

2021年6月28日，习近平总书记在致金沙江白鹤滩水电站首批机组投产发电的贺信中指出：“白鹤滩水电站是实施‘西电东送’的国家重大工程，是当今世界在建规模最大、技术难度最高的水电工程。全球单机容量最大功率百万千瓦水轮发电机组，实现了我国高端装备制造的重大突破。”

2022年12月20日，白鹤滩水电站全部机组投产发电，标志着我国在长江之上建成世界最大清洁能源走廊，对保障长江流域防洪、发电、航运、水资源综合利用和水生态安全具有重要意义。这一重大工程显示出中国大型水电工程建设从“中国制造”到“中国智造”的巨大跨越。

在白鹤滩水电站工程建设十多年间，上百家参建单位勇担时代使命，数万名建设者与江河为伴，10万移民舍小家为国家，各级主管部门与地方政府高效协调，克服了一系列技术难题和全球新冠疫情的影响，创造了多项世界第一，终于把白鹤滩水电站从蓝图变为现实。作为中国三峡集团白鹤滩水电站工程现场负责人，作为投身30多年的老水电人，我为白鹤滩水电站建成投产，为中国水电事业发展取得的卓越成就倍感荣耀。



白鹤滩水电站雄姿。

中国三峡集团供图

“暑期学堂”精彩纷呈 在家门口 学“非遗”

“春风寒，春风寒，寒着寒着就变成了暖；秋月弯，秋月弯，弯着弯着就变成了圆。”上午9点多，在山东省滨州市惠民县胡集镇文化展厅，传出孩子们唱戏的声音。

孩子们身穿戏服，站成一排，左手持两片铜板，右手以鼓键子击鼓，曲艺老师冯寿林在一旁轻拨三弦，为演唱伴奏。

胡集镇有悠久的曲艺历史，传承八百多年的胡集书会是兴起、扎根于当地的曲艺集市盛会。近年来，当地高度重视传统曲艺的传承和培育，在学校开设传统曲艺课程，还利用假期组织周边学生集中学习。

作为市级非物质文化遗产“冯家门三弦”的传承人，冯寿林经常在业余时间教授孩子们西河大鼓等地方传统戏种。“现在不少学校都开设了曲艺课，喜欢传统曲艺的孩子越来越多了。”

“今年暑假我已经学会了两首新曲子了！”学唱西河大鼓已有两年有余的胡集镇中心小学五年级学生胡艺梦对记者说。

2023年7月，惠民县组织各乡镇，整合多种资源，依托图书室、书画坊等功能室，开展丰富多彩的“暑期学堂”，让孩子们在家门口就能感受“非遗文化”的魅力。

在惠民县孙武街道邓家社区内的一间活动室，81岁的盖敬德老人和82岁的张秀兰老人正在教孩子们剪纸，十几名孩子围坐在老人身边，聚精会神地听着。

折扇、描画、裁剪……在老人的耐心讲解和社区志愿者的协助下，一张张普普通通的纸张，在孩子们手中相继变身成蝴蝶、星星等童趣盎然的剪纸作品。“作为一项传统非遗项目，剪纸具有广泛的群众基础，是各种民俗活动的重要组成部分。今年暑期，我们组织了3次剪纸活动，孩子们兴趣很高，每次屋子里都坐满人。”孙武街道办事处宣传办主任李落落这样介绍。

“揉、滚、搓、捏，再用小刻刀灵巧地点、切、刻、划。”下午时分，在惠民县姜楼镇党群活动中心，刘延贵的“面塑小课堂”开课了。作为面塑制作的“行家里手”，他曾多次参加“非遗进校园”活动，并被多所学校聘为非遗教师。

课堂上，刘延贵一边讲着制作技巧，一边帮孩子们调整面塑形状。“现在很多孩子看不到这类传统民间工艺了，让他们有机会亲身体验一下，就是对传统文化的传承和保护。”刘延贵说。

“面塑、绘画、剪纸、戏曲……非遗借助沉浸式、体验式、互动式的活动走进乡村，不仅让孩子们近距离感受非遗文化，更能激发他们的学习兴趣。”惠民团县委副书记王卉说。目前，惠民县共开办了45期暑期学堂，实现了14个乡镇全覆盖，累计参与学生数量超过800人。

