

中美水库水资源调度策略的研究和进展

方子云

(长江流域水资源保护局,湖北 武汉 430051)

摘要 从研究我国和美国水库水资源调度的目标演进出发,介绍了与时俱进的调度策略和政策.指出两国均经历了从单纯地以完成多目标开发的水利调度到接受调度策略的演化过程.比较系统地提出了我国考虑生态系统和改善环境的优化调度策略,并举例说明了长江流域水库水资源调度时扩大综合效益的方法,包括 ①丹江口水库充分研究洪水特性,利用分期洪水安排库容,使之发挥更大的综合效益;②三峡水库调度除着重解决荆江地区的防洪问题外,还对城陵矶进行补偿调度,以发挥更大的防洪作用;③1998 年长江防洪中长江水库群错峰调度削减干流洪水及四川错峰调水冲污.

关键词 水库调度;水资源调度;长江流域;田纳西河流域;中国;美国

中图分类号 :TV213.4 **文献标识码** :A **文章编号** :1006-764X(2005)01-0001-05

Advances in research of strategies for reservoir water resources regulation in China and in the United States of America//
FANG Zi-yun(Yangtze Water Resources Protection Bureau , Wuhan 430051 , China)

Abstract : From the evolution of the objectives of reservoir water resources regulation , an introduction is given to the development of the strategies and policies for water resources regulation in China and in the United States of America . It is pointed out that the current modes of water resources regulation , which are performed under the guidance of comprehensive strategies in the two countries , are both developed from their multipurpose stage . Then an optimal regulation strategy for China , with the improvement of ecosystem and environment concerned , is put forward . Through case studies , some measures are proposed for improvement of the comprehensive benefits in reservoir water resources regulation in the Yangtze River Basin . For an example , measures of full study of flood characteristics and regulation of reservoir capacity according to the different stages of floods are taken in water resources regulation of the Danjiangkou Reservoir so as to obtain great economic benefits . In the regulation of the Three-Gorges Reservoir , besides the emphasis placed on the flood control for Jingjiang area , a compensatory water resources regulation measure is performed for Chenglingji area . Moreover , there are still some other measures , such as the stagger flood peak regulation of reservoir water resources for cutting off flood volume in the main stream of the Yangtze River in 1998 's flood and stagger flood peak water diversion for pollutant scouring in a river of Sichuan Province .

Key words : reservoir regulation ; water resources regulation ; Yangtze River Basin ; Tennessee River Basin ; China ; the United States of America

1 我国水库水资源调度思路演进梗概

建设水库就有水库调度问题.水库是工具,调度的对象是水资源,所以水库调度实质上是水资源调度.我国对水库调度的正式安排始于 20 世纪 50 年代末,当时的重点是根据水利任务制作水库调度图,根据调度图分区的流量控制蓄放流量.而调度图的分区是根据过去的水文系列选择几个水文典型年操作,再进行外包或内包确定.这种调度方法是固定的,是不根据当时即将来临的来水情况蓄放,效果并不理想.于是就产生了水库预报调度问题.这种调度方法如果水文预报精确,效果就很好,工程也很安

全.为了弥补这一前进中的缺陷就产生了考虑预报误差不断修正的方法,也产生了考虑一定风险度的预报调度方法.对上游的其他水库,为了保证下游重点地区的防洪安全,也可以根据区间的来水情况,考虑下游站的控制流量进行补偿调节,调度放流.

至于水库调度的目标一般都是为完成水资源综合利用的任务,如防洪、发电、灌溉、航运、供水等.自 20 世纪 70 年代起,我国的水资源先后遭到污染,生态系统先后遭到破坏,因此保护环境的调度变得非常重要,成为多目标水库调度的重要组成部分.20 世纪 80 年代以后,在中国环境水利研究会的推动下,水库改善环境调度的研究与实践不断在长江流

作者简介:方子云(1943—),男,湖北黄梅人,教授,从事水资源开发、水环境保护及环境水利研究.

