

高等学校教学用书

平透汽蒸

上册

A. B. 雪格里雅耶夫著

高等教育出版社

高等学校教学用书



蒸 汽 透 平

透平的热力过程原理及构造

上 册

A. B. 雪格里雅耶夫著
陈大燮 陈丹之译

(修訂版)

江苏工业学院图书馆
藏书章

高等教育出版社

本書原系根据苏联国立动力出版社(Государственное энергетическое издательство)出版、雪格里雅耶夫(А. В. Щегляев)著“蒸汽透平”(Паровые турбины)一書 1947 年第二版譯出,現按 1955 年增訂第三版修訂。原書經苏联高等教育部多科性工学院及机器制造高等学校主管司审定为多科性工学院及高等学校动力院系教科書。

本書叙述固定式蒸汽透平热力过程的原理及其構造,中譯本暫分上下兩册出版。內容包括:蒸汽透平裝置热循环的分析、蒸汽流动的理论、透平級工作及多級透平过程特点的分析、工况变动时透平的过程,以及热电能兩出式透平。

書中提出了蒸汽透平各种型式的分类,并分析了最通用几种型式的構造。分析構造时着重于苏联出产的透平、特别是高压透平。

本書可供高等工業学校动力类各專業作为“蒸汽透平”課程的教材。

本書原由交通大学渦輪机制造專業教师陈大燮、陈丹之翻譯,并由陈丹之、戈鵬翔按原書新版修訂。

蒸 汽 透 平

上 册

А. В. Щегляев 著

陈大燮 陈丹之 譯

高等教育出版社出版 北京宣武門內承恩寺 7 号
(北京市书刊出版业营业登记证出字第 054 号)

中华书局上海厂印刷 新华书店发行

統一書号 15010·350 开本 787×1092 1/16 印張 9 2/8 插頁 1
字數 194,000 印數 9,301—16,800 定價(4) 洋 1.10
1954 年 6 月第 1 版 1958 年 10 月第 2 版
1959 年 5 月上海第 4 次印刷

序

本書所收集的資料，主要以過去在萊賓列寧助教的莫斯科動力學院中給熱能動力及動力機械製造系學生讀的蒸汽透平課程講義為基礎。

本教科書只討論該課程教學大綱中的一部分，即：凝汽式蒸汽透平熱力過程的一般原理，透平的變動工況理論及熱電能兩出式透平的計算特點。在敘述透平熱力計算的同時，也說明了現代蒸汽透平及其各個原件的構造。

關於透平零件的強度計算、蒸汽透平調節過程的研究以及特殊型式的透平（燃氣透平、運輸用透平），雖然這些問題也在講義中闡述，但沒有列入本書之內。

建造高度經濟的透平裝置，可以由兩條途徑來達到：（a）選擇經濟的熱循環，（b）提高透平本身的相對效率。但是決不能把這些現代透平裝置的發展方向彼此孤立起來討論。故在第一章中扼要地分析了透平裝置的熱循環、蒸汽狀態參數對熱循環效率的影響，並對聯合生產熱電能時所獲得的經濟利益也作了分析。其中特別強調了在蘇聯國民經濟有計劃發展的條件下，關於提高透平裝置經濟性的廣泛可能性。

除了這些之外，在第一章中還對透平的各种效率作了分類。此外，第一章還包含有蒸汽透平的主要型式一覽表；特別是蘇聯各工廠所出產的透平。

本書中以後各章的敘述方式和前兩版相比有些不同。

第二章提供了流動的一般理論基礎。其中不僅討論不動噴管中以及噴管葉柵中的流動過程，而且也討論透平級動葉柵中的能量轉換規律。第三章中對透平葉柵工作時所得的實驗數據作了分析同時還對所發生的損失作了分類。在同一章內還討論了透平級的計算特點，並舉有噴管和動葉的構造實例。

關於透平級效率的概念及其與速度比之間的关系是在第四章中討論的。那里對速度級透平的工作過程作了分析。蒸汽透平的汽封理論、計算和構造實例則單獨列入一章（第五章）來討論。第六章闡述多級蒸汽透平的熱力計算特點，而熱力計算程序及其相應的計算例題是在第七章中敘述的。最後，在第八章中對現代凝汽式蒸汽透平的構造作了討論。

除了討論多級軸流式透平之外，也討論徑流式蒸汽透平的熱力過程、計算及結構型式。

當工況變動時透平及其各級中熱力過程變化的問題對於蒸汽透平的運轉工程師及設計工程師都有着特別重大的意義。所以在第九章中充分而詳盡地闡明了這些問題，那里對工況變動時的各級工作情形、各級組中壓力和熱降的分配作了分析，同時也討論不同配汽方法下的變動工況，並且研究蒸汽的初態和終態參數的改變對透平經濟性的影響。更用了一些工況變動時的透平計算例題來補充熱力過程的原理。

