

试论三峡工程泥沙问题

SEDIMENT ASPECTS OF THE THREE GORGES PROJECT

林秉南 陈志轩

在三峡工程论证中，各方面提出的意见中有一部分与泥沙有关。为了便于进一步讨论，现据我们的浅薄认识，对若干与泥沙有关的问题提出看法如下。

一、三峡水库可以长期保留调节库容

有人说水库总是有寿命的。如果这句话指的是水库在一定时间内都会因泥沙在水库内淤积而使水库完全丧失其调节库容，则对规划中的三峡水库是不适用的。三峡水库的运用方式，川江的水沙特点和库区地貌使三峡水库可以长期保留大部分调节库容。

表 1 三峡在低水位下的泄流能力

库水位 (米)	泄流能力(底孔+电站) (立方米/秒)
130	51 780
135	56 230
140	59 900
145	60 900
150	64 040
155	67 020

水库就其泄水建筑物的布置来说可分为两类。一类在坝身下部只布置了为数不多的底孔，水库消

落后泄流能力较小，汛期不能大幅度降低库水位运行。世界各国的高坝大库多属于这一类。由于汛期不能降低库水位运行，库区水较深，流速较小，泥沙将在库内大量落淤，以致这一类水库在一定期间内终将丧失其大部分调节库容。另一类水库在坝身下部布置了大量底孔或在低处布置了充分的泄水隧洞（如三门峡），因而即使在较低的库水位下仍具有巨大的泄流能力。规划中的长江三峡水库即属于这一类。在 175-145-155 方案中，水库在低水位下的泄流能力见表 1。由表可见，当坝前水位为 145 米时，水库泄放流量仍可达 60 900 立方米/秒。由于具有这样大的泄流能力，水库在汛期可以降低库水位，实行“蓄清排浑”的运用方式，将一部分泥沙排出库外，并将水库内的泥沙沉积限制在降低了的水库水面线（图 1，曲线 2）以下。当入库洪水超过可以安全通过下游河道的泄量时（例如为了保证沙市水位不超过 44.5 米，流量限制在 56 700 立方米/秒以下），水库便要拦洪，库内水位便要上升，库内泥沙淤积量随之增加。但因大洪水的重现率较小，而且每次大于 55 000 立方米/秒级的大洪水最多只持续十几天，按长期平均计，这样大的洪水在一年中不过持续一两天。显然这对水库的总淤积量不会有明显的影响，例如据 1877~1980 年共 104 年的统计，大于流量 55 000 秒立方米级的洪水平均在年内出现天数仅为 1.4 天（表 2）。根据计算，在水库运用 100 年中遭遇五次 2% 洪水的风险或概率为 0.0354，遭遇三次 1% 洪水的概率为 0.0610。

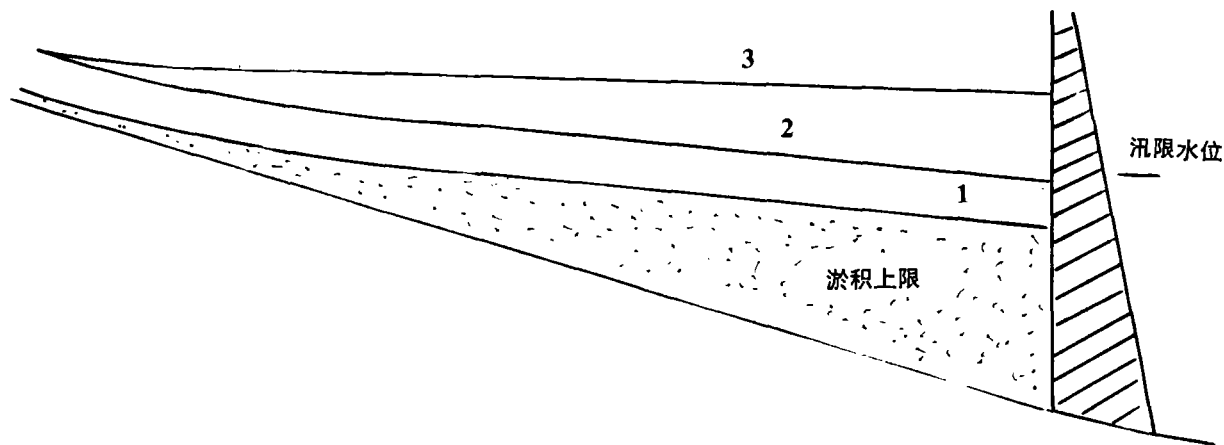


图1 水淤积体和汛期水面线示意图
(3—拦洪时水库水面线)

