

大藤峡水利枢纽单级船闸输水系统初步分析

覃业传¹, 宣国祥², 麦建清³, 李君²

(1. 广西西江开发投资集团有限公司, 广西 南宁 530028; 2. 南京水利科学研究院 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 通航建筑物建设技术交通行业重点实验室, 江苏 南京 210029; 3. 广西壮族自治区交通规划勘察设计研究院, 广西 南宁 530011)

摘要: 大藤峡水利枢纽通航建筑物拟采用单级船闸方案, 其设计水头及闸室规模均处于世界单级船闸前列, 输水系统水力学问题尤为突出, 成为制约其单级船闸方案是否可行的关键因素. 通过引入的相关输水能量指标参数, 将大藤峡船闸单级方案与国内外典型高水头船闸进行了水力学综合比较, 并对其引航道水流条件进行了初步分析. 结果表明: 国内外现有的船闸输水系统布置及取、泄水方案能够解决大藤峡船闸的相关水力学技术难题, 采用单级布置方案是可行的, 但需开展详尽深入的专题研究.

关键词: 大藤峡水利枢纽; 船闸; 水力学; 可行性

中图分类号: U641.3⁺2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-640X(2012)04-0071-06

1 工程概况

大藤峡水利枢纽是红水河十级综合利用的最后一个梯级, 坝址位于桂平市上游约 12 km 处的黔江河段, 是一座集防洪、水资源配置、发电、航运及灌溉为一体的综合水利枢纽. 大藤峡枢纽上游连接西南水运出海通道北线(都柳江)和中线(红水河), 下游连接西江航运干线, 上、下游之间有很强的经济互补性, 丰富的资源和大量的产品迫切需要水路运输. 因此, 大藤峡枢纽成为打造西江黄金水道、发展西江经济带的关键节点, 同时也是推动西部地区优化流域经济布局 and 产业结构的重要支撑, 其航运地位至关重要.

在中水东北勘测设计研究有限责任公司和中水珠江规划勘测设计有限公司于 2008 年联合编制的《大藤峡水利枢纽工程项目建议书》^[1]中, 建议大藤峡枢纽通航建筑物规模按照二级航道、最大过闸船舶(队)为 2 000 t 级的 II 级单级船闸设计, 闸室有效尺寸为 250 m×23 m×5.0 m, 船闸最大设计水头为 38.61 m(61.00 ~ 22.39 m), 年单向设计通过能力为 1 664 万 t(下行). 在上述项目建议书的基础上, 结合国家发改委批复及咨询评估意见, 广西交通规划勘察设计研究院于 2011 年 6 月编制完成了《大藤峡水利枢纽航运功能定位及 3 000 吨级船闸建设规模研究报告》^[2], 最终建议大藤峡枢纽通航建筑物仍采用单级船闸布置, 但闸室有效尺度调整为 340 m×34 m×5.8 m, 船闸最大设计水头增加至 40.94 m(61.00 ~ 20.06 m), 年单向设计通过能力达到 4 249.6 万 t(下行), 可满足设计水平年(2040 年)预测过闸货运量(下行 4 080 万 t)的要求.

无论上述何种方案, 大藤峡枢纽通航建筑物都拟采用单级船闸布置形式, 其工作水头处于世界单级船闸的最高水平, 闸室规模亦在高水头船闸中位居前列. 因此, 对大藤峡水利枢纽通航船闸采用单级布置方案带来的输水系统布置及其相关水力学问题进行技术可行性分析是十分必要的.

收稿日期: 2011-10-11

作者简介: 覃业传(1962-), 男, 广西陆川人, 高级工程师, 硕士, 主要从事水运工程建设、管理与研究工作.

E-mail: qinyechuan@263.net

2 国内外巨型和高水头船闸现状

随着内河航运事业的发展,通航船闸的尺度及水头逐渐增大,表 1 和表 2 列出了国内外部分巨型和高水头单级船闸的基本情况^[3-6].

