

船舶汽轮机

[苏联] A. P. 韦烈杰著

张 葆 华 译



人民交通出版社

〔苏联〕 A. Γ. 韦烈杰

船舶汽轮机

本书经苏联海运部教育司批准为航海学校轮机管理专业用教学参考书

苏联海运出版社

列宁格勒

1959年

人民交通出版社

本书是航海学校轮机管理专业用的教学参考书，根据《船舶汽轮机》教学大纲写成。书中详细地说明了海船新式汽轮机装置的构造，叙述了汽轮机热力过程的理论基础，介绍了船舶汽轮机的热力和强度计算及其运行的基本知识。

书中还简单地叙述了新型船舶发动机—燃气轮机的工作原理。

本书可供船舶轮机员进修班学员及高等学校学生学习之用。

船 舶 汽 轮 机

А. Г. ВЕРЕТЕ

СУДОВЫЕ ПАРОВЫЕ ТУРБИНЫ

Допущено Отделом учебных заведений
Министерства морского флота СССР
в качестве учебного пособия для курсантов
профессиональной подготовки морских училищ

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МОРСКОЙ ТРАНСПОРТ»
ЛЕНИНГРАД 1969

本书根据苏联海运出版社1959年列宁格勒俄文版本译出

张 葆 华 译

人 民 交 通 出 版 社 出 版

(北京安定门外和平里)

北京市书刊出版业营业许可证出字第〇〇六号

新华书店北京发行所发行 全国新华书店经售

人 民 交 通 出 版 社 印 刷 厂 印 刷

1964年9月北京第一版 1964年9月北京第一次印刷

开本: 787×1092毫米 印张: 21张插页3

全书: 450,000字 印数: 1—2,800册

统一书号: 15044·6249

定价(科六): 2.80元

目 录

前 言	6
-----------	---

第一篇 船舶汽轮机装置的工作原理和结构

第一章 汽轮机的工作原理和结构	7
§ 1 力的冲动作用原理和反动作用原理	7
§ 2 汽轮机热力发动机的特点	9
§ 3 单级冲动式和反动式汽轮机	9
§ 4 蒸汽在单级冲动式汽轮机中的工作原理	10
§ 5 多压力级冲动式汽轮机	11
§ 6 多列速度级冲动式汽轮机	12
§ 7 组合式冲动式汽轮机	14
§ 8 多级反动式汽轮机	15
§ 9 混合式冲动-反动式汽轮机	17
§ 10 船舶汽轮机的分类	17
§ 11 汽轮机的发展简史及其在海船上的应用	19
§ 12 汽轮机的特点	22
复习题	23
第二章 船舶汽轮机主要零件的结构	24
§ 1 船舶汽轮机-齿轮机组及其主要部分的概念	24
§ 2 船舶汽轮机的主要零件	26
§ 3 汽缸	27
§ 4 第一级(调节级)喷管	37
§ 5 喷管箱	40
§ 6 隔板和非调节级喷管	42
§ 7 工作叶片和导汽叶片	45
§ 8 转子	55
§ 9 密封	65
§ 10 支持轴承	74
§ 11 止推轴承	79
复习题	87
第三章 船舶汽轮机的操纵和调节	88
§ 1 快速截汽设备和限速调节器	88
§ 2 稳定工况调节器	102
§ 3 船舶汽轮机功率的调节	104
§ 4 汽轮机的进汽设备	105

复习題	109
第四章 船舶汽輪机的齿輪減速机构 (減速齿輪)	109
§ 1 減速机构的功用及其主要型式	109
§ 2 減速齿輪主要零件的結構	112
§ 3 減速齿輪的总体結構	116
§ 4 联轴节	121
复习題	125
第五章 冷凝設備	126
§ 1 冷凝設備的功用和工作原理	126
§ 2 管子在管板上的排列	127
§ 3 冷凝器主要零件的結構	131
§ 4 冷凝器的总体結構	137
复习題	141
第六章 船舶汽輪机的附屬系統	141
§ 1 潤滑系統	141
§ 2 密封和抽汽系統	149
§ 3 暖机和疏水系統	153
复习題	154
第七章 汽輪机-齿輪机組的检查-測量仪表	155
§ 1 測量溫度、压力和液位用的仪表	155
§ 2 測量轉数用的仪表	156
§ 3 測量功率用的仪表	157
§ 4 測量汽輪机中径向和軸向間隙用的仪表	158
复习題	161
第八章 船舶汽輪机和汽輪机-齿輪机組的总体結構	162
§ 1 主汽輪机	162
§ 2 輔助汽輪机	173
§ 3 废汽式汽輪机	176
复习題	179
第九章 起升設備和盘車設備	180
§ 1 起升設備	180
§ 2 盘車設備	183
复习題	183

第二篇 汽輪机的理論基础

第十章 蒸汽能量在孤立級噴管內的轉換	184
§ 1 蒸汽在无摩擦等熵膨胀时所得速度的計算	184
§ 2 噴管截面面积沿长度方向的变化	187
§ 3 蒸汽的临界压力和临界速度	189
§ 4 不考虑損失时噴管截面面积的計算	190
§ 5 考虑損失时蒸汽在噴管內的膨胀过程	194

