



雅砻江两河口水风光互补关键技术研究

雅砻江公司新能源管理局 周洪波

雅砻江流域水电开发有限公司

2023年3月

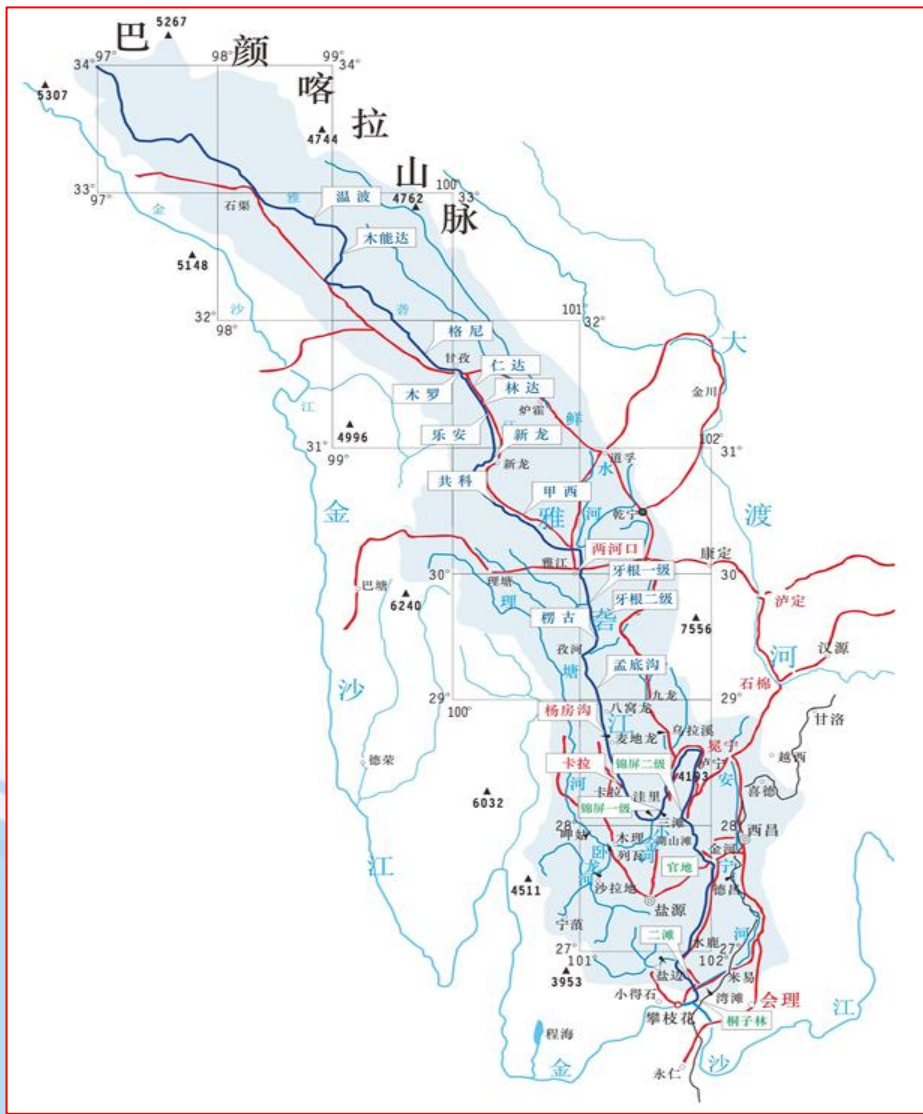
一、流域基地建设进展

二、水风光互补研究及建设

三、基地推进及关键问题展望



流域概况



■ 雅砻江位于四川省西部，流经甘孜州、凉山州、攀枝花市

■ 干流全长：1571km

■ 天然落差：3830m

■ 年径流量：609亿m³（大于黄河）

■ 水电规模：约3000万kW

■ 年发电量：约1500亿kWh

约占四川省25%、占全国5%

■ 在全国十三大水电基地中装机规模排名第三

流域概况



- 流域两岸光伏风电资源丰富，抽水蓄能站点众多，可形成总规模超8000万kW的雅砻江流域水风光一体化基地
- 全球最大纯绿色清洁能源基地之一
- 已纳入国家及四川省“十四五”规划和2035年远景目标纲要

