

柏叶口水库工程区水土保持及生态修复

范世平^{1,2}, 刘伟明²

(1. 西安理工大学 西北水资源与环境生态教育部重点实验室, 陕西 西安 710048; 2. 柏叶口水库管理局, 山西 太原 030024)

摘要: 为防止柏叶口水库工程区水土流失, 减小工程建设对生态的破坏, 使因工程施工所破坏的生态系统得以尽快恢复, 对柏叶口水库建设过程中水库淹没区、枢纽区、料场区等不同功能区可能增加的水土流失量及其危害进行了分析和预测。结果表明, 工程施工扰动, 地貌土壤侵蚀模数增大是新增水土流失的主要原因。针对各功能区水土流失的基本特征提出了以工程防治和生态修复相结合, 充分发挥生态自我修复能力, 加快植被恢复的水土保持措施。在水库不同的功能区采取相应的工程措施或生态措施。生态恢复与培育的主要措施是栽植油松、落叶松、乔木或刺槐, 其间散播苜蓿草种。

关键词: 水土保持; 土壤侵蚀模数; 乔木; 生态修复

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2011)03-0229-05

中图分类号: S157.2, X171.4

Soil and Water Conservation and Ecological Restoration in Construction Area of Baiyekou Reservoir Project

FAN Shi-ping^{1,2}, LIU Wei-ming²

(1. Key Lab of Northwest Water Resources and Environment Ecology of the MOE, Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China; 2. Baiyekou Reservoir Bureau, Taiyuan, Shanxi 030002, China)

Abstract: In order to prevent loss of soil and water, to avoid further damage of the ecological environment, and to expedite the restoration of the ecological system in Baiyekou reservoir project construction area, this study analyzed and predicted the risk and quantity of soil and water loss during construction for the submerged area, hydraulic structure area and storage area during construction. Results show that disturbance from construction was the main reason for soil and water loss, leading to the increase of soil erosion mode. Based on the characteristics of soil and water loss in different function areas, soil and water conservation measures combining engineering and ecological restoration were recommended to stimulate self-repair capability for ecological system and enhance vegetation restoration. Plantation of tree species such as *Pinus tabulaeformis*, larch, and robinia with alfalfa in between are appropriate approaches for the area.

Keywords: soil and water conservation; soil erosion modulus; tree species; ecological restoration

柏叶口水库位于山西省吕梁市交城县会立乡柏叶口村上游约 500 m 的文峪河干流上, 控制流域面积 875 km², 距下游已建的文峪河水库约 30.7 km。吕梁市位于山西省的西部, 东依汾河与晋中市毗连, 西与陕西省榆林地区隔黄河相望, 北与忻州市为邻, 南与临汾地区接壤, 东西长约 220 km, 南北宽约 140 km。该区处于华北隆起台地的黄河中游, 区内吕梁山脉由东北、西南向纵贯全境, 整个地区明显分为西部高原山地和东部丘陵盆地。西部地区黄土广布, 地面支离破碎, 水土流失严重。该区域地形西北高、东南低, 水库坝址区岩体中节理裂隙发育, 纵横交错, 互

相切割, 岩体完整性差。文峪河主流横贯全区。河道大部分较为开阔, 呈 U 字型。

据《山西省土壤侵蚀分区图》, 项目区为土石山地较轻微侵蚀区, 侵蚀强度 V 级, 土壤侵蚀模数在 500 ~ 1 000 t/(km² · a) 之间, 水力侵蚀为主, 属于山西省水土流失重点预防保护区。

1 库区水土流失预测

工程建设前, 水土流失预测主要采用现场调查、查阅研究成果等方法。预测内容表 1 中的前 3 项采取现场调查, 并结合工程报告确定。根据《山西省土

收稿日期: 2010-11-10

修回日期: 2010-11-24

资助项目: 山西省水利厅项目“山西省柏叶口水库水力学模型试验研究”(KYKS-JFCSYJ-2009-01)

作者简介: 范世平(1966—), 男(汉族), 山西省临猗县人, 博士研究生, 教授级高级工程师, 主要从事水利技术经济和水利管理研究。E-mail: fshp_1966@163.com。

