

高等学校交流讲义

水 力 机 械

华东水利学院编

只限学校内部使用



中国工业出版社

本书为高等工业学校河川枢纽及水电站建筑专业的水力机械课程而编写。内容包括了本专业必须具备的有关大中型水轮机及叶片式水泵的基本理论和实用技术，并对小型及土法结合的水轮机与简单水力原动机给予了适当分量的介绍。

全书共分八章。第一章至第五章中，简要地叙述了水轮机的基本概念及其发展过程，分别对水轮机设备的各个部件的工作原理与简单构造及装置方式进行了综合的论述，也对调速机及油压装置的工作原理、结构、型号及选择做了简要的叙述。第六章介绍了水轮机的相似原理与特性曲线。第七章从我国的生产实践出发，讨论了水轮机选择的原则、因素、方案的拟定与综合分析比较等问题。第八章全面叙述了叶片式水泵，并着重介绍了其选用与操作技术。

本书可作为大学河川枢纽及水电站建筑专业的教材，稍加精简后亦可作为近似专业的教材。本书亦可供中等技术学校有关专业的教师和水电站设计人员参考。

水 力 机 械

华东水利学院编

*

水利电力部办公厅图书编辑部编辑(北京阜外月坛南街)

中国工业出版社出版(北京佟麟阁路10号)

(北京市书刊出版事业许可证出字第110号)

中国工业出版社第二印刷厂印刷

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 $26^{5/8}$ ·插页4·字数589,000

1961年10月北京第一版·1962年7月北京第二次印刷

印数2,444—6,014·定价(10-6)3.50元

*

统一书号: K15165·798(水电-116)



高等学校交流讲义

水 力 机 械

华东水利学院编

只限学校内部使用



中国工业出版社

目 录

緒論	5	第3—3节 蜗壳水力计算的方法	119
第一章 水輪机的概述	9	第3—4节 蜗壳輪廓尺寸的粗略估算	127
第1—1节 水能利用基本原理和水輪机的 基本工作参数	9	反击式水輪机的尾水管	
第1—2节 簡易水力原动机	13	第3—5节 尾水管的作用、类型及构造 材料	132
第1—3节 現代水輪机介紹	17	第3—6节 尾水管的选用与其主要尺寸 的决定	143
第1—4节 現代水輪机的发展过程	24	第二章 水輪机的构造和工作原理	31
第二章 水輪机的构造和工作原理	31	反击式水輪机	
反击式水輪机		第2—1节 概述	31
第2—1节 概述	31	第2—2节 反击式水輪机工作輪	34
第2—2节 反击式水輪机工作輪	34	第2—3节 反击式水輪机的导水机构	56
第2—3节 反击式水輪机的导水机构	56	第2—4节 反击式水輪机的其他构件	66
第2—4节 反击式水輪机的其他构件	66	第2—5节 反击式水輪机的軸向压力与水 輪机总重量	77
第2—5节 反击式水輪机的軸向压力与水 輪机总重量	77	第2—6节 木制螺旋桨式水輪机	79
第2—6节 木制螺旋桨式水輪机	79	第2—7节 新型反击式水輪机及其将来科 学研究的方向	82
第2—7节 新型反击式水輪机及其将来科 学研究的方向	82	冲击式水輪机	
冲击式水輪机		第2—8节 斗叶式水輪机的基本方程式	89
第2—8节 斗叶式水輪机的基本方程式	89	第2—9节 斗叶式水輪机的构造	90
第2—9节 斗叶式水輪机的构造	90	第2—10节 斜冲式、双击式和环流式水輪 机的构造及其特点	98
第2—10节 斜冲式、双击式和环流式水輪 机的构造及其特点	98	第2—11节 冲击式水輪机的应用范围及其 发展前途	101
第2—11节 冲击式水輪机的应用范围及其 发展前途	101	第2—12节 斗叶式水輪机和輻軸流式水 輪机的比較	102
第2—12节 斗叶式水輪机和輻軸流式水 輪机的比較	102	第三章 反击式水輪机的进水和洩水設 备	103
第三章 反击式水輪机的进水和洩水設 备	103	反击式水輪机的机壳	
反击式水輪机的机壳		第3—1节 机壳的类型、作用与构造	103
第3—1节 机壳的类型、作用与构造	103	第3—2节 蜗壳水力計算的原理	115
第3—2节 蜗壳水力計算的原理	115	第3—3节 蜗壳水力計算的方法	119
第3—3节 蜗壳水力計算的方法	119	第3—4节 蜗壳輪廓尺寸的粗略估算	127
第3—4节 蜗壳輪廓尺寸的粗略估算	127	反击式水輪机的尾水管	
反击式水輪机的尾水管		第3—5节 尾水管的作用、类型及构造 材料	132
第3—5节 尾水管的作用、类型及构造 材料	132	第3—6节 尾水管的选用与其主要尺寸 的决定	143
第3—6节 尾水管的选用与其主要尺寸 的决定	143	第四章 机組装置方式	149
第四章 机組装置方式	149	第4—1节 机組装置方式的类型及其选 用原則	149
第4—1节 机組装置方式的类型及其选 用原則	149	第4—2节 反击式水輪机机組装置方式	150
第4—2节 反击式水輪机机組装置方式	150	第4—3节 貫流式水輪机机組装置方式	159
第4—3节 貫流式水輪机机組装置方式	159	第4—4节 冲击式水輪机机組装置方式	163
第4—4节 冲击式水輪机机組装置方式	163	第4—5节 水輪机的标准化、系列化和 标准型号	168
第4—5节 水輪机的标准化、系列化和 标准型号	168	第五章 水輪机的自动調节設備	174
第五章 水輪机的自动調节設備	174	第5—1节 自动調节的任务和基本原理	174
第5—1节 自动調节的任务和基本原理	174	第5—2节 自动調速机的基本組成部分 和調节过程	177
第5—2节 自动調速机的基本組成部分 和調节过程	177	第5—3节 調速設備的型号与选择	189
第5—3节 調速設備的型号与选择	189	第六章 水輪机动力特性	198
第六章 水輪机动力特性	198	第6—1节 相似特性——相似理論及相 似条件	198
第6—1节 相似特性——相似理論及相 似条件	198	第6—2节 相似定律及水輪机常数	204
第6—2节 相似定律及水輪机常数	204	第6—3节 相似定律的簡化, 斗叶式水 輪机常数, 比轉速与机型	204
第6—3节 相似定律的簡化, 斗叶式水 輪机常数, 比轉速与机型	204	第6—4节 效率推算	211
第6—4节 效率推算	211	第6—5节 气蝕特性	218
第6—5节 气蝕特性	218	第6—6节 飞逸轉速特性	225
第6—6节 飞逸轉速特性	225		

