

水库, 泥沙, 淤积, 减淤措施

97, 9(1)
1-8

中国的水库泥沙淤积问题

TV 145

姜乃森 傅玲燕

(中国水利水电科学研究院泥沙研究所, 北京 100044)

A

摘要 由于我国有许多河流是含沙量高、输沙量大的多泥沙河流, 水库泥沙淤积问题异常严重, 主要表现在: 淤积数量大, 淤积速率快, 据统计, 截止到 1981 年底全国水库总淤积量达 $115 \cdot 10^8 \text{ m}^3$, 占统计水库总库容的 14.2%, 年平均库容损失率达 2.3%, 高于世界各国。水库的严重淤积, 不仅影响水库兴利效益的发挥, 严重威胁水库的使用寿命, 而且还造成一系列在进行水库规划时未曾充分估计到的环境问题, 本文重点从河流水文泥沙特性、我国水库淤积问题的严重性、水库淤积引起的问题及水库防淤减淤措施等 4 个方面作一较全面的分析和探讨。

关键词 水库淤积 多沙河流 蓄清排浑 防淤减淤措施

自新中国成立后, 我国已建成各种类型的水库 84 000 余座, 总库容逾 $4 500 \times 10^8 \text{ m}^3$, 这些工程对促进我国的工农业发展起了很大作用, 然而, 由于有许多河流是含沙量高、输沙量大的多泥沙河流, 水库建成蓄水后, 淤积问题异常严重, 这不仅直接影响着水库兴利效益的发挥, 而且还为社会环境带来一系列问题, 为此, 水库泥沙淤积问题一直受到有关部门和科技工作者的重视, 早在 60 年代初, 水电部就确定官厅、三门峡等 12 座水库为开展水库泥沙观测研究的重点水库, 70 年代又成立过“全国重点水库水文泥沙观测研究协作组”, 经过 30 余年的努力, 不仅积累了丰富的实测资料, 提高了处理水库泥沙问题的技术水平, 而且通过室内试验研究, 对水库泥沙运行规律、水库防淤、减淤措施等都有了较深刻的认识, 目前, 一些研究成果和防淤减淤措施已为广大设计和水库管理人员所接受并付诸实践, 对减缓我国的水库淤积状况, 发挥水库综合利用效益起到积极作用。

1 河流水文泥沙特性

1.1 河流含沙量高、输沙量大

我国有许多河流, 特别是北方河流大都发源或流经黄土地区, 而这些地区地表植被覆盖少、汛期多暴雨, 水土流失严重, 河流的含沙量都很高, 从中外主要河流泥沙量的对比^[1]来看, 我国河流含沙量之高、输沙量之大均属世界之冠。

1.2 水沙量在年内的分配极不均匀

由于我国北方地区冬春季干旱少雨, 雨量主要集中于汛期, 且多暴雨, 故河流的水、沙量主要集中于汛期, 从部分多沙河流水库汛期入库水沙量占全年总量的百分比来看, 北方河流汛期水量约占全年水量的 60%, 而汛期沙量竟占到年沙量的 90% 以上(表 1)。

收稿日期: 1995-11-24; 收到修改稿日期: 1996-03-12。
作者简介: 姜乃森, 男, 1931 年生, 教授级高工, 1955 年毕业于清华大学水利系, 主要从事水库泥沙及水土保持研究, 已发表论文 61 篇, 专著 5 部。

表1 多沙河流水库汛期水、沙量占年水、沙总量百分比

序号名称	刘家峡	三门峡	官厅	岗德奇	黑松林	镇子梁	汾河	红山	平均
水量 (%)	65	61	55.9	62	65	47.8	61	75	58.2
沙量 (%)	59	61	55.7	96	98	97	96	95	92.8

2 淤积问题的严重性

2.1 淤积数量大

根据全国 236 座有实测资料水库的统计,截止到 1981 年底,总淤积量达 $115 \times 10^8 \text{m}^3$,占这些水库总库容的 $301 \times 10^8 \text{m}^3$ 的 11.2%, 平均每年约淤损 $8 \times 10^8 \text{m}^3$.

