

ICS 27.140  
P 55

**SL**

中华人民共和国水利行业标准

**SL 99—2012**

替代 SL 99—95

## 河工模型试验规程

Regulation for river model test

2012-09-28 发布

2012-12-28 实施



中华人民共和国水利部 发布

http://www.slzjxx.com  
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

2012年第59号

中华人民共和国水利部批准《河工模型试验规程》  
(SL 99—2012)标准为水利行业标准，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	河工模型试验 规程	SL 99—2012	SL 99—95	2012. 9. 28	2012. 12. 28

水利部

2012年9月28日

http://www.slzj.com.cn  
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，对《河工模型试验规程》（SL 99—95）进行修订。

本标准共 9 章 14 节 70 条，主要技术内容有：

- 总则；
- 几何比尺及相似准则；
- 模型设计；
- 模型制作；
- 试验设备；
- 量测仪器；
- 试验方法；
- 试验成果的记录整理与分析；
- 试验报告编写。

主要修订了以下内容：

- 删除了附录 A、附录 B 及符号与解释，与模型试验密切相关的符号解释纳入相关章节。
- 删除了原规程第 3 章“试验设备与量测仪器”，增加第 5 章“试验设备”和第 6 章“量测仪器”。
- 在第 3 章模型设计中增加基本资料、设计限制条件和模型范围 3 节。
- 在条文说明第 2 章“几何比尺及相似准则”中增加了多沙河流的相似条件。
- 调整和简化了部分章节的结构。

本标准为全文推荐。

本标准所替代标准历次版本为：

- SL 99—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  
本标准修编单位：长江水利委员会长江科学院  
本标准参编单位：黄河水利委员会黄河水利科学研究院  
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：魏国远 卢金友 孙贵州 吴新生  
范北林 姚仕明 许明 曹永涛  
张林忠 胡向阳 郭炜 林木松  
廖小永 黎礼刚 张细兵 朱勇辉  
金中武 王家生 王军 刘同官  
本标准审查会议技术负责人：张红武  
本标准体例格式审查人：陈登毅

http://www.slzjxx.com  
水利造价信息网

## 目 次

1 总则 .....	1
2 几何比尺及相似准则 .....	2
2.1 几何比尺 .....	2
2.2 水流运动相似 .....	2
2.3 泥沙运动相似 .....	3
3 模型设计 .....	5
3.1 基本资料 .....	5
3.2 设计限制条件 .....	5
3.3 定床模型与动床模型 .....	5
3.4 正态模型与变态模型 .....	5
3.5 模型范围 .....	6
3.6 模型沙的选择及特性测定 .....	6
3.7 模型设计允许的偏离 .....	6
4 模型制作 .....	8
4.1 定床模型 .....	8
4.2 动床模型 .....	8
5 试验设备 .....	9
6 量测仪器 .....	11
7 试验方法 .....	12
7.1 验证试验 .....	12
7.2 正式试验 .....	13
8 试验成果的记录整理与分析 .....	16
9 试验报告编写 .....	17
标准用词说明 .....	18
条文说明 .....	19

水利造价信息网  
http://www.slzjxx.com



## 1 总 则

**1.0.1** 为指导与规范河工模型试验的模拟技术和方法，提高试验研究成果的科学性和可靠性，为水利水电工程建设提供科学技术依据，制定本标准。

**1.0.2** 本标准适用于河工模型试验，主要包括河床演变、河道整治、水利水电工程及其他涉水工程有关水流泥沙问题的模型试验。

**1.0.3** 本标准的引用标准主要有以下标准：

《土工试验方法标准》(GB/T 50123)

《河流泥沙颗粒分析规程》(SL 42)

《水文普通测量规范》(SL 58)

《水工模型(常规)试验规程》(SL 155)

**1.0.4** 河工模型试验除应符合本标准的规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

## 2 几何比尺及相似准则

### 2.1 几何比尺

#### 2.1.1 正态模型:

$$\alpha_L = \alpha_h \quad (2.1.1)$$

式中  $\alpha_L$ ——平面几何比尺;

$\alpha_h$ ——垂直几何比尺。

#### 2.1.2 变态模型:

$$\alpha_L = \frac{L_p}{L_m} \quad (2.1.2-1)$$

$$\alpha_h = \frac{h_p}{h_m} \quad (2.1.2-2)$$

式中  $L_p$ ——原型平面尺度, m;

$L_m$ ——模型平面尺度, m;

$h_p$ ——原型水深, m;

$h_m$ ——模型水深, m。

### 2.2 水流运动相似

#### 2.2.1 重力相似:

$$\frac{\alpha_v^2}{\alpha_h} = 1 \quad (2.2.1)$$

式中  $\alpha_v$ ——流速比尺。

#### 2.2.2 阻力相似:

$$\frac{\alpha_v^3 \alpha_n \alpha_R}{\alpha_h^2} = 1 \quad (2.2.2)$$

式中  $\alpha_n$ ——糙率比尺;

$\alpha_R$ ——水力半径比尺。

#### 2.2.3 连续律相似:

$$\frac{\alpha_Q}{\alpha_L \alpha_h \alpha_u} = 1 \quad (2.2.3)$$

式中  $\alpha_Q$ ——流量比尺。

2.2.4 水流运动连续相似：

$$\frac{\alpha_v \alpha_{t_1}}{\alpha_L} = 1 \quad (2.2.4)$$

式中  $\alpha_{t_1}$ ——水流时间比尺。

### 2.3 泥沙运动相似

2.3.1 泥沙起动条件相似：

$$\alpha_{u_c} = \alpha_u \quad (2.3.1)$$

式中  $\alpha_{u_c}$ ——泥沙起动流速比尺。

2.3.2 输沙能力相似：

$$\alpha_C = \alpha_{C_0} \quad (2.3.2-1)$$

$$\alpha_s = \alpha_{s_*} \quad (2.3.2-2)$$

$$\alpha_{s_b} = \alpha_{s_{b_*}} \quad (2.3.2-3)$$

式中  $\alpha_C$ ——输沙率比尺；

$\alpha_{C_0}$ ——输沙能力比尺；

$\alpha_s$ ——含沙量比尺；

$\alpha_{s_*}$ ——水流挟沙力比尺；

$\alpha_{s_b}$ ——推移质单宽输沙率比尺；

$\alpha_{s_{b_*}}$ ——推移质单宽输沙能力比尺。

2.3.3 泥沙悬移相似：

$$\alpha_w = \alpha_w \left( \frac{\alpha_h}{\alpha_L} \right)^m \quad (2.3.3)$$

式中  $\alpha_w$ ——泥沙沉速比尺；

$m$ ——悬移指数， $m=0.5 \sim 1$ 。

2.3.4 河床变形相似：

1 悬移质泥沙模型：

$$\alpha_{\Delta b} = \frac{\alpha_L \alpha_{\gamma_0}}{\alpha_n \alpha_s} \quad (2.3.4-1)$$

式中  $\alpha_{12}$  —— 悬移质泥沙冲淤时间比尺。

## 2 推移质泥沙模型：

$$\alpha_{13} = \frac{\alpha_{11} \alpha_{12} \alpha_{10}}{\alpha_{10}} \quad (2.3.4-2)$$

