

第 1 章

绪 论

在充满希望的 21 世纪，人类共同关心的一个重要问题是如何实现新世纪的可持续发展。

水资源与环境是影响可持续发展的两大重要因素，受到人们的普遍关注。从 1977 年在阿根廷的马德普拉塔召开的联合国水会议以来的 20 余年间，联合国有关机构及其他政府的和非政府的国际组织、区域组织和国家组织开展了一系列水问题研究，召开了多次关于水与环境、水与发展的国际会议，向国际科学界及水资源与环境的管理者和决策者提出了一系列建议，旨在对付全球性水资源危机和环境恶化，实现可持续发展的目标。

水资源的合理开发、科学分配、高效利用是保障环境安全、实现社会经济可持续发展的重要途径。面对新世纪的可持续发展面临的水资源与环境的挑战，我们应该树立正确的人地关系观，重新认识水与人类，水与环境，人类与环境的关系，深入研究和认识以开发利用水资源和抗御水灾害为目的的人类水事活动及其对生态环境的影响。本书旨在对我们提出的水文生态系统、水事活动及其对水文生态系统的影响等概念、理论和方法等进行论述。

1.1 水文生态系统与水事活动

水文生态系统是一个由水文系统和生态系统复合而成的，集水文循环与生态进化及其共同的自然环境和人工环境于一体的，具有耗散结构和远离平衡态的、开放的、动态的、非线性的复杂巨系统^[1]。首先，水文系统是由一定的地理空间内的各种水体及其产生、循环和分布的环境（自然环境或人工环境，或两者的结合）构成的地理系统功能整体^[2]，是一个开放的复杂巨系统，同时又是一个动态的非线性复合系统^[3]。其次，生态系统是生物群落及其生存环境共同组成的动态平衡系统；是在一定的地理空间内，生物和非生物成分，通过物质循环、能量流动和信息交流而相互作用、相互依存形成的一个生态学功能单元^[4,5]。它们都是地理空间体系中的基本要素或功能单元，它们相互作用，共同影响地理景观和环境。人类活动对其中任何一个系统或系统要素的改变，都可能对地理景观和环境产生一定的影响，并通过物质循环、能量流动和信息交流传播到其他地方。人类水事活动，首先通过各种工程措施，改变了水在长期的自然演变过程中形成的河流地貌等自然地理要素，亦即改变了水在水文系统中的循环路径，对水文循环产生直接影响，从而使水文过程发生改变；改变了的水文过程又对生态系统产生影响，使生态系统中的能量流、物质流和信息流发生改变，从而影响或改变生态系统中的生命要素和环境要素。两个系统对环境的影响及其相互影响具有明显的协同特征^[6,7]，是一个统一的水文-生态功能整体。因此，将水文系统和生态系统作为一个整体——水文生态系统研究会更有意义。

水文生态系统所涉及的是地理空间，以特定的区域为研究对象，因此是一个区域系统，即区域水文生态系统。

水文生态系统，一方面，是地球大气圈、岩石圈、水圈和生物圈环境内相互作用和相互依赖的各种水文要素组成的具有水文循环

与演化功能的整体，是地球生态系统的重要组成部分，既作用于自然生态系统，又作用于人类生态系统；另一方面，它受地球自身及宇宙不可抗拒的自然力的作用，并受构成系统本身的自然环境的制约，同时还不同程度地受人类生产活动的影响，既受控于自然生态系统，主要是自然环境，又受控于人类生态系统——人与人工环境。

地球自身及宇宙自然力对水文生态系统的作用，形成了水文生态系统演化的自然环境，决定了水在其中的循环、转化、运动与分布的基本特点。在水文生态系统中，水扮演着环境要素和生命要素双重角色，它既是生态系统中最活跃的自然要素和人类与一切生物赖以生存的重要物质基础——一切生命有机体的重要组成部分，又是生态系统中能量流动和物质循环的介质。正是由于水在水文生态系统中的存在、分布与运动的这种特殊作用与功能，使系统中各种生命要素——生物系统得以有序进化，孕育了世间万物。小至个别水文要素在局地的瞬间变化的微观尺度，大到全部水文要素在整个地球大气圈、岩石圈、水圈和生物圈环境内的、以地质年代表征其时间变迁的宏观尺度的不同时空尺度的自然水文生态系统，即是系统中各种水文要素与环境要素和生命要素之间长期的相生相克和有序进化的结果。

