

# 红海地区潮汐能量系统的优化运行及数学模型

(埃及) Faten H. Fahmy

**摘要** 水力发电是再生能量,在 20 世纪它对人民生活的影响比其他任何时候都大。电的神奇作用已成为日常生活的一部分,它还有助于促进工业发展,其中水力发电起着重要作用。潮汐发电是利用水能的一种方式。本文介绍了潮汐电站的设计,目的是将储存于埃及红海的大量潮汐变为水力和电力。人们认识到潮汐技术是利用海潮并解决经济和环境问题的一项先进的新技术。

在偏远地区也可以装设小型潮汐发电机(1~10MW)。本文提出一种新设想,根据红海潮汐的自然条件来生产有限的电能。设计了一种向海滨附近有限的直流负载供电的潮汐系统。选择了海滨附近的直流照明作为直流负载,还以系统有效参数最佳值解决了潮汐发电系统运行中的最佳控制问题。

本文研究了一种再生能源,并且这种能源是经济的,有利于环保的,所以受到了很大的关注。

**关键词** 潮汐能量 优化 随机问题 数学模型

## 1 引言

二十世纪初期出现了潮汐磨坊。那时还没有双向水轮机,只能利用一个方向的潮汐。人们选择利用退潮时的潮汐,因为这种潮汐的出力较易控制。当潮汐进来时,放下泄洪闸,截住其上的水。当低潮来临时,提起闸门,水推动水轮转动。人们相信,一定会出现一种结构完善的潮汐发电机,配备最好的水力发电设备,并且可获得许多年的设计寿命<sup>[1]</sup>。

## 2 工程计划

这些工程最初在非洲、墨西哥、英格兰和智利进行规划,在印度和阿拉斯加的可行性研究也相继开始。法国和加拿大的潮汐电站则证明了低水头潮汐发电的可用性。但是潮汐技术随着地点的不同而不同。阿拉斯加沿其南海岸线有着许多地方可用来潮汐发电,是一个很有吸引力的有待于开发的地区。印度成立了一个潮汐电力公司,并且收到印度政府的基金,用于一个 1000MW 的项目。同样,发展中国家需要利用一切现有的再生资源,使他们的人力和自然资源都发挥作用。多国基金会针对潮汐进行了广泛的讨论,他们非常乐于将潮汐做为发电资源,因为它可提供商业用电并满足无污染发电资源的政策。

TE/智利计划在智鲁(Chilo)岛地区的一个小村庄实施第一个工程,规模是 2~10MW<sup>[2]</sup>。

## 3 潮汐发电技术

潮汐中储存着大量的能量。潮汐电站可以在涨潮和退潮时获得能量。

### 3.1 拦水坝技术

它属于通常的技术。就是通过拦水坝形成一个潮汐入口,让潮汐流在坝的内侧聚集起来。当水位达到最高潮时,关闭闸门蓄水,等待低潮时放水,发电。

但该技术对于环境有四大负面影响:阻碍航行,妨碍鱼类迁移,当鱼通过水轮机时会死亡,潮汐入口的位置和自然属性受到了改变,潮汐下游的状况发生了变化。因此环境问题阻碍了拦水坝技术的进一步发展。

### 3.2 潮汐发电机

发电机由坐落在海底的 3 个空腔室,一个壳体及相邻的水轮机混凝土空气廊道组成。壳体由可得到的实用材料构成。

## 4 设计的系统

按照潮汐发电机的主体构想,系统的设计如下:

(1) 选择位于红海(海滨附近)的地点建设所计划的具有最大和最小潮汐落差的系统。

(2) 明确负载性质(位于海边的照明或家用有限负载)。

(3) 按照负载性质和容量计算电站参数:流道

尺寸,水轮机,电气连接,测量仪器。

(4) 水工建筑的底部按低潮水位设计,顶部按高潮水位设计。

(5) 采用抽水蓄能方法,无需增加大量的投资,即可增加电力输出和经济效益。

## 5 发电周期

发电周期由图 1~4 所示的几个系列阶段组成。它由壳体中的 3 个空腔室组成,依次发电。可优选其次序来满足操作人员的要求。

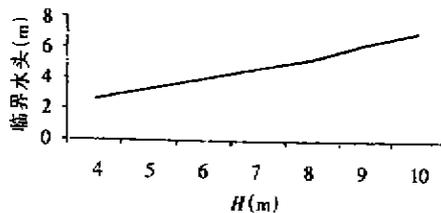


图 1 水库中的临界水头

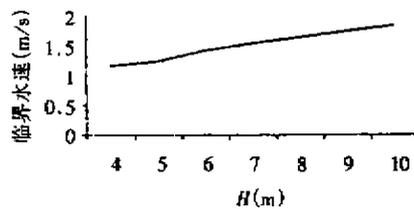


图 2 临界水速

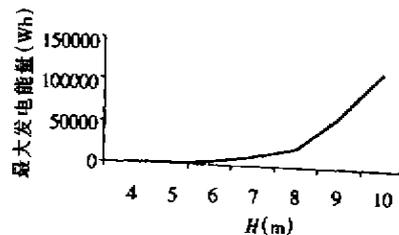


图 3 潮汐发电能量

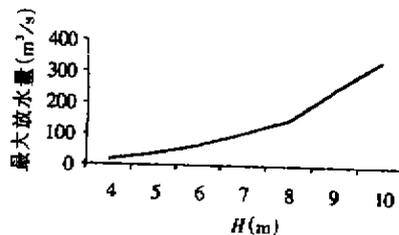


图 4 最大放水量

## 为供水系统选择泵

卧式离心泵显然适合于所有供水系统的工作要求,除了那些大容量,受限制最大的供水系统。

卧式泵的主要优点是价廉,并且可以设计成许多种结构来满足水泵很宽范围的工作条件的要求。

## 6 数学模型

对于水利工程师,伯努力(Bernoulli)基本方程是最有用的,将多次用到。该方程通常表达为

$$\text{动能} + \text{压力能} + \text{势能} = \frac{U^2}{2g} + P + Z = \text{常数}$$

式中:  $U$  为单位质量水的速度;  $P$  为压力;  $Z$  为给定基准面以上的高度。

但是,直接衡量水所具有的势能(或者引力场中的位能)的是水的自由表面。

要计算自流道而下的泄流量,需考虑水流的  $H$  和水流临界深度  $d$ :

