

深中通道沉管隧道特色供应链建设研究与应用

王会雄

(中交第一航务工程局有限公司, 天津 300461)

摘要: 以深中通道沉管隧道供应链建设为例, 介绍了供应链的原理和运行机制, 分析了项目供应链的特点和难点, 针对项目供应链建设过程中存在的新装备、新技术、新材料等问题, 整合资源, 形成合力, 提出解决措施并逐一落实, 构建了“创新、协同、安全、绿色、智慧”五位一体供应链体系, 重点解决了项目建设过程中关键性难题, 形成了集科研设计、装备制造、监测检测、新材料研发全链条的特色供应链。

关键词: 深中通道; 沉管隧道; 供应链; 五位一体

中图分类号: U655.2

文献标志码: A

文章编号: 2095-7874(2024)07-0123-04

doi: 10.7640/zggwjs202407023

Research and application of characteristic supply chain construction of immersed tunnel in Shenzhen-Zhongshan Link

WANG Hui-xiong

(CCCC First Harbor Engineering Co., Ltd., Tianjin 300461, China)

Abstract: Taking the construction of the supply chain for the immersed tunnel of the Shenzhen-Zhongshan Link as an example, the principle and operating mechanism of the supply chain were introduced, and the characteristics and difficulties of the project supply chain were analyzed. In response to the problems of new equipment, new technologies, new materials in the construction process of the project supply chain, resources were integrated to form a joint force. Solutions were proposed and implemented one by one, and the five-part integrated supply chain system of "innovation, collaboration, security, green, and smart" was built, focusing on solving problems during the project construction process, and forming a characteristic supply chain that integrates scientific research and design, equipment manufacturing, monitoring and testing, and new material research and development.

Key words: Shenzhen-Zhongshan Link; immersed tunnel; supply chain; five-part integrate

0 引言

深中通道项目是世界级的“桥、岛、隧、水下互通”集群工程, 具有连接广东自贸区三大片区、沟通珠三角“深莞惠”与“珠中江”2大功能组团的重要作用。深中通道具有规模宏大, 建设标准高, 建设条件复杂, 设计施工难度大, 安全风险高, 环保要求严, 结构形式新, 技术挑战大等特点^[1]。如何有效整合社会资源, 建立深中通道供应链体系, 成为摆在管理者面前的难题。根据深中通道沉管隧道的特点和难点, 利用供应链原理和机制, 提出解决措施并逐一落实, 本文重点介绍项目构

建“创新、协同、安全、绿色、智慧”五位一体供应链体系的做法和成效。

1 供应链原理及运行机制

在经济全球化发展的今天, 仅靠原有的管理模式和有限资源, 已经不能满足快速变化的市场对企业的要求。因此建立合作、共享的供应链体系是企业快速发展的有效途径, 供应链的原理是以满足需求端为目的, 建立虚拟的企业同盟, 企业同盟内部各参与方在市场经济体制下, 形成相互依存合作关系, 以更好满足消费者的需求^[2-3]。建立运行有效的供应链体系, 即建立有效的合作

机制、决策机制、激励机制、自律机制、风险机制、信任机制,以求更快更好地为建设目标服务,实现项目管理目标^[4-5]。

2 项目供应链特点和难点

深中通道沉管隧道技术难度大,新技术、新工艺、新材料、新装备应用多,深入认识项目的特点和难点是供应链建设的基础。

1) 复杂地层条件下的超大直径钢圆筒快速成岛技术。深中通道西人工岛岛体采用菱形设计,面积约13.7万m²,由振动锤组将57个直径28m、筒高35~40m、重量近700t的钢圆筒振沉海底围筑而成。西人工岛处于大型采砂坑内,地质条件复杂,硬夹砂层最大厚度可达9m,最大标贯击数可达40击^[6]。大直径钢圆筒振沉对振动锤要求较高,不仅要满足激振力要求,还要实现多锤联动,同频振动。经调研,市场上无满足激振力的成品设备,新工艺对装备研发购置提出较大挑战。

2) 现浇岛上隧道海工大体积混凝土开裂和耐久性保障技术。岛上隧道结构尺寸大,最大厚度1.6m,单箱双室一管廊渐变结构(隧道宽度为46~74.45m)^[6],混凝土开裂技术难度大,耐久性要求高。混凝土温控设备是通过自动化监测设备实时监测混凝土内外温度,自动调节冷却水管水流,以实现混凝土内外温度的自动调节。经调研,市场上没有满足要求的成品设备,新工艺对软件研发及硬件采购提出较大挑战。

