

走近创新团队⑥

乌东德建设团队攻克多项水电工程「世界级」难题

他们打造了世界上「最聪明」的大坝

今年初夏，四川会东县与云南禄劝县交界处，世界的目光聚焦于此。6月29日，世界第七、中国第四大水电站——金沙江乌东德水电站首批机组正式投产发电。

在激昂的金沙江轰鸣声下，多项“世界级”难题在被誉为“最聪明”大坝的乌东德面前迎刃而解。389.1亿千瓦时的发电量可满足广州近5个月的用电需求，绿色电能每年能节约标准煤1220万吨、防洪库容

24.4亿立方米相当于170多个西湖……未来，乌东德将与白鹤滩、溪洛渡、向家坝水电站一道崛起在金沙江下游，成为世界级清洁能源基地，为中国经济发展不断提供绿色动力。

这项重大工程成就，源自建设者们孜孜不倦、锲而不舍的付出。修建乌东德的人究竟是谁？他们是如何在金沙江天险中完成这一建设奇迹的？近日，本报记者对乌东德水电站建设团队进行了采访。

金沙江乌东德水电站上游面施工全景。中国长江三峡集团有限公司供图

传承“红色基因”—— 手术后仅6天，他重返施工一线

本报记者 刘乐艺

“当我好不容易见到乌东德地段的金沙江时，心里真有点发怵。这里山高坡陡、无路可行，坝址左右岸不通，到任何一个地方，都要耗费很大工夫。”乌东德工程建设部主任杨宗立至今还清楚记得，2008年第一次来到乌东德时的场景。

为充分利用金沙江丰沛的水能资源，2002年，国家授权中国长江三峡集团有限公司（以下简称“三峡集团”）在金沙江下游开发建设水电站。经过严密勘察，2011年，乌东德水电站建设正式进入筹备期。

横断山脉南北横亘，山高谷狭，想要进入被高山陡坡包裹其中的金沙江两岸，就必须翻山越岭。杨宗立告诉记者，从四川省凉山州宁南县出发，到乌东德需要一路颠簸12小时，万一遇到下雪结冰，那种紧张焦虑的心情更是不可名状。

在乌东德修建伊始，工作、生活环境极其恶劣。在险峻陡坡与湍急水流之间，是没路、没水、没电、没通讯的闭塞生活。每年春夏之交，酷热干燥的天气更令建设团队苦不堪言，“强紫外线能把人穿透了，大家脸上、胳膊上的死皮都是一层层地往下揭。”大坝项目部副主任黄灿新说。

尽管困难重重，但建设团队并未退缩。生活工作条件差，那就自己动手创造条件。查勘、调研、规划、组织一步不落，杨宗立带领团队迅速启动“三通一平”项目，仅3年时间就完成道路、营地、供水、供电的全部建设任务。

自2014年调任乌东德筹备组以来，黄灿新一肩肩负着地基与基础工程建设管理的重任。但因为身体原因，黄灿新曾暂别岗位有“6天之久”。

2018年，黄灿新接受了纵膈肌异物微创切除手术。手术后仅仅6天，他便回到了心心念念的乌东德，但由于尚未痊愈，长时间的工作令伤口再度撕裂，剧烈的痛感使黄灿新汗如雨下，但即便如此，他也不曾言苦。

“因为当时是年底了，距离春节只剩下1个月的黄金施工时间，如果不抓紧，可能会造成大坝基坑进水。”面对记者的询问，黄灿新略显羞涩地解释道，“其实我也没有多想，就是考虑不能影响部门工作的正常安排。”

在杨宗立心中，水电人的使命就是兴修水利、防治水患、造福人民。“为了国家清洁能源建设，促进地方经济发展和老百姓致富，三峡人‘为中华，志建三峡’的‘红色基因’必须在新一代身上得到传承。”

工程建设高峰期，水灰比是控制混凝土强度的

的关键指标，外来水入仓则是影响水灰比的最大障碍。因此，每一个汛期都对大坝建设者们而言都是一场实打实的“硬仗”。

每逢下雨天，别人都是往屋里跑，项目部的年轻人却披上雨衣奔向工地。“有时候几次阵雨下来，一夜就这么过去了。”青年同事们的无私奉献，令项目部副主任杨宁深受感动。

“雨季施工的时候，每天睡觉都睡不踏实，就感觉快要下雨了。”现场指挥防雨排水、跟踪坏层覆盖时间、组织恢复浇筑……一旦下雨，项目部“90后”助理师乔雨要做的就是快速组织协调，“雨小的时候可能还能指挥一下，但雨大的时候可顾不得了，自己也要赶紧拿瓢舀水。有时候穿雨衣还捂一身汗，那就干脆不穿。”

