DOI:10.20040/j.cnki.1000-7709.2023.20220956

基于灰色预测的水电开发利益共享模型研究

孙海兵,张宁静

(三峡大学水库移民研究中心,湖北 宜昌 443002)

摘要: 为破解水电开发利益分享数额的难题,建立定量化模型,并就模型运用及相应分配思路进行案例分析。结果表明,水电项目的利益相关者主要包括中央政府、地方政府、水电企业与水库移民,可应用净现值法构建利益共享模型,该模型中利益相关方以水电工程净现金流量现值之和与各自投入占比的乘积作为分享额,采用灰色预测法对模型求解,溪洛渡水电站的案例证明了模型的合理性。根据模型结果可设立移民共享发展基金且保障其他方应得利益,开拓水电开发共建共赢新局面。

关键词: 水电开发;利益共享;移民;测量模型;灰色预测

中图分类号: TV74;D632.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7709(2023)03-0168-04

1 引言

水电可持续发展面临移民与环保两大考验,均衡利益分配,尤其是保障移民的合法权益,日益成为破解瓶颈的突破口。理论层面,MICHAEL M C[1]倡导移民通过分享曾经做出贡献的水电项目的收益来保障生计可持续;LOUIS L 等[2]将移民利益共享模式归纳为搬迁补偿安置、社区发展基金、企业社会责任、生态服务付费四种;ILKHOM S 等[3]总结了水电资源管理中的利益共享方法,并指出其能将相关主体的零和博弈转换为正和博弈;李勋华等[4]认为土地发展权由国家和移民共同享有,移民应该公平分享资源潜在价值;戴思锐[5]提出按"谁负责谁出资、谁投入谁受益"的原则合理分担成本和公平分享利益;吴上等[6]在分析移民分享工程效益的实施障碍及其原因的基础上,提出了优化路径。实践层面,世界银行、世界大坝委员会等国际组织将利益分享作为非自愿移民的政策目标之一,并列入水电开发的战略性优先事项。2019 年国家发改委等六部门发布《关于做好水电开发利益共享工作的指导意见》,要求完善多方共享水电效益长效机制,这为利益分享工作的健康有序发展、推动共同富裕提供了直接依据,但遗憾的是缺乏操作细则。在相关政策的引导与支持下,各国对水电移民利益共享进行了大量探索和实践,且取得积极成效,利益共享思想已渗透到水电资源开发的研究和实践中。已有理论研究多集中于分享依据、分享方式等方面,虽然强调分配比例是协调平衡各方利益的重点,但其合理确定尚缺少实证分析,多数实践案例也没有定量的具体数据。在水电利益定量界定的基础上构建共享机制仍值得深入探讨。对此,本文在明确水电项目主要利益相关方的基础上,给出移民利益分享数额测算模型,并就模型应用及实施思路进行案例分析,以弥补现有研究的不足,并强化对实践的指导作用。

2 水电项目相关利益主体

资源项目利益相关者是指投入了可以为项目带来收益或价值的专用性投资的个人和群体,承担着项目带来的风险和回报[7]。由此水电资源开发项目核心利益相关方包括中央政府、水电企业、地方政府(省、市、县级政府,含库周居民与企事业单位)、水库移民(移民个人和村集体,含安置区居民)等。

水资源属于国家所有,中央政府凭借投入的国有资源要素拥有电站水库的所有权和收益获取权,水电企业(项目法人)负责为电站开发建设筹集资金,并利用国企的身份进行运营管理,地方政府在补偿安置政策的严格限定下,担负淹占城镇、

收稿日期: 2022-05-07,**修回日期:** 2022-06-02

基金项目: 国家社会科学基金项目(19BMZ097)