2.2 淤积速率快

据统计,我国水库平均年淤积率为 2.3‰. 表 2 列出我国部分大中型水库的淤损情况. 实际上,中小型水库的淤积情况尤为严重. 应当指出:在我国南方地区,虽然河流含沙量较北方河流低,水库淤积问题也不如北方那么突出,但南方河流径流量大,输沙总量往往也不少,故水库淤积问题也较严重. 如云南省以礼河水槽子水库,总库容 $958 \times 10^4 \text{m}^3$,河道含沙量虽只有 1.5kg/m^3 ,但因年径流量大,河道年平均输沙量达 $50 \times 10^4 \text{t}$,该库自 1958 年蓄水至 1977 年 8 月库内共淤积泥沙 $782.7 \times 10^4 \text{m}^3$,损失库容 81.7%.

3 水库淤积引起的问题

3.1 库容减少、水库兴利效益降低

库容是水库除害兴利的基本条件,但因泥沙淤积库容减少,使水库原定兴利目标不能实现. 有些水库为减缓淤积,延长水库使用寿命,不得不把水库运用方式由“蓄洪运用”改为“蓄清排浑”运用. 这样,水库的兴利效益虽有所降低,但却可以长期保持一部分库容. 因此,从长远考虑,这样做无疑是正确的.

3.2 水库淤积末端向上游延伸,造成回水末端地区淹没、浸没损失扩大

在多泥沙河流水库上,由于泥沙淤积剧烈,往往在回水末端上游也发生淤积,这就是水库淤积上延问题,即“遇尾巴淤积”^[2]. 内蒙古红山水库淤积末端位置超出最高库水位水平回水末端 26km^2 ,淤积末端地面高程高于最高库水位 19.5m (图 1). 水库淤积末端上延会造成当地河床抬高,地下水位上升,如永定河官厅水库淤积末端向上游延伸了 10km,造成当地地下水位抬高 3~4m,使两岸盐碱地面积扩大了 11 倍^[3].

3.3 污染水质

泥沙是有机和无机污染物的载体,沉积在库区的泥沙对水质影响很大. 如官厅水库水中含有机质、砷及磷等有毒物质的含量较高,曾造成库区渔业减产^[4].

3.4 阻碍航运

在多沙河流通航河道上修建水库后,由于水库回水变动区泥沙的淤积,常因航深、航宽不足而无法通航. 特别是一些大型水库因水库水位变幅大,使回水变动区的河势处于一种不稳定状态,更难以行船.