“这些年，我先后和五六名年轻同事一起开展工作，这群年轻人学习能力强、能打能拼、还吃苦耐劳，在他们身上，我看到了中国水电建设的美好未来！”黄灿新说。

安装“智能大脑”—— 连续7天昼夜蹲守，只为数据精准

相较于其他水电站，乌东德到底有啥特殊之处？

“作为世界上最薄的300米级特高拱坝，乌东德可谓是处处有创新。”杨宗立笑着说，“之所以被称为是世界上最‘最聪明’的大坝，是因为一大批智能化成果在乌东德得到了广泛应用。”

乌东德地处深V干热河谷，气温高、辐射强、温差大，加之河床狭窄、地质构造剧烈，不仅施工难度极大，而且人力作业安全也常受威胁。面临众多关键技术难题和安全优质建设的管理挑战，如何破题？乌东德建设团队给出了独具匠心的答案——为水电站安装“智能大脑”。

2017年，可进行完整数据录入与流程执行工作的大坝智能建造平台iDam2.0开始上线使用。借助iDam2.0，施工人员可通过手机、平板等移动设备，实时录入、上传、查询现场工作数据；同时，依靠通水冷却智能控制、机器视觉智能监测、仓面环境智能监控等多个智能建造子系统，通水、喷雾、振捣等施工流程均可实现全过程、全方位的精细化管控。

以智能通水控制系统为例。过去的水电建设工程中，混凝土降温多采取人工冷却的方式，不仅需要施工人员跑上跑下，而且工作效率、温控精度都不尽如人意。而今，智能建造平台在收集到温控数据后，便可根据温控要求计算通水参数，按照计算结果实时调整一体式流温伺服阀，通过预埋在坝体中的冷却水管，直接实现冷却通

水的实时精准调节。

但研发智能建造系统并非一帆风顺。因系统集成接口复杂多变、数据权限控制逻辑难度大，系统的评价预警指标正确取值一直未能明确。

为了获得最为可靠、真实的数值，大坝项目部员工以“钉钉子”精神连续7个昼夜蹲守现场，以最原始掐秒表的方式获取不同时段的数据、质量评价及预警值。“最终，根据实际监测值拟合反演得到的指标相关系数达到99%以上，完全满足了现场实际需求。”乔雨告诉记者。

如今，iDam2.0共采集到907仓、50余万条施工、1200余万条温度、10亿余条质量安全进度管理数据。“大坝智能建造系统就像‘神经中枢’一样，能时刻告知我们大坝的‘身体状况’。”对于实现工程状态全面感知、真实分析、实时控制的“创新之举”，杨宁很是自豪。

在水电建设者心目中，最担忧的永远是藏于峡谷岩石之间的细微缝隙，这是河水渗入坝体的“天然通道”。为了防止渗流，需要将水泥浆灌入缝隙，但缝隙到底灌没灌满，上游向下游渗流的截断效果如何，很难直接判断。

为提升大坝灌浆技术水平，根治渗流顽疾，促进灌浆作业由隐蔽转向阳光化，乌东德建设团队历时2年研发出国内首套全自动控制的智能灌浆系统。只需在电脑上输入水灰比、设计压力、屏浆时间等参数，再按下确认键，系统就会自动加水、加浆，并按设定好的相关参数完成高质量的灌浆。

“整个过程就像操作家里的自动洗衣机一样简单。”看着位于乌东德左岸坝肩的灌浆平洞，智能灌浆系统正在运行，项目部工程师黄伟感叹。

打造精品工程—— 0.5%的参数差距，他们也较真到底

实际上，在水电站开始筹建起，建设团队就铆足了劲，誓要打造精品机电工程。

7月13日，乌东德水电站第4台机组投产发电，巨大的绿色电能为中国发展再添“新引擎”。而乌东德水电站安装的85万千瓦水轮机组，已是世界上投产的单机容量最大发电机组。

