



第8卷

农村实用技术常识之①

# 水泵的原理 和维修技术

国家启动的农村劳动力转移培训“阳光工程”，开展农村劳动力转移培训，是加快农村劳动力转移、促进农民增收的重要环节，也是提高农民就业能力、增强我国产业竞争力的一项重要基础性工作。结合农业结构的调整，加强农村农民朋友职业技术教育，为解决“三农”问题提供技术服务，特编写本书。主要内容包括：家用电器维修养护技术，农用机械维修养护技术，建筑工程与设备系统维修技术，致富维修技术，实用职业技能技术等。

刘利生/主编 余志雄/副主编



陕西科学技术出版社

# 目 录

第一章 概 述 .....	( 1 )
第一节 水泵的概念与分类 .....	( 1 )
第二节 水泵的典型结构 .....	( 3 )
第二章 水泵的工作原理 .....	( 11 )
第一节 流体力学的基本理论 .....	( 11 )
第二节 水泵的工作原理 .....	( 12 )
第三章 水泵的基本构造 .....	( 15 )
第一节 离心泵的基本构造 .....	( 15 )
第二节 轴流泵及混流泵的基本构造 .....	( 19 )
第三节 井用水泵的类型及构造 .....	( 22 )
第四章 水泵的性能 .....	( 25 )
第一节 水泵的基本性能参数 .....	( 25 )
第二节 叶片运动 .....	( 25 )
第三节 泵内的能量损失及效率 .....	( 25 )
第四节 叶片泵的相似理论 .....	( 27 )
第五节 叶片泵的性能曲线 .....	( 27 )
第五章 水泵工作状况的确定和调节 .....	( 29 )
第一节 抽水装置构成及工作过程 .....	( 29 )
第二节 需要扬程 .....	( 31 )

## 农村实用技术常识

第三节	水泵并联运行 .....	( 31 )
第四节	水泵工作状况的调节 .....	( 32 )
第六章	泵站概述 .....	( 33 )
第一节	泵站的定义和分类 .....	( 33 )
第二节	泵站的地位与作用 .....	( 34 )
第三节	国内外泵站的发展概况 .....	( 35 )
第七章	泵站的运行管理 .....	( 42 )
第一节	泵站运行的含义 .....	( 42 )
第二节	泵站技术经济指标 .....	( 64 )
第三节	泵站的经济运行 .....	( 65 )
第八章	泵站的经营管理 .....	( 75 )
第一节	泵站工程管理 .....	( 75 )
第二节	泵站维修管理 .....	( 84 )

# 第一章 概述

## 第一节 水泵的概念与分类

### 一、水泵的概念

当有人问及什么是水泵时,或许有人会说,水泵是一种抽吸或提升液体的机械,人们利用水泵把液体从低处送往高处。这样来定义水泵,在某些场合下确有其合理性,因为水泵确实起着这样的作用。

水泵作为一种通用机械,在现代社会广泛地应用于国民经济的各个部门。在许多应用水泵的部门中,并不都是用水泵把液体从低处送往高处,有的是利用水泵给液体增加压力,有的甚至是把液体从高处送往低处,使用目的各不相同。因此,上面所讲的水泵定义就不够全面,它未能从本质上揭示水泵的功能。

水泵的定义应该这样来讲:水泵是一种转换能量的机械,它通过工作体的运动,把外加的能量传给被抽送的液体,使其能量增加。所谓工作体,因泵的种类不同而异,既可以是固体,也可以是液体或气体。外加的能量一般是原动机的机械能,也可能是其他能源。

需要指出的是:现代泵除了抽水以外,还可以抽送其他各种液体,甚至抽送带有固体粒块的浆状物,如泥浆、煤浆、灰渣、混

凝土、纸浆、化妆品等。由于大部分场合下泵被用作抽水,因而,在习惯上将其称之为水泵,也可以按其抽送介质的不同来称谓,如油泵、泥浆泵等。

### 二、水泵的分类

水泵的种类很多,着眼点不同,便有不同的分类方法。最基本的分类法是根据水泵的工作原理,将其分为下列三大类。

(1)叶片式泵。它是利用泵内工作体的高速旋转运动使液体的能量增加。由于其工作体是由若干弯曲状叶片组成的一个叶轮,故称叶片泵。根据不同叶片形状对液流产生的作用力不同,以及液流流出叶轮的方向也相应不同,又将叶片泵分为离心泵(径流)、轴流泵(轴流)和混流泵(斜流)。

