

导言

水资源综合管理（IWRM）可定义为“推动对水、土地和相关资源进行协调发展和管理的一个过程，目的是以一种公正的方式最大限度地获得随之而来的经济和社会福利而不损害至关重要的生态系统的可持续发展”（全球水伙伴技术委员会背景文件之四，2000）

水资源综合管理的目标是努力在人类生活对资源的使用与资源的保护之间达到一种平衡，为后代维持资源的功能。水资源综合管理的定义促进了经济高效（Economic efficiency）、环境可持续发展（Environmental sustainability）和社会公平（societal Equity），即三E。

水资源应该用来增加经济与社会福利但又不损害至关重要的生态系统的可持续发展。本文的重点是分析人类社会、水资源和生态系统之间的关系，说明为什么要以及怎样来保护至关重要的生态系统，并指出如何才能够更好地将这些工作结合到水资源综合管理之中。

自1970年以来，关注的重点集中在水资源开发对环境的影响，并且已经开发出一种方法即环境影响评价（EIA）。而对于评价水资源管理战略的环境影响的工作做得非常少。通常，水管理和生态系统保护，各专业机构接触的较多。由于世界观的根本不同，即使有着同样的目标，也使得他们很难一起紧密合作。不过，近年来已经开始共同努力来研究主要的水生生态系统中的几个问题，并制订保护其最小流量标准。

传统上认为陆地生态系统是土地使用的一部分内容，并没有关注其通过光合作用所消耗的巨大水量。然而，在南非，植树造林被称为是潜在的减少河川径流的行为。

作为全球水伙伴技术委员会的成员，法肯马克教授撰写本文以帮助确保生态系统保护很好地结合到水资源综合管理中。本文是基于1999年11月全球水伙伴与斯德哥尔摩大学系统生态系共同组织的研讨会上的一篇论文而写的。特别要感谢南非的保罗·罗贝茨博士，他也是全球水伙伴技术委员会的成员，感谢他为在南非采取创新方法所做出的贡献；感谢斯德哥尔摩大学系统生态系的卡尔·福克教授，他深入讨论了水和生态系统之间的联系以及人类生活的生态前景。

一、概述

本 报告以水和生态系统之间的联系为基础阐述了如何可将以生态系统为重点的方法结合到水资源综合管理中（IWRM）。它分析了水在社会及其周围生态环境之间关系中的关联程度，阐明了人类与生态系统是如何共享着同样的水，并表明如何能够在水资源综合管理的过程中加强生态系统的可持续发展。本报告将提供一个概念性的背景，以基于流域的生态系统的方法支持水土和人类活动之间溶合成一个整体。它指出在水资源综合管理的框架内如何必须将必不可少的生态系统与适当的社会、经济结合起来，形成一个更为广泛、全面的方法来管理流域基本的生活要素。

本报告主要表达的是，由于人类和生态系统对水的共同依赖，水资源综合管理能将土地、水、生态系统结合起来，促进水资源综合管理的3个E-2个与人类有关（社会公平、经济高效），1个与生态系统有关（环境的可持续发展）。

二、基本困境

人 类生活保障

人类生活保障所需的水、食物、和原材料都来自人类居住点周围的自然环境。如果不改变地表形态（挖井、开渠、建水库、清除自然植被种庄稼、伐林取木、排水、平地等），则不能收获这些资源，而这些改变将影响当地的生态系统。由于需要生产更多的食物来满足增长的人口，为了增加作物的产量，在以前依靠肥料，后来则依靠农药。在干旱地区引入了灌溉。这些措施同时也产生了环境方面的副作用（富营养化、水污染、水涝、盐碱化等）。其中有些是可避免的，而有些则难以避免。人类活动也会产生废物（生活废物、工业废物等），

这进一步扰乱了当地的生态系统。当人口增长时，这些改变活动也得以加强，同时逐步升级的生态方面的副作用更加引起不同人群的忧虑。

不断增长的忧虑

以可持续发展为目标的环境管理的最大挑战是在人类和其对环境造成的影响之间找到的一个适当的平衡点。然而，现在看来要应付世界范围的环境恶化极其困难。尽管在温带地区在基础设施建设方面做了巨大努力来最大限度地减少水污染，但农业化学物的浸出仍在继续，现在已经引起了沿海的区域性富营养化。在世界其他地方 - 除了严重的水污染问题外 - 在依靠灌溉的干旱地区可以看到由于大规模农作物灌溉引水引起惊人的河流萎缩。科罗拉多河、黄河、咸海的支流以及发展中国家的许多有人类居住的河流都是这样的例子。干旱气候地区另外一个问题是区域性水、土盐碱化。

未来的几十年中，可以预见在人口继续增长、全球化、工业化以及扶贫和消除饥饿等方面将是强大的驱动力，将会产生更大规模的地表形态改变。所有这些使得有必要通过正确地整合这些相对独立的问题，从而形成一个更为明智解决环境问题的方法。

30年前在1972年的斯德哥尔摩人类环境大会上，国际社会开始关注阻止环境恶化的问题。不同专业群体之间数量不多的观点反映了现有知识和管理体制两方面的不同，这继承了17世纪法国伟大哲学家笛卡尔时代的智慧。物理学家主要了解地表形态的物理现象，化学家主要了解化学现象，生物学家主要是了解生物学现象等等。由于这些不同专业群的世界观大不相同，因此他们相互之间以及与政策制订者之间相互沟通从而建立对人类环境难题的共同理解存在着较大的困难。

应付两个本质上不相容的需要

社会经济发展和人类生活质量和经济福利的发展的一个基本问题是不可避免地改变地表形态中的各种现象。由于地表形态的自然演变过程 - 主要与水有关 - 这些改变常常会对当地的生态系统无意识地产生了副

作用。其结果有时引起了强烈的利益分歧、争论，甚至暴力冲突。

必须尊重生态系统需要这一点已经得到了水管理者们的广泛认同。由于人类和生态系统都依赖于水，因此很自然在水管理中要正确对待生态系统。同时，在由联合国各国领导人一致同意的 2000 年千年宣言中包括了一系列人类生活需要，它们都与水密切相关：到 2015 年减少一半遭受贫穷、饥饿、疾病和缺乏引用水和卫生设施的人口。尤为关键的问题是由于人口增长而引起对食品、生物量、就业和住宿需求的增长，产生的不同生态系统都与水有关。

而最根本的任务是要认识到人类对地球生命支持系统的依赖性，没有这个生命支持系统，我们将无法得到食物、薪材和木料、也没有野生动物或者农作物等等。水通过其各种不同功能，在生态系统和社会系统的动态变化中发挥了多种作用。作为营养物质的载体，作为水生生态系统的环境，水有着决定陆地生态系统的功能，是陆地生态系统生命的万灵药。在社会系统中，水对于支持人类生命、食物生产、能源生产有着基本的社会作用；是传送媒介和移动溶剂；在影响的连续传播中是微气候缓和剂，全球能量载体等等。所以，既然人类和生态系统都真正地依赖于水，水资源综合管理就为我们提供了一个机会用一种综合的方法来保障人类生活和保护至关重要的生态系统。

为了实现这个目的，应形成一种基于流域的生态系统方法的概念。同时还应做各种努力保护基本的生态系统物质和服务的生产，而这些正是社会福利的基础。同时，应记住人类干扰生态系统还有着许多切入点：直接通过干扰当地的水流和水流路径，以及间接通过干扰土壤渗透性、植被和径流产生。由于在土地利用、生物量生产、水污染和水质恶化方面人类活动不断干扰水的生态功能，因此将面临淡水循环与生态系统之间的生物链接这样一个重要挑战。需要在不同水功能之间进行权衡 - 这是一项比为人类、工业和灌溉提供水这种传统努力更为复杂的任务。

三、人类活动和生态系统是如何关联的？

什么是生态系统？

基本上，生态统一词是指一组相互关联的有机体和由它们所组成的太阳驱动的系统，包括原始生产者、消耗体和分解者。它们一起调节着能量的流动、元素（包括水）的循环以及植被的时空形态。一个生态系统可以是任何规模，从全球规模小到局部规模。在大的规模时，地球的生命支持系统就是一个由太阳提供能量，并由循环的水联系在一起的系统，这里水的功能就象血液一样。在小的规模时，局部生物系统也作为生态系统：一片草地、一片森林、一个湖泊、一条溪流，等等。这就是用作物、草料、燃料、木材、鱼、肉等等为当地社会提供支持，同时当地居民也特别关心的生态系统。

在更为普遍的意义上来讲，生态系统可看作是社会和经济发展的基本的和动态的“生产要素”（Folke, 1997）。生态系统产生大量的可更新的资源和生态系统服务，而这些都是人类社会福利的基础。这意味着人类对这些资源和服务使用依赖于一个多功能生态系统存在、运作和维护，而这其中处于水文循环的水就是血液。

既然生态系统如此地依靠水，因此正确阐明水和生态系统之间的联系变得非常重要。不幸的是，有关水文和生态之间联系的文献有限。水文一直是工程师的领域，主要关注与社会相关的河流水流现象，而生态则是生物学家们的领域，主要关注气候/生态系统的联系以及对复杂生态系统的分析。在他们的分析中，将水看作只是所有其他因素之外的另一个环境因素，只用一些简单的指标表示。

从事生态工作的人们将他们主要兴趣放在可见的地表形态现象上，主要是水生生态环境和湿地。就陆地生态系统而言，他们主要关注水和植物在土壤表面的遭遇，特别是在缓和洪水和促进枯期流量上所谓的“流域功能”。在低纬度缺水地区，陆地生态系统中水的各方面因素

已经引起了人们的兴趣，开始对“森林创造水”的说法提出质疑。尽管光合作用消耗大量的水，但对其过程却没有进行多少讨论，由于土地覆盖层变化引起消耗的变化而改变了径流产生量，这在随后讨论。

在生态领域中水变得越来越重要，同时在水文领域中生态系统也变得越来越大，这反映在世界水行动报告中（2002年12月）。尽管这份报告强调了需要一种基于生态系统的管理方法，但主要突出了湿地和水生生态系统中与水有关的行动，强调环境流量、水污染和基础设施发展规模上。

