

DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdqk.2014.02.029

灌溉水库径流调节的改进计算方法

王平

(上海勘测设计研究院, 上海 200434)

摘要: 现行《水利工程水利计算规范》(SL 104-95)中缺少灌溉水库径流调节的具体方法,水库工程设计中通常使用的调节计算办法存在一些不合理性。针对这一问题,通过修正常规计算方法中不合理的计算条件,简化计算过程,选择对常规的长系列时历法(列表法)的计算方法和程序进行了改进,采用长系列连续调节计算,可以适用于多种调节性能的灌溉水库。改进后的方法经过多项工程使用检验,计算过程合理,调节结果准确,水库灌溉供水量和灌溉保证率比常规方法有所增加。

关键词: 灌溉水库;时历法;径流调节;灌溉供水量;灌溉保证率

中图分类号: TV 697 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2014)02-0125-04

Improved Method for the Runoff Regulation of Irrigation Reservoir

WANG Ping

(Shanghai Investigation, Design & Research Institute, Shanghai 200434, China)

Abstract: Regulation for Water Conservancy Computation of Water Projects SL 104-95 lacks the specific methods on runoff regulation of irrigation reservoir, and the calculation method commonly used in reservoir engineering design is not reasonable to some extent. In this paper, an improved calculation method was proposed. The improved method modified the calculation method of long time series in the conventional method and applied the long series continuous calculation. It can correct the unreasonable calculation conditions in the conventional method and simplify the calculation process, and it can be applied for the irrigation reservoir with a variety of regulation performances. The improved method was verified by multiple engineering projects, and the results indicated the calculation process is reasonable and regulation results are accurate. Moreover, irrigation water and irrigation assurance increased using the improved method compare with those obtained from the conventional method.

Key words: irrigation reservoir; time series method; runoff regulation; irrigation water supply; irrigation assurance

以历史实际径流资料为基础的时历法径流调节计算,是灌溉水库设计中最常用的方法,也是进一步实施灌溉水库调度的基础工作。20世纪50年代,以时历法进行灌溉水库径流调节计算的方法在国内已被广泛应用,但受计算手段限制而发展缓慢;80年代后因计算机的普及,水库优化调度方法有了快速的发展,但是基于常规时历法的灌溉水库径流调节计算仍然没有取得实质性的改进^[1-7],深入研究水库时历法灌溉径流调节和调度的公开成果很少^[8-10]。本文针对《水利工程水利计算规范》(以下简称《SL 104-95》)中的灌溉水库径流调节计算方法,拟分析规范推荐方法存在的不合理性及其原因,并在时历法的范围之内,提出相应的改进计算方法。

1 灌溉水库径流调节计算方法存在的问题

1.1 《SL 104-95》中缺少灌溉水库调节计算的具体方法

《SL 104-95》要求:“灌溉水库径流调节计算,应采用时

历法,对于调节程度较高的重要水库,宜同时采用概率法或随机模拟法进行计算,以检验时历法成果的合理性”。同时,该规范附录还对时历法的长系列法有如下规定:应根据各年分时段的水库来水量及初步确定的同步用水量(或出力),按设定的调节库容顺序进行径流调节计算。第*i*时段的计算公式为:

$$V_{i+1} = V_i + W_{来} - W_{用} - W_{损} \quad (1)$$

式中: V_i 、 V_{i+1} 分别为水库第*i*时段初及时段末的蓄水量; $W_{来}$ 为第*i*时段来水量; $W_{用}$ 为第*i*时段综合利用各部门用水量之和; $W_{损}$ 为第*i*时段水库蒸发、渗漏、结冰等损失之和。采用式(1)计算时,必须以上一时段末蓄水量作为本时段初的蓄水量逐时段连续进行。

灌溉水库径流调节的任务主要是在 $W_{来}$ 确定的情况下,合理确定各时段的 $W_{用}$ 。设计中一般先考虑作物需水以及气候条件,再考虑塘坝等农田水利工程的作用后,推求出需