(2)容积式泵。它是通过泵内工作体对液体的挤压运动使液体的能量增加。由于是工作体交替改变液体所占空间的容积来实现挤压的,故称容积泵。根据挤压运动的方式不同,又将其分为往复泵和回转泵,前者如活塞泵、柱塞泵等,后者如齿轮泵、螺杆泵等。

(3)其他类型泵。这类泵一般是指除叶片泵和容积泵以外的一些特殊泵。属于这一类的主要有射流泵、气升泵、水锤泵等。这些泵的特点是其工作体为液体或气体,它利用高速流动的流体来实现能量的转换,使被抽送液体的能量得以增加。

分类是人为设定的,除上述对泵的分类外,也可以有其他不同的分类方法。例如:根据被抽送液体所增加能量性质的不同进行分类;根据泵所利用的能量不同进行分类;根据泵的用途不同进行分类;以及按抽送液体性质不同进行分类等等。

### 第二节 水泵的典型结构

#### 一、离心泵

单级单吸悬臂泵:这种泵的结构特点从其名称上即可知道,单级指这种泵只有一个叶轮,单吸指水流只能从叶轮的一面进入,即只有一个吸入口。所谓悬臂指的是泵轴的支承轴承装在泵轴的一端,泵轴的另一端装叶轮,状似悬臂。单级单吸悬臂泵一般为卧式。中国设计生产的单级单吸悬臂泵类型主要有:BA型、B型、IS型等。B型泵是BA型泵的改进型,B型泵目前在中国的使用量较大,而IS型泵是20世纪80年代初,根据国际标准设计制造的,将用来取代B型和BA型泵。下面简单介绍一下B型泵的基本结构。

这种泵在国内生产较早,它的叶轮由叶轮螺母、止动垫圈和键固定在泵轴的右端。泵轴的左端通过联轴器与动力机轴相连。在泵轴穿出泵壳处设有轴封,以防止泵内液体泄漏,这类泵的轴封一般采用填料式密封。泵轴用两个单列向心球轴承支承。该泵的泵脚与托架铸为一体,泵体悬臂安装在托架上,故该泵属于托架式悬臂泵。这种泵的优点是:泵体相对于托架可以有不同的安装位置,以便根据实际需要,使泵出口朝上、朝下、朝前或朝后。但检修这种泵时,必须将吸入管路和压出管路与泵体分离,比较麻烦。此外,这种泵的全部质量主要靠托架承受,托架较笨重,故国内近年来生产的单级单吸离心泵已不太使用托架式悬臂结构。

### 二、轴流泵

轴流泵是一种高比转数(500~1200)、低扬程(4~15m)、大流量、高效率泵,按泵轴的工作位置可分为立轴、横轴和斜轴三种结构形式。按照叶片角度是否可以改变的情况,又可将轴流泵分为叶片固定式、叶片半调节式和叶片全调节式三种形式。叶片固定式叶轮一般为整铸而成,结构简单,但铸造较困难,多用于小型轴流泵;叶片可调节叶轮的叶片和轮毂分开制造,叶片半调节式叶轮多用于中、小型轴流泵,叶片全调节式叶轮多用于大、中型轴流泵。由于立轴泵占地面积小,轴承磨损均匀,叶轮淹没在水中,起动无需灌水,还可采用分座式支承方式,能按水位变化情况用适当长度的中间传动轴连接泵与电机,从而将电机安装在较高的位置以免被水淹没,因此,国内大多数轴流泵采用立轴结构。这里仅介绍立轴轴流泵的结构。