表 1 国外部分巨型船闸特征统计

Tab. 1 Typical huge shiplocks abroad

序号	船闸名称	国别	闸室尺寸(长/m×宽/m)	水头/m
1	Berendrecht	比利时	500×68	5.35
2	Le Havre - Francois I	法国	401×67	8.00
3	Zandvliet	比利时	500×67	5.35
4	Wilhemshaven	德国	390×57	4.10
5	Panama Canal 3 rd Lock lane	巴拿马	427 ~ 488×55	9.00
6	Ijmuiden	荷兰	400×50	2.90
7	Charles de Gaulle	法国	364×50	6.70
8	Bristol	乌克兰	366×42.7	14.6

表 2 国内外部分高水头单级船闸特征统计

Tab. 2 Typical high head single-step shiplocks at home and abroad

序号	船闸名称	国别	闸室尺寸(长/m×宽/m)	最大水头/m	输水系统型式
1	Ust-Kamenogorsk	哈萨克斯坦	100×18	42.0	中间消能室/闸底长廊道
2	Walter Bouldin ¹	美国	192×25.6	39.6	等惯性
3	Zaporozje	俄罗斯	290×18	39.2	等惯性
4	Lajeado ²	巴西	210×25	37.3	等惯性
5	Tucumui(upstream lock) ³	巴西	210×33	36.5	等惯性
6	Tucumui(downstream lock) ³	巴西	210×33	35.0	等惯性
7	Carrapatelo	葡萄牙	92×12.1	34.5	等惯性
8	John Day	美国	205.7×26.2	34.5	闸底前后横支廊道
9	Pak Beng ²	老挝	120×12	34.42	等惯性
10	Valeira	葡萄牙	91×12.1	33.0	等惯性
11	Sobradinho	巴西	120×17	32.5	等惯性
12	Pavlovka	前苏联	115×15	32.0	闸底长廊道
13	Lower Granite	美国	205.7×26.2	32.0	等惯性
14	Ice Harbor	美国	205.7×26.2	31.4	闸底前后横支廊道
15	Lower Monumental	美国	205.7×26.2	31.4	闸底前后横支廊道
16	Little Goose	美国	205.7×26.2	30.8	闸底前后横支廊道
17	New Wilson	美国	183×33.6	30.5	闸底中部横支廊道
18	Promissao	巴西	142×12	30.3	等惯性
19	安古 ²	中国	120×12	37.65	等惯性
20	银盘 ³	中国	120×12	35.12	等惯性
21	万安	中国	175×14	32.5	闸底长廊道
22	乐滩	中国	120×12	29.1	等惯性
23	大化	中国	120×12	29.0	等惯性
24	大藤峡 ²	中国	340×34	40.94	等惯性

注:上标 1 为设计方案,船闸未建;2 为处于设计阶段;3 为处于建设阶段。

可见,巨型船闸主要分布在欧洲沿海国家及巴拿马运河上,且多为海船闸,水头一般都不大,但一次性输水水体较大。而超过 25 m 的高水头单级船闸则主要分布在前苏联、美国、巴西、葡萄牙及中国等国家,其中水头最高的 Ust-Kamenogorsk 船闸,虽采用了跌水消能室的布置,但水流自由跌落高度达 28 m,尽管设置了除气装置,但水流掺气仍十分严重,直接影响了闸室内船舶的停泊安全,且船闸充、泄水时间较长,运行效果不

太理想.由此可见,拟建的大藤峡船闸无论在工作水头还是闸室规模上都处于世界单级船闸前列,因此其设计中存在的相关问题尤其是水力学问题将尤为突出.

3 大藤峡船闸输水系统布置初步分析

船闸输水系统是完成闸室充泄水的主要设备,输水系统技术上是否可行,其标准主要为:是否能够在要求的时间内,完成闸室的充、泄水并进行充分消能从而满足船舶安全停泊要求.对于大藤峡船闸,其设计水头处于世界单级船闸的最高水平,现有的输水系统型式能否满足上述要求是单级布置方案能否成立的关键问题.为此引入3个指标参数,即:一次输水过程进入闸室的平均能量 E ,一次输水过程单位面积的平均能量 E_c 和一次输水过程的平均比能 E_p .

进入闸室的平均能量 E (功率)可以表示为:

$$E = gQ\Delta H = g \frac{HBL}{T} \frac{H}{2} \quad (1)$$

式中: g 为重力加速度; T 为输水时间; H 为水头; B, L 分别为闸室的长度和宽度.

考虑到高水头船闸的水流都是经过复杂的输水廊道进入闸室底部,出水廊道一般都布满闸室底部,这样将进入闸室的平均能量 E 除闸室平面面积就可以得到单位面积的平均能量 E_c ,即: $E_c = E/(BL)$.同时,输水水流经过闸室水体消能后作用于船舶,引起船舶的运动,因而使系船缆绳受力,因此定义一次输水过程的平均比能 E_p 为: $E_p = E_c/S$,其中 S 为闸室初始水深.

表3给出了国内外部分船闸一次输水的相关水力指标,其中包括了2座巨型船闸,表中已建船闸输水时间采用实际运行值,大藤峡船闸输水时间初步考虑在12~16 min之间.

