

关于三峡水库内源污染控制的研究

On the Control of Internal Source of Pollution for the Three Gorges Reservoir

周建军/ZHOU Jian- jun¹, 林秉南/LIN Bing- nan², 李玉梁/LI Yu- liang¹

1. 清华大学水利系, 北京 100084

2. 中国水科院国际泥沙研究培训中心, 北京 100044

1. Department of Hydraulic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China

2. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, International Research and Training Centre for Erosion and Sedimentation, Beijing 100044, China

[摘要] 根据三峡水库泥沙淤积情况和泥沙在库区污染物迁移转化中的作用,指出水库持续不断的泥沙淤积可能成为今后三峡水库污染物的主要来源之一——内源污染。笔者认为,以前提出的以减淤、增容为目标的“双汛限”和“多汛限”等优化调度方式,同样对于清除水库河床表面淤泥、尽量消除污染物在水库的累积具有重要作用。建议三峡工程以汛期优化调度为基础,研究建立防洪、减淤与水库污染控制和改善上下游生态环境相结合的综合调度措施。

[关键词] 三峡水库;泥沙淤积;内源污染;综合调度;控制

[中图分类号] TV145, X820.6

[文献标识码] A

[文章编号] 1000- 7857(2006)10- 0005- 06

Abstract: Based on the nature of reservoir sedimentation and consecutive accumulation of contaminants with sediment, the pollution caused by sediment deposition is noted to be one of the major sources of pollution to the reservoir of the Three Gorges Project (TGP) in the future. To preserve the water quality of the reservoir, one should therefore also pay close attention to such internal source of pollution induced by sedimentation, in addition to the control of point and non- point sources from the upland. Previously, the first two authors have suggested some schemes to optimize the operation of the TGP reservoir to increase flood control capacity and to minimize sediment deposition. Because such schemes of operation will lead to scour of the topmost layer of new deposition, which is the most active layer regarding adsorption of contaminants, it is also proposed as a research base to arrive at an all- round scheme for the control of flood, sediment, water quality and ecosystem in the reaches both up- and downstream of the TGP dam.

Key Words: Three Gorges Reservoir; sedimentation; internal source of pollution; all- round operation; control

CLC Numbers: TV145, X820.6

Document Code: A

Article ID: 1000- 7857(2006)10- 0005- 06

1 引言

三峡水库 2003 年初步蓄水以来,库区总体水质良好,表明三峡水库蓄水对水环境影响不大。但是,库区水环境状况比较脆弱,支流库区水体富营养化比较严重,“水华”发生较多。保护库区环境、控制水污染值得高度关注。

三峡水库上游和库区流经人口密集的四川、云南、贵州和重庆地区,这在世界上超大型水库中是罕见的。水库的地理位置决定了三峡水库面临的污染源范围大、分布广、控制难度大。虽然国家在三峡库区已大量投入,大力治理污染、控制排放和改善环境条件,但是考虑到三峡污染主要来自上游,农业面源所占比例很大^[1],要实现大幅度降低入库污染负荷的可能性不大。

三峡水库蓄水后,水库泥沙淤积将是长期的过程。泥沙淤积不但对三峡水库防洪能力、通航条件等产生影响,而且,由于泥沙是污染物的重要载体,水库中泥沙冲淤是污染物迁移和转化的重要环节,即使在今后库区和上游点面污染源得到大幅度控制,入库污染通量大量减少后,通过泥沙淤积在库区不断累积的污染物也仍将是三峡水库的重要污染源。长期淤积和污染物累积,会在库区构成重要的内源污染,一旦环境条件适合,也可能对三峡水库和长江水质构成危害。在三峡水库污染控制的众多因素中,泥沙淤积和内源污染是值得高度重视的主要环节之一。

就泥沙淤积可能对三峡水库水质带来的不利影响而言,笔者认为,最直接和有效

的途径是通过三峡枢纽的调度措施,利用汛期较大洪水的输运和冲刷能力,尽量减少新近淤积物在库区的存量来缓解或控制。考虑到三峡工程多任务性质和管理上的可能性,通过调度来增加防洪、减淤和污染控制应该与提高三峡工程综合效益的优化调度相结合,实现多方面有利的目标。笔者等曾提出,优化三峡水库汛期调度,特别是在汛期较大洪水来临前短期降低坝前水位迎接洪水以减少淤积、增加防洪库容的“双汛限”和“多汛限”等水位调度方案^[2-3],这些方案的运用不但可较大增加三峡水库的防洪能力、长远和可持续地保持工程基本功能,而且也对减少水库污染累积、缓解或控制污染有直接作用。

建议以原来针对防洪减淤的优化调度

收稿日期: 2006- 08- 07

基金项目: 国家“973”计划项目(2003CB415203), 国家自然科学基金项目(50221903)

作者简介: 周建军,男,北京海淀区清华园清华大学水利系,教授,主要研究方向为水力学及河流动力学;