$$\frac{U^2}{2g} + P + (d - h) = H \quad (\text{常数})$$

但  $P = h =$  自由表面之下的深度

$$\frac{U^2}{2g} + d = H$$

但  $Q = Vd$

式中:  $Q$  为以  $\text{m}^3/\text{s}$  为单位的泄流量;  $d$  的单位是  $\text{m}$ ;  $V$  的单位是  $\text{m}/\text{s}$ 。

通过替换:

$$\frac{Q^2}{2gd^2} + d = H$$

$$Q^2 = (H - d)2gd^2$$

所产生的电能  $E$  是

$$E = K_1 Q^2$$

式中  $E$  是常数

$$E = K_1 \{ 2gd^2(H - d) \}$$

$$\text{即 } E = K_2 d^2(H - d)$$

式中:  $H$  是流道内静水的总高度, 即总能量落差;  
 $K_1, K_2$  是常数。

下面需要研究的同样重要的是, 流道入口下游处的斜率。如果流道斜率非常小, 那么势能的释放 (即河床水位降) 可能不足以平衡或抵消临界速度  $V_c$  对摩擦带来的能量损失。

## 7 控制问题的优化

主要的目的是根据负载的性质和其他影响因素使潮汐产生的电能最多。

$$\text{最大的: } E_i = K_1 Q_i^2 \quad i=1, \dots, n \quad (n=\text{水头的变化})$$

$$\text{因为 } Q_i^2 = (H - d_i) 2gd_i^2$$

$$\text{而 } \underline{d}_i \leq d_i \leq \bar{d}_i$$

$$\underline{E}_i \leq E_i \leq \bar{E}_i$$

最大值

$$F = E = \sum_{i=1}^n E_i = \sum_{i=1}^n [K_1 \bar{E}_i + K_2 \sigma_i^2] \\ = \sum_{i=1}^n \left[ \left\{ K_1 (\bar{H} - \bar{d}_i) 2g \bar{d}_i^2 \right\} + K_2 \left\{ (2gd_i^2 \sigma_H^2)^{\frac{1}{2}} + (-3d_i^2 g \sigma_d^2)^{\frac{1}{2}} \right\} \right]$$

(b) 约束条件

$$g_1: \bar{H}_i - \phi_i(P_i) \left[ \sum_i \sigma_{H_i}^2 \right]^{\frac{1}{2}} \geq 0$$

$$g_2: \bar{d}_i - \phi_i(P_i) \left[ \sum_i \sigma_{d_i}^2 \right]^{\frac{1}{2}} \geq 0$$

$$g_3: \bar{E}_i - \phi_i(P_i) \left[ \sum_i \sigma_{E_i}^2 \right]^{\frac{1}{2}} \geq 0$$

$$g_4: \bar{Q}_i - \phi_i(P_i) \left[ \sum_i \sigma_{Q_i}^2 \right]^{\frac{1}{2}} \geq 0$$

(c) 拉格朗日方程

$$L = F + \mu_1 g_1 + \mu_2 g_2 + \mu_3 g_3 + \mu_4 g_4$$

(d) 必要条件

通过求导拉格朗日方程

$$E_i \geq E_{Li}$$

$$\underline{Q}_i \leq Q_i \leq \bar{Q}_i$$

用拉格朗日 (Lagrange) 方程求解如下:

$$L = K_1 (H - d_i) 2gd_i^2 + \mu_1 (d_i - \underline{d}_i) + \mu_2 (\bar{d}_i - d_i) \\ + \mu_3 (Q_i - \underline{Q}_i) + \mu_4 (\bar{Q}_i - Q_i) + \mu_5 (E_{Li} - E_i) \\ + \mu_6 (\bar{E}_i - E_i) + \mu_7 (E_i - E_{Li})$$

式中,  $\mu$  是 Kuhn Tucker 参数, 通过解方程, 我们可以算出直接影响  $Q_i, E_i$  值的主要参数  $d_i$  最佳值。

## 8 随机非线性问题

但是潮汐系统中的变量值是随机的。因此系统的模型可描述为每个系统变量的平均值和均方差的函数。

(a) 目标函数

$$\text{w.r.t } H_n, d_n, E_n, Q_n$$

可以得到必要的条件, 对于潮汐系统获得最大发电量的最佳参数值来说, 这是计算的关键一步。

## 9 结论

已经证明, 所产生电力的多少与潮汐区域的大小有很大关系。出力随潮汐区域的面积而变化。另外, 电力输出与积水设备的面积有直接关系, 而积水设备的面积又标志着每个发电阶段通过水轮机的水量。该模型和新的再生能量 (潮汐能量) 只能专门用于有机会建设小型潮汐发电机 (1-10MW) 的偏远地区。根据有关参数设计最佳发电量的潮汐电站时, 求得最优解是很重要的。这是一种受欢迎的、有益于环境和健康的再生能源。

参考文献 4 种 (略)

关玉薇 译自《ICEMS' 2001》 冷晓梅 校