不幸的是，从水管理的观点来看，生态系统一词并不非常明了。当从流域的观点来看，生态系统一词可以有两种补充解释：

1. 鉴于它所提供基本的生态服务，生态系统是社会福利所依赖的生命支持系统。
2. 它是当地居民特别社会价值中各中特定场点的生态景观组分（如：一片湿地、一片森林、一个湖泊等）。

人类和生态系统共享同样的水资源

在流域内，自然界与人类社会以及陆地和水生生态系统共享着降雨，因此，这是一个可以实现人类和自然平衡的单元。所有降落到这个流域内的降雨构成了水资源，被所有依赖于水的各种活动所享用，见图1。在雨水到达地表后，分成了支持陆地生态系统的绿色水（土壤水）和支持水生生态系统并被人类使用的蓝色水液体流。

绿色水流系统反映山森林、草地和农田所消耗的水。它维持着陆地生态系统，特别是农作物生产。蓝色水流从山上流向山下，从陆地流向水系，可为社会所用。通过提取的方式“收获”的水用来支持人类活动并被输送到城市和工业使用。在使用后，带着污染物的废水作为回流返回到水系统中，除非进行了废水的深度。蓝色水也被提取用来灌溉。在使用过程中，部分水 - 消耗性使用 - 将转变成绿色水流，

而余下部分（未消耗部分）形成蓝色水回流。回流通常带有农药和土壤养分，在进入河流和海洋后造成水体富营养化。

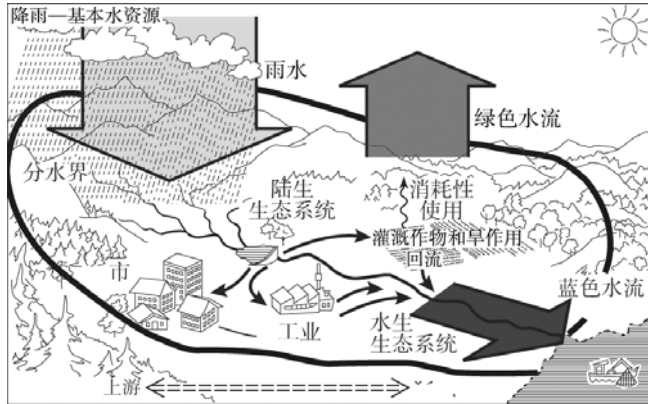


图1* 从流域的角度来说，在流域面积上的降雨代表着流域的真正水资源，其中一部分被植物消耗了，一部分从含水表层面蒸发（绿色水流），而余下部分则补充含水层和进入河流之中（蓝色水流），可供人类社会和水生生态系统使用。

人类安全之路牵涉地表形态改变

如前所述，人类在与蓝色水流的相互作用中十分活跃：一方面，人类带来污染，另一方面人类直接影响和改变地表形态，特别是植被、土壤和水流（Falkenmark 和 Mikulski, 1994 年）。为了满足人类社会对于食品、纤维、燃材和木材的需要，植被可能被砍掉（伐林）或发生改变（农业发展、重新造林）。通过耕种、排水、保护城镇等，重新改造地表形态来利用土壤。通过开井和抽取地下水用于城乡供水、通过管道和渠道将地表水输送到城镇、工业和灌溉工程、修建水库和大坝在丰水季节储存水供枯水季节使用，通过这些来利用水流。水库可用来控制水流，既减少下游洪水风险又保障枯水期的水供应。

人类活动由社会对生命支持 - 水、食物、木材、能源和住所 - 的

需求所驱动。人们期待着社会各级领导人保障或至少使人们获得这些物质和服务，这是消除贫穷和获得人类福利（人类生活需求）的根本，见图2（Falkenmark, 1997）。而这样做就涉及到了对土地（清除、耕种等）和水道（井、管道和蓄水设施）的物理干扰。化学干扰来自汽车排放、固体废弃物、废水和农药。基本上来说，废物是随着人类活动和社会经济的发展而产生（Falkenmark 和 Lundqvist, 2000）。由于地表形态存在着自然过程，这些干扰将会由人们没有意识到的副作用而反映出来，尤其是与水有关的各种活动过程。结果将造成空气质量恶化（如：酸雨）、土地产量退化（如：肥力退化、土壤变硬）、水质恶化（如：细菌污染、营养物污染、有毒物污染）。当这些现象发生变化时，生态系统随之受到干扰，产生高次效应：生态系统恶化（陆地和水生生态）和失去适应力，即生态系统应付自然和人类干扰的能力丧失。所有这些副作用将破坏社会的资源基础，因此是很严重的。所以，找到一个达到土地/水/生态系统的统一管理的方法是很必要的，这样能够既获得社会福利而又不会破坏社会福利的基础-生命支持系统。

但是，由于担心不能满足人类需要或产生不可接受的副作用，也需要和社会系统联系起来。其反应可以是积极也可是消极的：消极的如疾病、饥荒、争端，或者积极的如移民、期望值的改变、减少休耕地或进口食物。

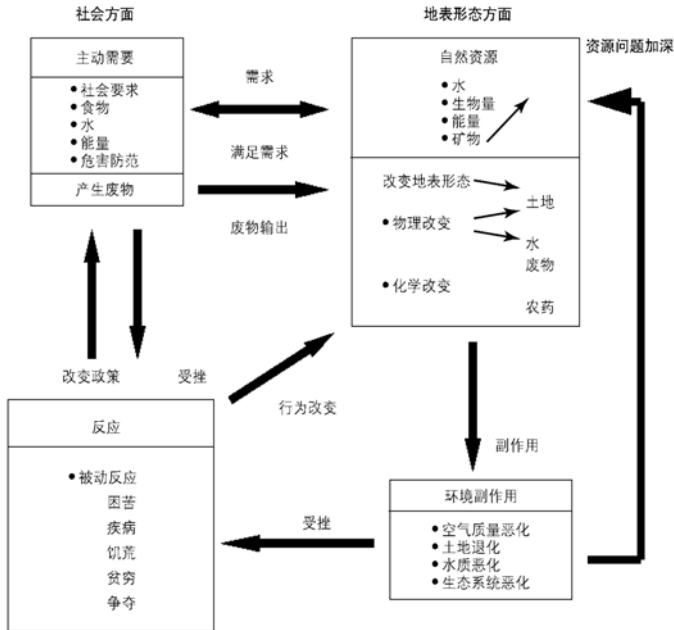


图 2* 地表形态上的人类活动(Falkenmark, 1997)

有趣的是请注意图2中不同的专业组倾向于将他们的兴趣放在不同的领域：工程师对方框 2（右上）感兴趣、环境专家和生态专家对方框 3（右下）感兴趣，企业家们对方框 1（左上）感兴趣，而社会科学家和政治家们对方框 1 和 4（左下）感兴趣。很显然，这种部门分工增加了应付人类活动所产生的环境负作用和取得可持续发展上的困难。

改变世界观

人类活动总会牵涉地表形态的改变，这个事实在现在已经逐渐被人们认识到，并引起生态学家们的思路转变。同时人们也逐渐明白人类应适应变化，可持续发展要维持社会和经济繁荣发展的潜能和能力。它依赖于生态系统服务和支持并在可预见的将来也是如此。目前的方法更趋向于以过程为导向，强调水（生物圈的血液）和生态系统之间的生物物理作用。

近几十年来的保障“生态平衡”的传统思想现在正在被放弃，原因见框图 1：人类必须学会适应变化。鉴于人类活动和当地生态系统存在着相互回应的联系，人们发现稳定是个例外。同样地，单纯地保护生态系统的思想也相继减弱，而趋向于更基于生态系统的管理方法。

框图 1：社会和环境共同发展

van der Leeuw 和他的同事最近研究了地中海地区 2 万年间一段时期人类活动对土地退化的影响，他们的研究是目前正在进行的观念改变的基石。研究范围覆盖西班牙的不毛之地、干旱和山洪；希腊南部的盐碱化和水管理不善，这是希腊西北部构造活动和人类与植被相互作用的一种组合；以及法国罗纳河流域 7000 年的人类活动。研究认为没有一种单一的自然动态变化能被认定对所观察到的土地退化负责，而更多是由于人类干预周围环境的集中的社会进程所造成，即社会和环境进程的共同演变的结果。研究小组认识到人类对环境变化的反应没有其他物种直接，因为人类社会必须在它作出有意识的回应之前必须察觉。因此这种相关关系更具有共鸣的特点而非因果关系。该研究还对那种想继续并永远保持我们的生活方式这种可持续性观点提出质疑；这种观点基于这样的假定：稳定是自然和人类可以实现的。然而，从长期的观点来看，该研究认为这只是一个幻想。既然已经认识到人类行动已经成为是生态系统发展的主要构成因素，关于自然和社会作为系统趋于平衡的早期世界观现在已经被一种动态的观点所取代。稳定可能是一个例外，值得特别分析。结果是，我们应假定变化来分析稳定，而不是假定稳定来分析变化。

在早期文明时代历经了千年的自然资源过分开采，导致了环境的恶化，有时甚至严重到引起整个社会的崩溃。其中一个例子是太平洋 Easter 岛上发生的人类社会的繁荣与衰落。一个集权的和组织良好的社会，由强烈的想向邻近部落展示力量的愿望所驱动，并由极力想超过下一任的领导者所领导，可将生态系统从一个自然开放的森林系统转变成几乎完全荒漠化的状态。主要原因是大量伐林以获取所需木材，用来把巨大的石像从内陆运送到他们生活的海边平台。200 座巨大的石像现在仍保留着，而 700 多座尚未加工完成，留在了不断崩溃的生态系统中。采伐森林最可能会造成风蚀和水蚀加大，加速土壤的退化，而由于他们的自然条件，这里的土壤本生就容易遭受侵蚀。

资料来源：van der Leeuw (2000), Redman (1999)

四、生态系统对水的依赖

人类社会是生物圈中的一个子系统，其中水是关键元素。人类极大地依靠全球生态系统提供可更新资源和获得生态服务，图3。人类改善福利的活动由社会驱动力所驱动并受制度体系的影响，但却产生了废物和其他干扰，影响了生态系统的功能。而从生物学来说生态系统的概念是指生活在一定的生物物理环境中的生物群之间的相互关系，连接水文和水管理的是特定生态系统中的水决定因素，即：水的特性决定栖息地和生长条件等等。

