

跨流域调水运行管理

——中国南水北调东线工程实例研究

刘国纬 等著

中国水利水电出版社

跨流域调水运行管理

——中国南水北调东线工程实例研究

刘国伟 等著

中国水利水电出版社

内 容 提 要

本书以南水北调东线工程为实例,阐述了跨流域调水水资源系统运行管理的基本原理和方法,包括水资源系统结构功能分析、来水预报和用水预测模型、年优化调度和实时优化调度系统、智能型调度决策支持系统,以及管理体制和管理办法等。本书可供从事水资源规划、开发、利用和保护的科技人员和管理干部应用,也可供有关专业的教师和学生参考。

图书在版编目(CIP)数据提

跨流域调水运行管理:中国南水北调东线工程实例研究
刘国纬等著.-北京:中国水利水电出版社,1995
ISBN 7-80124-039-1

I. 跨… I. 刘… II. 跨流域引水:南水北调-水利工程
,东线-研究 N. TV68

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 10235 号

书 名	跨流域调水运行管理 ——中国南水北调东线工程实例研究
作 者	刘国纬 等著
出版、发行 经 售	中国水利水电出版社(北京三里河路6号) 全国各地新华书店
排 版	北京金天成信息咨询公司
印 刷	北京市朝阳区小红门印刷厂印刷
规 格	850×1168毫米 32开 6.25印张 162千字
版 次	1995年9月第一版 1995年9月第一次印刷
印 数	0001—1000册
定 价	15.00元

前 言

水资源短缺已经成为当今世界许多国家社会发展的重要制约因素之一。中国人均占有水量只有世界人均占有水量的 $1/4$ ，亩均占有水量只有世界亩均水量的 $3/4$ 。中国水资源时空分布很不均匀，水土资源的组合很不相适应。长江以南地区的耕地面积占全国总耕地面积的 36% ，但其水资源量占全国水资源总量的 81% ；长江以北地区耕地面积占全国总耕地面积的 64% ，而其水资源量只占全国水资源总量的 19% ，其中黄淮海和辽河四大流域耕地面积占全国耕地面积的 42% ，而其水资源量只占全国水资源总量的 9% 。因此，实行跨流域调水以改善我国水土资源组合的现有格局，实现水土资源的合理配置，是保证我国社会、经济和环境持续协调发展的一项重要战略任务。

跨流域调水使跨个以上的流域耦合成为一个水资源大系统，它涉及政治、法律、社会、经济和环境等许多方面，不同跨流域调水水资源系统的结构、功能和运行条件显著不同。因此，如何对跨流域调水水资源系统进行合理运行、科学调度和有效管理，保证跨流域调水工程实现其规划目标、获得最大综合效益，是一个重要而复杂的课题。

南水北调东线工程是中国东部地区最大的跨流域调水工程。作者自 1988~1992 年对该项工程的运行管理进行了较系统的研究，本书即以该项研究成果为实例，阐述跨流域调水水资源系统运行管理的基本理论和方法，包括水资源系统的结构功能分析、来水预报和用水预测模型研制、优化调度模型和实时优化调度系统研制、智能型调度决策支持系统研制，以及管理体制与管理办法的探讨等。因此，本书在内容上具有较强的实用性，在形式上则兼有研究报告的特色。

本书由刘国纬、张立锦、张建云、姚磊、张瑛玉和陈洁云合著，

由刘国纬执笔撰写。在南水北调东线工程运行管理研究中,得到了水利部南水北调规划办公室姚榜义、陈春槐、韩亦方、刘冠军、徐萼琛以及淮河水利委员会谢金荣、王宪达等专家和有关同志的悉心指导和帮助,谨致敬意并谢忱。

