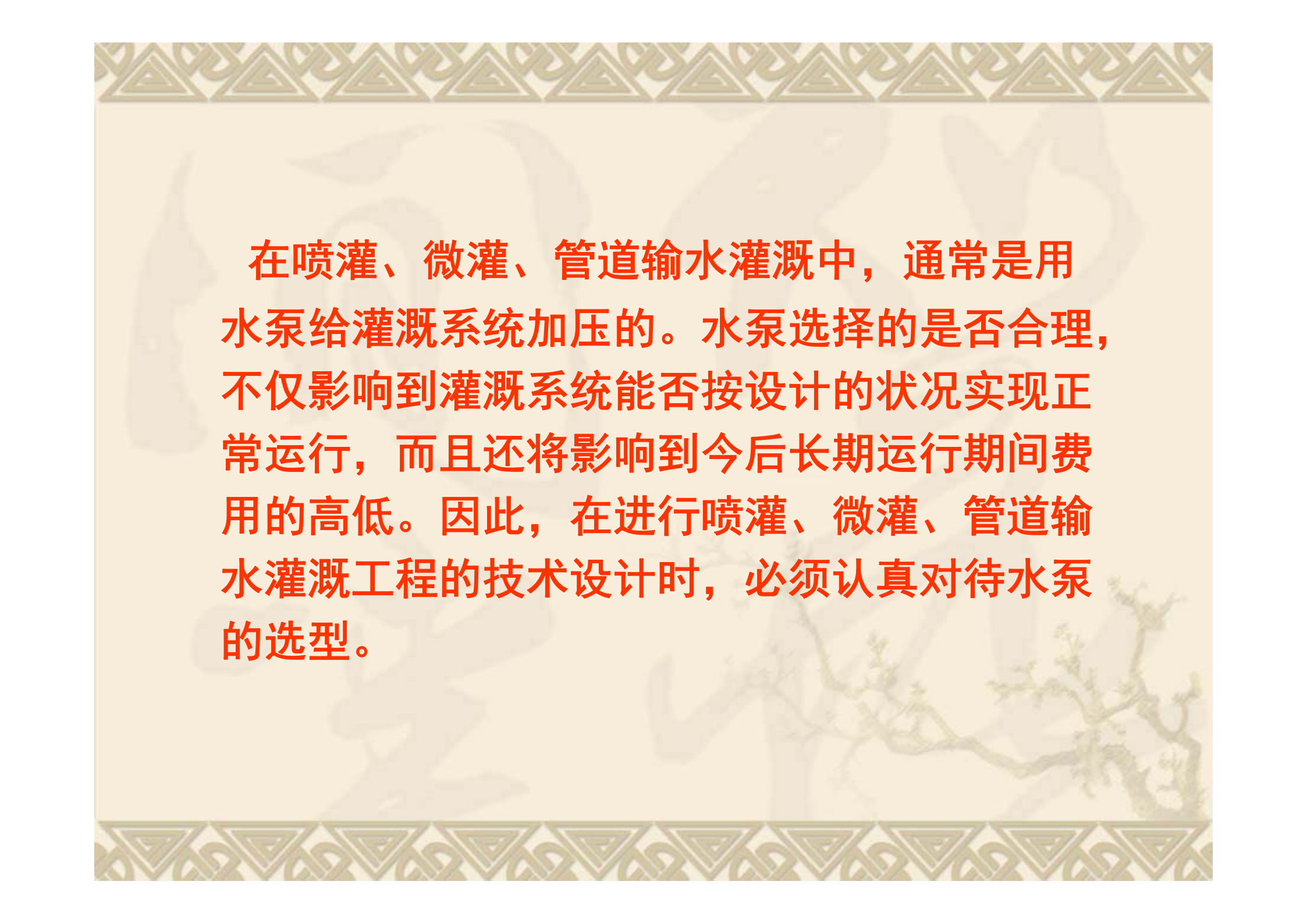




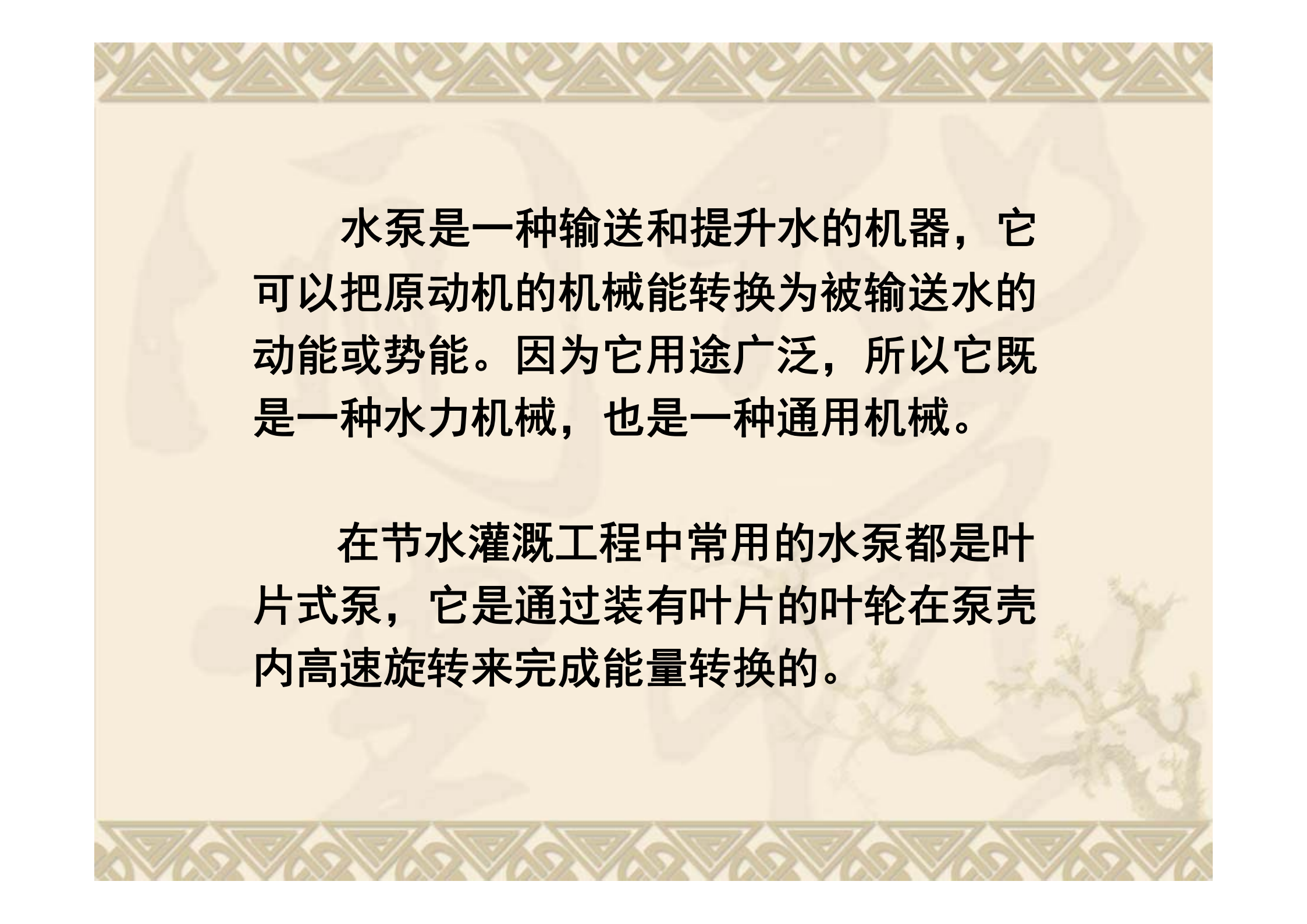
关于节水灌溉工程中的 水泵

任晓力

2013年09月

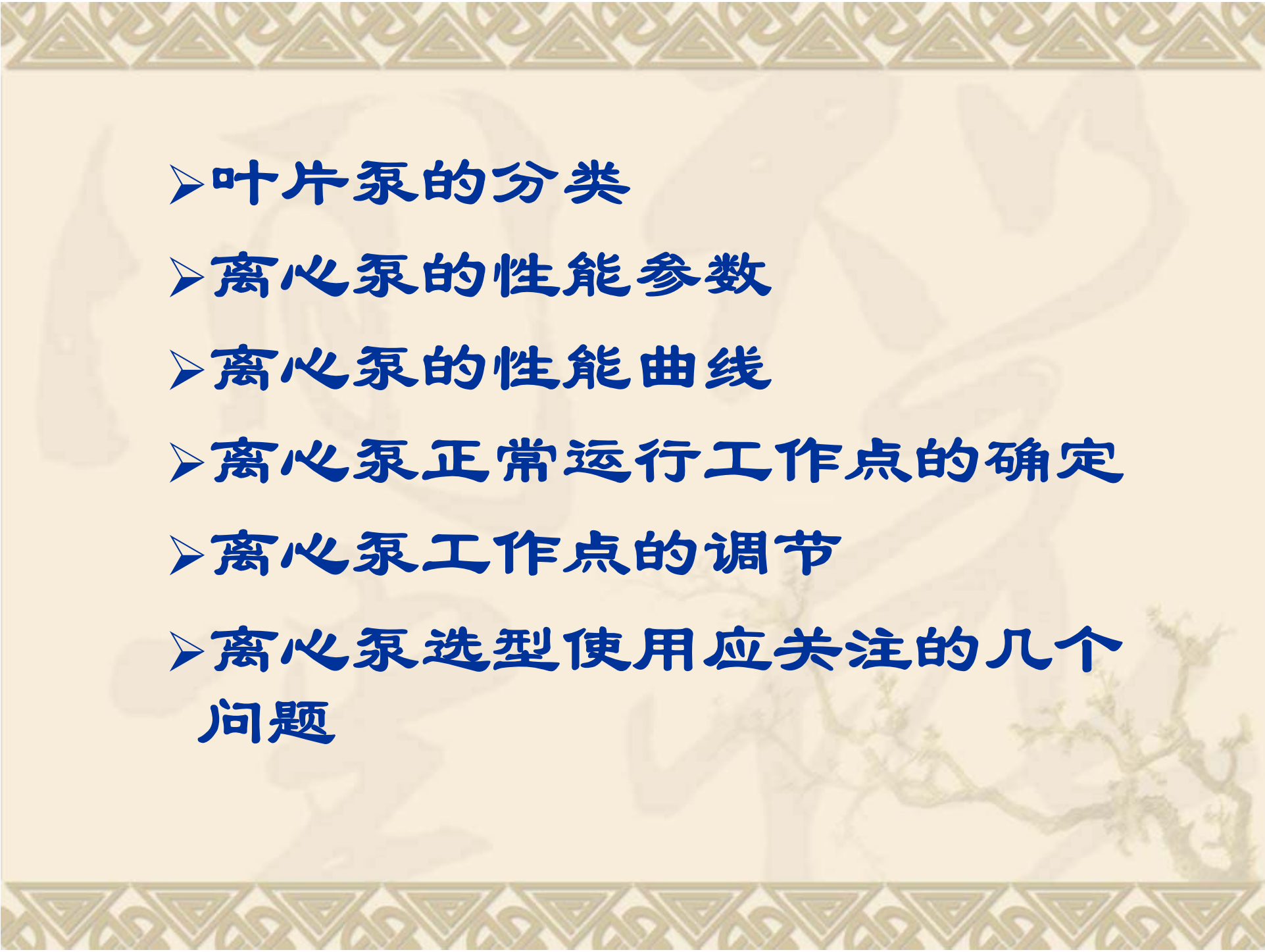


在喷灌、微灌、管道输水灌溉中，通常是用水泵给灌溉系统加压的。水泵选择的是否合理，不仅影响到灌溉系统能否按设计的状况实现正常运行，而且还将影响到今后长期运行期间费用的高低。因此，在进行喷灌、微灌、管道输水灌溉工程的技术设计时，必须认真对待水泵的选型。



