**ICS编号**

**CCS编号**

团 体 标 准

**T/CHES XXX—20XX**

冷却水工程水力、热力模拟技术规程

**Technical specification for hydraulic and thermal simulation in cooling water projects**

（报批稿）

20XX-XX-XX发布 20XX-XX-XX实施

**中国水利学会 发布**

前言

根据中国水利学会团体标准制修订计划安排，按照《工程建设标准编写规定》（建标[2008]182号）的要求，在SL 160—2012《冷却水工程水力、热力模拟技术规程》基础上，结合当前模拟技术发展水平、模拟要求现状，编制本规程。

本规程共5章，主要技术内容有：

——冷却水工程水力、热力模拟方法与选择；

——基础资料要求；

——数学模型选择与模型验证、计算基本要求；

——物理模型规划设计与模型验证、试验基本要求。

本次修订的主要内容有：

——增加了已运行冷却水工程温排水环境影响评估数学模型计算；

——增加了温排水近区浮射流计算、三维数值模拟。

本规程由中国水利学会归口。

本规程主编单位、主要起草人和主要审查人：

主编单位：中国水利水电科学研究院

主要起草人：纪 平 赵懿珺 陈小莉 袁 珏 曾 利 秦 晓 张海文 段亚飞 梁洪华 韩 瑞张 强 康占山 刘赞强 刘 彦

主要审查人：吴时强 潘存鸿

目次

[1 总则 1](#_Toc58592164)

[2 术语 2](#_Toc58592165)

[3 一般规定 3](#_Toc58592166)

[3.1 模拟技术类别与选择 3](#_Toc58592167)

[3.2 工作大纲与质量保证大纲 3](#_Toc58592168)

[3.3 数据记录及整理 4](#_Toc58592169)

[3.4 报告编写及提交 4](#_Toc58592170)

[4 基础资料 5](#_Toc58592171)

[5 数学模型计算 6](#_Toc58592172)

[5.1 数学模型与参数 6](#_Toc58592173)

[5.2 模型范围及计算网格尺度 8](#_Toc58592174)

[5.3 模型验证与计算水文条件 8](#_Toc58592175)

[5.4 计算内容与成果分析 8](#_Toc58592176)

[6 物理模型试验 10](#_Toc58592177)

[6.1 模型相似准则 10](#_Toc58592178)

[6.2 模型设计 11](#_Toc58592179)

[6.3 试验设备与量测仪器 11](#_Toc58592180)

[6.4 模型制作与安装 11](#_Toc58592181)

[6.5 试验要求 12](#_Toc58592182)

[6.6 试验内容与成果分析 12](#_Toc58592183)

[本规程用词说明 13](#_Toc58592184)

[标准历次版本编写者信息 14](#_Toc58592185)

[引用标准名录 15](#_Toc58592186)

[条 文 说 明 16](#_Toc58592187)

**Contents**

[1 General provisions 1](#_Toc56003764)

[2 Terms 2](#_Toc56003765)

[3 Basic requirements 3](#_Toc56003768)

[3.1 Categories and selection of simulation technology 3](#_Toc56003769)

[3.2 Work and quality assurance programs 3](#_Toc56003770)

[3.3 Data recording and processing 4](#_Toc56003771)

[3.4 Report writing and submission 4](#_Toc56003772)

[4 Basic data 5](#_Toc56003773)

[5 Numerical simulation 6](#_Toc56003774)

[5.1 Numerical model and parameters 6](#_Toc56003775)

[5.2 Computational region and grid size 8](#_Toc56003776)

[5.3 Model verification and hydrological conditions 8](#_Toc56003777)

[5.4 Simulation contents and results analysis 8](#_Toc56003778)

[6 Physical model experiment 10](#_Toc56003779)

[6.1 Similarity criterion for modelling 10](#_Toc56003780)

[6.2 Model design 11](#_Toc56003781)

[6.3 Experimental equipment and measuring instruments 11](#_Toc56003782)

[6.4 Model building and installation 11](#_Toc56003783)

[6.5 Experiment requirements 12](#_Toc56003784)

[6.6 Experiment contents and results analysis 12](#_Toc56003785)

[Explanation of wording 13](#_Toc56003786)

[Authors of previous versions of this technical specification 14](#_Toc56003787)

[List of quoted standards 15](#_Toc56003787)

[Explanation of provisions 16](#_Toc56003788)

# 1 总则

1.0.1 为规范冷却水工程水力、热力模拟技术和方法，保证研究成果的科学性、准确性和可靠性，编制本标准。

1.0.2 本标准适用于电厂及其他利用天然及人工水体进行冷却的取排水工程水力、热力模拟研究，以及液态流出物、余氯等的稀释扩散模拟研究。

1.0.3 河流、水库、湖泊等水体水温时空分布的模拟研究可参考使用。

1.0.4 冷却水工程水力、热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。

# 2 术语

2.0.1 温排水 thermal discharge

电厂及其他工业循环冷却水系统运行时向环境水体排放的温度高于环境水温的水。

2.0.2 液态流出物 liquid effluents

核电厂正常运行期间，将产生的含有放射性核素的废液通过废水处理系统处理达到国家相关标准后，采用槽式排放以可控的方式排入环境水体的废水。

2.0.3 模拟技术 simulation technique

模仿自然界物质运动和变化过程与规律的技术，包括数值模拟计算和物理模型试验两种方法。

2.0.4 数学模型计算 numerical simulation

通过数值计算求解研究对象控制方程模拟其自然物理过程的方法。

2.0.5 物理模型试验 physical model experiment

按照相似准则，通过一定几何比尺制成的实体模型模拟自然物理过程的方法。

2.0.6 扩散系数 diffusion coefficient

物质通量分量与浓度梯度分量的比例系数。

2.0.7 表面综合散热系数 water surface heat transfer coefficient

单位时间内，水面温度变化1℃时，水体通过蒸发、对流和水面辐射三种水面散热方式在单位表面积上散失热量的变化量。

2.0.8 正态模型 undistorted model

水平向和垂向几何比尺相同的物理模型。

2.0.9 变态模型 distorted model

水平向和垂向几何比尺不同的物理模型。

# 3 一般规定

## 3.1 模拟技术类别与选择

3.1.1 冷却水工程水力、热力模拟可采用以下两种方法进行:

1 数学模型计算：用于工程水域水力、热力模拟，可为工程可行性论证及工程取排水方案初步比选、建设项目水资源论证、工程水域水环境影响评价、已运行工程温排水环境影响评估等提供依据。

2 物理模型试验：宜用于工程取排水近区水域水力、热力模拟，可为工程可行性论证及其取排水工程方案的优化、工程排水口近区水域水环境影响评价等提供依据。

3.1.2 工程可行性研究阶段之前可采用数学模型计算方法开展研究工作；可行性研究阶段和初步设计阶段宜采用数学模型计算和物理模型试验相结合的方法；工程运行阶段可采用数学模型计算方法。

3.1.3 数学模型选用宜符合下列要求：

1 宽浅型水域工程水力、热力的数值模拟宜采用平面二维数学模型；

2 排放口近区出流初始掺混稀释过程可采用浮射流无量纲参数化模型；

3 取排水口近区水域、深水型湖库、水池以及密度分层效应显著的海域宜采用三维数学模型；

4 充分混合的河道可采用一维数学模型；

5 已运行工程温排水影响评估选用的数学模型，应能反映水文、气象条件实时变化的影响。

## 3.2 工作大纲与质量保证大纲

3.2.1 冷却水工程水力、热力模拟宜编写工作大纲与质量保证大纲。

3.2.2 工作大纲及质量保证大纲编写应符合相关规程、规范的要求。

3.2.3 工作大纲应包括下列内容：

1 项目概况（包括工程自然条件概况）、研究目的与要求、研究内容与所采取的技术路线；

2 研究工作依据及执行标准；

3 模型选择或规划设计；

4 主要研究人员、试验仪器设备和所需的各项基础资料；

5 研究工作进度计划、预期成果；

6 国家重点项目或大、中型工程项目应有国内外研究水平和动态。

3.2.4 质量保证大纲应包括下列内容：

1 项目概况（包括工程自然条件概况）、质量保证大纲编制依据与适用范围、承担单位责任及其质量方针、目标；

2 质量保证大纲编写、评审、批准程序；

3 组织构成；

4 文件控制；

5 检查（含质量控制点）；

6 对不符合项的控制；

7 纠正措施与预防措施。

## 3.3 数据记录及整理

3.3.1 数据记录及整理应符合相关规定与工作任务的要求。

3.3.2 应根据工作的要求做好数据记录。当发现数据有疑问和差错时应查明原因，重新复核、量测或计算。数据文件应有统一编码和记录时间，数据文件应及时备份。

3.3.3 数据应及时整理、校核。数据的整理应遵循精度和谐及误差处理的基本原则，不应随意挑选和取舍资料。

## 3.4 报告编写及提交

3.4.1 报告编写应符合基本格式要求。

3.4.2 报告内容应包括工程概况、自然条件、研究目的与内容、技术路线、遵循的技术标准、资料选取、模型验证、成果分析以及主要结论等。物理模型试验还应包括模型设计、制作以及主要仪器设备性能、精度，数学模型计算还应包括模型控制方程、定解条件、数值方法以及主要参数取值的合理性分析等。

3.4.3 对同一研究对象采用多种方法进行模拟时，应针对各方法的主要成果进行综合分析并提出相应的结论。

3.4.4 研究报告应按规定的程序审核后提交，相应资料应归档备查。

# 4 基础资料

4.0.1 工程可行性研究阶段之前宜收集已有地形、水文、气象等资料。工程可行性研究阶段和初步设计阶段，取排水工程附近水域应采用近5年内资料，其他区域可采用已有资料。已运行工程温排水环境影响评估宜采用工程水域已有最新资料。

4.0.2 地形资料应满足下列要求：

1 模拟范围应包括工程水域和工程排放物质可能的影响水域。

2 测图比例可根据工程水域自然地形条件及工程布置等因素确定。

4.0.3 河道及湖泊、水库水文资料应包括下列内容：

1 流域基本特征及涉水工程运行调度资料。

2 河道上、下游控制断面丰水期、平水期和枯水期水位、流量资料，模拟范围内的丰水期、平水期和枯水期的水面线资料，工程水域水温资料。

3 河道不少于5个断面的同步水文测验资料。有支流、分汊等的复杂河段宜增设测验断面。

4 湖泊、水库水域的来水量、水位、水温以及定点流速流向资料。

5 已运行工程温排水影响评估应同步开展不少于3个断面的水文测验以及工程温排水影响区域温度场原型观测。

4.0.4 海域水文资料应包括下列内容：

1 工程海域的基本水动力特征。

2 厂址或周边海洋观测站的长期水文资料。

3 不少于3个测站的连续一个月的潮位资料。

4 不少于9个测点的大、中、小潮的全潮同步水文测验资料。必要时宜提供至少1个测点包含实测大、中、小潮在内的连续半个月全潮同步水文测验资料。

5 已运行工程温排水影响评估应同步开展不少于3个测点大、中、小潮的全潮同步水文测验以及工程温排水影响区域温度场原型观测。

4.0.5 感潮河道水文资料可根据工程水域水文基本特性，按4.0.3条或4.0.4条的规定执行。

4.0.6 其他资料应包括气象资料、工程设计以及工程水域内已有相关涉水工程运行、功能区划、环境敏感点及岸线规划等资料。

# 5 数学模型计算

## 5.1 数学模型与参数

5.1.1 数学模型计算应采用基本方程式（5.1.1）。不同通用变量情况下，、、的取值见表5.1.1。

（5.1.1）

式中：——通用变量，代表，，，，等；

、、——*x*、*y*、*z*方向的广义扩散系数；

——瞬态项；

、、——*x*、*y*、*z*方向的对流项；

、、——*x*、*y*、*z*方向的扩散项；

——广义源汇项；

*ρ*——水体密度。

表5.1.1 不同通用变量情况下、、的取值

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 通用变量 |  |  |  |
| 连续方程 | 1 | 0 | 0 |
| 动量方程 | 、、 |  |  |
| 能量方程 |  |  |  |
| 浓度方程 |  |  |  |
| 注：、、——*x*、*y*、*z*方向流速分量；  ——受纳水体的水温；  ——水体中物质浓度；  ——自由表面热通量，包括太阳净辐射、大气净辐射、水体辐射、水表面蒸发散热和对流换热；只考虑温排水增温影响的数学模型，  ——受温排水影响的温升；  ——水面综合散热系数；  —— 水深；  ——广义黏性系数；  、——扩散系数；  ——衰减系数；  ——广义分配系数；  ——水的比热；  、、——源汇项。 | | | |

5.1.2 边界条件应符合下列要求：

1 固壁边界的法向流速为零，温度、浓度的法向梯度为零，见公式（5.1.2-1）、（5.1.2-2）：

 （5.1.2-1）

 （5.1.2-2）

式中：——固壁边界流速矢量；

——固壁边界法向矢量。

2 开边界采用给定的水位或流量（流速）过程，见公式（5.1.2-3）、（5.1.2-4）、（5.1.2-5）：

 （5.1.2-3）

 （5.1.2-4）

 （5.1.2-5）

式中：*ζ* ——水位；

*Q* ——流量；

——流速矢量；

*x*，*y*，*z*——分别为*x*，*y*，*z*方向的坐标值；

*t* ——时间；

*ζ* \*、*Q*\*、——分别为*ζ、Q、*在边界的已知值。

3 温度场、浓度场应考虑开边界回归影响。

4 干湿变化水域的模拟宜采用动边界技术。

5.1.3 模型参数选取应遵循相应规范规定。对规范未规定的参数，有原型观测或其他相关验证资料时应进行率定；无验证资料可依据类似研究工作所取得的实践经验进行选取，并进行敏感性分析。

## 5.2 模型范围及计算网格尺度

5.2.1 模型范围选取应遵循下列原则：

1 根据研究目的，结合水流、地形条件、建（构）筑物对水域流场影响范围以及冷却水对受纳水体可能的影响范围等因素确定。

2 满足水体热量（或液态流出物）扩散效应的模拟要求。

3 反映相邻工程冷却水的相互影响。

5.2.2 模型网格尺度的选取应能反映水工建（构）筑物等对水力、热力特性的影响，并满足计算精度的要求。

## 5.3 模型验证与计算水文条件

5.3.1 模型验证应包括下列内容：

1 受纳水体为河道时，应进行水位、水面比降、断面流量、流速、流向等验证；受纳水体为湖泊、水库，应进行水位、流速、流向等验证。

2 受纳水体为海域时，应进行大潮、中潮和小潮的潮位、流速与流向过程验证，并符合原体流态特征。连续半月潮计算应进行连续半月潮的潮位过程验证。

3 受纳水体为感潮河道时，可根据工程水域水文基本特性按5.3.1条第1款或第2款进行。

4 有温度（场）的实测资料时宜对模型进行温度（场）验证。

5 已运行工程温排水影响评估应同步进行运行期流场、温度场的验证。

5.3.2 计算水文条件应符合下列要求：

1 受纳水体为河道时，应按全年设计枯水、夏季设计枯水等水文条件进行模拟。受纳水体为湖泊、水库，应按设计枯水年水文条件进行模拟。

2 受纳水体为海域时，工程可行性研究和设计阶段应采用有代表性的大、中、小潮或连续半月潮型进行模拟，应考虑风生流、沿岸流等影响；工程运行阶段宜采用有代表性的实测大、中、小潮进行温排水模拟；液态流出物排放应采用连续半月潮进行模拟。

3 受纳水体为感潮河道时，可根据工程水域水文基本特性按5.3.2条第1款或5.3.2条第1、2款综合分析结果执行。

4 计算水文条件选择还应符合DL/T 5084的要求。

## 5.4 计算内容与成果分析

5.4.1 计算内容应符合下列要求：

1 受纳水体为河道时，应计算不同设计工况和不同水文条件下的水面线、流场、温度（温升）场或浓度（相对浓度）场。受纳水体为湖泊、水库时，应计算不同设计工况和不同水文条件下的水位、流场、温度（温升）场或浓度（相对浓度）场。

2 受纳水体为海域时，应计算不同设计工况和不同水文条件下潮位、流场、温度（温升）场或浓度（相对浓度）场。

3 受纳水体为感潮河道时，可根据工程水域水文基本特性按5.4.1条第1款或5.4.1条第2款执行。

5.4.2 成果分析应包括下列内容：

1 绘制水位、流速、温度（温升）、浓度（相对浓度）时空分布图表，包括温度（温升）、浓度（相对浓度）过程线及包络图表等。

2 分析水位、流速、温度（温升）、浓度（相对浓度）时空分布变化规律。

3 分析计算成果合理性。

# 6 物理模型试验

## 6.1 模型相似准则

6.1.1 模型应满足几何相似、水流运动相似、动力相似和热力相似。

6.1.2 冷却水模型的相似准数应按公式（6.1.2-1）、（6.1.2-2）计算：

 （6.1.2-1）

 （6.1.2-2）

式中：——欧拉数；

——弗劳德数；

——密度弗劳德数；

**——雷诺数；

——傅里叶数；

——贝克莱数；

——水面散热系数，W/﹙m2·℃﹚；

——水温, ℃；

——自然水温，℃ ；

*l* ——水平长度，m；

——水的密度，kg/m3；

——水的比热，J/﹙kg比℃﹚；

——取排水流量，m3/s；

——取排水温差，℃；

——原体与模型的物理量比值。

6.1.3 当6.1.2条中相似准数不能同时满足时，根据试验的主要任务，应满足主要相似准则，可舍弃或松弛次要的相似准则。

6.1.4 冷却水模型试验宜满足弗劳德数（）及密度弗劳德数（）相似，散热相似模型应满足散热相似条件公式（6.1.2-2）。

6.1.5 模型雷诺数应大于临界雷诺数，模型最小水深宜大于3 cm。

6.1.6 涉及风效应的冷却水模型试验，应兼顾风效应的相似条件。

6.1.7 涉及冰冻、泥沙的冷却水模型试验，应兼顾相应的相似条件。

6.1.8 液态流出物输移试验模型相似要求应与冷却水模型试验相同。

## 6.2 模型设计

6.2.1 冷却水模型设计应按照6.1节相似准则进行。试验可采用正态模型或变态模型。模型应按下列原则选择：

1 重点研究取排水工程布置及其近区的流场和温度（温升）场特性的试验，宜采用正态模型或小变率模型。

2 重点研究受纳水域的散热能力试验，应采用变态模型，并按照散热相似准则设计模型，选定模型比尺。

3 在同一模型中受纳水域包括近区和远区，且两者存在水力、热力上的因果影响，应专门论证模型的几何变率。

6.2.2 模型设计应考虑水位、流速、流量、温度、浓度等量测仪器的测试精度。

6.2.3 其他常规要求应符合SL 155的规定。

6.2.4 模型范围选取宜参照数学模型计算结果，并考虑下列因素：

1 工程水域水工建（构）筑物对水域流场的影响。

2 工程冷却水对受纳水体的主要影响区。

3 相邻工程冷却水的相互影响。

4 模型试验水域开边界进出流的调整要求。

## 6.3 试验设备与量测仪器

6.3.1 冷却水工程水力、热力以及液态流出物模型试验，除有特殊模拟要求外，应在室内进行。

6.3.2 冷却水试验用的加热系统应保证恒定供热，控温精度为±0.1℃。液态流出物试验用的示踪剂添加系统应保证原液浓度恒定，其示踪剂添加系统流量控制精度为±1%。

6.3.3 试验用潮汐模拟系统应满足试验潮汐模拟参数精度要求。

6.3.4 试验量测仪器仪表的技术指标应满足测试要求。

6.3.5 试验所用仪器、设备应检验合格。

6.3.6 试验应包括下列主要量测仪器设备：

1 流量、流速测试仪器。

2 水位量测仪器。

3 测温仪器。

4 水位跟踪测架响应时间应与水（潮）位变化相匹配。

5 示踪剂（液态流出物试验）浓度量测仪器。

6.3.7 其他试验仪器设备应符合SL 155的规定。

## 6.4 模型制作与安装

6.4.1 应绘制模型总体布置图、结构物制模图、测点布置图，并明确制模加工及安装要求。

6.4.2 模型制作、安装完成后，应进行检验与校核，并有完整记录。

6.4.3 其他有关模型制作、安装及量测设备安装等要求应符合SL 155的规定。

## 6.5 试验要求

6.5.1 模型验证内容应符合4.3.1条的要求。

6.5.2 模型试验控制应符合下列要求：

1 模型水质应按试验要求控制。无明确要求时，水体应保持洁净。

2 量测仪器及测控设备应进行现场检验和调试。

3 模型温度场（或浓度场）应达到稳定状态后正式量测。

4 液态流出物试验的示踪剂应选择化学性质稳定、易溶于水、不易被吸附、对环境条件不敏感、无毒、对试验水体密度影响小的物质。

6.5.3 试验水文条件应符合下列要求：

1 受纳水体为河道时，应按全年设计枯水、夏季设计枯水等水文条件进行模拟。受纳水体为湖泊、水库时，应按设计枯水年水文条件进行模拟。

2 受纳水体为海域时，工程可行性研究和设计阶段应采用有代表性的大、中、小潮进行模拟。

3 受纳水体为感潮河道时，可根据工程水域水文基本特性按6.5.3条第1款或6.5.3条第1、2款综合分析结果执行。

## 6.6 试验内容与成果分析

6.6.1 模型试验内容应符合4.4.1条的要求。

6.6.2 试验成果分析内容应符合4.4.1条的要求，并应考虑试验环境对成果的影响。

# 本规程用词说明

1 为了便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1）表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。

2）表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。

3）表示允许稍有选择，在条件许可时首先应该这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。

4）表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

# 标准历次版本编写者信息

**SL 160—95**

本标准主编单位：中国水利水电科学研究院

本标准主要起草人：许玉林 陈惠泉

**SL 160—2012**

本标准主编单位：中国水利水电科学研究院

本标准主要起草人：纪 平 袁 珏 赵顺安 赵懿珺 贺益英 秦晓 张强 陈小莉 梁洪华 何耘 康占山

# 引用标准名录

水工（常规 ）模型试验规程 SL 155

电力工程水文技术规程 DL/T 5084

团体标准

冷却水工程水力、热力模拟技术规程

**T/CHES —201X**

# 条 文 说 明

目次

1 总则 17

3一般规定 18

4 基础资料 22

5 数学模型计算 25

6 物理模型试验 31

1 总则

1.0.2 本条为本标准的适用范围。包括电厂在内的工业冷却水按冷却机理，一般可分为水面冷却、水滴和水膜冷却两类。后者是各类冷却塔及喷水冷却，其测试技术已另有规定。本标准适用于通过自由水面来冷却的各种冷却水工程模拟，同时也适用于伴随冷却水排放的液态流出物、余氯（或称为“总残余氧化物”）以及负温差的污染物（LNG（液化天然气）气化过程中的循环水等）排放等在水体中掺混稀释过程模拟。研究成果可为取排水工程设计、水环境影响评估以及水资源保护、利用规划等提供科学依据。

1.0.4 本条说明本标准与SL155《水工（常规）模型试验规程》的关系。冷却水模型试验与一般水工模型试验不同之处在于增加了温度等变量，一般要求不仅满足水力相似准则，还要满足热力及物质输运相似准则。数模计算中需考虑相应的物质输运方程。如不考虑水体的温差效应与水气交面的热交换效应，水力、热力等扩散模型试验与一般水工模型试验相同。

3 一般规定

3.1 模拟技术类别与选择

3.1.1 给出了冷却水工程水力、热力模拟的两种方法。在实际工作中也可利用已运行工程温排水影响区域温度场原型观测结果为后期扩建工程取排水工程布置适宜性等的分析、判断提供参考。

3.1.2、3.1.3 说明在现阶段技术水平基础上的冷却水问题模拟研究方法及其应用条件。

冷却水在受纳水体中输移扩散的模拟一般可分为“近区”与“远区”。“近区”一般是指排水口附近区域，该区域冷却水与环境水流之间发生剧烈掺混，温度场（或浓度场）变化梯度较大；“远区”是指“近区”之外的广阔区域，温度场（或浓度场）在此区域变化较为平缓。

数学模型计算不受试验条件、比尺效应等限制，主要用于远区大范围水域水力、热力及液态流出物、余氯等的稀释扩散的模拟。数学模型可分为一维、二维、三维模型，在具体实施时需结合研究对象具体条件、研究目的加以运用。物理模型试验可较好地反映取排水近区水域水力、热力及液态流出物、余氯等的掺混稀释特性，主要用于工程取排水近区水域水力、热力及液态流出物、余氯等的稀释扩散的模拟。

工程运行阶段温排水模拟研究工作主要目的是用于已运行工程温排水对受纳水体影响的后评估，主要研究手段一般采用数模计算方法，必要时也可增加物理模型试验方法。为了提高此类后评估模型的模拟精度，需要采用相应运行工况下的流场、温度场同步原型观测成果对模型加以校验。

宽浅型水域一般指水深相对较浅，不易形成密度分层流的水域；密度分层效应显著的海域是指水深较大，冷却水排入受纳水体后易于形成密度分层的水域。

温排水排放口近区出流初始掺混稀释模拟可采用浮射流无量纲参数化模型，即针对浮射流采用近似的数值解或由量纲分析结合实验成果进行归纳给出的估算模型，包括长度比尺模型、卷吸积分模型等，如CORMIX模型（Cornell Mixing Zone Expert System，康奈尔混合区专家系统）等。模拟计算结果可为基于环保要求的排放口水深、流速等基本条件设定提供参考。

三维数学模型一般包括分层三维数学模型和全三维数学模型。

分层三维数学模型可较好反映水体温差浮力特性，对于排水水深较大、密度分层明显的受纳水域输移扩散问题，一般增设分层三维数学模型对冷却水排放影响加以模拟研究。但由于分层模型忽略垂向加速度求解，无法准确模拟排放口近区三维水动力特征，故此并不适用于排放口近区三维浮射流特性的模拟。

全三维数学模型能精细模拟排放口近区较为复杂的三维浮射流特性，可用于排放口近区的初始掺混稀释模拟。

随着近区模型与远区模型耦合模拟技术的逐步发展，近、远区模型相结合的模拟方法已成为大水域温排水等污染物稀释扩散问题模拟研究的重要发展方向。

工程温排水、液态流出物等的模拟预报模型均需依据有代表性水文、气象等条件开展模拟研究工作。但已运行工程温排水影响的后评估更加关注原型实际情况，相应模拟计算工作需采用能反映当地水文、气象条件实时变化影响的数学模型。

3.2 工作大纲与质量保证大纲

3.2.1、3.2.2 冷却水模拟研究工作一般编写研究工作大纲，对于重要工程（如：核电工程、大型火电厂工程、大型水库工程等）要编写两纲（工作大纲与质量保证大纲），两纲需根据任务书的要求及相关规程、规范进行编写，经由具有相应资质的专家审查通过后方可执行。

3.2.3、3.2.4 明确提出了工作大纲与质量保证大纲内容与基本要求。

3.4 报告编写及提交

3.4.1～3.4.4 对研究报告的编写格式、内容及其相应质量控制提出了要求。具体如下：

（1）报告编写

①封面需有报告全称、版次以及承担单位名称、报告出版日期。

②扉页一般包括项目名称、承担单位名称以及协作单位名称（如果有），项目负责人、项目主要参加人、报告编写人、报告审查人、报告审定人（项目承担单位技术负责人）、报告审批人【项目承担单位主管院（所）长】。

③目录

④摘要

⑤正文

⑥附图或插图

⑦参考文献和资料

（2）报告正文编写

①前言，说明研究项目所涉及工程基本情况、问题提出、研究目的、主要内容、研究工作技术路线及其他所需说明的问题；

②研究项目所涉及水域地形、水文、气象以及工程水域水工构筑物等基本情况介绍与总结分析；

③模型设计或数值模拟计算方法选择。模型设计需包括模型相似条件，模型限制条件，模型比尺、模型变率（对于变态模型），模型循环冷却水最小流量，模型水域开边界条件处理，模拟水域范围等；数学模型需包括水流、温排水或液态流出物、余氯等输运基本控制方程、辅助方程、参数、求解方法、离散格式与网格尺度、边界条件及处理方法、模拟计算域范围等。

④模型制作及量测仪器设备，模型制作的方法和控制精度，主要量测仪器设备的性能及精度；

⑤ 验证试验与验证计算，检验模拟水域水流运动的相似性，对于模拟水域已有运行工程情况可进行必要的温度场、取水温升相似性验证。数值模拟计算需对计算参数、模拟区域边界温度场、浓度场回归影响等进行必要的敏感性分析。

⑥工程方案试验或计算成果分析，论述设计方案的合理性及存在问题，修改方案的指导思想及效果，方案比选、优化结果，为取排水工程的最终方案确定提供依据。

⑦结语，其中需包含主要结论、存在的问题和建议等方面内容。

（3）鉴于工程的重要性以及各种研究手段的优点、缺点，研究工作往往需采用数模计算与物模试验相结合的技术路线进行。此时，需根据不同模型特点对其主要研究成果进行对比分析，给出其明确、可信的结论，提出相应的综合分析成果报告。

（4）研究报告审核程序一般包括：审查、审定、批准。工作结束后，试验所用的原型资料和模型试验的主要资料、分析计算成果、报告底稿、项目任务书、报告审批表、审查鉴定意见书等按科技档案管理要求整理归档。

（5）当项目委托方对报告基本格式、内容有具体要求时，报告编写需参照执行。

4 基础资料

4.0.1 本条说明了包括地形、水文、气象等基础资料的来源、时效性等方面的基本要求：

工程可行性研究阶段之前以收集已有近期资料为主。

工程可行性研究阶段和初步设计阶段，取排水工程附近水域需采用近5年内实测资料，其他区域可采用已有的近期（最新）资料。

已运行工程温排水环境影响评估一般采用工程水域已有最新资料，其中取排水口附近区域采用近5年内最新实测资料，其他区域采用已有的近期（最新）资料。

对于水下地形资料，如有充分论据表明取排水域地形基本没有变化或变化不大，相应地形资料时效性要求可适度放宽；

工程水域气象资料一般采用不少于3年的长系列资料统计分析给出。

4.0.2 本条说明了基础地形资料的一般要求。

（1）现场实测水下地形范围包括规划的取排水工程区域及其排放物质影响主要敏感区。对于温排水环境影响问题，相应实测水下地形范围一般包络工程温排水1℃及其以上温升影响区。现场实测水下地形范围还要满足相应模拟研究工作的需求，如：相邻工程的影响、模型水域边界过渡段范围以及验潮站设置情况等。

（2）工程水域实测水下地形需至少包括模拟区域内所有的涉水区，视具体工程问题而定。

（3）测图比例根据工程水域自然地形条件、研究问题性质等确定。一般情况下，取排水口近区水域水下地形比尺不小于1/2000，其余区域可采用更小比尺的地形图（如1/10000）或海图。

（4）测图换算成统一的基准面和坐标系，一般采用国家1985高程系统、2000国家大地坐标系。

（5）液态流出物、余氯等物质排放模拟所需地形资料可参照执行。

4.0.3、4.0.4 说明了水文资料的一般要求。水文观测包含：水位、流速、流量、水温、盐度、液态流出物等排放物质的本底浓度（核电厂项目试验要求，其他项目研究无此要求）等内容。

（1）河道或河道型水库水域水文测验断面、测站布置能够反映工程水域基本特性。模拟区域进、出口段至少各布设一个水文测验断面，工程取水口、排水口附近至少布设一个水文测验断面；弯道区域一般增设断面并在两侧岸边各设一个水位测站。工程区域如有对冷却水输移扩散产生较大影响的支流，需考虑增设水文测验断面。

（2）对于有顶托影响水域，给出不同顶托条件下的测站水位、水面线资料。

（3）湖泊、水库型水域需给出模拟水域内进、出湖、库各干、支流的流量、水位、水温资料；依据湖泊、水库的地形、水流基本条件一般设置不少于9个水文测站，必要时可增设水文测验断面，以保证工程水域水流基本特性的准确把握。取、排水口附近一般情况下各设置一个水文测站。

（4）河口、海岸型水域一般顺岸向设置潮位站，其中至少一个测站布设在取水口附近。对于半封闭海湾，则需在湾口海流入口两侧岸边各自布设一个测站，而湾底至少布设一个测站。

（5）河口、海岸型水域全潮水文测验需结合工程海域潮汐的代表性要求进行，给出工程海域有代表性潮型及其连续半月潮资料。

①工程海域有代表性潮型：即潮型有代表性、潮差出现频率分别满足10%、50%、90%要求的实测大潮、中潮、小潮，其选择、施测基本原则如下：

——潮差频率分析一般可采用平均潮差（一个完整潮周内各涨落潮差的平均值。对于日潮即为其本身的潮差；对于极不规则的半日潮也可考虑采用最大潮差统计分析方法）进行，潮差出现频率可按冬、夏两季考虑。鉴于实测资料难以完全满足潮差频率等要求，具体实施时可选择尽量接近的结果，但其出现频率偏差一般不超过±5％；

——不同海域海流特性各异，在依据潮差频率选取有代表性潮流观测时段时，要注意结合工程海域余流等的基本特征进行选取；

——每个潮周的平均潮位要与当地平均潮面接近，其偏差不超过±10cm。河口区可适当放宽要求。

②连续半月潮是指包含上述有代表性大潮、中潮、小潮在内的连续半个月的实测潮过程。

③对实测潮代表性进行分析，当其不满足要求且不具备重新测量条件下可考虑采用构造潮(依据历史资料推算分析给出的典型潮型)替代。

（6）大、中、小潮全潮同步水文测验的测站布置需满足数学模型和物理模型试验模拟范围及边界控制要求，一般垂直于主潮流方向布设3个断面，每个断面布设2～3个测站。此外在拟定的取水口、排水口附近各布设一个测站。连续半个月的同步水文测站一般设置在取排水口附近海域。

（7）已运行工程温排水影响评估研究工作的全潮同步水文测验以及温度场原型观测一般宜在工程满负荷运行、有代表性潮型（大、中、小潮）条件下进行，水文测站选择结合厂址已有相关资料水文测站布置情况进行，以便于后期的对比分析。温度场原型观测范围一般包络工程温排水1℃及其以上温升影响区。

4.0.5 感潮河道受径流与潮汐共同作用，分两种情况：对于受径流控制，只有水位变化，没有主流向变化的感潮河道，其径流相关水文控制条件及其相应资料要求可参照本标准4.0.3条河流条件；对于受潮汐控制，存在水位及流速、流向变化的感潮河道，其水文控制条件及其相应资料要求可参照本标准4.0.3条河流条件及4.0.4条海域条件综合分析确定。

4.0.6 本条说明了工程区域气象条件、取排水工程布置、环境保护要求等方面资料要求。

（1）给出工程区域包括气温、湿度、风速、风向、辐射、云量、气压、降水等在内的多年逐月最高、平均、最低值资料。对于已运行工程温排水影响评估，给出包含大、中、小潮同步水文测验时段在内的连续一个月逐时气温、湿度、风速、风向、辐射、云量、气压、降水等资料。

（2）工程水域已有取排水工程及其水工构筑物工程布置、结构形式等资料。

（3）工程水域功能区划、环境敏感点及其环境保护要求等资料。

（4）工程水域通航要求资料。

（5）工程水域岸线规划等资料。

5 数学模型计算

5.1 数学模型与参数

5.1.1～5.1.3 给出了冷却水工程水力、热力及液态流出物等排放计算模型的基本控制方程、模型边界条件处理、参数选择等的原则、方法。

（1）在实际运用时，根据具体情况选用成熟、适宜的模型与计算方法，数学模型要具备热量（物质总量）守恒性好、边界适应性好的特点。

（2）模型边界条件处理需与边界物理量实际变化情况协调一致，保证边界条件处理上的差异不会对计算结果产生明显影响。对模型水域开边界热量或浓度回归影响进行敏感性计算分析，给出其可能的误差范围，一般要求其相对误差小于1％。

（3）模型计算主要参数选取遵循以下的原则、方法：

①自由表面热通量计算公式：

 （1）

式中： ——太阳净辐射，W/m2；

——大气净辐射，W/m2；

——水体辐射，W/m2；

——水面蒸发散热，W/m2；

——水面对流向外散热，W/m2；

太阳辐射可以采用厂址附近实测值，或采用公式（2）计算：

 （2）

式中：α——反射系数，与纬度和季节有关，取值范围一般在0.05~0.10；

——晴空条件下太阳辐射通量，W/m2；

*c*——云量系数；

大气辐射热量与气温和云量有关，可以采用厂址附近实测值，或采用公式计算，常用的公式形式见公式（3）：

 （3）

式中：*r*——水气界面反射系数；

*ε*——大气发射率；

*σ*——Stefan-Boltzmann常数；

*θ*——气温（绝对温度），K；

*c*——云量系数；

水体辐射热计算见公式（4）：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （4） |

式中：*r*——水气界面反射系数；

*ε*——水体发射率；

*σ*——Stefan-Boltzmann常数；

*T*s——水面绝对温度，K；

水面蒸发散热的影响因素较多，有较多的公式形式，其中最常用的是基于最主要影响因素风速和饱和压差的经验公式形式，见公式（5）：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （5） |

式中：*W——*风速m/s；

——与水面水温*Ts*对应的饱和水汽压力，hPa；

——空气中的水气压力，hPa。

对流散热计算公式一般类比水面蒸发散热公式，见公式（6）：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （6） |

式中：*φe*——蒸发散热通量，W/m2；

*B*——波温比；

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （7） |

式中：*P——*大气压力（hPa）；

**——常数，可取为0.62；

②水面的综合散热系数（*K*）。首先考虑依据工程所在地区的水面散热实测资料确定；当缺乏实测资料时，可按公式（8）～公式（13）确定。

 （8）

 （9）

 （10）

 （11）

 （12）

 （13）

式中：——水面综合散热系数，W/（m2·℃）；

——水面蒸发系数，W/（m2·hPa)；

——水面辐射系数，可取为0.97；

——Stefan-Boltzmann常数，[W/(m2·℃4)]

——水面水温，℃，热季一般选用连续3个最热月的平均值，冷季一般选

用连续3个最冷月的平均值；

——水面以上1.5m处气温，℃。热季一般选用连续3个最热月的平均值，

冷季一般选用连续3个最冷月的平均值；

——对应于水面温度()的饱和水汽压，hPa；

---水面以上1.5m处的水汽压，hPa；

——水面以上1.5m处的大气压强，hPa；

——水面以上1.5m处的风速值，m/s，热季一般选用连续3个最热月的平

均值，冷季一般选用连续3个最冷月的平均值。

③广义黏性系数、物质扩散系数、随不同计算模式、不同模拟对象而有一定差别。因此，具体应用时首先遵循相应规范规定。对没有规范规定的参数：如有原型观测成果或其他相关验证资料（如：温度场、浓度场原型观测结果或相应试验成果等），要据此进行率定选取；如无验证资料，可依据类似研究工作所取得的实践经验进行选取，同时进行敏感性分析。

④广义分配系数：与排放物类型、受纳水体水质（含沙量等）等有关，需考虑排放物在水体中的吸附转移等效应，一般通过实验室试验和现场试验数据统计得出。在核电站核素水体污染预报模型中，可对此项做保守处理，即不考虑核素吸附转移等影响，取用＝0。

⑤随着技术水平的不断提高，对计算模型、计算参数的认识也在不断加深，研究工作需注意吸收这些先进的经验与研究成果，藉此不断提高研究水平。

5.2 模型范围及计算网格尺度

5.2.1、5.2.2 说明了数学模型模拟范围、计算网格尺度选取的基本原则。

（1）模型范围选取尽量结合已有实测水位、水流（如国家长期水文站、潮汐测站等）等测站，以提高模拟精度。模拟范围选取需结合工程实际问题、任务要求等确定。

（2）模型计算网格一般采用近区尺度小、远区尺度大的原则布设，网格尺度要足以反映岸线、建（构）筑物对模拟区域水力、热力等特性的影响。对于明渠取排水方案，取排水口附近水平方向最小网格尺度一般不超过取排水口宽度的1/3且不超过50m；对于暗涵取排水方案，最小网格尺度与取、排水口构筑物尺度相协调。

5.3 模型验证与计算水文条件

5.3.1 本条说明了数模计算模型验证基本要求。

参照类似规范情况（JTS/T 231-4《内河航道与港口水流泥沙模拟技术规程》、JTS/T231-2《海岸与河口潮流泥沙模拟技术规程》），模型验证控制指标基本要求如下。

（1）河道、水库模型需根据不同任务要求进行不同来流量下的水面线验证。水位允许偏差：山区河流为原型±0.1m；平原河流为原型±0.05m。水面比降和落差要与原型一致。与水面线验证同步开展流速分布和断面流量验证工作，其中断面流速分布规律要与原型基本一致，流速允许偏差为±10%，流量允许偏差为±10%。

（2）海域模型需进行定点潮位、流速与流向过程验证。通过调整模型糙率、开边界水力参数等手段，达到模拟精度要求，以保证流场的相似性。各参数验证精度要求如下:

——潮位，高低潮时间的相位允许偏差为±0.5 h，最高最低潮位值允许偏差为±0.1 m；

——流速，憩流时间和最大流速出现的时间允许偏差为±0.5 h，流速过程线的形态基本一致，涨、落潮段平均流速允许偏差为±10%；

——流向，往复流时测点主流流向允许偏差为±10°，平均流向允许偏差为±10°；旋转流时测点流向允许偏差为±15°；

（3）当模型验证试验个别测点流速、流向、水位等结果超出允许偏差时，需对比现场实测资料，分析产生偏差的原因，并采取相应的措施。

（4）滨海、河口水域已运行工程温度场验证一般包括取水温升随潮变化过程、特征值以及水体表层、垂向温升分布（三维数学模型）等内容。

（5）感潮河道受径流与潮汐共同作用，模型分两种情况：对于受径流控制，只有水位变化，没有主流向变化的感潮河道，其模型验证内容、要求可参照本标准5.3.1条第1款；对于受潮汐控制，存在水位及流速、流向变化的感潮河道，其模型验证内容、要求可参照本标准5.3.1条第1款及第2款综合分析确定。

5.3.2 本条说明了模型计算水文条件需符合的基本要求。

（1）内陆水域情况

①天然河道：需按全年和夏季97%保证率最小流量、90%保证率最小月均流量等设计枯水等水文条件开展相应的工程温排水模拟研究工作；核电厂液态流出物、余氯等计算一般采用多年年平均来流量、保证率90%最小月均流量、10年一遇连续7天低流量（7*Q*10）等进行。

②水库、湖泊：按90%、97%保证率枯水年最小供水量等水文控制条件开展相应的工程温排水模拟研究工作。对于液态流出物模拟计算可考虑采用进水库、出水库(湖泊)水域的年设计枯水流量(90%保证率逐月平均进流量、出流量)过程。

③当取水河道受水库或闸门等调节控制影响时，相应水文条件需结合水库、闸门调度要求等确定。

（2）滨海、河口水域采用有代表性潮型（也称“典型性”，包括：大潮、中潮、小潮）或代表性半月潮型水文条件，同时考虑风生流、沿岸流等影响。液态流出物模拟计算工作采用工程海域有代表性半月潮型水文条件进行。

（3）滨海、河口水域已运行工程温排水影响评估工作采用有代表性实测大、中、小潮开展相应的模拟研究工作。

（4）感潮河道水域分两种情况：对于受径流控制，只有水位变化，没有主流向变化的感潮河道，其模型计算水文条件可参照本标准5.3.2条第1款执行；对于受潮汐控制，存在水位及流速、流向变化的感潮河道，宜采用有代表性的大、中、小潮或连续半月潮叠加设计枯水来流进行模拟，其具体的模型计算水文条件可参照本标准5.3.2条第1款及第2款综合分析确定。

（5）水文控制条件选取还要符合其他相关规程、规范的规定等要求。

5.4 计算内容与成果分析

5.4.1 本条说明了计算内容需符合的基本要求

（1）河流或湖泊、水库模型需计算并给出不同设计工况（包括：取排水方案、工程规模（如电厂装机容量等）、岸线地形变化等）和不同水文条件下的水面线、流场、温度（温升）场或浓度（相对浓度）场以及取水温度（温升）或取水浓度特征值。

（2）海域模型需计算并给出不同设计工况（包括：取排水方案、工程规模（如电厂装机容量等）、岸线地形变化等）和不同水文条件下潮位、流场、温度（温升）场或浓度（相对浓度）场以及取水温度（温升）或取水浓度特征值。

（3）感潮河道模型分两种情况：对于受径流控制，只有水位变化，没有主流向变化的感潮河道，其模型计算内容可参照本标准5.4.1条第1款执行；对于受潮汐控制，存在水位及流速、流向变化的感潮河道，其模型计算内容可参照本标准5.4.1条第1款及第2款综合分析确定。

6 物理模型试验

6.1 模型相似准则

6.1.2、6.1.3 为6.1.1条中的动力、热力相似条件。欧拉数为压力与惯性力之比；弗劳德数为重力与惯性力之比；密度弗劳德数为浮力与惯性力之比；雷诺数为黏滞力与惯性力之比；傅里叶数为流动时间与导热时间之比；贝克莱数为对流换热与分子传热之比；公式（6.1.2-2）为水面散热通量与对流换热之比。上述相似条件包括了不少物理变量，其比尺关系在各个相似条件中要求不尽相同，在具体应用时需要根据试验的主要任务放弃或放松一些次要的相似条件来迁就主要相似条件的满足，如对于傅里叶数，在模型最小水深不小于3cm条件下，该数的影响可忽略不计；贝克莱数在模型水流处于紊流状态下时，该数的影响可忽略不计。水温是指包含冷却水排放影响在内的受纳水体温度；自然水温是指未受冷却水排放影响的环境水体温度。根据试验重点要求，可将模型大致分为两类：

1 试验重点是整个受纳水域的散热能力，一般是水库型或上游来水量不大的河道型或海域型冷却水模型，一般采用几何变态模型；

2 试验重点是排水口地区的出流流态、局部掺混及与之相应的温度场，一般是细化研究排水口工程布置的冷却水模型，一般采用几何正态模型。

但实际情况往往是排水口、取水口包含在同一模型中，受纳水域包括了排水的近区和远区，而且两者有着水力、热力上的因果影响，因此模型的几何变率要依据和权衡多方面因素来最终确定。综上所述，冷却水模型的相似要求可参考表1。

表 1 两 类 模 型 的 设 计 要 求

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项 目 | | | 第 Ⅰ 类 模 型 | | | | | 第 Ⅱ 类 模 型 | | | | | |
| 几何相似  雷诺相似 | | |  | | | | |  | | | | | |
| 模型类型 | | | ⅠA | ⅠB | | ⅠC | | ⅡA | | ⅡB | ⅡC | | ⅡD |
| 特 点 | | |  | | | | |  | | | | | |
|  | |  | |  |  |  | |  |  | |
| 模型相似准则 |  |  |  | |  | |  |  |  | |  |  | |
|  |  | |  | |  |  |  | |  |  | |
|  |  | |  | |  |  |  | |  |  | |
|  |  | |  | |  |  |  | |  |  | |
|  |  | |  | |  | 1 | 1 | |  |  | |
|  | |  | | | | |  | | | | | |
| 注： r——模型比尺；  m——模型；  *λ*——阻力系数；  *l*r、*z*r、*v*r、*tr*、*Q*r、*K*r——平面长度、深度、流速、时间、流量、综合散热系数的模型比尺；  *h*min——最小模型水深；  ——排水出流雷诺数；  ——临界雷诺数；  ——最小雷诺数；  *Fr*——弗劳德数；  *F*Δ——密度弗劳德数；  *T*——水温；  *T*∞——自然水温；  ——密度。 | | | | | | | | | | | | | |

6.1.5 本条是对模型中水流整体紊动相似的视同条件。如果模型中临界雷诺数不易确定，可用模型流量大于临界流量替代。临界流量的含义为对于冷却池模型，当冷却水量超过此值后，受纳水域的整体流态已不随流量增大而明显改变。模型水深主要指包括取排水口在内的温排水（或其他污染物）主要影响区的水深，该区域模型最小水深一般不小于3cm。

6.1.6 本条是试验任务涉及风效应时的补充相似条件。包括：

（1）水上地形和建筑物的几何相似；

（2）水面热交换通量相似；

（3）风作用于水面后水域流速场相似；

（4）风吹效应对水面坡降及沿程能量变化相似。

6.1.7 本条是冷却水试验任务涉及冰冻、泥沙等问题时需补充的相似条件要求。主要包括：

（1）涉及冰冻时需兼顾考虑冰冻效应相似要求。

（2）涉及泥沙问题时，可综合分析冷却水运动与泥沙运动相似要求，提出可兼顾两者要求的模型设计方案。

6.1.8 现状技术条件下，尚难以在大水域物理模型试验中模拟液态流出物（如核电厂排放物中的核素）自身衰变、物质吸附转移等对其浓度场的影响，只能采用适宜的示踪剂模拟其在环境水体中的掺混、稀释效应。由此，液态流出物扩散模型试验可考虑与冷却水试验在同一模型中进行。

6.2 模型设计

6.2.1 本条说明了模型设计及其几何变率选取需要遵循的原则。

（1）模型比尺的选定及最终依循的模型相似条件要根据试验研究的重点内容及试验客观条件而定，具有一定的自由度。根据已有冷却水模型试验的实践经验，将模型的分类及其相似要求列于表2。

表2 冷却水模型的分类及相似要求

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 模型分类编号 | 模型性质 | 模型研究重点对象内容 | 试验客观条件 | 模型特点 | 模型相似要求 | |
| 必须满足的条件 | 争取满足的条件 |
| A | 几何变态水力热力模型 | （1）热水受纳水域整体流态及水力热力特性；  （2）排取水口工程布置；  （3）水域散热能力，冷却容量；  （4）工程方案比较及优化；  （5）环境流影响，水环境评估。 | 模拟范围较大，试验场地较大。 | （1）主要模拟远区  （2）提高精度主要因素之一：近区作为模型内边界水力热力模拟 | ··  ·  ·  · | ·  ·排水口局部出流情况与正态情况接近 |
| B | 几何正态(或小变态)水力热力模型 | （1）排水口或取水口局部水域水力热力特性；  （2）排水口或取水口细部水工布置及优化；  （3）排取水口相距较近，可以确切模拟的排取水口整体水工布置；  （4）上游来水量较大，模拟水域水面散热能力比重不占主体的水工整体布置及优化；  （5）垂向分层的温差异重流运动；  （6）潜没出流工程布置及水力热力特性。 | ·模拟范围较小，试验场地面积不大；  ·环境水流不太复杂，可以一定程度的模拟；  ·取水口、排水口局部区域复杂，几何变态影响敏感。 | （1）主要模拟近区  （2）提高精度主要因素之一：环境流作为模型外边界的水力热力模拟 | ·  ·  ·  · | ·  ·模型水域范围尽量大些  ·或  ，如同小变态模型 |
| C | 几何正态水力模型 | （1）直流取水情况下，取水口或排水口布置及其优化  （2）水域水深较浅，不出现温差分层现象情况下，排取水口整体流态及方案布置  （3）取水口进沙预报及防沙措施 | ·试验室供水能力较大  ·有供应模型底沙条件 | ·供不考虑水面散热或水体分层  ·考一般水工模型或一般定床河工模型（正态） | 同一般水工模型相似要求  ·  ·  ·  · | ·模型水域范围包括取水口  ·底沙中值粒径  · |
| D | 几何变态水力热力盐水模型 | 有盐水入侵或淡水注入海水水域情况下，同A（1）（2）（3） （4）（5） | ·模型范围较大，试验场地较大；  ·有盐水循环、量测系统 | 需同时考虑温度分层、水气交面散热及盐水分层现象 | ·  ·  ·  ·  ·  · | ·  · |
| E | 几何变态全潮水力热力模型 | （1）潮水运动情况下，给定取水口、排水口工程的取水超温随潮流变化  （2）整体方案比较  （3）水环境的随潮变化 | 模拟范围大，有足够大的试验场地。 | ·热水上溯范围在模型范围之内较大 | 同A，较A可大些。 | 有小变态或正态模型的配合 |
| F | 几何变态全潮水力热力盐水模型 | 同E（1）（2）（3）考虑盐水倒灌的影响 | ·同E  ·试验室有盐水循环及量测系统 | ·同E  条件比较复杂 | 同A，同时满足  · | ·  ·有小变态或正态模型的配合 |
| 注1：液态流出物扩散试验与冷却水试验在同一模型中进行，相应模型试验要求与之相同。  注2：试验条件方面需增加示踪剂添加系统。  注3：*n*为糙率；*d*为泥沙粒径。 | | | | | | |

（2）对于在同一模型需同时考虑受纳水域包括近区和远区影响的整体模型，其模型的几何变率需依据主要研究目的、内容进行系统分析论证后确定，在一般情况下，此类模型变率选择。

6.2.4 本条为模型模拟范围选择说明，具体操作时尚需结合6.1.1条及6.2.1条的要求确定。对于模型的正态、变态及变率的选择原则，可参见6.1.2条说明。

物理模型试验需依据任务要求选择足够大的模拟范围。一般情况下,需保证1 ℃以上温升影响区(或稀释倍率10倍以上区域)在模拟范围内。模拟边界需考虑温度或浓度回归影响，具体可采用数模计算 (或估算)方法给出边界进出流温差(或浓度差)并据此进行修正。

6.3 试验设备与量测仪器

6.3.1 为了避免露天的不稳定气象因素影响模型的水力、热力模拟而强调要在室内进行试验。

模拟冷却水运动浮力效应的水体密度差是由水温差控制的，水的密度与水温是非线性关系，水面散热系数也随气象条件而异，因此要保持冷却水运动的水力、热力相似，模型试验环境水温、气象等因素需要保持适宜的稳定条件。一般要求试验室内无风、试验期间室内气温变幅不超过5℃，环境水温变幅不超过0.5℃。

6.3.2 模型恒温加热系统是用于控制取排水流量、温差的设备；示踪剂添加系统则为用于控制示踪剂流量、浓度的设备。

6.3.3 潮汐发生及控制系统是用于控制模型开边界潮汐参数的专用设备，由量测系统、控制系统组成，目前多采用模型开边界分段进出流量自动控制系统来实现。

6.3.6 本条所列仪器仪表为冷却水试验常用仪器，不包括含沙量等专用仪器。测温仪器精度要求为±0.1℃；示踪剂（液态流出物试验）浓度检测仪器的精度要求为±10％。

6.3.7 其他量测仪器如压力、水位、流量等与水工模型试验同。

6.5 试验要求

6.5.2 本条说明了模型试验控制过程中的基本要求

（1）对模型试验水质的基本要求。

（2）主要指电测仪器、设备的调试，如现场电压指标，电磁干扰等影响的排除，确保仪器设备的安全、稳定运行。

（3）模型中的水力、热力及其他液态排放物参数随水体蓄热（或其他液态排放物的蓄积等）而渐趋稳定，试验要监测模型中特定点的温度或排放物浓度，待其趋于稳定后(恒定流水域不同时刻温度值或浓度值的差值小于1％；潮汐水域相邻两个潮态温度值或浓度值随潮变化过程线上同时刻点对应的温度值或浓度差值小于1％)认为模型水力、热力或液态排放物参数已达稳定。

（4）液态流出物试验示踪剂选择的基本要求。现阶段常用示踪剂包括: 荧光物质(荧光素钠、罗丹明B) 、钠盐(氯化钠、氟化钠)等。

6.5.3 本条说明了模型试验水文条件基本要求。

（1）内陆水域冷却水、液态流出物等试验可参照可参照本标准5.3.2条相应条款进行。

（2）滨海、河口水域冷却水、液态流出物等试验采用有代表性潮型（大潮、中潮、小潮）水文条件进行，同时需考虑风生流、沿岸流等影响。连续半月潮持续时间较长，试验室条件气象等客观因素变化对其试验结果影响较大且难以修正，故此不进行半月潮物理模型试验。

（3）感潮河道模型分两种情况：对于受径流控制，只有水位变化，没有主流向变化的感潮河道，其水文控制条件可参照本标准6.5.3条第1款执行；对于受潮汐控制，存在水位及流速、流向变化的感潮河道，宜采用有代表性的大、中、小潮并叠加设计枯水来流进行模拟，其水文控制条件可参照本标准6.5.3条第1款及第2款综合分析确定。