

## 郑皆连教授在 Engineering 发文：详解两座世界级拱桥的建造智慧

近年来，中国在大跨度拱桥建造领域取得了显著的成果。郑皆连教授主持建造两座世界最大跨径拱桥，分别为跨径560米的钢管混凝土拱桥——广西平南三桥和跨径600米的混凝土拱桥——广西天峨龙滩特大桥。这两座桥梁的建成不仅展示了中国在拱桥建造技术上的先进水平，还为未来更大跨度拱桥的建设提供了宝贵的经验。郑皆连教授在中国工程院院刊《Engineering》上发表题为“中国大跨度拱桥建造技术创新与实践”的文章，详细介绍了这两座桥梁的建造技术创新和实践经验。

平南三桥位于广西壮族自治区荔浦至玉林高速公路匝道跨越浔江，主桥采用中承式钢管混凝土拱桥方案，计算跨径为560米，居当时世界各类拱桥跨径之首。该桥的拱桁总重8440吨，分44个悬拼节段进行施工。为克服悬拼节段制造过程中的累计误差，保证节段间连接精度，平南三桥采用了“3+1卧式耦合制造”工艺，通过缆索吊运和斜拉扣挂悬拼施工完成拱桁的安装。此外，平南三桥在管内混凝土灌注方面也取得了创新性进展。郑皆连教授发明了真空辅助压力泵送管内混凝土工艺，通过在钢管拱肋顶部安装抽真空设备，抽取拱肋内的空气，使其处于真空状态，从而大幅提升了管内混凝土灌注的密实度和速度。这一工艺的成功应用，有效解决了管内混凝土脱黏、脱空的问题，保证了钢管混凝土拱肋钢-混凝土组合结构的正常工作。



图1 平南三桥实景图。

天峨龙滩特大桥是一座跨径600米的劲性骨架混凝土拱桥，位于广西壮族自治区天峨县境内。该桥主拱肋采用钢管混凝土劲性骨架施工，分环、多工作面、多段浇筑外包混凝土。天峨龙滩特大桥在施工过程中采用了多项创新技术。例如，在浇筑外包混凝土阶段，为防止因环间混凝土龄期差异导致的裂缝问题，工程团队采用了含缓凝成分的膨胀剂，使得腹板混凝土在硬化过程中体积膨胀，从而避免了拉应力的产生。此外，天峨龙滩特大桥还通过优化拱圈截面构型，将单箱三室改为双箱肋结构，取消中室顶、底板，从而减少了外包混凝土的用量，降低了拱圈重量。这一措施不仅有效降低了主拱应力，还减少了混凝土徐变，提高了拱的安全储备。

