

DOI :10.3880/j.issn.1006-7647.2008.05.015

低扬程贯流式泵站启动扬程的计算

朱庆华

(江苏省水利勘测设计研究院有限公司,江苏 扬州 225009)

摘要 将泵站从启动至正常运行分为 4 个阶段,进行泵站启动扬程的分析计算。指出影响泵站启动扬程的主要因素有泵站启动时进水池和出水池的水位差、出水流动工作闸门的开启速度、出水流动的结构布置。通过对贯流式泵站启动过程进行分析,运用水力学原理,就泵站启动扬程的主要影响因素提出一种分析计算方法。以淮安第三抽水泵站为例进行泵站启动扬程分析及计算,所得结果与泵站的实际启动运行情况基本吻合。

关键词 泵站启动扬程 出水流动 壅高水位 进水池水位 出水池水位 闸门开启速度 水泵机组功率 淮安第三抽水泵站

中图分类号 :TV136 **文献标识码** :B **文章编号** :1006-7647(2008)05-0058-03

Calculation of starting lift head of low-lift tubular pumping station//ZHU Qing-hua (Jiangsu Surveying and Design Institute of Water Resources Co., Ltd, Yangzhou 225009, China)

Abstract :The process of running a pumping station from start to operation is divided into four stages and the lift head during the starting period is analyzed. The main factors affecting the starting lift head are pointed out, including the water level difference between the intake sump and outlet sump during the starting period, the opening speed of the working gate and the structural layout of the outlet passage. In consideration of these three main factors, a calculation method for determining the starting lift head is proposed based on hydraulics principles. With the Third Huaian Pumped Storage Station as an example, the starting lift head of pumping station is calculated by use of this proposed method. The calculation results are in good accordance with the actual value.

Key words :starting lift head of pumping station ;outlet passage ;backup water level ;water level of intake sump ;water level of outlet sump ;opening speed of working gate ;power of pumping unit ;the Third Huaian Pumped Storage Station

在泵站开机运行时,水流受到工作闸门开启速度和出水流动结构的影响,在出水流动胸墙内往往会产生壅高,用此壅高水位代替出水池水位计算出的扬程即泵站启动扬程。目前,平原地区部分已建成的抽水泵站在启动时经常出现水泵机组功率不足的情况,导致启动困难,同时出水流动胸墙内壅水过高而出现翻越胸墙出水等不良的运行状况。在泵站水泵选型设计时,往往容易忽略泵站站身结构对设计扬程带来的不良影响,以至于对泵站启动扬程估计不足,从而出现上述不良运行状况。

1 贯流式泵站启动过程

为方便对泵站启动扬程进行计算,把泵站从启动至正常运行分为 4 个阶段。

第 1 阶段 :启动水泵,向出水流动送水,即图 1 中 $Q_{泵}(t)$ 所示 ;同时开启快速闸门(根据出水流动

结构形式及水泵运行需要也可延迟开启),由于出水池水位高于出水流动内水位,即 $H_{出} > H_{壅}$,快速闸门开启后,出水池内的水($Q_1(t)$)流进出水流动,从而导致出水流动快速闸门内水位壅高,即 $H_{壅}$ 上升。

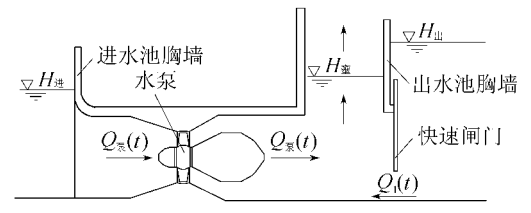


图 1 第 1 阶段

第 2 阶段 如图 2 所示,随着出水流动快速闸门内水位的上升,闸门内外水位差越来越小,当水位平齐(即 $H_{出} = H_{壅}$)时闸孔流量 $Q_1(t) = 0$ 。此时,由于水泵继续向出水流动送水,出水流动快速闸门内水位将持续上升而超过出水池水位,则闸孔水流流向

