

水工程材料与应用技术湖北省重点实验室主任李文伟几十载潜心研究——

逆向思维搞创新，让大坝混凝土更耐久

《环球人物》记者 许 晔

弘扬科学家精神

人物小传

李文伟，1965年生，湖南湘乡人，正高级工程师，曾任中国长江三峡集团有限公司试验中心主任，现任水工程材料与应用技术湖北省重点实验室主任，入选国家百千万人才工程并获“有突出贡献中青年专家”称号。他长期致力于大坝混凝土耐久性、温控防裂等关键技术研究，参与三峡、向家坝、溪洛渡、白鹤滩、乌东德水电站建设，获国家技术发明奖二等奖1项，出版专著9部，编制国家和行业标准26项。2025年，其项目成果荣获国际大坝委员会创新奖金奖。



李文伟(右)和同事在溪洛渡水电站施工现场。受访者供图

白鹤滩水电站作为世界第二大水电站，已稳定运行3年多，是实施“西电东送”的国家重大工程……说起白鹤滩水电站，该项目的混凝土技术负责人李文伟十分自豪。

李文伟和大坝混凝土打了几十年交道。三峡、向家坝、溪洛渡、白鹤滩、乌东德——建设在长江干流上的5座巨型水电站，背后都有他的参与和贡献。他的研究成果还推广至国内外约100座水电站。

“最难忘的当然是两次最重要的跨越：一次是以三峡工程为代表，实现了大坝从强度主导到耐久主导的转变；另一次是以白鹤滩、乌东德水电站为代表，打破了混凝土开裂的魔咒。”李文伟笑着对记者说。

顶着压力做试验，实现混凝土从高强度到高耐久的转变

李文伟和大坝混凝土的缘分，要从毛泽东主席的一首词说起。

“更立西江石壁，截断巫山云雨，高峡出平湖。”毛主席在这首词中提出建设三峡工程的设想，我小时候就会背。”李文伟说，他的家乡在湖南湘乡，离韶山不远。那时，他常听到当地的人们夸赞韶山灌区。“当时我就觉得做水利工程了不得，后来考大学，我选了武汉大学水利学院(今武汉大学水利电力学院——编者注)，学的是河流泥沙及治河工程专业。”

1986年，三峡混流的前身三峡开发总公司筹建处到武汉大学水利电力学院招聘，即将毕业的李文伟当即报名，并顺利入职。

“要想建好大坝，混凝土是主要建筑材料，直接关系到大坝的‘寿命’。”李文伟介绍。

经过研究，技术团队提出耐久主导的设计理念。“过去，大坝建设更强调强度，强度越高越好。但三峡大坝不仅仅是强度的问题，还有耐久性、抗渗性等问题，需要统筹兼顾，所以我们提出要从高强度转为高耐久度。”李文伟说。

设计理念的转变，意味着混凝土配制的技术路线、原材料选择都要发生变化。从材料来讲，关键是水泥。水泥中有一种成分是氧化镁，按传统的技术和思维，氧化镁对水泥来说是“有害物质”，含量控制得越低越好。能不能“变害为利”？李文伟和团队成员逆向思维，提出可适当提高氧化镁含量，使混凝土的抗裂效果更好。

由于和传统技术路线不一致，这一观点引来不少质疑。团队顶住压力，在三峡工程施工现场建起实验室，开展材料测试、模拟试验、应用研究等，还联合其他科研团队同步开展验证试验。历经数年探索，李文伟带领团队最终确定，将氧化镁含量精准控制在3.5%至5.0%范围内时，混凝土的抗裂效果最佳。

1997年，三峡工程开工近3年，一场关于混凝土的会议上，李文伟拿出了混凝土相关试验结果，最终，专家一致同意采用李文伟团队研发的高耐久混凝土浇筑三峡大坝。

研发推广低热水泥，填补国内空白

2023年4月12日，白鹤滩大坝迎来第六次取芯。

在大坝不同部位进行取芯检查，可以直

观了解大坝混凝土内部质量情况。如果层间结合不好，芯样会很快断开；芯样越长，说明混凝土质量越高。

白鹤滩大坝的芯样被缓缓取出，一看检测结果：36.74米！现场一片欢呼：这个长度，打破纪录了！

这并非白鹤滩大坝唯一的高光时刻。此前，它就因打破了混凝土开裂的魔咒而备受关注。

“水泥水化会放热，使混凝土温度升高，等到降温时，热胀冷缩，混凝土中间就会产生拉力，一旦拉力大于它能够承受的最大抗拉强度，大坝的混凝土就会开裂。”李文伟说。更通俗的比喻是，把大坝想象成一块巨型蛋糕，蛋糕刚出炉时，外皮先冷，里面还烫，一缩一胀就会开裂。