#### 1. 叶轮

轴流泵叶轮是决定泵性能的主要部件。它由叶片、轮毂体和导水锥等三部分组成。导水锥具有流线型的圆头,它能以最小的损失将水流均匀地引入叶片间流道。轴流泵叶片一般为2~6个,叶片是扭曲的,且具有和机翼相同的横截面。半调节式叶轮叶片用压紧螺母和定位销紧固在轮毂上。这种叶轮,叶片不与轮毂铸成一体的目的是可以根据实际运行条件,改变叶片安装角度,使泵在具体运行条件下发挥较好的性能。需改变叶片安装角度时,首先停机,再将叶轮卸下,松开压紧螺母,并退出定位销,转动叶片,使位于叶片根部法兰边缘处的刻线对准轮毂体上某一要求的角度刻线,然后重新装好定位销,拧紧压紧螺母,装好叶轮即可。每个叶片必须调到相同的安装角度,以免运

行时产生振动。

### 2. 吸入管

小型立式轴流泵的吸入管常用铸铁制造,并做成流线型喇叭口,因为这种形状有利于改善轴流泵进口的进水条件,减小水力损失,提高汽蚀性能。大、中型泵则需设专用的钢筋混凝土进水流道。

### 3. 泵壳

轴流泵泵壳由叶轮外壳、导叶体和出水流道(或压出弯管)组成。大中型立轴轴流泵的叶轮外壳多为中开式结构,为了制造和运输方便,有的大型泵叶轮外壳被分成四瓣。

中小型立轴轴流泵的泵壳通常都带有金属压出弯管,叶轮外壳一般采用径向剖分结构,即在球形叶轮工作室最大径向尺寸处径向剖分。导叶体即为轴流泵的压水室,它由导叶、导叶毂和外壳组成。导叶体一般用铸铁制造,固定在叶轮上方,是不动部件,其外壳呈圆锥形,扩散角一般不大于 $8^{\circ} \sim 10^{\circ}$ ,导叶一般为6~12个,导叶进口边与叶轮叶片出口边平行,导叶出口一般为轴向,其作用是将来自叶轮的水流的圆周运动变为轴向运动,并通过锥形导叶体流道,将水流的部分动能转化为压能,减少水力损失。水流流出导叶后,经一段直管(其长度根据扬程高低而定)进入压出弯管。压出弯管的转弯角度一般为 $60^{\circ}$ 或 $75^{\circ}$ ,曲率半径常用弯管进口半径的1.5~2倍。压出弯管后面还设有压出短管,以便泵站安装时用来与泵站混凝土出水流道相接。

### 4. 其他部件

轴流泵泵轴一般较长,需用优质碳素钢制成。小型泵采用实心轴,大型泵采用空心轴,轴中心空腔用来装置叶片操作机构的操作油管或操作杆。

轴流泵轴承包括导轴承和推力轴承。上导轴承位于泵轴穿出压出弯管的上部,高出进水池水面;下导轴承位于导叶毂内。中小型轴流泵一般采用橡胶导轴承,是一种水润滑的滑动轴承。橡胶导轴承,由轴承外壳和橡胶衬套组成。橡胶衬套内表面开有若干轴向沟槽,或制成多边形,以便通水润滑和冷却。因上导轴承高出水面,故起动前必须加注清水润滑,以避免发热烧坏,起动后即可停止注水。推力轴承位于泵轴的上部,其作用主要是承受水泵转动部件的重力和轴向水压力,并将这些力通过电机座传递到电机梁上。泵转子的轴向位置由轴上圆螺母调整。

轴流泵的密封件位于出水弯管处,采用填料密封,与离心泵的密封型式类似。不设水封环,由压出弯管内的高压水直接渗入密封件,达到冷却、润滑作用。

### 三、混流泵

混流泵的比转数介于离心泵和轴流泵之间。低比转数混流泵一般做成蜗壳式,其结构与蜗壳式离心泵相类似;高比转数混流泵一般宜做成导叶式,其结构与轴流泵相类似。与其他类型泵一样,混流泵也有横轴、立轴之分,叶轮有闭式和半开式之分。低比转数混流泵叶轮一般采用闭式,有前后盖板;高比转数叶轮一般采用半开式。

