

# 技术创新打造地铁施工新旗舰

## —中国铁建大桥局二公司轨道交通施工侧记

□ 王东洋 于东旭 陈树青

### 核心 阅读

中国铁建大桥局集团1999年进入地铁施工领域,2014年以后,集团在强力将主专业转向桥梁品牌的同时,发挥既有优势,继续做专、做精、做优“地铁、长大隧道、水利水电”相关专业品牌。特别是在地铁市场,开拓了北京、上海、广州、深圳、天津、重庆、南京、苏州、成都、昆明、南宁、兰州等30多个城市地铁市场,拥有盾构机43台,租用盾构机6台,承建了140多项地铁工程,投资总额近400亿元,承建地铁车站100余座,区间总里程170多公里,其中盾构区间近120公里。

在长达17年的地铁攻坚中,中国铁建大桥局以技术创新为核心动力,攻克软岩、硬岩、软流塑、沙石、富水砂卵石、过江河海、溶洞、过机场跑道及各类地铁车站施工难题,在长春建成了国内第一座预制装配式地铁车站。获得国家技术发明奖1项、詹天佑奖3项、国家优质工程2项、国家级工法3项、省部级工法26项、国家发明专利3项、实用新型专利21项、省部级科技进步奖15项,持续的技术创新为企业发展提供了强大动力和支撑。

二公司在集团公司的专业定位中,以城市轨道交通和地下工程为主导,发展市政道路、轨道工程维护和爆破工程等相关专业,力争到2020年城市轨道交通专业产值不低于总产值70%,进一步提升地铁品牌。公司根据集团公司的战略定位,确立了以“打造中国铁建地铁第一”为奋斗目标,突出地铁专业发展,以技术创新构建地铁品牌优势,打造地铁施工新旗舰。

二公司在施工中始终坚持科技引领,不断攻坚克难,持续的技术创新和科技攻关培养了一批地铁施工管理人才。目前,公司拥有教授级高工15人、高级职称160人、注册一级建造师113人,共有32人取得增项。拥有专业盾构施工班组77个,盾构施工人员1000余人。设立了专业的劳务管理公司,与四川、甘肃、湖南等地共建劳务基地。

### 攻克小间距大跨度、软流塑施工难题 开创地铁新领域

1999年,中国铁建大桥局的前身中铁十三局中标广州地铁2号线公区区间土建工程。这个区间由于多功能的需要,设有渡线、存车线和联络线,断面形式有单线、双线、喇叭口及三线渡线隧道,并行的单、双线隧道最小间距0.8米。特别是三线21.5米的单跨隧道跨度为21.612米,集中了地铁隧道施工所有难点,被称为地铁工程的展览馆。

项目部采用注浆长大双层管棚超前支护、CD法、CRD法及双侧壁导坑法施工,经过一系列技术攻关,较好地控制了软弱围岩的变形,保持了围岩的稳定,有效控制了地表沉降。该隧道在大跨度、小间距、断面多变、拱部跳挖控制地面前下沉等方面均属国内首次,具有国际先进水平。

南京地铁南北线一期工程TA12标鼓楼站至玄武门区间隧道单线全长1063米,在停车线区段形成单线隧道、双线隧道和三线隧道不同断面大小的隧道,最大断面为182.1平方米,是当时国内粉质黏土地层施工中较大的单跨地铁隧道断面。这个区间最大的难题是300米的软流塑地层施工,属国内首次遇到。

软流塑,用通俗的话讲就是在池塘、河流的淤泥上直接回填后形成的地层,这种地层具有高压缩性、高灵敏度、低强度、易产生蠕动的特质。用形象的话说,就是刀子开挖后淤泥像挤牙膏一样往外冒,地面沉降难以控制。为攻克难关,项目部开展科技攻关,创新施工方案,将软流塑段施工由冻结法改为超前大管棚加密小导管掌子面预注浆加固,创造了管超前、严注浆、短开挖、强支护、早封闭、勤量测的软流塑施工工艺。该项目获得“詹天佑”奖。



合肥地铁大东门车站第一幅地下连续墙混凝土浇筑。



▲上海轨道交通17号线节点拼装施工。



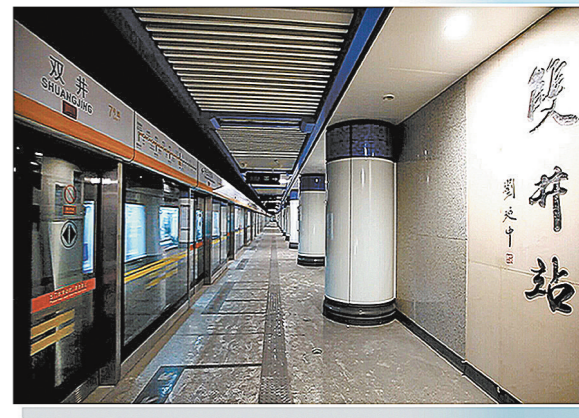
中国铁建大桥局董事长、党委书记吴建顺在兰州地铁1号线项目监控室察看施工现场情况。