壤侵蚀分区图》和地方水土保持研究成果^[1-3], 结合项目区的地形地貌, 初步确定柏叶口水库开工前各功能区: 水库淹没区为 $s_{y1} = 800 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$, 水库枢纽区为 $s_{y2} = 800 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$, 料场区为 $s_{y3} = 600 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$, 弃渣场为 $s_{y4} = 1\,000 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。

柏叶口水库工程建设是造成水土流失的主要原因, 具体有施工扰动原地貌、破坏植被、工程弃土、弃渣、损坏水土保持设施。工程扰动原地貌主要发生在施工期, 包括水库淹没区、水库枢纽区、料场区、弃渣场区、输变电路区、移民安置及专项迁建区, 面积共计 693.0 hm^2 。其中破坏植被面积 671.0 hm^2 (水面面积除外)。工程总弃渣量 $6.0 \times 10^5 \text{ m}^3$, 设置弃渣场 1 处, 占地面积为 8 hm^2 , 位于坝址下游 1.5 km 处右岸河滩地上。该工程损坏水土保持设施面积共计 649.0 hm^2 , 主要是耕地和荒草地。

1.1 工程建设造成的水土流失量

新增水土流失量为工程施工扰动后产生的侵蚀

量与原地貌侵蚀量的差值。根据本地区同类工程水土流失状况, 结合本工程施工特点、气候特征、地形地貌, 确定工程施工期间, 扰动后地貌土壤侵蚀模数: 水库淹没区为 $s_{z1} = 1\,200 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$, 水库枢纽区为 $s_{z2} = 1\,200 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$, 料场为 $s_{z3} = 1\,000 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$, 弃渣场为 $s_{z4} = 3\,000 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。

参考有关试验研究成果及人类活动对土壤侵蚀的研究成果^[4,6], 采用计算公式 (1) 对水土流失量进行计算。

$$W = \sum F_i (S_{zi} - S_{yi})^n \quad (1)$$

式中: W ——新增水土流失量 (t); F_i ——扰动后地貌面积 (km^2); S_{yi} ——原地貌的土壤侵蚀模数 [$\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$]; S_{zi} ——扰动后地貌的土壤侵蚀模数 [$\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$]; n ——预测年限 (a)。

根据各类型区的原地貌土壤侵蚀模数和扰动后地貌不同类型区的土壤侵蚀模数, 算得扰动后土壤水土流失量为 $6\,363.00 \text{ t}$, 工程建设所造成的新增水土流失量为 $2\,426.33 \text{ t}$ (表 1)。

表 1 柏叶口水库工程建设水土流失量预测

位置	面积/ hm^2	工期/ a	原地貌侵蚀模数/ $(\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1})$	原地貌水土 流失量/t	扰动后侵蚀模数/ $(\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1})$	扰动后水土 流失量/t	新增水土 流失量/t
水库淹没区	381.6	0.5	800	1 526.40	1 200	2 289.60	763.20
水库枢纽区	45.4	10.8	800	942.30	1 200	1 413.40	471.10
主体建筑物	26.3	2.0	800	420.27	1 200	630.40	210.13
管理站	1.7	0.3	800	4.00	1 200	6.00	2.00
上坝公路	1.5	0.5	800	6.00	1 200	9.00	3.00
施工临建	12.8	4.0	800	409.60	1 200	614.40	204.80
施工便道	3.2	4.0	800	102.40	1 200	153.60	51.20
弃渣场	8.0	2.0	1 000	160.00	3 000	480.00	320.00
料场	109.0	2.0	600	1 308.00	1 000	2 180.00	872.00
合计	544.0	—	—	3 936.67	—	6 363.00	2 426.33

注: 输变电路区、移民安置及专项迁建区扰动地表程度轻微, 不进行预测。

1.2 工程建设造成的水土流失及危害

根据水土流失预测, 项目区内共占用和破坏原地貌面积 693.0 hm^2 , 其中破坏植被面积为 671.0 hm^2 , 损坏水保设施面积 649.0 hm^2 , 工程弃渣 $6.0 \times 10^5 \text{ m}^3$, 新增水土流失量 $2\,426.33 \text{ t}$ 。

