

美国大坝拆除对我国大坝建设与管理的启示

熊永兰^{1,2}, 张志强², 唐霞²

(1. 西北师范大学 地理与环境科学学院, 甘肃 兰州 730070;

2. 中国科学院 兰州文献情报中心, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 科学的水库大坝建设与管理是保证河流健康、实现河流生态文明的基础。作为世界上拥有大坝数量第二的国家, 美国在经历了大规模的大坝建设后开始了拆坝运动, 并且近十年来, 大坝拆除加速。在分析美国大坝建设与拆除现状的基础上, 探究了美国拆坝的战略考虑和拆坝过程, 并结合我国大坝建设与管理的现状, 提出了相应的对策建议。

关键词: 拆坝; 生态环境; 大坝安全; 环境评价

中图分类号: TV213.4; F062.2 文献标识码: A 文章编号: 1671-4407(2016)03-020-05

Dam Removal in the United States and Its Enlightenments on the Construction and Management of Dams in China

XIONG Yonglan^{1,2}, ZHANG Zhiqiang², TANG Xia²

(1. College of Geography and Environment Science, Northwest Normal University, Lanzhou Gansu 730000, China;

2. Lanzhou Library, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou Gansu 730000, China)

Abstract: The scientific construction and management of dams is the foundation of ensuring the river health and realizing the ecological civilization of rivers. The United States has the second largest number of dams. After a massive dam construction, the United States has been started to demolish their dams. In recent ten years, the movement of dam removal has been accelerated. This paper investigated the strategic considerations and process of dam removal in the United States based on the analysis of the status of the dam construction and removal, and proposed several recommendations according to the current situation of dam construction and removal in China.

Key words: dam removal; ecology and environment; dam safety; environmental assessment

1 引言

河流是具有众多经济和社会功能的物理、化学、生物和生态系统, 是人类活动和环境之间和谐的基石。人类在河流之上建造水坝的历史非常悠久, 它为人类的早期文明做出了巨大贡献。埃及人早在 5000 多年前就开始在尼罗河上游地区建水坝, 主要用于发展农业。欧洲人在中世纪建造水坝用于发电。在北美, 现今亚利桑那州的霍霍坎人(Hohokam)早在公元前 300 年就建造了淤地坝系统。而全球大规模的大坝建设在 20 世纪, 始于美国的胡佛大坝。尽管大坝在工农业供水、发电、防洪、娱乐等方面发挥着重要作用, 但也会对社会和生态环境带来长期的负面影响。因此, 关于大坝的建设与拆除成为近些年来国际社会关注的焦点。

美国建有大量的水坝, 根据美国陆军工程兵团(The Army Corps of Engineers)的统计, 美国的水坝数量至少有 8.7 万座。为了减少大坝对生态、经济和社会的影响, 美

国自 1912 年以来开始拆除水坝, 截至 2014 年, 美国共拆除大坝 1185 座。近十年来大坝拆除加速, 仅 2014 年美国共拆除了 72 座大坝, 创造了历史记录。美国在大坝拆除方面积累了丰富的经验, 公正客观地反映美国拆坝的事实, 可为我国大坝的建设与管理提供借鉴与参考。

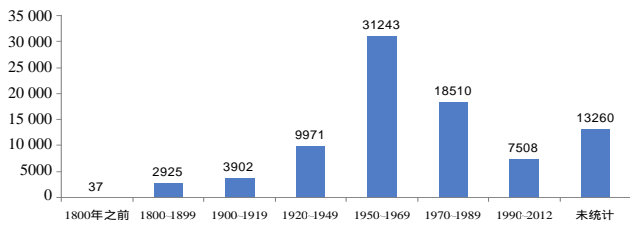
2 美国大坝拆除概况

2.1 美国大坝建设情况

美国自 1912 年以来开始拆除水坝, 美国在拆坝的同时, 仍然在进行大坝的建设。根据美国国家大坝数据库(National Inventory of Dams, NID) 2013 年的统计(下文关于 NID 的统计均是基于 2013 年的统计数据), 美国到目前为止已建设了约 87 356 座大坝。20 世纪 20 年代以来, 美国的大坝建设进入了高速发展的阶段, 其中最活跃的时期是 1950 ~ 1970 年, 这一时期也被称为“大坝建设的黄金时期”^[1](图 1)。在这一时期超过 3.1 万座大大小小的水坝修建完成, 主要用于发电、防洪、航运、灌溉和城市供水。