人类水事活动(简称水事活动)是人类为进行正常的生产与生活而开展的一切与水有关的活动。它涉及水文生态系统中自然、社会、经济三大子系统的各个方面，是人类开发利用水资源，防治水灾害，改造自然，利用自然，创造高度发达和高度文明的人类社会的重要而复杂的一类人类活动，对水文生态系统产生重大影响。特别是修建大型水库、大规模长距离跨流域调水等水事活动，对区域水文生态系统的影响往往是通过直接改变系统中水的存在与分布的空间及水的运动与循环的路径——水环境系统产生的，具有强烈的突变性、并发性、利与害的双向性和较强的不可逆性等特点。

人类社会的发展与水密不可分。自人类进化到具有同大自然抗衡的能力以来，在人类向自然索取其自身生存与发展所需的物质，抵御洪涝与干旱等自然灾害的漫长历程中，有意无意地、自觉不自觉地对自然环境造成了一定程度的影响。这种影响，一方面表现在人类所创造的高度发达与高度文明的人类社会和适宜于人类自身的生存与发展的人类生态系统，另一方面表现在人类在改造自然的过程中对自然生态系统施加了强烈的干预，打破甚至破坏了水文生态系统中水文要素与环境要素和生命要素之间的固有关系。

事实上，人类自古以来的一切生产活动无不直接或间接地与水有关。但是在以往的漫长岁月里，人类对水的需求量不大，对水的调控能力有限，对水文生态系统的影响也不大。即使在 20 世纪上半叶，从全球来讲，人类水事活动及其他生产活动对水文生态系统的影响也是局部的和有限的，但是，历史进入 20 世纪下半叶以来，出现了一个全球性的相对和平与发展时期，人口与经济迅速增长，人类对水资源及其他自然资源的需求量也随之迅速增长，工农业生产活动、社会福利活动等，以及与之有关的其他水事活动的频率越来越高，涉及的范围越来越大，规模更是史无前例。诸如大面积的垦荒、水土保持、农田灌溉，大规模的矿山开发、道路建设，城市规模的迅速扩大，耗水型工业的激增，以及众多水库、大规模长距离跨流域调水工程等水资源调控工程的建成，等等，都不同程度地破坏了水文生态系统的自然演化条件——自然环境（特别是水环境），改变了水的自然循环特征，打破了人与自然之间的和谐共存关系，加剧了自然生态系统与人类生态系统的矛盾与冲突。

遗憾的是，在以往的水事活动研究中，人们长期将注意力集中在对当前人类社会有利的一面，注重经济效益，而对水文生态系统，特别是自然生态系统，甚至对人类社会本身可能产生的负效应——不利的一面没有给予足够的重视，致使许多地方的水文生态系统功能退化，导致江河断流、湖泊干涸、绿洲泯灭、水体污染、水

源枯竭、环境恶化等一系列水资源及环境问题，既破坏了自然，又严重威胁到人类社会的可持续发展，已成为社会科学和自然科学各学科及全社会关注的焦点之一。

从理论和应用上，从宏观和微观上，全面、系统、深入地研究水事活动对水文生态系统的影响及由此而产生的水文生态系统功能的变化，制定出具有战略远见的水资源与环境保护策略，使人类在创造更加发达与文明的人类社会的一切水事活动和其他生产活动中，严格遵循自然规律，扬长避短，把对水文生态系统乃至整个地球生态系统的不良影响减小到最低限度，保护好我们赖以生存的这颗星球，实现水资源的可持续利用，保持社会经济的可持续发展和人与自然的永久性和谐共存，具有重大而深远的科学意义和社会意义。

1.2 研究进展

水事活动对水文生态系统的影响研究，是我们根据水文系统和生态系统各自的结构、功能与特点及其相互作用和相互依存关系——水文生态系统的结构、功能与特点，提出的研究水事活动对水文系统和生态系统的影响的一种新途径，旨在通过水文科学、生态科学、环境科学、系统科学等的进一步结合，综合研究地理空间或区域内水的产生、循环与分布对生态系统的影响，以及由于生态系统特别是其中环境系统的改变反过来影响水的产生、循环和分布的一般规律，为改善水文循环路径和水的分布条件的改变所产生的不利影响，重建受损生态系统提供理论和方法支持。

作为一种新的研究途径，水事活动对水文生态系统的影响研究，是以往相关研究如水事活动的水文效应、环境影响等研究的继续和深化。因此，我们将把以往的相关研究统一在“水事活动对水文生态系统的影响”这一主题下进行论述。

