

船闸输水廊道水头利用经济可行性探讨

钱学生¹ 李晓英² 陶桂兰¹ 周建旭² 林道通²

(1.河海大学港口海岸与近海工程学院,江苏 南京 210098;2.河海大学水利水电学院,江苏 南京 210098)

摘要 通过确定船闸相关参数,理论计算出船闸输水廊道可利用水头的有效输出功率,并确定发电装置的装机容量以进行投资计算,继而进行动能经济分析。以淮安船闸和施桥船闸的实例进行分析,结果表明 2 个船闸均可考虑利用其上下游水头进行水力发电,并具有一定的开发潜力。
关键词 船闸;输水廊道;水能利用;经济分析;可行性研究;淮安船闸;施桥船闸
中图分类号 :U64 **文献标识码** :A **文章编号** :1006-764X(2010)S1-0048-02

船舶过闸过程中,存在大量水体经输水廊道从上游流到下游。笔者以淮安船闸和施桥船闸为例,在假设满足技术要求的前提下,探讨船闸水头利用经济合理性,为船闸输水廊道水头开发利用提供理论依据。

1 工作原理

假设船舶从上游经船闸驶向下游,图 1 为过闸示意图^[1]。

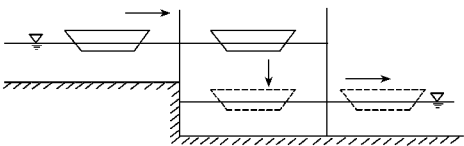


图 1 船舶过闸示意图

船闸输水廊道水头利用的工作原理是利用船闸上下游水头,在闸室灌(泄)水过程中,将水体的势能通过布置在输水廊道中的发电装置转换为电能。

设船闸闸室宽度为 $B(\text{m})$,有效长度为 $L(\text{m})$,单个输水廊道平均流量为 $Q(\text{m}^3/\text{s})$,船闸日平均上下游水头为 $H(\text{m})$,一次灌(泄)水过程历时为 $t(\text{s})$ 。闸室内水位为时间 t 的函数,设为 $H(t)$ 。上下游水面面积无限大,则在过闸期间可近似认为船闸上下游附近水面水力梯度为零,即其水位为常量,分别取为 c_1 和 c_2 。过闸过程中,假设通过输水廊道任意时刻的流量取整个输水过程的平均流量,闸室水位线随时间的变化曲线为线性曲线,如图 2 所示。

单个输水廊道平均流量为

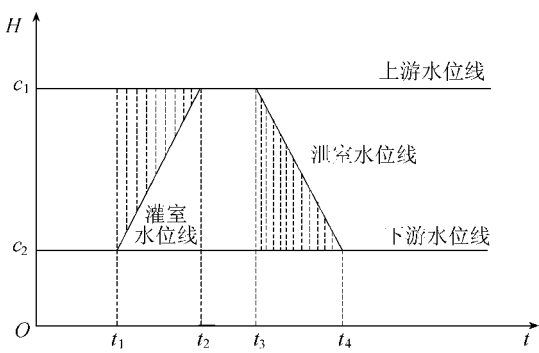
$$Q = \frac{BLH}{2t} \tag{1}$$


图 2 船舶一次过闸水位变化过程线

2 参数确定

2.1 日平均水头

以淮安船闸和施桥船闸为例,根据 2001 年这 2 个船闸日上下游水头变化^[2]得出不同日上下游水头 H 分别发生的天数 m 及其频率的数据资料(表 1)。

表 1 施桥船闸 2001 年日上下游水头变化统计

H/m	m/d	频率/%	H/m	m/d	频率/%
0.15	351	97.23	2.30	114	31.58
0.30	348	96.40	2.45	69	19.11
0.45	336	93.08	2.60	60	16.62
0.60	333	92.24	2.75	54	14.96
0.75	312	86.43	2.90	33	9.14
0.90	296	82.00	3.00	27	7.48
1.00	278	77.01	3.15	21	5.82
1.15	264	73.13	3.30	15	4.16
1.45	237	65.65	3.45	6	1.66
1.60	198	54.85	3.60	4	1.11
1.75	171	47.37	3.75	3	0.83
1.90	168	46.54	3.90	2	0.55
2.00	156	43.21	4.00	1	0.28
2.15	120	33.24			

根据表 1、表 2 的相关数据 ,确定具有 60% 以上保证率的施桥船闸和船闸和淮安船闸的日平均水头分别为 1.5 m 和 3.0 m。

表 2 淮安船闸 2001 年日上下游水头变化统计

H/m	m/d	频率/%	H/m	m/d	频率/%
2.000	357	98.89	3.125	210	58.17
2.125	355	98.34	3.250	135	37.40
2.250	352	97.51	3.375	120	33.24
2.375	348	96.40	3.500	78	21.61
2.500	345	95.57	3.625	42	11.63
2.625	334	92.52	3.750	33	9.14
2.750	306	84.77	3.875	12	3.32
2.875	276	76.45	4.000	3	0.83
3.000	252	69.81			

