

# 龚嘴水库汛期合理调度方式探讨

蔡承德

(龚嘴水力发电总厂 乐山 614905)

**提 要** 本文从延缓水库淤积,提高发电效率目的出发,试图就龚嘴水库汛期库区泥沙冲淤平衡,与坝前控制水位的关系进行探讨,从而提出一个根据入库流量推求坝前最佳控制水位的函数关系。从计算结果对比分析看,效果较好,方法简单易行,具有一定的实用价值。

**关键词** 冲淤平衡 挟沙能力 含沙量 死水位

龚嘴水库为一河道狭长型、日周调节水库。设计年平均输沙量约 3370 万 t,其中 90%泥沙集中在汛期 6~9 月入库。入库泥沙以悬移质为主,另有少量推移质。电站总装机容量为 70 万 kW,设计年发电量为 34.178 亿 kW·h。

到 1991 年底,水库运行历时 20 年,累计发电量为 554 亿 kW·h,创造产值达 35 亿元,为祖国西南地区的工农业发展作出了较大贡献。同时由于汛期入库泥沙含量较大,水库库容损失严重,目前死库容损失殆尽,调节库容损失 68.1%,尚余 0.9036 亿 m<sup>3</sup> 库容可进行日周调节和承担系统事故备用。如何调度水库,才能既有利于发电,又能延缓现有库容的淤积,是目前生产中存在的主要问题。本文结合龚嘴水库运行现状及库区泥沙的水力学特性,探讨了库区泥沙冲淤平衡的条件,以供有关部门作水库调度决策时参考。

## 1 水库运行状况

水库建成蓄水后,在运行过程的不同阶段,采取不同的控制运用方式,是提高发电效率,延长水库寿命的有效途径。回顾龚嘴水库 20 年来的运行状况,大致可分为以下几个阶段。

第一阶段,1971 年底到 1979 年。这一阶

段水库建成开始蓄水,同时机组尚未完全投产,水库水位限制在死水位 520.00m 运行。但由于这期间四川电力紧张,为提高机组出力,实际坝前水位有所抬高,汛期平均水位为 521.30m,见表 1。自 1976 年电厂出库站有实测资料算起,这一期间,泥沙在库内落淤率较大,见表 2,有逐年递减的趋势,平均落淤率大于 76.8%。

第二阶段,1979 年到 1984 年。电站 7 台机组开始全部投产,同时水库也按设计部门给出的各时期运行水位开始正常运行,即枯水期(11~4 月)528.00m,平水期(5、10 月)525.00m,汛期(6~9 月)520.00m(汛期运行水位)。汛期水库在 520.00m 运行的目的是为了有利于水库排沙,但实际由于多方面原因影响,从表 1 可知,这期间实际允许水位变幅在 520.00m~523.00m 之间。到 1984 年底,实测库区泥沙淤积三角洲头出库,至此水库泥沙淤积已基本平衡。泥沙落淤率仍然是逐年呈递减趋势,平均落淤率为 53.0%。

第三阶段,1984 年以后。在总结前两阶段水库控制运用经验的基础上,这一阶段坝前水位开始按流量分级控制,见表 1。这种运行方式的优点是反映了水库大水多沙,小水少沙的特点,有利于水库排沙和发电。从表 2 可知,1987 年泥沙在库内落淤率最小达 4.1%,而 1989 年最大达到 37.7%,表明这

一阶段泥沙在库内的淤积不再是逐年递减,而是随水库调度方式的不同呈摆动趋势。但总的说来,泥沙在库内落淤率已远远不及前两阶段。

目前水库坝前右岸边滩已达到 520.00m 高程,左岸主河槽已接近天然河道。此后,库区河道可以被概化为一冲淤河段,入库泥沙将根据库区水流挟沙能力的大小引起冲刷或淤积。

