

# 关于高效节水灌溉工程中的 水泵机组

任晓力

2015.07 西宁

在喷灌、微灌、管道输水灌溉中，通常是用水泵机组给灌溉系统加压的。水泵机组选择的是否合理，不仅影响到建成的灌溉系统能否按设计成果的要求实现正常运行，获得应有的设计效果，而且还将影响到今后长期运行期间能耗的高低、费用的多少。因此，在进行喷灌、微灌、管道输水灌溉工程的技术设计时，必须认真对待水泵机组的选型。

## 水泵机组

- 水泵**
- 叶片式泵** 通过泵轴旋转带动叶轮输送液体的泵。
  - 容积泵** 利用泵缸体积内容积的连续变化输送液体的泵，如往复泵、活塞泵、齿轮泵、螺杆泵；
  - 其他类型的泵** 如电磁泵、喷射泵、空气升压器等。
- 动力机**
- 电动机**
  - 柴油机**

## 水泵

水泵是一种输送和提升水的机器，它可以把原动机的机械能转换为被输送水的动能或势能。因为它用途广泛，所以它既是一种水力机械，也是一种通用机械。

在高效节水灌溉工程中常用的水泵都是叶片式泵，它是通过装有叶片的叶轮在泵壳内高速旋转来完成能量转换的。

- 叶片泵的分类
- 离心泵的性能参数
- 离心泵的性能曲线
- 离心泵正常运行工作点的确定
- 离心泵工作点的调节
- 离心泵选型使用应关注的几个问题

## ➤ 叶片泵的分类

叶片泵按其工作原理可分为三大类：

**离心泵**—靠离心力提水，高扬程、小流量。  
水流在叶轮中是**轴进径出**。

**混流泵**—靠离心力和轴向升力提水，扬程和流量适中。  
水流在叶轮中是**轴进斜出**。

**轴流泵**—靠轴向升力提水，低扬程、大流量。  
水流在叶轮中是**轴进轴出**。

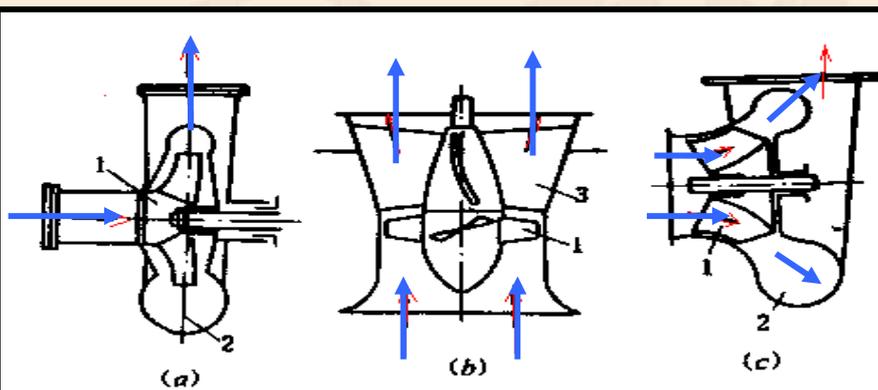


图 1-1 叶片式泵

(a)离心泵； (b)轴流泵； (c)混流泵  
1—叶轮； 2—蜗形体； 3—导叶

在节水灌溉工程中，灌溉系统的流量、扬程多为小流量、高扬程，因此常用水泵类型基本上均为离心泵。

常用的离心泵泵型有：

单级单吸离心泵

单级双吸离心泵

潜 水 电 泵

自 吸 泵



单级单吸离心泵



多级离心泵



潜水电泵



自吸泵

## ► 离心泵的性能参数

离心泵的性能参数是用来表征离心泵性能的一组数据，包括：

流量 扬程

功率 效率

转速 允许吸上真空高度

一共有6个。

◆ **流量 $Q$**  – 指单位时间内从水泵出口流出水的体积，单位为 $m^3/h$ 。水泵铭牌上的流量称为水泵的额定流量。

◆ **扬程 $H$**  – 指单位重量的水从水泵进口到水泵出口所增加的能量，单位为 $m$ 水头，简称为 $m$ 。水泵铭牌上的扬程称为水泵的额定扬程。

◆ **功率** 有效功率  
轴功率  
配套功率。

● **有效功率 $P_{\text{效}}$**  – 是指被抽送水流实际得到的功率。

$$P_{\text{效}} = \gamma QH / 102 \quad (\text{kw})$$

式中： $\gamma$ –水的容重， $kg/m^3$ ；

$Q$ –水泵流量， $m^3/s$ ；

$H$ –水泵扬程， $m$ 。

- **轴功率 $P$**  – 是指需要为水泵提供的功率。它是由动力机通过传动装置实际传递给水泵叶轮轴上的，又称输入功率。单位为kw。轴功率即为水泵铭牌上的功率，称为水泵的额定功率。
- **配套功率 $P_{配}$**  – 是指与水泵配套的动力机的额定功率。

$$P_{配} = kP$$

式中  $k$  – 动力机功率备用系数。

电动机功率备用系数 $k$

水泵额定功率 $P$ (kw)	<1	1-2	2-5	5-10	10-25	25-60	60-100
备用系数 $k$	1.7	1.7-1.5	1.5-1.3	1.3-1.25	1.25-1.15	1.15-1.1	1.1-1.08