由于科学概念的更新和研究方法的发展，以及研究内容的不断

断充实，水事活动对水文生态系统的影响（以往以水文效应和环境影响为主）的研究，经历了从定性到定量、从简单到复杂、从单学科的单项研究到多学科的综合研究的发展历史。

水事活动对水文生态系统影响的早期研究，始于 20 世纪 20—30 年代，当时以水库研究为主；50 年代后期逐步受到重视，研究范围进一步扩大，70 年代以来，研究内容已涉及到蓄水河流、跨流域调水、农田灌溉、湿地疏干与农田排水、水土保持、地下水的大规模开采等水事活动对地表水、土壤水和地下水的数量、质量及其时空变化的影响，以及对水环境、水生和陆生生物的影响等多方面，形成了环境水文学等以研究水事活动和其他人类生产活动对水文系统和生态系统的影响为主体的水文科学分支、学科生长点或新概念^[8-12]，在理论、方法和实用技术方面都取得了较大进展。比较水文学等水文科学分支的形成及环境科学、生态科学的发展，特别是生态系统和系统生态学的理论与方法的发展^[13-19]都为研究水事活动对水文生态系统的影响提供了基本理论与方法。

如前所述，水事活动是人类通过改变水文循环路径和水的分布条件来实现开发利用水资源，满足人类生活与生产需要的一种经济活动，对水文生态系统的影响是双向性的。人类作为生态系统的普通成员，通过水事活动直接或间接地从自然界获取所需的水资源。因此，就水事活动的目的而言，其社会经济影响是正向性的、有益的。但是，由于水事活动引起的水文生态系统变化的复杂性，人们认识上的有限性甚至片面性，水事活动除了全面或部分地实现人们的预期目标外，也往往对社会经济造成诸多不利影响，其中，有些是预计到的，有些是未预计到的，国内外大量水事活动实践已经证明了这一点。同时，水事活动对生态系统中其他生命要素和环境要素的影响，也是既有有利的一面，又有不利的一面，而且，在许多情况下，不利的一面往往超过有利的一面，特别是大规模水事活动，负面的生态与环境的影响往往比正面影响大得多。鉴于人们对水事活动的社会效益的研究已很多，下面主要就水

事活动对水文生态系统的负面影响为主，对国内外研究状况作简要回顾与评述。

1.2.1 水库对水文生态系统的影响

1.2.1.1 概况

水库是由人工改建或修建水工建筑物而形成的、具有一定容积和一定用途的、水量交换缓慢的特殊水体^[20]。

水库同湖泊有许多相似之处，但也有许多不同之处。就不同之处而言，主要表现在水库是一种“瞬间”生成的水体，水库下游的水位和流量是预先规划好的，并受自然因素和社会因素复杂的相互作用的制约，因此，在水库运行过程中，可能因某些技术、经济、环境等方面的原因而使原先设计好的水库状况发生多次改变；水库的建造破坏了水文系统和生态系统原有的相对平衡及相互间的协调关系，形成了水库影响区，对影响区内的水文循环、生态进化、环境演变、经济发展和社会进步都造成一定的影响。

水库的修建首先使影响区的水文地理环境发生改变，形成对水文系统的影响，主要表现在对河流水文情势的影响，水库水温的分层影响。同时，由于修建水库使原有的陆地面积变成水面面积，形成水库水域（库区蓄水区）。水库水域的出现及其水温等特点，使库面大气层产生局部变化，从而影响到大气系统。水库蓄水的同时，也是库岸和库底的再造过程。在这一过程中，水库对库区地质、水文地质条件——地壳系统产生影响。水库的修建，改变了自然生态系统原有的水陆关系，对自然生态系统产生多方面的影响。水库对社会经济的影响，亦即人类生态系统的影响是不言而喻的，多方面的。

将水文系统和大气系统的影响统称为水文系统影响，将自然生态系统、人类生态系统等方面的影响统称为生态系统影响，则两者的复合（不是简单的叠加）即是水库对水文生态系统的影响，它比单独的水文系统影响或生态系统影响更为复杂。

