

## 《化工机械维修手册》编辑委员会

主任：刘振东

副主任：任晓善    陈逢阳    王治方    陈留拴  
          于传敬    张兴福    许炳然    安启洪

委员：（按姓氏笔画排序）

于传敬	王治方	王俊旭	申文求
吕庆荣	任晓善	刘振东	安启洪
许炳然	杨  光	肖正吉	张永凡
张兴福	张维波	陈朋信	陈逢阳
陈留拴	范国军	郑学慧	胡锡章
黄志勇	常国振		

# 化工机械维修手册

## 中 卷

任晓善 主编  
王治方 胡锡章 副主编

化学工业出版社  
工业装备与信息工程出版中心  
· 北 京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

化工机械维修手册. 中卷/任晓善主编. —北京: 化学工业出版社, 2004. 2

ISBN 7-5025-5190-5

I. 化… II. 任… III. 化工机械-维修-手册  
IV. TQ050. 7-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 006219 号

---

化工机械维修手册

中 卷

任晓善 主编

王治方 胡锡章 副主编

责任编辑: 周国庆

文字编辑: 张燕文

责任校对: 陶燕华

封面设计: 潘 峰

\*

化学工业出版社 出版发行  
工业装备与信息工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

\*

新华书店北京发行所经销

北京管庄永胜印刷厂印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 60 $\frac{1}{4}$  字数 1522 千字

2004 年 5 月第 1 版 2004 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5190-5/TH·185

定 价: 123.00 元

---

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

此为试读, 需要完整PDF请访问: [www.er-tongbook.com](http://www.er-tongbook.com)

# 《化工机械维修手册》编审人员

## 编写人员

## 审核人员

### 第 1 篇

- 第 1 章
- 第 2 章
- 第 3 章
- 第 4 章
- 第 5 章
- 第 6 章
- 第 7 章
- 第 8 章
- 第 9 章
- 第 10 章

黄晓晴 申文求  
谭清德  
万 尉  
贺顺尧 黄 廉 刘昌良  
史 荣  
徐 晟  
施瑾琼 范 明  
史 荣 周 辉 罗建勋 赵 凌  
申文求  
朱本雄 邓甲平 张胜荣

韦 慧  
杨君林  
谭清德  
王复生  
申文求  
李 权  
周召贵  
申文求  
安启洪  
唐昌德

### 第 2 篇

- 第 1 章
- 第 2 章
- 第 3 章
- 第 4 章
- 第 5 章
- 第 6 章
- 第 7 章

王丽华  
王丽华  
王丽华  
王丽华  
王丽华  
王丽华  
王丽华

宣鸿彬  
宣鸿彬  
宣鸿彬  
宣鸿彬  
张维波  
张维波  
张维波

### 第 3 篇

- 第 1 章
- 第 2 章
- 第 3 章
- 第 4 章
- 第 5 章
- 第 6 章
- 第 7 章
- 第 8 章
- 第 9 章
- 第 10 章
- 第 11 章

王信旗 王丰岭  
常国振 边 长  
赵五洲 程宏宇  
王家良  
陈 全 舒瑟尔 熊 卫  
李 中 罗建勋  
高建国 张 霖  
孟 新  
杨文君 邵正贵 刘长柱 毕洋远  
余仕彬 黄继平  
龙方林 胡再奎 赵红萍

常国振  
王信旗  
王信旗  
陈朋信  
谈鸿洲 宁忠培  
谈鸿洲 宁忠培  
常国振  
张维波  
郑学慧 姚 欣  
裴天文  
裴天文

### 第 4 篇

- 第 1 章

冯作林 冯瑞云 王锡海

邓耀辉 曾建英

## 编写人员

## 审核人员

第2章	王建新	孙文立				常国振
第3章	吕勇	朱雄				张永凡
第4章	董长生					陈朋信
第5章	王俊旭	胡玉敏	沈长文	高明亮		常国振
	管泽沛	李小莉	王卫民	胡文海		
	郭冬梅	张鹏洲				
第6章	郭文成	艾绍东	董强	翟勉华		杨宇 金宗文
	肖庆荣					
第7章	周长政	杨斌	杜晶			郑学慧 金宗文
第8章	陈占清	江义学	刘宏	陶洪		周启红 陈明洪
	刘世国	熊军	欧复林	余额		贺天华
	胡良生					
第9章	朱祖恩	刘传兴	曹稼斌	唐爱晖		黄志勇
第10章	肖正吉	唐正鸿	张立红	朱西维		张仁堂 高和才
第11章	李波					张维波
第12章	赵福瑞	宋维涛				张维波
第5篇						
第1章	严俨伊	张智华				周辉
第2章	张智华					高利刚
第3章	李强	张大亮				张智华
第4章	张伦	邓耀辉				谭清德
第5章	万尉	徐章				史荣
第6篇						
第1章	陈留拴	朱小四				常国振
第2章	范国军	冯化艇				王信旗

