富平石川河的生态修复

魏 静[1,2,3,4] 王欢元[1,2,3,4*] 孙增慧[1,2,3,4] 张 露[1,2,3,4]

([1]陕西省土地工程建设集团有限责任公司, 西安 710075; [2]陕西地建土地工程技术研究院有限责任公司, 西安 710075; [3]自然资源部退化及未利用土地整治重点实验室, 西安 710075; [4]陕西省土地整治工程技术研究中心, 西安 710075)

摘 要 自国家提出构建山水林田湖草生命共同体以来,已启动第三批山水林田湖草生态保护修复工程试点申报,但一些工程设计缺乏整体性,造成“真破坏”和“伪生态”的现象时有发生。本研究以石川河综合整治项目为例,针对石川河乱采乱挖河道砂石,工业污染,附近村民焚烧垃圾造成气、水和土污染极其严重,生态、人居环境持续恶化,鱼虾绝迹,污水横流,垃圾成堆等问题,采用重建生态河道、恢复生态、景观重塑、土地平整、PE 复合土工膜、土壤修复等技术构建山水林田湖草生命共同体,并分析了生态、经济和社会效益,通过项目实施,为石川河流域提供了洁净的土壤环境、稳定的土体结构,有效改善了生态环境,提高了生活质量,实现生产发展、生态良好,不断满足社会发展建设美丽乡村的需要,同时为构建流域山水林田湖草生命共同体提供理论依据和实践支撑。

关键词 生态河道; 生态恢复; 土体有机重构; 景观重塑

Ecological restoration of Shichuan River in Fuping. WEI Jing[1,2,3,4], WANG Huan-yuan[1,2,3,4*], SUN Zeng-hui[1,2,3,4], ZHANG Lu[1,2,3,4] ([1]*Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group Co., Ltd., Xi'an* 710075, *China*; [2] *Institute of Land Engineering and Technology, Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group Co., Ltd., Xi'an* 710075, *China*; [3] *Key Laboratory of Degraded and Unused Land Consolidation Engineering, the Ministry of Natural Resources, Xi'an* 710075, *China*; [4] *Shaanxi Provincial Land Consolidation Engineering Technology Research Center, Xi'an* 710075, *China*).

Abstract: Since China proposed the construction of the “mountains-rivers-forests-farmlands-lakes-grasslands” community of shared life, the third batch of ecological protection and restoration project has been launched. However, some engineering designs lack integrity, resulting in “true destruction” and “pseudo-ecology” phenomena. Taking the Shichuan River comprehensive improvement project as an example, this study focused on the environmental problems, including the excavation of river sand and gravel in the Shichuan River, industrial pollution, and the pollution of gas, water and soil caused by the burning of garbage by the nearby villagers. The ecological and living environment continued to deteriorate, and the fish and shrimp gone extinction, polluted water and garbage were widely distributed. The techniques of reconstructing ecological river channels, restoring ecology, reshaping landscape, land leveling, PE composite geomembrane, and soil remediation were applied to construct a community of shared life. We also analyzed the ecological, economic and social benefits. The implementation of the project provided clean soil and stable soil structure for the Shichuan River, effectively improved the environment, enhanced the quality of life, achieved production development and good ecology, and continuously met the needs of social development and construction of beautiful villages. It provided theoretical basis and practical support for constructing the watershed-level community of shared life.

Key words: ecological river; ecological restoration; soil organic refactoring; landscape remaking.

国家重点研发计划项目(2017YFC0504705)、陕西省重点科技创新团队计划项目(2016KCT-23)和陕西省土地工程建设集团有限责任公司内部科研项目(DJNY2019-27)资助。
收稿日期: 2018-11-02 接受日期: 2019-03-29
*通讯作者 E-mail: 181073033@qq.com

土地资源作为不可再生资源,担负着人类生存和发展的重任。全球工业化发展和过度开发利用自然资源引发了人地矛盾、环境恶化、生态危机等突出问题,已对粮食安全、土地生态文明等构成了严重威胁。为缓解矛盾,保护粮食安全,亟需进行土地生态修复。构建山水林田湖草生命共同体是实现人与自然和谐发展的重要举措和具体体现(黄贤金,2016),这需要理念创新、制度建设、工程技术研发和资金支持(宇振荣等,2017),而科技创新需开展基础、技术研究,并进行示范应用(单卫东,2018)。

