

筑坝河流的生态补偿

董哲仁

(中国水利水电科学研究院, 北京 100038)

[摘要] 从河流的连续性特征出发分析了大坝对于河流生态系统的胁迫问题。指出要在自然-社会-经济复合生态系统中全面权衡筑坝的利弊得失。讨论了对于筑坝河流进行生态补偿的可行性, 建议开展河流生态系统功能价值评估, 建立生态补偿的合理机制。

[关键词] 大坝; 河流; 生态补偿; 生态恢复; 补偿机制

[中图分类号] X171.4 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2006)01-0005-06

近来, 国内有专家对于我国西南河流的水电开发计划提出了质疑, 主张“保留一条原始态生态河流”。还有专家认为西方国家都在拆除大坝, 我国为什么还要建设大坝? 看来, 20世纪70年代在西方国家出现的大坝建设的利弊之争, 经过30年后终于波及到中国。

据统计, 截至2003年, 全世界坝高超过15 m或水库库容超过 $100 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的大坝有49 697座。建坝最多的国家依次为中国、美国、前苏联、日本和印度^[1]。我国是一个大坝建设大国, 随着生态意识的提高, 社会各界关注大坝对生态的影响问题是完全可以理解的。

本文讨论的问题是: 大坝对于河流生态系统是否存在负面影响? 如何权衡人类社会经济发展与维护自然生态系统健康之间的利弊得失? 对于筑坝的河流进行补偿是否可行? 如何形成补偿机制?

1 大坝对于河流生态系统的胁迫

大坝工程对于满足人类社会的防洪、发电、灌溉、供水、航运等需求的作用巨大, 为社会安全和经济发展提供了保障^[2,3]。大坝对于生态系统的作用是双重的, 一方面水库为生物生长提供了丰富的

水源, 也缓解大洪水对于生态系统的冲击等, 这些因素对河流生态系统是有利的。另一方面, 大坝对于河流生态系统产生干扰。自然界或人类对于生态系统的干扰, 在生态学中称为“胁迫”(stress)。水利水电工程对于河流生态系统的胁迫主要表现在两方面: 一是自然河流的渠道化; 二是自然河流的非连续化^[4]。大坝工程属于第二类问题, 即顺水流方向的非连续化问题。这里提出河流的“连续性概念”(continuum concept), 用以说明河流生态系统是一种开放的、流动的生态系统, 其连续性不仅指一条河流的水文学意义上的连续性, 同时也是对于生物群落至关重要的营养物质输移的连续性^[5]。营养物质以河流为载体, 随着自然水文周期的丰枯变化以及洪水漫溢, 进行交换、扩散、转化、积累和释放。沿河的水生与陆生生物随之生存繁衍, 相应形成了上中下游多样而有序的生物群落, 包括连续的水陆交错带的植被, 自河口至上游洄游的鱼类以及沿河连续分布的水禽和两栖动物等, 这些生物群落与生境共同组成了具有较为完善结构与功能的河流生态系统。研究成果还表明, 洪水周期变化对于聚集在河流周围的生物是一种特殊的信号, 这些生物依据这种信号进行繁殖、产卵和迁徙, 也就是

[收稿日期] 2004-11-01; **修回日期** 2004-12-16

[作者简介] 董哲仁(1943-), 男, 满族, 北京市人, 中国水利水电科学研究院教授、博士生导师, 清华大学、大连理工大学、四川大学、河海大学兼职教授

说河流还肩负着传递生命信息的任务。概括地讲,河流是生态系统物质流、能量流和信息流的载体。河流的连续性,不仅包括水流的水文连续性,还包括营养物质输移的连续性、生物群落的连续性和信息流的连续性。大坝将河流拦腰斩断,形成了河流的非连续性特征,改变了连续性河流的规律。

从现象上看,大坝对于河流生态系统的影响包括两个方面:一是大坝与水库本身带来的负面影响,二是在大坝运行过程中对生态系统的胁迫。前者的影响主要是造成大坝上下游河流地貌学特征的变化。后者的影响主要是造成自然水文周期的人工化。