3) 水环境复杂地质条件下的软基处理技术。大型采砂坑区域地层扰动严重,表层流塑状回淤物,基底砂土液化风险高;隧道区地质条件复杂,淤泥厚度不均(3~18m),需处理深度大^[6]。隧道软基处理包括水下挖泥、软基硬化、抛石固结等工艺,新工艺依赖专用的船舶设备解决。新工艺对装备研发和采购提出较大挑战。

4) 大回淤环境下的先铺法碎石基床快速整平技术。隧道碎石垫层宽50m,由54条碎石垄组成;汛期和浅滩区基槽回淤强度高;东侧深圳机场航空限高;40m水下厘米级整平精度^[2]。大回淤环境下,管节碎石整平需要在短时间内完成,以减少基床回淤风险。同时,设备还受到航空限高、整平精度等制约,新工艺对装备的研发和建造提出了较大挑战。

5) 超大型钢壳混凝土管节长距离复杂航路的

安全浮运安装。8万t沉管浮运距离长达50km;占用多条社会航道,通航环境复杂;穿越伶仃洋中滩区,航行严重受限;基槽内横流拖航3km,安全风险巨大^[6]。沉管浮运安装需解决长距离运输、定位、安装问题,减少航道占用时间,新工艺对装备研发和建造提出了较大挑战。

6) 深水深槽沉管管节止水材料。沉管隧道接头是沉管隧道的生命线,隧道接头采用的GINA止水带和OMEGA止水带需在深水高压环境下保持100a寿命^[6],沉管接头止水带一般为进口产品,来源单一。沉管隧道管节止水材料来源单一,质量要求高,成本不可控,对材料采购提出了较大挑战。

7) 钢壳沉管隧道防火板等防火材料。沉管管节为钢壳混凝土结构,防火要求为2h钢壳表面温度不大于300℃,高于常规混凝土结构隧道不大于380℃的防火要求^[1]。沉管隧道防火材料市场品类多,质量参差不齐,对材料采购提出了较大挑战。

3 项目供应链管理措施及成效

根据深中通道项目供应链管理的特点和难点,聚焦中国交建供应链管理“延链、建链、强链、补链”的要求,深入策划研究,制定适应性的采购与供应链管理策略,从研发设计、装备制造、现场管理、国产化改造、绿色施工等各个层面分类施策,全力进行沉管隧道“创新、协同、安全、绿色、智慧”特色供应链建设。

3.1 “创新”供应链建设

1) 为保证钢圆筒均匀振沉,与供应商、行业高校专家共同研发出十二锤联动锤组,锤组最大激振力可达6000t,创造了62个有效工作日完成57个钢圆筒的振沉,单日最快打设4个钢圆筒的施工纪录。十二锤联动锤组为全球首创、世界最大,目前一航局共有此类振动锤24个,可同时实施2个同等规模项目。迄今为止,一航局累计打设钢圆筒187个,直径22~30m,钢圆筒工艺极大缩短了成岛工期。

2) 为保证基槽开挖精度,研发水下挖泥自动控制系统,采用具有定深平挖功能的抓斗式挖泥船进行精挖,提高了工作效率。为了解决施工过程中遇到的岩面起伏较大、夹砂层较厚的难题,一航局从国外引进2艘专用DCM船舶,在世界上是首次大范围使用DCM搅拌桩沉管基础,为沉管

隧道基础处理提供了新工艺和新方法。

3) 为了高精度完成基床抛石,一航局研发了具备定点定量抛填能力的块石抛填振密船,采用行走小车加溜管的下料方式,用液压振动锤系统进行块石基床夯实,最终基床抛石精度控制在 ± 25 cm,效率达到传统施工工艺的20倍。

4) 为规避大回淤环境导致的基础质量风险,提高整平效率,一航局自主研发量身打造出有“3D打印机”之称的整平船“一航津平2”,软硬件全部国产化,具备自主知识产权,可在50 m水深的范围内整平斜坡面,精度可控制在 ± 4 cm以内,单个船位碎石铺设整平范围达2 500 m²,最快4 d即可完成单个管节基床的铺设。快速整平有效扩大了先铺法沉管隧道的适用范围,整平精度和效率可以满足类似规模的沉管隧道项目基床施工^[7]。

