



□ 李 昇 王忠耀 杜效儒

发展是硬道理，安全是硬要求。党的十八大以来，我国水电行业坚持新发展理念，贯彻落实总体国家安全的内在要求，既重视工程安全，又重视公共安全，行业全面步入高质量发展新阶段，开启高水平安全治理新局面。

统筹发展与安全 水电建设取得巨大成就

党的十八大以来，按照高质量发展与高水平安全的内在要求，水电行业秉承工程全生命周期安全管理和流域系统风险可控的理念，注重科技创新，取得了巨大成就。

截至2022年6月底，我国水电总装机容量近4亿千瓦，其中常规水电约3.6亿千瓦、抽水蓄能约0.4亿千瓦，装机规模已连续17年稳居全球首位。随着白鹤滩、乌东德等一批巨型常规水电工程，全球装机规模最大的丰宁抽水蓄能电站投产，我国水电事业迈入高质量发展阶段。多项工程创造了世界第一，智能建造普遍推行，水电设计水平、施工能力、重大装备制造能力提升到一个全新的高度。中国水电实现了从“中国制造”到“中国创造”的历史性跨越。

当前，中国水电资源开发过半，梯级开发逐渐成群。在“建设与运营并重”的新业态下，全国流域水电安全与应急管理信息平台上线运行，在国内大型水电基地开展示范应用。流域系统风险防控与工程全生命周期安全管理的理念、方法和标准逐渐在行业得到认可和推广应用，大坝退役、水库应急放空、工程健康诊断与除险加固等一大批保障安全的行业标准颁布，为水电高质量发展保驾护航。

落实总体国家安全观 筑牢水电安全根基

作为国家重大基础设施，水电工程安全涉及国土安全、国民安全、经济安全、社会安全、生态安全、资源安全、能源安全等诸多领域，保障水电工程安全是贯彻落实总体国家安全的

观的重要内容。

树牢底线思维，确保工程安全。习近平总书记指出：“推动创新发展、协调发展、绿色发展、开放发展、共享发展，前提都是国家安全、社会稳定。没有安全和稳定，一切都无从谈起。”这就要求增强风险意识，树牢底线思维。2021年11月18日，中共中央政治局召开会议，审议《国家安全战略（2021—2025年）》。随后，国家多部委联合发布的一系列安全风险评估办法，将大中型水电工程归为重大基础设施之列，这是党的十八大以来保障水电工程安全作出的制度性安排。近年来，国家能源局还相继印发了《电力安全生产行动计划（2018—2020年）》《电力行业应急能力建设行动计划（2018—2020年）》《电力安全生产“十四五”行动计划》，对大坝安全应急管理、隐患治理、风险管控和流域梯级水电安全与应急管理提出了具体要求。

在国家能源局的指导下，行业智库负责编制了技术标准，有效指导水电工程安全与应急管理工；构建了全国流域水电应急大数据平台，显著提升流域水电应急管理在监测预警、应急处置、灾损分析等方面的能力和水平。

防范化解重大风险，全力发挥防灾减灾作用。水电工程尤其是高坝大库在防洪保安、供水灌溉、清洁电力、保障国民经济可持续发展和防灾减灾等方面发挥了巨大的、不可替代的作用。立足新发展阶段，水电工程在国家防灾减灾体系和应急能力提升中的作用将更加突显。党的十八大以来，建成了金沙江白鹤滩、乌东德、雅鲁江两河口等一批高坝大库，这些控制性水库显著提升了流域综合调控能力。通过联合调度、优化运行，不仅提高了全流域的发电量，为电力保供作出重要贡献，而且还显著提升了流域防洪抗旱能力，显著降低了洪涝和水旱灾害的损失。

