

# 东北低山丘陵区小流域水土流失防治措施的布设及效益评估

——以黑龙江省宁安市和盛小流域为例

李立新<sup>1</sup>, 陈英智<sup>1</sup>, 董景海<sup>2</sup>

(1. 黑龙江省水土保持科学研究院, 黑龙江 哈尔滨 150070; 2. 黑龙江省宁安市水务局, 黑龙江 宁安 157400)

**摘要:** [目的] 利用空间技术解析黑龙江省宁安市和盛小流域水土保持措施的布设, 为低山丘陵区小流域水土流失综合治理提供技术支持。[方法] 在实地调查和现场踏查基础上, 利用 ArcGIS 9.3 的空间分析功能, 结合土地利用图和谷歌遥感影像分析小流域土地利用随地形的空间分布数量信息, 并对水土流失治理效益进行评估。[结果] 根据分析结果确定该流域防治措施主要包括地埂植物带、保土耕作、侵蚀沟防护林、谷坊、生态修复、五孔涵过水路面桥和涵洞等, 治理效益显著。[结论] 和盛小流域水土流失综合治理项目经济内部收益率大于社会折现率, 经济净现值大于 0, 效益费用比大于 1, 工程采用的水土保持技术和方法符合国家和部门相关标准和技术规范, 切合当地实际, 可为同类地区水土流失治理借鉴。

**关键词:** GIS; 综合防治; 措施配置; 效益评估

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)01-0253-06

中图分类号: F061.6

文献参数: 李立新, 陈英智, 董景海. 东北低山丘陵区小流域水土流失防治措施的布设及效益评估[J]. 水土保持通报, 2016, 36(1): 253-258. DOI: 10.13961/j.cnki.stbetb.2016.01.045

## Construction and Benefit Evaluation of Soil Erosion Control in Small Watershed in Low Mountain and Hill Region of Northeast China — A Case Study in Hesheng Small Watershed of Ning'an City in Heilongjiang Province

LI Lixin<sup>1</sup>, CHEN Yingzhi<sup>1</sup>, DONG Jinghai<sup>2</sup>

(1. Heilongjiang Academy of Soil and Water Conservation, Harbin, Heilongjiang 150070, China;

2. Department of Water Resources, Ning'an City, Heilongjiang Province, Ning'an, Heilongjiang 157400, China)

**Abstract:** [Objective] This article analyzed the soil and water conservation measures of Hesheng watershed of Ning'an City in Heilongjiang Province in order to provide technical support for soil and water loss control in hilly area of northeast China. [Methods] Based on the field survey and investigation, land use map and google images, we analyzed the spatial distribution of land use in Hesheng watershed by using ArcGIS 9.3 spatial analysis function. The benefits of soil and water erosion control were evaluated. [Results] The soil erosion control measures in the watershed mainly included terrace plants, soil conservation, erosion ditch protective forest, check dam, ecological restoration, five-hole culvert waterway bridge and culvert. [Conclusion] The economic internal rate of return rate of soil erosion comprehensive treatment project in Hesheng watershed was greater than the social discount rate. Economic net present value was greater than 0, and the benefit-cost ratio was greater than 1. The project meets the requirements of the national standards, and can provide references for soil and water loss control in other regions.

