

官厅水库流域产流产沙变化规律及其影响因素研究

刘世海¹, 胡春宏²

(1. 北京交通大学, 北京 100044; 2. 中国水利水电科学研究院, 北京 100044)

摘要:官厅水库是我国在多沙河流上修建的第一座大型水库, 探讨水库上游流域的产流产沙规律对水库的运行和管理具有重要的理论和现实意义。对官厅水库流域产流产沙的变化规律进行了研究, 结果表明: 20 世纪 50 年代是官厅水库上游流域的丰水、丰沙期, 以后随着时间的推移, 流域产流量和产沙量逐渐减少, 造成官厅水库上游流域产流量和产沙量变化的主要因素是降雨和人类活动两方面的因素。

关键词:官厅水库流域; 产流产沙

中图分类号: S157

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2007)01-0272-04

Study on the Variation Property of the Runoff and Sediment Yield and Its Influence Factors of the Upper Reaches Watershed of Guanting Reservoir

LIU Shi-hai¹, HU Chun-hong²

(1. Beijing Jiaotong University, Beijing 100044;

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

Abstract: Guanting reservoir is the first reservoir that built in the abundant sediments river. It is very important that to study the properties of the runoff and sediment yield to the management of the Guanting reservoir. The runoff and sediment yielding in the upper reaches of the watershed is studied. Its results show that the fifties 20th century was the exuberance period of the runoff and sediments yielding, the amounts of runoff and sediments yielding decreased in the sixties, seventies, eighties and nineties, and the nineties runoff and sediments yielding amounts were the smallest. Why yielding amount of runoff and sediments show the degradation law, it mainly due to regular variation of the precipitation amount in the watershed from the 1920s to 2000s and human activities.

Key words: Guanting reservoir watershed; runoff and sediment yielding

官厅水库于 1951 年动工, 1953 ~ 1955 年为滞洪运用, 1955 年 10 月起正式蓄水运用, 当时设计库容为 22.7 亿 m³, 1989 年官厅水库“除险加固”工程竣工后, 拦河大坝加高了 7 m, 总库容增大到 41.6 亿 m³, 其中防洪库容 29.9 亿 m³, 成为华北地区的第二大水库。水库建成近 50 年来, 拦蓄水量近 400 亿 m³, 向京、津、冀地区供水 380 多亿 m³, 水电站发电 20 多亿 kW 时, 水库为周边地区和北京市的经济建设做出了重要的贡献^[1]。时至今日, 水库的泥沙淤积量已达 6.47 亿 m³, 对水库的运行构成了严重的威胁, 特别是“拦门沙坎”的形成, 致使妫水河库区约 2 亿 m³ 的水源有被隔开的危险^[2,3], 为此在 2001 年 11 月至 2002 年 7 月对“拦门沙坎”进行了疏浚, 以保证向下游地区供水。因而探讨官厅水库上游地区产流产沙变化规律, 为官厅水库的运行及管理提供依据具有非常重要理论和现实意义。

1 流域概况

官厅水库位于河北省怀来县与北京延庆县境内, 位于北京市西北约 80 km, 主要水系有桑干河、洋河和妫水河。水

库上游流域面积为 43 402 km², 位于 E112°8.3' ~ 116°20.6' 与 N41°4.2' ~ 38°15' 之间。流域多年平均降雨量 406 mm, 且降水多分布在 7、8、9 三个月, 其降水量可占全年的 70% ~ 80%, 常发生中小面积高强度集中暴雨, 流域内植被盖度低、差。

