



江西省新干航电枢纽船闸输水系统研究

于钦民¹, 张顺顺², 罗少桢³

(1. 江西省港航管理局, 江西南昌 330008; 2. 江西省航务勘察设计院, 江西南昌 330006;
3. 中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

摘要: 为了缩短新干船闸的输水时间, 提高船闸通过能力, 根据《船闸输水系统设计规范》和该船闸的特点, 确定输水系统形式; 通过水力学计算, 确定新干船闸输水系统的关键尺寸及输水系统的布置形式, 并通过输水效率、通过能力、工程造价等方面的比选, 合理确定输水系统。

关键词: 船闸; 输水系统; 设计

中图分类号: U 612

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)05-0094-06

Layout of filling & emptying system of Xingan hydro-junction in Jiangxi province

YU Qin-min¹, ZHANG Shun-shun², LUO Shao-zhen³

(1. Jiangxi Port and Shipping Authority, Nanchang 330008, China; 2. Jiangxi Navigational Investigation and Design Institute, Nanchang 330006, China; 3. CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China)

Abstract: In order to shorten the filling and emptying time of Xingan shiplock and improve shiplock capacity, in accordance with the *Design Code for Filling and Emptying System of Shiplocks* and characteristics of Xingan shiplock, we determine the type of the filling and emptying system. By hydraulic calculations, we determine the key size and layout of the filling and emptying system of shiplock. Based on the comparison of the water efficiency, capacity, cost, etc., we determine the filling and emptying system reasonably.

Key words: shiplock; filling and emptying system; design

新干航电枢纽工程位于赣江中下游吉安市, 推荐坝址位于三湖镇上游1.5 km, 是一座以航运为主, 兼有发电等综合效益的航电枢纽工程。航道及船闸等级为Ⅲ级, 水库总库容5.0亿m³, 电站装机容量120 MW。船闸近期通过能力385万t, 远期2 000万t。设计船型为一顶两艘千吨级驳船队, 设计船队尺寸为160 m × 10.8 m × 2.2 m (长 × 宽 × 吃水)。船闸有效尺度: 230 m × 23 m × 3.5 m (长 × 宽 × 门槛水深)。

1 设计参数

1.1 设计水位

新干枢纽船闸设计水位如表1。

表1 特征水位

	设计最高通航水位	设计最低通航水位	正常蓄水位	死水位
上游	34.93	28.94	32.50	32.00
下游	34.76	23.95		

1.2 船闸工程地质条件

进水口导墙、闸首、闸室建基面高程在10~15 m, 多为弱风化基岩, 岩体完整性较好。

2 船闸平面布置

船闸布置在左岸(主河槽位置), 船闸轴线与坝轴线垂直正交, 紧临泄水闸左侧布置, 上闸首位于坝轴线处, 为枢纽挡水建筑物的组成部分。

收稿日期: 2012-10-15

作者简介: 于钦民(1959—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事港口与航道工程管理。

分。船闸由上、下游引航道,上、下闸首及闸室组成,全长1 167 m。

3 输水系统选择

3.1 输水系统形式选择

根据《船闸输水系统设计规范》^[1]输水系统类型判别公式得:

$$m = \frac{8 \sim 10}{\sqrt{10.05}} = \frac{8 \sim 10}{3.17} = 2.52 \sim 3.15$$

m 值基本在2.5~3.5,可采用分散输水系统——第一类分散输水系统闸墙长廊道短支孔方案,也可采用具有局部分散输水效果的集中输水系统方案。因此,在输水系统计算及结构设计时,对上述两种输水系统形式进行比较。

3.1.1 分散输水系统

1) 阀门处廊道尺寸。

根据《船闸输水系统设计规范》^[1],输水阀门处廊道断面面积可按以下公式计算:

$$\omega = \frac{2C(\sqrt{H+d} - \sqrt{d})}{\mu T \sqrt{2g} [1 - (1 - \alpha)k_v]} \quad (1)$$

