



大型省水船闸省水池布置形式研究*

纪懿桓¹, 阚得静², 汤建宏²

(1. 北部湾港股份有限公司, 广西南宁 530200; 2. 中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

摘要: 针对建设场地局限且上下游水位变幅较大时, 传统的省水船闸省水池布置形式(开敞式和封闭式)均不能较好地适应设计需求的问题, 进行省水池新的布置形式研究, 提出组合式布置的概念, 即多个省水池中的部分省水池相对另一部分省水池沿水平方向上错位设置, 且多个省水池中的部分省水池相对另一部分省水池沿垂直方向上也错位设置。实践证明, 采用该布置形式, 既能较好地适应狭窄的场地条件、又能适应上下游较大的水位变幅, 很好地满足设计需求。依托工程采用该布置形式并已进入施工建造阶段, 该技术可为类似条件的省水船闸设计提供参考。

关键词: 省水船闸; 省水池布置形式; 组合式

中图分类号: U641

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)01-00102-05

Layout of water-saving basins of large locks

Ji Yihuan¹, Kan Dejing², Tang Jianhong²

(1. Beibu Gulf Port Co., Ltd., Nanning 530200, China;

2. CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China)

Abstract: In response to the limited construction site and large fluctuations in upstream and downstream water levels, the traditional layout types (open and enclosed) of water-saving basins of locks cannot meet the design requirements well. A new layout type of water-saving basins is studied, and the concept of combined layout is proposed. That is, some water-saving basins are horizontally staggered relative to the other part, and some water-saving basins are also vertically staggered relative to the other part. By adopting this layout type, it can not only adapt to narrow site conditions but also adapt to large fluctuations in upstream and downstream water levels, which well meets the design requirements. This layout has been adopted in the support project and has entered the construction phase. This technology can provide reference for the design of water-saving shiplocks under similar conditions.

Keywords: lock with water-saving basin; layout of water-saving basin; combined type

省水船闸指建有省水池用于储存船闸泄放的部分水体作为下一闸次灌水之用, 具有节省通航用水功能的船闸。

我国对省水船闸的研究起源于近半个世纪以前, 1977年, 安徽省开始筹建我国第1座省水船闸——郑家岗船闸^[1], 该船闸一次能通过2艘300吨级驳船, 理论省水率80%。20世纪90年代, 省水船闸的定义范畴扩大, 除传统意义上的省水池储水方式以外, 双线船闸互灌互泄^[2]也算省水船闸

(理论省水率50%), 并在后来的工程实例中得到运用。进入21世纪, 我国开始较为系统地由省水船闸开展研究, 周玉华等^[3]、苏海滨^[4]、王健^[5]结合国外调研成果, 梳理省水船闸布置形式、分析省水船闸设计原理、计算省水池面积与省水率之间的关系。2008年, 国际航运协会船闸工作组报告中描述了德国Uelzen复线省水船闸的建设情况^[6], 并给出我国三峡工程省水船闸概念设计方案^[7]。2020年, 广西壮族自治区交通厅发布《省水船闸

收稿日期: 2024-04-07

*基金项目: 国家重点研发计划项目(2023YFC3206103); 广西科技重大专项项目(桂科AA23023034)

作者简介: 纪懿桓(1979—), 男, 博士, 正高级工程师, 从事水运工程设计研究管理工作。

设计指南》^[8], 该指南规定了省水船闸设计的术语和定义、基本规定、总体布置、输水系统。以往这些研究成果一般将省水池的布置形式归为两类, 即开敞式(分离式)和封闭式(整体式), 而实际工程实例中可能遇到这两类布置形式均不理想的情况, 给省水船闸的设计带来困扰。

本文结合工程实例, 探索一种新的省水池布置形式, 以更好地适应省水船闸的设计需求, 为后续我国的省水船闸建设提供参考。该项研究成果同时已获得国家知识产权局的实用新型专利证书^[9]。

