

小浪底水库运用初期支流淤积形态分析

赵克玉^{1,2}, 王小艳¹

(1. 西北农林科技大学, 陕西 杨陵 712100; 2. 西安理工大学, 西安 710048)

摘 要: 通过小浪底水库实测干支流河道的断面资料, 分析了水库运用初期支流的淤积形态, 以及与干流的淤积关系。分析表明, 支流淤积完全受干流淤积形态的影响, 汛期干流来沙形成异重流倒灌, 非汛期干流冲刷淤积体, 形成浑水到达坝前并使沿程支流淤积。支流口建库前与建库后相比河道最低点淤积抬升值与距坝距离成反比, 与支流口建库前最低点高程成反比。各支流淤积在横断面上平行抬升, 在纵断面上成锥体淤积。

关键词: 泥沙淤积; 淤积形态; 支流; 小浪底水库

中图分类号: P343. 3 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2005)05-0168-04

The Deposition Feature in Branch Rivers in Reservoir Region of XLD Project

ZHAO Ke-yu^{1,2}, WANG Xiao-yan¹

(1. Northwest Sci-tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Xi'an Technology University, Xi'an 710048, China)

Abstract: With the measured data of main and branch river in reservoir region of XLD project, the deposition feature in branch rivers and its relation with the main river deposition are researched. That shows the branch river deposition is affected by the main river deposition. In flood season, mud flow come upward in branch river and make sedimentation. In non-flood season, the main river bed is eroded, and the sand deposit in down reach and branch rivers. The sedimentation lead the branch river bed raised in cross-section, and triangle deposited in profile.

Key words: sediment deposition feature; deposition feature; branch river; XLD project

黄河小浪底水利枢纽位于河南省洛阳市以北 40 km 的黄河干流上。小浪底水利枢纽工程是防治黄河下游水害、开发黄河水利的重大战略措施, 其开发目标是“以防洪、防凌、减淤为主, 兼顾供水、灌溉、发电, 除害兴利, 综合利用”。主要建筑物有拦河坝、泄洪排沙系统和引水发电系统。坝址以上控制流域面积 694 155 km²。坝址实测多年平均径流量 405.5 亿 m³, 实测多年平均输沙量 13.47 亿 t。水库正常运用水位 275 m 时, 原始总库容 128.84 亿 m³, 长期有效库容 51 亿 m³, 库区基本为石山区, 有少数黄土丘陵, 河道平均比降 1.1‰, 坝址处平均河底高程 130.7 m。

水库自 1999 年 9 月开始蓄水, 随着库水位的升高, 干流来水来沙对库区支流的淤积产生影响, 占总库容 35.7% 的支流, 从 1999~2003 年 5 月之间淤积在横断面及纵剖面上的变化情况即为本文的研究重点。

1 库区支流基本特征

小浪底水库库区河谷上窄下宽, 水库上段(67 km 以上)河谷底宽 200 m~400 m, 下段河谷底宽 800 m~1 400 m, 距坝约 30 km 以上有河长约 4 km 的巴里胡同, 河谷宽 200~300

m。库区有大峪河、煤窑沟、畛水、石井河、东洋河、大交沟、西阳河、峪里河、允西河、毫清河、板涧河等十多条大支流汇入, 集中分布在库区下段, 库区地形复杂, 主要支流特征见表 1。

由表 1 可知, 各支流年水量、沙量与干流坝址处水量、沙量相比, 最大年平均来水量东洋河为 0.91 亿 m³, 占坝址处来水量的 0.22%; 最大年平均来沙量畛水为 0.008 97 亿 t, 占坝址处来沙量的 0.07%。分析支流淤积时可以不考虑支流水沙的影响。

