

长输高压天然气管线穿越长江工程方案的研究与实施

王虎鸣¹ 石湛² 韦杰¹

1. 安徽省合燃长城天然气有限公司 安徽 合肥 230075

2. 长江勘测规划设计研究有限责任公司 湖北 武汉 430010

摘要: 对长输高压天然气过江管线穿越工程定向钻方案与盾构方案进行综合比选。盾构方案地层适应性较强,在多条管道同时穿越条件下经济性较高。对于单条中小口径管道,若能通过线路设计或者辅助措施对不良地层进行规避或处理,定向钻方案在工期及造价上优势明显。综合工程建设条件、技术难度、工期与造价等因素,本工程长江穿越推荐采用定向钻方案,其设计思路与经验可为类似工程提供参考。

关键词: 天然气管线; 穿越长江; 定向钻; 盾构; 方案比选

1 工程概况

合肥庐北至池州高压天然气管线工程是《安徽省“十四五”油气发展规划》中“三纵四横一环”省级输气干线的西纵线,输气线路始于合肥市庐江县境内,经庐江县、铜陵市,终点至池州市贵池区。管道全长约

138km,管径DN600,设计压力6.3MPa,沿线拟新建输气站4座、阀室6座,改扩建输气站1座,年输气量20亿m³/年。根据规划及用地条件,线路于铜陵市枞阳县新开沟附近,池州长江大桥下游穿越长江,穿越距离约2.7km。

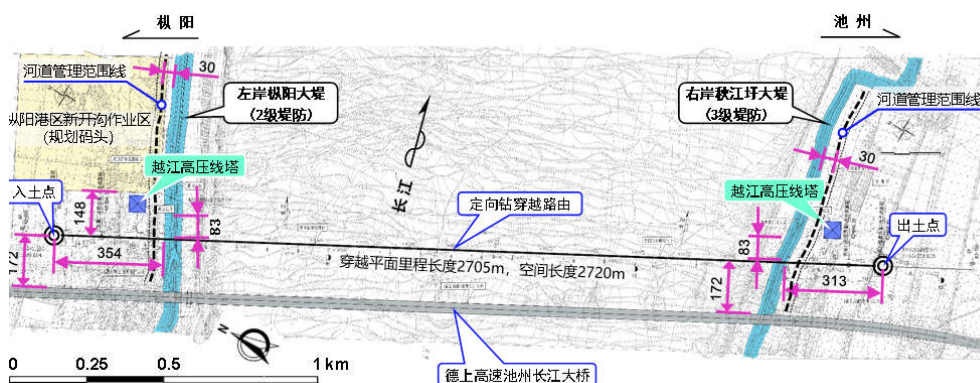


图1 管线穿越长江平面布置图

2 建设条件

2.1 河道条件

本工程位于长江贵池河段进口汇流段新开沟附近,贵池水道为两端束窄中间展宽多分汊河型,从左岸到右岸有崇文洲、凤凰洲罗列江中,把河道分为左、中、右三汊。其江面开阔,支汊众多,水流分散,浅滩较多。随着该河段护岸工程的陆续实施,总体河势保持相对稳定。

工程推荐线位位于贵池河段进口顺直段,其工程段河床断面形态近似呈“扁平U”字型,多年深泓汇流点比较稳定,但有右摆的趋势;两岸岸线稳定少变;-10m槽只分布在工程段左岸一带,槽尾下移。河槽最深点高程

多年来变化较小,且断面形态及岸坡变化较小,基本具备工程建设的河势条件。

2.2 航道条件

新建工程位于长江下游贵池河段贵池水道上进口。工程河段水域范围内按照船舶定线制规定,通航分道紧靠左岸一侧,没有设置推荐航路。

拟建工程上游约172m为池州长江公路大桥,大桥全长5.818千米,采用(3×48+96+828+280+100)米跨径布置。设计最高的通航水位为15.70m,最低的通航水位为1.84m,通航的净高为24m,通航的净宽为610m,建成于2019年。

目前长江安庆吉阳矶~芜湖高安圩航段航道维护标准尺度为6.0m×200m×1050m,根据最新长江航道的规划,到2035年,长江安庆吉阳矶~芜湖高安圩航段航道

作者简介: 王虎鸣,男,1990年12月,大学本科,工程师,从事城镇燃气工作。

的维护将为8.0m×200m×1050m，保证率98%，可满足1.5万吨级内河船和1.5万吨级江海船双向通航。

2.3 工程地质与水文地质

新建工程场区主要包含两个地貌单元。(1)长江河床。场区长江呈北东流向，河岸顺直，河床断面形态近似呈“扁平U”字型，河床宽约1800m，河床高程在-17.5~3.0m之间。(2)沿江冲积平原。在长江堤防与两岸丘陵之间为宽窄相间的沿江冲积平原，地势平坦、

