

Necessity and Methods for Reservoir Seasonal Drought Control Water Level*

Pan Liu¹, Liping Li¹, Rongfei Wu², Kai Li²

¹State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan

²Hubei Flood Control and Drought Relief Headquarters Office, Wuhan

Email: liupan@whu.edu.cn

Received: Feb. 6th, 2012; revised: Feb. 26th, 2012; accepted: Mar. 4th, 2012

Abstract: Similar to the reservoir flood control water level, the drought control water level, though a new concept, is very important for reservoir drought relief operation. The definition and the importance of the drought control water level has been introduced and discussed. Some theoretical methods on the drought control water level, including the necessity of the seasonal control and how to determinate the seasonal values, have been pointed out. The reservoir drought control water level can be a guide for the further improving the management of drought, which also plays an important role in water supply engineering programming and water resources optimal allocation.

Keywords: Reservoir Operation; Drought Control Water Level; Low Flow Runoff; Seasonal Control

论水库旱限水位分期控制的必要性与计算方法探讨*

刘攀¹, 李立平¹, 吴荣飞², 李凯²

¹武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室, 武汉

²湖北省防汛抗旱指挥部办公室, 武汉

Email: liupan@whu.edu.cn

收稿日期: 2012年2月6日; 修回日期: 2012年2月26日; 录用日期: 2012年3月4日

摘要: 为应对日益频繁的干旱问题, 新生了旱限水位理念。通过与水库死水位和消落水位相对比, 阐述了水库旱限水位的内涵。通过类比水库汛限水位, 论述了水库旱限水位分时段控制的必要性; 采用三峡水库和隔河岩水库常规调度结果, 论述了旱限水位的分时段控制应主要考虑水库低水位时段并综合水库入流和需水特征参数予以选取。依据这一原则, 提出了开展旱限水位分期控制的计算方法。

关键词: 水库调度; 旱限水位; 枯水径流; 分期控制

1. 引言

水资源短缺往往引发干旱灾害。特别是受全球气候变化和人类活动^[1-3]影响, 近期极端干旱^[2-7]频繁发

生, 引发了严重的生产、生活以及生态环境问题。为此, 国家防办及水利部水文局制定了《旱限水位(流量)确定办法》^[8], 提出了旱限水位的新理念, 指出: “旱限水位是确定江河湖海干旱预警等级的重要指标, 是启动抗旱应急响应的重要依据, 是做好抗旱指挥调度的重要基础。”开展旱限水位的研究, 对全国抗旱应急管理工作将是一个有力的推动, 具有重要的现实意义。本文拟就水库旱限水位问题, 从内涵与计算方法

*基金项目: 国家科技支撑计划(2009BAC56B02; 2009BAC56B04); 国家自然科学基金项目(50979072); 教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-11-0401)。

作者简介: 刘攀(1978-), 男, 湖南湘潭人, 博士, 副教授, 主要从事水文及水资源开发利用研究。

上开展探讨。

2. 水库旱限水位内涵与设计方法

2.1. 水库旱限水位内涵

根据《旱限水位(流量)确定办法》,当江河湖库水位持续偏低,流量持续偏少时,影响城乡生活、工农业生产、生态环境等用水安全,应采取抗旱措施的水位^[8]。旱限水位的确定应综合考虑江河湖库的主要用水需求,以其最高需求值作为确定依据,以便及时启动抗旱应急响应。对于供水水库,水库旱限水位的确定应考虑水库所承担的城乡供水、企业生产、农业灌溉、交通运输或环境生态等主要供水任务,并结合一定设计来水情况进行综合分析^[8]。

首先,水库旱限水位为一警示水位,旱限水位以下库容的使用是有条件的。与水库死水位相比较,旱限水位一般应高于死水位,这是因为死水位以下的水量除遇到特殊的情况外(如特大干旱年),不能直接用于调节径流。

此外,水库旱限水位与消落水位也存在联系和区别。枯水期最低消落水位是指发电水库在正常运用情况下,允许枯水季节消落到的最低水位,这一水位的选择,取决于发电与航运。在同样的蓄水条件下,枯水期消落水位越高,上游航道水深越大、发电水头越高,但兴利库容越小,发电流量减少,枯季水库下泄流量也减少,不利于发电出力和下游航道水深;越低则相反。显然,旱限水位的目标是为了抗旱,而消落水位目标则为发电与航运。对于发电水库而言,旱限水位越高,则水库水头较大、发电效率越高,此时可提高发电量但影响发电保证率。因此,对不同功能的水库,旱限水位越高并不一定会影响水库的效益。

