

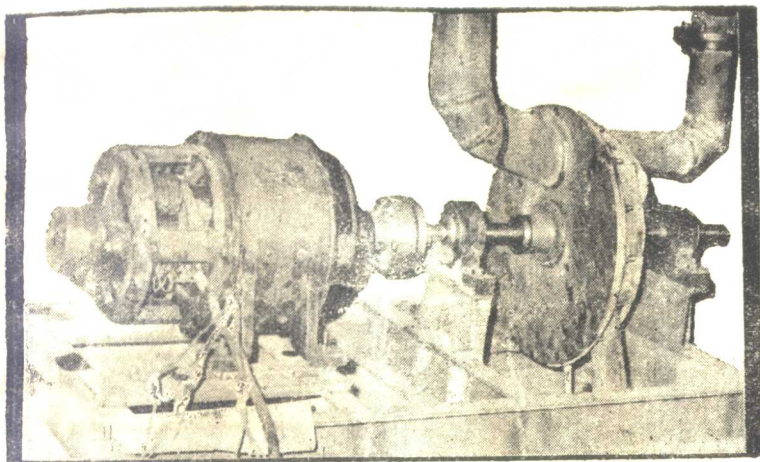
低壓鍋爐蒸汽发电原理与設計



全民办电之二

低壓鍋爐蒸汽发电原理与設計

吉林省电力管理局生产技术科編著



吉林人民出版社



低壓鍋爐蒸汽发电原理与設計

全民办电之二

吉林省电业管理局
生产技术科編著

吉林人民出版社出版

(長春市北京大街)

吉林省书刊出版业營業許可証出字第19

長春新生印刷厂印刷

吉林省新华書店发行

开本: 787×1092 1/32 印張: 23/8 字数: 52,000 印数: 2,001—4,500册

1959年3月第1版

1959年6月第1版第2次印刷

統一书号: 15091·50

定价 (7): 0.22元

前 言

自从党中央提出“全民办电”的方针之后，土办法发电已成为群众性运动之一。在很多地区都以极少的资金制做简陋的设备，发出了较大的电能。随之，利用低压锅炉的废汽作为原动力，加装一个简单土汽轮机来转动发电机进行发电的办法也获得了成功。用这种土办法发电，经实际制作及运行证明它的优点很多，因此它迅速地为广大群众所欢迎。

第一，设备简单。在各机关、企业、学校等单位中，均设有低压采暖锅炉和工业生产用锅炉，同时也备有发电机和电动机。采用这项办法发电之所以简单是在于：只要在两者之间加装一台简单的汽轮机作为能的传动媒介，即可转动发电机或电动机进行发电。

第二，制造容易。在土汽轮机制造上因要求不高，一般均采用一段叶片型式，因而对材料的要求并不严格，利用旧废钢材即可，其造价很低，5吨者只需300元左右。

第三，耗汽量低。这类土汽轮机的耗汽量与发电量成正比。即蒸发量与汽压愈高发电量多，反之则少。在一般情况下，汽压达到0.2压力时，即能转动汽轮机带动发电机进行发电。

对于经过汽轮机工作后的废汽，可采取两种办法进行处理：一种排在大汽中不加利用；另一种是设法回收联接在采暖与工业生产用的汽管路中加以利用。

第四，不受电机类型限制。无论发电机和感应电动机，均可利用发电。

第五，操作簡便。和對鍋爐工人加以培訓，使其了解操作順序及注意事項後，司爐人員均可兼作發電工作。

所有這些優點，給製造和運行上提供了極其有利的條件。凡是設有鍋爐的單位，均可解決自己的照明和動力用電的問題，同時現有鍋爐均非滿負載運行，很大一部分潛力尚待挖掘。因此，利用這部分蒸汽進行發電是當前全民辦電中比較簡單、經濟、實用的一種方法。

為了交流經驗，發掘各類能源為生產建設和美好地生活服務，有效地達到土法辦電遍地開花的目的，特對土汽輪機發電方式的簡單原理和設計，以及與它有關的鍋爐、發電機的一般應用常識加以介紹，以便能夠在掌握它的基本原理的基礎上進行設計與製造工作。