2020年，长江流域联合调度41座大型水电工程，总防洪库容598亿立方米，成功应对流域性大洪水，切实保障了流域人民群众生命财产安全。通过对金沙江中游梨园、阿海、

不断创新环境影响评价

经过多年的发展，水电行业逐步建立了规划环境影响评价、项目环境影响评价、环境影响后评价等各阶段的技术方法体系，形成了协调流域水电开发与生态保护的技术体系。

党的十八大以来，水电行业积极推动水电规划环境影响评价，不断创新和完善规划环境影响评价方法，提出了资源开发方案的概念，通过综合比选环境影响、水库淹没、建设条件及电力需求等因素，将水电规划项目分近期实施、深入研究后实施和暂不实施三个层次，对于规范水电开发时序、控制水电开发强度起到了重要作用。重点完成了澜沧江、金沙江、黄河上游河段（湖口至尔多、茨哈峡至羊曲）及其他河流的水电开发规划环评，从流域层面对梯级布局、开发时序、装机规模、开发方式以及环境保护工作进行了统筹优化和协调。统筹干、支流开发与保护，最大程度地保护生态环境，如栖息地的保护、自然保护区的避让等，从源头上尽可能减缓了生态影响的程度和范围、支撑流域绿色发展。

通过40年的发展，水电工程环境

金安桥、龙开口、鲁地拉等5座电站的联合调度，2018年“11·03”白格堰塞湖溃坝洪水威胁被成功化解，特大洪水滞蓄在梨园库内，防止洪水风险进一步传导。如果没有金沙江中游这5座电站的调控，预测“11·03”白格堰塞湖溃坝洪水还将演进350公里，一直行进至攀枝花市，受淹面积将增加160平方公里，攀枝花市区的水位上涨高度将达到3.39米。

通过长江流域控制性水电工程的联合调度，2018年和2019年年初低温雨雪天气和长江口咸潮入侵等不利影响得到有效应对；2021年年初汉江下游水火爆发被及时抑制，保障了40万人供水安全。

流域梯级开发带动了高精度、系统化、全覆盖的流域基础监测信息。通过科学分析与优化调度，提升了重大灾害预警能力和重大风险防控能力。金沙江白格堰塞湖的处置，就是依靠水电工程建设的监测预警体系开展调度优化，并结合科学合理的工程措施，在重大灾害面前未造成一人伤亡。

水电开发是促进我国防灾减灾体系完善和应急能力提升的重要举措，也是提升自然灾害防御能力的根本手段，更是实现流域系统长治久安的基础之策。

立足新阶段 水电仍将大有可为

“双碳”战略给水电带来了新发展机遇。新型电力系统高比例消纳新能源面临诸多问题，其中最突出的是系统可靠容量和长周期调节能力。水电无疑是目前最佳的可提供可靠容量、具备长周期调节能力和经济性的基础电力。对于常规水电，客观上加快了澜沧江、金沙江、黄河、雅鲁江等主要流域上游梯级电站的开发进程；对于抽水蓄能，更是迎来了全新的发展时代。

政策驱动水电快速发展。《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年（2021—2025年）规划和2035年远景目标纲要》《“十四五”现代能源体系规划》《抽水蓄能中长期发展规划（2021—2035年）》《国家发

展改革委关于进一步完善抽水蓄能价格形成机制的意见》等一系列政策文件，极大地促进了社会各界投资水电的积极性。

新时期水电建设与管理面临诸多挑战，最为突出的是复杂建设条件的挑战和流域系统风险的挑战。

待开发的水电资源多处于西南高寒高海拔地区，建设条件极其复杂，诸如超深厚覆盖层和超高地震烈度上建坝，深埋长大地下洞室群建设，巨型滑坡、泥石流、冰湖溃决等地质灾害应对等。复杂建设条件增加了工程技术难度。

已建水电逐渐开发成群，极端天气引发的超标准洪水频现、流域统筹下的系统安全管理机制尚未形成，加之梯级电站均是按单库单项设计，梯级间标准不匹配等问题凸显。梯级水电站安全保障与应急管理任务艰巨。

在全面建设社会主义现代化国家、向第二个百年奋斗目标进军的新阶段，水电开发坚持以安全为刚性约束的“五大”发展理念，仍将大有可为。

创新发展理念，推动高质量发展。在践行“双碳”目标和推动能源安全新战略中，新建常规水电、扩建在运水电和加快抽水蓄能建设是必然选择。但是常规水电无论是新建还是扩建，都面临经济性挑战。单一的常规水电、抽水蓄能开发都面临价格疏导问题，而单独的新能源开发面临并网消纳困难。因此，单一电力品种的开发模式都难以满足新型电力系统的需要。这需要创新发展模式。

