

前置式闸孔电站在水闸的应用 ——以淮阴闸为例

陈 辉, 盛维高, 顾伊娜

(江苏省淮沭新河管理处, 江苏 淮安 223005)

摘要:在分析总结当前闸孔电站存在问题的同时,介绍了一种可以最大化利用水闸水能资源的新型闸孔电站——前置式闸孔电站的主要型式和浮箱体的设计要点,并依据工程参数、水文数据和运营经验等进行分析计算,提出了最大化利用淮阴闸水能资源的前置式闸孔电站的建设规模和布置建议。

关键词:节制闸;水力资源;开发利用;前置式闸孔电站

中图分类号:TV66 **文献标识码:**B **文章编号:**1007-7839(2020)06-0053-05

Application of the front – mounted sluice hole power station in sluice ——a case study of Huaiyin sluice

CHEN Hui, SHENG Weigao, GU Yina

(The New Huaishu River Management Division of Jiangsu Province, Huaiyan 223005, China)

Abstract: On the basis of analyzing and summarizing the current problems of the sluice hole power station, a new type that could maximize the use of hydropower resources of the sluice – the main types of front – mounted sluice hole power station and the design points of the floating tank body was introduced, and analysis and calculation were carried out on the basis of engineering parameters, hydrological data and operation experience. Therefore, the construction scale and layout recommendations of the front – mounted sluice hole power station that would maximize the use of hydropower resources of the Huaiyin sluice were proposed.

Key words: controlling gate; hydropower resources; development and utilization; front – mounted sluice hole power station

1 闸孔电站概况

闸孔电站可分为2种形式,即浮箱可移式闸孔电站和潜水式闸孔电站。

1.1 浮箱可移式闸孔电站

淮阴闸浮箱可移式闸孔电站(图1)始建于20世纪80年代末,经多年的发展,已从当初的1台套增加到现在的4台套,初具规模且效益显著。由图1可见,淮阴闸浮箱可移式闸孔电站是利用检修门

槽设置挡水闸门,在挡水闸门上开孔与浮箱体相连接,浮箱体内设进、出水流道、水轮机仓和竖井仓,水轮机安装在浮箱体内部的进、出水流道之间的水轮机仓^[1]。发电装置安装在闸室内、挡水闸门的下游侧。浮箱可移式闸孔电站设计,是考虑到大流量泄水时,安装在闸孔内的水力发电装置必须移开,装置所在闸孔恢复原节制闸功能。

1.2 潜水式闸孔电站

三河闸潜水式闸孔电站(图2)作为试验型,经

收稿日期:2020-01-10

作者简介:陈辉(1961—),男,高级工程师,主要从事水利水电工程运营和建设管理工作。E-mail:568287762@qq.com

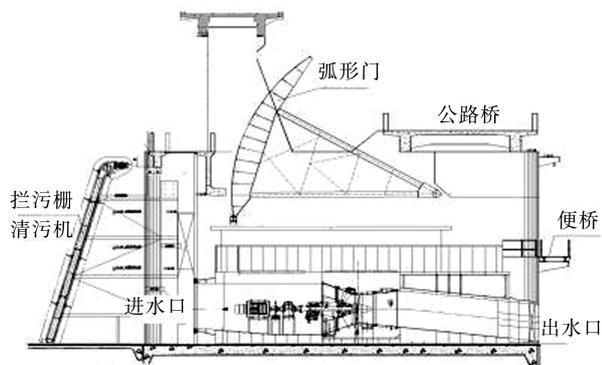


图1 淮阴闸浮箱可移式闸孔电站方案图

过短暂运行后已拆除。三河闸潜水式闸孔电站也是利用检修门槽设置挡水闸门,在挡水门上开方孔,与闸门引水管及 $\Phi 1\ 400\ \text{mm}$ 管道式水力发电装置连接。装置包含方形变圆形的闸门引水管①、 $\Phi 1\ 400\ \text{mm}$ 引水管②、电动蝶阀式闸门③、 $\Phi 1\ 400\ \text{mm}$ 引水管④⑤⑥⑦、全贯流水轮发电机组⑧、尾水管⑨及耦合器⑩等^[2]。装置安装在闸室及消力池,位于挡水门的下游侧。潜水式闸孔电站设计,也是考虑到大流量泄水时,安装在闸孔内的水力发电装置必须移开,装置所在闸孔恢复原节制闸功能。