作者简介 朱庆华(1976—),男,江苏扬州人,工程师,从事水利工程建筑研究。E-mail :yzhuqh@126.com

发生改变,由出水流动道流向出水池。

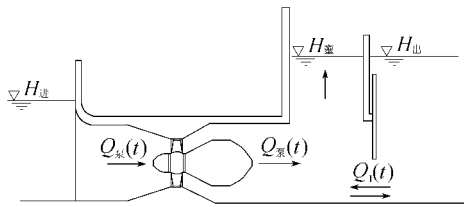


图2 第2阶段

第3阶段 如图3所示,出水流动道内水位大于出水池水位,则出水流动道内的水将流向出水池,由于水泵送水的流量 $Q_{\text{泵}}(t)$ 大于闸孔的出水流量 $Q_1(t)$,使得出水流动道内的水位 $H_{\text{壅}}$ 继续升高,闸孔出水流量 $Q_1(t)$ 也相应增大。若胸墙足够高,当流量 $Q_1(t) = Q_{\text{泵}}(t)$ 时出水流动道水位 $H_{\text{壅}}$ 仍低于胸墙顶高程,不会出现胸墙顶溢流状况,此时出水流动道内水位 $H_{\text{壅}}$ 为最大值。如果出水流动道内水位达到胸墙高度(即 $H_{\text{壅}} = H_{\text{胸}}$) 时,水泵送水流量大于闸孔出水流量(即 $Q_{\text{泵}}(t) > Q_1(t)$),则 $H_{\text{壅}}$ 将继续升高而超过胸墙顶高程,发生胸墙顶溢流(流量为 $Q_2(t)$),直至 $Q_{\text{泵}}(t) = Q_1(t) + Q_2(t)$,出水流动道内水位 $H_{\text{壅}}$ 达到最高位置。

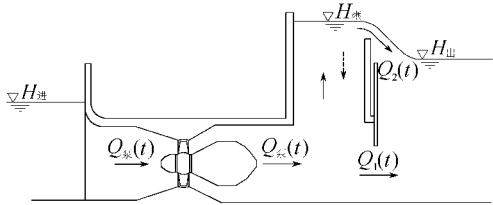


图3 第3阶段

第4阶段 如图4所示,随着工作闸门开启度的增大,流量 $Q_1(t)$ 将进一步加大,当水泵送水流量大于闸孔(或闸孔加胸墙顶)出水流量(即 $Q_1(t) > Q_{\text{泵}}(t)$ 或 $Q_{\text{泵}}(t) > Q_1(t) + Q_2(t)$) 时,出水流动道内的水位 $H_{\text{壅}}$ 从最高位置开始下降,直至 $Q_{\text{泵}}(t) = Q_1(t)$ 后胸墙内外水位逐渐趋于稳定。泵站结束启动阶段,进入正常运行阶段。

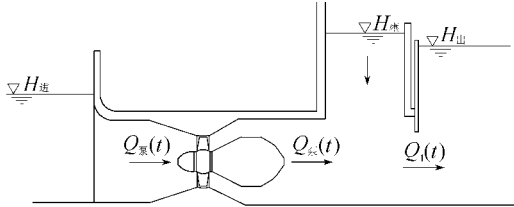


图4 第4阶段

2 启动扬程的计算原理

根据《泵站设计规范》^[1] 的要求,泵站特征扬程应按泵站进、出水池水位差,并计入水力损失来确定。因此在确定泵站启动扬程时,用出水流动道内的

最高壅高水位代替出水池水位来计算泵站的启动扬程,计算公式如下:

$$h_{\text{后}} = H_{\text{壅max}} - H_{\text{进}} + \sum h_f \quad (1)$$

式中: $h_{\text{后}}$ 为泵站启动扬程, m; $H_{\text{壅max}}$ 为出水流动道内的最高壅高水位, m; $H_{\text{进}}$ 为进水池水位, m; $\sum h_f$ 为进、出水流动道内的水头损失, m。

由式(1)可知,与计算泵站一般特征扬程相比较,计算泵站启动扬程主要需出水流动道内的最高壅高水位 $H_{\text{壅max}}$ 。从泵站启动的4个阶段来看,出水流动道内的最高壅高水位由流入出水流动道的水量和出水流动道的结构特征来确定,而流入出水流动道的最大水量可根据水泵流量、闸门底流量、胸墙顶溢流量(即 $Q_{\text{泵}}(t)$, $Q_1(t)$, $Q_2(t)$) 来确定,其中 $Q_1(t)$ 和 $Q_2(t)$ 不仅是时间的函数,而且与出水流动道内的水位有关,所以在计算出水流动道的最大壅高水位时需进行试算。在试算时,时间段划分越短则计算结果越精确,但计算也越繁琐,可根据工程中的实际需要来确定时间段。

