

退役坝拆除现状及其影响研究进展综述

高玉琴, 刘云苹, 王怀志, 张泽宇
(河海大学 水利水电学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 我国降等与报废水库逐年增加, 大坝退役拆除成为必然趋势。针对退役坝拆除问题, 从各国拆坝数量、拆坝地区分布、拆坝原因和拆坝相关政策入手, 对国内外大坝拆除现状进行分析总结, 并对拆坝后对生态环境和社会经济产生的影响进行综述。研究发现国内外关于拆坝影响研究多为定性分析, 缺少定量分析和一套切实可行的计算方法, 且多为单因素研究, 缺乏综合影响因素评估分析。由此展望未来的拆坝影响研究中应由定性分析向定量分析转变, 并耦合水动力、泥沙、生物响应、水生环境等多方面因素, 构建拆坝影响的综合评估体系。

关键词: 大坝退役; 拆坝现状; 生态影响; 社会经济影响; 研究进展

中图分类号: TV698.2; X171.4

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2018)06-0133-07

Status of decommissioned dam removal and review of research progress on its effects

GAO Yuqin, LIU Yunping, WANG Huaizhi, ZHANG Zeyu

(College of Water Conservancy & Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: It is an inevitable trend that the decommissioned dam will be demolished as the degraded and abandoned reservoirs increased year by year. Considering the removal problem of the retired dam, starting from the number of the dam to dismantle in various countries, dam region distribution, the reasons for dam removal and the relevant policies, the current situation of dam demolition at home and abroad is analyzed and summarized, and the the impact on ecological environment and social economy after dam removal is summarized. It is found that there is a lack of quantitative analysis and a feasible calculation method. Moreover, it is a single factor study, lacking comprehensive impact factor assessment and analysis. Therefore, it is expected that the future research on the impact of dam removal should be changed from qualitative analysis to quantitative analysis, and coupled with various factors such as hydrodynamics, sediment, biological response and aquatic environment, a comprehensive evaluation system for the impact of dam removal will be constructed.

Key words: dam decommissioning; dam removal status; ecological impact; socio-economic effect; research progress

1 研究背景

目前,我国已拥有水库大坝超过 9.8×10^4 座, 成为世界上建坝第一大国, 但这些水库大坝中 95% 是 20 世纪 80 年代之前建设的老坝, 其中多为 20 世纪 50-70 年代建成的, 由于当时经济水平低下, 工程建设技术尚不成熟, 因而所修建的大坝中 95% 以

上为土石坝^[1]。土石坝的平均运行时间一般在 50 年左右, 时至今日多数大坝已达到其使用寿命, 出现了一系列不同程度的问题, 如泥沙淤积、结构受损、年久失修等, 最终导致溃坝、垮坝事件时有发生, 在除险加固尚不能解决的情况下, 大坝退役拆除是必然趋势。

国内外学者针对退役坝拆除问题已进行了相关

收稿日期: 2018-05-23; 修回日期: 2018-07-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(51309076); 中央高校业务费科技前瞻性研究专项(2014B05814); 江苏省优势创新平台项目(3014-SYS1401)

作者简介: 高玉琴(1978-), 女, 四川成都人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为水利规划与水利经济、洪水控制、工程管理等。

研究,国外学者 Doyle 等^[2]和 Collins 等^[3]研究了拆坝后水库沉积物运输对河道河床地貌演变影响;Foley 等^[4]和 Doyle 等^[5]研究了大坝拆除带来的生态环境影响;Foley 等^[6-7]、Poulos 等^[8]和 Pess 等^[9]研究了拆坝后河道连通性对洄游鱼类及其他鱼类种群的影响;亨氏科学经济与环境中心等^[10]和美国土木工程协会^[11]对大坝拆除评估监测进行了相关研究。我国大坝退役拆除相关研究尚处于起步阶段,彭辉等^[12]、向衍等^[13]和成荣亮等^[14]对大坝老化退役或降等的评估及决策进行了研究;王若男^[15]、俞云利等^[16]、向衍等^[17]和方崇等^[18]研究了大坝拆除对生态环境的影响。美国作为最早开始拆除大坝的国家,在此方面的研究相对较多,但也仅处于初级阶段,仍缺乏系统的研究。本文通过综述国内外的大坝拆除现状以及拆除后对周围环境和经济社会影响的研究进展,提出当前研究所存在的问题和挑战,展望未来大坝拆除的研究趋势,为我国大坝拆除及其后期恢复管理工作提供参考。

