



省水船闸省水效益分析及 在内河航运建设中的应用*

杨忠超, 陈明栋

(重庆交通大学水利水运工程教育部重点实验室, 重庆 400074)

摘要: 银盘船闸研究表明, 高水头枢纽中采用省水船闸方案不仅可以大大节省水资源, 还能较大幅度降低船闸工作水头, 简化船闸水力学技术难题。从省水船闸工作原理, 详细推导了省水船闸省水池面积、省水池级数与省水效率的关系, 省水池与闸室面积比不宜大于3倍或省水池级数不超过3级。分析了省水船闸在内河航运中的应用前景。

关键词: 省水船闸; 省水池级数; 省水效益; 内河航运

中图分类号: U 641.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)12-0131-05

Efficiency and application of water-saving ship lock in inland river navigation

YANG Zhong-chao, CHEN Ming-dong

(Key Laboratory of Hydraulic and Waterway Engineering, Ministry of Education, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract: The research on Yingpan shiplock shows that the water-saving ship lock can not only decrease lock's consuming water, but also lower lock's working water head so that as to simplify hydraulics technical problems. The relationship between the area of storage pool, steps of storage pool and water-saving efficiency is expounded based on the principle of water-saving ship lock. The ratio of chamber area and storage pool area should not be three times or steps of storage pool not greater than three. The application prospect of water-saving ship lock in inland river navigation is also analyzed.

Key words: water saving ship lock; steps of storage pool; water-saving efficiency; inland river navigation

我国水资源在时间和空间上分布不均匀, 人均占有量极为有限, 很多地方缺水情况比较严重。同时, 从时间上看是夏秋多, 冬春少; 地域上则是南方多, 北方少; 或是山区多, 平原少。所以, 我国是一个水资源短缺的国家, 应该形成水资源综合利用的有效协调机制, 水资源开发应兼顾防洪、灌溉、供水、航运、发电等需求, 即综合利用的水利枢纽应以综合效益最优为目标, 不能为了降低工程初期投资而牺牲航运^[1]。根据交通部的规划, 内河建设将是航运建设的重点项目之一。人工运河是形成航道网的重要组成部分, 但是人工运河没有天然补水机制, 为保持有效航

深, 节水问题就尤为突出。省水船闸不仅能降低船闸工作水头, 简化高水头阀门水力学难题, 而且可在过船的同时兼顾节约用水, 是一种应用前景十分广泛的通航建筑物。

1 省水船闸的工作原理

省水船闸的工作原理如图1所示, 通常可在船闸的一侧或两侧设置两级以上的省水池。船闸泄水运行时先向省水池泄水, 其顺序是先泄向高处的省水池(B池), 再依次泄向低处的省水池(A池), 剩下的水泄向下游; 灌水时顺序与泄水时相反, 首先将低处的省水池(A池)的水灌入闸

收稿日期: 2013-03-14

*基金项目: 重庆市自然科学基金(2010JJ1224)

作者简介: 杨忠超(1972—), 男, 博士后, 研究员, 主要从事船闸水力学和计算流体力学研究。

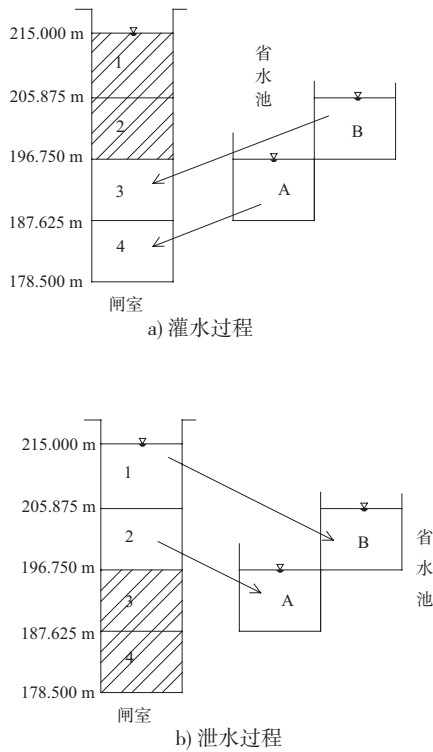


图1 省水船闸工作原理

室，然后依次将高处的省水池向闸室输水，不足部分水体最后由上游补充。

无论灌水还是泄水，省水船闸都相当于把工作水头分成几级进行，从而降低了船闸的工作水头，解决了一系列与工作水头相关的技术难题，同时节省了每次船闸灌泄水的耗水量。

2 省水效益分析

2.1 单级省水池的省水效益^[2]

