

ICS 93.140

P 67

SL

中华人民共和国水利行业标准

SL 161. 2—2013

替代 SL 161. 2—95

船闸水力模拟技术规程

Technical regulation of modelling for
hydraulics of shiplocks

2013-09-17 发布

2013-12-17 实施



中华人民共和国水利部 发布

<https://www.slzjxx.cc>
水利造价信息网

中华人民共和国水利部

关于批准发布水利行业标准的公告
(坝区航道水力模拟技术规程、
船闸水力模拟技术规程)

2013 年第 47 号

中华人民共和国水利部批准《坝区航道水力模拟技术规程》
(SL 161.1—2013) 和《船闸水力模拟技术规程》(SL 161.2—
2013) 为水利行业标准，现予以公布。

序号	标准名称	标准编号	替代标准号	发布日期	实施日期
1	坝区航道水力模拟技术规程	SL 161.1—2013	SL 161.1—95	2013.9.17	2013.12.17
2	船闸水力模拟技术规程	SL 161.2—2013	SL 161.2—95	2013.9.17	2013.12.17

水利部

2013 年 9 月 17 日

中华人民共和国水利部

水利部水利水电工程造价定额编制委员会
水利部水利水电工程造价定额编制委员会
(水利部水利水电工程造价定额编制委员会)

一九九九年一月

水利部水利水电工程造价定额编制委员会
(水利部水利水电工程造价定额编制委员会)
水利部水利水电工程造价定额编制委员会

序号	名称	单位	数量	单价	合价
1	人工	工日	100	10.00	1000.00
2	材料	立方米	100	100.00	10000.00
3	机械	台班	100	100.00	10000.00

<https://www.slzjxx.com>
水利造价信息网

前 言

根据水利部水利行业标准制修订计划，按照《水利技术标准编写规定》(SL 1—2002)的要求，修订《船闸水力模型试验规程》(SL 161.2—95)。

本标准共9章11节69条和2个附录，主要技术内容有：船闸输水系统、输水阀门、工作闸门模型试验的相似准则，试验设备与量测仪器，模型设计，模型制作与安装，试验内容与要求，试验资料整理与分析 and 船闸水力数值模拟，明确了成果报告编写的内容和要求。

本次修订的主要内容有：

- 对原规程“总则”一章的内容进行补充和明确；增加“船闸阀门水力学模型试验”相关内容。
- 增加了“船闸输水水力特性数值模拟”一章；对原“试验设备和量测仪器”一章的内容进行补充完善。
- 对其他章节的内容进行补充或修订。

本标准为全文推荐。

本标准所替代标准的历次版本为：

- SL 161.2—95

本标准批准部门：中华人民共和国水利部

本标准主持机构：水利部水利水电规划设计总院

本标准解释单位：水利部水利水电规划设计总院

本标准主编单位：南京水利科学研究院

本标准出版、发行单位：中国水利水电出版社

本标准主要起草人：胡亚安 李 云 宣国祥 宗慕伟
李中华 黄 岳 严秀俊 李 君

本标准审查会议技术负责人：江耀祖

本标准体例格式审查人：陈 昊

目 次

1 总则	1
2 相似准则	3
3 试验设备与量测仪器	4
3.1 试验设备	4
3.2 量测仪器	4
4 模型设计	6
4.1 基本资料	6
4.2 模型几何比尺	6
4.3 模型范围	6
5 模型制作与安装	8
6 试验内容与要求	10
6.1 船闸输水系统水力学整体模型试验	10
6.2 船闸输水系统水力学局部模型试验	10
6.3 船闸输水阀门水力学模型试验	11
6.4 工作闸口水力学模型试验	12
7 试验资料整理与分析	13
8 船闸水力数值模拟	16
8.1 一般规定	16
8.2 船闸输水水力特性数值模拟	16
9 报告编写	18
附录 A 船闸输水系统模型缩尺影响校正方法	19
附录 B 船闸输水廊道换算长度计算	21
标准用词说明	22
条文说明	23

目 次

1 总则	1
2 相似准则	3
3 试验设备与量测仪器	4
3.1 试验设备	4
3.2 量测仪器	4
4 模型设计	6
4.1 基本资料	6
4.2 模型几何比尺	6
4.3 模型范围	6
5 模型制作与安装	8
6 试验内容与要求	10
6.1 船闸输水系统水力学整体模型试验	10
6.2 船闸输水系统水力学局部模型试验	10
6.3 船闸输水阀门水力学模型试验	11
6.4 工作闸口水力学模型试验	12
7 试验资料整理与分析	13
8 船闸水力数值模拟	16
8.1 一般规定	16
8.2 船闸输水水力特性数值模拟	16
9 报告编写	18
附录 A 船闸输水系统模型缩尺影响校正方法	19
附录 B 船闸输水廊道换算长度计算	21
标准用词说明	22
条文说明	23

1 总 则

1.0.1 为规范船闸水力模拟研究的方法和技术要求，提高研究成果的科学性、准确性和可靠性，编制本标准。

1.0.2 本标准适用范围为：

1 船闸水力学模型试验。包括输水系统水力学整体模型试验、输水系统水力学局部模型试验、输水阀门水力学模型试验、工作闸门水力学模型试验。

2 船闸输水系统水力特性数值模拟。

1.0.3 船闸水力模拟应根据工程建设的要求及问题的性质，采用不同类型的模型试验或数值模拟。必要时应同时进行模型试验和数值模拟计算。

1 当研究输水系统设计的合理性时，应采用输水系统水力学整体模型试验。

2 研究输水系统进出水口、分流口和消能设施等输水系统局部体型和难于在整体模型上解决或确定的问题时，可采用输水系统水力学局部模型试验。

3 研究输水阀门工作条件时，可采用输水阀门水力学模型试验。输水阀门水力学模型试验可分为非恒定流常压模型试验、恒定流减压模型试验、非恒定流减压模型试验和门楣切片模型试验。

