

ICS 93.023

P 59

备案号: J635—2007

**DL****中华人民共和国电力行业标准****P****DL/T 5360 — 2006**

# **水电水利工程 溃坝洪水模拟技术规程**

**Code for simulation of dam-break flow for  
hydropower & hydraulic engineering**

**2006-12-17 发布****2007-05-01 实施**

**中华人民共和国国家发展和改革委员会 发布**

## 目 次

前言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	2
3 总则 .....	3
4 基本资料 .....	4
5 溃坝洪水模型试验 .....	5
5.1 模型设计 .....	5
5.2 试验设备与量测仪器 .....	5
5.3 模型制作 .....	6
5.4 模型率定和验证 .....	6
5.5 试验及观测 .....	7
5.6 资料整理及分析 .....	7
6 溃坝洪水数值模拟 .....	9
6.1 基本方程及求解方法 .....	9
6.2 定解条件及边界处理 .....	9
6.3 计算断面和网格划分 .....	9
6.4 模型率定和验证 .....	10
6.5 计算和分析 .....	10
7 报告编写 .....	12
附录 A (规范性附录) 溃坝洪水模型试验测量精度要求 .....	13
附录 B (资料性附录) 溃坝洪水数学模型基本方程 .....	14
条文说明 .....	17

## 前 言

本标准是根据《国家发展和改革委员会办公厅关于下达 2004 年行业标准项目计划的通知》（发改办〔2004〕872 号）要求制定的。

编写人员进行了深入的调查研究、收集资料、综合整理工作，认真总结了我国水电水利工程溃坝洪水模拟的实践经验及国内外最新研究成果，并广泛征求了国内有关业主、设计、咨询、施工、科研单位和专家的意见，在此基础上编制了本标准。本标准对规范溃坝洪水的模拟方法和技术要求，提高模拟成果的科学性、准确性和可靠性是很有必要的。

本标准的附录 A 是规范性附录、附录 B 是资料性附录。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业水电施工标准化技术委员会归口并负责解释。

本标准起草单位：武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室、长江水利委员会长江科学院。

本标准主要起草人：张小峰、姜和平、黄国兵、韩继斌、贺昌海、王才欢、谢作涛、穆锦斌。

DL/T 5360 — 2006

## 1 范 围

本标准规定了水电水利工程溃坝洪水模拟技术的基本要求。

本标准适用于大中型水电水利工程溃坝洪水模拟，其他类似工程可参照执行。

DL/T 5360 — 2006

## 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些标准的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本均适用于本标准。

DL/T 5105	水电工程水利计算规范
DL/T 5127	水力发电工程 CAD 制图技术规定
DL/T 5173	水电水利工程施工测量规范

### 3 总 则

3.0.1 为规范溃坝洪水的模拟方法和技术要求，提高模拟成果的科学性、准确性和可靠性，特制订本标准。

3.0.2 溃坝（堰）洪水模拟研究成果可作为制定减灾预案和对策的依据。

3.0.3 溃坝洪水模拟可采用模型试验和数值模拟：

1 模型试验可采用模拟溃坝（堰）洪水演进模型和坝体（堰体）溃决过程的局部模型。

2 数值模拟可采用一维数学模型和平面二维数学模型。一维模型用于模拟库区及溃坝（堰）发生后洪水在下游河道的传播过程。当溃坝洪水超出河道堤防高程（包括堤防溃决）后在城镇内的演进过程时，应采用平面二维和一维数学模型耦合的方法进行计算。

3.0.4 溃坝洪水模拟研究大纲主要包括：

- 1 工程概况。
- 2 研究目的和要求。
- 3 工程设计方案和基本资料。
- 4 模拟方法。
- 5 研究进度计划。
- 6 预期成果目标。
- 7 研究负责人和参加人员。

