文章编号:1672-3031(2012)04-0273-04

施工期水位预报的水位系数法

李 匡[1], 朱成涛[2], 胡宇丰[1], 徐海卿[1]
(1. 中国水利水电科学研究院 北京中水科水电科技开发有限公司, 北京 100038;
2. 二滩水电科技开发有限公司, 四川 成都 610021)

摘要: 施工期施工断面水位预报可以利用施工断面的水位流量关系曲线, 通过预报流量查询得到。但是在利用此方法时存在施工期施工断面水位流量关系曲线不易获得、施工对河道影响较大等问题, 导致水位预报误差较大。本文针对以上两点提出了解决方法, 采用水位系数法进行水位预报, 在雅砻江流域各施工电站进行了应用, 取得了较好的效果。

关键词: 水文; 施工期; 水位预报; 水位系数法
中图分类号: TV121+.7 **文献标识码:** A

1 研究背景

水电站施工期水位预报主要为施工断面导进口、导出口的水位预报, 对施工安全有着重要的作用。对于受雍水影响较小的施工断面, 可以利用水位流量关系曲线进行水位预报(根据预报流量查水位流量关系曲线得到预报水位)。施工期利用水位流量关系曲线进行水位预报时存在两个难点:(1)施工断面的水位流量关系曲线不容易获得。一般来说, 施工断面的水位资料可以通过水位计测量得到, 而施工断面流量不易取得, 导致在率定水位流量关系曲线时存在困难。有学者提出可通过水面比降法或水力学方法计算得到施工断面的水位流量关系曲线, 但是受各种因素影响, 往往存在较大的误差[1-3]; (2)由于电站施工, 经常会对施工断面河道造成一定的影响, 导致天然河道发生改变, 例如: 块石滚落河道导致河道底部升高等。此时, 如果直接查水位流量关系曲线, 得到的水位预报值误差较大。

针对以上两个问题, 提出了解决方法:(1)水电站的设计代表站一般距离施工断面较近, 因此可以将设计代表站的流量值作为施工断面的流量。而设计代表站一般为条件较好的水文站, 水文站流量容易获得; (2)由于预报发布时间的水位和流量是实测得到的, 预报时间的流量可以通过流量预报得到, 可以利用已知条件, 利用水位系数法计算得到预报水位。水位系数法不直接利用水位流量关系曲线进行预报, 克服了河道变化对水位预报造成的影响。

2 水位系数法基本原理

在水位流量关系上任取一点q, 我们称q点的切线斜率为水位系数。

如图1所示, 水位流量关系曲线上任意一点q处切线的斜率为

$$k=\frac{f\left(q+\Delta q\right)-f\left(q\right)}{\Delta q},\ \Delta q\to 0$$

如果知道水位流量关系曲线的函数表达式, 则可以求出任意一点切线的斜率。在实际应用中, 如果水位流量关系曲线函数表达式难以获得, 也可将水位流量关系曲线横坐标Q按照相同的Δq进行

收稿日期: 2011-11-22
作者简介: 李匡(1983-), 男, 山西运城人, 工程师。主要从事水情水调自动化系统开发研究。E-mail: likuang0000@163.com

