

记者 王瑞超 济南报道

8月17日,随着开挖直径17.5米的“山河号”盾构机刀盘破洞而出,由济南城市建设集团投资建设、中铁十四局集团承建的济南黄岗路黄河隧道盾构段掘进完成,世界最大直径水下盾构隧道顺利贯通,标志着中国水下隧道建设领域迎来里程碑式突破。

济南黄岗路黄河隧道全长约5.75公里,其中盾构段长约3.3公里,设计时速60公里,单洞双层隧道布置,是国内首条穿黄单洞双层盾构隧道。该隧道采用世界在建最大直径泥水平衡盾构机“山河号”施工,先后下穿黄河大堤、黄河等敏感地区,最深覆土厚度达49.2米,最大水土压力6.5巴,相当于手掌大小的面积上,承受两个成年男子的重量,掘进过程中沉降控制要求高,施工难度大。

盾构机长距离穿越粉质黏土、胶结砂层等叠合地层,刀盘极易结泥饼,区间段2000米范围内,不规则分布着大小不一的“钙质结核”,极易造成刀具磨损和卡泵现象。同时,盾构机开挖面积达240平方米,比半个标准篮球场的面积还要大,每掘进1环就会产生1200方泥浆,处理难度大。

同时,随着盾构机直径增加,其制造难度、施工风险系数也呈几何式增长,尤其是17米级盾构首次穿越“地上悬河”,对掘进的精准管控提出了极高要求。

据中铁十四局项目现场负责人周祥介绍,针对黄河之下的复杂地质条件,项目团队依托丰富的穿黄经验,为“山河号”盾构机创新应用大开口率带压复合型刀盘,装配伸缩式主驱动,开挖仓伸缩摄像头等先进装备,并搭载“五官一脑”智能化装备系统,构建盾构掘进的“智慧大脑”,实现全流程感知、预警与智能决策。

“项目团队自主首创‘絮凝+提浓+压滤’系统组合工艺,每日泥浆处理效率提高50%,滤饼的含水率降至30%以下,实现泥浆高效处理以及尾水的循环利用和零外排。”中铁十四局项目盾构经理薛永超称,研发应用金刚石刀具、碎石机、双管路液压采石装置等,破解钙质结核等不良地质带来的施工难题,黄河下首次实现全程3.3公里连续掘进不换刀,保障了盾构机高效掘进。

“针对特大断面管片上浮技术难题,项目团队应用第四代同步双液注浆技术,管片和地层间10多秒即成胶凝状,短短30分钟就能形成早期强度,为管片穿上了一件坚固的‘金钟罩’。”薛永超介绍。

中铁十四局项目总工程师高同矿称,黄岗路黄河隧道单洞上下设置六车道通行,可实现两洞隧道的交通功能,既节省地下空间,又减少约15%投资。同时,创新设计4.2米净高,可满足通行公交、消防及救援车辆等要求,极大提高通行能力。

建设以来,项目团队先后攻克28项技术难题,实现最高日进尺18米、月进尺426米,创造了17米级盾构施工的世界纪录。

以中国工程院院士、国家最高科学技术奖获得者钱七虎为组长的专家组指出,隧道建造过程高度智能化、机械化、绿色化技术的实施,将推动我国盾构隧道技术往前迈出一大步,隧道的建成,对我国水下交通隧道建设具有里程碑意义。

黄岗路黄河隧道是继“万里黄河第一隧”——济南黄河济泺路隧道后,又一连接南北向的大通道,将进一步促进济南拥河发展,提高省会城市首位度和辐射带动力,对落实黄河重大国家战略,加快新旧动能转换起步区建设具有十分重要的意义。



8月17日,济南黄岗路黄河隧道盾构机出洞



黄岗路黄河隧道全长5.75公里,设计时速60公里。图为“山河号”盾构机内部施工场景。

新闻解码

世界最大直径水下盾构隧道诞生记

黄河30米下日夜掘进11个月,“山河号”铸就水下工程奇迹

记者 于泊升 济南报道

穿越地上悬河与“地质迷宫”

在施工中,“山河号”盾构机的挑战有不少。首先摆在施工团队面前的难题,就是穿越地上悬河。

周祥介绍,济南黄岗路黄河隧道穿越“地上悬河”,是继“万里黄河第一隧”——黄河济泺路隧道后,又一连接南北向的大通道,也是首条穿黄单洞双层盾构隧道。黄河的平均水位高于地表8米,隧道最低点位于河床下54米,最大水土压力6.5巴。“这相当于一个人手掌大小的面积上,承受两个成年男子的重量。”这个难度,就像在豆腐上绣花。

“施工中的未知风险有不少。”周祥透露,隧道施工是在地下环境中进行,尤其是“山河号”盾构机开挖直径达17.5米,开挖面积达240平方米,地质勘探覆盖的区域有限,不可控的未知区域增多,犹如“摸黑”前进。

此外,盾构隧道下穿绕城高速、黄河大堤及河道,居民住宅区及沉积池,对地面沉降控制要求较高,沉降要求控制在1厘米之内。

浆渣处理也增加了施工难度。黄岗路黄河隧道每掘进1环,就会产生1200方泥浆,整条隧道会产生160万方泥浆,浆渣处理难度极大。

相较常规盾构隧道,黄岗路黄河隧道每环管片有12块,管片链接数量多出一倍,拼装时间长,拼装精度难度上升,管片运输与拼装风险增大。

黄河底下3.3公里连续掘进不换刀

17日上午,走进黄岗路黄河隧道南岸接收井,涂装“麒麟”图案的“山河号”半潜于黄河之下,宛如一条静卧的巨龙。这台总长163米、重达5200吨的“工程机械之王”,从设计之初,就面临着“直径每增加一米,难度呈几何式增长”的挑战。

