可持续水电评价方法研究

孙丹丹， 刘 园， 蒋 红
（中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司，四川 成都 611130）

摘 要：可持续水电评价方法旨在对水电开发的可持续性进行量化评估，以指导其未来的开发与管理。笔者以可持续水电评价方法为研究对象，阐述评价指标体系的组成及评价标准，运用拟定的评价指标，选取工程案例对指标进行试算，评估工程建设的可持续性。试算结果表明，所选案例处于中等可持续水平，制约其可持续性的主要因素为财务指标。评价指标体系的应用具有可操作性，评价结果能够反映制约工程可持续性的关键问题，因而能够为水电开发企业提供科学的管理和决策支持。

关键词：水电工程；可持续性；评价；指标体系
中图分类号：TV741 ；F272.5；C34 **文献标识码**： B **文章编号**：1001-2184(2020)02-0095-05

Study on Evaluation Method of Sustainable Hydropower

SUN Dandan, LIU Yuan, JIANG Hong
(Chengdu Engineering Co., LTD, Chengdu, Sichuan, 611130)

Abstract: The purpose of sustainable hydropower evaluation method is to quantitatively evaluate the sustainability of hydropower development, so as to guide its future development and management. Taking the evaluation method of sustainable hydropower as the research object, the author expounds the composition and evaluation standard of the evaluation index system. By applying proposed evaluation index, it selects the project cases to test the indexes and evaluates the sustainability of the project construction. The result of trial calculation shows that the selected case is in a medium level of sustainability, and the main factor restricting its sustainability is financial indicators. The application of the evaluation index system is operable, and the evaluation results can reflect the key problems restricting the sustainability of the project, so it can provide scientific management and decision－making support for hydropower development enterprises.

Key words: hydropower project; sustainability; evaluation; index system

1 水电可持续评价的发展现状

在全球气候变化要求减少温室气体排放的背景下，水电作为可规模利用的清洁能源相较于化石能源具有相当大的优势，水电得到大规模的开发利用[1]。与此同时，开发水电带来的生态环境问题也日益受到国内外专家的广泛关注，基于这样的背景，20 世纪 80 年代初，欧美一些发达国家开始针对水坝建设对生态环境的影响、河流生态系统恢复等方面开展了大量研究工作。为减缓水电开发造成的负面生态影响，产生了瑞士的绿色水电评价和美国的低影响水电认证。

瑞士的绿色水电标准从水文特征、河流系统连通性、泥沙与河流形态、景观与生境、生物群落 5 个方面反映健康河流生态系统的特征[2]，并通过 5 个方面的管理措施来实现，即最小流量管理、调峰、水库管理、泥沙管理、电站设计。环境范畴与管理范畴的内容结合，形成一个环境管理矩阵，整个矩阵为其 25 个域中的每一个域定义了环境目标、基本要求和详细的方法。绿色水电认证的目的是努力将水电站对生态环境的负面影响降至最低，评价方法采用的是定性评价。

美国低影响水电从 8 个方面提出了“低影响水电”应满足的条件，即：流量、水质、鱼类保护措施、流域保护、濒危物种保护、文化资源保护、公共娱乐功能、未被建议拆除。认证审查人员对照标准进行判断，只有满足所有标准的水电站才能通过认证。低影响水电旨在帮助识别和奖励那些通

收稿日期：2019-10-31

过采取措施将水电对环境的负面影响降至最低程度的水电站,使其发电企业在市场营销中更具竞争力。美国低影响水电认证和瑞士的绿色水电认证的共同点都是以环境保护为主要目标,关注水电工程对生态环境的影响,且该两种认证制度并未提及可持续水电的概念[3]。

在绿色水电站评价和低影响水电认证的启发和影响下,一些国际机构开发了水电可持续性评估工具,最具代表性的为国际水电协会(International Hydropower Association,IHA)与湄公河委员会(Mekong River Commission,MRC)分别推出的《水电可持续性评估规范》(Hydropower Sustainability Assessment Protocol)与"可持续水电快速评估工具(Rapid basin－wide Sustainability Assessment Tool)"。