兰州地铁西站什字站至七里河站区间双线贯通。



南宁地铁项目监控平台。



北京地铁7号线荣获“北京市结构长城杯金质奖”。



北京地铁4号线荣获詹天佑奖、北京结构长城杯金质奖。

### 攻克“富水砂卵石”地铁施工世界难题

成都市地质主要为砂卵石地层并夹杂有粉细砂层,地下水丰富、水位高、补给迅速。盾构机在该地层中掘进,对刀盘、刀具、渣土输送系统磨损严重,造成掘进困难,同时频繁换刀还容易导致地面坍塌。国内外都没有在该类地质结构中使用盾构法施工的先例。

中国铁建大桥局二公司是首批进入成都地铁市场的施工单位之一,施工初期每天只能掘进4.5米,每掘进100多米就要进行一次换刀,施工成本和施工风险都难以掌控。时任该单位副总经理的徐润泽组织成立盾构掘进施工技术攻关小组,通过改造盾构机刀盘刀具和改良渣土,为盾构机配备更加坚固锋利的“牙齿”和消化功能更加强大的“胃”,换刀距离由最初的100多米到现在的1200米,地面沉降始终处

于可控范围之内。

2016年1月8日,中国铁建大桥局二公司联合西南交通大学等单位完成的“砂卵石地层盾构隧道施工安全控制与高效掘进技术”荣获2015年度国家技术发明二等奖,实现了中国铁建国家技术发明奖零的突破,填补了国内空白。该成果汇集了二公司成都、南宁、南京、苏州、广州等城市的大量地铁区间盾构隧道的施工经验,总结并深入探究土压平衡盾构的地层超控制与土水压力平衡控制技术和刀盘刀具优化配置方法、刀具保护与耐磨技术、地层改良减摩增效技术等。针对砂卵石地层盾构施工容易出现的盾构掘进失控、隧道结构失稳、机具磨损失效等工程问题,发明了泥水平衡和土压平衡盾构的掘进模拟系统、承压止水检

验技术、刀盘刀具优化配置以及刀具快速更换技术等,解决了砂卵石地层中盾构隧道施工的安全控制和高效掘进这一重大技术难题。这一成果在我国铁路、城市地铁、市政等盾构隧道工程中广泛应用,有效防止了盾构施工事故,保证了结构安全,大幅提高了掘进效率。

中国地铁工程咨询公司总工程师、地下铁道专家、中国工程院院士孙仲衡在考察该单位成都地铁1号线施工时直言:“我曾参与成都地铁1号线一期工程可行性研究报告的专家审查,当时我最担心的一个问题就是盾构施工如何解决像成都这样的地质情况。现在你们的盾构已掘进了数百米,应该说已突破了这一关。你们攻克了地铁施工的一个世界级难题,的确不简单!”

### 工法和技术的孵化基地

井桥、既有10号线双井站。施工过程中采用中洞法、CRD法、双侧壁导坑法、台阶法等工法,几乎涵盖软土隧道矿山法施工的所有工法。

针对地层结构复杂,层间滞留水难以疏干,施工中容易出现渗水、涌水、流砂、掉块、塌方等现象,及邻近居民楼、写字楼、沉降控制难、施工难度大等难题,项目部采用承压富水砂土互层“截、降、排、堵”的地下水综合治理、“PBA”工法优化及安全快速施工、地铁邻近

既有建筑物及深基坑施工控制、暗挖区间零距离下穿既有地铁车站综合施工等技术,通过理论分析、数值试验和现场监测等相结合,研究并总结出承压富水砂土互层地铁暗挖安全、快速施工成套技术,并付诸实践,顺利通过212个风险源,获得“北京市安全文明工地”、“北京市结构长城杯金奖”称号,施工中研发的《紧邻既有承压富水砂土互层地铁暗挖关键技术研究》获“吉林省2014年度科技进步一等奖”等荣誉。

### 自制悬拼吊机获国家专利

上海轨道交通17号线10标作为上海轨道交通节点拼装梁桥的首个试点项目,是世界首例在城市轨道交通领域成功采用“双U+箱型”复合截面节点梁方法施工,其施工技术及管控难度都很高。

