

第5章 提高水生态系统服务功能的 政策框架

5.1 中国水资源特点

中国水资源主要赋存于河流、湖泊、水库、沼泽等地表水生态系统与地下水生态系统中。中国河流生态系统主要有松花江、辽河、海河、黄河、淮河、长江、珠江等。中国淡水湖泊生态系统主要有太湖、鄱阳湖、洞庭湖、洪泽湖、巢湖、洪湖、南四湖、白洋淀、呼伦湖、长白山天池、镜泊湖、滇池、博斯腾湖等。

由于气候、地形等自然条件与人口众多等社会经济条件的影响，中国水资源呈现如下特点：

5.1.1 水资源总量较丰富，但人均、耕地亩均占有量少

中国多年平均降水总量为 60 854 亿 m^3 ，折合降水深 643 mm。多年平均水资源总量为 27 741 亿 m^3 ，居世界第 6 位，其中地表水资源量 26 691 亿 m^3 ，折合径流深 282 mm，地下水资源量 8 087 亿 m^3 。中国幅员辽阔，人口众多，人均水资源量 2 200 m^3 ，仅为世界平均水平的 1/4；耕地亩均水资源量 1 440 m^3 ，为世界平均水平的 60%。

5.1.2 水资源空间分布不均，与生产力布局不匹配

北方水资源贫乏，南方水资源丰富，且相差悬殊。北方 6 个水资源区（松花江区、辽河区、海河区、淮河区、黄河区、西北内陆河区）面积占全国水资源总面积的 63.5%，人口占全国总人口的 46.1%，GDP 占全国总 GDP 的 44.5%，耕地面积占全国耕地总面积的 60.5%，而水资源总量却只占全国水资源总量的 19.1%。南方 4 个水资源区（长江区、珠江区、东南诸区、西南诸区）面积占全国水资源总面积的 36.5%，人口占全国总人口的 53.9%，GDP 占全国总 GDP 的 55.5%，耕地面积占全国耕地总面积的 39.5%，而水资源总量却占全国水资源总量的 80.9%。中国水资源一级分区水资源总量见图 5-1。

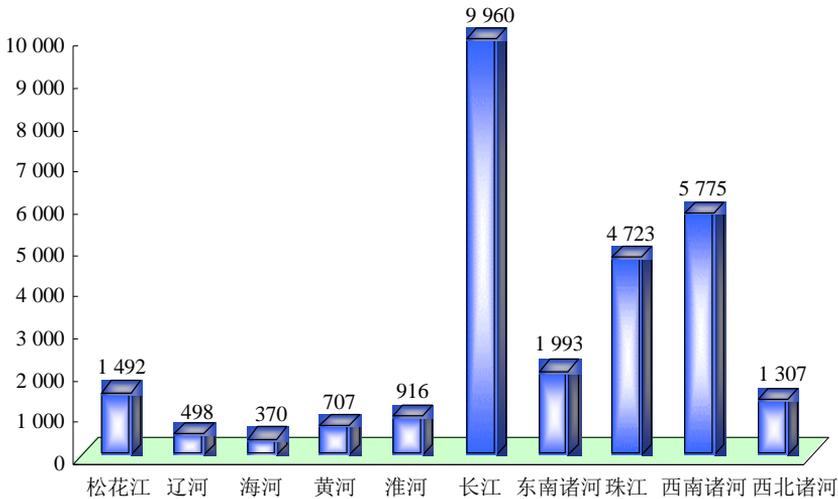


图 5-1 中国水资源一级分区水资源总量

5.1.3 水资源年内、年际分配不均，造成旱涝灾害频繁

受东南季风气候影响，中国降水量年内分配极为不均，大部分地区年内连续 4 个月降水量约占全年的 70%，南方水资源区一般出现在 4~7 月，北方水资源区一般出现在 6~9 月。中国水资源年际变化大，七大江河普遍具有连续丰水或枯水年的周期性变化，丰水年与枯水年水资源量的比值南方水资源区为 3.0~5.0，北方水资源区最大可达 10.0。

水资源时间分配上的不均，造成北方水资源区干旱灾害和南方水资源区洪涝灾害频繁发生，也使南方水资源区常出现季节性干旱缺水。

5.1.4 河流泥沙含量高

中国的黄河是世界上泥沙含量最高的河流，多年平均泥沙含量达 35 kg/m^3 。此外，辽河的一级支流柳河等河流的泥沙含量也很高，这大大增加了河流生态系统服务功能提高的复杂性与水土流失治理的迫切性。

人多水少、水资源时空分布不均与生产力布局不相匹配，既是现阶段中国的突出水情，也是中国将要长期面临的基本国情。

中国以占世界 9% 的耕地、6% 的水资源量养育了世界 21% 的人口，并保障了中国这个世界上最大的发展中国家经济社会的可持续发展。

5.2 中国提高水生态系统服务功能行动

20世纪90年代初以来,在可持续发展、人与自然和谐相处、科学发展观和生态文明等思想的指导下,针对水生态系统不合理开发和保护不力所造成的河流断流、水体污染、水土流失、湿地萎缩、地面沉降、海水入侵、植被退化、生物多样性降低等一系列水生态问题,中国开展了科学研究、水资源综合规划编制、工程实施和制度实施等多项提高水生态系统服务功能的行动。

5.2.1 科学研究行动

从20世纪90年代初到2005年,科技部、水利部和中国工程院等单位组织有关专家开展了多项有关河流、湖泊、植被和水土保持生态需水的课题研究,其中有代表性的研究为:“九五”国家重点科技攻关项目——“西北地区水资源合理开发利用与生态环境保持研究”之课题“西北地区水资源合理配置和承载能力研究”;“十五”国家重点科技攻关项目——“水安全保障技术研究”之课题“中国分区域生态用水标准研究”;中国工程院重大咨询项目——“中国可持续发展水资源战略研究”之课题“生态环境建设与水资源保护利用研究”;中国工程院重大咨询项目——“西北地区水资源配置、生态环境建设和可持续发展战略研究”之课题“西北地区生态环境建设区域配置及生态环境需水量研究”等。这些研究在国外生态需水研究方法的基础上,提出了适合中国国情的较为完善的各类生态需水的计算方法,为科学编制水资源综合规划和实施提高水生态系统服务功能的工程提供了坚实的理论支撑。

5.2.2 水资源综合规划编制行动

2002年4月—2009年5月,由国家发展和改革委员会、水利部牵头,会同国土资源部、环境保护部、住房和城乡建设部、农业部、国家林业局、中国气象局等有关部门,在全国范围内组织开展了水资源综合规划编制工作。在全国、七大流域、省(直辖市、自治区)级行政区域三个层面分别提出了各自范围内的水资源综合规划成果。其中,全国层面的水资源综合规划制定了松花江、辽河、海河、黄河、淮河、长江、珠江等河流主要断面生态环境用水量的控制性指标,为今后一个时期提高我国河流生态系统服务功能提供了重要依据。

5.2.3 工程实施行动

1998年大水后,在洞庭湖、鄱阳湖区开展了大规模的“平垸行洪、退田还湖和移民建镇”,恢复长江流域水面2900 km²,增加蓄洪容积130亿 m³,实现了千百年来从围湖造田、与湖争地到大规模退田还湖的历史性转变;从1999年开始,通过黄河水资