第6—7节	水轮机模型試驗.....	228
第6—8节	特性曲綫的类型.....	233
第6—9节	常用特性曲綫与机型的关系.....	239
第6—10节	特性曲綫的換算.....	242
第6—11节	水电站特性曲綫.....	250
第七章	水轮机設備的选择	264
第7—1节	正确选择水轮机設備的意义和原則.....	264
第7—2节	水轮机設備选择的內容和程序.....	271
第7—3节	水轮机設備待选方案的拟定.....	274
第7—4节	反击式水轮机裝置高程的确定.....	285
第7—5节	冲击式水轮机設備待选方案的拟定.....	290
第7—6节	水轮机設備选择各方案的綜合分析比較.....	300

第7—7节	水轮机設備采用方案的最后确定.....	
-------	---------------------	--

第八章 水泵..... **311**

第8—1节	水泵的概述.....	311
第8—2节	叶片式水泵的分类、构造和材料.....	316
第8—3节	叶片式水泵的工作原理、特性和选择.....	321
第8—4节	水泵的运行和維護.....	344

附录 I	水轮机应用范围图与模型特性曲綫.....	353
-------------	----------------------	-----

附录 II	水轮机設備主要技术数据表.....	397
--------------	-------------------	-----

附录 III	水轮机設備选择需用的計算表格及資料.....	401
---------------	------------------------	-----

附录 IV	水力机械实验大綱及課外习题.....	415
--------------	--------------------	-----

緒 論

一、水力机械的涵义

广义的水力机械是人类用来将液体的机械能转变为固体的机械能或者将固体的机械能转变为液体的机械能的一切工具之总称。而狭义的水力机械则是指人类用来将水流的机械能(水能)转换为机械的运动能,或者反过来将机械运动能转换为水能的各种工具之总称。属于这一类型的机械有:水轮机、水压机、水泵、水力传动机(例如水力连轴器等)、水力仪表(例如螺旋式流速仪等),等等。对于水电站建设者来说,最感兴趣的主要是水轮机和叶片式水泵(统称为叶片式水力机械),这也是本课程中主要的研究对象。

水轮机是依靠水流的推动而作功的一种水力机械。它吸取了水流供应的水能(水流通过水轮机时,放出了大部分能量),转换为自身的运动能,从而带动其他机械工作。因此,水轮机是人类利用天然水能作为动力来源的一种工具。水泵则是依靠其他动力机械(例如电动机、内燃机等)的带动而作功的一种水力机械。它吸取了这些动力机械供应的运动能,转换为自身的运动能,从而推动水流运动。水流通过水泵时,获得了新的能量,被送到人们所需要的地方去。因此水泵是人类用来输送水流的一种工具,或者说是一种提水工具。

水流在经过水轮机或水泵的过程中,其所含水能的变化情况服从水动力学所阐明的基本规律。按照水动力学原理,水能的表现形式有三种——位能、压能及动能,它们在一定的条件下可以互相转化。当水流通过水轮机或水泵时,一方面由于水轮机或水泵给水流运动所造成的条件,使水流所含的水能在其自身所表现的三种形式之间相互转化;另一方面还由于水轮机或水泵自身的运动,又使水能与机械运动能相互转化。水轮机与水泵的工作过程,实质上也就是这些不同形式的能量互相转化的过程。水轮机与水泵的工作原理与工作特性,也正是体现着上述能量转化过程中的基本规律。这些基本规律对于水轮机和叶片式水泵来说是共同的,因此它们的工作原理和工作特性就有很多共同点,而且也因此使它们在构造上极为相似。但又由于水轮机与水泵所担负的任务不同,在它们工作过程中能量转化的过程与方向也就有所不同,这就使得它们在工作原理、工作特性和构造等方面都具有着各自的特殊问题。

在不同的具体情况下,水流所含能量的多少不同,水流的运动形式又是多样化的,因而使得水轮机或水泵的工作条件变化多端。为此人们创造了多种型式与尺寸的水轮机与水泵来适应各种不同的工作条件。不同型式与尺寸的水轮机或水泵,除了它们的共同性之外,又各自具有不同的构造特点与性能。

作为水电站的建设者,必须掌握水轮机与水泵的上述各项共性与个性,才能合理地使用它们,充分发挥它们的效能,并且改进它们,创造出更多更好的水轮机与水泵,为我们祖国的社会主义水电建设事业作出更大的贡献。

二、水力机械在水电建设中的重要性

如前所述，本课程中主要的研究对象是水电站建设中常用的叶片式水力机械——水轮机及叶片式水泵。它们在我国社会主义建设中的作用主要地包含于水电站建设在整个国民经济建设中的重要地位之中。

电力工业是我国社会主义建设中的重要工业部门之一，党和政府一贯重视电力工业的建设，使它获得了迅速的发展。在电力工业建设中一个重要的方面是水电站的建设。新中国成立以来，党和政府制定了一系列的有关方针政策，并培养和组织了一支强大的水电站建设队伍，大力进行水电站的建设工作，使我国水电站的建设事业得到了飞跃的发展。