**Keywords:** GIS; integrate control; measures setup; benefit evaluation

东北低山丘陵区地处东北腹地, 地跨吉林、黑龙江两省, 是中国东北商品粮基地的重要组成部分, 生态环境十分脆弱。东北低山丘陵区森林被采伐后, 当

地居民为了生存, 垦殖荒山, 获取收益。坡耕地坡度较大, 土层薄, 该区域降雨较为丰沛, 水土流失严重, 甚至发生泥石流, 降低农田生产力, 水土流失严重的地块

表土流失殆尽,荒废,成为东北黑土区水土流失的重灾区,被水利部列为东北黑土区重点治理区域之一。

本文以黑龙江省宁安市和盛小流域为研究对象,拟利用空间技术解析水土保持措施的布设并对其效益进行分析,对其他流域的治理具有借鉴意义<sup>[1-2]</sup>。

## 1 流域概况

### 1.1 自然状况

和盛小流域位于黑龙江省宁安市沙兰镇境内的低山丘陵区,距宁安市 70 km,流域内有和盛村西沟一个自然屯,该流域北连牡丹江军马场,东接沙兰镇和盛屯,西南以流域分水岭为界。流域地势西南高东北低,最高点高程 516.00 m,最低点高程 370.00 m,相对高差 146 m,地理坐标为东经 128°49′11″—128°52′8″,北纬 44°11′54″—44°14′9.654″,小流域总面积 1 538.08 hm<sup>2</sup>。气候属中温带大陆性气候,春季干旱多风,夏季炎热短促,降水集中,冬季寒冷漫长。7 月最热,极端最高气温 41℃,1 月份最冷,极端最低气温 -39.6℃,多年平均气温 3.5℃,≥10℃有效积温 2 600℃,日照时数为 2 675 h,无霜期 135 d,早霜一般出现在 9 月 10 日,终霜 4 月 25 日,蒸发量约在 1 200 mm,大风日数 20 d,最大风速 20 m/s,5 级以上大风占全年总次数的 42%,害风以西南和西北为多,其中西南大风为主害风,西北风为次害风,多年平均降雨量 570 mm,最大年降雨量为 620 mm,最小年降雨量 410 mm,降雨集中在 6—9 月,占年降雨量的 70%。

土壤类型以沙质暗棕壤为主,土质疏松,团粒结构差,极易产生水土流失。坡顶和坡面主要是沙质暗棕壤和白浆土,大部分侵蚀沟切入基岩,成土母质大部分为风化岩,在沿河低洼地存有黑土和草甸土。植被主要有少量天然次生林和人工林,人工林中乔木树种主要是以杨树、落叶松、樟子松为主,灌木主要树种为柳条、胡枝子,林草覆盖率为 30.83%。

### 1.2 社会经济状况

小流域属宁安市沙兰镇和盛村,人口 3 548 人,农业人口 3 522 人。农业劳力 2 040 人,人口密度 230.68 人/km<sup>2</sup>。2013 年,农村各业产值 3.57×10<sup>7</sup> 元,其中农业产值 2.00×10<sup>7</sup> 元,牧业产值 1.89×10<sup>6</sup> 元,其他收入 1.38×10<sup>7</sup> 元。人均纯年收入 5 637 元。

### 1.3 水土流失及防治现状

1.3.1 水土流失成因 和盛小流域水土流失的成因概括起来分为自然和人为两个方面。

自然因素:降雨是土壤侵蚀的直接外营力,小流

域多年年平均降水量为 570 mm,5 年一遇 6 h 最大降雨量 73 mm,10 年一遇 6 h 最大降雨量 106 mm,降雨集中,分配不均,多集中在 6—9 月。此时降雨历时短,强度大,形成地表径流,发生面蚀和沟蚀。地貌为低山丘陵,地面起伏较大,微地形复杂,易产生径流洪水。土壤主要为沙质暗棕壤,另有小面积的白浆土、草甸土和黑土。土质疏松,团粒结构差,表土层薄,在大雨、暴雨条件下,极易被地表径流所分散和冲刷,产生水土流失。林地主要是人工林和次生林,面积小,覆被率低,林分质量差,由于垦殖指数高,缺少林草庇护,水土流失十分严重。

人为因素:人为不合理的生产建设活动,是加剧水土流失的主导因素。由于历史原因,乱砍滥伐、毁林开荒、陡坡开荒、小流域内林地面积在几十年内急剧减少,树木零星分布,局部地方全是稀疏林和幼林,大多数地方没有林草覆盖,成土母质裸露,水土流失严重。耕地比例大,占总面积的 63.38%,坡耕地比例大,3°以上坡耕地 189.29 hm<sup>2</sup>,占耕地总面积的 38.13%,在相同条件下,坡长坡陡,降雨极易形成径流,从而导致冲刷增强,土壤侵蚀加重。

