

中国拱桥 世界跨度（科技名家笔谈）

● 郑皆连

近日，位于广西壮族自治区天峨县境内的天峨龙滩特大桥建成并通车，该桥主孔孔径600米，比国外最大混凝土拱桥跨径超出210米，比2016年建成沪昆高铁北盘江桥创造的混凝土拱桥跨径一次性提高了155米，创造了新的世界纪录。不仅如此，与同桥位斜拉桥方案相比，天峨龙滩特大桥刚度更大、耐久性更好且造价更低。

本报邀请天峨龙滩特大桥总设计师、中国工程院院士郑皆连对该桥设计、建造等情况，特别是创新亮点，进行权威解读。

——编者

天峨龙滩特大桥位于广西天峨县境内，是南丹至下老高速公路跨越红水河的一座大桥。该大桥所在河段两岸山岭高耸峻峭，水面宽度约600米，水深160米，年最大水位落差可达45米。

天峨龙滩特大桥全长约2500米，全宽24.5米，双向四车道。其中，主桥为上承式劲性骨架混凝土双肋无铰拱桥，计算跨径600米。拱肋采用等宽变高的混凝土箱型截面，拱脚、拱顶箱高分别为12米、8米，宽度均为6.5米；拱肋横向平行设置两片，中心间距16.5米，在对应每处拱上立柱位置（40米间隔）的上、下游拱肋间设置一道混凝土箱形横联，全桥共13道，横联顶、底面张拉预应力以提高拱肋的横向稳定性，主拱肋及横联均采用高性能混凝土。主拱肋采用劲性骨架法施工。

每片拱肋的劲性骨架均为四管式钢管混凝土桁架，桁架上、下弦管均为高强度、韧性和耐腐蚀性的钢管。弦管间的腹杆和平联杆均采用角钢焊接组合杆，以节点板的形式与弦管连接。拱桁弦管空中接头采用先外法兰接头栓接固定、再管外焊接的形式连接。管内灌注一种自密实微膨胀混凝土。

劲性骨架的钢结构由两列钢管拱桁组成，共重8150吨，在桥位下游6千米的龙滩电站闲置土地建厂制造，形成48个安装单元，采用桅杆吊机吊上船，运至桥位，再采用缆索吊运斜拉扣挂工艺安装，安装单元最大吊重约170吨，并带上了浇注外包混凝土的底模板；拱肋外包混凝土采用分环分段方式浇注，每次由8台压力泵执行混凝土输送，同步浇注4个工作面，36次完成拱桁外包混凝土浇注；桥道梁由预应力混凝土连续刚构及预应力混凝土连续T梁组成。

2023年3月，以施工中的天峨龙滩特大桥为背景，由中国工程院和世界桥梁与结构工程协会联合召开世界大跨径拱桥建造大会，笔者作为会议主席作主旨报告，介绍了天峨龙滩特大桥的设计施工创新，获得国内外专家的高度评价。天峨龙滩特大桥主孔跨径600米，比国外最大混凝土拱桥跨径超出210米，比2016年建成沪昆高铁北盘江桥创造的混凝土拱桥跨径世界纪录一次性提高155米，相当于世界混凝土拱桥跨径100年增长量，与同桥位斜拉桥方案比，刚度大、耐久性更好、几乎零维护，造价还少1.25亿。

2020年，项目业主指定笔者主持大桥设计施工技术工作。虽然笔者曾主持或指导建造了跨径300米级、400米级的劲性骨架混凝土拱桥，但在全世界此前都没有500米级混凝土拱桥建造经验的前提下，建造跨径600米混凝土拱桥存在着巨大风险。天峨龙滩特大桥2020年6月开工，2024年2月建成通车，近4年来，在参建各方共同努力下，实现了零安全事故、质量全优、造价和工期不超的目标。

