

86-96

水库泥沙与防治

陈国祥 徐和兴

(河海大学, 南京 210024)

TV 697.3P

摘要 水库的修建及伴随而来的泥沙淤积与环境问题是当今世界上水资源开发利用中最关心的问题。本文根据国内外有关水库泥沙问题的文献资料,概述了国内外水库建设的发展情况,指出了水库泥沙淤积的严重性及其对水利工程和周围环境的影响,并介绍了各种类型水库的防淤、减淤及泥沙处理的方法和经验,可作为研究水库泥沙问题以及防治对策的参考。

关键词 水库 泥沙淤积 环境影响 减淤防淤 防治

一、水库建设的发展

地球上的总水量估计约为 $14 \times 10^6 \text{ km}^3$, 其中江河溪流和湖泊中以地表水形式存在的部分不足 0.0087%, 而且在空间和时间上分布很不均匀。在一些地区一定时间内特大暴雨引起严重的洪水灾害, 而在另一些地区, 一定时间内干旱的气候条件不可能提供足够的水量以满足各方面的需要。随着工农业生产的发展和人类生活水平的提高, 这一矛盾日趋尖锐。为了控制和开发水资源, 达到防治水害、抗御干旱的目的, 人类在天然河流上修建水坝, 拦截河流, 构成了许多人工湖泊——水库。

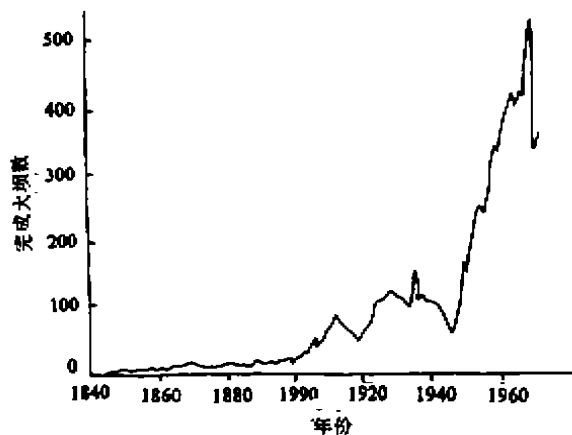


图1 世界范围大坝建设的发展经过
Fig. 1 Development of dam construction in the world

水坝的修建早在 5000 年以前就已经开始, 但世界上普遍修建水库进行径流调控也只有近 50 年时间。根据国际大坝委员会 1973 年出版的“世界大坝统计”记载, 到 1971 年止, 全世界建有坝高超过 15m 的水库共计 12000 余座, 蓄水 4000 km^3 , 淹没面积 $80 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。大坝建设的发展过程可分为三个时期: 1900 年以前为缓慢发展期, 建坝数量较少; 1900—1945 年为发展时期, 其间因为战争和经济萧条有几个低潮; 1945 年以后为加速发展时期, 在此期间共建大坝 8180 座, 其中仅 1968 年一年中就建 548 座, 这一统计资料还未包括苏联的许多大坝和中国的大坝资料在内, 见图 1^[1]。

70年代以后世界大坝的兴建仍在不断进行。据分析,每年大坝增长率保持在700座左右,即平均每天要建成大坝2座左右。而且新建坝的规模越来越大。世界上在1983年以前已建成的主要大坝和水库列于表1。

时至今日,世界上各主要河流大都在一定程度上得到了调节,人工湖泊——水库已在地球表面上星罗棋布。各大洲被水库调节的径流百分比见表2^[1]。

表1 世界上1983年以前建成的最高大坝、最大水库和最大水电站

Tab. 1 The highest dams, the largest reservoirs and water-power stations in the world

1. 最大水库(取库容 $>650 \times 10^6 \text{m}^3$)

名称	竣工年份	河流	国家	库容(10^6m^3)
欧文瀑布	1951	维多利亚湖和尼罗河	乌干达	2048
布拉茨克	1964	安加拉河	苏联	1693
阿斯旺高坝水库	1970	尼罗河	埃及	1640
卡里巴	1959	赞比西河	津巴布韦	1604
阿科科波	1965	沃尔特河	加纳	1480
丹尼尔·约翰逊	1968	马尼库阿冈河	加拿大	1419
本尼特 W·A·C	1967	皮斯河	加拿大	743
克拉斯诺雅尔斯克	1972	叶尼塞河	苏联	733
结雅	1975	纳雅河	苏联	684

2. 最高大坝(取坝高 $>225\text{m}$)

