

海 军 舰 艇 机 电 教 材

舰 用 汽 轮 机

(一)

一 九 七 三 年 八 月

毛主席语录

全党都要注重战争，学习军事，准备打仗。

读书是学习，使用也是学习，而且是更重要的学习。从战争学习战争——这是我们的主要方法。

练兵方法，应开展官教兵、兵教官、兵教兵的群众练兵运动。

为了反对帝国主义的侵略，我们一定要建立强大的海军。

通 知

根据总参谋部关于组织力量编写专业教材的通知精神，海军部队的舰艇机电教材，由东海舰队负责编写。现已写出《舰用汽轮机(一)》(试用稿)，印发部队试行。望各部队在使用中，提出修改补充意见，上报海司军训部，以便修改定稿。

海 军 司 令 部

一 九 七 三 年 八 月

目 录

主 机 部 分

第一章 概论	1
第一节 汽力装置的组成和汽水循环	1
第二节 汽轮机的简单工作过程	2
第三节 汽轮机的分类和主要组成部分	3
第四节 主汽轮机性能	4
第二章 汽轮机	8
第一节 通流部分	8
第二节 转子	19
第三节 定子	21
第四节 轴承	28
第五节 调车装置和安全装置	32
第三章 凝汽装置	39
第一节 概述	39
第二节 主冷凝器	40
第三节 水位自动调节系统	43
第四章 减速装置	47
第一节 齿轮减速器及其附件	47
第二节 轴系	57
第五章 机舱系统	61
第一节 滑油系统	61
第二节 新蒸汽系统	66
第三节 排汽系统	69
第四节 汽封系统	73
第五节 冷凝水系统	76
第六章 汽轮机装置的管理	77
第一节 汽轮机装置的启动	77
第二节 汽轮机装置的备便状态	81
第三节 汽轮机装置工作中的管理	82
第四节 汽轮机装置的常见故障	86
第五节 汽轮机装置的停止使用和不工作时的保养	88

辅 机 部 分

概况	91
----	----

第一章 容变式泵	93
第一节 容变式泵的工作原理.....	93
第二节 维尔式蒸汽往复泵.....	96
第三节 维尔式蒸汽往复泵的管理	103
第四节 维尔式蒸汽往复泵的拆装	104
第二章 汽轮螺杆滑油泵	107
第一节 螺杆泵的作用原理	107
第二节 螺杆滑油泵构造及其操纵系统	108
第三节 螺杆滑油泵的常见故障及其排除方法	121
第三章 汽轮离心凝水泵	123
第一节 离心泵的工作原理	123
第二节 汽轮离心凝水泵的构造及附属装置	123
第三节 汽轮离心凝水泵的常见故障及其排除方法	131
第四章 汽轮轴流循环水泵	132
第一节 轴流泵的作用原理	132
第二节 汽轮轴流循环水泵的构造及附属装置	132
第三节 汽轮轴流循环水泵的常见故障及其排除方法	135
第五章 汽轮辅机的管理	136
第六章 汽喷射泵(主喷射器)	137
第七章 汽轮发电机	140
第一节 功用和性能及主要组成部分	140
第二节 汽轮机的简单构造及附属装置	140
第三节 汽轮发电机的常见故障及其排除方法	146
第八章 舵机、锚机	149
第一节 舵机	149
第二节 锚机	154

主机部分

第一章 概 论

第一节 汽力装置的组成和汽水循环

汽力装置是蒸汽动力装置的简称,它由锅炉装置和汽轮机装置两部分组成。

一、锅炉装置

锅炉装置包括主锅炉以及为燃烧、上水服务的所有辅机和系统。它的功用是供给主、辅机所需要的蒸汽。

二、汽轮机装置

汽轮机装置包括主汽轮机、凝汽装置和减速传动装置三个部分。

(一)主汽轮机: 它是以蒸汽作为工作物质,将蒸汽的热能变为机械功,使舰艇获得前进或后退的动力。

(二)凝汽装置: 凝汽装置的功用是将主、辅机工作后的排汽凝结成水,供锅炉再使用,并抽出漏入主机内的空气。它由以下几部分组成:

1. 主冷凝器,用以将排汽凝结成水。
2. 循环水泵和循环水系统,用以将舷外海水送入冷凝器水管中,使管外蒸汽凝结。
3. 凝水泵和凝水系统,用以将冷凝器中的凝水抽出,经上水泵送回锅炉。
4. 汽喷射器(主喷射器),用以抽出冷凝器内的空气,保持冷凝器内的真空。

(三)减速传动装置: 由齿轮减速器和轴系组成。它将主汽轮机的高转速减为推进器所要求的低转速,并将主机所发出的功率传给推进器,变为推动舰艇运动的动力。

汽力装置的汽水循环,如图 1-1 所示。

锅炉 1 中产生的蒸汽,经过停汽阀 2 导向主机的调整阀 3 (用调整阀控制蒸汽),进入汽轮机正车部分 4 或倒车部分 5。从汽轮机排出来的排汽进入主冷凝器 6,排汽凝结成水后集中到冷凝器下部,由凝水泵 7 将水抽送给上水泵 8。上水泵与凝水泵间保持一定的压力差,过高时则阀 14 自动打开,使多余的水进到热水柜 10 中去,压力差过低,则阀 15 自动打开,热水柜的水流出补充到上水泵中去。如阀 11 和 12 关着,而阀 13 开着,则由上水泵打出的凝水不经过上水加热器 9 直接进入锅炉,通常阀 13 是关闭的,阀 11 和 12 是开着的,使上水泵的水经过上水加热器提高上水温度后再送到锅炉。汽水就是这样不断循环的。从各辅机来暖热上水的排汽是由管 17 进入上水加热器,在上水加热器内冷凝后经管 18 排入水柜。

