

600米！世界拱桥“第一跨”

● 蓝 钜

俗语说，房子看高，桥梁看跨。桥梁的主跨长度，是衡量桥梁技术能力和建设能力的重要标志。跨度越大，意味着建设难度越大。

采取何种方案横跨浩渺的水面，连通两岸？

设计、论证、再次设计、不断论证……围绕大桥受力合理性、施工便利性、运营期的维护以及行车舒适度等方面，设计团队夜以继日，不停地研究比对、调整优化、完善方案，仅初步设计论证就耗时一年多。

最终，项目决定采用主跨600米的超大跨度劲性骨架混凝土拱桥方案。

跨径600米，这是什么概念？

回顾拱桥的发展历史，劲性骨架混凝土拱桥在1898年被发明；1980年，主跨390米的克罗地亚克尔克大桥建成；2016年，沪昆高铁北盘江特大桥建成，主跨445米……

混凝土拱桥跨径从390米增长到445米，足足用了36年。也就是说，自1980年以来，该类型桥梁跨径仅以平均每年增长1.5米的速度发展。

“天峨龙滩特大桥将跨径一举突破到600米，跨径增长了155米，实现了‘百年跨越’。”今年国庆前夕，郑皆连再谈龙滩特大桥的建设，言语甚为豪迈。

他对记者说，这是一个难度和风险最高，且当时世界上并无实例可供借鉴、参考的方案，但却是一个更为实用更为经济的方案。

“这比斜拉桥方案节省建设成本约1亿元。”广西交投集团南天高速工程建设指挥部指挥长黎水昌分析，该桥型受力性强、工程耐久度高、易于后期维护，更适用于山多平地少的峰从地貌。

但，如何确保拱桥高精度合龙，如何防止外包混凝土开裂……一系列难题如同拦路虎，给项目施工带来巨大挑战。

从设计的角度来看，大桥的跨度已远超规范条文的适用范围，不管是设计理论还是计算方法，都需要重新探索。

从材料的角度而言，大桥的大体量、高应力特点对材料特性、材料制备提出了更高的要求。

另外，大桥跨度大、施工工序复杂，对施工组织、加工安装控制精度等方面，也提出了前所未有的挑战。

在190米高空“穿针引线”

拱桥合龙口误差控制在2毫米以内

开便道、做场站、挖拱座、筑桩基……2020年6月，天峨龙滩特大桥的建设在一片荒芜中起步。

大桥横跨龙滩水库库区，雨、旱季水位高低差达45米；下老岸地质条件复杂，有破碎的强风化泥质砂岩、顺层坡、局部裂隙发育……

面对恶劣的自然环境和地质条件，“筑梦成虹”谈何容易？

施工最大的难点，在于如何确保拱肋节段合龙的精度。

“这相当于在190米高空‘穿针引线’。”黎水昌解释，拱肋需要一节节从两侧向中间递进，逐步拼接成完整的主拱，空中对接精度须达到毫米级。

一连串的数据，把大桥的独特性展露无遗：劲性骨架共分为48个拱肋节段，用钢量累计达8100多吨，比法国埃菲尔铁塔用钢还多900多吨；大桥累计焊缝达7.2万米，相当于近29座龙滩特大桥的长度；大桥钢结构零部件总数高达15.5万件，最重拱肋节段重达200吨。

完成这一重要任务的，是项目总工程师罗小斌带领的团队。

钢构场开始建设的时候，正值盛夏。

罗小斌时常站在山坡上俯瞰场地，不停地在笔记本上勾勒着场地布局，晚上又用CAD把胸中丘壑转化成图纸，反复优化若干次才最终成型。

当各类型设备按照最初构想完美落地后，一个标准化厂房在龙滩水库边诞生。

随着一批批钢材进场，火花飞溅的场面蔚为壮观。罗小斌在现场执著于每一毫米精度，较真于方案里的每一个细节。

“每道工序都要精雕细琢。”项目副经理刘兴焱坦言，控制精度是大桥钢结构加工的一大难点，劲性骨架零部件加工、安装误差累积，焊接变形累积及骨架受力后的形变，都是影响劲性骨架精确合龙及结构安全的重要因素。

