



联合国
工业发展组织



杨道河电站下游河道

UNIDO-GEF 中国小水电增效扩容改造增值项目

2023年5月

杨道河梯级水电站 案例分析报告

孙澜

1 电站概况

杨道河梯级电站包括朝天吼、杨道河和石家坝3座水电站，位于湖北省兴山县，是高岚河干流开发的第一、第二、第三级电站。兴山，环邑皆山，县治兴起于群山之中，故名，位于湖北省西部、长江西陵峡北侧，是三峡库区县之一，县城古夫镇距宜昌市城区150km。兴山县境内共有大小山头3580座、溪河156条，水能资源理论蕴藏量33.3万kW，可开发23.9万kW。高岚河是香溪河3条一级支流之一，梯级电站所在河段又称为杨道河。朝天吼、杨

道河水电站均位于杨道河村，石家坝水电站位于下游石家坝村，因所在河道位于杨道河村，故名杨道河梯级电站。杨道河梯级电站均为引水式开发，以发电为主，主要建筑物包括取水建筑物、引水建筑物、前池、压力管道、厂房和升压站等。各电站之间为重叠式衔接，水头利用率接近100%。朝天吼水电站坝址以上集雨面积405.4km²，引水线路总长约5km，发电尾水进入杨道河水电站引水箱涵。杨道河水电站坝址以上控制流域面积715.5km²，引水线路总长约5.6km，发电尾水进入杨道河河道。

活动内容	设置原因	活动成效
设置生态流量泄放设施	未设置生态流量泄放设施	在坝上设置生态流量泄放槽，可常年泄放生态流量
修建梯级生态堰坝	河段采砂情况较多，造成河床深浅不一；枯水期河床岩石裸露、杂乱	拦水坝下游河段修建一级或多级生态堰坝，增加河段水面，改善了河道生境
设栏污栅，阻挡生活垃圾、漂木等	河流污染物较多，对鱼类造成影响	在大坝上游设置拦污栅，沿过水宽度布设，顶部高于河床0.3m，可有效阻挡垃圾
增加漂浮垃圾搜集和处理的设施设备	进水口没有自动清污装置，电站运行人员定期人工清运垃圾，费时费力	在进水口前安装自动清污机，垃圾收集后由环卫车辆转运处理
设置生态流量监测设施	改造前未设置生态流量监测设施	增设了生态流量监测设施，可实时监测生态流量
各电站厂区种植草皮、增植树木	电站厂房陈旧，外墙破损较多，景观效果差，与周围景区及自然环境格格不入	修缮厂房，在各电站厂区种植景观树木和草皮，增加绿化
在朝天吼电站设置流域集控中心	三座梯级电站都设独立的计算机监控系统，没有联为一体，没有优化	在将军柱电站（申请调整了地点）设置了流域集控中心，可实现梯级电站集中监视与控制。
安全生产标准化建设	增值改造活动要求	达到安全生产标准化要求
绿色小水电评价	增值改造活动要求	达到绿色小水电要求

表1.杨道河梯级水电站GEF增值改造活动列表

相关可持续发展目标 (SDG)



国家



时间

2015-2023



总预算

912万美元



合作伙伴

中国水利部
中国财政部



联系我们

h.liu@unido.org

位于河道下游的石家坝水电站坝址以上集雨面积 742.8 km^2 ，引水线路总长约 2.5 km ，发电尾水进入下游电站进水廊道。电站所在河段总的鱼类资源量较小，无国家重点保护物种，也无湖北省保护物种。