作 者

1995年3月

目 录

前 言

第一章 概论	1
第一节 跨流域调水的基本问题.....	1
第二节 中国南水北调东线工程.....	13
第三节 跨流域调水运行管理.....	24
第二章 江水北调水资源系统分析	33
第一节 概述.....	33
第二节 系统结构与水量平衡.....	36
第三节 用水高峰期水量分析.....	48
第四节 江水北调系统的调度运用.....	54
小 结.....	59
第三章 年优化调度	62
第一节 概述.....	62
第二节 数学模型与调节计算.....	66
第三节 优化计算.....	72
第四节 调度图与调度实例.....	75
小 结.....	84
第四章 实时优化调度	86
第一节 概述.....	86
第二节 来水预报模型.....	88
第三节 农业需水预测模型.....	104
第四节 实时优化调度数学模型.....	110
小 结.....	119
第五章 调度决策支持系统	120
第一节 概述.....	120
第二节 调度模型与模型库系统.....	128

第三节	基于人工神经网络的调度咨询专家系统·····	137
第四节	基于人工神经网络的径流预报模型·····	152
第五节	仿真试验与 IODSS 调度实例 ·····	155
小 结	·····	165
第六章	管理体制与管理办法 ·····	167
第一节	概述·····	167
第二节	江水北调管理体制分析·····	168
第三节	几种管理体制的探讨·····	173
第四节	南水北调东线工程管理体制·····	176
附 录	国外主要调水工程概况 ·····	180
参考文献	·····	190

第一章 概 论

第一节 跨流域调水的基本问题

一、世界跨流域调水概况

跨流域调水是指利用河渠、隧洞、管道等将水从一个流域输送到另一个或另几个流域,以实现流域间的水体转移。

水土资源的自然配置通常不能与经济和社会发展的需要相适应,在有些地区甚至成为经济和社会发展的重要制约因素。兴办跨流域调水是缓解乃至在颇大程度上解决这一矛盾的有效途径,下面简要介绍几个实例。

原苏联 82% 的河川径流分布在本土的北部和东部,流入北冰洋和太平洋,仅 18% 的河川径流分布在苏联欧洲部分的南部、中亚和哈萨克斯坦,分别流入南部诸海,而全苏 80% 的人口和工农业生产集中在这些地区,河川水资源配置与人口分布、工农业生产布局很不相适应。为从根本上解决这一矛盾,原苏联拟定了宏伟的北水南调和东水西调规划,并制定了四个可供比较的方案。在这一总体规划指导下,截至 1991 年,已建成主要调水工程 14 处,年总调水量 457 亿 m^3 。

在美国本土,年平均降水量约 760mm,但从太平洋沿岸到落基山脉平均只有 450mm,从落基山脉到密西西比河一带平均约为 710mm,从密西西比河一带到大西洋西岸地区年平均约 1100mm;在太平洋沿岸的西北部地区年平均降水量可达 2000mm,而在亚利桑那州和加利福尼亚州南部的荒漠地区只有 127mm,有些地方年雨量不足 50mm。为协调水资源与经济和社会发展的配置,美国已建成萨克拉门托河—圣华金河引水工程等主要调水工程 8 处,年总调水量约 150 亿 m^3 。一个更有雄心的调水计划是由北美水电

联盟(NAWAPA)于1964年提出的北美调水计划。该计划的总目标是,把北美西北部雨量丰沛地区的多余水量分配到加拿大、美国和墨西哥缺水地区,年调水量1375亿 m^3 。这一宏伟的调水计划将把北美水资源的重新分配向着更合理化的目标推进一大步。

印度国土面积约332.7万 km^2 。东北部、西南海岸和恒河平原年降水量均大于1000mm,其中喜马拉雅山东麓和西海岸山脉迎风坡年雨量达4000mm,中部和南部地区处于高止山脉的背风坡,年雨量不足600mm,而西北部特别是拉贾斯坦和塔尔沙漠,以及孟买北部的固贾拉特地区年雨量不足100mm。降雨量分布如此不均匀,且90%的降雨集中在雨季(6~9月),使灌溉成为印度农业的命脉。因此,长距离大流量调水在印度已有近五个世纪的历史,建于姆嘎尔时代的西朱木拿运河和亚格拉运河是印度最早的大型调水工程。印度目前已建成7处跨流域调水工程,年调水量约为270亿 m^3 。正在拟议中的哥达瓦利河—克理西亚河—浦拉河调水工程等六个跨流域调水计划预计年总调水量将达600亿 m^3 。