关难过关过，越是艰难越向前。

经过大量数据验算和实体试验，罗小斌和团队制定出劲性骨架各构件加工、骨架拼装等27项工艺评定标准，并建立完备的质量保证体系，把构件加工和拼焊平面尺寸误差控制在毫米范围，特别是将外法兰和节段端面误差精度控制在0.2毫米以内，基本相当于一张A4纸的厚度。

2021年秋天，桥墩拔节而长，高96米的吊扣分离式塔架耸入云端，主索、吊塔、地锚及电控系统渐次落地……准备工作有序进行。

2022年2月27日，世界桥梁工程界的一场毫米级“艺术盛宴”精彩上演。

起吊、横移、就位、张拉、焊接……两岸起吊的一个个百吨级拱肋节段以毫米之微，稳稳地停在半空，仿若两根有力的手臂，圆满解决了“高空穿线”的难题。

最终，历时99天，大桥主桥拱肋实现高精度合龙，合龙口误差控制在2毫米内，拱轴线偏差小于10毫米，高程偏差小于30毫米！

合龙完成，现场一片欢呼。

创新应用“三六八”施工工艺

圆满完成重达7万多吨混凝土浇筑任务

天峨龙滩特大桥劲性骨架拱肋节段的顺利合龙，正式拉开了大桥重点、难点建设的序幕。

大桥拱顶径向截面高8米，拱脚径向截面高12米，钢构拱肋合龙后，需外包混凝土约2.8万立方米，拥有“血肉之躯”后，才最终形成大桥的受力主体。

“借助平南三桥的建设经验，项目顺利完成拱肋节段的合龙，但这还不是最困难的。”郑皆连说，在国内外尚无同类型施工经验借鉴的情况下，另外一个需要攻克的技术难点是如何防止外包混凝土的开裂。

此外，拱上场地狭窄、风险源分布广、峡谷风肆虐、浇筑作业面最大倾角达43°等，也是必须克服的一道道难题。

但大桥建设者们没有退缩。

深夜，项目办公室里，青年突击队成员唐雁云和技术部门的同事敲击键盘的声音此起彼伏。

电脑屏幕上纷飞的线条、详实的数据，办公室激烈的讨论声……唐雁云把那段时间形容为“深夜的狂欢”。

在郑皆连的指导下，建设者们创新应用“三环六段八工作面”施工工艺（即外包混凝土分底板环、腹板环、顶板环3个环节依次浇筑，每个环节分6段进行浇筑，设8个工作面同时组织施工），巧妙地解决了拱肋不平衡加载引起的线形变化偏差大以及混凝土拉应力超标等问题，有效降低了外包混凝土开裂风险。

技术团队还通过劲性骨架外包节段足尺模型和1:10缩尺模型对混凝土品质展开攻关研究，研发出了流动性高、密实性好、易于施工的高品质混凝土，并在拆模后及时通过“两布一膜”施工工艺对混凝土进行养护，实现了混凝土外在品质和内在品质的完美统一。

2023年4月，外包混凝土浇筑结束。这场始于清秋、盛于寒冬、终于暮春的大作战落下帷幕，世界最大跨径拱桥披上“银色铠甲”，红河水上多了一道壮丽风景。

回看这一波澜壮阔的建设历程，科技创新不仅仅体现在施工技术上，还延伸到了工程管理的方方面面，绿色建设、信息化、智慧工地管理贯穿始终。

——应用大数据、物联网、AI等新技术，为打造百年品质工程打下了坚实基础。

——采用BIM+技术，让整个工程从设计到施工的每一个细节都清晰地呈现在三维模型中，实现了可视化管理，极大地提高了管理效率和精度。

——安全云广播系统、AI功能一体化智慧安全帽系统等的应用，为施工人员的安全提供了全方位的保障。

曾经，关山似铁，横亘在前，阻断梦想的通路；如今，大桥屹立，气势磅礴，以其雄伟之姿展示着中国桥梁建造的实力。

2023年3月20日，在中国工程科技论坛暨第二届世界大跨拱桥建造技术大会上，20多位中国工程院院士、中国科学院院士和500多名行业顶尖专家学者高度称赞天峨龙滩特大桥的建造工艺及水准。

