

Kua Liuyu Diaoshui
Shengtai Huanjing
Yingxiang Pingjia Yanjiu

跨流域调水 生态环境影响评价研究

郭潇 方国华 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

Public Health & Environment

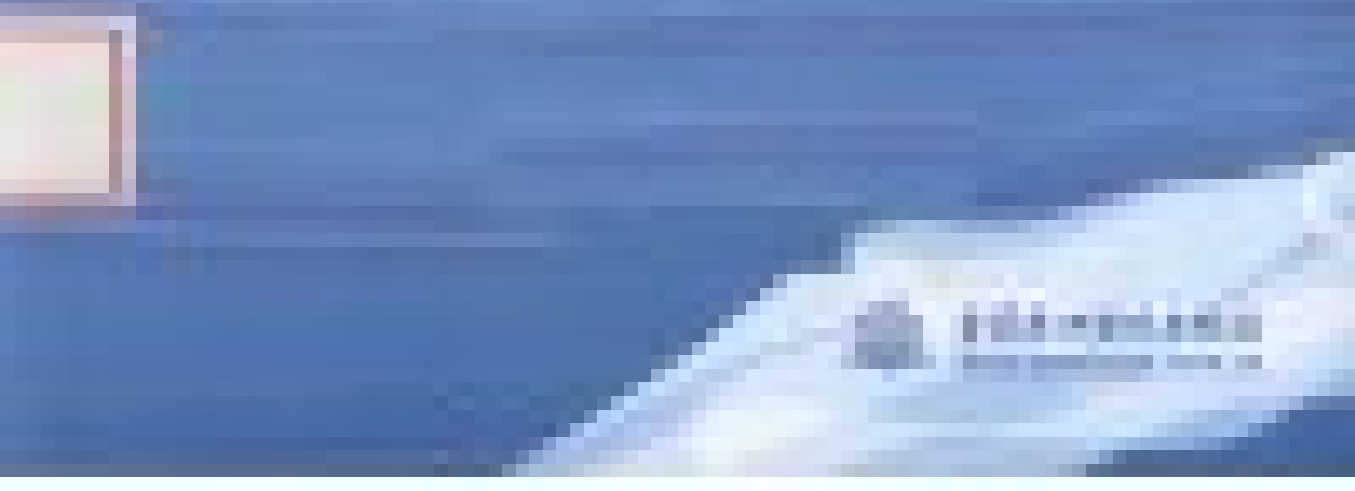
Environmental Engineering

Engineering Research Journal

环境工程学报

生态环境影响评价研究

2011 年第 11 期



跨流域调水 生态环境影响评价研究

郭潇 方国华 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

跨流域调水是调节区域水资源时空分布不均、实现水资源合理开发和高效利用的水资源优化配置的重要手段之一。本书采取理论分析与实例调查研究相结合的方式,全面分析调水对水源区、输水区和受水区生态环境带来的正面影响和造成的负面影响,探析主要的影响因子,构建评价指标体系,研究制定定量评价指标的评价标准,建立综合评价模型,并应用于引黄济青跨流域调水工程生态环境影响评价。

本书理论扎实、观点新颖、实例丰富,可供水利、电力、环境等专业的科研、设计、施工等工程技术人员和各高等院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

跨流域调水生态环境影响评价研究 / 郭潇, 方国华
著. — 北京: 中国水利水电出版社, 2010.5
ISBN 978-7-5084-7557-8

I. ①跨… II. ①郭… ②方… III. ①跨流域引水—
水利工程—水环境: 生态环境—环境影响—评价 IV.
①X143

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第100243号

书 名	跨流域调水生态环境影响评价研究
作 者	郭潇 方国华 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	184mm×260mm 16开本 7.75印张 184千字
版 次	2010年5月第1版 2010年5月第1次印刷
印 数	0001—1000册
定 价	26.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前言



水资源是宝贵的自然资源和环境资源，也是战略性资源。由于地球上水资源时空分布十分悬殊，降水径流在流域间、地区间的分布不均，随着社会的快速发展，水资源短缺问题更加严重，仅仅凭借流域内部的水量分配已难以满足经济社会发展的用水需求，于是，在 19 世纪中叶，跨流域调水的规划便应运而生，跨流域调水工程建设也随之逐渐兴起。目前，世界已建、在建和拟建的大规模、长距离、跨流域调水工程已达 160 多项，分布在 24 个国家。

调水工程是从某一个或若干个水源取水并沿着河槽、渠道、隧洞或管道等送给用水户的工程。跨流域调水是调节区域水资源时空分布不均、实现水资源合理开发和高效利用的水资源优化配置的重要手段之一，可有效缓解缺水地区及沿线地区的工业、农业及生活用水不足的矛盾，促进地区经济发展。