1 传统的省水池布置形式及水位计算

如图 1、2 所示, 传统的省水池布置形式一般分为两类, 即开敞式和封闭式, 布置于船闸的一侧或两侧, 其中图 1c) 开敞式运用较少。

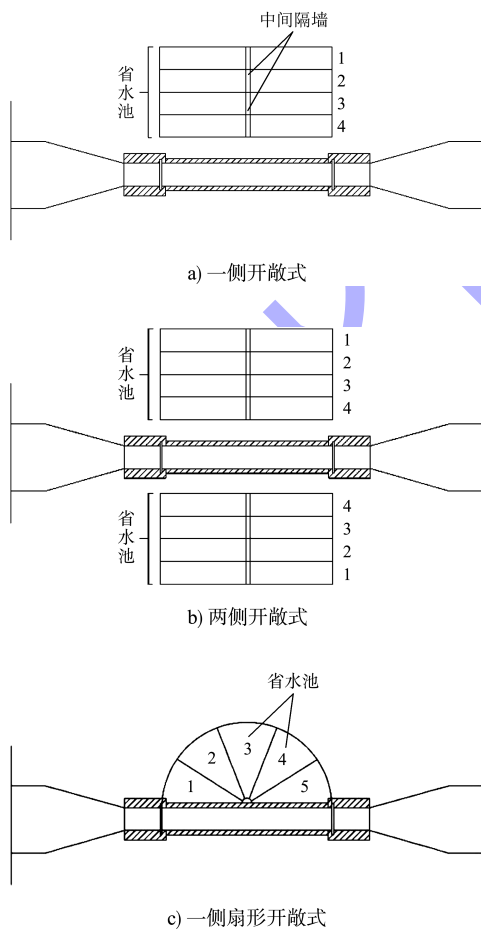


图 1 开敞式省水池布置形式

Fig. 1 Layout of opened water-saving basins

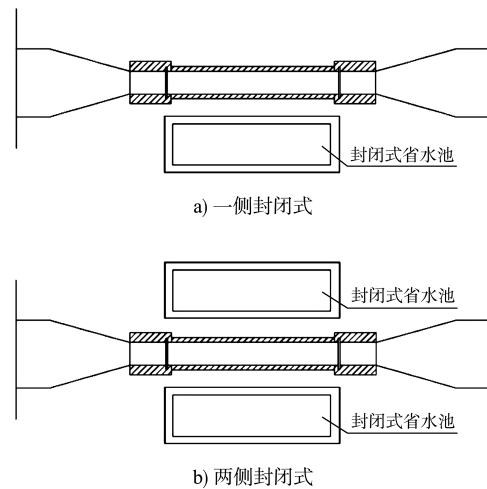


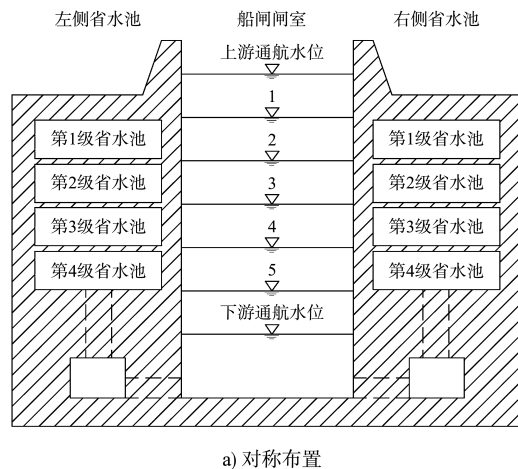
图 2 封闭式省水池布置形式

Fig. 2 Layout of enclosed water-saving basins

场地开阔或不受场地限制时, 选择高低错落的台阶型开敞式省水池较为经济合理; 当上、下游水位变幅较大, 相应省水池水位变幅也较大时, 一般宜采用开敞式布置。开敞式省水池一般采用平行闸室布置, 也可结合实际地形, 采用其他布置形状。