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。

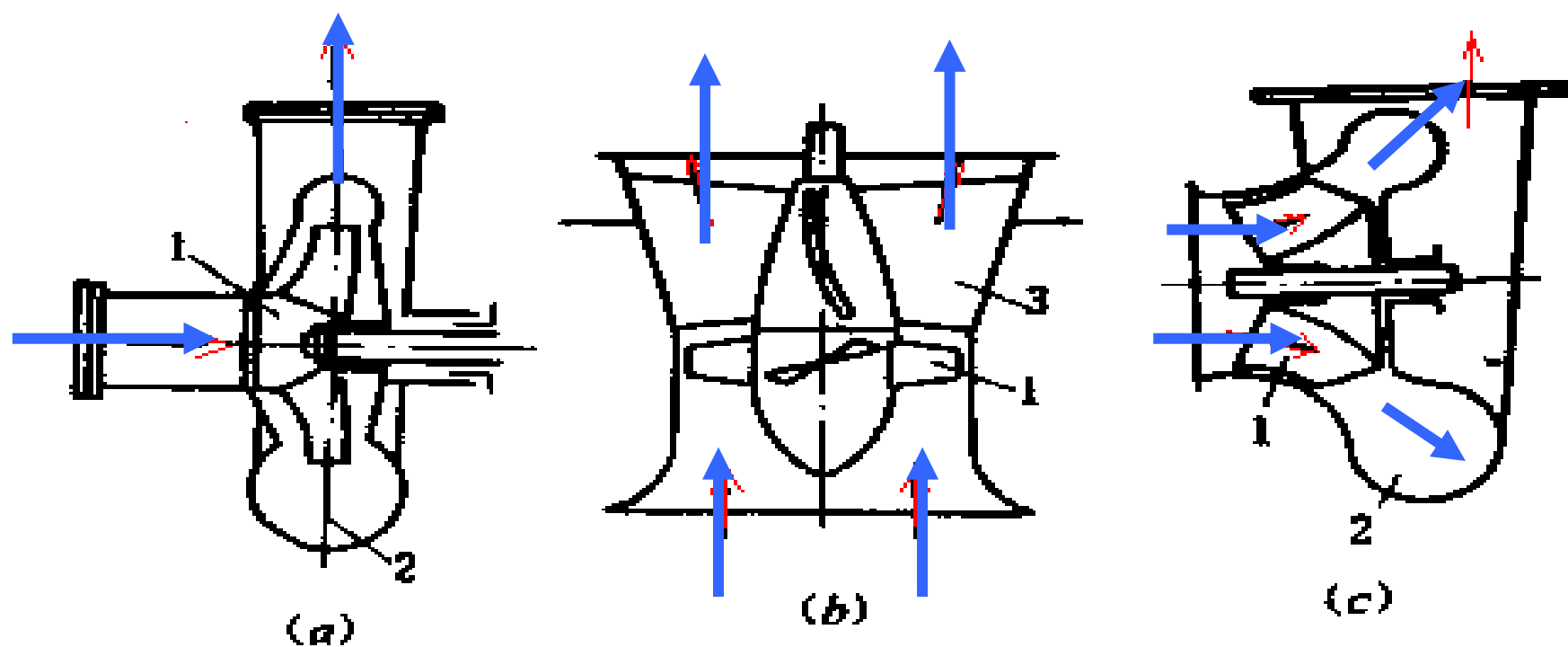


图 1-1 叶片式泵

(a) 离心泵； (b) 轴流泵； (c) 混流泵

1 — 叶轮； 2 — 蜗形体； 3 — 导叶

在节水灌溉工程中常用的水泵都是
离心泵，常用的离心泵泵型有：

单级单吸离心泵

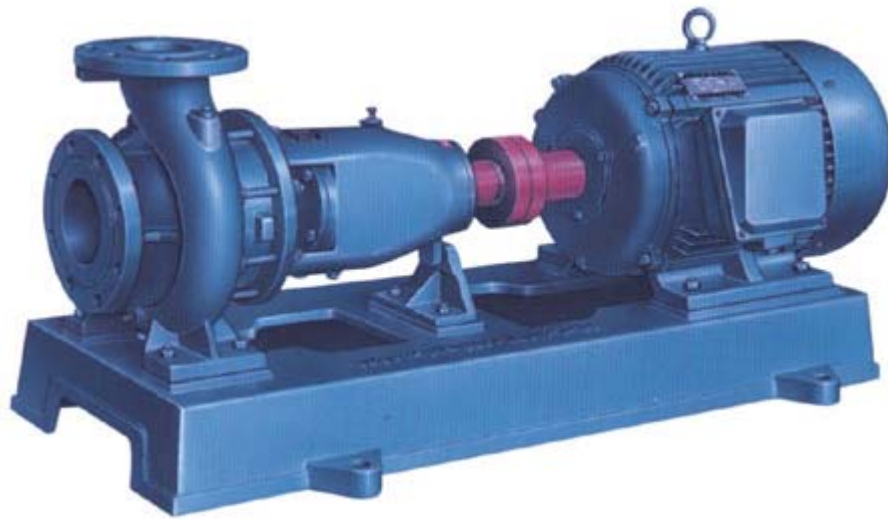
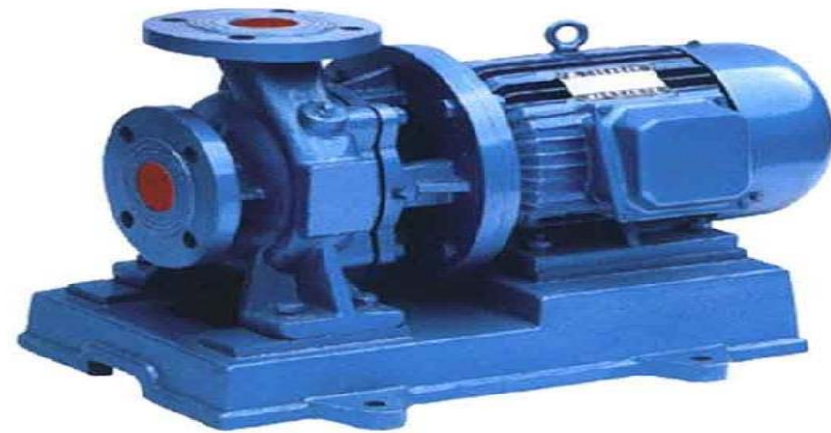
单级双吸离心泵

