



# 拆除「水坝」

## 能恢复河川生态吗？

□ 编译 / 刘辉 供图 / 税晓杰

全球有许多水坝面临拆除的命运，当地河流和生态系统可望因此复原，但背后隐藏的生态问题，却已经超出科学家的掌控！

20世纪初，美国亚利桑那州沙漠中的化石溪是一条由泉水汇流成的水道。这条野溪和茂盛的河岸生态系，吸引了鱼类和一大群无法在其他环境生存的动物、植物，这条河流和周边环境也吸引着拓荒者与移民

迁移至美国西南部。1916年，工程人员在化石溪兴建水坝，沿着陡峭山坡修筑渡槽，将河水导向两座水力发电厂，不仅供应采矿作业所需的电力、带动亚利桑那州的经济成长，也帮助了凤凰城的快速扩展。但是到了2001年，由化石溪发电厂提供的电力却不到亚利桑那州电力供应量的1%。

近两年前，这两座发电厂关闭

了，而另一项实验计划随之展开，2005年夏天，发电厂工人拆除了水坝及渡槽，使河水流回22.5公里长的化石溪河床，这河床已经将近一个世纪不曾有过这么多的水流，于是细流汇集成瀑布，淤滞的浅滩成了碧绿的水塘。科学家目前正在追踪这个生态系，看看长久历经生态演替的区域是否能够复原，以及原生鱼类与植物能否再次生存下来，他们





日本东京,有“梦幻之鱼”之称的伊富鱼,数量在过去30~40年中减少了98~99%,并极有可能灭绝。调查指出,北海道的水坝建设工程、以及河流的水质污染等问题很可能是造成伊富鱼生存状态更大程度的恶化的原因。

供图/CFP

也在密切注意是否会出现计划中没有预料到的生态后果。

当水坝的建筑结构老旧、对当地提供的电力无足轻重,或是变得不安全、维修成本太高,当地居民决定使河流复原、鱼类回来时,让水坝退役(尤其像化石溪这种小型水坝)就会成为常见的事。但仅仅移除水坝,并不代表经过长期更替的生态系统就能自动恢复繁盛,所有自然界的事物都一样,现实的情况远比人们预期的还要复杂,我们曾目睹水坝移除后留下许多意外的后果,如今必须运用这些知识,降低拆除水坝将带来的负面影响。



坝退役,已成全球趋势

目前全世界约有80万座水坝仍在运作,其中有45000座高度超过15公尺的大型水坝,这些水坝多数是

在上个世纪(主要在第二次世界大战以后)兴建。水坝带来的利益相当明显,水力发电占全球电力供应量的20%,与其它发电来源相比,是干净、可再生的能源;水坝可以防洪,而水库能提供可靠的水源,供灌溉、饮用水及游憩之用;有些水坝还能稳定水流,帮助船只航行。

不过,兴建水坝的代价也是显而易见的,为了筑坝,居民必须搬迁,因此在开发中也造成越

来越多的争议,坝体不仅破坏景观、拦截淤泥(为三角洲、河岸及海滩所需)、阻挡洄游鱼类的行进,更摧毁水道内及水道周围的生态系统。自然保护人士反对水坝的历史由来已久:美国的“国家公园之父”缪尔曾试图阻挡在优胜美地赫奇赫奇峡谷兴建水坝;环保作家艾比在小说《猴子歪帮》中,亦曾描述一帮人针对亚

利桑那州的格兰峡谷水坝进行游击式破坏行动。近年来,大众已普遍认识到水坝带来的负面效应,于是几个利害关系团体,包括公用事业部门主管、管理机构、政策制定者、保育人士、原住民、研究者以及一般民众,已经组成团体,为老旧水坝的退役而奋战。

在美国,用来水力发电的水坝,每30~50年必须重新申请许可,近10年来,水坝拆除的速度已超过兴建的速度,光是前两年,就有约80座水坝拆毁,研究人员希望藉由这股趋势,未来可拆除更多水坝,特别是小型坝。虽然美国在这方面的努力领先各国,但不是只有美国这么做,像法国已经拆除罗亚尔河谷的水坝,而澳洲、加拿大和日本也已经在进行或规划水坝的移除。

上述成功的例子也激励了更多移除水坝的行动。在

1999年,工程人员拆除了位于缅甸肯纳贝克河的

爱德华兹水坝,这是经过

环保人士长期抗争后,才使美国联邦能源管理委员会最后拒绝换发该水坝的许可证。水坝拆除后的几年之内,生物学家惊喜地观察到许多动物都回来了,包括条纹鲈鱼、灰西鲱、美洲西鲱、大西洋鲑鱼、鲟鱼、鸚、翠鸟、鸬鹚和白头海鵰。他们也发现河水的通气性良好,重要的食物链昆虫像是蜉蝣、石蝇和石蛾的