式中: ω 为输水阀门处廊道断面面积(m^2); C 为闸室水域面积, $C=5\ 888\ \text{m}^2$; H 为设计水头, $H=10.05\ \text{m}$; d 为惯性水头,取 $0.30\ \text{m}$; μ 为阀门全开时输水系统的流量系数,取 0.75 ; T 为闸室输水时间(s),取 $480\ \text{s}$; α 为系数,取 0.53 ; k_v 可取 0.75 ; g 为重力加速度,取 $9.81\ \text{m/s}^2$ 。由此可得阀门处廊道断面面积约为 $\omega=30.1\ \text{m}^2$

按留有余地的原则,初步确定输水阀门尺寸为 $2 \times 4.0\ \text{m} \times 4.0\ \text{m}$ (宽 $\times$ 高),总面积为 $32.0\ \text{m}^2$ 。

2) 主廊道以及闸室出水孔尺寸。

输水阀门处廊道断面面积确定后,在选择主廊道断面面积以及出水支孔断面面积时,有2个比值必须加以注意。即:

$$\alpha = \frac{\text{主廊道断面面积}}{\text{阀门处廊道断面面积}} \quad (2)$$

$$\beta = \frac{\text{出水支孔断面总面积}}{\text{主廊道断面面积}} \quad (3)$$

根据我国多数船闸的统计, α 值在1.25~1.31, β 值在0.95左右。因此,取主廊道断面(宽 $\times$ 高)为 $2\sim 4.5\ \text{m} \times 4.5\ \text{m}=31.92\ \text{m}^2$,闸墙每侧设30个侧支孔,分为3组,每组10孔,上游至下游孔口尺寸(宽 $\times$ 高)分别为 $0.80\ \text{m} \times 0.85\ \text{m}$, $0.74\ \text{m} \times 0.85\ \text{m}$, $0.68\ \text{m} \times 0.85\ \text{m}$,总面积为 $37.74\ \text{m}^2$,这样 α 、 β 值分别为1.26和0.93。

《船闸输水系统设计规范》^[1]规定出水孔间距宜为闸室宽度的1/4,因此确定出水支孔间距为 $23\ \text{m} \times 1/4 \approx 5.8\ \text{m}$,每侧布置30个出水孔,这样出水孔总长为 $30 \times 5.8\ \text{m}=174\ \text{m}$,约占闸室有效长度的75.6%。

3) 进、出水口布置。

进水口采用导墙上垂直多支孔布置,进口尺寸为 $2\sim 4 \times 3.0\ \text{m} \times 4.0\ \text{m}$ (总面积 $96.0\ \text{m}^2$),进水口底高程为 $24.0\ \text{m}$,淹没水深宜大于0.4倍水头。

输水系统布置见图1,主要特征尺寸见表2。闸室水力特征值见表3。

出水口采用格栅式消能室布置形式,出水口外设置消力池,并且为了进一步降低引航道流速,将引航道底高程由 $19.15\ \text{m}$ 浚深至 $18.45\ \text{m}$,加大下游引航道水深至 $4.0\ \text{m}$,这样下游引航道断面平均最大流速小于 $1.00\ \text{m/s}$ (表4)。

通过计算,输水阀门采用匀速6 min开启,设计输水时间约8 min,灌水流量系数为0.8,泄水流量系数为0.78。

3.1.2 集中输水系统

首先要确定输水阀门处廊道断面尺寸,根据《船闸输水系统设计规范》^[1]:

$$\omega = \frac{2C\sqrt{H}}{\mu T \sqrt{2g} [1 - (1 - \alpha)k_v]} \quad (4)$$

式中:流量系数 μ 取 0.78 ;闸室充水时间 T 取 $600 \sim 720\ \text{s}$; k_v 取 0.8 。



图1 分散输水系统布置(单位:m)