水电可持续性评估规范针对水电工程所处的前期、准备、实施和运行四个阶段,提供独立的可持续性评估工具。评估主题涵盖环境、社会、技术和经济四个方面,根据工程各阶段的不同特点,设置不同的评估主题[4],每个评估主题的得分从 1 分到 5 分不等。评估主题页内给出 3 分的完整说明,描述的是基本良好实践;5 分说明给出的则是 3 分说明之外的附加要求,表达的是已被证实的最佳实践;其他评分等级的说明,则是以 3 分和 5 分为参照点给出标准[5]。

可持续水电快速评估工具是湄公河委员会基于湄公河流域的开发现状以及作为跨境河流的特殊属性所开发的可持续评估工具,其特点是着眼于整个流域评估任何阶段水电发展的可持续性。评估设置 11 个主题共 53 项指标,每项指标给出 1～5 分的评分标准。评估时可根据评估目的选择相应指标。

水电可持续性评估规范与可持续水电快速评估工具总体来讲仍是定性评估,评估方法相对复杂。评估者对工具的熟练程度、评估专家对工程的认识等都将直接影响评估结果。

我国水能资源丰富,随着近年水电开发速度的加快,主要河流梯级开发布局已基本形成[6]。水电开发过程中,生态环境、征地和移民安置、发电企业管理等方面也不断涌现出各种各样的问题和不足,为适应生态文明建设和能源绿色发展的要求,有必要探索研究适应我国水电发展国情的可持续性评价标准。

2 可持续水电评价内容及方法

参考《水电可持续性评价规范》《可持续水电快速评估工具》《绿色水电》等国际性技术规范,考虑水电站在设计、建设和运行中各利益相关方的需求,结合生态环境、安全管理等方面的要求,分别针对水电站设计、建设和运行三个阶段建立评价指标体系。评价指标体系设置目标层、要素层和指标层,根据水电工程所处开发时段设置各时段评估主题,并拟定评价指标。单个指标的评估主要采用定量或定性方式,并尽量采用定量方法计算出单项指标的具体数值,并对照评分标准进行赋分,根据单项指标的得分和各项指标权重,得出最终评价总分。单项指标评分采用 5 分制,总分采用百分制,高于 60 分即可认为水电工程可持续。以设计阶段评价指标体系为例,目标层为社会经济、环境、管理三个方面,对应的要素层和指标层各设置 11 个评估主题及 12 个单项评价指标(表 1)。

3 案例分析

根据设计阶段可持续水电评价指标体系,选取金沙江上游某大型水电站作为案例进行分析[7]。该水电站位于西藏自治区和四川省交界的金沙江干流上,电站采用堤坝式开发,坝型为混凝土双曲拱坝,最大坝高 217 m,库容 10.8 亿 m^3,调节库容 5.37 亿 m^3,电站总装机容量 224 万 kW。电站于 2016 年 11 月通过国家发展和改革委员会核准,目前正处在建设阶段,但由于尚未达到建设高峰年,因此本文采用设计阶段评价指标对该水电站可持续性进行评价。

3.1 经济社会评价

该水电站装机容量 224 万 kW,多年平均年发电量为 102.98 亿 kWh,运行期将给当地带来大量的财政税收,为相关产业提供能源支持。电站建设期间随着工程资金的投入,将为区域经济发展创造良好的机遇。施工期间由于大量施工人员进驻,将促进当地消费需求的猛增,从而促进当地农业、餐饮业和其他服务业的发展,对于当地第三产业的快速发展具有极大的促进作用。

该水电站固定资产投资约 294 亿元,建设期将对地方经济增长产生拉动作用,并对地方财政税收做出较大贡献。经测算,电站投资建设期间(2014～2024 年),可拉动西藏 GDP 增长 1.13 个

百分点，可拉动四川省经济增长 0.05 个百分点。

电站投运后，通过项目自身发挥效益，促进西藏和四川两省经济增长。经测算，2025 年对西藏经济增长的贡献率为 5.2%，可拉动自治区经济增长 0.52 个百分点；对四川省的经济贡献率为 0.32%，可拉动全省经济增长 0.03 个百分点。