造成的水土流失危害主要表现在工程施工期间, 如坝基的开挖及填筑、水电站、管理站的修建、施工区临建、料场开挖、弃渣堆放等, 都将大量扰动原地貌, 破坏原有植被。如果不采取防护措施, 可能引起周边土地沙化, 造成土壤肥力降低, 影响农业生产。弃渣场的边坡不稳定, 容易发生崩塌、滑坡, 加大了河道输沙量, 影响了河道行洪能力, 进而影响水库运行功能。

由于工程建设产生的水土流失会对生态环境及工程安全产生影响, 因此必须采取相应的水土保持措

施, 最大限度地减少水土流失量, 有效控制水土流失危害, 改善当地的生态环境。

2 水土流失防治与生态修复

水土流失的治理应严格按照国家和地方有关法律、法规和技术规范、标准进行^[7-8], 使防治措施符合国家对水土保持及全国生态建设规划的总体要求。采取“预防为主、因地制宜、加强管理、注重效益、全面规划、综合防治”的水土保持工作原则, 坚持水保工程与主体工程同时设计、施工和投入使用的“三同时”原则^[9]。防治措施应因地制宜、因害设防, 在达到防治目的的基础上, 做到投资经济、技术可行。

2.1 水土流失防治与生态修复

为保护项目区生态环境, 保障主体工程的顺利建

设和安全运行, 柏叶口水库工程的总体防治目标: (1) 因地制宜采取综合防治措施, 以弃渣场为水土流失防治重点, 全面控制工程建设过程中可能造成的新的水土流失; (2) 保护项目区内的植被和水保设施, 有效

治理所有工程区范围内的水土流失; (3) 在实施水土保持措施的过程中, 既要保障主体工程安全生产的需要, 又要兼顾生态环境治理与改善, 协调发展, 最大限度地保护生态环境。水土流失总体防治目标见表 2。

表 2 柏叶口水库工程区水土流失防治目标

水土流失指标	水库淹没区	枢纽工程区	弃渣场	料场	综合
扰动土地治理率/%	95	98	98	95	96
水土流失治理度/%	90	95	96	95	93
拦渣率/%	—	95	98	98	96
植被恢复系数/%	—	90	93	95	93
林草植被覆盖率/%	—	—	35	25	28
水土流失模数控制比	—	0.7	0.5	0.5	0.6

2.2 水土保持防治措施

根据各区域水土流失和水土保持现状以及工程建设对各区域造成的水土流失类型确定各分区水土保持措施, 构筑水土流失防治措施体系。

2.2.1 水库淹没防治区 该工程水库淹没范围内现状植被较好, 水土流失较小。随着工程开工后库底清理工作的开展, 原地貌不同程度遭到破坏, 地表抗侵蚀能力减弱, 水土流失将增加。该区针对施工期破坏的地表采取土地平整、局部压实处理等措施, 水库蓄水后全部淹没, 不再产生水土流失。

2.2.2 水库枢纽防治区 主体建筑物已经考虑施工临时围堰, 水库枢纽区在防治水土流失的同时, 加强绿化, 在建筑物周围及暂时闲置的空地处进行土地平整后植树种草绿化, 改善建筑物周边的单调景观。枢纽建筑物区占地 26.3 hm^2 , 按 20% 绿化率计算, 需绿化面积 5.26 hm^2 , 栽植树种选用油松、落叶松, 按株行距 $1.5 \text{ m} \times 1.0 \text{ m}$, 共需栽乔木 35 067 株。管理区占地面积为 1.7 hm^2 , 按 30% 绿化率计算, 需绿化面积 0.51 hm^2 , 栽植树种选用油松、落叶松, 按株行距 $1 \text{ m} \times 2 \text{ m}$, 共需栽乔木 2 500 株。乔木之间拟撒播苜蓿草, 按 $30 \text{ kg}/\text{hm}^2$, 共需草种 251.4 kg。