冷却排汽的冷却水是由循环水泵 19 将舷外海水打进凝汽柜中,吸热后排出舷外。汽喷射器(主喷射器)16 用来抽出凝汽柜内的空气。

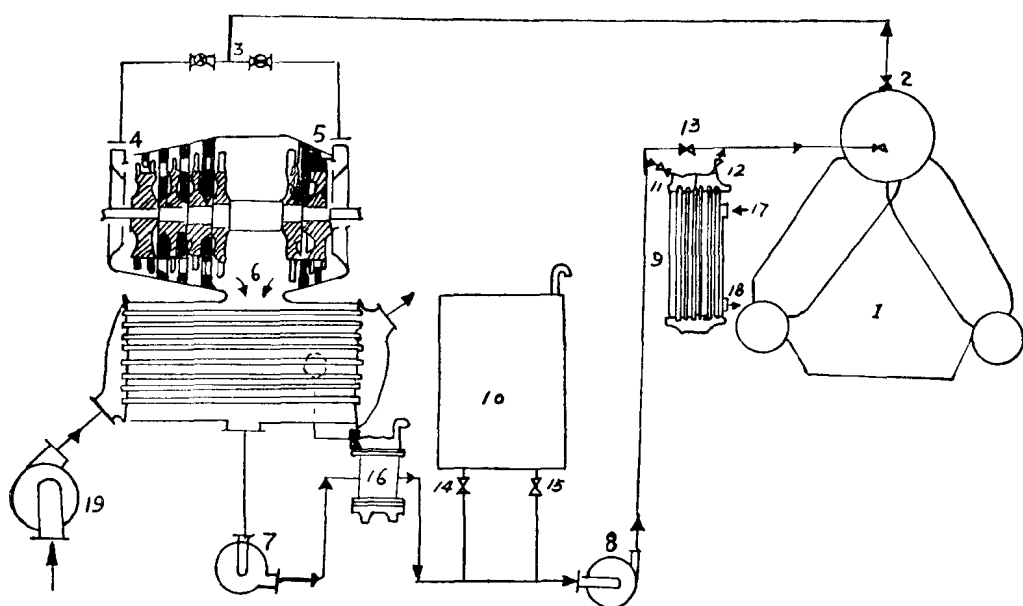


图 1-1 汽水循环

1—锅炉 2—停汽阀 3—调整阀 4, 5—正倒车汽轮机 6—主冷凝器 7—凝水泵
8—上水泵 9—上水加热器 10—热水柜 11, 12, 13—阀 14, 15—阀 16—主喷射器
17—入口 18—出口 19—循环水泵

第二节 汽轮机的简单工作过程

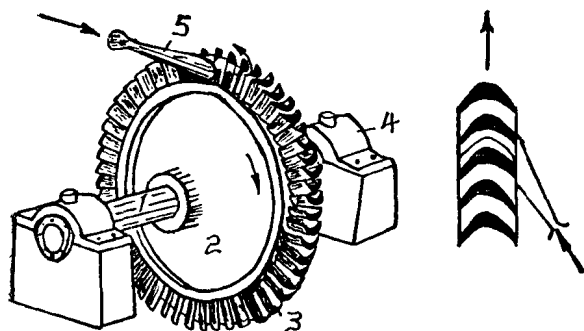


图 1-2 简单汽轮机

1—轴 2—叶轮 3—动叶 4—轴承 5—喷嘴

最简单的汽轮机如图 1-2 所示。

具有一定压力和温度的蒸汽，通入汽轮机喷嘴 5，在喷嘴中蒸汽的压力降低，比容和速度增大，即变蒸汽的热能为动能。具有较高流速（动能）的蒸汽，流出喷嘴后直接推动固定在叶轮 2 上的动叶 3，使轴 1 旋转，即将蒸汽的动能变为叶轮和机轴回转的机械功。

从以上所述的汽轮机简单工作过程可以看出，汽轮机的特殊本质是：

一、两种能量的转换

两种能量的转换是：在喷嘴中首先将蒸汽的热能转换为动能，然后在动叶中变蒸汽的动能为叶轮和机轴回转的机械功。

二、直接产生回转运动

汽轮机是直接产生回转运动的动力机械，它不象往复机械（如蒸汽往复机和内燃机）那样，先有活塞的往复运动，再通过连杆、曲轴机构，变为机轴的回转运动。

同时,由于蒸汽不间断地进入汽轮机,在一定工作条件下,汽轮机各部分的蒸汽压力、温度和受力情况是比较均匀和稳定的。

第三节 汽轮机的分类和主要组成部分

一、汽轮机的分类

(一)按功用分: 在舰艇汽力装置中根据不同的作用,分主汽轮机和辅助汽轮机。

1. 主汽轮机: 作为舰艇主要动力的汽轮机。它又可根据不同的用途区分为:

(1) 正车汽轮机: 作为舰艇前进主要动力的汽轮机。

(2) 倒车汽轮机: 叶轮是不能倒转的, 使舰艇获得后退动力还必须有倒车汽轮机。小型主汽轮机, 正、倒车装于同一轴上, 而大型主汽轮机, 倒车汽轮机则与正车低压汽轮机装在同一轴上。倒车汽轮机的回转方向与正车汽轮机相反。倒车汽轮机工作时, 正车汽轮机停止进汽; 同样, 正车汽轮机工作时, 倒车汽轮机不进汽。