水力机械是水电站建设中极重要的机械设备。首先，水电站作为一个生产电能的企业，其原料是“天然水能”。而利用天然水能的主要工具就是水轮机，缺少了它，水电站的发电机就无法转动。我国许多水电站建设的实例都说明水轮机的发展直接影响到我国水电建设事业的发展。其次，目前我国广大农村在建立小型水电站的同时，也正在普遍地兴建着水力站，作为实现机械化的有力措施之一。而水力站也要依靠水轮机来利用天然水能。因此水轮机的广泛应用也将大大促进我国农村机械化电气化的早日实现，在一定程度上影响到我国农业的发展速度。

至于水泵，一方面是水电站的一个重要辅助设备，关系着水电站的正常运转。另一方面在建造大中型水电站及其他水利工程的过程中，水泵往往被列为一项极重要的施工机械。它被用来进行水工建筑物的基坑排水、施工工地的技术供水和生活给水、水力开挖土石方及水力筑坝等工作。若缺少了水泵，就将给施工工作带来极大的困难。当然，水泵在工农业生产建设及人民的物质与文化生活中所起的作用还远不止此。例如农业排灌、都市给水、工矿企业的供水排水系统，以至于运输业、国防和文教卫生事业等方面都离不开水泵。

总之，水力机械和水电站建设事业之间的关系是极密切的，它们是水电站综合总体中的一个重要组成部分。没有水力机械，水电站就不可能存在；而没有水电站，水力机械也不可能获得今天如此巨大的发展和成就。

三、水力机械课程的内容

“水力机械”所要研究的主要问题包括：各种水力机械在工作过程、工作原理与工作特性等方面的共同规律和各自的特殊问题；它们的合理构造型式、结构与材料；它们在生产制造方面的技术与工艺问题；它们所适用的最有利工作条件，和在某一定的具体条件下如何合理选用、合理运行与管理等等。研究这些问题的目的，归根到底是为了最有效地进行生产，使其更好地为工农业生产服务；并且不断改进和发展它们，使其成为人类向自然作斗争的日益完善的一种有力工具。上述这些问题既复杂而又广泛，因此人们不得不把上述问题按性质划分成几个方面，分别从各类型水力机械的基本理论、制造技术和使用技术等各个不同角度去研究。本课程中所要研究的问题也只能是侧重于其中的一个方面。

本课程是河川枢纽及水电站建筑专业的一门专业课。根据本专业教学计划的要求，学生应通过本课程及其他有关课程的学习，系统地掌握本专业所必需的水轮机和叶片式水泵的基本理论与实用技术，以便毕业后，在实际工作中，能按着党的社会主义建设总路线的

精神，遵照党在水利水电建設方面的方針政策，运用辯証唯物主义的观点，根据各水利水电工程不同的具体情况，結合目前国内水力机械的生产水平与施工安装技术等条件，正确地綜合分析工程当时当地在政治上、經濟上与技术上的各項因素，合理地选择出所需的水輪机設備与叶片式水泵；同时也要懂得有关叶片式水泵的使用与維護知識，以便在水利水电工程的施工中能参与水泵設備的管理工作，多快好省地建造水利水电工程。

根据上述任务，本課程的内容是以水輪机設備的全面选择方法及叶片式水泵的选用与管理技术为核心，以水輪机和叶片式水泵的簡單构造及裝置方式、工作原理及工作特性等为基础。作为本課程核心的内容，正是直接为水利水电工程的建設服务、而为本专业学生所必須掌握的实用性生产技术；作为本課程基础的内容，除了是本专业学生所必备的基本知識外，又是保証学好前一生产技术所首先要通曉的理論。因此，这两方面内容都不能有所偏廢，必須是有机地組合成一个完整的体系。根据本专业的特点，本課程中应着重讲授大中型的水力机械，同时也应給予小型的和土洋結合的水力机械以适当分量的介紹。但在内容編排上，則充分利用大中型水輪机与小型水輪机和叶片式水泵相互之間存在的共同規律，举一反三、对比推論，同时着重于分析各自的特殊問題。这样既有利于抓住本质、突出重点、前后相互联系，又可节省篇幅、学时和加强科学系統性。虽然小型水輪机及叶片式水泵所占篇幅較少，但并未削弱其应有的内容。

水力机械及其科学理論的发展过程，是辯証唯物主义和历史唯物主义基本原理的很好例証。水力机械的誕生和发展首先是社会生产力发展和广大劳动人民在生产实践中不断加以研究改进的結果。但在資本主义制度下，生产关系阻碍了生产力的发展，天然水能资源的开发不尽合理，規模也不够大，以致使得水力机械的发展速度相对地較慢，有关的科学技术水平相对地也較低。直到十月社会主义革命胜利以后，苏联开展了大規模的社会主义水利水电建設，才促使水力机械的生产与使用得到了迅速的发展，有关的科学技术也进一步地发展成为具有丰富内容、完整体系和高度水平的独立学科。

新中国成立后，在我国大規模开展的水利水电建設过程中，特別是1958年开始的大跃进以来，广大劳动人民作出了不少新的发明創造。我国水力机械的大規模生产与使用以及有关的科学技术，几乎完全是在新中国成立以后，在一穷二白的状况下，新建立起来的；是在学习苏联先进科学技术的基础上，逐步結合了我国的具体情况而进一步发展起来的。当然我們不能滿足于已有的成就，仍要繼續总结羣众經驗并学习国外的先进科学技术，特別是社会主义兄弟国家的先进技术。必須紧密結合我国的生产实践，特別是作为本課程核心的“水力机械选择”問題，必須是根据我国水利水电的实际情况，按照党的方針政策加以分析研究，才能得到正确合理的解决。