式中  $\alpha_{11}$  —— 推移质泥沙冲淤时间比尺；

$\alpha_{10}$  —— 淤积物干容重比尺。

水利造价信息网  
http://www.slzjxx.com

## 3 模型设计

### 3.1 基本资料

3.1.1 应收集研究河段内的水文、泥沙、河道地形等与试验相关的资料。必要时,应收集研究河段外上下游相关水文基本测站的水沙资料及研究河段内泥沙的矿物质组成。

3.1.2 应收集研究河段内各类涉水已建工程、在建工程、拟建工程、规划工程及河道两岸地质地貌资料。

### 3.2 设计限制条件

3.2.1 模型最小水深应大于 1.5cm。

3.2.2 模型水流雷诺数  $Re_m$  应大于 1000。

### 3.3 定床模型与动床模型

3.3.1 当河床冲淤变化不大或虽有变化但对所研究的问题影响不大时,可采用定床模型。

3.3.2 当河床冲淤变化较大或冲淤变化对所研究的问题影响较大时,应采用动床模型。

### 3.4 正态模型与变态模型

3.4.1 主要研究建筑物附近三维性强的水流泥沙问题时,应采用正态模型。受条件限制不能用正态模型时,也可用变态模型,但几何变率不应大于 2。

3.4.2 研究宽浅河段及河口海岸的水流泥沙问题时,可采用变态模型,其几何变率应根据河道宽深比、糙率及研究内容确定。对水流泥沙运动相似性要求较高时,几何变率可取 2~5;主要研究水流平面变化和冲淤分布时,几何变率可取 5~8;主要研究宽浅河段和河口海岸水流特性、泥沙冲淤及河势变化等问题

时,几何变率可取8~15。

### 3.5 模型范围

3.5.1 模型进口宜选在河道较平顺或窄深的卡口断面,模型出口宜选在河道水流较平顺的断面。

3.5.2 模型的试验研究段宜设在模型范围的中间位置。

### 3.6 模型沙的选择及特性测定

3.6.1 模型沙的选择应符合下列要求:

1 模型沙的选择应同时满足水流运动及泥沙运动相似。对于推移质动床模型,模型沙可选用天然沙或轻质沙;对于悬移质动床模型,模型沙宜采用轻质沙。

2 模型沙模拟原型的粒径范围,应根据研究问题的性质确定。当悬移质泥沙、沙质和卵石推移质泥沙不能用一种模型沙材料模拟时,也可选用两种或两种以上的模型沙进行模拟。

3 选配的模型沙应根据粒径比尺控制,且换算为原型的级配曲线应与原型沙基本相同。

4 选用的模型沙,其颗粒形状、级配以及力学性能应保持稳定,当选用含有机质的材料作模型沙时,应进行脱脂防腐和防絮凝处理。

3.6.2 模型沙密度测定方法应符合 GB/T 50123 规定。

3.6.3 模型沙颗粒级配及沉速测定方法应符合 SL 42 规定。

3.6.4 模型沙起动流速测定宜在活动变坡玻璃水槽内进行,水槽宽度不应小于0.30m,有效测验长度应大于10m,槽底均匀铺模型沙厚大于5cm。没有变坡水槽时,也可用满足试验要求的水槽铺设不同的底坡进行测定。

### 3.7 模型设计允许的偏离

3.7.1 在河工模型设计中,阻力相似条件应严格遵守。

3.7.2 研究以水流运动相似为主的河工模型,应遵守重力相似

条件，在条件无法满足的情况下，重力相似允许适当偏离。

3.7.3 含沙量比尺、推移质输沙率比尺、泥沙冲淤时间比尺均应通过模型验证试验进行率定调整。

3.7.4 泥沙冲淤时间比尺与水流时间比尺不宜相差过大。



<http://www.slzjxx.com>  
水利造价信息网

## 4 模型制作

### 4.1 定床模型

- 4.1.1 定床模型制作、安装、精度控制及校核应符合 SL 155 规定。
- 4.1.2 定床模型的渗漏水量应小于 1%。

### 4.2 动床模型

- 4.2.1 动床模型固定部分制造材料的选择、平面控制、高程控制、地形控制，应与定床模型相同。
- 4.2.2 动床模型中可活动的河床部分，预留深度宜大于河床可能出现的最大冲刷深度 10cm。
- 4.2.3 动床模型采用阴断面法控制地形时，断面间距宜为 50~70cm，断面河宽大于 15m 以上的模型可增至 70~100cm。地形变化剧烈的地方，应局部加密断面。
- 4.2.4 动床地形制作的平面控制允许偏差为  $\pm 1\text{cm}$ ，高程控制允许偏差为  $\pm 1\text{mm}$ 。



## 5 试验设备

### 5.0.1 参与模型循环用水的水质应符合下列规定：

- 1 杂质不应超过  $0.001\text{kg}/\text{m}^3$ 。
- 2 pH 值应在 6~8 之间。
- 3 电导率应在  $100\sim 1200\mu\text{S}/\text{cm}$  之间。
- 4 模型循环水中的钙、镁离子含量超过  $30\text{mg}/\text{L}$  时，应研究水质对细颗粒模型沙絮凝影响；若在循环水中加入分散剂，应保持含量稳定，实际量与设计量的相对误差应小于 25%。

### 5.0.2 模型供水设备应符合下列要求：

- 1 水沙分开运行模型，其供水设备除应独立成系统外，其他应符合 SL 155 的要求。

#### 2 水沙混合运行模型应符合下列要求：

- 1) 工作水池宜用圆筒形型式，池上应加安全盖板并应防止地面水流入。其容积与工作水深要求应符合 SL 155 的要求。
- 2) 蓄水水池的容积应不小于全模型槽蓄量、地面回水渠工作容量和工作水池工作容量总和的 1.5 倍。池上应加安全盖板并应防止地面水流入。
- 3) 应保证供水泵在检修任何一台情况下，最大供水量应超过模型最大用水量的 1.5 倍。
- 4) 电压不能保持稳定在  $380\text{V}\pm 38\text{V}$  时，应设置平水系统。平水系统以不允许泥沙沉积在系统内任何部位为前提。
- 5) 配水管路必须是封闭有压管道，其岔管设置应能满足模型施放各级流量的要求，同时必须保证模型沙不在管道和回水渠槽内发生沉积。

### 5.0.3 量水设备和量水仪器的相对误差应小于 1%。流量控制

系统在流量稳定状态时的控制相对误差应小于5%。

**5.0.4** 模型供沙设备应符合下列要求：

1 推移质加沙机的加沙速度应能适应模型最大和最小加沙数量的要求，其相对误差应小于15%。

2 搅沙池各部位的含沙浓度应均匀一致，各部位含沙浓度的相对误差应小于15%。

3 采用水沙分开运行方式时，加沙率的相对误差应小于15%。

4 对于水沙分开运行系统，沉沙池沉积率宜不低于95%；对于水沙混合运行系统，沉沙池容积应不小于整个模型最大循环水量的2倍。

**5.0.5** 模型尾门可采用平板隔栅式或翻板式。当模型试验段下游足够长，下游尾部水位不需人工装置调整时，可不对尾门设置提出要求。

**5.0.6** 清水模型其他设备应符合SL 155的规定。

## 6 量测仪器

- 6.0.1 在有严格率定的条件下，流速测验仪器可采用微型旋桨流速仪或其他类型的流速仪，其量测系统的允许偏差为 $\pm 5\%$ 。
- 6.0.2 水位测验仪器与流向测验仪器应满足 SL 155 的要求。
- 6.0.3 含沙量测验宜采用烘干称重法、比重瓶置换法，也可采用光电测沙仪等其他类型的含沙量测量仪，但测量相对误差应小于 $15\%$ 。
- 6.0.4 泥沙颗粒级配与粒径分析应满足 SL 42 的要求。
- 6.0.5 模型地形测量精度应达到 $\pm 2\text{mm}$ 。
- 6.0.6 水温温度计应满足温度分辨率不大于 $0.1^\circ\text{C}$ ，允许偏差为 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 的要求。
- 6.0.7 试验使用的计量仪器仪表，应经相应的法定计量检定部门检定合格或自校符合要求，并提供相关技术单位的检定证明或自校说明后，方可使用。