## 前 言

机器和设备是化学工业企业生产和发展的重要物质基础，只有具备良好性能的机器设备，才能保证生产持续、满负荷运行，达到安全、优质、低耗、高产、环保的目的。但是，随着化工生产的进行，机器设备的使用，不可避免地会发生机器设备性能减退、零部件失效，以及由于使用不当造成机器设备的损坏。为了预防机器设备故障的发生，保持机器设备的良好性能，就必须及时进行维修。

《化工机械维修手册》是重点介绍化学工业中主要机器设备维修技术的工具书，按化工通用维修技术和化工单元类设备维修技术进行介绍，基本上涵盖了化工各种类型机器设备的维修技术，对一些重点化工行业具有专业特点的机器设备的维修技术也分别作了介绍，并作为整个化工机械维修技术的补充。读者可以举一反三地参照这些技术，结合企业实际应用。

本手册以应用为主，兼顾先进性。主要选择成熟可靠并通过实践检验的成果，同时也介绍一些指导性的科学理论和新技术，以求在传播推广过程中有所创新，使化工机械维修技术不断保持先进性。

本手册是请众多的企业工程技术人员在统一提纲下分别编写的。由于各编写人员学术水平、实际经验、文字风格不尽相同，因此在表述上不一定达到完美一致，而且各篇之间甚至同篇各章之间也存在一些内容重复之处。为了保持篇章内容本身的完整性，并考虑到本手册分卷，方便读者查阅等因素，保留了一些重复内容。

本手册是在中国化工机械动力技术协会和化学工业出版社的组织下进行编写的，得到了泸天化（集团）公司、河南中原大化集团公司、建峰化工总厂、吉化集团公司、大连化学工业集团公司和上海氯碱化工股份有限公司的大力支持，在此表示衷心的感谢。

本手册可能存在的缺点和错误，恳请广大读者批评指正。

《化工机械维修手册》

编辑委员会

2003年11月

# 目 录

## 第 3 篇 化工机器维修技术

第 1 章 工业汽轮机 .....	3	1.3 燃气轮机的特点 .....	133
1 基本概念和分类 .....	3	2 工业燃气轮机的分类 .....	135
1.1 基本概念 .....	3	2.1 按工质的热力循环分类 .....	135
1.2 分类 .....	5	2.2 按构造分类 .....	135
2 工作原理 .....	7	2.3 按用途分类 .....	135
3 基本参数 .....	8	2.4 按轴系方案分类 .....	135
4 结构特点和零部件 .....	10	3 工业燃气轮机的工作原理 .....	135
4.1 总体结构 .....	10	3.1 结构方案 .....	135
4.2 转子 .....	16	3.2 基本概念 .....	137
4.3 转子叶轮 .....	18	3.3 热力计算 .....	139
4.4 转子叶片 .....	19	4 工业燃气轮机的基本参数 .....	141
4.5 隔板 .....	21	4.1 理想简单循环燃气轮机装置 性能参数 .....	141
4.6 静叶片 .....	22	4.2 实际简单循环燃气轮机性能 参数 .....	143
4.7 缸体 .....	22	4.3 燃气轮机常用参数及其范围 .....	144
4.8 轴承 .....	24	5 工业燃气轮机的结构特点和零部件 .....	144
5 调节和保安系统 .....	27	5.1 轴流式压气机 .....	146
5.1 调节系统 .....	27	5.2 燃烧室 .....	154
5.2 保安系统 .....	46	5.3 燃气透平 .....	168
6 运行和维护 .....	52	6 工业燃气轮机的辅机系统 .....	189
6.1 启动维护 .....	52	6.1 启动装置 .....	190
6.2 运行维护 .....	61	6.2 滑油系统 .....	193
6.3 停机维护 .....	64	6.3 自清洁系统 .....	202
7 检修与检修技术 .....	65	6.4 空气滤清设备 .....	206
7.1 检修周期和检修内容 .....	65	7 工业燃气轮机的控制系统 .....	213
7.2 汽轮机主要拆卸程序 .....	67	7.1 工业燃气轮机的调节保安系统 .....	214
7.3 汽缸检修 .....	69	7.2 MS-3002 型燃气轮机的调节 系统 .....	230
7.4 转子组件检修 .....	81	7.3 MS-3002 型燃气轮机保护系统 .....	242
7.5 隔板或静叶持环检修 .....	90	8 工业燃气轮机的运行和检修 .....	249
7.6 汽封检修 .....	96	8.1 设备完好标准 .....	249
7.7 轴承检修 .....	99	8.2 设备维护 .....	250
7.8 汽轮机组找中心 .....	103	8.3 常见故障与处理方法 .....	252
7.9 回装和扣缸 .....	109	8.4 紧急停车 .....	253
7.10 转速调节系统和保安系统检修 .....	110	8.5 检修周期和检修内容 .....	254
7.11 转速调节系统和保安系统整定 与试验 .....	112	8.6 检修方法和质量标准 .....	255
8 汽轮机常用金属材料 .....	112	8.7 燃气轮机保安系统的检修 .....	258
9 常见故障与故障处理 .....	117	8.8 机组对中 .....	258
第 2 章 工业燃气轮机 .....	124	8.9 机组附属设备的检修 .....	259
1 概述 .....	124	8.10 试车与验收 .....	262
1.1 燃气轮机的发展 .....	124		
1.2 燃气轮机的应用 .....	128		