3.0.5 溃坝洪水模拟研究除应执行本标准外，还应符合国家现行有关标准的规定。

DL/T 5360 — 2006

## 4 基本资料

### 4.0.1 溃坝洪水模拟应收集如下地形资料：

- 1 河道地形图。
- 2 河道断面资料。
- 3 沿河两岸地形及设施布置图。
- 4 测图比例，应根据坝址所在河流和城镇大小确定。

### 4.0.2 应收集的水文资料包括：

- 1 模拟河段范围内的实测和调查洪水水面线及相应流量。
- 2 不同频率入库洪水和下游汇入支流洪水过程，模拟河段出口断面水位流量关系。

### 4.0.3 应收集水库库容曲线，泄水（导流）建筑物布置图及泄流曲线；大坝（围堰）、泄水（导流）建筑物的设计洪水标准及建筑材料。

### 4.0.4 应收集下游城镇防洪标准。

## 5 溃坝洪水模型试验

### 5.1 模型设计

#### 5.1.1 模型设计应满足：

- 1 几何相似。
- 2 重力相似。
- 3 阻力相似。

5.1.2 模拟坝体（堰体）溃决过程的局部模型应采用正态模型。长河段溃坝洪水模型宜采用正态模型，若采用变态模型，其变率不宜大于 3。

5.1.3 模型坝体材料按起动流速相似准则选择。

5.1.4 大坝上游全模拟范围宜按逆行波速 5 倍确定，以上部分可以简化，但水库容积和库区河道的长度应相似。

5.1.5 大坝下游模拟范围应包括受溃坝（堰）洪水影响的防护对象。有支流入汇的河段，模型应包括支流汇入部分的河道地形，必要时应考虑支流流量。

5.1.6 模型比尺应根据模拟范围、试验场地、动力设备等条件选择确定。

### 5.2 试验设备与量测仪器

#### 5.2.1 主要试验设备应包括：

- 1 模拟不同溃决口门形状和尺寸的设备。
- 2 自动调控水位的尾门装置。

#### 5.2.2 主要量测仪器应包括：

- 1 溃坝洪水水位测量仪器，如跟踪式水位仪、波高仪等。
- 2 流速测量仪器，如能连续测量和记录的测速仪器。



## DL/T 5360 — 2006

3 流态测量仪器，如摄像机、照相机。

### 5.3 模型制作

5.3.1 制模导线网应控制整个模型范围，顺直河段宜一侧布置一条直导线，另一侧平行布置副导线；弯曲、分汊型河段宜采用三角形导线网控制。

5.3.2 模型地形控制应满足下列要求：

1 制模断面布置应控制原型地形的特征及其变化，模型断面间距宜取 30cm~80cm。特殊地形、微地形可按等高线制作。

2 断面各点高程应采用实测数据，对断面线未经过实测点的部位，可采用等高线或实测点高程内插求得。

3 每个断面板上应注明与导线相交位置、特征点的起点距离和相应高程。

5.3.3 模型粉面前应对断面位置和高程进行校核；当采用密排加糙时，填实面至断面口应预留水泥粉面的厚度及不小于加糙物 2 倍粒径的厚度；粉面后应选择重点断面复核高程和特征地形。

5.3.4 应在城镇、建筑物和控制位置设置水位、流速测量仪器。

5.3.5 库区和下游岸坡上应绘制高程标尺。

5.3.6 自溃坝坝坡的上下游面应绘制方格网及标注高程。

5.3.7 模型制作的测量放样应按 DL/T 5173 的有关规定执行。

5.3.8 模型制作精度应符合附录 A 的要求。

5.3.9 模型制作完成后，应进行检查和校核，并作记录。

### 5.4 模型率定和验证

5.4.1 应进行模型水位验证和糙率校正。水位允许偏差以转换成原型计，山区河流为  $\pm 0.1\text{m}$ 、平原河流为  $\pm 0.05\text{m}$ 。

5.4.2 应校正不同库水位时的模型水库蓄水量，允许偏差为  $\pm 5\%$ 。

5.4.3 应率定自动调整水位的尾门设备。

## 5.5 试验及观测

5.5.1 应按可能出现的溃坝型式，并考虑遭遇不同标准洪水和坝前水位，拟定试验方案。溃坝型式应按坝体材料性质、结构等拟定。拱坝、重力坝等坝型，可采用瞬时全部溃决或瞬时局部溃决；堆石坝、土石坝等坝型及土石围堰，可采用逐渐全部溃决或逐渐局部溃决。