目前,我国构建山水林田湖草生命共同体主要停留在理论探讨研究阶段(常国梁等,2018;黄淼,2018;孔登魁等,2018;林平等,2018;邹长新等,2018),虽有工程案例借鉴(陈艳华等,2017;杨新民,2017;王波等,2017,2018;蒋兴国等,2018),但尚未形成统一的标准或办法规范工程建设,试点地区良莠不齐,一些工程缺乏整体性设计,造成"真破坏"和"伪生态"的现象时有发生。本研究以石川河山水林田湖草综合整治项目为例,结合土体有机重构理念(韩霁昌等,2016),从项目规划、工程研究方法与技术、项目效益分析三方面阐述构建山水林田湖草生命共同体的理论与实践经验,以期为开展山水林田湖草生命共同体建设提供借鉴。

1 研究区概况

石川河是渭河一级支流,发源于铜川市耀州区与旬邑县交界的长蛇岭及南沟梁,由漆水河、沮水河在富平与耀州区交界处汇流而成,从富平县西北部梅家坪镇岔口村流入。石川河富平县内长 36.4 km,左右岸为黄土台塬,河床基本为天然河槽,无护岸、丁坝等控导工程,河床宽 300~1000 m,主河槽宽 50~70 m,河床平均比降约 6%,地层岩性主要为冲洪积砂卵石;漫滩高于河床 2~3 m,表层为冲洪积壤土,土层厚 3~5 m。20 世纪 60 年代,石川河长期有水,能够满足附近村民日常生产生活用水。70 年代初,河堤边草长莺飞,素有"小江南"之称。1976 年,上游修建水库造成石川河逐渐断流,只有汛期水库泄洪后才会有水。90 年代,砂石场盛行,乱采滥挖,石川河逐渐干涸,而后又因疏于管理和工业污染等问题,工业废水、生活污水等污染物直接排放,河道污水横流,造成土壤水和浅层地下水污染;工业、生活和建筑垃圾成山,对土体质量造成了严重影响;附近村民焚烧垃圾,造成空气质量恶化,使得水、土和气污染非常严重,生态、人居环境持续恶化(王戈华等,2016),针对此情况,在富平县金龙大桥两侧,东西长约 2.2 km,占地约 133.3 hm^2的范围内开展山水林田湖草综合整治,项目投资总计 5.6 亿元,采用 BT 模式,经过 3 年建设,建成了 2.2 km 生态河道、42 hm^2河岸景观绿化带、滨河景观公园以及两岸地方市政路(薛亮,2018)。

2 项目规划

项目坚持高标准、高起点、高水平、高要求规划,采用"一心两翼一带"的结构布局:"一心"指造景形成的水边绿岛结合北侧住宅区中的景观轴;"两翼"指中心区的东西两个区域,西区以绿植乔木为主,并在乔木中穿插有健身活动场地,东区在滨水景观带中加入下沉演艺广场、铜鼎广场、石川绿岛、儿童乐园、绿篱迷宫、水车及亲水平台等;"一带"指链接西区中心、东区的游览主线。道路设计遵循城市规划要求,密度合理,层级分明,绿化景观遵循"点、线、面"原则,建筑物由低到高沿石川河流向布置,如图 1 所示。

3 工程研究方法与技术

通过深入学习相关理论知识,收集整理专家学者对流域整治的研究和实践,了解流域整治相关经验,经过实地调研、室内实验分析等方法,整理石川河山水林田湖草生命共同体研究内容与技术。

3.1 生态河道工程研究

城市河道生态系统为人类社会提供了多种资源与生态服务(左倬等,2012)。生态河道是由水、土、气及其中的动植物、微生物等要素组成的生命系统。各要素需进行复杂的物质、能量等交换,它们相互依存、不可分割,构成一个有机整体,从而保持河流的健康、可持续发展,使河流的生态功能得到充分发挥



图 1 石川河山水林田湖草综合整治项目总体平面图
Fig.1 Overall plan figure of Shichuan River improvement project

(姚云鹏等,2007):遮蔽水体、维持氧平衡,防止水体富营养化,保持岸坡较强的渗透性,使水体、岸坡成为有机整体,从而保证生态流、物流、能流顺利流通。

建设生态河道须利用河道的自然恢复能力,尽量保护和恢复自然河道原始状态,避免简单地裁弯取直和规则化断面。根据生态学原理,对自然河流进行模拟,建设蜿蜒曲折、纵横交错、河湖相连、深潭浅滩相间的多样性河道。在生态河道建设过程中,应充分考虑所用材料与周边环境的协调,就近取材,尽可能保留河道原有的生态要素,以节省成本并防止外来物种入侵(张龙等,2008;石瑞花,2008;王冬利等,2011;赵鹏程等,2011)。本文河道工程研究主要包括水利模式、拦水工程、河床工程、护坡工程四方面。