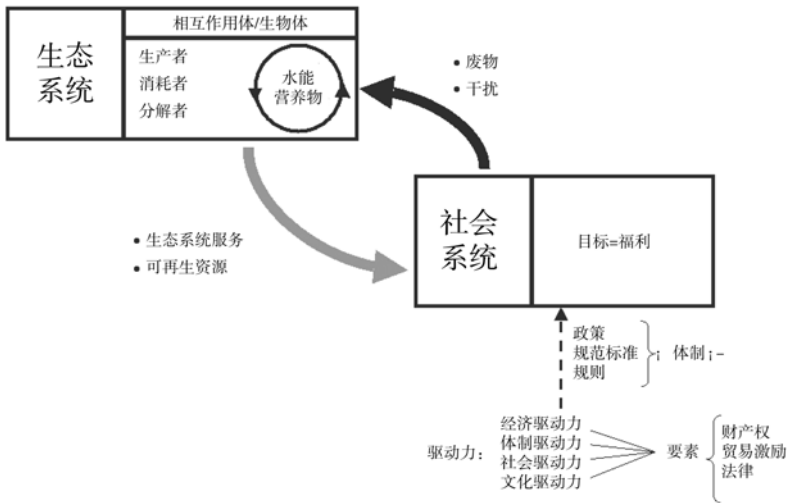


图3* 人类极大地依靠全球生态系统提供可更新资源和获得生态服务。人类改善福利的活动由社会驱动力所驱动并受制度体系的影响，但却产生了废物和其他干扰，影响了生态系统的功能。

生态系统提供生态“服务”：陆地生态系统生产力（木材、燃料、药材、作物等）和水生生态系统生产力（鱼、海鲜等）。这两种类型的生产力都必须保持运转。其他生态服务指的是执行生命支持系统机能的至关重要的过程（框图2）。当高地生态系统在各自享受着雨水（蒸发水、洪水和地下水）时，处于谷底的水生生态系统承受着上游人类活动带来的负担，表现为水质退化、河流枯竭和季节变化。

框图 2. 依赖于水的生态系统服务

水循环

一种较为成功的应对水在生命支持系统中复杂的作用,首先应更多地重视作为生物圈之血液的水的循环,即:将基于水循环的方法应用于人类与自然系统之间的相互作用中。首先,通过其物理、化学和生物上的参与,水在水循环中起着绝对基本的平衡作用。它通过互相平衡的三个主要过程来消散太阳能在时空上的变化:

- ◆ 物理过程。通过蒸发和浓缩之间相互作用,在重新分配地球能源上起重要作用
- ◆ 化学过程。通过结晶和分解之间的相互作用,在重新分配地球可溶性物质上起基本作用。
- ◆ 生物过程。通过作为光合过程第一步的水分子分解和后来通过呼吸作用重新集合之间的相互作用实现。析出的氢在氧气析出过程中形成纤维素。

主要功能和联系

生态系统服务对于发挥生命支持系统功能是极其重要的。有些生态服务很明显,而其他则内藏着。通过系统的方法,可以将它们构建成:

- ◆ 物理服务,如土壤中的磷吸收;淤泥的腐蚀和沉积;降雨截留;促进雨水渗透到土壤中。
- ◆ 化学服务,如在光合作用过程中产生氧气和吸收二氧化碳;脱氮作用;通过生物降解释放营养。
- ◆ 生物服务,如光合作用、授粉、播种、病虫害防治、生物量生产以及土壤疏松。

来源: RipI (1995), Daily (1997), FAO(2000)

陆地生态系统

由于它消耗大量的绿色水，事实上消耗了三分之二的陆地降雨，陆地生态系统在径流产生过程中起着根本的作用，见框图 3。

光合作用需要消耗大量的水，依气候而定。水是光合过程中两个原材料之一，另一个就是二氧化碳。光合过程首先经过水分子分裂，然后进行第二次生物化学反应，在这个过程中，游离氢与空气中的二氧化碳发生反应，形成糖分子，这构成植物生物量的基本构建体（Waterlow 等, Eds, 1998）。然而，当叶子中的气孔打开吸收二氧化碳时，植物通过扩散失去水分，而失去的水分通过植物根部向上的水流补充。

陆地生态系统在特征上差异很大，主要在草地和森林之间，而且在特征植被上也是这样，主导物种随气候而变化。

草地

草地包括沙漠草原、牧场和大草原。在最不发达的国家中，主要兴趣在于旱地陆地生态系统，其特征是生物产量低。在热带地区，降雨有很强的季节性，年际和长期变化大，而且大气蒸发需求量大，因此，树冠敞开，植被覆盖率常常少于 30%。植被形态非常复杂，有着大块大块的裸露（Wainwright 等, 1999）。水的供应成为植物生长和维持的主要支配因素。由于存在极大的变化，植物必须适应，也就是说，通过延迟反应、生长周期、团状或带状结构等等尽量减少气候变化所造成的影响。

降雨的时间、强度、季节性等决定着雨水的水文命运。因其具有吸收雨水、露水和水蒸气的能力，青苔甚至也可成为重要的植被。由于树冠开敞，土壤表面大量暴露，因而产沙量在旱地特别重要。植被覆盖率低使得土壤-植被-大气之间的转化变得复杂，土地和地表的退化会引起大气反应而改变降雨形式。（Savenije, 1995）

森林和林地

森林和林地中树叶的截留损失可能会很大，但在温带与热带地区相比又有很大不同。有树冠层时常常会小一些（Robert, 1999）。蒸腾往往比潜在蒸发要低得多，这在温带和热带森林之间没有大的差别。热带森林的树根可深至 15 米，但还不很清楚如此深的树根其功能是什么。在干旱条件下，树根在干早期通过收缩加强渗透，但土壤中也可能还有其他导管。由于渗透和树根吸收不同产生巨大变化而引起土壤湿度发生变化。大多数木本植物可能有 50% 的根系位于土壤上层的 30 厘米内。树根侧向生长，其大小与潮湿森林的树冠相适应，但在半干旱林地，这要大得多，在大草原上确定着树与树之间的距离（Eagleson 和 Segarra, 1985）。

框图 3: 陆地生态系统水消耗

陆地生态系统基本上依靠渗透水来生存。从全球范围看，陆地生态系统消耗着陆地上三分之二的降雨：

◆ 农田（包括野草和周围部分）	6800 km ³ /yr
◆ 温带和热带草地	15100 km ³ /yr
◆ 温带和热带森林、林地	40000 km ³ /yr
◆ 泥沼、沼地、沼泽、湿地	1400 km ³ /yr
◆ 苔原和沙漠	5700 km ³ /yr
◆ 其他	2000 km ³ /yr

合计	71000 km ³ /yr
----	---------------------------

这 71000 km³/yr 构成了陆地上的总绿色水流，即陆地蒸发蒸腾。图 4 形象地说明了陆地水的分区，说明了包括农作物生产在内的陆地生态系统的水消耗使用中绿色水流对蓝色水流的基础作用。还用比例形式说明了相对较小规模的水使用，这一直是过去水管理的重点，世界水委员会也对此进行过讨论。水取用总量估计为 3900 km³/yr，其中 2600 km³/yr 是消耗性使用，剩余的 1300 km³/yr 形成回流。

来源：Rockstrom 等, (1999), Cosgrove and Rijsberman (2000)

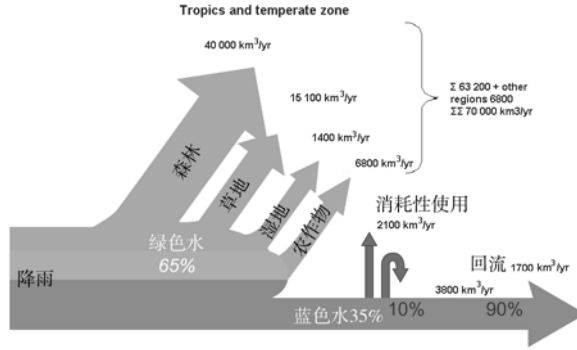


图 4* 全球范围陆地生态系统的水消耗使用 (Falkenmark, 2001 年 SIWI 研讨会)。

水生生态系统

蓝色水系统和水生生态系统不仅为我们提供河道内效益，如娱乐、航运、污染物稀释、提供栖息地如湿地，而且提供可索取的生活资源，如鱼、水禽、贝类、毛皮等等 (Postel 和 Carpenter, 1997)。

河流

在河道中，水运动被认为是影响植物分布的最重要因素 (Large 和 Prach, 1999)。由于局部流速有高有低以及泥沙分布不均，河中栖息地常常有一片一片大型植物分布。大型植物常常降低了流速也增加沉积从而为无脊椎动物和鱼类提供了栖息地，从这个意义上讲，条件同时也是相互影响。水的流量变化是河边系统中物种分布的主要控制因素之一，同时，地下水渗出的相对分布也很重要 (Wood 等, 2001)。

如果要维持生物的完整性和生态系统的功能，就需要保护无脊椎动物群 (Buffagni, 2001)。我们可以对栖息地对流量、氧气、温度方面的要求进行评价，以保障无脊椎动物群的呼吸和营养 (Freistuhler 等, 2001)。用这种方式可确定生态能够接受的流量，保证底栖无脊椎动物的数量和各物种的将来生存。洪水 / 干旱季节性变化对生物群来说非

常重要，它们已经适应了大多数洪峰仅发生在每年的某几个月。因此，洪水时间和强度的任何改变都将影响热带河流的生物多样性。

例如湄公河，许多鱼类在汛期游到上游繁殖，在旱季迁徙到下游。在雨季游到上游的鱼类在淹没区产卵，然后在干季聚集到河道中或者旁边的湖泊中。其他鱼类则利用上涨的水位游到沼泽、淹没的森林、稻田、牛轭湖等地生活和产卵（Dudgeon, 2000）。

