

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.02.010

斯里兰卡阿塔纳水厂取水泵站工程设计及优化运行

林伟强^{1,2}, 杨楠¹, 林孜敏³, 李国金¹

(1. 天津市市政工程设计研究院, 天津 300392; 2. 天津市基础设施耐久性企业重点实验室, 天津 300392; 3. 伯尔梅特控制阀门<上海>有限公司, 上海 201400)

摘要: 为了解决斯里兰卡阿塔纳地区的供水紧张问题,按照中国相关工程标准援助建设了阿塔纳净水厂,配套建设了大型岸边式取水泵站。介绍了取水泵站工程的工艺设计,从水泵效率、占地、机电投资、防洪等角度考虑,取水泵采用立式长轴离心泵;结合大变幅水位及藻类暴发期等因素确定预处理方案,采用旋转格网过滤预处理工艺,采用转鼓过滤器作为高藻期预除藻措施;通过定速泵与变频调速泵搭配运行方式适应泵组不同供水量情况;对事故停泵下引起的停泵水锤进行水力过渡计算,结合实际情况选择管路空气阀+泵后空气阀+支路泄压阀作为防护方案,优化了取水泵站的运行条件。

关键词: 取水泵站; 设计要点; 预处理; 变频调速; 水锤防护

中图分类号: TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)02-0056-05

Project Design and Operational Optimization of a Water Intake Pumping Station for Sri Lanka Attanagalla Waterworks

LIN Wei-qiang^{1,2}, YANG Nan¹, LIN Zi-min³, LI Guo-jin¹

(1. Tianjin Municipal Engineering Design & Research Institute, Tianjin 300392, China; 2. Tianjin Enterprise Key Laboratory of Infrastructure Durability, Tianjin 300392, China; 3. BERMAD Control Valve <Shanghai> Co. Ltd., Shanghai 201400, China)

Abstract: In order to solve the problem of water shortage in Attanagalla area of Sri Lanka, China assisted in construction of Attanagalla waterworks and a riparian type water intake pumping station, which were in accordance with relevant engineering standards of China. Process design of intake pumping station was introduced. The vertical long shaft centrifugal pump was adopted from the perspective of pump efficiency, land occupation, electromechanical investment and flood control. Rotating grid filter and rotary drum filter were used as pretreatment equipment considering large amplitude water level and algae outbreak. Through matching operation of the constant speed pump and variable frequency speed pump, it can adapt to different water supply conditions of pump group. The hydraulic transition calculation was conducted, which was calculated for water hammer caused by pump stop accidentally. Operation conditions of intake pumping station were optimized according to “pipeline air valve + air valve after pump + pressure relief valve”, which were selected as water hammer protection facilities.

Key words: water intake pumping station; design points; pretreatment; frequency control; water hammer protection

1 工程概况

阿塔纳净水厂及配套供水工程位于斯里兰卡人口密集的阿塔纳地区。该区域管道供水覆盖率低,经济发展和城市化对管道供水的需求非常高,因此水厂的建设要求十分紧迫,本项目也是“一带一路”倡议的重点项目。本工程位于科伦波东北方向 40 km,位于 Attanagalla 河与 Bansagoda 河交口处。水源地为 Bansagoda 水库,取水形式为水库取水,泵站单独设置,设计近期取水规模为 56 700 m³/d,远期规模为 85 050 m³/d。取水工程包含 1 座取水泵站及长 0.6 km 的输水管线,建成后可有效缓解该地区严重缺水问题。设计中将岸边式固定取水泵站的形式进行了优化,包括取水泵形式的比选、变频调速工况分析、取水预处理方案分析及水锤防护方案等。

2 取水泵站方案

2.1 工程选址

斯里兰卡地处热带,属热带海洋性气候,雨季和旱季区别明显,年降雨量为 2 540 ~ 5 080 mm,区域分布不均。因此,Bansagoda 河坝前水位流量变化关系十分复杂。Bansagoda 水库最低运行水位为 34.00 m,最高运行水位为 46.90 m,变幅达 12.9 m。取水泵站选址位于 Bansagoda 河西南侧河滩。选址区域高差变化较大,由西南向东北方向逐渐降低,高程变化范围为 31.00 ~ 46.00 m,平均坡比约为 1 : 4.4,见图 1。在泵站总图布置中应充分利用地形条件,减少挖填方量。

