水土保持系统工程概述

郭宝安

（中国科学院西北水土保持研究所）

近几十年来，科学和工程技术的突飞猛进，社会生产力的巨大提高，使得工程发展必须涉及到自然资源枯竭、能源危机、经济发展不平衡、交通负担加重和对自然环境的污染问题，这就不仅涉及到综合运用各专业领域内的成果和在大范围多部门之间进行协作，还要涉及到政策和教育等方面。因此，必须综合地解决这样一些问题，才能使所要开发的工程得到有成效的发展。在这个过程中，问题的重要特征是上述各种因素具有很大的不确定性和不分明性。这种自然资源、自然科学和社会的开发和发展及其不定性和不明性的出现，导致了系统工程的诞生。

科学技术的发展使人们愈来愈深刻地认识到，要保护水土流失地区的自然资源，发展经济，提高人民生活水平，减少环境污染，提高和改进能源，这些复杂问题只靠一两个部门或一两种学科是解决不了问题的。必须走综合的道路，从整体的角度去观察、分析问题的各个方面和因素，使得整个系统达到总体功能最优的状态。要解决这样复杂的多层次、多部门、多因素的问题，并使总体功能得到最优的状态和最佳的方法，就是系统工程——一门新兴的高度综合的科学。应用系统工程的思想和方法研究问题，引导人们去揭示事物本身的内在规律，并寻求问题最好的解决办法，才能卓有成效地解决许多的复杂问题。近年来，我国各个部门都在大力开展系统工程的研究和应用工作，在水土保持方面也有不少单位和学者进行了初步的探讨，并取得了一定的成绩。

目前，许多同志和单位经常谈到，如何运用系统工程的思想、理论和方法，从全局（整体）观念出发，综合研究水土流失和水土保持问题。在此谈谈一点见解。

一、系统与系统工程

1、系统。研究系统工程，首先要清楚什么是系统的确切含义。这里所说的系统，是指由若干个可以相互区别、而又相互联系和相互作用的组成部分（单元）结合而成，且处于一定环境中的具有特定功能的有机整体。符合这一定义的就称为一个系统。对于一个复杂的研究对象，我们可以把它作为一个系统来看待，因此，任何一个系统都可以表示为：S＝（E、R）

式中：S为系统（Systems）；E为组成该系统的元素集（Elements）；R为元素集E之

料，还可改良土壤性质，增强其抗冲保水能力。国内以往对肥料在水土保持中的作用重视不够，今后应加强这方面工作。

（五）制订土地利用分类方案

美国土壤保持局制订了土地利用率分类方案，将土地分为八类，第一类至第四类适于种植作物，也可作用牧场、草原和林地；第五类至第八类适于用作牧场或林地，一般不提倡用来种植作物。澳大利亚把正确地利用土地作为确定土壤保持很重要的条件，要求制订适合特定区域需要而又较为简便的方法。我国在《水土保持工作条例》中，规定25°以上的陡坡地禁止开荒种植农作物，但缺乏对土地利用的分类方案。今后要通过研究，制定出适合我国国情的土地利用分类方案。

间的关系（Relations）。

系统的特性是由其组成元素和元素之间的关系所决定的，而系统的共性是从分析每一个系统的特性中得到的。元素和关系是系统的两个基本因素。这里所指的关系包括系统内部元素之间的关系和系统与系统之间的关系。系统与外界系统的关系被称之为约束或目标，或一部分称为目标，另一部分称为约束，而且目标与约束是可以相互转换的。了解这一点，对于运用系统方法来建立模型和分析各种具体系统，是极为重要的。

2、系统工程。系统工程学是一门综合性科学技术，研究的对象是大型复杂系统的设计和运行（一般更偏重于设计），有目的地对新工程对象进行研究并设计，对已有工程对象作科学地运行、管理与改造，以达到总体最佳的效果为目标。系统内部的组成是各种元素与人的有机联系，它们又与环境之间密切联系，相互作用，以研究系统总体的优化；在时间领域方面，则按照工程的时序综合考虑规划、计划、研究、试验、制造、安装、运行各阶段的相互关系和联系。它既是一门跨学科、跨各专业领域的总体工程学，也是一种思想方法论与工作方法论。其关键在于这些系统能否抽象为一定的模型，并求得最优的解答。