表2 闸墙长廊道侧支孔输水系统特征尺寸

部位	描 述	面 积/m ²	与输水阀门面积比
进水口	导墙上垂直4支孔进水，喉部高度不变、宽度分级收缩	2-4×3.0×4.0=96	3.00
充水阀门段廊道	充水阀门处廊道顶淹没水深2.9 m，门前通过垂直转弯与进水口相连接，门后通过垂直和水平转弯与闸室出水廊道相连接，同时将输水廊道宽度、高度由4.0 m扩大至4.5 m	2-4.0×4.0=32	1.00
闸室出水段廊道	通过水平和垂直转弯，上与充水阀门段廊道、下与泄水阀门段廊道相连接	2-4.5×4.5=40.5	1.26
闸室出水支孔	自上游向下游分3组，每组10孔，孔口尺寸分别为：0.80×0.85、0.74×0.85、0.68×0.85，间隔5.8 m，总长174 m，占闸室有效长度76.7%	2-10×0.85×(0.80+0.74+0.68)=37.74	1.18
消力槛	闸室内距离闸墙边1.0 m处各设一消力槛，槛高及宽均为0.35 m		
泄水阀门段廊道	通过水平和垂直转弯与闸室出水廊道连接，水平转弯调整廊道宽度，垂直转弯调整廊道高度；泄水阀门后廊道顶淹没水深5.0 m	2-4.0×4.0=32	1.00
出水口	引航道内：廊道出口面积放大1倍，与消能室相连，消能室内设挑流槛，顶部和正面各布置12组出水孔		

表3 闸室输水水力特性计算结果

项目	阀门开启时间/min	充水						泄水					
		充水时间/min	最大流量/(m ³ ·s ⁻¹)	阀门处廊道v _{max} /(m·s ⁻¹)	阀门后廊道最低压力/mH ₂ O	主廊道v/(m·s ⁻¹)	进口v _{max} /(m·s ⁻¹)	阀门开启时间/min	泄水时间/min	最大流量/(m ³ ·s ⁻¹)	阀门处廊道v _{max} /(m·s ⁻¹)	阀门后廊道最低压力/mH ₂ O	主廊道v/(m·s ⁻¹)
最大设计水头10.05 m	5~6	6.73 ~ 7.23	231.56 ~ 212.44	7.24 ~ 6.64	-0.16 ~ 0.12	5.72 ~ 5.25	2.41 ~ 2.21	4~6	6.82 ~ 7.75	232.35 ~ 198.03	6.89 ~ 6.40	-1.28 ~ -0.74	5.74 ~ 4.89
近期最大水头8.55 m	5~6	6.35 ~ 6.87	205.91 ~ 188.16	6.43 ~ 5.88	1.97 ~ 2.22	5.08 ~ 4.65	2.14 ~ 1.96	4~6	6.37 ~ 7.32	208.40 ~ 176.12	6.51 ~ 5.50	1.22 ~ 1.65	5.15 ~ 4.35
上游为死水位时水头9.55 m	5~6	6.60 ~ 7.12	223.18 ~ 204.49	6.97 ~ 6.39		5.51 ~ 5.05	2.32 ~ 2.13						
上游为最低通航水位时水头4.99 m	5~6	5.38 ~ 5.90	137.55 ~ 124.37	4.30 ~ 3.89		3.40 ~ 3.07	1.43 ~ 1.30						

表4 引航道断面最大平均流速

阀门开启时间/min	最大设计水头10.05 m		上游为死水位时水头9.55 m		上游为最低通航水位时水头4.99 m	
	上游引航道	下游引航道	上游引航道	下游引航道	上游引航道	下游引航道
5	0.61	0.97	0.64	0.97	0.76	0.97
6	0.56	0.90	0.58	0.90	0.69	0.90

由此可求得 $\omega=23.9\sim 27.6\text{ m}^2$ ，取阀门处廊道断面尺寸为2-3.5 m（高）×4.0 m（宽）=28 m²。

上闸首短廊道进水口采用顶面进水方式，顶部根据水流情况设置盖板或格栅。两侧短廊道进入闸室后以联接廊道相连，在廊道两侧设侧向出水口，出水口外下游侧设两道明沟消能，上游侧设一道消能明沟，同时利用帷墙正面出水，闸室出水段长度为20 m。下闸首采用侧面进、出水，出水口外设消力槛。上闸首输水系统布置见图2，主要特征尺寸见表5。船闸集中输水系统阀门建议

开启方式见表6，闸室输水时水力特征值见表7。

3.2 方案比较

两种输水形式的基本参数见表8。

两种输水形式在不同水头时船闸的灌、泄水时间见表9。

新干枢纽是赣江高等级航道的重要梯级，其船闸有效尺度230 m×23 m×3.5 m（长×宽×门槛水深），根据总体布置和船闸输水系统设计规范的有关规定及要求，并结合船闸的具体地质条件，认为该船闸采用闸墙长廊道侧支孔输水系统