8.11	安全注意事项	263	8.10	机组对中找正	375
9	工业燃气轮机零部件常用金属材料	267	8.11	增速箱检修技术要求	380
9.1	压气机常用金属材料	267	8.12	辅机系统的检修	382
9.2	透平材料	268	8.13	压缩机的安装与试车	383
9.3	火焰管材料	270	8.14	典型事故分析	389
<b>第3章</b>	<b>离心式压缩机</b>	<b>272</b>	9	零部件常用金属材料	395
1	分类	272	9.1	国内离心式压缩机	395
2	工作原理	272	9.2	国外离心式压缩机	395
2.1	气体压缩	274	<b>第4章</b>	<b>活塞式压缩机</b>	<b>399</b>
2.2	叶轮作功	276	1	活塞式压缩机的分类	399
2.3	级中的能量转换	279	1.1	按工艺流程分类	400
2.4	级中的损失	281	1.2	按终压或功率大小分类	402
2.5	级的组成	282	1.3	按气缸中心线在空间的位置 分类	402
2.6	化工用真实气体压缩过程计算 特点	292	2	活塞式压缩机的技术特性与主要 参数	404
3	基本参数	293	2.1	技术特性	404
4	运行与调节	297	2.2	主要参数	404
4.1	流量特性	297	3	活塞式压缩机的结构特点与主要 零部件	421
4.2	相似条件	301	3.1	结构特点	421
4.3	性能换算	304	3.2	主要零部件	427
4.4	调节方法	306	4	活塞式压缩机的运行与维护	456
4.5	非稳定工况	308	4.1	运行操作	456
4.6	串联和并联工作	310	4.2	运行指标	458
5	基本结构与零部件	311	4.3	维护保养	460
5.1	气缸与隔板	311	5	活塞式压缩机的检修技术	464
5.2	离心式压缩机转子	313	5.1	检修制度	464
5.3	离心式压缩机叶轮	316	5.2	检修工艺	470
5.4	轴向力及其平衡装置	318	5.3	活塞式压缩机装拆和清洗	473
5.5	压缩机的密封	320	5.4	零部件的修理	477
5.6	轴承	330	6	活塞式压缩机零部件常用金属材料	516
5.7	转子的动力学问题	334	<b>第5章</b>	<b>化工泵</b>	<b>524</b>
5.8	联轴器和增速箱	340	1	化工生产对泵的特殊要求	524
6	辅机系统	341	2	化工泵的分类	526
6.1	润滑油和密封油系统	341	3	化工离心泵	528
6.2	其他辅机系统	345	3.1	结构	528
7	维护	346	3.2	部分离心泵的主要技术参数与 型号编制	537
7.1	常见故障处理方法	346	3.3	维护	540
7.2	运行与停机维护	349	3.4	检修	545
8	检修技术	351	3.5	离心泵常用材料的选择	560
8.1	检修内容	351	4	其他型式的化工泵	562
8.2	拆装程序	353	4.1	往复泵	562
8.3	径向轴承的检修	356	4.2	螺杆泵	583
8.4	止推轴承的检修	360	4.3	齿轮泵	591
8.5	转子轴向位置的确定	362	4.4	旋涡泵	596
8.6	转子组件的检修	363	4.5	真空泵	606
8.7	联轴器的检修	365			
8.8	气缸与隔板的检修	369			
8.9	轴封的检修	372			

4.6	隔膜泵	620	3	真空过滤机	776
4.7	流体动力泵	629	3.1	工作原理	776
4.8	磁力泵	636	3.2	技术性能	777
<b>第6章</b>	<b>风机</b>	<b>642</b>	3.3	结构	779
1	风机的分类	642	3.4	维护	783
2	选用风机应考虑的参数	643	3.5	安装与检修	786
3	离心式风机	644	3.6	防腐	791
3.1	结构与主要零部件材料	644	3.7	试车与验收	792
3.2	维护	650	4	盘式过滤机	793
3.3	检修	656	4.1	分类与工作原理	794
3.4	试车	660	4.2	技术性能与工艺参数	794
4	罗茨鼓风机	661	4.3	结构	795
4.1	工作原理与结构	662	4.4	维护	800
4.2	型号与主要工作参数	663	4.5	检修	803
4.3	检修	666	4.6	试车与验收	805
4.4	试车、运行与日常维护	673	<b>第9章</b>	<b>固体粉碎机</b>	<b>807</b>
5	凉水塔轴流式通风机	674	1	颞式破碎机	807
5.1	分类与型号	674	1.1	设备简介	807
5.2	性能参数、性能曲线及调节	675	1.2	安装与使用维护要点	809
5.3	典型结构与安装	681	1.3	检修	810
5.4	检修	682	1.4	试车与验收	811
5.5	启动前的检查与试车	686	2	辊式破碎机	812
<b>第7章</b>	<b>水力透平</b>	<b>687</b>	2.1	设备简介	812
1	概述	687	2.2	安装与使用要点	816
1.1	应用	687	2.3	检修	817
1.2	选择	688	2.4	试车与验收	823
2	水力透平的结构	691	3	反击式破碎机	824
3	水力透平的维护	693	3.1	设备简介	824
3.1	安全注意事项与维护要点	693	3.2	安装与使用维护要点	826
3.2	检查与故障处理	695	3.3	检修	827
4	常见水力透平的检修	698	3.4	试车与验收	828
4.1	拆卸	698	4	环锤式破碎机	829
4.2	装配	699	4.1	设备简介	829
4.3	垂直剖分式水力透平 M8×17 DVSHF 的检修工艺	701	4.2	安装	833
5	主要零件检修质量和技术标准	706	4.3	检修	834
6	安装与找正	713	4.4	试车与验收	838
7	试车与验收	714	5	锤式破碎机	840
<b>第8章</b>	<b>过滤机</b>	<b>717</b>	5.1	设备简介	840
1	过滤的概念与原理及过滤机的分类	717	5.2	安装与使用维护要点	842
2	过滤离心机	717	5.3	检修	845
2.1	离心机的分类	717	5.4	试车与验收	851
2.2	过滤离心机的操作循环	719	6	球磨机	852
2.3	三足式离心机	720	6.1	设备简介	852
2.4	卧式活塞推料离心机	739	6.2	安装	857
2.5	卧式刮刀卸料离心机	751	6.3	检修	861
2.6	其他型式的过滤离心机	764	6.4	试车与验收	868
2.7	其他离心机	771	<b>第10章</b>	<b>造粒干燥机</b>	<b>870</b>
			1	流化床造粒机	870