在上坝公路两侧设置排水沟, 初步设计排水沟拟采用浆砌石矩形断面形式, 宽 0.4 m, 深 0.4 m, 浆砌石壁厚 0.3 m, 碎石垫层厚 0.1 m; 排水沟外栽植乔木、油松, 道路两侧各植一排, 株距 1.5 m, 其间按 $2 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 撒播苜蓿草。

经计算, 共需浆砌石 $1\ 620 \text{ m}^3$, 碎石 300 m^3 , 开挖土方 $2\ 880 \text{ m}^3$; 植物措施考虑按 20% 的补植量, 共需乔木 2 400 株, 草种 10.8 kg。

2.2.3 料场防治区 该工程选用的料场包括石料场、砂砾料场、砂场, 面积共计 109 hm^2 , 其中有 37

hm^2 的砂砾料场位于大坝上游淹没区, 其余处于大坝下游。该区对淹没区的料场采取土地平整、压实, 对下游料场在平整后撒播苜蓿草绿化。该区需进行场地平整面积 109 hm^2 , 撒播草种按 $30 \text{ kg}/\text{hm}^2$, 考虑 20% 的补植量, 共需草种 3 924 kg。

2.2.4 弃渣场防治区 工程施工过程中弃渣拟采取集中堆放的方式。弃渣场位于坝址下游 1.5 km 处右岸的河滩地上, 规划占地面积为 8 hm^2 , 堆渣容量 $6.0 \times 10^5 \text{ m}^3$ 。弃渣场水土流失防治拟采取工程措施、土地整治、植物措施相结合的综合防治措施。

(1) 弃渣场边坡拦渣工程措施。为稳固弃渣场边坡, 防治弃渣流失, 拟采取挡渣墙拦挡, 干砌石护坡。挡渣墙选用重力式浆砌石挡墙, 墙高为 2 m, 顶宽为 0.5 m, 基础埋深 1.0 m, 墙趾高 0.8 m, 前后墙趾均为 0.5 m, 坡比为 1: 0.5 (图 1); 干砌石护坡厚 0.3 m, 坡比为 1: 2。计算得需要浆砌石 $6\ 800 \text{ m}^3$, 干砌石 $3\ 570 \text{ m}^3$ 。

(2) 弃渣场土地整治措施。首先对堆渣表面作平整处理, 使之形成一个外缘稍高, 向排水沟倾斜的平台, 山体一侧和渣顶设排水沟。排水沟拟采用浆砌石矩形断面形式, 宽 0.4 m, 深 0.4 m, 浆砌石壁厚 0.3 m, 碎石垫层厚 0.1 m (图 2)。计算得共需浆砌石 918 m^3 , 碎石 170 m^3 。

(3) 弃渣场表面植物措施。弃渣场为和人工扰动后地貌, 表面在采取护坡、护坡挡墙 (见图 3), 土地平整覆土措施后, 需要采取植物措施, 以恢复弃渣场植被。拟采用树种为刺槐, 株行距 $1.0 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$ (图 3), 草种为苜蓿, 按 $30 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 计, 经分析, 渣顶绿化面积为 6.4 hm^2 , 弃渣场共计乔木 42 666 株, 草种 192 kg。植物种植密度及需苗量见表 3, 种植技术和时间见表 4。

表 3 弃渣场表面刺槐种植密度及需苗量

树草种	株行距	每 1 hm ² 定植数	苗龄及等级	种植方法	需苗量
刺槐	1.0 m × 1.5 m	6 667	2 龄, 1 级	苗植	42 666 株
苜蓿	30 kg/hm ² (播种量)		颗粒饱满、无病虫害	直播	192 kg

表 4 弃渣场表面刺槐种植技术和时间

项目	时间	方式	规格和要求
整地	春、秋季	坑穴	穴径 0.6 m × 0.6 m,
种植	4—10 月	栽植、撒播	播深 2.0 cm
抚育	栽植后第 1, 2 a	松土、除草	栽后浇水