跨流域调水工程的建设与运行不可避免地一定程度上改变自然面貌和生态环境，对生态环境产生正面影响的同时，也可能会带来一些负面影响，致使水源区、输水区和受水区已形成的平衡状态受到一定的干扰。半个多世纪以来，学术界对环境影响评价的理论方法已有较多的研究，但对跨流域调水工程生态环境影响评价，大都是整体定性分析或者部分指标独立定量分析，缺乏系统的定量定性相结合的综合评价；现有的少量成果也主要是理论分析，实际应用还很少。因此，十分有必要开展跨流域调水对生态环境影响评价的理论方法及其应用研究。

本书根据跨流域调水工程的目标把跨流域调水工程分为 A 类（以解决城市供水紧缺为主要目标）、B 类（以解决农业灌溉用水不足为主要目标）、C 类（以生态环境保护为主要目标）和 D 类（以综合开发利用为目标）四种类型，采取理论分析与实例调查研究相结合的方式，全面分析调水对水源区、输水区和受水区生态环境带来的正面影响和造成的负面影响，探析主要的影响因子，构建评价指标体系，研究制定定量评价指标的评价标准，建立综合评价模型，并应用于引黄济青跨流域调水工程生态环境影响评价。主要研究成果包括以下几个方面。

(1) 系统研究生态环境影响评价的基本理论,如环境学理论、可持续发展理论、系统理论、生态经济学理论等,提出跨流域调水生态环境影响评价的指导思想和原则,指出跨流域调水生态环境影响评价工作的主要内容和基本程序。

(2) 在广泛调研基础上,以定量和定性分析相结合的方式全面研究分析城市供水、农业灌溉、生态补水和综合利用四类跨流域调水工程对其水源区、输水区和受水区的生态环境影响,探寻调水工程对水源区、输水区和受水区主要的生态环境影响因子,并综合分析跨流域调水对生态环境的正面影响、负面影响及主要影响因子。

(3) 综合运用水资源、水利工程、环境工程、生态学、经济学等多学科知识,引入社会—经济—自然复合生态系统概念,采用聚类分析法对指标进行识别和筛选,从物理化学系统、生物系统、社会经济系统三个方面构建复合生态系统框架下跨流域调水工程生态环境影响评价指标体系,明确各指标的含义和量化方法,并提出了不同类型跨流域调水生态环境影响评价指标权重的选取准则。

(4) 应用隶属度函数法研究制定定量评价指标的评价标准,针对跨流域调水生态环境影响评价指标体系有些指标可以定量分析而有些指标只能定性模糊处理的特点,集成应用多目标决策技术中的模糊评价法与层次分析法,建立跨流域调水生态环境影响评价多级模糊复合评价模型,使评价结果得以量化。

(5) 理论运用于实际,把本书研究提出的跨流域调水生态环境影响评价理论、方法运用于引黄济青工程受水区、水源区和输水区生态环境影响评价,并从采取有力的生态环境保护管理措施、完善生态环境监测监控和建立生态补偿机制等方面提出了加强引黄济青工程生态环境保护的具体建议。

本书研究成果不仅可以丰富相关学科的内容,同时还直接服务于决策者的决策行为,对于类似工程评价决策也具有借鉴作用。

限于作者的水平,书中的错误或不足之处在所难免,敬请专家和读者批评指正。

作者

2010年3月于北京

目 录

前言

第1章 绪论	1
1.1 跨流域调水工程概述	1
1.2 研究的背景、目的和意义	4
1.3 国内外相关研究成果及研究动态	5
1.4 主要研究内容、方法	10
第2章 跨流域调水生态环境影响研究基本理论	13
2.1 生态环境学理论	13
2.2 生态环境影响评价的理论基础	16
2.3 跨流域调水生态环境影响评价的指导思想和原则	18
2.4 跨流域调水生态环境影响评价的主要内容和基本程序	19
2.5 本章小结	21
第3章 跨流域调水生态环境影响因子分析	22
3.1 城市供水工程	22
3.2 农业灌溉工程	26
3.3 生态补水工程	31
3.4 综合利用工程	35
3.5 综合分析	39
3.6 本章小结	42
第4章 跨流域调水生态环境影响评价指标体系构建	43
4.1 评价指标体系构建的原则	43
4.2 评价指标的识别与筛选	44
4.3 评价指标的含义及量化	48
4.4 评价指标体系的建立	57
4.5 本章小结	61
第5章 跨流域调水生态环境影响评价模型建立	62
5.1 评价方法优选	62
5.2 评语集选择和评语数值化	66
5.3 建立隶属度集	66

5.4	多级模糊评价模型.....	71
5.5	本章小结.....	77
第6章	实例分析——引黄济青工程生态环境影响评价	79
6.1	引黄济青工程概况.....	79
6.2	引黄济青工程对水源区滨州市生态环境影响评价.....	81
6.3	引黄济青工程对输水区东营市和潍坊市生态环境影响评价.....	88
6.4	引黄济青对受水区青岛市生态环境影响评价.....	96
6.5	分析与建议	104
6.6	本章小结	107
第7章	研究结论	108
	参考文献.....	110