墨西哥全国面积约200万 km^2 ,年平均降雨量780mm。该国东南部地区面积占全国面积的15%,人口占全国总人口的12%,而径流量却占全国总径流量的42%;中部和北部高原地区的面积占全国面积的36%,人口占全国总人口的60%,而径流量只占全国的4%。水土资源配置和人口分布极不协调,因此,政府制定了国家西北水利计划,进行南水北调,以解决中部和北部水资源的短缺。该项计划涉及17条河流及其支流,输水干渠长2500km,将使这些河流57%的径流量得到合理开发利用。首都墨西哥城海拔2240m,人口逾1000万,向墨西哥城供水的引水工程是墨西哥最紧迫的调水工程,国家成立了墨西哥河谷水利委员会专门负责研究和实施墨西哥城供水规划,已通过的四个调水方案将在2000年向墨西哥城市民(预计2000年人口将达3000万)提供流量为109 m^3/s 的供水。

中国黄河、淮河、海河和辽河流域总人口和总耕地均占全国总人口和总耕地面积的40%,但这些地区的地表径流量只占全国总

量的6%，人均、亩均占有水量仅相当于全国平均数的15%。长江流域水量丰沛，其人均亩均占有水量约为黄淮海流域的7~8倍。就东北地区而言，松花江流域人均、亩均占有水量分别为辽河流域的7倍和2倍。因此，中国水土资源的配置与经济社会发展也是很不相适应的。中国早在1300年前的隋代便开挖了沟通长江、淮河、黄河和海河的南北大运河。20世纪60年代以来修建的江苏省江水北调工程、广东省东深引水工程、引滦入津和引滦入唐工程、山东省引黄济青工程、辽宁省引碧入大工程都发挥了显著的效益。为适应国家经济和社会发展需要，正在规划中的跨流域调水工程主要有：引松济辽的东北地区北水南调工程，年调水量将达70亿 m^3 ；从额尔齐斯河引水补给布伦托海和克拉玛依的新疆引额济海济克工程；南水北调工程是中国规划中最宏伟的跨流域调水工程。

据长江大通水文站资料，长江多年平均径流量为9600亿 m^3 ，枯水年($P=95\%$)径流量为7610亿 m^3 ，预测2000年长江流域自身耗水量约1000亿 m^3 ，考虑长远发展，实际耗水量也不会有很大增加，因此从长江调出部分水量以济西北和华北水资源之不足是可能的。

南水北调总体布局包括西线、中线、东线和安徽引江济淮等多条引水线路。按初步考虑的远景规模，总的年调水量为600~800亿 m^3 。该调水规模实现后，可基本改变我国北方水资源短缺状况，为21世纪我国社会、经济和环境协调持续发展提供水资源保障。

根据初步规划，南水北调西线、中线和东线各有其供水范围和相应引水线路。西线从长江上游通天河、雅砻江、大渡河引水入黄河上游，多年平均可调水量不超过200亿 m^3 ，主要供水范围为黄河上中游及西北部分地区。中线从汉江的丹江口水库引水，沿伏牛山和太行山东麓引水至华北平原，主要为黄淮海平原西部提供水源，多年平均可调出水量约140亿 m^3 。东线从长江下游江都引水，沿京杭大运河输水至华北平原，主要为黄淮海平原东部提供水源，多年平均抽江水量191.5亿 m^3 ，南水北调总体布局如图1-1所示。

