

附件 3

《环境影响评价技术导则 地表水环境
(征求意见稿)》编制说明

《环境影响评价技术导则 地表水环境》编制组

二〇一七年十月

标准名称：《环境影响评价技术导则 地面水环境（HJ/T2.3—93）》修订

标准编号：HJ2.3-201□

标准负责人：陈凯麒 曹晓红

起草单位：环境保护部环境工程评估中心

中国水利水电科学研究院

主要编制人：

环境保护部环境工程评估中心

王庆改 贾 鹏 梁 鹏 郭 森 步青云 黄 茹

祁昌军 张贝贝 葛德祥 冉丽君

中国水利水电科学研究院

彭文启 刘晓波 毛战坡 刘 畅 黄 伟 吴佳鹏

骆辉煌

目 次

1	项目背景.....	1
2	标准修订必要性分析.....	2
3	标准修订基本原则和技术路线.....	3
4	标准修订主要内容说明.....	8
5	主要修订内容对比汇总.....	17
6	主要修订测算与方法说明.....	20
7	对实施本标准的建议.....	33
8	国内外相关评价方法研究进展.....	33

1 项目背景

1.1 任务来源

环境保护部科技标准司将《重构环境影响评价技术导则体系》(修订)列入2016-2018年度国家环境保护标准制修订计划。《环境影响评价技术导则 地面水环境》(HJ/T 2.3—93)(以下简称现行导则)修订是其中任务之一。

标准修订项目的承担单位:环境保护部环境工程评估中心;协作单位:中国水利水电科学研究院。

1.2 修订背景

现行导则于1993年9月18日由原国家环境保护局发布,导则明确了地表水环境影响评价主要工作内容、技术方法等。导则实施20多年来,在指导建设项目地表水环境影响评价方面发挥了重要作用,对减轻新建项目的地表水环境影响、从源头防控水污染起了积极作用。然而20多年来随着社会经济的快速发展,水污染物排放总量呈现持续上涨势头,水环境保护形势非常严峻。而且,20年来我国的环境管理政策、环评相关标准、水污染控制能力、环评技术水平也发生很大变化,93导则已经面临许多不适应的地方。2015年国务院颁布《水污染防治行动计划》(国发〔2015〕17号),提出“以改善环境质量为核心”“全面控制污染物排放”“加强江河湖库水量调度管理”和“全面推行排污许可”等一系列具体要求。2015年6月,在环境保护部开展“环评和监测工作创新”大讨论中,时任环境保护部部长陈吉宁提出“环评是污染源防控的前置保障,是环保部门的一项重要工作,随着形势的发展,现行的环评制度出现了许多不适应的地方,要通过准入导则的制定和解释,提高导则规范的指导性和适用性,增强环评的针对性和科学性”。这次讨论明确了导则的主要作用,也为导则修订指明了方向。2015年9月,在环境保护部环境影响评价司的指导下,环境保护部环境工程评估中心编制完成了《重构环境影响评价技术导则体系工作方案》,提出按照改善环境质量、合理利用环境容量的目标,重构环评技术导则体系,尽快启动地面水等导则制修订计划。

2016年12月,环境保护部发布《建设项目环境影响评价技术导则 总纲(HJ 2.1—2016)》(以下简称总纲),总纲重点聚焦在建设项目的环境影响和环保措施上,进一步强化了环境影响预测,要求在环评文件编制过程中,准确选取科学合理的预测模式、方法、参数等,提高环境影响预测的科学性;总纲针对环境保护措施、环境风险防范及应急处置措施,要求强化环境保护措施经济技术可行性、有效性分析;同时总纲要求强化环境管理与环境监测;针对提出的环境保护措施,要求提出有针对性、具体可操作的施工期环境监理以及管理计划和措施,为事中事后监管奠定基础。

在相关排污许可制度管理文件中,提出“与环境影响评价对接”,要求编制环境影响评价报告书和报告表的固定源建设项目均纳入排污许可管理,要求环评与排污许可管理流程“无缝”对接。

水环境预测数值模型经过多年的发展,在三维模型、动边界处理、数值离散方法等方面取得了长足的进步,导则中给出的数学模型已经不能满足环境影响评价实际工作的需要,

特别是数值模型部分，已经落后于水动力及水质数学模型的发展。导则中数值模型介绍内容比较少，环评中的要求也不高，数值模型仅在河口一级评价和海湾一二级评价中要求采用，和现在实际环评工作相差很远，需要对导则进行修订完善。

在以环境质量改善倒逼环境管理模式转变的大背景下，地表水环境影响评价工作落脚点应转变到以改善水环境质量为核心上来。现行导则在地表水环境质量标准要求、预测评价内容及技术方法、预测评价结果表达等方面已不能适应新形势下的地表水环境质量改善要求，需开展必要的修订。

1.3 主要工作过程

为贯彻《中华人民共和国环境影响评价法》，规范、指导和推动环境影响评价工作，2008年，环境保护部科技标准司将现行导则修订任务列入《2008年度国家环境保护标准制修订项目计划》。2012年，导则编制组完成了导则征求意见稿。2013年至2015年期间，根据环境保护部科技标准司及标准所的意见，多次修改完善导则。

2016年，环境保护部发布《“十三五”环境影响评价改革实施方案》，为了适应新的环评管理要求，环境保护部2016年启动“重构环境影响评价技术导则体系工作方案”，开始环境影响评价系列导则的制修订工作。根据新的环境管理要求，现行导则作为环境要素导则之一，需重新修订完善相关内容。

2016年2月25日，编制单位在北京主持召开了现行导则修订开题论证会，会议对导则修订体现以“改善环境质量为核心的要求”给予了充分的肯定，同时要求导则修订过程中应与总纲、《水污染防治行动计划》、排污许可证制度等有效衔接。

2016年10月24日，导则编制组在北京主持召开了现行导则修订征求意见稿专家审议会，专家认为征求意见稿框架结构及章节设置合理、内容较全面、条理总体清楚，推荐的技术方法适用性较强，总体完成了既定的工作任务。同时要求对导则在最新环境管理要求响应、规划环评如何应用等方面进一步修改完善。

2016年11月23日，导则编制组在北京主持召开了现行导则修订征求意见稿专家复核会议。专家组复核认为，对照导则修订开题论证报告明确的工作内容，编制组完成了既定的工作任务，征求意见稿总体达到了预期目标，适当完善后，可以上报。

2017年3月28日，环境保护部环境影响评价司组织召开了现行导则修订征求意见稿技术审查会，审查会议要求，应根据最新的建设项目情况，进一步简化评价等级的分类，进一步从排放标准、质量标准等方面挖掘改善环境质量的规定。

2017年8月29日，环境保护部环境影响评价司召开司务会，对现行导则修订征求意见稿进行审议，认为适当完善后可以公开征求意见。

2 标准修订必要性分析

现行导则实施20多年来，对指导和规范建设项目的地表水环境影响评价工作起到了重要作用。但随着经济社会的高速发展、科学技术的不断进步、建设项目的多样化，《中华人民共和国环境影响评价法》颁布实施，特别是随着2015年新环境保护法及《水污染防治行动计划》的实施，以及提出的“十三五”期间“以改善环境质量为核心”、污染源实施“排污许

可证”一证式管理、环评审批权调整等新的环境管理要求，现行导则中部分内容已经难以适应当前环境管理和环境影响评价工作的需要。地表水导则急需修订相关内容，以适应新的环境管理的需要，并保障同各项环境管理制度的有效衔接。主要表现为以下几方面：

a) 围绕“以改善环境质量改善为核心”的环境管理总体要求：《水污染防治行动计划》《“十三五”生态环境保护规划》《重点流域水污染防治“十三五”规划》《十三五环评改革实施方案》都提出“以改善环境质量为核心”的十三五环境管理要求。为适应贯彻执行以改善环境质量为核心的环境管理要求，切实加强环境影响评价管理，落实“生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线和环境准入负面清单”约束，需要在地表水导则中明确相应的技术方法及管理的要求，紧紧围绕“以改善环境质量为核心”开展环境影响评价工作；

b) 与排污许可证制度衔接：根据《水污染防治行动计划》《“十三五”生态环境保护规划》等有关规定，“十三五”期间将对固定污染源实行全覆盖一证式管理，环境影响评价作为排污许可制度的前置，需要和排污许可制度有效衔接，实现新源环评管理和排污许可的有效衔接，在地表水导则中需要明确衔接的内容和实现的方法；

c) 适用范围：现行导则的适用范围为“厂矿企业、事业单位”，其他建设项目参考执行。而随着生态影响类建设项目的不断增多，资源开发与利用等建设项目产生的水环境问题也日益突出，现行导则对该类建设项目水环境影响评价工作的指导作用欠缺，对规划环境影响评价中的地表水环境影响评价也缺乏指导；

d) 评价工作等级：现行导则根据建设项目污水排放量、水质复杂程度、水域规模等要素确定评价工作等级，但是一些水文、水资源和生态影响为主的建设项目，其污水排放很少或没有污水排放，但对地表水生态环境影响却很大，除考虑污染物排放问题外，还应考虑水文情势或水动力条件的变化。根据现行导则很难确定这类建设项目的的评价工作等级。同时，随着我国水污染点源管理的进一步加强，大部分项目水污染物往往进入城市污水处理厂或园区污水处理厂等集中处理设施，其对受纳水体的影响已经在污水处理厂环境影响评价论证中加以考虑，其环境影响评价工作应适当简化；

e) 环境现状调查：作为现行导则重要编制依据的《地表水环境质量标准》(GB 3838)已于1999年、2002年两度修订，现行导则的相关内容也应进行相应的修改。此外，现行导则对于河口、近岸海域等水环境现状调查的方法不够明确、不尽合理；

f) 水环境影响预测：现行导则推荐的预测数学模型难以满足水环境影响评价发展的需求，缺少水动力学和水温预测模型，推荐的河流、湖库水质预测数学模型也大多是简化条件下的解析解，对模型参数的率定和验证没有提出明确要求；

g) 指导性需加强：随着环评审批权下放，大部分建设项目下放到省、市，甚至县级环境管理部门审批，环境影响评价文件也相应的转移到更多地方环评单位编制，受地方管理人员和技术人员水平的限制，需要提高导则的指导性和可操作性。

鉴于上述原因，对现行导则进行修订势在必行。

3 标准修订基本原则和技术路线

3.1 基本原则

本次修订主要遵循以下几项基本原则：

a) 广泛参与原则。广泛吸收不同行业专家、环境影响评价单位及环境保护管理部门的意见，确保修订后的导则对地表水环境影响评价工作具有普遍的指导意义；

b) 延续性原则。修订后的导则应在现行导则的基础上进行修订、完善，在章节安排上尽量考虑现行导则的框架结构，体现其指导作用的连贯性。修订后的导则应符合总纲的要求，与即将出台的其他相关导则、技术规范相协调；

c) 经济技术可行性原则。导则修订所选用的评价方法应经济技术可行，尽可能体现近年来科学技术进步以及新的环保理念要求；

d) 适用性与可操作性原则。导则修订应采用成熟、实用并经实践检验具有可操作性的评价方法；

e) 定性与定量相结合原则。导则修订应考虑不同评价工作等级的要求，重视定性与定量相结合；

f) 分类指导原则。修订后的导则在具有普遍指导意义的前提下，应对不同行业有所区别。

3.2 修订思路

本次地表水导则修订，贯彻以改善环境质量为核心的要求，落实与排污许可管理制度的衔接，聚焦污染源与环境质量的输入响应关系，简化了不直接向水环境排放废水的建设项目的环评工作内容，强化了废水直接排放的建设项目环境影响预测工作，使导则回归环评本质，提高地表水环境影响评价的可操作性和工作效率。主要体现在以下几个方面：

a) 充分体现以改善环境质量为核心的要求。导则建立了污染源和水环境质量之间的输入响应关系，基于现有排放标准和环境质量标准，采取最佳可行技术、预留安全余量等手段提出更严格的污染源排放要求，突出空间管控（落实到控制断面）和时间特点（考虑评价水期），联动区域水污染防治工作，实现新（改扩）建项目建设后“增产不增污、增产减污”的水环境质量改善目标；

b) 简化工作程序，提高评价效率。调整了污染类地表水环境影响评价工作等级分级判定依据，抓住水污染物排放量、排放方式、受纳水体状况这条主线，将原来四项判定依据指标简化为一条，大幅提高了评价定级的工作效率。增加了水文水动力影响类项目的评价等级判定，填补了如水利水电、煤炭采掘等资源开发项目水环境影响评价工作等级判定依据的空白；

c) 规范调查内容，强调数据说话。调整了地表水环境现状调查范围的确定原则，规范了地表水环境现状调查工作，强调尽可能利用现有水文、水环境监测数据，开展数据有效性分析，不足要补充监测。简化了间接排污项目的调查和评价内容，大幅减少该类项目的工作量。增加水文要素影响型项目评价内容，关注生态流量的管理要求及满足程度；

d) 强化预测内容，突出预测针对性。导则明确了预测情景、时期及预测内容，导则要求二级以上的评价均采用数学定量评价，并对模型边界条件、初始条件、率定、验证、模型结果合理性分析给出了详细的规定，提高了影响预测的科学性和规范化水平。同时提出预测应结合地表水环境保护措施的要求，提高了影响预测的针对性；

e) 强化环保措施，探索信息公开。导则明确了地表水环境保护措施与对策的相关要求，强化环保措施要与环境质量现状挂钩，对不达标区采用最优的环保措施，确保环境质

量不降级。同时，提出污染源与环境质量监测的相关技术要求，为地表水环境信息公开提供了技术支持；

f) 强化与排污许可证制度衔接。导则规定了允许排污量核算的一般要求、核算方法，提出允许排污量作为新增污染源申请污染物排放许可的依据，实现了新源环评管理和排污许可的有效衔接。

3.3 技术路线

通过对现行导则应用单位（环境管理部门、环境规划编制单位、环境影响评价文件编制单位）进行调研，分析有关地表水环境影响评价相关技术方法、管理制度等方面的现状，结合我国在环境影响评价、排污许可、环评大数据分析等环境管理应用过程中对地表水环境影响评价技术方法的相关需求及本次导则的修订思路，提出地表水环境影响评价技术导则的修订方案，整体技术路线如图 1 所示。

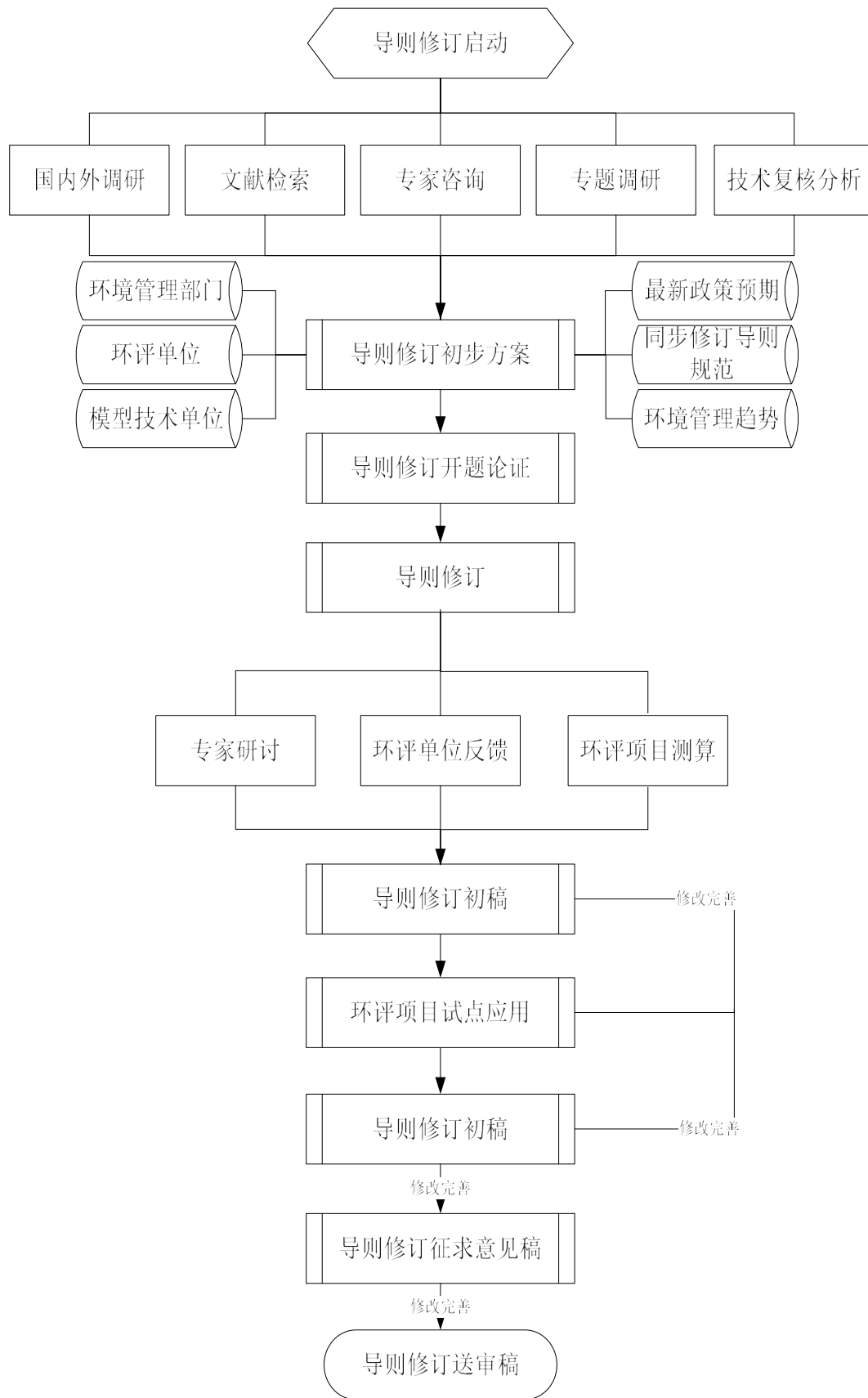


图 1 导则修订技术路线图

3.4 修订特色

本次导则修订特色主要体现在以下几个方面：

a) 充分贯彻落实以改善环境质量为核心原则，基于现有排放标准和质量标准制定更严格污染源排放规定，实现由目前的“双顶格”向“双不顶格”转变。目前大部分建设项目排污口按污染排放标准限值考核、受纳水体按环境质量标准限值计算达标与否考核，在这种双限值考核体系下，污染源、水文条件若发生变化，水质往往超标。因此本导则提出采取最佳可行技术、安全余量的要求，从排污、水环境质量两方面做出一定程度的预留，进一步为改善水质提供安全保障；

b) 充分落实与排污许可证的衔接要求，分别给出达标区和不达标区允许排放量的制定办法和计算方法；

c) 结合目前污染类建设项目的排放特点，对该类建设项目采取分别对待方法。即对排入城市污水厂或工业园区污水处理厂等集中处理设施的建设项目，在评价等级和评价内容上进行简化处理，更加明晰了责任主体；

d) 对水文情势影响型建设项目的评价给予了详细的说明，着重从生态流量角度对该类建设项目提出了评价的具体要求；

e) 对目前环评文件中模型使用不规范的问题进行了细致的规定，大幅度提高模型使用的规范性和模型可信性。

3.5 主要修订框架

为保持导则连贯性和指导性，修订后导则总体保持现行导则的结构和框架，删除了现行导则附录，新增了2个章节和8个附录。将现行导则第6章现状调查要求相关内容列入附录B，将现行导则中关于评价时期、环境保护目标、评价标准等确定要求列入修订导则第5章，修订导则增加第9章和第10章内容。导则修订前、后框架设置对比见表1。