但对中小型水泵（包括潜水电泵）而言，水泵铭牌上的额定功率指的是配套功率。

**配套功率 $P_{配}$  > 轴功率 $P$  > 有效功率 $P_{效}$**

- ◆ **效率 $\eta$**  – 表示水泵传递能量的有效利用程度，等于有效功率与轴功率的比值，单位为%。

$$\eta = P_{\text{效}} / P$$

水泵铭牌上的效率是对应水泵额定流量时的效率，为水泵的最高效率。

- ◆ **允许吸上真空高度 $H_s$**  – 是指为了保证水泵内压力最低点不发生气蚀而允许的水泵进口处最大真空度。

水泵进口处最大真空度就是指水泵进口中心线高出水源水面的允许最大高差与水泵进水管路水头损失之差。

◆ **转速 $n$**  – 是指水泵轴每分钟旋转的圈数，单位为r/min。水泵铭牌上的转速称为水泵的额定转速。

转速是影响水泵性能的一个重要参数，当转速变化时，水泵的其他几个性能参数都会随着转速的变化相应发生变化。

叶片泵的性能主要取决于它的叶轮，叶轮形状不同，其对应泵的性能曲线就不同，因此也就分成了不同类型的叶片泵。

**比转数 $n_s$** 是水泵叶轮形状及性能的一个综合判据。因此，比转数 $n_s$ 也就是进行水泵分类的一个综合判据。

比转数 $n_s$ 是一个无量纲数，它可用下式计算：

$$n_s = 3.65 n H^{1/2} / Q^{3/4}$$

式中的各性能参数值只能采用水泵的设计工况值。

比转数 $n_s$	30~300	300~500	>500
水泵类型	离心泵	混流泵	轴流泵

## ► 离心泵的性能曲线

由于水泵的6个性能参数之间既相互联系，又相互制约，关系比较复杂，因此目前尚不能用数学上的函数关系准确地表达它们之间的变化规律。

通常，水泵的6个性能参数之间的关系是通过**水泵性能试验的方法**获得。通过采集某一转速(最好是水泵额定转速)下，对应水泵不同流量时的其他几个性能参数值，在坐标图上分别用曲线来表达。这些关系曲线即为水泵的基本性能曲线。

(购买水泵时，厂家均会提供泵的基本性能曲线)

◆ 指导水泵实验的理论依据是水泵的相似率和比例率。

- 相似率 是指两台相似泵的流量、扬程、功率与其叶轮直径及转速之间的比例关系。

$$Q_1 / Q_2 = (D_1 / D_2)^3 (n_1 / n_2)$$

流量与叶轮直径的3次方成正比，与转速的1次方成正比。

$$H_1 / H_2 = (D_1 / D_2)^2 (n_1 / n_2)^2$$

扬程与叶轮直径的平方成正比，与转速的平方成正比。

$$N_1 / N_2 = (D_1 / D_2)^5 (n_1 / n_2)^3$$

功率与叶轮直径的5次方成正比，与转速的立方成正比。

比例率是相似率的特例，因指同一台泵，因此叶轮直径的比例为1:1。

- 比例率 对同一台泵来说，不同转速下性能参数之间的换算关系，即：

$$Q_1 / Q_2 = n_1 / n_2$$

流量与转速的一次方成正比

$$H_1 / H_2 = (n_1 / n_2)^2$$

扬程与转速的平方成正比

$$N_1 / N_2 = (n_1 / n_2)^3$$

功率与转速的立方成正比

将泵的转速 $n$ 作为常量，将扬程 $H$ 、功率 $P$ 、效率 $\eta$ 和允许吸上真空高度 $H_s$ ，随流量 $Q$ 变化而变化的关系，在以流量为横坐标，扬程、轴功率、效率、允许吸上真空高度为纵坐标的坐标图上，分别绘制成的