域和全国各地付诸实施,取得了很大的成就。

2 水库改善环境的调度研究与实践

水库改善环境的调度是一个崭新的、迫切需要解决的问题,以下从8个方面分别进行论述。

2.1 改善下游水质

修建水库后,一般可以增加下游的枯水流量,因此,对改善下游水质是有利的,特别是原有河道污染严重时,由于水库的调度,枯水流量增加,河流的稀释自净能力相应增加,从而水质得到显著的改善。如在水库的正常兴利调度中,有目的地考虑改善下游水质的要求,则会收到更好的效果。

解决这一问题,首先要摸清控制污染河段的临界时期。这就是在调查各河段的污染源(包括污染负荷、污水量、污水排放方式以及各种污染物的排放浓度等)及分析河段的污染特性的基础上,确定控制河段污染的临界时期。如松花江哈尔滨等地以12月至次年3月冰封期水质最坏;上海黄浦江有机污染引起水质发黑、发臭多在5~9月,而受咸潮倒灌影响,自来水的水质问题多发生在1~4月。

明确了控制污染的临界期,就可以给水库调度运用提出要求,研究能否改变供水方式以适应改善下游水质的要求。在发电方面,可以在充分发挥容量作用的前提下适当调整运行方式,增加临界期的出力,使泄水量增多,而在临界期以外的枯水调节期则适当减少出力,维护整个枯水调节期的总泄水量不变。对于灌溉供水的水库可以考虑在绘制调度图保证供水线的基础上,划出加大供水区,以适应下游的冲污要求。对在汛期有冲污要求的水库,可以研究在汛期维持一较高的平均下泄流量,即对洪峰过程进行适当调节,使下泻量较平稳,有利于冲污。例如以前吉林丰满水库下游的松花江污染较严重,三岔河以上累计污水流量约为 $35\text{ m}^3/\text{s}$,在正常枯水年份,水库发电流量达 $350\text{ m}^3/\text{s}$,基本上可以适应稀释污水的要求,但如遇调度不善或其他原因,使这段时间发电出力过小,则对防治河流污染十分不利。从改善下游水质出发,还可考虑适当调整整个枯水期的运行方式,使丰满电站12月至次年3月的平均出力适当加大,而枯水期以外其他月份的出力适当减少(以容量可以平衡为前提)。这样,在控制污染临界期内,丰满水库可以下泄更大的流量,从而对改善下游水质十分有利。

2.2 保护鱼类生产

水库提供了广阔的水面,一般来说,为发展渔业生产提供了优越的条件,然而,也相应地带来了一些问题。例如,大坝阻断了洄游性鱼类的洄游通道;水

文条件的改变破坏了某些鱼类的产卵条件;大坝溢流时对鱼类会产生机械性伤害;由于氮的过饱和使鱼类发生气泡病。此外,水库下游由于水流速度、水温、浑浊度和水质的改变也可使某些鱼类受到不同程度的影响。对这些问题,在设计水库调度方式时应适当考虑,使其中一部分得到适当改善。这方面在国内外已有一些实践经验,例如:

a. 在鱼类产卵期,库水位要尽可能保持稳定,以使鱼卵不因库水位过分降落而枯死,或因库水位上升过多而被淹没太深。如黑龙江省龙凤山水库在水库调度中曾采取过照顾渔业生产的做法。该水库流域面积较大,库容相对不大,4~5月及7~8月末水一般较丰,而6月份来水量较小,这时又恰值灌溉用水高峰季节,库水位急降,对鱼类繁殖十分不利。为了照顾鱼类生产,在调度上采取春汛多蓄,提前加大供水量的方式,然后在鱼类产卵期内按灌溉下限供水,使这段时间水库水位尽可能保持平稳。这种方式对渔业生产较有利。

b. 对水库下游,为创造适当的产卵条件,可以放流形成几个小洪峰。1970~1972年,在南非潘勾拉水库做了几次人造洪峰的研究试验,表明泄放3 d洪峰流量 $120\text{ m}^3/\text{s}$,可保证下游创造适当的产卵条件,但需要选择适宜的时间进行,并且首先放一个较小的洪峰。

c. 对溢洪造成鱼类的机械性损伤及氮的过饱和使鱼类死亡问题,可考虑在保证洪水安全的前提下,适当延长溢流时间,降低下泄的最大流量;另外,如有多层泄水设备,应研究各种泄流量所应采用的合理的泄洪设备组合,以便对鱼的伤害减至最少。