表 1 现行导则与修订后导则章节设置对比表

章节设置	现行导则	章节设置	修订后导则
1	主题内容与适用范围	1	适用范围
2	引用标准	2	规范性引用文件
3	术语、符号	3	术语和定义
4	总则	4	总则
5	地面水环境影响评价工作分级	5	评价等级及评价范围确定
6	环境现状调查	6	环境现状调查与评价
7	地面水环境影响预测	7	地表水环境影响预测
8	评价建设项目的地面水环境影响	8	地表水环境影响评价
		9	环境保护措施与监测计划

续表

章节设置	现行导则	章节设置	修订后导则
		10	地表水环境影响评价结论
附录 A	数值模式差分方程	附录 A	(规范性附录) 污染物及当量值表
附录 B	现有污染源调查表	附录 B	(规范性附录) 环境现状调查内容
		附录 C	(规范性附录) 补充调查监测布点及采样频次
		附录 D	(规范性附录) 水质评价方法
		附录 E	(规范性附录) 河流、湖库、感潮河段及近岸海域常用数学模型基本方程及解法
		附录 F	(规范性附录) 入海河口及近岸海域特殊数学模型及基本解法
		附录 G	(资料性附录) 常用水环境模型软件简介
		附录 H	(规范性附录) 建设项目污染物排放信息表

4 标准修订主要内容说明

4.1 适用范围

导则修订后的适用范围涵盖各行业的建设项目，规划环境影响评价中地表水环境影响评价也可参照执行。

修订理由：根据《中华人民共和国环境影响评价法》第二条“本法所称环境影响评价，是指对规划和建设项目实施后可能造成的环境影响进行分析、预测和评估，提出预防或者减轻不良环境影响的对策和措施，进行跟踪监测的方法与制度”，环境影响评价包括规划环境影响评价和建设项目环境影响评价两类。本次修订对适用范围进行调整，并在正文中增加了规划环评的评价方法。

4.2 规范性引用文件

规范性引用文件增加 GB 11607、GB 5084、GB 18668、GB 18486、GB 50179、GB 5085、GB/T 14914、GB/T 19485、HJ 442、HJ 819、HJ/T 91、HJ/T 92、SL 278 等标准。

修订理由：根据水质用途，增加 GB 11607、GB 5084 的水质标准。海洋沉积物评价主要引用 GB 18668 的规定。河流和海洋现状调查分别主要引用 GB 50179 和 GB/T 14914 中的规定。现状监测主要引用 HJ/T 91 中的规定。

HY003.1~HY/T003.10 现已被替代，因此删除。

4.3 术语和定义

4.3.1 地表水：将现行导则中“地面水”改为地表水，同时将“有关海湾”改为“入海河口和近岸海域水体”。

修订理由：与 GB 3838 保持一致，统称“地表水”；同时按照地表水与海洋的环境管理现状，明确修订导则的评价范围为“入海河口和近岸海域水体”。

4.3.2 水环境保护目标：新增。

修订理由：基于《建设项目环境影响评价分类管理名录》（环境保护部令第 44 号）和 HJ2.1 要求，明确水环境保护的主要目标对象。该术语和定义作为修订导则中环境保护目标确定的依据。

4.3.3 水污染当量：新增。

修订理由：引自《中华人民共和国环境保护税法》（2016 年 12 月 25 日第十二届全国人民代表大会常务委员会第二十五次会议通过），作为水污染影响项目评价等级划分的依据之一。

4.3.4 生态流量：新增。

修订理由：满足生态流量要求是目前地表水环境管理重要内容之一。特别是水文要素影响的建设项目，生态流量是实际环评工作中重点关注的内容。

4.3.5 安全余量：新增。

修订理由：定义参考《美国 NPDES 许可证编写指南》。为实现地表水环境容量不顶格使用要求，从排污口断面环境容量角度提出预留合理的余量。

4.3.6 允许排污量：新增。

修订理由：定义参考《水环境容量综合手册》。为贯彻水环境质量改善的环境管理要求，保障水环境质量不退化、不降级，提出建设项目的允许排污量，同时亦为排污许可证中排污量的确定提供核算参考。

4.3.7 混合区：新增。

修订理由：定义参考《美国 NPDES 许可证编写指南》。由地方水环境管理部门根据实际情况给出具体范围。

4.4 总则

相对于现行导则，修订导则将建设项目地表水环境影响评价分类为水污染影响型、水文要素影响型及两者兼有的复合影响型。同时不再设置低于三级的评价项目，细化了环境影响评价的工作程序。

修订理由：增加水文要素影响型建设项目的地表水环境影响评价是目前地表水环境管理的需要；不再设置低于三级的评价项目，是因为现行导则对低于三级的项目也未给出依据，因此修订导则也予以取消；修订导则工作程序中给出了达标区、不达标区对应的水污染处理技术选择要求，以及不同评价等级现状调查、影响预测的要求。

4.5 评价等级及评价范围确定

与现行导则相比，除保留了评级等级划分以外，修订导则在第 5 章增加了环境影响识别与评价因子筛选、评价范围确定、评价时期确定等一系列内容。

4.5.1 环境影响识别与评价因子筛选

修订导则要求水污染型建设项目按照污染源源强核算技术指南，识别污染源、确定水污染因子，筛选水环境影响评价因子。同时规定水文要素影响型建设项目评价因子，以及补充了建设项目引起水体富营养化时的评价因子。

修订理由：行业源强核算技术指南作为环境管理的规范文件，应与其保持一致；其次本次导则修订增加了水文情势影响型建设项目的的评价。

4.5.2 环境影响评价等级划分

修订导则中污染类项目评价等级判定主要判据为排放方式、废污水排放量或水污染当量；水文要素影响型建设项目等级判定根据项目影响类型不同而不同。

修订理由：根据最新环境管理要求，对水污染影响型建设项目评价等级判定进行了大幅度简化，首先对于间接排放的项目环评直接判定为三级，其次直接排放项目判定依据仅由废水排放量（m³/d）、污染当量数（无量纲）确定；水文要素影响型建设项目的等级判定为新增内容。

4.5.3 环境影响评价范围确定

与现行导则不同，本导则增加了评价范围的确定条款，并依据评价等级分别对水污染类型建设项目直接排放、间接排放，以及水文要素影响型建设项目分别给出评价范围确定的依据和原则。

修订理由：现行导则根据水域规模确定调查范围的尺度不尽合理，本导则要求根据水体影响范围确定评价范围。

4.5.4 环境影响评价时期确定

水污染类建设项目评价时期与现行导则保持一致，增加了水文要素影响型建设项目的的评价时期。

4.5.5 环境保护目标确定

增加水环境保护目标要在带有地理信息的地图中进行标注的要求。

修订理由：提高信息的可读性，体现水环境保护目标、水环境功能区划等与建设项目、排污口的相对位置关系。

4.5.6 环境影响评价标准及区（流）域环境质量改善目标要求确定

增加环境影响评价标准及区（流）域环境质量改善目标要求作为建设项目评价的标准依据，并特别强调不达标区域，必须满足环境质量改善目标要求。

修订理由：与目前水域环境管理的空间尺度和改善环境质量要求相一致。

4.5.7 环境影响评价基本要求

从现状调查、影响预测、保护措施制定等方面，针对不同评价等级给出了总体要求，作为不同等级评价工作量核算的依据。

4.6 环境现状调查与评价

明确了环境现状调查的总体要求、范围、时期、内容、方法，及补充监测内容、现状评价内容和方法，细化了河网、入海河口、海湾等水域的水环境现状调查方法，完善了水文调查与测量、污染源调查的方法，强化了评价因子和影响因子的识别和筛选内容及方法。

4.6.1 总体要求

新增 6.1 总体要求，明确了地表水环境现状调查应遵循的原则、调查的主要内容，及

补充监测要求，并明确工业园区规划环评可依据本导则执行，流域规划环评参照执行。

4.6.2 调查范围

相对于现行导则，修订导则不再给出量化调查范围，而是根据评价范围确定。尽管三级评价不将“其依托污水处理设施废水排放接纳水体纳入评价范围”，但因需要开展接纳水体的达标评价，故将“其依托污水处理设施废水排放接纳水体纳入现状调查范围”。明确了水文要素影响型建设项目调查范围。

修订理由：按照评价范围给出调查范围的确定要求，相对更加科学。

4.6.3 调查时期

修订导则要求现状调查时期与评价时期一致。

4.6.4 调查内容

相对现行导则，修订导则按水污染影响型建设项目和水文要素影响型建设项目分别给出调查内容要求，在调查内容和方法上，基本与现行导则一致。同时为简化导则正文，将详细调查内容放到附录 B。

修订理由：鉴于修订导则增加了水文要素影响型建设项目的评价，对应给出该类型建设项目的现状调查内容。

4.6.5 调查要求

相对于现行导则，修订导则对水污染源、环境水文条件、水环境质量及达标状况和水资源利用状况调查等方面提出了明确的要求。特别对企业的所有排污口均提出调查要求，并要求给出精确的排污口坐标信息和图件；对水文数据的系列长度也提出了具体要求。此外，明确了水环境质量状况应调查的断面，包括对照断面、排污口断面、控制断面、关心断面和消减断面，河流、湖泊水库、入海河口及近岸海域等四种类型水体的上述断面布置示意图分别如图 2、图 3、图 4、图 5 所示。

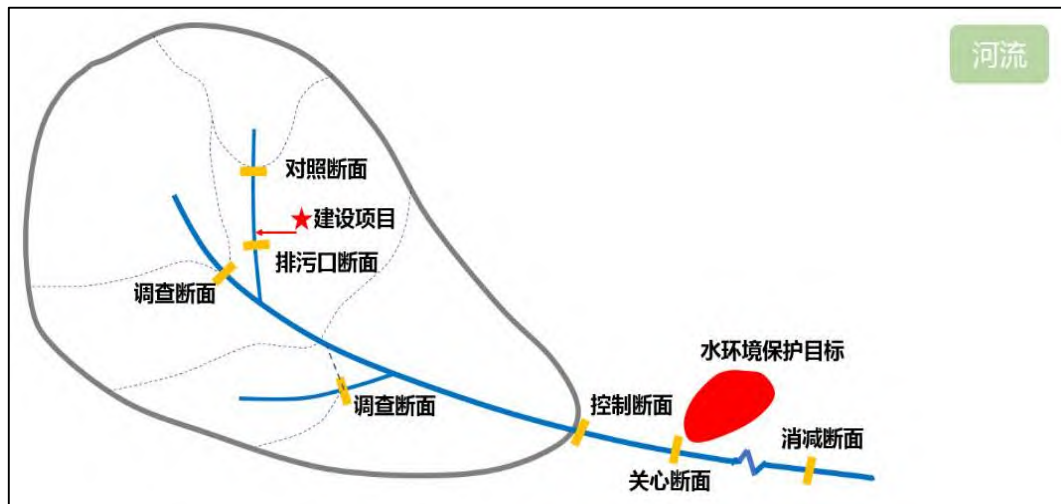


图 2 河流断面布置示意图

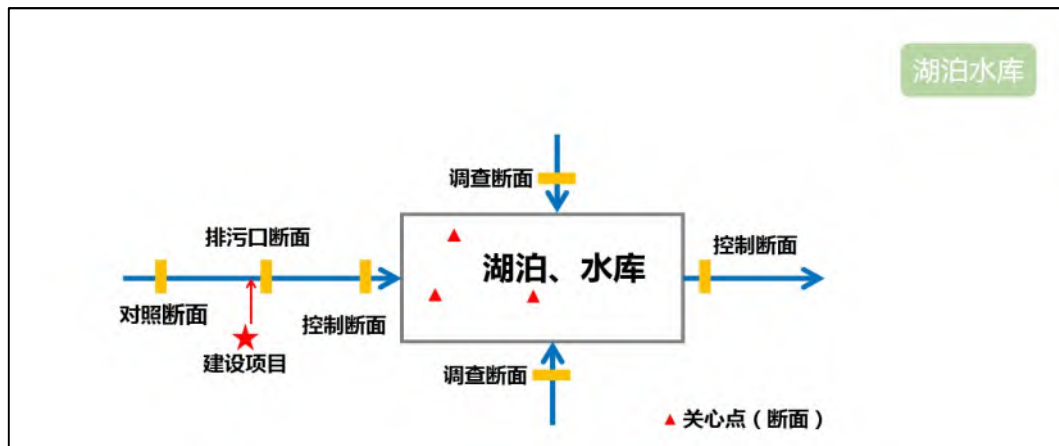


图 3 湖泊水库断面布置示意图

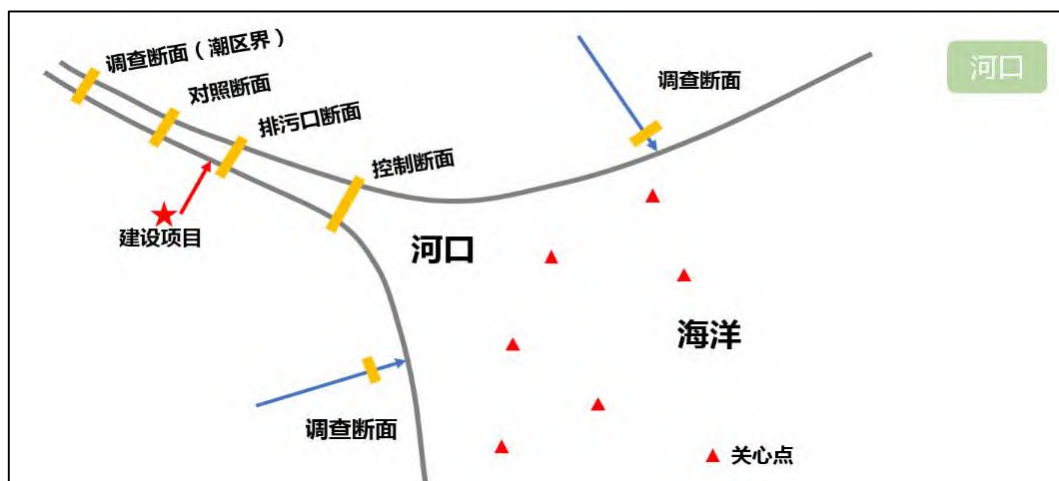


图 4 入海河口断面布置示意图

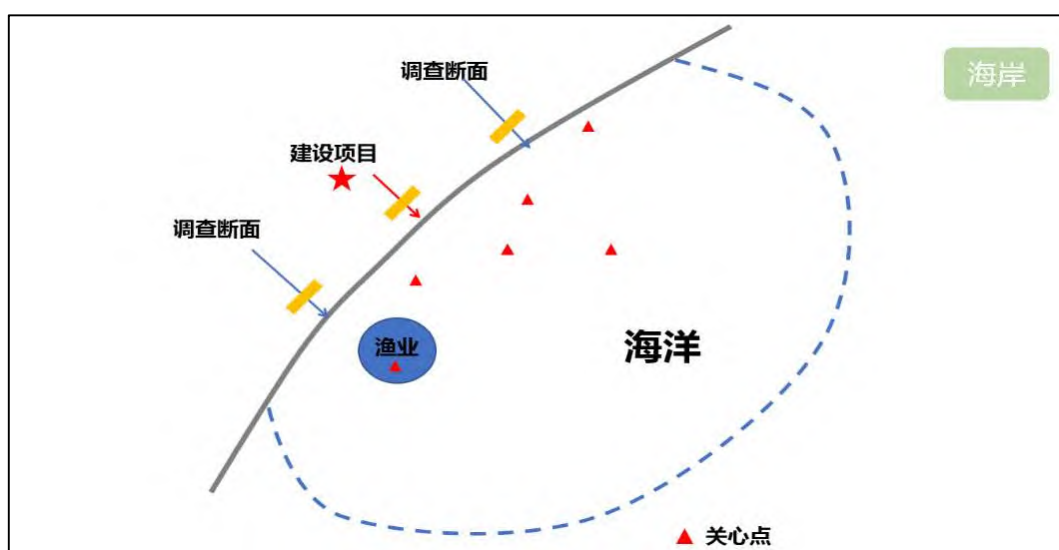


图 5 近岸海域断面示意图

4.6.6 调查方法

增加遥感遥测方法。

4.6.7 数据来源

新增条款。相对现行导则，为了便于评价单位获取相关数据，修订导则明确给出不同数据的获取途径。

4.6.8 补充调查监测

补充调查监测相关技术要求与现行导则基本一致。

4.6.9 评价内容与要求

新增条款。评价内容紧密结合目前地表水环境管理的要求，包括水环境功能区达标评价、水环境控制单元水质达标状况、水环境保护目标质量状况、对照断面和控制断面等的水质状况、底泥污染评价、水资源（水能资源）开发利用程度与水文情势评价、水环境质量回顾评价，以及流域（区域）水资源（水能资源）开发利用总体状况、生态流量管理要求与现状满足程度、建设项目占用水域空间的水流状况与河湖演变状况。