名称	竣工年份	河流	国家	坝高(m)
大狄克桑斯	1962	狄克桑斯河	瑞士	285
瓦依昂	1961	瓦依昂河	意大利	262
瓜维尤	1982	奥里诺柯河	哥伦比亚	250
迈卡	1973	哥伦比亚河	加拿大	245
奇科阿森	1981	格里哈尔瓦河	墨西哥	245
萨扬·舒申斯克	1980	叶尼塞河	苏联	242
莫瓦桑	1957	德朗什德巴涅河	瑞士	237
奇沃尔	1975	巴塔河	哥伦比亚	237
奥罗维尔	1968	费泽尔河	美国	235
克尔克伊	1977	苏拉克河	苏联	233
巴克拉	1963	萨特莱杰河	印度	226

3. 最大水电站(取装机容量 $>400 \times 10^4 \text{kW}$)

名称	竣工年份	河流	国家	最终装机容量 (10^4kW)
大古力	1942	哥伦比亚河	美国	* 1083.0
图库鲁伊	1982	托坎亨斯河	巴西	* 648.0
萨扬·舒申斯克	1980	叶尼塞河	苏联	640.0
克拉斯诺雅尔斯克	1972	叶尼塞河	苏联	600.0
拉特朗德-2	1982	拉特朗德河	加拿大	532.8
邱吉尔瀑布	1971	邱吉尔瀑布	加拿大	522.5
布拉茨克	1964	安加拉河	苏联	460.0
伊里姆河口	1980	安加拉河	苏联	450.0
卡拉巴萨	1974	赞比西河	莫桑比克	400.0

* 按最新资料,大古力和图库鲁伊的装机容量分别改为 $549.4 \times 10^4 \text{kW}$ 和 $800 \times 10^4 \text{kW}$ (Mermel, 1983)

表 2 世界六大洲(不包括中国)因水库而得到调节径流占全部径流的百分数^[1]

Tab. 2 Percentage of runoff regulated by reservoir in the world

洲 别	欧 洲	亚 洲	非 洲	北 美 洲	南 美 洲	大 洋 洲
百分数(%)	15.1	14.0	21.0	20.6	4.1	6.1

新中国建立后,水坝的建设得到迅速发展。据不完全统计,到 1981 年为止,全国已建成库容超过 $1 \times 10^4 \text{m}^3$ 以上的大型水库共 328 座,总库容 $2989 \times 10^8 \text{m}^3$;库容在 $1 \times 10^7 \text{m}^3$ 至 $1 \times 10^8 \text{m}^3$ 之间的中型水库共 2330 座,总库容 $622 \times 10^8 \text{m}^3$ ^[1]。尽管已建成这样多的水库,但与我国丰富的水资源相比,其利用水平还是很低的。迄今为止,在我国七大河流中,只有 5% 的水资源被开发。今后随着国民经济的发展,将会有更多更大的人工湖——水库出现在我国的土地上。目前黄河的小浪底水库已经正式开工,长江的三峡水库已经全国人大讨论通过,决定兴建。

二、水库泥沙淤积的严重性

拦蓄河流形成的人工湖——水库对于人类、生物和自然等环境因素将产生一系列的极其复杂的影响。其中水库泥沙淤积和因此而造成的对水库本身和上下游河道的影响是最为显著的现象。

水库蓄水后,由于过水断面增大,流速减小,水流挟沙能力降低,使得入库河流挟带的泥沙部分或全部在库区范围内沉积,致使水库的库容日益减少,甚至最终完全淤废。

水库淤积是世界各国都存在的严重问题。据统计,因泥沙淤积而使水库库容年平均损失率,中欧为 0.51%,苏联为 0.71%,尼日利亚为 0.55%,美国为 0.7%^①

美国在 50 年代末曾对 1100 座水库的淤积情况进行了调查,其中 66 座代表性水库的资料列于表 3^[1]。在 22 年中库容损失率达 15.6%,平均年损失率为 0.71%。70 年代末又作了一次调查,资料统计结果表明,平均每年水库泥沙淤积量在 $12 \times 10^8 \text{t}$ 以上。

表 3 美国不同地区水库淤积情况

Tab. 3 Reservoir sedimentation in different regions of U. S. A.

