

高等学校試用教科書

离心式和軸流式 水泵

查 森 編著



中国工业出版社

本书是根据高等工业学校水力机械水泵专门化的教学大纲编写的，主要内容包
括离心式和轴流式水泵的基本概念；各种类型的离心式和轴流式水泵的水力原理、
特性曲线及相似理论以及试验方法；水泵的运转；水泵的汽蚀；各种水泵部件的
水力设计方法以及效率的计算及分析等。

本书除供高等学校水力机械专业作为试用教科书外，也可供水泵设计、制造部
门和科学研究单位的科学技术人员以及矿山机械、石油机械等相近专业的师生参
考。

离心式和轴流式水泵

查森 编著

*

第一机械工业部教材编审委员会编辑（北京复兴门外三里河第一机械工业部）

中国工业出版社出版（北京佟麟阁路丙10号）

（北京市书刊出版事业许可证出字第110号）

机工印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 787×1092¹/₁₆·印张 14¹/₂·插页 1·字数 339,000

1961年12月北京第一版·1961年12月北京第一次印刷

印数 00,001—02,130·定价(10-6)1.80元

*

统一书号: 15165·382(一机-57)

前 言

这本“离心式和轴流式水泵”是根据高等工业学
網編写的,内容主要是叙述水泵的基本理論、运轉及設計等。本书的内容是以苏联专家O. B. 巴依巴可夫在哈尔滨工业大学讲授的“叶片式水泵”課程的内容为基础,并根据几年来贯彻党的教育方針,进行教学改革,以及教学实践,对内容作了增减及修改。

編者本来想把离心式和轴流式水泵的其他水力設計的方法,水泵抽送粘性液体时对水泵性能的影响,水泵的結構及某些零件的强度計算編入本书之中,并在讲述每一零部件后面附一設計的例子及其設計图,但因这次組織編审出版的时间仓促,这部分材料沒有来得及收入本书之中。有关这方面的材料只能留待本书再版时再补充进去了。在讲授本課程时,有关这方面的材料可以适当地讲述一些。

由于編者的思想水平及业务水平所限以及这次編审出版的时间所限,本书的缺点和錯誤一定很多,誠悬希望讀者和有关方面对本书給予批評和指正,以便再版时修改,在此編者預先向讀者及有关方面致以感謝及敬意。来信請寄哈尔滨工业大学水力机械教研室。

編 者

1961年6月于哈尔滨工大

目次

第一章 緒論	1	汽蝕性能的影響	87
§ 1-1 离心式和軸流式水泵的用途及其應用範圍	1	§ 3-9 提高水泵汽蝕性能的途徑	91
§ 1-2 水泵的基本參數、基本構件和作用原理	3	第四章 离心式水泵的葉輪	95
§ 1-3 离心式和軸流式水泵的發展簡史及其類型	5	§ 4-1 葉輪的葉片數 Z 對水泵揚程 H 的影響	95
第二章 离心式和軸流式水泵的基本理論	9	§ 4-2 离心式水泵葉輪出口安放角 β_{2A} 的選擇	109
§ 2-1 水泵的能量平衡	9	§ 4-3 葉輪各部分尺寸的計算	111
§ 2-2 液體在水泵葉輪中的運動、速度三角形	11	§ 4-4 精確計算葉輪直徑 D_2 和計算葉輪葉片出口安放角 β_{2A}	119
§ 2-3 离心式和軸流式水泵的基本方程式	16	§ 4-5 葉輪葉片進口安放角 β_{1A} 的計算	122
§ 2-4 离心式和軸流式水泵的特性曲綫	17	§ 4-6 繪制水泵葉輪的軸面投影圖	124
§ 2-5 离心式和軸流式水泵葉輪的相似定律	23	§ 4-7 水泵葉片的繪型	126
§ 2-6 比例定律的應用——水泵改變轉速後繪制其特性曲綫，水泵的通用特性曲綫	27	第五章 离心式水泵的壓水室、導葉及吸水室	133
§ 2-7 离心式和軸流式水泵的相似準則——比轉數 n_s ，离心式和軸流式水泵的分類	29	§ 5-1 螺旋形壓水室	133
§ 2-8 水泵設計的模型換算法	33	§ 5-2 水泵的徑向導葉及流道式導葉	141
§ 2-9 水泵葉輪的切割，水泵的系列化	36	§ 5-3 扭曲葉片導葉	148
§ 2-10 水泵運轉時的工況點	40	§ 5-4 環狀壓水室	152
§ 2-11 兩水泵的串聯運轉	43	§ 5-5 离心泵的吸水室	155
§ 2-12 兩水泵的并聯運轉	45	第六章 离心泵內的損失	162
§ 2-13 水泵在分歧管路中運轉	46	§ 6-1 离心泵的能量平衡試驗	162
§ 2-14 水泵的調節	48	§ 6-2 圓盤摩擦損失功率	168
§ 2-15 水泵的性能試驗	52	§ 6-3 泵內的容積損失	176
§ 2-16 水泵的四象限特性曲綫（全特性曲綫）	56	§ 6-4 泵內的水力損失，水泵的效率與比轉數的關係	186
第三章 水泵內的汽蝕	62	第七章 水泵的軸向力、徑向力及其平衡	190
§ 3-1 汽蝕的概述	62	§ 7-1 水泵的軸向力及其平衡	190
§ 3-2 水泵的汽蝕基本方程式	65	§ 7-2 水泵的徑向力及其平衡	199
§ 3-3 吸入真空高度	71	第八章 軸流式水泵	201
§ 3-4 汽蝕相似定律	72	§ 8-1 軸流式水泵的應用範圍、結構及其優點	201
§ 3-5 水泵的汽蝕比轉數、魯特涅夫方程式	74	§ 8-2 軸流式水泵葉輪尺寸的決定，設計軸流式水泵葉輪時所採用的幾點假定及建議	203
§ 3-6 水泵的汽蝕實驗	78	§ 8-3 用升力法計算軸流式水泵的葉輪	206
§ 3-7 計算水泵的吸入高度	81	§ 8-4 軸流式水泵的導水機構（導葉）	221
§ 3-8 水泵葉輪的頸部折引直徑 D_0 對水泵		§ 8-5 軸流式水泵的吸水室及壓水室	225

第一章 緒 論

§ 1-1 离心式和軸流式水泵的用途及其應用範圍

在开始讲水泵以前，我們先要問一問，什么是水泵？也就是說，水泵的定义是怎樣的？以前有人說，水泵是一种抽吸液体的机器，或者說水泵是一种提升液体的机器，人們利用水泵把液体从低的地方送往高的地方。这样的定义，当然也可以說是对的，因为在某些場合之下，水泵的确起这样的作用。我們知道水泵是一种被人們利用得最早的机器之一，在人們开始利用水泵的时候，水泵的作用的确只是把液体（水）从低的地方送到高的地方。再又如現在农村中大量利用水泵来灌溉田地及排澇，也是把大量的水从低的地方送到高的地方。但我們还知道，水泵又是被人們用得最广泛的机器之一，水泵是一种通用机器，在現代，不管是在工业方面、农业方面、交通运输业方面，也不管是这一工业部門或那一工业部門，均要应用水泵。在这許多应用水泵的部門中，不一定均是利用水泵把液体从低的地方送往高的地方去，有的是利用水泵增加液体的压力，有的甚至是把液体从高的地方往低的地方輸送，各处用水泵的目的各不相同，因此，上面讲的水泵的定义就显得不全面了。現在水泵的定义最好是这样讲：**水泵是一种轉換能量的机器，它把原动机的机械能傳給它所抽送的液体，使液体的能量增加。**但这样的定义还不能包括所有的水泵，故还要增添一句：**把液体甲的能量傳給液体乙，当这两液流流过机器时，液流甲的能量减小，而液流乙的能量增加。**这种机器也叫水泵，例如射流泵等。