表 1　水电站设计阶段可持续评价指标体系

目标层	设计阶段 要素层	指标层	评价方法	指标计算及赋分方法
经济社会	工程效益	综合利用效益	定量评价	除发电外的综合利用功能，与水电行业中位值占比，100%为 3 分标准，大于 110%为 5 分标准
	区域经济贡献	区域经济贡献率	定量评价	区域经济贡献年均值与电站资产总额占比，230%为 3 分标准，大于 300%为 5 分标准
	财务生存能力	财务内部收益率	定量评价	与财务基准收益率占比，大于或等于 1 为 5 分标准
	减排效益	能源替代效应	定量评价	单位装机替代火电煤耗，0.5 为 3 分标准，大于 0.7 为 5 分标准
	社会稳定	社会稳定风险	定性评价	社会稳定风险评估结论，低风险为 5 分标准，采取风险防范措施后低风险为 3 分标准
	移民安置	单位装机移民人数	定量评价	小于 10 为 5 分标准，50～100 为 3 分标准
		移民环境容量比	定量评价	环境容量与移民人数比值大于 3 为 5 分标准，1.5～2 为 3 分标准
	环境总体影响	环境影响经济损益	定量评价	效益与损失比大于 5%为 5 分标准，效益与损失相当为 3 分标准
环境	环境敏感程度	生态敏感性	定性评价	水电工程涉及特殊生态敏感区或重要生态敏感区情况，不涉及为 5 分标准
	环境保护对策措施	环境保护和水土保持设计执行情况	定性评价	环保、水保专项设计开展情况
管理	政策与规划合法性	项目前期工作和项目设计的合法性	定性评价	审批程序的合法合规性
	工程管理	工程管理能力	定性评价	工程管理组织机构设置、管理制度等的完善程度

该电站处于金沙江上游，区域人口分布稀少，水库淹没及工程占地涉及人口数量少，移民安置难度可接受。

综合以上分析，对照可持续评价的赋分原则，该电站经济社会评价得分为 27 分。

3.2　环境评价

电站的建设对当地社会经济发展具有重要作用，可有效改善区域交通等基础设施条件，解决当地群众就业，社会效益显著。电站不涉及环境敏感区，工程按照现行环保法律法规要求编制环境影响评价报告，并针对工程建设和运行可能对环境产生的影响制定了完善的环境保护措施体系。电站运行期年发电量 102.98 亿 kWh，可实现 737.7 万 t/y 的减排效益，在一定程度上防止了非再生能源的消耗及其带来的环境问题，具有较好的环境效益。另外，为减免工程建设及运行造成的不利环境影响，工程制定了系统的环保措施方案，包括施工期废污水处理、固体废物处理、噪声及粉尘污染控制、移民安置环境保护、水生生态保护、陆生生态保护等。工程环保措施实施后，工程建设及移民可能造成的新增水土流失基本可以得到控制；水库可能会使局部小环境变得湿润，使旱生河谷灌丛或草丛植被类型向半湿润的植被类型演化。

因此，该电站具有较好的经济效益和环境效益，对照可持续评价的赋分原则，该电站环境评价得分为 33 分。

3.3　管理评价

为合理开发金沙江丰富的水能资源，加强藏区电力基础设施建设，实现“藏电外送”，构建国家“西电东送”接续能源基地，国家发展和改革委员会于 2011 年 8 月批准同意该电站开展前期工作。2011 年 7 月国家环保部对金沙江上游水电规划环评进行批复，2016 年 4 月对电站环评进行了批复。电站开发建设单位为华电金沙江上游水电开发有限公司，中国华电集团有限公司直属的水电流域公司，受集团总部直接管理，主要负责金上川藏段梯级电站和沿江风光电资源的开发建设和管理。公司管理水平先进，运营能力处于行业领先

水平,抗风险能力较强。

工程建设前期,按照国家法律法规及要求完成了各项行政审批手续,最终取得核准文件,项目前期工作依法依规。项目建设单位具有良好的资金水平及项目管理能力,对照可持续评价的赋分原则,该电站管理评价得分为 18 分。