地 区	统计水库数	统计年数	损失库容(%)	年损失库容(%)
东北部	3	30	24.7	0.82
东南部	10	18.6	15.1	0.81
中西部	11	16.5	14.0	0.85
中南部	12	17.2	8.8	0.51
北部大平原	9	23.1	29.6	1.28
西南部	15	29.8	15.7	0.53
西北部	6	23.1	7.0	0.30
全国范围	66	22.1	15.6	0.71

日本在 1979 年对总库容在 $100 \times 10^4 \text{m}^3$ 以上的 428 座水库在各地区的淤积现状作了统

① G. E. 别兹著,水电部科技情报研究所译,被拦蓄的河流,1987。

计。库容合计为 $132 \times 10^9 \text{m}^3$, 淤积总量为 $8.3 \times 10^8 \text{m}^3$, 总淤积率为 6.2%, 年平均淤积量为 $4800 \times 10^4 \text{m}^3$, 相当于总库容的 0.36% (见表 4)^[4]。

世界上若干大水库库容损失率见表 5^①。

我国河流的输沙量很大, 特别是北方地区的河流, 水库淤积问题十分严重, 表 6 中列出了我国 20 座有代表性水库的泥沙淤积情况^[5]。

表 4 日本各地水库的淤积状况 (大于 $100 \times 10^4 \text{m}^3$ 的水库, 1977 年统计)

Tab. 4 Reservoir sedimentation in different parts in Japan

地 区	水库座数	原始总库容 (10^8m^3)	淤 积 量 (10^6m^3)			总淤沙率 (%)	年平均淤积 量 ($10^6 \text{m}^3/\text{a}$)
			淤在有效 库容内	淤在死 库容内	小 计		
北 海 道	39	1349	12	40	52	3.8	2.39
东 北	38	995	13	31	41	4.4	1.62
关 东	37	1173	19	16	36	3.0	0.62
北 陆	73	3081	44	127	171	5.5	7.22
中 部	55	1784	106	212	318	18.1	30.72
近 郊	37	1546	19	37	56	3.6	1.10
中 国	47	1033	7	9	16	1.4	0.36
四 国	37	965	36	24	60	6.3	1.57
九 州	62	1287	29	41	70	5.4	1.93
合 计	425	13215	285	537	822	6.2	47.53

表 5 四个地理区库容损失的观测^①

Tab. 5 Reservoir capacity loss of four geographical areas in the world

环 境	位 置	平均年库容损失率%	资 料 来 源
硬岩, 湿润气候	英国克洛普斯顿水库	0.005	Cummins 和 Potter, 1972
	英国勃累特水库	0.055	N. E. R. C., 1976
	波兰苏台德山水库	0.04—0.12	Cyberski, 1973
易冲蚀土, 湿润气候	波兰喀尔巴阡水库	1.0	Cyberski, 1973
	美国东南水库群	0.31—2.82	Brown, 1944
接受冰川雪水的模流	奥地利诸水库	3.3—10.0	Cyberski, 1973
	瑞士诸水库	7.0—10.0	Cyberski, 1973
	美国新奥斯汀水库	7.354	Buttling 和 Shaw, 1973
	美国奥斯汀水库	10.375	Buttling 和 Shaw, 1973
	美国米德湖	3.2	Thomas, 1956
	美国格兰德水库	2.31	Buttling 和 Shaw, 1973
	印度潘克特水库	5.129	Buttling 和 Shaw, 1973
	阿尔及利亚哈布拉水库	2.636	Buttling 和 Shaw, 1973
	埃及阿斯旺水库	0.002	Kinawy 等, 1973

