

三峡水库提前拦截清漂措施浅析

李 浩

(河海大学水利水电工程学院 ,江苏 南京 211100)

摘要 :分析了水库蓄水前后库区地形、水流特性变化及其对漂浮物运动的影响 ,根据调查资料估算了库区产漂量。水库漂浮物主要产生于主汛期(7 ~ 9 月)和蓄水期(10 ~ 11 月) ,库区较理想的清漂河段为忠县至巫山和香溪至坝前 ,最佳清漂时机为入库洪峰流量出现后 5 d 内。建议库区沿程设立 20 个提前拦截清漂点。

关键词 :库区特性 ;漂浮物运动 ;提前拦截 ;三峡水库

中图分类号 :TV697.1 **文献标识码** :B **文章编号** :1004-693X(2009)S1-0064-04

水库蓄水运用后 ,漂浮物受大坝影响而拦蓄在 水库内。如何解决库区漂浮物 ,涉及电站运行、船舶航行安全和生态环境等诸多问题。据已有文献预测^[1-5] ,三峡水库的漂浮物量为 4 万 ~ 100 万 m³/a ,一次洪水的漂浮物为 3 万 ~ 5 万 m³。对于这样大的漂浮物量 ,笔者可采用的综合措施^[6]主要有 :控制源头、提前拦截、导漂、坝前清漂、机动处理等。笔者在分析水库蓄水前后库区地形、水流特性变化及其对漂浮物运移的影响基础上 ,根据调查资料评估了蓄水初期库区清漂能力 ,针对库区提前拦截清漂措施提出了改进建议。

1 库区漂浮物运移特性

1.1 漂浮物运移机理

三峡水库库区漂浮物的产生、运移、沉积、人工打捞、工程排漂等过程可概化为图 1。由此建立库区漂浮物量运移的平衡方程式

$$P_{\text{上}} + P_{\text{库}} = P_{\text{打}} + P_{\text{沉}} + P_{\text{下}} \quad (1)$$

式中 : $P_{\text{上}}$ 为水库干支流河道进入水库的漂浮物 ; $P_{\text{库}}$ 为库区周边淹没区(消落带)进入水库的漂浮物 ; $P_{\text{打}}$ 为库区打捞上岸处理的漂浮物(即清漂量) ; $P_{\text{沉}}$ 为因水浸泡失去浮力而沉积于库底的漂浮物 ; $P_{\text{下}}$ 为经过三峡水库排漂进入下游河道的漂浮物。

为减少库区漂浮物对航运、环境、发电的影响 ,一是要控制漂源 ,减少进入库区的漂浮物 ;二是开展提前拦截清漂 ,减少漂浮物大面积、长时间聚集。

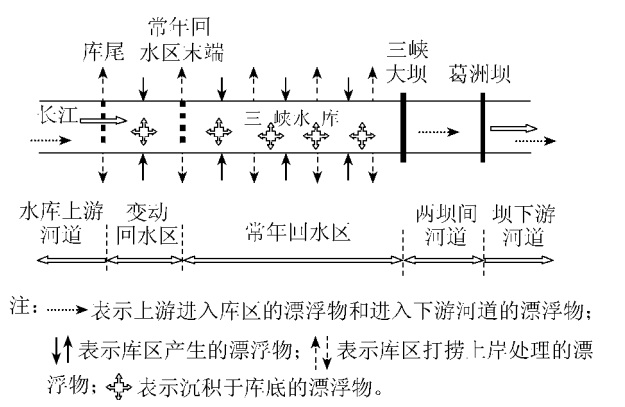


图 1 三峡水库漂浮物运移概化图

1.2 三峡水库水文特性

1.2.1 库区河道特性

三峡工程坝址位于湖北宜昌县三斗坪镇 ,控制流域面积 100 万 km²。库区范围从坝址至上游 668 km 的江津附近 ,水库水面面积 1 084 km² ,干流段平均宽度约 1 100 m ,是典型的河道型水库。三峡库区涉及重庆市的江津市、主城区、渝北区、巴南区、长寿区、涪陵区、武隆县、丰都县、石柱县、忠县、万州区、开县、云阳县、奉节县、巫山县、巫溪县等 16 个区县(市)和湖北省的巴东县、秭归县、兴山县和宜昌县等 4 个县 ,共 20 个区县。