第十章示有聯合生產熱電能的名式透平

的原理圖,对这种透平的計算特点及結構实例作有分析,其中对高压透平有詳尽的研究。

这門在莫斯科动力学院所开的并且以本書作为基础的蒸汽透平課程是在很多年的过程中才形成的。

日利茨基 (Г. С. Жирцкий) 教授的著作,特别是由他校訂的集体著作“蒸汽透平”是这門蒸汽透平課程的基础。

第三版原稿的修訂工作是在莫斯科动力学院热机教研組同人的参加下进行的。

第三章是由这教研組的副教授杰奇 (М. Е. Деич) 来編写的。第五章中拉別令汽封中的流动方程式是按照副教授薩莫依洛維

奇 (Г. С. Самойлович) 所推荐的方法来引出的。大部分的透平計算例题都由副教授特罗揚諾夫斯基 (В. М. Трояновский) 及薩莫依洛維奇所編成。同样,許多有关变动工况問題的推导都是从薩莫依洛維奇及特罗揚諾夫斯基的“蒸汽透平的变动工况”一書中借用。

在編写本書时,我曾采用过全苏热工研究所盧宾施坦 (Я. М. Рубинштейн) 教授的許多宝贵意見,因此要对他表示衷心的感谢。同样,对于許多透平制造厂为我提供它們所出的蒸汽透平的結構圖样也表示衷心謝意。

著 者

上册目录

序

第一章 透平装置的热循环	1
1-1. 苏联透平制造业的发展	1
1-2. 蒸汽透平发展史概述	3
1-3. 现代蒸汽透平的典型构造	7
1-4. 透平装置的热循环及蒸汽参数对理想循环绝对效率的影响	10
1-5. 热能的联合生产, 给水的回热式预热	19
1-6. 蒸汽透平的分类	26
1-7. 苏联各制造厂出品带动发电机用的固定式蒸汽透平的主要型式	27
第二章 透平级内的热力过程	30
2-1. 可压缩流体的基本流动方程式	30
2-2. 汽流中的损失	40
2-3. 工况变动时喷嘴叶栅的工作	44
2-4. 蒸汽在叶栅斜切部中的膨胀	49
2-5. 轴流式蒸汽透平动叶栅道内的能量变换	52
2-6. 径流式透平级叶栅内的能量变换	57
第三章 透平叶栅中蒸汽流动的试验研究, 叶栅的成型与计算	58
3-1. 叶栅的几何特性与气体动力特性	58
3-2. 叶栅中的叶型损失	61
3-3. 叶栅中的端部损失	66
3-4. 蒸汽高速流过叶栅时的流动情况	70
3-5. 具有缩放形气道的喷嘴叶栅	72
3-6. 叶栅尺寸的确定	74
3-7. 长叶片的成形	79
3-8. 喷嘴叶栅及动叶栅的构造实例	85
第四章 透平级的效率, 速度级透平	89
4-1. 轴流式透平级的效率	89
4-2. 速度级透平的效率与热力过程	94
4-3. 摩擦损失, 通风损失和斥汽损失	101
4-4. 速度级透平的应用范围及其构造实例	105
4-5. 速度级透平的热力计算示例	110
第五章 蒸汽透平的汽封	112
5-1. 拉别令汽封中蒸汽的流动	112
5-2. 拉别令汽封的构造	119
5-3. 炭精式汽封与水封式汽封	121
第六章 多级蒸汽透平	124
6-1. 多级透平的工作过程	124
6-2. 重热系数	128
6-3. 漏汽损失	130

6-4. 蒸汽湿度对透平级效率的影响	134
6-5. 多级透平的特性系数	137
6-6. 多级透平中的轴向推力及其平衡法	139

第一章 透平裝置的熱循環

1-1. 蘇聯透平製造業的發展

現代動力事業的發展是以電力的集中生產為基礎的。裝置在電廠中的發電機，大多數場合下，都用水力透平或蒸汽透平來帶動。因此，蒸汽透平是現代熱力發電廠中主要型式的原動機。蒸汽透平作為軍艦及民用船舶的原動機也已獲得廣泛的應用。蒸汽透平具有很高的速度，故其特點是尺寸較小，而重量較輕，能造成十萬瓩或更高的極大功率。同時，蒸汽透平可以達到高度的經濟性，即可以造成很高的效率。

按照 B. И. 列寧的指示所擬定的偉大的國家電氣化計劃(ГОЭЛРО)和後來的發展蘇聯國民經濟的斯大林五年計劃，在動力事業方面其實現都是以建立很多數目的蒸汽透平動力廠為基礎。我國動力事業的發展要求創立自己的透平製造廠。革命前的俄國，蒸汽透平使用有限，又完全沒有透平製造廠，但是在蘇維埃政權年代已打下了巨大的透平製造的基礎，亦即建立了許多頭等的製造廠，為我們的電廠生產着新式的蒸汽透平。

固定式蒸汽透平最初是在列寧格勒的斯大林金屬工廠中開始製造的。該廠在 1924 年生產出第一台功率為 2000 瓩的國產蒸汽透平。在以後的年代中它繼續建造功率達 10000 瓩的中型蒸汽透平。但是這些透平已不能滿足當時迅速增長着的蘇聯動力事業的需要。故該廠轉變為製造 24000 及 50000 瓩大功率透平的生產組織，從 1930 年起就開

始了這種透平的生產。24000 瓩的透平，其轉速為 3000 轉/分，是按照蒸汽壓力為 26 絕對大氣壓及溫度 375°C 而設計的。50000 瓩 1500 轉/分的透平，其蒸汽參數為 29 絕對大氣壓及 400°C 。這些參數此後曾被用作固定式大功率透平的標準參數。由於該廠已成為成批生產上述型式的蒸汽透平的組織，所以使得該廠在第二個五年計劃中生產出來的蒸汽透平達到了很大的總功率。