2 库区支流原始库容分布特点

小浪底水库库容分布特点是干流库容占总库容的 64.3%, 支流占 35.7%。高程 230 m 以上支流库容占总库容的 25.4%; 距坝约 30 km 库段的库容占总库容的 60.3%; 八里胡同以下(距坝 30 km)的 4 条大支流(大峪河、畛水、石井河、东洋河)的库容占支流总库容的 70%; 距坝 67 km 以上的库容占总库容的 6.8%。小浪底水库库容较大的大峪河、畛水、石井河、毫清河四条支流, 距坝分别为 4.42 km、18 km、22 km 和 57.1 km, 275 m 高程的原始库容分别为 6.64 亿 m³、17.81 亿 m³、5.24 亿 m³ 和 2.42 亿 m³。各高程干、支

① 收稿日期: 2004-11-04
作者简介: 赵克玉(1963-), 男, 副研究员, 在职博士生, 从事水力学及河流动力学研究。

流库容情况见表 2。

表 1 库区支流特征值表

河名	距坝里程 / km	河道长度 / km	流域面积 / km ²	河道比降 / ‰	275 m 原始容 积/ 亿 m ³	历史调查最大洪 水/(m ³ · s ⁻¹)	年平均		
							流量/(m ³ · s ⁻¹)	沙量/ 万 t	含沙量/(kg · m ⁻³)
大峪河	4. 4	55	258	10	6. 64	3000	2. 04	28. 0	4. 3
畛水	18. 0	53. 7	431	6. 3	17. 81	4280	2. 32	89. 7	12. 2
石井河	22. 0	22	140	12	5. 24	2200	2. 04	33. 6	5. 2
东洋河	30. 2	60	571	9. 2	3. 41	2530	2. 89	27. 5	3. 0
西阳河	40. 8	53	404	10. 6	2. 33	2360	2. 04	29. 4	4. 6
允西河	56. 3	72	576	12. 8	3. 43	3000 ~ 5000	2. 04	35	5. 4
毫清河	57. 1	52	647	9	2. 42	4420	2. 04	51. 3	8. 0

表 2 小浪底水库各级高程原始库容表

高程 / m	干流库容 / 亿 m ³	支流库容 / 亿 m ³	总库容 / 亿 m ³	支流库容占总库容 的百分数/ %
130	0. 01	0	0. 01	0
205	14. 52	3. 14	17. 66	17. 8
210	17. 25	4. 16	21. 41	19. 4
220	23. 65	6. 86	30. 51	22. 5
230	31. 29	10. 65	41. 94	25. 4
245	45. 2	18. 71	63. 91	29. 3
275	82. 89	45. 95	128. 84	35. 7

3 分析时段水库来水来沙情况

在 1999 年 10 月 ~ 2003 年 5 月水库运用方式处于蓄水拦沙阶段, 水库下泄相对清水。水库进库水量 2000 年、2001 年、2002 年分别为 163. 69, 137. 87 和 152. 15 亿 m³, 进库沙量分别为 3. 41, 2. 83, 4. 48 亿 t, 出库沙量分别为 0. 04, 0. 23 和 0. 75 亿 t。进库沙量大部分被拦在库内。进库流量和进出库沙量逐月分布情况见表 2 ~ 4。

表 3 进库流量逐月分布表 亿 m³

年份	月 份											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2000	262	454	739	841	301	273	512	557	589	869	423	389
2001	319	405	597	438	278	248	111	513	822	590	536	395
2002	300	548	492	538	532	808	580	404	501	414	303	383

表 4 进库沙量逐月分布表

年份	月 份												合计
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	/ 亿 t
2000	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00	0. 24	1. 02	0. 77	0. 36	1. 01	0. 00	0. 00	3. 41
2001	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00	0. 10	2. 07	0. 42	0. 24	0. 00	0. 00	2. 83
2002	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00	0. 98	2. 07	1. 12	0. 20	0. 11	0. 00	0. 00	4. 48

表 5 出库沙量逐月分布表

年份	月 份												合计
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	/ 亿 t
2000	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00	0. 03	0. 01	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00	0. 04
2001	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00	0. 09	0. 08	0. 06	0. 00	0. 00	0. 23
2002	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00	0. 01	0. 37	0. 02	0. 33	0. 00	0. 00	0. 01	0. 75

