

以灌溉为主小水电水能的改进计算方法

王 平

(上海勘测设计研究院,上海 200434)

摘要:针对 SL 76—2009《小水电水能设计规程》中缺少以灌溉为主的小水电水能计算方法,而设计工作中常用的计算办法存在一些不合理之处的问題,在分析常规方法不足的基础上,提出了一种改进的计算方法——长系列连续时历法,改正或避免了常规方法不合理的假设条件、简化计算等问題。实际工程应用结果表明,采用改进方法计算可提高小水电发电和灌溉运行的合理性,适用于不同调节性能的水库,可以得到比常规方法更多的灌溉水量和更好的发电指标。

关键词:小水电;灌溉水库;径流调节;水能计算

中图分类号:TV214 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2014)02-0046-04

Improved calculation method for hydro energy of small hydropower plants mainly for irrigation//WANG Ping
(Shanghai Investigation, Design & Research Institute, Shanghai 200434, China)

Abstract: Hydro Energy Design Code for Small Hydropower Projects (SL 76-2009) lacks a calculation method for hydro energy of small hydropower, mainly for irrigation, and the calculation methods commonly used in designing work are not usually reasonable. Based on analysis of the disadvantages of conventional methods, an improved calculation method, the long series calculation method, is put forward, correcting or avoiding such problems as the unreasonable assumed condition and the simplified calculation of conventional methods, etc. The results of application of the improved calculation method in practical engineering show that the improved calculation method can improve the rationality of operation of small hydropower generation and irrigation, and it can be applied in reservoirs with different regulation performance, obtaining more irrigation water and electricity production as compared with conventional methods.

Key words: small hydropower; irrigation reservoir; runoff regulation; hydropower computation

以灌溉为主结合发电的小水电工程水能计算的时历法计算技术起源于 20 世纪 50 年代,受计算手段等条件的限制,直到 20 世纪 80 年代初都基本没有变化,以后随着计算机的普及,在部分设计单位内开始研究应用以灌溉为主小水电水能的改进计算方法。1994 年和 2009 年小水电行业颁布了水能设计计算规范^[1],但规范关于以灌溉为主小水电水能计算内容都仅有一些计算原则,未列入可操作的具体方法。现可参考的相关文献^[2-6]以灌溉为主小水电水能时历法计算的内容^[2-6]与 20 世纪 50 年代相比,仍没有实质性的改进,有关研究的公开成果很少^[7-10]。本文对以灌溉为主小水电水能常规计算方法存在的不合理问题进行分析,并提出了相应的改进措施。

1 常规方法存在的问题

各地以灌溉为主结合发电的水库工程众多,实

际工程设计或运行中最常用的径流调节和水能计算方法为时历法。年调节水库以一个水利年度作为基本调节周期,以月或旬为调节时段;多年调节水库用与年调节水库相同或相似的方法计算,但起始水位或时间可能略有不同。具体计算方法主要有列表法、差积曲线法、典型代表年法等。计算时,先拟定几组调节库容和灌溉面积或灌溉需水量的不同组合方案,逐年逐时段进行水量平衡计算,得出不同方案的灌溉保证率,再绘制调节库容、灌溉面积、灌溉保证率三者之间的关系曲线,最后综合选定调节库容、灌溉面积和灌溉保证率等基本参数。随着水文径流系列的延长和计算机的普及应用,以人工手算和图解法为基础的常规方法显现出一系列问题,以下作一简要分析。

1.1 列表法

该方法需提前预知 1 年内的全部径流和灌溉需水过程,按需要确定水库蓄水、供水或弃水,是理想

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

型的事后调节。这一调节方式与水库实际运行情况有较大差距,计算使用的调节方式无法在水库和电站实际运行中实施。

列表法先依据大多数年份蓄水期起始月份划分水利年度,然后再把水利年度划分为蓄水期、供水期。这些划分并不能代表所有年份的实际情况,把复杂多变的来水、灌溉用水简单地确定为统一的模式,限定了水库径流和灌溉水量的调配方式,假设条件要求太高,水库电站运行调节方式又过于简单。

列表法以年调节水库为代表,以一个水利年为基本调节周期,每年调节模式相同,不同年份均从蓄水期初死水位起调,又都在供水期末死水位结束计算,不考虑上一水利年对下一水利年的径流补偿作用。如此假设和简化不尽合理,没有充分利用水库的调蓄能力,造成水库多数年份蓄水量不足。

