

龚嘴电站水库水量不平衡原因分析及其 电站尾水位~流量关系的率定

蔡 承 德

(龚嘴水力发电总厂,四川 乐山 614900)

摘 要:从分析龚嘴电站水库水量平衡方程出发,探讨了影响龚嘴电站水库水量不平衡问题存在的原因,最后对机组、溢流设施的过坝流量进行了重新率定。以此为基础,重新建立了以铜街子电站水库坝前同时水位为参数的龚嘴电站尾水位~流量关系曲线。该曲线基本反映了受日调节和其下游铜街子电站水库回水顶托影响的龚站尾水位~流量关系的实际情况,克服了原来单一曲线有较大误差的弊端。通过验证,能较好地满足生产和精度需要。

关键词:龚嘴电站;水量平衡;原因分析;尾水水位;流量;率定

中图分类号:TV135.1

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(1999)04-0067-04

1 问题的提出

龚嘴电站水库自 80 年代以来一直存在水量不平衡问题,表现为一定时段内的计算出库流量始终比峨边水文站实测入库流量小。表 1 列出了龚站水库调度组 1988~1991 年和 1996 年共 5 年时间的计算径流量与峨边水文站实测年径流量值可供比较(因原入库水文站站址遭到破坏,其中 1992~1995 年资料未列入)。从表 1 中可知,龚库计算出库径流量(尚不包括区间产流量)平均每年约偏小 25 亿 m³,按平均年径流量 479.8 亿 m³ 计算,平均约比实测值偏小 5.3%;枯期更大,约偏小 10%~15%。

表 1 龚嘴电站水库原计算径流量与实测水库径流量比较表

项 目	年份 /年				
	1988	1989	1990	1991	1996
发电用水量 /10 ⁶ m ³	297	301	295	284	270
弃水量 /10 ⁶ m ³	150	215	197	138	126
龚站计算年总径流量 /10 ⁶ m ³	447	517	492	422	396
峨边入库年径流量 /10 ⁶ m ³	468	545	521	454	411
绝对误差 /10 ⁶ m ³	-21.0	-28.0	-29.0	-32.0	-15.0
相对误差 /%	-4.7	-5.5	-5.9	-7.7	-4.0
铜站计算年总径流量 /10 ⁶ m ³					424
福祿站计算年径流量 /10 ⁶ m ³					428

此外,下游铜街子电站水库蓄水以后,特别是平枯水期,其回水对龚站尾水的顶托影响较为频繁;同时也由于龚站自身参与电网调频、调峰的日调节影响,原尾水位~流量关系已发生变化,不再单一,无法满足生产需要。由于以上问题的存在,对龚、铜两站梯级水库的联合调度、防洪渡汛以及发电用水和有关能量指标值的计算都带来一系列问题,甚至危及到电站的经济效益和安全生产。为此,电厂于 1996 年对龚嘴电站的机组、溢洪门和底孔的过坝流

量及其尾水位~流量关系曲线重新进行了率定,其成果通过 1997 年及 1998 年的试运行检验,效果较好。

2 资料收集

- (1)峨边入库站 1988~1991 年、1996 年共 5 年整编流量资料;
- (2)铜库蓄水以后历年平枯水期坝前正点水位记录;
- (3)1996 年 2~11 月龚站 7 台机组正点负荷、空载记录;
- (4)1987 年及以后龚站各台机组扩修或大修效率试验报告;
- (5)地下厂房进水口拦污栅水头损失观测记录;
- (6)大坝坝基排水观测资料;
- (7)机组运转特性曲线;
- (8)机组停机备用时间统计资料;
- (9)尾水位正点观测资料。

3 水量不平衡原因分析

根据龚嘴电站水库的具体情况,其水量平衡方程可表示如下:

$$W_{\text{入库}} + W_{\text{区间}} = W_{\text{发电}} + W_{\text{弃水}} + W_{\text{导流}} + W_{\text{蒸发}} + W_{\text{坝渗}} \pm \Delta W \quad (1)$$

- 式中
- $W_{\text{入库}}$ ——时段内峨边水文站的入库水量;
 - $W_{\text{区间}}$ ——时段内峨边至坝前的区间产流量;
 - $W_{\text{发电}}$ ——时段内机组发电用水水量;
 - $W_{\text{弃水}}$ ——时段内水库弃水(溢流)水量;
 - $W_{\text{导流}}$ ——机组停机备用时的漏水量;

