

# 水库群长藤结瓜灌溉系统的水量平衡与调节

张京恩 刘冬梅 韩元元

(贵州省水利水电勘测设计研究院, 贵州 贵阳 550002)

**摘要:**贵州省已建有众多的中、小型蓄水工程,在进行新建灌溉工程设计中,条件许可时可将已建灌区与新建灌区有机地结合起来,既可以提高已建灌区的灌溉保证率,有条件的水库还可用作新建灌区的反调节水库,降低渠道设计规模,节省投资,提高工程效益。以黔中水利枢纽工程为例,说明了结瓜水库水量平衡和反调节的计算原则和方法,提出了影响反调节能力的几个因素,论述了并联、串联水库反调节能力的组合问题,得出的初步结论,对灌区水量平衡和反调节计算具有参考价值。

**关键词:**水库群;长藤结瓜;水量平衡;渠道流量;反调节

**中图分类号:**TV697;S274.2 **文献标识码:**A

## 1 概述

为提高一个大流域内的小流域之间广大地区的水土资源利用率,以灌溉为主的、多级开发的水库群的联合供水工程日趋增多。

水库群联合供水工程是指由两个以上有水利联系的水库共同组成的骨干工程。水库群的组合一般有以下3种型式:①梯级水库群;②并联水库群;③串联水库群。

水库群的联合供水工程的水利计算目的就是根据各工程的自然地理条件、工程特性,在满足灌区供水要求的前提下进行工程的最优组合,使其工程效益较大,工程量较小,投资较省。

水库群联合供水的灌溉系统中,灌区内部的水量平衡方法与单一水库的灌溉系统的水量平衡方法、步骤是相同的,即首先进行自下而上、逐级平衡,求得灌区内部的缺水过程(即要求水库群联合供水系统的供水过程),然后进行骨干水库群的联合调节计算。

水库群的水量调配原则是根据水库群中各个水库调节性能确定的。从单纯满足灌区要求的角度出发,即以优先使用调节性能较差水库的水量,以调节性能较好的水库担负补偿调节任务。这种调配方式的好处是能增加调节性能差的水库容积的多次运用,使水资源得到充分利用。

灌溉渠道设计流量就是指为满足灌溉设计保证率要求下的灌区作物灌溉用水需要,在供水高峰期渠道所需要通过的最大流量。

影响渠道设计流量的因素包括:

(1)作物需水方面。灌溉面积的大小、作物组成、作物需水特性及灌溉设计保证率。

(2)渠道工程方面。渠道长度、断面大小、渠床土壤透水性能力及防渗措施、渠道工作方式。

(3)渠首工程方面。渠首调节性能、水源特性、调配运用方式。

(4)灌区内部水利设施方面。灌区各类水利工程施工数量、供水能力、调蓄性能及调配方式。

运用长藤结瓜灌溉系统可以广辟水源,合理调配,在灌区供水高峰期可以发挥反调节水库的削峰作用,从而使干渠的供水模数降低,设计断面有所减小。

灌溉模数(灌水率)是指在符合规定的设计保证率条件下,促进作物正常生长、高产稳产,在全生育过程中的各个阶段,单位面积所需要的灌溉流量。影响渠道供水模数的主导因素是灌区当地水利设施的数量,而其中起决定作用的因素又是中、小型水库及塘堰的调蓄能力和它们的调度运用方式。

塘堰的削峰作用与灌区的供水过程及塘堰的管理水平有密切的关系。为此,在塘堰片的灌溉流量设计时,应研究设计代表年灌区供水过程线的特点。

由于有结瓜水库,水源及控灌条件较好,调度灵活,可以主要担负削峰作用,因此,结瓜水库渠道设计流量可按削峰后的最大灌溉用水率计算。计算中,应考虑渠道输水损失,包括因工程管理不善的非正常跑水、漏水,以及渠道水面蒸发、渠床土壤渗漏。其中,非正常损失是可以杜绝的,水面蒸发甚微,渠道渗漏是主要的。

## 2 反调节水库调节作用分析

### 2.1 计算原则和方法

黔中灌区设计中考虑了9座结瓜水库(桂家湖、鹅项、乐坝、

红岩、革寨、大注冲、团结、黄家寨、高寨水库)。根据结瓜水库所处渠系中的位置、水库的库容条件、水库来水过程、水库以下控制灌面的大小、用水过程等,选择了桂花湖、革寨、鹅项、大注冲、高寨水库为反调节水库,见图1。在这5座水库中,桂花湖水库为中型水库,其余4座水库为小(一)型水库;再从水库调节性能上看,高寨水库为周调节,革寨水库、鹅项水库为年调节,桂花湖水库为多年调节,大注冲水库为完全多年调节。在这5座水库中,革寨、大注冲水库属串联水库,桂花湖与革寨、鹅项、大注冲水库属串联水库,其余为并联水库。

