

文章编号: 1000-8241 (2011) 05-0327-07

# 川气东送管道工程长江穿越

高河东<sup>1</sup> 祁志江<sup>1</sup> 刘建武<sup>2</sup> 张德桥<sup>1</sup> 陈雪华<sup>1</sup> 付超<sup>2</sup>

(1. 川气东送管道工程项目部, 湖北宜昌 443001; 2. 胜利勘察设计研究院有限公司, 山东东营 257026)

高河东等. 川气东送管道工程长江穿越. 油气储运, 2011, 30(5): 327 - 333.

**摘要:** 川气东送管道穿越长江 7 处, 总长 15.3 km。通过分析管道穿越方式和选择穿越方案的技术要点, 最终基于不同穿越点的地理位置、地质情况和技术难点, 分别采用了盾构隧道、钻爆隧道及定向钻穿越方式。其中: 南京定向钻长江穿越, 创长输管道定向钻穿越长江最长和管径最大的世界纪录; 忠县长江隧道穿越创长输管道过江隧道净空断面最大的国内纪录; 安庆长江盾构隧道穿越工程首次采用地压平衡法穿越粉细砂地层, 创长输管道盾构隧道穿越长江跨度最大的国内纪录; 宜昌长江盾构穿越连续掘进 635 m 卵石层, 创国内纪录。7 处穿越工程技术难点及其处理措施可为类似管道穿越工程提供指导。

**关键词:** 川气东送; 输气管道; 长江穿越; 盾构; 钻爆; 定向钻

**中图分类号:** TE863

**文献标识码:** A

川气东送管道工程是我国继三峡工程、西气东输、南水北调、青藏铁路之后的又一国家重大项目, 线路总长 2 234 km, 西起川东北普光首站, 东至上海末站, 管道途经四川、重庆、湖北、江西、安徽、江苏、浙江、上海 6 省 2 市。干线全长 1 635 km, 管径为 1 016 mm, 设计年输量为  $120 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 设计压力为 10 MPa。除主干线外, 还包括达化专线和川维、南京、金陵、江西、上海等支线。

该管道工程采用盾构隧道、钻爆隧道及定向钻穿越等方式穿越长江 7 处, 总长 15.3 km, 具体穿越位置分别为: 长江上游的重庆忠县、湖北宜昌, 长江中游的湖北武汉、黄石以及长江下游的江西九江、安徽安庆、江苏南京。

## 1 管道穿越方式

管道通过江河可采用跨越和穿越两种方式, 但是在长江上跨越施工存在以下缺点: ①江阔水深, 基础施工难度大; ②为避免影响通航, 必须采用大跨度、高净空的悬索和斜拉索或两者结合的跨越方式, 实施技术难度较大, 工程投资高; ③管桥维护工作量大, 需要武警驻守, 维护费用高。因此, 一般不考虑采用跨越方式, 而采用穿越方式。

### 1.1 穿越方案的选择要点

(1) 穿越位置和方式应符合长江河道整治规划和当地政府规划的要求。

(2) 穿越方案应委托相关部门进行长江穿越工程的防洪评价, 满足防洪要求。

(3) 穿越位置应选择河流水势较稳定的河段, 与管道线路总体走向一致。

(4) 如果地质条件满足施工要求, 施工技术风险较小, 依据选定穿越方案施工; 若地形、地质条件较差, 施工技术风险较大, 则需选择备用方案。

### 1.2 穿越方案

大型河流穿越主要采用沟埋敷设、盾构隧道、钻爆隧道、顶管及水平定向穿越法等方式施工。对于河道较宽, 河水流速较大, 通航且来往船只较多的长江, 沟埋敷设、顶管穿越难以应用, 一般采用盾构隧道、钻爆隧道和水平定向穿越等方式(表 1)。

#### 1.2.1 盾构隧道

盾构隧道是利用盾构机械暗挖隧道的一种方法。盾构机前方设有支撑和开挖土体的装置, 中段安装千斤顶, 尾部可以拼装预制或现浇混凝土衬砌环。盾构机每推进一环距离, 就在尾部支护或拼装一环衬砌, 并向衬砌环外围的空隙中压注水泥浆。盾构穿越适用条件较广, 但盾构机价格昂贵, 施工费用较高。