如图2所示，设闸室面积为 A ，省水池面积为 S ，闸室工作水头为 H_1 ，省水池底高程与上游水位差为 H_2 ，船闸泄水先泄向省水池，设闸室和省水池水面平齐时水位下降了 ΔH ，则进入省水池的水量 $\Delta V = \Delta HA$ ，根据水量平衡，对于省水池则有：

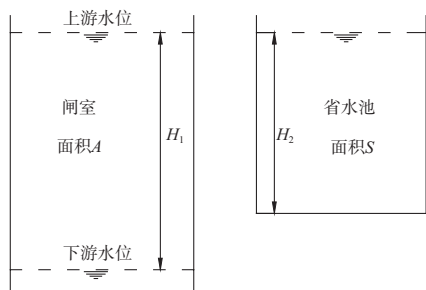


图2 单级省水池剖面

$$\Delta V = \Delta HA = S(H_2 - \Delta H) \quad (1)$$

只有当船闸灌水时，省水池内所有的水放入闸室，省水池内的水才是节省的水，如果要把省水池的水全部放回闸室，则当省水池放空后，闸室水位低于或等于省水池底高程，因此有：

$$S(H_2 - \Delta H) \leq A(H_1 - H_2) \quad (2)$$

$$\text{省水效率 } \eta = \frac{\Delta HA}{H_1 A} \times 100\% = \frac{\Delta H}{H_1} \times 100\% \quad (3)$$

可见 ΔH 越大，省水效率越大。通过式(1)和(2)可得

$$\Delta H \leq \frac{SH_1}{2S + A} \quad (4)$$

$$\text{故 } \eta \leq \frac{S}{2S + A} \times 100\% \quad (5)$$

从式(5)分析可知，当省水池面积趋于无穷大时，省水效率约等于50%，当 $S=A$ 时，省水效率为33%。

2.2 二级省水池的省水效益

如图3所示，第1级省水池面积为 S_1 ，底高程与上游水位差为 H_2 ，第2级省水池面积为 S_2 ，底高程与第1级蓄水池底高程高差为 H_3 。

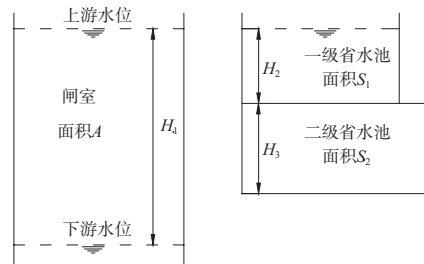


图3 二级省水池剖面

泄水时闸室首先向第1级省水池泄水，设水面下降 ΔH_1 ，根据水量平衡则有：

$$\Delta H_1 A = S_1(H_2 - \Delta H_1) \quad (6)$$

接着闸室向第2级省水池泄水，设闸室下降水位 ΔH_2 ，根据水量平衡有：

$$\Delta H_2 A = S_2(H_2 + H_3 - \Delta H_1 - \Delta H_2) \quad (7)$$

当灌水时，第2级省水池先向闸室灌水，有：

$$S_2(H_2 + H_3 - \Delta H_1 - \Delta H_2) \leq A(H_1 - H_2 - H_3) \quad (8)$$

接着第1级省水池向闸室灌水，有：

$$S_1(H_2 - \Delta H_1) \leq AH_3 \quad (9)$$

为了便于推导，式(8)和(9)均取等号。经推导可得：

$$\Delta H_1 = \frac{S_1 A + S_1 S_2}{A^2 + 2S_1 A + 2S_2 A + 3S_1 S_2} H_1 \quad (10)$$

$$\Delta H_2 = \frac{S_2 A + S_1 S_2}{A^2 + 2S_1 A + 2S_2 A + 3S_1 S_2} H_1 \quad (11)$$

第1级省水池的省水效率为:

$$\eta_1 = \frac{S_1 A + S_1 S_2}{A^2 + 2S_1 A + 2S_2 A + 3S_1 S_2} \times 100\% \quad (12)$$