§ 6	考虑损失时喷管截面面积的計算	194
§ 7	蒸汽在喷管斜切口內的膨胀	196
§ 8	喷管尺寸的确定	199
复习題		200
第十一章 蒸汽能量在孤立級工作叶片間的轉換		200
§ 1	速度三角形的画法	200
§ 2	汽輪机叶栅汽道內的能量損失	203
§ 3	速度系数的选择	206
§ 4	孤立級工作叶片間的損失計算及其在 $i-s$ 图上的表示	208
§ 5	余速損失	210
§ 6	輪周功及欧拉方程式	210
§ 7	孤立級的輪周效率	212
§ 8	工作叶片高度的計算	217
复习題		218
第十二章 船舶汽輪机的內部損失和机械損失。汽輪机-齒輪机組的效率。		
	蒸汽消耗量	219
§ 1	損失的分类	219
§ 2	由于噴管高度小而引起的損失(叶高損失)	219
§ 3	蒸汽湿度損失	220
§ 4	摩擦和鼓风損失	221
§ 5	部分进汽損失	223
§ 6	隔板密封处的漏汽損失	223
§ 7	叶片径向間隙处的漏汽損失	225
§ 8	冲动級的內部效率	225
§ 9	汽輪机的机械損失	227
§ 10	机組的机械效率和有效效率	228
§ 11	汽輪机裝置的效率	229
§ 12	汽輪机內蒸汽消耗量的計算	230
复习題		231
第十三章 多列速度級汽輪机的理論基础		231
§ 1	速度三角形的画法	231
§ 2	多列速度級汽輪机的輪周效率	233
§ 3	多列速度級的工作过程在 $i-s$ 图上的表示及其輪周效率的計算	235
§ 4	帶小反动度的多列速度級	236
§ 5	噴管和叶片高度的計算	238
第十四章 多压力級汽輪机(多級汽輪机)的理論基础		240
§ 1	蒸汽在多級汽輪机內的膨胀过程	240
§ 2	流出速度的利用和叶片效率	241
§ 3	重热	242
§ 4	多級汽輪机的特性比	244

第三篇 汽輪机的热力計算

第十五章 单級冲动式汽輪机的計算	246
§ 1 单級冲动式汽輪机的計算順序	246
§ 2 单級冲动式汽輪机的計算示例	246
第十六章 多列速度級汽輪机的計算	252
§ 1 多列速度級汽輪机的計算順序	252
§ 2 多列速度級汽輪机的計算示例	254
第十七章 多級冲动式汽輪机的計算	259
§ 1 多級冲动式汽輪机的計算順序	259
§ 2 多級冲动式汽輪机的計算示例	262
第十八章 多級反动式汽輪机的計算	272
§ 1 多級反动式汽輪机的計算順序	272
§ 2 多級反动式汽輪机的計算示例	278

第四篇 汽輪机主要零件的强度計算

第十九章 工作叶片的計算	289
§ 1 工作叶片的弯曲計算	289
§ 2 工作叶片的拉伸計算	291
第二十章 軸的計算	293
§ 1 轉子草图的画法	293
§ 2 軸的强度校核計算	295
§ 3 单轉輪軸的临界轉数	296
§ 4 多級汽輪机轉子临界轉数的計算	298
§ 5 轉子临界轉数的計算示例	298
§ 6 汽輪机轉子临界轉数的近似計算法	302
第二十一章 轉輪的計算	302
§ 1 基本方程式的推导	302
§ 2 等厚度轉輪的計算	304
§ 3 轉輪輪緣的計算	305
第二十二章 隔板的計算	307

第五篇 船舶汽輪机裝置的維護和管理

第二十三章 船舶主汽輪机的运行管理基础	310
§ 1 汽輪机裝置起动前的准备工作	310
§ 2 汽輪机裝置的起动	311
§ 3 汽輪机裝置工作时的維護	313
§ 4 汽輪机裝置的机动操縱和停車	318
§ 5 汽輪机裝置保持准备工作状态	319
§ 6 汽輪机裝置轉入停止工作状态	320

§ 7 汽轮机装置不工作时的维护	320
§ 8 汽轮机的检修	321
第二十四章 蒸汽机-废汽式汽轮机联合装置中废汽式汽轮机的运行管理基础	322
第二十五章 辅助汽轮机的运行管理基础	325
复习题	327

第六篇 船舶燃气轮机装置的基本工作原理和结构

第二十六章 燃气轮机装置的循环	328
§ 1 一般介绍	328
§ 2 等压燃烧循环	329
§ 3 提高热效率的方法	330
§ 4 闭式燃气轮机装置	332
第二十七章 船舶燃气轮机装置的结构简图	333
§ 1 基洛夫工厂设计的船舶燃气轮机装置	333
§ 2 油轮“阿烏利斯”号的燃气轮机装置	334
§ 3 “自由”轮的燃气轮机装置	338
§ 4 自由活塞燃气轮机装置	340
复习题	341
参考书	342