对水库影响的研究，原苏联开始较早，研究成果也最多。原苏联对水库影响的研究始于 20 世纪 20 年代末，到 30 年代初，已积累了大量资料，30 年代中期开始了有计划、有组织的大规模水库影响研究。特别是 50 年代以来，由于水库建设速度进一步加快，水库规模更加庞大，影响范围更大，影响因素更加复杂，影响后果越来越严重，对影响的研究也就更加重视，研究的涉及面也越来越广。在约 3 万篇水库研究论文中，研究水文过程变化的占 17%，研究水化学和水质的占 9%，研究水生生物状况和鱼类资源的形成和利用的占 33%，研究对邻近地区自然环境和社会经济影响的占 21%，研究水库的工程条件及运行管理方面的占 20%^[21]。

欧洲和北美（以下简称欧美）等西方国家对水库影响研究开始也较早，在早期的水文学等相关著作中，已有不少这方面的描述^[22]，但研究高潮则始于 1965 年联合国教科文组织国际水文计划将人类活动对水循环的影响列为主要研究任务之一，并受其他有关国际组织和国家机构关于人造湖泊——水库影响研究及相关的国际性学术研讨会的推动。如 1965 年分别在英国的伦敦和加纳的阿克拉及 1971 年在美国的罗克维尔城召开的国际水库研讨会，1973 年和 1976 年分别在西班牙的马德里和墨西哥的墨西哥城举行的第 11 届和第 12 届国际大坝会议等，都有力地推动了水库的水文效应、大坝建设对环境的影响及某些环境要素对水库建设的影响等方面的研究^[20,23]。在美国，则特别受美国国会于 1970 年通过的美国《国家环境政策法》制约和影响。20 世纪 70 年代以来，欧美关于水库影响的研究一直深受重视，研究的深度和广度以及研究水平与原苏联同居世界前列^[24,25]。据 Gilvear^[24]对西方国家以“蓄水河流”为题的关于水库影响的调查研究的论文数量的增长及首次出现的研究主题的演变的统计分析，1960 年以前关于水库影响的研究文献相对较少，1965 年以来急剧增加，说明人们突然觉悟到河流蓄水可能对环境造成有害的影响”^[24]。

从研究重点看，1950 年以前，西方国家主要研究的是水库淤

积与下游河道影响区；50年代前期重点是鱼的迁移；60年代和70年代，研究主题分别是水质、河床形态、水生植物、底栖植物、河岸生境等；80年代以来，以对生态系统的影响研究为主体。特别是1995年7月在美国的纽约召开的国际大地测量与地球物理学联合会第21届大会，将水文系统、生态系统及人的影响作为专题讨论，并明确提出将其作为今后水文科学研究的重点之一^[26]。近年来，几乎所有的与水文学有关的国际或区域性学术会议都会涉及到生态与环境系统问题。反映出西方国家在水库影响研究中的主题从环境演变到生物变化，以及向生态系统变化的发展过程。

在对影响的认识上，佩茨^[24]指出，河流蓄水形成人造湖泊会产生复杂的连锁反应，人类的、生物的、物理的环境都会受到影响。水库大坝的物理、生物方面的影响范围远远超出水库本身的范围。并指出，大坝是经济发展的象征，是开发河流资源、控制河流对人类活动的危害的有效工具。确有一些水库成功地提高了人类控制河流系统的环境质量。进而，佩茨引述了英国环境问题科学委员会的观点：“人类作为生态系统中占优势的种类，通过建筑大坝增强了其长期显示的技术革新能力，并努力有效地把这种技术运用于人类与生态系统其他方面的相互作用过程。借助于灵感和技术，人类可以为其后代创造一个更好的世界。”^[24]

这是一种令人钦佩的思想，但它的付诸实施并不是靠建坝前的事先估价，而只能在大坝建成后，通过不断完善，采取相应措施以控制其不利影响来达到。这是西方发达国家在水库影响研究上的主要观点：即对影响给予肯定，又对未来充满乐观，但付出的代价是巨大的。因此，Canter^[25]认为：对水库的建设与运行中有关环境影响的研究，应考虑在达到新的地貌与生态平衡之前许多年内发生的复杂的相互作用。

我国的大规模水库建设始于20世纪50年代，随着水库数量的增多和规模的扩大，对水文生态系统的影响日益突出。但是，由于多方面的原因，我国对水库影响的研究起步较晚，特别是水库对

