

机械工程手册

第 77 篇 泵、真空泵

(试 用 本)

机械工程手册
电机工程手册

编辑委员会



机械工业出版社

机械工程手册

第 77 篇 泵、真空泵

(试 用 本)

机械工程手册
电机工程手册

编辑委员会



机械工业出版社

本篇包括泵和真空泵两部分：泵部分有泵概述、离心泵、轴流泵、旋涡泵、往复泵、螺杆泵、齿轮泵、液环泵、射流泵、水轮泵等十章；真空泵部分有真空泵概述、容积真空泵、射流真空泵、其他类型真空泵、真空机组等五章。本篇内容以设计计算为主，着重介绍各类泵和真空泵的工作原理、典型结构和设计计算方法等。

机 械 工 程 手 册

第 77 篇 泵、真空泵

(试 用 本)

沈 阳 水 泵 研 究 所 主 编
沈 阳 真 空 技 术 研 究 所

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 $10 \frac{1}{2}$ · 字数 296 千字

1980年3月北京第一版·1980年3月北京第一次印刷

印数 00,001—43,000 · 定价 0.80 元

*

统一书号：15033·4619

编辑说明

(一) 我国自建国以来，机械工业在毛主席的革命路线指引下，贯彻“独立自主、自力更生”和“洋为中用”的方针，取得了巨大的成就。为了总结广大群众在生产和科学研究方面的经验，同时采用国外先进技术，加强机械工业科学技术的基础建设，适应实现“四个现代化”的需要，我们组织编写了《机械工程手册》和《电机工程手册》。

(二) 这两部手册主要供广大机电工人、工程技术人员和干部在设计、制造和技术革新中查阅使用，也可供教学及其他有关人员参考。

(三) 这两部手册是综合性技术工具书，着重介绍各专业的理论基础，常用计算公式，数据、资料，关键问题以及发展趋势。在编写中，力求做到立足全局，勾划概貌，反映共性，突出重点。在内容和表达方式上，力求做到深入浅出，简明扼要，直观易懂，归类便查。读者在综合研究和处理技术问题时，《手册》可起备查、提示和启发的作用。它与各类专业技术手册相辅相成，构成一套比较完整的技术工具书。《机械工程手册》包括基础理论、机械工程材料、机械设计、机械制造工艺、机械制造过程的机械化与自动化、机械产品六个部分，共七十九篇；《电机工程手册》包括基础理论、电工材料、电力系统与电源、电机、输变电设备、工业电气设备、仪器仪表与自动化七个部分，共五十篇。

(四) 参加这两部手册编写工作的，有全国许多地区和部门的工厂、科研单位、大专院校等五百多个单位、两千多人。提供资料和参加审定稿件的单位和人员，更为广泛。许多地区的科技交流部门，为审定稿件做了大量的工作。各篇在编写、

协调、审查、定稿各个环节中,广泛征求意见,发挥了广大群众的智慧和力量。

(五) 为了使手册早日与读者见面,广泛征求意见,先分篇出版试用本。由于我们缺乏编辑出版综合性技术工具书的经验,试用本在内容和形式方面,一定会存在不少遗漏、缺点和错误。我们热忱希望读者在试用中进一步审查、验证,提出批评和建议,以便今后出版合订本时加以修订。

(六) 本篇是《机械工程手册》第77篇,包括泵和真空泵两部分。泵部分由沈阳水泵研究所主编,参加编写的有第一机械工业部合肥通用机械研究所、天津市工业泵厂、沈阳计算技术研究所、甘肃工业大学、武汉水利电力学院、福建省机械研究所;真空泵部分由沈阳真空技术研究所主编,参加编写的有东北工学院、西安重型机械研究所、浙江水泵厂、北京仪器厂、合肥工业大学、上海曙光机械制造厂。许多有关单位对编审工作给予大力支持和帮助,在此一并致谢。

机械工程手册
电机工程手册 编辑委员会编辑组

目 录

编辑说明
常用符号表

泵

第 1 章 泵概述

- 1 泵的分类.....77-1
- 2 泵的特性比较.....77-5

第 2 章 离心泵

- 1 工作原理和基本参数.....77-6
- 2 主要结构型式.....77-6
- 3 离心泵叶轮内的液体流动与基本方程式.....77-10
 - 3.1 离心泵叶轮内的液体流动.....77-10
 - 3.2 基本方程式.....77-10
 - 3.3 速度三角形.....77-10
 - 3.4 滑移系数.....77-11
 - 3.5 扬程.....77-12
- 4 泵内能量损失和效率
 - 4.1 水力损失和水力效率.....77-12
 - 4.2 容积损失和容积效率.....77-12
 - 4.3 机械损失和机械效率.....77-12
 - 4.4 总效率.....77-13
- 5 相似定律及其应用.....77-13
 - 5.1 相似性和模型试验.....77-13
 - 5.2 比转数.....77-13
- 6 特性曲线.....77-14
 - 6.1 特性曲线的获得.....77-14
 - 6.2 无因次特性曲线.....77-15
 - 6.3 转速与特性曲线的关系.....77-15
 - 6.4 改变叶轮外径时特性曲线的变化.....77-16
 - 6.5 液体物理性质对特性曲线的影响.....77-16
- 7 汽蚀.....77-18
 - 7.1 汽蚀的现象和原因.....77-18
 - 7.2 汽蚀余量.....77-18
 - 7.3 吸上真空高度.....77-20