4 研究闸门动水阻力矩及运行方式时，可采用工作闸门水力学模型试验。

1.0.4 船闸水力模拟应编制研究大纲。研究大纲应包括下列内容：

- 1 项目概况。
- 2 研究目的。
- 3 基本资料。

- 4 研究内容和技术要求。
- 5 依据的技术标准。
- 6 研究方法和技术路线。
- 7 工作进度计划、预期成果目标和提交的成果。
- 8 项目负责人及参加人员职责。

1.0.5 船闸水力模拟研究成果应满足技术要求，并具有合理性和可靠性。

1.0.6 本标准的引用标准主要有以下标准：

《水工（常规）模拟试验规程》（SL 155）

《水流空化模型试验规程》（SL 156）

《掺气减蚀模型试验规程》（SL 157）

《水工建筑物水流压力脉动和流激振动模型试验规程》（SL 158）

《闸门水力模型试验规程》（SL 159）

1.0.7 船闸水力模拟技术除应符合本标准规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

3 试验设备与量测仪器

3.1 试验设备

3.1.1 船闸水力学模型试验的基本设备应包括供回水系统、量水设备等。其要求应遵循 SL 155 的规定。

3.1.2 船闸水力学模型试验的专用设备及要求有：

1 升降式平水槽：升降式平水槽溢流长度应满足船闸灌泄水最大流量的溢流要求。

2 恒定流和非恒定流减压箱：恒定流试验的减压箱应遵循 SL 156 的规定；非恒定流减压箱在上下游水位变化过程中，箱体各部位真空度应保持不变。

3 阀门门楣切片模型试验设备：阀门门楣切片模型试验设备应满足高压和高流速的要求。

4 输水阀门和工作闸门启闭机及控制系统。

3.2 量测仪器

3.2.1 恒定流试验物理量的量测仪器应遵循 SL 155 的规定，非恒定流物理量的测量还应采用下列仪器：

1 水位变化测量采用自动跟踪水位计、超声波水位计、电容式波高仪、电阻式波高仪或压力传感器等。

2 流速流向测量采用旋桨流速仪、舵叶跟踪式流速流向仪、激光流速仪、粒子成像流速仪、电磁流速仪、超声多普勒流速仪或毕托管等。

3 管道中非恒定流流量测量采用电磁流量计或超声流量计。

4 船舶缆绳、阀门吊杆、闸门推拉杆等总力测量采用缆绳拉力仪、测力环、拉压传感器及应变计等。

5 时均及脉动压力测量采用压力传感器。

6 流激振动测量采用加速度传感器。

- 7 阀门空化噪声特性测量采用水听器。
- 3.2.2 船闸水力学模型试验的其他仪器可采用动态应变仪、滤波器、电荷放大器、电压放大器和示波器等。
- 3.2.3 船闸水力学模型试验自动数据采集处理系统性能应稳定，精度、采样频率和容量应满足试验要求。
- 3.2.4 测量仪器的选型应满足精度、量程和稳定性的要求。
- 3.2.5 测量仪器应在检验合格后使用，并在试验前后进行检查标定。仪器的检定周期应按国家或行业的有关规定执行。



<https://www.szjxx.cc>
水利造价信息网

4 模型设计

4.1 基本资料

- 4.1.1 船闸总体布置资料应包括船闸主体、引航道及与船闸相关的枢纽布置图。
- 4.1.2 船闸输水系统、阀门和工作闸门资料应包括以下内容：
- 1 各种工况的上下游水位及组合、输水时间、闸阀门启闭方式等设计资料。
 - 2 输水系统平面布置图、纵横剖面图、消能工和进出水口等细部大样图。
 - 3 输水阀门和工作闸门结构图。
 - 4 输水阀门和工作闸门启闭系统布置图。
- 4.1.3 当船闸采用旁侧取水或泄水时，尚应包括船闸取水口和泄水口处的水位资料。
- 4.1.4 船舶资料应包括设计船舶的吨位、线型图、方形系数、排水量、吃水、重心位置及船队的排列方式。

4.2 模型几何比尺

- 4.2.1 船闸输水系统水力学整体模型几何比尺宜为 20~30。
- 4.2.2 船闸输水系统水力学局部模型几何比尺宜为 10~20。
- 4.2.3 船闸输水阀门水力学模型几何比尺宜为 10~20。
- 4.2.4 船闸输水阀门门楣切片模型几何比尺应为 1。
- 4.2.5 船闸工作闸门水力学模型几何比尺宜为 10~30。
- 4.2.6 船闸引航道水力学模型几何比尺宜为 30~80。

