

实时汛限水位动态控制研究

陈进佳, 何士华*, 刘月楼 (昆明理工大学电力工程学院, 云南昆明 650500)

摘要 汛限水位动态控制是发挥水库兴利和防洪效益的最有效途径。为提高洪水资源利用率, 运用预泄能力约束法确定某水库汛限水位动态控制的控制域, 阐述预泄回充法和预蓄预泄法的基本思想和数学表达, 讨论这2种方法在某水库汛限水位动态控制中的应用并分析该过程中带来的风险。分析结果表明, 实行汛限水位动态控制相对常规调度能抬高汛限水位, 增加水库蓄水, 解决水库防洪与兴利之间的矛盾。

关键词 汛限水位; 动态控制; 预蓄预泄; 预泄回充; 风险分析

中图分类号 TV 143 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)07-0179-05

Research on Realtime Dynamic Control of Reservoir Limited Elevation

CHEN Jin-jia, HE Shi-hua*, LIU Yue-lou (Faculty of Electric Power Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunnan 650500)

Abstract Dynamic control of limited water level is the most effective way to develop reservoir and flood control benefit. In order to improve the utilization of flood resources, using the pill capacity constrained pre-discharge to make sure the control sphere of the reservoir limited elevation realtime dynamic control and expound the basic idea and mathematical expression of the preven-recharge and pre-storage & pre-discharge. The application of these two measures in reservoir limited elevation realtime dynamic control was discussed and the risk during this period was analyzed. The results showed that compared with conventional reservoir operation, reservoir limited elevation realtime dynamic control can increase reservoir limited elevation, add reservoir impoundment, and solve the conflict between reservoir flood control and benefit.

Key words Reservoir limited elevation; Realtime dynamic control; Pre-storage and pre-discharge; Prevent-recharge; Risk analysis

汛限水位是水库优化调度的重要指标, 科学合理地控制汛限水位, 可以有效利用水库防洪与兴利之间的重叠库容, 解决防洪与兴利之间的矛盾, 提高洪水资源与水能资源的利用率。以往, 我国多数水库是以静态的方式对汛限水位进行控制, 笔者拟用短期降雨信息和洪水预报信息进行动态汛限水位控制。随着气象水文预报、定量预报等手段逐渐被引入水库汛限水位动态控制中, 利用短期降雨预报和洪水预报信息即可科学有效地对汛限水位进行动态控制^[1]。

水库汛限水位动态控制域为汛限水位实时动态控制提供约束。由于动态控制域属于规划阶段的成果, 其依赖的设计洪水与降雨过程已知且偏于不利, 不可能在实时运行中完全重现, 这造成了该成果实时应用的困难。与规划设计阶段相比, 实时洪水调度考虑的信息更丰富, 汛限水位的动态控制也更复杂^[2], 故需对汛限水位动态控制进行进一步研究。

笔者以国内某水库为背景, 探讨考虑降雨预报和洪水预报信息的预泄回充法和预蓄预泄法在实际调度中的应用, 并进行水库汛限水位实时动态控制相应的风险与效益分析。

1 汛限水位动态控制域的确定

汛限水位动态控制的确定是为防止以下2种情况发生: 一是为防洪安全而无限降低汛限水位造成水位过低; 二是为兴利而不断抬高汛限水位导致防洪压力过大。故需进行汛限水位动态控制域的确定。

洪水极限预泄时间是洪水从开始起涨到水库预泄的流量达到下游允许的安全泄量所需要的时间。洪水汇流受前期土壤状态或暴雨空间等因素的影响, 如果流域内降雨集中

在下游或前期雨量达到最大值时, 汇流历时最短。对于汛限水位动态控制来说, 极限预泄时间并非水库进行汛限水位动态控制的决策时间, 水库一次洪水的极限预泄时间扣除信息传递时间、预报作业时间、决策时间以及开闸时间后, 即是有效预泄时间。通过有效预泄时间可以确定一次洪水的预泄水量, 而通过预泄水量可确定出水库汛限水位以上的动态蓄水量, 依此就可确定出水库在一次洪水过程中可能抬高的汛限水位值, 这就是预泄能力约束法的基本思想。

确定有效预泄时间(T_a)。有效预泄时间是极限预泄时间扣除信息传递时间、预报作业时间、决策时间以及开闸时间后的时间。

$$T_a = t_2 + t_3 - t_1 \quad (1)$$

式中, t_1 为降雨发生后至开闸的预泄时间, 其包括收报时间、预报时间、决策时间以及开闸时间; t_2 为考虑洪水预报的极限预泄时间; t_3 为考虑短期降雨预报的极限预泄时间。

