



### 孙鹏的酸甜苦辣

技术全面、为人谦虚、处事低调，是大伙对孙鹏的一致印象。他自己说，我就是个没故事的人，只是务实工作。

青州航道桥中跨合龙那天，孙鹏哭了，情不自禁。不眠不休地在现场苦守两天，四年来积压在他心里的酸甜苦辣终于释放了。

酸是他对妻子的愧疚。2012年7月，他为了工程人那份追求来到港珠澳大桥，与新婚半年的妻子开始牛郎织女的生活。四年里，他回家的次数屈指可数，工作同样很忙的妻子来工地看他的次数也是少得可怜。妻子怨他、气他，而他也只能将这些深埋在心里，盼望着什么时候有空了，带着妻子来一次说走就走的旅行。

甜是青州航道桥建设中，一个个方案成功实现的喜悦，是参加港珠澳大桥这座超级工程建设的累累收获。他说，在这里积累了的经验，深刻了对项目管理的认识，有了“项目管理不是谁都能随便便能干好”的自豪感；也更清楚地明白，不管在什么行业，要想出类拔萃，都必须学习、创新。

苦是四年里面面对众多新技术、新工艺、新材料、新设备的应用时不停探索的艰辛。从平台搭建、桩基施工，到承台浇筑、塔柱施工，再到中国结吊装、钢箱梁吊装，没有哪一个环节的方案没有优化，没有哪一次不是他亲力亲为。最让他煎熬的是中国结的吊装方案，因为没有经验可以借鉴，从大量查阅资料，到初步方案确定就历时一年。为了将结构形与预埋件连接方式由四个栓接改为两个栓接、两个焊接的设计变更，他在马航飞机失事的第二天飞往北京，正在纳闷偌大的北京机场怎的就门可罗雀了，的士司机一句“你的胆子够大的呀，今天还敢坐飞机”让他哭笑不得。

### 周树民：铁汉亦柔情

“生命中没有恒久不变的风暴，只要你的心永远朝着太阳，那每个清晨都会有新的美景，等你来欣赏，带给你希望”。

青州航道桥合龙了，在海上平台上生活了四年的周树民重返陆地，每天早晚都要出去散步，说是找脚踏实地的感觉。瞧，他今天又更新了朋友圈，给一张雨后林荫道的照片配了文。他的微信好友都知道，他喜欢在朋友圈里晒生活中的点点滴滴，那小文配得，不知道的人还以为他是诗人呢。

周树民是2012年10月份到港珠澳项目，第二天便带着十几个工人出海了。吃住在一艘小船上三个月，施工平台在他们的手里象变魔术一般渐渐扩大。“漂泊的日子终于结束咯”，从小船搬到平台后，他想着至少每天可以安眠了吧。但实际上，海上多风，五六级是常态，平台也并不消停，尤其狂风暴雨时，简直是惊天动地。他说：平台上的生活真是对人意志的考验，但再苦我都要咬牙坚持，因为大家都看着我。慢慢地，他越来越会调整自己，见缝插针地休息让他随时保持良好的状态。有空就会找年轻小伙子们聊天，只要条件允许就让小伙子们上岸修整或者回家探亲。而他自己四年中回家过了一个春节，一年暑假老婆带孩子到工地看他，他破天荒地每天跟着交通船来回跑，却没有请一天假带媳妇出去转转。2015年，家中年迈的老人因心脏病八次住院，他也仅回了三次，每次呆上两三天就又往回赶。

周树民是宁波象山港大桥指挥部领导们眼里的“铁人”，当时曾经30几个小时坚守现场，被传为佳话。在青州航道桥施工现场，他就是大家伙的定心丸，每个关键性节点都会一丝不苟地紧盯在现场，时刻提醒重要环节的控制，大家都说“周经理个头高，能镇得住”。

### 学霸谭冬华

“一桥连通港珠澳，二局巧织中国结，三地相连情谊浓，四载艰辛终圆梦。”青州航道桥中跨合龙了，谭冬华赋诗一首，虽并不合仄押韵，却也略显学霸风采。

2012年10月4日，海上试桩打设作业开始，为了保证施工质量，测量队必须在从平台搭设到承台施工前这段时间内完全掌握观测平台的沉降数据。没有经验借鉴，怎

## 平凡中的匠心

——记港珠澳大桥项目建者

港珠澳大桥这座世界瞩目的超级工程吸引了多少人的眼光、牵动着多少人的心，应该是个无法统计的天文数字。但就在伶仃洋这片海域里，有多少建设者用智慧和汗水铸造着辉煌、书写着传奇，却是看得见摸得着、有温度的。瞧，迎面走来了青州航道桥项目的一群汉子，他们在平凡中诠释着严谨、专注、专业、坚持的工匠之心。