(新华社记者高天 王厚原)

攀登坝工“珠峰” 建设水电强国

汪志林

70年谋划 10多年建成并全面投产

白鹤滩水电站位于四川省凉山彝族自治州宁南县和云南省昭通市巧家县境内，是金沙江下游干流河段梯级开发的第二个梯级电站，开发任务以发电为主，兼顾防洪、航运，并促进地方经济社会发展。

早在1954年长江大洪水后，党中央就部署研究在长江上游金沙江干流上兴建水利工程的方案。1958年，原云南省水利电力设计院进点金沙江下游，对白鹤滩河段开展了初步的勘探工作。但是，受限于当时的经济实力和条件，工作最终停滞。

金沙江河段水量充沛、稳定，落差大而且集中，水能资源极为富集，是中国乃至世界最大的水电能源基地。但是相应的，在这里进行工程建设，就必然要面对高山峡谷等复杂的地形地质条件和自然环境。白鹤滩坝址地质条件险峻复杂，地震、滑坡崩塌及泥石流等自然灾害较多，同时又是典型的干热河谷气候，干湿季交替变化极其明显，每年七级以上大风天气超过240天，自然环境恶劣。“金沙自古不通舟，水急天高一望愁”，前人篆刻在白鹤滩绝壁上的诗句，生动地描述了白鹤滩坝址河段的险峻。

直到1990年，国务院批准了《长江流域综合利用规划简要报告》，成为长江流域开发的纲领性文件，白鹤滩水电站的前期勘探工作再次启动，华东勘测设计研究院作为工程主体设计院进驻现场。当时的条件极为艰苦，一些仪器需要在仅能单人通过的马路上人挑肩扛上去。临时营地建成前的很长一段时间，食堂用的是煤油炉，因为没有电，勘探队员晚上点蜡烛工作。虽然条件艰苦，但是白鹤滩前期勘探工作极其深入细致，整个可行性研究阶段完成了37条坝址勘探线，左右岸修建道路10余层共70多公里，完成20万米地质勘探钻孔、5.5万米勘探平洞及大量现场试验，勘探工作量世所罕见，这也为工程的成功建设打下了坚实的基础。

2010年，经国家发改委批复，白鹤滩水电站前期筹建工作正式启动。党的十八大之后，白鹤滩水电站开工建设，进入工程准备期。2017年7月，主体工程全面开工建设，工程建设进入“快车道”，大坝、地下厂房、泄洪洞等主体工程全面铺开。2021年4月6日，白鹤滩水电站正式开始蓄水。2021年6月28日，首批机组投产发电，为党的百年华诞献上中国水电人的礼物。之后，我们继续高质量推进后续工程建设，全面建成精品工程。到2022年10月24日，水库首次蓄水至正常蓄水位，12月



作者汪志林肖像画。张武昌绘

20日全部机组投产发电，白鹤滩开始发挥全部工程效益。“今日天人开一线，严壁衔尾往来游”，如今的白鹤滩水电站在提供源源不断的绿色清洁能源的同时，带动了地方全面发展，周边原本落后的小县城成为滨湖旅游城市。截至2023年8月中旬，白鹤滩水电站累计发电量超850亿千瓦时，为中国经济和社会发展提供磅礴的绿色动力。

攻坚克难 打造300米级特高拱坝

白鹤滩水电站是当时世界在建规模最大的、技术难度最高的水电工程。其总装机容量高达1600万千瓦，仅次于三峡水电站，位居世界第二。在工程推进过程中，广大建设者充分发挥聪明才智，合力进行技术攻关，突破了世界水电工程史上鲜有的，甚至空前的技术难关，勇攀世界坝工科技“珠峰”。