表1 油气管道长江穿越方式对比

穿越方式	地形、地质	穿越长度	工期	投资 (10 <sup>4</sup> 元·m <sup>-1</sup> )	施工与运营维护	环境影响	HSE因素
定向钻穿越	适合粘土、粉土、软岩,不适合砾、卵石层;需要管道预制场地	穿越长度越长,回托力越大;穿越长度受管径和定向钻设备限制	较短	1.5~2	安全性可以满足要求,施工方便、维护费用低;一次只能穿越一根管	较小	好
盾构隧道	从松软粘土到泥沙砾、岩石均可	穿越长度基本不受限制	较长	4	安全性高、维修方便,可多管同隧道敷设;施工机械复杂,日常维护和运行费用较高	不大,隧道弃渣需占用土地堆放	较好
钻爆隧道	岩石	穿越长度基本不受限制	较长	2	安全性高、维修方便,可多管同隧道敷设;施工条件稍差,日常维护和运行费用较高	不大,隧道弃渣需人工巷道作业,地堆放	稍差

### 1.2.2 钻爆隧道

钻爆隧道法是按照新奥法利用爆破掘进、及时喷锚、模筑混凝土等进行暗挖隧道的一种方法。近年来,随着地质勘察、地质超前预报、超前探水、预注浆防水、光面爆破等技术的不断发展,钻爆隧道法穿越大江大河的技术方案得到广泛使用。其适用于基岩或土层不太厚的河流穿越,具有造价低、工程质量易于控制、管理维修方便、可增设管道、不影响通航等优点。

### 1.2.3 水平定向钻

定向钻穿越即按照设计轨迹,采用定向钻技术先

钻一个导向孔,随后在钻杆端部联接大直径的扩孔钻头 and 直径小于扩孔钻头的待敷设管道(提前组装好),最后进行扩孔和管道回拖。定向钻穿越是一种经济实用、安全可靠的穿越方式,具有对地表干扰小、施工速度快、施工精度高等优点,适宜穿越粘土、亚粘土、成孔条件好的沙层和软岩石等。

### 1.3 川气东送工程长江穿越方案

根据地形地质、水文、规划等情况及长江穿越方案的特点、选择原则等,川气东送7处长江穿越分别采用钻爆隧道、盾构隧道及定向钻穿越方式(表2)。

表2 川气东送管道穿越长江工程计划

穿越地区	所属管段	穿越位置	施工起止时间	施工方式	隧道大小/mm	穿越长度/m	穿越主要地层结构	管径/mm
忠县	主干线	重庆市忠县	2007.12—2008.05	钻爆隧道	4 000×3 200 (宽×高)	1 400	砂岩、泥质粉砂岩	1 016
宜昌	主干线	宜昌市猗亭区 宜都市红花套	2006.04—2007.12	盾构隧道	3 080	1 405	沙卵石层、粉砂岩	1 016
武汉	主干线	武汉市汉南区 武汉市江夏区	2007.02—2008.09	盾构隧道	3 080	1 970	粉质粘土、粉砂、粉砂质泥岩	1 016
黄石	主干线	黄石市阳新县 黄冈市蕲春县	2007.02—2008.02	盾构隧道	2 440	1 407	粉质粘土、细砂、石灰岩	1 016
安庆	主干线	安庆市海口镇 池州市东至县	2007.04—2008.11	盾构隧道	2 440	2 770	粉质粘土、粉细砂、泥质砂岩	1 016
九江	江西支线	九江金鸡坡油库 黄石市黄梅县	2009.11—2010.01	定向钻		2 199	粉质粘土、粉细砂、中粗砂、粉砂岩	508
南京	南京支线	南京市三江口	2009.03—2009.04	定向钻		3 910 (4条)	粉质粘土、粉细砂、粉砂质泥岩	813

