

战略与规划

文章编号:1006-0081(2013)12-0001-03

赞比西河流域水库实施环境适应性管理

[瑞士] J. 默滕斯 等

摘要:为保障电力供应,赞比西河流域已开发了几个大型水电项目。尽管发电效益已经实现,但是在水电站运行管理方面还存在很大的优化空间。介绍了实施水资源综合管理的研究成果,即非洲大坝研究项目,重点关注水电项目如何适应环境的需求。

关键词:流域;水电项目;环境影响;水资源综合管理;赞比西河;非洲

中图法分类号:TV697.25 文献标志码:A

赞比西河为非洲大陆流域面积最大的河流之一,发源于安哥拉和赞比亚,终于莫桑比克三角洲,全长 2 600 多公里,流经 8 个国家,控制流域面积 140 万 km²,其中近 40% 位于赞比亚境内。卡富埃河为赞比西河的最大支流,卡富埃河平原是重要的湿地生态系统。

为满足日益增长的电力需求,在过去 50 a 内,赞比西河及支流卡富埃河上已修建了 4 座枢纽:①赞比亚的卡富埃峡水电站,1971 年建成,装机 900 MW;②伊泰济泰济水库,1978 年建成,装机 120 MW;③位于赞比亚和津巴布韦边境处的卡里巴水电站,1958 年建成,初始装机 1 200 MW,近期扩容至 1 470 MW;④莫桑比克的卡奥拉巴萨水电站,1974 年建成,装机 2 075 MW。

赞比西河仍有未开发的水电资源,近期一些新的水电开发计划被提上日程。其水资源利用包括水力发电、防洪、航运、渔业、供水和灌溉。除为工农业生产和居民生活供水外,河流生态系统还发挥着旅游、娱乐、防洪和降解污染物等作用。

本文介绍了水资源综合管理研究项目-非洲大坝研究项目(ADAPT)及其主要研究成果。根据 ADAPT 研究成果,提出了优化大坝运行管理的建议,以改善水质和实施水资源管理。

收稿日期:2013-09-13

1 非洲大坝研究项目

该项目旨在从流域和区域层面加强对赞比西河流域内大型水库和湿地的水资源综合管理。

(1) 明确从数据采集、概念及数学模型的研究活动中获得研究成果。

(2) 构建科研-政策互动平台,致力于能力建设(学生交流和培训活动)及跨学科综合研究。

参与研究的机构包括赞比亚大学水资源综合管理中心,莫桑比克爱德华多蒙德拉纳大学工程研究中心,瑞士洛桑市巴黎综合理工学院水工实验室,瑞士联邦政府水科学与技术所,系统生物学、环境工程、环境决策、生物地球化学和污染物演变的研究机构,苏黎世联邦科技研究所的国际研究、发展和合作高级研究中心。

为实现最大程度的综合管理,赞比西河流域政府机构、非政府组织(NGOs)和私有公司全都参与数据采集及进程讨论。

2 大坝对泥沙、碳及营养物质通量的影响

在全球范围内,水库拦蓄泥沙的重要性体现在能减少生态系统内营养物质从陆地流失到海洋,比

如有机物、碳、氮及磷。在赞比西河流域, ADAPT 成果可以证明大坝建设减少泥沙向下游湿地的输送。有机碳、磷、氮的大平衡和模拟结果被用于评价伊泰济泰济水库营养物质的输送状况。总体上, 约有 50% 的氮和 60% 的磷在水库沉积下来。

2.1 生态效应评价

泥沙淤积不是营养物质减少的唯一原因。通过反硝化作用及有机物循环利用, 氮、碳被释发到大气中。大平衡计算表明, 测定法低估了河流营养物质的输入量。伊泰济泰济水库生物地球化学循环特点表现为初级生产力显著提高, 有机物循环较快, 亦即大量的有机物被埋藏在沉积物中。卡里巴湖大平衡模型计算表明, 约 70% 的氮和 90% 的磷通过沉积(氮和磷)及反硝化作用(氮)被去除。与世界上其他水库相比, 尽管卡里巴湖及伊泰济泰济水库中的有机碳、氮、磷的沉积率较低, 但实际上在这些营养物质贫乏地区, 河流营养物质相对减少。下游生态系统也因碳、氮、磷可用量较少而受到不利影响, 如生态系统生产力降低、鱼类产量降低, 还有可能影响卡富埃平原的农业可持续生产。

