

78.64  
TDR

高等学校試用教科书

# 泵与通风机及制冷机

同济大学热工教研组編



工业出版社

机械工业出版社

水利出版社

中国工业出版社

借 期 表 月 教 科 书



# 泵与通风机及制冷机

同济大学热工教研组编

中国工业出版社

本书是为“供热供煤气及通风”专业“泵与通风机及制冷机”课程所写的教材。全书分两篇，第一篇为泵与通风机，以离心式为主要对象；第二篇为制冷机，以压缩式制冷为主要对象。本书系统地介绍了这三类机械设备的原理、构造、性能及选择。

本书内容注意了反映国内生产实际，并尽可能地介绍了国内产品和新技术。

本书也可供水产、食品等专业学生及采暖通风、冷藏等方面的工程技术人员参考。

## 泵与通风机及制冷机

同济大学热工教研组编

\*

中国工业出版社建筑图书编辑室编辑（北京佟麟阁路丙10号）

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）

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787×1092  $\frac{1}{16}$ ·印张12·插页2·字数272,000

1961年8月北京第一版·1962年4月北京第三次印刷

印数2,504—4,603·定价（10-6）1.50元

\*

统一书号：K15165·1017（建工-117）

## 序

本书是为高等工业学校“供热供煤气及通风专业”的“泵与通风机及制冷机”课程所編的教材。全书在过去参考苏联有关教材所編讲义的基础上，結合多年来特别是教育革命以来的教学經驗，吸取了兄弟院校所提供的資料及意見，进行全面加工而写成。

原先本专业教育計劃中只有“泵与通风机”课程。1958年以后，鑑于制冷技术在工农业生产中的日益需要，开始增設了“制冷机”课程。同时考虑到“制冷机”和“泵与通风机”在专业中的地位是相仿的，而二者之間又有某些共性。因此，各校教学計劃中大都將它們合在一起，組成了“泵与通风机及制冷机”这門新的专业技术基础课程。本书在編排上，仍按过去的习惯，分为两篇，第一篇为“泵与通风机”，第二篇为“制冷机”。

为满足空气調节系统中制冷机设备設計的需要，本书在內容上，适当地充实了制冷机方面的材料，特别是以常用的压缩式制冷机为主，較系統而完整地介紹了原理、构造及計算方法。在泵与通风机部分，則以离心式为主要对象，也較全面地叙述了原理、結構及选择使用等有关內容。对其他各种类型的泵与通风机以及压气机、鼓风机等，則介紹得較为簡要。这样，主、次比較分明，以适应60~70学时的要求。

此外，本书在取材上，注意了反映国内生产实际，尽可能地介紹国内已有的产品。同时，也适当地介紹了半导体制冷等新技术。

参加本书編选工作的有段渭、肖友瑟、梅飞鳴、奚士光、岳孝芳、吕恒祥等同志。由于編者业务水平和实践經驗有限，加上这次編选時間仓促，本书的內容还不够全面，特别是“制冷机”部分，未来得及进行細緻地研討和更广泛地征求兄弟院校的意見，不妥和錯誤之处在所难免，恳切地希望使用本书的同志們多給予批評和指正。

編 者 1961.5.



# 目 录

|         |   |          |   |
|---------|---|----------|---|
| 序 ..... | 3 | 緒論 ..... | 7 |
|---------|---|----------|---|

## 第一篇 泵与通风机

|                              |    |                                |    |
|------------------------------|----|--------------------------------|----|
| 第一章 泵的基本型式和分类 .....          | 9  | 4-3 空气阀对活塞式水泵的作用 .....         | 49 |
| 第二章 离心式水泵 .....              | 11 | 4-4 活塞式水泵的吸水高度和总水头 .....       | 50 |
| 2-1 离心式水泵的工作原理 .....         | 11 | 4-5 活塞式水泵的调节 .....             | 51 |
| 2-2 离心式水泵的分类 .....           | 11 | 4-6 离心式水泵和活塞式水泵的比较 .....       | 52 |
| 2-3 离心式水泵的管路附件 .....         | 13 | 4-7 直接作用式蒸汽水泵 .....            | 52 |
| 2-4 液体在叶轮上的运动 .....          | 14 | 4-8 活翼式水泵 .....                | 53 |
| 2-5 离心式水泵的基本方程式 .....        | 14 | 4-9 齿轮式水泵 .....                | 54 |
| 2-6 离心式水泵的叶轮型式及其对水头的影响 ..... | 17 | 4-10 喷射式水泵 .....               | 54 |
| 2-7 吸水高度和汽蚀现象 .....          | 18 | 第五章 通风机 .....                  | 56 |
| 2-8 水头的决定 .....              | 21 | 5-1 概述 .....                   | 56 |
| 2-9 水泵的效率和功率 .....           | 23 | 5-2 离心式通风机的一般构造 .....          | 57 |
| 2-10 离心式水泵的特性曲线 .....        | 25 | 5-3 轴流式通风机的构造 .....            | 60 |
| 2-11 管路特性曲线及工作点 .....        | 28 | 5-4 通风机的作用原理, 理论的及实际的压力 .....  | 61 |
| 2-12 比转数 .....               | 29 | 5-5 通风机的特性曲线 .....             | 62 |
| 2-13 水泵的流量、水头和转数之间的关系 .....  | 31 | 5-6 离心式通风机特性曲线的换算 .....        | 63 |
| 2-14 离心式水泵的并联工作 .....        | 32 | 5-7 通用特性曲线及离心式通风机的选择 .....     | 65 |
| 2-15 离心式水泵的串联工作 .....        | 34 | 5-8 离心式通风机在管路中的工作 .....        | 68 |
| 2-16 离心式水泵的构造实例 .....        | 35 | 5-9 离心式通风机的运转和调节 .....         | 70 |
| 2-17 离心式水泵的运转和调节 .....       | 38 | 第六章 压气机及鼓风机 .....              | 73 |
| 2-18 离心式水泵的选择 .....          | 39 | 6-1 活塞式压气机的工作原理、构造及设备 .....    | 73 |
| 第三章 轴流式水泵 .....              | 41 | 6-2 活塞式压气机的理想工作循环和实际工作循环 ..... | 74 |
| 3-1 轴流式水泵的构造及工作原理 .....      | 41 | 6-3 活塞式压气机的效率及功率 .....         | 77 |
| 3-2 叶片的理论基础 .....            | 41 | 6-4 多级压缩及级间冷却、多级活塞式压气机 .....   | 78 |
| 3-3 水头和流量 .....              | 43 | 6-5 活塞式压气机的调节及安全操作 .....       | 81 |
| 3-4 轴流式水泵的特性、运转和调节 .....     | 45 | 6-6 离心式压气机的构造及工作原理 .....       | 81 |
| 第四章 活塞式水泵、齿轮式水泵及喷射式水泵 .....  | 46 | 6-7 离心式压气机与活塞式压气机的比较 .....     | 83 |
| 4-1 活塞式水泵的分类 .....           | 46 | 6-8 转子式压气机 .....               | 84 |
| 4-2 活塞式水泵的结构和工作原理 .....      | 47 |                                |    |

