

DOI:10.3880/j.issn.1006-7647.2017.01.008

美国退役坝拆除背景与原因剖析

胡苏萍,徐灿灿,李弘

(南京水利科学研究院,江苏 南京 210029)

摘要:为全面、客观反映美国退役坝拆除的真实情况,通过文献检索和专题调研,在综述美国退役坝拆除背景及现状的基础上,分析了美国拆坝的主要原因,即环境、安全和经济因素。案例研究表明,美国拆坝旨在消除老化坝的安全风险,恢复溯河性鱼类洄游以及节省无成本效益的开支。水坝退役是水坝生命周期管理中的一个重要阶段,拆坝并不意味着不能建坝,目前水电仍然是美国最大的可再生能源电力来源。美国在水坝退役方面的理念和经验可为我国水库降等与报废管理提供借鉴。

关键词:拆坝;退役坝;河流修复;案例研究;美国

中图分类号:TV698.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2017)01-0043-07

Anatomy of dam removal in the United States of America//HU Suping, XU Cancan, LI Hong (*Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China*)

Abstract: In order to present the actual situation of dam removal in the United States of America(USA) comprehensively and objectively, a reference search and a special survey were carried out. Based on a review of the background and status of dam removal activities, the causes for dam removal in the United States were analyzed, namely environmental, safety, and economic factors. The cases study shows that dam removal in the USA aims to eliminate the safety risk of aging dams, restore anadromous fish migration, and save non-cost-effective expenditure. Dam decommissioning is an important stage in dam lifecycle management. Dam removal in the USA does not operate with the belief that dam construction is unnecessary. Currently, hydropower remains the largest renewable energy source in the USA. The concepts and experience of dam decommissioning in the USA can provide references for reservoir demotion and retirement management in China.

Key words: dam removal; decommissioning dams; river restoration; case study; USA

国际大坝委员会(International Commission on Large Dams, ICOLD)将大坝定义为坝高 15 m 以上,或低于 15 m 但高于 5 m 且库容大于 300 万 m³ 的水坝^[1]。大坝对人类社会和世界经济发展作出了巨大贡献,在防洪、供水、灌溉、发电、航运和娱乐等方面发挥了重要作用,但也对河流生态系统产生了一些负面影响^[2]。世界水坝委员会(World Commission on Dams, WCD)于 2000 年出版了报告《水坝与发展:决策的新框架》^[3],该报告指出了建坝对环境 and 移民的负面影响,倡导建坝的所有利益相关者开展正式的多阶段磋商,并寻求评估水资源和能源开发的替代方案。一些民间环保组织则利用该报告反对水坝建设。

与水坝建设相关的冲突同水坝建设一样,都具有悠久的历史。美国在水坝建设方面处于世界领先地位,同时也是世界上拆坝数量最多的国家。美国

经历了建坝与反坝共存的历史,但资源保护主义与自然保护主义之间的争论并没有影响美国建坝的历史发展进程。目前,美国注册水坝总数为 87 000 多座,而近 100 多年来美国拆坝总数约为 1 150 座。已拆水坝坝高大多在 5 m 以下,且多为低水头非水电坝、退役坝或废弃坝,但也有几座备受关注的水电站大坝被拆除。自 20 世纪 80 年代以来,美国拆坝数量明显增加,但迄今为止仅有极少数坝高超过 15 m 的大坝被拆除。美国拆坝引起了社会舆论和科研人员的关注^[4-5]。随着人们环保和安全意识的增强,我国水库安全退役问题也日益受到重视^[6-7]。

为全面和客观地反映美国退役坝拆除的真实情况,在综述退役坝拆除背景及现状的基础上,分析美国拆坝的主要原因,并进行典型案例研究。调研结果有助于公众理性地认识建坝与拆坝,并可为我国水库降等与报废管理提供借鉴。

1 美国退役坝拆除背景及现状

1.1 美国退役坝拆除背景

美国国家水坝注册数据库 (National Inventory of Dams, NID) 2013 年登记的水坝总数为 87359 座^[8], 其中坝高 60.96 m (200 英尺) 以上的有 478 座, 坝高 4.57 m (15 英尺) 以下的有 18 529 座。美国还有许多体积更小的水坝未登记注册, 据美国国家研究委员会 (National Research Council, NRC) 估计, 美国水坝总数约为 250 万座。

在美国, 水坝作为国家的基础设施具有至关重要的作用, 发挥了多种效益。约 32% 的水坝主要用于休闲娱乐, 17% 主要用于防洪和暴雨管理, 9% 用于灌溉, 仅有 3% 用于发电。19 世纪 80 年代初, 美国开始了人类利用水力发电的历史。20 世纪 50—70 年代是美国建坝高峰期。20 世纪 80 年代, 美国水利基础设施建设日趋完善, 技术经济性较好的理想坝址大多开发完毕。经过 100 多年的开发建设, 美国水电装机容量和水电资源开发率均位于世界前列。此后美国水坝建设和水电开发步伐放缓。