基金项目: 国家自然科学基金委青年科学基金项目“基于水治理理念的我国水资源管理政策演化与趋势研究”(41401623); 中国科学院青年创新促进会项目(2015381)

作者简介: 熊永兰(1980 ~), 女, 重庆万州人, 副研究员, 主要从事水资源管理、区域发展等研究。



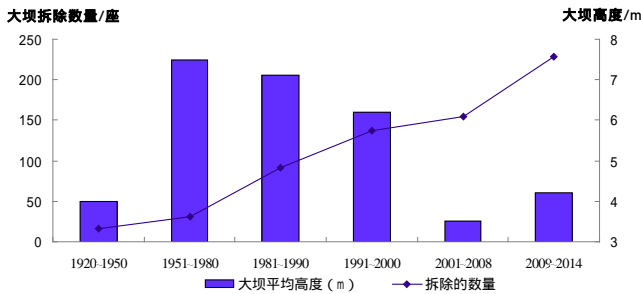
注:数据来源于NID。在NID于2013年的统计中,约有13260座大坝因缺少完工年代而未统计在内。

图1 美国建坝数量随时间的变化

美国大坝主要以中小型大坝(坝高低于15.24米)为主,约占大坝总量的83%,而高度大于30.48米的大坝仅1673座,占大坝总量的2%(根据NID的统计,由于某些大坝缺少高度数据,所以此处的大坝总量数据为87035座),在美国,大坝主要用于防洪(约占17%),其次是防火和作为农用坝塘(约占13%),用于灌溉的大坝占9%,用于供水的占8%,还有5%的大坝用于娱乐,而用于水力发电的大坝仅占3%。

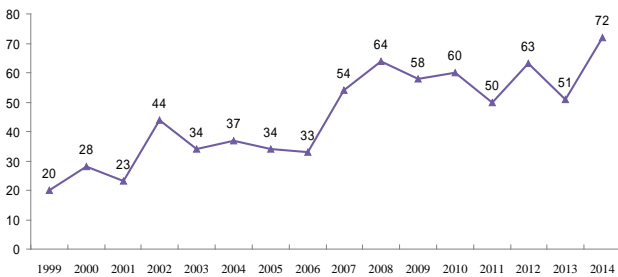
2.2 美国大坝拆除概况

根据美国河流组织(American Rivers)的统计,从20世纪20年代到2014年,美国共拆除大坝1185座,且呈现显著增长趋势(图2)。从拆除大坝的高度来看,拆除的基本上是小型大坝,平均高度不超过8米,最高高度为60.96米。



注:数据仅涉及拆除年代和高度已知的大坝。

图2 1920s以来美国拆坝数量及其高度的变化



数据来源: American Rivers.

图3 1999~2014年美国拆坝数量的变化

1999年以来大坝拆除速度加快,1999~2014年,美国共拆除大坝725座,约占大坝总数的61.2%(图3)。

3 美国拆除大坝的战略考虑

根据地球之友(Friends of the Earth)等组织提供的数据^[2],美国拆坝的原因包括经济、环境、溃坝、安全、娱乐、未授权大坝以及考虑到国家公园管理局要求的对土地的保护等,但主要的原因是环境、安全和经济因素,并且大多数是综合考虑了这些方面的原因(图4)。

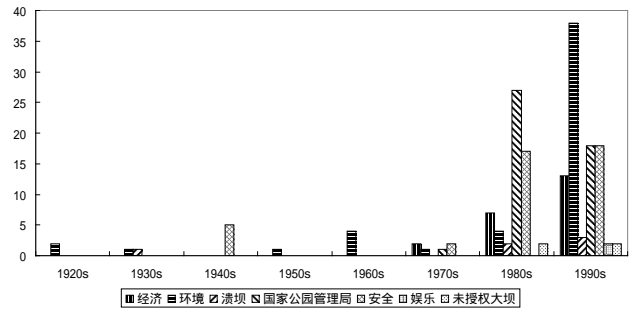


图4 1920s~1990s期间美国拆坝的主要原因

3.1 环境因素

大坝会改变河流以及相关的鱼类和野生生物的化学、物理和生物过程。大坝堵塞了自由流动的河流系统、妨碍了营养物和沉积物的流动并且阻碍了鱼类和野生生物的迁徙,最终会改变生态系统,破坏依附于此系统的自然过程,以及妨碍娱乐活动。