2 国内外大坝拆除现状分析

2.1 国内外大坝拆除现状

美国最早从 19 世纪末 20 世纪初开始实施大坝退役并进行大坝拆除,其次为加拿大及欧洲等国,日本、韩国、泰国等也在一定程度上开始关注大坝退役问题。

美国是世界上拆坝数量最多的国家,截止到 2015 年美国拆坝数量 1 300 多座,其中拆除年份明确的有 1 181 座^[4],尤其是近 10 年,美国拆坝数量逐年递增,仅在 2014 年就拆除 72 座大坝^[19],由美国各年代拆坝数量统计图(图 1)可看出美国拆坝数量呈递增趋势,且多为坝高低于 10 m 的小型坝。

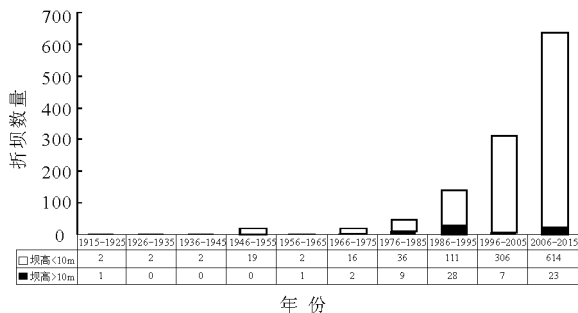


图 1 美国各年代拆坝数量

加拿大拆坝数量仅次于美国,2000 年被拆除的 Finlayson 大坝是加拿大第一座记录在案并按照计划和制定的程序拆除的大坝^[20],截止到 2005 年加拿

大共拆除 20 多座大坝。欧洲各国拆坝数量相对较少,法国已经立法禁止建设大坝并开始拆坝,为了改善鱼类生存环境,1996 - 1998 年间位于卢瓦尔河流域上的 3 座大坝退役;意大利已有 4 座大坝被拆除,另有 4 座大坝计划拆除;挪威只有 4 ~ 5 座与水电相关的大坝退役;其余部分国家只是开始制定法律保护河流生态并禁止修筑大坝。亚洲国家中日本、韩国、泰国逐渐开始取消大坝的建设,其中日本从 2000 年开始停止大坝建设,并按计划在 2012 年开始 Arase 水电站的拆除工作^[21];韩国在 2000 年为保护东江流域的生态系统,政府宣布取消江原道的永越水坝建设计划;泰国拆坝的方式比较独特,并非完全的拆除大坝硬件而是完全开放水闸,从而达到恢复河流的自然流态、保护流域生态的目的。

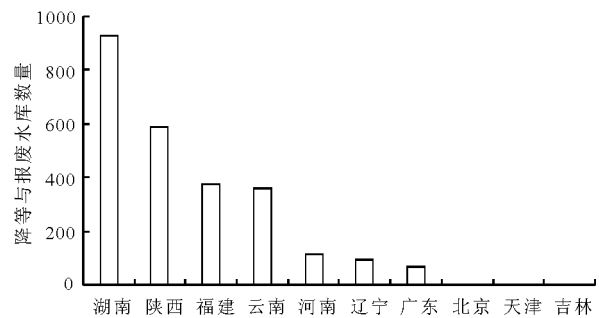


图 2 我国部分省份水库降等与报废数量

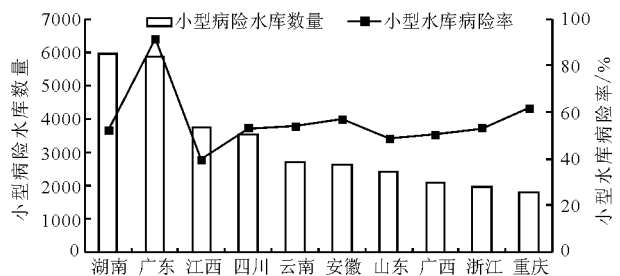


图 3 我国小型病险水库数量前 10 名的省份及其病险率统计

我国是世界上拥有大坝数量最多的国家,截止到 2016 年,全国(不含港澳台地区)已建水库 98 461 座,其中大型水库 721 座,中型水库 3 890 座,小型水库 93 850 座^[22]。但近年来病险大坝逐渐增加,其中小型病险水库约 6 万多座,平均病险比例为 53.3%,成为大坝水库退役的主体。截止到 2017 年底,全国降等与报废水库 6 539 座,其中降等 4 021 座(中型 3 座、小型 4 018 座),报废 2 518 座(中型 3 座、小型 2 515 座)。据 2002 年水利部统计降等与报废(报废即退役)总数较多的省份为湖南、陕西、福建和云南等地(图 2),陕西因泥沙淤积报废小型水库 578 座,成为水库退役最多的省份^[23]。2007 年