E- mail: zhoujj@mail.tsinghua.edu.cn

方式为基础,研究和建立包括污染控制和三峡上下游生态与环境保护等多目标综合管理的优化调度方式。

2 三峡水库水污染状况及泥沙淤积的作用

长期以来,长江承接了来自上游及库区沿岸大量的污染负荷。现状条件下,长江上游水污染日益加重^[4]。由于径流量大,虽受近年长江污染加大和三峡水库初步蓄水等影响,长江干流水质总体仍处于良好状态。但是,长江三峡工程蓄水后,三峡库区的水质一直受到全社会的高度关注。预计在三峡建成后一定时期内,入库污染负荷还将呈增加趋势^[4]。更由于库区水流动力条件的改变,水库水环境容量将会有所降低,库区环境将面临更大的压力。特别是由于水库泥沙淤积,对库区还可能形成的污染负荷累积效应,更应该提前引起重视。

根据黄真理、李玉樑等的研究成果^[4],三峡水库现状和未来(10年内)的污染负荷与主要污染物总量见表1所示。库区主要污染体现为无机污染(COD)占绝对数量,氨氮和富营养化指标也比较高。按等标准污染负荷法计算,库区主要污染物是总磷(TP)(占75.5%)和BOD(占14.2%)。在入库污染负荷的区域贡献比例方面,三峡水库库区污染负荷所占比例很小。在包括背景负荷的条件下,库区总体污染物的水平只占库区总体污染负荷的8.5%~23%。可见,今后三峡面临的主要环境问题是富营养化问题。当前,在库区大量开展的治理工作可以产生重要的效果,但不可能根本降低水库的污染负荷。重要的污染控制在于流域面源,但这将是非常长远的任务。由表1可见,即使按低水平估计(在三峡水库上游入库水质全部达到国家地面水Ⅱ级标准、库区沿岸生活和工业污染源全部得到处理的条件下),到2015年进入三峡水库的污染物总量还具有很高的水平。如果污染源治理不力(按中高水平),三峡水库入库的污染负荷水平还将较大地增加。

三峡水库初步蓄水以来,在坝前水位还处于135~139 m情况下,虽然干流水质没有受到明显影响,但库区一些主要支流已多次发生“水华”现象^[4]。库区主要支流的富营养化程度已经很高。表2是2004年实测的库区支流富营养化指标分布情况。按通常的标准进行评价,三峡库区多数支流已达到了重度富营养化的水平。随着三峡蓄水位的进一步提高,降低富营养化水平、避免在干流发生“水华”现象将是十分严峻的任务。

与此同时,随着水库淤积的增加,泥沙对水质的不利影响将逐步表现出来。在污染物输运过程中,泥沙作为载体,发挥了极其重要的作用。根据1998年8~9月清溪场断面的实际观测资料(表3),按浑水样和澄清水样对比测量显示^[4],平均看,浑水样的

表1 三峡水库现状和未来主要污染物的负荷总量(万t/年)
Tbl. 1 Load of main contaminants of the TGP reservoir at present and in the future

时间	污染物	COD _{Cr}	BOD ₅	NH ₃ -N	TP
1998	(现状)	449	98	10	8.3
2010	低水平	428	75	9.9	5.4
	中水平	516	100	13.8	9.1
	高水平	567	112	14.8	9.8
2015	低水平	426	75	10	5.3
	中水平	521	102	14	9.2
	高水平	601	121	16	10.2

表2 三峡库区支流2004年富营养化监测结果^[4]
Tbl. 2 Observed index of eutrophication from the tributaries of TGP reservoir in 2004

参数	龙溪河	御临河	龙河	小江	汤溪河	磨刀溪	长滩河	梅溪河	大宁河	香溪
总磷 (mg/L)	最小值	-	-	0.10	0.01	0.15	0.17	0.09	0.04	0.04
	最大值	-	-	0.12	0.30	0.24	0.23	0.32	0.11	0.12
	均值	0.02	0.11	0.11	0.19	0.18	0.19	0.17	0.08	0.10
总氮 (mg/L)	最小值	-	-	0.77	0.98	1.02	1.06	1.10	1.07	0.92
	最大值	-	-	0.96	1.61	1.63	1.44	1.53	1.75	1.75
	均值	2.60	1.90	0.85	1.44	1.45	1.26	1.40	1.39	1.13
叶绿素a (μg/L)	最小值	-	-	3.0	1.3	0.7	0.4	0.4	1.3	1.2
	最大值	-	-	3.0	36.8	42.3	8.9	14.0	10.7	4.6
	均值	0.05	13.7	3.0	13.3	14.8	3.6	5.2	5.8	3.0
藻类 密度 (10 ⁵ ind/L)	最小值	-	-	1.61	0.51	0.26	0.59	1.12	1.65	1.07
	最大值	-	-	1.61	11.84	1.47	21.13	8.64	3.42	23.68
	均值	0.00	7.28	1.61	4.88	0.82	8.21	3.88	2.57	8.64

注: 按地表水资源质量标准(SL63-94),总磷超过0.09 mg/L,总氮超过1.3 mg/L均为重度富营养;按一般对藻类密度划分方法,藻类密度大于10×10⁵ ind/L为富营养。

表3 1998年洪水长江清溪场浑水样与澄清水样污染物浓度相差倍数
Tbl. 3 Difference of pollutant concentration between samples of clear and sediment laden water from the Qingxichang station in the TGP reservoir in 1998

污染物	TP	COD	砷	镉	铅	铜
实测倍数范围	12.8~99.0	1.39~1.85	1.0~1.14	1.52~3.07	4.33~22.7	6.7~19.3
平均倍数	35	1.63	1.0	1.94	12.6	9.78