如何打破这个困境？李文伟苦苦思索，认为应从源头上解决，研制一种发热更低的水泥。6年间，团队通过优化水泥矿物组成、重矿物晶体结构、改变水化反应速率，攻克了“高性能低热硅酸盐水泥”制备技术，填补了国内的空白。

然而，低热水泥的推广并不顺利。“当时，中热水泥混凝土方案是比较成熟的，国内外的接受度都比较高。我们的低热水泥是全新的，遭遇了不少质疑。”李文伟回忆。

在低热水泥被贴上“无产量、无应用、无经验”的“三无”标签时，李文伟没有放弃，一次次争取在工程中局部应用的机会，再针对出现的问题不断优化方案。后来，向家坝、溪洛渡两座水电站局部应用了低热水泥，效果良好。

然而在开发建设乌东德、白鹤滩水电站时，要不要全坝应用低热水泥，还是有很多争论。

“乌东德、白鹤滩大坝都位于干热河谷，

局地气候恶劣，昼夜温差大，大风天气多，环境条件更加复杂；而且这两座大坝属于特高类，拱坝将近300米，不仅比三峡大坝高出近百米，还窄了约1/3，在这样的坝型上用新材料、新技术，有人担心风险大。”李文伟知道，难题很多，挑战很大，但不能放弃。有同事评价他，打破行业惯例搞创新的时候，“性子比混凝土还‘硬’”。

“我相信自己的技术路线。但面对质疑，我们只能更谨慎地、更全面地去做研究，用扎实的实验数据来说服对方。”李文伟的努力没有白费，最终低热水泥在乌东德、白鹤滩全坝应用。

持续钻研创新，为大坝的全生命周期管理提供科学依据

过去这一年，李文伟又拿了不少荣誉：2025年5月，获得国际大坝委员会创新奖金奖，这是自2018年该奖项设立以来首次有中国科研团队获奖；2025年9月，获得第六届杰出工程师奖，该奖项是我国历史上第一个以“工程师”命名的奖项。但对李文伟来说，最重要、最特别的奖项还是没有写他名字的那个——“长江三峡枢纽工程”荣获2019年度国家科学技术进步奖特等奖。“这是个集体的奖，没有个人的名字，但于我而言意义重大。”

李文伟的家国情怀，深受父亲影响。“我父亲十六岁当兵，参加过抗美援朝，后来一直担任军医。他教我要有责任心，所以我总想着干好自己的事，为国家多作贡献。”工作上，李文伟喜欢“把一件事钻透”。三峡大坝建设期间，他就住在工地上，白天在现场跑，晚上在实验室熬，琢磨混凝土的技术创新。生活中的李文伟却过得比较简朴，不讲衣食住行，“业务上钻得深了，其他方面关注得就少了。”

如今，李文伟团队正策划实施“百年混凝土工程计划”——持续跟踪研究大坝混凝土性能演变，并在已建成的大坝内安装传感器，实时监测混凝土的温度、湿度、应力等参数，为大坝的全生命周期管理提供科学依据。

“混凝土也是有生命的，有孕育、成长的过程。我们必须像对待孩子一样去培育它、养护它，让它‘强身健体’；等它老化了，就需要加强保护。”谈到混凝土的未来，李文伟满怀希望，“现在技术发展很快，我们将来可以用人工智能等技术进行混凝土配比的智能设计、性能的智能预测。技术赋能一定会使混凝土的功能进一步提升，甚至有自我修复等功能，让混凝土智慧起来，‘活’起来。”

工匠绝活·全国文物大工匠

技能人才是文物人才队伍的重要组成部分。前不久，国家文物局发布首批10位“全国文物大工匠”。他们弘扬执着专注、精益求精、一丝不苟、追求卓越的工匠精神，为推动文物事业高质量发展作出积极贡献。日前，本报记者采访了其中几位“全国文物大工匠”，近距离感受他们扎根文物保护修复一线，将现代科技融入传统修复技艺的故事。

——编者



马宇在修复文物。本报记者 高炳炳

绝活看点

马宇，秦始皇帝陵博物院文物修复师，被评为2025年度“全国文物大工匠”。从业30多年来，马宇累计修复700余件文物，其中45件是国家一级文物；牵头完成的秦陵陪葬坑石质甲冑的保护修复，获评“全国优秀文物藏品修复项目”；牵头研发了5项实用新型专利，将多年积累的修复经验转化为实用技术。