表 1 历年汛期水库运行情况表

阶段 (年)	划分流量级 (m <sup>3</sup> /s)	限制坝前水位 (m)	实际平均 水位(m)
1971~1979	无	520.00	521.30
1979~1985	无	520.00~523.00	522.46
1985~1991	2000 ≤ Q <sub>λ</sub> < 3000	521.50 ~ 523.00	522.30
	Q <sub>λ</sub> ≥ 3000	520.00 ~ 521.50	
	Q <sub>λ</sub> ≥ 5000	520.00	

表 2 历年汛期水库坝前水位及泥沙落淤情况表

阶段	年份	水库平均水位(m)	落淤率(%)
第一 阶段	1972	520.91	78.3
	1976		
	1977		
	1978		
	1979		
第二 阶段	1980	522.07	72.6
	1981		
	1982		
	1983		
	1984		
第三 阶段	1985	522.68	19.4
	1986		
	1987		
	1988		
	1989		
	1990		
1991	522.81	24.7	

## 2 经验函数关系的建立

### 2.1 经验关系的确定

目前生产上关于水流泥沙问题的研究大多采用经验公式。河海大学在对黄河干支流等多沙河流的实验研究后,提出如下水流挟沙能力经验公式:

$$s = 0.031v^{2.25}/R^{0.70}\omega^{0.77} \quad (1)$$

式中  $s$  —— 水流挟沙能力(kg/m<sup>3</sup>);

$v$  —— 断面平均流速(m/s);

$R$  —— 水力半径(m);

$\omega$  —— 泥沙沉速(m/s)。

在应用于龚嘴水库调度方式探讨及挟沙能力分析时,作者借助上式并进一步作如下推导和简化。

1. 由谢才公式  $v = c\sqrt{RJ}$  及曼宁系数  $c = R^{1/6}/n$  代入式(1)中的  $v$ ,其中  $J$  为水面比降, $n$  为河道糙率, $c$  为谢才系数。

2. 假设同一挟沙能力时,库区水面比降  $J$  及河道糙率  $n$  不变,或变化较小,且  $J$ 、 $n$  值又能相互补偿。

3. 设泥沙平均沉速  $\omega$  一定。

4. 用坝前 520.00m 以上控制水深  $h$  代替河道平均水力半径  $R$ 。

通过以上推导和简化,有如下函数关系式:

$$h = f(s^{1.25}) \quad (2)$$

上式表示坝前水位 520.00m 以上控制水深  $h$  是库区水流挟沙能力  $s$  的 1.25 次方的函数。根据泥沙的水力学特性可知,如果入库含沙量为  $\mu$ ,当  $\mu > s$  时,泥沙在库内将发生沉积;当  $\mu < s$  时,库区将发生冲刷;当  $\mu = s$  时,库区保持冲淤平衡。显然,用  $\mu$  代替式(2)中的  $s$ ,即得冲淤平衡时,坝前水深  $h$  与入库含沙量  $\mu$  的下列函数关系式:

$$h = f(\mu^{1.25}) \quad (3)$$

函数关系式(3)反映了龚嘴库区冲淤平衡情况下,入库含沙量  $\mu$  与坝前 520.00m 以

上控制水深  $h$  的函数对应关系。根据式(3), 只要能确定某时段(日或几小时)的入库含沙量, 即可求得控制水深  $h$  和相应的水库水位, 为龚嘴水库汛期开展合理水沙调度创造了有利条件。

## 2.2 经验关系可靠性分析

2.2.1 资料选取 选取水库第三阶段 1985 年至 1989 年汛期实测水沙资料(1990、1991 年资料留作验证用)。由于缺乏逐日逐时段实测入库含沙量值, 计算时采用日均值。

2.2.2 基本数据 分析含沙量数据 1220 个; 录用泥沙出库率大于 90% 的日均入库含沙量值 90 个; 录用日均坝前水位数据 90 个。

2.2.3 分析方法 在坐标纸上点绘  $h \sim \mu^{1.25}$  相关图, 其中  $h$  为坝前水位与 520.00m 的差值,  $\mu$  为入库含沙量值。如果该相关图点据分布不很散乱, 曲线趋势非常明显, 相关关系比较稳定, 则式(3) 函数关系成立, 能很好地反映水库冲淤平衡的变化规律。按式(3) 相关分析的成果见图 1, 图中纵坐标为  $520.00 + h$ , 即坝前实际水位  $H$ 。