对多年调节水库也采用列表法,划分丰水年组、枯水年组进行多年调节,但方法复杂,条件多变,人工分析工作量大,有的就直接使用年调节水库的方法简化计算。

1.2 差积曲线法

差积曲线法的基本原理和存在的部分问题同列表法,利用径流的差积曲线可以在已知库容的条件下,不需要试算,图解推求单个蓄水期内、供水期内均匀的供水流量,但灌溉用水属于典型的变动供水,径流的差积曲线用于灌溉变动供水调节并不方便。利用径流与灌溉需水的差积曲线法,可以计算各年灌溉调节库容,比列表法直观。但差积曲线是一种图解法,在计算机普及的年代其劣势仍是明显的,虽然可以用计算机代替图解法的部分计算,但在灌溉变动供水、水库多次运用情况下,径流与灌溉需水的差积曲线图解法计算效率和精度都难以满足长系列、多方案的设计计算要求。

1.3 典型代表年法

与单纯发电、城市供水为主的水库比较,灌溉为主的水库设计典型年选择的难度是最大的,不仅要考虑径流的代表性,还要考虑灌溉用水及与径流组合的代表性。当灌区与水库流域距离较近时,灌溉需水量与水库入库径流量一般呈负相关关系;当两者距离较远时,水库径流与灌溉用水过程的关系不易确定。灌溉用水与灌区当地气候关系密切,年内和年际需水变化剧烈。实际计算时没有好的方法可以保证选出理想的代表年,即使年径流总量和年灌溉需水总量符合代表性要求,其年内分配也差别很大,所以典型年径流调节计算的结果任意性较大。

2 计算方法的改进原则

SL 76—2009《小水电水能设计规程》^[1]对以灌

溉为主小水电水能计算提出了要求,对综合利用工程的规模、各用水目标库容及水量分配方案,应通过径流调节计算比较确定,并根据供水过程计算有关水能指标,但该规程并未提出径流调节和水能计算的具体方法。

现行规范里没有可实际操作的以灌溉为主水库电站的径流调节方法,而常规方法又存在一些问题,为此,笔者从 20 世纪 80 年代初开始逐步对常规方法进行改进,提出了长系列连续时历法(以下简称改进方法),并经过了多个工程的设计、审查和实际运行的检验,其主要的改进原则如下:

2.1 统一各种调节性能水库的计算

根据 SL 76—2009《小水电水能设计规程》^[1]“水文连续径流系列应不少于 30 年,且应具有代表性”的要求,考虑到典型代表年法存在的问题,在具备长系列资料时,改进径流调节方法应以长系列为主;不具备长系列资料时,首先应按规范要求设法插补延长径流资料,然后再使用长系列法计算。

由于径流与灌溉需水差积曲线法的图解效率偏低等问题,改进方法不再使用差积曲线法,而改为直接使用数值解法的长系列时历法。

水库的调节性能随着不同地区、降雨径流条件、库容大小、灌溉用水特性等因素变化,在不同的年份也会有所差异。水库的季调节、年调节、多年调节是对调节性能的定性描述,仅用年灌溉需水量与来水量的关系并不能准确地分类。即使是季调节、年调节水库,有些年份也应该有一定的跨水利年的调节作用。改进的灌溉水库径流调节计算方法,应不再硬性地区分水库的调节性能,也不再区分总调节库容里的年调节库容和多年调节库容,改进方法应可适用各种调节性能的水库。

2.2 改变并明确计算条件

灌溉保证率一般是按年统计,主要按照农业生产的周期并考虑水库径流的季节特点划分水利年度。改进方法考虑到径流和灌溉用水的多变性,不再划分每年的蓄水期、供水期,也不再规定蓄水期、供水期时段初、末水库蓄水位,也不再划分连续丰水年组和枯水年组。按照实际的工程条件和水利工程的一般设计原则,改进方法不再考虑径流的长期预知或预报,水库电站按实时运行方式调节计算。

2.3 适应新要求

传统的以灌溉为主的水库,主要灌溉用水季节集中在每年的 4—9 月等部分时段,灌溉高峰期也往往是每年的汛期;随着社会经济的发展变化,很多灌溉为主的水库增加了反季节蔬菜灌溉、乡镇村供水、生态环境放水等任务,水库灌溉供水任务有所外延,

供水时段增加。传统的径流调节计算从库空蓄到库满,再放到库空的模式已不能满足这些新的灌溉供水要求,常规方法当年(水利年)来水当年利用,水库先蓄水再供水的基本假设早已与实际灌溉供水情况脱节。改进方法必须考虑适应灌溉供水任务新的变化,改进水库调节运用方式,增加灌溉等供水量,提高灌溉保证率。