隨著生產經驗的積累，列寧格勒的斯大林金屬工廠逐漸放棄其最初的構造，而製造新型的蒸汽透平。

因為考慮到熱電能的聯合生產有很大的優越性，所以該廠也製造所謂暖汽透平(熱電能兩出式透平)，即自該透平的中間級抽出部分乏汽，用作暖汽或供工業上使用。

應當指出，由於國民經濟的有計劃發展，我們可以把熱電能消費者合理地組織起來，而由強大的中心熱電廠(ТЭЦ)來供應熱電能，因此熱電能兩出式透平在蘇聯獲得了特別廣泛的應用。所以遠在 1933 年，該廠就已經生產出具有中間抽汽以供暖汽用的新穎蒸汽透平。這些透平當轉速為 3000 轉/分時功率為 25000 瓩，蒸汽是在 1.2—2.0 絕對大氣壓下抽出的。這種型式的透平是當時世界上最大的按照熱電能聯合生產的原則而設計的透平，在我們的中心熱電廠中曾經獲得了廣泛的應用。

此外，列寧格勒的斯大林金屬工廠，尚生產 25000 瓩以及 50000 瓩的大功率的抽汽

式蒸汽透平,其中有蒸汽抽出供工業消費者需用。在這種透平內蒸汽是在7.0絕對大氣壓下抽出的。

斯大林金屬工廠放棄了過去所出產的凝汽式蒸汽透平之後,就按著自己的道路製造大功率的高速凝汽式透平。這些透平是在1937年出產的,它們是功率為50000瓩,轉數為3000轉/分的單機殼透平,和功率為100000瓩轉數也是3000轉/分的双機殼透平。這種巨大的高速透平在世界透平製造業的實踐中尚未有碰到過。而且外國的高速透平,在60000—70000瓩時,就已經採用了三機殼透平的構造並且蒸汽要以四分路排入凝汽器。

列寧格勒金屬工廠新造的100000瓩、3000轉/分的透平,其大小和重量與以前所出產的50000瓩、1500轉/分的透平無甚區別,但是能產生兩倍的功率。這些大功率高速透平的創造,使列寧格勒的斯大林金屬工廠居于全世界最先進的工廠之列。

當斯大林金屬工廠正在集中製造大功率透平的時候,小功率的透平自1931年起也開始在列寧格勒的基洛夫工廠製造。該廠製造功率為3000瓩、轉數為3000轉/分的透平以及功率為2500及4000瓩、轉數為5000轉/分,用減速器來傳動發電機軸的無地窖式透平;最後,還製造具有中間抽汽,供暖汽用的12000瓩透平。從1937年開始,又在以列寧命名的涅夫工廠組織小功率透平的生產。利用基洛夫工廠的經驗,涅夫工廠製造著凝汽式透平和功率達6000瓩的中間抽汽式透平,以及帶動排氣機和鼓風機用的、功率達18000瓩的透平。

1934年在哈爾科夫建成了新的透平製造廠(XT3)並開始出產蒸汽透平。這個工廠到戰前為止一直製造大功率(50000瓩、1500

轉/分)的凝汽式(單機殼)透平。1938年,以基洛夫命名的哈爾科夫工廠也製造了100000瓩1500轉/分的双機殼透平。哈爾科夫廠透平的運轉經驗告訴我們,它們不但很可靠而且很經濟。

在第二次世界大戰的前夕建成了新的烏拉爾透平製造廠。

上面所作的簡短敘述說明蘇聯的透平製造業在戰前年代已經發展到何等迅速和何等有成就的地步。

我們敢說,我們的動力工業在戰前就已經完全停止了透平裝備的輸入。電廠及電力系統的蓬勃成長,全部是以本國透平製造業為基礎的。

德寇對我國違信背義的侵犯,對蘇聯透平製造業造成了沉重的損害。部份工廠疏散到東方,部份接受了國防的定貨。在戰爭的头幾年,蒸汽透平的生產幾乎已完全停止。但是各製造廠的設計人員仍繼續為創建新型的蒸汽透平而工作,以代替戰前的構造。

偉大衛國戰爭的勝利結束,使透平工廠迅速地開始實現這些新的、更完善的透平聯動機。

因此,早在戰爭年代就已經做好了大規模的準備工作,使得在戰後能夠廣泛地採用初態參數很高的蒸汽,後者是斯大林的戰後恢復與發展國民經濟的五年計劃中所規定的。

作為熱力發電廠廣泛使用的標準蒸汽參數,我們開始取初壓為90絕對大氣壓,初溫為480°C,並且隨著透平製造經驗的積累(這些透平是在高參數的蒸汽下工作),後來把溫度提高到500°C。通過這些參數的改用,就使電能生產的經濟性(與戰前最好的電廠中所獲得的經濟性相比)有很大的提高。

列宁格勒斯大林金属工厂的蒸汽透平科,在战争年代拟定好一套新型的高压透平。该厂遵循以前拟定的原则,并依靠战前制造大功率高速透平的經驗,所以在这套新型的高压透平中还制造出机壳数最少的高速透平,那就是功率 25000 及 50000 瓩, $n=3000$ 轉/分,設計成單机壳的透平,而只有同样轉数的 100000 瓩透平才是造成双机壳式的。該批中的第一部透平是在 1946 年制成的,其功率为 100000 瓩,它正在我們的某一电厂中工作着。