上述内容结合建设项目环境影响特点选择性开展评价，修订导则强调了应开展水环境质量回顾评价，采用长期数据更加合理判定水环境质量状况、问题及其原因，为建设项目环境影响评价奠定基础。

修订理由：水环境控制单元水质达标状况、水环境功能区水质达标状况、水资源（水能资源）开发利用程度与水文情势变化特征均为目前环境管理要求内容。

4.6.10 评价方法

相对于现行导则，删减了实际环评工作中很少采用的内梅罗指数法和多项水质参数综合评价方法，将水质评价单因子指数法的计算公式移至附录D中，简化了实测溶解氧浓度小于饱和溶解氧时的标准指数计算公式，pH计算公式保持和现行导则一致，增加底泥污染指数计算公式，同时对长期监测数据及补充监测数据分别规定了评价方法。

修订理由：因实际环评工作中很少采用内梅罗指数法和多项水质参数综合评价方法，进行水质因子的现状评价，因此本次修订删减了这两种方法。根据溶解氧的超标判定方法，简化了实测溶解氧浓度小于饱和溶解氧时的标准指数计算公式，简化了评价方法。实际环评中有些建设项目的实施会引起底泥的搅动，从而导致底泥中污染物的释放，引起水质变化，因此本次修订增加了底泥的评价，增加了底泥污染指数计算公式。

4.7 地表水环境影响预测

相对于现行导则，修订导则主要对模型边界条件、初始条件、率定验证、模型结果合理性分析给出了详细的规定。

4.7.1 总体要求

相对于现行导则，修订导则强调应开展评价范围的累积影响评价，同时删除现行导则中关于水生生物影响评价内容。

修订理由：水生生物评价在生态导则中开展评价。累积影响评价是目前环境管理的主要方面之一。

4.7.2 预测因子与预测范围

相对于现行导则，增加预测因子确定条款。预测范围基于评价范围确定，并根据受影

响地表水体水动力与水质特点合理拓展，而现行导则基于调查范围确定。

4.7.3 预测时期

修订导则与现行导则在预测时期选择的原则上保持一致，同时与评价时期保持一致。

4.7.4 预测情景

本条款对应现行导则中“预测地面水环境影响的时段”，同时增加了“规划水平年评价范围内地表水体环境变化趋势”预测要求。

修订理由：鉴于规划水平年水污染源会发生变化，因此应对其地表水环境变化趋势开展预测。

4.7.5 预测内容

新增条款。明确水污染影响型建设项目和水文要素影响型建设项目的预测内容，提高预测评价工作的针对性。

修订理由：增强对环评工作的指导性，明确不同类型建设项目环境影响评价预测中应重点预测的内容。

4.7.6 预测模型

相对于现行导则，修订导则增加了面源污染负荷估算模型，同时对河渠和湖库水动力学模型及水质模型从模型空间和时间上进行了分类，给出了适用条件。

修订理由：面源污染负荷估算是地表水环境影响预测内容之一。规范模型使用条件有利于进一步提高影响预测的科学性和规范化水平。

4.7.7 预测要求

新增条款。细化了基础数据要求、规划水平年污染源负荷预测要求、设计水文条件确定要求、模型概化要求、预测点位设置要求、模型初始条件确定要求、模型边界条件确定要求、模型参数确定与模型模拟验证要求、叠加影响预测要求、预测情景设置要求和模型结果合理性分析。

修订理由：现行导则对模型边界条件、初始条件、模型率定验证未给出明确的要求，因此实际应用中存在较大的不规范性，不便于模型结果准确性的判定。为响应模型法规化要求，修订导则提出相关规范化要求。

修订后的内容着重在各种情况下如何选择模型及应用模型方面进行规定。在模型应用方面，针对环评工作中数值预测模型的技术要求，新增了对模型模拟初始条件、基础数据、边界条件、模型参数、模型率定与验证、模型结果合理性分析等方面的规定内容。现行导则在入海河口、近岸海域的预测方面，推荐了一些数值模型，但不全面，河流没有推荐数值模型，已经不能适应实际环评工作的需要，实际环评在复杂水动力条件时，一般选用数值模型。而且随着计算机技术的发展，数值模型应用已经很广泛。因此修订导则中提出了成熟并经过实际工作检验的预测模型，并规定了不同评价工作等级的水环境影响预测时期，有利于推进地表水环境影响评价预测技术和方法的提升。

4.8 地表水环境影响评价

新增条款。明确了评价内容和相应的评价要求，同时增加了允许排污量核算和生态流量确定的内容。

4.8.1 评价内容

新增条款。明确评价内容包括水污染控制和水环境影响减缓措施有效性评价；水环境影响评价。

修订理由：明确环境影响评价应关注的重点内容，指导环境影响评价工作的开展。

4.8.2 评价要求

新增条款。规定上述评价内容对应的具体评价对象和相关要求。其水环境影响评价与现状评价内容相一致。

修订理由：明确地表水环境影响评价关注的主要方面，以及各方面的具体环境保护要求，为最终结论提供依据。

4.8.3 允许排污量核算

新增条款。规定了允许排污量核算的一般要求，间接排放和直接排放建设项目允许排污量的核算方法。对于建设项目在政府批复的区域或水环境控制单元达标方案的许可排放量分配方案中有规定的，按规定执行。规定允许排污量核算的前提是建设项目采取了必要的源头控制措施，如选择最佳可行性技术方案或最优技术方案。对于间接排放，由于其不直接进入受纳水体，因此根据依托污水处理设施的控制要求核算确定。对于直接排放建设项目，如果项目位置位于不达标区，规定禁止新增允许排放量，但可以通过区域削减为建设项目提供允许排污量。同时条款中按排污口断面环境容量给出了不同水质类别的安全余量要求。

修订理由：2015年，国务院颁布《水污染防治行动计划》（国发〔2015〕17号），确立了“以改善环境质量为核心”的环保新要求，成为新时期全国水污染防治工作的行动指南。2016年7月15日，环境保护部颁布《“十三五”环境影响评价改革实施方案》，要求建立环评和排污许可衔接的管理机制，对建设项目环评文件及其批复中污染物排放控制有关要求，在排污许可证中载明。2016年11月10日，国务院办公厅《关于印发控制污染物排放许可制实施方案的通知》（国发〔2016〕81号），明确要求“环境影响评价文件及批复中与污染物排放相关的主要内容应当纳入排污许可证，其排污许可证执行情况应作为环境影响后评价的重要依据。”为满足环评与排污许可衔接要求，导则修订增加允许排污量核算相关要求。

4.8.4 生态流量确定

新增条款。规定了生态流量确定的一般要求、生态环境需水计算要求和生态流量综合分析确定要求。要求生态流量包括量和过程两个方面，同时应与具体断面或点位对应。同时要求生态流量应从生态需水出发，以评价范围内各水环境保护目标的生态环境需水为依据确定。参考目前相关研究成果，分不同需水对象给出了生态需水的计算要求。

修订理由：近年来，建设项目引起水文情势变化造成的河流、湖库等生态影响越来越受到关注，特别是生态流量是水文要素影响型建设项目环评中关注的重要内容。修订导则中提出了河流、湖泊生态流量计算的一般要求和主要计算方法。鉴于生态流量计算方法处于不断发展过程中，导则主要基于近年水利水电工程环境影响评价中经常采用的方法，提出了生态流量的计算方法。计算方法主要包括水文法、水力学法、生境法、生态水力学法等，生态需水计算过程包括基本资料收集与分析、生态环境状况评价、保护目标分析与确定、生态环境需水计算与确定、生态流量综合分析确定等，具体过程参考水利水电行业的《河湖生态环境需水计算规范》（SL/Z 712-2014）、《水工设计手册》（第2版）等相关内容。

4.9 环境保护措施与监测计划

新增条款。主要内容包括一般要求、水环境保护措施、监测计划、投资估算四部分。

4.9.1 一般要求

新增条款。对水环境保护措施应从预防、治理、控制、补偿四方面提出，细化环境保护措施的具体内容，同时对水文要素影响型建设项目提出保障生态环境用水要求。

修订理由：强化建设项目水环境保护措施及环境监测，是总纲的要求，也是控制建设项目源强污染、保护水环境的两个根本抓手。环境监测包括污染源监测和环境质量监测，环境保护措施和污染源监测是从源头预防环境污染，水环境质量监测是从受纳水体预防水环境污染。

4.9.2 水环境保护措施

新增条款。参照目前国际上对污染源防控技术的处理要求，对水环境达标区和不达标区，分别提出污染源的最佳可行性技术方案和最优技术方案要求。按照目前关于水文要素影响型项目的环境管理要求，重点提出了下泄生态流量的监管要求。

修订理由：达标区和不达标区的环保技术要求，符合“以改善环境质量为核心”的污染影响型项目最新环境管理要求；生态流量、水温是水文要素影响型项目环评中关注的重点，也是环保措施中需要重点考虑的内容。

4.9.3 监测计划

新增条款。按建设项目全生命周期的不同阶段，针对不同工况、不同地表水环境影响的特点，根据相关标准，提出自行监测计划内容，提出应向社会公开的信息内容。

修订理由：响应企业自行监测以及信息公开的环境管理要求，更有效的预防、控制水环境污染。

4.9.4 投资估算

新增条款。

修订理由：强化环保投资估算规范化。由于对建设项目环境影响评价要求的不断提高，对其环保投资的保障要求也不断提高，为了进一步加强环评中环保投资估算的可靠性，有关行业已发布了环保投资概估算编制规程等行业标准，因此在本导则修订中有必要增加该章内容。

4.10 地表水环境影响评价结论

新增条款。增加根据环境影响评价审批内容和排污许可所需的表格，明确给出新增源排污许可核算结果。

修订理由：与排污许可证制度衔接。

4.11 附录

4.11.1 附录 A（规范性附录）污染物及当量值表

引自《中华人民共和国环境保护税法》（2016年12月25日第十二届全国人民代表大会常务委员会第二十五次会议通过），作为水污染影响项目评价等级划分的依据之一。

4.11.2 附录 B（规范性附录）环境现状调查内容

给出地表水环境质量管理区划、水污染源、环境水文条件、水环境质量和水资源利用状况具体调查内容。

- 4.11.3 附录 C（规范性附录）补充调查监测布点及采样频次
与现行导则中调查监测布点及采样频次要求基本一致。
- 4.11.4 附录 D（规范性附录）水质评价方法
水质评价方法与现行导则保持一致，增加底泥污染指数评价方法。
- 4.11.5 附录 E（规范性附录）河流、湖库、感潮河段及近岸海域常用数学模型基本方程及解法
与现行导则基本保持一致。
- 4.11.6 附录 F（规范性附录）入海河口及近岸海域特殊数学模型及基本解法
增加潮汐河口水体交换数学模型、河口解析解模式、拉格朗日余流模型和河口海洋近场及近远场联合计算的主要方法。
- 4.11.7 附录 G（资料性附录）常用水环境模型软件简介
包含 16 个国际上知名、常用、经典的模型软件，其中 10 个为地表水环境模型软件，6 个为非点源模型软件。地表水环境模型软件涵盖了多个水环境要素、多种过程的模型模拟；非点源模型软件，涵盖了农业非点源、城镇暴雨径流污染等不同类型非点源过程的模拟。
- 4.11.8 附录 H（规范性附录）建设项目污染物排放信息表
与排污许可证相衔接，主要包括废水类别、污染物及污染治理设施信息表、废水排放口基本情况表、废水污染物排放信息表、环境监测计划及记录信息表。

5 主要修订内容对比汇总

在以上导则修订说明的基础上，对修改条文进行整理列表见表 2。

表 2 修订导则与现行导则主要修改内容对照表

现行导则章节	修订导则章节	主要修订内容
1 主题内容与适用范围	1 适用范围	<ul style="list-style-type: none"> 将“其他建设项目的地面水环境影响评价也可参照执行”，修改为“规划环境影响评价中的地表水环境影响评价工作可参照本标准执行”
2 引用标准	2 规范性引用文件	增加： <ul style="list-style-type: none"> GB 5084 农田灌溉水质标准 GB 5085 危险废物鉴别标准 GB 11607 渔业水质标准 GB 17378 海洋监测规范 GB 18486 中华人民共和国污水海洋处置工程污染控制标准 GB 18668 海洋沉积物质量 GB 50179 河流流量测验规范

续表

现行导则章节	修订导则章节	主要修订内容
		<ul style="list-style-type: none"> • GB/T 14914 海滨观测规范 • GB/T 19485 海洋工程环境影响评价技术 导则 • HJ 2.1 建设项目环境影响评价技术导则 总纲 • HJ 442 近岸海域环境监测规范 • HJ 819 排污单位自行监测技术指南 总则 • HJ/T 91 地表水和污水监测技术规范 • HJ/T 92 水污染物排放总量监测技术规范 删除： HY003.1~HY/T003.10 海洋监测规范。
3 术语、符号	3 术语和定义	增加： <ul style="list-style-type: none"> • 水环境保护目标 • 水污染当量 • 生态流量 • 直接排放 • 间接排放 • 允许排污量 • 安全余量 • 混合区 调整： <ul style="list-style-type: none"> • 地面水改为地表水
4 总则	4 总则	<ul style="list-style-type: none"> • 建设项目地表水环境影响评价分类为水污染影响型、水文要素影响型及两者兼有的复合影响型 • 不再设置低于三级的评价项目 • 细化了环境影响评价的工作程序

续表

现行导则章节	修订导则章节	主要修订内容
5 地面水环境影响评价工作分级	5 评价等级及评价范围确定	增加： <ul style="list-style-type: none"> • 环境影响识别与评价因子筛选 • 环境影响评价范围确定 • 环境影响评价时期确定 • 环境保护目标确定 • 环境影响评价标准及区（流）域环境质量改善目标要求确定 • 环境影响评价基本要求 调整： <ul style="list-style-type: none"> • 环境影响评价等级划分
6 环境现状调查	6 环境现状调查与评价	增加： <ul style="list-style-type: none"> • 总体要求 • 数据来源 • 补充调查监测 • 评价内容与要求 调整： <ul style="list-style-type: none"> • 调查范围 • 调查内容 • 调查要求 • 评价方法
7 地面水环境影响预测	7 地表水环境影响预测	增加： <ul style="list-style-type: none"> • 预测内容 • 预测要求 调整： <ul style="list-style-type: none"> • 总体要求 • 预测因子与预测范围 • 预测时期 • 预测情景 • 预测模型
8 评价建设项目的地面水环境影响	8 地表水环境影响评价	增加： <ul style="list-style-type: none"> • 评价内容 • 评价要求 • 允许排污量核算 • 生态流量确定
	9 环境保护措施与监测计	增加

续表

现行导则章节	修订导则章节	主要修订内容
	划	
	10 地表水环境影响评价结论	增加
附录 A 数值模式差分方程 附录 B 现有污染源调查表	附录 A（规范性附录）污染物及当量值表 附录 B（规范性附录）环境现状调查内容 附录 C（规范性附录）补充调查监测布点及采样频次 附录 D（规范性附录）水质评价方法 附录 E（规范性附录）河流、湖库、感潮河段及近岸海域常用数学模型基本方程及解法 附录 F（规范性附录）入海河口及近岸海域特殊数学模型及基本解法 附录 G（资料性附录）常用水环境模型软件简介 附录 H（规范性附录）建设项目污染物排放信息表	附录 A、附录 F、附录 G 和附录 H 为新增内容 附录 B、附录 C、附录 D 为现行导则正文内容调整到附录中 附录 E 基本与现行导则附录 A 保持一致

6 主要修订测算与方法说明

由上述修订内容说明可见，修订导则除充分响应水环境质量改善、对接排污许可要求外，主要简化了水污染型建设项目环境影响评价等级划分、增加了水文要素影响型建设项目的环评、细化了数值模型应用和结果表达要求等，本次修订开展了大量的测算工作。以下重点对修订前后水污染型建设项目评级分级变化，以及数学模型规范化操作进行的测算工作予以说明。

6.1 水污染影响型建设项目评价等级测算

6.1.1 测算案例概况

污染类建设项目评价等级测算案例共包括国家级审批项目、地方审批项目两大类型 396 个。企业类型包括造纸及纸制品业、农副食品加工业、化学原料和化学制品制造业等多个行业。396 个企业中，直排排放企业 46 个，间排排放企业 278 个、不外排的企业 72