$W_{蒸发}$ ——时段内水库蒸发损失水量;

$W_{坝渗}$ ——时段内坝体渗漏损失水量;

ΔW ——时段内水库蓄水量差。

$K_{机}$ ——水轮机效率;

ΔH ——水头(m);

$Q_{发电}$ ——机组计算引用流量(m^3/s)。

如以一年为时段单位,以上各因数在年径流总量中所占比重分别如下:

(1)峨边至龚站坝前区间面积为 $1110 km^2$,多年平均降雨量约为 $1267.7 mm$,扣去蒸发渗漏损失,区间多年平均产流量约为 $5.1 亿 m^3$,即 $W_{区间} \approx 5.1 亿 m^3$,约占水库年总径流量的 1.1% 。

(2)参照铜库现有蒸发资料,龚库水面年蒸发损失水量约为 $1110 万 m^3$,即 $W_{蒸发} \approx 0.1 亿 m^3$,约占年总径流量的 0.02% 。

(3)据电厂大坝观测班观测资料,龚站大坝及坝基渗漏水量平均按 $85 m^3/d$ 计算,则年总渗漏损失水量约为 $3 万 m^3$,对水量平衡的影响可忽略不计。

(4)统计近几年龚站7台机组停机备用时间(见表2)表明,总年停机备用时间达 $8975.3 台 \cdot 时$ 。根据机组效率试验报告,其导叶漏水按 $5 m^3/s \cdot 台$ 计算,共计年总漏水量约 $1.62 亿 m^3$,即 $W_{导漏} \approx 1.62 亿 m^3$,约占年总径流量的 0.35% 。

表2 龚站各机组1997年停机备用导叶漏水情况统计表

项 目	机 组							总计
	1F	2F	3F	4F	5F	6F	7F	
停机时间/h	1078.1	1970.9	1430.9	999.5	867.8	1447.2	1180.9	8975.3
漏水量/万 m^3	1940	3550	2580	1800	1560	2600	2130	16160

综合上述各因数,若(1)式左边的区间产流量减去右边的导漏、蒸发和坝渗,按龚嘴电站水库平均年径流量 $479.8 亿 m^3/s$ 计算,水库实际进库年水量仍应比峨边水文站实测值偏大约 0.7% 。为了简化计算和率定工作的方便,在此忽略这一影响,仍以峨边水文站入库流量作为率定过坝流量的依据,同时将(1)式中的水量 W 改用流量 Q 描述,故(1)式可简化如下:

$$Q_{入库} = Q_{发电} + Q_{弃水} \pm \Delta Q \quad (2)$$

由于库内蓄水流量差 ΔQ 受库容的准确性影响很小,故可认为机组发电用水量 $Q_{发电}$ 和弃水流量 $Q_{弃水}$ 两部分偏小是计算水量偏小的主要原因。

4 机组发电用水的率定

(1)发电用水因机组效率降低应增大。根据能量转移方程,机组发电引用流量计算式为:

$$Q_{发电} = \frac{N}{K_{电} \cdot K_{机} \cdot \Delta H} \quad (3)$$

式中 N ——机组有功负荷 kW;

$K_{电}$ ——发电机效率;

在负荷 N 一定的情况下,影响发电引用流量 Q 大小的只有机组效率($K_{电} \cdot K_{机}$)和水头 ΔH 两项,分析龚站历年各台机组大修效率试验报告得知,电站7台机组经过十几年的运行,其水轮机效率均有不同程度的降低。其中尤以2号机、5号机效率最低,表3列出了历年各机组大修前的最高效率值($K_{机组效率} = K_{机} \cdot K_{电}$)。由于发电机效率 $K_{电}$ 基本不变,故可认为经过多年的运行,龚站水轮机效率 $K_{机}$ 平均降低了 4.1% 。

表3 龚站各机组大修前最高效率统计表

效 率	机组序号							平均
	1F	2F	3F	4F	5F	6F	7F	
最高效率/%	90.8	84.9	90.7	86.1	83.3	87.0	89.0	87.4
效率降低率/%	-0.3	-7.2	-0.3	-5.7	-9.4	-4.6	-0.2	-4.1

