



艾尔瓦河的经验教训

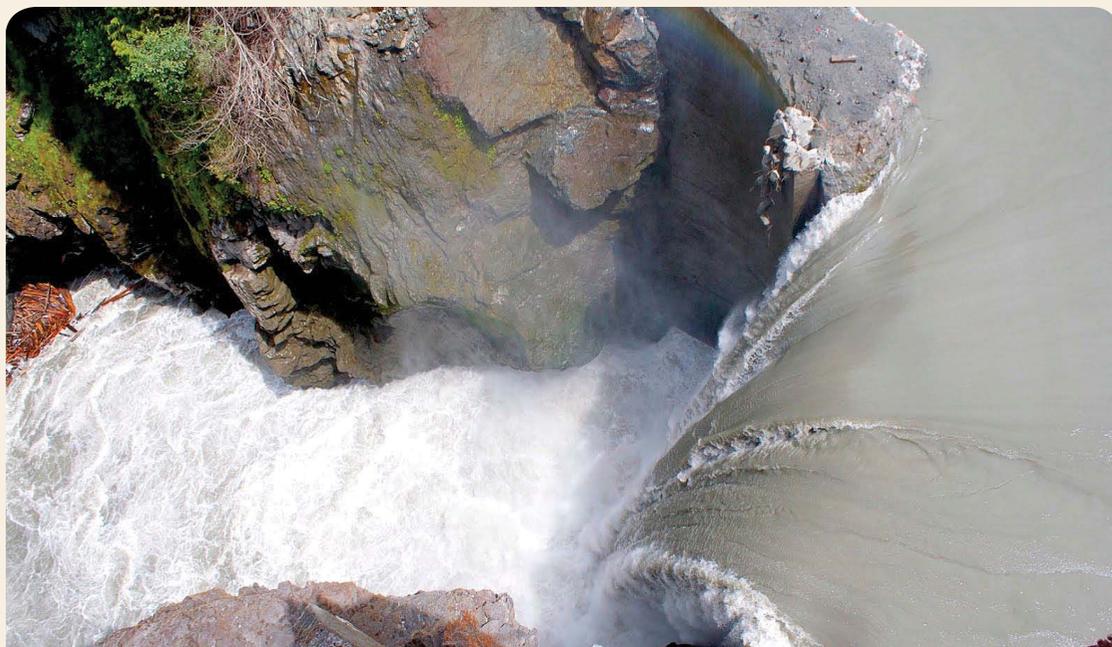
大坝拆除过程中的健康危害管理

作家Wendee Nicole曾在2010年见证过两座艾尔瓦河水坝最壮观的时期，并在今年夏天故地重游目睹了水坝拆除这一历史时刻。她在当地采访了该项目的几位参与者，与生物学家们一起穿着防水靴涉过艾尔瓦河的一条支流进行浊度采样，并参观了位于艾尔瓦下游克拉拉姆部落保留地的河口区。

在美国的西北边陲，这块北美大陆上最宁静、雨水最丰富的土地上，流淌着冰川般蓝盈盈的艾尔瓦河（Elwha River）。它发源自华盛顿州奥林匹克国家公园的终年雪原“艾尔瓦雪指”（Elwha Snowfinger），一路向北穿过玄武岩峡谷和原始森林，蜿蜒45英里后汇入胡安德富卡海峡（Strait of Juan de Fuca）。这条河穿越了艾尔瓦下游克拉拉姆部落（Lower Elwha Klallam Tribe）保留地，河中的鲑鱼是当地居民数千年来的物质、精神和文化依托。

座落在艾尔瓦河上的两座水坝在过去40年中已成为传奇明星，最终却以2012年夏天较低的艾尔瓦水坝（Elwha Dam）被完全拆除而退出了历史舞台，较高一些的格莱恩斯峡谷水坝（Glines Canyon Dam）虽然已经垮塌但还没有拆除，到2013年夏天将会被完全拆除。这两个项目是国家公园管理局（National Park Service, NPS）迄今最大的水坝拆除工程，并且是仅次于“佛罗里达大沼泽恢复项目”（Everglades）的第二大生态恢复工程。随着艾尔瓦水坝的拆除，艾尔瓦河的生态系统以及当地部落社区已经开始发生巨大的变化。