个。各类型的企业数量见图 6。

6.1.2 评价等级总体变化分析

按现行导则，评价等级分为一级、二级、三级及简单影响分析 4 类，上述 396 个项目按修订导则评价等级划分情况如下：一级 2 个、二级 21 个、三级 252 个、简单影响分析 121 个。修订导则评价等级是按直排、间排及污水排放量或污染当量数分为 3 级，即：直接排放分为：一级（废水排放量 ≥ 20000 立方米/天或水污染当量数 ≥ 600000 ）和二级（其他情况）两种情况，间接排放为三级。上述 396 个项目按修订导则评价等级划分为：一级 12 个，二级 34 个，三级 350 个。与现行导则分级情况对比可见，一、二级评价项目由现行导则的 23 个增加到修订导则的 46 个，增加了 23 个；一、二级项目分别增加了 10 个和 13 个。不同行业的统计结果如表 3。

鉴于修订导则首先考虑按照排放方式进行环境影响评价等级划分，因此排放方式是评价等级变化的决定因素，故这里按照排放方式对筛选测算项目评价等级的变化进行分析。

（1）直接排放

统计的 396 个建设项目中，直接排放 46 个。按照修订导则评价等级划分后，相对现行导则评价等级升高建设项目 38 个，维持不变 7 个，降低 1 个。按照修订导则，46 个直接排放建设项目中执行二级评价 33 个，一级评价 13 个，说明直接排放项目中大部分执行二级评价。相对于现行导则，由于修订导则提高了直接排放的评价要求，致使原为二级评价项目升高到一级评价项目有 10 个，原 28 个为三级评价或简单影响分析的建设项目升高到一级或二级评价。

（2）间接排放

统计的 396 个建设项目中，直接排放 278 个。由于修订导则对间接排放均执行三级评价，且取消了修订导则中简单影响分析类别要求，故按现行导则执行二级评价的间接排放建设项目均按三级评价执行。分析可见，278 个间接排放项目中 273 个按现行导则执行三级评价或开展简单影响分析，说明现行导则对间接排放项目评价工作要求相对较低，这与修订导则简化间接排放建设项目环境影响评价工作相一致。

（3）不外排

统计的 396 个建设项目中，不向水域排放污染物的建设项目有 72 个。统计表明，按现行导则不外排项目均按三级评价或开展简单影响分析，按修订导则这类项目统一按三级评价对待，与现行导则对外排建设项目评价要求基本一致。

综上所述，修订导则在影响评价等级划分方面，体现了放管结合和问题导向原则，即对影响相对较大的直接排放建设项目强化其地表水环境影响评价工作，对间接排放建设项目大幅度简化工作要求。上述要求变化也有利于实现水环境质量的最终改善。

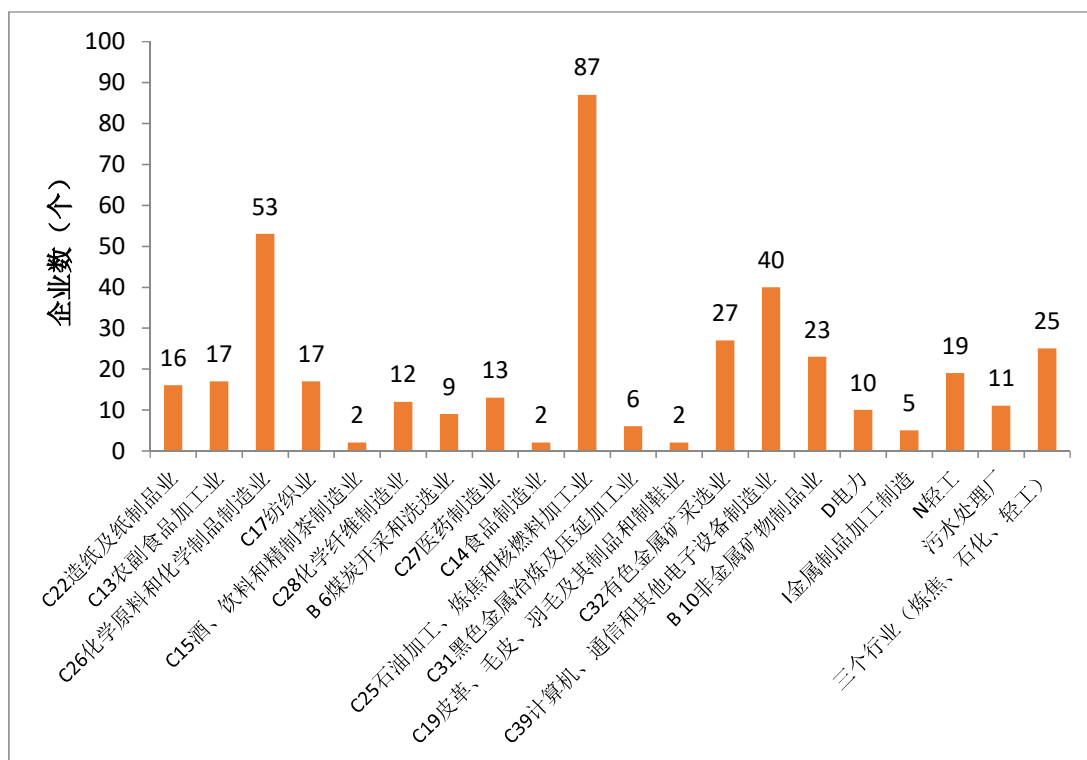


图 6 各类型的企业（项目）数量

表 3 按行业类别比较现行评价等级和修订评价等级的执行情况

项目类型	行业类别	企业数	按现行导则分级				按修订导则分级		
			一级	二级	三级	简单影响分析	一级	二级	三级
地方审批项目	C22 造纸及纸制品业	16	0	1	13	2	0	0	16
	C13 农副食品加工业	17	0	0	10	7	0	2	15
	C26 化学原料和化学制品制造业	53	0	1	29	23	1	2	50
	C17 纺织业	17	0	0	11	6	0	1	16
	C15 酒、饮料和精制茶制造业	2	0	0	1	1	0	0	2
	C28 化学纤维制造业	12	0	1	7	4	0	0	12
	B 6 煤炭开采和洗选业	9	0	1	7	1	0	3	6
	C27 医药制造业	13	0	0	10	3	0	0	13
	C14 食品制造业	2	0	0	2	0	0	0	2
C25 石油加工、炼焦和核燃料加工业	87	0	2	46	39	1	4	82	

续表

	C31 黑色金属冶炼及压延加工业	6	0	0	3	3	0	0	6
	C19 皮革、毛皮、羽毛及其制品和制鞋业	2	0	0	2	0	0	0	2
	C32 有色金属矿采选业	27	0	0	23	4	0	1	26
	C39 计算机、通信和其他电子设备制造业	40	0	0	31	9	0	0	40
	B 10 非金属矿物制品业	23	0	0	18	5	0	5	18
	D 电力	10	0	0	6	4	0	0	10
	I 金属制品加工制造	5	0	0	5	0	0	0	5
	N 轻工	19	0	0	12	7	0	0	19
	污水处理厂	11	0	7	4	0	6	4	1
	合计	271	0	13	240	118	8	22	341
国家审批项目	三个行业（炼油、石化、轻工）	25	2	8	12	3	4	12	9
	合计	396	2	21	252	121	12	34	350

6.2 典型水环境模型模拟预测规范化案例

相对于现行导则，修订导则在模型边界条件、初始条件、率定及验证等方面进行了规范化，下面结合具体实例对上述要求进行说明。

6.2.1 河网某闸控工程对水环境的影响预测

某河网地区建设一闸控工程，根据修订导则应预测不同闸门调控方案对河网水文情势的影响，以及由此产生的水质影响。该河网水系河道纵横交错，流态及流向随来流条件的不同年内变化较大。根据闸控工程设计调控方案，设定计算情景，预测模拟闸控工程运行后水环境的变化，分析评价工程对河网水系水环境的影响。

（1）基础数据收集

根据修订导则要求，应对水系所在地区水文、气象、水质、河网及河流水下地形数据等进行收集整理。

（2）河网水系模型的建立及网格概化

模型预测范围为评价范围内水系的整个河网。根据收集到的水下地形数据，结合修订导则中水域概化原则和要求，构建项目区水系河网模型。模型中共计将计算河道分为 48 条小河段，计算的河道断面约为 780 个，边界节点 7 个，见图 7。

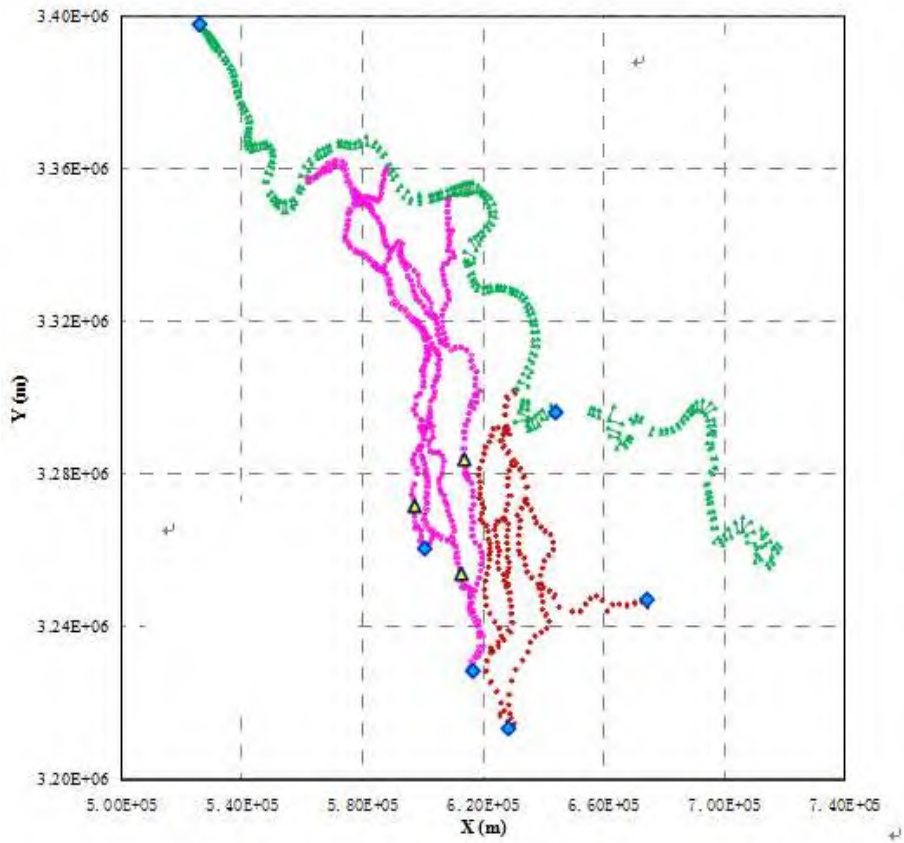


图 7 某水系河网概化图

(3) 计算条件设定

1) 水动力学条件

① 边界条件

本计算的河网模型中，共有 7 个计算边界，根据修订导则要求，尽量结合现有水文站点给定流量边界和水位边界。上游给定流量边界，见图 8；其他边界给定水位边界，见图 9。

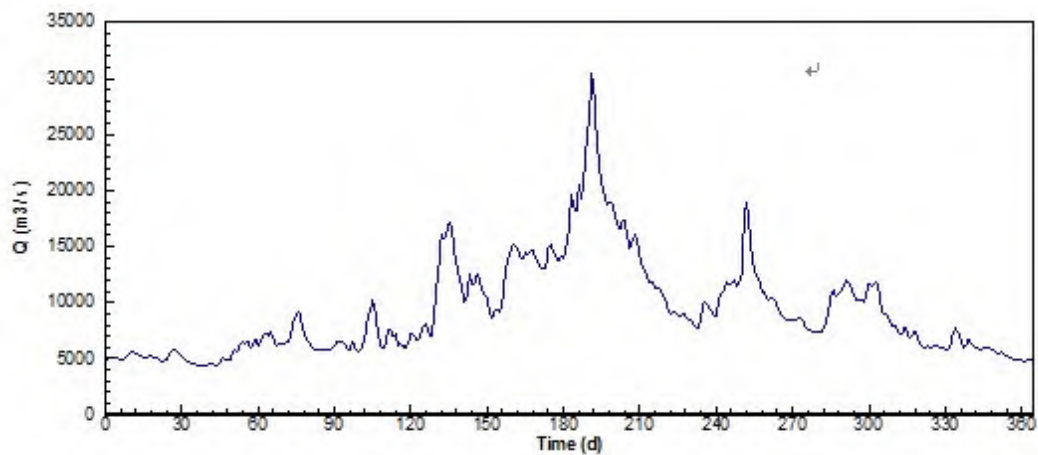


图 8 某站 2006 年流量过程

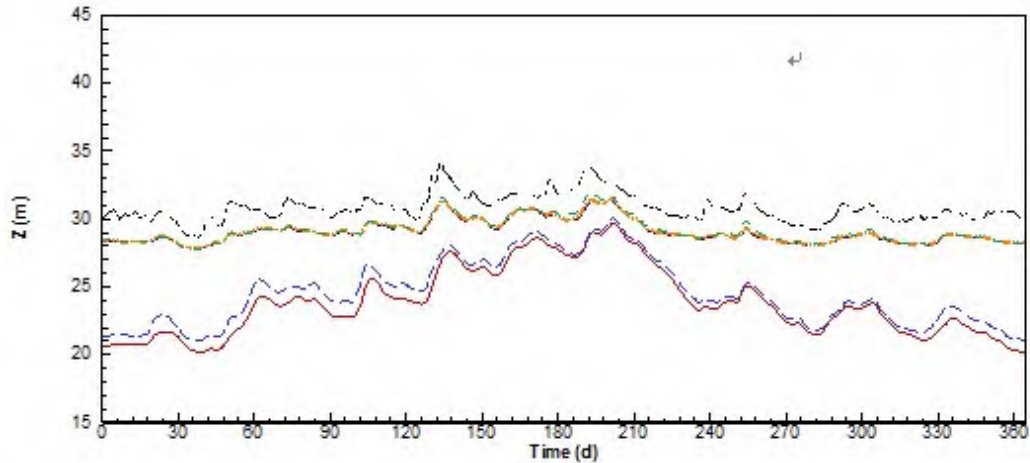


图 9 各边界 2006 年节点水位过程

② 糙率系数的确定

根据修订导则要求，本计算糙率采用类比方法确定。设定主干河道糙率为 0.025，小支流及流速较低的河道糙率为 0.03~0.035。在模型率定与验证工作中，将在计算中根据计算结果进行相应的调整。

2) 水质模型计算条件及参数设定

河网的水质边界，根据修订导则边界条件设置原则，采用实测的站点或相近站点的水质指标的浓度作为模型的边界条件，在出流边界采用浓度梯度为零的边界条件。河网区域的点面源，经过估算，由计算的节点和河道的断面加入，在方程中按源汇项做处理。

根据修订导则要求，本预测水质模型参数参考相关地区的参数取值范围和实测数据赋予初值，并根据模型计算进行率定。

(4) 水动力学率定与验证

根据修订导则要求，对水动力学模型开展率定和验证工作。模型计算中水动力学率定与验证结果分别见图 10、图 11。模型计算水系的各站点的水流流量过程和实测数据的比较可以看出，吻合较好。

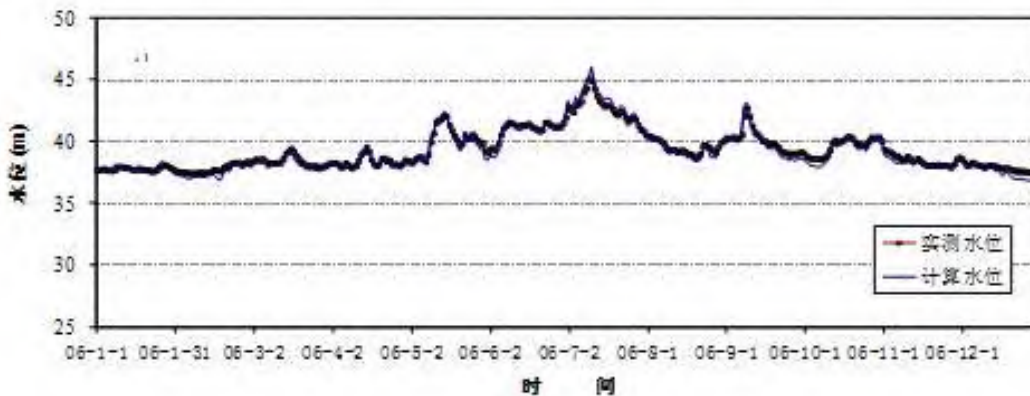


图 10 某站计算水位与实测水位比较

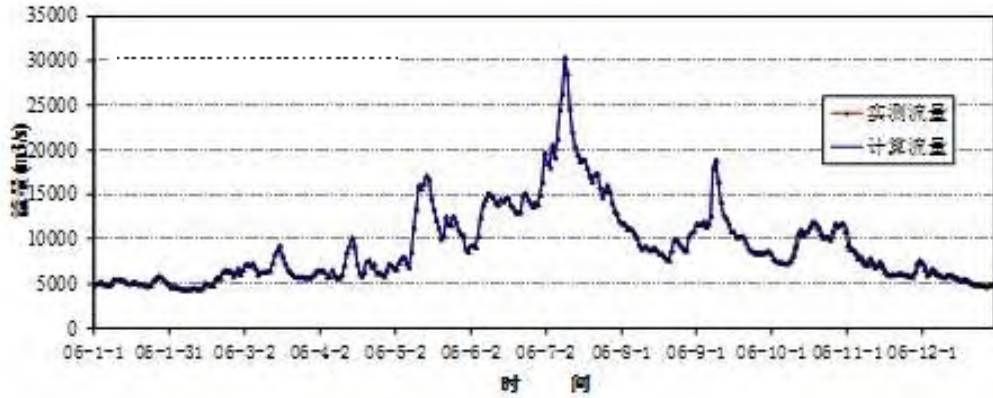


图 11 某站计算流量与实测流量比较

(5) 河网闸控工程对河系水环境影响预测

根据修订导则中关于模型设计水文条件的选取原则，在多年调度过程中，选取典型年进行计算，对于入河污染负荷则综合考虑区域社会经济的发展状况进行设定。

闸控工程建设运行后，模型计算预测调水方案为三个，方案一为 A 河口建闸调水约 $150\text{m}^3/\text{s}$ ，方案二为 A 河口调水流量为 $200\text{m}^3/\text{s}$ ，方案三为 A 河口调水流量为 $300\text{m}^3/\text{s}$ 。预测计算各站点水质浓度变化。由上图所示，闸控工程调水的枯水期（1~4 月，11~12 月）D 站的高锰酸盐指数和氨氮浓度有所降低，方案一条件下，降低浓度最小，方案三条件下，降低的浓度最大，如图 12 所示。

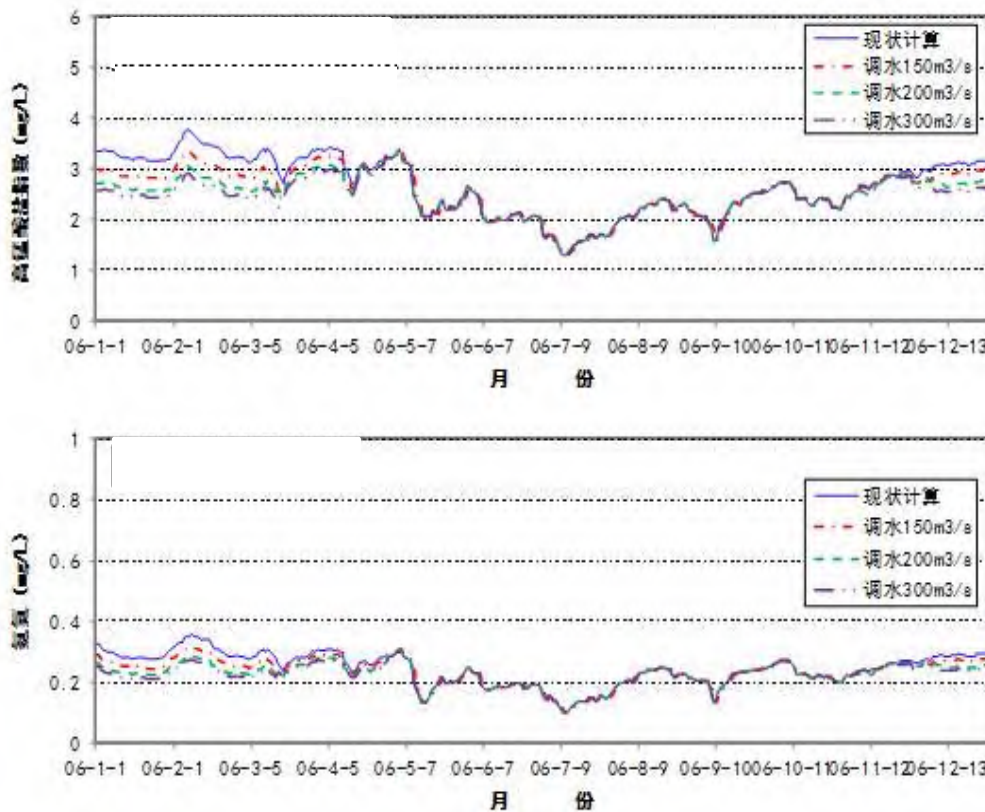


图 12 D 站在不同调水方案下 COD_{Mn} 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度变化

模型计算 D 站在现状和各调水方案下月均水质浓度值见表 4。

通过模型计算，枯水期 A 河上靠近干流上游站高锰酸盐指数对调水改善明显，下游站不太明显，氨氮也有类似的结果，但是高锰酸盐指数浓度的降低程度较氨氮浓度的降低大。闸控工程运行调水后，枯水期 A 河上靠近干流上游站点总磷和总氮浓度有所上升，靠近干流的上游站点受干流来水影响较大，下游影响较小，但总体有所升高。

表 4 D 站现状和各调水方案下月均水质浓度

月份	现状	调水 150m ³ /s	调水 200 m ³ /s	调水 300 m ³ /s
	高锰酸盐指数 (mg/L)			
1 月	3.24	2.88	2.63	2.50
2 月	3.45	3.07	2.80	2.66
3 月	3.18	2.92	2.72	2.61
4 月	3.16	3.06	2.96	2.91
11 月	2.73	2.72	2.68	2.68
12 月	3.07	2.89	2.72	2.61
氨氮 (mg/L)				
1 月	0.29	0.26	0.23	0.22
2 月	0.32	0.29	0.26	0.25
3 月	0.28	0.26	0.24	0.24
4 月	0.28	0.27	0.26	0.25
11 月	0.25	0.25	0.24	0.24
12 月	0.29	0.27	0.25	0.24

6.2.2 库区水温结构模拟及低温水缓解措施效果模拟

(1) 坝前水温观测

为预测低温水减缓措施效果，首先应对水库现状水温分层情况进行观测。根据修订导则关于监测方法的规定，在水库坝前共布设了左、中、右 3 条垂线，同时为观测枢纽库区二道坝的水温恢复效果，在二道坝内布设了 1 条采样垂线。根据修订导则中率定和验证需要不同组数据的要求，对库区水温进行了 2 次监测，不同组各垂线水温监测结果见图 13。

通过坝前左、中、右位置水温监测数据可以看出，某水利枢纽水库坝前水体水温出现了较为明显分层现象。库区坝前水体水温较高，随着水深增加，水体温度逐渐下降，至水面以下约 10m 位置时，开始出现温跃现象。水体温跃层厚度约 15~20m，随后水体温度随水深增加的变化趋缓，在库底基本稳定在 4℃左右（4℃水体密度最大）。

二道坝内水体水温监测数据表明，区域内水体水库表层水翻越过二道坝，本身水体温度较高，同时经过上下掺混后，水体温度随水深变化较为均匀，因此出现了区域总体水温

较高，无水温分层的现象，总体上达到了减缓低温水影响的设计目的。

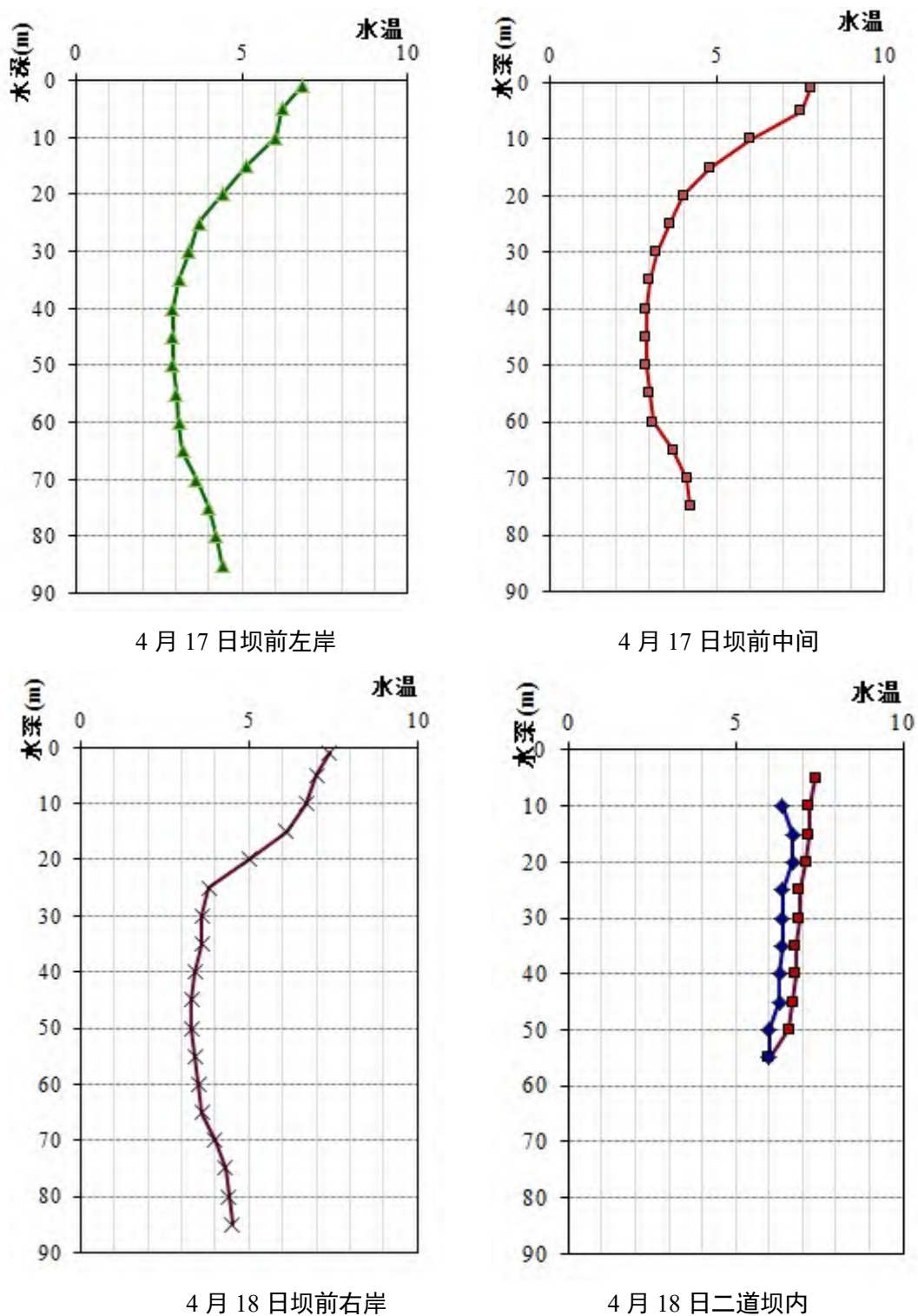


图 13 某水利枢纽坝前水温观测结果

(2) 基础数据收集

根据修订导则相关要求，应收集某水利枢纽所在区域的气象、水文、水下地形数据。气象方面收集某水利枢纽所在地区最近的常规气象站点数据；水文数据收集某水利枢纽实

测入库流量数据、实际出库调度数据，数据精度为日均精度。

(3) 边界条件设定

根据修订导则对边界条件设置的要求，本次计算上边界采用枢纽运行实测水位数据(水面线变化已进行概化)、入库实测水温数据，下边界采用枢纽实际运行调度出库数据，气象边界条件给定区域实测气象要素数据。

(4) 模型率定及参数选取

为模拟某水利枢纽运行期垂向水温结构、下泄低温水过程并验证二道坝水温恢复措施效果，应采用模型进行模拟分析。本工程影响预测应用三维数值模型对工程运行期水温状况进行模拟，主要内容包括坝前垂向水温结构、水库全年下泄水温过程、水温沿程恢复情况、有无二道坝时的垂向水温结构、下泄水温过程比较等。

根据上述设定条件，对模型水动力学、热平衡参数进行率定和验证，验证结果如图 14 所示。由结果可以看出，模型计算值与坝前实测水温吻合较好，模型基本能够满足相关计算要求。根据模型水动力学率定、验证结果，确定河床糙率为 0.025。率定、验证后的水温参数见表 5。

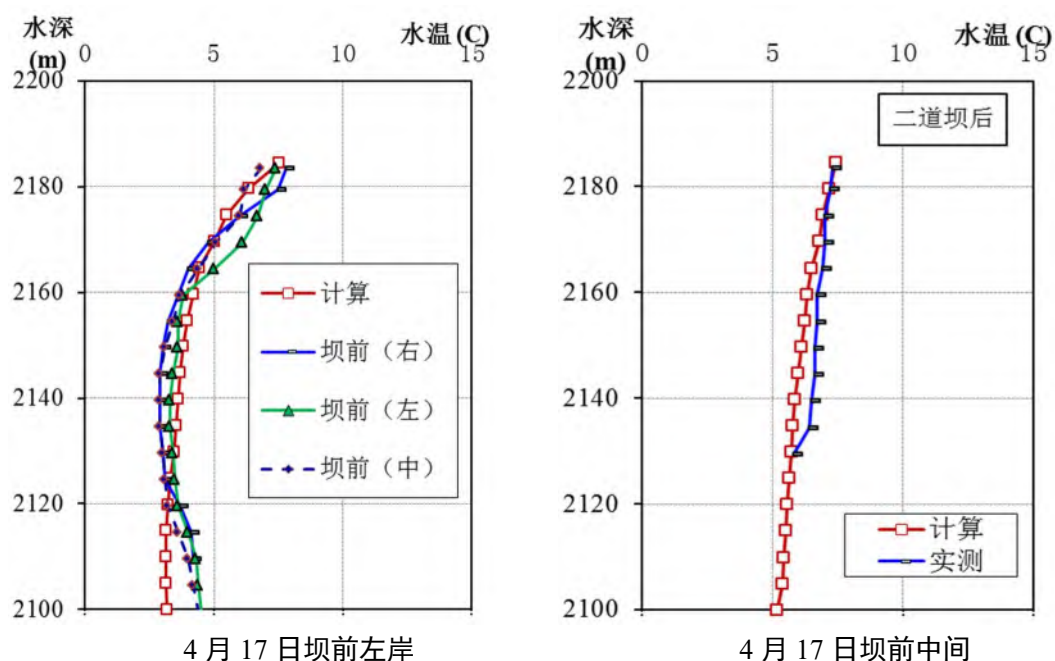


图 14 某水利枢纽坝前水温验证结果

表 5 水温参数数值

衰减系数 α	衰减系数 β	反射系数 A	反射系数 B	蒸发系数 A	蒸发系数 B
0.2	2	0.45	0.5	8	1

(5) 2010 年水库水温模拟计算

1) 边界条件

模型上边界为水库回水位置。水动力学方面，上边界为水位边界，按照水库 2010 年实测日均水位给定(图 15);下边界为流量边界,按照水库 2010 年实测日均流量给定(图 16);气象边界条件根据 2010 年实测气象日过程数据给定;水温边界条件根据某水利枢纽库尾水温日过程数据给定(图 17)。

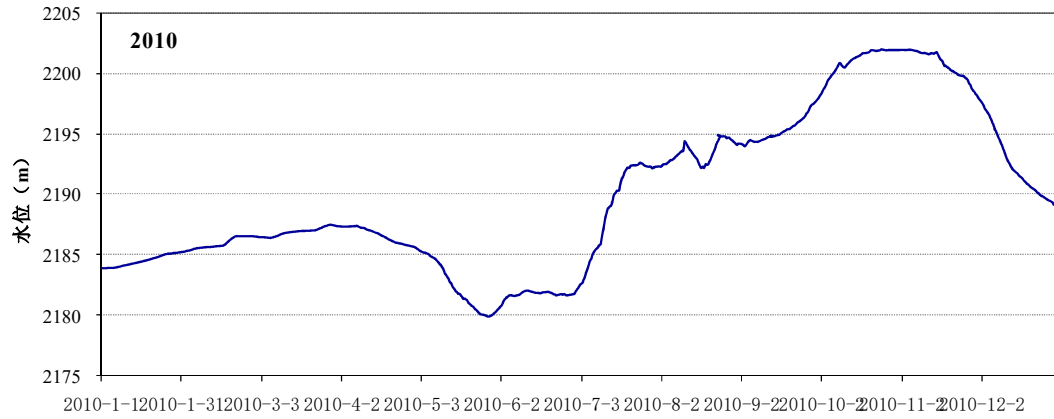


图 15 某水利枢纽 2010 年实测水位过程

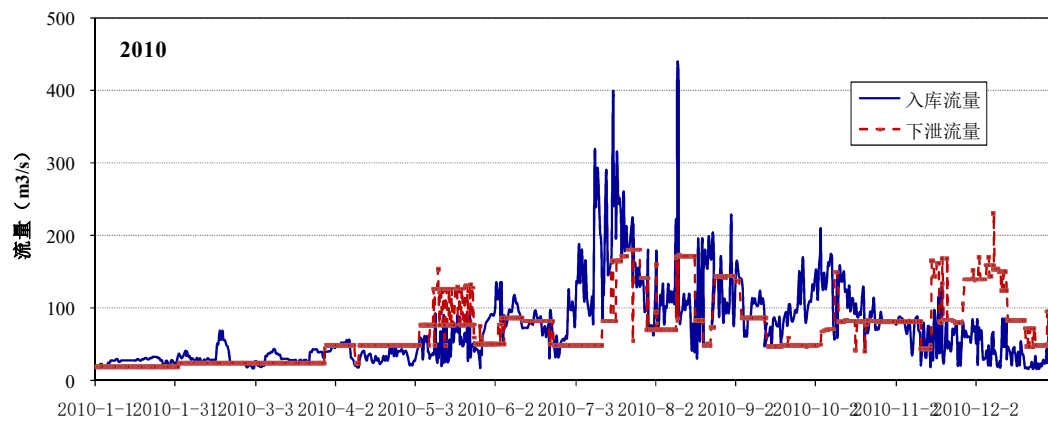


图 16 某水利枢纽 2010 年实测流量过程

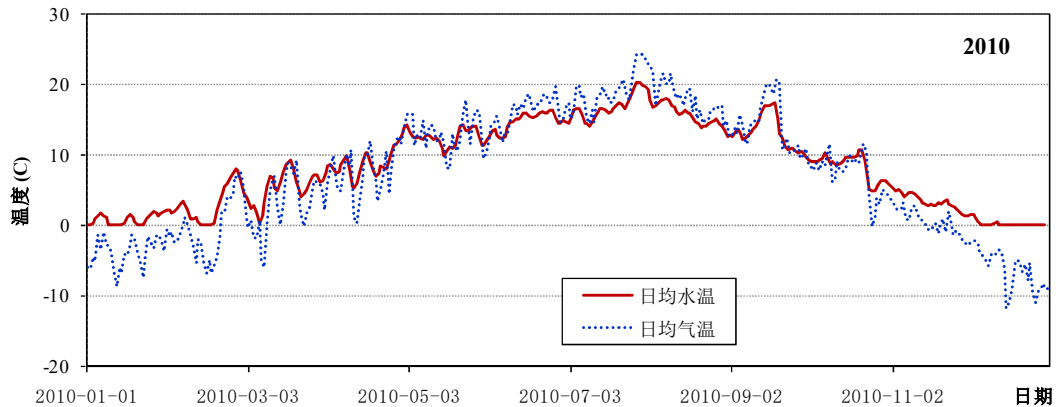


图 17 某水利枢纽 2010 年实测气象过程

(6) 模拟计算结果

同时模拟有无二道坝时的坝前垂向水温结构、坝下泄流量过程及水温至下游水电站坝下的沿程恢复情况，预测结果见图 18、图 19、图 20、图 21、表 6、表 7。可见，工程二道坝低温水缓解措施效果明显，起到了减缓工程下泄低温水影响的作用。2010 年低温水现象最明显的 5 月份温差由 5.45℃减少至 3.27℃，升温 2.18℃；二道坝措施对下游水电站下游地区河道水温影响也起到了明显减缓作用，在该断面 2010 年 5 月温差由 3.81℃减少至 2.04℃，升温 1.77℃。

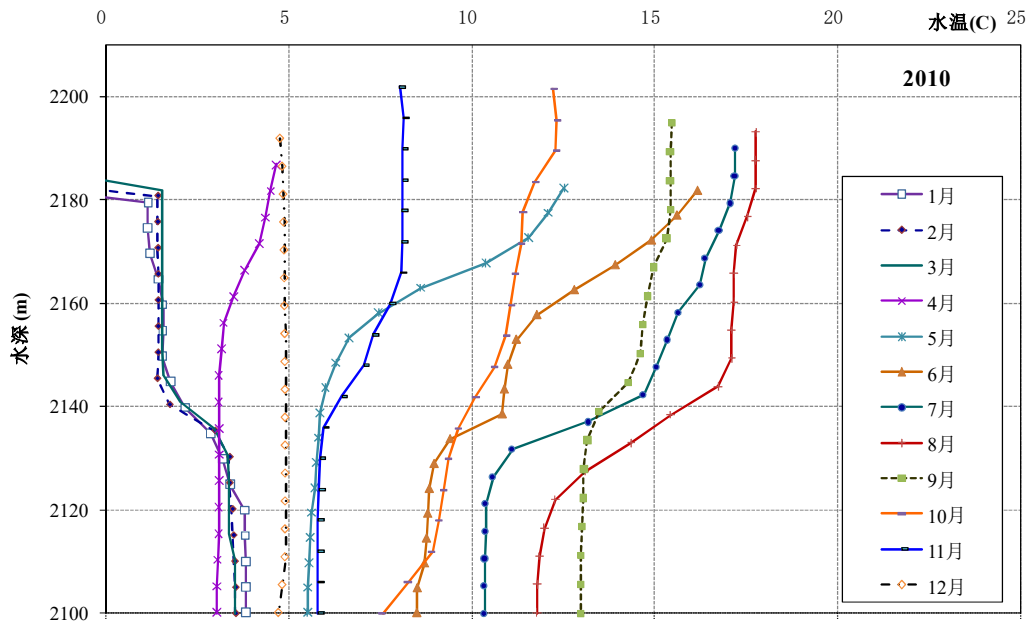


图 18 某水利枢纽 2010 年坝前水温垂向结构（无二道坝）

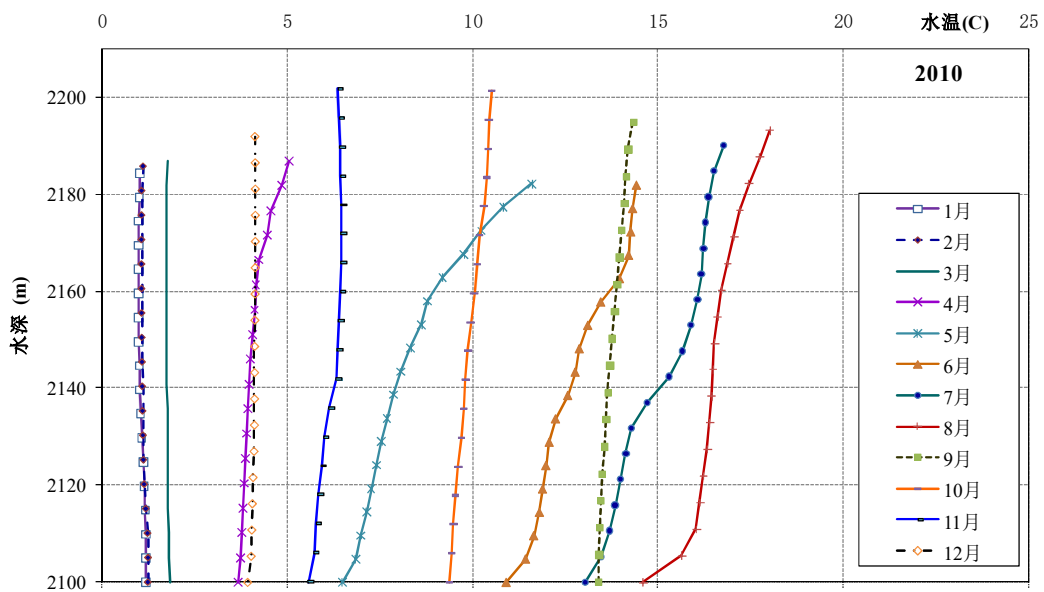


图 19 某水利枢纽 2010 年坝前水温垂向结构（有二道坝）

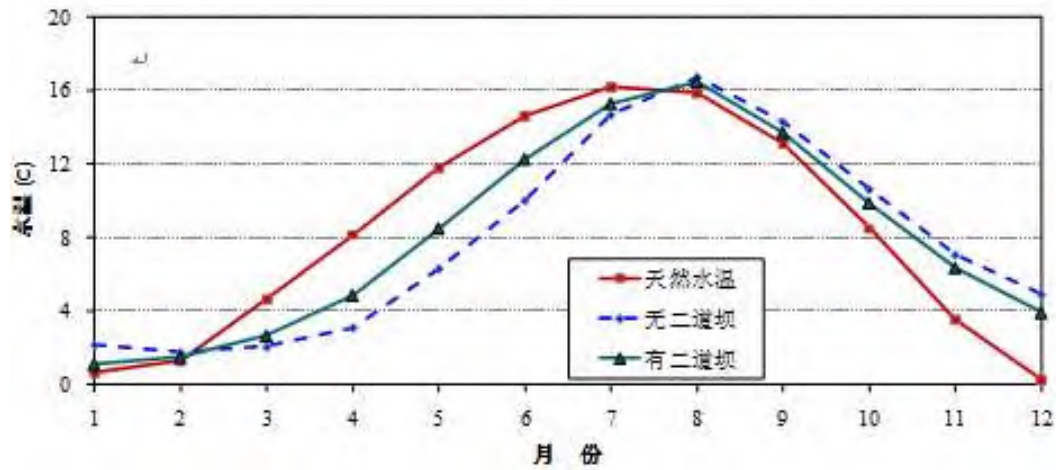


图 20 某水利枢纽 2010 年下泄水温过程

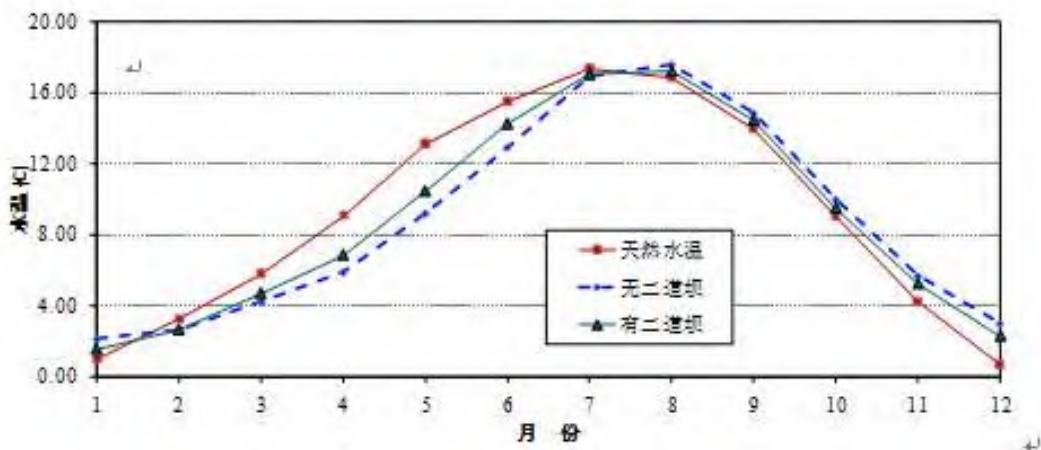


图 21 2010 年下游水电站处水温过程

表 6 某水利枢纽 2010 年下泄水温过程对比

月份	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
天然水温	0.62	1.28	4.64	8.15	11.77	14.59	16.18	15.85	13.09	8.48	3.55	0.25
有二道坝	1.12	1.50	2.67	4.97	8.50	12.26	15.29	16.49	13.71	9.88	6.36	3.93
无二道坝	2.17	1.76	2.06	3.10	6.31	10.03	14.69	16.73	14.28	10.64	7.06	4.91
温差(有)	0.50	0.21	-1.98	-3.17	-3.27	-2.33	-0.89	0.63	0.61	1.40	2.82	3.68
温差(无)	1.54	0.47	-2.59	-5.05	-5.45	-4.56	-1.48	0.88	1.19	2.16	3.51	4.66

表 7 2010 年下游水电站处水温过程

月份	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
天然水温	0.99	2.59	5.79	9.08	13.10	15.52	17.36	16.85	13.96	9.04	4.23	0.68
有二道坝	1.43	2.64	4.70	7.09	11.06	14.26	17.04	17.24	14.47	9.51	5.23	2.28
无二道坝	2.12	2.64	4.22	5.87	9.29	12.92	16.91	17.56	14.83	9.97	5.67	2.97
温差(有)	0.44	0.05	-1.09	-1.99	-2.04	-1.26	-0.32	0.38	0.51	0.46	1.01	1.60
温差(无)	1.14	0.05	-1.57	-3.21	-3.81	-2.60	-0.45	0.71	0.87	0.93	1.44	2.30

7 对实施本标准的建议

修订导则颁布实施后，应及时对技术评估机构和环评单位开展技术培训，使其能够充分掌握修订导则的内容和要求、解决环评中的实际问题，同时修改相关培训教材；环境影响评价管理部门、技术评估机构、环评单位在本导则颁布实施后，应严格按照导则要求，开展相关工作。

在国家相关的法律、法规及技术标准进行重大调整，以及地表水环境研究成果有重大突破性进展时，应及时组织修编本导则，以适应不断深化的环境管理要求及科技的发展。

积极推进地表水环境影响评价技术方法研究，特别关注数值模型方法在我国地表水环境影响评价中的应用，促进评价结果准确性和可靠性的不断提高。

8 国内外相关评价方法研究进展

8.1 地表水环境影响预测模型

8.1.1 水动力模型国内外研究进展

对于不同水体水环境研究来说，水动力学特性是重要的研究内容。在水环境问题的研究中，水动力学模型是研究水环境的重要手段，是水质模型的基础。水动力学模型源于 19 世纪的 Saint-Venant 的理论，他通过研究建立了圣维南方程，从而奠定了非恒定流的理论基础。但是真正意义上的数学模型则是计算机诞生以后才开始的。

早在一百多年前，Navier、Poisson、Saint-Venant 和 Stokes 等人卓有成就的研究，确定了揭示流体运动的一般规律的理论，即 Navier-Stokes 方程。纵观其发展历史，有许多著名科学家为此做出了杰出的贡献，如 Bernoulli、Euler、Laplace 等，正是由于他们丰富的研究成果，才奠定了当前水流数学模型的坚实基础。

水动力学模型的理论起源于 19 世纪，20 世纪初，Sterneck 和 Defant 给出了一维潮流

方程的数值解法，并且对一些狭长的海域进行了计算，取得了相当好的结果。但真正意义上的数学模型则是计算机诞生以后才开始的，其发展过程可大致分为三个阶段：

第一阶段：20 世纪 50、60 年代，是水动力学数学模型发展的起点，曾进行了大量基础性和探索性的研究工作，建立了许多一维数学模型，也出现了一些简单的二维数学模型，主要研究水流运动规律。1952 年至 1954 年，Lasserson、Stoker 和 Troesh 首次建立了 Mississippi 河和 Ohio 河部分河段的水动力学模型。1952 年，Hansen 利用潮汐运动的周期性，简化基本方程，提出了二维潮流数值计算的边值方法，并用台式计算机成功地对北海潮流场进行了模拟。Pritchard 等将热扩散的研究方法移植于感潮河流的盐淡水混合过程。1965 年，两位著名力学家 Ziekiemicz 和 Cheung 提出用有限元法解决势流问题，使基于经典变分原理的 Reyleigh、Ritz 方法在水动力学数值计算中得以直接应用。

第二阶段：20 世纪 70 年代，二维模型得到深入研究和广泛应用，对三维问题的研究也开始起步。在这 10 年里，Leendertse 发展了半隐格式，Butler 提出了一种全隐格式，Amein、Vasiliev 等也在他们的研究中提出了各自有效的数值方法。值得一提的是，前苏联学者 Yanenko 和 Marchuk 提出了著名的分裂算子法，为丰富和发展水动力学模拟做出了贡献。同时，二维的应用性研究也得到发展，解决了许多实际问题。由纯粹水动力学的研究到盐水入侵、泥沙运移和污染物扩散的探讨，大大丰富了数值模拟的研究内容，提高了研究水平。为适应应用性研究的深入和数学模型本身发展的要求，1972 年 Gendey 和 Heaps 就试图获得速度的垂直分布，进行三维模型的研究。此后也陆续出现了一些简单的三维模型。

第三阶段：20 世纪 80 年代至今，一方面，作为三维发展基础的二维数学模型的研究和应用日臻完善和成熟，积累了许多成功的经验；另一方面，三维数学模型的研究和应用方兴未艾，迅速发展。特别是 20 世纪 90 年代以后，计算机技术日新月异的发展，为三维数学模型的空前发展提供了强有力的保障。

较之国外，我国水动力模型起步较晚，20 世纪 80 年代，国内开始有学者研究水动力学模型，赵士清对长江口南槽和口外海域的三维潮流进行了数值模拟。吴坚设计了整层积分的二维浅水湖泊水动力模型，模型采用不规则网格有限差分法，具有能确切地拟合湖岸、河口、湖底地形及岛屿的功能，将模型应用于太湖得到太湖风生流、风涌增减水等很有意义的结果。姜加虎用一个二维层积分和一个二维整层积分的数值模拟方案，系统地讨论了抚仙湖、滇池环流的形成机制，分析了具有温度层结湖泊中内波以及上、下层流场的时空变化特征及其与湖区风场的关系。张利民等建立了一个深水湖泊的三维水动力模型，考虑非均匀局部风场影响，对日本琵琶湖的环流形成机制进行了一个比较深入的分析。王惠中等建立了一个考虑垂直涡动粘系数非均匀分布的太湖风生流准三维数值模型。2011 年韩龙喜等根据高盐度湖泊水动力特征建立了三维水动力数学模型，在典型风场工况下分析了风场作用下高盐度湖泊风生流形成过程和风生流水动力参数的三维空间分布特征。2012 年田勇建立了 Sigma 坐标系下由连续性方程、动量方程、物质输运方程和温度方程组成的三维湖泊水动力模型控制方程组，对武汉东湖水系进行了三维水动力水质数值模拟。2014 年杜彦良等则利用数学模型分析了近 10 年流域江湖关系变化作用下鄱阳湖水动力及水质特征模拟，并获得了较好的模拟效果。2015 年赖格英等建立水动力模型，分析了鄱阳湖水利枢纽工程对鄱阳湖水文水动力影响，2016 年王杨君等利用 Delft3D 建立了河控三角洲的三维水动力数值模型，对河控三角洲分支河道演化过程进行了研究，取得了满意的效果。

8.1.2 水质模型国内外研究进展

水质模型的核心是研究污染物随水流的迁移、转化与水质在时间和空间上的变化过程，因此水环境模型的重点是水质模型。水质模型是对地表水体的动力学特性及水体中污染物随空间和时间迁移转化规律的描述，是一组用于描述物质在水环境中混合、迁移、转化过程的数学方程，即描述水体中污染物浓度与时间、空间的定量关系。水质模型可定量反映水质状况与污染物排放之间的响应关系，从而为水质评价与预测、污染控制方案比较以及水质标准制定和污染排放规定提供可靠的依据。建立一个符合客观实际的水质模型，首先必须对污染物在水体中的迁移转化的各个过程进行充分的认识。污染物在水体中随水流运动时，通过物理、化学、生化的作用，发生不同的迁移转化过程，这些过程与水流运动特性、水体的溶解氧状况以及污染物特性等多种因素有关。排入水体后的污染物随水流的对流运动而产生输移，输移过程中由于水流的紊动扩散及纵向离散使污染物逐渐趋向于均匀混合。污染物除水流运动的对流、扩散、分散的迁移过程外，还有在不同的环境条件下（好氧、缺氧、厌氧等）所发生的 BOD（包括碳化 BOD 和硝化 BOD）降解，氮化物的硝化和反硝化反应，底泥冲刷沉降，底泥释放，大气复氧，底泥耗氧（SOD），藻类光合作用产氧和呼吸耗氧等多种复杂的迁移转化过程。这些过程除受环境条件影响外，还与污染物的类型和性质有关，不同类型的污染物在水体中的迁移转化过程具有不同的特点，但其在水流中的对流、扩散以及分散的物理过程基本上是相同的。因此，水质模拟预测是水资源规划和管理、水环境影响评价以及水污染综合防治等工作中的有效工具和不可缺少的基础工作，并在水环境管理中扮演着非常重要的角色。

最早发展的水质模型是简单的氧平衡模型。1925 年，美国的两位工程师 Streeter 和 Phelps 在对 Ohio 河流污染源及其对生活用水造成的影响的研究中，提出了氧平衡模型的最初形式，即 Streeter-Phelps 水质模型（简称 S-P 模型）。在该模型中，他们假定河流的自净过程中存在两个相反的过程，即有机污染物在水体中发生生物氧化反应，消耗水中的溶解氧，其速率与水中有机污染物浓度成正比；同时大气中的氧不断地进入水体，其速率与水中的氧亏值成正比。在这两个相反过程的作用下，水中的溶解氧达到平衡。该模型最初被用于城市排水工程的设计和简单水体自净作用的研究。然而，在此后的 20 年间，由于研究手段的限制等原因，水质模型研究并未在 S-P 模型基础上有太大进展。直到 20 世纪 50、60 年代，随着人们对环境保护和污染控制认识的加深，特别是计算机技术的迅速发展，水质模型的研究才得以较大地进展。

20 世纪 50 年代水质模型发展仅限于对 S-P 模型的改进。初期的改进比较简单，一般为只考虑生化需氧量 BOD 及溶解氧 DO 耦合的双线性系统模型。20 世纪 60 年代末期，随着计算手段的提高和对生物化学机理认识的深入，模型中考虑的因素越来越多，如 BOD、DO、有机氮、氨氮、亚硝酸盐氮和硝酸盐氮等，模型结构为多线性系统，空间维数为一维和二维。与此同时，一些随机水质模型开始出现，如 Louchs-Lynn、Thomann 模型等。实质上，上述模型都可归类为氧平衡模型，有机物降解耗氧和大气复氧的动态平衡关系是其主要的理论依据。Greeney 在此工作基础上研制出了美国环保局推荐使用的 QUAL-II 河流有机污染综合水质模型，这是一种较为复杂的非线性氧平衡生态模型。该模型中包括 13 个状态变量，有水温、溶解氧 DO、生化需氧量 BOD、藻类、氨氮、亚硝酸盐氮、硝酸盐氮、可溶性磷、大肠杆菌、任选的一种可降解物质和任选的三种非降解物质，并建立了差

分法求解技术和计算机程序。目前，该模型已被广泛地用于河流水质预测和水质规划管理工作中。

随着污染物水环境行为研究和水质标准制定工作的不断深入，氧平衡模型已不能满足社会经济发展对环境保护的要求。同一污染物，由于它在水环境中的存在状态和化学形态不同，将会表现出很不相同的环境行为和生态效应，例如对人体和生物群落的毒性。因此，迫切需要一种能反映污染物在不同存在状态和化学形态下水环境行为的模型，20世纪80年代形态模型开始兴起并快速发展。Forshter 在研究重金属污染物的形态模型时，针对溶解态和悬浮态，把某一重金属分为7种化学形态，即简单水合离子、简单无机络合物、简单有机络合物、稳定无机络合物、稳定有机络合物、无机胶体吸附物和有机胶体吸附物。Lawrence 等研究形态模型时，把一般有机物看作是两性电介质，首先分为溶解态、吸附态和生物结合态三种存在状态，然后对每一状态分为5种不同的化学形态，即非离子化的分子、单电荷的阳离子、双电荷的阳离子、单电荷的阴离子、双电荷的阴离子等形态，分别模拟预测出不同状态下各种形态的污染浓度分布情况。1985年 Bums、Onnolly 等通过污染物对水生生态（如鱼类）和人体的毒性暴露分析，分别提出暴露分析模拟系统模型和具有水质分析模拟程序的食物链模型，分析化学物质不同形态情况下长期慢性毒害、24小时及96小时急性毒害的浓度水平，化学物质在水生系统的浓度分布和滞留时间，食物中化学品对人体和生物体的毒性暴露，以及被生物能控制的污染物在生物体内吸附、消化、吸收、代谢和排泄过程。形态模型是更为复杂的生态模型，目前还很不成熟，有待进一步研究和发展的。

20世纪80年代以来，随着对水环境变化复杂性认识的深入，各相关学科相互渗透、相互激励，水环境数学模型的研究进入到多介质环境综合生态系统模型。所谓多介质环境是指大气、水体、土壤、生物等组成的庞大系统，其中水是核心。模型内部结构为多种相互作用的非线性系统，空间维数已发展到三维，该模型认为污染物排放到自然环境后，将通过各种途径在环境各介质中传播、演变和分配，对环境的影响与它们在各种环境单元中的浓度水平和停留时间密切相关。因此，非常重视对于跨越环境相边界（如大气、水、土壤等）的迁移以及它们在环境中的积累对环境潜在影响的研究。多介质环境综合生态模型可以将各种不同的环境单元内部的污染物变化过程与导致污染物跨过介质边界的过程相联系，组成一个能描述多介质环境中污染物转化和介质间污染物迁移的数学表达式。模型中的状态变量大大增加，有的已达几十个。多介质水环境综合生态模型，实质上是从系统理论角度来研究污染物在环境中从宏观到微观的综合效应。自从1985年 Cohen 提出该模型以来，这方面的工作已有很大进展，但主要集中在理论模型的探讨方面，如各种界面过程的构建、参数估计方法及模型灵敏度分析等。Mackay 等还将逸度概念引入多介质环境模型，提出了一种所谓逸度模型。该模型用逸度代替浓度，使计算大大简化，容易掌握，可以避免许多在浓度计算模型中出现的参数。它以热力学原理为基础，通过一定温度下唯一的逸度容量和与化学势相联系的逸度，来计算每种化学物质的浓度，使许多参数可以通过热力学计算方法获得，从而省去了许多参数的实验测定工作。

我国由于水动力学和水质学科起步较晚，软件自主研发相对较少，以应用国外成熟模型软件为主或者对已有模型进行二次开发或与国外合作开发，国产模拟软件多由于研发成本及知识产权保护的原因，推广应用受到限制。近二十年来，国内部分研究学者逐步应用

和研制了一些水库的水质模型。徐贵泉等于 1996 年研制了感潮河网水量水质数学模型 Hwqnow 模型, 适用于分叉、多枝或网状的河道, 可以用来预报多种因素影响下的河网水量水质变化规律。陈小红等采用混合有限元分析五点格式建立了水库垂向二维分布模型, 1997 年陈小红等又建立了水库垂向二维水质分布模型, 并将其应用于红枫湖水库的水环境研究。江春波等提出了一种预测河道型水库中流速、温度和悬浮物分布的立面二维数学模型, 考虑了河道宽度的变化以及汛期自由水面的变化, 适合于非定常问题的模拟, 但采用的是显式数值格式。刘真等于 2002 年研制了黄河水环境地理信息系统 HPGIS, 包含基本地图显示与查询、专题图制作与输出、三维地形环境仿真三个子模块, 为黄河水质管理提供有力支持。张行男等于 2004 年在地理信息系统平台上紧密耦合了水质模型, 研制了水质模拟软件系统, 包括水质模型输入数据的处理, 实时模型计算, 及模拟结果的可视化输出。廖振良等也于 2004 年在苏州河环境综合整治一期工程中对 WASP 进行二次开发, 包括修改一些数组的大小(河段、边界个数及污染负荷数等); 重新定义某些参数; 修改输入输出格式; 改变文件调用方式; 利用先进的编译工具重新编译; 开发水动力模型与水质模型及 GIS 的接口等。徐祖信等于 2008 年对苏州河综合整治三期工程实施后的效果进行论证, 开发了用于苏州河综合整治的决策支持系统(Decision Support System, DSS), 模型系统包括前处理模块、计算模块及后处理模块, 即模型系统集成水动力模型和水质模型, 具有新建和管理工程案例、工程案例计算、结果展示、工程案例等功能。中国水利水电科学研究院与冰岛 Vatnaskil Consulting Engineers 公司联合开发了 AQUASEA 模型软件包, 用于解决水流和污染质运移问题, 采用 Galerkin 有限元法求解, 模型包含水动力水流动模型和运移-扩散模型, 可用于模拟湖泊、河口、海湾和滨海地区水动力场和水质变化。南京水利科学研究院罗小峰等于 2009 年采用可视化编程思路, 选用成熟计算方法, 编制出完整的河口海岸数值模拟可视化系统 CJK3D, 该数值模拟系统适用于各类港口航道及河口海岸工程治理研究。近年来, 清华大学申满斌、陈永灿等针对三峡库区主要污染物, 建立了考虑泥沙吸附污染物和泥沙冲淤对污染物输移扩散影响的岸边排放污染物浓度场计算的三维浑水水质模型; 重庆市环境科学研究院和重庆大学针对长江嘉陵江重庆段干流和城区江段, 分别开发了一维和二维水质数学模型, 取得了较好的模拟效果。申满斌等针对三峡库区主要污染物, 建立了考虑泥沙吸附污染物和泥沙冲淤对污染物输移扩散影响的岸边排放污染物浓度场计算的三维浑水水质模型, 并模拟了三峡库区涪陵磷肥厂排污口附近的总磷浓度分布。通过与传统清水水质模型的计算值及实测值之间的对比发现, 浑水水质模型的计算结果比传统清水水质模型更接近实测值, 更准确地反映了污染物浓度沿水深方向的分布特征。朴香花等应用三维水质模型对大连湾水动力水质进行了模拟, 对典型水质指标浓度的时空变化规律及其影响因素进行了研究, 并对主要的模型参数进行了灵敏度分析。浓度分布显示, 在大连湾, 浓度高值区主要集中在排污口附近区域。灵敏度分析显示, 在排污口区水体的扩散能力对典型水质指标浓度的影响较大。模拟结果显示, 在湾顶部的排污口区浓度表现出明显的季节变化趋势。在湾中部和朝海边界的湾口区浓度较低, 变化平缓。王惠中等在建立的准三维数学模型的基础上, 考虑垂向涡动系数沿深度变化, 对其计算模式进行修改, 针对太湖特点建立了三维水质模型, 对太湖水体的主要污染指标进行模拟和分析, 并提出了控制太湖水污染的方法。随着我国 3S 的发展, 将 3S 应用于环境管理工作及其与环境模型集成的研究和应用, 取得了很大的发展, 索海生等结合 GIS 和水环境模型,

开发了浊漳河流域水资源水环境信息系统,实时地掌握流域水资源水环境状况,更好地为流域管理服务。丁贤荣等将 GIS 技术与水污染模型相结合,开发了适合长江三峡水环境决策管理的水污染事故模拟系统,及时地反映污染事件造成的水污染状况及其时空变化过程,为突发性水污染事故处理提供强有力的决策支持。2015 年王元超基于 EFDC 模型结合 3S 技术对丹江口水库的水质水量进行了模拟,郑婷婷等于 2016 年利用 GIS 技术对汾河水库的水质进行了数值模拟研究,取得了满意的效果。

8.1.3 代表性水环境数学模型

(1) QUAL2K

QUAL2K 是美国环保局 (USEPA) 研发的多用途一维综合河流水质模型,是 QUAL2E 的最新版本。该模型适用于模拟枝状河流,假设河流中的平流和弥散作用只在主流方向上是主要的,沿程可有多个支流汇入和多个排污口。可按用户希望的任意组合方式模拟 15 种水质变量: BOD、DO、温度、叶绿素 a、有机氮、NH₃-N、NO₂-N、NO₃-N、有机磷、溶解性磷、大肠杆菌、任意 1 种非保守物质和任意 3 种保守物质。可研究入流污水负荷(包括数量、质量和位置)对受纳水体水质的影响,也可用它来研究非点源问题,还可模拟河道水工建筑物对水质的影响。它既可以用作稳态模型,也可以用作时变的动态模型。郭永彬和王焰新等于 2003 年将 QUAL2K 模型用于汉江中下游的水质模拟与预测,并将 QUAL2E 和 QUAL2K 都应用到研究河流的同一河段并比较模拟结果发现,QUAL2K 比 QUAL2E 能更好的拟合野外观测数据。方晓波等于 2007 年将 QUAL2K 模型用于钱塘江非感潮河段干流和一级支流的 BOD 安全纳污能力计算,效果良好。陈月等于 2008 年采用 QUAL2K 模型对西苕溪干流梅溪段的水质进行了模拟和预测,预测值和实测值相关性较好。Fan 等于 2009 年联合运用 QUAL2K 和 HEC-RAS 模型研究了台湾北部某一河流的污染负荷,预测值与实测值吻合很好。Cho 和 Ha 于 2015 年借助 QUAL2K 模拟了韩国 Namdaecheon 河流水质,并采用影响系数算法和遗传算法对 QUAL2K 模型参数进行优化。

(2) CE-QUAL-W2

CE-QUAL-W2 模型是由美国陆军工程兵团 (USACE) 水道实验站开发的二维水动力和水质模型。水动力模拟过程中考虑了温度对水密度的影响。水质模拟包含温度在内的 20 多种组分,考虑了营养物质、浮游植物及溶解氧之间的相互作用。模型可模拟河流、湖泊、水库及河口的水动力和水质变化过程。庄丽榕等于 2008 年应用 CE-QUAL-W2 模拟了山仔水库水动力和水质变化过程。Zhang 等利用 CE-QUAL-W2 建立北美伊利湖生态模型,研究营养物质对湖中浮游生物的影响。Norton 和 Bradford 于 2009 年运用 CE-QUAL-W2 模型研究加拿大南安大略 Speed 河水温管理措施的效益。Yu 等于 2013 年运用 CE-QUAL-W2 研究了韩国 Daecheong 大坝水库中扩散性污染对水体中天然有机物时空分布的影响。

CE-QUAL-W2 主要适用于湖库的水质模拟,优点是具有良好的用户操作界面,便于在 windows 操作系统下操作。

(3) Delft3D

Delft3D 是代尔夫特 (Delft) 水力研究所开发的用于自由地表水环境的三维水动力-水质模型系统。该软件包含水流、水动力、波浪、泥沙、水质和生态系统 6 个模块,能模拟二维或三维的水流、波浪、水质、生态、泥沙输移、床底地貌及各个过程之间的相互作用。模型普遍应用于海岸、河流及河口地区。水动力模块 (Delft3D-FLOW) 主要用于浅水非恒

定流模拟,综合考虑了潮汐、风、气压、密度差(由盐度和温度引起)、波浪、紊流(从简单常量到 $k-\epsilon$ 模型)以及潮滩的干湿交替。水质模块(Delft3D-WAQ)包含若干对流扩散方程求解工具和一个庞大的标准化过程方程库(其方程组对应用户所选择的物质类型),通过考虑一系列泥沙输移和水质过程来模拟远-中水域的水质及泥沙。左书华于 2007 年利用 Delft3D 模拟了鳌江口外平阳咀海域流场,取得良好效果。谢少明于 2008 年将 Delft3D 用于洋沙泡水动力和水质数值模拟,比较了不同引水方案下的流场和浓度场,为洋沙泡水环境保护研究提供基础数据。刘曙光等于 2010 年将 Delft3D 模型用于长江口二维泥沙数值模拟研究,模型较好地模拟了长江口水沙运动以及长期冲淤演变过程。Elias 等于 2012 年基于 Delft3D 建立了 Columbia 河口波浪-水动力耦合模型,分析了河口波浪、水流、盐分及沉积物输移规律。Razmi 等于 2013 年利用 Delft3D 对瑞士 Vidy 湾模拟了不同风向条件下的流场,分析海湾内水力停留时间,基于海湾水动力场条件采用粒子示踪法模拟废水流入海湾的输移过程。

Delft3D 模型优点是嵌有丰富水质和生态过程库,可拓展性较强,支持曲面格式,可供用户选择有限单元法计算格式,可自行建立需要模块。此外,能与 GIS 无缝链接,并与 Matlab 环境结合,按照“即插即用”的标准设计,满足用户二次开发和系统集成要求。

(4) EFDC

EFDC 模型,即环境流体力学模型(Environmental Fluid Dynamics Code),最早是由美国弗吉尼亚州海洋研究所(VIMS)根据多个数学模型集成开发研制的综合模型,集水动力模块、泥沙输运模块、污染物运移模块和水质预测模块于一体,可以用于包括河流、湖泊、水库、湿地和近岸海域一维、二维、三维物理、化学过程的模拟。模型采用灵活的变边界处理技术和通用的文件输入格式,能快速耦合水动力、泥沙和水质模块,省略了不同模型接口程序的研发过程。模型开发有完整的前、后处理软件 EFDC-Explorer,采用可视化操作界面,能快速生成网格数据和图像处理文件。EFDC 可同 WASP 耦合,用于水质模拟。EFDC 可用于模拟包括 COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP、藻类等在内的 21 种水质变量的浓度变化,适合模拟点源和非点源污染、有机物迁移等。陈异晖等于 2006 年应用 EFDC 模型对滇池水质进行模拟,结果较好。Seo 等于 2010 年运用 EFDC 模型成功模拟了韩国 Yongdam 湖水位变化及垂直温度剖面。甘衍军等于 2013 年采用 EFDC 模型模拟二滩水库水温变化过程,较好地模拟出大型深水库不同时期水温分层结构及沿程发展变化过程。丁一等 2015 年基于 EFDC 模型,对水乡镇镇水网水动力优化调控进行了研究。谢森杨等 2016 年将 EFDC 模型运用于九龙江口-厦门湾水域,开展了该水域的三维潮流及盐度场的数值模拟,对比实测资料校核了模型参数,利用实测潮位、流速和盐度数据对模拟结果进行了充分的验证,吻合度高。

EFDC 自身具有应用范围广、功能完善、代码开源、适于二次开发及同其他模型联合应用等优点,在三维水动力计算方面,尤其是水动力学计算有突出优势,能够较好适应长时间干湿交替情景,模型前期率定和后期可视化处理功能较强,近年来其已成为国内外水环境模拟和预测研究中应用最广的模型之一。

(5) WASP

WASP(Water Quality Analysis Simulation Program)是由美国环保局(USEPA)开发的水质模型程序,能够用于分析预测自然和人为污染的各种水质状况,可模拟水动力学、

河流一维不稳定流、湖泊和河口三维不稳定流、常规污染和有毒污染物的迁移转化，被称为万能水质模型。2013年11月推出最新版本 WASP7。该模型由水动力模型程序 DYNHYD 和水质模型 WASP 两个独立程序组成，能够独立运行，也能连接运行。DYNHYD 为 WASP 提供水力参数。水质模型 WASP 由富营养化子模块 EUTRO 和有毒化学物质子模块 TOXI 组成，EURO 模块用来模拟 8 种常规水质指标：BOD、DO、NH₃-N、NO₃-N、有机氮、无机磷、有机磷、浮游植物；TOXI 模块模拟有毒物质，可考虑 1~3 种化学物质和 1~3 种颗粒物，包括有机化合物和重金属等。孙学成等于 2003 年运用 WASP6 系统对三峡库区水质进行了模拟与预测，实测值与模拟值吻合较好。Lindenschmidt 等于 2006 年利用 WASP5 的富营养化子模块 EUTRO 模拟了德国 Saale 河下游水质 DO-BOD 变化情况。孙文章等利用 2008 年采用 WASP 子程序中的 EUTRO 模块，对东昌湖各湖区特定时段的水质状况进行了检验性模拟。王旭东等于 2009 年应用 WASP 模型建立了白洋淀水域湖泊富营养化模型，揭示了湖泊富营养化变化规律。冯斌等于 2014 年采用 WASP 水质分析模拟软件计算了城市景观河道氨氮负荷排放量。康桥等于 2016 年基于 WASP-HSPF 耦合模型对第二松花江松林断面水质进行了模拟研究，取得了较为满意的效果。

WASP 模型在湖库水环境中的各类应用展示了其良好的适应性、通用性和丰富与其余软件或者模型接口的选择。在数值计算、参数率定上具有明显优势，免费，灵活性好，可与 GIS 集成，被称为“万能水质模型”，但前期概化及网格化过程较繁琐。

8.2 生态流量计算方法

8.2.1 水生生态需水计算方法

(1) 水文学法

1) 不同频率最枯月平均值法

以节点长系列 ($n \geq 30$ 年) 天然月平均流量、月平均水位或径流量为基础，选择不同频率下最枯月平均流量、月平均水位或径流量作为生态环境需水量的最小值。对于存在冰冻期或季节性河流，可将冰冻期和季节性造成的无水期排除在外，采用有天然径流量的月份排频。

频率 P 根据水资源开发利用程度、规模、来水情况等确定。实测水文资料应进行还原和修正。

2) 流量历时曲线法

选取至少 20 年的日均流量资料构建逐月流量历史曲线，以 90% 或 95% 保证率对应流量作为生态环境需水量的最小值。

3) 7Q10 法

选取 90%~95% 保证率下、年内连续 7 天最枯流量值的平均值作为生态环境需水量的最小值。

4) Tennant 法

以控制断面处多年平均流量的百分值作为指标评估河流生境质量，该方法适用于北温带较大的常年性河流。河道内生态环境状况对应的流量百分比见表 8。

表 8 不同河道内生态环境状况对应的流量百分比 (%)

不同流量百分比对应河道内生态环境状况	占同时段多年年均天然流量百分比 (年内较枯时段)	占同时段多年年均天然流量百分比 (年内较丰时段)
最大	200	200
最佳	60~100	60~100
极好	40	60
非常好	30	50
好	20	40
中	10	30
差	10	10
极差	0~10	0~10

(2) 水力学法

1) 湿周法

利用湿周作为水生生物栖息地指标, 通过收集水生生物栖息地的河道尺寸及对应的流量数据, 建立湿周一流量的关系曲线。根据湿周一流量关系曲线中拐点确定水生生态基流, 方法主要适用于河床形状稳定的宽浅矩形和抛物线型河道。

2) R2CROSS 法

R2CROSS 法将河流平均深度、平均流速和湿周长度作为栖息地质量指标。栖息地水力参数见表 9, 方法适用于河宽为 0.3~30.5m 的非季节性小型河流。

表 9 R2CROSS 单断面法确定生态流量的标准

河顶宽度 (m)	平均水深 (m)	湿周率 (%)	流速 (m/s)
0.3~6	0.06	50	0.30
6~12	0.12	50	0.30
12~18	0.18	50~60	0.30
18~31	0.30	≥70	0.30

(3) 生境分析法

生境分析法以鱼类繁殖对水深、流速、基质和覆盖物等指标的要求评估鱼类产卵生境状况, 结合产卵场水力计算成果建立流量-加权可利用面积 (WUA) 曲线, 以曲线中拐点对应的流量作为适宜流量, 结合鱼类繁殖期的天然涨水过程, 分析确定鱼类繁殖期所需的水文过程。

WUA 可按下式计算:

$$WUA = \sum_{i=1}^n A_i (S_h, S_v, S_s, S_c)$$

式中： A_i ——单元面积（ m^2 ）；

S_h ——水深喜好度，取值范围 0~1；

S_v ——流速喜好度，取值范围 0~1；

S_s ——基质喜好度，取值范围 0~1；

S_c ——河面覆盖喜好度，取值范围 0~1。

(4) 生态水力学法

生态水力学法以鱼类对河流水深、流速等水力生境参数及急流、缓流、浅滩、深潭等水力形态指标的要求评估河流生境状况，可用于计算分析各种类型河流的水生生态基流。

按表 10 评估标准对计算结果进行判别，选取满足要求的最小流量作为水生生态基流。

表 10 生态水力学法评估标准

生境参数指标	标准	
	最低标准	累计河段长段的百分比
最大水深	鱼类体长的 2 倍~3 倍	≥95%
平均水深	≥0.3m	≥95%
平均流速	≥0.3m/s	≥95%
水面宽度	≥30m	≥95%
湿周率	≥50%	≥5%
过水断面面积	≥30m ²	≥5%
水域水面面积	≥70%	不同流量情况下水面面积及占枯水期多年平均流量情况下水面面积的百分比
水温	适合鱼类生存、繁殖	
水力形态指标	概念界定	
急流	平均流速 ≥1m/s	各流态的段数无较大变化，急流、较急流段 累计河段长度减少 <20%
较急流	平均流速 0.5 ~ 1m/s	
缓流	平均流速 0.3 ~ 0.5m/s	
较缓流	平均流速 ≤0.3m/s	
深潭	最大水深 ≥10m	个数无较大变化
浅滩	河岸边坡 ≤10°，5m 范围内水深小于 0.5m	

注：鱼类体长的取值以目标物种的性成熟个体为准。

8.2.2 湿地需水计算方法

(1) 单位面积水量法

河岸植被生态需水量可采用单位面积用水量法计算。单位面积用水量法宜用于对计算

结果精度要求不高，基础资料积累较好的地区。计算公式如下：

$$W_p = \sum_{i=1}^n S_{pi} \times q_{pi}$$

式中， W_p ——表示植被生态需水量（ m^3 ）；

S_{pi} ——表示第 i 种植被面积（ hm^2 ）；

q_{pi} ——表示 i 种植被需水定额（ m^3/hm^2 ），可参照区域植被定额、农作物灌水定额确定，无资料地区可参考条件相似地区确定。

（2）潜水蒸发法

河岸植被生态需水量潜水蒸发法计算公式如下：

$$E = a \left(1 - H/H_{max} \right)^b \times E_{601}$$

$$W_t = E \times S$$

式中， W_t ——表示植被生态需水量（ m^3 ）；

E ——表示潜水蒸发强度（ m ）；

S ——表示地下水埋深 H 时植被面积（ m^2 ）；

E_{601} ——表示 601 型蒸发皿水面蒸发量（ m ）；

H ——表示地下水埋深（ m ）；

H_{max} ——表示地下水蒸发极限埋深（ m ）；

a 、 b ——表示与植被覆盖度、土质有关的经验系数。

（3）间接计算法

河岸植被生态需水量间接计算法公式如下：

$$W_t = \sum A_i \times w_{gi} \times k$$

式中， W_t ——表示河岸植被生态需水量（ m^3 ）

w_{gi} ——表示植被类型在地下水位某一埋深时的潜水蒸发量（ m ）；

k ——表示植被系数，即在其他条件相同的情况下有植被地段的潜水蒸发量除以无植被地段的潜水蒸发量所得的系数；

$\sum A_i$ ——表示植被类型在地下水位某一埋深时的面积（ m^2 ）。

(4) 彭曼公式法

用于计算河岸林草生态需水计算的彭曼公式法,对区域植被资料和气候资料要求较高,计算公式如下:

$$W_p = \sum (ET_{i,t} - F_{e,t}) \times A_i$$
$$ET_t = k_i \times \sum ET_{0,t}$$
$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)}$$

式中: $ET_{i,t}$ ——第 i 种生态植被生态需水定额 (m);

$F_{e,t}$ —— Δt 时段有效降水量 (m);

A_i ——表示第 i 种生态植被的面积 (m²);

ET_t ——表示 Δt 时段生态需水定额, 扣除有效降水量后为净需水定额 (mm);

k_1 ——表示 Δt 时段生态需水系数;

ET_0 ——表示参考作物腾发量 (mm/d);

Δ ——表示气温 T_a 时饱和水汽压随温度的变化率 (kPa/°C);

R_n ——表示净辐射 (MJ/m²·d);

G ——表示土壤热通量 (MJ/m²·d);

γ ——表示湿度计常数 (kPa/°C);

U_2 ——表示 2m 高处平均风速 (m/s);

e_a ——表示达到平均气温时的饱和水汽压 (kPa);

e_d ——表示达到平均气温时的实际水汽压 (kPa)。

(5) 水量平衡法

河道外湿地、尾间湿地水量平衡法通过计算分析各项输入、输出水量的平衡关系, 确定湿地补给需水, 用水量平衡法进行计算。计算公式如下:

$$W_z = F \times (E_z - P) + T + G + W_0$$

式中, W_z ——表示湿地生态环境需水量 (m³);

F ——表示湿地水面面积 (km²);

P ——表示多年平均降水量 (m^3/km^2);

E_z ——表示湿地水面蒸发需水量 (m^3/km^2);

T ——表示湿地植物蒸散发需水量 (m^3);

G ——表示湿地土壤渗漏需水量 (m^3);

W_0 ——表示维持一定水面面积的湿地蓄水量 (m^3)。

当湿地敏感保护目标年内不同时段对水深和水面面积有不同要求, 面积可以根据保护目标不同时段的需求要求确定。

8.2.3 景观需水计算方法

感官评价法通过分析研究区域不同流量(水位)条下景观代表图像的景观视觉质量和美景度, 构建流量与水域景观质量之间的关系, 综合确定适宜的流量(水位)。

流量(水位)与景观质量的对应关系可根据实际情况, 确定水域景观等级, 构建景观质量评价指标体系, 采用层次分析法(AHP)计算景观质量值, 构建流量(水位)与景观质量对应关系, 依据区域景观等级要求与相关情况, 综合确定景观流量(水位), 具体景观质量评价体系可参考住房和城乡建设部标准定额研究所《风景名胜项目评价方法》等资料。

8.2.4 生态流量计算方法

生态流量应按下列式计算:

$$Q_{st} = \text{Max}(Q_{ss}, Q_{sh}, Q_{jg}, Q_{yx}) + Q_{hl}$$

式中: Q_{st} ——表示生态流量 (m^3/s);

Q_{ss} ——表示水生生态需水 (m^3/s);

Q_{sh} ——表示水环境需水 (m^3/s);

Q_{jg} ——表示景观需水 (m^3/s);

Q_{yx} ——表示河口压咸需水 (m^3/s);

Q_{hl} ——表示湿地需水 (m^3/s)。

湖泊生态需水计算方法:

(1) 湖泊形态分析法

该方法通过分析湖泊水面面积变化率与湖泊水位关系来确定维持湖泊基本形态需水量对应的最低水位。

首先通过实测的湖泊水位 H 和湖泊面积 F 资料, 构建湖泊水位 H 与湖泊水面面积变化率 dF/dH 的关系曲线(图 22)。

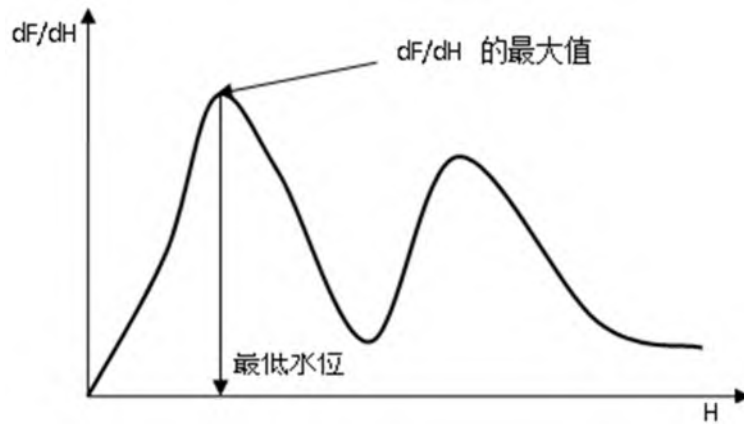


图 22 湖泊水位和湖泊面积变化率曲线示意图

在湖泊枯水期低水位附近的最大值对应水位为湖泊最低生态水位。如果湖泊水位和 dF/dH 关系线没有最大值，则不能使用本方法。

湖泊最低生态水位计算公式如下：

$$F = f(H)$$

$$\frac{\partial^2 F}{\partial H^2} = 0$$

$$(H_{\min} - a) \leq H \leq (H_{\min} + b)$$

式中， F ——表示湖面面积 (m^2)；

H ——表示湖泊水位 (m)；

H_{\min} ——表示湖泊天然状态下的多年最低水位 (m)；

a 和 b ——分别为和湖泊水位变幅相比较小的一个正数 (m)。

(2) 生物空间法

基于湖泊主要生物对生存空间的需求确定湖泊生态环境水位，用于计算主要生物对生存空间的不同需求下对应的水位。计算主要生物对生存空间的基本需求所对应的水位过程时，计算公式如下：

$$H_b = \text{Max}(He_{1,\min}, He_{2,\min}, \dots, He_{i,\min}, \dots, He_{n,\min})$$

式中， H_b ——表示湖泊最低生态水位 (m)；

$He_{i,\min}$ ——表示第 i 种生物所需的湖泊最低生态水位 (m)。

主要生物对生存空间的基本需求，应包括鱼类产卵、洄游，种子漂流，水禽繁殖等需要短期泄放大流量的过程。一般选用鱼类作为关键物种，上式为：

$$He_{\min} = H_0 + h_f$$

式中， H_0 ——表示湖底高程（m）；

h_f ——为鱼类生存所需的最小水深（m），可以根据实验资料或经验确定。

计算维持水生生物物种稳定和多样性对生存空间的需求所对应的目标生态环境水位时，各种生物生存空间对应的水位要求应按给定目标要求确定。

8.2.5 沼泽生态需水计算方法

通过维持一定水面面积的蓄水量计算沼泽生态环境需水量。分析沼泽的水量输入、输出项的平衡关系，用水量平衡法计算。计算公式如下：

$$W_z = F(E_z - P) + T + G + W_0 + Q_0 - Q_i$$

式中， W_z ——表示沼泽生态环境需水量（ m^3 ）；

F ——表示沼泽水面面积（ km^2 ）；

P ——表示沼泽多年平均降水量（ m^3/km^2 ）；

Q_i ——表示沼泽与河湖连通情况下流入水量（ m^3 ）；

E_z ——表示沼泽计算面积水面蒸发需水量（ m^3/km^2 ）；

T ——表示沼泽植物蒸散发需水量（ m^3 ）；

G ——表示沼泽土壤渗漏需水量（ m^3 ）；

W_0 ——表示维持一定水面面积的沼泽蓄水量（ m^3 ）；

Q_0 ——表示沼泽与河湖连通情况下的流出水量（ m^3 ）。

当沼泽敏感保护目标年内不同时段对水深和水面面积有不同要求，水面面积可以根据保护目标不同时段的需求要求确定。

8.3 面源估算方法

根据对目前面源污染估算方法相关文献研究，主要面源污染估算方法包括源强估算法（输出系数法）、通量分析法、分布式面源模型等方法，其中源强估算法（输出系数法）主要基于野外监测等相关数据，总结源强系数（产污系数及排污系数），并根据降雨、地形和输移损失等因素进行修正，且考虑流域水系结构中的迁移转化特征。通量分析法利用流域控制站水文、水质监测数据系列，绘制径流历时曲线，根据年内降水分布特点，结合径流分割方法，研究不同流量及同步水质监测数据，估算年内负荷总量与点源及面源负荷量，分析流域污染负荷构成特征及主要驱动因素。分布式面源模型是基于水文单元或小流域物理机理模型或统计模型建立的污染源负荷估算方法，识别面源污染敏感区域，预测不同污染控制措施下的面源污染输出过程，了解面源污染主要驱动机制和影响因素。