表 2 部分水库库容淤损情况

Tab. 2 Sedimentation in some reservoirs in China

序号	水库名称	河流	省(区)	控制面积 (km ²)	初始库容 ($\times 10^4$ m ³)	总淤积量		统计 年份
						总量($\times 10^4$ m ³)	占总库容(%)	
1	三门峡	黄河	豫、晋、陕	688430	96.4	56.9	58.1	1960-1989
2	红山	老哈河	内蒙	24436	25.6	6.7	26	1960-1987
3	官厅	永定河	北京	47600	23.7	6.3	27.8	1953-1994
4	汾河	汾河	山西	5268	7.21	3.31	45.9	1960-1989
5	刘家峡	黄河	甘肃	172000	57.2	14.1	24.7	1968-1989
6	丹江口	汉江	湖北	95217	160	11.3	7.1	1968-1986
7	岗南	漳沱河	河北	15900	15.58	2.35	15.1	1960-1976
8	册田	桑干河	山西	16900	2.0	2.05	102.5	1960-1983
9	张家湾	清水河	宁夏	8000	1.19	1.01	84.5	1959-1961
10	镇子梁	浑河	山西	1810	0.36	0.29	80	1959-1973
11	陶德海	柳河	辽宁	1501	1.68	0.02	1	1963-1986
12	龚咀	大渡河	四川	76100	3.57	2.06	80.1	1967-1987
13	碧口	白龙江	甘肃	27600	5.21	2.18	41.8	1976-1986
14	石门	褒河	陕西	3861	1.05	0.28	26.8	1973-1986
15	红寺坝	濠水	陕西	121.3	0.34	0.07	19.2	1960-1986
16	南沙河	南沙河	陕西	293.5	0.21	0.03	15	1960-1988
17	王磨	杏子河	陕西	820	2.03	0.77	37.9	1972-1990
18	冯家山	千河	陕西	3232	3.89	0.63	16	1971-1990
19	长岗	潞水	江西	848.5	3.37	0.04	1.2	1970-1981
20	冶源	弥河	山东	786	1.53	0.12	7.8	1959-1981
21	青峰岭	汶河	山东	770	1.24	0.16	3.8	1960-1981
22	明山	白果河	湖北	182	1.69	0.12	1.7	1959-1981
23	白莲河	潘水	湖北	1800	12.5	0.21	7.1	1960-1981
24	黄龙滩	堵河	湖北	1110	1.01	0.2	20	1972-1980
25	上犹江	上犹江	江西	2750	7.21	0.09	1.2	1957-1982
26	庙官	伊逊河	河北	2400	1.83	0.97	53	1960-1989
27	白沙	颍河	河南	985	2.95	0.22	7.5	1953-1981
28	西津	郁江	广西	77300	14	0.67	4.8	1964-1979
29	东峡	南河	甘肃	552	0.77	0.41	53.7	1959-1983
30	石峡口	清水河	宁夏	3048	1.75	0.35	20	1959-1988
31	长山头	清水河	宁夏	14174	3.48	0.47	13.5	1960-1986
32	文峪河	文峪河	山西	1876	1.05	0.20	19	1959-1988
33	巴家咀	蒲河	甘肃	3532	4.96	2.49	50.2	1953-1990
34	羊毛湾	渭河	陕西	1200	1.2	0.17	14	1970-1990
35	李口	宏农河	河南	903	1.85	0.08	4	1970-1990
36	陆浑	伊洛河	河南	1192	13.2	0.62	4.7	1960-1983

3.5 坝区泥沙淤积

坝区泥沙淤积是指大坝或枢纽工程附近河段的淤积,包括电站进水口、上下游引航道及船闸闸室的淤积等。坝前泥沙淤积有可能堵塞闸孔,威胁工程安全。此外,从水库排出的淤沙颗粒较粗,从而加重了泥沙对泄流建筑物及水轮机过流部件的磨蚀。