5.5.2 溃坝口门型式可近似为矩形或梯形，口门最终尺寸应根据坝型材料性质及坝址断面地形综合拟定。

5.5.3 有支流汇入河段，应包括不同频率洪水的组合。

5.5.4 观测应包括以下内容：

- 1 量测坝址及上、下游河道各特征断面的水力要素变化过程。
- 2 量测下游各特征点处的水力要素变化过程。
- 3 拍摄（摄像）溃坝洪水演进流态和淹没范围变化过程。
- 4 拍摄自溃坝溃决自引冲槽过水、冲开、溃决口门渐扩的全过程。

5.5.5 观测精度应按照附录 A 的要求执行。

## 5.6 资料整理及分析

5.6.1 应对观测数据的可靠性和精度进行分析。

5.6.2 试验成果整理分析内容应包括：

- 1 坝址断面及上、下游河道各特征断面水位的变化过程线，最高水位及出现的时间。
- 2 溃坝波向下游演进和向上游传播的过程线。
- 3 下游各特征点处的水力要素变化过程。
- 4 溃坝洪水随溃口口门形状与溃决历时的变化规律。
- 5 溃坝洪水随不同入库流量的变化规律。
- 6 溃坝洪水在不同坝前水位下出现溃决的变化规律。

**DL/T 5360 — 2006**

**5.6.3** 应比较各试验方案下溃坝洪水与天然情况下各级频率洪水在下游河道的演进过程，为洪灾损失评估提供技术基础。

**5.6.4** 对自溃坝试验，应分析不同库水位与溃口发展过程的关系。

## 6 溃坝洪水数值模拟

### 6.1 基本方程及求解方法

- 6.1.1 溃坝洪水数值模拟可参照附录 B 所列的基本方程。
- 6.1.2 模型计算数值格式应满足相容性、收敛性和稳定性要求，应能同时模拟急流和缓流，计算结果应满足水量守恒。
- 6.1.3 平面二维模型应能模拟洪水在干河床上演进。

### 6.2 定解条件及边界处理

- 6.2.1 一维数学模型初始条件应给出初始沿程流量和水位。当一维数学模型模拟的范围包括库区和下游河道时，上边界宜取入库流量过程，出口边界宜取水位流量关系，坝址处流量宜作内边界处理。当一维数学模型模拟的范围为下游河道时，上边界宜取溃口下泄流量和泄水（导流）建筑物下泄流量，出口边界宜取水位流量关系。
- 6.2.2 平面二维模型的初始条件应给出二维计算域内初始水位和流速，开边界上宜取水位或流量，闭边界上宜取法线方向速度分量为零。
- 6.2.3 一、二维耦合模型的连接面上应满足水量守恒条件。
- 6.2.4 溃口流量可采用宽顶堰流量公式进行计算。
- 6.2.5 对平面二维模型，当水边线随水位升降而变化时，宜采用动边界模拟技术。

### 6.3 计算断面和网格划分

- 6.3.1 一维模型断面布置应符合下列规定：
  - 1 断面间距应根据河道形态等特征确定，断面间距不宜大于

## DL/T 5360 — 2006

3km。

- 2 重要河段和河道几何形态变化大的部位应加密断面。
- 3 进出口断面宜选在顺直河段上。

6.3.2 平面二维模型网格布置应反映地形地物的变化特征，对重点部位，网格应加密。

### 6.4 模型率定和验证

6.4.1 对一维模型，应采用实测和调查水面线及相应流量资料对数学模型中的糙率进行率定和验证。

6.4.2 对平面二维模型，应根据实测资料对模型进行率定；当无资料时，应对模型计算结果的合理性进行分析。

6.4.3 应收集其他水库溃坝洪水资料或试验资料对模型计算结果的可靠性和精度进行分析。

### 6.5 计算和分析

6.5.1 应按可能出现的溃坝型式，并考虑遭遇不同标准洪水和坝前水位，拟定计算方案。溃坝型式应按坝体材料性质、结构等拟定。拱坝、重力坝等坝型，可采用瞬时全溃或瞬时局部溃决；堆石坝、土石坝等坝型及土石围堰，可采用逐步全溃或逐步局部溃决。