生态系统的影响研究更晚。我国的水利工程环境评价始于 20 世纪 70 年代末,比先进国家晚近 10 年,但进展较快。1982 年 2 月,水利部颁布了《关于水利工程环境影响评价的若干规则》(草案),1988 年 12 月,水利部和能源部颁布了《水利水电工程环境影响评价规范》(试行)从此 水库建设与运行管理中 环境影响评价及相关研究走上了正轨,研究成果颇多^[8,27~39]。特别是对三峡工程影响的研究,其规模和深度都越居世界前列^[29]。

现行的水库影响研究,基本上都是按影响区——库区、下游影响区、引水区和受水区进行的^[20,21,24,25]。其中,库区又包括库盆(蓄水区),直接或间接受水库水文、水文地质、气候和生物影响的库盆周边地带,以及入库河流和水库控制的流域积水面积;下游影响区指水库大坝以下原受水河道、河谷、三角洲、湖、海等蓄水体及其影响范围(包括水库不同调节方式(多年、季节、周、日等调节)下的影响区域;引水区和受水区也合称利用区,在研究中,根据其在水库下游的位置,往往同下游影响区合并研究。

1.2.1.2 库区影响研究

库区水文生态系统的影响研究,早期主要集中在建库后河流雍水对水流本身和邻近地区的影响及水库的水文过程和水平衡方面。原苏联学者曾对水库的水交换(包括外部交换和内部交换)进行过较系统、深入的研究,在水库水交换的理论和研究方法上取得了一定进展^[21]。兹纳梅斯基曾提出根据水库来水量、泄流量两者结合计算相对水量交换指标;杜布罗维内提出用水库泄流量代替来水量,并用其与库容的比值作为交换指标;彼尔姆大学对近 1 000 座水库的计算表明,水库水量交换的历时和变幅比天然水体(湖泊)大得多;沃洛巴耶夫和阿瓦克扬根据福尔图纳托夫的资料,计算出日调节水库水量交换为 15~20 次/年,季调节水库为 2~10 次/年,多年调节水库 1~4 年交换一次,三类水库有效库容内的水量交换,则分别为 60~180 次/年,3~25 次/年和 0.5~3 次/年。日本、欧美学者也对水库水交换做过大量研究,提出了多

种判别水库分层的方法。在我国，沈晋等对水库水交换也进行过深入研究和详细论述^[8]。

修建水库对库区水文生态系统的影响是复杂多变的，对库区及其周围的水文气象条件、地理环境、地质环境、水陆生物以及人类居所等都会产生不同程度的影响。其中，对水文气象条件的影响研究最多，也最深入，但对由于水库影响而产生的水文气象条件改变后对环境的影响的研究则较少。

水库对库区地理环境和地质环境的影响，主要表现在库床沉积、土壤与植被改变、诱发地震等。对水库沉积或淤积及相关问题，国内外都有大量研究，特别是河流泥沙多、水库淤积严重的我国，这方面的研究一直处在国际领先水平^[40~45]。对土壤和植被的影响，原苏联研究较多^[21]，欧美各国也进行了大量有益的研究^[24,25,46~55]。

水库诱发地震的推断，最初是由卡尔捷尔于 1945 年根据在美国科罗拉多河上修建维尔大坝而形成的米德尔水库的研究提出的^[56]。由于该水库是当时世界上最大的水库（水深 140 m，库容 350 亿 m^3 ），1937 年蓄水位达正常水位后，库区地震活动加剧，正常蓄水的 10 年内，在 800 km^2 的范围内有记载的局部地震达到 6 000 余次。此后，在世界许多国家如希腊、印度、我国等都观测到与水库有关的地震活动^[56,57]。20 世纪 70 年代以来，多次召开国际性的水库诱发地震及相关内容的学术研讨会，使水库诱发地震问题成为水库影响研究的重要内容之一，开展了大量现场调查、跟踪监测及理论研究，发表了大量研究论文和专著。

水库中的水温、水质及水生生物的研究，是 20 世纪 60 年代以来水文学、生物学和环境学研究的重要问题。其中，水库水温与水质问题一直是环境水文学研究的一个重要方面^[8,20,24,25]。沃洛巴耶夫和阿瓦克场^[21]介绍了水库的水质及其利用的卫生条件，论述了水库水质形成的一般规律以及影响其成因的基本因素，并列举了原苏联的有关研究成果。对水库中水生生物的变化，原苏联也

