

工匠绝活

核心阅读

贵州省花江峡谷大桥主桥跨径达1420米，桥面与北盘江的垂直距离达625米，建成后将成为主桥跨径和高度世界第一的山区桥梁。

几年来，项目团队创新工艺，攻克了混凝土浇筑、提高抗风安全性、优化索股架设等一道道难题，用智慧和汗水浇筑起这座世界级高桥。

夏日炎炎，山风阵阵。登上204米高的花江峡谷大桥主塔，脚下的北盘江宛若一条碧绿色丝带，在贵州花江大峡谷间蜿蜒前行。由贵州桥梁集团承建的六安8标花江峡谷大桥，是贵州省六枝至安龙高速公路的关键控制性工程。目前，项目团队已完成下部结构、索鞍施工，即将完成主缆架设，大桥建成后，将成为主桥跨径和高度世界第一的山区桥梁。

智能温控，高空泵送，增强耐久性和安全性

山区建高桥，混凝土施工有多重要？花江峡谷大桥混凝土总用量达43.9万立方米。“大体积混凝土浇筑，因为水化热产生内外温差，容易出现裂缝，影响整体结构的耐久性和安全性。”六安8标一工区负责人李平安说，长、宽、高三个数中，最小尺寸超过1米，就算大体积混凝土，在花江峡谷大桥，这种情况比比皆是，而最大的大体积混凝土结构——安龙岸锚碇达到16.4万立方米。同时，在浇筑大体积混凝土过程中，内部会释放热量，导致与外部产生温差，温差控制也很重要，一般内外温差不能超过25摄氏度。

难题如何破解？“我们成立攻关小组，自主研发智能温控系统。”李平安介绍，混凝土浇筑前，提前埋设冷却水管和智能芯片，通过手机端或电脑端，可以实时监测浇筑时的内外温差，“我们还建有一冷一热两个水池，内部温度过高，输送冷水降温，反之输送热水。还能根据温度控制水流流速，把控调温速度，如果降温过快，容易造成开裂。”

“像锚碇和主塔体积巨大，需要分层浇筑，要精准把控层与层之间的温差，尽可能让每层达到相近的温度，慢工出细活，才能实现整体稳定。”温控技术员吴仕鹏补充道。

解决了温控问题，如何将混凝土泵送至204米高空？项目团队一度束手无策。

“混凝土标号越高、稠度越大，管道泵送越困难。如果不能一次泵送，会影响混凝土质量和工效。”李平安跟技术团队一起，研究选用管壁加厚的锰钢材质，改良管道连接方式，优化混凝土配比，最终解决了超高混凝土泵送难题。“别说200米，现在可以实现一次泵送到300米高空！”李平安说。

海量运算，创新安装，将风力影响降至最低

早上6点，六安8标工程科负责人欧阳松穿上工装，戴好安全帽，乘坐电梯登上主塔，为架设主缆做准备。尽管身处高空，风声呼啸，他仍然步履稳健。“现在抗风做得好，能走得稳，心里也踏实。”欧阳松说。

花江峡谷大桥，地处云贵高原向广西丘陵过渡的斜坡地带，山高谷深，在这里建高桥，首先要解决抗风难题。

“要抗风，首先得‘捕风’，要观测风速、风向、风攻角等数据，开展风环境研究。”欧阳松表示，施工前期主要依靠人工观测，后来项目团队跟同济大学合作，采用多普勒激

世界级高桥这样建造

贵州花江峡谷大桥项目团队创新工艺，攻克一道道难题

本报记者 苏滨



索塔竖向移动工厂整体爬模系统，集集架爬升、峡谷风环境监测、安全监控、防雷避险等集成控制于一体，能实现一人控制所有爬架同步提升，让花江峡谷大桥实现工业化、高精化、智能化建造。

优化索鞍，北斗定位，提高缆索架设精度

时针划过凌晨2点，峡谷风力逐渐稳定，六安8标项目经理吴朝明和同事们开始上岗。他们要把握黄金时间，调整索股。对于悬索桥而言，几乎所有承重都依靠两根主缆，它从主跨中部向两岸伸展，像臂膀一样