总磷(TP)含量相当于澄清样的35倍,而库区绝对数量最大的污染物COD含量相当于清水样的1.63倍,其他重金属在浑水样中也远大于清水样的实测含量。所以,三峡水库主要污染物大都吸附在泥沙颗粒上,泥沙淤积必然将大量的污染负荷转移到底泥中。随着水库淤积和河床污染负荷的不断累积和增加,可能将在库区富集并形成重要的污染来源——内源污染。在特定条件下,底泥中污染物可能会大量分解、转移并污染水体,使水体富营养化的程度和“水华”发生的频率及范围增加。

国内外水体内源污染的事例较多。在英国等发达国家,污染物排放已经得到严格控制条件下,由于泥沙吸附和累积效应,使许多低污染河口海湾出现短期毒素爆发和水质恶化(如赤潮)的现象也常发生。国内的滇池和太湖等水体都有类似的问题。

内源污染是需要重视的问题。

淤积和累积在水库底层的污染物,将会随着淤泥的固结和密实而减少再分解的机会,而且深层密实底泥的含氧量较小,污染物随水流条件、气温和水温变化的可能性将逐渐减小,对库区水质的危害作用也会减小。但是,新近淤积在河床表面和消落带范围的泥沙,则完全可能比较频繁地与水体发生质量和能量交换,对水质构成影响。一般固结之后淤泥干容重可达1.5 t/m³或更高。根据丹江口水库底泥实测资料^[4],初期淤积泥沙的干容重都相对较小,表层1 m以内淤积物的干容重常常只有0.7~1.0 t/m³左右。三峡水库蓄水后,在永久回水段表层和非汛期淤积物的实测干容重大都在0.78~1.0 t/m³之间。这样的泥沙实际上还多处于泥浆状态,在动水作用和水位变动时,这种泥沙容易移动,在有利的水动力学条

件下相对容易被冲刷, 所吸附的污染物被再次分解出来的机会较大。所以, 新近淤积在河床表层的泥沙对三峡水库非汛期(特别是汛前)水质的危害是不容忽视的重要因素。控制三峡水库污染、减少内源污染的关键在于尽量减少或消除近年累积在水库表层的淤泥, 特别是其中比较细的部分。

3 三峡水库泥沙淤积情况

三峡水库位于长江干流, 拦截了长江泥沙的主要来源。近年来, 尽管由于嘉陵江等支流水库拦沙作用使入库泥沙量有所减小, 但是, 1950-2000 年的多年平均沙量仍然达到 5.01 亿 t。

为了保证工程对下游具有较大的防洪作用、维护长江上游航道和重庆等库区城市的防洪安全, 三峡工程采用了“蓄清排浑”的运行方式。每年汛期时, 除非发生了大洪水需要三峡水库拦洪外, 6-9 月三峡坝前水位都维持较低水平。汛期通常的运行水位比正常水位低 30 m, 这是减少水库泥沙淤积的重要措施。尽管如此, 水库淤积仍然相当可观。根据长江科学院(1988)在论证阶段的数学模型计算成果, 水库在前 80 年将主要处于淤积状态, 100 年时总体上淤积接近初步平衡, 库区淤积泥沙将达到 167 亿 m^3 。100 年后, 淤积数量还会呈缓慢增加的趋势。在前 50 年, 水库平均每年淤积泥沙数量都在 3 亿 t 左右, 相当于入库泥沙的 60%。

根据长江委提供的资料, 近年来三峡入库泥沙大量减少。2003-2005 年, 平均每年从长江寸滩和支流乌江武隆站入库的泥沙数量只有 2.26 亿 t, 只相当于多年平均数量的 49%。但是, 2003 年三峡初步蓄水到 135 m 后, 多年平均的水库泥沙淤积比例仍然达到 60% 以上。3 年水库已累计淤积约 4 亿 t 泥沙。根据断面测量结果, 3 年内库区淤积泥沙 4.5 亿 m^3 。从图 1 所示的 2003 年蓄水以来实测的三峡水库逐旬的排沙比例及其与库区流量的对应关系可见, 每年在通常情况下, 三峡水库 80% 以上的泥沙都将淤积在水库中。特别是在非汛期, 泥沙几乎都淤积在水库, 大量时间内三峡出库的是清水。由于大量污染物被泥沙携带, 相应入库污染物转移到底泥的比例也应该非常大。当三峡水库提高到正常蓄水位 175 m 后(相应汛期水位 145 m), 非汛期和汛期的排沙比例必然还将明显减少。汛期大水期间, 如果没有特殊的调度方式, 主要在汛期发挥很大排沙作用的条件也可能降低, 水库淤积量也将增加。三峡水库泥沙沉积的同时, 也将大量的入库污染物转移到库底。这些污染物在库底的不断积累, 可能构成三峡水库污染的重要来源。另一方面, 实测资料显示, 在汛期较大洪水期间, 三峡水库仍然具有较高的排沙能力。从图 1 的排沙情况可见, 汛期流量较大的时期, 坝前水位在 135 m 时, 水库仍然可能有很大的排沙能力, 排沙比例甚至可以接近或超过