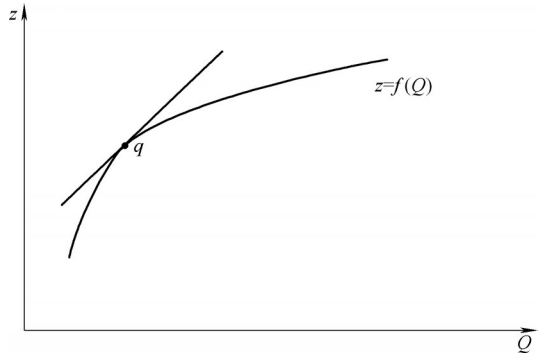

图1　水位流量关系曲线

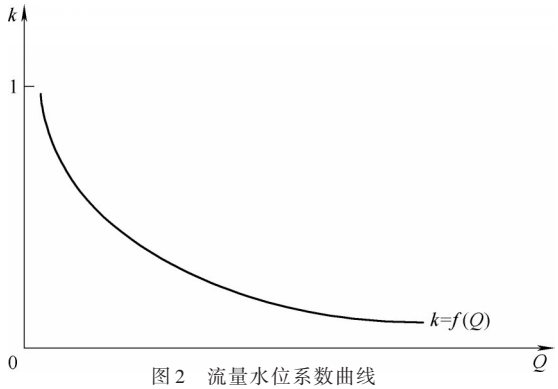

图2　流量水位系数曲线

离散，近似计算出各点的水位系数。

将流量和水位系数组合，则可得到流量水位系数曲线，如图2所示。可以通过曲线拟合得到其函数表达式$k=f(Q)$，也可以将其制作成离散的水位系数表。

利用水位系数法进行预报时，根据预报发布时间的实测流量q_t查出水位系数k_t，预报时间的预报流量q_c查出水位系数k_c，利用下式即可计算出预报时间的预报水位。

$$z_c = z_t + kq_c \tag{1}$$

式中：z_c为预报时刻的预报水位；z_t为预报发布时刻的实测水位；k为水位系数，取k_t和k_c的平均值。

如图3所示：ΔZ_t为采用k_t进行计算得到的水位增幅；ΔZ_c为采用k_c进行计算得到的水位增幅；ΔZ为采用k_t和k_c的平均值进行计算得到的水位增幅。在k取k_t、k_c、k_t和k_c的平均值时3种情况下，当k取k_t和k_c的平均值时，预报值最接近实际值，产生的误差最小，因此实际计算中，k取k_t和k_c的平均值。

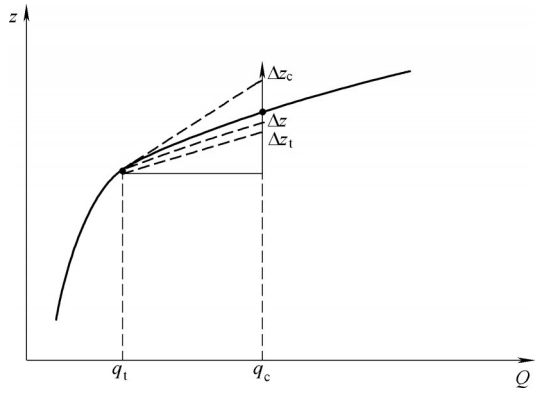

图3　水位系数法计算示意

3　水位系数法的实际应用

雅砻江是金沙江左岸的最大支流，干流上目前有两河口、锦屏一级、锦屏二级、官地等电站正在施工，需要对各电站各施工断面的水位进行预报。两河口电站的设计代表站为雅江水文站，锦屏一级和锦屏二级电站的设计代表站为锦屏水文站，官地电站的设计代表站为打罗水文站。通过设计代表站测得流量，结合各施工断面测得的水位，利用水位系数法进行水位预报，其步骤如下。

(1)利用已有的施工断面水位、设计代表站流量资料建立施工断面水位流量关系曲线。

(2)计算施工断面水位系数，得到水位系数计算公式或水位系数表。

(3)对施工断面进行流量预报。

(4)利用水位系数法公式进行水位预报。

利用2009年各水位站水位资料及其对应的设计代表站的流量资料建立的水位系数计算公式为：

两河口导进口：

$$k = 0.129706235361144Q^{-0.497852999812459} \tag{2}$$

两河口导出口：

$$k = 0.0393649973612286Q^{-0.334399990520298} \tag{3}$$

锦屏一级导进口：

$$k = 0.10132456380231Q^{-0.5033248961302} \tag{4}$$

锦屏一级导出口：

$$k = 0.0611273107163299Q^{-0.442200005194598} \tag{5}$$

锦屏一级景峰桥：

$$k = 0.125475685890259Q^{-0.516615255489618} \tag{6}$$

锦屏二级猫猫滩：

$$k = 0.141682460031183Q^{-0.517930002291288} \tag{7}$$

锦屏二级大水沟：

$$k = 0.0228589995333271Q^{-0.28829999554393} \tag{8}$$

官地导进口：

$$k = 0.0238246412224285Q^{-0.257041160831185} \tag{9}$$

官地导出口：

$$k = 0.00945319262494613Q^{-0.253560423186356} \tag{10}$$

式中：k为水位系数；Q为流量。

利用以上步骤分别对各电站各施工断面进行水位预报，统计2010，2011两年汛期内的预报精度。表1为施工断面的流量预报精度表，表2为施工断面水位预报成果表。

分析表1、表2可以得出以下结论：

表1　断面流量预报精度

断面名称	时间 预见期/h	2010年汛期				2011年汛期			
		6	12	18	24	6	12	18	24
两河口	合格率/%	67.9	53.3	46	39.8	86.3	79.8	73.2	63.6
锦屏	合格率/%	98.4	94.9	85.8	69.1	97.9	94.1	80.2	57.2
官地	合格率/%	98.4	91.3	82.9	74.8	94.8	88.5	74.6	66.4