源统一调度，使黄河连续 10 年不断流。从 2001—2009 年，通过小浪底水库的合理调度运用，黄河共进行了 9 次调水调沙，使下游的主河槽得到了全线冲刷，将 5.75 亿 t 泥沙送入大海，其中冲刷掉下游主河槽的总沙量达 3.56 亿 t，显著提高了河槽过流能力；对黑河、塔里木河等生态脆弱河流进行综合治理并加强水资源的统一管理和调度，使黑河下游东居延海连续 5 年不干涸和塔里木河下游生态逐年恢复；实施扎龙湿地、南四湖、向海湿地、白洋淀等重要缺水湿地的生态应急补水工程，使湿地生态环境得到显著改善；连续 8 年实施“引江济太”，将 147 亿 m³ 长江水调入太湖，改善水体水质，减轻水污染损失；自 2005 年以来，开展了广西桂林市、湖北武汉市、江苏无锡市、山东莱州市和浙江丽水市、河北邢台市、陕西西安市等 14 个城市水生态系统保护与修复试点，并取得明显成效；为有效保护受三峡工程影响的白鱈豚、白鲟、中华鲟、长江鲟、江豚、胭脂鱼等 6 种珍稀水生动物，自 1992 年以来，在宜昌、长江口等地区陆续建设了 5 个珍稀水生动物自然保护区；为了保护中华鲟，中国开展了中华鲟人工繁殖放流行动，从 1984—2009 年，累计向长江、珠江放流中华鲟鱼苗 500 多万尾；先后启动实施了黄河中游、长江上游、黄土高原淤地坝、京津风沙源、东北黑土区和岩溶地区石漠化治理等一批国家水土流失重点防治工程，累计治理水土流失面积 101.6 万 km²，年均减少土壤侵蚀量达 15 亿 t 以上，增加蓄水能力 250 多亿 m³，全国水土流失面积呈下降趋势；完成了全国地下水功能区划和超采区划定，以南水北调水源区、饮用水水源地、地下水严重超采区为重点区域的水资源保护不断加强，通过关井、限采、回补等措施，遏制了部分地区地下水水位持续下降的趋势^①。这些工程行动为逐渐提高全国水生态系统服务功能起到了重要的示范辐射作用。

5.2.4 制度实施行动

依照《环境保护法》、《水法》和《水土保持法》的要求，中国全面实施了建设项目环境影响评价制度、水资源论证制度和水土保持方案编制制度，从源头上使城市建设和工业布局充分考虑水资源条件和承载能力，充分考虑建设项目对生态环境的影响；实施生态用水和河道基流保障制度；实行最严格的水资源管理制度，划定水资源管理“三条红线”，即明确水资源开发利用“红线”，严格实行用水总量控制。明确水功能区限制纳污“红线”，严格控制入河排污总量。明确用水效率控制“红线”，坚决遏制用水浪费。这些制度实施行动为逐渐提高全国水生态系统服务功能提供了保障。

中国通过实施上述一系列提高水生态系统服务功能的行动，使局部地区水生态系统得到保护、改善和修复，但全国水生态系统失衡的总体态势尚未根本扭转。

^① 陈雷. 在水利部庆祝新中国成立 60 周年大会上的讲话. 中国水利, 2009 (18): 21-30.

5.3 水生态系统服务功能分析

水生态系统服务功能是指水生态系统及其生态过程所形成及所维持的人类赖以生存的生态环境条件与效用,包括社会经济服务功能与自然生态服务功能两个方面^{①②}。

5.3.1 社会经济服务功能

水生态系统社会经济服务功能主要包括供水、水产品生产、水力发电、内陆航运、休闲娱乐和文化美学等6项。

(1) 供水

河流、湖泊和地下水生态系统是淡水贮存和保持的最主要场所,供水是其最基本的服务功能。人类生存所需要的淡水资源主要来自河流、湖泊和地下水生态系统。根据水体的不同水质状况,被用于生活饮用、工业用水、农业灌溉和城市生态环境用水等方面。

(2) 水产品生产

水生态系统最显著的特征之一是具有水生生物生产力。水生态系统中,自养生物(高等植物和藻类等)通过光合作用,将CO₂、水和无机盐等合成为有机物质,并把太阳能转化为化学能,贮存在有机物质中;异养生物对初级生产的物质进行取食加工和再生产,进而形成次级生产。水生态系统通过这些初级生产和次级生产,生产丰富的水生植物和水生动物产品,为人类的生产、生活提供原材料和食品,为动物提供饲料。

(3) 水力发电

河流因地形地貌的落差产生并储蓄了丰富的势能。水能是目前世界公认的最具备规模发展的清洁可再生能源,而水力发电是该能源的有效转换形式。目前水电提供了全世界20%的电力,有24个国家依靠水电为其提供90%以上的能源,有55个国家依靠水电为其提供40%以上的能源。中国已建水电装机容量达到1172亿kW,居世界第一位,年发电量将近6000亿kW·h,占全国总发电装机的20%、总发电量的15%左右。

(4) 内陆航运

河流生态系统承担着重要的运输功能。与铁路、公路、航空等其他运输方式相比,内陆航运具有成本低效益高、能耗低污染轻、运输量大等优点。因此,人类在主要利用自然河流发展内陆航运的同时,还修建人工运河,如中国的京杭大运河。河流生态系统内陆航运功能的开发利用对节约土地资源,减少环境污染,促进区域经济社会可

① 李文华,张彪,谢高地.中国生态系统服务研究的回顾与展望.自然资源学报,2009,24(1):1-10.

② 欧阳志云,孟庆义,马冬春.北京水生态系统服务功能与水管理.北京水务,2010(1):9-11.

持续发展具有重要意义。

截至 2008 年底,全国内河航道通航里程 12.3 万 km,主要分布在长江、珠江、淮河和黑龙江 4 大水系,涉及 23 个省、自治区、直辖市,其中长江干线航道的年运输量超过 11 亿 t,相当于 16 条京广铁路的运量。内河等级航道里程 6.1 万 km,约占总通航里程的 50%。其中,可通航 1 000 吨级船舶以上航道 8 800 km,占总通航里程的 7%;全国通航 300 吨级船舶以上的航道 2.46 万 km,占总通航里程的 20%。但我国航道等级仍然偏低,四级以上的高等级航道仅占总里程的 11.3%,航道的通过能力还需要提高。

(5) 休闲娱乐

在同一个流域内,河流、湖泊、沼泽等既相互独立,又相互联系。河流纵向上游森林、草地景观和下游湖泊、滩地、沼泽景观相结合,使其景观多样性明显;横向高地—河岸—河面—水体镶嵌格局使其景观特异性显著,且流水与河岸、鱼鸟与林草的动与静对照呼应,构成河流景观的和谐与统一。水生态系统的这些独特景观为人类休闲娱乐,感受大自然提供了重要的活动场所。2001 年至今,水利部已批准设立水库型、湿地型、自然河湖型、城市河湖型、灌区型、水土保持型等各类国家级水利风景区 370 处。

(6) 文化美学

文化美学功能是指水生态系统对人类精神生活的作用,带给人类的文化、美学、教育和科研价值等。不同的水生态系统,尤其是不同的河流生态系统孕育了不同的地域文化和宗教艺术,同时水生态系统还孕育了多种多样的民风民俗和性格特征,由此也直接影响着科学教育的发展和文明水平等。如尼罗河孕育了埃及文明,幼发拉底河和底格里斯河孕育了古巴比伦文明,黄河和长江孕育了中华文明等。