本書初稿經水利電力出版社已經出版（怎樣利用暖汽發電）。但初稿內容還不夠充實，缺少按鍋爐容量來選擇汽輪機大小的依據和運行注意事項，以及製造工藝要求等等，從而不能完全滿足讀者的需要。為此，依據暖汽發電的運行經驗總結，除對一些數據加以訂正及補充必要的章節以外，還蒐集一點有關電動機加裝電容器發電方法的成熟經驗，以便擴大它的应用範圍。但由於技術水平所限，很難作到完美，這點還有待於共同研究改進。

一九五八年十二月

前 言

第一章 鍋爐熱能推動汽輪發電機發電的原理	(1)
一、鍋爐熱能推動汽輪發電機發電的生產過程	(1)
二、熱能變為動能	(2)
(一) 衝擊式汽輪機原理	(3)
(二) 衝擊式汽輪機的工作過程	(5)
三、土汽輪機的構造與製造工藝要求	(7)
(一) 基座	(7)
(二) 汽輪機的汽缸	(7)
(三) 軸封	(8)
(四) 軸承	(9)
(五) 轉子	(11)
第二章 鍋爐有關數據的確定	(14)
一、低壓鍋爐的概貌	(14)
(一) 低壓采暖鍋爐	(14)
(二) 小型低壓工業鍋爐	(15)
二、鍋爐容量及壓力的估算與鑑定	(20)
(一) 容量和壓力的估算方法	(20)
(二) 充分挖掘設備潛力，力爭超銘牌運轉	(27)
第三章 汽輪機的設計和計算	(31)
(一) 排汽壓力 P_2	(31)
(二) 根據 P_1 和 P_2 之值，確定噴嘴的型式	(31)
(三) 根據所確定的噴嘴型式，進行噴嘴的設計	(32)
(四) 葉片的設計	(36)
(五) 葉輪的設計	(37)

(六) 汽輪机的出力 N 根据下式計算.....	(38)
(七) 汽輪机轉軸的設計.....	(38)
(八) 外壳尺寸的概略估算.....	(39)
(九) 汽耗 D_0 的計算.....	(40)
(十) 煤耗 g 的計算.....	(40)
第四章 发电机的选择	(44)
一、直流发电机.....	(44)
二、交流三相发电机.....	(45)
三、发电机的代用品.....	(46)
(一) 用感应电动机加装电容器发电.....	(46)
(二) 感应电动机与电力網系統并列他励磁发电.....	(51)
第五章 5000 瓦汽輪机設計和計算实例	(53)
第六章 运行中一般的注意事項	(63)
一、鍋爐部份.....	(63)
(一) 起動前对設备的檢查.....	(63)
(二) 鍋爐运行中的注意事項.....	(63)
(三) 燃料的选择与燃燒.....	(65)
二、汽輪机运行操作注意事項.....	(65)
三、发电机运行注意事項.....	(66)
四、运行前須知事項.....	(67)
五、暖汽鍋爐蒸汽发电全部操作順序.....	(67)
附录: 木制汽輪机簡略介紹	(70)

第一章 鍋爐熱能推動汽輪 發電機發電的原理

一、鍋爐熱能推動汽輪發電機發電的生產過程

鍋爐的汽力是推動汽輪機高速回轉的原動力。汽輪機也就是熱力原動機，換句話說，就是把熱能轉變為機械功的機器。它們之間的相互關係及簡單生產過程，可用通俗的示意圖加以說明（如圖 1—1）。

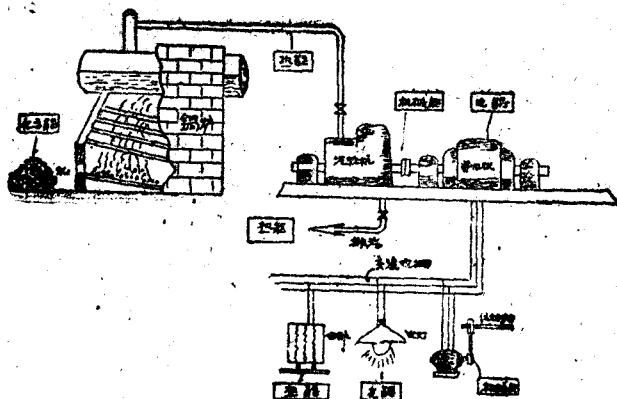


圖 1—1 蒸汽動力裝置中能的轉變

在示意图上表明，煤儲有某種潛在形式的化學能，將煤送到鍋爐的爐膛中燃燒後，則使煤中的化學能揮發出來，使它變為熱能，這種能量使鍋爐中的給水獲得熱能變成蒸汽。蒸汽由

鍋爐輸出後，送入汽輪機的噴嘴處，汽在噴嘴發生速度就把熱能變成了動能，就以此很大速度從噴嘴流出，作用在汽輪機的葉片上，迫使汽輪機轉動；或者說：蒸汽的位能（熱能）轉變為動能，而蒸汽流動的動能又轉變為汽輪機的回轉能（機械能），再帶動發電機轉子旋轉，即送出了電。