4.3 模型范围

- 4.3.1 研究输水系统布置时，模型范围应包括上下闸首、闸室、进水口和出水口及附近水域。

4.3.2 船闸水力学局部模型范围的确定应符合下列规定：

1 研究集中输水系统上下闸首及消能工布置时，模型范围应包括闸首及相邻的 6 倍以上闸首口门宽度的闸室、引航道段。

2 研究分散输水系统上闸首进水口或下闸首出水口布置时，模型范围应包括闸首及相邻的 6 倍以上闸首口门宽度的闸室、引航道段。

3 研究分散输水系统分流口或支廊道断面尺度及出水口布置时，模型范围应包括分流口及前后 10 倍以上支廊道宽度的廊道段或支廊道前 10 倍以上支廊道宽度的廊道段。

4.3.3 输水阀门水力学模型范围应包括阀门段及前后 10 倍以上阀门处廊道高度的输水廊道。研究非恒定流的阀门水力学模型，阀门前后的廊道换算长度和通过该阀门输水的闸室水域面积应与原型相似。门楣切片模型的切片宽度可取 5 倍的门楣最小缝隙尺寸，模型进口和出口段应具有足够的长度，保证进出水流平顺。

4.3.4 工作闸门水力学模型范围应包括闸首及上下游 5 倍以上闸首口门宽度的水域。

4.3.5 研究船闸输水引起的引航道往复波流、船舶的停泊和航行条件时，模型范围应延长至引航道口门外 $1/4 \sim 1/3$ 引航道长度的水域，闸室输水系统布置可以简化。

4.3.6 模型设计应绘制模型总体布置图、结构物模型详图、测点布置图和模型供水回水系统布置图等。

5 模型制作与安装

5.0.1 模型制作材料应满足下列要求：

1 输水廊道应选择有机玻璃或塑料等不易变形的光滑材料，对要求观测水位变化和水流流态的阀门段廊道及阀门井等部位，应采用透明材料。

2 间墙可采用钢板、塑料板、钢筋混凝土预制板或砖砌水泥浆粉面制作。

3 输水阀门可采用塑料板、有机玻璃和金属材料制作。

4 上下游引航道可采用水泥砂浆粉面，表面应光滑。

5 局部模型中的支廊道及出水孔，应采用塑料板、有机玻璃等不易变形的光滑材料制作。

6 阀门流激振动模型中的阀门宜选择能满足水弹性相似要求的材料制作。

7 阀门门楣切片模型两侧及门楣应采用有机玻璃等透明材料制作，阀门面板可采用金属材料制作。

8 工作闸门水力学模型的闸门可采用塑料板、有机玻璃和金属材料制作。

9 船模制作应选用镀锌铁皮或玻璃钢等厚度薄、重量轻和强度高的材料。

5.0.2 模型制作及安装应符合下列规定：

1 整体模型应采用平面导线网控制模型范围和形状，导线角度的允许偏差为 0.1° 。

2 模型高程应采用一个或多个水准点控制，多个水准点间高程的允许偏差为 $\pm 0.5\text{mm}$ ；船闸输水系统模型高程及水位测针应采用同一个水准点控制。

3 模型地形制作应满足下列要求：

1) 地形高程允许偏差为 $\pm 2\text{mm}$ 。

- 2) 平面位置允许偏差为 $\pm 10\text{mm}$ 。
 - 4 水工建筑物模型制作精度应满足下列要求：
 - 1) 加工尺寸允许偏差为 $\pm 0.5\text{mm}$ 。
 - 2) 各部分高程允许偏差为 $\pm 0.5\text{mm}$ 。
 - 3) 轴线允许偏差为 $\pm 0.1^\circ$ 。
 - 4) 输水系统出水孔缝和阀门门楣等特殊部位的加工尺寸允许偏差为 $\pm 0.2\text{mm}$ 。
 - 5 上下游引航道边墙顶和闸室顶应高出试验最高水位 0.10m 。
 - 6 模型制作应满足强度和刚度要求。
 - 7 压力测点的孔口应与结构物表面齐平并垂直。
 - 8 研究阀门启闭力及振动的模型不应设置阀门侧向止水。
 - 9 试验前应向闸室充水，对闸室及输水廊道进行变形及水密性检验，若变形、漏水影响试验精度，应进行校正和加固。
- 5.0.3 船模制作应满足下列要求：**
- 1 船模缆绳拉力仪的位置宜与船舶首尾系船柱位置相对应。
 - 2 船模制作精度应满足下列要求。
 - 1) 船模单船长度允许偏差为 $\pm 2\text{mm}$ ，宽度允许偏差为 $\pm 1\text{mm}$ ，水线刻度允许偏差为 $\pm 1\text{mm}$ 。
 - 2) 船模重心位置允许偏差为 $\pm 2\text{mm}$ 。
 - 3) 船队编队后的尺度允许偏差为 $\pm 1\%$ 。
 - 3 船模表面应光滑，成型后不变形，不漏水。

6 试验内容与要求

6.1 船闸输水系统水力学整体模型试验

6.1.1 船闸输水系统水力学整体模型试验应包括下列内容：

- 1 测定闸室灌泄水水力特性。
- 2 测定闸室和引航道内船舶的系缆力及闸室内不系缆船舶的自由漂移情况。
- 3 测定下游引航道和集中输水系统船闸闸室内的流速分布及其消能段的水面壅高。
- 4 测定输水廊道和消能设施的壓力分布。
- 5 观测闸室、输水系统进出口和阀门段廊道的水流流态。

6.1.2 船闸输水系统水力学整体模型试验应符合下列要求：

- 1 试验前应校核平水槽高程和溢水量，上游平水槽溢水量应大于闸室灌水的最大流量，下游平水槽溢水量宜保持少量溢水。船闸灌泄水过程中，上下游水位变化不宜大于 5mm。
- 2 模型试验应在恒定流条件下，测定输水阀门单边和双边全开时的流量，计算灌泄水流量系数；测定分散输水系统各部位压力，计算输水系统各区段的阻力系数。
- 3 测定船舶系缆力时，首尾吃水应保持一致，缆绳拉力仪水平放置，测杆应垂直。当船舶较小时，应分别测试不同停泊位置的系缆力。