库区奉节以上为低山丘陵宽谷段 ,江面最宽处大约 1 500 ~ 2 000 m ,谷坡平缓 ,河道弯道、碛坝较多。三峡库区河道曲折 ,在重庆、长寿、涪陵、丰都、万县等处有弯道。两岸丘陵起伏 ,支沟稠密。奉节以下为著名的三峡山区河段 ,由瞿塘峡、巫峡及西陵峡(西段)组成。河宽一般 200 ~ 300 m ,宽谷段江面较

作者简介 :李浩(1989—) ,男 ,湖北宜昌人 ,本科生 ,专业为水利水电工程。E-mail :spylkh@sina.com

开阔,汛期河宽可达 600~800 m,少数河段可达 1000~1500 m。库区有嘉陵江、乌江、磨刀溪、汤溪河、小江、龙河、渠溪河、梅溪河、大溪、大宁河、沿渡河、清港河、香溪、九湾溪等支流入汇。

1.2.2 库区水流特性

三峡水库蓄水后,改变了库区的水文情势。建库前,库区河道夏季水位最高,冬季水位最低;建库后,一般在夏季最低(水库蓄洪时除外),汛末及枯水季初期水位最高。库区水位比天然水位抬高情况大致是:坝址抬高 100 余 m,万县约 40 m,涪陵约 10 m,长寿约 3 m。

根据长江水利委员会水文局蓄水前后库区地形和固定断面测量资料,选取寸滩(距大坝 604 km)、长寿(537 km)、清溪场(479 km)、南沱(467 km)、高家镇(421 km)、忠县(373 km)、石宝寨(342 km)、万县(288 km)、故陵(205 km)、奉节(163 km)、黛溪(149 km)、碚石(102 km)、庙河(13 km)等 13 个断面计算,见表 1。当汛期流量 3 万 m³/s 时,蓄水后库区水面宽增加了 16.7%~20.8%,断面面积增加了 47.2%~72.7%,水深增加了 25.1%~39.8%,流速减少了 36.8%~46.3%。

表 1 三峡水库库区水文特性(3 万 m³/s 流量)

项目	平均过水面积/m ²	断面平均流速/(m·s ⁻¹)	平均水深/m	平均水面宽/m
天然时期	14900.0	2.01	29.9	631.0
三峡蓄水位 135 m	23700.0	1.27	37.4	735.0
较蓄水前变化/%	47.2	-36.80	25.1	16.7
三峡蓄水位 145 m	27800.0	1.08	41.8	761.0
较蓄水前变化/%	72.7	-46.30	39.8	20.8

注:表中数据为库区 13 个断面的平均值,正值表示增加,负值表示减少。

三峡水库蓄水后,库区水面宽度增加,形成宽窄相间库段,有弯道、分汊和顺直库段,有支流入汇段,有山体变化形成的库弯段等。这些地形变化,使水库库区平面形态表现为多种多样。同时受干支流、弯道水流、分汊水流相交汇,形成库区复杂的水流流态,如顺流、回流、斜流、泡漩流等。

从库区寸滩、清溪场、万县、庙河等 4 个水文站实测断面流速分布资料分析,断面中泓流速大于两岸、水面流速大于河底,最大流速一般出现在水面附近。对于水面流速,直接影响漂浮物运动,计算分析 1 万 m³/s、3 万 m³/s 和 5 万 m³/s 流量情况下,库区沿程最大水面流速分布,见图 2。其特点为:涪陵(距坝址约 488 km)以上库段为变动回水区,在汛期(坝前水位 145 m)仍然具有天然河道的流速特征;涪陵以下为常年回水区,沿程流速变缓,但受三峡河段河宽缩窄,局部库段流速有增大的情况。

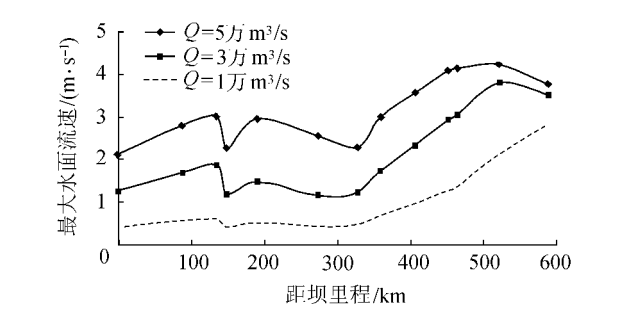


图 2 三峡水库库区沿程水面最大流速变化图
天然河道时期,洪水波可近似为运动波^[8],其运动波的波速一般为断面平均流速的 1.5(山区河流)~2.0(平原河流)倍。经实测资料计算,三峡水库蓄水前 3 万 m³/s 的断面平均流速为 2.01 m/s(表 1),洪水波的传播流速为 3.02 m/s,重庆寸滩至坝前的洪水波传播时间约 56 h。