官厅水库流域内水土流失十分严重, 流域属高原背山区, 群山环抱, 山峦起伏, 黄土丘陵面积广阔, 有不少山间盆地。一般盆地区植被较好, 水土流失轻微。而广大黄土丘陵区沟壑发育, 植被很差, 水土流失十分严重。据水电部天津勘测设计院、北京农大合编的卫星图象目视解译资料, 流域内极强烈侵蚀面积占 5.6%, 强烈侵蚀面积占 20.5%, 较强侵蚀面积占 5.8%, 中度侵蚀面积占 8.1%, 轻微和较轻微侵蚀面积共占 60%。以此推算, 全流域多年平均土壤侵蚀量约 1.1 亿 t/a, 相应多年平均土壤侵蚀模数约 0.25 万 t/(km² · a)。又据 1950 ~ 1980 年 31 年实例资料, 流域多年平均输沙量为 0.38 亿 t/a, 相应多年平均输沙模数为 0.088 万 t/(km² · a), 为多年平均土壤侵蚀量的 1/3^[4]。

* 收稿日期: 2006-02-28

基金项目: 国家高技术应用部门发展项目“官厅水库泥沙淤积对水资源水环境和防洪减灾的影响及综合治理研究 (SE-2002-3-15)”项目资助

作者简介: 刘世海 (1970 -), 男, 高级工程师, 博士, 主要从事水土保持与荒漠化防治的教学与科研工作。

2 官厅水库流域产流产沙变化规律

通过对永定河官厅水库流域官厅站、桑干河干流和洋河干流水文站的观测资料进行统计,分析官厅水库流域产流产沙的变化规律。统计资料选用水文年鉴的资料,官厅站从 1924~1999 年,石匣里和响水堡的资料从 1951~1999 年,各站点资料均出自各站点实测资料。

2.1 官厅水文站实测水沙量

官厅站于 1924 年设站,控制流域面积 43 402 km²,1950 年以前实测年水量、沙量均采用天津水利勘测设计院 1980 年《永定河官厅以上年径流年输沙量分析》报告中修改后的成果,1951 年后的资料出自水文年鉴。统计结果如表 1 和图 1 所示:20 世纪 20 年代年均径流量为 11.44 亿 m³,输沙量为 5 802 万 t;30 年代年均径流量为 12.38 亿 m³,输沙量为 7 614 万 t;40 年代年均径流量为 14.98 亿 m³,输沙量为 6 755 万 t;50 年代年均径流量为 20.09 亿 m³,输沙量为 8 563.17 万 t;60 年代年均径流量 13.02 亿 m³,输沙量为 3 756.40 万 t;70 年代年均径流量为 8.32 亿 m³,输沙量为 1 882.10 万 t;80 年代年均径流量为 4.45 亿 m³,输沙量为 880.95 万 t;90 年代年均径流量为 3.32 亿 m³,输沙量为 272.11 万 t。从 20 年代至 90 年代期间,50 年代的年均径流量和输沙量最大,60 年代以后开始下降,特别是 90 年代下降的更多,90 年代的年均径流量仅是 50 年代的 16.43%,输沙量仅是 50 年代的 3.18%。由图 1 还可以看出,从 20 年代至 90 年代,官厅站产流量和产沙量呈抛物线变化趋势,其中 50 年代的产流量、产沙量分别是峰顶。