4 支流淤积形态

4. 1 支流淤积在横断面上的形态分布

分析支流淤积在横断面上的形态时, 分别绘制了库区支流大峪河、煤窑沟、畛水、石井河、东洋河、大交沟、西阳河、峪里河、允西河、毫清河、板涧河、白马河 12 个支流横断面 1, 在分析时段内, 横断面变化主要是淤积的过程, 淤积平行抬高, 如图 1; 横断面冲刷情况分两种: 如果冲刷受坝前水位的影响, 则冲刷平行下降, 如图 1 中 2001 年 8 ~ 12 月期间冲刷过程; 如果不受坝前水位的影响, 则冲刷后拉出小槽, 如板涧河 2001 年 5 ~ 8 月口门横断面 1 拉出宽 50 m 左右, 深 5 m 左右的三角形槽。

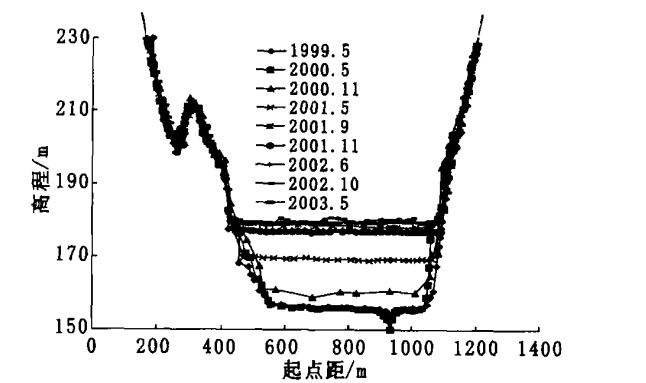


图 1 大峪河横断面 1

在同一条支流里, 各断面的淤积与其 1 号断面相同, 基本上是平行抬高的, 如图 2。

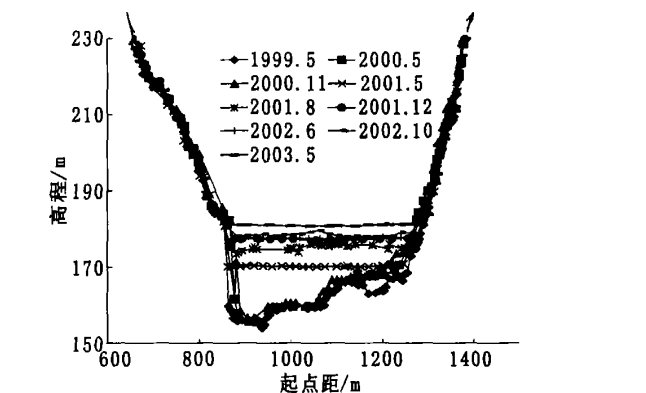


图 2 大峪河横断面 2

4.2 支流淤积在纵剖面上的形态分布

支流淤积在纵剖面上的形态,由于支流位置的不同,水库坝前不同运行水位对支流口门淤积高程的变化影响不一,但支流纵向淤积形态不受位置的影响,基本为锥体形态,如图 3。由分析的 12 个支流淤积纵剖面形态来看,口门淤积抬升值不仅受平面位置的影响,而且还受基准高程的影响。平面位置距坝越近,口门淤积抬升值越大,见表 6、7;支流口门基准高程越高,淤积越少,其建库前各支流 1 号断面的最深点与断面淤积后抬升值有很好的线性关系,如图 4。由图 4 可看出,淤积前断面最深点越低,淤积后抬升值越大。这就是为什么毫清河不受水库淤积影响的原因,因为毫清河建库前河道最深点高程为 216.1 m,而它的基准面淤积后高程才达到 204~205 m,水库干流对它不起任何影响。