5.3.2 自然生态服务功能

水生态系统自然生态服务功能主要包括调蓄洪水、生物多样性维护、净化环境、物质输移和气候调节等 5 项。

(1) 调蓄洪水

湖泊、沼泽等湿地具有蓄洪能力,对河川径流起到重要的调节作用,可以削减洪峰、滞后洪水过程,从而均化洪水,减少洪水造成的经济损失。

(2) 生物多样性维护

水是生命之源。河流、湖泊、沼泽、洪泛区等多种多样的环境,不仅为各类生物物种提供繁衍生息的场所,还为生物进化及生物多样性的产生与形成提供了条件,同时也为天然优良物种的种质保护及其经济性状的改良提供了基因库。一些水生态系统是野生动物栖息、繁衍、迁徙和越冬的基地,另一些水生态系统是珍稀濒危水禽的中转停歇站,还有一些水生态系统养育了许多珍稀的两栖类和鱼类特有种。

(3) 净化环境

水提供或维持了良好的污染物质物理化学代谢环境，提高了区域环境的净化能力；水体中生物从周围环境吸收的化学物质，形成了污染物的迁移、转化、分散、富集过程，污染物的形态、化学组成和性质随之发生一系列变化，最终达到净化作用；另外，进入水体生态系统的许多污染物质吸附在沉积物的表面，而沼泽和洪泛平原缓慢的水流速度有助于悬浮物的沉积，污染物（如重金属）黏结在悬浮颗粒上并沉积下来，实现污染物的固定和缓慢转化。

水体通过水面蒸发和植物蒸腾作用可以增加区域空气湿度，有利于空气中污染物质的去除，从而使空气得到净化。例如，湿度增加能够大大缩短 SO_2 在空气中的存留时间，能够加速空气中颗粒物的沉降过程，促进空气中多种污染物的分解转化，等等。

(4) 物质输移

河流具有输沙、输送营养物质、淤积造陆等一系列的生态服务功能。河水流动中，能冲刷河床上的泥沙，达到疏通河道的作用，河流水量减少将导致泥沙沉积、河床抬高、湖泊变浅，使调蓄洪水和行洪能力大大降低；河流携带并输送大量营养物质如碳、氮、磷等，是全球生物地球化学循环的重要环节，也是海洋生态系统营养物质的主要来源，对维系近海生态系统高的生产力起着关键的作用；河流携带的泥沙在入海口处沉降淤积，不断形成新的陆地，一方面增加了土地面积，另一方面也可以保护海岸带免受风浪侵蚀。相关研究表明，中国主要入海河流年总输沙量约为 $3.35 \times 10^8 \text{ t}$ （见表 5-1）。

表 5-1 中国主要入海河流输沙量

单位：亿 t

海洋	渤海				黄海	东海				南海	
河流	辽河	滦河	海河	黄河	淮河	长江	钱塘江	瓯江	闽江	珠江	韩江
输沙量	0.123	0.190	0.001 3	0.771	0.093	1.30	0.02	0.025	0.060 1	0.753	0.017 9

(5) 气候调节

水体的绿色植物和藻类通过光合作用固定大气中的 CO_2 ，将生成的有机物质贮存在自身组织中；同时，泥炭沼泽累积并贮存大量的碳作为土壤有机质，在一定程度上起到了固定并持有碳的作用，因此水生态系统对全球 CO_2 浓度升高具有巨大的缓冲作用。此外，水生态系统对稳定区域气候、调节局部气候有显著作用，它能够提高湿度、诱发降雨，对温度、降水和气流产生影响，可以缓冲极端气候对人类的不利影响。

水的生态服务功能依赖于水支持的生态系统本身的结构和生态特征，最根本是受水体自然属性特征要素的影响，这些要素包括水量、水质、水深、流速和水温等因素。水质和水量是最受关注的直观影响因子，也是人类对水生态系统干扰最为显著的指标体现。通常可采用水量和水质作为评价淡水的生态服务功能的主要影响因子（见表 5-2）。

表 5-2 流量、水质变化的生态响应

水文要素	变化	生态响应
流量规模和频率	流量变化频繁，变化幅度大	敏感物种丧失；藻类增加，有机物质被冲走；生命周期被打乱；能量流被改变
	流量稳定	输送到河漫滩植物的水分变小，种子不能有效扩散
季节性洪峰后	由洪峰流量开始逐渐变小	鱼类受到干扰，如产卵、孵卵、迁徙；水生植物网结构改变；植被生长缓慢
低流量	低流量时间延长	地貌形态发生改变；水生有机物聚集；水生多样性降低；河岸植被覆盖率减少、物种变化
	淹没时间延长	植被类型变化、水生植物生长的浅滩丧失
水质	变坏	水体富营养化，鱼类大面积死亡
	良好	水体清澈，光照好，生态系统生物多样性高

河流、湖泊、湿地和地下水系统的生态服务功能（见表 5-3）。

表 5-3 水生态系统生态服务功能及其价值评价指标体系

服务功能类型	调蓄洪水	河流输沙	净化环境	碳固定	生物多样性维持
河流	√	√	√	—	√
湖泊	√	—	√	—	√
沼泽	√	—	√	√	√
地下水	√	—	—	—	√

注：“√”表示具备该类生态功能；“—”表示不具备该类生态功能。

5.4 中国主要水生态系统现状与演变

我国地形覆盖世界最雄峻的高山和高原，濒临世界最渊深和广大的海洋，其间孕育的水生态系统复杂多样，包括悠长的河流、星罗棋布的湖泊湿地以及广大依赖水源而存在的各类陆域生态系统。历史上，我国的水生态系统功能完善，调节缓冲弹性极大，在多次全球性灾难和群体性生物灭绝中，庇护了大批发源于远古时代的珍稀物种，包括大熊猫、水杉等。20 世纪 70 年代以来，在气候变化和人类活动的双重影响下，我国自然水生态系统完整性遭到深度破坏，出现规模萎缩，结构单一，质量下降，整体功能下降的深度异化，生物多样性在一些人类活动密集区几近消失。

5.4.1 河流

我国河流众多，面积超过 100 km² 的河流有 5 万多条。据对全国主要江河近 600 个代表性河流控制水文站资料分析，有 76% 测站的径流过程不同程度地受到人类取水等活动的影响，实测径流量与天然径流量相比明显减小，河流水文情势变化显著，其中以北方地区更为突出，北方大部分河流测站 20 世纪 80 年代以后的比例明显低于 80 年代以前的比例。黄河、淮河、海河和辽河区 1980—2000 年系列多年平均实测径流量占天然径流量的比例一般为 50%~80%，部分河流（段）为 20%~60%，个别河流（段）仅为 10%，有的河段甚至常年干涸。如将多年平均天然年径流量的 10% 作为维持河流最基本生态功能的标准，当河道内实际径流量小于该标准时，河流生态系统主要功能将受到严重影响，河槽萎缩，河滩裸露，河流明显出现“干化”现象。根据 20 世纪 60 年代至 90 年代实测月径流量资料，黄河、淮河和海河区的主要河流“干化”月数总体呈明显增加趋势（见表 5-4）。

表 5-4 黄淮海水资源一级区典型河流不同年代“干化”情况

水资源一级区	河名	控制站	“干化”月数			
			1961—1970 年	1971—1980 年	1981—1990 年	1991—2000 年
海河区	滦河	滦县	0	1	24	34
	滹沱河	黄壁庄	15	40	68	64
	唐河	西大洋	19	33	35	43
黄河区	黄河	利津	4	13	19	56
	汾河	河津	1	26	27	58
淮河区	沂河	临沂	26	29	63	38
	颍河	阜阳	13	35	16	54