水利部大坝安全管理中心对我国各地小型病险水库的数量进行初步统计排位(图3)^[24],病险小型水库最多的是湖南省,其次是广东和江西省。

2.2 国内外大坝退役拆除原因及相关政策

美国大坝拆除主要原因为生态因素,其次是安全和经济因素,但并未因完全盲目的追求生态而舍弃大坝所能产生的防洪、发电等经济效益。美国各州拆坝数量分布图如图4所示,其中拆坝数量排名前三的州是宾夕法尼亚州、威斯康星州和加利福尼亚州,这些州的政府都承诺对拆坝给予行政方面的支持。除此之外,1997年美国土木工程师协会(ASCE)公布了《大坝及水电设施退役指南》,2002年美国亨氏科学经济与环境中心出版《退役坝拆除的科学决策》,同年美国河流组织(American Rivers)和鲑鳟类保护协会(Trout Unlimited)共同编制了《退役坝拆除决策指南》,美国垦务局(USBR)和美国陆军工程师团(USACE)也都有相应的大坝安全管理程序^[15],以上成果为大坝退役和拆除提供了评估方法,有效地缓解了拆坝对生态环境和社会经济的影响。

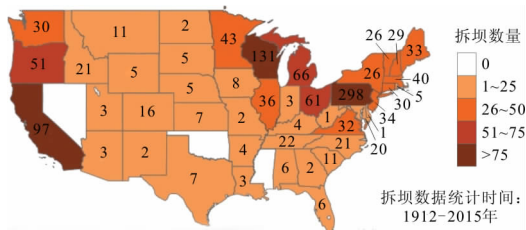


图4 美国各州拆坝数量分布图^[4]

加拿大拆除大坝的原因是功能丧失,故拆除大坝以达到修复河流生态系统的目的^[25]。加拿大拆除的大坝中50%位于安大略省,安大略省自然资源部(OMNR)在1999年形成了一套安大略准则,其中罗列出了60多项与环境相关的检测指标;2011年OMNR又发布了《大坝退役与拆除技术通报》,其中分析了水文、水力、地质、环境、社会、经济等多项与大坝退役相关的问题,并由此制定出大坝退役决策框架,为大坝退役提供了依据^[15]。

欧洲拆坝的主要目的是恢复河流的生态系统,维护流域原有价值,部分国家开始修订法规维护生态环境并禁止修建大坝,如瑞典禁止在四大河流上建设水电站,挪威立法禁止在四大河流上建设水电站,拉脱维亚制定专门的法律保护自然景观和生态环境并相继取消了两座大坝的建设,莱茵河流域的国家也提出要莱茵河重新恢复自然化^[25]。

我国为了规范水库的降等与退役,在2003年出台《水库降等与报废管理办法》,2013年发布了配套技术标准《水库降等与报废标准》,并在2016年底发布的《水电“十三五”规划》中提到“建立中小水电破坏生态环境惩罚退出机制”^[26]。这些政策的出台为水库大坝降等和退役提供了依据,但这些仅是从水库大坝运行管理方面阐述,对退役大坝拆除并未进行专业技术方面的研究,针对拆除大坝之后如何修复河道和周围生态系统,以及拆坝后的社会经济和生态影响评价等问题并未出台相关的政策和实施细则^[12]。

2.3 国内外大坝拆除方式及评估方法

坝型、大小、报废程度及功能的不同都将直接影响大坝拆除方法的选取。根据美国地质勘探局拆坝科学数据库所收录的148座已拆坝基本信息,统计显示当前国内外大坝退役拆除的主要方法有排水与挖掘、意外拆除、分段拆除、部分拆除和瞬时拆除等^[27],须根据实际情况采取不同的拆坝措施。

