

白鹤滩水电站——

引领世界水电的超级工程

张超然

开卷知新

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，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。这一重大工程也显示出我国大型水电工程建设从“中国制造”到“中国创造”的跨越。

中，我国水电技术取得长足发展，为白鹤滩水电站建设奠定了扎实的技术基础。目前，我国水电已探明可开发装机容量约6.87亿千瓦，年均发电量约3万亿千瓦时。面对这个能源库，我们的水电开发大有可为，前景广阔。

进军“无人区”，打造超级水电工程

白鹤滩水电站不仅是当代水利枢纽工程的集大成者，更是技术上的创新者、引领者。白鹤滩水电站位于长江上游金沙江河段，总装机容量世界第一，电站装机容量1600万千瓦，多年平均发电量624.43亿千瓦时，源源不断地将清洁能源输送到江苏、浙江等沿海经济发达地区。等量换算的话，其一年的发电量可满足6500万人全年生活用电需求。

建设这样一座超级水电站，需要几代人共同努力。上世纪50年代，国家组织相关水电勘测设计单位和中科院对金沙江开发开展了大量普查、勘察、规划和一系列筹备工作。党的十八大以来，白鹤滩水电站开工建设，吹响了我国攀登世界水电“珠峰”的号角。10年间，建设者们团结协作、攻坚克难、精益求精，先后创造了水轮发电机组单机容量世界第一、地下电站洞室群规模世界第一、无压泄洪洞群规模世界第一等6项世界纪录，将白鹤滩水电站打造成名副其实的超级工程。

用先进技术筑成“无缝大坝”。大坝是水电枢纽工程的核心建筑，只有大坝质量过硬才能截住水。白鹤滩水电站大坝为混凝土双曲拱坝，最大坝高289米，相当于100层楼高，从空中俯瞰犹如一个弯曲的、薄薄的鸡蛋壳镶嵌在金沙江河谷中，十分宏伟壮观。建设过程中，我们在温控理论、坝工设计、混凝土原材料、施工工艺和养护维护等多个领域实现了技术突破。比如，温度裂缝是由混凝土内外温度变化产生的裂缝，也是大坝建设面临的普遍难题。白鹤滩水电站大坝采用低热水泥混凝土，我们优化完善了大体积混凝土温控理论，形成了一整套相关施工工法和坝工工程，为“无缝大坝”提供了坚实保障。大坝内部还累计埋设了300万米长的冷却水管道，借助1万多个传感器，运用物联网、云计算、智能控制等先进技术，可以进行故障自我诊断、

温度流量异常报警等。在这套智能温控系统和智能混凝土运输、浇筑成套设备的支持下，截至目前，大坝没有发现一条温度裂缝。

研制百万千瓦水轮发电机组，向世界水电“无人区”进军。如果说大坝是水电站的躯干，发电机组就是心脏。心脏够强，水能才可以充分、稳定地转化成电能。白鹤滩水电站就拥有一颗“大心脏”——16台百万千瓦水轮发电机组。研制这一级别的水电机组没有先例可以参考，犹如攀登水电行业的“珠峰”。建设者攻克了发电机组结构、水力设计、发电机通风、机组总体设计等一个又一个技术难题，把核心技术牢牢掌握在我们自己手中。比如巨型转轮“零配重”，即用一根手指的力量就能拨动巨大的转轮。转轮是决定发电机组能量转化的关键部件，一旦出现质量偏心，会影响机组安全。为保证重达330吨的转轮不出现质量偏心，白鹤滩水电站通过现场建厂解决运输难题，采取转轮全低氢焊接、三维模拟精准确定、转轮过程监控等措施，实现了“零配重”。从运行效果来看，白鹤滩水电站发电机组的效率、稳定性等指标均处于国际领先水平。高50米、重逾8000吨的机组，整体振动、摆度值只有头发丝宽度。

泄洪洞群堪称精品，如“地下迷宫”。作为水利枢纽工程，白鹤滩水电站在汛期需要泄洪。为此，水电站左岸布置了3条无压泄洪洞，单洞最大泄洪流量4083立方米/秒，水流可以每小时180公里的速度通过。针对泄洪洞流速高、坡度陡、流量大等难题，运用衬砌混凝土智能化温控防裂等新技术，泄洪洞混凝土实现了“平整光滑、抗冲耐磨、内外光、体型精准、零缺陷”的目标。为泄洪修建的这3条“高速公路”，共同构成了世界上最大的无压泄洪洞群。目前，光滑如镜、可以清晰照出人影的泄洪洞经受了水库高水位泄洪运行的实践检验。

连珠成串，构建世界最大清洁能源走廊

随着白鹤滩水电站16台机组全部投产发电，长江干流上的乌东德、白鹤滩、溪洛渡、向家坝、三峡、葛洲坝等6座水电站连珠成串，共同构成了一条跨越1800公里的世界最

大清洁能源走廊。这条走廊上的110台水轮发电机组，总装机容量7169.5万千瓦，年均生产电能约3000亿千瓦时，可满足3.6亿人一年的用电需求，能有效缓解华中、华东地区及川、滇、粤等省份的用电紧张情况，为电网安全稳定运行和“西电东送”提供有力支撑。通过流域梯级电站联合调度，不仅扩大了发电效益，实现了“一滴水发六次电”，还将更好发挥水电站防洪、航运、生态保护、水资源综合利用等多种功能。