以基洛夫命名的哈尔科夫透平制造厂的全体設計人員在战争年代里也制定了一批高压透平的計劃,以代替从前所出的構造。此地首先要提到功率为 25000 瓩, $n=3000$ 轉/分的前置式透平,它是按照初压 90 絕對大气压,初温 500°C 而設計的。这种透平用来增补战前的电厂以使它們現代化。該透平的乏汽在 31 絕對大气压之下引到以前厂內所裝置的按照初压为 29 絕對大气压而設計的透平。应用增补的方法就使战前所建立的电厂能改用高参数的蒸汽来工作,从而使电厂的效率得以提高。

基洛夫透平制造厂其次尚制造 $n=3000$ 轉/分的大功率凝汽式高压透平。

在战后的年代中,除了恢复战前各透平制造厂中的透平制造業外还开动了新的卡魯支透平制造厂,来成批生产小功率的透平。最后,还在布朗斯克制造厂中組織过蒸汽透平的生产。

为了想进一步提高热力发电厂的經濟性,列宁格勒金属工厂的全体設計人員曾在 1951 年設計出獨一無二的超高蒸汽参数的蒸汽透平,其功率为 150000 瓩, $n=3000$ 轉/分。1952 年該厂出产了这种透平,它是按初压

170 絕對大气压,温度 550°C 来設計的。

在苏維埃政权的年代中,我們的透平制造業之所以获得了很大的成就,是由于我們各透平制造厂的設計干部在科学上与創造性方面的进步。設計者的工作之所以有很大成就就是依靠于丰富的經驗,这些經驗是从电厂的合理使用过程当中以及在电厂工作条件下对透平设备的研究当中所获得。有些研究工作是在电厂透平車間的運轉人員,科学研究院,透平制造厂的全体設計人員与裝配人員的共同努力下所完成,这些研究工作促进了透平構造的改善并使它們的可靠性得以提高。

为了保証苏联动力事業的进一步迅速发展,按照党和政府的指示,各透平制造厂已开始設計成套的大功率透平,其蒸汽参数为 140 絕對大气压 535°C 。当轉数为每分鐘 3000 轉时,这些透平將能發出 100000, 150000 和 200000 瓩的功率。

1-2. 蒸汽透平發展史概述

蒸汽透平的創造,像一切新的巨大發明一样,不能認為是个別人員的創作。十九世紀时期,許許多多的發明家都提出过很多的意見,想利用汽流的速度头来把热能变为机械能。据說远在前一世紀的 30 年代,已有个别裝置应用蒸汽透平,其机构类似于賽札奈氏渦輪,亦即利用汽流反作用力的透平。

蒸汽透平結構上的形成及其进一步的發展,一直到前一世紀的末叶才有了極大的進展,当时在瑞典有工程师古斯德夫·拉伐尔及在英国查理斯·柏生,各自独立地从事于建造和进一步改善蒸汽透平。他們获得了成就,这些成就使蒸汽透平在其繼續發展中得以成为帶动發电机用的主要型式的原动

机,并广泛地采用作軍用及民用船舶上的原动机。在 1883 年所建造的拉伐尔蒸汽透平中,蒸汽进入一个或几个平行連結的噴管,在其中获得很高的速度,并导至分布于輪緣上的动叶上。輪盤是固定在透平軸上的,而這些动叶則構成动叶道的叶棚(圖 1-1)。由于汽流在动叶棚道中轉向而产生的作用力,使輪盤及其相連的透平軸發生轉动。这种透平的特点是蒸汽在噴管中从初压膨脹至終压只在一級中进行,这样,使汽流产生很高的速度。此后蒸汽在动叶中把动能化成机械能时,不再作膨脹而只是通过方向的轉变来达成。

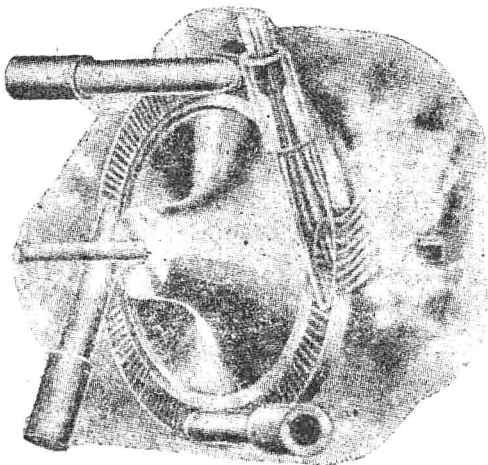


圖 1-1. 拉伐尔冲动式透平的輪盤。

按照这种原理造成的透平,即蒸汽膨脹及其所引起的汽流加速的整个过程是在固定噴管中發生的那种透平,称为**冲动式透平**。

当制造單級冲动式透平时,曾經解决过一系列的复杂問題,这对蒸汽透平进一步的發展有特別重要的意义。采用縮放噴管后,使蒸汽得以高度膨脹,因而可以使汽流达到很高的流动速度 (1200—1500 公尺/秒);为了更好地利用汽流的很