在设计流量更大、承压要求更高的情况下，如此庞然大物能够在水流的驱动下四平八稳地运转，这与国产大型铸锻件材料的研究应用密不可分。

“在三峡左岸建设时期，由于国内制造水平不足，大型铸锻件基本依赖进口，但产品质量缺陷和交货延误等问题时常出现。”受制于人的被动局面，令三峡人意识到：要想提高国内装备制造

业在国际舞台上的竞争力，就必须打造自己的核心技术。

面对乌东德建设的现实需要，2006年，三峡机电公司总经理胡伟明开始组织团队深入一线调研，努力推进国内铸锻件制造企业参与科技攻关，重点研究优化制造工艺，提高制造水平。

回忆起铸锻件技术水平的点滴提升，团队成员、三峡机电科技管理部高级工程师刘功梅直言不易。

在一次关于转轮马氏体不锈钢元素标准制定的讨论会上，团队告知机组和材料制造厂家，为保证转轮的防锈蚀能力，应将铬元素的最低含量由12%提高到12.5%。但是各原材料厂家都表示，12%的含量已经很难控制了，如果提高到12.5%，更是缩小了成分含量允许的波动范围，产品的报废率会大幅增加，成本也会随之提高。

“就为了这看似微不足道的千分之五的提升，我们花了一下午的时间讲事实、找依据，真是费尽了口舌，绞尽了脑汁。”但在各厂家都最终同意按照新标准执行制造，这让刘功梅如释重负。

“其实，这样的例子还有很多。虽然国家重大工程项目的建设过程可能会让制造厂家觉得我们很不好打交道，任何一点参数调整都要较真到底，但我们就是要在技术和质量上做到绝对可靠。”刘功梅表示，“杜绝人云亦云、敢于坚持原则、精益求精，正是我们作为科技工作者和工程建设者的底线操守。”

在科研创新的征途中，除了精益求精的严谨态度，乌东德人还展示出勇于担当、锐意进取的品质姿态。

为应对定子线棒电晕问题，发电机团队果断提出“真机线棒必须进行型式试验”，打破了水电行业的传统做法。面对业内一片质疑，三峡机电科技管理部副主任邹祖冰坚持道，“经过型式试验验证的真机线棒才是可靠有保证的产品，这也是乌东德最需要的。”

当时国内外定子线棒型式试验没有统一标准，那就自己来研究制定。为了啃下这块“硬骨头”，半年时间里，邹祖冰率领团队收集、整理和研究了大量国内外材料，最终推出了新的试验标准。

“事实证明，我们的要求是正确的。新试验标准保证了发电机核心部件的可靠性。”邹祖冰告诉记者，高电压定子线棒耐压试验一次性通过，运行十分可靠。

如今，乌东德水电站已成功进入收尾阶段，但乌东德人“勇攀科技高峰”的脚步并未停歇。“下一步，我们要结合工程建设实际，全方位开展好工作总结，将科研成果固化为乌东德经验，进而继续向大型水电工程建设‘无人区’深入进发。”杨宗立说。

链接

乌东德水电站建设成绩单

7项指标世界第一：(1) 世界最薄300米级双曲拱坝；(2) 大坝单位坝顶弧长泄量世界第一；(3) 地下厂房开挖高度世界第一；(4) 尾水调压室开挖半径世界第一；(5) 导流洞开挖断面世界第一；(6) 导流洞高度世界第一；(7) 已建成投产单机容量世界第一。

12项技术为行业首次：(1) 首个采用静力设计动力调整设计方法设计拱坝；(2) 首个采用长有压短尾独立消力池的泄洪洞；(3) 首个采用半圆筒形的调压室和明满流尾水洞；(4) 首个高拱坝坝身不设底孔、导流隧洞改建生态放水洞工程；(5) 首个采用上部封闭自排下部透水的复合水垫塘；(6) 首次大坝全面采用低热水泥混凝土；(7) 首个采用运行期不抽排检修期少抽排的二道坝；(8) 首个采用低热水泥碾压混凝土二道坝；(9) 首次高拱坝全坝采用无盖重固结灌浆；(10) 首次国内大规模采用国产800兆帕高强度钢；(11) 首个采用±800千伏特高压多端柔性直流输电工程；(12) 首个采用遥感解译进行移民实物指标调查和安置规划工程。

资料来源：中国长江三峡集团有限公司



金沙江乌东德水电站右岸地下电站主厂房首批机组投产发电启动仪式。中国长江三峡集团有限公司供图