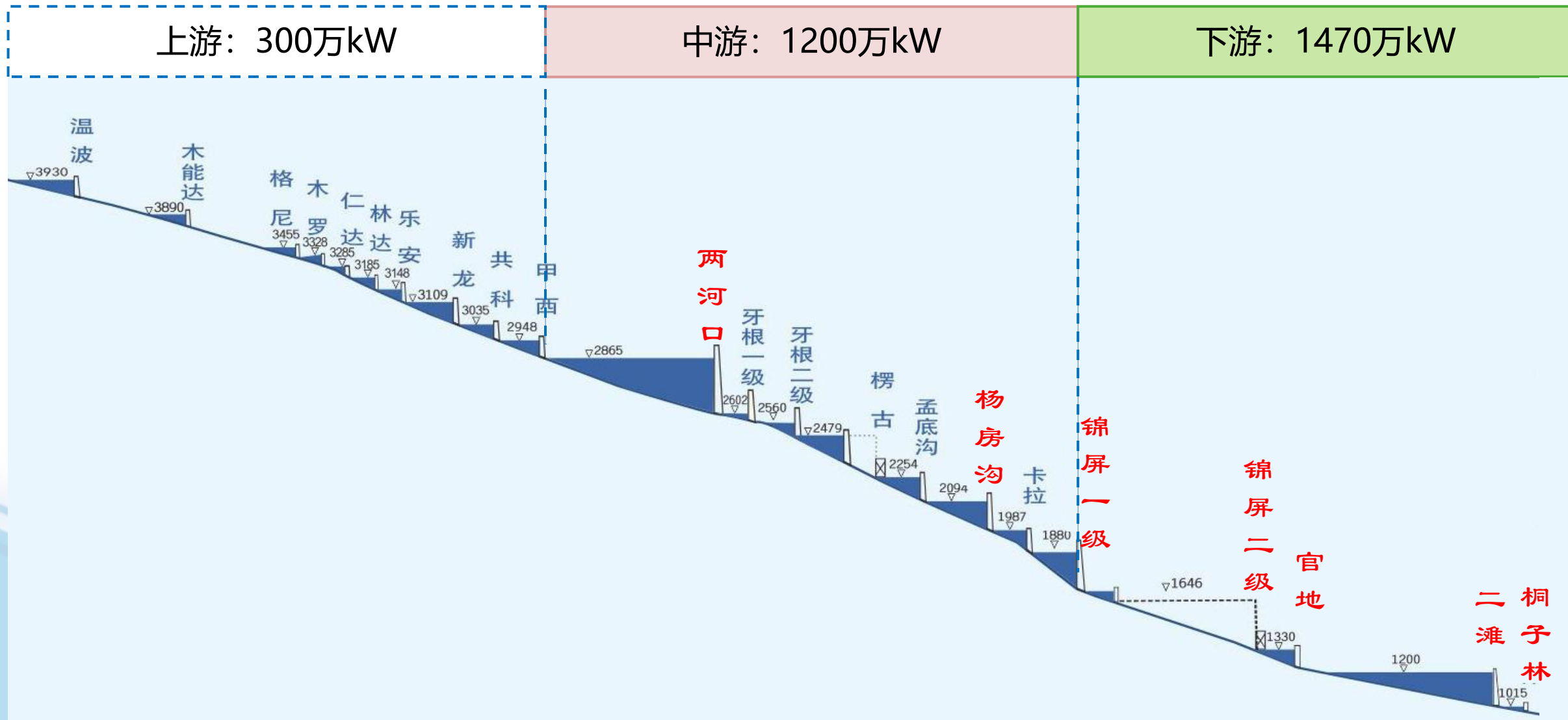
建设进展



- 已建成7座梯级水电站
- 已投产水风光近2000万kW
- 年发电量900亿kWh



建设进展



流域基地规划情况

国家能源局

国家能源局综合司关于开展“十四五”水风光一体化可再生能源综合开发基地专题研究的通知

湖南、广西、四川、贵州、云南、西藏、甘肃、青海省（自治区）能源局，国家电网有限公司、中国南方电网有限责任公司，华能、大唐、华电、国电投、三峡、国家能源、国投集团公司，水电水利规划设计总院：

为促进新时期可再生能源规模化发展，以大型水电基地为依托，统筹本地消纳和外送，综合建设无国家补贴的光伏、风电等新能源发电项目，充分利用水电的调节能力，优化调度、联合运行、高效利用，建设水风光一体化可再生能源综合开发基地，降低可再生能源综合开发成本，提高送出通道利用率，推动可再生能源可持续健康发展，现组织有关单位开展水风光一体化可再生能源综合开发基地专题研究。

研究主要内容是，在现有及规划水电基地建设、送出通道建设、太阳能及风能资源等发展基础研究，以及技术特性研究、消纳市场研究和经济性研究基础上，提出“十四五”水风光一

四川省发展和改革委员会

川发改能源函〔2022〕290号

四川省发展和改革委员会 四川省能源局 关于印发雅砻江流域等3个水风光一体化 可再生能源综合开发基地规划研究报告 及评审意见的通知

有关市（州）发展改革委（能源局、办）：

按照国家能源局“十四五”水风光一体化可再生能源综合开发基地建设要求，结合我省“十四五”光伏发电开发实施方案、凉山州风电基地开发实施方案等成果，省发展改革委、省能源局组织编制雅砻江、大渡河流域及金沙江下游（四川侧）水风光一体化可再生能源综合开发基地规划研究报告，并委托水电水利规划设计总院进行技术审查。经研究，现印发规划研究报告及审查意见，请认真组织实施。实施过程中，要进一步落实《四川省“十四五”光伏、风电资源开发若干指导意见》（川发改能源规〔2021〕181号）和《研究推进雅砻江流域水风光一体化可再生能源综合开发基地建设有关工作专题会议纪要》（川发改阅〔2021〕43号）有关要求，推动全省新能源高质量发展。

- 2020年4月，国家能源局发文开展水风光一体化可再生能源综合开发基地专题研究
- 2021年5月，四川省发展改革委组织进行了评审，并印发了雅砻江流域水风光一体化可再生能源综合开发基地规划研究报告评审意见

流域基地规划情况

国家能源局

国家能源局综合司关于开展全国主要流域 可再生能源一体化规划研究工作有关事项的通知

各省（自治区、直辖市）能源局，有关省（自治区、直辖市）及新疆生产建设兵团发展改革委，水电水利规划设计总院，有关电力企业：

为落实《中共中央 国务院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》《国务院关于印发 2030 年前碳达峰行动方案的通知》《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》以及《“十四五”可再生能源发展规划》等，推进可再生能源高质量跃升发展，加快可再生能源替代行动进程，促进碳达峰碳中和目标实现，现就开展全国主要流域可再生能源一体化规划研究工作通知如下。