一般情况下,混流泵的扬程低于离心泵,高于轴流泵;其流量大于离心泵,小于轴流泵。与离心泵和轴流泵相比,混流泵的不同之处在于,叶轮出口边是倾斜的,水流从叶轮流出处受到离心力和推力的作用,流动方向为介于径向和轴向之间的斜向,故又称混流泵为斜流泵。

由于蜗壳式混流泵的流量比离心泵大,导致叶轮流道宽度

和蜗壳断面面积相对较大,因此,横轴蜗壳式混流泵采用悬架式悬臂结构,而不采用托架式悬臂结构,以避免增大泵的外形尺寸和质量。

导叶式混流泵也有立轴和横轴之分。我国目前生产的导叶式混流泵主要为立轴结构。其结构型式与立轴轴流泵相类似。

混流泵叶轮叶片一般采用固定式,但大型混流泵的叶轮叶片可采用半调节式或全调节式,以扩大适用范围或高效率运行范围。

### 四、潜水电泵

潜水电泵是将电动机和水泵直接联在一起,同时潜入水中工作的,是一种操作简便,结构紧凑的独特泵类。潜水电泵有农用污水污物潜水电泵(简称潜污泵)、井用潜水电泵和小型潜水电泵三种。近年来,中国已对现有各种潜水电泵进行整顿和改造,对井用潜水电泵和小型潜水电泵制订了国家标准,对潜污泵制订了行业标准,以保证潜水电泵的质量。下面介绍潜污泵的结构。

潜污泵适用于抽送污水、粪便、河泥、草肥或含泥沙、纤维物等不溶固体的混合流体。潜污泵一般采用三相潜水电动机与泵同轴相连,按下泵式配置。其水泵部分在结构上与一般叶片泵相比没有太大的差别,主要零件有蜗壳式泵体、污水用半开式叶轮或开式叶轮、泵盖和机械密封。污水用叶轮有离心式、旋流式、螺旋离心式和单流道式(即只有一个叶片)的叶轮。叶轮用平键或螺纹与电动机轴连接,直接从电动机获得机械能。泵的进水,直接从水源经过滤网过滤后进入。

下泵式潜污泵的水流排出方式有两种,一种是直接从叶轮

后的压水室出口处排出,称为外装下泵式;另一种是通过包围电机的环形流道,使水流冷却电机后再流出泵压出口,称为内装下泵式,这种泵即使在接近排干吸水池的情况下,也不会出现电机升温问题,故其应用范围正日益扩大。

与其他潜水泵一样,潜污泵结构的特殊性主要在于电机,故按所用潜水电机的结构特点,潜污泵又可分成干式、湿式、充油式和气垫密封式等几种。

干式潜污泵使用干式潜水电机。这种电机除对绕组绝缘加强防潮外,与一般电机无区别。由于干式潜水电机不允许所输送液体进入电机内腔,故在电机的轴伸端需要采取良好的密封措施。通常采用机械密封装置。但由于这种密封装置结构较复杂,加工工艺要求高,若水中含有泥沙,则密封构件很容易被磨损,使密封失效,故抽送不含泥沙的清水,采用机械密封效果较好。

湿式潜污泵采用湿式潜水电机。这种电机的定子是用聚乙烯、尼龙等防水绝缘导线绕制而成。为解决电机绕组及水润滑轴承的冷却问题,电机内腔充满清水。因而,这种泵的轴封仅起防止泥沙进入电机的作用,结构较简单,便于制造和维修。但是,这种泵对电机定子所用的绝缘导线和水润滑轴承材料要求较高,还要考虑部件的防锈蚀问题。我国近年来大量生产的NQ型系列、JQ型系列,均属于湿式潜水电泵。