么测？谭冬华先用常用的商业软件进行核算，每次都有很大的出入，心里越来越没底。多方咨询，最后通过网络找到了一款麻省理工大学开发的免费软件“gamit”。与需斥资上百万元购买的界面清晰的软件相比，这款软件极难上手，但谭冬华就认准了他，靠着英汉词典和网络两位老师，苦学半年，终于在承台施工前完全掌握了软件应用，顺利收集沉降数据13组，为施工数据的准确性提供了保障。

最让谭冬华自豪地要数中国结吊装测量，他说：虽然过程艰辛，但边学习边实践，而且取得了成功，很值得。他带领团队本着充分发挥设备智能化，最大限度弱化为影响因素的原则，比对了传统常用的测量方法，最终确定“多测回测角法”方案。开始前，为了验证其相对精度，先后到现场进行了近20次模拟，并对数据进行分析，直到最后完全心中有数。吊装过程中，坚持多次反复测量，确保给作业队的测量数据准确无误。中跨合龙段测量配切量，测量员们多次测量证明引测点并没有持续变化，都建议两个小时测一次，但他坚持每个小时都测，直搞得测量员说他太苛刻，他却说“现在你们是学生阶段，学习也是为了以后更好的偷懒”。

“四年港珠澳大桥建设经历，更认识到测量工作必须较真，必须加强新知识的学习，并且凡事都要拿数据说话，切不可凭经验去主观判断”，谭冬华说。

### 强迫症王小东

从承台施工开始，各类预埋件的安装是王小东最操心的事。“预埋件安装如果不精确，不仅影响质量、安全，还会造成各工序环节之间互相干扰，影响进度”，为了避免安装差错，王小东对他负责的56#主墩前后共800个预埋件，无一例外地都要先在电脑上做好设计和模拟，之后向现场技术和作业人员详细交底，而且都会在安装前给予提醒；为了充分发挥预埋件的作用，他会结合现场实际，对设计图要求的临时性的预埋件进行取消或增加或改造调整。经他建议将塔柱传统预埋件改为锥形螺母后，拆装更方便还可重复利用，尤其在搭设施工临时通道时更

省时省力、安全。

他说自己是个线条控，无论走到哪，只要有线条都忍不住看了又看。塔柱施工时，他对钢筋绑扎间距和垂直度的控制一直受到工人们“诟病”，尽管量测下来都已在规范要求以内，他却要求做到“零”偏差，总跟工人们唠叨：这么高的塔，一次偏一点，到最后可能就超出规范要求了，那港珠澳大桥120年的寿命不就没保障了嘛！

2016年4月11日是大桥合龙的日子，王小东带着工人们把现场布置一新。“增长又犯病了，插彩旗的时候要求各种颜色均匀岔开，两边还要对称，真服了他了”，工人们一边插旗一边嘟囔着。王小东远远地听着、看着，脸上露出微微的笑容，有得意、有自豪、有期待……

### 支学训：平台上的约会

汪洋大海之中的57#主墩平台上，经常有一群被风吹日晒得黝黑的汉子聚在一起，或蹲或站或席地而坐，四周就算是明月清风、帆影点点的如画美景，也不能吸引他们的目光。这就是支学训与工人们“集体约会”，每每施工中遇到瓶颈、困难，他们就会来个头脑风暴，通常都会讨论出看似简单却超实用的金点子。

2014年4月，塔柱浇筑到第4节了，施工虽很顺利，但美中不足的是采用逐个定位法的劲性骨架安装总觉得费时费力。“把时间浪费在这个上面可不行，咱们商量一下，看怎么样能最省时省力”，利用晚餐时间支学训与工人们又坐在一起讨论起来。“大家看能不能先将两端的两根定位，然后拉一条线，中间的依次顺线排列，关键把握好两端定位精确就可以”，讨论到最后，支学训的提议得到了工人们的一致认可。接下来的事便不言而喻了，劲性骨架安装进度加快后，塔柱的“生长”速度也就更快了。