第2级省水池的省水效率为:

$$\eta_2 = \frac{S_2 A + S_1 S_2}{A^2 + 2S_1 A + 2S_2 A + 3S_1 S_2} \times 100\% \quad (13)$$

总的省水效率为:

$$\eta = \eta_1 + \eta_2 = \frac{S_1 A + S_2 A + 2S_1 S_2}{A^2 + 2S_1 A + 2S_2 A + 3S_1 S_2} \times 100\% \quad (14)$$

从式(12)和(13)可见, 省水池的省水效率与闸室面积、每级省水池面积是相互关联的。通常每级省水池采用相同的面积, 即 $S_1=S_2=S$, 则有:

$$\eta = \frac{2SA + 2S^2}{A^2 + 4SA + 3S^2} \times 100\% = \frac{2S}{A + 3S} \times 100\% \quad (15)$$

当省水池面积 S 趋于无穷大时, 省水效率为66.7%, 若 $S=A$ 时, 省水效率为50%。

2.3 多级省水池省水效益

对于有 n 级省水池的省水船闸, 推导可得每级省水水深为:

$$\Delta H = \frac{S}{A + (n+1)S} H_1 \quad (16)$$

则省水效率为

$$\eta = \frac{nS}{A + (n+1)S} \times 100\% \quad (17)$$

由式(17)可作出省水池面积、级数与省水效率的关系曲线, 如图4所示。可见在省水池级数相同的情况下, 省水池面积 S 越大, 省水效率越高, 但省水池与闸室面积比大于3时, 省水效率增加有限。省水池面积一定时, 省水池级数越多, 则省水效率越高, 但省水池级数 n 超过3级后, 省水效率增加不明显, 故德国的省水船闸一般设为3级。

3 省水船闸在内河航运建设中的应用

3.1 德国的应用

为了使内河航运网能与整个欧洲相通, 德国修建了跨水系的莱茵—马恩运河、莱茵—罗纳运河与法国航运网相连, 直抵北海岸线和地中海; 特别是修建了美茵—多瑙运河(图5), 直达多瑙

河三角洲和黑海, 实现了人们长期以来的梦想^[3]。

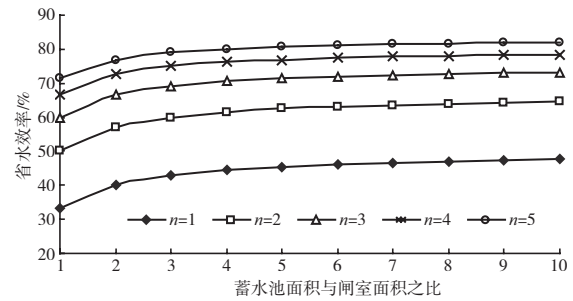


图4 省水池面积、级数与省水效率的关系



图5 美茵—多瑙运河

美茵—多瑙运河从美茵河的班贝格到多瑙河的凯尔海姆, 水位差高达243 m。美茵河由东向西, 多瑙河由西向东, 处于两大水系分水岭处的船闸用水将随着船闸的运行而不断流失。为了保证船闸的正常运行, 建造了5座泵站, 从多瑙河和阿尔特米尔河取水, 并将水输送到地形最高处储存起来, 总库容为200万 m^3 。为了减小船闸运行时水量损失, 16梯级中13座采用省水船闸^[4], 其结构布置如图6和图7。