汽輪機的軸與發電動機的軸（或電動機），用對輪相連結而共同轉動，來驅使發電機轉子在線圈中轉動，發生感應，產生電流。這樣就使機械能變成電能，利用電來照明就變成光能；利用電來轉動電動機，則變成機械能了。能是循環的，我們已可以完全掌握能的变化，使它來為人類服務。

二、熱能變為動能

能的任何一種形式均可轉變為其他形式。例如：機械能轉變為熱能，或與此相反，熱能轉變為機械能。汽輪機就是熱力原動機的實例，換句話說，也就是把熱能轉變為機械功的機器。根據能量守恆定律：無論在任何時候能量都不生不滅，只能由一種形式轉變為另一種形式。這一定律大大地簡化了熱能轉變為動能和機械功的概念。

前面所提到的，當蒸汽膨脹時，它的一部分熱能變為功。為了利用蒸汽膨脹的功，要採用輪翼式（如圖 1—2）帶動發電機進行發電最為適宜。

在汽輪機中，蒸汽在噴嘴 4 中膨脹時，它的位能變成高速運動的蒸汽的動能。汽流導向彎曲葉片 3 上，葉片是焊在葉輪的圓周上，而葉輪又裝在軸上。汽流在葉片上的作用是使軸轉動。

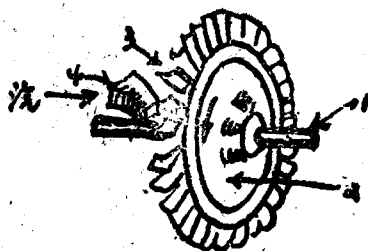


图 1-2 汽轮机组合装置图
1—轴 2—叶轮 3—叶片 4—喷嘴

蒸汽在汽轮机中的工作，一般可分为两种工作原理，即冲击式和反冲击式。仅就与本书有关的冲击式汽轮机加以介绍。

(一) 冲击式汽轮机原理

作为前进运动的物体的动能可用下式表明：

$$E = \frac{mv^2}{2}$$

式中 m ——物体的质量；

v ——物体的运动速度。

即物体的动能与它的运动速度的平方成正比。所以高速运动的物体即使质量很小，也具有较大的动能；另一方面当物体运动速度减小时，动能也就很快地减少。按照能量守恒定律，任何以某一速度运动着的物体，当它运动被阻碍时，应放出全部使它以此速度而运动所消耗的能量。