## 7 试验方法

### 7.1 验证试验

7.1.1 本标准规定范围内的定床模型、动床模型，均应进行验证试验。条件不具备时，可放宽对验证试验的要求。

7.1.2 验证资料的收集与选用应符合下列要求：

1 水文泥沙等原始资料宜选用国家级流域单位，省级、市级、县级站网原始或复制资料、刊印资料，不宜使用试验报告、文献、论文等所列的数据。

2 制模地形依据的陆上、水下地形图的测量日期应相近，若测量时间间隔较长，则应保证在前后间隔时间内的水文因素、自然因素和人为因素没有大的变化，并在试验报告中分析说明。

3 模型验证采用的原型水文泥沙资料的测量时间应与水下地形测量时间相同或相近，若前后间隔时间较长时，应在试验报告中分析说明。

4 模型出口断面缺少原型河段水位资料，验证时可采用数学模型或水力学方法反演推算的结果进行补充，但应同原型河段其他实测水位的绝对误差小于 $\pm 5\text{cm}$ 。

7.1.3 定床制模起始地形校正，应满足 SL 155 的规定。

7.1.4 水面线验证应满足下列规定：

1 定床模型应进行清水水面线验证，同一测站水面高程最大误差应小于 $\pm 1\text{mm}$ 。当不符合时应采取加糙、减糙等方法解决。

2 浑水河工模型应进行浑水水位验证，同一测站的水面高程最大误差不宜超过 $\pm 2\text{mm}$ 。

3 整个模型验证的水位测站（或断面）数应在 2 个以上。

4 验证的水位流量级宜包括洪、中、枯水期水位的原型观测资料，其中应包括与制模地形同步的水位流量级。

7.1.5 模型宜进行洪、中、枯水期流速流态验证。流速分布形态应与原型相似，流速允许偏差为 $\pm 15\%$ ，流态应与原型相近，流速流态测验要求应满足 SL 155 的规定。

7.1.6 河床冲淤地形验证应满足下列要求：

1 验证时段应包括原型河床变形最显著、对工程设施影响最大的水文时段。一般河段宜选在输沙量最大、河床变形最显著的汛期；对平原冲积河道浅滩河段，验证时段还应包括枯水期在内。

2 验证河段的冲淤总量相对误差应小于 $25\%$ ，分河段相对误差宜小于 $30\%$ ，重点河段相对误差应小于 $20\%$ 。模型和原型各相应部位，应达到冲淤分布定性相似。

7.1.7 设计比尺的调整应满足下列要求：

1 模型若能复演原型的水流运动和河床冲淤变形，则试验所选择的模型比尺是合适的，否则应调整冲淤时间比尺、含沙量比尺或推移质输沙率比尺，直至能满足相似要求为止。当试验目的主要为研究淤积问题时，模型验证时的相对误差宜取正值；主要为研究冲刷问题时，模型相对误差宜取负值。

2 调整各类比尺后，至少应进行一次验证试验，并应符合 7.1.4 条第 2 款、7.1.5 条和 7.1.6 条第 2 款的规定。

## 7.2 正式试验

7.2.1 采用验证试验确定的模型比尺，计算制定正式试验放水要素，包括流量  $Q(t)$ 、水位  $Z(t)$ 、悬移质含沙量  $S(t)$ 、推移质输沙量  $G(t)$ 、放水时段  $\Delta t$ 、尾门控制水位等条件。

7.2.2 模型进口流量过程线概化与控制应符合下列要求：

1 流量过程线的概化应包括洪、中、枯水期的流量级和正式试验时要求的流量级，其过程线的概化应尽可能反映原型流量和水位变化。

2 每个水文年概化流量级应不少于 4~6 个，概化后各流量级的模型水量与原型水量相对误差应小于 $1\%$ 。各流量级在模型中实放时间为：

$$\Delta t \geq 3L/V_{\text{平}}$$

式中  $L$ ——模型进口至出口的河道距离, m;

$V_{\text{平}}$ ——相应流量级下模型水流的平均流速, m/s。

3 模型进口实际施放流量与设计值的相对误差应小于 5%。

7.2.3 模型进口含沙量的概化与控制应符合下列要求:

1 含沙量的概化应与流量过程线的概化同步确定。概化后各含沙量级的输沙量与原型输沙量相对误差应小于 5%。

2 对于悬移质泥沙模型, 凡属试验河段在给定水流条件下, 参与河床变形或对输沙规律产生影响的最小粒径以上的泥沙, 均应在模型中模拟。

3 参与模型试验的细颗粒模型沙, 应进行水质和含沙量对模型沙产生絮凝现象的试验分析, 确定模型沙产生絮凝对模型沙设计级配的影响, 并应采取措加以解决。

4 模型施放含沙量与设计含沙量的相对误差, 在考虑模型水温影响的情况下应小于 15%, 输沙总量相对误差应小于 15%。当试验是研究淤积问题时宜用正误差, 试验是研究冲刷问题时宜用负误差。

7.2.4 对于悬移质泥沙模型试验应进行模型水温测量, 以 $^{\circ}\text{C}$ 计, 每级流量施测一次, 但最大间隔不应超过 4h, 绝对误差应小于 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 。

7.2.5 动床模型推移质加沙控制应符合下列要求:

1 动床模型推移质加沙量应在动床冲淤地形验证试验后确定。

2 如确无原型资料可采用, 可采用各家公式计算并结合相关资料对计算结果进行合理性分析, 综合确定模型设计值。必要时可取对工程影响最严重的推移质加沙量计算结果作为模型设计值。

3 模型施放的推移质总输沙量与设计的推移质总输沙量相对误差应小于 15%, 当试验是研究淤积问题时宜用正误差, 试验是研究冲刷问题时宜用负误差。

4 不同流量级推移质泥沙级配可根据床沙级配及各级流量下的水流强度,按最大粒径法或平均粒径类比法确定。

7.2.6 模型试验前的准备、试验后的检查、试验过程中的控制及测验应符合下列要求:

1 正式试验前应根据试验任务书和本标准的要求编制试验大纲,检查试验所需的各种仪器及装置是否处于正常工作状态。对动床模型,试验前应缓流充水,保证动床地形不遭破坏。对水沙分开运行系统的悬移质泥沙模型,应检查加沙池含沙量、泥沙颗粒级配是否符合设计要求。对水沙混合运行系统的悬移质泥沙模型,应检查工作池的含沙量、泥沙颗粒级配是否符合设计要求。试验结束后应保护地形,检查试验大纲规定的各种测量数据和所要求的观测项目是否全部完成并达到精度要求,经试验项目负责人签字后,才能完成试验。

2 模型试验过程中,当进口流量控制相对误差超过 5%、进口含沙量控制相对误差超过 15%、推移质加沙控制相对误差超过 15%、颗粒级配  $d_{50}$  控制相对误差超过 20% 时,任一项的控制精度不能达到要求且在 10min 内不能调整到设计值或设计修正值,应重新进行试验,但所有记录和观测数据仍应进行分析、整理和归档。