绪 论

1.1 跨流域调水工程概述

调水工程是从某一个或若干个水源取水并沿着河槽、渠道、隧洞或管道等方式送给用水户的工程^[1]。跨流域调水是在两个或两个以上的流域系统间通过调剂水量余缺所进行的合理开发、高效利用和合理配置水资源的方式,以实现调节区域水资源时空分布不均、水资源合理开发利用以及水资源的优化配置,它可缓解缺水地区及沿线地区的工业、农业及生活用水不足的矛盾,促进地区经济发展^[2~5]。跨流域调水可以定义为:在两个或两个以上的流域系统之间,调剂水量余缺所进行的水资源开发利用行为^[6]。

1.1.1 国内外跨流域调水工程概况

据不完全统计,目前世界已建、在建和拟建的大规模、长距离、跨流域调水工程已达 160 多项,分布在 24 个国家。

1.1.2.1 国内跨流域调水工程

我国古代著名的调水工程有京杭大运河、都江堰灌溉工程和郑国渠引泾入洛工程。

京杭大运河,始建于春秋末(公元前 5 世纪),后经隋(581~618 年)及元(1206~1368 年)两代扩建延伸。大运河最早是为水上交通运输而建,后原有功能逐渐减弱,现在部分河道成为南水北调东线工程长江水北送的重要渠道。

都江堰灌溉工程,于战国秦昭王(公元前 256 年)时开始修建,历时数十年建成,使用至今。都江堰水利枢纽以农业灌溉为主要功能,兼具排洪、航运、漂木等多种功能。

秦朝(公元前 221~前 206 年)修建的郑国渠(位于陕西)引泾水入洛水灌溉农田,该工程也是我国古代的较大的以解决农业灌溉为主要目标的跨流域调水工程之一。

建国后我国修建了大量的跨流域调水工程。

以农业灌溉为主要功能目标的安徽淠史杭灌溉工程,1958 年开工,1972 年建成。该工程引水灌溉面积达 6617 万 hm^2 ,包括皖、豫两省 12 县。

以解决供水紧缺为主要目标的江苏江水北调工程,始建于 1961 年底,完成于 1977

年。该工程在解决供水紧缺的同时,兼顾防洪、灌溉、排涝、航运等功能。

以解决香港供水紧缺为目标的东深供水工程是1964年2月动工兴建的大型跨流域调水工程,工程在20世纪70年代、80年代和90年代先后进行了3次扩建,21世纪初进行了改造,由明渠输水改为暗涵送水,目前年供水能力达24.23亿 m^3 。

以解决干旱区农业灌溉问题的甘肃引大入秦工程,于1976年开工兴建,1995年10月通水。工程年引水量4.43亿 m^3 ,规划灌溉面积5.53万 hm^2 。

以解决城市供水紧缺问题为目标的引滦入津和引滦入唐工程都于1982年5月开工。引滦入津工程于1983年9月建成,向天津市供水;引滦入唐工程于1984年12月建成,向唐山市供水。

以解决城市供水和沿途农业开发为目标的综合开发利用工程山东引黄济青工程,于1986年4月15日开工兴建,1989年11月25日正式通水。工程供水至今,共引黄河水25亿 m^3 ,为青岛市供水12.2亿 m^3 ,为沿途地区提供农业灌溉用水11.5亿 m^3 ,解决了85万人的饮水问题。

以改善生态环境为目标的引黄济淀调水工程,自2006年11月24日黄河位山闸提闸放水开始,至2007年3月5日白洋淀12孔闸关闭结束,历时102天。进入河北省调水期间,共有3.43亿 m^3 水量进入河北省境内。

还有一些省、市、地区的调水工程,如以解决城市供水紧缺为目标的引青济秦(秦皇岛)、引黄入晋、引黄济津等工程。

特别地,南水北调工程是新中国成立以来工程量最浩大的跨流域调水工程。自20世纪50年代以来,经过长江水利委员会多年的勘测、规划、科研、论证及环境影响评价等工作,提出南水北调规划西、中、东3条输水线路,分别从长江流域上游、中游、下游调水。南水北调三线工程使长江、淮河、黄河及海河相联通,构成我国水资源“四横三纵、南北调配、东西互济”优化配置的总体格局。

1.1.2.2 国外跨流域调水工程

目前,国外已建的调水量最大的调水工程是巴基斯坦西水东调工程,年均调水量222亿 m^3 ;距离最长的是美国加利福尼亚北水南调工程,输水线路长900km,调水总扬程1151m,年调水量52亿 m^3 。下面简单分述美国、俄罗斯、加拿大、澳大利亚等国家的跨流域调水工程基本情况。

到目前为止,美国已建的跨流域调水工程有10多项,主要为灌溉和供水服务,兼顾防洪与发电,年调水总量达200多亿 m^3 ,除加利福尼亚的北水南调工程外,其他较重要的调水工程有:科罗拉多一大汤普森工程、中央河谷工程、中部亚利桑那工程等。