三峡水库蓄水后,汛期按水位 145 m 运行,涪陵以上仍具有天然河道特性,洪水波仍为运动波特性;涪陵以下为水库常年回水区,洪水波表现为惯性波特性,其传播速度高达 21 m/s。因此,水库水位在 145 m 运用时,洪水波在库区的传播时间约为 17 h,是蓄水前的 1/3 左右。

1.3 水库蓄水对漂浮物运移的影响

漂浮物的运移特性,受到河流平面形态和水流特性的影响。根据上述库区特性分析,笔者有以下初步认识:

a. 水库蓄水后,库区洪水波传播速度很快,但水流(质点)流速减缓。漂浮物在水库中的运行速度与水面流速相当,比天然时期要慢得多,越靠坝前速度越慢,见图 2。

b. 由于断面水流流速分布,呈中泓大,两岸小,为便于计算,将断面近似地概化为左、中、右 3 股水流。漂浮物在河道中的不同位置,其流动快慢不一,在中泓运行速度快,在两岸运行速度慢。根据库区水文站实测资料分析,水面中泓出现的最大流速 $V_{\max}$ 与断面平面流速 $\bar{V}$ 存在一定关系,即 $V_{\max} = k\bar{V}$, k 值约为 1.41。对于三峡水库,一次流量 3 万 m³/s 的洪水过程,其洪峰从寸滩到达大坝坝前约 17 h。但漂浮物随水流质点运动而运移,在水库中泓的漂浮物从重庆寸滩至坝前约需 110 h(4.6 d),而两岸的漂浮物则需 9.2 d 才能到达坝前,见表 2。

c. 库区水流有顺流、回流、斜流等复杂流态,漂浮物在运移过程中,可能从岸边运动到中泓,也可能从中泓运动到岸边。当漂浮物进入缓流区或回流区(通常在支汊入汇处、宽谷段、库弯段)时,容易出现漂浮物的聚集。

d. 三峡水库在汛期,库尾变动回水区(涪陵以

上)水流与天然时期接近,水面流速较接近于天然时期,漂浮物运移特性与天然时期相当。

表 2 三峡水库库区漂浮物运移特性计算(坝前水位 145 m)

位置	流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	平均水面 流速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	运动 时间/d
中泓	10000	0.71	9.9
两岸		0.35	19.7
中泓	30000	1.52	4.6
两岸		0.76	9.2
中泓	50000	2.11	3.3
两岸		1.05	6.6

注:两岸水面流速近似为中泓水面流速的 50%,计算长度为 604 km。

e. 有些漂浮物汇入河道(水库)后,先是因为自身的浮力而漂浮在水面,并随水流的流动而运动,在水中长时间浸泡后,可能会失去浮力而沉入河(库)底。

2 库区提前拦截清漂分析

三峡水库漂浮物,主要有流域暴雨洪水带入和水库蓄水使库岸周边物体进入。前面分析表明,水库形成后,虽然洪水波的波速较水流流速要快得多,但库区水流流速较天然时期要小得多。因此,漂浮物在库区运移时间比蓄水前长,这就为库区提前拦截清漂提供了有利条件。

2.1 库区产漂量粗估及分析

水库漂浮物产生于两个重要时段,一是汛期暴雨洪水期,二是水库蓄水期。目前的技术方法和手段还难以较准确地测算出水库的产漂量,这里仅根据长江三峡水文水资源勘测局对库区清漂点、清漂船及监测旬报资料,估算出库区清漂量和坝前排漂孔排漂量,从公式(1)可知,当不计沉入库底的漂浮物量,即可粗估出水库的产漂量。

2.1.1 主汛期产漂量估算

2006 年长江上游出现特枯水年,主汛期(7~9 月份)径流量偏小,产漂量约 3.9 万 m^3 。2007 年、2008 年均属正常洪水年份,主汛期径流量相当,产漂量分别为 10.3 万 m^3 和 12.7 万 m^3 ,见表 3。根据估算成果,点绘旬产漂量与入库旬平均流量的关系(图 3),两者相关性较差,但仍能反映出产漂量随洪水流量增大而增大的总体规律性。按洪水量级,一