6.5.2 溃坝口门型式可近似为矩形或梯形，口门最终尺寸应根据坝型材料性质及坝址断面地形综合拟定。

6.5.3 有支流汇入河段，应包括不同频率洪水的组合。

6.5.4 计算方案应包括天然情况下各级频率洪水在下游河道的演进过程。

6.5.5 模型计算结果输出应包括：

- 1 一维模型应输出溃口及上、下游河道各特征断面的水力要素变化过程。
- 2 平面二维模型应输出各特征点处的水力要素变化过程。

## DL/T 5360 — 2006

6.5.6 应对计算成果的可靠性和合理性进行分析。必要时应进行敏感性分析。

6.5.7 计算成果整理分析内容应包括：

1 溃口及上、下游河道各特征断面水位、流量和流速随时间的变化过程线。

2 溃坝波向下游演进和向上游传播的过程线。

3 下游各特征点处的水力要素变化过程。

4 溃坝波到达各特征断面的时间，各特征断面最高水位、最大流量和最大流速值及其出现时间。

5 不同溃口口门形状和溃决历时，坝址断面及上、下游河道各特征断面水位、流量和流速的变化规律。

6 溃坝洪水随不同入库流量的变化规律。

7 不同坝前水位时，溃坝洪水的变化规律。

6.5.8 应比较各计算方案下溃坝洪水与天然情况下各级频率洪水在下游河道的演进过程，为洪灾损失评估提供技术基础。

DL/T 5360 — 2006

## 7 报 告 编 写

7.0.1 模型试验应提交溃坝（堰）模型试验报告、录像和照片等试验研究成果。

7.0.2 数值模拟应提交溃坝（堰）计算研究报告、电子文档等研究成果。

7.0.3 模型试验报告正文编写应包括工程概况、试验目的与主要内容、模型设计与模型制作、量测仪器、模型率定和验证、试验成果与分析、结论与建议等内容。

7.0.4 数值模拟计算研究报告正文编写应包括工程概况、计算研究目的与主要内容、数学模型介绍、模型率定和验证、模型计算结果的可靠性和精度分析、计算成果与分析、结论与建议等内容。

7.0.5 报告结论应观点明确，对存在的问题应明确指出，并提出进一步研究的建议。

**附 录 A**  
**(规范性附录)**  
**溃坝洪水模型试验测量精度要求**

**A.1 溃坝洪水模型试验测量精度要求 (见表 A.1)**

**表 A.1 溃坝洪水模型试验测量精度要求**

施测对象	测试仪器	精度要求	备 注
模 型	水准仪 经纬仪 钢 尺	局部模型高程允许误差为 $\pm 0.3\text{mm}$ , 平面长度允许误差为 $\pm 1.0\text{mm}$ ; 整体模型高程允许误差为 $\pm 1.0\text{mm}$ , 平面距离允许误差为 $\pm 10\text{mm}$	
水 位	量水测针 跟踪式水位仪 波高仪	测针精度为 $\pm 0.1\text{mm}$ 。 跟踪式水位仪精度为 $\pm 0.2\text{mm}$ , 量程应大于 300mm, 跟踪速度应大于 50mm/s。 波高仪精度为 $\pm 0.2\text{mm}$	测杆应垂直安装
流 速	表面流场粒子 图像测速系统 红外线光电流速仪 电磁流速仪	流速允许误差为 $\pm 0.02\text{m/s}$	
流 量	电磁流量计	流量允许误差为 $\pm 1\%$	只用于模型进口, 控制阀宜安装在电磁流量计后面



DL/T 5360 — 2006

## 附录 B

(资料性附录)

## 溃坝洪水数学模型基本方程

## B.1 一维模型的基本方程包括:

水流连续方程

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \quad (\text{B-1})$$

水流运动方程

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial Z}{\partial x} + g \frac{n^2 Q |Q|}{AR^{4/3}} = 0 \quad (\text{B-2})$$

式中:

 $x$  ——水流纵向距离, m; $Q$  ——流量,  $\text{m}^3/\text{s}$ ; $Z$  ——水位, m; $g$  ——重力加速度,  $\text{m}/\text{s}^2$ ; $R$  ——水力半径, m; $t$  ——时间, s; $A$  ——过水断面面积,  $\text{m}^2$ ; $n$  ——曼宁糙率系数; $q$  ——源汇项,  $\text{m}^2/\text{s}$ , 若无支流汇入或流出,  $q=0$ 。

## B.2 直角坐标系下平面二维数学模型的基本方程包括:

水流连续性方程

$$\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (\text{B-3})$$

 $x$  方向运动方程

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial uM}{\partial x} + \frac{\partial vM}{\partial y} = -gh \frac{\partial Z}{\partial x} - \frac{gn^2 M \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}} \quad (\text{B-4})$$

y 方向运动方程

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial uN}{\partial x} + \frac{\partial vN}{\partial y} = -gh \frac{\partial Z}{\partial y} - \frac{gn^2 N \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}} \quad (\text{B-5})$$

式中:

$h$  ——水深, m;

$u$ 、 $v$  ——分别为  $x$  和  $y$  方向的流速, m/s;

$M$ 、 $N$  ——分别为  $x$  和  $y$  方向的单宽流量,  $\text{m}^2/\text{s}$ ,  $M=uh$ ,  $N=vh$ ;

**B.3** 一般(非正交)曲线坐标系下平面二维模型基本方程包括:  
水流连续方程

$$J \frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{\partial hU}{\partial \xi} + \frac{\partial hV}{\partial \eta} = 0 \quad (\text{B-6})$$

$x$  方向水流运动方程

$$J \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial MU}{\partial \xi} + \frac{\partial MV}{\partial \eta} = -ghJ \left( \xi_x \frac{\partial Z}{\partial \xi} + \eta_x \frac{\partial Z}{\partial \eta} \right) - \frac{gn^2 M \sqrt{U^2 + V^2}}{h^{4/3}} J \quad (\text{B-7})$$

$y$  方向水流运动方程

$$J \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial NU}{\partial \xi} + \frac{\partial NV}{\partial \eta} = -ghJ \left( \xi_y \frac{\partial Z}{\partial \xi} + \eta_y \frac{\partial Z}{\partial \eta} \right) - \frac{gn^2 N \sqrt{U^2 + V^2}}{h^{4/3}} J \quad (\text{B-8})$$

$$J = x_\xi y_\eta - x_\eta y_\xi$$

$$\xi_x = y_\eta / J, \quad \xi_y = -x_\eta / J, \quad \eta_x = -y_\xi / J, \quad \eta_y = x_\xi / J$$

$$q_{11} = \xi_x^2 + \xi_y^2, \quad q_{12} = \xi_x \eta_x + \xi_y \eta_y, \quad q_{22} = \eta_x^2 + \eta_y^2$$

式中:

$\xi$ 、 $\eta$  ——一般曲线坐标系中的两个曲线坐标;

$U$ 、 $V$  ——分别为曲线坐标系  $\xi$  和  $\eta$  方向的流速;

## DL/T 5360 — 2006

$x_\xi$ 、 $x_\eta$ 、 $y_\xi$ 、 $y_\eta$  ——偏导数，如  $x_\xi = \frac{\partial x}{\partial \xi}$ 。

**B.4** 正交曲线坐标系下平面二维模型基本方程包括：  
水流连续方程

$$\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{1}{C_\xi C_\eta} \frac{\partial(hu C_\eta)}{\partial \xi} + \frac{1}{C_\xi C_\eta} \frac{\partial(hv C_\xi)}{\partial \eta} = 0 \quad (\text{B-9})$$

$\xi$  方向动量方程

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{C_\xi C_\eta} \left[ \frac{\partial(C_\eta u^2)}{\partial \xi} + \frac{\partial(C_\xi v u)}{\partial \eta} + v u \frac{\partial C_\xi}{\partial \eta} - v^2 \frac{\partial C_\eta}{\partial \xi} \right] \\ = -g \frac{1}{C_\xi} \frac{\partial Z}{\partial \xi} - \frac{u \sqrt{u^2 + v^2} n^2 g}{h^{4/3}} \end{aligned} \quad (\text{B-10})$$