充油式潜污泵使用的充油式潜水电机内腔充满了变压器油和锭子油,以起绝缘、冷却、润滑和防止水及潮气侵入电机内腔的作用。同时,在电机轴伸端仍需设置机械密封,以阻止水和泥沙进入以及油的泄漏。电机定子线圈用加强绝缘的耐油、耐油漆包线绕制。这种泵的电机转子因在黏滞性较大的油中转动,

造成较大的功率损耗,导致效率有所下降,一般约下降3%~5%。

气垫密封式潜污泵的电机与干式潜水电机一样。但在电机下端有一个气封室,并由几个孔道与外界相通。泵潜入吸水池后,气封室内的空气在外界液体压力的作用下形成气垫,达到阻止液体进入电机内腔的目的。由于这种泵只适用于潜水深度较小且稳定的场合。这种密封方式存在因空气的溶解而使水进入电机内腔的危险,故使用得很少。

潜污泵的流量范围为 $3 \sim 1000\text{m}^3/\text{h}$ ,扬程为 $7 \sim 40\text{m}$ ,功率为 $0.25 \sim 30\text{kW}$ 。

### 五、自吸泵

在泵的吸水面变化较大的情况下,可能造成运行中的泵因进入气体而导致吸不上水,为了使泵在这种情况下能方便地启动并维持正常运行,常将泵设计成具有自吸能力的自吸泵。

我国目前生产的自吸泵基本上是自吸离心泵。自吸泵因其实现自吸方式的不同,可分为外混式自吸泵、内混式自吸泵及带有由泵本身提供动力的真空引水泵式自吸泵等多种结构型式。下面以外混式自吸泵为例介绍自吸泵的基本结构及自吸过程。

与所有自吸泵一样,外混式自吸泵的吸入口位于叶轮上方,每次停机后,泵内都能存留一些水,作为下次启动之用。初次启动前,需向泵内人工加足自吸用水,使叶轮大部分淹没在水中。泵启动后,叶轮中的水受到离心力作用而流向叶轮外缘,并在叶轮外缘处与气体混合,形成一圈泡沫带状气水混合物。该泡沫带在隔舌的刮削作用下,使气水混合物通过扩散管进入气水分离室。此时,由于过水面积突然增大,流速迅速降低,气体的相

对密度小,从水中逸出并由泵压出口排走,水的相对密度大,落到气水分离室的底部,并经轴向回流孔返回叶轮外缘,再次与气体混合。随着上述过程的不断循环,吸水管内的真空度就不断增大,被输送的水便不断沿吸水管上升。待泵内完全充满水时,泵就进入正常工作状态,完成自吸过程。

上述自吸泵因自吸水回流至叶轮外缘,并在叶轮外缘处与气体混合,故称为外混式自吸泵。其自吸过程包括气水混合、气水分离和自吸水回流等阶段。

与离心泵比较,同样性能参数的自吸泵,一般其泵效和汽蚀性能略差一些。

## 第二章 水泵的工作原理

### 第一节 流体力学的基本理论

水泵是以流体为对象的工作机械,其工作原理、性能、使用和试验都是以流体力学作为理论基础的。

流体力学是研究流体处于平衡、运动、流体与固体相互作用时的力学规律,以及这些规律在实际工程中的应用。

#### 一、流体的主要物理性质

通常人们将具有流动性的气体和液体统称为流体,流体可以看成是连续介质。流体的一切物理量,如密度、压强、速度等都是时间和空间位置的连续函数,可以用数学分析来讨论和解决流体力学中的问题。

#### 二、静止流体的力学性质

流体处在静止状态时,流体之间以及流体与固体之间的作用是通过压强形式来表现的。

流体压强的测量仪表主要有三种:金属式、电测式和液柱式。在实验中经常需要测量某点压强或两点间的压强差,如水泵性能实验中,在水泵进出口分别装上真空表和压力表,用以测量水泵的扬程。