首先要创新规划理念。从水能规划向多能一体化的规划理念转变。传统的单一站点+流域梯级协调的水电基地，整体是“点”“线”结合的规划思想；现在是“水电基地+风+光+储”多能协调的清洁能源基地。因此，“线”规划思想需要拓展到“面”规划思想。

其次要创新管理方式。“水风光储”发电侧管理向“发配售”一体化管理：电网分层分区平衡，“发、输、配、售、用”之间建立基于市场规则、安全协议和技术标准的电力电量与碳排放交易协议。

再次要创新规划理论。发展多

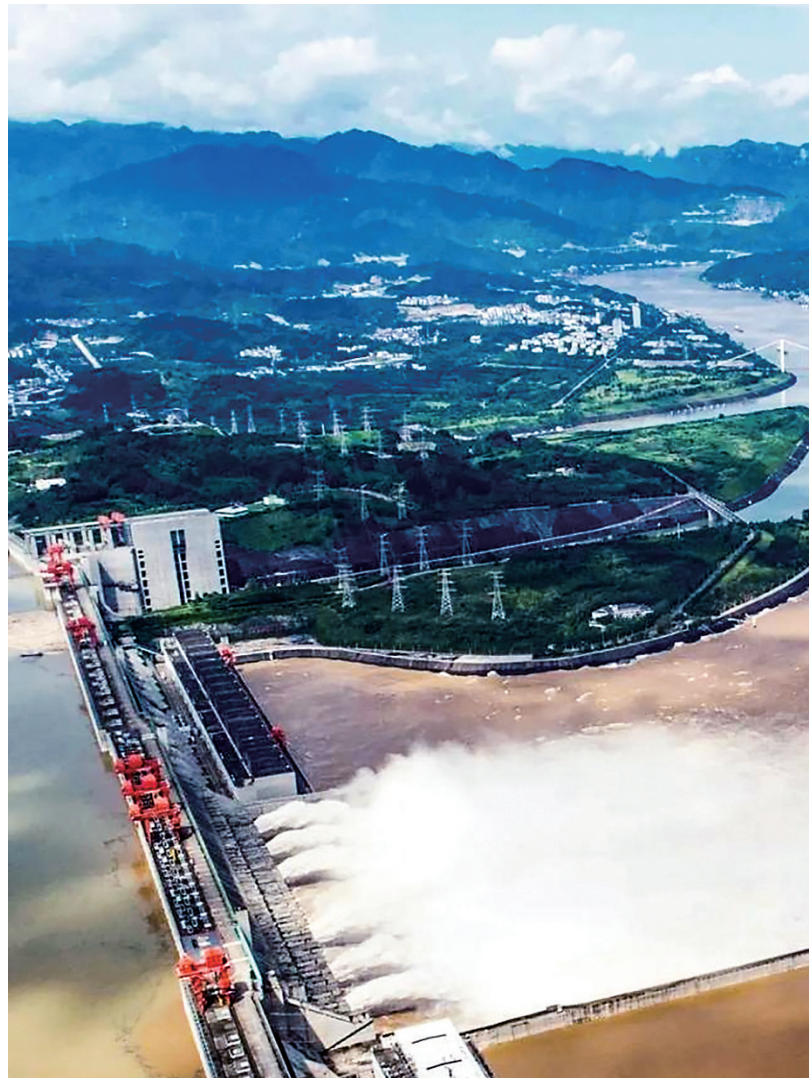
重约束下的规划理论；开创综合协同发展条件下的水、风、光、储多能协调规划理论，安全与风险约束下的资源匹配、效益分配与补偿机制。

展望未来，现在的水电企业或流域公司将成为一体化规划、一体化资源开发建设、一体化调度送出、一体化消纳以及一体化运行管理的清洁能源公司。需要转变安全思维，推行高水平安全。

流域水电高水平安全首先需要转变安全理念。水电工程首要应对的是地震、洪水、地质灾害等自然风险。在全球气候变化的大背景下，地震、暴雨等多致灾因子耦合，与滑坡、崩塌等多灾种风险的级链效应，风险链更加复