1.3.2 水土流失危害 和盛小流域水土流失特别严重,随着侵蚀沟的不断加长、加深、加宽破坏耕地、水土流失沟蚀破坏耕地地面的完整,土壤中的氮、磷、钾、有机质等养份流失,造成土地日益瘠薄,田间持水能力降低,使得粮食产量下降,农民收入降低,农民深受水土流失之害。其中一条侵蚀沟直通和盛村内,雨季水携沙土直冲而下,威胁村屯的安全。

2005 年 6 月 10 日下午 2 时许,黑龙江省宁安市沙兰镇沙兰河上游局部地区突降 200 年一遇的特大暴雨,引发特大山洪,坡面受到强烈冲刷,大量水土流失。河水满堤淹没了沙兰镇中心小学和大量民房,因而造成了重大人员伤亡和财产损失。该小流域汇流作为沙兰河二支流之一,对沙兰河洪灾形成起到较为重要的作用。

1.3.3 水土流失防治情况 近年来,随着国家和地方各级政府的积极努力,群众逐渐对水土流失危害和水土保持工作的重要性有了一定的认识,水土流失防治工作逐步开展起来。但由于受资金限制,到目前为止,流域内水土流失 30.8 hm<sup>2</sup>,治理程度仅为 2.63%。

## 2 基于 GIS 对小流域的分析

### 2.1 资料收集

收集资料包括:① 宁安市沙兰镇 1:10 000 地形图;② 第二次全国土地调查宁安市沙兰镇 1:10 000

土地利用现状图;③ 谷歌遥感影像图;④ 《宁安市十年水土保持规划》。

## 2.2 分析方法

利用地形图和土地利用现状图,通过 GIS 的空间分析功能,结合已经配准校正的遥感影像图,再根据目视判读法对影像进行分析,得到土地利用分布情况。

以宁安市 1:10 000 的地形图为基础,结合谷歌地球遥感影像数据及土壤侵蚀数据,在 ArcGIS 软件下完成遥感影像的精确校正、配准和增强处理;结合实际调查,建立目视解译判读标志,在 ArcGIS 中对遥感影像进行矢量化提取,得到土地利用类型分

布图,土壤侵蚀类型及分布图。经过 3 D 分析,建立 TIN,得到各地块坡度,结合土地利用现状,布署治理措施<sup>[3-7]</sup>。

## 2.3 分析结果

根据土地利用现状图和谷歌遥感影像,并结合实地踏查,经过辨读得出小流域土地利用的空间分布情况。和盛小流域总面积 1 538.08 hm<sup>2</sup>,其中耕地用地 974.87 hm<sup>2</sup>,林业用地 330.46 hm<sup>2</sup>,草地用地 143.71 hm<sup>2</sup>,水域用地 27.47 hm<sup>2</sup>,滩涂用地 28.84 hm<sup>2</sup>,其他用地 32.73 hm<sup>2</sup>。

和盛小流域总面积 1 538.08 hm<sup>2</sup>,土地坡度组成情况见表 1,耕地坡度组成见表 2。

表 1 和盛小流域土地坡度组成

坡度/(°)	≤3	3~5	5~8	8~15	>15	合计
面积/hm <sup>2</sup>	847.03	225.37	129.96	334.82	0.91	1 538.08
比例/%	55.07	14.65	8.45	21.77	0.06	100.00

表 2 和盛小流域耕地坡度组成

坡度/(°)	≤1.5	1.5~3	3~5	5~8	8~15	>15	合计
面积/hm <sup>2</sup>	125.95	465.30	209.59	108.89	65.14	0	974.87
比例/%	12.92	47.73	21.50	11.17	6.68	0	100.00