此外，有关水力机械的科学技术还正处在不断繼續发展的过程中，一方面新的发明創造陸續地大量湧現，另一方面又有不少問題尚未得到完善合理的解决。因此必須用发展的眼光、辯証唯物主义的观点，有批判有分析地对待有关的問題。本課程中，一方面着重介紹比較成熟的理論和在实际生产中广泛采用的技术，另一方面又要尽可能地反映有关科学技术的最新成就，同时指出目前尚存在的問題及其解决途徑与发展方向。特別側重于介紹我国1958年大跃进以来的发明創造以及为了解决我国水利水电建設中所存在的复杂技术問題而提出的課題。本課程中还介紹了一些常用的經驗数据和方法以及类似規範性的内容，但不应将这些看成是一种固定不变的死框框而不敢踰越，或是不顾实际情况而生搬硬套。

應該先搞懂道理，分析其使用条件与实用价值，灵活地运用它們。

本課程内容与其他一些課程内容有密切联系。作为水电站厂房內主要机械設備的水輪机和輔助設備的水泵，其選擇是水电站厂房設計中的重要环节。因此必須隨時注意它們与水电站厂房布置和厂房結構之間的密切关系，明确它們是水电站厂房有机綜合体中的一个不可分割的部分。作为施工机械之一的水泵，其管理与使用是水利水电工程施工工作中的組成部分。因此必須注意它們与施工技术、施工組織間的密切关系，明确它們是施工机械設備与施工企业有机綜合体中的一个不可分割的部分。本課程的基础理論遵循着水动力学和机械原理学所闡明的基本規律，因此經常要引用这方面的有关原理。此外，关于利用天然水能的方式与合理性的論証以及水电站工作条件的确定等水利水能規劃工作的内容，也都是本課程中常要引为依据的。由此，本課程必須与“水电站建筑物”、“水利水能規劃”、“水利工程施工”、“水力学”和“水利工程机械基础”諸課程紧密配合，合理分工，避免内容上的重复与脫节。

第一章 水輪机的概述

第1—1节 水能利用基本原理和水輪机的基本工作参数

水輪机是人类利用天然水能的重要工具之一。天然水能存在于河流、潮汐等的水流之中。天然水在流动的过程中，一部分水能被逐渐地分散地消耗于所作的“功”，即用来克服水流阻力、冲蚀河床或海岸、挟带礫石泥沙等等。如果我们把这一部分消耗掉的水能用人工方法蓄积起来、集中起来，并且輸送到水輪机前，方成为水輪机所能利用而轉化为机械运动能的水能，也才能迫使水流为我们做功。

水在流动过程中所做的“功”——亦即它消耗掉的那一部分水能，可以用其“重量”与“单位重量水体所含水能（水头）的变化”之乘积来表示，即

$$\mathcal{G}_e = \gamma W H_e = \gamma H_e Q_e t \quad (1-1)$$

式中 $\mathcal{G}_e$ ——功或消耗掉的水能（公斤-米）；

γ ——水的单位重（公斤/立方米）；

W ——水的体积（立方米）； γW 即是水的重量；

H_e ——单位水能的变化或消耗掉的水头（米）；

t ——水流经历的时间（秒）；

Q_e ——水流的流量（立方米/秒）， $Q_e t = W$ 。

水流在单位时间内所做的功——“功率”，亦称“出力”，即：

$$N_e = \frac{\mathcal{G}_e}{t} = \gamma Q_e H_e \text{ (公斤-米/秒)} \quad (1-2)$$

在实际工程中，出力常用“瓩”为单位，有时也采用“馬力”为单位。而 γ 则采用1000公斤/立方米。

1 瓩 = 102 公斤-米/秒 = 1.36 馬力；

1 馬力 = 75 公斤-米/秒 = 0.736 瓩。

于是

$$\begin{aligned} N_e &= 9.81 Q_e H_e \text{ (瓩)} \\ &= 13.33 Q_e H_e \text{ (馬力)} \end{aligned} \quad (1-3)$$

同时能量常用“瓩时”为单位，1 瓩时的能量相当于 1 瓩的功率经历 1 小时所做的功。因此，若以“T”表示小时数，则：

$$\mathcal{G}_e = N_e T = 9.81 Q_e H_e T \text{ (瓩时)} \quad (1-4)$$

由此可见，水头，流量是构成所做的“功”的两个要素。我们要取得这一部分天然水能，也就必须首先取得这一水头及流量。

天然水流在流动的过程中，消耗掉的水头一般往往表现为分散的“落差”的形式；流量则循着天然水流原有的流向，而且是变化多端的。这就使天然水能不便于为我们所直接

利用。因此人們就要建造堤坝、引水道等水工建筑物来集中分散的天然落差，以形成我們可以利用的水头，以及对天然流量加以人工控制調节。这就形成了水电站工作所必要的水头与流量，从而构成了水电站所輸入的水能——水电站的原料。

