

中等专业学校教材

水 轮 机

(修 訂 本)

长春水利电力学校 編



中国工业出版社

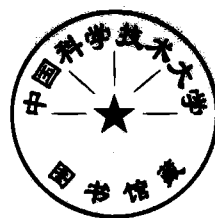
中等专业学校教材



水 轮 机

(修 訂 本)

长春水利电力学校 編



中国工业出版社

本书系根据中等专业学校水力动力装置专业的水轮机课程教学大纲编写的。全书共分十五章，其主要内容包括：反击型水轮机结构、原理和性能，反击型水轮机试验、特性曲线、标准系列和选择，反击型水轮机主要过流部件；冲击型水轮机结构、原理和性能等。

本书除作为中等专业学校水力动力装置专业试用教科书外，也可作为中小型水电站和水力发电厂等相近专业的试用教科书。本书亦可供水轮机安装、运行人员和水轮机选择设计人员参考。

水 轮 机

(修订本)

长春水利电力学校 编

*

水利电力部办公厅图书编辑部编辑(北京阜外月坛南营房)

中国工业出版社出版(北京佟麟阁路丙10号)

北京市书刊出版业营业许可证出字第110号

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印张16·插页2·字数302,000

1961年6月北京第一版

1965年7月北京第二版·1965年7月北京第五次印刷

印数4,537—6,626·定价(科四)1.60元

*

统一书号: K 15165·161(水电-29)

前 言

本书是在我校原来編写的“水輪机”教材的基础上，参考了各方面的书刊及几年来的教学經驗編写而成的。

根据水力动力装置专业的性质，“水輪机”課程的任务是：

- 一、使学生掌握現代水电站常用水輪机的类型、結構和应用范围；
- 二、使学生掌握水輪机的原理、性能和特性曲綫的繪制方法；
- 三、使学生掌握水輪机的标准系列及其选择方法；
- 四、使学生了解反击型水輪机主要过流部件簡單的水力計算知識。

本书在編写过程中，得到了华中工学院程良駿教授的大力帮助和支持，最后他又担任了全书的审閱工作。在此特致深切的謝意。

由于編者的水平和經驗所限，本书的缺点和錯誤在所难免。誠懇地希望采用本书的各校师生和各位讀者提出批評，并給予指正。来信請寄长春水利电力学校动力教研組。

編 者

1964年4月于长春

目 录

前 言

第一章 水轮机概論	1
§ 1-1 水轮机发展簡史	1
§ 1-2 近代水轮机的型式、应用及发展概况	4
§ 1-3 水轮机装置方式	8
§ 1-4 水动力装置的水头和功率	9
§ 1-5 水轮机的主要部件	11
第二章 混流式水轮机結構	25
§ 2-1 混流式水轮机結構概述	25
§ 2-2 混流式水轮机轉輪	27
§ 2-3 混流式水轮机主軸	30
§ 2-4 混流式水轮机导水部件	33
§ 2-5 混流式水轮机蝸壳和尾水管	41
§ 2-6 混流式水轮机座环、基础环和錐形环	41
§ 2-7 混流式水轮机导軸承	44
§ 2-8 混流式水轮机附属装置	47
第三章 軸流式水轮机結構	53
§ 3-1 軸流式水轮机結構概述	53
§ 3-2 軸流轉桨式水轮机轉輪	53
§ 3-3 軸流轉桨式水轮机其余部件	63
§ 3-4 反飞逸轉速装置	65
§ 3-5 貫流式水轮机	69
第四章 反击型水轮机中水流作用的初步分析	72
§ 4-1 水轮机中的能量损失和效率	72
§ 4-2 水流在水轮机中的运动	74
§ 4-3 轉輪进、出口速度三角形的繪制	76
§ 4-4 水轮机基本方程式	77
§ 4-5 水轮机能量轉換的最优工况	81
§ 4-6 变工况对水轮机能量轉換的影响	82
第五章 反击型水轮机的汽蝕	84
§ 5-1 汽蝕的一般概念	84
§ 5-2 水轮机汽蝕的类型及影响	85
§ 5-3 水轮机的翼型汽蝕及汽蝕系数	86
§ 5-4 水轮机的吸出高度和安装高程	88

§ 5-5 防止和抵抗汽蝕的方法	93
第六章 反击型水輪机的相似理論	93
§ 6-1 相似理論的一般概念	93
§ 6-2 水輪机相似条件	93
§ 6-3 水輪机系列单位工作量	95
§ 6-4 水輪机相似理論的近似公式	97
§ 6-5 比轉速与水輪机的关系	99
§ 6-6 模型換算到原型的修正	101
第七章 反击型水輪机試驗	109
§ 7-1 水輪机試驗的一般概念	109
§ 7-2 水輪机模型能量試驗裝置	109
§ 7-3 混流式水輪机模型能量特性試驗	112
§ 7-4 軸流轉桨式水輪机模型能量特性試驗	119
§ 7-5 水輪机模型汽蝕試驗裝置	121
§ 7-6 水輪机模型汽蝕試驗	122
§ 7-7 水輪机的飞逸特性試驗	124
§ 7-8 水輪机原型的效率試驗	127
第八章 反击型水輪机特性曲綫	132
§ 8-1 水輪机特性曲线的一般概念	132
§ 8-2 水輪机线性特性曲线	132
§ 8-3 水輪机綜合特性曲线	135
§ 8-4 水輪机运轉綜合特性曲线的繪制	136
§ 8-5 水电站特性曲线	152
第九章 反击型水輪机标准系列	155
§ 9-1 水輪机标准系列的概念	155
§ 9-2 轉輪的标准化与軸向水推力的計算	157
§ 9-3 水輪机标准系列的图表	160
第十章 反击型水輪机选择	187
§ 10-1 水輪机选择的一般概念	187
§ 10-2 水輪机选择的原始資料、內容和程序	187
§ 10-3 水輪机台数的选择	189
§ 10-4 水輪机型号的选择	190
§ 10-5 水輪机主要参数的选择	191
§ 10-6 水輪机安装高程的确定	195
§ 10-7 水輪机待选方案的初步比較	196
§ 10-8 水輪机方案綜合分析比較	197
第十一章 反击型水輪机的蝸壳	199
§ 11-1 蝸壳的型式及主要参数的选择	199
§ 11-2 蝸壳水力計算的基本原理	201
§ 11-3 金屬蝸壳的初步水力計算	203

