

建设项目 环境影响评价 水库下泄水温及影响减缓措施 技术研究与实践

环境保护部环境工程评估中心 编
水电环境研究院

Research and Practice of the Reservoir Discharge Water
Temperature and Its Impact Mitigation Measures and Technologies for
Assessments of Environmental Impact of Construction Projects



中国环境出版社

建设项目 环境影响评价

水库下泄水温及影响减缓措施 技术研究与实践

环境保护部环境工程评估中心 编
水 电 环 境 研 究 院

中国环境出版社·北京

图书在版编目（CIP）数据

建设项目环境影响评价水库下泄水温及影响减缓措施技术研究与实践/环境保护部环境工程评估中心，水电环境研究院编.—北京：中国环境出版社，2016.10（2017.2重印）

ISBN 978-7-5111-2866-9

I. ①建… II. ①环… ②水… III. ①水库—水温—研究 IV. ①TV697.2

中国版本图书馆CIP数据核字（2016）第163331号

出版人 王新程
责任编辑 李兰兰
责任校对 尹芳
封面设计 宋瑞
排版制作 杨曙荣

出版发行 中国环境出版社
(100062 北京市东城区广渠门内大街16号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn
联系电话: 010-67112765 (编辑管理部)
010-67112735 (第一分社)
发行热线: 010-67125803 010-67113405 (传真)

印 刷 北京中科印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2016年10月第1版
印 次 2017年2月第2次印刷
开 本 787×1092 1/16
印 张 12.75
字 数 292千字
定 价 42.00元

【版权所有。未经许可，请勿翻印、转载，违者必究。】
如有缺页、破损、倒装等印装质量，请寄回本社更换。

《建设项目环境影响评价水库下泄水温及 影响减缓措施技术研究与实践》

编 委 会

主 编 崔书红 陈凯麒 孙志禹

副主编 曹晓红 陈永柏 祁昌军

编 委 李 敏 王鹏远 温雅静 陈 昂 赵修江

步青云 曹 娜 葛德祥 吴玲玲 安广楠

赵微微 李 佳 王庆改 贾 鹏

序 言

为深化落实水电开发生态环境保护措施，加强业内技术交流、促进共同发展，环境保护部环境工程评估中心组织了水利水电生态保护系列会议，为水利水电生态保护工作提供沟通、协作的专业平台。目前，水利水电生态保护研讨会已经举办了四届，每届都对环境保护重点的领域问题展开了专题研讨，贯彻落实了中央关于生态文明建设的意见。我们开发水利水电的过程艰难重重，历史上对于开发也有不同观点和争议，学术思想相互激荡，不同观点相互碰撞。现将近年研讨成果分册结集出版，献给业内同仁参考，以使可持续发展的理念更多地贯穿到水利水电开发建设中来。

从 20 世纪 90 年代起的水利水电开发过程中，人们一直在讨论建坝是否是绿色工程，对生态环境是否有影响，影响有多大。随着水利水电工程建设的深入，全国保持独立的自然生态流域几乎消失殆尽，维持自然状态的河流少之又少，保持自然连通性的江河基本不复存在。在我国，江河时空分布极不均匀，人们大规模利用江河进行水利灌溉、淡水养殖、交通运输、蓄能发电、观光旅游，甚至增值房地产。与此同时，大量调水工程集中上马，南水北调大家都知道，其他的还有许多。粗略统计一下，大约一半省份有跨流域的调水工程，有的还在界河上调水，还有一些梯级开发兴建水电站，全国基本找不到一条从上到下没开发的处女江河。这也随之带来一系列的问题，水温问题便是其中的一个重要内容，也是近来大家研讨的主要对象。

水温的变化会对水生生态产生很大的影响，对鱼类影响尤为明显。近年来，通过十几个水电工程案例进行学术交流，覆盖了大部分水电工程水温变化机理引发的问题及解决方案。希望能从中总结出一些经验，成为今后的技术措施。俗话说：亡羊补牢，犹未为晚；可我要说：亡羊补牢，为时已晚！因为水电工程消亡的物种我们已无可奈何，已经破坏的生态我们只有努力修复，对今后准备开发的江河流域，我们要引以为戒。目前，我国水电建设开发率很高，接近饱和状态，所以更需要讨论这些因为建设而带来的生态

问题。

此外，在“新常态”的背景下，我们今后规划、建设的指导思想，也要与时转变。从“超常规”的冲动，回到“新常态”的冷静中。从大开发、大建设，转到大保护、大修复上来。以上为序。

牟广丰

2016年7月1日

前 言

我国水资源分布在时间、空间具有明显的不均衡性，水库建设与开发在我国经济、社会建设过程中一直处于非常重要的地位，为经济的持续发展和社会稳定做出了重大贡献。然而，水库建设的潜在负面影响，如河流生境破碎化、水生生物物种减少、下泄低温水累积效应等问题突出。伴随公众生态意识的日益提高和水库生态环境问题的显现，水库建设对流域生态环境的影响受到越来越多的关注。

水库水温分层及其低温水下泄是水利水电工程建设引起的重要环境问题之一，也是环境影响评价重点关注的内容。环境保护部于 2014 年 5 月 14 日印发《关于深化落实水电开发生态环境保护措施的通知》（环发〔2014〕65 号）提出，“充分论证水库下泄低温水影响，落实下泄低温水减缓措施。对具有多年调节、年调节的水库和水温分层现象明显的季调节性能水库，若坝下河段存在对水温变化敏感的重要生态保护目标时，工程应采取分层取水减缓措施”。因此，准确模拟和预测水库的水温分布规律，提供合理可靠的下泄水温数据对分层取水措施设计和下游生态环境保护都具有重要意义。

为系统总结国内外水库水温研究方法进展情况，深入分析水库水温时空分布规律，研究水库水温预测方法，了解下泄水温减缓措施的有效性，推动新常态下水利水电环境影响评价方法的进步与学术交流，环境保护部环境工程评估中心于 2015 年 11 月组织召开了“第四届水利水电生态保护研讨会”。参会专家和行业研究人员对库区水温变化规律、下泄水温影响及减缓措施、水温分层措施设计及管理 etc 议题进行探讨和交流，为今后深入开展水库水温影响研究和生态保护工作提出引领性的思路。

本书在整理“第四届水利水电生态保护研讨会”会议成果的基础上，遴选出 23 篇论文汇编成册，形成《建设项目环境影响评价水库下泄水温及影响减缓措施技术研究与实践》一书。本书着眼于我国水利水电工程生态环境保护需求，从水温研究回顾、水温原型观测、水温模拟预测、下泄水温影响以及水温影响减缓措施等方面，系统地阐述了当前我国水

库工程水温影响研究与减缓措施实践的代表性成果，为开展水库水温结构及下泄水温计算和研究，以及水温减缓措施设计和管理提供借鉴。

由于时间和编者水平有限，本书仍存在不足之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

2016 年 6 月

目 录

一、水温研究综述及回顾

水利水电工程水温影响预测及技术复核要点 /3

水库水温模拟预测中常见的主要问题 /9

水库水温模拟及预测研究概述 /17

二、水温观测及规律研究

水库水温结构及其与下泄水温变化关系的探讨 /25

雅砻江二滩水库库区及下泄水温分布规律原型观测研究 /31

水温自动观测系统在梯级电站水温影响研究中的应用 /42

黄河上游梯级水库群水温原型观测方案 /50

水布垭水库水温及坝下河道水温观测与分析 /56

三、水温数值模拟研究

水温数值模拟研究回顾与展望 /67

溪洛渡水库蓄水初期的水温模拟与分析 /79

紫坪铺水库水温变化规律分析 /91

基于 Delft3d 的水库水温模拟技术研究——以观景口水库为例 /99

水库水温数学模型的适用性研究 /109

四、水温计算方法及参数分析

指数函数法主要参数敏感性与水库适用性分析 /123

统计法主要参数敏感性分析 /129

水库水温分层结构判定方法及其应用 /136

五、下泄水温对鱼类的影响研究

四大家鱼繁殖温度需求与三峡生态调度 /143

戛洒江一级水电站下泄水温对鱼类的影响 /150

六、水温影响减缓措施研究

减缓水电工程水温影响的调控措施 /157

光照水电站叠梁门分层取水措施效果观测实践与方法探讨 /164

隔水幕墙取水在水电站低温水治理中的探讨 /174

西南某水电站分层取水措施效果预测研究 /180

考虑下泄水温影响的丰满水电站重建工程大坝拆除方案决策研究 /186

一、水温研究综述及回顾

水利水电工程水温影响预测及技术复核要点

祁昌军^{1,2} 陈凯麒^{1,2} 曹晓红^{1,2} 翟媛³

(1. 环境保护部环境工程评估中心, 北京 100012; 2. 水电环境研究院, 北京 100012;

3. 水利部水利水电规划设计总局, 北京 100011)

摘 要: 介绍了技术复核的总体要求, 分析了水库水温预测存在的问题, 结合水利水电工程水温影响预测研究工作及技术评估要求, 提出水库水温预测及技术复核要点, 并进一步提出水库水温预测研究工作的几点想法。

关键词: 水利水电; 水温预测; 技术复核

1 前言

大深型水库水温分层及其低温水下泄是水利水电工程建设引起的重要环境问题之一, 也是环境影响评价和技术审查重点关注的内容^[1-2]。水库库区水温及下泄水温预测也是水利水电工程环境影响评价报告或相关专题中技术难度较大的一项内容, 其预测结论直接影响环评报告对工程实施后影响的评价及相应环保措施设计的合理性、有效性。从环评及技术评估实际情况看, 水库水温预测是水利水电工程环评工作中容易出现误差甚至错误的部分, 该部分内容在技术评估过程中也较难准确把握。

本文基于水利水电工程水温影响预测工作总结, 结合环境保护部环境工程评估中心技术复核要求, 提出水库水温预测及技术复核要点, 以期水利水电工程水温预测及技术评估提供参考。

2 技术复核总体要求

环评技术复核指依据国家相关环境管理要求和技术导则规范, 针对重点项目环评报告书中有关环境影响预测与评价部分开展的技术性复核分析的过程。为了客观、公正地评价环评报告中预测部分的预测方法和评价结论, 环境保护部环境工程评估中心逐步对

作者简介: 祁昌军 (1982—), 男, 汉族, 江苏连云港人, 高工, 硕士, 主要从事环境影响评价和水环境模型研究。
E-mail: qcj882@126.com。

环评文件中预测部分内容提出技术复核的要求。

开展技术复核并非是抛开原环评报告的预测过程和结果重新进行评价分析,而是从技术层面客观、公正地评价各环评报告中环境影响预测部分的预测方法和评价结论,杜绝环评单位在环境影响预测过程中出现“假数真算”“真数假算”的不良现象,同时也可以弥补长期以来技术评估过于依赖专家主观判断的不足。

技术复核的基本原则是以环评报告中的环境影响预测部分内容及建模、预测内容为基础,以国家现行技术导则规范为依据,对预测过程和结果进行计算对比与验证,重点针对环评报告中环境影响预测所采用的技术方法、预测模型、基础数据、模型参数及预测结论进行分析与评价,得出环评报告中环境影响预测部分结论是否可信的结论^[3-4]。

3 水库水温模拟预测存在的问题

水库水温变化过程可描述为水体作为受热、传热的载体,在水动力、气温和水温的交互影响下发生的水体纳热、散热及热量传输过程。影响水温预测结果的因素很多,如水库运行调度方式、水电站调节性能、入流和出流、气温、风速、太阳辐射、支流汇入、上游梯级电站下泄水温等因素^[5]。另外,在使用数值模型计算时,模型选用、参数选取、边界条件、初始水温、网格尺度、时间步长、地形概化、工程概化等对水温计算结果都有重要影响。总结以往环评技术评估和技术复核工作,水利水电工程环评水温影响预测存在以下几方面问题。

3.1 建模基础资料不全

水库水温模型建模基础资料主要包括水文资料、气象资料、地形资料和工程设计资料四大类。水文资料主要有库尾入流、支流汇入、发电出流、泄洪出流、弃水流量、电站运行水位、入流水温等;气象资料主要有气温、太阳辐射量、日照时数、相对湿度、风速、风向等;地形资料主要有库区水下地形、水库水位-库容-面积曲线;工程设计资料主要有发电取水口分布位置、取水口底板高程、取水口数量及尺寸、泄洪孔底板高程及尺寸、分层取水设施(如叠梁门)设计及运行方案等。由于建模涉及基础资料较多,且有一定的精度及数据系列要求,对于大型水利水电工程,在可研设计阶段相应的水文、气象等资料比较详细,而对于一般水利水电工程,尤其是在新疆、西藏等实测资料匮乏的地区,建模所需基础资料往往难以保障,导致所建模型无法反映模拟对象的客观情况。

3.2 缺乏模型验证资料

模型率定、验证是数值模拟工作的关键内容。在对拟建水库水温预测之前,需选取同一流域、位置相近(最理想情况)的已建水库作为验证水库,并且两个水库的规模、调节性能、运行调度方式相似,已建水库具有较为翔实的实测水温资料。国内已逐步开展水库水温原型观测工作,积累了部分水温实测资料,但已开展的水温观测工作中,存在观测方案、测量仪器以及观测精度不统一等问题,内业数据整理缺乏系统性。另外,受环评工作周期限制,预测所需的实测资料,尤其是模型的重要边界条件、验证数据等,

无法在短期内实测获得,只能通过概化、简化处理,影响预测结果的科学性、准确性。水温预测中出现的主要问题有:验证水温选取不合理;验证水库实测水温资料不足,无法满足模型验证需求;典型时期如封冰期、双跃温层期未验证。

3.3 计算范围概化不合理

模型计算范围应包括拟建水库全库区、主要汇入支流及坝下河段。下泄水温沿程恢复预测应在考虑下游河道主要环境敏感目标的前提下,合理延长模拟河道长度至下泄水温恢复到天然河道水温。如拟建水库上下游有梯级电站,应考虑梯级电站下泄水温累积影响。水温预测中出现的主要问题有:库区范围计算不完整,主要支流未考虑,导致模拟库容比实际库容小,影响水体纳热、散热能力;下泄水温预测未考虑下游河道主要生态敏感目标(如鱼类栖息地、产卵场),水温减缓措施效果及阈值不明确。

3.4 下泄水温计算方法需改进

水库下泄水体为坝前不同层水体混合后的下泄,其下泄水温为不同层水体掺混后的水温(不考虑下泄过程中的能量损失)。环评报告中,下泄水温预测方法大多为直接选取与发电取水口高程同层的坝前水温作为下泄水温,该方法给下泄水温预测结果带来较大误差。

3.5 模型预测缺乏规范指导

《环境影响评价技术导则 地面水环境》(HJ/T 2.3—93)给出了适用于河、湖、海湾的水质污染物预测模式,但未提出水库水温预测方法、模型及方程原理。2006年,国家环境保护总局印发了《水电水利建设项目河道生态用水、低温水和过鱼设施环境影响评价技术指南(试行)》的函,其中提出水库垂向水温和下泄水温数学模拟方法,对水库水温预测工作及技术评估工作起到重要指导作用。但导则、指南均未对水温数值模拟的建模过程、基础资料、率定和验证、参数选取、时间和空间尺度进行具体要求,使得实际工作中水温数值模拟工作尺度不一,深浅不同,导致预测结果的合理性无法准确判定。

4 水库水温模拟预测及技术复核要点

依据地表水环境影响评价技术导则,同时结合水利水电工程环评及技术审查要求,水库水温预测及评价部分应明确以下几方面内容。

4.1 数学模型方法选择

水库水温预测首先应对水库水温结构进行简易判别,方法主要包括: α - β 指数法、密度弗劳德数法、水库宽深比法等。在对水库水温结构初步判别的基础上开展水温预测,方法主要包括:东勘院法、朱伯芳法、统计法、李怀恩公式等经验公式,以及垂向一维模型、立面二维模型和三维模型等数学模拟方法。经验公式是研究人员在国内外多座水库实测资料的基础上总结出来的,有其适应性和实用价值。但经验法反映的是水温变化

的统计性规律，缺乏对水温变化规律的深入研究，在应用上有一定局限性。数学模型则可以在一定程度上弥补经验法的不足，可考虑气象、水文等交互过程，缺点是所需资料较多，操作过程复杂。

根据水库水温结构判别结果，对于完全混合型且下游无生态敏感目标的水库，水库水温可采用经验公式预测；对于水温稳定分层的水库，应根据水库形态特征、调节性能及下游生态敏感目标等进行数值模拟，一般湖库型水库水温宜采用三维模型计算，水流和水温横向变化不大的河道型水库水温可采用立面二维模型计算，纵向尺度较小且流动相对较缓的水库水温可采用垂向一维模型计算。当计算硬件、资料丰度和研究人员操作能力等条件满足时，原则上应尽量采用二维模型或三维模型进行水温预测。

4.2 基本资料收集

水库水温预测的基础资料包括地形、水文、河道水温、气象、电站运行调度、发电取水口和泄流孔口位置及尺寸、分层取水方案等多种要素。各项资料应以实测和设计资料为依据，气温、入库水温资料如需插补，应收集插补点周边或上下游站点资料进行插补；入库流量、发电流量、泄洪流量和水库水位资料应以设计资料为依据，符合电站运行调度规程；采取分层取水措施的，应收集分层取水进水口型式、设计参数、运行方案等。

4.3 模拟范围确定

水库水温模拟预测及评价范围主要包括三部分：库区、主要入库支流、坝下河段及生态敏感区域。库区模拟范围应包括从坝址至库尾回水末端，回水变动区的库尾河段不应“舍弃”，该段的水动力和入库水温对整个库区流场和温度场影响不可忽略；库区主要支流的入流和入库水温应根据实测资料确定，主要支库不宜简单概化为点源，支库库容的纳热、散热能力应计入模型；下游河段应重点预测低温水沿程恢复情况，以及到达生态敏感区域的水温情况，有灌溉要求的，应预测到达灌区的水温恢复情况。

4.4 验证案例选取

选用的验证水库在地理位置上应靠近拟建水库，以相同流域、相同纬度为宜，气象要素、水面与大气的热交换等条件接近；验证水库的规模、调节性能和水温结构等相近；验证水库应有较全的库区水温实测资料，如无全年的水温实测资料，至少应有春、夏、秋、冬每一季典型月水温实测资料；所在区域如有封冰期，则封冰期至少有一个月的实测水温资料。

4.5 计算工况设计

工程运行后，水库所在流域的水文、气象等自然条件变化随机，与工程设计阶段模拟预测的支撑数据必然不同。数值模拟无法穷尽所有可能的工程运行和自然变化情况，但应根据工程特点选取最具有代表性的计算工况，并能考虑不利条件。一般边界条件应考虑丰、平、枯典型年水文条件，加上多年平均状况的气象条件组合；对于大型水电站且下游有生态敏感目标的，考虑历史气象条件、来水水温及水库调度运行等，为反映极

端条件对水库水温及下泄水温的影响,针对运行期的高水位、低气温、低来水温度等条件,设置特殊边界条件组合工况;拟建工程上游有已建、拟建电站的,应计算梯级电站联合调度下的水库水温分布情况,预测河段水温的累积影响;采取分层取水措施的,应考虑不同典型年下单层取水、分层取水水温计算工况。

4.6 模型计算时段

一般计算全年的水库水温变化情况。为消除模型初始场的影响,模型以同一年的水文、气象等资料循环计算多年后,当后一年与前一年的某一时刻温度场、流场相比满足相对误差要求则认为计算收敛,取后一年计算结果作为预测成果。

4.7 库区地形数据质量控制

工程可研阶段,库区河道一般具有实测大断面地形资料,实测断面间距少则几百米至1 km,多则数公里,无法完全反映全库区地形情况,对于无实测地形资料的水库,研究人员则采用网上下载的DEM地形资料,分辨率和准确度无法保障。地形资料是模型计算最基础和关键的资料之一,为保证地形资料的可靠性,在开始各工况水温计算之前,应根据工程设计的水位-库容-面积曲线进行地形修正,以保证各水位下概化地形的库容和面积与设计资料一致。

4.8 库区流场模拟

水库水温分层受到库区水流特征影响,水流特征的正确与否直接决定了水温分布结果的正确与准确性。水温预测应与流场耦合计算,并在判定模拟计算获得的流场满足要求以后,才能开展温度场模拟计算。流场模拟模型应根据水流流动特征与基础数据情况,合理选择一维、二维及三维模型,并应合理确定紊流模型。水动力参数率定及计算结果合理性与准确性判定应该包括流态分析(如回流特征)、水量守恒性分析、特征断面流速分布验证、水位过程验证等。

4.9 库区温度场模拟分析与下泄水温计算

库区温度场预测值的准确度是下泄水温准确预测的关键。在合理率定流场基础上,系统分析与率定热平衡参数。对于模拟计算结果应进行热量守恒性分析,并结合类似水库水温监测或模拟计算结果,分析预测温度场及其年内变化过程的合理性。准确把握预测水库库区温度场的分布规律,确定年内库区水温垂向分布结构,通过分析流场分布规律,识别坝前取水层位置、厚度和层内水温,进而分析下泄水温的变化过程。

5 结语

水库水温预测是水利水电工程环评报告中难度较大,技术性较强的工作,虽然《水电水利建设项目河道生态用水、低温水和过鱼设施环境影响评价技术指南(试行)》中对水温预测部分的内容提出了具有指导性的说明,但由于影响水库水温预测结果的因素很