预泄期内的来水量确定。

$$W = q \cdot T_a \quad (2)$$

式中, W 为预泄期内入库流量; q 为一次洪水前的入库流量。

确定预见期内允许的泄流量。通常可按水库下游最低一级防洪目标的允许泄流量或者下级水库允许入库的流量进行确定, 取预见期内允许泄流量为 q' 。

确定预泄的水量(Q)。

$$Q = T_a \cdot q' - W \quad (3)$$

通过确定预泄的水量这一步骤可计算得出水库一次洪水过程中可能预泄的水量, 即水库在汛限水位以上应蓄的动态蓄水量, 最后通过水库的水位-库容曲线关系可确定出水库汛限水位动态控制的范围。

2 实时汛限水位动态控制方法

目前实时汛限水位动态控制的方法有预蓄预泄法、预泄

基金项目 国家自然科学基金资助项目(51369013)。

作者简介 陈进佳(1990—), 男, 海南儋州人, 硕士, 从事水资源系统分析与可持续利用研究。* 通讯作者, 教授, 博士, 从事流体力学分析与计算研究。

收稿日期 2016-12-23

回充法、综合信息推理模式法、耦合于防洪实时预报调度系统的汛限水位动态控制值优选法、综合信息汛限水位动态控制值推理决策表5种方法^[3]。不同的方法之间涉及的影响因子不相同,在进行实时汛限水位动态控制时,应该根据水库的特点选择适宜的方法。该研究主要讨论预蓄预泄及预泄回充这2种方法。

2.1 预蓄预泄法 预蓄预泄法是当水库水位处于汛限水位动态控制域内,且流域内洪水处于退水期时,水库进入汛限水位动态控制的关键时期,此时根据实时的水、雨、工情信息、降雨预报、洪水预报信息及条件约束等实时条件,可运用预蓄预泄法进行实时汛限水位动态控制。

若确定汛限水位动态控制范围后,根据水量平衡原理,可得出预蓄预泄法的基本公式^[4]。

$$W_{yx} = \sum_{t=t_0}^{t_0+t_a} [q_{out}(t) - Q_{in}(t)] \Delta t \quad (4)$$

式中, W_{yx} 表示面临时刻 t_0 水库的预蓄水量; t_0 和 t_a 分别为实施汛限水位动态控制的起始时间和有效预见时间; $q_{out}(t)$ 为有效预见期内水库的下泄流量过程; $Q_{in}(t)$ 为有效预见期内,考虑预报误差后的入库流量过程; Δt 为预报洪水过程的时间段长,有效预见时间根据式(1)算出。

通过预蓄预泄法基本公式求出 t_0 时刻水库的预蓄水量 W_{yx} 后,再推求出面临时刻水库允许预蓄的水位 $Z_d(t_0)$,可由下式计算而得。

$$Z_d(t_0) = f[V(Z_d^-) + W_{yx}] \leq Z_d^+ \quad (5)$$

式中, $f(*)$ 为库容与水位的关系函数。

2.2 预泄回充法 预泄回充法是当预报出现误报或漏报的情况下,利用洪水的退水余量能够使原来预泄后降低的水位回升到汛限水位动态控制范围内的方法,更能保证洪水资源的有效利用。其基本公式如下:

$$\frac{Q_{in}(t_0 + T_b) - q_{min}}{2} \times (t_{min} - t_0 - T_b) = \sum_{t=t_1}^{t_1+T_1} [q_{out}(t) \times \Delta t] - \sum_{t=t_1}^{t_1+T_1} [Q_{in}(t) \times \Delta t] \quad (6)$$

式中, $Q_{in}(t_0 + T_b)$ 为有效预见期末的退水余量; q_{min} 为正常供水最小流量; t_{min} 为 q_{min} 发生的时刻; T_b 为极限预泄时间;其他符号意义同前。完全回充式也可用 $W_r = W_{yx}$ 表示,即回充水量等于预泄水量。

3 实例分析

3.1 工程概况 该研究以金华江流域上某水库为研究对象,其主要是以灌溉、供水为主,结合发电、防洪等综合利用的水利工程。水库控制流域面积131.00 km²,总库容8 555.00万 m³,水库原设计主汛期汛限水位为正常水位272.06 m,下游一级防洪安全泄流量为220.00 m³/s。