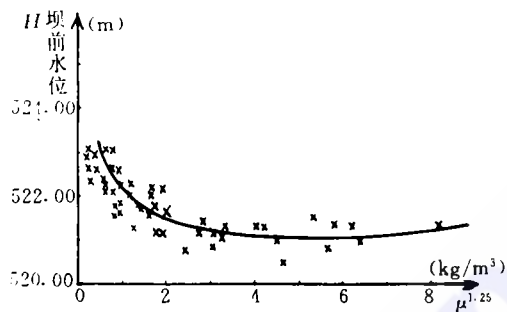


图 1  $H \sim \mu^{1.25}$  关系图

2.2.4 结论 由图 1 可知, 图中点据分布呈明显的曲线趋势, 规律性较好, 说明式(3) 函数关系成立, 且能反映水库冲淤平衡的变化规律。图 1 作为应用图表之一, 在此须作几点说明:

1. 图中  $\mu^{1.25} < 7.0$  左右时,  $H$  随  $\mu^{1.25}$  增大而降低;  $\mu^{1.25} > 7.0$  左右时,  $H$  随  $\mu^{1.25}$  增大而呈上升趋势, 这是由于相应含沙量的洪水

$Q_{\lambda} > 4000 \text{ m}^3/\text{s}$  左右, 库内水力条件发生变化, 流速变大, 挟沙能力增强所致;

2. 由实测资料分析可知, 图中曲线右上方为淤积区, 左下方为冲刷区。部份点据界限不明显, 有个别点据由淤积区变为冲刷, 分析其原因, 主要和冲沙底孔的长时间运行有关。

## 2.3 流量含沙量关系的建立

以上阐述了龚嘴水库在淤积平衡条件下 520.00m 以上控制水深  $h$  与含沙量  $\mu$  的函数关系式(3); 在实际运行中, 入库流量测报及时, 精度较高, 利用过去实测入库流量与含沙量建立关系, 以指导水库运行水位, 能提高水库水沙调度的可操作性。龚嘴水库上游石棉水文站至入库站沙坪区间, 是水库泥沙的主要来源, 随着这一区间产流量的增大, 入库泥沙含量也相应增加。而石棉以上地区入库水沙相对稳定。根据这些特点, 以石棉以上流量占沙坪站流量的比重为参数建立沙坪站, 入库流量  $\sim$  含沙量关系, 其建立步骤如下:

1. 摘取入库站沙坪多年实测流量及相应时刻含沙量值, 及上游石棉站实测流量值;

2. 计算石棉  $t - 6h$  时刻流量与沙坪  $t$  时刻流量比值  $Q_{\text{石棉}t-6h}/Q_{\text{沙坪}t}$ , 其中  $6h$  表示石棉至沙坪流量传播时间为 6 小时;

3. 以  $Q_{\text{石棉}t-6h}/Q_{\text{沙坪}t}$  为参数, 点绘入库站沙坪  $t$  时刻流量  $\sim$  含沙量关系图, 见图 2。