3.4　结果分析

综合权重,确定该电站的最终得分(图 1),通过定量计算和定性分析,得出该电站各单项指标的评价得分(表 2)。

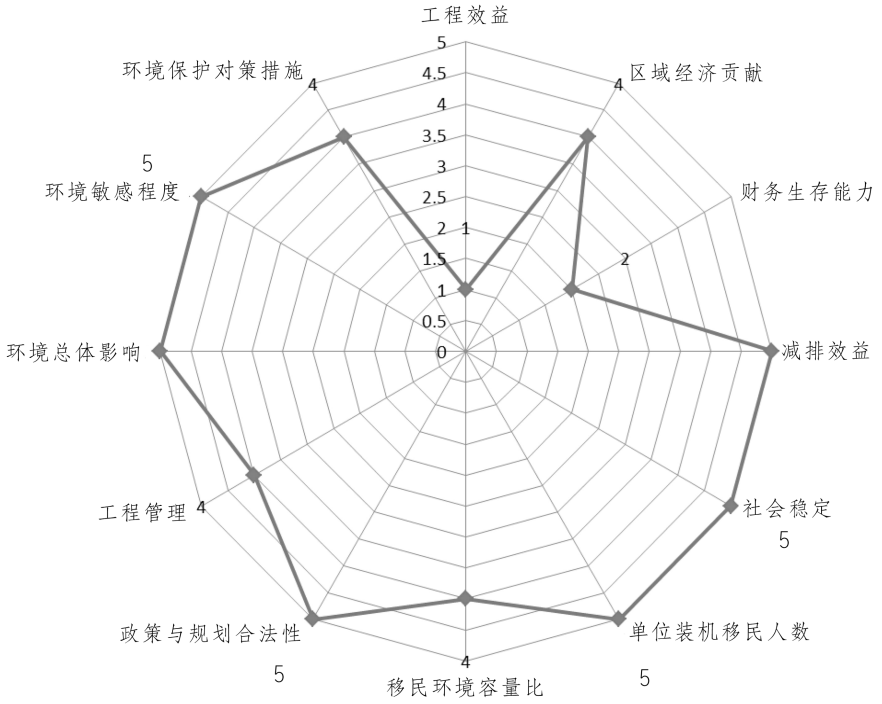

图 1　可持续性评价得分结果

表 2　设计阶段可持续评价结果

目标层	要素层	指标层	得分	权重	最终得分
经济社会	工程效益	综合利用效益	1	2	2
	区域经济贡献	区域经济贡献率	4	1	4
	财务生存能力	财务内部收益率	1	2	2
	减排效益	能源替代效应	5	1	5
	社会稳定	社会稳定风险	5	1	5
	移民安置	单位装机移民人数	5	1	5
		移民环境容量比	4	1	4
环境	环境总体影响	环境影响经济损益	5	3	15
	环境敏感程度	生态敏感性	5	2	10
	环境保护对策措施	环境保护和水土保持设计执行情况	4	2	8
管理	政策与规划合法性	项目前期工作和项目设计的合法性	5	2	10
	工程管理	工程管理能力	4	2	8
综合得分					78

由评价结果可见,该电站在经济社会方面的得分最多,为 5 分;由于该电站的开发任务以发电为主,无其他综合利用功能,因此,工程综合利用效益得分最低,为 1 分;电站地处川藏地区,交通等基础设施条件较差,财务生存能力得分较低,其余经济社会得分均在 4 分以上,总体属于中等可持续水平。电站在规划、设计过程中,严格执行国家相关法律法规要求,依法履行相关审批程序,在开发水电的同时,对电站建设和运行过程中可能产生的生态环境问题、移民问题都予以充分考虑,深入贯彻"绿色金上"的水电开发精神。综上,电站综合评价得分为 78 分,为中等可持续,表明该水电站具有较好的可持续性。但由于电站地处金沙江上游川藏段,生态环境敏感,高海拔地区植被恢复存在一定难度;电站坝高超过 200 m,水库为季调节水库,运行期库区水温分层明显,低温水下泄对下游河段水生生态有一定影响;高坝泄洪产生的气体过饱和影响也是需重点关注的环保问题。因此,在电站后续的开发建设和运行管理过

程中，需坚持生态优先，在保护中开发的原则，走可持续发展之路。

4　结　语

可持续水电评价是以大中型水电工程为研究对象，从经济社会、环境和管理 3 个方面制定评价指标，给出计算和赋分方法，定量化评价水电工程在设计、建设、运行等各阶段的可持续性，并以大型水电工程作为实例，选择设计阶段评价指标进行计算，结果表明：评价指标体系的应用具有可操作性，评价结果能够反映制约工程可持续性的关键问题，因而能够为水电开发企业提供科学的管理和决策支持。

鉴于该项研究指标初步建立，其实用性和指导性仍有待于进一步检验，为了建立具有广泛适用性的可持续水电评价指标体系和评价标准，还需开展更加深入的研究和案例分析工作，从而提高指标体系的科学性和适用性。

参考文献：

[1] 杨桐鹤，禹雪中，冯 时.水电可持续发展的概念、内容及评价[J].中国水能及电气化，2010，(8)：9－14.

