



联合国
工业发展组织

可持续发展
目标



联合国工业发展组织 全球环境基金 中国小水电增效扩容改造增值项目

小水电绿色转型发展



全球环境基金
为地球的生存而投资



中华人民共和国水利部



国际小水电中心

免责声明

本文件在出版前未经联合国正式编辑。文中使用的名称和提供的材料并不意味着联合国工业发展组织（工发组织）秘书处就任何国家、领土、城市或地区或其当局的法律地位或就其边境或边界划界或其经济制度或发展程度发表任何意见。“发达”、“工业化”、“发展中”等名称意在便于统计，未必表达对特定国家或地区所处发展进程的某种判断。对商号名称或商业产品的提及并不构成工发组织对它们的认可。



福建塘坂电站下游河道

目录

第一章 项目概述

- 01 项目背景
- 04 中国绿色小水电示范电站创建发展情况
- 04 中国小水电安全生产标准发展情况
- 05 项目活动
- 06 组织机构

第二章 项目实施和成果

- 08 政策与体制建设
- 08 政策成果文件
- 09 技术示范
- 10 试点电站
- 12 试点案例
- 20 能力建设与知识分享
- 20 组织培训
- 21 举办研讨会
- 21 指导电站进行绿色小水电认证
- 21 开展安全生产标准化
- 22 监测评估
- 22 中期绩效评价
- 22 终期评估

第三章 项目效益

- 24 经济效益
 - 24 提升装机容量
 - 24 提升发电量
 - 24 提升自动化水平
- 25 环境效益
 - 25 保障生态流量
 - 25 降低温室气体排放
- 26 社会效益
 - 26 推动绿色小水电开发的制度框架建设
 - 26 提升安全生产标准化水平
 - 26 提升从业人员技能及管理能力
 - 28 提高女性就业能力和收入
 - 28 服务周边居民

第四章 中国绿色小水电的发展与前景

- 30 中国小水电的绿色转型
- 31 小水电与中国的“双碳”目标

联合国工业发展组织 全球环境基金
中国小水电增效扩容改造增值项目
小水电绿色转型发展

第一章

项目概述

项目背景

小水电是指装机容量较小的水电站或水力发电装置。大部分国家把装机容量在 1 万 kW 以内的水电站称为小水电。在中国，小水电指单站装机容量 5 万 kW 及以下的水电站，因多建在农村山区，又称农村水电。在中国水能资源中，小水电资源可开发量约为 1.28 亿 kW，广泛分布在中国 30 多个省（区、市）。

作为一种清洁可再生能源，小水电具有很高的利用价值。相较于煤炭等化石能源，小水电的平均温室气体排放较低，具有分散式开发、就地成网、就近供电、成本较低等优势，且多建在偏远地区，

可以作为大电网的有益补充。但由于规划、技术、管理等方面不足，一些小水电项目对河流水生态和环境的累积性影响日益凸显，如厂坝间出现减水脱流河段，改变河流连通性和生物多样性等。

安全生产也是近年来小水电行业重点关注的问题。中国的相当一部分小水电站由于建设时间较早，设备设施老化、发电效率低、管理人员专业技术水平低等问题比较突出，还有一些电站过于注重经济效益而缺乏安全意识，因此加强小水电安全生产监管、开展安全生产标准化建设就显得尤为重要。

引水式



河床式



典型的小水电项目设施布局^[1]

小水电项目的布局中，引水式是主要形式，占全部数量的八成以上^[2]

目前，中国小水电开发的市场化程度很高，最主要的投融资渠道是贷款和自筹资金；在浙江等地区，民营企业和民间资本所占份额甚至超过 80%。然而，小水电项目具有显著的外部影响，例如减少温室气体排放、改善生活质量（正面），对河流生态和环境的影响（负面）等，应综合运用政府和市场两种机制。

小水电的绿色可持续发展，需要综合考虑生态环境、安全、经济、社会等多个方面，使小水电项目在为经济社会发展服务的同时，通过合理的规划、设计、建设、运行、管理以及健全的激励等保障机制，将其不利影响控制在保持河流生态系统结构和功能良好的程度，实现经济社会与环境的协调可持续发展。

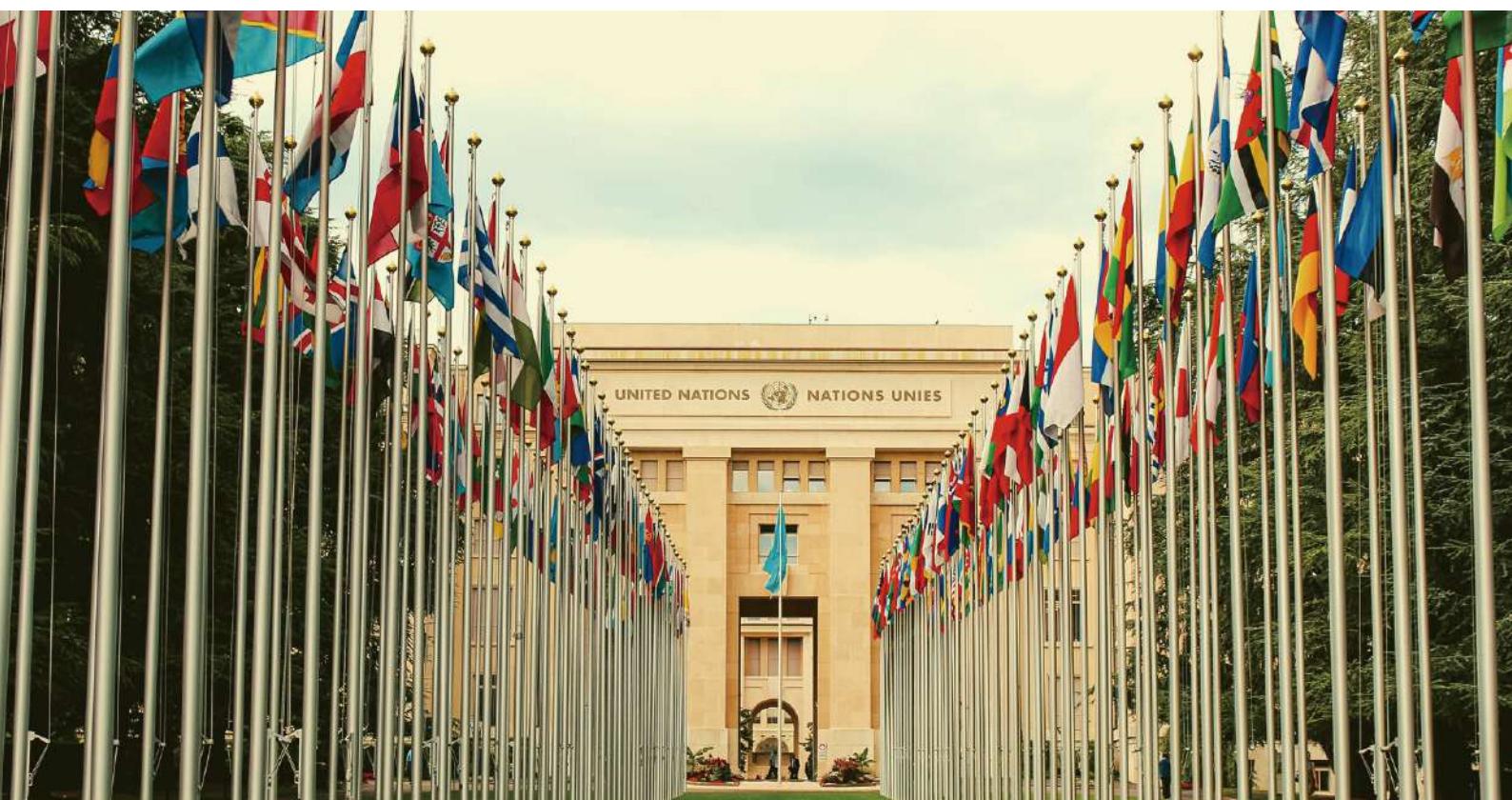
1. The British Hydropower Association. (2012). A Guide to UK Mini-Hydro Developments (3rd ed.). The British Hydropower Association. <https://www.british-hydro.org/wp-content/uploads/2018/03/A-Guide-to-UK-mini-hydro-development-v3.pdf>

2. 杨洋, 陈锋, 赵先富, 张志明, & 谭平. (2022). 小水电生态修复思考. 人民长江, 53(7), 57–62.