拆坝措施的选取及是否拆坝,须对各种潜在工程和非工程方案进行详细评估,目前关于大坝退役评估还未形成成熟的决策体系,仍处于探索阶段。最早的大坝拆除评估方法是1997年美国土木工程师学会(ASCE)提出的拆坝评估基本过程:(1)初步退役研究;(2)公众咨询;(3)数据收集与分析;(4)可选方案评价;(5)实施;(6)长期管理。该方法主要通过成本收益分析进行大坝退役决策,但缺乏直观和清晰的问题构建过程^[28]。1999年安大略省自然资源部(OMNR)针对芬利森坝编制了一套拆除导则草案,该导则基本与ASCE的导则大致相同,并在芬利森坝拆除中取得成功,不同的是将公众咨询推迟至工作程序的第4步^[29]。2002年亨氏中心提出拆坝决策的总体框架,并提出了物理、化学、经济和社会等关键评价指标,但缺少方案比选过程^[10]。2009年Brown等^[30]和Corsair等^[31]分别提出综合性大坝评估模拟工具和水坝退役多准则决策分析方法,前者运用定性定量相结合的方法,从经济、生态和政治三个维度对大坝拆除的成本和效益进行了评估,但缺少对决策准则层和指标权重影响的考虑;后者在亨氏中心决策框架的基础上,加入多准则决策分析,通过多目标权衡,选出最优决策方案,该决策框架较为系统完整,具有较高的参考价值。我国的《水库降等与报废评估导则》尚在研究编制中,没有统一的报废评估流程,现有研究多是参照国外大坝退役评估流程。

3 国内外大坝退役拆除影响研究进展

3.1 退役坝拆除的生态环境影响研究

大坝退役拆除是对周围生态系统的再次干扰,造成水库栖息地的丧失和沉积物的移动,导致生态环境变化。研究发现拆坝对生态环境的影响由非生态变量逐步提高到生态变量(非生态变量是指水文、水质、泥沙等流域特征,生态变量是指浮游植物、浮游动物、鱼类等食物链中的生产者和消费者),两者相互作用,互相影响,主要表现在河流形态、泥沙运输、水生环境和生物多样性等方面,且影响随时间尺度的差异产生不同的表现形式^[3-4]。

3.1.1 退役坝拆除对河流形态影响研究 大坝拆

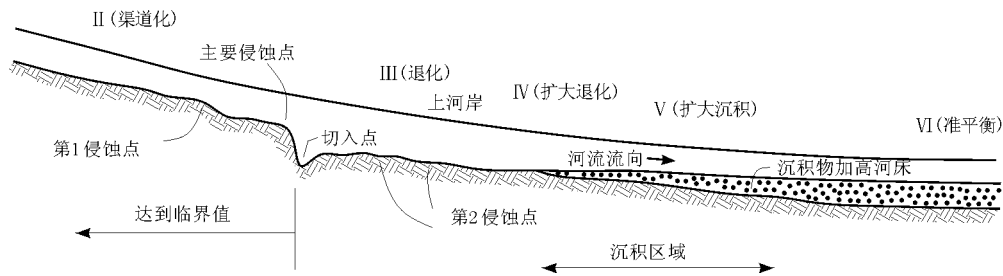


图5 渠道演变过程^[32]

河道演变是一个非常复杂的过程,拆坝后河道重整时间可能要持续几十年甚至几百年,目前还没有定量的地貌研究可以持续足够长的时间来记录大坝拆除后的平衡河道形态;拆坝后河道地貌响应受到拆除方案、拆除时间、管理和施工策略的显著影响,河流恢复策略的制定直接影响大坝上下游的恢复速率,而恢复策略的制定需要好的预测模型,目前CEM模型以及各种数值模型都不能很好地在拆坝前对拆坝后河流形态变化进行有效预测,主要原因是没有长期且详细的拆坝后河道演变数据记录。因此在未来的研究中需要加大对大坝拆除后可能的地貌响应的研究,构建拆坝后地貌变化数据库,提高预测的准确度,为拆坝方案及管理提供科学决策。

3.1.2 退役坝拆除对泥沙运输影响研究 泥沙运动形式的变化是大坝拆除必须考虑和重视的问题,其影响主要体现在3个方面:(1)泥沙运输的变化控制了河道演变的过程,如前文中所提到的CEM模式;(2)泥沙运移速率的影响,由于沉积物数量和种类的不同、河道坡度和河流流量大小不同,泥沙沉积物的运移速率和模式随之变化^[33];(3)沉积物污染问题,沉积物中可能存在污染物(如有机物质和重金属),当水库泥沙污染物浓度明显高于背景浓度