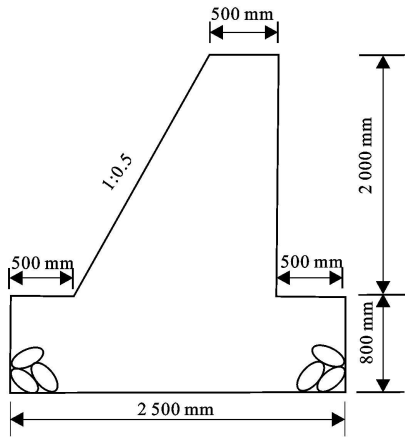


图 1 挡渣墙剖面图

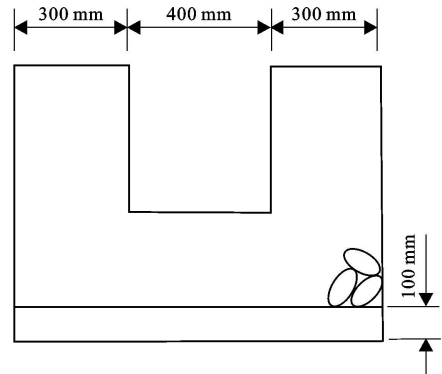


图 2 排水沟断面图

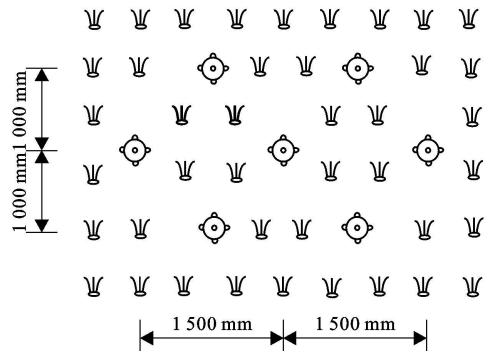


图 3 弃渣场乔草结合绿化图式

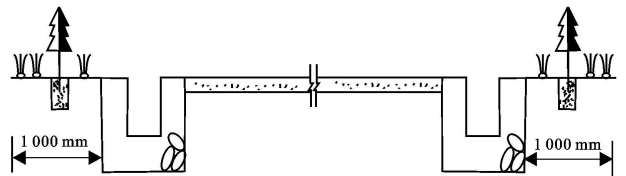


图 4 上坝公路剖面示意图

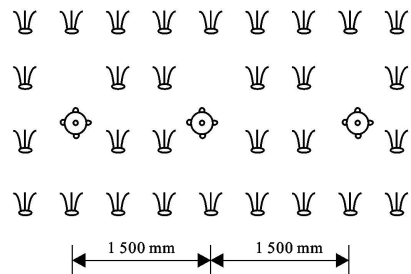


图 5 上坝公路两侧乔草结合绿化图式

(5) 上坝公路水土保持防治措施。初步设计在场地施工道路及上坝公路两侧布设临时排水沟, 排泄场地雨水及施工废水。临时排水沟采用人工修筑, 坡降不小于 3%, 断面采用矩形, 底宽 0.4 m, 高 0.4 m, 土工布铺设 (见图 4)。施工结束后, 回收土工布, 填筑排水沟。经研究分析, 需修筑临时排水沟 1 500 m, 开挖土方量为 480 m³, 使用土工布 3 000 m²。施工结束后清理平整场地, 拟种植油松, 株行距 1.0 m × 1.5 m (图 5)。株行距间撒播苜蓿草, 恢复植被。草种按 30 kg/hm² 计, 考虑按 20% 的补植量, 共需草种 180 kg (表 5)。在施工便道区施工结束后清理场地, 撒播苜蓿草, 恢复植被。撒播草种按 30 kg/hm² 计, 考虑按 20% 的补植量, 共需草种 72 kg。上坝公路两侧乔草种植技术和时间与弃渣场的乔草种植技术和时间一致 (表 4)。

(6) 移民安置及专项迁建防治区。该区主要考虑修建排水设施、施工期间砂石料等临时防护以及安置区绿化, 在构建和谐社区的同时, 创建生态园林化小区。

表 5 上坝公路两侧乔草种植密度及需苗量

树草种	株距	每 1 km 定植数	苗龄及等级	种植方法	需苗量
油松	1.5 m	666	2 龄, 1 级	苗植	2 400 株
苜蓿	30 kg/hm ² (播种量)		颗粒饱满、无病虫害	直播	180 kg