表3 国内外部分船闸一次输水的相关水力指标

Tab.3 Typical hydraulic characteristics during one filling course of some shiplocks at home and abroad

序号	船闸名称	平均能量 E/kW	单位面积平均能量 $E_c/(\text{kW}\cdot\text{m}^{-2})$	平均比能 $E_p/(\text{kW}\cdot\text{m}^{-3})$	序号	船闸名称	平均能量 E/kW	单位面积平均能量 $E_c/(\text{kW}\cdot\text{m}^{-2})$	平均比能 $E_p/(\text{kW}\cdot\text{m}^{-3})$
1	Panama Canal 3 rd Lock lane	22 216	0.83	0.05	5	Zaporozje	55 571	10.65	1.94
2	Bristol	32 039	2.05	0.37	6	三 峡 (中间级)	94 644	9.28	1.86
3	Ust-Kamenogorsk	16 223	9.01	1.96	7	大藤峡 ($T=12$ min)	131 996	11.42	1.97
4	Walter Bouldin	46 675	9.50	1.98	8	大藤峡 ($T=16$ min)	98 997	8.56	1.48

由表可见:

(1) Panama Canal 3rd Lock lane 和 Bristol 船闸虽然规模巨大,但是无论是进入船闸的平均能量 E 还是单位平均能量 E_c 以及平均比能 E_p 都不大,因此对输水系统的要求不高,事实上这两座船闸的输水系统也不是最复杂的.

(2) 由于大藤峡船闸规模和水头都较大,一次输水平均能量 E 也较大,已建的三峡中间级闸室输水时与之相当.

(3) 从更能够反映对输水系统要求的单位面积平均能量 E_c 以及平均比能 E_p 可以看出:大藤峡船闸即使采用12 min输水时间,也与国内外已建高水头船闸相当,如采用16 min输水时间,则对输水系统的要求低于一些已建的高水头船闸.

详细分析表3中单位面积平均能量 E_c 数据可以发现:大藤峡船闸由于输水水体较大,一次输水进入闸室的平均能量 E 也较大,但是由于船闸闸室的平面尺度也较大,因此单位面积的平均能量 E_c 与其他已建高水头船闸相差不大.这类类似于枢纽泄水建筑物的单宽流量,泄水总流量可能很大,但并不表示它的单宽流量也一定较大,而对于泄水建筑物而言,单宽流量显然是最重要的参数.

同时分析表3中平均比能 E_p 数据还可以看到:由于我国新的船闸设计规范加大了船闸闸室的初始水深(同为3 000 t级船闸,三峡为5.0 m,而大藤峡则要求5.8 m),使得大藤峡船闸消能水垫层加大,平均比能

E_p 与其他已建高水头船闸基本一致,甚至若其输水时间采用 16min,其平均比能 E_p 将小于表中部分已建的高水头船闸。

综上所述,大藤峡船闸虽然规模较大、水头较高,但是对输水系统的水力指标要求与已建高水头船闸相当,因此,现有已建高水头船闸的输水系统型式基本可满足大藤峡船闸的要求。特别是如考虑适当延长输水时间后,解决其输水系统问题的难度将进一步降低,因而,输水系统问题不致成为大藤峡船闸采用单级方案设计中不可克服的难题。

4 大藤峡船闸取、泄水方案初步研究

船闸引航道平面尺度一般根据过闸船舶航行与停靠方式、进出闸要求进行计算和布置,而引航道深度则根据水位、船舶的吃水要求确定。有了上述基本尺度后,再进行其他因素的复核计算,其中包括船闸充泄水时引航道的水动力条件和指标,如不满足相关要求,则采用工程和技术措施。

对于低水头船闸,由于船闸输水流量不大,船闸充泄水时全部设置在引航道内,其水动力条件和指标可以满足。但对高水头船闸而言,由于其充泄水流量较大,除开敞式引航道外,水力条件和指标一般无法满足相关规范要求。

大藤峡船闸的输水最大流量可按式^[7]估计:

$$Q_{\max} = \frac{8k_p CH(1 - k_v)}{T(2 - k_v)^2} \quad (2)$$

式中: k_p 为校正系数; C 为闸室的水域面积; H 为水头; $k_v = t_v/T$, t_v 为输水阀门开启时间,取 $T = 12 \sim 16$ min, $t_v = 5$ min。上游最高和最低通航水位分别为 61.00 和 47.60 m,上游引航道底高程 40.00 m,引航道底宽 75 ~ 120 m;下游最低通航水位 20.06 m,下游航道底高程 14.26 m,引航道底宽 75 ~ 120 m,可以得到大藤峡船闸最大设计水头以及上游最低通航水位时的最大流量估算值(见表 4)。