① 黄河泥沙研究工作协调小组, 黄河泥沙研究报告选编, 1984。

表 6 中国二十座水库的淤积情况

Tab. 6 Sedimentation of 12 reservoirs in China

序号	水库名称	河流	控制面积 (km ²)	坝高 (m)	设计库容 (10 ⁸ m ³)	统计年限	总淤积量 (10 ⁸ m ³)	淤积量占 库容的百 分数(%)	备 注
1	刘家峡	黄河	181700	147	57.2	1968—1978	5.8	10.1	(335m水位时)
2	盐锅峡	黄河	182800	57	2.2	1961—1978	1.6	72.7	
3	八盘峡	黄河	204700	43	0.47	1975—1977	0.18	35.7	
4	青桐峡	黄河	285000	42.7	6.20	1966—1977	4.85	78.2	
5	三盛公	黄河	314000	闸坝式	0.8	1961—1977	0.40	5.0	
6	天桥	黄河	388000	42	0.68	1976—1978	0.075	11	
7	三门峡	黄河	688421	106	96.4	1960—1978	37.6	39	
8	巴家嘴	糯河	3522	74	5.25	1960—1978	1.94	37	
9	冯家山	干河	3232	73	3.89	1974—1978	0.23	5.9	
10	黑松林	冶峪河	370	45.5	0.086	1961—1977	0.034	39	
11	汾河	汾河	5268	60	7.0	1959—1977	2.6	37.1	
12	官厅	永定河	47600	45	22.7	1953—1977	5.52	24.3	
13	红山	老哈河	24486	31	25.6	1960—1977	4.75	18.5	
14	闹德海	柳河	4501	41.5	1.96	1942—	0.38	19.5	
15	冶源	野河	786	23.7	1.68	1959—1972	0.12	7.2	
16	岗南	漳沱河	15900	63	15.58	1960—1976	2.35	15.1	
17	龚嘴	大渡河	76400	88	3.51	1967—1978	1.33	38	
18	碧口	白龙江	27600	101	5.21	1976—1978	0.28	5.4	
19	丹江口	汉江	95217	110	160.5	1968—1974	6.25	3.9	
20	新桥	红柳河	1327	47	2.0	14年	1.56	78	

从表中资料可见,20座水库的总库容为 $419 \times 10^8 \text{m}^3$,大多数水库运行不到20年,总淤积量达 $106 \times 10^8 \text{m}^3$,库容损失达23%,年平均损失库容超过2%。与国外水库淤积情况相比,可看出淤积是十分严重。

一些中小型水库淤积更为严重。据陕西省1973年统计,该省库容在 $100 \times 10^4 \text{m}^3$ 以上的水库有192座,总库容为 $15 \times 10^8 \text{m}^3$,已被泥沙淤损 $4.7 \times 10^8 \text{m}^3$,占总库容的31.6%,其中43座水库已完全淤满;山西省库容在 $100 \times 10^4 \text{m}^3$ 以上的水库淤积量为 $5.12 \times 10^8 \text{m}^3$,占总库容的15.3%;内蒙古19座库容在 $100 \times 10^4 \text{m}^3$ 以上的水库,总库容为 $2.69 \times 10^8 \text{m}^3$,已淤损库容 $0.884 \times 10^8 \text{m}^3$,占总库容的31.4%;宁夏自治区水库中30—70%已被淤满;山东46座水库与年淤损库容 $0.4 \times 10^8 \text{m}^3$,占总库容的0.5%^[1-3]。山西省老营水库建成2年后即被淤满,陕西省杏河水库2年建成仅1年就被淤满。内蒙古嘎庆河水库汛前建成汛后就被淤满^[8]。

三、水库淤积对工程及环境的影响

水库泥沙淤积最明显的后果是损失库容,库容减小会影响到水库的防洪、发电、灌溉、供水以及航行等效益。当水库被完全淤满时,水库的作用也就完全丧失了。

水库泥沙淤积不仅使库容减小,也使库水面积缩小。当水深降低到有利于植物生长时,水面积减小更快,水库水深及水面积减小会影响到水库作为水上运动、娱乐旅游及灭火的功能,有利于蚊虫和其它生物的滋生,从而对人类健康带来不利影响。

泥沙淤积有可能会威胁大坝的安全、水工建筑物和机电等的正常使用。如泥沙堵塞泄水建筑物的进口使闸门开启发生困难,当电厂及灌溉引水口被泥沙淤堵时会影响其发电及灌溉功能,高含沙水流通过水闸及隧洞时会对闸槽和隧洞壁造成损害,粗颗粒泥沙通过水轮机时使叶片受到磨损,泥沙在船闸引航道及闸室内的淤积会影响船舶正常航行甚至发生事故。

水库中泥沙大量淤积,也会使吸附在泥沙颗粒表面的有害化学物质沉淀在库底,并通过离子的交换,使水库水质日益恶化。

水库中悬移质泥沙增多以后,会改变水中溶解氧的含量,影响到鱼类的正常生长。鱼类繁殖区和食物供应基地被泥沙复盖后,造成水产产量下降,库周为泥沙淤没并遍长杂草,鸟类将不能从浅水中取食。