这条走廊生产的电能替代了大量化石燃料，助力实现“双碳”目标。仅白鹤滩水电站所有机组全部投产发电后，每年就可节约标准煤约1968万吨，减少二氧化碳排放约5160万吨。6座水电站每年可节约标准煤约9045万吨，减少二氧化碳排放约2.48亿吨，为改善我国能源结构发挥积极作用。

“十四五”规划和2035年远景目标纲要提出：“推进能源革命，建设清洁低碳、安全高效的能源体系，提高能源供给保障能力。”白鹤滩水电站作为能源领域的大国重器，在人类水力发电史上写下了浓墨重彩的一笔，使中国水电的国家名片更加闪耀。这一超级工程的建设，显著提升了我国水电设计施工和装备制造全产业链、价值链、供应链的水平，进一步巩固了中国水电作为世界引领者的地位。相信在各方努力下，白鹤滩水电站后续各项工作将不断取得新进展，为实现“双碳”目标，促进经济社会发展作出更大贡献。

（作者为中国工程院院士、中国长江三峡集团有限公司科学技术委员会顾问）

题为白鹤滩水电站航拍照片。

中国长江三峡集团有限公司供图
制图：张芳曼

推荐读物

《特大拱坝智能化建设技术创新和实践——300m级溪洛渡拱坝智能化建设》：樊启祥、张超然等著；清华大学出版社出版。

《1000MW巨型水轮发电机组关键技术》：程永权、石清华、刘平安等编著；中国三峡出版社出版。

《白鹤滩水电站巨型地下洞室群围岩稳定性分析与设计方法》：张春生、侯靖、徐建荣、陈建林等著；中国水利水电出版社出版。

要突破手工艺传承和设计发展的瓶颈，关键在于回归生活。在回归生活的过程中，在建设更美好生活的实践中，我们的设计文化、设计理念和设计风格，都将获得淬炼和发展。

中国民间文艺家协会主席潘鲁生新著《工艺的智慧》与《设计的时代》，辑录了作者近10年来发表的关于手工艺传承及设计发展的相关文章。两部著作通过剖析一系列热点现象、实践案例和理论命题，集中探讨了中国手工艺与中国设计的发展方向和创新发展路径等问题。

在作者看来，要突破手工艺传承和设计发展的瓶颈，关键在于回归生活。手工艺是生活的技艺，生活孕育滋养了无比丰富的中华手工艺品类。千百年来，这些手工艺代代相承，也离不开人们在日常生活中的自觉取用和传承创新。在经历工业化和信息化的社会变革后，要想激活那些有着悠久历史的农业时代手工艺，需要遵循生活的逻辑，在当代生活中找到新的实用点和审美生长点。同时，回归生活也是当代中国设计的发展方向。设计不只是产业经济的推动力，更是以美好生活为导向的创新创造。让中国设计强起来，不能局限于表面的美感，而要基于对民族历史文化的深度思考，回应包括生态文明建设、乡村振兴、城市更新等在内的社会生活深层次课题。在回归生活的过程中，在建设更美好生活的实践中，我们的设计文化、设计理念和设计风格，都将获得淬炼和发展。

此外，两部著作也多次论及手工艺与设计的关系——通过在设计中不断回溯手工艺的纹脉，在纹脉中寻找与当代生活适配的设计方案，手工艺和设计实现了突破与革新。作者从历史传统和发展现实出发，从当代实践和典型案例入手，对手工艺与设计的关系及其回归生活的分析阐释。

手工艺与设计需要回归生活以获取动力，社会生活也需要通过二者实现审美滋养。作者写道：“呱呱坠地时母亲或外婆亲手缝制的虎头鞋，满月时亲友邻里的‘百家衣’，年节窗棂上红火灵透的窗花，出嫁成家时的‘十里红妆’……传统岁月里的一生，是民间艺术点染串联起的记忆、情谊和情结，这些温暖的亲情牵挂、生活的色彩气息、关于吉祥美好的期待，让人生不荒芜不寂寥。”今天，生活美学的发展离不开手工艺和设计实践。经济社会快速发展，文化自信不断增强，青年一代审美品位发生着深刻变化，更加重视我们特有的文化传统、生活记忆和情感体验，国风国潮蔚为大观，手工制作、设计定制受到青睐。在作者看来，这种社会背景的变化，要求艺术设计在理念和实践上不断深化，与时俱进地丰富设计内涵。这些阐释有助于我们理解文化发展与社会生活之间千丝万缕、相互赋能的关系。