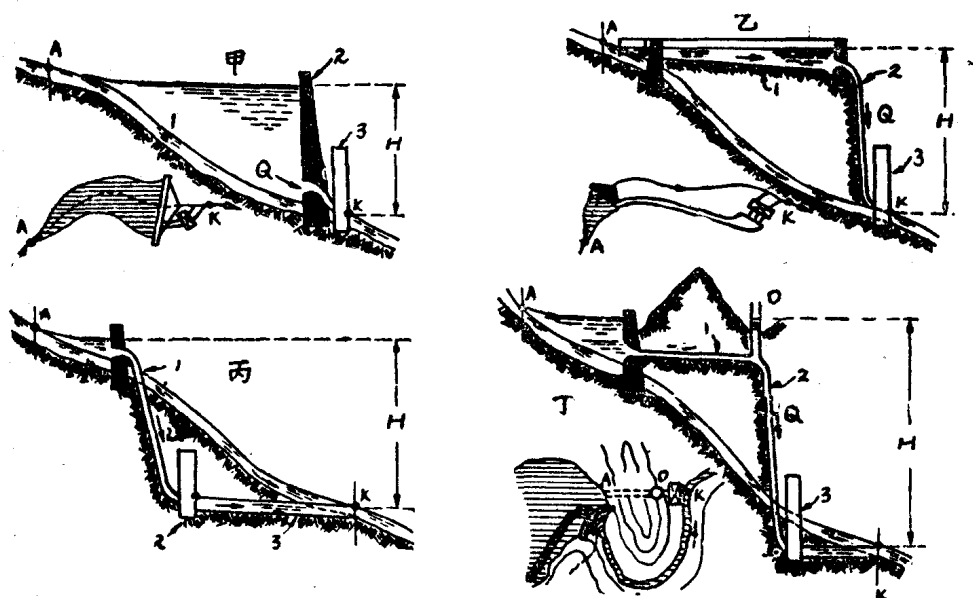


图 1-1 水能的取得

甲、1—水库；2—坝；3—厂房。

乙、1—引水渠；2—压力引水管；3—厂房。

丙、1—压力引水管；2—厂房；3—泄水渠。

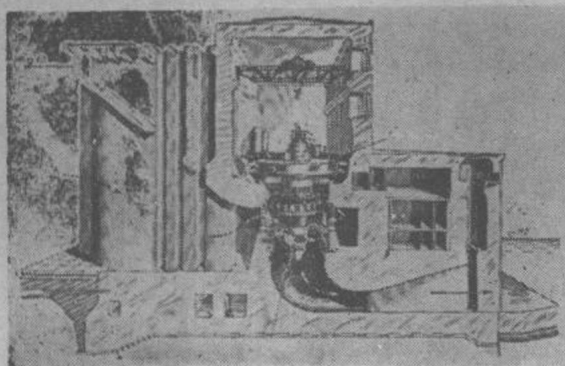
丁、1—压力隧洞；2—压力引水管；3—厂房。

天然水能被人工地蓄积和集中起来以后，又要经过水轮机前的压力水管或引水渠（也是水工建筑物），随着携带它的水流一起被输送到水轮机前，才能进入水轮机而成为输入水轮机的水能。水轮机输入了水能以后，将它转化为机械运动能而从主轴上输出。在水电站上，水轮机输出的能量，通过传动设备传至发电机，成为发电机的输入能量。最后经过发电机而转化为电能输出，成为水电站所生产的电能。

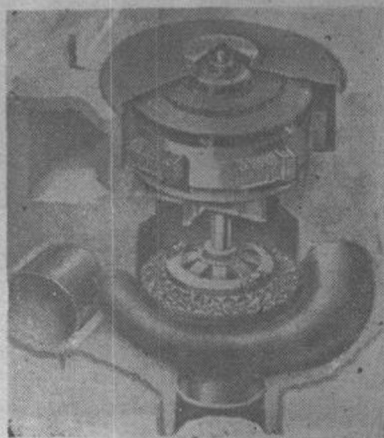
每一套水轮机和发电机加上相应的辅助设备成一个独立的水力发电单位，称为“机组”，被装设在水电站厂房之中。厂房的土建部分也是一种水工建筑物。厂房可按机组的数目划分成段，每一段厂房包括相应的一套机组及紧附在水轮机前后的水工建筑物，组成一个综合整体，称为“机组段”。机组段往往随着水头、流量之大小的不同以及地形、地质等差异，而有着不同的构造和机组装置方式。图1-2中介绍了几种典型的机组段。我们研究水轮机的有关问题时不能仅仅孤立地研究其本身，必须紧密地联系到整个机组以及整个机组段。

天然水能在被蓄积、集中、输送以及被转化为其他形式的能量的过程中，随时都要产生能量的损失。因此在整个过程的每一阶段中，输出的能量总是要小于输入的能量。二者之比即是“效率”，通常以百分数来表示，即：

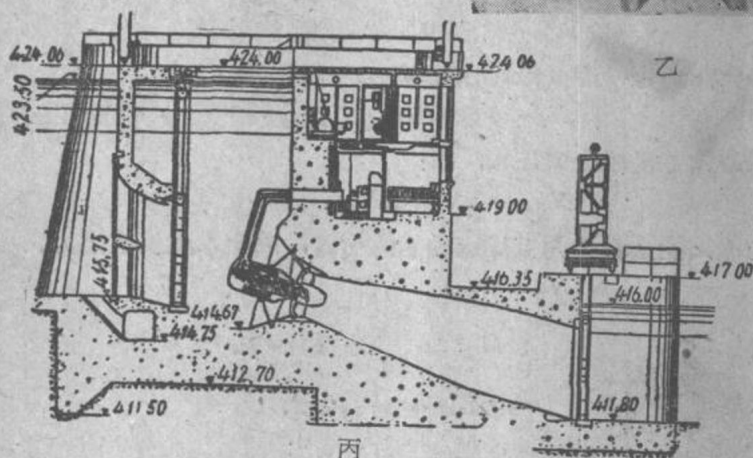
$$\eta = \frac{\text{输出能量}}{\text{输入能量}} \cdot 100\% = \frac{\text{输出的出力}}{\text{输入的出力}} \cdot 100\% \quad (1-5)$$



甲



乙



丙

图 1-2 机组段

甲—河床式；乙—坝下式或引水式；丙—贯流式。

水电站所输入的水能及水流出力即相当于天然水流为我们所做的功及功率。它们的大小可按公式(1-3)及(1-4)来表示。式中 Q_0 即是水电站的总输入流量， H_0 即是水电站的总输入水头（或称为水电站的总水头）。水能通过水工建筑物到达水轮机前所产生的损失，主要表现为水头的损失 $\Delta H_{\text{水工}}$ 及流量的损失 $\Delta Q_{\text{水工}}$ 。若以“ $\eta_{\text{水工}}$ ”表示水工建筑物的效率，“ H ”表示到达水轮机前的工作水头，而“ Q ”表示到达每一台水轮机前的净流量（即每一台水轮机的工作流量）、“ Z ”表示机组的台数，而且各台水轮机的净流量相等，则：

$$Q = \frac{Q_0 - \Delta Q_{\text{水工}}}{Z}$$

而到达每一台水轮机前的水能及水流出力分别为：

$$\begin{aligned} \mathcal{P}_0 &= \frac{Q_0 \eta_{\text{水工}}}{Z} = 9.81 \frac{Q_0}{Z} H_0 \eta_{\text{水工}} \\ &= 9.81 Q H T \text{ (瓩时)}; \end{aligned} \quad (1-6)$$