族群数都增加了。罗亚尔河谷也上演了类似的故事。19世纪时,这里鲑鱼的数量还相当丰富,每年约有10万尾会洄游至此,但是到了1997年,共计只有389尾鲑鱼循此路线洄游。虽然水坝设有鱼梯及升降梯式鱼道的构造,然而沿着罗亚尔河与其主要支流修建的八座水坝,连同它们使用的涡轮机与抽水机,早就杀害了大批的鲑鱼族群。因此,包括欧洲河流网等非政府组织便发起让鲑鱼回乡的运动。为了响应此活动,法国政府让四座水坝除役,1998年有两座、2003年及2005年各有一座,在移除每座水坝后的数月内,有五种鱼类(包括大西洋鲑和西鲱)开始重新建立过去的洄游路线。

而多数水坝移除后的地点,重演发生着肯纳贝克河及罗亚尔河的故事:当河水流回河床,河水的清澈度与含氧量都增加了,水生昆虫也重新繁衍起来,温暖的停滞水从原本的水坝后方流下,喜欢生存在停滞水中的鱼类(例如非原生的鲤鱼)也跟着游出,当水流更顺畅时,水温下降,冷水鱼类(比如鳟鱼)的数量就开始激增,此时原本易于排挤其它鱼类的鲤鱼族群,数量也渐渐减少,有时甚至会完全消失,人们与动物群和植物群,都能再度享受河流的恩泽。从威斯康星州(美国率先拆除小型水坝的一州)到澳洲的新南韦尔斯,生物学家已经观察到移除水坝的好处,甚至在不拆除水坝的情形

下让部分的河水流回河川,都有正面效益。



## 淤泥易造成水道污染

生物学家也记录了先前未曾预料到的问题。拦堵在水坝后方的淤泥一旦释出,就会阻塞水道,使环境变得污浊,杀死鱼类的重要食物来源——昆虫及藻类。这些污浊物也会破坏滤食动物的栖息地,像淡水贻贝,有时藏在水坝建筑结构中的污泥甚至充满许多污染物。1973年,工程人员拆除哈德逊河上的爱德华兹堡水坝时,下游的鱼类体内的多氯联苯浓度开始增加,多年后仍居高不下,时至今日,美国政府仍未开放捕捞条纹鲈鱼,就是因为鱼体中的多氯联苯浓度偏高之故。

淤泥未被冲刷至下游也会带来问题,因为这些沉积物极可能藏着有害的外来种植物种子,淤泥变干后会变成适合这些植物生长的沃土。来自欧亚大陆的利甘草就是一例,在威斯康星州的橡树街水坝移除后,利甘草生长繁盛,即使生态恢复学家在原地播下原生种的牧草种子,利甘草却仍占竞争优势,布满该地。

在某些案例中,水坝会阻挡入侵种往上游移动,使他们无法进入水坝上游。例如,化石溪上的水坝阻止了外来鱼种的前进,像鲈鱼与翻车鱼,因此水坝上游成为西南部濒临

绝种鱼类的庇护所,包括小型鲤鱼和斑纹鲈鱼,而水库也成为当地濒危物种北美豹蛙的栖地。

移除水坝也会对附近居民带来危险。在某些地区,防洪是相当重要的工作,政府必须在水坝可能坍塌前,设计出安全对策。以罗亚尔河盆地为例,当地政府把天气型态、降雨量和河川水位等数据计算机化,以便在洪水发生前的四小时发出洪水警报,工程人员也重新针对河床做拓宽与加深的设计,使罗亚尔河流域的水流流动更顺畅无阻,但不至于溢出河岸。

