

丹江口水库水沙淤积特性分析^{*}

胡安焱^{1,2}

(1. 长安大学 环境科学与工程学院, 西安 710054; 2. 武汉大学 水资源与水电工程科学国家重点实验室, 武汉 430072)

摘要: 丹江口水库是由汉江库区和丹江库区组成的并联水库。根据多年平均入库水沙资料, 分析了水库的水沙特性和淤积变化。结果表明, 丹江口水库入库水沙地区分布极不均匀, 汉江库区来水量和来沙量占绝大多数。入库水沙年内分布也极不均匀, 来水来沙量均集中于汛期。水库干流库区淤积量占全库的 85% 左右, 支流库区淤积量在 15% 左右。在干流库区中, 汉江库区淤积量占全库的 70% 左右, 淤积主要发生在汉江库区。汉江库区泥沙颗粒组成常年回水区以泥土为主, 占 81.9% ~ 100%; 变动回水区以泥沙为主, 占 46.8% ~ 98%。汉江干流库区纵向淤积特点是常年回水区淤积多, 变动回水区少; 从库容变化上来看, 中间库段库容损失大; 两头库段库容损失小。横断面淤积特点主要分布在两岸边滩。最后, 对丹江口水库泥沙淤积变化进行了预测分析。

关键词: 水量; 沙量; 泥沙淤积; 丹江口水库

中图分类号: TV145

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)05-0237-04

Characteristics Analysis of Incoming Runoff and Sediment Process and Sediment Accumulation of Danjiangkou Reservoir

HU An-yan^{1,2}

(1. College of Environmental Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, China; 2. State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: Danjiangkou reservoir make up of Hanjiang river reservoir area and Danjiang river reservoir area which is parallel connection reservoir. According to incoming runoff and sediment process data of average per year, characteristics of incoming runoff and sediment process and sediment accumulation of reservoir was analyzed. Results showed that incoming runoff and sediment process of reservoir area distributing and annual distribution aren't very much uniform, Hanjiang river reservoir area and flood season is possessed of absolute majority. Sediment accumulation of main stream reservoir area is approximately 85%, branch stream is approximately 15%. Sediment accumulation of Hanjiang river reservoir in the main stream reservoir area is approximately 70% of the whole reservoir, its sediment accumulation is most. Sediment grain mostly structure of perennial backwater region is clay, which is possessed of 81.9% ~ 100%. Variable backwater region is most of sand, which is possessed of 46.8% ~ 98%. Longitudinal section sediment accumulation in the Hanjiang river main stream reservoir is perennial backwater region more and variable backwater region less, reservoir capacity loss is middle more and both ends less. Transverse sediment accumulation is mostly which lies in the slope bottomland. In the end, sediment accumulation change of reservoir was predicted.

Key words: incoming runoff; sediment process; sediment accumulation; Danjiangkou reservoir

南水北调中线水源工程——丹江口水利枢纽位于汉江与其支流丹江汇合口下游 0.5 km 处。丹江口水库是由汉江和丹江 2 个库区组成的并联水库,

控制汇流面积 95 217 km²。丹江口水库初期规模正常蓄水位 157 m, 总库容 174.5 亿 m³, 其中汉江库容 94 亿 m³。丹江口枢纽大坝加高后正常蓄水位为

* 收稿日期: 2009-03-16

基金项目: 陕西省自然科学基金资助项目(2006D16); 水资源与水电工程科学国家重点实验室开放基金资助(2006B022)

作者简介: 胡安焱(1970-), 男, 四川泸县人, 副教授, 博士后, 主要从事水文水资源与生态环境研究。E-mail: huanan97@163.com

170 m,总库容为 290 亿 m³,其中汉江库容为 152.8 亿 m³。丹江口水库 1960 年开始滞洪,于 1967 年底蓄水运用。丹江口水库 1968 年蓄水运用后,改变了原来天然河道的水沙输移特性,而受人工运用控制,形成丹江、汉江两大库区。两个库区具有沿程宽、窄相间,湖泊型库段与河道型库段相间的库形特征。丹江口水库是一座蓄水型水库,具备较强的蓄洪能力。水库在蓄洪的同时也拦蓄了大量的泥沙,出库泥沙仅占入库总来沙量的 2%,98% 的泥沙被拦蓄库中^[1]。因此,研究丹江口水库一期的水沙特性和淤积特点,对南水北调中线工程运用后水库泥沙演变规律,合理调控水库水位,减少水库淤积,充分发挥水库防洪、调水、发电等综合效益具有十分重要的意义。