在美国西北地区,大鳞大马哈鱼、红大马哈鱼、粉红大马哈鱼、马苏大马哈鱼和银大马哈鱼,以及虹鳟和山鳟因河流大坝而急剧减少。在大坝建设前数以百万计的大马哈鱼现今已减少到只有数百只,并且在很多情况下已经完全消失。Snake河流中80%~95%的大马哈鱼由于建造的8个联邦大坝和水库影响其洄游而死亡^[3]。这种破坏现象不仅发生在西北地区。美国鱼类和野生生物管理局(US Fish and Wildlife Service)估计,在新英格兰北部,91%的洄游鱼类的生境被大坝所阻断。这些大坝使大西洋的大马哈鱼数量减少到历史水平的百分之一以下,同时新英格兰的许多河流中的天然大马哈鱼已完全灭绝^[4]。

减少大坝所带来的不利影响和恢复受损的生态系统常常是拆除大坝的一个重要原因。比如,为了重建自由流动的河流和恢复已破坏的生态系统,爱达荷州 Salmon 河的 Sunbeam 大坝、北卡罗来纳州 Neuse 河的 Quaker Neck 大坝、加州 Butte 河的4座大坝以及俄勒冈州 Walla Walla 河的 Marie Dorian 大坝都已拆除^[2]。

3.2 安全因素

大坝的安全性是大坝拆除所要考虑的一个主要因素。美国国家大坝安全计划(National Dam Safety Program, NDSP)的实施和公众关于大坝安全意识的提高使大坝的所有者必须保证大坝的安全运行。溃坝会给下游地区带来灾

难性的后果。美国历史上几次重大溃坝事故都造成了人员伤亡和大量经济损失。1928年,南加州 St. Francis 大坝的溃决造成 525 人死亡。20 世纪 70 年代,4 座大坝(西弗吉尼亚州的 Buffalo Creek、南达科他州的 Canyon Lake、爱达荷州的 Teton 和佐治亚州的 Kelly Barnes)的溃决共造成 300 人死亡和数亿美元的财产损失。

美国大坝安全委员会(Association of State Dam Safety Officials)指出,大坝的平均寿命为 50 年,NID 数据库中所确定的美国大坝中有 1/4 的大坝的寿命已经超过了 50 年^[5]。美国土木工程师学会(American Society of Civil Engineers, ASCE)估计,到 2020 年,这一数字将达到 85%^[6]。因此,更多大坝将处于超寿命服役,带来加大的安全隐患。

在某些情况下,大坝的所有者会发现拆除大坝比通过持续的维修来减轻其风险要容易得多。因此,年久失修和存在安全隐患往往成为决定拆除大坝的一个主要依据。例如,密歇根州的 Salling 大坝、宾夕法尼亚州的 Mussers 大坝和新墨西哥州的 McMillan 大坝都因其对下游地区构成的严重公共安全危害而拆除。

3.3 经济因素

美国大多数已拆除的大坝已经失去其经济实用性价值。在许多情况下,这些大坝已脱离其建设的初衷,比如为了使河流改道或者提升河流水位驱动水车转动。另外,在有更大、更有效的电力能源为区域提供电网的情况下,早期修建的水电设施已经过时。那些有问题的大坝即使不再产生收益,但其费用仍在不断增加,包括维修费和保险费用。

在大多数情况下,大坝拆除的成本要低于修复一个不安全大坝的费用。即使这些成本是可比的,大坝拆除也将减少未来持续维护和修理的费用。在威斯康辛州,小型水坝拆除的费用要比其修复成本小 2 ~ 5 倍。康涅狄格州的 Simpson's Pond 大坝、伊利诺伊州的 Stone Gate 大坝和内布拉斯加州的 Bennet 大坝的拆除都是因为其拆除成本远低于其运营成本。

