

龚嘴水库水量平衡计算中若干问题探讨

顾大勤

(龚嘴水力发电总厂, 乐山, 614905)

提 要 龚嘴水库蓄水以来,在水量平衡计算中一直存在入库站测报的入库水量与计算值不符合的问题。对水库调度,洪水预报,电站运行管理等,带来诸多不利影响和问题。本文在有关资料和多方考察的基础上,从影响水量平衡计算中的因素出发,力求探索出问题的潜危性和解决的途径,并为解决这些问题提出了建议。

关键词 水量平衡 实测资料 影响因素

1 龚嘴电站基本情况

龚嘴水电站位于大渡河中下游的四川省乐山市境内。是一座以发电为主兼有水运漂木等综合利用的水利枢纽。1966年动工兴建,1971年12月第一台机组发电,1978年底7台10万kW机组全部投产。1966年组建龚嘴水库实验站,连续20余年来进行了水库水文、泥沙规律的原型测验,取得了大量的资料。

大渡河全长1062km,流域面积77400km²,龚嘴电站大坝以上控制流域面积76130km²,占全流域面积的98%。建库时总库容3.737亿m³,正常蓄水位528.0m时,库容3.45亿m³,死水位520.0m时,库容为2.43亿m³,有效库容1.018亿m³,属日、周调节水库。

龚嘴水库汛期来水含沙量较大,多年平均输沙量为3370万t。水库运用20年来,泥沙淤积严重,至1989年淤积量已达2.31亿m³,损失总库容61%,其中有效库容淤积0.196亿m³,尚余0.912亿m³可供调节。520.0m以下库容已淤90%,仅余0.227亿m³库容。

2 存在问题

龚嘴水库自1971年底蓄水发电,至

1978年底7台机组投运期间,最高水位控制在523.0m运行。在1978年10月进行了大坝蓄水无异常试验后,水库按设计规定的控制水位运行。即汛期(6~9月)520.0m;平水期(5月、10月)525.0m;枯水期(11月~次年4月)528.0m运行。库区回水至沙坪水文站,(距坝35km)。该站系入库控制水文测报站,其入库水量是水库调度的主要依据。而电站水调工作在调度水库及整理计算水库资料时,又以水量平衡原理还原计算方法求得入库流量。

自电站发电以来,按 $Q_A = Q_{\text{站}} + \Delta Q$ 反推的入库水量与沙坪入库站测报的水量差异较大参见表1、2。总的情况是沙坪入库站流量偏大,电站按水量平衡法计算流量偏小。枯水期相差5%左右,平水期和汛期相差10%左右,日平均流量的最大差值达20%以上。

入库水量是水库调度的依据,是汛期防洪、枯期发电安排的决策基础。由于这种差异,在实际运用中给水库调度工作带来困难,又潜危着发电安排、运行方式、洪水预报精度、防洪标准等等的可靠性和安全性。如使用流量比实际流量偏大,就可能造成发电过多,导致水库水位下降难以回升而损失水头,影响发电效益。用于防洪时,就会导致下泄流量偏大,对下游造成人造洪峰,带来不必要的损失。如使用流量比实际流量偏小时,亦会产生

相反的不良后果。

表 1

年 份	$W_{\text{沙}}$ (亿 m^3)	$W_{\text{计}}$ (亿 m^3)	误 差 (%)
1973	366	341	6.83
1974	480	454	5.42
1975	434	417	3.92
1976	456	432	5.26
1977	418	406	2.87
1978	429	412	3.96
1979	447	430	3.80
1980	462	450	2.60
1981	472	460	2.54
1982	453	430	9.49
1983	444	412	7.21
1984	419	397	5.25
1985	511	496	2.94
1986	393	379	3.56
1987	432	411	4.86
1988	468	447	4.49
1989	545	516	5.32
1990	521	492	5.57
1991	457	421	8.55
平 均			4.97