高速度,拉伐尔研究出一种等强度輪盤的構造,其圓周速度可高达 350 公尺/秒。最后,在單級冲动式透平中,曾采用高达 32000 轉/分的轉数,远远超过当时原动机所通用的轉数。这就促成了柔軸的發明,柔軸的自由振动頻率是低于工作轉数下的扰动力頻率的。

虽則單級冲动式透平在構造上有許多新的解决,但其經濟性总是不高。此外,为了把主动軸的轉数降低到和从动机的轉数一样,就必须采用减速傳动機構,这就阻碍了当时單級冲动式透平的發展,尤其是它們功率的提高。因此,拉伐尔透平在透平制造業發展的初期,曾广泛地作为小功率(达 500 瓩)的透平联动机使用,此后即讓位于其他型式的透平。

柏生氏在 1884 年所建議的蒸汽透平,其原理与拉伐尔透平不同。在柏生透平中,蒸汽膨脹并不是在一組噴管内进行,而是在許多彼此連續的級內發生,每級都是由固定的导流機構(噴管叶棚)及动叶所組成(圖 1-2)。导叶固定在不動的透平机壳中,而动叶則分列于作为透平轉子的輪鼓上。这种透平的每級有一压力降,它只占新鮮蒸汽压力到透平乏汽压力間全部降落的很小部分。这样,每

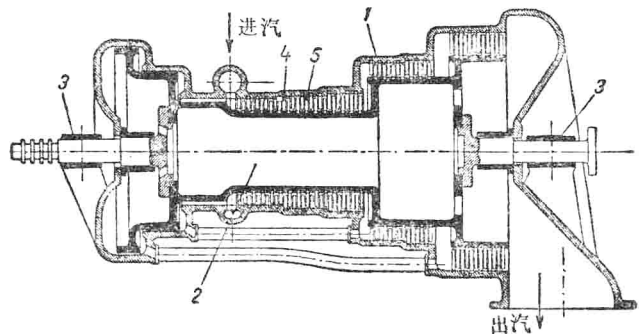


圖 1-2. 多級反动式透平:

1—透平机壳; 2—輪鼓; 3—軸承; 4—导叶; 5—动叶。

級可以在低速汽流下工作,并且由于这样的結果,其动叶的圓周速度要比拉伐尔透平为小。此外,在柏生透平級中,蒸汽的膨脹不仅在噴管叶栅中进行,而且也在动叶栅中进行。故动叶中所受到的作用力,不仅有因汽流变向而引起的力,而且也有因蒸汽在动叶栅内加速而引起的力,后者产生透平动叶上的反作用力。

凡透平級,其中蒸汽在动叶道内發生膨脹,并因而产生汽流加速的,称为反动級。因此,圖 1-2 所示的透平,为多級反动式透平的典型代表。

这种將各級貫相連,在每級中只利用一部分理想热降的原理,对以后蒸汽透平的發展起了很大的作用。当透平轉子采用中等的轉数时,这个原理可以使透平达到高度的經濟性,并且使透平軸可与發電机的軸直接相連結。而且根据这一原理,可以把透平的功率造得很大,使單獨一透平联动机内可以發出几万瓩的功率。

最近,多級反动式透平在固定式裝置以及船舶上都有广泛的应用。

冲动式蒸汽透平的發展,在拉伐尔發明后不久也走上了同样的道路,即蒸汽的順次膨脹不限于在一个压力級内,而是在一系列彼此接連放置的級内發生。在这些透平中,許多輪盤都裝在同一軸上,中間隔以橫鈑,称为隔鈑,隔鈑上放置着固定的噴管(例如,參閱圖 1-4)。在每个这样造成的透平級各噴管中,蒸汽將总理想热降中的一部,在其中膨脹。此后在动叶栅中只發生汽流动能的轉換,不再在动叶道内作补充膨脹。多級冲动式透平在固定式动力厂中曾获得广泛的应用,同时也用作船舶的原动机。

凡透平,其汽流方向与透平軸的軸心綫

接近平行者,称为軸流式透平。除此之外还創造了徑流式透平的構造,其中蒸汽是在垂直于透平軸心綫的平面中流动的。在这类型式的透平中間,最饒兴趣的为 1912 年容克斯脫萊姆兄弟所建議的徑流式透平,其原理圖如圖 1-3 所示。

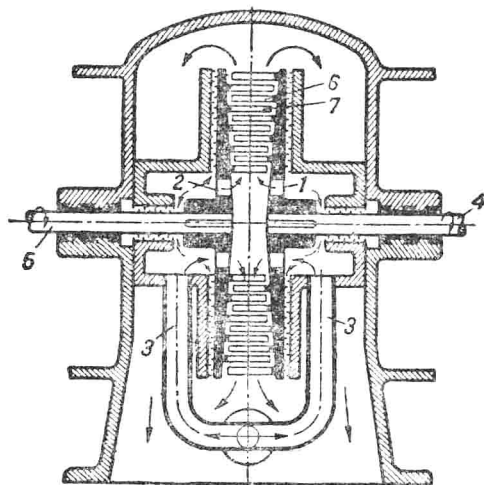


圖 1-3. 容克斯脫萊姆透平的原理圖:

1, 2—透平輪盤; 3—新鮮蒸汽的進汽管;
4, 5—透平軸; 6, 7—中間級的葉片。

在輪盤 1 及 2 的側面上有許多直徑逐漸增加的圓環,上面裝着反动級的片。蒸汽自管子 3 引入透平,此后穿越輪盤 1 及 2 上的孔口,導入中心室。由此蒸汽穿过固定在兩輪盤上的葉片 6 及 7 的葉道而流向外周。容克斯脫萊姆透平不同于平常的構造,它沒有固定的噴管或導葉。兩輪盤以相反的方向轉動,故透平所產生的功率必須傳給兩軸 4 及 5。轉子相反轉動的原理,可以使透平製造得很緊湊并且很經濟。

自 900 年代开始,蒸汽透平的發展極其迅速。这种發展在很大程度上是由于电机的迅速平行發展,以及在工業上广泛应用电能所造成。蒸汽透平的經濟性及其在單个联动机中的功率,已达到了很高的数值。透平本

身的功率已远远超过了其他一切类型的原动机。有功率为 200000 瓩的透平,它和一部發電机相連接;而且証明尚有实现更大功率的联动机的可能性。

从蒸汽透平制造業的發展过程中,可以看出几个特殊的阶段,它們已經在各不同时期所制造的透平構造中表现出来。

1914 年帝国主义战争之前,关于金属在高温区域内工作的智識水平还不够,所以不能应用高压及高温的蒸汽。因此 1914 年以前所建造的透平,主要用中等压力 (12 至 16 绝对大气压) 的蒸汽来工作。

至于提高單个联动机的功率,远在蒸汽透平的發展初期就已經有了很大的进展。

远在 1915 年,个别透平的功率已达 20000 瓩。战后时期,自 1918—19 年开始,进一步提高透平功率的趋势繼續存在。但此后,透平設計者所追逐的問題,不是再急于提高联动机的功率,而是提高大功率透平的轉数,并使这些透平都制成和一个發電机相連結。

世界上最大的高速透平是列宁格勒斯大林金属工厂所出的透平,該透平在 3000 轉/分下其功率为 100000 瓩。

在 1914 年帝国主义战争以前,透平制造厂大都出产級数有限的單机壳透平,这样可以把透平制造得很紧凑,并且比較便宜。1914 年战争以后,許多国家的燃料供应發生困难,因此必須用一切办法来提高透平联动机的經濟性。

我們已經肯定,如果透平每級所利用的熱降很小,而同时把透平的級数造得很多,則可以使透平获得最高的效率。由于这个趋势,曾經使透平产生过这种的構造,其中即使透平所用的新鮮蒸汽的参数是中等时,也有

非常多的級数 (达 50—60)。

因为級数很多,所以即使透平只与一部發電机相連結并且按中等的新蒸汽参数而設計,也必須將透平造成几个机壳。因此,就采用了双机壳及三机壳的透平,它們虽然經濟性高,但却是很貴并且很笨重的。

此后,透平制造業的發展在这个問題上有了相当的轉变,而趋向于透平構造的簡化及其級数的减少。在很長的一段时期中,大功率的透平 (3000 轉/分时 功率高达 50000 瓩) 都只制成双机壳。而各先进工厂所出的具有同样功率的最新透平,則只有一个机壳。

与改善中压 (20 至 30 绝对大气压) 透平結構的同时,自 1920 至 1940 年的这段时期中,开始应用更經濟的高压設備,其压力高达 120—170 绝对大气压。

应用高参数蒸汽可以大大地提高透平裝置的經濟性,但是在蒸汽透平的結構方面需要有新的解决。过去在合金鋼的应用上曾获得很大的成就,合金鋼的屈服点極高并且在温度 500—550°C 之下,其蠕变速度很小。

除了凝汽式透平的發展之外,还在本世紀初叶,就已开始应用联合出产热電能的裝置,因此就需要制造背压式及中間抽汽式透平。第一部具有抽汽等压調节的透平,是在 1907 年造成的。

但是,外国資本主义的經濟制度使热電能联合生产的所有优点不能利用。事实上,在外国熱能消費量大都受那些直接装有透平的企業消費所限制。因此,外国所造成的可以利用乏汽熱量的透平,其功率常常是比較小的 (10000 至 12000 瓩以下),而且只是为供应單独工業企業的热電能而設計。值得注意的是,最大的抽汽或透平 (25000 瓩) 倒是为当时苏联的定貨而制造,因为我国国民經

济的有计划發展为热電能的联合生产創造着非常有利的条件。

在1915—1920年中,減速器方面所获得的成就,对于小功率透平的發展,特别是对于船用透平的發展有着重大的意义。在这些年代之前,船用透平的轉数做成和螺旋槳的轉数一样,即300—500轉/分,这就使透平裝置的經濟性減低并且使透平的外廓尺寸及重量都很大。

自从減速齒輪的工作获得了完全的可靠性与高度的經濟性之后,船用透平就采用減速齒輪傳动機構,并做成有較高的轉数,以符合于透平的最有利工作条件。

对于固定式的小功率透平來說,在透平与發电机之間应用減速齒輪傳动機構也是适宜的。当透平与50周率交流發电机的軸直接相連时,最大的可能轉速为3000轉/分。如果功率在2500瓩以下,则这个轉数对于凝汽式透平來說是不利的。減速器制造業的發展,使得透平可以制造成有更高的轉数(5000—10000轉/分),这就使小功率透平的經濟性得以提高,而主要的是可以使透平的尺寸減小,構造簡化。