湖泊

湖泊生态系统与来自流域的水和化学物紧密相联(Wetzel, 1999)。湖泊基本上属于陆地洼地，由流域来水注满而成，通过降雨和蒸发垂向交换进行调节。流域向其提供离子体，表现为入流中的化学成分。湖中水质因水的垂向交换而改变。当湖泊垂向水交换成正值时，含有离子体的入流被降雨所稀释。当湖泊垂向水交换成负值时，则产生水文富集作用从而增加离子含量。

结果，根据水的水平和垂向交换的相对作用，湖中栖息地有着不同的特点。有些湖泊山水的水平交换为主导，垂向交换的影响可忽略不计，因此以通流系统为特点，湖泊水体整体更新较快。其他集水面积小的湖泊以垂直交换为主导，这使得这些湖泊受气候控制，容易受气候波动的影响。大多数山区湖泊以通流为主，而咸海则主要受气候影响。而且，湖泊的生物结构和新陈代谢与水文流量以及从流域带来的化学物量密切相关(Wetzel, 1999)。流域内土地利用的改变造成地下水系统变化，这也会对湖泊产生影响。生物引起的大气水分的损失加上沿岸区的泥沙沉积将导致一些浅湖慢慢向陆地生态系统转变。这个过程成就了浅湖在地表形态上的短暂性。

湿地

从水管理者的角度来讲，湿地是难以应付的，这是因为从水文的观点讲它们有着很大的变化性（Mitsch 和 Gosselink, 2000）。湿地是生物学上定义的一种现象，其特点是以缺氧和低氧化还原潜力

(Wheeler, 1999), 主要是指潮湿的土地, 与什么样的水无关。从水文学的观点来说, 水生湿地与浅沼湿地的基本区别是, 一方面水生湿地是水生生态系统的一部分(浅水体), 另一方面浅沼湿地基本是湿的陆地系统。湿地的特点是, 地是湿的, 足以支持那些与排水好的土地上的植被明显不同的典型湿地植被(Pielou, 1998)。换言之, 湿地是由其植被而不是水文特点来定义的。

排水差的地方集有足够的水使其淹没水下或大多数时间处于饱和, 就形成湿地。在排水系统发展不完全的地区, 湿地特别多。例如, 在北美, 就植物生长而言, 湿地比其他农地或者自然草地上生长的植物要多(Pielou, 1998)。它们是生物多样性的宝库, 是广大在此繁殖或迁徙过程中停留进食的鸟类不可替代的栖息地。

有几种主要的湿地(Pielou, 1998): 泥沼(bog)、沼地(fen), 沼泽(marsh)和湿地(swamp)。前两种为泥炭地, 区别是: 泥沼中的水主要是雨水, 是死水且缺乏营养物, 而沼地中的水可以是渗漏的地下水或者是缓慢流动的地表水, 营养物丰富且缓慢流动。这种区别造成了两者在植被上有着惊人的不同。第二组湿地(marsh和swamp)随时间而干枯, 不能形成泥炭, 因为这种湿地仅仅是季节性被淹。这种非泥炭湿地与泥炭地不同, 它一般形成于温暖和干燥的气候中。有两种类型: 沼泽和湿地, 两者的植被不同。前者的植被是树, 后者是象草一样的植物。在干旱季节湿地的地下水位降到根系以下, 而沼泽中有着植被生长在常湿的土壤中。处在沼泽和旱地之间的是湿草地, 在地表面以下几厘米有水淤土, 其植被变化大。

从以上区别看, 陆地湿地的主要水控制因素可能是雨水(泥沼)、旁侧水流(沼地)、洪水(沼泽和湿地)、地下水渗透(沼地和湿草地)。许多湿地的存在是因为雨水的渗透受到非渗透土层或岩层的抑制, 从而限制了雨水的向下渗透。

湿地在流域内有着重要的水文功能, 如当湿地区的地下水位下降时

补充地下水；当湿地用来蓄水时调节流量；由于湿地生态系统的生物化学反应（脱氮作用、磷和金属的吸收）还可改变水质。

五、如何平衡人类活动和生态系统保护

如前所述，地表形态的改变是社会经济发展过程中的基本要素，但是，由于地表形态上的自然过程，常常会对水流、水道和水质带来副作用，从而影响依赖于水的生态系统。大多数后果的产生过程都与水有关：雨水在与植被接触中被分割；提升/带走功能，反映出水在连续运动中作为独特溶剂以及作为冲蚀剂的作用；水循环的连续性产生链效应。由于生态系统会发生改变是整个过程的结果，因此地表形态的改变常常与现有生态系统的保护相冲突。

学会如何适应变化

发展中国家目前所面临的主要环境挑战与可持续经济发展和提高人民生活水平紧密相关（IUCN ROSA, 2002），而这又威胁到自然资源的可持续使用和生物多样性的保护。要应对发展中国家的这种挑战，还必须充分重视热带地区（许多发展中国家所在地）和温带地区（许多工业化国家所在地）之间根本的水文 - 气候差别（Falkenmark 和 Chapman, 1989; Ayebotele 和 Falkenmark, 1992）。这一点非常重要，因为其降雨变化和蒸发需求更大。

三种人类活动威胁着生态系统

生态系统中与水有关的控制因素说明了生态系统会受到人类活动干扰的方式。这些控制因素包括水流、水道、流量的季节性、地下水水位和水质/化学成分。他们可能会在直接或间接的与水相关活动中受到影响。

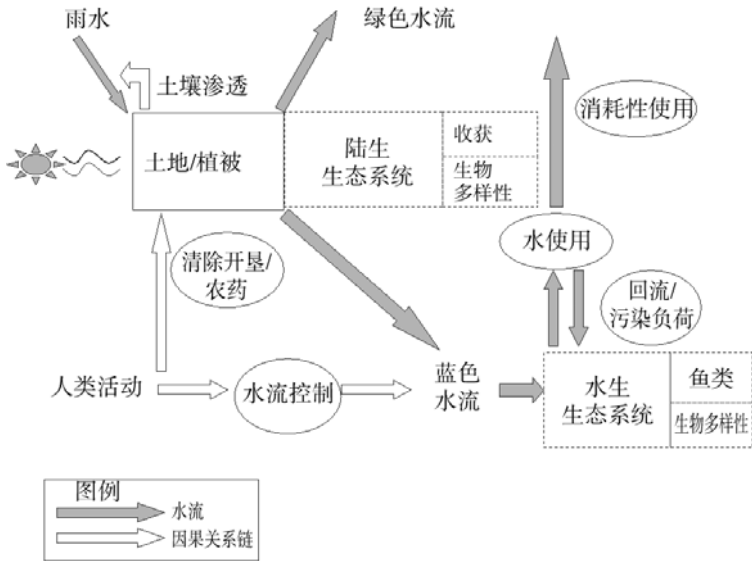


图 5* 人类在地表形态上的活动通过水流控制建筑物和消耗性的水使用直接或通过操控土地和植被间接地改变蓝色水流。

图 5 形象地说明了生态系统产品和服务的改变和造成这种改变的人类在地表形态上所进行的与食物、水、能源供应以及与收入有关的各种活动之间的因果关系链。本质上来说，改变生态系统控制因素涉及三个方面：

- ◆ 水流控制措施，为的是使水流的季节性适合水需求的季节性
- ◆ 改变土地覆盖层，影响了土壤的渗透性和雨水的分割，从而影响了径流产生
- ◆ 取水和取水后使用，分别表现在水的消耗性使用和污染负荷引起人们高度注意的土地覆盖改变有两种类型：森林砍伐（见框图 4）和旱地盐碱化（林地清除造成）（见框图 5）。森林的变化会引起径流量发生很大改变（GWP，1999）。森林砍伐对局部水平衡产生的影响有大量记载，其典型后果是长期径流和暴

雨水一流大量增加。伐林后总径流增加的同时，由于浅根低矮作物取代深根树木，蒸腾减少，这是径流增加的主要来源。因此，最大的径流增加与河流流量曲线中延缓的水流分量有关。在热带森林生态系统中，由于清除林木压实土地以及生物活动停止造成土壤中大孔隙丧失，地表土壤的水力学特性会很易受这些变化的影响。

环境派常常声称，森林对于水环境是非常必要的，它们增加雨量、增加径流、调节水流、减少侵蚀、减少洪水、净化供水、改善水质。这些观点反映在一些文件报告中，如第二届世界水论坛上国际大自然保护联盟（IUCN）的报告“水和自然的展望”（2000）。

框图 4：森林和水

森林有利于水环境和水资源的认识产生于人们对土地退化与森林减少，土地恢复和保持与森林增加之间联系的观察研究。在形成这个观点的过程中，焦点一直局限在土壤表面的可见现象，而没有放在不可见的根部活动。这个误导人的观点得到了林业部门的支持，并已经根深蒂固于公众的意识中，甚至“记载在一些最有影响的政策文件中”（Calder, 1999）。Calder 仔细查阅了许多没有科学根据的有关森林和水的“母声明”，并发表了以下意见：

1、森林增加降雨：雨水来源于空气中的水分，这些水分包含海洋的蒸发和迎风植被产生的绿色水流。由于丘陵和山区通常比相临低地降雨多，因此它们的自然植被一般是森林。森林蒸发的水补充大气中的水蒸汽流，并在其他地方以降雨的形式返回地面。通过这种大气反馈，森林砍伐可能在顺风而下的某个地方降雨减少而得到反映。

2、森林增加径流：径流是树叶截留水蒸发后和植物蒸腾后余下的雨量。一般来说，有较大树叶和较深树根的树产生的径流比一年生的农作物要多。森林地区产生的径流趋向于比低矮植被地区产生的径流要低。

3、森林调节流量：一般所指的是植被在决定土壤渗透性和旱季水流（地下水渗透补给）中所起的作用。水流是一特定地点系统的常常是竞争性过程的结果。造林将增加旱季水流，这并不常常是这样。

4、森林减少侵蚀：竞争性过程在起作用：降雨强度、地表径流产生、土壤水压力、树根对边坡稳定性的粘附效果、伐木技术（压实土壤）等。其综合效果是以特定地点和特定物种为特征的。

5、森林减少洪水：水文研究表明土地利用和暴雨流之间没有什么联系，特别是在有着混合覆盖层的大流域和一些洪水叠加的子流域。起作用的竞争性过程包括自然森林下的高渗透率、造林工程的排水和土壤压实。没有科学证据表明大洪水是由森林砍伐造成的。