3 模型的流速流态测验方法应满足 SL 155 的要求。模型水位的测验位置及地形的测验断面范围、间距和测点间距应符合试验大纲的要求。

4 模型含沙水样取样的位置,应选在正式试验段以上某一断面,不应在正式试验段内或以下河段布设取样断面。取样断面上的取样点位置和点数,应由验证试验确定。取样的时间间隔,应能正确反映设计含沙量过程,最大时间间隔应小于 1h。含沙量的测量和泥沙颗粒级配的测定见 6.0.3 条和 6.0.4 条。

5 模型冲淤地形测定应采用断面法,断面间距宜小于 60cm,测点间距宜小于 20cm,对于断面宽度超过 15m 以上者,断面间距可适当放宽至 80cm,测点间距可放宽至 30cm。

## 8 试验成果的记录整理与分析

8.0.1 在试验前应编制模型试验量测分工表,明确进口水沙控制、沿程水沙量测、地形测量和尾门控制的负责人,试验现场总负责人等,并明确各自的职责,试验量测分工表应归入本项目的技术档案。

8.0.2 试验成果记录应符合下列要求:

1 成果的记录、计算、方法、各种表格的整理,应符合 SL 58 的要求。

2 动床模型成果记录宜贯彻边试验、边计算、边校对的原则。测量精度应符合本标准的要求。

3 淤积地形测量完成后,应立刻整理资料,点绘有关断面图和地形图并立刻进行合理性检查。如发现不合理或其他问题应重新测量。

4 对于用计算机采集的成果记录,应另存备份。

8.0.3 成果的整理与分析除应满足 SL 155 的要求外,还应计算模型实际输沙总量、模型沙粒径、流量、水位与相应模型设计值的绝对和相对误差值。



## 9 试验报告编写

**9.0.1** 试验报告的编写格式和审批应满足 SL 155 的要求，报告可包括下列内容：

- 1 试验意义、目的及任务。
- 2 河道概况及工程方案。
- 3 模型设计。
- 4 模型制作及量测仪器。
- 5 验证试验。
- 6 正式试验及成果分析。
- 7 结论与建议。

**9.0.2** 试验报告内容应有模型验证成果、模型实放输沙总量、模型地形（断面）、水位和模型沙粒径与原型设计值的相对误差分析。若没有验证试验成果，则应在报告中说明。

**9.0.3** 模型原始观测资料应与试验报告同时归档。

## 标准用词说明

标准用词	在特殊情况下的等效的表述	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	

www.sljzjxx.com  
水利造价信息网

中华人民共和国水利行业标准

河工模型试验规程

SL 99—2012

条文说明



<http://www.slzjxx.com>  
水利造价信息网

## 目 次

水利部行业标准《水利水电工程水工模型试验规程》

1 总则	21
2 几何比尺及相似准则	22
3 模型设计	25
4 模型制作	30
5 试验设备	31
6 量测仪器	33
7 试验方法	35
8 试验成果的记录整理与分析	40
9 试验报告编写	41

http://www.slzjxx.com  
水利造价信息网

## 1 总 则

**1.0.1** 根据水利部国科司《水利标准化工作管理办法》(水国科〔2003〕546号)对制订规程、规范的要求。在总结有关成熟的科研经验的基础上,修订河工模型试验的行业规程,目的在于对本系统的河工模型试验,提出统一的技术标准、方法和要求,以提高和保证试验研究成果质量,促进科学技术的进步与发展。

河工模型试验主要是针对研究河床演变与河道整治、水库工程、水工建筑物的水流泥沙等问题,进行预测分析,为工程设计、施工和调度运行提供科学技术依据。

**1.0.2** 条文明确规定相应的研究范围,以区别于其他类型的研究。

**1.0.3** 河工模型试验与水工模型(常规)试验有许多相近之处,因此规定有关部分按《水工模型(常规)试验规程》(SL 155)的规定执行。模型沙密度测定目前没有相应标准,因此规定有关部分按《土工试验方法标准》(GB/T 50123)的规定执行。模型沙颗粒分析按《河流泥沙颗粒分析规程》(SL 42)的规定执行。

河工模型试验的基本资料是河道水文泥沙及地形测量资料,因此本标准有关部分规定的参数标准也由原型水文测量标准引伸而定。

有关流量的测定引用《水工建筑物与堰槽测流规范》(SL 537)的规定执行。

## 2 几何比尺及相似准则

本标准列出的相似准则，不包括管道输沙模型、海岸波浪泥沙模型等特殊要求的一些相似准则。

### 2.1 几何比尺

几何相似是一切相似的基础，2.1.1条遵循了几何相似准则，即垂直几何比尺等于平面几何比尺。2.1.2条为空间上几何比尺不相等的变态模型，即垂直几何比尺不等于平面几何比尺，故几何变态模型不能视为遵循了几何相似准则。

### 2.2 水流运动相似

为便于模型设计，本节列出了模型试验中常用的水流运动相似准则，其中连续律相似不是基本相似准则。

阻力相似准则中给出的是河工模型试验的一般形式，对于山区河流和复杂特殊的河段，可用式(1)表示：

$$\frac{\alpha_u^2 \alpha_c^2 \alpha_l}{\alpha_R^{2y+2}} = 1 \quad (1)$$

式中  $\alpha_l$ ——平面几何比尺；

$\alpha_u$ ——流速比尺；

$\alpha_c$ ——糙率比尺；

$\alpha_R$ ——水力半径比尺，对于宽浅河道  $\alpha_R$  可近似取  $\alpha_b$ ；

$y$ ——谢才系数与水力半径关系指数，即  $c = \frac{1}{n} R^y$ ，可根据

河流实际情况确定指数值，一般  $y$  取 1/6。根据李昌华等研究山区河流模型的经验， $y$  可取为 1/5。

### 2.3 泥沙运动相似

由于目前表达泥沙运动机理的起动流速  $u_0$ 、单宽输沙率  $g_b$ 、

## 2 几何比尺及相似准则

本标准列出的相似准则，不包括管道输沙模型、海岸波浪泥沙模型等特殊要求的一些相似准则。

### 2.1 几何比尺

几何相似是一切相似的基础，2.1.1条遵循了几何相似准则，即垂直几何比尺等于平面几何比尺。2.1.2条为空间上几何比尺不相等的变态模型，即垂直几何比尺不等于平面几何比尺，故几何变态模型不能视为遵循了几何相似准则。

### 2.2 水流运动相似

为便于模型设计，本节列出了模型试验中常用的水流运动相似准则，其中连续律相似不是基本相似准则。

阻力相似准则中给出的是河工模型试验的一般形式，对于山区河流和复杂特殊的河段，可用式(1)表示：

$$\frac{\alpha_u^2 \alpha_n^2 \alpha_l}{\alpha_R^{2y+2}} = 1 \quad (1)$$

式中  $\alpha_l$ ——平面几何比尺；

$\alpha_u$ ——流速比尺；

$\alpha_n$ ——糙率比尺；

$\alpha_R$ ——水力半径比尺，对于宽浅河道  $\alpha_R$  可近似取  $\alpha_b$ ；

$y$ ——谢才系数与水力半径关系指数，即  $c = \frac{1}{n} R^y$ ，可根据

河流实际情况确定指数值，一般  $y$  取 1/6。根据李昌华等研究山区河流模型的经验， $y$  可取为 1/5。

### 2.3 泥沙运动相似

由于目前表达泥沙运动机理的起动流速  $u_0$ 、单宽输沙率  $g_b$ 、

水流挟沙力  $S$  等计算公式形式很多, 应采用所研究试验河段水沙资料对代表性公式进行检验或对水沙特性作充分了解后, 选定合适的公式。

在同一模型同时模拟推移质泥沙和悬移质泥沙时,  $\alpha_{t_2}$  应等于或接近  $\alpha_{t_1}$ 。若  $\alpha_{t_2}$  与  $\alpha_{t_1}$  不相等甚至出现较大偏差时, 在选择时应考虑主次, 当模型以悬移质冲淤为主时, 以  $\alpha_{t_2}$  为冲淤时间比尺; 当模型以推移质冲淤为主时, 以  $\alpha_{t_1}$  为冲淤时间比尺。