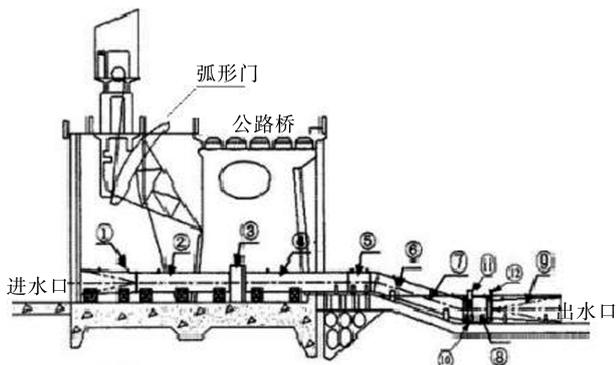


图2 三河闸潜水式闸孔电站方案图

2 主要存在问题

闸孔电站的研制为水利工程管理单位的综合经营开拓了一条新的发展途径,但自身存在的不足也限制其进一步发展的空间。

2.1 浮箱可移式闸孔电站主要存在问题

(1)浮箱可移式闸孔电站拆移难度大,浮箱体存在淹没的可能。从数次准备启动及2次实施“分淮入沂”前淮阴闸的下游水位情况看,固定浮箱体的支撑杆和用于检修用的墩头围堰均已淹没在水下,支撑杆的拆除必须在水下破坏性拆除。

2003年以来,因浮箱体的拆移难度大,行洪前只拆除发电机、增速箱、调速器等设备,而浮箱体因

行洪时高水位多次被淹没。

(2)闸孔利用率低,闸孔电站规模受限。淮阴闸闸孔净宽 $10\ \text{m}$,浮箱体设计宽 $6\ \text{m}$,每闸孔内只能安装1台套发电装置,水闸闸孔的利用率低;检修门槽后闸室短,水力发电装置的流道长度受限,装置设计效率降低。

淮阴闸闸孔电站发展近30年,陆陆续续才建成4台套(占用4个闸孔)容量共 $800\ \text{kW}$ 的规模,近期,还要再新增1台套,也是规划中的最后一台。显然,没有能最大限度地利用淮阴闸工程资源和水能资源,主要原因是闸孔利用不充分和担心洪水时浮箱体不能迅速撤出。

2.2 潜水式闸孔电站主要存在问题

三河闸潜水式闸孔电站是实验性机组,运行不久即废弃,而没有进一步开发应用,主要原因也是闸孔利用不充分和担心洪水时发电装置不能迅速撤出。

3 前置式闸孔电站主要型式

为弥补不足以最大限度地开发利用水闸水能资源,经研究前置式闸孔电站可以替代浮箱可移式和潜水式闸孔电站,实现水闸水能资源利用的最大化。前置式闸孔电站是在原浮箱可移式闸孔电站设计思路基础上,改发电装置于挡水门后为工作闸门前,详见图3和图4。