综上所述，建议对有关森林与水资源的过分简单的“旧典范”的理解采取一种更为怀疑的态度。

来源：Calder (1999)、全球水伙伴(1999)、Savenije(1995)

框图 5: 澳大利亚干旱地盐碱化—土地覆盖层变化的影响

澳大利亚的主要环境问题之一是干旱地的土壤和水系的盐碱化。近一个世纪以来,人们已经广泛地认识到了整理土地与盐碱化之间的关系,但由于利益相关者动力不足,因此实施行动困难。数千年来,这片土地一直积聚着从海洋吹过来的盐分。上万年的盐分积累足够说明了沿海地区所测得的含盐量。当地桉树植被的水平衡表现了降雨量与绿色水流之间的默契。结果,地下水补充(冲刷蒸发后留下的盐分)很低,因此地下水水位下降到土壤深处。在这种脆弱的环境中,森林砍伐产生了凶险的结果,从根本上改变原本平衡的系统。整理土地减少了绿色水流,增加了地下水补充并提高了地下水水位。结果引起低地地区的盐渗漏。有的地区甚至威胁到饮用水水库。

要通过土地管理措施来改变这种发展趋势不容易。在一些特定的地下水补充地区重新种植树木看来是一种可以接受的控制方法,但经济效果有限。在其他地区,已经提倡改变种植方式,用苜蓿或羽扇豆等深根作物替代浅根作物。然而,由于当地利益相关者动力不足,这个雄心勃勃的计划成效不大。尽管意识到了这个问题且技术上可以解决,但盐碱化问题仍然没有得到遏制,因此,成为这样一个事实:由于澳大利亚在土地利用和水之间联系的理解上主导地位,更加扰乱了其宏大的土地保护计划等。澳大利亚为了走出经济上的区域性环境缺陷,从当地土地所有者的热望、动机和动力方面人类对土地利用进行必要改变的度是要解决的根本方面。

来源: Calder (1999)

三种考虑

从人类与生命支持系统中生态现象之间相互作用关系可以看出，在水资源综合管理的过程中必须权衡得失。在这个过程中，应注意非常重要的上游/下游关系（Falkenmark,1999）。流域上游承担着许多水影响的活动：土地使用转换、水流改变、污染负荷等等。同时还影响着河流流量、流到下游地区的水流的季节性和水质。下游的利益相关者从事着依赖于水的活动和现象：家庭、市政、工业、灌溉农业等直接用水，以及河边湿地、水生生态系统和沿岸生态系统的生态服务。

如前所述，必须从生态系统规模上对两个补充焦点进行区分：一方面焦点在特定地点的生态系统，特别是保护需要；另一方面焦点在流域内生命支持系统的可持续生产力。

保障生命支持系统的长期生产力

本文阐明了保障未来一代的关键是生命支持系统提供食品和生物量的能力并在承受干扰和变化的同时提供各种生态服务。地表形态上的生态系统通过河流以上游/下游的形式联系在一起。淡水流量、农作物生产和其他陆地生态系统服务都彼此之间相互联系和相互依存。下游水生生态系统对所有上游活动产生的综合结果作出反应。值得思考的关键问题应包括河流中需要留下多少水以及为什么？必须避免什么污染以及为什么？等等。

了解水资源综合管理和生态服务之间联系的一种方式是将提供大量水和生态产品和服务的流域作为资产来管理。其中有些服务是相互协调的；而有些则是相互冲突的（全球水伙伴，1999）。因此，需要根据人类固有的生态-水文形态观点有意地进行各种利益权衡。我们甚至可以想象这样一种情形：土地所有者必须为社会整体管理自然资源，并为此得到报酬。必须以一种综合的方式管理生态系统服务和水。必须以一种适应的方式管理流域，保护生命支持系统适应突发事件的能力，避免生态系统回到一个更加脆弱的状态。

必须制订保护生命支持的可持续生产能力的标准。这意味着已经确定了对于具有社会和经济意义的陆地生态系统产品、对于具有生态意义的陆地生态系统服务、对于具有社会和经济意义的水生生态系统产品、和对于具有不同方面意义的水生系统服务等生产来说哪些主要功能是至关重要的。人类通过其活动常常改变着干扰方式，在这种环境下生物体已经随着时间的推移进化了。这些干扰会有着很大的不同：自然干扰、非自然干扰，以及两者的结合。因此有必要保障生态系统在应对周围环境突发变化（如暴风雨、火灾、干旱或突然的污染事件）时有足够“弹性”。生态学家将这种“弹性”说成是对干扰的适应能力。因此，关键的问题是保障其吸收持续变化的能力，而不丧失其提供生态产品和服务的动态能力。

从以上可以很明显看出，一个重要的考虑是如何保护流域内生命支持系统的适应能力，尤其特别是该系统重要的生产功能。在此，最重要的任务是实施以流域为基础的适应性管理，旨在促使生态系统向未来保护和保障的方向发展。必须尽一切办法尽早地通过行动来避免生态系统崩溃，为下一代保护土地和水资源（见框图 6）。

框图 6：适应变化的长期适应力

有两种适应力：社会适应力，即社会及其体制的应对能力；生态适应力，即生态系统的应对能力。适应力是指压力条件下能承受变化而不丧失功能和基本特性以及根据变化通过自身组织力量恢复损失以便获得再生和重组的能力。一旦社会或生态系统失去了适应力，它就会在早期能够承受的变化面前变得脆弱。当情况发生变化时，它可能由于先前的生活方式遭到破坏而引起许多社会问题。适应力如果降低，它将逐步把微小的客观事件酿成灾祸，换言之，适应力降低，脆弱性增加。比如，因土地退化和旱灾引起的适应力降低，其结果是社会与经济脆弱性增加，这就有可能导致丧失生活条件，并引起淡水和食品等必要资源的紧张和冲突。

我们应采取的指导原则是不让这种退化发展到生态系统崩溃的程度，流域管理的目标应该是使流域内的生命维持系统的基础得到保护。应防止生态系统逐步演变到各种缺少弹性/适应力的境地，以防止不可避免地出现令人意想不到的变化。按照目前的理解层面，焦点应集中在那些影响本文所提及的特殊生态系统的功能的变数减缓方面，这些变数包括土地利用、营养物、土壤特性以及长寿的有机体生物量等。因为土地利用和土壤特性两者都与水循环过程和水功能紧密相连，因此，在下一个理解层面应增加水的变数这个概念，这主要是指水流方式、清洁水流和水的有毒污染。

如果说适应力是破坏力的缓冲器，那么这种缓冲器是通过生物多样性而发挥作用的，生物多样性在两者之间起到了保险的作用。此外，生物多样性对于提供交叉功能以便恢复生态系统的能力、形成实质性的生态恢复而言，也是很重要的。生物多样性一旦丧失，就会降低生态系统在变化面前的适应力，并且使生态系统作为经济活动和人类安全的基础这一功能受到威胁。在特定的生态系统中，许多物种具有相似的功能，也就是说，在一定程度上它们可以相互对应。因此，生物的最小成分应当维持主要生产者、消费者和分解者之间的关系，使之能够做到继续调整能流、要素循环以及植被的时空图。

对于任何生态系统而言，其功能应当保证，淡水为有关过程提供了基础——这个基础恰恰是过去在很大程度上被我们所忽视的。

来源：Folke 等（2002 年）

地方生态系统保护

在流域内，可能有些特别的地方和独特的生物地表形态部分需要保护，因为那里有趣味横生的地方物种、颇有价值的生物多样性、美丽旖旎的风光与河流地表形态以及独一无二的社会瑰宝等等。地方生态系统保护可能在情感上和/或生态上都是有根据的。任何一种意义上的保护，基本上都意味着使其免遭崩溃的危险或避免滑入使人不愿意看到的各种境地，如清澈的湖泊变浑浊，雾林遭毁，半干旱的牧场从草原变为树木植被场，大草原宜农生态系统变成低产出，大草原生态系统由于迎风的森林被砍伐降低了大气湿度致使降雨减少（Savenije, 1995）。这种突变的迹象可能表现为生态系统完全崩溃、粮食产量改变、混合植被改变以及湖泊浑浊度变化。水的循环在生态退化过程中发挥着本质的作用，一方面，它传播干扰，另一方面，它为干扰提供一系列不同的切入点。

为了控制各种不同的生态系统，必须辨别它们的水方面的各种控制因素（水流，水道，水流季节性，地下水位，水质/化学特性等）以及直接或间接受取水、消耗性用水、污染承载力、隔断水的土地利用、水流控制措施等影响的各种决定因素。

流域内部兼容性

在流域内部，生物物理链影响着土地利用、水资源利用和生态系统保护的内部兼容性及和谐性，这涉及到各种水流环节：影响产流的土地利用，影响河流流量的消耗性用水，影响水质的污染承载力以及决定上下游用水机会的流域总体流量。对于水生态系统而言，重要的是保持合适的动植物生活环境，避免任何造成环境退化的水质污染。无论是洪水流量还是河流未调配流量条件下都必须保证环境流量。陆地生态系统由于它在产流方面的作用因而是重要的，它们对于保护和保证地下水补给与枯季流量而言可能也是重要的，它们所消耗的绿色水越多，留作产流的剩余雨水就越少，要想保护它们，主要的问题是对改变土地利用的现象进行限制。

问题总体归结于要寻求同时满足社会需要和生态保护需要的途径。一般而言，社会需要包括水道与土地覆盖物等地貌组成部分的调整处理，由于水的后果关系生产功能，其负面影响是不可避免的，会对依赖水的生态系统产生干扰。同时，在水循环中，当谈到有益的生态功能时应考虑到：陆地生态系统是消耗水的，但它也能促进地下水补给因而保证枯季流量；水生生态系统是依赖蓝色水的，因此，当河流流量、季节性和/或水质发生改变时，它在这些变化面前是脆弱的，但与此同时，它与某些水污染成分相互发生作用，部分减少水污染问题。