5) 对于不同地质情况,一航局研发出半漂浮、全漂浮、全抬升工法,使整平船可以适用不同地质情况。目前一航局的沉管基床施工适用于各种条件复杂的环境和工况,可覆盖各类大尺寸、综合技术难度高的沉管隧道工程项目。

6) 为了解决沉管超长距离浮运、穿越多个社会航道、通航环境复杂、狭窄受限航道内浮运、超长距离基槽内横流拖航等难题,一航局在世界范围内首次提出了沉管浮运安装一体化理念,自主研发了世界上安装能力最大、沉放精度最高、施工作业最高效、性能最先进、自动化程度最高的沉管浮运安装一体船“一航津安1”。“一航津安1”安装效率较以往项目提高了4倍,实现了1个月安装2节沉管的工效,达到毫米级安装精度,达到了国际领先水平^[7]。

3.2 “协同”供应链建设

1) 整合资源,完善供应链结构。针对沉管隧道的特点和需求,一航局广泛整合沉管隧道产业上下游资源,打造集科技研发、工程设计、装备制造、隧道监控、新材料供应的沉管隧道供应链系统。经过多年的积累沉淀,初步建立了沉管隧道研发、设计、制造、新材料、监测监控为主的全产业供应链。

2) 应用集采成果,确保上下联动^[8]。项目部积极落实应用集团集采成果,于2022年3月与中交油品战略对接燃油采购事宜,签订柴油采购合同,2022年9月,受国际形势等影响,柴油资源紧张,价格疯涨,供需矛盾加剧,中交油品仍按

合同保质保量履约,截至2023年5月,累计采购柴油6 905 t。全面应用供应链采购平台,2022年除业主甲控材料外,运用供应链自采金额为4 154.93万元,相比施工预算价格,全年降本增效金额达184.11万元,降本增效率4.43%。

3.3 “安全”供应链建设

1) 沉管整平控制系统国产化改造。深中通道项目施工前,整平船测控系统供应商为日本某公司,设备采购成本较高,维保不方便。设备一经损坏,配件进口时间长,严重影响现场施工。本项目实施期间,根据已掌握的技术进行了国产化改造,供应商替换为上海某公司,打破了国外技术垄断,实现了国产自主化。

2) 沉管拉合系统国产化改造。深中通道项目施工前,沉管拉合设备供应商为瑞士某公司,设备采购成本较高。设备一经损坏,配件进口时间长,严重影响现场施工。本项目实施期间,根据已掌握的技术,进行了国产化改造,供应商替换为国内某公司,节省采购成本,减少了进口环节,设备维保反应时间也大幅缩短。

3) 进口橡胶止水带国内生产线改造。沉管隧道GINA止水带、OMG止水带,最终接头M止水带、充气止水带等均为荷兰某公司优势产品,成功应用于世界上百条沉管隧道,产品造价高,进口周期长。针对以上情况,项目部与国内某公司联合开展研究,改造生产线,实现了部分产品国内制造,降低了成本,缩短了供应周期。生产线改造后,M止水带成本大幅降低。

4) 全面应用北斗测控系统。作为北斗测控系统试点单位,在沉管浮运安装一体船上应用GPS和BDS(北斗)双系统,实现关键工序北斗应用。通过已安管节综合对比分析,沉管安装测量塔法采用单BDS定位技术不仅可以满足沉管安装轴线偏差50 mm要求,还可以有效保障沉管安装定位精度。

5) 全面应用国产办公软件。办公软件进行国产化替换,全部替换为WPS办公软件和国内CAD绘图软件,减少被国外制约的风险,更有利于专业技术的保密。

6) 全面应用业财一体化管理平台。不仅实现了经营信息收集、合同评审、成本核算、款项支付等多项功能一体,还实现了业务部门与财务部门的穿透管理,并全面上线,有效解决了数据重

复录入问题,减少了工作量,同时结合数据分析,辅助管理决策。

3.4 “绿色”供应链建设

1) 沉管浮运安装采用一体船方式,减少了拖轮投入,同时施工时间大幅减少,从而降低了总体燃油消耗。依据 GB/T 2589—2020《综合能耗计算通则》,22 节沉管节省燃油 3 784 t,折合标准煤 5 510 t,减少 CO₂ 排放量 14 830 t。