前 言

“船舶汽輪机”系按照海运部教育司批准的輪机管理专业教学大綱写成，为此，書中包括船舶汽輪机的詳細結構說明部分，理論和計算部分，以及运行的基本知識。

本書內容共分为六篇。第一篇叙述船舶汽輪机装置的工作原理和結構；第二、第三和第四篇叙述汽輪机的理輪基础、热力計算和主要零件的強度計算；第五篇叙述汽輪机装置的維護和管理；第六篇叙述燃气輪机装置的結構和基本工作原理。

本書研究了安装在苏联船舶上的新式船舶汽輪机，其中包括基洛夫工厂生产的汽輪机的最新結構。

書中有大量的插图、复习题、示例和习题，这必然会帮助学生更深刻地掌握本門課程并有助于他們的独立工作。

作者認為必須向对本書提出了一系列宝贵意見、使本書質量得到提高的有关同志表示衷心的感谢。

作 者

第一篇 船舶汽轮机装置的工作原理和结构

第一章 汽轮机的工作原理和结构

§ 1 力的冲动作用原理和反动作用原理

蒸汽的动能可以按汽流的冲动作用原理或反动作用原理转换成机械功。

下面举几个冲动力的例子：

- 1) 从消防水龙带冲出打在玻璃窗上的水流；
- 2) 抛出打在障碍物上的石块或子弹；
- 3) 吹在帆上并推进船舶运动的风。

为了使物体移动作出有效功，冲动力应该在尽可能没有撞击的情况下作用在物体上，因为撞击将消耗一部分动能。计算和实验证明，当物体的表面形状能使射流射至物体后沿物体表面转向并朝着相反方向流动时，则在所有其他条件都相同的情况下，射流的作用力最大。这一点可以通过下列例子来说明。

将蒸汽气流引向装有提升设备的小车表面，由于蒸汽压力的作用，小车便以某一速度移动，并提起重物。

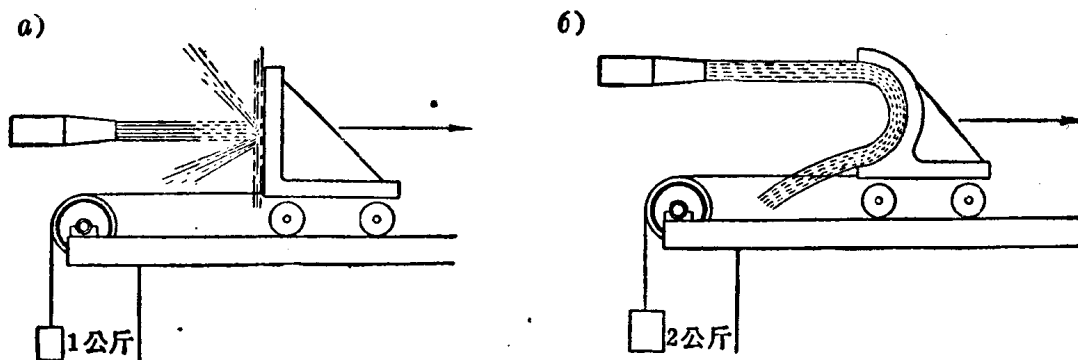


图1 冲动力作用的例子

如果小车的工作表面是平面形的（图1中a），则蒸汽射流在撞击表面时会向各个方向飞散。此时，就不可能将蒸汽的全部动能转换成机械功，因为飞散的射流部分会产生涡流，从而要消耗一部分动能。

如果小车的工作表面是弯曲形的（图1中b），并且射流是无撞击地射至工作表面上，则不会产生任何不规则的涡流，即不会有任何徒劳无益的能量消耗。因此，在这种情况下，当小车以同样速度运动时，可以在相同的时间将二倍左右的重物提升到与第一种情况相同的高度。