2.3 研究水库水温变化,满足灌溉及冷却等要求

水库作为一个热容量很大的巨大水体,在升温期不易变热,在降温期也不易冷却。在地区水文、气象及水库调度的影响下,水库具有特殊的水温结构。一般来说,有分层型与混合型两种,根据水库的库容特性,可作大致的判断。库容系数 $\beta > 0.1$,一般为稳定的分层型;若 $\beta < 0.05$,一般为混合型。预测水库的水温结构有专门的计算方法,在日本这类方法比较成熟,经过实际观测证明是可靠的。

水库水温变化对下游带来一定的影响。对于分层型水库,如果发电在底层取水,则在夏季泄放冷水至下游,对灌溉及鱼类产卵不利,但对于火力发电厂的冷却用水来说,又希望水温低一些。因此,只要有水温结构预测的资料,当下游有水温要求时,即可根据计算,通过分层引水口引水满足。如仅在下游灌溉期有水温要求时,在一般情况下引用表层水,但在气温很高时,也可适当引用中层或低层水,这样可促进

水稻生长。浙江省二溪浦水库,1966年前用低层水灌溉,以后改用表层水,据1967~1970年统计,水稻平均产量比1963~1966年增加27%。湖南省千金水库做了试验,证明水稻“双抢”期间灌溉温度较低的水有利于晚稻生长。为了适应这一运用方式,水库可考虑设置分层引水口。

2.4 血吸虫病防治调度

当水库具有足够的调节库容时,对于消灭下游沼泽地带的血吸虫病也是一种有利的手段。根据血吸虫的生态习性,必须有中间宿主——钉螺才能生存繁殖,如能彻底消灭钉螺,则血吸虫病便可根治。

钉螺适宜生存在干湿交替的环境,如能控制洪水,使下泄流量尽可能小,同时在下流沼泽地带筑堤防护,使堤后的土地多年不上水,再加以围垦灭螺,即可收到良好效果。

如水库承担这一任务,除了要具有较大的库容来调节洪水外,在泄洪设备选择上,应以采取底孔、隧洞宣泄正常情况下的洪水为宜,使多年的洪水泄量较稳定,只有遇到非常洪水才从堰顶泄洪。当血吸虫病根治后,原有的调洪库容也可部分改作其他兴利之用。

2.5 防蚊生长调度

库水位调节是控制蚊子繁殖的有效办法。美国田纳西河流域管理局(TVA)水库体系的经验表明,如果在蚊子繁殖季节使水库水位每周升降0.3m,就会致命地破坏蚊子的生命周期。

2.6 泥沙调度

为防止和减轻水库淤积,水库应采用蓄清排浑的调度方式。在汛期适当地降低水库水位运行,排除泥沙含量较多的浑水;水库蓄水期则尽可能在汛末蓄纳泥沙含量较少的水。三峡水库研究采用此种调度方式。

如水库入流有2条以上的支流,其中有的支流含沙量较少,水库运行也可采用蓄清水支、排浑水支的调度原则。

2.7 防凌调度

凌汛是某些特定环境下的河流在一定气温条件下产生的壅水现象,一般发生在封河时期与开河时期。在封河时期冰盖尚未完全形成时,由于水内冰凌对水流产生很大阻力而导致水位急剧升高,造成淹没。例如1970年1月黄河下游夹河滩站封河时期流量仅 $400\sim 500\text{ m}^3/\text{s}$,而水位相当于畅流期流量 6000 m^3 的水位,造成几千公顷耕地被淹。在开河时期,由于各河段解冻时间不一,未解冻河段严重阻水形成冰坝,从而造成淹没。例如1951年1月黄河下游利津河段产生冰坝,引起坝上游水位陡涨,造成重大决口灾害。1973年松花江下游形成冰坝12处,致使江堤

溃决,灾情涉及3个县12个公社。

凌汛的发生,与冰量、槽蓄量、气温、来水量、降水量等因素直接有关。在北半球,当河段流向为南北向时则更易发生,黄河的内蒙古段与下游段就多次发生凌汛,其他一些北方河流也有时发生。在自然情况下,对凌汛只有采取人工疏导,但费时费力,收效不大,且此时正值天寒地冻,堤防防守十分困难,因此,对于易发生凌汛河段上游的调节水库,应尽可能承担一定的防凌任务,通过水库的调节,部分地改变这些发生凌汛的原因,从而达到减缓甚至免除凌汛的目的。水库防凌调节方式主要包括:

a. 水库预蓄一定水量,下游即将封河前,适当加大泄量,以推迟封河时间,形成较高的冰盖,有利于河道泄流。

b. 在封河后,逐步控制减少泄量,以减少河道槽蓄,保持封河期流量均匀,以避免引起局部融冰堵塞、水鼓冰开的现象。

c. 在下游封水段最上端即将解冻前,水库进一步减少下泄量,有条件时甚至可以断流,在下游封冻段即将开通时,水库再自由泄水。

还有一种调节方式,是整个可能封河期水库均下泄较大流量,以充分发挥水流控制封河的积极作用,使河道不封冻,解除凌汛威胁。这种运用方式要求凌汛期前拦蓄足够的水量,并较好地掌握下游封冻规律。

2.8 水库游乐调度及其他

要求库水位在较长时期保持较高,可有较大的湖面供人游览。

河道流量管理也可作为控制水生杂草的手段。

3 美国田纳西河水库群水资源调度的策略

3.1 2001年以前的水库水资源调度

美国田纳西河水库群95%以上是在1950年以前设计的,水库原始任务为防洪、航运和发电,很少考虑改善鱼类和野生生物生存问题,有些水库运行后也常常相反地影响到下游地区的水质和用水。1978年卡特总统提出了改革水资源政策的咨文,指示改善现有工程的运行和管理,以保护江河用水。TVA据此进行了系统的评价,并制定了“保护鱼类、野生生物和有关适应河川水流的其他财富”的方针。根据1970~1977年的资料,其工作首先是研究对水质影响和对用水影响。方法和步骤如下:

a. 研究确定对水质影响及用水影响的项目。水质项目分为水温、溶解氧、流量、金属的溶解度(铁、锰)、混浊度和悬浮固体、气体过饱和等;用水影响项目分旅游、鱼类和其他水生物、供水及同化能力等。

b. 有害影响分为无重大影响、潜在影响或现有影响两级。据此及前一步分析确定有影响的及应优先研究的水库名称及数目。

c. 优先水库找出后,系统评价的第二步是对具体问题确定可能减轻的方法及措施。可利用的方法涉及物理变化和运行变化两方面。物理变化包括安装设备或结构改变,通常是为了改善溶解氧以及改善温度和流量。运行变化包括保持固定的最小泄水量,限制最大流量和改变调度曲线等,这种变化会影响水库原定的水利任务。

d. 1979 年以前选出了 9 个具体水库,确立了它们占有较大比重,是具有多种水质和河川用水问题的工程。其余水库由于资料等问题,还需时日才能进一步研究。

3.2 2001 年后新的水库水资源调度政策研究

田纳西河流域正在进行综合的水库调度研究,以验明在河流流域水资源系统的调度中作那些改变对流域的居民将产生较大的整体公共效益。有 1 300 人参与了初步的环境影响评价小组,还有一些人参加并帮助形成了“研究的范围”。TVA 则利用了这些信息以帮助开发本系统运转的比较方案。而 TVA 的技术专家队则进行详细的分析,以决定每一比较方案的生态、社会和经济效益,并用分析的结果写成初步的环境影响报告,名曰《根据公众确定目标进行方案比较报告》。这个报告包括基本的运转方案和水库系统运转的 7 个比较方案。此外,TVA 也进一步要求公众提出意见,以便写出最终的环境影响报告。

7 个比较方案分别是以水库游乐 A、水库游乐 B、夏季水电、夏季与冬季洪水风险相等、商业航运、尾水游乐、尾水生活环境等为优先条件的方案。各方案统一比较的项目共 10 多项,提供低成本的可靠电力、从游乐增加收入、减少洪水风险及洪水有关损失、降低商业水路运输物资的成本、为城市农业和工业提供足够的水、提高库区和尾水的游乐条件、改善水库和尾水的水质、改善水库和尾水的水生生活环境、使水库岸边线和尾水河边侵蚀最小化、使受威胁和濒危物种增加保护、保护和改善湿地以及其他生态敏感区、保护和增进诸水库的天然景色。这 7 个比较方案连同原始的基本方案均以 2010 年为水平年,价格则以 2002 年货币为准。