水库淤积、库容减少引起回水末端上延,扩大了上游的淹没范围和洪水的威胁,地下水位的抬升也将产生更多的沼泽地和盐碱地。

库区大量泥沙的淤积使水库下泄为清水或含沙量很小的水流,从而会引起水库下游河道的长距离冲刷,并伴之而来的水位下降、河岸坍塌、床沙粗化及河势调整,甚至会造成河型转化。这些变化将对沿河两岸的堤防、桥渡、引水、护岸建筑物造成威胁,对防洪、引水、航行及城市建设等带来深刻的影响;某些特大型水库还可能影响到河口及海岸带的泥沙运动及冲淤变化。

因水库泥沙淤积造成对工程及环境不利影响的例子屡见不鲜。我国北方一些中小型水库的失事不完全源于洪水,泥沙淤积也是一个重要原因。黄河刘家峡水库建成后,上游支流洮河泥沙淤积、三角洲不断向前推移,使洮河库区库容大量减少,并将威胁到大坝安全及电站运行^①。三门峡水库建成后,1960—1965年间,上游潼关河床抬高 5.5m,水位上升 4.3m,引起汇流区壅水滞沙,使渭河口拦门沙增长,渭河下游发生溯源淤积,洪水位抬高,危及渭河平原的工农业生产^②。汉江丹江口水库 1968 年建成蓄水后,至 1972 年坝下游 465km 内的河床受到冲刷,使大量滩地遭受侵蚀,河势发生重大变化,给船舶航行带来困难^③。埃及阿斯旺高坝每年可生产电力 $70 \times 10^6 \text{kw}$,灌溉农田 $36.45 \times 10^4 \text{hm}^2$,为埃及国民经济增加 5 亿美元以上的收入。但大坝每年拦蓄的泥沙超过 10^8m^3 ,尼罗河下游三角洲地区滩地得不到泥沙补充,使海岸侵蚀威胁到该地区特别是亚力山大市附近的旅游业和尼罗河洪泛平原失去补充沃土的机会^④。

四、水库泥沙淤积防治

长期以来,对水库泥沙淤积的治理,国内外积累了不少经验,有效地减轻了泥沙淤积的危害,延长了水库的使用寿命。

① 黄河泥沙研究工作协调小组,黄河泥沙研究报告选编,1964。

水库泥沙淤积的防治方法和措施很多,但归纳起来主要有三种途径:“少进、多排、清淤”。“少进”指控制入库沙量,使上游来沙减少;“多排”指根据各水库特点,采用各种调水调沙运用方式,使入库水流挟带的泥沙尽多排出库外。“清淤”指对淤积在库内的泥沙,采用水力、人工或机械措施清理出库。

1. 控制入库泥沙

减少水库容积的最好措施是控制入库沙量,方法有:水土保持,修建拦沙水库,多库联用,建旁侧水库等。

(1)水土保持 在水库上游流域面上植树种草,控制水土流失。这对集水面积不大的中小水库有明显效果。如美国的新人湖、高点水库等开展水土保持后泥沙淤积减少 27—78%^[4]。印度的乾加水库开展水土保持十年内淤积率降低到原来的 1/5。我国汉水流域的强家湾水库经水土保持后,入库沙量由治理前每年 $20 \times 10^4 - 30 \times 10^4 \text{m}^3$ 下降到 $0.02 \times 10^4 - 0.03 \times 10^4 \text{m}^3$ ^[5];“五一”水库建库期间二场洪水淤积了 $20 \times 10^4 - 30 \times 10^4 \text{m}^3$,水土保持后十多年仅淤积 $5 \times 10^4 \text{m}^3$ ^[7]。

(2)修建拦沙水库 在水库上游另修拦沙水库或利用上游洼地引洪淤地,都能有效地减少水库的淤积。美国科罗拉多河上的米德湖淤积严重,在其上游建格兰特峡水库拦沙,使米德湖延长寿命 89 年^[6];苏联莫尔加勃河上的塔什—卡普林水库淤积严重,在其支流卡新河上修建拦沙水库,减少 55% 的沙量,从而减轻该水库的淤积^[6]。我国吉林省吐尔吉山水库,原估算使用寿命仅有 7 年,经利用上游洼地在洪水期放淤后,大大减少了入库沙量,9 年来水库淤积轻微^[7]。

(3)多库联用 在同一河道或相邻河道上,有两座或多座水库,采取联合运用,统一调度可减少泥沙入库。苏联德詹水库在入库河流上修筑侧向分洪渠道,将 28% 流量引入旁侧水库,使该水库入库沙量减少 30%^[7]。我国宁夏的园河梯级水库,由三库一渠组成(见图 2 所示),上游碱泉口水库蓄洪拦沙,中游张家湾水库拦沙漏清,下游园河水库蓄水灌溉,这样三库联用使主库园河水库免除泥沙威胁,至今淤积甚微^[7]。