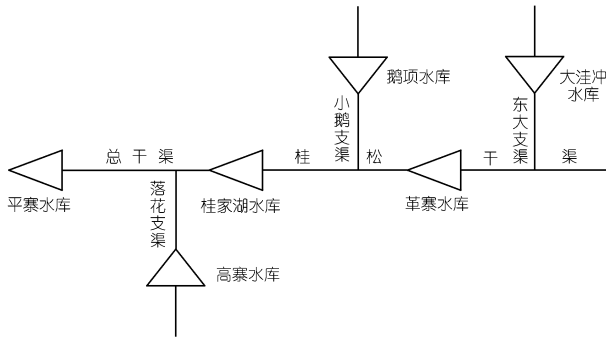


图1 反调节水库位置示意

黔中水利枢纽工程灌区反调节计算就是在反调节水库已经建成的情况下,把新建工程和现有水利工程作为一个系统,提高现有灌区灌面的灌溉保证率,进行灌区水土资源平衡,复核现有水利工程的供水能力,分析其可扩大的灌溉面积或需要水源工程即平寨水库补充的水量。对于黔中水利枢纽工程来讲,反调节计算主要是分析联合运行后,黔中调水的过程及可削减干渠的渠道流量。

反调节水库调节作用分析中,桂花湖水库、革寨水库以长系列进行,其它水库以典型年法进行,并选择了多个典型年(1959、1975、1978、1981、1989年)进行比较。计算原则是采取联合调度的方式,即水库本身控制灌面、挖潜灌面及黔中灌面用水联合调度,水库来水和黔中调水共用。

反调节计算的主要步骤是:先按无调水情况进行长系列水量平衡计算,分析其充蓄过程和破坏的年份;再考虑有调水情况下,当地径流和调水联合调度,充分利用水库的调节库容,在破坏年份不增加的前提下,分析调水的过程、调节水量和削峰的程度,同时研究若设计调水量减小,破坏年份会不会增加,而且对主灌溉期和非主灌溉期均进行调节。

各反调节水库调节能力分析既考虑了单独运行,也考虑了串联水库联合运行。

## 2.2 各水库反调节能力分析

桂花湖水库位于桂松干渠渠首,经复核,需要的调节库容为1620万 $m^3$ 。经长系列反调节计算, $P=85\%$ 的旬调水量为840万 $m^3$ ,较水库调节前的旬需水量1262.3万 $m^3$ 小422.3万 $m^3$ ,即桂花湖水库可调节流量4.89 $m^3/s$ (仅与革寨水库联合运行时)。经将渠道可输水量及水库调节水量与需水量相比较,调水灌面破坏年数为6a,水库本身破坏年数也没有增加,均满足设计保证率要求。

革寨水库与桂松干渠相连,该水库在溢洪道上增设闸门后,正常蓄水位1262.0m,正常蓄水位相应库容421万 $m^3$ ,死库容42万 $m^3$ ,兴利库容379万 $m^3$ 。经长系列计算, $P=85\%$ 的旬调水量为560万 $m^3$ ,较水库调节前的旬需水量787万 $m^3$ 小227

万 $m^3$ ,即革寨水库可调节流量2.63 $m^3/s$ 。经将渠道可输水量及水库调节水量与需水量相比较,调水灌面破坏年数为6a,水库本身破坏年数也没有增加,均满足设计保证率要求。革寨水库与黔中调水联合调度可充分利用兴利库容,增加复蓄次数。

鹅项水库位于小鹅支渠上,经复核,需要的兴利库容 $V_{兴}$ 为82.6万 $m^3$ ;经计算,可调节渠道流量0.6 $m^3/s$ 。水库联合调度在主灌溉期可充分利用调节库容,需保证主灌溉期前水库蓄满。

大注冲水库位于东大支渠上,经复核,需要的兴利库容 $V_{兴}=26.0$ 万 $m^3$ ;经计算可调节渠道流量0.6 $m^3/s$ 。水库联合调度在主灌溉期可充分利用调节库容,但需保证主灌溉期前蓄满。

高寨水库位于落花支渠上,经复核,所需兴利库容为64万 $m^3$ ,但该库容集中在枯水季节,主灌溉期只需32万 $m^3$ 调节库容,经计算可调节渠道流量0.27 $m^3/s$ 。水库联合调度在主灌溉期可充分利用调节库容,增加复蓄次数。