对于水库泥沙模型除应遵循常规试验列出相似准则外, 还应满足异重流发生(或潜入)相似条件:

$$\alpha_{s_c} = \left[ \frac{\gamma(\alpha_{k_1} - 1)}{\gamma_{s_m} - \gamma} S_p + \alpha_{k_1} \frac{\alpha_{\gamma_s} - \gamma}{\alpha_{\gamma_s}} \right]^{-1} \quad (2)$$

异重流挟沙相似条件:

$$\alpha_{s_c} = \alpha_{s_{c0}} \quad (3)$$

异重流运动连续相似条件:

$$\alpha_{t_c} = \frac{\alpha_L}{\alpha_u} \quad (4)$$

- 式中  $m$ 、 $p$ 、 $e$ ——模型、原型及异重流有关值;  
 $\gamma_s$ 、 $\gamma$ ——泥沙及水的容重;  
 $\alpha_{s_c}$ ——异重流浓度比尺;  
 $\alpha_L$ ——水平比尺;  
 $\alpha_u$ ——流速比尺;  
 $\alpha_{t_c}$ ——异重流运动时间比尺;  
 $\alpha_{k_1}$ ——考虑浑水容重沿垂线分布不均匀性而引入的修正系数的比尺。

修正系数  $k_1$  的定义式为

$$k_1 = \frac{\int_0^{h_c} \left( \int_0^{h_c} \gamma_m dz \right) dz}{\gamma_m \frac{h_c^2}{2}} \quad (5)$$

在运用式(5)时, 尚需引入异重流含沙量分布公式。作为



## 3 模型设计

### 3.1 基本资料

3.1.1 没有实测资料的应进行现场调研、查勘、分析,以得到较为准确的第一手资料。

3.1.2 一般要求收集的资料有:河道岸线整治工程、港口码头、取水口、过江桥梁及隧道等涉水工程及河道两岸地质地貌资料。

### 3.2 设计限制条件

3.2.1 模型最小水深应大于 1.5cm,是以不受水流表面张力影响为依据,是对重要的位置提出的要求,但对于河道和江心洲高滩的部分滩地,在不影响试验研究成果的基础上,可允许模型最小水深有所偏离。

3.2.2 模型水流雷诺数  $Re_m$  应大于 1000,是因为原型水流一般位于阻力平方区,要求模型水流为紊流,以满足水流流态相似。

### 3.3 定床模型与动床模型

3.3.1、3.3.2 阐明河工模型采用定床和动床的原则,河工模型设计采取动床或定床,应根据试验研究目的,研究河段的年内、年际冲淤变化幅度,挟沙水流特性、上游来沙变化情况以及试验研究的需要等因素综合考虑来选定。

### 3.4 正态模型与变态模型

3.4.1 阐明河工模型采用正态、变态以及变态率的原则。当研究重要水工建筑物和重要工程附近水流及泥沙问题时,通常都要研究建筑物附近的水流结构与状态,因而模型除应严格符合阻力相似条件外,也应严格遵守重力相似条件。而模型几何变态会引起模型流速沿垂线分布的偏离和弯道环流强度的增大,对试验成

果产生影响。

当模型设计受试验场地的限制或受选用模型沙的要求等因素不能采用正态设计时,根据已有的经验,允许放宽到几何变率不超过 2。通常此类变态模型的平面比尺选用不宜大于 250。

**3.4.2** 对于研究河床演变为主要对象的河工模型,由于天然冲积河道比较宽浅或河段较长,模型水平比尺受试验场地限制,不可能很小,当设计成正态模型,水深很小,可能受表面张力的影响,也会因雷诺数较小而不能处于阻力平方区使水流流态成为层流,完全失去与原型水流流态的相似性,因此不得不采用几何变态模型设计,但几何变率不可任意选用。综合张瑞瑾、窦国仁、谢鉴衡、张红武、窦希萍等的研究成果,本条给出几何变率的允许范围。变态模型设计阶段,可根据原型河道的宽深比,采用张瑞瑾、窦国仁、张红武研究的几何变率限制条件进行判断。

### 3.5 模型范围

**3.5.1** 模型的进口选在河道较平顺或窄深的卡口断面处,目的是保证模型试验段的流速流态达到相似。模型出口不应选在河道水流较紊乱的部位。

**3.5.2** 模型范围由进口段、试验段和出口段组成,进出口段的长度应满足试验段的流速流态相似。根据经验,模型进口段的长度宜在模型河段宽度 3~5 倍,模型出口段的长度宜在模型河段宽度 3 倍以上。

### 3.6 模型沙的选择及特性测定

**3.6.1** 阐述在选用模型沙时应遵循和注意的问题,本标准将比天然沙密度小的模型沙视为轻质沙。

**3.6.2** 由于对模型轻质沙目前还没有成熟的密度测定方法,本条规定采用《土工试验方法标准》(GB/T 50123)测定。

**3.6.3** 颗粒级配是指按粒径分组,沙重测定的一项工作。由于泥沙(包括轻质沙)粒径的测定有许多种方法,当粒径大于

32mm 一般使用直接尺量法, 这类粒径已超过通常河工模型的使用范围。不大于 32mm 的粒径泥沙则采用 SL 42 测定。

由于激光粒径测量是真实的粒径尺寸, 与 SL 42 测定的沉降粒径有差别。对于 0.062mm 以下的粒径, SL 42 测定是采用群体沉速法, 通过斯托克斯公式计算得出沉降粒径, 与真实的粒径尺寸有差别。模型设计采用的粒径是用沉降粒径, 应把激光粒径测量的粒径转换为沉降粒径。

用筛分法测定的粒径, 可用单颗沉速的测定方法。用移液管法测定的细颗粒泥沙, 其静水沉速测定应用混合沙的群体沉速法测定。

单颗沉速测定采用玻璃沉降筒长 1~2m, 管内径  $D=5\sim 12\text{cm}$ 。将筛分后的沙样, 取出单颗放入沉筒中央, 浸入水中自由下沉, 试验段从水面以下 25cm 算起, 记录颗粒下落距离和时间, 求出单颗沉速。

群体沉速法采用有机玻璃沉降筒 2~3m, 管内径为 12cm, 由于沉速与含沙浓度有很大关系, 因此试验含沙浓度配置应根据实际模型试验要求确定, 用 3~35kPa 压缩空气, 搅拌 3~5min。浑水的含沙浓度从沉降筒壁的取样孔 (垂直孔距为 5cm) 用 100mL 的比重瓶取样, 用感量 0.01mg 天平称重计算而得。沉速值用沉降历时线法计算。