基本上可以将流域看作是土地需求与水需求之间部分不和谐的一个镶嵌区，因此，我们所面临的总的挑战是让这个复杂的系统变为和谐，这项任务包括要保持三个不同类型的平衡：

- ◆ 满足社会需求同时将附加的污染承载降低到最低限度，并且认可有关的消耗性用水；
- ◆ 根据生态系统基本控制因素来满足最低生态标准：河流调配水时必须留有环境流量，保证洪水流量和合适的河流水质；
- ◆ 保证上下游之间以及社会需求与生态需求之间的用水和谐一致（SIWI，研讨会，2001）。

流域功能作为一个社会 - 生态 - 水文系统（Falkenmark 和 Folke，2002），必须在这个系统中保持有目的的权衡。同时，应保持这种权衡结果下的社会接纳性，尽可能设立必要的机构，制定相应的法规，投入必要的资金，通过适当的激励机制和教育方面的努力来实施这些措施。但在作出这些努力的同时，并发症将会出现，由于人口持续增长、城市移民和期望值增加而带来的土地利用和水资源利用进一步发生变化，其他方面的情况也将继续改变。此外，响应滞后将使这些努力复杂化：社会响应方面的滞后应降低到最低限度，水文响应与生态系统响应方面的滞后应该是可以接受的（Meybeck，2001）。最后，应预料到因介入性旱灾、洪水和污染而造成触发性事件。

实际步骤

三个关键的方面最后应该在所出现的管理系统中（保证 - 避免 - 预见）合并：保证为居民提供与水有关的服务，避免生态系统退化，预见各种变化和可变性。必须适当地注意这一事实——水通过其许多平行功能从各种不同的角度已深深卷入其中：

- ◆ 作为社会支持：健康，社会经济生产，食品 / 木材和能源生产；
- ◆ 在生态服务方面，包括陆地和水生态系统两个方面；
- ◆ 在洪灾、旱灾和疾病引起的环境威胁方面；
- ◆ 在其功能中通过它的提升 / 运走功能（冲刷 / 淤积和溶质输移）而成为一个“沉没的破坏者”。

实际步骤的基本途径应该是弄清生态系统及其功能、陆地与水生态系统的最低标准或“底线”。根据未调配的环境流量和最低水质标准为水生态系统确定底线之后，一旦平衡上下游之间利益关系时需要先从下游端开始工作，那么，所采取的实际步骤就应该移向上游各段（参见第 7 章）。在此，一个特殊的挑战就是要弄清适应力的控制因素，以避免生态系统的崩溃。

考虑绿色水影响

必须从本质上关注绿色水流量。但由于一些现实原因，在谈到管理时必须谈一下作为其结果的蓝色水状况。这表明，绿色水对蓝色水径流产生了影响，尤其改变了的径流的产生，这必须加以考虑。必须对沿特殊河段产生的额外径流、需求点和消耗性用水与回流水的划分、额外的污染负荷以及河流内的用水加以关注。基本的水资源是流域内水的划分中获得的降水。水一定是在流域内流动的，在这个流动过程中，“生态底线”必须得到保证并考虑进来，对上 / 下游之间的关系必须加以关注，适应力标准必须得到尊重。

框图 7: 黄河流域朝着资源性水管理转变

中国水利部正尝试着在黄河流域的管理中引入新的治水思路,其目的是将河流的管理从工程性管理变为资源性水管理,在该流域中必须解决三大问题:洪水被看作是一个问题而不是一种资源;严重的水污染和泥沙淤积;严重的水资源短缺导致下游断流。

根据这一设想,黄河必须从下游河口开始按照水量和水质的最低标准进行管理,楼梯式地、逐省逐省地向上游推进,确定每一河段的入流量和出流量。下游的“底线”是必须保证河口有足够的出流量,以便各种湿地得到保护,避免鸟类消失;同时避免海水冲刷以及咸水侵入地下水。每一河段可从上游分配到流量,但同时必须保证河中有一定的流量流到下游邻近省份,分段控制包括水量和水质两个方面。一旦下游河口省份的水量非常少时,必须减少消耗性用水/或减少废水排放。提倡对沿河成千个的取水口实行统一管理,这是一项交由沿河各省政府负责的任务。

这一治水方法将生态流量与环境流量区分开来,前者是指保护水生生态系统而必需的流量,后者是指稀释废水必需的流量——注重净化能力——至少保证水质符合国家维系优良生态系统的标准。这一思路的根本宗旨是,尽管水资源利用的其他优先次序还需要进一步的讨论,但首先必须满足水生生态功能的需要。

来源:汪恕诚(2002年)

“工作的河流”概念

在变化中生存而面临的挑战从澳大利亚堪培拉淡水生态合作研究中心所采用的方法中就可得到例证。他们引入了“工作的河流”这一概念（Whittington,2002年），并且将健康的工作的河流定义为“一条按照社区同意的在自然生态系统条件与人类开发利用程度之间可持续折中调和的原则进行管理的河流……我们将河流用于发电、城镇生活供水、生产和灌溉供水，我们还耕种肥沃的河流洪泛平原……工作的河流决不会表现出原始河流所拥有的功能。总而言之，河流承担的工作越多，它所拥有的自然属性就越少……工作的程度与自然属性的丧失之间存在不同的折中，具体取决于社区要让河流发挥什么样的作用”。

这种健康的工作河流概念中最重要的部分是河流的管理必须同时在工作水平与河流健康之间保持可持续性。

水储备

未来水管理中的一个挑战在于水资源包括相应于环境管理所需水的优化开发。在南非，一项新的水资源管理计划被写进1998年的国家水法，该法废除了早期的沿岸原则，规定要定期审查用水许可和用水期限许可，法律条文中唯一保留的水权就是所谓的水储备。水储备包括满足人类基本需要的水和保护水生态系统的水，它在其他所有用水需要面前拥有优先权，在水被分配用于其他用途之前首先必须满足储备的需要。但是，水早已经分配利用，生态储备要求也许随着时间推移需要日益满足。管理方案是通过在流域范围内强制性发放许可证的程序来减少特殊用户的用水权限，这个程序包括开展广泛的公共咨询和开发额外的水资源或者两者结合起来使用。节约用水和水需求管理在减少/抑制水需求方面也发挥着重要的作用。保护水生态系统的储备是指水量和水质两个方面，并且根据管理的等级而变化：天然，好，一般，不好和严重变化，后两种情况被认为不能维持功能性的生态系统。管理等级、有关资源质量目标以及储备的确定，正常情况下应作为一个统一的行动同时进行，程序范围从迅速、低级解决方案到加急、高级解决

方案来划分，视管理要求的不同灵活使用，并且是根据强制性发放许可证的计划分阶段使用，以便完全覆盖所有重要的水资源——这一做法也许将延长至 20 年的期限。因此，在南非，储备的概念取代了调整河流内流量要求方面所有其他水资源管理的要求，并且引入了一种新的迫切要素——注重许多河流确定生态流量的需要。这两种需要被赋予第一优先权，为每一条河流确定了生态流量，其流量占河流年平均流量的 20%（参见第 8 章）。

减少河流流量的活动

南非水法认为，作为一种水利用任何土地活动将减少河流流量，比如，经济林和旱地农作物比天然植被消耗更多的水（参见第 9 章）。

从南非的水计划中可以看出，在水资源高度紧张的情况下甚至入侵植被也应纳入管理（参见第 10 章）。

框图 8: 南非水储备

南非国家水法（1998 年）确定了储备这个概念，它由两部分组成——基本的人类需要储备和生态储备。基本的人类需求规定了个人的基本需要，包括饮用水、食品生产用水和个人卫生用水，消耗量总共为 25L/人/天。生态储备与保护水资源的水生态系统所需的水量有关，储备量取决于资源管理的等级。水资源的保护主要与它们的利用、开发、节约、管理和控制有关。根据水法，部长必须开发出可将国家水资源进行分类的系统，并确定等级和资源质量目标，在确定这些目标时，必须在保护和维护水资源与开发和利用水资源的需求之间寻求平衡。在正式的分类系统建立之前，规定要初步确定等级和资源质量目标，因为建立正式的分类系统耗时较长。当等级和资源质量目标确定之后，在水法之下行使职权或履行职责，就会对所有机构和组织产生约束力。

为水资源制定了 4 个管理等级：天然，好，一般，不好和严重变化。每一个管理等级将代表每一个特性的价值，水资源管理将尽可能地限定在其管理等级范围内。但是，当资源处于“不好”的情况下，管理等级可能按照“一般”的最低标准来设置，并且管理的目标是将资源恢复到这个状况。

资源质量目标对资源的生物、化学和物理属性作出了数字性或描述性的规定，这些规定标明了资源等级所界定的保护水平，它们包括：

- ◆ 河内水流的流量、流态、水位和保证率（生态储备）；
- ◆ 水质，包括水的物理、化学和生物特性；
- ◆ 河流与沿岸生物栖息地的特性和条件；
- ◆ 水生物区的特性和条件。

来源：Paul Roberts 博士，南非，作者备忘录，2002 年 11 月

框图 9：南非：由于河流流量影响活动，土地利用发生变化

减少河流流量的活动是指任何引起河流流量减少的土地活动。在与公众进行咨询后，部长可以将诸如此类的活动宣布为减少河流流量的活动。是否将某种活动宣布为减少流量的活动，取决于减少流量的幅度、减少期限及其对有关水资源和其他水用户的影响等诸多因素。根据水法，经济林因其对水资源产生影响而被控制管理，并被宣布为减少河流流量的活动，它将通过减少河流流量活动水资源利用许可证系统的手段进行调节。从概念上讲，减少河流流量的活动从广义上被界定为旱地作物（也许是玉米或旱地糖作物）比天然植被消耗更多的水，否则的话，天然植被应生长在那里（比如甘蔗等）。除了经济林以外，农作物没有被宣布为减少河流流量的活动，但是，目前只有甘蔗受到关注。在南非，经济林的覆盖率占土地面积的1%，消耗的水量占年平均径流量的3%--即总消耗量为14亿 m^3 /年或平均消耗量为100 mm。减少河流流量活动用水许可证系统取代了自1972年开始实施并在森林法（1984年122号）的调节下使用的许可系统。目前，仅给人造经济林发放了许可证，原来的许可系统只是对允许种植经济林的地区进行了调整，它是建立在通过对主要流域植树造林引起流量减少的百分比进行计算的基础上，并没有考虑到对其他用户的具体影响，如使流量减少或使小流域的用户受到影响。1972年的关于全部或部分主要流域的年平均径流量减少0%、5%和10%的分类方法允许种植林木，但该方法没有考虑到低流量：多年性河流有可能变成季节性河流，伴随着对河流的流动所依赖的因素产生影响。鉴于上述多种缺陷，特别是地方参与原来的系统（1972年）决策方面存在的不足，因此，水务与林业部长于1995年1月宣布，开发新的程序与系统。

