

水电站叠梁门多层取水下泄水温公式

高学平, 陈 弘, 宋慧芳

(天津大学水利工程仿真与安全国家重点实验室, 天津 300072)

[摘要] 对于温度成层型水库, 水电站进水口分层取水方式通常被采用, 目的是有选择地取用水库的不同层水体, 减免下泄低温水对下游河流环境的负面影响。目前缺乏简单实用的分层取水下泄水温的预测公式。笔者针对糯扎渡水电站工程, 试验模拟水库水温分布, 量测下泄水温; 依据大量的试验数据, 建立下泄水温预测公式; 所提出的公式得到了锦屏一级电站下泄水温试验数据的验证。

[关键词] 温度成层型水库; 水电站进水口; 叠梁门; 下泄水温公式; 模型试验

[中图分类号] TV698.2⁺34 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2011)12-0063-05

1 前言

大型水电站建成后, 水库水体温度具有明显的沿深度成层分布的特点, 表层水温和底层水温相差很大, 有时温差值可达 20 ℃ 左右^[1]。以往的深层取水方式, 发电时所取水体基本为水库的深层水, 水温较低, 影响下游河段的生态环境。水电站进水口分层取水方式能实现有选择地取用水库的不同层水体, 是目前采用的主要措施。

水电站进水口分层取水方式对控制下泄水温的效果是工程上最为关注的问题。水库水温分布规律是研究下泄水温的基础, 目前水库水温分布规律的成果较多, 而下泄水温的成果相对较少。对于水电站进水口多层取水方式的设计, 需要下泄水温的简洁公式对进水口的下泄水温进行评估, 但目前还没有这方面的研究成果。

水库水温分布规律的研究方法主要有模型试验、数学模型和经验公式 3 种。试验方面, James J. Sharp 等^[2]在水槽中用盐淡两层水体模拟水库水温分布, 研究不同形式进水口的取水效果。Yaser Shammaa 等^[3]用同样方法, 研究底层冷水在控制幕下水流流动。数学模型有较大的发展, 邓云等^[4]建

立了计入浮力影响的立面二维水温模型, 精细地模拟出斜温层的形成、发展和消失, 分析了水库全年的温度分层结构。经验公式方面, 在国内外多座水库实测资料基础上, 文献[5][6]假定水库水温沿水深呈指数衰减, 但其不能很好的反应出成层型水库的垂向水温分布特点。经验公式中具有代表性的东勘院法^[7]和朱伯芳法^[8]被编入水文计算规范和混凝土拱坝设计规范^[9]。李怀恩公式^[10]以水温分布幂函数为基础, 引入温跃层中心点水深和水温及分层强弱参数, 更好地反映水库典型的三层式分布, 参数意义更加明确。水库水温分层取水下泄水温也取得了一些成果, 高学平等^[11]直接模拟水库的温度分层, 对糯扎渡水电站分层取水下泄水温进行了量测; 邓云等^[12]采用宽度平均的立面二维水温模型, 预测溪洛渡电站库区水温及下泄水温。

文章结合糯扎渡水电站多层取水进水口叠梁门方案, 试验研究不同叠梁门运行方式运行时的下泄水温, 考虑水库水温垂向分布、叠梁门高度等因素, 总结叠梁门多层取水方式的下泄水温公式。

2 模型试验研究

糯扎渡水电站工程为云南省澜沧江中下游河段

[收稿日期] 2011-09-16; 修回日期 2011-10-10

[基金项目] 国家自然科学基金资助项目(50879054); 国家自然科学基金创新研究群体科学基金资助项目(51021004); 教育部博士点基金资助项目(200800560042)

[作者简介] 高学平(1962—), 男, 天津宁河县人, 天津大学教授, 主要研究方向为工程水力学和环境水力学; E-mail: xpgao@tju.edu.cn

