

技工学校交流讲义

汽轮机设备及运行

上册

陕西省电业局技工学校编

学校内部使用



特

中国工业出版社

目 录

第一篇 汽轮机原理

第一章 汽轮机的一般概念	1
第一节 汽轮机的工作原理	1
第二节 单级和多级汽轮机	2
第三节 汽轮机的分类和名牌	11
复习思考题	20
第二章 蒸汽在喷管中的工作	21
第一节 喷管概论	21
第二节 在不同背压下, 蒸汽在喷管内的膨胀	30
第三节 蒸汽在喷管斜截面中的膨胀	33
复习思考题	37
第三章 蒸汽在动叶片中的工作	38
第一节 速度三角形	38
第二节 动叶片中的能量交换	46
第三节 动叶片的定型	48
复习思考题	56
第四章 汽轮机的损失与效率	58
第一节 汽轮机的节流与散热损失	59
第二节 汽轮机的级内损失	62
第三节 外部损失	76
第四节 汽轮机的效率	77
第五节 蒸汽消耗量的计算	81
复习思考题	82
第五章 多级汽轮机	82
第一节 单级汽轮机与多级汽轮机的比较	83
第二节 多级冲动式汽轮机	85
复习思考题	117

第二篇 汽輪机的構造

第 六 章 汽輪机的靜止部分	98
第一节 基础	98
第二节 机座	99
第三节 汽缸	102
第四节 汽缸的热膨胀和定位	114
复习思考题	120
第 七 章 通汽部分	121
第一节 第一級噴管	122
第二节 中間隔板上的噴管	126
第三节 隔板	130
第四节 动叶片和导向叶片	136
复习思考题	150
第 八 章 轉子	150
第一节 轉鼓型轉子	151
第二节 轉輪型轉子	156
第三节 汽輪机的振动	170
第四节 轉子的不平衡	178
复习思考题	181
第 九 章 軸承	182
第一节 液体摩擦的概念	182
第二节 支持主軸承油楔的形成	185
第三节 軸承的构造	192
第四节 推力軸承	194
第五节 軸承的技术要求及事故	206
复习思考题	209
第 十 章 軸封	210
第一节 迷宫軸封	210
第二节 炭精軸封	217

第三节 水軸封	218
第四节 隔板軸封	222
第五节 軸封损坏原因分析	224
复习思考題	225
第十一章 靠背輪和盤車裝置	226
第一节 刚性靠背輪	226
第二节 半撓性靠背輪	227
第三节 活动靠背輪	230
第四节 盘車裝置	236
复习思考題	241
主要参考書	241

第一篇 汽輪机原理

第一章 汽輪机的一般概念

第一节 汽輪机的工作原理

汽輪机是广泛采用的重要原动机。它在工作时，把蒸汽的热能变为迴轉机械能。

汽輪机簡图如图 1-1 所示。蒸汽在具有特殊形状的导汽槽道——噴管 4 中发生膨胀。在膨胀时，蒸汽的压力降低，速度增加，变蒸汽的热能为动能。蒸汽被加速后，从噴管出来噴射到动叶片上。汽流在动叶片中方向改变，因而在动叶片产生作用力，形成旋轉力矩使汽輪机轉輪 2 旋轉，并完成动能到机械能的轉变。如在軸 1 上再接上发电机轉子，則这个机械能就会轉变成电能了。

从上面介紹可知，汽輪机的整个工作过程可分为两部分。

(1) 蒸汽在噴管中变热能为动能，即蒸汽发生膨胀以增加蒸汽速度（有时在叶片中蒸汽也发生膨胀）；

(2) 动能通过轉輪轉变为机械能。如在动叶片中也有膨胀发生，則动叶片除受到因汽流改变方向引起的作用力外，还将受到一因汽流加速所引起的反作用力，这两种力产生的旋轉力矩，使轉輪轉动，完成动能到机械能的轉变。