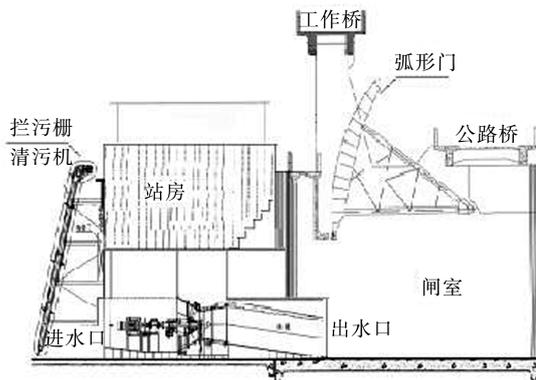


图3 前置式闸孔电站方案立面示意图

(1)按照水闸闸门的形式可分为弧形门式和平面门式。

(2)按照固定方式可设计成固定式和可移式,当水闸闸孔相对富余时可选择固定式,否则选用可移式。

(3)按照挡水方式可设计成浮箱体独立挡水和浮箱体与挡水门共同挡水。水闸闸孔富余,应设固定、独立挡水型,次则选固定、共同挡水型,否则选

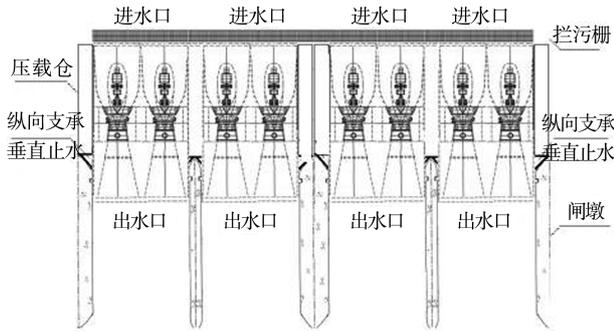


图 4 前置式闸孔电站方案平面示意图
可移式(图 5)。

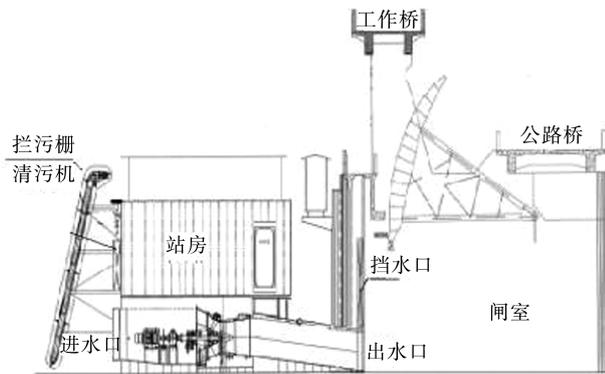


图 5 前置式闸孔电站方案立面示意图

(4) 视发电闸孔的利用率可以设计成单孔单台和单孔双拼。以淮阴闸为例, 闸孔净宽为 10 m、高为 8.5 m, 因此, 如设计单孔单台, 则可选择更大型机组; 如进行双拼设计, 单孔设置 2 台套, 则闸孔的发电利用率倍增(图 6)。

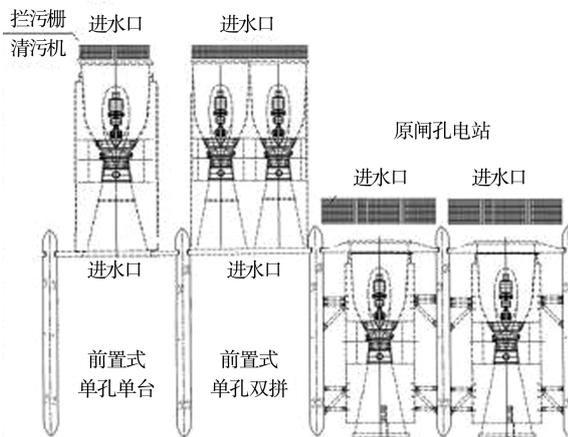


图 6 前置式闸孔电站方案平面示意图

(5) 视闸孔电站装置与水闸距离可以设计成与水闸相连的前置半岛式和与水闸相离的前置岛式闸孔电站。显然, 前置岛式闸孔电站可以设计成固定、永久的水电站, 是水闸水能利用一个非常好的方式。

4 淮阴闸前置式闸孔电站型式及规模

淮阴闸前置式闸孔电站型式的选择、规模的确定, 要综合淮阴闸的工程效益、建筑物结构、电站现状和水文、水情等多种因素。

4.1 淮阴闸工程概况

淮阴闸位于淮安市淮阴区王营镇杨庄淮沭新河与中运河交汇处, 建成于 1959 年 10 月, 闸总宽 345.4 m, 共 30 孔, 单孔净宽 10 m, 设计灌溉流量 440 m³/s, 泄洪流量 3 000 m³/s, 是淮水北调、分淮入沂淮阴枢纽的主体工程, 承担泄洪、灌溉、调节航运水位以及为淮安、宿迁、连云港 3 市提供生产生活用水的任务。