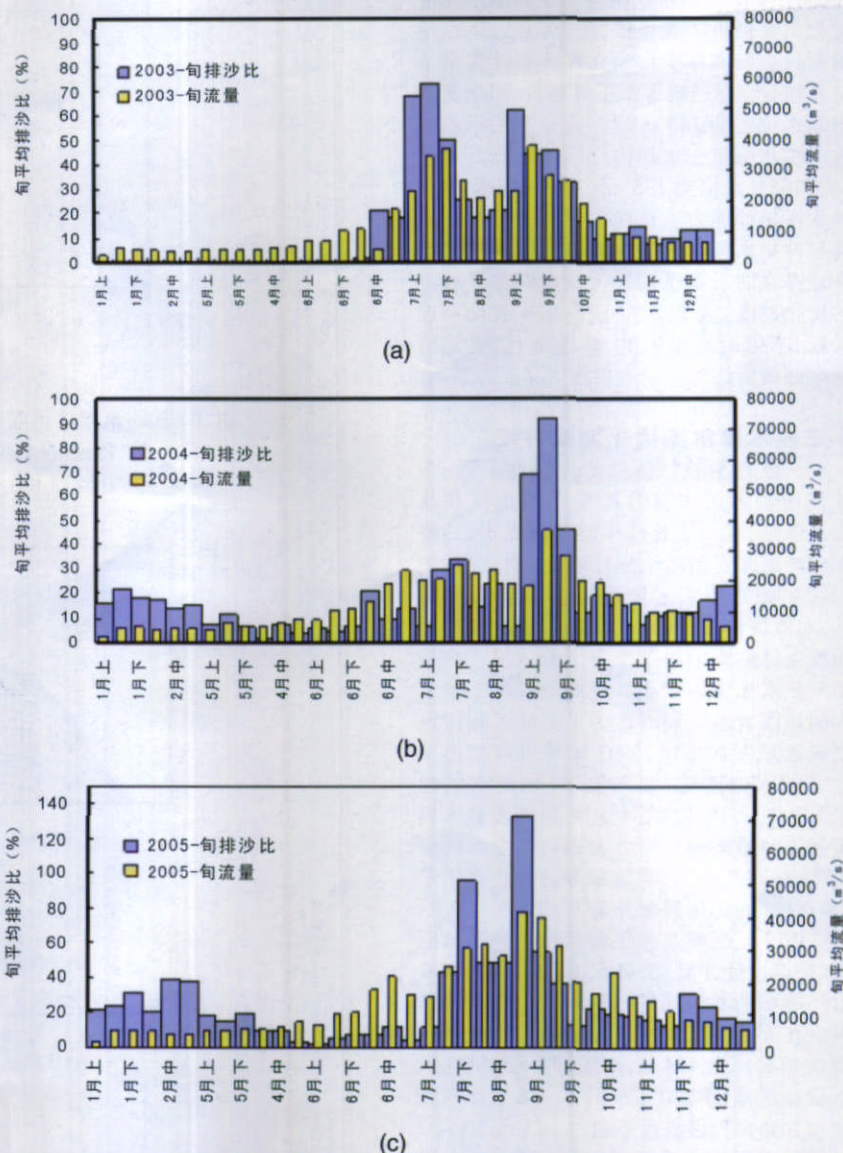


图 1 三峡水库蓄水以来, 逐年实测的排沙比例及其与库区流量的对应关系(2003-2005)

Fig. 1 Measured ratio of sediment sluiced out of TGP reservoir and its relation with flow discharge (2003-2005)

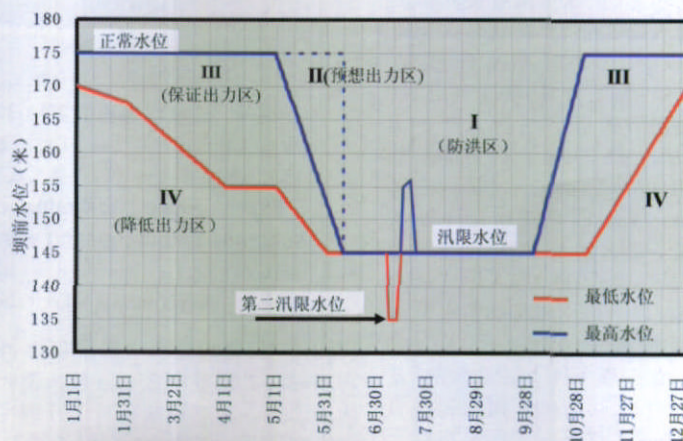


图 2 三峡水库调度图及汛期“双汛限”方案调度示意图

Fig. 2 An illustration of the TGP pool level operation

100%。实测水库排沙特性为三峡汛期泥沙优化调度提供了重要依据,为通过调度尽量实现减淤和减少污染在库区累计提供了一个途径。在三峡水库正常运行、汛期防洪限制水位达到 145 m 后,充分利用汛期较大的洪水流量于短期内一定幅度降低水位(比如降低水位到 135 m),可进一步集中增加水库排沙能力。这样条件下,大量减少,甚至冲刷水库河床表层新淤积泥沙的可能性是存在的。籍汛期较大洪水实施更积极的优化调度,减少淤积、清除河床表面新近淤泥,不但对水库防洪、减淤有利,更是消除库区内源污染的根本措施。

