



中等水头船闸输水系统选型分析探讨

康立荣, 张娟

(江苏省水利勘测设计研究院有限公司, 江苏 扬州 225009)

摘要: 以宝应船闸工程为例, 从输水系统水力特性、船舶停靠条件、工程投资等角度对集中输水及闸墙长廊道短支孔式分散输水形式进行分析比较, 选择采用分散输水形式, 为同类型船闸的设计提供借鉴。

关键词: 中等水头; 船闸; 输水形式; 选型

中图分类号: U 641.3²

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)02-0107-04

Exploration of filling and emptying system of medium-lift ship locks

KANG Li-rong, ZHANG Juan

(Jiangsu Surveying and Design Institute of Water Resources Co., Ltd., Yangzhou 225009, China)

Abstract: Taking Baoying lock engineering as a study case, this paper carries out a comparison between centralized and dispersed filling and emptying systems focusing on the characteristics of flow condition, berthing condition and project investment, and chooses the dispersed type. It provides some reference for the lock design of the same type.

Key words: medium-lift; ship lock; filling and emptying system; type selection

一般来说, 船闸输水系统选型应满足以下几项基本要求: 1) 灌水、泄水迅速; 2) 船舶、船队在闸室内和引航道内停泊安全; 3) 船闸各部位在输水过程中不至由于水流冲刷、空蚀、振动等造成破坏; 4) 工程造价经济合理; 等等。

输水系统作为船闸工程中的重要组成部分, 分为集中和分散输水系统两大类。集中输水系统布置于闸首范围, 水流经闸首集中流入闸室; 分散输水系统将输水设施分散布置于闸室, 水流通过分布于闸墙或闸室底板中的贯通长廊道以及支孔进出闸室。

长期以来, 我国中低水头船闸较多倾向于采用短廊道集中输水系统。据资料统计, 现有近1 000座船闸中, 除20多座12 m以上高水头船闸采用分散输水系统以外, 其他基本采用集中输水系统。而在国外如欧美等国, 要求输水系统尽量

缩短灌、泄水时间, 提高船舶过闸效率, 即使在3~10 m的中低水头也大量采用分散输水系统。

国内船闸输水系统大量采用集中输水系统的主要原因在于: 1) 原先我国内河水运行业发展偏缓, 船闸尺度较小, 对缩短船闸灌泄水时间要求不高; 2) 单纯性从工程造价角度出发, 认为短廊道集中输水闸室结构简单, 造价节省。

本文以宝应船闸扩容改造工程实践为例, 从输水效率、水力指标, 工程造价、船闸运行长期效益等几方面对集中输水系统和分散输水系统进行分析比选, 选择合适的输水形式, 进一步优化工程设计。

1 工程概况

现有宝应船闸位于宝应县城南, 沟通京杭运河和宝射河, 为盐宝线口门, 建成于1968年。船

收稿日期: 2012-07-03

作者简介: 康立荣(1969—), 男, 高级工程师, 主要从事水利、水运工程建设物结构设计工作。

闸规模为10.4 m × 140 m × 2.5 m (口门宽度 × 闸室长 × 槛上水深)。上下闸首均为整体坞式结构, 输水系统采用集中输水布置形式。由于受建设规模、输水时间影响, 经常出现堵航现象, 船舶待闸时间常需5 ~ 7 d, 成为制约航道运输能力的“瓶颈”。综合考虑到该闸现状, 根据盐宝航道运量, 结合船闸周边地形及限制条件, 确定新建宝应船闸工程规模180 m × 23 m × 4 m。

在输水系统设计方面, 该船闸承受单向水头, 设计水头7.8 m, 常年使用常水头6 ~ 7 m。设计水头与常水头相近是苏北承担沟通运河与里下河航道的口门船闸共同特点, 由此也对提高船闸输水系统效率、改善船舶稳条件提出了更高要求。

按JTJ 306—2001《船闸输水系统设计规范》^[1]中规定, 输水系统的类型可按判别系数*m*的大小选定:

$$m = \frac{T}{\sqrt{H}} \quad (1)$$

式中: *m*为判别系数; *H*为设计水头; *T*为闸室灌水时间。当*m* > 3.5时采用集中输水系统, 当*m* < 2.5时采用分散输水系统, 当2.5 < *m* < 3.5时应进行技术经济综合论证后选定。