§ 11-4 混凝土蜗壳的水力计算	205
§ 11-5 蜗壳水力计算步骤	207
§ 11-6 蜗壳外形尺寸的选择计算	208
第十二章 反击型水轮机的导水部件	211
§ 12-1 导水部件的几何参数	211
§ 12-2 导水部件调节流量和形成环量	215
§ 12-3 导叶的标准化和选择	216
§ 12-4 导叶上所受的总水压力及水力矩	217
第十三章 反击型水轮机的尾水管	219
§ 13-1 尾水管的功用	219
§ 13-2 直锥形尾水管的损失和效率	222
§ 13-3 弯肘形尾水管的损失和参数	224
§ 13-4 弯肘形尾水管的标准化和选择	226
第十四章 冲击型水轮机结构	228
§ 14-1 冲击型水轮机概述	228
§ 14-2 切击式水轮机转轮	228
§ 14-3 切击式水轮机的其余部件	234
§ 14-4 双击式水轮机结构	236
第十五章 切击式水轮机的原理、性能和选择	238
§ 15-1 切击式水轮机的能量损失	238
§ 15-2 切击式水轮机的速度三角形	240
§ 15-3 切击式水轮机的基本方程式	240
§ 15-4 切击式水轮机的最优工况和变工况	241
§ 15-5 切击式水轮机的相似理论	242
§ 15-6 切击式水轮机的特性曲线	244
§ 15-7 切击式水轮机的选择	244
复习题	247
习题	248
参考书	250

第一章 水輪机概論

§ 1-1 水輪机发展簡史

水輪机作为一种将水能轉換为机械能的原动机，有着悠久的历史。

早自汉朝起，我国古代劳动人民就已利用水力带动鼓风設備、水磨等，到唐、宋时期，进一步出現了以水輪为动力的提水筒車（高轉筒車，图 1-1）。

在国外，公元二世紀在羅馬的运河上即有浸在水中的由水輪带动的水磨。公元六世紀出現浮水式水磨（图 1-2）。

上述水輪，不是利用水流的重力作用就是直接放在河里借水流对叶片的冲击作用而工作。用現代的标准衡量，它們共同的缺点是：尺寸大、轉速低、功率小、效率低。

十五世紀中叶到十八世紀末叶，水力学的理論开始有了一定的发展，而且十八世紀到十九世紀初叶，工业的发展也要求創造出功率更大、效率更高、轉速更快的水力原动机。

1738年伯諾里发表了关于液体质点能量改变規律的著作，对水力原动机的发展，有着重大的意义。1745年英国巴克及1750年匈牙利的辛格聶尔，分別提出了一种按着新原理工作的水輪机（图 1-3）。这种水輪机不是單純利用水的重量或水流的冲击作用而是同时利用水流的压能和动