试验用水应从模型实际使用的水源取得。取样时间应根据沙样的粒径、密度选定, 初始取样, 从 5s 开始, 时间间隔不小于 20s, 当粒径细、密度小时可延长取样时间间隔, 取样次数应不小于 10 次。

每组沙样沉速测定不少于 10 次, 求平均沉降速度。在测定时记录测量温度, 温度允许偏差为  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 。

**3.6.4 阐述模型沙起动流速的测定要求。** 试验时调整水流, 测定测验段的水面比降, 使水槽内水流运动处于均匀流状态, 当颗粒起动时, 测速断面应设在测验段中间, 横断面中垂线流速分布应接近一致, 取中间 15cm 宽处测三条垂线平均流速, 求得断面

平均流速。模型沙起动试验可按个别动、少量动等标准分别给出起动流速值。

### 3.7 模型设计允许的偏离

3.7.1 阻力相似是河工模型水流运动相似的基本准则，水位变化又是河道模型的重要研究条件和内容，因而不允许偏离。

3.7.2 重力相似条件的允许偏离是考虑到河工模型试验中特别在平原河流模型内，阻力损失项比流速水头变化项为大，因此只要水流曲率不大，重力相似条件可适当偏离。但由于重力是水流运动的原动力，重力相似是水流运动相似的基本准则，故该相似条件不应偏离较多。综合李昌华、谢鉴衡、张红武等研究成果及经验，平原河流模型中，重力相似条件允许的偏离程度应小于25%。

3.7.3 动床模型试验中，依据第2章几何比尺及相似准则，在几何变态模型上悬移指数 $m$ 取值，计算的沉速比尺是有差异的，另外推移质泥沙与悬移质泥沙的输移遵循不同的规律，因此模型要求的推移质输沙率时间比尺和悬移质输沙率时间比尺难以相等，且输沙量比尺目前尚无法准确计算，因此模型设计允许部分相似准则有一定偏离或差异。此外，变态动床模型中水流结构与泥沙运动都难以严格相似。因此含沙量比尺（悬移质泥沙模型）、推移质输沙率比尺（推移质泥沙模型）及其相应的泥沙冲淤时间比尺要靠验证来决定，不经过验证试验则试验成果难以引伸至原型。如果验证试验结果要求调整悬移质含沙量比尺或推移质输沙率比尺，就应根据河床变形相似条件的要求，相应调整时间比尺（时间比尺问题实际是派生的），而不能不遵守河床变形相似准则。

3.7.4 河床冲淤变形相似受水流运动相似的直接影响，因而原则上泥沙冲淤时间比尺与水流时间比尺应该接近。但由于不少模型选取了容重较小的轻质沙作为模型沙，泥沙冲淤时间比尺与水流时间比尺相差较大的时间变态问题往往难以避免，故对该条件

不得不有所放宽。水流时间比尺与泥沙冲淤时间比尺相差不宜超过 10 倍数是经验数据。一般情况下模型越长，时间变态导致的影响就越大，故要求水流时间比尺与泥沙冲淤时间比尺相差应越小。

http://www.sljzjxx.com  
水利造价信息网

## 4 模型制作

### 4.1 定床模型

4.1.1 模型制作一般采用水泥抹面，当模型设计考虑水泥抹面床面糙率不够时，也可以采用表面拉毛、拉槽、小石子加糙或用其他加糙办法。床面平整度要求可比水工模型低。其他制模方法、材料和施工要求与 SL 155 相同。

4.1.2 模型一般不允许渗漏水量，但模型使用一段时间后，由于地坪的不均匀下沉，引起模型导墙拉裂，为保证试验成果精度，特规定模型允许渗漏水量。

### 4.2 动床模型

4.2.1、4.2.2 阐述在确定动床模型施工设计时的技术要求。

4.2.3 采用阴断面板法刮制地形，应用经过水充分浸湿后不会变形的材料做断面板，以防止变形后发生较大误差。

4.2.4 为使动床部分的模型沙能自然密实，应在模型刮模塑制地形前，进行较长时间的浸泡，浸泡的水深应超过动床模型沙最高部分 5cm 以上，泡沙时间应根据所选取模型沙的类别而定，一般易饱和的模型沙浸泡时间可短些，不易饱和或表面有油质的模型沙应浸泡时间长些。

## 5 试验设备

**5.0.1** 对水质的要求主要考虑目前国内所采用的模型沙，绝大部分是轻质沙，它对水质要求比较高，杂质多将对模型沙特性产生影响。

模型试验用水的酸碱性要求 pH 值为 7。中性水可避免与碱、酸性模型沙产生化学反应，而产生沉淀物或改变模型沙的特性。

电导率的限制是由电测仪器精度所要求。

模型循环水中的钙、镁离子含量偏大又含有相当数量的电解质时，会产生絮凝现象而改变模型沙的实际使用粒径。

在选用较细模型沙时，加入分散剂是为防止絮凝现象发生。

**5.0.2** 阐述模型试验对供水设备的要求。

1 浑水河工模型，一般均应建成独立的供水系统，由于所研究的河段特性以及选用的模型沙粒径、级配、含沙量均有较大差别，不能几个模型共用一套供水系统。

2 水沙混合运行模型：

- 1) 模型试验过程中，工作池中的浑水始终在充分搅动的情况下循环工作，池中不应出现淤沙。
- 2) 蓄水水池主要为快速稀释模型含沙量，快速补水用。
- 3) 泥沙模型试验时间一般较长，短则一个星期，长则 1~2 个月，且人力和财力耗费较大。供水设备故障将影响试验正常进行。最大供水量应超过模型最大用水量的 1.5 倍，其目的是要有较大的回水水量，使回水能量能够充分搅动工作水池中的浑水，不在池中发生沉积。
- 4) 平水系统的目的是保证进入模型流量稳定，当动力电压稳定时，可以不采用平水系统，采用何种方法可根

据试验室条件而定。

- 5) 为使浑水泥沙不在供水管道内和回水渠槽中发生沉积,影响模型进口含沙量稳定,根据试验经验,水流速度应大于模型沙起动流速的3~5倍。具体采用值应根据所选的模型沙做预备性试验和计算决定。

**5.0.3** 量水堰槽主要用于清水模型,其相对误差视量水堰的类型而定。使用时应遵守SL 537的规定。

浑水河工模型量水设备的设置原则是供水循环系统内的水流中所含泥沙在运行过程中不发生沉积。常用量水仪器有差压式流量计、电磁流量计、涡轮流量计等。差压式流量计适用于含沙量小于 $5\text{kg}/\text{m}^3$ 及流体中含沙颗粒平均粒径小于 $0.3\text{mm}$ 的情况。电磁流量计在使用时应防止周围有较强电磁场干扰。涡轮流量计在使用时应严格水平安装于管道上,并防止其他污物杂质进入流量计。

为使模型流量控制自动化,模型流量控制系统一般采用工业自动化控制仪表和计算机控制系统相结合。流量控制系统相对误差应小于5%。

**5.0.4** 阐述模型试验对供沙设备的要求。

- 1 明确推移质加沙机的技术要求。
- 2 搅沙池是浑水泥沙进入工作水池前的重要搅拌环节,其目的是要使模型沙充分湿润饱和,搅沙池宜做成圆筒形,圆筒底部为锥形,可采用水力或机械搅拌方式,池内无沉沙死角。对于长系列年模型试验,为避免1个搅沙池容积过大,可采用2个搅沙池轮流使用。
- 3 明确加沙率精度要求。
- 4 明确沉沙池工艺设计要求。