系统工程着眼于整体的状态和过程，而不拘泥于局部的、个别的部分，因此系统的最优化并不要求所有子系统都有最佳的特征，而要求各子系统相互协调和相互补充。概括地说，系统工程是当代正在发展和逐步完善的一门工程技术，它以系统为对象，把要研究和管理的事与物用概率、统计、运筹、模拟等方法，经分析、判断、推理等程序建立成某种系统模型，进而采用最优化方法求得最佳结果，使系统的各组成部分互相协调，互相配合，以获得技术上先进，经济上合理，运行中可靠，时间上最省的系统。

二、水土保持系统工程

系统工程最基本意义在于运用系统工程思想和方法去开发工程的价值，然而每一项工程都是分属于一定的专业领域的，如工业工程、农业工程、航天工程、计算机工程、遗传工程、医疗工程等等。于是在将系统工程用于开发各专业领域的系统工程中，就产生了不同专业领域的系统工程，这是一个必然的现象。将系统工程的思想和方法运用于水土保持领域中，这样就产生了水土保持系统工程。水土保持系统工程作为一门学科，在于探索和研究水土保持以及水土流失的内在规律和原理。

水土保持学科是一门横断学科，它与其它学科不同。水土保持学科牵涉到环境科学、生态科学和社会经济科学，涉及到的专业有土地学、土壤学、水文学、水利学、气象学、植物学、农学、林学、畜牧学、生物数学、人口学、农经学、土壤侵蚀学等学科，涉及面非常广泛。几十年来的水土保持工作实践经验和历史教训告诉我们，单独地强调某一方面就会出现那种农、林、草、水利等部门之间“各吹各的号，各唱各的调”和“政出多门，互相扯皮”，不符合人为环境和生态环境的做法，以致水土保持工作事倍功半，达不到预期的结果。但这也是一般专业工作者力所难及的事。科学的进展使我们愈来愈深刻地认识到，要获得水土保持工作新的重大进展，取得重大的科研成果，提高水土保持工作效率和质量，难度越来越大，应用的高、精、尖的技艺越来越多，代价也越来越大，不是具有某一种专业训练的专家可以解决的问题，而必须综合应用所涉及的专业领域的成果。美国阿波罗登月就证实了这一点。阿波罗登月计划的总指挥韦伯说：“阿波罗计划中没有一项新发明的自然科学理论和技术，它都是现成技术的运用，关键在于综合。”综合就是创造。如何综合地应用各有关领域的成果发展水土保持科学，并做到四定（定性、定量、定位、定序），这不是单一学科所能解决的。因此，必须应用水土保持系统工程的思

想方法和统筹兼顾，因地制宜，这才是解决问题的根本方法。只有这样，才能使水土保持工作跟上科学的发展和生产的需要。

三、水土保持系统工程的技术内容

水土保持系统工程主要是研究水土保持系统的特性与共性，因此，它要应用涉及到的一切有关领域的科技成果。由于它缺乏固定的技术内容，这就往往造成人们对它不甚理解。大体来说，水土保持系统工程的主要技术内容如下：

1、数学—解决系统工程定量问题不可缺少的手段；

2、试验模拟—采用试验与模拟的手段，解决一般数学和物理工具所不能解决的定量或定性问题；

3、环境科学—研究该系统内的环境情况，以便正确地确定该系统的目标与约束；

4、工程逻辑—系统地研究人类在水土保持工作中正确思维法则的科学；

5、生态科学—研究水土保持工作中的生态科学需要的天文、地理、生物等各项基础知识；

6、管理与经济—相互协调，以有效地控制、研究、发展工程都离不开组织管理技术，经济是评价系统工程的重要因素（水土保持系统工程的主要指标是在满足水土流失的约束条件下的生产价格与有效度的比值）；

7、电子计算机—对庞大复杂系统的定量研究，或对系统进行模拟与控制，需要运用计算机；

8、人类工程学和控制论—研究人机功能的比较、人机的合理分工与最佳组合。这里的控制机还包括信息论和伺服机构。

四、水土保持系统工程的方法论

水土保持系统是一门庞大而又复杂的系统，希望从中找到主要因素和本质因素，通常有两种思考方式，即分析和综合。传统的工程技术中的思考活动是以分析为主的；而系统工程则十分突出综合的思考活动。综合是一个创造性的复杂的思维过程，是运用各种知识和实际经验创造新概念的活动，这也是人类所具有的能力，是用任何公式和机器都不能代替的。可以说，综合是系统工程观念中最基本观念之一。