## 第二篇 制冷机

|                     |    |                      |    |
|---------------------|----|----------------------|----|
| 第七章 压缩式制冷机的理论 ..... | 86 | 7-1 卡诺逆循环及制冷系数 ..... | 88 |
|---------------------|----|----------------------|----|

|                                 |     |                                     |     |
|---------------------------------|-----|-------------------------------------|-----|
| 7-2 空气压缩式制冷机循环                  | 87  | 12-3 贮液器                            | 145 |
| 7-3 蒸汽压缩式制冷机循环                  | 89  | 12-4 空气分离器                          | 145 |
| 7-4 蒸汽压缩式制冷机的理论工作循环的<br>计算      | 91  | 12-5 除尘器                            | 146 |
| 7-5 活塞式压缩机的工作过程、效率和<br>功率       | 94  | 12-6 调节阀与关闭阀                        | 146 |
| 7-6 制冷能力的变化, 标准制冷能力,<br>制冷能力的换算 | 96  | <b>第十三章 制冷机的自动化仪表</b>               | 148 |
| 7-7 两级压缩制冷机的工作循环                | 98  | 13-1 浮球调节阀                          | 148 |
| 7-8 三级压缩制冷循环                    | 101 | 13-2 温度调节阀                          | 149 |
| 7-9 在一个汽缸中实行两级压缩(福尔<br>希沙循环)    | 102 | 13-3 压力继电器                          | 150 |
| 7-10 串级循环                       | 104 | 13-4 水量调节阀                          | 152 |
| 7-11 热泵的概念                      | 106 | 13-5 电磁阀                            | 153 |
| <b>第八章 压缩式制冷机的制冷<br/>剂及冷媒</b>   | 107 | 13-6 远距离液面指示器                       | 153 |
| 8-1 对制冷剂的要求                     | 107 | <b>第十四章 压缩式制冷机的选择、安<br/>装、使用及维护</b> | 155 |
| 8-2 制冷剂的性能                      | 107 | 14-1 选择                             | 155 |
| 8-3 制冷剂的存放                      | 109 | 14-2 安装和使用                          | 158 |
| 8-4 冷媒                          | 110 | 14-3 制冷机的维护                         | 159 |
| <b>第九章 制冷装置的压缩机</b>             | 112 | <b>第十五章 吸收式制冷机</b>                  | 161 |
| 9-1 活塞式(往复式)压缩机的分类              | 112 | 15-1 概述                             | 161 |
| 9-2 活塞式压缩机主要尺寸的确定               | 112 | 15-2 简单吸收式制冷机的工作过程                  | 161 |
| 9-3 活塞式压缩机的构造                   | 114 | 15-3 混合物的焓-浓度( $i-\xi$ )图           | 163 |
| 9-4 离心式(透平式)压缩机                 | 128 | 15-4 简单吸收式制冷机在 $i-\xi$ 图中<br>的工作循环  | 164 |
| <b>第十章 蒸发器的构造及计算</b>            | 130 | 15-5 具有热交换器的吸收式制冷机的<br>工作循环         | 166 |
| 10-1 蒸发器的各种型式和它们的工作<br>情况       | 130 | 15-6 溴化锂吸收式制冷机                      | 168 |
| 10-2 蒸发器的热工计算                   | 133 | 15-7 扩散式吸收制冷机                       | 170 |
| <b>第十一章 冷凝器的构造与计算</b>           | 136 | <b>第十六章 蒸汽喷射式制冷机</b>                | 172 |
| 11-1 各式冷凝器的构造及其工作情况             | 136 | <b>第十七章 温差电制冷(半导体制冷)<br/>的原理与应用</b> | 174 |
| 11-2 冷凝器的热工计算                   | 139 | 17-1 温差电制冷的基本原理                     | 174 |
| <b>第十二章 制冷装置的辅助设备及其<br/>附件</b>  | 143 | 17-2 温差电制冷的应用                       | 177 |
| 12-1 油分离器和集油器                   | 143 | <b>第十八章 制冷在空气调节上的应<br/>用</b>        | 180 |
| 12-2 液体分离器、热交换器及中间冷<br>却器       | 143 | 附表                                  | 184 |
|                                 |     | 参考书目                                | 191 |
|                                 |     | 附图                                  | 192 |

## 緒 論

### (一)

在供热、供煤气、通风及空气调节系统中，啣送冷水或热水，就必须借助于“水泵”；啣送气体或空气，就必须借助于“通风机”；而空气调节系统中的空气冷却则常须借助于“制冷机”。因此，水泵、通风机及制冷机是在本专业业务范围内最常遇到的而又最为重要的三种基本机械设备。同时由于这三者相互间又有某些共性或联系，因此就将它们合在一起，作为专业的基础技术课。