6.2 船闸输水系统水力学局部模型试验

6.2.1 试验内容应包括对输水系统进水口、出水口、分流口、闸室支廊道和出水支孔及消能设施等布置和型式的研究。

6.2.2 模型试验依据的上下游水位、闸室水位、压力、流量和阀门开度等条件，可通过船闸输水系统水力学整体模型试验或数值模拟确定。

6.2.3 模型试验中流速、流态的测定应在恒定流情况下进行。

6.3 船闸输水阀门水力学模型试验

6.3.1 阀门非恒定流常压模型试验应满足下列内容和要求：

1 试验内容包括测定不同阀门启闭方式下的启闭力、阀门段廊道及门体各部位的动水压力、阀门自振及流激振动特性、反弧门支铰力和流量等，记录阀门启闭过程中的流态及特征。

2 试验前测量门体自重，校正阀门前后输水廊道的阻力系数，测定阀门启闭速度，标定测量仪器。

6.3.2 阀门恒定流减压模型试验应满足下列内容和要求：

1 在阀门开启速度较慢或输水廊道惯性换算长度较短情况下，研究阀门的空化特性及改善措施。

2 测量阀门各开度时的气压、水温、压力、空化噪声和流量，观测水流空化部位及形态，确定阀门水流空化初生和消失的水力条件。

3 试验时校正阀门前后输水廊道的阻力系数，保持阀门段压坡线与整体模型一致。

4 减压箱设备达到要求的真空度，水质透明、含气量少且稳定，水听器设置在底缘、门槽和门楣等可能发生空化的部位。

5 采用变化真空度、加大工作水头或降低下游水位的方法观测空化初生和消失的过程及条件，根据空化程度采取加大阀门淹没水深、改变阀门开启方式、优化阀门后廊道段及门槽体型和通气等措施，进行减弱或消除阀门空化的试验。

6.3.3 阀门非恒定流减压模型试验应满足下列内容和要求：

1 在阀门开启速度较快或廊道长度较长情况下，研究阀门的空化及改善措施。

2 试验内容和要求按 6.3.1 条 1 款、2 款和 6.3.2 条中的 2 款、4 款、5 款的有关规定执行。

6.3.4 阀门门楣切片模型试验可用于研究阀门门楣处高速水流产生的空化现象及改善措施。试验时应改变门楣上下游压力，测

量气压、水温、压力、流量和空化噪声。在无通气设施条件下应观测水流空化初生和消失的过程及条件；在有通气设施条件下，应观测通气量的大小及对空化的抑制程度。

6.3.5 输水阀门水力学模型试验所需的水力学边界条件应通过船闸输水系统水力学整体模型试验确定。

6.4 工作闸门水力学模型试验

6.4.1 试验内容应包括测定不同水位、启闭时间和启闭方式下的启闭力过程线及主要锚固件的应力变化。

6.4.2 当闸门为人字门或三角门时，应保证双扇闸门同步运行；当闸门为平面闸门、卧倒闸门或弧形闸门时，应保证各启闭点的同步运行。

6.4.3 试验时应以闸门启闭杆或锚固件静态受力明确的位置作为基准。

7 试验资料整理与分析

7.0.1 船闸输水系统水力学整体模型试验资料整理与分析应满足下列要求：

- 1 整理输水阀门开度、闸室水位、阀门井水位、流量、能量、比能和闸室流速与时间关系的资料。
- 2 整理输水系统水力特征值，包括流量系数、各区段阻力系数、最大流量、惯性超高或超降和闸室水面最大及平均升降速度等资料。
- 3 整理输水廊道各测点压力及脉动值和阀门后最低压力随阀门开度变化的资料。
- 4 整理闸室输水时间与阀门开启时间关系的资料。
- 5 整理船舶系缆力与时间的关系及分散输水系统船闸不系缆船舶的自由漂移距离等资料。
- 6 整理下游引航道断面流速分布和水面壅高等资料。
- 7 整理船闸进出水口、闸室和阀门段廊道等的水流流态资料。
- 8 分析输水时间、船舶停泊条件，输水系统进出口、闸室和引航道的水流条件，阀门工作条件，推荐输水系统布置及阀门开启方式。
- 9 对分散输水系统船闸水力特性进行模型缩尺影响校正，校正方法见附录 A。

7.0.2 船闸输水系统水力学局部模型试验资料整理与分析应满足下列要求：

- 1 进出水口局部模型试验：整理各支孔进出口处的压力和断面流速分布资料，观测进水口漩涡情况、出水口水面壅高及引航道流态，计算分析各支孔的流量，提出各支孔流量相等的布置方案、改善进水口漩涡、减小出水口水面壅高及均匀引航道流速

分布的措施。

2 分流口局部模型试验：整理分流口处的流量分配资料，分析进入闸室各区段支廊道的流量差异；整理各测点的压力和水流流态资料，分析产生空化的可能性，提出改善措施。

3 闸室出水支廊道的局部模型试验：整理各出水支孔处廊道的压力、各支孔的流量分配、出水孔段廊道的阻力系数和水流流态资料，计算分析各支孔的流量分布规律，提出各支孔出流均匀的改善措施。

4 分散输水系统消能设施的局部模型试验：整理消能设施中的压力、流量、水流流态和闸室水面的壅高资料，分析消能效果，提出效果较好的消能设施型式和尺寸。

5 集中输水系统的局部模型试验：整理流量系数、闸室或下游引航道的流速分布和水流流态资料，计算并绘制输水水力特性曲线，分析船舶所受波浪力和输水阀门后廊道压力或水跃情况，推荐消能布置形式和阀门开启方式。