自 20 世纪 60 年代起, 美国颁布了一系列环保法规, 以保护水资源、水环境和濒危动植物, 例如 1968 年颁布的《自然与风景河流法》(Wild and Scenic Rivers Act, WSRA)、1969 年颁布的《国家环境政策法》(National Environmental Policy Act, NEPA)、1972 年修订的《清洁水法》(Clean Water Act, CWA) 以及 1973 年颁布的《濒危物种法》(Endangered Species Act, ESA) 等。早期建设水坝时未考虑水生生态系统的恢复问题, 而现在则成为《清洁水法》中明确规定的一项法律条例。随着人们环保意识的增强, 公众对水坝的生态影响更为关注。环保组织“美国河流”自 1973 年起致力于“通过有选择地拆除那些已没有意义的水坝来修复河流”。

美国在水坝管理和退役方面有专门的部门负责, 定期对水坝进行评估和发放运营许可证。联邦能源管理委员会 (Federal Energy Regulatory Commission, FERC) 负责为大多数非联邦政府所有的水电坝颁发许可证。许可证有效期一般为 30 ~ 50 a, 到期后需要重新申请。1994 年 FERC 发布了一份退役政策声明^[9], 该政策规定 FERC 在重新核发水坝运营许可证过程中有权拒绝业主的换证申请, 并从公共利益出发责令其拆坝。1998 年 11 月 FERC 就拒绝了爱德华兹坝业主的换证申请, 并责令业主拆除该坝。

1.2 美国拆坝现状

水坝退役被定义为完全或部分拆除现有水坝及其相关设施, 或者显著改变水坝的运营^[10]。拆坝在美国并不新鲜, 1912 年拆除的马克特坝是美国最早拆除的水坝, 近年来, 美国拆坝数量快速增加 (表 1)。20 世纪 90 年代, 美国许多早期建设的水电坝进入新一轮的许可证申请程序, 而此时 FERC 又出台了上述新的退役政策, 在此背景下在役水坝面临更加严格的安全和环保审核, 促使拆坝数量增加。

表 1 美国拆坝数量随时间的变化^[11]

拆坝年份	拆坝数量/座	拆坝年份	拆坝数量/座
1915—1925	2	1966—1975	18
1926—1935	2	1976—1985	47
1936—1945	2	1986—1995	147
1946—1955	19	1996—2005	298
1956—1965	3	2006—2014	548

自 20 世纪初开始, 近 100 多年来美国已拆坝数量约为 1 150 座^[12], 其中约 850 座在近 20 年内被拆除。已拆坝大多为小型坝, 在水坝寿命超过其经济使用年限、水坝功能丧失或本身就是病险坝且维修费用高昂的条件下, 拆坝被视为最经济的选择。Poff 等^[13]对 1912—2000 年美国拆坝情况进行统计分析, 结果表明美国拆坝具有以下两个显著特点: ①自 1980 年起拆坝速度加快; ②大多数已拆坝为坝高 5 m 以下的小水坝。

美国拆除的水坝大多修筑在支流或溪流上, 且为年代久远、功能丧失的废弃坝或退役坝, 其中绝大部分是低水头径流式木笼坝或堆石坝。小坝的拆除, 尤其是低水头径流式坝的拆除具有打通鱼类洄游通道和修复河网生态系统等明显的环境效益^[14]。美国拆坝的里程碑事件是 2001 年完成拆除了威斯康星州的巴拉布河系列水坝, 4 座小水坝拆除后使整条河流得以修复。近些年来, 有几座龄期较长、规模较大的混凝土重力坝或拱坝被拆除, 64 m 高的格莱因斯卡因坝是美国迄今为止拆除的最高的大坝。

美国水电坝拆除没有统一的准确信息来源。2009 年 Oldham 从官方渠道 (如美国联邦能源管理委员会和美国陆军工程兵团) 以及非官方渠道 (如斯坦福大学、加州大学伯克利分校拆坝信息资源库、爱达荷国家实验室和环保组织“美国河流”) 搜集到 20 多座美国已拆和拟拆水电坝相关信息^[15], 包括目前已拆除的 38 m 高的康迪特坝、33 m 高的艾尔瓦坝和 64 m 高的格莱因斯卡因坝, 以及计划于 2020 年拆除的克拉马斯河上的 4 座水电坝。

根据 Oldham 提供的已拆水电坝数据可以得出以下结论: ①多数已拆坝坝高 5 ~ 18 m; ②多数水电坝装机容量较小 (0.4 ~ 10 MW); ③水电坝建造年代