汽輪机中的一列噴管及其后面的一个轉輪組成汽輪机的級，并按級数分为单級和多級汽輪机。

如果蒸汽的膨胀只在喷管中发生，这种汽轮机叫做冲动式汽轮机；如蒸汽的膨胀除在喷管中发生以外，还在动叶片中发生，则这种汽轮机叫做反动式汽轮机。

在实用上，为了提高汽轮机的效率，在冲动式汽轮机动叶中蒸汽也发生少许膨胀，这种汽轮机叫做带有反动度的冲动式汽轮机。

在发电厂中，汽轮机蒸汽由图 1-2 中锅炉 1 引来，蒸汽在汽轮机 2 内膨胀、做功，并通过靠背轮将转子机械能变为电能。

在汽轮机内做功后的蒸汽排入凝汽器 4 并被冷凝成水。此后再由水泵 5 将凝结水送至锅炉加热并完成循环。

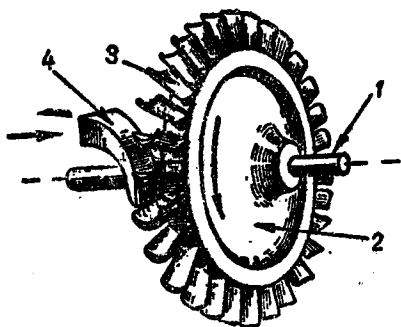


图 1-1 汽轮机简图

1—轴；2—转轮；3—动叶片；
4—喷管

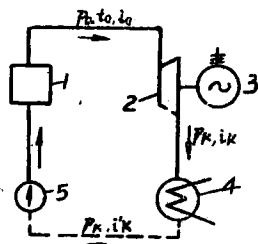


图 1-2 动力装置循环原理图

1—锅炉；2—汽轮机；3—发电机；4—凝汽器；5—给水泵

第二节 单级和多级汽轮机

一、单级冲动式汽轮机

图 1-3 为单级冲动式汽轮机简图，这个图的下面绘制出

蒸汽在噴管內和动叶片汽道內的压力、绝对速度的变化曲线。

这种汽轮机只由一列噴管和一个装有动叶片的轉輪組成，因此叫做单級汽轮机。蒸汽在动叶片汽道內沒有膨胀，因此动叶片前后蒸汽压力相等，即在动叶片內无焓降发生。

从图 1-6 可以看出，蒸汽在噴管中发生膨胀时，压力降低，速度增加，而在动叶片中压力保持不变 ($P_2 = P_1$) 因而沒有焓降发生。

由热力学我們知道，焓降越大，則蒸汽出噴管的速度越大。例如，当飽和蒸汽从压力为 10 绝对大气压膨胀到 0.1 绝对大气压时，蒸汽的流动速度达到 116.7 米/秒，也就是說，所得到的速度远远超过了子弹的飞行速度。

在冲动式单級汽轮机中，为了使功率增大，必須加大焓降，这将使圓周速度及轉速都增高。圓周速度超过 400 米/秒时，由于离心力所产生的应力是現在一般材料所不能承受的，这使单級冲动式汽轮机功率的增加受到限制，同时，焓降过大将使效率降低，因此单級冲动式汽轮机的功率一般限制在 500 到 800 瓩以內，轉速过大也使单級汽轮机的使用受到限制，只有少数的小型机器才需要高的轉速，而大部分由汽轮机带动的机器（发电机、泵及其他），所需要的轉速大致

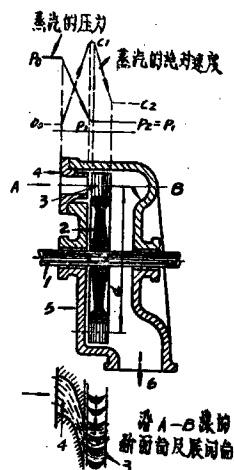


图 1-3 单級冲动式汽轮机

1—軸；2—轉輪；3—动叶片；
4—噴管；5—汽缸；6—乏汽管

在3000轉/分，或再低一些。對高轉速的汽輪機常採用減速器和它所傳動的機器相連接，這從設備投資及運行經濟來講都是不利的。由於以上原因，單級沖動式汽輪機一般不作為輸出功率的主要機組；但考慮到它的簡單可靠，所以常用來帶動不大的輔助機械，如汽動輔助油泵及汽動給水泵等。

為了減少余速損失和提高單級沖動式汽輪機的功率，可以採用具有速度級的壓力級。

二、具有速度級的單級沖動式汽輪機

如果在第一列動葉片之後，接着安裝導向葉片，而在導向葉片後邊安裝第二列動葉片（圖1-4），則得到具有速度級的汽輪機的級，如汽輪機只有一級，則得到具有速度級的單級汽輪機。從第一列動葉片出來的蒸汽具有較大的動能。它在導向葉片中改變方向。蒸汽經導向葉片後進入第二列動葉片，並在其中繼續使汽流的動能轉變成使葉輪轉動的機械功。如果在第二列動葉片後，汽流還有很大的動能，則可在其後再安裝導向葉片和第三列動葉片。