4 三峡水库汛期优化调度方案

三峡作为长江防洪的控制性工程,在长江防洪系统中将具有重要的地位和作用。但是,相对于长江中游超额洪水,三峡水库防洪库容仍然十分有限。同时,泥沙淤积对三峡水库长远防洪库容影响十分显著,对库区淹没、变动回水区和重庆河段的通航条件的影响也都值得十分重视。为控制三峡水库泥沙淤积、更好地发挥三峡工程的防洪效益,同时也为了三峡工程可以更长远地发挥作用,1992 年林秉南提出了在三峡水库实施“双汛限”优化调度的建议^[8],2001 年周建军等利用不恒定流数学模型和泥沙数学模型对方案进行了全面的研究^[9]。在此基础上,周建军等进一步提出了“多汛限”的优化调度方案^[9]。

图 2 是三峡水库正常年份的调度示意图。按原设计方案,汛初 6 月 10 日左右三峡水库将坝前水位降低到汛限水位(145 m)防洪。在没有洪水的条件下,直到 9 月底坝前水位都维持在 145 m;期间,当下游荆江洪水流量超过 56 700 m³/s 时,三峡水库拦蓄洪水,最大拦洪水位不超过 175 m;10 月 1 日起,水库在 1 月内蓄水到正常水位 175 m。“双汛限”方案在原方案基础上增加了第二汛限水位,以对汛期洪水调度进行优化。利用入库洪水的短期预报,在较大洪水来临前迅速将三峡坝前水位降低到 135 m。降低后,如发生更大洪水,则水库具有更大防洪库容,否则降低水位可在库区形成较大流速而大量排沙和减少泥沙淤积。根据不恒定流模型调度和泥沙冲淤积计算,初步确定“双汛限”方案的运行方式是:当寸滩入库 24 h 预报洪水流量超过 45 000 m³/s,并可能发生更大洪水时,增加大坝下泄流量(枝城流量 50 000~55 000 m³/s),将坝前水位降低到 135 m;当枝城流量达到 56 700 m³/s 后,水库从 135 m 开始拦洪;否则,当入库流量回落到 45 000 m³/s 以下后,再将坝前水位迅速回升到正常汛限水位 145 m。

研究表明,在一般条件下,“双汛限”方案在水库调蓄方面是可行的,而且三峡的防洪能力可得到很大提高。多年平均低于汛限水位 145 m 的时间为 1 周左右。若从初期就开始运用“双汛限”方案,到后期

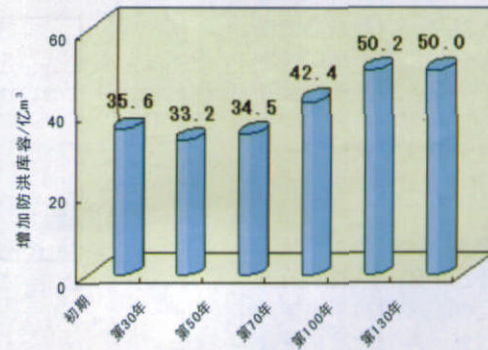
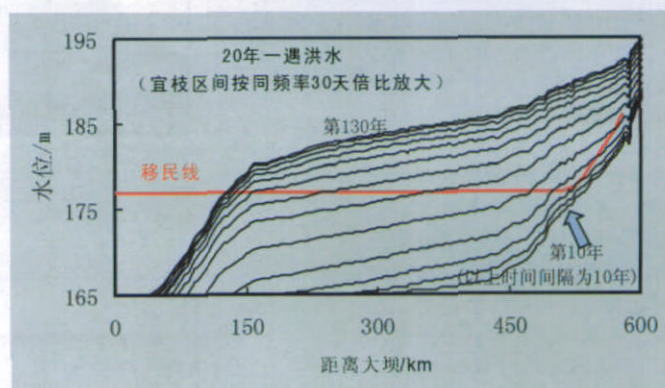
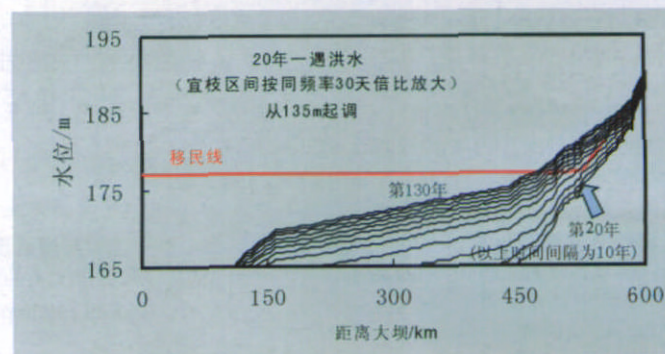


图 3 三峡水库采用双汛限调度方案后可增加的有效防洪库容

Fig. 3 Possible increase of flood control capacity by use of the proposed operation scheme



(a)



(b)

图 4 三峡水库原方案(a)和“双汛限”方案(b)拦洪时的回水对库区的影响

注:图中库区回水线计算是按 54 型洪水(按长江委给定的典型和放大方式确定的 20 年一遇)计算,时间是三峡水库运行时间,“移民线”为三峡工程设计的移民迁移线。

Fig. 4 Flood backwaters by original (a) and the proposed (b) operation schemes and comparing with the line of reallocation in the reservoir of TGP

Note: The backwaters are computed according to the 1954-type flood of 20 years return period; The red line is the design limitation for reallocation.