除后恢复河流连通性,上游沉积物快速向下游移动,河床发生演变。Doyle等^[5]对大坝拆除后河道演变进程进行研究并提出了常见的渠道演变模式(CEM):首先是垂直侵蚀,使之形成深而窄的通道,接着是一段时间的横向侵蚀,使之超过临界岸滩崩塌高度,导致陡峭的岸滩崩塌,河道扩大河床抬高,最后河岸侵蚀逐步减少达到平衡状态(河道演变过程如图5所示)。Egan等^[32]对拆坝上游河道形变进行研究,发现大坝上游地貌演变的初级阶段主要为下切,其次是河床的侵蚀、沉积和漫滩发展;若水库的蓄水量相对较小且宽度比上下游河道宽很多时,大坝上游的主要演变过程就变为沉积和漫滩发展,而不再是侵蚀和切割。

时需进行稳定化处理,避免向下游释放污染物,污染下游水质。

针对拆坝后泥沙问题,ASCE在2011年出版了《拆坝泥沙动力学》,对水库泥沙特征以及拆坝后河流地貌影响进行了研究,其内容涉及现场研究、物理模拟与数值分析,对科研人员和河流管理者具有重要的参考价值。美国内政部水信息咨询委员会针对泥沙分析问题专门设立工作组,两次召开专题研讨会并着手编制《拆坝泥沙分析指南》,泥沙小组委员会在《拆坝泥沙分析指南》(2017)中提出了拆坝泥沙分析的10个步骤,为确定评价拆坝泥沙影响的数据收集、分析、模拟以及必要监测的类型和水平提供指导。但目前的研究多集中在拆坝后泥沙量、泥沙种类和泥沙污染等方面的研究,很少有人试图量化沉积物运移速率。

3.1.3 退役坝拆除对水生环境影响研究 拆坝对水生环境的影响主要体现在流速、水温、水质、水量、溶氧量、底泥等方面^[34],大坝拆除后短期内会对河流的生态系统造成强烈的扰动并产生一系列不利影响,但长期来看拆坝措施可使坝址以下的河道部分恢复完整性,使河流恢复天然形态(与建坝前相比并非完全相同),对整个河流的生态影响是有利

的^[35]。

林育青等^[35]、刘咏梅^[36]认为拆坝后短期内水库回水效应和顶托作用消失,泄流量增多且流速加快,上游水位降低,下游流量增加且水位升高;经过一段时间的恢复,河流恢复稳定,流域水环境由静态水状态转变为动态水状态,该现象称之为“逆生态环境”,河流的水文模式得到修复,水质及水温随着水滞留时间和水温分层现象的减少而迅速逆转,河流流量变化重新遵循天然洪水过程。针对拆坝对水生环境的影响,国内外的研究多集中在定性的描述,缺少定量的分析,拆坝后水温与水质的变化研究应进一步将陆面过程与大气环流模型进行耦合分析^[37],以此得到拆坝对水生环境的具体影响过程。

3.1.4 退役坝拆除对生物多样性影响研究 大坝拆除后对生物多样性的影响主要表现在两个方面:(1)岸坡植被多样性的增多;(2)鱼类等生物种类的增加。

Shafroth 等^[38]在拆坝对河岸植物多样性影响研究中发现(见图6),对于大坝下游的植物,短期内泥沙向下游移动,泥沙冲刷导致部分小型植物被泥沙覆盖而死亡,长期发展后泥沙运输改变河床地貌形成新的台阶式裸露河岸,河流水文特征恢复自然状态,水文条件与地貌变化的相互作用为岸坡植物的生长提供了天然的栖息地,促进了本土植物群落的恢复;大坝上游随着水库水排放,水位下降,部分原水库边界植物由于地下水位降低而死亡,被干旱性植物取代;大坝拆除后重新露出水面的水库排干区由于具有潮湿、营养丰富等特点同时又富集了多种植物种子,并且这些种子普遍具有快速生长、繁殖力强的特征,对长期植物群落多样性变化产生深远的影响。