2.2. 水库旱限设计方法

《旱限水位(流量)确定办法》指出:水库应供水量应依据水库供水设计标准、用水需求及抗旱工作要求,选择一月或数月作为干旱预警期,并考虑干旱预警期内设计来水和用水需求,逐月滑动计算确定。水库旱限水位应以逐月滑动计算的水库应供水量与死库容之和最大值所对应的水库水位作为依据,并考虑库内取水设施高程等因素,综合分析确定^[8]。

根据《旱限水位(流量)确定办法》的示例(表1),该水库旱限水位对应的库容取死库容加上最大应供水量 0.13 亿 m³。如果在整个枯水季节均采用该旱限水位进行控制,对于大部分时期显然标准偏高,如12月和1月的来水大于供水,此时旱限水位可略低于该值;而2~4月需连续供水,故2月采用该旱限水位又可能标准偏低。类比于水库汛限水位,单一旱限水位忽略了枯水季节性规律,从而具有优化设计的可能。

3. 水库枯水期的划分

3.1. 枯水季节识别的指标选取

与汛限水位只在汛期运用相类似,旱限水位控制必须先划分出枯水时段,在枯水期内实施旱限水位控制。根据地区属性与供水需求的不同,旱限水位控制可能出现在来水较枯的枯水季节,也可能出现在需水较大(如夏季灌溉需水)的时期。

因此,在划分枯水时段时,可考虑如下时间序列:入库径流季节性特征分析、入库减去出库(包括灌溉、供水以及生态流量等)时间序列季节性特征分析、水库运行水位季节性特征分析等。

三峡水库入库流量和采用常规调度后的水位过程如图1和2所示。可以看出,若仅仅观察最低水位,

Table 1. Inflow and water supply of a reservoir^[8]
表1. 某水库应供水量逐月滑动计算结果^[8]

项目	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
城市供水	0.11	0.10	0.11	0.10	0.10	0.10	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
用水需求 (亿 m ³)												
农业灌溉	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00	0.48	0.00	0.00	0.00	0.00
环境生态	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
用水总量	0.17	0.30	0.17	0.16	0.16	0.28	0.17	0.65	0.17	0.17	0.17	0.17
水库来水(亿 m ³)	0.32	0.25	0.04	0.11	0.32	2.09	1.37	0.55	0.46	0.61	0.18	0.18
应供水量(亿 m ³)	0	0.05	0.13	0.05	0	0	0	0.10	0	0	0	0

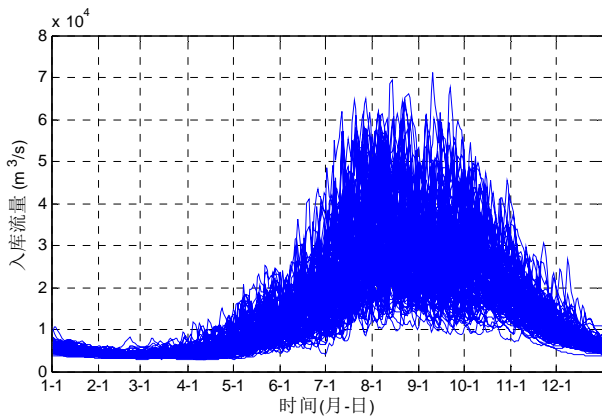


Figure 1. The inflow hydrograph of the Three Gorges Reservoir from 1887 to 2010
图 1. 1887~2010 年三峡水库入库流量过程图

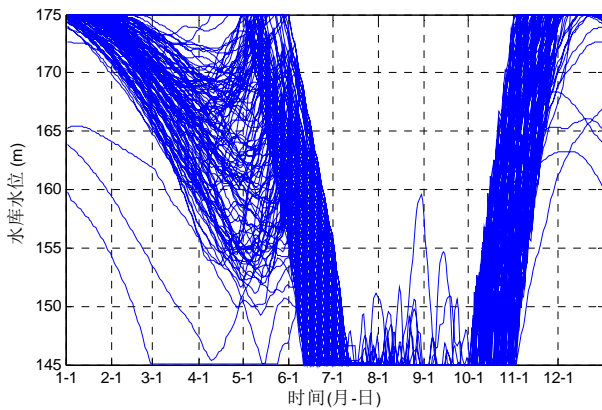


Figure 2. The water levels hydrograph of the Three Gorges Reservoir with conventional operation from 1887 to 2010
图 2. 1887~2010 年三峡水库常规调度水位过程图