(100 年时)可以减少水库淤积约 38 亿 m³,占届时总淤积量的 23%。包括预泄增加的防洪库容,水库初期和后期分别可增加防洪库容 35 亿 m³ 和 50 亿 m³ (图 3)。80 年时,重庆百年一遇洪水水位可降低 3.7 m;水库淤积对库区的影响也大大减小(图 4);重

庆河段泥沙淤积也大幅度减少(图 5),有利于维护库尾通航条件。同时,由于减少泥沙淤积,还可增加水库后期兴利库容 12 亿 m³ 以上。

当然,采用“双汛限”方案,在坝前水位低于 143 m 后,船闸和升船机要断航,期间

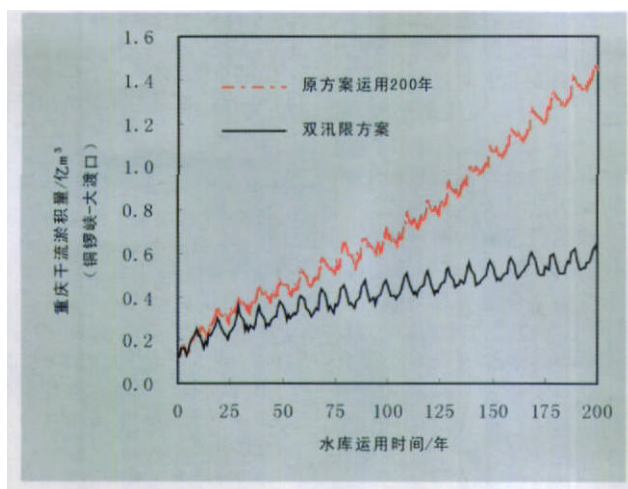


图5 原方案和“双汛限”方案在重庆河段的淤积量比较

Fig. 5 Comparison of accumulated sediment deposition in the reach around the City Chongqing by the original and the proposed operation scheme

三峡发电也要受到不同程度的影响。所以,笔者进一步提出和研究了“多汛限”方案。

实测资料和研究都显示,三峡水库在汛期中小流量时,入库和排泄泥沙能力都相对较小,只要利用好较大洪水的时机就可减少淤积。所以,“多汛限”方案让三峡汛期坝前水位可在一定范围内变化,以最大限度地利于防洪、发电和减淤。具体而言,在汛期流量小于35 000 m³/s时,坝前水位可提高约4 m运行;当流量大于35 000 m³/s,进入防洪调度后,将坝前水位降低到143 m(低于正常的汛限水位);当流量大于45 000 m³/s且预计将出现大于十年一遇洪水时,将坝前水位迅速降低到135 m。这样,汛期大量时间可增加发电效益,而较大洪水前,降低水位可增加防洪库容、减淤或冲刷水库。而且,一般也不需要断航。平均10年只使用1次135 m水位,断航机会大大减小。“多汛限”方案减淤数量较“双汛限”方案小,但是,在初期和后期也可增加防御特大洪水的防洪库容35亿m³和40亿m³。对库区回水、重庆洪水位和重庆河段淤积的控制能力与“双汛限”方案接近,是一个比较实际的优化调度方案。

值得指出的是,国家已决定在三峡水库上游建设梯级电站,梯级水库对缓解三峡水库泥沙淤积有很大作用。但是,由于增加防洪库容的要求,同时上游水库拦沙的作用不是长远的,水土保持的减少作用更需要时间检验,只有优化调度才是保证三峡工程效益可持续发挥的有效途径,所以优化调度仍然是必要的。而“双汛限”和“多汛限”等优化调度并不是孤立的方案,它们应分别适用于今后三峡不同的运行阶段,可构成一个“与时俱进”的整体方案。近期,“多汛限”调度方案可作为优化调度的基本方案。由于三峡上游水库拦沙和水土保持措施,三峡入库泥沙减少,水库泥沙淤

积尚不明显,几十年(甚至上百年)都可先采用“多汛限”方案增加防洪库容,控制淤积。以后,随着上游水库拦沙作用减小,如果上游水土保持没有达到预想目标,当三峡泥沙问题开始明显时,可相机增加降低水位到135 m的频率,逐渐实施“双汛限”调度。这种根据三峡运行实际情况,可以适时调整的优化调度措施,是保证三峡工程防洪能力和应付泥沙问题立于不败之地的“安全阀”。

5 优化调度对减少库区污染的作用

根据前面的讨论,水库泥沙淤积是形成三峡污染累积和内源污染的根源。而在水库淤积泥沙中,对库区水质危害最大的应该是水库河床表面新近淤积的泥沙和细沙。这种泥沙没有固结,实际上还处于淤泥状态。从动力学条件看,这部分泥沙相对容易冲刷。

三峡蓄水以来的实测资料已经显示,三峡水库在汛期较大洪水期间具有较强的输沙能力(图1)。笔者等原来提出的“双汛限”等优化调度方案,集中利用和加强了汛期输沙能力,可望减少泥沙淤积的同时,对表层淤积物具有一定的清除作用。由于三峡水库水深较大,即使在初期,运用“双汛限”调度也不能明显提高水库排沙比。计算研究结果也显示,降低水位运行期间,库底前期淤积物中相对较细的泥沙仍然可以大量得到冲刷和排泄。由于细泥沙的比表面积大、污染吸附能力强,多排泄细沙对减轻库区污染物累积也十分重要。