上面讲的是水泵的定义。水泵的种类是很多的，我們按工作原理分类大致可分为五大类：

- 一、只改变液体的位能的水泵，例如水車等；
- 二、容积式水泵，例如往复泵、齒輪泵、螺杆泵、滑片泵等；
- 三、离心式和軸流式水泵；
- 四、把液流甲的能量傳給液流乙、或把液流本身的能量集中給一小部分液体的水泵，例如射流泵，空气揚水器，水錘揚水器等；
- 五、利用旋渦原理工作的水泵，例如旋渦泵等。

这五类水泵中，像水車等当然不必讲述，除离心式和軸流式水泵以外的其他水泵則将在專門的課程中讲述，本課程則只讲离心式和軸流式水泵，离心式水泵和軸流式水泵又通称叶片式水泵，它們是被应用得最广泛的水泵，因为它们有体积小和流量大的优点。只有当要求流量很小，而又要求揚程很高的情況下，才不应用离心式水泵而用往复式水泵。現在离心式和軸流式水泵被应用于各个国民經济部門：

一、农业灌溉和排澇：

我国是一个地大物博的国家，已經开垦的土地約有十八亿亩以上，还有大量的荒地很快就会被开垦出来，这样大量的土地，都要灌溉或排澇。

为了使农田水利化及保証农业的丰收，水泵起到很大的作用。我国的水泵制造工业每年

需要供应农村几百万計匹馬力的水泵，这不是一个小的数目，現在每年能供应农村的水泵数量，与此数量比較起来相差得还远，这說明目前从事于排灌机械方面工作的同志，其中包括从事水泵設計及制造方面工作的同志，必需鼓足干劲，力爭上游，为滿足农业对排灌机械的需要而努力。这个任务是艰巨的，但也是十分光荣的。

大家知道，农业的发展是直接影响到国民經济各部門的发展，即影响着社会主义建設速度的快慢。支援农业是大事，因此，我們与农业有着密切关系的水泵方面工作者，应努力的工作来支援农业。

二、工业及城市的給水

在工业方面，不管重工业还是輕工业，水是少不了的。重要的重工业如鋼铁厂，水是不能間断的。如发生断水現象，輕則立刻影响生产，重則会破坏生产设备，发生重大事故。其他工业也是一样。我們每个人每天均要用很多水，住在大城市里的人大多是用自来水，每当停水就会使你深感不便，这自来水就是用水泵抽送来的。从这里可以見到，水泵不只是为国民經济各部門服务，不只是在社会主义建設中起重要的作用，而且日常直接地为人民的生活服务，为人民創造方便的条件和卫生的条件。

三、用在动力工业方面

在动力工业方面，水泵也起着重要的作用。在热力发电厂里有大量的水泵，現在略举一、二于下：

1. 循环水泵 循环水泵是用来抽送循环水冷却冷凝器的。蒸汽从汽輪机的最后一級出来，进入冷凝器，在冷凝器中冷却而凝結成水，放出大量的汽化潜热，这許多热量均必需由循环水带走。一般循环水泵的揚程不大，約 20~40 米或再稍高一些，这要根据电厂具体情况来确定。但循环水泵的流量却十分大，有的大至每秒钟 5~6 立方米，水泵的功率也很大，有的大至几千仟瓦。

2. 鍋炉給水泵 用它向鍋炉里送水。鍋炉給水泵的特点是压力高，一般高溫高压电厂內的鍋炉給水泵的压力要达 140~150 大气压，水泵功率达几千仟瓦，超高压大容量电厂內的鍋炉給水泵的压力有达 300~400 大气压者，功率达好几万仟瓦者。鍋炉給水泵的另一特点为抽送的是高溫的水，因此要求水泵的汽蝕性能很好。

3. 冷凝泵 冷凝泵是用来抽冷凝器中由蒸汽凝結成的水的。因为冷凝器中真空度非常高，其中的絕对压力只有 0.03~0.05 大气压，故要求水泵的汽蝕性能很高，否則冷凝水吸入水泵后有汽化的危險，汽化后气泡跟水流动，流到压力較高的地方又凝結成水，这一过程会把水泵的过流部分打坏。这种現象叫做汽蝕現象。水泵运轉时一般是不允許发生汽蝕的。

4. 冲灰泵 电厂內的鍋炉每天要燒很多的煤，煤灰在炉膛内和水后，一起用水泵抽送出去。煤灰像磨料一样，对水泵磨損十分严重，故冲灰泵要求用特殊耐磨材料制造的。

5. 电厂内还有很多其他水泵，例如化学車間水处理用的各种各样的水泵等等。

四、用在化学工业方面

在化学工业中，我們可以遇見很多特殊結構的离心式水泵，抽送对金屬有强烈腐蝕作用的液体（水泵要求用特殊耐蝕的材料制造）或高溫的、蒸汽有毒的液体（要求水泵軸端的填料函特別严密）。

五、石油工业中用的水泵

如油矿里用的深井油泵，从油井中把油抽到地面上来，这是一种多级泵，级数有多至好几百级者。炼油厂中有输送高温石油的裂化油泵等等。

六、用在造船工业方面

例如修理远洋轮船，船开进船闸后，要把船闸内大量的水很快排出，这要用很大的水泵，每艘远洋轮船上的水泵数目也相当多，其数量不下百数，其类型也是各式各样的。

七、用在煤炭工业方面

在煤矿中，水力采煤及水力运输需要水泵，矿井排水也需要水泵，如矿井排水的水泵发生事故则矿井有被水淹没的危险。

八、用在轻工业方面

例如造纸厂用水泵来输送纸浆，食品工业中用玻璃制成的水泵输送食品等等。

九、用在水利建设方面

在水利建设方面，可以利用水泵来水力施工。如开运河，可用吸泥船（船上装有泥浆泵），造水坝可用泥浆泵将泥及水送往造坝的地点，水流掉，泥留下，堆成土坝。

十、用在尖端技术方面

现代尖端技术的发展，离开水泵也是不行的。例如飞机上要用离心式水泵，原子能发电站中要用离心式水泵，火箭中亦要用离心式水泵等等。而且这些水泵均有其特殊的要求。

十一、用在其他方面

从上述可见，水泵在社会主义建设中是有重要地位的。我们每一个从事水泵制造事业的人，均必须认识水泵对社会主义建设事业的重要意义，要力争更好地掌握水泵的科学知识，以便更好地为社会主义建设服务。