3.1.1 水利模式　首先是建设完善防洪工程体系,按"堤库结合、以泄为主、泄蓄兼施"的方针(中华人民共和国中央人民政府,2007),采取"上蓄、中防、下泄"的工程措施,在水安全措施的前提下,应根据区域河流、气候保护的特点,达到科研、规划、设计、施工四个环节相统一。其次,以人水和谐共处为指导思想,将控制洪水转变为管理洪水,同时探索对部分雨洪进行资源化利用的有效途径。最后,逐步建立水安全防御系统。该系统应具有采集信息、安全预警、过滤分析和决策支持等功能,涵盖水危机管理过程预防、控制和急救处理。预警功能主要包括收集、传递、整理和判断水文、潮汐、气象、水质评价、地理和社会信息。分析功能主要采用机理法和统计学方法,运用数学模型进行情景分析。决策功能是在情景分析的基础上,根据自己的能力,拟定防御措施,为决策提供参考(郑晓阳等,2004;田其云,2005;张新,2006)。

3.1.2 拦水工程　拦水工程主要包括河流径流和滚水坝设计。

(1)河流径流。河流径流量是指时段 T 内通过河流某一断面的总水量,即式 1:

$$W=\int_{t_1}^{t_2}Q(t)\,dt=\overline{Q}T \tag{1}$$

式中:W 为总水量(m^3);$Q(t)$ 为 t 时刻流量($m^3\cdot s^{-1}$);t_1、t_2 为时段始、末时刻(s);T 为计算时段(s),$T=t_2-t_1$;$\overline{Q}$ 为计算时段内平均流量($m^3\cdot s^{-1}$)。

(2)滚水坝设计。滚水坝是一种常用的抬高上游水位、拦截泥沙的建筑物,其也是一种低溢流堰,水利工程中的滚水坝也叫溢流坝(刘亚丽等,2013)。项目中采用砌石坝设计规范对坝体与坝基接触面进行抗滑稳定计算(式 2)及上游面垂直正应力(式 3)、下游面垂直正应力计算(式 4)(中华人民共和国水利部,2006;陆正峰,2016)。

抗滑稳定计算:

$$K=\frac{\sum W\cdot f}{\sum P} \tag{2}$$

式中:K 为按抗剪强度计算的抗滑稳定安全系数,$K=1.05$(基本组合),$K=1.00$(特殊组合);$\sum W$ 为作用于计算截面以上坝体全部荷载(含扬压力)对滑裂面的法向分值(kN);$\sum P$ 为作用于计算截面以上坝体全部荷载(含扬压力)对滑裂面的切向分值(kN);f 为抗剪摩擦(坝体与坝基接触面)系数(0.4)。

上游面垂直正应力:

$$\sigma_y^u=\frac{\sum W}{T}+\frac{6\sum M}{T^2} \tag{3}$$

下游面垂直正应力:

$$\sigma_y^d=\frac{\sum W}{T}+\frac{6\sum M}{T^2} \tag{4}$$

式中:T 为坝体计算截面上游、下游方向的宽度(m);$\sum M$ 为作用于计算截面上全部荷载对坝基截面垂直水流流向形心轴的力矩之和(kN·m)。

3.1.3 河床工程　河床工程包含河床普探、河床基础处理、河床设计。

(1)河床普探　河床普探主要包括稳定性、杂填土、湿陷性、压缩性、渗透系数、承载力、地基土和地下水的腐蚀性评价。

(2)河床基础处理　河槽内整平及两岸堤基清基开挖土方量大,为减少弃运,对开挖土及河卵石进行综合利用:一是公园区域利用河床开挖的砂卵石、土夹石、砾石进行填筑;二是两座橡胶坝两端处利用弃土填筑景观平台;三是 2#坝上游河槽填高。

(3)河床设计　为满足河水面回水长度及水深要求,橡胶坝坝墩高程设计分别为:1# 422.0 m,2# 417.0 m,河床比降设计分别为:1#坝上游(0+000~0+600)5.0‰;2#坝上游(0+740~1+900)2.59‰。南岸顶及北岸滨河路面设计高程按 50 年一遇洪水位加堤顶超高 1.3 m 确定;北岸顶及南岸一级戗台顶设计高程按 20 年一遇洪水位加安全超高 0.5 m 确定。