则枯水期将出现在 6~9 月, 显然此时是由于受水库汛限水位约束所致, 并不是真正的枯水, 非汛期的最低枯水则出现在 4~6 月。水库入库流量在 2~4 月达到最小, 但从调度结果看, 此时水库尚存有一定水量, 导致水库最低水位出现在 4~6 月。因此, 对整个枯水期仅取一个固定水位值是不合理的: 从提前预警的角度出发, 可在 2~4 月设置旱限水位; 而从实时操作限制角度出发, 可在 4~6 月设置旱限水位。

隔河岩水库 1951~2005 年的入库流量和经常规调度的水位过程如图 3~4 所示。可以看出, 最小入库流量与最低水库水位出现的时间不同步, 也论证了旱限水位分时段运用的必要性。

可见, 旱限水位的确定需考虑水库调节能力, 设置旱限水位的时期可以定义为水库在不弃水前提下, 水库水位最低的时期, 并需要分时段控制运用。

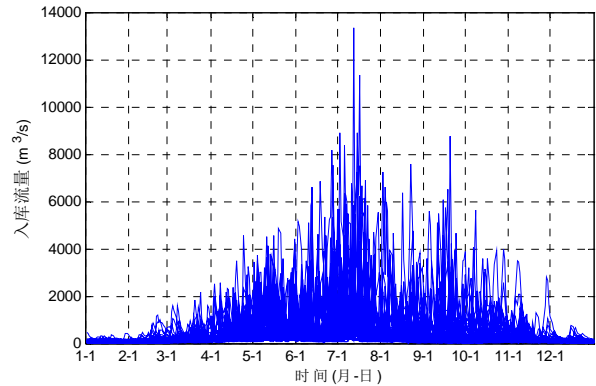


Figure 3. The inflow hydrograph of the Geheyan Reservoir from 1951 to 2005
图 3. 1951~2005 年隔河岩水库入库流量过程图

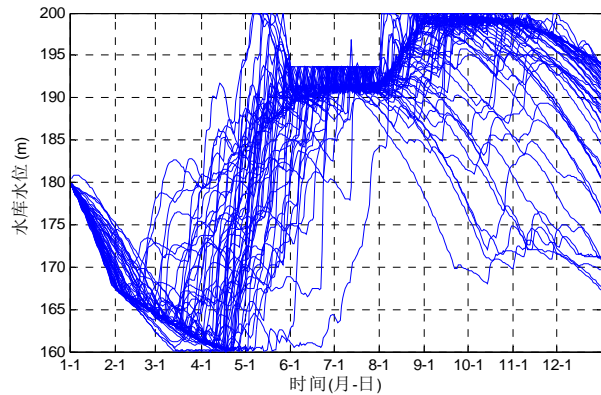


Figure 4. The water levels hydrograph of the Geheyan Reservoir with conventional operation from 1951 to 2005
图 4. 1951~2005 年隔河岩水库常规调度水位过程图

3.2. 枯水季节识别方法

当选定水库水位时间序列作为分析对象后, 类似于洪水的季节性特征, 枯水期变化规律也有确定性、随机性、过渡性等特性, 因而相应的枯水季节分期的方法可采用成因分析法、数理统计法、模糊集合分析法以及其它方法等^[9]。具体方法优缺点如表 2 所示, 经统计实验证明, 变点分析方法的性能最佳^[10]。

4. 旱限水位分时段控制

4.1. 旱限水位与重现期的关系

旱限水位是确定江河湖海干旱预警等级的重要指标, 是启动抗旱应急响应的重要依据, 但未能明确采用的干旱重现期或设计保证率, 《旱限水位(流量)确定办法》的示例中, 采用 75% 的保证率, 此时将出现频繁预警。因此, 有必要设定一定的抗旱标准, 建