“泵”是各种啣送流体的机械的总称，一般常用啣送物的名称来区分，如将啣送水的称为“水泵”，啣送空气的称为“风泵”。习惯上“泵”也往往是专指“水泵”而言，如本课程名称上的“泵”，则主要是指各式各样的水泵。

啣送气体的“风泵”往往按其所产生的压头不同，而又区分为通风机、鼓风机、压气机等三种。这三种“风泵”在本专业的业务范围内皆有相当的应用。不过相对地说，以通风机应用得更为广泛，因此我们将它作为主要对象来研究。

制冷机（或称制冷装置）是指为了实现“制冷”而组合在一起工作的各种设备的总称。如我们应用得最广的压缩式制冷机，它即包括了压缩机、换热器、调节阀等全部设备。

在专业的业务范围中，主要要求会选择和使用这三种机械设备。因此，我们研究的重点，即在它们的工作原理、构造、性能、选择及必须的设计计算方法和运行中注意事项等方面。

### (二)

由于生产和生活上的需要，人类很早就使用了空气强制流动和啣送水的工具及机械设备。如为了强化燃烧的需要而使用了简单的煽火工具以及较为完善的手拉风箱；为了农田灌溉上的需要而制造了各种啣水机械。明朝宋应星所著的“天工开物”一书记载有我国人民很早以前就有这些方面的卓越成就。这些工具和设备目前仍在我国民间应用。

最早的啣送空气或水的设备所使用的原动力，主要是人力或畜力，由于冶金技术不发达，这些设备只能是小功率的、木制的。当然，这是远不能适应生产力日益发展的要求的。

为了满足啣水的需要，在十六世纪和十七世纪之间，人们即提出了利用蒸汽的作用来啣水的想法。十七世纪末，出现了蒸汽啣水泵，它是利用蒸汽在吸水泵缸中凝结时所产生的真空，使水在大气压力的作用下进入泵缸，然后再用蒸汽的压力将水压出排水管。接着，针对冶金炉鼓风上的要求，И. И. 波尔祖诺夫于 1765 年创制了由蒸汽机带动的“风箱”，使啣送机械进入利用蒸汽动力的阶段。

此后，随着动力机械和工业的迅速发展，对泵及通风机提出了新的要求，同时也提供了发展的条件。譬如离心泵的构造和基本原理，虽然在十八世纪时即已先后被提出，但直到十九世纪的末叶，由于电动机的广泛使用才使其得到了普遍的推广。泵与通风机的的发展和日趋完善，也保证了生产上的迫切要求，譬如没有优良的水泵保证蒸汽动力锅炉的给水，动力设备的发展则会受到相当的影响。又如没有优良的鼓风设备，强化炉内燃烧则会受到

很大的限制。因此，泵与通风机技术的发展，与其它生产技术的发展是相互依存的。

至于制冷技术的发展，还是近百年来事。为着食品储藏等方面的需要，人们期望获得制冷的效果。但是“制冷”要比“制热”更为复杂得多，最初只能利用天然“冷”的储藏，如利用冰窖以保存冬季的冰，不过这毕竟受着技术经济的限制而难以满足要求。“冷”、“热”是对立的统一，随着人们对热力现象的深入研究和热力机械的发展，对自然现象的观察不断深化，学会了利用热力学第二定律的规律——消耗机械功而获得制冷循环的途径。1875年，德国人林德创造了第一部具有经济价值的氨压缩机，开辟了压缩式制冷的新的一页。因此，制冷技术的发展与压气机之间有着密切的联系。

尽管制冷技术是一门年轻的科学，但由于各方面广泛的需要和其它学科的发展所提供的有利条件，使这门年轻的学科得到了特别迅速的成长。近年来，深度冷冻已成为世界科学尖端之一了。

解放以来，我国在泵、通风机和制冷机的制造和研究方面，得到了党和政府的重视，先后建立了专业性制造厂，如沈阳水泵厂、沈阳鼓风机厂、上海冷气机械厂等。同时，有些机械制造厂或通用机械厂，根据党的一整套“两条腿走路”的方针，为满足工农业生产上的广泛需要，制造了不少泵、通风机等设备。1958年的全民大炼钢铁运动，大大地带动了鼓风机制造业的飞跃发展。1961年的大办农业，以及工业的继续发展，将相应地促使水泵制造业的迅速提高与发展。

为了提高理论水平和设计制造技术，国家在高等学校中设置了相应的专业。同时，科学工作者也正从事于有关的研究工作。

### (三)

前已提到，本课程是主要的专业技术基础课之一。它综合应用了“流体力学”、“工程热力学”、“传热学”等基础理论知识，并为学习“锅炉设备”、“采暖通风”、“煤气供应”、“热供应”等专业课提供了必要条件。

应该指出，本专业技术的成长与发展是与这三种机械的成长与发展不可分割的。显然，如果没有泵与通风机等啮送机械，就不可能将煤气、热水、处理后的空气供送到目的地。因此可以说，通风机的出现提供了人工通风的可能。水泵的发明，为近代蒸汽、热水暖房创造了条件。近代创造室内气象条件的空气调节设备，正是泵、通风机、制冷机等有机组合体。

同时，专业业务范围内各个系统工作的经济与安全，也与这三种机械的合理选用和正常运行是分不开的。如果说：热、煤气供应系统如同血管一样地输送着能量，那么泵与通风机则起着“心脏”的作用；如果说通风系统好象呼吸器官一样，那么通风机则是人工通风的“肺脏”。显然，泵与通风机的停止工作，也就意味着整个系统的停止工作。此外，泵与通风机的动力消耗，是我们管网水力计算中技术经济方案比较的主要指标；而制冷机的动力消耗，也是整个空气调节系统赖以经济运行的重要依据。