§ 1-2 水泵的基本参数、基本构件和作用原理

一、水泵的基本参数

水泵的基本参数包括水泵的流量、扬程、转速及功率，现分述如下：

1. 流量——水泵的流量是水泵在单位时间内所抽送的液体体积，我们以 Q 来表示，其单位为立方米/秒、立升/秒或立方米/小时。

2. 扬程——水泵的扬程是指每一单位重量的液体通过水泵后其能量的增值。我们以 H 来表示水泵的扬程，其单位为 $\left(\frac{\text{公斤}\cdot\text{米}}{\text{公斤}}\right)$ ，如将公斤约去，则得到扬程的单位为所抽送液体的液柱高度（米）。

3. 转速——水泵的转速与其他机器一样，是指每分钟水泵转子的转数，以 n 表示之，单位为转/分。

4. 功率——水泵的功率是指水泵的轴功率，即是原动机输送给水泵的功率，以 N 表示，其单位为仟瓦或马力。

单位时间内流过水泵的液体从水泵那里得到的能量叫做有效功率，以 N_e 表示，水泵的有效功率为

$$N_e = QYH \left(\frac{\text{公斤}\cdot\text{米}}{\text{秒}} \right) \quad (1-1)$$

式中 Y ——液体的比重（公斤/立方米）。

水泵不可能将原动机输入的功率完全传递给液体，在水泵内有损失，这个损失以效率 η 来衡量之，水泵的效率为有效功率与轴功率之比：

$$\eta = \frac{N_e}{N}$$

从这里我们可以求得水泵的轴功率：

$$N = \frac{N_e}{\eta} = \frac{QYH}{\eta} \left[\frac{\text{公斤} \cdot \text{米}}{\text{秒}} \right] \quad (1-2)$$

或

$$N = \frac{QYH}{102\eta} \text{ 瓩} \quad (1-2a)$$

或

$$N = \frac{QYH}{75\eta} \text{ 馬力} \quad (1-2b)$$

二、水泵的基本构件

水泵的基本构件有三：吸水室、叶轮及压水室。这三个部分合在一起即组成水泵的过流部分。所谓过流部分者，即是液流流过的部分。如图 1-1 所示。

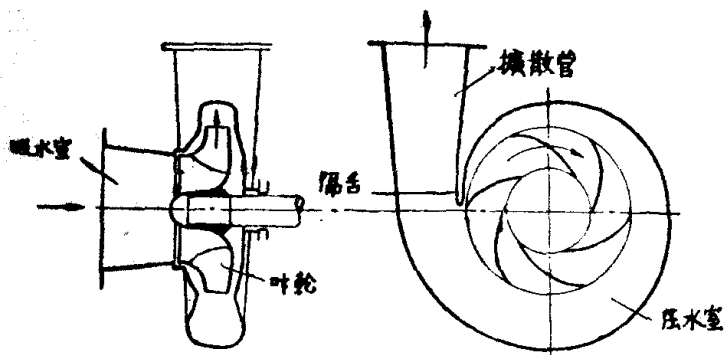


图 1-1

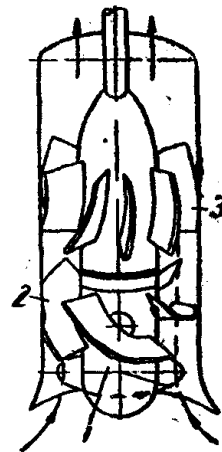


图 1-2

1. 吸水室 吸水室的功用是将液体从吸水管路引入叶轮，要求液体流入叶轮时速度分布均匀，要求液体流过吸水室时水力损失最小。

2. 叶轮 叶轮是水泵的重要部分，液体就是从叶轮那里得到能量的，我们对叶轮的要求是要求它在损失最小的情况下传给每一单位重量的液体一定数量的能量。

3. 压水室 压水室的功用是把从叶轮内流出来的液体收集起来，并把它送入压水管路。液体在流出叶轮时，其速度是很大的，为了减小管路损失，将液体送入压水管路以前必需将液体的速度降低，将速度能改变成压力能，这一个任务也要压水室来完成，而且要求压水室在完成上述两项任务时水力损失最小。

上面讲的是离心式水泵。轴流式水泵则如图 1-2 所示。在管子内装一螺旋桨式的叶轮和装一组导叶。叶轮的作用与离心泵的叶轮相同。液体流过叶轮后有一旋转运动，导叶的作用就是消除这一旋转运动，使旋转运动的动能转化为压力能。

三、水泵的作用原理

液体自离心式水泵的吸水室流入叶轮，叶轮内有叶片，液体进入叶轮的叶片之间以后，因为叶轮在转动，叶片就驱使液体一同转动，液体转动后就依靠离心力向叶轮外缘的地方流去，同时因为液体离叶轮中心越来越远，半径越来越大，故液体运动的速度也就越来越

大,液体的动能也就越来越增大,同时因为离心力的作用,液体越接近叶轮的边缘则压力越大,故液体流过离心式水泵的叶轮时,速度能和压力能均增加。

用这样的说法来解释水泵的作用原理对于离心式水泵是可以的,但对于轴流式水泵讲来就不能适合了。我们用另一讲法来讲述轴流式水泵的工作原理。

轴流泵的叶轮是用翼型组成的,我们来看一个翼型(图1-3),它的圆周速度为 \bar{U} ,液体的绝对速度为 \bar{V} ,那么液体相对于翼型的速度为 $\bar{V} - \bar{U} = \bar{W}$,我们从流体力学中知道,

液体绕流过翼型,即产生升力,也即是液体作用于翼型上的力 P_y 。反过来讲,翼型也作用于液体上一个力 R ,此力与 P_y 大小相同,方向相反。这个力对液体做功,使液体增加动能及压力能。

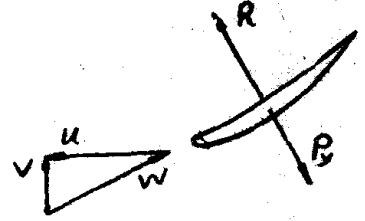


图 1-3

§ 1-3 离心式和轴流式水泵的发展简史及其类型

一、离心式和轴流式水泵的发展简史

我们在前面已经讲过,水泵是被我们人类应用得最早的机器之一,关于这一点是非常自然的,因为水对于人是极为重要的,没有水,人就无法生活,在古时候,人们为了用水,就发明出很多取水工具,例如取水吊杆(图1-4)、水车(图1-5)等等,跟着农业等生产的需要,这些取水工具也日益完善起来,例如水车,这是最早出现于中国的,在黄河中游曾装有不少很大的水车,用来取黄河之水灌溉田地,生长在南方的人们大概看见过很多种类的水车,如最常见的有龙骨水车等等,这些取水工具大多是用人力、畜力或风力来带动的。

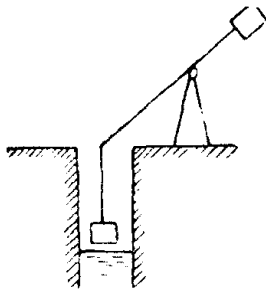


图 1-4

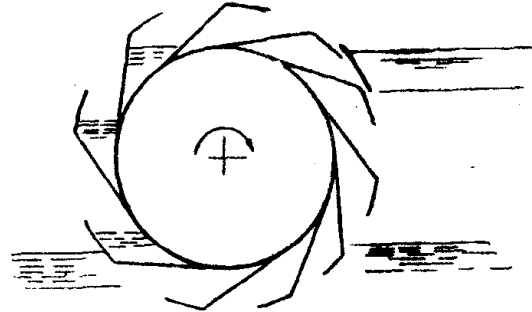


图 1-5

公元前二世纪到一世纪之间,希腊人发明了一种新的取水工具——活塞泵。我们知道,制造活塞泵是比较复杂,要求比较高的,做得不好使用起来就不方便,常常出毛病,因当时的工艺水平当然是很低的,故活塞泵没有得到大的发展和应用。跟着手工业的发展,人们对于取水工具的要求是越来越大的,于是在公元十六世纪,又出现了几种迴转式水泵,如刮板泵等。