白鹤滩水电站工程区地形地质条件异常复杂，面临边坡高陡、地形不对称、地震防治烈度高等难题。坝址区裸露的柱状节理玄武岩，具有开挖易松散的特性。利用这种岩体作为300米级特高拱坝基础、建设世界规模最大的地下洞室群，在国际上是首次，需要有突破性的技术创新。我们坚持创新驱动理念，从柱状节理玄武岩力学特性本构研究开始，掌握了玄武岩岩体力学特性和松弛演化规律。在此基础上，创新了一系列施工工艺工法，解决了坝基柱状节理玄武岩卸荷松弛、缓倾角错动带开挖易变形、河床薄层角砾熔岩层精细开挖等难题，坝基开挖质量优良，奠定大坝

坚实基础；解决了洞室群高地应力硬脆岩体和软弱错动带相互叠加，和洞群效应的不利影响，实现超大规模地下洞室群开挖围岩稳定。这些工程上的首次，被相关领域院士专家称赞为“提升了学术界对复杂岩体本构特性的认识深度，有力推动了岩石力学理论和学科发展”。

白鹤滩水电站坝址地形条件左缓右陡，地质条件左右强弱特征明显，这种地形地质条件的不对称性给承受1650万吨、世界第二大推力的拱坝设计带来了巨大挑战。同时，白鹤滩大坝也是我国第一座在新抗震规范下进行设计的特高拱坝，工程抗震安全性最高。我们开创性地进行了不对称拱坝设计，对大坝坝体结构、拱座稳定、抗震安全及坝身孔口开展了系统研究，选择在左岸顶部设置垫座以减小坝体不对称性，选择适应性更强的椭圆形拱坝坝体，在左右岸和河床设置了世界最大的扩大基础以改善坝体坝基变形应力，并采取坝身泄洪孔口不对称布置等综合方案，成功地在世界最复杂的地形地质条件下建起世界第三高的300米级特高拱坝。值得一提的是，我们在温控理论、混凝土原材料、施工工艺等方面实现技术突破，广泛应用物联网、云计算、智能控制等现代信息技术，使其成为“无缝大坝”“智能大坝”，确保了作为核心核心的挡水建筑物永远运行安全稳定，作为骨干梯级保护长江安澜。

自主创新 引领世界水电机组发展

白鹤滩水电站是中国水电行业自主创新的结果，是广大建设者智慧和汗水的结晶。在白鹤滩水电站工程建设过程中，诞生了一批举世瞩目的创新成就，特别是创造了多项世界水电工程科技纪录，其中包括实现全球单机容量最大功率百万千瓦水轮发电机组投产发电，实现了中国高端装备制造重大突破。

水轮发电机组是水电站的心脏，在很大程度上决定着水能转化为电能的效率。白鹤滩水电站地下厂房安装16台100万千瓦水轮发电机组，使中国巨型水电站机组首次全面国产化并引领世界水电机组迈入百万千瓦级，各项指标大幅超越国内外现有技术标准。水轮发电机组的运行稳定性、水力设计、电磁设计、发电机冷却、绝缘技术、结构刚强度及测试方法等方面形成了一系列具有自主知识产权的核心技术，实现了我国高端装备制造的重大突破。

数据显示，白鹤滩水电站百万千瓦机组性能优异，水轮机最优效率达到96.7%，发电机额定效率超过99%，是目前世界效率指标最高的水轮发电机组。定子绕组温升不超过63K，转子绕组温升不超过58K，为水电行业最严格的温升控制水平。额定电压24千伏，为水电行业最高电压等级。白鹤滩水轮发电机组的最大容量、最高效率指标、最低温升控制水平、最高电压等级、高可靠性及全面精品标准要求，代表了当今世界水电行业的最高水平。

善始善终 做到有序完美收官

白鹤滩水电站全部机组已经全部投产，机组运行各项性能指标优良，但距白鹤滩水电工程全部完工，还有一段距离，还有许多工作要做。我们将持续深入贯彻习近平总书记贺信精神，推进白鹤滩水电站后续各项工作，继续以质量安全为首要任务，高标准高质量做好尾工项目，做到有序完美收官。