卡富埃河漫滩为营养物质和碳循环的热点地区, 在洪水季节碳、氮、磷大量输出和河水中氧含量降低。超过 80% 的洪水被河漫滩吸收。大坝运行对河流-洪泛区的时空交替变化并没有产生显著影响, 但使一个水文循环中的侧流减少了 50%。

在热带地区, 水电站的水轮机和坝下游排气, 被认为是温室气体(甲烷)排放的重要来源。卡里巴湖汇水区有机物输入量相对较高, 释放甲烷。在这些地方的限制区域内, 甲烷主要通过气泡排放到大气中。与其他热带水库相比, 水轮机和溢洪道表层水中的甲烷含量低, 所以其释放总量居中。

2.2 调整大坝运行方式

伊泰济泰济水库季节性分层, 1 a 内多数月份的滞水层氧化作用较弱, 跃温层营养物质浓度较低。因此水库下泄水层决定着下游水质。

当前, 伊泰济泰济水库通过溢洪道泄洪, 下泄的几乎都为表层水, 深层水仅在库水位低时排放。即将安装的新机组是利用深层水发电, 最大引水流量为 $360 \text{ m}^3/\text{s}$ 。在新的运行条件下, 下游水质将取决于下层滞水层水的特性, 这样将对下游卡富埃平原地区渔业可持续发展产生潜在影响。此外, 排放的深层水中甲烷浓度较高, 将成为加剧全球气候变暖的因素之一。因此建议阻止深层水流出, 以限制热

带水库温室气体排放。伊泰济泰济水库不同运行模式下的出水水质模拟结果, 可为水轮机取水方案优化提供支撑。

3 水资源管理的水文水力学模型

至今, 还未对赞比西河进行过逐月水文水力学模型研究, 所开展的水资源管理研究中, 也未采用全球降雨径流模型。

水资源管理研究模型必需是应用公共领域源代码。目前在南非应用的模型已经取得了较好的效果, 将有助于准确定义水文过程。土壤和水体评价模型(SWAT)是应用于公共领域的流域尺度模型, 它得到了美国农业部农业研究草原土壤水服务中心的积极支持。SWAT2009 是基于连续时间的半分布式物理模型, 由多个子模型组成, 包括水资源模型。其原理是对每个地理亚单元积雪、土壤剖面、浅含水层和深含水层的蓄水量进行水平衡模拟, 并考虑降水、截留、蒸散、地表径流、渗透、过滤和地下径流等因素。

为使模型能适应非洲河流流域的大型泛滥平原, 创建了水库源代码。利用双方程模型计算流出量(取决于水库水深)和稳定的水库下泄基流, 运用敞开式顶堰流量计算公式来计算丰水期上游来水量。此外, 相对于子流域来说, 主要的泛滥平原和湖泊规模更大, 子流域的流域面积依赖于水库面积, 因此在水预算计算中, 要考虑洪水淹没面积的扩大和缩小。总之, 一个新程序被用于计算的水轮机的出流量和大坝的溢出量, 均取决于库水位和运行管理曲线。

入流数据和下泄流量观测值的质量对模型取得理想结果至关重要。尽管如此, 但在不同类型的输入数据中, 降雨量最为重要。因此, 自 1998 年以来, 一直将美国国家航空航天局的标准降水测量成果—热带测雨卫星 3B42 第 6 版作为降雨源。

利用美国环境预测中心、国家大气研究中心(NCEP/NCAR)提供的再分析资料, 对温度栅格(日最低最高气温)进行编译。为了建立模型, 非洲及全球大多数地区通常采用以下数据集。

