

编者按：

深圳至中山跨江通道工程总长约24公里,连接广东自贸区三大片区,沟通珠三角“深莞惠”与“珠中江”两大功能组团,是公司继港珠澳大桥工程之后参建的又一项世界级集跨海桥梁、海底隧道、海中人工岛和地下互通于一体的超大型跨海集群工程。在深中通道工程建设中,一航建设者们用始终如一的匠心追求,充分展现出了实力与勇气,将一个不可能变为可能。下面就让我们一起走进这项超级工程,去见证超级工程的超级跨越。

深中通道： 超级工程的超级跨越

刘志温 弓长江 纪子晓 王振国

精雕细琢方为器,千锤百炼始成钢。每一项超级工程,不仅是规模和社会意义的“独步”天下,更在于其面临并克服的挑战难度。这其中,有行业技术的积淀与传承,也内含着建设者始终如一的匠心追求。深中通道,就是站在“巨人”港珠澳大桥的肩上,实现了超级工程的超级跨越。

世界最大钢圆筒、世界最大振动锤、世界首创软土地基处理……9月18日,深中通道西人工岛最后一个钢圆筒成功振沉,标志着这一新的超级工程已然驶入建设快车道。随着西人工岛这只精巧“海上风筝”成型的,是建设者面对新挑战给出的新答案。

世界第一筒

直径28米、高38.5米、重逾600吨……作为当今世界最大体量的钢圆筒,深中通道钢圆筒设想甫一提出,便吸引了举世瞩目的眼光。按照规划要求,这些11层楼高的“世界第一筒”,垂直精度必须达到千分之一。

港珠澳大桥钢圆筒组装拼接时,采取了“垒积木”的方式,即先将钢板焊接成3米高的小圆筒,再将小圆筒像垒积木似的一层层搭上去。“如此操作,钢圆筒精度相对容易控制,但耗时相对较长,不适用于深中通道钢圆筒制作。”技术员马兴佳分析说。

“与港珠澳大桥相比,深中通道钢圆筒制作时间更为紧迫。更关键的是,钢圆筒直径的增加精度控制带来了更大挑战。”一公司深中项目常务副经理徐波介绍。38.5米的高度,使钢圆筒制作无法一次成型,千分之一的精度是制作管控的关键。由于钢圆筒振沉后要通过副格实现连接,“一旦钢圆筒垂直度偏差较大,副格便无法插入,进而影响连接成岛。”负责钢圆筒振沉的技术员刘保永从一开始便忧心忡忡。按照港珠澳大桥钢圆筒制作方法,工序、时间和效益上都已无法满足要求。项目部必须尽快研究出一套行之有效的新方案。



合龙后的西人工岛

“我们把钢圆筒分为上下筒体拼接,每个筒体再通过钢板、片体像拼图那样拼起来会不会好一点?不过这需要‘拼图’各个环节的精度控制得十分到位才行。”一次研讨会上,徐波提出了一个广受认可的设想。很快,钢圆筒各环节的精度控制成为攻关重点。

一系列计算和试验后,项目部和上海振华组成的项目团队拿出了全新的施工方案。“首先将板单元吊装在精调后的弧形合架上焊接,保证弧度后增加焊接保型模板,使成型片体不再变形。”操作中,项目团队实现了双面焊缝错边少于0.4毫米的精准焊接。随后在总组胎架上进行精确装配,片体焊接时再铺设软轨道垂直气电焊。一切进展顺利,上下圆筒很快已制作完成,且创造了分片圆筒周向板厚中心弧长精度3毫米的新纪录。

但新的问题出现了,吊装后的上筒底与下筒端却无法无缝对接。“看着300多吨的上筒体吊在那里,自己的心也被吊得高高的。”马兴佳难忘当时的紧张。难道是上下筒体制作有偏差?排查、计算、校核,一系列测量数据显示精度无误。抬头看着上筒体在风中轻晃,马兴佳突然意识到了问题。“原有吊具不够完善,对筒水平方向也有吊力,筒自然无法顺直。”

不到一周时间,项目团队设计制作出了专用吊具。新吊具下端有8个吊耳和上筒体圆周上8个吊架吊耳垂直对应,吊装过程中筒体只承受本身重力,不承受水平方向的力,保证上下筒体实现无缝对接。为进一步提升对接精度,项目团队还在筒端圆周上均布18个测量点对筒整体直径进行测量,同时对筒壁垂直方向6道焊缝进行对称焊接,最终实现了上下筒拼接精度在2毫米内,满足了设计规定的5毫米要求。不仅上下筒体实现了完美对接,成型后的钢圆筒垂直精度达到设计要求千分之一的三倍。

在内的4项技术改进意向,为振动锤组全方位升级指明了方向。由一公司副总工张道良牵头,对振动锤结构的重新优化开始了。

技术团队首先对振动锤的连接结构与供油管路进行了重新设计,通过模拟分析计算受力,确保十二个APE600振动锤正常协同作业。此后技术人员又在振动锤动力柜上新增油温、转速监控传感器并重新设置控制系统,使操作人员在操作台上就能完成指令操作。同时,在锤组两侧增加了配重结构,改良了设备稳定性,并自主创新设计了安装吊索分索器,确保了连接各振动锤的吊索受力均衡。改造完成后,全新的十二锤振动锤组不仅在振沉力量上有了跨越式升级,还可以将实时情况更直观地体现在仪表盘上,使设备更智能。

们对振动锤进行了一次大手术。”