因此，学好本课程，熟练地掌握本课程的技术业务，对专业人才的培养，有着特别重要的意义。

# 第一篇 泵与通风机

## 第一章 泵的基本型式和分类

在这一章里，我们将简略地介绍一下各种泵的类型和它们的工作原理，以便树立一个概念，至于它们的详细工作过程及构造，将在以后各章中进行讨论。

1. 活塞式泵：活塞式泵的工作主要是由一个活塞在圆筒形机壳内作往复运动（图 1-1），当活塞向上运动的时候，由于机壳（泵缸）内产生真空，液体便推开吸入阀进入泵缸中，而活塞向下运动时，液体被压缩以后，通过排出阀被排出。

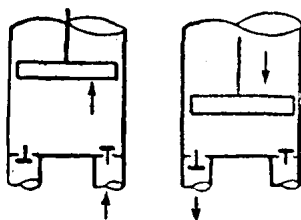


图 1-1 活塞式泵

2. 齿轮式泵：齿轮泵主要由一对彼此相咬的齿轮，安装在一个两端开口的机壳内而组成的。机壳和齿顶间的间隙极小，在齿轮旋转的时候传给液体很大的速度，从齿间将液体输出。

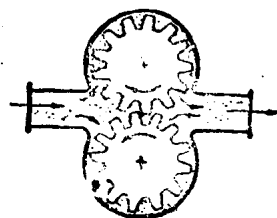


图 1-2 齿轮式泵

3. 转动滑片式泵：工作是依靠一转子，转子偏心地安装在一个圆筒形机壳内。在转子的槽内装有滑片，当转子旋转时，由于离心力的作用，滑片则从槽内滑出密贴于机壳上转动，依靠机室容积的减小和增大将液体压出和吸入。

活塞式泵和转动滑片式泵对液体作用的原理是相似的。只不过在第一种情形中进行着活塞的往复运动，而在第二种情形中，进行着转子的迴转运动。

4. 喷射式泵：喷射式泵基本上是一个安装于管路中的喷嘴，工作液体通过这个喷嘴后以高速喷进管内。由于在喷管中速度或动能的增长，使静压力相应减小，造成了真空，因此液体能够被吸入。并被高速工作液体送出。

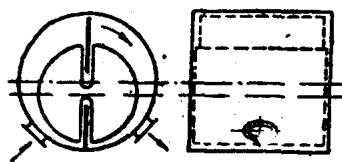


图 1-3 转动滑片式泵

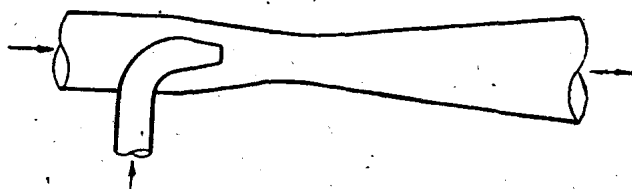


图 1-4 喷射式泵

5. 离心式泵：工作轮具有叶片，安装在一螺旋形机壳内。当叶轮旋转时，由于离心力的作用就将液体从轮内送出，经机壳后压至压水管路。

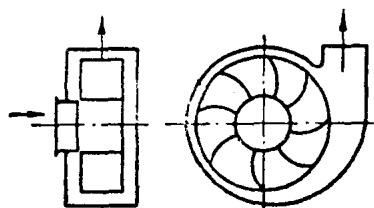


图 1-5 离心式泵

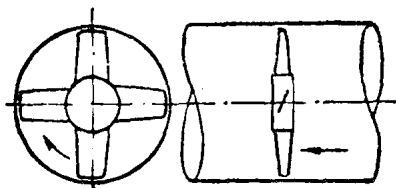
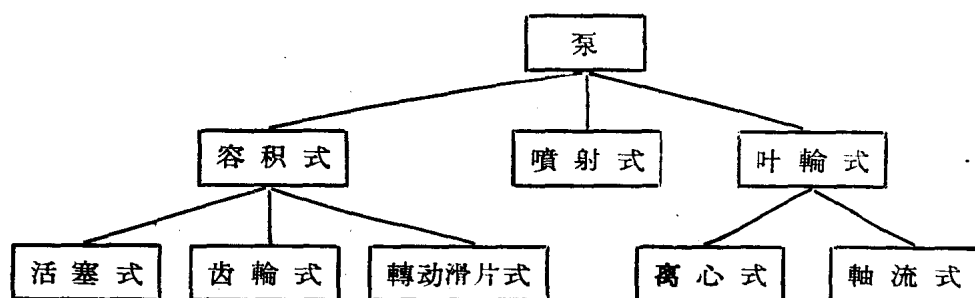


图 1-6 軸流式泵

6. 軸流式泵：工作也是靠一葉輪，但和离心式泵不同。軸流式葉輪好像是一個螺旋槳。當葉輪旋轉時，依靠葉片的推力將液體壓出。液體是從軸向吸入並從軸向壓出的，故根據液體在泵內的流動方向而叫做軸流式。

泵可以很清楚的按照它們的工作情形來進行分類：



以上每一種泵的型式也都可以用來壓縮氣體。例如：壓氣機有活塞式的、轉動滑片式的、噴射式的、离心式的和軸流式的。鼓風機有齒輪式的（羅茨鼓風機）、离心式的和軸流式的。通風機有离心式的和軸流式的。所以水泵和壓氣機械在原理、構造和性能上是很相似的機器。

各種型式的機械以往復式的壓氣機，离心式的泵與通風機在專業中用得最廣，所以本書將作為重點來介紹。

## 第二章 离心式水泵

### 2-1 离心式水泵的工作原理

图 2-1 为单级离心水泵的简图。离心水泵的主要工作部分是工作轮 1，它具有叶片 2，安装在螺旋形机壳 3 内的泵轴上。泵壳借接头与吸水管路 4 和压水管路 5 相连接。这一类型水泵之所以称为离心式，是因为它的工作原理是基于叶轮转动时所产生的离心力的作用。