$\eta$  方向动量方程

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{C_\xi C_\eta} \left[ \frac{\partial(C_\eta v u)}{\partial \xi} + \frac{\partial(C_\xi v^2)}{\partial \eta} + u v \frac{\partial C_\eta}{\partial \xi} - u^2 \frac{\partial C_\xi}{\partial \eta} \right] \\ = -g \frac{1}{C_\eta} \frac{\partial Z}{\partial \eta} - \frac{v \sqrt{u^2 + v^2} n^2 g}{h^{4/3}} \end{aligned} \quad (\text{B-11})$$

$$C_\xi = \sqrt{x_\xi^2 + y_\xi^2}$$

$$C_\eta = \sqrt{x_\eta^2 + y_\eta^2}$$

式中：

$\xi$ 、 $\eta$  ——正交曲线坐标系中两个曲线坐标；

$u$ 、 $v$  ——分别表示正交坐标系  $\xi$  和  $\eta$  方向的流速；

$C_\xi$ 、 $C_\eta$  ——正交曲线坐标系中的拉梅系数。

DL/T 5360 — 2006

# 水电水利工程 溃坝洪水模拟技术规程

## 条文说明

DL/T 5360 — 2006

## 目 录

3	总则 .....	19
4	基本资料 .....	20
5	溃坝洪水模型试验 .....	21
6	溃坝洪水数值模拟 .....	23
7	报告编写 .....	25

### 3 总 则

**3.0.1** 溃坝水流是极为复杂的水流运动。总结已有溃坝洪水模拟技术的理论和实践，制定本标准，对规范模拟方法、提高模拟成果的准确性，为水电水利资源开发和利用及保障工程安全运行提供可靠的科学依据具有十分重要的意义。

**3.0.3** 溃坝洪水模拟主要方法包括模型试验和数学模型两种。这两种模型具有各自的优势，应结合实际工程要求进行选择。数学模型试验多用于进行长距离一维和范围较大的平面二维计算，模型多用于坝体（堰体）自身溃决过程模拟的局部模型或河段较短、三维性较强等问题。另外，这两种模型的选择和使用还与工程的重要性有关。

**3.0.4** 承担溃坝洪水模拟任务的研究人员应广泛听取设计、管理、施工等部门的意见，及时进行信息反馈，确保按时、准确完成任务，为工程设计、施工提供切实可行的科学依据。

DL/T 5360 — 2006

## 4 基 本 资 料

4.0.1 基本资料是开展溃坝洪水模拟工作的前提条件，其测量精度和代表性影响到模型成果的精度和可靠性。使用资料时要对资料进行认真分析和校核，发现问题要仔细考证，及时与提供资料的部门进行商酌并加以纠正。

4.0.2 根据模拟河段范围内的实测和调查洪水水面线及相应流量率定和验证模型的糙率；不同频率入库洪水过程用于不同方案下的溃坝洪水模拟。

## 5 溃坝洪水模型试验

### 5.1 模型设计

5.1.2 如采用变态模型，易导致模型河道槽蓄水量与原型河道槽蓄水量不满足相似条件，影响溃坝洪水向下游传播过程相关成果的合理性。因此模型宜采用正态模型。变态模型应对试验成果进行校正。

5.1.5 支流洪水来流过程的确定可参照水文计算中干支流洪水的组合计算方法。

5.1.6 应根据合同拟定的几何比尺和模拟范围确定模型场地大小，将拟定的几何比尺代入重力相似计算式得到流速比尺和流量比尺，根据模拟河道的洪峰流量和流量比尺判别试验室动力设备是否满足要求。