注:1. $W_{\text{沙}}$ 为沙坪站整编后的入库水量。
2. $W_{\text{计}}$ 为按水量平衡原理反推的入库水量。

表 2 1987 年月平均流量对照表

月	入库站 发报 流量 (m^3/s)	入库站 整编 流量 (m^3/s)	平衡 计算 流量 (m^3/s)	误 差 (%)		
				发报与 整编值	发报与 平衡值	整编与 平衡值
1	424	415	402	2.12	5.19	3.13
2	371	368	355	0.80	4.31	3.53
3	367	361	354	1.63	3.54	1.94
4	451	438	433	2.88	3.99	1.14
5	756	734	721	2.91	4.63	1.77
6	1811	1730	1692	4.47	6.57	2.20
7	3521	3350	3223	4.86	8.46	3.79
8	2764	2620	2474	5.21	10.49	5.57
9	3074	2930	2747	4.68	10.64	6.24
10	2072	1930	1791	6.85	13.56	7.20
11	883	894	838	1.24	5.10	6.23
12	597	579	545	3.01	8.71	5.87
枯 期				1.95	5.14	3.64
平水期				4.88	9.10	4.48
汛期				4.80	9.04	4.45

在龚嘴电站水调实践中,是靠多年从事水调工作的同志,凭经验进行修正(见表 2)。掌握调度,才能基本上保持入、出库水量的平衡,达到水库水位的相对稳定。但并未能从根本上得到解决。

3 原因分析

经过实践和多方资料分析,造成这种差异的原因是多方面的。分述如下:

3.1 水量平衡公式运用中的影响因素

水库水量平衡计算公式为:

$$Q_{\lambda} = Q_{\text{出}} \pm \Delta Q = Q_{\text{发电}} + Q_{\text{弃}} + Q_{\text{损}} \pm \Delta Q \quad (1)$$

式中 Q_{λ} ——水量平衡还原计算入库流量;
 $Q_{\text{发电}}$ ——发电用流量;
 $Q_{\text{弃}}$ ——弃水流量;
 $Q_{\text{损}}$ ——渗漏、蒸发等损失流量;
 ΔQ ——计算时段水库蓄、放水流量。

式中各项单位均为 m^3/s 。

3.1.1 发电用水的影响 发电用水计算用通用函数式表达为:

$$Q_{\text{发电}} = f(N, H) \quad (2)$$

式中 N ——机组出力(万 kW);
 H ——水头(m)。

N 、 $Q_{\text{发电}}$ 系通过水轮机效率试验得到。采用一组水头下每台机组的出力和流量试验值,绘制成电站机组用水特性曲线。在计算发电用水时,用已知的水头和出力,即可查线得到发电用流量。

实际上,水机效率是随水头及导叶开度不同而变化的,龚嘴电站水机最低效率仅为 38.52%,其耗水率为 $19.78\text{m}^3/\text{kW} \cdot \text{h}$;中效区为 78%~88%;水耗为 $8 \sim 9\text{m}^3/\text{kW} \cdot \text{h}$;高效区水机效率在 88%以上,该区域水耗为 $7.8 \sim 8\text{m}^3/\text{kW} \cdot \text{h}$ 。高效区与低效区耗水率相差 2.5 倍。在计算发电用水时,用毛水头而不用净水头,或不考虑水机导叶开度,必然会导致计算发电用水与实际发电用水产生误

差。

同时,机组的特性也是随使用周期及检修情况而变化的。同样在设计水头 48m、出力 10 万 kW 时,由水轮机厂家给定,发电用水为 $230\text{m}^3/\text{s}$;1975 年 2 号机作效率试验,发电用水为 $254\text{m}^3/\text{s}$;1977 年作效率试验,发电用水为 $261\text{m}^3/\text{s}$ 。因此,试验数据也应不断更新。对于电厂要一次对所有机组作效率试验又不易做到,在我厂则是对一台机作试验后用于其它机组,而且还不是经常作。试验数据不能更准确地反映机组的当前特性,也是导致计算发电用水产生误差的原因。

3.1.2 动库容影响 目前,我厂使用的水量平衡算法计算入库流量,仅考虑了线性与静库容的情况,而入库流量最本质的东西——动库容与非线性问题未加以考虑。

当入库或出库流量不为零时,水库水面线会出现水力坡降,不再保持水平而出现动库容。与动库容有关的因素是入库流量,坝前水位和出库流量。龚嘴水库入库流量大,库容较小,坝前出库流量变幅大,导致水库水位变幅也大,为动库容的形成创造了条件,此时用坝前水位推求公式(1)中的 ΔQ ,必然产生一定的误差。

据有关文献查出,不同地区,不同水库等级,不同水库形状(河道型与峡谷型),不同暴雨特点,入库洪峰流量要比坝址洪峰流量大 10%左右,大者可达 50%~100%,前者多出现在一般洪水情况,后者则发生在千年一遇或万年一遇洪水时的情况。