$Q-H$  曲线、  $Q-P$  曲线、  
 $Q-\eta$  曲线、  $Q-H_s$  曲线，

统称为水泵性能曲线。

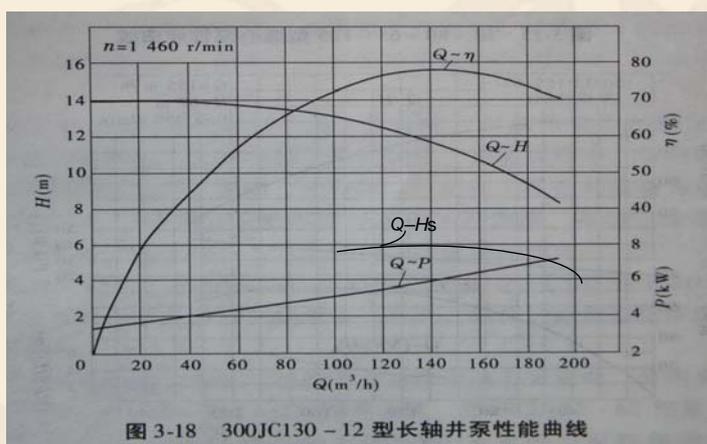


图 3-18 300JC130 - 12 型长轴井泵性能曲线

水泵的性能曲线图一定是在某一特定转速下的。

从离心泵的性能曲线图上可以看出：

- 离心泵的 $Q-H$  曲线通常是一条缓慢下降的曲线，零流量下的扬程最高，随着流量的增大，扬程逐渐减小；
- 离心泵的 $Q-P$  曲线通常是一条缓慢上升的曲线，零流量下的轴功率最小，随着流量的增大，轴功率逐渐增大；

- 离心泵的 $Q-\eta$  曲线通常是一条有最高点，最高点两侧均下降的曲线，最高效率点通常与额定流量点相对应；  
在最高效率点两侧，以最高效率值下降5%~7%为限，两点间的曲线区域为水泵的高效区。

- 离心泵的 $Q-H_s$  曲线通常是一条从最高效率点以下，随着流量的增大而下降的曲线。



◆ 水泵在实际运行时，它的工作状况取决于：

① 水泵的性能—由水泵性能曲线（ $Q-H$  曲线）可知；

② 管路的性能—由管路特性曲线（ $Q-H_{\text{损}}$  曲线）可知；

（指管路中的水头损失随流量变化而变化的曲线）

③ 上下水位差—净扬程

（指水源水位与管路中最不利点的地形高差）

◆ 这三个因素中任何一个发生变化，水泵的工作状况都要随着发生变化。也就是说水泵运行时的实际工作点是一个动态的工作点。

◆ 我们希望水泵实际工作点尽量少变动，而且尽量在水泵的高效区范围内变动。

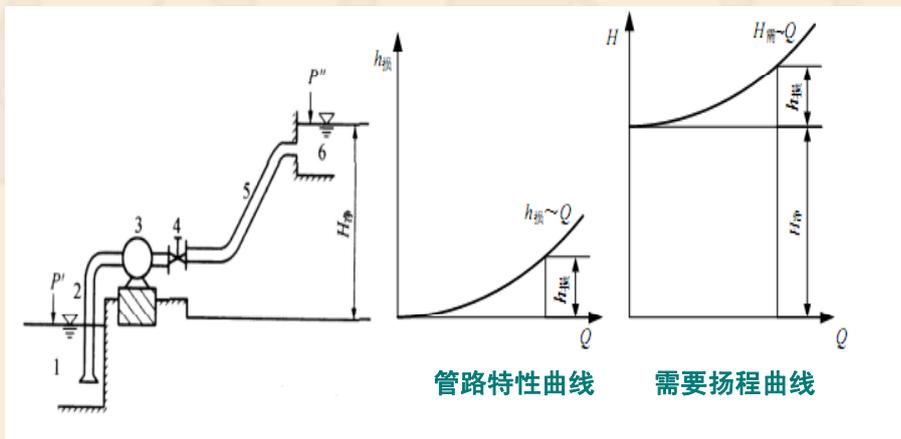
◆ 管路特性曲线

水泵进、出水管路系统中，管路损失 $h_{损}$ 随流量 $Q$ 变化而变化的关系曲线，即 $Q-h_{损}$ 曲线。

◆ 需要扬程曲线

将管路的特性曲线与需要的净扬程，在以流量为横坐标，扬程为纵坐标的同一坐标系中进行叠加，即可得到需要扬程曲线，即 $Q-H_{需}$ 曲线。 ( $H_{需}=H_{净}+h_{损}$ )