2. 辅助汽轮机: 带动各种辅机如油泵、水泵、风机、发电机等的汽轮机。

(二)按蒸汽流动情况分:

1. 单流式: 蒸汽由汽轮机一端进入, 沿轴向流动, 由另一端排出。

2. 双流式: 如图 1-3 所示, 正车时蒸汽由中间进入后, 分成两路, 分别流向两边完全对称的正车汽轮机。倒车时, 蒸汽分两路由两端进入倒车汽轮机。这种汽轮机叫做双流式。

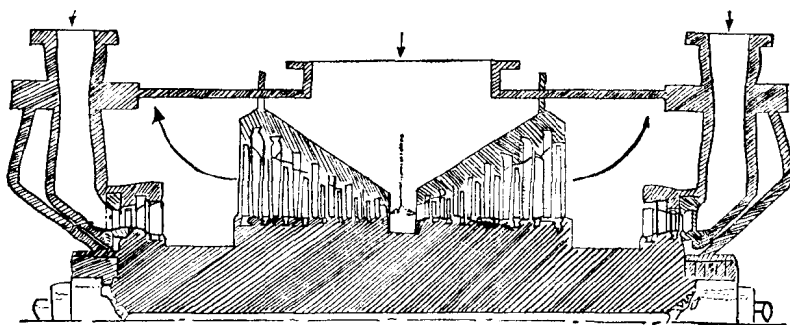


图 1-3 双流式汽轮机

(三)按外壳数目分:

1. 单壳汽轮机: 只有一个外壳的汽轮机。

2. 多壳汽轮机: 功率较大的主机有时做成双壳或三壳的。双壳主机的两个外壳分别称为高压汽轮机和低压汽轮机。蒸汽先通入高压汽轮机, 然后再进入低压汽轮机做功。由于工作蒸汽的压力有高低之分, 分别命名为高压或低压汽轮机。“051”型主机就是双壳汽轮机, 低压是双流式。三壳主机分别称为高压汽轮机、中压汽轮机和低压汽轮机。

(四)按工作原理分:

1. 冲动汽轮机。

2. 反动汽轮机。

冲动汽轮机和反动汽轮机的工作原理和结构特点将在第二章中详述。

二、汽轮机的主要组成部分

(一)通流部分：汽轮机中实现蒸汽两种能量转换的机构,统称为通流部分。图 1-2 中的喷嘴和叶片属于通流部分。

(二)转子：汽轮机除去动叶以外的转动部分,总称为转子。图 1-2 中的叶轮、机轴都属转子。

(三)定子：汽轮机固定部分总称定子。它以外壳为主体,并包括固定在外壳上的隔板、汽封等零件。

(四)轴承：位于汽轮机轴两端。支持转子重量,并保持转子和定子的相对径向位置的轴承叫支持轴承。承受转子的轴向推力,并保持转子与定子的相对轴向位置的轴承,叫做推力轴承。

(五)调车装置和安全装置：

1. 调车装置：调节汽轮机功率并实现变速和变向(正、倒车转换)的系统。
2. 安全装置：汽轮机在危急情况下(如超速、滑油压力降低等)保证安全的装置。

第四节 主汽轮机性能

舰用汽轮主机种类多,性能各不同,这里仅以“01”型和 2500 匹马力主机性能为例。

一、“01”型主汽轮机性能(图 5-1 为纵剖面)

顺 序	名 称	单 位	正 车			倒 车	
			全 速	巡航速度	经济速度	全 速	长期倒车
1	喷嘴 阀前蒸汽压力	大气压	24	25.5	26	25	25
2	喷嘴 阀前蒸汽温度	°C	370	320	280	340	330
3	调节级喷嘴前蒸汽压力	大气压	23	24.5	23	20.3	11
4	调节级喷嘴前蒸汽温度	°C	369	319	276	335	315
5	蒸 汽 总 流 量	吨/小时	38.8	14	5.04	30	16
6	汽 轮 机 排 汽 压 力	大气压	0.10	0.08	0.05	1.0	0.47
7	冷 凝 器 压 力	大气压	0.095	~0.08	~0.05	0.20	0.11
8	冷 凝 器 真 空	%	90.5	~92	~95.5	80	89
9	汽 轮 机 功 率	马 力	10000	3300	900	3230	1500
10	汽 轮 机 转 速	转/分	5963	4275	2680	3430	2680
11	推 进 器 转 速	转/分	400	285	180	230	180