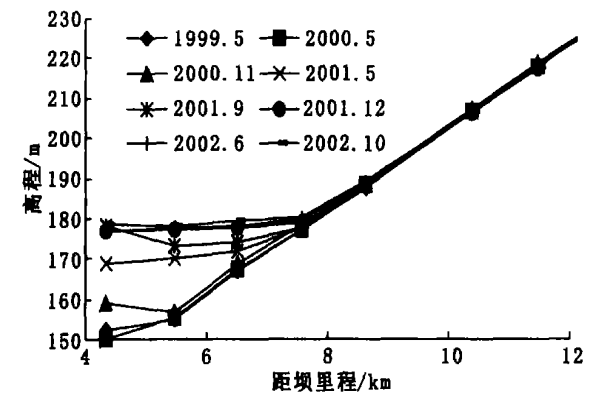


图 3 大峪河淤积纵剖面图

表 6 非汛期各支流口门淤积抬升情况

河名	距坝里程 / km	时 段			累计抬升 / m
		2001.5~2000.11	2002.6~2001.12	2003.5~2002.10	
大峪河	4.23	10.09	0.29	0.53	10.91
煤窑沟	6.35	2.02	0.1	3.3	5.42
白马河	10.36	1.14	-0.48	1.28	1.92
畛 水	17.03	4.58	0.97	1	6.55
石井河	21.68	1.97	1.21	3.63	6.81
东洋河	29.1	-0.52	1.85	-0.76	0.57
大交沟	31.5	-0.88	1.9	4.44	5.46
西阳河	39.38	0.11	1.63	2.51	4.25
峪里河	42.13	0.33	1.29	0.44	2.06
允西河	54.57	0.28	0.6	-1.98	-1.1
毫清河	56.59	0.11	1.42	-0.42	1.11
板涧河	61.59	1.17	0.26	0.73	2.16

由表 6 可看出,非汛期靠近坝前,淤积量较大。大峪河非汛期淤积抬升主要在 2000.11~2001.5 间,抬升 10.09 m,

表 8 大峪河不同时段纵向淤积情况

断面	时 段						累计抬升/m
	2000.11~2000.5	2001.5~2000.11	2001.8~2001.5	2001.12~2001.8	2002.6~2001.12	2002.10~2002.6	
大峪河 1	8.9	10.09	9.05	-1.31	0.29	1.84	28.8
大峪河 2	1.2	13.42	3.34	3.84	0.19	0.47	22.46
大峪河 3	1.3	3.4	2.11	3.38	0.61	1.35	12.15

占非汛期总抬升值 92.5%,畛水河在此期间也抬升了 4.58 m,占它非汛期总抬升值的 69.9%。大交沟在 2002.10~2003.5 月期间,淤积抬升了 4.44 m,占它非汛期抬升总值的 81.3%。

表 7 汛期各支流口门淤积抬升情况

河 名	时 段				累计抬升 /m
	2000.11~2000.5	2001.8~2001.5	2001.12~2001.8	2002.10~2002.6	
大峪河	8.9	9.05	-1.31	1.84	18.48
煤窑沟	7.5	6.68	1.45	0.1	15.73
白马河	1.4	1.81	5.75	0.94	9.9
畛 水	10.05	2.13	7.53	0.08	19.79
石井河	7.9	5.85	4.12	0.48	18.35
东洋河	1.5	6.9	2.66	2.89	13.95
大交沟	1.4	6.63	3.37	2.21	13.61
西阳河	2.15	4.18	1.54	4.66	12.53
峪里河	0.22	0	-0.72	-0.01	-0.51
允西河	2.8	6.3	-0.07	1.28	10.31
毫清河		-0.47	-0.87	-0.46	-1.8
板涧河	4.9	-5.2	3.11	0.83	3.64