延伸阅读

花江峡谷大桥有哪些新工艺

花江峡谷大桥全长2890米，2022年1月开工，预计2025年6月建成。考虑到山高谷深，地形险峻，风力、湿度、温度等变化莫测，花江峡谷大桥创新运用多个新工艺，应对复杂环境条件。

采用轻量化锻焊结构索鞍，减少用钢量，降低吊装难度，给出了大跨度悬索桥的建设新方案；采用全方位专业设备进行峡谷风观测，并开展智能数据分析，获取山区桥位风场环境的基本规律，提前进行



将桥梁的荷载重量传递到峡谷两岸的主塔和锚碇上。花江峡谷大桥的两根主缆均由217根索股组成，一根索股43.4吨重，2378米长。在600多米高空逐一精准架设，难度可想而知。

团队尝试采用控制主缆转向的新型索鞍设备。“索鞍相当于专供悬索绕过两座主塔顶端，用于承受主缆重量、固定主缆的‘基座’。相较于以前的铸焊结构索鞍，新研发的锻焊结构索鞍强度高、重量轻，易吊装。”六安8标机料科科长唐健介绍，铸焊容易出气孔和裂纹，但团队联合生产企业研发专业焊接机器人，锻焊焊缝实现质量控制，“能更好地让主缆‘骑’在索鞍上，完成转向、支撑以及传递荷载等任务。”

吴朝明说，第一根索股的精确定位非常关键，其余几百根索股都要参考这根基准索股。如何确保基准索股的空间位置达到设计要求？“之前是用两台全站仪分别从不同方向同时对基准索股进行测量、计算，在气温和风速相对稳定的夜间进行调整。”吴朝明说，花江峡谷大桥建设引入北斗系统，直接获取三维绝对位置，还能24小时连续进行动态采样，提高索架架设的精度。

基准索股架设整整耗时一天，并对同一位置变化情况持续观测一周，直至相对高差稳定在2毫米以内，才陆续架设其他索股。目前，主缆索股架设任务已经过半。

今年6月，在主缆架设过程中，花江峡谷大桥安装了智慧缆索，让主缆有了“神经系统”，能进行“健康监测”。

“共有3条智慧缆索，装有光栅光纤传感装置。通过监测索股受力变化，实时掌握桥梁主体安全情况，及时预警风险隐患，还能为大桥后期维护保养提供较为精准的数据参考。”吴朝明说，智慧缆索还配套除湿系统，确保主缆内部湿度处在合理范围，有效防止锈蚀，延长使用寿命。

从混凝土浇筑看新技术，从抗风安全性看新工艺，从缆索架设看新设备……项目团队正用智慧和汗水，攻克一道道难题，奋力托起这座世界级高桥。

- 图①：施工团队在进行大体积混凝土浇筑。
- 图②：建设中的花江峡谷大桥。
- 图③：施工人员在安装智慧缆索。

图②、③均为张杰摄

因守望

“莲池区瑞兴路上有车亏电，需要帮助，我得赶紧过去。”刚见到崔敬辉（见下图，本报记者邵玉姿摄），他手机里就“跳”出一条求助信息。没顾上寒暄几句，崔敬辉就赶忙联系求助车主，确定好车辆的具体方位后，拉着记者一起奔向目的地。

崔敬辉是河北省保定市的一名出租车司机，也是一名公益救援员。这已经是他当天救援的第三辆车，此时距离他早晨出车不过3个小时。9年来，他免费救援各类故障车辆超5000辆。小品《搭把手》是他最喜欢的节目之一。当记者问及为什么坚持做这件事时，崔敬辉转过头笑着说：“只是搭把手的事儿。搭把手，很温暖。”

参与义务救援，帮助车辆顺利通行

到达目的地，崔敬辉从后备箱里取出汽车应急启动电源，直奔求助车主。“这就是亏电，点着了就行。”打开车前盖，把应急启动电源线路两端夹在电瓶的正负极上，仅用两分钟，汽车便顺利启动了。“电瓶时间久了，下次检修的时候请修车师傅一块看看。”临走时，崔敬辉还不忘跟车主嘱咐几句。