初步按输水时间8 min计算, 本船闸*m*值为

2.86, 现分别采用集中输水系统方案及第一类分散输水系统—闸墙长廊道短支孔方案进行比选。

2 集中输水及分散输水系统布置

1) 集中输水系统方案。

本船闸设计水头7.8 m, 介于7~11 m, 按规范采用集中输水系统中复杂消能工进行消能布置。设计中, 结合京杭运河一、二船闸实践经验, 上闸首尽量利用帷墙高度, 采用反向进水环形水平、垂直跌水加对冲消能的较为复杂消能工形式, 水流经水平、垂直转弯进入封闭式帷墙消能室。廊道高度为3.5 m, 宽度4.0 m, 进水口、封闭式帷墙消能室连接段均采用喇叭口布置形式。阀门布置于廊道进水口与垂直转弯段之间, 阀门处廊道断面面积按规范采用(2)式计算:

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

式中: ω 为输水阀门处廊道断面面积 (m²); *C*为闸室水域面积 (m²); *H*为设计水头 (m); μ 为阀门全开时输水系统的流量系数; *T*为闸室输水时间 (s); α 为系数; *k_v*为系数取0.6~0.8; *g*为重力加速度 (m/s²)。经计算, 阀门断面尺寸为4.0 m × 3.5 m(宽 × 高)。上闸首结构见图1。

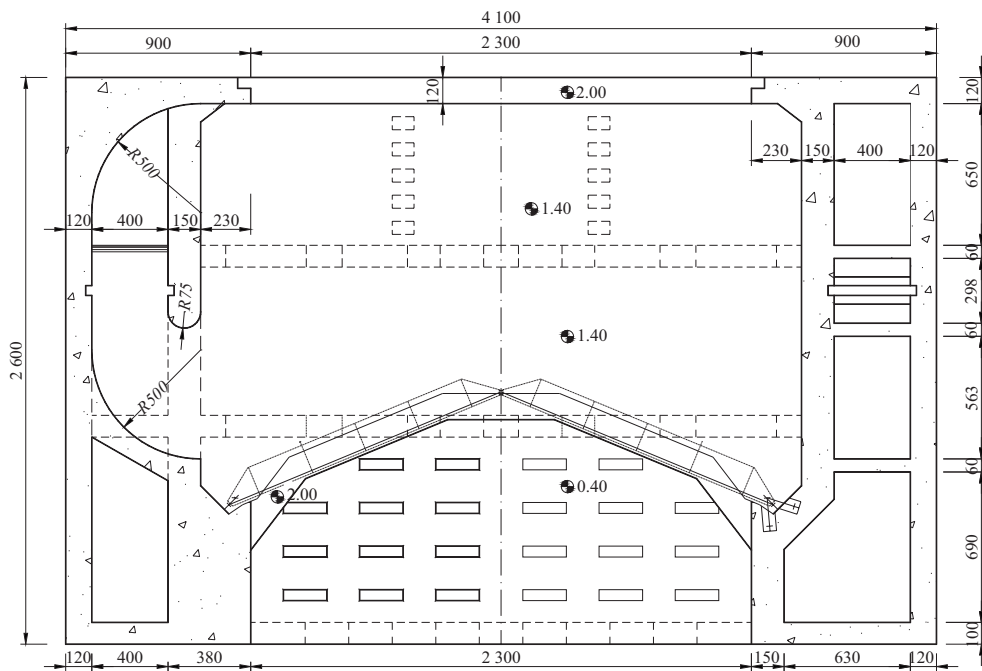


图1 集中输水系统上闸首平面

2) 分散输水系统方案。

采用分散输水系统中构造较为简单的第一类分散输水系统——闸墙长廊道短支孔方案。上闸首采用正面进水后, 转90°弯后, 通过设在闸首边墩底板上的输水廊道进入布置在闸室段的输水廊道, 沿程经侧支孔出水进入闸室, 与闸室共同组成闸墙长廊道输水系统, 阀门处廊道断面面积按规范采用下式计算:

$$\omega = \frac{2C(\sqrt{H+d} - \sqrt{d})}{\mu T \sqrt{2g} [1 - (1 - \alpha)k_v]} \quad (3)$$

式中: d 为惯性水头 (m), 其他参数含义与 (2) 式同。分散输水系统阀门廊道面积计算中 k_v 系数取 0.4 ~ 0.6; 小于集中输水系统中 k_v 取值 0.6 ~ 0.8, 可大大减小阀门输水廊道尺寸, 取用 3.5 m × 3.0 m