恰当选择钢管混凝土劲性拱骨架强度

混凝土拱桥拱圈，是在钢管混凝土劲性拱骨架上挂模板浇注混凝土形成的，钢管混凝土劲性拱骨架在拱圈施工过程中起拱架作用，因此强骨架是降低拱圈施

工风险的首选。但强骨架必然增加拱骨架的施工难度，降低拱桥的经济性，因此选择恰当强度的劲性拱骨架至关重要。笔者提出，以骨架钢桁质量与外包混凝土质量之比来表征骨架强弱。8座已建成的劲性骨架混凝土拱桥的该比值均在合理区间。

天峨龙滩特大桥拱肋劲性拱骨架钢材重8150吨，外包混凝土2.81万立方米，二者质量之比为1/8.6，其比值较已成劲性骨架混凝土拱桥均大，骨架钢料多用3000吨。即使这样，在灌注管内混凝土及浇注底板混凝土阶段主拱跨中挠度增长值，占外包混凝土浇注完成后总挠度值的60%，在外包混凝土包裹上弦钢管时，相关指标接近容许值。由此可知，钢骨架强度的选择是恰当的。

克服浇注外包混凝土过程中产生过大的时程应力

劲性骨架混凝土拱桥拱圈的形成是一个自架设过程。首先，架设钢管混凝土劲性拱骨架；然后，分环浇注外包混凝土，一环混凝土浇注完成获得强度后，与钢管混凝土劲性拱骨架拱桁形成钢-混组合结构，承载能力和刚度得到提高，逐次完成各环混凝土浇注，逐次提高承载能力和刚度，直至完成混凝土拱圈。但值得注意的是，外包混凝土质量达劲性骨架钢管拱桁质量的9—15倍，因此浇注外包混凝土是劲性骨架混凝土拱桥施工最危险的阶段，不但加载重量大，而且加载时间长、加载次数多，每次混凝土浇注一旦失败，就难于补救。采用分环、多工作面、多次浇注，劲性骨架及已获得强度的外包混凝土会产生随时间而变的时程应力，该力有时会超过材料强度，所以要靠合理分环、多工作面同时浇注来对其进行控制。外包混凝土浇注完成获得强度后成为受力主体，钢管混凝土劲性拱骨架拱桁埋在混凝土内，增加混凝土拱圈的承载能力和韧性。

天峨龙滩特大桥拱肋外包混凝土2.81万立方米，分3环8个工作面，每次4个工作面同时浇注，共36次完成拱桁外包混凝土浇注。每次浇注外包混凝土800立方米左右，需要7—10个小时，由8台泵同时向4个工作面输送混凝土，在此过程中，使时程压应力始终处于较低水平。这种控制浇注外包混凝土的时程应力方法由中国工程师发明，并在实践中不断完善、发展。

优化外包混凝土配合比和施工工艺

劲性骨架混凝土拱桥拱圈外包混凝土从浇注到硬化过程中受到劲性骨架的多方向强约束，易产生收缩裂缝。解决强约束产生收缩裂缝问题最好的途径是掺入膨胀材料以抵消收缩，但应考虑胶凝材料的水化进程，采用适用于外包混凝土的膨胀剂，实现前期补偿收缩，后期不发生体积变形。此外，在工作性能控制层面，应进行原材料均化，尽可能避免原材料差异导致的混凝土工作性能不稳定的问题；在泵送现场，实时调控混凝土工作性能，保障入模混凝土的稳定性、均匀性。

在施工过程中，应对混凝土内外温湿度进行控制，以减小温差应力、干缩应力，严格控制混凝土制备、运输、泵送、入模温度。在养护阶段采取外界覆盖保温措施，同步降低内外温差。此外，对外包混凝土表面进行持续性喷水、喷雾保湿养护，以减少混凝土表面的干缩。通过以上措施，实现了天峨龙滩特大桥所有外包混凝土的良好浇注质量及抗裂效果，表面光滑密实无裂缝。另外，对浇注外包混凝土的模板进行了精细化设计、工厂化加工，半机械化安装，实现了国内外包混凝土浇注最短周期记录，最大限度减少浇注混凝土块间龄期差。由此可见，天峨龙滩特大桥拱肋外包混凝土外掺剂选取及浇注经验有普遍借鉴意义。