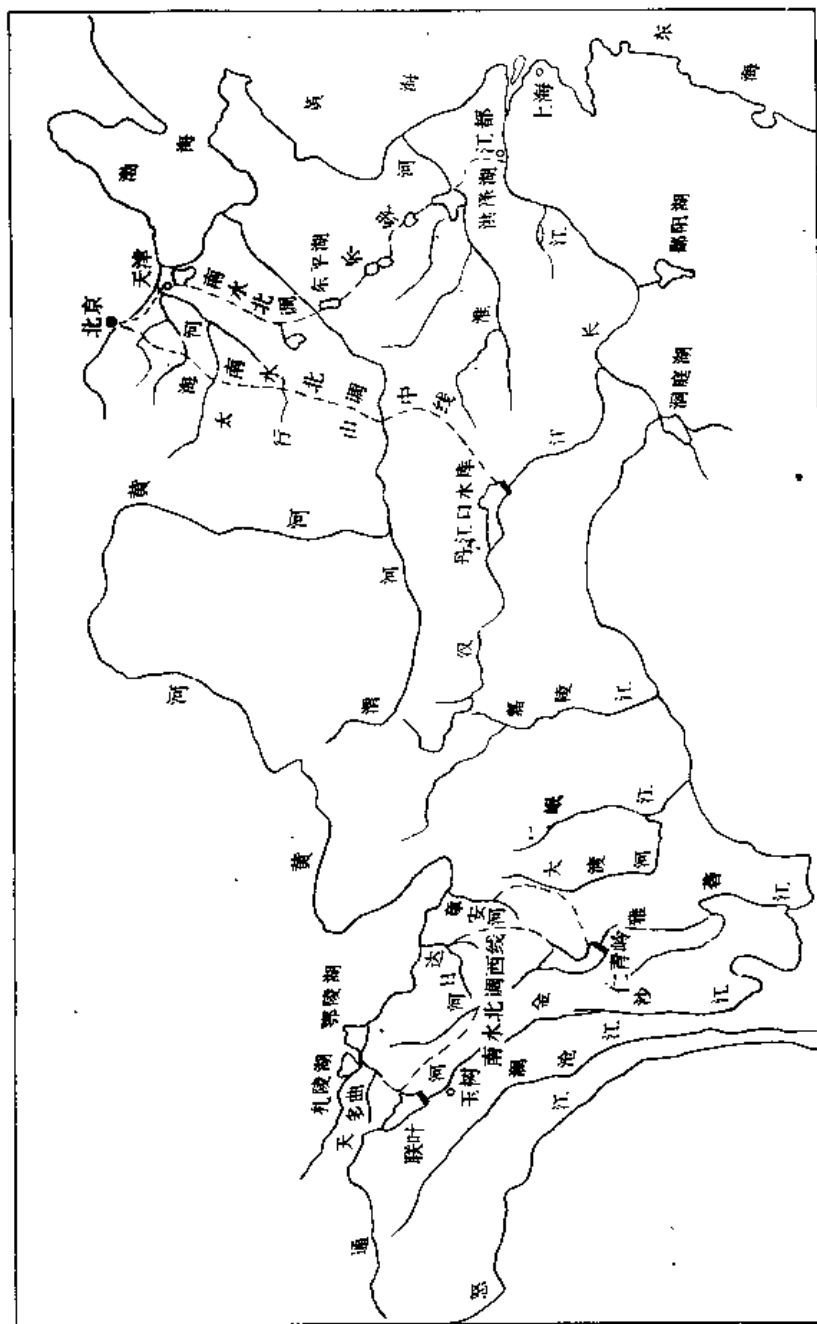


图 1-1 中国南水北调总体规划示意图

近半个世纪以来,随着世界经济的发展和科学技术水平的提高,许多国家已经兴建或正在积极规划跨流域调水工程。世界一些主要跨流域调水工程简况,见附表 1。

二、跨流域调水的基本问题

跨流域调水,特别是长距离大流量调水,由于其重新调整了水土资源配置与社会经济发展的关系,因此,影响巨大而久远。任何一项跨流域调水工程的规划、决策、建设和运行管理都涉及许多复杂又困难的问题,它们可以概括为技术、社会经济、环境、政治与法律四个方面的基本问题。