### 三、流体流动的基本概念

流体的流动在自然界和工程中是最常见的,如河水的流动,大气的流动,各种工程设备管道中的水、油、气的流动等。实际流体在流动时会产生黏性和内摩擦力,即遇到阻力。流体只有在一定动力作用下克服阻力才能以一定的速度进行流动。在工程设计中,为了保证流体在各种工程设备中能以规定的流速流动,必须预先计算出所需的动力,以便购置相应的水泵(或风机)。要解决这一问题,就必须研究流体在管中流动的力学规律。

## 第二节 水泵的工作原理

### 一、离心泵的工作原理

在灌满水的离心泵装置中,动力机起动后,通过泵轴带动叶轮快速旋转,泵就能源源不断地抽水。可见,离心泵能够抽水的关键在于叶轮。人们知道,任何物体围绕某个中心做圆周运动时,都会受到离心力的作用。叶轮中的水也不例外,当叶轮快速转动时,叶轮的叶片就会驱使叶轮中的水一起转动,在离心力的作用下,叶轮中的水向叶轮外缘流去。在叶片与水流的相互作用过程中,叶片对水流作功,水流得到能量而从叶轮四周射出,此时,所射出的水流具有很大的动能和压能,并在泵壳与叶轮外缘所形成的空间(压水室)内汇集后流向压水室出口扩散段,在扩散段中随着过流面积的逐步增大,水流流速逐步降低,压力进一步提高,最后在泵出口形成高压水流进入出水管路,输送到

上游。

水流输送高度的大小与泵内水流压力的大小有关,而压力的大小与叶轮直径和转速有关。在转速相同的情况下,叶轮直径越大,泵内产生的压力越大,水流输送高度就越大。反之,叶轮直径越小,水流输送高度就越小。对于同一台水泵,当转速改变时,水流输送高度也不同,转速高,输送高度大。反之,输送高度小。

上面介绍了离心泵叶轮将水流压出并输送到高处的原理,那么,叶轮又是怎样将下游的水吸上来的呢?当叶轮快速旋转时,叶轮中的水受离心力作用而从叶轮四周射出,导致叶轮中心处形成真空(低压区),即此处的压力低于大气压力,而下游(进水池)水面上却作用着大气压力。那么,下游的水在下游水面大气压与泵叶轮中心处的低压所形成压力差的作用下,从下游流向叶轮中心,达到吸水的目的。叶轮中心处的压力越低,水泵吸水的高度越大。由于大气压力为 $0.1\text{MPa}$ ,而叶轮中心处的压力不可能降低到零,还要考虑进水管路水力损失及水流动能等因素,因此,一般离心泵的最大吸水高度只能达到 $8\text{m}$ 左右。这就是离心泵的吸水原理。

综上所述,动力机带动离心泵叶轮快速旋转使叶轮中的水受到离心力作用而向叶轮外缘流动,在水流从叶轮压出的同时,下游的水通过进水管路补充到叶轮中心低压区。到达低压区的水流立即在叶轮叶片作用下,产生离心力,向叶轮四周压出,并经压水室进入出水管路。叶轮连续不断地旋转,水流就源源不断地从下游输送到上游。

那么,水泵起动前,为什么要先使泵壳灌满水呢?这是因为空气的相对密度远小于水的相对密度,假若泵壳内不灌满水的

话,叶轮必然在空气中旋转,上述过程在空气中进行,叶轮中心处由空气形成的低压与大气压力之间的压力差不足以吸上进水池中的水,因此达不到抽水的目的。

### 二、轴流泵的工作原理

轴流泵与离心泵在结构上有明显的区别,因而它们的工作原理也是不同的。简单地说,轴流泵不是利用离心力,而是利用叶轮旋转时产生的推力来抽水的。

### 三、混流泵的工作原理

混流泵的叶轮形状介于离心泵和轴流泵之间,既有离心泵叶轮的特点,也有轴流泵叶轮的特点,因此,混流泵叶轮工作时,兼有离心叶轮的作用和轴流叶轮的作用,叶片对水流既产生离心力,又产生推力,混流泵就是靠这两种力进行抽水的。至于混流泵的吸水原理,同样是通过叶轮后面产生一定真空低压区来达到抽水目的。