2.4 连续调节计算

改进方法考虑到灌溉保证率按年统计的特点,把长系列划分为水利年度后逐年计算,并特别注意水利年度之间合理的水位衔接。把长系列时历径流过程作为一个完整的调节期,相邻水利年度之间连续调节计算。即上一年度末水位可按水库实际变化确定,并不要求降低到死水位或年调节库容、多年调节库容等特定水位或库容,不再如常规方法年调节水库计算时把连续的多年水文系列切割为单独的水利年,然后孤立地分年做径流调节,每个水利年都要从空库到满库再到空库结束。用改进方法计算,水库不仅要尽量满足当年的灌溉需要,还要利用水库已有的库容为后续年份灌溉用水尽可能多预留蓄水量,供水期末并不要求水库降低水位。

3 计算方法的改进内容

3.1 合理起调和终止

改进方法按水库蓄水情况和灌溉要求连续调节计算,为尽可能合理调配水量,并具有实际可操作性,水库的水位控制和调节不受供水期、蓄水期的约束,应从系列年开始连续计算至结束。起始点时间和起调水位通过分析确定,以后时段水位水库自然调蓄,不再需要人为另外确定。

根据水文径流和灌溉需水等实际资料情况,判断系列年第一时段起调水位是死水位还是正常蓄水位等适当的起调水位。起调水位如确定得不合理,其影响一般在一两个弃水期或缺水期以后就可消除。实际计算时也可先初步确定一个起调水位,然后进行长系列灌溉调节计算,最后依据初步调节水位过程分析,重新修正起调水位,以减少可能的误差。

常规方法径流调节计算的终点是供水期末死水位,改进方法计算的终点是系列末时段,终点水位是水库自然调节变化的结果,不能事先确定。如要求系列末水位终止于起调水位或某一特定水位,应该在已经调节的过程里逆时序寻找符合要求的截止终点,并不需要重新计算。

3.2 逐时段调节计算

灌溉用水的特点是过程变化较大,水库调节计算中灌溉需水量不可能做出长期预报,计算时应尽

可能满足面临时段的灌溉用水;应利用余水尽早蓄满水库,水库蓄满后可按需要加大灌溉或发电;入库径流不足时应利用水库蓄水量灌溉,水位降低到死水位时可能产生灌溉破坏。从起始时段开始至系列年末时段,按时历顺序完成连续的水量平衡调节计算。水库调节运行的判别条件主要是水库蓄水位,条件具备时还可考虑面临时段的入库水量,运行的主要约束条件是水库的正常蓄水位或汛期限制水位、死水位。按照灌溉要求调节水库蓄水水位,利用灌溉水发电,不应对应水位变化增加人为的限制条件。

在水库长期运行过程中,正常灌溉期、加大灌溉或加大发电期、弃水期、灌溉破坏期可能有多种组合,每个水利年度内可以出现一次连续蓄水期或一次连续供水期,也可能遇到多次运用的蓄水期和多次运用的供水期,各次蓄水或供水时间也不固定。改进方法不需要人工判断或临时确定调节策略,而是用统一的调节规则决定水库和电站运行,灌溉的不同调节期的组合变化是受来水和用水影响形成的,水位在上下限水位约束条件之内应任其自然变化,如此计算才能尽可能接近水库实际运行情况,径流调节的结果才可能是合理的。

3.3 计算结果处理

完成长系列连续的水量平衡调节计算后,得出灌溉用水过程、发电过程、水库水位过程等计算结果。可统计出灌溉全部正常供给的年份,计算年灌溉保证率;按设计发电保证率统计发电保证出力等电能指标。计算年均灌溉用水量、加大用水量、弃水量、缺水量,统计特征水位、库容、水头、发电出力等各种径流调节和水能计算指标,按需要选择绘制灌溉用水流量、水位、发电出力、水头等调节过程的频率曲线。

为了方案分析比较,可研究库容、灌溉面积、灌溉保证率等主要设计参数的合理变化范围,改变任一参数,就可重复计算类似方案,综合分析后再选择各项主要参数。

3.4 成果的检验和优化

小水电径流调节和水能计算仅是工程水利计算的初步结果,更为合理准确的径流调节和水能计算成果应按水库调度图计算。因此,改进方法的计算结果可以通过水库调度图进行进一步检验和优化。

用改进方法计算后,水库特枯时段灌溉破坏深度仍有可能不符合要求,水库丰水时段弃水仍有可能较集中,原因在于径流调节过程里水库的灌溉破坏期、弃水期库水位可调节的范围太窄,调节控制条件仅是死水位和正常蓄水位(汛期限制水位)。若作出水库调度图就有降低灌溉调度区域和灌溉防破