1.1	技术性能、工艺条件及主要结构 .....	870	4.3	检修 .....	903
1.2	维护 .....	875	4.4	试车与验收 .....	908
1.3	现场安装 .....	875	<b>第 11 章</b>	<b>刮料机、耙料机和缝包机 .....</b>	<b>909</b>
1.4	检修 .....	877	1	刮料机 .....	909
2	喷浆造粒机 .....	877	1.1	技术参数、工艺条件、机组结构及零部件材质 .....	909
2.1	技术性能、工艺条件及主要结构 .....	877	1.2	检修 .....	916
2.2	维护 .....	883	1.3	试车与验收 .....	921
2.3	基础验收与设备安装 .....	885	2	耙料机 .....	922
2.4	检修 .....	888	2.1	设备简介 .....	922
2.5	试车与验收 .....	889	2.2	检修前准备 .....	924
3	转鼓造粒机 .....	890	2.3	维护保养 .....	924
3.1	主要作用、结构原理及基本参数 .....	890	2.4	各机构的检修 .....	929
3.2	维护 .....	891	2.5	试车 .....	942
3.3	检修 .....	892	2.6	使用状况与技术改进 .....	942
3.4	试车与验收 .....	899	3	缝包机 .....	943
4	干燥机 .....	899	3.1	性能参数、结构部件与缝合原理 .....	943
4.1	主要用途、结构类型、工作原理及基本参数 .....	899	3.2	调节 .....	945
4.2	设备维护 .....	900	3.3	保养与故障处理方法 .....	948
			参考文献	.....	951

# 第 猿篇 摇 化工机器维修技术

# 第 员章 工业汽轮机

汽轮机是用蒸汽来作功的旋转式热动力机械，具有效率高、功率大、转速容易控制、寿命长、运转安全可靠等优点，因此被广泛地应用在发电、冶金、石油化工、交通运输、轻工业等行业。随着技术的进步特别是国外先进设备技术的引进和消化吸收，工业汽轮机在我国得到了更为广泛的推广和应用。

工业汽轮机是指除中心电站汽轮机、船舶汽轮机以外的其他汽轮机，其中包括工矿企业采用的用于驱动泵、风机、压缩机等机械的汽轮机，以及用于工厂自备电站的汽轮机。在化工装置中应用的工业汽轮机，所需的蒸汽主要来自生产装置中的废热锅炉，不足部分才由辅助锅炉或快装锅炉补给，充分利用了化工生产中工艺反应的余热，另外选用不同型式的工业汽轮机，可将不同压力等级的蒸汽供给工艺需要和热用户，实现了工厂热能的综合利用，提高了工厂的经济效益。化工装置中应用的工业汽轮机，具有数量多、品种杂、用途广、高参数、大容量、高转速、变转速、单系列运行自控联锁程度高的特点。

## 员 基本概念和分类

### 员 员 基本概念

#### (员) 工业汽轮机装置

工业汽轮机装置的基本组成如图 猿 猿 所示，工业汽轮机装置是以蒸汽为工作介质的旋转式热动力机械，它必须与其他设备一起协调配合工作，图中表示了工业汽轮机装置的四个最主要的设备，即锅炉、汽轮机、冷凝器和给水泵。给水泵给锅炉提供产生蒸汽用的水，一旦发生故障，锅炉给水将中断，被迫停炉，无法继续生产。锅炉是产生高温高压蒸汽的设备，有快装锅炉、辅助锅炉和废热锅炉等。