由表 7 同样可看出,距坝越近,淤积抬升值越大。

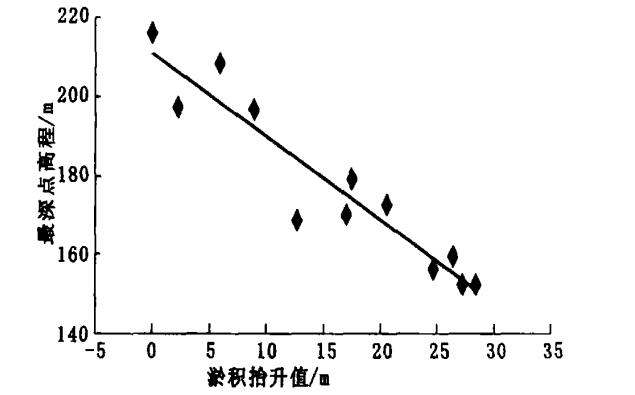


图 4 支流淤积抬升值与支流口门建库前高程的关系

对同一支流来说,同一时段,口门淤积多,其它断面随后相应抬升,如表 8。支流比降越大,断面淤积越少。如石井河,原始比降 12‰,1 号断面在 2000.5~2003.5 期间共淤积抬升了 25.16 m,2 号断面与它相隔 1.05 km,在相同期间只淤积抬升了 6.44 m;畛水原始比降 6.3‰,1 号断面在 2000.5~2003.5 期间共淤积抬升了 25.34 m,与石井河 1 号断面淤积抬升值差不多,2 号断面与 1 号相隔 1.65 km,比石井河 1、2 号断面间距还稍长些,而 2 号断面在相同期间就淤积抬升了 16.36 m,比石井河 2 号断面多抬升了 9.92 m。

4.3 淤积分析

4.3.1 支流淤积与干流淤积的关系

各支流在水库正常运用情况下,具有一定的库容,且小浪底库区支流自身来沙量很小,水流重率近似清水,当干流发生洪水时,水流挟有一定数量的泥沙,由于浑水重率差的影响,在一定的条件下,形成异重流,大量泥沙随异重流进入支流口内,形成倒灌。浑水进入支流口门后流速沿程降低,含沙量也随之沿程递减,造成泥沙沿程落淤。口门附近落淤量最大,距口门愈远则落淤量愈少。所以支流的淤积主要是干流倒灌造成。如 2000 年,距坝 65.21 km 处,水流基本处于明流或异重流输沙状态。距坝 1.53 km,形成浑水,在 6 月 21 日~8 月 29 日期间,入库含沙量越大,浑水面越高。2001 年 8 月 20 日在距坝 50 km 附近有异重流潜入,在 8 月 20 日~9 月 6 日期间,潜入点的位置在距坝 50~60 km。

受水库运用方式的影响,小浪底库区干流回水段淤积为三角洲形态,坝前段为锥体淤积形态,如图 5。干流淤积相当于支流基准面抬升,当干流淤积后,支流口门相应抬升,如图 6。支流口门的淤积发展与干流同步进行。近坝支流淤积厚度相对大一些,距坝较远的支流,其口门处淤积厚度相对较小,说明支流的淤积发展与其口门位置密切相关。

由图 5 可看出,非汛期水库因受三门峡水库的影响,进库沙量为零,水流具有一定的挟沙力,汛期淤积的三角洲冲刷下移,使支流产生淤积。如 2000.11~2001.5,三角洲冲刷,坝前 21 km 内淤积,这就是非汛期上游没有来沙时,支流还在淤积抬升的原因。非汛期干流淤积的部位不同,对支流的影响不同,但总的非汛期支流淤积距坝越近,淤积越多。

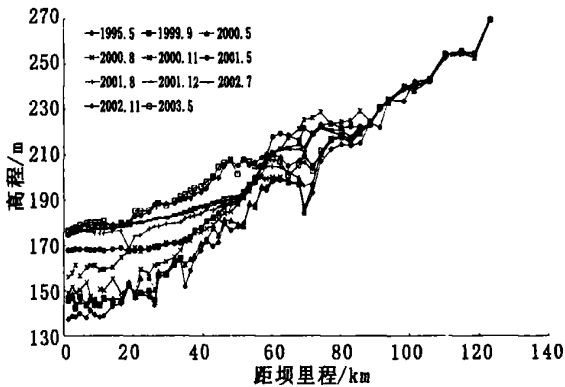


图 5 小浪底干流淤积纵剖面图

4.3.2 支流淤积与坝前水位的关系

从已有的坝前水位资料来看,2000 年坝前最高水位 234.68 m,最低水位 192.56 m,水位变幅 42.12 m,年平均 214.06 m;2001 年坝前最高水位 236.23 m,最低水位 191.50 m,水位变幅 44.73 m,年平均 221.76 m;2002 年坝前最高水位 240.79 m,最低水位 208.32 m,水位变幅 32.47 m,年平均 224.76 m。水库正常运用水位虽然为 275 m,但在初期运