1-3. 現代蒸汽透平的典型構造

为了使以后的材料容易叙述起見,今以列宁格勒斯大林金屬工厂的高压蒸汽透平为例,来研究現代典型的冲动式透平的構造,該透平的剖面如圖1-4所示。

这个透平的功率为50000瓩,轉数为3000轉/分。透平进汽为90絕對大气压,温度为500°C。

前面的十一只輪盤由于要忍受很高的温度,所以和透平軸做成一整体。后面的七只輪盤是缸套在軸上的。在每一輪盤的輪緣上

固定有动叶,而在第一級即調速級的輪盤上裝有兩排动叶。輪盤之間用固定的中間隔板分开。每个隔板之上裝配有靜止的噴管叶栅,蒸汽在其中加速并取得进入动叶栅道去的必要方向。噴管叶栅及动叶的高度是逐級增加的,这是因为当蒸汽膨脹时容积增大之故。这就需要把通流部的通道截面逐漸增大。第一級(即調速級)的噴管叶栅是裝在新汽导管中,新汽导管則焊接在透平的机壳上。蒸汽穿过四个調速汽閥被引入調速級的噴管,其中的兩個調速汽閥裝在上半机壳上,另外兩個調速汽閥則裝在下半部机壳的兩側(參閱圖8-8)。包含着高压級的那部份机壳是用澆鋼来鑄成的。低压級則放在机壳的焊接部份內。透平的排汽管也是用鋼板来焊成并且用焊接的方法和凝汽器連接在一起。由于透平中工作过的乏汽在凝汽器中被冷却,因此就产生真空。通常真空处的背压为0.03—0.06絕對大气压。在透平的机壳中尚裝有几根抽汽管,用来把蒸汽从中間級抽出,以供鍋爐給水的預热之用。

当透平的負荷变动时,透平的汽耗量也必须改变。要达到这一目的可以适当地改变調速汽閥的开度。由于汽閥的一开一关,那穿过全开汽閥的一部分蒸汽沒有受到节流,故以全部的初压輸入第一級噴管。只有那穿越半开汽閥的一部分蒸汽在汽閥中受到节流,而以較低的压力通向自己的噴管組。这种接連开放往各个噴管組去的蒸汽通路,以控制透平进汽量的方法,称为噴管調速法,而第一級称为調速級,調速級随透平負荷的不同,由不同数目的噴管組中得到蒸汽。除噴管調速法外,还有节流調速法,其不同之点为供給透平的全部蒸汽都經過一个共同的調速閥。当透平只有部分負荷时,由于节流調

節閥的局部關閉而使蒸汽受到節流。

透平軸放在兩個支持軸承之上，它們承受轉子的重量。透平的前軸承，如圖 1-4 所示，同時固定了轉子與定子之間的相對軸向位置，並承受了透平轉子上的軸向推力。因此，前軸承是一個支持止推兩用式軸承。其止推部分依照密切爾止推軸承的原理而造成。

透平軸穿過機殼的地方，配有汽封，稱為外汽封或邊緣汽封。軸的前端外汽封，目的在減少自透平機殼漏到機器間去的漏汽量。后端外汽封用以防止大氣中的空氣漏入排汽管及透平凝汽器。倘使有空氣吸入凝汽器，則會使凝汽器內的壓力提高並使透平工作的經濟性減低。為了防止空氣漏入透平凝汽器起見，在後端外汽封中引入低壓蒸汽。在軸穿過中間隔板中心孔之處，裝有中間汽封，以防止蒸汽繞過透平級的噴管葉柵自一級流向另一級。

透平軸右端以聯軸器與發電機的轉子相聯結，發電機的軸承之一放在透平排汽管的機殼上。

在現代大功率透平中，裝有特殊的盤車裝置，用以使靜止的透平軸能慢慢地轉動。這種盤車裝置由電動機及其相連的蝸杆傳動機構所組成。在蝸輪軸上裝有齒輪，它可與固定在聯軸器上的大齒輪相嚙合。當透平起動時，盤車裝置的主動小齒輪能自動脫離嚙合狀態，這樣整個裝置就關掉了。

透平機殼及軸承箱在透平軸軸心綫的高度上有水平的接合面。要拆開透平，必須將透平機殼及軸承箱的水平接合面法蘭的連接螺栓拆開。此後即可舉起機殼蓋，而在聯軸器分離後，整個的透平轉子就可自機殼中取出。圖 1-5 所示的例子，即為取下機殼蓋後

的透平照片。

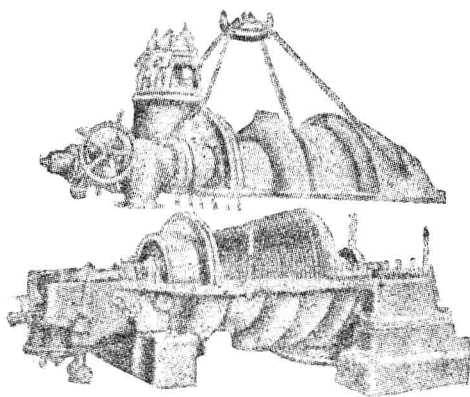


圖 1-5. 去蓋後的單機殼凝汽式透平。

透平軸的前端（圖 1-4）裝有齒輪，它用來帶動與螺旋式油泵相聯結的中間軸。螺旋式油泵打油到潤滑系統和調節系統。此外，在中間軸上尚裝有蝸杆，後者傳動透平離心調節器的橫向小軸。在透平軸的延長部上裝有透平危急保安器的兩個銷釘。