2012年夏天，奇努克鲑鱼以及其它种类的鲑鱼得以在这些被封锁了一个世纪之久的支流内产卵。同时，堆积在水坝后面的超过2400万立方码的黏土、粉土、砂、砾石以及卵石也开始流动。这些沉积物尤其砾石是恢复鱼类产卵栖息地所必需的，而长期以来缺乏砾石、砂石以及粉土的下游海滩与河床，最终也会由于沉积物的回归而得以巩固。但在短期来看，河水过度浑浊在未来3到10年内会影响该



格莱恩斯峡谷水坝的拆除应该在2013年夏天完成。长远来看拆除水坝可以恢复生态系统，但是短期内会释放大量积压的沉积物，有时还会释放大量污染物。随着奇努克鲑鱼和其它鱼类开始返回华盛顿州的艾尔瓦河，这个史上最大的水坝拆除项目（按坝体规模）被誉为未来水坝拆除的榜样。

流域的居民和动物。浑浊度急剧增加可以杀死鱼类，降低产卵成功率，还会影响饮用水、孵化场用水以及一家造纸厂用水的水质。如何减轻这些问题的谈判过程花费了几十年时间和大量财力。

拆除水坝会释放出大量蓄积的沉积物，在某些情况下还会在短期内释放出污染物，但从长远来看可以恢复生态系统。随着鱼类开始返回艾尔瓦

20世纪70年代，艾尔瓦下游克拉拉姆部落的河流生态恢复主任Robert Elofson徒步到了艾尔瓦河的源头。“我当时想，

‘这条河太美了，唯一欠缺的就是鲑鱼，’”他一边说一边描述着当时想象着鲑鱼穿过这两座水坝的情景，但他做梦也没想到在他有生之年会看到这些水坝被拆除。

当Aldwell建成艾尔瓦水坝

时，印第安人还未被承认是美国公民。“过去我们要保卫我们的土地，”Elofson说，“我们现在仍然需要，不过是以另一种方式。”现在部落居民都是公民，而且强制执行的部落条约保障了他们在传统渔场可以拥有渔获的一半，这使得当地部落在长达数十年的关于拆除两座水坝的论战中发挥了主导

作用。环保团体也加入了论战，呼吁拆除水坝恢复渔业。

水坝业主最初犹豫不决，许多当地居民担心联邦政府会趁机占地，他们会失业，水体会被污染，而且要拆除的水坝已经成为当地文化的组成部分。争论最终导致1992年通过了《艾尔瓦河生态系统及渔业恢复法案》——经过谈判达成的一个解决方案。该法案并没有强制要求拆除水坝，而是要求“渔业和生态系统的全面恢复”。然而1995年的一份《环境影响报告》(environmental impact statement, EIS)则认为拆除两座水坝是实现这一目标的唯一手段。

“内政部(Department of the Interior, DOI)部长刚做出决定，公众就开始出来

反对，”国家公园管理局(现在拥有水坝所有权)的艾尔瓦项目团队主管Brian Winter说道，“当时的人们可不像现在一样那么迫切要求拆除大坝。”他接着说道，另外人们迫切希望工作，而该项目为当地提供了就业。“我每去一家企业，人们就会说，‘我真的很反对这个项目，但如果你们真打算这样做的话那就抓紧时间，因为我们需要工作。’”

“去年我们关闭了发电厂，那可是个大事儿，”美国垦务局(U.S. Bureau of Reclamation, USBR)艾尔瓦项目——其任务是拆除水坝以及当地的拆迁准备工作——经理Richard Bauman说道，“从旧时代跨越到新时代，挺让人伤感的。”

对于艾尔瓦当地人来说，拆除水坝代表着回归到一个曾经的年代。这条河曾以丰盛的太平洋西北地区鲑鱼品种(奇努克鲑鱼、驼背大马哈鱼、大马哈鱼、银鲑、红大马哈鱼)、虹鳟以及割喉鳟鱼而著名。人们在这里捕获过100磅重的奇努克鲑鱼，老人们则常说趟水过河时简直就是“涉过产卵鲑鱼的脊背”。虽然1890年的州法律规定必须修建可以让鱼类通过的设施，但这些水坝建成时却没有遵守该法规。