“你看，这肌肉轮廓，线条多美！”来到陕西西安市临潼区，走进秦始皇帝陵博物院文物保护研究与修复中心，墙上的一组3D扫描图依次排开。文物修复师马宇指着图中的百戏俑，忍不住赞叹。

上前端详，陶俑的头部微微前倾，后脊处肌肉突出，线条分明。“当年，秦工匠观察到了这个细节，并通过工艺表现出来。”马宇说，“更可贵的是，穿越2000多年的时光，这份‘匠心’得以被今人看见。”

一张桌、一把刀、一尊俑，文物修复师就在这方天地，感受文物里的“匠心”，也“抚平”文物身上的岁月痕迹——在马宇看来，自己的工作，就是与千年前的工匠“隔空对话”。

一旁，修复台上摆着几块陶俑头部残片，表面已断裂、斑驳。马宇戴上手套，握着刀具，在轻划俑片的沙沙声中，开始了一天的忙碌。

“文物修复，就跟中医诊疗一样，讲求辨证施治。”马宇告诉记者，同一个墓葬出土的文物，其表层的钙质结构、盐分、土垢等可能不同，彩绘保存状况也有差异，“根据文物残破程度、保存状况的区别，处理方法也不相同。”

一般情况下，文物修复包含检测分析、绘图、清理、拼对、粘接、补全、封护、档案制作等30多道工序，其中“清理”是重中之重。

前几年，马宇接到一项任务：对来自秦始皇帝陵陵西墓葬的1平方米遗迹，进行保护修复。

处理时，马宇发现一件器物，约拳头大小，表面裹着厚厚的附着物和锈蚀。“从外形看几乎无法辨认，但经验告诉我，它非常重要。”马宇为其做了X光检测，发现里面竟包裹着两件器物。

手术刀、牙科钻、棉签、酒精……各类工具齐上阵。马宇一点点清理表面锈蚀、木炭痕迹，渐渐地，一只银骆驼、一个铜扁壶露出雏形。二者因锈蚀粘连，已在黄土深处埋藏千年。经过仔细处理，两件器物得以分开。

“银骆驼是空心的，厚度不足2毫米，加之埋藏太久、环境潮湿，周身脆弱。如果处理不当，轻则表面划伤，重则直接损毁。”马宇取出手术刀，利用放大镜、显微镜，一点点剥离锈蚀。“力度的掌握，全靠多年训练出的‘手感’。”对于骆驼的眼睛，马宇处理时尤其小心，“眼神神态，关乎整件文物的神韵，绝不能失手。”

处理铜扁壶时，马宇透过放大镜，发现锈蚀底下还存在一层鎏金。此外，壶身上饰有琉璃，是当年秦工匠用黏合剂贴到壶面的。“鎏金，不能刮划；琉璃，不能脱落。”说起清理时的诀窍与要领，马宇言简意赅，“经验打底，慎之又慎。”

经过认真修复，两件文物“穿越”2000多年，重现光彩。国宝“重生”，并非孤例：自1992年入行，马宇已累计修复700余件文物，其中45件是国家一级文物；牵头完成的秦陵陪葬坑石质甲冑的保护修复，获评“全国优秀文物藏品修复项目”；主持的百戏俑保护修复项目，让残缺秦俑重焕生机……

一件文物，怎样才能修复得好？马宇认为，“三大原则”至关重要：最小干预、可逆性、可辨识度。“过去，我们认为文物应修得‘天衣无缝’，如今，我们则追求‘远观一致，近看有别’的目标。”马宇说。

在马宇看来，修复时最难的是对“度”的把握——比如，清理鎏金层，并非越亮、越净就越好，毕竟它已经历了2000多年的岁月，应该保留一些沧桑感；清理彩绘时，其颜色的轻重可能影响整个器物的美感，因此要谨慎处理……

“对‘度’的把握，并非量化的指标，而是源于修复师自身的认知、阅历的积淀、对古人智慧的感受。”马宇说，“修复文物时，不能去盖住它们‘美’的东西，而要综合考量其整体效果以及艺术、美学、历史价值。”

从业30多年，除了积淀，还有创新。马宇牵头研发了文物保护修复转盘、文物三维立体尺寸测量仪等5项实用新型专利，将多年积累的修复经验转化为实用技术。择一事，终一生，精益求精的马宇获评2025年度“全国文物大工匠”。