(1)水位系数法预报精度较高，锦屏一级导进口、锦屏二级猫猫滩、锦屏二级大水沟、官地导进口12h预见期平均绝对误差在0.15m左右；锦屏一级导出口、锦屏一级景峰桥、官地导出口的12h预见期平均绝对误差在0.1m左右。两河口断面水位预报精度较低，12h预见期平均绝对误差在0.25m左右，最大绝对误差为0.3m。各断面12h预见期平均相对误差均在0.01%左右，可以忽略不计。

(2)在利用水位系数法进行预报时，决定水位预报精度的因素有3个：流量预报精度、水位系数准确度和实测水位准确度。其中水位系数可以通过多年的资料进行率定可以达到较高的准确度；实测水位也可以通过多次测量或者平滑处理达到较高的准确度。而流量预报的精度对水位预报影响最大，流量预报精度高的断面水位预报精度也较高，流量预报精度低的断面水位预报精度也较低。

(3)有的断面最大绝对正误差和最大绝对负误差较大，例如两河口导进口、锦屏一级导进口、官地导进口，其最大绝对正误差和最大绝对负误差均比相对应导出口的误差大。这主要是由于水位测量误差造成的，导进口进水口由于壅水影响，受回水波动影响较大，造成测量出现较大的误差。

(4)随着预见期的增长，水位预报的精度也随之降低，这是由于流量预报精度的降低造成的。

4　结论

利用施工断面的实测水位，设计代表站的实测流量建立施工区断面水位流量关系，再采用水位系数法进行施工区断面水位预报，克服了施工对施工区断面造成的影响，方法简单易操作，取得了较好的预报精度，值得推广使用。在使用过程中，应该注意以下几点：(1)每年率定一次水位系数，减小由于水位系数造成的误差；(2)提高流量预报的精度，因为流量预报精度是水位预报精度的前提条件；(3)减小实测资料的测量误差，提高预报精度；(4)水位系数法适用于无围堰水库或者围堰水库无调节性能的施工断面，对于有围堰水库调节作用的施工断面，可以采用调洪演算法进行水位预报[4-7]。