俄罗斯已建的大型调水工程达15项之多,年调水总量600亿 m^3 ,主要用于农田灌溉。这些工程中较著名的有欧洲部分的北水南调工程和亚洲部分的东水西调工程等。

加拿大已建调水工程50余处,主要用于水力发电,年调水量达1000多亿 m^3 。著名的调水工程有丘吉尔河—纳尔逊河工程和奥果基河—尼比巩河工程等。

澳大利亚闻名的调水工程是雪山工程。该工程位于澳大利亚东南部,运行范围包括澳大利亚东南部2000 km^2 的地域,沿途利用落差(总落差760m)发电供堪培拉及墨尔本、悉尼等城市民用和工业用电,同时可提供灌溉用水74亿 m^3 。

法国于1964年动工兴建了迪朗斯—凡尔顿调水工程,于1983年建成,设计灌溉面积6万 hm^2 ,年发电量5175亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$,并供150万人饮水。此外,法国还有勒斯特—加龙河等调水工程。

德国以生态环保为主要目标的巴伐利亚调水工程从阿尔特米尔河和多瑙河调水至雷格尼兹河和美因河,年平均调水1.5亿 m^3 ,在干旱年份,调水量增加到3.0亿 m^3 。

为发展农业灌溉,秘鲁的马赫斯调水工程于1971年开工建设,工程全部在海拔3600~4200m的高原上施工,穿越分水岭的隧洞长达15km,埋深在地面以下1000m,是目前世界上已完成的最艰巨的跨流域调水工程。

哈萨克斯坦以解决城市供水资源紧缺为主要目标的额尔齐斯调水工程,年调水量25亿 m^3 ,输水沿线有22级提水泵站(共26座),总扬程418m,是目前世界上梯级泵站级数最多的大流量、低扬程跨流域调水工程。

以解决农业灌溉用水不足为主要目标的巴基斯坦西水东调工程是当今世界上已建的调水量最大的工程,该工程于1960年开始实施,1977年基本建成,调水总流量高达2915 m^3/s ,平均年调水量222亿 m^3 。

印度是农业大国,其调水工程大多以满足农业灌溉用水需求为目标。恒河区工程,灌溉面积24万 hm^2 ;北方邦拉姆加河拉姆加坝至南部各区工程,灌溉面积60万 hm^2 ;巴克拉至楠加尔工程,灌溉面积160万 hm^2 ;纳加尔米萨加尔工程,灌溉面积80万 hm^2 ;萨尔达—萨哈亚克调水工程,灌溉面积约160万 hm^2 。

1.1.2 跨流域调水工程的分类

希克洛曼诺夫等人在《世界的用水保障与调水问题专著》中,按照水文地理标准(河系之间的水流再分配性质)把调水分为局域的、流域内的和跨流域的三大类^[7]。此外,跨流域调水也可按照用途目标、自然地理条件、调水方向等不同标准进行分类^[8]。按照跨流域调水的主要目标用途,大致可将跨流域调水分为以解决城市供水紧缺(如东深供水工程)、以解决农业灌溉用水不足(如引大入秦工程)、以生态环境保护(如白洋淀引水工程)和以综合利用(如引黄济青工程)等为目标的四种类型;按照自然地理条件,跨流域调水可分为气候区内的和跨气候区的;按照调水方向,跨流域调水又可分为单向跨流域调水和双向跨流域调水。

跨流域调水属于复杂的多学科水资源问题,具有丰富的内涵,在自然科学方面,涉及地形、水文、水质和水利工程;在社会科学方面,涉及政治、经济、生态、环境和法律。分析跨流域调水的生态环境影响,要同时考虑跨流域调水对自然生态环境的影响和对社会经济环境的影响,故此引入社会—经济—自然复合生态系统的概念。跨流域调水的目标,恰恰表现出了调水工程对自然生态环境和社会经济环境的主动影响意愿,因此按照用途目标对跨流域调水工程进行分类。

为方便叙述,特界定为:以解决城市供水紧缺为主要目标的跨流域调水工程为A类,以解决农业灌溉用水不足为主要目标的跨流域调水工程为B类,以生态环境保护为主要目标的跨流域调水工程为C类,以综合开发利用为目标的跨流域调水工程为D类。

1.2 研究的背景、目的和意义

1.2.1 研究背景

水资源是宝贵的自然资源和环境资源,也是战略性资源。由于地球上水资源时空分布十分悬殊^[9],降水径流在流域间、地区间分布不均,随着社会经济的快速发展,水资源短缺问题越来越突出,仅仅凭借流域内部的水量分配已难以满足经济社会发展的用水需求,对跨流域调水的需求日益迫切^[10,11]。于是,在19世纪中叶,跨流域调水的规划应运而生,调水工程建设也随之逐渐兴起。

一系列的调水工程由问题的提出、规划向实施阶段发展是国家在水资源合理利用与调配中的重大决策^[1],目前,世界已建、在建和拟建的大规模、长距离、跨流域调水工程已达160多项,分布在24个国家^[9]。这些已建或在建的调水工程大都取得了显著的经济效益、社会效益和环境效益,缓解了受水区水资源严重短缺的危机,为受水区提供了稳定可靠的水源,基本满足了城市生活、工业和农业用水需求,为当地社会经济发展注入新的活力,特别是经济比较落后地区的调水工程对推动受水区经济发展、改变当地贫困落后的状况、促进社会安定团结和改善生态环境等方面发挥着非常重要的作用^[12]。