既“研技能”，也“传帮带”。这些年来，马宇累计培养团队成员41人。“年轻人入行，首先要明确的是对这个职业的热爱与敬畏。”马宇经常告诉团队成员，“文物不可再生、不可试错。守护好老祖宗留下的珍贵遗产，需要‘匠心’和‘良心’。”

修复台前，刀片轻划器物的沙沙声再次响起。马宇和团队成员静下心来，又开启了一场跨越千年的“隔空对话”。

本版责编：张彦春 刘涓溪 王 博 制图：蔡华伟

与千年前的工匠「隔空对话」

陕西西安秦始皇帝陵博物院文物修复师马宇——

我国最大规模科学智能计算集群投入使用

本报北京4月14日电 (记者谷业凯)14日，我国最大规模科学智能计算集群在位于河南郑州的国家超算互联网核心节点投入使用，标志着我国在科学智能计算基础设施领域实现关键突破，为“人工智能+科学技术”规模化落地提供保障。

当前，人工智能驱动的科学计算快速发展，催生大规模并行计算、万亿参数大模型训练、高通量推理等需求。该集群实现6万卡集群部署，并依托我国自主可控核心芯片，支持全精度计算，以高效处理高维函数和复杂科学问题。此外，该集群还通过高速互连、存算协同等技术，充分满足用户对高带宽、低时延网络的需求，并发作业调度效率每秒超过万次。依托智能化运维、数字孪生系统以及浸没相变液冷技术，该集群系统可用性达到99.99%，保障长期稳定运行。

在应用方面，该集群已在生物、材料等多领域完成大规模并行计算测试并取得多项突出成果。其中，3万卡规模蛋白质折叠模拟较传统算法加速1000倍；4.5万卡规模实现万亿原子液态水分子动力学模拟，打破世界模拟规模纪录的同时，效率提升3个数量级以上；助力湍流直接模拟规模扩展至百万亿网格，大幅提升科研效率。

《中老铁路纪行》纪录片首播

本报昆明4月14日电 (记者李心萍、刘温馨)14日上午，纪录片《中老铁路纪行》中国、老挝两国首播仪式在云南昆明南站举行。

今年是中老两国建交65周年暨“中老友好年”，也是中老铁路开通运营的第五个年头。纪录片《中老铁路纪行》分三集，通过讲述中老铁路沿线一个个充满烟火气的故事，生动展现了中老铁路建设运营的丰硕成果。该片入选中宣部“纪录中国”传播工程项目、国家广电总局“记录新时代”纪录片精品项目。

该片将于4月14日至16日每日19时30分黄金时段在央视纪录频道(CCTV-9)播出，同步在老挝国家电视台播出，并在部分视频平台及省级卫视陆续播出。自去年12月以来，该纪录片英语版本已陆续在亚洲、欧洲、美洲等100多个国家和地区播出，在印度、德国、英国等多个国家收视率名列前茅，下一步还将在泰国、马来西亚、缅甸、越南等“一带一路”共建国家译制播出。

首播现场，纪录片主创团队、片中人物代表上台分享了创作体会和幕后故事。



今年以来，湖南通道侗族自治县人社部门聚焦农村居家养老上门服务缺口，面向农村转移就业劳动者开展订单式技能培训，精准对接城乡养老服务市场需求，持续筑牢基层养老服务基础。图为4月14日，学员在一家职业技能培训学校学习养老护理技能。李尚引摄(影像中国)

西北片区残疾人文化交流系列活动启动

本报乌鲁木齐4月14日电 (记者尚峻峰)近日，“西北片区残疾人文化交流活动、宣讲活动暨新疆残疾人文化周、全民阅读日系列活动”在新疆国际大巴扎启动，将持续至4月底。

活动以“文化润天山·丝路启新

篇”为主题，以推进书香社会建设、铸牢中华民族共同体意识为目标，旨在搭建西北五省区残疾人文化交流平台，推动文化传播、阅读推广、非遗传承与助残服务协同发展，全面展现新时代残疾人自尊、自信、自强、自立的精神风貌。

活动启动当天，主题宣讲报告会同步开讲，来自基层的残疾人工作者，用真挚感人的讲述，分享了他们的奋斗故事；残疾人非遗手工展和无障碍文化展同步开展，展出新疆刺绣木雕、陕西剪纸皮影、甘肃敦煌泥塑、青海唐卡藏绣、宁夏回族陶艺等300余件非遗手工精品，及智能辅具、盲文读物、无障碍改造成果等百余件无障碍设备产品，让观众近距离感受非遗魅力和无障碍建设成果。