潜 水 电 泵

自 吸 泵



单级单吸离心泵



单级单吸离心泵机组



双吸泵

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

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。

➤ 离心泵的性能参数

- ◆ 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 、 m^3/s 。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出口所增加的能量，单位为 m 。水泵铭牌上的扬程称为水泵的额定扬程。

➤ 离心泵的性能参数

水泵功率分为有效功率、轴功率和配套功率，一般用轴功率和配套功率表示。

◆ 有效功率 $P_{\text{效}}$ — 是指被抽水流实际得到的功率。

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

式中： γ — 水的容重， kg/m^3 ；

Q — 水泵流量， m^3/s ；

H — 水泵扬程， m 。

➤ 离心泵的性能参数

◆ 轴功率 P – 是指水泵所需要提供的功率。它是由动力机通过传动装置传递给水泵叶轮轴上的，又称输入功率。单位为kw。水泵铭牌上的轴功率称为水泵的额定功率。

◆ 配套功率 $P_{\text{配}}$ – 是指与水泵配套的动力机所应有的输出功率。

$$P_{\text{配}} = kP$$

式中 k – 电动机功率备用系数。

➤ 离心泵的性能参数

◆ 电动机功率备用系数

额定功率 P	<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

但中小型水泵（包括潜水电泵），水泵铭牌上的额定功率指的是配套功率。

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

➤ 离心泵的性能参数

- ◆ 效率 η – 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的效率，为水泵的最高效率。

➤离心泵的性能参数

- ◆ 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最大允许高差与水泵进水管路水头损失之差。

➤离心泵的性能参数

- ◆ 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。



► 离心泵的性能曲线



➤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**水泵实验的方法**，采集水泵各相应的性能参数，在坐标图上用性能关系曲线来表达。这个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）

➤离心泵的性能曲线

指导水泵实验的理论依据是水泵的
相似率和比例率。

水泵相似率和比例率的用途：

- ①设计新泵型 – 模型泵试验；
- ②确定相似泵性能 – 已知泵实验性能；
- ③换算性能参数 – 已知水泵的额定工况。

► 离心泵的性能曲线

对同一台泵来说，不同转速下性能参数之间的换算关系（比例率），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

➤离心泵的性能曲线

水泵的性能主要取决于它的叶轮，水泵叶轮形状不同，它们的性能曲线也就不同。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。

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

比转数 n_s 只能用水泵设计工况下的性能参数来计算。

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

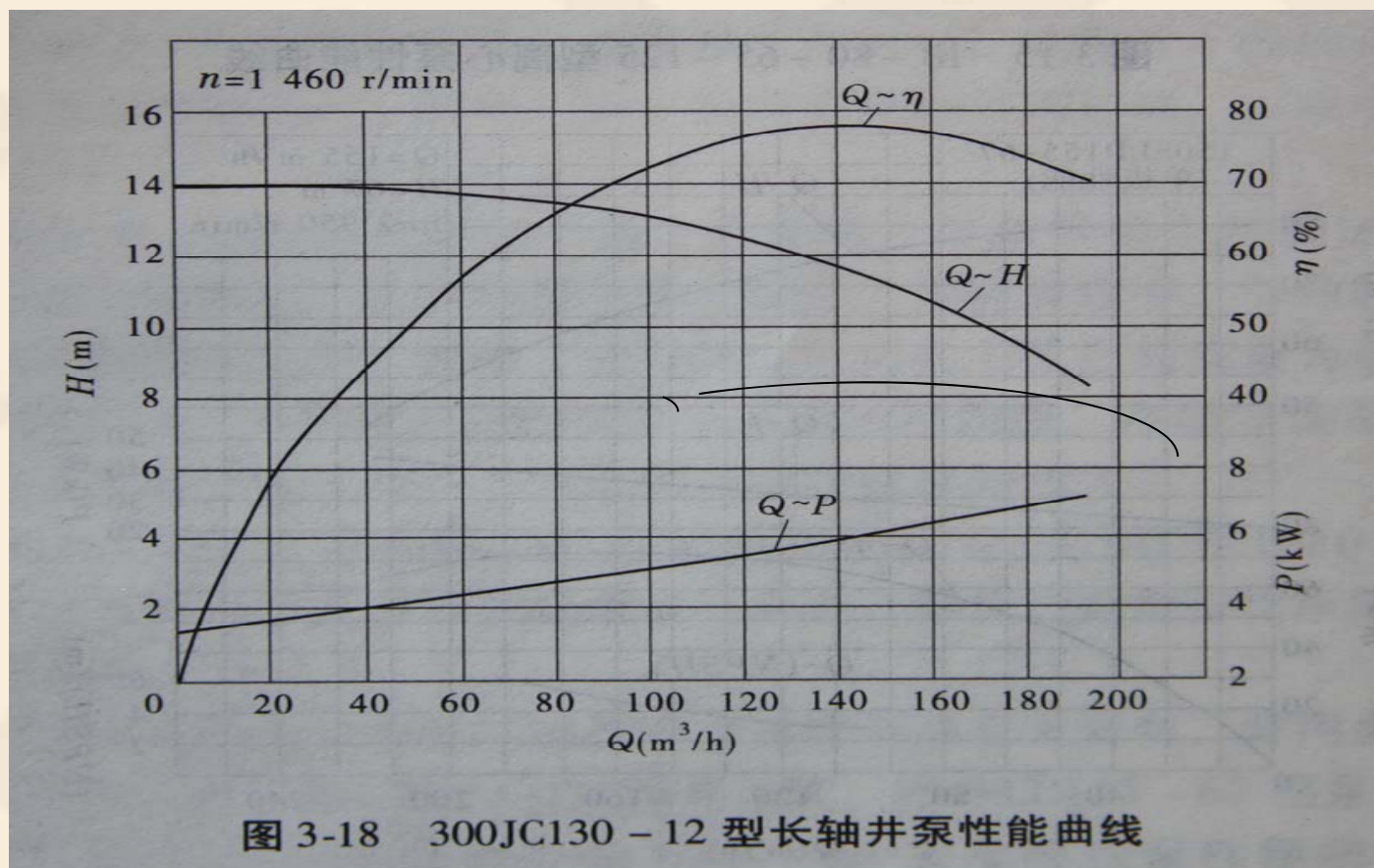
➤ 离心泵的性能曲线

将泵的转速 n 作为常量，将流量 Q 、扬程 H 、功率 P 、效率 η 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。