表2 宜昌站 1877~1980 年大于某流量级平均在年内出现天数

流量级 (立方米/秒)	多年平均出 现天数(天/年)	年内出现最 多天数(天)	最多天数 出现年份
30 000	38.9	73	1954
40 000	12.0	44	1954
50 000	2.93	22	1954
55 000	1.39	15	1954
60 000	0.42	17	1954

在 100 年中既遭遇五次 2%洪水，又遭遇三次 1%洪水的概率则只有 0.0022，即约 2‰。姑不论考虑风险这样小的情况是否过于安全和合理，但即使在 100 年中假定出现了上述组合的 8 次洪水，按表 2 估计，洪水的总持续时间约 140 天，平均每年也只有 1.4 天，对一年中水库的淤积大局仍不会有重要影响。所以如果三峡水库按“蓄清排浑”的方式运用，在拦蓄洪峰后仍将坝前水位降至防洪限制水位运行，则拦蓄大洪水对水库长期使用是不会有重要影响的。

即使遇到 1954 年型的洪水，而且假定拦洪后当年汛期的水库水位不再下降*，根据数学模型计算，由于蓄洪时间增长而造成的额外淤积，数量并不大，仍不足以影响水库的长期使用。1954 年型洪水的重现期约为 40 年。虽然这只是一概率而不是实际出现的周期，计算中还是参考了这一概率而假定在 106 年中共出现了三次 1954 年型洪水。计算中采用了下列年份系列的水文纪录：

1961~1970 循环二次共 20 年+1954+1955
+1961~1970 循环二次共 20 年+1954+1955
+1961~1970 循环四次共 40 年+1954+1955
+1961~1970 循环二次共 20 年。

以上共 106 年，计算的水库淤积量见表 3。表中调度方案 (1) 为沙市补偿方案，即三峡水库汛期下泄的流量以沙市水位不超过 44.5 米为准；调度方案 (2) 为城陵矶补偿方案，即三峡水库汛期下泄流量以维持城陵矶（位于洞庭湖口）水位不超过 34.4 米为准；调度方案 (3) 为 1954 年型洪水的非常调度方案，亦即上文所说的假定拦洪后当年汛期的水库水位不再下降的方案。具体地说，当出现 1954 年型洪水时，水库将根据城陵矶补偿的要求而拦洪。但在当年洪峰通过后水库在汛期仍保持高水位。由表 3 可见：

1、在三种调度方案中，水库的总淤积量大致相同（表 3 第 4 列）。例如第 21 年的总淤积量在三种调度方案中分别为 62.38，62.58 及 62.95 亿立方

* 这种运用方式是否可取，还需要详细研究，在这里只作为对水库淤积最不利的研究方案提出。

表3 水库淤积量的计算值

(1) 运用年数	(2) 调度方案	(3) 水文资料年份	(4) 干流淤积 (亿立方米)	(5) 淤积量(亿立方米)	
				长寿以上	长寿以下
21	(1)	1954	62.38	1.00	61.38
22	(1)	1955	65.31	0.96	64.35
21	(2)	1954	62.58	1.30	61.33
22	(2)	1955	65.49	1.12	63.56
21	(3)	1954	62.95	2.01	60.95
22	(3)	1955	65.76	1.45	64.32
32	(1)	1970	91.10	1.65	89.45
32	(2)	1970	91.27	1.67	89.60
32	(3)	1970	91.63	1.73	89.90
43	(1)	1954	115.7	2.67	113.0
44	(1)	1955	117.8	2.55	115.3
43	(2)	1954	116.3	2.91	113.4
44	(2)	1955	118.5	2.78	115.7
43	(3)	1954	117.5	3.65	113.8
44	(3)	1955	119.4	3.24	116.6
54	(1)	1970	134.4	3.17	131.3
54	(2)	1970	135.1	3.27	131.9
54	(3)	1970	135.9	3.32	132.6
85	(1)	1954	157.3	5.59	151.8
86	(1)	1955	157.8	5.43	152.4
85	(2)	1954	159.2	5.88	153.5
86	(2)	1955	159.5	5.69	153.8
85	(3)	1954	161.2	6.39	154.8
86	(3)	1955	161.2	6.02	155.2
106	(1)	1970	166.9	6.24	160.7
106	(2)	1970	167.7	6.33	161.4
106	(3)	1970	169.1	6.47	162.6

米。最大与最小值之差还不到最小值的1%。三种调度方案的总淤积量在第85年相差较多,但有关数值分别为157.3, 159.2和161.2亿立方米,最大与最小值之差也只是最小值的2.5%。运用106年后,该百分比降为1.3%。所以可以认为三种调度方案对水库总淤积量的影响是微小的,从而可以认为即使拦蓄1954年型洪水时,实行非常调度对水库长期保留调节库容也无显著影响。这是川江挟沙能力巨大所带来的好处。