毛泽东等老一辈革命家为雷锋同志题词已有61周年，雷锋事迹家喻户晓、深入人心，雷锋精神一直滋养着一代代中华儿女的心灵。实践证明，无论时代如何变迁，雷锋精神永不过时。雷锋精神是永恒的，是永不褪色的精神坐标。

雷锋精神为实现中国式现代化提供强大精神力量。雷锋精神包含着许多与现代化进程相关的价值观和行为准则，为推进中国式现代化凝聚强大精神力量。一是雷锋精神强调无私奉献，关心他人，这与现代化社会所需要的合作、互助和社会责任感相契合。在一个现代化的社会中，个人的利益与集体的利益相互关联，奉献精神可以促进社会的和谐与发展。二是雷锋精神体现了对工作的认真负责和敬业精神。在现代化的经济体系中，职业道德和工作态度对于提高生产效率、保证产品质量以及推动创新都非常重要。三是雷锋精神倡导团结友爱、互相帮助，这有助于构建和谐的社会关系。一个和谐稳定的社会环境是实现现代化的重要基础。四是雷锋精神代表了一个高尚的道德追求和精神境界。在物质文明发展的同时，注重精神文明建设，提升人们的道德素质，有助于全面实现现代化。总之，雷锋精神将在新时代绽放更加璀璨的光芒,为社会的进步和发展提供积极的精神动力和道德支持，为全面建设社会主义现代化国家、全面推进中华民族伟大复兴凝聚强大力量。

雷锋精神是社会主义核心价值观的生动体现。雷锋精神体现了社会主义核心价值观的重要内涵和要求，它与社会主义核心价值观在个人层面“爱国、敬业、诚信、友善”的价值准则高度契合。一是雷锋精神体现了对祖国的热爱和忠诚，他以自己的行为为国家 and 人民做出了贡献。二是雷锋对工作的认真负责和无私奉献，体现了社会主义核心价值观中敬业的要求。三是雷锋待人真诚、友善，他的助人为乐和关心他人的精神品格，体现了诚信和友善的价值观。四是雷锋强调集体利益高于个人利益，他的行为体现了对集体的归属感和责任感。学习和弘扬雷锋精神，就是践行社会主义核心价值观的最好方式。雷锋精神的发展和传承需要我们每个人的身体力行。我们要善于发现身边的“雷锋”，善于学习新时代的“雷锋”，争做雷锋精神的种子，积极在日常生活中践行社会主义核心价值观，培养良好的道德品质和行为习惯，推动社会的进步和发展。

弘扬雷锋精神是坚持“两个结合”的生动实践。“两个结合”是指马克思主义基本原理同中国具体实际相结合、同中华优秀传统文化相结合。雷锋精神是中华民族传统美德的一种积淀，是对中华民族传统美德的传承和延伸，是马克思主义与中国公民道德建设实际、与中华民族优秀传统文化的完美结合的典范。一是雷锋精神强调为人民服务、无私奉献、忠于党和人民、艰苦奋斗等，这些都是马克思主义的基本要求。二是雷锋精神植根于中华优秀传统文化之中，展示了中华文化的永恒魅力。特别是中华优秀传统文化的精髓——孝文化、礼文化、和文化，是孕育雷锋精神的沃土。三是马克思主义的基本原理中“为劳苦大众”的崇高追求，在雷锋精神中都能找到；中华文化强调的仁爱、友善、勤劳、节俭、诚实等，这些价值观在雷锋精神中也都得到了充分体现。因此，雷锋精神契合了中国共产党革命奋斗品质，契合了中华民族优秀传统文化，是贯彻落实“两个结合”的实际行动。当前，“人人学雷锋、时时学雷锋”的良好氛围正在形成，我们要积极把学雷锋活动融入日常、化作经常，让雷锋精神在新时代绽放更加璀璨的光芒。（本文原载于当代广西网 2024年3月7日）