作者简介: 孙海兵(1976-),男,博士、副教授,研究方向为工程移民管理,E-mail:ycshb2012@163.com

基础设施搬迁重建、移民搬迁安置及库区生态环保等任务，移民为水库建设让出土地、房屋和其他资产，只能被动接受不完全补偿与低标准安置。

水电项目核心利益相关者情况见图 1，从里向外分为四层：第一层为主要利益主体，第二层为各方主要投入要素，第三层为当前各方报酬与风险，第四层为各方进一步利益诉求。总体来看，水电站具有防洪、发电、航运、供水、生态等多种功能，所产生的公共利益使相关主体（防洪区、受电区、受水区等）免费分享，但所产生的经济利益主要为中央政府与水电开发企业分享，地方政府尤其是水库移民分享较少，往往造成成本分担与利益分享失衡，可能引发社会矛盾和环境风险，不利于经济社会的可持续发展[8]。水电项目的利益应当在投资者和贡献者间合理分享，以彰显社会公平[5]。

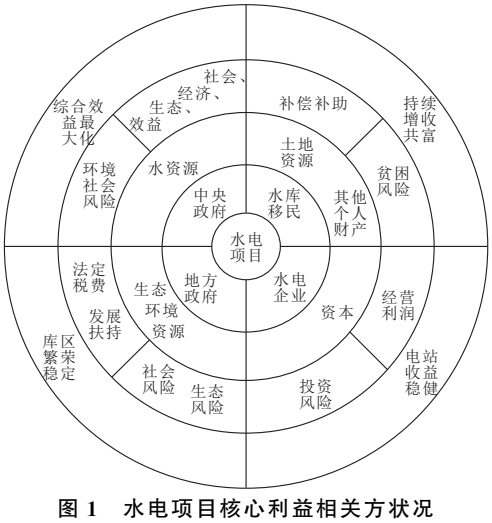

图 1　水电项目核心利益相关方状况

Fig. 1　Status of core stakeholders in hydropower project

3　利益分享模型构建

参考投资入股共享研究[7]，应用净现值法估算利益相关主体特别是移民分享水电开发效益，具体如下。首先，测算电站各年发生的净现金流量按照一定的折现率折现到建设期初的现值之和，即电站纯收益、折旧及残值的现值减去原始投资额；其次，根据投资贡献程度计算相关方分享比例；最后，以项目净现值（增加的财富）与投入占比的乘积作为各方分享额。量化模型公式为：

$$V=\left[\frac{\sum_{i=1}^{n}\frac{R_i}{(1+r)^i}+\sum_{i=1}^{n}\frac{P(1+r)^t(1-s)}{n(1+r)^i}+\frac{P(1+r)^t s}{(1+r)^n}}{(1+r)^t}-P\right]\frac{T}{P} \tag{1}$$

式中，V 为利益相关者在水电站建设初期理应分享的收益；R_i 为项目运营期内第 i 年的纯收益；r 为折现率；P 为项目建设初期静态投资；t 为建设期；s 为残值率，电站的折旧按照平均年限法计提；n 为运营期，即收益年限；T 为建设初期各方的投入，在入股安置模式的以往研究中，因土地具有增值性，通常将全部或部分耕园地补偿补助费作为移民对项目的投资[9]。

模型中分享额的影响因素可分为确定性与不确定性因素两类，前者包括折现率、建设期、运营期、残值率、静态投资、各方投入等，后者指电站运营净收益。由于防洪等非财务效益即使较高但难以量化，移民一般只能参与发电收益的分配。决定发电纯收益（R_i）的要素主要有运营收入与运营成本，其中运营收入可由上网电价（P_i）与年售电量（S_i）相乘得到，经营成本计算复杂，但水电运营公司的销售净利率（N_i）数据相对容易获取，因此第 i 年净收益计算公式为 $R_i=P_iS_iN_i$。售电量、电价、运营成本或销售净利率受企业内外部经济因素、自然因素等的影响，均具有不确定性。现有研究表明，灰色系统适合分析“小样本、贫信息、不确定”问题[10]。因此，本文模型中各不确定因素尝试采用灰色预测法预测，进而算出移民分享收益的估计值。