杂，灾损也更加严重，因此流域安全管理要有大概率思维应对小概率事件的安全理念。其次在方法上以系统风险管理统筹工程安全、公共安全和生态安全，明晰风险链的传递机制。最终在手段上采用现代信息技术推行高水平安全，建立覆盖全流域的“空—天—地—水”一体化监测网络，打破信息孤岛，实现全流域信息共享，完善“测防报抗救援”全链条管理环节。

“安全和发展是一体之两翼、驱动之双轮。”在总体国家安全的顶层设计上，统筹好行业发展和安全两件大事，中国水电人一定能实现更高质量、更有效率、更可持续、更为安全的发展。



“长江2020年第2号洪水”平稳通过三峡大坝(资料图片)
新华社 王 昱 摄

生态优先绿色发展的水电实践

——党的十八大以来水电绿色发展成就与展望

水利行业标准相协调，涵盖水环境、水生生态、陆生生态、水土保持等各个领域的标准体系，实现了水电行业环境保护标准体系的系统化、层次化，为水电环境保护工作的科学化、规范化提供了依据和支撑。

不断创新环境影响评价

经过多年的发展，水电行业逐步建立了规划环境影响评价、项目环境影响评价、环境影响后评价等各阶段的技术方法体系，形成了协调流域水电开发与生态保护的技术体系。

党的十八大以来，水电行业积极推动水电规划环境影响评价，不断创新和完善规划环境影响评价方法，提出了资源开发方案的概念，通过综合比选环境影响、水库淹没、建设条件及电力需求等因素，将水电规划项目分近期实施、深入研究后实施和暂不实施三个层次，对于规范水电开发时序、控制水电开发强度起到了重要作用。重点完成了澜沧江、金沙江、黄河上游河段（湖口至尔多、茨哈峡至羊曲）及其他河流的水电开发规划环评，从流域层面对梯级布局、开发时序、装机规模、开发方式以及环境保护工作进行了统筹优化和协调。统筹干、支流开发与保护，最大程度地保护生态环境，如栖息地的保护、自然保护区的避让等，从源头上尽可能减缓了生态影响的程度和范围、支撑流域绿色发展。

通过40年的发展，水电工程环境

影响评价技术方法和内容日趋完善，项目环境影响及对策措施方面得到了深化和落实。党的十八大以来，系统开展了流域梯级水电建设的生态环境累积影响研究，深化了拦河筑坝建库带来上下游水文情势、水质、水温等变化及其生态效应的研究，强化了大坝阻隔对鱼类等水生生物的影响、水库淹没对陆生动植物的影响的研究。

为了促进运营期的生态环境保护工作，2012年，原环境保护部组织开展了“环境影响后评价支持技术与制度建设研究”，对水利水电等生态类建设项目环境影响后评价的政策与制度、管理办法、技术方法、技术导则框架进行了探索研究，颁布了《建设项目环境影响后评价管理办法》和《建设项目（水利水电）环境影响后评价技术导则》。之后重点开展了澜沧江、乌江、雅鲁江、大渡河、汉江、黄河上游、北盘江、元江（红河）、红水河等主要河流水电开发环境影响回顾性评价。针对公众关注的引水式水电开发的环境影响，重点开展了瓦斯河、火溪河、宝兴河等河流水电开发的回顾性评价工作。选择丰满、小浪底、葛洲坝、龙滩等典型工程开展了项目环境影响后评价工作。通过环境影响回顾性评价或后评价，分析了水电工程实际造成的环境影响，完善了针对工程和流域的环境保护工作要求。

持续推进绿色水电技术

党的十八大以来，水电环境保护

以习近平生态文明思想为指导，践行生态优先绿色发展的理念，在水电工程建设中落实“三同时”制度，环境保护措施与主体工程同时设计、同时建设、同时投产使用。在工程实践中，生态流量下泄、生态调度、鱼类栖息地保护、河流连通性恢复、鱼类增殖放流以及高坝大库低温水减缓等措施已逐步成为水电工程不可缺少的环境保护措施。集运鱼系统、升鱼机以及“鱼道+升鱼机”等过鱼型式方面也进行了技术研究和实践。