坏区域。按水库调度图运行^[10],可以按要求控制灌溉破坏深度和满足正常灌溉用水需求,同时能减小水库弃水量,增加灌溉和发电效益。

4 实例应用分析

4.1 计算条件

某小水电工程,水库以灌溉为主结合发电,装机容量 2.5 万 kW。灌区大部分农作物是粮食作物,小部分为蔬菜,可利用灌溉水或水库余水发电,灌溉保证率要求为 90%,发电保证率为 85%。灌溉无加大用水要求,水库库容、特征水位已经确定。水库径流调节系列为 50 年分月入库流量,各种水量损失已在入库流量中扣除,发电流量不限制灌溉放水。要求计算灌溉用水量、灌溉保证率及发电指标。

用常规列表法和改进方法分别对水库进行径流调节和水能计算,主要计算结果见表 1,灌溉发电出库流量过程和发电出力过程的频率曲线见图 1 和图 2。

表 1 灌溉水库径流调节和水能计算结果

计算方法	调节库容/ 万 m ³	年均灌 溉用水 量/万 m ³	年均灌 溉缺水 量/万 m ³	灌溉 年保证 率/%	灌溉时 段保证 率/%	年均 发电量/ (万 kW·h)	保证 出力/ kW
常规方法	21 960	23 127	1 393	66.7	93.6	7 695	374
改进方法	21 960	24 409	111	95.8	99.3	9 000	1 833

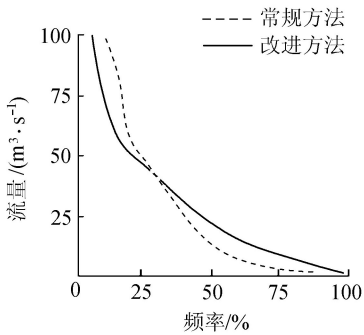


图 1 灌溉发电出库流量频率曲线

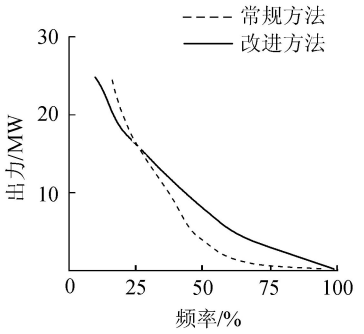


图 2 发电出力频率曲线

4.2 计算结果分析

a. 常规方法每个水利年计算起始条件为蓄水期初期的死水位,水库蓄满到正常蓄水位后至当年

供水期末水库放至死水位。常规方法调节的特点是在满足当年灌溉用水的条件下,尽量减小当年的调节库容,在供水期末不蓄存多余水量。改进方法首个水利年计算起始条件也为蓄水期初期的死水位,以后所有年份和时段按灌溉需要放水,库满弃水,库空缺水,直到全系列的最后一个时段末结束计算。改进方法连续计算,每个供水期末仍尽量蓄水,水库平均运行水位较高,增加了后期可供水量,所以改进方法灌溉保证率、灌溉水量、发电量、保证出力都大于常规方法的计算结果。

b. 常规方法把每个水利年划分为蓄水期和供水期,然后从蓄水期初死水位起调。由于径流、灌溉需水的多变性,本例计算中蓄水期初期就有一定的灌溉用水要求,因常规方法每年从死水位起调,如遇来水较小而灌溉需水较大,蓄水期初期就可能产生程度较轻的灌溉破坏。实际设计工作中只能对轻微的灌溉破坏再进行单独处理,人为修正灌溉保证率。改进方法库水位连续计算,高水位运行概率大,能较好地避免蓄水期初期的灌溉破坏。因此,两种方法计算的灌溉保证时段和总灌溉用水量虽然差别不大,但按年统计的灌溉保证率差别较大。

c. 通过若干类似方案计算可知,库容相对较大的水库,其跨年调节效益较大,改进方法计算所能增加的灌溉用水量也较大;库容大并且水库发电水位消落深度相对较大时,改进方法计算增加发电量较明显。

d. 本例计算采用相同库容,改进方法计算的灌溉水量和保证率稍大于常规方法。同理,因改进方法充分利用库容实现系列年之间的调节作用,在同等满足灌溉用水要求的条件下,所需库容比常规方法计算的结果可能会有一定的减小。

5 结 语

本文提出的灌溉为主结合发电小水电水能的改进计算方法,是以解决实际设计工作的问题为目的,从避免或解决常规方法存在的不合理现象出发,统一了年调节和多年调节等不同调节性能水库的计算方法,改正了常规方法的一些不合理的假定条件和计算过程,进行了长系列时历法连续计算等较大的改进。改进方法已经过多项工程的使用,具有合理、通用、准确、快捷等特点。改进方法能适用灌溉为主的小水电工程,可以解决工程的径流调节计算和水能计算问题。因现有的规范和工具书关于这种工程的计算方法不具体或方法不统一,建议有关规范能适时修订。