表1 石川河流域生活垃圾的分类
Table 1 Classification of domestic waste in the Shichuan River basin

当地生活垃圾	可回收垃圾	餐厨垃圾	有害垃圾	包装垃圾	无机垃圾
垃圾主要来源	纸质、饮料瓶等	食物残渣	农药包装物等	塑料包装等	建筑垃圾等
垃圾特点	可出售	可堆肥	无利用价值	无利用价值	可填洼地
当地各类垃圾所占比重(%)	20	10	30	25	15

3.1.4 护坡工程 护坡即边坡防护,指采用各种措施处理边坡,以保证边坡的稳定性。生态护坡技术对于减弱河道生态系统中的河岸侵蚀及其水质保护至关重要(郭英燕等,2012)。生态护坡综合运用多学科的基本知识对斜坡或边坡进行支护,形成由植物、工程与植物相结合的综合护坡系统(罗阳明等,2006)。生态护坡工程主要包括:生态石笼护坡、山石护坡、干砌石护坡、浆砌石护坡、混凝土框格护坡、植被混凝土护坡、木桩护坡、三维土工植被网护坡、生态砖挡墙和生态袋护坡等(徐得潜等,2017)。

3.2 生态恢复研究

3.2.1 垃圾分类及处理 石川河山水林田湖草综合整治工程实现了流域城市生活垃圾无害化处理,并在生活垃圾处理、生活垃圾源头分类等方面开展了减量化与资源化的实践。根据现场调研结果将石川河流域生活垃圾进行如下分类,详见表1。

目前,卫生填埋是城市生活垃圾处理必不可少的最终手段,也是现阶段我国城市生活垃圾处理的主要方式(国家建设部,2000)。富平市石川河流域垃圾基本特点是:无机成分比有机成分多,不可燃成分比可燃成分多,非堆腐比堆腐多,因此,垃圾的运输和填埋量较大。

石川河山水林田湖草综合整治工程垃圾处理方式:(1)设置垃圾中转站,满足垃圾收集需要,同时为将来垃圾日清日运化创造条件。(2)将垃圾收集倒到集中站。(3)加强管理,实行垃圾分类收集,降低垃圾再生利用成本,提高垃圾回收率和质量,实现垃圾再生利用。(4)危险废物的分离处置不仅能够不断提高"无害、减量化、循环利用"的效果,而且能够进一步实现经济、社会、生态效益,对提高环境质量和生态宜居水平具有重要作用。

3.2.2 水、土检测 石川河以西黄土塬区及塬前地带,水矿化度<1 g·L^{-1}(曹石榴,2018),一级阶地1~2 g·L^{-1},局部>2.0 g·L^{-1};石川河以东矿化度为1.5~3.0 g·L^{-1},在一级阶地东南部,矿化度>3 g·L^{-1}(丁开亮,2009)。通过分析水质测定数值,运用物理、生物等技术对河道水质进行治理,区域内河道水质均符合《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)(孙剑虹,2018)。土体检测时,考虑地形条件差异及土壤空间分布特点,沿富平石川河两岸,选定典型采样区域,野外实地考察时定采样点,在每个采样点分别采集0~20 cm的土壤样品约1 kg。采集后的样品放置于阴凉、干燥、通风、无特殊气味和灰尘污染的室内自然风干,剔除石块、枯枝落叶、动植物残体等杂物。速效钾含量采用NH_4OAc浸提,火焰光度法测定(中华人民共和国农业部,2005);有效磷含量采用$NaHCO_3$浸提,钼锑抗比色法测定(中华人民共和国环境保护部,2014);全氮含量采用全自动间断化学分析仪测定(中华人民共和国农业部,2012);有机质含量采用重铬酸钾容量法(外加热法)测定(中华人民共和国国土资源部,2016);土壤粒度分析采用激光衍射法(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局中国国家标准化管理委员会,2016)。每个样品重复测定3次,取平均值,测定结果如表2。

3.2.3 土体有机重构 石川河以东矿化度明显高于西部,原因有两点,一是清河、石川河下切造成西部地下水径流条件改变;二是河谷淡水资源相对较丰。在该区北部,石川河流域淡水资源相对丰富,主要是由于受石川地下水补给强、含水层厚度大、径流条件好等特点(孙大鹏,2008)。根据土壤养分等级分级标准,石川河地区速效钾含量属于二级,含量较