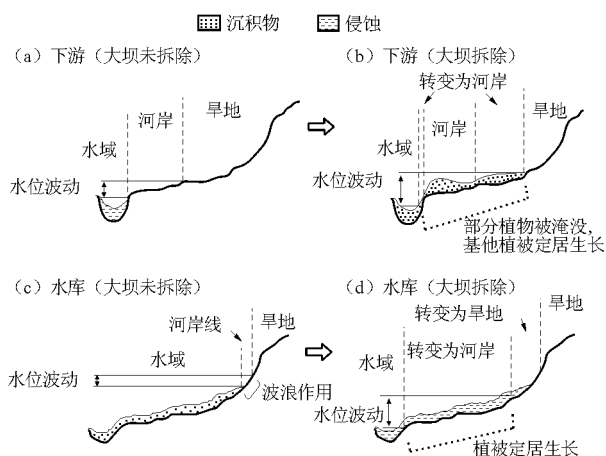


图6 拆坝前后下游及水库区域地貌及植被变化^[38]

建坝导致的水流流速变化直接影响鱼类迁移率;水库水位升高淹没大马哈鱼等类似鱼类的产卵场地,影响鱼类的产卵繁殖;水温升高导致河流纳污能力下降,水质变差影响鱼类的生殖繁衍;洄游通道的切断,使一些需要洄游到上游进行产卵的鱼类无法回到产卵栖息地,上游孵化的小鱼无法回到下游发育生长,久而久之洄游鱼类数量下降,种类减少^[6,39-40]。大坝拆除后短期内由于水体浑浊度增加、下游水体溶解气体浓度超饱和,导致鱼类伤亡和患气泡病的可能性增加;但长期来看,泥沙搬运完毕并恢复稳定后,水流挟沙量减少,下游河床地貌趋于稳定,有利于鱼类的生长与繁衍,另外河流恢复了连通性,增加了洄游鱼类和溯河产卵鱼类到达上游栖息地及产卵区的可能性,极大提高了洄游鱼类和溯河产卵鱼类的繁殖力。

Foley 等^[9]对比不同地域的拆坝生态系统响应发现大坝上游40%的鱼类种群和群落无明显变化,下游鱼类种群的变化未超过25%,拆坝对生物多样性的影响因地域差异而不同,并非所有的生物都可通过拆坝措施得以恢复,另外大坝拆除常会导致半天然半水生的水生生物代替天然水生生物。目前大部分学者对拆坝提高生物多样性的期望过高,没有具体深入的定量研究,因此在评估拆坝对生物多样性影响的过程中既要进行定性研究又要着重定量研究,研究开发一套切实可行的计算理论和评估方法,用科学准确的方法预测生物多样性对拆坝行为的响应过程。

3.2 退役坝拆除的社会经济影响研究

当前学者关于拆坝对社会经济影响的研究过少,且多为定性描述。相应有效的社会影响评价工具和经济影响评价工具仍是下一阶段退役坝拆除对社会经济影响研究的重要方向。一般认为病险大坝的修复费用是拆除费用的3~5倍^[41],拆坝可减轻当地政府的经济负担,增加当地经济增长机会,是恢复河流最高效的方法,但同时可能产生一系列亟待解决的社会经济问题、历史文化遗产问题、美学与社会价值问题、土地权问题、人民公共利益问题、流域周边房价问题、洪水安全隐患问题、经济复苏问题以及公众对拆坝决策的响应问题等^[42]。

亨氏中心在一份报告中得出结论,生态、安全和经济因素决定是否拆除或修复大坝,但公众接受程度和人民满意度是最终的的决定性因素,所有的经济问题和几乎所有的生态以及工程安全问题都会影响到人类,最终都可以转化为社会问题,然而目前关于

大坝拆除后的人类层面或社会科学方面的研究很少^[41]。Born等^[43]通过统计分析公众对拆坝决策的意见评价,调查表明大部分公众可以理解拆坝带来的重要损失和重要收益,一半的公众认同拆坝可使河流恢复到自然状态,可改善河流流域生态环境,但同样也存在着大量的不同意见。

4 结 论

随着大多数大坝慢慢进入“老龄化”,大坝拆除或保留将成为急需解决的问题。本文通过研究国内外大坝的拆除现状,综述拆坝对生态环境和社会经济的影响研究,发现由于拆坝相关数据过少,且无一套切实可行的计算理论和评估方法,导致当前关于拆坝影响的研究多为定性描述,缺乏定量分析;另外该方面的研究刚刚起步,学者多集中在单方面的影响研究,缺少综合影响评估;除此之外,社会影响因素复杂多变,当前没有合适的社会经济影响评价工具对拆坝社会经济影响进行定量评估,故国内外学者多着重于生态环境影响研究,缺乏社会经济影响研究。