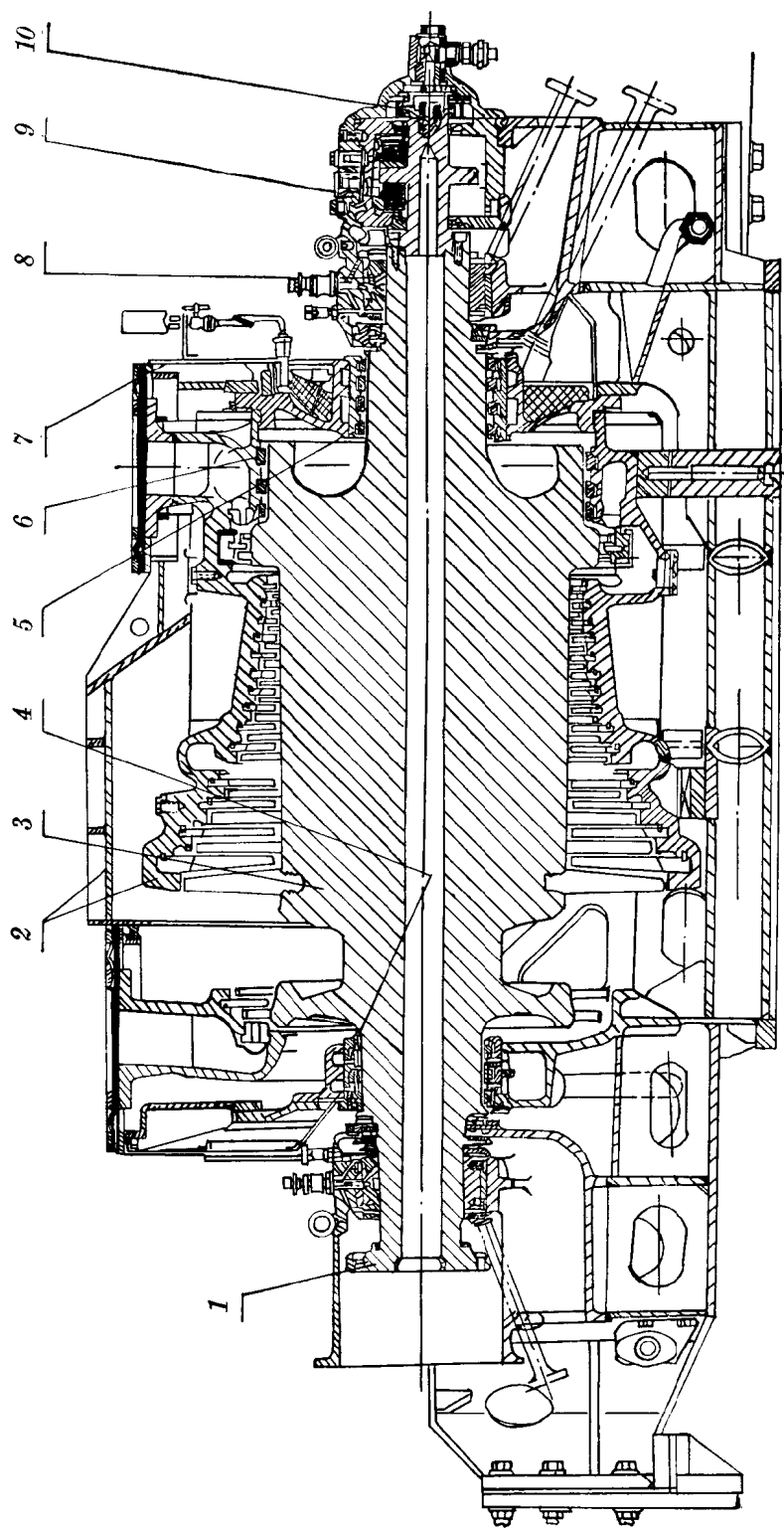


图 5-1 “01” 主机纵剖面图

1—转子凸缘 2—外壳 3—转子 4—密封装置 5—护板 6—支持轴承 7—推力轴承 8—极限转速器叶轮

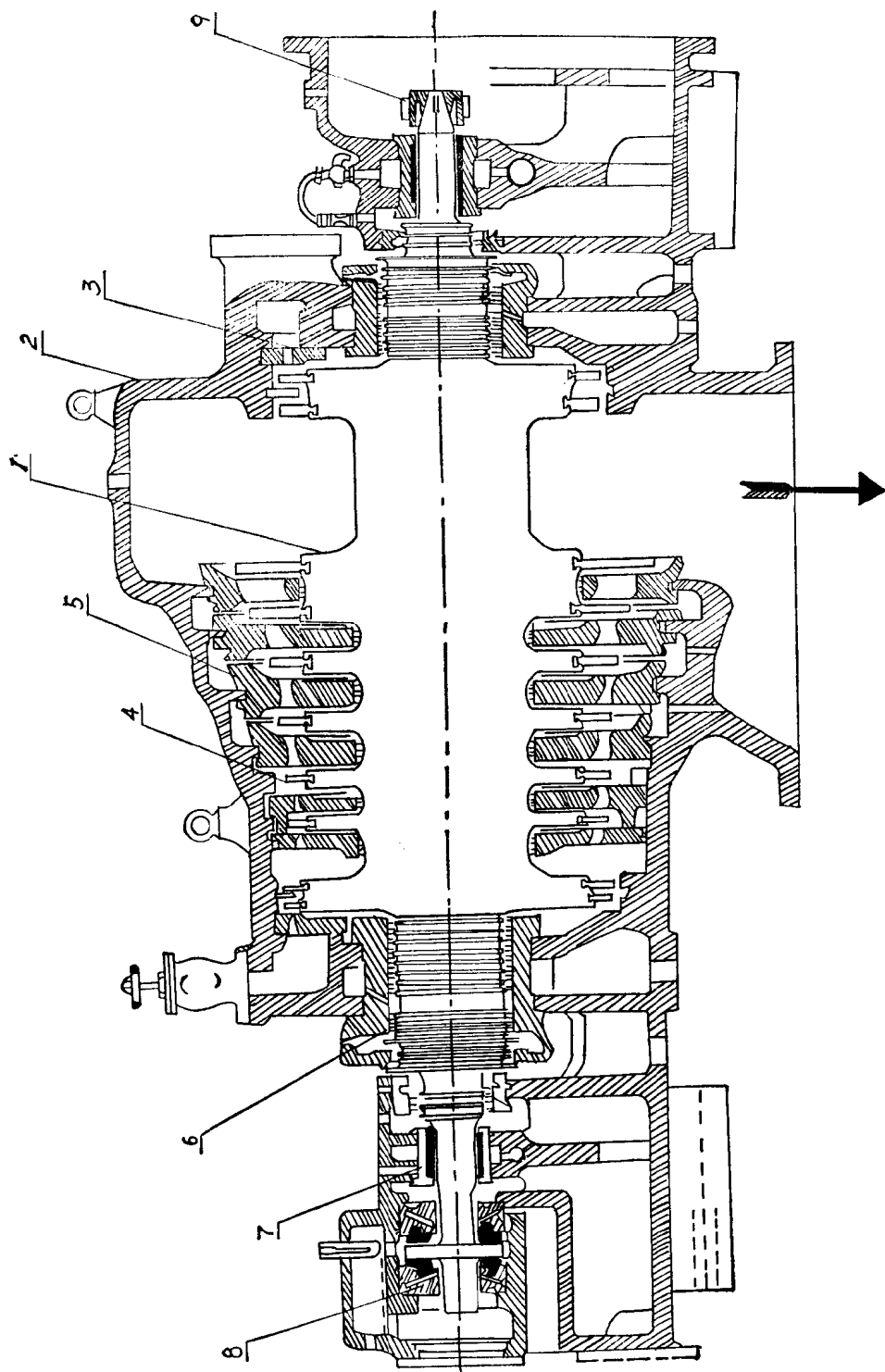


图 5-2 2500 瓦马力主机纵剖面
1—转子 2—外壳 3—喷嘴 4—叶片 5—隔板 6—汽封 7—支持轴承 8—推力轴承 9—联轴节

二、2500 马力主汽轮机主要性能(图 5-2 为纵剖面图)

顺 序	名 称	单 位
1	喷嘴前蒸汽压力	20 公斤/公分 ²
2	冷 凝 器 真 空	740 公厘水银柱
3	汽 轮 机 马 力	
	正 车 全 速	2500 匹
	倒 车 全 速	~1000 匹
4	汽轮机最大转速	5380 转/分
5	推进器最大转速	462 转/分
6	汽轮机本身重量	6895 公斤
7	汽轮机组总量(包括减速器)	15552 公斤

第二章 汽 轮 机

第一节 通 流 部 分

通流部分是实现蒸汽由热能变为动能和由动能变为机械功的机构。由于蒸汽在通流部分中实现两重能量转换方式的某些差异, 汽轮机有冲动、反动之分, 并由此形成结构上的某些不同特点。

一、冲动汽轮机

(一)单级冲动汽轮机(图 2-1)表示由固定在外壳 5 上的喷嘴 4 和固定在叶轮 2 上的动叶 3 所组成的单级冲动汽轮机。具有一定压力和温度的蒸汽, 在喷嘴中通过膨胀, 使压力降低, 流速增大, 即变热能为动能。如图中上部所示, 在喷嘴中蒸汽压力由 P_0 降到 P_1 , 速度由 C_0 增大到 C_1 。蒸汽以速度 C_1 冲击动叶, 使叶轮和机轴回转作功。所以冲动汽轮机动叶的功用, 是将蒸汽的动能变为使转子回转的机械功。蒸汽在动叶通道中作功后, 速度由 C_1 减小到 C_2 , 而压力保持和喷嘴出口相同, 即仍为 P_1 , $P_2 = P_1$ 。