表2 土质检测结果
Table 2 Soil test results

研究区	检测项目	速效钾 (mg·kg^{-1})	有效磷 (mg·kg^{-1})	全氮 (g·kg^{-1})	有机质 (g·kg^{-1})	土壤质地
富平县	结果	66.23~347.41	3.40~28.90	0.16~0.71	2.04~11.80	粉壤土
石川河	平均值	155.60	12.50	0.40	5.30	

高,该地区贫瘠土壤中速效钾含量较高的主要原因是所处地区受成土母质影响,土壤供钾潜力很高,加之多年未耕种,土壤中速效钾的损失很小,且大部分积累在土壤层中;有效磷含量属于三级,含量较高,有机质含量属于六级,含量极低,这是因为土壤中有效磷和有机质含量关系密切,土壤中有机质主要来源于动植物和微生物残体及有机肥料,该地区多年未种植作物,且未施用有机肥料,而有机质需为土壤微生物提供充足的养分,促进磷细菌的繁殖,促使土壤中难溶性磷分解转化为有效态磷,因此有效磷含量较高,土壤有机质含量极低;全氮属于六级,含量较低,土壤中氮素主要来源于灌溉水、氮沉降、施肥和微生物固氮等 4 个方面,灌溉水和氮沉降对土壤氮素的贡献一般较小,施肥是耕作土壤氮素的主要来源,生物固氮是自然土壤氮素的主要来源,该地区多年未施肥耕种,亦无豆科植物生长,故土壤氮素含量很低(魏样等,2016)。项目区由于上游蓄水影响长期断流,河道污水横流,周围建筑垃圾、生活垃圾成山,对土壤造成了不同程度、不同类型的污染。项目实施中为了满足河道整治、两岸滨河路施工、滨河公园景观工程建设要求,对项目区内垃圾进行清理,表土剥离,局部土壤污染严重地段,挖取包裹深埋,利用客土分层压实回填表层土,满足不同工程压实度要求,及时种植乔木灌木,铺设草皮,加强管护,进一步改良土壤,达到土体有机重构的要求。

3.3　景观重塑

石川河以山水林田湖草生态治理措施为基础,通过控制河流污染,扩大滨水空间,加强空气环流,生态驳岸设计、河底纵断面生态设计、绿色廊道的设计,采用“开源-净化-利用-排放-再生”和探索与污水资源利用新措施相协调的水资源利用新方法,使水资源不会因污水净化和循环利用而受到损害,并能够很好地进入循环系统。中水回用是深度处理后的再生利用,将污水变废为宝,不仅可以减少新鲜水的摄入量,还能缓解城市生活和工业用水的危机,开辟了区域新的可靠水源可持续利用的新途径。该项目的实施改善了流域水环境,使河道成为一条具有安全、生态、景观的美丽河道。

根据土地利用总体规划及石川河区域景观生态要素特点,为达到保障和改善城市环境景观质量的要求,按照保护系统完整性的原则规划景观生态系统,维护农田与山地两种基质,设立保护自然斑块,保障绿色生态廊道(赵亚敏,2006),控制河流污染,实现区域生态资源可持续利用与发展。

3.3.1　农田基质维护　城市发展势必会对周边农田基质进行侵占,维护石川河地区农田基质的侧重点是在规划允许范围内,保护农田在景观生态系统中的衔接作用及其自身的延续性,而不是维持现状保持不变。

3.3.2　山体基质维护　维护山体基质,继续加强石川河地区农田防护林的生态防护体系建设,同时控制城市建设用地向山地蔓延。

3.3.3　自然斑块保护　根据土地利用总体规划,按照严格保护自然斑块的原则,制定专项规划,确定城市发展用地范围,远期逐渐扩大规模,但需严格实行管控,保护生物多样性。

3.3.4　绿色生态廊道　自然景观受人类活动影响,被分割得四分五裂,景观的功能流动和生物流动被迫阻断,因此,现代景观生态规划的主要任务之一是加强孤立斑块之间、斑块与种源之间的连接。绿色生态廊道在连接相对孤立的景观要素中起着重要作用,有利于物种的空间运动和物种在孤立斑块内的生存和延续。