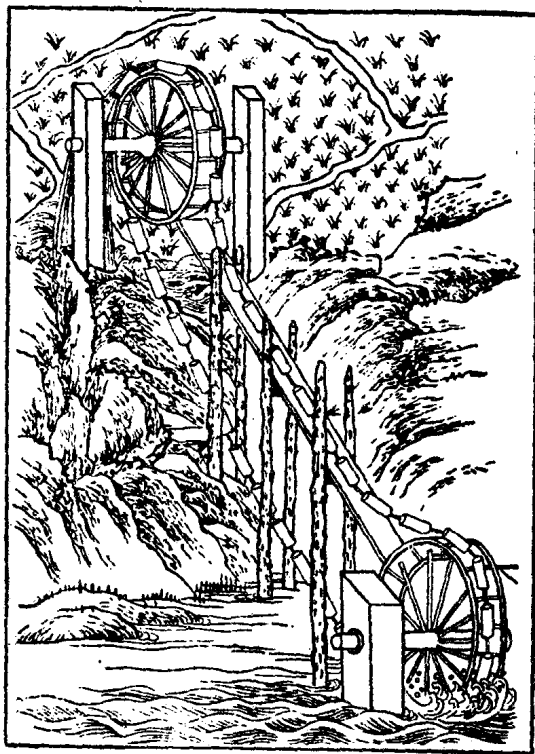


图 1-1 高轉筒車

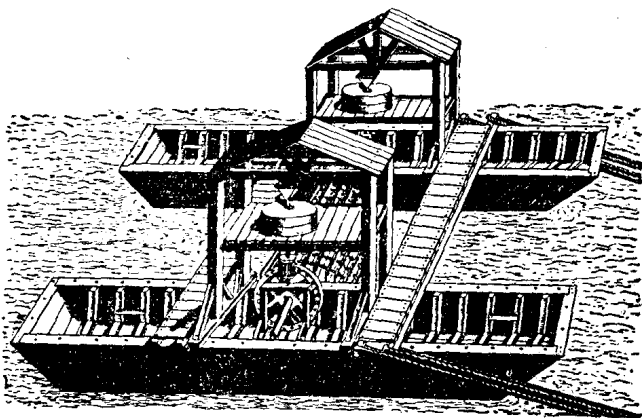


图 1-2 浮水式水磨

能在水流对轉輪的反作用力下工作，但由于其进口沒有导向部分，产生撞击損失，而出口流速很大，出口动能又未能利用，因而效率只有50%左右。

1824年，法国波尔琴建議一种水力原动机(图1-4)，并第一次被称为水輪机（即水力透平，系来自拉丁字 *türbo*，陀螺之意），它由导向部分和轉輪两部分組成，而轉輪已改成由弯板制作的叶道。但由于轉輪高度太大，叶道太长，水力損失較大，效率低于67%。

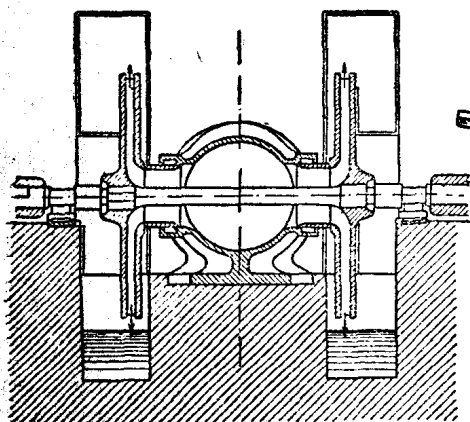


图 1-3 辛格聶尔建議的水輪机

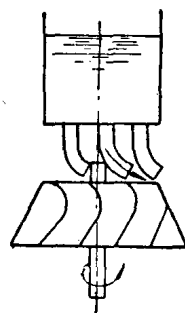
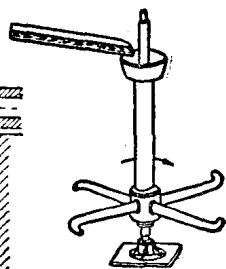


图 1-4 波尔琴建議的水輪机

1837年德国韓施里和1841年法国荣华里提出采用尾水管的軸向式水輪机（图1-5）。尾水管是圓柱形的，它可以使水輪机的轉輪安装在下游水位以上，而沒有相应于轉輪到下游水位間这一高度的水头損失。但它还不能利用轉輪出口的动能。

1847~1849年，英国法兰西斯提出了向心式水輪机（图1-6）。它的轉輪置于导向机构以內，因而尺寸小，轉速高；它的尾水管改为圓錐形，又多利用了轉輪出口的动能；轉輪叶道是漸縮形的，故轉輪內水力損失亦較小。由于这些优点，它得到广泛的应用。但其缺点是：轉輪叶片位于輻向，故尺寸仍較大，轉速低，損失大；导向部分是通过插板来調节流量的，因而損失大，效率低。

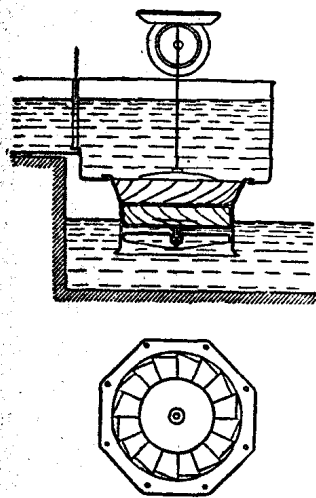


图 1-5 韓施里和荣华里建議的水輪机

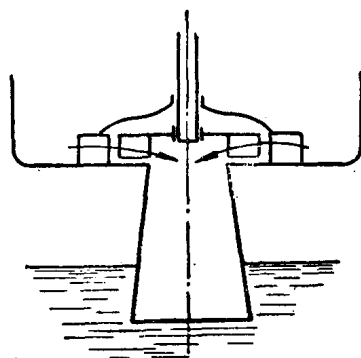


图 1-6 法兰西斯建議的水輪机

1877年, 德国菲康提出采用转动导向叶片的方法来调节流量, 以后在实践中又把转轮叶片根据要求放于水流从辐向到轴向的转弯部分, 进一步缩小了尺寸, 提高了转速。经过不断改善、发展, 乃成为现代使用得最广泛的水轮机类型之一——混流式水轮机(图1-7)。

在反击型水轮机发展到比较完善的混流式水轮机的同时, 冲击型水轮机开始有了新的发展。1880年培尔顿提出了采用双曲面水斗的冲击型水轮机。在最初的结构中调节不是用针阀来进行的, 而是用装在喷嘴前的闸门, 因而水力损失大, 经过不断改进, 才逐渐形成现代的切击式(水斗式)水轮机(图1-8)。