该水库建成为当地经济发展和改善城市居民生活用水质量起到了巨大的作用,使流域一年数遇的洪涝灾害基本得到免除。

3.2 汛限水位动态控制域的确定 该水库在防洪与兴利方面矛盾不突出,但根据建库以来的来水分析,丰水年汛期弃水较多,在连续枯水年,水库一直处于低水位运行,这样不仅

影响自身的发电效益,而且还影响下游水电站的发电效益。因此在水库长期运行中对该水库实行汛限水位动态控制是必要的。

确定有效预泄时间 T_a 。其中短期降雨预报极限预泄时间 t_3 为15 h;根据该水库运行资料和历次洪水及典型洪水分析洪水预报的极限预泄时间 t_2 取3 h;根据该水库水情自动测报系统预报成果,收报时间、预报时间、决策时间以及开闸时间 t_1 取2 h。根据公式(1),带入上述参数,则有效预泄时间 T_a 为16 h。

确定预泄期内的来水量 W 。在汛限水位动态控制中,其主要指的是预泄期内的入库流量,其值可由退水过程曲线算出。根据该水库典型洪水统计分析,始退流量取100.00 m³/s,预见期16 h后入流量为20.60 m³/s,则有效预泄时间内的平均入库流量 q 为60.30 m³/s。再根据公式(2)算出有效预泄时间内入库流量 W 为347.30万 m³。

确定预见期内允许泄量 q' 。根据该水库下游一级允许安全泄量,可取为220.00 m³/s。

确定有效预见期内的预泄水量 Q 。根据公式(3)算出 Q 为920.00万 m³。

3.2.1 汛限水位上限确定。该水库拦蓄洪水允许的短时超蓄水位为272.80 m^[4],为了水库下游防洪安全,汛期上限水位取272.60 m,相应库容为8 359.00万 m³。

3.2.2 汛限水位下限确定。根据上限水位相应库容减去有效预泄时间内允许泄流量,即7 439.00万 m³,查水位—库容曲线关系图,可得汛期下限水位为269.06 m。故该水库汛限水位动态控制域为269.06~272.60 m。与原汛限水位相比,汛期汛限水位上限提高0.54 m,增加了水库161.00万 m³的蓄水能力;下限降低3.00 m,可腾出742.00万 m³库容,减轻了防洪压力,提高了该水库的洪水资源利用率。

3.2.3 汛限水位动态控制域的可行性分析。防洪安全方面,设计洪水频率为2%,相应下泄流量为874.00 m³/s,当汛期起调水位为269.06 m时,控制下泄流量为300.00 m³/s,故可保证下游防洪安全。

灌溉及供水方面,根据流域防洪办要求,该水库水位不低於252.00 m时,可满足下游正常农田灌溉和城市供水要求。由所计算的汛限水位动态控制范围可知,汛期起调水位均大于252.00 m,符合要求。

电站发电方面,通过比较原汛限水位和计算后的汛限水位动态控制范围可知,汛期起调水位较原汛限水头虽有所下降,但机组发电效率均为89.50%^[6],并且水库下游一级电站的机组平均出力 and 发电耗水率与原来相比相差不大,可满足下游一级电站的正常发电要求。

3.3 实时汛限水位动态控制过程

3.3.1 洪水实时信息分析。预报信息:6月9日下午18:00金华市预报未来24 h库区将有大雨,武义县气象台预报该地区有暴雨,10日下午18:00这两地预报未来24 h有暴雨。

实际降雨信息:6月10日5:00时,流域开始降雨,到10日23:00流域降雨26.00 mm,11日该水库流域一天普遍降

大到暴雨,流域内降雨总共达到 151.10 mm。通过 2 d 降雨来看,说明降雨量预报准确。

水情:洪水 6 月 10 日 2:00 时起涨水位为 271.18 m,3 h 洪峰超 600.00 m³/s 发生在 11 日 20:00。6 月 12 日 8:00 时调洪最高水位 273.17 m,滞后峰 12 h,滞后峰雨止时 6 h,最大泄流量为 435.00 m³/s。

面临时刻:6 月 12 日 5:00,库水位已降到 272.41 m,入库洪水流量 116.00 m³/s,即降到汛限水位动态控制上限水位 272.60 m,进入汛限水位动态控制的关键时期。