在确定比较方案的基础上,进一步比较上述 8 个方案(包括基本方案)对资源范围的分项影响(用无影响、有利、不利表示)。分项影响包括:①空气资源,指空气排除物;②气候,指温室排除物;③水质,分蓄水支流同化能力、过渡支流同化能力、干流水库同化能力;蓄水支流缺氧、过渡支流缺氧、干流水库

缺氧;④供水,指供水输送费用和供水水质(处理);⑤地下水资源,指地下水高程;⑥水产资源,分支流水库生物多样性、干流水库生物多样性、温暖尾水的生物多样性、支流水库的游乐鱼类、干流水库的游乐鱼类、温暖尾水处的游乐鱼类、寒冷尾水处的游乐鱼类、水库的商业鱼类;⑦湿地群(分别以位置、种类和作用表示);⑧水生植物,包括诸支流水库和诸干流水库;⑨陆地生态,包括流动的岸边鸟类、野生生物和植物群落;⑩侵入的植物和动物,包括种群丰富度与物种分布;⑪数量控制,指人口丰富度;⑫受威胁和濒危物种,包括诸支流水库、诸干流水库、岸边线的和低地的、高地的、过渡带的、大幅度种群的、蓄水上游的、岩洞含水层的受威胁和濒危物种;⑬管理的面积与生态敏感现场,指现场的整体性;⑭岸边开发和土地利用,指对自然情况的非直接影响;⑮岸边侵蚀,指水库影响和尾水影响;⑯最佳农田转化与改造;⑰文化资源,分非直接影响与直接影响;⑱视觉资源,指天然景色的整体性;⑲大坝安全,指由于水库诱发地震、渗漏和水库最大设计洪水水平影响;⑳航运,每年安排装运货物及人的变化;㉑防洪,洪峰流量(历史入流、设计洪水)变化及潜在损失变化;㉒发电,每年发电成本的变化;㉓游乐,每年游乐费用的变化、水库中公众可以进入的场所、商业利用的场所、公众利用的场所;㉔社会经济资源,包括分区域生产总额、个人收入、雇用情况、人口 4 项,经计算,以商业航运最优方案略有利。

4 长江流域水库水资源调度举例

4.1 丹江口水库

汉江丹江口工程是治理开发汉江的关键性工程和南水北调中线的水源工程。工程分两期建设:初期开发任务是防洪、发电、灌溉、航运和水产养殖等。随着南水北调工程的实施,丹江口工程加高,最终规模将向北京、天津、河北及河南、湖北提供 150 亿 m^3 优质水源和提高中下游的防洪标准,进一步扩大综合效益。

丹江口洪水主要发生在 6~9 月,10 月上旬也可能发生较大洪水,但洪水具有前期大、后期小的特点。水库就利用分期洪水预留防洪库容,10 月初开始提高预留的防洪水位(后期防洪库容系根据后期校核洪水与超高库容校核得出),使水库多蓄水,提高综合利用效益。充分研究洪水特性,利用分期洪水安排库容可以算是创新。

4.2 三峡工程及其有关水库群

三峡水库控制着长江上游全部来水,故从控制长江上游洪水来说,只建上游干支流水库,其作用无法与三峡水库相比,它们不可能替代三峡水库的防

洪作用,但上游干支流水库可以配合三峡水库拦洪和减少泥沙,使三峡水库的入库流量和泥沙减少,可进一步减少三峡水库的下泄量、水库淤积及减少中下游的分洪量。从三峡工程建成后能够提供的防洪库容来看,应着重解决荆江地区的防洪问题,也兼顾其他地区如城陵矶的防洪需要。对此三峡水库调度可对荆江防洪控制点沙市至宜昌区间洪水进行补偿调节,并在满足荆江补偿的同时,对城陵矶进行补偿调度。据此调度,三峡工程可以避免溃口造成大量人口死亡以及保障社会经济的可持续发展。具体地说还可以避免人民生活环境的恶化,减少血吸虫病的蔓延机会,避免交通中断及农业减产等损失。所以三峡工程不仅是综合利用工程,更重要的是一个非常有效的生态与环境保护工程。

三峡工程 2003 年 6 月已蓄水,初期运行对经济发展和航运均有帮助,也解决了“瓶颈”的部分问题。2004 年中游水浅,由于三峡水库从 3 月 4 日开始补水调度,库水位从 138 m 起每天坝前以降低 0.2 m 控制,使长江中游枯水缓解,对航运有利。