较早(拆除时平均龄期为 89 a);④许多水电设施在拆除时已经退役。所有已拆和拟拆水电坝装机容量大约占美国水电装机总量的 0.15%^[16]。

水坝退役流程与建造新坝或其他工程相似,包括审批、环境研究与评估、公众参与、水坝退役的初步和最终设计及施工。在美国拆坝必须获得许可证,旨在确保拆坝安全以及对河流和洪泛区的近期或长期影响最小^[17]。

出于对美国数千座建于 20 世纪三四十年代已接近设计使用寿命的水坝的关注,1997 年美国土木工程学会编制了《大坝及水电设施退役指南》^[18]。美国亨氏中心(The H. John Heinz III Center for Science, Economics and the Environment)在《退役坝拆除的科学及决策》一书中阐明了拆坝可能造成的物理影响、生态影响、经济影响和社会影响,提出了拆坝决策的总体框架,包括以下 6 个步骤:①确定目的和目标;②确定考虑的主要因素;③收集与评估资料;④作出保留或拆除的决策;⑤拆坝;⑥资料收集、评估与监测。小坝拆除的决策过程一般为 2~3 a,而大坝拆除的决策通常需要 10~20 a。

因坝址所在地和监管机构不同,拆坝通常需要获得 3~10 个许可证。拆坝前必须进行泥沙试验和现场监测,完成水文和水力学分析,制定拆坝计划,并采取现场保护措施。此外,许多拆坝项目还需要针对经济、生态、历史/考古、水文地质、河床地貌、泥沙输移、水质、防洪以及基础设施稳定性和环境保护等问题进行分析和研究。由于可用资金有限,拆坝后的监测明显存在不足。为此,联邦政府规定,拆坝项目要获得政府资助必须进行拆坝监测。2007 年缅甸湾海洋环境委员会与美国国家海洋和大气局(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)修复中心编制了《拆坝监测指南》,提出了基于 8 个关键监测参数的拆坝监测框架,以促进拆坝监测标准化。8 个关键监测参数包括标桩断面参数(数量、位置、海拔、距离),河流纵断面参数(高程、距离、水位),河床泥沙粒径分布参数(粒径分布、密度、沉速),拍照站点参数(站点个数、距离、拍照频率),水质参数(温度、溶解氧、电导率),河岸植物群落结构参数(草本层、灌木和幼树层的种类、数量和高度),无脊椎动物参数(多样性、时空分布、种群数量);过鱼评估参数(多样性、时空分布、种群数量)等。综合分析这 8 个关键监测参数,可为确定特定河流对拆坝的物理、化学和生物响应提供有价值的数据。值得一提的是,大坝的拆除不可能原样恢复建坝前的生态环境^[19]。美国地质勘探局约翰·韦斯利鲍威尔中心成立了由联邦机构以及生物学家、

水文学家、地貌学家和工程师等 20 位专家组成的工作组,试图对拆坝的生态和物理响应研究成果进行总结,以评估拆坝这一剧烈扰动的即时和永久影响,并利用 2015 年建成的拆坝科学数据库,分析生物和非生物过程控制及其相互关系。

2 美国拆坝原因分析

随着时间的推移和经济的发展,人们对水坝的安全和环保要求越来越高。当水坝达到一定使用寿命后,部分水坝及水电设施的安全性及经济效益降低,功能逐渐退化。要满足日益增长的安全和环保要求,维修费用势必显著增加。在这种情形下,拆坝就成为处理老化坝或废弃坝的各种安全、经济、生态等问题的一种可行的选择。Pohl^[20]对 20 世纪 70—90 年代美国拆坝的原因进行了统计分析,结果表明,自 20 世纪 80 年代起,美国拆坝数量显著增加,在因安全原因拆坝数量稳步增长的同时,因环境原因拆坝的数量迅速增加。在 20 世纪 70—80 年代,安全是拆坝的首要原因,而进入 90 年代后,环境则跃居为首要原因。目前美国拆坝的主要原因依次为环境、安全和经济因素。

2.1 环境原因

水坝在给人类社会带来巨大效益的同时,也给河流带来一些负面影响。水坝可能会改变河流的化学、物理和生物过程,阻碍鱼类和野生动物的迁移,还可能改变对物种生存和水质起至关重要作用的水温和氧含量。洄游鱼类(如鲑鱼、虹鳟、美洲西鲱、鲈鱼、鲟鱼、大肚鲱、鲱鱼和美洲鳗鱼等)尤其易受损害。许多早期建造的水坝未设鱼道,有些水坝虽然设有鱼梯,但许多洄游鱼类很难找到,或由于鱼梯上水温过高而导致鱼类死亡。水坝是导致美国溯河产卵鱼类减少或完全灭绝的主要因素,尤其是脆弱的鲑鱼种群。美国《濒危物种法》要求恢复洄游产卵的鱼类种群,从而成为美国拆坝最直接的驱动因素之一。FERC 在核发水电坝许可证时,要求必须遵守《濒危物种法》等环境法规。一些水坝许可证到期时,FERC 责令业主增设鱼道,由于成本过高,私有水坝业主往往会考虑拆坝。减少水坝的负面影响,恢复受损的生态系统,包括重建鱼类栖息地和恢复濒危鱼类和野生动物种群,已经成为美国拆坝的一个重要原因。