表5 集中输水系统布置特征尺寸

闸首	部 位	描 述	面 积/m ²	与输水阀门面积比
上 闸 首	进水口	顶面进水，进口顶高程25.44 m	2-(0.6+0.6+1.0+1.0+1.5+1.5)×5.5=68.2	2.44
	充水阀门段廊道	紧接进口弯段	2-3.5×4.0（高×宽）=28	1.00
	廊道出口及联接廊道	出口弯段隔流墩与联接廊道中间隔墙相连，廊道内设挡水槛	2-2×3.5×2.30（高×宽）=32.2	1.15
	出水孔	联接廊道两侧各设高2.7 m宽0.34 m侧向出水孔18个，孔顶高程17.25 m，出水孔内侧顶部及侧面靠上游侧修圆，修圆半径0.1 m，出水孔中心间距1.2 m	2-18×2.7×0.34（高×宽）=33.05	1.18
下 闸 首	进水口	采用侧面进水口，进水口高3.5 m，宽5.5 m	2-3.5×5.5（高×宽）=38.5	1.375
	阀门段	紧接进口弯段	2-3.5×4.0（高×宽）=28	1.00
	出水口	侧面出水，出水口高3.5 m宽6.4 m，以隔流墩分隔成宽分别为3.3 m和3.1 m的两孔，出水口外设不对称消力槛	2-3.5×6.4（高×宽）=44.8	1.60

表6 集中输水系统阀门建议开启方式

船舶形式	充水阀门	泄水阀门
单列船队	VF1：480 s匀速	VE1：360 s匀速
双列船队	VF2： t_{v1} =960s， t_{v2} =480s， n_1 =0.35变速	VE2：420 s匀速

表7 集中输水系统闸室输水水力特征值

工况	编号	水头/m	阀门开启方式	T/min	$Q_{\text{max}}/(\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1})$	E_{max}/kW	$E_{p\text{max}}/(\text{kW}\cdot\text{m}^{-2})$	$v_{\text{max}}/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$
充水	AF11	10.05	VF1	10.18	165	9613	69.08	0.88
	AF12	10.05	VF2	12.50	147	7339	47.69	0.69
	AF21	9.55	VF1	10.02	159	8776	64.05	0.87
	AF22	9.55	VF2	12.35	141	6652	44.21	0.68
	AF31	8.55	VF1	9.68	146	7204	42.45	0.68
	AF32	8.55	VF2	12.00	129	5372	29.22	0.55
泄水	AE11	10.05	VE1	9.25	189	11316	47.20	2.34（0.86）
	AE12	10.05	VE2	9.72	176	10370	43.47	2.18（0.80）
	AE22	8.55	VE1	8.75	168	8481	33.47	2.08（0.64）
	AE23	8.55	VE2	9.22	156	7771	30.73	1.94（0.59）

注： t_v 为输水阀门开启时间， T 为输水时间， Q_{max} 为输水最大流量， E_{max} 为最大能量， $E_{p\text{max}}$ 为最大比能， v_{max} 为充水指闸室断面最大平均流速；泄水指下闸首出口断面最大平均流速，（）内为下游引航道最大断面平均流速。

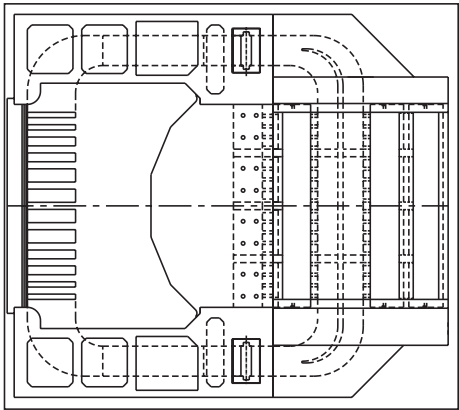


图2 集中输水系统上闸首布置

或具有局部分散输水效果的集中输水系统是可行的。通过对两种输水系统方案进行水力计算、分

析，分散输水系统和集中输水系统的闸室输水时间分别为8.0 min和12.0 min。

综上所述，分散输水系统具有输水时间短、水流条件好的优点，集中输水系统输水时间较长，但闸室结构相对简单。鉴于本工程位于赣江航运干线下游，货运量较大，为保证其通过效率和安全性，在船闸水力学角度看，建议新干船闸采用闸墙长廊道侧支孔输水系统。船闸输水系统的选择还将考虑船闸通过能力、工程量、投资等因素的比较后最终确定。

