

## 基于系统视角的跨流域调水对生态环境影响研究

摘要：在对生态环境的结构和功能进行分析的基础上，利用可持续发展的概念模型分析得出生态环境在生态承载力范围内可持续发展。跨流域调水作为人类活动，对生态环境的影响是复杂的，表现形式也是多种多样的，就其本质来讲，跨流域调水通过影响生态环境的各子系统来影响整个生态环境，但对生态环境的影响仍要在生态承载力范围内，生态环境才能正常发挥其功能。

关键词：跨流域调水；生态环境；可持续发展；生态承载力

中图分类号：TV68 文献标识码：A

### 1 概述

跨流域调水的定义在国内已经基本上达成了一致，即是在两个或两个以上的流域系统之间，通过调剂水量余缺所进行的合理水资源开发利用 [1]。我国是世界上最早进行调水工程建设的国家之一，著名的邳沟工程、鸿沟工程等都为发展我国的水上交通和农业灌溉作出了重大贡献。建国以来，为解决缺水城市和地区的水资源紧张状况，我国又修建了 20 座大型跨流域调水工程，如江苏的江水北调工程、天津的引滦入津工程、广东的东深供水工程、河北的引黄入卫、山东的引黄济青工程、甘肃的引大入秦等 [2]。

目前生态环境一词使用的频率很高，但含义却用得很多样，在学术界争论也比较大。有的学者认为生态环境是坚持天人和谐的科学观，是从传统污染环境研究向复合生态系统研究的升华；有的学者认为生态环境即指生物环境；也有的学者则认为生态环境是一种通俗的说法，在不同的情景下有不同的含义。本文持第一种观点，认为生态环境是生态与环境的结合与升华，一般是从人类的角度来研究生物和周围环境的关系，并强调要在遵循自然生态关系的前提下，保证生态环境可以满足人类可持续发展的需要。

跨流域调水是人工干预水资源的时空分配，涉及到某些地区水量的减少和另外一些地区水量的增多，这势必会对工程全线的水资源、生物、气候乃至人类的社会生活、经济的发展产生影响，尤其是对生态环

境的影响是显著的。这些影响有直接的也有间接的，有短期的也有长期的，有诱发的也有积累的等诸多因素，因此是一项复杂的系统工程，需要系统的分析。

## 2 生态环境的系统分析

### 2.1 生态环境系统的结构及各要素的关系分析

生态环境是生物赖以生存的自然环境，分为物理环境和生物群落两大部分。物理环境包括水环境、土壤环境、气候环境及地形地貌等主要部分组成，它给生物提供能量和养分，也为生物提供生命活动需要的媒质，如水、空气和土壤等。生物群落是构成生态环境系统有序结构的关键因素，并分别担当着生产者、消费者和分解者的角色。生态环境系统结构图如图 1 所示。

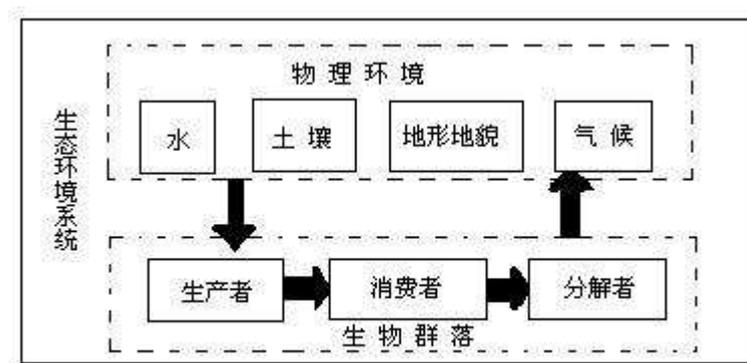


图1 生态环境系统结构

物理环境、生产者、消费者和分解者间通过物质、能量和信息的循环流动，生物得以生存和繁衍，物理环境得到更新并变得越来越适合生物生存的需要，形成一个有序的生态环境系统，为人类生存提供生活空间及必需的物质。

### 2.2 生态环境系统的服务功能分析

(1) 保护和维持生物多样性。生物多样性可以提供人类所需的各种食品、药物和工业原料，还具有保护人类生存环境的功能，而且生物的多样性与生态环境的稳定性密不可分，生物的多样性越高，生态系统就越稳定。

(2) 蓄水保水、缓解旱涝等极端水情。植物和土壤具有储蓄水分的作用，因此生态环境可以起到涵养水源，维持水循环，缓解、减少自然灾害的功能。

(3) 保护土壤，防止水土流失。地被植物阻截径流和蓄积水分，使水分下渗而减少径流冲刷；植物根系具有固土作用，发达的根系还使土壤疏松，增加雨水下渗能力而减少流失。

(4) 净化空气和水。虽然目前人类努力地控制污染，但是随着人口的迅速膨胀，产生的大量污染物仍需生态环境的自然净化来消纳。微生物是净化人造污染物的主要能手，绿色植物对净化空气污染具有独特作用。