表 4 大藤峡船闸输水最大流量和引航道水流条件估计

Tab. 4 Estimation of the maximum flow discharges and flow conditions in the approach channels of the Datengxia lock

位置	工 况	引航道最大流速/($m \cdot s^{-1}$)						
		底宽 75 m			底宽 120 m			
		取(泄) 水方案 1	取(泄) 水方案 2	取(泄) 水方案 3	取(泄) 水方案 1	取(泄) 水方案 2	取(泄) 水方案 3	
上游 引 航 道	最大设计水头 工况	水位组合 61.00 ~ 20.06 m; 工作水头 40.94 m; 最大流量 1 037 ~ 1 332 m^3/s	0.66 ~ 0.85	0.33 ~ 0.42	0.16 ~ 0.21	0.41 ~ 0.53	0.21 ~ 0.26	0.10 ~ 0.13
	上游最低通航 水位工况	水位组合 47.60 ~ 20.06 m; 工作水头 27.54 m; 最大流量 698 ~ 896 m^3/s	1.22 ~ 1.57	0.61 ~ 0.79	0.31 ~ 0.39	0.76 ~ 0.98	0.38 ~ 0.49	0.19 ~ 0.25
下游 引 航 道	最大设计水头 工况	水位组合 61.00 ~ 20.06 m; 工作水头 40.94m; 最大流量 1037 ~ 1332 m^3/s	2.38 ~ 3.06	1.19 ~ 1.53	0.60 ~ 0.77	1.49 ~ 1.91	0.74 ~ 0.96	0.37 ~ 0.48

注:1. 取(泄)水方案 1~3 分别指船闸取(泄)水全部、1/2 和 1/4 来自其上、下游引航道; 2. 按相关规范要求^[8],上游引航道最大流速不大于 0.5 ~ 0.8 m/s,下游引航道最大流速不大于 0.8 ~ 1.0 m/s。

由表 4 可见:现大藤峡枢纽船闸上、下游引航道布置下(底宽 75 m),由于船闸充泄水流量巨大,如果船闸充泄水全部布置在引航道内(取、泄水方案 1),其水流条件尤其是上游最低通航水位工况上游引航道流速,以及最大设计水头工况下游引航道流速都将远超过设计要求指标。而当采用部分旁侧取泄水布置或增大引航道底宽时可大大减小引航道内流速,且采用旁侧布置对改善引航道水流条件的效果更为明显,工程量也更为节省。所以,对于大藤峡这样规模较大、水头较高、上下游采用封闭式(限制式)引航道布置的船闸,必须

采取旁侧取、泄水布置型式以满足船闸及过闸船舶的安全运行.事实上,国内外几乎所有已建的高水头船闸都采用了这一布置型式.如美国的 Lower Granite 船闸^[9],采用部分旁侧取水和全部旁侧泄水的布置;巴西的 Tucuruí 船闸^[10],取泄水布置均采用了全部旁侧的布置;我国三峡船闸末级采用超长旁侧泄水廊道(长 1 380 m)布置^[11].

因此,根据表 4 的计算结果和国内外高水头船闸的成功经验,大藤峡船闸充、泄水方案宜采用旁侧取、泄水布置,同时可适当增大引航道宽度,以使引航道水流条件满足相关要求.

5 结 语

通过与国内外巨型及高水头船闸的综合比较,无论从输水系统水力指标方面还是从船闸取、泄水方案选择方面,现有技术均能够解决大藤峡单级船闸的相关水力学关键技术难题,输水系统布置和水力学问题不会成为制约大藤峡船闸采用单级布置的控制因素.但仍需开展相关的水力学专题研究,以更好地为设计、运行及管理提供科学依据,同时还可提高我国船闸建设领域的科技水平.

参 考 文 献:

- [1] 中水东北勘测设计研究有限责任公司,中水珠江规划勘测设计有限公司.大藤峡水利枢纽工程项目建议书[R].长春:中水东北勘测设计研究有限责任公司,2008.(China Water Northeast Investigation, Design & Research Co, Ltd, China Water Resources Pearl River Planning Surveying & Design Co, Ltd. Project proposal of Datengxia hydro-junction[R]. Changchun: China Water Northeast Investigation, Design & Research Co, Ltd, 2008. (in Chinese))
- [2] 广西壮族自治区交通规划勘察设计研究院.大藤峡水利枢纽航运功能定位及 3000 吨级船闸建设规模研究报告[R].南宁:广西壮族自治区交通规划勘察设计研究院,2011.(Guangxi Communications Planning Surveying and Design Institute. Report of the navigation function and construction scale of the 3000 DWT class shiplock of the Datengxia hydro-junction[R]. Nanning: Guangxi Communications Planning Surveying and Design Institute, 2011. (in Chinese))
- [3] PIANC. Final report of the international commission for the study of locks[R]. Brussels: PIANC, 1986.
- [4] PIANC. Innovation in navigation lock design[R]. Brussels: PIANC, 2009.
- [5] Panama Canal Authority. Proposal for the expansion of the Panama Canal—third set of locks project[R]. Panama City: Panama Canal Authority, 2006.
- [6] 李君.内消能工在船闸输水系统中的应用研究[D].南京:南京水利科学研究院,2007.(LI Jun. The application of interior energy dissipater in the filling and emptying system of navigation lock[D]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2007. (in Chinese))
- [7] 王作高.船闸设计[M].北京:水利电力出版社,1992.(WANG Zuo-gao. Navigation lock design[M]. Beijing: China Waterpower Press, 1992. (in Chinese))
- [8] JTJ 306-2001, 船闸输水系统设计规范[S].(JTJ 306-2001, Design code for filling and emptying system of shiplocks [S]. (in Chinese))
- [9] JNHNSON R L, PERKINS L Z, KUBO M M. Navigation lock for Lower Granite Dam Snake River, Washington, Hydraulic model investigations[R]. Portland: Army Engineer DIV North Pacific Bonneville, 1979.
- [10] 钮新强,宋维邦.船闸与升船机设计[M].北京:中国水利水电出版社,2007.(NIU Xin-qiang, SONG Wei-bang. Navigation lock and ship lift design[M]. Beijing: China WaterPower Press, 2007. (in Chinese))
- [11] 张瑞凯,胡亚安.三峡船闸末级闸首超长泄水廊道及阀门水力学试验研究[R].南京:南京水利科学研究院,2000.(ZHANG Rui-kai, HU Ya-an. Hydraulic experiment study of valve and extra long emptying culvert of the Three Gorges Lock's last chamber[R]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2000. (in Chinese))

Feasibility analysis of the filling and emptying system for Datengxia high head single-step shiplock

QIN Ye-chuan¹, XUAN Guo-xiang², MAI Jian-qing³, LI Jun²

(1. Guangxi Xijiang Development & Investment Group Co., Ltd., Nanning 530022, China; 2. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Key Laboratory of Navigation Structures, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China; 3. Guangxi Communications Planning, Surveying and Designing Institute, Nanning 530011, China)

Abstract: Single-step lock has been selected for the navigation structure of Datengxia hydroproject, and its water head and chamber dimension both rank in the top of the world's single-step locks, which makes its hydraulic problems of the filling and emptying system quite outstanding and become the key factor of its single-step plan's feasibility. Based on the incoming energy parameters, a comprehensive hydraulic comparison between the Datengxia single-step lock and other huge and high head locks at home and abroad is carried out in this paper. Besides, the flow conditions in the approach channels are also preliminarily analyzed. The research results indicate that the related hydraulic problems of the Datengxia lock can be solved with the state-of-the-art lock techniques, and the single-step plan for the Datengxia lock is feasible. However, detailed hydraulic studies are still needed before construction of the lock.

Key words: Datengxia hydro-junction; shiplock; hydraulics; feasibility

“十一五”国家科技支撑计划课题

“震损水库安全评估与应急处置技术研究”顺利通过验收

2012年5月14日,水利部国际合作与科技司在北京主持召开了由我院牵头承担的“十一五”国家科技支撑计划课题“震损水库安全评估与应急处置技术研究”成果验收会.验收专家组由水利部朱尔明教高、高安泽教高,清华大学张楚汉院士,水利部长江水利委员会郑守仁院士,武汉大学周创兵教授,黄河勘测规划设计有限公司宗志坚教高,中国科学院地理所刘高焕研究员,四川大学曹叔尤教授,北京工业大学王正宏教授,中冶集团建筑研究总院辛苦鸿博士等组成.

大坝中心副总工、课题负责人盛金保教高就该课题的研究情况、取得的成果与创新点以及实施应用情况作了汇报与发言.验收专家认为,课题综合运用实地调研、理论分析、系统开发等手段,针对汶川地震震损水库安全评估与应急处置中的关键问题展开研究,研究的目标明确、内容设置合理、技术路线正确,提交的成果报告与技术资料齐全、翔实,全面完成了课题任务书确定的研究任务,一致同意通过验收.

来自中国水利水电科学研究院、长江科学院、南京大学、四川农田水利局以及我院的20余名项目组成员参加了会议.

摘自南京水利科学研究院网站