

大口径长距离输水管线技术经济分析要点

薛雅典

(上海市工程造价咨询公司, 上海市 200092)

摘要: 在城市开发完备地区, 由于土地价值高昂、建筑物密集, 管道敷设越来越多地采用非开挖施工方式, 如拖拉管、顶管和盾构等。为避免房屋地基、地下管线、下穿通道及地铁等深埋隧道工程, 管道埋深可达20~30 m, 大型输水工程的工作井直径甚至可达30 m。面对这类长距离、大口径输水管线工程, 由于其管道路由复杂、设计难度大、施工条件苛刻, 因此需要对其造价指标和技术经济方案进行比选。以上海市某原水输水管线工程为例, 针对大口径、长距离输水管道采用的非开挖敷设工艺, 以及采用不同施工方法而形成的超深工作井, 开展经济指标分析, 以为同类管线工程的设计与决策提供参考。

关键词: 输水管线; 非开挖敷设; 技术经济指标; 超深井

中图分类号: TV52

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)06-0448-04

Key Points of Technical and Economic Analysis for Large-Diameter Long-Distance Water Conveying Pipelines

XUE Yadian

(Shanghai Municipal Engineering Cost Consultation Co., Ltd., Shanghai 200092, China)

Abstract: In well-developed urban areas, the trenchless construction methods such as pipe pulling, pipe jacking and shield tunneling are increasingly adopted for paving pipelines in many areas because of high land value and dense buildings. To avoid the house subgrade, underground pipelines, underpasses, subways and deep-buried tunnel projects, the pipelines can be laid at depths of 20~30 m, and the shaft diameter of large-sized water conveying projects can even reach 30 m. For this kind of long-distance large-diameter water conveying pipeline projects, it is necessary to compare and select its cost indexes and technical/economic schemes due to its complex routing, many design difficulties and severe construction conditions. Taking a raw water conveying pipeline project in Shanghai as an example, the analysis of economic indexes is conducted on the trenchless paving technologies for the large-diameter long-distance water conveying pipelines and the ultra-deep working shafts built using the different construction methods, which provides a reference for the design and decision-making of the similar pipeline projects.

Keywords: water conveying pipeline; trenchless paving; technical and economic indexes; ultra-deep shaft

0 引言

随着城市的快速发展, 城市用地开发日益紧张, 市政管网建设往往与现状道路或局部建筑物存在交叉。如果大口径管道采用传统开槽埋管敷设方式, 一方面, 其上口断面较宽, 会对城市路面结构的整体性造成影响; 另一方面, 该施工方式的施工周期较长, 会对道路交通环境造成较大影响。近年来市政管线广泛使用非开挖敷设施工方式, 不仅提高了工程施工的效率, 还降低了施工对城市环境的影响。

上海市由于地下交通工程复杂、地质条件差, 其

管道施工过程需要采取多种保护加固措施。上海市的管道指标较高, 通过对盾构区间、顶管区间、工作井的指标分析, 可以发现, 管道口径和埋深对造价指标的影响较大。本文以上海市某原水输水管线为例, 分析不同管线敷设方式下的延米经济指标和不同深度的工作井综合造价指标。

1 项目背景

本工程是为落实上海市“两江并举、多源互补”的原水发展战略, 解决上海市原水系统依然存在的安全保障能力不足, 水源地水质风险复杂、多元, 原水供应存在缺口, 城市发展仍有原水增量需求等问题而开展。本工程输水管线工程共分为3段, 主干管口径尺寸分别为DN3000、DN3400和DN3600, 管线

收稿日期: 2025-12-15

作者简介: 薛雅典(1994—), 女, 硕士, 工程师, 一级造价工程师, 从事市政工程技术经济编制工作。

总长度为 50 km。

本工程管道敷设路由条件复杂,不仅穿越河流、地铁、隧道、暗浜,还有部分管段穿越城市密集居住区。管道全线采用非开挖敷设方式,涉及长距离顶管、套管顶管和盾构工法,以及多处超大、超深工作井,部分工作井深度超过 30 m。结构加固措施涉及钻孔灌注桩、地下连续墙(简称“地连墙”)、水泥土搅拌桩、高压旋喷桩、全方位高压喷射工法(MJS)^[1]等多种施工工艺。本文通过分析上述输水管道在不同敷设方式下的延米经济指标和工作井相关技术经济指标,总结此类工程施工的关键点与重难点。