丹江口水库蓄水运用后水位(吴淞)分别为:正常蓄水位 157 m,秋汛防洪限制水位 152.5 m(8 月 21 日至 9 月 30 日)、夏汛 149 m(6 月 21 日至 8 月 20 日),设计低水位 139 m。正常蓄水位 157 m 时,总库容为 174.5 亿 m³,总库面积为 745 km²,其中汉江库区库容 94 亿 m³,库面积为 380 km²;丹江库区库容 80.5 亿 m³,库面积为 365 km²。水库蓄水

后库段分为常年回水区和变动回水区,变动回水区是指在高库水位运行时受回水影响、在低库水位运行时回水消失的河段。丹江口水库汉江库区建库初期划分:常年回水区为距坝 0~ 117.1 km,变动回水区为距坝 117.1~ 177.4 km。

1 入库水沙的组成

汉江白河站年平均水量 265.12 亿 m³、年平均输沙量 4 887.11 万 t,分别占丹江口水库入库水沙量的 74.31%,81.73%。堵河黄龙滩站年平均水量 58.94 亿 m³、年平均输沙量 409.30 万 t 分别占丹江口水库入库水沙量的 16.52%,6.84%。丹江荆紫关站年平均水量 15.80 亿 m³、年平均输沙量 440.53 万 t,分别占丹江口水库入库水沙量的 4.43%,7.37%。其余各站无论来水量还是来沙量所占比例均较小,详见表 1。

丹江口水库年来水量中汉江库区占 92.41%,丹江库区占 7.59%;年来沙量汉江库区占 90.15%,丹江库区占 9.85%,丹江口水库来水和来沙绝大多数来自汉江库区^[2]。

表 1 入库水沙的地区组成

库区	河名	站名	距坝里 程/km	流域面积		年水量		年输沙量	
				面积/km ²	比例/%	水量/亿 m ³	比例/%	输沙量/万 t	比例/%
汉江	汉江	白河	203	59115	71.21	265.12	74.31	4887.11	81.73
	白石河	白岩	221	690	0.83	2.01	0.56	45.87	0.77
	天河	贾家坊	190	1281	1.54	3.61	1.01	48.72	0.81
	堵河	黄龙滩	160	10668	12.85	58.94	16.52	409.30	6.84
	汉江库区合计值			71754	86.43	329.68	92.41	5391	90.15
丹江	丹江	荆紫关	133	7060	8.50	15.80	4.43	440.53	7.37
	滔河	江湾	97	781	0.94	2.57	0.72	32.69	0.55
	淅水	西峡	122	3418	4.12	8.72	2.44	115.67	1.93
	丹江库区合计值			11259	13.56	27.09	7.59	588.89	9.85

丹江口水库入库水沙的年内组成如下:全年来水量汛期占 67%~ 82%,枯水期占 18%~ 33%;全年来沙量汛期占 88%~ 98%,枯水期占 2%~ 12%,详见表 2。可以看出,水量和沙量年内分配不均,来水和来沙量主要集中于汛期,来沙量集中程度远远高于来水量。