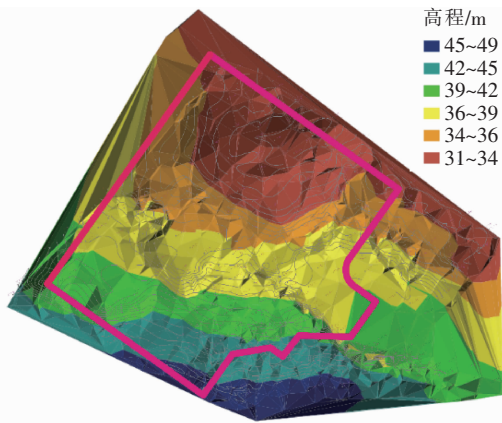


图 1 取水泵站选址高程图像

Fig.1 Elevation image of water intake pumping station

2.2 水泵形式比选

目前取水设计中常用的叶片式水泵包括卧式离心泵、立式长轴离心泵及立式斜流泵,所选取的水泵

应为较高比转数的离心泵或斜流泵。对不同类型的取水泵及泵房布置进行技术经济比较(见表 1)。

表 1 取水泵技术经济对比

Tab.1 Technical and economic comparison of water intake pumping station

项 目	立式长轴离心泵	卧式离心泵	立式斜流泵
水泵特性曲线	$Q-H$ 曲线平缓; $Q-P$ 曲线先增后降,高效段平缓; 效率高,85% ~ 90%,高效段宽	特性曲线规律同立式长轴离心泵	$Q-H$ 曲线陡峭; $Q-P$ 曲线波动大,先减再增再减; 效率低,80% ~ 85%,高效段窄
泵房形式	干式箱型结构;水泵电机不同层,土建量小,约 20 m × 15 m;高度高,需满足起吊, $H=13$ m	干式箱型结构;水泵电机同层,土建量大,约 28 m × 15 m;高度较高,需满足起吊, $H=9$ m	湿式箱型结构(有水下结构),占地及高度与立式长轴离心泵相当,底板埋深较大
运行管理	电机居于上方,利于防洪、通风及采光,电机淹泡风险小,利于管理	水泵电机同层,安装检修方便	泵轴长,泵壳体为铸造件,安装难度大;检修安装时要保持轴中心与泵壳中心一致,要求高
工程投资(泵房土建+机电)/万元	1 500	1 600	2 150

综合各类型水泵特点进行比选,泵站选址于河滩,需考虑防洪,如采用卧式离心泵方案,存在淹泡风险,会造成不良后果,且卧式离心泵方案占地面积最大,不节省用地;立式斜流泵效率较低,造价高,检修难度大,泵房底板埋深大,从降低开挖量节省投资考虑,立式斜流泵不适合本工程;立式长轴离心泵效率高、占地小、机电投资适中,电机位于上部,淹泡可能性低,可通过精心设计、加强运维管理实现供水安全。因此,确定采用立式长轴离心泵。

2.3 预处理方案选择

取水水源为 Bansagoda 水库,取水头部与大坝合建,已设置间隙为 50 mm 的粗格栅,应采用进一步沉淀过滤去除原水中的砂砾及细小漂浮物的措施,减少水厂内药剂投加量,有助于提高出水水质;另外,在藻类暴发时,采用强化预处理措施对原水中的藻类进行预先去除,以减轻厂内除藻负担。

目前,适用于取水工程的格网(栅)主要有平板格网和旋转滤网。平板格网固定在较深的泵房进水

间,起吊清洗难度大,实际使用日趋减少。旋转滤网通常应用于大流量取水预处理,维修少,去除效率高,应用较多。本工程为库区取水,水位变幅达12.9 m,平板格栅在水位变幅大的情况下较难应用,而旋转格网可适用水位变幅大的工况,且设备自带冲洗喷头易冲洗,因此本工程采用旋转滤网,网孔尺寸为10 mm×10 mm。为增大接触面积及过流量,使栅渣易于清理,采用网外进水、网内出水形式。

水库水中均存在一定的藻类,虽然 Bansagoda 水库水中有机污染小,氨氮、总磷浓度均较低,藻类数量也较少,但也存在高藻风险。由于取水口距离水厂较近,且用地紧张,运输困难,不适合采用化学药剂除藻,因此不在取水泵站重复设置预加氯设施。取水泵站内采用转鼓过滤器对原水藻类进行预先去除,网孔尺寸为 $\varnothing 4$ mm。有、无藻类暴发情况下的取水流程见图2。