及

$$\begin{aligned} N_0 &= \frac{N_0 \eta_{\text{水工}}}{Z} = 9.81 \frac{Q_0}{Z} H_0 \eta_{\text{水工}} \\ &= 9.81 Q H \text{ (瓩)} \\ &= 13.33 Q H \text{ (馬力)}. \end{aligned} \quad (1-7)$$

若以“ η_x ”表示水輪机的效率，則水輪机輸出的出力（或称水輪机出力）为：

$$\begin{aligned} N_x &= N_0 \eta_x = 9.81 Q H \eta_x \text{ (瓩)} \\ &= 13.33 Q H \eta_x \text{ (馬力)} \end{aligned} \quad (1-8)$$

而水輪机的輸出能量（軸上的机械运动能）为：

$$\mathcal{O}_x = N_x T = \mathcal{O}_0 \eta_x = 9.81 Q H T \eta_x \text{ (瓩时)} \quad (1-9)$$

同样地，若以 η_r 表示发电机的效率， η_{nepd} 表示傳动设备的效率，則机組的出力，亦即发电机的出力为：

$$N_r = N_x \eta_r \eta_{nepd} = 9.81 Q H \eta_x \eta_r \eta_{nepd} \text{ (瓩)} \quad (1-10)$$

在大中型水輪发电机组中，水輪机与发电机往往用联轴器（靠背輪）来直接联接。此时就可不計傳动设备的效率，因而：

$$N_r = 9.81 Q H \eta_x \eta_r \text{ (瓩)} \quad (1-10\text{甲})$$

η_r 、 η_x 、 η_{nepd} 合在一起可用机組的总效率 η_{azp} 来表示，即：

$$N_r = 9.81 Q H \eta_{azp} \text{ (瓩)} \quad (1-10\text{乙})$$

水电站的总出力为各机組出力之和，即：

$$N_{rc} = \Sigma N_r = \Sigma N_x \eta_r \eta_{nepd} \quad (1-11)$$

水輪机的輸出能量表现为机械运动能的形式，因此水輪机的出力又可表示如下：

$$\begin{aligned} N_x &= M_x \omega \\ &= M_x \times \frac{\pi n}{30} \text{ (公斤-米/秒)} \\ &= 9.81 Q H \eta_x \text{ (瓩)}, \end{aligned} \quad (1-12)$$

式中 M_x ——水輪机軸上的旋轉力矩（公斤-米）；

ω ——水輪机的旋轉角速度， $\omega = \frac{2\pi n}{60}$ ；

n ——水輪机的轉速（轉速/分钟）；

π ——圓周率。

此处，水輪机的轉速 n 之大小，必須与发电机（或其他动力机械）相配合。在水輪机与发电机直接的联接情况下，二者的轉速相等，这一轉速也就是机組轉速。对于发电机來說，为了稳定电压与頻率，轉速必須保持一个标准的常数。但对于水輪机來說，轉速并沒有一个固定的限制，因此它主要取决于所配套的发电机的要求。

以上各参数 N_x 、 Q 、 H 、 n 等，統称为“水輪机的基本工作参数”，不同的水輪机，这些参数的数值往往不同。而同一水輪机在不同的工作情况下，这些参数的数值也常常发生变化。各参数的变化互成一定的关系，代表着它們的变化規律，表现为水輪机工作特性的形式（关于这些，我們将在以后有关的章节中詳細討論）。在这些参数当中， n 在正常工作时，很少变化； Q 在一般情况下可通过水輪机本身的調节机构来加以控制；只有 N_x 及 H 取决于外部因素。 N_x 的大小取决于电力系统的要求， H 的大小取决于水电站上下游水位的变化，因此 N_x 及 H 构成了水輪机的主要工作条件，成为水輪机的主要工作参数。至于 Q 則按照公式（1-8）所表示的关系，可以随着 N_x 与 H 的变化而变化。

在正常情况下，若不計算微量的漏水損失，則水流經過水輪机前后所含水能的变化（即水流对水輪机所作之功）可以用“单位重量水体中水能的变化”——水輪机工作水头来表示。水流在进入水輪机前的全部水头为：

$$H_a = Z_a + \frac{p_a}{\gamma} + \frac{v_a^2}{2g};$$

而流出水轮机时全部剩余水头为:

$$H_b = Z_b + \frac{p_b}{\gamma} + \frac{v_b^2}{2g};$$

则被水轮机所利用的水头(水轮机工作水头)为:

$$H = H_a - H_b = (Z_a - Z_b) + \left(\frac{p_a}{\gamma} - \frac{p_b}{\gamma} \right) + \left(\frac{v_a^2}{2g} - \frac{v_b^2}{2g} \right). \quad (1-13)$$

因此水轮机的出力为:

$$\begin{aligned} N_T &= 9.81QH\eta_T \text{ (瓩)} \\ &= 9.81Q\eta_T \left[(Z_a - Z_b) + \left(\frac{p_a}{\gamma} - \frac{p_b}{\gamma} \right) + \left(\frac{v_a^2}{2g} - \frac{v_b^2}{2g} \right) \right] \text{ (瓩)}. \end{aligned} \quad (1-14)$$

若按水电站上下游水流所含水能的变化来看,在上下游水面处的压力均为大气压力,上下游流速可近似地视为相等。于是水电站的总水头近似地等于上下游水位差,水轮机的工作水头为:

$$H = H_0 - \Delta H_{\text{水工}} = (Z_{\text{上}} - Z_{\text{下}}) - \Delta H_{\text{水工}} \quad (1-15)$$