梯级规划的第五级,堆石坝最大坝高 261.5 m,总装机容量 5 850 MW。水电站设 9 台机组,单机单管引水,单机引用流量 393 m³/s。水库正常蓄水位 812.0 m。根据环保方面的需要,为减免下泄低温水对下游生态环境的影响,糯扎渡水电站拟采用多层取水进水口叠梁门方案。进水塔底板高程 736 m,引水道进口前缘宽度 225 m,布置 9 个进水口。每个进水口,叠梁门共 3 节门叶,每节门叶高 12.68 m,依次叠放,整体叠梁门高度 38.04 m。叠梁门运行方式见表 1,整个挡水高度分成四挡,门叶整体挡水,挡水高程为 774.04 m,为第一层取水;吊起第一节门叶,仅用第二、第三节门叶挡水,挡水高程 761.36 m,为第二层取水;继续吊起第二节门叶,仅用第三节门叶挡水,挡水高程 748.68 m,为第三层取水;继续吊起第三节门叶,无叠梁门挡水,为第四层取水。

表 1 叠梁门运行方式

Table 1 The operating scheme of stoplog gates

取水方案	第一层取水	第二层取水	第三层取水	第四层取水
叠梁门高度/m	38.04	25.36	12.68	0
门顶高程/m	774.04	761.36	748.68	736.0
叠梁门运行方式	3 节门叶挡水	2 节门叶挡水	1 节门叶挡水	无门叶挡水

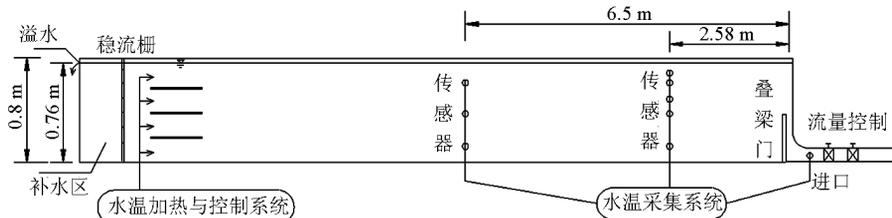


图 1 试验模型布置图

Fig. 1 The layout of experimental model

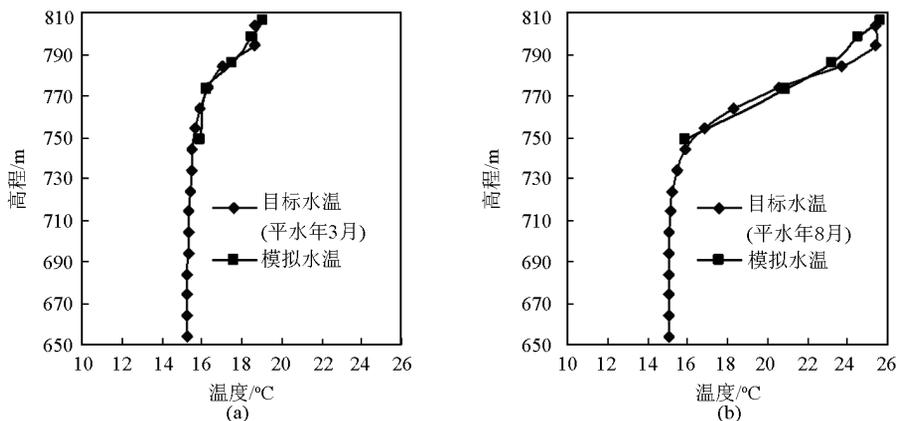


图 2 目标水温与模拟水温(3月和8月)

Fig. 2 The actual and simulated water temperature(March and August)

2.1 试验模型

笔者依据水库水温模型试验的相似关系^[13],建立水温试验模型,即保持原型与模型的弗劳德数 Fr 与密度弗劳德数 Fd 相等。

综合考虑相似关系及水温加热能力,选定模型几何比尺 $\lambda_l = 100$ (原型量/模型量)。流量比尺 $\lambda_Q = \lambda_l^{5/2} = 10^5$ 。水温分布温差比尺 $\lambda_{\Delta T} = 1$ 。模型模拟部分库区和三个进水口。进水口包括拦污栅槽、检修闸门、叠梁门、工作闸门、事故闸门、收缩段、部分引水管段等。模型长 20 m,宽 2 m,高 0.8 m,其中水库段长 14 m,模型布置如图 1 所示。