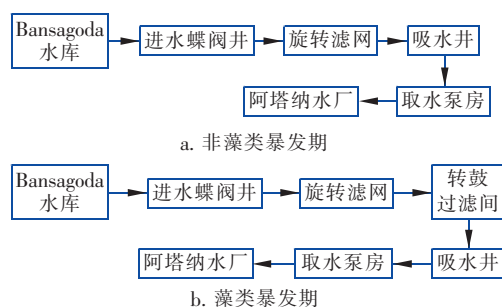


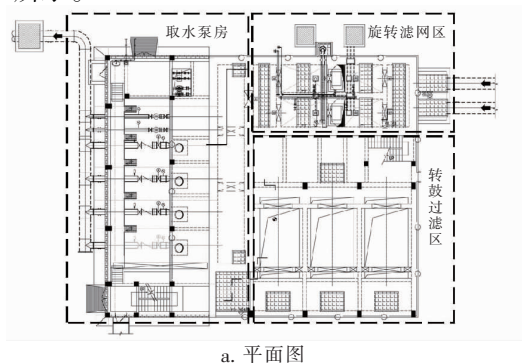
图2 取水流程

Fig. 2 Water intake process

3 工程设计

3.1 取水泵站

为了节省占地,本工程取水泵房(含吸水井)与预处理区的格网区及转鼓过滤区合建,合建体平面尺寸为23.5 m×28.6 m。泵房地下部分及预处理区为钢筋混凝土结构,泵房上部为框架结构,具体如图3所示。



b. 剖面图

图3 取水泵站示意

Fig. 3 Schematic diagram of water intake pumping station

格网区占地15 m×7.2 m,设置进、出水井,共设置4套1 500 mm×1 500 mm的方闸门,出水井与泵房吸水井连通。格网区设置2条宽度为2 500 mm的渠道,采用2套旋转格网。在旋转格网前后底部设置排砂斗,沉砂斗最底部设置排砂泵,通过排砂管排入庭院雨水管道。藻类暴发时,原水经过格网区后还需进行转鼓过滤。格网区出水井与转鼓过滤区通过DN 1 000阀门连接,该区占地15 m×16.5 m,设置3台 $Q_{\text{MAX}}=1\,500\text{ m}^3/\text{h}$ 的转鼓过滤器,出水与泵房吸水井连通。

泵房部分占地23.5 m×9.4 m,地面上层高9.65 m,地下深度5.95 m。共设置4个取水泵位,近期安装3台(2用1备),远期增加1台(3用1备)。取水泵流量为1 288.6 m³/h,扬程为220 kPa,功率为110 kW。由于水泵与电机不同层,为方便检修,在南侧设置回转式楼梯。为方便大范围的流量调节节省能量,取水泵均为变频电机。为了消除水锤影响,每台泵出水管路均安装缓闭式止回阀,在DN1 000出水总管设置2条安装DN300泄压阀的支路。泵房内还安装了若干冲洗用水泵,泵房上部设置1台电动单梁桥式起重机,配套电动葫芦,起质量5 t,起吊高度12 m。

3.2 变配电站

取水泵站从水厂引入33 kV线路,室外设置2台630 kVA的变压器。在变压器区两侧设置2座配电间,尺寸约7.3 m×11.25 m×6.4 m,单层钢筋混凝土框架结构。所有设备均采用0.4 kV供电。

4 运行优化措施

4.1 泵组变频控制

泵房内设置4个泵位,远期配置4台取水泵(3

用 1 备),单泵流量为 1 288.6 m³/h(考虑 5% 自用水)。近期配置 3 台水泵(2 用 1 备),泵房出水管路系统按远期水量设计。按单泵额定流量范围及其倍数选取 3 种水量,各需水量情况下供水方案见表 2。

表 2 各工况下水泵运行情况

Tab. 2 Operation status of intake pumps under various working conditions

项目	流量范围/ (m ³ ·h ⁻¹)	运行工况	定频泵工况点	变频泵工况点	并联工况点	水泵运行状态
工况一	$Q = 1\ 050 < Q_1$	1 调速	—	1 050 m ³ /h, 17.9 m	—	位于高效段,效率 82%
工况二	$Q_1 < Q = 2\ 250 < Q_2$	1 定速 + 1 调速	1 500 m ³ /h, 18.9 m	750 m ³ /h, 18.9 m	2 250 m ³ /h, 18.9 m	定速泵在高效段,效率 84%; 调速泵不在高效段,效率 68%
工况三	$Q_1 < Q = 2\ 250 < Q_2$	2 调速	—	1 125 m ³ /h, 18.9 m	2 250 m ³ /h, 18.9 m	在高效段,效率 82.5%
工况四	$Q_2 < Q = 3\ 350 < Q_3$	2 定速 + 1 调速	1 385 m ³ /h, 20.5 m	580 m ³ /h, 20.5 m	3 350 m ³ /h, 20.5 m	定速泵在高效段,效率 85.5%; 调速泵不在高效段,效率 58%
工况五	$Q_2 < Q = 3\ 350 < Q_3$	1 定速 + 2 调速	1 380 m ³ /h, 20.5 m	985 m ³ /h, 20.5 m	3 350 m ³ /h, 20.5 m	定速泵在高效段,效率 85.7%; 调速泵接近高效段,效率 78%