然而,调水工程的建设和调水任务的实施,在满足生产力发展需求的同时^[13],又不可避免地一定程度上改变自然面貌和生态环境。水源区、输水区和受水区水文情势将发生变化,使已经形成的平衡状态受到一定的干扰,对生态环境产生正面影响的同时,也可能带来一些负面影响,甚至有些生态环境变化是不可逆转的。由于生态环境作为人类生存繁衍、经济社会持续健康发展的基础,其健康持续发展尤为重要,于是,跨流域调水对生态环境的影响问题引起了社会的普遍关注^[14-16]。马世骏1984年提出了社会—经济—自然复合生态系统的新概念,指出当今世界是由社会系统、经济系统、自然系统相互作用构成的复合生态系统^[17]。当今人类所面临的重大问题都不是孤立的,单纯的社会系统、经济系统或自然系统问题,大部分问题都直接或间接地关系到社会调控机制、经济发展方式和自然环境状况。虽然社会、经济和自然是三个不同性质的系统,都有各自的结构、功能及其发展规律,但它们各自的存在和发展,又受其他系统结构、功能的制约。

跨流域调水工程的目的是为了缓解各种水危机,在缓解自然资源压力的同时,调水工程对城市的社会系统、经济系统都产生一定的影响。水源区为了涵养水源,限制了一部分重工业的发展,使当地的经济的发展滞后,人民生活水平较低。输水区、受水区由于水资源的增多,在对自然系统造成有利影响的同时,也优化了当地的投资环境,促进当地经济的发展,有利于当地社会稳定和谐。因此跨流域调水的生态评价不应该仅仅局限于对自然生态系统的评价,而应该是对整个由于调水影响的社会—经济—自然复合生态系统的评价。如何在理论研究和实地调研的基础上客观认识跨流域调水对生态环境的影响,引入社会—经济—自然复合生态系统概念科学评价跨流域调水对生态环境的影响,已成为急需解决的问题。

1.2.2 研究目的和意义

生态环境系统具有因素众多、结构复杂、层次交叠、功能综合的特征,其各个组成成分之间的相互制约关系和整个生态系统对外界冲击因子影响方式的复杂性,使生态系统影响评价理论研究和实践探索均存在着较大的困难。

学术界对生态环境影响评价的理论方法已有较多研究,但对跨流域调水工程生态环境影响评价,大多是整体定性分析或者部分指标独立定量分析,缺乏系统的定量定性相结合的综合评价;现有的少量成果也主要是理论分析,实际应用研究很少。因此,开展跨流域调水生态环境影响评价研究具有十分重要的理论意义和实际应用价值。

为避免环境污染和生态破坏,人们努力寻找一条人口、经济、资源、环境协调发展的健康之路——可持续发展,而生态环境影响研究是决策和发展建设活动中实施可持续发展战略的一种有效手段和方法。本书对调水工程项目实施进行生态环境影响分析研究,对产生的生态环境问题进行科学分析、评价及预测,提出优化方案和解决对策,进而从经济、社会、环境方面综合考虑,协调人们的短期行为和长远利益,从而达到合理开发利用自然资源,保护环境,实施可持续发展的目标。

本书针对已实施的调水工程分析评价调水对水源区、输水区和受水区的生态环境影响,探寻影响因子;理论结合实际,分析调水对水源区、输水区和受水区生态环境的影响因素,构建较为完整的、科学的、具有可操作性的评价指标体系,研究制定定量评价指标的评价标准;优选改进、集成应用综合评价方法,建立跨流域调水对生态环境影响的评价模型;将研究提出的跨流域调水生态环境影响评价理论、方法运用于正在运行的引黄济青跨流域调水工程生态环境影响评价,并从采取有力的生态环境保护管理措施、完善生态环境监测监控和建立生态补偿机制等方面提出了加强引黄济青工程生态环境保护的具体建议。其研究成果不仅可以丰富相关学科的内容,同时还直接服务于决策者的评价决策行为,对于类似工程的决策也具有借鉴作用。

1.3 国内外相关研究成果及研究动态

大型跨流域调水工程对生态环境的影响研究是最近 30 年才发展起来的一个跨学科的新课题。本节探讨跨流域调水生态环境影响评价相关的理论研究和评价制度的形成历程。

1.3.1 生态环境影响评价指标体系及评价方法

许多国家在环境研究中十分重视环境质量以及环境影响评价工作。环境影响评价的概念最早是在 1964 年加拿大召开的一次国家环境质量评价学术会议上提出来的^[18],在 20 世纪 70 年代蓬勃发展,早期的研究主要采用“分析评价”的途径。评价的程序为:项目介绍——环境状况调查——环境影响预测——环境影响评价——环保措施与对策。美国和加拿大在 80 年代初开始采用“规划管理”的途径对环境进行研究。在研究方法上,主要采用环境经济学方法和生态学方法。80 年代末至 90 年代初,随着可持续发展战略的提出,许多学者又开始对规划层次的环境影响评价的指标体系进行理论上的探讨,提出“战