在闸门开启时,闸门底过流流量 $Q_1(t)$ 符合宽顶堰闸孔出流条件。在泵站启动过程中,时间较短,闸门开启高度较小,一般闸孔出流为孔流且为淹没出流。闸孔出流流量公式如下^[2]:

$$Q_1(t) = \mu B e \sqrt{2g(H_{\text{出}} - H_{\text{壅}})} \quad (2)$$

式中: $Q_1(t)$ 为闸门底闸孔流量, m^3/s ; μ 为闸孔出流的流量系数,取 0.65 ~ 0.70; B 为闸孔净宽度, m; e 为闸门开启高度, m; $H_{\text{出}}$ 为出水池水位, m; $H_{\text{壅}}$ 为出水流动道内的壅高水位, m。

当出水流动道内的壅高水位大于出水池水位时,式(2)中 $H_{\text{出}} - H_{\text{壅}}$ 改为 $H_{\text{壅}} - H_{\text{出}}$, 闸孔流量 $Q_1(t)$ 为负数表示闸孔水流流向发生改变,水从出水流动道流向出水池。式(2)适用于 $\frac{e}{\max(H_{\text{出}}, H_{\text{壅}})} < 0.65$ 时的闸孔出流流量计算;如果 $\frac{e}{\max(H_{\text{出}}, H_{\text{壅}})} > 0.65$ 时,式(2)需调整为宽顶堰堰流量计算公式。

在出水流动道内壅高水位超过胸墙顶时,胸墙顶发生溢流,这时胸墙与出水流动道侧墙形成一个矩形薄壁堰,所以胸墙顶溢流流量公式如下:

$$Q_2(t) = m_0 B \sqrt{2g(H_{\text{壅}} - H_{\text{胸}})^3} \quad (3)$$

式中: $Q_2(t)$ 为胸墙顶溢流流量, m^3/s ; m_0 为矩形薄壁堰的流量系数,可参照巴辛经验公式计算; $H_{\text{胸}}$ 为胸墙顶高程, m。

综上所述,根据式(2)、式(3)结合出水流动道的结构特征可以计算出水流动道内的最高壅高水位 $H_{\text{壅max}}$,从而由式(1)可知泵站的启动扬程。

3 工程实例

3.1 工程概况

淮安第三抽水泵站设计总流量为 $66\text{ m}^3/\text{s}$, 安装可逆式灯泡型贯流泵 2 台套, 水泵水轮机型号为 32GWN-42, 叶轮直径 3.19 m 。站身为堤身式结构形式, 采用平直管进、出水流动, 胸墙挡水, 快速闸门断流。闸门开启滞后水泵机组启动 1.2 s , 水泵电机投励达同步转速需历时 $8\sim 10\text{ s}$ 。该泵站自建成后投入运行以来, 一直存在机组启动困难及正常运行超额定功率的问题。在水泵启动时出水流动道内的水经常翻越胸墙溢流至出水池, 根据现场管理单位的实际测量统计数据, 在进水池平均水位 5.95 m 、出水池平均水位 9.73 m 时启动水泵, 平均流量为 $31.44\text{ m}^3/\text{s}$, 出水池内最大壅高水位约为 12.00 m , 此时水泵机组实际作用的功率如下: 1 号机组为 2032 kW , 2 号机组为 $2\ 107\text{ kW}$, 平均机组功率为 $2\ 070\text{ kW}$ 。

3.2 计算结果

在计算淮安第三抽水泵站启动扬程时, 可以把该泵站的站身结构计算图简化如图 1, 泵站底板面高程为 -1.13 m , 挡水胸墙顶高程为 10.50 m , 闸门处闸孔净宽 6.51 m 。

泵站运行情况假定如下: ①水泵电机投励达同步转速需历时 10 s , 从电机开启至同步转速的过程中水泵流量与时间呈线性关系, 即当 $t < 10\text{ s}$ 时 $Q_{\text{泵}} = 3.144t$, 当 $t > 10\text{ s}$ 时 $Q_{\text{泵}} = 33\text{ m}^3/\text{s}$; ②流动水头损失为 0.40 m ; ③根据站身结构确定流进出水流动道内的水体与水位升高量 Δh 就等于流进的水体体积与出水流动道面积之比; ④闸门匀速起门速率为 $2.23\text{ m}/\text{min} = 0.037\ 167\text{ m}/\text{s}$ 。