Table 2. Methods for the drought seasonality segmentation
表 2. 枯水期分期方法

划分方法	说明	特点
成因分析法	利用水文气象和统计规律分析流域“枯水期”的确切涵义	优点: 结果比较合理, 有较高的可靠性而被普遍采用 缺点: 需要对成灾天气进行大量的分析, 尤其对于大流域, 成灾天气有很多组合方式, 因而工作量大, 同时分期有一定的主观性, 也难于将枯水期分到较细的时段(如日)
水文特征值法	利用实测历史流量(雨量、水库水位)资料, 选择统计指标, 分析指标在枯水期的变化规律	优点: 简单实用 缺点: 在分析过程中, 对是不是枯水这一临界值带有一定的主观性; 同时也很难将枯水期划分得较细
模糊分析法	采用模糊集理论, 描述枯水期隶属度	优点: 考虑了枯水期在时间上的模糊性, 在理论上有了较大的发展, 具有先进性 缺点: 分析结果对所选用的指标阈值比较敏感, 而指标阈值在取值上任意性较大
圆形分布法	通过对枯水进行季节性分析, 计算枯水发生的集中期、集中度和枯水期的起止时间	优点: 考虑枯水的时间、量级 缺点: 原理较复杂, 计算量大
分形分析法	用分维作指标划分枯水分期	优点: 比较客观, 受经验和人为影响较小。 缺点: 分析计算的工作量较大。
系统聚类法	选用描述流域降雨枯水等特性的多个因子, 计算论域元素之间的相似系数以构成模糊相似矩阵, 通过系统聚类分析进行枯水期分期	优点: 避免了采用单因子进行分析带来的片面性, 更具合理性 缺点: 可能会产生将非连时序的时段归为一类的不合理现象
矢量统计法	把每场枯水的发生日期看作一个矢量, 根据各个矢量之间的方向相似性来判断分割点, 即作为枯水期分期点	优点: 比较直观, 结论合理, 划分枯水期可精确到日 缺点: 其应用具有一定的限制性, 对相似矢量聚集的情况比较适用, 而对于相同矢量累计的情况则分期效果不明显
相对频率法	按照月(或旬)统计时段内发生枯水的频率, 分析整个时段内发生频率的变化特征	优点: 比较直观。 缺点: 分期划分比较粗略, 只能精确到旬。
动态聚类法	先选取 K 个初始值作为 K 个类的聚类中心, 计算其他样本与这些中心的距离, 并按距离最小原则归入相应的类; 求出每个类的均值, 作为新的聚类中心, 重复上述过程, 直至相邻两次分类没有区别	优点: 考虑多因子影响; 方法简单实用; 聚类结果为最优解 缺点: 初值的选取任意性较大
Fisher 最优分割法	分类的依据: 样本的离差平方和; 分割的原则: 使得各段内部样本之间差异最小, 而各段之间的差异最大	优点: 考虑多因子影响; 概念清晰; 聚类结果为最优 缺点: 计算繁琐
投影寻踪法	把高维数据采用投影指标函数投影到低维(1~3 维)子空间上, 寻找出使投影指标函数达到最优的投影值	优点: 考虑多因子影响; 无需预先给定指标和权重 缺点: 投影指标函数的构造存在主观性, 函数构造合理与否将会对计算结果造成很大影响
集对分析法	引进联系度(反映了聚类对象间的同一性、差异性和对立性)概念, 通过选取合理的指标门限值将枯水期分类	优点: 引进联系度在理论上有一定突破, 考虑多因子指标; 原理简单 缺点: 在指标门限值与联系度阈值的选取上存在一定主观性
有效模糊聚类法	提出动态模糊 C-均值聚类分析方法和相应的时序聚类有效性函数, 耦合二者建立了适用于枯水期分期的有效模糊聚类分析方法	优点: 理论背景强 缺点: 计算繁琐; 对初始的类均值和孤立点敏感
变点分析法	基于统计理论, 检测时间序列突变	优点: 结论合理, 划分枯水期可精确到日, 并且在一定程度上更为客观、可靠 缺点: 需较长的实测径流、雨量资料

立旱限水位与重现期(设计保证率)之间的关系。

4.2. 分期设计枯水

枯水径流频率分析是枯水研究中的重要内容, 其主要目的是通过使用概率分布来揭示极值事件的数

值与其发生频率的相互关系。与洪水频率分析类似, 枯水频率分析也涉及线型确定和参数估计的问题, 也存在其特殊性: 枯水频率分析选样后, 其数据可能不满足独立性。流量历时曲线可显示各时段枯水的流量分布情况, 揭示了枯水研究中的众多信息。

Table 3. Seasonal drought control level
表 3. 分时段控制旱限水位

项目	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
用水总量(亿 m ³)	0.17	0.30	0.17	0.16	0.16	0.28	0.17	0.65	0.17	0.17	0.17	0.17
水库来水(亿 m ³)	0.32	0.25	0.04	0.11	0.32	2.09	1.37	0.55	0.46	0.61	0.18	0.18
应供水量(亿 m ³)	0	0.05	0.13	0.05	0	0	0	0.10	0	0	0	0
月初旱限水位库容高于死库容值(亿 m ³)	0.08	0.23	0.18	0.05	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.06	0.07