3.3 通过能力比较

通过能力计算比较在分散和集中两种输水形

表8 两种输水形式的基本参数

输水形式	进水口				阀门段廊道孔口 孔口 尺度/m	主廊道孔口 孔口 尺度/m	侧支孔孔口 孔口 尺度/m	出水口					
	上闸首		下闸首					上闸首			下闸首		
	淹没水深/m	孔口尺度/m	淹没水深/m	孔口尺度/m				淹没水深/m	孔口尺度/m	消能形式	淹没水深/m	孔口尺度/m	消能形式
分散输水	4.5	2-4×3.0×4.0	11.49	2-4×4	2-4×4	2-4.5×4.5	2-10×0.85×(0.80+0.74+0.68)				5.0	2-4×8	格栅式消能室
集中输水	4.5	2-(0.6+0.6+1.0+1.0+1.5+1.5)×5.5	7.44	2-3.5×5.5	2-3.5×4			4.4	2-2×3.5×2.3	格栅消能室加消力池	0.95	2-3.5×6.4	消力槛对冲消能

表9 两种输水形式船闸灌、泄水时间

灌泄水	水头/m	分散输水		集中输水	
		阀门开启时间/s	充泄水时间/min	阀门开启时间/s	充泄水时间/min
灌水	最大设计水头10.05	300~360	6.73~7.23	$t_{v1}=960$ $t_{v2}=480$ $n_1=0.35$ 变速	12.50
	近期最大水头8.55	300~360	6.35~6.87	480	9.68
	上游为死水位时水头9.55	300~360	6.60~7.12	$t_{v1}=960$ $t_{v2}=480$ $n_1=0.35$ 变速	12.35
	上游为最低通航水位时水头4.99	300~360	5.38~5.90		
泄水	最大设计水头10.05	240~360	6.82~7.75	420	9.72
	近期最大水头8.55	240~360	6.37~7.32	360	8.75

式以及不同的闸室长度的通过能力。船闸采用分散输水时常水头输水时间取7 min, 集中输水常水头输水时间取12 min。

通过仿真计算, 各方案单向通过能力计算见表10。

本船闸近、中、远期单向货运量预测值分

表10 各方案单向通过能力

闸室长度/m	2020年/万t		2030年/万t		2040年/万t	
	分散输水	集中输水	分散输水	集中输水	分散输水	集中输水
180	1 139	940	1 285	1 067	1 518	1 368
200	1 224	1 027	1 286	1 185	1 623	1 487
230	1 345	1 193	1 431	1 264	1 830	1 608
260	1 454	1 265	1 434	1 340	1 836	1 707

别为385,1 320,2 000万t。当船闸采用集中输水系统时, 船闸有效长度需取260 m, 才能满足2040年以前货运量的需要; 当船闸采用分散输水系统时, 船闸有效长度需取230 m, 能满足2040年以前货运量的需要; 2040年以后, 闸室有效长度为180~260 m时, 难以满足货运量的需要, 需要建设二线船闸。

3.4 水工建筑物比较

根据输水设计方案, 闸室分别按分散输水系统和集中输水系统要求布置, 进行比选。

分散输水系统闸室结构采用分离式和整体式结构进行比较, 分离式底板厚1 m, 侧墙底宽15 m,

墙高22 m; 整体式底板厚3.7 m, 侧墙宽9.5 m, 墙高22 m。集中输水系统闸室采用整体坞式结构, 闸室侧墙底宽3.0 m, 顶宽1.4 m, 闸室底板厚3.0 m。