2.2 安全原因

水坝的设计经济寿命通常为 50 a。适当的维护和更新改造可延长水坝寿命,维护不当则可能缩短其寿命。2013 年美国陆军工程兵团公布的资料显示,目前 NID 中登记的水坝平均运行时间为 55 a。

到 2020 年,使用寿命超过 50 a 的水坝将达到 85%。如果水坝结构受损,则可能增加老化坝的溃坝风险。水坝一旦失事,将给下游造成重大的生命和财产损失。按照美国 1976 年颁布的《水坝安全法》,必须定期对水坝进行检查。然而鉴于设计标准的变化,对水坝的评估往往会要求进行大规模的升级改造。NID 中有 14 726 座坝被确定为高风险坝(溃坝可能造成生命损失);有 12 406 座坝被确定为重大风险坝(可能危及人的生命并造成严重财产损失或环境破坏)。在某些情况下,对上述风险类型的水坝,业主选择拆坝相比投入大量经费进行维修和加固更为简单。消除老化坝或废弃坝的安全隐患以及清除对公众安全的威胁通常是决定拆坝的主要原因。

2.3 经济原因

经济效益降低是拆坝的一个重要因素。美国大多数被拆除的水坝已丧失其原先的设计功能,失去了经济价值,例如东部地区早先用于为磨坊引水或为水车提供动力的水坝,随着磨坊等的拆除,水坝的功能也丧失了。另外,随着水坝的老化,其效率降低,继续运行不再具有经济效益,例如因泥沙淤积和水库库容减小,水坝不再具有足够的发电、供水和防洪效益。为满足安全和环保要求,业主需要花费巨资对水坝进行升级改造或改变水坝运行方式。在经济效益显著下降的同时,维护和修缮费用却大幅增加,业主还必须承担溃坝的潜在经济责任,并缴纳水坝保险费,因此拆坝成为业主现实、合理的选择。另一个影响拆坝的经济因素体现在水力发电与其他可再生能源在经济布局上的变化。美国约有 3 000 座水电坝^[21],虽然大多数水电坝可以盈利,但与太阳能、风能和地热等其他可再生能源相比,少数老化的水电坝不再具有经济可行性。

3 典型案例

3.1 巴拉布河(Baraboo River)系列小水坝

巴拉布河是威斯康星河的支流,从源头至其与威斯康星河汇合点的长度为 175 km。巴拉布河干流的总落差为 46 m,其中 1/3 的水头差(14 m)集中在巴拉布河 7 km 长的急流段^[22]。从 19 世纪早期人们就开始在巴拉布河上建坝,包括 Waterworks 坝、Oak Street 坝、Linen Mills 坝及 La Valle 坝等 4 座坝,主要用于为磨坊、木材和其他加工企业供电,水坝高度为 2.7~6 m,均为低水头径流式水坝,发电量很小。

巴拉布河是威斯康星河鱼类重要栖息地,但水坝建成后,丰富的鱼种逐渐消失。与此同时,建于 1848 年的 Waterworks 坝由于严重退化和泄洪能力不足未能通过安全检查,其他几座坝也存在结构安

全问题。由于水坝维修费用高昂,人们开始考虑拆坝。1998 年首先拆除了 Waterworks 坝,随后在 2000—2001 年又先后将其余 3 座坝拆除,从而使巴拉布河成为当时北美通过拆坝完全修复的较长河流。拆坝 2 a 后,鱼类群落发生了重要变化。在 Waterworks 坝原先坝址处,鱼种从先前 11 种增加到 26 种;水质也有所提升。Oak Street 坝和 Linen Mills 坝附近也观测到类似变化。巴拉布河系列小水坝的拆除不仅消除了安全风险,还恢复了鲟鱼和其他鱼类的栖息地,改善了水质,并增加了漂流、垂钓等娱乐休闲机会。

3.2 爱德华兹坝(Edwards Dam)

缅因州肯纳贝克河上的爱德华兹坝建于 1837 年,坝高 7.3 m,坝长约 280 m,为木笼填石结构,装机容量为 3.5 MW。爱德华兹坝主要用于航运和为锯木厂供电。19 世纪中期,驳船运输逐渐被铁路运输取代,随后锯木厂也关闭,爱德华兹坝丧失了其最初的功能。1993 年,爱德华兹坝 30 a 的运营执照到期,业主向 FERC 申请新的 30 a 运营期,并申请将爱德华兹坝的装机容量从 3.5 MW 提高到 11 MW。按照重新核发运营许可证的程序,必须对环境影响进行评估。

