

黄河流域高含沙中小河流水库泥沙调控指标分析

李庆国 成鹏飞 刘林杰 周 飞
(规划研究院)

〔摘要〕 长期以来,人们普遍重视黄河流域高含沙干流及重要支流大型水库工程泥沙问题,而往往忽视高含沙中小河流工程泥沙问题。相对而言,大河上修建的控制性水利枢纽工程大多具有较强的调节能力,对于泥沙具有多年调控能力,甚至可以通过上下游、左右岸调蓄工程联合优化调度,控制水库淤积,而一般中小河流上修建调蓄工程单一,且调节能力有限,尤其是黄河流域高含沙河流上,泥沙调控对保持兴利库容和综合效益发挥尤为关键。盘口水库位于黄河流域三级支流黑河上,多年平均入库悬移质含沙量 82 kg/m^3 ,库沙比仅为 7.5,本文通过大量的实测资料分析和数学模型计算,合理确定泥沙调控指标,以期为类似工程设计提供借鉴,进而为黄河流域生态文明建设创造条件。

〔关键词〕 高含沙 中小河流 水库 泥沙 调控指标

长期以来,人们普遍重视黄河流域高含沙河流干流及重要支流大型水库工程泥沙问题,而往往忽视高含沙中小河流工程泥沙问题。相对而言,大河上修建的控制性水利枢纽工程大多具有较强的调节能力,对于泥沙具有多年调控能力^[1-2],甚至可以通过上下游、左右岸调蓄工程联合优化调度^[3],控制水库淤积,比如黄河小浪底水利枢纽,自身具有较大的拦沙和调水调沙库容,2002 年以来单独实施多次调水调沙试验和生产运行,期间还根据水沙条件,联合上游万家寨、三门峡、甚至配合人工扰动等措施实施调水调沙,明显减缓了水库淤积和改善了水库淤积形态。而一般中小河流上修建调蓄工程单一,且调节能力有限,尤其是高含沙河流上,泥沙调控对保持兴利库容尤为关键。此类工程,往往拦沙及调节库容较小,运用不当会导致淤沙库容短短几年就淤满,淤废现象时有发生,如何合理调控泥沙,对此类工程保持兴利库容,发挥综合效益尤为关键,但往往又被忽视。

1 流域及工程概况

黑河是泾河支流,与右岸支流达溪河交汇后,至长武县亭口镇汇入泾河,全长 128 km,总流域面积 1512 km^2 ,河床平均比降 4.25‰。黑河流域属于黄

土高原沟壑区,水土流失严重,多年平均实测径流量为 6778 万 m^3 ,多年平均悬移质输沙量为 576 万 t,多年平均含沙量为 85 kg/m^3 。其中,多年平均 7—9 月径流量为 3494 万 m^3 ,悬移质输沙量为 522 万 t,平均含沙量为 149 kg/m^3 。张河站 7—9 月来水量占全年来水量的 51.6%,来沙量则占全年来沙量的 90.5%,年来沙量较为集中。

盘口水库工程位于黑河干流,控制流域面积约 926 km^2 ,坝址处多年平均径流量 4467 万 m^3 ,年均入库悬移质沙量约 362.6 万 t,入库含沙量 82 kg/m^3 。水库开发任务为工业生活和灌溉供水,总库容为 2094 万 m^3 ,水位以下原始库容为 543 万 m^3 ,兴利库容 425 万 m^3 。

2 泥沙调控指标分析

根据坝址下游张河水文站(控制流域面积 1506 km^2),通过 1972—2012 年实测水沙资料分析,流域沙量主要来自 7—9 月的洪水期,如 1975 年 9 月 19 日大洪水来沙量 1088.6 万 t(日均流量 $247\text{ m}^3/\text{s}$),日来沙量占全年来沙量的 45%;1978 年 7 月两场洪水,历时 3 d,来沙量 1171.6 万 t,站全年来沙量的 74%;1988 年 8 月 8 日来沙量 959 万 t(日均流量 $235\text{ m}^3/\text{s}$),1 d 来沙量占全年

作者简介:李庆国(1981—),男,辽宁省大连人,高级工程师,从事水利规划工作。

的58%。

对张河站实测日流量和输沙率资料进行分析,来沙多由流量大于10 m³/s的来水携带,当张河站流量大于10 m³/s,含沙量陡增。7—8月来水量占全年来水量的32.7%,来沙量占全年的71.1%;7—9月来水量占全年的52.6%,来沙量占全年的89.0%。因此,主汛期7—9月大于10 m³/s的来水携带了全年89%的泥沙量。见图1和表1、表2。