根据 1956—2000 年资料分析，全国入海总水量年际变化不大，但南北方差异显著。黄河、淮河、海河、辽河 4 个水资源一级区，随着水资源开发利用程度的提高，20 世纪 50 年代以来入海水量呈减少趋势（见图 5-2），其中黄河区和海河区入海水量减小趋势尤为明显，各年代入海水量占本区地表水资源量的比例从 20 世纪 50 年代的 70% 下降到 90 年代的不足 30%，海河流域入海水量年际变化见图 5-3。

5.4.2 湖泊

我国湖泊众多，2000 年全国有面积 1 km² 以上的天然湖泊 2 941 个，总面积 8.5 万 km²，主要分布在青藏高原、东部平原和蒙新高原等湖区，西北诸河区和长江区湖泊面积分别占湖泊总面积的 60% 和 20%。全国面积 500 km² 以上的大型湖泊和特大型湖泊

27 个，面积约占 3.6 万 km²。全国湖泊分级情况见表 5-5。

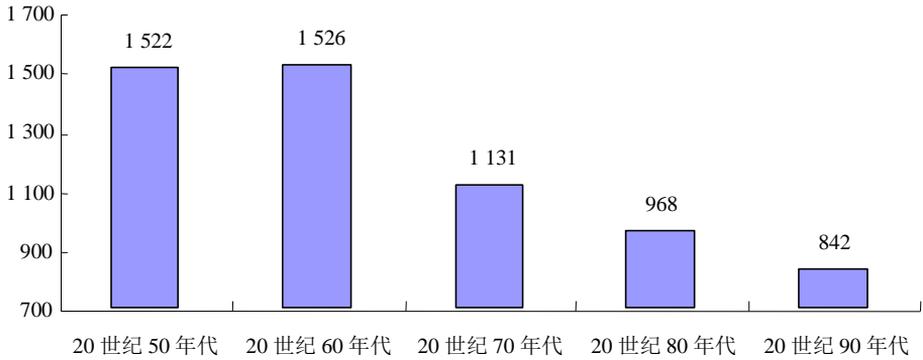


图 5-2 北方地区入海水量变化

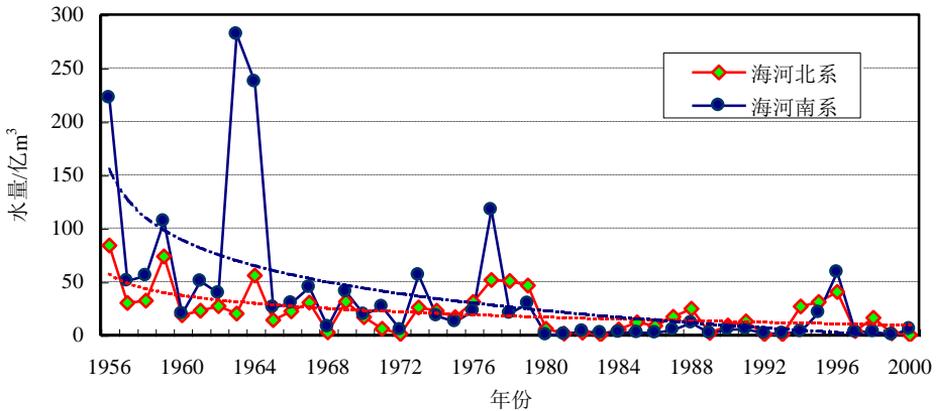


图 5-3 海河流域入海水量年际变化

表 5-5 全国湖泊分级情况

分级面积/km ²	个数	面积/万 km ²	储水量/亿 m ³	备注
F ^① ≥ 500	27	3.90	3 620	储水量为与湖泊多年平均水位相应的湖泊储水量； 储水量总计数为面积在 10 km ² 以上湖泊的储水量总和
100 ≤ F < 500	106	2.22	2 534	
10 ≤ F < 100	504	1.65	1 268	
1 ≤ F < 10	2 304	0.69	—	
总计	2 941	8.46	7 422	

注：① F 表示湖泊面积。

20世纪50年代以来,我国湖泊萎缩趋势比较明显。与50年代相比,2000年湖泊面积减少了14 767 km²,约占50年代湖泊面积的14%。全国面积大于10 km²的湖泊中有229个湖泊发生萎缩,面积减少13 776 km²,其中干涸湖泊89个,干涸面积4 289 km²,其中淡水湖泊萎缩面积占萎缩总面积的82%,咸水湖和盐湖萎缩面积分别占12%和6%。全国面积大于10 km²的湖泊萎缩情况见表5-6。

表5-6 全国面积大于10 km²的湖泊萎缩情况

水资源一级区	湖泊萎缩个数		占全国比例/%	湖泊减少面积		占全国比例/%	湖泊储水减少量 ^①	
	萎缩个数/个			减少面积/km ²			储水减少量/亿 m ³	占全国比例/%
	总个数	其中干涸湖泊	总面积	其中干涸面积				
松花江区	16	7	7.0	184	123	1.3	1.6	0.3
辽河区	3	3	1.3	69	69	0.5	—	—
海河区	5	—	2.2	1 013	—	7.4	10.2	2.0
黄河区	11	—	4.8	602	—	4.4	18.1	3.5
淮河区	10	3	4.4	816	113	5.9	11.1	2.1
长江区	139	60	60.7	7 387	1 466	53.6	283.9	55.0
珠江区	4	—	1.7	35	—	0.3	1.9	0.4
西北诸河区	41	16	17.9	3 670	2 518	26.6	189.8	36.7
全国	229	89	100	13 776	4 289	100	516.6	100

注:湖泊储水减少量中不包括干涸湖泊部分的水量。

5.4.3 沼泽湿地

1995—2000年我国首次进行的湿地调查结果表明,全国现有沼泽湿地2 895个,面积1 370.03万hm²。沼泽湿地在全国各省(自治区、直辖市)均有分布,但是在寒温带、温带湿润地区,沼泽湿地分布比较集中。大小兴安岭、长白山地、三江平原、辽河三角洲、青藏高原的南部和其东部的若尔盖高原、长江与黄河的河源区,河湖泛洪区,入海河流三角洲及沙质或淤泥质海岸地带沼泽湿地十分发育。

三江平原是我国平原区沼泽湿地集中分布区,20世纪50年代初期有沼泽湿地534.5万hm²,占三江平原地区平原总面积的80.2%。但由于长期农业过度开垦,沼泽湿地面积已由20世纪50年代初期的534.5万hm²下降到2000年的134.9万hm²,减少了74.76%,到2008年下降为100万hm²,减少了81.29%。

随着沼泽湿地面积的减小,其生态服务功能明显下降,生物多样性降低,生态系统遭到破坏。

5.4.4 地下水系统

从 1980—2008 年，全国浅层地下水开采量从 557 亿 m^3 增加到 1 081 亿 m^3 ，其中北方地区增加量占总增加量的 90%。许多地区的开采量超过了地下水可开采量，导致地下水水位持续下降，形成区域性的地下水超采区并引发一系列环境地质问题。地下水超采区主要分布在北方平原地区。2000 年海河平原地下水超采区面积约 10 万 km^2 ，占海河区平原面积的 91%，占全国超采区总面积的 55%。水资源一级区地下水超采情况见表 5-7。

