

低扬程泵站更新改造关键技术

戴启璠, 盛维高, 仲子夜, 许 锋, 姚 旺, 万景红

(江苏省灌溉总渠管理处, 江苏 淮安 223200)

摘要:合理地选择设计流量和如何使水泵在特征扬程变化的情况下保持较高的效率是泵站改造的关键。如果设计流量偏大, 水泵内部的流速变大, 空化性能下降, 可能产生空蚀振动。对于扬程变幅较大的泵站, 应当采用定制式设计方法为泵站专门开发高效区宽广的水力模型, 提高泵站的平均效率。

关键词: 泵站; 泵站更新改造; 扬程; 流量

中图分类号: TV675

文献标识码: B

文章编号: 1007-7839(2023)05-0013-0004

Key technologies for transformation and renovation of low-lift pumping stations

DAI Qifan, SHENG Weigao, ZHONG Ziye, XU Feng, YAO Wang, WAN Jinghong

(General Irrigation Canal Management Office of Jiangsu Province, Huai'an 223200, China)

Abstract: Reasonable selection of the design flow and how to keep the pump high efficiency under the characteristic head change are the keys to the transformation of the pumping station. If the design flow rate is large, the flow rate inside the pump becomes large, and the cavitation performance decreases, which may produce cavitation vibration. For the pumping stations with large head variation, the customized design method should be adopted to develop a broad hydraulic model for the pumping station to improve the average efficiency of the pumping stations.

Key words: pumping station; transformation and renovation of pumping station; head; flow

大型低扬程泵站更新改造是复杂的系统工程, 在开始更新改造前必须开展泵站现状调查工作, 全面分析泵站存在的问题, 提出更新改造方案。尽管每个泵站存在的问题不一样, 但是, 合理地选择设计流量和如何使水泵在特征扬程变化的情况下保持较高的效率是每个泵站面临的共性问题, 是泵站改造的关键。如果这2个问题处理不好, 将会造成泵站长期偏离最优工况运行, 轻则影响泵站效率、影响工程效益, 重则造成泵站产生严重振动, 危及

泵站工程安全。因此, 正确掌握泵站更新改造的关键技术有着重要的意义。

1 合理确定泵站的设计流量

流量是考核水泵性能的重要指标, 从提高效益方面考虑, 希望水泵有更大的流量, 特别是改造泵站, 增大流量不仅可以增加效益, 而且项目更容易获得审批。但是, 流量的增加是有限度的。对于更新改造泵站, 进水流道和泵房底板高程难以改变,

收稿日期: 2023-01-27

基金项目: 江苏水利科技项目(2022029)

作者简介: 戴启璠(1964—), 男, 研究员级高级工程师, 硕士, 主要从事泵站工程研究。E-mail: daiqifan@163.com

增加流量将不可避免地增大流速、增加流道损失、降低泵站的装置空蚀余量。水泵的安装高程 H_g 计算公式为

$$H_g = \frac{P_a}{\rho g} - \frac{P_v}{\rho g} - h_{\text{吸}} - \Delta h_r \quad (1)$$

式中: P_a 为大气压力; P_v 为汽化压力; ρ 为水的密度; g 为重力加速度; $h_{\text{吸}}$ 为水泵进水管路(或流道)的阻力损失; Δh_r 为水泵必需的空化余量。

P_a 和 P_v 与流量无关,对于某地区而言是固定值, $h_{\text{吸}}$ 和 Δh_r 都与流量有关,它们的值都随着流量的增大而增加。也就是说,对于改造泵站,由于水泵的安装高程难以降低,随着流量的增加,水泵发生空化的可能性会增加,从而引起水泵振动。