过热器将锅炉汽包送来的饱和蒸汽继续加热，在原有的压力下再提高温度变为过热蒸汽，然后送入蒸汽管道使工业汽轮机作功。工业汽轮机是利用蒸汽对外作功的设备，从过热器过来的高温高压蒸汽，流经汽轮机后，压力和温度都要降低，产生膨胀作功，蒸汽的热能变为机械功，由工业汽轮机轴端输出，驱动压缩机、泵等工作机械。

凝汽器又称冷凝器，是冷凝式工业汽轮机中工作介质的低温放热源。在工业汽轮机中作完功的蒸汽，排到冷凝器内，在一定压力下将汽化潜热释放给冷却水，蒸汽凝结成水，并在冷凝器中形成了真空。冷凝水由冷凝水泵抽出，经锅炉给水泵后再送给锅炉，作为锅炉给水。冷凝器有两个作用：一是蒸汽回收，冷凝成水后再供给锅炉，循环使用，这样可降低运行成本，提高经济效益；二是建立并保持工业汽轮机排汽出口的高度真空，增大蒸汽的可用

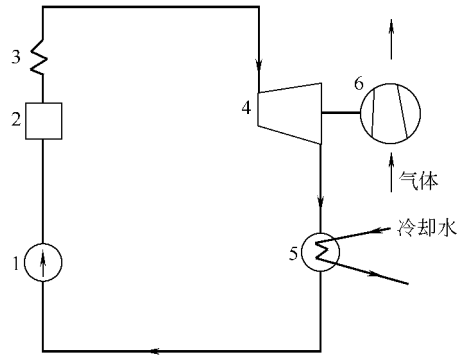


图 猿 猿 工业汽轮机装置示意  
员—给水泵；圆—锅炉；猿—过热器；源—工业汽轮机；缘—冷凝器；远—离心压缩机

热焓降，从而提高工业汽轮机的功率和循环热效率。但在背压式工业汽轮机中，排汽冷凝器高于大气压力，它的排汽可供其他用汽单位使用，因此也就不需要冷凝器了。

### (圆) 汽轮机中的级

在汽轮机中，由喷嘴和与其配合的动叶片构成的做功单元称为级，采用冲动原理工作的级称冲动级，采用反动原理工作的级称反动级。级是汽轮机中最基本的做功单元，蒸汽的热能转变成机械能的能量转变过程就是在级内进行的。

喷嘴又称静叶片，是一个截面形状特殊且不断变化的通道，蒸汽进入喷嘴后，蒸汽发生膨胀，消耗了蒸汽的热能，蒸汽的压力和温度都降低了，蒸汽的流速却增加了，获得了高速气流。喷嘴的作用就是将蒸汽的热能转换为动能。喷嘴可以是整周布置，也可以是仅几个弧段。

动叶片又称工作叶片，装满了叶轮一周，动叶片的作用是将蒸汽的动能转变为叶轮转动的机械能。即由喷嘴流出的高速气流流经动叶片时对动叶片产生作用力，推动叶片运动，通过叶轮和轴产生旋转运动，驱动泵、风机等机械对外做功。

### (獠) 级的反动度

冲动级和反动级的区别在于蒸汽的热能转变为动能的部位不同，冲动级中只在喷嘴内进行，而反动级中一部分在喷嘴内进行，另一部分在动叶片内进行。近代常用的汽轮机，大都是带一定反动度的冲动式汽轮机，在这种汽轮机中，在动叶片内也有气流膨胀。反动度指蒸汽在动叶片中的膨胀程度与级中总的膨胀程度的比值，或蒸汽在动叶片中的理想焓降与级中总的焓降之比。纯冲动级反动度为 0，蒸汽膨胀只在喷嘴中进行；反动级的反动度为 0.5，蒸汽膨胀有一半在动叶片中进行；带反动度的冲动级反动度大于 0 而小于 0.5，一般为 0.1~0.4，蒸汽膨胀有一小部分在动叶片中进行。带不大反动度的冲动级使用最广泛，它可以提高冲动式汽轮机的效率。

### (源) 单级汽轮机

只有一个级组成的汽轮机称单级汽轮机，由一个冲动级组成的汽轮机称单级冲动式汽轮机，由一个反动级组成的汽轮机称单级反动式汽轮机，实际应用中大多采用单级冲动式汽轮机。单级汽轮机功率小，通常用来驱动功率不大的设备，如润滑油泵、水泵等。

### (缘) 多级汽轮机

随着机组功率的增大，单级汽轮机满足不了大功率的要求，因此出现了多级汽轮机，由多个冲动级组成的汽轮机称冲动式多级汽轮机，由多个反动级组成的汽轮机称反动式多级汽轮机。也有些汽轮机中既有冲动级，又有反动级，称冲动和反动组合式汽轮机。

多级汽轮机由依次排列的若干个级串联而成，蒸汽依次通过一级级膨胀做功，汽轮机的功率等于各级功率的总和，因此多级汽轮机的功率可以很大。

多级汽轮机具有以下特点。

① 可采用最佳速比，保证效率。由于多级汽轮机采用较多的级数，各级承担的焓降并不大，可以实现在轮周速度不大的条件下保证各级有最佳速比值，每级的效率与整机的效率都得到提高。