➤ 离心泵的性能曲线 $Q-H_s$



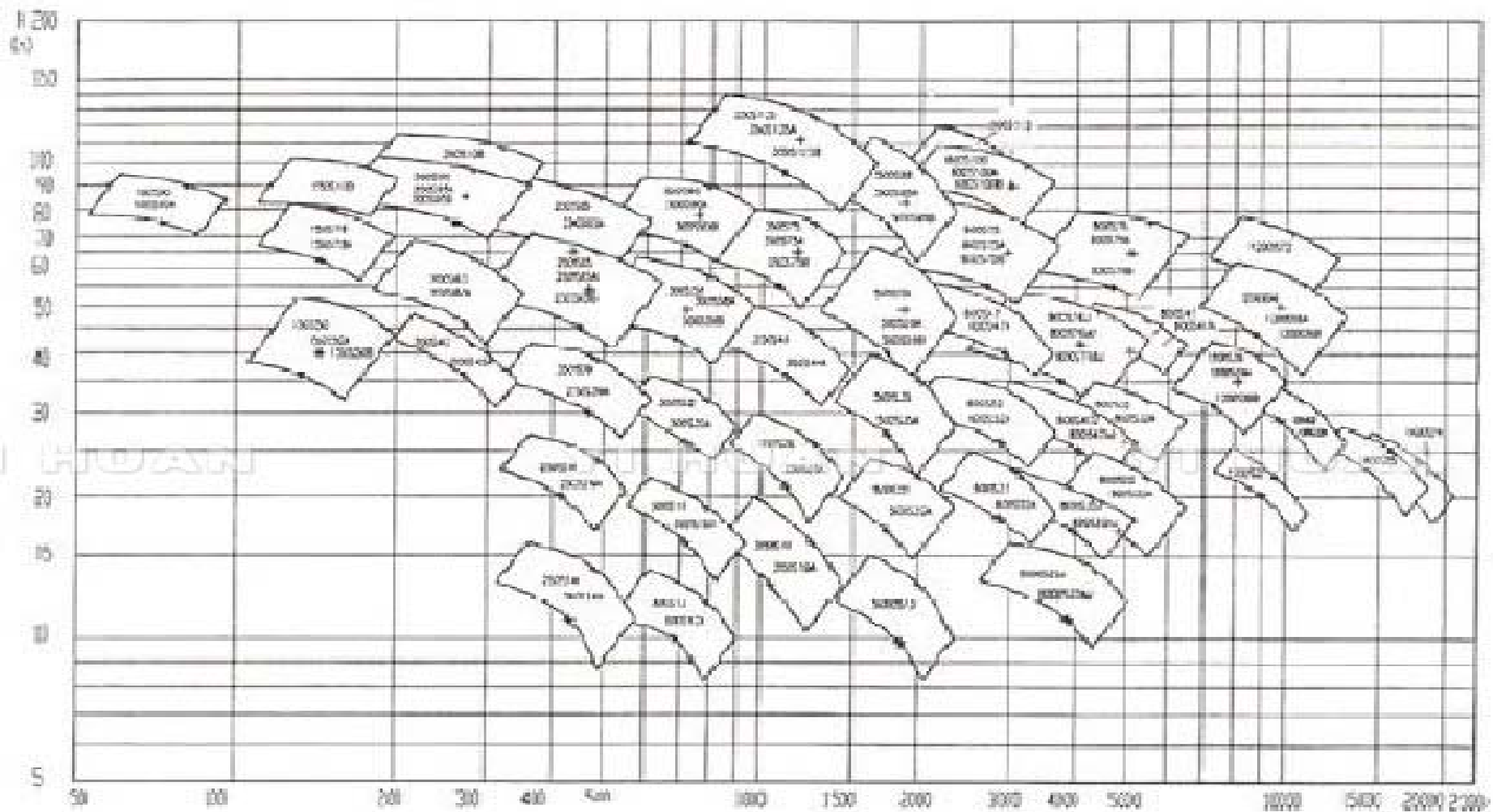
水泵的性能曲线图一定是在某一特定转速下的。

► 离心泵的性能曲线

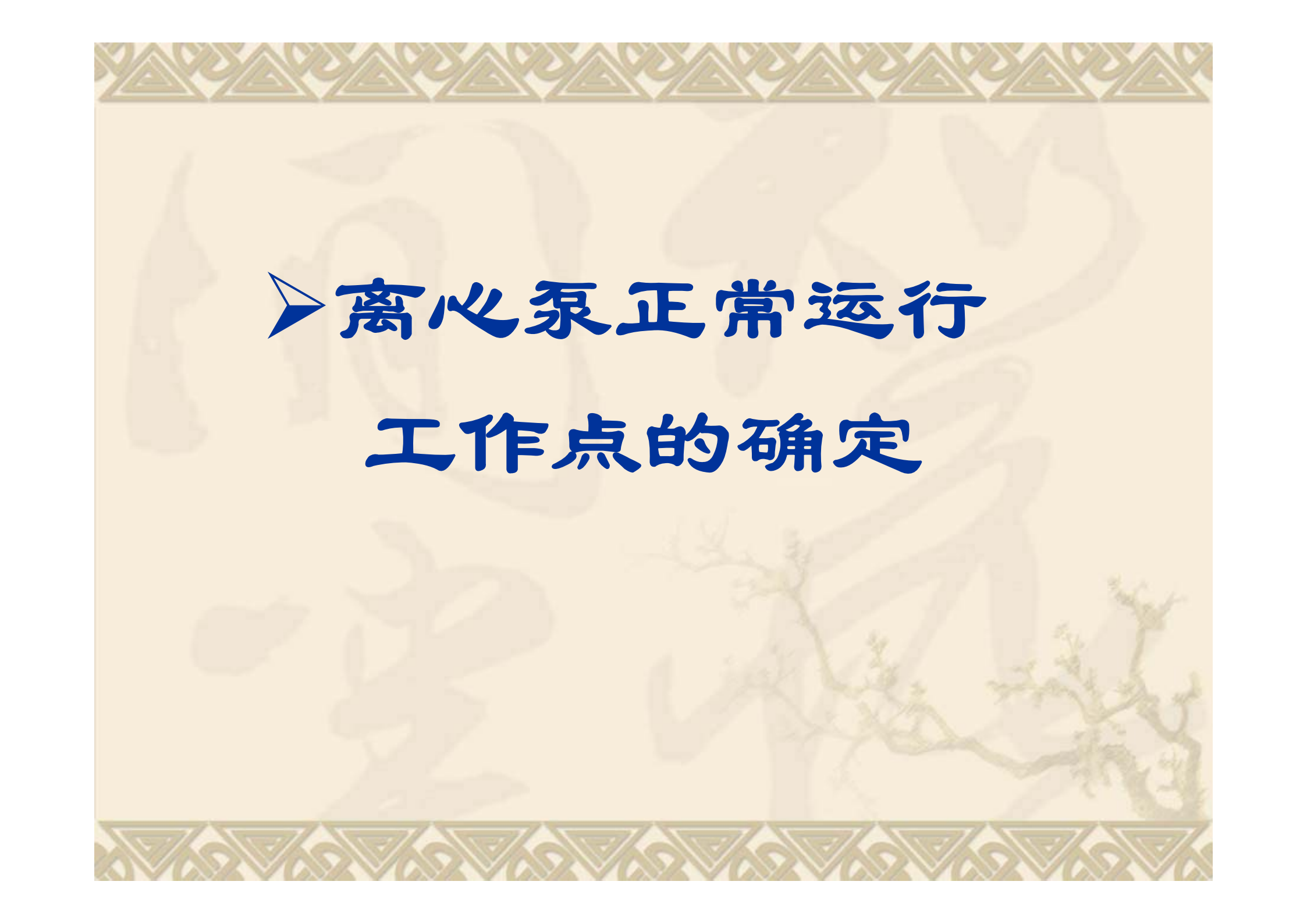
- ◆ 离心泵的 $Q-H$ 曲线通常是一条缓慢下降的曲线，零流量下的扬程最高，随着流量的增大，扬程逐渐减小；
- ◆ 离心泵的 $Q-P$ 曲线通常是一条缓慢上升的曲线，零流量下的轴功率最小，随着流量的增大，轴功率逐渐增大；