(4)修建旁侧水库,引清排浑 在合适的地形下,将水库建在主河道旁侧,河道清水由引水渠引入水库,洪水期含沙量高时由河道下泄。如:陕西省强家湾水库、辽河他拉干水库、英力庙水库等。也有将宽广的水库分割为主库和副库两部分,洪水期壤副库过流,主库位于主流旁侧,使浑水由副库下泄,主库引进清水,如新疆西大桥水库,(见图 3 所示),这种布置形式使该水库年淤积量减少 20 倍,水库使用寿命由 3—4 年延长到 70—80 年^[8]。

2. 调水调沙运行

合理的调水调沙运行方案,对减少库区泥沙淤积,有很大的作用。水库的运用方式大致分为拦洪蓄水和蓄清排浑两大类,大型水库大都为综合利用水库,常要求水库高水位蓄水运行,中小水库常为单一目标水库,运用方式较为灵活,允许蓄清排浑运行。

水库排沙方式有:异重流排沙和汛期降低水位排沙。

① 三门峡工程改建论文编写组,国外水库泥沙问题技术情报资料,第 1、2、3 辑,1973。

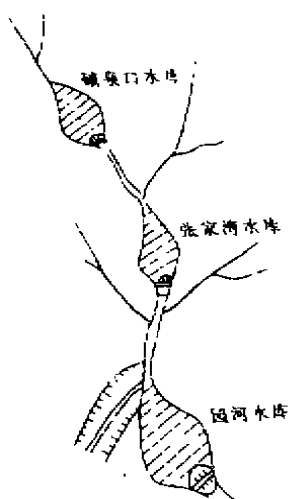


图2 园河流域三库联用示意图

Fig. 2 Scheme of three reservoirs in Yuanho Basin

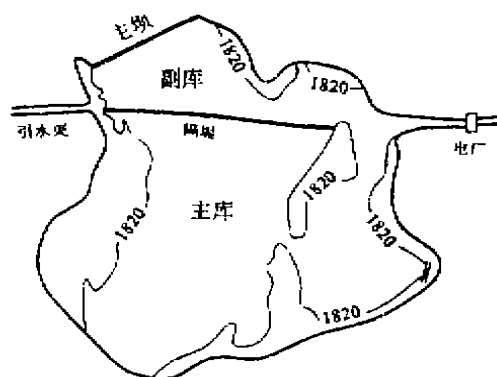


图3 西大桥水库示意图

Fig. 3 Scheme of West-Bridge Reservoir

(1) 利用异重流排沙

多沙河流上的水库,入库泥沙颗粒较细,在入库点附近,浑水常潜入库底而形成异重流,有时能推进至坝前。及时排出异重流有利于水库的减淤。对于常年蓄水运行的水库,没有降低水位排沙条件的,主要靠异重流排沙。

国外,对利用异重流排沙应用较少,阿尔及利亚的伊利昂达水库利用异重流排沙,五年排入库泥沙的53%^①。国内,利用异重流排沙较为普遍,刘家峡水库,利用洮河库区易形成异重流的特点,一般异重流排沙比为60%左右,1976年一次大洪水排沙比达87%,三天排出水库沙量达 $1100 \times 10^4 t^{②}$;红河水库一次异重流出库含沙量达 $171 kg/m^3$ 。对于中小型水库,库容小,回水短,坡降大,异重流排沙条件更为优越,如:山西省小河口水库,1973年一次洪水异重流排沙比达96%,陕西省黑松林水库异重流洪峰排沙比达94%^③。

(2) 汛期降低水位运行

对于多沙河流,泥沙主要来自汛期,一般汛期输沙量占全年的90%以上。水库淤积主要发生在汛期,在汛期降低水位运行甚至空库迎洪有利于增大库中水流流速,将水流挟带的较多泥沙排出库外,能有效地减少水库淤积。同时水位下降,使回水末端淤积三角洲上的流速随之增大冲刷,在有效库容内的部分泥沙向坝前运动并随水流带出库外或淤积在坝前死库容内,从而有利于减小有效库容的损失。