在开动水泵之前，先使泵壳和吸水管路充满液体。当叶轮转动的时候，充满于叶片之间的槽道中的液体，在离心力的作用下，从叶轮中心被甩出叶轮，液体高速从叶轮流道，流过螺旋室，然后流向压水管。

同时，在水泵中产生了真空，由于在吸水面上大气压力的作用，水就经过吸水管路而流进水泵。这样，水泵就源源不断地供水了。

螺旋形机壳是用来将叶轮流出的液体平稳地引向压水管路，并逐渐地减小液体的流速，以达到化动能为压力能的目的。

### 2-2 离心式水泵的分类

离心水泵可按下列标准来分类。

按照叶轮的数目，离心水泵可分为：

(1) 单级水泵 (图 2-1)；

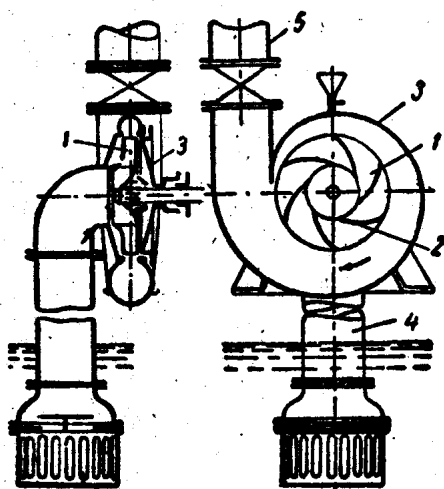


图 2-1 单级离心水泵简图

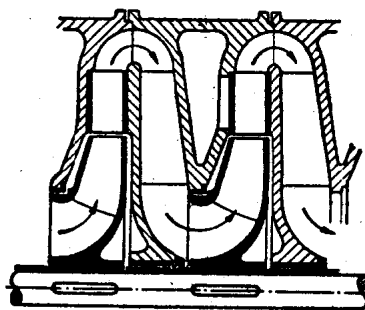


图 2-2 多级离心水泵工作图

(2) 多级水泵——装在同一泵轴上有几个叶轮，水顺序流过各叶轮，所产生的总水头等于各叶轮所产生的水头之和。根据叶轮的数目，多级水泵可以是双级的、三级的等等。图 2-2 是一台多级离心水泵的工作原理图。图 2-3 是一台三级离心水泵的构造图。

有的多级水泵中，所有叶轮都朝着一个方向 (图 2-3)，而有的多级水泵中一半叶轮的方向是和另一半相反的 (图 2-4)。在后一情形，液体经过专门的通管从一个叶轮流向另一叶轮。