1996 年初 FERC 发布了环境影响报告草案,拟同意为爱德华兹坝发放许可证,但要求为 7 种保护鱼类建造鱼道。而由 4 个非盈利环保组织组成的肯纳贝克河联盟则提出应将拆坝作为优先选择。进一步研究表明,拆坝可确保 9 种洄游鱼类进入原产卵栖息地,而建造鱼道的费用比拆坝费用高 1.7 倍以上。为此,1997 年 FERC 发布了爱德华兹坝最终环境影响报告,并于 1998 年否决了业主的换证申请,责令拆坝。

运行时间长达 160 多年的爱德华兹坝于 1999 年被拆除,拆坝总费用约为 300 万美元^[23]。通过拆坝恢复了 27 km 长的洄游鱼类产卵场和养育栖息地,恢复的激流与浅滩创造了多样化的生态环境,并提供了更多娱乐休闲机会。在拆坝数月后,野生动植物和水生昆虫数量显著增加,沿河可见灭迹多年的鸟类,肯纳贝克河中出现了数十种洄游鱼类。爱德华兹坝是 FERC 违背业主意愿强令拆坝第一例,这表明河流的非动力价值,如环境、娱乐、鱼类和野生动物多样性等在决策过程中也同样受到重视。

3.3 爱德华堡坝(Fort Edward Dam)

建于 1898 年的爱德华堡坝位于哈德逊河上,是一座用于水力发电的小型木笼坝,坝高 9.45 m,坝长 178.61 m,库容约为 24.06 万 m³,装机容量为 2.85 MW。1969 年业主尼亚加拉莫霍克电力公司对老化的爱德

华堡坝进行了工程评估,得出该坝已构成公共安全隐患的结论。研究表明,更换设施和继续发电已不再具有经济性。业主认为退役是解决爱德华堡坝安全问题的最符合成本效益的方法,为此拟定了拆坝计划,预计坝后泥沙量很少,泥沙和散落的材料需要在拆坝前清除。在获得联邦和州政府相关机构的许可后,于1973年夏季拆除了爱德华堡坝。利用重型机械清除了填满石头的木笼坝、2600 m³ 泥沙、发电机组和混凝土溢洪道等。拆坝费用为46.4万美元。

由于未能对坝后泥沙量及其成分进行深入的分析,拆坝后不久就引发了严重的水质和航运问题。在排放至下游的泥沙中发现了多氯化联(二)苯,这种化学物质来源于爱德华堡坝上游的电气制造厂,拆坝导致积聚在坝后的含有污染物的泥沙突然排放,对河流生态系统造成了灾难性影响,致使纽约州于1976年禁止在哈德逊河捕鱼;未经处理的污水排放对公众健康也构成了风险;排放至下游的泥沙严重阻塞了哈德逊河绝大部分航道、1座码头、几个工业区以及其他下游区域;河槽容量和过水能力下降还增加了洪水风险。

为恢复航运和保持航道畅通,同时减小洪水风险,进行了大规模的泥沙疏浚,1974—1976年泥沙疏浚量为47万m³,在随后几年中定期进行小规模疏浚,以确保航运正常运行。为解决水质问题,采取了大规模的清理和修复措施,持续对泥沙进行取样和监测。1977—1978年,纽约州从河中清除了约14万m³含污染物的泥沙。1982年环境保护署(Environmental Protection Agency, EPA)发布了最终环境影响报告,确定了进一步的补救工作,并于1983年宣布通过联邦超级基金予以支持。爱德华堡坝是美国拆坝史上值得深思的反面教材。

3.4 康迪特坝(Condit Dam)

康迪特坝位于华盛顿州怀特萨蒙河与哥伦比亚河交汇处上游约5.3 km处,建于1912—1913年,为混凝土重力坝,坝高38 m,坝长144 m,装机容量为14.7 MW。1991年康迪特坝业主太平洋电力公司开始申请新的许可证,一些组织和团体(包括“美国河流”)以康迪特坝切断鲑鱼和北美鳟鱼迁移通道为由要求拆坝。1996年11月FERC发布了康迪特坝最终环境影响报告,要求业主设置鱼梯和过鱼显示屏,并要求增加河道流量。康迪特坝初始设计中包括鱼梯,但在运行早期被洪水冲毁2次。若增加河道流量,必然会减少发电量。要获得新的许可证,就必须建造鱼梯,费用约为1亿美元。高昂的费用使康迪特坝继续运行不再具有经济效益,1999年太平洋电力公司与有关机构和利益团体签署了同意拆除