3.6 对水库下游河道的影响

在多沙河流上修建水库后,改变了水库下游河道自然的来水来沙条件,下游河道的冲淤直

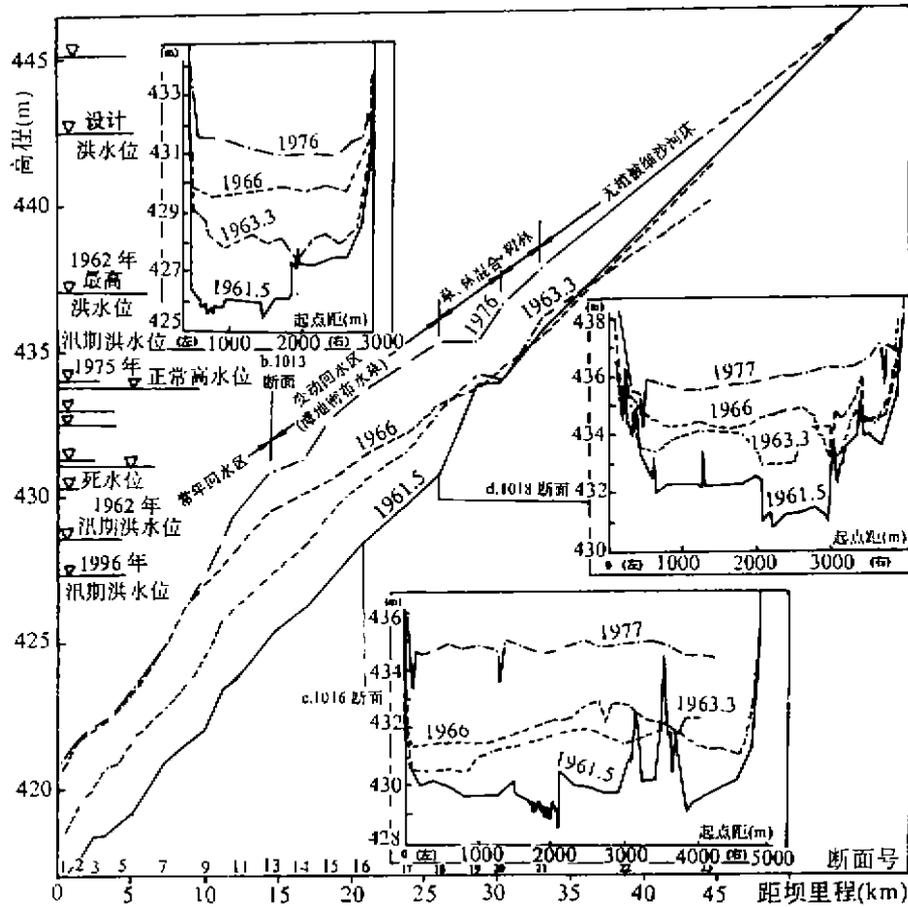


图1 红山水库河床最低点纵剖面

Fig. 1 Longitudinal profile of sedimentation for Hongshan Reservoir

接受水库调节的影响.一般蓄洪运用水库,库区泥沙淤积,出库为清水.清水会使下游河道发生长距离冲刷,如三门峡水库建成初期下游河道发生冲刷,造成滩地的大量坍塌并使险情增加.三门峡水库在改变运用方式为“蓄清排浑”后,常因水库泄流能力不足而发生滞洪淤积,出库浑水常发生“大水带小沙,小水带大沙”的不协调局面,造成下游河槽的淤积,对防洪极为不利.因此,迫使该库进行工程改建,改建后工程泄流能力加大,使一般洪水不再发生滞洪,出库水沙过程也比较适应了,才使库区及下游河道的不利局面有所改善.

4 水库防淤减淤措施

4.1 上游拦蓄,减少入库沙量

防止或减缓水库淤积的根本措施是减少入库沙量.实践证明,对于流域面积不太大的大中型水库来说,流域的综合治理,在短期内对入库沙量就可起到明显的减少作用.如红山水库^[5],60年代和70年代比,水库上游流域的年均降雨量均接近多年平均值463.3mm,但输沙量却相差很大,60年代平均年输沙量高达 $5734 \times 10^4 \text{t}$,但到70年代则只有 $1989 \times 10^4 \text{t}$,仅为60年代

的 35%。该流域来沙量大幅度减少的主要原因就是上游水利、水保工程的拦沙作用。60 年代至 70 年代中期, 流域灌溉面积和水库库容增加较多, 而且在灌溉面积中大部分为引洪淤灌, 故拦沙效益显著(图 2)。永定河官厅水库也有类似情况。