关于离心泵,虽然出现得比迴转式水泵早一些,在公元十五世纪末,意大利著名学者达·芬奇第一个提出了离心泵的概念(图1-6),但我们可以看出,这种离心式水泵是设计得不很成功的,四片叶片只有一片起作用,但尽管这种离心泵在结构上不成功,可是提出了水泵的一个新的方向,法国物理学家巴本在公元1689年在达·芬奇的基础上设计出了成功的离心泵(图1-7);我们可以看到,这个离心泵与现在的离心泵已有很多相像之处。

但是，离心式水泵在当时没有得到发展，因为当时没有高速的原动机。十八世纪和十九世纪水泵的发展主要是改善活塞泵，使之能满足工业的需要。但由于十九世纪工业日益飞快发展，虽然当时已经有了蒸汽活塞泵给水站，可是它的流量是很小的，不能满足城市给水、矿井排水、以及工业用水等的日益增长的需要。就在这个时候，出现了电动机、汽轮机等高速原动机，为离心式水泵的发展提供了条件，由于高转速的离心泵流量很大；结构很小，很简单，使用管理方便，故它在很多地方就取活塞泵而代之。与此同时，离心泵的理论也日益完备起来，到目前，由于尖端科学的迅速发展，又正在促使离心泵向更高的阶段发展。

水泵制造业方面，在我国解放前根本没有一个像样的水泵厂，那时我国农业的排涝和灌溉利用水泵者是少得可邻，工业上用的水泵则均是从外国进口的。解放后我国的水泵制造业有了飞快的发展，特别是大跃进的三年以来，水泵制造业更是突飞猛进地发展，在数

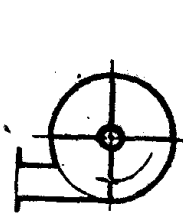


图 1-6

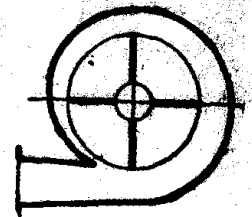


图 1-7

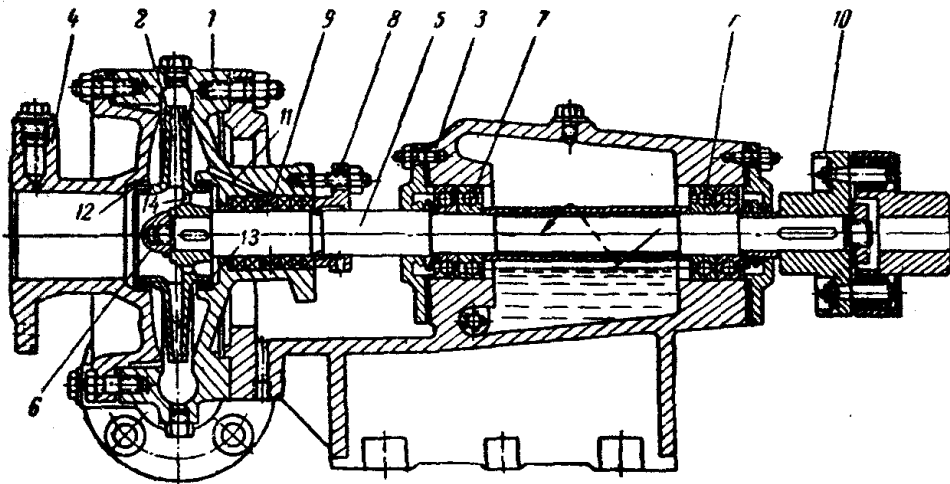


图 1-8

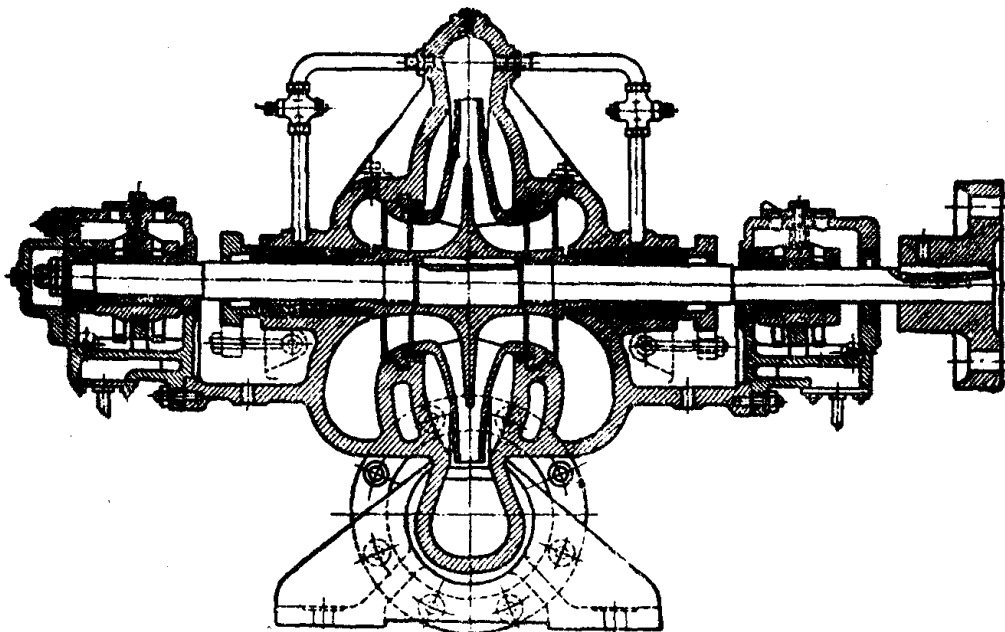


图 1-9

量和质量上均达到了空前未有的程度,而且能生产特殊的、高级的和巨型的水泵。现在我国各个地区均有一个到几个大型的水泵厂、中、小型的水泵厂则差不多各地都有。此外,还有很多非专业的生产水泵的工厂。基本上满足了社会主义建设对水泵的要求。