收稿日期:2013-03-20 修回日期:2014-02-15 网络出版时间:2014-03-10

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13476/j.cnki.nsbdqk.2014.02.001.html>

作者简介:王平(1960),男,安徽亳州人,高级工程师,主要从事水利水电规划研究。E-mail: Wangping021@163.com

要灌溉水库补给的需水量($W_{需}$)及过程。但在灌溉水库的调节计算的式(1)中,各时段同步用水量 $W_{用}$ 与 $W_{需}$ 并不是全部相等的,还有些时段的灌溉实际供水量 $W_{用}$ 是小于需水量 $W_{需}$ 的。所以,式(1)中 $W_{用}$ 还与水库的蓄水量、来水量、灌溉设计保证率等有密切关系,各因素相互影响,无法单独准确确定。该规范给出的式(1)水量平衡计算公式呈隐函数形式,要通过一定的迭代试算才能求解。

如何在确定的来水情况下,正确计算水库调节库容、灌溉供水量(或灌溉面积)、灌溉保证率三者之间的关系,是灌溉水库径流调节计算的主要内容。《SL 104 95》仅给出了灌溉、供水、发电通用的单个时段的径流调节计算原理公式,并没有提出具体的、可操作的调节计算方法。

1.2 常规时历法灌溉水库径流调节方法存在的问题

目前在设计中常用的灌溉水库径流调节时历法,多是把整个调节周期划分成若干个计算时段,年调节水库划分为水文年或水利年,多年调节水库划分为连续蓄水或供水年组,然后主要采用列表法、差积曲线图解法、代表年法进行径流调节计算。长系列法计算时可拟定几组调节库容和灌溉面积的不同组合方案,进行历年逐时段水量平衡计算,求得各方案的灌溉保证率,最后根据多组计算结果来确定水库调节库容、灌溉面积(灌溉供水量)、灌溉保证率三者之间的关系。多年调节水库计算方法和年调节水库相似,仅是起始条件为连续丰水年蓄水期末库满,或连续枯水年供水期末库空。

常规灌溉径流调节计算方法在国内已应用了60余年,但是随着计算机的普及应用和人文资料年数的延长,发现该方法存在以下不足之处。

(1)对于常规时历法的代表年法,《SL 104 95》要求选择枯水年、平水年、丰水年等三种典型年作为设计代表年。然而,水库来水量、灌溉需水量受水库流域与灌区的自然环境、气候、农业生产、灌溉工程条件等各种因素影响,历年灌溉用水量和需水过程变化很大,水库来水量和灌溉用水量的时空组合关系存在不确定性,常常很难选出来水和灌溉用水同时具有较好代表性的典型年。有时设计过程中选不出满意的代表年,只得对实际年份按照需要修正出代表年。但人为修正后的代表年任意性较大,失去了真实性,实际运用效果并不理想。

(2)对于常规的差积曲线法,其主要作用是能在库容已拟定或确定时,通过图解法直观地求解每个蓄水期和供水期内水库平均的灌溉放水流量,使用计算机也可把这一图解计算方法改变为数值计算。差积曲线法的优势是能够适应“水库总的供水过程未知、供水过程在供水期或蓄水期内尽量均匀”的要求。但是灌溉供水过程属于典型的非均匀变动供水,因此差积曲线法一般不适用于已知库容条件下变动供水的灌溉调节计算。

(3)对于常规的长系列时历法列表法,它是假定已知全年的水库来水和灌溉需水全过程,然后按来水、灌溉需水和水库库容的条件进行径流调节,并充分利用库容和水量,减小水库弃水、求出最小规模的水库必需库容。但这种假设条件和计算过程都太理想化,无法在水库实际运行阶段实现。