朝天吼水电站于1999年4月投产发电，原总装机容量 $2 \times 2500\text{ kW}$ ，多年平均发电量 1930万 kWh ，额定水头 80m ，发电引用流量 $7.9\text{ m}^3/\text{s}$ 。杨道河水电站于1997年7月投产发电，原总装机容量 $5000+2500\text{ kW}$ ，多年平均发电量 3055万 kWh ，额定水头 74m ，发电引用流量 $11.93\text{ m}^3/\text{s}$ 。石家坝水电站于1985年4月投产发电，原总装机容量 $3 \times 1250\text{ kW}$ ，多年平均发电量 1578万 kWh ，额定水头 40m ，发电引用流量 $11.7\text{ m}^3/\text{s}$ 。杨道河梯级电站于2017-2018年进行了增效扩容改造。改造后，朝天吼、杨道河电站的装机容量保持不变，设计多年平均发电量分别增至 2355.2 、 3708万 kWh ，比改造前多年平均发电量分别增加 22% 、 21.4% 。石家坝电站总装机容量增至 4500 kW ，比改造前增加 20% ，设计多年平均发电量增至 2183万 kWh ，比改造前多年平均发电量增加 38.3% 。改造后，朝天吼、杨道河、石家坝电站额定工况下机组综合效率分别由改造前的 66.9% 、 65.0% 、 64.9% 提高到 86.9% 、 87.1% 、 86.5% 。2019-2021年间，朝天吼、杨道河、石家坝电站的实际年均发电量分别为 1622.774 、 2773.888 、 1678.1211万 kWh ，因发电水量偏少，年均发电量未达到设计水平。

杨道河梯级水电站于2021年底完成GEF增值改造活动，三个电站均获农村安全生产标准化二级单位和绿色小水电示范电站。

2 GEF增值改造活动

杨道河梯级水电站GEF增值改造活动的主要目标是促进电站在增效扩容基础上进一步升级管理水平，改善电站所在河流生态，绿化、改善电站周边环境，达到绿色小水电建设要求。GEF活动赠款总经费 400万元人民币 ，具体如表1所示。

3 GEF增值改造活动亮点

3.1 设置流域集控中心 实现梯级电站集中监控

杨道河梯级电站根据《农村水电增效扩容改造项目初步设计指导意见》，以提高综合能效和安全性能、增加发电能力、推进流域梯级优化调度为目标，设置了高岗河流域集控中心建设项目活动，对流域内朝天吼电站、杨道河电站、石家坝电站进行远方监视、优化调度。流域集控中心管理模式采用厂站模式和梯级监控中心相结合的方案。

改造前，朝天吼电站、杨道河电站均采用常规控制，未设置视频监视系统，厂区及厂房需要人工巡视，且二次设备老化严重、故障率高；石家坝水电站虽已经过改造，设有计算机监控系统及视频监视系统，但升压站未设置视频监视系统。

改造后，各电站均完善了计算机监控系统和工业视频监视系统，满足“无人值班、少人值守”要求，只要一个操作指令即可完成机组操作工况的自动转换。流域集中监控中心计算机监控系统连接各电站的计算机监控系统，实现对各个电站的集中监控功能。流域集中监控中心向电站计算机监控系统发送远程监视和控制命令，通过电站计算机监控系统作用到各LCU(现地控制单元)，对电站运行参数进行检测和处理，对电站开关量进行采集和事件顺序记录，对电站进行遥控和遥调，接受电站视频数据，实现对电站的遥视功能。中心能对每个电站的所有现场进行远方监视，对电站设备现场状况定期巡视，火警监视，安全保卫。远程视频监视系统能对监视场景进行录像。流域集控中心计算机监控系统画面包括各类系统画面、电站主接线图、机组监视图、功率调节图、辅机系统结构图；视频服务器显示电站实时画面。正常情况下，电站可由集控中心操作员工作站完成远方控制，也可以切换至电站控制级操作员工作站控制。

流域集控中心计算机监控系统主要包括：1套冗余历史数据服务器、1套实时数据服务器、3套远控操作员工作站、2套调度操作员站、1套工程师/培训工作站、1套语音报警工作站、1套通讯服务器、1套星型网络工业级交换机、1台网络打印机、1套UPS、1套GPS。

流域集控中心初步设计方案设置在朝天吼电站，后因朝天吼电站副厂房无法设置流域电站集控中心，同时将军柱电站更加位于流域中心，实施时将流域集控中心改为设置在将军柱电站。



朝天吼水电站中控室改造前、后



调速器和励磁保护采用微机型



杨道河电站中控室，“少人值守”的要求



高岗河流域集控中心

3.2 增设生态设施 提升河道生态环境

朝天吼电站有2座主副取水坝(高岗取水坝和三龙潭取水坝)，分别位于主河道和三龙潭沟，杨道河及石家坝电站各有1座取水坝。朝天吼和杨道河电站均采用底栏栅坝，石家坝电站采用无闸门控制的重力坝。