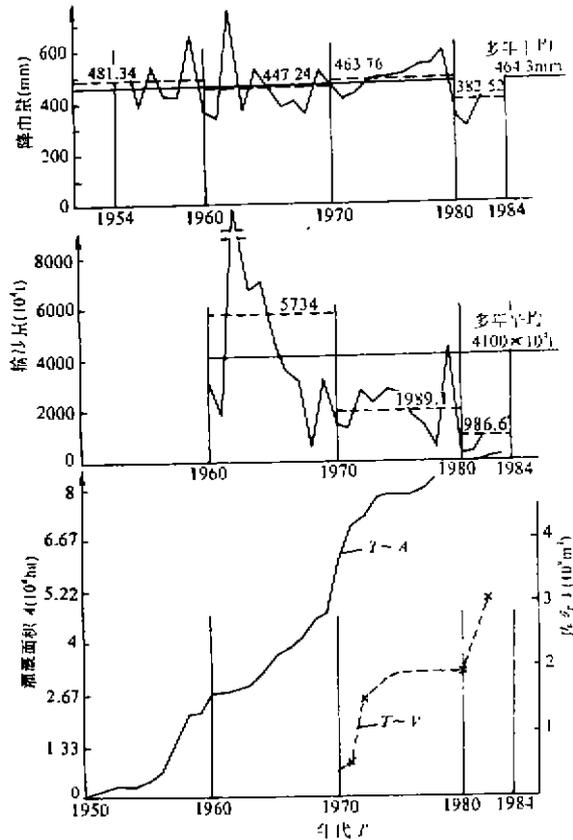


图 2 红山水库流域年降雨量、径流量、输沙量过程线

Fig. 2 Coordinated hydrographs for the basin of Hongshan Reservoir

4.2 优化规划设计

中国水库淤积问题之所以如此严重, 不少是在规划设计时对泥沙问题估计不足所致, 尤其是在建国初期修建的一些水库更是如此。实践证明, 多沙河流规划水库时, 不能只考虑径流调节, 还须考虑泥沙调节。

衡量水库淤积是否严重的一个指标, 就是前述的水库平均年淤积率 R 。 R 与水库的运用方式、年入库沙量的多寡及原始库容的大小等因素有关。根据我国部分蓄洪运用水库的资料分析可得如下关系式^[2](图 3):

$$R_s = 0.0002G^{0.75}(V/F)^{-0.5}$$

式中, G 为流域平均侵蚀模数 ($t/km^2 \cdot a$); V 为原始库容 (m^3); F 为控制流域面积 (km^2)。

我国北方部分河流(如黄河干流、海河、西辽河等)流域的侵蚀模数约在 1 000—5 000 $t/km^2 \cdot a$ 。

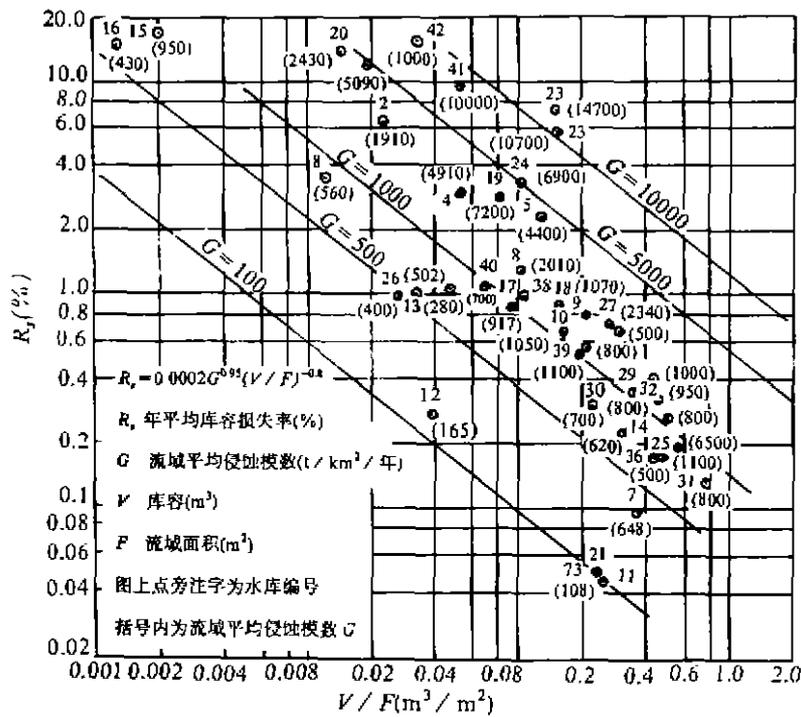


图3 蓄水运用水库平均库容损失率与水库及流域特性关系

Fig. 3 Relationship between the lost rate of the storage capacity and the characteristics of the reservoir

($\text{km}^2 \cdot \text{a}$)。在这些河流上修建水库,应考虑参数 V/F 。 V/F 值愈大,水库的相对库容较大,使用年限愈长。从图 3 可看出,平均情况下, V/F 值不宜小于 $0.1 \text{ m}^3/\text{m}^2$,否则水库的平均年淤积率将大于 2%。在这种情况下,进行水库规划时应考虑水库排沙运用的要求。