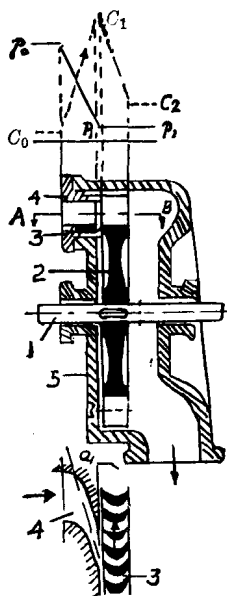


图 2-1 单级冲动汽轮机

1—轴 2—叶轮 3—动叶 4—喷嘴
5—外壳

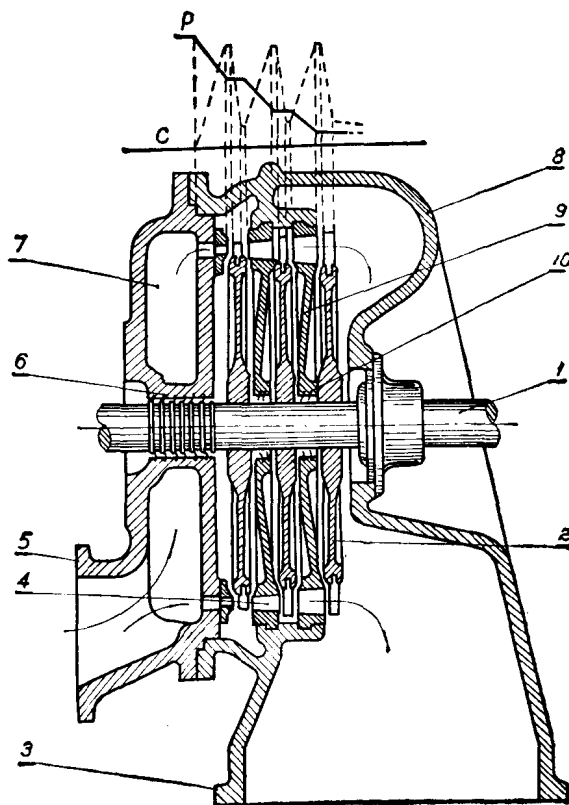


图 2-2 压力级汽轮机

1—轴 2, 9—叶轮 3, 5, 7, 8—外壳
4—喷嘴 6, 10—汽封

这种单级冲动汽轮机, 由于存在着功率小损失大等缺点。已很少应用。

(二) 压力级汽轮机如图 2-2 所示: 压力级汽轮机是由几个单级汽轮机串联而成 (图中为三级)。除第一级喷嘴 8 直接固定在外壳上以外, 第二级和第三级喷嘴 9、10 和隔板制成一起, 隔板则安装在外壳的槽中。隔板的作用是将各级隔开, 形成单独的轮室。隔板中央贴近机轴处, 装有减少漏汽的汽封。可以认为, 装有隔板是压力级汽轮机的结构特征。

蒸汽进入第一级喷嘴 8, 只作部分膨胀, 压力降低, 速度增加, 冲击第一级动叶做功后, 速度降低, 但压力保持不变, 这和单级冲动汽轮机没有什么区别。蒸汽在第一级做功后, 进入第二级喷嘴 9, 再次膨胀, 压力再度降低, 速度增加, 并冲击第二级动叶 6 继续做功。在以后各级中, 重复上述过程, 最后排入冷凝器。压力降低的次数, 也就是压力级的级数。

由于蒸汽压力在各级喷嘴中连续下降, 体积膨胀, 比容增大。为了在同一时间内各级都能流过同样重量的蒸汽, 各级喷嘴和动叶的流通面积必须逐渐增大, 所以它们的高度是逐级增大的。

压力级汽轮机常用于主机的高压部分。如“051”型主机高压汽轮机第二级到第十级、2500 马力主机第二到六级、“01”型舰的发电汽轮机的二到四级, 都是压力级汽轮机。

(三) 速度级汽轮机: 图 2-3 是速度级汽轮机结构简图。它和单级冲动汽轮机在结构上的主要区别是: 在一个叶轮上固定有两圈动叶 3 和 6, 并在两圈动叶间有固定在外壳 5 上的静叶 7。图的下部是沿叶轮平均直径 (动叶一半高度处) 剖切的展开图。图的上部表示蒸汽压力和速度的变化情况。

蒸汽流经喷嘴 4 时, 压力由 P_0 降低到 P_1 , 速度由 C_0 升高到 C_1 , 在第一圈动叶 3 的通道中, 部分动能转换为机械功, 速度降低到 C_2 , 蒸汽经过静叶 7 改变了方向, 由于摩擦损失, 速度稍有减小, 以速度 C'_1 进入第二圈动叶通道, 再次做功后, 以 C'_2 排出。

由此可见, 速度级汽轮机的工作特点是: 蒸汽在喷嘴中一次把热能转换为动能, 而动能则分次在各圈动叶中转换为机械功。静叶仅起改变汽流方向的作用。它是以速度降低 (动能变为机械功) 的次数或一个叶轮上动叶的圈数分级的, 如图 2-3 为两级速度级。由于汽流速度逐级降低, 比容增大要同时流过相同的蒸汽量, 叶片高度也必须逐级增加。

速度级在主机中常用作倒车汽轮机和正车汽轮机的第一级 (由于正车汽轮机第一级的进汽喷嘴组数可用喷嘴阀进行调节, 借以改变主机功率, 一般称为调节级)。“01”型主机和 2500 马力主机的调节级和倒车汽轮机都是两级速度级。速度级广泛用于各种辅机, 机舱的循环水泵和凝水泵都是两级速度