2.2 日过闸次数

施桥船闸和淮安船闸(单线)2001 年日过闸次数分布见图 3、图 4^[2]。

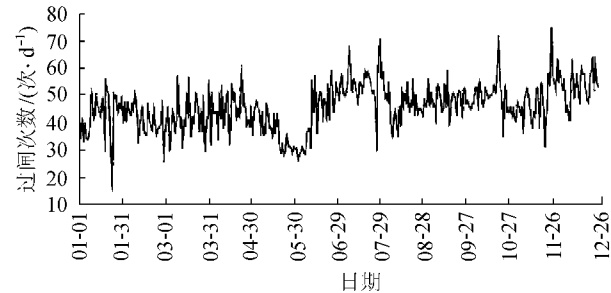


图 3 施桥船闸(单线)2001 年日过闸次数分布

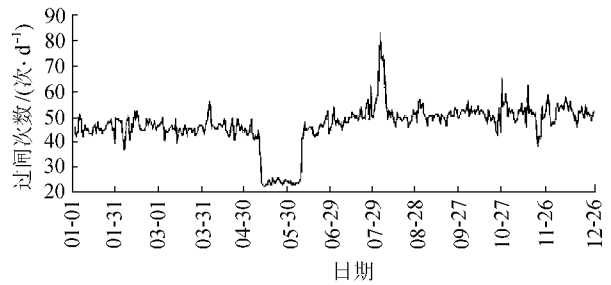


图 4 淮安船闸(单线)2001 年日过闸次数分布

根据图 3 和图 4 ,确定具有 80% 以上保证率的施桥船闸和淮安船闸的日过闸次数均为 40 次。

2.3 其他技术参数

根据苏北运河 10 个梯级船闸多年统计资料 ,各船闸年通航天数较稳定 ,一般船闸检修、事故抢修、气象和水文等因素影响通航的时间约半个月 ,年通航天数约 350 d ,若逢船闸大修则扣除大修 30 d ,此时年通航天数约为 320 d^[2]。船闸大修周期须根据各闸实际情况确定 ,一般在 10 年左右^[3]。故确定这 2 个船闸年通航天数为 350 d。

施桥船闸和淮安船闸规模相同 ,长 × 宽 × 槛上水深为 230 m × 23 m × 5 m ;一次灌(泄)水过程需历时 $t = (6 \sim 8) \min$ ^[4]。

3 水力出力计算

3.1 一次过闸单个廊道有效输出功率

一次过闸单个廊道有效输出功率 W_1 (kW)计算公式为

$$W_1 = 9.81 \eta Q H' = 9.81 \eta \frac{BLH}{2t} \frac{H}{2} = \frac{2.4525 \eta BLH^2}{t} \quad (2)$$

式中 : H' 为有效水头 ,m ,取日平均上下游水位差 H 的 1/2 ; B 为船闸闸室宽度 ,m ; L 为闸室有效长度 ,m ; η 为系数 ,取 0.65。

经计算 ,施桥船闸和淮安船闸一次过闸输水廊道总的有效输出功率分别为 158 ~ 210 kW 和 632 ~ 843 kW。

3.2 一次过闸输水廊道总的输出电量

一次过闸输水廊道总的输出电量 E (kW · h)计算公式为

$$E = Wt \quad (3)$$

经计算 ,施桥船闸和淮安船闸一次过闸廊道输出电量分别为 21 kW · h 和 84 kW · h。

3.3 全年输水廊道总的输出电量

全年输水廊道总的输出电量 E_0 (kW · h)计算公式为

$$E_0 = E_n N \quad (4)$$

经计算 ,施桥船闸和淮安船闸全年输水廊道总的输出电量分别为 29.4 万 kW · h 和 117.6 万 kW · h。

4 经济效益分析

4.1 参数确定

取小型水电站装机容量为实际功率的 2.5 ~ 4.5 倍^[5](本文中取 3.5 倍) ,取平均装机容量做计算分析 ,计算得施桥船闸装机容量为 644 kW、淮安船闸装机容量为 2581 kW。

根据一般无调节能力水电站统计规律 ,小水电站的投资一般为 4000 元/kW 左右^[6] ,考虑到电站是在船闸已有基础上改造 ,在土建等方面的投资可适当降低 ,另外贯流式机组较轴流、混流式机组造价相对较低 ,故此处取电站投资为 2000 元/kW。据此 ,可得施桥船闸投资为 128.8 万元、淮安船闸投资为 516.2 万元。

为简化计算 ,取年运行费为工程投资的 2%^[6] ,可得施桥船闸年运行费为 2.24 万元、淮安船闸年运行费为 8.96 万元。而小型电站年运行费一般小于 5 万元^[5] ,故年运行费 C_1 施桥船闸取 2 万元、淮安船闸取 5 万元。