12 日降雨预报信息:12—17 日连续 5 d,气象台预报未来 24 h 无雨,则采用以下方案运行。

3.3.2 原规划设计调度方案。不考虑降雨预报,且正处于主汛期,需要继续按照 435.00 m³/s 尽快降低库水位,达到原设计汛限水位 272.06 m。其泄流与水位变化可见表 1。

3.3.3 预泄回充方案。13 日 14:00 库水位已达 272.60 m,相应库容为 8 359.00 万 m³/s,气象台却修正原“无雨”为“明天 12:00 有暴雨”,而此时水位正处于汛限水位动态控制的上限值,所以需要进行预泄回充方案。

已知预见期 $T_f = 22$ h,由前文可知 t_f 为 2 h,则有效预见时间 T_a 为 20 h。要求 14 日 10:00 之前,水位要降至汛限水位控制范围的下限值 269.06 m,相应库容为 7 439.00 万 m³。预泄流量由前文求得为 920.00 万 m³。

求平均预泄流量,由水库退水过程可知在有效预见期 T_a 内平均入库流量为 Q_{λ} 为 58.00 m³/s,则平均预泄流量可由下式算得:

$$\bar{q}_{\text{泄}} = Q_{\lambda} + W_{\text{预泄}}/T_a = Q_{\lambda} + [V(T_0) - V(T_0 + T_b)]/T_a \quad (7)$$

代入参数算出平均预泄流量为 186.00 m³/s,满足约束条件,即平均预泄流量 186.00 m³/s < 435.00 m³/s(本次洪水最大泄流量),也小于该水库下游一级防洪安全的下泄流量 220.00 m³/s。

检验回充能力。如果预报信息发生空报,要求 14 日 10:00 后的退水流量扣除正常供水 q_{\min} 的回充水量是否大于预泄水量,即要求 $W_{\text{回}} \geq W_{\text{泄}}$ 。已知预报 Q_{λ} 为 58.00 m³/s,下游一级电站所需发电量最小的 q_{\min} 为 9.15 m³/s。

始退流量等于 $Q_{\lambda} = 58.00$ m³/s,查该水库退水过程曲线,流量达到正常供水最小流量 q_{\min} 为 9.15 m³/s,需要的最小时间 t_{\min} 为 16 日 22:00,则回充时间 $t_{\text{回}}$ 为 32 h。回充的水量可由下式算得:

$$W_{\text{回充}} = \frac{Q_{\lambda}(T_0 + T_b) - q_{\min}(t_{\min} - T_0 - T_b)}{2} \quad (8)$$

代入各参数算得回充的水量为 2 814.00 万 m³,大于 920.00 万 m³,可以实现完全的回充目标。若发生空报,利用退水的余量可在 19 日前回到 272.60 m,预泄回充方案过程可见表 1。

3.3.4 预蓄预泄方案。12—17 日连续 5 d 连续发布预报未来 24 h 无雨,则可将汛限水位动态控制范围控制在上限值 272.60 m。其预蓄预泄法所计算的下泄量与水位变化过程见表 1。

表 1 2006 年 6 月 10 日洪水实际及预蓄预泄调度过程对比分析(部分)

Table 1 Comparison and analysis of actual flood and pre-storage and pre-discharge dispatching