图2 天峨龙滩特大桥近照（拍摄于2024年2月）。

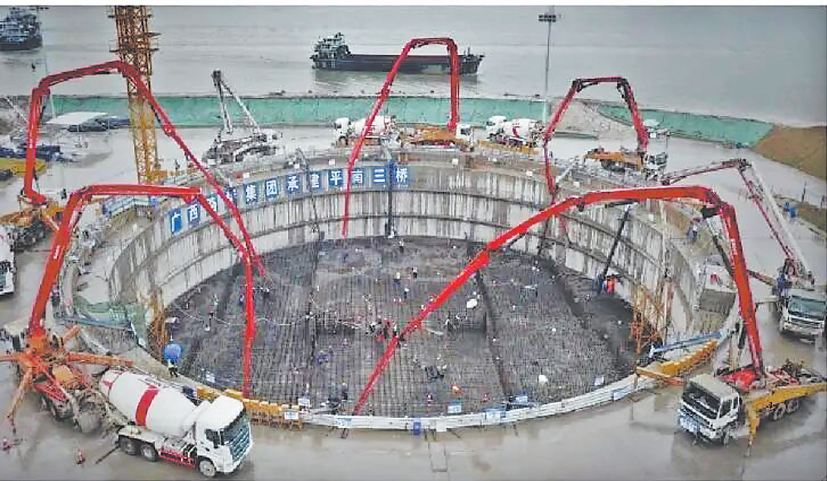
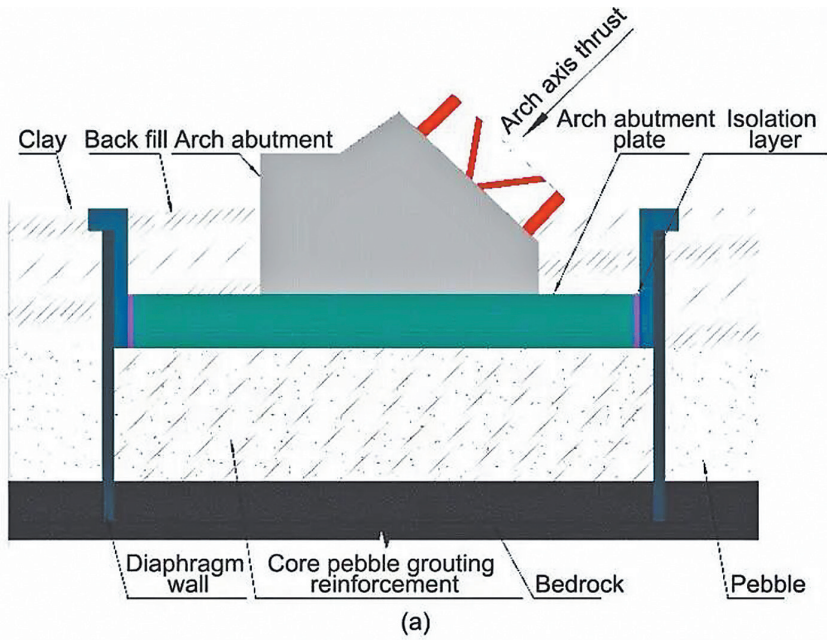


在地基处理方面，平南三桥采用了“地下连续墙+注浆加固的卵石层”新型复

合基础结构。该桥位于平原地区，北岸地基为黏土层及卵石层，按一般原则不适合建推力拱桥。为此，工程团队通过上部结构优化和基础形式创新，提出了非岩地基大跨推力拱桥基础综合设计技术。通过优化上部结构，有效降低了恒载对拱座基础产生的竖向力、水平推力和弯矩；同时，将基础中心沿拱轴线后移，增大了恒载竖向力产生的力矩，使之与水平推力产生的力矩基本平衡，基础受力均匀，边缘应力降低。此外，通过在卵石层内诱导灌注水泥浆加固，提高了地基承载力，满足了设计要求。这一创新设计使得在非岩地区也能建造大跨度推力拱桥，大大扩展了拱桥的适用范围。

在施工装备方面，平南三桥和天峨龙滩特大桥的建设也取得了显著进展。平南三桥在拱桁安装过程中采用了力主动控制塔顶位移技术。该技术通过千斤顶对控制缆索主动施力，直接平衡塔顶水平力，从而控制塔顶位移。与传统的刚度被动控制方法相比，力主动控制方法不仅降低了塔架的费用，还提高了塔顶水平位移的控制精度。此外，天峨龙滩特大桥在扣索张拉施工方面也进行了优化。工程团队使用了一种基于影响矩阵原理和“过程最优”控制原则的拱肋线形控制方法，实现了各节段扣索的一次张拉、不调索，降低了扣索用量，提高了施工效率。文章指出，30多年来中国工程师对建造钢管混凝土拱桥和劲性骨架混凝土拱桥的科学技术问题进行持久、深入研究和大规模实践，成功解决了关键技术问题和质量瓶颈，降低了风险，提高了经济竞争力，拥有构造、工法、材料、装备的主要发明专利。中国建造的这两类拱桥的数量、跨径远远超过国外，不但为国家节省了大量建桥资金，而且获得国外同行的盛赞。