- 7.4 临界值的确定.....77-20
- 7.5 运转特性与汽蚀.....77-21
- 7.6 汽蚀比转数和汽蚀相似律.....77-21
- 7.7 输送非冷水液体时的汽蚀余量.....77-22
- 8 泵的工况点及调节.....77-23
 - 8.1 装置扬程及泵工况点的确定.....77-23
 - 8.2 调节.....77-24
- 9 轴向力、径向力及其平衡.....77-25
 - 9.1 单吸式离心叶轮的轴向力.....77-25
 - 9.2 平衡轴向力的方法.....77-25
 - 9.3 径向力及其平衡.....77-27
- 10 离心泵水力设计.....77-28
 - 10.1 转速的确定.....77-28
 - 10.2 叶轮进口部分计算.....77-28
 - 10.3 叶轮出口部分计算.....77-29
 - 10.4 轴面投影图的确定.....77-31
 - 10.5 叶片绘型.....77-32
 - 10.6 压出室计算.....77-33
 - 10.7 吸入室计算.....77-34
- 11 部分流泵.....77-35
 - 11.1 基本原理.....77-35
 - 11.2 主要参数的确定.....77-35
- 12 混流泵设计.....77-36

第 3 章 轴流泵

- 1 工作原理和结构.....77-38
- 2 基本理论.....77-38
 - 2.1 轴流泵内的液体流动.....77-38
 - 2.2 叶栅和速度三角形.....77-39
 - 2.3 作用在翼型上的力和总扬程方程.....77-39
- 3 叶轮参数的确定.....77-40
 - 3.1 叶轮外径和轮毂比.....77-40
 - 3.2 叶栅稠密度.....77-40

3.3 叶片厚度.....77-41
 3.4 叶片数.....77-41
 4 翼型资料77-41
 5 叶轮设计步骤77-41
 6 导叶设计77-43
 6.1 导叶几何参数及尺寸的确定.....77-43
 6.2 导叶速度三角形及导叶叶栅计算.....77-44

第4章 旋涡泵

1 工作原理、特点和使用77-44
 2 结构型式77-45
 3 计算方法77-47
 3.1 转速和比转数的确定.....77-47
 3.2 主要几何尺寸计算.....77-47
 3.3 径向力计算.....77-49
 3.4 离心旋涡泵计算方法.....77-49

第5章 往复泵

1 类型、结构和特点77-50
 1.1 类型.....77-50
 1.2 结构.....77-51
 1.3 性能特点.....77-54
 2 工作过程77-55
 2.1 理想工作过程.....77-55
 2.2 实际工作过程.....77-56
 2.3 泵的起动过程和极限自吸高度.....77-56
 2.4 功率与效率.....77-56
 3 曲柄泵的脉动77-57
 3.1 曲柄泵活塞运动规律.....77-57
 3.2 瞬时流量及管内液体的流速和加速度.....77-58
 3.3 脉动引起的问题及解决办法.....77-59
 4 空气室77-61
 4.1 空气室作用原理.....77-61
 4.2 空气室类型.....77-61
 4.3 排出空气室计算.....77-62
 4.4 吸入空气室计算.....77-62
 5 阀77-63
 5.1 阀的类型.....77-63
 5.2 阀的基本理论.....77-64
 5.3 阀的设计计算.....77-65

6 主要性能和结构参数的选择和计算77-66
 6.1 主要性能参数计算.....77-66
 6.2 主要结构参数选择和计算.....77-67

第6章 螺杆泵

1 工作原理和特点77-67
 2 三螺杆泵77-68
 2.1 结构.....77-68
 2.2 密封线的形成.....77-69
 2.3 螺杆的几何形状和螺旋型面方程式.....77-70
 2.4 主要性能参数计算.....77-71
 2.5 作用在螺杆上的力.....77-72
 2.6 泵设计计算.....77-73
 2.7 螺杆加工刀具计算.....77-74
 3 双螺杆泵和五螺杆泵77-75
 3.1 结构.....77-75
 3.2 螺杆的几何形状.....77-75
 4 单螺杆泵77-78
 4.1 结构.....77-78
 4.2 螺杆和泵套的几何形状.....77-78