(下转第 84 页)

底板混凝土被破坏的范围和程度必将明显加剧,因此应及时检查发现并修复已经损坏的混凝土底板^[5]。

3.7 定期认真检查底板

正常运用中的水闸底板具有水下隐蔽性,日常工程巡查无法检查闸底板状况。因此必须定期进行水下检查,《江苏省水闸技术管理办法》(苏水管[2004]152号)规定“一般每两年进行一次”水下检查,笔者建议最好每年汛后潜水摸查1次,在通过较大流量或超标准过流后应该及时组织水下检查。

另外,该闸2009年5月水下检查发现闸底板实际损坏程度远比2008年12月潜水摸查发现的严重,事实上该闸2008年12月后基本没有开闸过流。据此笔者建议每5年或当怀疑底板损坏时应该采取

比较直观、准确可靠的方式(如水下摄影检查、利用气压沉柜检查)对底板进行1次全面细致的检查。

参考文献:

[1] SL265—2001 水闸设计规范[S].
[2] 黄国兴,陈改新. 水工混凝土建筑物修补技术及应用[M]. 北京:中国水利水电出版社,1999.
[3] 郑文康,刘翰湘. 水力学[M]. 北京:水利电力出版社,1991.
[4] 秦鸿根,贺永芳,曹鹏飞,等. 腐蚀性环境对混凝土长期力学性能的影响及改善措施[C]//中国硅酸盐学会. 第十届全国水泥和混凝土化学及应用技术会议文集. 北京:中国硅酸盐学会,2007:53-56.
[5] DL/T5207—2005 水工建筑物抗冲耐磨防空蚀混凝土技术规范[S].

(收稿日期 2009-06-11 编辑:方字形)

(上接第49页)

基准年假定选在电站正式运行的2011年初,经济使用年限 T 取45年,经济效益报酬率 r 取8%^[6]。

4.2 效益计算

为简化计算,假设全部投资都在施工第1年初一次性投入,可得工程投资折算现值 K_0 。施桥船闸为128.8万元、淮安船闸为516.2万元。

年运行费折算现值 C_0 计算公式为

$$C_0 = C_1 \frac{(1+r)^T - 1}{r(1+r)^T} \quad (5)$$

经计算,施桥船闸年运行费折算现值为24万元,淮安船闸年运行费用折算现值为60万元。

工程效益折算现值 B_0 计算公式为

$$B_0 = B_1 \frac{(1+r)^T - 1}{r(1+r)^T} \quad (6)$$

电价按0.6元/(kW·h)计算^[5]。 B_1 为年售电收益,计算得施桥船闸 $B_1 = 17.64$ 万元,淮安船闸 $B_1 = 70.56$ 万元;工程效益折算现值施桥船闸为213.6万元、淮安船闸为854.4万元。

经济回收年限一般为12~17年^[5]。当电站总装机容量小于1万kW时,投资回收年限 T 用下式简化计算:

$$T = \frac{-\ln\left(1 - \frac{K_0 r}{B_1 - C_1}\right)}{\ln(1+r)} \quad (7)$$

计算可得施桥船闸投资回收年限为14.0年,淮安船闸投资回收年限为13.0年。

效益费用比 R_0 计算公式为

$$R_0 = \frac{B_0}{K_0 + C_0} \quad (8)$$

经计算,可得施桥船闸效益费用比为1.40,淮安船闸效益费用比为1.48。由此可见,从费用效益比考虑,淮安船闸和施桥船闸的经济效益均比较明显。

5 结 语

迄今为止,尚未见与船闸输水廊道水头利用方面相关的研究成果报道,为充分利用水资源,减少能量耗散,笔者从经济分析角度对该方面做出了初步研究。经初步经济可行性论证并分析淮安船闸和施桥船闸各项经济技术指标,发现淮安船闸和施桥船闸均可考虑利用其上下游水头进行水力发电,并具有一定的开发潜力。

参考文献:

[1] 刘晓平,陶桂兰,蔡志长. 渠化工程[M]. 北京:人民交通出版社,2009:27-28.
[2] 廖鹏. 京杭运河苏北段船闸通过能力研究[D]. 南京:淮海大学,2003.
[3] 江苏省交通厅. 江苏省船闸管理实施细则[R]. 南京:江苏省交通厅,1991.
[4] 丁行蕊,续庆琪,白宝生,等. 全国船闸图集[R]. 北京:交通部水运规划设计院,1983:5-24.
[5] 水电部农电司. 小水电经济评价暂行条例[R]. 北京:水电部农电司,1985.
[6] 王丽萍,高仕春. 水利工程经济[M]. 武汉:武汉大学出版社,2002:48-62.

(收稿日期 2010-05-21 编辑:高建群)