

# 试论小流域治理的系统观

王礼先 李中魁

(北京林业大学水土保持系·北京市·100083)

## 提 要

小流域是一个生态、经济复合系统,其中生态系统与外界有能量、物质和信息的交换,能够吸收负熵流,使系统能够逐渐远离平衡的稳定态而走向有序化结构。经济系统中的人力资源和自然资源对整个生态、经济复合系统起主导作用。因此,协调人们的社会经济活动与生态系统的关系是小流域治理的根本问题。只有从自然因素和社会经济因素及其相互关系等方面考虑,以环境人口容量为指标,依据系统动态仿真等系统工程学和生态学原理的主要方法,通过一系列的逻辑与数学分析,找出系统存在的问题,才能进行治理规划的设计和措施的布设。流域治理的最终目的是建立一个稳定持久、高效的生态经济系统。

关键词: 小流域 生态系统 经济系统 系统规划 综合治理

## Systematic Review on the Harness of Small Watershed

Wang Lixian Li Zhongkui

(Soil and Water Conservation Department, Beijing Forestry University, Beijing, 100083)

### Abstract

Abstract Small watershed is a complexed system of ecology and economy, of which the ecological system has exchange of energy, material and information with the external and could absorb negative flow of entropy, which makes the system leave balanced stable state and tend to the ordered structure of the economy system. Man power and natural resource play predominant effects on the complexed system of ecology and economy, it is thought that to coordinate the relationship between human activity in society and economy and the ecological system is the fundamental problem for the harness of small watershed. Only when approaching from the factors of nature and social economy and their relationship, taking population capacity of the environment as parameter, based on the major methods of systematic engineering like dynamic simulation of system and ecological principle, and finding the key problems in the system through a series of logical and mathematical analysis, might it be possible to design harness plan and disposes the measures. It is said that the ultimate goal to harness small watershed is to establish a stable, enduring and efficient system of ecology and economy.

**Key words** small watershed ecological system economical system systematic plan  
comprehensive harness

## 一、小流域及其治理的基本范畴

在山地丘陵区,以分水岭和出口断面为界形成的自然集水单元就是小流域,它可由其所处的经纬度、海拔高度、流域面积、干沟比降、流域形状、沟壑密度等指标来描绘其外形轮廓。流域内的生产者、消费者、分解者和环境组成了一个生态系统。同时,由于人为活动的参与,还形成了一个由各种经济成份及各种社会经济关系组成的经济系统。小流域是这两个子系统的有机结合,即小流域生态经济系统。

作为一个系统,就有一定的结构和相应的功能。钱学森指出:“把极其复杂的研究对象称为系

统,即由相互作用和相互依赖的若干组成部分结合成具有特定功能的有机整体,而且这个系统本身又是它们从属的更大系统的组成部分”。奥地利生物学家贝塔郎非则认为,“系统是处于一定相互联系中的与环境发生关系的各组成成分的总体。”组成小流域的各自然因素和社会经济因素之间是相互联系、相互影响的。一个小流域是一个相对独立的大系统,其特点是高维数、多目标、关联性、分散性,更复杂一些的,但有不稳定性,如随机性、模糊性和发展性,由于人为活动的参与,还具有主动性。

一般认为,小流域综合治理是为了充分发挥水土资源的生态效益、经济效益和社会效益,而对流域内水土资源的保护、改良及利用,解决当地群众的“三料”(饲料、燃料和肥料)问题,发展多种经营,促进农林牧副的全面发展。流域内各因素的关联性表现在对土地资源的不合理利用,可导致生产力的下降,粮食产量低而不稳,对系统的投入大于产出,为了维持生产和生活,人们便不得不铲草皮、毁林开荒,进而引起水土流失和生产生活条件更加恶化,陷入“低产→开荒→低产”的恶性循环。水土流失发生的时间,粮食产量和土壤水分变化等具有一定的随机性和模糊性,在很大程度上取决于人为活动的影响。因此,从某种意义上讲,流域治理就是对人的科学管理。

