

# 设计建造技术实现五个“世界首创” 沪苏通长江公铁大桥通车运营

本报记者 陈瑜 矫阳

隔江相望的苏州市张家港市和南通市终于结束了仅靠汽渡往来的历史。

7月1日,由中国中铁等设计、承建的世界首座跨度超千米的公铁两用斜拉桥——主跨1092米的沪苏通长江公铁大桥通车运营,这也标志着世界公铁两用斜拉桥主跨迈入“千米级”时代。中国中铁大桥局副总经理、沪苏通长江大桥项目部经理罗兵介绍,除了跨度大,沪苏通长江公铁大桥还创造了多项“世界之最”:主塔330米,相当于110多层楼高;建设用钢量达48万吨,相当于12个“鸟巢”;混凝土用量达230万立方米,相当于8个国家大剧院……

“沪苏通大桥的设计建造技术实现了五个‘世界首创’,在我国乃至世界铁路桥梁建设史上具有里程碑意义。”中铁集团总工程师兼建设部主任、工程监督局局长王峰表示,作为八纵八横铁路网中沿江高铁的重要组成部分,大桥的建成将有利于推动长三角一体化发展,上海至南通的旅行时间大幅度缩短。

## 万吨钢沉井让千米跨度“跨得稳”

沪苏通长江公铁大桥开建之前,世界上已建成同类型桥梁中,最大跨度仅有630米。

沪苏通长江公铁大桥附近有十余个码头和港口,江面日通行船舶超过3万艘,航运异常繁忙,航道部门要求这里的通航净宽不能少于900米,这就要求大桥的主跨必须超千米。与此同时,大桥桥址河段位于感潮区内,受潮流和径流的叠加影响较大,大桥设计团队经过缜密研究与详细对比,选择了施工难度大但质量高的沉井方案。

要想“跨得稳”,就要“立得住”,主墩沉井是实现1092米跨度的关键所在。

顾名思义,钢沉井就是桥墩的基础,即将一座巨型钢结构沉入江底后,再将几万方米的混凝土浇灌入这个巨型钢结构的井壁。从空中俯瞰,其结构就像一块方形蜂窝煤。

在此之前,我国最大沉井施工出现在江阴长江大桥北锚,但无论平面尺寸还是下沉深度,都远远小于沪苏通长江大桥主塔。

长期以来,钢沉井都是在工地现场焊接生产。沪苏通长江大桥首次将沉井改为工厂化生产。

建设者发明了助浮结构和充气增压系统,通过封闭部分沉井井孔,并往封闭井孔充气,让巨型钢沉井像鱼有了“鱼漂”,不仅可以自浮,还可以调节吃水深度以及浮运过程中的空间姿态,由7艘拖轮“前拱后卫”,从工厂的坞坞护送到11公里外的大桥施工现场。

“比如29号墩沉井,平面面积5100平方米,总高110.5米,是世界上最大的桥梁沉井基础,其中钢沉井部分高56米,浮运总重达1.6万吨,要把这个‘庞然大物’精确地定位在设计的位置上,确实大费周折!”中铁大桥局沪苏通长江大桥项目部总工程师李军堂回忆,为了把钢沉井这个“巨无霸”准确无误地固定在设计点,他们开创性地采用了“大直径锚桩加混凝土重力锚”方案,将8根直径达3.5米的钢桩立在沉井井的上下游处,南北两侧再各抛下4个重约900吨的混凝土边锚,有效将钢沉井与沉井连接,同时引入计算机控制的多向同步快速定位技术,通过智能化装备,大幅提升定位的效率和精度,解决了千吨级水流量作用下沉井精确定位难题。

## 实时监测技术让330米主塔不“跑偏”

索塔是斜拉桥的关键受力结构,斜拉桥跨度越大要求索塔建筑高度越高。

沪苏通长江公铁大桥主塔高度为330米,相当于110层高楼,为世界最高公铁桥主塔。高耸入云的主塔给施工带来了不少难题。

对混凝土而言,强度越大,标高越高,意味着黏度越大,就像很稠的粥,流动性差,难以泵送至高空。在普通的工程环境,混凝土洒水养护、保温、保湿相对容易,混凝土抗裂容易得到保证,但这些都集中在300多米的高空中难以实现。