淮安一站建成于1974年,原单泵设计流量 $8 \text{ m}^3/\text{s}$,设计工况下出水流道出口流速为 1.61 m/s ,采用拍门断流,另有快速闸门作为事故门断流。2001年加固改造时,单泵设计流量增加到 $11.2 \text{ m}^3/\text{s}$,采用快速闸门断流,流道出口流速达到 2.25 m/s ,不能满足规范要求,为此,将出水流道接长。由于出水流道采用快速闸门断流方式,并在断流闸门上设溢流小拍门,故设计时将出水流道接长与设置快速工作门结合起来考虑。为便于流道混凝土施工及工作门上小拍门的设置,工作门与原事故门间距为 1.40 m ,出水流道按现有平面扩散角接长 2.20 m 。为减小出口流速,中间隔墩不接长,仅作端部处理,水泵改造后的流道出口流速降到 1.33 m/s ,满足规范要求^[1]。尽管通过接长流道的方式降低了流道出口流速,但是,水泵和原流道内部的流速增大了,水泵的振动明显比改造前大。2005年5月,淮安一站改造工程竣工验收,专业组主要验收意见:1#、2#、6#机组气蚀振动较大,应进一步加强观测和检查,并分析气蚀振动原因^[2]。尽管后来淮安一站有5台水泵根据多年平均扬程优化了水泵的水力模型,降低了水泵最优工况点的扬程,提高了水泵的平均效率,改善了水泵性能,但是,没有根本解决问题。淮安三站原规划设计流量 $60 \text{ m}^3/\text{s}$,实际装机流量为 $66 \text{ m}^3/\text{s}$,单泵设计流量 $33.0 \text{ m}^3/\text{s}$ 。2013年淮安三站更新改造,改造后泵站设计流量 $60 \text{ m}^3/\text{s}$,单泵设计流量 $30.0 \text{ m}^3/\text{s}$,降低了水泵中的水流速度,改善了水泵性能。

2 扩大水泵高效区,提高水泵平均效率

大多数泵站都是长期偏离设计工况运行的,对水泵的运行产生不利的影响。泵站安全鉴定时经

常会有这样的说法:该泵站长期偏离设计工况运行,造成气蚀、振动。在泵站验收时,也经常会有这样的建议:在设计扬程下进一步测量水泵的性能。说明验收时,泵站没有达到设计水位。如果个别泵站由于水情原因造成上述现象可以理解,为什么有很多泵站都会存在这个问题呢?这是由2个方面的原因造成的,一是由于泵站上下游长期达不到规划水位。二是一些泵站有不同的运行工况,不同的运行工况对应的设计扬程相差较大,而轴流泵的高效区范围又比较窄,对扬程变化的适应性较差。

运行中的泵站上下游河道的水位是与河道中的流量相对应的。泵站在运行中,泵站进出水河道中的水流是运动的,河道的水位是依靠流量维持的。如果泵站抽水流量不变,下游河道的流量变小了,下游河道的水位就要下降。如果泵站抽水流量增大,上游河道的水位就要上升。河道的流量是规划流量,根据规划流量推算出河道的水位,得到相应的设计扬程。但是规划的目标可能需要几十年才能实现,也就是说对应的水位或扬程可能要等几十年才能出现,泵站将在较长的时间内偏离设计工况运行。江苏省江水北调工程是以江都排灌站为源头,以京杭运河苏北段为输水干线,利用洪泽湖、骆马湖、微山湖3湖调节,分设8个梯级,按“六、四、三、二、一”(即抽江 $600 \text{ m}^3/\text{s}$,进洪泽湖 $400 \text{ m}^3/\text{s}$,出洪泽湖 $300 \text{ m}^3/\text{s}$,进骆马湖 $200 \text{ m}^3/\text{s}$,到徐州市 $100 \text{ m}^3/\text{s}$)的规模调水,干线全长 400 km ,总提水扬程 30 m ^[3]。然而,江都排灌站建成已经有40年(以江都四站建成为标志),江水北调规划的“六、四、三、二、一”目标也没有完全实现。即使后来高港泵站、宝应站建成,增大了抽江规模,时至今日,在大用水时期,也不能实现进洪泽湖 $400 \text{ m}^3/\text{s}$ 的目标。淮安三站原下游设计水位 6.0 m 是按河道流量 $200 \text{ m}^3/\text{s}$ 推算出来的,但是,在大用水时期,即使江都排灌站满负荷抽水 $500 \text{ m}^3/\text{s}$,到淮安三站下游也没有 $200 \text{ m}^3/\text{s}$,当然,淮安三站下游水位也达不到 6.0 m 。按照规范,泵站站下最低运行水位应取历年运行期水源保证率为95%~97%的最低日平均水位。根据1980—2011年淮安三站站下水位系列分析成果,运行期95%保证率最低日平均水位为 4.9 m 。根据淮安三站1999—2012年运行水位系列实测资料分析,运行期站下最低水位为 4.91 m ^[4]。因此,淮安三站经常出现由于下游水位过低无法运行的情况。这就造成了一个非常尴尬的局面,作为一个调水的泵站,在抗旱紧