进行了较深入的研究，沃洛巴耶夫和阿瓦克扬^[21]曾系统论述了微生物过程及其在生态系统的生产力和在水库自净中的作用，并介绍了原苏联雷宾水库 25 年的连续研究成果及其他一些水库的研究成果；论述了水库中浮游植物的形成与组成，空间分布及季节性变化特点，引述了古谢夫、巴洛诺夫、沙拉尔、杰尼索娃、普里马琴科等多名原苏联学者在这方面的研究成果，并认为浮游植物是划分水库类型的指标。他们还在水库中底栖藻群的基本特征及其在水库有机物生成中的作用作了论述，进而，对水库的高等水生植物及其生产力作了论述和分析，列举了埃克杰尔采夫等的研究成果。他们还在水库中的浮游动物和底栖动物的种群及其时空变化，以及生态因子对它们的影响等作了论述。同时，他们还论述了水库中的浮游动植物和底栖动植物，以及高等动植物对水库中有机物质的生产和破坏的作用及其相互影响；对水库的鱼产量及其决定性影响因素作了阐述，列举了原苏联及东欧等地区一些国家在这方面的研究成果。

欧美各国在水库水质及水生生物方面的研究也不少，自 20 世纪 60 年代成为研究主题以来，一直受到重视，而且，近年来这类研究有增无减，如仅 1996 年 1 年中，英文文摘索引 Agricola 和 CAB 中与之有关的文献就有近千篇。不少国家或研究机构对一些水库水质和水生生物的变化，进行了长期的或短期的、定期的或不定期的跟踪研究^[58,78]。例如，Prochazkova 等^[58]根据捷克 Vltava 河在 Słapy 水库调节条件下 36 年的水化学变化，研究了扩散污染对水质的影响 Sansone 等^[59]自 1986 年起连续 7 年对意大利 Dnieper 河水库系统进行了放射性物质和悬浮物污染研究。

我国在水库的水质与水生和陆生生物影响方面也进行了大量研究。沈晋等^[8]对水库水温分布特征及预测方法作了论述；张大发^[79]根据我国大中型水库的资料，绘制了一套估算库表水温和库底水温的图表，并作为《水利水电工程水文计算规范》(SDJ214 - 83)的附录；牛忠德^[80,81]对水库的分层现象作了论述，对分层型水

库中的溶解氧机理及其控制运用作了研究；何星玲等^[82]对水库水质的时空分布规律作了探讨；李怀恩^[83]就异重流泥沙对水库水温分布的影响进行了研究；粟运华^[84]对新安江水库的水温分层及其规律作了探讨；杜惠锦^[85]对黄岗水库的水温变化作了研究。中国科学院^[86]对我国长江三峡工程对库区水生和陆生生物的影响，库区水体污染影响，库区人群健康以及库区移民环境容量影响等进行了全面系统的研究。国内还有大量这方面的研究，不再赘述。

1.2.1.3 下游影响研究

水库的下游影响区是受水库影响较剧烈的地区。影响区的大小视水库规模及其在流域内或河流上的位置，通常可影响到下游数千米至上千千米。影响类型及影响程度是复杂多变的，主要包括对下游水文过程的改变，下游社会经济、自然环境、河岸水、陆生态系统、河流形态、水质、河流水生动植物、水文地质条件、土地利用状况等。根据影响程度的不同，沃洛巴耶夫和阿瓦克扬^[21]将水库下游影响区分为强影响区、一般影响区和弱影响区（包括引水区和受水区），引述了原苏联及东欧一些国家的研究成果。欧美各国在水库下游影响方面开展了大量研究，如 Entz^[86]研究了蓄水引起的河岸动植物群落的改变；Teshey 等^[87]研究了水库引起的湿地生物群落的变化；Petts^[88]论述了因水库产生的下游河道的长期改变对土地排水、河岸稳定性、水质、航运、建筑物稳定性、渔业、美学及水生生物的影响；Nelson 等^[89]研究了大坝下游径流变化对渔业的影响，推荐了用于评价 96 座大坝及其输水对径流的需求的方法；Hazel 等^[90]在研究美国加利福尼亚州 47 项水利工程后得出的结论是：改变下游河流情势，影响鱼类和野生动物；Johnston 等^[91]在关于淡水人流对河口影响的生态学特征研究中指出，从 20 世纪 50 年代中期到 1978 年，因在密西西比河流域修建水库使路易斯安那州 202 000 km² 湿地消失或改变。