一、研究思路

主要流域可再生能源一体化开发是指依托主要流域水电开发，充分利用水电灵活调节能力和水能资源，兼顾具有调节能力的火电，在合理范围内配套建设一定规模的以风电和光伏为主的新能源发电项目，建设可再生能源一体化综合开发基地，实现一体化资源配置、规划建设、调度运行和消纳，提高可再生能源综合开发经济

- 2022年3月，在习总书记提出“碳达峰、碳中和”目标后，为加快可再生能源大规模高比例发展进程，促进风光新能源更大规模开发，需更大程度发挥水电调节作用，国家能源局发文开展**新一轮可再生能源一体化规划**
- 2022年12月，四川省发改委组织进行了评估论证，雅砻江可再生能源一体化规划正在按评估论证意见修改完善

流域调节性能优异

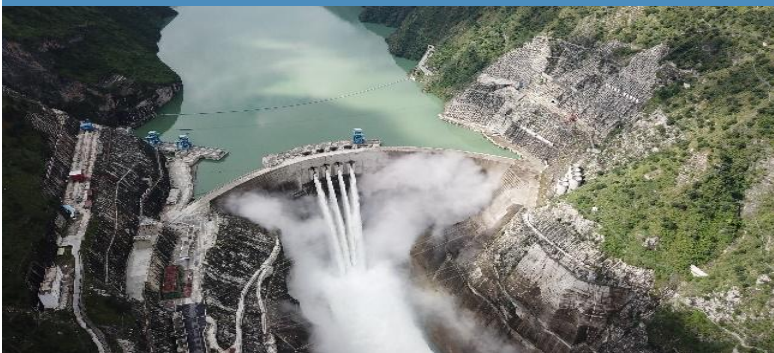
- 两河口、锦屏、二滩三大控制性水库，也是四川省最大的三座水库，**总库容达到243亿m³**，雅砻江是四川乃至全国调节性能最好的大型流域

两河口水电站



- 地理位置：甘孜州
- 装机容量：300万kW
- 最大坝高：295m
- 全部建成：2022年3月
- 中国已建最高土石坝

锦屏一级水电站



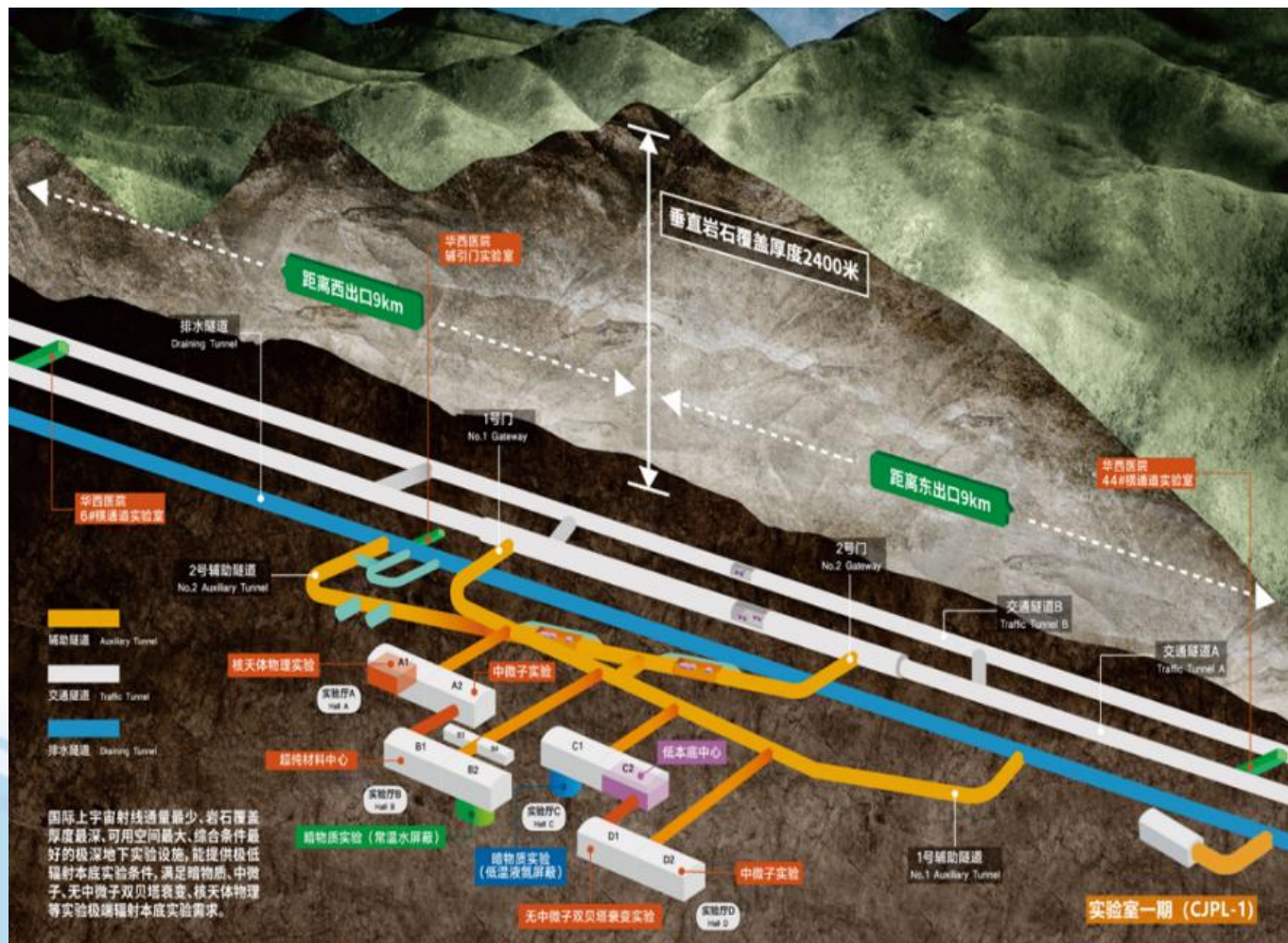
- 地理位置：凉山州
- 装机容量：360万kW
- 最大坝高：305m
- 全部建成：2014年7月
- 世界第一高坝（吉尼斯世界纪录认证）