通过汛期优化调度减少库区泥沙淤积,从而减少库区污染物累积应是三峡水库污染控制中最值得研究的重要方向之一。建议综合考虑三峡工程水库污染控制和防洪、减淤优化调度等问题,探求综合的优化调度方式。笔者等原提出的防洪减淤

优化调度方案可作为这种综合方案研究的基础之一。

6 有关问题的讨论

上述综合优化调度,除在防洪减淤和水库污染控制方面的作用外,对三峡库区和下游生态环境等方面也会有正面的作用。初步分析,笔者认为在改善下游径流律情、改善洞庭湖生态环境和减少库区消落带范围等方面都具有积极的影响和作用。

三峡水库由于采用“蓄清排浑”调度方式,对汛期一般洪水的干扰很小,仅此不至于改变长江中游的径流律情。但是,三峡水库彻底改变了长江中游的泥沙条件。同时,由于长江上游干支流在不断建库,汛期洪水将得到更大程度的利用,今后三峡下游一般洪水出现频率减少是必然的趋势。常见洪水对于长江中游河道塑造具有重要作用,具有泥沙的洪水对滩地和江湖周期性淹没等,是维持下游河道生态与环境的重要因素。对三峡下游而言,中小洪水还对长江航道的维护起着重要作用。水库对径流的调节作用使三峡库区和下游河流律情变化对水生生物和鱼类的繁衍也将产生不同程度的不利影响。水库改变长江水沙律情可能造成的不利影响需要引起重视。若采用类似“双汛限”或“多汛限”的调度方案,即在较大洪水来临前,通过水库预泄可造就较大(但对下游防洪是安全的)人造洪水,同时,增加从水库下泄的沙量(主要是含营养成分较大的细沙,较粗泥沙不太可能排泄出三峡水库)。这都有利于长江中游的水沙律情更接近于天然。上述优化调度在洪水来临前预泄和人造洪峰,可以在坝下河段形成较大的水位涨落,对促进和诱导长江中游“四大家鱼”等珍稀鱼类产卵等也具有较好的作用。

同时,在三峡长期下泄清水冲刷的条件下,荆江河段冲刷导致水位降低和中小洪水减少,将大量减少从松滋、太平和藕池三口进入洞庭湖的径流量,对洞庭湖的生态环境不利^[9]。通过三峡优化调度,人造中小洪峰即可扩大进入洞庭湖的径流,对于维护洞庭湖的环境容量、保护(西)洞庭湖的生态条件具有重要的作用;同时,又由于增加了三峡水库的防洪库容,可以更有效地控制长江中游(特别是城陵矶河段)的大洪水,减少特大洪水向洞庭湖分洪的数量,更有利于洞庭湖区的防洪安全。

三峡工程由于采用“蓄清排浑”运行方式,每年在库区将出现30 m范围的消落区。根据有关研究,三峡库区145~175 m之间消落带的面积达到约440 km²。消落带可能的生态环境问题主要包括形成岸边污染带、水陆交叉污染、流行病和疫情滋生与诱发、加剧土壤重力侵蚀和环境地质灾害等^[10-11]。笔者认为,由于水文条件和库区水动力学条件的作用,三峡实际的消落区面积应该比上述消落带面积小;在水库消落

区中,对生态环境影响最大的是对应于坝前水位 155 m 以下部分。赵纯勇将这部分区域划分为深水型消落区^[4]。因为更高部分区域年内旱期较长,受汛期洪水调度影响机会较少。通过合理规划,可以找到有效保护和利用的方式。而 155 m 以下的区域,汛期也常处于水陆交替状态,是淤积、污染、病菌和疫情孵化最集中的地带;是杂草生长、腐烂和危害库区水质的重要地带;若控制不力,也可能成为钉螺和血吸虫繁殖的温床。所以,控制消落带生态环境问题最重要和最困难的部分是深水型消落区。三峡水库采用优化调度后,考虑到近期入库泥沙较少,可望将汛期中小流量时的坝前水位提高到 150 m 运行。洪水流量较大之后,由于回水较高,即使将坝前水位降低到 145 m 以下,原来与坝前水位 145~150 m 所对应的区域也不会露出水面(即使露出,时间也很短)。优化调度可以使深水型消落区的面积大量减少,这是三峡水库消落带管理的积极途径。

7 建议

三峡水库汛期采用“双汛限”等优化调度措施主要是针对长江防洪和水库减淤提出的。这种优化调度方式在汛期较大洪水前短期内提前预泄,降低坝前水位运行,大量增加三峡水库的有效防洪库容,减少泥

沙淤积,有利于长期保持三峡水库较大的防洪能力。同时可以大量降低水库淤积对库区移民的影响,减少重庆河段的泥沙淤积,改善通航条件。通过这些优化调度,还可大量消除水库河床表面新近淤积的泥沙,特别是那种对污染吸附能力较强的相对较细泥沙,从而尽量减少污染物在库区滞留的数量,达到减轻水库内源污染的目的。同时,汛期优化调度还有更多的效益,对改善库区和下游生态环境等也具有正面的作用和影响。

增加三峡水库的防洪能力、减少泥沙淤积和改善水库上下游生态与环境条件是各个方面所共同期望的。而针对多目标采用统一优化调度方式,无论对三峡工程管理和效益都有利。建议以笔者等提出的防洪减淤调度为基础,进一步研究与水库污染控制调度等相结合的统一调度措施,以适应三峡水库防洪、减淤和污染控制等多方面的目标需求。

参考文献 (References)

- [1] 黄真理,李玉樑,等.三峡水库水质预测和环境容量计算[M].北京:中国水利水电出版社,2006:118-121.
- [2] 周建军,林秉南,张仁.三峡水库减淤增容调度方式研究——双汛限水位调度方案[J].水利学报,2000(10):1-9.