(宽 × 高), 阀门廊道面积减少 30%。

闸墙廊道短支孔输水系统充、泄水时水流经设置于中短支孔分散进出闸室, 本工程闸室净宽 23.0 m, 长 180 m, 分为 10 节。闸室采用整体结构, 闸室墙临土侧下部布置空箱廊道, 上部扶壁式结构。闸室廊道空箱尺寸为 3.0 m × 3.5 m (高 × 宽)。闸墙每侧设 24 个短支孔, 分为 3 组, 自上游至下游孔口尺寸 (宽 × 高) 分别为 0.65 m × 0.85 m, 0.60 m × 0.85 m, 0.55 m × 0.85 m, 以改善输水初期及输水后期短支孔出水口出流均匀性, 降低水流惰性力影响。短支孔出水范围总长 138.0 m, 占闸室有效长度 76.7%。工程上闸首及闸室结构见图 2, 3。

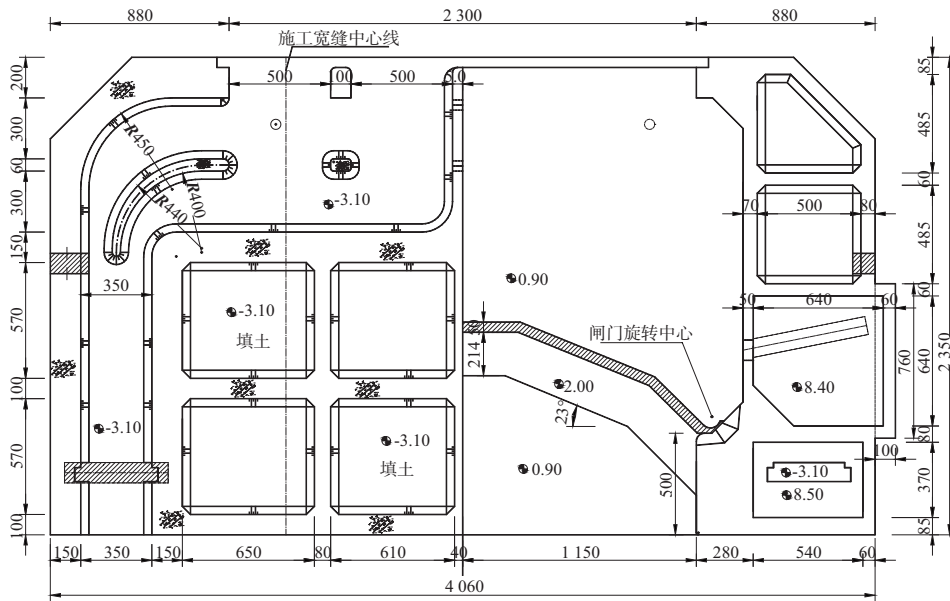


图2 分散输水系统上闸首结构平面

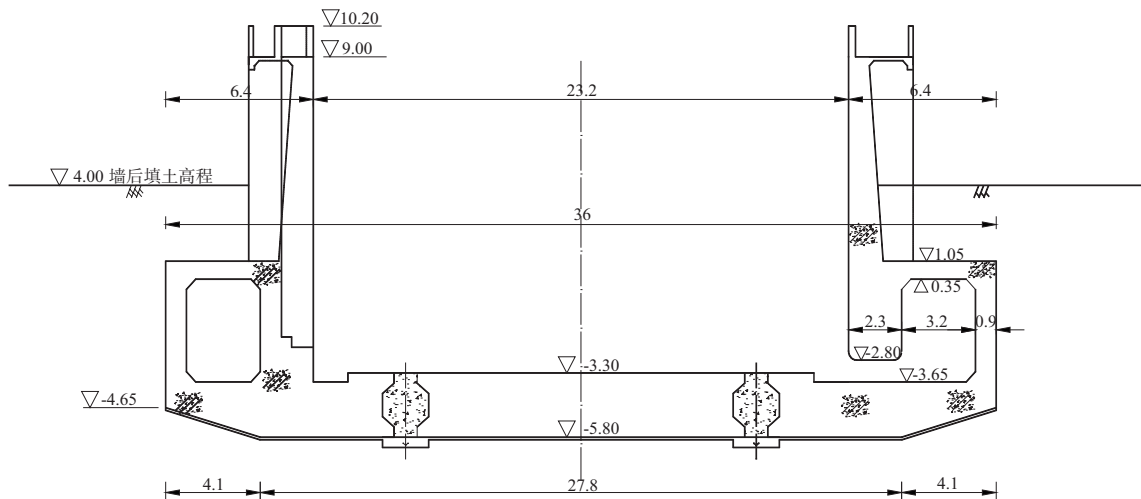


图3 分散输水系统闸室结构剖面

3 水及分散输水系统方案比较

1) 输水系统水力特性^[2]。

设计水头7.8 m工况下,分散输水上闸首灌水阀门开启时间360 s,闸室充水时间454 s;下闸首泄水阀门开启时间300 s,闸室泄水时间分别为458 s。充水廊道进水口平均流速2.08 m/s,上游引航道断面最大平均流速0.48 m/s。闸室泄水最大流量125.3 m³/s,闸墙廊道最大断面平均流速4.89 m/s,下游引航道断面最大平均流速0.83 m/s,各水力特征值均满足规范要求。同样工况下,集中输水系统充水阀门开启时间 T_v 为400 s,闸室输水时间 T 为510 s,略超480 s的原先设定输水时间。

比较可知,在闸室灌泄水时间上,尽管适当缩小了阀门廊道面积,分散输水系统闸室灌泄水时间仍节省10%以上。

2) 船舶停靠条件。

虽然目前还无法对船舶停靠条件进行理论分析,但不可否认,集中输水系统由于水流在闸首附近集中进入闸室,充水初期较强的非恒定波浪运动导致对船舶产生较大的波浪作用力,充水中期较大的水流能量,易引起较强的局部水流作用力,在闸室内必须设置一定长度镇静段。从目前已建船闸常年运行中也可发现,在7~8 m水头工况下,闸室内水面波动较大,近闸首处水流掺气及紊动强烈,在对冲消能不充分的情况下,某船闸还曾发生因底流流速过大,水面翻滚,近闸首处