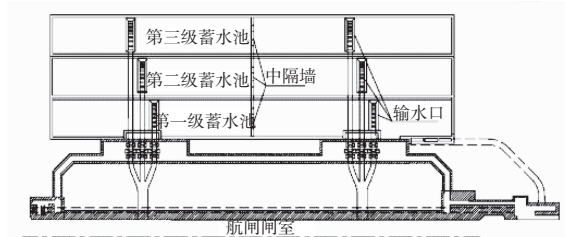


图6 德国省水船闸平面

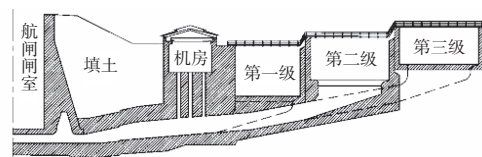


图7 德国省水船闸典型剖面

3.2 中国的应用

3.2.1 银盘省水船闸研究

乌江银盘船闸设计最大水头达36.5 m，是当前国内内河航运中水头最高、世界第3的单级船闸。阀门水力学的技术问题极为复杂^[5]，为简化船闸输水系统设计，降低船闸的工作水头，提出了带2级省水池的船闸输水系统方案^[6]，船闸布置如图8所示。整体水力学模型试验结果表明^[7]，省水船闸方案将实际最大工作水头由36.50 m降至18.25 m，省水效率约50%；输水时间、峰值流量、流量系数满足设计要求，系缆力、阀门门后压力等参数满足船闸规范要求，见图9。

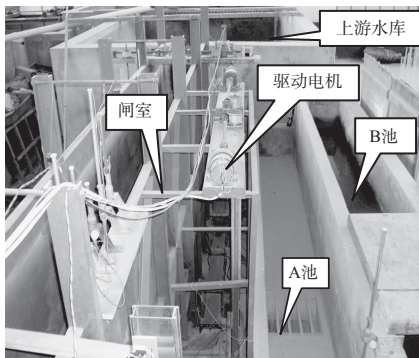


图8 银盘省水船闸模型布置

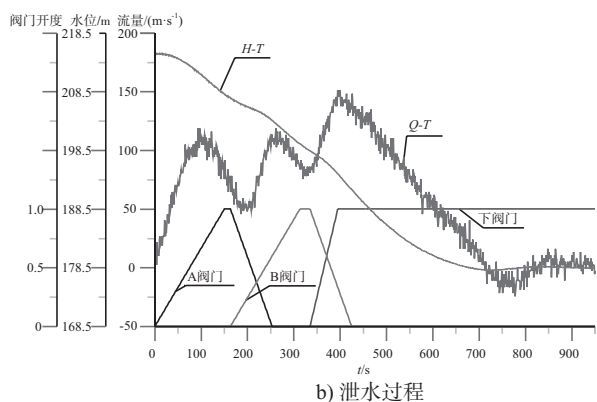
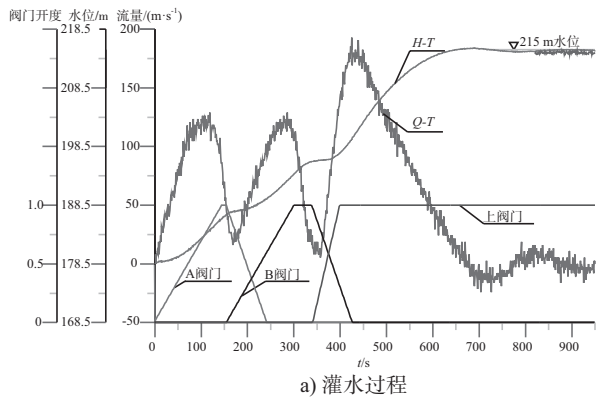


图9 银盘省水船闸水力曲线

3.2.2 春天湖省水船闸^[8]

根据《桂林市中心城环城水系水利工程规划报告》，需从桂林市上游的漓江引水入湖，与湖区水体交换后，经船闸等排水口把水排进漓江，以满足湖区水质要求。引水规模按四湖湖区水体每10 d换水一次来确定，春天湖的最大允许换水流量为0.15 m³/s。而春天湖船闸在不省水运行时的平均耗水流量为0.256 m³/s，缺水量达41.3%。引水量满足不了耗水量的要求，故春天湖船闸必须采用省水船闸。

春天湖船闸设计为双线省水形式，两厢闸室并排布置，互为贮水池。船闸省水运行的程序为：当A厢闸室内游船下行，B厢闸室内游船上行时，先将A厢闸室内50%的水量充入到B厢闸室内。当两厢室水位齐平后，A厢将剩余水泄向下游，B厢不足水量由上游补充，完成一次过闸运行，反之亦然。

春天湖船闸的独特布置形式，一方面满足了船闸省水的要求，船闸理论省水效率达到50%，巧妙地解决了水量不足的矛盾，合理利用了水资源；另一方面节省修建贮水池的建设投资。故其省水形式为国内、外首创，具有先进性，为省水船闸提供了新的设计思路。