➤ 离心泵的性能曲线

- ◆ 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。



离心泵综合型谱图



➤离心泵正常运行 工作点的确定

➤ 离心泵正常运行工作点的确定

◆ 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）

➤ 离心泵正常运行工作点的确定

- ◆ 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。

➤ 离心泵正常运行工作点的确定

◆ 管路特性曲线—

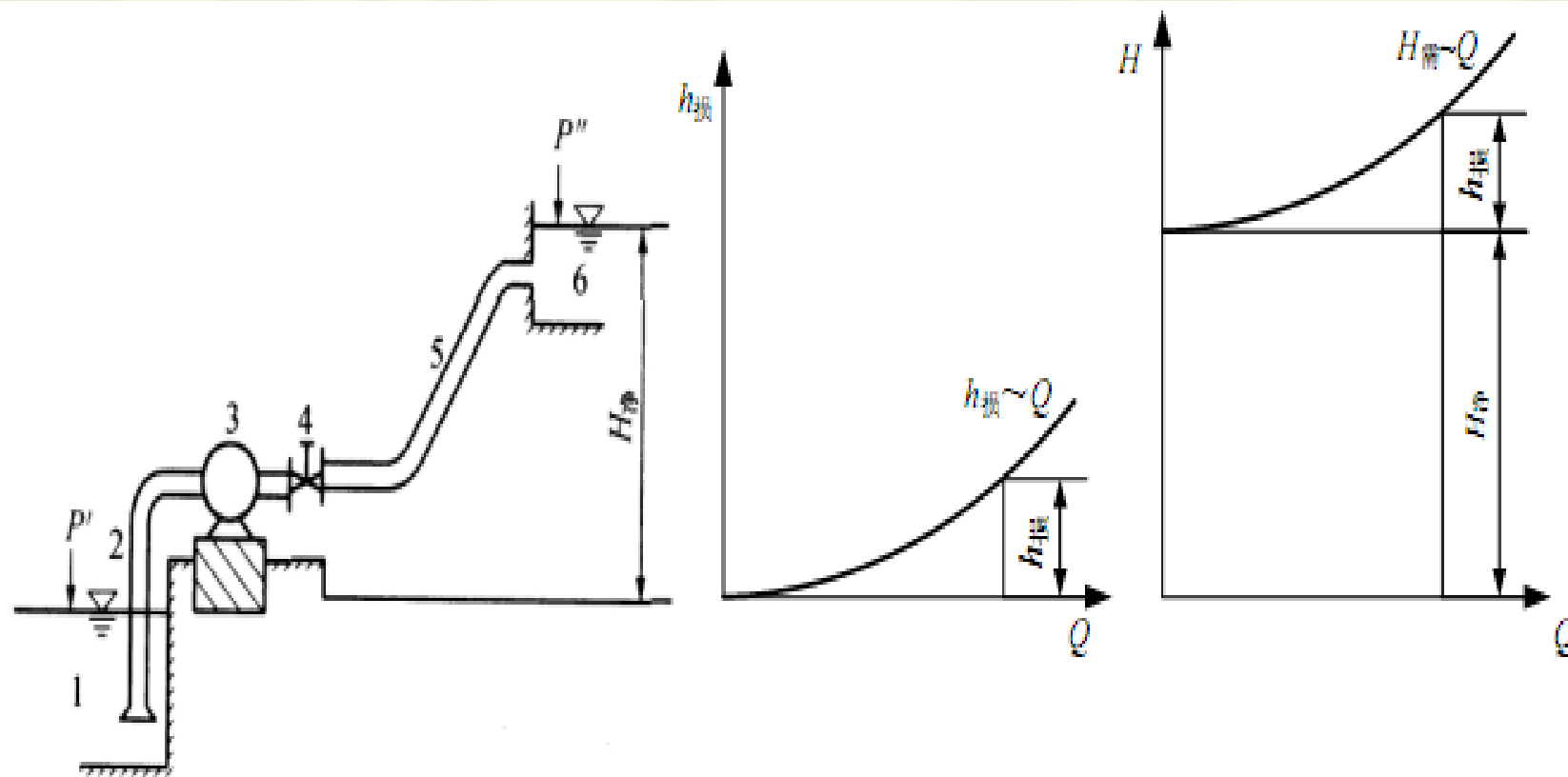
水泵进、出水管路系统中，管路损失 $h_{\text{损}}$ 随流量 Q 而变化的关系曲线，即 $Q-h_{\text{损}}$ 曲线。

◆ 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，扬程为纵坐标的坐标系中进行叠加，即可得到需要扬程曲线，即 $Q-H_{\text{需}}$ 曲线。

$$(H_{\text{需}} = H_{\text{净}} + h_{\text{损}})$$

管路特性曲线和需要扬程曲线



➤ 离心泵正常运行工作点的确定

- ◆ 水泵工作点的确定，就是水泵工作状况的确定。
- ◆ 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（ $Q-H_{\text{需}}$ ）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。
- ◆ 水泵运行中的实际工作点并不一定是水泵铭牌上标注的额定工况点的值。

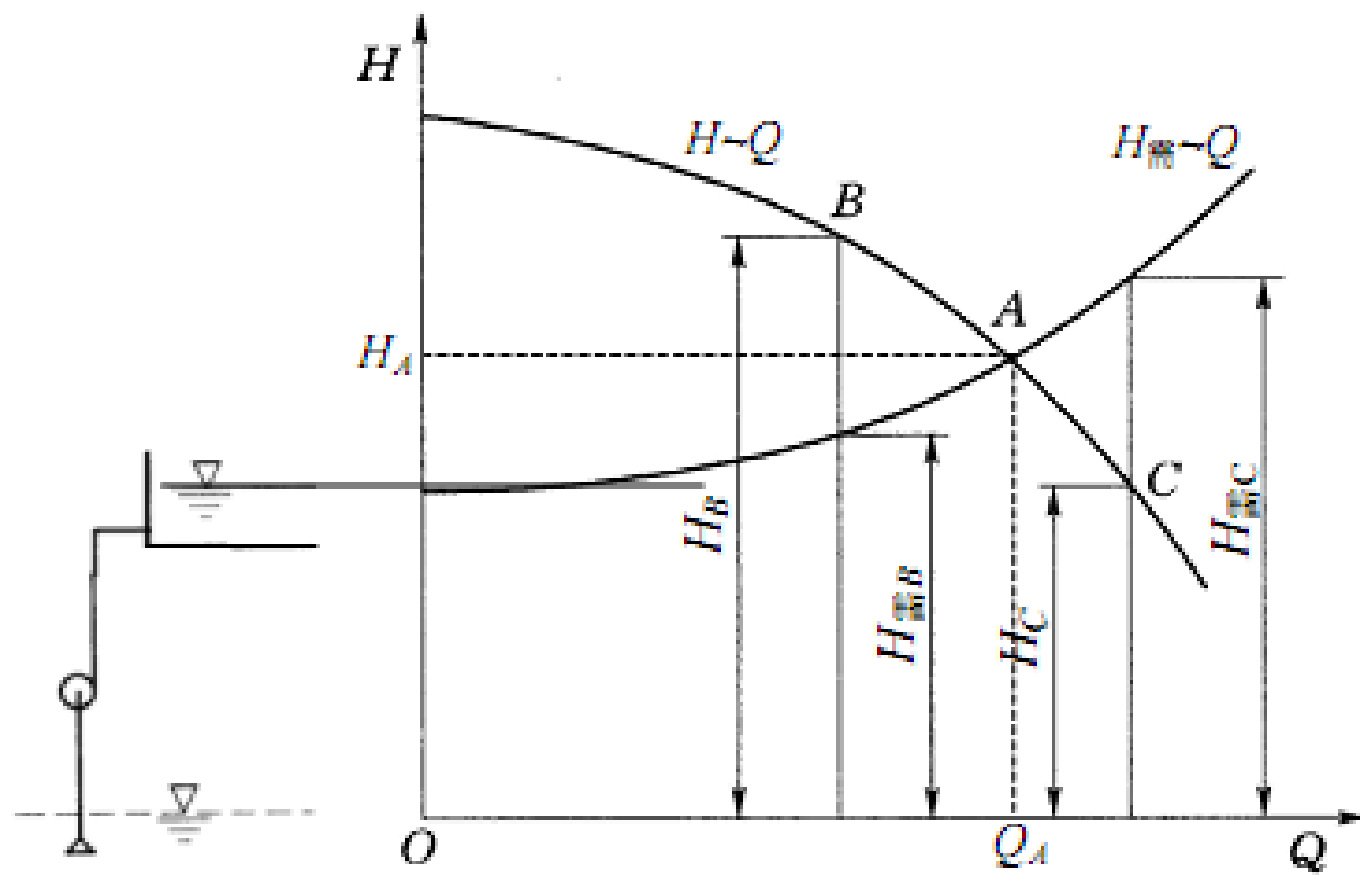


图 3-2 图解法确定水泵工作点

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，当井的出水量为一定值时，井中的水位会保持为某一定值，称为动水位。