第7章 齿轮泵

1 工作原理和分类77-80
 1.1 工作原理.....77-80
 1.2 分类和结构.....77-80
 2 主要性能参数的确定77-81
 2.1 流量.....77-81
 2.2 效率.....77-82
 2.3 转速.....77-82
 3 齿轮泵的闭死容积和卸荷槽77-82
 3.1 闭死容积的形成和变化.....77-82
 3.2 卸荷槽.....77-83
 4 齿轮泵设计77-84
 4.1 结构参数的确定.....77-84
 4.2 径向力计算.....77-85
 5 高压齿轮泵77-85
 5.1 轴向间隙的液压补偿.....77-85
 5.2 高压齿轮泵结构示例.....77-86

第8章 液环泵

- 1 工作原理、特点和使用77-87
- 2 主要性能参数77-88
- 3 结构型式77-88
 - 3.1 基本结构型式77-88
 - 3.2 两级泵77-89
 - 3.3 串联气体喷射器的液环真空泵77-89
 - 3.4 结构实例77-90
- 4 计算方法77-91
 - 4.1 叶轮圆周速度和转速的确定77-91
 - 4.2 主要几何尺寸的确定77-91
- 5 特性曲线和性能换算77-93
 - 5.1 特性曲线77-93
 - 5.2 工作液体温度对液环真空泵气量和极限真空的影响77-93
 - 5.3 转速变化时液环泵性能的换算77-94

第9章 射流泵

- 1 工作原理、特点和用途77-94
 - 1.1 工作原理77-94
 - 1.2 特点和用途77-94
- 2 基本理论77-95
 - 2.1 基本方程77-95

第11章 真空泵概述**第12章 容积真空泵**

- 1 往复真空泵77-118
- 2 旋转真空泵77-119
 - 2.1 旋片真空泵77-119
 - 2.2 滑阀真空泵77-122
 - 2.3 机械增压泵(罗茨真空泵)77-124

第13章 射流真空泵

- 1 油扩散泵77-126
 - 1.1 工作原理与结构77-126
 - 1.2 主要参数和尺寸的确定77-128
 - 1.3 用油扩散泵获得超高真空77-131

- 2.2 最优参数方程77-97
- 2.3 汽蚀方程77-100
- 3 射流泵装置设计77-102
 - 3.1 主要工作构件形式77-102
 - 3.2 射流泵设计77-103
 - 3.3 射流式深井泵和泥浆泵装置设计77-104
 - 3.4 水抽气射流泵设计77-105

第10章 水轮泵

- 1 工作原理和特点77-109
- 2 结构型式选择77-110
 - 2.1 结构型式77-110
 - 2.2 结构选择77-111
- 3 水力计算77-113
 - 3.1 水轮机选择计算77-113
 - 3.2 配泵计算77-114
 - 3.3 特性曲线绘制77-114
- 4 水轮泵综合利用77-115
 - 4.1 综合利用方式77-115
 - 4.2 功率调节77-116
- 5 水轮泵站选型计算77-116
 - 5.1 初步选择77-116
 - 5.2 水轮泵的串联和并联77-116
 - 5.3 校核计算77-117

真 空 泵

- 2 油增压泵77-131
 - 2.1 工作原理与结构77-132
 - 2.2 主要参数和尺寸的确定77-132
- 3 水蒸汽喷射泵77-134
 - 3.1 工作原理与结构77-134
 - 3.2 主要参数和尺寸的确定77-136
- 4 空气喷射泵77-139
 - 4.1 工作原理与结构77-139
 - 4.2 大气喷射泵主要参数和尺寸的确定77-140
- 5 水喷射泵77-142