“经过3个工地的磨练，支学训已经成长为一个全面而精细的管理者了，相信他一定能干出一番骄人成绩”，与他同年的毕业生这样评价他。

## 港珠澳大桥项目青州航道桥胜利合龙

4月11日晚上10时，随着长7.6米、重186吨的中跨合龙段箱梁顺利吊装并精调到位，港珠澳大桥项目三座通航孔桥中主跨跨度最大、索塔最高、桩基最长、施工区域离岸最远的控制性工程——青州航道桥胜利合龙，打通了港珠澳大桥西人工岛到深水区通航孔桥的通道，也标志着项目承建的青州航道桥1150米的主体工程圆满完成。

青州航道桥主梁采用流线型扁平钢箱梁，主要施工任务包括112根斜拉索安装和两个长134米、重3500吨的大节段梁，55节标准节段梁的吊装。项目钢箱梁吊装作业于2015年7月3日开始，9个多月的时间里，技术管理人员与现场作业人员紧密配合，努力克服外海气候条件恶劣、2#节段梁不对称吊装技术难题和两个大节段梁整体抬吊安装技术难题，最终圆满完成全部吊装任务。其中2#节段梁不对称吊装是施工过程中遇到的最大困难，安装作业时塔梁临时固结系统需要抵抗约1万吨·米的不平衡力矩，且这种施工方案在国内尚属首次，没有经验可以借鉴。为此，项目积极与业主沟通并展开技术攻关，经过反复论证和优化，采取设计配重块和临时支撑的措施，成功解决了难题。针对中跨合龙段吊装，项目在前期积累的丰富经验的基础上又做了充分的准备，一方面对合龙口进行持续观测，并对观测数据进行分析总结，为合龙口的配切提供数据支持；一方面密切与钢箱梁生产、运输、焊接等单位的配合，确保各个作业时间节点可控。

项目主体工程完工渗透了全体建设者的集体智慧和辛勤汗水。接下来，项目将有序推进主塔塔内电梯、塔外检查车、桥面伸缩缝的安装，以及施工平台、塔吊等设施的拆除，预计年底全部结束。



## 各项目认真学习贯彻安全生产工作会精神

进入4月份以来，各项目认真组织公司2016年安全生产工作会精神的学习活动，安全文化氛围更加浓厚。

嘉鱼长江大桥JY-2标项目就加强安全制度建设、强化安全教育培训，深入开展安全生产标准化建设、推进隐患排查治理、加强安全经费使用监督管理，健全安全责任制、落实“党政同责、一岗双责、齐抓共管”、推行“监管分离”模式等2016年安全生产工作重点展开了深入学习讨论。通过学习，广大员工切实认识到安全生产责任层层划分、落实到人的必要性，同时也更坚定了以更强的责任心、更扎实的作风，再创安全生产新局面，实现项目安全生产目标的信心和决心。

沧浪洲汉江大桥项目针对技术安全、机械设备安全、施工安全等提出了具体要求，并分别向领导班子成员、各作业队负责人签订了安全生产责任书。

福鼎八尺门大桥项目就加强安全管理制度建设、强化安全教育培训工作，深入开展安全生产标准化建设、推进安全隐患排查治理工作、推行“监管分离”模式及健全安全责任制等安全生产工作重点展开了学习讨论，使广大员工深刻认识到安全生产责任细化到个人和安全生产工作全员参与、全员覆盖的必要性，同时也加强了每位员工的安全责任心，有助于项目营造人人重视安全生产的工作氛围，为公司发展创造安全稳定的良好环境。

甬台温高速复线8标、飞云江五桥、飞云江六桥三个项目的员工集中学习贯彻公司2016年安全生产工作会会议精神。项目经理孙建军针对当前普遍存在的部分员工安全教育培训意识差、作业人员动态管理不到位、专项施工方案编写和落实不规范以及协作队伍月度考核流于形式等几个问题作了重点强调；并结合甬台温8标、飞云江五桥、飞云江六桥三个项目的实际情况，就今后的安全工作提出了具体要求，内容包括安全制度建设与安全生产标准化建设、安全生产精细化管理、安全教育培训、安全隐患排查、安全经费的监管与使用、安全专项整治行动等方面。