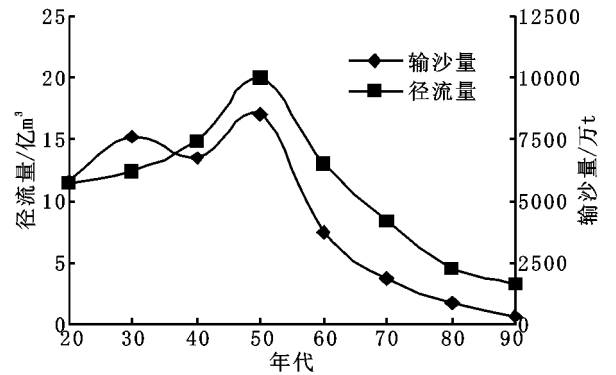


图 1 官厅水库流域不同年代产流产沙量

表 1 不同年代官厅、响水堡和石匣里来水、沙量统计表

站名年代	官厅			响水堡			石匣里		
	降雨量/ /mm	径流量/ 10 ⁸ m ³	沙量/ 10 ⁴ t	降雨量/ /mm	径流量/ 10 ⁸ m ³	沙量/ 10 ⁴ t	降雨量/ /mm	径流量/ 10 ⁸ m ³	沙量/ 10 ⁴ t
1950~1959	441.20	20.09	8563.17	438.89	6.15	1770.36	452.22	11.61	4723.44
1960~1969	412.10	13.02	3756.40	409.50	4.91	822.41	408.40	7.75	835.09
1970~1979	420.40	8.32	1882.10	456.70	4.62	851.79	401.50	3.83	219.89
1980~1989	364.00	4.45	880.95	368.50	2.48	263.08	361.60	2.25	136.11
1990~1999	406.43	3.32	272.11		1.94	249.28		1.87	73.66

2.2 桑干河石匣里站实测水沙量

石匣里站控制流域面积 23 944 km²,1951 年~1999 年统计资料表明:20 世纪 50 年代年均径流量 11.6 亿 m³,输沙量为 4 723 万 t;60 年代年均径流量 7.75 亿 m³,输沙量为 835.09 万 t;70 年代年均径流量 3.83 亿 m³,输沙量为 219.89 万 t;80 年代年均径流量为 2.25 亿 m³,输沙量为 136.11 万 t;90 年代年均径流量为 1.87 亿 m³,输沙量为 73.66 万 t,如表 1 所示和图 2 所示。

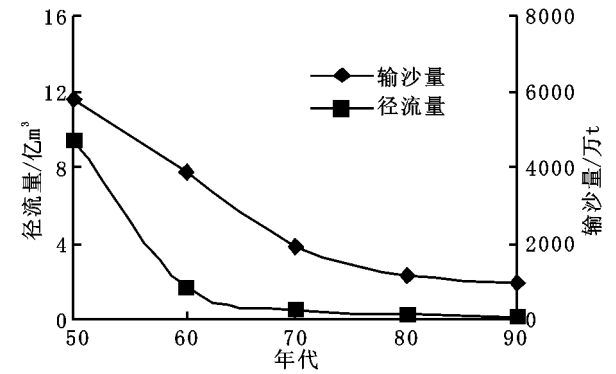


图 2 石匣里以上流域不同年代产流产沙量

2.3 洋河响水堡站实测水沙量

洋河响水堡站控制流域面积 14 507 km²,1951~1999 年统计资料表明:20 世纪 50 年代年均径流量为 6.15 亿 m³,输沙量 1 770 万 t,60~70 年代年均径流量、输沙量基本相当,年均径流量分别为 4.91 亿 m³和 4.61 亿 m³,年均输沙量分别为 822.41 万 t 和 851.79 万 t,80 年代后水沙量较小,年均径流量为 2.48 亿 m³,输沙量 263.08 万 t;90 年代年均径流量为 1.94 亿 m³,输沙量 249.28 万 t,如表 1 和图 3 所示。

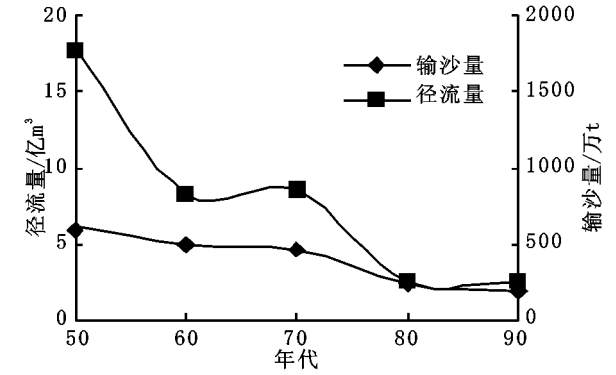


图 3 响水堡以上流域不同年代产流产沙量

3 官厅流域产流产沙的主要影响因素分析

经对实测三站的水、沙资料的分析结果可以看出永定河官厅流域输沙的特点及 20 世纪 50 年代以来各干流径流量和输沙量均大幅度减少的情况,造成这一现象的因素是多方面的,但主要因素是即降雨和人类活动两方面的因素。