针对当前影响研究所存在的问题,在今后的研究中应从以下几个方面进行完善:(1)加强影响因素的定量分析,建立拆坝后河流变化详细资料数据库,探索可行的计算理论和评估方法,构建科学拆坝影响预测模型;(2)耦合水动力、泥沙、生物响应、水生环境等多方面因素,综合考虑各因素间的关联,构建拆坝影响的综合评估体系;(3)加强关于经济评价分析工具和社会影响评价工具的研究,定量地评价拆坝对社会经济的影响;(4)仅针对我国大坝退役规程和相关法律法规较少的情况,应建立大坝退役导则,颁布相关的法律法规。

参考文献:

- [1] 中国水库大坝数量最多安全风险不可掉以轻心[EB/OL]. (2017-11-10)[2018-05-11]. http://news.cyol.com/content/2017-11/10/content_16677757.htm.
- [2] DOYLE M W, STANLEY E H, HARBOR J M. Geomorphic Analogies for Assessing Probable Channel Response to Dam Removal[J]. *Jawra Journal of the American Water Resources Association*, 2010,38(6):1567-1579.
- [3] COLLINS M J, SNYDER N P, BOARDMAN G, et al. Channel response to sediment release: insights from a paired analysis of dam removal[J]. *Earth Surface Processes & Landforms*, 2017.
- [4] FOLEY M M, BELLMORE J R, O'CONNOR J E, et al. Dam removal - listening in [J]. *Water Resources Research*, 2017,53(7).
- [5] DOYLE M W, STANLEY E H, ORR C H, et al. Stream ecosystem response to small dam removal: Lessons from the Heartland[J]. *Geomorphology*, 2005,71(1-2):227-244.
- [6] FOLEY M M, WARRICK J A, RITCHIE A, et al. Coastal habitat and biological community response to dam removal on the Elwha River[J]. *Ecological Monographs*, 2017.
- [7] FOLEY M M, MAGILLIGAN F J, TORGERSEN C E, et al. Landscape context and the biophysical response of rivers to dam removal in the United States [J]. *Plos One*, 2017, 12(7):e0180107.
- [8] POULOS H M, MILLER K E, KRACZKOWSKI M L, et al. Fish Assemblage Response to a Small Dam Removal in the Eightmile River System, Connecticut, USA [J]. *Environmental Management*, 2014,54(5):1090-1101.
- [9] PESS G R, MCHENRY M L, BEECHIE T J, et al. Biological Impacts of the Elwha River Dams and Potential Salmonid Responses to Dam Removal [J]. *Northwest Science*, 2008,82(Special 1):72-90.
- [10] The H. John Heinz III Center for Science, Economics and the Environment. 退役坝拆除的科学及决策[M]. 蔡跃波,李雷,王士军,译.北京:中国水利水电出版社,2008.
- [11] 美国土木工程协会. 大坝及水电设施退役指南[M]. 北京:中国水利水电出版社,2010.
- [12] 彭辉,刘德富. 大坝老化与退役[M]. 北京:中国水利水电出版社,2015.
- [13] 向衍,盛金保,袁辉,等. 中国水库大坝降等报废现状与退役评估研究[J]. *中国科学:技术科学*, 2015,45(12):1304-1310.
- [14] 成荣亮,杨正华,王昭升,等. 水库降等与报废评估指标体系与评判方法[J]. *水利水电科技进展*, 2014,34(2):6-10+15.
- [15] 王若男. 退役闸坝拆除对河流生态环境影响调查评价技术[D]. 邯郸:河北工程大学,2015.
- [16] 俞云利,史占红. 拆坝措施在河流修复中的运用[J]. *人民长江*, 2005,36(8):15-17.
- [17] 向衍,盛金保,杨孟,等. 水库大坝退役拆除及对生态环境影响研究[J]. *岩土工程学报*, 2008,30(11):1758-1764.
- [18] 方崇,苏超,陆克芬,等. 退役大坝拆除后对河流鱼类生长环境的影响[J]. *安徽农业科学*, 2008,36(19):8120-8122.
- [19] 熊永兰,张志强,唐霞. 美国大坝拆除对我国大坝建设与管理的启示[J]. *生态经济*, 2016,32(3):20-24+45.
- [20] 周良景. 加拿大 Finlayson 坝拆除获得成功[J]. *水利水电*