表2　施工断面水位预报精度

测站名称	特征值 预见期/h	2010年汛期				2011年汛期			
		6	12	18	24	6	12	18	24
两河口导进口	平均绝对误差/m	0.19	0.30	0.36	0.41	0.16	0.22	0.25	0.29
	最大绝对正误差/m	1.26	1.53	1.65	1.69	1.50	1.24	1.04	1.29
	最大绝对负误差/m	−2.19	−2.88	−3.39	−3.82	−3.05	−2.85	−2.71	−2.88
	平均相对误差/%	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
两河口导出口	平均绝对误差/m	0.15	0.24	0.28	0.33	0.09	0.13	0.15	0.18
	最大绝对正误差/m	1.08	1.26	1.38	1.36	0.68	0.69	0.83	0.77
	最大绝对负误差/m	−1.60	−2.20	−2.71	−2.93	−1.10	−1.45	−2.29	−2.66
	平均相对误差/%	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01
锦屏一级导进口	平均绝对误差/m	0.11	0.16	0.24	0.38	0.08	0.12	0.20	0.35
	最大绝对正误差/m	0.71	1.06	1.08	1.46	1.07	1.25	1.67	2.75
	最大绝对负误差/m	−0.78	−1.39	−2.22	−4.18	−0.86	−0.83	−1.86	−3.90
	平均相对误差/%	0.01	0.01	0.02	0.03	0.01	0.01	0.01	0.03
锦屏一级导出口	平均绝对误差/m	0.04	0.07	0.1	0.17	0.04	0.06	0.11	0.19
	最大绝对正误差/m	0.32	0.41	0.54	0.63	0.37	0.35	0.82	1.09
	最大绝对负误差/m	−0.43	−0.61	−1.18	−1.86	−0.62	−0.60	−0.66	−1.43
	平均相对误差/%	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01
锦屏一级景峰桥	平均绝对误差/m	0.07	0.11	0.15	0.23	0.10	0.14	0.23	0.39
	最大绝对正误差/m	0.48	0.61	0.73	0.79	0.46	0.64	2.30	2.69
	最大绝对负误差/m	−0.44	−0.59	−0.91	−1.74	−1.72	−1.71	−1.89	−2.59
	平均相对误差/%	0.00	0.01	0.01	0.02	0.00	0.01	0.01	0.01
锦屏二级猫猫滩	平均绝对误差/m	0.07	0.10	0.15	0.22	0.11	0.15	0.23	0.39
	最大绝对正误差/m	0.56	0.54	0.68	0.83	0.80	1.10	2.19	2.74
	最大绝对负误差/m	−0.51	−0.72	−0.93	−1.63	−1.97	−1.97	−2.23	−2.85
	平均相对误差/%	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.02
锦屏二级大水沟	平均绝对误差/m	0.09	0.16	0.20	0.23	0.09	0.16	0.21	0.25
	最大绝对正误差/m	0.51	1.08	1.19	1.19	1.04	1.33	1.47	1.42
	最大绝对负误差/m	−0.86	−1.48	−2.06	−2.51	−0.97	−1.46	−1.60	−2.13
	平均相对误差/%	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02
官地导进口	平均绝对误差/m	0.08	0.17	0.26	0.32	0.13	0.18	0.25	0.32
	最大绝对正误差/m	0.65	1.22	1.94	2	1.99	1.92	1.78	1.87
	最大绝对负误差/m	−0.72	−1.97	−2.72	−3.36	−1.72	−2.60	−3.85	−3.61
	平均相对误差/%	0.01	0.02	0.03	0.03	0.01	0.02	0.02	0.03
官地导出口	平均绝对误差/m	0.04	0.07	0.10	0.12	0.05	0.07	0.10	0.12
	最大绝对正误差/m	0.29	0.40	0.72	0.67	0.43	0.58	0.57	0.67
	最大绝对负误差/m	−0.30	−0.49	−0.57	−0.77	−0.57	−0.89	−1.23	−1.17
	平均相对误差/%	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01

参　考　文　献：

[1]　林三益．水文预报(第二版)[M]．北京：中国水利水电出版社，2001．

[2]　詹道江，叶守泽．工程水文学[M]．北京：中国水利水电出版社，2000．

[3]　范可旭，伍宁．拟定坝址水位流量关系的水力学方法[J]．人民长江，1999，30(3)：30-31．

[4]　熊金和，雷辉光．构皮滩水电站施工期洪水预报综述[J]．贵州水力发电，2010，24(2)：4-7．

[5]　邓柯，仇海兵，李艳．皂市水库施工洪水预报模型[J]．人民长江，2005，36(7)：43-44．

[6]　刘文俊．街面水电站库区施工期洪水预报研究[J]．中国农村水利水电，2005(9)：38-41．

[7]　邹少龙．棉花滩水电站施工期洪水预报[J]．水力发电，2001(7)：17-18．

（下转第300页）

（上接第 276 页）

Stage-discharge coefficient method of stage forecast in construction period

LI Kuang[1], ZHU Cheng-tao[2], HU Yu-feng[1], XU Hai-qing[1]

（1. *China Institute of Water Resources and Hydropower Research*, *Beijing* 100038, *China*;

2. *Ertan Hydropower Development Company*, *Chengdu* 610021, *China*）

Abstract: During construction period of hydropower stations, the forecasted discharges can be used to get the corresponding water levels of the construction cross-section through inquiring the stage-discharge relationship curve of the cross-section. But the problem is that during the construction period it is difficult to get the stage-discharge relationship curve of the cross-section and the cross-section is changed greatly, so it may induce larger errors if the method above is used to forecast the water stage directly. In this paper, these problems are addressed by introducing a new method based on the water level coefficient. This method has been applied to the hydropower stations under construction in Yalongjiang River basin, and it has obtained good results, showing that the method is fairly effective.

Key words: hydrology; construction period; stage forecasting; water level coefficient

（责任编辑：吕斌秀）