船闸水头较高且布置场地受限制时, 可采用水平分层的封闭式(有盖式)省水池, 分为对称布置和不对称布置两种形式, 见图 3。

省水船闸工作原理、水位划分的运行如图 4 所示, 船闸泄水时闸室里的水体泄入省水池进行临时存储, 船闸充水时, 再将省水池里的水体灌入闸室。



a) 对称布置

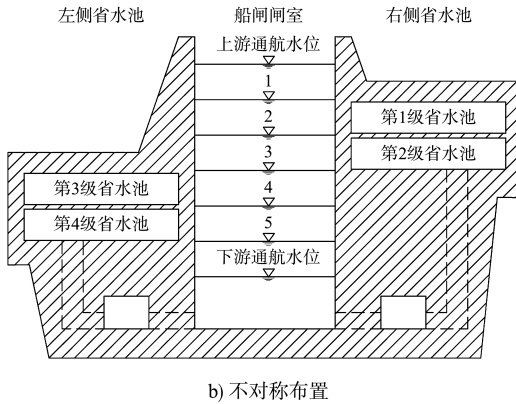


图3 水平分层的封闭式省水池布置

Fig. 3 Layout of horizontal layered enclosed water-saving basins

闸室与省水池之间的水头 $H_{c, wbs}$ 可按式(1)计算, 闸室和上、下游引航道之间的水头 H_{cL} 可按

式(2)计算。

$$H_{c, wbs} = H_c + H_{wbs} + \Delta H \quad (1)$$

$$H_{cL} = H_c + H_{wbs} + 2\Delta H \quad (2)$$

其中:

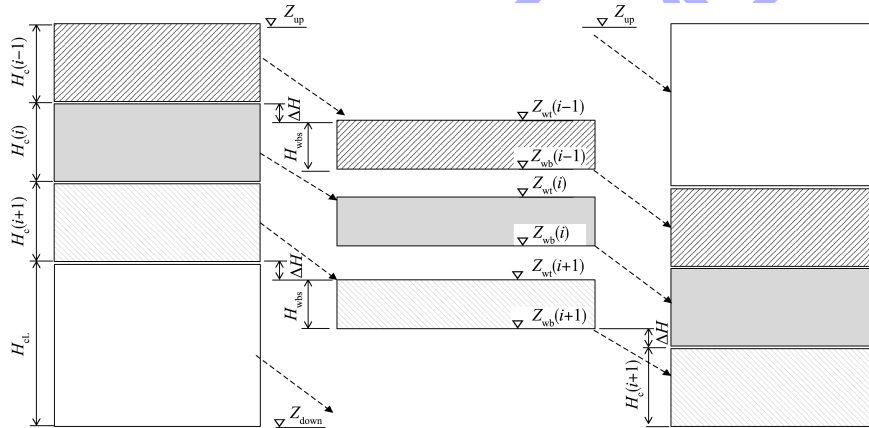
$$H_{wbs} = \frac{Z_{up} - Z_{down} - 2\Delta H}{k(n+1) + 1} \quad (3)$$

$$H_c = \frac{k(Z_{up} - Z_{down} - 2\Delta H)}{k(n+1) + 1} \quad (4)$$

式中: k 为每级省水池与闸室水域面积比; n 为省水池级数, 自上而下编号 $i=1, 2, \dots, n$; H_c 为每级省水池灌、泄水对应的闸室水位变幅, m ; H_{wbs} 为每级省水池水位变幅, m ; Z_{up} 为上游水位, m ; Z_{down} 为下游水位, m ; ΔH 为省水池灌、泄水结束后与闸室的水位差, m 。

当省水池与闸室面积不同时, 省水率 E_w 为:

$$E_w = kn/[k(n+1) + 1] \times 100\% \quad (5)$$



注: Z_{wl} 为闸室顶水位, m ; Z_{wb} 为闸室底水位, m 。

图4 省水船闸运行

Fig. 4 Operation of water-saving lock

2 工程概况

某工程位于我国南方某省, 为双线省水船闸, 每线船闸有效尺寸为 $300\text{ m} \times 34\text{ m} \times 8\text{ m}$ (有效长度 \times 有效宽度 \times 最小门槛水深)。由于水资源方面的需求, 该船闸应达到省水率 60% 左右, 设计考虑采用每线船闸设 3 个省水池的方案。

图 5 为工程场址地形。本工程位于分水岭之后的河谷地段, 场址区域呈喇叭口状, 越往上游可供布置船闸的场地越窄, 下坝线虽然盆地距离较宽, 但有村庄分布, 移民搬迁费用较高, 经综合比选选择上坝线, 可供布置双线船闸的宽度不足 400 m 。