雷锋精神是永不褪色的精神坐标

● 唐 兴

广西大学绿色制糖团队系列成果取得突破进展 助力“甜蜜事业”高质量发展

● 余 锋

广西糖产量占全国总产量六成以上，是全国乃至全世界食用糖的主产区。“甜蜜事业”不仅是广西的支柱产业之一，也是群众增收致富的重要渠道。3月6日，记者从广西大学相关部门获悉，广西大学绿色制糖团队在甘蔗副产物生态循环利用方面的科研取得突破进展，同时从生态平衡的角度构建开发全产业链关键技术，显著推动甘蔗糖业高端化、智能化、绿色化发展，以实际行动助力乡村振兴和生态文明建设。

“甘蔗是典型的碳四（C4）类型植物，具有极高的光合利用率、空间利用率和经济系数，已经成为仅次于林业的‘固碳尖峰’。”广西大学轻工与食品工程学院教授、糖业及综合利用教育部工程研究中心主任、国家糖料产业技术体系岗位科学家李凯介绍，甘蔗种植和加工会带来大量副产物，如蔗梢、蔗叶和蔗渣、糖蜜、滤泥等。这些有机副产物产量大、来源集中、性质稳定、收集简单，且价格低廉，具有良好的产业化基础。然而，目前这些资源仍处于低端利用或未利用阶段，产值低甚至成为污染源，已严重制约甘蔗产业可持续发展。比如，大部分蔗渣作锅炉燃料，制浆造纸仅利用蔗渣中的纤维素导致过程污染物排放量大；滤泥作为固体废弃物直接沤还田或制作低端复合肥，肥效低且易造成生态环境的二次污染。同时，连年单一种植和传统的施肥方式，尤其是化肥过度施用，已严重破坏了蔗地土壤结构和生态，土壤贫瘠酸化加剧，肥料利用率低，甘蔗养分吸收不均衡，导致甘蔗产量及品质降低。

那么，如何消纳甘蔗种植和加工带来的副产物，减少对生态环境的破坏？据李凯介绍，为此，广西大学绿色制糖团队基于“四物和谐、四库发展”理念，以滤泥、糖蜜、蔗渣和甘蔗叶等副产物为主要原料，开发以现代生物技术为核心的副产物高效、高值化及高端化生产技术，取得突破进展。

目前基于自主筛选高效微生物发酵菌生产高效生物有机（固、液）肥、有机饲料等技术已实现产业化应用或进入生产试验阶段。实践应用或生产试验结果表明，广西大学绿色制糖团队开发的菌剂能快速使蔗渣、甘蔗叶与滤泥降解发酵，缩短滤泥基肥料发酵周期，并显著提高肥料养分效率，使滤泥等副产物成为肥料或饲料优质基料，同时还显著减少发酵过程恶臭气体排放。

李凯进一步介绍，为了从根本上解决土壤贫瘠酸化问题，广西大学绿色制糖团队针对蔗地持肥等特性，结合甘蔗根际养分需求特点，构建甘蔗种植营养限制因子调控模型，成功研制蔗地酸性土壤改良剂并开展大田试验，甘蔗增产20—40%。另外，该团队还根据不同经济作物营养需求特性，成功研制不同农作物的专用功能性生物有机肥，提高农作物固氮、解磷和解钾功效，不仅能有效减少肥料用量、降低成本，还能增加土壤有机质进而提高土壤肥力。目前该技术已在火龙果、茉莉花等基地开始施用，作物不仅生长快，而且催花效果也非常明显。

该团队系列成果显著提高了“甘蔗-制糖-滤泥-有机肥-甘蔗”和“甘蔗-制糖-副产物-饲料-有机肥-甘蔗”等生态循环发展链的效率和效果，极大推动甘蔗产业副产物生态循环发展，显著推动乡村振兴和生态广西建设。