4　案例分析

4.1　基础资料

溪洛渡水电站于 2005 年正式开工，2015 年建成完工，设计多年平均年发电量为 $571\times10^8\sim640\times10^8$ kW·h。工程静态投资 503.42 亿元，征收耕园地 4 650.8 hm^2，按 16 倍年产值补偿，补偿费用 19.81 亿元，2004 年移民开始搬迁，涉及生产安置人口 52 690 人[7]。电站建设期为 10 年，运营期取 50 年，残值率定为 5%。利用安全利率加风险调整值计算折现率，选用 2015 年 50 年期国债利率 3.99%为安全利率，因水电站投资风险相对较小，风险调整值取 1%，由此确定折现率为 4.99%。将全部耕园地补偿资金视为移民投入，得出移民投资占比为 3.94%。长江电力拥有溪洛渡电站发电资产，从购售电合同与企业财务报表获得历年售电量、电价、销售净利率等数据。

4.2　分享收益测算

灰色预测的核心模型包括 GM(1,1)模型与灰色 verhulst 模型，其中前者适用于呈指数变化规律的时间序列，后者适用于非单调的摆动发展序列。表 1 中电价、销售净利率的变化趋势并非单调变化，但售电量的变化趋势为单调变化，通过

统计分析其他水电站售电量，发现售电量不会逐年递增或递减，也存在较大波动。2015～2020 年溪洛渡水电站的售电量不断增加，可能是运营年限较短所致，并不具备持续性。故本文构建灰色 verhulst 模型，且为提高模拟和预测精度，应用等维灰数递补动态预测技术改进该模型，分别预测水电站的售电量、电价以及销售净利率，所用预测软件为 Matlab。最终模型的相对误差均在 5%以内，精度等级达到二级；关联度大于 0.9，均方差比值小于 0.35，精度等级均达到一级。这些确保了模型有较高可信度。模型拟合结果见表 1～3。

表 1 售电量拟合预测结果

Tab. 1 Forecast results of electricity sale

年份	实际售电量	改进 verhulst 模型				弱化后售电量	弱化后的改进 verhulst 模型			
		预测值	相对误差/%	均方差比值	关联度		预测值	相对误差/%	均方差比值	关联度
2015	523.65			0.26	0.99	561.56			0.27	1.00
2016	526.10	540.38	2.71			569.14	574.58	0.96		
2017	538.00	555.44	3.24			579.91	589.35	1.63		
2018	589.60	591.40	0.31			593.87	595.89	0.34		
2019	589.60	580.85	−1.48			596.01	583.42	−2.11		
2020	602.42	568.90	−5.56			602.42	593.28	−1.52		

注：表中实际售电量、弱化后售电量、预测值单位均为 10^8 kW·h。

表 2 电价拟合预测结果

Tab. 2 Forecast results of electricity price

年份	实际不含税电价	改进 verhulst 模型			
		预测值	相对误差/%	均方差比值	关联度
2015	0.284			0.34	1.00
2016	0.270	0.273	1.11		
2017	0.263	0.269	2.28		
2018	0.271	0.267	−1.48		
2019	0.273	0.267	−2.20		
2020	0.265	0.267	0.75		

注：表中实际不含税电价、预测值单位均为元/(kW·h)。

表 3 销售净利率拟合预测结果

Tab. 3 Forecast results of sales margin

年份	实际销售净利率/%	改进 verhulst 模型				强化后销售净利率/%	强化后的改进 verhulst 模型			
		预测值/%	相对误差/%	均方差比值	关联度		预测值/%	相对误差/%	均方差比值	关联度
2015	47.53			0.41	0.97	47.53			0.29	0.97
2016	42.78	44.40	3.79			44.36	45.14	1.76		
2017	44.42	44.17	−0.56			44.71	44.74	0.07		
2018	44.21	44.15	−0.14			44.51	44.67	0.36		
2019	43.24	44.15	−2.10			43.90	44.66	1.73		
2020	45.87	44.15	−3.75			45.87	44.66	−2.64		