(2)发电用水因水头损失应增大。根据已收集的机组效率试验报告得知,机组段实测(一般在枯期)最大水头损失为 $3.91 m$,可见引水系统水头损失是严重的。除此之外,地下厂房进水口汛期尚存在拦污栅压差较大的问题。在此以前的发电用水计算中,几乎没有考虑到这些因数的影响。为了说明,在表4中列出了效率试验报告中导叶各种开度情况下的平均水头损失和相应水头损失率。与相应毛水头相比,平均水头损失率约为 2.8% 。显然,(3)式实际上应表示如下:

表4 龚站各机组效率试验测得水头损失统计表

效 率	机组序号							平均
	1F	2F	3F	4F	5F	6F	7F	
试验毛水头/m	53.5	50.2	50.7	54.6	55.0	52.2	54.4	52.9
试验净水头/m	52.3	48.7	49.4	53.1	54.6	50.6	51.4	51.4
水头损失/m	-1.2	-1.5	-1.3	-1.5	-0.4	-1.6	-3.0	-1.5
水头损失率/%	-2.2	-3.0	-2.6	-2.7	-0.7	-3.1	-5.5	-2.8

$Q_{实际发电流量}$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{N}{K_{电} \cdot K_{机} \times (1-4.1\%) \cdot \Delta H \times (1-2.8\%)} \\
 &= \frac{N}{K_{电} \cdot K_{机} \cdot \Delta H \times (95.9\% \times 97.2\%)} \\
 &\approx 1.07 \times \frac{N}{K_{电} \cdot K_{机} \cdot \Delta H} = 1.07 Q_{发电} \quad (4)
 \end{aligned}$$

即综合考虑水轮机效率降低和水头损失后,实际发电用水在原基础上应增大大约 7% 。可据此绘制机组发电用水特性曲线(即 $\Delta H \sim N \sim q$ 关系曲线)。

5 电站溢流门、底孔泄流量的率定

由于采用水力模型率定各溢流门、底孔的泄流量不现实,故采用(2)式水量平衡法重新率定各门、

孔在不同库水位和开度情况下的泄流量,从而建立了各溢流门及底孔的泄流关系曲线。该曲线可用日水量资料进行检验。将(2)式移项后得:

$$Q_{弃水} = Q_{入库} - Q_{机组} \pm \Delta Q \quad (5)$$

将1996年弃水期5~9月的日入库流量(峨边站整编值)代入(5)式 $Q_{入库}$ 中,日发电用水量扩大7%后代入(5)式 $Q_{发电}$ 中, ΔQ 可从水库调度资料零时水位及库容表查得。如此计算得到的弃水流量,与电厂水库调度组原计算值比较,平均比原采用值约

表5 率定前后计算日均入库流量与峨边站实测流量比较表

日期	峨边站日均入库流量 /m ³ ·s ⁻¹	项 目					
		率 定 前			率 定 后		
		计 算 入 流 /m ³ ·s ⁻¹	绝对 误差	相对 误差 /%	计 算 入 流 /m ³ ·s ⁻¹	绝对 误差	相对 误差 /%
19970901	1 468	1 478	10	0.7	1 561	93	6.3
19970902	1 490	1 428	-62	-4.1	1 521	31	2.1
19970903	1 508	1 453	-55	-3.5	1 543	35	2.3
19970904	1 730	1 563	-167	-9.6	1 674	-56	-3.1
19971001	1 590	1 540	-50	-3.0	1 633	43	2.7
19971002	1 620	1 513	-107	-6.5	1 612	-8	-0.4
19971101	1 065	1 025	-40	-3.7	1 075	10	0.9
19971102	1 070	948	-122	-11.3	1 018	-52	-4.8
19971103	1 040	962	-78	-7.4	1 028	-12	-1.1
19971104	1 005	983	-22	-2.1	1 046	41	4.1
平 均	1 180	1 110	-66	-6.1	1 186	6	0.1

增大4.0%,故门孔泄流量应平均比原值扩大

4.0%。表5对重新率定后的计算入库流量与峨边水文站实测入库流量进行了比较。

6 尾水位~流量关系曲线

尾水位~流量关系曲线的绘制是以能准确计算过坝流量为基础的。

(1)尾水位观测:枯期观测时间为8时、14时,汛期观测时间为8时、14时、20时。

(2)尾水流量:根据正点观测水位时的原始负荷记录,查算经重新率定的 $\Delta H \sim N \sim q$ 关系曲线,计算机组发电流量。尾水流量为机组发电用水量与平均扩大4%后的溢流量值之和。