时间 Time	降雨 Precipitation mm	水位 Water level m	库容 Capacity of reservoir 万 m ³	入流 Inflow m ³ /s	出流 Effluent m ³ /s	原设计不计预蓄 预泄过程 The original design does not consider the pre-storage and pre-discharge process		24 日 14:00 预报有雨 预泄回充过程 Prevent-recharge process		连续 3 d 预报无雨预蓄 预泄过程 Pre-storage and pre-discharge process for continuous 3 d prediction without rain	
						泄流量 Discharge 万 m ³	水位 Water level//m	泄流量 Discharge 万 m ³	水位 Water level//m	泄流量 Discharge 万 m ³	水位 Water level//m
						12 日 02:00—05:00	4.8	273.00	8 451.18	398	429
12 日 05:00—08:00	—	273.03	8 470.05	374	390	435	272.83	435	272.83	435	272.83
12 日 08:00—11:00	—	273.07	8 487.63	318	362	435	272.52	308	272.60	392	272.60
12 日 11:00—14:00	—	273.17	8 501.32	246	389	435	272.31	181	272.60	259	272.60
12 日 14:00—17:00	—	272.97	8 433.47	192	389	435	272.17	134	272.60	176	272.60
12 日 17:00—13 日 14:00	—	272.85	8 395.76	96	389	220	272.06	95	272.60	109	272.60
13 日 14:00—17:00	—	272.47	8 310.13	58	330	138	272.06	391	271.53	58	272.60
13 日 17:00—14 日 10:00	—	272.32	8 252.59	58	204	58	271.85	317	269.06	58	272.60
14 日 10:00—17:00	—	272.20	8 240.68	55	130	58	271.66	9.15	271.38	50	272.60
14 日 17:00—15 日 17:00	—	272.20	8 240.68	51	9.15	43	271.40	9.15	272.06	46	272.60
15 日 17:00—16 日 17:00	—	—	—	47	—	—	—	9.15	—	172	272.06
16 日 17:00—17 日 17:00	—	—	—	42	—	—	—	9.15	—	—	—
17 日 17:00—18 日 17:00	—	—	—	36	—	—	—	9.15	—	—	—
18 日 17:00—19 日 10:00	—	—	—	34	—	—	—	9.15	272.60	—	—

若 15 日 17:00~16 日 17:00 有大暴雨,则有效预见期 T_a 为 22 h;有效预见期 T_a 内的预报入库流量可由该水库退水过程线求得,即 Q_{λ} 为 57.60 m³/s;下游一级防洪安全允许泄

流量为 220.00 m³/s。

所以水库预泄的水量 $W_{\text{预泄}}$ 由公式(4)求得,代入各参数算得预泄的水量 1 169.00 万 m³。

参照公式(5)求出面临时刻水库允许预蓄的水位 $Z_d(t_0)$ 为 267.60 m < 269.06 m (汛限水位动态控制下限值)。为提高洪水资源利用率,可控制 $Z_d(t_0 + T_j)$ 为 269.06 m,其库容 $V(269.06) = 7\ 456.00\ m^3$,反求预泄平均流量:

$$\begin{aligned} q_{out} &= [V(272.60) - V(269.06)] / T_y + Q_{in} \\ &= [8\ 359.00 - 7\ 456.00] \text{万 } m^3 / 22\ \text{h} + 57.60\ m^3 / s \\ &= 171.60\ m^3 / s \end{aligned}$$

以上就是用预泄回充法和预蓄预泄法求该水库实时调度过程中汛限水位动态控制的计算过程,计算成果见表 1,3 种方案调度结果对比参见图 1 及图 2。

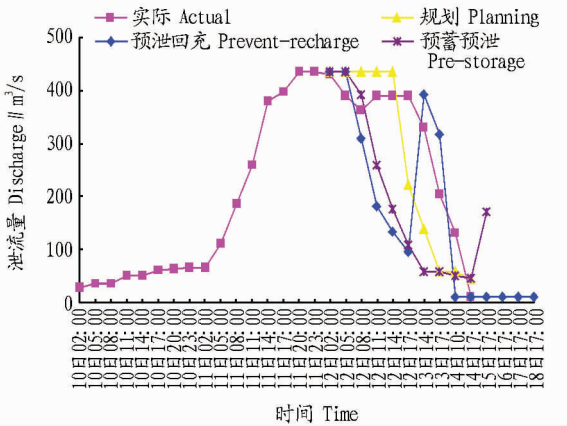


图 1 3 种方案与实际调度泄流过程对比

Fig. 1 Comparison of three schemes and actual dispatching flow process

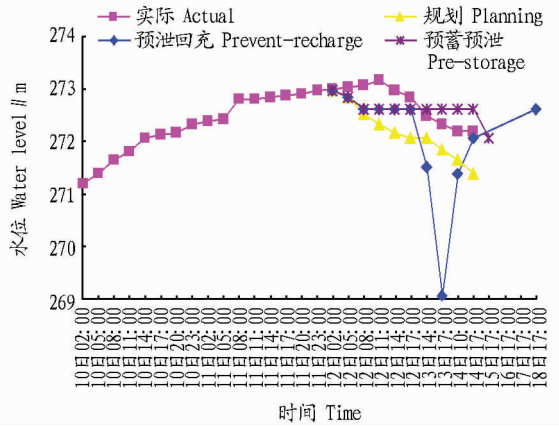


图 2 3 种方案与实际调度库水位变化过程对比

Fig. 2 Comparison of three schemes and actual dispatching water level change process