2 水库泥沙淤积特点

丹江口水库在正常蓄水位 157 m 时,全库总淤积量 16.18 亿 m³,干流库区淤积 13.89 亿 m³,占 85.85%;支流库区 2.29 亿 m³,占 14.15%。在秋汛防洪限制水位 152.5 m 时,全库总淤积量 16.41 亿 m³,干流库区 14.07 亿 m³,占 85.74%;支流库区 2.34 亿 m³,占 14.26%。在夏汛防洪限制水位 149

m 时,全库总淤积量 15.78 亿 m³,干流库区 13.32 亿 m³,占 84.41%;支流库区 2.46 亿 m³,占 15.59%。在设计低水位 139 m 时,全库总淤积量 12.3 亿 m³,干流库区 10.51 亿 m³,占 85.45%;支流库区 1.79 亿 m³,占 14.55%^[3-4]。不同水位时,干流库区和支流库区淤积量所占的比例比较接近。总的来看,干流库区淤积量在 85% 左右,支流库区淤积量在 15% 左右;而在干流库区中,汉江库区淤积量占全库的 70% 左右,淤积主要发生在汉江库区,具体详见表 3。

3 汉江干流库区入库水沙特征

3.1 泥沙颗粒组成

以汉江库段 15 和库段 45 中的淤积物为例可以

看出, 汉江库区常年回水区泥沙颗粒组成以泥土为主, 泥土占 81.9%~100%, 沙子占 0~18.1%, 没有卵石和砾石; 变动回水区泥沙颗粒组成以沙子为主, 沙子占 46.8%~98%, 泥土占 1%~30.8%, 卵石占 0~27.9%、砾石占 0~23%。1983 年汉江全流域发生大洪水后, 汉库 15 淤积物颗粒组成泥土含量减少, 沙子含量明显增加, 仍然没有卵石和砾石, 但颗粒组成仍然以泥土为主。大洪水后的 1984 年、1987 年颗粒组成比例又恢复到 1983 年以前的情况。1983 年汉江大洪水后汉库 45 淤积物颗粒组成泥土含量增加, 粗粒径的卵石和砾石含量消失, 但颗粒组成仍然以沙子为主。1984 年、1987 年颗粒组成比例出现沙子含量大大增加的情况, 其它颗粒含量均很少。从中径变化来看, 1983 年汉江大洪水时, 淤积

物颗粒的中径汉库 15 最粗, 而汉库 45 最细, 表明洪水期间, 由于水流的流速快、流量大, 使大量的沙子被携带到常年回水区沉积, 而较细的泥土则在变动回水区的淤积增加。汉江干流库区泥沙颗粒组成变化详见表 4。

表 2 入库水沙的年内组成

库区	河名	站名	年水量组成/ %		年输沙量组成/ %	
			汛期	枯水期	汛期	枯水期
汉江	汉江	白河	80	20	97	3
	白石河	白岩	79	21	98	2
	天河	贾家坊	70	30	92	8
	堵河	黄龙滩	74	26	88	12
丹江	丹江	荆紫关	75	25	94	6
	滔河	江湾	67	33	94	6
	淅水	西峡	82	18	97	3

表 3 丹江口水库淤积量分布

库区及项目			吴淞基面/m						
			157	152. 5	149	145	139	130	
干流 库区 淤积	汉江	淤积量/ 亿 m ³	11. 89	11. 72	11. 34	10. 60	9. 23	6. 97	
		比例/ %	73. 49	71. 42	71. 86	69. 37	75. 04	74. 87	
	丹江	淤积量/ 亿 m ³	2. 00	2. 35	1. 98	2. 40	1. 28	1. 12	
		比例/ %	12. 36	14. 32	12. 55	15. 71	10. 41	12. 03	
干流库区合计		淤积量/ 亿 m ³	13. 89	14. 07	13. 32	13. 00	10. 51	8. 09	
		比例/ %	85. 85	85. 74	84. 41	85. 08	85. 45	86. 90	
支流 库区 淤积	汉江	淤积量/ 亿 m ³	2. 00	2. 08	2. 25	2. 15	1. 79	1. 22	
		比例/ %	12. 36	12. 68	14. 26	14. 07	14. 55	13. 10	
	丹江	淤积量/ 亿 m ³	0. 29	0. 26	0. 21	0. 13	—	—	
		比例/ %	1. 79	1. 58	1. 33	0. 85	—	—	
	支流库区合计		淤积量/ 亿 m ³	2. 29	2. 34	2. 46	2. 28	1. 79	1. 22
			比例/ %	14. 15	14. 26	15. 59	14. 92	14. 55	13. 10
全库总计淤积量/ 亿 m ³			16. 18	16. 41	15. 78	15. 28	12. 30	9. 31	