为解决这些问题,中铁大桥局通过调整配合比,研究出了一种新型混凝土,一举解决了泵送难、不抗裂等难题。

这种新型混凝土在保障质量的同时,还具有高流态降黏等特性,浇筑初期能控制水化反应,避免过度发热,在降温收缩时能自我膨胀,补偿收缩,配合循环冷却水管、全封闭防风措施等,表现出不俗的抗裂效果。

同时,中铁大桥局引进超高混凝土主塔塔偏实时监测技术,在塔梁同步施工时,系统可实现对施工全过程塔塔变形进行实时测量,获得塔塔变形时程曲线。一旦检测到的曲线发生偏移,建设者们可以立刻进行纠偏,确保主塔按照预定“路线”长高而不“跑偏”。

## 单根斜拉索可吊起600多辆小汽车

行走在沪苏通大桥,映入眼帘的斜拉桥拉索犹如一把扇子,以主塔为中线依次向两边散开。

考虑到经济性,大桥为沪苏通铁路、通苏嘉城际铁路、锡通高速公路的共用过江通道,上层设置为双向六车道高速公路,时速100千米;下层设置为双向四线铁路,时速200千米(沪苏通铁路),250千米(通苏嘉甬铁路)。

面对大跨、重载的需求,大桥的主体结构材料——钢梁和拉索必须异常坚实。

李军堂将桥梁的钢梁比作一条巨型“扁担”,两个主塔横梁犹如“挑夫”的肩膀,“挑夫”相隔越远,钢梁承载就越重,“扁担”越容易向下弯曲变形,因此必须有相当强度的拉索才能拉住这根刚柔并济的“扁担”。

项目上马时,国内没有一家钢厂能生产制造这种斜拉索的高强度盘条,全世界仅有日本新日铁和韩国浦项制铁有此技术。消息灵通的日本人很快找上门推销。

“我们还是希望尽量用国产材料,因此组织国内厂家多次研究,并联合相关科研院所,启动了2000兆帕钢丝的研发工作,经过两年多的努力,终于突破了国外企业的技术垄断,生产出了直径7毫米的‘最强’钢丝。”李军堂说。

大桥共安装了432根斜拉索,其中最长的根长576米。由于钢丝强度高,单根斜拉索最大许用索力达1300多吨,足以吊起600多辆小汽车。

主塔钢梁也面临新挑战:必须有足够的刚度,才能满足荷载需求,同时还要具备一定的柔性,这样才能在突来的重压下,通过微变形分散压力,在重物通过后恢复如常。

为实现大桥超千米的跨度,建设者们为其“量身定制”了强度达500兆帕的高强度钢,这意味着每立方米钢梁能承受的最大力为50000吨,相当于25000台轿车的重量,为世界先进的高强度高性能桥梁钢。

沪苏通长江公铁大桥公路面采用华为5G新型微站覆盖,铁路面采用中天新型5G泄漏电缆覆盖,引桥部分采用南通铁塔建设多座超高铁塔站点进行补充覆盖。

王峰介绍,大桥将满足用户高速上网、高清语音通话、VR/AR等5G应用,同时可升级SA网络,实现低时延、大连接等工业互联网应用,通过集成各种高新技术,大桥将变得更加聪明智慧。



## “三合一”的过江通道

7月1日,沪苏通长江公铁大桥正式开通,该桥是集合高速公路、客货混线铁路和高速铁路“三合一”的过江通道。

图为沪苏通长江公铁大桥。新华社记者 李博摄

# 一桥飞架南北 长三角再添新动力 苏南沿江、苏中、苏北地区由此进入上海1—2小时都市圈

本报记者 金凤

7月1日上午,随着江苏省委书记娄勤俭宣布沪苏通长江公铁大桥(以下简称沪苏通大桥)正式开通运行,等候大桥开通的汽车“长龙”启动引擎,整齐有序地通过平坦顺畅的公路桥面。沪苏通铁路同步开通运营,一列货运班列由南向北穿越铁路桥,与从北向南奔驰行进的复兴号列车交会而过。