- [3] 周建军,林秉南,张仁.三峡水库减淤增容调度方式研究——多汛限水位调度方案[J].水利学报,2002(3):12-19.
- [4] 钱正英,张光斗.中国可持续发展水资源战略研究综合报告集-第1卷[M].北京:中国水利水电出版社,2001.
- [5] 国务院三峡建设委员会办公室,长江水利委员会.长江三峡工程生态与环境监测系统水文水质同步监测年报(2004)[R].2005-03.
- [6] 李玉樑.环境水力学研究及其进展[M]//张楚汉,主编.水利水电工程科学前沿.北京:清华大学出版社,2002-04:83-99.
- [7] 卢铭山.丹江口水库泥沙沉降固结问题的初步分析[C]//长江流域规划办公室水文局.汉江丹江口水库水文泥沙实验文集,1983-07:159-166.
- [8] 林秉南.减免重庆港整治和增强三峡水库防洪能力的水库调度方式初议——双汛限水位调度方案[C]//林秉南论文选集.北京:中国水利水电出版社,2001-01:595-600.
- [9] 周建军.三峡工程建成后长江中游应该关注的问题[J].科技导报,2006(5):49-54.
- [10] 苏维词.三峡库区消落带的生态环境问题及其控制[J].长江科学院院报,2004,21(2):32-32.
- [11] 赵纯勇,杨华,苏维词.三峡重庆库区消落区生态环境基本特征与开发利用对策探讨[J].中国发展,2004(4):19-23.

(责任编辑 李慧政)

封面文字说明

研究揭示尼安德特人的最后岁月

1.60 m 的典型身高、强健的骨架、发达的肌肉、耐寒的特性,这些都是尼安德特人的特征——至于他们是如何从地球上消失的,则没有人知道。一个国际研究小组 9 月 13 日在《自然》杂志网站发表文章称,他们的研究把尼安德特人灭绝的时间推后了数千年,而这些人类类亲的最后避难所是直布罗陀半岛。

由直布罗陀博物馆的生物学家克里夫·芬雷森(Clive Finlayson)带领的团队在过去的 7 年中对一个名为 Gorham 的洞穴进行了发掘。他们没有找到尼安德特人的遗骨,但找到了尼安德特人遗留下来的木炭和 103 件工具,工具包括了矛尖、刀和刮削器等,具有莫斯特文化的特征。莫斯特文化是发现于欧洲的一种旧石器文化,常与尼安德特人化石共存。

通过对木炭和工具进行放射性碳测年分析,研究人员得到了 22 个日期。这些日期分布在 2.3 万年前到 3.3 万年前之间,较为集中的时间是 2.8 万年前。这意味着 Gorham 洞穴是迄今所知最年轻的尼安德特人居住地,这一领域的研究者此前从未发现过存在时间短于 3 万年的尼安德特人居住地。

环境优越、食物丰富,现代人十分稀少的直布罗陀,可能曾是尼安德特人最后的避难地。直布罗陀位于西班牙南端,是一个面积仅 6 km² 的半岛。这里气候温和,由海滩湿地和林地环绕,是一个理想的避难所。除了野生油橄榄等植物,海洋也可以作为丰富的食物来源。科学家说,有迹象



表明这里的尼安德特居民大量采食贝壳,并捕杀海豹。

新的测年结果使广泛接受的尼安德特人的灭绝时间推迟了数千年。之前科学家认为,尼安德特人大约在 3.5 万年前灭绝。现在看来,尼安德特人可能与现代人在我们的地球上共同生存了数千年的时间。

尼安德特人最早出现于 35 万年前的欧洲,在大约 13 万年前形成完整的特征,主要分布在欧洲和西亚部分地区。现代人是智人演化而来的,有证据表明现代人在约 3.2 万年前就已经存在。尼安德特人与现代人形成种系发生上的平行系群。尼安德特人与现代人同在人属,但属于不同的种。

然而,新的研究成果在一些科学家看来仍然值得怀疑,因为放射性碳测年的结果很有可能因样本受到污染而出现偏差,这种偏差可能会达到数千年。芬雷森等人的测年结果仅仅是未经校准的原始结果。

尼安德特人是否真的与现代人共同存在了数千年,仍需进一步地研究。至于他们是否曾与现代人正面遭遇,他们又为什么灭绝,现在依然不得而知。

本期封面图片是一幅艺术表现图,展现了父女情深的尼安德特人行走在草原上,目光中透露出一个不确定的未来。图片由赵闯绘制。需要指出的是,目前人们并不知道尼安德特人皮肤、毛发、眼睛等柔软部位的真实颜色。(本刊记者 黄永明)