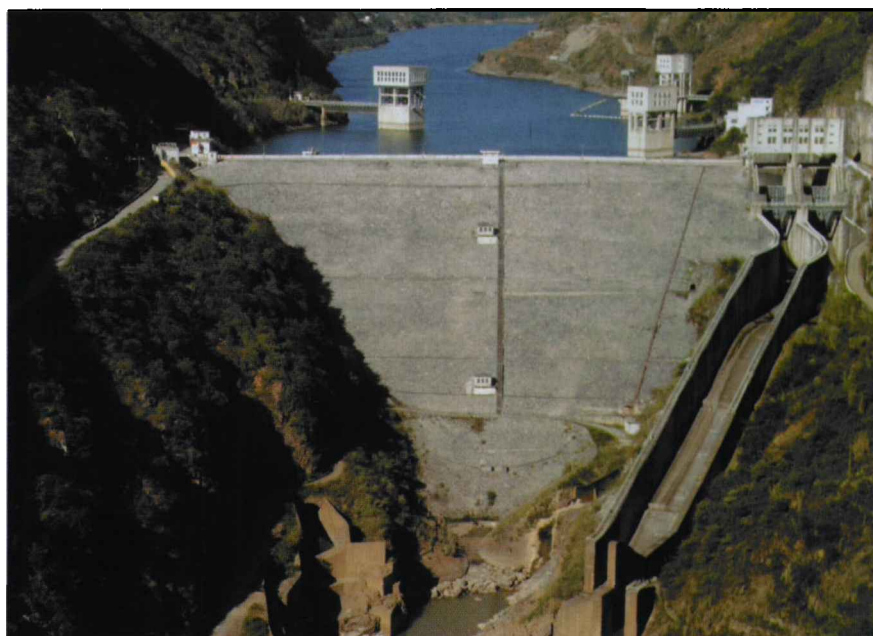
想要使水坝移除的损失降至最低,化石溪恢复计划可做为这类规划的主要案例,研究者透过谨慎的规划,控制作业进行时可能产生的不利后果,他们主要的考虑包括:如何处理淤积的泥沙、是否将化石溪当作原生鱼种的鱼场进行管理(这表示可能要排除外来鱼种),以及如何保护以水库为栖地的蛙类。工程人员最后决定在水坝周围另辟水道,做成一道隔开外来种的屏障,使这些蛙类得以在屏障后的水域生存。

此外,生物学家对原生鱼种的管理态度更为积极,他们尽可能从溪中捕捉原生鱼类,将他们空运到水池中,接着在溪里洒上鱼毒,使外来种死亡,一旦这些毒都散去后,再把原生鱼类放回溪中,接着美国垦务局在现存的水坝下方12公里远

的地方筑起栅栏,进一步防止外来种入侵,现在管理者正在观察化石溪里的生物会如何应变。水坝的命运将在2010年裁决,假如豹蛙能在下游重建栖地,外来鱼种也不再入侵,水坝就可以拆除;如果不是这样,管理者会降低水坝的运作,但不会移除水坝。

有趣的是,化石溪的恢复工作还包含兴建更多水坝,只不过这些水坝是以石灰华为建筑原料,这是富含碳酸钙的泉水与藻类交互作用所形成的天然石灰岩层,这些挡墙会制造出小型的深水池,成为各种鱼类和昆虫理想的栖地,同时也会拦截落叶层,这是河中生物重要的食物来源;在兴建的人工水坝中,这些落叶会被永远挡在水坝后,从此排除食物链之外。

拆除水坝时,堵在水坝后的淤泥确实是关键变量,管理者常要面对的最大难题是:如何对付大量淤积又不知道里面有什么的泥土和碎屑。鉴于哈德逊河下游曾释出残留的多氯联苯,科学家现在会定期检验这些淤泥的毒性,如果淤泥中含有高浓度的污染物,则必须将移走这些污泥所需的花费(尤其是移到远处时),与水道对沉积物的冲刷能力加以比较;假如淤泥量太高,河流冲刷能力却很低,工程人员可能会选择分阶段进行水坝移除工作,每次只释出少量的淤泥,工程人员有时会在水库建立排沙隧道、种植植物以



没有一个建设会百密而无一疏,没有一个工程有百利而无一弊。

稳固泥土,或者放置物理屏障,例如岩石或暂时的围栏等,将泥沙固定在一定的位置。

在化石溪,约有19000立方公尺的淤泥堵在水坝后面,地质学家和其他学者预测,在10年内,河流会自然地这些淤泥冲刷至下游,而不致于带来不良影响。因此该计划也无须考虑搬运大型机器到荒野地区的花费以及对环境造成负面冲击等问题。

然而,水库淤泥在其它地区却引发很大的问题,加州南部马蒂利加溪上的马蒂利加水坝,约有460万立方公尺的淤泥堵在水坝后面(事实上,因为这么大量的泥沙淤积,水坝无法蓄水供灌溉或饮水之用),同时,下游河岸却面临泥沙不足的窘境:它们非常需要泥沙来阻挡风雨不断的侵蚀。



## 泥沙发挥原有的功能

马蒂利加水坝预定在2009年“退役”,而且管理者已经设计出一份如何处理沉积物的计划,他们打算将细碎的淤泥从水坝后方以泥浆管运送到下游5~11公里处,从那里开始,马蒂利加溪就能在洪水爆发时将这淤泥重新分配到不同的位置,形成河岸或沙洲,至于已经在河川上游累积的较大或粗颗粒的沉积物,则留置在原地。不过,工程人员会将那里的河道重新规划得更自然蜿蜒,这样能使泥沙落定、重建河岸,有更好的防洪效果。