3.1.3 水头损失影响 水库形成后,每年约有 50 万 m^3 的木材经过龚嘴大坝漂向下游。枯水期不能满足放漂流量需要,存放在库内的木材,经过长期浸泡,成为沉木和半沉木,堆积在坝前,甚至贴附于机组进水口拦污栅前,造成拦污栅前后水位压差均在 1.5m 左右,最高达 4.06m,造成机组进水口水头损失 5%左右。使计算发电用水时的水头比实际水头偏大,导致计算的发电用水比实际发电用

水偏小 3%~6.5%。

3.1.4 库容曲线影响 水量平衡计算入库流量公式中, ΔQ 一项是由库容曲线查得。而库容曲线除因动库容变化的影响外,因水库运行 20 余年来,已产生了大量的淤积,用建库时的库容曲线作水库水量还原计算必然产生一定的误差。但因目前淤积量尚大部份在死库容内,对计算入库流量影响较小见表 3。

表3 1987年6月淤积前后库容推求流量对照表

日期 (日)	入库站 整编流量 (m^3/s)	设计库容		1987年 测量库容		1990年 测量库容	
		推求流量 (m^3/s)	误差 (%)	推求流量 (m^3/s)	误差 (%)	推求流量 (m^3/s)	误差 (%)
1	896	834	6.9	838	6.5	859	4.1
2	833	756	9.2	788	5.4	795	4.6
3	773	751	2.8	750	3.0	759	1.8
4	791	771	2.5	759	4.0	747	5.6
5	896	932	4.0	919	2.6	916	2.2
6	1170	1120	4.3	1118	4.4	1106	5.5
7	1400	1341	4.2	1338	4.4	1332	4.9
8	1440	1455	1.0	1457	1.2	1458	1.2
9	1260	1212	3.8	1222	3.0	1238	1.7
10	1110	1100	0.9	1100	0.9	1090	1.8
平均			3.96		3.54		3.34

3.1.5 溢流曲线的影响 在 1984 年以前系采用建库时的溢流曲线。之后,进行了门、孔率定并作了修正,在原曲线上增加了溢流量的 7%。水量平衡计算流量与沙坪入库流量比较,汛期有溢流时平均误差为 2.53%,无溢流时平均误差为 4.21% 见表 4。

3.1.6 水量损失 水库库区地处山区,无分流、漏水现象,灌溉用水极少。龚嘴水库水面面积较小,水面蒸发也基本无影响。

3.2 沙坪入库站流量问题

3.2.1 水库回水顶托的影响 入库水位观测分沙坪(二)和沙坪(三)两个站。(二)站在(三)站下游,相距约 1 000m。汛期(5~10 月),坝前水位低,均由(二)站水位进行测报,(用实测水位查上一年水位流量相关线得流量),枯水期(11~次年 4 月),坝前水位抬高,改由(三)站水位进行测报,目的是不受或少受水库回水顶托影响。

事实上,坝前水位超过526.0m时,(二)站已在水库回水中,超过527.0m时,(三)站也在水库回水中。因此,这时测得的水位已受顶托抬高,相应查得的流量也就偏大,即包含了库尾的楔蓄流量。造成入库流量偏大。

表4 1987年6月溢流曲线影响情况分析

日 期 (日)	Q _沙 (m³/s)	Q _计 (m³/s)	Q _整 (m³/s)	误 差 (%)
1	896	834	0	6.92
2	833	756	0	9.24
3	773	751	0	2.85
4	791	771	0	2.53
5	896	932	0	4.02
6	1170	1120	0	4.27
7	1400	1341	0	4.21
8	1440	1455	0	1.04
9	1260	1212	0	3.81
10	1110	1100	0	0.90
11	1070	988	0	7.66
12	1040	1014	0	2.50
13	1080	1012	0	6.30
14	1370	1279	0	6.64
15	1880	1879	0	0.05
16	2060	2121	502	2.96
17	1820	1734	311	4.73
18	1750	1764	0	0.80
19	1840	1833	34	0.38
20	2200	2179	622	0.95
21	2330	2296	579	1.46
22	2140	2094	489	2.15
23	1840	1837	113	0.16
24	1890	1912	248	1.16
25	2260	2155	892	4.65
26	2620	2691	1478	2.71
27	2860	2930	1366	2.45
28	2930	2717	1471	7.27
29	3260	3200	1651	1.84
30	2980	2853	1398	4.26
无溢流时 平均误差				4.21
有溢流时 平均误差				2.53