(4)《SL 104 95》提出“灌溉水库径流调节水利年度,可根

据多数年份蓄水期起始月份参照水文年度划分”。常规方法把水利年度起止时间初步划分后,再把水利年度分为基本固定的蓄水期、供水期,这不完全符合水库合理的运行过程,不能全面代表水库复杂多变的运行情况。实际上水库每年来水、用水情况不同,各年同期蓄水位不一定都相同,如果硬性规定每年的蓄水期和供水期,与实际情况就难免产生差距。

(5)常规方法不同水利年份均从蓄水期初死水位开始起调,在蓄水期内蓄满调节库容,又在供水期末死水位结束一个水利年的调节计算。这种做法并不完全合理,实际上水库的调节性能是相对的,年调节水库不是当年来水当年使用,水库在蓄水期初期不一定都在死水位,再小的水库也可能要为第二年用水需要尽可能预留部分蓄水量。常规方法人为割断了相邻水利年的联系,忽略了连续年之间可能常有的径流补偿关系,结果导致水库蓄水位偏低、灌溉供水量偏少或设计库容偏大等不合理结果。

2 改进的灌溉水库径流调节方法

2.1 长系列时历法(列表法)的改进

根据《SL 104 95》的规定,“时历法调节计算需要有30年以上的径流系列及综合利用各部门相应的用水系列”、“在具备长系列资料时应采用长系列法;代表年法仅适用于年调节计算,且只有当资料缺乏需通过间接途径插补获得时,才允许采用”,再考虑到已知库容条件下应用差积曲线法和代表年方法存在的问题及原因,选择对常规的长系列时历法(列表法)进行改进,采用计算机编程试算法,省去列表或图解的麻烦,可以计算常见的灌溉水库调节计算的各种任务。

改进的计算方法和程序,对灌溉水库的调节性能分类不作限制要求,年调节和多年调节等各种调节性能的灌溉水库采用统一的计算方法,无需从计算方法上区分。通过径流调节计算,在计算结果中反映调节性能大小不同对计算成果的影响,可以避免因计算方法分类等人为因素导致的差异。

2.2 取消不合理的假定条件

灌溉保证率通常按水利年计算,水利年是按作物生长的季节和水库来水的丰枯分期划分,改进方法里仍然划分水利年,并计算年灌溉保证率。但改进方法不再把每个水利年进一步划分为蓄水期、供水期;也不需要再划分连续丰水年组、连续枯水年组;也不再把调节库容分为年调节和多年调节两部分。改进计算方法中不再考虑入库径流和灌溉需水的长期预报,即在面临计算时段时只能知道之前时段的信息,最多还可以知道面临时段的来水量和灌溉需水量,而对以后时段的所有情况都不做预测,水库只按实时情况调节运行。

2.3 长系列时历法的连续计算

常规方法以一个水利年作为一个基本计算周期,年与年之间是单独计算的。改进方法不事先确定固定的调节周期,而是在长系列之内连续调节,年与年之间水位连续变化,各水利年之间调节计算不间断。在兴利调节库容内,不再规定什么时间水库应该控制在某一水位,不再如常规方法固定地从空库到满库再到空库完成一个调节期。改进方法尽量模拟水库实际合理的运用状态,首先满足面临时段的灌溉需要,并为后续时段灌溉需要尽可能预留蓄水量。不规定水库

何时一定蓄满,更不要求水库何时主动放空,在满足灌溉用水的前提下,尽早蓄满水库,尽量维持在较高水位运行。

2.4 确定径流调节起止条件

为准确计算水库蓄水量变化的过程,改进方法根据灌溉水库蓄水量和灌溉用水需要按资历顺序连续做水量平衡,水量的蓄泄不再受供水期、蓄水期的限制,由系列年起点顺时序一直连续计算至系列年最后时段末。系列年第一个起点水库水位需要在计算前通过综合分析确定,以后年份和时段水位就可以连续计算,不必每年都要单独确定起调水位和终止水位。起始时段可据水文径流、库容大小、灌溉需水等各方面情况,综合分析后拟定从死水位、正常蓄水位或其他适宜水位起调。如果调节计算后发现起始水位不合适,也可对调节计算过程进行分析,重新确定起调水位或时间。