第14章 其他类型真空泵

- 1 分子筛吸附泵77-142
 - 1.1 工作原理与结构77-142

77-Ⅷ 常用符号表

1.2 主要参数的确定77-144

2 分子泵77-145

3 钛升华泵77-147

3.1 工作原理与结构77-147

3.2 主要参数和尺寸的确定77-148

4 回旋泵77-149

4.1 工作原理与结构77-149

4.2 有关参数的确定77-150

4.3 回旋泵的改进77-150

5 溅射离子泵77-151

6 冷凝泵77-152

第15章 真空机组

1 真空机组的计算77-153

1.1 主泵选择和计算77-154

1.2 前级泵的选择与计算77-155

2 常用真空机组的组成77-156

2.1 机械增压泵机组77-156

2.2 油增压泵机组77-156

2.3 油扩散泵机组77-156

2.4 油扩散泵超高真空机组77-157

2.5 无油超高真空机组77-157

参考文献77-158

常用符号表

泵

A ——面积 m^2, cm^2	p_a ——大气压力 $kgf/cm^2, kgf/m^2, mmHg$
C ——汽蚀比转数	p_d ——排出液面压力 $kgf/cm^2, kgf/m^2$
c ——绝对速度 m/s	p_s ——吸入液面压力 $kgf/cm^2, kgf/m^2$
F ——力 kgf	p_v ——液体饱和蒸汽压力 $kgf/cm^2, kgf/m^2$
F_A ——轴向力 kgf	Q ——流量 $m^3/s, l/min$
F_R ——径向力 kgf	Q_L ——泄漏损失 $m^3/s, l/min$
H ——扬程 (总扬程) m	Q_{th} ——理论流量 $m^3/s, l/min$
H_{scr} ——临界吸上真空高度 m	u ——圆周速度, 活塞线速度 m/s
h_L ——扬程损失 m	w ——相对速度 m/s
n ——转速 (往复次数) $r/min (min^{-1})$	Z ——几何高度 m
n_s ——比转数	γ ——重度 kgf/m^3
P ——泵轴功率 kW	Δh_r ——必需汽蚀余量 m
P_e ——有效功率 kW	Δh_o ——装置汽蚀余量 m
P_L ——功率损失 kW	η ——效率 (总效率)
P_M ——原动机功率 kW	η_h ——水力效率
p ——压力 $kgf/cm^2, kgf/m^2$	η_m ——机械效率
p_1 ——泵吸入口压力 $kgf/cm^2, kgf/m^2$	η_v ——容积效率
p_2 ——泵排出口压力 $kgf/cm^2, kgf/m^2$	

第1章 泵 概 述

1 泵的分类

泵是一种输送液体的流体机械[⊖]，它把原动机的机械能或其他能源的能量传递给液体，使液体的能量（位能、压力能或动能）增加。

按照作用原理泵分为

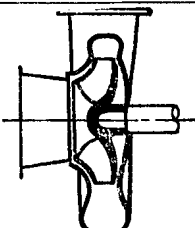
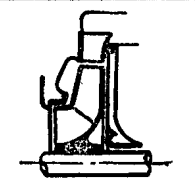
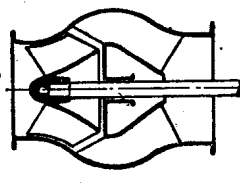
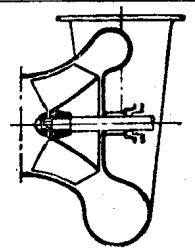
(1) 动力式泵(叶轮式泵)[⊕] 依靠旋转的叶

轮对液体的动力作用，把能量连续地传递给液体，使液体的速度能（为主）和压力能增加，随后通过压出室将大部分速度能转换为压力能。

(2) 容积式泵 依靠包容液体的密封工作空间容积的周期性变化，把能量周期性地传递给液体，使液体的压力增加至将液体强行排出。

(3) 其他类型泵 如射流泵、水锤泵等。

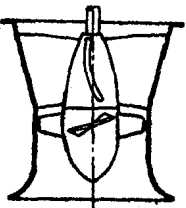
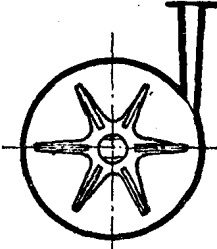
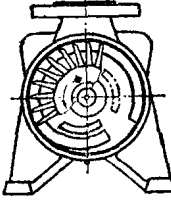
表77·1-1 动力式（叶轮式）泵

分 类	水力元件特征		图 例	结 构 型 式
	叶轮出口	压出室		
高 心 泵	径	蜗壳		<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 10px;"> <ul style="list-style-type: none"> — 单吸 — — 双吸 — </div> <div style="margin-right: 10px;"> <ul style="list-style-type: none"> — 自 吸 — — 不 自 吸 — — 单 级 — — 多 级 — </div> <div> <ul style="list-style-type: none"> — 开式叶轮 — 半开式叶轮 — 闭式叶轮 </div> </div>
		导叶		
	混 流	斜叶		
		蜗壳		

⊖ 广义上泵是一种输送流体的机械，包括某些输送气体的机械，如液环泵等，但常指的是输送液体。

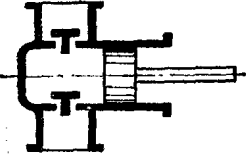
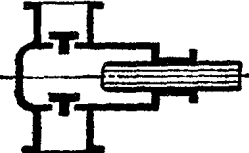
⊕ 叶轮式泵是按水力元件特征命名。

(续)