首先是河谷变成了水库,原有陆地及丘陵生境被破碎化、片断化,陆生动物被迫迁徙。流动的河流变成了相对静止的人工湖,流速、水深、水温及水流边界条件都发生了变化,水库中出现明显温度分层现象。由于水库泥沙淤积,也截留了河流的营养物质,促使藻类在水体表层大量繁殖,在库区的沟汊部位可能产生水华现象。在热带和亚热带地区的森林被水库淹没后,还会产生大量的二氧化碳、甲烷等温室气体。由于水库的水深高于河流,在深水处阳光微弱,光合作用减弱,与河流相比其生物生产量低。另外,不设鱼道的大坝对于洄游鱼类是致命的屏障。在大坝下游,因为水流携沙能力增强,加剧了水流对于河岸的冲刷,可能引起河势变化。由于水库泥沙淤积及营养物质被截流,大坝下游河流廊道的营养物质输移扩散规律也发生改变。这些因素都会使生物栖息地特征发生改变。另一方面,自然河流的水文周期年内有明显的丰枯变化,河流生物同样随之呈现脉冲式的周期变化。而大坝运行期间,水库的调度服从于发电和防洪等需求,使年内径流调节趋于均一化,这些都会对河流廊道产生压力。另外,如果从水库中超量引水用于供水、灌溉等目的,使大坝下游水量锐减,引起河流干涸与断流,也会导致生态系统的退化。最后,兴建水库造成移民搬迁,淹没文物古迹或改变自然景观,这不仅涉及社会和文化问题,从宏观上看是造成一种社会-经济-自然复合生态系统的综合问题。

从机理分析看,河流、湖泊和水库都是生物地球化学循环过程中物质迁移转化和能量传递的“交换库”。而在湖泊与水库中往往滞留时间长,一些物质的输入量大于输出量,其滞留量超出生态系统

自我调节能力,由此导致污染、富营养化等,这种现象称为“生态阻滞”。

总之,大坝对于河流生态系统的胁迫是客观存在的事实,不容回避。在我国水利水电建设中,不仅需要正视这种负面影响,更重要的是主动研究对于河流生态系统的补偿技术、政策和管理措施问题,探索与生态环境友好的大坝建设新模式。

2 在自然—社会—经济复合生态系统中选择优化策略

在国际资源与环境研究领域有两种对立的理论,一种称之为资源主义(resourceism),主张最大限度持续地开发可再生资源。另一种称之为自然保护主义(preservationism),其主要观点是对于自然界中的尚未开发区域,反对人类居住和进行经济开发。资源主义强调了满足人类经济发展的重要性,却忽视了维护健康生态系统对于人类利益的长远影响。而自然保护主义虽然高度重视维护自然生态系统,但是反对一切对自然资源的合理开发利用,其结果往往会脱离社会经济实际而成为空洞的观点。反对建设大坝,主张一律拆除大坝的观点,就属于这一类^[6]。实际上,人类社会生活离不开水库大坝,大规模拆除大坝也是完全不现实的。统计资料表明,西方国家拆除的水坝数量是很小的,比如美国在20世纪90年代共拆除了180座小型水坝,而且其中多数是到达服务寿命应该退役的水坝。可以说,这两种理论都带有相当的片面性。比较现实的思维方法是放大研究问题的尺度,把问题放到自然—社会—经济复合生态系统中去考察,分析如何在既满足人类社会经济需求又较少损害生态系统健康中寻找平衡点,实现可持续发展的目标。讨论问题的方法也要结合各国的国情,不同的自然、社会与经济状况,需要采取不同的对策,不存在各国统一的准则。

如果简单地反对一切大坝建设,主张大范围地拆坝,肯定脱离社会经济发展实际,是一种因噎废食的观点。相反,回避大坝给生态系统带来的胁迫问题,忽视对于生态系统的补偿,无疑会给人类长远利益带来损害。世界上不存在百利而无一害的工程技术,权衡利弊,趋利避害是辩证的思维方法。实践表明,大坝对于河流生态系统的负面影响,可以通过工程措施、生物措施和管理措施在一定程度上避免、减轻或补偿。寻找相对优化的技术路线是

解决问题的合理思维方式。

我国筑坝的目的是防洪、发电、灌溉、供水及航运等，多数大坝工程具有综合效益。我国水资源的特点之一是时间年内分布不均匀，降雨集中在夏季，而冬季是枯水季节，大部分水库的建设目的就是调节水量丰枯，满足社会需求。