### 5.2 试验设备与量测仪器

5.2.2 试验使用的量测仪器仪表应具有自动采集、记录的功能，其技术指标应符合试验测试要求，并应有经技术监督部门鉴定的合格证书。

### 5.4 模型率定与验证

5.4.1 根据实测和调查洪水水面线，检验模型中相应流量下的沿程水位。如果模型水位与实测和调查洪水水位不一致，应通过调整模型糙率，使之符合要求。

5.4.2 水库库容是决定溃坝洪水影响程度的重要因素，模型设计时应确保不同水位下的水库库容相似。



## DL/T 5360 — 2006

## 5.5 试验及观测

5.5.1 溃坝可分为大坝漫顶溃决和非漫顶溃决，因此试验方案须包含超标准入库洪水时发生的漫顶溃决和非超标准入库洪水时发生的非漫顶溃决。由于溃坝失事机理的复杂性和溃口发展的不确定性，试验方案应包括多种溃口口门形状和溃决历时等多种组合工况。

溃坝方式分突然全部溃决和逐渐溃决两种，逐渐溃决又可分为逐渐全部溃决和逐渐局部溃决，局部溃决又可分为竖向局部溃决和横向局部溃决。

突然全部溃决（又称瞬时溃决），一般发生在重力坝或拱坝，其溃决时间很短。重力坝溃坝原因以基础破坏为多，其溃口形状呈矩形，为偏于危险假定，大坝按瞬时全部溃决考虑。

拱坝破坏最初发生在岩基地质薄弱处，继而导致全部溃决。连拱坝一般由于支墩不起支撑作用而全部溃决。

逐渐溃决一般发生在土坝，由管涌或漫顶而导致溃决，其中以坝顶漫溢较为常见。

5.5.2 土坝溃决破坏程度取决于漫顶流量和持续时间。溃口的位置大都发生在坝体中部。管涌破坏形成的最终溃口型式同坝顶漫溢的一样。

土坝溃口的发展历时主要取决于外泄的水流对筑坝材料的冲刷，与坝高、筑坝材料、材料的密实程度及漫顶泄流状况紧密相关。因此模型设计中，应综合考虑上述特性，结合已有水库溃决方式的经验，合理设计坝体溃决口门的形态和尺寸。

## 5.6 资料整理及分析

5.6.1 对试验成果的合理性进行仔细考证，确保试验成果的科学性、可靠性。

## 6 溃坝洪水数值模拟

### 6.1 基本方程及求解方法

6.1.2 水量守恒是溃坝洪水数学模型必须满足的条件。溃坝洪水数学模型应具有能模拟计算河段内急流和缓流相间的性能。由于溃坝洪水是非恒定性极强的水流运动，选用的数值格式应具备能模拟这种非恒定流极强的水流运动。为确保数学模型计算成果的精度，时间步长应不大于 30s。

一维溃坝洪水数值模拟宜采用迎风格式、Godunov 型格式和流矢量分裂等方法。

二维模型求解方法宜采用交替方向隐式方法（ADI 法）、破开算子法、迎风格式、TVD 格式和间断有限元等方法。

### 6.2 定解条件及边界处理

6.2.1 一般情况下，一维数学模型边界条件应由水位过程线、流量过程线及水位流量关系表示，缓流宜以流量过程线作为入流断面边界条件、水位过程线或水位流量关系作为出流断面边界条件，急流应在入流断面给出其中两种条件。

具体到溃坝洪水计算，因河段中各断面（包括出口断面）的水流流态（急流和缓流）是变化的。按上述要求给出边界条件比较困难。一种比较可行的做法是入流断面边界取流量过程线，出流断面边界条件取水位流量关系。当溃坝洪水数学模型具有能模拟计算河段内急流和缓流相间的性能时，采用这样的边界条件能获得合理的计算结果。

由于溃坝（堰）水位和流量大于实测资料范围，应对实测的水位流量关系曲线进行外延。外延的方法步骤为：根据已有水位

**DL/T 5360 — 2006**

流量关系的趋势给出外延曲线的大致范围；取同流量下水位偏高的水位与流量关系曲线进行洪水演进计算，这样得到的计算结果，出口断面水位会高于其上游若干个断面；通过逐渐调低同流量下的水位，当计算的各级流量下出口断面水位不再高于上游断面的水位时作为外延计算用的出口断面水位与流量关系的上限；计算时从偏不安全考虑，取这一上限。