表 3 三峡水库产漂量估算

年份	主汛期(7~9 月)			蓄水期(10~11 月)			总计
	产漂量/ 万 m^3	径流量/ 亿 m^3	最大流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	产漂量/ 万 m^3	坝前水 位上升 值/m	淹没陆 域面积/ km^2	产漂量/ 万 m^3
2006	3.9	1060	30600	6.2	20.2	62.5	10.1
2007	10.7	2125	50100	3.6	10.9	36.0	14.3
2008	12.7	2035	39200	13.1	28.3	118.0	25.8

次洪水过程(按 10 d 计)产漂量,每增加流量 1 万 m^3/s ,约产漂浮物 0.5 万 m^3 。

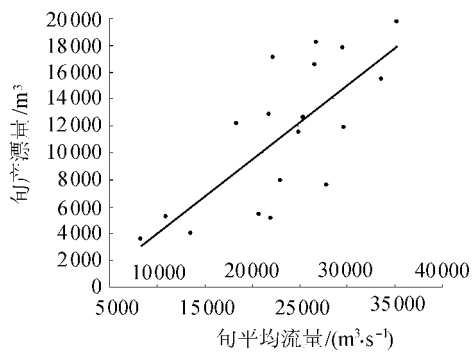


图 3 三峡水库旬产漂量与旬平均入库流量关系

2.1.2 蓄水期产漂量估算

三峡水库 2006 年 9 月 20 日,水库从 135 m 蓄水至 156 m,水位上升了 21 m,淹没库区陆域面积约 63 km^2 (不含天然河道淹没的陆域面积约 445 km^2 ,下同),库区产漂量约为 6.2 万 m^3 。2008 年 9 月 25 日,水库从 145 m 蓄水至 173 m,水位上升了 28 m,淹没陆域面积约 118 km^2 ,产漂量为 13.1 万 m^3 ,见表 3。可见,水库蓄水产生的漂浮物,与蓄水淹没库区陆域面积大小有关,经估算,每淹没陆域面积 1 km^2 ,约产生漂浮物 0.1 万 m^3 。

2.2 库区沿程拦截清漂能力分析

已知一次 3 万 m^3/s 流量级洪水过程的漂浮物量为 1 万 m^3 (重庆以上来漂量与库区周边来漂量按 4:6 分配),在库区运移 10 d。根据目前调查的库区 14 个清漂点、150 条清漂船,推算库区沿程清漂过程,其中三峡库区产漂量按单位库段长度平均分配,见图 4。可见,目前库区的清漂能力,对于一般洪水,是完全可以提前拦截清漂的。

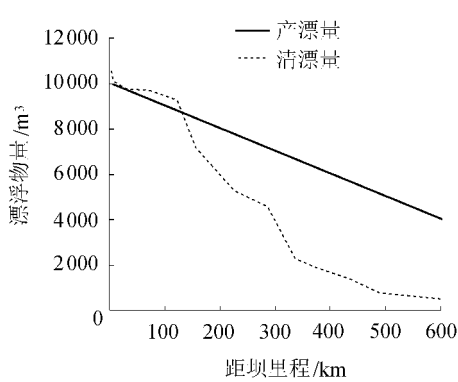


图 4 三峡水库次洪产漂量与清漂量沿程累积过程线

当出现较大洪水或水库蓄水时,库区产漂量将远不止 1 万 m^3 。因此,按目前的库区清漂能力(约 1000 m^3/d),不能全部清理完所有漂浮物,还必须采取排漂等措施。

2.3 库区最佳清漂河段与清漂时机分析

库区提前拦截清漂主要受水流、地形、船舶航行安全和天气条件等影响。

a. 根据长江船舶航行对水流条件的要求,一般小型船舶,其流速不超过 2.5 m/s。从图 4 可知,三峡水库变动回水区在汛期流量 3 万 m³/s 以上时,中泓流速均超过 2.5 m/s,船舶在中泓清漂有一定危险性,只能在两岸边的缓流区或回流区作业。