2.2 水温模拟与量测

采用分层加热法进行水库水温分布的模拟。根据原型水库水温分布的特点,将其分为 3~4 层,如图 1 所示;确定各层的温差,根据各层的温差,分别在对应的加热池对水体进行加热至所需温度;将各加热池水体由下至上依层注入模型,静置后,形成符合温差要求且稳定的垂向水温分布。试验时开启进水口,控制下泄流量,利用水温采集系统,实时监测库内水温分布,量测各进水口的下泄水温。

图 2 给出了原型水库水温分布(目标水温)和试验模拟形成的水温分布(模拟水温)的比较,二者吻合较好,说明试验较好地模拟了原型水库水温分布。

依据糯扎渡各典型年水库水温分布资料(糯扎渡水电站分层取水水温预测数值分析报告,中国水利水电科学研究院,2008),保持某一月份水库水温分布和水位不变,变化叠梁门高度(3节门叶挡水,2节门叶挡水,1节门叶挡水,参见表1),量测各工况下的下泄水温,研究叠梁门高度对下泄水温的影响。表2给出了其中典型平水年下泄水温试验数据。

表2 典型平水年下泄水温试验结果

Table 2 The experimental results of temperature of water released in a typical normal year

月份	3节门叶挡水	2节门叶挡水	1节门叶挡水
1	19.00	18.60	18.18
2	17.57	17.15	16.57
3	17.10	16.48	16.07
4	16.77	16.02	15.29
5	17.24	16.64	16.08
6	20.60	18.64	16.03
7	22.65	20.24	16.99
8	22.77	21.06	18.09
9	22.43	21.65	20.17
10	22.16	21.64	20.72
11	21.55	20.94	20.66
12	20.28	20.05	19.58

注:糯扎渡水电站多层取水进水口水温模型试验研究,天津大学,2008

3 下泄水温公式

在各典型年下泄水温试验数据的基础上,结合进水口前流速分布特征,分析进水口不同运行工况(叠梁门高度不同)所取水体的范围,以及水库水温分布、叠梁门高度和下泄水温之间的关系,建立下泄水温预测公式。

3.1 取水范围的确定

取水范围包括门顶以上部分和门顶以下部分,如图3所示。依据3节门叶挡水,2节门叶挡水,1节门叶挡水3种工况下,根据门顶以上取水层厚度与门顶水头,门顶以下取水层厚度与门顶水头的数据,利用多项式拟合得出以下关系:

$$d_{\text{上}} = -0.010 h^2 + 1.402 2 h - 14.888 \quad (1)$$

$$d_{\text{下}} = 0.003 7 h^2 - 0.164 5 h + 28.951 \quad (2)$$

其中, h 为门顶水头(适用范围在37.96~63.32); $d_{\text{上}}$ 为门顶以上取水层厚度; $d_{\text{下}}$ 为门顶以下取水层厚度。已知门顶水头 h ,则由公式(1)和(2)可以确定取水范围。

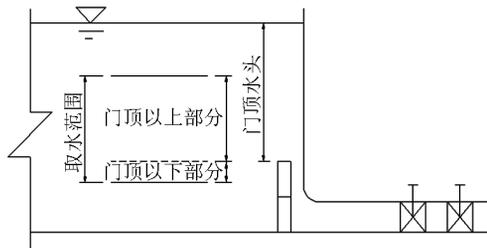


图3 取水范围示意

Fig. 3 The schematic diagram of withdrawal region

3.2 下泄水温预测

将取水范围等分为10层,用每层的水库水温乘上该层所占的权重,得到下泄水温公式:

$$T = \alpha_1 T_1 + \alpha_2 T_2 + \alpha_3 T_3 + \alpha_4 T_4 + \alpha_5 T_5 + \alpha_6 T_6 + \alpha_7 T_7 + \alpha_8 T_8 + \alpha_9 T_9 + \alpha_{10} T_{10} \quad (3)$$