(3)水位~流量关系定线:由于下游铜街子电站水库蓄水对龚站尾水有顶托影响,同时也受龚站自身调峰的日调节影响,其水位~流量关系点是散乱的。为此,采用以铜库坝前同时水位为参数,分别以龚站尾水位为纵坐标,以计算的出库流量为横坐标,建立其相关关系图,见图1。

从图1中可见:

(1)474 m以下关系点散乱,但随铜库坝前水位

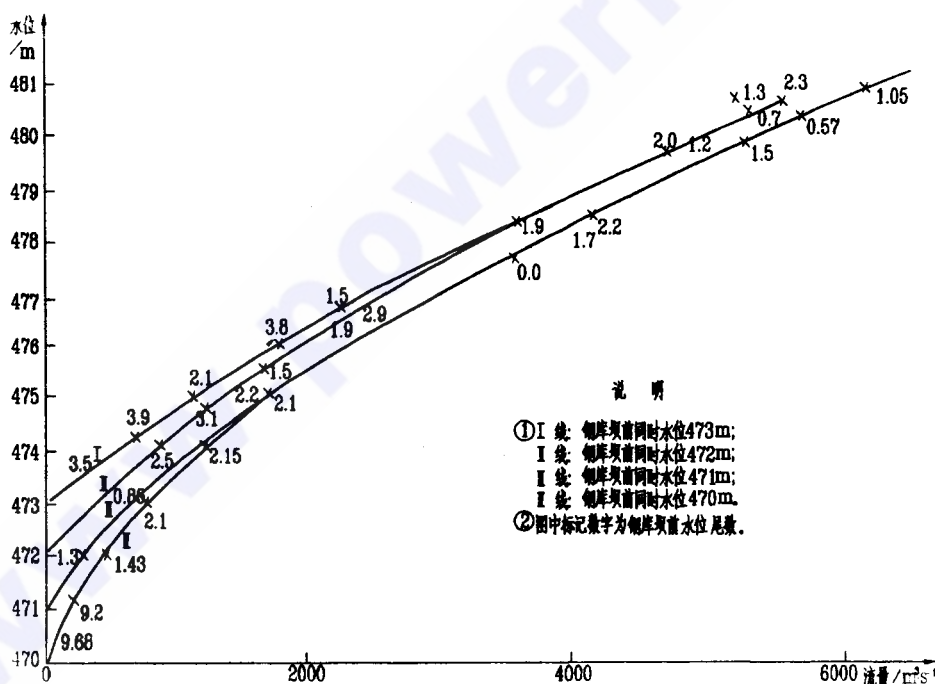


图1 龚嘴电站尾水位(铜坝前水位)流量关系曲线图

的变化,其关系点变化趋势是明显的;

(2)474 m以上关系点较集中,呈一带状,尾水位的高低与铜库坝前水位的变化趋势不很明显。

(3)个别关系点跳跃幅度较大。

根据关系点分布情况,曾先后采取过以下几种定线方式:

一是474 m以下根据已有关系点,分别按趋势定出以铜库坝前水位为参数的470 m、471 m、472 m、473 m四条线,其中470 m、471 m两条线尾部顺势聚集为一条线,上行构成高水部分的外包线下沿;472 m线上行构成高水部分的中线;473 m线上行构成高水部分的外包线上沿。二是474 m以下根据

已有关系点,分别按趋势定出以铜库坝前水位为参数的470 m、471 m、472 m、473 m 四条线,其中470 m、471 m 两条线尾部顺势聚为一条线,上行构成高水部分的下线;472 m、473 m 两条线尾部顺势聚为另一条线,上行构成高水部分的上线(见图1)。三是综合前两种定线方式,根据已有关系点,474 m 以下按趋势定为以铜库坝前水位为参数的3条线,分为铜库坝前同时水位小于或等于471.50 m、大于471.50 m,但小于472.50 m、大于或等于472.50 m 3种情况,该三线尾部顺势聚集为一条线上行穿越高水部分中间区域。通过分析认为,第二种定线方式较为合理。因为高水部分受铜库坝前水位的影响不很明显。通过由流量查算水位和由水位查算流量的资料验算,该定线方法计算平均误差小于其它两线的计算平均误差。