(左利平、陈行、石山、杨清)

## 克大4标项目完成首片小箱梁预制

4月19日下午6时，克大4标项目首片20m小箱梁预制完成，拉开批量生产序幕。

项目为预制构件标段，施工任务为全线桥梁上部梁板、涵洞及通道盖板、隧道盖板、边沟及排水沟盖板、预制块护坡等小型构件的集中预制；主要工程量包括13m空心板梁187片，20m小箱梁1080片，30mT梁851片，40mT梁283片，涵洞通道盖板7061m<sup>3</sup>。

小型预制构件16102m<sup>3</sup>。

项目共设大通和门源2个预制场，门源预制场正在建设中，已完成首片梁预制的大通预制场从2015年10月开始建设，内设预制区、存梁区、涵洞盖板、小型构件预制区、钢筋场等，共占地36亩。制梁区占地面积6996m<sup>2</sup>，共设置2个钢筋绑扎台座、24个20m小箱梁台座、8个13米空心板台座，配

置2台60T龙门吊及2台5T门吊。预制场建设过程中，项目坚持“以现场保市场”理念，狠抓标准化建设，在模板的选用上采用“5+1”复合不锈钢面板及液压系统外模，内模采用抽拉式配液压胎架拆拆系统，力争打造全线样板工程。

(张慧)

## 三门湾大桥TJ-4标项目获2015年度安全生产优胜单位

近日，宁波三门湾大桥及接线工程立功竞赛委员会下发了《关于表彰2015年度三门湾及接线工程（宁波段）安全生产优胜单位的通报》，公司三门湾大桥TJ-4标项目喜获优胜单位称号。

2015年，项目安全生产工作始终坚持以“安全第一，预防为主，综合治理”的方针，牢固树立安全责任重于泰山的思想意

识，加强自身建设，努力营造“遵章守法，关爱生命”的安全生产氛围，实现全年安全生产事故0宗。

自进场开工以来，项目把安全生产工作列入重要议事日程，时刻绷紧安全生产这根弦，正确处理生产进度、经济效益与安全生产的关系，建立健全安全生产保证体系，不断加强上岗人员安全技术培训、班前安全

活动和安全技术交底，严格特殊工种持证上岗制度、危险源和应急预案管理，狠抓隐患排查治理、安全防护设施管理，深入开展文明施工和安全生产月活动，建立有效的防台防汛应急机制，为施工生产平稳快速推进提供了保障。

(宋培娟)





# 四年坚守，尽显工匠精神

## ——港珠澳大桥项目青州航道桥建设纪实



2016年4月12日下午4时，如巨龙一般横卧伶仃洋的港珠澳大桥青州航道桥上礼花绽放、欢呼雷动，港珠澳大桥管理局水永局长无比激动地宣布：港珠澳大桥桥梁工程三座通航桥中主跨径最大、桩基最长、索塔最高、施工区域离岸最远的控制性工程——青州航道桥于4月11日成功合龙！也许是大海怜惜、是天公偏爱，它们派出的风神孜孜不倦，终于在合龙仪式前半个小时驱散了已连续数日的阴雨。久违的阳光下，两个索塔顶端的中国结熠熠生辉，112根斜拉索如琴弦般跳动，历经四年艰辛在中跨合龙口胜利会师的建设者们如音符般尽情欢笑跳跃，瞬间倾泻出一首美妙的劳动者之歌、创新探索之歌、工匠精神之歌。

港珠澳大桥青州航道桥全长1150米，采用主跨458米的五跨连续双塔双索面钢箱梁斜拉桥，塔高163米。主梁采用扁平流线型钢箱梁；斜拉索采用双索面扇形布置；桥塔采用横向H形框架结构，塔柱为钢筋混凝土构件，上联结采用象征港珠澳三地紧密相连的“中国结”造型钢结构结构；下部结构采用现浇承台及塔身、预制塔身，大直径钢管复合群桩基础。公司承建工程包括两个主塔在内的6个墩基础施工、两主塔施工以及钢箱梁和斜拉索安装等，合同额8.6亿元，具有海外作业条件差、离岸运输距离远、防风防台频繁、地质情况复杂、工程质量要求高、安全环保要求、技术工艺新颖等特点。自2012年8月开工以来，项目践行“大型化、工厂化、标准化、装配化的“四化”理念，面对新的海外施工领域，面对诸多新技术、新工艺、新材料、新设备的应用，不断探索、锐意创新，成功克服了海外环境恶劣、条件艰苦、施工组织难度大等重重困难，攻克大直径超长桩基施工、超大承台施工、索塔“中国结”吊装、大节段钢箱梁整体吊装安装等诸多技术难题，率先完成全部深水区域通航孔桥钢箱梁海