3.4　土地平整技术

石川河富平境内左右岸为黄土台塬,地层岩性主要为冲洪积砂卵石,表层为冲洪积壤土。根据项目区地形条件,河道走向,配合滨水公园景观规划,设计右堤 K0+000~K0+500 段为堤防形式;K0+500~K1+900段为岸坡形式。左堤岸均为岸坡形式。施工中由于项目区石方量较大,推运比较困难,并要结合两岸堤防、岸坡形式,充分考虑挖填平衡原则。

覆土工程要考虑河道两岸堤防走向,岸顶标高,并考虑两岸滨河路结合现状平整后场地高程,与沿线规划道路的衔接,下穿现状桥梁时应满足桥下净空要求。覆土工程每层客土厚度通过碾压试验并参考同类工程进行确定,但不应大于 25 cm。同时在嫩滩施工时为保证碾压机械安全,对底层客土厚度进行控制。

3.5　PE 复合土工膜技术

水在土体中是向四周扩散渗透的,若没有 PE 复合土工膜的存在,会造成大量的水体流失,因此 PE 复合土工膜在本项目整治工程中起着至关重要的作用。施工中要对 PE 复合土工膜之间、PE 复合土工膜与两岸建筑物之间的搭设与衔接等重点工序

进行逐个检查,尤其是PE复合土工膜与两岸建筑物之间的衔接更是重中之重,要跟踪施工,确保工程质量。

土工膜施工完成后,要人工压实上垫层黄土并进行混凝土方格梁的施工。上垫层黄土要确保无树根、杂草、杂物、块石、淤泥、腐植土、冻土块等,混凝土方格梁的浇筑,由于施工特性容易导致土工膜破损,需从模板支设开始至方格梁浇筑完成,实施全过程监控,避免造成PE复合土工膜二次破坏。

3.6 土体有机重构技术

项目区内利用土体有机重构工程,清理项目区垃圾,合理确定表土剥离厚度,局部土壤污染严重地段,挖取包裹深埋措施,每层客土压实厚度小于25 cm,利用客土分层压实回填表层土,并即时种植乔木灌木、铺设草皮等措施进一步改良土壤,从而满足景观绿化、市政道路等工程实施对土体的要求。

4 项目效益分析

本文在研究效益评价理论的基础上,结合石川河综合整治项目特点,采用层次分析法确定指标体系,德尔菲法确定指标权重,模糊评价法对其综合效益进行分析与评价。按照目标层,准则层和方案层设计评价体系,其中目标层是石川河综合整治项目效益,准则层则分为生态效益、经济效益以及社会效益,方案层包括区域水土流失治理率、生活垃圾无害化处理率、城市污水集中处理率、绿化覆盖率、静态投资收益率、人均收入增加率、人均可支配收入增加率、土地利用率、人均建设用地面积、城镇基础设施发展程度、就业岗位增加率、公众满意度12个评价指标因子。

4.1 生态效益

据调查,治理前水土流失总面积415.97 hm^2,通过项目实施治理面积217.45 hm^2,治理程度从39.04%增加到74.96%;生活垃圾无害化处理率为54.00%,比治理前增加了4.35%;城市污水集中处理率为61.00%,比治理前增加了8.75%;增加林草覆盖率46.26%,提高了项目区绿化覆盖率。土壤侵蚀模数控制在200 $t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$以下,减少泥沙下泄量90.00%以上,各种水保措施保水420000 m^3、保土49100 t,水土保持效益得以发挥,将为下游防洪减灾,农业发展打下坚实基础。农地生产条件显著改善,增加的植被景观改善了自然环境,经过治理,土壤结构得以修复,水肥增加,作物立地条件改善,有效地防治了土壤侵蚀,减少水土流失,延长降雨汇流历时,消减洪峰,减轻洪水灾害,生态良性发展。

4.2 经济效益

接受调查的家庭,人均收入增加了8.97%,人均可支配收入也相应增加了5.42%。由此可以看出,该小流域在治理过程中产生了较明显的直接经济效益。项目规划建设的高档养老住宅、老年公寓配备三甲医院规划的建设,沿河景观优美,紧邻蓝光中学,房地产商纷纷在沿岸投资建设和开发,带来沿岸房价提升200~600元·m^{-2}。优美的滨河景观带,配备幽雅别致的休闲场所及音乐喷泉灯光秀表演,吸引了周边地区游客,使得来自经济较发达地区单向性流动的旅客流所伴随的资金注入此地区,起到平衡经济收益的作用,刺激了本区域的经济发展(刘琦等,2016)。