式(3)中, T_i 为取水范围内自上而下每层的水温; α_i 为相应的权重系数,与叠梁门运行方式、流量和水温分布有一定关系。依据各工况的试验数据,权重系数 α_i 经回归曲线拟合得到:

$$\alpha_i = -0.265 8 x_i^2 + 0.452 x_i - 0.077 8 \quad (4)$$

式(4)中, x_i 为每层水体的深度与门顶水头之比。可利用式(4)求出10个权重。

4 下泄水温公式的应用

为说明下泄水温公式的应用,对锦屏一级水电站下泄水温进行估算。锦屏一级水电站最大坝高305 m,是雅砻江干流中下游河段的控制梯级电站。水电站进水口采用多层取水叠梁门方案,叠梁门整个挡水高度分为四档,当水库水位在1 842.00 m以上时,门叶整体挡水,门顶高程为1 814 m;水库水位1 842.00~1 828.00 m时,吊起第一节门叶,第二、第三节门叶挡水,门顶高程为1 807.00 m;水库水位1 828.00~1 814.00 m时,吊起第二节门叶,第三节门叶挡水,门顶高程为1 793.00 m;水库水位在1 814.00 m以下时,吊起第三节门叶,无门叶挡水。

以锦屏一级平水年1月3节门叶挡水工况为例,说明公式的应用。平水年1月水位为1 870.91 m,门顶水头为56.91 m,根据门顶水头,由公式(1)和公

式(2)确定取水范围,门顶以上取水层厚度为32.52 m,门顶以下取水层厚度为7.78 m,得到取水范围1 806.23 ~ 1 846.52 m。而后将取水层划分为10层,依据水温预测公式(3)得到下泄水温为8.95 ℃,与试验测得8.73 ~ 9.01 ℃,基本吻合。表3给出了典型工况下泄水温公式计算结果以及试验结果的比较,二者差值小于1 ℃。表中试验数据取自雅砻江锦屏一级水电站分层进水口水温模型试验研究。

应当指出,对门顶水头超出公式(1)和(2)适用范围的工况将无法得到合理的预测结果,例如,平水年4月1节门叶挡水工况,门顶水头37.76 m不在公式适用范围,公式计算值较试验值相差3 ℃,有待进一步改进。

表3 锦屏一级水电站下泄水温公式计算值

Table 3 Estimated value of temperature of water released in Jinping No. 1 Hydropower Station

工况	门顶水头/m	取水范围/m	公式计算水温/℃	试验水温/℃	差值/℃
3节门叶挡水 (平水年1月)	56.91	1 846.5 ~ 1 806.2	8.95	8.73 ~ 9.01	-0.06 ~ 0.22
3节门叶挡水 (平水年2月)	44.41	1 799.5 ~ 1 841.6	7.85	8.27 ~ 8.43	0.42 ~ 0.58
2节门叶挡水 (平水年2月)	51.41	1 796.1 ~ 1 837.8	7.74	8.15 ~ 8.34	0.41 ~ 0.61
1节门叶挡水 (平水年3月)	51.60	1 823.8 ~ 1 782.2	8.16	8.72 ~ 8.91	0.56 ~ 0.75

注:中国水利水电科学研究院,2010

5 结语

1)针对糯扎渡水电站多层取水进水口叠梁门方案,试验研究不同叠梁门运行方式运行时的下泄水温,考虑水库水温垂向分布和叠梁门运行方式等因素,提出了叠梁门多层取水方式的下泄水温公式。

2)利用所提出的下泄水温公式对锦屏一级电站进水口的典型工况的下泄水温进行了估算,并与物理模型试验结果进行了比较,二者基本吻合。

3)所提出的下泄水温公式可用于类似水电站进水口下泄水温的估算。但该下泄水温公式是在一个实际工程的试验数据基础上得出的,公式中的权重系数 α_i 是在一定流量、叠梁门取水方式、叠梁门位置等因素下得出的,有一定的局限性。在公式的适应范围、计算精度等方面还有待进一步完善。