我国对水库下游影响区的研究，重点是针对三峡工程的大规模研究^[29]，主要包括三峡工程对长江沿岸地区陆地生态系统的影

响及对策，对长江水域生态系统的影响及对策，对长江中下游湖泊环境的影响及对策，以及对长江河口区生态与环境的影响及对策等研究，涉及上百个生态和环境因子。对其他新建水库也已依据《水利水电工程环境影响评价规范》进行了评价和研究。对已成水库的下游影响研究也取得一定进展^[34,39,40]。

1.2.1.4 引水区和受水区影响研究

水库引水区和受水区的影响，主要取决于引水量、引水距离、引水方式，以及用水方式。一般规模的引水和用水，包括在下游影响区中一并研究，较大规模的引水和用水，则在调水和灌溉等影响中加以研究。

1.2.2 调水对水文生态系统的影响

调水是通过复杂的工程系统将丰水地区的水资源调引到缺水地区的一类水事活动，是许多区域水资源系统常见的重要组成部分。通过调水，可将水在时间和空间上重新进行分配，促进受水区社会经济的发展。但是，这种对水的天然时空分配的人为调控，首先因调水系统中各类工程措施的实施而改变了天然水循环的路径，引起水文过程的改变，进而引起调水区、输水区和受水区物理、化学和生物方面的一系列变化，产生种种水文、生态、环境效应。

调水是人类历史上出现较早的水事活动，已有几千年历史。但是，古代调水工程主要是发展航运和灌溉，如公元前 214 年秦始皇开凿灵渠，沟通了珠江和长江两大水系；公元 1293 年京杭大运河全线联通，串通了海河、黄河、淮河、长江、钱塘江流域，有力地促进了我国水运事业的发展。现代调水工程，则往往是多目标、多用途的大规模复杂工程系统，影响的范围和程度很大。据刘国纬等介绍^[92]，原苏联为解决水资源分布与社会经济布局极不协调的状况而拟定了宏伟的北水南调和东水西调计划，截止 1991 年，已建成主要调水工程 14 处，年总调水量 357 亿 m^3 ，影响到原苏联的大部分地区；美国中央河谷引水工程等 8 处主要调水工程，年调水

总量 15 亿 m^3 印度已建成的 7 项调水工程，年调水量约 270 亿 m^3 ；巴基斯坦西水东调工程年调水 148 亿 m^3 。我国自 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，华北引滦入津工程和引滦入唐工程，山东省引黄济青工程，辽宁省引碧入大工程，甘肃省引大入秦工程，都发挥了显著效益。而且，更加宏伟的调水工程一直在世界各地许多国家酝酿，如我国南水北调工程，总体布局包括东线、中线、西线等引水线路，按初步考虑的远景规模，年调水总量为 600 亿 m^3 至 800 亿 m^3 。北美调水计划将北美西北部水量充沛地区的多余水量分配到加拿大、美国和墨西哥的缺水地区，年调水 1 350 亿 m^3 ，这些工程以目标多、规模大、距离远为特点，对水文生态系统的影响是显而易见的。

关于调水工程对水文生态系统的影响的研究，以往主要以研究调水水文效应为主，内容涉及调水区的分水效应和减水效应，输水区的输水效应、阻水效应、渗水效应和蓄水效应，以及受水区的增水效应和环境水文效应^[93]。

各主要调水国家如我国、原苏联、印度、巴基斯坦、美国、加拿大、墨西哥等国，都开展了大量大规模调水对水文生态系统的影响有关的科学研究。由于调水工程规模大小不一，影响区（包括调水区、输水区和受水区）的原有自然生态系统、人类生态系统、水文气象条件等差别较大，加之研究者的着眼点和认识问题的能力等方面的限制，研究结果往往不一致甚至截然相反。

前苏联学者索柯洛夫和希克洛曼夫在他们主编的《水资源的区域再分配》^[94]一书中，系统论证了规划中的原苏联从北方和西伯利亚向伏尔加河、原苏联的欧洲部分南部、哈萨克斯坦和中亚细亚干旱地区大量调水工程的水文、气象、环境等方面的影响。但纵观全书，他们注重强调的是调水的正效应，特别是经济效益，对负效应估计不足。例如在谈及里海、咸海和巴尔喀什湖因入海、入湖的河流引水灌溉等使入湖水量减少，导致海、湖水位下降时，根据各水域的“价值”对黑海和巴尔喀什湖作出海、湖水位进一步下降