4 美国大坝拆除的流程

通常情况下,大坝的拆除要经过 3 个阶段:项目规划与分析、野外工作和项目后续工作^[7]。

4.1 项目规划与分析

项目的规划和分析作为大坝拆除项目的初始阶段,需要对各种各样的问题进行评估,主要的步骤包括现状调查和文献综述、生态影响评价、沉积物分析、设计与工程以及获得大坝拆除许可证。

(1)现状调查和文献综述。为了确定安全且适当的拆坝措施以及大坝拆除后需要替换、修补或者监测的基础设

施,对大坝及其水库以及蓄水的河流上下游进行全面的现状调查是必不可少的。除了现状调查,还必须对受拆坝影响的市政和私人基础设施的位置和结构方面的文献进行全面评述。这包括水管、地面排水沟、灌溉系统、消防栓、化粪池和废水系统、道路以及桥梁墩台等。水库的放水也可能影响周围地区地下水的水位。这可能会使当地的水井必须得到改变,和/或放掉水库的水从而减少堤岸的滑塌。此外,文献综述可以确定大坝所在河流上游当前和过去在工业上的用水情况,从而判断水库沉积物中污染物的可能性。

(2)生态影响评价。必须评价大坝拆除对生态环境的可能影响,因为这是获得州和联邦大坝拆除许可的必备要求之一。生态影响评价包括大坝拆除过程本身对鱼类和野生生物的短期影响和河流恢复后的长期影响。它还包括可能增加或减少的湿地数量以及评估引入外来物种的风险。释放蓄水区中的沉积物对生态环境的影响也必须予以评估。

(3)沉积物分析。在设计大坝拆除之前,应优先确定水库蓄水区中沉积物的数量和特性。这些信息可用于决定如何更好地去除蓄水区中的沉积物。确定这些信息的方法包括对现状调查、对历史记录情况的评估、以及对沉积物数量、特性和毒性的精确检测。

(4)设计与工程。拆坝的设计与工程规划涉及大坝将如何拆除、如何对其他基础设施进行必要的修补。对于大多数拆坝工程而言,都必须由专业的工程设计公司来设计。

(5)获得拆坝许可。尽管拆除大坝通常能带来巨大的生态效益,但是大坝拆除项目也必须和其他建设项目一样遵守同样的环境法规。在美国,大坝拆除已变得更加普遍,为了更节省拆坝成本,各州开始简化拆坝许可程序,例如在宾夕法尼亚州已为大坝拆除建立了一套简化的程序。

4.2 野外工作

大坝拆除项目的第二阶段涉及到大坝结构的拆除和大坝所在地区的重建,主要包括:大坝拆除、沉积物管理、基础设施的维修与更换、场地重建、历史和考古的监测与记录。

(1)大坝拆除。主要包括临时引水设施的建设(如围堰)、大坝结构的物理拆除、材料的清理。

(2)沉积物管理。在大多数情况下,大坝拆除后沉积物会迅速涌向下游地区,并且常产生类似于大风暴事件的影响。对下游河岸、河口和河滩的泥沙补给是大坝拆除的一项重大生态效益。然而,在某些情况下,河流难以处理一次冲刷下来的大量泥沙,或者因沉积物中含有有毒物质[如多氯联苯(PCBs)]而不应释放到下游。在这些情况下,部分或所有的沉积物必须从蓄水区内清除掉。沉积物清除的方法包括(用挖泥船等)疏浚或使用吸泥管/输浆管。

(3)基础设施的维修与更换。基础设施(比如桥梁和下水道)的维修或更换可在大坝拆除时进行。当基础设施被作为大坝建设的一部分或在大坝建成后修建,那么在大坝拆除时就必须对基础设施进行维修或更新。随着大坝的拆除,水位将降低,基础设施建设之初的假设条件发生了显著变化。这样的例子包括所有的取水和排水设施(大坝拆除后成为进水口和排水口)、那些依赖于蓄水区水的隔热价值的设施(如埋在河下的渡槽,一旦大坝拆除其将暴露在外,冬天就会被冻住)、桥梁和墩台(可能会受到侵蚀,基础结构也会变得不稳定)、汽艇和码头。即使是下游地区也需要仔细检查新的水流是否会影响到基础设施。