针对工程建设中遇到的水生态保护问题，国家“十二五”科技支撑计划开展了《重大水利水电工程生态保护技术 & 标准规范研究》，支撑了我国水电工程生态环境保护技术快速发展，在河流生态流量保障和调控、水温影响减缓、过鱼、鱼类增殖放流、鱼类栖息地保护等生态保护和修复技术方面取得长足进步，并广泛应用到我国水电工程建设与运行过程中。

在河流生态流量调控技术上，基本形成了涵盖生态流量泄放设施设置和运行、生态调度以及生态流量在线监控方面的技术体系。低温水影响减缓措施的型式和技术选择从原来主要集中在叠梁门分层取水技术，发展到叠梁门、前置挡墙、隔水幕墙等均成为减缓措施的合理、有效选择。在过鱼技术上，形成了鱼道、仿自然通道、鱼闸、集运鱼系统以及升鱼机等多种过鱼型式的技术研究和实践。在鱼类增殖放流技术上，基本形成了鱼类增殖

放流站规划设计、建造、设备设施生产、运行以及放流效果监测评估的技术体系。在鱼类栖息地保护及修复技术上，通过栖息地受损前后生境适宜性模型模拟，使生境保护及修复提升到定量评估阶段，并应用于生态保护与生境修复实践中。通过每个电站、每项措施的落实，金沙江、雅鲁江、大渡河、红水河、黄河、乌江、雅鲁藏布江等水电能源基地形成了完整的生态保护与修复措施，有效地减缓了水电工程的生态环境影响。

探索开展流域综合监测

根据国家发展改革委《关于加强流域水电管理有关问题的通知》的要求和生态环境部、国家能源局的委托，成立了流域水电综合监测中心，2017年7月，全面启动流域水电综合监测工作。截至2021年12月底，已启动450座大中型常规水电站数据的对接工作，完成436座水电站运行在线监测数据的接入工作，总装机容量2.47亿千瓦，占常规水电装机容量的69%；基本完成全国30万千瓦装机以上常规水电站的数据接入。从监测水电站分布和装机占比来看，已基本实现全国主要流域和水电主要省区的全面覆盖。

同时，建立了与国家防汛指挥系统的数据专线，接入了我国4000余座主要水库或断面的水文数据；通过气象专线实现全国5千米/每小时格点化降水、气温、相对湿度、风速等实时数据的接入，初步具备水情和水能

利用预警预报功能。为服务好政府相关部门和水电企业，流域水电综合监测中心定期向国家能源局和相关省（自治区、直辖市）能源局、电站业主报送旬报、月报、年报，不定期向国家能源局报送专题报告。

根据生态环境部和相关文件的要求，积极开展水电水利建设项目全过程环境管理信息平台建设、数据接入等工作。目前，平台开发工作已完成，实现了用户访问权限分级、原始资料查询及调取、项目事中事后监管、流域环境监测及运行异常告警与部分数据自动分析等功能。在数据接入技术上，基于流媒体、物联网等信息技术，建立了一套安全、先进、稳定的水电水利工程数据采集工具，能快速打通水电工程运行调度和生态环境数据监测、传输、存储、分析、应用、管理的业务链，解决了多源异构、点对多数据采集问题。目前已经接入部分电站生态环境监测数据，完成了黄河上游梯级水电站和丰满水电站的试点应用，实现对水电站环评批复落实情况、环保设施运行情况、环境质量数据、环保设施运行数据、调度运行数据、水生陆生监测数据的全过程监测管理。

随着大型水电基地建设格局逐步形成，剩余未开发的水电资源主要集中在青藏高原及其边缘地带，该区域生态环境较为敏感，水电开发更需要坚持生态优先、绿色发展，加强水电规划环境影响评价，做好与生态保护红线划定的对接，与国土主体功能区规划、城乡建设规划、土地利用总体规划、生态功能区划、水资源综合规划、环境保护规划等相关专业规划及不同种类、不同层次保护区的衔接与协调，处理好保护与开发的关系。