我国建设的高坝多数以水力发电为主要效益，而高坝对于河流生态系统的影响相对要大。如果说发展水电会造成生态环境问题，那么有什么可以替代的能源形式对于生态环境影响相对要小呢？分析我国的能源结构，2002 年我国一次能源产量为 1.387×10^9 t 标准煤。其中煤炭产量 1.38×10^9 t，居世界第一位。发电装机容量 3.57×10^5 MW，发电量 1.654×10^9 MW·h，居世界第 2 位，其中水电发电量 2.28×10^8 MW·h，居世界第 4 位。已成为世界第二大能源消费国，又是一个燃煤大国。

我国在能源发展上面临着环境污染的严重挑战。其中尤以大气污染严重。我国二氧化硫排放量居世界第一位，二氧化碳排放量仅次于美国居世界第二位。造成大气质量严重污染的主要原因是我国以煤为主的能源结构，烟尘和二氧化碳排放量的 70%、二氧化硫的 90%、氮氧化物的 67% 来自于燃煤。有专家对 2020 年我国能源需求的预测指出：2020 年我国一次能源的需求在 $25 \times 10^8 \sim 33 \times 10^8$ t 标准煤之间，至少是 2000 年的 2 倍。据专家预测，到 2020 年，即使按照污染物产生量最少的情景，如不采取脱硫脱氮措施，二氧化硫、氮氧化物预计分别达到 4×10^7 t 和 3.5×10^7 t。届时在全球气候变化问题上我国会面临更大的国际压力。

至于选择其他能源技术的可能性，发展风力发电和太阳能发电的困难是千瓦造价高难于形成规模。至于利用氢能技术，目前还处于探索阶段。从我国的能源资源结构看，水能资源居世界第 1 位，煤居第 3 位，石油第 12 位，天然气第 22 位。我国水电开发的程度较发达国家低，目前为 23%。发达国家的水电开发程度已经很高，平均在 60% 以上。其中美国为 82%，加拿大为 65%，德国为 73%。我国具有如此丰富的水电资源，开发水电资源自然成为能源战略的必然选择。我国大陆部分水电的理论蕴藏容量为 6.944×10^5 MW，其中技术可开发容量为 5.416×10^5 MW。如果开发 2.3×10^5 MW，相当于减少烧煤约 6.9×10^8 t，等于 2002 年我国实际燃煤总量的 1/2。而且要注意水能

是可再生的资源，利用 100 年相当减少 6.9×10^{10} t 燃煤。这对于大幅度减少温室气体排放意义重大，这不仅是对中国，也将是对全球环境保护的重大贡献

可见，观察和研究筑坝环境影响问题，既要研究自然问题，还要考察相关的社会经济问题；既要研究一条河流、一个流域的问题，更要宏观地研究全球尺度的环境保护问题。也就是在全球自然-社会-经济复合生态系统中考虑我国水电发展和筑坝问题。在各种比选的技术路线中，“两利相权取其重，两害相权取其轻”，寻找相对优化方案。水力发电不污染大气，不产生废料，只要太阳不熄，水能资源不断。毫无疑问，水电是一种可再生的清洁能源。可是，近年来由于国际反对建坝的声浪高涨，在国内外一些有关能源政策的报告中，水电在可再生清洁能源的名单中消失了，这显然是片面的也是不科学的。

3 对筑坝河流进行生态补偿的可行性

不建设大坝或者拆除大坝，并非是保护河流生态健康的唯一选择。理论与实践表明，通过工程措施、生物措施和管理措施，对于筑坝河流进行生态补偿，可以在一定程度上避免或减轻大坝对于河流生态系统的胁迫，建设与生态友好的大坝工程是可能的。

3.1 大坝工程项目的环境评估

我国高度重视环境影响评价工作，2003 年 9 月开始实施《中华人民共和国环境影响评价法》（以下简称《环评法》）。《环评法》指出：“环境影响评价必须客观、公开、公正、综合考虑规划或者建设项目实施后对各种环境因素及其所构成的生态系统可能造成的影响，为决策提供科学依据。”《环评法》的颁布实施对于建设与生态环境友好的大坝工程具有重要促进作用。当前我国急需按照《环评法》的原则，制定《大坝工程环境影响评价实施细则》，全面规范大坝环评工作。