3.2 纵向淤积特点

从表 5 中可以看出: 汉江干流库区常年回水区在滞洪期(1960–1967 年)时, 下段和中段累积效应是淤积 0.98 亿 m³ 和 0.06 亿 m³, 上段是冲刷 0.01 亿 m³; 在蓄水期(1968–2003 年)时, 下段、中段和上段累积效应分别是淤积 3.84 亿 m³、1.90 亿 m³、4.57 亿 m³。变动回水区在蓄水期(1968–2003 年)时, 下段和中段累积效应是淤积 0.51 亿 m³、0.05 亿 m³, 上段累积效应是冲刷 0.01 亿 m³。常年回水区在滞洪期时, 下段和中段库容损失 2.65% 和 1.21%, 上段是库容增加 0.14%; 在蓄水期时, 下段、中段和上段库容损失 10.27%, 38.29%, 45.64%。变动回水区在蓄水期时下段和中段库容损失 35.25%, 5.95%, 上段库容增加 17.24%。

总体上看, 汉江干流库区纵向淤积量的分布是常年回水区淤积多; 变动回水区少。变动回水区末端库区呈现累积冲刷效应^[5-6]。库容变化为汉江干

流库区中间库段淤积严重、库容损失大; 两头库段淤积轻、库容损失小; 库区末端冲刷、库容增加。

3.3 横向淤积特点

选择汉江库区 26 号典型横断面做高程分布图(图 1), 从 1967 年底丹江口水库蓄水运用后, 汉江库区 26 号典型横断面的高程不断增加, 表明累积效应是淤积。横断面淤积特点是两边的边滩高程大, 中间河槽高程小, 两岸边滩和河槽高程差较大; 表明横向淤积主要分布在两岸边滩。汉江库区沿程横断面淤积见图 2。从图中可知, 边滩淤积面积所占比例远远大于河槽, 横向断面沿程淤积均在边滩。总体上看, 横断面淤积主要分布在两岸边滩^[7-8]。

4 泥沙淤积趋势分析

南水北调中线工程运用后, 丹江口水库是不完全多年调节水库, 正常蓄水位由 157 m 提高到 175 m, 水库常年回水区和变动回水区末端上移, 使充水

时间增加, 消落时间缩短。进入库区的泥沙将受到原来变动回水区淤积泥沙的阻碍影响而难以下移, 大部分泥沙将落在原变动回水区的上游, 形成变动回水区末端淤积上延。水库回水区末端如果发生淤积上移, 将扩大水库淹没面积, 威胁上游城市、土地和交通工程等的安全, 同时将淹没设计水位以下的自然资源和文物古迹, 库区地下水位的抬高也可能引起库岸崩塌和滑坡等地质灾害发生^[1]。因此, 应采取调控坝前水位, 使回水区末端形成冲刷, 从而消除回水区末端淤积上延; 也可利用有利时机, 在泥沙淤积集中分布区域采用人工开挖和机械开挖清淤相结合的措施。

表 5 干流库区淤积量纵向分布

项目	常年回水区			变动回水区		
	下段	中段	上段	下段	中段	上段
水库起止断面编号	0- 15	15- 19	19- 35- 1	35- 1- 47	47- 52	52- 58
库段长度/ km	57	22	38	27	15	18
冲淤变化/ 亿 m ³	滞洪期	0. 98	0. 06	- 0. 01	-	-
	蓄水期	3. 84	1. 90	4. 57	0. 51	0. 05
库容变化/ %	滞洪期	- 2. 65	- 1. 21	+ 0. 14	-	-
	蓄水期	- 10. 27	- 38. 29	- 45. 64	- 35. 25	- 5. 95
						+ 17. 24