7 率定成果检验

7.1 水量平衡检验

表5列出了峨边入库站与水情组1997年9月1日~1997年12月20日的逐日流量比较情况。表5中所列发电流量由厂计划处提供,该值同比例扩大7%以及弃水流量同比例扩大4%后,再加上库内蓄水量差,其和为率定后的计算入库流量。从表5中可见,修正发电用水和弃水后的计算入库流量,与峨边实测入库流量相比,其平均相对误差较小,由修正前的-6.1%降为修正后的+0.1%。从检验资料分析,水量是平衡的。

7.2 水位~流量关系线检验

按高中低水位三种情况,表6列出了1997年部分时段根据日均尾水位查算率定后的“龚站尾水位~流量关系曲线”计算龚站出库流量的结果,表6未

.....
(上接第66页)

再用手触摸屏内微机的外壳,发觉很烫手,说明由于LCU屏封闭很好造成屏内温度过高,造成硬盘的磁头和磁盘发生物理特性和电磁特性变化,从而影响微机系统的正常读写工作。将LCU屏的前、后门打开,使屏内温度降低,再将Wincc系统文件覆盖,重新启动,故障即可排除。

由于LCU屏在设计时只在屏的右下角安装了一个通气孔,其它均为全封闭,因此造成了屏内温度过高,使监控系统的微机内部因温度影响产生读写错误,导致无法进行正常操作。同样的问题在我厂铜街子电站亦有存在。

计算平均值。可见根据日均尾水位查算流量的平均相对误差为-3.3%。经统计关系点的离差和分布情况,已能满足水位~流量关系定线的规范要求。

表6 率定后的尾水位~流量关系曲线检验表

日期	项 目		从曲线查得 库流量 /m·s ⁻¹	龚站实际 出库 流量 /m·s ⁻¹	绝对 误差	相对 误差 /%
	龚站 尾水 位 /m	铜库 坝前 水位 /m				
19970701	476.95	471.54	2 860	1 943	-83	-2.76
19970702	477.13	471.21	3 000	3 246	-246	-7.53
19970703	478.64	471.42	4 200	4 160	40	+1.09
19970704	479.89	471.26	5 360	5 506	-146	-2.65
19970705	478.38	471.31	4 000	4 273	-273	-6.33
19970706	477.90	471.20	3 600	4 040	-440	-10.87
19970707	479.86	470.66	5 300	5 381	-81	-1.41
19970708	479.98	470.85	5 400	5 259	141	+2.76
19970709	479.04	470.74	4 540	4 668	-128	-2.67
19970710	478.74	471.20	4 300	4 053	247	+6.17
19970711	478.49	470.69	4 100	3 639	461	+12.79
19971023	474.97	472.23	1 500	1 548	42	+2.95
平均	476.04	472.09	2 200	2 240	-38	-3.3

8 结 语

分析率定后的尾水位~流量关系曲线可知,部分关系点的偏离仍较大,分析其原因大致为:一是观测水尺的代表性差。从分析个别点的跳跃情况得知,当上厂(尤其是4号机)负荷较重时,位于上厂4号机边墙的水尺水位读数偏高。当开启底孔或地下厂房负荷较重时,其读数偏低。二是在4号机边墙水尺被冲毁以后,用测绳量测15号底孔旁自记水位井水位,由于此水位长期有滞后的问题,也是造成水位不准确的原因之一。三是从处理手段上讲,因水位站同时受回水顶托影响和日调节的脉动影响,目前尚无法找到理想的经验关系来描述其相关性。

作者简介:

蔡承德(1965年一),男,四川南部人,龚嘴水力发电总厂,高级工程师,从事水电站技术管理工作。

3 解决办法

铜街子电站(设备由南瑞公司提供)在发现这一问题后采取了将屏盘门打开,并用电风扇吹风的方法降低温度;同时提出在屏的顶部安装排气扇方案,从而解决了这一问题。由于龚站的设备涉及外商的原因,且又在合同期内,因此无法对此进行技改。在炎热的夏季,这一问题的出现始终是一大隐患,直接关系到监控系统的稳定运行,从而影响龚站机组的安全运行。随着自动化改造工作的继续和投运设备的增加,对此问题应引起足够的重视和深刻的认识。

作者简介:

张建军(1968年一),男,四川峨眉人,龚嘴水力发电总厂,高级工程师,从事水电站运行技术管理工作。