保护水体

《艾尔瓦法案》规定，拆除水坝时必须保护城市和工业用水，因此必须在附近的安吉利斯港(Port Angeles)修建一个新的污水处理厂，为当地水协会修建新井，并为当地部落修建一个新的孵化场和污水收集系统。决定水坝必须拆除以后，通过《环境影响报告》程序制定了拆迁计划：通过巩固堤坝来抵御增加的洪涝风险，并在坝区清理铅、石棉、多氯联苯(PCBs)以及石油烃类物质。生物学家学会分别在拆坝前和拆坝后对沉积物输送进行研究，以了解其对人类及环境的影响，当地部落则会从内政部获得400万美元，作为土地购置费以及水坝导致的经济发展损失补偿。



艾尔瓦河在华盛顿州西北角的奥林匹克半岛入海。艾尔瓦河流域包括了100多英里的支流，流域面积达270平方英里。

河，这个史上最大的水坝拆除项目被誉为未来水坝拆除的榜样。

回到未来

建造水坝的想法来自于企业家Thomas Aldwell，他设想利用发电厂来推动地方经济，并给一家造纸厂供电。“这些水坝建成时，成为了当时奥林匹克半岛上电力的唯一来源，”国家公园管理局公共信息官员Barb Maynes说道。105英尺高的艾尔瓦水坝于1914年在距离河口4.9英里处竣工，210英尺高的格莱恩斯峡谷水坝随后于1927年在距离河口13.6英里处竣工。水坝所有权多年来几经转手，而两座水坝分别于1968年和1973年的换发经营执照过程中激发了一场延续几十年的辩论。

鱼类消费

华盛顿生态部环境科学家Art Johnson指出，1999年艾尔瓦河鱼类中检测到的多氯联苯水平相对较低，总含量大约9~17 ppb，但是仍然超出了华盛顿州在303(d)条款下列出的人类健康标准5.3 ppb。华盛顿州淡水鱼肉片中总多氯联苯背景含量平均约5 ppb，而来自该州城市或工业区湖泊与河流的鱼类肉片中的总多氯联苯平均含量约60 ppb。

“很多情况下人们如果发现某条河流列入303(d)清单就会惶恐不安，”华盛顿生态部环境专家Brandee Era-Miller说道。但她指出风险与消费成函数关系，印第安人的饮食在很大程度上依赖于鱼类，所以与一般人相比其多氯联苯相关的健康风险更大一些。华盛顿州卫生部公布的鱼类消费建议中多氯联苯的参考浓度为23 ppb，该部门为渔民设置了致癌和致其他健康结局的参考剂量，二者分别为2.5 ppb和9.83 ppb。这意味着如果渔民每日摄入PCBs的剂量低于上述参考值，将不会导致明显的健康风险。华盛顿州正在修订其鱼类消费率，该数值代表着全州鱼类消费的平均数量，用于估算鱼类体内有毒物质的暴露水平。将消费率代入到风险评估公式中，就可以得出人体暴露于各种化合物的可接受水平，从而决定工业废水中的污染物允许水平。

“我们认为州鱼类消费值极不合理，”艾尔瓦下游克拉拉

姆部落的自然资源环境协调员Matt Beirne说道，“这个数值即使对一般的鱼类消费者都起不到保护作用，更别说印第安人了。”他接着指出，目前的州消费率是6.5 g/day，而艾尔瓦下游克拉拉姆部落居民的鱼类消费量和苏夸米希部落（Suquamish Tribe）的消费水平一致，是州内最高，大约500 g/day。

华盛顿州生态部外联经理Sandy Howard表示，华盛顿州目前正在修订其基于人类健康标准的水质标准，该标准“直接关系到污染限制”。随着该州修改其地表水质量标准以保护人类健康，水中的多氯联苯浓度需要进一步降低才能被列为清洁水体。

2011年俄勒冈州将其鱼类消费率从17.5 g/day提高到了更切合实际的175 g/day，由此产生了全美最具保护力度的水质法规，从而成为国内的前驱。华盛顿州计划在2012年8月更新鱼类消费率，但是州生态部主任Ted Sturdevant决定将该过程向公众开放，集思广益。其技术文件草案初步建议华盛顿州的鱼类消费率为157~267 g/day。