3 结论

柏叶口水库建设以土地利用格局改变和一定数量的植被损耗为代价,对当地的原生态造成一定程度的破坏,并在短期内增加了水土流失量,造成局部土壤资源在工程建设期处于不平衡状态,区域自然体系的生态完整性受到影响。文章在分析预测了水库不同功能区水土流失特征、流失量的基础上,提出了以发挥生态自我修复能力加快植被恢复为主,建设水保工程为辅的分功能区治理方案。

(1) 柏叶口水库工程建设扰动原地貌、破坏植被、工程弃土、弃渣、损坏水土保持设施是各功能区地貌土壤侵蚀模数增大,新增水土流失的主要原因。

(2) 在水库枢纽区栽植油松、落叶松,乔木之间撒播苜蓿草种;在料场区撒播苜蓿草种;在弃渣区种植刺槐,株行间撒播苜蓿草种,并辅以修建拦渣工程。并在后期管理中精心培育和加快植被的恢复是有效控制水土流失,改善当地生态环境的经济上节约、技术上可行的方案。

[参 考 文 献]

- [1] 孙阁. 林地地表径流的研究[J]. 水土保持学报, 1989, 3(2): 52-55.
- [2] 张友静, 方有清. 森林对径流特征值影响初探[J]. 南京林业大学学报, 1996, 20(2): 34-38.
- [3] 张志强, 王礼先, 王盛萍. 中国森林水文学研究进展[J]. 中国水土保持科学, 2004, 2(2): 68-73.
- [4] 康玲玲, 王云璋, 刘雪, 等. 水土保持措施对土壤化学特性的影响[J]. 水土保持通报, 2003, 23(1): 46-48.
- [5] 王云琦, 王玉杰, 朱金兆. 森林与坡面产流研究[J]. 水土保持学报, 2004, 18(5): 59-63.
- [6] 康玲玲, 王云璋, 魏义长, 等. 黄土高原水土保持世行贷款项目实施后的林草覆盖度变化[J]. 水土保持学报, 2002, 16(5): 76-78.
- [7] 康玲玲, 吴卿, 王昌高, 等. 黄土丘陵沟壑区水土保持综合治理关键措施及其组合的研究[J]. 中国水土保持科学, 2003, 1(2): 71-75.
- [8] 金岚, 振堂, 朱秀丽. 环境生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 232-233.
- [9] 任海, 彭少麟, 陆宏芳. 退化生态系统恢复与恢复生态学[J]. 生态学报, 2004, 24(8): 1756-1764.
- [10] 孙新章, 谢高地, 成升魁, 等. 中国农田生产系统土壤保持功能及其经济价值[J]. 水土保持学报, 2005, 19(4): 156-157.
- [11] 李晶, 任志远. 陕北黄土高原土地利用变化对第一性生产生态服务功能价值的影响[J]. 生态学杂志, 2005, 24(9): 1029-1032.
- [12] 冉圣宏, 吕昌河, 贾克敬, 等. 基于生态服务价值的全国土地利用变化环境影响评价[J]. 环境科学, 2006, 27(10): 2139-2144.
- [13] 欧阳志云, 王效科. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究[J]. 生态学报, 1999, 19(5): 607-613.

(上接第228页)

- [6] Loomis J, Kent P, Strange L, et al. Measuring the total economic value of restoring ecosystem services in an impaired river basin: results from a contingent valuation survey[J]. *Ecological Economics*, 2000, 33(1): 103-117.
- [7] Lal P. Economic valuation of mangroves and decision-making in the Pacific[J]. *Ocean & Coastal Management*, 2003, 46(9): 823-844.
- [8] 肖寒, 欧阳志云. 森林生态系统服务功能及其生态经济价值评估初探[J]. *应用生态学报*, 2000, 11(4): 481-482.
- [9] 谢高地, 张镱锂, 鲁春霞, 等. 中国自然草地生态系统服务价值[J]. *自然资源学报*, 2001, 16(1): 47-53.