2 工程方案技术经济影响分析

2.1 管线区间段经济指标分析

2.1.1 钢管顶管区间段经济指标分析

如表 1 所示,本工程以 DN3400 大口径顶管为例,列举了不同顶管长度、不同埋深下顶管工程的延米经济指标。在顶管区间段,管道埋深对管道的延米经济指标不造成差异性影响(不考虑土体性质的变化因素)。由表 1 可知,在此类大口径顶管工程中,顶管区间段延米经济指标(不考虑急曲线顶管施工工法)为 26 500 ~ 27 200 元/m(钢管主材含税单价按 16 830 元/m 计),虽无显著性差别,但随着顶管长度的增加,延米经济指标呈现先降低后升高趋势。分析上述指标变化的原因,在中继间数量不增加的情况下,由于顶进后座安拆的费用相对固定,顶管区间段越长,管道越长,延米经济指标就越低。随着管道顶管长度的增加,当需要加入中继间后,由于增加中继间的费用较高,管道的延米经济指标会随之升高。

表 1 钢管顶管区间段管道延米经济指标对比表

区间段	长度/m	中继间数量/个	延米经济指标/(元·m ⁻¹)
钢管顶管 DN3400	104	0	27 128
钢管顶管 DN3400	157	0	26 618
钢管顶管 DN3400	291	1	26 761
钢管顶管 DN3400	375	1	26 587
钢管顶管 DN3400	620	2	26 691
钢管顶管 DN3400	1 024	3	26 934

总体而言,在相同的土质条件下,相同口径顶管的长度、中继间数量和管道埋深对顶管区间段延米经济指标的影响较小。

2.1.2 套管顶管区间段经济指标分析

如表 2 所示,本工程以 DN4000 钢筋混凝土顶管套管、内穿 DN3400 管道为例,列举了不同顶管长度、

不同管间回填填充物下套管顶管工程的延米经济指标。由表 2 可知,在管间回填填充物相同的条件下,顶管长度对套管顶管工程延米经济指标的影响较小,而不同管间回填填充物对套管顶管工程延米经济指标的影响较大。采用套管顶管全空隙填充方式,可有效防止工程完成后,管道在日常运行过程中受到周围震动的影响。

表 2 套管顶管区间段管道延米经济指标对比表

区间段	长度/m	延米经济指标/(元·m ⁻¹)	管间回填填充物
DN4000 钢筋混凝土套管、内穿 DN3400 钢管	140	54 912	自密实混凝土
DN4000 钢筋混凝土套管、内穿 DN3400 钢管	171	52 609	流态固化土
DN4000 钢筋混凝土套管、内穿 DN3400 钢管	174	54 637	自密实混凝土
DN4000 钢筋混凝土套管、内穿 DN3400 钢管	185	52 606	流态固化土
DN4000 钢筋混凝土套管、内穿 DN3400 钢管	229	52 695	流态固化土
DN4000 钢筋混凝土套管、内穿 DN3400 钢管	260	52 299	流态固化土
DN4000 钢筋混凝土套管、内穿 DN3400 钢管	295	54 911	自密实混凝土
DN4000 钢筋混凝土套管、内穿 DN3400 钢管	442	54 553	自密实混凝土
DN4000 钢筋混凝土套管、内穿 DN3400 钢管	640	52 886	流态固化土

这种管间间隙采用填充物的形式一般适用于后期检修频率不高、无需人员检修巡检的顶管工程。在这种情况下,管间回填填充物的材质会对套管顶管区间段的延米经济指标造成较大影响。本工程分析了流态固化土和自密实混凝土 2 种填充物对延米经济指标的影响。在顶管穿越地面式城市快速路公路、高速公路、高铁、轨道交通、地道等城市交通要道的区间段,管间回填填充物采用自密实混凝土,其余情形均拟采用流态固化土填充。

流态固化土的造价经济指标约为 360 元/m³,而自密实混凝土的造价经济指标约为 1 200 元/m³,2 种填充方式的造价差异较大。以上述 DN4000 顶管套管、内穿 DN3400 管道为例,当将其应用于大口径顶管套管工程时,相较于流态固化土填充方式,自密实混凝土填充方式延米经济指标差价约为 2 800 元/m。在管线套管顶管工程设计中,应结合具体管间填充物的技术经济指标,综合考虑管道施工和运行过程中的保护和穿越条件,在保证工程施工安全和运行稳定的前提下,优化施工设计和投资方案。

2.1.3 盾构区间段经济指标分析

如表 3 所示,本工程以内径 DN5500 盾构、内穿 DN3400 管道为例,列举了不同盾构区间段长度、不同管间回填填充物下盾构区间段工程的延米经济指标。由表 3 可知,盾构区间段管道延米经济指标差异较大,为 81 800 ~ 140 000 元/m。除前述管道填充物带来的影响外,部分盾构区间段由于转弯半径过小,需要采用钢管片,因此对造价指标造成较大影响。