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，称为水井的降深曲线，用 $S \sim Q$ 表示。

井泵工作点的确定

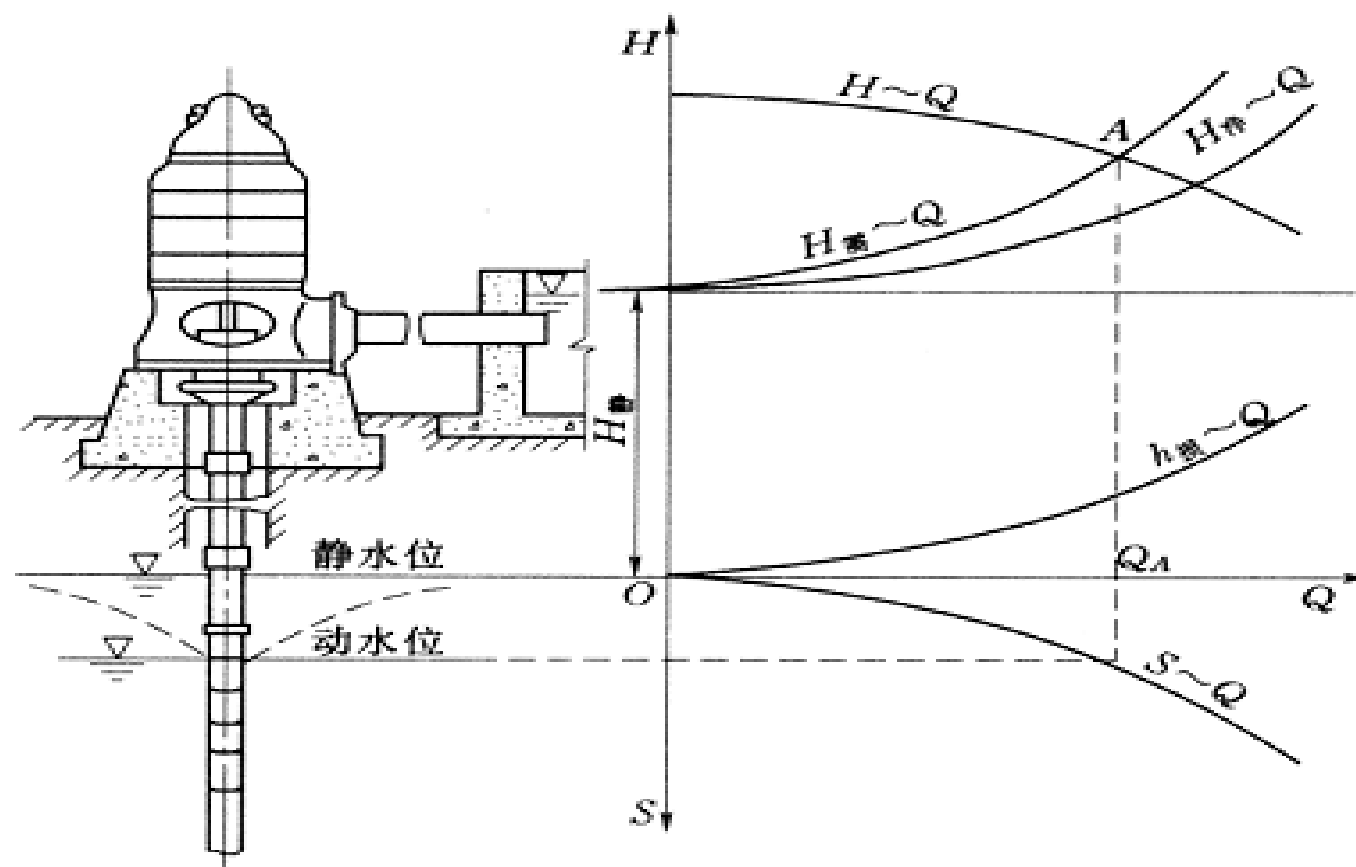


图 3-4 井泵工作点的确定

➤ 离心泵正常运行工作点的确定

- ◆ 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 、 η 、 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。

➤ 离心泵正常运行工作点的确定

- ◆ 同一台水泵只要转速不变，它的 $(Q-H)$ 曲线是不变的；而灌溉系统运行时相对不同的轮灌组，其 $(Q-H_{\text{需}})$ 曲线是变化的。所以这两条曲线的交点——**工作点是一个实时变动的点。**
- ◆ 显然，水泵的工作点是随着灌溉系统的 $(Q-H_{\text{需}})$ 曲线变化而**沿着水泵的 $(Q-H)$ 曲线移动的动态点。**

➤ 离心泵正常运行工作点的确定

- ◆ 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，并联或串联后总流量扬程曲线可在流量—扬程坐标系上，以参与并联或串联的水泵流量扬程曲线为基础，用作图法得到。