二滩水电站



- 地理位置：攀枝花
- 装机容量：330万kW
- 最大坝高：240m
- 全部建成：2000年
- 20世纪中国最大水电站、亚洲最高大坝

锦屏地下实验室—暗物质实验室

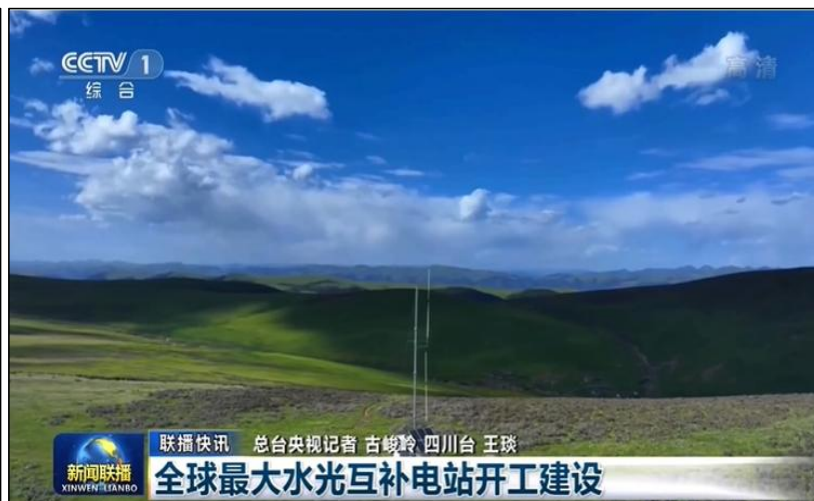


- 暗物质实验室位于锦屏水电站锦屏山底部，埋深超2400m，推动我国暗物质探测领域实现了国际领先
- 雅砻江公司与清华大学共同承担国家重大科学基础设施“极深地下极低辐射本底前沿物理实验设施”建设任务
- 正在扩建，将建成世界规模最大、埋深最大、综合条件最好的世界第一深地实验室

风光蓄接续开工



2022年6月7日，国家首批大型风电光伏基地项目凉山州腊巴山风电项目开工建设



2022年7月8日，全球最大水光互补项目两河口水光互补一期——柯拉一期光伏电站(100万kW)开工建设



2022年12月29日，全球最大混蓄项目——两河口混合式抽水蓄能电站(120万kW)开工建设

一、流域基地建设进展

二、水风光互补研究及建设

三、基地推进及关键问题展望



柯拉一期光伏电站

柯拉一期光伏电站位于甘孜州雅江县柯拉乡，海拔4000~4600m，场址规划规模320万kW，本次为一期项目100万kW。采用水光互补、光牧互补，光伏+乡村振兴等复合开发模式，年均发电量20亿kWh，利用小时数1735h，采用双面单晶组件（N型容量占25%）、组串式逆变器，容配比约1.2。新建2座220kV升压站和1座500kV汇集站，以500kV电压等级接入两河口水电站



雅砻江柯拉光伏电站 (两河口水光互补一期项目)

水风光一体化

在水电、风光新能源具有天然互补特性的流域内，利用水电或抽水蓄能调节性能优异、启停迅速、运行灵活的特点，将风光新能源就近接入，由水电站或抽水蓄能电站进行调节，平抑风光新能源出力的随机性、间歇性、波动性，将风光新能源转化为优质电能，与水电一体化送出消纳，实现风光新能源大规模、集约化、高质量发展



自然科学基金研究

国家自然科学基金委与雅砻江公司共同设立雅砻江联合基金，开展了大量水风光互补基础和技术研究

序号		项目名称	承担单位
重点支持项目	1	雅砻江流域风光水多能互补运行的优化调度方式研究	中国水利水电科学研究院
	2	流域风光水智能互补的全生命周期设计、运行及维护研究	武汉大学
培育项目	3	雅砻江流域大规模风光水互补清洁能源基地的开发、运行、管理关键问题研究	西安理工大学
	4	雅砻江流域风光水多能互补特性分析与耦合优化建模研究	北京工业大学
	5	流域梯级风光水多能互补捆绑容量与调控策略研究	大连理工大学

自然科学基金研究

序号		项目名称	承担单位
培育项目	6	雅砻江流域梯级风光水多能互补协调控制与调度策略研究	大连理工大学
	7	流域风光水多能互补运行中风光出力不确定性研究	华北电力大学
	8	用于风机叶片高湿低温环境下防覆冰除尘的材料制备及除冰机制研究	三峡大学
	9	复杂地形与风力机涡流形成机制及其耦合演化研究	河海大学
	10	基于数值模拟的雅砻江流域风能资源多尺度耦合评估方法研究	中国水利水电科学研究院
	11	雅砻江流域千万千瓦级风、光、水多能互补多级协同智能调度模式与关键技术研究	西安交通大学
	12	含巨型梯级水电的风光水互补发电系统短期调度模式与增益分配机制	河海大学