制糖产业高质量发展，除聚焦甘蔗副产物生态循环利用外，还需要从生态平衡的角度构建开发全产业链关键技术。如何着力糖业绿色多元化利用技术开发，构建现代化“甘蔗+”产业技术体系，推动制糖业绿色发展水平？显著减少制糖业废水产生量，也是制糖业高质量发展中助力生态文明建设的重要抓手。

据了解，广西大学绿色制糖团队一直秉承“创新引领糖业未来，健康改造甜蜜世界”宗旨，以“革新中国糖业传统模式，引领世界糖业创新格局”为目标，着力糖业绿色多元化利用技术开发，构建现代化“甘蔗+”产业技术体系。团队率先自主开发甘蔗汁膜物理澄清技术，实现制糖生产化学助剂“零添加”，显著推动制糖业绿色发展水平；创建“水—糖”联产模式并在全球率先实现甘蔗含水商品化利用，吨蔗产值实现翻番，显著减少制糖业废水产生量；开发的20余项传统过程多单元强化技术已在全国超100家制糖企业应用，节能、降耗及减排效果明显，使我国制糖生产百吨蔗标准能耗由约5吨最低降至3.2吨，吨甘蔗耗新鲜水由约10吨降低到不足0.1吨，糖厂“零取水”技术方案已成为全国糖厂标准设计。（本文原载于广西云-广西日报2024年3月7日）

● 刘 诚 王 芳 黄昕洋

广西大学“先锋先行”学生党员志愿服务队积极开展学雷锋志愿服务活动

在第61个“学雷锋纪念日”暨第25个“中国青年志愿者服务日”到来之际，广西大学“先锋先行”学生党员志愿服务队依托“党建引领+志愿服务”项目体系，牢牢把握雷锋精神的时代内涵和实践要求，充分发挥学生党员的朋辈引领和榜样示范作用，在学生社区广泛开展了形式多样、内容丰富的学雷锋志愿服务系列活动。

“现在可以选择中共一大纪念馆、遵义会议纪念馆、东北抗联史实陈列馆参观……”来自动物科学技术学院的曾观丽同学正在“一站式”学生社区的党员活动室开展党史宣讲志愿服务，为VR智慧党建系统体验者提供学习内容介绍。戴上VR眼镜，手持感应手柄，即可通过数字虚拟现实技术，身临其境地参观展览馆。

作为2023年中国国际大学生创新大赛获奖项目成员，来自新闻与传播学院的闻名天夏同学，在“一站式”学生社区的学术研讨室内开展创新创业项目朋辈辅导，强调逻辑清晰、内容完整、数据支持、视觉效果、语言表达、情感共鸣等路演展示要点。

该校南门、东门附近的自行车、电动车被整齐地摆放在指定停车区域，这是机械工程学院学生党员开展学雷锋志愿服务的活动成效。“停车有方，行路有道。”他们用实际行动向在校师生发出了文明倡议，号召大

家共同维护校园交通秩序，一起成为创建美丽校园的宣传者和实践者。

来自体育学院的欧恒瑞、许新悦同学在“一站式”学生社区的健康服务站内，使用理疗床、泡沫砖、弹力带等现代康复器具和传统推拿手法，为现场同学进行腰椎、颈椎、关节等部位康复理疗志愿服务，并传授日常保健知识和训练方法。

“未知链接不点击，陌生来电不轻信，个人信息不透露，转账汇款多核实！”来自文学院的曾荟楠同学在学生社区开展反诈宣传志愿服务时说

道。近日，学生党员走进西22栋宿舍，向同学们讲解高校发生的诈骗案例，并重点介绍了兼职刷单类、校园贷款类、冒充客服类等常见诈骗类型，提醒大家加强对人身、财产安全的保护。

让雷锋精神在新时代绽放更加璀璨的光芒。广西大学“先锋先行”学生党员志愿服务队指导老师何阳昶表示，将在“向雷锋同志学习”的号召下，充分发挥学生党员的先锋模范和示范引领作用，不断拓展内容、创新形式、丰富载体，服务学生、服务校园、服务发展，以实际行动书写新时代的雷锋故事。（本文原载于广西云-广西日报2024年3月6日）