由图 2 可见, 虽然点据有些散乱, 但规律性是明显的。

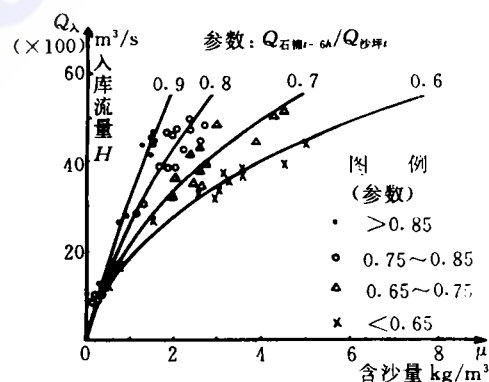


图 2 入库流量  $\sim$  含沙量关系图

### 3 水库合理调度途径

对于龚嘴水库这样的径流式发电水库，又长期担负着四川电网的主力调频调峰和事故备用任务，很难从优化理论的角度单独讨论水能的优化利用。合理可行的途径是，寻求能减缓水库淤积，提高发电效率的水库调度方式。这恰是目前水库调度中存在的主要矛盾，因为减缓水库淤积的通常做法是，让水库低水位运行。其结果是降低了水头，影响了机组出力，增加了单位千瓦过机水沙量，加速了水轮机过流部件的磨损；相反，如果提高水库运行水位，即提高发电水头，减少单位千瓦过机水沙量，能否减缓水库淤积是需要研究并回答的问题。利用  $H \sim \mu^{1.25}$  关系图，进行实时水库调度能较好解决上述矛盾，是合理可行的方法。

1. 图 1 根据式(3)建立在库区泥沙冲淤平衡的基础上，它通过分析库区水流挟沙能力，从而确定一最佳坝前水位，使出库含沙量与入库含沙量相等，从而达到库区冲淤平衡。

2. 龚嘴电站设计运行水头在 39.7~55.3m 之间。由图 1 可知， $H_{\min} = 521.00\text{m}$  左右，即使按  $Q_{\text{出}} = Q_{\lambda} = 5000\text{m}^3/\text{s}$  计算，运行水头也能维持在 40.75m 左右，不致影响机组出力。

3. 有利于水库经济运行。同一入库流量时，根据图 2 参数  $Q_{\text{石棉}-6A}/Q_{\text{沙坪}}$  的不同，即上游来水组成的不同，可以将坝前水位适当抬高或降低，而不致影响水库排沙。比如  $Q_{\lambda} = 4000\text{m}^3/\text{s}$ ，当参数为 0.7 时， $H = 521.15$ ；当参数为 0.9 时， $H = 521.95$ ，可抬高水头近 0.8m，这对提高机组出力，减少过机水沙，延缓水库寿命非常有益。

### 4 方法验证

#### 4.1 资料

1990 年及 1991 年汛期实测水沙资料。

#### 4.2 数据

实测出入库含沙量值 488 个；石棉及沙坪流量值 488 个；坝前水位值 244 个；所用数据全部采用日均值。

表 3 1990 年泥沙出库率大于 80% 的日计算成果比较表

日期	入库流量 $Q (\text{m}^3/\text{s})$	$Q_{\text{石棉}-6A}/Q_{\text{沙坪}}$	计算含沙量 $\mu (\text{kg}/\text{m}^3)$	实测含沙量 $\mu (\text{kg}/\text{m}^3)$	计算 $\mu^{1.25}$	计算坝前水位 $H (\text{m})$	实测坝前水位 $H (\text{m})$	实测泥沙 出库率 %
19900621	4506	0.80	2.2	3.4	2.7	521.30	521.07	87.3
19900622	3649	0.79	1.8	2.4	2.1	521.45	520.94	115.0
19900623	3314	0.78	1.6	1.7	1.8	521.60	521.28	107.7
19900701	3694	0.75	2.0	2.7	2.4	521.40	521.80	103.7*
19900702	3536	0.71	2.2	2.2	2.7	521.30	521.46	84.2
19900717	4239	0.49	7.1	7.9	11.6	522.00	522.08	98.1*
19900718	3844	0.64	3.7	3.9	5.1	521.10	520.79	83.5*
19900726	3126	0.68	2.1	3.5	2.5	521.35	521.37	91.5
19900727	3532	0.69	2.4	2.5	3.0	521.20	521.08	90.6*
19900820	2497	0.78	1.2	2.0	1.3	521.90	521.50	90.9
19900909	3697	0.67	2.5	1.1	3.1	521.20	521.06	121.6
19900918	4066	0.75	2.2	1.2	2.7	521.30	521.31	102.6
19900919	3513	0.74	1.7	1.0	1.9	521.55	521.68	90.9
19900920	3214	0.74	1.5	0.8	1.7	521.70	521.51	101.5
19900924	2571	0.73	1.1	0.5	1.1	522.15	522.52	113.3