上吊装施工，顺利打通了港珠澳大桥工程从西人岛到桥梁工程之间的通道。回首四年风雨历程，处处闪耀精益求精、精益求精的工匠精神及其严谨、专注、专业、坚持的内涵。

### 严谨：从1/100到1/250

使用寿命120年，平均长度130余米、 $\phi$ 2.5米的深海桩基必须保证10cm以内的平面偏差和1/250以内的倾斜度，但凡对桥梁工程技术略有研究的人，都会为以上几个数字而惊叹：技术和质量要求太高啦！桩基施工伊始，建设者们即遭遇钢管桩沉桩倾斜度不能大于1/250的挑战，远超过1/100的行业标准，在国内桥梁海外施工中尚属首次。

再难也要做到最好！建设者没有在困难面前却步，而是埋下头来潜心钻研，精心施工。打设钢管桩是钻孔灌注桩施工的关键环节之一，尤其青州航道桥的桩基为钢管复合桩，钢管既是钻孔施工顺利进行的导向和保障，也是桩基永久性的一部分，在海况恶劣的伶仃洋上精准打设，其难度不亚于要求射击运动员在有风力干扰的情况下每枪必须射中靶心。

通过广泛咨询和综合比选，项目决定将浮吊配合振动锤插打的方案调整为打桩船配合液压锤的施工方案，利用打桩船上自有倾斜仪的基础上，又与同济大学联合开发，在桩架上加设一套倾斜仪，通过3套GPS系统、2套倾斜仪、红外线激光测距仪和全站仪辅助控制等手段，形成“多重保险”，而且液压锤具有噪声小、无污染、环保节能、插打速度快等优点，既满足了质量控制要求，也满足

了中华白海豚保护区严格的环保要求。正式施工前，尽管方案受到同济大学教授的肯定，项目工程师却没有盲目地乐观，而是坚持以数据说话，以12根非工程桩为试验桩进行了打设，结果显示平面偏差均在5-6cm，倾斜度仅为1/300。

钻孔施工更是不容忽视。共计156根桩基，所在区域地质条件多为沙层与卵石层同时存在，且岩层倾斜度大。为了绝对杜绝因塌孔而影响桩垂直度的情况，在钻进速度上“舍快求慢”，每根桩的钻进时间都控制在半月左右。但为了总体工期，采取了将钻孔平台增大1350平方米，选择大扭矩钻机间隔式布置，增加作业人员歇机不歇，严格控制泥浆指标，加强成孔检测等措施。56#主墩墩长王晓东介绍说：“桩基覆盖层达80米以上，且大部分为沙层和卵石层，给钻孔泥浆护壁增加了困难，经过反复试验总结，最终得出合理的泥浆配合比，保证了钻孔安全；同时通过对各个工序不断优化、缩短调整时间，平均成孔时间从第一轮的18.8天缩短为第四轮的12.3天，两个主墩的76根桩基提前一个月施工完成”。

### 专注：超级制造

2013年8月20、9月29日，索塔56、57#两个主墩承台防撞钢套箱相继吊装成功，在气候环境恶劣的海外条件下，实现了国内海上桥梁施工的新突破。这两个钢套箱平面长度90.39米、宽度43.14米、高度8.5米、厚度3.3米，单个重量1750吨，是目前国内外海上同类型桥梁中最大的双壁锥形防撞钢套箱，堪称“巨无霸”，在业界被形象地称为“海上陆地”。这“巨无霸”钢套箱里，装着目前为止国内海上桥梁中最大的承台，平面呈哑铃形，由2个分离的直径36.5米的圆柱体通过系梁连接而成，横桥向83.75米、纵桥向36.5米、系梁宽15米，单个混凝土方量达15190方。