雖然速度級具有兩列或三列葉片，但它們都安裝在一個轉輪上。

具有速度級的單級沖動式汽輪機的蒸汽速度和壓力變化曲線示於圖1-4上。

從圖1-4看到：蒸汽從噴管出來的動能逐漸地在第一列和第二動葉片內轉變為功。

因為蒸汽在三速度級的第三列動葉片中所產生的功很少。所以為了結構簡單，現在幾乎不採用三列速度級。

三、多級沖動式汽輪機

前面已指出，單級汽輪機內只能利用不大的焓降，因而僅能發出不大的功率。

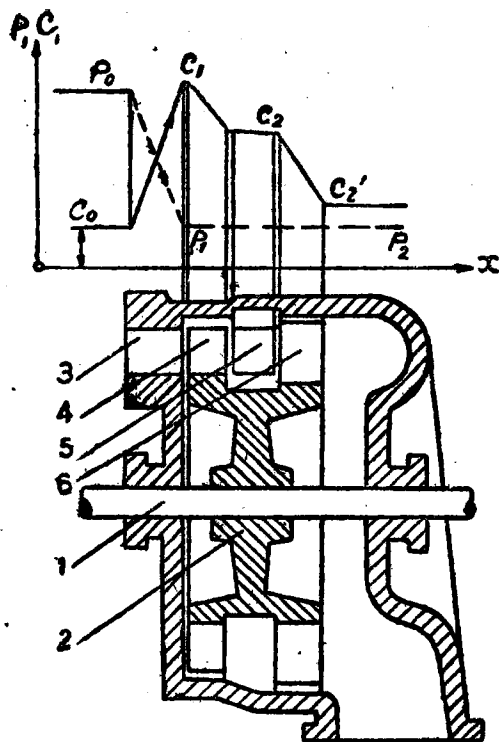


图 1-4 具有速度级的汽轮机

1—轴；2—转子；3—喷嘴；4—动叶片；5—导向叶片；
6—第二列动叶片

为了使汽轮机能利用大的焓降及获得大的功率，可将汽轮机作成多级的。在多级汽轮机中理想焓降分配给所有的级，而每一级只是利用总焓降的一部分。一般在轴流式汽轮机的一个汽缸中能安装18至20个级。级数很多时，轴会特别长。按轴的强度条件，也不允许汽轮机的轴太长。

图 1-5 表示多级冲动式汽轮机的示意图。在汽轮机的轴上，装有转轮 1，转轮之间为隔板 2，隔板上安有喷管 3，蒸汽在喷管中产生膨胀。由装有喷管的隔板及其后面紧接着的一个转轮形成汽轮机的一个压力级。每一个压力级只利用汽轮机总焓降的一部分。

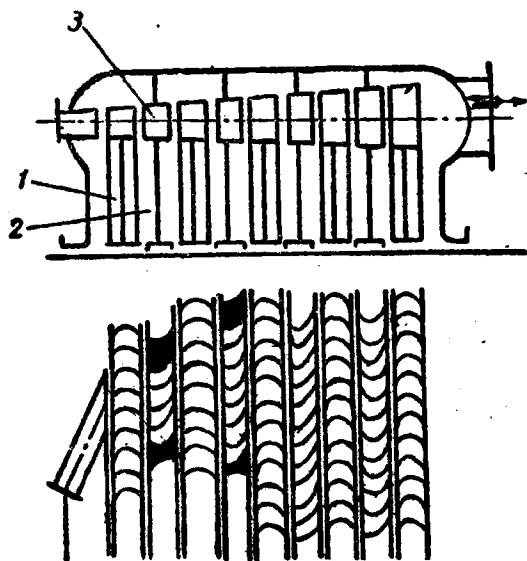


图 1-5 多级冲动式汽轮机简图

1—转轮；2—隔板；3—喷管

蒸汽顺次流过所有的级并在流动中产生膨胀使叶轮转动，完成由热能到机械能的转变。最后乏汽排出汽缸。

随着蒸汽的膨胀及其压力的降低，蒸汽的比容增加。为了使增加比容后的蒸汽能通过通汽部分，就必须把喷管和动叶片的汽道流动截面积及级的直径逐渐增加，这点从图 1-5

上可以很清楚的看出。

四、多級反动式汽輪机

如果蒸汽在动叶內也发生焓降，使汽流从动叶片汽道出来的速度大于它进入該汽道中的速度时，則汽流受到一个力的作用，該力与汽流的运动方向相同。这个力引起一个反作用力，此反作用力作用在汽道上并称之为反动度。如果在动叶片上有着反动度作用，則这种汽輪机的級称为反动級。它与冲动式汽輪机的区别在于：在反动式汽輪机的級內，动叶片前的蒸汽压力大于动叶片后的蒸汽压力。所以，在按反动原理工作的汽輪机中，蒸汽同时在动叶片汽道內进行膨胀。