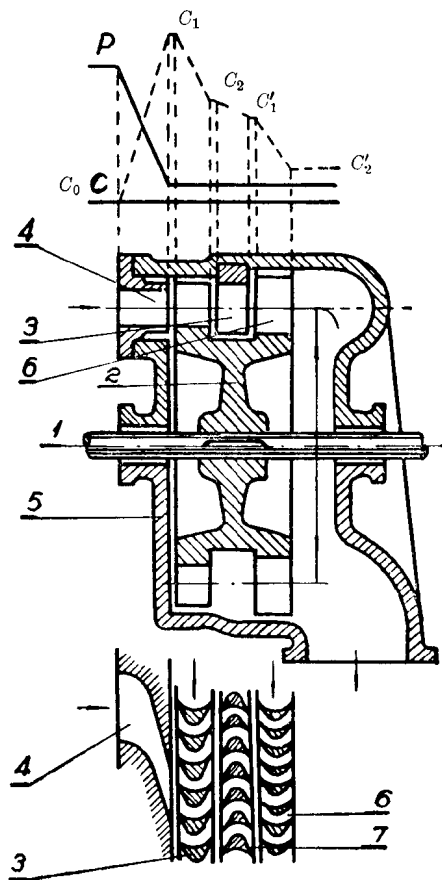


图 2-3 速度级汽轮机

1—轴 2—叶轮 3、6—动叶 4—喷嘴
5—外壳 7—静叶

级。而润滑油泵和炉舱的燃油泵,则是一种特殊形式的速度级——单环速度级(图 2-4)。

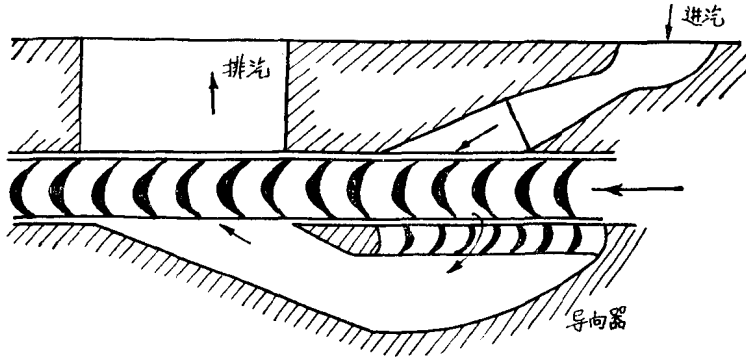


图 2-4 单环速度级简图

这种速度级的叶轮,只装有一圈动叶。蒸汽由喷嘴流出后,进入动叶通道中做功,流出动叶后进入外壳上的导向器,以改变方向,从相反方向再次进入动叶通道做功,然后排出汽轮机。它和速度级一样,蒸汽只在喷嘴中一次膨胀,在导向器和动叶中,蒸汽压力不变。单环速度级只是在结构上减少了动叶圈数,用导向器代替静叶,因而结构更加简单。

(四)其他类型的冲动汽轮机: 压力级和速度级是冲动汽轮机的两种基本类型,以这两种基本类型为基础,可组成另外两种类型的冲动汽轮机。

1. 第一级为速度级的压力级汽轮机。如图 2-5 所示的冲动汽轮机,第一级是两级速度级,其余各级(图中为三级)是压力级。它常用于小功率主机(如 2500 马力主机)、大功率主机的高压汽轮机(如“051”型主机)和大功率副机(如“01”型舰的发电机的原动机)。

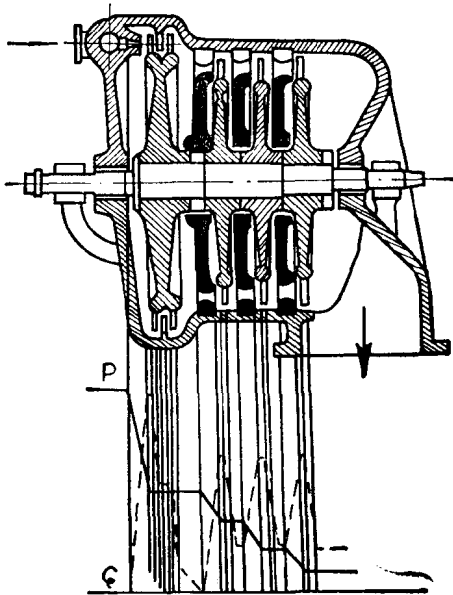


图 2-5 第一级是速度级的压力级汽轮机

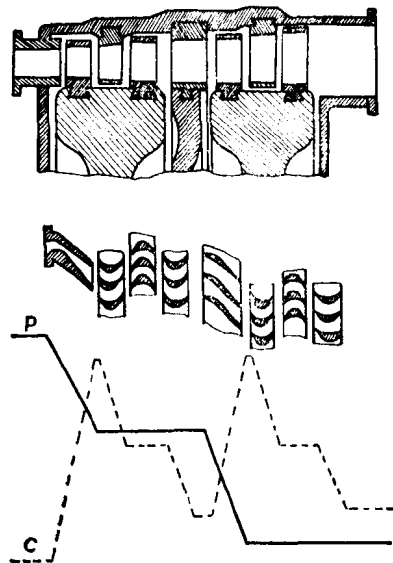


图 2-6 由速度级组成的压力级汽轮机

2. 由两级速度级组成压力级汽轮机(图 2-6),它和图 2-2 的压力级汽轮机一样,各级

之间用隔板分开,不同之处是每个级中包括了一个两级速度级。这种类型的冲动汽轮机用于副机,也有用于主机高压部分的。

上述两种冲动汽轮机和图 2-2 的压力级汽轮机的共同之处是,蒸汽压力都只在喷嘴中降低一次。如果广义地按蒸汽压力降低的次数(或叶轮个数)区分级数,它们都可称为压力级汽轮机。

综上所述,冲动汽轮机工作原理的基本特点是:两种能量的转换分别在喷嘴和动叶中完成,即在喷嘴中蒸汽的热能转换为动能,在动叶中将动能转换为机械功。

(五)冲动汽轮机通流部分零件——喷嘴和叶片(动叶和静叶的总称)。

1. 喷嘴:喷嘴的功用是将蒸汽的热能转换为动能。

(1) 喷嘴的分类:

① 按位置分:冲动汽轮机的第一级喷嘴,直接固定在外壳上,其余各级喷嘴,则与隔板作成一件,两者结构不同,因此有第一级喷嘴和隔板喷嘴之分(后者将在第三节中与隔板一起讲述)。

② 按通道形状分:可分为收缩喷嘴与缩放喷嘴(图 2-7)。前者的通道面积逐渐缩小,后者的通道面积先缩小后扩大。

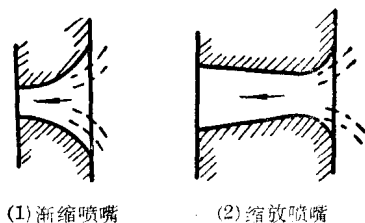


图 2-7 喷嘴

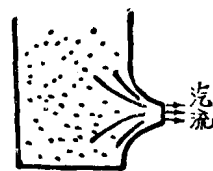


图 2-8 蒸汽的流动

首先研究蒸汽在喷嘴中的流动过程。如图 2-8 所示容器中充满具有一定压力和温度的蒸汽,设容器内的压力比容器外的压力高得多,容器下部装有一个喷嘴。当喷嘴打开时,容器内的蒸汽便从喷嘴中以很高的速度喷射出来,使蒸汽的热能转变为动能。