水下封底是承台施工的第一关。大桥所在伶仃洋海域平均水深约8米，风大浪急，潮水最大流速1.86米/秒，基本风速46.5米/秒。为了确保一次成功，工程师早在半年前就开始对涨退潮时间进行观察和记录，以准确掌握其“脉象”。经测算，一天内仅有2次合适的浇筑时间，偌大的面积须分区逐层浇筑，单个封底整体完成总耗时一个星期。2013年10月8日，57#墩率先进行首层第一区浇筑，历时10个多小时，浇筑水下砼600余方，并一举成功，为后续施工提供了有效的数据参考。

巨大的个头，自然需要钢筋铁骨来支撑。主墩单个承

台钢筋总量达2093吨，一根根连接起来总长320公里；在国内首次采用了普通钢筋与不锈钢钢筋组合，其中不锈钢钢筋用量711吨；而且因这个大家伙身上哑铃形、八角形、矩形等不规则形状并存，钢筋结构布置复杂，间距、层距密集，规格多达近百种。针对普通钢筋，工程师们首先进行计算机模拟，CAD软件放样，精确地计算出每一道钢筋的直线长度，并给每根钢筋分配独一无二的编号；然后配切下料，做好标记，按序转运至现场；安装时按照标记一一对应，按照横平、竖直、斜到位的要求，如扎灯笼，先扎成8个棱、16个斜面的骨架，再由里向外、自上而下逐层加密，最难的要数不锈钢钢筋安装，由专业厂家生产并运输至施工现场后，技术人员逐一确认，并按照使用位置不同进行编号，以便工人们安装时更省时省力；针对安装时不得与普通钢筋直接接触，且不能进行焊接，切割处理的严格要求，现场工程师们设计制作了定位卡，并琢磨出分组工作法，每三个工人一组，依次站位，然后一层层往上绑扎，成功解决了定位难的问题。

2014年2月18日，两个面积5.5个标准足球场大小的主墩承台全部完成。5个月时间里，数百名工人在纵横交错的钢筋丛林中穿梭，手磨破了贴个创可贴，衣服挂破了顺手用扎丝上连上，最终把一堆小山似的钢筋加工成有棱有角、疏密有致的艺术品。随后的砼浇筑，工程师和工人们也是拼了。“那些天我们一刻都没离开过，象呵护婴儿一般，用布盖、用水管循环冷却，随时进行电子应变测温，终于顺利度过了难关。”57#墩墩长支学训介绍说，承台内部设置的冷却管总长12000余米，自开始浇筑就不停地通水，持续了14天；还设置了10层共144个温度测点，随时监控混凝土内部温度。

### 专业：毫厘精度

2016年4月11日22时，在4台桥面吊机的缓缓提升下，长7.6米、重186吨的大桥中跨合龙段钢箱梁顺利进入指定的安装位置，中腹板及边腹板对齐良好，两侧焊缝均在2厘米以内，测量复测量结果显示合龙口两端的高程误差仅2毫米，中线偏差等指标亦均在验收规范要求的范围内。好比一件精心裁剪的华服，前面的千针万线必须精确无误，才能保证最后一针没有瑕疵。合龙段一吊不也是大桥从无到有的过程中诸多精度控制点的终极考核吗？

163米高的索塔是港珠澳大桥的第一高度，其精度要求整体偏位不超过10毫米，垂直度控制在1/3000塔高，且

不大于30毫米。索塔施工位于施工关键线路上，质量、进度、安全控制是关键，其中进度对总工期的控制尤为重要。项目通过认真计算分析，对传统爬模工艺进行了优化。“传统爬模是4.5米/节，我们优化到6米/节，整个塔身由原来的37个节段变成30个节段，节约工期2个月；同时爬模平台及围护变传统的木质为钢构件，爬模增设安全吊带，杜绝了火灾隐患，安全更有保障”，项目经理文德安介绍。“要进度，更要精度，为了掌握准确数据，我们在上塔柱上预埋了6至8个微棱镜，通过对微棱镜24小时连续监测，来测量塔柱整体沉降和偏移，观察受日照影响引起的规律性变化，并对数据进行汇总分析”，2015年1月8日、27日，两座主塔相继成功封顶，测量副经理谭冬华望着串串数据舒心地笑了。

钢箱梁安装开始后，对精度有了更高要求。钢箱梁是塔与索连接的关键构件，48块钢箱梁搭起来高度超过30米，要安装在100多米高的塔柱上，要求轴线的平面位置偏差小于5毫米。项目部精心编制了钢箱梁安装专项施工方案，并运用多种专用设备进行平面定位与高程定位，确保安装精度。