我们要认真总结机组安装调试运行的成功经验，坚持“精品机组、美丽机电”的建设运行目标，精益求精，确保投产运行机组台台实现精品。

具体而言，我们将严格按照“设计零疑点，制造零缺陷，安装零偏差，调试

零失误，运行零非停”要求开展各项工作，认真总结经验，提高验收标准，从机组全生命周期角度，管控好每一个环节。

我们要认真梳理后续项目，制定方案、标准和措施，高标准高质量建设精品工程，全面建设世界一流精品工程。

我们要打造美丽白鹤滩，坚持“在保护中发展、在发展中保护”的生态环保理念，进一步做好枢纽区生态修复，兼顾景观提升，体现工程之美、自然之美、人文之美。加强库区生态系统保护和修复，努力实现经济、社会和生态效益有机统一。

在完成工程后续建设任务的同时，我们积极发挥水电科技创新、科普教育作用，依托白鹤滩水电工程，推进实施一批水电科研示范项目、示范工程；我们将完成白鹤滩工程建设管理和技术总结，加强技术交流，促进行业技术进步；面向国内外高校大学生，提供实习参观学习平台；面向社会大众，打造水电行业科普平台。

任重道远 迈向7.4亿千瓦目标

白鹤滩水电站与葛洲坝、三峡、向家坝、溪洛渡、乌东德水电站一起，构成世界最大的“清洁能源走廊”，它们组成的梯级电站总装机容量约7200万千瓦，相当于“三个三峡”，年平均发电量约3000亿度，可有效缓解华中、华东地区及川、滇、粤等省份的用电紧张局面，为电网的安全稳定运行发挥重要作用，为“西电东送”提供有力支撑，同时也是优化我国能源结构、促进节能减排、助力经济社会高质量发展的强大“绿色引擎”，助力中国实现碳达峰、碳中和目标。

中国水能资源非常丰富，开发潜力依然巨大，水电事业发展任重道远。与发达国家相比，中国在水能资源开发程度方面还有很大差距。一些发达国家在20世纪80年代，水能资源开发已完成90%，有的甚至达到99%。截至2021年，中国水能资源开发率仅为50%多，水电装机总量约4亿度，大自然赠予我们的宝贵水能资源有很多还在白白流失。

当前，中国正持续推动能源转型和变革，大力增加可再生能源的比重。水电作为经济、稳定的清洁能源还需要进一步发展，将发挥更大作用。按照规划，到2050年，中国水电装机容量将增长到7.4亿千瓦，水能开发程度将达到80%。中国水电发展前景无比广阔。我们要认真总结建设形成的核心技术和经验，并持续推动科技创新，迎接新的任务和挑战，继续推动中国水电高质量发展。

白鹤滩工程进一步擦亮了中国水电品牌。从这里起航，我们的水电编队正走向世界。“一带一路”沿线国家电力发展相对滞后，有大量无电人口，对电力设施尤其是水电基础设施的需求十分迫切。其中南美洲、亚洲欠发达地区水电开发程度不到30%，非洲更只有10%。依托白鹤滩水电站等“大国重器”建设形成的产业集群优势，包括装备制造、施工、科研、管理等，我们将以更强的能力帮助“一带一路”沿线国家全面提升电力基础设施。

展望未来，我们相信从喜马拉雅山谷到东南亚雨林，从东非尼罗河到南美洲马孙河，将出现更多由中国制造和装备的水电工程。它们将如明珠般璀璨闪耀，为世界能源变革、为构建人类命运共同体作出卓越贡献。

【作者汪志林为中国三峡建工（集团）有限公司白鹤滩工程建设部原主任】

科技名家笔谈

中国科协科学技术传播中心与本报合作推出

智能纺纱 降本增效

近日，位于山东省青岛市即墨区即发龙山工业园的青岛即发盛宝纺织有限公司10万锭数字化纺纱智能工厂投产运转。据悉，该工厂全流程采用智能化纺纱成套装备，在生产中应用大数据、人工智能、5G等信息技术，工厂实现了运营智能化、装备智能化、制造数字化，可生产高端多功能纤维材料，用工由原来的1万锭50人降为10人以下。

▼图为工人在数字化纺纱智能生产线上生产高端纤维。

梁孝鹏摄



白鹤滩水电站16号机组转子吊装现场。

中国三峡集团供图