长期以来,受制于长江天堑阻隔,江苏南通、泰州、扬州等地的小伙伴坐火车去往江南,需要通过南京中转,十分不便,修建一条便捷的跨江铁路是江苏苏中、苏北地区广大人民的百年梦想。

沪苏通铁路的开通,将使沿线城市去往沪浙方向的铁路出行“曲线变直线”,乘客乘高铁可以直达上海、杭州、广州、深圳等地,南通“向南不通”的难题终于解决。此外,苏南张家港、常熟、太仓3个全国“百强县”也将终结“地无寸铁”的历史,苏南沿江、苏中、苏北地区均进入上海1—2小时都市圈。“轨道上的长三角”正联通江海,通达四方。

## 建设者自豪感慨,大桥成了网红打卡地

“今天大桥开通,就像自己的孩子长大成人一样,我们流的汗、受的苦是值得。”身披绶带站在沪苏通大桥开通现场,中交二航局沪苏通大桥二工区项目负责人周明生回望大桥建设的2000多个日夜感慨万千。他记得,大桥天生港专用航道桥拱肋转体的过程中,大家利用二航局开发的联合竖转系统,克服柔性拱肋转体过程变形大、索力敏感、抗风难的问题,最终实现高空完美对接。

沪苏通大桥,是南京长江大桥至长江口345公里江面上,建成的世界首座主跨超千米的公铁两用斜拉桥。“这两天,沪苏通大桥成了网红打卡地,很多市民开车来这里合影留念,我们很自豪。”中铁大桥局沪苏通大桥二分部经理宁朝新参与过大桥主塔塔施工和钢梁架设、桥面沥青铺装,经历了无数难忘的日夜。

宁朝新手指之处,沪苏通大桥开通现场的桥下,密密麻麻的私家车沿着公路排成长龙,大家掏出各种拍摄器材,记录这一历史时刻。

沪苏通大桥是沪苏通铁路的关键节点和控制性工程。“从铁路网看,大桥是长江下游最东端的铁路过江通道。向北经过盐通、连盐铁路,连接渤海湾和京津冀城市群,向南由沪苏通铁路接入上海,由通苏嘉甬衔接宁波,通过东南沿海通道联系珠三角城市群。从高速公路路网看,大桥搭载锡通高速公路,无锡和南通将实现40分钟通达。大桥还将缓解苏通长江大桥、江阴长江大桥运输压力。”沪苏通大桥建设指挥部副总工程师周志刚说。

娄勤俭强调,将补齐短板加快推进高铁和过江通道建设,着力构建现代综合交通运输体系,进一步促进长三角交通基础设施互联互通,推动长三角一体化驶入更高质量发展的快车道。

## 乘火车从南通至上海,将从最快约3.5小时压缩到1小时6分钟

沪苏通大桥织就的便捷交通网,带给沿线人民无限期盼。“以前我经常带孩子从南通去上海,逛上海科技馆、博物馆,不过乘大巴过去也要好几个小时,现在有了沪苏通铁路,只要

一个多小时,太方便了,以后可以经常带孩子去感受上海的文化味了。”南通市民张女士在6月30日沪苏通铁路对外售票后,便跟闺蜜“秒杀”了从南通西开往上海站的首发动车车票。

铁路部门对列车开行方案作了精心安排,按照日常线、周末线、高峰线安排列车开行,每日开行旅客列车最高44.5对,开行货物列车6对。

“我们尽力方便沿线广大群众出行,将使江苏多个城市因此受益。”中国铁路上海局集团有限公司新闻发言人陈万钧介绍,沪苏通铁路开通后,南通至上海之间铁路出行最短时间将从现在的3.5小时左右压缩到1小时6分钟左右,标志着南通正式加入上海1小时经济圈。