二、离心式和轴流式水泵的类型

离心式和轴流式水泵的类型是十分繁多的,我们在这里不准备都讲,因为这是不可能的。现在只介绍一下最常见的几种离心式和轴流式水泵。

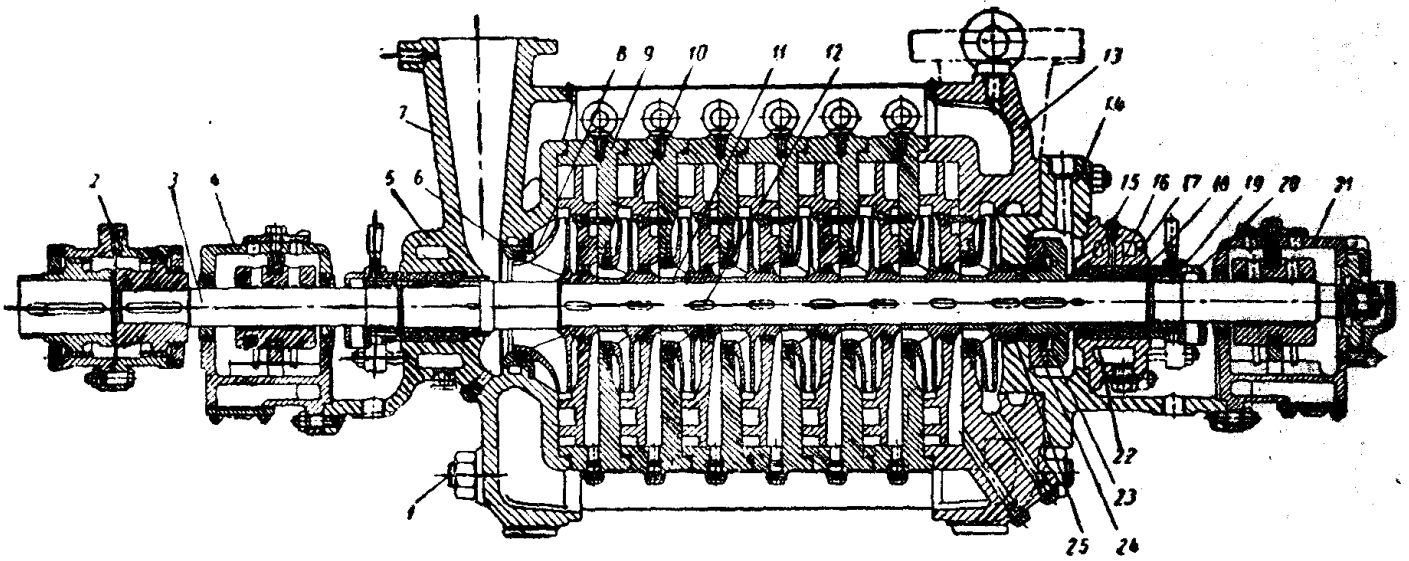


图 1-10

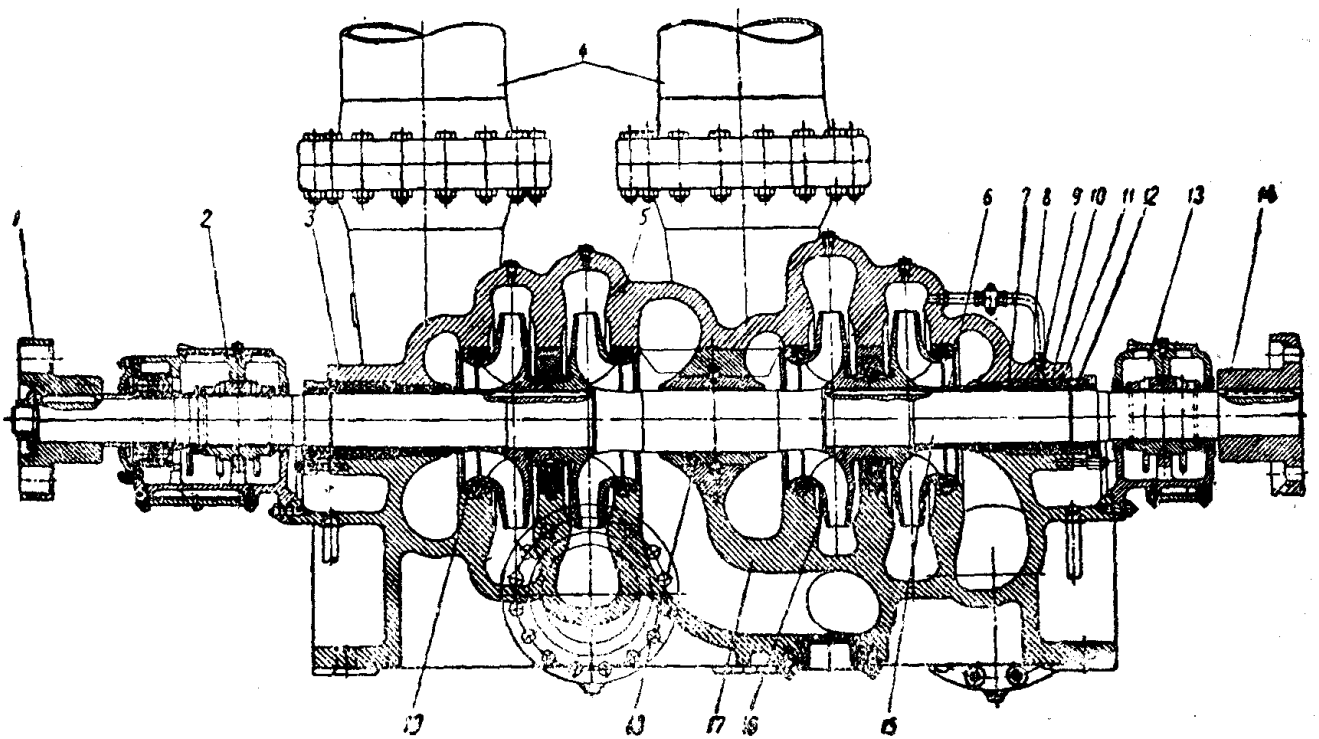


图 1-11

最简单的是单级单吸离心式水泵。悬臂式水泵是其中主要的一种，如图 1-8 所示，这是一种用得最广泛的水泵。除单级单吸离心泵外，单级双吸离心泵也用得十分广泛。单级双吸离心泵如图 1-9 所示。双吸式水泵的叶轮等于两个单吸式叶轮，故这种水泵的流量较大。

单级水泵的扬程主要受冷蚀性能的限制，同时也受叶轮的强度的限制，其扬程可用下面的公式来粗略估算之：

$$H = K \frac{u_2^2}{2g} \quad (1-3)$$

式中 u_2 ——叶轮外径处的圆周速度。

K ——系数，近于 1。

g ——重力加速度。

从强度方面来看，一般铸铁叶轮的圆周速度 u_2 不超过 50 米/秒，即扬程 H 不超过 125 米，一般铸钢叶轮圆周速度 u_2 不超过 100 米/秒，故扬程 H 不超过 500 米。如果需要得到更高的扬程，则可以采用多级水泵，如图 1-10 及图 1-11 所示。多级泵是几个叶轮装在同一根轴上，液体流过每一个叶轮就增加一定的能量，得到一定的扬程，多级泵的扬程等于每一叶轮提高的扬程与叶轮数的乘积。