(下转第 63 页)

- Water Resources, 2009, 29(5): 42-45. (in Chinese))
- [7] 谭满春,冯萃斌,徐建闽. 基于 ARIMA 与人工神经网络组合模型的交通流预测[J]. 中国公路学报, 2007, 20(4): 118-121. (TAN Manchun, FENG Luobin, XU Jianmin. Traffic flow prediction based on hybrid ARIMA and ANN model [J]. China Journal of Highway and Transport, 2007, 20(4): 118-121. (in Chinese))
- [8] BATES J M, GRANGER C W J. The combination of forecasts [J]. Operational Research Quarterly, 1969, 20(1): 451-468.
- [9] 张大斌,张景广,彭森. 基因表达式编程在组合预测建模中的应用[J]. 系统工程理论与实践, 2012, 32(3): 568-573. (ZHANG Dabin, ZHANG Jingguang, PENG Sen. Application of gene expression programming on combination forecasting modeling [J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2012, 32(3): 568-573. (in Chinese))
- [10] 郭淳,李祚泳,党媛. 基于免疫进化算法的 BP 网络模型在径流预测中的应用[J]. 水资源保护, 2009, 25(5): 1-4. (GUO Chun, LI Zuoyong, DANG Yuan. Runoff prediction application of BP neural network model based on immune evolutionary algorithm [J]. Water Resources Protection, 2009, 25(5): 1-4. (in Chinese))
- [11] 张德丰. MATLAB 神经网络应用设计[M]. 北京:机械工业出版社, 2009.
- [12] 丛爽. 面向 MATLAB 工具箱的神经网络理论与应用[M]. 合肥:中国科学技术大学出版社, 2009.
- [13] MATLAB 中文论坛. MATLAB 神经网络 30 个案例分析[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2010.
- [14] 崔东文. 几种神经网络模型在湖库富营养化程度评价中的应用[J]. 水资源保护, 2012, 28(6): 12-18. (CUI Dongwen. Applications of several neural network models to eutrophication evaluation of lakes and reservoirs [J]. Water Resources Protection, 2012, 28(6): 12-18. (in Chinese))
- [15] 史峰,王辉,郁磊,等. MATLAB 智能算法 30 个案例分析[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2011.
- [16] 崔东文. 基于极限学习机的长江流域水资源开发利用综合评价[J]. 水利水电科技进展, 2013, 33(2): 14-19. (CUI Dongwen. Comprehensive evaluation of water resources development and utilization in Yangtze River Basin based on extreme learning machine [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2013, 33(2): 14-19. (in Chinese))

(收稿日期:2013-04-16 编辑:熊水斌)

(上接第 49 页)

参考文献:

- [1] SL 76—2009 小水电水能设计规程[S].
- [2] 何孝侠. 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.
- [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.
- [4] 徐淑琴,刘小燕. 水利计算[M]. 北京:中国水利电力出版社, 2011.
- [5] 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.
- [6] 王文川. 水利水电规划[M]. 北京:中国水利电力出版社, 2013.
- [7] 钟琦,张勇传. 水电站径流调节和水库调度图的计算方法的研究[J]. 人民长江, 1987(12): 27-32. (ZHONG Qi, ZHANG Rongchuan. Calculation method research for the runoff adjustment and rreservoir operation chart of hydropower station [J]. Yangtze River, 1987(12): 27-32. (in Chinese))
- [8] 王平. 灌溉水库兴利调度图长系列计算方法的改进[J]. 中国农村水利水电, 1997(7): 24-27. (WANG Ping. Improvement to long series calculation method of irrigation reservoir operation for promoting benefits [J]. China Rural Water and Hydropower, 1997(7): 24-27. (in Chinese))
- [9] 王平. 水库发电调度图常规计算方法的问题和改进建议[J]. 水利水电工程设计, 2007(3): 26-29. (WANG Ping. The problems and the improving suggestion for conventional calculation method of power generation dispatching drawings of reservoir [J]. Design of Water Resources & Hydroelectric Engineering, 2007(3): 26-29. (in Chinese)).
- [10] 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 wate supply chart conventional preparation improvement [J]. Design of Hydroelectric Power Staion, 2008, 24(4): 95-97. (in Chinese))

(收稿日期:2013-04-09 编辑:熊水斌)