水轮机的出力则为:

$$N_T = 9.81Q\eta_T(Z_{\text{上}} - Z_{\text{下}} - \Delta H_{\text{水工}}) \text{ (瓩)}. \quad (1-16)$$

从这些公式中也可大略地看出水电站及水轮机中能量的转化过程。

水电站可能发出的最大出力(即最大发电能力),称为水电站的装机容量 $N_{y,r\infty}$,机组的最大出力则称为机组的容量 N_r 。若各台机组容量相等,则:

$$N_r = \frac{N_{y,r\infty}}{Z}$$

而水轮机的最大出力为:

$$N_{r\max} = N_r / \eta_r = \frac{N_{y,r\infty}}{Z\eta_r} \quad (1-17)$$

在不同的具体条件下,装机容量 η_r 的大小不同,它们常常要根据水电站所能获得的天然水能之大小及电力用户要求,通过水能规划而决定。此外,一个水电站的总水头也并不是一个常数。在设计水电站时,往往采用一个代表性的水头来作为水轮机的代表性工作水头,称为计算水头 H_p 。当 $N_{y,r\infty}$ 及 H_p 不同时,水电站的型式及水轮机的型式与尺寸也往往要求不同。特别是大中型的水电站, $N_{y,r\infty}$ 及 H_p 对水轮机的型式与尺寸影响很大,而成为选择水轮机设备时的重要参数。

第1—2节 简易水力原动机

人类很早就知道利用天然水力来减轻繁重的体力劳动,和发展生产力。水轮机的始祖是依靠水力来冲动的简易水力原动机——水轮,它是人类最早采用的动力机械之一。我们伟大的祖先,早在三千多年以前,就在生产实践中,依靠集体智慧,逐渐创造出了多种型式的这种水轮和水力装置。例如:用来汲水灌溉的“水转翻车”、“筒车”和“高转筒车”;用来加工粮食谷物的“水磨”、“水碾”、“水碓”;用来冶炼金属的鼓风设备“水排”;用为纺织机械的“水转大纺车”等等。许多古代文献上都有关于它们的记载。如“物原”、“后汉书”、“晋书”、“后魏书”、“农书”、“农政全书”、“天工开物”等,都提到这些水力机械可以大大节省人力和增加生产。直到现代,在我国西北

西南許多地区的农村中，仍然可以看到水磨、筒車等設備，并且还在农业生产中起着很重要的作用。自从党提出了社会主义建設总路綫的偉大号召以后，在我国广大农村中掀起了大办水力站和小型水电站的羣众运动。具有丰富生产經驗与巨大智慧的广大农民羣众，發揮了敢想敢干的共产主义风格，除了用土洋結合的方式大量自制了許多現代型式的水輪机外，还用土法改良了我国古代型式的木制水輪，創造出多种多样的、制造簡易、方便实用的新式水力装置。例如：广东的水上流动联合加工船，甘肃的水力自动水車和单腿天車，辽宁的无輪帶提水机和天車等等，甚至在很多小型水电站上也采用了这一类的水輪。因此这种古老的水力机械，在党的总路綫的光輝照跃下又重新获得了一定的发展与提高。