3.3.5 3 种方案对比分析。由表 1 的 3 种方案泄流量与水位变化可得如图 1、图 2 和表 2 所示的调度结果。从计算成果看出,预泄回充和预蓄预泄可减少汛期弃水量,对比图 1 和图 2 可看出,在汛期预泄回充法和预蓄预泄法可以使该水库水位保持在一个较高的水平。同时从表 2 可以看出,常规调度方式汛后蓄水至 271.40 m,预泄回充和预蓄预泄汛后蓄水至原汛限水位 272.06 m,提高了洪水资源的利用率,最大限度发挥了水库的蓄水能力,增加了蓄水的发电水头。

4 风险分析

水库处于流域上游,其库容虽变化不大,但水位变化显

表 2 3 种方案与实际调度特征值对比分析

Table 2 Comparative analysis of three schemes and practical dispatching eigenvalues

方案 Scheme	调度最高水位 Maximum water level//m	最大泄流量 Maximum discharge m^3/s	预泄最低水位 Prevent-recharge minimum water level//m	调洪末水位 Water level at the end of dispatching//m
实际调度 Practical scheduling	273.17	435	—	272.20
原设计不计预报的蓄泄 The original design does not consider the pre-storage and pre-discharge process	272.97	435	—	271.40
预报暴雨预泄回充 Prevent-recharge for forecast of rain-storm	272.97	435	269.06	272.06
预报无雨预蓄预泄 Pre-storage and pre-discharge for forecast without rain	272.97	435	—	272.60

著,特别是在汛期,水库处于汛限水位上限值时,如果预报信息发生误报、漏报,会给水库带来一定的风险,故需对该水库汛限水位动态控制的风险进行分析。

该水库水情自动测报系统自 2001 年安装、调试、验收合格,至今经历过多次洪水的考验,系统运行稳定正常。表 3 列出了该水库利用水情自动测报系统对流域实际洪水、预报洪水和预报精度的统计值。

由表 3 可知,该水库洪水预报的平均精度为 94.14%,表中列出的预报精度虽然都大于 85.00%,达到汛限水位动态控制预报信息的可信度值,但不可忽视其他场次洪水存在较大的误差,故有必要计算这些误差给该水库带来的风险。

极限风险率的推求:首先需确定出参数 α 、 β 、 α_0 和引起灾害的隶属度。由浙江省水文手册得出金华江白沙溪流域洪量频率的离散系数 C_v 为 0.42,偏态系数 C_s 为 1.47,以及

预报平均精度为 94.14%。参数计算参照文献[3],结果如下:

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{2}{C_s^2} = \frac{2}{1.47^2} = 0.926; \beta = \frac{2}{x C_v C_s} = \frac{2}{0.9414 \times 0.42 \times 1.47} \\ &= 3.44; \alpha_0 = \bar{x} \left(1 - \frac{2C_v}{C_s}\right) = 0.9414 \times \left(1 - \frac{2 \times 0.42}{1.47}\right) = 0.429. \end{aligned}$$

其次,确定出汛限水位动态控制过程中的相对隶属度,在计算过程中将相对隶属度定义为库水位超过汛限水位上限值的幅度。

$$\mu(z) = \begin{cases} 0 & Z < Z_d^+ \\ \frac{Z - Z_d^+}{Z_{正} - Z_d^+} & Z \geq Z_d^+ \end{cases} \quad (9)$$

式中, Z_d^+ 为汛限水位动态控制的上限;前文已求出该水库汛限水位动态控制的上限值是 272.60 m; $Z_{正}$ 为正常蓄水位,该水库正常蓄水位为 272.06 m。

表 3 该水库预报洪水与实际洪水精度对比(部分)

Table 3 Comparison between the predicted flood and the actual flood precision

编号 No.	实际洪水值 Actual flood value m ³ /s	预报洪水值 Flood forecast value m ³ /s	精度 Precision %	误差 Error %
1	332	347	95.6	4.4
2	424	393	92.8	7.2
3	360	336	93.3	6.7
4	267	285	93.7	6.3
5	313	296	94.5	5.5
6	382	406	94.2	5.7
7	573	513	89.6	10.4
8	472	486	97.2	2.8
9	352	339	96.3	3.7
10	429	401	93.4	6.6
11	364	387	94.0	6.0
12	493	442	89.7	10.3
13	308	310	99.6	0.4
14	634	586	92.4	7.6
15	483	477	98.7	1.3
16	315	344	91.6	8.4
17	406	381	93.8	6.2
18	276	290	95.2	4.8
19	397	361	90.8	9.2
20	388	374	96.5	3.5