两河口水光互补专项设计及研究

1. 水风光互补运行特性分析

建立了水风光互补分析模型，分析在电量平衡、水量平衡、跟踪负荷曲线等边界条件下的弃风光率

2. 水风光一体化开发规模论证

以水电站调节能力为基础，建立不同时间尺度的分析模型，研究通道容量限制对开发规模的影响，研究一体化开发经济合理规模

两河口水光互补专项设计及研究

3. 流域梯级电站运行影响分析

分析一体化运行前后水量、电量影响因素，研究对两河口及下游牙根一级、杨房沟等梯级电站的运行影响

4. 水电站设备适应性分析和改扩建研究

分析一体化运行工况下，两河口水电站水轮发电机组、调速器、主要一次和二次设备的适应性及性能指标，提出水电站改扩建需求

5. 一体化协调运行控制系统研究

研究水风光一体化协调运行要求和模式，根据控制目标、控制模式、控制策略等，提出系统功能要求、设备配置需求、软件开发和协调运行试验要求

两河口水光互补专项设计及研究

6. 电力消纳送出研究

开展电网负荷需求分析及预测，分析电力消纳方向和能力，论证汇集送出方案，提出电网调节原则

7. 接入电网电能质量专题研究

评估光伏电站并网对电网电能质量的影响，评估指标包括不同运行工况下的电压偏差、谐波、电压波动和闪变等

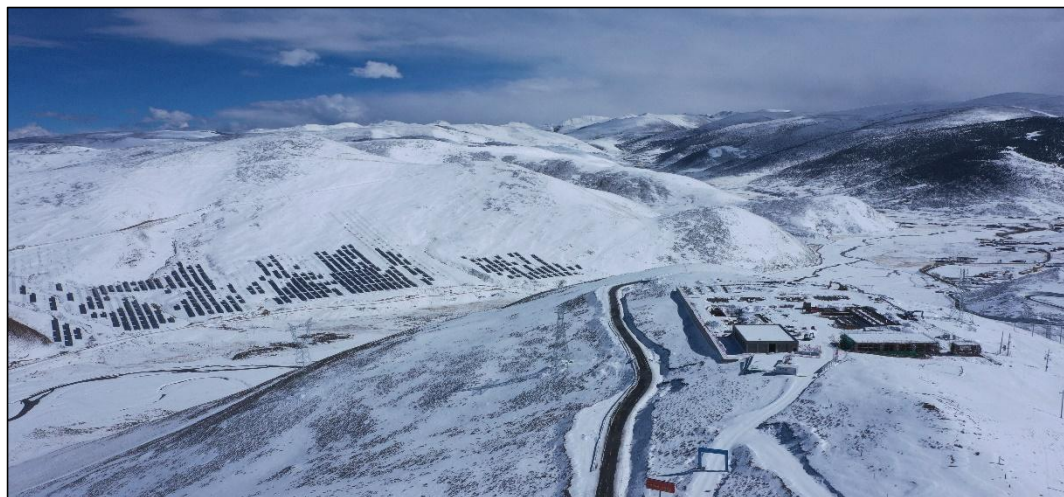
柯拉一期光伏电站建设进展



柯拉一期光伏电站建设进展



柯拉一期光伏电站建设进展



柯拉一期光伏电站建设进展