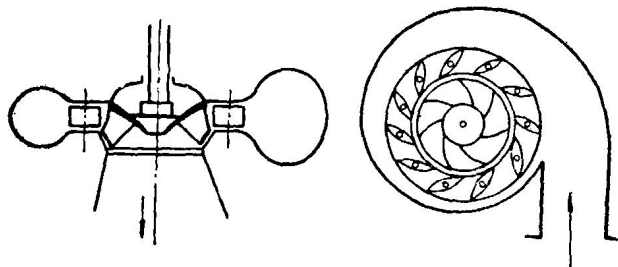


图 1-7 混流式水轮机

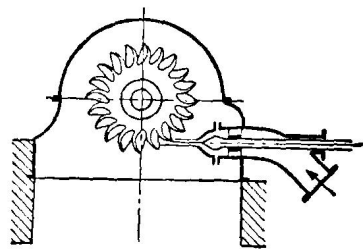


图 1-8 切击式水轮机

1917年匈牙利班克提出了双击式水轮机(图1-9)。这种水轮机的结构简单, 适用于农村小型水电站(水头在10~60米范围内)使用。

1921年英国焦尔戈提出了斜击式水轮机(图1-10), 它的构造也较简单, 适用于中小型水电站。

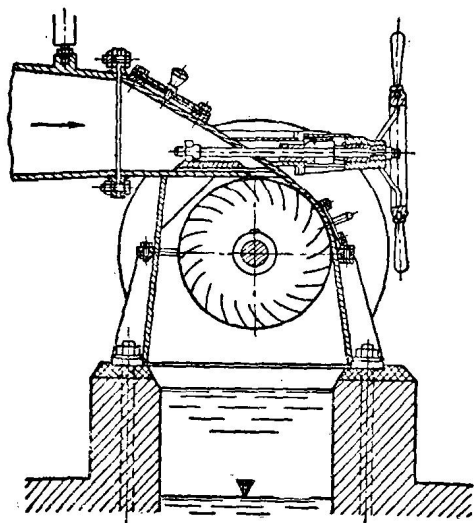


图 1-9 双击式水轮机

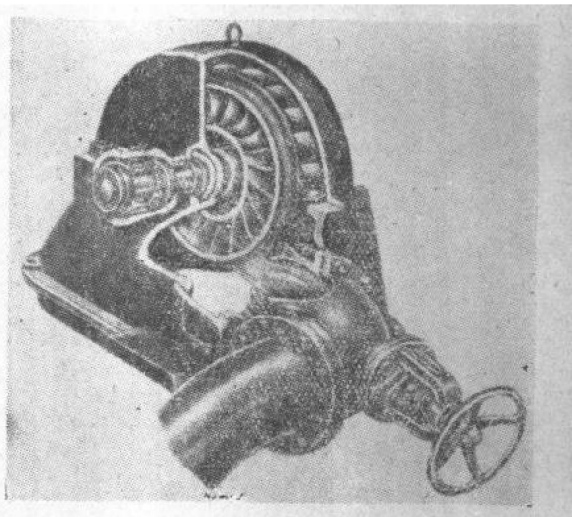


图 1-10 斜击式水轮机

反击型水轮机继混流式之后, 在二十世纪初又获得了进一步的发展。1912年卡普兰提出了一种带有外轮环的、叶片固定的定桨式水轮机(图1-11)。这种水轮机把转轮叶片移到了与轴相垂直的位置, 并大大地减少叶片的数目, 因而增加了通过它的流量, 转速也提

高了，比混流式又前进了一大步。1916年他又提出取消轉輪的外輪环，并采用使叶片能够轉动的机构（图1-12），因而能够使水輪机适应在運轉中的各种工况，进一步提高了平均效率。經過不断改进，形成現代的軸流式水輪机。然而它帶來的問題是：結構比較单薄，强度較差，因此它所适应的水头比混流式要低得多。

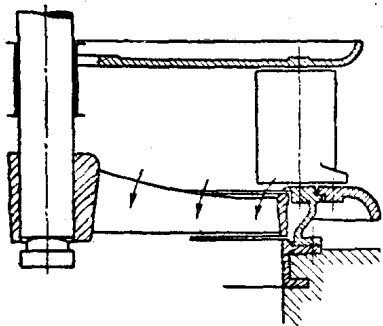


图 1-11 卡普兰提出的定桨式水輪机

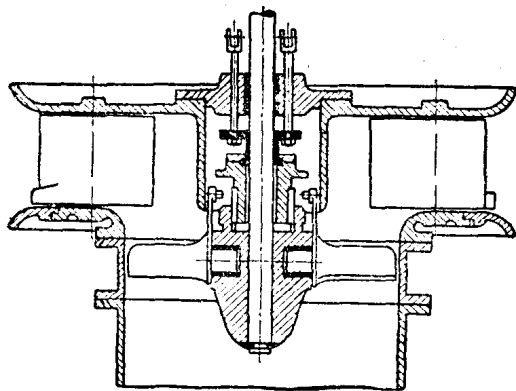


图 1-12 卡普兰提出的轉桨式水輪机

大約在本世紀30年代，又提出了一种貫流式水輪机（图1-13）。它在軸流式水輪机的基础上，又进一步取消了蜗壳，把导水部件也放到与軸相垂直的位置，并且这种水輪机整体也为臥式。它进一步加大了流量，提高了效率，减小了径向尺寸。但其缺点是：水輪机与发电机的联接困难，且联接結構复杂，不易止水，适应水头又有所降低。現在虽未大量推广，但各国都正在加强研究中。