表 5-7 水资源一级区地下水超采情况

水资源一级区	2000 年超采区面积/ km^2		2000 年超采量/亿 m^3	多年累计超采量/亿 m^3	备注
	总面积	其中严重超采区			
松花江区	6 374	2 377	1.6	29.3	海河流域合计中扣除了浅层地下水与深层承压水超采区重叠面积 14 890 km^2 ，严重区重叠面积 11 000 km^2
辽河区	3 790	1 304	2.3	68.1	
海河区	102 353	41 528	61.6	975.3	
黄河区	10 140	4 213	11.3	170.4	
淮河区	26 719	10 610	8.4	126.3	
长江区	17 940	7 380	3.2	58.1	
东南诸河区	1 584	444	0.3	1.2	
珠江区	2 134	635	0.3	10.6	
西北诸河区	14 424	4 835	10.6	92.1	
全国	185 457	73 325	99.6	1 531.3	

数据来源：《全国水资源综合规划》。

5.5 中国水生态系统服务功能变化分析

伴随着水生态系统的演变，其生态服务功能也发生变化。总体来看，中国水生态系统的社会经济服务功能大大增强，而自然生态服务功能退化明显，主要表现为：

5.5.1 调蓄洪水能力下降

中国主要湖泊的容积减小，湿地萎缩，导致水系统的自然调蓄能力下降，如洞庭湖在近 50 年时间里由于围垦失去 45%，面积减小，调蓄能力随之减小，出湖流量增加，导致长江中下游地区近几十年来洪水位不断抬升；三江平原湿地由于农田开垦也大量消失，水生态系统调蓄洪水和涵养水源的功能急剧下降。

5.5.2 物质输移能力降低

库坝的建设和河道外取水量的增加, 水量和动力条件发生变化, 致使河流输移能力减弱, 不仅导致营养盐和泥沙在河道内累积, 库湾出现富营养化, 同时对维系近海生态系统高的生产力造成了一定的影响。如海河流域内 12 个主要入海河口都存在淤积问题, 河口淤积总量达 9 500 万 m^3 , 泄洪能力大为降低。同时各河口相继建闸拒咸蓄淡, 鱼类洄游线路被切断, 使流域生态系统由开放型逐渐向封闭式和内陆式方向转化, 河口生态遭到根本性破坏, 河流生物物种转向低级化。

5.5.3 水质净化功能逐渐减弱

河道外大量引水和水利水电工程的建设, 使得河道内水体自净能力下降, 加上入河排污量的增加, 导致我国水体污染状况突出。根据 2009 年《中国环境状况公报》, 中国七大水系有机污染普遍, 各流域干流只有 57% 的断面满足三类水质的要求, 黄河、辽河、海河为中度至重度污染。此外, 中国主要湖泊富营养化问题突出。26 个国控重点湖泊(水库)中, V类和劣V类的 14 个, 占 53.8%, 主要污染指标为总氮和总磷。

5.5.4 提供栖息地的服务功能下降

河流、湖泊、湿地为许多生物提供着栖息地, 河湖和湿地的萎缩导致提供栖息地功能下降。如湿地复杂多样的植物群落, 为野生动物尤其是一些珍稀或濒危野生动物提供了良好的栖息地, 是鸟类、两栖类动物的繁殖、栖息、迁徙、越冬的场所。最新研究成果表明, 近 20 年间我国湿地总面积减少了 11.46%, 由 1990 年的 36.6 万 km^2 减少到 2008 年的 32.4 万 km^2 , 且当前的湿地面积中, 只有 21 万余 km^2 是相对恒定的, 其余多为冰川积雪和冻土融化等形成的临时湿地, 许多原生和迁徙生物栖息地遭到破坏。

5.5.5 生物多样性降低

水生态系统的退化和水环境的污染使许多生物的生境丧失、片断化和退化, 从而使生物多样性降低。有关研究表明, 我国各类生物物种受威胁的比例普遍在 20%~40%, 特别是植物的受威胁物种比例远远超出了过去的估计, 高等植物中有 4 000~5 000 种受到威胁, 占总种数的 15%~20%, 其中水生态系统退化是其中重要的影响因素。

5.6 中国水生态系统服务功能退化的主要原因

中国水系统及其自然生态服务功能退化的原因除了自然水文波动、全球气候变化

以外，主要的原因包括以下五方面：

5.6.1 经济社会取耗水量快速增长，挤占生态和环境用水

中国解放初期全国供水量约为 1 000 亿 m^3 ，到 1980 年增长至 4 000 亿 m^3 ，期间主要是农业用水增长；到 2008 年全国的供水量已经超过 5 900 亿 m^3 ，期间主要是城市生活和工业用水增长（见图 5-4）。河道外取水量的快速增长导致河道内生态环境用水量减少，特别是北方地区，甚至最基本的生态用水也得不到保障，从而造成水生态系统退化。

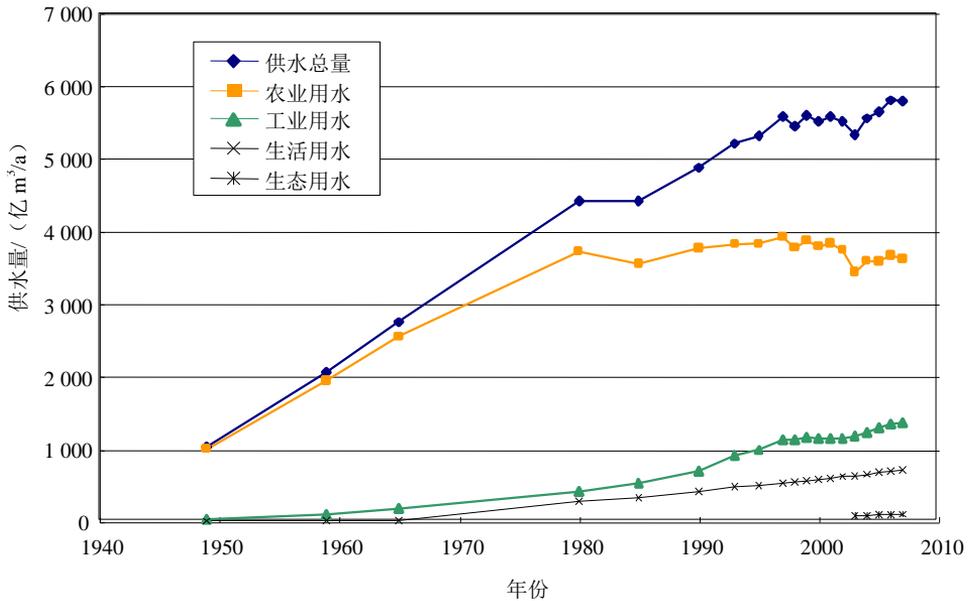


图 5-4 新中国成立以来我国供水系统供水量变化过程

5.6.2 土地利用变化导致自然水生态系统空间萎缩

随着新中国成立初期的农业化以及 80 年代后期城镇化和工业化进程的推进，经济社会用地需求大规模攀升，一些地区围垦造田，围湖造地，一些天然湖泊、湿地和沼泽被农田、建设用地取代，造成水生态系统空间压缩或是形态破碎化，造成水系统及其生态服务功能退化。据调查，中国所发生萎缩的湖泊中，由于泥沙淤积和围湖造田等原因减少的湖泊面积约占萎缩总面积的 2/3。