7.0.3 船闸输水阀门水力学模型试验资料整理与分析应满足下列要求：

1 阀门非恒定流常压模型试验：整理阀门启闭过程中门井及门后廊道的流态资料；绘制阀门各开度的门井水位和流量过程线；整理各测点的压力资料，分析不同运行工况下门体及门后廊道压力分布和压力脉动特性，论证阀门段廊道体型、淹没水深和阀门开启速度，提出阀门水动力荷载系数和阀门后廊道保护措施；绘制阀门启闭力及支铰力过程线，分析不同运行工况下阀门启闭力和支铰力的时均和脉动特性，提出合理的启闭机容量；整理门体振动加速度的时域和频域特性资料，分析阀门结构自振和流激振动特性，提出改善措施。

2 阀门恒定流减压模型试验：整理阀门各开度廊道水下噪声声压级、初生空化数和消失空化数、工作空化数、流态及相应的水力参数资料，分析各种工况下空化源的位置及可能造成的危害，提出抑制水流空化的工程措施和建议。

3 阀门非恒定流减压模型试验：除应按阀门非恒定流常压模型试验和阀门恒定流减压模型试验的有关规定执行外，尚应分析阀门不同启闭方式下水下噪声强度变化特性。

4 阀门减压模型试验：应采用模型缩尺影响校正后的输水系统水力特性资料，对工作空化数进行校正。

5 阀门门楣切片模型试验：整理缝隙流水力特性、水流流态、门楣工作空化数、初生空化数和消失空化数资料；整理各开度门楣通气量和平均掺气浓度资料；分析门楣通气减免空化效果，提出门楣体型和通气方式。

7.0.4 船闸工作闸门水力学模型试验资料整理与分析应满足下列要求：

1 绘制不同启闭方式、不同淹没水深和不同水位差时的启闭力过程线。

2 绘制启闭力和锚固力峰值与各影响因素的关系曲线。

3 应分析启闭力和锚固力的影响因素，提出启闭机型式、容量和启闭方式的合理建议。

8 船闸水力数值模拟

8.1 一般规定

8.1.1 船闸水力数值模拟计算参数的选取应进行充分论证, 并根据实测资料进行验证。

8.1.2 船闸水力数值模拟采用的数值计算方法应满足相容性、收敛性和稳定性要求, 精度应满足使用要求。

8.1.3 船闸水力数值模拟结果的可靠性应采用理论分析、现场实测资料或物理模型试验资料进行验证和评价。

8.1.4 船闸水力数值模拟的基本资料应符合 4.1 节的有关规定。

8.2 船闸输水水力特性数值模拟

8.2.1 船闸输水水力特性数值模拟可采用下列基本方程:

1 连续方程:

$$A_1 \frac{dh}{dt} = -NA_0V \quad (8.2.1-1)$$

2 能量方程:

$$\frac{L_{sp}}{g} \frac{dV}{dt} + \xi \frac{V^2}{2g} - h = 0 \quad (8.2.1-2)$$

式中 A_1 ——闸室水域平面面积, m^2 ;
 h ——船闸水头, m ;
 t ——时间, s ;
 N ——输水廊道支数;
 A_0 ——输水廊道控制断面面积, m^2 ;
 V ——输水廊道控制断面平均流速, m/s ;
 L_{sp} ——输水廊道换算长度, m ;
 g ——重力加速度, m^2/s ;
 ξ ——输水系统阻力系数。

8.2.2 船闸输水水力特性数值模拟基本方程中输水系统阻力系数和输水廊道换算长度的确定应符合下列规定：

1 输水系统阻力系数可按有关标准进行计算，也可参照类似船闸取值。

2 输水廊道换算长度可按附录 B 计算。

8.2.3 船闸输水水力学特性数值模拟基本方程可选用拉克斯格式、蛙步格式或迎风格式求解。

8.2.4 船闸输水水力特性数值模拟的初始条件应包括上下游水位和闸室初始水深。

8.2.5 船闸输水水力特性数值模拟的时间步长应根据稳定性和输水阀门的开启方式进行选择，时间步长应不大于 1s。

8.2.6 船闸输水水力特性数值模拟验证的允许偏差应满足下列要求：

1 输水时间允许偏差为±3%。

2 最大输水流量允许偏差为±5%。

8.2.7 船闸输水水力特性数值模拟计算应包括下列内容：

1 船闸水头或闸室水位过程线。

2 流量过程线。

3 必要的能量和比能过程线、惯性超高或超降、输水阀门后廊道压力过程线和水流空化数等。

8.2.8 船闸输水水力特性数值模拟应绘制模拟计算成果图表，并对主要特征参数进行分析。

9 报告编写

9.0.1 报告应包括下列内容：

- 1 工程概况、试验任务和基本资料。
- 2 模型比尺选择、模型设计及制造。
- 3 试验设备、主要量测仪器、量测方法及精度、模型测点布置。
- 4 模型试验方案及组次、测量成果图表。
- 5 成果分析及方案论证。
- 6 结论和建议。