改进方法的灌溉调节系列末水位是连续计算的结果,非人为确定,因离开起始点很远,也已不受起始水位的影响。如果要求水库灌溉计算系列末水位终止于某一特定水位,不应该通过修改灌溉用水量、改变起调水位等人为干预措施来实现,而是应该在已经调节计算得出的水位过程中,从最后时段反时序寻找符合要求的水位作为系列的终点。

2.5 灌溉时历法调节规则

实际灌溉需水流量是经常剧烈变化的,灌溉水库调节计算过程中应尽可能满足面临时段灌溉用水,并利用来水丰沛的时段尽量蓄满水库。因无法预知以后时段的来水和用水,只有水库蓄满后有多余水量时才可以加大灌溉等供水或产生弃水;如来水较小时段,应动用水库蓄水供给灌溉需要;只有库水位降低到死水位,而来水又不能够满足灌溉需要时,水库才产生灌溉破坏。调节计算过程中,水库在各运行状态的判别条件是水库的实时蓄水位。

在水库灌溉调节计算过程中,入库流量、水库蓄水、灌溉用水等都可能较大变化,正常灌溉期、加大灌溉期、水库弃水期、灌溉破坏期交替出现。各期组合方式虽有一般变化规律但并不固定不变,可能有年内一次蓄水期或供水期,也可能多次蓄水期或多次供水期,蓄水期和供水期时间也不固定。改进方法灌溉调节计算过程中,应任其自然变化,不应该把变动频繁的状态调整为单一状态。

2.6 调节计算成果

利用改进方法完成长系列水量调节计算后能够求出水库来水、蓄水、灌溉供水、弃水、缺水等过程。按照需要可以利用这些结果统计保证灌溉的年份,并且按年来计算灌溉保证率,还可以统计出灌溉供水量、水位库容等指标以及选择统计水量、水位等时段过程频率计算成果。

完成一个方案计算后,可对起调水位和计算成果进行合理性检查。若需要多方案比较,可以改变水库调节库容、灌溉面积或需水量、灌溉保证率等需要比较的参数,再重复计算类似方案后综合比较分析。

2.7 计算成果的检验和完善

水库灌溉径流调节计算的结果仅是设计阶段的初步成果,还可以编制水库灌溉调度图,然后按照灌溉调度图再进行径流调节计算,能进一步提高合理性和准确性,这对常规方法和改进方法同样适用。

改进方法进行的灌溉径流调节,对于设计保证率之外的特枯水时段破坏深度可能还不符合设计要求,水库弃水量也可能比较集中,原因是设计保证率之外灌溉破坏期或弃水期的允许水库水位的可调节范围太小,待编制出水库调度图后,就可扩大成相应的限制灌溉调度区和加大灌溉调度区。按长系列法编制的调度图^[8]再做径流调节计算,既可满足正常灌溉,又能控制灌溉破坏深度,还能减少水库弃水。

3 实例计算

某灌溉水库调节系列为48年分月径流,用常规方法和改进方法,分别对水库进行灌溉调节计算。为全面比较,设置实例1为年调节水库新老方法对比,实例2为多年调节水库新老方法对比。计算结果见表1,实例2的灌溉流量、水库水位频率曲线见图1和图2,对其比较分析如下。

表1 灌溉水库径流调节

Table 1 Runoff regulation of irrigation reservoir

方法	实例1		实例2	
	常规法	改进法	常规法	改进法
调节库容/万 m ³	9 366	9 366	37 464	37 464
汛期库容/万 m ³	7 846	7 846	31 371	31 371
入库水量/万 m ³	108 985	108 985	108 985	108 985
库容系数(%)	8.6	8.6	34.4	34.4
年均需水/万 m ³	17 164	17 164	35 028	35 028
年均供水/万 m ³	16 054	16 685	31 582	34 665
年均缺水/万 m ³	1 110	479	3 446	363
年保证率(%)	70.8	89.6	60.4	91.7
月保证率(%)	95.1	98.6	90.3	98.8
灌水程度(%)	93.5	97.2	90.2	99.0