上面讲的均是离心式水泵，轴流式水泵则用于扬程低、流量大的地方，其结构如图 1-12 所示。

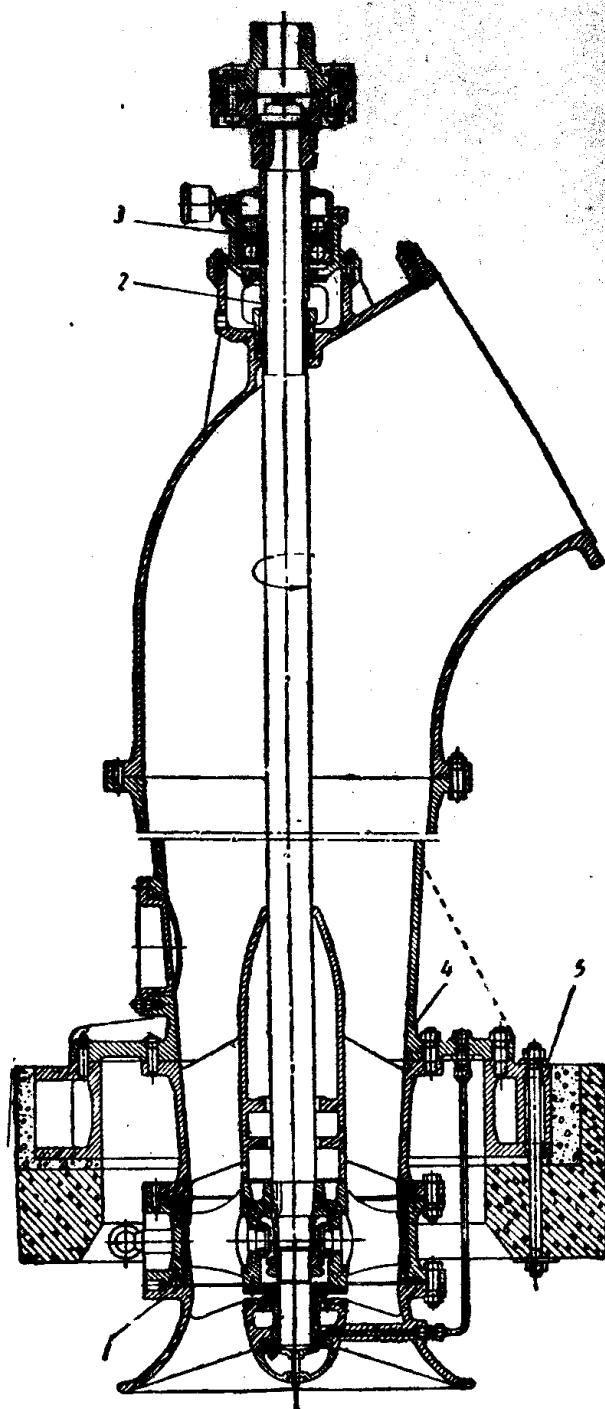


图 1-12

第二章 离心式和轴流式水泵的基本理论

§ 2-1 水泵的能量平衡

水泵的能量平衡是讲水泵在能量(或更确切地讲功率)方面的收支情况。原动机传给水泵的功率是水泵的收入部分,水泵传给液体的功率以及泵内各种功率的损失是水泵的支出部分,我们知道在水泵中功率是无法储存起来的,因此,在水泵中功率的收支情况总是平衡的,这就是水泵的能量平衡。在本节里我们要讲水泵中的几种损失和水泵的效率。

水泵的能量平衡可以用图 2-1 表示之。

1. 机械损失和机械效率 原动机传给水泵之功率为轴功率 N , 轴功率传入水泵以后第一步就遇到轴承和填料函(或称盘根)内的摩擦阻力,为了使轴转动,必需要克服这些摩擦阻力,消耗一部分功率,这部分功率是 $N_{mp.n.c.}$, 是机械损失功率的一部分,此外,装在轴上的叶轮是在液体中转动的,叶轮的前后两块盖板在液体中转动,与液体有摩擦阻力。为了克服

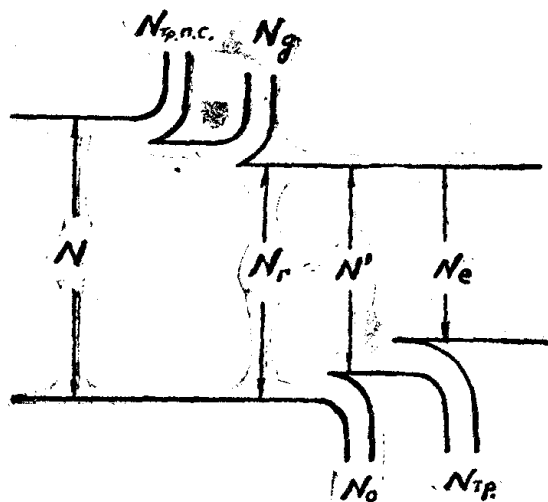


图 2-1

这个摩擦阻力,也需要消耗一部分功率,这部分功率是 N_0 , 也是机械损失功率的一部分,我们称之为圆盘摩擦损失功率。总的机械损失功率为以上两部分功率之和 $N_{mp.n.c.} + N_0$, 以 N_{mec} 表示之。

机械损失的大小用机械效率 η_{mec} 来衡量之。机械效率就是原动机传给水泵的功率 N 和经过机械损失后剩余的功率(即水力功率) N_g 之比值:

$$\eta_{mec} = \frac{N_g}{N} \quad (2-1)$$

2. 容积损失和容积效率 原动机传给水泵的功率减去机械损失功率以后,就剩下水力功率 N_g 。这一部分功率就是由叶轮传给液体的全部功率。液体流过叶轮,由于叶轮对液体做功,使液体的能量增加(液体的压力增大和速度增大)。但液体得到能量后,不是全部均流到压水管路中去的,一小部分能量大的液体(高压液体)会经过叶轮与泵壳之间的间隙流到低压的地方——叶轮的进口地方去,如图 2-2 所示。当高压的液体流到低压液体的地方去,则它的压力就降低,能量就损失掉,这种损失我们称之为容积损失。容积损失功率以 N_0 表示之。

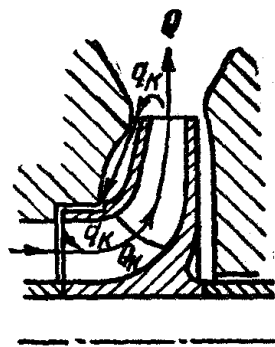


图 2-2

容积损失的大小我们用容积效率来衡量之,容积效率 η_v 就是未经容积损失以前的功率(水力功率) N_g 与经过容积损失以后的功率 N' ($N' = N_g - N_0$, 它没有专门的名称)之比值:

$$\eta_0 = \frac{N'}{N_2} \quad (2-2)$$

叶輪傳給每一千克液体的能量为 H_m , H_m 为水泵的理論揚程。如果在水泵中沒有水力損失, 則水泵的揚程应为 H_m , 故称之为理論揚程。而液体在水泵中流动, 水力損失是不可避免的, 故水泵的揚程总是比理論揚程小:

$$H = H_m - h_n$$

式中 h_n ——水力損失。

流过叶輪的流量为 Q_k , 它比水泵的流量 Q 要大, $Q_k = Q + q$, 每一秒钟流过叶輪的液体重量为 $Q_k \cdot \gamma = (Q + q) \cdot \gamma$ 千克/秒。每一千克液体流过叶輪則从叶輪处取得 H_m 这許多能量, 从这里我們可以求得水力功率 N_2 为

$$N_2 = H_m(Q + q)\gamma \quad (2-3)$$

N' 等于水力功率减去容积損失功率, 每秒钟經過間隙漏掉的液体体积 (我們称之为泄流量) 为 q , 容积損失功率应为:

$$N_0 = H_m \cdot q \cdot \gamma$$

因此, N' 应为:

$$N' = N_2 - N_0 = H_m(Q + q)\gamma - H_m q \cdot \gamma;$$

$$N' = H_m \cdot Q \cdot \gamma \quad (2-4)$$

将公式 (2-3) 及 (2-4) 代入容积效率的公式 (2-2), 則得到:

$$\eta_0 = \frac{H_m Q \gamma}{H_m(Q + q)\gamma} = \frac{Q}{Q + q} \quad (2-5)$$

上面讲的是单級泵的情况, 对于多級泵則泄流量 m 只是产生于叶輪盖板与泵壳之間の間隙处, 而且产生于兩級叶輪之間及平衡盘的地方。这些地方的泄流量也应当計算进去。关于这些地方泄流量的大小, 以后我們要詳細讲的。