4.2 淮阴闸允许设置前置式闸孔电站占用闸孔数计算

参照《淮阴闸初步设计》进行计算。

(1) 满足设计灌溉流量 440 m³/s 时淮阴闸闸孔总宽度 B

$$H_{\text{上}} = 11.0 \text{ m}, H_{\text{下}} = 10.97 \text{ m}, Q = 440 \text{ m}^3/\text{s}, \\ H/H_0 = 4.97/5.0 = 0.995 \text{ h}, \sigma = 0.183, \varepsilon = 1 - (0.06 \times 5.0)/(5.0 + 10.0) = 1 - 0.06 = 0.94, M = 1.66, \\ B = 440 / (0.183 \times 0.94 \times 1.66 \times 5 \frac{3}{2}) = 440 / 3.19 = 138 \text{ m}$$

(2) 满足设计泄洪流量 3 000 m³/s 时淮阴闸闸孔总宽度 B

$$H_{\text{上}} = 14.57 \text{ m}, H_{\text{下}} = 14.49 \text{ m}, Q = 3000 \text{ m}^3/\text{s}, \\ H/H_0 = 8.49/8.57 = 0.99 \text{ h}, \sigma = 0.257, \varepsilon = 1 - (0.06 \times 8.57)/(8.57 + 10.0) = 1 - 0.03 = 0.97, \\ M = 1.66, B = 3000 / (0.257 \times 0.97 \times 1.66 \times 8.57 \frac{3}{2}) = 3000 / 10.4 = 289 \text{ m}$$

(3) 满足设计效益前提下允许设置前置式闸孔电站占用闸宽度 B_0

$$\text{满足设计灌溉流量时: } B_0 = 300 - 138 = 162 \text{ m}$$

$$\text{满足设计泄洪流量时: } B_0 = 300 - 189 = 11 \text{ m}$$

(4) 满足设计效益前提下允许设置前置式闸孔电站占用闸孔数 N

$$\text{满足设计灌溉流量时: } N = 162 / 10 = 16 \text{ 孔}$$

$$\text{满足设计泄洪流量时: } N = 11 / 10 = 1 \text{ 孔}$$

4.3 淮阴闸水文情况

根据历年实测的水文资料, 淮阴闸上游最高洪水位为▽ 13.8 m, 最低水位▽ 7.17 m, 当设计保证率为 50% 时: 灌溉期流量 138 m³/s, 水位差 2.69 m;

最高年平均水位上游为 $\nabla 12.84$ m, 下游为 $\nabla 9.88$ m; 最低年平均水位上游为 $\nabla 10.49$ m, 下游为 $\nabla 7.77$ m; 月平均水位上游为 $\nabla 11.48$ m, 下游为 $\nabla 8.82$ m。

4.4 淮阴闸水电站发电情况

淮阴闸水电站近年发电情况见表 1。从表 1 可知, 自 2012 年、2014 年和 2016 年分别增机 1 台套后, 每新增 1 台套闸孔电站机组, 实际每台年增发发电量约 100 万 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。

表 1 淮阴闸水电站近年发电情况

年 份	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
发电量/(万 $\text{kW} \cdot \text{h}$)	110	122	120	162	233	222	305	271	00	431	418

4.5 淮阴闸向下游供排水情况

淮阴闸近年供排水情况见表 2。从表 2 可知, 近年来淮阴闸流量大于 $100 \text{ m}^3/\text{s}$, 即每年满足 10 台套现型式机组满载运行的天数达 206 d。

表 2 淮阴闸近年供排水情况

年 份	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
流量大于 $100 \text{ m}^3/\text{s}$ 的天数/d	139	205	247	241	209	137	196	206	183	257	247