(一)政治与法律方面

在跨流域调水诸问题中,政治与法律方面的问题是最复杂的。不同的国家对水权有不同的立法。例如,根据印度的宪法,“水”是由邦管辖的,中央政府只起协调作用;在美国,不同的州实行不同的水权制度,其中内华达州等 9 个州(多为西部较干旱的各州)实行“优先使用权制度”(即谁先取水并加以有效利用,谁的水权等级就高,时间先后是决定用户取用水量的主要依据,当水源不能满足用户需水时,先减少水权等级低的用户水量),马里兰州等 29 个州(多为东部水量丰富的各州)实行“沿岸使用权制度”(即沿岸土地所有者有权合理使用过境河流的水量,但必须以保持河中水流天然状态,不因人为因素而使河水突然减少或水质受到损害并且兼顾上下游用水户利益作为“合理使用”的判据),而加利福尼亚州等 12 个州实行上述双重水权制度。国家批准或实施跨流域调水工程的权力,除涉及通航目标外,不能超越州政府有关水权的法规。因此,在这样的法律背景下,实施跨流域调水规划无疑要克服许多政治法律方面的困难。例如,美国最高法院关于涉及亚利桑那州与加利福尼亚州的科罗拉多河的调水仲裁,经历了自 1952~1963 年长达 11 年的诉讼。在有的情况下,反对力量甚至是非常强大的,例如美国华盛顿州等几个西北部的州坚决反对从哥伦比亚河流域调水,他们联合起来的政治力量足以阻止美国国家水资源委员会关于从该流域调水的规划实施。华盛顿州参议员杰克逊称:“西北部

的人民深信：在任何一个其他地区提出引用哥伦比亚河水的要求之前，首先必须确证该地区确实需要水……，补水的目的是什么？能否通过节水和重复利用等其他措施得到足够的水？大量调水会对西北地区经济产生怎样的后果？”

在中国、俄罗斯，以及其他一些国家，宪法规定水资源属国家所有，从法律上为中央政府实施跨流域调水计划提供了依据。然而，由于水资源的重新配置将在很大程度上影响地区经济和社会的发展，因而任何一项重大跨流域调水计划的决策和实施，也同样遇到来自地方行政当局提出的各种要求和阻力，难以决策，这样的例子是不胜枚举的。

在涉及国家间的跨流域调水中，国际调水立法方面的困难乃至公众抵制情绪更使一些拟议中的调水规划步履艰难。例如在由北美水电联盟(NAWAPA)于1964年提出的涉及加拿大、美国和墨西哥的北美调水规划拟议过程中，加拿大北方事务部部长J·H·特纳便曾郑重声明：加拿大的水资源只能用于加拿大本国的经济发展，只有在对加拿大潜在用水情况进行详尽研究之后，才能考虑向美国输水的可能性。

诚然，尽管存在着上述政治和法律方面的困难，但当一项跨流域调水规划真正被确认会给所涉及的地区经济和社会发展带来显著利益并由广大公众取得共识后，该项规划将会受到热情的支持和实施，这方面的成功事例也是很多和令人鼓舞的。

(二)技术方面

跨流域调水是一个跨学科的工程技术问题，涉及众多而复杂的技术方面。可以从所涉及的技术门类和性质来论述跨流域调水的技术方面，也可以根据跨流域调水工程在规划、可行性论证、工程建设和运行管理等阶段所面临的主要技术问题来讨论跨流域调水的技术方面。下面将据后者作一些初步讨论。

在规划和可行性论证阶段，“可调水量”的计算是问题的核心。严格地说，跨流域调水的“可调水量”，应当把调出区与调入区耦合成一个统一的跨流域水资源大系统，建立系统的社会—经济—环

境—资源综合发展模型,并根据系统最佳综合效益原则予以确定。由此可见,“可调水量”是反映系统内水资源最佳配置的综合指标,这既要考虑调出区的可供水能力,也要考虑调入区的有效利用水量,因而是一个十分复杂的技术问题。在跨流域调水的规划阶段,通常采用调出区水资源总量与其在一定用水水平下的用水量之差值作为“可调水量”,其实这只是可调出水量(调出区的水资源富裕量),而非确切意义下的“可调水量”,然而确定可调出水量也非易事。