相较于其他铁路,沪苏通铁路可谓“创新之路、绿色之路”。陈万钧介绍,沪苏通铁路85米高的单元组合式通信铁塔,由我国完全自主创新,不仅创造了全国铁路通信铁塔的新高度,也是中国制造向中国创造迈进的又一成果。铁路建设中,大家尽量少扰动环境,能避开的树木坚决不搬迁,河流水系穿铁路时建造涵洞,确保原有水系畅通无阻。

(科技日报南京7月1日电)

# 屡创世界纪录 「中国桥」的步子越迈越大

本报记者 陈瑜 矫阳

随着沪苏通长江公铁大桥的通车运营,世界公铁两用斜拉桥主跨迈入“千米级”时代。

穿越62年的风雨回望,从武汉长江大桥开始,一座座“中国桥”翻山越岭,穿江过海。

1957年10月15日,武汉长江大桥正式建成通车,成为新中国第一个五年计划的重要成就。一桥飞架南北,天堑变通途,武汉三镇连成一体,中国南北交通大动脉打通。

“我国铁路沿线地质气候环境复杂多变,水系发达,沟壑密布,桥梁建设难度大。”国铁集团相关负责人说,近年来,针对不同区域和环境,铁路部门创新设计建造理念,建设了多座具有代表性的铁路桥梁,创造了多个“世界之最”。

作为世界设计荷载最大、列车设计速度最高、主缆直径最大、基础沉井平面尺寸最大的铁路桥梁,连云港至镇江铁路的五峰山长江大桥也是我国第一座公铁两用悬索桥,世界第一座高速铁路悬索桥。该桥已于2019年12月合龙,预计年底前具备通车条件。

丽江至香格里拉铁路的金沙江大桥是我国首座高山峡谷区铁路悬索桥,通过抗风性能研究及风洞模型试验,抗震性能理论分析及全桥模型振动台试验研究,采用了陡峻山区防护、大截面嵌固式基础施工、高山峡谷区主塔施工、主缆架设、钢梁吊装等技术,形成了高山峡谷区大跨铁路悬索桥建造成套技术,已于2020年6月完成首片钢桁梁的架设。

福州至平潭铁路的平潭海峡公铁两用大桥跨越世界著名的三大风暴海域之一,海峡水文气象条件极端恶劣,地质条件复杂。通过科研及实践,我国形成跨海铁路桥梁成套建造技术,计划年内开通运营。

大理至瑞丽铁路怒江桥主拱跨径490米,是世界第一大跨度的铁路钢桁拱桥,已于2019年12月合龙。

拉萨至林芝铁路藏木雅鲁藏布江大桥主拱跨径430米,是世界海拔最高、跨度最大的铁路钢管混凝土拱桥,已于2020年6月实现合龙。

1957年建成通车的武汉长江大桥主跨只有128米,如今,越来越多的桥选择了“一跨过江”。

中铁大桥院副总工程师肖海珠介绍,目前长江上已建在建的大桥超过140座,千米级一跨过江的桥梁以长江中上游居多。“随着通航需求越来越高,加上受水文条件、防洪治水工程以及岸线码头利用等多种复杂因素影响,一跨过江的桥越来越多。”

宜昌伍家岗长江大桥为主跨1160米的一跨过江悬索桥。大桥所在区域为长江中华鲟自然保护区缓冲区,也是江豚、胭脂鱼活动密集区。大桥不在水中建桥墩,使中华鲟洄游不受影响,也保证了长江航道不断航。

武汉杨泗港长江大桥1700米一跨过江是“逼出来的”。该桥总设计师、全国工

程勘察设计师、中铁大桥院副总工程师徐恭义解释,杨泗港长江大桥与鹦鹉洲长江大桥之间的江面下,有一处长逾3公里的潜坝,是治水工程。杨泗港长江大桥桥位紧邻潜坝的一端,如果在江中设桥墩,会改变水流方向和水沙比,影响治水工程。

大跨过江带来了结构形式、工艺工法、材料等级等多项创新。徐恭义总结,目前我国已建在建的桥梁中,从桥型上看,不论是悬索桥、斜拉桥、拱桥,跨度都在增大,从功能上看,公铁两用桥、公路桥的跨度也在不断被刷新和超越。跨度的飞跃,倚赖桥梁设计技术、材料、施工技术、制造技术的进步。“步子能否跨得更大,是一个国家工程科学技术水平的综合体现。”