5.6.3 水域资源的不合理开发，影响了自然水生态系统功能的实现

河流、湖泊等水生态系统资源丰富，一些地区在经济利益的驱使下，对水域的其

他资源进行不合理开发,造成水生态系统服务功能退化,最突出的是河道采砂和湖泊养殖。如无序的河道采砂导致河床过度下切,直接破坏河流生态系统的生境,改变河道形态,降低河道涵养水源的能力,对河流生态系统造成严重破坏。

5.6.4 入河排污量超出了水环境容量

2008年中国工业和城镇生活废污水排放量达到758亿t,许多地区入河排污量严重超过其水体自净能力,造成水体环境污染,水生态环境服务功能退化。比如太湖流域多年平均产水量177亿 m^3 ,而2005年取用水量却高达355亿 m^3 ,居民生活和第二、第三产业废污水排放量超过60亿 m^3 ,污染物排放量超出了水环境承载能力,导致水质在循环过程中不断劣变。

5.6.5 水利水电工程建设带来不利的生态环境影响

目前我国建有水库8.6万多座,总库容近7000亿 m^3 ,建成各类水闸4.4万座,水电装机容量超过1.7亿kW。各类水利水电工程在发挥防洪、灌溉、供水、发电的同时,必然会对自然生态环境造成不利的影响,如河流拦截、水力学特征和生境改变等。

5.7 中国库坝建设对河流生态系统服务功能的影响

5.7.1 对河流生态系统社会经济服务功能的影响

到2008年底,中国建成各类水库8.6万座,其中坝高大于30m的大坝有4860余座,这些水库和大坝在帮助中国人民摆脱贫困和促进水生态系统社会经济服务功能中发挥了巨大的、不可替代的作用。进入21世纪,库坝在我国经济社会可持续发展进程中仍然具有极其重要的战略地位^①。

(1) 提高供水能力,保障供水安全

中国气候和地形的特点决定了仅仅依靠河流生态系统的自然调蓄不能有效解决国家的供水问题。在河流上筑坝后,提高了河流生态系统的供水能力,扩大了灌溉面积,弥补了水资源区域分布不均衡(调水)和河流流量季节性变化的缺点,保持了河流生态系统供水的稳定性。

目前,全国建成了各类水库8.6万多座,水库总库容达到6924亿 m^3 ,配合引水工程、提水工程、调水工程、地下水源工程等,使得全国总供水量达到5910亿 m^3 ,基本满足了中国经济社会发展的需求。中国是一个13亿人口大国,粮食安全基本依靠

^① 矫勇.大坝水库与和谐发展——中国的探索与实践.中国水利,2009(12):1-3.

灌溉农业，每年能够灌溉的耕地面积为 5 847 万 hm^2 ，占耕地总面积的 48.0%，每年还有 6 334 万 hm^2 耕地得不到灌溉，其中每年约有 2 000 万 hm^2 耕地受旱。中国目前正在加速其城市化和工业化进程，全国有 400 多座城市缺水，预计到 2030 年我国人口达到 15 亿高峰时，水资源供需矛盾将进一步加剧。因此，建设大坝，增加河流供水能力，是保障饮水安全、粮食安全、满足城乡经济社会发展的重要保证。

(2) 减少天然水产品提供，增加人工水产品提供

水库富营养化将滋生一些劣质藻类等水生植物，影响饲料提供；河床、河道、河口等的变化，河流中下游湿地、沼泽、洪泛区等的萎缩，再加上大坝的分隔作用，影响了鱼类、两栖动物、软体动物、昆虫、水禽以及其他滨河生命形式的栖息、产卵、繁殖、生长，从而减少了天然水产品的提供；但是，修筑大坝形成水库，扩大了水域面积，为发展水产养殖业提供了广阔的空间，同时也促进了水鸟等野生物种的生存和发展，这增加了人工水产品的提供。

(3) 水力发电，保障能源安全

水电是世界上能够进行大规模商业开发的第一大清洁能源。随着世界能源消费需求的持续增长和全球气候变化影响的日益加剧，世界各国都把开发水电作为能源发展的优先领域，作为应对气候变化、实现可持续发展的共同选择。目前，水力发电满足了全世界约 20% 的电力需求，有 55 个国家一半以上的电力由水电提供，其中 24 个国家这一比重超过 90%。

我国石油紧缺，能源以煤炭为主，但是过度地依赖煤炭必将引发 CO_2 过量排放等问题。因此，中国需要大力发展各种可再生能源，包括水能、风能、太阳能和生物质能等。我国的水能资源总量居世界首位，理论蕴藏量 6.89 亿 kW，技术可开发量 5.42 亿 kW，是仅次于煤炭的常规能源。目前我国已经开发的水能资源为 1.72 亿 kW，居世界第一位，但水能资源开发程度仅为 31%，而发达国家水能资源的平均开发程度已达 65% 以上，其中美国 82%，日本 84%，加拿大 65%，德国 73%，法国、挪威、瑞士也均在 80% 以上。与发达国家相比，我国的水能资源具有很大的发展潜力。

当前和今后一个时期，是我国全面建设小康社会、加快推进现代化的关键时期，经济社会发展对电力的需求保持稳定增长的态势。水电作为优质清洁的可再生能源，将在国家能源安全战略中占据更加重要的地位。建设库坝，开发水能资源符合国际能源发展的大趋势，对促进低碳经济发展具有不可替代的重要作用。

(4) 抬高水位，增强内陆航运能力

修建水坝，抬高了河流水位，拓宽了河流面积，增强了河流的航运能力。如长江三峡大坝可使万吨船队从重庆直达武汉和上海，使武汉至重庆的单向下水通过能力达 1 亿 t，使长江航道运输成本比目前降低 35% 以上，使长江干流和主要支流的航运事业进一步发展。

(5) 对休闲娱乐和文化美学有正负两方面影响

在河流上修建水坝、形成库区，将对河流生态系统的生态环境产生破坏，影响了休闲娱乐和文化美学；但是，大坝的雄伟气魄，再加上广阔的水域面积，又给人们带来了新的休闲娱乐方式和新的美感，同时也将逐渐形成新的文化。目前，中国已建立水库型国家级水利风景区 60 余处。

5.7.2 对河流生态系统自然生态服务功能的影响

大坝与水库建设对河流生态系统自然生态服务功能的影响表现为有利和不利两个方面。其中，有利影响主要有提高调蓄洪水能力、减少温室气体排放与改善区域小气候，不利影响主要为破坏水生生物生境、降低生物多样性、阻隔洄游性鱼类通道和改变河道泥沙冲淤平衡等^{①②}。

(1) 提高调蓄洪水能力，保障防洪安全

中国河流众多，受东南亚季风气候的影响，中国历来是一个洪涝灾害频发的国家。20 世纪初以来，全国共发生较大洪水灾害 60 余次，平均不到 2 年发生 1 次。我国的洪水主要是过度集中的降雨造成的，加上河流中下游两岸人口密集、城镇化水平高、工农业发达，一旦洪水形成灾害，损失往往是巨大的。新中国成立以来，大规模的防洪工程建设，包括库坝建设，使洪水造成的人员死亡大幅度减少，但是经济损失随着经济总量的增长而增加。根据统计分析，1990 年以来，全国平均每年的洪涝灾害损失在 1 100 亿元左右。由于许多河道本身安全泄洪能力有限，减轻洪水灾害，保护人民的生命财产，必须依靠水库、堤防、分滞洪区等组成的防洪体系来抗御洪水，特别是具有较大调蓄能力的防洪水库。例如长江三峡工程的防洪库容达 221.5 亿 m^3 ，可使江汉平原的防洪标准从 10 年一遇提高到 100 年一遇。到 2008 年底，全国已建成各类水库 8.6 万多座，水库总库容达到 6 924 亿 m^3 ，配合堤防等防洪工程，使得中国大江大河主要河段基本具备了防御新中国成立以来发生最大洪水的能力，中小河流具备了防御一般洪水的能力。但是，与发达国家相比，中国水库和大坝对径流的控制程度仍是较低的，中国为 21.6%，而美国、俄罗斯分别为 33.7% 和 27.0%。