参考文献

- [1] 黄永坚. 水库分层取水[M]. 北京:水利电力出版社,1986.
- [2] James J Sharp, Parchure T M, Guo Z R. Selective withdrawal through an intake fitted with a collar[J]. Journal of hydraulic engineering, 1996(12): 683 - 686.
- [3] Yaser Shammaa, David Z Zhu. Experimental study on selective withdrawal in a two-layer reservoir using a temperature-control curtain[J]. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 2010, 136(4): 234 - 246.
- [4] 邓云,李嘉,罗麟. 河道型深水库的温度分层模拟[J]. 水动力学研究与进展,2004,A辑,19(5):604 - 609.
- [5] 刘仲桂. 水库水温与水稻丰产灌溉[M]. 北京:水利电力出版社,1985.
- [6] 中华人民共和国水利电力部标准. 水利水电工程水文计算规范(SDJ-214-83)附录五 水库水温分析与计算[S]. 2002.
- [7] 张大发. 水库水温分析及估算[J]. 水文,1984(1):19 - 27.
- [8] 朱伯芳. 库水温度估算[J]. 水利学报,1985,16(2):12 - 21.
- [9] 蒋红. 水库水温计算方法探讨[J]. 水力发电学报,1999,18(2):60 - 69.
- [10] 李怀恩. 分层型水库的垂向水温分布公式[J]. 水利学报,1993,24(2):43 - 49.
- [11] 高学平,陈弘,王鳌然,等. 糯扎渡水电站多层进水口水温试验研究[J]. 水力发电学报,2010,29(3):126 - 131.
- [12] 邓云,李嘉,李然,等. 水库调度对溪洛渡电站下游水温的影响[J]. 四川大学学报(工程科学版),2006,38(5):65 - 69.
- [13] 高学平,赵耀南,陈弘. 水库分层取水水温试验模型相似理论[J]. 水利学报,2009,40(11):1374 - 1380.

A prediction formula of water temperature released from the multi-level stop-log gate intake of hydropower stations

Gao Xueping, Chen Hong, Song Huifang

(State Key Laboratory of Hydraulic Engineering Simulation and Safety,
Tianjin University, Tianjin 300072, China)

[**Abstract**] In thermally stratified reservoir, a multi-level intake structure is usually adopted in hydropower station to reduce the negative effect of releasing lower-temperature water to the environment in downstream reach. And a simple and practical formula of water temperature released is need. In this paper, based on Nuozhadu Hydropower Station, a model test is conducted to model the thermal stratification of this reservoir, and measure the temperature of water released from the intake structure. A prediction formula of water temperature released is put forward based on the experimental data. The formula is validated by the experimental results of water temperature released from the intakes of Jinping No. 1 Hydropower Station.

[**Key words**] thermally stratified reservoir; hydropower station intake; stop-log gate; formula of water temperature released; model experiment

(上接 55 页)

Operation safety risk analysis method of hydropower project considering time-dependent effect

Zhang Sherong, Yan Lei

(College of Civil Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

[**Abstract**] In order to consider the time-dependent characteristic of risk factors of hydropower project, the method of stochastic process simulating structure resistance and load effect is adopted. On the basis of analyzing the structure characteristics and mode of operation, the operation safety risk rate assessment model of hydropower project is established on the comprehensive application of the improved analytic hierarchy process, the time-dependent reliability theory and the risk rate threshold. A scheme to demonstrate the time-dependent risk rate assessment method for an example of the earth-rock dam is particularly implemented by the proposed approach. The example shows that operation safety risk rate is closely related to both the service period and design standard; considering the effect of time-dependent, the risk rate increases with time and the intersection of them reflects the technical service life of structures. It could provide scientific basis for the operation safety and risk decision of the hydropower project by predicting the trend of risk rate via this model.

[**Key words**] operation safety of hydropower project; risk analysis; risk rate assessment; time-dependent reliability; improved analytic hierarchy process