(4)场地重建。在很多情况下,河流不需要过多的人工干预而实现自我恢复。但是在某些情况下,河岸需要依靠结构性或生物工程方面的技术来恢复其自然的坡度和稳定性。完全恢复河流的功能和河岸生态系统不可能依靠单一的恢复行动就能实现。需要通过多年的努力来监测河流的自然恢复状况,并确定在哪些地方需要进行干预。

(5)历史和考古的监测与记录。当蓄水区的水被排出后,沿着先前被淹没河岸的考古遗址有可能会暴露出来。大多数的大坝拆除都包含大坝拆除后的考古评估,以识别和保护考古遗址。另外,许多被拆除的大坝非常古老,并且具有重要的历史意义。因此,需要对大坝的历史进行记录。

4.3 后续工作

大坝拆除项目的第三阶段主要涉及后续的研究工作。许多河流和河岸在大坝拆除后恢复很显著。监测大坝拆除后河流的恢复状况可以提供有关河流及其修复的非常有价值的信息。有关泥沙运输、植物的更新和再生、河岸湿地响应、水生及相关物种的多样性和丰度以及水化学方面的数据对于评估大坝拆除后的影响都是至关重要的。

5 对我国大坝建设与管理的启示

水库大坝的建设是解决因水资源时空分布不均造成的水资源短缺的根本途径,也是发展水电等清洁能源(可以应对气候变化、减少温室气体排放)的有效措施之一。由于我国的江河治理和水能资源开发利用的程度较低,尽管我国坝高15米以上的大坝数量(3.8万座)已占到世界总量的55.9%,但水坝库容仅达美国的2/3。为了解决我国严重的水资源区域分布不均导致的水资源短缺等问题,减少旱涝灾害,提高人们的生活水平,可以预见,水库大坝的建设在我国未来仍将继续进行。不过,在新的时期,大坝建设将必须更加强调环境友好,重视水库大坝的安全管理和公众的参与。

5.1 重视对大坝安全风险的管理

我国的大坝大多建于20世纪50~70年代,限于当

时的技术水平和经济条件,大部分是小型坝,并且其中90%以上是土石坝。土石坝的寿命大约为50年,目前基本上都已超期服役。而当大坝在运行50年或50年以上时,出现与大坝安全有关的事故几率就相当大^[8]。另外,我国的病险水库数量也很大,因此保障大坝安全和维持大坝的良好运行将成为日益重要的问题。

美国已建立了一套完整的大坝管理体系,包括大坝的定期检查、大坝安全监测、大坝的维修加固、大坝的应急管理^[9]。定期检查包括对勘测、设计、施工和运行文件的审核,大坝及其附属结构的现场检查以及大坝安全评价等。在大坝监测方面,美国除了全面、规范的人工观测和巡查外,还研制开发并运用了许多性能优良的大坝安全监测仪器和自动数据采集系统。对评估为不安全的大坝,联邦政府会提供主要的基金来源进行大坝的维修加固。应急行动计划是美国大坝安全计划的核心内容。它包括通知流程图、业主和地方政府责任、紧急事故的确定、评价和定级、通知顺序、预防措施、淹没图等。

我国的大坝安全管理需借鉴美国的已有经验,建立健全大坝风险管理模式;进一步完善安全评价导则、规程规范和技术标准,分批分类制定大坝安全管理规程;开发适用于中小型大坝的高精度、自动化、数字化的简易监测系统;编制适合我国国情的大坝应急预案。