在了解食用鱼类的风险的同时也要考虑其健康效益。华盛顿州生态部环境科学家Keith Seiders说，“人们吓得不敢吃鱼，结果转向危害性可能更大的食物，”包括高度加工食品。“食用受污染的鱼类而患癌症（或其它疾病）的风险非常小，”Seiders说道，“对于一些人来说，虽然来自鱼类的有毒物质增加了健康风险，但他们仍不想失去自己的文化特性和捕鱼方式，因为保留自己的传统文化更重要。”

奇努克鲑鱼在艾尔瓦河中游动



© Natalie Fobbe/Science Faction/Corbis

然而联邦资金从来都没有保证，尤其是在经济萧条的年代。“我们当时认为在第一个合同签署之前，拆除工作不会开始，” Elofson说道。在该法案通过了15年以后，安吉利斯港污水处理设施的建设终于开工了。

在水坝拆除规划过程中，华盛顿州卫生部认为该城市的水源并不是“地下水”，而是“受地表水直接影响的地下水”。这意味着水源容易受到微生物污染，因而需要更严格的保护措施，以满足环保署按照《安全饮用水法案》(Safe Drinking Water Act)所制定的《地表水处理条例》(Surface Water Treatment Rule)。

不论水坝拆除与否，该市都必须建立一个污水处理设施，但是“此事的时机意味着当国家公园管理局建造该市的市政污水处理厂时，必须要解决这个额外的问题，” Maynes解释道。她说该市建成的最先进的新设施以及一个工业污水处理厂花费的项目资金超过1亿美元。

美国垦务局工程经理Tim Randle指出，该项目最终预算的3.25亿美元中，只有不到10%花在了拆除水坝和沉积物监测上。“我们有新的污水处理厂。我们为两个市政供水协会挖了新井，并加高了堤坝，” Randle说道，“我们有必要花那么多钱吗？等到拆除工作结束以后我们就知道了。”

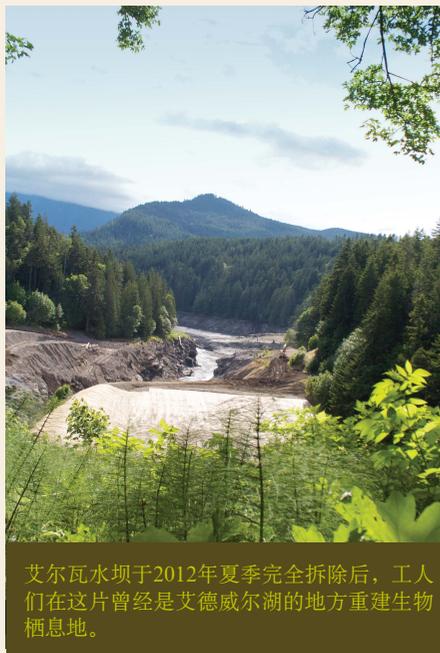
一旦污水处理设施开始运行，拆除工作就动工了。Randle以及其他人员对最佳拆除方案苦思良久：是快速拆除还是慢慢来？“人们开玩笑说，‘我们可以从布雷默顿 (Bremerton)把海军调来把水坝当场炸掉，’但是洪水会冲下来，沉积物会埋掉一切，” Randle说道，“如果慢慢拆，每年一英尺，你很难注意到有什么变化，但是有谁愿意等上200年来拆掉一个200英尺高的水坝呢？于是我们想出了一个可行的办法——以可控制的增量来拆除水坝，目前为止这个计划运行得非常好。”

到了2012年5月艾尔瓦水坝及其水

库艾德威尔湖 (Lake Aldwell) 就不复存在了。美国地质勘探局 (U.S. Geological Survey, USGS) 水文学家Chris Magirl表示，截至2012年7月，艾尔瓦河水冲刷下来50万吨的沉积物（可以装满5万辆标准自卸卡车）。“但是只有大约5%的预计的沉积物被冲刷了下来，” Magirl说道，“所以换句话说就是，沉积物的‘快乐时光’才刚刚开始。”

“这是有史以来全世界规模最大的控制沉积物释放的水坝拆除项目，” Randle说道。数十名科学家将继续研究水质和生态系统——在艾尔瓦河的支流中涉水测量浊度，水肺潜水以记录河流中的生物，跟踪观测鲑鱼以及监测河水浊度如何影响水处理设施，这些设施不仅为城市提供饮用水，也为造纸厂、州孵化场和部落孵化场提供用水。