◆ 管路特性曲线和需要扬程曲线图



◆ 水泵的工作点—

将所选水泵的流量—扬程曲线（ $Q-H$  曲线）和灌溉系统的需要扬程曲线（ $Q-H_{需}$ ）画在同一坐标系中，这两条曲线的交点，就是这台水泵的工作点。

- 水泵工作点的确定，就是水泵实际工作状况的确定。
- 水泵运行中实际工作点的参数值并不一定是水泵铭牌上标注的额定工况点的值。

◆ 离心泵工作点的确定图

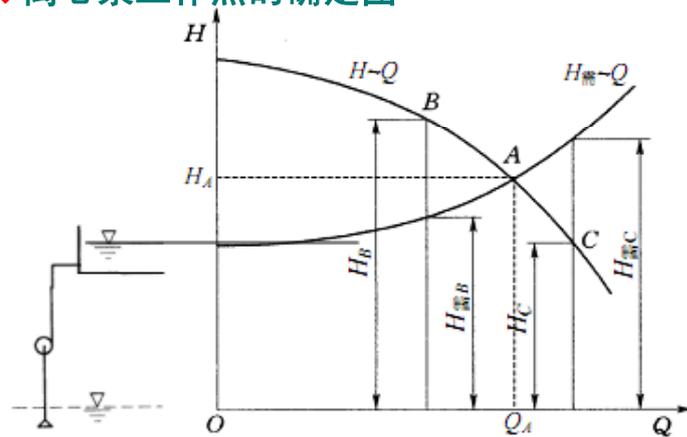


图 3-2 图解法确定水泵工作点

### ◆ 井泵工作点的确定

- **静水位** 水井在未抽水前的稳定水位称为静水位。
- **动水位** 抽水后井中水位随抽水量的增大而逐渐下降，当井的涌水量为一定值时，井中的水位会保持为某一定值，称为对应这一涌水量的动水位。
- **水井的降深曲线** 由水井的抽水试验可知，井水位的降深 $S$  和井的涌水量 $Q$  间的关系为一下降曲线，称为井水的降深曲线，用 $S\sim Q$  表示。

### ◆ 井泵工作点的确定图

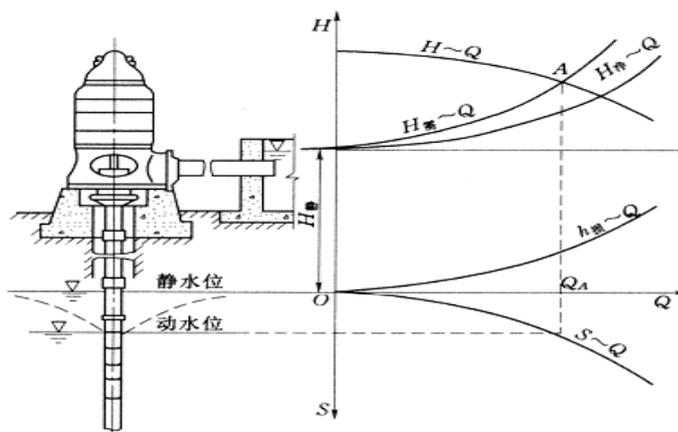


图 3-4 井泵工作点的确定

◆从水泵工作点的确定图上可以看出：

- 工作点所对应的流量和扬程，就是这台水泵正常运行时，可提供给灌溉系统的流量和扬程。
- 工作点不仅确定了 $Q$ 和 $H$ ，而且还可从水泵的 $Q-P$ 曲线、 $Q-\eta$ 曲线、 $Q-H_s$ 曲线图上查出相对应的其他工作参数 $P$ 、 $\eta$ 、 $H_s$ 等。以便校验水泵工作效率的高低，相对应的功率的大小，是否有汽蚀发生的危险。

- 同一台水泵只要转速不变，它的 $(Q-H)$ 曲线是不变的；而灌溉系统运行时因不同的轮灌组其 $(Q-H_{需})$ 曲线是变化的。所以在灌溉系统运行时这两条曲线的交点——工作点是一个实时变动的点。
- 但不论水泵工作点做怎样的实时变动，它总是沿着水泵的 $(Q-H)$ 曲线移动。

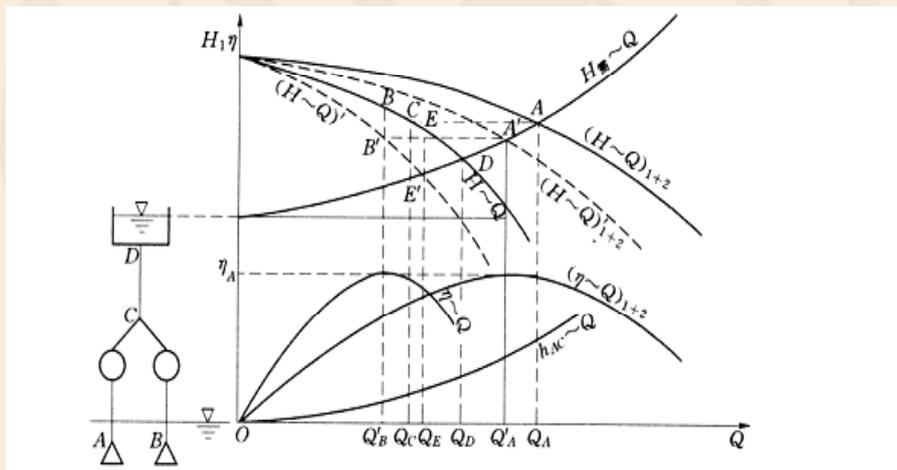
- ◆ 当一台水泵不能满足灌溉工程的需求时，可根据需要选择多台泵进行**并联**或**串联**运行。
- ◆ 当水泵并联或串联运行时，并联或串联后的总流量扬程曲线  $(Q-H)_{\text{总}}$ ，可在流量-扬程坐标系上，以参与并联或串联的水泵流量扬程曲线  $(Q-H)_{\text{单泵}}$  为基础，用作图法得到。