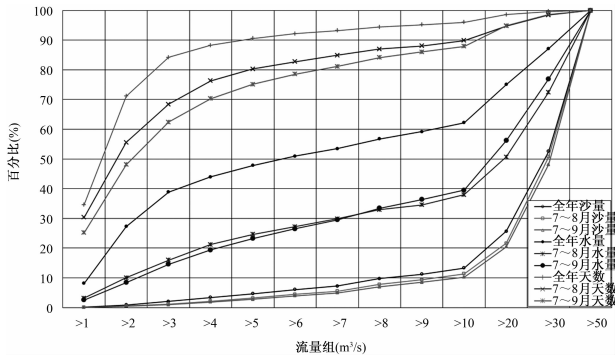


图1 张河站不同流量级水沙及发生几率统计图

表1 张河站实测(全年)不同流量级水沙及发生几率统计表

流量级 (m ³ /s)	天数				水量		沙量	
	分级(d)	累积(d)	百分比	累积百	分级百	累积百	分级百	累积百
			(%)	分比(%)				
0-1	126.4	126.4	34.6	34.6	8.1	8.1	0.1	0.1
1-2	133.1	259.5	36.5	71.1	19.2	27.3	0.7	0.9
2-3	47.9	307.4	13.1	84.2	11.6	38.9	1.2	2.1
3-4	14.8	322.2	4.1	88.3	5.1	44	1.3	3.4
4-5	8.4	330.6	2.3	90.6	3.8	47.8	1.3	4.7
5-6	5.7	336.3	1.6	92.1	3.2	51	1.4	6
6-7	3.8	340.2	1.1	93.2	2.5	53.5	1.2	7.2
7-8	4.3	344.4	1.2	94.4	3.2	56.7	2.5	9.7
8-9	2.9	347.3	0.8	95.2	2.5	59.2	1.5	11.2
9-10	3.1	350.4	0.9	96	3	62.2	2.1	13.3
10-20	9.4	359.8	2.6	98.6	12.8	75.1	12.4	25.7
20-50	3.8	363.6	1.1	99.6	12.1	87.1	26.9	52.6
>50	1.4	365	0.4	100	12.9	100	47.4	100

表2 张河站实测(7-9月)不同流量级水沙及发生几率统计表

流量级 (m ³ /s)	天数				水量		沙量	
	分级(d)	累积(d)	百分比	累积百	分级百	累积百	分级百	累积百
			(%)	分比(%)				
0-1	23.16	23.2	25.2	25.2	2.5	2.5	0	0
1-2	21.11	44.3	22.9	48.1	5.9	8.4	0.4	0.4
2-3	13.16	57.4	14.3	62.4	6.1	14.6	0.5	1
3-4	7.26	64.7	7.9	70.3	4.8	19.4	0.9	1.9
4-5	4.42	69.1	4.8	75.1	3.8	23.2	0.9	2.7
5-6	3.16	72.3	3.4	78.5	3.3	26.5	1.2	4
6-7	2.37	74.6	2.6	81.1	3	29.5	0.9	4.9
7-8	2.74	77.4	3	84.1	3.9	33.4	2	6.9
8-9	1.79	79.2	1.9	86	2.9	36.4	1.5	8.5
9-10	1.68	80.9	1.8	87.9	3.1	39.5	1.7	10.2
10-20	6.37	87.2	6.9	94.8	16.7	56.2	10.2	20.4
20-50	3.53	90.8	3.8	98.6	20.7	76.9	27.7	48.1
>50	1.26	92	1.4	100	23.1	100	51.9	100

积比推算求得,后对坝址1972—2012年水沙资料系列进行30 a滑动,从中选取1975—2004年系列作为水沙代表系列。系列多年平均水沙量分别为4161.34万m³和348.42万t,是实测多年平均水沙

3 调控方式及效果计算

3.1 水沙系列

坝址水沙通过张河水文站测验资料按照流域面

量的 1.00 和 0.98 倍。

3.2 水库调度运行方式

根据工程泥沙分析,汛期 7—9 月入库沙量占全年来沙量的 89%,水库建成后,为了减少泥沙淤积,维持水库有效库容,在汛期需要适当降低水位排沙运用。根据径流特性分析,水库天然径流年内分配不均,水量主要集中在汛期 7—9 月,占全年来水量的 51.1%。因此,需要水库在汛末蓄一部分水,以满足水库的供水要求。根据泥沙分析,9 月下旬来沙量占全年来沙的 20%,且主要集中在某一场大洪水中,其他时段来沙量很小,因此,考虑在 9 月下旬适当蓄水,以满足水库兴利的需要。