图 1-6 表示在反动級內蒸汽的运动速度和压力的变化曲线。

由图 1-6 可以看出，由于在叶片前后存在压力差 ($P_1 - P_2$)，所以蒸汽在动叶片汽道中运动的相对速度在增加，而不象在冲动級中由于损失使相对速度减小。

反动級的工作用反动度来表示。蒸汽在动叶片內的焓降与在噴管內和动叶片內焓降之和的比值叫做反动度。可以认为 $(h_{01} + h_{02})$ 的值与 H_0 大約相等图 1-7，这时反动度可表示为下面的比值：

$$\rho = \frac{h_{02}}{h_{01} + h_{02}} \approx \frac{h_{02}}{H_0}$$

汽輪机的冲动級可以认为是反动級的个别情况，即反动度 $\rho = 0$ ($P_1 = P_2$ 和 $h_{02} = 0$)。但是純冲动式汽輪机很少遇到。实际上，在冲动級工作叶片中都帶有一定的反动度，一般采用的反动度为 $\rho = 0.1 \sim 0.15$ 。由于反动度較小，故經常称这种級为冲动級，这种級的工作除利用了汽流变向所引起的力外，还利用了蒸汽在动叶道內因加速所引起的反作用力。

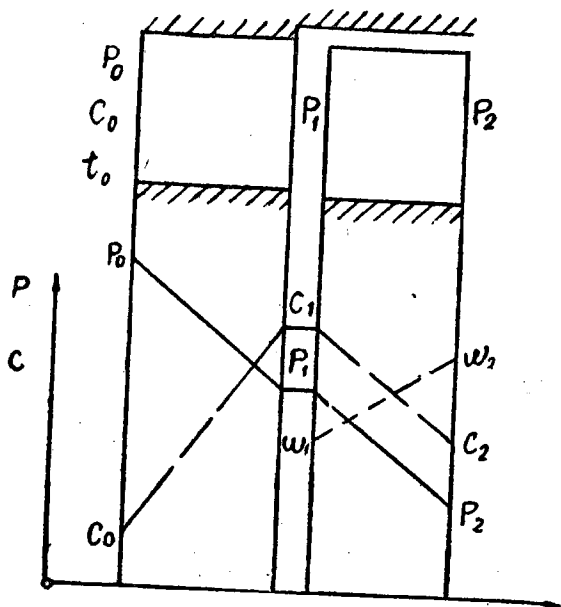


图 1-6 反动式汽轮机级的压力和速度变化曲线

如果汽轮机反动度较大，如 $\rho=0.4\sim0.6$ ，则这种级称为反动级，实用上，反动式汽轮机中反动度约等于 0.5。

目前，也有制造纯反动级汽轮机，这种汽轮机叫做寇克斯幅流式汽轮机，在这种汽轮机中反动度 $\rho=1$ （图 1-20）。

图 1-7 表示出反动级中蒸汽的膨胀过程。

蒸汽经过沿圆周排列的喷管冲到动叶片上。有时喷管不是在整个圆弧线上都安装，而仅在一部分圆弧线上安装有喷管，如图 1-8 所示，这时蒸汽就经过部分圆周进入动叶片。

冲动式汽轮机可以全部（整个圆周）或是部分进汽。而

对于反动式汽轮机则必须全周进汽，否则由于反动式汽轮机动叶前压力高于动叶后压力，则蒸汽将由叶片边侧进入相邻的动叶，而并不全部流向应该去的动叶，这样将引起损失。在冲动式汽轮机中，动叶前后压力一样，所以，如果蒸汽沿部分圆周弧线从喷嘴流出时，则它在理论上亦沿同样的弧线在动