土壤侵蚀模数的核定:根据《黑土区水土流失综合防治技术标准》(SL446-2009)土壤侵蚀强度分级标准表、坡耕地土壤侵蚀强度判别指标表、荒山荒坡面蚀强度判别指标表、沟蚀强度判别指标表,逐地块提取侵蚀图斑背景要素,对侵蚀模数判别、计算,和盛小流域水土流失面积 1 170.72 hm<sup>2</sup>,其中轻度 784.22 hm<sup>2</sup>,中度 67.76 hm<sup>2</sup>,强烈 175.43 hm<sup>2</sup>,极强烈 140.48 hm<sup>2</sup>,剧烈 2.83 hm<sup>2</sup>。年土壤侵蚀量 2.77×10<sup>4</sup> t,侵蚀模数 1 800 t/(km<sup>2</sup>·a)。侵蚀沟 8 条,占地 2.83 hm<sup>2</sup>,沟壑密度 0.11 km/km<sup>2</sup>,水土流失主要类型为水蚀。

## 3 治理措施布设<sup>[8-11]</sup>

根据 GIS 对和盛小流域分析结果,本着预防为主、全面规划、长效治理、抓水保重效益、突出重点、坚持可持续发展的原则。防治措施安排突出以沟道治理、坡面治理和封育治理为主。工程、林草、耕作措施并举,经济、生态、社会效益兼顾,因地制宜、因害设防地安排工程措施。和盛小流域水土流失防治措施主要包括地埂植物带、保土耕作、侵蚀沟防护林、谷坊、生态修复、五孔涵过水路面桥和涵洞等。

### 3.1 林地治理措施

在坡顶部对现有的天然林及人工林进行全面保

护,进行封山育林。提高林地覆被率,增强保水保土和抗蚀能力。对灌木林地、疏林地和未成林造林地实施封育治理,充分发挥大自然的力量,依靠生态自我修复能力,加快水土流失治理步伐,封育治理区周围要求插牌定界,并订立相关的政策和制度,明确专人管理。生态修复面积 268.93 hm<sup>2</sup>,工程围栏 3.00 km,封育宣传牌 8 块。

### 3.2 坡耕地治理措施

在坡中部大于 5°的坡耕地,按照“看山形,定垄向;看土质,定坡降;看坡度,定田宽”的原则修筑地埂,耕作时向下翻土,逐步使田面水平,达到截短坡长,拦截径流,降低坡度的目的,并利用植物固埂,固埂植物为优良保土经济植物刺五加,地埂控制面积为:341.12 hm<sup>2</sup>,地埂占地 14.21 hm<sup>2</sup>。在坡中下部小于 5°的坡耕地采取保土耕作,截短坡长,分割水势。保土耕作面积为:509.61 hm<sup>2</sup>。

3.2.1 地埂设计 地埂是在坡耕地上沿横坡垄向等距培修的土埂,其水土保持作用在于截短坡长,拦截水势,截断径流,有效防止坡耕地漫垄面蚀和断垄出沟的发生,初步控制水土流失。土层厚度为 20 cm。

(1) 典型地块立地条件。地块号 14 号,坡度 5.0°,侵蚀程度为强烈,面积 1.38 hm<sup>2</sup>。

(2) 设计标准。地埂断面尺寸与埂间距采用定型设计,根据流域气候地理条件、坡形坡面特征,结合当地治理经验综合确定。

① 地埂间距确定<sup>[1]</sup>,地埂间距应保证其埂间坡面不发生土壤侵蚀为设计原则。理论推算以黑龙江水土流失方程为依据,结合黑土允许土壤流失量阈值及相关侵蚀背景因子的试验观测值分析确定。参照《土壤侵蚀分级分类标准》,允许土壤侵蚀量取 2 t/(hm<sup>2</sup>·a)。土壤流失方程的数学表达为:

$$A=R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (1)$$

式中: $A$ ——土壤侵蚀量〔取 2 t/(hm<sup>2</sup>·a)〕; $R$ ——降雨侵蚀力; $K$ ——土壤可蚀性; $C$ ——植被因子; $P$ ——土壤侵蚀控制措施因子。

② 坡度坡长因子计算公式为:

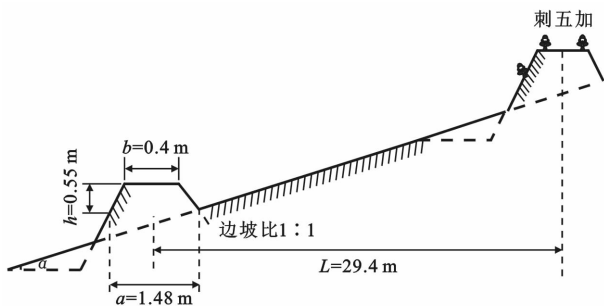
$$LS=0.0719L^{0.18}\theta^{1.3} \quad (2)$$

式中: $L$ ——坡长因子; $S$ ——坡度因子; $\theta$ ——坡面角度(°)。

则临界坡长数学公式为:

$$L=\{A/(R \cdot K \cdot C \cdot P \times 0.0719 \times \theta^{1.3})\}^{1/0.18} m \quad (3)$$

地埂间距按机耕播幅倍数结合当地治理经验取 29.4 m(42 条垄距),土埂规格参照坡式梯田埂坎设计<sup>[2]</sup>:上宽  $b=0.4$  m,下宽  $a=1.48$  m,埂高  $h=0.55$  m。地埂纵剖面设计如图 1 所示。



注: $L$ 为上下两埂间的水平距离。

图 1 地埂纵剖面设计图

③ 每 1 hm<sup>2</sup> 地埂长度:

$$M=10\ 000/(29.4+1.48)=324\text{ m}$$

每 1 hm<sup>2</sup> 土方量:

$$V=1/2(a+b) \cdot h \cdot M \quad (4)$$

式中: $V$ ——每 1 hm<sup>2</sup> 土方量(m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>); $a$ ——土埂下宽,取 1.48 m; $b$ ——土埂上宽,取 0.4 m; $h$ ——土埂高度,取 0.55 m; $M$ ——每 1 hm<sup>2</sup> 地埂长度。

(3) 施工方法。地埂植物带修筑采用人机结合,埂上取土修筑方法,其施工程序为:表土剥离<sup>[1]</sup>:对地埂作业区沿埂坎走向实施表土带状剥离,剥离宽度 3.0 m(包括埂宽 2.1 m,埂上取土宽 0.9 m),剥离深度 0.3~0.5 m(视黑土层厚度而定)。剥离的表土集

中堆置在埂坎下方待用;人机筑埂<sup>[2]</sup>:首先拖拉机牵引筑埂犁由埂线下方方向上翻土,返回时上方方向下翻土,再空走一趟,单轨压埂。然后再人工修整,直到基本达到设计埂高,此法修筑时在埂线上方形成蓄水沟,可增加地埂拦蓄能力,故运用于坡面径流较大的坡耕地;表土还原<sup>[3]</sup>:将堆置表土均匀平覆在埂表面及埂上取土区,恢复原有的土地功能,对埂坎进行人工整形踏实,完成筑埂;植物固埂<sup>[4]</sup>:参照植物措施的造林方法栽植固埂植物,选择根系发达的刺五加等优良水土保持灌木树种;修筑地中埂时<sup>[5]</sup>,遇到水线或洼兜时,埂子适当加高,踩拍实成。修筑方法最好采用埂上方取土法,结合耕作时向下翻土,减缓坡高。

3.2.2 保土耕作设计 沿等高线或垂直坡向进行横坡耕作,施工采用农用机具耕翻再进行横坡耕作,形成新的横坡垄;施工时应根据不同地形、土质坡度等条件,遵循宜横则横,宜斜则斜,大弯就势,小弯取直,保水保土保肥,便于机耕作业的原则,一面坡地改为横坡垄,线搭子地改为月牙垄,馒头地改为转山垄。坡地垄距一般为 55~70 cm;凡土质黏重,透水性差的坡耕地,垄底比降为 3%~5%,反之,垄底比降定为 2%~3%。