小水电绿色发展与中国新农村建设以及“碳达峰·碳中和”目标紧密相连。2016年中央一号文件《关于落实发展新理念加快农业现代化实现全面小康目标的若干意见》指出，加快农村基础设施建设要发展“绿色小水电”。2020年9月，中国国家主席习近平在第75届联合国大会上代表中国政府庄严承诺，“中国将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的政策和措施，二氧化碳排放

力争于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和”。小水电因其在农村山区的广泛应用，以及极低的碳排放水平，在中国农村发展和能源行业减排中扮演着重要角色。这也与联合国可持续发展目标中的“经济适用的清洁能源”（第7项）、“产业、创新和基础设施”（第9项）以及“气候行动”（第13项）一脉相承。



9 产业、创新和基础设施



7 经济适用的清洁能源



13 气候行动



联合国可持续发展目标（Sustainable Development Goals, SDGs）是联合国制定的17个全球发展目标，在2000-2015年千年发展目标（MDGs）到期之后继续指导2015-2030年的全球发展工作。17个可持续发展目标是实现所有人更美好和更可持续未来的蓝图。目标提出了我们面临的全球挑战，包括与贫困、不平等、气候、环境退化、繁荣以及和平与正义有关的挑战。这些目标相互关联，旨在不让任何一个人掉队。

为推动中国小水电行业的绿色可持续发展，重点解决小水电在河道生态修复、安全生产管理和自动化控制水平提升等方面存在的问题，联合国工业发展组织（以下简称工发组织）与中国水利部、中国财政部（以下简称水利部、财政部）合作申报了全球环境基金“中国小水电增效扩容改造增值”项目。2016年6月全球环境基金理事会正式批准该项目建议书，2017年11月正式启动项目实施。

项目利用全球环境基金的资金，以中国“十三五”农村水电增效扩容改造项目为依托，进一步提高小水电增效扩容改造项目附加值，推动制定绿色小水电发展政策、培育绿色小水电示范电站、建设安全生产标准化电站、引进先进设备与技术、加强小水电能力建设，为全球小水电绿色发展积累经验。



浙江盘溪梯级电站下游

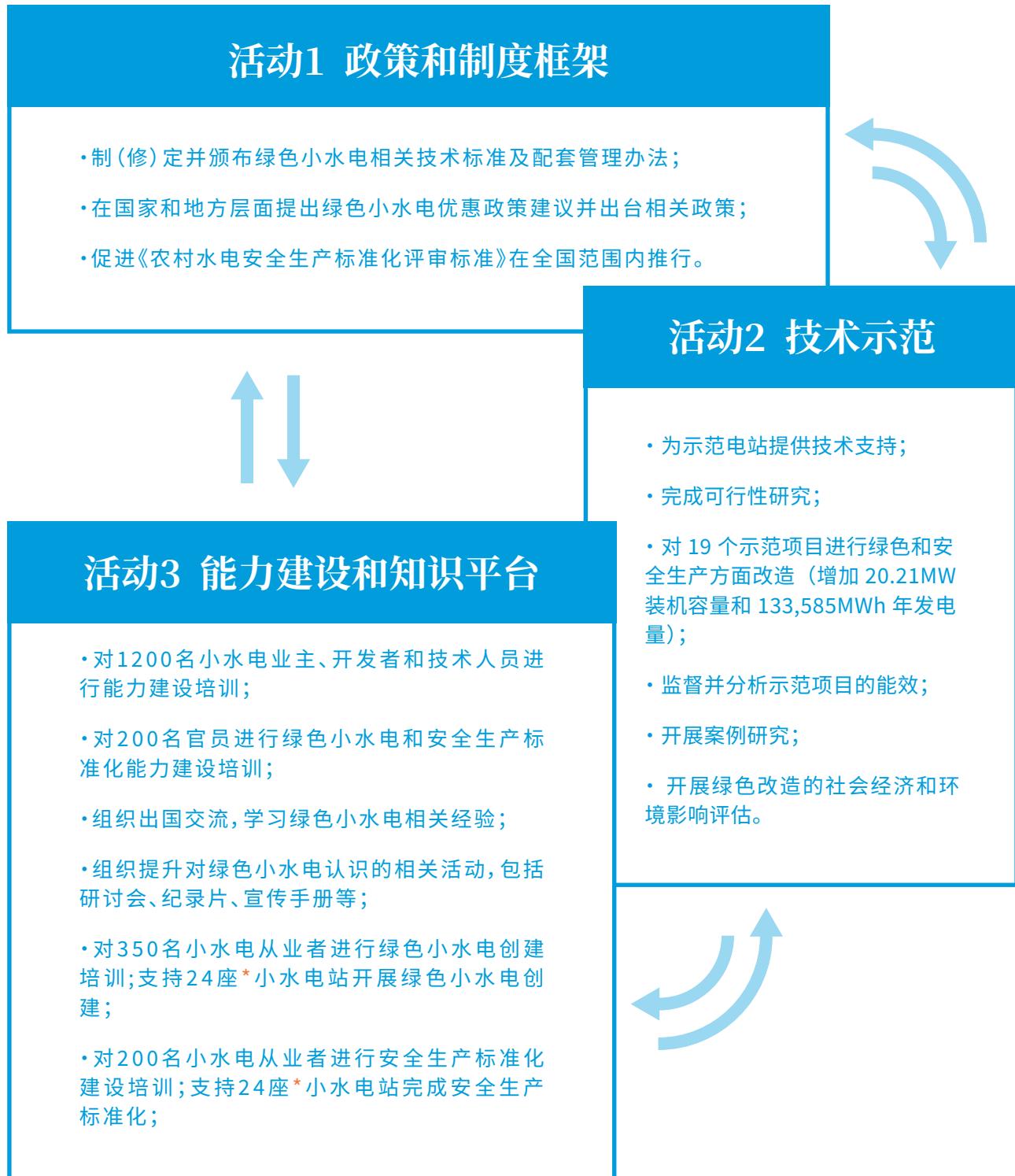
中国绿色小水电示范电站 创建情况

自2017年水利部组织开展绿色小水电示范电站创建工作以来，全国各地积极开展绿色小水电站创建工作。截至2022年底，中国共有25个省（自治区、直辖市）累计创建了964座绿色小水电示范电站。