5.2 加强和完善对大坝的报废管理

随着社会经济发展对大坝安全要求的增高,以及水库因使用年限增长而造成老化失修的加剧,病险水库的除险加固压力将不断增大,将会有更多的水库需要降等或使用或报废管理。

根据何晓燕等的分析^[10],泄洪能力不足和质量问题是导致溃坝发生的主要原因,而发生垮坝失事的水库中有96.4%是小型水库。因此,就目前发展情况而言,小型水库大坝是我国大坝安全管理的重点,也是降等报废的重点。美国已拆除的大坝中,绝大多数都是小型坝,平均高度为8米,最高的也就60.96米。然而,大坝的报废(拆除)是一项政策性和技术性均很强的工作,涉及报废标准、对生态环境的影响、沉积物分析、生态修复、善后处理、水库大坝报废后评估等诸多问题,而我国在这些方面的相关技术和配套法规目前还处于研究之中,甚至处于空白状态。

因此,为了解决小型水坝的安全问题,我国在大坝的报废管理方面还有很多工作要做。首先,需要修订和完善相应的法律法规。尽管2003年水利部颁发了《水库降等与报废管理办法(试行)》并且于2013年发布了《水库降等与报废标准》,但这些法规的可操作性尤其是对小型水库的可操作性不强。因此,需要进一步完善我国大坝降等报废的管理制度,增强报废工作的可操作性。其次,加强对大

坝拆除后坝址重建工作的研究,尤其是结构性或生物工程方面的技术研究。再次,拓展水库大坝降等、报废的筹资与融资渠道,制定由政府、群众到社会各界共同参与的资金筹集机制,采取收益区政府企业投入、广大群众投劳、库区水土资源租赁拍卖等方法,多渠道筹集资金^[11]。

最后,对评估有安全隐患的大坝,应当尽早开展大坝报废试点工作,寻求成功的报废案例,为其他大坝的报废工作提供经验。对于超寿命服役的大坝,特别是存在严重安全隐患、维修成本高、对生态环境负面影响大的大坝,要逐个进行拆坝处理。

5.3 加强对大坝生态环境影响的评价

我国已制定了一系列针对水利水电工程项目的环境影响评价技术导则(如环境影响评价技术导则—水利水电工程)和评价规范等制度性技术文件(如水利水电工程环境影响评价规范),为缓解水利工程的不利影响发挥了较大的作用。但是,与美国相比,我国的水电环评还存在以下问题:(1)环境影响评价主要是在项目可研阶段介入,以预测性评估为主,缺乏对项目建成后的跟踪评价;(2)工程项目评价范围依据单个工程规模来确定,但同一流域的水电项目对生态环境的影响具有累积性和叠加性,单一工程项目的环评会低估水利工程对流域生态系统的影响^[12]。(3)水电项目环评报告的“双轨制”使得主体工程环评审批被架空。作为辅助主体工程的“三通一平”项目可在主体工程环评尚未批准通过的情况下开工建设,这使得主体工程未开工前,水电项目所在地的生态环境已经破坏,而且可能导致主体工程的环评审批流于形式。

特别是,在大坝建设前的环境影响评估,作为一种建设项目的环评,其局限性显而易见。一方面,由于政府追求近期的经济效益的冲动,往往忽略远期的不利影响,而且经常是放大经济效益、掩盖负面的生态影响;另一方面,由于缺乏有关的长期数据,从根本上说,是难以预见大坝建成后的长期生态影响的。另外,大坝建成后,基本上就不再去关注生态环境影响,很少有规范的长期生态影响监测评价。

因此,我国应从以下几方面入手加强大坝对生态环境影响的评价:(1)加大项目前期环评的广度和深度,不仅要对项目建设和运行过程中的“三废”问题进行环境影响评价分析,更要充分考虑工程所在地的特殊生态环境状况,对其进行一定时期的跟踪调研。此外,需要周密地考虑和深入地分析评价流域多个工程对生态环境的累计影响。(2)建立大坝建成后生态环境影响监测评价制度。由于大坝对生态环境的影响主要体现在建成后的运行期,而且这种影响是长期慢慢积累的,不可能在短时期内充分显现,往往难以发觉。因此需要对运行期的生态环境影响进行长期、