当汽流打击在一个垂直于流动方向的平面上时，可以设想有两种情况：

1. 表面固定不动。此时被阻挡的汽流的动能，一部分转变为热能，而另一部分将消失在流体质点向各方面以及沿相反

的方面的散开上，消耗在汽流所产生的渦流上和消耗在表面的碰击上。此时由于表面不运动而不能完成任何有效的功。

2. 表面可以移动（如图 1—3）。此时部分能量转变为

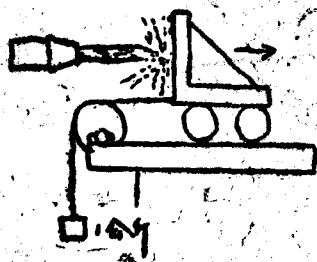


图 1—3

移动表面的功，这种功可有效地加以利用，但有部分亦将无用地消耗。

显然，在汽轮机中能量的损耗，以不能转变为有效功的能量应该最少；此外，汽流不应损害它所流向叶片的表面。

当汽流冲击时，要作到这一点是不可能的。汽轮机的叶片形状要这样决定：即使自喷嘴出来的汽流平稳地进入叶片，并尽可能的把它的能量传给叶片。

由计算和试验得知：汽流流向的物体表面必须具有这种形状，即它能够使流向它上面的汽流反转，并使它的运动方向恰好沿着相反的方向改变（图 1—4）。

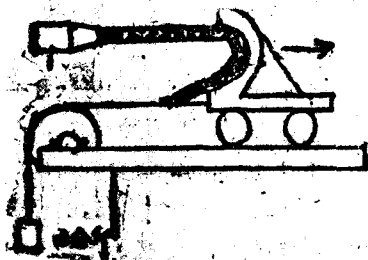


图 1—4

力学定律可以说明在汽流与物体间的相互作用。在物体（叶片）上作用作曲线运动的汽流的离心力，离心力分布在叶片的表面，并且它的上面产生压力，强迫它移动而作功。

图 1—5 中所示为半圆形的叶片，設汽流向它流动，每一蒸汽質点以等于离心力并沿着叶片表面的法綫（即沿着叶片半圆的中心 A 与分子重心的連結綫）作用在叶片上。

我們研究这样的 abc 三点。按照力学定律，由分子 a 与 c 所产生的离心力 P ，可分解成垂直方向的分力 P_1 与水平方向的分力 P_2 ；兩垂直方向的分力 P_1 ，方向相反而大小相等，互相抵

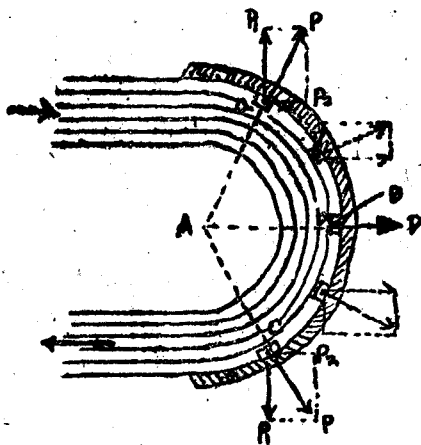


图 1—5 汽流的离心力对叶片的作用图

消，即对于叶片的运动并不发生影响。分子愈接近 B 点，水平方向的分力 P_2 愈大，在 B 点的 $P_2 = P$ ，而 $P_1 = 0$ 。 P_2 的全力即为强迫叶片向右移动的力；此力与叶片所经过的路程相乘，即得汽流所完成的有效功。

（二）冲击式汽轮机的工作过程

图 1—6 所示为一簡單冲击式汽轮机的剖面图。在此图中附有蒸汽在噴嘴前、噴嘴后及工作叶片后的压力与速度曲綫。新

蒸汽以压力 P_0 与速度 C_0 进入喷嘴4，在管中膨胀至压力 P_1 ，同时汽流的速度增加至 C_1 。汽流遂以此速度进入工作叶片3，并作用于叶片上，强迫叶片2与轴1转动，产生机械功。因为能已被转变为机械功，所以自工作叶片流出的汽流所具有的速度

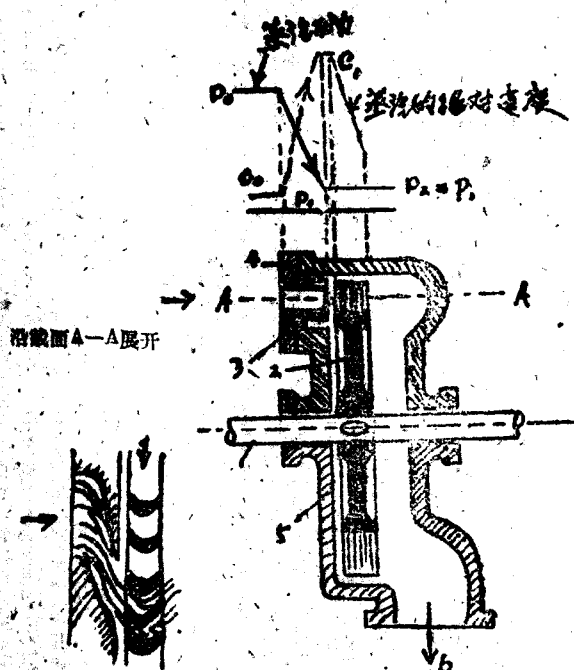


图 1→6 简单冲击式汽轮机的剖面图

1—轴 2—叶轮 3—叶片 4—喷嘴 5—汽缸 6—排汽

C_2 (排出速度) 小于 C_1 。虽然在工作叶片所形成的曲线形通路中各地方的压力不同，但在进入通路及离开通路时的压力相同，因而叶片间的通路沿着流程有相同的截面，在其中不发生额外的蒸汽膨胀。乏汽以压力 $P_2 = P_1$ 经排汽管4离开汽轮机。