底栏栅坝取水原理是：在壅水坝内设置输水廊道，坝顶带有栏栅，当水流经过底栏栅坝时，水流通过底栏栅进入渠道，而大颗粒泥沙则受到底栏栅的拦截并随剩余的水流移动至下游。它适用于河床较窄、水深较浅、河底纵坡较大、大颗粒推移质特别多、取水量比例较大的山溪河流。电站改造前，各底栏栅坝均不同程度存在破损现象，各电站均没有设置生态泄放专门设施，大坝下游分别存在 3.6 、 1.5 、 3.1km 长的减脱水河段。

电站改造后，对坝前淘刷进行了整治，新增生态流量泄放槽及流量监测装置。朝天吼水电站在主副坝上分别设置生态流量泄放槽，生态流量大小分别为 $0.68\text{ m}^3/\text{s}$ 及 $0.10\text{ m}^3/\text{s}$ ，孔口尺寸分别为 $0.5 \times 0.7\text{m}$ 、 $0.5 \times 0.4\text{m}$ (宽×高)，纵坡分别为 $1:10$ 和 $1:20$ ，通过生态流量时水深分别为 0.28m 、 0.09m 。杨道河水电站生态流量为 $1.37\text{ m}^3/\text{s}$ ，孔口尺寸为 $1.0 \times 0.7\text{m}$ (宽×高)，纵坡 $1:10$ ，通过生态流量时水深为 0.25m 。石家坝电站生态流量为 $1.42\text{ m}^3/\text{s}$ ，孔口尺寸 $1.0 \times 0.3\text{m}$ (宽×高)，纵坡 $1:10$ ，通过生态流量时水深为 0.25m 。按照设计，均满足最低水位运行要求。

电站改造前，所在河段因采砂情况较多而造成河床深浅不一，枯水期河床岩石裸露、杂乱。电站改造，结合生态流量泄放措施和河道减脱水等实际情况，在坝下游设置浆砌石生态潜坝。生态潜坝坝基位于河床以下，坝顶部高于河床，过水面采用砂浆抹面。为保证坝体安全，在下游堆砌卵石减少水流对潜坝的淘刷。生态潜坝的重要作用是在上游形成一定水面，并在下游形成深潭—浅滩的生物栖息环境。朝天吼电站修建生态坝3座，形成水面约 12540m^2 。杨道河电站修建生态坝1座，形成水面约 8500m^2 。石家坝电站修建生态坝1座，形成水面约 5400m^2 。

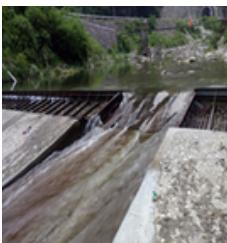
杨道河流域植被茂盛，山泉、溪水较多，改造后，生态流量泄放槽自由泄放生态流量，生态堰坝形成生态水面，各拦河坝以下区间河段基本不在断流区域。



朝天吼电站三龙潭取水坝、杨道河电站拦水坝改造前



朝天吼、杨道河电站底栏栅坝改造后



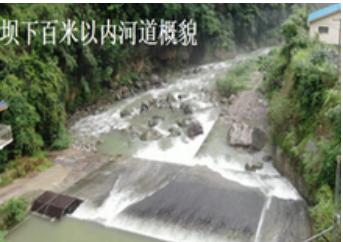
朝天吼水电站生态流量泄放、监测设施



杨道河水电站生态流量泄放、监测设施



石家坝水电站生态流量泄放、监测设施



朝天吼水电站下游河道改造前、后



石家坝水电站下游河道改造前、后



朝天吼电站下游河道改造后



杨道河电站下游河道改造后



河道改造后

3.3 改造电站景观 助力水利风景区建设

兴山县一直致力于主要河段开展水利风景区建设，将水电资源、水生态与旅游开发相结合。杨道河梯级水电站临靠S312公路，靠近朝天吼风景区。电站将GEF增值活动对接水利风景区建设，使绿色小水电建设和风景区建设相结合，对坝区、厂区均进行生态景观设计，使电站建筑物能与当地优美环境相适应，体现生态水电、绿色水电、和谐水电。