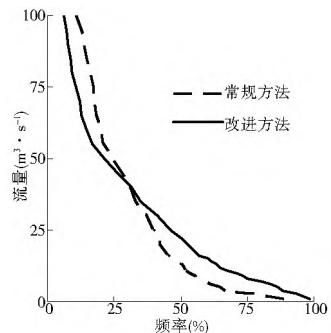


图1 灌溉流量频率曲线

Fig. 1 Frequency curve of irrigation flow discharge

(1) 实例1中,常规方法和改进方法采用相同的库容、来水量、灌溉需水量。常规方法每个水利年水库从蓄水期初库空起调,至蓄水期末蓄满,至供水期末放空;运行规则为来水入库,用水泄放,余量及时弃水,到供水期末水库水位正好消落到死水位。常规方法的计算目的是满足灌溉用水并尽量减小所需的调节库容,计算得出年灌溉保证率为70.8%,灌水量满足程度93.5%。改进方法第一年起始也是蓄水期初库空,但以后所有时段和年份都自然调节变化;运行规则为来水入库、用水泄放、库满弃水。改进方法连续计算,每个实际供水期并不固定,供水期末水库水位并不一定消落到死水位或其他固定水位,与常规方法比较就增加了水库蓄水量和

可供水量,所以改进方法的年灌溉保证率提高到 89.6%,灌溉水量满足程度提高到 97.2%。所以在同样条件时,改进方法调节的灌溉供水量、年灌溉保证率、灌溉水量满足程度都好于常规方法的结果。

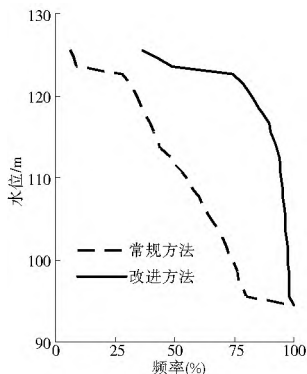


图 2 水库水位频率曲线

Fig. 2 Frequency curve of reservoir water level

(2) 实例 2 中,多年调节水库计算方法和年调节水库相似,仅是起始条件与年调节水库不同。表 1 显示,改进方法调节的灌溉供水量、年灌溉保证率、灌溉水量满足程度都好于常规方法的结果。由于多年调节水库库容大,两种方法的结果差距比年调节水库更大。

(3) 从图 1 可以直观看到,改进方法在高频率的灌溉流量范围内的灌溉供水流量比常规方法增大,而在低频率弃水段的出库流量比常规方法减小;从图 2 可知,同等频率时改进方法的库水位都比常规方法提高。由此可以说明改进方法调节过程合理,提高了水库平均运行水位,增加了灌溉供水量,减小了灌溉缺水。

(4) 两个实例中新老方法月保证率差距虽然不大,但由于常规方法经常在蓄水初期发生程度较轻的灌溉破坏,结果导致按年统计的灌溉保证率明显偏低,这是常规计算方法每年不合理的起调水位造成的。

(5) 本文实例主要为体现常规方法与改进方法的差别,特选取在蓄水初期就要求有一定灌溉任务的工程,灌溉过程中包含了反季节作物灌溉和小部分乡村生活用水,年内灌溉供水时间也较长,因此造成灌溉年保证率差别较大。如果是传统农业灌溉水库,两种计算方法的保证率差距应比本文实例要小。两个实例中,改进方法比常规方法多年平均灌溉供水量分别增加 3.9% 和 9.8%,由于其避免了保证率统计分布的问题,可以更好地反映改进方法可以增加的灌溉供水量。