### 3.3 沟壑治理措施

在坡下部对侵蚀沟实行谷坊和防护林治理。和盛小流域有侵蚀沟 8 条,全部是发展沟。发展沟即是发展性侵蚀沟,指侵蚀沟无植被覆盖,沟底可继续下切,及两岸可坍塌扩张,主要分布在坡耕地中。根据侵蚀沟特点和当地成功治理经验,确定侵蚀沟治理在沟底修浆砌石谷坊,并营造侵蚀沟防护林。谷坊和跌水的修建,能够稳定沟头,保证沟底不下切,两岸不扩张,待侵蚀沟防护林成林后,能够基本控制沟道水土流失。根据投资及当地实际情况,设计侵蚀沟防护林 2.83 hm<sup>2</sup>,浆砌石谷坊 96 座,沟头跌水 8 处。

### 3.4 其他治理措施

(1) 作业路。流域原有道路较差的地方,在原有农道基础上,整修作业路 3.86 km,路面整平,用黄粘沙铺筑路面,路两侧挖排水沟,营造护路林稳定路肩。

(2) 水土保持综合治理宣传碑。为宣传水土保持工程的公益性特点,提高群众对水保的认识,铭记水土保持工程的历史地位及影响,于流域入口处设小流域水土保持综合治理宣传碑 1 座。结构型式采取砌石碑座、砌砖碑体,碑文水泥凸刻,红字。

(3) 沙兰河与作业路交叉口处设五孔涵过水路面桥 1 处,作业路与沟道交叉处修涵洞 4 座。到 2015 年末治理水土流失面积 1 138.71 hm<sup>2</sup>,治理程度新增 97.27%。达到 99.90%。

### 3.5 投资

工程投资概算由工程措施、植物措施、封育治理措施、独立费用和基本预备费组成。

工程措施包括坡耕地治理工程、沟道工程、其他工程和宣传碑组成;植物措施包括水土保持造林工程、水土保持种草工程、补植补种及抚育管理费用。其中水土保持造林工程包括整地费、栽植费和苗木费;封育治理措施包括拦护措施(砼桩刺铁丝围栏)和管护;独立费用包括建设管理费(经常费和技术支持费)、建设监理费、勘察设计费(科研费和设计费)、水土保持监测费等。

取费标准:各项措施人工单价为 5.71 元/工时。材料主要包括:水泥、木材、钢材、柴油、石料、砂、砖、苗木、草种等。材料价格根据项目的市场价格确定。

主要材料单价:汽油:9 495.52 元/t,柴油 8 648.92 元/t,块石 151.32 元/m<sup>3</sup>,卵石 96.48 元/t,碎石 151.32 元/m<sup>3</sup>,水泥 586.50 元/t,砂子:95.03 元/m<sup>3</sup>。

投资价格水平年 2014 年第二季度,设计水平年为 2019 年。工程建设静态总投资  $5.62 \times 10^6$  元,其中工程措施投资  $3.54 \times 10^6$  元,植物措施投资  $1.35 \times 10^6$  元,生态修复投资  $1.11 \times 10^5$  元,独立费用  $4.55 \times 10^5$  元(包括建设管理费、工程建设监理费、勘察设计费和水土保持监测费),预备费  $1.64 \times 10^5$  元。

## 4 效益评估

实施和盛小流域水土保持工程,治理水土流失,改善了小流域生态环境,减少河流泥沙灾害,涵养了水源,保持了地力,提高了土地资源利用率,增加了粮食产量,调整了农业产业结构。可产生的效益是多方面的,主要包括经济效益、生态效益和社会效益。

### 4.1 生态效益<sup>[12]</sup>

小流域进行山水田林路综合治理,形成水土保持防护体系,地面小气候明显改善,水土流失大为减轻,提高了小流域减灾御害的能力,随着水保措施的有序实施,坡耕地土壤侵蚀被有效控制,基本农田面积逐年扩大,为农业可持续发展奠定了坚实基础。在改良土壤理化性能方面,各项措施也发挥了巨大作用,结合工程措施、林草措施治理水土流失,使土壤养分及土体结构得以保蓄和逐年改善,小流域的生态平衡机制重新转入正轨。

### 4.2 社会效益<sup>[9-11]</sup>

经过对小流域的水土流失综合治理,不仅能够给流域内带来直接的经济效益和生态效益,而且也将产生不可忽视的社会效益。首先,通过工程的实施流域内的产业结构合理调整,必然会增加当地群众的劳动