略环境评价 (SEA)”的概念^[19-21]。1972 年召开了第一次人类环境会议,通过了《人类环境宣言》,提出“只有一个地球”的口号。从研究层次上,国外环境影响评价研究可以分为两个阶段,1985 年以前为第一阶段,该阶段主要是对生态环境影响评价技术进行探索;1985 年以后为第二阶段,该阶段主要是对工程的累积影响进行研究,同时结合可持续发展战略进行战略层次的评价体系研究。生态环境影响评价开展的范围广,涉及的学科多,研究的内容包括评价方法、评价理论、评价指标、影响生态环境的因子以及生态环境质量标准等各个方面^[22]。

Rapport D. J. 等选用活力、恢复力、组织结构、维持生态系统服务、管理、减少投资、对相邻系统的危害和人类健康等八类指标评价生态系统健康^[23]。Steven M. Bartell 等建立了包括初级生产者、消费者种群、水质参数和系统尺度参数的综合水生态系统模型^[24]。Richard G. Lathrop 应用景观生态学理论和 GIS 技术从生态保护、开发利用、协调发展的角度对环境敏感性进行了评价^[25]。Thomas M. Quigley 等从生态安全的角度建立了区域尺度上的生态环境安全指标体系,并对哥伦比亚流域的生态安全性进行了评价^[26]。John T. Lee 指出景观质量与生态价值密切相关,并利用 GIS 技术和土地利用数据进行区域尺度的景观评价,评价结果满足管理政策制定的需要^[27]。Wynet Smith 等以遥感、制图技术和统计分析方法对 Batemi 河谷的土地利用进行了研究^[28]。Heana Espejel 等在利用遥感影像进行景观分类的基础上,对不同景观土地利用的生态可持续性进行了评估^[29]。Robin S. Reid 等利用航片和陆地卫星影像研究土地利用和土壤覆盖变化对景观尺度上生态状况的影响^[30]。Daniel T. Heggem 等对 Tensax 河流域进行了景观生态评价^[31]。1990 年,经济合作与发展组织 (OECD) 遵照 1989 年七国首脑会议的要求,启动了生态环境指标研究的项目,首创了“压力—状态—响应”(PSR)模型的概念框架^[32,33]。

我国的环境影响评价始于 20 世纪 60 年代,但直到 80 年代,生态环境质量评价在国内才开始引起人们的重视。纵观生态环境影响评价研究历程,基本上分为三个阶段:准备阶段 (1960~1979 年),一些高等院校及科研所参与开发环境影响评价及方法研究,并取得一系列环境影响评价成果;早期阶段 (1979~1986 年),这是我国环境影响评价工作发展阶段,80 年代初,一些学者开始依照国外的生态环境影响评价的经验,提出在国内开展对新老城市的环境影响评价,但大多数仅仅是为区域环境规划提供依据的环境影响预测和分析。董鸣飞等对海南、珠江口等区域生态环境评价的原则、方法、指标体系进行了有益探索,选用的指标和模式主要是从生物学角度进行考虑的,如生物量、生长量等,关注的是生态系统最基本的组分和功能,是早期较有影响的研究^[34]。探索阶段 (1986 至今),90 年代初,国内一些学者开始对生态环境评价进行深入研究,王华东等对环境影响评价的类型、原则、评价程序和评价方法进行了较为全面的研究^[35];阎伍玖等人以县行政区为评价单元,采用自然生态系统、社会经济系统和农田污染系统三个子系统分别选取指标,对安徽芜湖区域农业生态环境质量进行了综合评价^[36];毛文永指出从可持续发展战略出发,开发建设项目的环境影响评价中应注重生态环境影响评价,并且寻求功能补偿措施^[37];田家华等通过对矿产资源开发环境影响因素的系统分析,建立了环境影响评价指标体系,简述了环境影响评价方法^[38];姜文来在分析湿地生态系统系统特征及其开发利用产生的生态环境问题基础上,指出了生态环境评价中存在的问题,EIA 理论实践尚未