由该水库历年洪水资料可知,在主汛期超过汛限水位上限值的为 2006 年 6 月 10 日的洪水,其水位值达到了 273.17 m,则引起灾害的相对隶属度为 $\mu(z) = \frac{Z - Z_d^+}{Z_{正} - Z_d^+} = \left| \frac{273.17 - 272.60}{272.06 - 272.60} \right| = 1.1$ 。计算出该水库极限风险率的各参数之后,根据皮尔逊 III 型曲线概率密度函数算出其极限风险率。

$$P_f = \mu_z(Z) \frac{\beta^a}{\Gamma(a)} \int_{x_{\min}}^{x_p} (x - a_0)^{a-1} e^{-\beta(x-a_0)} dx \quad (10)$$

式中, x_{\min} 为洪水预报误差最小值,即 $x_{\min} = 0.4\%$,并带入前文所求参数,最后算出 $P_f = 0.101$ 。根据汛限水位动态控制风险大小划分的标准^[8],可确定出方案是否可靠。

风险率为 0~0.1 时表示风险很小,方案可靠;风险率为 0.1~0.2 时表示风险较小,方案较为可靠;风险率为 0.2~0.5 时表示决策风险较大,方案较不可靠;风险率为 0.5~1.0 时表示决策风险大,方案不可靠。根据文献^[8]的风险划分

标准,对汛限水位动态控制风险分析中,一般规定风险率应尽可能低于 0.2,若风险率大于 0.2,则说明决策方案不可靠,应对汛限水位进行适当修正。

通过上述对该水库汛限水位动态控制过程中极限风险率的计算,可得出在不增加该水库风险的前提下,利用降雨预报和洪水预报提高该水库主汛期的汛限水位是可行的。

5 展望

汛限水位的动态控制是在汛期提高洪水资源利用率、发挥水库兴利和防洪效益的最有效途径。在对汛限水位动态控制过程的研究和分析中,该研究存在许多不足之处,需在以后的工作中进行完善。

在对水库汛限水位动态控制过程决策值的研究中,该研究考虑的是利用降雨预报信息和洪水预报信息进行分析,未考虑其他影响因素,在以后的研究中还应分析其他汛限水位动态控制的影响因子,并结合水库调度人员的管理模式和调度经验,进一步完善汛限水位动态控制过程决策值的研究。

该研究仅是对单库进行汛限水位动态控制过程的范围、决策值及风险分析,由于在这些方面对梯级水库研究较少,而且梯级水库调度过程较为复杂,影响因素更多,故在以后的工作中仍需对梯级水库汛限水位动态控制过程这一领域进行研究。

在对水库汛限水位动态控制过程的风险进行分析时,由于持有该水库水情自动测报系统的预报信息资料有限,该研究只是根据历年洪水预报误差求出了该水库汛限水位动态控制的极限风险率,并未计算出实时汛限水位动态控制的风险度和最大风险率。故需要进一步完善收集资料工作,对实时汛限水位动态控制的风险进行深入探究。

参考文献

- [1] 郭生练. 水库调度综合自动化系统[M]. 武汉: 武汉水利电力大学出版社, 2000.
- [2] 朱永英, 袁晶瑄, 王国利, 等. 实时预蓄预泄法汛限水位动态控制与应用[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版), 2008, 27(4): 606-609.
- [3] 王本德, 周惠成. 水库汛限水位动态控制理论与方法及其应用[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006.
- [4] 常磊, 孙晓梅. 水库汛限水位动态控制研究[J]. 吉林水利, 2012(10): 32-34, 42.
- [5] 冯利华, 陆高远. 钱塘江流域的暴雨洪水特性[J]. 热带地理, 1992, 12(4): 346-350.
- [6] 江振东, 何旭东, 徐鸿昌. 小型水电站发电耗水率的计算研究[J]. 小水电, 2005(4): 23-26.
- [7] 施熙灿. 水利工程经济[M]. 3 版. 北京: 中国水利水电出版社, 2005.

科技论文写作规范——结果

利用图、表及文字进行合乎逻辑的分析。务求精练通顺。不需在文字上重复图或表中所具有的数据, 只需强调或阐述其重要发现及趋势。