按照《环评法》规定，环境影响评价分为两类，一类是区域、流域、海域的建设、开发规划以及包括水利、能源等有关专项规划的环境评价。另一类是建设项目的的环境评价。对于大坝工程来说，无论是在河流建设的单座大坝还是梯级开发，建成后对于生态系统的影响范围是全流域的。所以，要按照《环评法》的要求，重视流域规划中河流建坝后环

境影响的分析预测和评估,对于全流域各种生境因子和生物因子间的相互关系进行综合、整体研究。

环境评价的时间尺度也很重要。大坝引起河流生态系统的演进是一个动态过程。一些工程案例表明,经过十几到几十年的时间,大坝对于河流生态系统的影响才逐步显现出来。因此,进行长期的生物、水文监测,掌握长时间尺度的河流生态演变信息,并在此基础上进行动态评估是十分必要的。

大坝环境评价的重点应是筑坝对于河流生态系统的健康和可持续性的影响,内容是对于河流生态系统的结构和功能影响的分析、预测和评估。大坝项目的环境评价应更多地关注生物群落多样性的变化。

目前大坝环境影响评价往往是从个别学科或局部功能的需要出发,孤立地研究水库淹没区的濒危或特殊动植物的保护问题,或者孤立地研究对于水质的影响问题等,缺乏对于生态系统各个组分之间的相互作用,相互联系,相互依存,相互转化的系统评估分析。

《环评法》规定:“国家鼓励有关单位,专家和公众以适当的方式参与环境影响评价。”大坝的环境影响评价是一种涉及多专业、多学科和多部门的复杂问题,应该提倡多学科的合作,开展相关的科学研究,摸索规律,提高评估工作的科学性。另外,通过论证会、听证会等多种形式广泛吸收社会公众的积极参与,这将有助于推动重大工程项目决策的科学化民主化进程。

3.2 探索和开发生态补偿技术

50多年来我国在大中型水电站建设中,客观上存在着重视发电经济效益,忽视河流生态建设问题。当前需要进行调查研究总结经验教训,对于因水电开发引起的河流生态退化原因进行分析,结合借鉴国外经验,探索生态补偿技术措施。关于河流生态受损可以举出的典型例子是四川岷江上游在干支流建设10余座水电站,多为引水式,枯水季支流断流,加之两岸森林砍伐,陡坡开荒,形成河床岩石裸露,山体崩塌、滑坡现象屡屡发生,汛期洪水冲刷严重。20世纪60年代中期,笔者在当地进行水电工程勘察时随处可见的珍稀哺乳动物、鸟类和鱼类,在这里早已销声匿迹。

从技术层面上看,建有水坝河流的生态建设,主要是通过生态补偿,减轻或缓解河流生态系统的

退化。河流生态补偿实际上是一种河流生态恢复行动。所谓“恢复”并不意味着恢复到筑坝以前的状态,这是因为河流生态系统在自然界和人类活动双重作用下始终处于一种动态演进的过程,这种过程是不可逆转的。美国土木工程师协会对于“河流恢复”有以下定义:“河流恢复是这样一种环境保护行动,其目的是促使河流系统恢复到较为自然的状态,在这种状态下,河流系统具有可持续特征,并可提高生态系统价值和生物多样性。”^[7]生态补偿的方法包括工程措施、生物措施和管理措施^[8,9]。河流生态修复的任务有三类:水文条件的改善;河流生物栖息地建设;濒危或特殊物种恢复。总的目的是改善河流生态系统的结构与功能,标志是生物群落多样性的提高^[10]。