近代的帶動發電機用的透平都是要在不變的轉數下來工作的。轉數之保持不變靠自動調節機構來保證。

關於透平轉子及其相連的發電機轉子，我們可寫出下列的力矩方程式：

$$J \frac{d\omega}{dt} = M_m - M_r.$$

這裡 J 是透平轉子和發電機轉子的總轉動慣量； ω 是角速度； M_m 是蒸汽在透平轉子上所產生的旋轉力矩； M_r 是作用在發電機轉子上由於發電機負荷所引起的阻力矩。

從這個方程式中可以看出，只有當 $M_m = M_r$ 時，角速度才保持不變。如果透平的力矩超過發電機的力矩，那末角速度 ω 就增加；反之，如 $M_m < M_r$ ，則 ω 就減少。為了使 ω 保持不變，則自動調節系統就應當控制透平的力矩 M_m 使得 $M_m = M_r$ 。

调节机构是靠油来控制的。因此调节系统通常都与润滑系统结合在一起。

在透平轴承之中有大量的热放出,为了使轴承的温度不超过可容许的温度(約 60°C),就必须要把这些热量引走。轴承中热量的带走,是靠润滑油的循环系统来完成的,润滑油在轴与轴承襯之間建立一層油膜,它不但使阻力减少,而且对轴承起冷却作用。油受热后离开轴承,經冷却以后可再供润滑之用。

大多数的近代凝汽式蒸汽透平,其所采用的调节及润滑原理圖如圖 1-6 所示。

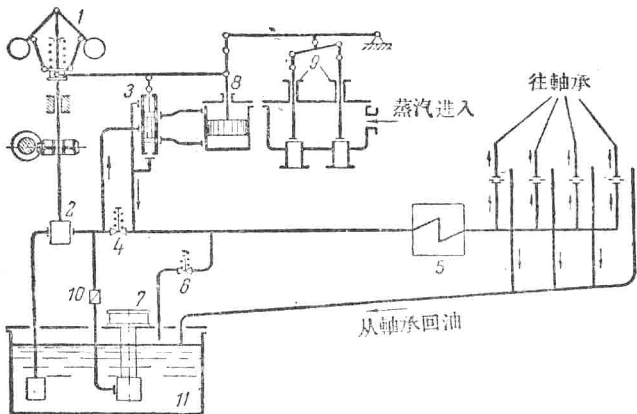


圖 1-6. 透平的调节及润滑原理圖:

1—离心调速器; 2—油泵; 3—调节系统的滑阀; 4—滑油减压阀; 5—冷油器; 6—保险阀; 7—辅助油泵; 8—油动机; 9—调节阀。 10—逆止阀; 11—油箱。

蜗杆传动机构带动一垂直的轴旋转,轴上装有离心式调速器 1 及主油泵 2。油泵自储油箱吸油,在压力下送给调节系统的滑阀 3。此外,油还从油泵经过减压阀 4 及冷油器 5 再送往透平轴承,在轴承中受热而用过的油又重新流入储油箱 11。为了使通往轴承去的润滑油压力保持不变,在减压阀后面的油管上装有保险阀 6,使油泵所供给的多余油量送回到储油箱。为了在透平开车及停车时满足轴承润滑油的供应,在圖上示有一辅助

油泵 7,后者是用特殊的小蒸汽透平来带动。

离心式调速器 1 的套筒与滑阀 3 相联接,后者管理通往油动机 8 的油筒去的油。油动机 8 带动透平的调节阀。

当发电机的负荷降低时,角速度 ω 增加,这从力矩方程式中可以看出。此时,离心调速器的重量克服了弹簧的拉力,提起套筒及与其相连的滑阀。于是,由油泵打进滑阀套筒的油,获得通往油动机油筒上腔的进路,并由于油动机活塞的下降而使透平调节阀的开度减小,因而减小通往透平去的蒸汽通路并使透平力矩 M_m 减小,直到等于发电机的力矩 M_e 为止。

蒸汽透平转子上的零件(叶片,輪盤),即使在透平的正常轉数之下,也要受到由离心力所引起的很高应力。当透平轉数超过其正常轉数时,会使离心力增加,以至透平失事。为了当主调节系统工作不正常时防止透平轉数的增高起见,近代透平都装有危急保安器,危急保安器通常都装于透平軸上。如透平轉数超过正常轉数 10—12%,危急保安器就使透平的自动主汽阀迅速关闭而使透平停車。

圖 1-7 所示为凝汽式蒸汽透平装置及其凝汽设备主要部件的概略装置圖。为使圖样简化起见,在所示的装置中没有予热給水的回热系统。

新鲜蒸汽从鍋爐間出来,从主汽管 3 分向蒸汽管 2,然后通往透平的起动机 1。蒸汽管 2 經閘門 4 与主汽管 3 相連。在閘門 4 之后装有分水器 5,分水器的放水由自动排水器 6 来完成。管 7 与透平的凝汽器相連,