② 使高压段各级的效率提高。因为每一级的焓降不大，所以绝对速度也不大。在保持最佳速比条件下，当转速一定时，可使喷嘴高度相应增加。

③ 由于每级的焓降不大，因此每级进、出口压力相差也不很大，使每一级喷嘴的压力比  $\frac{p_1}{p_2}$  小，于是可采用渐缩型喷嘴，而不用缩放型喷嘴，渐缩型喷嘴不但构造简单，加工方便，并且在变工况时，速度系数变化较缩放型喷嘴要缓和，变工况性能好。此外，由于气流速度不高，因此在喷嘴、动叶栅中的流动损失也不大。

④ 余速动能获得充分利用。在汽轮机中除了第一级，在有抽汽口的地方和最后一级，它们的余速动能不能被利用外，其余的级，由于汽道较平坦，且轴向距离较近，布置紧凑，上一级的余速动能可以全部或部分地被本级利用，使多级汽轮机效率提高。

⑤ 在多级汽轮机中可以采用调节或非调节抽汽，提供工业或生活用蒸汽，实现热能综合利用，从而提高汽轮机组的经济性。

⑥ 前一级的流动损失变为热量再加热蒸汽，提高级后蒸汽的焓值，即增加了下一级进口点的焓值，因此增加了作功能力，并提高了级的效率。

⑦ 多级汽轮机的单机功率可以做得相当大，以降低汽轮机单位功率所消耗的金属，降低造价，减少运行费用。

### (远) 压力级和速度级

级是汽轮机对外作功的基本单元，级可分为压力级和速度级。

在可以利用的蒸汽能量很大的情况下，只有一个级不能充分利用这些能量。这时，把由喷嘴和动叶片组成的级串联在同一根轴上，将蒸汽的能量分别在若干个级中加以利用。从结构上来看，就是一列喷嘴和一系列动叶片，其后又是一列喷嘴和一系列动叶片，这样逐次排列下去。在第一列喷嘴进口处的蒸汽压力最高，以后逐级降低，这就是常见的多级汽轮机的结构型式，其中的每个级，都称做压力级。

除压力级外，在有些汽轮机上还设有速度级。速度级又称复速级或寇蒂斯级。速度级在结构上比压力级复杂一点，如果冲动级在工作时，离开动叶片的汽流速度仍很大，这说明还没有充分利用蒸汽的动能来作功，为了利用这部分能量，在同一叶轮的轮缘上再要装第二列动叶栅，使蒸汽流过两列转动的叶栅，第一列动叶栅通道中将蒸汽能量中的一部分转换为机械能，而其余蒸汽能量则由第二列动叶栅继续将能量转换为机械能。速度级与冲动式压力级的工作原理是一样的，不同的是蒸汽的速度能在第一和第二列动叶栅中分别加以利用，在两列动叶片间的汽缸上还安装有引导蒸汽流向的导向叶片。

### 汽轮机分类

汽轮机的类别和型式很多，有很多分类方法，可按热力特性、工作原理、蒸汽初压、结构型式、用途等进行分类。

### (员) 按热力特性分类

① 凝汽式汽轮机 纯凝汽式汽轮机一般简称为凝汽式汽轮机。蒸汽在汽轮机中作功后，全部排入凝汽器。凝汽器的压力比大气压力低。这类汽轮机在电力、化工等部门获得广泛使用。

② 抽汽凝汽式汽轮机 蒸汽在汽轮机中膨胀作功时，将其中的一部分蒸汽从汽轮机中间抽出去，供工业使用或热用户使用，也可以供其他压力较低的汽轮机使用，其余大部分蒸汽在后面几级作功后排入凝汽器。抽汽压力可以在某一范围内调节时，称调节抽汽式汽轮机。这类汽轮机在化工部门获得广泛使用。

③ 背压式汽轮机 蒸汽进入汽轮机膨胀作功后，在大于一个大气压压力下排出汽缸。其排汽可供工业或其他生活用汽以及供压力较低的汽轮机用汽。

④ 多压式汽轮机 若工艺过程中有某一个压力的蒸汽用不完时就把这一股多余的蒸汽用管路注入汽轮机中的某个中间级内，与原来的蒸汽一起工作，这样可以使多余的工艺蒸汽中获得能量，得到一部分有用功，使得蒸汽热量能够综合利用，这类汽轮机称为注入式汽轮机，也称多压式或混压式汽轮机。