注: Q_1 为单泵额定工况下流量,为 1 288.6 m³/h, $Q_2 = 2Q_1$, $Q_3 = 3Q_1$ 。

表 2 为多种供水量下各台泵工况,除单泵供水的工况外,当多台水泵并联工作时,调速泵与定速泵的数量分配可以有多种工况^[1],但是应以调速泵能在高效率段运行为准则。例如,工况四、五均可满足要求,但是工况四情况下,调速泵出水量小,效率低,长期运行不能达到节能效果,而工况五除定速泵流量外由 2 台调速泵分担流量,可使调速泵运行在高效段内。当供水量减少($Q_1 < Q < Q_2$)时,采用工况三由 2 台调速泵供水也较容易控制运行工况点位于高效段,达到节能目的。

4.2 水锤防护方案

根据项目特点因地制宜选择水锤防护方案对保障泵站安全运行具有重要意义^[2-3]。针对系统在最高设计扬程工况下的停泵水锤进行了暂态过程分析,结果见图 4。

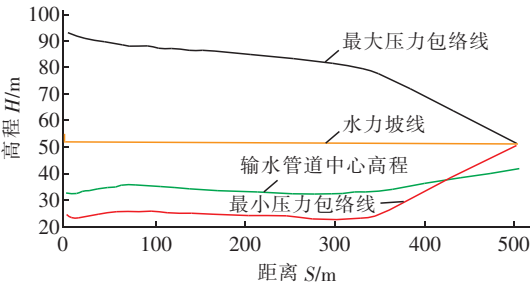


图 4 无防护措施下沿管线压力包络线

Fig. 4 Pressure envelope along the pipeline without protective measures

可见,停泵后管道沿线发生了管道压力低于管线高程的情况,管道中有负压产生,说明该处水压可

以降低到饱和蒸汽压或者稍低,发生了水柱分离的情况,这会导致液柱弥合水锤的发生。出水管道起端初始恒定压力为 0.2 MPa(见图 5),由于水柱分离发生弥合,最大水锤压力达 0.6 MPa,达到水泵出口额定压力的 3 倍以上,出现大规模汽化。

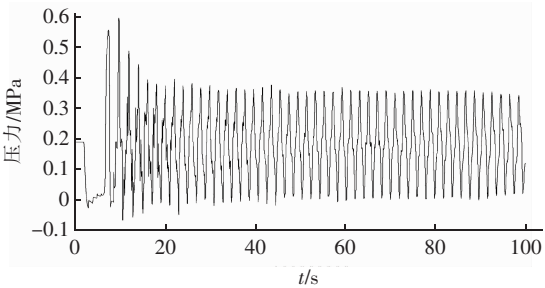


图 5 无防护措施下水泵阀后压力变化过程线

Fig. 5 Pressure change process line behind outlet valve without protective measures

结合实际需求及当地管理维护水平,本项目选择了占地小、易于操作管理及维护的防护设施,包括空气阀及泄压阀。为了将负压引起的液柱分离控制在一定范围内,同时考虑系统排气,拟在管线中布置 2 处 DN80 排气阀并在每台取水泵出水管均布置 DN80 排气阀;为消除正压波的影响,在水泵出水总管设置支路回到吸水井,设置 2 套 DN300 泄压阀,起到缓冲消能的作用,使正压升压过程大大缓和。

安装空气阀后可将管道负压控制在一定范围内(见图 6),出水管道起端初始恒定压力为 0.2 MPa,水泵出水管处的最大水锤压力仅为 0.23 MPa(见图 7)。通过安装在泵后的空气阀及支路的泄压阀,液