按照所产生的水头，水泵可分为：

(1) 低压水泵 (水头在 20 米以下)；

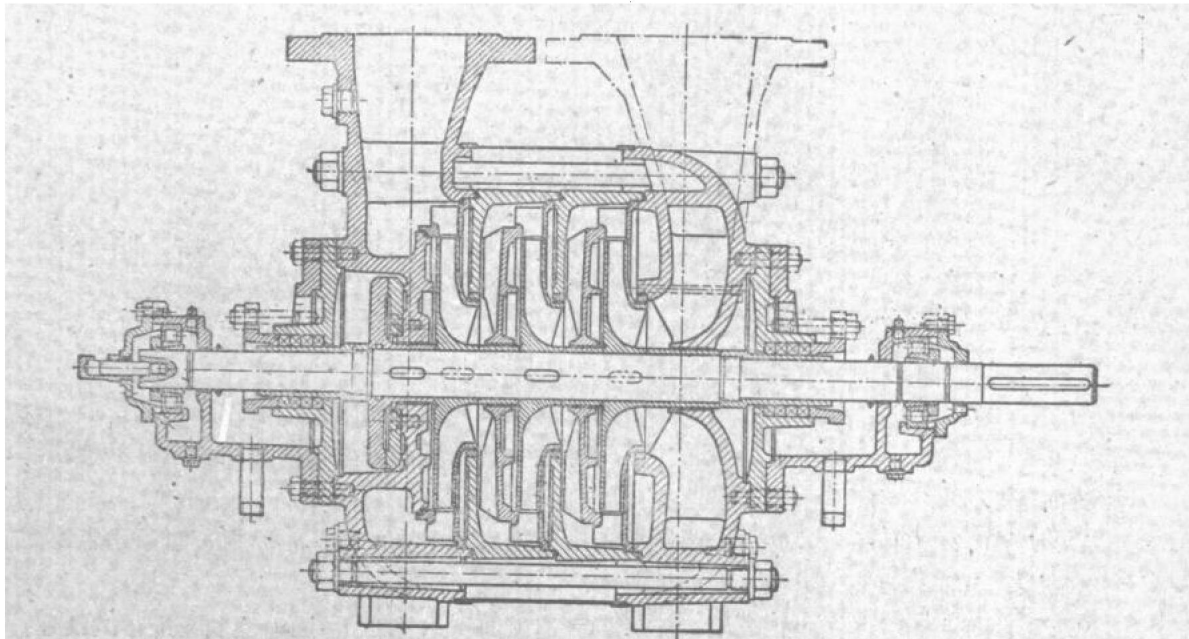


图 2-3 三級离心泵

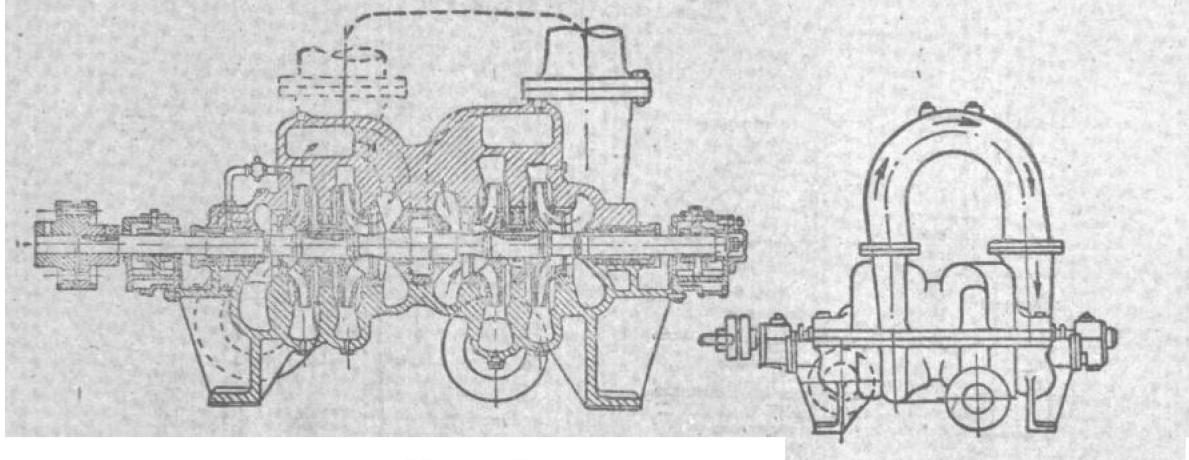


图 2-4 具有通管的四級离心泵

(2) 中压水泵 (水头在 20 到 60 米之間) ;

(3) 高压水泵 (水头在 60 米以上) 。

按照叶輪进水的情况, 水泵可分为:

(1) 叶輪单面进水的水泵 (图 2-1) ;

(2) 叶輪双面进水的水泵 (图 2-5) 。

按照泵軸的位置, 水泵可分为:

(1) 立式的;

(2) 臥式的。

此外还可按照比轉数来分类, 見 2-12 节。

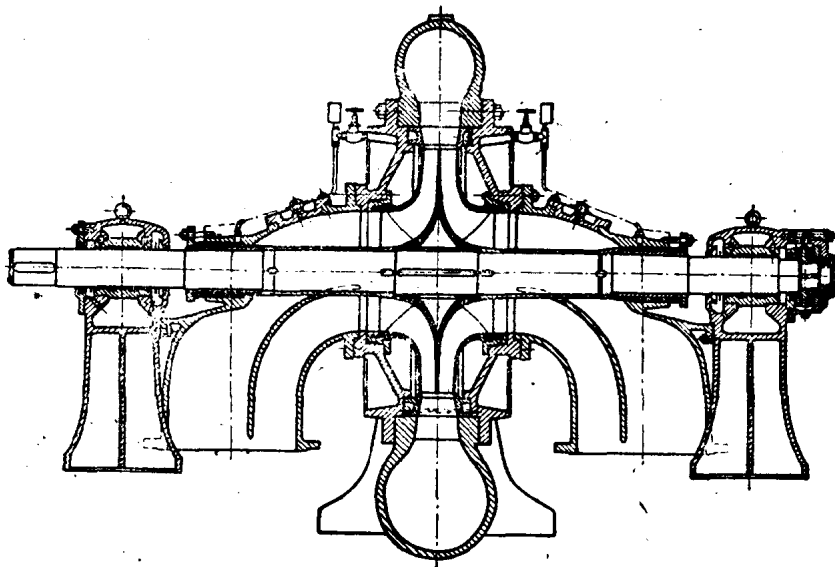


图 2-5 双面进水的水泵

### 2-3 离心式水泵的管路附件

图 2-6 为离心水泵和必需的管路附件的装置简图，在离心水泵上一般应当装置下列管路附件：

- (1) 充水设备——水泵启动前必须先充水以驱除水泵中之空气；
- (2) 具有滤水网的底阀——用来挡住在启动水泵前从压水管充入水泵和吸水管路的水。在巨大的水泵中，没有底阀，水泵启动时是用真空泵来抽出泵内和吸水管路中的空气；
- (3) 放气阀——装于泵壳的顶部，用来在水泵先充水时排出空气；
- (4) 压水管路上的止回阀——用以阻止水从压水管路向水泵倒流；或者在两台或更多的水泵并联工作时，阻止水流从一台水泵流入其它水泵；
- (5) 压水管路上的闸门阀——装于紧靠水泵之处，在启动、停车以及调节水泵的流量时使用；
- (6) 真空表——装在水泵的吸水管接头上，用来测定水泵的真空度（或称真空计示吸水高度）；
- (7) 压力表——装在水泵的压水管接头上，用来测定水泵所产生的水头。

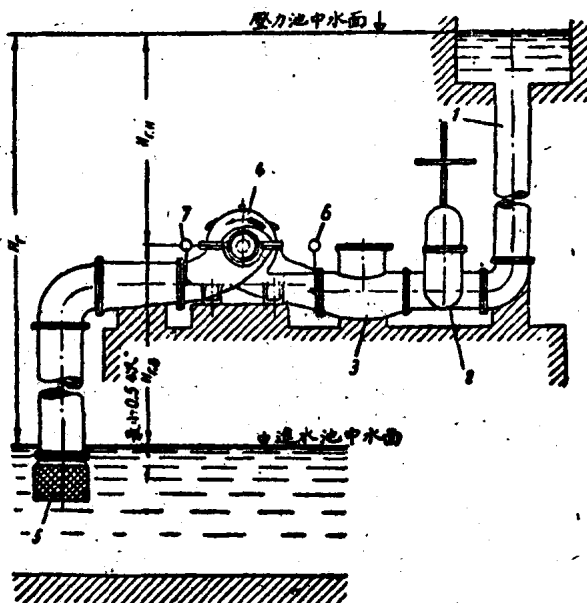


图 2-6 离心水泵装置简图

1-压水管路；2-闸门阀；3-止回阀；4-水泵；5-底阀；  
6-压力表；7-真空表； $H_{2,H}$  压水地形高度； $H_{2,S}$  吸水  
地形高度； $H_g$  扬水地形高度