中国小水电安全生产 标准化达标情况

安全生产标准化建设是确保小水电安全运行的重要举措，是实施绿色小水电建设的基础和前提。2013年，水利部下发了农村水电站安全生产标准化达标评级的实施办法及评审标准。截至2021年底，全国共有3,963座农村水电站安全生产标准化达标，其中一级99座、二级1,498座，三级2,176座。

项目活动



* 不包括活动2的试点电站

组织机构

GEF项目伙伴 —

联合国工业发展组织(UNIDO)

财政部(MOF)

水利部(MWR)

国际小水电中心(ICSHP)

国际执行机构

GEF国家对口单位

执行机构

指定实施机构

项目指导委员会 NPCC

组成：联合国工发组织、水利部、财政部、国际小水电中心、项目所在省水行政主管部门

主要负责项目政策设计、目标任务、资金分配等重大事项决策以及项目实施进度、质量、资金安排的组织协调。

GEF项目管理

项目管理办公室

中央项目管理办公室 PMO

设立在国际小水电中心

负责执行和落实项目指导委员会的决定，对项目实施进行组织、协调、指导和管理服务。

省级项目管理办公室 PPMO

共8个省：浙江、福建、湖北、广东、广西、重庆、云南、陕西

负责本省（自治区、直辖市）试点项目的组织实施、协调管理、监督考评等工作



广东官溪电站改造后的生态流量监测设

第二章

项目实施和成果

政策与体制建设

技术示范

能力建设与知识分享

监测评估

项目主要包括四大活动，分别为完善绿色小水电发展的激励政策和制度建设，选取试点电站开展绿色小水电的技术示范，搭建相应的能力建设渠道和知识平台，以及开展贯穿始终的监督和评估工作。

政策与体制建设

项目推动了中国绿色小水电、生态流量下泄等相关行业标准的制修订和导向性宏观政策的出台，为方便实际操作编写了技术手册，并以趋势研究为基础提出了发展规划建议，形成了行业标准、宏观政策、技术手册和发展规划的体系。

为规范绿色小水电创建管理，项目协助水利部制定了管理办法，并支持开发和改进了绿色小水电管理信息系统。

在绿色小水电配套政策上，项目针对 8 个试点省市提交了一揽子地方优惠政策建议，涵盖了意识提升、广泛参与、投融资、生态电价、生态补偿机制、生态流量激励等系列措施，其中浙江和广东两省已经制定并开始实施相关政策。目前，

国家层面的绿色小水电激励政策正在研究中，希望可以尽快推动出台相应激励政策。

中国现行的绿色小水电评价标准主要包含生态环境、社会、管理和经济四个方面的指标，通过政策分析，项目建议在现行版本基础上，进一步细分生态环境方面指标的等级，以便落实更有针对性的激励措施。

为了支持中国小水电项目提升安全生产水平，项目从全国 90 座安全生产标准化一级电站（截至 2020 年底）中挑选了 12 座，编制了优秀案例手册，用于全面推广安全生产标准化，并直接支持了 8 个试点省市的安全生产标准化建设。

政策成果文件

《绿色小水电评价标准》(SL/T 752-2020)

《小型水电站下游河道减脱水防治技术导则》(SL/T 796-2020)

《绿色小水电建设技术指南》

绿色小水电发展战略研究及建议方案

农村水电安全生产标准化优秀案例

中国绿色小水电管理信息系统

绿色小水电评价标识体系建设建议

激励绿色小水电发展的地方和国家优惠政策建议

技术示范

技术示范活动通过对选取的 19 座电站实施设备设施更新改造、生态流量保障、环境改善、绿色小水电示范电站创建和安全生产标准化建设等改造措施，增加电站能效、减轻环境影响、提升安全生产管理水平，完成绿色小水电示范电站创建和安全生产标准化达标。具体的改造措施主要包括：

1 设备设施更新改造

更新改造水工建筑物(拦河坝、引水渠道、压力前池、升压站)、机电设备(水轮发电机组及辅助设备、电气设备、升压站设备)、金属结构(闸门及启闭设备)等，增加装机容量，提升发电效率；
建设集控中心、监控系统；
改造安全控制系统。

2 生态流量保障

设置生态流量泄放设施(增设或改造泄水设施、安装生态机组等)；
安装生态流量监测设备。

4 绿色小水电创建

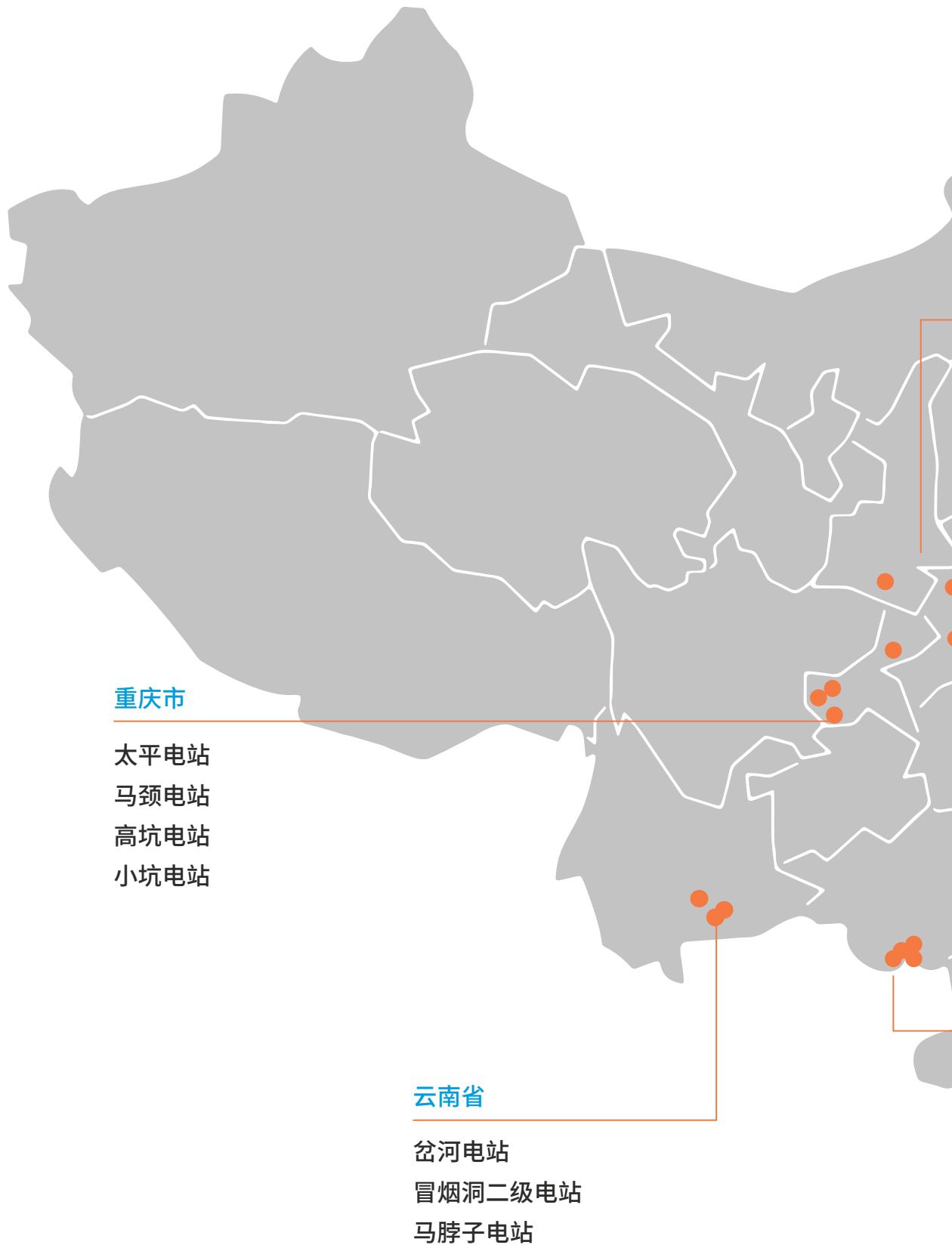
完成绿色小水电示范电站创建；
增加供水、灌溉设施；
增设水文测报系统、防洪预警系统；
电站优化运营；
重新设计厂房照明，照明灯具采用节能灯或 LED 灯；
修建改善进厂道路。