一、流域基地建设进展

二、水风光互补研究及建设

三、基地推进及关键问题展望



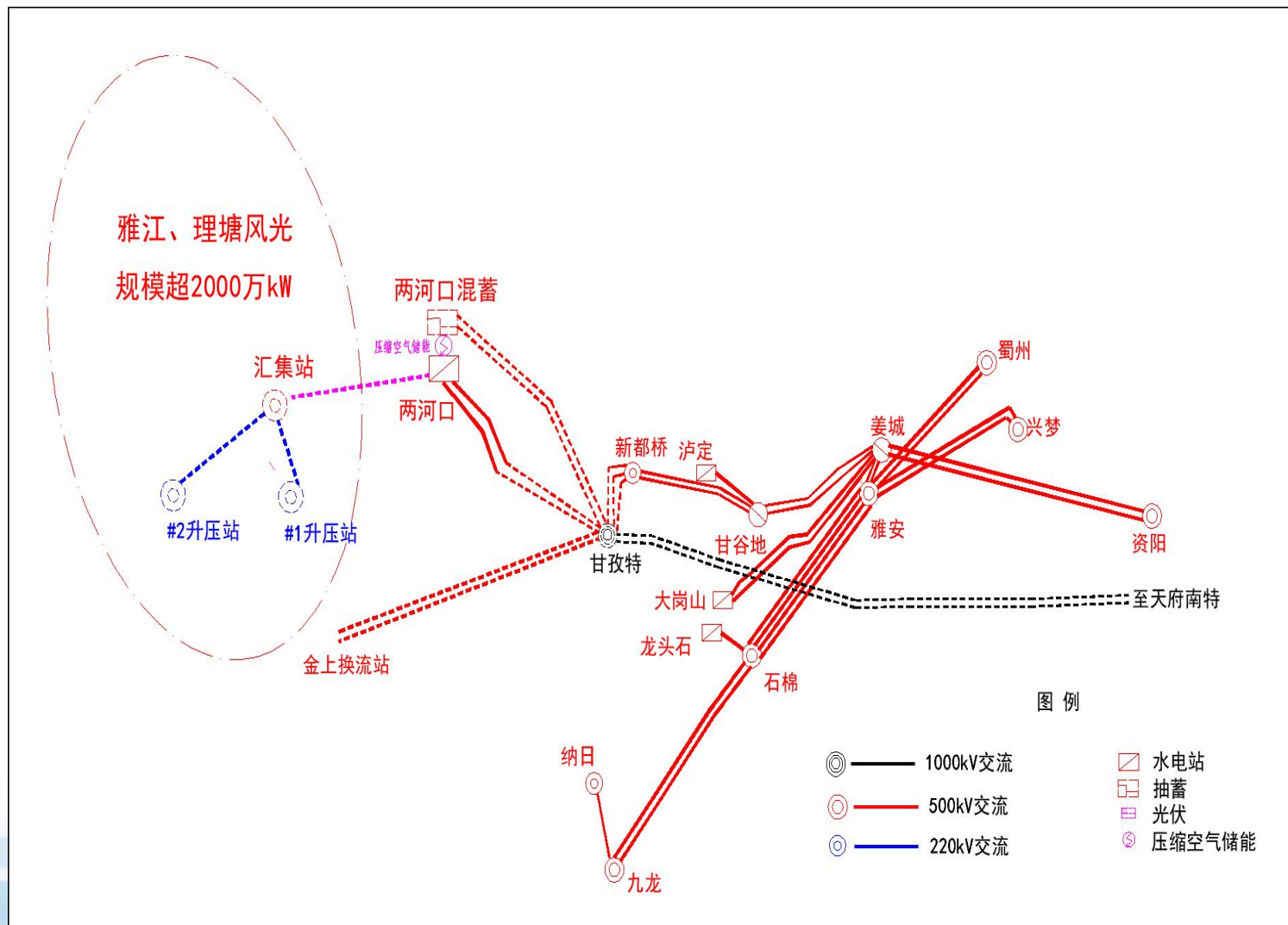
两河口混蓄

位于两河口水电站左岸，上水库利用两河口电站水库，调节库容65.6亿 m^3 ，具有多年调节能力，下库利用同步建设的牙根一级电站水库，调节库容1969万 m^3

安装4台30万千瓦的可逆式机组，总装机120万千瓦，力争2027年投产

两河口水风光基地

- **两河口水电站+混蓄——互补新能源规模700万kW以上，力争2027年全部建成**
- **柯拉一期光伏电站正在全力推进，力争6月投产**
- **300万kW水光互补项目力争2025年前建成**



自然科学基金研究

雅砻江公司正联合自然科学基金委征集研究项目：

- 水风光储协同开发与多目标优化运行关键技术
- 水风光储多能互补系统运行状态精准感知与实时优化调度关键技术
- 基于大数据的水风光储清洁能源基地电力交易智能决策关键技术
- 大型变速抽水蓄能机组基础理论与关键技术
- 构建地下空间大规模压缩空气储能系统关键技术

工程应用研究

1. 雅砻江全流域优化调度研究及示范应用

以“减少弃水，提高有效水能利用率，实现水风光蓄综合利用和效益最大化”为目标，从水库梯级联合调度、电力保供、电网安全等方面，研究汛期洪水资源化利用、枯平期三大水库合理消落、网源协同安全保障、水风光电站联合运行模式及发电策略优化等