定期地跟踪、监测,并开展评价,为改善区域内的生态环境和减少不利影响,提出可行的工程和非工程措施;同时,为新建工程提供可借鉴的经验,不断调整开发思路。(3)严格落实水电开发项目的环境影响评价审批制度,切实保护流域的生态环境,避免“未批先建”“边批边建”“已建未批”等行为的发生。(4)进一步推动公众在大坝建设环评过程中的参与度,通过适当方式充分听取社会各界特别是水电部门以外人士和当地民众的意见,使其对最终规划结论具有必要的影响力。另外,在一些特殊生态功能区域的流域内,要坚决禁止建设大坝。

5.4 发展生态友好型的工程建设技术

长期以来,我国在流域大坝工程建设中忽略了对河流水生生态系统的保护。近些年来,一些大型水利工程建设中修建了诸如增殖放流站等鱼类保护措施,但因措施简单,对河流水生生物的保护力度仍然不足,导致洄游鱼类种群减少甚至绝迹。

因此,为了减轻大坝对生态环境的影响,必须发展生态友好型的工程建设技术。一是,对于新建大坝,在工程的初步设计阶段应提出减轻生态影响的措施;在工程建设阶段,优先采用生态友好型的技术措施。二是,对于已建大坝,在充分调研大坝对生态环境影响的基础上,发展和应用减轻影响的措施。为了减少已建大坝对生态环境的影响,美国及欧洲发达国家都采取了一系列措施,包括减轻对坝下水流影响的措施(主要是非工程措施)、减轻对水生生态环境影响的措施(如建设各种形式的鱼道)、减轻水轮机运转影响的措施(如设置鱼栅)和减轻对水质影响的措施等。我们可以借鉴发达国家的经验,结合各流域的实际情况,开发应用相应的生态友好型工程技术。

5.5 使已建大坝发挥更加多样性的价值

大坝的主要功能有防洪、防凌、蓄水、供水、发电、航运、旅游等。而目前我国大坝的主要功能还是3个传统方向:防洪、发电和航运。在美国,5%的大坝用于娱乐,而用于水力发电的大坝仅占3%。美国水资源休闲功能开发已进行了几十年,休闲旅游引申出来的附带效应可以进一步提高就业机会和经济收入。美国最大的水库米德湖(Mead Lake)由著名的胡佛大坝拦科罗拉多河之水而成。依靠米德湖成立的米德湖国家休闲区提供了包括划船、钓鱼、水橇、游泳、日光浴等多种旅游休闲项目,每年游客约1000万人次,成为美国游客量最大的五个国家公园之一。为了保证在公共水体能够提供娱乐活动,美国对水电站实行了新的绿色标准。水电站业主为了获得许可证必须在水库娱乐和旅游设施、与娱乐有关的湿地、景观、水质和文化古迹方面进行大量投入^[13]。

(下转45页)

北部沿海地区动态效率排名第4,静态效率排名则为第6;南部沿海地区动态效率排名第6,静态效率排名却是第1;西南地区动态效率排名第7,静态效率排名第4。☞

参考文献:

- [1]Charnes A, Cooper W W, Rhodes E. Measuring the efficiency of decision-making units [J]. *European Journal of Operational Research*, 1978(2): 429-444.
- [2]Hailu A, Veeman T S. Non-parametric productivity analysis with undesirable outputs: An application to the Canadian pulp and paper industry [J]. *American Journal of Agricultural Economics*, 2001, 83(3): 605-616.
- [3]Seiford L M, Zhu J. Modeling undesirable factors in efficiency evaluation [J]. *European Journal of Operational Research*, 2002(142): 16-20.
- [4]Scheel H. Undesirable outputs in efficiency valuations [J]. *European Journal of Operational Research*, 2001(132): 400-410.
- [5]Färe R, Grosskopf S, Pasurka C A. Environmental production functions and environmental directional distance functions: A joint production comparison [EB/OL].(2004-04-25). <http://ssrn.com/abstract=506222>.
- [6]Tone K. Dealing with undesirable outputs in DEA: A slacks-based measure (SBM) approach [R]. Japan: GRIPS Policy Information

Center, 2003.