## 2 工程特点、难点及处理措施

### 2.1 忠县长江穿越

#### 2.1.1 基本情况

该穿越段地表覆盖粉质粘土层较薄,厚约0.5 m,河床底以砂卵石为主,厚5~15 m,右岸枯水时砂卵石

边滩出露,下覆地层为侏罗系中统上沙溪庙组(J2s)地层,岩性以砂岩、泥质粉砂岩为主。

该段工程采用钻爆隧道法施工,隧道穿越轴线位于重庆市忠县和石柱县之间的长江鲤鱼碛江段。隧道设计采用“斜井—平巷—斜井”的布置方式,工程全长1 400 m,其中,北岸斜井长313 m,坡度28°;南岸斜井

长 332 m, 坡度 30°; 江底平巷长 755 m, 隧道净宽 4 m, 净高 3.2 m, 为直墙平底半圆拱形。洞身采用光面爆破、锚网喷初支、模筑砼及钢筋砼永久支护的复合衬砌结构, 洞内设计安装两条  $\phi 1\ 016$  输气管道(1 用 1 备)。该穿越工程创长输管道过江隧道净空断面最大的国内新纪录。

### 2.1.2 技术难点

对于江河穿越钻爆隧道, 防治水是工程的技术难点。防治水措施采取及时与否, 直接影响施工安全和工程成败。与同类工程相比, 忠县长江隧道具有开挖断面最大、江面水域最宽、水位最深、斜井最长、地质条件复杂等特点。

### 2.1.3 工程措施

采用留设安全防水岩柱、超前地质预报、超前探水、注浆堵水、控制爆破、集中排水、衬砌防水、地面截流等一系列技术措施, 保障施工安全。

#### 2.1.3.1 合理留设安全防水岩柱

根据对工程围岩含水情况及地下水的补、迳、排条件分析, 设计中参照《矿井地质手册》煤矿巷道和“三下采煤”相关公式计算隧道河床段特殊防水岩层厚度(H 特)为 44.13 m, 实际河床段隧道顶板以上岩层厚度为 52.56 m, 因此实际防水岩柱厚度大于计算特殊安全岩柱层厚度, 在不遇到长江河床特大导水裂隙的条件下, 能够保证施工防水安全。

#### 2.1.3.2 超前地质预报

采用 TSP203 超前地质预报系统, 地震波检测可以对隧道开挖作业面前方 100~200 m 范围进行地质探测预报, 确定隧道前方与周围区域的地质构造, 以及地下富水区的位置和特征。对工程北岸斜井、南岸斜井及过江平巷进行地质预报: K0+127 m—K0+211 m 段, 地下水稍发育、局部滴水; K0+127 m—K0+151 m 段, 可能出现线状滴水; K0+211 m—K0+216 m 段, 地下水比较发育; K0+216 m—K0+277 m 段, 地下水发育、局部有滴水; K1+319 m—K1+119 m 段为中硬岩, 地下水发育, 可能出现大的涌水等。施工中对预报可能出现渗涌水段采取超前钻孔、注浆止水等措施, 有效避免了穿水事故的发生。

#### 2.1.3.3 超前探水

在 TSP203 超前地质预报的基础上, 对地下可凝

段含水、富水区域采用超前钻探、遇水注浆方法, 将隧道作业面前方用钻机打出  $\phi 70\sim\phi 93$  的钻孔 3~6 个, 每孔深度为 30~40 m, 进行探水, 每次探水的搭接长度应超过 10 m。若发现涌、漏水, 立即注浆, 并增加探水注浆孔的密度, 经过效果检验孔证明无穿水危险后, 再进行隧道开挖。为确保万无一失, 每次开挖前, 应进行短探, 所谓短探, 就是每次开挖前在作业面前方和周边按设计的短探布置图打出  $\phi 40\sim\phi 50$  的钻孔, 深度为 5~7 m, 其密度按注浆扩散半径为 1.0 m, 每次短探与前次短探的搭接长度应超过 2.0 m。长探是探测较大范围的富水情况, 短探则是防止涌渗水事故的最后一道防线, 两者互为补充、不可或缺。