9.0.2 报告结论和建议应符合下列规定：

- 1 结论明确，建议切实可行。
- 2 对船闸输水系统水力学模型应提出推荐的输水系统布置型式及各细部尺寸和优化的阀门开启方式。

3 对船闸水力学局部模型应根据各局部模型的试验目的分别提出均匀进出水孔流量分布及减小进口漩涡和出口水面壅高、均匀引航道流速分布的进出水口布置方案；均匀流量分配及减免空化的分流口布置型式；支廊道各支孔均匀出流的改善措施；效果较好的消能设施型式；集中输水系统的布置尺寸、消能型式及阀门开启方式。

4 对阀门水力学模型试验应根据试验类型分别提出阀门门型、阀门段廊道体型、启闭方式、启闭机容量、抑制阀门振动和水流空化的工程措施、门楣体型及通气方式。

5 对工作闸门水力学模型试验应提出推荐的启闭机布置型式、启闭方式和容量。

6 对船闸引航道水力学模型试验应提出优化的船闸运行方式及工程布置方案。

9.0.3 报告编写的文字格式、计量单位等要求应符合国家相关规定。

附录 A 船闸输水系统模型缩尺 影响校正方法

A.0.1 对于复杂分散输水系统，模型缩尺影响可采用输水廊道摩阻系数校正法：当 $10^{-4} < \frac{\Delta}{4R} < 10^{-2}$ ， $5 \times 10^3 < Re < 10^8$ 时，可根据模型流量计算原型流量，按式 (A.0.1-1) 计算模型和原型的雷诺数，并按式 (A.0.1-2) 分别计算原型和模型的沿程摩阻系数，求出摩阻系数的校正量，计算修正后的阻力系数和流量系数，再计算修正后的流量，重复上述迭代过程至摩阻系数的校正量接近零为止，得到校正后的原型输水系统水力参数。

$$Re = \frac{u4R}{\nu} \quad (\text{A.0.1-1})$$

$$\lambda = \frac{0.25}{\left[\log_{10} \left(0.2703 \frac{\Delta}{4R} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2} \quad (\text{A.0.1-2})$$

式中 Re ——水流雷诺数；

u ——廊道水流流速，m/s；

ν ——水的运动黏滞系数， m^2/s ；

λ ——摩阻系数；

Δ ——绝对粗糙度，m，各种边界的绝对粗糙度按表 A.0.1 取值；

R ——廊道水力半径，m。

A.0.2 对于简单分散输水系统，模型缩尺影响可采用水力特征值校正法：可根据模型的水力特征值按式 (A.0.2-1)～式 (A.0.2-3) 进行模型缩尺影响的校正计算：

$$\mu_p = 1.14\mu_m \quad (\text{A.0.2-1})$$

$$T_p = 0.857T_m \quad (\text{A.0.2-2})$$

$$Q_p = 1.1Q_m \quad (\text{A.0.2-3})$$

式中 μ_p, μ_m ——原型、模型船闸输水系统流量系数；
 T_p, T_m ——原型、模型船闸输水时间，s；
 Q_p, Q_m ——原型、模型船闸输水系统最大流量， m^3/s 。

表 A.0.1 各种边界的绝对粗糙度 Δ

序号	水流边界材料	Δ (mm)
1	有机玻璃、塑料板	0.030~0.080
2	镀锌铁皮	0.150
3	新钢管	0.100~0.200
4	微锈钢管	0.200~0.300
5	镀锌铁管	0.300
6	焊接钢管	0.300~0.600
7	木槽	0.350~0.700
8	钢筋混凝土渠道	0.200~0.600
9	混凝土管	0.600~1.000
10	旧钢管	0.500~2.000
11	水泥砂浆抹面槽壁	0.750
12	接缝不抹灰浆的预制混凝土槽壁	1.500
13	混凝土衬砌渠道	1.800~3.800

<https://www.slzxw.com>
 水利造价信息网

附录 B 船闸输水廊道换算长度计算

B.0.1 串联输水廊道的换算长度可按式 (B.0.1) 计算:

$$L_{np} = \sum_{i=1}^n \frac{v_i}{v} l_i \quad (\text{B.0.1})$$

式中 L_{np} ——廊道换算长度, m, 对于出水孔数大于 15 的出水支孔段廊道可取该段长度的 1/2;

v_i ——第 i 段廊道断面平均流速, m/s;

v ——输水阀门段廊道断面平均流速, m/s;

l_i ——第 i 段廊道的长度, m。

B.0.2 并联输水廊道的换算长度可按式 (B.0.2) 计算:

$$L_{np} = \sum_{i=1}^n \frac{v_i}{v} l_i \frac{Q_i}{Q} \quad (\text{B.0.2})$$

式中 L_{np} ——廊道换算长度, m, 对于出水孔数大于 15 的出水支孔段廊道可取该段长度的 1/2;

v_i ——第 i 段廊道断面平均流速, m/s;

v ——输水阀门段廊道断面平均流速, m/s;

l_i ——第 i 段廊道的长度, m;

Q, Q_i ——主廊道和支廊道的流量, m^3/s 。

标准用词说明

标准用词	在特殊情况下的等效表述	要求严格程度
应	有必要、要求、要、只有……才允许	要 求
不应	不允许、不许可、不要	
宜	推荐、建议	推 荐
不宜	不推荐、不建议	
可	允许、许可、准许	允 许
不必	不需要、不要求	

中华人民共和国水利行业标准

船闸水力模拟技术规程

SL 161.2—2013

条文说明

<https://www.slzjxx.com>
水利造价信息网

目 次

1 总则.....	25
2 相似准则.....	26
3 试验设备与量测仪器.....	27
4 模型设计.....	28
5 模型制作与安装.....	29
6 试验内容与方法.....	30
7 试验资料整理与分析.....	31
8 船闸水力数值模拟.....	32
附录 A 船闸输水系统模型缩尺影响校正方法.....	33