隧道高效建设的关键,在于盾构机选型的精准。与前辈“泰山号”“黄河号”相比,17.5米的开挖直径,意味着要在黄河之下挖出一座6层楼高的空间,刀盘选择、管道抗压、断面稳定等问题接踵而至。

“常规300型泥浆管和500毫米管道造价低,但如此大的断面可能频繁堵管。”周祥算了一笔“风险账”:一次堵管至少耽误8-12小时,直接影响工期。尽管新方案选用400型号泥浆管和600毫米管道,造价高达2000多万元,但团队最终拍

8月17日,黄河济南段地下30米处,涂装着“麒麟”图案的“山河号”盾构机破壁而出,世界最大直径水下盾构隧道——济南黄岗路黄河隧道贯通。中铁十四局项目现场负责人周祥在接收井旁激动地说:“11个月,我们创造了17米级盾构施工的世界新纪录。”



盾构机在黄河下首次实现全程3.3公里连续掘进不换刀。

板:“为了‘血管’通畅,值!”

实践证明了选型的正确性。“山河号”实现每分钟35毫米的掘进速度,远超15.76米直径的黄河济泺路隧道每分钟掘进25毫米的纪录。

黄岗路黄河隧道区间段内,存在大量“钙质结核”,长达2000米,占比超六成。它们像大小不一、不规则分布的“顽石”,镶嵌在粉质黏土层中,宛如“年糕里的硬骨头”。

“这些‘硬骨头’,当年在黄河济泺路隧道开挖中,可没少让我们吃苦头,甚至让盾构掘进停滞不前!”中铁十四局盾构经理薛永超回忆。

随着“山河号”盾构机挺进钙质结核区,管道内石头碰撞的响声由疏变密、由弱变强。早有准备的项目团队亮出“法宝”,他们创新性设计的双采石箱,可实现一用一备。

薛永超说,当采石箱压力变小时,他们就对采石箱进行切换和清理,掘进初期每环就要清理一次。随着掘进进入密集区,清理频率飙升,最高峰时每环要清理50次。以往是单采石箱,需要人工往外搬,费时费事。如今通过远程控制和双箱轮换,每次清理仅需5分钟,实现不停机、快速的循环处理,硬是将“拦路石”变成了高效流程中的“小插曲”。

此外,面对强度高达41兆帕的“顽石”,项目团队为“山河号”装备了自主研发的金刚石刀具。最终,“山河号”实现了黄河下首次全程3.3公里连续掘进不换刀,打赢了这场与“硬骨头”的攻坚战。

“吞”进黄河泥浆“吐”出清澈尾水

站在黄岗路黄河隧道泥浆处理厂旁,很难想象这里每天“吞”进上

万方黄河泥浆,“吐”出的却是清澈的尾水。“向北是济南一级水源地,向南横贯黄河,我们的泥浆处理必须零污染。”泥水处理厂厂长胡修志说。

“山河号”盾构机开挖面积达240平方米,每掘进1环就会产生1200立方米泥浆,每天会产生上万平方米泥浆。泥浆能否高效处理,成为制约掘进速度的“核心”瓶颈。

自主创新成为唯一出路。团队决定,自主搭建一套泥浆处理设备。他们在类似地质的济泺路北延黄河项目泥浆池旁建起临时试验场地,开始了“从零开始”的压滤试验。

“絮凝剂用量是关键。少了,泥饼含水量就会过高,达不到目的;多了,尾水絮凝剂含量超标,既达不到泥浆循环使用的标准,还会让成本剧增。”他们以2小时为周期反复试验,当看到压滤出来的尾水如矿泉水般清澈时,胡修志心头一热,“有戏了”!

他们进一步优化工艺,将原本必须匀速流转的泥浆管路,改造为可变速、间歇性供浆的“智能模式”,既能短时间内“大流量补浆”,又能有效防止罐底泥土“板结”。

2024年9月1日,“山河号”盾构机始发之际,这套完全自主创新的“絮凝+提浓+压滤”组合工艺同步启用。系统每小时可处理泥浆近600立方米,日处理效率提升50%,滤饼含水率降至30%以下。实现了盾构尾水的零排放、再利用,真正做到了绿色施工、环保施工。

“螺蛳壳”里玩魔术 破解同步施工难题

济南黄岗路黄河隧道为单管双层双向6车道设计,是首条穿黄单洞双层盾构隧道。如何在有限空间内,协调盾构掘进与内部结构同步施工,成为制约整体效率的“紧箍咒”。

“要保证每天6环的掘进目标,17辆运输管片、箱涵、双液浆的车辆就得日夜不停地‘输血’。”项目总工程师高同矿解释,“但内部施工,尤其是车道板浇筑,一块就耗时6-7小时,‘占道’工作,让物资运输生命线瞬间‘卡壳’”。

困境倒逼智慧。项目发挥团队力量,定制出组合式台车,优化施工工艺10余项。组合式台车底部,巧设万向轮及伸缩式承重底托,实现快速移位,为后续车道板施工腾出空间,同时为盾构物资运输留出畅通车道。这如同在螺蛳壳里做道场,硬是实现了内部结构施工与盾构掘进“双线并行”,施工工效提升60%,用巧妙的“空间魔术”,破解了同步施工的制约难题,为整体高速推进提供了坚实保障。