#### 2.1.3.4 注浆堵水

如果超前钻探发现开挖面前方存在异常, 例如围岩破碎、裂隙发育、钻孔水流量大, 应立即停止开挖作业, 采取预注浆堵水, 防止水涌入开挖面; 如果隧道已揭露的围岩暴露面出现集中出水, 永久支护衬砌已完成的隧道出现渗漏水, 或出于提高围岩稳定性的目的, 均须采用后注浆进行堵水或加固。在水下隧道施工中, 往往会出现隧道周边多处岩石裂缝、渗水, 隧道越长, 导水裂缝越多, 汇集的渗水量越大, 其处理方法是: 将裂缝渗水段用钻机(或凿岩机)打孔, 安导水管集中导流, 导流管应超出二衬轮廓线 20 cm; 二次衬砌后, 向导流管内注入高压水泥浆, 以堵塞分散的岩石裂隙水。

#### 2.1.3.5 控制爆破

为尽量降低导水裂隙带高度, 在打眼和爆破作业中应打浅眼, 少装炸药, 控制裂隙发展和扩散, 使爆破后的实际隔水岩柱超过设计要求的隔水岩柱, 防止江水涌入开挖面。该工程采用光面爆破, 严格控制炸药用量, 严格控制超、欠挖, 保证隧道外形尺寸控制良好、减少支护工程量、加快工程进度、降低工程造价, 最重要的是减小爆破松动范围、爆破裂隙深度和宽度, 保障隧道安全施工。

#### 2.1.3.6 集中排水

采取隔水、探水、堵水、防水等措施, 施工过程中配备完善的排水设备, 及时排除渗入隧道内的水。对隧道开挖中未处理完的分散渗水, 利用排水沟使其流入斜井(或竖井)底部的临时水仓, 安设排水设备和管路, 将隧道内的水集中排至地面。这种排水设施, 具有排

放分散水和防止突然涌水的作用,因此,排水设备和管路都必须有足够的备用排水能力。

#### 2.1.3.7 衬砌防水

衬砌防水方法主要有两种:一是采用防渗砼,根据水压,防渗砼的等级一般为S6~S12,忠县过江隧道设计防渗砼等级为S8;二是根据隧道防渗设计等级要求,采用隔水防渗材料,隔水防渗材料一般为无纺布、隔水板和防渗透水管,使用防渗水管后,再进行注浆水处理。

#### 2.1.3.8 地面截流

地面截流采用洞口边坡防护、排水沟疏导、洞口地面设立排水反坡以及合理设计洞口位置等措施,防止地面隧道洞口周围可能因洪水、泥石流等造成的灾害性水流(泥石流)进入洞内。在三峡库区蓄水位175 m高程以上修建洞口和弃碴挡墙,将洞内弃碴全部堆放在三峡库最高蓄水位以上,防止弃碴对三峡库区造成不利影响。

### 2.2 宜昌长江穿越

#### 2.2.1 基本情况

穿越断面河床表层岩性为第四系砂卵石层、卵石含粘性土层,厚度为5~20 m,下伏基岩为白垩系上统红灰色中厚层至块状粉砂岩、细砂岩夹砾岩,棕红色泥岩夹薄层粉砂岩。采用盾构法施工,北岸始发井位于湖北省宜昌市猗亭区方家岗村,南岸接收井位于宜昌市红花套镇光明村,距忠武输气管道长江穿越隧道工程100 m。隧道设计采用“始发井—隧道—接收井”的布置方式,工程全长1 405 m,北岸始发井围护结构采用内径为12.1 m的沉井,井深22 m。

#### 2.2.2 技术难点

掘进是从卵石层出发,连续掘进卵石层635 m,卵石粒径大小不一,最大可达500 mm,硬度极大,最大抗压强度达340 MPa。同时该地层上方经过采砂船的长期采砂作业,剩下大小不一的卵石,已经松散,地层极不稳定。国内尚无大江大河高水压条件下卵石穿越先例,施工中卡刀、局部坍塌现象非常严重,刀盘磨损严重。从2008年5月中旬至8月上旬(70余天),进仓时间约占2/3,盾构掘进不到10环,施工进度缓慢。