康迪特坝的协议,康迪特坝退役和拆除总费用估计为3500万美元。

2011年10月开始拆除有近100年历史的康迪特坝,首先通过爆破在坝底附近炸出1个4 m宽的孔洞^[24],随后开挖了1条穿过康迪特坝的27 m长的排水隧洞,2012年8月底完成整个坝体拆除工作,为鲑鱼和北美鳟鱼迁移打开了53 km长的通道。

3.5 艾尔瓦坝(Elwha Dam)和格莱因斯卡因坝(Glines Canyon Dam)

艾尔瓦坝和格莱因斯卡因坝位于华盛顿州奥林匹克半岛的艾尔瓦河上^[25]。艾尔瓦坝建于1910—1914年间,为混凝土重力坝,坝高33 m,坝长140 m,装机容量为14.8 MW,该坝形成了4.5 km长的艾德威尔人工湖(Lake Aldwell),原始库容约为999.54万m³。格莱因斯卡因坝位于艾尔瓦坝上游13 km处的奥林匹克国家公园内,建于1926—1927年间,为混凝土拱坝,坝高64 m,装机容量为13.3 MW,该坝形成了4 km长的米尔斯湖(Lake Mills),原始库容约为4997.70万m³。2座水库主要用于发电,不具有防洪和供水功能。艾尔瓦坝和格莱因斯卡因坝均未设鱼梯,因此隔断了几种濒危鱼种在艾尔瓦河上游源头的产卵场。

1992年美国国会通过了《艾尔瓦河生态系统和渔业恢复法案》,要求内政部恢复艾尔瓦河生态系统和当地渔业。内政部确定拆坝是唯一选择,并于2000年斥资2950万美元购买了原为私人所有的艾尔瓦坝和格莱因斯卡因坝,2007年开始申请为期10 a的拆坝许可证。审核机构包括美国陆军工程兵团、美国环境保护署和华盛顿州生态署。截至2010年7月,2座水库中的泥沙淤积量约为1800万m³,占原始总库容的31%,其中1500万m³的泥沙淤积在米尔斯湖中。为缓解拆坝时的泥沙影响,兴建了确保水质和防洪的配套工程,包括污水处理厂、新水井、地表水取水口,并加高和新建防洪堤。

2011年9月,历时3 a的艾尔瓦河拆坝工程正式启动,拆坝采用分期拆除的方法。在拆坝和降低水库水位时,利用河流将水库泥沙冲刷至下游,在河口形成栖息地,重建河口海滩,但在鱼类洄游的关键时期则会限制水库泥沙向下游排放。2012年3月艾尔瓦坝拆除完毕,之后又拆除了格莱因斯卡因坝,从而恢复了113 km长的鲑鱼和虹鳟栖息地。艾尔瓦河拆坝工程是美国最大的拆坝项目。包括2座水坝拆除费在内的艾尔瓦河恢复项目总费用高达3.25亿美元。64 m高的格莱因斯卡因坝是美国乃至世界上迄今为止拆除的最高大坝。

3.6 圣克莱门特坝(San Clemente Dam)

圣克莱门特坝位于卡梅尔河(Carmel River)河口上游30 km处,建于1921年,为混凝土拱坝,坝高32 m,主要用于供水。卡梅尔河与圣克莱门特溪(San Clemente Creek)恰好在坝的上游处汇合。圣克莱门特坝建成时的库容约为175.85万m³,但到2008年库容仅为8.64万m³,水库中的泥沙淤积量约为191万m³[26]。圣克莱门特坝已不再具备其原先的供水功能。此外,自该坝建成之后,卡梅尔河中的虹鳟数量急剧减少,与1950年相比,虹鳟数量下降了90%。

20世纪90年代早期,加利福尼亚州水资源局针对大坝结构安全进行的研究表明,圣克莱门特坝在最大可信地震或最大洪水条件下,可能遭受严重的结构破坏,导致水库潜在损失,威胁下游生命和财产安全。为此加州大坝安全部要求采取措施确保圣克莱门特坝符合现行的抗震和防洪安全标准。2006年加利福尼亚州水资源局发布了圣克莱门特坝地震安全项目环境影响报告草案,该报告对解决安全问题的各种方案进行了评估,其中包括大坝加固方案以及卡梅尔河改道拆坝方案。加固水坝可以解决公共安全的问题,但无法解决相关的环境问题。为此美国加利福尼亚州海岸保护部、美国国家海洋和大气管理局等机构与大坝业主(美国加利福尼亚州水务局)就合作实施卡梅尔河改道拆坝方案进行了可行性研究。2007年加利福尼亚州水资源局发布了圣克莱门特坝地震安全项目环境影响最终报告,确认卡梅尔河改道拆坝方案可以解决大坝安全问题。