各水库反调节能力成果见表1,桂花湖、革寨水库反调节前后调水过程线比较见图2、3。

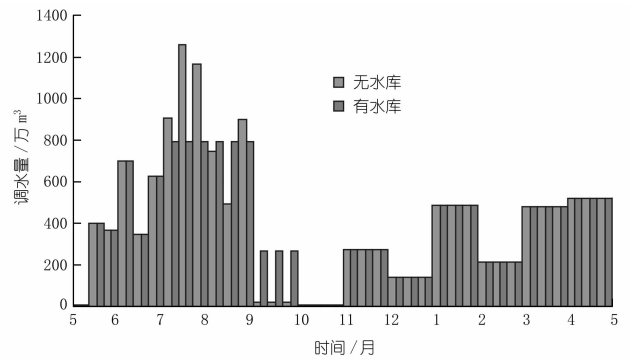


图2 桂花湖水库调水过程比较

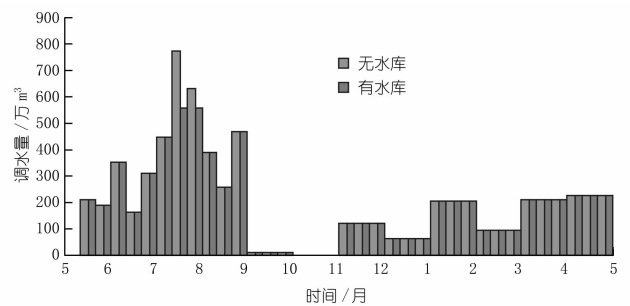


图3 革寨水库调水过程比较

## 2.3 影响反调节能力的因素分析

影响反调节水库调节能力的因素主要有水库在渠系中所处的位置、水库库容、调节性能、水库来水过程、水库以下控制灌面的大小、用水过程等。

(1) 桂花湖、革寨水库处于干渠上,其他水库处于支渠上,因此,前者的反调节能力大于后者。

(2) 桂花湖水库处于桂松干渠的渠首,库容最大,控制灌溉面积也最大,其调节能力也最大。

(3) 革寨水库调节性能较低,径流量丰富,可充分利用调节库容,增加复蓄次数,因此,其单位库容的反调节能力较大。

(4) 鹅项、大注冲水库控制灌溉面积较小,用水量较小,因此,其单位库容的反调节能力较小。

(5) 高寨水库库容量最小,其反调节能力也最小。

表 1 反调节水库可调节流量成果汇总

水库	集水面积/ km <sup>2</sup>	多年平均 径流量/ 万 m <sup>3</sup>	正常蓄 水位/ m	正常蓄 水位以下 库容/ 万 m <sup>3</sup>	死 库容/ 万 m <sup>3</sup>	调节 库容/ 万 m <sup>3</sup>	库容 系数/ %	调节 性能	水库本身 灌区灌溉 面积/hm <sup>2</sup>		城乡供 水量/ 万 m <sup>3</sup>	黔中灌区 灌溉面积/ hm <sup>2</sup>		所需 调节 库容/ 万 m <sup>3</sup>	单独运行 调节流量/ (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	与大洼冲水 库联合运行 调节流量/ (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	与革寨水库 联合运行 调节流量/ (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	与革寨、鹅项、 大洼冲水库联合 运行调节流量/ (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )
									水田	旱地		水田	旱地					
桂家湖	94.70	4690	1271.5	2560	861	1699	36.2	多年	3377	1005	730	7373	17133	1620	6.26		4.89	4.19
革寨	58.10	3780	1262.0	421	42	379	10.0	季	687	553	65.7	4920	8587	75.9	2.63	2.40		
鹅项	29.7	1930	1299.7	278	20	258	13.4	季	533	200		507	1753	82.6	0.60			
大洼冲	2.51	151	1283.0	251	13	238		多年	87	0		60	933	26	0.60			
高寨	121.00	8470	1191.3	70	14	56	0.66	周	620	0	1004	1433	3387	64	0.27			

### 2.4 串联水库组合反调节能力分析

革寨与大洼冲水库联合调度可调节流量 3 m<sup>3</sup>/s,比单独调节的反调节流量之和小 0.23 m<sup>3</sup>/s;桂家湖、革寨、鹅项、大洼冲水库联合运行可调节流量 7.79 m<sup>3</sup>/s,比单独调节的反调节流量之和小 2.3 m<sup>3</sup>/s;5 座水库总调节流量为 8.06 m<sup>3</sup>/s,比单独调节的反调节流量之和小 2.3 m<sup>3</sup>/s。

在以上反调节水库中,大洼冲和革寨水库为串联水库,革寨、大洼冲与鹅项水库为并联水库;桂家湖与以上水库属串联水库,桂家湖与高寨水库为并联水库。并联水库的反调节流量可直接相加,串联水库的反调节流量则不能直接相加,需考虑联合运行后反调节流量的减小。