船舶反向向上闸首漂移问题。

与集中输水相比,分散输水系统闸室灌泄水时,水流沿闸室全长进行,水力条件较好。与已建尺度和输水系统形式基本相同的广西桂平一线船闸进行类比分析^[2]:宝应船闸船舶吃水与闸室初始水深比值、闸室水位平均上升速度及闸室水位最大上升速度均小于桂平一线船闸,说明前者较后者消能更为充分,水流引起的动水作用力小于后者,可认为宝应船闸闸室船舶停泊条件满足要求。

3) 闸室有效停泊面积^[3]。

新建船闸位于京杭运河与盐宝航道交接处,夹角基本成90°正交。受特殊地形条件限制,上闸首距京杭运河航道边线直线距离仅在300 m左右,下闸首闸上公路桥为宝应城区对外交通重要干道。经多方案综合比选,新建船闸闸室总长180 m,因此闸室内水面尺寸较为宝贵。采用分散输水闸室内可不再设置10 m长镇静段长度,闸室有效停泊面积增加230 m²,尽管停泊面积增加仅为6%,但在通过能力方面,有效长度为180 m时,闸室内可增加3×1 000 t, 2×1 000+500 t, 2×500 t+2×300 t等船型组合,年通过能力增加13.1%,船闸过闸效率提高明显。

4 工程造价

在工程造价方面,2种输水系统布置形式主要结构工程量及投资^[4]见表1。

表1 2种输水系统布置形式主要结构工程量及投资

工程部位	类别	分散输水		集中输水	
		工程量	总价/万元	工程量	总价/万元
上下闸首	土方开挖/100 m ³	417.2	62.58	751.2	112.68
	土方回填/100 m ³	216.2	29.36	305.9	41.54
	底板混凝土/10 m ³	795.8	388.35	899.9	439.15
	边墩混凝土/10 m ³	461.5	294.44	654.0	417.25
	钢筋/t	666.6	453.29	854.7	581.20
闸室	土方开挖/100 m ³	1 077.9	161.69	892.7	133.91
	土方回填/100 m ³	624.3	84.78	670.6	91.07
	底板混凝土/10 m ³	1 687.3	823.40	1 376.1	671.54
	边墩混凝土/10 m ³	1 269.9	810.18	967.8	531.32
	钢筋/t	1 463	994.84	1 171.9	796.89
总投资/万元		4 102.91		3 816.55	