相比钢箱梁5毫米的误差，中国结的安装更加苛刻，高度偏差控制在3毫米以内，倾斜度允许偏差1/4000分之一，这在国内尚无经验可循。项目总工程师孙鹏介绍说：“大桥索塔采用横向H形框架，其中中国结造型的上横梁剪刀撑钢结构是一项重要的设计创新，寓意深刻、外形美观，但从施工的角度，却充满了挑战，最初对混凝土结构的塔柱与钢结构的“中国结”能否精确对接心里实在没底”。中国结是索塔横梁框架受力的上端联系结构，设计总高约50米，总重780吨，在工厂分5个节段制造，再运至现场安装对接，安装高度距离海面159米，无论起吊、安装、就位都是大难题。天道酬勤，办法总比困难多！2015年5月3日、14日，两个巨大的中国结历经4个月相继成功吊装，长安大学与浙江大学进行了联合监控，结果显示吊装精度控制目标吻合、监控计算控制精确。项目经理在现场接受媒体采访时说：“要将混凝土的塔柱与钢结构的“中国结”精确匹配，对每一位施工人员来说也都是第一次，加上近160米的海上吊装高度，起重设备的选择、海上起重作业、预埋件的安装及支撑等因素都不能出丝毫差错”。这个看似完成不了的任务到底是怎么做到的呢？奇迹来自三项设计优化和创新，一是将预埋件吊装由整体改为分节，降低吊装重量及精确调位难度；二是将结构撑与预埋件的连接方式由设计的全部栓接改为两个栓接、两个焊接，降低施工难度；三是联合武桥重工等单位联合开发专用吊机，采用“四点起吊、三点平衡”的原理，既满足吊重、

吊高的要求，又可实现精确调位，并由武桥重工元老级总工程师现场指导。还有就是测量监控，在结构撑外表面预埋数个微棱镜，每次吊装前对已安装构件的平面位置、高程等进行反复监测，并将测量数据提交监控单位进行变形情况分析和建模验算后，指导生产厂家进行精确匹配、配切作业；待构件运至现场后，先对其外观尺寸进行测量，再在吊装过程中对其平面位置实施观测，修正4个塔顶吊机的同步性误差，确保安全和精度匹配要求。

钢箱梁吊装，建设者们面临2#梁段不平衡吊装、边跨大节段梁整体吊装安装等几项新工艺的挑战。“没有经验可借鉴，就严格按照设计工艺要求一步步实施，过程中再不断改进和完善，只能成功不能失败”，一致的信念让大家卯足了劲，勇往直前。“2#梁段不平衡吊装方案在国内尚属首次，也是我们钢箱梁吊装的最大困难，作业时塔梁临时固结系统需要抵抗约1万吨、米的不平衡力矩”，孙鹏介绍说；为了确保吊装安全，多次召开专项讨论会和专家论证会，进行了增加配重、增加临时支撑方式、调整塔梁固结系统向临时拉索力、松开永久支座与钢箱梁连接螺栓等诸多尝试，历经2个月的不断优化，最终采取设计配重块和临时支撑的措施，成功解决了难题。边跨大节段梁整体吊装安装也是一项艰难挑战，长134.5米、宽41.5米、高4.2米、重3507吨，面积相当于13.4个标准篮球场的庞然大物要在时刻面临浪涌、大风等恶劣条件的情况下，起吊40米高度，难度和风险不言而喻。综合考虑吊装参数、资源配置等因素后，项目确定了4000T+2600T浮吊吊装的方案，其中两艘浮吊的操作协调性和同步性是关键。为了杜绝吊装过程中出现梁体倾斜、偏载现象，采用了将两艘浮吊用缆绳固定的方法，确保了横向移动同步；同时在吊具上安装监控设备、在钢箱梁上安装微棱镜，对钢箱梁空中姿态进行监测，及时调整浮吊钩头起升速度，确保梁顶面平整、梁体平稳。



- ①青州航道桥全貌
- ②“巨无霸”钢套箱吊装
- ③超级承台施工
- ④边跨大节段箱梁整体吊装
- ⑤钢箱梁对称吊装
- ⑥中跨合龙
- ⑦中国结成功吊装