3.1 降雨时空分布对官厅流域产流量和产沙量的影响

官厅流域的径流主要由大气降水形成,而泥沙的输移是靠径流来完成的,因而降雨的时空变化必然导致径流量和输沙量的变化。

3.1.1 流域降雨的周期性变化

分析官厅流域的降雨资料可以看出,官厅流域 1925~2000 年降雨过程,构成了一个完整的周期变化。其中 50 年代是丰雨期,平均年雨量为 442.22 mm;40 年代、60 年代、70 年代和 90 年代为平偏丰期,年雨量为 410~420 mm;30 年代为平偏枯,年雨量 384 mm;20 年代和 80 年代为枯雨年,年雨量为 360 mm 左右。从 50 年代到 80 年代降雨量逐渐减少,是由丰到枯的半周期。石匣里以上面雨量与官厅以上基本类似,50 年代为丰雨期,年雨量 452 mm;60、70 年代为中雨期,年雨量略大于 400 mm;80 年代为枯雨期,年雨量 361.60 mm。面降雨量呈明显的递减的变化趋势,由丰到枯的规律明显。而响水堡以上洋河流域降雨与桑干河略有不同。其中 70 年代雨量最多,年雨量 456.70 mm,比 5 年代还大 17.81 mm,比 60 年代大 47.20 mm,而 80 年代降雨量最小,不到 370 mm。由

于洋河 70 年代雨量大,致使官厅以上流域面雨量 70 年代略大于 60 年代。

流域因降雨的周期性变化,也就形成了径流和输沙量的变化。从 50 年代到 80 年代降雨处于由丰到枯的半周期内,降雨量逐渐减少,因而径流量和输沙量也随之而逐渐减少,特别是进入 80 年代以后,整个流域均处于枯雨期,年降雨量仅 360 mm 左右,相应也就形成了枯水枯沙现象。90 年代平均降雨量为 406.43 mm,但在不同年内降水量分布差异很大,最大降水年份 1995 年降水 597 mm,最小年份 1993 年只有 291.4 mm,年际间差异很大对流域产流产沙量有一定的影响;再者从 20 世纪 80 年代开展上游流域水土保持重点治理工作以来,在流域内种植了一定数量的植被、修建了大量的梯田和各种拦蓄径流的设施,水土保持措施拦沙蓄流使得流域内的产沙量和产流量下降,这可能是 90 年代流域内产流产沙量显著减少的最主要的原因之一。

3.1.2 丰、平、枯各时段的降雨特点

从官厅、石匣里、响水堡以上面雨量年代变幅看,各站 20 世纪 50 年代的降雨年际变幅最大,最大与最小年相差 250~300 mm,最大年雨量达 550~600 mm。60 年代的年最大、最小雨量相差 220~250 mm。70 年代的最大、最小雨量相差 200 mm 左右,最大年雨量为 500 mm 左右。80 年代最大最小年雨量仅相差 100 mm,最大年雨量仅 400 mm 左右。从 50 年代到 80 年代降雨逐渐减少并趋向于均匀,大雨年份降雨量的绝对值量减小较多,小雨年份雨量减小有限。从统计看,各时期非汛期降雨变化不大,比较稳定。而汛期雨量逐渐减少,汛期降雨量直接产生径流和泥沙,这必然引起输沙量的减少^[5]。