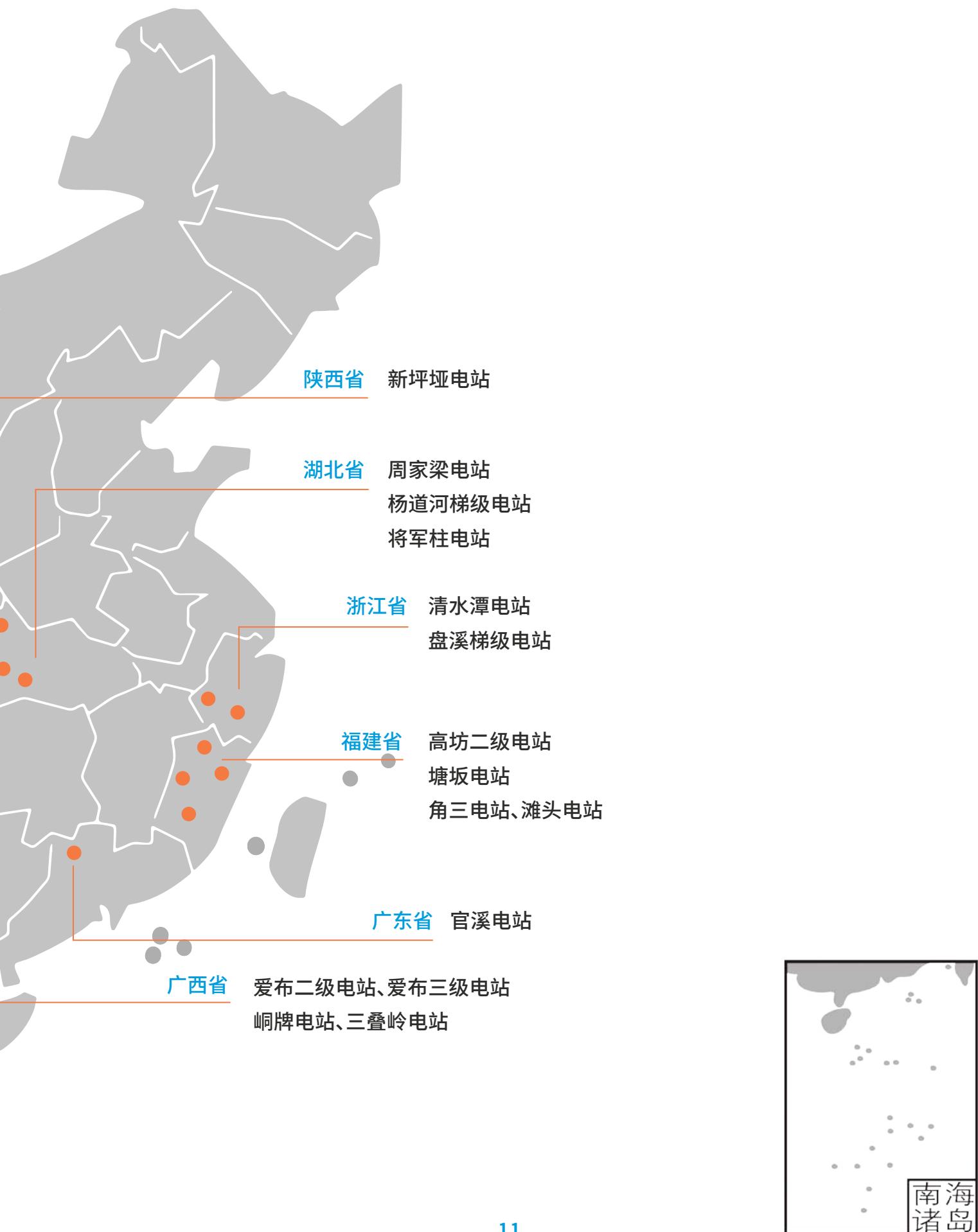
3 环境改善

修建生态堰坝；
安装拦污栅、清污装置、垃圾处理等装置；
河道整治，植被修复；
安装水质检测设备；
增设漏油收集装置；
增设净水池、化粪池、污水处理系统；
厂区绿化。

5 安全生产标准化建设

安全生产标准化达标；
在中控室、值班室增设隔音门窗；
安装自动化系统，提升自动化水平。





优秀案例

峒牌、三叠岭电站

生态流量泄放设施设置与监管

峒牌、三叠岭水电站均位于广西靖西市湖润镇，为逻水河流域第一、二级水电站。逻水河是黑水河的一级支流，总流域面积 1,199.89km²。两座电站均于 20 世纪 90 年代竣工投产，原装机容量分别为 3×500kW、3×4,500kW，多年平均发电量分别为 340 万 kWh、2,768 万 kWh。两个水电站均于 2017 年 11 月至 2019 年 5 月进行增效扩容改造工程，改造后的总装机容量均保持不变。峒牌水电站多年平均发电量增至 420 万 kWh，比改造前增加 23.5%；三叠岭水电站多年平均发电量增至 3,200 万 kWh，比改造前增加 15.6%。

经改造，三叠岭电站在大坝安装了放水钢管；峒牌电站在距大坝下游 10m 处渠道开设生态流量泄放口，保证最小生态流量下泄，安装了生态流量实时监测系统，将监测数据上传至指定平台。

生态流量

河湖生态流量是指为了维系河流、湖泊等水生态系统的结构和功能，需要保留在河湖内符合水质要求的流量（水量、水位）及其过程。



广西三叠岭电站增设的生态流量泄放及在线监控设施

优秀案例

将军柱电站

植被修复

将军柱水电站位于湖北省兴山县境内的王家河上，为引水式电站。兴山县毗邻神农架林区，距离宜昌市城区大约 150km。将军柱电站于 20 世纪 80 年代建成投产，坝址以上集水面积合计 285.5km²，装机容量 3,000kW，平均发电量约 1,288.6 万 kWh。电站已运行 30 多年，设备老化比较严重。电站开展增效扩容及增值改造后，更

换了水轮机组及电气设施，但装机容量维持不变，设计年发电量提高到了 1,573.4 万 kWh；在坝址增设生态流量下泄管道，维持生态流量约 0.52m³/s，并进行在线监控。

改造后的厂区种植大量草皮和树木，修复周边植被，厂区与周边景色融为一体。



湖北将军柱电站大量修复了厂区及周边植被，厂区与周边景色融为一体

优秀案例

盘溪梯级电站 水生物保护



浙江盘溪电站逐年开展了增殖放流活动，帮助恢复当地鱼类种群

盘溪二、三、四级梯级电站位于浙江省丽水市缙云县瓯江水系好溪南岸盘溪支流上，建于 20 世纪 70 年代，均为引水式电站，利用上级电站的发电尾水直接通过引水渠道引水发电，导致原河道的水文情势改变，水库下游部分河段减水脱流。通过改造，盘溪二、三、四级梯级电站保障足额泄放生态流量，改善所在河流生态，绿化、改善电站周边环境，创建为绿色小水电示范电站，进一步升级管理水平，建成盘溪梯级电站生态水电示范区。