- [7]王军,耿建.中国绿色经济效率的测算及实证分析[J].*经济问题*, 2014(4): 52~55.
- [8]杨龙,胡晓珍.基于DEA的中国绿色经济效率地区差异与收敛分析[J].*经济学家*, 2010(2): 46~53.
- [9]钱争鸣,刘晓晨.中国绿色经济效率的区域差异与影响因素分析[J].*中国人口·资源与环境*, 2013, 23(7): 104~109.
- [10]钱争鸣,刘晓晨.我国绿色经济效率的区域差异及收敛性研究[J].*厦门大学学报:哲学社会科学版*, 2014(1): 110~117.
- [11]汪克亮,杨力,程云鹤.异质性生产技术下中国区域绿色经济效率研究[J].*财经研究*, 2013(4): 57~67.
- [12]王兵,吴延瑞,颜鹏飞.中国区域环境效率与环境全要素生产率增长[J].*经济研究*, 2010(5): 95~109.
- [13]吴旭晓.区域绿色经济效率演化及其影响因素研究[J].*商业研究*, 2014(9): 27~33.
- [14]Banker R D, Charnes A, Cooper W W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis [J]. *Management Science*, 1984(9): 1078-1092.
- [15]王家庭,赵亮.我国区域城市化效率的动态评价[J].*软科学*, 2009(7): 92~98.
- [16]廖虎昌,董毅明.基于DEA和Malmquist指数的西部12省水资源利用效率研究[J].*资源科学*, 2011(2): 273~279.

(责任编辑:张海艳)

(上接24页)

我国水库旅游开发还处于初级阶段,适度发掘水库的旅游价值不仅有助于当地经济的发展,而且有着重要的社会效益,也有利于提升水电开发的正面形象。水库旅游开发是一项综合性和全面性的工作,必须与库区居民生活有机结合起来,要实现从观光型向参与型转变,提高旅游项目的参与性、娱乐性和保健性;同时要注意旅游开发中的环境保护,走可持续发展的道路。☞

参考文献:

- [1]Doyle M W, Stanley E H, Harbor J M, et al. Dam removal in the United States: Emerging needs for science and policy [J]. *EOS, Transactions, American Geophysical Union*, 2003, 84(4): 29, 32-33.
- [2]Friends of the Earth, American Rivers, and Trout Unlimited. Dam removal success stories [EB/OL]. (2015-04-15). <http://www.michigandnr.com/publications/pdfs/fishing/dams/SuccessStoriesReport.pdf>.
- [3]NW Energy Coalition. Dams, energy, and salmon [EB/OL]. (2015-04-07). <http://www.nwenergy.org/wp-content/uploads/Energy-Activist-Special-1999-Dams-Energy-and-Salmon.pdf>.
- [4]Ross A. Salmon in Maine worse off than here: To aid ailing runs,

dams are breached-even demolished [N]. *Seattle Times*, 1999-10-24.

- [5]Association of State Dam Safety Officials. Regulatory facts [EB/OL]. (2015-04-10). www.members.aol.com/damsafety/asdso.htm.
- [6]American Society of Civil Engineers. 1998 report card for America's infrastructure [EB/OL]. <http://dx.doi.org/10.1061/9780784478899>.
- [7]American Rivers. Paying for dam removal: A guide to selected funding sources [EB/OL]. (2015-04-13). <http://www.michigandnr.com/publications/pdfs/Fishing/dams/Paying-Dam-Removal.pdf>.
- [8][美]P·J·里根.大坝事故与其运行年限的关系[J].*水利水电快报*, 2011, 32(10): 36~41.
- [9]王正旭.美国的大坝安全管理[J].*水利水电科技进展*, 2003, 23(3): 65~68
- [10]何晓燕,王兆印,黄金池.水库溃坝事故时间分布规律与趋势预测[J].*中国水利水电科学研究院学报*, 2008, 6(1): 37~42.
- [11]张海亮,孟红军.安阳市小水库降等与报废问题探讨[J].*中国防汛抗旱*, 2009, 19(5): 65~66.
- [12]鲁春霞,刘铭,曹学章,等.中国水利工程的生态效应与生态调度研究[J].*资源科学*, 2011, 33(8): 1418~1421
- [13]孙小利,赵云,于爱华.美国开发水电站水库旅游资源的特点[J].*水利技术监督*, 2010(2): 27~31.

(责任编辑:苏斌)