国际拱桥大会永久性学术委员会主席Bruno Briseighella赞叹：“天峨龙滩特大桥的建造技术，代表了国际最高水准，质量水平当属上乘，在桥梁领域无出其右者。”

自治区党委书记刘宁向大会致贺信表示，天峨龙滩特大桥在交通基础设施建设领域叫响了“广西品牌”，树立了中国制造向中国创造跨越的桥梁建设领域样板。

今年2月1日，天峨龙滩特大桥建成通车，世界拱桥正式迈入600米级时代！

大道通衢连四海，货畅其流通八方。

站在天峨县纳老坡最高处眺望，从云贵高原飞驰向海的车流向世界宣告：大跨径拱桥施工建造，广西走在时代的前沿！

向下俯视，因为一群蓝刀鱼，天峨火遍全网；因为一座桥、一条高速公路，今年国庆期间20多万游客涌入这座小城。

且忆、且念、且展望。

“龙滩特大桥的建成，极大地改善了天峨的交通基础设施条件，提升了投资环境和区域形象，加强了我们与南宁、贵阳的联系，为天峨的经济社会高质量发展带来了巨大机遇。”憧憬未来，天峨县委书记蓝如帅充满信心。（本文原载于广西日报2024年11月13日）



立冬时节，红水河波光粼粼，飞架在龙滩水库两岸的天峨龙滩特大桥，如苍龙出海，气势磅礴、壮丽雄伟。

从图纸上的憧憬，到现实中的震撼，天峨龙滩特大桥的建设故事，写在四季里，绘入山河中。

作为西部陆海新通道上南丹至天峨下老高速公路（以下简称南天高速）的控制性工程，这座世界最大跨径劲性骨架混凝土拱桥，从投资、设计，到施工、监理、运维，都由广西企业全产业链建设。他们运用中国拱桥创新技术，开辟了世界拱桥跨径600米的先河，成就了世界大跨径拱桥的“百年跨越”。

世界拱桥看中国，中国拱桥看广西。

这座震惊世界的超长混凝土拱桥，背后有哪些硬核科技？它的建设给世界桥梁技术带来了哪些革命性变化？

混凝土拱桥跨径世界纪录增至600米

跨径一举增长155米，实现了“百年跨越”

“爬到龙王坡，回头望天峨；山高路又险，眼泪流成河……”20多年前，天峨的一首山歌，唱出了当地交通落后带来的无奈。

且盼、且望、且期待。“长龙卧碧波，天堑变通途”，成了天峨群众翘首以盼的梦想。

2018年底，由广西交通投资集团投资建设的南天高速破土动工。它承载着两地群众的希望，穿越崇山峻岭、跨越河流沟谷。

这是广西深度参与西部陆海新通道建设的又一重要工程，对推动桂西北地区和云贵川渝等向海图强有着重要意义。

作为南天高速的控制性工程，天峨龙滩特大桥的建设最为关键，难度最大。

大桥横跨龙滩水库，全长2488.55米。桥址水位变动大，两岸地势险峻。

它能否实现？如何实现？

位于龙滩水电站上游约6公里处，大桥建设现场，一直活跃着一位精神矍铄的老者——郑皆连。他是中国工程院院士、广西大学教授，大桥建设的主持者。

“桥梁建设，必须安全可靠。这是一条铁律！”每到工地，郑皆连都反复叮咛，一口浓重的四川话，浑厚而沧桑。

桥梁的安全，是郑皆连最为操心的事情。

这场“双向奔赴”，续写中巴友谊新篇

● 公兵 赵焱 罗羽

“村超”在走向世界，也在迎来世界宾朋。

5月27日，巴西足坛名宿卡卡来到“村超”，给榕江人民带来巨大惊喜，也给当地所有热爱足球的孩子注入更多动力。

当卡卡看到涌入球场的2万多名观众，尤其是在现场与之互动的大批青少年时，他内心充满感动。“希望通过自己的力量，激励孩子们心生足球梦想，追逐足球梦想，并实现足球梦想。”