人是小流域中最活跃而又可以随意对某些过程施加影响的因素,恩格斯指出:“我们对自然界的全部支配力量就是我们比其它一切生物强,能够认识和正确运用自然规律”。令人深思的是,山丘区小流域内的人们由于生活贫困,缺乏正确认识自然、改造自然的能力,或由于社会、政治方面的原因,大多是以“三光”(用光、砍光、烧光)方法从流域系统获取物质和能量,使系统结构受到破坏,系统功能降低。总之,人永远是流域治理中最值得研究的因素。

关于其它因素,按照系统论的一个著名法则——“木桶法则”,即木桶的容积大小取决于最短的一块木板,这块木板就是系统的关键限制因素,同理,小流域整体功能受制于关键因素的改变。系统的动态性和复杂性,使因素的时空变化具有灰色、模糊性,解决某一问题需要从系统的观点出发,采取综合措施。只采用单一的治理措施,或缺乏必要的优化配置,随时间和环境条件变化对农林牧生产结构和其它人为活动不进行调控,对于整个流域系统功能的改善是不可能凑效的。

长期以来,不少地方对流域及其规划治理措施缺乏系统的分析与研究,治理方略停留在以经验为基础的阶段,对流域内的农林牧副等各子系统的发展及相互关系的了解,也是处于定性的描述,缺乏模型化的定量分析。故对整个流域系统的研究,停留在传统研究的水平上,缺乏整体化、模型化和定量化的分析。没有对流域的系统认识和定量化分析,治理很难达到预期目的。

## 二、小流域系统及功能的分析

以系统的观点对小流域采取综合措施进行治理证明是有效的。但前提是要充分认识整个系统的组成、结构和功能。

我们把小流域看作一个生态经济复合系统,它包括生态系统和社会经济系统这两个子系统。小流域内人为活动,以及动物、植物等和非生命系统间相互联系,相互影响,形成了一个发挥整体作用的有机体,其功能大于单个因子功能之和。

(一)生态系统 生态系统是生命体或生物群落同其生存环境相互联系、相互作用所构成的相对稳定的自然系统,而小流域生态系统是生命系统和环境系统在特定空间的集合。流域内的动物、植物和微生物等,通过直接或间接的关系有机的组合,形成某种生物群落,在生物与环境、生物与生物之间,不断地进行着能量交换、物质循环和信息传递,构成彼此之间相互联系、相互制约和相互依存的关系,从而形成一个相对稳定的整体。小流域生态系统可划分为生命和环境两个亚系统,前者包括绿色植物与化能合成细菌等生产者,草食和肉食等消费者,以及菌类和土壤无脊椎小动物,后

者则主要是无机物和自然因素,包括碳、氢、氧、二氧化碳、无机盐,及阳光、温度、土壤、岩石、空气和水分等。

由于生命系统与环境系统的相互作用,小流域生态系统表现为一个具有一定结构、功能和自我调节机制的开放系统,与外界有能量、物质和信息的交换,能够吸收负熵流,使其能够逐渐远离平衡的稳定态而走向有序化结构,系统内各要素之间存在着非线性的相互作用,系统进化到顶极状态时,系统达到新的、非平衡的稳定态,特别是当系统受到严重干扰而发生退化时,其路径与其退化的路径不同,因而生态系统的进化是不可逆的,流域规划和治理必须遵循这一规律。但科研和生产实践中,常见到违背这一规律导致失败的教训,有人了解到某地一二百年前曾长过杨树,便在那里重新栽植杨树,数年过去了,树高、树径没有增加且缺乏活力,这就是“小老树”。另一个例子是,有人根据历史记载:唐宋时期位于西北黄土高原的某地曾是“风吹草低见牛羊”的富饶地区,便提出要在哪里提倡种草,发展畜牧业。这两个事例的共同错误忽略了生态系统进化的不可逆性。不顾生态环境的变迁,坚持做某种事,无异于刻舟求剑。

流域内各生物种类、种群数量、种的空间配置和种的演化等,构成了生态系统的形态结构。一片郁闭的森林,其中动物、植物、微生物的种群和数量是相对稳定的,在空间配置和分布上,自上而下具有明显的层次。地上有乔木、灌木和苔藓,地下有浅根系、深根系及其根际微生物。在森林中栖息的各种动物,也都有其相应的空间位置。调整生态系统内生物的种类、数量及其组成,控制种群的演化过程,是流域治理的主要任务之一。在陕北安塞县小流域治理中,通过扩大种草面积,减小农地面积,增加羊只数量等措施,使系统的功能改善,产投比由原来的1:2增加到2.5:1.5。小流域治理的根本目的,就是通过人为干预使系统向着有利于提高生产和改善生态环境条件的方向发展。