#### 2.2.3 工程措施

(1)采用水泥水玻璃胶体材料通过刀盘注浆,改

良作业面地质,封堵刀盘进渣孔,抑制作业面坍塌。同时改良泥浆配比,提高泥浆粘度切力,精确建立泥水平衡操作模式。

(2)卵石层盾构掘进对刀具的维修、保养和使用提出了更高的技术要求,需定期进入气压舱对刀具进行检查,并根据刀具磨损情况予以更换。同时采用国产刀具替代部分进口刀具。通过多次换刀作业,作业人员基本掌握了在高压下更换刀具、焊接作业的操作要点,总结出一套行之有效的安全保障措施,对刀具的维修和保养也取得了一定经验。另外,针对不同的地质条件,应采用不同类型的刀具。

(3)在松散的卵石地层,无法安装保径刀具,待进入稳定地层后,再安装保径刀具。由于原有刀座已经损坏,需重新设计安装方式。

(4)刀盘与盾壳之间的缝隙过大,需要焊接直径为60 cm的圆钢,以防止卵石再次进入消耗刀盘扭矩和扰动地层。

(5)将封住刀盘开口的几块刀盘割开,使大直径卵石进入,减小推力消耗和刀盘、刀具的磨损。

(6)采用焊接方式安装全部弧型刮刀,一定程度上起到了刀盘保径的作用。

(7)开展泥浆配比实验研究,时刻监控卵石层和粘土层交界处的掘进作业,调整泥浆配比,确保地层交界处掘进作业的顺利进行。

通过上述技术措施,有效解决了长距离卵石层掘进面坍塌的关键技术难题,创造了连续掘进635 m卵石层的国内最长纪录,入选第13批中国企业新纪录。

### 2.3 黄石长江穿越

#### 2.3.1 基本情况

该穿越段地层上部为第四系松散堆积层,下部为三叠系灰岩。第四系地层以粘性土为主,上部夹淤泥质土,下部夹砾石,透水性较好。三叠系灰岩,青灰色,块状结构,薄至中厚层状构造,节理较发育,含方解石脉,透水性一般。南岸始发井位于黄石市阳新县黄颡口镇下堡村,北岸接收井位于黄冈市蕲春县蕲州镇扎营港村。

隧道设计采用“始发井—隧道—接收井”的布置方式,工程全长为1 407 m,其中,利用盾构法施工隧道1 361 m,利用钻爆法施工隧道22.00 m。始发井、接

收井土层采用明挖法施工,岩层采用钻爆法施工。上始发井内径为 11 m,上部布置一层  $\phi 800$  高压旋喷桩进行地质改良。接收井内径为 8.5 m,上部布置两层  $\phi 500$  高压搅拌桩进行地质改良。盾构隧道为圆形,内径为 2 440 mm,环片厚度为 250 mm,环片外径为 2 940 mm;每环环片分 6 块,间设 EPDM 橡胶止水密封条,衬砌环采用顺缝或错缝拼装。隧道内布置一条  $\phi 1 016$  管道。

### 2.3.2 技术难点

(1)地质和水文条件复杂,隧道断面岩性分布不均匀且有明显差异,盾构穿越地层有石灰岩、砾砂和细砂。石灰岩强度为 10~40 MPa,盾构机既要满足砾砂、细砂地层的稳定切削的要求,又要能够破除较软岩,盾构掘进难度很大。

(2)经过对隧道所经地层地下水位情况进行分析,隧道掘进承受最大水压为 0.47 MPa,盾构的防水和稳定工作面的能力是决定工程成败的关键之一。

(3)盾构机需两次穿越长江大堤,应采取有效措施减少掘进扰动,控制注浆质量,尽量减少施工带来的沉降量,具有一定难度。

(4)竖井与隧道施工防水处理也存在一定难度。

### 2.3.3 工程措施

(1)盾构机刀盘采用复合式刀盘设计,刀具配置可随着地层变化而相应更换盘形滚刀、刮刀或齿刀,提高刀具对地层的适应性。

(2)盾构机设置了气锁系统,确保操作人员可以安全进入刀盘内检查更换刀具,满足安全操作的要求。

(3)该工程施工所用 AVN2440DS 盾构机抗水压工作能力为 0.5 MPa,其防水能力设计为工作压力的 1.5 倍,刀盘主轴承与刀具防水耐压为 1.0 MPa,可以满足工程的实际需要。为了确保盾构机在高水压下安全掘进,盾构设计了盾尾密封系统,即在盾构机盾尾设置 3 道钢丝密封刷,向密封刷内注入专用密封油脂,能够有效防止地下水通过盾尾进入盾构机内;另外,盾构机的切口环、支承环和盾尾之间的连接部均安装橡胶密封圈,可以有效防止地下水进入盾构机内。