2、在拦蓄1954年型洪水后的次年,即1955

年,长寿以上河段发生冲刷而长寿以下则淤积增加(例如第21和22年的长寿上、下河段淤积量分别为2.01、60.95亿立方米和1.45、64.32亿立方米)。经过约10年的河流自动调整后(例如第32年),水库的上、下段淤积量分布趋于一致。所以三种调度方案不但对水库长期保留调节库容没有明显影响,而且对淤积分布的影响也趋于消失。这就意味着不但三峡水库按上述三种调度方案的任一种运用时,都可以长期保留调节库容,而且所保留的调节库容也趋于一致。由于三峡水库在平面上呈狭条状,且悬

淤积后的平衡坡降约为川江天然坡降的 $1/3$ 左右,淤积中的“翘尾巴”现象不甚显著,所以最终可保留的各种调节库容都可达到较大的百分比。根据计算,在 175—145—155 方案中,防洪库容约可长期保留 85%,枯季调节库容约可长期保留 91.5%。

表 3 给出的数字也说明汛期三峡降低坝前水位运行可以引起库尾冲刷。实际每年川江汛初流量都在 10 000 立方米/秒上下。这就是三峡水库建成后的汛初入库流量。由于汛初川江含沙量较小,流量又如此之大,坝前水位下降后库尾泥沙断无不发生冲刷之理。那种认为汛期降低坝前水位运行时,排浑作用只限于坝区附近的担心是不必要的。在分析这一问题时,对两种不同类型的水库应区别对待,以免得到错误的结论。

综上所述可见三峡水库按照“蓄清排浑”的运用方式是可以长期保留较大的调节库容的。在这方面,水利界已有不少论述。由陕西省水利科学研究所及清华大学合编的《水库泥沙》一书,根据我国许多水库的运用经验,对蓄清排浑运用方式的选定和采用这种运用方式时泄流排沙建筑物应有的泄流规模等都作了深入详细的讨论。

二、泥沙模型试验

泥沙模型试验约 100 年前即在法国开始。尽管当时这方面的技术还处于萌芽状态,据说模型也还揭示了一些问题。泥沙模型试验至迟在 40 年代就已成为泥沙定量研究的手段之一。只是当时建立模型带有摸索性质。研究者只有通过反复试验才能寻求到一种能复演实测资料的模型沙,工作量是很大的。50 年代 H. A. 爱因斯坦和钱宁率先从泥沙输移出发开展了泥沙模型相似准则的探索。以后各国学者,包括我国学者在内,对模型试验技术不断充实改进。现已有七八个国家形成各自的学派。我国为葛洲坝工程开展的泥沙模型试验是泥沙模型试验技术的里程碑。通过实践已建立了一套大体一致的模型设计方法和试验技术。试验结果经与葛洲坝运用经验对比,证明是可信的。国际上大概至迟在 40 年代便已采用轻质材料作为模型沙。使用的轻质沙材料包括煤屑、塑料和经过防腐处理的锯末等。使用轻质模型沙是为了满足相似的要求。模型的水深和流速都小于原型。如在模型中使用天然沙进行试验,输沙率显将偏小,从而使挟沙水流中的泥沙运动失真。这是不允许的。

泥沙运动带有随机性和不确定性。有人因此对

泥沙研究(包括模型试验和数学模型等)能否解决三峡工程的泥沙问题表示担心。但在工程技术的范畴内几乎到处都遇到随机性和不确定性的影响,只是程度不同而已。例如在土木建筑中,由于材料性能的参差不齐和设计采用的荷载与真实荷载之间的差异都带有随机性和不确定性。其中建筑物的风荷载,地震对建筑物的影响等问题所牵涉的随机性和不确定性并不亚于泥沙问题。遇到这类问题,工程人员的解决办法是大力开展研究,同时在应用研究成果提出解决办法时留有适当余地。留有余地的途径之一是设定安全系数,将材料的设计应力(或工作应力)缩小为材料强度的一部分。摩天大楼和跨海长桥就是在这样的设定基础上设计起来的。如果要等到将随机性和不确定性都研究清楚了才修建工程,那末今天恐怕连普通楼房都建不了。随机性和不确定性既然不妨碍人们建房修桥,它也同样不妨碍人们解决泥沙问题。办法还是加强研究,尽可能掌握水沙运动规律;同时在应用这些规律制定解决问题的办法时,留有适当的余地。在解决三峡工程泥沙问题时,已注意留有较多余地。概括如下:

- 1、在分期蓄水的开发方案中,按第一期 156—140—135 水位运转时,可严密监视水、沙运动,测定各种数据,校核研究成果。

- 2、在各方案的研究中目前未计入上游,特别是干流上游,修建大型水库给调洪、调沙带来的好处。长江上游拥有丰富的水力资源。随着经济建设的发展,这些丰富的资源在几十年内必然会得到开发。为此而修建的大型水库将给三峡水库带来减淤和降低洪水位等好处。