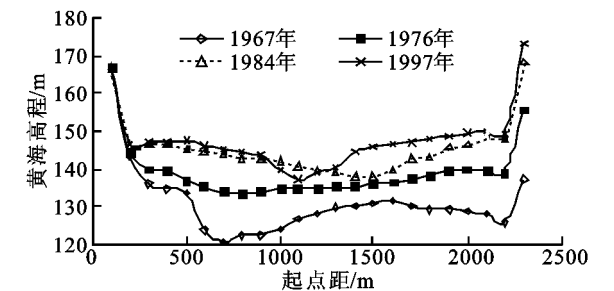


图 1 汉江库 26 号横断面淤积分布图

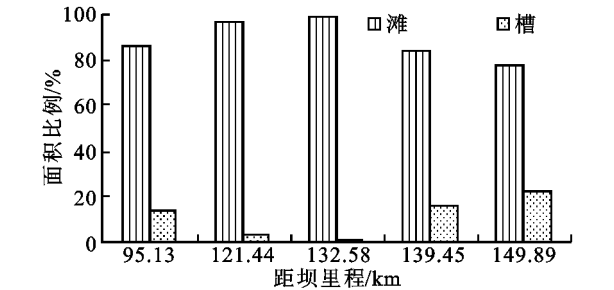


图 2 汉江库区沿程横断面淤积对比

5 结 论

丹江口水库入库水沙地区分布和年内分布都极不均匀, 来水量和来沙量集中于汉江库区和汛期。相应的泥沙淤积也集中于汉江库区和汛期。从水库干流库区和支流库区淤积量来看, 淤积主要发生在干流库区, 干流库区淤积量占全库的 85% 左右。汉江库

表 4 干流库区泥沙颗粒组成表						%
断面	年份	中径/ mm	泥土	沙子	砾石	卵石
汉库 15	1974	0. 041	95. 4	4. 6	0	0
	1979	0. 019	98. 9	0. 1	0	0
	1982	0. 028	91. 6	8. 4	0	0
	1983	0. 064	81. 9	18. 1	0	0
	1984	0. 025	97. 7	2. 3	0	0
	1987	0. 012	100	0	0	0
汉库 45	1974	0. 465	10. 6	54. 9	23	11. 5
	1979	0. 662	14. 4	46. 8	10. 9	27. 9
	1982	0. 4	0. 9	67. 1	9. 9	22. 1
	1983	0. 284	30. 8	69. 2	0	0
	1984	0. 416	1. 6	92. 8	4	1. 6
	1987	0. 36	1	98	1	0

区泥沙颗粒组成常年回水区以泥土为主, 占 81. 9%~100%; 变动回水区以泥沙主, 占 46. 8%~98%。汉江干流库区淤积特点纵向是常年回水区淤积多, 变动回水区少; 横向是边滩淤积多。南水北调中线工程运用后, 丹江口水库原变动回水区末端将发生淤积上移, 可采取调控坝前水位等措施治理淤积上移。

参考文献:

[1] 封光寅. 南水北调中线工程对水源区水沙及生态影响研究[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007: 148-192.

[2] 杨永德, 邹宁, 郭希望, 胡琴. 汉江上游水文特性的初步分析[J]. 水文, 1997(2): 54-56.

[3] 柳发忠, 王洪正, 杨凯, 等. 丹江口水库支流库区的淤积特点与问题[J]. 人民长江, 2006, 37(8): 26-28.

[4] 章厚玉, 胡家庆, 郎理民, 等. 丹江口水库泥沙淤积特点与问题[J]. 人民长江, 2005, 36(1): 27-30.

[5] 贺素娣. 汉江流域水土流失特点及防治对策[J]. 长江流域资源与环境, 1997, 6(3): 271-275.

[6] 林云发, 马继建, 马胜虎, 等. 丹江口水库变动回水区冲淤特性分析[J]. 长江科学院院报, 2007, 24(5): 8-12.

[7] 封光寅, 林云发, 李华山, 等. 南水北调中线水源区产沙过程影响因素分析[J]. 人民黄河, 2007, 29(11): 41-42.

[8] 万建蓉, 张杰, 张细兵. 南水北调中线工程丹江口水库泥沙冲淤计算[J]. 长江科学院院报, 2002, 12(增刊): 40-43.