让崔敬辉踏上救援之路的是他出车路上常听的保定交通广播。“当时广播里经常播放求助信息，我就想着要不也去‘搭把手’。”购买了搭火线、拖车绳等工具后，崔敬辉开始留心广播里的求助信息，准备随时“接单”。

第一次是在2015年。“那天是大年三十，一对来自沧州市的母女驾车驶过保定市竞秀公园附近时，车子抛锚了。”崔敬辉印象深刻，因为是第一次救援，很紧张，抵达现场后，他花了10多分钟才解决车辆问题，出了一身汗。

“感谢您师傅，我们已安全到家。”当天晚上，被救助的母女发给崔敬辉的感谢短信，让他一生难忘。“陌生人的感谢是最大的鼓励和暖意。”

随着救援的车辆越来越多，崔敬辉难免遇上一些自己难以处理的状况。于是，崔敬辉趁着空闲或是车子检修维修时到维修厂边学边学，后备箱的救援工具也越备越多。

救援一天天成了习惯。“现在，只要看到路边有人打开车前盖，我就会就近停下，走过去看看，问问，帮帮忙。”崔敬辉说，每次救援，他也会现场教授车主一些简单的救援技能，建议他们准备一些简单的救援工具，这样可以“关键时刻救自己，方便时候帮别人”。

成立爱心车队，带动更多的人参与

“刚开始参与救援的时候没几个人，现在我们的救援队伍里有将近500名成员。”崔敬辉点开手机，一个名为“1048爱心救援平台”的聊天群里满是求助和救助反馈的信息。

这个爱心群成立于2015年10月，是崔敬辉和另外11名志愿者组建的。如今，群成员有不少崔敬辉熟悉的面孔，有亲朋好友，有同事同行，还有曾被她救援过的车主。

2019年10月，崔敬辉所在的出租车公司成立了保定东风爱心车队，崔敬辉任队长。近5年来，爱心车队队员已发展至80余人。爱心车队队员刘景辉是崔敬辉手把手带出来的徒弟，也是崔敬辉救援过的车主之一。“常听他念叨救援那些事儿，那种自豪快乐的神情特别有感染力。”在崔敬辉的感染下，刘景辉购置了车辆救援工具，4年来已义务救援故障汽车1200多辆。如今，刘景辉也从“徒弟”升为“师父”，带着车队里不少年轻人开展义务救援。

除了免费救援车辆，崔敬辉还经常带着爱心车队的队员们开展献血、送考、助行等公益活动。“做公益已经成为生活的一部分，我们会一直坚持下去。”崔敬辉说。

收集路况信息，助力城市建设

“长城北大街与七一路交叉口处，由南向北压车300米，车辆行驶缓慢。交叉口北侧150米处有交通事故，请注意避让。”

车行至一处路口，附近车流慢了下来。崔敬辉仔细观察周围的交通环境，把车停到路边，打开“保定交通广播微信公众号”发送了一段路况信息。没过多久，这一条信息就通过保定交通广播播出。上报交通路况、拥堵信息、绕行路线和交通安全提示，也是崔敬辉出车路上的任务之一。

在早、中、晚出行高峰期实时播报路况，是保定交通广播的惯例。“这些路况信息对行驶在路上的司机，尤其是我们这些出租车司机太重要了。”崔敬辉说。

身为受益者，崔敬辉也想成为助力者。“我们每天穿梭在大街小巷，对道路情况最了解，对交通状况也最有发言权。”多年前，崔敬辉成为保定交通广播的公益路况信息员，碰上拥堵等路况，随手上报成为他的习惯。“作为信息员，能够帮助大家提前躲避拥堵与事故路段，合理规划出行路线，我觉得很荣幸。”崔敬辉说。

成为公益路况信息员，还让崔敬辉养成了爱观察的习惯。除了上报路况信息，当崔敬辉发现路面破损、井盖丢失、路灯不亮、标志牌褪色等设备设施受损、故障的情况时，也会将意见建议及时提交到保定交通广播电台。“电台整理汇总后会转给相关部门进行处理，一般几天时间就能处理完。”作为市民，能为城市建设出一份力，崔敬辉感到很自豪。