(4)为防止刀盘表面在软土粘性地层形成泥饼,掘进受阻,盾构机配备了高压水冲洗刀盘装置。

(5)根据隧道内地层的软硬不均匀性,合理选择掘

进参数范围,以确保刀具破岩时不会造成局部刀具超负荷工作,避免不正常的刀刃裂损或刀具轴承破坏;同时密切关注掘进状况和掘进参数的变化,并及时进行分析和判断,随时调整掘进推力和刀盘转速。

(6)软硬不均地层的盾构掘进方向容易产生较大变化,因此,采用在仪征—长岭管道黄石长江穿越工程的成功经验,进行盾构施工掘进方向控制和操作,以保证掘进方向的控制精度,避免纠偏超挖带来地层变形过大的危险。

## 2.4 武汉长江穿越

该穿越段位于武汉市汉南区与江夏区之间,水面宽约 1 910 m。始发场地位于湖北省武汉市汉南区纱帽镇;到达场地位于对岸的江夏区金口镇中湾村。两岸场地均位于国家一级大堤之下,北岸竖井距大堤约 130 m,南岸竖井距大堤约 150 m。

隧道设计采用“始发井—隧道—接收井”的布置方式,工程全长 1 970 m,始发井地下连续墙作为基坑围护结构,平面尺寸为 13 m $\times$ 8 m,深度为 26 m,地下连续墙厚度为 600 mm,竖井井壁内衬为 800 mm,采用  $\phi 609\times 16$  钢管支撑。接收井结构与始发井相同。盾构隧道采用管片拼装式衬砌,管片外径 3 540 mm,内径 3 080 mm,厚度 230 mm,环宽为 1.2 m,每环管片由 6 块钢筋混凝土预制块构成。

该穿越段与黄石长江穿越的地质条件类似,技术难点和处理措施也基本相同。

## 2.5 安庆长江穿越

### 2.5.1 基本情况

该穿越段采用盾构法施工,工程全长为 2 770 m,隧道穿越轴线位于安庆市海口镇南垸村和池州市东至县大渡口镇杨套村之间的长江江段,是川气东送管道工程穿越最长的过江隧道。

隧道设计采用“始发井—隧道—接收井”的布置方式,始发井围护结构采用 SMW 工法施工,围护结构尺寸为 11.6 m $\times$ 20.6 m 的矩形结构。围护桩使用直径为 850 mm 的三轴深层混凝土搅拌桩,深度为 23 m,桩内安插 HN700 $\times$ 300 $\times$ 13 $\times$ 24 型钢,间距为 600 mm,竖井开挖过程中井壁采用直径为 609 mm 的钢管支撑,并设置 4 个深度为 23 m 的降水管井。始发井二衬混凝土厚为 1.0 m,净空尺寸为 17 m $\times$ 8 m 的矩形结构,

深度为 12.5 m, 中间设置厚度为 800 mm 的隔墙, 竖井底部设置 4 个 500 mm×500 mm 的集水坑。接收井围护结构采用 1 m 厚的地下连续墙施工, 深度为 53 m, 围护结构尺寸为 9.2 m×20.2 m。竖井二衬混凝土厚度为 1.2 m, 净空尺寸为 17 m×6 m 的矩形结构, 深度为 29.4 m, 中间设置厚度为 800 mm 的隔墙, 采用逆作法施工。隧道为圆形断面, 净空为 2 440 mm, 采用盾构法施工, 全长约为 2 770 m, 北岸以 2.5% 下坡, 南岸以 3% 上坡。盾构隧道采用管片拼装式衬砌, 管片外径为 2 940 mm, 内径为 2 440 mm, 管片环宽 1 m, 每环管片由 6 块钢筋混凝土预制块构成。洞内设计安装一条直径为 1 016 mm 输气管道。