能否客观、科学地确定“可调水量”,不仅对工程规模和运行管理十分重要,而且对所涉及地区(首先是调出区)行政当局对工程是否认同,以及公众的情绪是至关重要的,在有些情况下它将直接影响一项跨流域调水工程的决策。

在工程建设阶段,技术上的可行和工程安全是问题的关键。跨流域调水工程,尤其大流量长距离调水工程,不仅存在复杂的取水口工程泥沙技术问题,其长距离输水渠道更将可能遇到各种情况。例如在穿越大河流(如中国黄河)时长距离大流量渡槽或隧洞方案的选择和施工技术;通过复杂地质条件和地震多发地区的工程安全保障技术;由于输水渠道切割众多山区河流,尤其当这些河流多位于暴雨洪水频繁地区时,所需考虑的防洪安全技术保障;在季节性结冰地区,尤其在渠道自南向北输水情况下,输水渠道的防凌防冻和节制闸联合操作技术等。任何跨流域调水工程都将长期运行,因此在技术方面既要考虑到科学技术的不断发展,又要充分估计到工程在未来可能出现的各种不确定性,例如在流量和泥沙条件发生变化情况下,河流特性将怎样变化?就目前关于这方面的知识状况而言便是木确定的。而关于调水工程涉及范围内地表水与地下水的联合运用更会由于未来水文情势的变化出现许多不确定因素。因此,在跨流域调水工程规划设计时,最好在技术方面保持足够的灵活性。

跨流域调水工程建成后的运行和管理,在技术方面将更具有复杂性和综合性。事实上,在规划、设计和建设中所未曾考虑或考

虑不当的问题,以及工程建成后暴露出来的新矛盾,都将通过对工程的合理运行和有效管理加以协调。这一方面,将在以后的章节予以充分阐述。

(三)经济社会方面

跨流域调水经济方面的要点,在于其经济上的有效性(或可行性)评价和区域经济影响测算。同时,其资金筹集办法也会对工程的决策、建设和运行管理带来重大影响。

国际调水会议纪要中推荐经济有效性评价方法为

$$(DB_m + SB_m) + (DB_t + SB_t) > (DC_x + SC_x) + SC_c + TC \quad (1-1)$$

$$TC + [(DC_x + SC_x) - (DB_x + SB_x)] < TC_A \quad (1-2)$$

式中:DB、DC 分别为水的直接效益和直接费用;SB、SC 分别为间接效益和间接费用;TC 为实际调水系统的费用;m 代表水的调入区;x 代表水的调出区;t 代表调水经过的地区;c 代表其产出与 m 地区有竞争的地区。

于是,不等式(1-1)表明,水在调入区和调水经过地区产生的直接和间接效益必须大于调出区和竞争地区付出的直接和间接代价加上调水系统的设施及其运行管理的费用。不等式(1-2)则表明调水费用必须小于任何其他替代方案的费用 TC_A 。所有效益和费用都以现值考虑(即每一项费用和效益由相应使用期内的贴现总数表示)。如果一项跨流域调水工程既符合式(1-1)又符合式(1-2),才可以说它在经济上是合理的。

在用上述概念和方法对跨流域调水进行经济有效性评价时,关键在于对调水引起的区域经济影响的精确测算,然而这是不容易的。

目前常用的区域经济影响测算方法有:①简单趋势预测法,即利用一些经济统计变量过去的变化趋势进行外延作出预测。这种方法显然不能充分考虑调水地区新的巨大发展所产生的影响。②基础经济增值法,该法是对简单趋势预测法的改进,但由于地区经济的动态变化很难把握和作为该法基础的“基本经济活动”和“非