## 6 量测仪器

**6.0.1** 微型旋浆流速仪测量范围为 0.015~4.00m/s, 一般低速杆适用范围为 1.5~20cm/s; 中速杆为 3~120cm/s; 高速杆为 15~400cm/s, 其中电阻式旋浆流速仪适用于天然淡水为流体介质的模型, 电导率 100~1200 $\mu$ S/cm、模型含沙量小于 40%情况下使用; 光电式旋浆流速仪适用于水质中无藻类、电导率为 100~1000 $\mu$ S/cm 的流体介质模型。

**6.0.2** 详见 SL 155。自动跟踪式水位仪, 水位仪量程为 20cm 时, 鉴别力阈不大于 $\pm 0.1$ mm。量程为 40cm 时, 鉴别力阈不大于 $\pm 0.2$ mm, 重复性误差不大于 $\pm 0.2$ mm。

**6.0.3** 烘干称重法应具备 100mL 比重瓶或 500mL 量筒, 煮沸蒸发用电炉及烘箱, 感量 0.001g 天平。比重瓶置换法应具备 25mL 和 50mL 比重瓶及感量 0.001g 天平, 当含沙量小于 1kg/m<sup>3</sup> 时, 应使用 100mL 以上比重瓶和 0.0001g 感量天平。光电测沙仪一般适用范围为 0~5kg/m<sup>3</sup>, 相对误差小于 5%。各式光电测沙仪(包括红外线测沙仪), 均应在每次实验前对确定的模型沙和实验用水以烘干称重法进行率定。在实验过程中出现相对误差大于 15% 时, 应停止使用。

**6.0.4** 泥沙颗粒级配与粒径分析仪器的方法与要求:

(1) 模型沙粒径分级方法用十进制法兼“1/2”、“1/4”比例为内插分级, 基本粒径的划分为小于 0.005mm、0.01mm、0.025mm、0.05mm、0.1mm、0.25mm、0.5mm、1.0mm、2.0mm、5.0mm、10.0mm、20.0mm、50.0mm、100.0mm、200.0mm 共 15 级。

(2) 粒径分析仪器与设备:

1) 游标卡尺适用于粒径大于 32mm 的泥沙颗粒, 精度为 0.1mm 的游标卡尺直接测量。

2) 分析筛适用于粒径不大于 32mm, 大于 0.062mm 的泥沙颗粒。其中粗筛为圆孔, 孔径为 4mm 以上各级; 细筛为方孔, 孔径为 0.063~2.0mm 各级。

3) 天平要求称量 5000g、感量 1g; 称量 1000g、感量 0.1g; 称量 200g、感量 0.01g。

4) 筛析机在筛析过程中应能上下振动。

5) 移液管适用于粒径小于 0.062mm 的泥沙颗粒。

6) 小烧杯要求容积 50mL。

7) 激光衍射粒度分析仪的粒径范围一般为  $d=1\sim 2000\mu\text{m}$ 。

在试验过程中, 根据条件也可使用进口或国产各种快速光电颗粒分析仪器, 但除应用标准沙样进行严格率定外, 还应针对实验用模型沙进行对比试验, 在确认其可靠性和稳定性能后且相对误差小于 10% 时, 才可以应用于实验。

**6.0.5** 浑水模型可采用电阻式地形测量仪, 该仪器适用于非良导体模型沙、含沙量小于  $40\text{kg}/\text{m}^3$  的浑水模型。原理是利用模型沙与浑水水流电阻率的差别, 使仪器测定模型沙淤积的界面, 这类仪器不能用于有良好导电性能模型沙。当浑水模型使用容重较小、粒径较细的轻质沙时, 往往极易产生河床淤积面与挟沙水体界面不明显的情况, 此时应提高仪器的分辨率。

**6.0.6** 在进行泥沙分析时, 水温温度计可采用玻璃水银温度计, 也可采用电子温度计。对模型水流温度测量, 可采用测量信号能远传与多信号集中显示的电子温度计。

**6.0.7** 量测仪器仪表分商品出售的量测仪器和自行研制的量测仪器。凡已成商品出售的量测仪器, 均应有国家法定计量检定机构检定/校准的证书。单位自制或行业内内销的专用仪器应具有相应技术单位出具的证明文件和合格证书, 并采取有效的自校方法, 进行量值溯源。测量使用的一次、二次仪表和数据采集系统的仪表检定/校准周期为 1~2 年。

## 7 试验方法

### 7.1 验证试验

**7.1.1** 验证试验是河工模型试验应进行的内容。河工模型试验比较复杂,影响因素很多,特别是变态动床模型,水流结构和泥沙运动都不是严格相似的;输沙量比尺及河床变形时间比尺,目前还无法正确计算,这些模型试验控制因素必须依靠验证试验来解决,在调整输沙量比尺和河床变形时间比尺时的依据是使模型与原型在地形冲淤上符合为止。同时验证试验的目的也是检验模型设计、制模、操作的可靠性和正确性。

当某些中、小河流缺乏实测资料,无法在模型试验中提供验证数据和地形,则用公式计算所得各类比尺值进行放水试验,其结果只能供设计或研究作定性参考,不能直接作为设计的依据。

**7.1.2** 本条阐述验证资料的收集与选用的要求。

1 水流、泥沙等原始资料,是河工模型试验的基本依据,本条为严格保证其正确性而立。但如为手抄件应有两人以上校对签字才能使用。如缺某项水流、泥沙资料,可采用相关延伸、插补、计算等方法推求,但应预估其精确度,并在试验报告中加以说明。

2、3 为验证试验顺利进行所提出相应的要求。

4 一维数学模型水位验证的允许绝对误差应小于 $\pm 5\text{cm}$ 。

**7.1.3** 定床制模起始地形校正,允许平面误差为 $\pm 1\text{cm}$ ,高程误差为 $\pm 1\text{mm}$ ,与SI.155相同。

**7.1.4** 阐述水面线验证的要求。

1、2 是指与制模地形同步测验的流量级水面线校正后允许误差,其他流量级个别水位站的误差可允许大一些。

3 由于模型进口第一个水位站,可用进口前池水位来控制,模型出口的水位可用尾门来调节,因此同一模型上仅取两个或两

个以下的水位站不能反映模型与原型的阻力相似条件，是模型不允许出现的情况。

4 当模型试验研究的目的在于枯水整治或研究洪水水位时，其验证水位的流量级可适当放宽，但相应研究时段的水位级验证资料应保证。

7.1.6 河床冲淤地形验证是河工模型验证试验的决定性环节，除达到定性相似外，根据经验其相对误差宜小于25%。一般验证试验要经过多次才可能达到要求。

7.1.7 验证试验的主要依据是模型冲淤地形与原型基本一致，其冲淤部位要求在定性上相似外，其冲淤量根据经验所定允许偏差25%是指总体而言，对河段中重点研究部位其允许相对误差应小于25%，而非重点部位可予以适当放宽。

## 7.2 正式试验

7.2.1 当采用非恒定流放水法时，不必确定 $\Delta t$ 。

7.2.2 当采用概化流量放水法时，本条规定了应满足的精度要求。

流量过程线概化不仅要反映原型流量变化，也要反映原型水位变化，河道上的水位和流量变化一般是相对应的，但对于库区或坝区模型，流量经上一级水库调控后变化幅度不大，但坝前水位变化较大，此时应注意水位过程线的概化。