## 2-4 液体在叶轮上的运动

在离心水泵中，液体沿着泵轴轴线的方向以绝对流速  $C_0$  进入叶轮（图2-7）。在叶轮进口处，液流离开了轴向而转入径向，同时绝对流速则从  $C_0$  增为  $C_1$ ， $C_1 > C_0$ 。

液体以流速  $C_1$  进入旋转中的叶轮，通过叶轮得到能量后到离开叶轮时流速增为  $C_2$ 。在流经叶轮槽道的时候，液体质点除了以圆周速度  $u$  随着叶轮旋转外，同时还以相对速度  $W$  沿着叶片而移动。此时液体的绝对速度是这两种速度的矢量和。

根据叶轮进口上的圆周速度  $u_1$  和相对速度  $W_1$ ，用速度平行四边形，可确定液体质点在叶轮进口处的绝对速度  $C_1$ 。同样叶轮出口上的绝对速度  $C_2$  则决定于圆周速度  $u_2$  和相对速度  $W_2$  所组成的速度平行四边形。

在速度平行四边形中， $W_1$  和  $u_1$  之间的角度  $\beta_1$  为叶片进口端的倾斜角，同样， $W_2$  和  $u_2$  之间的夹角为叶片出口端的倾斜角  $\beta_2$ 。为使液体无撞击地流入叶槽，其相对速度  $W_1$  应和叶片进口端部分的表面相切。速度  $C_1$  和  $u_1$ ， $C_2$  和  $u_2$  之间的角度决定液流在进口的方向  $\alpha_1$  和出口的方向  $\alpha_2$ 。

出口处的绝对流速  $C_2$  有两个分量，在半径方向的  $C_{2r} = C_2 \sin \alpha_2$  即所谓绝对流速的径向分速，和圆周的方向  $C_{2u} = C_2 \cos \alpha_2$ ，即绝对流速的圆周分速。

## 2-5 离心式水泵的基本方程式(理论水头方程式)

推导离心水泵的基本方程式时，我们假定水泵在没有水力损失的情况下进行工作，并假定水泵的叶轮具有无穷数无限薄的叶片，这样，我们就可以把流过叶轮的液流当作是由单元流束所组成，流束的形状严格地符合于叶槽的形状。液体的流动假定是稳定流。

叶轮每秒钟传给液体的功等于  $\gamma Q_T H_T$ ，而传给 1 公斤液体的功，则等于叶轮所产生的理论水头（米水柱）。

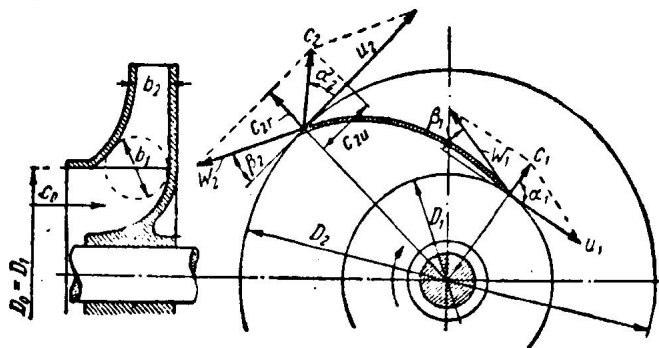


图 2-7 离心水泵的叶轮

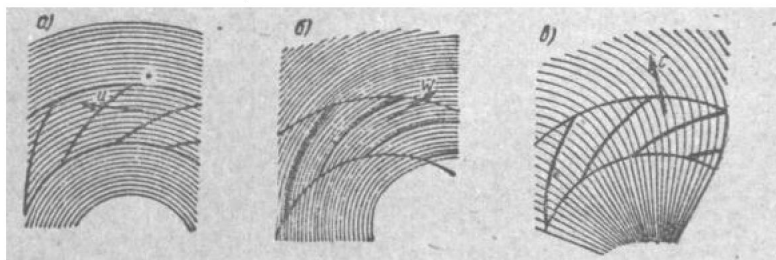


图 2-8 叶轮中液体的旋转运动、相对运动和绝对运动

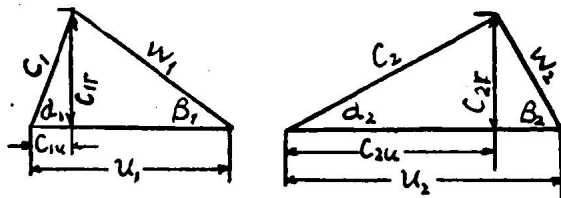


图 2-9 进口和出口的速度三角形

图 2-10 所示为叶槽中液体质点从进口 (a 点) 到出口 (b 点) 的流动情况。这两点的位置决定于叶片进口与出口的角度  $\beta_1$  和  $\beta_2$ 。

推导理论水头方程式时, 最方便而清楚的是利用动量矩定律, 这定律在稳定流时可表述如下: 每秒钟流过的液体的动量矩从一个断面到另一断面的变化等于作用在这两个断面之间的液体的外力的力矩。