为有利于排沙运用,要设置高程较低,泄量较大的泄流排沙建筑物(如排沙底孔或排沙洞)以达到调沙的目的。如三门峡水库由于泥沙淤积严重,在 1962 年就改蓄水运用为蓄清排浑运用。但由于原有泄水建筑物泄量不够大,高程又较高,故遇较大洪水时(如 1964 年),库内仍壅水较高,淤积仍很严重,迫使水库改建。改建后增大了水库的泄流规模,降低了坝前侵蚀基面,才缓解了水库严重淤积的局面^[7]。

4.3 合理的水库运用方式

多沙河流水库选择一个合理的运用方式并精心调度运用水库,对减缓水库淤积、发挥水库效益有着极为重要的作用。我国曾有不少水库在建库初期采取蓄洪运用方式,后因水库淤积严重才被迫改为蓄清排浑运用。当然,蓄清排浑运用因汛期需泄水冲沙,必然对发电等综合利用效益有影响,但这样却能较长期地保持部分库容进行水沙调节,除害兴利。

表 3 列出了部分水库平均年库容损失率与相对库容特征值 C (河流年沙量与原始总库容之比)的对照关系。大致可以认为:当 C 值在 $0.01-0.05$ 时,水库平均年库容损失率约为 2% 左右。因此,在多沙河流上修建水库,若 C 值大于 0.04 时,就宜于采取蓄清排浑的运用方式。

表3 水库运用方式与库容损失情况¹⁾

Tab. 3 Situation of the operation mode and the sediment deposit in some reservoirs in China

序号	库名	河流	原始库容 ($\times 10^8 \text{ m}^3$)	河流年沙量 ($\times 10^4 \text{ t}$)	$C = \frac{\text{年沙量}}{\text{库容}}$ (t/m^3)	库容损失率 (%)	平均年库容 损失率(%)	水库运用 方式	年份 (年)
1	三门峡	黄河	162	16	0.099	14.6	0.8	蓄洪	5
			162	16	0.099	25.1	1.9	蓄洪排浑	15
2	镇子梁	浑河	0.36	0.094	0.26	36	12	蓄洪	5
			0.36	0.094	0.26	35	12	蓄洪排浑	5
3	黑松林	哈峪河	0.086	0.0071	0.083	20.2	6.7	蓄洪	3
			0.086	0.0071	0.083	20.2	6.7	蓄洪排浑	3
4	红领甲	水磨沟	0.166	0.006	0.036	11	2.9	蓄洪	5
			0.166	0.006	0.036	11	2.9	蓄洪排浑	5
5	东峡	南河	0.37	0.025	0.067	54.1	3.9	蓄洪	17
			0.37	0.025	0.067	54.1	3.9	蓄洪排浑	17
6	锦屏	斗谷河	0.12	0.013	0.108	7.5	2.5	蓄洪	1
			0.12	0.013	0.108	7.5	2.5	蓄洪排浑	1

1) 库容损失率为“-”值,表示水库因冲刷而造成的库容恢复率。

水库采取蓄清排浑运用方式,一般靠汛期的冲刷都能把非汛期蓄水时淤在库内的泥沙冲出库,即作到泥沙冲淤年平衡,如三门峡、黑松林等水库。图4为三门峡水库330m高程以下库容的变化情况,由图可见,1964年工程改建之前,由于泥沙淤积使库容急剧损失,随着改建工程逐步完成,汛期发生冲刷,库容不仅没有损失,且略有恢复。

另有某些水库(如山西省恒山水库¹⁾)采取泥沙多年调节的运用方式,即一般年份全年蓄水兴利,使来沙中的绝大部分淤在库内,每隔4年左右进行一次汛期泄空水库冲刷,可把前期库内淤沙冲刷出库,达到泥沙冲淤多年平衡。