4.6 淮阴闸闸孔电站机组选型

从淮阴闸工程概况、水文、水情及工程布置看, 淮阴闸前置式闸孔电站最佳型式为贯流式水轮发电机组。根据贯流式水力发电机组结构形式, 可分为全贯流式、轴伸贯流式、灯泡贯流式及竖井贯流式 4 种型式。就淮阴闸来说, 全贯流式效率高, 但结构复杂、维护难、造价高, 不建议用于淮阴闸; 轴伸贯流式需要下沉尾水管, 不适用于淮阴闸; 灯泡贯流式机组效率高, 但技术要求高, 耗钢量大, 造价高, 故不采用灯泡贯流式; 竖井贯流式有三侧进水和二侧进水两种型式, 由于三侧进水竖井贯流式进口断面高度大, 不适用于淮阴闸^[3]。

目前, 淮阴闸 4 台套浮箱可移式闸孔电站装置均为二侧进水竖井贯流式, 其中 30 号孔水轮机选用卧式 GDB-WS-160 型, 叶轮直径 1.6 m, 额定流量 $11.32 \text{ m}^3/\text{s}$, 另 3 孔水轮机选用卧式 GDJ735A-WS-160 型, 叶轮直径 1.6 m。对于这些设备, 淮阴闸电站的管理人员积累了丰富的运行、维修等方面的经验, 因此淮阴闸闸孔电站续建时, 应该选择二侧进水竖井贯流式水力发电机组。

4.7 淮阴闸闸孔电站规模

(1) 从淮阴闸工程效益考虑, 满足设计灌溉流量 $440 \text{ m}^3/\text{s}$ 时, 淮阴闸可利用闸孔 16 孔; 满足设计泄洪流量 $3000 \text{ m}^3/\text{s}$ 时, 仅可利用 1 孔。因此, 在淮阴闸建设闸孔电站, 必须设计为可移式。

(2) 从淮阴闸水文情况考虑, 淮阴闸可常年提供发电用水, 其中灌溉期 $138 \text{ m}^3/\text{s}$, 水位差 2.69 m, 可满足 12 台套闸孔电站机组发电用水。

(3) 从近年供、排水量情况考虑, 每年淮阴闸日

常流量大于 $100 \text{ m}^3/\text{s}$ 的天数达 206 d, 可稳定满足 10 台套以上闸孔电站机组发电用水。

综上所述, 淮阴闸可安装 10~12 台套闸孔电站水力发电机组, 考虑到机组周期性检修, 建议扩建

淮阴闸水电站时, 选用 4 台套“前置半岛、独立挡水、竖井贯流、浮箱可移、单孔双拼式闸孔电站”(以下简称前置式闸孔电站) 即再安装 8 台套 GDJ735A-WS-160 型、叶轮直径 1.6 m 的二侧进水竖井贯流式水轮发电机组。

4.8 闸孔电站的布置

现淮阴闸 4 台套闸孔电站布置在闸东侧的 27#~30# 闸孔内, 考虑到淮阴闸控制运用流量 $300 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上时, 闸门应从中间向两边对称开启的规范要求, 新增 4 台套前置式闸孔电站(8 台套机组) 应布置在淮阴闸西侧 1#~4# 闸孔。

5 淮阴闸前置式闸孔电站浮箱体设计要点

前置式闸孔电站设计的关键点在浮箱体。淮阴闸浮箱可移式闸孔电站的浮箱体设计已较完善, 前置式闸孔电站的浮箱体设计应充分吸取其成功经验, 同时还要结合自身特点。

5.1 浮箱体与拦、清污设施应相互独立

主要是考虑方便装置的拆除, 遭遇洪水时, 先用船吊将拦污栅及清污机移走, 然后用拖轮将浮

箱体一一移运到预定锚地。

5.2 浮箱体的外部尺寸

依据淮阴闸水位设计组合和控制运用原则可浮确定箱体的宽度约12 m,高约8 m,根据水轮机组流道长度需求确定长度约17 m。

5.3 浮箱体与闸的止水方式

从图3、图4可见,浮箱体座落在水闸铺盖和底板上,箱体前侧与闸墩相接处通过支承装置相连,最佳止水断面就在铺盖后的底板和闸墩处。因此,在支承位置和箱底处用“U”型止水件,实现箱体与水闸之间的水平止漏和垂直止漏。