手工艺与设计也关乎社会审美素养与文化创造力的培育塑造。这两部著作以相当篇幅探讨教育问题，涉及高等教育领域民间艺术与设计学科建设、中小学相关课程建设以及更广泛的民间技艺传承学习等。设计的目的并不局限于作品或产品本身，而是要将审美趣味和日常生活结合在一起，在衣食住行各方面实现人文之美。对此，专业教育与社会美育都起到重要作用，要从生活出发发展美育，从传承和发扬丰富多彩的民间艺术中汲取美的养分与力量。

手工艺既心手相应，以最朴素的形式进行创造，也赋予于物，赋予风土人情、集体记忆以可见可感的形态。《工艺的智慧》《设计的时代》两部著作，打开了我们认识中国手工艺及设计的视野，启发我们在中华优秀传统文化创造性转化、创新性发展的背景下，思考手工艺与设计、传统与时代、经济发展与生活方式的关系，继续以民间艺术赋能美好生活，不断增强文化的凝聚力和创造力。

用民间艺术赋能美好生活

殷波

传递生生不息的精神力量

谭伟平

在中国现当代文学史上，书写乡土社会的家族故事是不少作家的创作题材，这方面涌现出的优秀作品也很多。作家王跃文的长篇小说《家山》，以家乡湖南浏阳的历史变迁为原型，通过讲述沙湾村陈家五代人的经历，折射中国乡村的历史进程。更进一步地，作者怀着对乡土的记忆与情感，挖掘中国乡村蕴含的丰厚精神资源，勾勒乡村社会的精神底色。

《家山》以50余万字的篇幅，描写了南方乡村沙湾在上世纪上半叶的社会结构、风俗民情、耕织生活、时代变迁。沙湾陈家五代人中，老一辈的佑德公仁义乐善，是乡贤典范，总是把国家大义放在第一位。中间一辈的陈齐美、陈齐峰、陈扬卿求学在外，见过世面，不论什么机遇，都始终想着发展家乡、投身报国。陈扬卿执着地修水库办教育，抱定技术报国的信念。共产党人陈齐峰、陈功夫则影响和带动一群乡村青年，走上改变乡村命运的革命道路……小说虽然落笔于沙湾村，写的是家长里短、烟火人生，但许多人物都与重大历史事件有所关联。通过这种家国同构的叙事，展现家族故事背后的时代风云。

作者说：“正像佑德公家娘井的水会流到长江和东海，沙湾村父老乡亲的喜悦哀乐、悲欢离合、酸甜苦辣都连着波谲云诡的时代和

灾难深重中浴火重生的中国。我力图把这部小说写得扎实、丰富、辽阔，追求我理想中的史诗品格。”小说中，当地组建的革命武装组织，后来成为解放战争时期湘西纵队的重要组成部分；从小在万溪江里泅水的陈齐峰们，也成长为社会栋梁。万溪江犹如寓言般见证了时代的变迁，汇聚涓涓细流，然后奔向沅江—长江—东海，百川归海是自然规律，也隐喻着大势所趋的历史发展规律。

“文学里，爱应该是底色，是前提。”在《家山》中，我们能感受到作者的这种文学追求。无论是大洪水后的互相救济，还是村民集体掩护红军家属，抑或村民在共产党人陈齐峰振臂高呼之下，踊跃投身人民武装，小说中这些场景细节都写得细致感人。作品写出了动荡年代的守望相助、保卫家园，写出了让一个族群凝聚起来的精神纽带。人物的道德观念体现了传统文化的影响，也有浓厚的民间伦理底色，彰显了中华民族的大义美德。

在艺术特色上，《家山》展现出对中国文学传统的继承与转化。作品借鉴了传统叙事文学写人状物画景的白描手法，以朴素简练的文字来描摹形象、勾勒景物、传情达意，耐人寻味。小说中民间方言俚语大量出现，增添了作品的表现力和鲜活感。对作者来说，民间语言不仅意味着家乡人物的词汇、修辞，

更传达出他们的神态、腔调、笑貌以及思维方式、生活态度等。就是通过这些富有乡村记忆和地方特色的语言，人物活生生地来到作者笔下，来到读者面前。

血脉是延续的，历史是延续的，文化也是延续的。《家山》通过小说的形式，深情回望乡土，也通过兼具恢宏气象与缜密世情的书写，展现乡村生活画卷，传递生生不息的精神力量。倘若能给代代延续的家族故事注入更多当代视角，小说的思想内涵或将更为深刻。

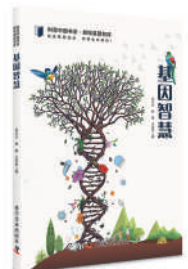


《家山》：王跃文著；人民文学出版社、湖南文艺出版社出版。

新书架



《中国经验与中国经济学》：张晓晶著；中国社会科学出版社出版。
本书以马克思主义经济学为遵循，系统梳理中国经济发展的重要经验，并在经济学理论层面做出了一些探索。



《基因智慧》：范云六、林敏、王友华著；科学普及出版社出版。
本书介绍了基因在动物、植物及人类生存发展中发挥的重要作用，科普了人类如何运用基因技术服务现代生活。



《工艺的智慧》《设计的时代》：潘鲁生著；生活·读书·新知三联书店出版。