经常处于动态平衡状态的小流域,是以生物强大的繁殖力、一定的适应能力和环境资源的有限性共同作用的结果。由于生态系统的功能,小流域具有内部自我调节能力,在某些因素遭到不利的冲击时,系统有自动恢复和调整的能力,从而不使整体功能受影响。但这种能力的大小,有赖于组成成分的多样性,营养结构的复杂性,以及能量流动、物质循环和信息传递的畅通。小流域内农林牧的合理用地比例,多种经营的发展和乔灌草相结合的植被措施均可增强系统的自我调节能力。

然而,由于量的规定性,小流域生态系统的自我调节能力是有限的,即存在着一个“生态阈限”如果自然的原因或人为干扰超过这个限度,就会使系统崩溃或生态系统遭到破坏。除了人为无法控制的火山、山崩、地震、水旱灾害和流行病等以外,人为因素是引起生态系统破坏的主要原因,它也是小流域治理必须解决的问题,包括:

1. 滥垦乱伐,烧荒和过度放牧等人为不合理的经济活动;
2. “三废”造成的环境污染,危害生物的生存与发展。
3. 生物间信息系统的破坏。

**(二)经济系统** 小流域范围内的各种经济成分及各种社会经济关系,在一定的地理环境和社会制度下的集合便组成了小流域经济系统。它是通过生产、交换、分配和消费四个环节周而复始,连续不断地循环运行着,同生态系统有着紧密地联系,但又相对独立,体现了流域内人们在农林牧副渔、工、交、建、商、服等部门在各方面的经济联系。经济系统的结构和生产过程表明,该系统不但是物质循环、能量流动和信息传递的过程,而且是价值流沿交换链循环与转换的过程。因而,沿劳动交换链的物质流、能量流、信息流和价值流的运动过程,便体现了小流域经济系统的功能。

经济系统中包含许多因素,但对整个经济系统和生态系统起主导作用的两个因素是人力资源和自然资源。前者是发展经济和社会事业所需要的具有必要劳动能力的人口。劳动的人是改造自然,发展经济的决定性因素,他们对小流域其它因素施加影响,产生正、负效应。人既是物质资料的

生产者,同时又是消费者,因此,物质资料的生产必须同人口自身的生产相适应。在不少山丘地区,土壤生产力低下,单位面积粮食产量不足 50kg,人们的传统观念是多一个人便多一个劳力,结果是人口的增长速度远大于生产提高的速度。为了满足粮食需求,人们便不得不继续扩大耕地面积,毁林开荒,搞广种薄收,由此引起了严重的水土流失和土地退化。小流域自然资源是指未经人类加工的资源,包括土地、气候、水、森林、草场、野生动物、矿产和能源等。在经济系统中,它们是小流域财富体系中的一部分,但它们同时也是生态系统重要组成因子。社会经济子系统反映了小流域中人为活动的方式及其作用。要搞好小流域规划和治理,研究人们的社会经济活动与生态系统的关系或人——地关系,并以适当的措施加以调控是至关重要的。

(三)人——地关系的协调 小流域生态系统受到人类经济活动的干预便形成了生态经济复合系统。人类活动总是有一定目的,但在许多时候他们只是盲目地索取,而忽视小流域内物质、能量和信息同外界的动态交流,小流域虽然产出粮食、蔬菜、畜禽、木料及其它产品,但若没有相应的种子、肥料、农药、水、饲料和其它物质、能源的输入,没有良好的土壤、气候和其它生态环境因子的协调发展,这个系统的投入——产出过程将受到破坏。在黄土高原地区,自然条件恶劣,气候干燥而多风沙,降水稀少,年温差大,地形变化复杂,沟壑纵横,童山秃岭,水土流失严重,有的地区侵蚀模数超过  $14\ 000\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ,人们的物质和文化生活水平低下。造成这一后果的主要原因,是由于历史上频繁战争、大规模的垦荒、放火烧山和其它不合理的生产活动,破坏了原有的生态平衡,使系统功能逐渐衰退。目前,这一地区的不少小流域,通过综合措施进行治理,重新调整人与生态环境或人——地关系。