- ◆ 确定离心泵并联和串联运行时工作点的作图方法有**横加法**和**纵加法**。
  - **横加法** 是指将同扬程下的流量相加。  
(用于水泵并联)
  - **纵加法** 是指将同流量下的扬程相加。  
(用于水泵串联)

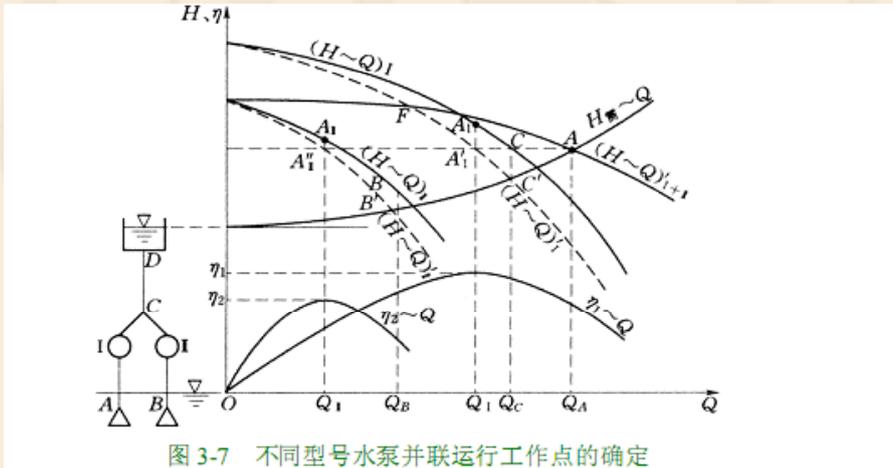
◆水泵并联通常用于一台水泵不足以供给所需流量的场合。

- 由两台及两台以上的水泵向一条公共出水管供水，称为水泵的并联工作。
- 水泵并联的总扬程曲线（ $Q-H$ ）<sub>并</sub> 可用横加法画出。

◆两台同型号水泵并联工作点的确定



### ◆ 两台不同型号水泵并联工作点的确定



### ◆ 由作图法确定两台泵并联工作点的图上可以看出：

- 并联后的总扬程曲线与需要扬程曲线的交点为并联时的工作点，它反映了两台水泵并联时共同向公共出水管提供的流量和扬程。
- 由该工作点画  $Q$  轴的平行线，与每台水泵的  $Q-H$  曲线相交，交点即为并联时每台水泵的实际工作点，它反映了并联时每台水泵分别向公共出水管提供的流量和扬程。

- 水泵在并联工作时：

①各台水泵提供给公共出水管联结点的压力是相同的。

②并联时每台水泵的工作点均位于其单独向同一出水管供水时的工作点的左侧。

③并联时每台水泵的流量均小于它单独向同一条管路输水时的流量。

④并联时每台水泵的功率均小于它单独向同一条管路输水时的功率。

⑤因此，相同泵并联时的流量小于单台泵单独运行时流量的2倍；为水泵选配动力机时应按其单独工作时的功率配套。

◆ 水泵串联通常用于一台水泵不足以供给所需扬程的场合。

- 几台水泵顺次连接，前一台水泵向后一台水泵的进水管供水，称为串联工作。
- 水泵串联的总流量扬程曲线  $(Q-H)_{\text{串}}$  可用纵加法画出。

● 串联后的总扬程曲线与需要扬程曲线的交点为串联时的工作点，它反映了几台水泵串联时共同向出水管提供的流量和扬程。

● 水泵串联工作时，各台水泵中通过的流量是相同的，其总扬程为该流量下各台水泵的扬程之和。

● 水泵串联运行时，最好应征得水泵厂家的同意。

## ► 离心泵工作点的调节

◆ 当所选择的离心泵其工作点偏离高效区较远，造成水泵运行效率太低、耗能较高、或易发生汽蚀，又找不到可以用来替代的合适的离心泵时，可对现有的离心泵进行工况调节。

◆ 工况调节的方法有：

① 改变需要扬程曲线

节流调节；

分流调节。

② 改变水泵扬程曲线

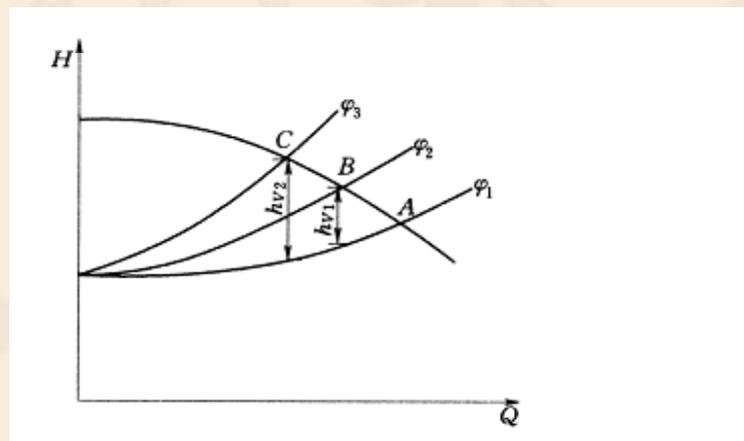
变速调节；

车削调节。

- **节流调节** 通过关小水泵出水管路上的阀门来改变离心泵工作点位置的方法。
- 当离心泵实际运行中工作点的位置在高效区外的右侧偏离较多时，关小闸阀就相当于加大了管内流速，致使同流量下的水头损失加大，管路特性曲线变陡。随着阀门逐渐关小，其工作点就会沿着水泵的  $Q-H$  曲线向左移动，直到工作点向左移到高效区范围内，调节工作完成。