如何处理在过去90多年中淤积在水库中的大量泥沙是拆坝面临的巨大挑战。最终利用现场独特的地形,让卡梅尔河改道0.8 km,流入圣克莱门特溪,将原先的河段作为永久泥沙存储区,从而最大程度减少泥沙开挖和运移工程量,并相应减少工程费用和环境影响。卡梅尔河改道及圣克莱门特坝拆坝项目于2013年开工,2014年6月开始挖掘新的河道,计划于2016年底完成拆坝和栖息地修复。该项目旨在消除老化坝的公共安全风险;为濒危虹鳟提供40 km长的重要产卵场和栖息地;恢复河流泥沙自然输移,以补充卡梅尔海滩的泥沙;减少海滩侵蚀,确保房屋、公路和基础设施的稳定性;重建卡梅尔河下游与坝上游地区的连通性;以及改善加利福尼亚州红腿蛙的栖息地。该项目是加利福尼亚州最大的拆坝项目。

4 思考及启迪

美国是世界上拆坝数量最多的国家,近100年

来拆坝总数约为1150座,已拆坝大多数为小型坝,迄今为止仅有很少的高坝被拆除[27]。拆坝并不意味着不能建坝,拆坝只是水坝生命周期管理中的一个环节。据美国陆军工程兵团公布的资料,2009—2012年间美国建坝数量约为350座。2015年4月美国能源部发布了《2014年水电市场报告》,首次对美国水电分布、产能与发展现状进行定量评估[28]。截至2013年12月美国水电装机容量为79.64 GW,约占美国总装机量的7%(不包括抽水蓄能电站21.6 GW),水电仍然是美国最大的可再生能源电力来源。

美国退役坝拆除的目标是多方面的,包括恢复溯河性鱼类洄游,减少生境碎化和改善纵向连通性,消除老化坝的安全风险,以及节省无成本效益的开支等。目前美国拆坝的主要原因依次为环境、安全和经济因素。20世纪90年代以后,环境成为美国拆坝的首要原因。

泥沙管理是拆坝时需要解决的一个重要问题,特别是在泥沙含有污染物的情况下,该问题尤为重要,爱德华堡坝拆除案例就是典型的反面教材。另外拆坝导致水库附近地下水位下降以及溶解气体过饱和的问题也应予以足够重视。拆坝后河流水文和泥沙运动方式发生变化,改变了原有水生环境和生态系统,有些变化对于修复生态系统具有积极作用,但也可能因考虑不周或处理不当造成一些负面影响。拆坝对水生生态系统影响的预测还存在一定的不确定性,需要加强拆坝前和拆坝后的监测工作以及相关的科学研究。

据第一次全国水利普查结果,我国现有总库容10万m³及以上的水库98002座[29]。目前我国水坝安全管理模式正由传统的工程安全管理向风险管理转变,以前我国主要采用工程措施处理风险,但如今已认识到非工程措施在风险处理中的重要作用,如水库降等与退役[30]。从我国国情出发,借鉴美国在水坝退役方面的理念和实践经验,水利部于2013年10月发布了SL605—2013《水库降等与报废标准》,以指导和规范已建水库的管理。我国大多数已建坝通过适当维护、除险加固或更新改造,可以持续为经济社会发展发挥重要作用;但对病险严重、除险加固技术不可行或经济不合理、功能丧失的小型坝或老化坝,可以通过科学评估有计划地降等、退役和拆除。新建坝则应统筹规划,重视保护自然和生态环境,探索出一条适合我国国情的水利可持续发展之路。

参考文献:

[1] 斯卡德 T. 大坝的未来[M]. 北京:科学出版社,2008.