b. 受天气影响,夜间、大雾、暴雨等情况不能清漂。因此,每天清漂时间一般为 12 h。根据水库蓄水期和汛期一般洪水(1 万 ~ 3 万 m³/s)条件计算,在夜间 12 h 里,库尾重庆河段的漂浮物可运移约 65 ~ 130 km,常年回水区的漂浮物可运移 30 ~ 80 km。因此,要实施提前拦截清漂,必须沿途设立清漂点,控制漂浮物的长距离运移。据水流特性,在常年回水区(涪陵至大坝 490 km)可按 30 km 间距布设清漂点 17 个,变动回水区(江津至涪陵 178 km)布设清漂点 3 个,总计 20 个清漂点。

c. 库区水面宽度对漂浮物的运移影响较大,清漂点宜选择在宽谷段。三峡水库库区由宽谷段与窄谷段组成,一般地,宽谷段水面宽为 1 000 ~ 1 500 m,窄谷段为 500 ~ 700 m。主要宽谷段有大坝 ~ 庙河、香溪 ~ 官渡口、巫山 ~ 大溪、白帝城 ~ 关刀峡、云阳 ~ 涪陵、李渡 ~ 铜锣峡、寸滩 ~ 九龙坡。

从水面流速和库面宽度综合分析,三峡库区最佳清漂库段位于忠县至巫山和香溪至坝前,在这两个库段布设清漂点,水面宽、流速小,有利于清漂作业。

d. 根据前面分析,水库洪水波传播较漂浮物运移速度要快得多,从库尾至坝前,流量 3 万 m³/s 洪峰仅需 17 h,而漂浮物则约需 5 ~ 10 d。可见,较理想的清漂时机是入库洪水在库尾出现洪峰后 5 d 内。

3 结 语

a. 三峡水库蓄水后,一般洪水条件下(流量 3 万 m³/s)水面宽增加了 16.7% ~ 20.8%,断面面积增加了 47.2% ~ 72.7%,水深增加了 25.1% ~ 39.8%,流速减少了 36.8 ~ 46.3%。库区地形及水文条件变化,对漂浮物运移产生较大影响,尤其是水库蓄水流速减缓和库面增宽,为提前拦截清漂提供

了有利条件。

b. 三峡水库库区在主汛期和蓄水期是主要产漂时段。根据调查资料估算,汛期产漂量随流量增加而增加,按洪水量级,一次洪水过程(按 10 d 计)产漂量,每增加流量 1 万 m³/s,约产漂浮物 0.5 万 m³。蓄水期产漂量随淹没陆域面积增大而增大,平均每淹没 1 km 陆域,产生漂浮物约 0.1 万 m³。

c. 三峡水库库区提前拦截清漂措施,应把握重点清漂河段和主要清漂时期。较理想的清漂河段为忠县至巫山和香溪至坝前,最佳清漂时机为入库洪峰流量出现后 5 d 内。

d. 目前库区的实际清漂能力,仅能满足于一般洪水的清漂水平,对于较大洪水时期和蓄水期,建议全库区沿程布置 20 个以上的清漂点,并储备足够的应急清漂资源(清漂船、清漂装备、转运码头等)。

致谢:本文系笔者 2008 年 7 月暑期社会实践调查报告的部分成果,得到了重庆市巫山县环卫所、长江水利委员会三峡水文水资源勘测局、中国长江三峡工程开发总公司等单位的大力支持,提供了大量的观测资料和研究成果,尤其得到了三峡水文水资源勘测局张伟革、刘天成、李云中专家的悉心指导,在此表示衷心的感谢!

参考文献:

[1] 袁杰. 长江漂浮物对葛洲坝电站运行的影响[J]. 中国三峡建设, 1998(9): 34-35.
[2] 杨一峰, 吴效红, 陈鸿丽. 三峡水利枢纽漂浮物综合治理设计初步设想[J]. 水利水电快报, 2001(21): 32-33.
[3] 陈燕, 赵新泽, 邓晓光. 三峡库区漂浮物综合治理方案探讨[J]. 电力环境保护, 2002(4): 30-32.
[4] 冯正鹏. 三峡水库漂浮物问题研究初探[J]. 水力发电, 2003(12): 27-28.
[5] 白婉. 三峡蓄水经受五大考验[J]. 三峡视野, 2003(13): 28.
[6] 孙尔雨, 杨文俊. 三峡工程漂污物问题及其治理研究[J]. 水力发电, 2000(4): 12-15.
[7] 三峡工程泥沙专家组. 长江三峡工程围堰蓄水期(2003 ~ 2006)水文泥沙观测简要成果[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008.
[8] 芮孝芳. 水文学原理[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2004.

(收稿日期 2008-09-04 编辑 高渭文)