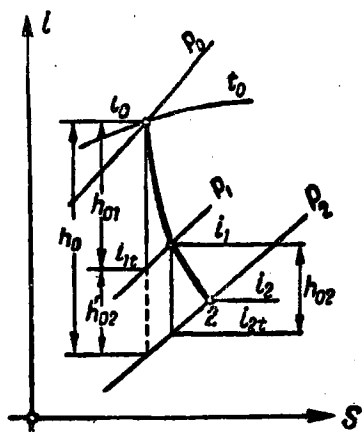


图 1-7 反动级内蒸汽膨胀过程

叶片汽道中流过（实际上在部分进汽弧线的两端仍有蒸汽的

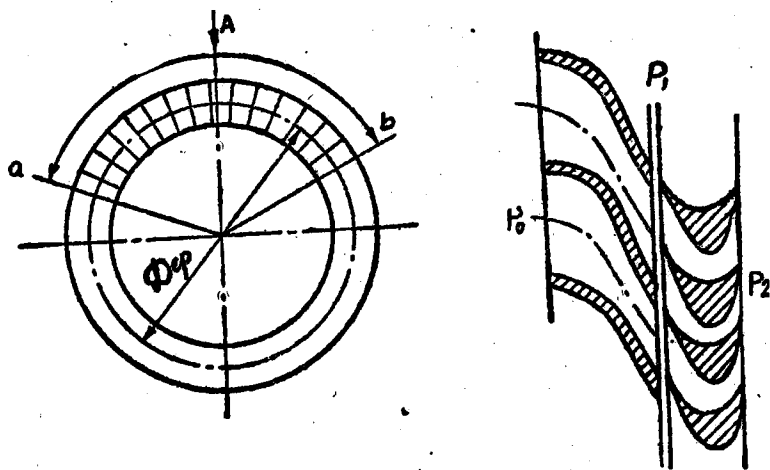


图 1-8 非全圆周进汽喷嘴布置图

散溢)。

图 1-9 表示多级反动式汽轮机。这种汽轮机转子一般作成转鼓形,并且没有隔板。动叶片直接固定在转鼓上,喷管固定在汽轮机的汽缸上。新蒸汽首先进入喷管汽道中,并在其中进行膨胀。蒸汽压力的降低使速度由 C_0 增加到 C_1 。然后,蒸汽进入第一列动叶片汽道中,在那里蒸汽同样进行膨胀,并且压力降低,速度增加。蒸汽从第一级出来进入第二级并继续发生膨胀,直至排出汽缸为止。

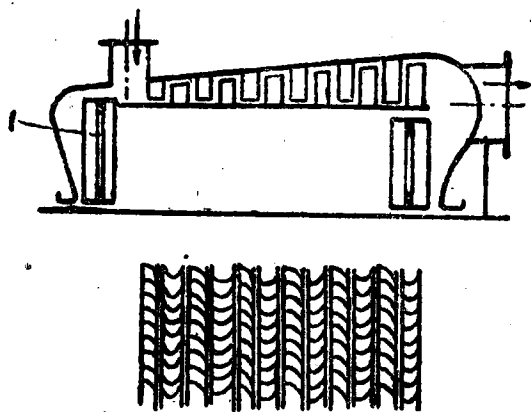


图 1-9 多级反动式汽轮机简图

由于每一列动叶片前后蒸汽存在压力差,所以不可避免有轴向力产生。因此,就有极大的一个总合力传给汽轮机的轴,这个力的方向一般是沿汽流的流动方向。为了平衡这个力,在反动式汽轮机上安有平衡活塞 1 (图1-9)。在平衡活塞上作用着具有相反方向的力,这个力与一部分轴向力相平衡。

反动式汽輪机由于每級只能采用少量的焓降，所以在实用上都作成多級的。

目前，几乎不制造純反动式汽輪机。其原因在于：当蒸汽的参数很高时，則前几級动叶片很短，因而使径向間隙的漏汽量增加。漏汽量的增加，就降低了汽輪机的效率。此外，純反动式汽輪机的級数多，耗費金属多，而且不能采用較完善的噴管調節。