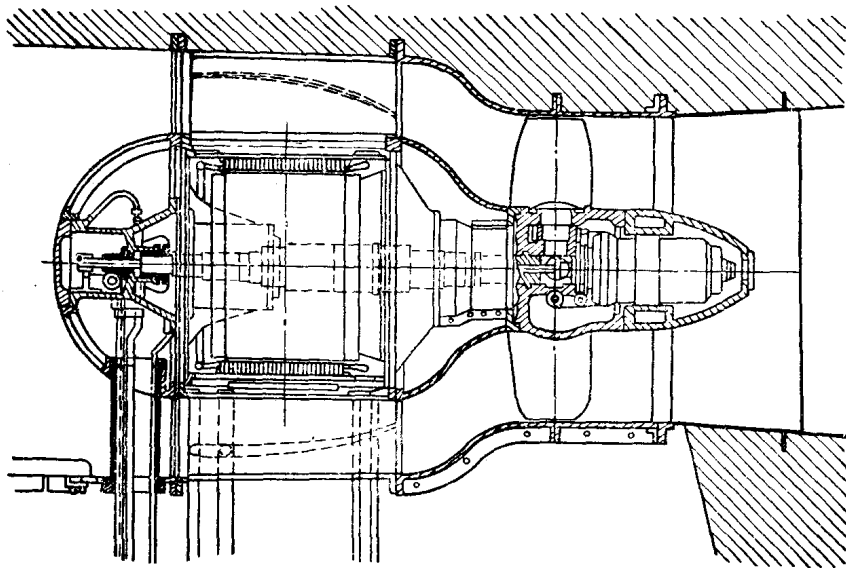


图 1-13 貫流式水輪机

§ 1-2 近代水輪机的型式、应用及发展概况

近代水輪机按不同的分类方法，可分为多种类型。按其轉換能量的特征和习惯可分为

反击型和冲击型，而每种类型中又分以下型式：

一、反击型水轮机

1. 混流式水轮机；
2. 轴流式水轮机（包括转桨式和定桨式）；
3. 贯流式水轮机（包括转桨式和定桨式）；
4. 斜流式水轮机；
5. 辐流式水轮机。

二、冲击型水轮机

1. 切击式水轮机；
2. 斜击式水轮机；
3. 双击式水轮机；
4. 环击式水轮机。

现代应用最多的是混流式、轴流式和切击式水轮机，贯流式、斜击式和双击式应用较少，其他三种型式目前尚未正式应用。前三种型式水轮机之所以能得到广泛应用，是因为它们在自然界目前所可能形成的各种水头条件下，能够满足水能利用的要求，并且具有较大的过水能力、较高的效率和较好的汽蚀性能以及便于布置电站厂房内的结构。根据每种水轮机的特点，它们分担着不同的水头和出力，既可以满足中小型水电站的要求，也可以适应大型电站的需要。

混流式水轮机（图1-14）是最早发展起来的近代水轮机，它适用于水头自2米直到550米的范围内，单机容量自几十瓩直到几十万瓩，是目前应用最广泛的水轮机类型之一。由于水流流经转轮叶片时是辐向流入而轴向流出，故称为混流式（辐向轴流式）水轮机。

轴流式水轮机（图1-15）也是近代应用得最广泛的水轮机之一，一般它适用于水头自2~70米的范围内，而有利于更高水头的趋势。单机容量自几十瓩至十几万瓩或更大。由于水流流经转轮叶片时是轴向流入而又轴向流出，故称轴流式水轮机。按照其转轮叶片在运转中能否转动，又可分为转桨式（叶片可转动）和定桨式（叶片不能转动）两种。

贯流式水轮机（图1-16）是近二、三十年来才发展起来的新型水轮机，它适用于水头自1~30米的范围内，单机容量自几瓩至几万瓩。贯流式水轮机转轮与轴流式完全相同。这种水轮机装置为卧式的，转轮前的引水部分和转轮后的排水部分均在同一轴线上，水流流经水轮机时从头至尾是一贯平直的，故称为贯流式水轮机。