2) 通过技术创新,精准控制沉管浮运轨迹,降低了自挖航道的宽度 40 m,从而减少了航道疏浚量 400 万 m³。

3) 项目部按照周转物资管理办法,及时上报闲置周转物资情况,积极共享闲置周转材料信息。截至 2023 年 4 月,共调拨钢护筒、钢板桩等周转材料 2 768.7 t,累计降低项目成本 665.16 万元。

3.5 “智慧”供应链建设

1) 采用智能物料验收系统。运用物联网技术,自动采集现场数据传输到后台,实现现场及后方双向控制;运用视频监控系统,实时记录收料、发料、库存影像,做到全过程可控。

2) 应用料位检测系统。海上混凝土搅拌站收料一直是物资管理难题,传统办法是通过敲罐的方式验证粉料仓位情况,误差大,且容易出现爆仓等现象。为解决这个难题,开发了料位检测系统,测量误差减少为最大容量的±2%,且节省大量人力物力,也减少了爆仓、溢库风险。

3) 应用混凝土生产智能管理系统。实现了混凝土搅拌站生产管理、实验室管理、原材料进场管理、现场库存管理等功能,现场数据直接接入集团混凝土拌合站管理系统,实现现场数据的即时传输。

4) 应用一航局船机数字化管理平台。从船舶和机械设备的登记入场开始,记录日常和安全检查、维修保养、退场和报废等环节。通过对数据的运用、统计分析,为管理者提供船机利用效率、设备状态、地域分布等信息。

5) 应用机械指挥官系统。为解决项目船机设备区域多、分散广等问题,引入项目级机械指挥官管理平台。通过为机械设备安装智能硬件,实现实时监控每台设备的地理位置、工作状态、怠工时间、有效工作时间、加油与耗油量。所有的数据不仅在 PC 端和小程序(移动端)呈现,还可以导出数据表格,方便管理人员进行历史数据的

回溯分析。

4 结语

深中通道在供应链建设方面实现了核心装备国产自主化、装备技术一体化,不断巩固我国在沉管隧道施工领域的人才优势、技术优势和装备优势,形成了集科研设计、装备制造、监测检测、新材料研发全产业链的特色产业链。

近年来沉管隧道技术不断发展,逐步成为跨海跨江的主要结构形式。但是项目的技术难度较大,实施过程中需要技术创新,研发新装备、新材料以解决项目实施过程中存在的问题。由于项目涉及的专业广、技术新,仅凭一家单位难以全面完成,因此建立全链条的供应链体系势在必行。

参考文献:

- [1] 徐国平,黄清飞.深圳至中山跨江通道工程总体设计[J].隧道建设(中英文),2018,38(4):627-639.
XU Guo-ping, HUANG Qing-fei. General design of Shenzhen-Zhongshan River-crossing Link project[J]. Tunnel Construction, 2018, 38(4): 627-639.
- [2] 周林洋.供应链基础理论介绍[J].金山企业管理,2004(1):40-42.
ZHOU Lin-yang. Introduction to basic theory of supply chain[J]. Jinshan Business Management, 2004(1): 40-42.
- [3] 李平.供应链文化形成机制及其建设研究[D].镇江:江苏科技大学,2008.
LI Ping. Research on the formation mechanism and construction of supply chain culture[D]. Zhenjiang: Jiangsu University of Science and Technology, 2008.
- [4] 刘永胜,杜志平,白晓娟.供应链管理[M].北京:北京大学出版社,2019.
LIU Yong-sheng, DU Zhi-ping, BAI Xiao-juan. Supply chain management[M]. Beijing: Peking University Press, 2019.
- [5] 贾平.供应链管理[M].北京:清华大学出版社,2019.
JIA Ping. Supply chain management[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2019.
- [6] 徐国平.深圳至中山跨江通道关键技术与创新[C]//2017年全国桥梁学术会议论文集,2017.
XU Guo-ping. Key technologies and innovations of the Shenzhen-Zhongshan River-crossing Channel[C]//Proceedings of the 2017 national bridge academic conference, 2017.
- [7] 陈伟乐.深中通道钢壳混凝土沉管隧道智能建造体系策划与实践[J].隧道建设,2020(4):465-474.
CHEN Wei-le. Plan and practice of intelligent construction system of steel-concrete-shell composite immersed tunnel of Shenzhen-Zhongshan Link[J]. Tunnel Construction, 2020(4): 465-474.
- [8] 盛阳.基于工作流的采购审批系统的设计与实现[D].北京:北京大学,2008.
SHENG Yang. Design and implementation of a workflow based procurement approval system[D]. Beijing: Peking University, 2008.