该梁型“U”型开口结构自由度高,模板加固困难,且632片节点预制梁均处在不同的平竖曲线上,整体精度还必须控制在1厘米以内,施工难度可想而知。

项目经理林吉青带领技术人

员,经过反复论证、试验,把线型变形预测、分析及实时监控调整作为控制核心,采用短程法预制节点梁拼装梁桥,将线型控制提前到梁段预制阶段。针对梁型结构自主研发了“CQ120型”桅杆式悬拼吊机,该悬拼吊机机架采用的梯型桁架式结构具有自重较轻、通用性好、刚度大、变形小等优点,有效降低了架梁的施工难度,提高了架梁的工作效率,同时具有施工成本低、易于推广的优点,

提高了项目的整体效益。并首次将“有限步长预测控制”的理念应用于预制节点梁的施工线型控制中,结合国内领先的SCCLS系统计算数据和施工经验,实现工前仿真模拟,节点梁预制、安装过程中误差反馈修正,把偏差从厘米级降至毫米级。

他们自主研发的“一种梯型桅杆式悬拼吊机”与“一种通用偏心构件强制平衡吊具”获得国家“实用新型专利”证书。

### 盾构机成功穿越复杂、不利卵石地层

2016年10月20日,二公司兰州地铁项目“金城十号”盾构机顺利到达小西湖站左线接收井,实现了七里河至小西湖盾构区间双线贯通,成功攻克了复杂、不利的卵石地层盾构掘进难题。

兰州地铁1号线主要穿行于黄河河滩及一、二级阶地下部砂卵石及第三系砂岩层中,地质条件复杂且特殊,卵石含量高、粒径大、透水系数大。钱七虎院士评价:“兰州地铁工程建设的客观地质条件十分复杂,不良地质环境非常突出,从全国来讲都是罕见的。”就卵

石地层而言,兰州的地质条件属复杂、不利卵石地层。

兰州地铁七里河站至小西湖站盾构区间全长1219米,隧道埋深9米至18米,区间右线共下穿4座人行过街天桥、1座立交桥群。在施工过程中,由于受高富水、大粒径砂卵石及周围地质环境影响,盾构机穿行于高富水、大粒径、高硬度砂卵石地层的施工环境,将有可能面临盾构机漏浆失压、刀盘卡死等巨大风险。

基于兰州特殊的地质条件,项目部从盾构选型、刀盘设计、刀具

配置、刀盘驱动扭矩及盾后配套设备等方面进行了有针对性的调整和优化。同时,从广州、成都等区域选调经验丰富的管理人员和操作人员组织盾构掘进施工,掘进过程中不断优化施工方案,调整渣土改良方法和掘进参数,及时进行同步注浆、二次注浆及地面加固注浆,加密地面测量监控及管线探测,成功克服了掘进过程刀具磨损大、扭矩大且波动范围大易卡刀盘、掘进断面上方有松散体、地层沉降快等难题,保证了施工顺利进行。

### 攻克超大、异形盖挖逆做地铁车站施工难题

合肥地铁大东门站为1号线与2号线的换乘站,两站斜交呈“T”型换乘,是当时国内最大的盖挖逆做车站,车站基坑为异形坑。大东门站工程施工技术难度大且极为繁杂,32米深的超深基坑在合肥前所未有。

车站紧邻合肥景观河——南淝河,距离主河道只有4米左右,工程地质及水文地质条件复杂。地下厚层粉细砂层复杂,用普通的基坑施工很难保证安全性,且车站邻近古井酒店和盛大国际等高层建筑。大东门站设计采取盖挖逆作法施工工艺,超深地下连续墙施工技术以及超深、异形、宽基底施工工艺。专家表示,“该项工程的建设将填补合肥土建施工的空白”。

项目部为保证施工生产顺利进行,多次组织专项方案评审与讨论,通过总结地连墙成槽施工经验,采用AM可视旋挖扩底灌注桩施工工艺,由旋挖钻改为冲击钻成孔,全液压铲斗扩底,配备施工影像管理装置等核心技术就地成桩。

同时结合工程特点和实际情况,科学筹划,采取加密探孔、适时调整工艺参数、控制开挖坡度等方法,取得了更为详尽的砂层厚度、渗透系数、密实程度、地下水位等地质资料,而后选择合适的配套地上地下挖土机械,地下挖土机械按确定的开挖顺序、开挖段落、开挖层深进行作业,开挖过程中及时根据土质变化调整开挖参数,严格控制好围护结构施工过程。

2016年6月,大东门站主体及附属土(子)单位工程顺利通过验收,二公司在地铁车站施工领域再次取得重大突破。

中国铁建大桥局二公司始终秉承“文化引领,科技先行,制度保证,人文关怀,铸造精品,追求卓越”的理念,坚持把技术创新作为企业发展的核心动力,借大众创业、万众创新的东风,抢占科技高地,发挥专业优势,创造地铁施工新佳绩!