电站结合河道地貌特征和水生物分布情况，改造原有的 3 处堰坝，在河道水量充沛时，可使鱼类逐级向上游，实现鱼类过坝自由通行，成为全堰坝鱼道；旱季时堰上水池也是小型鱼类栖息场所。电站配合当地水利局将盘溪电站梯级开发对应的河段设定为禁止捕捞河段，再逐年放养十余种鱼苗，打造了“放鱼养水”生态品牌，极大地保护了流域水生物的生存。

优秀案例

官溪电站 提升自动化水平

官溪水电站位于广东省南水河中游乳源瑶族自治县侯公渡镇干溪村上游约 800m，集雨面积 838km²。开发方式为河床式，坝高 12m，正常蓄水位 69.50m，正常库容 56 万 m³。电站于 1986 年建成发电，厂内装有 3 台 1,600kW 立轴轴流转浆式水轮发电机组。由于机电设备老化，存在安全隐患，发电效率降低，而且上游南水电厂改造后发电流量增加，使得电站弃水时间增加。通过增效扩容改造机电设备，更换升压站设备，电站

装机容量从 $3 \times 1,600\text{kW}$ 增加到 $3 \times 2,000\text{kW}$ ，容量增加 25%，机组发电综合效率提高约 10%，多年平均年发电量从 1,500 万 kWh 提高到 1,799.6 万 kWh，增加 20%。

电站改造后，设备的节能指标和自动化水平大幅度提升，可实现“无人值班、少人值守”运行要求。



广东官溪电站改造后自动化水平显著提高，
实现无人值班、少人值守

优秀案例

马颈电站

服务当地居民



马颈电站修建了电动汽车公共充电桩，为附近村民提供优惠供电

马颈电站位于重庆市綦江区清溪河畔，坝址以上控制流域面积 303.3km²，主河道长 45.20km。电站属径流式电站，引水式开发，主要建筑物包括取水枢纽、引水渠道、压力前池、压力管道及厂房等。马颈电站是集防洪、饮用水、灌溉为一体的小型水利工程。电站于 1986 年 12 月建成投运，安装 2 台 2,500kW 水轮发电机组，总装机容量 5,000kW，设计多年平均发电量 2,506 万 kWh。由

于运行年限长、设备老化、效率低下、故障频发，且自身电损严重、取水道脆弱，导致水资源浪费较大。电站增效扩容改造后，单机容量从 2,500kW 扩容至 3,200kW，水能资源利用率明显提高。

电站每年为所在地利群村三元组、沙帽石组 38 户村民按每度电 0.054 元提供优惠电价补贴。在电站门口修建公交站台，设置充电桩，增设路灯照明等公共设施，利民惠民。

优秀案例

塘坂电站

安全生产

塘坂水力发电厂位于福建省连江县潘渡乡塘坂村，位于敖江中游，于 2000 年 4 月投产发电，装机容量 $2 \times 5,500 \text{ kW}$ ，设计多年平均发电量 3,545 万 kWh。随着运行年限增加，电站机组设备出现工况差、效率低、故障频、能耗大等问题，给电厂带来安全生产隐患，流域的水资源得不到充分有效利用。改造后，电站装机容量扩大至 $2 \times 6,000 \text{ kW}$ ，设计多年平均发电量增至 4,351 万 kWh。

改造后电站被授予“农村水电站安全生产标准化一级单位”。电站在厂区张贴安全生产、综治平安等宣传标语，利用电子显示屏开展各类安全生产宣传，强化安全理念和行为，组织志愿者多次参加“文明交通从你我做起”安全交通劝导员活动，多次进社区等志愿服务。



优秀案例

新坪垭电站

提高女性职工收入

新坪垭水电站位于陕西省紫阳县斑桃镇境内的汉江二级支流八道河中下游，是八道河梯级电站中的第5座电站。电站为径流式电站，由拦河大坝、引水隧洞、前池、压力钢管以及电站主副厂房等建筑物组成。拦河大坝位于厂房上游4.8km处，为重力式溢流坝，最大坝高4.8m，坝长22.5m。电站无库容，将坝址流量引入厂房发电，引水总长约2.5km，最大水头122m，最小水头115.7m。电站于1996年动工兴建，1999年12月并网发电，原总装机容量为 $2\times 1,250\text{ kW}$ ，设计水头118m，多年平均发电量970万kWh。由于电站建设年代较早，受当时设计、施工条件的限制，装机容量选择

偏小，弃水量较大，未能充分利用现有水能资源。改造后电站装机容量为 $2\times 1,600\text{ kW}$ ，总容量3,200kW，扣除生态流量后多年平均发电量为1,187万kWh，年新增发电量217万kWh，年发电量比原来增加了22.3%。自2019年4月正式投运以来，运行效果显著，通过改造解决了电站常年大量弃水、设备老化等问题，明显提高了机组出力和效率，消除了设备设施安全隐患。

改造后电站大大提升了厂区生活生产环境，增强一线女员工技术培训，进一步提高女性员工的收入水平。



优秀案例

冒烟洞二级电站

设备更新改造



云南冒烟洞电站升级改造了水轮发电机组及其辅助设备，更换了全部电气设备

冒烟洞二级电站位于云南省红河州泸西县境内南盘江一级支流小江河干流下游河段，系泸西县小江河梯级开发的第八级电站，距离县城 34km，与昆明距离约 210km。电站为径流引水式电站，于 1988 年 12 月建成并网发电，原设计装机容量为 $2 \times 6,300\text{ kW}$ ，设计年平均发电量 5,270 万 kWh，实际发电量 6,500 万 kWh。因多年运行发电，电站渠道水工建筑物、机电设备老化，机组效率比较低，

水资源利用效率较低。GEF 项目改造后，达到了河流不脱水、不断流、不污染的目标，同时提升了厂区生活生产环境。

电站升级改造了水轮发电机组及其辅助设备，更换了全部电气设备，改造后装机容量增加到 $2 \times 7,500\text{ kW}$ ，增加 19%，设计年平均发电量 6,849 万 kWh，增加 29.9%。

能力建设与知识分享

提升行业能力水平，是小水电绿色转型及安全生产至关重要的环节。项目通过对小水电业主、行业协会、各级政府官员、技术专家开展培训、举办研讨会等形式，分享经验，提升从业能力，争取更广泛的支持和参与。

组织培训

项目累计为 1,780 名小水电业主、技术专家、行业协会人员，以及 211 名政府官员组织能力建设培训，培训内容包括绿色小水电建设的相关技术、设备设施、管理措施、激励政策等。学员通过学习、分析和参与国内外绿色小水电站的升级改造真实案例掌握相关知识。培训活动还注重可持续性，开展了 50 名教员的培训，并邀请高等院



校充分参与，为项目结束后持续开展培训创造条件，使相关知识和经验能够得到不断传承。培训活动充分考虑性别平等问题，女性参与人数均在 25% 以上，为女性在行业内的职业发展创造基础。