作为2002年世界杯冠军巴西队成员，卡卡的到来无疑提升了“村超”的“段位”，而“村超”也打开了以卡卡为代表的外国友人了解中国的一扇窗。

10月3日，首届“村超”“一带一路”国际友谊赛迎来首支巴西球队——巴西圣保罗高桥青训足球俱乐部。此后20多天里，巴西球员近距离感受着中国的发展活力、人民的热情友好、文化的博大精深。

赛场上，他们与榕江人一起奋力拼搏；赛场下，他们和侗族群众手拉手跳多耶舞。颁奖时，巴西球员抱着“村味”奖品——当地特产小香鸡合影时，笑得合不拢嘴。颁奖后，观众走进球场中央，将巴西球员围成一圈，大家搭着肩跳起舞，巴西球员展示着桑巴舞步，人们享受着足球带来的友谊和快乐。人类命运共同体在这些时刻得到了具象化呈现。

中巴足球交流历史可以追溯到30多年前中国健力宝青年队到巴西留学。当年中国小球员远赴异国刻苦学习足球技能，感染了当地民众，甚至有不少巴西家庭主动提出照顾球员。足球交流的过程浸润着中巴文化的认同与两国民众情感的共鸣。

除了健力宝青年队，云南红塔青少年足球队曾在圣保罗俱乐部训练比赛了近3年，山东鲁能（现为山东泰山）在圣保罗成立了中国足球首个海外青训基地……

当年带云南红塔青少年队去巴西训练的教练孙贤禄认为，只有不断和高水平队伍比赛，才能真正提高技战术水平；要学习巴西足球的创造力，因为创造力是足球比赛的精髓之一，而中国青少年最缺乏的就是球场上的创造力。

中巴体育交流不止于足球。

今年6月，巴西国家青少年乒乓球队到广西大学交流访问，并在华驻训一个月，这是金砖国家体育交流合作成果的体现。

今年9月，中国武术队到访巴西首都巴西利亚，参加第四届中拉武术交流论坛暨中拉武术散打对抗赛。

中国武术协会副主席周建平表示：“以中巴建交50周年为新起点，双方将持续深化在武术各领域的交流合作，赋予中巴武术新的时代内涵，携手为推动构建中巴命运共同体作出中巴武术人的贡献。”

巴西武术总会主席马库斯表示，正值巴中建交50周年，中国武术队此次访问进一步深化了巴中武术交流与合作，对于武术运动在巴西的发展具有重要意义。

增进互信 深化友谊

国之交在于民相亲，人民的深厚友谊是国家关系发展的力量源泉。民相亲在于心相通，民心相通才可为国家关系夯实民意基础。

榕江县委书记徐勃说，榕江足球队伍走出去，一方面是通过持续扩大对外开放的形式，不断推动榕江的全面深化改革，进而促进榕江社会经济高质量发展；

另一方面是以文化足球平台，促进民间交往交流。“村超”就像一扇门，让世界人民更好地看到榕江、感受到中国乡村的活力，深化彼此之间的了解，促进彼此之间的交往交流，助力构建人类命运共同体。

外交学院体育对外交流研究中心主任周庆杰认为，体育作为中国与巴西乃至拉美国家务实合作的重要内容，在增进国家间政治互信和深化传统友谊等方面发挥着独特作用。“体育赛事活动的一个最大特点就是接地气，能牵动民心，易于拉近距离并引发共鸣。”

广西足协执委贾蕾仕说，贵州“村超”是火出国门的中国基层足球的代表，巴西则是世界公认的“足球殿堂”。因为对足球共同的热爱，两国小球员们激情互动、擦出火花，不仅深化了友谊，而且展现了榕江作为中国式现代化发展的乡村代表的蓬勃气象，彰显了中国开放、自信、从容的国家形象。（本文原载于新华网2024年11月22日）



“双向奔赴” 相互成就

此次巴西之行并不是榕江足球第一次出访。2023年12月，“逐梦”榕江青少年足球队赴西班牙访问皇家马德里足球俱乐部，开启榕江足球历史上首次对外交流活动。今年7月，贵州“村超”联队远赴法国，以球会友……