(1) 坝区生态景观设计改造。杨道河梯级水电站坝区生态景观设计遵循以下基本原则：保证和满足水利工程防洪、泄洪要求；保护和恢复河流形态的多样性，河道应缓变、弯曲，靠近河岸有多空隙空间，满足生态河流的边界要求；河岸尽量形成缓坡，水深富于变化，河岸缓坡处种植观赏林；多利用传统水利工艺，形成跌水、石笼丁坝群，河底起伏而有变化，保持有浅滩、深潭等有一定规模的水面水域环境，为植物生长和动物栖息创造条件。电站改造后，坝体重新抹面，对上游河道中的乱石进行了整治、理顺，对施工区河道两侧植物进行了整理，对坝址下游河道，在较缓河段设置叠水堤堰等。除了前述采取生态流量泄放工程措施，解决河段减脱水问题外，朝天吼水电站改造引水渠道，设计形成人工瀑布，直接下到河道。

(2) 厂区景观设计改造。杨道河梯级电站为上世纪八、九年代修建，改造前厂区建筑物外观和内饰已显老旧，外墙破损较为严重，屋顶局部存在渗水。厂区景观设计的重点是厂区建筑物装修和厂区绿化，主要包括：屋顶进行防渗处理，拆除原防水层，重做SBS卷材防水；室内墙面及顶棚涂刷白色高弹内墙漆；外墙重做外墙漆；主厂房底层窗户均更换为铝合金窗，副厂房等全部窗户更换为铝合金窗，部分更换为彩铝中空窗；生活区建筑办公室和会议室更换所有灯具及线缆，粉刷厂区挡墙和围墙，对厂区道路两侧及建筑周围进行绿化。改造后，三个电站均对老旧的厂房、办公和宿舍楼等进行了修缮，厂区种植草皮护坡，消除扰动，绿化景观；改造了进厂及河道周边环境，如厂房临河侧挡墙嵌敷河

道漂卵石，使之与河道原漂卵石自然衔接，道路两侧设绿化带，增加种植草皮和树木等。

通过水利风景区的建设和带动，兴山县打造了“最美水上公路”乡村旅游精品走廊。2017年，高岚河、古夫河、南阳河被评为省级水利风景区；2018年，高岚河被评为国家级水利风景区。据有关报道，新冠肺炎疫情发生前的2018年，水利风景区累计接待游客334万余人次，实现综合收入23.3亿元。2019年5月，兴山县被国际小水电联合会授予中国首个“国际小水电绿色发展示范基地”。



朝天吼水电站引水渠道下泄瀑布



朝天吼、杨道河、石家坝电站改造后厂房及周边



改造后站内增设景观、体育锻炼设施



改造后增加草皮、道路边绿化



厂房临河侧挡墙嵌敷河道漂卵石



朝天吼漂流景区、一线天景区

4 经验和启示

案例分析表明，杨道河梯级水电站GEF项目活动效益显著，其经验与启示总结如下：

(1)流域集控中心较为合理地设在位于流域中心的电站，并采用厂站模式和梯级监控中心相结合的管理模式。杨道河梯级电站改造后全部采用计算机监控系统及视频监视系统，为流域集控中心建设创造了基础条件。流域集控中心设置后，可对流域内梯级电站进行遥控、遥调和遥视，并开展流域优化调度，促进梯级电站实现“无人值班、少人值守”，优化利用流域水能资源。

(2)杨道河流域植被茂盛，山泉、溪水较多，电站GEF增值活动对接水利风景区建设要求，对坝区、厂区进行系统的生态景观设计，对河道进行生态改造，助力兴山县成为“国际小水电绿色发展示范基地”。基地实现水能资源开发、水生态建设与旅游开发相结合的目标，GEF增值活动一举多得。

UNIDO-GEF 中国小水电增效扩容改造增值项目

了解更多信息请访问

- <https://open.unido.org/projects/CN/projects/140196>
- <http://www.icshp.org/small-and-green>