### 2.5.2 技术难点

(1) 安庆长江盾构隧道穿越具有江面水域宽、隧道长、水位深、水压大、竖井深、地质条件复杂等特点。

(2) 隧道穿越地层主要为粉细砂和中砂混圆砾地层, 隧道接收段地层为粉细砂层, 且紧靠长江, 地下水位高、水压大、地层稳固性差, 极易使盾构机到达接收井内时发生涌水涌砂、隧道坍塌、地表沉降等事故。

### 2.5.3 工程措施

(1) 当盾构刀盘切入接收井连续墙 30 cm (占连续墙总厚度的 3/10) 时, 刀盘内降压无法达到开仓条件, 且从刀盘卸压阀放出的水中夹带着粉细砂, 停止盾构推进作业。

(2) 为便于盾构安全出洞, 避免贯通时发生涌水、涌砂, 向竖井内回灌高度为 6 m 的砂和高度为 29.4 m 的水 (同当时长江水位), 以保持井内外水压平衡, 并模拟盾构在长江下掘进。

(3) 在盾构继续推进之前, 首先安装洞门环向注浆管, 重新砖砌洞门, 安装帘布橡胶板; 填砂灌水完成后, 待井内水位和长江水位标高一致时, 方可盾构推进。盾构贯通连续墙后, 停止排渣, 通过盾构推力向前推进, 直至盾尾全部进入竖井后停止掘进作业。最后, 盾构环片拼装至连续墙位置。

(4) 由于盾构外径比管片外径大, 盾壳与管片之间存在间隙, 盾构在推进过程中, 会造成洞口段管片顶部砂和米石回填不饱满而形成空洞, 影响洞口段注浆封堵效果。因此, 应采取在洞口上方预埋两根  $\phi 100$  的钢管, 待盾构推进后, 通过它们向洞口位置回灌砂浆,

将管片四周回填饱满。

(5) 盾构在推进拼装管片过程中, 同步每一环注水泥浆, 浆的凝固时间控制在 4~6 h (在浆液内掺入速凝剂), 每一环注水泥浆量约为 2 m<sup>3</sup>。

(6) 盾构停止掘进后, 先在接收竖井利用预埋的环向注浆管向洞口段先灌注单液浆, 后灌注双液浆。接收井洞口段灌注完毕后, 再由平巷道内向外灌注双液浆和聚氨酯封堵。

安庆长江盾构穿越工程创造了国内长江水下天然气管道盾构隧道穿越跨度最大 (2 770 m)、国内长江天然气管道盾构隧道穿越粉细砂地层最长 (2 770 m)、国内盾构隧道穿越粉细砂地层首次采用地压平衡法成功贯通接收的企业新纪录。

## 2.6 九江长江穿越

### 2.6.1 基本情况

该穿越段工程场地属扬子地层区, 揭露地层主要为第四系全新统冲积层 (Q4al)、第四系上更新统冲积层 (Q3al), 下第三系新余群泥质粉砂岩、砾岩 (Exn)。采用定向钻穿越主河槽, 过长江大堤为爬堤方式, 江滩段采用大开挖加配重压袋敷设方式。入土点位于江西省九江市金鸡坡油库东侧约为 100 m 长江南岸大堤以内 (北), 九江石化长江码头 2 号和 3 号趸船之间; 出土点位于湖北省黄石市黄梅县长江北岸大堤以内 (南) 长江漫滩上。定向钻入土角为 16°, 出土角为 7°, 穿越长度为 2 199 m, 管径为 508 mm。

### 2.6.2 技术难点

通过勘察, 在入土点附近中风化砾岩中 (ZK42、ZK43) 遇到溶洞构造, 其顶面埋深为 15.3~19.2 m (标高 -9.52~-19.10 m), 洞高为 1.2~1.4 m, 溶洞内充填软塑状粉质粘土及灰岩、硅质岩圆砾。定向钻穿越溶洞风险较大, 设计中采取绕避措施。由于地形和溶洞的限制, 定向钻入土角高达 16°, 而定向钻穿越长度较长 (约 2 200 m), 穿越主要地层为中风化泥质粉砂岩、砾岩, 施工难度较大。