下面举几个反动力的例子：

- 1) 射击时武器后退；
- 2) 火輪或旋轉的噴水器（图 2 中 a 和 6）；
- 3) 从小船跳至岸上时小船倒退。

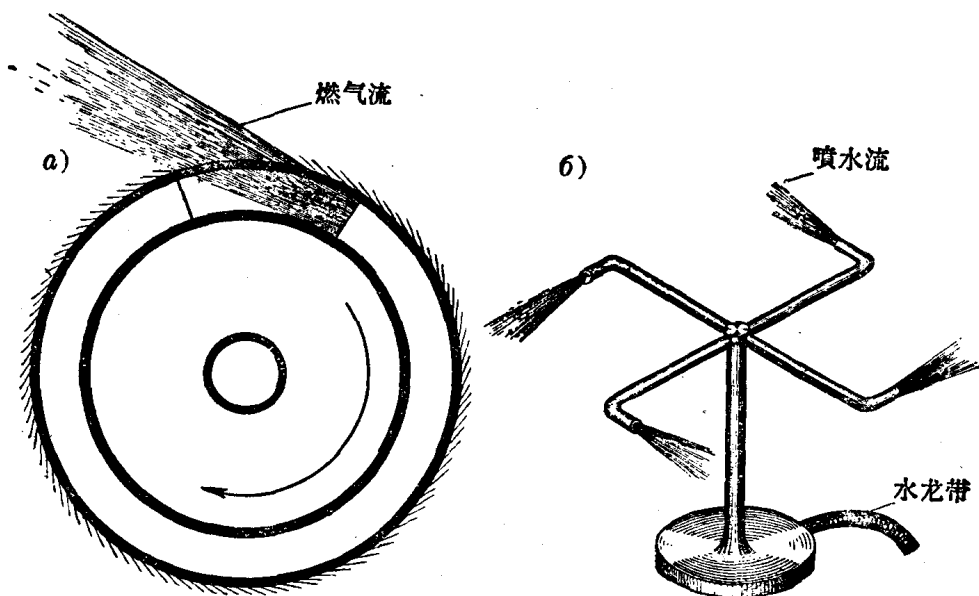


图 2 反动力作用的例子

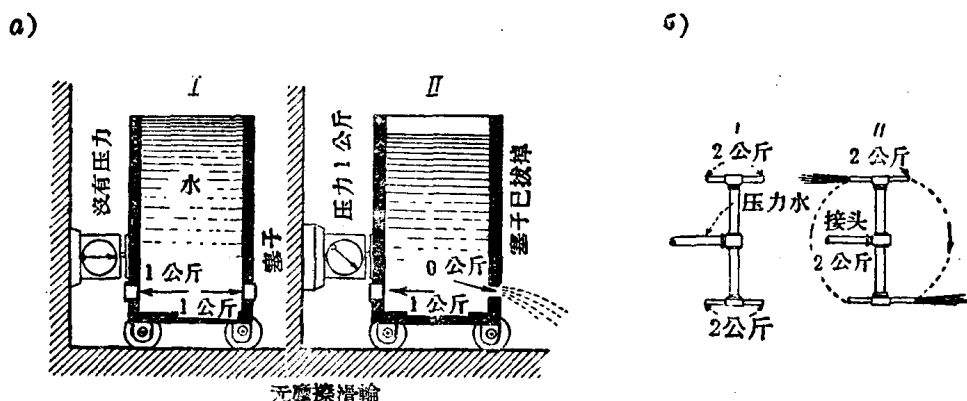


图 3 反动力產生的图解

反动力的实质可以用图 3a 来说明。

如果在灌滿水的圓桶上有两个大小相同的孔，它們与水面隔着相同的距离，并用塞子塞住，則水对每个塞子都施以压力，迫使塞子脫开。作用在每个塞子上的压力是相同的，其值等于塞子面积与該面积重心到水面距离的乘积，再乘上水的比重。

假定每个塞子上的作用力为 1 公斤，如图 3a I 所示。如果拔掉一个塞子，如图 3a II 所示，則作用在这个已拔掉塞子上的 1 公斤力即随之消失，而作用在另一个塞子上的 1 公斤力却仍然存在。此时，水桶左面的磅秤将显示出这个压力。如果取去磅秤，則这个 1 公斤的力将推动容器，产生机械功。

反动力使物体旋轉的情形如图 36 所示。在图 36 I 中，所有的管口都用塞子塞住。此时，

图中各力是相互平衡的。当管子一端的管口打开时，如图36Ⅱ所示，则一部分力随之消失，而余留的力就使喷水器转动。

§ 2 汽轮机热力发动机的特点

汽轮机与蒸汽机一样，都是将蒸汽的位能转换成机械功的发动机。不过，无论在工作原理上和结构上，汽轮机与蒸汽机都是迥然不同的。

在蒸汽机中，蒸汽压力的位能直接转换成汽缸内活塞运动的机械功，活塞通过活塞杆、连杆和曲柄机构与轴相连接。在汽轮机中，蒸汽的能量要经过二次能量转换过程：最初蒸汽的位能转换成蒸汽运动的动能，然后蒸汽的动能转换成机械功传递给汽轮机轴。位能转换成动能和动能转换成机械功可能是同时在汽轮机的同一个运动部分内实现的；也可能是位能在汽轮机的固定部分内转换成动能，而动能在汽轮机的运动部分内转换成机械功。在第一种情况下，汽轮机是纯反动式的；而在第二种情况下，汽轮机是纯冲动式的。

此外，位能转换成动能还可能部分地在汽轮机的固定部分内实现和部分地在汽轮机的运动部分内实现。在这种情况下，汽轮机是带有一定反动度的冲动式汽轮机。很多最新式的汽轮机都是按最后一种原理工作的。这样，主要利用冲动原理工作的，就称为冲动式汽轮机；主要利用反动原理工作的，则称为反动式汽轮机。

§ 3 单级冲动式和反动式汽轮机

如上所述，根据蒸汽在工作叶片间的工作原理，汽轮机分为冲动式和反动式两种。

单级冲动式汽轮机如图4所示（图中未画出汽缸）。这种汽轮机的工作原理如下：

新鲜蒸汽进入一个或若干个固定的喷管5，在其中进行膨胀，因此蒸汽的一部分位能转换成动能（速度），然后蒸汽以很大的速度进入运动的工作叶片3间的汽道内。蒸汽流过汽轮机叶片时，对叶片施加压力，使装有工作叶片的转轮2转动，从而使汽轮机轴1旋转，汽轮机轴在克服各种阻力后即产生机械功（图中数字4表示轴承）。