3.1.3 降雨量(径流量)与输沙量的关系

降雨与输沙量通过径流间接相关,同时还受地形、地貌、

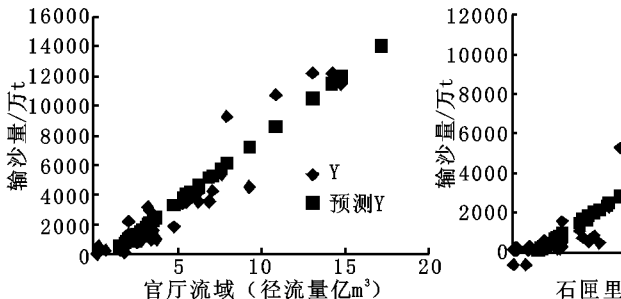


图 4 官厅流域主要站点汛期径流量与年输沙量回归关系图

3.2 人类活动对流域产流产沙的影响

人类活动对产流产沙的影响体现在两个方面,一方面是人类活动减少产流量和产沙量,如引洪淤灌、水利工程和流域内的水土保持措施等会减少流域内的产流产沙;另一方面人类活动增加了产流产沙,诸如过垦、过牧等一系列人为的增沙作用等^[6,7]。

3.2.1 人类活动对流域产沙的减少作用

(1) 水土保持措施减沙作用。水土保持措施是流域内减沙的重要手段,对官厅水库上游流域主要水土流失区的水土保持综合治理的调查统计结果表明^[8,9,10,11]:自 20 世纪 80 年代永定河上游开展水土保持重点治理工程以来,截止 2000 年年底,山西大同地区治理水土流失面积 4 205.8 km²,河北省永定河流域共治理水土流失面积 6 449.11 km²,北京延庆县境内妫水河流域治理水土流失面积 435.33 km²,三省市共治理水土流失面积 11 090.24 km²,保存面积约 10 000 km²。对不同治理措施的拦沙量计算结果见表 2,由表中可以看出,近 20 年来,官厅流域上游水土保持措施共

土壤质地等众多因素的影响。尤其在用水拦沙较多的地区,雨沙之间的定量关系很难求得。根据对受人类活动影响较小的御河支流十里河观音堂站年输沙量与汛期雨量之间关系的分析,得出年输沙量与汛期雨量成 3.42 次方关系,其关系式如(1)式^[5]:

$$Q_s = 6.91 \times 10^{-3} P^{3.42} \tag{1}$$

式中:Q_s——年输沙量(t);P——年汛期降雨量(mm)。

对官厅流域年输沙量与汛期降雨量、径流量、汛期径流量之间进行分析,结果表明,汛期径流量与年输沙量之间关系呈极显著线性相关关系。这是因为官厅流域的年降水分配中,60%~90%的分配在汛期(6、7、8 和 9 四个月),并且侵蚀产沙也多是这几个月的降雨所造成,一年之中的侵蚀产沙总量有可由一次或几次的侵蚀输沙量所组成,因而汛期径流量与输沙量之间呈现极显著的相关关系,如图 4 所示。

官厅流域的年输沙量与汛期水量的回归关系如(2)式:

$$Q_s = 857.93 R - 872.31 \tag{2}$$

式中:Q_s——输沙量(万 t);R——径流量(亿 m³);r=0.95, n=48,经检验回归关系在 0.01 水平上呈极显著水平。

石匣里以上流域年输沙量与汛期水量的回归关系如(3)式:

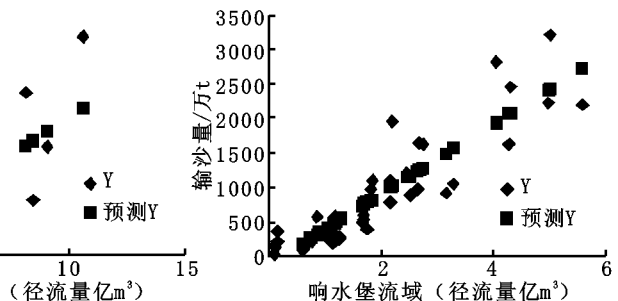
$$Q_s = 753.00 R - 715.02 \tag{3}$$

式中:Q_s——输沙量(万 t);R——径流量(亿 m³);r=0.86, n=49,经检验回归关系在 0.01 水平上呈极显著水平。

响水堡以上流域年输沙量与汛期水量的回归关系如(4)式:

$$Q_s = 512.57 R - 160.80 \tag{4}$$

式中:Q_s——输沙量(万 t);R——径流量(亿 m³);r=0.90, n=50,经检验回归关系在 0.01 水平上呈极显著水平。



拦沙 3.51 亿 t^[12],占流域产沙量 17.1 亿 t 的 20.53%。和 1950 年~1980 年相比(30 年间总产沙量 28.5 亿 t,水保拦沙总量约 2 亿 t^[13],水保拦沙总量占流域产沙量的 7.02%),水土保持措施拦沙量大幅度增加。

表 2 官厅流域不同区域水土保持措施蓄水拦沙量 万 t

区 域	水土保持措施面积/km ²							1983~2000 拦沙总量
	梯田	滩坝地	旱坪坝地	林地	草地	封禁	小计	
山西大同	570.67	215.54	404.83	2883.25	131.51	383.5	4589.3	15695.41
河北张家口	1424.69	51.95		3135.52	287.79	259.57	5159.52	17999.04
北京延庆县	61.73	1.53		260.40	2.93	95.00	421.60	1410.08

(2) 水利工程减沙减流作用。据不完全统计,自 20 世纪 50 年代以来,在官厅水库上游修建了大量的水库,总库容约 14 亿 m³,截止 2000 年,上游水库泥沙淤积总量约 4.3 亿 m³,占总库容的 30.71%;官厅水库泥沙淤积量为 6.47 亿 m³。官厅水库以上流域水库自 1951 年~2000 年,年均拦沙量约为 1 118 万 t,同时重多的水库拦蓄了大量的径流,亦使全流域的产流量降低,由此可见,流域上游的水利工程建设

也是官厅水库流域产流量和产沙量显著下降的另一个重要的因素。

除此之外,河道泥沙淤积和引洪淤灌对减少官厅水库的泥沙淤积也起了一定的作用。

3.2.2 人类活动加剧水土流失,促进流域产沙

人类活动加剧流域产沙的活动主要表现在以下几方面:

(1)破坏森林。乱砍滥伐、放火烧山,使森林遭到破坏失去蓄水保土作用,并使地面裸露,直接遭受雨滴的击溅、流水冲刷和风力的侵蚀,从而加速了土壤侵蚀的发生和发展。

(2)陡坡开荒。陡坡开荒不仅破坏了地植被,且又翻松了土壤,造成了产生严重侵蚀的条件。

(3)过度放牧。过度放牧会使山坡和草原植被遭到破坏,使其不能得以恢复,受到水、风等外营力作用时,造成严重土壤侵蚀。

(4)不合理的耕作方式。顺坡耕作使坡面径流也顺坡集中在犁沟里下泄,造成沟蚀。缺乏合理的轮作和施肥就会破坏土壤的团粒结构和减低土壤的抗蚀性能,在坡地上广种薄收、撂荒轮垦,会使土壤性状恶化,作物覆盖率降低。这些均能加剧水土流失。

(5)工业交通及其基本建设工程的影响。开矿、建厂、筑路、伐木、挖渠、建库中都有大量矿渣、弃土、尾沙,如不作妥善处理,往往会冲进河道,也是加剧水土流失的一个人为因素。

参考文献:

[1] 王金林. 官厅水库的历程[J]. 北京水利, 1996(3): 17 - 19.

[2] 杜卫平. 综合治理官厅水库 尽快恢复饮用水源功能[A]. 环首都水源保护与生态建设学术研讨会论文集[C]. 2001. 109 - 111.

[3] 王晓东. 官厅水库持续运用问题的探讨[A]. 面向 2049 年北京的水资源与城市水环境问题学术研讨会[C]. 北京, 2000. 66 - 68.