所谓工程措施,首先需要改进和完善水利水电工程的规划设计方法,使工程在满足人类社会需求的同时,兼顾水域生态系统健康与可持续性需求^[11]。水工枢纽不仅要具备预期的发电、防洪、供水等功能,还要具备有利河流动物、植物生存繁衍的功能,建设成与河流生态系统友好的工程。在进行水电工程方案比选时,应优先选用对河流生态系统负面影响较小的方案,比如高坝方案与低坝群组水电站方案比较,尽管前者经济效益指标占优势,但是如果兼顾生态影响,全面权衡利弊就有可能选择后者。同样理由,如果在干流与支流上筑坝进行比选,综合分析的结果可能选择支流筑坝方案。大坝坝址位置的选择,应避免可能造成国家自然保护区或著名自然遗产和文化遗产淹没。在大坝设计中,要在充分研究洄游鱼类习性的基础上设计合理的鱼道,为洄游鱼类的繁衍创造条件。大坝泄水孔口布置要充分考虑到水库的温度分层现象,在水库泄水时为鱼类生存提供适宜的水温。大坝是有寿命的,到达其服务年限后,存在着退役拆除问题,以实现水能资源的可持续利用。在大坝设计中应该提前为其拆除退役或替代方案留有余地。生物栖息地建设包括水库库区的水土保持以及地质灾害的防治等,为生态重建创造条件。大坝下游的栖息地建设重点是改善与恢复河流地貌特征的多样性,为恢复生物群落多样性创造条件。河流地貌学特征的改善包括:尽可能保持河流的蜿蜒性,恢复河流的横向联通性,保持河流横断面形态的多样性,防止河床材料的硬质化,采用透水、多孔的护坡结构为鱼类产卵与栖息创造条件。

实施生物措施的基础是建立河流生物监测网络及评估体系，重点工作是濒危、珍稀及特有动植物的保护，恢复库区及下游河道水陆交错带的植被，促进河流廊道形成健全的食物网。管理措施是指在大坝和水电站运行期间的调度方式需兼顾河流生态健康需求。首先，水库调度要保证下游河道有一定的生态用水量，防止河道萎缩和生态退化。在水库泥沙方面，采用“蓄清排浑”方式合理调度水库解决水库泥沙淤积问题，我国已经积累了丰富的经验。今后似应更加关注由于泥沙输移规律的改变，导致附着在泥沙颗粒表面的各种营养物质输移规律的改变，由此造成对于下游水生生物生长的影响问题。另外，水库形成后，传统上按照发电、供水等需求进行调度，使水文周期具有均一化趋势，改变了自然河流年内丰枯变化和脉冲式规律，可能对于水生生物生长造成影响。如何在水库调度中模拟自然水文周期，应是水库调度的重要任务。另外，合理调度水库使泄水水温适合下游鱼类生存，也应是管理的重要课题。进一步讲，如果水库运行管理进一步与全流域水环境保护和治污工作全面结合，河流的生态恢复就会有更大的收效。

我国西南地区是水电资源基地，有广泛的开发前景。当前，正处于水电建设高潮。各投资集团和大型企业纷纷介入，出现了一种无序竞争的局面。在经济效益优先思想指导下，仓促立项、仓促上马，对于生态环境影响问题往往论证不足^[12]，应引起高度关注与重视。

4 河流生态服务效益价值评估与生态补偿机制

河流生态系统提供的服务功能维持着人类赖以生存的条件，同时还为人类社会提供了各种福利。包括维持生物多样性；提供食品、药品和材料；淡水的净化；水分的涵养与旱涝的缓解；局部气候的稳定；废弃物的解毒和分解；种子的传播和养分的循环；人类审美需求的满足等。这些服务功能一部分是实物型的生态产品，比如食品、药品和材料，其经济价值可以在市场流通中得到体现。另一部分是非实物型的生态服务，包括生物群落多样性、环境、气候、水质、人文等功能。这些功能往往是间接的、却又对人类社会产生深远、重要的影响。