4.3 社会效益

项目实施后,项目区人均建设用地面积增加了7.89%,城镇基础设施发展程度由治理前的51%增加至68%,改善了居住环境,完善了社区功能,改进了文化建设条件,使当地群众生活方式得到改进,使该地区人文、自然环境得到改良。近几年富平县就业岗位增幅为5.64%,公众满意度日益增加,有效地缓解人地矛盾,提高环境容量,促进了土地的可持续利用与发展。在流域治理的带动下,区内大力发展优势产业及旅游业,效益日益突显。

5 结 论

石川河山水林田湖草综合整治项目充分利用土地工程科研技术优势,紧紧围绕“应用基础-共性技术-示范推广”的科研实际,从山水林田湖草生命共同体的基础理论出发,归纳总结流域生态河道工程、生态恢复、景观重塑研究,运用土地平整、PE复合土工膜、土体有机重构技术,通过对山、水、林、田、湖、草系统保护及综合治理,一改往日河水污染、垃圾遍地、废水滩涂的景象(图2、图3),水土流失得到控制,劳动力发展的方向也有所变化,为实现生产发展、生态良好,不断满足人民日益增长的优美生态环境需要打下坚实基础,为加快富平县城南部新区发展,繁荣富平商贸经济,提升城市品位,统筹城乡和谐发展作出了积极贡献,为其他流域采取类似整治工程提供科技支撑。



图 2　石川河山水林田湖草综合整治项目前
Fig.2　Shichuan River before the comprehensive renovation project



图 3　石川河山水林田湖草综合整治项目后
Fig.3　Shichuan River after the comprehensive renovation project

参考文献

曹石榴. 2018. 富平石川河流域整治后环境地质研究. 陕西农业科学, **64**(8): 84-86.

常国梁, 叶芝菡, 薛万来, 等. 2018. 北京市小流域山水林田湖草一体化治理体系研究. 北京水务, (3): 40-42.

陈艳华, 赖庆标. 2017. 探索"山水林田湖"生命共同体村庄综合整治之路——福建省长汀县南山下村和半坑村的创新实践. 中国土地, (1): 46-48.

单卫东. 2018. 山水林田湖草综合整治亟待科技创新. 中国自然资源报, 2018-08-14, 8-2(005).

丁开亮. 2009. 西安市阎良区地下水环境质量评价. 陕西水利, (3): 110-111.

郭英燕, 李俊鹏, 褚华强, 等. 2012. 崇明岛河道治理中的生态护坡技术. 生态学杂志, **31**(2): 501-506.

国家建设部. 2000. 城市生活垃圾处理及污染防治技术政策[EB/OL]. [2000-5-29] http://www.mohurd.gov.cn/csjs/csjszcfb/200611/t20061101_157018.html.

韩霁昌, 孙婴婴, 张　扬, 等. 2016. 复配型土体有机重构技术初探——以砒砂岩与沙复配成土为例. 西部大开发: 土地开发工程研究, (1): 16-23.

黄　森. 2018. 统筹山水林田湖草系统治理探索柴窝堡湖生态环境保护新路径. 环境保护, **46**(14): 81-82.

黄贤金, 杨达源. 2016. 山水林田湖生命共同体与自然资源用途管制路径创新. 上海国土资源, **37**(3): 1-4.

蒋兴国, 郑　杰, 叶其炎. 2018. 祁连山山水林田湖草保护修复调查研究之一: 张掖祁连山黑河流域生态环境保护的重大意义. 边疆经济与文化, (1): 29-31.

孔登魁, 马　萧. 2018. 构建"山水林田湖草"生态保护与修复的内生机制. 国土资源情报, (5): 22-29.

林　平, 张崇波. 2018. 山水林田湖草系统保护综合行政执法:问题和对策. 林业经济, **40**(7): 8-14.

刘　琦, 党宏伟. 2016. 城镇土地综合开发治理工程——以石川河综合开发项目为例. 西部大开发: 土地开发工程研究, (3): 27-32.

刘亚丽, 辛全才. 2013. 滚水坝断面拓扑优化. 水力发电, **39**(1): 38-40.

路正锋. 2016. 汾河一坝枢纽下游滚水坝设计方案. 山西水利科技, (3): 98-100.

罗阳明, 雷承弟, 周德培, 等. 2006. SNS 主动防护条件下边坡绿化及稳定性探讨. 岩石力学与工程学报, (2): 235-240.