[4] 吴兆荫. 永定河官厅上游泥沙淤积解决的意见[R]. 1983.

[5] 谢水泉, 等. 石匣里水库可行性研究设计输沙量分析报告[R]. 1989.

[6] 王礼先, 等. 水土保持学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1995. 94 - 143.

[7] 张洪江, 等. 土壤侵蚀原理[M]. 北京: 中国林业出版社, 2000. 180 - 199.

[8] 山西省大同市 2000 年水土保持年报[R]. 山西省大同市水利局, 2001.

[9] 河北省张家口市 1983 ~ 1999 年水土流失治理情况汇总表[R]. 河北省张家口市水利水保局, 2000.

[10] 北京市水利局, 延庆县人民政府. 妫水河流域第一期水土流失治理成果汇编[Z]. 1994. 1 - 21.

[11] 北京市水利局, 延庆县人民政府. 妫水河流域第二期一阶段水土流失治理成果汇编[Z]. 1997. 1 - 28.

[12] 刘世海, 胡春宏. 近廿年来官厅水库流域水土保持拦沙量估算[J]. 泥沙研究, 2004, (2): 67 - 71.

[13] 水利水电研究院, 北京市水利局. 永定河流域概况及来水来沙的估计[A]. 官厅水库防淤减灾综合措施研究[M]. 1986, 1 - 8.

(上接第 271 页)

4 结 论

(1)山峡水库蓄水后 段岸坡塌岸剧烈程度均为强烈,并且该段岸坡基本全部产生塌岸; 段岸坡在水库蓄水后,从宽

参考文献:

[1] 胡广韬,杨文元. 工程地质学[M]. 北京:地质出版社,1984. 291 - 311.

[2] 张倬元,王士天,王兰生. 工程地质分析分理[M]. 北京:地质出版社,1994. 552 - 574.

[3] 山峡库区地质灾害防治工作指挥部. 山峡库区三期地质灾害防治工程勘察技术要求[R]. 2005.

[4] 重庆市地勘局南江水文地质工程地质队. 开县康家咀滑坡可勘报告[R]. 2005.

[5] 唐辉明. 长江山峡工程水库塌岸与工程治理研究[J]. 第四纪研究, 2003, 23(6): 648 - 655.

[6] 杨建,张世殊,彭仕雄. 紫坪铺水库区倒流坡库岸堆积体塌岸预测分析[J]. 水电站设计, 2004, 20(3): 50 - 53.

[7] 王建锋,吴梦喜,等. 长江三峡工程库区宝塔坪滑坡前缘塌岸预测及防护[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2003, 14(1): 1 - 8.

素。

人类加剧水土流失的活动主要是对植被的破坏,集中表现在对土壤资源的不合理利用方面。因此陡坡开荒、过度放牧、乱砍滥伐森林等活动所造成的后果十分严重。

4 小 结

官厅水库上游流域的产流量和产沙量在 20 世纪 50 年代最大,以后逐渐减少,这一现象除了与周期性变化的降雨量有关外,人类活动对流域的产流产沙也有很重要的影响,一方面人类活动可以增加流域内的产沙量;另一方面人类通过改变地表植被状况、土壤状况和地表地形来减少流域的产流量和产沙量,诸如采取水土保持措施、修建水利工程等。

进入 20 世纪 80 年代以来,在官厅水库上游开展了水土流失重点治理工作,水土保持措施对于减少流域内的产沙量起到了很大的作用,据 2001 年调查统计资料表明,流域内的水土保持措施共拦蓄泥沙量 3.51 亿 t,占流域内总产沙量的 20.53%,所以尽快治理流域内严重的水土流失区,是减少流域产沙量的最重要的措施之一。目前,在流域内开展综合治理的同时,应注重与植被的天然恢复技术措施相结合,尽快治理官厅水库流域的水土流失区,减少官厅水库的入库泥沙和改善官厅水库的水质,为尽快恢复官厅水库饮用水源的功能做出贡献。