴、飞轮、阀门机构和燃料系统。以空气作为传递能量的媒介工质，使空气经过压缩、加热、膨胀等过程，把燃料所含的化学能转化为热能，再变为机械功能而输出。以四冲程柴油机为例，见图 1-4a：

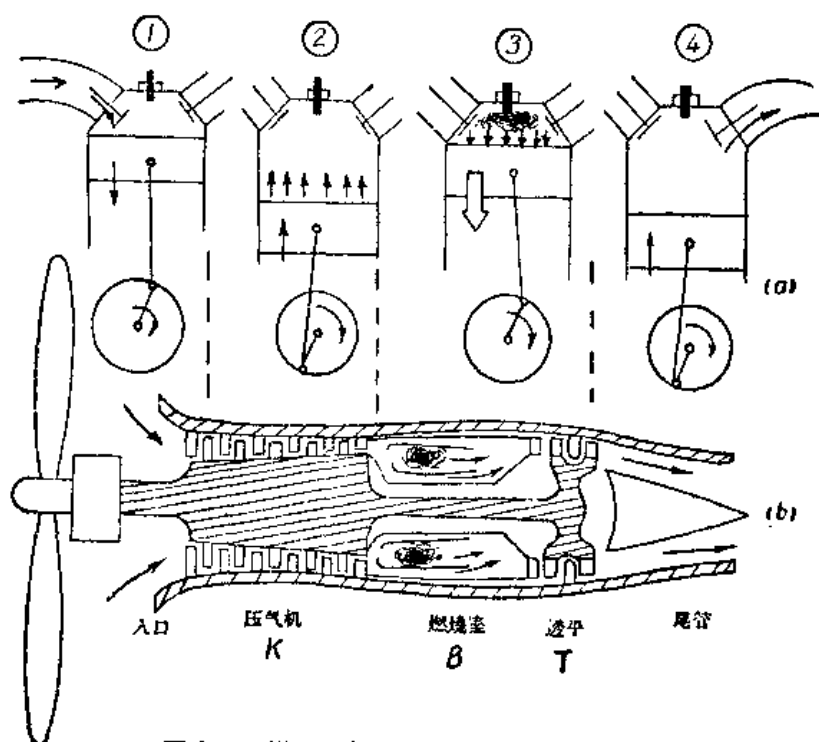


图 1-4. 燃气轮机和内燃机工作过程比较图

(1) 由于飞轮迴转惯性通过曲轴连杆机构，使活塞在气缸内向下移动，把外界空气经进气阀吸入气缸，活塞到下顶点后；

(2) 活塞继续因飞轮迴转惯性向上移动，那时阀门紧闭，气缸

內的工質被壓縮為高壓空氣；

(3) 活塞到上頂点后，加入燃料燃燒使工質溫度增高，而高壓高溫氣體膨脹，推動活塞向下做功，通過連杆曲軸飛輪使負荷迴轉做功；

(4) 活塞到下頂點時，又因飛輪慣性作用繼續向上移動，那時排氣閥門已開，使廢氣排出機外。活塞到達上頂點，又重複開始吸氣沖程。

以上四個沖程是在同一氣缸內循環進行的，因此，同一活塞要做四種工作，即吸氣、壓氣、做功、排氣。而這四個沖程中，只有第三個（即膨脹沖程），才是真正把熱能變為機械能對外做功的，其他三個沖程却要消耗功能。因此，在這個氣缸運行一小時中，幾乎只有間歇的 $\frac{1}{4}$ 小時，才是真正做了轉換化學能的工作，故其所供應的平均功率不大。

現在如把上述的四種工作實行分工合作專業化，即幾個專門的機械在同一時候各司其職，互相配合起來運行，則可以達到經常不斷的能量轉換方式，即可連續做功，這樣，就可以得到較大的功率。可以採用一個壓氣機來專司進氣和壓縮的工作，使氣體壓力增加。一個燃燒室專司供燃料燃燒，提高氣體溫度的工作。一個透平專司氣體膨脹做功和排氣的工作。這樣，使它們串聯起來配合運行，氣體自壓氣機流入，自透平流出，中間繼續流動並不間歇，就成為一個簡單的燃氣輪機裝置。壓氣機好像許多串列的風扇，而透平好像串列的風車，如圖 1-4b。

至於壓氣機壓氣時需要動力，可由透平來供給，透平所作出的功，除一部份供應壓氣機外，餘額作為輸出，如圖 1-5。

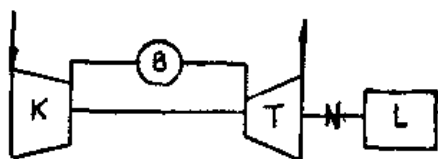


圖 1-5. 簡單的燃氣輪機裝置排列圖

圖 1-4b 為一軸流式燃氣輪機螺旋槳發動機的簡圖，其各部份與

往复式内燃机的四冲程相对应。

内燃机的加热方式可以是等容的，即在瞬时的容积不变的情况下加热，如汽油机。或是等压的，即在维持工质压力不变的情况下加热，如柴油机。燃气轮机装置也是这样，可以采用等容或等压的加热方式。但等容加热方式，需要瞬时封闭的容器，使工质流动在一定程度上成为间断的。

§ 4. 蒸汽透平动力厂与封闭式燃气轮机装置

简单燃气轮机装置与内燃机在热力学理论上有很相像之处，同样使燃料于工质空气中燃烧而化成动力。

但是从构造形式上言，却是属于两种不同的机械。燃气轮机是迴转式的机械，而内燃机是往复式的机械。因为内燃机的主要部件活塞等在运行中是往复运动的。而燃气轮机装置的主要部件涡轮在运行中是迴转运动的。

以蒸汽透平为迴转式热机的代表言，由于采用了水及蒸汽作为工质，因此需要锅炉、冷凝器及水泵等来配合运行。参看圖 1-6a 中，水由水泵 P 增加了压力打入锅炉 B ，经外燃间接加热后，去透平 T 膨胀作功。乏气在冷凝器 C 凝结为水，又可由水泵打入锅炉成为周而复始的封闭循环。

圖 1-6b 是一封闭式的燃气轮机装置线路图。

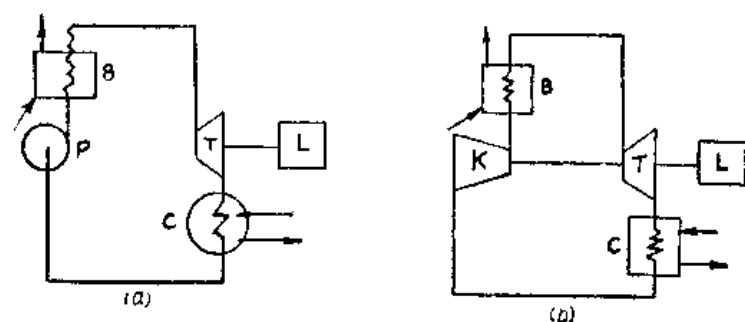


圖 1-6. 封闭式燃气轮机与蒸汽轮机装置工作过程比较图