在单级反动式汽轮机中（图5），蒸汽先进入由导汽叶片1形成固定的导汽机件，在其中部分地进行膨胀并得到动能。然后，蒸汽以相当大的速度进入运动的工作叶片2间，并对这些工作叶片施加作用，将获得的动能传给叶片，结果产生冲动力 A 。

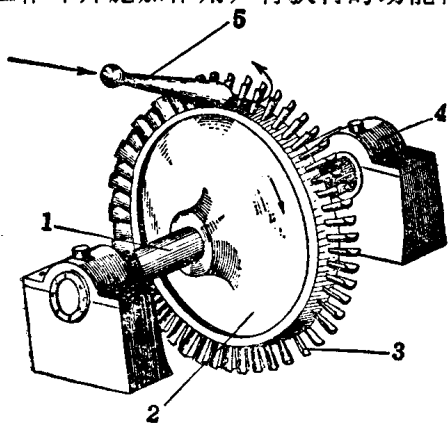


图4 冲动式汽轮机级

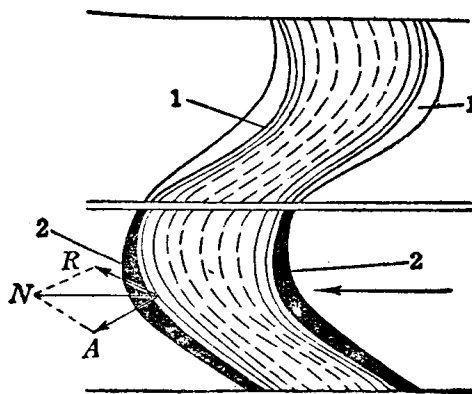


图5 反动式汽轮机级

由此可見，反动式汽輪机同样是按冲动原理工作的。不过，除此以外，由于工作叶片間汽道的收縮形状，蒸汽从其間流过时还会繼續进行膨胀并逐漸降低压力。

蒸汽在工作叶片的汽道內膨胀的同时，速度增加。由于蒸汽汽流的速度增加，便产生出一定的反动力 R 。将向量力 A 与 R 相加，得到轉动工作叶片的合力 N 。

在工作叶片間的汽道进口处和出口处的压力差会产生一种附加力，它推动轉子向排汽方向移动。关于这个力的平衡方法将于本章§8中介绍。

单級冲动式汽輪机有时应用在老式的船上，作为带动輔助机械用的輔助汽輪机。但是单級反动式汽輪机在船上从未用来带动輔机。

§ 4 蒸汽在单級冲动式汽輪机中的工作原理

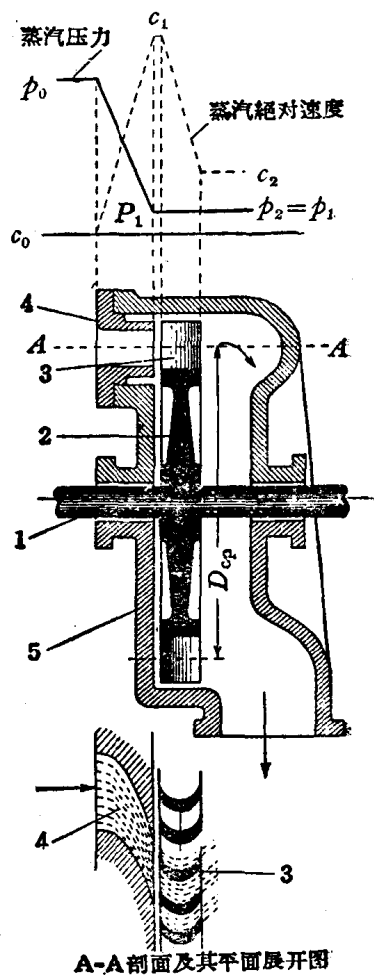
单級汽輪机是最简单的汽輪机。在图 6 的中部画出了这种汽輪机的纵向剖面示意图。其轉动部分由軸 1，套装在軸 1 上的轉輪 2 及安装在轉輪上的工作叶片 3 組成；在汽輪机的汽缸 5 上安装有一个或若干个噴管 4，噴管 4 与工作叶片一起組成汽輪机的通流部分。

在图 6 的下部画有噴管和工作叶片展开在水平面上的截面。从图中可以看出，噴管的軸綫与轉輪平面間夹着一个角（一般为 $12 \sim 20^\circ$ 。）

在图 6 的上部画出了蒸汽流过汽輪机通流部分时其压力和絕对速度的变化曲綫。新鮮蒸汽以压力 p_0 进入噴管，在噴管中进行膨胀，压力从 p_0 下降到 p_1 ，而速度从 c_0 增加到 c_1 。蒸汽以这个速度进入工作叶片間，将部分动能传给工作叶片并使轉輪和固定在轉輪上的叶片轉动。在这种情况下，蒸汽的絕对速度减小到出口速度值 c_2 。由于蒸汽在工作叶片間并不进行膨胀，因此，轉輪前的压力 p_1 等于轉輪后的压力 p_2 。