➤ 离心泵正常运行工作点的确定

◆ 作图方法有横加法和纵加法。

① 横加法是指将同扬程下的流量相加；

② 纵加法是指将同流量下的扬程相加。

➤ 离心泵正常运行工作点的确定

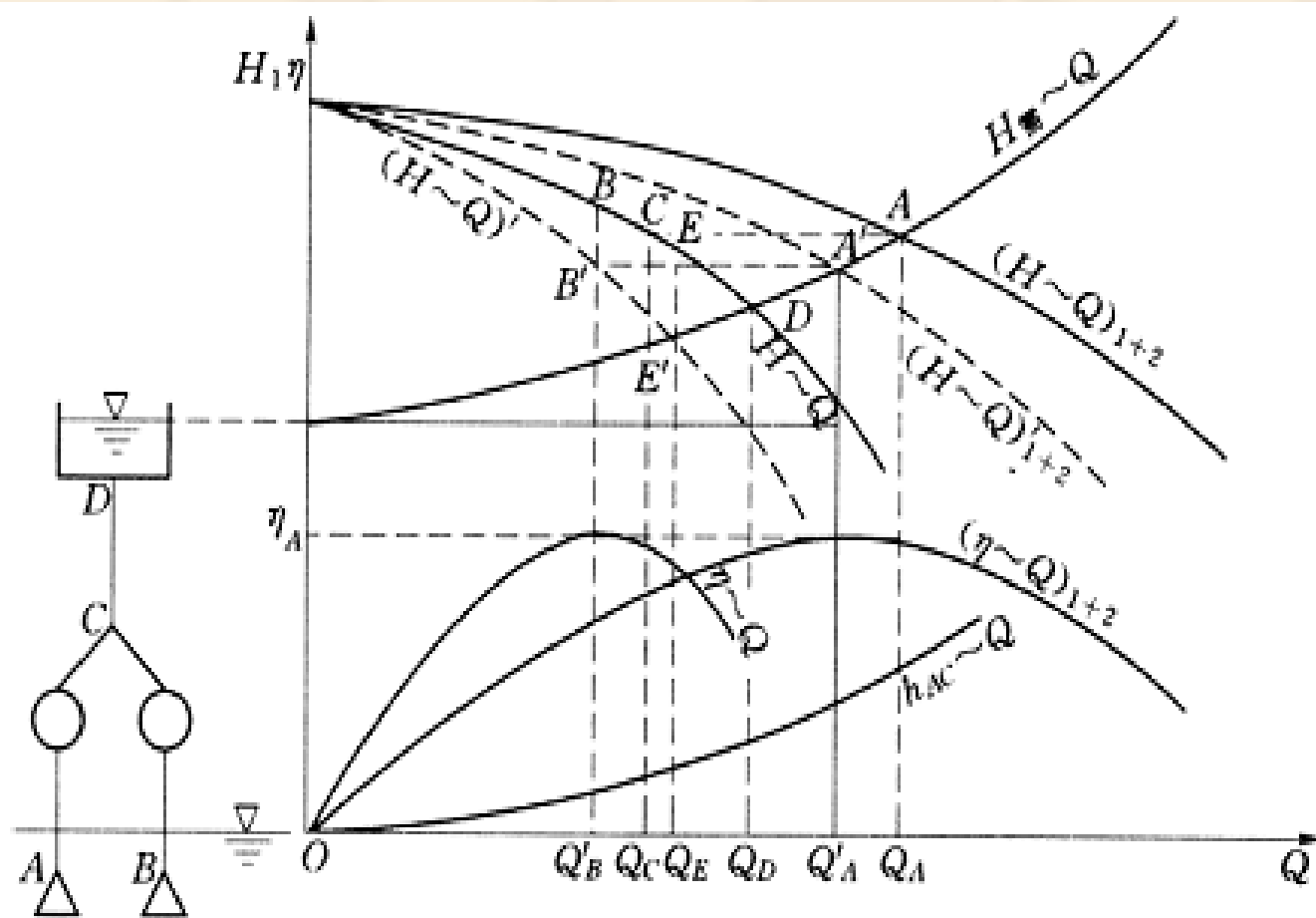
◆ 水泵并联—

由几台水泵向一条公共出水管供水，称为水泵的并联工作。

◆ 水泵并联通常用于一台水泵不足以供给所需流量的场合。

◆ 水泵并联的总扬程曲线可用横加法画出。

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

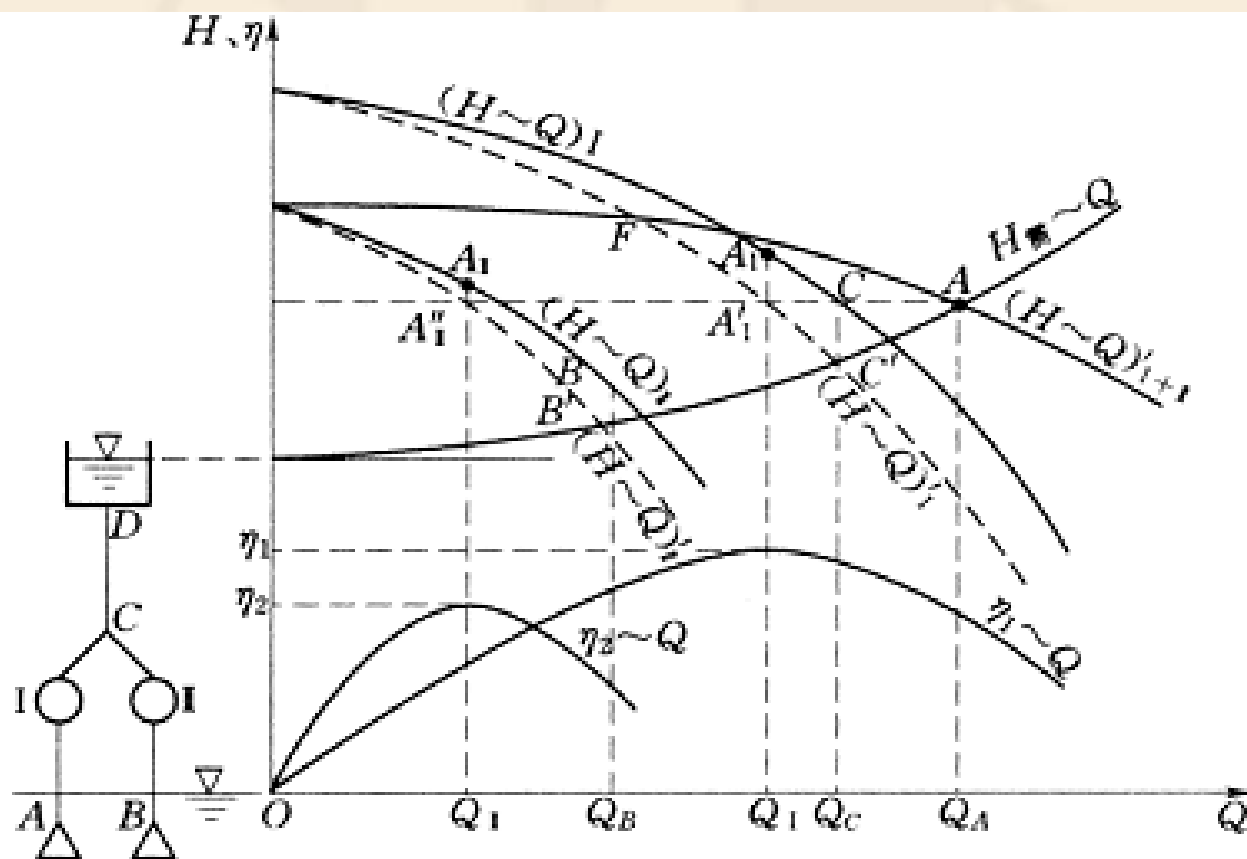


图 3-7 不同型号水泵并联运行工作点的确定

➤ 离心泵正常运行工作点的确定

- ◆ 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，它反映了几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 $Q-H$ 曲线的交点，为并联时每台水泵的工作点，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。

➤ 离心泵正常运行工作点的确定

- ◆ 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但为水泵选配动力机时应按其单独工作时的功率配套。

➤ 离心泵正常运行工作点的确定

◆ 水泵串联—

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。

◆ 通常用于一台水泵不足以供给所需扬程的场合。

◆ 水泵串联的总流量扬程曲线可用纵加法画出。

➤ 离心泵正常运行工作点的确定

- ◆ 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。



► 离心泵工作点的调节

➤ 离心泵工作点的调节

- ◆ 选择或使用水泵时，当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。

➤ 离心泵工作点的调节

◆ 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。

➤ 离心泵工作点的调节

◆ 节流调节—

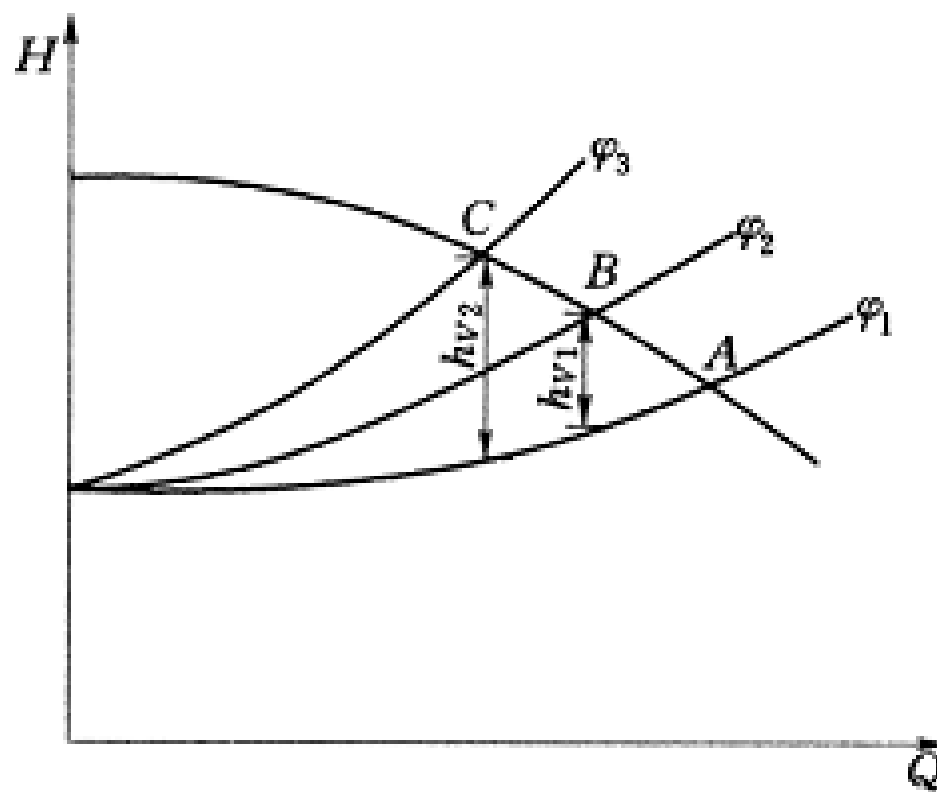
通过关小水泵**出水管路上的**闸阀来改变离心泵工作点位置的方法。

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

► 离心泵工作点的调节

- ◆ 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，关小闸阀就相当于在管路上增加了一个局部阻力，使原管路特性曲线变陡，随着阀门逐渐关小，其工作点就会沿着水泵的 $Q-H$ 曲线朝着流量减小的方向移动，直到工作点向左移到高效区范围内。

◆ 节流调节时水泵的工作点的变动



➤ 离心泵工作点的调节

◆ 分流调节—

在水泵出水管上接装一条支管或旁通管，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，可安装一条分流管以增大水泵的出水量，则其工作点就会沿着水泵的 $Q-H$ 曲线朝着流量增大的方向移动，直到工作点向右移到高效区范围内。