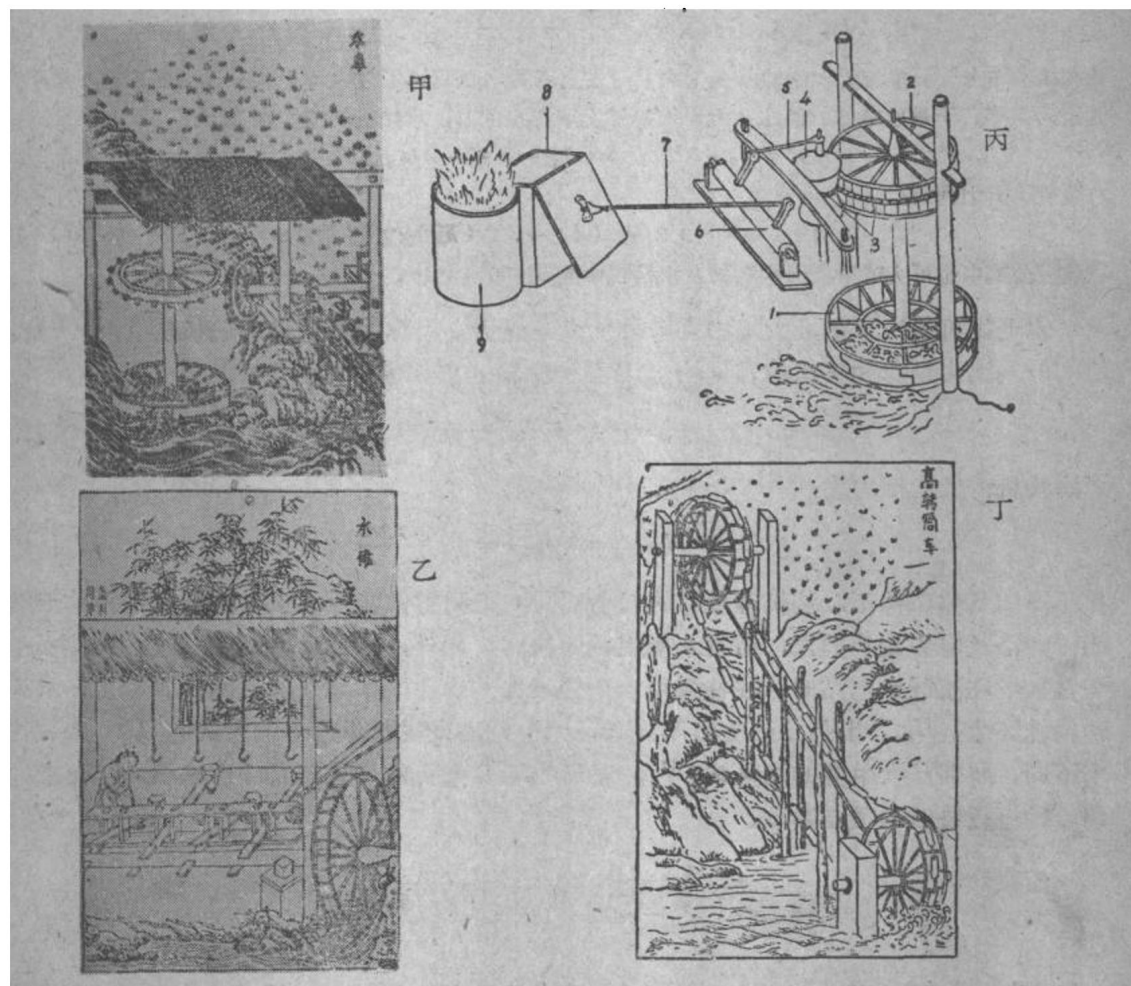


图 1-3 我国古代的几种水力装置

甲—水轉翻車；乙—水碓；丙—水排；丁—高轉筒車。

根据我国目前的具体条件，大办农村小型水电站是加速农村电气化的有效措施。此外几年来的經驗說明，在大办农村小型水电站的同时，还应同样地重視水力站的兴建（即不发电，利用水輪机或簡易水力原动机来带动农产品加工机械等等）。不管是大办农村小型水电站或水力站，总的來說都應該是首先依靠羣众，自力更生地解决机电設備的生产与供应問題，要大力提倡土洋結合、就地取材、就地制造。簡易水力原动机的生产条件正符合

这一要求。因此在现阶段，它的广泛使用将大大促进我国农村电气化和机械化的早日实现，从而能使亿万农民从繁重的体力劳动中解放出来，更多地用到田间管理、精耕细作等方面去，进一步促进国民经济发展基础的农业生产更大地跃进。它目前仍具有重大的实用价值，我们决不能因为它的简陋而予以忽视。

简易水力原动机的主要型式是水轮。水轮一般可分为上击式、中击式、下击式及竖轴式四种。竖轴式水轮在我国古代曾使用过，如图1-3中甲、丙所示。其他三种都是属于横轴式的类型，是目前我国农村使用较广泛的型式。下面我们就简单地介绍这三种水轮。

一、上击式水轮

上击式水轮（图1-4）的引水槽位于水轮的上方，注水入水轮叶片之间，水轮的叶片弯曲成斗形，可以容纳一定量的水。在水轮工作时，其一侧的叶片中有水，而另一侧则无水。于是形成转动力矩而使水轮在水的重力作用下转动。引水槽的末端有控制流量的闸门。水轮下部与尾水槽中水流运动方向相反，为了不使尾水槽中的水阻碍水轮的转动，水轮的底部应略高于尾水面。为了最大限度地利用水头，水轮的直径 D 只能比水头 H 略小一些。因此水头太大时，就要求很大的直径，以致显得十分笨重，并且转速过低。一般它所能利用的水头最大也不过10米左右。但若水头太小时，水轮直径也很小，以致所能容纳的水量很少，出力也就很低。一般水头不宜低于2米，流量往往在 $1\text{米}^3/\text{秒}$ 以下。它的效率约为50%左右。

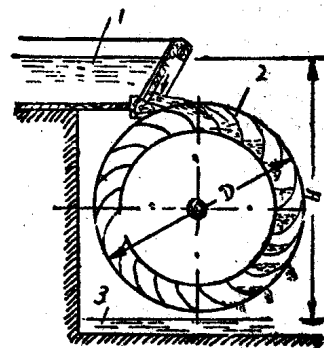


图 1-4 上击式水轮
1—引水槽；2—水轮；
3—尾水槽。

上击式水轮在我国采用较多，实例之一是在广东省三水县于1958年所建造的水力粮食加工厂（图1-5）。水轮直径为387厘米，有64个叶片。水轮全部由木料制成。在流量大

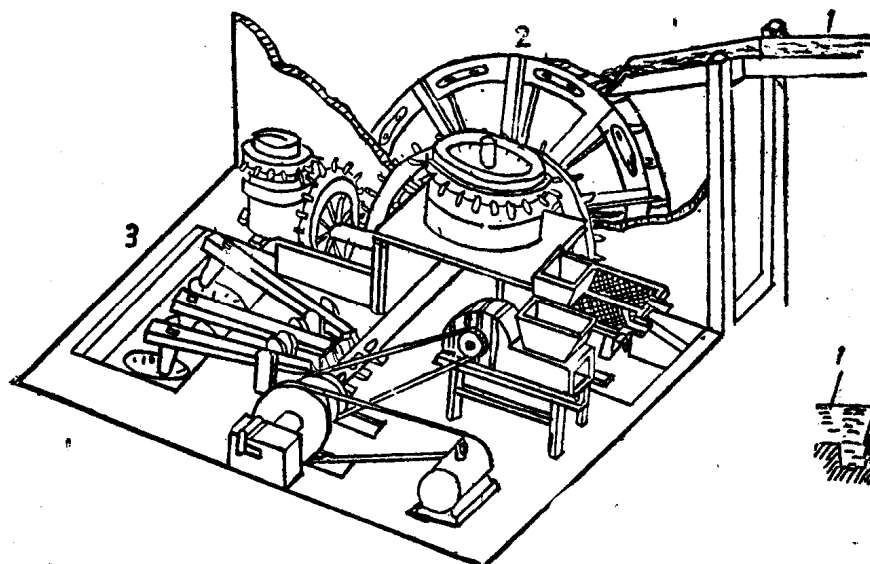


图 1-5 广东省三水县的水力粮食加工厂
1—引水槽；2—水轮；3—粮食加工工具。

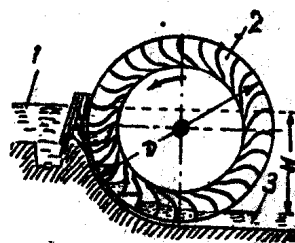


图 1-6 中击式水轮
1—引水槽；2—水轮；3—尾水槽。