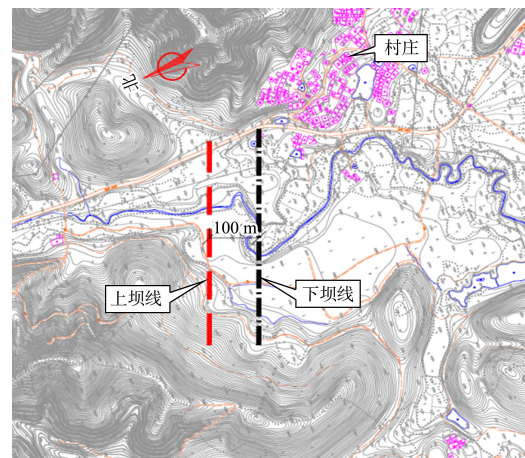


图5 工程场址地形

Fig. 5 Topographic map of engineering site

双线船闸运行的主要水位组合见表 1。

表 1 船闸运行水位组合

Tab. 1 water level combination when ship lock operating

水位组合	上游水位/m	下游水位/m	水头差/m	说明
最大水头	63.6	34.0	29.6	上游最高水位、下游最低水位
常水头	62.3	35.0	27.3	上游正常蓄水位、下游常水位
最小水头	57.8	34.0	23.8	上游最低水位、下游最低水位

3 省水池布置形式研究

3.1 传统布置形式

3.1.1 开敞式

该工程为双线船闸, 每线船闸配置 3 个省水池, 若采用开敞式布置, 则每线船闸的横断面如图 6 所示。由图可知, 若采用开敞式布置, 则在每线船闸的侧面需要很大的开阔场地逐个布置省水池, 初步测算双线船闸共需宽约 500 m 的空间, 而本工程场地宽度尚不足 400 m, 若采用此布置, 需大量开挖山体, 造成工程投资大幅上升。

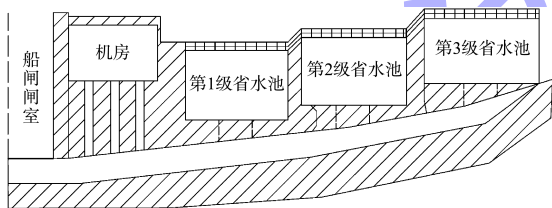


图 6 开敞式 3 级省水池横断面

Fig. 6 Cross section of opened 3-level water-saving basins

3.1.2 封闭式

若考虑将省水池布置成封闭式, 则双线船闸仅需 300 m 宽, 工程场地满足要求。但一般情况下封闭式省水池适用于上下游水位变幅较小的情况, 而本工程虽然下游水位变幅只有 1 m, 但上游水位变幅达到近 6 m, 计算各工况下省水池内的水位情况见表 2。

由表 2 可知, 1 池的水位在 49.1~57.3 m 之间变化, 2 池的水位在 44.1~51.0 m 之间变化, 3 池的水位在 39.0~44.9 m 之间变化。2 池和 3 池的最高水位分别比 1 池和 2 池的最低水位高, 即

水位存在重叠部分, 如果采用封闭式布置形式, 则需要增设补水和溢水设施, 一方面会导致补溢水阀门增加、廊道更加复杂、控制系统繁琐、工程投资增加, 另一方面当形成超灌超泄时会引入气蚀效应而造成廊道局部空化并降低其混凝土的使用寿命。

表 2 不同工况下封闭式省水池水位变化

Tab. 2 water level changes of enclosed water-saving basins under different conditions

工况	水位变化/m		
	上游 63.6 m 下游 34.0 m	上游 62.3 m 下游 35.0 m	上游 57.8 m 下游 34.0 m
1 池高水位	57.3	56.5	52.8
1 池低水位	52.8	52.4	49.1
2 池高水位	51.0	50.7	47.7
2 池低水位	46.6	46.6	44.1
3 池高水位	44.8	44.9	42.7
3 池低水位	40.3	40.8	39.0

由以上分析可知, 传统的开敞式或封闭式省水池布置形式均无法很好地适应工程需要, 导致工程投资或使用难度增加。

3.2 新的省水池布置形式

本工程场地宽度不足 400 m, 布置 1 个省水池有余、布置 3 个省水池不足, 因此考虑采用一种组合式的布置形式(既包含开敞式又包含封闭式), 平面上看布置 2 个省水池, 充分利用现有场地, 并将 1 池叠合到 3 池的上方, 如图 7 所示。

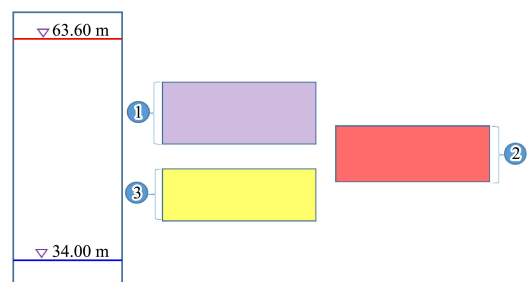


图 7 新的省水池布置形式

Fig. 7 New layout of water-saving basins

采用该组合式的布置形式, 一方面充分利用场地资源、不需要大量开挖山体, 另一方面适应大水头变幅的特点, 3 个省水池内的变化水位虽然

有所重叠,但2池独立布置,省水池之间的水位互不干扰、不需要另设补溢水装置。布置形式还有另一种变化,即2池布置在闸室左侧、1、3池布置在右侧,形成不对称布置。两种布置形式可分别命名为组合式同侧、组合式异侧,见图8。