5.4 浮箱体的固定

为了减小机组运行时浮箱体的振动、确保运行稳定,对浮箱体压载的同时,应该对浮箱体进行有效的固定。前置式闸孔电站的固定主要依靠闸墩,可在两侧闸墩上各安装1组支撑杆,浮箱体就位、压载后,用支撑杆将浮箱体固定。另外,考虑到浮箱体只有1/5落在闸底板上,大部分落在铺盖上,为了避免振动对闸铺盖可能产生的不利影响,浮箱体强度设计时应考虑将浮箱体的垂直支承落在闸底板上,结合前述的支撑式固定,浮箱体相对铺盖成为悬臂梁,可完全消除浮箱体振动对铺盖的不利影响。

5.5 浮箱体的底部处理

淮阴闸浮箱可移式闸孔电站安装时发现淮阴闸闸底板严重不平,经实测闸底顶面高差达37 mm,通过调整尼龙垫块的厚度解决这一问题^[4]。同样,前置式闸孔电站安装时将面临闸底顶面和铺盖顶面不平整的问题,因此,浮箱体底部设计是淮阴闸前置式闸孔电站成败的关键。解决的办法是要同时从两方面着手:一是从箱底设计方面着手,将浮箱体对应闸底板处的底部设计成型钢基础框架,与闸底板顶面形成条块状刚性接触,减少与底板的接触面积;二是从安装方面着手,采用墩头围堰无水作业或潜水作业,对型钢座落处的底板和铺盖顶面进行局部找平。

5.6 浮箱体上的压(排)载仓的设计

与原闸孔电站一样,前置式闸孔电站浮箱体移

运、拆装难度在于浮箱体平衡的控制。为方便移运和拆装,前置式闸孔电站浮箱体的压(排)载仓应进一步优化,简要地说应设置3级压(排)载仓。从淮阴闸前4台套闸孔电站建设情况和前置式闸孔电站(双拼)结构(图4)看,装置为左右对称、前轻后重(面向下游)。因此,第1级压(排)载仓的设计主要考虑浮箱前后平衡的控制;第2级压(排)载仓的设计主要考虑浮箱体的“吃水”,即通过压(排)载,满足不同水位情况下浮箱体的沉与浮;设置第3级压(排)载仓主要考虑不同水位升(降)浮箱体时的压(排)载,减小浮力的不利影响,增强装置运行的稳定性。

6 经济效益分析

浮箱可移式闸孔电站是利用现有水闸工程建设的水力发电站,不需要建设水工建筑物,不需要征地、移民拆迁,不影响、破坏生态环境,具有投资小、收益大、见效快等特点。与浮箱可移式闸孔电站一样,淮阴闸前置式闸孔电站也是利用现有水工建筑物建设的钢结构浮箱可移式电站,但益本比更高,投资回收年限更短,经济效益更显著。仅从淮阴闸闸孔电站续建成果看,每增加1台套闸孔电站实际年增发电量100 kW·h以上,结合多年从事闸孔电站改造、续建、运营积累的经验,在淮阴闸一次性建设8台套水轮发电机组前置浮箱可移式闸孔电站的投资5年内可全部收回。

参考文献:

- [1] 陈辉. 谈淮阴闸水力资源的开发利用——浮箱可移式闸孔电站的建设[J]. 江苏水利, 2016(12).
- [2] 问泽航. 马晓忠, 莫岳平, 张友明. 水闸闸孔潜水式水力发电站研究[J]. 治淮, 2005(8).
- [3] 谢伟东, 杨洪群, 张仁田. 淮阴闸闸孔浮运式电站机组选型[J]. 小水电, 1991(5).
- [4] 孙洪滨. 淮阴闸沉箱可移式闸孔发电装置[J]. 江苏水利, 1997(1).