两种输水系统闸室结构布置见图3, 主要工程量比较见表11。

3.5 综合比较

船闸闸室工程特性比较见表12。

经综合比较, 闸室有效长度均采用230 m时, 集中输水系统较分散输水系统投资约减少782万元, 占船闸工程投资的4%, 占枢纽工程总投资的0.3%, 但集中输水系统输水时间长、效率低, 通过能力较分散输水系统低12%, 并且不能

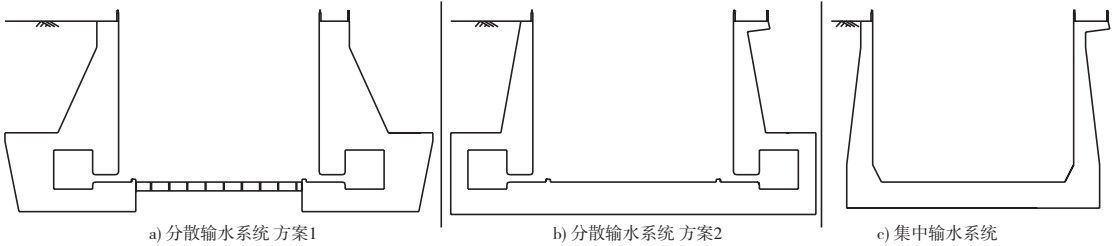


图3 闸室结构

表11 闸室结构方案主要工程特性

输水方式	闸室长度/m	混凝土/万m ³	钢筋/t	石方开挖/万m ³	砂卵砾石回填/万m ³	帷幕灌浆/m	造价初步测算/万元	与方案1投资差额/万元
分散输水系统方案1	230	7.30	1 693	13.57	8.92	3 361	4 183	0
分散输水系统方案2	230	6.44	2 712	12.44	8.97	0	4 357	174
集中输水系统方案3	230	5.04	2 376	10.17	8.95	0	3 401	-782
集中输水系统方案4	260	5.69	2 684	11.49	10.11	0	3 841	-342

表12 闸室各结构方案主要工程特性比较

输水方式	闸室长度/m	灌（泄）水时间/min	近/中/远期货运量/万t	近/中/远期通过能力/万t	闸室工程费用/万元	船闸总工程费用/亿元	优点	缺点
分散输水	230	7.0（7.5）	385/ 1 320/	1 345/1 431/1 830	4 183	2.02	输水时间短，过闸效率高；结构形式成熟	投资较大；混凝土用量大
集中输水	230	12.5（9.7）	2 000	1 193/1 264/1 608	3 401	1.94	结构整体性好；投资较小	输水时间长，过闸效率低；结构内力较大，含钢量高
	260	13.0（10.3）		1 265/1 340/1 707	3 841	1.98		

注：分散输水灌水采用阀门变速开启。

满足2030年后货运量的需求，在2030年左右需要新建二线船闸。如果集中输水系统闸室长度采用260 m，集中输水系统较分散输水系统投资约减少342万元，占船闸工程投资的2%，占枢纽工程总投资的0.1%，集中输水系统通过能力较分散输水系统低7%。在两种输水系统均满足闸室水流条件的前提下，分散输水系统船闸投资增加的比例远小于船闸通过能力提高的比例，并且作为赣江中下游枢纽通航建筑物，分散输水系统过闸效率高，较能适应货运量快速增长的需求，因此新干船闸推荐采用分散输水系统。

4 结论

1) 根据《船闸总体设计规范》^[2]和《船闸输水系统设计规范》^[1]的有关规定及要求，结合新干船闸具体地质条件，对该船闸可能采用的输水系

统形式进行了分析，考虑新干船闸要求输水时间较短、通过能力较高，因此采用分散输水系统闸墙长廊道短支孔方案是合适的。

2) 通过计算分析，确定了输水廊道的主要尺寸和输水阀门开启的时间；在此基础上进行了水力特性计算分析，结果表明：输水水力特性和各项指标已经满足设计和相关规范的要求。

3) 为了保证船舶安全快速过闸，充分发挥船闸的航运效益，建议船闸建成后试通航前应通过相应的调试，在保证安全、快捷的条件下，确定闸、阀门的运行方式。

参考文献：

[1] JTJ 305—2001 船闸总体设计规范[S].
[2] JTJ 306—2001 船闸输水系统设计规范[S].

（本文编辑 武亚庆）