“美国对河道生态和鱼类保护相当重视，还向民众推广其理念，增强环保意识，通过寓教于乐的方式向国民宣传环境保护和鱼类保护的重要性。……美国各州政府和市场对 LIHI [低影响水电协会] 认证的电站有电价补贴措施，民众也可以自由选择购买对环境影响极低的电站发的电，这对广泛推行小水电绿色发展起着至关重要的作用。”

——《全球环境基金“中国小水电增效扩容改造增值”项目绿色小水电美国调研团出访情况报告》

“奥地利和瑞士联邦政府和各级州政府都对水电开发有激励措施和补贴政策，同时对进行生态改造符合环保标准的电站根据规模大小给予财政补助，并对绿色环保电站的电价进行补贴，这从根本上调动了水电站进行生态改造的积极性，这应是中国绿色水电建设在政策层面需研究的方向。”

——《全球环境基金“中国小水电增效扩容改造增值”项目绿色小水电欧洲调研团出访情况报告》



项目组织小水电行业政府官员进行绿色小水电开发以及安全生产管理的能力建设培训。2019年11月，培训班赴奥地利、瑞士学习了解小水电管理和政策制定的经验。

举办研讨会

为了进一步推广项目取得的知识和经验，项目组织了三次国内研讨会（西安、南昌、昆明）、一次国际研讨会（线上），邀请各级政府机构（包括中国生态环境部、水利部、发展改革委等）官员、小水电行业协会、电站业主、投资机构、技术人员、新闻媒体、非政府组织、普通公众等参与讨论，分

享成功经验和案例，传播“绿色小水电”理念，创造商业合作机遇，带动小水电行业绿色转型，并争取社会各界的理解和支持。

指导电站进行绿色小水电示范电站创建、开展安全生产标准化建设

项目组组织专家为43座小水电站（包括示范电站19座）提供绿色小水电示范电站创建、安全生产标准化建设的咨询指导。专家组通过人员培训、解读政策、审核资料、现场评价等方式，对具体工作流程和方法提出建议并持续跟踪，涵盖硬件建设（改造措施及工程方案）和软件建设（管理创新及人员培训）等方面，帮助电站创建为绿色小水电示范电站，提升安全生产管理的水平，完成安全生产标准化达标评级。

至2022年12月，总计完成554人次相关人员培训，包括女性148人次；43座小水电站（含试点电站19座）已完成绿色小水电示范电站创建，43座（含试点电站19座）完成了安全生产标准化建设工作。



专家团队参观小水电站厂房，开展生产安全现场评估

监测评估

按照联合国工业发展组织和全球环境基金项目管理程序，对项目开展的监测评估包括：

- 1) 完成预计减排目标，利益相关方的充分参与和性别平等；
- 2) 项目各项活动的成效，包括政策框架成果、示范电站改造情况以及行业能力水平提升等。

“项目目标和内容设计与中国小水电发展战略和政策重点高度相符，项目产出设计紧密围绕中国小水电行业可持续发展面临的问题；项目目标受益群体及其首要需求的确定定位适当。”

——《全球环境基金

中国小水电增效扩容改造增值项目绩效评价报告》

中期绩效评价

2019 年，中央项目办根据财政部要求，组织了国内相关专家，对 GEF 项目进行了中期绩效评价，项目的绩效评级为“实施顺利”。该绩效评价报告被财政部评为典型案例，并被编入《国际金融组织和外国政府贷款赠款项目绩效评价典型案例汇编（2019 年度）》，是中央部委单位实施项目的绩效评价报告中唯一入选的报告。

终期评估

根据联合国工业发展组织和全球环境基金相关政策，将于 2023 年 7 月至 12 月开展终期评估，对该项目的设计、实施和绩效等进行全面系统的评估。



2021年4月28日，项目指导委员会第四次会议在杭州召开



项目效益

经济效益

环境效益

社会效益

经济效益

项目的经济效益主要体现在试点电站的更新改造活动中。通过更新改造，试点电站实现了装机容量以及发电量的提升，产生额外收益。另外，更新改造活动还进一步提升了电站的自动化水平，实现“无人值班、少人值守”的目标，降低运行成本。改造活动的平均内部收益率为 10.73%。



提升装机容量

项目的试点电站在改造前的总装机容量为 104,590kW，经过改造，试点电站的装机容量提升至 124,800kW，提升幅度为 19%。

提升自动化水平

改造后，水轮机、发电机、主变压器全部得以更新，控制系统、调速器、励磁装置、继电保护装置等均为当前主流的微机型，电站自动化整体水平大为提升。

提升发电量

更新改造之前，试点电站的平均年发电量为 3.73 亿 kWh，经过改造，2022 财年（2021 年 7 月至 2022 年 6 月）的总发电量为 4.81 亿 kWh，增幅为 28.9%。

环境效益

项目主要通过试点电站实现环境效益。通过增设改进生态流量泄放设施，试点电站恢复所在河道的生态流量，支持生物栖息地以及水生态环境的恢复。水电产生的温室气体很少，试点电站额外生产的清洁能源意味着相应减少化石能源消耗，从而减少温室气体排放。

保障生态流量

参与项目技术示范的每座试点电站都按照行业标准增设改进生态流量泄放设施，并对生态流量实施在线监测。示范电站根据各地地理环境属性，或在水库设置生态流量下泄闸门，或在拦河坝设置生态流量放水管、泄放阀等设施。示范电站生态流量监测数据均接入统一的监测平台或指定平台系统。

降低温室气体排放

更新改造活动增加了试点电站发电量，由于水电产生的温室气体排放低，额外生产的电力意味着实际消耗的化石能源相应减少。依据实际发电数据，2022 财年增加发电 1.08 亿 kWh，这相当于减少了 7.61 万吨温室气体排放。



社会效益

项目开展的各项活动，包括制度框架建设、技术示范、能力建设等，在取得经济和环境效益的同时，也产生了丰富的社会效益。

推动绿色小水电开发的制度框架建设

项目开展的制度框架建设活动，推动了中国绿色小水电以及生态流量泄放相关行业标准的制定或修订以及导向性宏观政策的出台，为方便实际操作编写了技术手册，并以趋势研究为基础，提出了中

国绿色小水电发展的规划建议，形成了由行业标准、宏观政策、技术指南和发展规划组成的制度框架体系。

提升安全生产标准化水平

为了支持农村水电站提升安全生产水平，项目从全国 90 座安全生产标准化一级电站（截至 2020 年底）中挑选了 12 座，编制了优秀案例手册，用于全面推广安全生产标准化，并直接支持了 8 个试点省市的安全生产标准化建设。截至 2022 年 12 月，项目总计支持 43 座小水电站（含试点电站 19 座）完成安全生产标准化建设，提升其安全生产的能力和水平。

提升从业人员技能及管理能力

截至 2022 年 12 月，项目已经累计开展了 16 期绿色小水电、安全生产等主题的能力建设培训班，累计培训了小水电业主、技术人员、政府官员等 1991 人次。通过参加能力建设培训，相关从业人员进一步加深了绿色小水电、安全生产等领域的认识，提升了从业技能及管理能力。



鸟瞰重庆高坑电站。

27 电站出资兴建公路，为附近村民出行创造更好条件。

提高女性就业能力和收入

项目开展的各项活动都注重女性的参与，帮助女性获取更多职业发展的机会及技能，降低性别不平等。试点电站在开展更新改造活动后，女性职工约占总数的 28%，平均收入增长幅度为 37.5%，50% 以上的试点电站领导团队有女性成员。