- [2] 汪恕诚.论大坝建设与生态环保的关系[J].中国三峡建设,2004(6):4-10.(WANG Shucheng. On dam construction and ecological protection[J]. China Three Gorges Construction,2004(6):4-10.(in Chinese))
- [3] 世界水坝委员会.水坝与发展:决策的新框架[R].北京:中国环境科学出版社,2005.
- [4] 王正旭.美国水电站退役与大坝拆除[J].水利水电科技进展,2002,22(6):61-63.(WANG Zhengxu. Retirement of hydroelectric facilities and dam removal in US[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources,2002,22(6):61-63.(in Chinese))
- [5] 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.(PENG Hui, LIU Defu, TIAN Bin. The status quo analysis of dam removal in the world[J]. China Rural Water and Hydropower,2009(5):130-135.(in Chinese))
- [6] 刘宁.21世纪中国水坝安全管理、退役与建设的若干问题[J].中国水利,2004(23):27-30.(LIU Ning. Issues related to safety management, abandonment and construction of dams in 21st century in China[J]. China Water Resources,2004(23):27-30.(in Chinese))
- [7] 韩丽红,吴文强,杨宝中,等.国内外水库降等与报废管理现状与启示[J].华北水利水电大学学报(自然科学版),2014,35(2):39-42.(HAN Lihong, WU Wenqiang, YANG Baozhong, et al. Status and enlightenment for the demotion and retirement management of domestic and overseas reservoirs[J]. Journal of North China University of Water Resources and Electric Power (Natural Science Edition),2014,35(2):39-42.(in Chinese))
- [8] U. S. Army Corps of Engineers. National inventory of dams (NID)[R]. Alexandria:U. S. Army Corps of Engineers, 2013.
- [9] BOWMAN M B. Legal perspectives on dam removal[J]. BioScience,2002,52(8):739-747.
- [10] U. S. Society on Dams. Decommissioning of dam projects-issues to be considered[EB/OL]. [2015-07-17]. <http://www.ussdams.org/c.decom.html>.
- [11] O'CONNOR J E, DUDA J J, GRANT G E. 1 000 dams down and counting[J]. Science,2015,348:496-497.
- [12] LOVETT R A. Dam removals: rivers on the run[J]. Nature,2014,511:521-523.
- [13] POFF N L, HART D D. How dams vary and why it matters for the emerging science of dam removal[J]. BioScience, 2002,52(8):659-668.
- [14] 美国亨氏科学、经济及环境中心.退役坝拆除的科学决策[M].蔡跃波,译.北京:中国水利水电出版社,2008.
- [15] OLDHAM K. Decommissioning dams-costs and trends[J]. International Water Power & Dam Construction,2009,61(2):30-35.
- [16] 林初学.美国反坝运动及拆坝情况的考察和思考[J].中国三峡建设,2005(增刊1):44-57.(LIN Chuxue. Investigation and thinking about the anti-dam campaign and dam removal in USA[J]. China Three Gorges Construction,2005(Sup1):44-57.(in Chinese))
- [17] 汪秀丽,董耀华.美国建坝与拆坝[J].水利电力科技,2006,32(1):20-41.(WANG Xiuli, DONG Yaohua. Dam construction and dam removal in USA [J]. Water Resources and Electric Power,2006,32(1):20-41.(in Chinese))
- [18] 美国土木工程协会能源分会水电委员会.大坝及水电设施退役指南[M].马福恒,译.北京:中国水利水电出版社,2010.
- [19] 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.(XIANG Yan, SHENG Jinbao, YANG Meng, et al. Impacts on ecological environment due to dam removal or decommissioning [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering,2008,30(11):1758-1764.(in Chinese))
- [20] POHL M M. Bringing down our dams:trends in American dam removal rationales[J]. Journal of the American Water Resources Association,2002,38(6):1511-1519.
- [21] BERG B V. The emergence of dam removal in river management policy: lessons from the Elwha River Restoration Project[D]. Sweden:Lund University,2012.
- [22] STANLEY E H, LUEBKE M A, DOYLE M W, et al. Short-term changes in channel form and macroinvertebrate communities following low-head dam removal[J]. Journal of the North American Benthological Society, 2002, 21(1):172-187.
- [23] American Rivers, Friends of the Earth, Trout Unlimited. Dam removal success stories[M]. Washington, D. C.: American Rivers,1999.
- [24] INGRAM E A. Exploring the reasons behind dam removal [J]. Hydro Review,2012,31(3):18-24.
- [25] RANDLE T J, BOUNTRY J A, WILLE K B. Elwha River restoration:sediment modeling[C]//World Environmental and Water Resources Congress 2012. Albuquerque: American Society of Civil Engineers,2012:2578-2592.
- [26] BLAIR S. Creative dam removal based on sites unique topography[J]. Engineering News-Record,2013,271(1):11.
- [27] de GRAFF J V, EVANS J E. The challenges of dam removal and river restoration [M]. Colorado: Geological Society of America,2013.
- [28] URÍA-MARTÍNEZ R, O'CONNOR P W, JOHNSON M M, et al. 2014 Hydropower market report[R]. Oak Ridge: U. S. Department of Energy,2015.
- [29] 李宏恩,李铮,何勇军.水库工程病险成因典型实例分析[J].水利水电科技进展,2014,34(6):66-69.(LI Hongen, LI Zheng, HE Yongjun. Typical case study on danger cause of reservoir engineering [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2014, 34(6):66-69.(in Chinese))
- [30] 顾冲时,苏怀智.混凝土坝工程长效服役与风险评定研究述评[J].水利水电科技进展,2015,35(5):1-12.(GU Chongshi, SU Huaizhi. Current status and prospects of long-term service and risk assessment of concrete dams [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources,2015,35(5):1-12.(in Chinese))

(收稿日期:2016-04-03 编辑:骆超)