4.3 1998 年长江防洪中长江水库群错峰调度

1998 年长江防洪中,丹江口、隔河岩、葛洲坝、柘林、五强溪、柘溪等骨干水库工程进行削峰、错峰调度,在不同河段不同时段降低了洪水位。隔河岩水库采取精心调度,第四次洪峰降低了沙市水位 0.1 m 左右,使沙市水位控制在 44.95 m,有效缓解了荆江河段十分严峻的防洪局面。

长江第六次洪峰时隔河岩水库及葛洲坝枢纽均实施了削峰调度。葛洲坝工程研究了预泄降低水位至 65.00 m,并可蓄至 67.00 m 的技术方案,据此调度,削减了干流洪水。两库分别降低沙市水位 0.19 m 和 0.15 m,使沙市水位控制在 45.22 m,避免了荆江分洪。

由于 8 月 8~17 日汉江上中游降雨与长江上中游降雨基本同步,为保证汉江中下游以及武汉市的安全,丹江口水库全部关闭泄流闸门(只剩发电流量)与区间洪水错峰。采取“细水长流”的调度方式,在 8 月下旬一直持续在高出汛限水位较高的水位运行。至出现最高水位时,汛限水位以上拦蓄洪水 39 亿 m^3 ,平均降低武汉水位 0.3 m 左右,避免了汉江中下游分洪,有效地减轻了武汉市的防汛压力。

由于以上水库的联合调度,采取不同的方式进行削峰、错峰,削减了干流洪水。

4.4 四川错峰调水冲污

2004 年 2 月下旬,由于川化集团公司第二化肥厂的技改设备事故,沱江上游突发水污染事件,四川简

阳、资中、内江等沿江两岸群众的饮水及正常生活、生产受到了严重影响。污染事件发生后,资中、资阳、内江三地采取各种措施,紧急启动第二水源,努力确保人民群众饮水安全。各级水文部门充分发挥水文站点作用,加密测点,密切监测水质情况,为沿江城市饮水的取水工作提供决策依据。四川省水利厅科学调水、配水,错峰用水,在尽力确保成都市生活、工业生产用水的前提下,联合调度都江堰、三岔水库的清洁水源,向沱江调水冲污。经过连续 23 天的跨流域调水冲污,沱江内江段水质于 3 月 27 日得到恢复。

5 几点认识

a. 要做好水库及水资源调度首先必须算清水账,做好水库的规划设计。

b. 作出准确的洪水、水文、气象预报对调度决策是非常必要的。准确的 1~3 d 水文预报和更长时间的气象预报(甚至趋势预报)是有益的。

c. 水库调度除满足传统的任务外,还应考虑水质及旅游、鱼类和其他水生生物等用水要求。

d. 要把大坝与有关水库群作为一个统一的系统进行调度,在决策前要对每一比较方案进行环境影响评价及其对人民群众可以提供的不同效益和风险进行比较。

e. 传统的水库调度图进行补充提高后仍应使用。如增加水质要求,增加水环境改善要求,增加环境最小流量,增加按水生生物要求放流等。一般说来,调度图应尽量满足下列要求:①当水库遇到设计洪水年份,应保证按正常泄洪量下泄,而水库不超高,如为错峰多蓄,应校核大坝安全;②遇到设计枯水年份(或设计枯水段),应保证供水量、水质要求和生态最小水量;③遇到平、丰水年份,要尽量减少弃水,并设法使弃水资源化;④遇到特殊枯水年(段),水库正常工作遭受破坏时,应以生活供水和生态最小供水优先,并希望破坏是逐渐的、均匀的,而不是突然的。

总之,一定要用科学发展观指导水库水资源调度工作的研究和实践,要坚持以人为本、人水和谐,树立全面、协调、可持续发展观。

参考文献:

- [1] 方子云,田九昌.河流综合利用水文水利计算[M].北京:水利电力出版社,1958.
- [2] 方子云,邹家祥,吴贻名.环境水力学导论[M].北京:中国环境科学出版社,1994.238—247.
- [3] 方子云,郑连生,邹家祥.中国水利百科全书:环境水利分册[M].北京:中国水利水电出版社,2004.202—203.

(收稿日期 2004-04-20 编辑 熊水斌)