- 3、万一局部出现一些意外的不利淤积,现有研究已表明可以采取整治措施予以改正。在川江已建过一些整治工程(例如王家滩河段),实践证明效果是良好的。

- 4、三峡大坝在库水位为 130 米时,仍可泄放约 50 000 多立方米/秒的大流量(表 1)。假定万一出现某种意外情况,导致库区,特别是库尾部分,出现不利的淤积时,还可以大幅度降低坝前水位,使库尾相当长的一部分恢复天然河流状态,增大冲刷,减少淤积。

总之,泥沙模型试验技术在我国得到较大的发展。实践证明,试验成果是可信的。泥沙模型事先都经过详细率定,证实模型能复演天然的冲淤过程,即与河道的实测资料接近后,才用以研究工程问题。重要工程建成后,还定期观测水沙运动和河床冲淤情况,并据以验证模型成果。所以泥沙模型

试验已成为研究工程泥沙问题的科学手段。实践表明泥沙运动中某种程度的随机性和不确定性并不妨碍人们利用泥沙模型试验解决工程问题。

三、一维数学模型

在三峡工程泥沙论证中使用的泥沙数学模型,以不平衡输沙为前提,模型的主要建立者发展了泥沙统计理论,并应用这一理论较好地处理了床面泥沙交换等问题,使这一数学模型具有坚实的理论基础。有关人员曾利用我国的实测资料对该数学模型作了相当广泛的验证。结果是良好的。最近山西水利科研所将这一数学模型应用于汾河水库的淤积计算。计算结果与实测资料很接近。这是一项完整的计算。它为我国的一维泥沙数学模型提供了周详的验证。据笔者的不完全了解,在泥沙文献中一个数学模型能得到这样深入的验证还未多见。

国外对这一数学模型也作了些研究。加拿大扬子联合企业公司在世界银行国际咨询专家组的协助下,曾对这一数学模型进行了两项验证。第一项是由该公司应用另一个数学模型计算三峡水库内的泥沙淤积分布。虽然两个数学模型建立在不同的原理上,但两者给出的计算值却十分接近。第二项验证应用美国关于水库淤积量计算的經驗曲线,即布隆

曲线(Brune's curves),来计算三峡水库的淤积量。值得注意的是这种纯凭經驗曲线进行的计算竟给出也与中方数学模型计算极为相近的数值,在这两项工作的基础上,上述世界银行国际咨询专家组于1988年初对我国的泥沙数学模型也作了评议,给予了充分的肯定。

综上所述,应该说我国的一维泥沙数学模型在一维泥沙计算中是可靠的。关于二维泥沙数学模型的研究正在进行中,已提出初步计算结果。

四、后 记

对三峡工程是否赞同,见仁见智,大可各抒己见。但笔者以为各种议论应以事实和科学论断为依据。否则将来进行决策时,无论决策过程本身如何严密和如何科学化,如果决策的基础不是事实和科学论断,其结论也只能是错误的。本文只就几个人们经常提出的泥沙问题作了一些肤浅的说明,供人们参考。

本文作者林秉南(Lin Bingnan)系国际泥沙研究培训中心顾问委员会主席,清华大学教授。

陈志轩(Chen Zhixuan)系泥沙工程专业硕士,国际泥沙研究培训中心工程师。

~~~~~  
(上接第55页)

重性、广泛性、危害性远超过他们;不仅是后治,而且比他们的后治还要滞后,效果比他们还差。实际上,我们的指导方针也还是先污染、后治理,先经济、后生态。现在公开说我国经济财力有限,不可能拿出许多钱来治理,每年只能给环境保护少量投资。这就意味着现在经济落后,无钱治理,只有等到经济发达了,钱多了,才能全面整治。

应该承认,我国现在仍是以小农经济为主体的社会结构。小生产者所固有的近视、短见、急功近利,只报喜、不报忧,只求勉强维持低水平的生产、不求长远的开拓和投资,对私己、对本位的关心远远超过对社会、对大环境的关心,只求一时之名,不顾长远信誉等根深蒂固的短期行为,是造成

我国环境决策失误的社会基础。在这种背景下,重生产、轻生态,重开发、轻保护,重短期政绩、轻长远环境,在各级决策层中普遍存在,是不足为奇的。因此,别说要使环境和生态向良性方向发展,就是要改变目前这种思想意识,也还需要长期努力。

可见,对我国环境问题说千道万,最要紧的是要敢于正视现实,全国上下要有危机感、紧迫感,要树立长远的战略眼光。唯有此,才能有治理的决心,也才能有未来改善的希望。

本文作者陈国阶(Chen Guojie)系中国科学院成都山地灾害与环境研究所副研究员。