虽然人的自然属性、社会属性和思维属性在人的实践活动中达到了有机统一,并决定了人的实践活动不但具有物质性、社会性和实践性,而且人的思维特性,使之能够认识并正确地运用自然规律去改造世界,但是,也应该认识到,人作为自然的、肉体的、感性的、对象性的存在物,如同其它生物一样,也是受动的、受制约的存在物。

在无机物和生命物质组成的大锁链中,人是自然锁链中的重要一环,它的生存和发展就不能不受到自然锁链所提供的环境和资源的限制。小流域内的一切生产活动总是受自然规律的支配和制约,因此,不具体分析小流域的土壤、气候、地质地貌、水文和人口、土地生产力及其它自然和社会经济条件,离开生态自然规律,单凭主观意志去发展生产是肯定要失败的。

人们要发展生产,提高生活水平,就必须治理小流域,合理利用有限的自然资源。小流域生态系统结构的改变和功能的改善,在很大程度上取决于人为活动的效应。人口的数量、增长速度、人口素质和分布均对自然再生产和经济再生产带来影响,进而对流域的生态环境造成一定压力。有人研究过当前自然和生产条件下一个流域的最佳人口数量,这说明流域的环境人口容量是有限的。一般来说,一个地区的环境人口容量取决于当地的水、土、气、光、热及其它自然资源和人民生活、文化教育、体育卫生等社会经济状况。其中,土地等不可再生资源的保护与永续利用是保持容量的前提条件。遗憾的是,当今不少地方发展生产,是以掠夺和破坏土地等资源为代价的。这不仅是引起水土流失的主原因,也是引起土地沙漠化、草场退化等环境恶化的根本原因。

我们只有从这方面出发考虑问题,依据系统工程学和生态学原理的主要方法,才有可能得出治本之策。首要任务是解决人们的生活问题,按照生态学原理,生态系统的第一性生产者主要是绿色植物。但实际上,山丘区小流域大多为荒山秃岭,植被稀疏,第一性生产者严重不足。这就限制了食物链上其它生物的发展。在光秃的地面上水土流失,经济贫困,可说是理所当然。因此,小流域治理设计的主导思想在于增加植被,种草种树,旨在从根本上改善生态系统。第二,必须做到生物与环境相适应,即治理措施因地制宜。设计治理措施不是从局部、从定态和暂时考虑,而是从系统的思路

去研究整个流域,以动态和长远的眼光去分析问题。根据黄土起伏丘陵地形上水土资源在三维空间分布的规律性与其二者的谐拍性,可设计出农林牧用地合理配置的镶嵌模式。第三,用优化方法对全流域进行综合设计。宁夏固原县的综合治理措施就是系统优化的范例,其方法可概括为:山顶戴“草”帽,陡坡“灌”脖子,缓坡“农”身子,沟道穿靴子。

### 三、小流域治理规划与措施布设

根据对小流域有关自然因素和社会经济因素进行的全面、系统的调查,和通过一系列的逻辑与数学分析,找出系统存在的问题,就可以进行治理规划的设计和措施的布设。

(一)治理规划 小流域涉及农业、林业、牧业和与之关联的土地资源、气候、环境及人口、劳动力、产品及其分配等社会经济条件。按照系统论的一般原理,系统的结构决定其功能,小流域生态经济系统结构的优劣,决定农林牧副各业综合发展的总体经济效益、社会效益、水土保持效益和生态效益水平。同时,它是一个动态开放系统,应追求多目标,统筹兼顾。小流域系统优化的目的,就是对该系统的土地利用结构、耕地类型、农作物布局、农业产值结构和农业投资与劳力结构等进行合理调整,在优化调控过程中取得最佳的总体效益。自然辩证法的系统观及系统科学的理论与方法正好解决了流域治理规划的方法论问题,线性和非线性规划理论、动态规划理论、对策论、排队论以及模糊数学、灰色系统理论等的具体应用,以及电子计算机在我国的逐渐普及,使得治理规划立足于定性定量相结合的基础上,具有更高的综合水平,体现了小流域治理的系统性特点。