运用精度良好的 verhulst 模型由已知数据预测出 2021～2064 年相关数据，继而可得到水电站净收益的折现值之和为 792.96 亿元（折现到 2005 年）。具体测算过程见表 4。

不难算出折旧的折现值为 174.89 亿元，残值的折现值为 2.21 亿元，扣除初始投资后，得到溪洛渡水电站利益共享总额为 466.64 亿元，移民分享收益均值为18.36亿元。另外，溪洛渡移民从

表 4 2015～2064 年水电站发电净收益及其折现值

Tab. 4 Net income and its discounted present value of hydropower generation from 2015 to 2064

年份	售电量	不含税电价	销售净利率/%	发电净收益/亿元	折现值/亿元
2015 年	523.65	0.284	47.53	70.69	41.37
2016 年	526.10	0.270	42.78	60.77	33.88
2017 年	538.00	0.263	44.42	62.85	33.37
2018 年	589.60	0.271	44.21	70.64	35.73
2019 年	589.60	0.273	43.24	69.60	33.53
2020 年	602.42	0.265	45.87	73.23	33.60
2021～2064 年预测年平均值	595.56	0.268	44.89	71.65	581.48
合计					792.96

注：售电量、不含税电价单位分别为 10^8 kW·h、元/(kW·h)；表中 581.48 亿元为 2021～2064 年预期收益现值之和。

2006 年起享受每人每年 600 元、连续 20 年的补助，其现值计算公式为 $B=600H(P/A,r,n)$（B 为移民补助现值；H 为移民总人数，$(P/A,r,n)$ 为年金现值系数），因移民直补有稳定的资金保障，r 参考 2006 年 20 年期国债利率定为 3.70%，n 取 20，测算结果为 4.41 亿元。若不考虑其他帮扶资金，且扣减后期补助，则溪洛渡移民利益分享额为 13.95 亿元（2005 年价格），大约为 11 倍土地年产值，即使加上前期补偿，仍未超过 30 倍上线，在水电公司可接受范围内，可操作性较强，说明本文模型具有一定合理性。

4.3 利益共享新思路

（1）设立共享发展基金，实现移民长期获益。各水电站可参考模型估测利益分享数额，结合自身实际情况，从发电收入中提取资金建立发展基金，使移民能更多分享水电工程效益，确保长远生计有保障、幸福感不断增强。助力实现“十四五”时期巩固拓展脱贫攻坚成果同乡村振兴有效衔接的目标或 2035、2050 年共同富裕的远景目标，溪洛渡移民参与收益分享方案见表 5。移民个人与村集体分配比例可定为 80%、20%。共享发展基金的使用范围为移民困难补助与社会保障、能力建设与就业促进、宜居环境与文化生活等。

（2）加大政策支持力度，保障电站合理收益。探索和完善减少弃水促进水电消纳、梯级电站调节效益返还、税费优惠或返还等政策，降低不确定性带来的风险，落实好利益共享资金来源。

（3）整合各类要素资源，促进库区持续发展。充分利用电站水库、安置配置资源、相关政策资金项目等，统筹推进库区产业发展升级、生态环境优化，实现从相对贫穷落后库区到富裕美丽和谐新库区的蜕变。

表 5　溪洛渡移民利益分享可选方案

Tab. 5　Benefit sharing selectable program for Xiluodu migrants

分享方式	分享标准	资金来源(每年每 kWh 电提取额)
2021～2025 年,每年相等	10 169 元/(人·年)	9.00 厘钱
2021～2035 年,每年相等	4 020 元/(人·年)	3.56 厘钱
2021～2050 年,每年相等	2 545 元/(人·年)	2.25 厘钱
2021～2025 年,逐年递增 5%	首年 9 235 元/人,末年 11 225 元/人	8.17～9.93 厘钱
2021～2035 年,逐年递增 2%	首年 3 535 元/人,末年 4 665 元/人	3.13～4.13 厘钱
2021～2050 年,逐年递增 1%	首年 2 255 元/人,末年 3 008 元/人	2.00～2.66 厘钱