4.4 机械清淤

我国也有部分水库利用机械进行清淤,如利用挖泥船、气力泵和水力吸泥装置等。机械清淤的最大优点是不需耗费大量水量,这对我国北方干旱缺水地区有重要意义。鉴于我国河流含沙量高、输沙量大,单靠挖沙恢复库容,对于大中型水库来说是困难的。此外,机械挖泥耗资也较高,因此,大型水库很少采用这种办法。在上述三种清淤机械中,我国较常用的是水力吸泥装置(也称虹吸吸泥装置),因其构造简单,便于操作,且排沙动力主要是依靠水库上下游水位差,不需附加更多的动力,故较经济。

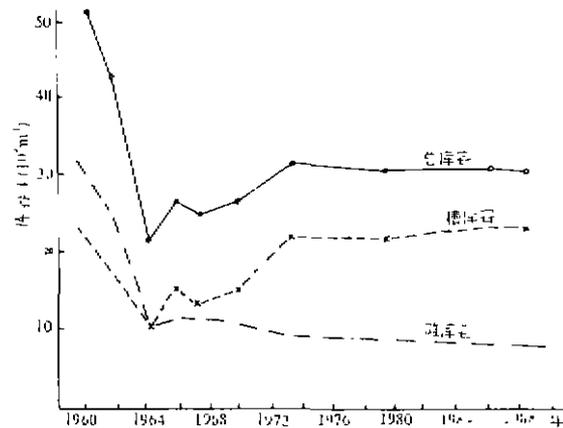


图4 三门峡水库库容变化过程
Fig. 4 Temporal variation of storage capacity in Sanmenxia Reservoir

1) 郭志刚等,恒山水库泥沙调节运用方式的研究,山西省水利科学研究所,1986

参 考 文 献

- 1 戴定忠. 中国的河流泥沙问题. 中国水利, 1991, 407-441
- 2 傅其秀. 论水库的三角淤积. 湖泊科学, 1995, 7(2): 107-118
- 3 Jiang Naisen, *et al.* On headward extension of backwater deposition in reservoir. Proc 5th Int Symposium on River Sedimentation. Karlsruhe, Germany, 1992, 821-827
- 4 Zhang Qishun, Jiang Naisen, Lin Bingnan. Environmental problems associated with sediment deposition in Guanting Reservoir. Proc Int Seminar on Water Management, Beijing, China, 1985
- 5 姜乃森, 张启舜, 刘玉忠. 红山水库泥沙淤积问题的分析. 泥沙研究, 1990, (4)
- 6 姜乃森. 多沙河流水库淤积问题的调查研究. 泥沙研究, 1980, 复刊号
- 7 三门峡泥沙问题编写小组. 黄河三门峡水库的泥沙问题. 见: 坝工建设技术经验汇编, 第2集. 北京: 水利电力出版社, 1976, 1-17

PROBLEMS OF RESERVOIR SEDIMENTATION IN CHINA

Jiang Naisen Fu Lingyan

(China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100044)

Abstract

There are many heavily sediment-laden rivers in China, with high sediment concentration and a large quantity of sediment load. The reservoir sedimentation problems in those rivers are so serious that the amount of sediment deposited in the reservoir is great and the rate of sedimentation is accelerated. According to the statistics, up to the end of 1981, a total amount of $11.5 \times 10^{10} \text{ m}^3$ of sediments were approximately accumulated in the reservoirs, and 14.2% of the design capacity was lost. The average annual loss in capacity for storage reservoirs reaches 2.3 percent, the highest in the world.

Silting of impounding lakes not only has an effect on the benefits of the reservoirs and seriously threatens the life of reservoirs, but also entails many environmental problems not fully anticipated at the time of planning of the reservoir, which calls for the Chinese scientific-technical personnel to pay high attention to and make great efforts in research on the methods of minimizing sediment deposition.

In this paper, the situation of reservoir deposition in China will be described. The main content is as follows: 1) the characteristics of hydrology and sediment of rivers; 2) the seriousness of reservoir sedimentation in China; 3) problems caused by reservoir deposition; 4) the methods of minimizing sediment deposition etc.

Key Words Reservoir sedimentation, rivers with heavy sediment load, impounding clear water and releasing muddy water, measure of minimizing sediment deposition