(1) 美国地质调查局公共领域地图数据库 HYDRO1K 的数字高程模型, 该模型基于全球数字地形高程模型 GTOPO30。

(2) 联合国粮农组织 10 km 分辨率的土壤类型图。

(3) 全球土地覆盖特征图 1 km 分辨率的土地

利用网格。

赞比西河流域径流系列资料由全球径流数据中心(GRDC)负责管理。在全球数据库中,该河流域有67个日观测站和30个月观测站的资料。此外,赞比亚水行政主管部门还提供了赞比亚流域上游34个站点的径流数据清单。赞比西河管理局负责卡里巴大坝和卡布拉·巴萨大坝的运行管理,也提供了一些关于这2座大坝运行以来的相关资料。根据以上资料,建立了405个子流域和778个水文响应单元的数据模型。

由于流域面积较大,用了2 a时间(1998~1999)来校准率定使模型稳定。为了和人工水库历史上的径流相匹配,在稳定期结束时,对最初库容量进行了调整。1998~2003年被再次用于校准期,2004~2006年则作为验证期。

多目标优化算法(AMALGAM)作为自动优化算法,用来选择最佳参数设置。对于现存的所有水文站和水位站,利用Nash-Sutcliffe系数、体积误差百分比来评价观测成果。校准模型显示,其结果和校准期、验证期的观测数据有较好的一致性。

利用模型分析模拟了拟建与已建水电项目的叠加情景,以及环境流量和气候变化过程。该情景分析的主要目的是评估新建水电站对能源生产和环境流量的影响,然后对一些重要断面,按照年均发电量、可靠电力供应和水文情势变化进行对比。环境流量获得了较好的经济学评价,同时水库运行管理方式也得到了优化。

4 优化水资源配置

在将水文过程的控制方程作为约束条件时,水电经济模型通常把水资源配置和经济学结合在一起,旨在使流域内经济效益最大化。模型的随机双动态规划(SDDP)可以为经济利益最大化提供有效指导。

以水电开发占主导地位的流域为例,蓄水设施建设对流域产生了很大的负面影响,包括移民安置、生态系统退化及水文情势变化。但是对于电力生产来说,水电创造了明显的经济效益,同时减少了人类遭受洪水及干旱的威胁。已投入运行的3座最大水库(卡里巴、伊泰济泰济和卡布拉巴萨水库),每年

可产生经济效益4.43亿美元。该效益中考虑了卡布拉巴萨三角洲下游区域洪水期间的生态要求,附加经济效益10美元/1 000 m³。通过改变水库运行方式,可增加雨季的下游径流。研究表明,上游水库之一的卡里巴水库受水库群联合调度影响较大。研究强调,以流域系统分析法全面调查评估潜在权衡需求的必要性。卡里巴湖水位波动较大,系统状态决定下游径流量;因卡里巴水库库容大,能在旱季加大水库的下泄量,从而使该水库可以释放更多的水到三角洲。在雨季,卡里巴水库不需要特意向下游加大下泄量,因此可以保持较高的库水位,使其自身的发电量最大化。

为协调大坝运行、利益共享以及用水户成本分摊之间的关系,需要制定一系列的政策。有效的流域层面合作管理机制也可以减轻未来与水相关的挑战,比如人口和经济增长、农业灌溉需求的增加等。

如果不采取有效的合作机制,流域内发展灌溉的经济成本将达到年收益的10%。必须强调的是,沿岸各国之间的收益和损失的分布格局不均,是流域内水资源高效共享的主要障碍。

5 结论与展望

需要强调的是水电既有优点也有缺点,可持续水资源管理应该处理好能源收益和环境约束之间的平衡关系。ADAPT研究表明,当前大坝运行会对赞比西河流域泥沙和养分运输产生影响;提出的水文、经济及生物地球化学模型,是优化水资源综合管理实践(IWRM)的有效工具,可以通过调整水轮机尾水的高程来改善下游水质。为了优化赞比西河流域水资源配置,至关重要的是,流域范围内主要沿岸国家之间应统筹协调水库的运行方式。此外,需要平衡环境要求和电力生产之间的关系,以使新建水电站适应未来需要。

本文提及的模型正在建立中,以期进一步为赞比西河流域实施水资源可持续管理提供技术支撑。在ADAPT框架内,正在进一步开展有关卡富埃河流域水文情势变化对生态影响方面的研究工作。

侯钦礼 译自英刊《水电与大坝》2013年第2期
柯学莎 校