同时,9 月下旬、6 月和 10 月也有高含沙量大洪水发生,虽然几率较小,但也有可能造成比较严重的淤积,从而影响水库功能的发挥。根据入库水沙分析,大于 $6 \text{ m}^3/\text{s}$ (相当于水文站 $10 \text{ m}^3/\text{s}$) 的来水携带了全年 89% 的泥沙,因此当 9 月下旬、6 月和 10 月来水大于 $6 \text{ m}^3/\text{s}$ 时,要相机降低水位排沙。

综合考虑水库兴利和排沙的要求,拟定水库的运用方式如下:

(1) 7 月上旬—9 月中旬,控制水库水位不超过汛期限制水位,同时在来大洪水时水库敞泄排沙运用。

(2) 9 月下旬—10 月水库蓄水,一般控制水库水位不超过正常蓄水位,来水流量大于 $6 \text{ m}^3/\text{s}$ 时,相机降低水位排沙。

(3) 11 月—翌年 5 月,利用死水位和正常蓄水位之间库容进行调节供水。

(4) 6 月,一般控制水库水位不超过正常蓄水位,来水流量大于 $6 \text{ m}^3/\text{s}$ 时,相机降低水位排沙,月末水位降至汛期限制水位。

3.3 泥沙冲淤计算

水库泥沙冲淤采用黄河勘测规划设计有限公司水文学模型^[4-5]计算,模型经过巴家咀等高含沙水库实测资料验证,主要计算方法如下:

(1) 壅水排沙关系

根据巴家咀、三门峡水库、汾河水库、官厅水库部分实测资料,分别建立了水库壅水排沙比 $\eta - f(\frac{v}{Q_{\text{出}}}$

$\frac{Q_{\text{入}}}{Q_{\text{出}}})$ 排沙关系曲线^[6],水库壅水排沙关系见图 2。

式中: v —蓄水容积; $Q_{\text{出}}$ —出库流量; $Q_{\text{入}}$ —入库流量。关于壅水排沙比的表示,当 $Q_{\text{出}} < Q_{\text{入}}$, η 代表含沙量比,当 $Q_{\text{出}} > Q_{\text{入}}$, η 代表沙量比。

(2) 敞泄排沙关系

$$Q_{s_{\text{出}}} = k \cdot (\frac{s_{\text{入}}}{Q_{\text{入}}})^{0.7} \cdot (Q_{\text{出}} \cdot i)^{2[6]}$$

式中: $Q_{s_{\text{出}}}$ —出库输沙率, t/s ; $\frac{s_{\text{入}}}{Q_{\text{入}}}$ —入库来沙系数; i 为水面比降; k —敞泄排沙系数。

根据选取的水沙系列,经计算,水库在建成运用 10 年左右基本达到冲淤平衡状态,此后冲淤交替发生,水库累积淤积量维持稳定,能够长期维持有效库容,进而为黄河流域生态文明建设创造条件。

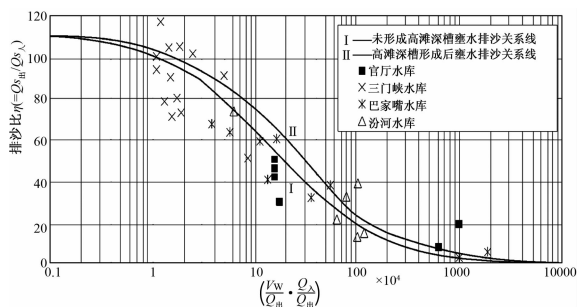


图 2 水库壅水排沙关系图

4 结语

中小河流上修建的调蓄工程调节能力有限,尤其是高含沙河流上,泥沙调控对保持兴利库容尤为关键。如若运用不当会导致淤沙库容短短几年就淤满,淤废现象时有发生,甚至发生险情和灾害,影响经济社会发展。如何合理调控泥沙,对此类工程保持兴利库容,发挥综合效益尤为关键,因此不容忽视。通过实测资料分析和理论计算,合理确定泥沙调控指标,可有效控制泥沙淤积,长期维持有效库容,保障工程效益发挥。

参考文献

- [1] 李国英. 基于空间尺度的黄河调水调沙[J]. 人民黄河, 2004, 26(2): 1-4.
- [2] 李国英. 黄河调水调沙[J]. 人民黄河, 2002, 24(11): 1-4.
- [3] 万占伟, 刘继祥, 等. 古贤水库与小浪底水库联合运用研究[J]. 人民黄河, 2013, 35(10): 36-39.
- [4] 郭选英, 宋红霞, 刘生云, 等. 巴家咀水库及多泥沙河流水库泥沙关键技术研究[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2007.
- [5] 李庆国, 郭选英, 等. 巴家咀水库运用方式对库区冲淤的影响[J]. 人民黄河, 2011, 33(11): 14-15.
- [6] 涂启华, 杨赉斐. 泥沙设计手册[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006. 76-115