“铁路部门坚持科技创新引领,研发了一大批桥梁建设的新材料、新结构、新设备、新工艺,创新应用装配式、智能化技术,提高了工程质量和施工效率,提升了运维水平,最大限度降低了对自然环境的影响,较好地保护了生态环境,实现人与自然和谐发展。”国铁集团上述负责人总结。

## 保障“菜篮子” 设施种植机械化这么干

本报记者 马爱平

设施种植是保障“菜篮子”产品供应、促进农民增收和繁荣农村经济的有效途径。设施装备和机械化生产是设施种植高质量发展的重要支撑。

《农业农村部关于加快推进设施种植机械化发展的意见》(以下简称《意见》)近日印发。《意见》明确,到2025年,以塑料大棚、日光温室和连栋温室为主的种植设施总面积稳定在200万公顷以上;适宜机械化生产的新品种和新技术新模式加快推广,设施蔬菜、花卉、果树、中药材的主要品种生产全程机械化技术装备体系和社会化服务体系基本建立,设施种植机械化水平总体达到50%以上,土地产出率、劳动生产率和化肥、农药及水资源利用率迈上新台阶。

“目前,我国农业设施化水平仍落后于世界平均水平,种植机械化普及率还比较低。《意见》的出台将加速设施农业和设施装备的发展,为智能农机装备提供更大的发展空间。”在北京三涧泰克国际农业科技有限公司董事长吕科看来,我国发展智慧农业,智能农机装备必不可少,“农业生产机械化、智能化、标准化、设施化,在对农业从业者提出更高专业要求的同时,也让农业从业者的职业变得更有价值,从而激发更多农业人才投身农业的热情”。

## 综合机械化水平仅为33%

自上世纪八十年代初,我国开始推广应用日光温室,30多年来,取得了令人瞩目的成就。

“据行业统计,到2018年末,我国各类设施农业面积达5000多万亩,大棚、日光温室、连栋温室等使用年限10年以上的设施农业总面积达到2800多万亩,居世界第一。设施蔬菜产量占我国蔬菜总产量的30%,全国人均设施蔬菜占有量达200公斤,实现了常年均衡供给;设施农业年产值9800亿元,提供了4000万个就业岗位。”农

业农村部规划设计研究院院长张辉介绍。

与此同时,农业农村部农机鉴定总站、农机推广总站副站长涂志强说,我国设施农业机械化发展还相对滞后,综合机械化水平仅为33%,机械化、自动化、智能化程度还较低,特别是播种、收获装备供给不足,还不能满足设施农业产业发展的需求,亟待加快发展。

## 亟须加强农机农艺融合

随着人们对优质特色农产品需求日益增长,我国设施农业发展迎来新机遇,正在经历着深刻的变革。

“设施农业呈现出信息化推动显著增强、融合化发展明显加速、绿色化发展迫在眉睫、国际化影响日益增强四个明显特征。”张辉总结。

吕科认为,在我国建立设施种植机械化相关技术装备体系和社会化服务体系还面临两个重点问题,一是农业产业化发展需要通过栽培模式和种植方式的改进优化,以适应和扩大各种农机装备的应用空间;二是农机装备研发制造者要考虑农业产业化的具体特点,在小型农装和智能农装方面要有重点突破。

“发展设施农业机械化,亟须加强农机农艺融合,加强机械化信息化融合,加强产学研用融合,加强农机鉴定和推广能力建设,走出一条中国特色农业机械化发展道路。”涂志强表示。

农业农村部农业机械化推广司相关负责人介绍,《意见》强调,将坚持市场导向、问题导向和目标导向,瞄准设施种植绿色高效发展的机械化需求,补短板、强弱项、促协调,全面提升设施种植机械化水平,支持设施种植高质量发展,将重点推进设施布局标准化、推进设施建造宜机化、推进生产作业机械化、推进设施装备智能化、推进生产服务社会化。为此,将加强组织领导、完善扶持政策、推进科技创新、强化示范引导、加强公共服务予以保障。