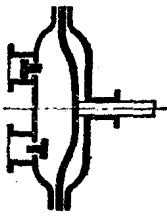
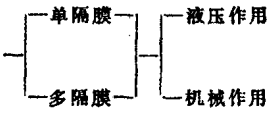
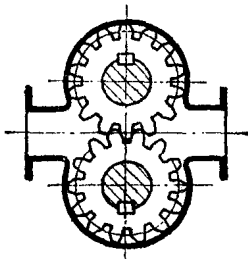
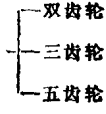
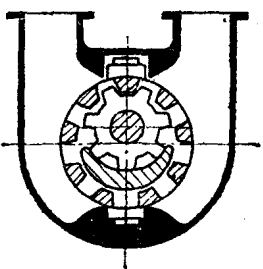
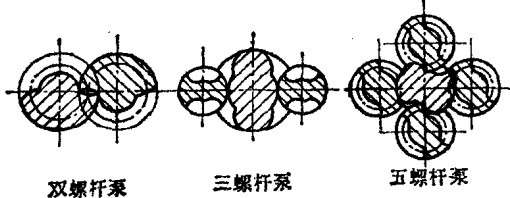

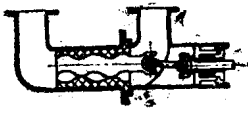
分 类	水力元件特征		图 例	结 构 型 式
	叶轮出口	压出室		
轴 流 泵	轴 向	导 叶		<ul style="list-style-type: none"> — 单级 — — 多级 — 开式叶轮 <ul style="list-style-type: none"> — 固定叶片 — 可调叶片
部 分 流 泵	径 向	带扩散器的环形壳体		—
旋 涡 泵	径 向	环 形 流 道		<ul style="list-style-type: none"> — 单级 — — 多级 — 自吸 不自吸 离心旋涡

注：水轮泵的泵部分为一般的离心泵或轴流泵，只是由水轮机驱动，在本分类表中不另列出。

表77-1-2 容积式泵

分 类	运动特征		图 例	结 构 型 式
	工作 元件	工作 空间		
往 复 泵 活 塞 、 柱 塞 泵 、 隔 膜 泵	往 复 运 动	静	 活 塞 泵	<ul style="list-style-type: none"> — 直动(蒸汽)—双作用 — — 机 动 — <ul style="list-style-type: none"> — 单缸 — 双缸 — 单缸 — 双缸 — 三缸 — 多缸
		止	 柱 塞 泵	

(续)

分 类	运动特征		图 例	结 构 型 式
	工作元件	工作空间		
往复泵 { 活塞、柱塞泵 隔膜泵	往复运动	静	 <p>隔膜泵</p>	
		止		
回 转 泵 齿 轮 泵	回 转	回	 <p>外啮合</p>	
		转	 <p>内啮合</p>	-
螺 杆 泵 轴 向 移 动 泵	轴 向 移 动	轴	 <p>双螺杆泵 三螺杆泵 五螺杆泵</p>	
		动	 <p>单螺杆泵</p>	-

(续)

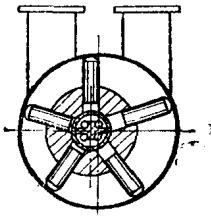
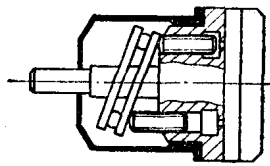
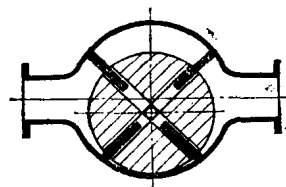
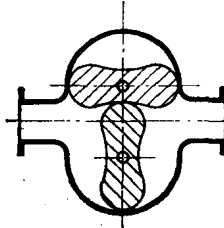
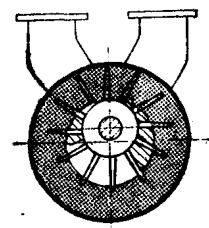
分 类	运 动 特 征		图 例	结 构 型 式
	工 作 元 件	工 作 空 间		
回 转	回	回		-
				-
转 泵	转 运 动	转		<ul style="list-style-type: none"> - 单作用 - 双作用
				-
液 环 泵				<ul style="list-style-type: none"> - 单作用 - 双作用 - 单级 - 两级

表77·1-3 其他类型泵

分 类	图 例	结 构 型 式
射流泵		<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; margin-right: 5px;"></div> <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> 单级 — 多级 </div> </div>
水锤泵		—
电磁泵		—

2 泵的特性比较

表77·1-4 各类泵的特性比较

泵类型	动 力 式 (叶轮式)			容 积 式		其 他
	离 心 泵	轴 流 泵	旋 涡 泵	往 复 泵	回 转 泵	射 流 泵
特性曲线形状						
流量与压力(扬程)的稳定性	稳 定			脉 动	脉 动	稳 定
自吸能力	除特殊结构的离心泵(自吸泵)外无自吸能力			能 自 吸		
启动与调节	启动前泵须灌液体并关闭出口阀, 一般用出口阀调节	启动前泵须灌液体, 全开出口阀, 用改变叶片安装角调节	出口阀全开下启动, 用旁通阀调节	出口阀全开下启动, 用专门调节机构或旁通阀调节		出口阀全开下启动, 用改变工作液体的流量和压力调节
转速	转速范围大, 可达很高转速	一般转速较低	转速较高	低速	转速较高	—
流量与压力(扬程)范围	流量、扬程范围较大	大流量, 低扬程	小流量, 较高扬程	中小流量, 压力范围大, 可达很高压力	流量不大, 中压或较高压力	流量扬程都不大
效率	高	高	较 低	高	较 高	低