注:移民分享收益由 2005 年价格换算到 2020 年价格,折现率取 3.70%,年均售电量为 595.56×10^8 kW·h,移民人数为 52 690 人。

5　结论

a. 水电开发利益分享是落实共享发展理念、实现共同富裕的重要途径。本文确定了参加水电利益分享的主要利益相关者,综合考虑风险、资金时间价值及数据的可获得性,构建了水电开发利益分享模型并选用灰色预测法求解,溪洛渡电站的案例证明了模型的可行性。本文模型为利益分享数额量化提供了一个便捷新工具,丰富了利益共享理论,可为深入推进水电开发利益共享工作提供有力支持。

b. 水电站运营效益的影响因素繁多复杂。本文模型估计结果可能有一些偏差,今后可进一步改进模型,如加入流动资金的考虑,还可尝试选用其他估算方法进行比较分析。

参考文献:

[1] MICHAEL M C. Risks, safeguards and reconstruction: A model for population displacement and resettlement[J]. Economic and political weekly, 2000,35(41):3659-3678.

[2] LOUIS L, PHIMPHAKAN L, CHANAGUN C, et al. Benefit sharing from hydropower watersheds: Rationales, practices, and potential[J]. Water resources and rural development, 2014,4:12-28.

[3] IIKHOM S, KAI W, JUSIPBEK K. The costs of benefit sharing: historical and institutional analysis of shared water development in the Ferghana Valley, the Syr Darya Basin[J]. Water, 2015,7(6):2728-2752.

[4] 李勋华,何雄浪.基于土地发展权视角下的水电工程农村移民补偿实证研究[J].统计与决策,2010(23):99-101.

[5] 戴思锐.体制重构、成本分担与利益分享:三峡水库例证[J].改革,2013(11):77-88.

[6] 吴上,施国庆.水库移民分享水电工程效益的制度逻辑、实践困境及破解之道[J].河海大学学报(哲学社会科学版),2018,20(4):45-51,92.

[7] 樊启祥.水电项目开发利益共享模型研究[D].北京:清华大学,2010.

[8] 孙海兵,段跃芳.生计资本视角下水库移民的稳定发展[J].水电能源科学,2014,32(2):151-154.

[9] 孙海兵,梁纯.西南地区水电开发移民利益分享研究[J].三峡大学学报(人文社会科学版),2022, 44(1):58-61.

[10] 孙启,许吉龙,王朋,等.改进灰色—产汇流耦合模型在无资料地区径流预报中的应用[J].水电能源科学,2021,39(11):44-47.

Benefit Sharing Model of Hydropower Development Based on Grey Prediction

SUN Hai-bing, ZHANG Ning-jing

(Centre for Reservoir Resettlement, China Three Gorge University, Yichang 443002, China)

Abstract: In order to solve the problem of benefit sharing amount, a quantitative model was established, and a case study was conducted on the application of the model and the corresponding benefit distribution ideas. The results indicate that the stakeholders of hydropower development projects mainly include the central government, local governments, hydropower enterprises and reservoir immigrants, and the net present value method can be used to construct the benefit sharing model, in which the stakeholders take the product of the sum of the present value of net cash flows of hydropower projects and their input shares as the sharing amount. The grey prediction method was used to solve the model. The case of Xiluodu Hydropower Station proves its rationality. It is suggested to establish a development fund for immigrants and safeguard the interests of other parties to open up a new situation of co-construction and win-win of hydropower development.

Key words: hydropower development; benefit sharing; immigrant; measurement model; grey prediction