由此，可以看出冲击式汽輪机具有下列特征：

蒸汽的压力降落仅在噴嘴中发生（如果有几个噴嘴，則在噴嘴組中发生），所以在叶片进口处与叶片出口处的蒸汽压力相同。

三、土汽輪机的構造与制造工艺要求

用土法所造的汽輪机是汽輪机的簡單化，它由以下主要部分所組成。

（一）基 座

基座是汽輪机的汽缸和发电机固定子的支撑件。有了基座可使它們的正确的相对位置和动作不致受到破坏。

在汽輪机发电中，由于沒有往复运动的部件以及沒有与它有关的工作的不平衡性，基座可以采用比較輕的結構，故常常用鋼材焊接成架或鑄鐵鑄成空心架子以及硬木制作等。

安装汽輪机时，將基座放在鋼楔上，而鋼楔則放在預先制好的基础上。在基础座的加工过的表面上，放上准确的水平尺，移动鋼楔来找好基座的水平位置。当基座的位置校对成一水平面后，可稍稍旋紧用来穩固基座的地脚螺絲，并將汽輪机的軸承座、汽缸和轉子裝在基座上。承载了这些零件的基座，經過最后校正后，用水泥漿把它位置固定下来。

（二）汽輪机的汽缸

几乎所有汽缸都是在水平面上，可分上汽缸和上汽缸。但对土汽輪机来講，是沒有任何要求的。因为它不受高溫影响，所以就不考虑高溫下的金屬融变。故汽缸的材料可以任意选

擇，其形式也可因地制宜。如条件方便可鑄成上下兩开的汽缸，为簡化起見，用鉄板焊制，可于汽缸低壓部分在垂直面分开。

不論鑄鉄或鉄板焊接制的汽缸，在制完后均須將汽缸內部加工，以便保持叶片与噴嘴間和叶片頂端与汽缸間之最小間隙。否則会严重影响經濟效果与安全运行。

(三) 軸 封

汽輪机軸通常在兩個地方通出汽缸，因此对防止蒸汽沿着軸間漏泄是一項較細致的工作。在設計軸封时，需考虑沒有摩擦或帶有最少的摩擦，以达到密封性。这可以用三种方法来解

决。

1. 迷宫軸封。其構造形式是軸封套的內面和軸的外面帶有梳狀突出部分（如图 1—7），梳齿高度和配置应使軸封

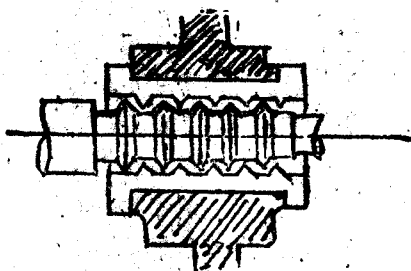


图 1—7、迷宫軸封簡图

套凸出部分几乎接触到軸，而軸凸出齿条也几乎接触到軸封套。这种軸封效果虽良好，但在制造上較难，且成本費較高，故不适于土汽輪机。

2. 水封軸封。水封（如图 1—8）由不大的翼輪 2 組成，此翼輪固定在軸 1 上，并在汽輪机壁中所制的环狀槽 3 中

旋轉，輸到翼輪的水被離心力甩向它的周圍，幷形成防止大汽進入汽輪機和防止蒸汽由汽輪機逸出的水環4。當翼輪旋轉時，把水甩開的離心力圖在翼輪兩面形成相等的水位。但因為在軸封兩側的壓力不同，所以產生水差 a ，借以平衡實際的壓力差。

水封的最大優點是沒有蒸汽漏入機器間；此外，不像單純

的迷宮軸封那樣需要按汽輪機的負荷來調整軸封蒸汽壓力。

水封它有可能在不長的裝置下，使蒸汽完全不能滲入。然而在它上面需要消耗汽輪機的一部分功率，幷且在汽輪機運行時，還得需要對它加以照顧。

3. 炭精軸封。這種軸封最适于土汽輪機。它的造價很低，容易製造，且效果較為顯著。因炭精與軸接觸能保持最小的密度，使蒸汽

不漏泄。由於石墨的特性，即使與軸有輕微摩擦，不但不磨損軸頸，也可以不用任何潤滑劑而工作。

(四) 軸 承

對於汽輪機的軸承，在其工作的安全性和耐久性，微小的摩擦損失以及安裝上可能有的準確性等方面，所提的要求很高。軸承的磨損會造成嚴重事故；安裝不準確則會引起汽輪機的振動。