注：1. \* 为当日冲沙孔运行历时大于 10h；2. 计算坝前水位的相应泥沙出库率为 100%

表 4 1991 年泥沙出库率大于 75% 的日计算成果比较表

日期	入库流量 $Q$ ( $m^3/s$ )	$Q_{石输r-6h}$ $/Q_{沙坪r}$	计算含沙量 $\mu$ ( $kg/m^3$ )	实测含沙量 $\mu$ ( $kg/m^3$ )	计算 $\mu^{1.25}$	计算坝前水位 $H$ (m)	实测坝前水位 $H$ (m)	实测泥沙 出库率 %
19910609	1166	0.79	0.3	0.2	0.2	525.00	522.90	87.1
19910701	3181	0.67	2.1	3.9	2.5	521.35	522.65	133.9*
19910702	2838	0.77	1.3	1.8	1.4	521.85	522.54	119.1*
19910703	2344	0.76	0.9	0.9	0.9	522.35	522.63	88.7
19910708	3295	0.76	1.7	2.4	1.9	521.55	521.10	94.3
19910710	3140	0.79	1.4	1.3	1.5	521.75	522.06	86.8
19910711	3221	0.79	1.4	1.1	1.5	521.75	521.80	88.4
19910712	2947	0.79	1.2	1.1	1.3	521.90	521.27	85.6
19910716	2210	0.77	0.9	0.9	0.9	522.35	522.13	117.8
11910723	1888	0.73	0.8	0.9	0.8	522.50	522.03	85.7*
19910726	1625	0.75	0.7	1.4	0.6	522.80	521.90	171.3
19910730	2844	0.71	1.5	2.4	1.7	521.65	521.96	111.1
19910801	2767	0.71	1.4	0.6	1.5	521.80	521.86	196.9
19910803	2321	0.71	1.0	0.6	1.0	522.30	522.77	78.4
19910804	2019	0.72	0.8	0.6	0.8	522.50	522.38	101.5
19910808	2986	0.60	2.3	1.2	2.8	521.30	521.44	191.7*
19910816	4175	0.69	3.0	1.3	3.9	521.10	521.79	105.4*
19910819	3533	0.65	2.5	1.9	3.1	521.20	522.20	91.2*
19910820	3976	0.62	3.4	1.6	4.6	521.10	521.78	100.6*
19910821	3467	0.64	2.5	0.6	3.1	521.20	521.52	147.9*
19910824	2725	0.66	1.6	0.5	1.8	521.60	521.75	100.9*
19910825	2269	0.67	1.2	0.3	1.3	521.95	522.25	109.2
19910826	2239	0.67	1.2	0.3	1.3	521.95	522.31	91.7
19910903	2021	0.65	1.1	1.2	1.1	522.15	523.08	188.7*
19910920	2267	0.66	1.2	0.4	1.3	521.95	522.94	100.9
19910922	2257	0.70	1.1	0.6	1.1	522.15	522.35	201.4*
19910923	2366	0.74	1.0	1.2	1.0	522.30	522.94	128.3*

注:1.\* 为当日冲沙孔运行历时大于 5h;2. 计算坝前水位的相应泥沙出库率为 100%。

#### 4.3 验证步骤

1. 由  $Q_{沙坪r}$  及  $Q_{石输r-6h}$  计算参数  $Q_{石输r-6h}/Q_{沙坪r}$ ;

2. 查图 2 得入库含沙量  $\mu$ ;

3. 计算  $\mu^{1.25}$ , 查图 1 可得坝前水位  $H$ ;