切击式水轮机（图1-17）是发展较早应用亦较广泛的一种高水头水轮机。它适用于水

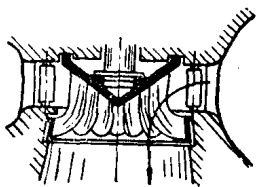


图 1-14 混流式水轮机

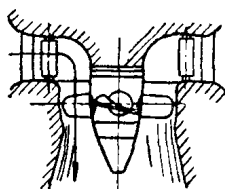


图 1-15 轴流式水轮机

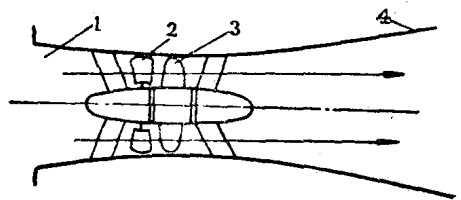


图 1-16 贯流式水轮机

头自100米至2000米范围内。单机容量自几十瓩至十几万瓩。它的转轮叶片成碗状的水斗形，故称水斗式水轮机。又因工作时射流与转轮节圆圆周相切，故又称切击式水轮机。

斜击式水轮机（图1-18）适用于水头自30米到400米范围内，单机容量最大可达几千瓩。这种水轮机工作时水流的来向与转轮旋转平面倾斜某一角度，故称斜击式水轮机。

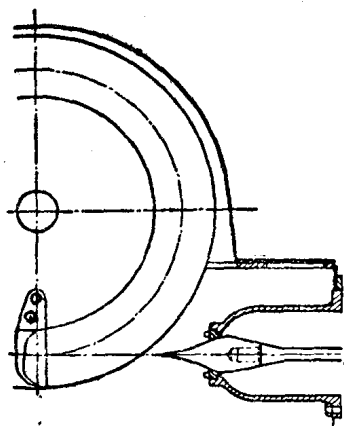


图 1-17 切击式水轮机

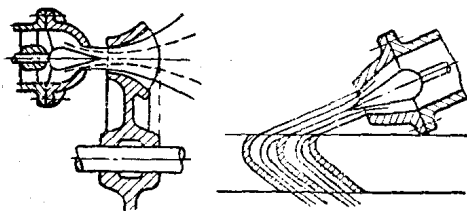


图 1-18 斜击式水轮机

双击式水轮机（图1-19）适用于水头由10米到60米范围内，单机容量最大为几百瓩。这种水轮机工作时，水流两次冲击转轮叶片，故称双击式水轮机。

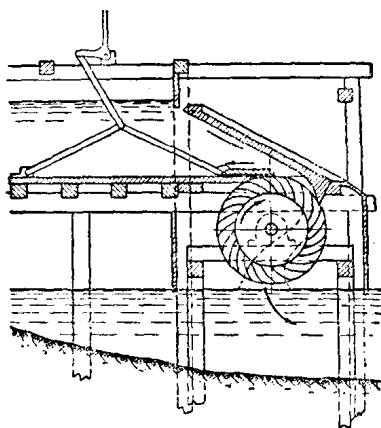


图 1-19 双击式水轮机

按水轮机的水力特性（指一般代表水轮机综合特性的比速系数）来分，可分为低比速、中比速和高比速水轮机。关于比速的概念以及这种分类方法将在第六章详述。

按水轮机结构和布置方式来分，在反击型水轮机中可分为开式和闭式（指引水部件）、立式和卧式（指轴的装置）；在冲击型水轮机中可分立式和卧式、单喷嘴和多喷嘴、单转轮和双转轮等。

关于大、中、小型水轮机的划分，一般是按单机容量和转轮直径综合考虑而定。但目前尚无严格的界限，大体的界限是：转轮直径不超过1.2米（在低水头时）到0.5米（在高水头时），单机容量不大于1,000瓩者，称为小型水轮机；转轮直径不超过2.5米（在低水头时）到1.6米（在高水头时），单机容量不大于15,000瓩者，称为中型水轮机；超过中型水轮机的直径或容量界限者，称为大型水轮机。

目前应用最多的为混流式、轴流式（主要是轴流转桨式）和切击式，而贯流式、斜击式和双击式一般只在小型水电站应用。关于斜流式、辐流式和环击式目前正在研究中，尚未得到广泛应用。

近年来，由于水电事业的发展，水轮机为了适应发展的需要，在原有的基础上，正在不断改进和发展。

具有着低水头、大流量特点的轴流式水轮机，正朝着提高应用水头和进一步增大过流量的方向发展。进一步加大了轴流式水轮机过流量的贯流式水轮机，近年来引起了各国的重视。适用于潮汐发电的双向贯流式水轮机正在研究之中。

混流式水轮机在最近十几年内也有很大发展。在提高适应水头上限方面，已由原 300 米左右提高到 450~550 米左右。在增大过流量方面，于相同的水头的条件下，某些混流式水轮机的新型号，较旧型号可提高过流量 10~20%，亦即在相同尺寸下可提高出力 10~20% 左右。应该指出，在这方面混流式水轮机的潜力还很大。混流式水轮机另一发展方向是变固定的轮叶为可转动的轮叶；在高比速混流式水轮机的基础上，改变为斜流式水轮机（图 1-20）。其优点是：叶片可转动，平均效率高，提高了过流量。其缺点是结构复杂，强度减弱。在改善汽蚀性能方面尚须努力；在低比速混流式水轮机基础上，改变为辐流式水轮机（图 1-21）。其优缺点同斜流式水轮机。