单級汽輪机尽管結構简单，但是由于轉数过高，不能在承担很大的焓降时达到高的效率以及单机功率不能增大等缺点，因而沒有得到普遍应用。

当蒸汽从 12 ama 膨胀到冷凝器中的压力为 0.1 ama 时，蒸汽离开噴管的速度超过 1200 米/秒。計算表明，为了最有效地利用蒸汽的动能，冲动式汽輪机工作叶片的运动速度应该比蒸汽流动的速度小二分之一，換句話說，工作叶片的圆周速度 u 与蒸汽的絕对速度 c_1 之比值应该大約等于 0.5^①。因此，为了最充分地利用在噴管中得到的动



A-A 剖面及其平面展开图

图 6 单級冲动式汽輪机的示意图

① 反动式汽輪机速度比 $\frac{u}{c_1}$ 的最佳值約等于 1（参阅第十一章 § 7）。

能，必須使叶片运动的圆周速度 $u = \frac{1,200}{2} = 600$ 米/秒。

然而，这样高的圆周速度目前在汽轮机中是无法实现的，因为离心力太大会使轉輪材料和叶片根部内所产生的应力远远超过允許数值，即会使轉輪破裂。通常，汽轮机中应用的圆周速度約为150~300米/秒。

在单級汽轮机中由于采用了柔性軸、等强度的轉輪及固定叶片的特殊方法，轉輪的圆周速度能高达420米/秒。但是，这时单級汽轮机的轉数非常高（15,000~30,000轉/分）。为了工作經濟起見，沒有一个从动机械（发电机、泵、鼓风机）会需要这样高的轉数。在这种情况下，汽轮机就必须配备減速齒輪，以便把轉数降低为原有的1/10~1/20。而这样的減速齒輪十分庞大，其重量比汽轮机本身的重量还要大很多（这可以从图7中清楚地看出）。

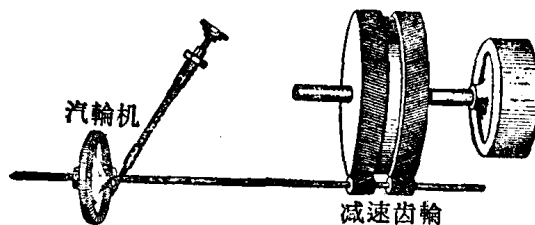


图7 单級拉伐尔式汽轮机与減速齒輪尺度間的比例关系

为了避免过大的轉数和过高的圆周速度，同时又要要在很大的配置焓降下保持最佳的速度比值 $\frac{u}{c_1}$ ，新式汽轮机都造成多压力級、多列速度級或是由若干压力級和若干速度級共同組成的各种型式的多級汽轮机。

§ 5 多压力級冲动式汽轮机

多压力級汽轮机是由一系列順次安置在一根軸上工作的单級汽轮机所組成。图8中示出带有三个压力級的冲动式汽轮机。在軸1上套裝着三个轉輪2、3、4，在其上固定着工作叶片5、6、7。汽轮机的汽缸被隔板分隔成三个独立的腔室。第一級噴管8安装在汽轮机的前壁上，而第二級和第三級噴管9和10分別安装在隔板的周緣上。新鮮蒸汽以压力 p_0 和速度 c_0 进入第一級噴管，在第一級噴管中膨胀到压力 p_1' ，而速度增加到 c_1 。以后，蒸汽进入工作叶片5并将其动能传给工作叶片，此时蒸汽的速度减少到 c_2 值，而轉輪兩側的蒸汽压力保持不变。

然后，蒸汽进入第二級噴管9，在其中从压力 p_1' 膨胀到压力 p_1'' ，并重新获得相应的动能。以后，蒸汽进入工作叶片6并将其动能传给工作叶片。当蒸汽流过工作叶片6时，压力又保持 p_1'' 值不变。

在第三級噴管10中，蒸汽的膨胀和在工作叶片7間将动能轉換成机械功的过程与第一級、第二級內相同。最后，蒸汽以压力 p_2 和速度 c_2 流经排汽管进入冷凝器中。

由此可見，蒸汽并不是一下子由压力 p_0 膨胀到 p_2 的，而是分三次，阶段性地进行的。这样，在这种型式的汽轮机內，通过选择适当級数和合理分配焓降，就可以使軸获得最佳轉数，并使工作叶片不超过允許的圆周速度数值。