节流调节虽简单易行，但很不经济。一般多用在试验室的水泵性能试验中，实际生产中很少采用。

- **节流调节时水泵工作点的变动图**



- **分流调节** 在水泵出水管上接装一条旁通管，分出部分流量来改变水泵的工作点。
- 当离心泵实际运行中工作点的位置在高效区外的左侧偏离较多时，可在水泵出水管主阀门前安装一条分流管分出一部分流量，致使同流量下的水头损失减小，管路特性曲线变缓。其工作点就会沿着水泵的  $Q-H$  曲线向右移动，直到工作点向右移到高效区范围内。

- **变速调节** 改变离心泵的转速使水泵性能曲线改变，达到调节水泵工作点的目的。（依据比例率）
- **变速调节的步骤：**
  - ① 需要的水泵工况点  $d' (Q_d', H_d')$  不在已知转速为  $n_1$  的水泵  $(Q-H)_1$  曲线上。
  - ② 由比例率求出相似工况抛物线公式；  

$$H_1 / H_2 = Q_1^2 / Q_2^2 \quad H_1 / Q_1^2 = H_2 / Q_2^2 = H_d' / Q_d'^2 = k$$
 将  $Q_d'$ 、 $H_d'$  值代入，求出  $k$ ，则有  

$$H = k Q^2 \quad (\text{相似工况抛物线公式})$$

③ 在水泵的流量-扬程坐标系中画出相似工况抛物线，与已知水泵的流量扬程曲线  $(Q-H)_1$  相交于点  $d(Q_d, H_d)$ 。

④ 将需要工况点  $d'$  的流量值和  $d$  点的流量值以及已知水泵额定转速值  $n_1$  代入比例率公式，即可求出变速调节后的转速  $n_2$

$$n_2 = n_1 Q_d' / Q_d$$

则点  $d'$  即为转速为  $n_2$  的  $(Q-H)_2$  曲线上的一个点。

⑤ 根据比例率可得出式：

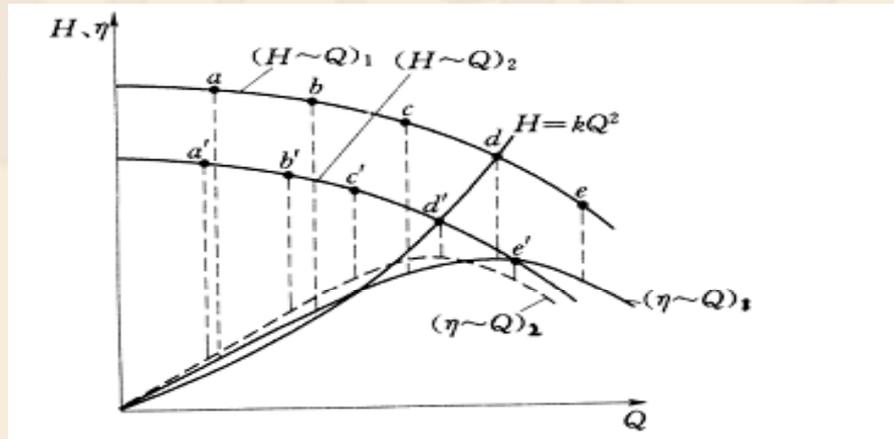
$$H_2 = H_1 (n_2 / n_1)^2$$

$$Q_2 = Q_1 (n_2 / n_1)$$

在已知转速为  $n_1$  的水泵  $(Q-H)_1$  曲线上，任意取点  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $e$ ，将这些点的流量值和扬程值分别带入上述公式中，即可求出分别与  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $e$  点相似的工况点  $a'$ 、 $b'$ 、 $c'$ 、 $e'$  点的流量值和扬程值，然后把  $a'$ 、 $b'$ 、 $c'$ 、 $d'$ 、 $e'$  点连成光滑曲线，即可得到水泵转速变为  $n_2$  时的性能曲线  $(Q-H)_2$ 。

⑥ 由  $(Q-H)_2$  与  $(Q-H)_{需}$  曲线可求水泵变速后的工作点，即为  $Q_d'$  点。

●作图法确定变速调节水泵工作点的图



●水泵变速调节时需要注意的是：

- ①水泵转速下降幅度不宜超过额定转速的20%，否则会因降速过多，水泵的效率会明显下降；
- ②水泵的转速也不宜提高较多，一般不宜超过额定转速的10%，否则不但容易引起动力机超载、可能发生汽蚀、机组振动等现象，而且会增加水泵零件的损坏。
- ③若要增加转速时，应征得水泵生产厂家的同意。