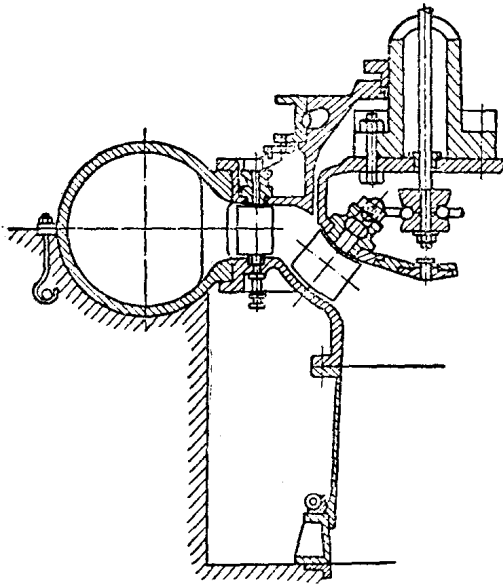


图 1-20 斜流式水轮机

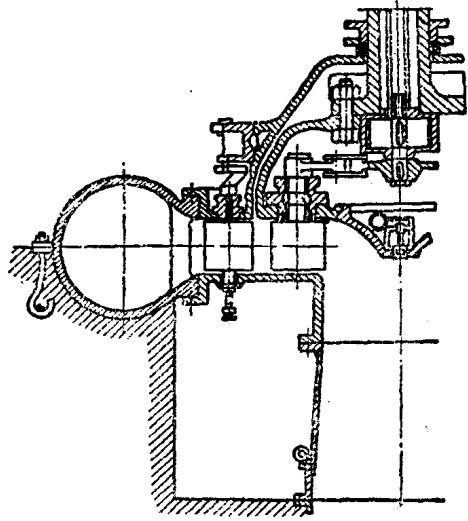


图 1-21 辐流式水轮机

切击式水轮机主要发展方向是提高过流量。主要途径是增加喷嘴数目，即采用多喷嘴水轮机。现在最多可达六个喷嘴，如喷嘴数再多，实质上就成为环击式水轮机（图 1-22）。

目前有些国家正在研究和实验所谓双转轮混流式水轮机、双叶片转桨式水轮机以及双向转动式水轮机（即水轮机同时驱动发电机转子和定子向相反方向转动）等。现在已开始发展的还有所谓可逆式水轮机（即可以作为水轮机运转又可以作为水泵运转）。

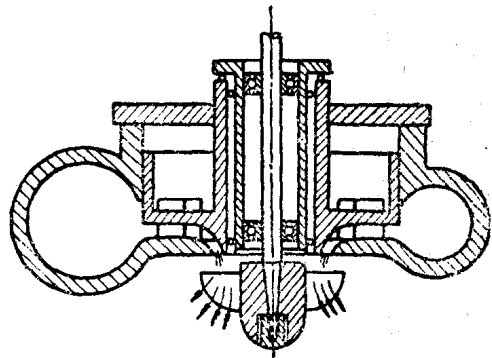


图 1-22 环击式水轮机

綜上所述，当前水輪机的发展方向是：扩大单机容量；增大高水头、小流量水輪机（如切击式和低比速混流式水輪机）的过流量；提高大流量、低水头水輪机（如貫流式、軸流轉桨式、高比速混流式等）的适应水头；此外是提高水輪机的平均效率，改善汽蝕性能等。主要途径是：一方面在原有型式上改良，另方面創造新轉輪、新結構、新材料的新型式水輪机。

外国在水輪机方面近代发展的概况，如表 1-1 所列。

表 1-1 外国水輪机近代发展概况

国 名	电 站 名 称	型 式	出 力 (瓩)	水 头 (米)	备 注
苏 联	布拉茨克	混 流 式	230000	100.0	$D_1=5.5$ 米
澳 大 利 亚		混 流 式	118000	524.0	英国制
意 大 利	費 拉 提	混 流 式	72000	522.0	瑞士制
挪 威	哈莫西尔第一	混 流 式	37000	542.0	$D_1=1.87$ 米
苏 联	列宁-伏尔加	軸流轉桨式	126000	22.5	$D_1=9.3$ 米
英 国	冰 港	軸流轉桨式	106500	29.3	$D_1=7.18$ 米
日 本	市房第一	軸流轉桨式	15800	73.35	
意 大 利	那門比亚	軸流轉桨式	13500	88.0	
加 拿 大	克 馬 諾	切 击 式	112000	762.0	$D_1=3.6$ 米
意 大 利		切 击 式	110000	727.0	
瑞 士	提克生斯	切 击 式	37000	1760.0	
奥 地 利	雷 塞 克	切 击 式	25100	1767.0	
苏 联	卡 瑪	貫 流 式	21800	21	
日 本	新 大 仓	斜 流 式	5500	96.9	
美 国	哈 华 西	混流可逆式	$\frac{80500}{76000}$	$\frac{253.0}{288.0}$	分母为泵参数
加 拿 大	尼加拉瓜亚高别克第二	斜流可逆式	32800	25.3	

我国在解放前，由于长期的反动統治的結果，使得水輪机和其它事业一样，一直沒有得到发展，当然更沒有水輪机制造厂及科学研究机关。除日本帝国主义在侵略我国时期，为了盜窃我国的資源和財富而修建的水电站外，沒有大型水电站。甚至中小型水电站的設備也要由外国制造。水电站总装机容量也少得不值一提。

解放后，在党和政府的正确领导下，随着社会主义建設的迅速发展，水輪机事业也从无到有、从小到大的成长起来。建成了水輪机制造厂；成立了科学研究机关；有关院校培养了水輪机各方面的专业人材。解放后不久，若干自己設計、自己制造的水輪机，就陸續投入大、中型水电站运行，目前正向着世界的先进水平迈进。

§ 1-3 水輪机装置方式

水輪机装置方式，系指水輪机軸的装置方向和水輪机与发电机的连接方式。水輪机軸装置方向有立式和臥式两种。主軸豎装者，称为立式装置；主軸橫装者称为臥式装置。水輪机与发电机的连接方式分为直接和間接两种。水輪机軸与发电机軸裝在同一軸綫，通过法兰盘用螺栓直接連接者，称为直接连接；水輪机軸与发电机軸通过传动装置連接者，称为間接連接。

一、立式装置方式

此种装置方式是水轮机和发电机在同一垂直平面内。其优点是：安装、拆卸方便；轴与轴承受力情况良好；发电机安装位置较高，不易受潮；管理维护方便。其缺点是：荷载比较集中；水下部分深度增加。目前大、中型水轮机广泛采用立式装置方式。按连接方式可分为：

1. 直接连接：

直接连接不需装设复杂的传动装置，机械损失较小。现代大、中型水轮机在目前技术条件下一般都采用立式直接连接方式。

2. 间接连接：

间接连接主要应用于农村小型水轮机，其传动装置可以采用齿轮或皮带。前者称为齿轮传动间接连接装置，后者称为皮带传动间接连接装置。

二、卧式装置方式

卧式装置机组因基础的支承面积较大，故不致产生很大的集中荷重。但轴和轴承受力情况不好。目前冲击型水轮机、贯流式水轮机、小型混流式水轮机广泛采用卧式装置方式。它按连接方式亦可分为：