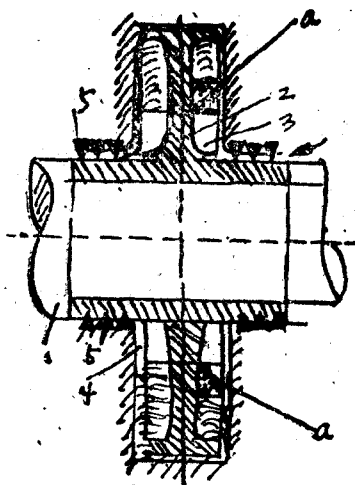


圖 1-8 水封軸封斷面示意图

。依据运行經驗，对軸承的工作情况結論如下：

1. 在正常工作时，軸頸与軸瓦間应經常有充滿潤滑油层的間隙，以消除金屬之間互相接触的可能性。

2. 要做到这一点，最好是軸頸与軸瓦之間的間隙向着軸旋轉的方向变得狹窄(楔形間隙)；間隙最狹地方应在軸頸下距軸瓦上压力达到最高值的不远处。在这种形狀的間隙下，潤滑油被軸頸帶往并驅入間隙的狹窄部分，在那里潤滑油的压力遂被提高。

根据冲击式土汽輪机的情况，軸間推力不大，故可采用滾珠軸承。滾珠軸承的尺寸根据轉軸的直徑决定，軸承座的尺寸則根据所采用的滾珠軸承决定，轉軸在套滾珠軸承的地方，应有一个台阶，借以限制轉軸在一定的位置上，防止轉軸任意串動。但蒸汽溫度較高的冲击式汽輪机，应裝有水冷却式的銅瓦或澆注鎢金的軸瓦。

关于汽輪机軸承間隙应参考图 1—9 指出的数据。

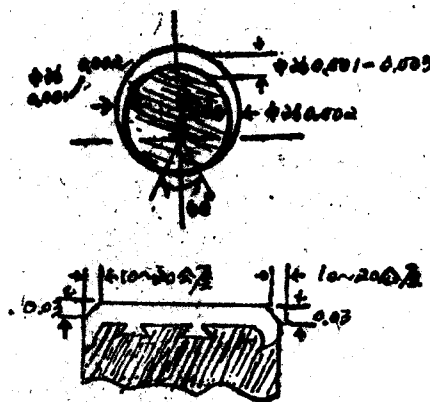


图 1—9 支持軸承瓦中的近似間隙

但应指出下部轴瓦不允许有十字形油槽。有十字形油槽会降低油的压力；若在这种轴瓦下部承担着最大负荷的地方通过纵向的沟是很坏的。正确的轴承在轴瓦下部不应有油槽。

在浇锡金轴瓦时，可采用下列成份的标号 B—83 的锡金：

锡	铜	镍	铝
83%	11%	6%	—

在 B—83 号锡金中，杂质总含量不得超过 0.55%，铝含量可在 0.35% 以下。

锡金轴瓦浇注之前，应将轴瓦的里面擦到发亮并烫以锡里。锡金熔化并加热至 400℃，而且要浇注的半瓣轴瓦应加热到 250℃。浇注时应把熔化的锡金液体连续地以同一方式浇入垂直放置的轴瓦中，并迅速地一次浇完。浇注时所留下多余锡金，在金属硬化后再把它除掉。

(五) 转 子

汽轮机的转子，可分为三种型式。一种是鼓式；一种是组合式；另一种是盘式。此三种型式各因条件不同，故采取型式也不一样。

如果圆周大小适度，压力级数很多，级间压力降不大，以致转子构成需要很坚固时，采用鼓式转子。

最常见的组合式转子，是由一个在高压部分的双列轮和在低压部分的转鼓组成的。双列鼓使鼓的长度有可能减少，因为它可以利用很大的压力降。这种型式的转子常常装在小容量或中等容量的冲击、反冲击式汽轮机中。

如果圆周速度大、压力级数少以及级间压力降很大时，采用盘式转子。所有这些条件都产生于冲击式汽轮机中。正因为