第2章 离心泵

1 工作原理和基本参数

离心泵依靠旋转叶轮对液体的作用把原动机的机械能传递给液体。由于离心力的作用，液体在从叶轮进口流向叶轮出口的过程中，其速度能和压力

能都得到增加。被叶轮排出的液体经过压出室，大部分速度能转换成压力能，然后沿排出管路输送出去（图77·2-1）。这时，叶轮进口处则因液体的排出而形成低压或真空，吸入池中的液体在液面压力 P_s （通常为大气压）的作用下，即被压入叶轮的进口。于是，旋转着的叶轮就连续不断地吸入和排出液体。

离心泵的基本性能参数为流量 Q 、扬程 H 、必需汽蚀余量 Δh_r 、转速 n 、轴功率 P 和效率 η 。

2 主要结构型式

图77·2-2至图77·2-9为离心泵的8种主要结构型式。

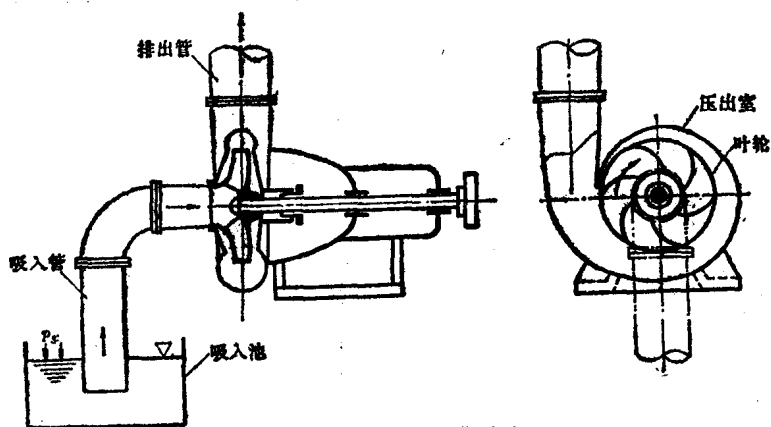


图77·2-1 离心泵工作原理

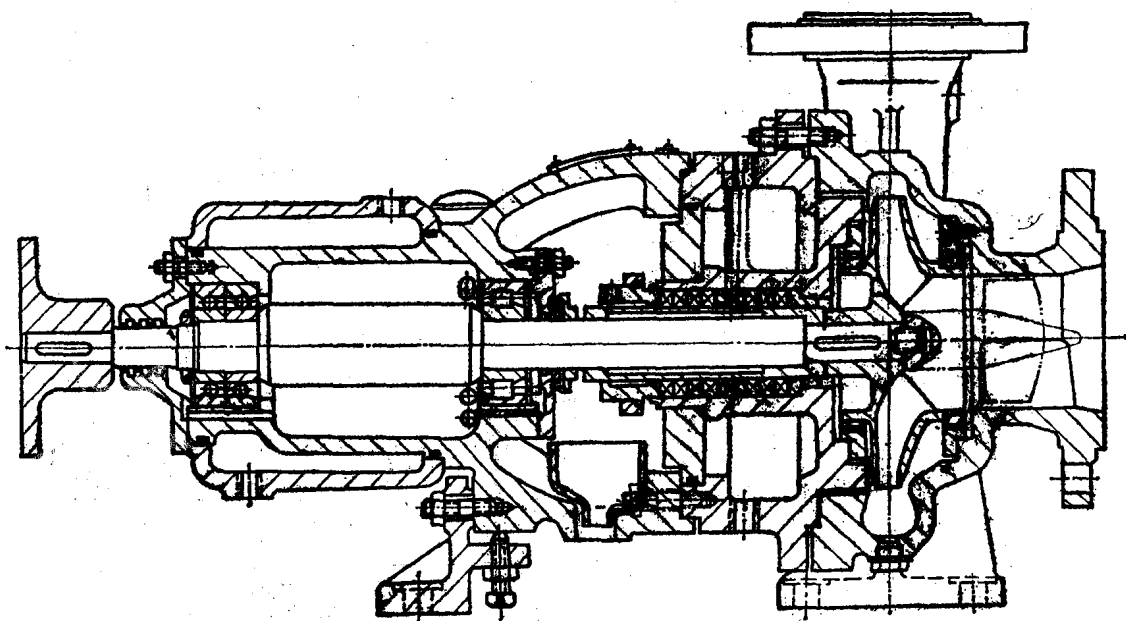


图77·2-2 卧式单吸单级泵