根据上述计算原理, 取闸门底闸孔流量系数为 0.675 , 经计算得 $t = 6.128\text{ s}$ 时胸墙内外水位平齐, 此时闸孔流量 $Q_1(t) = 0$, 在下一时刻闸孔水流流向将发生改变, 由出水流动道流向出水池, 在 $t = 6.928\text{ s}$ 时胸墙内壅高水位达到胸墙顶高程, 将出现胸墙顶溢流现象; 当 $t = 11.128\text{ s}$ 时胸墙内出水流动道中壅高水位达到最大值 11.944 m (与实际测量统计值 12.00 m 接近), 此时闸孔流量 $Q_1(t) = 10.79\text{ m}^3/\text{s}$, 胸墙顶溢流流量 $Q_2(t) = 20.65\text{ m}^3/\text{s}$, 然后出水流动道内的壅高水位缓慢下降, 直至闸孔出流流量与泵站流量相同, 水位趋于稳定。由此可计算出淮安第三抽水泵站的启动扬程 $h_{\text{启}} = 6.39\text{ m}$, 所需水泵机组作用功率 $P = 2\ 101\text{ kW}$ 。 P 计算值与实际统计平均值误差为 1.50% , 能够满足工程设计的需要。

3.3 处理措施建议

根据计算情况, 对淮安第三抽水泵站机组启动

困难的问题可以通过 2 个途径来解决。

a. 降低进水流道内的最大壅高水位, 从而降低泵站启动扬程, 使现有的水泵机组功率能够满足泵站顺利启动运行的要求, 具体措施如下: ①改造闸门后闭设备, 提高闸门开启速度, 快速加大闸孔开启度, 提高闸孔过流量, 这样可以充分改善泵站机组启动困难的情况, 且效果较为明显, 改造费用适中, 但需考虑闸门后闭设备所能达到的闸门速度极限; ②降低胸墙顶高程, 加大胸墙顶溢流量, 其工程改造费用较小, 但受出水池水位及站身结构的制约, 通常不能完全满足水泵机组实际运行的要求。这 2 项措施可以共同接合使用, 以降低工程改造费用。

b. 改造水泵机组, 加大水泵机组功率, 以满足工程实际运行的需要, 这样可以彻底解决泵站启动困难问题, 但工程改造费用较大。

在改善淮安第三抽水泵站机组启动困难的问题时, 建议先改造闸门后闭设备, 在上述运行条件下, 经计算当闸门后闭速度达到 $0.1\text{ m}/\text{s}$ 时, 进水流道内最高壅高水位为 11.320 m , 如再将胸墙顶高程降至 10.00 m , 这样进水流道内最高壅高水位为 $10.974\ 3\text{ m}$, 所需水泵机组功率为 $1\ 664\text{ kW}$, 比改造前降低了 20.8% , 且工程改造费用较改造水泵机组要节省许多。

4 结 语

在《泵站设计规范》^[1] 中没有对泵站启动时的扬程进行详细叙述, 但在泵站的实际设计工作中, 为保证泵站能够顺利启动运行, 对泵站启动扬程的计算是必不可少的。对新建泵站可以按照泵站出水池最高运行水位与进水池最低运行水位来计算出理论最大启动扬程, 再与其他特征扬程进行比较, 这样一方面可以确定水泵扬程及水泵机组额定功率, 避免在泵站建成后运行时出现启动困难的情况; 另一方面可以优化站身出水流动道部分的结构及优选闸门后闭设备, 以节省工程总投资。对部分存在水泵机组启动困难的已建泵站, 可以通过对其启动扬程的计算, 进一步分析水泵机组启动困难的原因, 以便更好地设计出准确可行的工程措施方案, 来充分改善泵站启动困难的问题。笔者以淮安第三抽水泵站为例进行泵站启动扬程分析, 计算结果与泵站的实际启动运行情况基本吻合, 说明本文计算方法可行, 计算成果能够满足泵站工程设计的需要。

参考文献:

[1] GB/T50265—97, 泵站设计规范[S].
[2] 李家星, 陈立德. 水力学[M]. 南京: 河海大学出版社, 1996 396-429.

(收稿日期 2007-10-23 编辑 高建群)