成熟,尚未建立评价体系^[39];赵跃龙等研究脆弱生态环境质量评价方法,对全国各省区的生态脆弱度进行了评价比较分析^[40];师利明等根据生态学理论,提出了用植被生长量、生物量和物种量三种生物学参数定量分析铁路沿线的生态环境质量现状及公路建设对生态环境影响的定量评价方法,并作实例分析^[41];刘正茂等分析探讨了生态环境影响评价与环境影响评价的区别,为我国的生态环境影响评价的编制指出了基本思路和应考虑的内容^[42];中国科学院生态环境研究中心根据区域生态环境预警的原理,考虑自然资源、生态破坏、环境污染和社会经济发展等因素,应用定性与定量相结合的方法,对我国主要省区的生态环境质量进行了等级划分和排序;孙玉军等通过样本调查,对五指山自然保护区的土壤、植被、生态系统、物种多样性和动物等重要生态环境因子进行了分析评价,指出该区属于生态环境脆弱地带^[43];周华荣以农田子系统、自然子系统、人为环境压力子系统三个生态子系统,建立评价指标体系,以县级行政区单元为评价单元,对新疆生态环境质量现状进行了综合评价^[44];李晓秀对北京山区生态环境质量及生态系统的稳定性进行了综合评价^[45];"九五"国家重点项目之一"生态环境质量评价体系与方法"研究正是对这一领域的大胆探索;叶亚平进行了中国省域生态环境质量评价指标体系研究,从生态环境质量评价、人类影响程度和人类适宜度需求三个方面对全国(除台湾省外)30个省(自治区、直辖市),进行了生态环境质量评价,并将结果分为十个等级,海南最优、青海省最差^[46];刘伟生等《湿地生态环境影响评价技术要点探讨》中指出从水文功能、生物地球化学功能、生境功能、生态功能、社会文化价值等方面识别生态环境影响因子^[47]。

1.3.2 生态环境影响评价制度

生态环境影响评价是分析预测人为活动造成生态环境质量变化的一种科学方法和技术手段。这种科学方法和技术被法律强制规定为指导人们开发活动的必须行为,于是诞生了生态环境影响评价制度。

环境评价作为一项正式的法律制度首创于美国,美国1969年率先颁布了《国家环境政策法案》(NEPA)^[48,49],1973年为执行这个法律,美国水资源委员会研制并经总统批准公布了《水土资源规划的原则和标准》,生态评价的意义被进一步提升。继美国建立环境影响评价制度后,先后有瑞典(1970年)、日本(1972年)^[50]、新西兰(1973年)、加拿大(1973年)、澳大利亚(1974年)^[51]、马来西亚(1974年)、法国(1976年)^[52]、德国(1976年)、印度(1978年)、菲律宾(1979年)、泰国(1979年)、中国(1979年)、印度尼西亚(1979年)、斯里兰卡(1979年)等国家建立了环境影响评价制度。与此同时,国际上也设立了许多有关环境影响评价的机构,召开了一系列有关生态环境影响评价的会议,开展了环境影响评价的研究和交流,进一步促进各国生态环境影响评价应用与发展。经过30多年的发展,已有100多个国家建立了生态环境影响评价制度^[53,54]。

1970年,加拿大通过了水法,根据这个法律加拿大开始开展调水工程对生态环境影响的研究^[55,56]。1973年,加拿大部长办公室通过了"关于环境分析和评价程序"的决议^[57]。英国由地区流域管理局从事水资源保护、再分配和利用问题,英国的调水量虽不大,但对跨流域调水工程可能带来的影响研究给予了足够的重视。印度水利工程和调水工程的生态和自然环境保护问题由农业部气象司中央水资源委员会来协调。美国的跨流域调

水工程从规划、论证、设计到运行管理各个环节的环境影响进行广泛而深入细致的分析研究,并且制定各种有效的对策措施,防止和处理目前或者将来可能出现的各种不利影响,实现调水工程的最佳环境效益^[58]。加拿大用模型研究了魁北克省伊斯特梅恩河、卡尼亚皮斯克河和拉格朗德河流域的大型调水工程和水力发电工程的可能后果,然后,根据在这个地区所组织的监测研究结果,研制出专用的生态模型。英国用数学模型试验评估了所设计的调水工程对其水化学和生物情况的影响。

我国的环境影响评价制度的发展历程可归纳为如下几个阶段^[59-63]。

(1) 引入和确立阶段。从1973年第一次全国环境保护会议后,环境影响评价的概念开始引入我国。1973年“北京西郊环境质量评价研究”协作组成立,开始进行环境质量评价的研究。1978年12月31日,中发〔1978〕79号文件批准的国务院环境保护领导小组《环境保护工作汇报要点》中,首先提出了环境影响评价的意向。1979年4月,国务院环境保护小组在《关于全国环境保护工作会议情况的报告》中,把环境影响评价作为一项方针政策再次提出。1979年5月,原国家计委、建委和原国务院环境保护领导小组提出了环境影响评价制度在我国实施的问题。北京师范大学等单位率先在江西永平铜矿开展了我国第一个建设项目的环境影响评价工作。1979年9月,颁布《中华人民共和国环境保护法(试行)》,该法第6条规定“一切企业、事业单位的选址、设计、建设和生产,都必须注意防止对环境的污染和破坏。在进行新建、改建和扩建工程中,必须提出环境影响报告书,经环境保护主管部门和其他有关部门审查批准后才能进行设计”^[64]。至此,我国在立法上确定了环境影响评价制度。

(2) 规范和建设阶段。1981年,我国颁发《基本建设项目环境保护管理办法》,明确把环境影响评价制度纳入基本建设项目审批程序中^[65]。1986年,颁发《建设项目环境影响评价证书管理办法(试行)》,在我国开始实行环境影响评价单位的资质管理^[66]。1989年12月26日,颁发《中华人民共和国环境保护法》,为行政法规中具体规范环境影响评价制度提供了法律依据和基础^[67]。