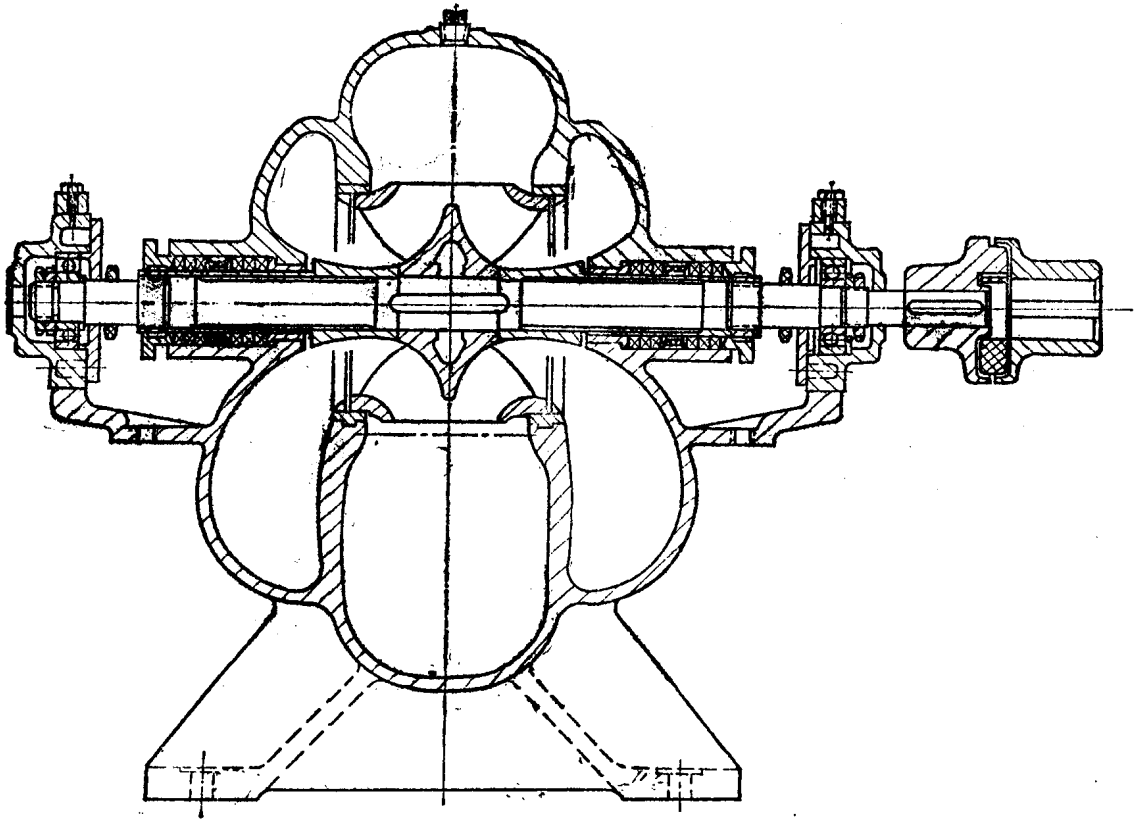


图77-2-3 卧式双吸单级泵

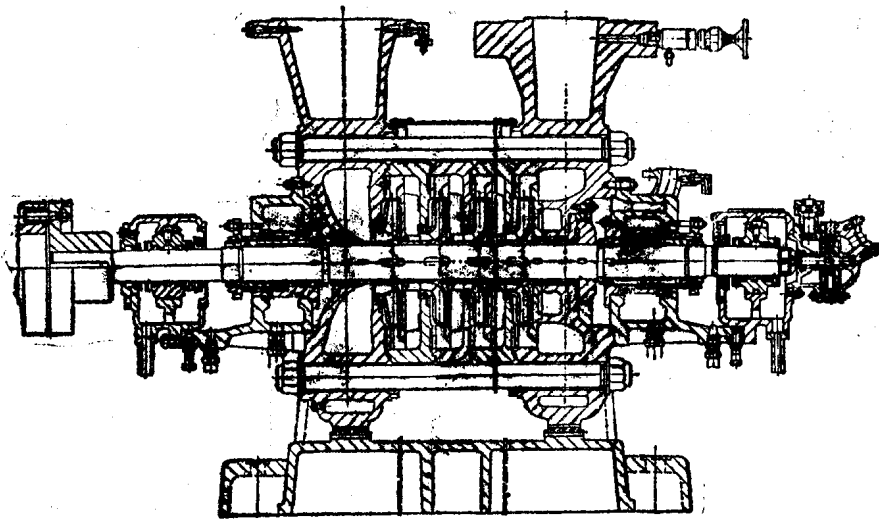


图77-2-4 分段式多级泵

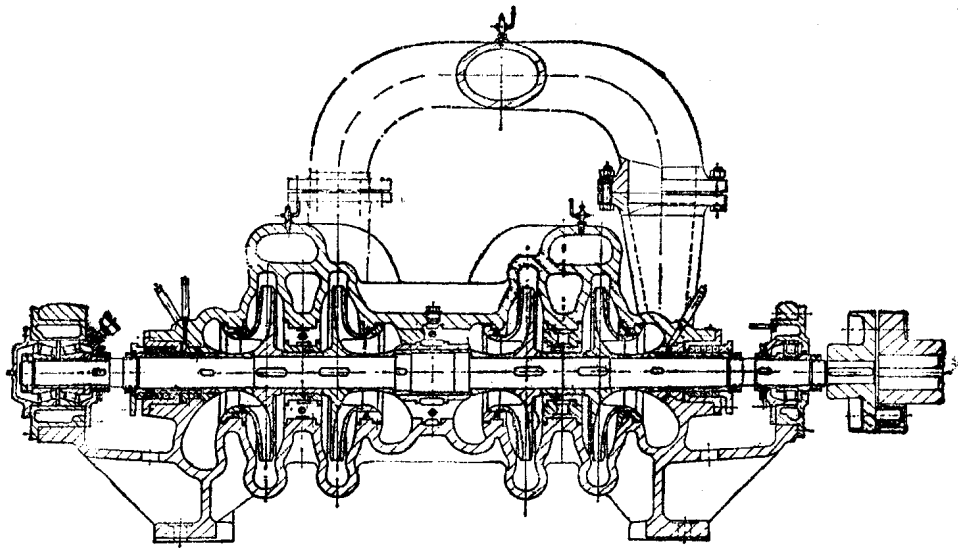


图77-2-5 水平剖分式多级泵

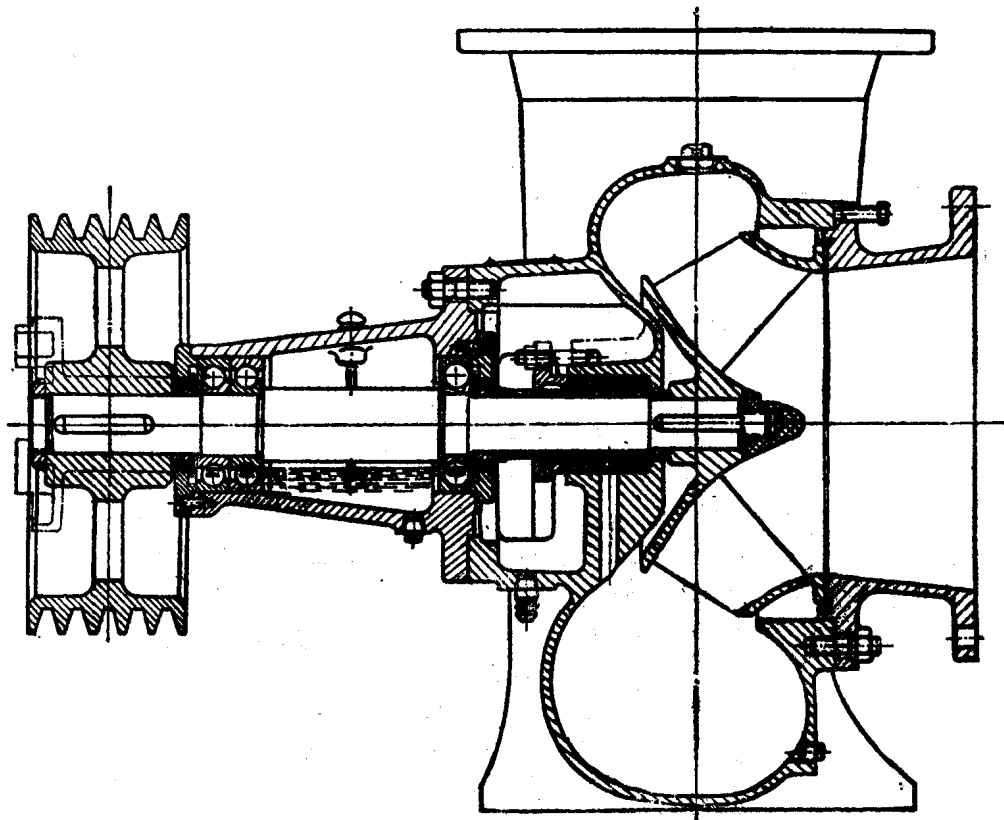


图77-2-6 卧式混流泵