### (圆) 按工作原理分类

有冲动式、反动式、冲动式和反动式的组合汽轮机。

(獠) 按结构分类

按结构汽轮机可分为单级汽轮机、多级汽轮机和速度级汽轮机。

① 单级冲动式汽轮机 这种汽轮机只有一个级。因为其功率小、效率低,但结构简单,一般用来驱动泵、风机等辅助设备。单级汽轮机在大型化工企业中获得广泛使用。

② 多级汽轮机 这种汽轮机有两个以上的级。因为其功率大、转速高、效率高,在各个工业部门都获得广泛使用。

汽轮机的具体分类方法汇总于表 獠獠獠

表 獠獠獠 汽轮机的分类

分摇类	型摇摇式	说摇摇明	
按热力特性	摇凝汽式汽轮机	摇排汽在低于大气压力的真空状态下进入凝汽器凝结成水	
	摇抽汽凝汽式汽轮机	摇排汽压力低于大气压力,从汽轮机中间级中抽出一定压力的蒸汽作为他用	
	摇背压式汽轮机	摇排汽压力高于大气压力	
	摇抽汽背压式汽轮机	摇排汽压力高于大气压力,中间抽出部分蒸汽供其他部门使用	
	摇多压式汽轮机	摇充分利用工业生产工艺流程中的副产蒸汽,将部分蒸汽注入汽轮机某级中作功,热能综合利用好	
按工作原理	摇冲动式汽轮机	摇蒸汽主要在喷嘴叶栅内膨胀	
	摇反动式汽轮机	摇蒸汽在静叶栅和动叶栅内膨胀	
	摇冲动和反动组合式汽轮机	摇转子各级动叶片既有冲动级又有反动级	
按结构	摇单级汽轮机	摇通流部分只有一级,一般为背压式汽轮机	
	摇多级汽轮机	摇通流部分具有两个以上的级,可为凝汽式、背压式、抽汽凝汽式、多压式等	
按蒸汽初压	摇低压汽轮机	摇蒸汽初压为 0.01~0.1 MPa	
	摇中压汽轮机	摇蒸汽初压为 0.1~1 MPa	
	摇高压汽轮机	摇蒸汽初压为 1~10 MPa	
	摇超高压汽轮机	摇蒸汽初压为 10~15 MPa	
	摇亚临界汽轮机	摇蒸汽初压为 15~18 MPa	
	摇超临界汽轮机	摇蒸汽初压大于 18 MPa	
按汽流向	摇轴流式汽轮机	摇蒸汽在汽轮机内流动的总方向大致与轴平行	
	摇辐流式汽轮机	摇蒸汽在汽轮机内流动的总方向大致与轴垂直	
	摇周流(回流)式汽轮机	摇蒸汽在汽轮机内大致沿圆周方向流动,功率较小	
按用途	摇中心电站用汽轮机	摇绝大部分用抽汽凝汽式、抽汽背压式汽轮机,同时供电和供热的汽轮机称热电汽轮机	
	摇船(舰)用汽轮机	摇用于船(舰)推进动力装置,驱动螺旋桨	
	摇工业汽轮机	摇单纯驱动	摇仅驱动各种工业机械,不向外供热,为凝汽式汽轮机,可以变转速运行。多用于化工、炼油、冶炼以及电站等部门,用于驱动泵、风机、压缩机等
		摇驱动并供热	摇驱动各种工业机械,并对外供热蒸汽。为抽汽凝汽式、抽汽背压式或背压式汽轮机,可以变转速运行。用于化工、炼油和冶炼等部门
		摇单纯发电	摇工业企业自备电站中用于驱动发电机的汽轮机,不向外供热,定转速运行
摇发电并供热		摇汽轮机为抽汽凝汽式、抽汽背压式或背压式,向外供热,定转速运行	

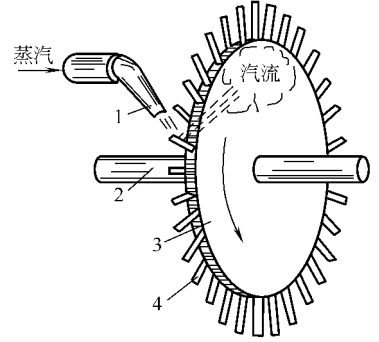
# 圆筒工作原理

汽轮机将蒸汽的热能转变为机械功通常是通过冲动作用原理和反动作用原理这两种方式实现的。

## (员) 冲动作用原理

冲动式汽轮机最简单的结构如图猿圆所示，由一个喷嘴和一级装配有一圈动叶片的叶轮组成。从喷嘴中喷出的高速汽流冲击在装于叶轮上的动叶片上，从而使叶轮转动。

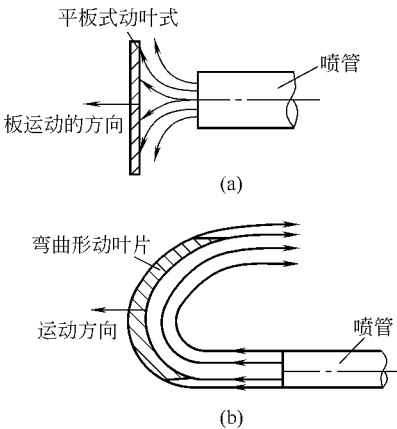
图猿圆所示为一动叶片工作的示意，如果用一个直立的平板，让高速汽流冲击到其表面上，平板由于受汽流的冲击作用而发生运动，但因在平板的表面附近产生了很大的扰动和涡流损失，如图猿圆所示，使蒸汽中大量的有用能量得不到很好的利用，以致造成浪费。所以经过大量的实践改进，现在汽轮机的动叶片都做成弯曲形。要想使产生的作用力最大，就必须使蒸汽的喷射方向同动叶片的运动方向一致，然后以相反方向流出，如图猿圆所示。