新的减少河流流量活动水用户许可证发放系统是一种严格和连续的审查程序，无论是实质上还是表面上都与利益相关以及受影响的各方相牵连。自1999年10月1日起国家水法第4章（1998年第36号）开始实施以后，植树造林审查专家组（成立于1995年）就开始改名为减少河流流量活动许可证发放评估咨询委员会。战略环评开始与减少河流流量活动有关的一般功能同时发挥作用，它不仅用来处理减少河流流量活动，而且还用来应对国家水法第21节中所描述的水用户。战略环评将生物物理、经济和社会等三个方面的指标综合在一起评估。

来源：Paul Roberts 博士，南非，作者备忘录，2002年11月。

框图 10: 南非: 外来入侵植被的控制

据计算表明, 南非有 1000 万公顷的土地滋生着外来入侵植物, 它们在其出现的流域引起径流量大幅度减少。据查普曼等人 (2001) 评估, 外来入侵植物对南非水资源的影响是非常有害的, 因此每年要多消耗 33 亿 m^3 的水, 相当于南非径流量的 7%。这个问题已经非常严重, 如不采取措施将进一步恶化。在个别地区, 外来入侵植物的生长面积以每年 5% 的速度迅速扩大, 在 15 年的时间内将使受侵害的土地面积增加一倍。

外来入侵植物是一个需要侧重从环境方面考虑的土地管理问题, 它的管理必须采取多部门协调的方式加以解决。水资源规划是一项由环境旅游部、农业部和水利林业部共同制定的规划, 其目的是逐步弄清楚国内每一个地方外来入侵植物的滋生情况, 保证采取持之以恒的措施, 以避免这些植物重现。该项规划还包括采取诸如创造就业和培训机会等社会活动的方式, 促进建立利用木材的第二产业的发展。这项规划还在保护和恢复本地物种方面具有直接的环境效益。

清理工作在国有土地上开展, 同时还通过与土地所有者签订协议的方式在私人土地上开展。在开展此项工作时, 农业资源水土保持法中的必要条例得到运用, 以保证这项工作能进行到底。目前, 该项规划的大部分经费来源于政府特殊财产基金会, 但鉴于该项规划的费用是花在植被清理活动方面, 目的是增加可用水量, 因此, 部分经费还来源于向上述用水户收取的水资源管理费。外来入侵植物的控制与砍伐的费用非常之高, 据查普曼等人 (2001 年) 估算, 按照目前的做法, 每年需要花 6000 万美元的费用并且要用 20 多年的时间才能解决这个问题。目前采取的做法既包括机械性砍伐, 也包括生物性控制。

来源: Paul Roberts 博士, 南非, 作者备忘录, 2002 年 11 月。

六、水资源综合管理中的生态系统因素

当

谈到水资源综合管理中的生态系统保护时，首先必须正确理解的是：

- ◆ 什么需要保护：宝贵的风景，流域系统的适应力；
- ◆ 怎么保护：采用什么工具（陆地上——土地利用控制，水中——环境流量，非消耗性储备，质量底线，部门之间水的转让），采用何种方式照顾矛盾各方之间的平衡：法律上的优先，工作的健康的河流。

融合水、土地利用与生态管理的综合方法

从上面的论述中可以看出，淡水管理与生态系统动态管理必须统一起来，这相当于寻求将水管理、土地利用管理和生态系统管理（陆地生态和水生态）融合在社会生态水文流域管理中的途径和方法——即充分了解牵扯进来各种民族与政治上的两难抉择。因此，土地利用和陆地生态系统与绿色水有关，社会用水需求和水生态系统与蓝色水有关，蓝色水与绿色水的产流是降水分离的结果，最终的水资源是全流域的降水。

我们必须在不破坏生态系统提供生命支持的能力的前提下学会适应变化，这些变化包括基本的人类影响（参见图2）：自然界水的组成变化和土地/植被变化。这两种类型的影响既对水流的组成又对蓝/绿色水的分离都会产生与水有关的负面影响，两种情况都代表着生态系统的水控制因素，将会产生更高层次的生态变化。最后，水流通过自然界将上下游活动以及流域的生态系统连接起来，这种方法应该是基于流域生态方法上的土地/水一体化（GWP，2000）。

应对变化

在发展中国家，有一股强大的驱动力将引起土地和水的利用与管理发生巨大的变化，面临的这种变化也许值得引起我们的注意，特别是未来五十年世界人口继续增长的情况下给粮食增产带来变化。但是，山

于受水文气候条件的限制，这些变化可能会降临到工业化国家，它们被期待者将自己卷入虚拟的水资源出口，即生产更多的粮食出口到水资源短缺的发展中国家（参见框图 11）。

框图 11：消除饥饿所需要的新增绿色水

根据联合国大会世界首脑签署的世纪宣言，到 2015 年，世界上遭受饥饿威胁的人口数量应当减半，直至最后完全消除饥饿，与实现这一目标非常密切相关的一个问题是，需要增加多少绿色水用于粮食生产？

据 Rockstom 估算，目前每一份口粮的生产需要消耗 $600\text{--}1800\text{m}^3/\text{yr}$ 的绿色水，平均消耗 $1200\text{m}^3/\text{yr}$ ，粮食生产总共需要消耗的绿色水大约为 $7000\text{km}^3/\text{yr}$ 。为了生产出营养程度达到世界粮农组织可以接受水平的粮食，需要将耗水量增加到 $1300\text{m}^3/\text{yr}$ 。根据推算的 2050 年的世界人口总量（90 亿），这将意味着，到 2050 年时为消除饥饿，粮食生产需要新增 $5600\text{km}^3/\text{yr}$ 的用水量，即 $2200\text{km}^3/\text{yr}$ 的水量用于消除营养不良， $3400\text{km}^3/\text{yr}$ 的水量用来养活新增的人口。新增灌溉设施可能要求 $800\text{km}^3/\text{yr}$ 的水量，在增加绿色水粮食生产的用水效率方面作些努力，估计最多也要用水 $1500\text{km}^3/\text{yr}$ 水量，剩余的 $3300\text{km}^3/\text{yr}$ 水量只能继续依赖目前来自耕地储备的绿色水，即土地目前必须被绿草和森林覆盖，同时在这些地区开垦更多的耕地。

在地区层面上，养活这些人口需要的水量——要么通过更多的灌溉，要么通过改善雨水产流——这些措施在撒哈拉以南的非洲地区需要增加三倍多，在亚洲则需要增加两倍以上。在多大程度上需要这么做，也许靠增加灌溉面积，靠在增加绿色水用水效率方面作些努力，靠同时增加粮食生产，或者靠进口粮食的虚拟用水，具体采取哪一种措施，在很大程度上视地区的差异而有所不同。

关于为养活全世界的人口而需要增加用水量的估算，很清楚地阐明了我们未来在统一的土地/水/生态系统管理方面所面临的挑战的规模，为了“适应变化”，需要我们认真准备。

来源：Rockstom（2002）

流域就像生态系统与水文区的一个镶嵌区域

在对有关社会生态联接重新悉心研究的基础上，重要的是要认识到，怎样做才会为社会经济发展和维护生态系统的生产能力之间达到平衡。我们需要更好地理解流域生态系统镶嵌区的含义以及它们是怎样影响人类活动并受人类活动影响的，还有它们是怎样被水流联接起来的。需要有一定的手段和技术用来说明、量化和评价社会对生命支持生态系统的依赖性。在管理实践中，可以采用多种建立在生态知识基础上的方法，包括对某些物种和动植物的生活环境进行保护，对收成和捕捞量进行限制，对自然地表形态的修复以及整个流域进行管理。这些实际方法的实施既靠社会机制和机构又靠社会认识作为支撑。

这就要求我们必须适当了解自然地表形态的功能和相互作用，特别是了解在发生变化和具有不确定因素的情况下，淡水资源在保证系统能力安全以促进粮食生产和保护重要的生态服务功能方面是如何发挥作用的。我们必须寻找一种方法，如何才能将水资源安全、生态系统安全和粮食安全联接起来，因为它们全都通过水循环而密切相关，然而，现在却被我们割裂开来加以对待。

在具有生态系统镶嵌区和混合型社会活动的河流流域，对于水文、地形和水文地质条件存在差异的地区，必须了解，国际水管理学院（IWMI）引入了普通水文区这个概念（Molden 等，2001），界定这些区域的主要依据是，蓝色水在被引走和利用后会发生什么（图6）：回流水是可以恢复的并可被下游重新利用，或者它们是不可以恢复的并且不能重新利用，因为测定结果表明，回流水流向水池或水质较差。有三个区域的出流水可以利用并被下游重新利用：

- ◆ 流域上游的水源地区；
- ◆ 水通过自流方式回归水系统的自然恢复区；
- ◆ 水通过抽吸方式回归的控制恢复区。

此外，还有三个新增区域：

- ◆ 下游没有其他用户的最终利用区；
- ◆ 不能排水的无出路滞留区或低洼区；
- ◆ 出于生态或其他环境敏感问题的考虑对水有特殊要求的环境敏感区。

水资源综合管理中的 3 个支柱 (3E)

由此可以推断，当对流入某个流域的水资源进行管理时，其挑战是土地利用/水、人/生态、上游/下游、当代/后代之间是否能达到和谐，与流域的水平衡和水流系统相关联的流域水文气候和生物物理的实际情况是否受到足够的关注。这些管理包括：a)达到平衡的能力，b)在弄清楚需要什么样的适应力和社会与生态系统适合什么样的变化的基础上确定生态“底线”和可持续发展原则，c)鉴别人权与水团结方面可以遵循的标准。