实际上,早在港珠澳大桥收尾阶段,关于振动锤组改造事宜就被提上了日程。2010年,公司首次提出了八锤联动振动锤组的设计构想,经过与设备制造方美国APE公司为期数月的共同研发,构想最终成为现实。可从无到有的创新注定不会一帆风顺。由于缺乏实践经验,加之受制于成本、工期压力,项目部始终未能将这一设备调至最完美状态。“例如在振沉时,设备受力不均,会产生轻微的抖动。在十二锤联动锤组的设计与制造中,我们对之前发现的问题进行了系统梳理。”徐波介绍道。

为此,公司技术团队对振动锤组提出了包含振动锤配重调整、控制系统、供油管路结构、吊索连接构件



交通便利

深中通道预计2024年建成通车。建成后方便深圳与粤西中山江门珠海经济流通需求,减轻虎门交通压力,对湛江茂名阳江出入深圳由经虎门的2个小时缩减为20分钟。

战略意义

深中通道工程总投资约460亿元,是连接珠江东西两岸和粤西地区,连接广东自由贸易试验区之间的交通纽带,对于加快粤东、粤西地区振兴发展以及广东自由贸易试验区发展,推动粤港澳大湾区城市群融合发展,具有重要的战略意义。

天下第一锤

钢圆筒制作难题解决了,如何在半年时间里,让57个平均重量超600吨的“巨无霸”成功打入海底成为现实的,就是由公司研发的十二锤联动振动锤组。

“相较于港珠澳大桥,深中通道钢圆筒更长的直径,意味着更大的体积与重量,振沉作业所需要的动力势必更强。”主办技术员冯宝强将两项工程进行了细致对比。港珠澳大桥原本的八锤联动振动锤组已经无法满足施工需要。设备必须立即升级。

公司会同APE公司紧急进行联合攻关。“出于受力计算情况与设备布置空间等因素限制,我们在八锤联动架基础上又增加4台APE600振动锤,用以增加振沉力量。”项目部副总工邵凯解释,“但这种结构改造绝对不是简单的加法。为了保持设备稳定,我



液压振动锤



DSM船

用中国创造
征服「不可能」

远望珠江口,施工船舶往来繁忙。水面之下,大量的泥沙经年月沉淀堆积,为珠江口海域带来了优质的工业用砂资源,也引发了大量的人为盗采;天然砂层被严重扰乱,施工区域地层硬度参差不齐。而这里,恰好是深中通道钢圆筒振沉的位置。

采用钢圆筒快速成岛技术,对地质条件有着严格要求,这一技术此前只在港珠澳大桥工程中应用过。“但当时施工区域为均匀的淤泥和黏土层,硬度比较适合钢圆筒振沉,而深中通道的地质条件复杂得多。”邵凯介绍,项目部承建的S01合同段地下遍布夹砂层,最厚的地方甚至达到了8米,且夹砂层硬度极为惊人。

“夹砂层,足以使钢圆筒变形乃至破裂。有些钢圆筒底端地层,一边明明是黏土层,另一边也许就是夹砂层了。这样钢圆筒在振沉时筒底受到阻力不同,加之受快速水流冲击,施工精度根本无法保障。”冯宝强分析说。

地质问题一天不解决,钢圆筒振沉就无法施工,项目部如鲠在喉。今年二月份,大年初五,当多数人还沉浸在春节的欢乐氛围中时,技术人员便已齐聚项目攻关,技术团队先后设想了4套解决方案。综合对比后,项目部放弃了采用吸沙船、旋挖钻以及高压水管辅助射水等3项方案,经过一个多月的验证、筛选,最终决定采用DSM技术进行软基处理。

“DSM软基处理技术,是根据公司DCM技术逆向研究的产物。”徐波介绍说,DCM技术是用来进行地基加固,而这种首创的DSM技术却反其道行之,用钻机深入砂层,人工注入泥浆作为砂砾间的“润滑剂”并搅拌,使施工区域地质更加柔软,让钢圆筒更容易穿透硬砂层。“DSM技术为我们的工艺研讨开辟了一种新的思维模式,一种新的研究方向。”

一个标准的钢圆筒地基处理,需要沿钢圆筒四周打设40个直径2.4米的孔。施工初期,缺乏相关作业经验,是项目部无法回避的问题。“船机设备与操作人员的效率最优磨合,经历了一个循序渐进的过程。”冯宝强介绍。四月中旬的一天,曾让他记忆犹新。

“最开始DSM船钻机施工一切正常,突然之间,钻机遇阻停车,船上每一个人都感受到了明显的震颤。”冯宝强说。再次启动后,钻机仍纹丝不动。操作手将钻杆慢慢一寸寸地向上提起,不断尝试,三台处理机都试验过后仍是不见起色。“当时我们最担心的就是钻机出现故障,既怕这么昂贵的设备在我们手中破损,更怕设备损坏延误了工期。”经过两天多的尝试研究,这次遇到的挑战才顺利克服。

通过一段时间的磨合,项目部摸索出了影响施工速度的几个关键要素——电流、钻机速度、下降速度等,找到了设备与人的搭配极限,把最好最科学的状态都调动起来。“有经验后,我们听钻杆与限位架碰撞的声音,观测钻杆是否变形等,都可以判断出钻杆的情况。”生产调度常青说。

“地基处理最重要的是设备的稳定性。我们心里其实都是矛盾的,怕钻机钻不下去影响进度,还怕地质层太硬对设备造成损害。”常青调侃,每次发生意外情况,对每名人员的心理承受能力都是巨大挑战。好在短短数月时间内,项目部迅速完成了磨合,从最开始的一天只能完成七八个孔,逐渐提高到后来的十多个,直至创下每天完成23个的纪录。

如今,DSM船已日臻成熟。通过坐标定位,船舶可以实现24小时不间断作业,技术团队用开放性思维攻克了一项不可能完成的任务。

本版图片由杨合林、王学利、卢志华提供