1. 直接连接：

卧式直接连接主要应用于大、中型切击式水轮机和贯流式水轮机。

2. 间接连接：

卧式间接连接多用于小型水轮机，容易制造，价格便宜，且能满足传动的要求。

§ 1-4 水动力装置的水头和功率

当某河段建造的水电站蓄水以后，形成一定水头（图 1-23），这时水流就集中了能量，可以用来做功。在坝前 I-I 断面所具有的单位能量为：

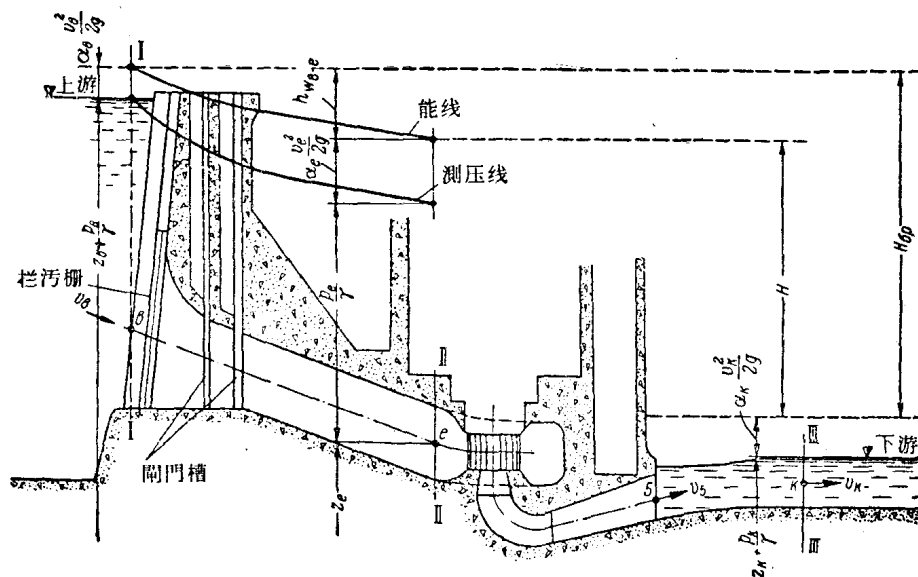


图 1-23 水电站的水头值

$$E_I = Z_I + \frac{p_I}{\gamma} + \frac{\alpha_I V_I^2}{2g}.$$

式中 Z_I ——I-I断面的单位位能;

$\frac{p_I}{\gamma}$ ——I-I断面的单位压能;

$\frac{\alpha_I V_I^2}{2g}$ ——I-I断面的单位动能;

γ ——水的容重;

α_I ——流速不均匀系数;

g ——重力加速度。

在尾水渠 II-II 断面水流所具有的单位能量为:

$$E_{II} = Z_{II} + \frac{p_{II}}{\gamma} + \frac{\alpha_{II} V_{II}^2}{2g}.$$

式中各项符号意义基本同前。

上述二断面间的单位能量差,称为水电站的毛水头。

$$\text{即: } H_b = E_I - E_{II} = (Z_I - Z_{II}) + \frac{p_I - p_{II}}{\gamma} + \frac{\alpha_I V_I^2 - \alpha_{II} V_{II}^2}{2g}.$$

式中 H_b ——断面 I-I 至 II-II 间的毛水头。

考虑到 I-I 及 II-II 二断面水流表面均为大气压力,即 $p_I = p_{II} = p_a$;并考虑到该二断面的速度很小,则二断面的速度水头差即单位动能差,可忽略不计。则 I-I 及 II-II 二断面间的单位能量差,就等于二断面间的单位位能,即水位差,这亦称水电站静水头。

$$H_c = Z_I - Z_{II}.$$

式中 H_c ——断面 I-I 至 II-II 间的静水头。

如由上游流向下流的河流流量为 Q 米³/秒,水的容重 $\gamma = 1000$ 公斤/米³,则电站水流所具有的功率 N_n 为:

$$\left. \begin{aligned} N_n &= \frac{\gamma Q H_c}{102} = 9.81 Q H_c \text{ (瓩)} \\ \text{或} \quad N_n &= \frac{\gamma Q H_c}{75} = 13.3 Q H_c \text{ (馬力)} \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

但电站静水头和电站水流功率,并非全部为水轮机所利用,有部分水能消耗在电站水工建筑物上。如令除去水工建筑物水能损失后的水流功率与原有电站水流功率之比,称为水工建筑物的效率。则真正输入给水轮机的功率为:

$$N_p = N_n \eta_a = 9.81 Q H_c \eta_a \text{ (瓩)} \quad (1-2)$$

式中 N_p ——在静水头作用下输入给水轮机的功率;

η_a ——水流流经水工建筑物时能量损失的效率系数。

真正作用在水轮机上的水头,是水轮机进口断面 III-III 与尾水渠断面 II-II 之间的单位能量差,称为水轮机的工作水头 (H)。

$$H = (Z_{III} - Z_{II}) + \frac{p_{III} - p_{II}}{\gamma} + \frac{\alpha_{III} V_{III}^2 - \alpha_{II} V_{II}^2}{2g}.$$