水土保持系统工程，除了需要广泛的技术知识外，还需要社会科学知识。由于哲学是研究自然科学和社会科学的总和，因此，哲学观点与方法论就成为水土保持系统工程的核心。

在水土保持系统工程中，逻辑思维比其它技术更为重要。因此，把逻辑学与几对对立统一的概念有意识地系统化，如抽象、概括、比较、综合和分析、归纳和演泽、原因和结果、内容和形式、偶然性和必须性、工程质量与工程数量的分析等，统称为水土保持系统工程的方法论。

从事水土保持系统工程的科学技术人员，必须对科学技术领域的宽度与深度兼而有之，还应具备哲学、社会科学、心理学等知识及管理的才能。某一技术领域的深度，是达到一定宽度的必要基础；只有通过某一专业领域的实践与理论研究，才能获得洞察问题深度的能力。

水土保持系统工程工作者还必需树立从“使用”出发的观点，以免陷入“只见树木不见森木”的泥坑。

五、水土保持系统工程的模型

用系统工程的思想和方法研究水土保持问题时，由于所研究的对象太大，或者因其太复杂，往往无法直接分析和试验，故一般利用模型来代替真实系统，通过对模型的分析求得问题的解

决。同时由于模型比现实容易操作，建立系统的数学模型后，只要改变模型中的某些参数，就可以计算出系统的某种结果来。这比在真实系统中进行试验要容易得多，快得多。另外，通过建立系统的模型可以对影响系统的主要因素了解得更清楚。

水土保持系统工程的模型，是表示一种过程，或行为的定量或定性代表，它应能显示对所考虑目标具有决定性意义的后果。模型要尽量与实体同构，这样通过模型的运行就可以对真实情况作出完全正确地判断。但模型不应搞得过于复杂，如果面面俱到甚至把模型搞得和实际情况完全一样，那就难以控制，也失去了利用模型的意义。因此建立系统模型时要抓主要因素，使得模型既反映实际又较实际简单。

在系统工程和运筹学中，根据水土保持工作的实际情况，一般采用下述的表达形式：

目标函数　opt：$U=f(x, y)$

约束条件　$g(x, y)=0$　　$x_a \leqslant x \leqslant x_b$

式中：U是描述水土保持系统功能和目标的值；

$x=x_1$、x_2，……，x_n，是一组可控的资源量，即控制x的值可以相应得到系统组成单元之间的某种协调状态，它对系统的功能有影响；

$y=y_1$，y_2，……，y_n，是一组不可控的自然环境，如天气，温度等；

x_a、x_b是x取值的上下界限。

目标函数opt：$U=f(x, y)$ 是规定应达到的目的，一般表达为经济效果和生态效果。其中“opt”代表取最优值，取最大值时写max，取最小值时写min。约束条件是规定变量x所在领域的限制。

系统数学模型的优化求解，就是在约束条件的限制下使目标数值U达到最大（利润、产出比）或最小（水土流失、费用），此时相应的可控变量x值就是系统的最优解。

建立水土保持系统模型，是一种创造性劳动，需要对所研究的问题有周密的了解和具有广泛的知识。一般情况下，我们将系统各元素（单元）间的关系用约束条件或目标函数来表示，并要求约束和目标在一定的条件下是可以互换的。

系统工程学对我国多数同志来说，虽然比较陌生，但我国大量的科研单位和设计单位对成千上万个工程、设计、管理工作以及所提供正确决策的建设，实际上都在不同程度上从事着类似系统工程范围内的工作。水土保持工作也是如此，譬如：生物措施与工程措施相结合，治坡与治沟相结合，长远利益与当前利益相结合，因地治宜，统筹兼顾等。如果同志们都能掌握系统工程学这门新的技术，尤其是掌握本专业的系统工程学，自觉地在日常工作中应用，就能更好地为我国的四个现代化服务。

系统工程学已成为我国科研的重点项目。由于系统工程与我国社会主义建设事业息息相关，为了加速实现我国的四个现代化，搞好水土保持工作，造福于后代，相信今后将有大量优秀的水土保持系统工程方面的论文和著作问世，以繁荣科技领域的这一新园地。

系统工程学是一门正在急剧发展中的科学技术，国内外还有各种不同的观点；水土保持方面应用系统工程的思想和方法解决本专业领域内的繁杂问题，也仅仅是一个开始。目前有些单位虽然已取得了些成绩和效益，但仍没有完整和统一的意见，亟待在实践中不断地完善和提高。