工程应用研究

2. 两河口水电及混蓄优化运行研究

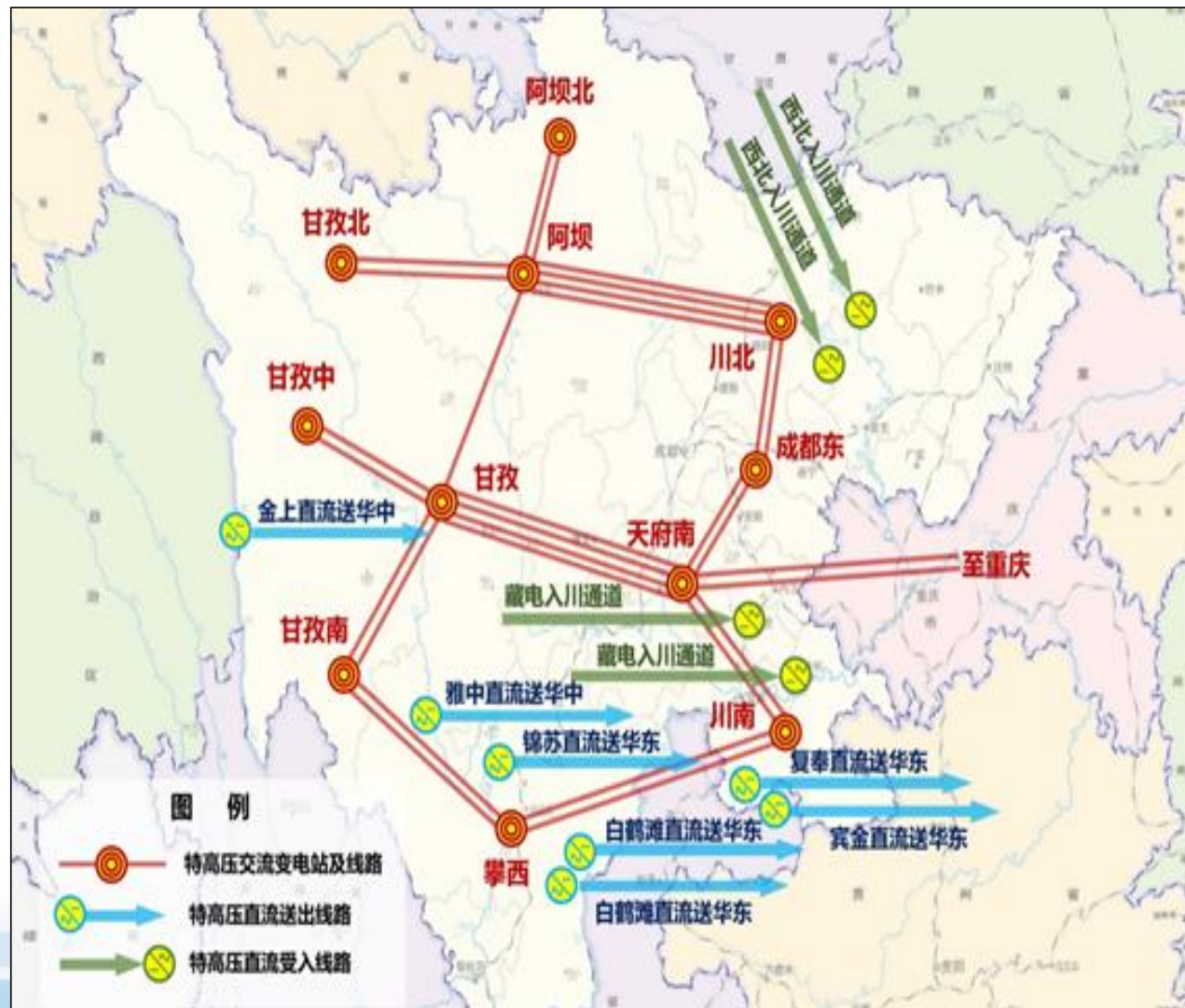
开展宽水头变幅大容量抽水蓄能机组安全稳定运行关键技术研究，开展两河口水电与混蓄联合运行优化策略研究



工程应用研究

3. 雅砻江流域大型水风光一体化送出策略研究

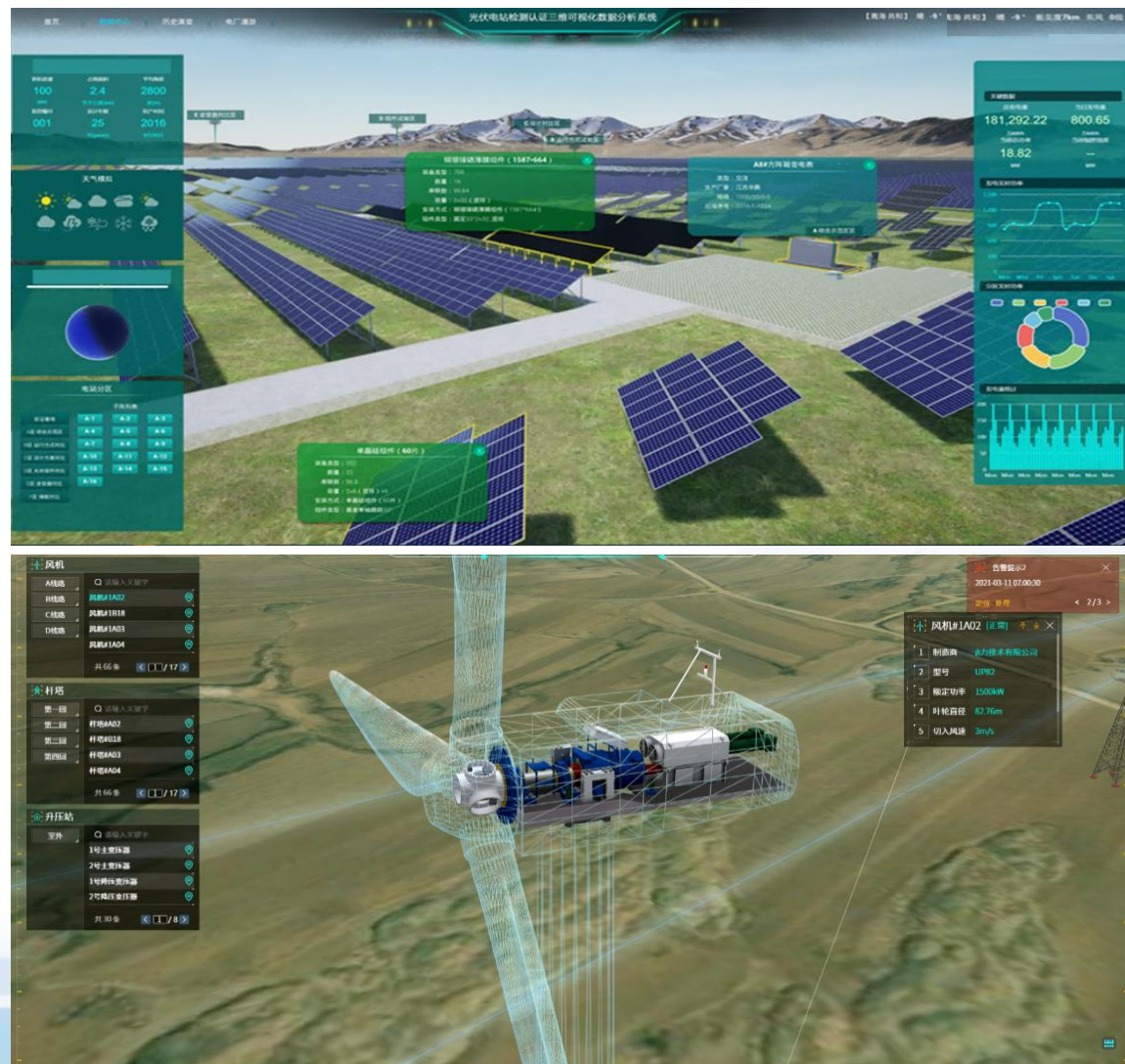
结合水风光发电特性，制定一体化送出技术原则，研究水风光一体化电力消纳方案及布局规划，开展网侧约束条件下一体化消纳研究，提升消纳利用率