(3) 强化和完善阶段。区域(开发区)环境影响评价和加强生态影响项目的环境影响评价使我国的环境影响评价进入完善阶段。1998年11月18日,国务院审议通过了《建设项目环境保护管理条例》,这是建设项目环境管理的第一个行政法规^[68]。1999年3月,公布《建设项目环境影响评价资格证书管理办法》^[69]。

(4) 提高和拓展阶段。2002年10月,第九届全国人大常委会通过《中华人民共和国环境影响评价法》,环境影响评价从项目环境影响评价扩展到规划环境影响评价^[70]。2004年2月,在全国环境影响评价系统建立环境影响评价工程师职业资格制度。

2003年1月,国家环保总局和水利部联合发布了《环境影响评价技术导则水利水电工程》(HJ/T 88—2003);同年8月,国家环保总局又发布了《规划环境影响评价技术导则(试行)》(HJ/T 130—2003),同年9月1日与《中华人民共和国环境影响评价法》同步实施,是我国环境保护行业的第一个规划环境影响评价标准,该导则自发布以来已在水利、水电等专项规划的环境影响评价工作中得到了应用。

环境影响评价的内涵不断扩展,从对自然环境影响评价发展到社会环境影响评价;自然环境影响评价不仅考虑环境污染,还注重了生态影响,开展了风险评价;关注对累积性

影响的评价并开始对环境影响进行后评估;环境影响评价从最初单纯的工程项目环境影响评价,发展到区域开发环境影响评价和战略环境影响评价,环境影响技术方法和程序也在发展中不断得以完善。

1.3.3 跨流域调水工程的目标定位

跨流域调水是为了解决水资源在时间、空间分布上的不均或者资源性的短缺而采取的水资源优化配置工程措施^[71,72]。从调水工程的规划目标看,20世纪70年代以前修建的调水工程基本上是以农业灌溉为主的,全部由国家出资建设并按计划经济模式运行,研究的重点是调水规模大小和工程建设技术;70年代后期修建的调水工程则大多以城市生活和工业供水为主,而且许多原来以农业灌溉为主的工程也逐步转为向城市供水,研究的重点在于注重财务分析和工程建管运营;进入80年代以来,在我国出现了专用改善水环境为目标的调水工程^[72-75]。如引松(松花江)入长(长春)跨流域供水与环境工程是我国具有创建性含污水处理的水环境工程,济南引黄保泉工程^[76]、杭州西湖补水工程^[77]、漓江延长航期补水工程^[78,79]等都大大改善了生态环境。

对于南水北调东线工程,从生态环境角度考虑包括两层含义:一是增加受水区的水资源,提升了生态承载能力,改善了输水沿线的动植物生存条件和生态环境,具有良好的经济效益、社会效益和生态环境效益;二是提供了稳定可靠的后备水源,满足了城市居民生活奔小康和工业持续快速发展对稳定高质需水的要求。因此,水资源的调入为当地工业生产和经济发展注入了新的活力,为城市的生存和可持续发展提供了重要的物质保障,也极大地改善了受水城市的投资、建设、生存环境和发展空间。

1.3.4 跨流域调水工程对生态环境影响评价

不同类型的跨流域调水工程对生态环境影响有所不同,已有一些学者从不同层面和角度对跨流域调水生态环境影响作了相应的探讨和分析。

华用生从农业灌溉、发电、防洪、航运、改善水质及人体健康方面分析有利影响;从水污染、淹没和移民、河口咸水入侵等方面分析了不利影响^[80]。尚宇鸣等对水源区从坝址下游和库区进行定性分析;从生物、水土流失、环境地质方面分析了对输水区的影响^[81]。汪明娜对受水区从疾病、污染等角度分析了生态环境影响;从生态环境用水和河道过流条件分析了对水源区的生态环境影响^[14]。方妍定性分析了国外跨流域调水工程对生态环境的有利与不利影响^[82]。杨胜天等从土地覆盖类型、植被覆盖度、陆地净生产力、年均降水量和年均温度等角度利用自然环境综合指数法对南水北调西线工程区的自然生态环境评价^[83]。欧辉明定性地分析了大风江调水工程环境影响^[84]。窦明等从水环境容量、水体富营养化、水生生物、航道及灌溉、咸水入侵、泥沙淤积等方面分析了南水北调工程的生态环境影响^[85]。刘进琪从河道内生态环境需水量、河道外生态系统需水量、河流纳污能力和河流水环境容量分别分析了大通河调水对生态环境的影响^[86]。傅旭东等从生态与水质两个方面分析了加利福尼亚州调水工程对生态环境的负面影响^[87]。

一般来说,调水工程的距离越长,规模越大,对生态环境的影响越加复杂化、综合化。如美国中央河谷工程和加利福尼亚的北水南调工程以萨克门托河为取水水源,且调水