基本经济活动”的划分有相当任意性,使进行精确增值预测十分困难。投入—产出法,该法用于一般情况下是不成问题的,但在跨流域调水情况下,投入—产出法因不能对调水后新的平衡水平和产出结构的动态经济调整给予跟踪说明,在应用中遇到了困难。

由于上述“常规的”经济分析方法在估算大型跨流域调水工程经济效益时、在评价其长远后果时、在考虑不可量测的价值和若干方面的不确定性时遇到的困难,地区计量经济模型方法在跨流域调水经济分析中受到了欢迎。这种模型的优点是:

(1)它是递推式的,亦即对 t 时段的预测将在 $t-1$ 时段的资料基础上作出,而 t 时段的预测又成为 $t+1$ 时段预测的输入,顺序递推。这样我们就能够描绘出跨流域调水地区及其相关地区经济活动的时间轨迹,并有可能对跨流域调水工程的规划、施工和运行实行实时的修正。

(2)它可以根据部门和地区进行分解,使有可能对调水影响的所有地区和关键经济部门的活动,如能源生产、其他制造业、交通运输业、农业等有全面而又个别的透彻了解。

诚然,经济分析和预测方法还将继续发展和随着不同的跨流域调水工程具体情况获得改进,但由于若干基本经济要素的确定十分困难并具有很大的不确定性,经济与社会发展、技术进步、环境保护等方面的密切关系,因此跨流域调水工程的经济评价依然是一个十分棘手的问题。

跨流域调水带来的社会影响是显然的。它的经济效果和产业结构的变化将影响社会的就业、福利分配、公共生活乃至社会结构的变化。在像中国这样人口众多的国家,跨流域调水的移民也是一个十分棘手的社会经济问题。而且,这种变化又将和经济发展甚至某些政治法律方面形成许多反馈圈。

(四)环境方面

跨流域调水工程对环境的正效应是显然的。然而,它的负而影响在很长一段时期内未被充分重视,这一方面是由于人们对其尚缺乏足够认识而遭忽视,但规划决策者担心环境问题会影响工程

决策或不情愿支付高额的环境费用,而表现出的不热衷有时也是一个真实存在的原因。自 20 世纪 70 年代初开始,跨流域调水的环境影响问题才开始受到越来越多的关注。例如,美国陆军工程兵团和垦务局于 1976 年才根据美国全国环境条例(ENPA)为水利工程规划编制“环境影响报告”,把环境质量提高到与经济效率一样的高度,正式列为规划目标。而广大公众环境意识的提高则是推动跨流域调水工程的环境评价工作的真正动力。

跨流域水对社会和自然环境的影响是多方面的,并随不同的跨流域调水工程而表现出不同的侧重方面和影响程度,但主要可归纳为五个方面,即人类健康、气候改变、自然资源、水文情势和生态系统。关于这些方面已有很多的论述,故而不再讨论。

跨流域调水环境评价的主要困难在于其复杂性和不确定性。复杂性主要表现在:如何对环境的影响作出经济评价?如何表述那些不可量测和不可公度的环境影响方面?如何评价环境影响的远期后果并做出确切的预测?如何确认和评价环境影响的不可逆方面?如何阐述和评价环境要素之间的相互影响与累积后果?等等。不确定性与复杂性密切相关。随着跨流域调水工程规模的增大,在效益增大的同时不确定性也随之呈非线性增加。为了说明不确定性与工程建设规模的关系,假定我们可以用货币值来表示跨流域调水工程的不确定性和包括环境效应在内的工程净效益,那么我们可以作出图 1-2。

图 1-2 中,虚线为效益和不确定性的变化范围,它们把图分成三个区域:①区效益大于不确定性;②区在两者的精度范围内(ABCD 范围内),效益和不确定性相当;③区效益小于不确定性。显然,当规划工程处于第②区域时,除非存在其他重要非经济目标,否则工程应该缓建,而当工程处于第③区域时,则工程不应建设。

由于上述的原因,目前还没有对跨流域调水工程进行环境评价的普遍适用的方法,但下而两则实例中所采用的方法是有启发性的。