1 总 则

1.0.1 《船闸水力模型试验规程》(SL 161.2—95)自1995年7月21日发布生效以来,对规范船闸水力学模型试验研究方法,提高试验研究成果的可靠性与准确度起到了重要作用。

近年来,我国水利水电水运建设迅猛发展,大大促进了船闸科研事业的进步,在船闸水力模拟中采用了许多新的技术和研究方法,在试验设备和量测仪器上也有较大突破,但这些先进的模拟技术和方法及其应用条件,尚未在现行的《船闸水力模型试验规程》(SL 161.2—95)中得到反映。故有必要对现行试验规程进行必要的修订工作,以进一步促进船闸水力模拟技术的不断发展。

1.0.2、1.0.3 近年来,针对各类船闸输水系统的特点,为节省研究经费、缩短试验周期,进行了大量的诸如输水系统进出水口、分流口和消能设施等局部水力学模型试验;而随着高水头船闸的大量建设,输水阀门工作条件则已成为高水头船闸必需解决的问题,且非恒定流常压水力学模型试验、非恒定流减压模型试验及门楣切片模型试验等试验手段已广泛应用于高水头船闸输水阀门水力学研究;此外,数值模拟技术也已成为船闸水力学研究不可或缺的研究手段。因此,在本标准的适用范围及研究范围中增加了上述内容。

2 相似准则

2.0.1 为达到模型水流与原型阻力相似，模型水流需处于阻力平方区。受模型比尺的影响，模型的雷诺数比原型小很多，一般难以达到，为减小试验误差，使模型水流达到紊流则是最低要求。

3 试验设备与量测仪器

3.2 量测仪器

3.2.1 近年来流体测试技术发展迅速，诸如超声波水位计、粒子成像流速仪、电磁流速仪、超声多普勒流速仪和超声流量计等先进量测仪器在船闸水力学研究中得到广泛应用，因而在本条中增加了上述仪器。

第4章 模型设计

4.2 模型几何比尺

4.2.1 ~ 4.2.6 这六条所列的各类模型比尺的范围，是根据国内外已有的船闸水力学各类模型试验资料统计而得。近百年的船闸建设历史表明，这些比尺范围的模型试验成果均被原型船闸证明是可信的。

4.3 模型范围

4.3.5 本条是根据国内有关单位进行模型试验的经验总结出来的。引航道中往复波流的影响要超过引航道的长度，因此规定口门外水域要有一定的长度以免影响流态。

5 模型制作与安装

5.0.1 满足水弹性相似要求的模型材料是一种高容重、低弹模的特殊材料，到目前为止尚没有一种现成的可以应用的天然或人工的合成材料，需专门研制。

5.0.2 规定进行阀门启闭力及流激振动的局部模型不能设置侧向止水，是因为止水的摩阻力与原型不相似，增加止水后的振动特性也与原型不相似，为了减小漏水影响，阀门两侧与廊道边壁都要精加工，使其缝隙尽量小。

6 试验内容与要求

6.1 船闸输水系统水力学整体模型试验

6.1.1 闸室泄水水力特性是指阀门开度、流量系数、闸室及阀门井水位、流量和能量等随时间的变化曲线，如为集中输水系统则还有比能及闸室断面平均流速随时间的变化曲线；进水口流态是指进水口处水面的局部降低和漩涡情况，出水口流态是指出水口处水面壅高、旋滚和回流情况等。

6.3 船闸输水阀门水力学模型试验

6.3.2 当船闸原型阀门开启时间在 4min 以上，阀门开启速度较慢，流量增率较小，或输水系统廊道长度较短时，此时惯性影响不大，故可以采用恒定流减压模型试验。

6.3.3 阀门非恒定流减压模型试验能真实反映阀门动水启闭过程中所产生的廊道水流惯性作用，正确模拟阀门的水流流态及空化现象，是一种较先进的模型，但其设备比较复杂。

6.4 工作闸门水力学模型试验

6.4.3 人字闸门及三角闸门处在全开位时推拉杆受力为零，应以此位置为基线。

7 试验资料整理与分析

7.0.1 大量模型试验和原型观测表明,船闸原型的输水效率比模型高,流量系数大,造成输水时间缩短、流量增加和惯性超高超降增大,使模型试验成果偏于不安全。因此,对模型试验的缩尺影响要给予足够重视,一般认为阻力特别是沿程摩擦阻力不相似是产生原型和模型差异的主要原因,这在分散输水系统的船闸表现尤为明显,它的损失主要以沿程摩擦阻力损失为主。观测结果表明原型比模型阻力系数降低20%~50%,流量系数则增加10%~20%。因此,要对分散输水系统船闸模型试验成果进行缩尺影响分析和校正。

7.0.3 由于空化现象的模型缩尺影响较为复杂,目前尚难以对初生空化数进行校正,因此仅能根据校正后的输水系统水力特征值对工作空化数进行校正。

8 船闸水力数值模拟

8.2 船闸输水水力特性数值模拟

8.2.6 船闸输水水力特性数值模拟验证允许偏差是指采用模型试验系数时，计算结果与模型试验值之间的偏差；如采用原型观测系数时，是指计算结果与原型观测值之间的偏差。