(5) 为人类提供休闲娱乐、旅游、野趣等条件。对于处于高度紧张的现代城市人来说，生态环境具有调节精神、缓解压力的重要功能。

### 2.3 生态环境系统可持续发展的概念模型分析

生态环境系统由水环境、土壤环境、气候环境、生物环境及地形地貌等子系统组成，因此生态环境系统可持续发展的概念模型可简单地表示为：

$$Y=f(W, C, S, L, E)=A \cdot \prod_{i=1}^n \prod_{j=1}^m P_{ij}(n, m) \quad (1)$$

其中  $A = \lim_{W, C, S, L, E \rightarrow \text{opt}, \alpha \rightarrow \text{opt}} f(W, C, S, L, E, \alpha)$

式中 Y 为生态环境系统；f 为函数关系；W、A、S、L、E 分别表示水、气候、土壤、生物和地形各子系统； $\alpha$  为相关关系系统；A 为生态承载力极限； $P_{ij}$  为人类对各系统（i）中的不同系统组分、不同过程（j）的利用程度；n 和 m 分别为系统数及每个子系统内部的组分及过程数 [3]。生态承载力极限 A 是客观存在的最大的生态承受能力，是指在生态环境的综合条件下，使 W、A、L、E 等都达到最大利用状态，并且  $\alpha$  达到一种综合最佳状态时的生态承载能力大小。生态承载能力极限受生态环境综合条件的限制，在某一过程 j 是一个常量，但会随着过程 j 的变化而发生变化。

通过生态环境系统可持续发展的概念模型可以看出，生态环境系统是水、气候、土壤和生物及其错综复杂关系的函数，而且还表现为人类对生态环境的开发利用是有限的。

### 3 跨流域调水工程的系统分析

(1) 跨流域调水工程的结构分析。跨流域调水系统具有工程结构的复杂多样性，按其各部分的位置而言，大体可分为水调出区、水调入区、水量调蓄区和水通过区 4 部分，如图 2 所示。水调出区一般是那些水量丰富、可供外部其它流域调用的富水流域和地区；水调入区则是那些水量严重短缺、急需从外部其它流域调水补给的干旱流域和地区；水通过区是把水从调出区输送至调入区之间的地区范围；水量调蓄是指利用湖库等进行水量调蓄，水量调蓄区即调蓄湖库周围地区。



图2 跨流域调水工程结构示意图

(2) 跨流域调水工程的功能分析。跨流域调水工程一般是为了满足人类社会经济生活的需要建设实施的人类活动。按功能划分它主要有以下 6 大类：①以航运为主体的跨流域调水工程，如我国古代的京杭大运河等；②以灌溉为主的跨流域灌溉工程，如我国甘肃省的引大入秦工程等；③以供水为主的跨流域供水工程，如我国山东省的引黄济青工程、广东省的东深供水工程等；④以水电开发为主的跨流域水电开发工程，如澳大利亚的雪山工程、我国云南省的以礼河梯级水电站开发工程等；⑤跨流域综合利用工程，如我国的南水北调工程和美国的中央河谷工程等；⑥以除害为主要目的（如防洪）的跨流域分洪工程，如江苏、山东两省的沂沭泗水系供水东调南下工程等 [4]。大型跨流域调水工程通常是发电、供水、航运、灌溉、防洪、旅游、养殖及改善生态环境等目标和用途的集合体。

### 4 跨流域调水对生态环境的影响分析

#### 4.1 跨流域调水对生态环境影响的表现形式

跨流域调水工程对生态环境的影响,从影响的空间角度看可分为对水量调出区的影响、对水量调蓄区及水量通过区的影响和对水量调入水区的影响;从影响性质的角度看可以分为有利影响和不利影响。影响的具体表现形式如下 [5, 6] :

(1) 对水量调出区生态环境的影响。①有利影响。对泥沙、防洪的影响。如鸿沟、汴河等工程从黄河引水分沙,减缓引水点以下黄河河床的淤积抬升速度,有利于下游防洪和航运;调水对地区防洪起到有利作用。通过跨流域调水,可以将汛期水源区的一部分或大部分洪水调入受水区,从而减轻水源区的防洪压力。②不利影响。河口咸水入侵,水质恶化,破坏下游及河口区的生态环境;使当地丧失一部分灌溉水源,可能造成调水区干旱化,对灌溉产生影响;可能引起生态环境用水不足的问题;造成调水河道过流条件恶化。

(2) 对水量调入区生态环境的影响。①有利影响。可以改变灌区的各种特性,使生态环境朝有利的方向发展;调水形成湿地,可净化污水和空气,汇集和储存水分,补偿调节江湖水量、调节气候,保护生物多样性;调水能改善水质和环境,有利于饵料生物和鱼类的生产与繁殖、促进渔业的发展;调水可防止因超采地下水带来的危害;调水有益于人类健康。②不利影响。淹没土地和移民问题;水污染问题;传播疾病,影响人类健康;局部地段的土壤次生盐碱化。