因为在我們所研究的离心水泵中, 水泵在没有任何损失的情况下工作, 则供给它的轴功率是全部传给液流的, 所以,

$$N = \gamma Q_T H_T \text{ 公斤米/秒} \quad (2-1)$$

从另一方面, 这部分功率可以用  $M$  和  $\omega$  来表达:  $M$  是作用于液流的外力的力矩, 即水泵转轴上的力矩,  $\omega$  是叶轮转动的角速度, 于是,

$$N = M\omega \text{ 公斤米/秒} \quad (2-2)$$

从以上二式得:

$$H_T = \frac{M\omega}{\gamma Q_T} \text{ 米} \quad (2-3)$$

以  $m$  表示每秒钟流过叶轮的液体的质量, 我們得到其动量矩:

$$\text{在叶轮进口} \quad M_1 = m C_1 l_1,$$

$$\text{在叶轮出口} \quad M_2 = m C_2 l_2.$$

因其动量矩的变化等于作用在液流上的外力的力矩, 故

$$M = M_2 - M_1 = m (C_2 l_2 - C_1 l_1)$$

式中  $l_1$  和  $l_2$  分别表示绝对速度  $C_1$  和  $C_2$  与叶轮中心的垂直距离 (见图 2-10), 并且  $l_1 = R_1 \cos \alpha_1$  及  $l_2 = R_2 \cos \alpha_2$ .  $R_1$  和  $R_2$  则分别为叶轮的內半径及外半径。

又因

$$m = \frac{\gamma Q_T}{g}$$

故可得出:

$$M = \frac{\gamma Q_T}{g} (R_2 C_2 \cos \alpha_2 - R_1 C_1 \cos \alpha_1) \quad (2-4)$$

将上值代入公式 (2-3), 并注意到

$$\omega R_2 = u_2 \text{ 和 } \omega R_1 = u_1.$$

我們得到离心水泵理论水头的方程式为:

$$H_T = \frac{u_2 C_2 \cos \alpha_2 - u_1 C_1 \cos \alpha_1}{g} \text{ 米} \quad (2-5)$$

俄国彼得堡科学院院士 Л. 欧拉就是以这样的形式首先导出了这个方程式。所以此式又叫欧拉方程式。

因为  $C_2 \cos \alpha_2 = C_{2u}$  和  $C_1 \cos \alpha_1 = C_{1u}$ , 所以基本方程式可改写为下列形式:

$$H_T = \frac{u_2 C_{2u} - u_1 C_{1u}}{g} \quad (2-5a)$$

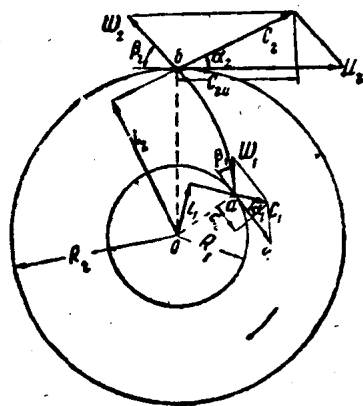


图 2-10 叶轮进口处和出口处的液体运动速度图 (用于推导水泵的基本方程式)

在离心水泵中,根据設計,液体通常成径向流入叶輪,即  $\alpha_1 = 90^\circ$  这样可以保证較大的水头。因此

$$H_T = \frac{C_2 u_2 \cos \alpha_2}{g} = \frac{1}{g} u_2 C_{2u} \text{ 米} \quad (2-5b)$$

根据速度三角形 (图 2-9)

$$W_2^2 = u_2^2 + C_2^2 - 2u_2 C_2 \cos \alpha_2$$

$$W_1^2 = u_1^2 + C_1^2 - 2u_1 C_1 \cos \alpha_1$$

又  
故

$$C_{2u} = C_2 \cos \alpha_2; C_{1u} = C_1 \cos \alpha_1$$

$$2u_2 C_{2u} = u_2^2 + C_2^2 - W_2^2$$

$$2u_1 C_{1u} = u_1^2 + C_1^2 - W_1^2$$

代入公式 (2-5a) 后, 于是又可以得到欧拉方程式的另一种形式:

$$H_T = \frac{u_2^2 - u_1^2}{2g} + \frac{W_1^2 - W_2^2}{2g} + \frac{C_2^2 - C_1^2}{2g} \text{ 米} \quad (2-6)$$

由上式看出, 水泵产生的水头乃由此三部分水头之和所組成。

从欧拉方程式中看出, 水泵产生的水头是随着圓周速度  $u_2$  的增大而增大, 而圓周速度又正比于  $D_2$  及轉数  $n$ , 因此增大  $D_2$  或  $n$  均可增加水泵的水头。

公式 (2-5b) 給出以水柱米計的理論水头。从这一公式可以看出: 为了获得正值的水头, 必須使  $\alpha_2 < 90^\circ$ ;  $\alpha_2$  愈小, 水头愈大。通常在  $6^\circ$  到  $15^\circ$ , 很少到  $20^\circ$ 。

水泵所产生的实际水头比理論水头为低, 其原因有二:

(1) 由于在叶片数目有限的情况下并非所有的液体质点都均等地被叶片甩出而沿着計算迹綫运动;

(2) 由于一部分水头被消耗于克服水泵内的水力阻力。

为了計及第一个原因所引起的水头降低, 在公式 (2-5b) 中引入叶片数目有限时的校正系数,  $K < 1$ 。第二个原因所造成水头降低則引用水力效率  $\eta_e$  来計及。

引用了两个系数后, 水头的計算公式就变为下列形式:

$$H = \eta_e \frac{K u_2 C_2 \cos \alpha_2}{g} \quad (2-7)$$

$\eta_e$  的数值决定于水泵的构造、制造的质量和尺寸。其数值界于 85% 至 95% 之間。系数  $K$  的数值可按  $\Gamma \cdot \Phi \cdot$  泊罗斯庫拉院士的公式来决定。

$$K = \frac{1}{1 + 2 \frac{\psi}{Z} \times \frac{1}{1 - \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2}} \quad (2-8)$$

式中:  $Z$  为叶片数目;

$D_1$  和  $D_2$  为叶輪的内径和外径;

$\psi$  为系数, 視叶片角  $\beta_2$  而定, 可按下列公式决定之,

$$\psi = 0.6 (1 + \sin \beta_2) \quad (2-9)$$

对于通常的叶輪, 在  $\frac{D_1}{D_2} = 0.5$ 、 $Z = 8$ 、 $\beta_2 = 30^\circ$  的情况下, 按照公式 (2-9) 我們得到: