

DOI :10.3969/j.issn.1004-6933.2011.05.013

规范推荐的水库水温经验预测方法比选研究

杨梦斐¹,李 兰¹,李亚农²,何月萍²,武 见³

(1. 武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室,湖北 武汉 430072 2. 中国水电顾问集团成都勘测设计研究院,四川 成都 610072 3. 黄河勘测规划设计有限公司,河南 郑州 450003)

摘要 水库水温经验预测方法因简便易行在水电项目环境评价中被广泛采用。针对我国水电规范推荐的水库水温经验预测方法(东勘院法,朱伯芳法,统计法)进行比选研究,并通过多个水库实际监测资料进行 3 种方法的误差分析,得出结论可供相关部门参考使用。

关键词 库底水温 垂向水温 经验方法 误差分析

中图分类号 TV697.2+1 **文献标识码** A **文章编号** 1004-6933(2011)05-0055-04

Comparison study of recommended empirical prediction methods for reservoir water temperature in specification

YANG Meng-fei¹, LI Lan¹, LI Ya-nong², HE Yue-ping², WU Jian³

(1. State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan 430072, China ; 2. Hydrochina Chengdu Engineering Corporation, Chengdu 610072, China ; 3. Yellow River Engineering Consulting Co., Ltd., Zhengzhou 450003, China)

Abstract Empirical prediction methods for reservoir water temperature are usually used in environmental evaluation of hydropower projects. The recommended prediction methods based on experience for reservoir water temperature according to Chinese hydroelectric specifications, the Dongkanyuan method, Zhu Bo-fang method, and statistical method, were compared, and the errors of their calculation results were analyzed based on monitoring data from several reservoirs. The conclusions can provide a reference for relevant departments.

Key words bottom water temperature ; vertical water temperature ; empirical formula ; error analysis

1 概 述

我国从 20 世纪 50 年代中期开始进行水库水温观测,60 年代进行过水库水温特性的分析研究,70 年代有部分生产单位在水库水温估算方面取得了进展。进入 80 年代以来,有更多的单位开展水库水温研究工作,并取得了一批有价值的研究成果。为了解决生产实际问题,国内提出了一些经验性水温估算方法,这些方法都是在综合分析大量实测资料的基础上提出的,具有简单、实用的优点。经验法是在生产实践的基础上综合分析大量实测资料,先估算出计算时段的库水表面温度及库底水温,然后再推算其垂向分布。经验法因其具有简单实用的优点,在实践中得到了广泛应用。目前为止,国内提出的

经验性水温估算方法,其中最具有代表性的几种经验性公式是 ①东北勘测设计院张大发方法^[1],②水利水电科学研究院朱伯芳方法^[2],这 2 种方法已分别编入《水利水电工程水文计算规范》和《混凝土拱坝设计规范》,③中南勘测设计院《水工建筑物荷载设计规范》编制组和水利水电科学研究院结构材料所提出的统计分析方法^[3],被国内生产建设单位广泛应用。目前写入《水利水电工程水文计算规范》、《混凝土拱坝设计规范》、《水工建筑物荷载设计规范》或设计手册的水库水温常用方法有 3 种:东北勘测设计院法(以下简称东勘院法)、朱伯芳法、统计法。下面将采用多个水库实测资料对这 3 种方法和规范推荐的库底水温计算公式进行模拟验证,并分析说明各公式的适用条件。

2 水库库底水温经验预测模式比较研究

2.1 《水利水电工程水文计算规范》推荐方法^[1]

利用《水利水电工程水文计算规范》(东勘院法)的推荐方法公式(1)预测丹江口水库与二滩水库的库底水温,根据两库实测资料分析该方法的实用性。

T_b = T'_b - K'N (1)

式中:T_b为库底月平均水温;N为大坝所在纬度;T'_b、K'均为参数,取值参见文献[4]。

预测上述两个水库库底水温计算结果和误差统计结果如表1所示。

表1 计算库底水温及误差统计(东勘院法) ℃				
月份	丹江口水库		二滩水库	
	计算值	绝对误差	计算值	绝对误差
1	8	1.7	—	—
2	8	0.3	10.9	1.2
3	8	0.3	—	—
4	8.3	0.6	—	—
5	8.3	2.2	11	0.9
6	8.6	1.9	—	—
7	8.6	4.3	11.1	1.1
8	8.6	4.6	—	—
9	9.3	5.5	—	—
10	9.3	6.4	—	—
11	9.8	5.8	12.3	1.7
12	10.6	2.5	—	—

从计算结果可以看出,该方法对丹江口水库的库底水温计算误差很大,最大绝对误差达到6.4℃,而对二滩水库的库底水温计算结果稍好,最大绝对误差达到1.7℃。水库所在的纬度对该方法的影响较大。

2.2 朱伯芳水温预测法^[2]

根据统计法确定库底年平均水温T_m和A_0,再将T_m和A_0带入公式(2)预测库底月平均水温。

朱伯芳法以国内外15座水库实测水温资料为基础,总结归纳出水库水温的周期性变化规律并通过余弦函数进行模拟。

T(y,t) = T_m(y) + A(y)cosω(t - t_0 - ε) (2)

T_m(y) = c + (b - c)e^{-ay} (3)

A(y) = A_0e^{-βy} (4)

ε = d - fe^{-γy} (5)

c = (T_d - be^{-0.004H}) / (1 - e^{-0.04H}) (6)

式中:T(y,t)为任一深度y在t月的温度,℃;T_m(y)为任一深度y的年平均水温,℃;A(y)为任意深度y的水温年变幅,℃;ω为温度变化圆频率,ω=2π/P,P为温度变化周期12个月。ε为水文与气温变化的相位差,月;T_d为库底水温,℃;b为库表水温,℃;H为水库深度,m;α,β,γ,d,f均为经验参数。

利用二滩水库实测水温、气温资料对库底各月水温进行预测和分析。

2.3 公式适用性分析

从表1、表2可以看出,采用朱伯芳法估算二滩水

库库底水温最大误差达到5.0℃,而东勘院法的最大绝对误差仅1.7℃,因此,对二滩水库库底水温而言,朱伯芳法对库底水温估算结果比东勘院法的误差要大。

表2 模拟计算与误差统计(朱伯芳法)

月份	计算平均水温/℃	绝对误差/℃
2	8.4	1.3
5	8.7	1.4
7	9.1	0.9
11	9	5.0

3 水库垂向分层水温经验预测模式比较

3.1 朱伯芳法垂向分层水温经验预测模式

采用朱伯芳法垂向分层水温经验预测模式,应用于二滩水库和漫湾水库,并根据两水库垂向分层水温实测资料对该法进行模拟验证。

a. 针对二滩水库2006年2月、5月、7月的4次实测垂向水温资料,采用朱伯芳法垂向分层水温经验预测模式预测,根据上述各月垂向水温模拟计算成果与实测值绘制出坝前水温分布曲线,见图1。

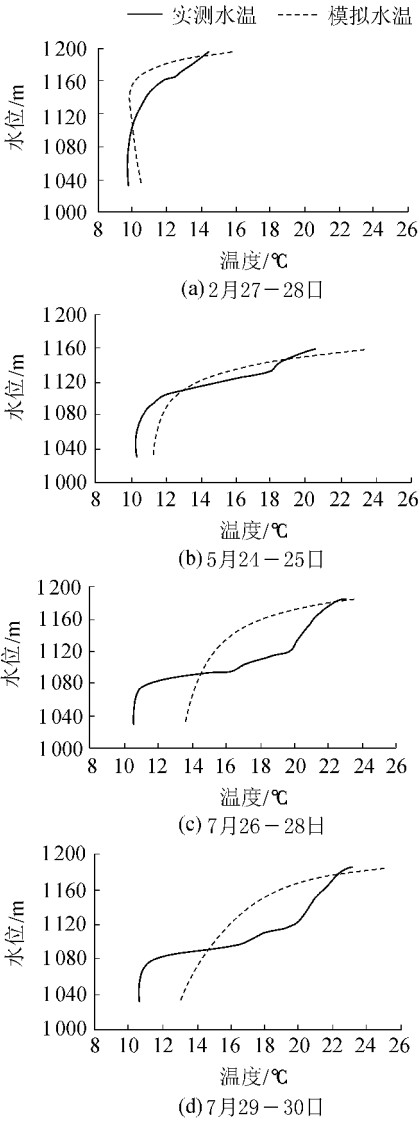


图1 二滩水库垂向水温模拟与实测比较(朱伯芳法)

b. 漫湾水库 2 月份垂向水温计算结果见图 2。

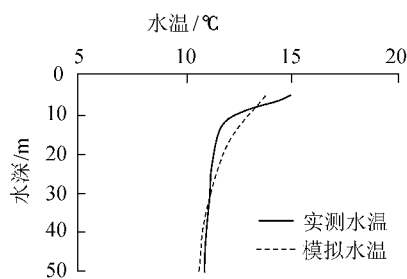


图 2 漫湾水库 2 月份垂向水温模拟计算与实测比较(朱伯芳法)

对朱伯芳法垂向水温模拟计算结构和公式适用性进行分析：

从图 1 中看出,该公式对二滩水库 2、5、7 月 4 次水温的模拟精度都较低,没有反映出二滩水库的水温结构。特别是跃温层误差较大,最大误差出现在 7 月,跃温层中心附近水位 1 200 m 处误差达到 4 ~ 5℃。

朱伯芳法对漫湾水库 2 月垂向水温模拟计算精度较高(图 2)。最大误差为 1.1℃,平均误差为 0.4℃。

从上述研究可以看出:朱伯芳法对二滩水库总体模拟精度较差,对漫湾水库 2 月份模拟精度较好。

3.2 统计法垂向分层水温经验预测模式^[3]

利用二滩水库 2 月、5 月、7 月实测水温与气温资料进行统计法公式验证和适用性分析,应用统计法模拟计算二滩水库 2006 年 2 月、5 月、7 月的垂向水温,分布曲线分别列于图 3。

统计法公式适用性分析:从图 3 中看出,统计法对二滩水库的模拟结果较差,模拟计算的垂向水温接近直线,不能反映深水型大库水温分布的分层规律。

3.3 东勘院法垂向分层水温经验预测模式

东北勘测设计院张大发^[1]在总结国内实测水温资料的基础上,于 1982 年提出只要给定库底水温和库表水温就可以计算各月垂向水温分布。因此,为验证东勘院法垂向水温分布公式的可行性,笔者验证时采用实测库底水温和库表水温代入公式进行模拟计算计算。本节利用丹江口水库与二滩水库资料进行东勘院法垂向水温模拟验证。

a. 丹江口水库 1—12 月用东勘院法进行垂向水温模拟,计算与实测比较见图 4。

b. 二滩水库 2 月、5 月、7 月东勘院法垂向水温模拟计算与实测值比较见图 5。

东勘院方法参数灵敏性分析:东勘院方法是根据已知的库表水温和库底水温进行垂向水温分布计算。该方法无参数可调,是其移植优势。从图 4 可以看出,东勘院方法对丹江口水库垂向水温分布模

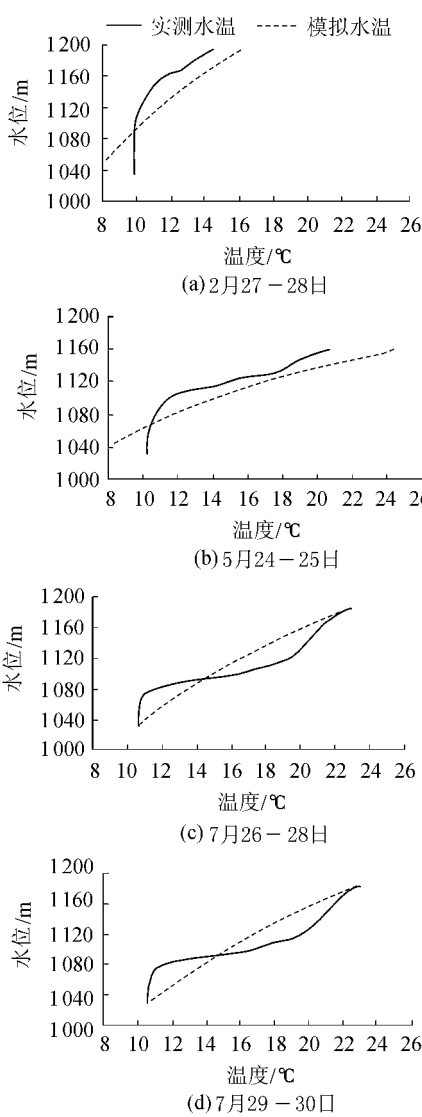


图 3 二滩水库垂向水温模拟计算与实测比较(统计法)

拟计算效果是汛期好于枯水期,汛期沿水深方向整层模拟效果都很好,但是枯水期沿水深方向整层模拟误差较差;从图 5 可以看出,对二滩水库的模拟效果较差,特别是 7 月份,误差很大,不能反映二滩水库垂向分层特点,不推荐使用。

4 结 论

根据上述分析比较,规范中提供水温经验预测方法是根据特定水库水温资料拟定的相关关系,在推广移植使用时均存在不同程度误差。

a. 东勘院法对丹江口水库的库底水温计算误差很大,最大绝对误差达到 6.4℃;而对二滩水库的计算结果稍好,最大绝对误差达到 1.7℃。水库所在纬度对该方法的影响较大。

b. 朱伯芳法对二滩水库垂向水温的总体模拟精度较差,对漫湾水库 2 月份模拟精度较好。因为漫湾水库是过渡型水库,二滩水库为分层型水库,因

—— 实测值 ---- 计算值

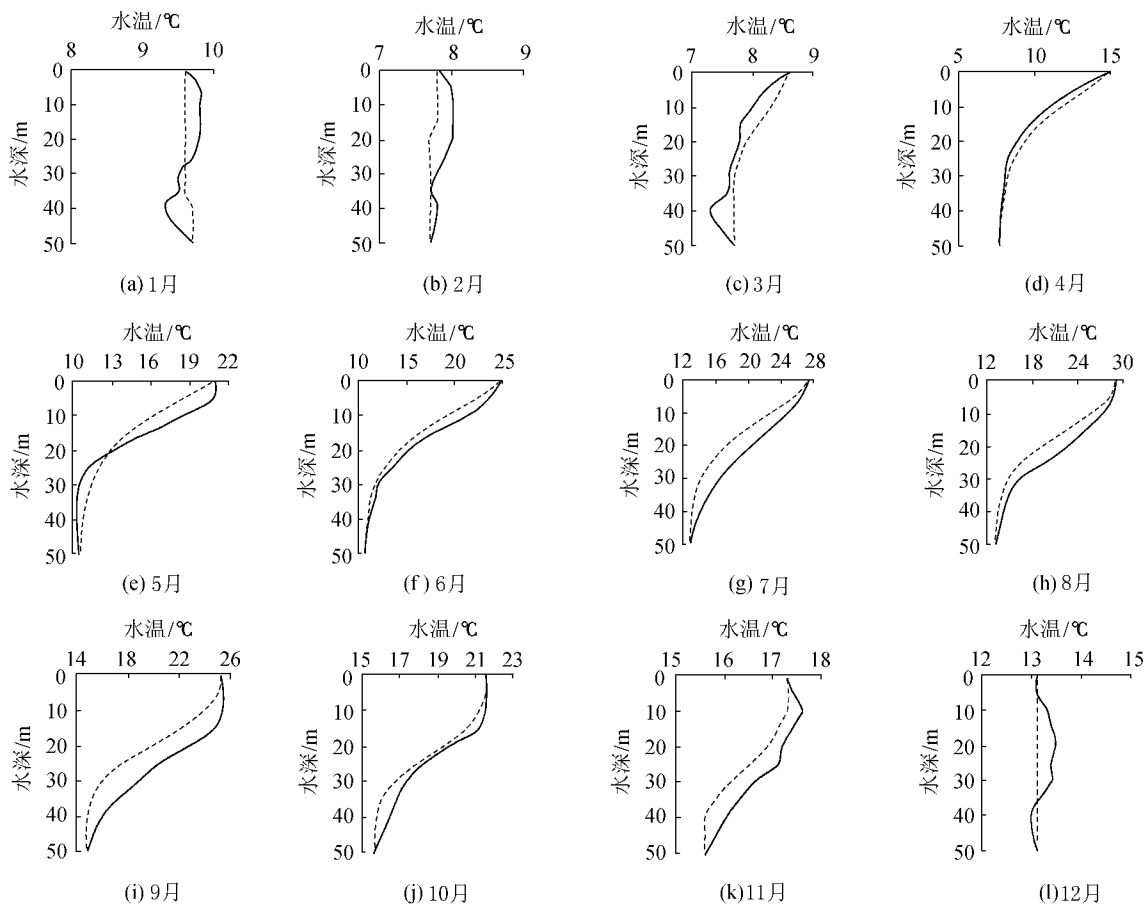


图 4 丹江口水库各月垂向水温模拟计算与实测比较(东勘院法)

—— 实测水温 ---- 模拟水温

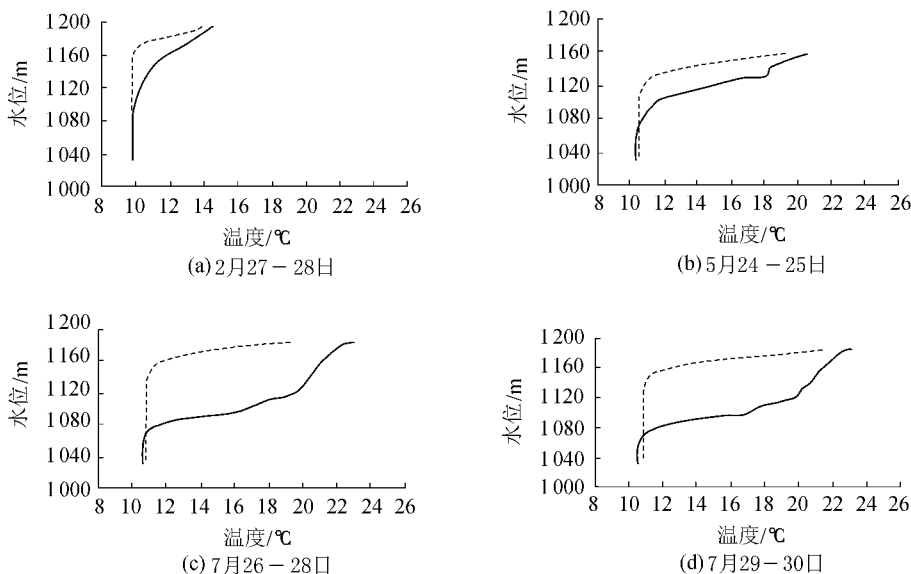


图 5 二滩水库 2 月, 5 月, 7 月垂向水温模拟计算与实测比较(东勘院法)

此,朱伯芳法应用于分层型水库水温预测时要慎用。

c. 东勘院法垂向水温计算误差普遍偏大,根据模拟与实测结果显示,丹江口水库最大垂向水温计算误差达到 3.2°C ,二滩水库拟合垂向水温最大误差为 9.7°C 。因此,在使用东勘院法进行水库垂向

水温分布计算时也要慎用。

东勘院法、朱伯芳法、统计法可以方便地预测未建水库坝前各层水体的温度变化,都可计算月平均水库水温分布,计算方便,适用范围广是其优点。不过水库水温受诸多因素影响, (下转第 105 页)

b. 移民安置区污染防治措施。①污水处理。不同的供水方式对环境产生不同的影响,一般污水量不大,通常被排入存放垃圾的渗水坑或用以灌溉农业。在采用集中式供水到户的系统时,污水量大,一般有下水管道将洗涤及厨房污水送入渗水坑。②垃圾的无害化处理。各移民村联合建一垃圾池,进行集中堆放,派专人清运和处理垃圾。③粪便的无害处理。为预防肠道传染病(肠炎、伤寒、痢疾)唐生虫病(血吸虫病、钩虫病、蛔虫病等),禁止使用单池厕所,大力推广使用双瓮厕所,同时,提倡使用水冲式厕所。移民监理单位在对此项工作也进行了广泛宣传。移民安置村的双瓮厕所的普及率近 50%,并取得了良好的效果,得到世界银行专家的好评。

c. 库底清理措施。①污物清除与消毒。淹没区污物是由大量的有机物、无机物和病原体组成的,它们是水库的主要污染源。主要是通过运出库外、深翻、掩埋、洒生石灰等方法进行处理,以确保水库不被污染。②淹没区建筑物、卫生清除也要严格按照不污染水库的原则进行处理,主要是使用漂白粉进行消毒。③坟墓的消毒。小浪底库区全部为山丘区地带,各种墓穴比较多,除将坟迁出库区或就地烧毁外,还对每一坑穴用漂白粉或生石灰消毒处理。

d. 文物保护工作。按照文物保护方针,进行及时的文物勘探、发掘及保护工作。

e. 公共健康保障措施。①水库在一定程度上是寄生虫病扩散的“热点”。为此小浪底移民局委托黄河中心医院对库区疫情进行调查,在掌握材料的基础上,制定完善的移民区卫生规划,认真进行库区卫生清理和做好个人防护,强化宣传教育等。②为了保护库区人群搬迁过程中免受传染病的袭击,发挥疫情信息作用,小浪底移民局分年分批对移民进行健康抽查,掌握移民人群的健康状况,对传染病的发病和人群免疫力进行监控,指导移民安置区的卫生防疫工作。③恢复重建卫生防疫保健医疗体系,在提高人群健康水平中发挥了重要作用。④举办移民安置环保培训班,促使移民村的各项环保项目规范化。

f. 引入移民环境监理。小浪底工程建设中在开展移民监理同时,也实行了移民环境监理。移民环境监理主要是检查监督移民安置过程中环境保护措施落实情况,指导帮助移民村环境保护员搞好移民村环境保护工作。

小浪底环境监理工作多次得到世界银行和咨询专家的关心、重视和支持,也得到当地政府和移民机构的理解和支持,它与环境保护各项工作一起构成了小浪底移民安置区环境保护工作体系,取得了良好的效果。

4 结 语

小浪底工程是我国首家开展环境影响评价的工程,为减少工程对环境的不利影响,结合小浪底国际工程管理实际,小浪底环境管理采取了一系列应对措施。小浪底工程环境管理工作具有范围的广泛性、体系的完善性、体制的先进性、内容的综合性。

健全的环境管理体系,完善的各项环境管理制度,参建各方环境管理体系的建设,使小浪底工程建设中对生态环境的不利影响得到了预防和治理,施工区及周边生态明显改善,移民安置区可能发生环境影响也得到有效控制,完成了库底消毒、清理和文物保护,环境管理工作取得了良好的效果,为今后大型水利水电工程的环境管理工作积累了宝贵的经验。

参考文献:

[1] 段保合. 黄河小浪底水利枢纽工程. 第五卷:移民环保[M]. 北京:中国水利出版社,2004.
[2] 袁松龄. 小浪底移民业主管理实践与研究[M]. 北京:科学出版社,2003.
[3] 黄河水利委员会设计院. 黄河小浪底水利枢纽技施设计阶段水库淹没实物指标复查报告[R]. 郑州:黄河水利委员会设计院,1995.
[4] 黄河水利委员会设计院. 黄河小浪底水利枢纽技施设计阶段水库库区第一期淹没处理及移民安置规划报告[R]. 郑州:黄河水利委员会设计院,1995.
[5] 黄河水利委员会设计院. 黄河小浪底水利枢纽技施设计阶段水库库区第二、三期淹没处理及移民安置规划报告[R]. 郑州:黄河水利委员会设计院,1997.
[6] 黄河水利委员会设计院. 黄河小浪底水利工程世界银行二期贷款环境影响评价报告[R]. 郑州:黄河水利委员会设计院,1997.
[7] 黄河水利委员会设计院. 黄河小浪底环境影响评价综述报告[R]. 郑州:黄河水利委员会设计院,1992.
[8] 黄河水利委员会设计院,黄河水资源保护局,黄河中心医院. 黄河小浪底水利枢纽工程环境保护实施规划[R]. 郑州:黄河水利委员会设计院,黄河水资源保护局,黄河中心医院,1994. (收稿日期 2011-05-30 编辑 高渭文)

(上接第 58 页)

经验公式只能粗略估计水温分布情况,其精度很难满足工程规划和调度运行的需要。

参考文献:

[1] 张大发. 水库水温分析及估算[J]. 水文,1984(1):19-27.
[2] 朱伯芳. 库水温度估算[J]. 水利学报,1985(2):12-21.
[3] 岳耀真,赵在望. 水库坝前水温统计分析[J]. 水利水电技术,1997,28(3):2-7.
[4] SL278—2002 水利水电工程水文计算规范[S].

(收稿日期 2010-10-25 编辑 高渭文)