第三节 汽輪机的分类和名牌

所有汽輪机可以按一系列的特征来分类：

一、按結構特点分

1. 按軸的数目来分：

(1) 单軸汽輪机。这种汽輪机的所有汽缸中的軸都联在一起，并且在一条直綫上。这种汽輪机只带动一个发电机。

(2) 多軸汽輪机。这是由若干平行排列的单軸汽輪机所組成。这些单軸汽輪机具有統一的热力过程。由多軸汽輪机所带动的发电机数目与汽輪机軸数目相等。

2. 按汽缸的数目来分：

(1) 单汽缸汽輪机。这种汽輪机的全部級都放在一个汽缸內。这是一种最簡單又廉价的汽輪机。

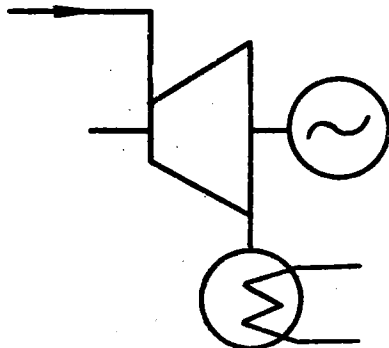
(2) 多汽缸汽輪机。这种汽輪机的全部級安装在几个汽缸內。多汽缸的結構使我們能采用較多的級数，并且具有較高的效率。但这种結構較复杂，投資多，并且制造和运行比較复杂。在功率非常大必須在低压部分应用双流程的汽輪机中，或者汽輪机的蒸汽参数很高，在汽輪机头部需要用优质金属时，才选用多汽缸結構，常用的多汽缸汽輪机为双汽缸的。很少使用三汽缸結構，只在极特殊的情况下才使用四汽

缸汽輪机。

3. 按轉子結構分为：轉鼓、轉輪及复合型結構汽輪机。

4. 按汽流方向分：

(1) 軸流式汽輪机。在这种汽輪机內蒸汽从第一級至最末一級的流动方向与汽輪机軸的中心綫平行。这是一种应用最广的汽輪机。



(2) 輻流式汽輪机。在这种汽輪机內汽流的方向与軸中心綫垂直，而动叶片的位置与轉动中心綫平行。

(3) 軸流——輻流联合式汽輪机。这种汽輪机由軸流級和輻流級組成。

图 1-10 单軸单缸汽輪机

图1-10~1-17均表示上述汽輪机型式簡图。

二、按作用原理分

1. 冲动式汽輪机。
2. 反动式汽輪机。
3. 冲反动联合式汽輪机。

三、按工質的参数分

1. 按压力分：

(1) 超高汽輪机。新蒸汽压力 $P_0 = 150 \sim 170$ 絕对大气压。

(2) 高压汽輪机。新蒸汽压力 $P_0 = 90 \sim 125$ 絕对大气

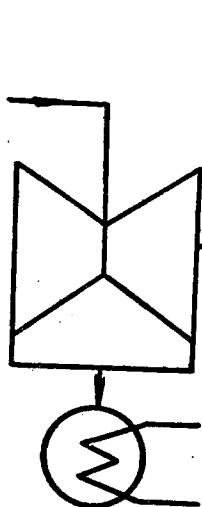


图 1-11 单轴单缸双流汽轮机

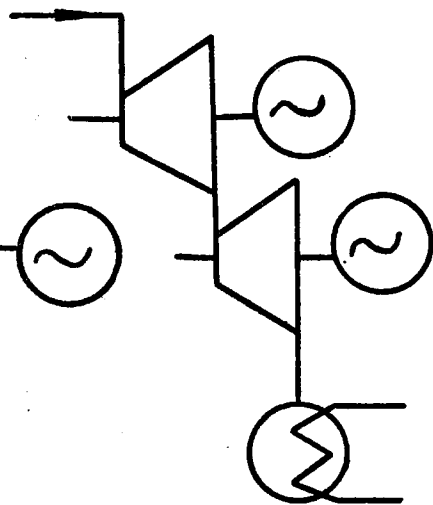


图 1-12 双轴双缸汽轮机

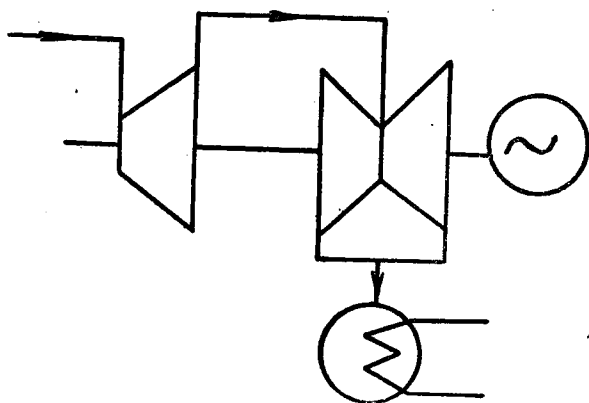


图 1-13 单轴双缸双流汽轮机