由于蒸汽的比容是随着蒸汽的膨胀而增加的，因此噴管和叶片的高度应逐漸增加。

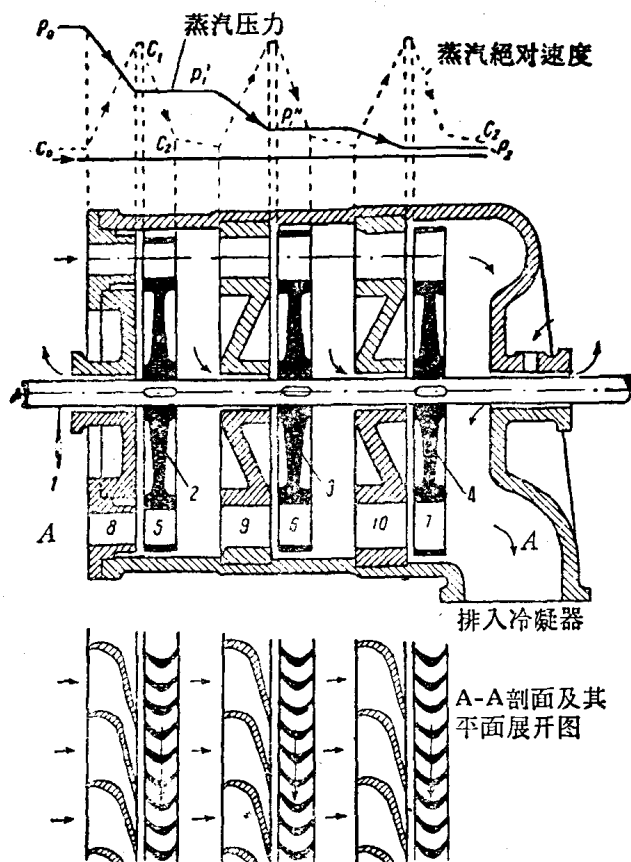


图8 带有三个压力级的冲动式汽轮机示意图

§ 6 多列速度级冲动式汽轮机

多列速度级的特点是：蒸汽的位能先在喷管内全部转换成动能，然后动能在二圈或三圈工作叶片间转换成机械功。在相邻二圈工作叶片间安装有固定的导向叶片，导向叶片主要是用来改变蒸汽运动的方向。蒸汽将一部分动能传给第一圈工作叶片后，经过导向叶片改变运动方向进入固定在同一转轮上的第二圈工作叶片，在其中再利用蒸汽内余留的一部分动能。

蒸汽在多列速度级汽轮机中的工作情形用图9中小车A和B的例子来说明最为方便。假定从小车流出的蒸汽的绝对速度等于零，则小车A的运动速度要比进入小车的蒸汽气流速度小一半。如果从小车流出的蒸汽的绝对速度等于零，则小车B的运动速度要比进入小车的蒸汽气流速度小四分之三。在后一种情况下，蒸汽流过凹入表面1时，速度减小了一半。如果

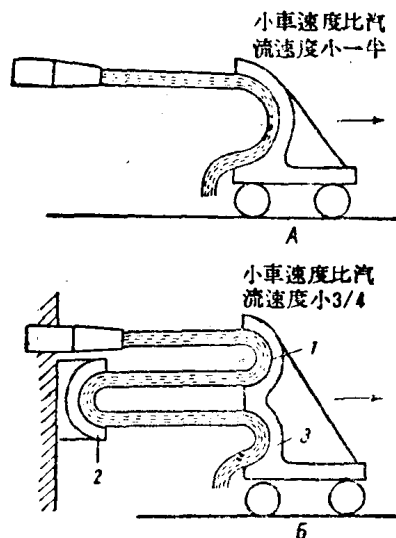


图9 蒸汽在多列速度级汽轮机内的工作示意图

不計損失，則在凹入表面 2 上蒸汽並不減少速度，而只改變方向。蒸汽的其餘一半速度是在凹入表面 3 上減少到零的。

因此，在上述兩種情況下都利用了全部動能，可是，由於應用了兩個速度級，所以小車 B 移動得比小車 A 慢一半。

圖 10 為帶有兩個速度級的汽輪機示意圖。它與圖 6 所示的單級汽輪機的区别在於：在轉輪 6 上不是安裝一圈，而是安裝兩圈工作葉片 1 和 2，而在这兩圈工作葉片間安裝着導汽葉片 3，導汽葉片固定在汽缸 5 上。

在圖 10 的上部畫有蒸汽壓力和速度的變化圖。新鮮蒸汽進入噴管 4，在其中從壓力 p_0 膨脹到壓力 p_1 。以後，蒸汽流過兩圈葉片時壓力不再變化，即轉輪兩側的壓力保持不變 $p_1 = p_2$ 。

蒸汽在噴管內膨脹時速度增加到 c_1 值，蒸汽以這個速度進入第一圈工作葉片。在第一圈工作葉片中，由於一部分動能轉換成機械功以及由於為克服有害阻力的損失，蒸汽速度將減小到 c_2 值，並以這個速度流入導向葉片。

導向葉片與工作葉片相似，但其安裝位置與工作葉片相反。因為導向葉片是固定不動的，因此蒸汽在其中不作任何功，而蒸汽的速度只是由於為克服這些葉片間的危害阻力需要消耗一部分動能而稍微減少到 c_1' 值。

在第二圈工作葉片間，蒸汽的動能又轉換成機械功，因此，蒸汽的速度將從 c_1' 減小到 c_2' 。

在上面所介紹的汽輪機內，蒸汽的全部膨脹與單級汽輪機內一樣，是在一個級的噴管內一次完成的。但是，動能卻是在兩圈工作葉片間利用的。因此，這種汽輪機被稱為帶有兩個速度級的沖動式汽輪機。