4.3. 旱限水位分时段控制

根据地区的枯水季节性规律,将水库的枯水期(干旱预警期)可以月为时段进行分期,各分期采用不同的旱限水位,从而可在不降低水库供水标准的前提下,提高水库的抗旱能力。旱限水位分时段控制包括两方面的内容:枯水期分期和各分期旱限水位的确定。通过分析水库控制流域及其附近地区的长系列日降水量资料,分析研究水库控制流域来水的时程变化规律,结合水库工程情况,研究确定枯水期分期的必要性、可行性和分期原则。

对于示例中的数据^[8],显然未考虑干旱过程的连续性,因此具有改进的可能。可采用如下方法进行旱限水位分时段控制(表 3):

1) 假定供水时段末(4月底)库容恰好达到水库死水位;

2) 采用水库兴利调节原理向前递推各时段所需旱限水位对应的库容(不包含死库容),若库容小于0,则设置其为0。

给定年干旱标准,各分期的旱限水位并不唯一,具有多种组合方式,因此存在优化的空间。通过引入系统理论与优化方法,可以通过稍微抬高主枯水期的旱限水位,获取较大的抗旱能力,用以大幅度降低枯水前期、枯水后期的旱限水位,从而在不降低水库供水标准的前提下,最大潜力的发挥水库的抗旱能力。

5. 结语

本文通过对水库旱限水位的内涵进行分析,提出分时段控制旱限水位的必要性:干旱的产生不仅仅是入库流量较枯,还取决于需水较大以及水库前期蓄水位不高,由于枯水期较洪水持续时间长,因此不可能整个枯水期采用一个固定的水位予以控制。

水库旱限水位的研究具有广阔的应用前景,但是目前国内外对旱限水位的研究还处于起步阶段,各种

理论和方法处于空白阶段,需要在今后的研究工作中进一步完善。如生态流量的确定,可分为水文学法、水力学法、栖息地法、整体法、组合法、其他方法等6大类。水文学方法又包括 Tennant、Texas、7Q10 以及最小月流量法等。随着水文气象预报精度的提高和电子计算机应用技术的不断进步,必将产生一些新理论和新技术,如何将这些理论和技术与传统的研究理论有机地结合起来,并在实际中取得良好的效果,应是今后的主要研究方向。

参考文献 (References)

- [1] HOUGHTON, J. T., DING, Y. H., GRIGGS, D. G., et al. Climate change 2001: The scientific basis. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
- [2] 秦大河, 陈宜瑜, 李学勇. 中国气候与环境演变[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
QIN Da-he, CHEN Yi-yu and LI Xue-yong. China climatic and environmental change. Beijing: Science Press, 2005. (in Chinese)
- [3] RODERICK, M. L., FARQUHAR, G. D. The cause of decreased pan evaporation over the past 50 years. Science, 2002, 298: 1410-1411.
- [4] RIGGS, H. C. A method of forecasting low-flow of streams. Transactions on American Geophysical Union, 1953, 34(3): 427-434.
- [5] CHANG, W., BOYER, D. G. Estimates of low-flows using watersheds and climatic parameters. Water Resource Research, 1977, 13(6): 997-1001.
- [6] WRIGHT, E. Catchment characteristics influencing low flows. Water and Water Engineering, 1970, 74(11): 468-471.
- [7] VOGEL, R. M., Kroll, C. N., et al. Regional geohydrologic-geomorphic relationships for the estimation of low-flow statistics. Water Resources Research, 1992, 28(9): 2451-2458.
- [8] 国家防汛抗旱总指挥部办公室. 旱限水位(流量)的确定办法[Z], 2012.
State Flood Control and Drought Relief Headquarters Office. Determination methods for the drought control level and discharges, 2012. (in Chinese)
- [9] 方彬, 郭生练, 刘攀, 肖义. 分期设计洪水研究进展和评价[J]. 水力发电, 2007, 33(7): 71-75.
FANG Bin, GUO Shenglian, LIU Pan and XIAO Yi. Advance and assessment of seasonal design flood methods. Water Power, 2007, 33(7): 71-75. (in Chinese)
- [10] LIU, P., GUO, S., XIONG, L. and CHEN, L. Flood season segmentation based on the probability change-point analysis technique. Hydrological Sciences Journal, 2010, 55(4): 540-554.