汛期降低水位运行,是国内外普遍运用的水库减淤措施。如:苏联乌切—库尔甘水库蓄水运行6年,淤损有效库容55%,后改为汛期降低水位3—6m运行,库内基本上不再淤

① 徐和兴,徐元平,国内外水库防淤和泥沙处理概况综述,华水科技情报,1983(4)。

② 三门峡工程改建论文编写组,国外水运泥沙问题技术情报资料,第1,2,3辑,1975。

积^①；美国葛恩赛水库，采用降低水位运行，排出沙量为没有降低水位时的 6 倍^②；苏联格耳格比河水电站，洪水期降低水位 1.3m 运行，出库含沙量增加 10—15 倍^③。我国三门峡水库，建成后蓄水运行 7 年，淤损库容 44.4%，采用汛期低水运行后，1970 年一次洪峰排沙量达 $2.96 \times 10^8 \text{t}$ ，经一年汛期低水位控制运行和非汛期蓄水运行，水库基本保持冲淤平衡；青铜峡水库，1972 年起改全年蓄水运行为蓄清排浑运行，一年内冲走淤沙 $1650 \times 10^4 \text{t}$ ，恢复了部分库容^④。降低水位运行或空库迎洪，对中小水库排沙更为有利。如黑松林水库，5 次中小洪水排沙比在 102%—142% 之间；^⑤ 洗马林水库，一次洪水出库含沙量达 365kg/m^3 ，为进库含沙量 2.5 倍；恒山水库，1974 年 7 月 28 日至 8 月 10 日，用相当于当年 20% 的水量排走占当年来沙量的 463% 泥沙^⑥。

3. 清除库内淤沙

水库中泥沙淤积，侵占有效库容，严重影响水库经济效益的发挥。采用各种措施，清除库中淤沙，恢复有效库容，是延长水库使用寿命的有效途径。库内清淤的方法有：泄空水库冲沙，利用基流冲沙，人工辅助排沙和利用机械清淤。

(1) 泄空水库冲沙

在水库泄空过程中，库水位急剧下降，水流流速增大，库内产生自下而上的溯源冲刷和自上而下的沿程冲刷，将大量泥沙带出库外。泄空水库冲刷适用于季节性运用水库。在阿尔及利亚，多数水库采用这种方法，苏联的低水头枢纽也广泛采用，其它国家如美国、奥地利的某些水库也开始采用。苏联吉尔吉皮立克水电站采用定期水力冲沙，使水库的使用寿命由 3—4 年延长到 80—100 年^①。在泄空冲刷过程中，采用重复充库，使淤积体在水位骤降时塌崩和滑坡而扩大冲刷范围，据有关经验，可增加冲刷量 20% 左右^②。如在水库上淤有一个辅助蓄水库，周期性的开启闸门以形成人造洪峰，使淤沙在波动水流中被冲刷，则主水库的泄空冲刷效果更好。

国内许多水库采用泄空冲刷收到很好效果，黑松林水库 1970 年泄空冲沙 $4.28 \times 10^4 \text{t}$ ，1971 年冲沙 $4.43 \times 10^4 \text{t}$ ；洗马林水库泄空后，库区冲刷出长 500m，底宽 20~30m，上口宽 60~70m，最深处达 8m 的深槽，出库含沙量高达 718kg/m^3 ；恒山水库 1971 年、1972 年泄空冲沙，分别冲走当年来沙量的 196% 和 327%^③。

(2) 利用基流冲沙

水库泄空后继续打开闸门，使含沙量较小的基流畅行冲刷主槽，使其两侧滑塌溜泥，进一步排除主槽内的淤沙，恢复槽库容。洗马林水库用 $0.10—0.13 \text{m}^3/\text{s}$ 的基流冲沙，初期出库含沙量高达 600kg/m^3 ，以后稳定在 $120—200 \text{kg/m}^3$ 左右，排除库内大量泥沙^④。

(3) 人工辅助排沙

在水库泄空期间，通过人工辅助措施，扩大水流冲刷效果。可用人工将主槽两侧的淤沙推入主槽内或在滩面上顺水流方向开挖沟渠，将水流导入该渠，在基流和小洪水的作用下，使沟渠不断刷深、拓宽，可排滩地的部分淤沙。黑松林水库 1972 年人工排沙三天，冲走泥沙

① 三门峡工程改建论文编写组。国外水库泥沙问题技术情报资料。第 1.2.3 辑。1973。

② 黄河泥沙研究工作协调小组。黄河泥沙研究报告选编。1978。

4000m³;红领中水库 1964 年至 1971 年,人工排沙 371.5×10⁴m³,占同期入库总沙量的 92%^①。

(4) 利用机械清淤

上述清淤方法均需消耗一定水量,对于干旱地区,存在着蓄水和排沙的矛盾,为蓄保水量,可利用机械对中小型水库进行清淤,常用的清淤机械有挖泥船,吸泥泵和虹吸式水力吸泥装置。