同時，這種汽輪機的轉輪與只安裝著一圈工作葉片（一個速度級）的單級沖動式轉輪是不同的，被稱為寇蒂斯式雙圈輪或帶兩個速度級的轉輪。

一般可以見到的有帶兩個、三個乃至四個速度級的轉輪（根據工作葉片的圈數來區別）。但是，目前製造的都是帶兩個速度級的轉輪，很少造帶三個速度級的轉輪，這主要是由於多列速度級汽輪機的效率是隨著速度級級數的增加而急劇減小的緣故。

前面已經說過，蒸汽在多列速度級汽輪機的工作葉片間是不膨脹的，而汽輪機的葉片高度卻仍然是逐圈增加的。葉片高度之所以要逐圈增加，是由於蒸汽從上一圈流到下一圈時速度逐漸減小的緣故，而為了在單位時間內通過同樣數量的蒸汽（按重量和體積），在流動速度較小時就需要較大的汽道截面。

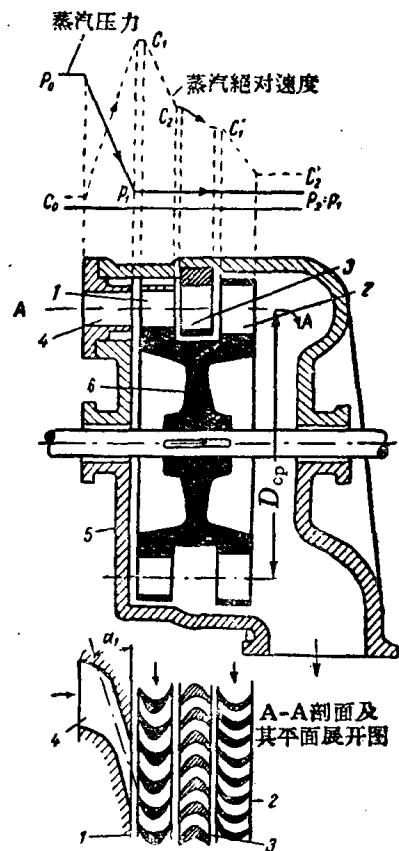


圖 10 帶有兩個速度級的沖動式汽輪機示意圖

采用多列速度級比采用多压力級在降低工作叶片的最佳圓周速度方面更为有效，因为在多列速度級內最佳圓周速度的降低倍数与速度級的級数成正比，而在多压力級內它是与压力級級数的平方根成正比。也可以这样說，两个速度級相当于 $2^2=4$ 个冲动式压力級，三个速度級相当于 $3^2=9$ 个冲动式压力級，其余依此类推。

由此可以清楚地看出，在同一配置焓降和同一圓周速度下，多列速度級汽輪机的尺度和重量要比多压力級汽輪机小得多，因而結構更为簡單。但是，多列速度級汽輪机的主要缺点是效率比較低（与多压力級汽輪机相比），甚至带有两个速度級的汽輪机亦不例外。

多列速度級汽輪机被广泛地用来带动輔助机械（发电机、泵、鼓风机等），作为倒航汽輪机和多压力級汽輪机的第一級（調节級）。

对于輔助汽輪机來說，主要的要求是結構簡單和管理方便。由于它們的功率不大和可能利用其废汽来加热給水，因此，对它們的經濟性較差这一点則可以不加考虑。

倒航汽輪机的經濟性差这一点也沒有重大关系，因为船舶倒航时的持續時間并不长。

多压力級汽輪机的第一級采用带有两个或三个速度級的轉輪具有下列四个优点：

1. 蒸汽在多圈輪噴管內可以膨胀至比較低的参数，使它进入汽輪机汽缸时的压力远比初压为小。因此，汽缸按照这个压力来設計时，可以做得更薄、更輕。多圈輪的这个特点在采用高参数蒸汽时显得特別可貴。

2. 由于多圈輪能够承担巨大的焓降，因此，它可以代替几个单圈輪（二列速度級可以代替四个单圈輪压力級），这样就可以縮短汽輪机的长度。

3. 在多圈輪汽室中蒸汽的压力較低，因此通过前端密封箱的蒸汽漏洩量較少，密封箱的构造亦随之簡化。

4. 由于多圈輪噴管內的焓降很大，因此汽輪机內的蒸汽溫度較低，这就对叶片造成了很有利的工作条件。

§ 7 組合式冲动式汽輪机

如果多压力級冲动式汽輪机中有一个或几个压力級是多列速度級，則这种汽輪机叫做組合式冲动式汽輪机。

图11所示是第一个压力級带有两个速度級的組合式冲动式汽輪机的示意图。这种汽輪机由于具有上节中所介紹的多圈輪的优点，因此被广泛用在多缸式汽輪机-齒輪机組中作为高压缸汽輪机。

在图11的上部画有蒸汽流过汽輪机通流部分时其压力和絕對速度的变化曲綫。

图12所示是带有三个压力級的組合式冲动式汽輪机的示意图，其中每个压力級都是由一个二列速度級組成。它与图8的差別是每个单圈輪都用双圈輪来代替。在图12的上部画有蒸汽的压力和絕對速度沿汽輪机軸向变化的曲綫。

在尺度、重量和經濟性方面，組合式汽輪机介于多压力級汽輪机和多列速度級汽輪机之間。

目前，由几个多圈輪組成的組合式汽輪机由于相对效率低，已不再用来作为主发动机。