会使沿海、湖地区经济‘损失’大于‘收益’的结论，并未对水文生态系统的可能变化导致的环境恶化、生态受损等负面影响进行论证，特别是对咸海作出了与里海和巴尔喀什湖完全相反的结论（在经济效益方面）认为咸海水域本身的‘总价值不算太大’，把阿姆河和锡尔河的水资源用于灌溉和引水是‘非常有利的’，因此，不需要为保留咸海而从毗邻地区调水入海。

事实上，咸海问题已引起国际上许多学者的重视。李佩成^[95,96]曾对咸海萎缩的原因和后果作了深入的分析后指出：“由于咸海是一个巨大的水体，它对辽阔的周围地区也施加着巨大的影响，从而造成一个以咸海为中心的生态和社会经济系统。伴随着咸海的萎缩而来的，便是这个原有的生态系统遭到摧残，原有的社会经济结构遭到破坏。”具体表现在：① 咸海入海水量减少、海水水位下降已产生的不良后果是：河流三角洲地带干化，喜水植物芦苇面积从 55 万 hm^2 减少到 2 万 hm^2 ，土盖林面积减少，林木稀疏，50 多个湖沼变干，沉积土壤形成过程终止，大片土地迅速盐碱化和沙化；② 主要依靠阿姆河和锡尔河供水的咸海周围地区供水条件严重恶化（包括 300 万居民的生活用水）；③ 使三角洲地带原有的 178 种动物减少到 38 种，渔业产量大幅度下降；④ 近海地区卫生条件和流行病情况恶化，出现居民死亡率增大，恶性肿瘤发病率增高的趋势；⑤ 咸海被扼杀死亡后将形成一个 6 000 km^2 的盐化沙漠，将成为麝土和盐分侵袭的发源地，必将对相邻地区的自然和经济产生严重的不利影响。

1995 年在乌兹别克斯坦召开了专门研究咸海问题的国际学术研讨会，各国学者从不同学科不同学派的观点出发，对咸海问题进行了热烈的讨论。这一问题在前苏联就曾引起过一场激烈争论。这次学术讨论会则是该问题的国际性“争论”。目前专门研究咸海问题的成果已很多^[97~102]。

当然，上述里海、咸海等问题并不是单纯的调水问题，而是一个复杂的水资源综合系统（水利综合体）问题，它涉及到水库、灌

溉、排水等一系列水事活动。

在原苏联北水南调的方案中，研究较充分的是调水河流域水文情势和水量平衡关系的变化，以及冰情和热状况的变化；对调水河流域生态系统的影响也作了较深入的研究。如马尔克娃、伊格纳契耶夫、沃尔弗宗等对鄂毕河和额尔齐斯河调水的水情变化、河滩淹没情势及其变化和河滩蒸发损失的变化作了详细的定量计算；阿柳申斯卡雅对鄂毕河雍水现象及其在调配部分径流后的可能变化作了估算；涅日霍夫斯基还对与调配部分河流径流有关的拉多加湖、涅瓦河和涅瓦湾的水位动态、水量交换、热量状况及盐分状况等作了分析；顿钦柯对西伯利亚河流和原苏联欧洲北部河流的冰情和热量状况影响作了研究；诺维科夫则对调配鄂毕河和额尔齐斯河部分径流对西西伯利亚的沼泽结构和水热状况的影响作了研究；斯卡卡斯基和涅日霍夫斯基则对调水对原苏联欧洲部分北部地表水的水质影响作了评价；伊万诺夫和尼基福罗夫对调水河流的河口及北极地带海洋的可能影响作了评价；斯尼申科、卡拉谢夫等对主要输水线路和渠道的河渠川动态、泥沙运动等进行了研究；德罗兹多夫等研究了调水及其相应的人类活动可能引起的全球气候变化和水文循环的变化^[94]。

我国的南水北调工程是目前国内最大的调水项目，其中，东线调水方案是目前为止研究较深入，但争论也最大的一个方案。虽然各界学者对我国南水北调东线工程的社会经济效益无可置疑，但对其产生的生态与环境后果则各述己见。

南水北调东线工程对水文生态系统的影响是多方面的，可大致分为六个方面：① 调水对长江引水口以下河流及长江口的影响；② 对调水沿线土壤盐渍化的影响；③ 对水生生物的影响；④ 血吸虫病向北扩散问题；⑤ 输水渠与河流交叉的环境问题；⑥ 气候效应。这些问题，有的已在各界学者间达成共识，有的则尚无统一认识。目前认识较统一的是血吸虫病向北扩散问题和气候效应等^[103-106]。