目前最有代表性规划方法,是基于一个叫 Forrester 的学者提出的系统动力学理论而建立的小流域系统动态仿真模型。它以反馈控制理论为基础,把小流域生态经济系统中的生命子系统(如人、畜禽、作物和林草)和无生命子系统(如土地、水、气候因素、土壤侵蚀和社会经济信息等)都作为信息反馈系统,并认为存在着信息反馈机制,正反馈使系统功能强化或失调,导致生态环境恶性循环;负反馈则有抑制系统之功能,使之朝生态平衡的良性循环转化。小流域系统动态仿真模型,是以反映实际系统特征的结构模型为基础,建立各元素及子系统间的因果关系和量化关系的动态仿真模型,通过模拟实验、方案比较和可行性分析,以达到结构优化之目的。然后通过计算机仿真,得出多种方案,再根据经济效益、水土保持效益和社会效益的多目标综合评审,选其优者为小流域治理方案。动态仿真模型的另一特点,还在于实施过程中随着人们的决策改变和环境信息变化,系统即进行反馈,调整结构或修改参数,获得新的动态响应。

在作出规划之前,必须系统、全面地调查有关地质地貌、土壤、气候、水文、矿产、能源、旅游、生物和土壤侵蚀状况等自然因子以及人口与劳动力,土地类型与利用,劳动技术装备程度、总产品与收益分配和人民生活水平等社会经济因子。

(二)治理措施的布设 在系统规划的基础上,可以采取综合措施治理小流域。治理措施可分为农业耕作技术措施、生物措施和工程措施。实际生产活动中,人们自觉或不自觉地运用了系统论的非加合原理,把各项措施合理搭配,取得了显著的治理效果,工程措施为生物措施改善了生存条件,又发挥了近期的保水保土作用,而生物措施则弥补了工程措施长期效益不足这一缺陷,同时产生一定的经济效益和生态效益。

治理措施的系统性和综合性还表现在对人的管理上。通过发展教育,提高人口文化素质,使人们懂得合理使用资源、保护生态环境的意义和方法,以保证和发展治理成果。从长远考虑,通过计划生育等人口控制措施,使小流域总人口保持在一定的限额内,既要有足够的劳动力,又要防止人口过多,超过当地的环境人口容量,而导致乱开荒地、毁林造田,破坏小流域生态平衡。因此,通过产业调整等手段,使经济子系统、人员结构、物资分配、土地利用方式和整个小流域的农林牧副渔各业的

生产比例更加合理。这样就建立了一个稳定、持久、高效的生态经济系统,也就达到了流域治理的最终目的。

#### 四、结 语

人类是生态系统中最活跃、最积极的因素,人类与自然的关系问题,是哲学的永恒课题。小流域治理的实质就是协调人与自然的关系,即人类社会经济活动与小流域生态系统的关系。小流域生态经济系统是一种多层次、多因子、多干扰和多变量的开放式系统,在结构和功能方面,其复杂性、多样性和相关性是其它自然科学领域中的任何系统难以比拟的。实践证明,以系统的观点分析小流域,以系统优化方法进行流域规划,以系统工程原理设置综合措施,是治理小流域的出路所在。

#### 参 考 文 献

- [1]王传书主编.《自然辩证法教程》.北京:中国科学技术出版社,1991年
- [2]陈禹六编著.《大系统理论及其应用》.北京:清华大学出版社,1988年
- [3]王礼先等.系统工程原理在流域土地规划中的应用.《水土保持通报》,1987年
- [4]巨仁.固原县上黄村人地关系中心环节分析.《水土保持通报》,1987年
- [5]黄杏元等编著.《地理信息系统概论》.北京:高等教育出版社,1990年
- [6]王礼先.小流域综合治理.《人人爱护水土资源》,中国水土保持学会,1991年
- [7]李怀甫编著.《小流域治理理论与方法》.北京:水利电力出版社,1989年
- [8]王新岭主编.《生态·人口·环境》.北京:人民出版社,1990年
- [9]吴光原等主编.《现代科学技术革命与当代社会》.北京:航空航天大学出版社,1991年
- [10]王甫田主编.《控制论·信息论·系统科学与哲学》,北京:中国人民大学出版社,1986年