◆ **车削调节** 沿**外径**车小离心泵的叶轮，以改变水泵性能曲线，达到调节水泵工作点的目的。

- 利用车削抛物线和车削换算公式可求出叶轮的车削量，并可画出车削后，过需要的水泵工况点 $B(Q_B, H_B)$ 的 $(Q-H)_B$ 曲线。
- 由曲线 $(Q-H)_B$ 与 $Q-H_{需}$ 曲线可求水泵车削后的工作点。

● **车削调节的特点：**

- ① 车削具有不可恢复性，因此应慎重选择。
- ② 车削不改变叶轮进口的尺寸，不会降低水泵的汽蚀性能。
- ③ 车削量有限制，不同比转数的叶轮允许的车削量不同，在叶轮上车削的位置也不同。

## ▶ 离心泵选型使用应关注的几个问题

◆ 在有压灌溉工程中，水泵主要是用来给灌溉系统中的水提供压力的，因此要选择离心泵。

◆ 水泵铭牌上的流量与扬程是水泵的额定流量和额定扬程，不一定是水泵实际运行工况。

◆ 购买水泵时，厂家还应提供水泵的性能曲线，即：

流量—扬程曲线

流量—功率曲线

流量—效率曲线

流量—允许吸上真空高度曲线。

- ◆ 选择水泵不能仅看水泵铭牌，更重要的是看水泵实际运行的各工况点能否经常保持在水泵高效区内移动，且最好经常保持在最高效率点右侧的高效区范围内运行。

- ◆ **选择水泵时：**

- ① 应根据灌溉系统的设计流量和设计扬程值，初选额定流量和额定扬程值与其相近的水泵；
- ② 看由最不利管线的需要扬程曲线和水泵流量-扬程曲线确定的工作点是否落在所选水泵的高效区范围内；

- ③ 再用最有利管线的需要扬程曲线和水泵流量-扬程曲线确定的工况点来校核，看是否也落在所选水泵的高效区范围内；

- ④ 若工况点落在水泵高效区外的左侧，则可通过增大管径的方式使需要扬程曲线向右下方移动（变缓），工况点则沿水泵流量—扬程曲线向右移进水泵高效区范围内；

- ⑤ 若工况点落在水泵高效区外的右侧，则应减小管径，使需要扬程曲线向左上方移动（变陡），工况点则沿水泵流量--扬程曲线向左移进水泵高效区范围内；

- ◆ 离心泵（井泵基本为离心泵）出口处必须安装阀门，最好是蝶阀，不能采用快速启闭的球阀。启动时应为**关阀启动**。
- ◆ 首部应设置真空表（安装在水泵进口处）、压力表（安装在水泵出口处）、流量计（安装在水泵出水管上主阀门的后面）、逆止阀（安装在水泵出水管上主阀门的后面），水泵扬程较高（大于25米）时，应安装安全阀（安装在水泵出水管上逆止阀的后面）。

- ◆ 应利用计量仪表，配合水泵出口管路上的主阀门，实时监控水泵的运行。
- ◆ 灌溉系统运行时，应按照每个轮灌组要求的流量，观察流量计显示的读数，调整主阀门的开度，使水泵运行时提供给灌溉系统的流量能满足灌溉系统的实际需求。
- ◆ 离心泵出口管路上安装主阀门，不仅是实现关阀启动减轻电机启动荷载的要求，而且也是实现轮灌组按设计要求运行的保证。  
**显然，在离心泵出口管路上不安装主阀门是错误的。**

- ◆ 离心泵运行时，真空表和压力表的示值之差，即为此时水泵的实际扬程。
- ◆ 水泵进水口应安装在动水位以下2m左右。
- ◆ 井用潜水泵配套的出水管，在经济合理且不影响安装和检修的前提下，泵管可选择增大一级的管径。

## 动力机

动力机是指把热能、电能等能量转变为机械能的机器，是用来带动其他机械工作的。

在节水灌溉工程中，带动水泵工作的动力机，通常用的是电动机和柴油机，其中4极三相交流异步电动机用得最为普遍。

➤ **如何选择动力机**

➤ **动力机与水泵的联接方式**

➤ **采用电动机带动水泵工作时，  
如何实现水泵工况的变速调节**

➤ **如何选择动力机**

### 选择与水泵的配套的动力机时：

- 有电力供应条件时，应优先选择电动机；
- 所选动力机的功率、转速及动力传动方式（即与水泵的联接方式）应符合配套水泵的要求；
- 应保证整个机组运行可靠、安全，
- 所选动力机的效率高、运行费用低。