日本曾在小水库用吸泥泵结合放淤改良土壤进行清淤^②;阿尔及利亚用大型链斗式挖泥船,年挖泥能力可达 400×10⁴m³^③;瑞士用年吸泥能力达 12×10⁴m³ 的大型吸泥船,吸泥深度达 50m^④;罗马尼亚、法国采用虹吸式吸泥装置清除坝前淤积^⑤。

我国较多的采用水力吸泥机械装置,依靠水力和机械作用把库内泥沙局部冲搅起,利用大坝上下游水头差,将高浓度浑水用虹吸管排出库外。山西省田家湾水库、渠河水库,陕西的陇河水库、小华山水库都开展机械清淤工作,收到一定成效。

五、结 语

人类为了除害兴利,综合利用水资源,在天然河道上修建水坝,拦截河流,形成了许多人工湖泊——水库。水库蓄水后,改变了河流的自然条件,使大量泥沙在库区淤积,这在多沙河流上尤其严重。水库中泥沙淤积的速度、形态和发展过程决定于水库形状、大小、运用方式、排沙条件和来水来沙等因素。

水库中泥沙淤积不仅损失库容,降低水库效益,缩短水库寿命,而且对库区及其上下游河道都会带来深刻的影响,对工程建筑物的安全,环境和生态等造成一定危害。为了掌握水库淤积规律,预测发展趋势,研究防治措施,人们采用现场调查和观测,理论分析,数学模拟和物理模型试验等多种途径,并创造了许多防治泥沙淤积的措施和方法,在这方面我国已取得很大成绩和丰富经验,这些研究成果对新建水库的规划设计及建水库后的调度运用发挥了重大作用,同时对天然湖泊的减淤防淤也具有一定参考价值。

参 考 文 献

- [1] 钱宁、张仁、周志德,河床演变学,北京,科学出版社,1987。
- [2] 武汉水利电力学院,河流泥沙工程学,北京,水利电力出版社,1983。
- [3] 陕西省水利科学研究所、清华大学水利系合编,水库泥沙,北京,水利电力出版社,1978。
- [4] 芦田和男、高桥保、道上正规著,冯金亭、焦恩译,河流泥沙灾害及其防治,北京,水利电力出版社,1987。
- [5] Bruk, S., Fan Jiahua and Jobsan, H. E., Methods of computing sedimentation in lakes and reservoirs, project A. 2. 6. 1. the International Hydrological Programme Unesco, Paris, October, 1983.
- [6] Beaumont, P., Man's Impact on River Systems, A World-wide Review, Area, Vol. 10, 1978.
- [7] 西北水利科学研究所,水利水电科学研究院泥沙室,陕西省水利科学研究所,中小型水库设计与管理中的泥沙问题,北京,科学出版社,1983。

① 三门峡工程改建论文编写组,国外水库泥沙问题技术情报资料,第 1, 2, 3 辑, 1973。

[8] 徐和兴等,湖泊型中小水库减淤方案的试验研究.华东水利学院院报,1992(4).

RESERVOIR SEDIMENTATION AND ITS PREVENTION

Chen Guoxiang Xu Heping

(Hohai university, Nanjing 210024)

Abstract

Reservoir sedimentation and its effect on environment are the most serious world-wide problem in water resources development and utilization today.

Based on the data collected, a brief introduction about the development of dam construction is made. The seriousness of reservoir sedimentation and its effect on hydraulic project and environmental problem are analysed. The method and experience of prevention and reduction of reservoir sedimentation are presented in this paper. It is benefit to the sediment problem treatment in reservoirs as well as in lakes.

Key words Reservoir, sedimentation, environmental impact, prevention and reduction of sedimentation

《泥沙研究》征订启事

《泥沙研究》为国内外公开发行业季刊,由本刊征订发行。为了您(单位)订刊方便,我室开展一订三年的作法,1993—1995年每期定价5.00元,全年20.00元,三年60.00元。欲订者,请与本刊编辑室联系(地址:北京车公庄西路20号水利水电科学研究院内,邮编100044)。

作为永久性资料,我刊出售1983—1992年合订本(一年一本),每本20.00元,免费邮寄,款到寄书,欢迎订阅。

《泥沙研究》编辑室