柱分离现象得到了控制,消除了泵后压力的反复剧烈震荡,压力波动趋于平缓。可满足《泵站设计规范》(GB 50265—2010)“最高压力不应超过水泵出口额定压力的1.3~1.5倍”的要求;管线中最大负压为-2.36 m,满足“管线上最小压力不应低于-5 m”的要求。通过增加“空气阀+泄压阀”的防护措施,水锤产生的压力均控制在管道可承受范围内。

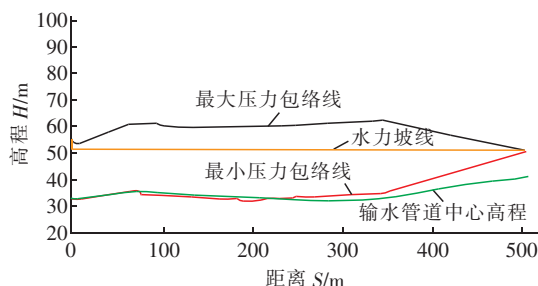


图6 增加防护措施下沿管线压力包络线

Fig. 6 Pressure envelope along the pipeline with protective measures

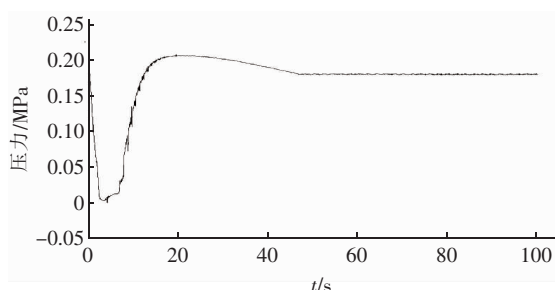


图7 增加防护措施下水泵阀后压力变化过程线

Fig. 7 Pressure change process line behind outlet valve with protective measures

5 运行效果及问题分析

该工程试运行以来,工作状态基本良好,完成了所有设备的调试,即将正式投产。在试运行过程中也发现了一些问题并采取了改进措施:

① 少量水生植物及树枝等漂浮物超越了水库取水头部的粗格栅,进入格网区被旋转格网拦截后卡在格网间隙跟随格网侧向往复旋转,需进行人工清理,增加了运维工作量,为此,在格网前增设了一道拦污网,运行效果较好。

② 旋转格网前后设置的集砂槽超过1个月时间不清理会造积砂板结,吸砂泵不易吸取积砂,为此,增加了集砂槽冲洗水泵及管路,在排砂前对砂斗先进行水力冲洗然后排砂,从而提高了排砂效果。

6 结语

① 在阿塔纳净水厂取水泵站工程中,通过对立式长轴离心泵、卧式离心泵、立式斜流泵3种取水泵的水泵特性、泵房形式、运行管理及工程投资进行比选,确定采用立式长轴离心泵作为取水泵。

② 从水源水位变动幅度、过滤效果、冲洗维护难易等方面考虑,采用旋转格网过滤作为预处理措施,并采用转鼓过滤器作为高藻期预除藻措施。

③ 采用变频调速泵与定速泵搭配供水,并从效率及节能角度优化了泵组搭配方案。

④ 通过增设管路空气阀、泵后空气阀及支路泄放阀可有效降低停泵事故引起的管道负压及水锤引起的升压波动,结果表明此方案可有效防止液柱分离及其引起的弥合水锤,是一种合适、安全、简便的防护方案。

参考文献:

- [1] 赵新华,刘洪波. 输配水工程[M]. 北京:化学工业出版社,2006.
ZHAO Xinhua, LIU Hongbo. Water Transmission and Distribution Engineering[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2006 (in Chinese).
- [2] 王彦祥,颜炳魁,田颖玲,等. 长距离输水管道停泵水锤分析及防护[J]. 中国给水排水, 2019, 35(7): 57-61.
WANG Yanxiang, YAN Bingkui, TIAN Yingling, et al. Analysis and protection of water hammer for pump stopping in long distance water conveyance pipeline[J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(7): 57-61 (in Chinese).
- [3] 郝新宇,余仁志,厉帅,等. 海外跨境长距离输水工程的水锤防护分析[J]. 中国给水排水, 2017, 33(9): 57-61.
HAO Xinyu, YU Renzhi, LI Shuai, et al. Analysis of water hammer protection in overseas and cross-border long distance water transfer project [J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(9): 57-61 (in Chinese).

作者简介:林伟强(1990-),男,天津人,硕士,工程师,从事给排水及环境工程专业设计工作。

E-mail: 498580159@qq.com

收稿日期:2020-01-10

修回日期:2020-03-18

(编辑:孔红春)