工程应用研究

4. 雅砻江流域高寒高海拔新能源开发关键技术研究

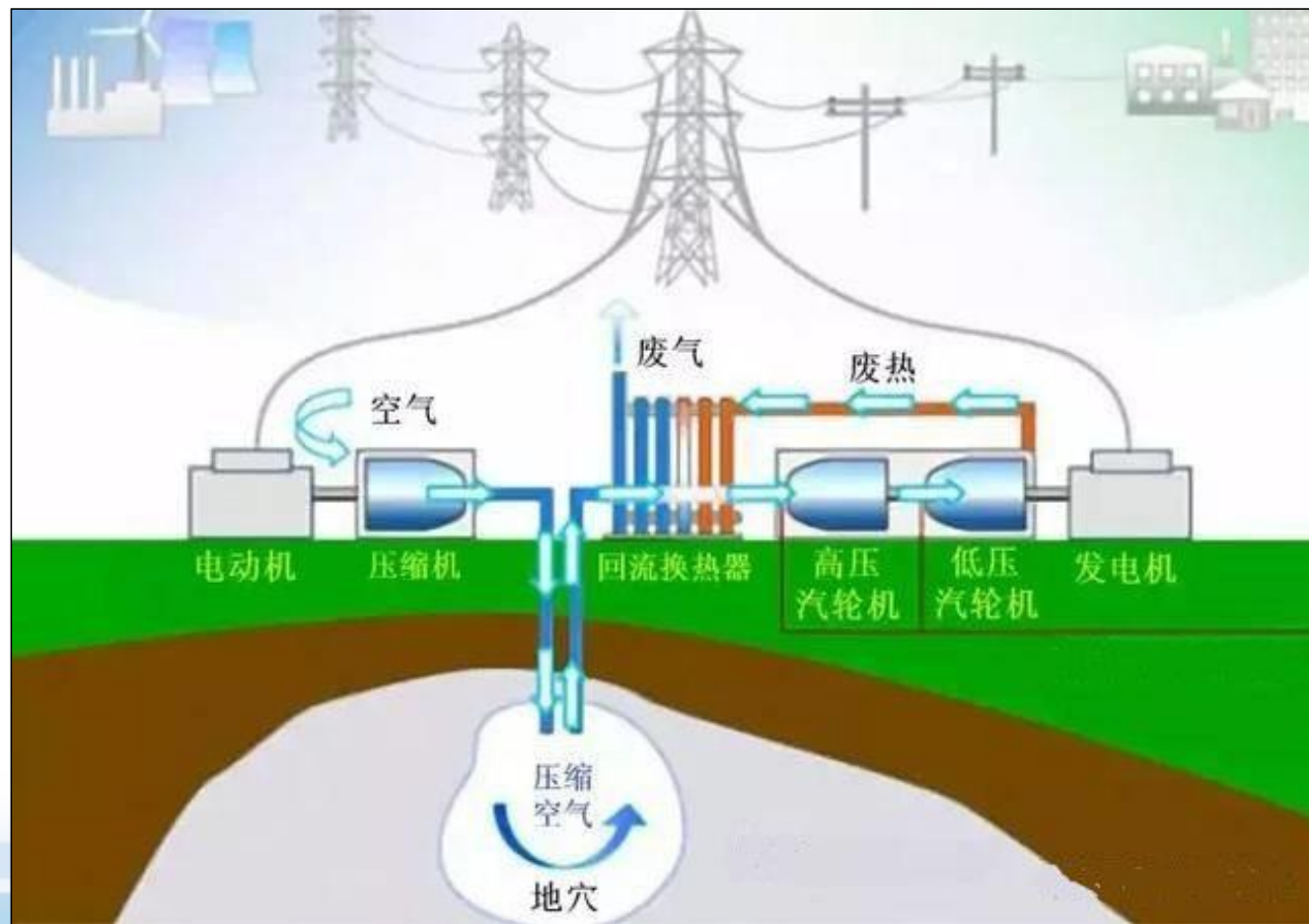
结合流域风光资源特点，以服务工程建设为导向，开展高寒高海拔山地风光项目关键设备选型及应用、无人机智能巡检研究、智能运行管理云平台、故障检测、结合云图特征的超短期功率预测系统、生态效应评估与护修等关键技术研究



工程应用研究

5. 地下空间大规模压缩空气储能示范应用

依托两河口水电站已形成的地下洞室，开展压缩空气储能研究、示范，为风电光伏大规模开发提供多样化储能调节



雅砻江公司致力于将

雅砻江流域水风光互补绿色清洁可再生能源示范基地

打造成世界级清洁能源基地、行业标杆和中国样板，

需要各方共同努力和推动

谢 谢 大 家