社会角度是指考虑到目前技术上的不足——产生水污染的活动，满足人们在生活用水、依赖水的粮食生产方面的基本需要。通过社会各方参与规划和决策的有效途径来保证社会对平衡的接纳，是很重要的。

生态角度是指既要关注陆地生态系统及其在局部径流产生中的作用，又要关注水生态系统及其对不受制约的环境流量的依赖性。某些具有很高价值的局部生态系统及其独特的水资源决定因素应该得到保护，综合系统的长期适应力对于后代的利益而言亦应是安全的。

经济角度不仅包括经济的一般发展，而且还必须关注利益——成本关系、财务挑战、成本范围，以保证水在基础设施中运行和维护，同时刺激各种功能当中水的价值的实现和引导。

影响人类活动与生态方面潜在和谐性的水流联系，将三E连接起来，必须关注蓝色水的可获取性：在满足河流中环境流量的需要的同时，有多少蓝色水可以调配供社会利用？当流域山开放变成封闭——即没有剩余的蓝色水供有效的消耗性利用时，管理方面的努力将包括为政策调整做准备。

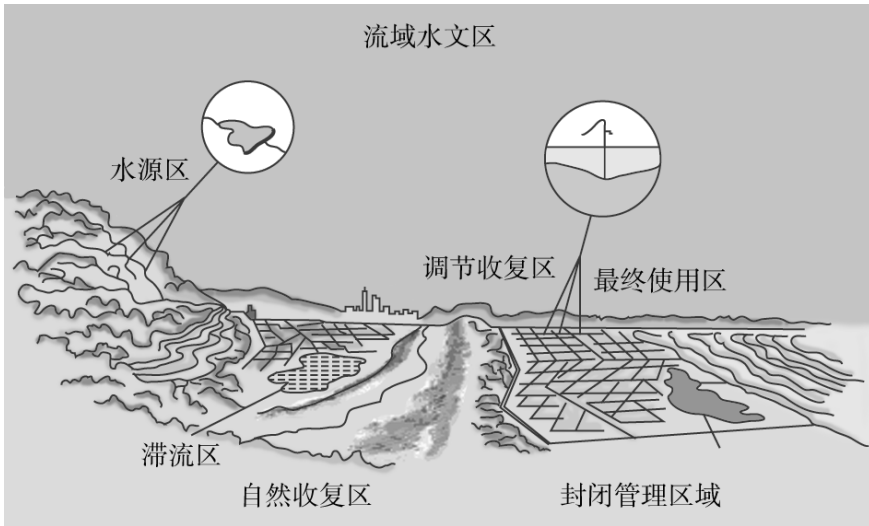


图 6* 流域不同水文区，关于水被利用后将会发生什么，是否可被再利用（Molden 等人，2001）

概念性挑战

在水资源综合管理中，加强至关重要的生态系统的可持续发展，还涉及到相当大的概念性挑战，关注的焦点应从取水转移到水被利用后将会发生什么、生态系统的水控制因素以及她们的水文功能（包括发生洪水、地下水补给和水质改变功能）。为了促使在生态专家与水管理者之间建立桥梁，应鼓励更加务实和谨慎地利用非常广泛的生态概念。

最后，应更加密切地关注水与适应力之间的连接，以便更好地理解适应力的有关水的控制因素和适应力侵蚀与生态系统崩溃中水的作用（肥沃的土壤盐碱化、雾林的萎缩、草原的过度开发、湖泊的富营养化等）。

七、水资源综合管理的结论

水 资源综合管理的目的是以不牺牲至关重要的生态环境的可持续发展为代价、从而最大限度地发挥经济与社会效益对水、土地和有关资源的协调开发与管理，这么理解的话，生态系统方法可以视为与水资源综合管理有些相似，但通过从不同的角度来看，较少关注经济效益。

生态系统保护

需要提出的一个关键问题是：政策的制定者怎样解释水资源综合管理定义中这样的表述：“以不牺牲至关重要的生态环境的可持续发展为代价”对该问题必须作出回答，目的是为了本报告中所阐述的两个补充性的生态系统角度：

- ◆ 具有特殊的地方价值的生物景观组成部分：这指的是具有很大的生物多样性和/或社会价值的特殊地方特色的森林、湖泊、草原、湿地以及河流等，它的可持续发展取决于重要的生物的相互影响是否得到保护，这些有机体应与它们特殊的生活环境的水控制因素同等对待（对于水生态系统而言有水质、泥沙负荷、环境流量、流量的季节性和极端性；对于陆地生态系统而言有降水、土壤水分蒸发蒸腾损失总量、地下水位线与水质、土壤湿度）。相关的问题是如何保护那些关键的控制因素以及在何种程度上保护才是现实可行的。
- ◆ 流域作为一个生态系统：这里的问题是要保障长期的生产力和所涉及的重要的相应的生态服务功能——即授粉、反硝化作用、蓄洪、土壤湿度、地下水补给。这项任务涉及提供关键的生态服务功能的流域中具有特殊生态价值的核心生态系统的确认，根本的关键过程必须得到保护，以便在诸如火灾、严重干旱、污染等事件的可变性面前具有足够的弹力和适应力。

架设桥梁

生态系统概念应得到加强、更好地被了解，并深深扎根在水资源管理者的脑海里，这方面所面临的挑战是要扩大和加强生态团体与水团体之间的合作。目前，两者之间已建立起合作的桥梁，并且需要进一步得到加强，同时，必须寻求实现生命支持系统持续发展这一共同目标的实际方法。

在弄清楚需要怎样合适的适应力的基础上，应确定生态最低要求或“底线”以及可持续发展原则。比如，社会适应力已与世纪宣言目标连接在一起，并且应由政治家来界定，生态适应力则应有科学团体来确定。

全部的研究领域是需要从水的角度来进一步加强，这保证了开展进一步的研究（或许在教科文组织/世界气象组织援助计划内），焦点集中在现实情况中重要的使用工具方面，同时结合使用 GWP 水资源综合管理工具箱中的工具。

将不同地区至关重要的生态系统绘制成图是需要的，同时也是为了更好地保护生态系统的工具。通过这种分析，将在水管理者与生态系统管理者之间建立紧密的联系，将梦想与实际行动分离。国家级层面上特殊情况下前进道路的确立，应当通过确实需要保护的具有地方特色的生态系统的评估与评价来进行指导，弄清楚什么是这些生态系统的主要威胁，在什么程度上并通过什么行动才能减轻或消除这些威胁。山地生态系统更易于保护，因为受到的威胁有限，下游水生态系统则难以保护，因为它们遭受流域整个上游部分人类活动日积月累的影响。在某些情况下，局部的恢复是可能的，在其他情况下，诸如洪水情形等一些关键的决定性因素是可以模拟的。

足够广泛的理解

结合水媒介连接，应在陆地生态系统、都市地区和水生态系统之间开发出一个共享的图像，这种图像将是很重要的它将作为加深利益相

关者、生态专家和水管理专家之间的对话以及引入水团结原则的基础。

普通公众对于生态挑战方面的了解和所拥有的知识水平是相当低的，依靠毫不知情的公众观点并缺乏生态系统真实情况和功能方面的知识而做出政策决策，是很危险的。多年来，在一些普通公众和从业者中间创造了许多有关陆地和水生态功能方面的“神化”，森林相对于水的功能就是一个鲜明的例子。因此，重要的是加强信息活动、公众超越与教育，寻求知识传播。

水利用与生态系统之间的关键联系

有关人类活动中，有两种需要特别考虑的水的类别：

- ◆ 排泄废物
- ◆ 生产粮食

自然可以处理废物并把他们重新带入生命循环圈。人类从他们所有的活动中生产出他们自己的废物，实际上生产出的废物多于有用的产品。根据目前现有的技术、他们所采用的规则与方式，废物可能被排放在水中、土地上或空气中，排放在处理过程各种不同场所。在废物处置方面确定明确的战略，是水资源综合管理实施生态系统方法的一个重要步骤。

粮食生产是主要的用水大户，现有的方法是依靠从丰水地区进口粮食而进口“虚拟”水，将咸水或海水脱盐或将废水适当处理后供灌溉用。在雨水灌溉农业地区，现有的预防旱季灾害的方法是依靠雨水收集。上述方法中，一些能在很大程度上解决缺水问题并且保护水生态系统的方法，都缺少资金，需要投资以及大量的运行费用，由此产生的对国家社会机构的影响应仔细加以评估。

体制

组织机构应按人民的需要和感觉来设置，现在的水组织机构在很大程度上建立在水是取之不竭的、废物的排放是不受限制的这种假设以及

忽视整体的作用的基础之上，他们强调个体的占用，没有对事物的外在性进行处理。更加重视生态系统在水资源综合管理中的作用，将要求灵活的、限制性的、适应性的和有时间界限的占用，同时对事物的外在性的控制和基于系统的组织机构的设计。

开发作出决策、在政策上权衡利弊和作出困难决策的能力是必需的，目的是为了在水资源综合管理框架内保持发展与生态系统功能之间的平衡。权衡利弊的能力和确定社会用水、生态用水以及经济用水之间的生态“底线”，取决于社会/政治组织机构的灵活性、弹性/适应性，同时还要求“新的”有助于综合生态观点的水管理方面的整体方法和组织设计。这些努力应该在与水资源有关的法律、政策和组织机构中有所反映，合法的平衡要求供人分享的方法并积极地将所有利益相关者都牵扯进来。

政治活动将权衡利弊和照顾平衡，并非所有的时候都能获得双赢的结果。变化是必然的，但必须是以保持重要的生态系统的生态适应力的方式而变化。水资源综合管理方法能有助于实现这一目标，但社会适应力的最终确立将是政治性的。

定义

生物多样性：指的是所有生命尤其是基因、物种、自然景观或生态系统的独特性和变异性。

生态系统：生物体及其相关的非生命环境的动态联合体，就像山主要的生产者、消费者和分解者组成的生态单位一样相互发生作用。

弹性：指生态系统在维持其结构和功能的同时适应变化的能力。

适应力：指的是生态或社会系统承受变化、压力和变异同时不改变其结构和功能的能力。生态适应力指的是自然生态系统的能力，社会适应力指的是人类社会适应变化的能力。