为什么蒸汽的热能够转变为动能呢?首先是由于喷嘴前后有压力差,蒸汽由较高压力处经喷嘴流向较低压力处时,体积膨胀,比容增大,蒸汽的速度随着体积的膨胀而迅速增加,在喷嘴出口处,蒸汽的速度最高。

实验证明:蒸汽通过收缩喷嘴时,不管出口处的压力低到什么程度,而通过收缩喷嘴的蒸汽压力只能降低到一定的限度,因此,速度的增加也有一定限度。蒸汽在收缩喷嘴中,能够降低到的最低压力,叫做临界压力,能达到的最高速度叫做临界速度。饱和蒸汽的临界压力等于喷嘴前压力的 0.577 倍。过热蒸汽的临界压力等于喷嘴前压力的 0.55 倍。

要想使蒸汽通过喷嘴后得到比收缩喷嘴更高的速度,只要在收缩喷嘴的后面再加上一段渐扩的部分,使蒸汽的压力继续降低到临界压力以下,可得到比临界速度更高的蒸汽速度。这种喷嘴称为缩放喷嘴。

在喷嘴前后压差较大即蒸汽流速较高的地方,如作为辅机原机和倒车汽轮机的速度级汽轮机,多用缩放喷嘴。“01”型主机的调节级第 I 组(低速时用)喷嘴,也是缩放喷嘴。在蒸汽流速不太高的地方,如“01”型主机调节级第 II、III 组喷嘴(中速和高速用),就用收缩

喷嘴。

③ 按制造方法分：有全铸喷嘴、半铸喷嘴、合成喷嘴、铣制喷嘴。

(2) 第一级喷嘴的结构：

① 全铸喷嘴（图 2-9）：这种喷嘴的通道是铸好后再进行手工加工，因此加工困难，不易做到表面光滑、尺寸准确，蒸汽的磨损较大。2500 马力主机倒车级喷嘴就是直接铸在外壳上的。

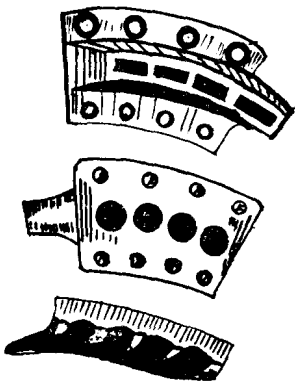


图 2-9 全铸喷嘴

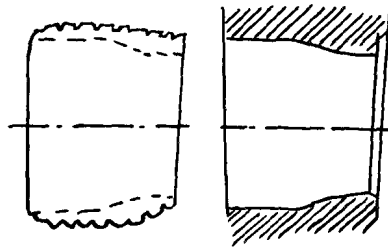


图 2-10 半铸喷嘴

② 半铸喷嘴（图 2-10）：它是先由琢磨过的钢片做成喷嘴隔片，然后将隔片适当的排在砂模中，浇铸成喷管弧块。2500 马力主机调节级喷嘴就是半铸的。

③ 合成喷嘴（图 2-11）：这种喷嘴是由各部分分别铣制，然后装配起来。隔片 1 用铆钉 4 和隔片上的突出部分 5 固定在上、下外夹 2 和 3 上。喷嘴弧块用螺钉 6 固定在汽轮机外壳上。

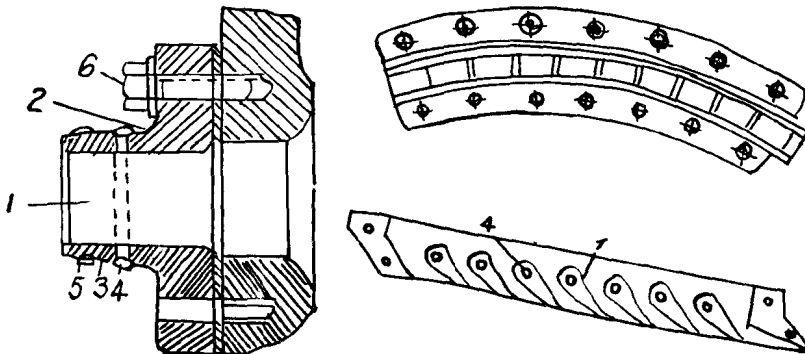


图 2-11 合成喷嘴

1—隔片 2, 3—上下外夹 4—铆钉 5—突出部 6—螺钉

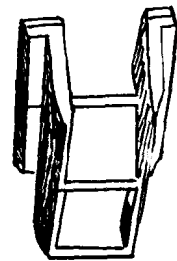


图 2-12 铣制喷嘴

④ 铣制喷嘴（图 2-12）：“01”型主机调节级和倒车级的喷嘴，是用不锈钢逐个铣成的。每个喷嘴本身带有喷嘴叶片，两个喷嘴紧靠在一起，它们的两个喷嘴叶片之间就形成喷嘴通道。

(3) 喷嘴弧的安装：图 2-13 是“01”型主机调节级铣制喷嘴的安装。利用铣制喷嘴 1