开阔，地面高程一般10.0~12.0m。地表多为农田，分布民圩，两岸大堤内局部分布水塘。场地广泛分布第四系全新统冲积层(Q4al)，包括(2-1)粉质粘土、(2-2)淤泥质粉质粘土、(2-3)粉质粘土、粉土、粉砂互层、(3-1)粉细砂、(3-2)中粗砂、(4-1)砾砂、(4-2)砾卵石；下伏的基岩大部分是白垩系下统杨湾组(K1y)红层，主要为(5a)粉砂质泥岩、(5b)泥质粉砂岩、(5c)砂岩。

表1 地层设计参数表

岩土层	重度	标贯	压缩模量	承载力	抗压强度	抗剪强度		渗透系数
	γ kN/m ³	N —	Es MPa	fak kPa	Rw MPa	C kPa	ϕ (°)	k m/d
2-1	18.6	4.3	4.8	110		17	11	0.004
2-2	18.1	2.3	3.0	80		13	7	0.005
2-3	18.5	5.3	6.5	115		10	15	水平10；垂直0.03
3-1	20.2	9.0	13.0	120		0	30	14
3-2	19.1	12.7	15.0	200		0	33	25
4-1	19.7	7.8*	17.0	260		0	34	25
4-2	23.0	7.4*	20.0	350		0	38	25
5a	24.2			400	3.0			
5b	24.6			600	6.0			
5c	24.6			1000	14.0			

第四系孔隙水赋存于全新统冲积(2-3)、(3)、(4-1)及(4-2)层中。含水层顶板高程0.87~7.55m，底板高程-62.77~-26.35m。基岩孔隙水主要赋存于粉砂质泥岩、砂岩、泥质粉砂岩孔隙中，主要接受上部孔隙水及河水补给，水量贫乏。

3 穿越工法比选

新建工程穿越位置为长江中下游，地层条件以全新统的冲积砂层为主，基岩为软岩且埋深较大，且为长江主航道。根据工程的建设条件，可行的穿越工法有盾构法与定向钻法两种。

3.1 盾构穿越方案

盾构穿越设计主要包括井位选择、平纵曲线、管片结构及防水、工作井设计等。

1) 横断面设计。盾构横断面布置应考虑管道运输、安装及运维检修的需要，结合国内既有油气盾构隧道的成功案例，确定盾构内径2.44m，内部布置1根Φ610mm管道。可结合项目远期规划，在洞内富余空间增设其它管线。

2) 平面设计。根据规划条件与用地条件，过江平面线位拟选定于池州长江公路大桥下游约172m，距离下游±800kV灵绍线长江大跨越约110m，该线位与周边构筑物

间距符合相关规范要求，是唯一可行的线位方案。

两岸工作井位置的选择主要依据周边的场地条件，同时需满足河道管理部门的要求，一般来说，建议两岸工作井距离堤防内侧坡脚不小于100m。始发场地要布置管片堆场、渣土池、砂场、袋装水泥堆场、喷润土堆场、钢轨堆场、走道板堆场、泥浆管和循环水管堆场、油脂堆场，面积不小于10000m²，接收井场地面积不小于3000m²。考虑到两侧堤防堤后均为村庄，为减小拆迁，始发井布置在北岸堤防后240m，接收井布置在南岸堤防后260m，两井中心线距离约2530m。

3) 纵断面设计。隧道上部覆土厚度应根据工程地质与水文地质、隧道断面大小、施工方法、周边环境综合确定，不应小于2倍隧道外径，且隧道埋深应低于设计冲刷线或规划疏浚线以下(取其深者)1.5倍隧道外径，并应满足隧道抗漂浮稳定要求。

盾构自始发井分别以-1.0%、-4.5%、-0.5%坡度至江中最低点，随后以0.5%、3.4%、4.5%、1.0%自接收井。江中冲刷线以下最小覆土4m，满足规范要求。隧道主要穿越粉细砂、中粗砂、砾卵石层，最大水压0.54MPa。始发井井深14m，接收井深12.5m。