3. 水力損失与水力效率 液体在水泵中流动, 流过吸水室、叶輪及压水室, 当液体流过吸水室、叶輪及压水室时, 因为要克服这些地方的水力阻力, 故要付出能量, 也就是說有水力損失。

水力損失的大小用水力效率来衡量之。水力效率就是未經過水力損失以前的功率 N' 与已經經過水力損失以后的功率 (有效功率) N_e 之比值:

$$\eta_2 = \frac{N_e}{N'} \quad (2-6)$$

前面已經讲过: $N' = H_m \cdot Q \cdot \gamma$, 而有效功率則为: $N_e = H \cdot Q \cdot \gamma$, 故水力效率可写为:

$$\eta_2 = \frac{H \cdot Q \cdot \gamma}{H_m \cdot Q \cdot \gamma} = \frac{H}{H_m} \quad (2-7)$$

这里理論揚程 H_m 等于水泵的揚程 H 加上吸水室、叶輪及压水室之中的水力損失 $h_{no\partial}$, $h_{p.k.}$ 和 h_{oms} 。

$$H_m = H + h_{no\partial} + h_{p.k.} + h_{oms} \circ$$

4. 水泵的总效率 水泵的总效率就是原动机傳給水泵的功率 (水泵的軸功率) 与水泵傳出的功率 (有效功率) 之比值:

$$\eta = \frac{N_e}{N} \quad (2-8)$$

如果我們在上式的分母上和分子上均乘以 N' 及 N_2 , 則得到

$$\eta = \frac{N_e}{N} \cdot \frac{N'}{N'} \cdot \frac{N_2}{N_2}$$

从上式我們可以得到水泵的总效率为水泵的机械效率、容积效率及水力效率三者之乘积。

$$\eta = \frac{N_2}{N} \cdot \frac{N'}{N_2} \cdot \frac{N_e}{N'} = \eta_{mec} \cdot \eta_0 \eta_{zo} \quad (2-9)$$

§ 2-2 液体在水泵叶輪中的运动，速度三角形

液体在水泵叶輪中，相对于叶輪有一个运动，而水泵的叶輪又是轉动的，因此，液体在水泵叶輪中的运动是一个复杂运动，液体相对于叶輪的运动是相对运动，其速度为相对速度 \overline{W} ，叶輪的旋轉运动则为牽連运动，其速度为牽連速度 \overline{u} ，而液体相对于不动的泵壳的运动则为絕对运动，其速度则为絕对速度 \overline{V} 。我們在理論力学課程中已經知道，复杂运动的絕对速度 \overline{V} 等于相对速度 \overline{W} 与牽連速度 \overline{u} 之向量和：

$$\overline{V} = \overline{W} + \overline{u} \quad (2-10)$$

根据这一点，我們可以作出水泵叶輪中任一液体质点的三个速度向量 \overline{V} 、 \overline{W} 及 \overline{u} ，而这三个速度向量組成一个三角形，称之为速度三角形，如图 2-3 所示。

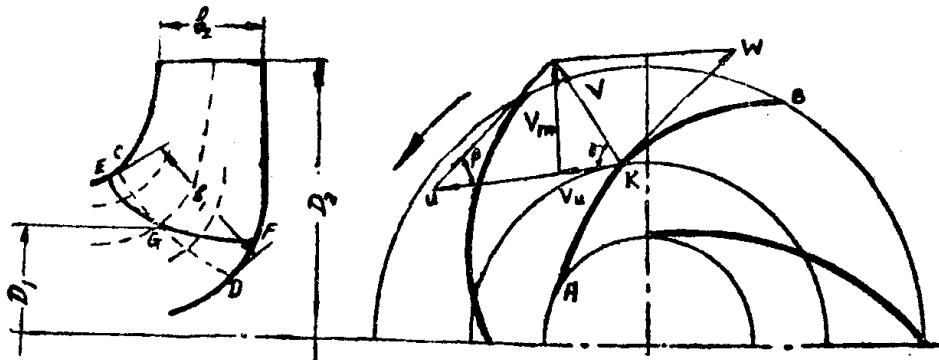


图 2-3

为了以后計算方便，我們把絕对速度 \overline{V} 分成两个分量，一个是与牽連速度（即圓周速度） \overline{u} 垂直的，我們以 \overline{V}_m 表示之；另一个是与牽連速度平行的，我們以 \overline{V}_u 表之。絕对速度 \overline{V} 与牽連速度 \overline{u} 之間的夹角为 α ，相对速度 \overline{W} 与牽連速度 \overline{u} 之間的角度为 β 。为了清楚起見，我們把液体质点 K 的速度三角形单独画出来，如图 2-4 所示。

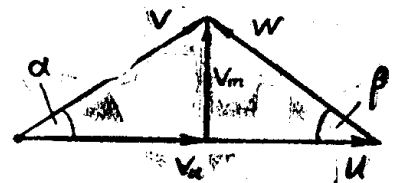


图 2-4

在本課程中，各处的速度和角度我們將統一以下列符号来表示：

- u —— 叶輪的圓周速度（牽連速度）；
- W —— 液体相对于叶輪的速度；
- V —— 液体的絕对速度；
- V_m —— 液体絕对速度的徑向分量，我們称之为軸面速度；
- V_u —— 絕对速度的圓周分量；
- α —— 絕对速度与圓周之間的夹角；
- β —— 相对速度与圓周之間的夹角；
- β_1 —— 叶輪的叶片与圓周之間的夹角。

凡是正好在叶輪叶片进口处(液体质点已流入叶片間)的各符号均加注一1字,例如 $u_1, W_1, V_1, V_{m1}, V_{u1}, \alpha_1, \beta_1, \beta_{1A}$ 。凡是在叶輪叶片出口处(液体质点尚未流出叶片間),的各符号均加注一2字,例如 $u_2, W_2, V_2, V_{m2}, V_{u2}, \alpha_2, \beta_2, \beta_{2A}$ 。