就业机会,同时也提高了当地农民的生活水平;其次,和盛小流域水土保持工程的实施,还可以减轻水土流失对土地的破坏,实现土地资源的永续利用;减轻沟道、河流的洪水危害,使流域内的土地和居民免受洪涝灾害;增加土壤入渗,减少坡面径流,变山洪为常流水,调节径流量,使流域群众能够较好地利用水土资源。

### 4.3 经济效益<sup>[9-11]</sup>

水土保持经济效益包括各项水土保持措施实施后所增产的粮食、封育治理和造林增产木材、燃料等收入,间接经济效益,包括增加的各类产品就地加工增值和各项措施节约的土地、劳力等折算的经济效益。直接效益增产参数根据水保科研资料与同类型区调查数据综合分析确定,产品价格比照当地近年市场价格确定。

(1) 单位面积年增产量与年增产值的计算。

① 产品的增产量:

$$\Delta p = p_a - p_b \quad (5)$$

式中: $\Delta p$ ——该项措施实施后每年单位面积增产量(kg/hm<sup>2</sup>); $p_a$ ——该项措施实施后每年单位面积产量(kg/hm<sup>2</sup>); $p_b$ ——该项措施实施前每年单位面积产量(kg/hm<sup>2</sup>)

② 年毛增产值:

$$z = y \Delta p = y(p_a - p_b) \quad (6)$$

式中: $z$ ——该项措施实施后每年单位面积毛增产值(元/hm<sup>2</sup>); $y$ ——上述措施的产品单价(元/kg)。

③ 年净增产值:

$$j = z - \Delta u = z - (u_a - u_b) \quad (7)$$

式中: $j$ ——该项措施实施后每年单位面积净增产值(元/hm<sup>2</sup>); $\Delta u$ ——该项措施实施后单位面积年增加的生产费用(元/hm<sup>2</sup>); $u_a$ ——该项措施实施后单位面积年生产费用(元/hm<sup>2</sup>); $u_b$ ——该项措施实施前单位面积年生产费用(元/hm<sup>2</sup>)

根据现有的科研成果和实测资料,确定各项措施的增产参数,以单项措施的增产量和增产值为计算基础,将单项措施得出的经济效益相加进行统计。各项措施的经济效益参数详见表 3。

(2) 措施全部生效的年增产量与年增产值。措施保存率按 100% 计算,则本设计措施全部生效时,其有效面积( $F_e$ )与实施面积( $F$ )一致,采取公式  $F_e = F$  计算。

① 措施全部生效时,年增产量:

$$P_t = F_e \cdot \Delta P \quad (8)$$

式中: $P_t$ ——年增产量(kg, m<sup>3</sup>); $F_e$ ——措施全部生效年有效面积(hm<sup>2</sup>); $\Delta P$ ——单位面积增产量(kg/hm<sup>2</sup>, m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>)

② 年净增产值:

$$J_t = F_e \cdot \Delta J \quad (9)$$

式中:  $J_t$ ——年净增产值(元);  $F_e$ ——措施全部生效

年有效面积( $\text{hm}^2$ );  $\Delta J$ ——单位面积净增产值( $\text{元}/\text{hm}^2$ )。

表 3 和盛小流域水土保持工程经济效益参数

项目	保土耕作	固沟林	封山育林	地埂	
	粮食	紫穗槐	活立木	粮食	刺五加
时间/a	2	4	5	2	4
增产	100.5/( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	12 000/( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	2.25/( $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ )	225/( $\text{元} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	7 500/( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )
项目	粮食	枝条	活立木	粮食	枝条
单价	1.8/( $\text{元} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	0.2/( $\text{元} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	1600/( $\text{元} \cdot \text{m}^{-3}$ )	1.8/( $\text{元} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	3/( $\text{元} \cdot \text{kg}^{-1}$ )