- 电快报,2006,27(23):26-30.
- [21] 4-2 拆除荒濼大坝——日本最早的发电用大坝的拆除及河川环境[EB/OL]. (2014-02-23)[2018-05-15]. <http://www.docin.com/p-769293316.html>.
- [22] 中华人民共和国国家统计局. 灌溉、水库和除涝、治水情况[EB/OL]. [2018-05-08]. <http://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=C01&zb=A0D09&sj=2016,2016>.
- [23] 任亚周. 国内外水库退役标准对比与水库退役评估方法研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2015.
- [24] 我国小型病险水库的数量和比例[EB/OL]. (2012-12-12)[2018-05-15]. <https://wenku.baidu.com/view/cae2527e8e9951e79b89279c.html>.
- [25] 彭辉,刘德富,田斌. 国际大坝拆除现状分析[J]. 中国农村水利水电,2009(5):130-135.
- [26] 崔振华. 基于水与能源纽带的小水电可持续评价技术与退役机制研究[D]. 南京:南京水利科学研究所,2017.
- [27] BELLMORE J R, VITTUM K M, DUDA J J, et al. US-GA Dam Removal Science Database (2015) [EB/OL]. (ver. 1.3, July 2015) [2018-05-16] U. S. Geological Survey data release, <https://doi.org/10.5066/F7K935KT>.
- [28] 胡苏萍,徐灿灿,李弘. 退役坝拆除研究进展[C]//中国海洋学会海洋工程分会. 第十八届中国海洋(岸)工程学术讨论会论文集(下). 中国海洋学会海洋工程分会,2017:11.
- [29] 唐纳利 C R, 黎刚. 加拿大芬利森坝的拆除[J]. 水利水电快报,2006,27(4):12-15.
- [30] BROWN P H, TULLOS D, TILT B, et al. Modeling the costs and benefits of dam construction from a multidisciplinary perspective[J]. *Journal of Environmental Management*, 2009, 90 Suppl 3(90 Suppl 3):S303-S311.
- [31] CORSAIR H J, RUCH J B, ZHENG P Q, et al. Multicriteria Decision Analysis of Stream Restoration: Potential and Examples[J]. *Group Decision & Negotiation*, 2009, 18(4):387-417.
- [32] EGAN J M, PIZZUTO J E, MALLONEE J D. Geomorphic Effects of Dam Removal on the Manatawny Creek, Pottstown, Pennsylvania[J]. 2001.
- [33] HART D D, JOHNSON T E, BUSHAWNEWTON K L, et al. Dam removal: Challenges and opportunities for ecological research and river restoration[J]. *Bioscience*, 2002, 52(8):669-682.
- [34] 刘咏梅, 蒋买勇. 拆坝对鱼类资源的影响及生态保护修复技术措施探讨[J]. 湖南水利水电, 2013(3):57-59.
- [35] 林育青, 马君秀, 陈求稳. 拆坝对河流生态系统的影响及评估方法综述[J]. 水利水电科技进展, 2017, 37(5):9-15+21.
- [36] 刘咏梅. 浅谈我国退役水库拆除对生态环境影响研究[J]. 中国水运(下半月刊), 2011, 11(1):146-147.
- [37] 向衍, 何勇军, 傅志敏. 大坝的退役评估与河道修复研究初探[C]// 大坝安全与堤坝隐患探测国际学术研讨会. 2005:60.
- [38] SHAFROTH P B, FRIEDMAN J M, AUBLE G T, et al. Potential responses of riparian vegetation to dam removal[J]. *BioScience*, 2002, 52(8):703-712.
- [39] 祁继英, 阮晓红. 大坝对河流生态系统的环境影响分析[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2005, 33(1):37-40.
- [40] 蔡大为. 大坝的发展及其对河流生态环境的影响[J]. 人民珠江, 2015, 36(3):107-110.
- [41] GRABER B. Potential economic benefits of small dam removal[J]. *Dam Removal Research: Status and Prospects*, Washington: W L Graf, 2002.
- [42] SARAKINOS H, JOHNSON S E. Social perspectives on dam removal[J]. *Dam removal research: status and prospects*, Washington, 2003:151.
- [43] BORN S M, GENSKOW K D, FILBERT T L, et al. Socioeconomic and institutional dimensions of dam removals: the Wisconsin experience[J]. *Environmental Management*, 1998, 22(3):359-370.