表 3 盾构区间段管道延米经济指标对比表

区间段	长度/m	延米经济指标/ (元·m ⁻¹)	管间回填 填充物
盾构内径 DN5500、 内穿 DN3400 钢管	193	111 853	自密实混凝土
盾构内径 DN5500、 内穿 DN3400 钢管	197	103 832	流态固化土
盾构内径 DN5500、 内穿 DN3400 钢管 (钢管片 78.51 m)	436	139 671	流态固化土
盾构内径 DN5500、 内穿 DN3400 钢管 (钢管片 64.75 m)	1 013	102 892	流态固化土
盾构内径 DN5500、 内穿 DN3400 钢管 (钢管片 82.62 m)	1 138	115 189	自密实混凝土
盾构内径 5500、内 穿 DN3400 钢管	1 329	82 082	流态固化土
盾构内径 DN5500、 内穿 DN3400 钢管	1 591	82 656	流态固化土
盾构内径 DN5500、 内穿 DN3400 钢管	1 848	93 628	自密实混凝土
盾构内径 DN5500、 内穿 DN3400 钢管	1 883	81 753	流态固化土
盾构内径 DN5500、 内穿 DN3400 钢管	1 974	93 478	自密实混凝土

本工程对所采用的不同材质的盾构管片进行比较。在 DN5500 内径尺寸下,钢筋混凝土管片(盾构管片厚度为 350 mm,环宽取 1.2 m,综合含筋率为 180 kg/m³)延米经济指标为 19 000 元/m,同一内径尺寸下的钢管片延米经济指标为 255 000 元/m。由此可知,不同盾构管片材质对造价的影响较大,在项目前期考虑盾构区间段的经济指标时应尤为注意。

结合前述钢套管顶管区间段经济指标和盾构区间段经济指标来看,由于内穿管道口径相同(DN3400),盾构区间段管道(DN5500)比钢混凝土套管顶管区间段管道(DN4000)的口径大,在同等条件下,盾构区间段管道延米管间回填填充物会更多。因此,填充物的材质会对盾构区间段延米经济指标造成更大影响。

在管间回填填充物相同的情况下,不考虑急曲线段采用钢管片盾构带来的经济影响,盾构区间段延米经济指标仍然遵循上述顶管区间段延米经济指标的规律,即盾构区间段越长,延米经济指标越低。

2.2 工作井经济指标分析

2.2.1 地连墙形式的工作井经济指标分析

本工程中工作井的深度为 15 ~ 38 m,本工程选取 3 座内径尺寸为 18 m、深度不同的工作井进行比较,在分析工作井造价指标的同时,进行同类指标的不同深度对比,为今后工作井的前期指标给予指导和帮助。

如表 4 至表 6 所示,本工程以上述 3 座工作井(A 井基坑深 16.4 m,B 井基坑深 30.4 m,C 井基坑深 36.8 m)为例,计算土方工程单方综合经济指标,包括开挖土方、回填土方、土方场内运输及余土外运费。工作井本体单方综合经济指标包括工作井本身所需的混凝土、钢筋、防腐防水材料,以及井内爬梯等土建费用。本工程将混凝土综合经济指标作为井本体的经济指标,上海市混凝土的经济指标受井深度变化的影响不大。当混凝土等级为 C30、抗渗等级为 P6 时,井的混凝土经济指标约为 3 000 元/m³。

表 4 A 井的工程量及经济指标分析表

A 井	工程量	经济 指标	费用小计/ 元
土方工程/m ³	3 296	230	758 080
井本体/m ³	953	3 195	3 044 835
地连墙/m ³	2 028	4 217	8 552 076
槽壁加固(水泥土搅拌桩)/m ³	831	254	211 074
MJS 接缝处/m ³	477	2 290	1 092 330
洞口加固(高压旋喷桩)/m ³	1 260	886	1 116 360
坑底加固(高压旋喷桩)/m ³	1 005	1 753	1 761 765
井围护及降水措施/项	1	804 610	804 610
合计			17 341 130

表 5 B 井的工程量及经济指标分析表

B 井	工程量	经济 指标	费用小计/ 元
土方工程/m ³	6 440	200	1 288 000
井本体/m ³	2 477	2 950	7 307 150
地连墙/m ³	4 485	4 570	20 496 450
槽壁加固(水泥土搅拌桩)/m ³	863	254	219 202
MJS 接缝处/m ³	849	2 865	2 432 385
洞口加固(高压旋喷桩)/m ³	702	776	544 752
洞口加固(MJS)/m ³	1 922	1 880	3 613 360
坑底加固(高压旋喷桩)/m ³	1 056	2 188	2 310 528
井围护及降水措施/项	1	1 847 895	1 847 895
合计			40 059 722