“用心助人，我永远在路上。”夕阳下，崔敬辉的出租车一路前行，助人的暖意也一路播撒。



讲述·创新故事

东方电机首席专家赵永智从事水轮机研发30余年——

探寻装备设计最优解

本报记者 王永战

智印象深刻的是，有一位老师在实验室里竟然制造出了当时很少见的“心脏起搏器”，“当时觉得特别震撼”。

1989年，怀着对制造业的向往，赵永智来到东方电机工作。由于此前没有接触过水轮机相关知识，“一开始感觉完全摸不着头脑。”于是，他被安排进水轮机分厂装配工段进行学习实践。

真正和一个个叶片、一件件“铁家伙”接触起来，赵永智全身心投入其中。夏天，蓝色工装上常常沾得处处都是油渍；冬天，双手常常冻得发麻，“肿得像面包”。受益于在厂区一线锻炼，赵永智很快将水轮机工件和装配过程了解透彻。

光懂装配不行，作为力学系毕业的学生，赵永智想的是摸清原理。于是，他一闲下来就翻看专业书籍，“从摸不着头脑到逐渐得心应手，靠的是主动学、用心学。”回忆刚入厂的那段岁月，赵永智说。

造仍以传统制造方式为主，水轮机叶片还要靠手工打磨后才能出厂。水轮机研制企业常常要购买国外公司的图纸，或与国外企业合作。

投资建设高性能新型试验平台由此被提上日程。2000年，东方电机投资建设新型试验平台，引入最新计算机软件系统，赵永智参与其中，成了办公室里每天最晚下班的人。“当时主要是反复测试，获得相关数据，来辅助水轮机组的研制。”赵永智说。

企业缺少贯流式机组的基础数据，是赵永智努力解决的另一难题。如何高效地将水的动力势能转化为电能？如何解决机组的空蚀破坏问题？如何在不同流量的情况下，保持机组安全运行？“每个难题都考验着团队的设计能力。”赵永智说。

从做设计图，到进行流动分析计算，再上试验平台试验，他带着团队一点点攻坚。“要时刻做好解决难题的准备。”赵永智说。2010年，东方电机在与国外企业的竞争中表现出色，签下了巴西一座水电站的贯流式水轮机订单。新技术方案也填补了我国在

低水头贯流式机组自主知识产权方面的空白，获得四川省科技进步奖等奖。

培养人才团队

抽水蓄能机组的研制也是赵永智和团队多年来努力的重点。面对机组发电并网难、效率和安全兼顾难度大等问题，赵永智鼓励大家迎难而上。“大家畅所欲言，敢于试错，让各种可能的方案都得到试验，最终找到最优解。”团队成员刘德民说。

最终，一个具有原创性的抽水蓄能机组技术体系在东方电机诞生，并很快应用于浙江长龙山等抽水蓄能项目。

2021年6月，金沙江白鹤滩水电站首批机组安全准点投产发电。其中，全球单机容量最大功率百万千瓦水轮发电机组，就是由东方电机研制的。“这台机组应用了我们新型叶片和叶片应力释放区域设计方法，实现了装配过程的‘零重力’，关键部件由数字化车间制造。”赵永智介绍。

经过长期的历练，赵永智团队里的年轻人也逐渐肩负起重任。不少人走上了单位的重要岗位，并主持完成了多个项目的研发工作。“遇到问题时，我们还是会向赵老师请教，他的探索和钻研精神一直鼓舞、激励着我们。”团队成员程宦说。

眼下，赵永智正在推进风光互补技术项目，刘德民、程宦等年轻人也参与其中。“一代代人聚力创新，一定会有更多新成果出现。”赵永智说。



在位于四川德阳的东方电气集团东方电机有限公司，首席专家赵永智（见上图左，东方电机供图）每天到公司的第一件事，就是总结更新团队成员手里的项目进度，并安排当天的工作。

从事水轮机研发30余年，赵永智参与过我国水轮机贯流式机组、抽水蓄能机组、冲击式机组等项目研发，还曾参加白鹤滩水电站等国家重大项目的水轮机研制，获得过全国劳动模范、四川省科技进步奖特等奖等荣誉。

一线学习实践

1984年，赵永智考入清华大学力学系，打开了进入制造业领域的一扇门。令赵永

20世纪90年代，我国水电装备设计制