(3) 措施全部生效时累计增产量与累计增产值的计算。

① 措施全部生效时累计有效面积:

$$F_{vr} = \sum_{i=1}^n (n+1-i) f_i \quad (10)$$

式中:  $F_{vr}$ ——措施全部生效时累计有效面积( $\text{hm}^2$ );  $f_i$ ——第  $i$  年增加实施保存面积( $\text{hm}^2$ );  $n$ ——措施实施时间(a)。下同。

② 措施全部生效时累计增产量与累计增产值:

$$\text{累计增产量: } P_{vr} = F_{vr} \Delta p \quad (11)$$

$$\text{累计毛增产值: } Z_{vr} = F_{vr} z \quad (12)$$

$$\text{累计净增产值: } J_{vr} = F_{vr} j \quad (13)$$

据计算,到所有措施全部生效时,每年可产生效益  $1.53 \times 10^6$  元。其中地埂增产粮食为  $7.68 \text{ kg}$ ,效益  $1.38 \times 10^5$  元;保土耕作增产粮食  $5.12 \times 10^4 \text{ kg}$ ,效益为  $9.22 \times 10^4$  元;沟灌木产量  $3.40 \times 10^4 \text{ kg}$ ,效益为  $6 800$  元。埂灌木产量  $1.07 \times 10^5 \text{ kg}$ ,效益  $3.20 \times 10^5$  元。到 2034 年累计效益为  $2.51 \times 10^7$  元。效益费用比为 2.06,投资回收年为 9.32 a。

## 5 结论

经计算,和盛小流域水土保持工程实施后,经济内部收益率大于社会折现率,说明该工程对国民经济的净贡献超过了要求水平,在经济上是可以接受的;经济净现值大于 0,表示建设项目投入后,在得到符合社会折现率的社会盈余外,还可以得到以现值计算的超额社会盈余;效益费用比大于 1,也说明经济上的合理性。通过上述 3 个方面的分析,说明该项目在经济上是合理可行的。工程采用的水土保持技术和方法符合国家和部门相关标准和技术规范,切合当地实际,在技术上是可行的。和盛小流域水土保持生态建设工程的实施,不仅可以改善该流域农业生产条件

和生态环境、减轻自然灾害,实现粮食增产、农民增收,还可以促进该流域经济发展,为实现农业生产可持续发展打下坚实基础。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 张少良,刘威,张兴义,等.黑土区典型小流域土壤侵蚀空间格局模拟研究[J].水土保持通报,2013,33(4):224-227.
- [2] 李立新.基于 GIS 的聂家河小流域坡面治理动态监测[J].中国水土保持,2012(8):36-37.
- [3] 李旭颖,郭忠华,曹泽民,等.基于 GIS 的土地利用评价[J].价值工程,2014(33):205-206.
- [4] 胡静波,陈永晶,白延玲.基于 GIS 数据转换在专题地图制作中的应用方法研究[J].测绘与空间地理信息,2014(10):164-165.
- [5] 冯晓娟,雷国平,张慧,等.基于 GIS 的前哨农场耕地地力评价[J].水土保持研究,2014,21(1):202-206.
- [6] 郑国权,张晓远,刘协亭.基于 GIS 的广东省水土流失潜在危险度评价[J].水土保持通报,2014,34(2):145-147.
- [7] 鹿晨昱,张琳,薛冰,等.基于 GIS 的太原市土壤侵蚀定量研究[J].水土保持通报,2013,33(6):247-251.
- [8] 李立新,陈英智.东北低山丘陵区土地资源评价和水土保持生态建设[J].水土保持通报,2004,24(4):85-87.
- [9] 李立新.东北黑土区水土流失综合防治模式及效益分析[J].水土保持通报,2009,29(3):225-228.
- [10] 李立新,陈英智,董景海,等.论宁安市卧龙项目区水土保持防治措施布局[J].中国水土保持,2011(1):22-23.
- [11] 中华人民共和国水利部.黑土区水土流失综合防治技术标准(SL446-2009)[S].北京:中国水利水电出版社,2009.
- [12] 中华人民共和国水利部.中华人民共和国国家标准 水土保持综合治理 技术规范 水土保持综合治理效益计算方法[S].GB/T15774-2008.北京:中国标准出版社,2009.