3.2.2 测报流量值的影响 沙坪入库站测报的水位是实测的,而相应的流量是用该水位在上一年水文资料整编成果的“水位、流量关系曲线”上查得的。由于河床被淤积抬高,测报的流量偏大。如表5及表6所示,整编后的流量值比发报值,汛期偏小5%左右,枯期偏小3%左右。说明测站河床逐年在淤积抬高中。根据(二)站断面资料分析,河床高程每年抬高约0.1m左右。

表5 1987年沙坪(二)站发报流量与整编流量误差

水 位(m)	发报流量 (m³/s)	整编流量 (m³/s)	误 差 (%)
528.00	782	734	6.14
529.00	1296	1235	4.71
530.00	1970	1863	5.43
531.00	2795	2648	5.26
532.00	3683	3503	4.89
533.00	4610	4450	3.47
534.00	5610	5465	2.58
平 均			4.64

表6 1987年沙坪(三)站发报流量与整编流量误差

水 位(m)	发报流量 (m³/s)	整编流量 (m³/s)	误 差 (%)
527.80	341	335	1.76
528.00	401	392	2.24
528.20	475	458	3.58
528.40	555	536	3.42
528.60	636	616	3.14
528.80	720	701	2.64
529.00	809	791	2.22
529.20	903	886	1.88
529.40	1010	988	2.18
平 均			2.56

3.2.3 流量测验方面可能产生的误差 多年来,沙坪入库站流量测验按索道设施进行。由于铅鱼重量有限,测流垂线偏角较大,测点水深必然产生误差。同时,由于漂木撞击的威胁,测点历时有时过短等等,也是造成误差的因素。

4 解决的途径和建议

1. 用水量平衡计算入库流量时,对采用的每一参数必须按实际情况力求其准确性,如发电用水计算,必须要有相应实际的水头。水机导叶开度等资料。因此,水机效率试验应按推流要求进行。建议装置效率自动监测仪表和作叶片开度,相应水头的具体原始记录,保证发电用水计算准确可靠。

2. 为尽量消除因坝前水位带来的动库容影响,应取用水库库区水位观测站资料的平均值或中库段的水位值,以此查算水量平衡计算中的有关数据。

3. 必须彻底解决机组进水口拦污栅堆压木材的问题,这不仅是减少水头损失的需要,也是保护水工设施,保证安全发电的问题。

4. 原始库容曲线与淤积后库容曲线对计算流量有一定的影响,计算流量时应用近期库容曲线。同时,在进行水库水下地形测量时,坝前水位应保持相对稳定,以减少误差。

5. 沙坪入库站的水位、流量应解决好受回水影响的因素。在技术上应探索出可靠的改正受回水影响的计算方法。目前已采用的枯期增设斑鸠嘴(沙坪(二)站以上2 500m)水位站,摆脱回水影响进行测报,也是一个解决措施。

6. 对于使用“水位~流量关系线”,查报入库流量,入库站应根据历年资料情况,修正处理后再报出。

5 结 束 语

龚嘴水库在水量平衡计算中出现的问
题,是一个实际问题,也是目前需要深入探讨
的科研问题,在全国各运行水库中或多或
少的会遇到这些类似情况。本文剖析龚嘴
水库的这些问题,旨在引起水利各界注意,
共同探讨、改进、完善已建水库水量平衡
计算的理论和方法。限于水平,不当和错
误之外,敬请批评指正。

(收稿日期:19930107)

本刊1994年第1期更正

页	行	误	正
中文目次	例1	王西宏研制并摄影	王西宏等研制并摄影
13	图1	直接径流 R_2	直接径流 R_1
14	14	SA, AB	SA, SB
19	公式(13)	$W(j) = \rho_j \sum_{j=1}^m \rho_j $	$W'(j) = \rho_j / \sum_{j=1}^m \rho_j $
50	例12	从所周知	众所周知
51	例1	几下探嗣	几个探嗣
54	例5	以达简明速用之目的	以达简明适用之目的
70	4	$p^{\circ}ok$	$p^{\circ}ok$
91	表2	石灰石粉(%) $\nless 6.5$	石灰石粉(%) $\less 6.5$

特此更正。

本刊编辑部