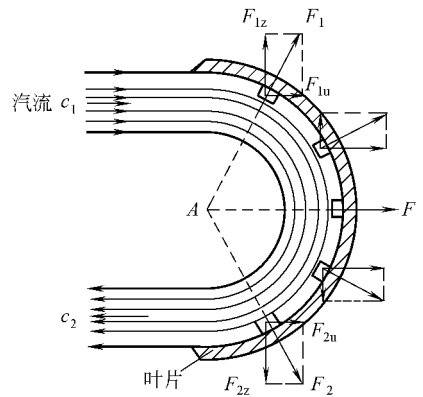
图猿圆 单级冲动式汽轮机示意  
1—喷嘴；2—轴；猿—叶轮；源—动叶片

动叶片的受力分析如图猿圆所示，汽流以速度流方向由动叶片构成的圆弧形流道后，便沿着内弧逐步改变其流动方向，最后以速度流出流道。当动叶片固定不动时，和大小相等方向相反。当汽体流经动叶片的曲面时，实际上在作匀速圆周运动，因此每一个蒸汽微团都受到动叶片流道弧面作用的向心力作用，同时根据牛顿第三定律，动叶片也受蒸汽微团一个大小相等、方向相反的离心力作用。假设圆点处蒸汽微团的离心力为云，可分解为轴向分力云和运动方向的分力云。同样在圆点处蒸汽微团的离心力为云，可分解为轴向分力云和运动方向的分力云，其余各点力均可这样分解，如图所示。因云和云大小相等、方向相反，相互抵消，同样其余对称各点的轴向力也相互抵消，即

$$F_{1z} = F_{2z} \dots F_{1u} = F_{2u}$$



图猿圆 冲动式汽轮机动叶片的分析



图猿圆 蒸汽微团作用在叶片上的离心力

在弯曲面运动方向分力之和为

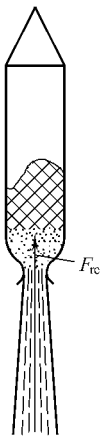
$$F_{\text{总}} = F_{\text{冲}} + F_{\text{反}}$$

在力云作用下动叶片右移，通过叶轮与轴产生旋转运动。力云称为冲动力，这就是汽轮机的冲动作用原理，采用冲动原理工作的汽轮机称冲动式汽轮机。

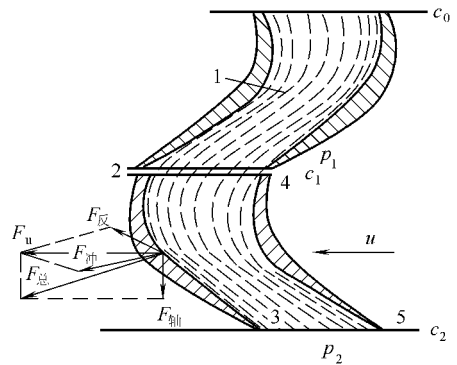
### (圆) 反动作用原理

火箭发射时，燃料燃烧产生的高压气体从火箭尾部快速排出，如图猿猿猿所示。高压气体作用在火箭内侧壁的力互相抵消，而向上作用在未燃烧物质上的力却未抵消，此力推动火箭向上运动。气体高速从容器中流出时，给容器一个与气体流动方向相反的力云，此力称为反动力。用反动力作功的原理称为反动作用原理，采用反动原理工作的汽轮机称反动式汽轮机。

在实际汽轮机中，由于机械结构等方面的限制，使从喷嘴中流出来的汽流，不能与动叶片运动方向完全相同，而是有一定夹角。动叶片也不是一个简单的半圆弧，而是由好几段曲线组成，但其基本原理不变。在反动式汽轮机中，喷嘴和动叶片都做成截面逐渐收缩的汽流通道，蒸汽在喷嘴和动叶片中都要降压、膨胀和加速，如图猿猿肆所示为反动式汽轮机的一个级的断面示意，蒸汽在喷嘴中膨胀升速，以较高的速度糟进入动叶片流道，动叶片就受到由于冲动原理产生的冲动力云。又由于汽流在动叶片流道中压力由云降至云，继续膨胀加速（相对于动叶片），蒸汽以更高的速度糟由动叶片中排出，根据反动作用原理动叶片又受到反动力云。云与云的合力为云。此外，动叶片前后有压差，也在动叶片上引起一个轴向力云，云与云的合力为云，这就是作用在动叶片上的总力，云沿叶片运动方向的分力，使动叶片向左运动，推动转子转动对外作功。由此可见，反动式汽轮机同时利用了冲动和反动两种作用原理。



图猿猿肆 火箭工作原理示意



图猿猿伍 反动式汽轮机的级

## 猿猿 基本参数

工业汽轮机有参数高、容量大、转速高、变速范围大的特点。其基本参数主要包括水蒸气的状态参数、汽轮机的转速和功率等。

### (员) 水蒸气的状态参数

水蒸气的状态参数简称蒸汽参数，用以表明水蒸气的状态特点。一般用压力、温度、比愿