(2) 替代燃煤发电，减少温室气体排放

建设大坝，开发利用水能资源，可替代燃煤发电，减少 CO_2 、 SO_2 等温室气体排放，减少空气污染，降低温室效应。目前，我国水电装机容量 1.72 亿 kW，根据国家可再生能源中长期发展规划，到 2020 年全国水电装机容量将达到 3 亿 kW，年发电量将达到 9 825 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ ，水力发电相当于每年减少标准煤用量 3.26 亿 t，可减少 CO_2 排放 8.2 亿 t，减少 SO_2 排放 570 万 t，减少 NO_2 排放 252 万 t，减少烟尘排放 227 万 t，对减少温室效应，保障环境安全将起到重要作用。

① 彭辉，刘德富. 大坝对河流服务功能影响的价值评估方法. 华中科技大学学报(自然科学版), 2010, 38(1): 125-128.

② 肖建红，施国庆，毛春梅，等. 河流生态系统服务功能及水坝对其影响. 生态学, 2006, 25(8): 969-973.

就三峡工程而言,三峡工程总装机容量 1 820 万 kW,年发电量 847 亿 kW·h,位居世界第一。相当于每年减少燃烧原煤 5 000 万 t,每年可减少 CO₂ 排放 1 000 万 t,减少 SO₂ 排放 200 万 t,减少 CO 排放 1 万 t,减少氮氧化物排放 37 万 t。

(3) 增加库区水体面积,改善区域小气候

水库蓄水大大增加了水体的水面面积,使得水体蒸发量显著增加。水体蒸发量的增加可以改变空气的湿润状况,使得流域内的降水略有增加,蒸发消耗大量的太阳辐射热量使当地不致过分增温,起到调节气温的作用,空气中的水汽维持在有利于形成降水的湿度条件。总体上,库坝建设使库区及邻近区域小气候向有利方向变化,无霜期延长、昼夜温差缩小、极端最高气温下降、极端最低气温升高。一般而言,水库周围的气温在炎热季节降低 4~5℃,相对湿度提高 10%~15%,在一定程度上降低了生态环境因子对生物的胁迫,有利于生物生长和发育。

(4) 破坏水生生物生境,降低生物多样性

大坝与水库建设极大地改变了原有河流的水流流态、水温、水质、底质和地形等水文、水动力条件,破坏了水生生物生长、产卵、繁殖所必需的生境,降低了水生生物多样性。

① 改变水流流态。大坝建成后,库区水位上升,水面面积增大,库内水流流速降低,流态趋于稳定,使原有河道失去急流、浅滩和较大的弯曲度,特别是进行河流梯级开发时,使急流生境丧失殆尽。水生生物栖息环境的这种变化适合于喜缓流性或静水性生活的鱼类生存,而不适宜急流性生活的鱼类生存。因而水库中急流性鱼类种群会有所减少,而静水性鱼类种群会相应增加。

大坝运行时泄水会改变坝下游河道的自然季节流量模式。汛期水库蓄水,大坝下泄流量一般比天然情况小;枯期一般又比天然情况增加下泄流量。汛期洪水历时和洪峰量的减少,会引起鱼类产卵区的面积缩小,不能及时形成产卵的有利条件,鱼卵和种鱼在产卵区死亡。在枯水期,水库的径流调节对鱼类的生长发育尤为不利。此外,水电站为了满足水力发电高峰需要而从水库泄水,有时会使河流水位变动数米,这对鱼类的生境造成了极大破坏。

② 改变水温。库区水深增加,库区水温度出现明显垂直分层现象,水温分层将使水库下层的水体水温常年维持在较稳定的低温状态。河段水温的改变,将对水生生物等产生一些不利的影 响。对于大坝下游的鱼类,由于水库经常下泄底层的低温水,造成大坝下游河道水体温度比自然状态温度低,影响大坝下游一定距离内鱼类的产卵,也可能推迟产卵期,并对灌溉农作物和水生生物产生不利影响。另外,引水式和混合式水电开发方式,如没有安排坝下下泄生态环境流量,还将造成季节性或全年一定长度河段脱水或减水。

③ 改变水质。筑坝建库后,由于水深增加,流速减小,水体自净能力下降,水库蓄水初期由于泥沙和营养物的沉积量不大,对库区及大坝下游水质影响不大,但随着

时间的推移,上游污染物在库区中不断累积,可能导致库区及大坝下游水质恶化。对局部流速小、水较浅的库湾,支流库尾可能出现不同程度富营养化,导致鱼类因缺氧而死亡。

对大坝下游的鱼类而言,大型水坝高水位下泄时,在高速水流表面形成掺氧,将空气卷吸入下泄水体中,使水体发生剧烈曝气,水体中溶解气体处于过饱和状态,会导致鱼体内血液中产生气泡,鱼类因气泡病而死亡。

④ 改变河床底质。由于泥沙在库区的淤积,下泄水流的含沙量比建坝前少,对大坝下游河床的冲刷加强,河床泥沙被带走,河床底质中沙、石的组成比例发生改变。鱼类的产卵习性可分为产卵于水层、水草、水底和石块上等。因此,当河床底质发生变化时,一些鱼类将无法产卵或卵无法成活。淤泥减少会使大坝下游低级微生物得不到营养大量死亡,从而导致鱼类急剧减少。

⑤ 改变河道地形。复杂多变的河道地形造就复杂的生境,生境越复杂生物多样性越高。水库蓄水后淹没河道江心洲,河道断面由复式变成单一断面,同时降低了回水区江段的水头差和河道的弯曲度。河道地形的单一会造成生境的单一化,相应鱼类的种类也有向单一化发展的趋势。

(5) 阻隔洄游通道,毁灭洄游性鱼类

我国过河口咸淡水洄游鱼类多分布在各江河水系下游河口水域,也有上溯到江河中上游水域的,多数是名贵珍稀鱼类,有溯河产卵洄游鱼类和降河产卵洄游鱼类两大类,也有海洋与内陆河流之间的近陆洄游和远陆洄游。大坝与水库建设对洄游性鱼类最直接的影响是阻隔了其洄游通道,而这种影响是毁灭性的、不可逆的。例如千百万条中华鲟溯河产卵曾经撞死在葛洲坝大坝上,青海湖入湖河流上一座拦河坝使成千上万条溯河产卵的湟鱼憋死在坝下。筑坝还阻断了大坝上下鱼类基因的交流,不利于多种鱼类繁殖。