河水浊度已经对部落孵化场产生了意想不到的影响。“孵化场运行没问题，但是艾尔瓦河鱼类对沉积物比我们想象的还要敏感，” Elofson说道。他指出当河水浊度达到30个浊度单位 (nephelometric turbidity units, NTU) 时鲑鱼的生长就受到影响，2012年5月浊度达到高峰，不过从那以后孵化场的



艾尔瓦水坝于2012年夏季完全拆除后，工人们在这片曾经是艾德威尔湖的地方重建生物栖息地。

水浊度就开始下降了。

安吉利斯港设施的设计用途是处理高达40000 mg/L的总悬浮固体物 (Randle估计大约相当于20000 ~ 30000个浊度单位)，但是该设施如何处理更大的“沉积怪物”——进一步拆除水坝剩余部分或者有大量降雨时就会出现——还有待观察。

部落居民是唯一的仍然在等待资金到位的利益相关者，虽然他们的新孵化场和污水处理设施已经完工，但是仍然没有拿到承诺的400万美元。前任参议员Bill Bradley (新泽西州民主党议员) 是《艾尔瓦法案》的支持者之一，他在2012年3月给内政部长Ken Salazar的信中写道，“我们不认为仅仅拆除水坝和恢复渔业就算是国家对当地部落履行了义务。”目前还不清楚款项是否或何时可以到位。Elofson表示当地部落仍然在和国家公园管理局就孵化场运营及维护资金的事宜进行谈判。

环境污染物

在该项目中，清理两个坝址的环境污染物方面比沉积物控制方面受到的关注要少。当时建造水坝的相关结构时，含铅油漆和石棉还在普遍使用，变压器油中还含有多氯联苯。内政部收购水坝之前的测试显示，两座水坝的变压器油均不含多氯联苯，所以当国家公园管理局的检查人员发现两个变压器中3905加仑的油含有多氯联苯时非常吃惊。这些污染物需要修正到符合州及联邦环境法律规定的娱乐用途的水平。

承包商移除了1000立方码的被铅和多氯联苯污染的土壤，丢弃在俄勒冈州的一处设施内。还有一些被铅污染的土壤（浓度高达250 ppm）仍留在原地，而美国环保署规定游乐区裸土的有害标准为400 ppm。Bauman表示，美国垦务局已经用15英尺厚的清洁土壤将剩余的污染土壤掩盖了起来。工人们移除了所有的石棉，运走了多氯联苯污染的油，并将

混凝土和金属碎片尽可能地回收。

这条貌似纯净的河流很久以前就因为违反《清洁水法案》的多氯联苯条款——20世纪80年代位于两个水库之间的一个地区多氯联苯检测呈阳性——而被列入了环保署的303(d)水道名单。一旦某个地区被列入该名单就会一直列在上面，直到后续监测证明这种污染状况已经不复存在。因此，1999年华盛顿州生态部（Washington Department of Ecology, WADOE）的研究人员返回该地对较低水坝下游的鱼类进行测试。根据环保署的《国家毒物法规》，所有捕获的鱼类复合样本中均有两种多氯联苯超出了安全食用标准。因此，根据《清洁水法案》，艾尔瓦较低水坝的水体被列为第5类水体，需要进行强制清理。

尽管《艾尔瓦法案》的重点是在渔业和生态系统恢复，然而这个耗资数百万美元、耗时数十年的项目中并没有规定如何处理303(d)名单，也没有确定大坝拆除过程是否会扰乱沉积物中的多氯联苯。1996年的《环境影响报告》草案仅仅指出：国家公园管理局政策要求公园管理者“采取行动解决现有的危险废物的问题，例如...水、土壤和空气的污染。

Winter对水坝拆除过程期间完成的测试感到满意，“我们从受侵蚀的三角洲地区采集了样本，没有发现任何污染物。”米尔斯湖（Lake Mills，格莱恩斯峡谷水坝拦成的水库）的沉积物于1994年进行的“抽干”实验（湖水被排空以模拟水坝拆除）中进行了测试，而艾德威尔湖在1993年也进行了3次沉积物采样，均没有发现多氯联苯。