## ➤ 动力机与水泵的 联接方式

◆ 电动机与水泵的联接通常采用：

- 联轴器联接，传动效率为0.97以上；
- 法兰联接，传动效率为0.99以上；
- 潜水电泵采用机、泵同轴，传动效率可达1。

◆ 柴油机与水泵的联接通常采用：

- 皮带联接，传动效率为0.8以上；
- 拖拉机的动力输出轴，用万向节联接，传动效率为0.9以上。

➤ 采用电动机配套水泵时如何实现水泵工况的变速调节

- ◆ 变速调节是调节水泵工况最简便适用的方法。要想改变水泵的转速，必须首先改变带动水泵泵轴旋转的动力机的转速。下面主要简介改变高效节水灌溉工程中用得最为普遍的三相交流异步电动机转速的方法。

- ◆ 三相交流异步电动机转速公式为：

$$n=60f \times (1-s) / p$$

式中  $f$  交流电频率，通常为50hz，称为工频；

$s$  转差率，一般取0.01-0.02；

$p$  电机的电磁极对数，2极电机为1，4极为2。

- ◆ 根据公式，很容易得知电机调速，其实就是调节其转速公式里的那几个参数。可分为：
  - **变频调速** 是改变电动机定子电源的频率 $f$ ，从而改变其同步转速的调速方法。**此方法应用广泛。**
  - **变极调速** 是改变定子磁场的磁极对数 $p$ 。定子磁场的极对数取决于定子绕组的结构，它不是一个连续的数值（为2的倍数，例如极数为2、4、6等），通常一套绕组极数有限，因此用改变该值来调整电机速度有限，**实用性差不常用。**
  - **变转差率调速** 转差率 $s$ 的值很小，由公式可知，改变转差率对电机调速范围影响较小，**此方法不常用。**

### ◆变频调速

- 电源的频率  $f$  与电动机的转速  $n$  成正比，变频调速就是采用变频器把我国电压和频率固定不变的工频交流电（50Hz）变换为电压或频率可变的交流电。
- 变频器是变频调速系统的主要设备，是提供变频电源的设备。
- 变频器可分成两大类，即

交流-直流-交流变频器

交流-交流变频器

目前国内大都使用交-直-交变频器。

### ◆变频调速的方法

- 利用变频器控制普通电机
- 选择变频调速电机

- 利用变频器控制普通电机

变频器靠其内部电力半导体器件的通断作用，根据电机的实际需要，在**电机外面**先把电源的工频交流电变换为直流电（整流），再把直流电变换成频率可调、电压可调的交流电（逆变），即电机所需的电源频率和电压，再供给电机，这样电机的旋转速度就可以被自由的控制，进而达到节能、调速的目的。

- 选择变频调速电机

变频调速电机简称变频电机，是将**变频器与电机置于一体**驱动的电动机的统称。电机可以在变频器的驱动下实现不同的转速与扭矩，以适应负载的需求变化。

变频电机将传统鼠笼式电动机的风机改为独立出来的风机，并且提高了电机绕组和定子铁芯的绝缘性能。

### ◆变频器容量选择

- 变频器容量也就是变频器的额定功率，以KW为单位。
- 变频器的容量选择是最重要的，应从负载的实际负荷电流、启动转矩、控制方式来合理选择。
- 负载是水泵，则应选择风泵专用型变频器，其容量与电机功率相同；对潜水电泵应选择风泵专用型变频器，其容量比电机功率大一档。

### ◆变频电机选择

变频电机一般均选择4级电机，基频工作点设计在50Hz：

频率0-50Hz（转速0-1480r/min）范围内电机作恒转矩运行；

频率50-100Hz（转速1480-2800r/min）范围内电机作恒功率运行；

整个调速范围为(0-2800r/min)，基本满足一般驱动设备的要求。

### ◆变频电机与普通电机的区别

- 变频电机可以长时间在超高、或者超低等各种频率状态下正常工作；普通电机加上变频器之后，如果长时间在变频状态下工作，有可能会造成电机的损坏。
- 变频电机后面都有个散热风扇，散热条件好；普通电机没有，它在工频状态下散热效果最好，在变频状态时散热效果就会大打折扣。

- 变频电机的硅钢片和漆包线绝缘等级高；普通电机用于变频时，漆包线绝缘容易击穿，硅钢片的涡流损耗也大，会导致电机温升很高。
- 变频电机的价格要比普通电机高很多。

◆变频调速节能的基本原理基于比例率：

由比例率可得：

水泵的 转速与流量的一次方成正比；  
扬程与流量的二次方成正比；  
轴功率与流量的三次方成正比。

◆由三相交流异步电动机转速公式可知：

频率与转速成正比。

◆在理想情况下：

频率		流量	转速	扬程	功率
HZ	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
50	100	100	100	100	100
45	90	90	90	81	72.9
40	80	80	80	64	51.2
35	70	70	70	49	34.3
30	60	60	60	36	21.6

由上表可见，当需求流量下降到原流量的70 %时，将50HZ的工频调为35HZ，则所需功率仅为原功率的34.3%。

显然，可以通过变频调节水泵转速，使水泵经常工作在高效区内，节约大量的电能。

❖ 谢谢!