<https://www.sljzjx.com>
水利造价信息网

附录 A 船闸输水系统模型缩尺 影响校正方法

A.0.1 式(A.0.1-2)统一了国外所用的雷诺数校正法和我国以往所用的糙率校正法,同时体现了粗糙度和雷诺数的影响,兼顾了模型和原型在输水过程中所经历的各种流段。由式(A.0.1-2)可见,当雷诺数较大时分母对数中第2项趋向于零,即相当于糙率校正;当雷诺数较小时,则前面一项相对较小,即相当于雷诺数校正;在其他情况则粗糙度和雷诺数均起作用,式(A.0.1-2)可同时反映模型比尺的影响,是一种有理论基础的校正方法。校正过程如下:

(1) 由于模型和原型的糙率和雷诺数不同,需要进行迭代计算。首先将模型的实测流量按比尺关系得出原型流量,并按式(A.0.1-1)计算得出原型雷诺数;再根据式(A.0.1-2)分别计算得出原型和模型的沿程摩擦系数 λ_p 和 λ_m ,由此得到原型与模型沿程某区段 l_i 摩擦系数的校正值 $\Delta\lambda_i = \lambda_{mi} - \lambda_{pi}$,由 $\Delta\xi = \Delta\lambda_i l_i / 4R$ 计算得到输水廊道的原型沿程阻力系数的总校正值 $\sum\Delta\xi_p$,由已知的模型总阻力系数 $\sum\xi_m$ 得到校正的原型总阻力系数为 $\sum\xi_p = \sum\xi_m - \sum\Delta\xi_p$,由 $\mu_p = 1/\sqrt{\sum\xi_p}$ 计算出原型的流量系数,由此能够计算得到近似的原型流量 Q_p 。

(2) 根据求出的近似原型流量 Q_p ,重复上述的计算过程,再次得到逼近原型的 λ'_p 、 $\sum\xi'_p$ 、 μ'_p 和 Q'_p ,当迭代计算后得到的原型沿程摩擦系数 λ'_p 与迭代前的沿程摩擦系数 λ_p 的值基本相等时,得到的原型 λ'_p 、 $\sum\xi'_p$ 、 μ'_p 和 Q'_p 即为经过模型缩尺校正后的输水系统水力参数。

(3) 由于模型或原型输水廊道各区段的断面尺寸不尽相同,在同一流量下,其水力半径 R 与雷诺数亦不相同,因此要分别对每一区段的沿程摩擦系数值进行计算,然后再分别计算输水廊

道每一区段的阻力系数值。

(4) 将输水廊道每一区段的阻力系数值换算为相对于阀门处廊道断面(计算断面)的阻力系数,相加后得到输水廊道的原型沿程阻力系数的总校正值。

A.0.2 水力特征值校正法是根据一些不同比尺、不同输水系统型式船闸原型和模型的主要水力特性资料统计点绘的关系曲线而得,因此是一种经验统计的方法,它具有简单方便的优点。它的缺点是对不同模型比尺和输水系统布置形式等对缩尺的影响难以区分,此外由于这种方法难以确定输水系统沿程各区段阻力系数的缩尺影响,因此要准确了解输水系统沿程的水力特性如压力分布等就有一定困难。

中国水利水电出版社

水利水电技术标准咨询服务中心简介

中国水利水电出版社，一个创新、进取、严谨、团结的文化团队，一家把握时代脉搏、紧跟科技步伐、关注社会热点、不断满足读者需求的出版机构。作为水利部直属的中央部委专业科技出版社，成立于1956年，1993年荣膺首批“全国优秀出版社”的光荣称号。经过多年努力，现已发展成为一家以水利电力专业为基础、兼顾其他学科和门类，以纸质书刊为主、兼顾电子音像和网络出版的综合性出版单位，迄今已出版近三万种、数亿余册（套、盘）各类出版物。

水利水电技术标准咨询服务中心（第三水利水电编辑室）主要负责水利水电技术标准及相关出版物的出版、宣贯、推广工作，同时还负责水利水电类科技专著、工具书、文集及相关职业培训教材编辑出版工作。

感谢读者多年来对水利水电技术标准咨询服务中心的关注和垂爱，中心全体人员真诚欢迎广大水利水电科技工作者对标准、水利水电图书出版及推广工作多提意见和建议，我们将秉承“服务水电，传播科技，弘扬文化”的宗旨，为您提供全方位的图书出版咨询服务，进一步做好标准和水利水电图书出版工作。

联系电话：010-68317913（传真）	jwh@waterpub.com.cn
主 任：王德鸿 010-68545951	wdh@waterpub.com.cn
主任助理：陈 昊 010-68545981	hero@waterpub.com.cn
首席编辑：林 京 010-68545948	lj@waterpub.com.cn
策划编辑：王 启 010-68545982	wqi@waterpub.com.cn
杨露茜 010-68545995	ylx@waterpub.com.cn
王丹阳 010-68545974	wdy@waterpub.com.cn
章思洁 010-68545995	zsj@waterpub.com.cn

<https://www.slzjxx.cc>
水利造价信息网



155170.84

SL 161.2—2013

中华人民共和国水利行业标准

船闸水力模拟技术规程

SL 161.2—2013

中国水利水电出版社出版发行

(北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038)

网址: www.waterpub.com.cn

E-mail: sales@waterpub.com.cn

电话: (010) 68367658 (发行部)

北京科水图书销售中心 (零售)

电话: (010) 88383994、63202643、68545874

全国各地新华书店和相关出版物销售网点经售

中国文联印刷厂印刷

140mm×203mm 32开本 1.25印张 34千字

2013年10月第1版 2013年10月第1次印刷

书号 155170·84

定价 16.00元

凡购买我社规程,如有缺页、倒页、脱页的,

本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究