表 6 C 井的工程量及经济指标分析表

C 井	工程量	经济 指标	费用小计/ 元
土方工程/m ³	7 395	200	1 479 000
井本体/m ³	2 291	3 030	6 941 730
地连墙/m ³	6 981	6 000	41 886 000
槽壁加固(水泥土搅拌桩)/m ³	845	254	214 630
MJS 接缝处/m ³	1 015	4 688	4 758 320
洞口加固(高压旋喷桩)/m ³	752	972	730 944
洞口加固(MJS)/m ³	1 667	1 950	3 250 650
坑底加固(高压旋喷桩)/m ³	1 005	2 888	2 902 440
井围护及降水措施/项	1	3 169 109	3 169 109
合计			65 332 823

地连墙费用是工作井所需费用中占比最大的部分,因此,其经济指标的准确计算尤为重要。地连墙施工工法包括导墙施工、泥浆制备与处理、挖深槽、钢筋笼制作与吊装、混凝土浇筑。

2.2.2 地连墙成槽工艺

地连墙的成槽工艺有 3 种,在本工程中,工作井深度为 15~38 m,覆盖了 3 种地连墙施工方式。本工程以 3 座不同深度的工作井为例,对 3 种形式下的地连墙经济指标进行分析。

当地连墙深度小于 50 m 时,可采用履带式液压抓斗挖土成槽(地墙深 38 m,地连墙经济指标为 4 217 元/m³);当地连墙深度大于 50 m 但小于 70 m 时,大于 50 m 的部分,需考虑采用履带式铣槽机挖土成槽(地墙深 67 m,地连墙经济指标为 4 570 元/m³);当地连墙深度大于 70 m 时,可考虑采用铣槽机施工的套铣接头,这是目前最适用于超深地下连续墙施工的方式(地墙深 81 m,地连墙经济指标为 6 000 元/m³)。

通过对比可以发现,3 座工作井的地连墙综合经济指标具有显著差异。这主要是因为不同的地连墙成槽工艺会带来较大差异的机械费用。

2.2.3 土体加固措施

在工作井的经济指标中,井的围护加固费用也需要重点关注。目前土体加固措施主要有水泥土搅

拌桩、高压旋喷桩、超高压旋喷注浆工法(RJP)、全方位超高压旋喷注浆工法(MJS)、超高压喷射搅拌成桩止水帷幕 N-JET 工法^[2]和冰冻法等。本工程中主要的土体加固措施有水泥土搅拌桩、高压旋喷桩、全方位超高压旋喷注浆工法(MJS)。当洞口中心埋深超过 15 m 时,洞口加固措施拟采用 MJS 进行加固;当洞口中心埋深不超过 15 m 时,为节省投资,拟采用三重管高压旋喷桩进行加固。

施工时,要求严格控制垂直度,所有加固措施的单位经济指标均与井的深度有较大关系。当井的深度超过定额区间时,加固措施的单位经济指标会有明显增长。例如,当垂直喷射距离小于 50 m 时,MJS 的经济指标约为 2 300 元/m³;当喷射距离为 50~70 m 时,MJS 的经济指标约为 2 900 元/m³;当喷射距离超过 80 m 时,MJS 的经济指标升至 4 700 元/m³。在基坑坑底采用加固措施时,由于需要考虑大量的空钻费用,高压旋喷桩的单位经济指标相对较高。随着基坑深度从 16 m 增加到 37 m,高压旋喷桩的单位经济指标为 1 700~2 800 元/m³。

3 总 结

在我国城市化进程已逐步完善的背景下,当前的基础设施建设与实施更需要关注绿色环保低碳。而为降低施工对城市居民造成的负面影响,以及对城市现状道路绿化的破坏,积极探索和应用非开挖铺设管道的技术成为城市建设的必然趋势。本文以上海市西环线工程为例,分析了 3 种常见大口径非开挖管道敷设工法的技术经济指标,以及各类工作井的相关综合造价指标,并进行了相关对比分析,为今后类似工程实例提供参考。

参考文献:

[1] 刘毅.MJS 工法桩对地下连续墙加固及止水效果分析与研究[J]. 建筑技术,2025(13): 1582-1585.
[2] 杨敏.N-JET 隔断车站基坑深层承压水的应用[J]. 山西建筑,2019(19): 70-71.