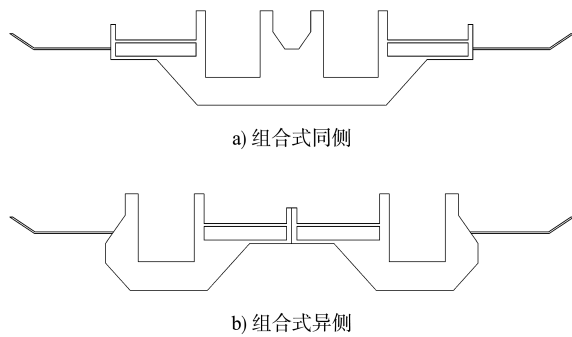


图8 组合式省水池布置形式

Fig. 8 Layout of combined water-saving basins

对于单线船闸,从输水系统角度考虑,异侧布置要优于同侧布置,且二者在工程占地、水工结构、工程投资方面的差异性不大,见表3。本工程为双线船闸,从图8的对比可以看出,同侧布置时两闸中心距74 m,上下游可采用共用引航道的形式减少工程占地,而异侧布置时两闸中心距达到153 m,引航道工程占地面积明显高于同侧布置;从水工结构方面看,同侧布置的中墩工程量略大,异侧布置的混凝土用量节省1.7%,但综合对比,异侧布置方案的工程总投资更高。

表3 组合式布置形式对比

Fig. 8 Comparison of combined layout types

布置形式	输水系统	两闸轴距/m	工程占地	水工结构	工程费用/亿元	推荐方案
组合式同侧	-	74	少	-	108.59	√
组合式异侧	略优	153	多	闸室节省1.7%	109.30	×

本工程的省水池设计最终采用组合式同侧布置形式,现已进入现场施工建造阶段。该项创新技术不仅获得了国家专利,而且写入正在修订的行业标准《船闸输水系统设计规范》^[10],成为继开敞式、封闭式之后的第3种省水池布置形式。

4 结论

1) 本文提出一种新的省水池布置形式,命名为组合式,即多个省水池中的部分省水池相对另一部分省水池沿水平方向上错位设置,且多个省水池中的部分省水池相对另一部分省水池沿垂直方向上也错位排列。

2) 采用组合式布置形式,既能较好地适应狭窄的场地条件、又能适应上下游较大的水位变幅,很好地满足设计需求。经综合比选,依托工程采用组合式同侧布置形式,该技术可为类似条件的省水船闸设计提供参考。

参考文献:

- [1] 杨裔轩,黄秀章.郑家岗省水船闸输水系统水力学试验[J].水利水运科学研究,1980(1):116-126.
- [2] 张宗周.双线船闸运行中的省水办法[J].水运工程,1994(5):147-148.
- [3] 周玉华,刘锋.省水船闸初探[J].水运工程,2006(10):156-159.
- [4] 苏海滨.双线双向省水运行船闸的设计体会[J].电力学报,2006,21(2):247-248,265.
- [5] 王健.省水船闸水力特性研究[D].重庆:重庆交通大学,2008.
- [6] Permanent International Association of Navigation Congresses. Uelzen II lock [R]. Brussels: PIANC-WG29, 2008: 1-9.
- [7] Permanent International Association of Navigation Congresses. High rise navigation lock [R]. Brussels: PIANC-InCom-WG29, 2008: 1-15.
- [8] 广西交通设计集团有限公司,重庆交通大学.省水船闸设计指南:DBJT 45/T 020—2020[S].南宁:广西壮族自治区交通运输厅,2020.
- [9] 吴澎,李中华,汤建宏,等.省水池结构及省水船闸:202320888550.6[P].2023-08-04.
- [10] 南京水利科学研究所,天津水运工程科学研究所.船闸输水系统设计规范:JTJ 306—2001[S].北京:人民交通出版社,2001.

(本文编辑 王传瑜)