(3) 对水量通过区及调蓄区生态环境的影响。①有利影响。地表流动水体的增加有利于沿程局地气候环境的改善,并提供了新的生境类型和水源地,还将增加一些大中型水库、河道的连通性和流动性,有利于水环境自净能力的提高;沿线受水区生活用水与工业用水短缺的形势将得到改善。②不利影响。工程施工期将产生大量灰尘、废渣等污染沿线,也会对河流水体,地下水水质产生影响;工程输水线路需占用大量的土地;输水沿线及受水地区土地大面积沼泽化、盐碱化;使原来的自然环境中增添了庞大水域,对于地下水位、渗漏的稳定状况,水生生物、岸边生物、水体水质、气温、降水、鱼产等生态环境均有可能造成不利影响。

#### 4.2 跨流域调水对生态环境影响的本质分析

跨流域调水对生态环境的影响就其影响的本质来看，主要通过直接影响水环境及地形地貌环境，间接地影响土壤环境、生物环境和气候环境等而使局部生态环境发生变化。图 3 为跨流域调水对生态环境影响示意图。

#### 4.3 跨流域调水对生态环境可持续发展的影响分析

由于跨流域调水影响生态环境的各子系统，用生态环境可持续发展的概念模型（1）式分析如下：受跨流域调水影响后，系统的各子系统 W、A、S、L、E 及相关关系系统  $\alpha$  均发生变化，生态承载力极限也会发生变化，但影响后，生态环境系统仍要在生态承载力极限范围内才能可持续发展。如果跨流域调水工程对生态环境的影响使生态承载力的极限范围变小，则人类的活动空间范围也逐渐变小，甚至如果跨流域调水工程对生态环境的影响超过了生态承载力的范围，必然导致生态环境恶化，它无法正常发挥其功能，人类也必受其害。因此人类对生态环境的利用目标应该是通过研究生态环境的自然运行规律，努力提高生态承载力的空间范围，才能真正提高人类对生态环境的利用程度。

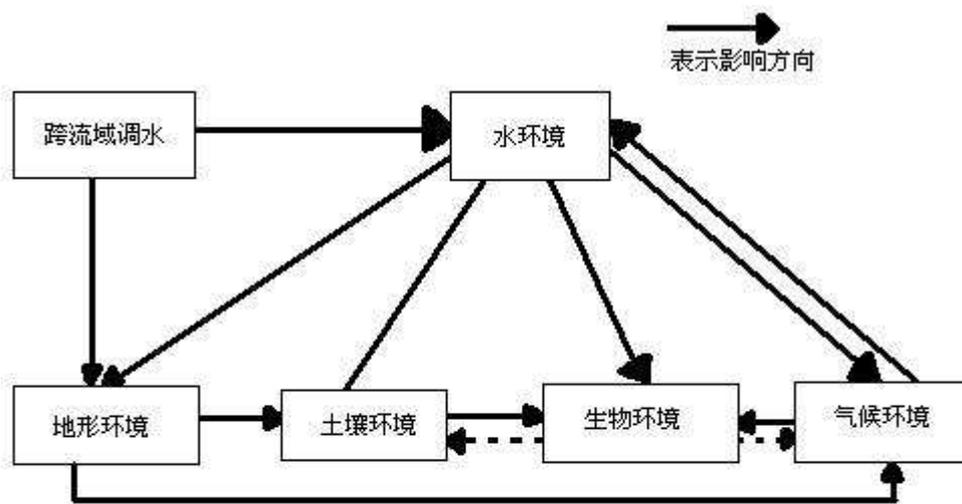


图3 跨流域调水对生态环境影响示意

#### 5 结论

没有人类活动的干预，生态环境根据其自身的发展演化规律，有其独特的结构和各部分的相互关系，稳定地发挥其功能。跨流域调水工程作为人类活动，必然会对生态环境产生影响，并且影响是极其复杂的，

表现形式也是多种多样的。跨流域调水工程对生态环境的影响应该不超过生态环境的极限范围——生态承载力极限，才能达到生态环境可持续发展的目的。

参考文献：

- [1]王宏江. 跨流域调水系统研究与实践. 中国水利, 2004, (11).
- [2]陆孝平. 我国跨流域调水工程的现状与发展. 水利水电工程设计, 1996, (5).
- [3]周德群. 可持续发展研究理论与模型. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1998.
- [4]郭元裕, 邵东国, 沈佩君. 关于跨流域调水一些基本问题的探讨, 水利电力科技, 1995, (2).
- [5]汪达. 论国外跨流域调水工程对生态环境的影响与发展趋势. 环境科学动态, 1999, (3).
- [6]方研. 国外跨流域调水工程及其生态环境影响. 人民长江, 2005, (10).

作者简介：常玉苗，女，河海大学商学院水文水资源与水利工程科学国家重点实验室，博士研究生。