各流量级在模型中实放时间 $\Delta t \geq 3L/V_m$ ，是指各流量级下的平均流速，水流从模型进口流到模型出口所需时间的3倍以上。同时 $\Delta t$ 也是模型进口流量设备控制流量稳定的必要时间。其中 $\Delta t$ 为某一流量级在模型中实放的时间； $L$ 为模型进口至出口的河道距离； $V_m$ 为相应流量级下模型水流的平均流速。

模型进口流量控制相对误差应小于5%的要求是根据原型观测实际能达到的精度而定。

7.2.3 本条阐述模型进口含沙量的概化与控制的要求。

1 本款是指浑水模型试验在目前试验水平情况下，还无法

达到沿含沙量过程线作不稳定控制，一般采用分级含沙量控制，为此与流量过程线一样需要概化，考虑到含沙量随时间变化大的特点，其相对误差值应不超过 5%，是指每时段设计施放输沙总量与原型相应时段输沙总量之差值。

2 通常悬移质泥沙模型不可能模拟原型全部的悬移质，因此提出模型应模拟参与河床变形部分的泥沙。最小泥沙粒径的选定，应根据研究问题性质的不同，通过具体分析实测资料及计算后确定。

3 根据对各种模型沙特性的研究，不同模型沙发生絮凝的临界粒径是不同的，但水质和含沙量是模型沙产生絮凝的主要因素。

4 浑水模型试验的含沙量控制，考虑到目前试验的操作水平，提出允许的相对误差值。

7.2.4 水温是影响水黏滞性的因素之一，温度不同直接影响模型沙的沉降速度，因此在模型设计、验证试验和正式试验时，均应考虑温度的因素，必要时可修正放水要素。

7.2.5 本条阐述动床模型推移质加沙控制的要求。

1、2 阐述推移质泥沙模型加沙量的确定办法。在条件允许的情况下应探索试验研究河段推移质泥沙的输沙规律，获得相应的输沙率经验公式，再在模型中用验证试验来调整。

3 推移质泥沙的原型观测，目前还不完全成熟，精度偏低，因此本条款只作了一般规定。

4 由于不同流量级推移质泥沙级配是不同的，可按李昌华的最大粒径法或张红武的平均粒径类比法确定。

7.2.6 本条阐述泥沙模型试验中应遵循的要求。

1 试验大纲应包括如下的内容和要求：

(1) 概述。河段特性、工程规模、任务来源和依据，以及主要目的和要求。

(2) 国内外研究水平。概述国内外对本项目研究的水平和动向。提出本模型的设计方法和预估可能达到的研究水平及模型的

精确度。

(3) 试验研究的内容、方法和步骤。根据任务要求和研究方向,确定测量的项目、组次和测量允许误差以及试验研究进行的步骤。

(4) 制定相应的技术措施。根据测量项目的要求,确定所需的仪器。

(5) 安排进度。根据试验要求和工作量安排进度。在进度安排中应包括阶段性工作进度以及最终报告的日期。

(6) 报告审查。如提出任务单位要求审查,应根据审查要求确定试验报告的内容、审查日期、审查的级别和审查专家名单。

水沙混合运行的悬移质泥沙模型放水时,虽然工作水池已进行含沙量和颗粒级配的测定,但是当进水管系统较长,回水渠道也较长时可能发生进入模型后的含沙量和颗粒级配有较大的变化,因此在放水进入模型后,应立即用快速测定法判定是否满足设计要求,当不满足要求时应立刻清扫已落淤在模型上的模型沙。在调整好含沙量和颗粒级配后,再重新放水开始计时。

2 本款规定失控的界限,是为判别试验是否成功的标准,四项控制指标均为经验所得。

3 本款规定常规试验应遵循的一般要求。

4 模型含沙量测定采用其他方法时,应在使用前用烘干称重法率定,两者之间的相对误差应小于10%才能使用,且每次率定报告应归档备查。

在模型试验过程中不论采用什么方法测定含沙量,应同时采用烘干称重法监测,监测次数每一流量级应在一次以上。当两者相对误差大于15%时,应立刻找出原因,如累积超标测次超过4次以上,则应改用烘干称重法或比重瓶置换法测定。

泥沙颗粒级配的测定不论采用什么方法,所用仪器应进行标准样品或参考样品的比速率定,其相对误差应小于10%,才能使用。

5 模型冲淤地形测定的测点间距,当地形平坦,同时在批

准实施的模型试验大纲允许条件下，也可适当放宽。

冲淤地形测定常用仪器为测针直读、电阻式测淤仪、光电式测淤仪。其他仪器如超声波地形仪、跟踪式地形仪在一定条件下也可使用，但不论选用何种类型的地形仪，都应通过玻璃水槽作同类模型沙的淤积地形率定试验，各种地形仪测量误差应在 $\pm 2\text{mm}$ 之内，才能使用。

<http://www.slzjxx.com>  
水利造价信息网

## 8 试验成果的记录整理与分析

8.0.2 本条阐述对成果记录的要求。

1 由于河工模型测量内容、项目与原型基本一致，因此应采用《水文普通测量规范》(SL 58)中附录 A、附录 B 的记录格式。数据记录和修改要规范。

2 动床模型试验是一个动态的实验过程，本款规定的目的是尽可能获得可能多的正确资料，避免发生事后检查已来不及补救的问题。

3 动床淤积地形随着模型退水和暴露在空气中会发生变形、干缩等问题，因此本款规定在最短时间内测量完成。

8.0.3 本条是河工模型试验成果中应提供给使用者的必要参考数据。

http://www.slzjxx.com  
水利造价信息网



## 9 试验报告编写

**9.0.1** 本条包括的内容是模型试验的基本部分，一般河工模型试验报告都不能缺少，其中正式试验成果分析是试验报告的重点，一般设计方案由设计部门提出，试验研究人员根据科研经验和试验研究后提出优化方案，因此正式试验成果分析可能包含设计方案和优化方案。

**9.0.2** 当试验报告中缺少验证试验部分，则此项河工模型试验成果，不能直接应用于重要工程设计，只能供研究问题作参考。

**9.0.3** 河工模型试验操作技术比较复杂，影响成果的因素很多，因此，模型原始观测资料是查找试验中可能存在问题的唯一依据。

## 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、兼顾其它学科和门类，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，迄今已经出版近三万种、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，同时还负责编辑出版水利水电类科技专著、工具书、文集及相关职业培训教材。

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，为您提供全方位的咨询服务，进一步做好标准出版工作。

联系电话：010-68317913（传真）

主任：王德鸿 010-68545951 wdh@waterpub.com.cn

主任助理：陈 昊 010-68545981 hero@waterpub.com.cn

策划编辑：林 京 010-68545948 lj@waterpub.com.cn

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

http://www.slzjxx.com  
水利造价信息网



155170. 12

SL 99—2012

中华人民共和国水利行业标准  
河工模型试验规程  
SL 99—2012

\*

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、68345874  
全国各地新华书店和相关出版物销售网点经销  
北京瑞斯通印务发展有限公司印刷

140mm×203mm 32开本 1.5印张 40千字  
2012年11月第1版 2012年11月第1次印刷  
印数0001—2000册

\*

书号 155170·12  
定价 20.00 元

凡购买本社规程, 如有缺页、倒页、脱页的,  
本社发行部负责调换  
其他问题, 请与本社水利水电技术标准咨询服务中心联系  
电话(传真): (010) 68317913  
E-mail: jwh@waterpub.com.cn

版权所有·侵权必究