在以上的串联反调节水库中,补偿调节水库革寨水库的调节性能小于被补偿调节水库大洼冲水库,联合运行后减少的调节流量较小;而补偿调节水库桂家湖水库的调节性能高于被补偿调节水库革寨等水库,联合运行后减少的调节流量较多,即补偿调节水库的调节性能越高,抵消的反调节流量越多,这主要是由于调节的时段长不同造成的。

## 3 渠道设计流量

### 3.1 灌水率图设计

根据各渠道的灌面组成(见表 2),以及各种作物的设计灌水定额过程,采用《灌溉与排水设计规范》(GB50288-99)上的有关公式进行计算。灌水率的计算公式为:

$$q_{ik} = \alpha_i m_{ik} / (864 T_{ik}) \quad (1)$$

式中  $q_{ik}$  为第  $i$  种作物第  $k$  次灌水的灌水率, m<sup>3</sup>/(s·100 hm<sup>2</sup>);  $m_{ik}$  为第  $i$  种作物第  $k$  次灌水的灌水定额, m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>;  $T_{ik}$  为第  $i$  种作物第  $k$  次灌水的灌水延续时间, d;  $\alpha_i$  为第  $i$  种作物的种植比例。

由以上公式可见,灌水延续时间  $T_{ik}$  直接影响着灌水率的大小,也影响着渠道和渠系建筑物的工程造价,本灌区各种作物的灌水延续时间  $T_{ik}$  值采用《灌溉与排水工程设计规范》(GB50288-99)上推荐的数据,水稻灌水延续时间为 5 d,其它作物灌水延续时间为 10 d。从总干渠设计灌水率图中可以看出累积 30 d 以上的灌水率为 4.17 m<sup>3</sup>/(s·万 hm<sup>2</sup>),即为设计灌水率。最大灌水率为 4.545 m<sup>3</sup>/(s·hm<sup>2</sup>),不大于设计灌水率的 20%。

表 2 各渠道灌面组成 万 hm<sup>2</sup>

渠道名称	新增田	旱地浇灌	补水面积	合计
总干渠	1.242	2.635	0.465	4.344
桂松干渠(总规模)	0.737	1.713	0.319	2.770
桂松干渠(一期规模)	0.447	1.182	0.289	1.917

### 3.2 渠道设计流量

渠道灌溉设计流量采用规范上的有关公式以灌水率图进行设计,再加上供水流量,即得到总的渠道设计流量。灌区反调节水库的“调峰”作用前已述及。灌溉水利用系数以 0.60 作为控制条件,可得支渠渠道输水损失  $\beta = 6\%$ ,干渠渠道输水损失  $\beta = 4\%$ ,总干渠  $\beta = 2\%$ 。渠道设计流量可按削峰后的累积 30 d 最大灌溉用水率计算,总干渠农灌流量 19.8 m<sup>3</sup>/s,县城、乡镇供水流量 3.25 m<sup>3</sup>/s,总流量 23.1 m<sup>3</sup>/s。

反调节水库参与反调节前后灌溉渠道设计流量比较见表 3。可见,总取水口处,经 5 座反调节水库调节后,可减小渠道设计流量 9.8 m<sup>3</sup>/s。

表 3 反调节水库参与调节前后灌溉渠道设计流量比较 m<sup>3</sup>/s

项目	反调节前流量	反调节后流量(5 座水库联合)
总取水口	29.5	19.8
桂松干渠	16.4	12.4
革寨水库	9.11	6.12

## 4 结论

(1) 水库群的长藤结瓜灌溉系统的水量平衡与调节计算采用补偿调节的方式进行。

(2) 为了既充分利用兴利库容,又尽量减少调水量,桂家湖水库采用的调度方式是:考虑在灌溉高峰期后按设计供水量延长供水 10~15 d,主要是在 9 月份,这时平寨水库为后汛期,水量仍较丰富,多调水,基本不影响平寨水库发电。

(3) 影响反调节能力的因素主要有水库所处渠系中的位置、水库的来水条件、库容条件、调节性能、用水条件等。一般来说,水库越靠近渠首、来水越丰富,灌区用水量越大,其反调节能力就越大。

(4) 串联水库组合后减小的调节流量与补偿调节水库和被补偿调节水库的调节性能差异有关,补偿调节水库的调节性能越高,抵消的反调节流量就越多,这主要是由于调节的时段长不同造成的。对于并联水库,反调节流量可直接相加。

(5) 反调节水库采取的是联合调度的方式,即当地来水和黔中调水共用,为了避免造成水库下游水环境问题,采取的是非主灌溉期用水量和调水量相等,即不减少枯季下游河道水量,因此,不会造成环境问题。

### 参考文献:

[1] 王铁生.长藤结瓜灌溉系统的水利计算.北京:水利电力出版社,1984.