张用水的时候不能发挥效益。2013年淮安三站更新改造,从保证泵站安全运行角度考虑,淮安三站站下最低运行水位取5.0 m,解决了因下游水位低泵站启动困难的问题。

轴流泵普遍存在高效区较窄的缺点,这是由2个方面的原因造成的,一是轴流泵叶片数少,对扬程变化的适应性差;二是设计者在设计阶段片面追求轴流泵最高效率点的数值而忽略了如何提高轴流泵的平均效率。遇到扬程变幅较大的泵站,或者既要排涝又要调水的泵,而排涝扬程与调水扬程又相差较大,设计者就要面临两难的选择,是把最高效率点放在排涝扬程还是放在调水扬程?通常是把最高效率点放在运行时间长的工况点而牺牲运行时间较短的工况点的效率。现在人们可以用调节水泵叶片角度或水泵转速的办法来尽可能增大水泵和高效区范围,或者采用双速电机,通过改变电机极对数来改变水泵转速来扩大水泵高效区范围。安徽省庐江县圣石排灌站的排涝与灌溉净扬程分别为4 m和8 m,选用650HW-50泵配Y-12-75kW/-10-115kW单绕组双速电机,通过改变电机极对数,转速从485 r/min变为590 r/min,使水泵在两种工况下都能获得较高的效率^[5]。新沟河江边枢纽泵站有排涝、排水和引水3种工况,排涝工况设计净扬程3.03 m,排水工况设计净扬程1.35 m,引水工况设计净扬程1.55 m,选用的是南水北调天津同台对比的TJ04-ZL-07水力模型。不同工况的设计扬程相差较大,由于TJ04-ZL-07水力模型高效区范围相对较窄,使得江边枢纽泵站不可能在3种工况下都保持高效运行。即使选用全调节水泵,也不可能使水泵在3种工况的设计扬程下工况点都能落在高效区。根据工程规划,江边枢纽泵站的排涝工况为工程主要工况,设计时应当保证排涝工况在设计扬程下能获得较高效率,这样就牺牲了排水和引水工况设计扬程下的效率(在3种工况的设计扬程下效率分别是71.1%、52%和51.3%)。为保证江边枢纽泵站在3种工况下都能保持较高的运行效率,采用变极双速凸极同步电机,极数从48变至56,对应的转速从125 rpm变至107 rpm。根据模型试验成果,引、排设计工况下水泵装置效率可分别提高8.1%和9%^[6]。通过采用变速电机或变频调节,可以较好地解决扬程变幅大带来的效率问题,代价是增大了投资。如果能设计出适应宽变幅扬程的轴流泵水力模型,就能弥补现行轴流泵的缺点。

淮阴抽水站建成于1978年,2018年更新改造。该站最高扬程4.78 m,设计扬程4.28 m,最低扬程1.28 m,规划平均扬程3.06 m。但是,根据1987—2016年间的水文数据统计,淮阴抽水站30年抽水运行时多年平均净扬程为2.05 m。根据淮阴抽水站现在的特征扬程,在现有的水力模型中,最适合淮阴抽水站特征扬程的是南水北调天津同台对比的A模型^[7],如果选用A模型,淮阴抽水站在设计扬程4.28 m时装置效率可以达到71.92%,规划平均扬程3.06 m时,装置效率为73.2%,而在多年平均扬程2.05 m时,装置效率只有64.21%,加权平均效率为70.05%(按照设计扬程效率权重系数0.3、规划平均扬程效率权重系数0.3、多年平均扬程效率权重系数0.3、最大扬程效率权重系数0.1来计算加权平均效率)。因此,如何保证水泵在设计扬程4.28 m至多年平均净扬程2.05 m之间都保持较高的效率是淮阴抽水站更新改造要解决的问题^[8]。因此,开发一种能适应淮阴抽水站这种宽扬程变幅且高稳定性的水力模型是非常必要的。为此,江苏省灌溉总渠管理处与河海大学合作,用定制式设计方法为淮阴抽水站开发一种能适应宽扬程变幅且高稳定性的SA6 Block II水力模型,叶轮叶片数为5,导叶体叶片数为7,具有高效区范围宽广,运行稳定的特点。在多年平均扬程2.05 m时,装置效率为70.5%;在规划平均扬程3.06 m时,装置效率为75%;在设计扬程4.28 m时,装置效率为74.5%;在最大扬程4.78 m时,装置效率为73%,加权平均效率73.3%,且流量均能满足要求。2021年9月,淮阴抽水站通过机组试运行验收,投入使用。2022年淮阴抽水站安全运行156 d,抽水15亿m³。经江苏省水利工程质量监督中心站检测,水泵层噪声为78.1~81.4 dBA^[9]。