参考文献:

[1] 安新代,余欣,安催花,等.小浪底水库 2000 年运用情况分析[J].人民黄河,2003,23(9):32-33.
[2] 侯素珍,焦恩泽.小浪底水库异重流有关问题分析[J].水利水电技术,2003,(6):11-14.
[3] 黄委会勘测规划设计研究院.小浪底水库初期运用方式研究报告[R].1999.

用阶段,水库逐步蓄水,汛期水库坝前运用水位并不高,在汛期库内淤沙基本相同的情况下,汛期坝前水位越低,回水范围越短,近坝段干流淤积多,相应地靠近坝前支流沟口淤积抬升值较高,支流库容损失亦大。如,2000.5~2000.11 时段坝前平均水位 213.98 m,库内淤沙 3.37 亿 t,大峪河淤积抬升 8.9 m;而在 2002.6~2002.10 时段,坝前平均水位为 217.14 m,库内淤沙 3.73 亿 t,大峪河只淤积抬升了 1.84 m。由表 7 中相应时段各支流口淤积抬升值也可看出,石井河(距坝 21.68 km)以下各支流在 2000.5~2000.11 时段比在 2002.6~2002.10 时段淤积抬升值大,石井河~西阳河(距坝 39.38 km)之间,在 2002.6~2002.10 时段比在 2000.5~2000.11 时段淤积抬升值大。

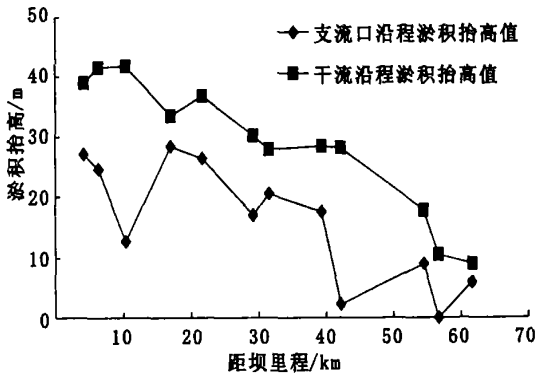


图 6 干流与支流口淤积比较图

非汛期与汛期具有相同的特点,坝前水位低,近坝支流淤积抬升值大;坝前水位高距坝较远的支流淤积抬升值大。如表 6 中 2001.5~2000.11 和 2002.6~2001.12 时段,它们的平均水位分别为 230.33 m 和 234.58 m,支流淤积抬升值与汛期有相同规律。

4.3.3 支流淤积与来沙量的关系

由于分析的资料有限,难以找出坝前水位相同的时段作比较,只有在来沙量大坝前水位低时支流淤积抬升值大。如表 7 中 2001.8~2001.5 时段,进库沙量 2.17 亿 t,坝前平均水位 204.09 m,而在 2001.12~2001.8 时段,进库沙量 0.66 亿 t,坝前平均水位 227.06 m。所以,各支流淤积抬升值在前一时段内基本上比在后一时段内要大。

5 结 语

小浪底水库运用初期支流淤积形态与干流淤积形态紧密联系,支流淤积在横断面上平行抬高;在纵向剖面形成到锥体,锥体淤积形状与支流原始比降有关,比降越大,支流淤积量越小。支流淤积量不仅与支流平面位置有关,而且与支流口高程有关。越靠坝前,淤积量越大;支流口门高程越高,淤积越少。支流淤积与坝前水位高低有关,水位低,坝前支流淤积抬升值大。