3.2.3 省水船闸在我国内河建设中的应用前景

内河航运是最古老的运输方式之一，是内陆腹地与沿海地区、内陆地区之间连接的重要纽带，是综合运输体系和水资源综合利用的重要组成部分。积极倡导发展内河水运，符合建设资源节约型、环境友好型社会的要求^[1]。与其它运输方式相比，内河航运具有运量大、占地少、成本低、能耗小、污染少等优势。与欧洲和美国发达国家相比，我国内河航道里程较短，我国II级及以上航道里程为3 945 km，而美国为41 000 km，差距很大；航道分布极不均衡，密度不大，山区通航河流的航道运力只占20%左右，因此我国内河还有较大发展空间。

2005年，交通运输部在《公路水路交通中长期科技发展规划纲要（2006—2020）》提出：“到2020年，IV级以上航道里程将达到35 000 km以上，其中III级以上航道15 000 km”，其中山区

河流部分占64%, 中平原河流部分占36%。按照交通运输部的规划要求, 目前III级以上的航道里程完成了52%, 还需建设7 822 km, IV级以上的航道里程完成了70%, 还需建设10 649 km。平原河流的大规模航道建设已基本完成, 要实现规划目标, 增加航道里程和提高航道等级, 主要是挖掘“两横十八线”中的山区河流航道建设的潜力。山区河流高坝通航建筑物建设中存在水头大、水资源短缺的问题, 省水船闸具有广阔的前景。另外连接南北, 贯通水系的京杭大运河、广西平陆运河、湘桂运河、粤赣运河、江淮运河建设中, 省水船闸也将大有用武之地。

4 结语

1) 从省水船闸工作原理出发, 详细推导了省水船闸省水池面积、省水池级数与省水效率的关系。省水池面积越大, 级数越多, 省水效益越高; 但省水池与闸室面积比大于3或省水池级数超过3级时, 省水效率增加不显著。

2) 从省水船闸工作原理可见省水船闸既可降低船闸工作水头, 又节约航运耗水, 因此在欧洲、尤其是德国被广泛应用于运河航运建设中。目前我国省水船闸的实际应用并不多, 但其有广

阔的发展前景, 尤其是适用于船闸单级工作水头超高、过闸调度不繁忙以及水量很小或限制用水量的情况。所以应借鉴国外先进技术与经验, 推动和发展省水船闸的建设。

参考文献:

- [1] 吴澎. 中国内河航运发展的机遇与挑战[J]. 水运工程, 2010(2): 11-15.
- [2] 周玉华, 刘峰. 省水船闸初探[J]. 水运工程, 2006(10): 156-159.
- [3] 韩时琳, 黄东胜. 德国运河建设特点及启示[J]. 湖南交通科技, 2003(4): 103-104.
- [4] 交通部赴西德运河交流工程考察小组. 西德运河交通工程考察报告[R]. 北京: 交通运输部, 1978.
- [5] 宣科祥. 高水头船闸输水阀门的空穴问题研究及其改善措施[J]. 水利水运科学研究, 1990(2): 213-221.
- [6] 陈明栋, 杨忠超, 杨斌. 乌江银盘船闸输水系统选型研究[J]. 重庆建筑大学学报, 2006, 28(5): 30-34.
- [7] 杨忠超, 陈明栋, 杨斌. 乌江银盘省水船闸整体水力学模型试验研究[J]. 水利水运工程学报, 2010(2): 61-66.
- [8] 范惠生. 春天湖船闸的特点及设计创新[J]. 水利规划与设计, 2007(3): 53-56.

(本文编辑 武亚庆)

· 消 息 ·

海南定海大桥开建

10月25日, 横跨海南母亲河南渡江的重要交通枢纽——定海大桥正式开建。两年后, 南渡江上将“一桥飞架南北”, 连接两岸三市县海口、定安、澄迈。

定海大桥是海南“十二五”重点交通建设项目, 起点连接定安县环城南路西段, 跨越南渡江, 终点连接海口市秀英区东山镇马坡村, 路线长1.645 km, 其中桥梁全长1 106 m。该桥贯通环岛高速公路, 与海榆中线相衔接, 并与澄迈县金江、遂溪等镇连成四通八达的交通网络。

摘编自《中国交通报》