[2] 安雪晖，柳春娜，黄真理.长江流域水电开发可持续性评价体系[J].中国发展，2015，(4)：7－13.

[3] 陆 波，喻卫奇，蒋 波.水电可持续性评估工具简析[J].水力发电，2013，(9)：5－8.

[4] 国际水电协会.水电可持续性评估规范[R]. 2010.

[5] 贾宝真，禹雪中.国内外水电环境及可持续性评价标准的比较[J].水力发电，2013，(4)：13－16.

[6] 缪益平，陈飞翔，战永胜，等.雅砻江梯级水电可持续发展评价指标体系研究[J].四川水力发电，2014，(2)：118－123.

[7] 中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司.水电站可行性研究报告[R].2016.

作者简介：

孙丹丹(1982-)，女，吉林通化人，高级工程师，从事水电环保工作；

刘　园(1980-)，女，四川宜宾人，高级工程师，从事水电环保工作；

蒋　红(1967-)，女，浙江余姚人，高级工程师，从事水电环保工作.

(责任编辑：吴永红、卓政昌)

(上接第 4 页)

[2] 周翠英，邓毅梅，谭祥韶，等. 饱和软岩力学性质软化的实验研究与应用[J]. 岩石力学与工程学报，2005，24(1)：33－38.

[3] 李凯甜，邓荣贵，文琪鑫，等. 红层泥质岩干湿循环下的变形特性试验研究[J]. 四川建筑，2019，39(2)：118－122.

[4] 李　畅，任光明，孟陆波，等. 红层砂岩高温后效蠕变试验研究[J]. 水文地质工程地质，2019，46(1)：71－78.

[5] 罗崇亮，余云燕，包得祥，等. 基于三轴试验红层泥岩的邓肯－张模型参数研究[J]. 地震工程学报，2019，41(2)：436－444.

[6] 李　果，于继克. 红层软岩水理特性研究[J]. 黑龙江交通科技，2019，9：7－9.

[7] 苏　航，王云川，王　浪. 红层泥岩崩解性试验研究[J]. 人民珠江，2018，39(11)：39－42.

[8] 包得祥，余云燕，杨克诚. 兰州地区含盐红层泥岩土水特征曲线研究[J]. 兰州交通大学学报，2019，38(5)：25－34.

[9] 肖尊群，王　鑫，汤东桑，等. 巴东组典型红层软岩单轴压缩试验细观组构特征[J]. 煤田地质与勘察，2019，47(6)：103－114.

[10] 谢小帅，陈松华，肖欣宏，等. 水岩耦合下的红层软岩微观结构特征与软化机制研究[J]. 工程地质学报，2019，27(5)：966－972.

[11] 舒中潘，高 政，张 军，等. 川东红层区某平面转折复合型滑坡稳定性分析[J]. 路基工程，2019.04：116－120.

[12] 徐　静，周　毅，段立强，等. 川东某红层缓倾角顺层滑坡特征及成因机制分析[J]. 甘肃科技，2019，35(13)：91－93.

[13] 蒋　正，倪化勇，宋　志. 重庆丰都县城区红层边坡变形破坏模式与稳定性评价[J]. 中国地质灾害与防治学报，2018，29(6)：23－32.

[14] 张佑廷，张世殊，彭仕雄，等著. 嘉陵江红层工程地质特性与勘察实践[M]. 北京：中国水利水电出版社，2019.

作者简介：

张世殊(1970-)，男，重庆人，博士，正高级工程师，从事水电工程相关的工程地质及地质灾害等方面的研究与管理工作；

赵小平(1984-)，男，江西九江人，博士，高级工程师，从事水电工程相关的岩土工程及相关的生产和科研工作；

冉从彦(1983-)，男，重庆人，学士，高级工程师，从事水电工程相关的工程地质及岩土工程等相关的科研和管理工作；

胡金山(1973-)，男，江西上饶人，学士，正高级工程师，从事水电工程相关的工程地质及相关的生产和科研工作；

张佑廷(1960-)，男，四川都江堰人，正高级工程师，从事水电工程相关的工程地质及相关的生产和管理工作.

(责任编辑：吴永红、卓政昌)