虽然在两个水坝的现场土壤和操作部件中均发现了多氯联苯，但是河流下游的鱼类污染也有可能是大气沉积物或者孵化场饲料污染导致的——这在20世纪90年代确实是个问题。另外，一个未经证实的传言说多年以前有个变压器掉入了河里。“一个土地所有者想在奥林匹克国家公园内的私人土地上开发露营

车公园，安装了一台变压器作为他计划的一部分，” Winter说道，“传说几十年以前，一场水灾侵蚀了他的土地，变压器也掉入了河里。”此人的土地位于艾德威尔湖上游。

Winter不认为303(d)名单和艾尔瓦项目有什么相关。“抽样、监测以及告知公众任何可能的多氯联苯健康威胁的责任在于水质监管部门——在这个实例中指的是华盛顿州生态部，”他说道，“如果有任何有关多氯联苯的问题，以及州生态部或环保署的生态恢复项目出了什么问题，国家公园管理局获取的水质证书上就应该包括一个这样的采样要求。”

美国国家海洋和大气管理局 (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) 根据《艾尔瓦法案》制定的鱼类恢复计划确实提到了303(d)名单，并建议定期进行水质监测。“如果发现了这些污染物浓度，我们就应该对其进行跟踪监测，”管理局内研究沉积物对艾尔瓦河鱼类影响的渔业生物学家George Pess说道，“这应该成为景观监测计划的一部分。”

然而迄今为止，事实并非如此。该项目的许多科学家根本不知道这个名单。“因为有这么多人做着这么多不同的事情，” Pess说道，“这种情形就像是一只手不知道另一只手在做什么”。

王者归来

随着水坝拆除项目的动工，争议再度掀起。2012年2月，4个环保组织起诉了艾尔瓦下游克拉拉姆部落以及多个联邦机构，以阻止部落孵化场释放非本地虹鳟鱼以及州孵化场释放奇努克鲑鱼。该部落计划利用孵化场养殖的鱼来加快鱼类恢复，尤其是在出现大量沉积物的期间。原告则认为孵化场饲养的鱼类会危及野生种群的生育健康和遗传多样性，尤其是普吉特湾（Puget Sound）的奇努克鲑鱼和本地虹鳟鱼（均被联邦政府列为受威胁物种），野生鱼类会自然恢复其种群数量。不久之后该部落达成了一个

临时协议——不使用孵化场饲养的非本地虹鳟鱼，该诉讼仍在进行中。

“事情每天都在发生变化，” Pess说道，“现在已经有大量的鱼在水坝上方产卵。”今年，奇努克鲑鱼、驼背大马哈鱼、银鲑以及虹鳟鱼已经在以前被阻断的河段产卵。河流生态系统正在经历着急剧的变化，这对科学家来说简直就是一个活实验室。艾尔瓦下游克拉拉姆部落居民已经自愿放弃5年的捕鱼权利，但是他们希望在未来几年内可以看到这块传统渔场的鲑鱼数量有所增加以及有更多的休闲捕鱼者。届时，来自水坝的环境污染物也应该已经得到了治理。然而更大量的沉积物还没有到来，所以关于恢复工程的一个突出问题就是要量化这些巨量沉积物对鲑鱼产卵及繁殖的影响。

艾尔瓦河项目告诉了我们什么？那也许就是拆除水坝并恢复河流比维持这座老水坝的最终成本要低一些。尽管引发了激烈争议，人们最终还是能够达成一致，各种利益相关者可以制定计划顾及大部分关注点。美国的河流只有不到1%的河段保持在自然状态，仅在美国就有超过8万座大型水坝，随着基础设施的老化，更多类似的故事会逐步展开。

“我认为现在大多数人都积极地看待这类事情，它可以吸引人们对这个地区的关注，有利于开发旅游业，” Maynes说道，“现在水坝拆掉了，人们可以看到河里的鱼了，下游河口处也在形成新的沙滩，这些效益我们已经看到了。”

Wendee Nicole（原姓Holtcamp），自由科学家及摄影师，为《自然》（*Nature*）、《科学美国人》（*Scientific American*）、《国家野生生物》（*National Wildlife*）等杂志撰稿。

译自EHP 120(11): A430-A435 (2012)

翻译：周江

*本文参考文献请浏览英文原文

原文链接

<http://dx.doi.org/10.1289/ehp.120-a430>