4. 参考泥沙出库率, 将计算含沙量与实测含沙量; 计算坝前水位与实测坝前水位进行比较。表 3、表 4 列出了部份比较资料, 从比较中可以发现, 实际坝前水位大于计算坝前水位时, 泥沙出库率绝大部份小于 100%, 这与实际坝前水位位于图 1 淤积区是一致的。部份点据虽然泥沙出库率仍大于 100%, 但

底孔的长时间运行对此会有很大影响。从表 3、表 4 中还可见到, 除少数计算入库含沙量值与实测值比较悬殊外, 绝大部份相差无几。

#### 5 结 语

按  $h = f(\mu^{1.25})$  关系法实测调度水库, 方法简单易行, 且能较好地维持水库冲淤平衡, 有利机组出力。但也存在如下一些问题:

1.  $h = f(\mu^{1.25})$  关系法只考虑到了汛期悬沙对水库的影响, 另有 10% 的枯期悬沙及少量床沙对水库的影响没有顾及, 尚需进一

步加以研究。

2. 由于水库库容较小,机组用水量,坝前水位反映敏感,故要求水库水位在某一位置不变是不可能的。为此,建议坝前水位  $H$  应允许有一定变幅,范围是愈小愈好。

3. 在大洪水( $Q_{\lambda} > 5000 \text{ m}^3/\text{s}$ )及特大洪水( $Q_{\lambda} \geq 200$  年一遇)时,水库应以防洪为主, $h = f(\mu^{1.25})$ 关系法不再起作用。水库调度应按照相应流量的调洪演算方案执行。

4. 随着库区河道的逐步天然化及冲淤平衡的发展,图 1、图 2 是否发生变化尚需进一步验证。

### 参 考 文 献

- 1 石国钰. 岷、沱江流域水库群拦沙分析及计算. 水文, 1991, 5
- 2 华东水利学院. 《水力学》. 科学出版社, 1985
- 3 石中纲. 冲淤河道水位~流量关系单值化探讨. 水文, 1991, 6

## Probing into Reasonable Regulation Pattern for Gongzui Reservoir during Flood Season

Gai Chengde

(Gongzui Water Power Plant)

**Abstract** Proceed from postponing reservoir sedimentation and raising efficiency of power generation, the author studies on the relationship between balance of silt scouring and accumulation in Gongzui reservoir area during flood season and the control water level before dam. Therefore, function relation of best control water level before dam is presented according to reservoir inflow. Contrast analysis between computation results show that the method is effective, simple and practicable.

**Key Words** balance of scouring and accumulation, silt carrying capacity, silt charge, dead water level.

(上接第 35 页)

gradiently distributed along plumb line. The main way to clean the silt before intake and reduce the amount of the coarse sand through turbine is reasonable use of bottom outlet.

**Key Words** control water level by magnitude of flow, deposit and flushing of reservoir bed, regulating storage, distribution of silt charge, efficiency of sand flushing, simultaneous water level.

## 省内部分水电站建设概况

### 1. 槽渔滩电站

由水电七局中标施工从 1992 年 9 月 1 日正式开工以来,施工进展顺利。

土石方开挖已完成 74%, 砼浇筑总量完成 60%。预计 1994 年底两台机组同时较原计划提前半年发电。

### 2. 理县电站

由水电七局于 1993 年 4 月进场以来,施工进展较为顺利。11 月 15 日进水枢纽围堰截流导流洞正式过水,发电洞已掘进 520m 调压井土石方开挖已完成,管道基础

开挖计划 12 月底完成。

### 3. 雨城电站

于 1993 年 11 月 16 日正式截流,水电十局的设备人力已齐备,右岸导流明渠已正式过水,冲沙闸、主厂房的施工将全面展开。

### 4. 大河口电站

导流洞上层导洞扩挖已完成,进水口进行了喷锚,现正开挖进水口、导流明渠。施工场地三通一平已基本完成,主体工程于 11 月 6 日正式开工。

(下转第 75 页)