**6.2.5** 动边界模拟技术方法有水位冻结法、窄缝法和渗透介质法等。

**6.3 计算断面和网格划分**

**6.3.1** 计算前校核一维模型断面左、右端点高程，以免计算过程中断面端点高程低于溃坝洪水位，影响模型结果计算成果的合理性。

**6.4 模型率定和验证**

**6.4.3** 如无资料，无法对模型率定和验证时，应采用溃坝理论解和室内溃坝试验资料对数学模型计算结果进行比较和合理性分析，确保数学模型计算精度。

## 7 报 告 编 写

### 7.0.3 模型试验报告正文可参考下列格式编写：

(1) 前言。说明研究项目的由来、目的、主要内容、技术路线、基础资料、研究依据、参考资料及其他需要说明的问题。

(2) 工程概况。介绍工程所在位置、流域，水库（围堰）特征指标，枢纽布置，泄水（导流）建筑物尺寸，对施工围堰溃堰洪水模拟需介绍工程施工期间的导流程序，水文资料等。

(3) 模型设计方法。包括模型相似条件，模型限制条件，模型中各比尺的选择和计算，模型平面布置及仪器设备等。

(4) 模型制作及量测仪器设备，模型制作的方法和精度控制，主要量测仪器设备的性能及精度。

(5) 模型率定和验证试验。

(6) 试验方案拟定。

(7) 各试验方案成果分析。包括：观测数据的可靠性和精度分析；坝址断面及上、下游河道各特征断面水位、流量和流速随时间的变化过程线；洪水淹没范围随时间的变化关系；溃坝波到达各特征断面的时间和推进速度，各特征断面最高水位、最大流量和最大流速值及它们出现的时间，下游城镇淹没时各特征点处的水力要素变化过程等。

(8) 不同方案成果比较分析。包括：溃坝洪水随溃口口门形状和溃决历时的变化规律，溃坝洪水随不同频率洪水来流的变化规律，溃坝洪水在不同坝前水位下出现溃决的变化规律。

(9) 根据下游各城镇的人口、社会 and 经济发展情况，现有防护设施标准等，分析溃坝洪水对下游各居民点及各类建筑设施的影响程度和淹没范围，估算溃坝洪水可能造成的损失，提

**DL/T 5360 — 2006**

出减小溃坝洪水可能造成损失的防范措施或防护规划的意见或建议。

(10) 对自溃坝试验，应对引冲槽体型、尺寸的合理性、可靠性及其引冲效果提出具体意见和建议。

(11) 结语。

**7.0.4 数值模拟计算研究报告正文可参考下列格式编写：**

(1) 前言。说明研究项目的由来、目的、主要内容、技术路线、基础资料、研究依据、参考资料及其他需要说明的问题。

(2) 工程概况。介绍工程所在位置、流域，水库（围堰）特征指标，枢纽布置，泄水（导流）建筑物尺寸，对施工围堰溃堰洪水模拟需介绍工程施工期间的导流程序，水文资料等。

(3) 数学模型介绍。包括基本方程，数值格式，计算河段范围确定，边界处理和有关参数的选取，一维模型计算断面的确定，二维模型网格划分等。

(4) 对模型率定、验证和模型计算结果的可靠性和精度应进行分析。

(5) 计算方案拟定。

(6) 计算方案成果分析。包括：计算数据的可靠性和精度分析；坝址断面及上、下游河道各特征断面水位、流量和流速随时间的变化过程线；洪水淹没范围随时间的变化关系；溃坝波到达各特征断面的时间和推进速度，各特征断面最高水位、最大流量和最大流速值及它们出现的时间，下游城镇淹没时各特征点处的水力要素变化过程；溃坝洪水随溃口口门形状和溃决历时的变化规律，溃坝洪水随不同频率洪水来流的变化规律，溃坝洪水在不同坝前水位下出现溃决的变化规律。

(7) 根据下游各重要城镇的人口、社会 and 经济发展情况，现

**DL/T 5360 — 2006**

有防护设施标准等，分析溃坝洪水对下游各居民点及各类建筑设施的影响程度和淹没范围，估算溃坝洪水可能造成的损失，提出减小溃坝洪水可能造成损失的防范措施或防护规划的意见或建议。

(8) 结论和建议。

---