3 结 语

特征扬程和设计流量是泵站最重要的2个参数,特征扬程和设计流量的选择是否符合实际,对泵站的性能有很大的影响,更新改造的泵站应当根据泵站多年积累的水文数据复核泵站扬程和流量。如果设计流量偏大,水泵内部的流速变大,空化性能下降,可能产生空蚀振动。如果特征扬程与实际不符合,将会造成泵站长期偏离最优工况运行,轻则影响泵站效率、影响工程效益,重则造成泵站产生严重振动。对于扬程变幅较大的泵站,应当采用定制式设计方法为泵站专门开发高效区宽广

的水力模型,提高泵站的平均效率。

参考文献:

- [1] 江苏省水利勘测设计研究院有限公司. 淮安抽水一站加固改造工程设计总结报告[R]. 扬州:江苏省水利勘测设计研究院有限公司,2005.
- [2] 江苏省灌溉总渠管理处. 淮安抽水一站工程现状调查报告[R]. 淮安:江苏省灌溉总渠管理处,2018.
- [3] 沈日迈. 江都排灌站[M]. 3版. 北京:水利电力出版社,1974.
- [4] 江苏省水利勘测设计研究院有限公司. 淮安三站改造工程初步设计报告[R]. 扬州:江苏省水利勘测设计研究院有限公司,2014.
- [5] 甘卫国. 安徽省泵站技术改造的措施[J]. 中国农村水利水电,2003(3):41-42.
- [6] 何勇. 新沟河江边枢纽工程科技创新研究与实践[J]. 江苏水利,2020(S2):1-4,7.
- [7] 刘宁,汪易森,张纲. 南水北调工程水泵模型同台测试[M]. 北京:中国水利水电出版社,2006.
- [8] 江苏省水利勘测设计研究院有限公司. 淮阴抽水站加固改造工程初步设计报告[R]. 扬州:江苏省水利勘测设计研究院有限公司,2019.
- [9] 江苏省水利工程质量监督中心站. 淮阴抽水站加固改造工程机组启动验收质量评价意见[R]. 南京:江苏省水利工程质量监督中心站,2022.

(上接第12页)

水库生态水位调度应统筹兼顾防洪安全和水量调度,当水位低于其最小生态水位时,应启动应急补水,采取有效的应急措施,确保阿湖水库生态水位达标。

参考文献:

- [1] 水利部水利水电规划设计总院. 河湖生态环境需水计算规范:SL/T712—2021[S]. 北京:中国水利水电出版社,2021:7.
- [2] 徐志侠,陈敏建,董增川. 湖泊最低生态水位计算方法[J]. 生态学报,2004,25(10):2324-2328.
- [3] 陶洁,曹阳,左其亭. 环境DNA技术在河流生态系统中的应用研究进展[J]. 水资源保护,2021,37(6):150-156.
- [4] 彭依云,洪迎新,刘东升,等. 罗梭江鱼类替代生境量化评价[J]. 水资源保护,2022,38(2):190-196.
- [5] 常留红,王瀚锐,章富君,等. 梯形透空丁坝局部水动力特性对底栖动物生境演替的影响机制[J]. 水资源保护,2023,39(1):216-224.
- [6] 陈琳,李晨光,李锋民,等. 水生态修复植物生长特性比较与应用潜力[J]. 环境污染与防治,2022,44(7):933-938.
- [7] 郑清. 水网连通工程对大东湖生态水文过程影响研究[D]. 宜昌:三峡大学,2016.
- [8] 华祖林,董越洋,褚克坚. 高度人工化城市河流生态水位和生态流量计算方法[J]. 水资源保护,2021,37(1):140-144.