## 2.7 南京长江穿越

### 2.7.1 基本情况

南京支线长江主河道穿越场地属扬子地层区, 揭露地层为第四系全新统 (Q4al)、上更新统 (Q3al)、白垩系上统粉砂质泥岩、泥质粉砂岩 (K2P)。该工程位

于三江口入江口下游约 300 m 处。采用 4 条定向钻穿越长江(表 3),合计穿越长度为 3 910.17 m。

表 3 南京长江穿越情况

穿越名称	入土角 / (°)	出土角 / (°)	穿越长度 / m
南大堤	6.10	8.15	472.84
主河道	10.00	7.15	1 824.80
支汊河	9.00	6.00	926.04
北大堤	8.00	6.00	686.49

### 2.7.2 技术难点和措施

(1)穿越位置位于南京市龙潭新城规划区内,穿越方案的选择和确定需要与长江水利委员会,南京市规划、水利、港口、海事、航道等部门协调。

(2)穿越位置下游有西气东输备用线( $\phi 406$ )、甬沪宁原油管道( $\phi 508$ )、仪征—金陵管道长江穿越( $\phi 406$ )及两条光缆,均采用定向钻穿越,与穿越工程存在交叉敷设。

(3)4 条定向钻穿越的主河道入土点、支汊河出土点位于江心乌鱼洲上,南大堤入土点、主河道出土点、支汊河入土点和北大堤入土点位于长江两岸滩地上。根据相关规定,汛期长江河道内不能进行施工,因此穿越施工作业必须在长江主汛期到来之前完成,时间非常紧迫,需一次快速完成,对施工单位的管理和技术水平要求较高。

在设计过程中与各相关方开展了多次协商,最终确定了穿越方案。

## 3 结论

(1)川气东送工程 7 次穿越长江,穿越总长度达 15.3 km,穿越次数之多、长度之长都是同类工程中不多见的。其中:南京定向钻长江穿越创长输管道定向钻穿越长江最长和管径最大的世界新纪录;忠县长江隧道穿越创长输管道过江隧道净空断面最大的国内新纪录;安庆长江盾构隧道穿越工程首次采用地压平衡法穿越粉细砂地层,创长输管道盾构隧道穿越长江跨度最大的国内新纪录;宜昌长江盾构穿越创造了连续掘进 635 m 卵石层的国内最长纪录。

(2)长江穿越是整个项目的控制性工程,其成败直接影响川气东送管道工程的顺利投产,采取了安全可

靠、经济的穿越方式。穿越方案符合长江管理部门和当地政府的各项规划,穿越点尽量选择在河势稳定、地质条件较好的位置。

(3)在管道工程长江穿越段与管道总体走向一致的情况下,穿越位置决定线路局部走向。

(4)长江穿越工程难度大、投资高,在城市可供选择的通道少,隧道穿越应考虑预设备用管道。

### 参考文献:

- [1] 程梦鹏,张维尧. 钻爆法隧道在忠武输气管道穿越中的应用[J]. 油气储运,2003,22(2):36-38,59.

(收稿日期:2010-11-01)

**作者简介:**高河东,教授级高工,1957年生,2003年毕业于中国石油大学(华东)储运专业,现主要从事管道工程建设的管理工作。

电话:0516-83454233; Email: njcz326@126.com

### 本刊链接:

- [1] 蔡亮学,何利民,吕宇玲,等. 水平定向钻管道穿越孔底泥浆的力学特性[J]. 油气储运,2011,30(1).
- [2] 刘刚,徐舟,罗京新,等. 定向钻穿越回拖管道径向变形原因分析[J]. 油气储运,2008,27(4).
- [3] 邓彦. 岙山—镇海原油管道册子水道定向钻穿越技术[J]. 油气储运,2008,27(1).
- [4] 廖达伟,唐元杰,周志坚,等. 唐白河管道穿越改造工程安全评价[J]. 油气储运,2005,24(2).
- [5] 高颖涛,曹会清. 盾构法隧道工程施工的定向测量[J]. 油气储运,2005,24(9).
- [6] 李志勇,朱东志,赵海宴,等. 冀宁管道大汶河穿越带水开挖施工技术[J]. 油气储运,2007,26(4).
- [7] 朱波,吕建峰,张永高. 管道水平定向钻穿越技术的特征分析[J]. 油气储运,2005,24(3).