石瑞花. 2008. 河流功能区划与河道治理模式研究(博士学位论文). 大连: 大连理工大学.

孙大鹏. 2008. 黄土台原灌区地下水水质评价及防污对策研究——以陕西省泾惠渠灌区为例(硕士学位论文). 西

安: 长安大学.
孙剑虹. 2018. 城镇化土地综合开发及环境安全评价研究——以富平石川河综合开发项目为例. 西部大开发: 土地开发工程研究, (1): 46-52.
田其云. 2005. 海洋生态系统法律保护研究. 河北法学, (1): 27-31.
王 波, 王夏晖, 张笑千. 2018. "山水林田湖草生命共同体"的内涵、特征与实践路径——以承德市为例. 环境保护, **46**(7): 60-63.
王 波, 王夏晖. 2017. 推动山水林田湖生态保护修复示范工程落地出成效——以河北围场县为例. 环境与可持续发展, **42**(4): 11-14.
王冬利, 杨春景. 2011. 城镇生态河道系统设计. 黄河水利职业技术学院学报, **23**(1): 12-14.
王戈华. 2016. 石川河: 陕西旅游新亮点. 陕西日报社, 7-22(015).
魏 样, 韩霁昌, 杜宜春, 等. 2016. 渭北黄土高原沟壑区土地整治中新增耕地土壤养分现状分析. 南方农业学报, **47**(6): 906-910.
徐得潜, 张 伟. 2017. 乡村河道生态护坡评价方法. 水土保持通报, **37**(6): 197-201.
薛 亮. 2018. 陕西富平创新土地工程技术开展生态保护修复——石川河上叙新事. 中国自然资源报, 9-10(03).
杨新民. 2017."山水林田湖"美丽库区的实现路径——河南省移土培肥工程的探索. 中国土地, (2): 46-48.
姚云鹏, 陈芳清, 许文年, 等. 2007. 生态河流构建原理与技术. 水土保持研究, (2): 135-138.
宇振荣, 郧文聚. 2017."山水林田湖"共治共管"三位一体"同护同建. 中国土地, (7): 8-11.
张 龙, 叶少有. 2008. 南淝河生态治理对策研究. 安徽水利水电职业技术学院学报, (2): 7-9.
张 新. 2006. 区域性防灾减灾信息服务体系研究(博士学位论文). 北京: 中国科学院研究生院(遥感应用研究所).
赵鹏程, 陈东田, 刘 雪, 等. 2011. 河道生态建设的技术研究. 中国农学通报, **27**(8): 291-295.
赵亚敏. 2006. 基于流域生态过程的洛阳市城市滨河绿地景观格局优化研究(硕士学位论文). 郑州: 河南农业大学.
郑晓阳, 俞立中, 杨 萌. 2004. 基于 SDSS 的上海城市防汛决策支持研究. 华东师范大学学报: 自然科学版, (3): 99-104.
中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 2016. 粒度分析激光衍射法. 北京: 中国标准出版社.
中华人民共和国国土资源部. 2016. 区域地球化学样品分析方法第 27 部分: 有机碳量测定重铬酸钾容量法. 北京: 中国标准出版社.
中华人民共和国环境保护部. 2014. 土壤有效磷的测定碳酸氢钠浸提-钼锑抗分光光度法. 北京: 中国环境科学出版社.
中华人民共和国农业部. 2005. 土壤速效钾和缓效钾含量的测定. 北京: 中国农业出版社.
中华人民共和国农业部. 2012. 土壤检测第 24 部分: 土壤全氮的测定自动定氮仪法. 北京: 中国标准出版社.
中华人民共和国水利部. 2006. 砌石坝设计规范. 北京: 中国水利水电出版社.
中华人民共和国中央人民政府. 2007.《国务院关于珠江流域防洪规划的批复》. [2007-04-27] http://www.gov.cn/gongbao/content/2007/content_638530.htm.
邹长新, 王 燕, 王文林, 等. 2018. 山水林田湖草系统原理与生态保护修复研究. 生态与农村环境学报, **34**(11): 961-967.
左 倬, 朱雪诞, 胡 伟, 等. 2012. 上海城市生态河道符合度评价. 生态学杂志, **31**(9): 2437-2442.

作者简介 魏 静, 女, 1988 年生, 硕士, 工程师, 主要研究方向为土地利用与整治。E-mail: menglinxiyu@163.com

责任编辑 魏中青