在上面我們作液体质点的速度三角形时,假定液体在叶輪中的流动是軸对称的,即是每一液体质点的运动軌迹都和叶片的形状相同,在同一半徑的圓周上;任一液体质点的相对速度 W 大小相同,与圓周之間的夹角 β 相等,这种液体的相对运动只有当叶輪的叶片数为无限多时才这样,所以我們在这里引入无限叶片数假定这一概念,假定叶輪是由无限多无限薄的叶片組成的。而在实际叶輪中(指叶輪的叶片数是有限的),液体在叶輪中运动的軌迹,只有紧靠叶片的工作面或背面的液体质点的軌迹才是与叶片形状一样的,而在两叶片之間,但不靠近叶片的液体质点的軌迹則因为液体质点的慣性的作用,不与叶片形状一样的,如图 2-5 所示。这是因为叶輪要带着液体一起轉动,而液体却因慣性的作用,希望保持原来的运动情况,結果使液体的旋轉速度略小于叶輪的旋轉速度,使液体质点的运动軌迹不与叶片形状相同,液体质点的运动軌迹不同,則其速度三角形也不同,为了把实际的速度三角形与采用无限叶片数假定作出的速度三角形加以区别,利用无限叶片数假定以后,各符号右下角均注一“ ∞ ”,例如 $V_{\infty}, W_{\infty}, V_{u\infty}, \beta_{\infty}$ 等。关于这一現象,因为对水泵的揚程有重大的影响,故后面还要詳細讲述。

現在我們来作叶輪进口处的速度三角形和出口处的速度三角形。



图 2-5

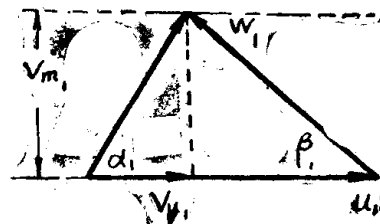


图 2-6

一、作叶輪叶片进口处的速度三角形

要作一个三角形,起碼应当知道三个条件,对于作进口速度三角形,如果知道叶輪进口处的圓周速度 u_1 ,知道进口处的軸面速度 V_{m1} 的大小,知道绝对速度自圓周分量 V_{u1} 的大小,則速度三角形即能作出,如图 2-6 所示。

現在来分別求 u_1, V_{m1} 及 V_{u1} 。

1. 叶輪叶片进口处的圓周速度 u_1 只要知道进口处的直徑 D_1 及叶輪的轉速 n ,圓周速度 u_1 就很容易地能够求出:

$$u_1 = \frac{\pi D_1 n}{60} \quad (2-11)$$

2. 求叶輪进口处的軸面速度 V_{m1} 在开始求軸面速度以前,我們先介紹几个名詞:

1) 軸面及軸面速度 經過水泵的軸心綫作一个平面,則这个平面叫做軸面。我們知道,經過一条綫可以做无限多的面,故水泵的軸面也是可以作无限多个的。我們前面讲过某一液体质点的速度三角形,如果經過軸心綫及經過这一液体质点作一个軸面(經過一条綫和一个点只能做一个面),則这一液体质点的速度三角形与此軸面垂直。这一液体质点的绝对速度的徑向分量 V_m 是在这个軸面上的,故我們亦把绝对速度的徑向分量 V_m 称为軸面速度。

2) 軸面液流 每一液体质点流过叶輪时的绝对运动我們已經讲过了, 叶輪内所有液体质点的绝对运动总和組成一个液流, 这就是液体的真实流动情况。如果我們只考虑各液体质点的相对速度, 即是我們站在叶輪上面来看液体的流动, 則看到的液体的流动是各液体质点相对速度組成的, 叫做相对液流, 同样, 如果我們只考虑液体质点的軸面速度, 而假定液体质点的绝对速度的圆周分量等于零, 即是液体流动的方向均是徑向和軸向的, 而沒有圆周方向的, 則这样的液流我們称之为軸面液流。

3) 軸面液流的过水断面 軸面液流流过叶輪, 如果我們在叶輪内作一个曲面, 这个曲面与所有在此曲面上的液体质点的軸面速度相垂直, 則此曲面就是軸面液流的过水断面。軸面液流的过水断面是一个旋轉面。

現在我們可以来求叶輪进口处的軸面速度 V_{m1} 了。进口处的軸面速度等于流过叶輪的液体流量 Q_k 被进口处的軸面液流过水断面 f_1 除:

$$V_{m1} = \frac{Q_k}{f_1} \quad (2-12)$$

式中 $Q_k = Q + q$ —— 流过叶輪的液体流量。

f_1 —— 进口处的軸面液流过水断面。

水泵的流量 Q 是已知参数, 水泵的容积效率 η_0 在設計水泵以前可以参考已有的水泵, 根据經驗先給定, 待水泵設計好以后还可以用理論計算求得, 知道 Q 及 η_0 , 我們就可以求得 Q_k :

$$\eta_0 = \frac{Q}{Q + q} = \frac{Q}{Q_k}; \quad Q_k = \frac{Q}{\eta_0}$$

知道 Q_k 和 f_1 , 我們就能求得 V_{m1} , 現在我們来求进口处的軸面液流过水断面的面积 f_1 (看图 2-7):

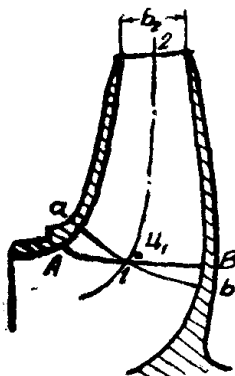


图 2-7

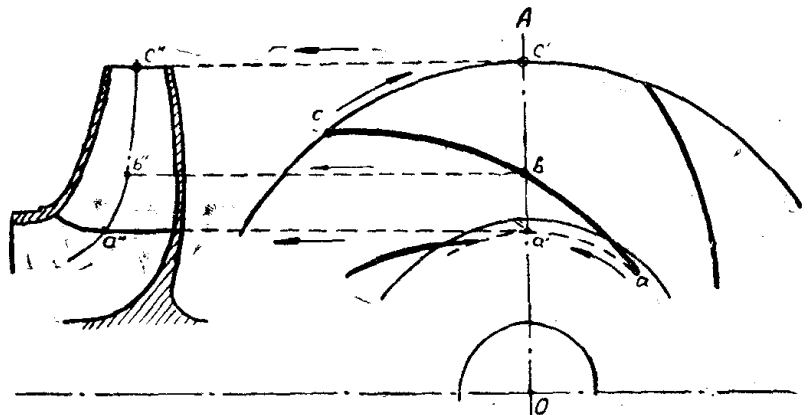


图 2-8

图 2-7 是叶輪的軸面投影图, 在水力机械中繪制过流部分的投影图都采用軸面投影的方法。軸面投影是一种特殊的投影方法, 請看图 2-8, 在图 2-8 的左面是叶輪的軸面投影图, 右面是平面投影图, 軸面投影图上有一条中間流綫 $a''b''c''$, 平面投影图上也有一条相对应的中間流綫 abc , 我們来看这条流綫怎样利用軸面投影法从平面投影图上投影到軸面投影图上去的: 平面图上有一 OA 面 (垂直于平面图的面), 这就是我們的軸面。我們以中心 O 为圓心, 以 Oa 为半徑, 作一圓弧, 交 OA 于 a' , a' 点就在我們的軸面上, 从 a' 点开始, 作一平行綫, 交于左边軸面投影图的流綫上, 得到 a 点的軸面投影点 a'' , b 点本来就在 OA 面上, 故直接向左投影过去, 得到 b'' 点, 再以 OC 为半徑, O 点为圓心, 作一圓弧,