服务周边居民

项目开展过程中，试点电站利用升级改造活动契机，为周边居民用电、出行等需求创造更好条件；修复改善的生态也给周边居民提供更好的休闲环境，同时创造出发展生态旅游等产业的机会，进一步共享绿色水电产生的效益。



第四章

中国绿色 小水电的 发展与前景

中国小水电的绿色转型

小水电与中国的“双碳”目标

中国小水电的绿色转型

中国小水电在解决农村用电、助力脱贫攻坚、优化能源结构、促进地方经济社会发展等方面作出了重要贡献。通过实施小水电电气化县建设，中国 1/2 的地域、1/3 的县市、3 亿多农村人口就近用到了小水电，小水电被誉为山区的“小太阳”。但在我国小水电快速发展的过程中，受发展理念等限制的影响，部分地区出现了小水电无序开发、过度开发的现象，一些小水电站，特别是引水式小水电站，由于设计规划不科学，或缺乏保障“生态流量”的意识和管理手段，造成坝下河段减脱水，给河道及周边生态系统带来不利影响，小水电生态环境时间和空间累积影响逐渐凸显。随着中国经济社会的快速发展，人民群众对美好生活的向往更加强烈，中国小水电绿色转型发展迫在眉睫。

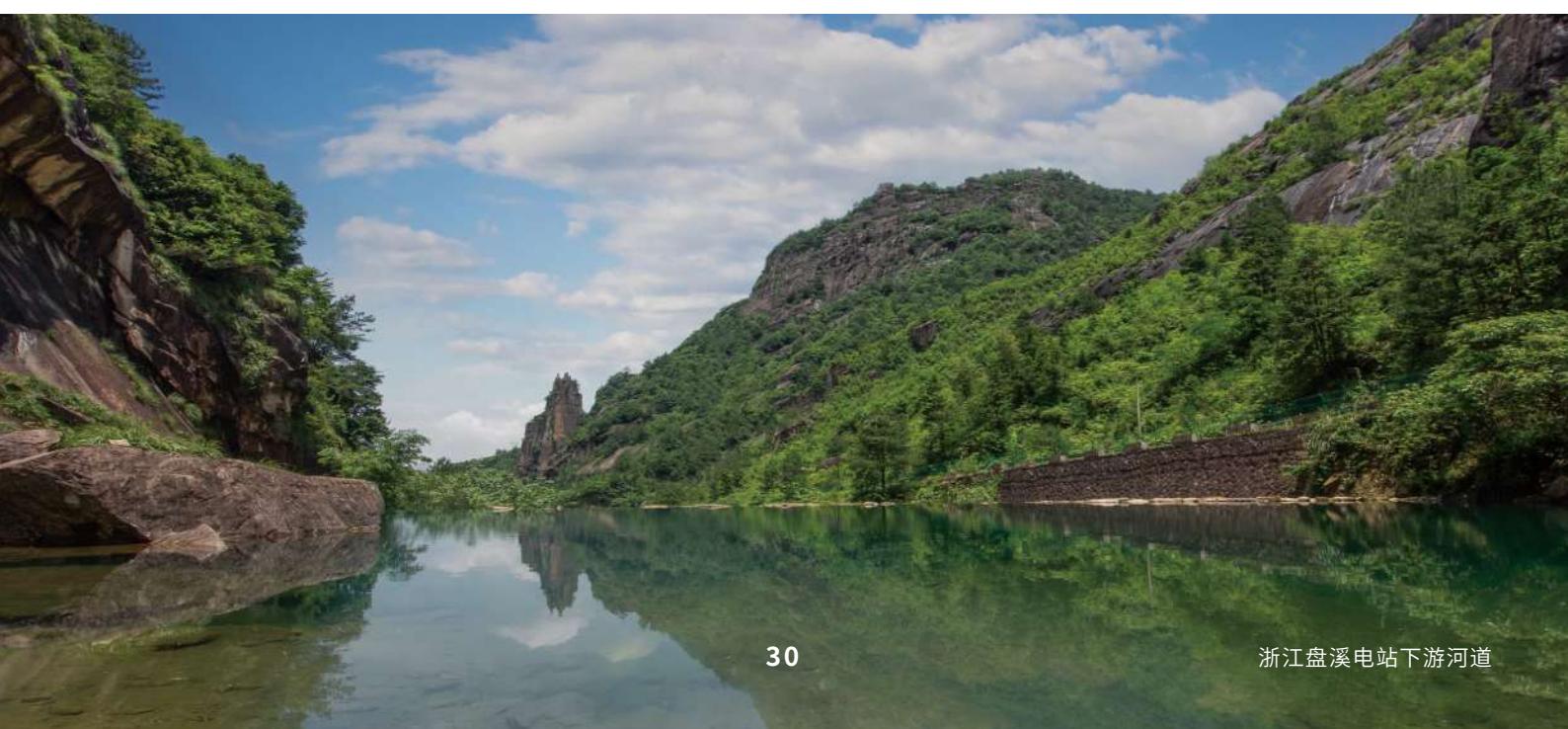
近年来，水利部统筹河流生态修复与脱贫攻坚，以绿色发展理念为指导，组织完成了 2,500 多条中小河流水能资源开发规划的修编，出台绿色小水电发展的指导意见、绿色小水电评价标准、加强小水电站生态流量监管意见、小水电扶贫项目实施方案等制度政策，开展了小水电增效扩容改造、农村小水电扶贫工程、绿色小水电示范电站创建、长江经济带小水电清理整改等多项工作，推动小水电绿色转

型取得了积极成效。

2011 年以来，财政部、水利部安排可再生能源专项资金 131 亿元，以河流为单元，对老旧农村水电站进行增效扩容改造，巩固和新增装机容量、发电量超过 1,200 万 kW、450 亿 kWh，治理河流近千条，修复减脱水河段 3,000 多公里，基本消除了减水脱流等流域性生态问题。

2016 年以来，水利部、发展改革委组织实施农村小水电扶贫工程，累计安排中央预算内投资 23 亿元，明确扶贫电站长期稳定运行，每年将不低于中央投资 6% 的收益纳入县财政，专项用于扶持建档立卡贫困户、改善贫困地区基础设施条件，已拉动地方投资 70 多亿元，新增或改善小水电装机容量 80.3 万 kW，累计上缴扶贫收益 2.56 亿元，直接帮扶建档立卡贫困户 10 万多户，形成了较为成熟的产业扶贫新机制，解决了脱贫攻坚最后一公里的问题。

2017 年以来，水利部组织开展绿色小水电示范电站创建活动，截至 2022 年底，全国 25 个省（自治区、直辖市）已成功创建了 964 座生态友好、社会和谐、管理规范、经济合理的绿色小水电示范电站，在保护和修复河流生态、复苏河湖生态环境，



增进民生福祉、安全生产标准化建设等方面发挥了示范引领作用，创建成效得到社会普遍认可。

2018 年，水利部会同发展改革委、生态环境部、国家能源局组织长江经济带 10 个省（直辖市）开展了小水电清理整改。通过清理整改，退出涉及自然保护区核心区或缓冲区、严重破坏生态环境的水电站 3,500 多座，2 万多座电站按规定泄放生态流量并接入到监管平台，开发强度明显下降，累计恢复减脱水河段 9 万余公里，修复河流生态取得实效，自然生态系统原真性、完整性得到更好保护。