(6) 改变河道泥沙冲淤平衡

含有泥沙的河水进入库区后,由于流速减小和大坝拦截,泥沙逐渐在库区沉积下来,降低了水库容量。泥沙沉积严重影响水库的功能,甚至会使整个水电站报废。大坝截留泥沙在库区就必然会减少下游正常的泥沙量,大坝下泄的清水将更剧烈的冲刷下游河床和河岸以弥补不足的泥沙量来达到新的平衡。下游的河床通常会在建坝开始的10年内被冲刷数米,使得大坝下游河道变深变窄,从而使原有宽广、有诸多礁石和沙滩、复合型的弯曲河道变得相对平直简单。大坝下泄水流对下游河床和河岸的强烈冲刷对下游堤防和岸边建筑物产生不利影响。

5.8 提高中国水生态服务功能的政策建议

针对当前中国存在的水生态系统问题及其成因分析,提出中国提高水生态系统服

务功能的政策建议如下：

5.8.1 建立健全水法律法规，制定《长江法》和《黄河法》

伴随着依法治国基本方略的深入实施，中国已制定和出台了一系列水法律法规，形成了以《水法》为核心，《防洪法》、《水污染防治法》、《水土保持法》、《环境影响评价法》等组成的较为完备的水法律法规体系，这为保护与修复水生态系统、提高水生态系统服务功能提供了根本保障。长江、黄河、海河、淮河、松花江、辽河、珠江等七大江河是中国最重要的水生态系统，尤其是长江、黄河是中华民族的母亲河，在中国经济社会可持续发展中具有不可替代的重要作用。目前，中国还没有专门的流域性水资源保护法规，现行涉水法规缺乏可操作性、针对性和系统性，难以实现对长江、黄河的严格管理和有效保护。迫切需要借鉴美国、澳大利亚、新西兰等国家河流立法管理经验和针对长江、黄河的实际，制定《长江法》、《黄河法》，实施对长江、黄河的严格管理和有效保护，促进人与河流的和谐发展。

5.8.2 加大现有水资源管理制度执行力度，严格水资源管理

目前，中国正在全面实行建设项目环境影响评价制度、水资源论证制度、水土保持方案编制制度、水资源有偿使用制度、饮用水水源区保护制度、规划环境影响评价制度等；普遍实行地下水保护制度、水资源优化配置制度、水功能区管理制度、排污口管理制度、入河排污总量控制制度、水量水质联合调度制度、排污权交易制度、水体污染问责制度等；初步实行生态需水和河道基流保障制度、生态调度制度等；积极推行最严格的水资源管理制度，划定取水总量、入河排污总量和用水效率三条红线，即明确水资源开发利用“红线”，严格实行用水总量控制。明确水功能区限制纳污“红线”，严格控制入河排污总量。明确用水效率控制“红线”，坚决遏制用水浪费；黄河、黑河实行全流域的水量分配和水量调度制度等。有些制度在实践中并没有按照规定严格执行，如环境影响评价制度中的“三同时”制度、水土保持方案编制制度中的“三同时制度、入河排污总量控制制度、规划环境影响评价制度”等，应加大执行力度，严格执行已有的涉水法规，依法查处违法行为。

5.8.3 创新水资源管理理念，提高水生态系统自然生态服务功能

改变传统水资源管理中只关注水生态系统的供水、水产品提供、水力发电等社会经济服务功能，忽视水生态系统的调蓄洪水、生物多样性维护、净化环境、物质输移、气候调节等自然生态服务功能，使水资源管理陷入水资源过度开发——水生态系统自然生态服务功能退化的恶性循环的弊端。从实现水生态系统生态服务功能最大化出发，尤其在保障水生态系统的调蓄洪水、生物多样性维护、物质输移等自然生态服务功能

不受损害的前提下，优化水资源管理^①。

5.8.4 加强理论研究，尽快建立水生态系统保护的生态补偿机制

水生态系统保护生态补偿机制的建立，在经济理论上就是实行水资源和水生态服务功能保护经济外部性的内部化，让水生态系统保护者能享受到其成果带来的经济利益，并让水生态服务的受益者支付相应的费用，从而通过制度设计实现水生态功能这一特殊“公共产品”生产者与使用、消费者之间的公平性，保障水生态保护的投资者得到合理回报，激励“水生态服务功能”产品的可持续生产。

目前，仅安徽省黄山市和河南省洛阳市等个别地区初步建立了水生态系统保护的生态补偿机制。在国家层面上，水利部已经发出部门指导意见，开展这方面的理论研究。生态系统保护的生态补偿机制理论研究，应进一步研究确定水生态服务功能补偿范围、补偿主体、受偿主体、补偿标准、补偿方式、受偿区提供的生态服务价值、补偿资金的筹集与使用等。根据水生态系统服务机制、水生态系统保护成本，运用政府和市场手段，调节水生态系统保护利益相关者之间利益关系。

5.8.5 流域水电开发规划、设计、运行、管理要向“绿色”方向发展，建设生态友好型水电工程

流域综合规划是规范各种流域开发行为的基本依据，制定流域水电开发规划必须以流域综合规划为指导，协调好水电开发与流域水资源综合利用（防洪、航运、供水、灌溉等）、生态环境保护、区域经济社会发展的关系，在生态环境保护优先的原则下适度有序地开发水能资源。流域水电开发规划须按《环境影响评价法》要求，严格生态准入，提高生态门槛，即严格开展流域规划的环境影响战略评价，充分论证水电梯级开发对整条河流生态环境的负面影响，并采取必要的生态保护措施和实行绿色运行管理方式，建设生态友好型水电工程，将不利影响降到最低限度。根据流域的整体生态环境特征和生物多样性的分布，明确划出禁止建坝的受保护河流或者河段，以遏制目前有些地区水电开发的无序局面；对采用引水式开发的水电梯级，须保证下游河段必要的生态基流；对珍稀濒危动植物，要根据其生境和分布状况迁地建立保护区；对阻隔国家一级保护洄游性珍稀濒危和特有水生动物通道的大坝，须禁止建设。对阻隔国家二、三级保护洄游性水生动物通道的大坝，须修建洄游通道或进行人工繁殖放流、迁地建立保护区等；对大坝引起水库泥沙淤积和对下游河床冲刷问题，须在枢纽工程设置排沙孔（洞），采取“蓄清排浑”（汛期洪水流量和沙量较大时，利用泄洪孔洞及

^① 欧阳志云，孟庆义，马冬春. 北京水生态服务功能与水管理. 北京水务，2010（1）：9-11.

排沙孔洞泄洪排沙，在汛末把清水拦蓄在水库内）运行方式，减少水库泥沙淤积量。

水电工程建设要建立绿色水电认证制度，这是解决大坝建设生态环境制约的有效途径，可鼓励水电站的业主采取有效生态保护措施来最大限度地降低大坝建设与管理对生态环境的负面影响，从而实现经济发展与生态环境保护的双赢^①。

5.8.6 加大投入，全面开展水生态系统保护与修复工作

借鉴美国、日本、英国、德国、丹麦、奥地利等国的水生态系统保护与修复经验，中国已在广西桂林市、湖北省武汉市、江苏省无锡市、山东省莱州市、浙江省丽水市、吉林省松原市、河北省邢台市、陕西省西安市等 14 个城市，开展了水生态系统保护与修复试点工作。试点工作为全国全面开展水生态系统保护与修复工作在技术上、管理上、制度上、体制上和资金渠道上提供了可靠支撑。国家应加大投入，全面开展水生态系统保护与修复工作，改变水生态系统失衡的总体态势。

^① 禹雪中，廖文根，骆辉煌. 我国建立绿色水电认证制度的探讨. 水力发电, 2007, 33 (7): 1-4.