4 结语

本文针对《水利工程水利计算规范》(SL 104-95)灌溉水库径流调节计算方法存在的问题,提出了相应的改进方法。改进方法能适用于多种调节性能的灌溉水库,改正了不合理的假定条件和简化近似计算,进行了长系列连续调节计算等方面的改进。改进方法已经过了多项实际工程的实践检验。

《水利工程水利计算规范》(SL 104-95)发布近 20 年,2013 年已开始修编。建议规范修编中把过去以人工手算或

图解为基础的灌溉径流调节计算,转变为以计算机为基础的计算方法,并能适当吸收已通过实践检验的合理完善的灌溉水库径流调节计算方法。

参考文献(References):

- [1] SL 104-95, 水利工程水利计算规范[S]. (SL 104-95, The Ministry of Water Resources. Regulation for Water Conservancy Computation of Water Projects[S]. (in Chinese))
- [2] 何孝侯. 中国水利百科全书(水利规划分册)[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2004. (HE Xiaohou. China's Water Conservancy Encyclopedia Encyclopedia(Water Conservancy Planning Booklet)[M]. Beijing: China WaterPower Press, 2004. (in Chinese))
- [3] 全国勘察设计注册工程师水利水电工程专业管理委员会, 中国水利水电勘测设计协会. 水利水电工程专业案例(工程规划与工程移民篇)[M]. 郑州:黄河水利电力出版社, 2009 年. (The National Survey and Design Registered Engineers of Water Resources and Hydropower Engineering Management Committee, China Water Conservancy and Hydropower Investigation and Design Association. Water Conservancy and Hydropower Engineering Cases (Project Planning and Project Immigration Papers)[M]. Zhengzhou: The Yellow River Water Resources and Conservancy Electric Power Press, 2009. (in Chinese))
- [4] 徐淑琴, 刘小燕. 水利计算[M]. 北京:中国水利电力出版社, 2011. (XU Shuqin, LIU Xiaoyan. Hydraulic Calculation[M]. Beijing: China WaterPower Press, 2011. (in Chinese))
- [5] 梁忠民, 钟平安, 华家鹏. 水文水利计算[M]. 北京:中国水利电力出版社, 2011. (LIANG Zhongmin, ZHONG Pingan, HUA Jiapeng. Hydrological and Hydraulic Calculation[M]. Beijing: China WaterPower Press, 2011. (in Chinese))
- [6] 雒文生, 宋星原. 工程水文及水利计算[M]. 北京:中国水利电力出版社, 2012. (LUO Wen sheng, SONG Xingyuan. Hydrology and Water Conservancy Engineering Calculation[M]. Beijing: China Water Power Press, 2012. (in Chinese))
- [7] 王文川. 水利水电规划[M]. 北京:中国水利电力出版社, 2013. (WANG Wen chuan. Water Resources and Hydropower Planning[M]. Beijing: China WaterPower Press, 2013. (in Chinese))
- [8] 王平. 水库灌溉或供水调度图常规编制方法的改进[J]. 水电站设计, 2008, 24(4): 95-97. (WANG Ping. Reservoir Irrigation or Water Supply Chart Conventional Preparation Improvement[J]. Design of Hydroelectric Power Station, 2008, 24(4): 95-97. (in Chinese))
- [9] 王平. 以供水为主小水电径流调节方法的改进[J]. 中国农村水利水电, 2013, (8): 146-150. (WANG Ping. Improvements on the Runoff Regulation Method of Small Hydropower that Supplies Water Primarily, 2013(8): 146-150. (in Chinese))
- [10] 王平. 小水电水能计算方法的改进[J]. 水利规划与设计, 2013, (9): 28-32. (WANG Ping. The Small Hydropower Calculation Method of Improvement the improvements of hydropower Calculation Method for Small Hydropower Projects[J]. Water Resources Planning and Design, 2013, (9): 28-32. (in Chinese))