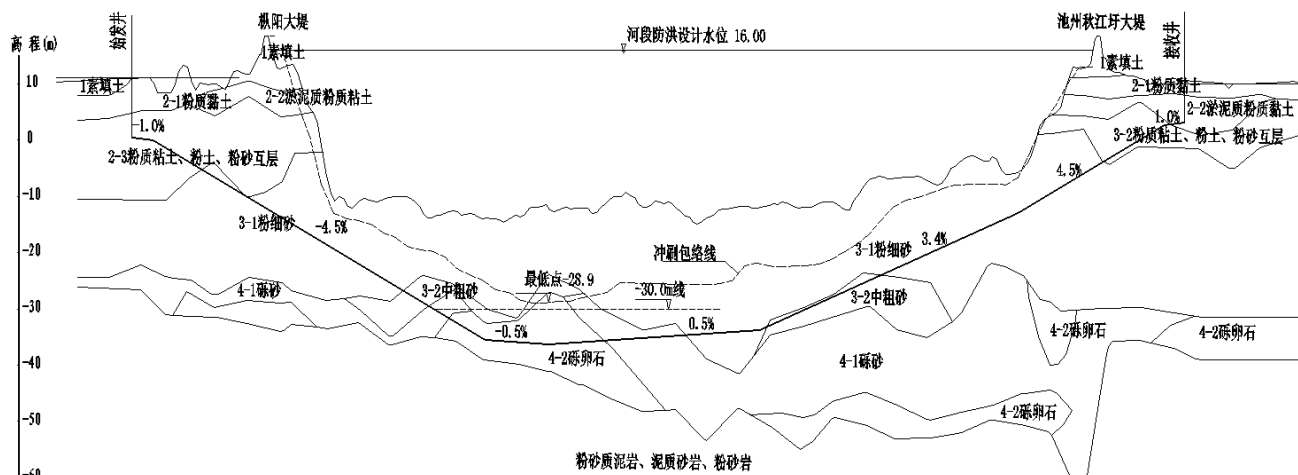


图2 盾构纵断面设计图

4) 结构方案

盾构管片内径为2440mm, 管片厚度为250mm, 环宽为1000mm, 采用错缝拼装。管片接缝设置一道弹性密封垫, 管片内侧采用聚硫密封胶嵌缝处理。

始发井内径12.5m, 接收井内径10.5m, 均采用沉井型式不排水下沉施工。

5) 工期与造价

始发沉井施工2个月, 盾构始发1个月, 盾构掘进9个月, 盾构接收1.5个月, 内部管道安装5.5个月, 总工期19个月。盾构掘进与管道安装的总费用约8900万(不含管材)。

3.2 定向钻穿越方案

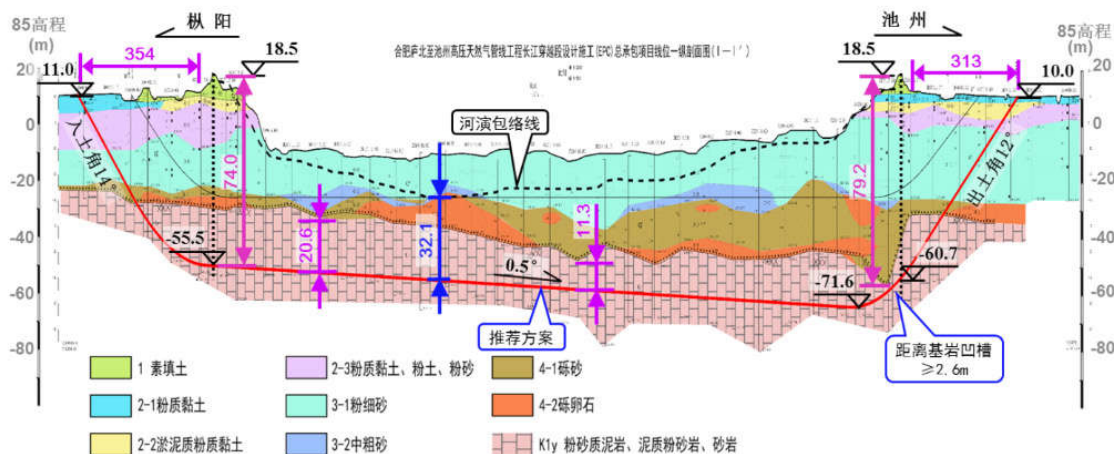
定向钻穿越设计主要包括出入土点选择、穿越路径的设计及管道设计。

1) 出入土点

综合本工程的各项建设条件, 初定入土点布置在枞阳大堤坡脚后约354m的农田中, 出土点布置在池州侧大堤坡脚约313m的农田中, 穿越平面距离约2.7km。

2) 穿越曲线

结合本工程的地质条件, 穿越曲线设计的核心是避开定向钻穿越的不良地层(4-1)砾砂与(4-2)砾卵石层。采用深入岩层的穿越曲线, 确定入土角为14°, 出土角为12°, 枞阳侧轴线最低点高程为-55.3m, 池州侧轴线最低点高程为-71.6m, 江中段坡度为-0.877%, 坡向池州侧, 坡长2055.560m。穿越管段的曲率半径为915m(1500D)。定向钻主要穿越的地层为粉质黏土、粉细砂、粉砂质泥岩、泥质粉砂岩、砂岩。