► 离心泵工作点的调节

◆ 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。

◆ 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_A 的水泵 $(Q-H)_A$ 曲线上。

② 由比例率求出相似工况抛物线公式；

$$k = H / Q^2 ;$$

将 Q_d' 、 H_d' 值代入，求出 k ，则有

$$H = k Q^2 。$$

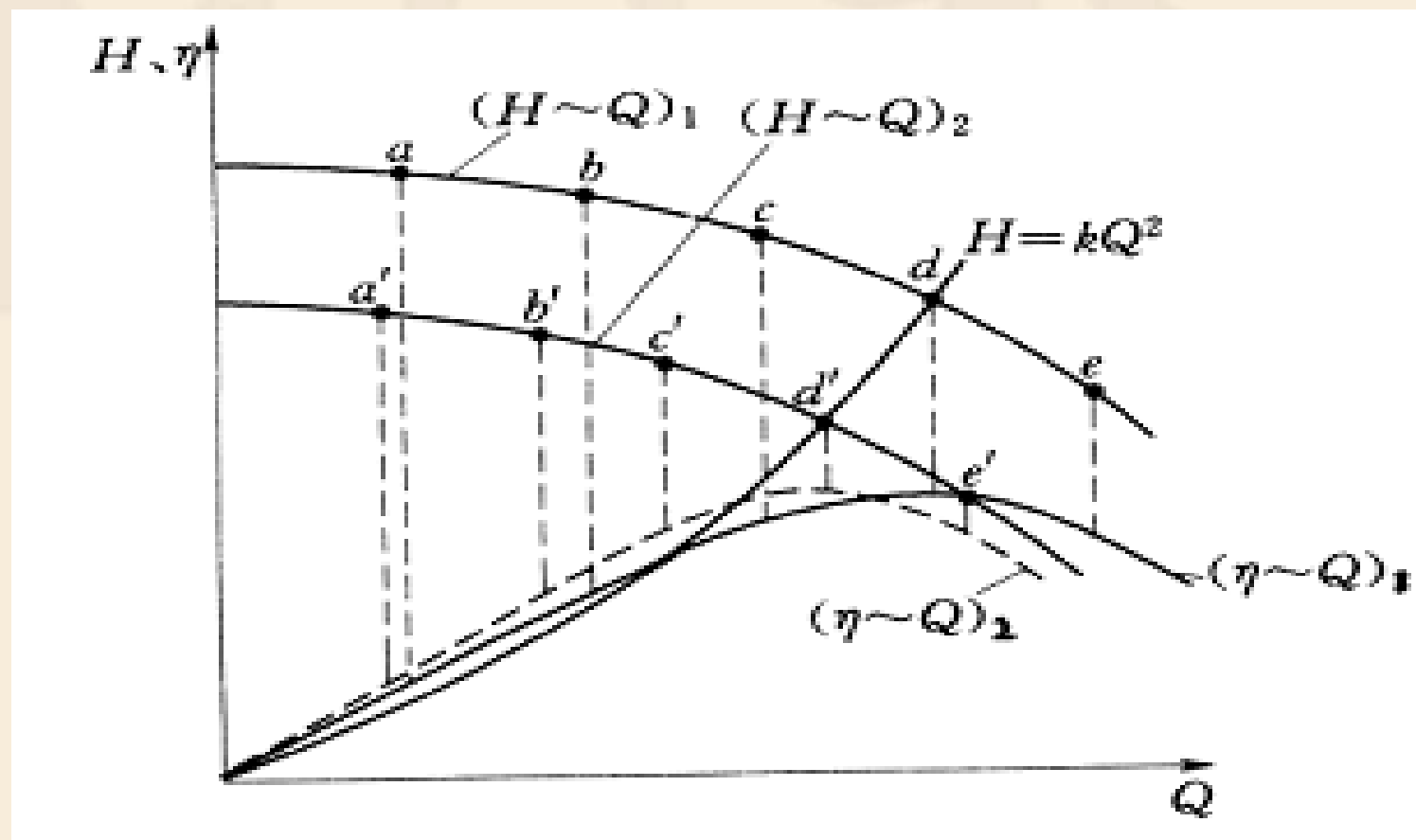
➤ 离心泵工作点的调节

- 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 $(Q-H)_A$ 曲线相交于点 $d(Q_d, H_d)$ 。
- 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_A 代入比例公式，即可求出变速调节后的转速 $n_B = n_A Q_{d'} / Q_d$ ，则点 d' 即为转速为 n_B 的 $(Q-H)_B$ 曲线上的点。

➤ 离心泵工作点的调节

- ⑤ 根据比例率得出式： $H_B / H_A = Q_B^2 / Q_A^2$ ，利用同样的方法，可分别得到点 a 、 b 、 c 、 e 的相似工况点 a' 、 b' 、 c' 、 e' ，然后把 a' 、 b' 、 c' 、 d' 、 e' 连成光滑曲线，即可得到水泵转速变为 n_B 时的性能曲线 $(Q-H)_B$ 。
- ⑥ 由曲线 $(Q-H)_B$ 与 $(Q-H)_{\text{需}}$ 曲线可求水泵变速后的工作点。

◆ 变速调节后的水泵性能曲线



◆ 需要注意，改变转速是有限度的：

- 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。若要增加转速时，要征得水泵生产厂家的同意。

➤ 离心泵工作点的调节

◆ 车削调节—

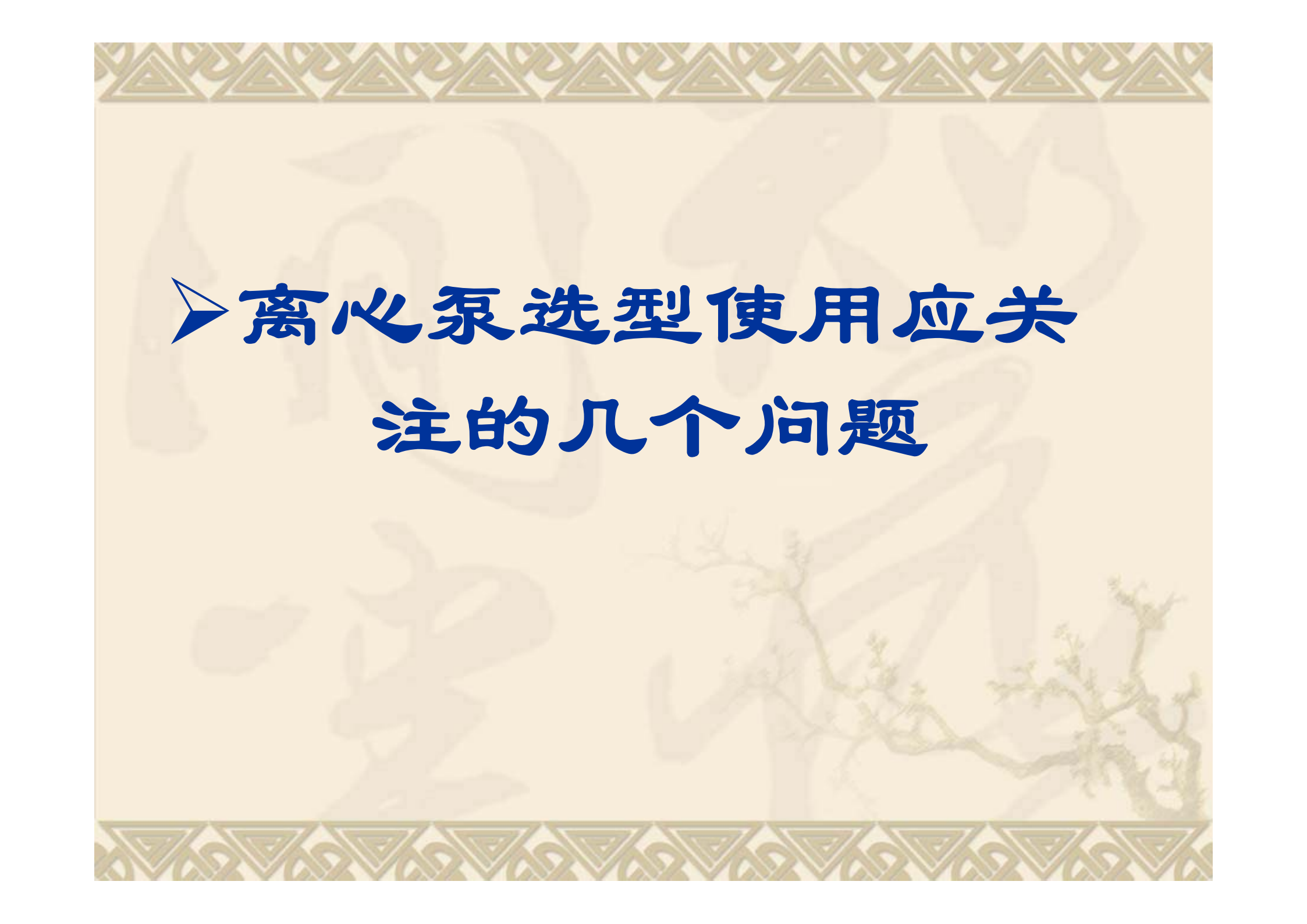
沿外径车小离心泵的叶轮，以改变水泵性能曲线，达到调节水泵工作点的目的。

- ◆ 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 $Q-H_{\text{需}}$ 曲线可求水泵变速后的工作点。

➤ 离心泵工作点的调节

◆ 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

➤ 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。
- ◆ 水泵制造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。

➤ 离心泵选型使用应关注的几个问题

- ◆ 选择水泵不能仅看水泵铭牌，更重要的是应看水泵能否经常保持在高效区内运行。
- ◆ 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；

➤离心泵选型使用应关注的几个问题

- 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），使工况点向右沿水泵流量—扬程曲线移进水泵高效区范围内；

➤离心泵选型使用应关注的几个问题

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

总之，所选水泵在长期运行过程中应始终在高效区范围内工作，且最好经常保持在最高效率点右侧的高效区范围内运行。

➤ 离心泵选型使用应关注的几个问题

- ◆ 离心泵（井泵基本为离心泵）出口处必须安装闸阀，不能采用快速开启和关闭的球阀。启动时为关阀启动
- ◆ 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闸阀的后面）、逆止阀（安装在水泵出水管上主闸阀的前面），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主闸阀的后面）。

➤离心泵选型使用应关注的几个问题

- ◆ 应利用计量仪表，配合水泵出水管路上的主闸阀，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，调整主闸阀的开度，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。
- ◆ 离心泵出水管路上安装主闸阀，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正常运行的保证。

显然，在离心泵出水管路上不安装主闸阀是错误的。

➤ 离心泵选型使用应关注的几个问题

- ◆ 离心泵运行时，真空表和压力表读数之差，即为读数时水泵的实际扬程。
- ◆ 水泵进水口应安装在动水位以下2m处。
- ◆ 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，泵管可选配增大一级的管径。



❖ 谢谢!