在化石溪和其他地方,管理者和科学家正运用所有可得的信息,包括水坝移除、生态恢复以及对整





中国是世界上计划或正在修建水坝数量最多的国家,如果无序的水坝建设继续破坏百鳍豚和一些濒危水鸟的栖息地,我们将可能永远失去这些宝贵的物种。

个流域的了解,以做出决策。但是,我们对于生态系统的相关知识仍有许多不足,而正在处理水坝退役的工作人员,也认知到他们正进行着的长期实验,可能有预料之外的结果,例如,化石溪就是第一个移除外来鱼种的计划,如果成功的话,这个方法就可当成例行的处理模式,特别是可运用在允许使用化学药剂的小型溪流中。

在化石溪,我们的研究团队正记录着河川恢复的过程,对于许多没有答案的问题,我们希望把焦点放在下一个5~10年:原生鱼种能否在没有外力干预的情况下繁衍?外来鱼种会回来吗?在化石溪的故事里,有一个有趣但有疑问的转折,就是用来移除外来鱼种的化学药物,并不会对美国鳌虾造成危害,这些外来种因造成食物链大混乱而恶名昭彰,而过去有外来鱼种会吃掉美国鳌虾,使这些甲壳动物的族群数下降,所以现在很可能让情况逆转。此外,当化石溪复原时,游客的人数会跟着增加,河流沿岸也会修筑更多的步道,管理者现在就必须拟出规则,要让游客进入,但也要能保护脆弱的生态系统。

研究者正运用计算机仿真进行室内的研究,位于明尼苏达州的美国国家地表动力学研究中心,已制出一座溪流、水坝和水库的小型生态系统模型,研究者使用微速定时摄影术来测定当水坝以不同的方式移除

时,沉积物会如何往下游移动,而且可以移动到何种不同的程度。



## 水坝建筑设计下手

许多过去致力于兴建水坝的工程人员,现在却发现自己投身在如何拆除水坝的工作中,美国政府机构如垦务局和陆军工兵团,以及欧洲类似的单位,都不只在研究如何移除水坝,也设法从建筑结构中取其利而避其害。例如,如何在不需建造阻挡物的情形下引出河水。为了响应世界水坝委员会在2000年提出的报告,工程人员也设法在未来水坝结构的原始设计图中,一并将水坝的退役纳入考虑。

社会大众会继续比较赞成与反对兴建水坝双方的意见,并衡量水坝的使用效益与破坏的代价,而科学家也必须持续研究如何以最佳的办法来移除水坝,才能使自然生态系统和人类社会都能繁衍。接下来的几年内,几座大型水坝的退役将进而提供人们更重要的知识。2009年,华盛顿州的奥林匹克国家公园有两座水坝会被拆除,分别是高约64公尺的葛莱恩斯峡谷水坝,以及高约33公尺的艾尔华水坝,这两地的科学家都在搜集有关鲑鱼、硬头鲈,还有水中含氧量、昆虫族群数以及沉积物含量等基准数据。日本的荒瀨水坝即将在2010年拆除,以回应公民运动者长期以来的抗争,因为

他们对于水质不良及渔业衰退感到忧心。而澳洲准备在莫科恩湖的水坝移除后,将7900公顷的湖泊再度变回湿地。法国则考虑让罗亚尔河谷的第五座水坝退役。

在多数水坝退役的例子中,各种争论也随之而起,某些争议甚至始料未及。在罗亚尔河流域,有对父子的意见最后是分道扬镳的,父亲记得的是在原始河流里有鲑鱼悠游,而儿子的成长回忆则是在水库里游泳与划船。在化石溪的例子中,当地小区想要把柴尔兹-尔文发电厂的设备保存下来,这座电厂是由当时少数几位女性建筑师之一的塔特兴建,而由好几代的工程人员来维护,他们与家人就定居在当地,由于这座电厂具有重要的文化意义,因此电厂的保存也成为复原计划的一部分。

另外,当澳洲新南韦尔斯州的威灵顿水坝拆除时,也发生同样的情况,2002年,当地的州立水公司已确定在横跨布许瑞志溪处保留一公尺高的建筑(并未留出水口),如此大众将铭记该水坝是在1898年兴建。以这些折衷处理方式,加上科学家对生态更透彻的了解,以及越来越精巧的建筑设计来看,要让世界上的水道最后满足所有相关者的期望似乎是有可能的,从电厂到人都是如此。■

(责编 潘亚文 胡艳)