图3 “地下连续墙+注浆加固的卵石层”推力拱桥新型复合基础结构。



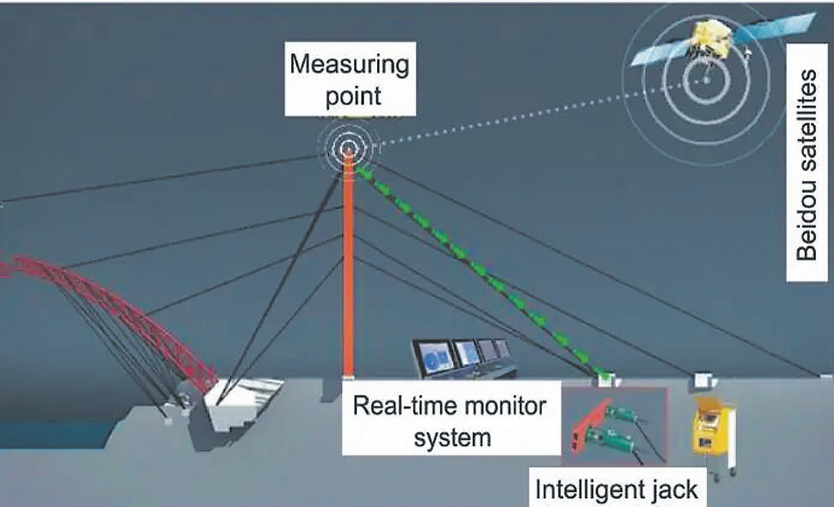
(a) 构造示意；(b) 施工实景。

文章认为，对于钢管混凝土拱桥，下一步要研究悬拼节段间栓接不影响焊接的外法兰栓焊连接。该新型连接比内法兰连接可减少2/3的高空焊接作业，还能减

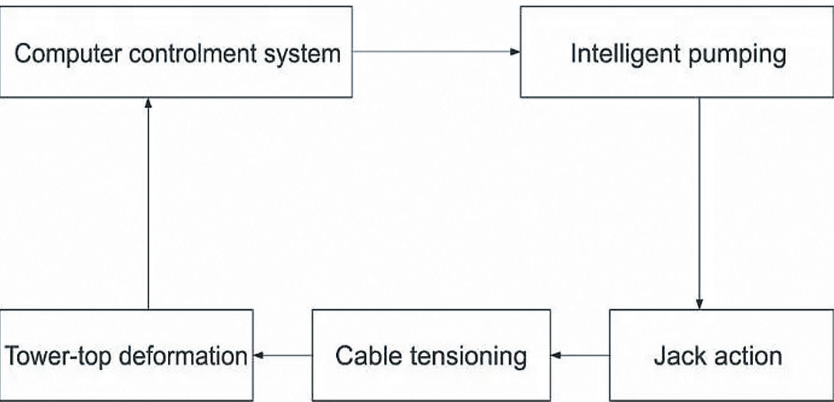
少泵送灌注管内混凝土受到的阻碍，此连接结构已被郑皆连教授团队发明并成功应用在天峨龙滩特大桥的钢管拱桁骨架中，但尚未应用在钢管混凝土拱桥中。此外，目前已实现管内混凝土膨胀率可设计，但混凝土膨胀引起的混凝土对钢管的预膨胀力太大，对直缝焊管焊缝不利，太小则升温时钢管与混凝土可能脱黏，因此要研究合理的预膨胀力范围。

图4 力主动控制吊扣塔位移技术。(a) 控制原理；(b) 工作程序。

文章建议，对于混凝土拱桥，则要继续研究如何减少劲性骨架外包混凝土数量，提高模板、钢筋安装、混凝土浇筑等关键工序的机械化水平，减少用工量。总之，要在工程中寻找课题，不断研究解决办法，才能推动拱桥建造技术更快发