长期以来，人们认为河流生态系统的服务功能

是大自然的无偿恩赐，是可以免费得到的。人类自认为是地球的宠儿，更是受之无愧。特别是在商品社会中，有形的生态产品还能为人们所重视，而大量的非实物型的生态服务价值往往被忽视。当大规模的治河工程给人们带来巨大的、直接的经济利益时，却发现河流丧失了若干服务功能，这对于人类社会经济的影响可能是间接的，但其后果严重。这部分功能的价值如何计算评估，成为当前可持续发展领域的热点课题^[13,14]。国际社会认识到需要深入研究生态系统服务功能的效益，量化其经济价值，同时将其纳入国民经济核算体系，才能显示生态系统为人类提供的巨大贡献。1992年联合国环发大会（UNCED）通过的《21世纪议程》明确提出，要开展生态价值和自然资本的评估研究。1994年我国颁布的《中国21世纪议程》提出：“将可持续发展能力纳入经济决策，首先要比较明确地衡量环境作为自然资本的来源以及作为人类活动所产生的副产物的承载体的重大作用。传统的国民经济衡量指标——国内生产总值（GDP）或国民生产总值（GNP）既不反映经济增长所导致的生态破坏，环境恶化和资源代价，也未计及非商品劳务的贡献，……需要建立一个综合的资源环境与经济核算体系来监控整个国民经济的运行。”

如果对于河流生态服务功能的价值开展评估并进行量化，以法律的形式纳入国民经济核算体系，其作用巨大。首先，在大型水利水电工程立项决策时，可以全面权衡工程的直接社会效益与生态系统服务功能损失之间的利弊得失，以避免为获得直接经济效益的短期行为。其次，也可以促使工程项目业主采取更多的生态补偿措施，缓解对于河流生态系统的胁迫，减少服务功能损失的总价值。最后，这种评估也可以定量地提出工程项目业主应该提供的生态补偿资金数额。

在环境保护管理领域，“谁污染，谁付费”的原则，已经得到了国际社会的普遍赞同。参照这个原则，在大坝建设政策方面，建议明确“谁损害，谁补偿”的原则，明确大坝工程业主是负责生态补偿的主体。补偿的标准不仅仅局限在保护濒危、珍稀动植物或者库区植被恢复等资金需要，似应以河流生态系统服务功能损失总价值作为补偿标准的依据。补偿的范围不应仅仅局限于水库和大坝下游局部，应该是针对全流域的。补偿的时间应与大坝寿命一致，也就是说，大坝边运行边补偿。补偿的方

式除采取生态工程措施外,还应制定法规,明确规定水库调度方式要有利于河流生物生长繁衍,由此造成的发电量减少的经济损失,也确定为一种补偿方式。

参考文献

- [1] 贾金生,等.2003年中国及世界大坝情况[J].中国水利,2004,(13):25~32
- [2] 潘家铮.千秋功罪话水坝[M].北京:清华大学出版社,2000.10~48
- [3] 潘家铮.水电与中国[A].联合国水电与可持续发展研讨会论文集[C].2004
- [4] 董哲仁.河流形态多样性与生物群落多样性[J].水利学报,2003,(11):1~7
- [5] Vannote R L, et al. The river continuum concept[J]. Can J Fish Aqua Sci, 1980,37:130~137
- [6] Hart D D, Poff N L, Dam removal and river restoration: special section[J]. BioScience 2002, 52: 653~747
- [7] ASCE River Restoration Subcommittee on Urban Stream Restoration. Urban stream restoration [J]. Journal of Hydraulic Engineering ASCE, July 2003, 491~493
- [8] Brookes A, Shields J R. River channel restoration [M]. John Wiley & Sons, UK, 2001
- [9] 董哲仁.河流生态恢复的目标[J].中国水利,2004,(10)1~5
- [10] 董哲仁.生态水工学的理论框架[J].水利学报,2003,(1):1~6
- [11] 董哲仁.试论生态水利工程的设计原则[J].水利学报,2004,(10):1~5
- [12] 徐乾清.水力发电开发应建立在江河综合规划基础上[A].联合国水电与可持续发展研讨会论文集[C].北京,2004
- [13] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. Nature,1997,387: 253~260
- [14] 徐中民,张志强,程国栋.生态经济学-理论与方法与应用[M].郑州:黄河出版社,2003. 110~117

Ecological Compensations for Damed Rivers

Dong Zheren

(China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

[Abstract] The stresses of dams on river ecosystems are analyzed based on river continuity characteristics. It is pointed out that the advantage and disadvantage of hydropower should be comprehensively evaluated in the compound ecosystem of nature, society and economy. It is feasible to implement ecological compensations for damed rivers by river restoration engineering. It is suggested to conduct value evaluation of river ecosystem services for decision-making of large hydropower projects and establish compensation mechanism.

[Key words] dam; river restoration; ecological compensation; compensation mechanism