注: 图中穿越轨迹为管道中心轨迹。

图3 定向钻穿越纵断面设计图

3) 管道设计

穿越管段选用D610×12.7mm的L485M PSL2直缝双面

埋弧焊接钢管。直管段钢管外防腐层采用三层结构加强级挤压聚乙烯防腐层, 补口材料采用单独用于定向钻聚

乙烯热收缩套三层结构。现场补口完成后回拖管道外需采用环氧玻璃钢作为防护层。

4) 工期与造价

本工程定向钻穿越距离约2.7km,需采用导向孔对穿工艺。江中段主要在基岩中穿越,需多次扩孔。结合类

似工程经验,定向钻施工总工期约为6个月,可在一个长江非汛期内完成施工。定向钻施工总费用约5800万(不含管材)。

3.3 设计方案比选

表2 长江穿越方案比选表

穿越方式	地质适用性	穿越长度/m	工期(月)	施工费用(万)	风险	对堤防影响	运营维护	管道预留条件
定向钻	适合黏土、砂土、软岩,不适合砾、卵石层	2700	6	5800	长距离对接、卡钻	基岩中穿越,埋深较大,对堤防影响较小	不可维护,不能检修	具备
盾构	适用地质条件范围广	2530	19	8900	风险较低	在覆盖层中穿越,通过施工控制,对堤防影响较小	检修方便	具备

定向钻的主要优点是造价低、施工快(一次性成功穿越的情况下),主要缺点是对砾卵石层适应性差,汛期不能施工,存在一定的卡钻及报废风险;盾构法的主要优点是适用地质条件范围广,安全性高,汛期可施工,主要缺点是造价高,若存在多条管线穿越,综合造价可大大降低。

本工程长江穿越段管道无维护及检修需求,地质上虽存在定向钻穿越难度极大的(4-1)砾砂、(4-2)砾卵石等地层,但可通过调整线路纵断面尽量予以避让。因此,从技术可行性、经济性角度综合考虑,本工程长江穿越推荐采用定向钻方案。

4 穿越工程施工

本工程利用长江非汛期的黄金档期,于2021年10月开工建设,采用主辅2台钻机对穿的方案施工,在出入土点两端同时钻进导向孔,在长江河道中间位置进行对接。钻导向孔时,导向孔钻进过程中,全程使用高功率交流磁靶作为地面信标,为Paratrack II控向系统提供磁信号源。同时在出入土点两端各铺设了长度约200米的交流线圈,用以辅助校核磁靶参数,在主钻机的钻头中安装对接导向系统的信号发射装置,在辅助钻机钻头短节内安装旋转磁铁作为对接导向系统的信号接收装置,经过24天对向钻进,克服了下游直流特高压输电线路电流

的影响,顺利完成了江底对接。扩孔阶段,分别采用了22"、30"和36"扩孔器历时110天完成三级扩孔作业,共更换扩孔器10套,更换钻杆51根,2022年3月管道回拖成功,历时5个月时间,较计划工期提前1个月。

5 结论

本文对合肥庐北至池州高压天然气管线穿越长江工程定向钻方案与盾构方案进行综合比选。盾构方案地层适应性较强,在多条管道同时穿越条件下经济性较高。对于单条中小口径管道,若能通过线路设计或者辅助措施对不良地层进行规避或处理,定向钻方案在工期及造价上优势明显。综合工程建设条件、技术难度、工期与造价等因素,本工程长江穿越推荐采用了定向钻方案,设计思路、施工技术和经验在本工程中得到了切实运用,可为类似工程提供参考。

参考文献

[1]王春海,吴醒龙,郑桂友.天然气管道穿越河流设计方案比选[J].煤气与热力,2009,29(7):24-27.
 [2]周剑琴,杨国晖,王巍.油气管道大型河流定向钻与隧道穿越技术分析[J].石油工程建设,2021,47(1):45-49.
 [3]GB 50423-2013,油气输送管道穿越工程设计规范[S].北京:中国计划出版社,2013.