(a)



(b)

展。（本文原载于Engineering微信公众号2025年10月28日）

公益广告



## 从上海到广西，她把“碳”玩出花样

● 李艺 尹世斌

充实的教学、科研工作，是广西大学化学化工学院“85后”教授王际童的日常生活。从上海到广西，她在这片充满特色资源的土地上，在碳材料领域不断探索，让科研成果助力环境保护。她还尝试为电池扩容，追赶国际先进水平，用实际行动书写着一位女性科研工作者的担当。

### 她与化工结下缘分

在很多人眼里，化学工程是一门有些深奥的学问。但是王际童却觉得，化工非常实用，每个人的衣食住行都离不开化工；化工也像魔法，就算想法天马行空，也可能通过实验转化成真实的事物。这门学科是如此的神奇，她享受探索的过程。

2023年底，王际童从上海来到广西，开启了科研新程。现在，她每周要分别给本科生、研究生上课；课余，她会来到实验室，逐个与学生交流课题进展，了解实验情况。王际童说：“对本科生，要帮他们夯实专业知识；对研究生，要引导他们找到科研方向，提升他们的动手实践能力。”



王际童（右一）和学生在实验室。

张延凯是王际童带的研究生，今年已经研三。他的研究方向，与锂电池负极材料设计有关，在新能源汽车领域就业前景很被看好。这一方向，正是在王际童的指导下确认的。他告诉记者，王老师温和和耐心，业务能力也很强，会和他们分享最新研究，还会耐心指导他们解决难题，是令人羡慕的“别人家的导师”。

### 她让工业副产品“变废为宝”

王际童的研究主要集中在碳材料领域。从上海到广西，科研环境的变化并未阻碍她的步伐，反而让她敏锐捕捉到广西独特的优势。例如，广西丰富的甘蔗

渣、椰壳、秸秆等生物质资源，以及稀土资源，正是碳材料研究的“富矿”。



王际童（右）指导学生做实验。



王际童在实验室工作。

“碳”有哪些作用？氮氧化物是一种环境污染物质，而“碳”能帮助汽车尾气、

工业烟气脱除氮氧化物，减少环境污染。王际童带领团队将碳材料与本地资源结合，为氮氧化物脱除提供更适配本地产业需求的技术方案。

2023年起，她牵头与广西多家企业展开校企合作，推动该技术应用于工业烟气脱硫脱硝以及车尾气等移动源的脱硝处理。技术目前处于试用阶段，但表现不错，已为后续应用奠定了基础。

碳还能用在新能源领域，用于制作锂电池负极材料。王际童曾和团队通过深入研究硫与电池性能的关系，发现特定种类的高硫材料同样可用于锂电池，打破了“低硫才是好材料”的固有认知，让企业原本作为工业废品、仅能卖出约1500元/吨的高硫石油焦，转化为价值超过2000元/吨的负极材料。

### 她试着让电池容量变大

让工业副产品“变废为宝”只是一部分。王际童还着眼于新一代锂离子电池发展需求，开展碳硅负极材料研究，目标是将电池容量提升至2000毫安时每克以上。这意味着电池容量比肩国际先进水平，从而满足国产锂电池在高端新能源汽车、手机、电脑等领域的应用，未来有望替代进口材料，降低高端电池生产成本，让众多企业受益。

这是一项需要大量时间和实验的研究，王际童目前仍在努力中，但她享受这个过程。“把想法通过实验变为真实”，正是她的科研初心，贯穿在每一次材料设计和每一次实验验证中，支撑着她在碳材料领域不断探索。（本文原载于南国早报客户端2025年10月10日）

总编辑：孙瑞  
副总编辑：欧阳雄姣  
美术编辑：苏锦春 潘悦凝 蒙江勇  
汪月如  
校对：苏锦春 潘悦凝 蒙江勇 汪月如  
黄炜