中国小水电转型升级绿色发展既要坚持做好安全生产监管、生态流量监管、现代化改造提升等方面的工作，还要平衡好生态环境保护与经济社会发

展。推动小水电转型升级绿色发展，保障绿色小水电持续发挥好经济社会和生态等效益，需要采取安全生产以及绿色改造的各项措施，这就要求有资金等各类投入的支持；生态流量落实后，也意味着电站会损失部分发电量。目前这些成本投入以及损失主要由业主自身承担，各级政府还有待出台合理的补偿机制，同时还要用好市场这只手，形成良性的政策及体制框架，保障绿色小水电的可持续发展。此外，在充分发挥小水电开发的经济社会和生态等效益的同时，还需要考虑社会公平问题，使之能造福社会弱势群体，包括当地居民、女性等，保障利益的公平分配。

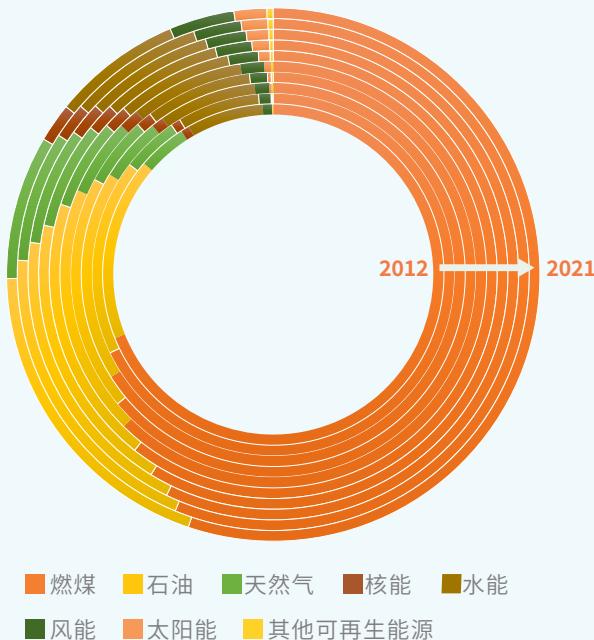
小水电与中国的“双碳”目标

中国的“双碳目标”计划于 2030 年达到碳排放的顶峰，然后逐渐降低碳排放，至 2060 年实现净零排放，即“碳中和”。按照中国目前制定的路线图，非化石能源占能源消耗的比重到 2030 年要达到 25% 左右，2060 年要达到 80% 以上，这就要求中国必须加快转型，淘汰高耗能、高污染、资源密集型的增长模式，减少煤炭、石油等化石能源的使用，实现以可再生能源消费为主的颠覆性变革。

中国的“双碳”目标

“双碳”目标指中国于**2030年前达到二氧化碳气体排放峰值（即“碳达峰”）**，然后逐渐降低碳排放，至**2060年实现净零排放（即“碳中和”）**的目标，由中国国家主席习近平于 2020 年 9 月在第 75 届联合国大会上代表中国政府庄重提出。为实现这一目标，中国政府于 2021 年 9 月公布了《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》，从经济社会绿色转型、调整产业结构、清洁低碳能源体系、低碳交通运输、城乡建设、科技创新、资源开发利用、对外开放、健全制度体系等方面，明确了实施路径。

在大力发展可再生能源的背景下，小水电的技术属性使其具有巨大潜力。水能是一种可再生能源，小水电利用水能发电并不会产生碳排放。中国“十三五”期间，小水电 5 年发电量 1.26 万亿 kWh，累计替代 4 亿吨标煤，减少二氧化碳排放 12.3 亿吨，二氧化硫排放 3.3 万吨，氮氧化物排放 30 万吨，节能减排效益巨大。水电（包括小水电）的能源回报率、全生命周期对生态系统质量的影响，对资源消耗的影响等各项指标，均优于其他能源电力，大力开展水电有利于节约能源资源，减少温室气体排放，优化能源结构与战略布局，是理想的能源替代路径，有助于实现碳达峰、碳中和目标。因此，因地制宜地进一步发展绿色小水电，对“双碳”目标的实现紧密相关。



中国一次能源消费比重(2012-2021)。中国能源消费比重中，非化石能源能源的一次消费的比重不断增加，至2021年达到约16.5%^[3]。



水电与其他能源全生命周期温室气体排放量对比。考虑全生命周期以及反射效应在内，水能发电的温室气体排放依然远低于燃煤、天然气等化石能源，甚至略低于集中式太阳能^[4]。

3. BP. (2022). Statistical Review of World Energy. BP. <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>

4. Bruckner, T., Fulton, L., Hertwich, E., McKinnon, A., Perczy, D., Roy, J.,

Schaeffer, R., Schlämer, S., Sims, R., Smith, P., & Wiser, R. (2014). Technology-specific Cost and Performance Parameters (S. Schlämer, Ed.). Cambridge University Press. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_annex-iii.pdf



实现“双碳”目标意味着能源消费中的化石能源逐步减少，可再生清洁能源逐步增加。对于发展中国家，驱动能源消耗增长的最主要因素是经济发展。根据中国政府提出的远景目标，到2035年，“经济总量和城乡居民人均收入将再迈上新的大台阶”，这就要求中国非化石能源开发在替代煤炭等化石能源的同时，还要能够充分满足新增的能源需求。全球利用的非化石能源主要包括核能、水能、风能与太阳能等，而截至2021年，这些能源在中国一次能源消费中仅占16.5%^[3]。

在非化石能源中，风能、太阳能属于间歇性能源，风能、太阳能存在自然的波动，其发电高峰时间与用电高峰时间在大部分时间不匹配，需要在发电量高于电网需求时存储能量，在发电量低于电网需求时释放能量，因此，大量使用风能、

太阳能必须具有大规模的电力存储和调蓄能力。目前，从经济和技术上较为成熟的方案是抽水蓄能，即在电站负荷低谷时，利用多余的电量将下游水库的水抽到上游水库保存，在负荷高峰时利用落差进行水力发电以满足供电需求。

因此，水电是大规模利用风能、太阳能发电的重要保障。水能储存成本较低，且便于大规模存储，水电输出稳定、启停迅速，可以在风能、太阳能等间歇性能源大量入网的同时保障电网系统的稳定，有利于可再生能源电力入网比例的最大化，减少弃风（光），为减少化石能源损失创造有利条件。而小水电可以在分布式发电中发挥调蓄作用，配合集中式发电及大水电的调蓄，将进一步提升电力供应系统的稳定性，为实现“双碳”目标贡献力量。



巴西、中国、印度的GDP(柱状)和能源消耗(曲线)(1965-2021)^[3,5]。在发展中国家，经济增长是能源消耗的主要推动力之一^[6]。

5. World Bank. (2022). GDP (current US\$). World Bank. <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD>

6. Keho, Y. (2016). What drives energy consumption in developing countries? The experience of selected African countries. Energy Policy, 91, 233–246. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.01.010>

项目合作单位 (排名不分先后)



河海大学



水利部发展研究中心



水利部国际经济技术合作交流中心



中国水利学会



绿色浙江



浙江省国际交流实业有限公司



浙江水利水电学院



中国计量大学



新西兰培训和技术转移有限公司



美国低影响水电协会



瑞士环境友好能源协会



项目网站



UNIDO
Open Data

请扫描二维码了解更多项目信息



Vienna International Centre
Wagramerstr. 5, P.O. Box 300,
A-1400 Vienna, Austria



+43 1 26026-0



www.unido.org



unido@unido.org



联合国
工业发展组织